

# 環境調和型電力機器を実現する ナノコンポジット絶縁材料

## SF<sub>6</sub>ガスを代替する高絶縁性能 のナノ粒子充てんエポキシ樹脂

温室効果ガスの一種である六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) ガスを絶縁媒体として使用しない環境調和型の電力機器を実現するためには、高電圧下での劣化耐性に優れた革新的な材料が必要になります。既存の電力機器では、SF<sub>6</sub>ガスは厳密に管理されており、温暖化への影響は小さいと言えますが、一方、SF<sub>6</sub>ガスの使用量自体を削減する積極的な取組みも行われています。

東芝は、固体絶縁技術を適用して受配電用電力機器のSF<sub>6</sub>ガス使用量の削減を目指しています。現在、固体絶縁によるSF<sub>6</sub>ガス絶縁の代替を広げるために必要な革新的な材料として、ナノ粒子をエポキシ樹脂に均一分散することで絶縁特性を高めた、ナノコンポジット絶縁材料の開発を進めています。

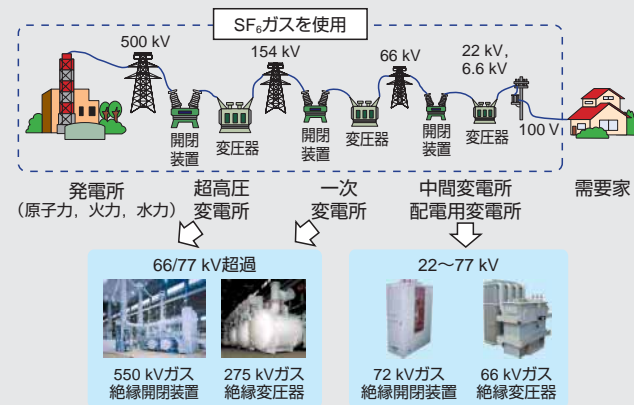


図1. 発電所から需要家までの電力供給の経路 — 電力輸送を支える電力機器の多くは、SF<sub>6</sub>ガス絶縁方式を使用しています。

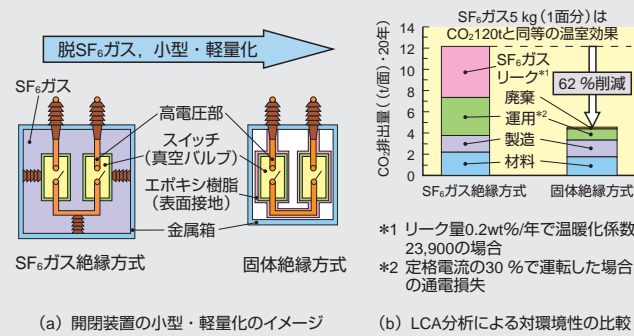


図2. 固体絶縁による電力機器の脱SF<sub>6</sub>ガス化 (24 kV 用開閉装置の場合) — 固体絶縁方式の開閉装置は、SF<sub>6</sub>ガス絶縁方式に比べ小型・軽量化できるとともに、LCAによる分析で、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量を62%削減できることを確認しています。

### 電力機器における環境問題

光、動力、熱、情報など利用形態が様々で利便性の高い電気エネルギーは、基幹エネルギーとして私たちの生活を支えています。このような電気エネルギーの供給を担う変圧器や開閉装置などの電力機器は、長大な送電経路の各所に配置されています (図1)。電力機器では、六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>) ガス絶縁をキー技術として、大電力を経済的に送ることを目的に高電圧・大容量化と縮小・小型化が進められてきました。

しかしSF<sub>6</sub>ガスは、温暖化寄与率が炭酸ガスより約24,000倍高いことが確認され、1997年12月に京都で開催された地球温暖化に関する国際会議 (COP3) において、排出削減目標の対

象ガスとして加えられました。

SF<sub>6</sub>ガス絶縁機器では、製造から廃棄に至るまで、SF<sub>6</sub>ガスは厳密に管理されており、今後も電力流通設備の中心であると考えられます。一方、環境問題に対応した電力機器を開発することで、SF<sub>6</sub>ガスの使用量自体を削減する積極的な取組みも行われています。

### 固体絶縁方式による 脱SF<sub>6</sub>ガス化

電力機器の脱SF<sub>6</sub>ガス化を実現する絶縁技術の一つとして、熱硬化性樹脂を用いた固体絶縁があります。エポキシ樹脂に代表される熱硬化性樹脂の優れた絶縁性能や熱的・化学的安定性を用いて、固体絶縁方式によるSF<sub>6</sub>ガスの使用量削減を目指しています。

例えば、開閉装置で固体絶縁方式を用いた場合、高電圧で使用される部品類 (真空バルブなど) の外周にエポキシ樹脂のモールド層を設けて絶縁をするため、SF<sub>6</sub>ガスをまったく使わず環境調和性が高くなります (図2)。また、ライフサイクルアセスメント (LCA) による分析でも、固体絶縁方式はSF<sub>6</sub>ガス絶縁方式よりも環境に対する負荷が小さいことを確認しています。

### ナノコンポジット化による エポキシ樹脂の高性能化

このような背景から東芝は、熱可塑性樹脂において樹脂物性の飛躍的な向上が近年報告されているナノコンポジット化技術に着目し、エポキシ樹脂への展開を進めました。

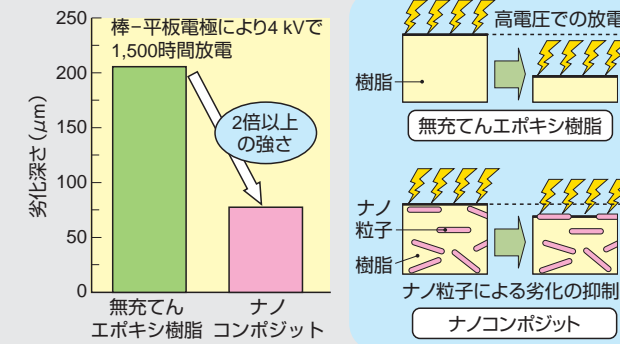


図3. 高電圧での放電に対する劣化耐性 — ナノ粒子を均一分散することで、無充てんエポキシ樹脂の2倍以上の劣化耐性を示します。

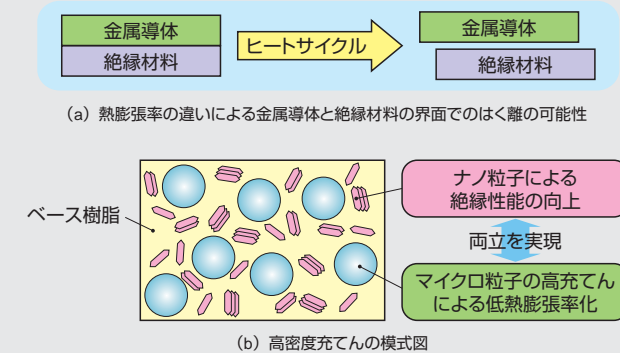


図4. 実機への適用を目指したアプローチ — ナノ粒子とマイクロ粒子を混合充てんすることで、絶縁性能の向上と低熱膨張率化を両立しています。

ナノ粒子として平たい形状を持つ層状シリケート化合物を選択し、表面修飾剤と混合方法を詳細に検討することで、エポキシ樹脂中にナノ粒子を均一分散することに成功しました。また、電力機器用材料にもっとも重要な絶縁性能を向上できることを初めて見だしました。具体的には、棒-平板電極を用いた部分放電劣化試験において、ナノ粒子を5wt%充てんしたナノコンポジット材料の放電暴露後の劣化深さは、無充てんエポキシ樹脂の2分の1以下となっています (図3)。

### 実機への適用を目指した アプローチ

ナノコンポジット材料は、わずか数wt%のナノ粒子の充てんで電気絶縁

性能を向上できる利点を持つが、充てん量が少量であるため熱膨張率が大きいという欠点がありました。電力機器用絶縁材料は、金属導体とこれをモールドする材料の熱膨張率が異なると界面はく離が生じ、絶縁性能が著しく低下する可能性があります (図4 (a))。

この問題を解決するため、数wt%のナノ粒子 (層状シリケート化合物) と約64wt%のマイクロ粒子 (シリカ粒子) を混合してエポキシ樹脂に高密度充てんすることで、低熱膨張率化を達成しました (図4 (b), 図5)。

また、針-平板電極による一定電圧課電試験において、このナノ-マイクロ粒子混合コンポジットは、従来型マイクロ粒子充てんエポキシ (シリカ粒子だけを約65wt%充てん) の24倍

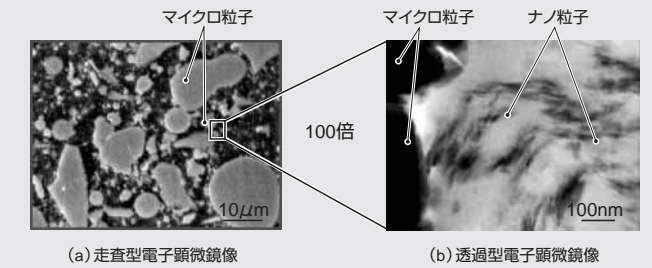


図5. 開発したナノ-マイクロ粒子混合コンポジットの電子顕微鏡像 — ナノ粒子とマイクロ粒子が高密度に分散していることがわかります。

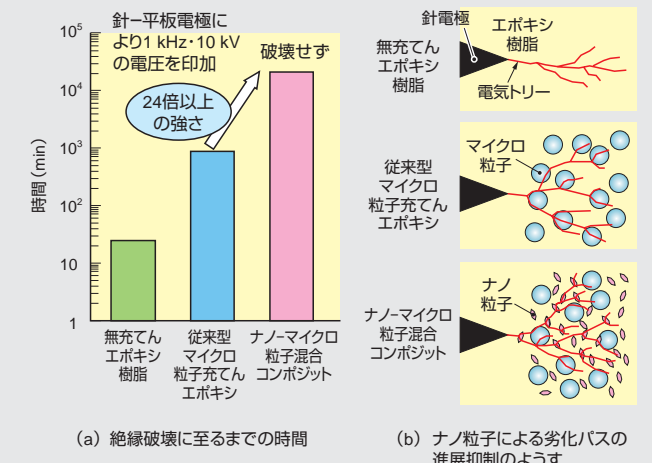


図6. 高電圧での電気ストレスに対する劣化耐性 — ナノ-マイクロ粒子混合充てんの効果により絶縁破壊するまでの時間が長く、優れた劣化耐性を示します。

以上の絶縁破壊時間を示すことを確認しています (図6)。現在のところ、高密度に分散したナノ粒子とマイクロ粒子が劣化のパス (電気トリー) の進展を効果的に抑制するため、絶縁性能が向上したと考えています。

### 今後の展望

ナノコンポジット材料は、SF<sub>6</sub>ガス絶縁の代替を広げることのできる劣化耐性の高い絶縁材料として、有望な材料であると言えます。今後も、材料革新による環境調和型電力機器の実現を目指し、開発を進めていきます。

今井 隆浩

電力システム社  
電力・社会システム技術開発センター  
高機能・絶縁材料開発部主務、工博