

氏名(本籍)	いわしたともやす 岩下 友安 (山梨県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第 6号
学位授与の日付	平成29年3月23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	火災調査のための電氣的溶融痕形成機序に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 須川修身 教授 松江英明 教授 竹増光家 教授 大島政英 教授 松岡隆志 准教授 内海重宜 准教授 小野 亮 (東京大学大学院)

論文内容の要旨

論文要旨

通常、建物内には照明回路やコンセント回路などの電気配線が多数存在する。そのため、火災によって通電中の電気配線が焼損すると絶縁が破壊されて短絡が起こり、アーク放電を生じて銅芯線が溶融する。このような溶融の痕跡は火災現場調査の手掛かりに活用されており、建物内配線の電気ケーブルや家電製品の電気コードに発生する電氣的溶融痕の位置から出火場所を推定する方法をアークマッピング法という。

アークマッピング法の活用に関する研究は多く行われている。これまでに、電氣的溶融痕の形状に関する研究、電氣的溶融痕の発生場所を統計的に考察して出火場所を推定する研究等が行われている。また、電気ケーブルの短絡に関する研究も多く行われており、電気ケーブルを短絡させ、その時の電圧を変動させて電流値をまとめた研究、短絡時に発生する電圧電流波形に関する研究等が行われている。

しかし、これまでの研究では、電気ケーブルが短絡に至る経過、すなわち受熱履歴の違いや絶縁被覆材の違いが溶融痕形成に及ぼす影響が明らかにされていないため、火災現場調査での活用において、短絡の発生原因や短絡に至るまでの時間経過にまで踏み込んだ検討考察が困難であった。

そこで、本研究では、一般的な電気ケーブルが火災現場において、どのようなメカニズムで短絡し、電氣的にどのような経過をたどり芯線に電氣的溶融痕が発生するか、短絡によって、どのようなメカニズムで電氣的溶融痕が発生するのか、電氣的溶融痕の発生機序を解明することによって、電氣的溶融痕から出火原因や出火場所を推定し、さらには電気ケーブルからの電気火災を予防する安全性に活用することを目的とし、研究を実施した。

一般的に電気ケーブルが短絡すると、短絡電流が 1000A 程度に達するため短絡直前の微小電流変化の観測が困難なこと、さらにはアーク放電によって短絡箇所が溶融して失われ

てしまうため接触状態を目視確認できないことから、既存の実験方法では、短絡時にどのような現象が起きているか詳細な観察が困難であった。そこで、本研究では、実験回路に100Wの電球を入れ、短絡電流を1Aに制御した。この方法によって短絡後の大電流アーク放電の影響のみを抑止することにより、短絡箇所の芯線の接触状態や短絡直前の電気現象を観察することが可能となった。

実験の結果、電気ケーブルが短絡する前の電流に着目したところ、電気ケーブルの芯線間に漏洩電流が流れていることが判明した。そして、その漏洩電流に着目したところ、漏洩電流によって短絡現象が2つのグループに大別できることが判明した。

第一のグループは、芯線同士が直接接触して短絡する接触短絡である。実験で使用した絶縁材がポリ塩化ビニル (polyvinyl chloride, 通称 PVC) の電気ケーブルにおいて、芯線間の絶縁材の絶縁が保たれた状態で、芯線間の絶縁が溶融して芯線同士が接触する、いわゆる Metal to metal contact が起きる。この時、短絡前の漏洩電流に着目すると、接触短絡の前に、漏洩電流はほとんど流れないことが判明した。

第二のグループは、芯線が直接接触せずに、芯線間の絶縁材の絶縁が劣化し、その劣化した絶縁材を介して短絡するアーク短絡である。火災の熱によって、芯線間の PVC 絶縁被覆が絶縁劣化し、電気ケーブルの芯線間の絶縁被覆が炭化してできた導電路に電流が流れる。いわゆる Arc through char が起きる。この時、短絡前の漏洩電流に着目すると、接触短絡の前に、100mA を超える漏洩電流が流れる場合があることが判明した。

この漏洩電流に着目して、短絡実験を実施した。実験で使用した電気ケーブルの絶縁材は、上記 PVC に加え、布、紙等を使用したもの (アメリカ製ケーブル) を用いて実施した。

その結果、短絡電流の測定域を 1000A オーダーから 1A 程度に精度を変え、微細な電流量に注目して、短絡前の現象に着目したところ、漏洩電流が認められた。この時も、接触短絡の時は、漏洩電流がほとんど流れないことが判明し、アーク短絡の時は漏洩電流が 1A を超える場合もあった。

さらに、短絡現象、漏洩電流および電氣的溶融痕の関係を明らかにするため、電氣的溶融痕の大きさを面積として計算し、これらの関係を調べたところ、接触短絡の時は、漏洩電流が小さく、電氣的溶融痕が大きい傾向にあり、アーク短絡の時は、漏洩電流が大きく、電氣的溶融痕が小さい傾向にあることが判明した。

実規模実験においては、漏洩電流が小さく、電氣的溶融痕が大きい傾向にあり、接触短絡が起きたと考えられる。

これらの知見を活用することによって、火災現場で電気ケーブルに発生する電氣的溶融痕の形状を観察することにより、その時に起きた短絡現象を推察することができる。これにより、従来の手法より詳細で、科学的な火災原因調査が可能となる。

本論文で明らかになった知見は、火災現場での活用にのみならず、短絡現象を知ることにより、電気安全・火災安全の向上にも寄与するものと考えられる。

論文審査の結果の要旨

(論文審査の要旨)

本論文は、通電中の家庭・家屋内の電気配線が火災の熱によって火害を受け、電気ケーブルの絶縁被覆材が受熱あるいは熱破壊して短絡が起こり、アーク放電を生じて銅芯線が溶断あるいは融解するが、このような状況に至る過程を、火災加熱を受ける電線の電圧・電流を克明に調査し、短絡は2つの範疇に分けられる機序を明らかにしたものである。

この機序の1つは、芯線同士が直接接触して短絡する「接触短絡(metal-to-metal contact)」である。もう1つの機序は、芯線間の絶縁が火災熱で劣化(炭化や軟化・流動化)し、劣化した絶縁材を介して短絡する「アーク短絡(arc through char)」である。このような2つの機序の中で、接触短絡では、漏洩電流は殆ど流れない事、そしてアーク短絡では、短絡前に100mAを超える漏洩電流が流れる場合がある事を新たに見い出している。

上述の短絡の機序の違いは、溶融痕の大きさ(2次元に投影した大きさとして面積を採る。これは法工学的な資料として写真が多用されることを考慮したことによる)に影響を与え、接触短絡の時は漏洩電流が小さく電気溶融痕が大きい傾向があり、アーク短絡の時は漏洩電流が大きく電氣的溶融痕が小さい傾向にある事を明らかにした。この傾向は、実規模火災実験で得られた電圧・電流の測定結果が示す傾向と一致している。

これらの知見を活用する事で、火災現場で電気ケーブルに発生する電氣的溶融痕の形状に併せてケーブルの敷設・使用状況を調査することで、火災時に起きた短絡の発生経緯が推定され、火災の発生・発達機序についての解明の一方法となる。

第一章では序論として、研究背景と目的が記述されている。

火災原因調査における事例を基に、本研究の目的と解明すべき問題点を記述している。一般の住宅火災で見分される電気ケーブルは、火災熱を受けて電氣的溶融が発生する事が多い。これら溶融痕跡の位置から出火場所を推定する方法の1つとしてアークマッピング法があるが、どのような機序によって溶融が発生したかについて推定はされていたが、明確な機序は知られていなかった。火災現場で電気ケーブルに発生する電氣的溶融痕の形状から、火災時に起きた短絡の発生経緯が推定できれば、火災発生の原因調査・解明に支援する合理的な手法の1つと出来ると考え、短絡の機序と溶断痕の大きさについて明らかにし、実務(火災の調査)に生かす手法とする事を目的としている。

第二章では、電気ケーブルの短絡性状を実験的に調査し、その結果を詳述している。

実験的手法を通じて、短絡前の漏洩電流の発見と短絡機序の解明を行っている。即ち、電気ケーブルに火災初期時の加熱状況を模擬した放射熱流束をコーンヒータで与え、短絡の前駆現象として絶縁劣化した芯線間の絶縁被覆を通して流れる漏洩電流の存在を確認している。この漏洩電流を観測することによって、アーク短絡と接触短絡が発生する機序を実験的に明らかにしている。即ち、①電気ケーブルが火災初期の放射熱に暴露された時、アーク短絡あるいは接触短絡が生じが、これらの前駆的現象として漏洩電流が流れる。②短絡前にシ

ダに増加する 100mA 以下の電気ケーブル芯線間の漏洩電流が計測できた。③接触短絡の場合、漏洩電流は数 mA から 20mA 程度と小さい。加熱による被覆の絶縁劣化が熔融軟化するが十分には絶縁が劣化しておらず、炭化・導電化が十分に進んでいないためである。④アーク短絡の場合、漏洩電流は数 mA から 100mA 以上と大きく、100mA で急速に造出してアークに発展する傾向を示した。これは加熱によって絶縁被覆が熔融しても芯線は接触するほど動かず、芯線間の絶縁部が炭化・導電化するためである。⑤電気ケーブルの芯線を動かさないように固定した実験では、アーク短絡の時と同様に、短絡前に 100mA 以上の漏洩電流が観測されており、アーク短絡の発生経過を裏付けるものであった。

第三章では、日米の代表的な電気ケーブル (VVF) を選出して試料とし、絶縁材料が異なった場合の短絡性状を実験的に調べている。

その結果、2章で明らかにしたと同様に、短絡前に漏洩電流が流れることを観測している。漏洩電流と電氣的熔融痕の大きさを調査し、漏洩電流が小さい方が電氣的熔融痕が大きい傾向を示し、漏洩電流が大きい方が熔融痕が小さい傾向にある事を実験的に明らかにしている。漏洩電流が小さいと接触短絡が生じ、漏洩電流が大きいとアーク短絡が生じる傾向があることを明らかにしている。アメリカでは未だ使用されている布引電気ケーブルは、漏洩電流が大きく(20A の場合もある)、電氣的熔融痕は小さい傾向がある。これは、ノンヒューズブレーカーが短絡前にトリップするする場合がある事を示唆し、現場で電氣的熔融痕が見つからない(見つかりにくい)状況をよく説明出来ている。

第四章では、実規模の居室に電気ケーブルを敷設した実験を行い、火災気流に暴露され、電気ケーブルが接触短絡を生じた例を示している。

電氣的熔融痕は約 2cm が接触する広範囲にわたって発生しており、第 2 章～第 4 章での考察内容と一致していることが確認されている。これまでは第三の短絡形態ではないかと推定されてきた広範囲なアーク短絡の局所化した熔融痕の発生が、実は接触短絡によって生じるものであると考えられる事が判明した。これは新しい知見である。

以上の様に、本論文は一般家庭で使用されている電気ケーブル (VVF) が、火災時に受熱して生じる短絡に 2つの機序があること、この機序と熔融痕の大きさが密接に関係している事を明らかにした。この解明手法が実火災での短絡で生じた熔融痕から、実火災の進展状況を推定する 1つの方法の基礎をなすものとして評価できる。よって本論文は博士 (工学) の論文として十分価値あるものと認める。