

統合型スマートグリッド評価システム

Integrated Smart Grid Evaluation System

鳥羽 廣次 宮崎 保幸 百合野 真司

■ TOBA Koji ■ MIYAZAKI Yasuyuki ■ YURINO Shinji

スマートグリッドの技術開発では、電力系統側から需要家側のスマートメータやHEMS (Home Energy Management System), BEMS (Building Energy Management System) までを連動させた動作検証が必要となる。

東芝は、電力系統構成や電力系統内の分散型電源、蓄電池、電力負荷を自由に設定できる配電系統模擬装置と、スマートグリッド監視制御装置 (μ EMS: Micro Energy Management System), AMI (Advanced Metering Infrastructure) システム、需要家装置で構成する、スマートグリッド開発シミュレータを開発し、このシミュレータのAMIシステムを介して電力系統側と需要家のHEMS及びBEMSとを連携する“統合型スマートグリッド評価システム”を構築した。このシステムにより、スマートグリッド全体の協調制御を検証することができる。

For the development of smart grid technologies, it is necessary to verify cooperative functions between the power system network and customer systems including smart meters, home energy management systems (HEMS), and building energy management systems (BEMS).

Toshiba has developed an in-house integrated smart grid evaluation system consisting of the following equipment: (1) a distribution network simulator that offers users increased efficiency and flexibility in setting up the configuration of a power supply system and the connection of dispersed sources, storage batteries, and power loads; (2) a micro energy management system (μ EMS) that can improve power supply reliability for smart grids; (3) an advanced metering infrastructure (AMI) system to realize interactive communication between customers and power supply systems; and (4) customer load simulators. This system makes it possible to evaluate the cooperative control performance of entire smart grids between the power system and customers such as HEMS and BEMS via the AMI system installed in a newly developed smart grid simulator.

1 まえがき

スマートグリッドは、温室効果ガスの排出量削減や省エネなどの環境問題、風力発電や太陽光発電 (PV) などの再生可能エネルギーの大量導入を含む多様な電源の協調運用、及び電気自動車 (EV) を含む蓄電池の運用制御へ対応するために導入が期待されている。また、災害時の電力供給の維持継続への貢献も期待されている。

スマートグリッドの目的は、電力供給・消費の総合効率を情報通信技術 (ICT) により最大化するものと言える。したがって、電力の供給、輸送、及び消費の各レイヤ個別だけでなく、これらを統合したシステム開発が必要である。

そこで東芝は、電力系統から住宅や、ビル、工場などの需要家側までを連動して、多様な電力系統条件下でスマートグリッド監視制御などの開発検証が可能で、統合型スマートグリッド評価システムを開発した。ここでは、このシステムの構成及び機能と、このシステムを用いた電力潮流制御の評価例について述べる。

2 システムの構成と機能

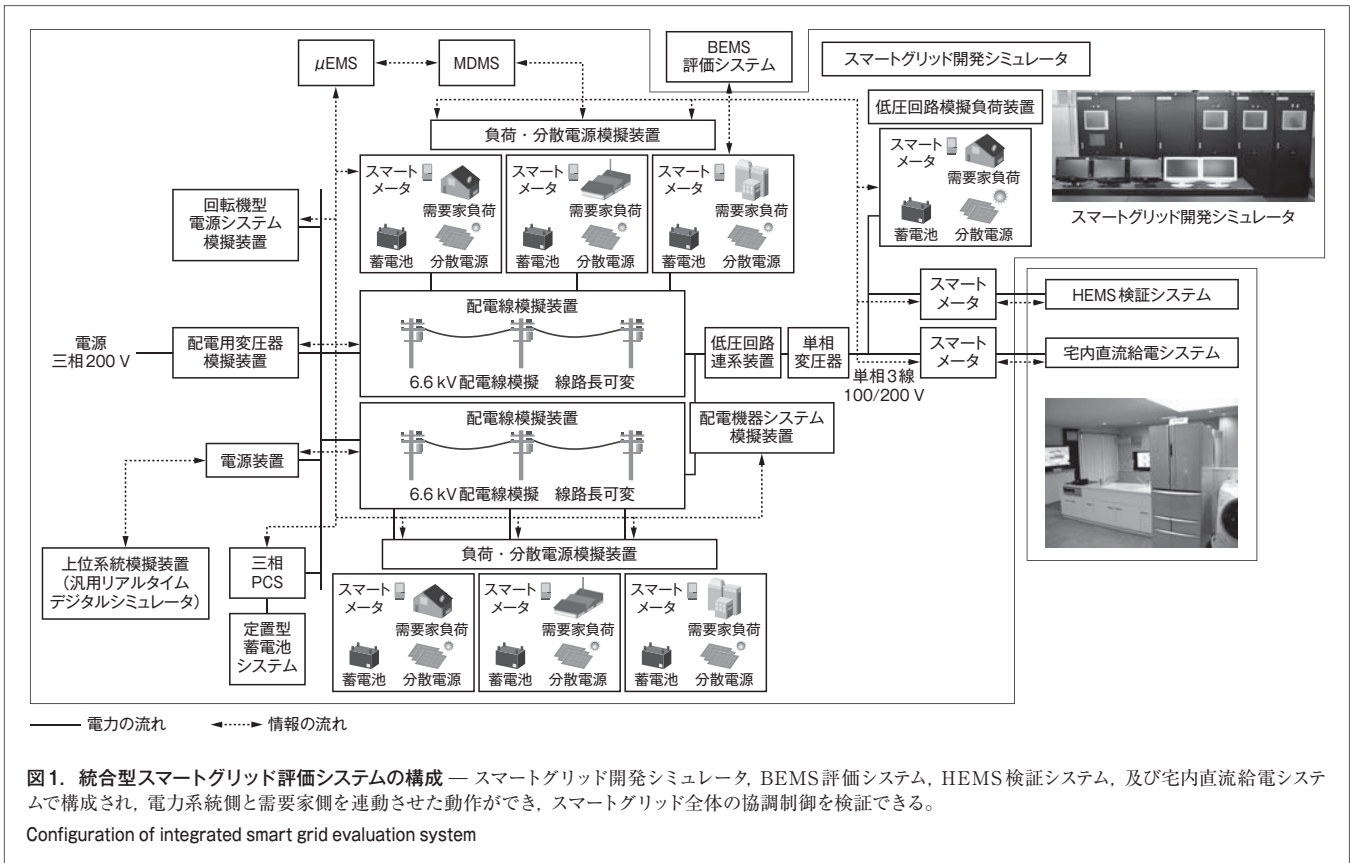
2.1 システムの構成

統合型スマートグリッド評価システムは、スマートグリッド開発シミュレータ及び、BEMS (Building Energy Management System) 評価システム、HEMS (Home Energy Management System) 検証システム、宅内直流給電システムで構成される (図1)。

スマートグリッド開発シミュレータは、主に負荷・分散電源模擬装置、配電線模擬装置、スマートグリッド監視制御装置 (μ EMS: Micro Energy Management System)、及びAMI (Advanced Metering Infrastructure) システムなどで構成される。負荷・分散電源模擬装置は住宅やビル、工場が混在する需要家負荷と、PVや風力発電の分散電源、蓄電池などから成り、AMIシステムはMDMS (Meter Data Management System) とスマートメータから成る。

BEMS評価システムは、ビルの空調や照明などを模擬するビルシミュレータとBEMSで構成される。

HEMS検証システムは、エアコンや、洗濯機、LED (発光ダイオード) 照明などの各種家電機器に、蓄電池や、PV、EV、ヒートポンプ式給湯器、燃料電池、スマートメータなどを加え



て構成され、住宅内の電力監視制御をそれぞれの実装置で開発検証できる。

宅内直流給電システムは、当社が新たに開発した直流家電にパワーコンディショナ（PCS：Power Conditioning System）で直流電力を給電するための実証システムである。

このように、統合型スマートグリッド評価システムは配電系統から需要家までを模擬装置と実装置で構成している。また、スマートグリッド開発シミュレータ、BEMS評価システム、HEMS検証システム、宅内直流給電システム内に設置したHEMSの間には、計測や管理・認証情報の双方向通信が可能な有線又は無線の通信網を備えている。

2.2 システムの機能

この統合型スマートグリッド評価システムを活用することで、再生可能エネルギー電源を大量に導入したときの配電系統の電圧制御や需給調整制御、離島や自立系統を想定したマイクログリッド制御、系統内に分散配置する蓄電池の協調制御、系統状態を考慮したデマンドレスポンス（DR）、配電系統と上位系統の連携制御、及び自動電圧調整器などの配電機器制御といった各種制御法の開発と検証を行うことができる。

更にこのシステムは、電気や情報の流れを表示するインタフェースを備え、“見える化”にも配慮したシステムとしている（図2）。

スマートグリッド開発シミュレータでは、模擬装置で配電



系統側の系統や分散電源、負荷の条件を容易に設定でき、μEMSなどの制御性能を制御アルゴリズムや系統条件などに応じてリアルタイムに検証できる。このシミュレータの構成と機能について、以下に述べる。

2.3 スマートグリッド開発シミュレータ

スマートグリッド開発シミュレータを構成する主な装置及びシステムは、配電線模擬装置、負荷・分散電源模擬装置、低圧回路連系装置、μEMS、及びAMIシステムである。

2.3.1 配電線模擬装置 6.6 kV配電系統を、ベース電圧200 V、非接地三相3線、配電線抵抗（R）と配電線リアクト

表1. 配電線模擬回路のベース値変換一覧

List of base values of actual distribution system converted to those of simulation circuit

項目	仕様	
	実配電系統	スマートグリッド開発シミュレータ
ベース電圧	6.6 kV	200 V
ベース電流	300 A	10 A
ベース容量	—	実配電系統の1/990
インピーダンス	—	実配電系統の30/33

ル (X) の比 $R/X=0.93$ のアナログ回路で模擬したものである。模擬回路のベース値変換を表1に示す。ベース容量は実配電系統の約1/1,000であり、実系統におけるMW単位の電力の値は模擬装置ではkW単位の値で表される。

配電系統モデルは、国内の配電系統を調査して作成した、標準的な配電系統地域モデルの配電線の長さを模擬できるように、最長21 kmの配電線を1 km刻みで設定できるようにした。この装置を組み合わせてループ状系統も構成できる。

また、上位系統を模擬する上位系統模擬装置 (汎用リアルタイムデジタルシミュレータ) を備えるとともに、この装置と連携して上位系統状態を反映した電圧を発生する電源装置や、モータ (M) と発電機 (G) のMGセットで模擬する回転機型電源システム模擬装置を接続できる。

更に、定置型蓄電池システムや、STATCOM (Static Compensator: 自励式無効電力補償装置) などを模擬できる配電機器システム模擬装置を接続できる。

2.3.2 負荷・分散電源模擬装置 装置の仕様を表2に示す。最大6地域600軒の需要家の負荷、分散電源、及び蓄電池を個別に模擬し、時系列データなどで与えられる有効電力値と無効電力値を配電線模擬装置のベース容量に換算して縮小し、配電線模擬装置上の電力として発生させる。

需要家は模擬スマートメータを介してMDMSと連携できるほか、分散電源や蓄電池の模擬モデルは μ EMSからのリアルタイムの出力指令を受けて動作させたり、BEMS評価システムの計算結果やPV出力などの計測情報をリアルタイムに再生させたりできる。

2.3.3 低圧回路連系装置 配電系統を等価模擬する配電線模擬装置と実装置で構成するHEMS検証システムや宅内直流給電システムとを連系する。

表2. 負荷・分散電源模擬装置の仕様

Specifications of load and distributed generation simulator

項目	仕様
装置台数	6台
模擬可能規模	100需要家/台
模擬可能要素	負荷, 分散電源, 蓄電池

配電線模擬装置の電圧を等価的に再現してHEMS検証システム側に印加すると同時に、HEMS検証システム側の負荷と等価的な電流を、配電線模擬装置に発生させる。

この装置により配電電圧が変化した際の需要家の負荷変化や、この装置と負荷・分散電源模擬装置とを連系し需要家の負荷変化が配電系統に与える影響を精度高く評価でき、HEMSの制御アルゴリズムやDR技術の開発や検証などに活用できる。

2.3.4 μ EMS 配電系統へのMW級PVの導入や、一般家庭でのPVの普及などにより、再生可能エネルギー発電が大量導入された電力系統を、安定的かつ効率的、経済的に運用するための装置である。 μ EMSは、配電系統内の分散電源の出力電力や蓄電池の充放電電力を直接制御するほか、AMIシステムを介して需要家内設備と連携することで、需給バランスの維持、電力品質の維持、及びDRによる需給調整の役割を担う。

2.3.5 AMIシステム 大量に存在する需要家とMDMSを通信インフラで接続し、MDMSは、需要家の電力需要をモニタリングするスマートメータを介して情報収集するとともにスマートメータの運用管理を行う。無線や光ファイバなどの具体的な通信媒体に限定せず、汎用的なLAN + IP (Internet Protocol) 通信を用いることにより、様々な基礎実験に活用できる。

3 電力潮流制御の評価例

統合型スマートグリッド評価システムを用いた機能評価の一例として、 μ EMSの電力潮流制御機能の評価例を示す。

3.1 評価用回路の構成

統合型スマートグリッド評価システムの評価用回路の構成を図3に示す。評価用回路は、配電線の末端付近にPV設備を持つ需要家が多数つながる配電系統を想定して模擬したものである。配電線送出端には定置型蓄電池システムを備え、配電系統内で発生するPV出力の変動や需要家の負荷変動を

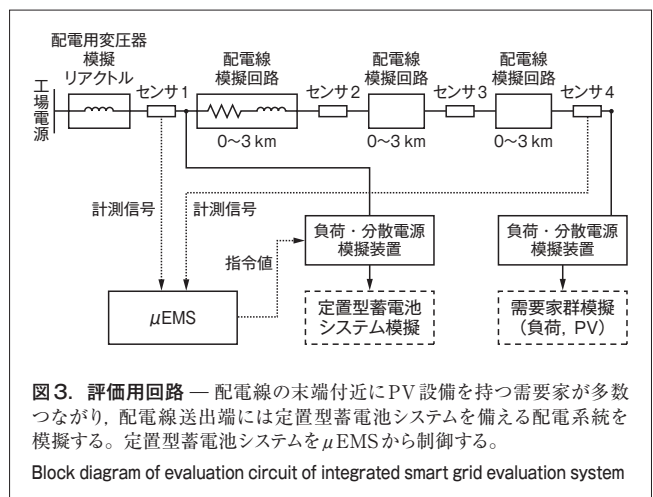


図3. 評価用回路 — 配電線の末端付近にPV設備を持つ需要家が多数つながり、配電線送出端には定置型蓄電池システムを備える配電系統を模擬する。定置型蓄電池システムを μ EMSから制御する。

Block diagram of evaluation circuit of integrated smart grid evaluation system

補償して、上位系統から供給される電力（配電線送出端で計測）を一定に維持するよう動作させる。定置型蓄電池システムの充放電制御は、 μ EMSが行う。

3.2 電力潮流制御系

μ EMSは、図3に示すように、センサ1で検出した配電線送出端有効電力と、あらかじめ設定した配電線送出端有効電力の目標値との差分を定置型蓄電池システムの充放電量指令値にして電力潮流を制御する。この指令値は、通信線を介して定置型蓄電池システムを模擬している負荷・分散電源模擬装置へ伝送される。

3.3 評価結果

図3に示した評価用回路で、PV定格出力合計に対する定置型蓄電池導入比率をパラメータにした評価条件を設定し、

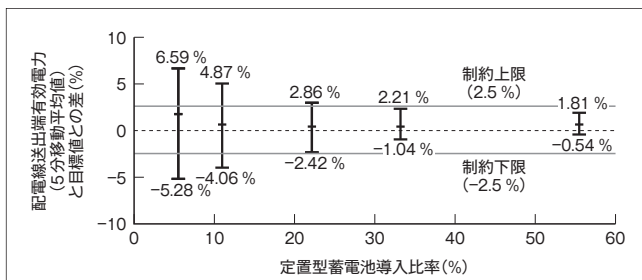


図4. 性能評価結果 — 定置型蓄電池導入比率が約30%以上の場合は、電力潮流制御の目標性能を満足している。

Results of performance evaluation test

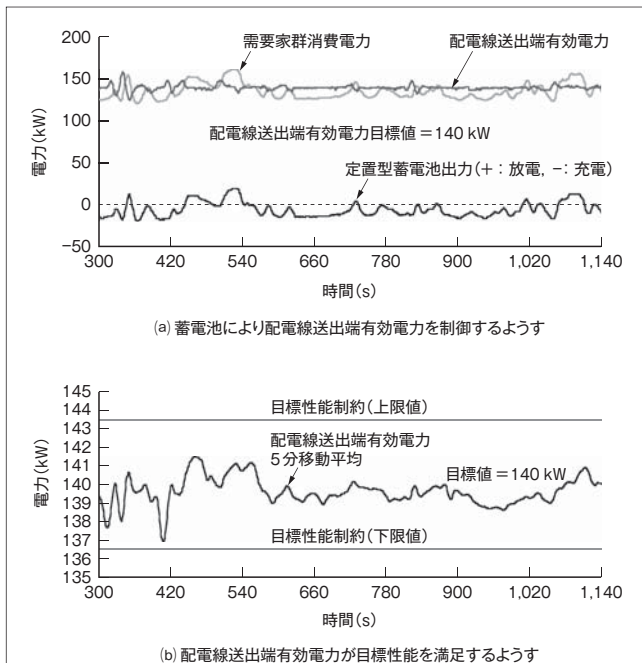


図5. 評価時の計測波形 — 定置型蓄電池導入比率33%で目標性能を満足している場合の波形例である。配電線送出端有効電力は、目標性能範囲を逸脱していない。

Shapes of waves measured by test

μ EMSの電力潮流制御の性能評価を行った。評価結果として、配電線送出端有効電力5分移動平均値と目標値との差の変化を、定置型蓄電池導入比率の変化に対してプロットした例を図4に示す。ここで、PV導入比率は需要家群平均電力の30%で固定した。電力潮流制御の目標性能を、目標値との差 $\pm 2.5\%$ 以内とした場合、試験結果から、蓄電池導入比率が約30%以上の条件で目標性能を満足できることが確認できる。目標性能を満足した例として、図4に示した定置型蓄電池導入比率が33%の場合の計測波形を図5に示す。配電線送出端有効電力5分移動平均値が目標性能範囲内となっている。

4 あとがき

スマートグリッド関連技術を電力系統から需要家までを連携して開発、評価する統合型スマートグリッド評価システムについて述べた。このシステムは、配電線や需要家の負荷及び分散電源を等価的な模擬回路で構成することで様々な系統や負荷条件で検証できることや、需要家内の実際の家電製品を配電線模擬装置に接続して検証できることが特徴である。

今後、スマートグリッド関連技術の開発及び性能評価のほか、例えばDR技術の“見える化”などに統合型スマートグリッド評価システムの活用を進める。

文 献

- 宮崎保幸 他. “統合型スマートグリッド評価システム(1) - システムの構成と機能 -”. 平成23年 電気学会 電力・エネルギー部門大会. 福井, 2011-08, 論文No.207.
- 鳥羽廣次 他. “統合型スマートグリッド評価システム(2) - 監視制御装置による電力潮流制御の性能評価 -”. 平成23年 電気学会 電力・エネルギー部門大会. 福井, 2011-08, 論文No.208.



鳥羽 廣次 TOBA Koji

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力蓄電ソリューション・配電システム開発部主務。電力系統の解析、運用、及び制御に関する研究開発に従事。電気学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center



宮崎 保幸 MIYAZAKI Yasuyuki

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力蓄電ソリューション・配電システム開発部グループ長。電力システムに関する研究・開発に従事。電気学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center



百合野 真司 YURINO Shinji

社会インフラシステム社 府中事業所 電力系統システム部主査。スマートグリッドシステムの設計・開発に従事。電気学会会員。Fuchu Complex