

火災の事故調査

科学警察研究所 法科学第二部

萩本 安昭 *Yasuaki Hagimoto*

1. はじめに

消防庁の統計によると、我が国の火災件数は昭和50年頃から年間6万件前後で推移してきた。最近では徐々に減少傾向がみられるものの、相変わらず年間約5万件の火災が発生している。その原因は後述するように実に多種多様であり、火災の事故調査には幅広い分野にわたる知識と現場経験の積み重ねが必要とされている。

しかし、このような火災原因の多様性だけが火災の調査を難しくしているのではない。調査に必要な手掛かりの多くが燃えてしまうことも大きな理由の一つである。また、出火場所と間違えそうな紛らわしい状況や通常の常識だけでは判断を誤るような状況が生じることもある。ここではごく一部しか説明できないが、一般的な火災の調査の手順に沿って、どのようなことに注意してどのようなことを判断するのか、例を交えながら解説する。

2. 火災の調査手順

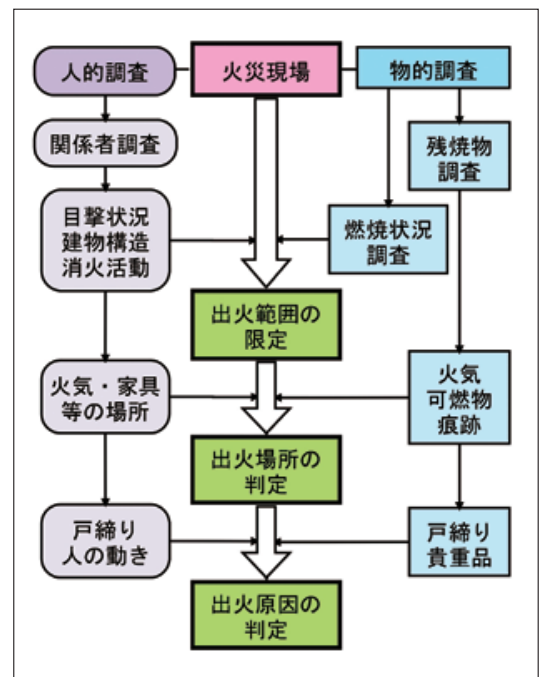
火災の調査手順は、一般に図1のように表せるが、実際には個々の状況に応じて計画する必要がある。また、出火原因の判定につながる明らかな手掛かりが発見されることはむしろ稀であり、多角的な調査と総合的な判断を行う必要がある。

現場での調査は原則として外周から内部へ向かって進められる。離れた場所や高所からの観察も望ましい。事前調査の結果も参考に

しながら、焼け方の観察などをもとにして延焼方向を逆にたどりながら出火場所を絞り込み、出火した部屋、出火部、出火原因の順に次第に範囲を限定していくのが一般的な調査の流れである。

当然のことであるが、電気・ガス等の保安措置が現場調査に先立って行われるので、可能な限り作業前の状況を記録しておくことも必要である。

図1 火災の調査手順



3. 出火場所の判定

●焼けの強さと方向性

焼け方の観察結果に基づいて、火災時の炎や高温ガスの流れ、延焼方向などを推定する。そして、焼けの方向性を示す情報を他の情報

と重ね合わせてみることで、出火場所を限定していくのである。

その際の判断材料の一つとして、焼けの強さがある。金属材料、コンクリート、石膏ボードなどの不燃材料の場合、外観的には、火災で焼けた塗料などの燃焼残渣のほか、煤や煙の凝集物が付着して表面が黒っぽくなり、さらに強く熱を受けた部分は付着物が焼失して白っぽくなる。このような外観的な変化だけでなく、強度が低下するなどの変化も生じる。コンクリートや石膏ボードでは、被熱によって脆くなり、さらに強く熱を受けると爆裂現象^{※1}の起こることがある。鉄骨部材が強度を失って湾曲しているのを見かけることも多い。なお、紙面の都合で説明は省略するが、焼けが強いからといって火元に近いと判断してはいけない。

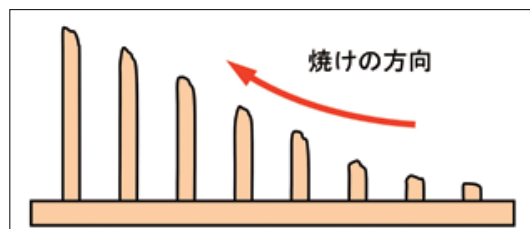
また、火災の温度は最高1,100℃程度まで達するので、金属の種類によっては溶融することがある。表1に示すような融点から、火災時の温度を推定することができる。

住宅火災では、柱や梁などの木材部分の焼け方を観察することが多い。たとえば、同じように並んだ柱が図2のように焼けていた場合には、右側の焼けが左側よりも相対的に強く、右から左方向へ焼けていったと推定する

表1 不燃材料の融点

不燃材料	融点 (°C)
ガラス (ソーダ)	550 (軟化温度)
アルミニウム	660
黄銅	760~800
銅	1,084
鉄	1,536

図2 焼けの方向性



ことができる。

木材からは、焼けの方向性以外の情報が得られることもある。木材は発火温度よりも低い温度であっても緩やかに熱分解し、断熱条件下で長期間加熱され続けると炭化が進行して無炎着火し、やがて発火に至ることがある。ガスコンロに近接した台所壁面内部からの出火などはその例である。特に、木材の合わせ目のような蓄熱しやすい箇所や空気の流れができやすい箇所では、無炎燃焼^{※2}(燻焼)が続きやすい。無炎燃焼が長時間続いた箇所では、木材の炭化による局所的で深い焼け込みがみられることがある。

一般に上に行くほど燃え広がるので、垂直壁面にV字型の焼け方がみられる場合には、下から上に燃え上がったと判断できる。しかし、火災中に落下した火種によって二次的に燃え上がる場合や、上から下への燃え下がりという場合もあるので注意が必要である。

焼損状況の調査に当たっては、建物構造や可燃物の種類による燃え方の違い、発火源と周辺可燃物との位置関係、延焼拡大の経路などに留意する。また、換気条件などによる時間経過への影響にも留意する。たとえば、換気不足の状態では、無炎燃焼が数時間以上続いた後に火災のような火災もある。

●アークマッピング

電気配線の短絡痕が出火場所推定の手掛かりになることもある。通電状態の電線が火災で焼けると、短絡(ショート)して図3のような短絡痕ができることがある。たとえば、電気器具のケース内部にのみ短絡痕があり、電源コード側に短絡痕がまったくない場合には、

図3 短絡痕の例(1.25mm²の平形ビニルコード)



※1 爆裂現象

加熱などによりコンクリート中の水分がうまく移動できずに表面の一部が剥がれ落ちる現象をいう

※2 無炎燃焼

炎を上げて燃える有炎燃焼に対して、燻焼のように炎を伴わない燃焼をいう。

器具内部から発火した可能性が高いと考えることができる。

また、電気配線で短絡が起きてもブレーカが直ちに遮断するとは限らないため、同一ケーブル上に複数の短絡痕ができることがある。通常は短絡箇所では断線して、そこから先の負荷側には電気が供給されなくなるので、電源から遠くにある短絡痕ほど早い時点でできたものと考えられる。すなわち電源から遠くの短絡痕ほど火源に近いということが推定される。このように、火災の燃え広がりを判断するために短絡痕の位置を図面上に落とす方法はアークマッピングと呼ばれている。

可燃物に着火しただけでは火災にならない。最終的に建物などに燃え移るまでの燃焼経路を説明できることが必要である。燃え移っていく過程は、有炎燃焼だけでは限らない。無炎燃焼状態で燃え移っていく場合もある。そのため、最初の着火から火災の様相を呈するまでの所要時間には、場合によって数分以内から数時間以上という大きな幅がある。

4. 出火原因の判定

●出火原因の多様性

火災の原因は実に多種多様である。表2に

放火を除いた出火原因の分類例を示す。この表は主に火災原因となる物の種類で分類しているため、そこでどのような故障が起きたのか、またどのような経過で火災になったのかということまではわからない。たとえば、単に石油ストーブといっても、干していた洗濯物がストーブの上に落下して燃えるという場合があるが、ベッド脇に置いたストーブに布団が接近しすぎて輻射熱によって燃え移る場合や給油中にカートリッジタンクのキャップが外れてこぼれた石油がストーブにかかる場合もあるだろう。

ここで注意すべきことは、出火場所付近に石油ストーブしかなかったからといって、それが出火原因であるという短絡的な結論を下さないことである。可燃物と着火源(熱源)の種類や組み合わせによっては着火しない場合もあるので、正しい理解と慎重な調査・判断が求められる。

●気体・液体可燃物と着火源

可燃物には、気体、液体、固体がある。可燃性気体の場合、たとえばメタンガスを例にとると、空気と混合したときの濃度が燃焼範囲^{※3}(5～15 vol%)内にあるときに着火、燃焼する。これよりも濃過ぎてても薄過ぎてても燃えない。

このような可燃性混合気の着火しやすさを

表2 出火原因の分類

分類	具体例
電気機器	<ul style="list-style-type: none"> 電力設備 (送配電・受変電設備など) 電気製品 (テレビ、冷蔵庫、洗濯機、モーター、バッテリー、電球など) 電熱器具 (電熱器、暖房器具など) 電線、配線器具 (電線、テーブルタップ、コンセント、スイッチなど) 静電気 (タンクローリー、貯蔵タンク、ポリ容器移し替え、人体など)
ガス・石油燃焼器具	<ul style="list-style-type: none"> 石油燃焼器具 (ストーブ、コンロ、風呂釜など) ガス燃焼器具 (ストーブ、給湯器、コンロ、風呂釜など) 特殊燃焼装置 (暖房用ボイラー、乾燥機など)
固体燃料器具	<ul style="list-style-type: none"> 炭、薪、石炭 (七厘コンロ、こたつ、風呂釜、ストーブなど)
化学薬品等	<ul style="list-style-type: none"> 自然発火性物質 (セルロイド、油粕、石炭、わらなど) 混合発火性物質 (除草剤、漂白剤など) 準自然発火性物質 (金属ナトリウム、黄燐、生石灰など)
高温物体	<ul style="list-style-type: none"> 煙道、排気管 (ボイラー、風呂釜、焼却炉、エンジンなど) 高温粒子 (電気・ガス溶接・ガス切断の火花、グラインダー火花など) 摩擦熱 (軸受、ドリルなど)
火種	<ul style="list-style-type: none"> 裸火 (マッチ、たばこ、たき火、ろうそく、燃えさしなど) 火の粉 (煙突、かまど、焼却炉、たき火など)
その他	<ul style="list-style-type: none"> 自然現象 (太陽光線、落雷など)

※3 燃焼範囲

可燃性の気体や液体蒸気と空気との混合気体が燃焼し得る濃度範囲。通常、容積百分率(vol%)で表される。

表す指標として、電気火花(容量火花放電)で測定した最小エネルギーが一般に用いられている。メタンやプロパンなど多くの炭化水素系気体の最小着火エネルギーは、最も着火しやすい組成付近で0.2～0.3mJ程度である。わかりやすくするために、誰もが冬場に経験する静電気の放電と比較してみよう。0.2～0.3mJというのは、約2,000Vに帯電した人体がドアノブなどの金属に触れたときに発生する静電気の放電エネルギーにほぼ等しい。この静電気放電は、不快感を感じるほど強いものではなく、放電したことがわかる程度に弱いものである。メタンやプロパンのような気体可燃物がいかに小さな着火源で着火するのか理解していただけたらと思う。

次に可燃性液体の場合について説明する。可燃性液体の場合は、液面が直接燃えるのではない。図4のように液面から蒸発した液体蒸気が周囲の空気と混合して燃えるのである。結局、これは気体の燃焼と同じであり、蒸気の濃度が燃焼範囲内であるときに燃焼することになる。

ガソリンの蒸気もメタンやプロパンと同程度のエネルギーで着火するので、人体の静電気で着火する危険性がある。セルフ式のガソリンスタンドで給油前に静電気除去パッドに触れなければならないのはそのためである。ところが、たばこの火ではガソリンは着火しない。路面に流れ出したガソリンに向かって

たばこの吸殻を投げ捨てる映画のワンシーンをご覧になった方は多いと思うが、実験を何度繰り返しても映画のように着火しない。たばこの火の温度が800～900℃に達するにもかかわらず、発火点が300℃程度のガソリンに着火しないのである。

また、同じ液体可燃物であっても、引火点※4が常温よりも低い液体では、液面に生じる蒸気濃度が燃焼範囲に達しないため、常温では着火源を近づけても直ちに着火することはない。たとえば、灯油の場合はJISで引火点40℃以上と規定されており、引火点が常温より若干高い。そのため、容器に入れた灯油の中へ火のついたマッチを直接放り込んでも着火しない。しかし、床のカーペット上にこぼれた場合には、ちょうど石油ストーブの芯のような状態になっているので、マッチの炎を近づけると、その付近の液温が引火点以上になって着火する可能性がある。

このことからわかるように、引火点や発火点※5の文献値を安易に現場の温度条件と比較して火災危険性を判断することは避けなければならない。これらの値は、あくまでも規格に定められた試験方法によって測定された値であり、測定条件が現場とは異なっていることに注意しなければならない。

●固体可燃物と着火源

可燃物として最も多いのが固体可燃物である。固体可燃物は、一般に図5に示す木材の

※4 引火点
口火を近づけたときに引火する可燃物の最低温度。

※5 発火点
発火源なしに自然に発火する最低温度。

図4 液体の燃焼

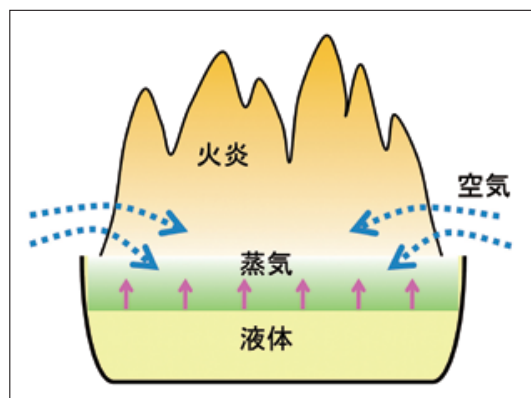
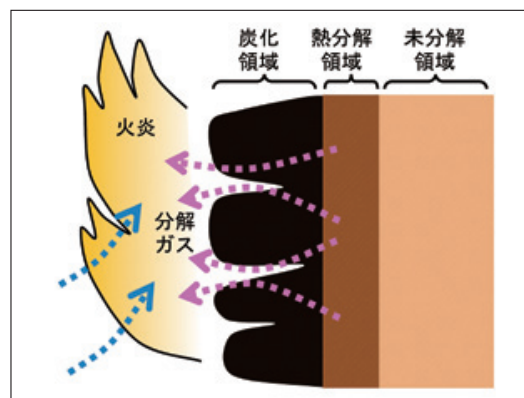


図5 燃焼中の木材断面



例のように、発生した分解ガスが空気と混合して燃えている。この様子は液体の燃焼と似ている。したがって、着火源があっても、分解ガスが十分に発生するまで加熱されないと有炎着火しない。また、このような燃焼形態とは別に、線香のような無炎燃焼もある。さらに、固体可燃物は材質や形状が多種多様であって、着火源との関係は少々複雑である。ここでは、たばここと電気による火災の例を挙げて簡単な説明にとどめたい。

<たばこ>

火のついたたばこを何本かの吸殻と一緒にして紙に包んで紙屑かごに入れた場合を想定してみよう。必ず燃えるとは限らないが、しばらくして盛んに煙が出るようになると、突然炎に変わって燃え始める。この間、概ね20分前後である。

また、寝たばこをしていて布団に燃え移って火災になる例も多い。条件にもよるが、布団表面での無炎燃焼の進行速度は毎分0.3～0.4cm程度と非常に遅い。そのため、たばこを挟み込んだまま押し入れに片付けた場合には、何時間も経ってから有炎燃焼に変わって本格的に燃え始めることがある。なお、化繊綿は無炎燃焼しない。

<電気>

電気システムの故障は、電流の経路によって図6に示すように大きく3種類に分けられる。たとえば、同図の①には漏電や地絡が、②には線間の絶縁破壊や短絡が、③には接続部の導通不良や半断線が含まれる。また、巻き線の

層間短絡のような中間的な事故形態もある。このように電気火災には様々な原因があり、それらが複合的に作用することもある。また、発火に至るまでの経過も単純なものばかりではない。たとえば、接続不良が原因の発熱がきっかけとなって線間の絶縁破壊に発展するような場合である。

電気火災を調査する上で注意すべきことはいくつかある。その一つは、たとえ電気の故障が起きて、容易には火災にならないということである。確かに電線が短絡すると激しい音と光を発し、銅の溶融粒子が火花となって飛散する。しかし、この火花によって着火する可燃物はそう多くない。脱脂綿や木綿タオルのようなものは比較的容易に着火するが、そのようなものが常に電気配線の近傍にあるとは限らない。

電気の差し込みプラグ付近から発火する事例は多い。塵や埃がたまって湿気で火災になると説明されていることがあるが、厳密には正しくない。図7のように、差し込みプラグとコンセント間の接続不良による発熱が原因

図7 差し込みプラグの刃とコンセントの受刃間の接触不良で発熱して生じた絶縁材料の熱劣化

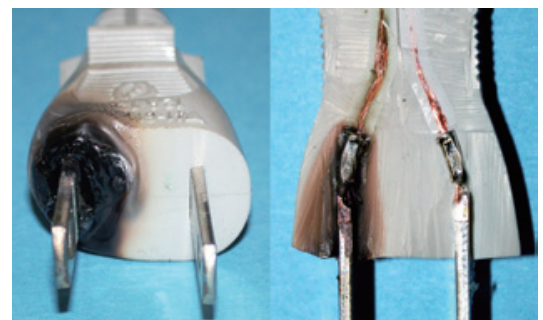
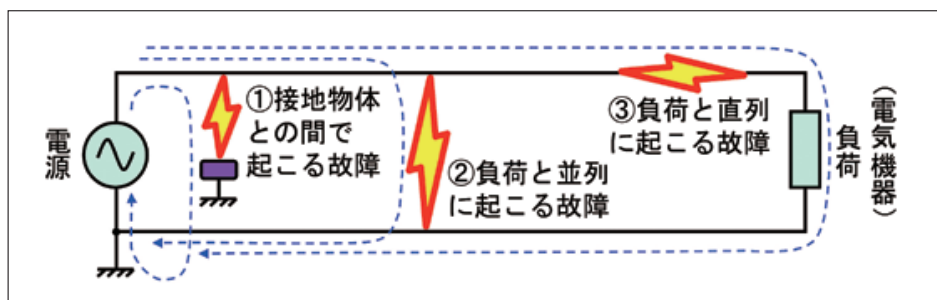


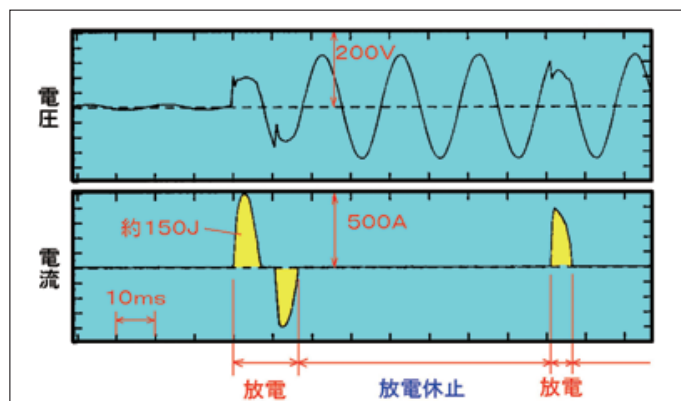
図6 電気システムで起こる故障の電流経路



※6 トラッキング

絶縁材料表面で湿気や汚染が原因となって微小放電が発生、その放電熱によって炭化して導電路ができ進展すること。

図8 線間で発生する断続的なアーク放電の電圧・電流波形例



でプラグの絶縁材料として使用されている塩化ビニルが熱分解して徐々に炭化するとともに、充填剤として添加されている炭酸カルシウムが反応して塩化カルシウムが生成され、これが吸湿する結果、トラッキング※6による破壊を経てプラグ刃間のアーク短絡に至るとするのがこの種火災の主たる発火機構と考えられている。

また、一般のブレーカは過電流保護と短絡保護の機能を有するが、電気火災を防ぐことはできないということもあまり知られていない。炭化絶縁物が介在した状態でのアーク放電による線間短絡の電流は、図8に示すように断続したものとなる。この電流は非常に大きいにも関わらず断続的であるため、ブレーカの遮断動作は大きく遅れ、激しい放電が持続することになる。

このほか、上記のような故障とは異なるが、電熱器具関係では、サーモスタットや温度ヒューズなどの保護装置が作動せずに異常発熱して可燃物に着火するような火災もある。電気火災の原因に関する研究は確かに多い。しかし、その大部分は発熱や絶縁劣化などの段階までしか研究対象としていない。実際の使用環境下でどのように可燃物に着火して火災に発展するのかということについてはほとんど研究されていないのが実情である。

電気火災に限らず、火災現場で明らかなる出火原因の手掛かりが発見されることは希であ

る。あらゆる原因の可能性について調査し、1つずつ消去していく方法をとらなければならないことが多い。たとえば、現場に電気器具や石油・ガス燃焼器具があれば、スイッチの状態などからそれらが出火当時に使用状態にあったか否かということ調べ、可能性のある火災原因を絞り込んでいくのである。

5. おわりに

あらゆる事故調査に共通することであるが、先入観や憶測による安易な判断は禁物である。本稿で取り上げたような注意を要する例はほかにも多い。調査に当たっては、先入観に捕らわれず常に疑いの目を持って考えること、文献データを引用する場合には現場との環境条件の違いまで考慮すること、そして少しでも疑問のある場合には実験を行うなどして自分自身で確かめることが重要である。

火災安全の対策や技術進歩において、昔から原因調査の果たす役割は大きかった。本稿が火災を専門にしない方々にとって、少しでも火災安全や原因調査についての理解を深めていただく一助となれば幸いである。

はぎもと やすあき

室蘭工業大学電気工学科卒業後、1978年に科学警察研究所入所、法科学第二部火災研究室に勤務、1998年火災研究室長、2011年法科学第二部長。専門分野：火災原因、火災安全、静電気・電気関係の事故原因全般