九州電力株式会社スマートグリッド実証試験

前田 浩 Maeda Hiroshi
菊池 賢一 Kikuchi Kenichi
五月女 裕司 Saotome Yuji
古川 健太 Furukawa Kenta
福田 隼 Fukuda Jun
逢見 翔太 Omi Shota

今後の再生可能エネルギー電源の大量導入を想定すると，電力需給運用面では，再生可能エネルギーの連系による余剰電力や出力変動に備え，発電出力の予測と蓄電池を有効利用するための需給計画・制御技術が重要になる。また，配電系統運用面では，電力品質の維持と既存設備を高効率運用するための電圧最適制御技術が求められる。
日立グループは，将来，太陽光発電など出力が不安定な分散型の再生可能エネルギーが大量に普及した場合においても，高品質・高信頼で高効率な電力供給の維持に貢献する需給計画・制御手法，電圧最適制御手法の開発に取り組んでいる。

1. はじめに

近年，温暖化対策としてCO_2排出量削減への要求が高まり，PV（Photovoltaics：太陽光発電）などの再生可能エネルギーの導入に向けた動きが活発化している。それにより，配電系統ではPVからの逆潮流による電圧逸脱が懸念され，特にPV導入率が高い九州電力株式会社では，PVが大量導入された場合の配電線の電圧上昇や将来の需給計画の困難化などへの対応が必要とされている。このため，同社では，これらの課題抽出，必要技術・業務要件の洗い出し，実地による有効性検証を目的として，佐賀県玄海町，鹿児島県薩摩川内市（以下，「薩摩川内地区」と記す。）にPVや蓄電池などの試験用設備を設置し，スマートグリッドの実証試験を推進している。

日立グループは，九州電力との共同研究に参画し，2013年10月より薩摩川内地区での実証試験を担当している。

ここでは，この実証試験に対する現在までの取り組み状況を述べる。

2. スマートグリッド実証試験設備の概要

薩摩川内地区で建設を進めてきた実証試験設備が，2013年10月に運用を開始した。実証試験設備は，PVや蓄電池，模擬配電線（**図1**参照），およびこれらの出力や電圧・電流などを計測・監視・制御するエネルギーマネジメント装置で構成されている。

模擬配電線を構成する機器を**表1**に示す。模擬LRT（Load Ratio Control Transformer）装置は，6,180 V～7,020 Vの電圧を84 Vステップの11タップで切り替える装置であり，実配電系統で運用している静止形電圧調整盤で制御する。模擬線路装置は4台設置されており，それぞれが九州電力仕様の電線サイズに相当するインピーダンス（R＋jX）で構成され，0 kmから2.5 km刻みで10 kmまで設定可能

注：略語説明　SVR（Step Voltage Regulator），SVC（Static Var Compensator）

図1｜薩摩川内地区実証試験設備
九州電力株式会社における配電系統を実設備で構成する。

表1｜模擬配電線の構成機器

模擬配電線を構成する主要機器の概略仕様を示す。

機器	仕様
模擬LRT装置	2,000 kVA×1台 短絡インピーダンス 3%
静止形電圧調整盤	SVR×3台，SVC×2台，ShR×1台
模擬線路装置	6.6 kV配電線（400 sq/200 sq）10 km×4台 電線の長さ 0/2.5/5/7.5/10 km
模擬負荷装置	525 kVA×4台 有効／無効電力制御，双方向動作可能
太陽光発電設備	高圧連系（事業用模擬）250 kW×1台 低圧連系（家庭用模擬）4 kW×7台
蓄電池	高圧連系（系統用模擬）100 kW（70 kWh）×1台 低圧連系（家庭用模擬）3 kW（10 kWh）×6台

注：略語説明　LRT（Load Ratio Control Transformer），ShR（Shunt Reactor）

である。そのため，4台を直列に設置すれば，最大40 kmの配電線路の亘（こう）長を模擬できる。また，負荷と発電の双方向動作が可能な模擬負荷装置も4台設置されており，おのおのは制御速度1秒で有効電力500 kWまで出力できる。そのため，最大2,000 kWまで潮流を回生でき，かつ逆潮流の模擬も可能である。電圧調整機器は，実配電設備で使用されているSVR（Step Voltage Regulator），SVC（Static Var Compensator）などを設置し，その他，PV，蓄電池が設置されている。

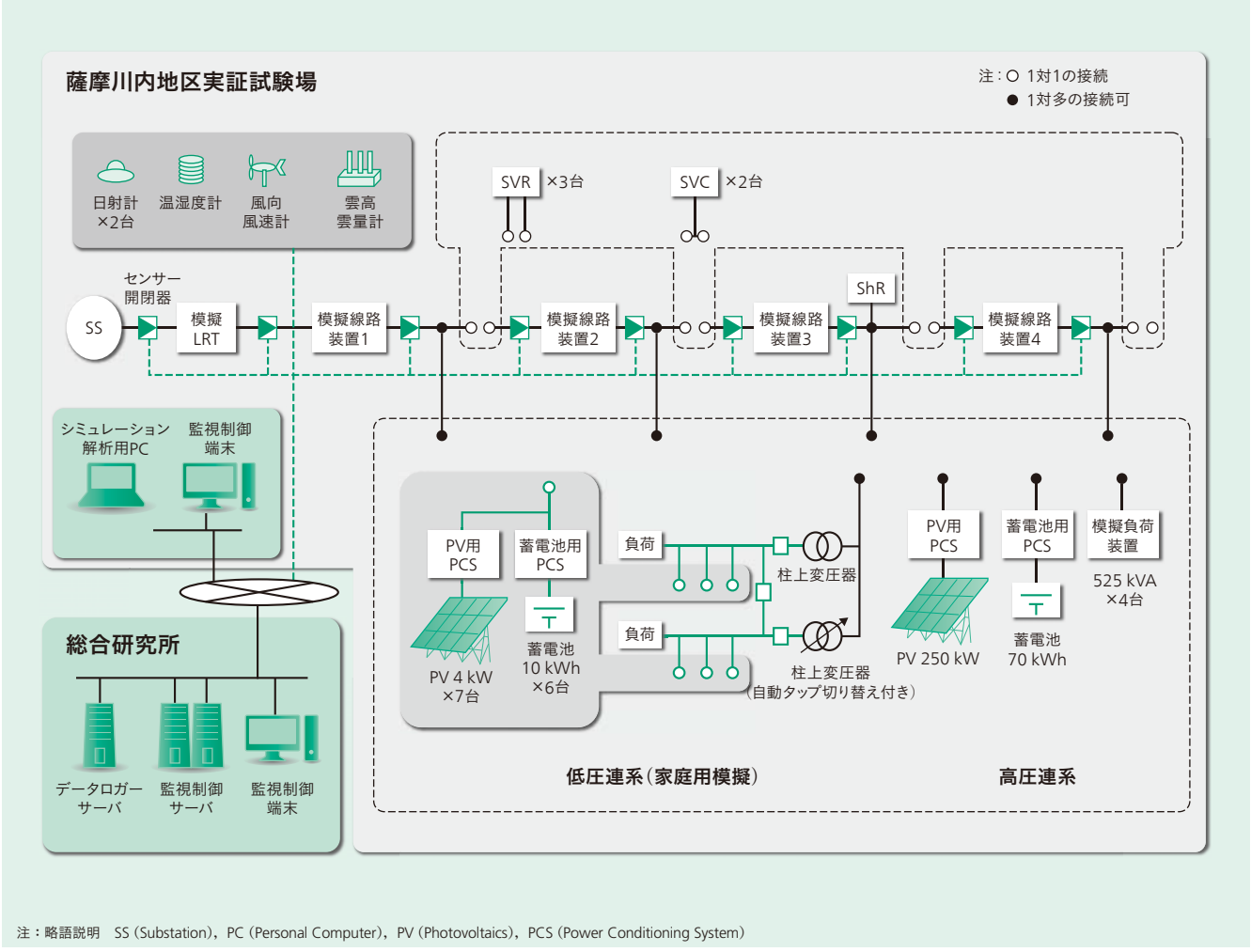
次に，実証試験設備構成を**図2**に示す。薩摩川内地区実証試験場の特徴は，各構成要素（PV，蓄電池，模擬負荷装置，電圧調整機器など）間の接続点を35台の区分開閉器の入切によって切り替え，さまざまな系統条件を構成できる点にある。また，各地点の計測情報をデータロガーサーバや監視制御サーバに集約し，配電線の電圧・電流値，およびPVや蓄電池の出力量などをリアルタイムに監視することも可能である。PV，蓄電池は監視制御端末によってPV出力予測や蓄電池充放電制御が可能であり，これらの設備を用いた需給計画機能を具備している。

実証試験では，これらの設備を用いて，需給計画・制御手法と電圧最適制御手法を検証していく。

3.　需給計画・制御手法の実証試験

3.1　実証試験の概要

PV大量導入時の需給計画・制御技術に関する課題解決を目的として，PV，蓄電池を用いて蓄電池最適制御手法を検証する。蓄電池最適制御手法は，PVが発電する電力の有効活用と，そのための蓄電池容量のミニマム化を目的



注：略語説明　SS（Substation），PC（Personal Computer），PV（Photovoltaics），PCS（Power Conditioning System）

図2｜実証試験設備構成

実証試験場の構成要素（図中の黒の点線内）を切り替えてさまざまな条件をつくり，実証試験を行う。

feature articles

とする。検証では，長周期変動抑制試験，短周期変動抑制試験の2種類の試験を実施する。このうち，長周期変動抑制試験のための需給計画・制御手法について以下に紹介する。

3.2　需給計画・制御手法の検証

日立グループは，これまでに系統全体や特定地域を対象とした需給計画・制御を行うEMS（Energy Management System：エネルギー管理システム）を開発してきた。実証試験システムは特定地域を対象としたEMSであり，これまでに蓄積したノウハウを継承しつつ機能を拡張したものである。

需給計画機能は，管理地域内の電力の需要と供給のバランスを計算し，発電設備の出力スケジュールを作成する機能である。実証試験システムの需給計画機能はPVと蓄電池を対象としており，PVの出力予測機能と蓄電池の充放電計画機能の両方を搭載している。

この実証試験では，将来，特定地域を対象としたEMSが複数導入され，それぞれの地域に設置された蓄電池が個別に運用される可能性があることを想定している。そこで，実証試験システム単独で複数の地域で個別にエネルギー管理を行うことを目的とし，新たに2つの機能拡張を実施した。

まず，需給計画を任意の設備のみで作成する機能である。従来，特定地域を対象としたEMSは単独地域のみを対象としており，複数地域を同時に扱うことはなかった。そこで，実証試験システムが管理する設備群に地域分割の概念を導入し，複数かつ個別の計画を作成できるようにした。地域統合の需給計画と地域個別の需給計画が対象とする設備を図3に示す。地域統合の需給計画が実証試験システムの管理する設備全体を統合運用することに対し，地域個別の需給計画はその地域の設備のみで運用する計画を作成する。この機能により，地域統合または地域個別でエネルギー管理を実施した場合のそれぞれにおける，蓄電池最適制御手法の検証を行うことが可能となる。

次に，地域統合・地域個別の需給計画連携機能である。これは，一部地域が地域個別で運用し，残りの地域が地域統合で運用するケースを想定する。個別運用する地域の需給計画を統合運用する地域に連携し，統合運用する地域の需給計画を更新するものである。この機能により，地域個別の運用と地域統合の運用が同時に行われる場合における，蓄電池最適制御手法を検証することが可能となる。

これらの機能拡張により，柔軟で幅広い需給計画の作成が可能となった。実証試験システムは，作成した需給計画に基づき，制御機能によって試験設備に指令を行う。このときの制御画面の一例を示す（図4参照）。これは，各設備に対する指令値の一覧表示および制御指令を行う画面である。

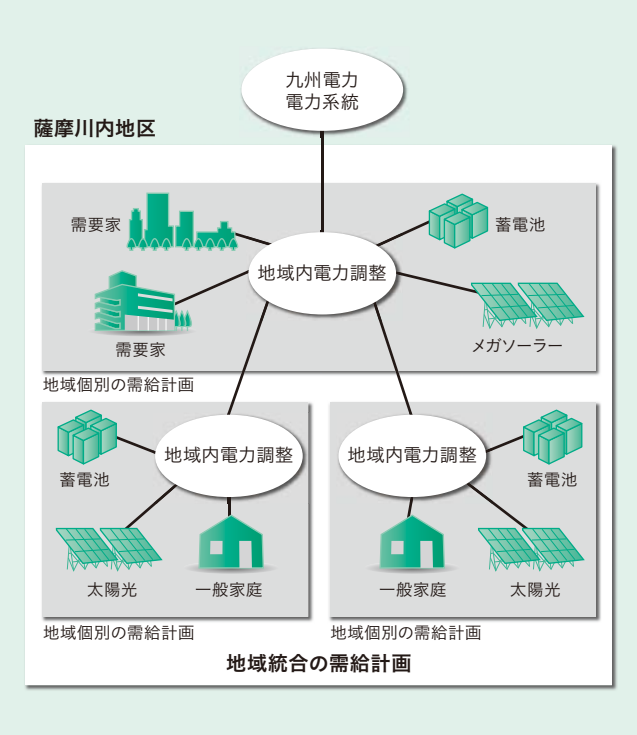


図3｜地域統合と地域個別の需給計画の対象設備例
白い枠内が地域統合の需給計画が対象とする設備，グレーの枠内が地域個別の需給計画が対象とする設備である。地域統合の需給計画はすべての設備を対象とするが，地域個別の需給計画は特定の地域の設備だけを対象とする。

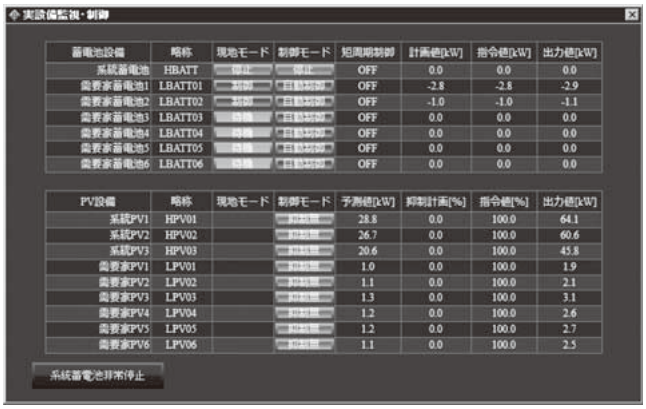


図4｜設備操作の表示画面
需給計画機能が作成した計画を基に，蓄電池とPVに対して指令値を送信して制御する。

実証試験では，需給計画・制御結果を記録・収集し，負荷パターンの影響，蓄電池最適制御手法の影響，蓄電池設置位置の影響などを分析・検証する。

4.　電圧最適制御手法の実証試験

4.1　実証試験の概要

PV大量導入時の電圧最適制御技術に関する課題解決を目的として，模擬配電線を用いてさまざまな検証を行う。この実証試験における主な検証内容は以下の2点である。

(1) 模擬配電線を用いた電圧調整機器の動作検証
配電線モデルでのPV導入限界量，電圧調整機器の運用限界，系統設備の増強や新電圧調整機器の導入効果の確認
(2) 電圧最適制御手法の検討
電圧調整機器の最適な整定値による効果の確認，高度自律分散制御手法などの適用の可能性検討

(1) の実証試験から順次開始しており，概要について以下に紹介する。

4.2 シミュレーションと模擬配電線による評価

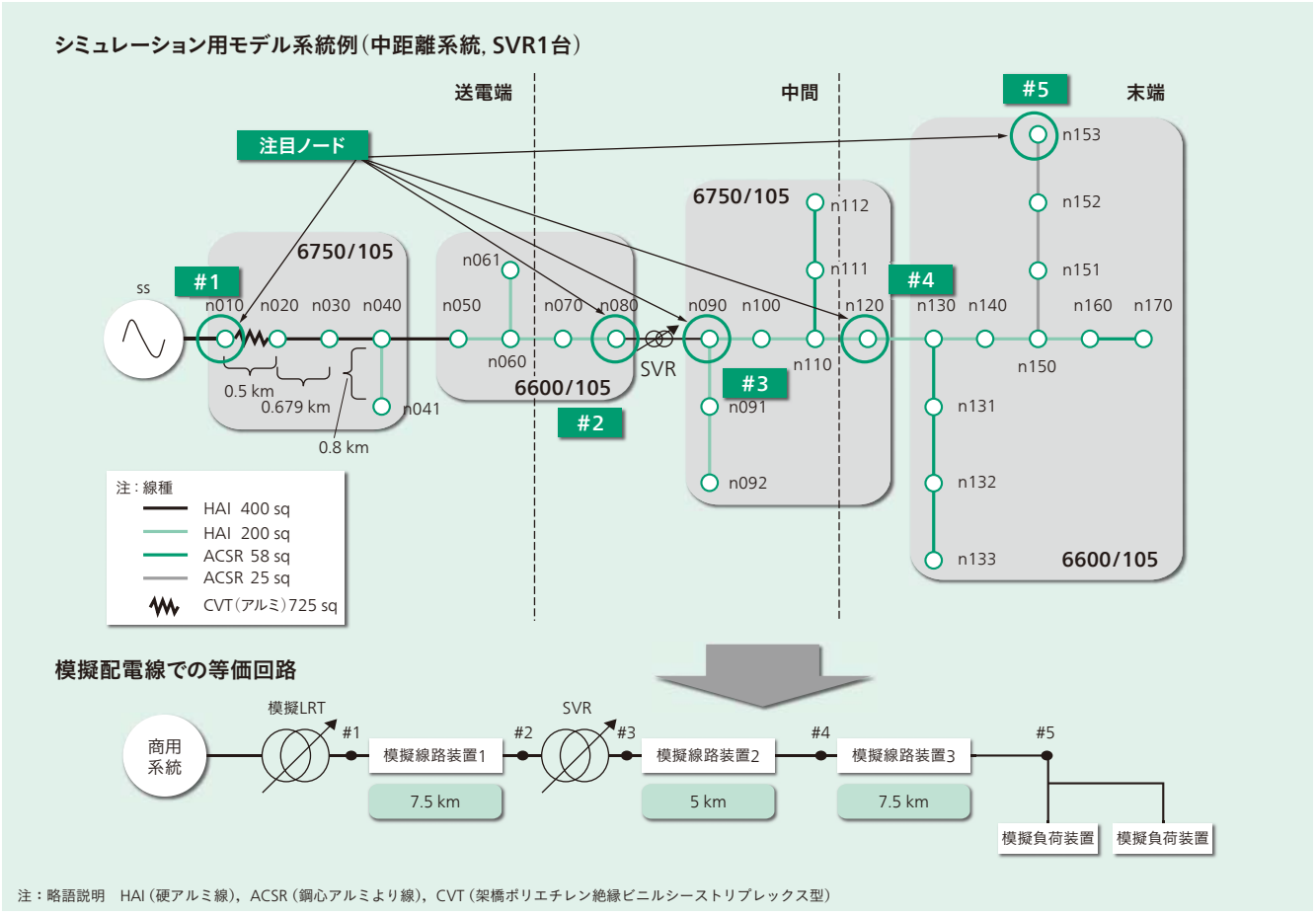
実証試験に使用する系統，負荷カーブ（重負荷，軽負荷）の設定にあたり，九州全体の実配電系統，実負荷をマクロ的に捉えた平均的な4つのモデル系統を使用している。PVと負荷の分布は，分散配置（全域に分布），集中配置（送電端，中間，末端に分布）を想定し，さらに，PV連系量，連系箇所を組み合わせたパターンを想定する。

模擬配電線を用いた実証試験ケースは，設備的・時間的な制約があることから，電圧解析シミュレーションツールを用いたデジタル解析でも事前に評価できるようにする。模擬配電線は，シミュレーション用のモデル系統に比べてノード数が少ないため，模擬系統を模擬配電線で表現できる等価回路に置き換える必要がある。そこで，PV連系時の配電線の電圧上昇や電圧変動といった課題を評価するため，それぞれの模擬線路装置の線路インピーダンスおよび模擬負荷装置の出力を調整しながら，図5に示すシミュレーション用モデル系統の各ノード電圧変動幅を，模擬配電線での等価回路のノード電圧変動幅に一致させることで，実証試験用の等価回路を構築した（図6参照）。

4.3 実証試験で検討すべき課題

配電線に大量のPVを連系すると，軽負荷時間帯は逆潮流が発生し，配電線内の電圧が上昇する。一方で，既存の電圧調整機器は，逆潮流やPVの出力変動への対応を前提に製作されたものではないことから，これらの実態に即した課題抽出と検証が求められる。また，動作時限が異なる複数台の電圧調整機器を同一配電線に設置した場合の課題や有効性も明確にする必要がある。

実証試験では，PVの影響による逆潮流や過渡的な出力変動を想定した過酷ケースや，異なる機器を複数台設置するケースなどの試験を行い，既存の電圧調整機器の運用限界（調整限界，他機器との干渉）を明らかにする。



注：略語説明　HAI（硬アルミ線），ACSR（鋼心アルミより線），CVT（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシーストリプレックス型）

図5 | モデル系統と模擬配電線での等価回路
模擬配電線は，負荷容量，負荷数，ノード数，線路亘（こう）長に制約があるため，シミュレーション用の等価回路に置き換えて事前に検証する。

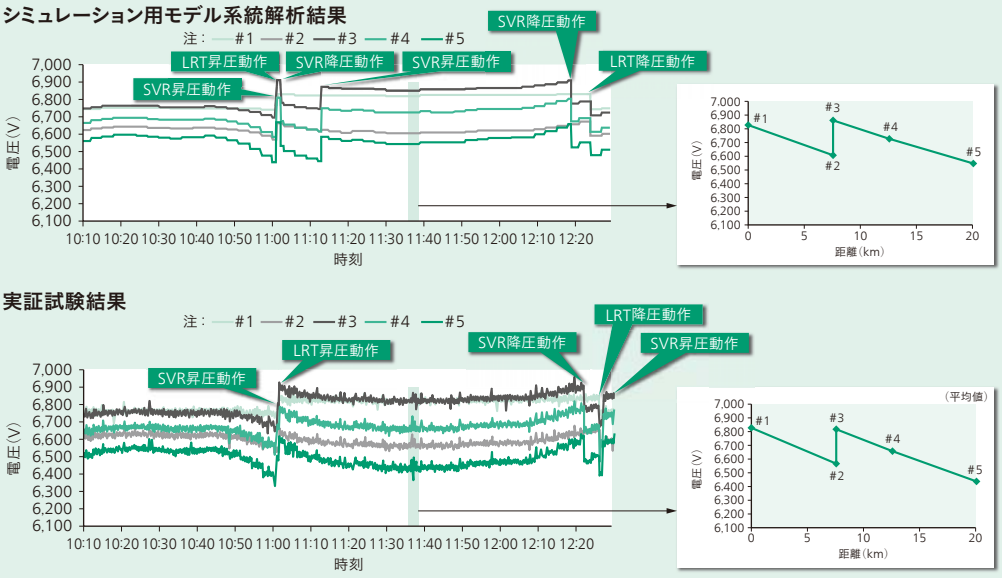


図6｜モデル系統と模擬配電線での解析結果

シミュレーション用モデル系統と模擬配電線での電圧変動幅を一致させることで，実証試験用の等価回路の整合性を確認した。

4.4　電圧最適制御手法の検討

既存の電圧調整機器による現行方式でのPV導入限界量の検証結果を踏まえ，現行方式における最適な整定値の算出方法を検討する。また，その最適な整定値で電圧調整機器を運用した場合の効果を，模擬配電線を用いて確認する。次に，現行方式でのPV導入限界量を引き上げる方策の一つとして，期間ごとの整定値変更などによるPV導入限界量増加の可能性について検証する計画である。

さらに，以上の検証結果を基に，通信回線を活用した制御手法および開発中の高度自律分散制御手法などの適用の可能性についても検討する計画である。

5.　おわりに

ここでは，九州電力のスマートグリッド実証試験において，現在取り組んでいる検証内容と今後の方向性について報告した。

日立グループは，低炭素社会の構築に向けた再生可能エネルギーの利用拡大を支援するため，今後も蓄電池の最適制御手法や，配電系統の電圧最適制御手法の検証・開発に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

1）　スマートグリッド実証試験の開始について，九州電力株式会社プレスリリース記事（2013.10）
2）　河原，外：太陽光発電大量連系の配電系統の電圧管理への影響－出力変動および平滑化効果が及ぼす影響－，平成24年電気学会B部門大会，No.125
3）　志岐，外：スマートグリッド実証試験設備の概要と6.6 kV模擬配電線路による実証試験結果その1，平成26年電気学会全国大会，6-214

執筆者紹介

前田 浩
日立製作所 インフラシステム社 電力システム本部 電力システム設計部 所属
現在，電力系統監視制御システム，配電系統解析支援システムの設計に従事

菊池 賢一
日立製作所 電力システム社 電力流通事業部 電力情報制御本部 電力情報制御部 所属
現在，電力流通分野に関する受注・取りまとめ業務に従事

五月女 裕司
日立製作所 インフラシステム社 電力システム本部 電力システム設計部 所属
現在，次世代配電自動化システム，配電系統解析支援システムの設計に従事

古川 健太
日立製作所 インフラシステム社 電力システム本部 電力システム設計部 所属
現在，次世代配電自動化システム，配電系統解析支援システムの設計に従事
博士（工学），電気学会会員

福田 隼
日立製作所 インフラシステム社 電力システム本部 電力システム設計部 所属
現在，電力系統監視制御システムの設計開発に従事

逢見 翔太
日立製作所 日立研究所 エネルギー・環境研究センタ エネルギーマネジメント研究部 所属
現在，配電系統の解析制御技術の研究に従事
電気学会会員