
2019年の技術と成果

Technical Progress and Results in 2019

〔1〕 研究・開発

地球温暖化が原因とされる自然災害の多発は、被害規模を拡大するとともに復旧に長期間を要する傾向となっている。CO₂削減など環境負荷低減による地球温暖化対策とともに、災害対策としてBCP（事業継続計画）あるいは災害に対する強靱化（レジリエンス）実現がますます重要なキーワードになっている。電力分野においても再生可能エネルギーをより効率よく活用する取り組みが進むとともに、災害時にインフラを機能停止させない対策がこれまで以上に求められている。

当社は太陽光発電、コジェネ発電機、電池電力貯蔵装置をはじめとした多様な分散型電源を組み合わせてお客様のエネルギー利用を最適に自動制御するSPSS^(*)（Smart Power Supply Systems：スマート電力供給システム）を推進している。SPSSはピークカット（契約電力削減）運用やBCP対策といった、省エネと電力の安定供給を実現するソリューションである。研究・開発部門は、このソリューションの伸長・拡充を目指した取り組みを初め、当社の製品が近年の社会ニーズに応えられるよう、技術開発を進めている。

太陽光発電に代表される自然エネルギー発電は天候に左右されるため、安定に運用していくには、蓄電池の活用が必須である。蓄電池は直流で充電・放電するため、太陽光発電のような直流電源や、直流で動作する負荷を直流ネットワークでつないだ方が電力変換による損失を低減でき省エネとなる。そこで当社では、社内施設を活用して、太陽光発電電力の自己託送を行うEMS（エネルギー管理システム）と直流配電システムの実証実験を開始した。また国内外で風力発電の導入が活発に行われているが、風力発電所と変電所間の送電線が長距離になると高調波の共振拡大による障害も懸念される。当社が長年培ってきた系統解析技術・電力品質対策技術をもとに、高調波解析や、フィルタ対策の提案を行っている。

一方インフラの老朽化が進む現代では、高経年設備の故障による停電を未然に防止するための設備劣化診断技術や設備延命化技術が重要であり、当社はLCE（ライフサイクルエンジニアリング）技術として取り組んでいる。さらに、検出されたデータから異常や劣化状態を適切に判断できるAI技術の開発を進めている。開発したAI技術はLCE事業だけでなく様々な社内グループの生産性向上に貢献するとともに、既存製品の機能向上、新製品の創出に活用していくことを目指している。

以下に、2019年の主な研究成果を紹介する。

1. 1 研修センターにおける 新たなSPSSメニューの実証開始

本社に隣接する研修施設『日新アカデミー研修センター（以下、研修センター）』におけるSPSSの新たな実証として、2019年6月より「自家消費太陽光発電ソリューション」と「直流配電ソリューション」を順次開始した（図1）。

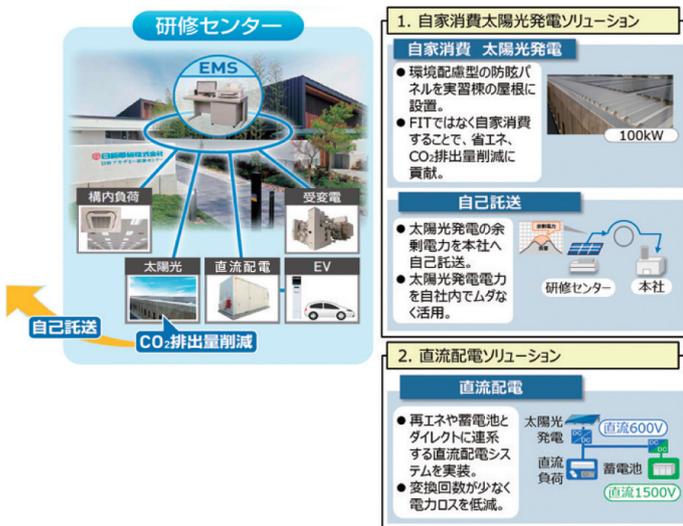


図1 SPSSによるエネルギーソリューション

脱炭素化社会の実現やエネルギーを基軸とした経済成長などの視点で再生可能エネルギー（以下、再生エネ）や省エネの重要性が増している。研修センターを再生エネの利用拡大や省エネに向けた実証、開発検証が可能な施設として広く活用することで、エネルギーソリューションビジネスの強化と技術者の育成を図る計画としている。

また、2014年3月より当社前橋製作所（以下、前橋）で実施している多様な分散型電源の実規模運用など各事業所におけるSPSSの取り組みを総合的にプロモーションできる情報発信拠点として活用していく予定である。

《研修センターにおけるSPSS実証計画の概要》

1. 自家消費太陽光発電ソリューション

省エネ、再生エネ比率向上、CO₂排出量削減を目的として太陽光発電（以下、PV）を導入。さらに、自己託送を利用し、軽負荷時のPVの余剰電力を有効活用するソリューションを実現する。

2. 直流配電ソリューション

研修センターの一部に再生エネ、蓄電池、直流入力で作動作する負荷を組み合わせた直流配電システムを構築し、運用効果や課題・対策を検証する。

1. 自家消費太陽光発電ソリューション

1.1 PV余剰電力を有効活用する自己託送

研修センターに導入した約100kW（92.4kW）のPVによる発電電力を自家消費し、研修センターにおける再生エネ比率37.2%、CO₂排出量削減は27.1t-CO₂/年を見込んでいる。

CO₂排出量削減に向けて自家消費PVの導入を検討される需要家が増加する中で、軽負荷時のPV余剰電力が課題になる場合がある。その対策としてPVの停止や出力抑制などが行われているが、再生エネ価値であるPVの電力が無駄になる。そこで、PVの余剰電力を自己託送することにより無駄なく活用し、さらなる再生エネ比率の向上、CO₂排出量削減につなげるための開発を進めている。

研修センターでは、休日などの軽負荷時にPVの余剰電力が生じるため、隣接する本社工場に自己託送することでPVを無駄なく活用する。自己託送する再生エネ発電量を研修センターにおける再生エネ量とみなして加算すると、シミュレーションでの再生エネ比率は53.2%、CO₂排出量削減は38.7t-CO₂/年と自己託送により環境負荷軽減効果が4割向上する（図2）。自己託送を利用した自家消費太陽光発電ソリューションは、新たな環境施策として期待される。



図2 PV余剰電力の自己託送

1.2 自己託送を実現するエネルギー管理システム（EMS）を開発

PV余剰電力を自己託送するためには、あらかじめ自己託送する発電量を計画して、計画と同時同量の自己託送を行う必要がある。自動で託送量を計画し、同時同量になるようにPVの発電量を制御する新機能をENERGYMATE^(*)2)-Factoryに追加し、2019年11月より自己託送の運用を開始した（図3）。

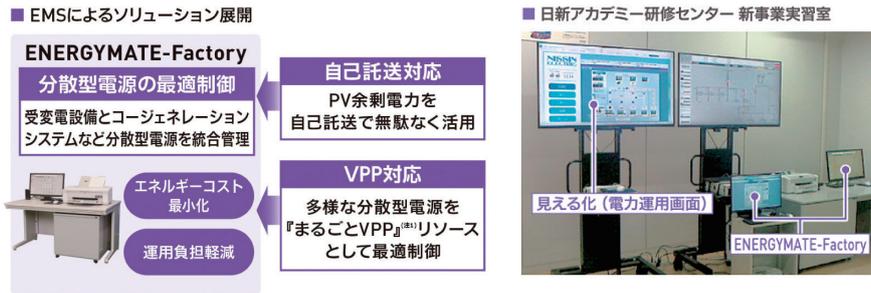


図3 自己託送対応EMS (エネルギー管理システム)

これにより、多様な分散型電源の最適制御、VPP (Virtual Power Plant) 対応に加え、自己託送にも対応可能となるENERGYMATE-Factoryを中心にして、さまざまなソリューションを提供することが可能になる。

2. 直流配電ソリューション

CO₂削減のための再エネの導入など需要家側において直流で発電する分散型電源が増加、LED照明などの直流で動く負荷が増えていく傾向が見られる。半導体や電池技術の進歩を背景に、今後直流電力ネットワークによる交流・直流変換ロスの低減、省エネ化が進むと考えられる。また、再エネの電力変動抑制や余剰電力対策には、普及が進む蓄電池が組み合わせられるため、需要家間での電力融通による再エネの有効活用、交流系統側の瞬低・停電時における自立運転による運転継続といった直流配電のメリットを生かすことが可能となる。

当社では「近未来の直流配電システム実現」を想定し、技術・安全面での課題解決や検証を目的に再エネと蓄電池を組み合わせた直流配電システムを研修センターに構築、2019年7月より段階的に運用および実証試験を開始した。

直流配電システムは、複数の半導体直流遮断器 (DCCB)、直流変圧器 (DC-DCコンバータ)、配電線 (フィーダ) で構成され、商用交流電源を直流に変換する整流器、PV、蓄電池および直流で動作する負荷で構成されている (図4)。また、直流大容量負荷として直流入力型電気自動車 (EV) 急速充電器を用いた負荷ピークカット検証も行っている (図5)。

さらに、蓄電池には高効率/長寿命な運用を支援する



図4 直流入力型EV急速充電器

劣化診断ツールとして、運転を停止させることなくオンタイムかつリアルタイムに蓄電池の状態を非破壊で診断する『蓄電池健全性モニター』を導入し、劣化や事故によるトラブルを未然に防止するための取り組みを進めている。

実証試験による機能検証内容は次のとおりである。

- ①PV電力を蓄電池に貯蔵、ほぼ買電することなく直流電力を負荷に供給
- ②急速充電器のような突発性の負荷に対する蓄電池による負荷ピークカット、契約電力増加の抑制
- ③交流系統側の瞬低や停電時の安定運転継続
- ④直流配電系統内の短絡故障に対する半導体遮断器による高速遮断、故障波及防止
- ⑤1500Vdcと600Vdcの二つの直流配電基幹系の相互電力融通や複数フィーダへの直流配電

これら機器開発・実証運転をとおしてさまざまな直流のメリットを明らかにし「次世代の直流配電システム」を構築・提案していく。

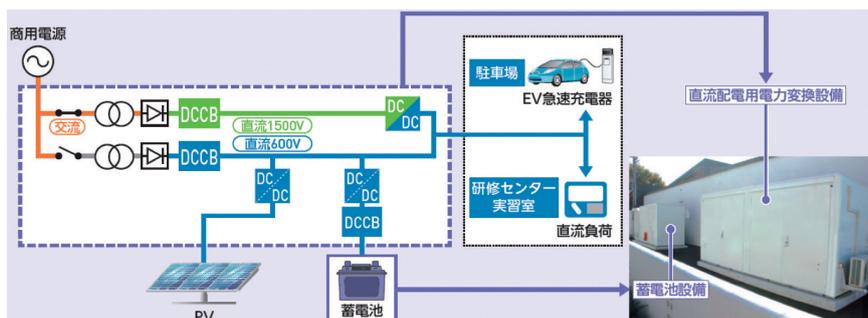


図5 直流配電実証システム

1. 2 洋上風力発電の導入拡大を支える電力品質対策技術～集電系統の高調波拡大～

地球温暖化対策への機運の高まりを受け、世界各国で再生可能エネルギーの導入が進められており、その一環として、洋上風力の導入が拡大すると考えられている。当社では、洋上の大規模風力発電設備（ウィンドファーム）と自励式変換器を用いた直流送電（海底ケーブル）の拡大に対応すべく、高調波問題とその対策にポイントを絞って検討してきた。

集電系統は風車発電機とケーブルで構成される独立した交流系統となり、風力発電機から発生する高調波の拡大が懸念される。そこで、図6に示す洋上風力向け送電容量500MWの2端子HVDC（High Voltage Direct Current：高圧直流送電）モデルを瞬時値解析ソフトPSCADで構築した。洋上風力を154kV交流ケーブルで集電し、1組のModular Multilevel Converter（MMC）で陸上側に直流送電し、短絡容量模擬の交流系統と連系している。また、風力発電機は図6左下のように、基本波（50Hz・位相で送電電力を調整）+高調波（5%・995Hz）の電圧源、連系リアクトルと昇圧変圧器で模擬した。

図6の系統で集電ケーブルを2条・5.4km（ $2.6\mu\text{F}$ 相当）に選定した時の瞬時値解析結果を図7に示す。安定した500MW送電が可能であったが、高調波フィルタ無しでは図7右のように、風力側の発生高調波電圧が洋上母線で17倍（ $=87\%/5\%$ ）に拡大した。

この対策として、基本波容量25MVA（送電容量の5%）・共振次数20次（1.0kHz）の高調波フィルタ（表1）を洋上154kV母線に設置した場合、図7左のように、高調波をほぼゼロまで低減できることを確認した。フィルタは高次分路とすることで、幅広い周波数の高調波を抑制可能となっている。また、損失は送電容量に比べて無視できるほど小さいことが判った。

当社がこれまで培ってきた系統解析技術を今後も拡大し、再生可能エネルギー大量導入により顕在化する電力品質問題への解決策を提案していく所存である。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務により得られたものである。

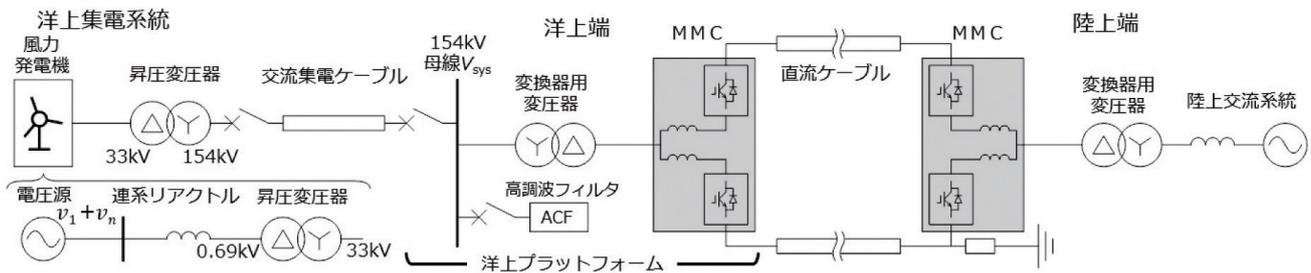


図6 洋上風力送電系統

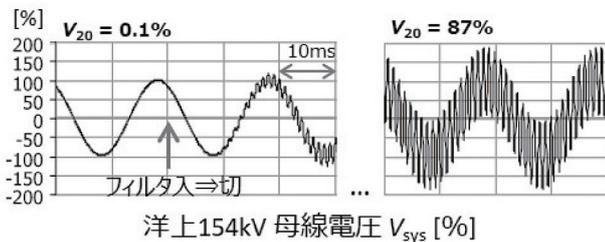


図7 高調波拡大と高調波フィルタによる抑制効果

表1 高調波フィルタ（図6：ACF）の仕様

回路構成	高次分路フィルタ（右図）	
回路電圧	154kV	
基本波容量	25MVA（送電容量の5%）	
共振次数	20次（1.0kHz）	
尖鋭度	3	

1. 3 定置用蓄電池システムの劣化診断技術

再生可能エネルギーの有効利用や災害時の電力供給を目的として、リチウムイオン電池を適用した定置用蓄電池システムの導入が拡大しつつある。充放電や経年に伴い劣化していく蓄電池の健全性や特性を把握することはシステムを運用していく上で非常に重要であるため、オンサイト&リアルタイムで蓄電池を診断することを目的に、電池固有の過渡応答特性に基づく電池劣化診断技術を同志社大学との共同研究で開発中である。

蓄電池の任意の充放電波形に対して、直列抵抗とRC並列回路の直列接続で表される等価回路（図8）をフィッティング解析することで、回路定数として内部抵抗 R_i を導出することが可能である。産業用の大型リチウムイオン電池セルを対象に、SOC^(注) 50%で周囲環境温度を変化させて任意の波形による充放電試験を実施し、取得した電圧・電流波形を基に内部抵抗 R_i を評価した結果（図9）、明確な温度依存性を示し本技術が大型リチウムイオン電池にも適用可能であること、及び内部抵抗 R_i の温度補正が可能であることを確認した。

今後は、過渡応答解析による内部抵抗 R_i の精度向上を図ると共に、蓄電池の劣化に対する R_i の依存性を評価し、当社の定置用蓄電池システム及びSPSSへの劣化診断技術の適用を目指していく予定である。

（注）SOC：State Of Charge（充電率）

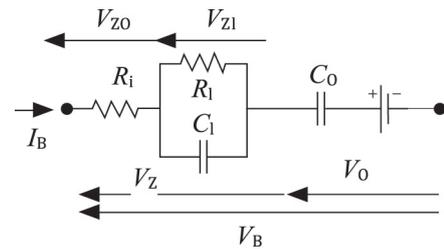


図8 リチウムイオン電池セルの等価回路

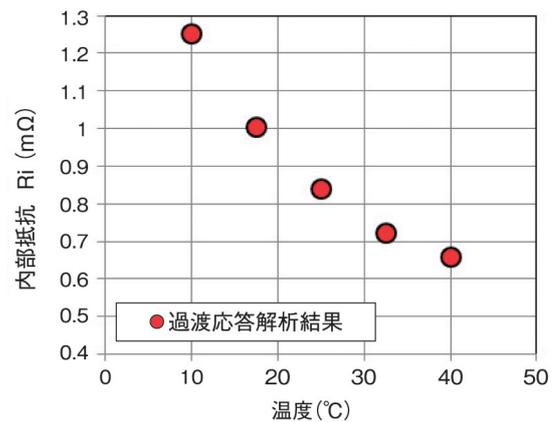


図9 過渡応答解析による直列内部抵抗の温度依存性

1. 4 AI技術の社内適用

1. 概要

近年、ディープラーニング（深層学習）をはじめとした人工知能（AI）技術の発展は目覚ましく、産業分野においても幅広く活用されている。当社においても、AI技術を搭載した新製品の開発や社内業務への適用を積極的に進めている。

今回は、新製品の開発事例として『AI技術を搭載した下水処理施設向け放流水質予測機能の開発』について紹介する。なお、本機能には過去の時系列データを用いて学習し、予測することに優れた深層学習の一手法である“LSTM（Long Short-Term Memory）※”を活用した。

※LSTMの特長：

- ・比較的長い時系列データを用いた予測が可能。
- ・時間的な依存関係をモデル化できるため、データの傾向をつかみ、高精度の予測が可能。

2. 下水処理施設向け放流水質予測機能について

下水処理施設は、水量、水質が刻々と変化する流入下水を浄化し、河川、海域へ放流する施設である。その流入下水に応じて安定した処理を行うには、豊富な経験、ノウハウが求められる。しかし、近年は下水処理施設においても熟練技術者が減少傾向にあり、その技術継承が課題となっている。

そこで、放流水質が悪化する前に予兆を察知できる放流水質予測機能を開発した。本機能により経験年数の少ない技術者でも事前の対処が可能となる。

下水処理施設と各種計測器の設置位置を図10に示す。



図10 下水処理施設と各種計測器の設置位置

開発した放流水質予測機能により『過去に計測した各種計測器の計測データを用いて2時間後の放流水質（化学的酸素要求量[COD] ※ 等）を予測する』ことができるため、事前に放流水質の変化を察知し、異常発生前に運転変更等の対処を行うことにより、放流水質の悪化を回避することを可能とした。

※化学的酸素要求量[COD]：

- ・水中の有機物を酸化するために必要となる酸素量。

完成した某工場における放流水質予測機能による放流水質[COD]の予測/実績グラフ例を図11に示す。

ある2週間の予測値と実測値の表示だが、通常の変動だけでなく、急激な変動に対しても予測できており、高精度の予測結果が得られた。

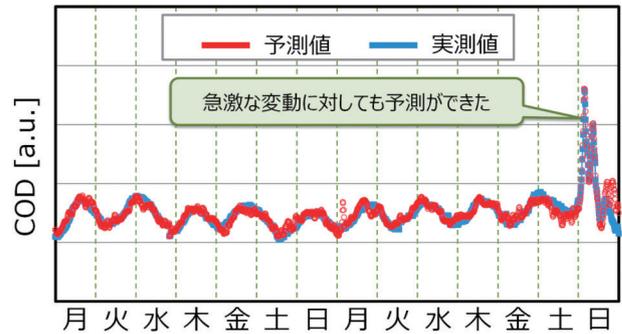


図11 放流水質[COD]の予測/実績グラフ例

3. 今後の展開

技術者の支援として、これまでに開発した流入量予測機能と本放流水質予測機能を併せ、さらに発展させた運転支援機能につなげ、下水処理施設のより良い維持管理機能を実現していく所存である。

1. 5 コンディションモニタリング技術

1. はじめに

現代社会において、電力は最も重要なインフラの一つであり、電力機器を健全な状態に維持することが重要である。そのため当社では、これまで電力機器の各種状態監視技術を開発してきたが、ここではガス絶縁開閉装置（GIS）を対象に現在開発中の振動による異常検出技術について紹介する。

通常、GISの操作機構部の異常の検出には、遮断器などの開閉動作時の音・振動や動作時間などを測定し、正常又は異常の判定が行われている。しかし、開閉動作頻度が低い場合が多く、非動作時に異常を検出することはGISの監視に非常に有用である。そこで今回、橋梁などの損傷の検出に適用されている「圧電インピーダンス法」を活用し、GIS操作機構部の重要部品である緩衝器を対象に、非動作時の漏油検出技術を開発した。緩衝器は開閉動作時の衝撃から操作機構部を保護する目的で使用しているため、その漏油を検出することは、操作機構部の機能維持、ひいてはGISの信頼性確保に必要不可欠である。

2. 圧電インピーダンス法を用いた漏油検出

圧電インピーダンス法は圧電素子を用いた状態監視技術であり、監視対象に圧電素子を貼り付け、圧電素子へ高周波電圧を印加し、その際の応答電流と印加した電圧からインピーダンスを求め、インピーダンスの変化から対象物の状態変化を捉える技術である。

図12に圧電インピーダンス法による緩衝器油面の位置検出イメージを示す。緩衝器の側面外側に圧電素子を接着剤で貼り付け、圧電素子の貼り付け高さとお面

の位置関係でインピーダンスの周波数特性が変化することを利用している。

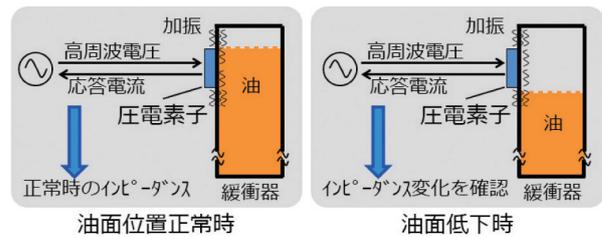


図12 圧電インピーダンス法による緩衝器油面の位置検出イメージ

次に、緩衝器漏油模擬検証の分析例を図13に示す。緩衝器の油量が正常な状態に対して、漏油を想定し油を25mlおよび50ml減らした場合のインピーダンスの周波数特性の変化を、平均二乗偏差（RMSD）で比較した。この結果から、油減少量とRMSDに強い相関があることがわかる。

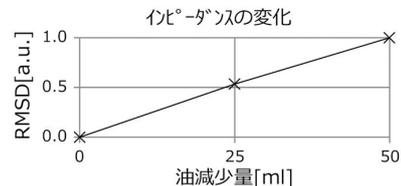


図13 緩衝器漏油模擬検証の分析例

3. 今後の展開

今後、緩衝器漏油検出技術をGIS状態監視システムの一機能として完成予定である。また、圧電インピーダンス法を各種電力機器の異常検出に展開していく所存である。

(※1) 「SPSS」は、日新電機株式の登録商標です。(p.2)

(※2) 「ENERGYMATE」は、日新電機株式の登録商標です。(p.3)