

学位論文題名

画像処理技術を用いた高分子絶縁材料の
トリーイング劣化診断に関する研究

学位論文内容の要旨

近年の石油化学工業の著しい発達に伴って各種合成高分子材料が開発されている。これらは、電気材料として優れた性能を持つものが多く、電気機器や電力用ケーブル、電力用コンデンサ、高電圧機器等に広く用いられている。特に、電力用ケーブルに用いられている高分子絶縁材料は化学的に安定であり、また電気的特性においても絶縁耐力が大きく、また誘電損が極めて小さいなど、その特性が優れており、他に軽量性、加工性そして機械的性質等の点でも優れた特性を有している。最近では超高压送電や超高压機器等の出現や絶縁膜が薄いため高電界となる薄膜素子等の電子部品においても高電界絶縁が注目されており、その環境も年々過酷になってきている。このような環境において使用される高分子絶縁材料には材料内部においてトリーイング劣化と呼ばれる絶縁破壊現象が発生し、電気・電子機器の寿命を考える上で大きな要因となっていることから多くの研究者により研究されてきている。トリーイング劣化現象の劣化メカニズムの解析に関しては多くの研究報告があるが、その報告の内容はトリーを目視観察することにより検討したものが多く、しかし、計測法が主として顕微鏡を用いた目視観察によるものであったため、トリーがある程度進展してからの検討が多く、トリー発生直後の破壊機構に関する定量的な説明は、十分になされていないのが現状である。

一方、コンピュータの応用技術である画像処理は、目視では不可視な部分の可視化や、対象画像となる部分の明るさの補正、画像の特徴抽出および画像の定量的評価を行なう事等が可能になる。コンピュータおよび画像処理技術を絶縁計測に応用することは、これまでの目視観察を中心とした計測法で、トリー発生および進展について定性的かつマクロに解明する事しか出来なかった部分を、定量的およびミクロに解明する事が可能となり、時代に応える研究法であり、多くの新たな知見を提供するものと思われる。

本研究では、トリーイング劣化機構解明のための新しい糸口を発見することを目的とし目視観察に比べて、より高速で、よりミクロな処理を可能とする、コンピュータと画像処理技術を用いた新計測法の開発を行った。

本論文は全7章より成り、第1章を緒論、第7章を結論とした。

第1章では、本研究の背景とその目的について述べ、本研究に対する筆者の立場を明らかにした。さらに、絶縁破壊理論および本論文の主題であるトリーイング劣化現象についての現在までの内外の研究状況を概観するとともに、本研究の内容について述べている。

第2章では、パーソナルコンピュータ、画像処理装置、ビデオカメラおよび光学顕微鏡を用いた画像処理システムの開発について述べ、試料として2種類の絶縁材料を用いて、それぞれの場合におけるトリーイング劣化現象の2次元計測について述べた。具体的には、トリーの伸び特性について目視観察と画像処理計測の比較、画像処理によるトリーイング劣化の形状ならびに劣化面積特性について調べた。その結果から、画像処理計測によるトリーの電極軸方向への伸び長さ、水平方向への伸び長さとも目視計測の場

合とほぼ同様の傾向をしめした。また、目視では計測不可能であったトリーの劣化面積特性は、トリーの進展状況がよく表れており、印加電圧を変えた場合におけるトリー形状の違いも、劣化面積と相関関係がある事が明らかになった。また、トリーイング劣化部分の3次元計測の導入部分となる擬似カラー表示についても検討した。

第3章では、トリー画像に対し細線化処理を施す事によりトリーを構成しているトリー管を抽出し、トリーの構造的な特徴の定量的評価を行った。本画像処理計測システムを用いることにより高速にトリー画像を取り込むことが可能で、従来不可能とされていたトリー発生直後数秒間のトリー進展画像をとらえることが出来、その画像からその時点ですでに絶縁破壊時の形状を示している事が明らかになった。また、このトリー画像を細線化し端点と分岐点を求めた。印加電圧が低い場合、端点、分岐点ともゆっくりした増加の傾向を示し、樹枝状トリーの特徴を示し、印加電圧が高くなると端点、分岐点ともトリー発生直後は急増の傾向を示すが、その後飽和の傾向を示し、ブッシュ状トリー、まりも状トリーが進展する過程の構造的特徴を表している事が明らかになった。

第4章では、トリーイング劣化現象の3次元計測について検討した。本来トリーは3次元事象であるにも関わらず立体としての計測は行われておらず、2次元的な計測しかできなかった。試料としては、多方向からトリー画像をとらえるため円柱棒状の亚克力棒を用いた。具体的には、CT (Computed Tomography) 法と光透過法を用いた画像処理計測システムを開発し、トリーイング劣化の成長過程における劣化部分の体積変化について調べた。印加電圧が9 kVの場合、課電時間に対して劣化体積変化は少なく、枝分かれの少ない樹枝状トリーの特徴を示している。印加電圧を12、15 kVとすると、トリー発生直後においては体積変化が少なく樹枝状の特徴を示し、まもなくトリーが増殖し始め劣化体積も急増し始め、ブッシュ状、まりも状の特徴を示す事が明確となった。

第5章では、トリー進展過程でよくみられる分岐がなぜ起こるのか、また試料中のどの部分を進展していくのかについて、よりミクロな観点から検討した。結晶性高分子材料を熔融状態から冷却すると冷却過程においてラメラ晶や球晶が生じる。球晶は核を中心に板状晶(ラメラ)が放射状に成長したものである。球晶間および球晶内のラメラ間にも非晶質部が存在する。試料としてはポリプロピレンフィルムを用い、球晶とトリーイング劣化現象の関係を明らかにするために、画像処理計測を行った。その結果、トリーは球晶内および球晶外の非晶質部において発生し、球晶内で発生したトリーは非晶質部をラメラに沿って進展し、球晶外に出た後では球晶外で発生したトリー同様、球晶に衝突するとトリーは分岐するか、またはその進路を変更し球晶に沿って進展することが明確となった。

第6章では、画像処理計測システムが電気トリー以外の計測への応用の可能性を検討するため、画像としてはとらえにくい水トリーの計測を行ない、水トリーの進展経路と球晶の関係について検討した。試料としては、ポリプロピレンフィルムを用い、水電極を作製し、交流高電圧を印加し、画像処理計測を行った。その結果、水トリーを画像として明瞭にとらえることが出来、画像処理計測システムが応用できる事が明らかになった。水トリーは、電気トリーの場合とは違い、球晶内では発生せず、球晶外の非晶部のみで発生することが確認され、また、球晶外で発生したトリーは細かな分岐のないトリーとなって進展し、球晶に衝突すると分岐または球晶を避けるように進展していくことが明確となった。

第7章は結論で、本研究により得られた主な成果と本論文の工学的意義について述べている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	田頭	博昭
副査	教授	長谷川	淳
副査	教授	酒井	洋輔
副査	教授	長谷川	英機
副査	教授	横田	和明

学位論文題名

画像処理技術を用いた高分子絶縁材料の トリーイング劣化診断に関する研究

電力ケーブルを含む高電圧機器絶縁に電氣的、機械的、ならびに化学的性能が優れた高分子絶縁材料が用いられている。しかし近年は超高圧送電の出現や機器設備の小型化等のため要求される絶縁電界は増加の一途をたどっており、このため微細な絶縁破壊経路が樹枝状に拡がっていくトリーイング劣化とよばれる絶縁破壊現象が頻発し機器の寿命を考える上で大きな問題となっている。

本論文は高分子材料のトリーイング劣化現象について著者が開発した画像処理技術を用いて行った研究の結果をまとめたもので、

第1章は緒論で、本研究の背景、目的、トリーイング劣化現象に関する内外における従来の研究について述べるとともに、従来目視で行われてきたトリー進展の研究に、より客観的な画像処理技術を導入することによりえられる観察・解析の正確化、詳細化、深化の可能性について述べている。

第2章は画像処理装置の開発ならびにトリーイング劣化の2次元計測について述べている。トリーの伸び特性について目視計測と画像処理計測した結果を比較し、傾向としては両者はよく一致するが前者では不可能であったトリーの劣化面積特性はトリーの進展状況をよく表していることを明らかにした。また結果を表示する際の擬似カラー化処理技術も開発し次々章の3次元計測に備えている。

第3章はトリーの構造的特徴を定量的に評価するためトリーを構成しているトリー管を抽出し、トリー画像の細線化処理を行った。本研究の画像処理計測システムによりトリー発生直後のトリー進展画像が得られ、トリーは既に絶縁破壊時と同様な形状を示していることを明らかにした。また、トリーの端点と分岐点を細線化によって求め印加電圧との対応を調べた結果、低電圧では端点、分岐点とも時間とともに緩やかに増加する樹枝状トリーの特徴を示すが、高印加電圧では端点、分岐点とも時間とともにまず急増しついで飽和するというブッシュ状トリー、まリモ状トリーの特徴を示すことを明らかにしている。

第4章は本研究によって初めて行われたトリーイング劣化の3次元計測について述べている。CT法と光透過法による画像処理計測システムを開発しアクリル樹脂

についてトリーイング劣化成長過程の劣化部体積変化を調べた。低電圧課電時は時間に対し劣化体積変化は少なく枝分かれの少ない樹枝状トリーである。印加電圧が高いと電圧印加直後は体積変化の少ない樹枝状トリーの特徴を示すが、間もなくトリーが増殖し劣化体積も増大し始めブッシュ状、まりも状の特徴を示すことを明らかにした。

第5章はトリー進展過程にみられる分岐の成因ならびに進展部位についてポリプロピレンフィルムを例にとり微視的な観点から詳細に検討している。その結果、トリーイングは球晶内または球晶外の非晶質部で発生し、球晶内で発生したトリーは非晶質部を板状晶に沿って進展し、また球晶の外に出た後では球晶外で発生したトリーと同様、球晶に衝突すると分岐するか進路を変更して球晶に沿って進展することが明らかになった。

第6章は本画像処理計測システムを、画像としてはとらえるのが難しい水トリーの計測に適用した結果を述べている。ポリプロピレンフィルムを用い、交流電圧を水電極間に印加し計測の結果水トリーをはじめ画像処理計測システムでとらえることに成功するとともに、水トリーは球晶内では発生せず、球晶外の非晶部のみで発生することを明らかにする等の成果を得ている。

第7章は結論で、本研究の主要な成果とその工学的意義について述べている。

以上を要するに本論文は近年の高電圧送電系統の絶縁においてその抑制が重要となっているトリーイング劣化現象を、客観的かつ高精度に計測するための画像処理技術を開発するとともにこれを用いて3次元画像計測をはじめとする精細な計測により、トリーイング劣化現象に関する多くの新知見を得たもので、電気絶縁工学および電力工学の進歩に貢献するところ大である。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。