

氏名	和田守美穂
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第153号
学位授与年月日	平成15年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	誘電体中の空間電荷分布計測に関する研究
学位論文審査委員	(主査) 副井 裕 (副査) 大北正昭 伊藤良生

学位論文の内容の要旨

誘電体の絶縁破壊は、電気・電子機器の寿命を支配する重要な要因と考えられ、誘電体の絶縁破壊現象を解明するための研究が盛んに行われてきた。しかし、誘電体の電気伝導にはさまざまな要因が複雑に関与していると考えられ、電気伝導機構を明らかにするのは容易ではない。そのため、さまざまな測定法により、この絶縁破壊現象の解明が試みられている。特に、誘電体中の空間電荷は絶縁破壊過程に大きな影響を及ぼすと考えられており、絶縁破壊発生までの過渡的空間電荷を測定することは重要である。

パルス静電応力 (PEA) 法は、空間電荷分布測定手法の中でも、測定系がアースされたシールドボックス内に閉じ込められており、高電圧系と測定系を完全に分離できるため、絶縁破壊までの空間電荷分布観測に有効な手法である。この方法を絶縁破壊発生までの空間電荷分布測定に利用することにより、試料内部の空間電荷、電界、伝導電流を測定できる可能性があり、誘電体の電気伝導や絶縁破壊現象を解明する有効な手段の一つになると考えられる。

しかし、従来の測定装置では、絶縁破壊までの測定は可能であったものの、数秒間隔での測定しかできず、絶縁破壊直前の過渡的变化を詳細に観測することができなかった。また、さらに絶縁破壊発生までの外部回路電流を同時に測定することができれば、絶縁破壊現象を分析する上で有効であると考えられる。

一方、PEA 法は、パルス電界の印加によって誘電体中に発生する音波を観測する方法であるため、試料が材料の異なる複数の層からなる場合や球電極の場合など、試料や測定系が複雑な形状になると、音波の反射などの影響により、測定誤差が含まれる可能性がある。従来、このような誤差の解析には、電極や誘電体の音響インピーダンスを用いた透過と反射に関する理論式が利用されており、音波の空間的かつ過渡的な変化を同時に解析することは困難であった。

このような背景から、本研究の目的は、大きく分けて次の2つとした。

- (1) 絶縁破壊が発生するまでの現象をより詳細に観測するため、今まで行われていない、外部回路電流の同時測定と短時間間隔での測定を行い、その結果観測された現象から、絶縁破壊を引き起こす要因について考察する。

- (2) 空間電荷分布の測定結果に含まれる、音波の発生と伝搬過程に起因する測定誤差を取り除くため、その誤差の解析に有効な数値解析モデルを提案する。さらにその数値解析モデルにより、実際の測定結果について、空間的かつ過渡的な変化を観測することで、空間電荷分布の測定誤差について分析する。

(1)については、まず、絶縁破壊発生までの過渡的空間電荷と外部回路電流を同時に測定可能な装置の開発により、低密度ポリエチレン(LDPE)フィルム試料における破壊過程での空間電荷や電界、外部回路電流から求めた変位電流や伝導電流の過渡的变化を観測し、それらが絶縁破壊現象に及ぼす影響について考察した。その結果、この測定で使用した、電極系を含めた LDPE フィルム試料の絶縁破壊の強さは、試料内部の最大電界よりも伝導電流の大きさに依存することが明らかになった。

また、短時間間隔での測定を可能にすることにより、これまで測定されていない、LDPE フィルムの高温領域における絶縁破壊直前の過渡的空間電荷の挙動を観測し、絶縁破壊直前に起こるより詳細な現象について調査した。その結果、90℃において、絶縁破壊現象に関係する可能性がある、陽極からの多大な正電荷の注入現象を観測した。また、アセトフェノンを陽極に塗布した試料について、室温で、絶縁破壊現象に関係するかもしれない、陽極からの多大な正電荷の注入現象を観測した。このように、数秒間隔の空間電荷分布測定装置ではこれまで測定できなかった、絶縁破壊直前の空間電荷分布測定を短時間間隔で行い、LDPE フィルムの絶縁破壊現象について、絶縁破壊に直接関係するかもしれない空間電荷分布の過渡的变化があることを実験的に明らかにした。

(2)については、まず、PEA 法による空間電荷分布測定において、空間電荷に相当する音波の発生と伝搬の過程を数値解析により明らかにするため、音波の発生と伝搬に関する新しい数値解析モデルを提案した。この数値解析モデルは、空間的かつ過渡的な変化を観測することが可能であり、測定結果の予測や分析を行う上で有効である。

さらに、PEA 法において、音響インピーダンスが大きく異なる2つの材料からなる2層誘電体を試料とした場合や、蒸着電極を有する材料などのような金属-高分子複合材料を試料とした場合の測定誤差について、この数値解析モデルにより調査を行った。その結果、実際には電荷が存在しない位置での音波の観測や、音波の振幅値の変化など、音響インピーダンスの違いにより生じた測定誤差の詳細が明らかになった。このように、提案した数値解析モデルでは、空間的かつ過渡的な変化を同時に観測することが可能であり、PEA 法における測定誤差の分析に有効であることを示した。

以上のような研究により、PEA 法による空間電荷分布測定の精度が向上し、誘電体の絶縁破壊現象の要因の一つと考えられる絶縁破壊過程での空間電荷の挙動や、電界、伝導電流などをより厳密に調査することが可能になり、絶縁破壊現象の解明に貢献できると考えられる。

論文審査の結果の要旨

誘電体の絶縁破壊は、電気・電子機器の寿命を支配する大きな要因である。また、直流高電圧印加時に生じる空間電荷は絶縁破壊や電気伝導に影響を与えることが、以前より指摘されている。従って、空間電荷分布を測定することは、絶縁破壊現象を解明する上で非常に重要である。

本論文は、高電圧下での空間電荷分布測定法として有効と考えられている、パルス静電応力(PEA)法について、これまでにない短時間間隔での測定や外部回路電流の同時測定などを可能とするように

測定装置の改良を行い、さらに、測定誤差の詳細分析を行うための新しい数値解析モデルの提案と、そのモデルによる PEA 法の測定誤差分析を目的として行った研究をまとめたものである。

まず、低密度ポリエチレン(LDPE)フィルム試料について、絶縁破壊発生までの空間電荷分布と外部回路電流を同時に測定し、その結果から求めた電界分布、変位電流、伝導電流、電位分布から絶縁破壊現象について考察を行っている。次に、ミリ秒間隔で測定可能な空間電荷分布測定装置を利用して空間電荷分布を測定し、絶縁破壊直前の過渡的变化について調査を行っている。これらにより、これまで観測されていなかった、絶縁破壊に影響を及ぼすと考えられる新たな現象が観測されたことを報告している。

次に、PEA 法において音波の発生と伝搬過程に起因する測定誤差を取り除くため、音波の発生および伝搬を考慮した新しい数値解析モデルを提案している。さらに、試料が 2 層誘電体の場合および、金属-高分子複合材料の場合の空間電荷分布測定結果に対し、このモデルを適用することによって測定誤差の分析を詳細に行っている。測定誤差の分析結果から、数値解析モデルにより、PEA 測定結果の空間的かつ時間的な変化の詳細を分析することが可能となり、PEA 測定誤差の分析に有効であることを確認している。

以上のような研究成果により、PEA 法による空間電荷分布測定の精度が向上し、絶縁破壊過程での空間電荷のふるまいや、電界、伝導電流などをより厳密に調査することが可能となり、さらに数値解析モデルにより測定誤差の詳細な分析が可能となったことから、本研究は誘電体の絶縁破壊現象の解明に大きく寄与するものと評価できる。従って、本論文は博士（工学）を授与するに値するものと認める。