

# スマートグリッドの基盤技術開発を支える 統合型評価システム

Enhanced Integrated Smart Grid Evaluation System Contributing to Research and Development of Fundamental Technologies for Smart Grids

宮崎 保幸      坂田 康治      大崎 善朗

■ MIYAZAKI Yasuyuki      ■ SAKATA Yasuji      ■ OSAKI Yoshiro

スマートグリッドの技術開発は、電力技術と情報通信技術 (ICT) を密接に連携させながら進める必要があり、これらの技術を組み込んだ開発システムを研究開発設備で事前検証することで、実際のシステムを迅速に立ち上げることが可能になる。

東芝は、電力系統側のスマートグリッド監視制御システム  $\mu$ EMS (Micro Energy Management System) と需要家側の HEMS (Home Energy Management System) 及び BEMS (Building Energy Management System) を連携させることができる統合型スマートグリッド評価システムを構築し、スマートグリッド技術の研究開発や製品試験に活用している。今回、蓄電池システムやAMI (Advanced Metering Infrastructure) システムなどの設備を加えて更に増強したことで、スマートグリッドのより最先端の技術を開発できるようになった。

The development of technologies for smart grids requires close collaboration between power system technologies and information and communication technologies (ICTs). Preliminary verification applying a dedicated research and development facility to support these technologies can therefore shorten the development period for new systems.

Toshiba has developed an integrated smart grid evaluation system to verify cooperative functions between a Micro Energy Management System ( $\mu$ EMS) for the power grid and customer systems including home energy management systems (HEMS) and building energy management systems (BEMS), and is actively applying it to the research and development and product testing of fundamental technologies for smart grids. We have now enhanced this evaluation system with the incorporation of equipment such as a battery energy storage system, an advanced metering infrastructure (AMI) system, and so on, to facilitate the development of the latest technologies for smart grids.

## 1 まえがき

スマートグリッドの目的は、電力の供給と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である。したがって、スマートグリッドでは、電力技術とICTを密接に連携させながら技術開発を進める必要がある。

太陽光発電 (PV) や風力発電など再生可能エネルギーの導入による電力供給側の変化や、需要抑制能力を持つことによる需要側の変化に対して、電力の需給バランスや配電線の電圧など電力品質の維持、及びピークカットやピークシフトに対応する技術やソリューションの開発が必要である。

東芝は、電力系統から住宅やビル及び工場などの需要家までを連動させて、スマートグリッド監視制御などの開発検証が多様な電力系統条件下で可能な、統合型スマートグリッド評価システム<sup>(1)</sup>を2010年に開発した。以降、研究開発や製品試験に活用している。今回、次のような最新の4設備を加えてこのシステムを増強した。

- (1) 当社製二次電池 SCiB<sup>TM</sup> の 20 Ah セルを採用した定置型蓄電池システム
- (2) ランディス・ギア社のAMI (Advanced Metering Infrastructure) システム

- (3) SVR (Step Voltage Regulator) や STATCOM (Static Synchronous Compensator) を模擬する配電機器システム模擬装置

- (4) PV パネルの日射量や温度、湿度を計測するPV監視システム

ここでは、最新設備を加えた統合型スマートグリッド評価システムの概要と、研究開発などへの活用例について述べる。

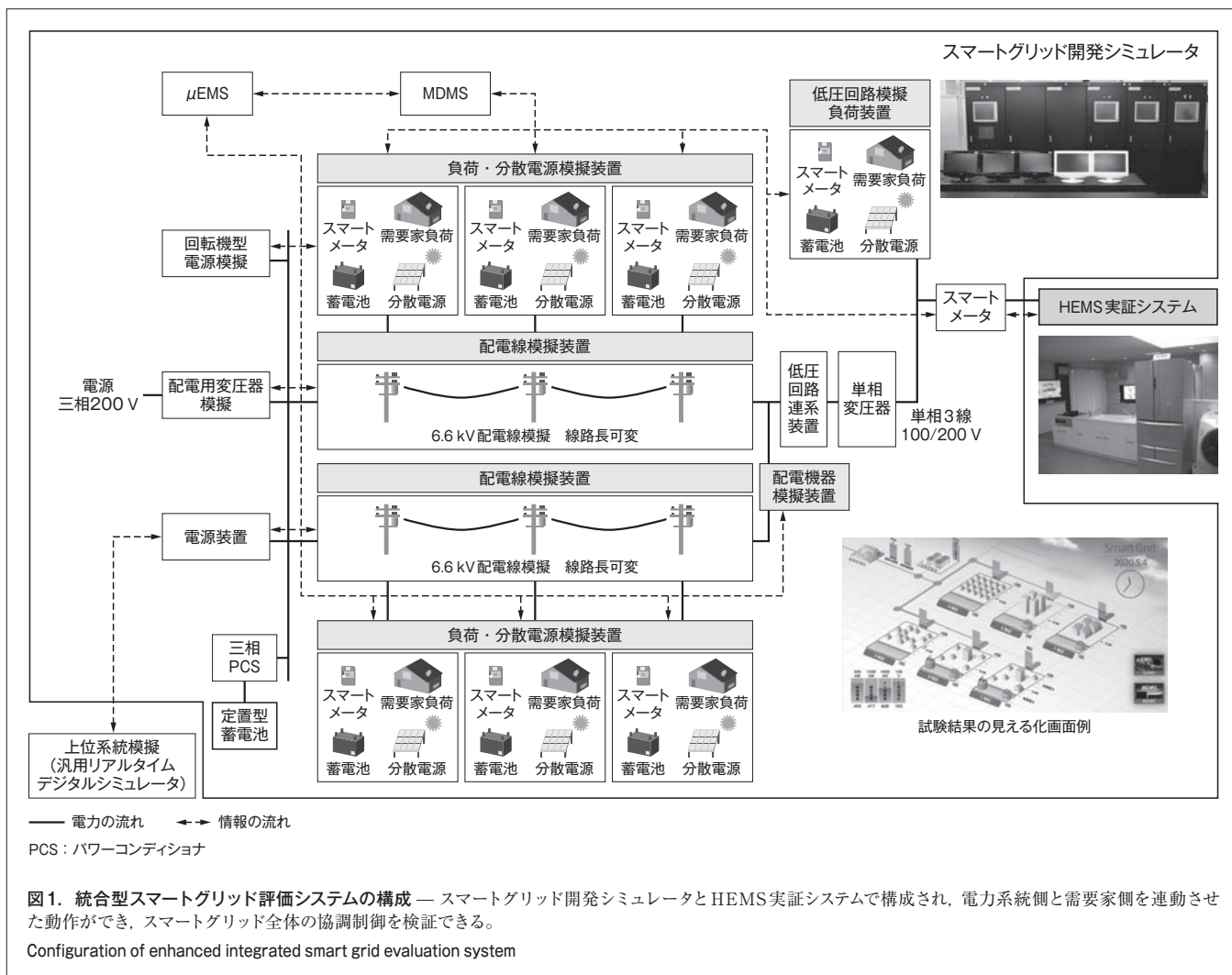
## 2 システムの概要

### 2.1 システムの構成と機能

統合型スマートグリッド評価システムは、主にスマートグリッド開発シミュレータ及びHEMS (Home Energy Management System) 実証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とHEMS実証システム間は、スマートメータを介して電力線及び、計測制御情報や管理・認証情報の双方向通信が可能な情報線で連結されている。

スマートグリッド開発シミュレータは、配電線模擬装置、負荷・分散電源模擬装置、スマートグリッド監視制御システム  $\mu$ EMS (Micro Energy Management System)、及びAMIシステムなどで構成される。配電線模擬装置は、200Vのアナ



ログ回路で線路長の設定変更ができる、最長21 km相当の6.6 kV 配電線を模擬する。負荷・分散電源模擬装置は、600軒個別の有効電力と無効電力の時系列データを設定し、時系列データに応じた地域ごとの有効電力と無効電力を配電線模擬装置に発生あるいは消費させ、住宅やビル、工場が混在する需要家負荷と、PVや風力発電などの分散電源及び蓄電池システムを模擬する。

AMIシステムはスマートメータとMDMS (Meter Data Management System) で構成され、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それら情報を収集するとともに、スマートメータの運用管理を行う。μEMSは、分散電源の出力電力や蓄電池システム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や電力品質の維持、及びデマンドレスポンス (DR) による需給調整を行う。

スマートグリッド開発シミュレータにより、配電系統や離島などの自立系統を模擬できる。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、及び系統状態を考慮したDRなどの各種制御法の開発と検証を行うことができ、試験結果としての電気や情報の流れは見える化画面に表示される。

HEMS実証システムは、エアコンや洗濯機及びLED (発光ダイオード) 照明などの家電機器に、家庭用蓄電池システムや燃料電池、PV、EV (電気自動車)、ヒートポンプ式給湯器、及び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の開発と検証を実装置でできるとともに、スマートグリッド開発シミュレータの一つの負荷として扱うことも可能である。

## 2.2 増強設備の概要

今回導入した4設備のうち、3設備について以下に述べる。

### 2.2.1 定置型蓄電池システム

新たに増設した定置型蓄電池システムの外観と仕様を図2と表1に示す。この蓄電池システムは、定置型で実績のあるSCiB™の20 Ahセルを採用した。μEMSによる充放電指令制御が可能であり、再生可能エネルギーの出力変動抑制などに利用できる。また、自立電源としての機能もあり、コールドスタートが可能である。



図2. 定置型蓄電池システム (6.6 kW×2台) — 今回導入した蓄電池システムは、SCiB™の20 Ahセルを採用した。  
Battery energy storage system equipped with SCiB™ battery modules

表1. 定置型蓄電池システムの仕様

Specifications of battery energy storage system

項目	仕様
定格出力	12 kW
定格電池容量	6.6 kWh
使用電池セル	東芝製 SCiB™ 20 Ah
電池監視機能	セル電圧と温度の監視
上位通信機能	μEMSによる充放電指令制御
自立運転機能	系統電源がない状態でのコールドスタートが可能で、電圧源として機能

2.2.2 ランディス・ギア社AMIシステム これまで当社が独自で構築したAMIシステムを改良し、クラウドシステムの活用でネットワークを介した共同研究・開発も可能な構成として、東芝グループのランディス・ギア社との連携を強化した。

スマートグリッド開発シミュレータの中に導入したAMIシステムの構成を図3に示す。電力供給側サーバ、AMI管理サーバ

バ、及びスマートメータで構成される。電力供給側サーバは、系統の電力管理を行うμEMS、デマンド管理を行う顧客情報管理サーバ (CAS: Consumer Account System)、及び各サーバ間の接続を可能にするJMS (Java Message Service) サーバで構成される。

また、AMI管理サーバは、クラウドサーバとして動作するランディス・ギア社のサーバで、スマートメータの通信管理を行うHES (Head End System) と、大量の計量データを管理するMDMSにより構成され、VPN (Virtual Private Network) で接続される。

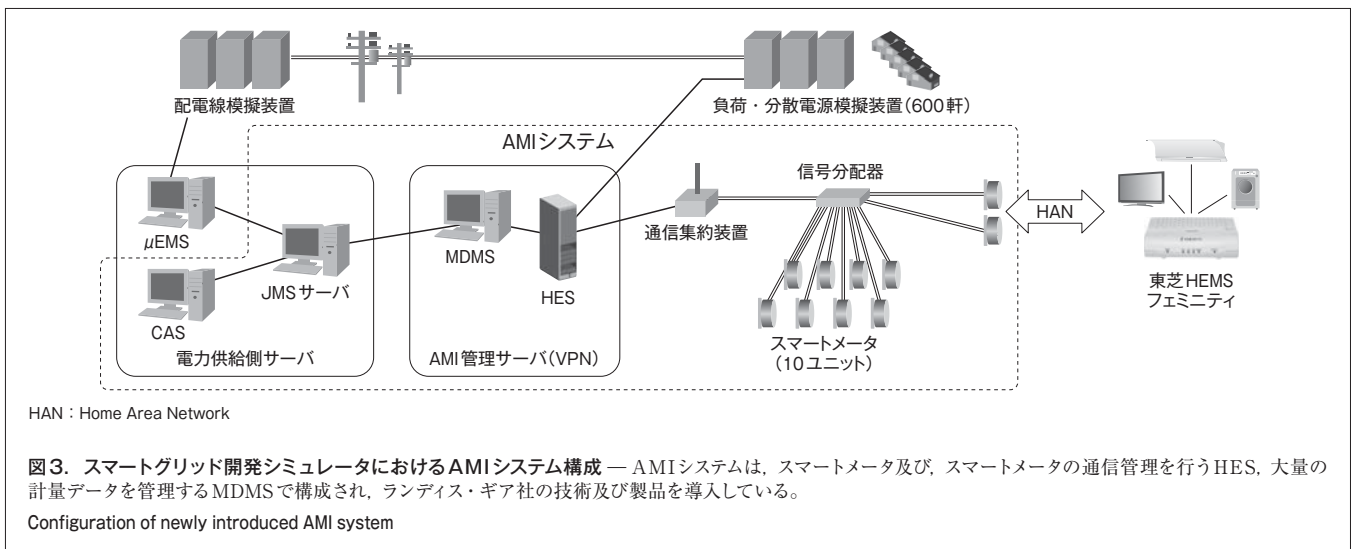
スマートメータは通信集約装置を介してHESと接続され、計量データやDRに関する情報交換を行うが、実際のメータに加え、負荷・分散電源模擬装置内の模擬需要家をHESに接続することで、多数の需要家の模擬が行える構成とした。

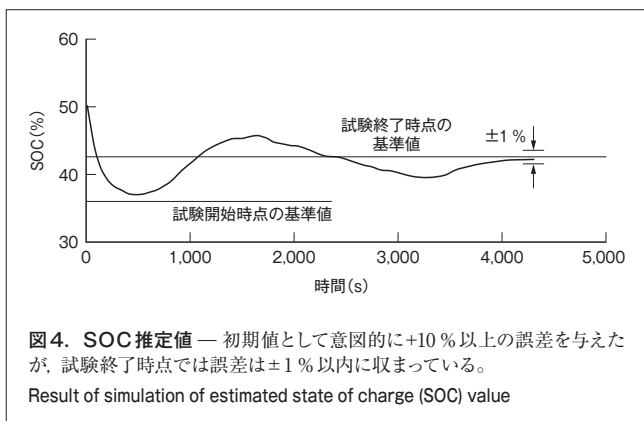
2.2.3 PV監視システム 統合型スマートグリッド評価システムに接続する3 kWのPV設備に、日射計、気温計、湿度計、及びPVパネルの温度を測定するための熱電対を整備した。PVパネルの発電効率はパネルの温度に大きく依存する。今回、発電電力に加えて日射量及びパネル温度が測定できるようになり、発電効率を正確に評価できるとともに、日射などの情報を活用したPVの発電電力予測の検証も可能になった。

### 3 導入設備を活用した研究開発事例

#### 3.1 定置型蓄電池システム

3.1.1 SOC推定アルゴリズムの評価 蓄電池システムのユーザーが日常的に把握する必要があるパラメータは、蓄電残量 (SOC: State of Charge) である。SOCは基本的に蓄電池の開回路電圧 (OCV) と電流積算によって求められるが、PVや風力発電の出力変動抑制のように長時間にわたり不規





則な充放電を行うアプリケーションでは、充放電電流が常時流れ、OCVが取得できない期間が継続し、電流積算誤差が累積して大きなSOC推定誤差に至るリスクがある。

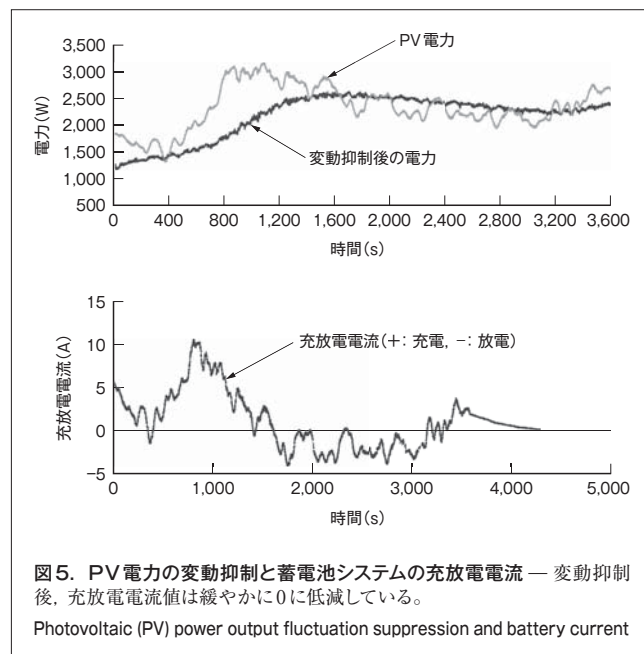
この問題に対し、常時の充放電運転下でも誤差が累積しない、カルマンフィルタ方式のSOC推定アルゴリズムがある。このアルゴリズムにSCiB<sub>TM</sub>の20 Ahセルモデルを組み込み、導入したSCiB<sub>TM</sub>蓄電池システムを利用して動作検証を行った。具体的には、統合型スマートグリッド評価システムのPV実績データを用いてその蓄電池の充放電による変動抑制制御を行い、取得した蓄電池の電圧、電流、及び温度のデータにカルマンフィルタ方式のSOC推定アルゴリズムを適用して動作を確認した。初期値としてSOC 50%（意図的に誤差10%を加算）を与えてシミュレーションした結果、試験終了時点のSOCは、その時点のOCVから求めた基準値に対し、誤差が±1%以内の推定値が得られた（図4）。

SOC推定精度の向上により、蓄電池容量の利用可能範囲を拡大する効果が期待できる。今後、更に多様な充放電パターンでの評価を行う。

**3.1.2 電池セルの状態推定** 定置型蓄電池システムは期待寿命が10～15年と長く、蓄電池の劣化状態を把握することが課題の一つである。蓄電池劣化の指標の一つに直流内部抵抗があるが、従来の定電流パルス法による測定では、システムを一時的に停止する必要があった。そこで、従来の測定方法に代わり、ウェーブレット変換を用いた方法を開発した<sup>(2)</sup>。

今回導入した蓄電池システムでは、充放電電流や、各電池セルの電圧、温度情報などの詳細な計測データを収集し、電池セルの劣化状態を把握する仕組みを検討している。詳細な計測データを収集することで、稼働中の充放電波形から電池セルの内部抵抗値を推定する。

統合型スマートグリッド評価システムにはPVシステムが併設されており、この発電出力に対して蓄電池システムを用いた出力変動抑制制御を行い（図5）、このときの充放電電流とセル電圧を収集した。各計測波形に対してウェーブレット解析を行い、回帰分析により内部抵抗推定の評価を行った（図6）。



その結果、電流と電圧の相関を示す決定係数 $R^2$ が0.8以上と高い場合は内部抵抗値の算出が可能であり、蓄電池の劣化傾向を把握できる見込みを得た。

この手法を適用することで、個々の電池セルの状態を可視化することができ、蓄電池システムをスマートグリッドに導入した際の寿命評価が可能になる。今後は、この手法を用いて、劣化傾向の把握や障害予兆の検知などに取り組んでいく。

### 3.2 AMIシステムの活用

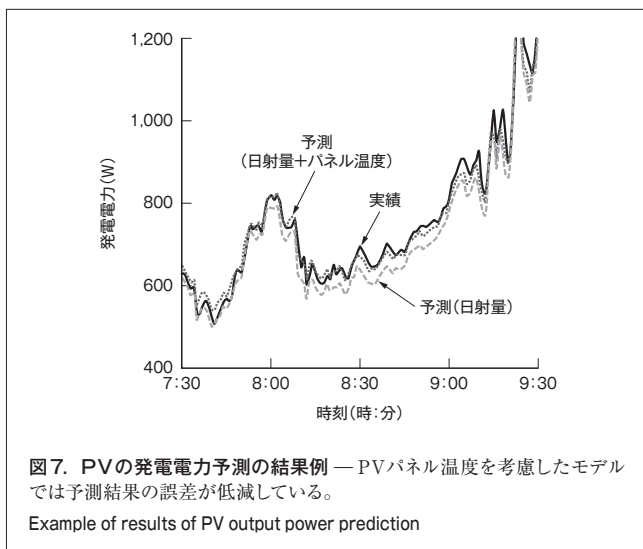
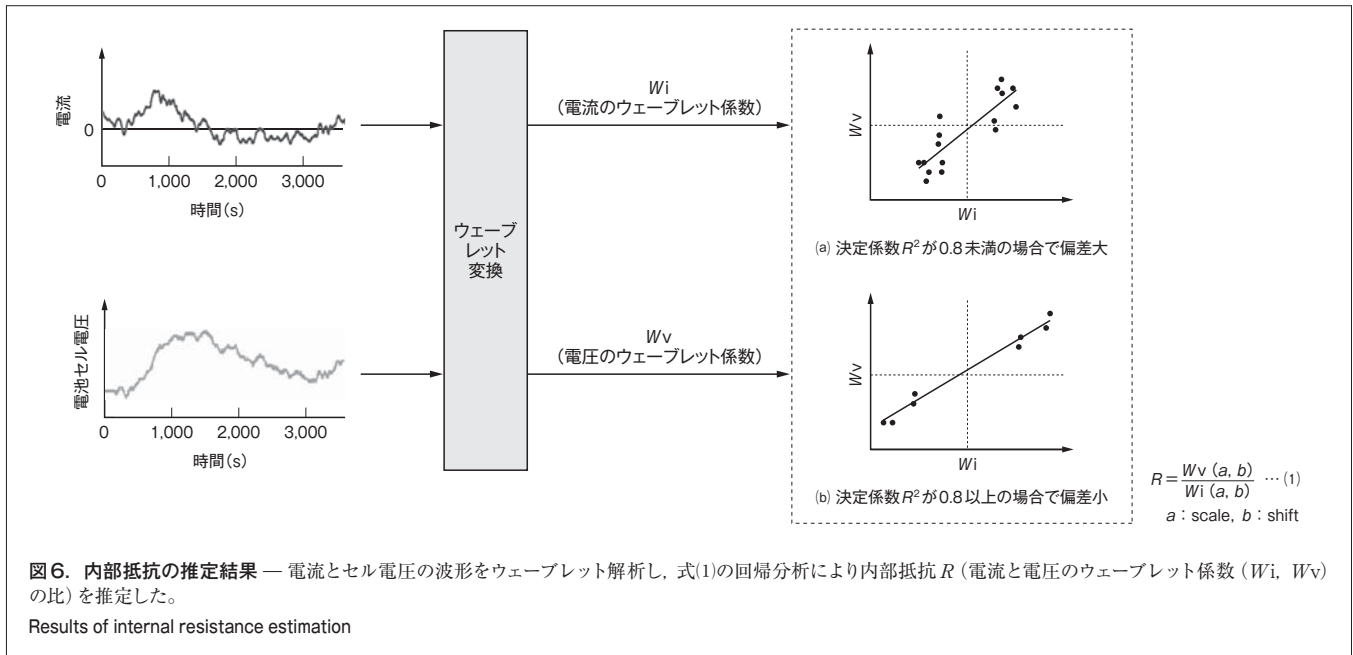
需要家の制御に不可欠である $\mu$ EMSとの情報交換が可能なAMI通信機能を活用し、 $\mu$ EMSによるDR機能の開発を推進している。

$\mu$ EMSからのDR指令は、HESとスマートメータを介して需要家に伝わり、需要家の反応により系統状態が変化する。この系統状態の変化を $\mu$ EMSが計測把握することで、フィードバック系が構築できる。今後、フィードバック系とフィードフォワード系のDRを比較し、フィードバック系のDRに対応する $\mu$ EMSの制御ロジックを検証する。

また、スマートメータをセンサとして捉え、機器の故障や系統の事故及び系統の状態を検知する系統監視技術の検証にも活用する。

### 3.3 PV監視システムの活用

PV監視システムを活用し、発電効率を評価した例について述べる。図7は、2013年3月29日のデータを用いて、日射量から重回帰分析により発電電力をモデル化（予測）した結果である。従来の日射量に加えPVパネルの温度も考慮したモデルでは、予測結果の誤差が日射量だけ考慮したモデルよりも大きく低減しているようすがわかる。ここでの平均誤差は36 Wから18 Wに半減している。



夏季にはPVパネルの温度が大きく上昇するため、発電効率が20～30%低下すると考えられる。実際にはPVパネルの温度ではなく、気温などを用いてモデル化する必要があるが、発電電力予測モデルに気温などの影響を考慮することで、予測モデルの精度向上が期待できる。更にデータを蓄積することで、発電効率の経年劣化やパネル面の汚れの影響なども評価可能になると考えられる。

#### 4 あとがき

設備を増強した蓄電池システム、AMIシステム、及びPV監視システムを加えた統合型スマートグリッド評価システムの概要と、研究開発などへの活用事例について述べた。

今後も、この評価システムを、スマートグリッドを構成する各要素と、各要素を組み合わせたシステムやソリューションの開発に活用し、スマートグリッド及びスマートコミュニティの実現に貢献していく。

#### 文献

- (1) 鳥羽廣次 他. 統合型スマートグリッド評価システム. 東芝レビュー. 66, 12, 2011, p.24-27.
- (2) 坂田康治 他. “ウェーブレット変換を用いた内部抵抗推定方式の検証”. 平成25年 電気学会全国大会. 名古屋, 2013-03. 電気学会. 講演番号 7-010.



**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



**坂田 康治 SAKATA Yasuji**

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。定置型蓄電池システムの監視・制御に関する研究・開発に従事。情報処理学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



**大崎 善朗 OSAKI Yoshiro**

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査。エネルギーシステムにおける通信システムの開発に従事。

Power and Industrial Systems Research and Development Center