

# Creepage Discharge Behaviour and Numerical Model Analysis at the Oil/Pressboard Interface with the Effect of Nano Composite Coating

著者	Jang Kyunghoon
発行年	2017-03-24
その他のタイトル	ナノコンポジットコーティングの効果を検討した油/プレスボード界面における沿面放電挙動及び数値モデル解析
学位授与番号	17104甲工第435号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00006187">http://hdl.handle.net/10228/00006187</a>

氏名	Kyunghoon JANG (韓国)		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	工博甲第435号		
学位授与の日付	平成29年3月24日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	Creepage Discharge Behaviour and Numerical Model Analysis at the Oil/Pressboard Interface with the Effect of Nano Composite Coating (ナノコンポジットコーティングの効果を考慮した油/プレスボード界面における沿面放電挙動及び数値モデル解析)		
論文審査委員	主査教授	匹田	政幸
		〃	三谷 康範
		〃	小森 望充
	准教授	豊田	和弘
		〃	小迫 雅裕

## 学位論文内容の要旨

電力用油入変圧器は電力系統の要となる機器であり、絶縁技術は変圧器設計の中核をなす基盤技術の一つである。近年、変圧器内部の絶縁寸法の縮小および絶縁構造の簡素化のニーズが強くなり、油/プレスボード (PB) 複合絶縁系の放電基礎特性を解明することは、益々重要となってきている。最近、固体絶縁材料や絶縁液体にナノサイズの無機フィラーを加えて絶縁特性の向上を目指す研究が活発になされている。一方、変圧器絶縁システムにおいて、絶縁特性や機械的特性を改善するために機能性添加物を用いて絶縁紙や PB の改質に焦点を当てている研究はほとんどない。

以上の観点から、本研究では、変圧器の絶縁油/PB 複合絶縁系の絶縁特性向上を目的として、PB にナノシリカ・エポキシ樹脂(NS/EP)NC の薄膜をコーティングして、その放電現象につき光学的・電氣的測定系を用いて調査している。実験結果を詳細に解析するため、油/NC コーティング PB 複合絶縁モデルに発生する沿面放電の数値モデル解析を行った。更に NC コーティングの効果を検討するため、フィラー含有率やフィラーサイズの異なるシリカ・エポキシの NC に対して油中での沿面放電特性をも調査している。

第1章では、大容量油入変圧器の絶縁システムで電氣的な弱点となりうる油/PB 界面における放電現象を説明している。第2章では、油/PB 界面で発生する沿面放電に関するこれまでの実験的および解析モデルに関連するこれまでの研究報告をレビュー

するとともに、課題について記述している。第3章では、沿面放電数値モデルを展開するための基礎的な物理過程として、鉱油の電離、解離、電荷再結合、付着を考慮した高電界での沿面放電の数値解析モデルについて説明している。

第4章では、ナノ秒オーダーの高速光学的観測系と電氣的測定系を組み合わせた放電観測システムを用いて、エポキシ樹脂にナノシリカを充填したNC (NS/EP)をコーティングしたPBと鉱油の界面でのインパルス電圧印加下での沿面放電特性を測定した。沿面特性に対するNS/EP-NCコーティング効果の指標として、放電発生確率Pd、放電進展距離ldおよび誘電率 $\epsilon r'$ を測定した。その結果、通常の油/PB系の結果と比較して、同一条件にて、Pdが低下しさらにldが短くなり、耐沿面放電特性がNCコーティングにより向上することを見いだした。これらのNCコーティングによる改善効果のメカニズムとして、1) PB中の水分乾燥による $\epsilon r'$ の低下効果、2) PB表面の粗さ低減効果、および3) PB表面からの電子放出の低減、の3つの要因が示唆された。

第5章では、フィラー含有率およびフィラーサイズを変化させたナノシリカEPのNCの耐沿面放電特性について検討を行っている。その結果、ナノシリカフィラー含有率が1%において、通常の油/PB系のPdおよびldとの比から定義された性能指数が1.4倍となることを見いだした。

第6章では、シリカ・エポキシNCによる耐沿面放電特性の改善につきそのメカニズムを定量的に理解するため、油/固体複合絶縁系における数値解析モデルを提案している。数値解析モデルは、液体絶縁中の電子、正負イオンの電荷連続方程式、熱伝導方程式、および電界分布決定のためのポアソン方程式、および固体絶縁材料に対しては表面からの電子放出に基づく支配方程式からなる。NCの誘電率および電子放出を決定する電位障壁の2つのフィティングパラメータを用いて沿面放電発生および進展の数値解析を行った。その結果、沿面フラッシュオーバー電圧および放電開始時間遅れの数値解析解が、実験値と良く一致することを示し、数値解析モデルの妥当性が示された。

第7章では、結論として本研究で得られた成果をまとめた。

## 学位論文審査の結果の要旨

近年、変圧器内部の絶縁寸法の縮小および絶縁構造の簡素化のニーズが強くなり、変圧器絶縁の要である油/プレスボード (PB) 複合絶縁系の絶縁設計にとり重要な沿面放電基礎特性解明が益々重要となってきた。本研究では、変圧器の絶縁油/プレスボードPB複合絶縁系の絶縁特性の大幅な向上を目的として、これまで試みられていないPBにナノシリカ・エポキシ樹脂コンポジット(NS/EP)NCの薄膜をコーティングした複合絶縁系の放電特性を、ナノ秒オーダーの高速光学的観測系と電氣的測定系を組み合わせた放電観測システムを用いて調査、検討している。また、数値解析モデルを用いた沿面放電進展特性シミュレーションを用いて、実験結果を合理的に説明している。

1 章, 2 章で沿面放電現象の実験・解析報告のレビュー, 3 章では後の章で検討する沿面放電進展数値モデルについて説明している。4 章では, 放電発生確率や放電進展距離などを測定した結果, 耐沿面放電特性がナノコンポジットコーティングにより向上することを示した。これらのナノコンポジットコーティングによる改善効果のメカニズムを, 1) PB 中の水分乾燥による誘電率  $\epsilon_r'$  の低下効果, 2) PB 表面の粗さ低減効果, および 3) PB 表面からの電子放出の低減の三つの要因を考慮して定性的にまた半定量的に説明を試みた。

また, 5 章では, フィラー含有率およびフィラーサイズを変化させたナノシリカ・エポキシ樹脂のナノコンポジット自身の耐沿面放電特性について検討を行い, その結果, ナノシリカフィラー含有率が少量の 1% で耐沿面放電の性能指数が 1.4 倍向上することも見いだした。

6 章では, 実験により示された, シリカ・エポキシ NC による耐沿面放電特性の改善につきそのメカニズムを定量的に理解するため, 油/固体複合絶縁系における沿面放電進展の数値解析モデルを提案している。数値解析モデルは, 液体絶縁中の電子, 正負イオンの電荷連続方程式, 熱伝導方程式, および電界分布決定のためのポアソン方程式, および固体絶縁材料に対しては表面からの電子放出に基づく支配方程式から構成されている。その結果, 沿面フラッシュオーバー電圧および放電開始時間遅れの数値解析解が, 実験値と良く一致することが示され, ナノコンポジットによる固体表面からの電子放出抑制を考慮した数値解析モデルの妥当性が示された。

以上, 本論文は, ナノコンポジット(NC)コーティングの効果を検討した油/PB 界面における沿面放電挙動を実験により詳細に観測し, NC による耐沿面放電性向上を実験的に実証するとともに, 数値解析モデルに基づき NC コーティング効果のメカニズムを明らかにしており, 学術的な価値を有している。さらに, 変圧器の油/PB の NC コーティングに基づく絶縁性能向上の手法を提案しており, 産業応用面からも高い価値を有し, 博士学位論文として十分であると判定された。

また, 審査会および公聴会において, NC のコーティングの方法, NC と通常エポキシ樹脂の電子放出係数の違い, 実際の製造過程において最適なフィラー含有率作成の制御方法, フィラーのサイズの影響等について多くの質問がなされたが, いずれも適切な回答がなされ, 質問者の理解が得られた。以上により, 論文調査及び最終試験の結果に基づき, 審査委員会にて慎重に審査した結果, 本論文が博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。

以上により, 論文調査及び最終試験の結果に基づき, 審査委員会において慎重に審査した結果, 本論文が, 博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。