

火災時の電線の一次痕と二次痕の判定

一、概要

「焼損床面積五〇㎡」と聞くと、無味乾燥なひびきの中で数字だけが「焼け」のすべてを表しているかのように受け取られます。しかし、その中には木造であったり、耐火造であったり、住宅や作業所の用途であったりして、構造や用途、世帯状況によりさまざまに「焼け」があります。それは、現場に立ち入って初めて、きな臭いにおいととも五〇㎡という数字の重みを実感として受け止めることとなります。その「焼け」の実態の中に、焼損床面積五〇㎡の数字を作り出した火災の成長の要因が隠されています。

なぜ、このように燃えたのか。焼け崩れた事実から、火災の調査が開始されます。「よく見ること、よく聞くこと」

すると次第に絶縁性が悪くなり、芯線が接触して短絡することがあります。特に、曲げや引っ張りの頻度が多い器具付コードは、内部が非常に細い銅線をより合わせてできており、その素線が切れると半断線となって抵抗が増加し、加熱して被覆の絶縁性が破壊して短絡に進行することが多くあります。これらの被覆の絶縁性の劣化による短絡時のスパーク（火花）で、この付近の可燃物に着火して火災となった電気痕を「一次痕」と言います。いわば、火災の直接の原因です。

(二)、二次痕

すでに何らかの原因によって火災が発生してから、電線やコードの被覆が焼損して芯線が露出し、これが通電状態であれば短絡します。この時に発生した電気痕を「二次痕」と言い、火災の直接の原因ではなく間接的に生じた電気痕のことです。このため、火災の初期に発生した電気痕は、短絡現象により過電流が流れてブレーカーを切ることとなり、その後は短絡しなくなっ

この二つしか方法はありません。そして、一番重要な見分が出火箇所をどのように客観的、合理的に判定するかです。火災の原因調査を行ううえで最も神経を使うところで、どんなささいな手がかりでも使いたくなります。

しかし、現実には焼けの見方という、木材や金属などの受熱影響をベースとして組み立てられており、最近のように構造材に合板や樹脂材を用いて、通し柱のない間取りの建物では、火災時の火災の流れが受熱影響と一致しない場合もあります。そこで、建物に電気が配電されていることに着目し、初期の火災成長の段階で出火室内で用いられている電線の絶縁被覆が焼かれ、芯線が短絡（ショート）してできる短絡痕を探して出火箇所の手がかりとします。同一系統の電線では、より遠いところ

て出火箇所の判定要件となります。ただし、コードの短絡では二、三カ所の短絡ができることがあります。

(三)、発生時の相違点

一次痕は、周囲の温度が低く、痕ができてから急速に冷却してできた電気痕です。二次痕は、周囲温度が火災熱が高く、かつ空気中の酸素量が低く煤などがある状態の中で緩慢に冷えた電気痕です。しかし、このような発生時の微妙な相違点は、現場で発生した「電気痕」から見分するのは困難です。なぜなら、火災条件が個々の火災現場で異なるため、その現場で同一の物の焼けの比較検討が必要となるため、電気痕ではこの比較が適用しにくいことによるからです。

三、外面的な観察による方法

現場で採取した一五個の電気痕を、顕微鏡で外面的に観察し、一次痕と二次痕の比較をしました。

(一)、光沢

電気痕の表面は、銅の地肌がでてい

ろに出来た短絡痕ほど、より出火箇所に近いところと言えます。そして、このことが出火箇所の判定と同時に、その短絡痕が出火原因ではないかとの疑いがでることにもなります。出火原因となった電線の短絡痕を「一次痕」、火災熱で被覆が焼かれて短絡した痕を「二次痕」と呼びます。痕ができた過程が違いますが、見た目にはまったく同じで、従来からこの識別が火災原因調査の大きな壁でした。その識別方法についての研究をしましたので、概要を紹介いたします。

二、電線の一次、二次電気痕

(一)、一次痕

電気の配線やコードの被覆は、塩化ビニールやゴムなどでできていますが、この被覆が古くなったり、損傷したり

る部分（銅色）と酸化銅となっている部分（黒色）が混ざりあった状態となっています。これを一次痕と二次痕で区分けして観察してみると、一次痕のほうが光沢が多いことがわかりました（写真1参照）。

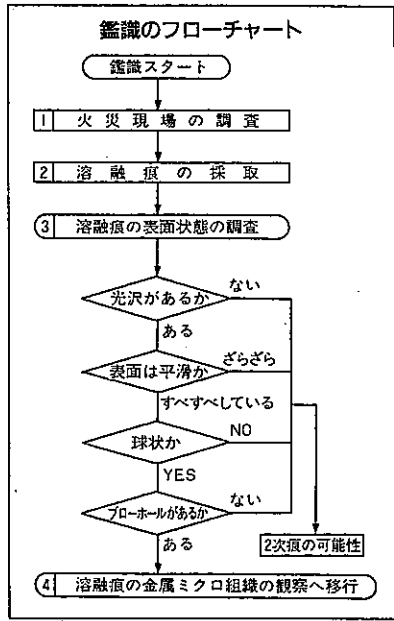
(二)、平滑度

表面の状態を凹数と平滑度（アバタ状↓平滑の五段階）で区別すると、一次痕のほうが平滑で、二次痕は表面が粗いことがわかりました。

(三)、形状

電気痕の形状を球形、半球形、涙状などの不定形の三つに分けると、一次痕は半球形のものが多いことがわかりました。これらの(一)～(三)の比較検討では、一次痕は半球形で表面が平滑で光沢があることとなります（表参照）。

従来から「一次痕はつるつるピカピカしている」と言われていたことと一致します。しかし、これらの比較検討から逆にこの区分に入らないものも多くあることが明らかとなり、確率的には四〇％程度で、表面観察からでは「ど



ちらかという一次痕みたく
らしいの表現しかできないことも明らか
となりました。

四、電気痕の内部観察による方法

(一)、内部状態

写真2が写真1の電気痕の内部状態
です。一般的に、内部の空洞をポイド
と呼び、凹部をプロールと呼びま
す。金属結晶にはCuとCu₂Oがあり、
異なる結晶が混ざり合っている状態を
共晶組織と呼びます。また、内部には
異物が巻き込まれていることもありま

す。この写真のよ
うな観察標本を
作るには、電気
痕全体をエポキ
樹脂で固めて
研磨を繰り返して
最終的に鏡面仕
上げまで行い、
表面を腐食させて結晶粒界を見やすく
します。いずれも仕上がりが微妙で難
しい作業となります。



写真1 電気痕の顕微鏡写真(×10)
(表面の光沢と黒い部分がある)

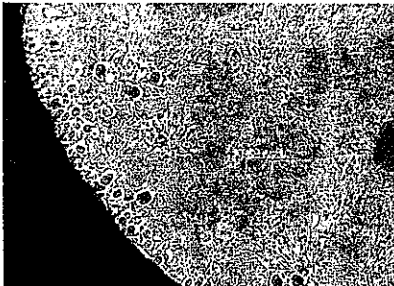


写真3 一次痕(×320)
全体が微細な共晶組織で占められている
黒いところは酸化銅の混入



写真2 写真1の内部マイクロ観察(×80)

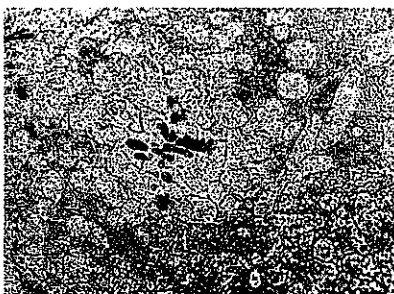


写真4 二次痕(×320)
共晶組織の成長が著しく大きい

(二)、マイクロ観察による比較方法

現場で採取した電気痕内部のミクロ
観察をすると、つぎのように比較でき

ました(写真3、4)。

①ポイドは、一次痕のほうが発生率が
高い。

②プロールは、一次痕のほうが発
生率が高い。

③二次痕は、内部に異物を多く巻き込
んでいる。

④一次痕では、Cu₂Oの初期結晶とCu
とCu₂Oの共晶組織が見られる。
等のごとく観察されました。

(三)、実験により製作した電気痕による 観察

上記の内容がいずれも比較による観
察結果であることから、実験により製
作した電気痕を用いて検討してみまし
た。管状の炉の中に一〇cm程度の長さ
で直径の細い電線を入れ、過電流を流
して短絡させて電気痕を作りました。
その時の管内の状態を大気条件と、高
温で低酸素下の火災時の条件で行いま
した。

一次痕を想定して作った電気痕は、
おおむねポイドが細かく痕全体に広が
り、金属組織は微細な共晶組織となり

ました。二次痕を想定して作った電気
痕では、雰囲気温度が高いため除冷が
緩慢で中心部のポイドが大きくなり、
CuとCu₂Oの初期結晶が多く、大気中
の煤を巻き込むこと等が分かりました。
電気痕の中のポイドは、短絡時に大
気中の酸素が溶融した銅に吸収され、
その際、Cu₂Oに反応しなかった残り
のガスが冷却時に再び分離し、空洞を
形成したものであることが判明しまし
た。これらのことから短絡痕内部のミ
クロ観察により、ポイドの状態と金属
結晶状態から電気痕発生時の雰囲気状
態が推測され、一次痕と二次痕の判別
がある程度可能となりました。

従来、ルーペなどで見ていた電気痕
の内部に、ポイドなどがあるとは思
も及ばず、初めてこの写真を見たとき
には、驚きと同時に改めて原因調査の
奥深さを実感した次第です。この電気
痕の判定法を適用した火災調査事例を
載せられませんが、この判定法

は活用範囲が広く、原因調査上意義の
大きいものといえます。

諸外国の火災調査文献においても、
電気火災の原因として電気痕の写真等
が載っていますが、いずれも表面観察
の域にとどまり、このような内部のミ
クロ観察は先進的な分析法といえます。

しかし、実証実験が実際の火災時の
短絡現象とはかなり異なっており、こ
のため現場で採取した電気痕の観察判
定に一〇〇%有効とは言えず、現段階
では「八〇%程度分かるかな」と言っ
たところです。更に、今後の研究につ
いていきたいと思います。

以上、七月号から六回連載で新しい
分析、判定法を紹介しましたが、火災
原因調査がますます客観的な理論づけ
を必要とされるようになってきている
だけに、今後もさまざまな研究に挑戦
していきたいと思っています。

(文責 北村)

参考文献「電線の一次、二次溶融痕鑑定方法」関
する研究 その1、その2「石橋良男、岸田順次、日
本火災学会研究発表会概要集(平成二年度)