



|              |                                                                                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | スマートグリッド実証システムの開発                                                                   |
| Author(s)    | 柴田, 俊和; 綾井, 直樹; 岩崎, 孝 他                                                             |
| Citation     | 電気材料技術雑誌. 2014, 23, p. 33-39                                                        |
| Version Type | VoR                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/76904">https://hdl.handle.net/11094/76904</a> |
| rights       |                                                                                     |
| Note         |                                                                                     |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## スマートグリッド実証システムの開発

柴田 俊和<sup>1)</sup>、綾井 直樹<sup>2)</sup>、岩崎 孝<sup>2)</sup>、久田 俊哉<sup>2)</sup>、北山 賢一<sup>2)</sup>、中幡 英章<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 住友電気工業株式会社 エネルギー・システム機器開発部 〒554-0024 大阪市此花区島屋1-1-3

<sup>2)</sup> 住友電気工業株式会社 パワーシステム研究開発センター 〒554-0024 大阪市此花区島屋1-1-3

## Development of Smart Grid Demonstration Systems

Toshikazu Shibata <sup>1)</sup>, Naoki Ayai <sup>2)</sup>, Takashi Iwasaki <sup>2)</sup>,  
Toshiya Hisada <sup>2)</sup>, Kenichi Kitayama <sup>2)</sup>, Hideaki Nakahata <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Sumitomo Electric Industries Ltd. Energy System Division 1-1-3, Shimaya, Konohana-ku Osaka, Japan

<sup>2)</sup> Sumitomo Electric Industries Ltd. Power System R&D Center 1-1-3, Shimaya, Konohana-ku Osaka, Japan

Renewable energies, such as solar and wind power, are increasingly being introduced as alternative energy sources on a global scale toward a low-carbon society. For the next generation power network, which uses a large number of these distributed power generation sources, energy storage technologies will be indispensable. In this background, two smart grid demonstration systems are developed and tested. One is the micro grid demonstration system. This system interconnects four types of renewable power generators and a storage battery with a DC cable to balance fluctuations in natural power generation and power consumption, thereby ensuring stable and efficient power supply to the facilities and equipment of the Works without any commercial power network. The other is the MW scale demonstration system. This system consists of the redox flow battery system (5MWh) and concentrated photovoltaic (CPV) units, and performed various examination such as stabilizing output of PV output, peak cut operation, demand response operation. Both systems employ energy management system (EMS).

**Keyword** : smart grid, secondary battery, flow battery, photovoltaic, concentrator photovoltaic, EMS

1. はじめに

低炭素化社会の実現を目指したゼロエミッション電源比率向上に向けて、太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギー導入が推進されている。また、次世代送配電システム（スマートグリッド）への関心が世界各国において高まり、電力インフラおよびそれを構築する電力機器の研究開発が推進されている。さらに、従来、電力を購入して消費するだけであった需要家においても、省エネ、創エネの意識が高まり、太陽光発電等の分散電源を設置して、効率的に電気を消費する動きが高まっている。

このように太陽光発電、風力発電を活用した電力インフラ構築への期待が大きい一方で、これらの発電電力は気象条件により変動するため、連系にあたっては適切な対策が必要である。その対策技術として蓄電池や EMS (Energy Management System)を駆使したシステムが注目されている。

筆者らは、上記背景のもと、「マイクログリッド実証システム<sup>1)2)3)</sup>」および「実規模実証システム<sup>1)4)5)</sup>」を開発し、各種検証試験を実施してきた。本稿では、これらの実証システムについて、システムの概要および実証結果について報告する。

2. マイクログリッド実証システム

2.1. システム構成

「マイクログリッド実証システム」の概略構成を図1に、構成機器の諸元を表1に示す。

本システムの電源は、汎用の太陽光発電装置（結晶系シリコンと CIGS 薄膜系）と新規に開発した集光型太陽光発電装置<sup>7)</sup>（CPV：Concentrator Photovoltaic）、および小型風力発電装置であり、自然エネルギーだけで構成される。開発した CPV は、発電素子にレンズで集光させた高密度の太陽光を入射させることによって、小面積の発電素子でエネルギー変換をする太陽光発電装置である。発電素子に化合物半導体材料を用いていることで、汎用のシリコンパネルに比べて約2倍の変換効率を有する。

一般の電力系統ではこれらの機器は交流連系されるが、本システムでは何れの機器も出力が直流

であることに着目し、直流/交流変換ロスの低減を目的に、各機器は直流で連系されている。各機器の出力は DC/DC コンバータで350V に昇圧されて、直流バスに連系され、直流で送電される。その後、需要端にて交流に変換され、各種負荷（液晶テレビ、LED 照明、小型冷蔵庫、等）で消費される。

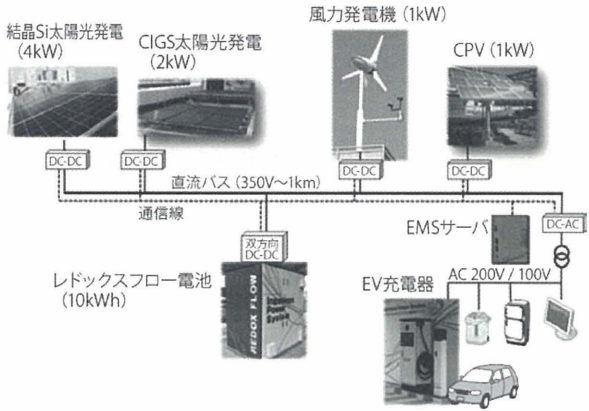


図1 マイクログリッド実証システム構成図  
Fig.1 The circuit configuration of the micro grid demonstration system

表1 構成機器の緒元  
Table1 The equipment configuration of the micro grid demonstration system

| 装 置          | 仕 様                            |
|--------------|--------------------------------|
| 直流バス         | DC 350V、恒長1km                  |
| 太陽光発電装置      |                                |
| 多結晶シリコン      | 定格出力：4kW                       |
| CIGS 系化合物    | 定格出力：2kW                       |
| 集光型 (GaAs 系) | 定格出力：1kW                       |
| 風力発電装置       | 定格出力：1kW                       |
| レドックスフロー電池   | 定格出力：2kW (最大4kW)<br>定格容量：10kWh |
| DC/AC インバータ  | 4kW                            |
| 負荷           |                                |
| 空調、照明等       | 2kW                            |
| EV 充電ステーション  | 2kW                            |

各 DC/DC コンバータおよび需要側の DC/AC インバータや、分電盤、負荷を接続する電源タップは、通信機能付きパワーコントロール機能を備え、EMS と接続されている。EMS は各機器で計測した電力値等のデータを一括管理して、発電・蓄電・

消費のリアルタイムの状況や、過去の発電や消費データのトレンドを管理するとともに、計測データをもとに各機器の運転・制御を行う。図2に本システムの各負荷およびEMSの写真を示す。

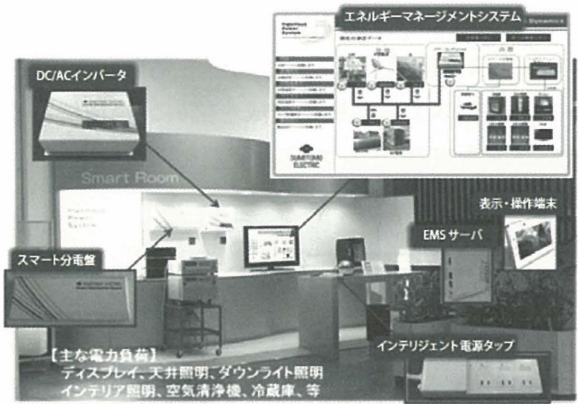


図2 システムの負荷およびEMS  
Fig.2 Outlook of power management room  
(inverter, loads, and EMS)

2.2. レドックスフロー電池による需給制御

図1に示すように本システムは商用系統には接続されておらず、グリッド内の電力の需給バランスをシステム内で常時維持している。一般に電力需給バランス制御は、発電機の出力調整で行われるが、本システムでは発電電力が日照や風況に左右されるため、電力需要に合わせて計画的に発電電力を制御することができない。このため、本システムでは電力需給のアンバランス分を、蓄電池の充放電にて常時補償することで、需給バランスを維持している。電力の需給バランスが崩れると蓄電池の連系点の直流電圧が変動するため、本電圧値を一定 (350V) に維持するように充放電電力を常時調整することで需給バランス制御を実現している。

蓄電池は、需給制御を目的とした運転となるため、充放電パターンは不規則で頻繁かつ予測できないものとなる。したがって、充放電サイクルに対する耐性が強いこと、満充電や過放電を防ぐために充電残量を管理可能なことが、本システムの蓄電池の要件となる。これらの要件を満たす蓄電池として、レドックスフロー電池を適用した。レドックスフロー電池の原理概略を図3に、構成を図

4に示す。レドックスフロー電池は電池反応を伴う流通型電解セル、活物質の溶液 (電解液) を貯液するタンク、および電解液をタンクからセルに循環させるポンプで構成される。レドックスフロー電池に電流を流すと、図3に示すように正極、負極にてバナジウムの価数が変化し蓄積エネルギーが増減する。この時、隔膜を介してプロトンが移動する。これがレドックスフロー電池の充放電原理である。

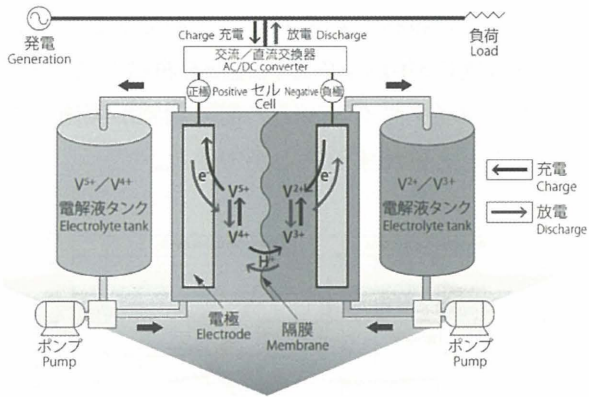


図3 レドックスフロー電池の原理  
Fig.3 Principle of a redox flow battery

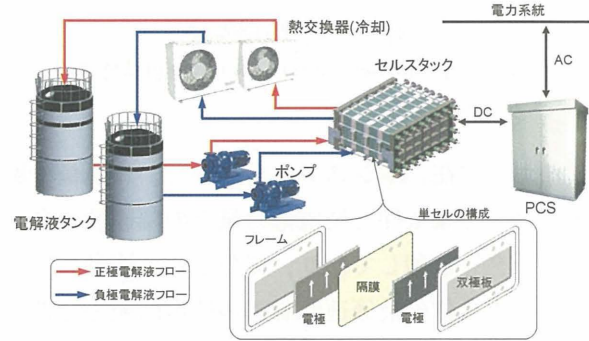


図4 レドックスフロー電池システムの構成  
Fig.4 Schematic diagram of a system configuration

レドックスフロー電池の充放電原理が活物質の価数変化のみであり、固相を伴わない反応であることから、原理上、レドックスフロー電池は、充放電サイクル耐性が高く、深い放電、不規則な充放電によっても寿命が阻害されない等の特長を有する。また、レドックスフロー電池では運転中においても開放電圧の測定が可能であり、測定値から Nernst の式を用いて SoC (State of Charge) を求めることができる。本システムでは本原理でリアル

タイムでの SoC 計測を行い、適宜、補充電、補放電を行うことで安定な連続運転を実現している。また、発火性の材料を用いていないことや常温運転が可能なおことから安全性も高い蓄電池である。

2.3. 運転結果例

図5に、本システムの運転結果例を示す。同図は、ある一日の出力変化を示しているが、発電および消費の変動に応じて、レドックスフロー電池が充放電量を調整して需給バランスをとり、直流バス電圧が一定に維持されていることが分かる。本実験装置は既に3年以上の連続運転を継続しており、本原理でマイクログリッドの需給調整が実施できていることを確認することができた。

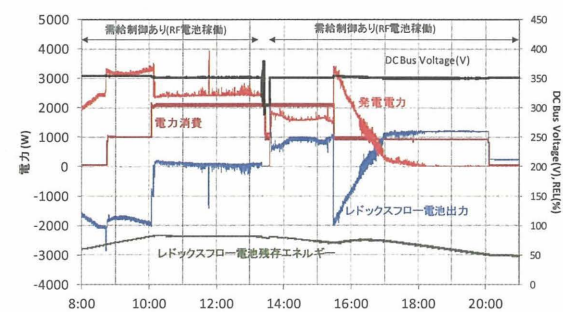


図5 需給制御運転例

Fig.5 Operational status of the micro grid system

なお、現在、本システムを用いて、日照量や風況などの気象条件と発電電力量との関連性を含めてデータを蓄積しており、気象予報と連動させたシステム全体の最適運転制御の技術開発等を進めている。

3. 実規模実証システム

再生可能エネルギー導入を推進するには、これらの不安定な電源が系統に与える影響を小さくする技術が必要である。また、需要家においては、電力需要のピークを抑制し、日間、年間における電力需要の差を抑制することが設備利用率の観点から有効である。さらに、デマンドレスポンスの概念のように、電力供給側と需要家側の連携した電力制御により、電力供給力に応じた各事業所のエネルギー利用の指摘化、分散電源の事業所を超

えてのエネルギー融通が可能となれば、電力系統全体の有効利用に繋がると考えられる。本背景のもと、各機能を実証すべく、実規模実証システムを開発し、住友電工横浜製作所(工場)に設置し、各種検証試験を行った。

3.1. システム構成

本実証システムの機器構成を図6に、構成機器の概略諸元を表2に、システム全景を図7に示す。

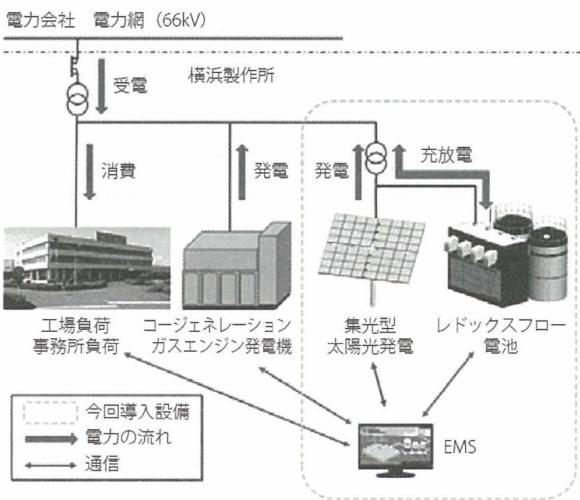


図6 実規模実証システムの構成

Fig.6 The circuit configuration of the MW scale demonstration system

表2 実規模実証システムの構成機器の諸元  
Table2 The equipment configuration of the MW scale demonstration system

| 機 器          | 仕 様                                |
|--------------|------------------------------------|
| レドックスフロー電池設備 | 1MW×5H (500kW、250kW、250kW の3バンク構成) |
| 集光型太陽電池      | 100kW (7.5kW × 15基)                |
| ガスエンジン       | 3.6MVA (600kW×6台)                  |
| EMS          | 各設備の制御および監視                        |

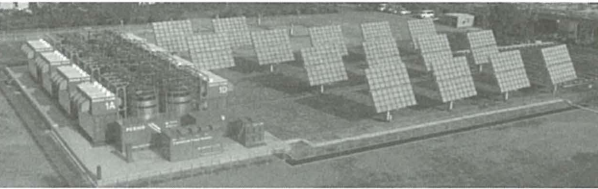


図7 システム全景

Fig.7 Outlook of a MW scale demonstration system

### 3.2. 需要家を想定したピークカット運転

本システムを用いて、需要家での受電電力のピークカットを想定した運転を行った。図8に工場の実負荷に対し、ガスエンジン発電設備（コジェネレーション設備）、太陽光発電、レドックスフロー電池を用いて、夏期の受電電力のピークカットを実施した例を示す。電力ピーク時の9:00から17:00間に分散電源から電力を出力することで、工場電力需要ピーク値対比40%の受電電力を削減した。

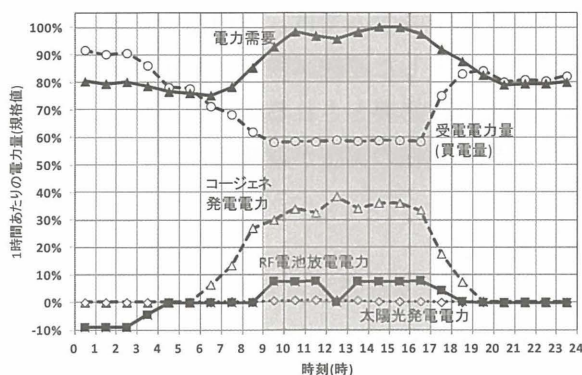


図8 ピークカット運転例  
Fig.8 Peak cut operation

次に、EMS により、ピークカット運転を実施した例を図9に示す。本運転では、工場の最大受電電力の目標値を設定し、工場の受電電力の30分間平均値が、本目標値を超えないことを条件とした。そのうえで、EMS は、発電機の燃費、蓄電池の損失等を考慮してコストミニマムになるように各機器の出力の最適化を行い、EMS からの指令で各機器の運転を行った。同図が示すように軽負荷時の充電、重負荷時の放電および発電が行われ、所望の動作を確認することができた。

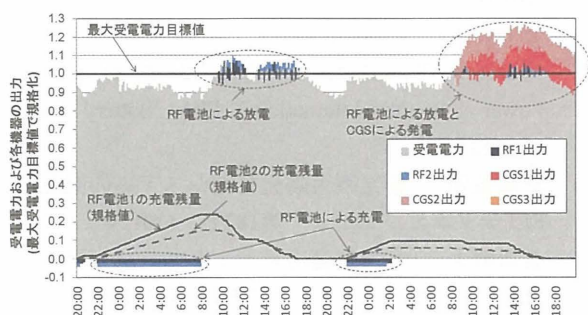


図9 EMSを用いた運転  
Fig.9 Peak cut operation controlled by EMS

### 3.3.発電事業者を想定した運転

太陽光発電、風力発電は、大幅に導入量が増えており、かつ、1サイトあたりの発電出力も増大化している。これにより、発電所の出力変動が系統に与える影響も大きくなっており、変動対策なしで連系可能な量は制限されてきている。出力変動は、数秒から数10分周期の短周期変動と、太陽光発電の1日内の出力変動に代表される長周期変動に大別できる。これらの変動抑制対策を、蓄電池で行った例を以下に示す。

風力発電、太陽光発電の出力は、気象条件の変動により変動する。特に数秒から数10分の短周期の出力変動に関して、以下の課題がある。一般に電力システムの需給調整において、数秒から数10分の短周期の負荷変動に対しては、各電力会社の中央給電指令所からの負荷周波数制御 (LFC: Load Frequency Control) に基づいた火力発電や水力発電の出力制御により実施されている。負荷変動に大量の再生可能エネルギー発電の出力変動が重畳されると、LFC で調整可能な発電出力の調整量 (LFC 調整力) が不足して、系統周波数が許容範囲を逸脱する事が懸念される。これに対し、再生可能エネルギー発電の短周期変動を蓄電池設備にて平滑化することが対策の1つとしてあげられる<sup>9)10)</sup>。この制御を用いて太陽光発電出力を時定数30分にて平滑化した例を図10に示す。同図が示すように、太陽光発電出力の急変を本制御により抑制できていることが判る。

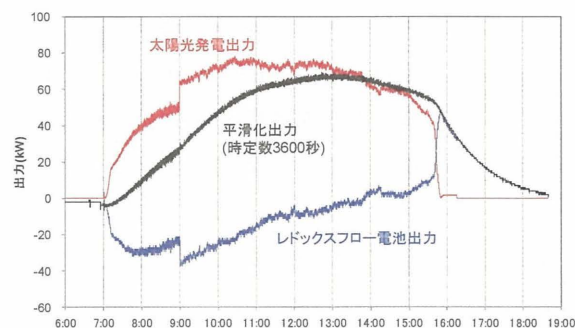


図10 平滑化運転例  
Fig.10 Stabilizing solar power output operation

次に長周期変動対策の例を示す。火力発電等の従来の発電設備と同様に、計画的に、太陽光発電、風力発電の出力制御を行い運用することが理想である。ここで、予め再生可能エネルギー発電出力のスケジューリングを行い、計画出力値と太陽光発電出力の差分を蓄電池の充放電で補う運転を計画運転と称する。図11に、計画出力値を7:00から10:00間は50kW、10:00から15:00間は100kW、15:00から18:00間は50kWと設定して太陽光発電の計画運転を行った例を示す。同図が示すように、レドックスフロー電池にて各変動を吸収し、計画値通りの出力が実現できていることがわかる。

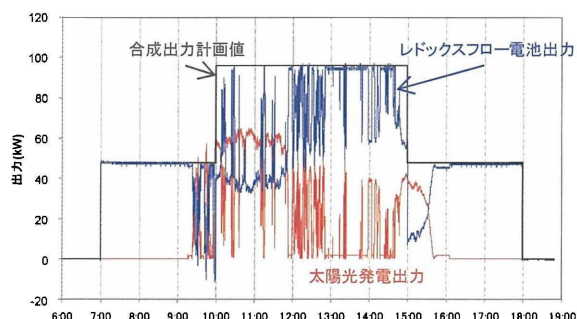


図11 計画運転の例

Fig.11 Planned operation of the solar power output

### 3.4.デマンドレスポンスを想定した運転

本システムは、経済産業省「平成24年度次世代エネルギー・社会システム実証事業」の「横浜スマートシティプロジェクト<sup>11)</sup>」にも参画し、デマンドレスポンスの試験を実施した。本試験では、コミュニティ全体のエネルギー管理を行う CEMS (Community Energy Management System) と、CEMS に接続される複数の事業者間の入札により、事前に各事業所の30分単位での電力削減目標量と価格が決定される。図12に、入札時にコミットした内容 (削減量と削減する時間) に応じて、電力削減を行った例を示す。この例では、事前に17:00から20:00の間に、ベースラインからの電力削減量をコミットし、当該時間のガスエンジンおよびレドックスフロー電池の運転を EMS にて管理することで、いずれの時間帯も、コミット内容に応じた電力削減を果たすことができた。

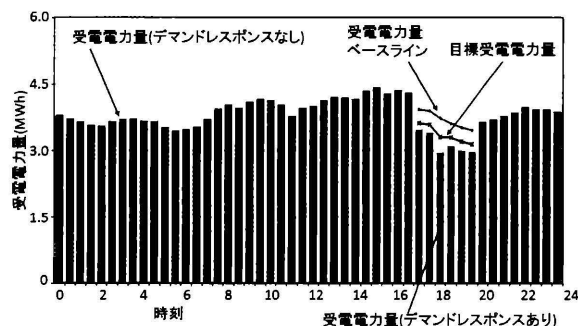


図12 デマンドレスポンス例

Fig.12 Demand response operation

現在、本システムでは、各機器の長期信頼性の確認を目的とした連続試験や、系統安定化や、大規模需要家に必要とされる様々なパターンを想定しての制御運転の実証が継続されている。

## 4. むすび

以上、「マイクログリッド実証システム」および「実規模実証システム」の2つの実証システムについて、概要および試験結果の一部を紹介した。今後、各機器の低コスト化等を推し進め、多様なニーズに柔軟に対応しながら、将来の新しいエネルギー社会に貢献して行きたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 中幡英章、「スマートグリッド実証システムの開発」、SEI テクニカルレビュー第182号、(2013)
- 2) 綾井直樹、「直流マイクログリッドシステム」、SEI テクニカルレビュー第181号、P.124 (2012)
- 3) T.Shibata, "Performance results of Redox Flow Battery System applied to DC micro grid", International Flow Battery Forum 2012 (2012)
- 4) 柴田俊和、「再生可能エネルギー安定化用レドックスフロー電池」、SEI テクニカルレビュー第182号、(2013)
- 5) Y.Nagaoka, "Field Tests of the 1 MW x 5 hours Vanadium Flow Battery System with the Photovoltaic Power System", International Flow Battery Forum 2013 (2013)
- 6) 斎藤健司、「集光型太陽光発電システムの開発」、SEI テクニカルレビュー第182号、(2013)
- 7) 重松敏夫、「電力貯蔵用レドックスフロー電池」、SEI テクニカルレビュー第179号、P.7 (2011)
- 8) 柴田俊和、「レドックスフロー電池の風力発電出力平滑化用途への適用」、電気設備学会誌、10月号、

P.800 (2005)

- 9) K.Yoshimoto, et, al, “New Control Method for Regulating State-of-Charge of a Battery in Hybrid Wind Power/Battery Energy Storage System”, Proc. of 2006 IEEE PES Power Systems Conference & Exposition, P.1244 (2006)
- 10) NEDO、平成19年度成果報告書、「風力発電電力系統安定化等技術開発」、(2008)
- 11) <http://www.city.yokohama.lg.jp/ondan/yscp/>

(2014年10月10日受理)

柴田 俊和



1966年10月25日生。1992年3月京都大学大学院工学研究科修了(電気工学専攻)。同年4月住友電気工業株式会社入社。超電導ケーブル、直流CVケーブル等の大容量電力ケーブルの開発を経て、現在レドックスフロー電池システムの開発に従事。電

気学会関西支部奨励賞、電気学会進歩賞受賞。電気学会会員。

綾井 直樹



1966年11月11日生。1991年3月神戸大学理学研究科修了(高エネルギー物理学専攻)。同年4月住友電気工業株式会社入社。金属系及び酸化物系超電導材料の開発を経て、現在、電力制御機器・システムの開発に従事。

電気科学技術奨励賞(オーム技術賞)、岩谷直治賞等を受賞。パワーエレクトロニクス学会会員

岩崎 孝



1957年3月19日生。1983年3月京都大学理学部大学院修了。同年、住友電気工業株式会社入社。光通信デバイス、光センサー用長波長材料開発(受光素子用エピタキシャル技術スペシャリスト)および短波長材料(窒化ガリウム)開発を経て、現在、CPV開発に従事。

久田 俊哉



1960年10月10日生。1985年東京大学工学研究科修了(電気工学専攻)。同年、住友電気工業株式会社入社。通信システム、電力制御機器・システムの開発に従事。

北山 賢一



1966年10月14日生。1992年3月東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。同年4月住友電気工業株式会社入社。光通信デバイスの開発を経て、現在、電力制御機器・システムの開発に従事。

中幡 英章



1961年2月2日生。1986年3月京都大学工学研究科修士課程修了電子工学科専攻)。同年4月住友電気工業株式会社入社。人工ダイヤモンド応用、化合物半導体の開発を経て、現在、電力制御機器・システムの開発に従事。工学博士。電子通信情報学

会会員。

(本論文は平成25年度電気材料技術優秀論文の受賞内容をもとにまとめたものである)