

真空遮断器絶縁フレームの劣化診断手法に関する基礎研究

真空遮断器, ポリエステル樹脂, 絶縁劣化, 加水分解

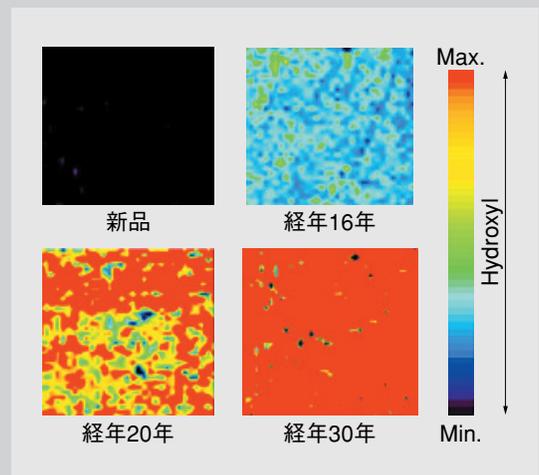
* 植田俊明 Toshiaki Ueda * 和田忠幸 Tadayuki Wada ** 畑岸琢弥 Takuya Hatagishi
** 小山哲雄 Tetsuo Koyama ** 渡辺能仁 Yoshihito Watanabe ** 笹本紋子 Ayako Sasamoto

概要

真空遮断器は広く電気設備に使用されているが、設置環境などによってはポリエステル製絶縁フレームが劣化して、不具合に至る事象が報告されている。

中部電力(株)と(株)明電舎は、共同でポリエステル製絶縁フレームの絶縁劣化メカニズムの解明と絶縁評価技術を確認するために、配電用変電所で長期間使用された6kV真空遮断器のポリエステル製絶縁フレーム表面の絶縁性能、化学的特性及び設置環境を調査した。

調査の結果、表面抵抗の減少と加水分解生成物の1つである水酸基の生成量に相関関係があることを確認し、設置環境による加水分解が劣化初期の要因であるという知見を得ることができた。



経年フレームの水酸基分布分析

1. ま え が き

真空遮断器の絶縁フレームには支持物としての機能のほかに、高い絶縁性能が求められる。しかしながら近年、絶縁フレームの材質や設置環境により絶縁フレーム表面の絶縁性能が低下し、不具合に進展する事例が散見される。真空遮断器は変電所の主要機器として設置台数も多く、今後経年により同様の事象が発生することが懸念される。

中部電力(株)と(株)明電舎は、共同研究による撤去機器の調査及び加速劣化試験において、絶縁フレーム表面の絶縁性能調査及び機器の設置環境調査を行った。その結果、絶縁フレームの劣化メカニズムの解明と劣化評価方法について知見が得られたので本稿で紹介する。

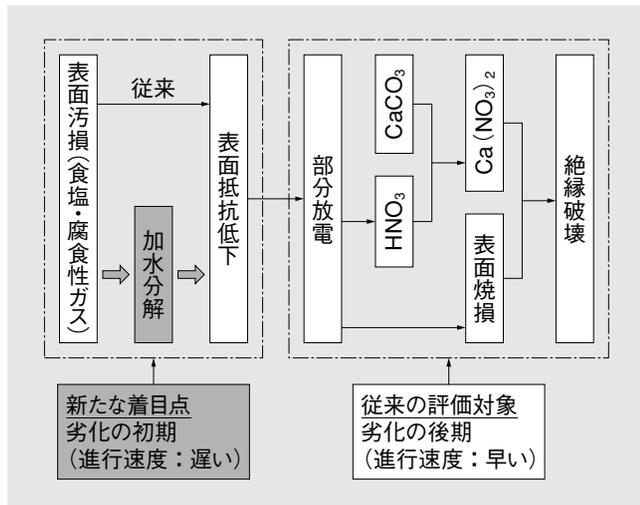
2. 劣化メカニズムの推定

2.1 従来想定していた劣化メカニズム

第1図に真空遮断器絶縁フレームの劣化メカニズムを示す。海塩粒子や腐食性ガスなどによる表面汚損や表面結露により、表面抵抗が低下し部分放電が発生する。部分放電の発生に起因して生じる硝酸(HNO_3)と絶縁フレームの充てん材である炭酸カルシウム(CaCO_3)が反応し、潮解性の硝酸カルシウム($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)が生成し、最終的には絶縁破壊に至ると推定されている。これらの過程は、比較的劣化後期の現象である。

2.2 新たに着目した劣化メカニズムのプロセス

従来の劣化メカニズム及び劣化評価手法は、絶縁フレームのポリエステル樹脂と配合される充てん材の化学変化に着目していたが、本研究ではポリエステル樹脂自体の劣化現象のひとつである加



第1図 従来の劣化メカニズムと新たな提案

従来の劣化メカニズムは、表面汚損により吸湿し部分放電が発生し、大気中窒素と充てん材の反応から硝酸塩を生成し、絶縁破壊に至るとされていた。本稿提案では、ポリエステル樹脂の加水分解が劣化初期に発現していることに着目している。

水分解に着目した。

加水分解は、主鎖にエステル結合(R-CO-O-R')をもつポリエステル樹脂と空気中の水分が反応し、エステル結合が分解されて結合の一部に親水性の高い水酸基(OH)やカルボン酸(COOH)が生成される現象である。第1図に示すように、疎水性である絶縁フレーム表面が加水分解により親水性に変わり表面抵抗が低下・進展することで部分放電に至ると考えた。

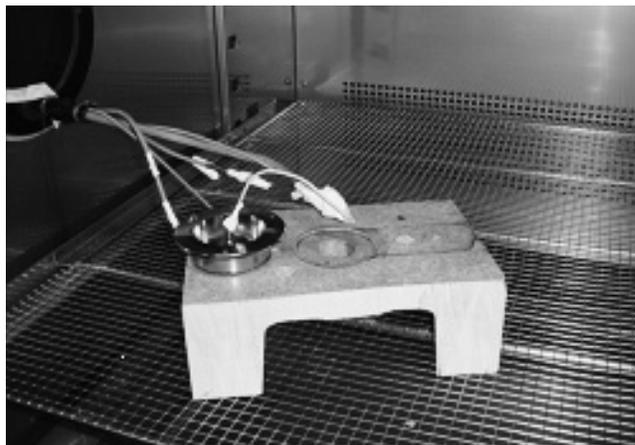
3. フィールド品の調査

屋内変電所から撤去した真空遮断器(経年16, 20, 27, 30年)の絶縁フレーム及び新品の絶縁フレームを対象として、表面抵抗値と樹脂の加水分解生成物量との相関性について検証した。

3.1 表面抵抗測定

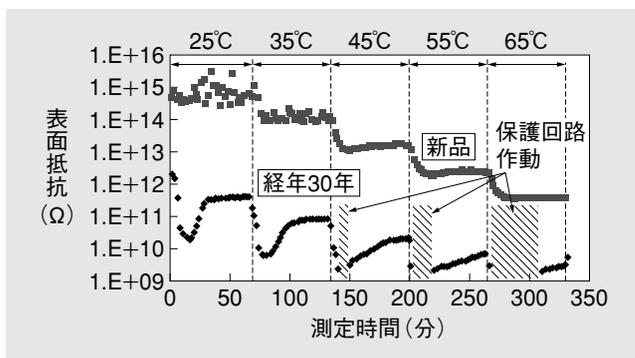
表面抵抗測定は二重リング電極法(JIS-K6271)に準じて行った。第2図に測定時の状況を示す。試験は温湿度特性の変化による挙動を把握するため、恒温恒湿槽を使用して一定の湿度条件で温度を25~65℃まで10℃間隔で上昇させながら連続測定を行った。

第3図に新品及び経年30年絶縁フレームの表面抵抗測定結果を示す。新品フレームは温度の上昇と共に抵抗が単純に低下しているのに対し、経年30年の絶縁フレームは温度上昇時の過渡的な温湿度変化により一時的に表面抵抗が急激に低下する



第2図 絶縁フレームの表面抵抗試験状況

表面抵抗測定は、二重リング電極法(JIS-K6271)に準じて行った。絶縁フレームは恒温恒湿槽に入れ、表面抵抗測定は湿度一定で所定の温度まで段階的に上昇させて行った。



第3図 新品及び経年30年絶縁フレームの表面抵抗-温度特性(湿度95%)

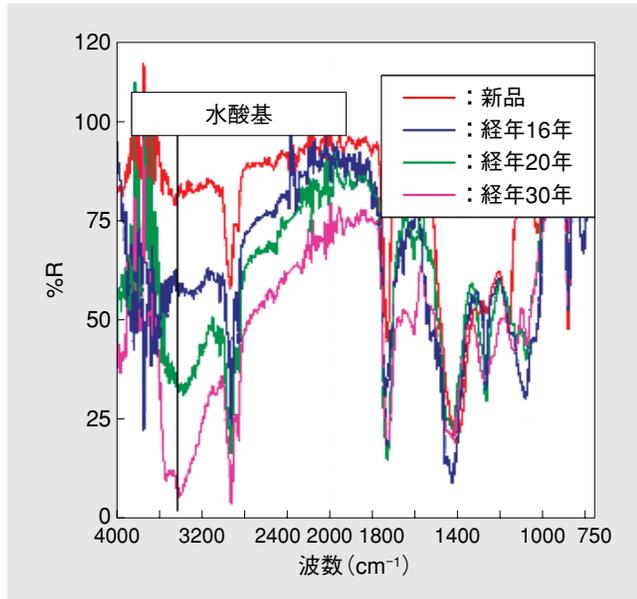
新品フレームと経年30年絶縁フレームの表面抵抗-温度特性を比較した。経年30年フレームは、設定温度変更時に表面抵抗値の急激な低下が確認された。網線部は、抵抗低下に伴う漏れ電流により抵抗測定器の保護回路が作動している部分を示す。

現象が見られた。更に高温域(45~65℃)では、第3図の網線部に示すように、抵抗低下による過電流により、保護回路が作動し測定不能となった。

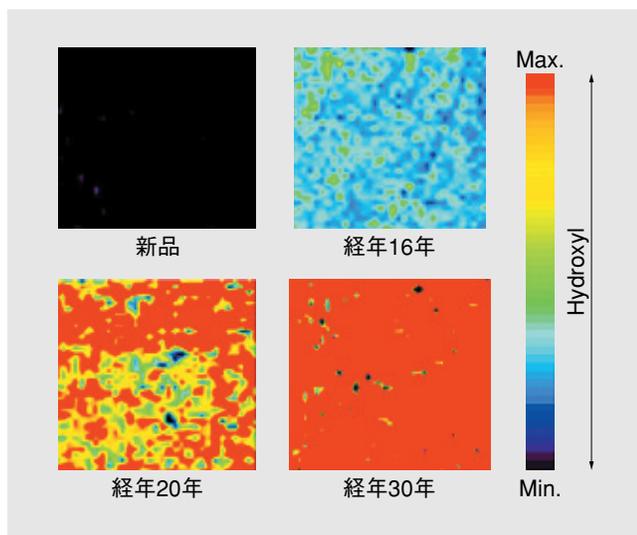
3.2 赤外線分光分析

真空遮断器の絶縁フレームから部分的に切り取った表面及び断面の化学構造分析は、赤外線分光分析により行った。

第4図は、経年の異なる絶縁フレーム表面における赤外線分光分析の結果を示す。絶縁フレーム表面では、経年に伴い水酸基の増加が顕著にみられる。なお、絶縁フレームは主剤であるポリエステル樹脂のほか、無機充てん材や繊維なども配合されている。測定部位によるばらつきを低減するため、第5図に示すように、単位面積当たりで平均化した水酸基量について分布解析を行った。経年と共に水酸基の分布範囲が広くなり、全体的に



第4図 経年フレームの赤外線分光測定結果
 経年数が異なる絶縁フレーム表面の赤外線分光測定の結果を示す。3400cm⁻¹の波数に見られるピークは水酸基を示し、これはポリエステル樹脂の加水分解に起因している。経年数と共に吸収ピークは増加していることが分かる。



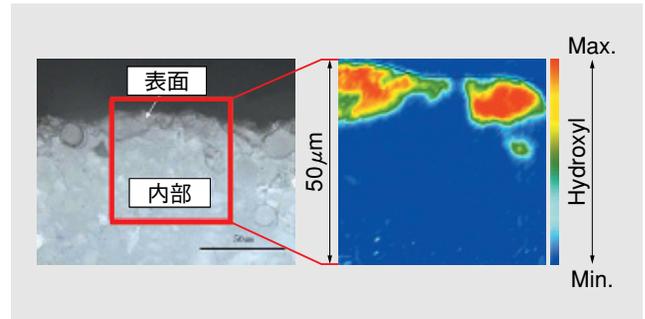
第5図 経年フレームの水酸基分布分析
 経年数が異なる絶縁フレーム表面の水酸基分布解析の結果を示す。経年数と共に、比較的均一に水酸基の分布に広がりが見られる。

分布量が多くなっていることが分かる。

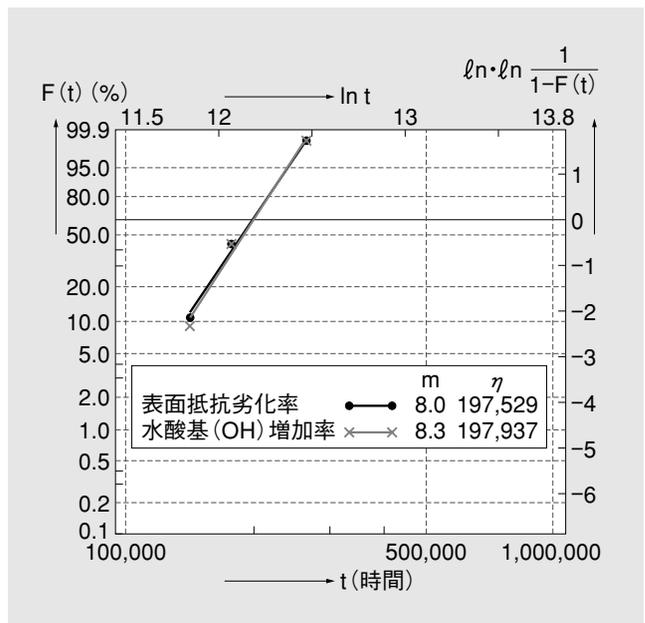
第6図は経年27年で不具合に至った絶縁フレーム断面部の水酸基分布を示す。絶縁劣化が進展したと推測される絶縁フレームでも水酸基の生成は表面から内部へ20μm程度であることが分かる。従って、経年数に限らず絶縁フレーム表面では加水分解が表面近傍でのみ起きていることが分かる。

3.3 ワイブル解析による相関性評価

経年による表面抵抗の低下率と水酸基の増加率の相関性を検証するため、第7図に示すワイブル



第6図 経年27年フレーム断面部の水酸基分布
 水酸基は経年27年フレームにおいても、表面から20μm程度しか分布していない様子が見られる。



第7図 表面抵抗低下率と水酸基増加率のワイブル解析

表面抵抗劣化率と水酸基増加率を故障確率の指標として、ワイブル解析した結果を示す。両直線の傾きは類似しており、良好な相関関係がある。

解析を行った。両者の時間に対する近似直線はほとんど一致しており、近似直線から算出した形状パラメータ (m≒8) や尺度パラメータ (η≒198,000) もほとんど一致していることが分かった。従って、表面抵抗の低下率と水酸基の増加率は、良好な相関関係が見られることが分かった。

4. 加速試験による予寿命推定の検証

前項で示したフィールド品の調査結果を基に、未知の設置環境下において絶縁フレームの予寿命推定の検証を行った。

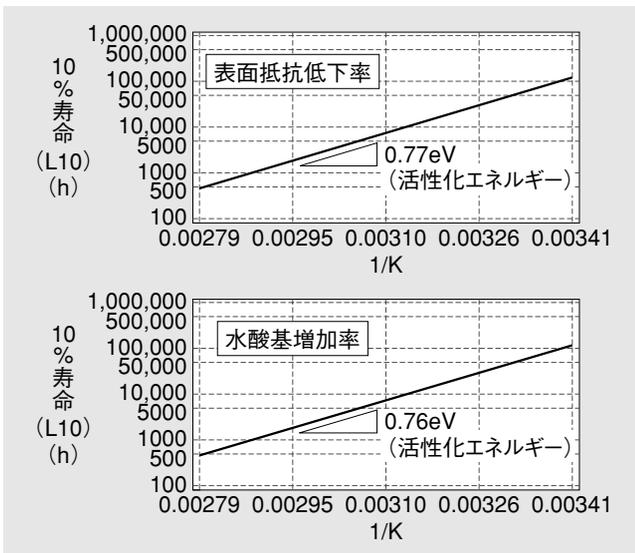
4.1 加速試験

加速試験試料は、ポリエステル樹脂の成型試料板(縦150×横75×厚さ5mm)を用いた。第1表

第1表 加速試験条件

試作した模擬フレームによる加速試験条件を示す。湿度は85%とし、設定温度を65℃及び85℃とした。

	温度(℃)	湿度(%)	測定時間(時間)
条件1	65	85	0, 100, 2000, 3000
条件2	85	85	0, 100, 1000, 2000, 3000



第8図 表面抵抗低下率と水酸基増加率のアレニウスプロット

上図は表面抵抗低下率，下図は水酸基増加率の温度加速特性から求めた10%寿命 (L10) のアレニウスプロットを示す。両者の傾きは類似しており，良好な相関関係がある。傾きは劣化加速倍率の指標となる活性化エネルギーを示している。従って，設置環境条件の温度補正により予寿命推定が可能となる。

に加速試験の条件を示す。加速試験試料は所定の時間で抜き取り，表面抵抗値及び水酸基の定量分析を行った。

4.2 劣化加速倍率の算出と寿命推定

第8図に表面抵抗低下率及び水酸基増加率の温度加速特性により求めた10%寿命（累積故障率が10%となる時間）におけるアレニウスプロットの結果を示す。直線の傾きは活性化エネルギー (Ea) を示すが，両者の傾きはほとんど一致していた。前項で示したフィールド品のワイブル解析結果と同様に，表面抵抗低下率と水酸基増加率には良好な相関性が確認された。従って，真空遮断器の設置環境条件にかかわらず絶縁フレームの水酸基測定を行い，劣化加速倍率を用いることにより，余寿命推定の試みが可能となった。

5. む す び

本稿では，屋内変電所より撤去した経年数の異

なる真空遮断器を用いて，絶縁フレームの経年による表面抵抗低下率と水酸基増加率に良好な相関性が得られたことを紹介した。本稿で提案した水酸基の測定量を劣化指標として評価する手法により，初期の劣化現象を把握することが可能となり，新たな劣化診断方法として期待できる。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは，それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



植田俊明 Toshiaki Ueda
中部電力(株)



和田忠幸 Tadayuki Wada
中部電力(株)



畑岸琢弥 Takuya Hatagishi
絶縁材料の信頼評価に関する研究／
全社分析支援業務に従事



小山哲雄 Tetsuo Koyama
絶縁材料の信頼評価に関する研究／
全社分析支援業務に従事



渡辺能仁 Yoshihito Watanabe
絶縁材料の信頼評価に関する研究／
全社分析支援業務に従事



笹本紋子 Ayako Sasamoto
環境対応分析業務に従事