

マイクログリッドの構築と連系運転における需給制御について

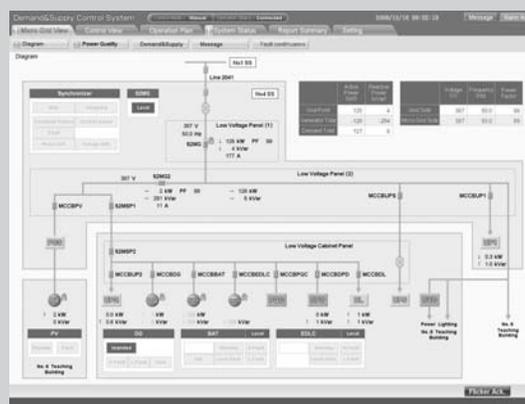
🔗 マイクログリッド, PV導入比率50%, 需要予測, 運転計画, 需給制御, ローカル追従制御

* 森野仁夫 Kimio Morino * 下田英介 Eisuke Shimoda ** 杉原弘章 Hiroaki Sugihara
 ** 江崎博俊 Hirotohi Esaki *** 鈴木茂之 Shigeyuki Suzuki *** 前平三郎 Saburo Maehira

概要

清水建設(株), 中国電力(株), (株)明電舎は, 中国浙江省で太陽光発電の導入比率を50%としたマイクログリッドを構築した。構築したマイクログリッドでは, 需給制御システムによる制御(運転パターンによる制御と負荷追従制御)と系統安定化装置によるローカル追従制御を組み合わせた需給制御を用いている。

本システムは2008年11月より稼働しており, 連系運転においては, ディーゼル発電機・電気二重層キャパシタ式系統安定化装置・蓄電池式系統安定化装置の3台を組み合わせた需給制御の確認試験, 及び実験サイトの実負荷を対象とした自動運転試験を実施し, 連系点潮流を一定に制御する需給制御結果が得られている。



需給制御システム画面

1. ま え が き

新エネルギーなどの電源をネットワーク化して電力供給を行う小規模の電力網(マイクログリッド)は, 太陽光発電(PV: Photovoltaic)を始めとする新エネルギーの大量導入に備えるために, 安定的な電力供給を行う技術が求められている。

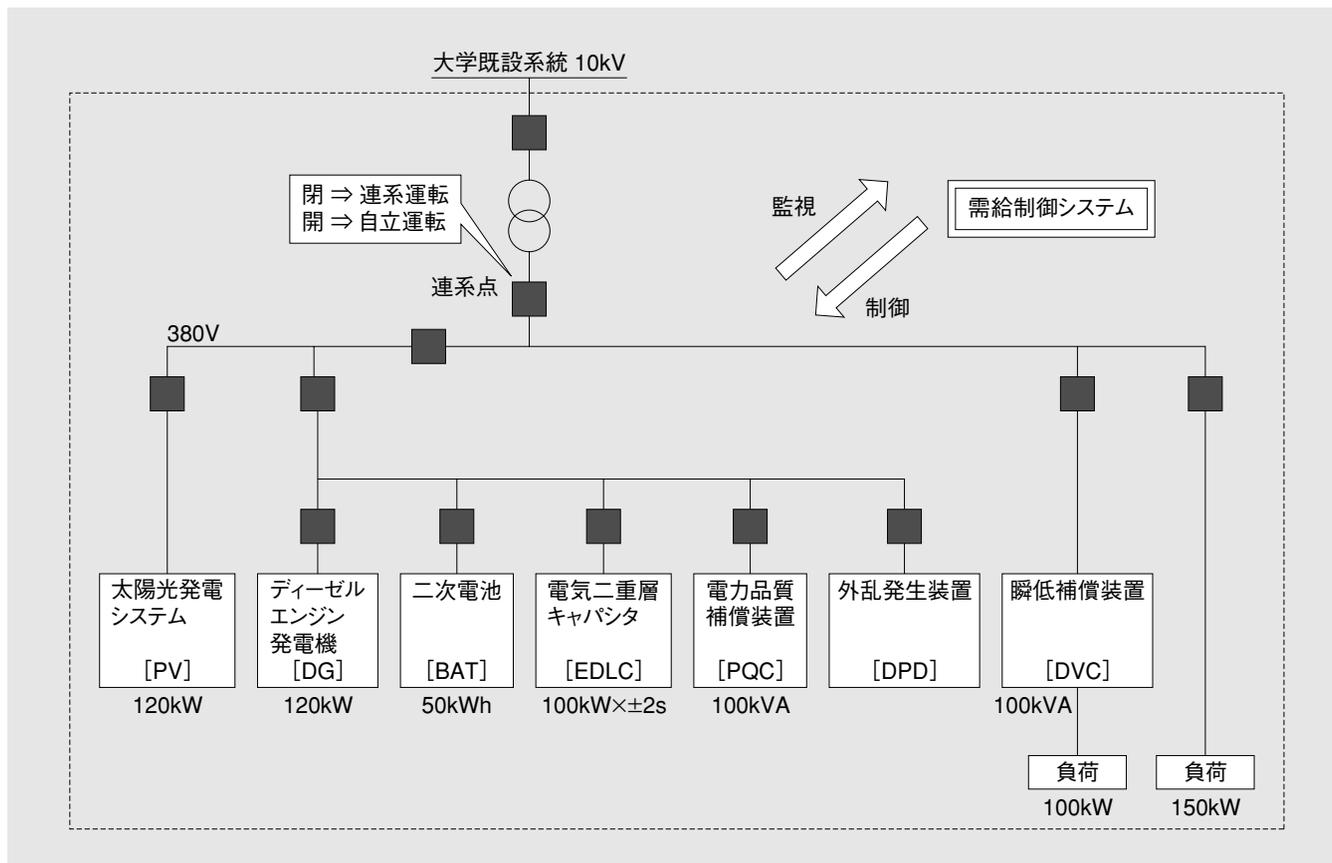
清水建設(株), 中国電力(株), (株)明電舎は, (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託を受けた, 「太陽光発電システム等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業 マイクログリッド(高品質電力供給)高度化系統連系安定化システム実証研究(PV+補償装置)」において, 中国浙江省でPVを全電源容量の50%の割合で導入したマイクログリッドを構築し, 電力系統との連系運転時及び自立運転時における電力供給の安定性などについて実証・評価を行っている。

これまで我々はシミュレーションを用いてマイクログリッドの電力変動抑制について検討を進めてきた⁽¹⁾⁽²⁾。本稿では, 連系運転時における電力変動抑制について実証試験により得た結果を紹介する。

2. マイクログリッドの構成

第1図に実証試験サイトに設置したマイクログリッドの構成を示す。主要な分散型電源は, PV 120kW, ディーゼルエンジン発電機(DG) 120kWであり, DGとPVを同容量にすることで, 全電源に対して自然変動電源の割合が50%となる。これに加えてマイクログリッドの電力変動を抑制する装置として二次電池(BAT: Battery)式系統安定化装置50kWh, 電気二重層キャパシタ(EDLC: Electric Double Layer Capacitor)式系統安定化装置100kW(充電2秒, 放電2秒), 電力品質向上

*清水建設(株) **中国電力(株) ***電力ソリューション技術部



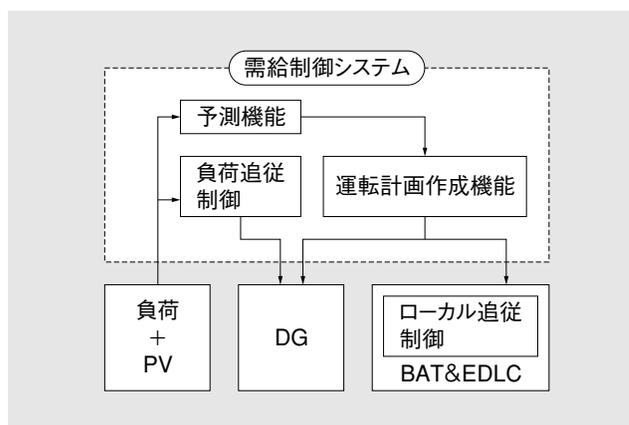
第1図 マイクログリッドの構成図

マイクログリッドを構成する電力系統，各分散型電源及びこれらの監視制御を行う需給制御システムを示す。

のために電力品質補償装置（PQC）100kVA，瞬時電圧低下（瞬低）補償装置（DVC）100kVA，積極的に電力の変動を発生させるための装置として外乱発生装置（DPD）を採用している。また，各装置の出力・状態監視，マイクログリッド内の系統監視及びマイクログリッドを安定に運用するコンピュータシステムとして需給制御システムを用いている。

3. 需給制御

マイクログリッドにおいて，安定した運転を長期的に維持するためには，電力の需要と供給のバランスを維持することが不可欠である。連系運転では，連系点での潮流を一定に保つ運転（電力潮流零）を行い，自立運転では，電圧と周波数を一定に保つ（＝需給バランスを保つ）ことにより，自立した系統の安定運転を行うことを目標とする。これらを実現するために需給制御システムによる制御（運転計画パターンに基づいた運転及び負荷追従制御）と，分散型電源である二次電池と電気二重層キャパシタでのローカル追従制御を組み合



第2図 需給制御システムの構成

連系運転における需給制御システムの制御処理構成を示す。

わせた需給制御を行う。

3.1 需給制御システム

第2図に需給制御システムの構成を示す。連系運転において，予測機能は，前日までに過去の太陽光発電と負荷の実績データ及び翌日の天気予報データから電力需要予測と自然変動出力予測を行う。運転計画機能は，予測機能から得られた需要予測を基に環境性・経済性を考慮した運転計画パターンを作成する。当日，各分散電源は作成され

た運転計画パターンに基づいて運転を行うが、当日発生する電力需用予測と自然変動出力予測の差異を補完するために当日の負荷変動に追従した負荷追従制御を行う。また、需要予測から発電計画パターンの見直しの必要性を監視して、必要に応じて当日の発電計画パターンを修正しながら運転する。

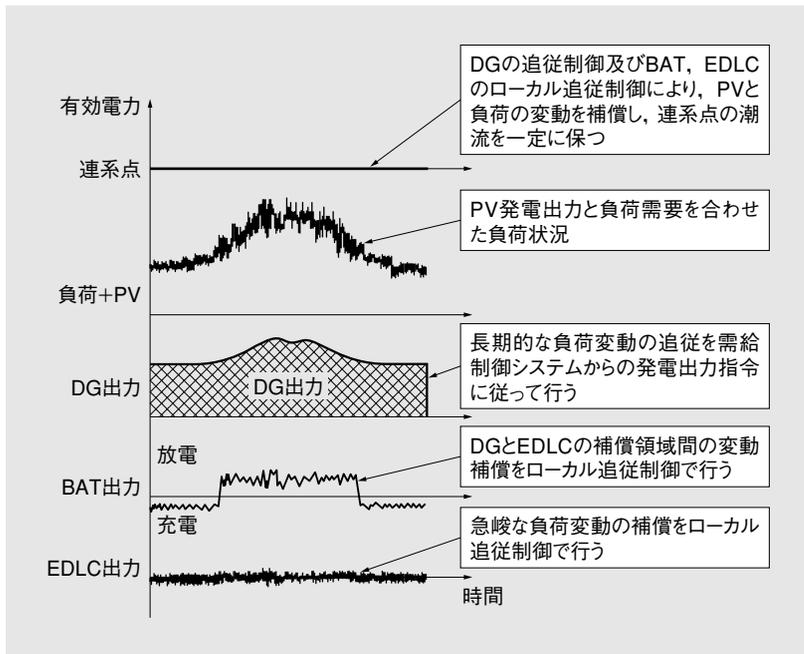
第3図に需給制御の概念を示す。図のようにDGはPVの発電出力と負荷を加えた負荷需要に対して、ベースとなる長期的な負荷変動を追従するように需給制御システムからの発電出力指令によって出力する。BATとEDLCは装置自体のローカル追従制御を用いて出力の制御を行い、EDLCは負荷需要のうち急峻な変動のみを補償し、BATはDGとEDLCの補償領域の間の変動を補償するように充放電を行う。このように各分散型電源は応答領域ごとに出力を行うことにより、連系点の潮流を一定に保つ運転を行う。

3.2 EDLCとBATによるローカル追従制御

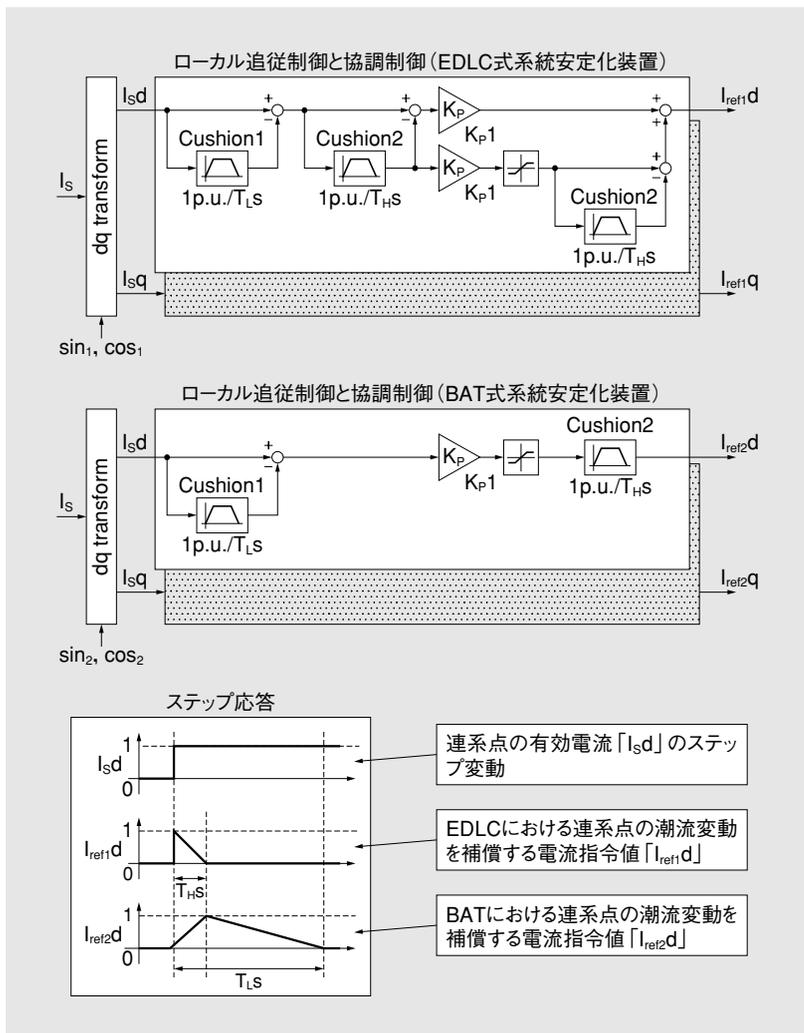
需給制御システムからの指令により補償できない領域の数十秒オーダ以下の変動に対し、EDLCとBATはシステムとの連系点の電流を検出し、補償する。この時、EDLCとBATの補償領域が重なる点において、補償対象が同一なため各装置間での出力の干渉が懸念される。そこでEDLCとBAT装置間で干渉しない協調制御を考案した³⁾。

第4図に系統連系時のローカル追従制御と協調制御のブロック図を示す。図の入力は連系点電流 I_s をdq変換して得た有効電流 I_{sd} と無効電流 I_{sq} である。

第4図のEDLC式装置のローカル追従制御と協調制御ブロックを説明する。 I_{sd} を入力して、これに T_{LS} で1p.u.まで増加する変化率制限を意味するCushion1の演算を行う。そしてこの



第3図 需給制御の概念
マイクログリッドにおいて、分散型電源の需給制御により、連系点の電力潮流を一定に保つ様子を示す。



第4図 EDLCとBATのローカル追従制御と協調制御
連系運転時のEDLCとBATのローカル追従制御及び協調制御の制御ブロック図とステップ応答の状態を示す。

値を I_{sd} から減算して、系統の潮流変動分を算出する。また、EDLC式装置に T_{HS} 間の充放電を行わせるため、この変動分に $1p.u./T_{HS}$ のCushion2を演算して、先の変動分との差分を求めてゲイン K_{P1} を乗算した項を作成する。更に前述のCushion2の出力にゲイン K_{P1} とリミッタを施して、再度Cushion2を演算した項を作成する。そして、この2つの項を加算して系統の潮流変動を補償する電流指令値 I_{ref1d} を出力する。q軸も同様の演算を行い電流指令値 I_{ref1q} を出力する。

BAT式装置のブロックでは、 I_{sd} を入力して系統の潮流変動分を算出し、ゲイン K_{P1} とリミッタを施す。そして両装置が干渉せずに、且つBAT式装置には T_{LS} の充放電を行わせるため、更にCushion2の演算を施して電流指令値 I_{ref2d} を出力する。電流指令値 I_{ref2q} も同様にして作成する。

この制御ブロックのステップ応答を示すと第4図のようになる。 I_{sd} をステップ入力とすると、 I_{ref1d} は入力まで増加して T_{HS} で減少する。また、 I_{ref2d} はステップ入力の時間から T_{HS} かけて立ち上がり、 $(T_L - T_H)s$ かけて出力を絞る波形になる。このようにEDLCとBATを干渉なく出力することで、EDLCとBATを合わせた出力は、ステップ上に増加し、 T_{LS} かけて出力を絞る波形となる。

4. 試験結果

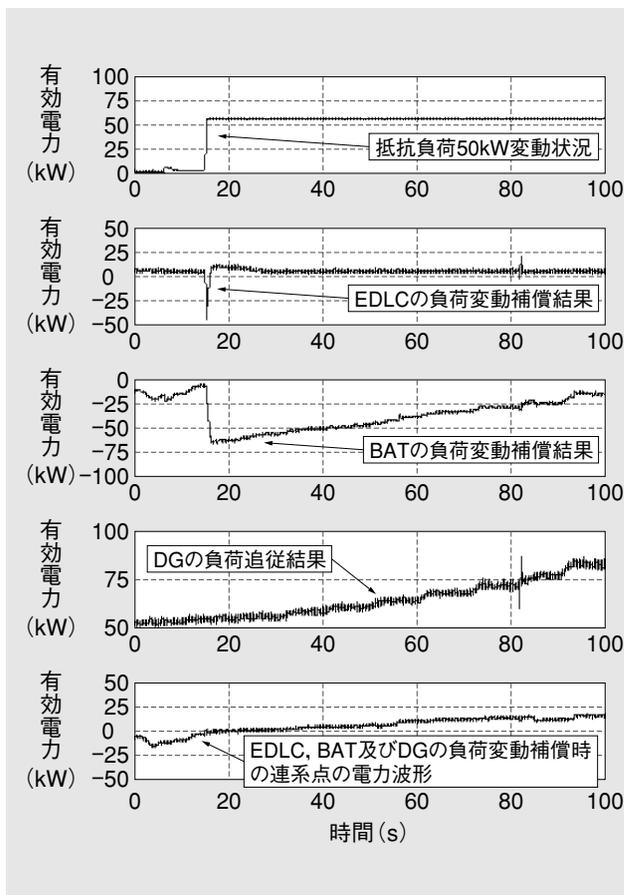
4.1 DG・EDLC・BATを用いた需給制御試験

第5図に系統連系時においてDG・EDLC・BATを動作させ、抵抗負荷を投入した場合の需給制御試験の結果を示す。また、第1表に各装置の補償時間を示す。第5図の出力波形は上から負荷、EDLC式装置、BAT式装置、DGの有効電力及び連系点に現れる電力（負荷の電力から各装置出力の差分）の波形である。抵抗負荷50kWが投入されると、負荷に入力される有効電力が急激に増加する。これと同時にEDLC式装置が瞬時に有効電力の出力を行い、補償時間の2秒をかけて出力を絞り、BAT式装置はEDLC式装置の出力が絞られると同時にEDLC式装置の補償時間である2秒をかけてBAT式装置の出力を徐々に増加させていく。その後、BAT式装置が出力を絞っていくが、それと同時に今度は需給制御システムからの指令によりDGは出力を徐々に上昇させていく。その結果、連系

第1表 EDLC, BAT式装置の補償時間

DG・EDLC・BATを用いた需給制御試験時のEDLCとBATの補償時間を示す。

装置方式	定数項	補償時間
EDLC式装置	T_H	2s
BAT式装置	T_L	500s

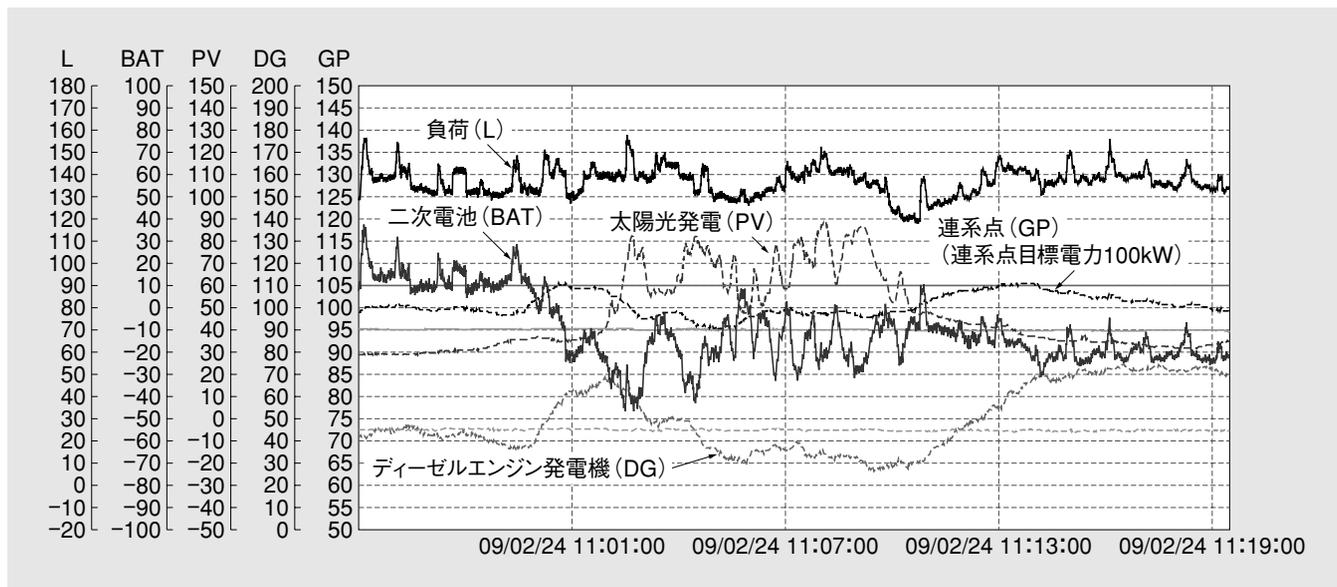


第5図 需給制御による抵抗負荷投入時の試験結果
抵抗負荷50kWを変動させたときのEDLC・BAT及びDGの需給制御結果を示し、連系点の電力潮流を10kW程度に抑制した結果を示す。

点の電力波形には本来負荷投入された電力波形と同様な波形が出力されるはずであるが、EDLCとBATの出力に加え、DGによる長期変動分の補償をすることで、負荷投入により変動した電力は約10kW程度の一定電力に抑制されている。

4.2 需給制御システムによる自動運転試験

第6図に系統連系時において需給制御システムによる自動運転試験の結果を示す。本試験では連系点の目標電力を100kWとしている。負荷は実験サイトの実負荷を用い、供給電源としてはDGのほか自然変動電源であるPVも運転している。また、補償装置であるEDLC, BATの各装置も動作しており、補償時間は4.1項と同様の第1表の値を用いている。第6図の出力波形は負荷 (Load), BAT式



第 6 図 需給制御システムの自動運転による試験

実験サイトにおいて、連系点潮流の目標電力を100kWとして実施した需給制御システムによる系統連系時の自動運転試験結果を示す。

装置 (Battery)、ディーゼルエンジン発電機 (DG)、連系点 (Grid-connected point)、及びPVの有効電力の波形である。図のように負荷の電力は、30kWの範囲で変動しており、それに加えてPVの出力電力も60kW程度の範囲で変動している。このような変動に対してEDLCとBAT式装置が比較的早い周期の電力変動を補償し、DGが長周期の電力変動を補償することで、負荷 (Load) の出力波形と比較し、連系点の電力 (GP) の変動が大幅に抑制されていることが分かる。本来、連系点の有効電力は負荷の有効電力と太陽光の有効電力出力を合わせた出力となる。しかし、連系点の有効電力は各装置により電力の変動を補償されることによって、目標電力値の100kWに対して±5kWで抑制されている。

5. む す び

本稿では、全電源容量のうち太陽光発電の割合が50%を占めるマイクログリッドにおいて、連系時の電力変動抑制について、DG・EDLC・BATを用いた需給制御、需給制御システムによる自動運転試験について報告した。EDLCとBAT式装置は考案した干渉のない協調制御により、EDLCとBATが干渉なく分担できていることを確認できた。また、DGを加えた需給制御においても一定の抑制効果を確認することができた。

今後は、得られた結果をシミュレーションに反

映し、BATとDGの分担について検討していく。また、実験サイトの実負荷を対象として、電力系統から切り離れた自立運転についても評価していく。

本システムは2008年11月より稼働しており、現在中国浙江省杭州市の実験サイトにおいて実証試験を進めている。

本研究は、NEDOの委託研究である「太陽光発電システム等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業 マイクログリッド (高品質電力供給) 高度化系統連系安定化システム実証研究 (PV+補償装置)」において実施したものである。

《参考文献》

- (1) H.Esaki, H.Sugihara, S.Suzuki, S.Maehira, K.Morino, E.Shimoda, S.Liu and Q.Han: "Simulation of supply-demand control in Micro-Grid with fluctuating natural power supply", ICEE2008, No.O-175, 2008
- (2) 江崎博俊, 杉原弘章, 鈴木茂之, 前平三郎, 森野仁夫, 下田英介: 「太陽光発電システムを導入したマイクログリッド需給制御のシミュレーション」, JIASC2008 B, No.26, pp.31-11~31-12, 2008
- (3) 宗島正和, 大井一伸, 鈴木茂之: 「複数台の系統安定化装置における出力電力監視を用いないローカル制御と協調制御の提案」, JIASC2008 D, No.1~68, pp.321~323, 2008

《執筆者紹介》



森野仁夫 Kimio Morino
清水建設(株)



江崎博俊 Hirotooshi Esaki
中国電力(株)



下田英介 Eisuke Shimoda
清水建設(株)



鈴木茂之 Shigeyuki Suzuki
電力品質ソリューションの開発・企
画に従事



杉原弘章 Hiroaki Sugihara
中国電力(株)



前平三郎 Saburo Maehira
電力系統に関連する監視制御システ
ムの開発・企画に従事

