

2017年の技術と成果

Technical Progress and Results in 2017

〔1〕 研究・開発

地球温暖化問題は年々重要度を増している。再生可能エネルギーの普及が強く求められている一方で、九州地方や東北地方等の地域では、電力系統との接続の問題が議論されている。省エネの意識も高まっており、これからは増々限られた資源・エネルギーをより効率よく利用していく技術が求められると予想される。

当社では、2016年度からスタートした中長期計画「VISION 2020」において、グローバル・エネルギー・環境・ソリューション企業を目指して6つの成長ドメインを選定し、その達成に向けて、様々な研究開発に取り組んでいる。

国内電力市場の「電力のパラダイムシフト」に関しては、電力系統の解析技術をベースに、電力融通に際しての電力品質対策のための技術開発に取り組んでいる。また、定置型蓄電池の最適利用のための技術開発を行っている。さらに電力機器をより安全に、より安定してご使用頂くために、電気絶縁油の研究を行っている。

「ライフサイクルエンジニアリング（LCE）」分野においては、高経年受変電設備の増大に伴う事故発生未然防止に向けて、設備の劣化診断や延命化などのお客様ニーズに対応するため、材料の劣化評価技術の研究・開発を進めている。

「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、大きな事業の柱となったイオン注入装置に続く製品として、次世代デバイスに対応した製造装置の研究・開発も進めている。その一つとして高解像度（4K、8K）大型ディスプレイ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半導体薄膜用製造装置の開発を行っている（詳細は、本誌掲載の「FPD向けCVD装置の開発」と、「誘導結合プラズマを利用したスパッタ装置による高信頼性IGZO TFTの作製と低温プロセス化」を参照）。

その他、様々な研究開発を支える基盤技術として数値解析技術の開発も行っており、その一環として材料開発や装置開発を支援するためシミュレーション技術の開発に取り組んでいる。

以下に、2017年における研究成果を紹介する。

1. 1 国内風力発電の導入拡大を支える電力品質対策技術

地球温暖化対策の一環として、CO₂排出量の削減に向けて、世界各国で再生可能エネルギーの導入が進められている。特に風力発電は国内外で導入が拡大しているが、風況の良い地域は、電力会社の既存電力供給設備から離れていることも珍しくない。そのため、風力発電事業者による長距離自営線の設置が必要となるケースもあり、積雪、雷撃の懸念がないなど保守が容易で、景観上の問題も少ない長距離地中ケーブル送電が採用されることがある。

一方で、長距離交流ケーブル送電では、その静電容量に起因する特異現象が発生することがあるため、その適用には十分な事前検討が不可欠である。

当社では、電力品質対策に関して保有する技術をもとに、事業者・電力会社の双方が納得できる提案活動を進めている。

長距離交流ケーブルによる送電を伴う風力発電システムを図1に示す。このケースの主な課題として、ケーブル開閉時の電圧変動、遮断器の電流零点推移現象を踏まえた保護協調などに加えて、ケーブルの容量性インピーダンスと系統側の誘導性インピーダンスによる高調波共振が挙げられる。

ケーブルが長くなると静電容量Cが大きくなるため、系統側インダクタンスLとの共振周波数 ($f=1/(2\pi\sqrt{LC})$) が低下する。電力システムには、主に商用基本周波数の5倍、7倍の周波数をもつ5次、7次調波と呼ばれる高調波成分が比較的多く存在するため、5次、7次で共振すると、系統の電圧歪が拡大して高調波ガイドラインの高調波環境目標レベルを超過してしまうことがある。図2の周波数-インピーダンス特性は、ケーブルCと系統側Lとか5次調波で共振する例を示している。

共振拡大を抑制するには、高調波フィルタによる対策が有効である。高調波フィルタは、電圧歪を抑制したい母線に設置するのが一般的であるが、母線の定格電圧が高くなると機器コスト・設置面積、保守費用が増加するという課題があった。

そこで、当社では、変圧器の漏れインピーダンスを考慮したチューニングを行うことで、送電系統の高調波電圧歪の要求仕様を満足させることができる高調波フィルタを、変圧器の低圧巻線側へ設置することを提案している。この方法で定格電圧を下げることによって、地震などの災害や塩害に強く、保守が簡単な充電部密閉型設備を採用しやすくなり、事業者は設置面積の低減を含めて対策費用および保守費用の低減を図ることが可能になる。

当社は、直流送電用変換所向けの高調波フィルタに加えて、ケーブルの進相無効電力を打ち消す分路リアクトルや、風力発電の出力変動に伴う電圧変動を補償するSVC（静止型無効電力補償装置）など、電力品質の安定化に豊富な実績を有している。これまで培ってきた系統解析技術をさらに拡大して、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きたい。

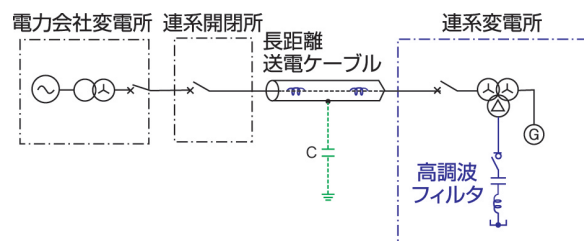


図1 長距離交流ケーブル送電を伴う風力発電系統

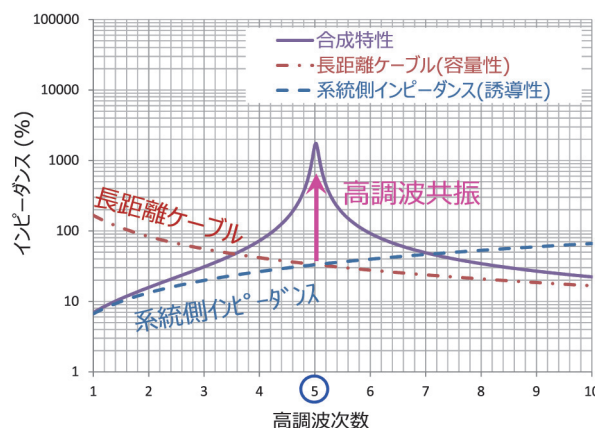


図2 周波数-インピーダンス特性：
長距離交流ケーブル系での高調波共振例

1. 2 電池利用技術の開発

蓄電池システムは汎用性が高いので、再生可能エネルギーの導入拡大、電力系統の安定化、非常時の電源バックアップなどに不可欠な技術として、今後ますます多様なフィールドでの活用が期待されている。

このような背景の中で、当社が進めるSPSS（スマート電力供給システム）事業に適用する蓄電池システムを用いたソリューションの提供に向けて、技術優位性や競争力強化を図るための研究開発を進めている。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、安全性や信頼性が高く、長寿命で低コストなシステムの製品化を目指している。

2017年には、電池メーカー各社の大型リチウムイオン電池を中心に、初期並びに長期特性評価によって得られた各種データについて、交流インピーダンス法を使った内部インピーダンス評価を行い、その結果に基づいて劣化挙動を解析した。ある温度で、4段階の課電電圧で実施したフロート課電試験における放電容量低下率と内部インピーダンス増加率の関係を図3に示す。内部インピーダンス増加率は、課電電圧に依らず劣化挙動と高い相関性を示しており、内部インピーダンス測定によって電池の劣化推定が可能となることを確認した。また、オンサイトでのリアルタイム測定を可能とする内部インピーダンス評価法の検証を行い、交流インピーダンス法による評価結果との高い一致を確認した。

今後は、内部インピーダンス評価技術の確度向上を中心に定置型蓄電池システム運用技術の早期実用化を目指す予定である。

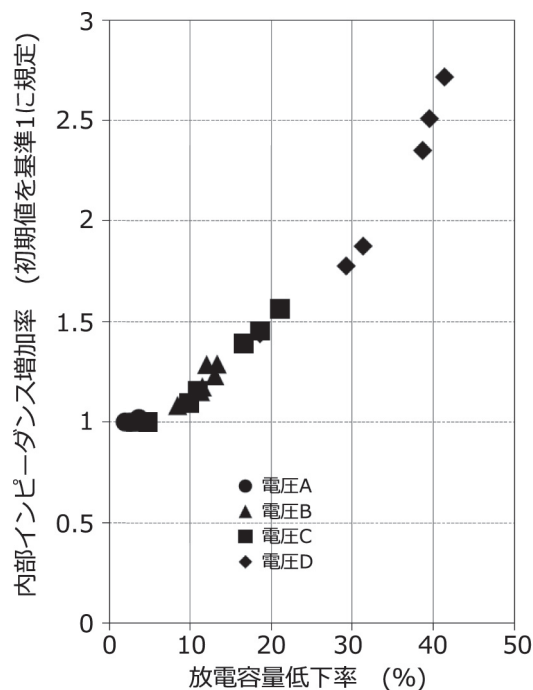


図3 フロート課電試験結果

1. 3 コンデンサ用電気絶縁油の開発と適用

コンデンサ用電気絶縁油は、変圧器用やケーブル用と比較して運転電界や交流試験電界が5～10倍高く、高い絶縁性能が求められるとともに、部分放電によって発生するガスの吸収能力が高いことも要求される。国内の電力用コンデンサに使用されている絶縁油としては、JIS C 2320に準拠したフェニルキシリルエタンが一般的であるが、海外ではIEC規格に準拠した他の芳香族系炭化水素が主流である。そこで、海外での使用実績が多い3種類の芳香族系絶縁油（PEPE、DPE/MBT、M/DBT）の特性比較を行い、それらの適用可能性について検討した。コンデンサで使用されるPPフィルムやエポキシ樹脂の耐油性、具体的には、溶解性や膨潤性などの諸特性について長期的な評価試験を行い、実機適用に問題のないことを確認し、代替油として使用できると判断し、適用を開始した。

また、環境負荷が低い商品に付けられるラベルであるエコマークを取得した生分解性絶縁油を化成品メーカーと共同開発し、これを適用した40台の缶形コンデンサを製作して、社内高電圧大電力試験所に設置した。この生分解性絶縁油についても、引き続き、適用の拡大を図っていく。



図4 生分解性絶縁油



図5 大電力試験所に設置した生分解性絶縁油適用コンデンサ

1. 4 劣化診断に関する研究

電力機器の健全性を維持しながら、継続的に使用していくためには、既納品の現状性能を正確に評価して、今後の保守点検計画を提案するための劣化診断技術確立することが必要である。

診断技術の開発においては、劣化メカニズムを解明し、劣化指標となるパラメータを見つけ出すと共に、寿命評価のための判断基準の検討が不可欠である。本稿では、遮断器機構部のグリス固着劣化と配電盤内に使用されている電線の被覆劣化について、検討状況を報告する。

グリス固着劣化については、図6に示すように、グリスのi) 油分減少、ii) 増ちょう剤などの凝集、iii) 油分の酸化の相乗作用によって、摩擦係数^(注)が変化することが分かった。よって、i) ~ iii) の指標の変化を測定することでグリスの固着状態の評価が出来る可能性がある。

電線被覆劣化においては、被覆に含まれる可塑剤の減少(重量減少)により引張伸度が変化する事がわかってきたが、電線の設置状態によって減少速度が異なる結果が得られた(図7)。今後は、各部材の設置状況による劣化速度の違いも考慮して、実器診断技術の確立を目指していく。

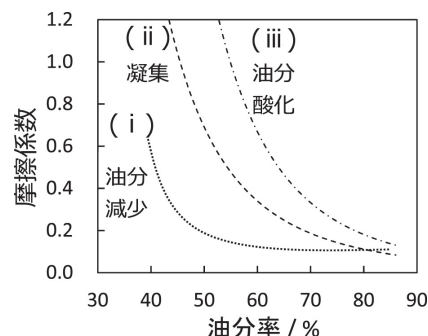


図6 グリス油分率と摩擦係数の関係

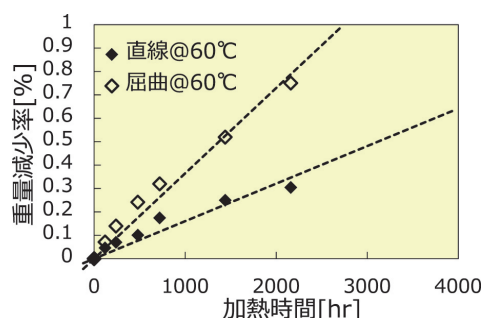


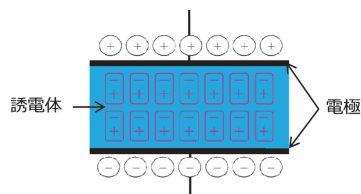
図7 加熱時間と重量減少率の関係 (@60°C)

(注) 「摩擦係数」の測定は、試験片を用いて実施

1. 5 材料設計に貢献する分子シミュレーション

近年、原子・分子レベルのミクロな物理・化学現象を対象とした分子シミュレーション技術が実用可能なレベルにまで進歩しており、当社においても、材料特性の把握や最適材料の選定などに積極的に活用している。

ここでは、絶縁材料の誘電特性に関するシミュレーション事例を紹介する。図8に、コンデンサの模式図を示す。静電容量は誘電体の比誘電率に比例するため、高誘電率材料を用いることで、機器のコンパクト化、大容量化が可能となる。



【静電容量の計算式】

$$C = \epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$

C : 静電容量(蓄えることができる電荷量)

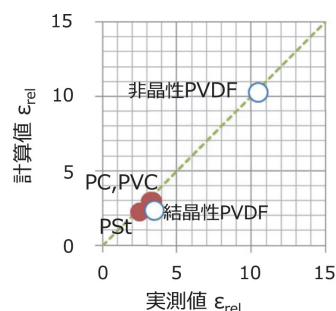
ϵ_{rel} : 誘電体の比誘電率, ϵ_0 : 真空の誘電率

S : 電極面積, d : 電極間距離

図8 コンデンサの模式図

そこで、量子化学と分子動力学シミュレーションを組み合わせた分子シミュレーション技術確立し、代表的な高分子材料について計算を行ったところ、非晶性、結晶性を問わず、実測値との一致が良好であることを確認した(図9)。

現在、このシミュレーション技術をコンデンサの誘電体材料設計に適用して、機器の性能や信頼性を高めた製品の開発に取り組んでいる。



PVDF(ポリフッ化ビニリデン): $-(C_2H_2F_2)_n-$

PVC(ポリ塩化ビニル): $-(C_2H_3Cl)_n-$

PC(ポリカーボネート): $-(C_6H_4C(CH_3)_2C_6H_4OCO_2)_n-$

PSt(ポリスチレン): $-(C_8H_8)_n-$

図9 各種高分子材料の比誘電率の計算値と実測値