

特 集 論 文

関連するSDGs



環境配慮を支える スマート電力供給システム (SPSS)

Smart Power Supply Systems (SPSS) to Support
Environmental Considerations

藤原基伸
Fujiwara Motonobu
大久保章
Okubo Akira
大嶋涼
Ohshima Ryo

吉村隆志
Yoshimura Takashi
井尻有策
Ijiri Yusaku

概要

脱炭素社会の実現に向けて持続可能なエネルギーシステムへの転換が求められる中で、エネルギーを取り巻く環境は日々変化し、ニーズも多様化している。当社では、このような環境下において、電力エネルギー活用の多様なニーズに対応するソリューションをスマート電力供給システム (Smart Power Supply Systems : SPSS^(*)) として提供している。本稿では、当社における近年のSPSSの取組みを紹介する。

Synopsis

Amid the need for a shift to a system of sustainable energy in order to realize a decarbonized society, the energy landscape is changing day by day, and needs are diversifying. Under these circumstances, our company provides a solution called Smart Power Supply Systems (SPSS) that meets the diverse needs in electric energy utilization. This paper introduces recent SPSS efforts.

1. はじめに

当社は、東日本大震災後に顕在化した電力供給力不足、および地球環境に配慮した新たなエネルギー社会への転換に対応すべく、スマート電力供給システム (Smart Power Supply Systems : SPSS) を提唱し、ソリューション提案とそれに必要な技術開発を進めてきた。SPSSは、当社の中核製品である受変電設備や、長年培ってきた系統技術およびパワーエレクトロニクス技術に、エネルギーマネジメントシステム (Energy Management System : EMS) やネットワーク技術を融合させ、「コンポーネント+センサ+システム+ノウハウ」の組み合わせによって、電力の安定的確保、省エネルギー (省エネ)、省コスト、CO₂排出量削減といった顧客のさまざまなニーズに対応するソリューションを提供する事業の総称である⁽¹⁾⁽²⁾。

我が国では、カーボンニュートラルの実現に向けて

再生可能エネルギー (再エネ) の導入が加速しており、製造業では生産活動を継続しつつ、CO₂排出量を実質的にはゼロに抑えるCO₂ゼロ工場に向けた取組みが進んでいる。また、脱炭素先行地域のように、地方自治体や地元企業が中心となって地域レベルで脱炭素を実現する動きも活発になっている。このような脱炭素先行地域では、地域特性に応じた脱炭素化だけではなく、蓄電池システムやEMSなどの技術を駆使して再エネを有効に活用することで、地域経済の活性化も踏まえた再エネ地産地消の実現や、自然災害の激甚化に対する災害時のエネルギー確保など、地域における課題の同時解決も活発に検討されている。SPSSでは、このような市場環境の変化や多様化するニーズに対応すべく、図1に示す4つの視点からソリューションを提供している。



図1 SPSSが提供する4つのソリューション

「再生可能エネルギーシステム」は、太陽光発電や風力発電などの再エネ主力電源化を支える連系システムを提供するものである。近年導入が拡大している風力発電向けには、これまで培ってきた数百メガワットを超える連系設備の豊富な実績と系統解析技術を基盤とし、

- ・連系用変電機器の提供
- ・系統現象の解析と対策立案
- ・対策機器の提供

を一体化した「SPSS風力発電パッケージシステム (図2)」を提供している。

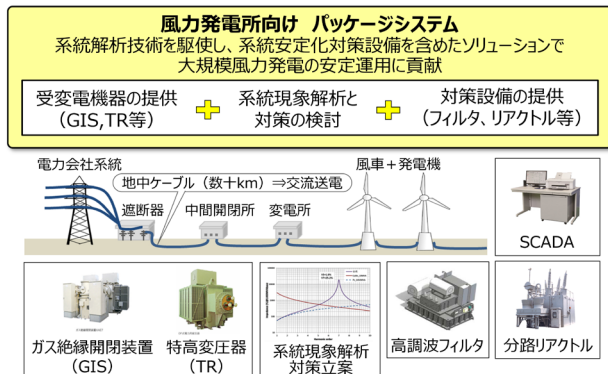


図2 SPSS風力発電パッケージシステム

「電力系統安定化システム」は、再エネ主力電源化によって懸念される高調波や電圧変動に対処し、電力品質を維持・向上するソリューションである。近年では、モジュラーマルチレベル変換器 (Modular Multilevel Converter: MMC) 方式の自励式無効電力補償装置 (Static Synchronous Compensator: STATCOM) をラインアップに追加する他、建設が進みつつある大型蓄電所に対して、連系設備、蓄電池システム、およびEMSをワンストップで提供するソリューションを展開している。

「環境配慮受変電システム」は、地球温暖化の防止や環境配慮を追求したコンパクトで地球環境にやさしい変電所を提供するソリューションで、SF₆ガスフリーへの対応、高効率設備や生分解性絶縁油適用設備の採

用、省エネ運転制御技術の応用などにより、環境負荷軽減、省エネ、省スペースに貢献するものである (図3)。

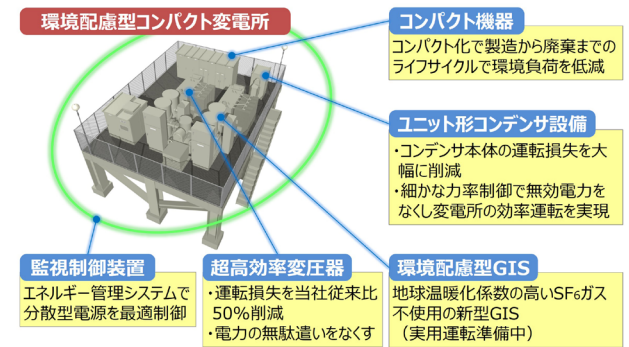


図3 環境配慮型コンパクト変電所「ECSS」
ECSS: Environment & Compact SubStation

「分散型電源制御システム」は、多様な電源を活用し、省エネ、運転効率化、コスト削減などに貢献するソリューションを提供する。再エネ導入の拡大には調整力が重要であり、調整力になる蓄電池システムはカーボンニュートラル実現のカギとされている。また、調整力をコントロールするEMSも重要な要素になる。当社では、受変電設備、蓄電池システム、およびEMSを組み合わせたシステム全体のソリューションを提供しており、需要家向けシステムその他、マイクログリッドシステム (図4) などの近年の新たなニーズにも対応している。



図4 来間島地域マイクログリッドシステム
【設備構成】高圧連系設備・蓄電池システム・EMS・補充充電用ディーゼル発電機

このように、「再生可能エネルギーシステム」と「電力系統安定化システム」は電力を供給する側の視点で、「環境配慮受変電システム」と「分散型電源制御システム」は需要側の視点で取り組むことで、電力需給全体にわたるソリューションをSPSSは提供している。

本稿では、「分散型電源制御システム」として再生可能エネルギーアグリゲーションと電池劣化診断技術を、「環境配慮受変電システム」として省エネ制御と計器用変成器の取組みを紹介する。

2. 再生可能エネルギーアグリゲーションの実証

世界的な脱炭素に向けた動きの中、日本でも、2050年カーボンニュートラルの実現や2030年度に再エネ比率を36~38%とする目標が掲げられており、再エネの普及が急拡大している。再エネの主力電源化が進む中で、太陽光発電などの自然エネルギーは、天候によって発電電力が安定しないため、需要と供給のバランスを取るために必要な調整力の確保が課題となる。

一方、需要家においては、省エネ、CO₂排出量削減、BCP（事業継続計画）対策などを目的に、多様な分散型電源（太陽光発電と併設の蓄電池など）を導入するケースが増えている。このような需要家が有する分散型電源に注目し、これらを需給調整用のエネルギーリソースとしてアグリゲータと連携させ、電力の安定供給に貢献するデマンド・レスポンス（Demand Response：DR）が注目されている。

当社は、本社敷地内に蓄電池システムを導入し、アグリゲータである中部電力ミライズ株式会社と共に再生可能エネルギーアグリゲーション実証を行ったので、その取組みについて紹介する。

2. 1 需要家におけるメリット

蓄電池の導入を検討されている需要家にとって、マネタイズは大きな課題である。また、蓄電池は多様な活用用途があるものの、実際の活用は限定的で運用していない期間が長いという実態もある。そこで、遊休期間中に蓄電池を需給調整のエネルギーリソースとして活用することができれば、有効な解決策となる（図5）。

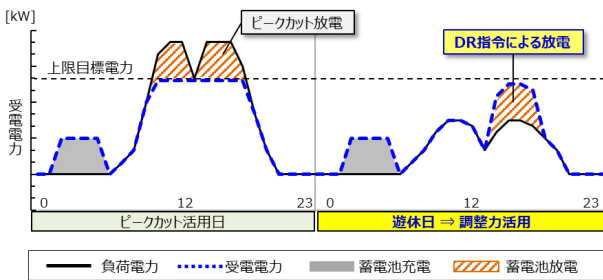


図5 負荷特性に合わせた蓄電池の活用イメージ

このような蓄電池の活用は、その稼働率を上げるとともに、DRに対するインセンティブを得ることができるため、蓄電池の経済合理性を高めることに繋がる。また、省エネ法の対象となる大規模需要家にとっては、改正省エネ法（2023年4月1日施行）に盛り込まれたDR活用による「電気の需要の最適化」の評価対象である「DR実績」に適用できるメリットもある。

一方で、蓄電池を調整力として活用するためには、DR指令に対して正確にエネルギーリソースを運用

制御する必要がある。そこで今回の実証では、DR指令に対する蓄電池の応動性能について評価した。

2. 2 実証設備

実証設備として、需要家側のエネルギーリソースとなる蓄電池システムを当社の本社敷地内に設置した。蓄電池システムは、当社開発の蓄電池用パワーコンディショナ（Power Conditioning System：PCS）とリチウムイオン電池（Lithium-ion Battery：LiB）を組み合わせて1つのシェルターに収納したパッケージタイプとした（図6）。



図6 蓄電池システム外観

また、蓄電池システムと受電所にはアグリゲータ側のシステムと連携するためのゲートウェイ装置（Gateway System：GW）を設置した。GWを介して、アグリゲータは受電電力計測値を受け取り、また、蓄電池システムはアグリゲータからのDR指令を受ける構成となる（図7）。

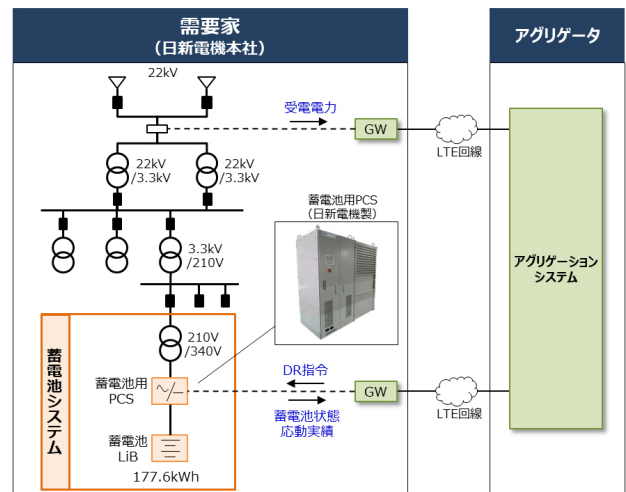


図7 再エネアグリゲーション実証設備構成

2. 3 実証試験結果

実証試験では、蓄電池を需給調整市場におけるエネルギーリソースとして活用することを想定し、ア

グリゲータのDR指令に対する蓄電池システムの応動性能を評価した。DR指令値を30分間10秒間隔で変化させ、その時の蓄電池の充放電実績を計測し、DR指令値に対して蓄電池の充放電出力が追従できることを確認した (図8)。

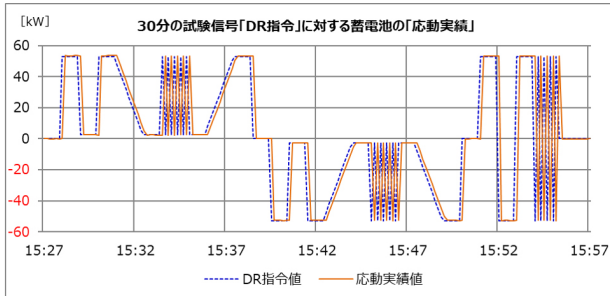


図8 DR指令に対する蓄電池の応動実績

また、蓄電池の市場参入における定量的な評価として、PJMパフォーマンススコア⁽³⁾による評価を実施した。PJMは北米最大の系統運用機関であり、広範な地域で電力供給の調整を担うなど、米国の電力システムにおいて重要な役割を果たしている。そのPJMが電力市場において、需給調整リソースの応動性を評価する指標が、PJMパフォーマンススコアである。

PJMパフォーマンススコアは、「Accuracy：指令カーブと応動カーブの相関度」、「Delay：指令と応動の相関度が最も高い時点の時間差」、「Precision：指令と応動の瞬間的な絶対誤差」の3つの要素について、それぞれ1/3ずつ得点を配分して算出する (最大スコア1)。本実証では、米国PJM市場の参入条件であるスコア「0.75以上」を指標として評価した。

実証試験の結果を図9に示す。Precisionのスコアで僅かな誤差が生じているものの、3要素の30分平均スコアは「0.99724」であり評価指標を大きく上回った。DR指令値に対して蓄電池の充放電出力は高速かつ正確に応動しており、蓄電池が需給調整にお

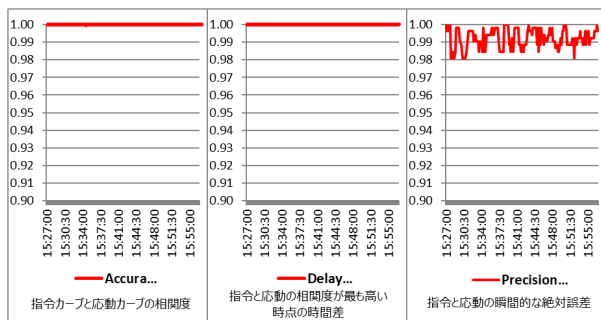


図9 蓄電池のPJMパフォーマンススコア

るエネルギーリソースとして高い応動性能を持つことを確認できた。

2. 4 今後の取組み

今回の実証により、需要家が有する蓄電池は、アグリゲータと連携することにより需給調整のリソースとして活用可能であることが確認できた。再エネの普及拡大において、蓄電池は持続可能なエネルギー供給に不可欠な要素であり、需要家における蓄電池の積極的な活用が環境への貢献に繋がる。一方で、蓄電池導入における経済的課題は依然として大きく、エネルギー政策や補助事業などの制度面もめまぐるしく変化している。当社は、実証で経験したアグリゲーション技術を活かし、需要家内での効率的な運用はもちろん、拠点間でのエネルギー融通や電力市場の活用なども考慮した最適なシステムを顧客に提供していく所存である。

3. 電池劣化診断技術

近年、再生可能エネルギーや分散型エネルギーの拡大に伴い、LiBを活用した蓄電池システム (Battery Energy Storage Systems : BESS) の導入が拡大している。LiBは運用期間や充放電サイクル数の増加とともに劣化するため、その状態を監視し蓄電池の健全性や特性を把握することはBESSを運用していく上で重要である。当社では、LiBの過渡現象を利用するオンサイト・リアルタイムでの電池劣化診断技術の検証を進め、試作回路基板を開発した。今回、この試作回路基板を、LiBを搭載した定置用蓄電池システムに設置し、実証試験を行った結果について報告する。

3. 1 過渡現象を利用する電池劣化診断技術

LiBの劣化診断手法として容量確認試験や交流インピーダンス法等が知られているが、これらの従来法の課題として運用停止や診断時のコスト負担がある。そこで、電池固有の過渡応答特性に基づく等価回路解析⁽⁴⁾に着目し、LiB稼働中の充放電データを活用したオンサイト・リアルタイムでの劣化診断が可能な過渡応答解析技術⁽⁵⁾を開発した。

産業用のLiBセルを温度加速劣化させ、各セルを25℃、蓄電池充電状態 (State Of Charge : SOC) 50%に調整した後、50A、10秒間のパルス放電試験を実施し、得られた充放電データに対して図10に示す等価回路を適用したフィッティング解析により内部抵抗値R_iを導出した。また、各セルに対して25℃、SOC50%で交流インピーダンス法による等価回路解析を実施し、内部抵抗値Rを得た。各セルの過渡応

答解析法による内部抵抗値 R_i と交流インピーダンス法による内部抵抗値 R の電池劣化に伴う変化を図11に示す。

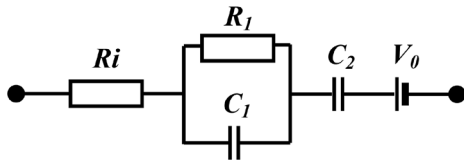


図10 LiBの解析用等価回路

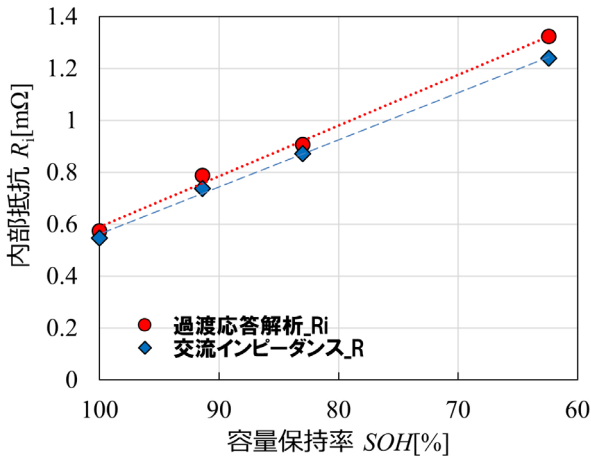


図11 電池劣化に伴う内部抵抗値変化

過渡応答解析法、交流インピーダンス法の何れの手法でも、劣化に伴ってLiBの内部抵抗が増加していることが確認された。適用されている等価回路、解析対象時間、およびサンプリング間隔等が異なるため、それぞれの手法での内部抵抗値は完全に同じ値とはならないが、どちらの手法でも容量保持率 (State of Health : SOH) の減少に依存した内部抵抗値の増加が示された。これらの結果から、過渡応答解析法による内部抵抗値 R_i の導出により、LiBの劣化を診断できることが確認された。

3. 2 蓄電池設備での電池劣化診断装置の実証試験

BESSとして運用中の蓄電池の劣化を診断するため、試作回路基板 (W200mm×D160mm) を開発した (図12)。本試作基板は、電池の電流・電圧・温度を測定する計測部と、計測部で取得した電池の充放電データを用いて過渡応答解析を行い、解析結果として算出される直列抵抗 R_i を基に劣化診断を行う劣化診断処理部で構成されている。

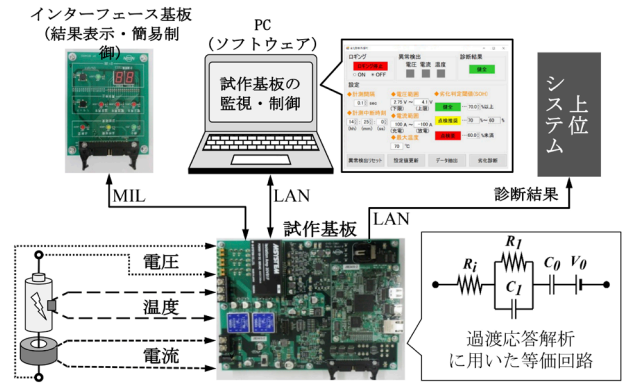


図12 開発した試作基板

開発した試作基板を、社内に設置された蓄電池設備 (27.4kWh、図13) 内のLiBセルに設置し、直流配電システム実証試験を行った。試作基板の劣化診断処理部には過渡応答解析に適した充放電パターンを抽出するプログラムが搭載されており、プログラム処理にて所定条件を満たす充放電パターンを抽出した後に過渡応答解析を行った。セル温度は一定ではないため、算出した直列抵抗を25℃における直列抵抗 $R_{i@25}$ に温度補正した。



図13 蓄電池設備

7カ月間 (2022年6月~12月) の実証データの中から解析に適した充放電パターンを抽出し、121件のデータを得た。抽出された充放電パターンに対して過渡応答解析を行い、温度補正をした結果を図14に示す。算出した直列抵抗 $R_{i@25}$ は、直流配電システム実証での運用中の充放電パターンに対する解析値において、53件中39件が±5%以内で解析可能であった。今後は、乖離が大きいデータは除外した上で、実測値ではなく近似値での診断により精度向上を図る予定である。また、定期的の実証した同一のパルス充電パターンでの解析値においては、68件全てが±5%以内で高精度に解析可能であることが確認された。

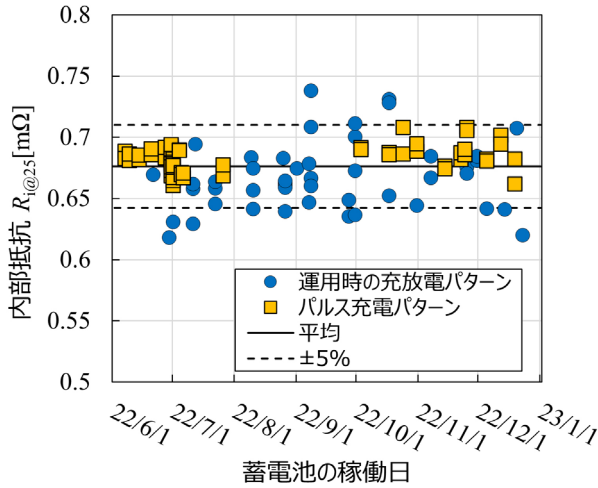


図14 蓄電池設備による実証結果

3. 3 今後の取組み

試作基板をLiB搭載の蓄電池設備に設置し、電池劣化診断技術の実証試験を行った結果、安定した内部抵抗が算出され、過渡応答解析技術による電池劣化診断が可能であることが確認された。

今後は、BESSおよび蓄電池を活用するさまざまな用途への適用を目指していく。また、当社の蓄電池設備での蓄電池の劣化に伴う内部抵抗値の変化を継続して観察するとともに、外部メーカーまたは蓄電池ユーザーと連携し、実用化に向けた実証検証を検討したい。

4. 水処理省エネ制御

国内の下水処理場における消費電力量は、国内で消費される総消費量の約0.7%を占めている⁽⁶⁾。この消費電力量を削減し、さらに下水処理場が有する未活用エネルギーを有効利用することによる、カーボンニュートラルに向けた取組みが行われている。消費電力量の削減に向けて、長寿命化計画に基づいて老朽化した機器の更新や高効率機器・設備の導入が行われている一方で、現行の処理設備の運転・制御方式を見直し、さらなる消費電力量の削減が望まれている。

下水処理場施設の構成を図15に、各設備における消費電力量の割合を図16に示す。送風機設備および水処理設備の消費電力量が全体の50%超を占めており、これらの削減が処理場全体の消費電力量削減に大きく寄与することが予想できる。

本章では、最も消費電力量が大きい送風機設備の省エネ制御技術と、将来の省エネ制御につながる技術としてAIを活用した水質予測技術を紹介する。

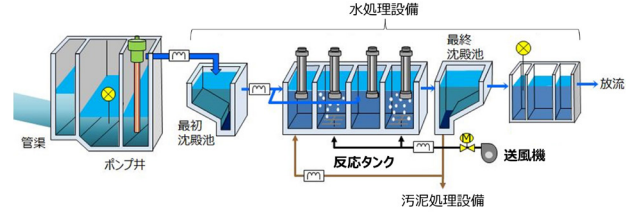


図15 下水処理場施設

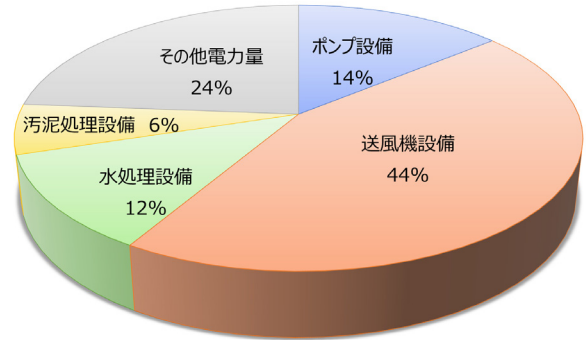


図16 下水処理場の消費電力量内訳 (例)

4. 1 送風機設備の省エネ制御技術

下水処理では、微生物の働きで下水を浄化する反応タンクへ酸素が供給されるが、そのための送風機設備で大きな電力が消費される。有機物や窒素（主にアンモニア性窒素 (NH₄-N)）などの流入汚濁負荷の時間変動に応じて送気量を適正化することで、省エネや処理水質の安定化を図ることができるが、従来の制御方式技術では、そのような制御は困難であり、処理水質を担保するためには余裕を持った送気量で運転せざるを得なかった。

当社は、反応タンク内の上流側と下流側にそれぞれアンモニア計を設置し、上流側アンモニア計（前段アンモニア計）の計測値によるフィードフォワード制御と、下流側アンモニア計（後段アンモニア計）の計測値によるフィードバック補正を組み合わせることにより、送気量を適正に制御する技術（図17）を開発した⁽⁷⁾。

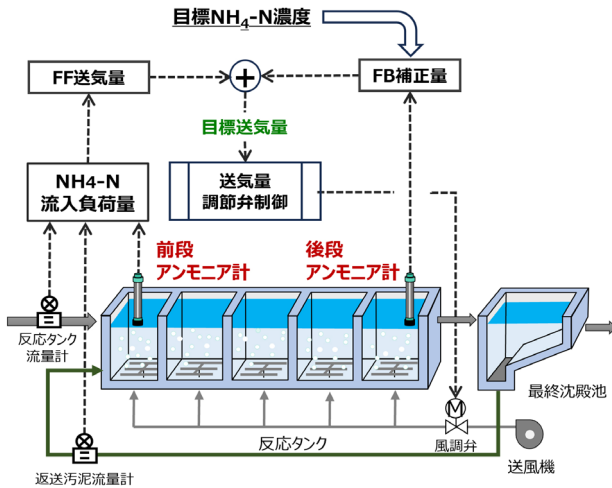


図17 送風機設備の省エネ制御概念図
FF：フィードフォワード；FB：フィードバック

溶存酸素（Dissolved Oxygen：DO）一定制御などの従来技術では、処理水質を担保するために、制御目標値は流入負荷が高い時間帯に合わせて設定される場合が多く、流入負荷が低い時間帯では送気量が過剰になりやすい傾向にある。当社技術では、前段アンモニア計の計測値に基づいて流入負荷量および必要となる送気量を算出して制御目標値とすることで、送気量の適正化を図っている（フィードフォワード制御）。また、後段アンモニア計の計測値に基づいて送気量の補正（フィードバック補正）を行うことで、さらなる適正化を行っている。

流入負荷変動に対する後段NH₄-N濃度と送気量の挙動について、本技術と従来技術（DO一定制御）を比較したイメージ図を図18に示す。従来技術の場合、流入負荷が低い時間帯でも目標とするDO濃度が維持されるように送気量を制御するため、必要空気量に対して送気量が過剰になりやすい。また制御動作の時間遅れにより、流入負荷が急激に増加した場合に後段NH₄-N濃度が目標値を超過する可能性がある。

これに対して本技術は、フィードフォワード制御により、従来制御に比べて必要送気量の時間変動に対する追従性が高く、送気量の適正化が可能となる。さらに、フィードバック補正により処理水NH₄-N濃度が安定化する。

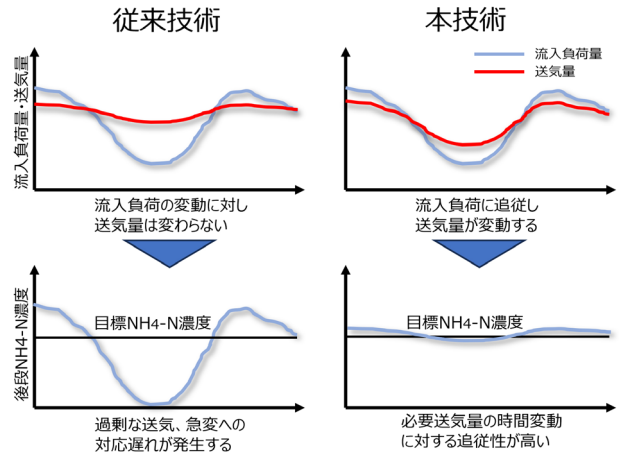


図18 従来技術と本技術との比較イメージ

本技術は、流入負荷変動やNH₄-N濃度に応じて適正な送気量を供給する制御技術として、高度処理施設を中心に適用可能である。具体的な電力量は送風機の仕様や動力特性、運転条件などに依存するが、本制御技術を用いることで、DO一定制御に対して概ね10%以上の送気量低減と、それに伴う送風機消費電力量の削減が期待できる。

4. 2 AIを活用した水質予測

下水処理場からの放流水の排水基準は水質汚濁防止法により定められており、化学的酸素要求量（Chemical Oxygen Demand：COD）、および瀬戸内海などの特定地域内の下水処理場では全窒素含有量（Total Nitrogen：TN）や全りん含有量（Total Phosphorus：TP）が規制の対象となっている。下水処理場の維持管理者の負担を軽減することを目的に、これら管理・規制の対象の変動を過去の実績データを基にAIを用いて予測する技術を開発した⁽⁸⁾。

放流水質は下水処理場の周辺環境に依存するため、放流水質の予測には暦を考慮する必要がある。そこで本技術では、AI技術の手法である長短期記憶ニューラルネットワーク（Long Short-Term Memory：LSTM）を用いた。LSTMはネットワーク内部で短期記憶を長期間活用できる構造を持つため、長期的な依存関係を考慮できるメリットがある。

放流水質予測の対象とした処理場Aの概略図を図19に示す。処理場Aでは、流入した下水を3系統に分割して異なる処理を行い、まとめて放流する仕組みを採用している。

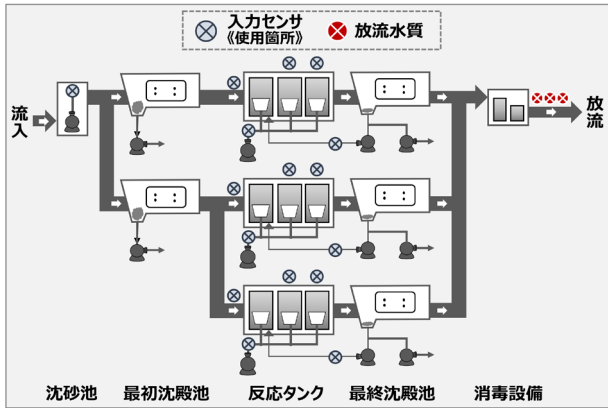


図19 処理場Aの概略図

処理場Aにおける過去（2019年1月1日～2019年11月5日）の時系列データを用いて、120分後の実測値を予測するような学習モデルの作成および評価を行った。作成した学習モデルの全放流水質における誤差E(t)の最大値は判定基準を満たしていた(表1)。また、評価データのうち、COD値の48時間（2,880分）を見てみると(図20)、予測値(t)から示された警報レベルを超える大きな変動が実測値(t)でも見られたことから、作成した学習モデルが120分後の実測値を精度良く予測できていることが確認できた。

表1 処理場Aにおける過去データを基にした評価結果

放流水質	誤差E(t) [mg/L]			判定
	最大値	平均値	標準偏差	
COD	0.410	0.068	0.056	○
TN	5.701	0.767	0.681	○
TP	0.497	0.074	0.066	○

判定基準：COD 誤差E(t) ≤ 2.0mg/L
 TN 誤差E(t) ≤ 10.0mg/L
 TP 誤差E(t) ≤ 1.0mg/L

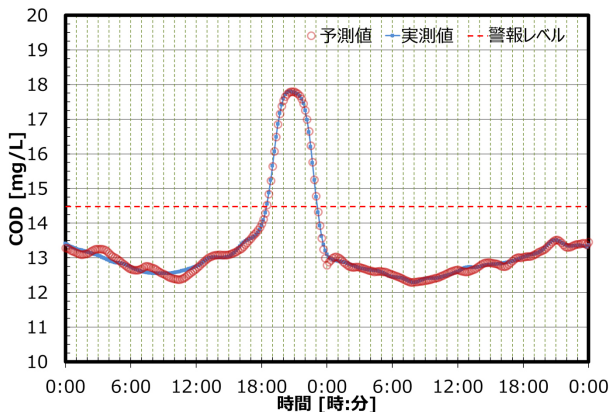


図20 評価データグラフ (COD)

4. 3 今後の取組み

当社は今後、下水処理場の新設工事や更新工事などにおいて本技術の導入を積極的に推進し、下水処理場の省エネ化とカーボンニュートラルの実現に貢献していく所存である。

5. デジタル出力を備えた計器用変成器の基礎開発

カーボンニュートラルの実現に向けて、分散型電源である再生可能エネルギー電源の電力系統への連系が増加している。これに伴い、電力系統の運用を高度化するために変電所のデジタル化が求められており、通信プロトコルの規格を、日本独自のものから国際標準規格へ移行する動きがある。この中で、ステーションバスだけでなく、しゃ断器や計器用変成器などの主機器間の情報を扱うプロセスバスの導入も検討され始めている⁽⁹⁾。

デジタル変電所において、プロセスバスにデジタル瞬時値データを出力するガス絶縁開閉装置 (Gas Insulated Switchgear:GIS) 内蔵の計器用変成器をLPIT (Low-Power Instrument Transformer) 一体型MU (Merging Unit) と言う。これらは、非従来型計器用変成器 (Non-Conventional Instrument Transformer:NCIT) や電子式計器用変成器と呼称される場合もある。現在、環境対応型のGISへも適用可能なLPIT (IEC61869-1:2023⁽¹⁰⁾に準拠) の基礎開発を実施しており、以下に取組みを紹介する。

5. 1 LPITについて

デジタル出力を備えた計器用変成器の実現方法は主に2種類ある。一つは鉄心を用いた従来型計器用変成器の二次出力をスタンドアロン型のMUによってデジタル化する方法である。もう一つはLPITを構成する電圧・電流変換部に従来型とは異なる新しい技術を用いたセンサを採用し、そのセンサの二次出力をMUによってデジタル化する方法である。

センサの方式はさまざまであるが、鉄心を使用しないことが一般的であり、それにより電圧・電流変換部の小型化・軽量化のメリットを得ることができる。一方で、鉄心を使用しない場合、センサの出力安定性は従来型ほど高くはないことから、目標とする振幅誤差と位相誤差を満足させるため、MUにセンサの特性を補正する信号処理を付加するなど、センサ固有の出力特性の補正が必要な場合が多い。

本基礎開発の対象であるLPITは、鉄心を用いない非従来型であり、センサ部とMU部のそれぞれに

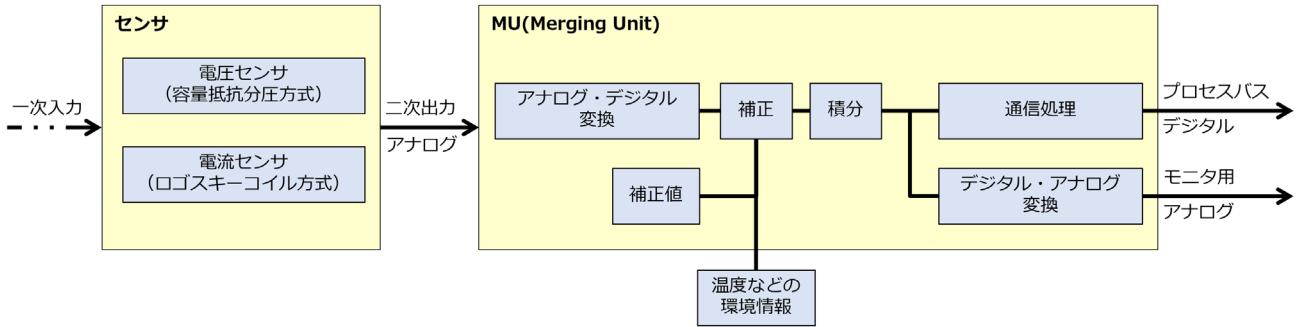


図21 基礎開発モデルの装置構成

ついて当社独自に開発を進めている⁽¹¹⁾ ⁽¹²⁾ ⁽¹³⁾。

5. 2 基礎開発モデルの設計、試作

製品化に先立ち、各特性の評価や製品化に向けた課題抽出のために基礎開発モデルの設計、試作を行った。GISへの接続を想定してセンサ方式を検討し、電圧センサには容量抵抗分圧方式、電流センサには空心コイルであるロゴスキーコイル方式を採用した。

当社製の海外向け従来型計器用変成器で多数実績があるIEC61869シリーズの確度階級Class0.2を参照し、振幅誤差 $\pm 0.2\%$ 、位相誤差 ± 10 分を目標性能とした。

試作した基礎開発モデルの装置構成を図21に示す。センサとMUはそれぞれ異なる物理デバイスとして構成した。電圧・電流センサの二次出力は一次入力の微分値に比例した出力となるため、MUには積分ロジックを実装し、積分方式はリアルタイムデジタル積分方式とした。また、環境要因により出力が変動するため、MUには補正ロジックも設けた。MUの出力はプロセスバスへ出力するデジタルデータとモニタ用アナログデータとした。

試作したセンサ部の概略構造図を図22に示す。ガス気密容器の両端を单相形の絶縁スペーサで終端する構造とした。ガス気密容器の内部には、通電導体と、通電導体と同心配置された電圧センサおよび電流センサを収容した。通電導体は電圧センサの内部電極を兼ねており、内部電極と分圧用中間電極間に高圧側の静電容量を形成している。試作した基礎開発モデルのセンサ部の外観を図23に示す。

5. 3 基礎開発モデルによる評価試験

試作した基礎開発モデルを用いて各種性能を評価した結果の一部を簡単に紹介する。

センサの二次出力（アナログ）の温度依存性を評価する目的で、温度サイクル試験を図24のようなセッティングで実施した。

恒温槽内にセンサを設置し、 $-30^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ の範

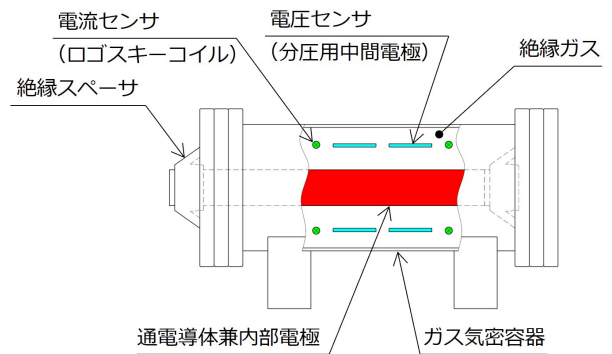


図22 基礎開発モデルセンサ部の概略構造図



図23 基礎開発モデルセンサ部の外観



図24 温度サイクル試験の様子

囲で温度を変化させる温度サイクル試験を行った。一次入力には試験設備の制約から定格より低い低減値を用い、電圧センサには5kV、電流センサには600Aで試験を実施した。各温度におけるセンサの二次出力（アナログ）を測定し、電圧センサと電流センサの出力の温度依存性を、20℃を基準としたときの出力変化率で評価した。

電圧センサの温度依存性を図25に示す。温度変化により出力が若干変化する傾向が見られたものの、目標とした振幅誤差±0.2%よりも十分小さい変化であることから、良好な結果が得られたと考えている。

次に、一次側より立ち上がり時間10nsの急峻波を

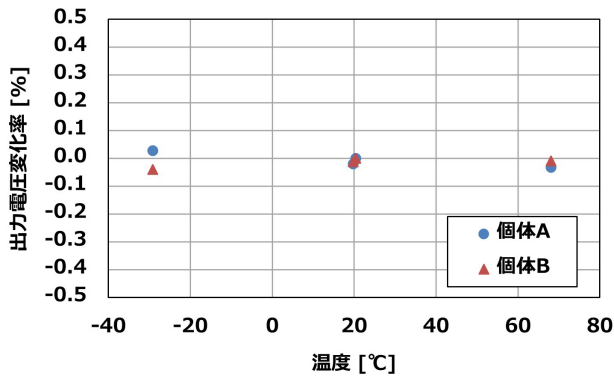


図25 電圧センサの温度サイクル試験結果

印加した際のセンサの二次移行電圧を図26のようなセッティングで実施した。変電所現地では雷サージや断路器開閉サージなどの急峻波がセンサ一次側へ伝搬してくるため、急峻波に対する二次移行特性を明らかにしておくことは非常に重要な課題であると考えている。

MUの評価試験のブロック図を図27に示す。本試

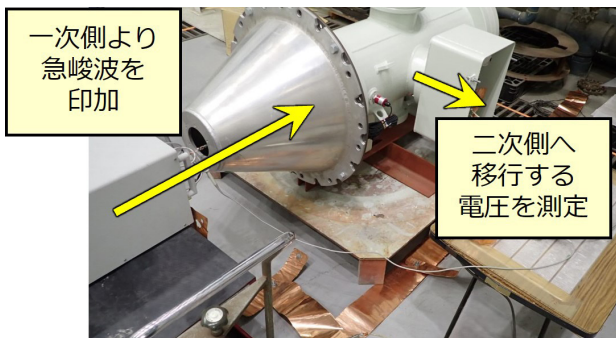


図26 二次移行電圧測定の様子

験では、MUの積分動作およびIntelligent Electronic Device (IED) からのトリップ信号の動作を評価した。他社製のIEDと、本試験用に設計・製作した電流センサ（基礎開発モデルとは異なる仕様のもの）

を使用した。電流センサへの一次入力はリレーテストで生成し、IEDからトリップ信号を出力させることを意図してIEDの整定値の200%に相当する入力とした。MUの評価試験の様子を図28に示す。

MUの評価試験結果を図29に示す。各波形は図27

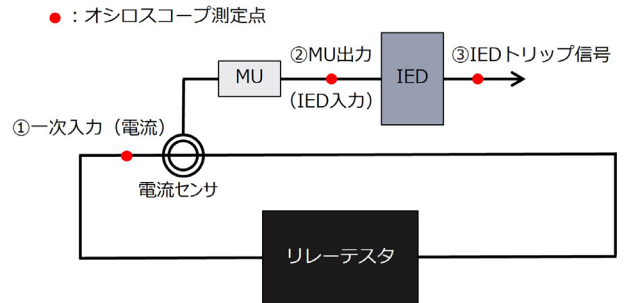


図27 MUの評価試験ブロック図

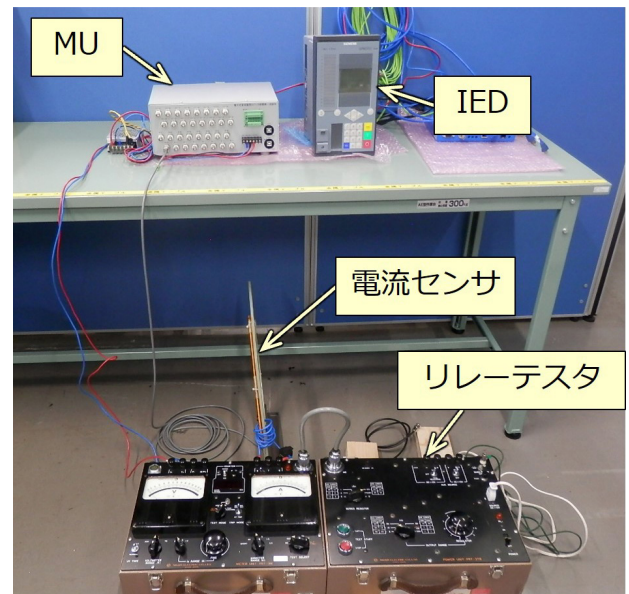
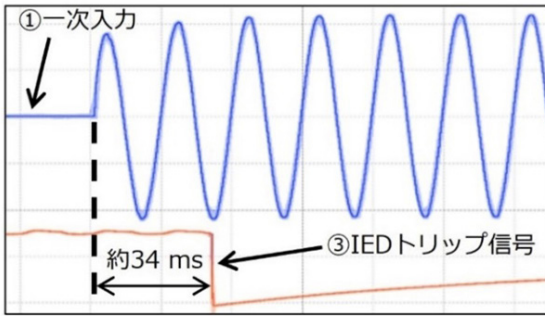
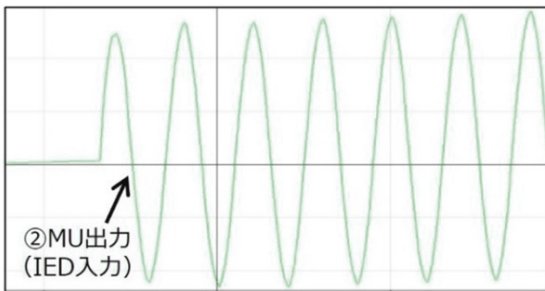


図28 MUの評価試験状況

中で図示したオシロスコープ測定点における観測波形である。図29 (a) よりIEDトリップ信号出力までの時間は約34msであることが、また、図29 (a) の一次入力波形と図29 (b) のMU出力波形が同位相となっていることから、微分系のセンサ出力がMUで積分できていることが確認できた。



(a) 一次入力、IED トリップ信号波形



(b) MU 出力波形

図29 MU評価試験結果

5. 4 今後の取組み

当社は環境対応型を含めたGISへ適用するデジタル出力を備えた計器用変成器としてLPITの基礎開発を行っており、特性評価用の単相形基礎開発モデルの設計、試作およびその評価試験の結果について紹介した。本章に記載した評価試験以外にも、振幅誤差・位相誤差の入力電圧特性と周波数特性、絶縁試験として雷インパルス耐電圧試験や部分放電試験などを実施しており、いずれも良好な結果が得られている。現在は単相形基礎開発モデルで得た知見を反映させた三相一括形基礎開発モデルの評価試験を行っている。三相一括形基礎開発モデルの外観を図30に示す。長年の使用実績を誇る従来型計器用変成器に置き換わるには、機器としての信頼性や変電所のレイアウト、保護制御システムの構成など広範囲にわたる検討が必要である。今後は本章で報告したような実機による検討も含めて製品化に向けた検討を進めていく予定である。

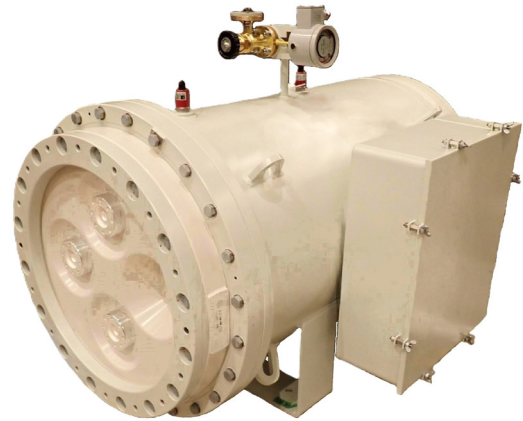


図30 三相一括形基礎開発モデルの外観

6. おわりに

本稿では、SPSSが提供するソリューションの中から、再エネ導入の拡大を背景に役割が高まってくるアグリゲーション技術、電池劣化診断技術、および省エネ制御や環境対応型のGISにも適用可能なLPITについて紹介した。

脱炭素社会の実現に向けては再エネのさらなる導入拡大が欠かせないが、その実現には電力の安定供給や品質確保の観点からの対策の他、再エネを有効活用して社会的コストを最適化することも求められる。環境性だけでなく、安全性や経済性を考慮した全体最適視点からのアプローチが重要となり、多岐にわたる取組みが求められる。

SPSSは、電力の供給側と需要側の双方の視点に立ったソリューションを提供しており、多岐にわたる社会ニーズに対して柔軟に対応できると考えている。

当社では、ここで紹介した取組みの他にも、環境配慮製品の開発や、再エネ導入の拡大に伴い電源を系統接続する際の技術要件として検討が進められているグリッドコードへの対応、および再エネ電源や蓄電池の利活用に適した直流配電システムの取組み、なども進めている。今後もたゆまぬ研究開発を行い、社会ニーズに対応した最適なソリューションの提供を進めていく所存である。

7. 謝辞

3章で紹介した過渡応答解析技術は、長岡直人様（元同志社大学教授）との共同研究である「過渡現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断技術の実用化検証」（2017-2023）の成果に基づき開発された。長岡様ならびに同志社大学の関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 藤原 他：「スマート電力供給システム (SPSS) 前橋実規模検証から5つのソリューション提案へ」, 日新電機技報, Vol.63, No.1, pp.47-57 (2018.4)
- (2) 藤原 他：「持続的な成長を支えるスマート電力供給システム (SPSS)」, 日新電機技報, Vol.66, No.2, pp.46-59 (2021.11)
- (3) Ilyana Dropkin：「Performance Score」, PJM, pp.2-13 (2022.4)
- (4) NEDO平成23年度～平成27年度成果報告書 安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発 共通基盤研究「過渡現象を利用する大規模蓄電システムの非破壊劣化診断技術の開発」(委託先) 学校法人同志社 同志社大学
- (5) 大嶋 他：「過渡現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断技術の定置用蓄電池システムへの適用」, 日新電機技, Vol.65, No.2, pp.67-71 (2020.12)
- (6) 国土交通省水管理国土保全局下水道部：「2050年カーボンニュートラル実現に向けた最近の動向と下水道事業における取組」(2021.6)
- (7) 漆垣 他：「アンモニア計による送気量フィードフォワード制御技術」, 日新電機技報, Vol.65, No.2, pp.72-75 (2020.12)
- (8) 大久保 他：「AIを活用した放流水質予測技術の開発」, 日新電機技報, Vol.66, No.1, pp.28-32 (2021.6)
- (9) CIGRE WG B3.39 “LPIT applications in HV Gas Insulated Switchgear”, TECHNICAL BROCHURE TB814 (2020年)
- (10) 国際標準規格IEC61869-1 (b):2023 計器用変成器 - 第1部：一般要求事項 (2023)
- (11) 大脇 他：「電子式変成器の実用化検討」, 令和5年電気学会電力・エネルギー部門大会, 146 (2023)
- (12) 電気学会 電力・エネルギー部門 保護リレーシステム技術委員会：「保護制御システムにおける計器用変成器と関連技術の現状と動向」, 電気学会技術報告 第1475号 (2020)
- (13) 大脇 他：「電子式計器用変成器 (LPIT) の実用化検討」, 大河出版, 技術雑誌スマートグリッド7月号 (2024)

(*1) 「SPSS」は、日新電機㈱の登録商標です。

(*2) 「ECSS」は、日新電機㈱の登録商標です。

執筆者紹介



藤原 基伸 Fujiwara Motonobu
電力・環境システム事業本部
システムエンジニアリング事業部
副事業部長



吉村 隆志 Yoshimura Takashi
住友電気工業株式会社
送配電機器・エネルギーソリューション事業本部
日新住電エネルギーシステム開発センター
企画開発部 主幹



大久保 章 Okubo Akira
電力・環境システム事業本部
システムエンジニアリング事業部
ソリューション技術部 主幹



井尻 有策 Ijiri Yusaku
電力・環境システム事業本部
システムエンジニアリング事業部
ソリューション技術部 グループ長



大嶋 涼 Ohshima Ryo
住友電気工業株式会社
送配電機器・エネルギーソリューション事業本部
日新住電エネルギーシステム開発センター
電力技術開発部 グループ長