

学 位 論 文 題 名

木材を媒体とする漏れ電流による電氣的発火現象とその抑制

学位論文内容の要旨

日本の経済成長はめざましく、技術革新、情報化社会の進展と国民生活水準の向上に支えられ、電気の利用分野は拡大、多様化し、一般家庭においても、電力の需要が伸び、屋内電気配線も複雑多岐となり、さらに使用環境の苛酷化に伴い、漏電の発生する機会が増加している。

日本の一般住宅は木造建築が多く、その屋内電気工事用絶縁電線として、経済的で工事の施工が簡便なため、Fケーブル（600Vビニル平形外装ケーブル）が多用されているが、工事施工時のサドル打込作業の欠陥や絶縁電線および配線器具の劣化等により、木材を媒体として漏れ電流が流れ、木材を炭化し、火災にまで発展した例は既に報告されている。また近年超高压送電線の実用化に伴い、高電界下において枯死立木に流れる誘導電流により、ある条件のもとでは発火に至る可能性のあることが報告され、山林火災への危険性が示唆されている。しかし、木材を媒体として漏れ電流が流れた場合の炭化の芽の発生機構、その成長、発火に至る過程、発火条件および発火抑制について研究資料は乏しいのが現状である。

本研究は、漏れ電流が木材を媒体として、その表面および内部を貫通して流れる場合について、乾燥帯の発生、微小放電発生、炭化の芽の発生、炭化の進展、発火条件、発火機構等について実験的に追求し、新しい知見を得ることを目的とした。

またFケーブルが発火源となり、ケーブル火災や建物火災に発展する場合もあるので、特定の条件のもとにおいて、Fケーブルに漏れ電流が流れた場合の発火のパターン、劣化の過程、劣化物の性質等についても実験的に追求し、新しい知見を得ることを目的とした。さらに木材に漏れ電流が流れ、トラッキング（トラッキングとは放電によって、材料の一部が熱分解し、構成成分としての炭素が表面に遊離して、炭化導電路を形成する現象）劣化、発火に至る場合のトラッキング抑制方法について実験的に検討し、得られた新しい知見についても言及する。

本論文は、全7章から成っている。

第1章は緒論であって、まず本研究の目的を示し、本研究の工学的、社会的意義を述べ次に漏電による電気火災の現状について概観した。また、漏れ電流が木材またはFケーブルに流れた場

合の発火現象について、内外の研究の背景を概観した。

本実験の木材試料としては、秋田県産杉材の心材部を主に用い、耐トラッキング性試験法国際的に規格化されている。IEC 112に準ずる方法によるなどのことを述べている。

第2章では杉材について、その電氣的基礎物性として、電気抵抗、電氣的絶縁破壊電圧等について実験的に検討し、含水率による電気抵抗の変化、乾燥した杉材は優れた絶縁特性を示すこと、絶縁破壊時の放電孔は交流と直流では相違することを示した。

第3章では、交流課電下において、杉材の貫通漏れ電流を対象とし、木口（幹や枝の軸に直角の断面に現れる紋様）面に電極を対向して、実験的に検討した。

すなわち炭化の芽の発生条件、炭化部の成長過程、発火に至るモード、炭化部の結晶構造、電流・電圧破形の観測結果等について示した。発火に至る場合、漏れ電流対時間特性はV特性を示すこと、また炭化導電路が完成し、発火する直前・直後の炭化部より削り取った供試料の電子顕微鏡写真およびX線回折の結果を検討し、炭化部の炭素は、黒鉛化には至らないにもかかわらず漏れ電流により、発火危険性のあることを示した。

木材に漏れ電流が流れた場合の発火機構に関して、金原氏等は、木材が漏れ電流により黒鉛化し、電導状態となり、発火につながるという仮説を提起し、所謂金原現象は木材を媒介とする電気火災鑑識の重要な参考とされていた。

本研究では上記金原仮説と異なる視点により、木材に漏れ電流が流れた場合の木材の発火現象を追求し、課電圧、木材の含水率等によって、発火する場合、発火しない場合のあることを示し、その過程を詳細に述べている。

なお電圧・電流波形の観測により、炭化部の成長過程がある程度理解出来ること、又含水率30%前後（繊維飽和点における含水率）で、発火発生率が他の含水率の場合より高いことを示した。

第4章では湿潤汚損を受けた杉材に、直流電圧を課電した場合について、トラッキングによる発火現象を追求した。

試験液は三種類で、主にトラッキングによる炭化の過程、発火過程、発火限界等について検討を行った。陽極付近に発生した炭化部の先端に微小放電が発生し、炭化部は陰極に向かって成長し、炭化導電路完成間近になると陰極付近に微小放電が発生して、炭化導電路が完成する場合が多いことを示した。なおそれぞれの試験電圧、電極間隔と最初の発火に至る場合および短絡完成に至るばあいの試験液と滴下数との関係について述べ、ある条件下では試験液が水道水のばあいでも発火危険性のあることを示した。

第5章では杉材の交流トラッキングによる発火現象について述べ、〈5・1〉では杉材が直接

発火源になる場合について追求した。〈5・1・1〉では、試験液三種類について、炭化の芽の発生、その成長過程について詳細に検討し、板目面において電極を木理方向に対向した場合は直角方向に対向した場合よりも発火危険性が大であることを示し、なお電圧および電極間隔をパラメータとして杉材の発火領域を示した。また〈5・1・2〉では、試験液 NaCl と耐トラッキング IEC 112試験法の規格試験液 NH_4Cl との比較を中心に実験的に検討し、試験液 NaCl は NH_4Cl に比して、トラッキング破壊が起こり易く、最初の発火に至る傾向が強く、耐トラッキング試験の試験液として有効性があることを示した。

次に〈5・2〉では、木材に隣接するFケーブルが発火源となる場合を想定し特定の条件の下で、Fケーブルに漏れ電流が流れた場合の発火パターン、被覆の劣化状態の変化、地絡電流と発火開始までの時間、劣化部（炭化物を含む）のX線回析の結果および、その性質等について追求し、ある環境条件のもとでは、Fケーブルの許容電流（周囲温度 30°C 以下の場合、Fケーブルの軟銅心線直径1.6mmの許容電流は、27Aで、 30°C をこえる場合は電流減少係数を乗ずる。）以下でも発火危険性のあること、および劣化生成物は大気中で水分を吸収し、電気抵抗が低下することを示した。

第6章では、発火に密接に関係のある木材の漏れ電流によるトラッキング抑制について、主に交流課電のもとで、実験した結果について述べ、シリコン・コンパウンドは塗布厚さを大にすることによって、トラッキング抑制効果を期待できること、またエポキシ樹脂を主成分とした無溶剤性コイル含浸用ワニスはその塗布によりトラッキング抑制効果が顕著であること、および漆を塗布した試料は発水性は高いにもかかわらず、微小放電によって可燃性ガスを発生し、数秒後にトラッキング完成、発火に進展し、トラッキング抑制効果のないことを示した。

第7章では本研究で得られた主要な成果と工学的意義について要約している。

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	長谷川 英 機
副 査	教 授	林 治 助

わが国の電力需要の増大とともに、漏電による火災発生の機会が増加している。

本論文は、漏電火災の主因をなすと考えられる、漏れ電流が木材を流れる場合の発火の条件、発火の機構等について実験的に解明するとともに、屋内電気工事用絶縁電線として多用される F ケーブル（600 V ビニル平形外装ケーブル）に漏れ電流が流れた場合の発火についても実験的に研究を行ったもので、主要な成果を次のように要約することができる。

第 1 章は緒論で、本研究の目的および工学的、社会的意義について述べ、漏電による電気火災の現状を概観し、漏れ電流が木材または F ケーブルを流れた場合の発火現象に関する研究について、内外の文献をもとに概観している。なお、本研究では、秋田県産杉材の心材部を主に用いていること、耐トラッキング性試験法は国際規格である IEC 112 に準ずる方法をとっていることを述べている。

第 2 章は杉材の電気的基礎物性である電気抵抗、電気的絶縁破壊電圧等について実験的に検討し、含水率による電気抵抗の変化、交流と直流における絶縁破壊時の放電孔の相違等を明らかにしている。

第 3 章は交流課電下の杉材に漏れ電流が流れる場合について、木口面に電極に対向配置して実験を行い、炭化の芽の発生条件、炭化部の成長過程、炭化部の結晶構造、電流電圧波形等の観測結果を示すとともに、発火に至る場合、漏れ電流対時間特性は V 特性を示すこと、炭化部の炭素が黒鉛化に至らないにも拘らず漏れ電流により発火危険性のあることを明らかにしている。とりわけ後者の知見は、従来の電気火災鑑識の重要な参考とされたいいわゆる金原現象、すなわち木材が漏れ電流により黒鉛化し発火につながるとする仮説、に疑問を投ずるものであり、きわめて重要である。さらに、炭化部の成長過程が電圧電流波形からある程度理解可能であること、繊維飽和点に相当する含水率 30% において発火率が最大となること等の貴重な知見を得ている。

第 4 章では湿潤汚染を受けた杉材に直流電圧を印加した場合についてトラッキングによる炭化の過程、発火過程、発火限界等を 3 種類の試験液で実験した。典型的な炭化導電路の形成は、ま

ず陽極付近に炭化部が発生し、その先端に微小放電が生じ、炭化部は陰極に向かって成長し、完成間近になると陰極付近に微小放電路が発生してついに炭化導電路が完成にいたることを示した。また条件によっては試験液が水道水であっても発火に至ることがあることを明らかにしている。

第5章では交流電圧印加下におけるトラッキングによる発火現象について述べている。杉材については、板目面において電極を木理方向に対向した場合は直角方向に対向した場合よりも発火の危険性が大であること、電圧および電極間隔をパラメータとして発火領域を特定しうることを明らかにするとともに、Fケーブルについては、許容電流以下でも発火の危険性を持つ条件が存在すること、漏れ電流による劣化生成物は大気中で水分を吸収し電気抵抗を低下させることを明らかにしている。

第6章では木材の漏れ電流によるトラッキングの抑制法に関する実験的研究を行い、シリコンコンパウンドは塗布厚を大にする事によって効果が期待できること、エポキシ樹脂を主成分とする無溶剤性コイル含侵用ワニス塗布は効果が著しいこと、また漆を塗布した試料は発水性は高いにも拘らず、微小放電による可燃性ガス発生により抑制効果のないこと等の重要な知見を得ている。第7章は結論であって、本研究で得られた主要な成果と工学的意義について述べている。

これを要するに、本論文は電気火災の主要な原因である木材等を流れる漏れ電流にもとづく発火の条件、発火の機構、その抑制法等について実験的に解明を行い有用な知見を得たものであって、電気設備工学、火災学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。