
2016年の技術と成果

Technical Progress and Results in 2016

〔1〕 研究・開発

国際的な地球温暖化防止に向けて、2016年11月に開催された国連気候変動枠組条約第22回締約国会議（COP22）では、パリ協定に実効性を持たせるルールを2018年迄に決定する事が合意され、世界規模で低炭素社会に向けた動きが加速している。日本国内においても、近年は省エネに加えて、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が加速しており、発電量が安定しない電源からの電力供給に対する電力品質の維持対策が必要となっている。また、東日本大震災での電力設備の被災や原発事故等により、電力会社間の電力融通などへの関心が高まると共に、電力自由化によって新規事業者の参入も進み、電力の安定供給に対する社会的ニーズは高まってきている。

当社も、これらの社会環境の変化に対応すべく2016年度から5ヶ年計画「VISION2020」を策定し、成長が期待できる事業ドメインとして6つの成長ドメインを選定した。その実現に向けて、先進技術の獲得を目指した研究開発を進めており、以下のような取り組みを行っている。

成長ドメインのうち、原発事故、電力自由化などにより大変革が起きている国内電力市場の「電力のパラダイムシフト」では、当社が得意としてきた電力系統の解析技術を基とし、電力融通における電力品質対策に向けた技術開発を行っている。また、太陽光発電や風力発電の出力安定化などのお客様のニーズに合わせ、蓄電池を最適に利用するための技術開発を行っている。さらに低環境負荷の製品開発にも取り組んでおり、コンデンサ設備においては、世界で初めてエコマーク認定を受けた生分解性のコンデンサ用絶縁油を開発した。

「ライフサイクルエンジニアリング（LCE）」では、受変電設備における高経年設備の増大に伴う設備延命化や事故未然防止などのお客様のニーズに対応するため、保全業務の総合的な効率化と品質向上および保全サービスの提供に向け、部分放電診断や材料劣化状態などの監視・診断ツール、IoT（モノのインターネット）による機器状態監視システム、現場作業効率化システムの開発を行っている。

「次世代半導体・FPD（フラットパネルディスプレイ）」関連分野においては、日本放送協会（NHK）が試験放送を開始した、立体感、臨場感のある映像が楽しめる高解像度（4K、8K）の大型テレビやモバイル機器に対応するため、低消費電力化が期待されている酸化物質半導体薄膜の製造装置の開発を行っている。

その他、囲碁、自動運転、コールセンター、ネット広告、ロボットなど最近、注目されている人工知能（AI）を活用した基礎研究も進めている。幅広い分野で生産性向上に役立てるため、社内プロジェクトを立ち上げ、大学など外部とも連携しながら取り組んでいる。

以下に、2016年の各研究成果を紹介する。

1. 1 自励式変換器 (MMC) 導入時の電力品質への影響評価技術の開発

CO₂排出量の削減に向けて、再生可能エネルギーのさらなる導入拡大が不可欠である。その中でも国内外で建設計画が進められている風力発電では、その適地が交流システムの連系点から遠距離となる場合があり、長距離ケーブル送電が採用されている。一方、日本では大規模災害時における安定供給確保の観点から、電力系統の50Hz/60Hz間の融通電力の増強が進められている。

このような長距離ケーブル送電や異周波数地域の連系時に有効な送電方式の一つとして、世界的に高圧直流送電システムが拡大しており、これまでのサイリスタを用いた他励式変換器に変わり、IGBT（電力用半導体素子）を用いた自励式変換器の適用が進められている。日本でも北海道-本州間連系の30万kW増強、東京-中部間連系容量の210万kWから300万kWへの増強で自励式変換器^(注1)が導入される見通しである。

図1は自励式変換器の出力電圧波形の一例である。新しい回路方式として注目されているMMC（モジュラーマルチレベルコンバータ：単位変換器を多段積み重ねて電圧を生成する自励式変換器）で16段/アームとした時の相電圧波形であるが、更に段数を増加するとほぼ正弦波となり、高調波の発生量が抑制される。

当社は、系統側の残留高調波電圧歪など様々な外乱による変換器と系統の相互作用について、PSCAD^(注2)を用いた検討を開始した。図2は直流電圧±125kV（P側は+125kV、N側は-125kV）、定格容量200MWの直流送電システムでの直流地絡時の電圧・電流波形例を示

すものである。変換器P側至近端の直流地絡により、P側の直流電圧は+125kVから0kVにシフトし、P-N間の電圧は維持される事が確認できる。

当社では、他励式変換器を用いた国内の高圧直流送電プロジェクトの全変換所に高調波フィルタと調相設備を納入しており、その際に蓄積した経験と解析技術を活かして、自励式変換器導入時の電力品質対策に貢献していきたい。

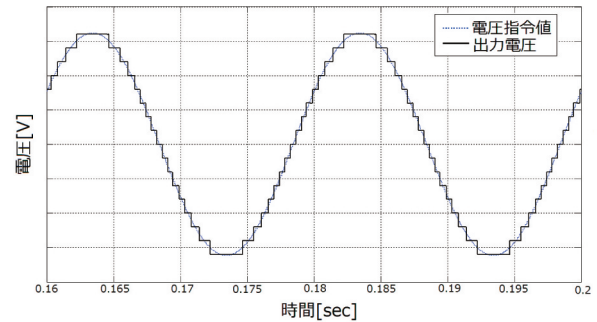


図1 自励式変換器の出力電圧波形例

(注1) 北海道電力HP：「北本連系設備の増強計画」
電力広域的運営推進機関：「東京中部間連系設備に係る広域系統整備計画」（平成28年6月）

(注2) 「PSCAD」は、Manitoba HVDC Research Centre社の登録商標です。

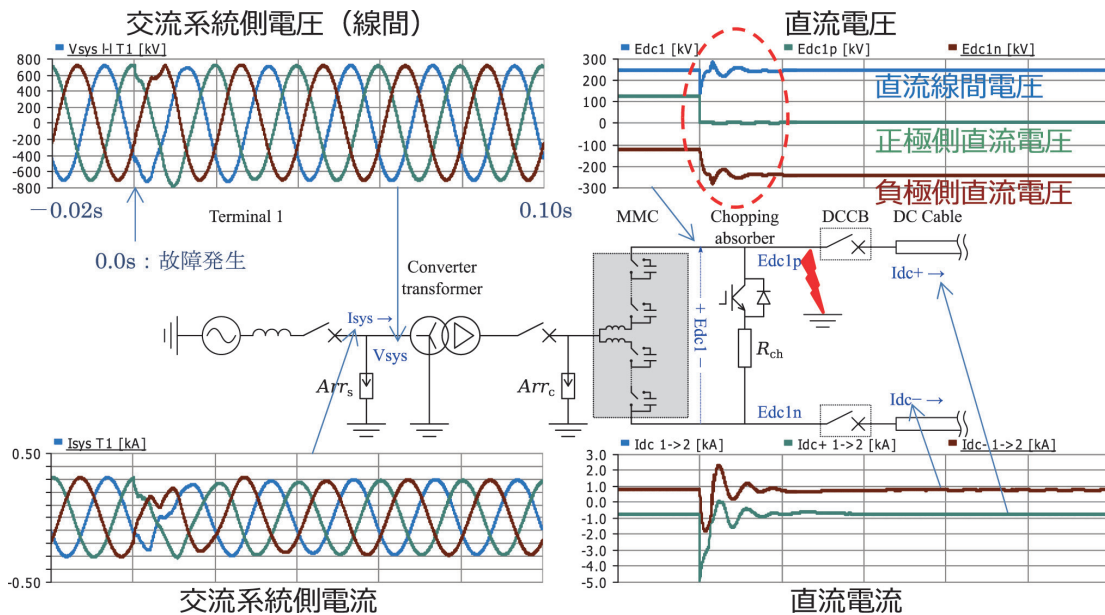


図2 直流地絡時の電圧・電流波形例（直流電圧 ±125kV）

1. 2 電池利用技術の開発

太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーは天候の変化に伴う出力変動が起こりやすいため、最近では電力系統への接続に際しては、出力変動を抑制する技術の搭載が要求されており、蓄電池システムを用いて平準化する方法に期待が高まっている。

そこで、当社においては、SPSS（スマート電力供給システム）事業の伸長に向けて、蓄電池システムを用いたソリューションを提供することで、他社に対する技術優位性や競争力強化を図るための開発に取り組んでいる。具体的には、①適用性判断技術、②寿命推定技術、③劣化診断技術、④延命化技術であり、お客様にシステムを安心して長期間に亘ってご使用頂くことを目指している。

2016年は、電池メーカー各社から提供を受けた大型リチウムイオン電池を中心に、初期並びに長期での特性評価を通じた各種データの蓄積・解析から特異な劣化挙動を見出す等の有益な情報を得た。更に、上述した出力変動パターンから電力事業で培ったノウハウを活用して解析・開発した模擬運用パターンによる劣化評価やオンサイトでのリアルタイム診断技術の検討にも着手した。

今後は、蓄積したデータの活用により、定置型向けシステム運用技術の早期実用化を目指す予定である。

1. 3 新絶縁材料（生分解性絶縁油）の開発

電気機器に使用される絶縁材料は、機器のコンパクト化や高性能化をめざして、各種開発されてきた。近年、低環境負荷材料へのニーズがますます高くなっており、電気絶縁油においても生分解性が高く、魚毒性の低い、菜種油、大豆油などの天然エステルやそれらを改良した植物エステル油などの適用事例が増加しつつある。当社においても、これらのニーズに応えるべく、2015年より変圧器で生分解性絶縁油（パームヤシエステル油）の適用を開始した。

電力用コンデンサへの適用を目指して化成品メーカーと共同開発した、新たな生分解性絶縁油は、2016年5月に公益財団法人 日本環境協会が認定するエコマーク商品として認可を受けることができた（認定番号：16110001）。「絶縁油としての高い性能」と「環境への配慮」を両立するこの絶縁油をコンデンサ機器に使用することにより、受変電設備が万一自然災害や事故等を受け、絶縁油が漏洩した場合においても、環境への

影響を最小限に抑制することが可能となる。早期の上市に向けて、準備を進めている。



図3 開発した生分解性絶縁油

1. 4 設備保全・診断技術の高度化開発

近年、受変電設備の高経年化や設備の安定稼働を支える技術者の減少により、事故・障害の未然防止とライフサイクルコストの最適化が大きな課題となっている。このため従来よりも高度化した設備保全・診断技術や効率化された保全業務などの提供ニーズが高まっている。そこで当社においては、これまで、部分放電診断をはじめとして、過熱異常の検出や材料の劣化状

態診断など、設備の保守業務を支援するツールの開発に取り組むと共に、2016年は、IoT（モノのインターネット）による機器の異常予兆監視や現場作業を効率化するシステムの開発など、保全業務の総合的な効率化と品質向上に向けた開発を進めてきた（図4）。ここでは、設備保全・診断技術の高度化に向けた当社の取り組み状況について紹介する。

(1) IoT常時監視システム

IT技術の発展により設備に搭載したセンサからのデータを容易に収集する事が可能になっている。当社においてもスマート電力供給システム「SPSS」の機能の一つとして、前橋製作所内でIoT常時監視システムの実証検証を行い、異常模擬装置から収集したデータの統計的分析（マハラノビス・タグチ法（MT法））により設備異常の予兆が良好に検知されることを確認している。図5は、過去の正常な複数のセンサデータから正常モデルを学習した後、その相関性からのズレの大きさを異常の度合いとして示した結果である。従来のような異常判定しきい値を設けなくても、異常の予兆を早期に検知する事が可能なため、設備運用者に気づきを与えられるなど、設備の安定稼働に大きな効果をもたらす事が期待される。

(2) 活線・停電診断ツール

電力機器の健全性を維持しながら、継続的に使用するためには、適切な保守と点検および材料の劣化状態の正確な把握が重要である。当社では、IoTによる常時監視システムと可搬型診断装置によるスポット診断を組み合わせることで、ライフサイクルコストの最適化と効果的な診断を提供することを目指して様々な診断ツールの開発に取り組んでいる。表1にこれまでに開発してきた診断ツールの一部を示す。

表1 劣化診断・状態診断ツール

診断項目	活線	停電	センサ方式
部分放電	○		・電磁波検出方式 ・電位検出方式
過熱	○		・赤外線検出方式
制御電線被覆劣化		○	・光方式※1
グリース劣化		○	・超音波方式※1
モールド劣化		○	・表面状態把握※2

※1：フィールド検証中

※2：試作開発中

(3) 現場作業の効率化システム

現場作業を効率化する事を目的に、リレー点検やCB（遮断器）点検などの作業、並びに、それらのデータの管理を自動化するシステムを開発した。蓄積したデータは各種診断結果と共に保守・更新計画の立案などに活用される。今後は他の作業にも適用拡大をはかっていく。

(4) むすび

2016年は、IoT常時監視システムや現場作業を効率化するシステムを開発した。今後は、人工知能（AI）技術を活用した高精度推定技術の確立にも努め、事故・障害の未然防止とライフサイクルコストの最適化に貢献していく。

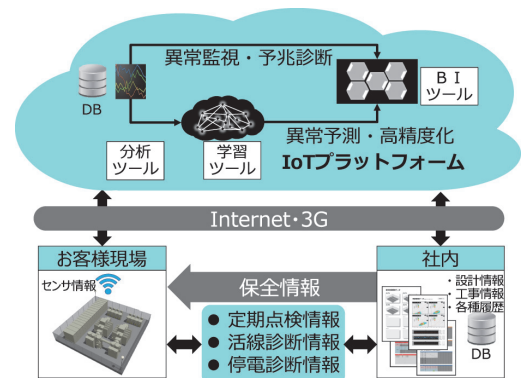


図4 設備保全・診断技術の高度化の取り組み

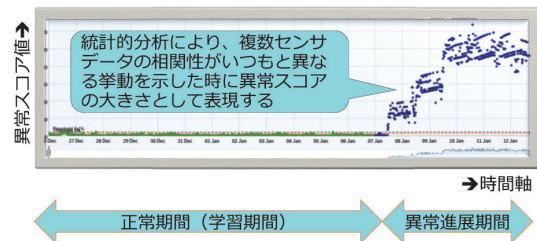


図5 統計的分布に基づく異常検知例

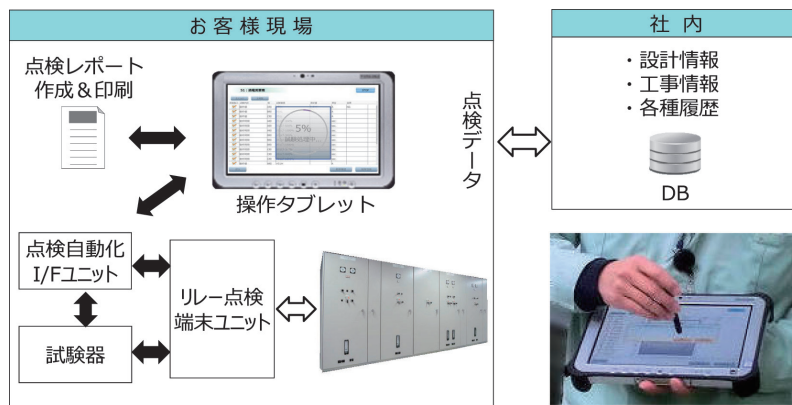
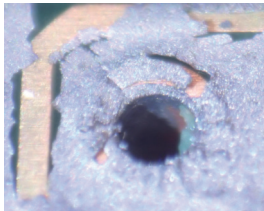


図6 現場作業効率化システム（保護リレー点検）

1. 5 硫化水素ガス環境における腐食進行状態の評価

水処理場などで想定外の腐食性ガス等が発生した場合、電子機器が影響を受けて故障に繋がる事例がある。事前の環境確認により、腐食ガス対策を進めているが、特に硫化水素ガス環境においては、図7の様に電子基板スルーホールに硫化銅が生成し、基板動作に支障をきたす場合がある。



XPS 分析結果

元素	腐食生成物
銅	47atom%
硫黄	23atom%
炭素	27atom%
酸素	4atom%

図7 電子基板スルーホールの腐食生成物と成分分析結果

そこで、環境変化による腐食ガスの影響を把握することで、余寿命を推定し、トラブルを未然防止するための技術開発を進めている。

フィールド暴露品と腐食ガスによる加速試験品では、図8に示すように、同等の腐食進行状態が得られ、また図9の様に暴露時間と腐食面積に相関がある事を見出した。

更に当社では、環境状態を示す指数と腐食面積に直線的な相関を見出しており、今後は、この結果を応用した腐食環境診断に向けた開発を進める予定である。

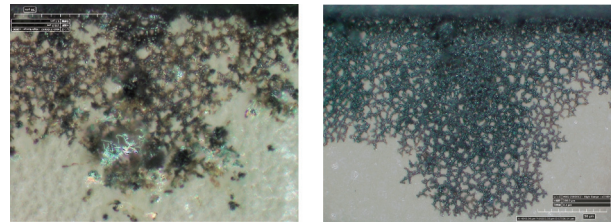
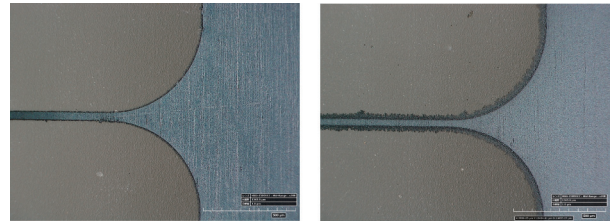
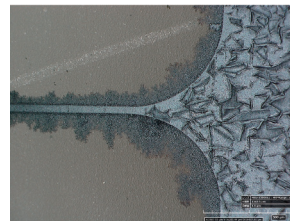


図8 フィールド暴露品(左)と加速試験品(右)の腐食進行状態



120時間

240時間



336時間

腐食部分を表す、図中の黒い線の部分が、時間と共に広がっているのが確認できる。

図9 加速試験での暴露時間による腐食面積増加

1. 6 AI活用に向けた取り組み

1. AI活用プロジェクトの目的と体制

昨今、AIの技術進歩は目覚ましく、幅広い分野における事業への応用が期待され始めており、産業分野においても例外なくその波が押し寄せてきている。

当社はこれまで各事業部門間で連携を図りながら設計標準化活動を推進しており、その一環として『自動設計システム』の構築を進めてきたが、次ステップとしてAI活用プロジェクト(図10)を2016年4月に立ち上げ、中長期計画「VISION2020」の達成に向けて、AIを活用した生産性改革、及び、先進製品への適用検討の取り組み(表2)を開始した。

表2 AI活用プロジェクトの取り組みと活動内容

取り組み	活動内容
生産性改革 └ 生産性向上	標準、オプション設計における自動設計システムへのAI活用
先進製品への適用検討 └ ビッグデータ処理	中央監視システム事業、設備診断事業等へのAI活用の検討

※取り組みと体制の関係は図10を参照

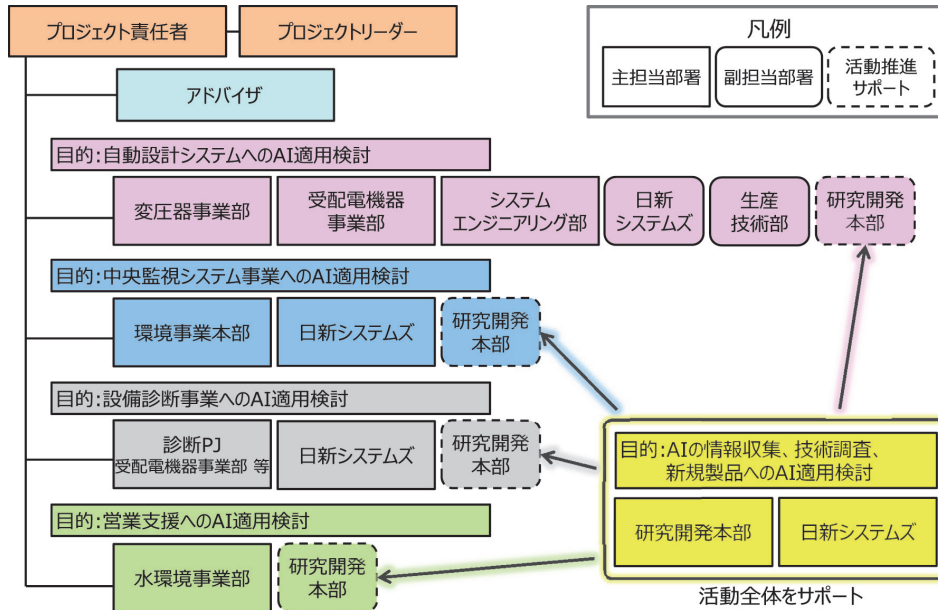


図10 AI活用プロジェクトの体制

2. 研究活動の方針と活動状況

現在、研究開発本部では、事業部活動の更なる生産性改革と先進製品への適用推進を目指して、事業部各WGと連携しつつ、大学とのオープンイノベーションによる最新AI技術（機械学習、最適化）の情報収集や技術検討を進めている（表3）。

表3 研究活動の方針

方針
・ AIの技術検討及び、社内適用検討の推進
・ 事業部各WG連携+大学とのオープンイノベーション
・ 早期の新規製品への適用

3. 今後の展開

事業部活動に対して最適なAI技術の適用推進（表4）を視野に入れながら、引続き早期のターゲット選定を目指した機械学習、ディープラーニングの適用検討を進めていく。

表4 事業部活動とAI技術の適用推進

事業部活動	適用推進内容
自動設計関連	顧客要求を反映可能な学習機能の追加に向けた“ディープラーニング”の適用
中央監視システム関連	突発事象へも対応可能な予測精度向上に向けた“ディープラーニング”の適用
設備診断関連	診断レベルの精度向上&強み構築に向けた“機械学習”の適用
営業支援関連	市場分析の精度向上に向けた“機械学習”の適用