絶縁は縁の下の力持ち

九州工業大学大学院
工学研究院電気電子工学研究系
教授
小迫雅裕 Masahiro Kozako

電力機器・設備は社会インフラの中心的役割を担っており，停電などの事故が発生すると，その社会的影響は著しく，経済的損失も甚大である。そのため，電力機器・設備の保全は極めて重要である。各種電力機器・設備の老朽化に対して，事故を未然に防ぐために絶縁診断が行われており，最近の情報通信技術やセンシング技術の進展に伴い，停電することなくオンライン絶縁診断が国内外で広く採用されるようになっている。

一方で，高絶縁ナノコンポジット，超高耐熱樹脂，自己修復材料などの革新的な機能性絶縁材料や，地球環境に配慮した生分解性電気絶縁油やSF_6ガスの代替ガスといった新しい絶縁材料の開発が進んでおり，これらは国内外で電力機器・設備の絶縁材料として使用されつつある。さらに，電力機器・設備の老朽化や運用・保全を担う人員の減少への対策として，IoTやAI技術を活用した絶縁診断のデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が求められている。

実際には，電力機器・設備の絶縁設計の変遷や使用環境によって，絶縁破壊に至る劣化進展過程や絶縁破壊の予兆現象は異なる可能性がある。このため，絶縁診断を適切に行うためには，対象とする電力機器・設備の絶縁設計や使用環境を把握し，絶縁破壊の予兆現象を早期に発見できる診断法を適用することが重要である。また，オンライン診断を効果的に活用するためには，絶縁破壊の前兆である部分放電を検知するセンシング技術の開発や，絶縁破壊に至るまでのリードタイムの把握が不可欠である。

近年，保全の考え方は予防保全に基づく時間基準保全（TBM）から，予知保全に基づく状態基準保全（CBM）へと移行している。状態基準保全により絶縁劣化や異常の兆候が確認された場合，更新計画の立案が求められる。しかし，絶縁破壊に至るまでのリードタイムが明確でない場合が多い。診断の精度を向上させることで，絶縁破壊までのリードタイムを把握し，電力機器・設備を寿命限界まで使用することが可能となる。そのためには，診断データの蓄積と解析技術の高度化が必要である。また，絶縁劣化の進展過程を詳細に解析し，劣化メカニズムを明らかにすることも重要である。

ところで，私の専門である高電圧・絶縁工学は非常に地味な研究であると認識しているが，縁の下の力持ちであることを最近特に感じている。電気絶縁技術はほぼ完成された学問であると思われている方が多いかもしれないが，様々な機器・設備の開発において最後にネックになるのが絶縁部材であり，高経年品の絶縁部材の故障モードを知りたい，余寿命を知りたい，新しい絶縁材料の診断方法を知りたいなどの産業界のニーズを小耳にはさむことが多い。つまり，時代にマッチした電気絶縁技術が今後益々重要になると思われる。

2024年7月にフランスで開催された誘電体の国際会議（International Conference on Dielectrics：IEEE-ICD2024）においては誘電・絶縁材料の最新研究が300件程度紹介された。特に欧州諸国においては，SDGs，カーボンニュートラル，再エネ対応，洋上風力，直流高電圧送電，電動自動車や電動航空機，SiCやGaNによるパワーエレクトロニクス用絶縁部材などの新しい課題をテーマとして，盛んに研究が行われている。某航空機メーカからの特別講演では，航空機の電動化における技術的な課題は，①部分放電，②空間電荷，③絶縁劣化であると紹介されたのは大変興味深かった。研究推進のツールとして，量子科学計算や分子動力学，力場計算などの計算関連や機械学習などの各種計算機に支援された方法が益々増加している。今後も海外の研究動向を視野に入れながら，日本の研究力を落とさないためにも，国内外の多くの研究者と力を合わせて研究を推進すべきだと実感している。

さて，そのような背景のもと，今後益々発展していくミクロスケールな計算科学（第一原理計算や分子動力学）とマクロスケールな複合現象計算（電気・機械・熱・化学などのマルチフィジックス解析）と高速・大容量通信などを融合すれば，次の二つのことが可能になるであろう。一つ目は，僅かな異常信号を検知するだけで，事前に用意したビッグデータを基に瞬時に異常箇所を検出し，異常状態を把握できる。二つ目は，様々な劣化過程を高速に予測することで使用機器・設備の余寿命を即座に推定し，高速遮断・系統切替も可能になる。この実現のためには，多くの異分野の研究者の協力・融合が必要と思われる。

最後に，電気絶縁技術をベースとした学術的な成果が促進されることで，今後の電力インフラのメンテナンス技術が飛躍的に発展し，世界中の社会インフラの高度化に貢献されることを強く期待したい。そして，今後も「絶縁」が縁の下で支えていることを願う。