

審査の結果の要旨

氏名 中村 隆央

高電圧電力機器の寿命や長期信頼性を決定する主要因の一つが、機器の電気絶縁材料として多く用いられている固体誘電体の内部や界面に生じる劣化現象である。こうした劣化は電氣的なストレスが高くなる弱点部、すなわち絶縁物内部の異物や空隙、および電極との接触部周辺の界面が起点となり、数十年といった長期間にわたって進行していく。固体誘電体の劣化現象については不明な点も多いことから、本論文は、固体誘電体の界面および内部における絶縁劣化過程を正確に把握することを通じて、劣化現象の機構解明とその進行抑制法の検討を目的としたもので、「固体誘電体の界面および内部における絶縁劣化現象」と題し、9章から構成されている。

第1章「はじめに」では、固体絶縁内部および界面における劣化現象の先行研究について述べ、本研究の位置づけを示している。内部における劣化はトリー進展と充填剤の相関が未解明であること、界面における劣化は表面電位分布の測定が重要であることを述べている。

第2章「電気トリー観察装置の開発」では、マイクロコンポジットエポキシ中の電気トリー観測に用いた X 線位相イメージングと、ナノコンポジットエポキシ中の電気トリー観測に用いた高解像度顕微鏡について述べている。X 線位相イメージング装置は高電圧印加中にその場観測が可能であり、実用エポキシ材料中に発生するトリーの経時変化を初めて観察することに成功している。

第3章「マイクロコンポジット中トリー観察」では、マイクロコンポジットエポキシ中の電気トリー観測結果について述べている。X 線位相イメージング装置の最小検出感度および最適素子配置、および差分画像を取得することによるノイズ低減効果について検討し、本手法を用いることでトリーが観測可能であることが示されている。5 μm のシリカ粒子を 10wt%、20wt% 添加した、光学顕微鏡では観察できない不透明サンプルについてトリー観測を行い、進展と停止を繰り返しつつトリーが時間進展していく様子を初めて明らかにしている。

第4章「ナノコンポジット中トリー観察」では、ナノコンポジットエポキシ中の電気トリー観察結果について述べている。電気トリーの進展は 10wt% サンプルでは抑制効果が顕著であるが、5wt% サンプルでは効果が小さい。部分放電電流および発光観測結果より、10wt% では電気トリー内部の導電率が小さいことが推定され、また、部分放電で劣化した樹脂表面の導電率測定によって、推定の妥当性が補強されたことから、トリー内部の導電率を増加させないことにより進展が抑制されると結論づけている。

第5章「界面における電位分布測定・部分放電観測装置の開発」では、電動機コイルの電界緩和システム界面を対象としたポッケルス電位分布測定法と部分放電計測手法について述べている。特に、ポッケルスセンサは光で電位を測定するため、測定対象に非接触で、インバータサージに対しても十分な時間分解能を持ちつつ、非線形抵抗材料表面の電位分布測定に成功している。

第6章「各種電圧印加時における電位分布及び温度分布の測定と解析」では、電動機コイルモ

デルの電界緩和システムに各種電圧波形を印加し、電位分布および温度分布を測定・解析した結果について述べている。繰り返しインパルス印加時には、電圧波頭でコロナ防止層(CAT)の、そして波尾で電界緩和層(SGT)の、それぞれの電位勾配が大きくなることが明らかになった。マルチレベル PWM 電圧印加時には、PWM に含まれる基本周波数成分が極性反転する直後において、CAT と SGT との境界付近の電界を強めていることを見出し、この原因が CAT と SGT の界面における残留空間電荷によるものであることを明らかにしている。

第7章「電界緩和システムの導電率と形状の最適化」では、電界緩和システムにおいて CAT や SGT の多重巻により電界・発熱を抑制する手法について検討を行っている。多重巻にすることにより電界と発熱を抑制できることを数値解析および実測により示している。しかし、CAT の多重巻によって鉄心端部での電界は抑制できるが、SGT に近い部分では電界が上昇するというトレードオフの関係にあることも明らかとなった。

第8章「電界緩和システム表面における部分放電現象」では、光電子増倍管を用いて電界緩和システム表面における部分放電観測を行い、電界解析と併せて検討している。正弦波では部分放電発生電界が小さく、インパルス波では部分放電発生電界が大きいという結果が得られている。この結果により、部分放電発生は表面における最大電界のみでなく、最大電界の維持時間および最大電界が加わる空間の大きさに影響を受けることが明らかとなった。

第9章「結言」では、本論文を総括し、今後の研究課題についても述べている。

以上これを要するに、本論文は、電気機器の長期信頼性を支配する固体誘電体内部および界面の劣化現象を検討すべく、内部劣化では電気トリーを対象として、充填剤入り不透明エポキシ材料中のトリー時間進展過程を X 線位相イメージング法により初めて可視化を行い、また、界面劣化では回転機に設けられる電界緩和層界面を対象として、そこに現れる特徴的な電位分布や部分放電を明らかにすることにより、劣化機構の解明や劣化抑制法の提案への端緒を切り開いた点で、電気工学、特に高電圧工学、誘電絶縁材料工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。