A Study of Isolated Operation of a Microgrid Configured with New Energy Generators

Jiro Sumita Member (NTT Facilities, Inc.)

Kojiro Nishioka Non-member (NTT Facilities, Inc.)

Yasuhiro Noro Member (Toshiba Corp.)

Hirofumi Shinohara Member (Toshiba Corp.)

Yozo Ito Member (Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.)

Masanori Yabuki Member (Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.)

Noriko Kawakami Member (Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.)

Keywords: microgrid, isolated operation, new energy generator, inverter, simulation, verification test

The “New Energy Plant” had been built at the Aichi EXPO. 2005 site as part of the “Demonstrative Project of Regional Power Grid with Various New Energies”. This project has been promoted by the New Energy Consortium, which consists of the New Energy and Industrial Technology Development Organization and a number of private enterprises. The plant includes three types of fuel cell – phosphoric acid fuel cell (PAFC), molten carbonate fuel cell (MCFC), and solid oxide fuel cell (SOFC) – with photovoltaic power generation system (PV) and Sodium Sulfur (NaS) battery. One of the purposes of the demonstrative project is to verify supply/demand control, etc. to minimize the effect on the utility grid. Isolated operation of a microgrid is an ultimate state to be no interaction between utility grid and the microgrid. It also increases value of the microgrid.

These new energy generators are connected to the microgrid via inverter and there are no synchronous generators. There are no established techniques to startup and control voltage and frequency of such system. The authors carried out a verification test of isolated

operation of the microgrid.

This paper presents the control strategies for isolated operation of a microgrid configured with some new energy generators. Simulation results of microgrid excitation, load share operation, and response for load change such as an induction motor is connected are shown. These results are reflected to the verification test condition. This paper also presents the test result of isolated operation of the microgrid on Aichi EXPO. 2005.

The system had separated from utility grid, and performed stable controllability for load change for around three weeks. But total amount of load was limited because of bus voltage drop. Figure 1 shows a part of power generation results of new energy generators from 30th Sept. to 11th Oct. The microgrid was energized by a PAFC on 30th Sept. The 2nd to 4th PAFC were synchronized to the 1st PAFC and stable load share operation was confirmed. NaS battery was connected and started operation on 1st Oct. SOFC and MCFC started power generation on 7th Oct. and 10th Oct. respectively.

Fig. 1. Power generation result (30th Sep. ~ 11th Oct.)

新エネルギー発電装置を用いたマイクログリッドの自立運転の検討

正員 角田 二郎* 非会員 西岡宏二郎*
 正員 野呂 康宏** 正員 篠原 裕文**
 正員 伊東 洋三*** 正員 矢吹 正徳***
 正員 川上 紀子****

A Study of Isolated Operation of a Microgrid Configured with New Energy Generators

Jiro Sumita*, Member, Kojiro Nishioka*, Non-member, Yasuhiro Noro**, Member, Hirofumi Shinohara**, Member,
 Yozo Ito***, Member, Masanori Yabuki***, Member, Noriko Kawakami****, Member

The “New Energy Plant” had been built at the Aichi EXPO. 2005 site as part of the “Demonstrative Project of Regional Power Grid with Various New Energies”. The plant includes three types of fuel cells, photovoltaic power generation system and Sodium Sulfur (NaS) battery. One of the purposes of the demonstrative project is to verify supply/demand control to minimize the effect on the utility grid. Isolated operation of a microgrid is an ultimate state to be no interaction between utility grid and the microgrid. It also increases value of the microgrid. These new energy generators and battery are connected to the microgrid via inverter and there are no rotating generators. There are no established techniques to startup and control voltage and frequency of such system. The authors carried out a verification test of isolated operation of the microgrid.

This paper presents the control strategies for isolated operation of a microgrid configured with some new energy generators. Simulation results of system excitation, load share operation, and response for load change such as an induction motor is connected are shown. This paper also presents the test result of isolated operation of a microgrid on Aichi EXPO. 2005. The system had separated from utility grid, and performed stable controllability for load change for around three weeks.

キーワード：マイクログリッド，自立運転，新エネルギー発電装置，インバータ，シミュレーション，実証試験

Keywords: microgrid, isolated operation, new energy generator, inverter, simulation, verification test

1. はじめに

マイクログリッドは一定エリア内の電力供給において、複数の分散型電源、電力貯蔵装置、電力負荷設備を様々な

組み合わせで制御・運用することにより、電力供給システムとしての経済性や電力供給信頼度を向上させる需要家のニーズに合わせた効率的な供給を行うシステムであるが、従来検討されているシステム、特に、風力発電や太陽光発電等の新エネルギーを含む場合には需給調整の困難さのために系統電源と連系することが前提となっている。

しかしながら、海外での大停電発生等の社会的現象への対応や非電化地域への新エネルギーの導入など、系統に頼らない自立運転が可能となることによりマイクログリッドの有用性はさらに高まるものと考えられる。

新エネルギーによる電源は、ほとんどがインバータにより系統連系しており^①、インバータの運転は基本的には周波数や電圧は系統に依存している。少数のインバータ連系の電源で負荷設備に供給している場合には、系統が停電時等に、需給調整が可能な電力貯蔵システムや燃料電池等において1台のインバータを基準として自立運転を行う例もあるが、多数台かつ異種のインバータ連系の新エネルギー

* (株) エヌ・ティ・ティ ファシリティーズ
 〒170-0004 東京都豊島区北大塚 2-13-1 G.H.Y. ビル
 NTT Facilities, Inc.

2-13-1, Kita-Ootsuka, Toshima-ku, Tokyo 170-0004

** (株) 東芝
 〒183-8511 府中市東芝町 1 東芝府中事業所内
 Toshiba Corp.

1, Toshiba-cho, Fuchu 183-8511

*** (株) 東芝燃料電池システム
 〒230-0045 横浜市鶴見区末広町 2-4 東芝京浜事業所内
 Toshiba Fuel Cell Power Systems Corp.

2-4, Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama 230-0045

**** (株) 東芝三菱電機産業システム
 〒183-8511 府中市東芝町 1 東芝府中事業所内
 Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.
 1, Toshiba-cho, Fuchu 183-8511

電源で構築されたマイクログリッドの自立運転については実現例が無いばかりでなく、運転・制御方法に関しても確立されたものが無い。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO 技術開発機構)の委託を受け、新エネルギーコンソーシアムを構成する9事業者[†]が協同で、「2005年日本国際博覧会・中部臨空都市における新エネルギー等地域集中実証研究」を実施している⁽²⁾⁽³⁾。実証研究では複数種の燃料電池、太陽光発電等で構成される世界最大規模の新エネルギー電源およびNaS電池により構成されるマイクログリッドの実証運転に加え、自立運転試験を実施しており、これにより、課題・知見・技術を蓄積することを目的としている。筆者らは、自立運転に関して、上記背景を踏まえて実現のための方策を検討してきた⁽⁴⁾。

本論文では、まず自立運転におけるインバータの制御方法の考え方を述べ、次に、試験に先立ち、自立運転が安定に行えること、負荷変化に対するシステムの周波数や電圧の変動特性、モータ起動時の過渡的な応答特性等をシミュレーションにより把握し、試験条件に反映したのでその検討結果を報告する。さらに、万博閉幕後の9月30日から約3週間に渡って、マイクログリッド内の発電設備と負荷の一部を用いてマイクログリッド自立運転検証試験を行ったので、その試験結果を報告する。

2. システム構成と課題

図1は対象システムの構成を示すものである。4台のPAFC(リン酸形燃料電池)、1台のSOFC(固体酸化物形燃料電池)、1台のMCFC(熔融炭酸塩形燃料電池)、1台のPV(太陽光発電)の新エネルギー電源設備と、1台のNaS(ナトリウム-硫黄)電池、および、これらより供給される負荷設備が含まれる。これらは、愛知万博において運用されたマイクログリッドの主要な設備を含んでおり、基本的には万博会期中の長久手日本館およびNEDOパビリオンへ100%新エネルギーで安定して供給する観点で設備計画され、電力系統から切り離して自立運転の試験を行うにあたり、事前のシミュレーションにおいてもほぼこれに対応した構成で検討した。実際の試験時の負荷設備としては長久手日本館(空調・照明等~150kW)、新エネルギー電源制御室(空調・照明等~50kW)、および、新エネルギー電源設備自身の補機類(ポンプ・ヒータ等~150kW)が中心であり、展示関係の負荷が使用できなくなったため、万博開催期間中の電力系統連系時よりも限定した状況であった。

図1より明らかなように電源設備は全てインバータにより系統連系しており、回転機が含まれていない。従来の新エネルギー電源設備は系統電源またはマイクログリッド中の回転機電源にシステムの周波数を決めてもらい、これに

図1 自立運転試験のシステム構成

Fig. 1. System configuration during islanding operation.

[†] 中部電力(株)、トヨタ自動車(株)、日本ガイシ(株)、三菱重工業(株)、京セラ(株)、(財)2005年日本国際博覧会協会、愛知県、日本環境技研(株)、(株)エヌ・ティ・ティファシリティーズの9事業者が共同で実施。

同期して運転するのが前提となっており、本システムも万博会期中は電力系統に連系した形で運用している。しかしながら、自立運転時には新エネルギー電源設備が自身で周波数を決定し、瞬時の需給バランスを確保する必要がある。

一方、停電補償などのシステムではインバータより負荷に供給している例がある。しかし、これはインバータが1台（制御装置の共有により等価的に1台とみなせる場合も含む）の場合か、ごく限定された構成⁽⁵⁾⁽⁶⁾であり、本システムのように複数かつ異種の独立したインバータにより構築されたマイクログリッドの自立運転の実現例は見当たらない。

そこで、系統電源または回転機に依存せず、複数のインバータにより系統周波数と電圧を決めつつ、負荷の変化に合わせて需給調整を行うことが大きな課題の一つとなる。

3. 自立運転時の制御方法

上記課題を解決するために、本システムでは新エネルギー電源設備のうち、負荷の変化に追従可能なPAFCを電圧制御モードで運転し、システムの電圧・周波数を決定すると同時に需給調整を行うこととし、その他の新エネルギー電源設備は指令値に従って一定出力で運転する（即ち系統連系時と同じ）方針とした。

図2にPAFC 1台分の主回路構成と制御回路を示す。マイクログリッドが系統電源と連系している場合には、図中のGC（Grid Connect）モードで運転しており、指令として与えられる有効電力、無効電力に従って有効電力制御や電流制御が動作する。

自立運転中にはGI（Grid Independent）モードで運転する。このモードでは電圧制御が選択され、PAFCの出力によりシステムの電圧が決定される。ただし、電圧制御の制御特性を指令値に対して偏差なく一致するような特性とすると、PAFC 4台間の制御誤差や主回路インピーダンスのばらつきにより出力アンバランスが大きくなることが予想されるので、出力変化に対して適度なスロープ特性を持たせて装置間の出力ばらつきが小さくなるような対策が必要である。そこで、本システムでは電圧制御の部分一般的なPI制御回路ではなく、比例（P）項のみの制御とし、制御ゲインを適切に設定することでこのような特性を実現している。

一方、システムの周波数を決定するのは位相・周波数検出回路である。この回路はPLL（Phase Locked Loop）と呼ばれる回路方式により系統連系時には系統側の周波数および位相を連続的に検出する機能を有しており、検出した位相信号により制御回路内の電圧・電流信号をDQ軸に座標変換し、電圧電流制御に使用すると同時にPWMパルス発生部で信号波の周波数を決定することは広く知られている⁷⁾。本システムではこの回路の位相誤差を増幅する部分を自立運転時には比例制御とすることにより、出力が大きくなると位相誤差のオフセットが残り、その結果周波数偏差が大きくなるようなスロープ特性を持たせている。

図2 PAFCシステムの構成

Fig. 2. PAFC System configuration.

図3 自立運転の制御方式

Fig. 3. Block diagram for Isolated Operation.

図4 他の新エネルギー電源システムの構成

Fig. 4. System configuration for the other DGs.

この原理を図2、図3を用いて以下に説明する。図2において、母線側の電圧を $V1 \angle \theta1$ 、インバータの出力電圧を $V2 \angle \theta2$ 、変圧器およびACリアクトルの合成リアクタンスを X とすると、インバータが出力する有効電力 P は、

$$P = \frac{V1 \cdot V2}{X} \sin(\Delta\theta) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $\Delta\theta = \theta2 - \theta1$

で表される。 $\Delta\theta$ が小さい場合には近似的に P と $\Delta\theta$ は比例する。一方、図3において $\theta1$ は母線電圧位相、 $\theta2$ はインバータ出力電圧位相基準であるから検出した位相誤差 $\Delta\theta$ は(1)式と対応し、有効電力 P に比例する。誤差増幅を比例制御としていることより、 $\Delta\omega$ すなわち、周波数偏差も

他の新エネルギー電源設備については、図4に示す主回路構成・制御回路としてシミュレーションを実施した。

〈4・1〉 システムの起動 システムの起動はもう一つ大きな課題である。複数台かつ異種のインバータで構成されるマイクログリッドの始動において、一般的な電力システムと同様に、最初に1台の電源を起動し、順次他の電源設備を連系していく手順を考える。電源の連系と合わせて負荷設備も順次増やしていくことになるが、負荷端の変圧器を投入した場合を想定して励磁突入電流のシミュレーション評価を行ったところ、負荷に含まれる300kVA程度の変圧器投入でもインバータ群の過電流耐量を超過する大きな電流が流れることが判明した。そこで、負荷端の変圧器は最初から接続した状態でシステムを起動する方法について検討した。最初の起動時は図5の網掛け部分に示すように200kWのPAFC1台で3000kVAを超える変圧器を励磁する必要がある。変圧器の残留磁束も考慮したシミュレーションを行った結果、図6に示すように15秒程度の時間をかけて電圧を徐々に立ち上げるソフトスタートにより、インバータが過電流トリップしないでシステムを起動できることが判明した。なお、図1と図5で負荷設備の変圧器容量が異なるのは、シミュレーション時点で使用可能な負荷が確定していなかったためである。

Fig. 5. System excitation range.

また、PAFC 以外の電源設備は、今回は電圧制御としないため、同じ方法で連系を行うことはできない。図 1 より明らかなように、これらの電源設備も変圧器を有しているが、先に述べた 1 台目の電源起動時には、可能な限り接続する変圧器を少なくして励磁電流を減らしたい。そこで、負荷および PV を除く電源設備は、一旦自立運転で起動して変

図 8 負荷変化に対する 6.6kV 母線電圧変化

Fig. 8. 6.6kV Bus voltage vs. active power output.

圧器を励磁，マイクログリッドに同期を取って連系後にインバータを停止させ，制御モードを系統連系モードに切り替えて再度起動する方法を検討した。シミュレーションでも大きな外乱は生じず，順次系統並列できることを確認した。なお，事前シミュレーションでは NaS 電池を 2 台使用することを想定したが評価に影響を与えるものではない。

〈4・3〉 並列運転時の制御特性 新エネルギー電源設備並列運転時の制御特性を確認するために，PAFC を 4 台，NaS を 2 台接続し，負荷の変化に対するシステムの定常的な電圧，周波数の特性を評価した。

負荷総量の変化に対する電圧変化を解析した結果を図 8 に示す。図 8 より，負荷力率が 1.0 の場合は，負荷量に応じて NaS 電池の出力を調整してやれば，1200kW 程度の総負荷でも 6.6kV 母線電圧を 1.0pu 程度に維持できることがわかる。一方，負荷力率が 0.9 と悪い場合，負荷 600kW 程度でも既に電圧が 0.96pu を割り込み，900kW 超で 0.9pu まで低下する。これは，保護リレーが動作するレベルではないが，6.6kV 母線から先の変圧器や配電線の電圧降下を考えると負荷 600kW 位でも，低圧側の電圧を一般の配電系統並みの 101 ± 6 V に維持する限界と思われる。なお，電圧変化は図 2 の電圧制御部分の制御ゲインを大きくすることにより改善可能であるが，前述のように負荷分担ばらつきとのトレードオフの関係があるため，改善策適用にあたっては実システムにおけるデータの収集が必要である。

一方，周波数変動は PAFC の有効電力出力でほぼ決まるため，図 9 に示すように力率 1.0 と 0.9 の差が小さく，NaS 電池によって有効電力を供給すれば，その分周波数変動が小さくなる。また，図 9 では周波数変化が負側のみに現れているが，バイアス調整により動作の中心点は調整可能なので，例えば ± 0.3 Hz といった範囲に仕上げることも可能である。この程度の周波数変動であればマイクログリッド内の新エネルギー電源設備および負荷設備の運転には支障が生じないと思われる。

〈4・4〉 負荷変化時の応答特性 一般的に，モータ始動時に突流が流れる事は良く知られている。負荷設備の中か

図 9 負荷変化に対する周波数変化

Fig. 9. System frequency vs. active power output.

図 10 負荷変化に対する応答

Fig. 10. System response vs. load change.

図 11 発電実績 (2005 年 9 月 30 日～10 月 11 日)

Fig. 11. Power generation result (30th Sep. ~ 11th Oct.).

ら最も容量が大きな電動機は 30kW～35kW 程度であるので、ここでは 40kW の電動機を例に直接始動を行なった場合の電圧変化と周波数変化を見た。シミュレーション結果を図 10 に示す。電圧変動を見ると、180kVar の無効電力変動により始動前 6760V から始動直後 6450V まで 310V (4.7%) 低下するが、許容レベルと考える。計算例では電圧低下が 2 秒弱継続しているが、継続時間に関しては電動機の特長や機械負荷に依存する部分が大いため、参考程度である。この負荷変動分は PAFC の無効電力供給の変化として 1 台あたり 57kVar 程度吸収している。一方、始動途中の電動機有効電力の増加分は小さいので、周波数の変動は小さい。むしろ、電圧低下により他の定インピーダンス負荷の有効電力が減少したため、トータルの有効電力が減少し、わずかに周波数が上昇した。

5. 自立運転試験結果

〈5・1〉 自立運転の結果概要 9 月 30 日にマイクログリッドを中部電力系統から切り離し、一度全停電させた後、1 台の PAFC を使用して、自立系統を確立した。その後、10 月 19 日までの試験期間中、自立運転で安定して負荷へ電力供給した。各発電装置の運転状況の一部を図 11 に示す。9 月 30 日は 1 台目の PAFC に 2 台目～4 台目の PAFC を順次並入し、4 台並列での安定運転を確認した。10 月 1 日より NaS 電池の充放電を開始、10 月 2 日及び 3 日には SOFC と MCFC をマイクログリッドからの供給電力で運転準備開始 (主に昇温操作) した。さらに、10 月 7 日及び 10 日に SOFC と MCFC がそれぞれ発電開始し、予定した全ての発電装置が連系した。

〈5・2〉 自立運転開始 図 12 に、1 台目の PAFC がソフトスタートで起動した時点の電圧・電流波形を示す。15 秒間かけて電圧が徐々に立ち上がり、合計で 3000kVA を超える変圧器の励磁電流と一部負荷への電力供給を行い、

図 12 自立運転開始時の電圧・電流波形

Fig. 12. Inverter voltage and current on startup.

図 13 2 台目 PAFC の並列

Fig. 13. Synchronization of 2nd PAFC.

自立運転を確立できた。

図 13 に 2 台目の PAFC を並列したときの各々の出力電

力を示す。2 台目並列した瞬時に最終値の 50%程度まで有効電力を分担し、1 秒弱ではほぼ最終値に到達して安定している。また、無効電力はほとんど変化が見られていない。3 台目及び 4 台目の PAFC 並列時もほぼ同じ結果であった。PAFC 4 台により系統電圧を確立した後、NaS 電池、太陽光発電、SOFC、MCFC を順次連系した。この時も大きな外乱は認められなかった。

〈5・3〉 負荷変動時の応答 PAFC の負荷制御は、変動

図 14 22 kW 電動機始動時の応答特性

Fig. 14. Response for 22 kW motor startup.

幅が小さい時は瞬時に、変動幅が大きい場合でも 1 秒程度の時定数で追従することから、本試験期間中、ヒーター等の頻繁な負荷変動に対して問題なく応答できた。

非線形負荷の代表としてポンプ負荷 (22 kW) 起動を行っ

図 15 PAFC#1 から#4 の発電端出力と周波数の関係

Fig. 15. Grid frequency vs. active power of four PAFC's.

図 16 PAFC#1 から#4 の発電端出力と電圧の関係

Fig. 16. Grid voltage vs. active power of four PAFC's.

図 17 電力品質 (2005 年 10 月 11 日の電圧・周波数)

Fig. 17. Power Quality (Voltage and Frequency on 11th, Oct.).

た時の波形を図 14 に示す。電圧が 0.5 秒程度低下したが、低下レベルは約 5% で、他の負荷への影響は無かった。

このときの PAFC の有効電力、無効電力の出力分担と、周波数を図 14 に合わせて示す。PAFC 4 台がそれぞれ出力を瞬時に増加して、電力を供給している。また、周波数はほとんど変化がないことが分かる。

〈5・4〉 電力品質 PAFC は負荷分担のために電圧と周波数を変化させる制御を行っていることから、負荷の変動に応じて、基準となる電圧と周波数が変化する。図 15 に PAFC#1 から #4 のインバータ出力と系統周波数の関係を、図 16 にインバータ出力と電圧の関係を示す。なお、この時の負荷は力率 1 の同一条件のものである。この結果から、出力の増加に応じて周波数、電圧がともに低下するという制御特性に応じた変化となっており、各インバータ出力間のばらつきも小さいことがわかる。周波数変化については、変動が最大でも -0.4 Hz 程度であり、負荷設備および電源設備への影響は生じなかった。電圧変化については、出力増加に伴う低下傾向が大きく、マイクログリッド内負荷への影響が懸念された為、定格 -5% 程度で出力制限を行った。

図 17 に、1 日を通しての電圧や周波数の変動例の状況を示す。電圧は 6350 V 程度、周波数は 59.7 Hz 程度に維持され、負荷への電力品質面での影響は見られなかった。

6. 考 察

〈6・1〉 自立運転開始時 シミュレーション結果の図 6 と試験結果の図 12 を比較すると、試験結果では励磁電流成分がほとんど流れていない。これは、事前シミュレーションでは励磁電流が最大となる変圧器残留磁束の組み合わせを考慮したが、実際にはそれほど厳しい条件とはならなかったためと推定する。

〈6・2〉 2 台目以降の電源の連系 シミュレーション結果の図 7 と試験結果の図 13 を比較すると、試験結果では並列瞬時に 100% 負荷分担せず、一度最終値の 50% 程度まで分担し、その後 1 秒弱で最終値に到達している。これは、シミュレーションでは電池内部や補機の応答特性を考慮してないためと推定される。ただし、これらの違いは、自立運転の評価には影響を及ぼさない。

〈6・3〉 電圧・周波数の制御特性 試験結果とシミュレーションでは、負荷の力率や観測点が異なり、定量的な比較はできないが両者とも負荷の増加に応じて周波数及び電圧が低下する特性が得られた。また、図 15、図 16 より、インバータ間の出力アンバランスも小さいことがわかる。

なお、力率の悪い負荷が多量に接続されることが予想される場合には、電圧低下対策を別途検討する必要がある。

〈6・4〉 負荷変動時の応答 シミュレーション結果の図 10 と試験結果の図 14 を比較すると、無効電力変動が 57 kVar および 35 kVar の負荷変化に対して同じ 4.7% の電圧低下が発生している。試験結果では初期電圧が低いので、電流変化としては大きかったことも原因として考えられる。電圧変動面では直接始動方式の電動機容量は今回程度

(PAFC 総容量の 3~5%) がほぼ限界と考えられ、さらに大きな容量の電動機が負荷となる場合には始動時の突流対策が必要となる。周波数変動は両者とも小さく良好である。

7. ま と め

本論文では、複数の新エネルギー電源設備で構成されるマイクログリッドの自立運転に関し、インバータの制御方法の考え方を述べた。次に、シミュレーション解析を行った結果、以下を確認できた。

- (1) 停電状態から自立運転を確立する手順を決定した。
- (2) 複数台、異種のインバータ連系で構成されるマイクログリッドを安定に運転できる。
- (3) 負荷変化に対する周波数変動や電圧変動は許容できるレベルと思われる。
- (4) 小容量であればモータ起動などの過渡時でも電圧・周波数変動は許容できる。

さらに、新エネルギー発電装置と負荷から構成された大規模マイクログリッドを系統から切り離し、自立運転検証試験を実施し、以下の成果を得た。

- (1) 複数台の異種インバータを並列運転し、限定した負荷であるがマイクログリッドを 20 日間安定に運転した。
- (2) 負荷変動に対して PAFC が追従して、安定運転した。

今回検証したシステムにより、環境性に優れた新エネルギー発電装置を用い、より高効率なマイクログリッドシステム実現への可能性が高まった。本実証試験の結果、マイクログリッド自立運転の実用化、普及のための貴重なデータを蓄積すると共に、課題・知見を得ることができた。電圧制御性や保護の考え方などが、今後のシステム検討においてポイントになると思われる。

おわりに、本検討を実施するに当たり多大なる協力をいただいた NEDO 技術開発機構および新エネルギーコンソーシアム関係者に感謝の意を表します。

(平成 18 年 2 月 27 日受付、平成 18 年 6 月 2 日再受付)

文 献

- (1) CIGRE: "Modeling new forms of generation and storage", CIGRE Task Force 38.01.10, Report No.185 (2001)
- (2) H. Nemoto: "New Energy System Demonstrated in The 2005 World Exposition, Aichi, Japan", *IEEE J.*, Vol.124, No.8 (2004-8) (in Japanese)
根本 宏:「愛・地球博」で実証展示する新エネルギーシステム, 電学誌, **124**, 8 (2004-8)
- (3) The Investigation Special Committee of the Electric Power System Technique for Effective Use of the Dispersed Generation: "Electric Power System Technique for Effective Use of the Dispersed Generation", Technical Report, IEE Japan, No.1025 (2005-6) (in Japanese)
分散型電源有効活用のための電力系統技術調査専門委員会:「分散型電源有効活用のための電力系統技術」, 電気学会技術報告, No.1025 (2005-6)
- (4) J. Sumita, K. Nishioka, Y. Noro, H. Shinohara, Y. Ito, M. Yabuki, and N. Kawakami: "A Study of Islanding Operation of a Microgrid Configured with Several Inverters", The Papers of Joint Technical Meeting on Power Engineering & Power Systems Engineering, IEE Japan, PE-05-114/PSE-05-121 (2005-9) (in Japanese)
角田二郎・西岡宏二郎・野呂康宏・篠原裕文・伊東洋三・矢吹正徳・川上紀子:「複数のインバータで構成されるマイクログリッドの自立運転の

検討」, 電気学会電力技術/電力系統技術研資, PE-05-114/PSE-05-121 (2005-9)

- (5) K. Tabe, T. Miyakoshi, Y. Hayashi, and T. Ise: "Power Exchanging Control between Quality Control Centers in FRIENDS—Controlled Characteristics during Load Change—", Proc. of the Annual Conference of Power and Energy Society, IEE Japan (2004-8) (in Japanese)
多部顕史・宮越貴史・林 祐輔・伊瀬敏史:「FRIENDS における電力改質センター間の電力融通制御—負荷変化時の特性—」, 平成 16 年電気学会 B 部門大会, No.279 (2004-8)
- (6) K. Kawasaki, K. Iwabu, T. Iima, and S. Hayashi: "Dispersed Autonomous Control for a Small Power Grid System", Proc. of the Annual Meeting of IEE Japan, No.6-006 (2005-3) (in Japanese)
川崎憲介・岩部功一・飯間孝仁・林 茂彦:「小規模電源の自律分散制御について」, 平成 17 年電気学会全国大会, No.6-006 (2005-3)
- (7) 町田武彦: 直流送電工学, 東京電機大学出版局 (1999)

角 田 二 郎 (正員) 1968 年 2 月 25 日生。1990 年 3 月九州大学大学院工学研究科卒業。同年 4 月日本電信電話(株)入社。1995 年(株)NTT ファシリティーズ 出向。設備遠隔監視システムの開発をへて, 2003 年よりエネルギー制御システムの開発に従事。現在, 研究開発本部パワーシステム部門主任研究員。

西 岡 宏二郎 (非会員) 1977 年 7 月 29 日生。2003 年 3 月大阪市立大学大学院工学研究科卒業。同年 4 月(株)NTT ファシリティーズ入社。2004 年よりエネルギー制御システムの開発に従事。現在, 研究開発本部パワーシステム部門所属。

野 呂 康 宏 (正員) 1957 年 6 月 23 日生。1982 年 3 月東北大学大学院電気工学科修士課程修了。同年(株)東芝入社。現在, 同社電力・社会システム技術開発センターにおいて, 電力システムの解析および変換器応用システムの研究開発に従事。工学博士。2003 年電気学会論文賞。IEEE 会員。

篠 原 裕 文 (正員) 1958 年 1 月 31 日生。1980 年 3 月筑波大学自然科学学類(物理)卒業。同年 4 月(株)東芝入社。プラズマ核融合実験装置, 電池電力貯蔵装置, 太陽光発電の開発・システム設計に従事。

伊 東 洋 三 (正員) 1955 年 12 月 20 日生。1980 年 3 月横浜国立大学大学院工学研究科修士課程電気工学専攻修了。同年 4 月(株)東芝入社。主として燃料電池発電システムの電気系の開発に従事。現在, 東芝燃料電池システム(株)に勤務。

矢 吹 正 徳 (正員) 1968 年 1 月 17 日生。1994 年 3 月東京工業大学理工学研究科応用物理学専攻修士課程修了。同年(株)東芝入社。燃料電池の開発に従事。現在, 東芝燃料電池システム(株)プラント技術部主務。

川 上 紀 子 (正員) 1959 年 6 月 17 日生。1982 年 3 月上智大学理工学部物理学科卒業。同年(株)東芝入社。現在, 東芝三菱電機産業システム(株)において, パワーエレクトロニクス応用システム製品の開発に従事。2000 年電気学会電気学術振興賞進歩賞受賞。技術士(電気電子部門)。日本技術士会会員。IEEE 会員。