

差し込みプラグ両刃間のトラッキング現象

東京消防庁予防部

調査課長 吉井 康 廣

はじめに

東京消防庁管内における火災発生件数のうち、電気関係火災の過去五年間の平均割合は13.3%である。そのうち、トラッキング現象が原因と思われる火災件数は、年々増加している(表1参照)。

トラッキングから火災に至るプロセスについては未だ不明な点が多いため、「差し込みプラグ両刃間のトラッキング現象」について、その発生のメカニズムを分析して特徴的な事象を解明し、火災原因究明上有効な判定方法を明らかにするとともに火災予防の一助とするため、平成五年度における委託研究を「社団法人電気設備学会」へ依頼し、その結果が報告されたので以下に紹介

する。

1 トラッキング現象の概念

絶縁物表面が塩分、塵埃、湿潤などによって汚損等を受けた状態で電圧が印加されると沿面電流が流れ、微小な発光、シンチレーションを起こし、表面に炭化導電路、トラックが形成される。これがトラッキング現象である。

2 火災現場採取品の分析

最近発生した火災のうち、差し込みプラグ両刃間のトラッキングが原因によると判断されたものについて、採取資料の分析を行った。その特徴的事項を整理すると次の

表1 火災発生件数

年	総火災件数	電気火災件数 ⁽¹⁾ (%)	トラッキング ⁽²⁾ 火災件数 (%)
1988	6,935	822 (11.9)	38 (4.6)
1989	6,542	876 (13.4)	55 (6.3)
1990	6,683	934 (14.0)	50 (5.4)
1991	6,455	904 (14.0)	58 (6.4)
1992	6,427	879 (13.7)	62 (7.1)
1993	6,802	899 (13.2)	63 (7.0)
平均	6,641	886 (13.3)	54 (6.1)

備考1. 東京消防庁管内での発生件数。

注 (1) ()内は総火災件数に占める電気火災件数の割合を示す。

(2) ()内は電気火災件数に占めるトラッキング火災件数の割合を示す。

とおりである。

(1) 使用期間及び接続状況

例外的に短いものもあるが、ほとんどが長期間(おおむね七年以上)差されたままの状態で使用されている。

(2) 施設場所

火災が発生した差し込みプラグの施設場所は、物の陰や水気のある場所又は北側の結露

しやすい壁面であり、埃や水分など導電性物質がたまりやすい状況となっている。

(3) 残存状況

いずれも絶縁物の焼損の程度によらず、差し刃の絶縁物との付け根部分が溶断又は溶融痕を残している。

3 絶縁物の材質分析

トラッキングと判断された現場採取資料について、プラグ及びコンセントの両方の両刃間の絶縁物の材質分析を光電子分光装置を使用して行った。

その結果、本来絶縁物中に含まれる炭素、塩素、窒素及びカルシウム、燃焼した際に結合した酸素の他に、銅、亜鉛が検出された。

これは、差し刃から銅、亜鉛が電解によって極間に流れ出たものと推定される。

4 トラッキング火災再現実験

トラッキング火災を模擬的に再現することにより、その進捗状況及びトラッキングを引き起こす要因(プラグ、コンセント間の介在物、周囲条件等)を把握し、トラッキング現象判定のための特徴的事項を見つけ出すための実験を行った。

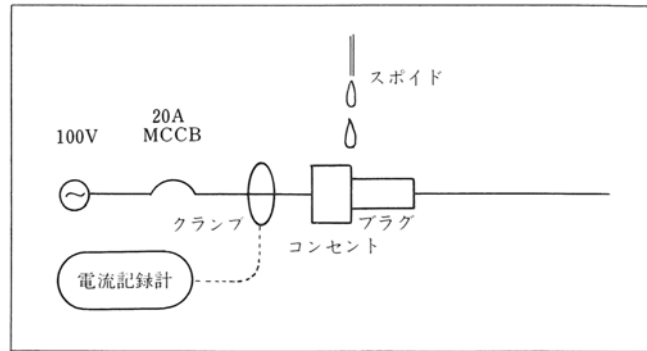


図1 実験の概念図

ただし、時間的制約から、強制的(促進的)に現象を作りだす必要があり、実験に使用するプラグ類は予めトラッキングの起こりやすいよう処理(強制劣化、導通路処理)を行った。

(1) 実験方法

プラグとコンセントを接続し、100V 電源を印加する(ただし、無負荷状態)。さらに、プラグとコンセントの間に導電性溶液(塩化アンモニウム、塩水等)を滴下する。このとき回路の電流値を測定した(図1参照)。

(2) 実験内容

実験は、プラグ、コンセント及び滴下溶液を組み合わせで行った。

ア プラグの種類

プラグは、塩化ビニル製で一体成型型及びユリア樹脂製組立型の125V、12Aのものを用意し、次の4種類を使用した。

導通路処理については、極間の抵抗が1K Ω ～100K Ω 程度になるようにアーク(1万V)により極間の絶縁物を炭化処理した。

① 中古品(10～15年間実際に使用されたもの。以下同じ)

② 老化品A(121 $^{\circ}$ Cの恒温槽に168時間放置

表 2 実験結果

No.	ブ ラ グ	コンセント	溶 液	燃 焼	状 態
A-1	塩化ビニル [中古品] (90 kΩ)	老化学品 B	NaCl (3.0%)	燃焼せず	
A-2	塩化ビニル [老化学品 A] (70 kΩ)	老化学品 A	NaCl (3.0%)	燃焼	刃がわずかに溶融
A-3	塩化ビニル [老化学品 A] (1 kΩ以下)	老化学品 A	B 液	燃焼	刃が一部溶融
A-4	塩化ビニル [老化学品 B] (導通処理なし)	老化学品 B	B 液	燃焼せず	
A-5	塩化ビニル [老化学品 B] (1 kΩ以下)	老化学品 B	NaCl (3.0%)	燃焼せず	
A-6	塩化ビニル [老化学品 B] (1 kΩ以下)	老化学品 B	B 液	燃焼	両刃溶融
A-7	塩化ビニル [老化学品 B] (1 kΩ以下)	老化学品 B	NH ₄ Cl (1.0%)	燃焼	刃には変化なし
A-8	塩化ビニル [新品] (100 kΩ)	新品	B 液	燃焼せず	
B-1	塩化ビニル [新品] (1 kΩ以下)	新品	B 液	燃焼	自己消火, 差刃溶融
B-2	塩化ビニル [老化学品 B] (8 kΩ)	老化学品 B	洗剤① (ホコリ)	燃焼	自己消火, 差刃溶融
B-3	塩化ビニル [老化学品 B] (63 kΩ)	老化学品 B	壁糊 (ホコリ)	燃焼	差刃溶融
B-4	塩化ビニル [老化学品 B] (43 kΩ)	老化学品 B	漂白剤 (ホコリ)	燃焼	自己消火, 差刃の一部溶融
B-5	塩化ビニル [老化学品 B] (18 kΩ)	老化学品 B	水 (ホコリ)	燃焼	差刃溶融, 溶融塊が下に落ちる
B-6	ユリア樹脂 [新品] (導通処理なし)	新品	B 液	燃焼せず	差刃間の絶縁物中央部に幅 2 mm 程度の炭化痕あり
B-7	塩化ビニル [老化学品 B] (1 kΩ以下)	老化学品 B	洗剤② (ホコリ)	燃焼	消火剤により消火, 差刃の一部溶融
B-8	塩化ビニル [新品] (導通処理なし)	新品	B 液 (ホコリ)	燃焼せず	差刃間の絶縁物中央部に幅 2 mm 程度の炭化痕あり
B-9	ユリア樹脂 [新品] (1 kΩ以下)	新品	B 液 (ホコリ)	燃焼せず	導通処理部分が洗い流され, わずかに炭化痕が残る

備考 1. 溶液の主成分は次のとおりである。

B 液：塩化アンモニウム (NH₄Cl) 1.0%, 界面活性剤 (アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム) 5.0%

洗剤①：界面活性剤 5.0%

洗剤②：界面活性剤 1.8%

壁 糊：変性澱粉, 合成樹脂, カビ止め剤

漂白剤：亜塩素酸塩 42%, 水酸化ナトリウム 1%, 界面活性剤 (アルキルベンゼンスルホン酸)

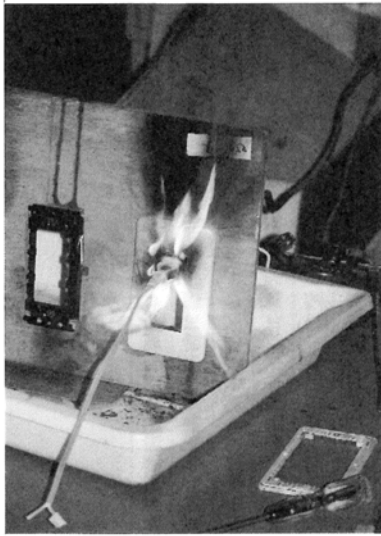


写真 トラッキングにより燃焼するプラグ

したもの。以下同じ)

③老化品 B(114℃の恒温槽に168時間放置したもの。以下同じ)

④新品

イ コンセントの種類

コンセントはユリア樹脂製の125V, 15A 定格のもので、プラグと同様に次の4種類を使用した。

① 中古品②老化品 A③老化品 B④新品

ウ 下溶液の種類

滴下溶液には、次の三種類のほか、家庭内にある界面活性剤を含む洗剤等を使用した。

①塩化ナトリウム 3%

②塩化アンモニウム 1%

③塩化アンモニウム 1%と界面活性剤(アルキルナフタレンスルホン酸ナトリウム)5%の混合液(以下、B液という。)

(3)実験結果

実験結果をプラグ、コンセント、滴下溶液の組み合わせを含めて、表2に示す。

5 火災による二次的な類似現象の再現実験

差し込みプラグをコンセントに差し込んだ状態で、炎が差し込みプラグに当たったとき、どのような現象となるか実験した。

(1)実験方法

差し込みプラグとコンセントを接続し、コンセントに100V電源を印加した状態(ただし、無負荷状態)で、差し込みプラグとコンセントの差し込み面をブンゼンバーナーで燃焼させた。

(2)試験品及び実験結果

プラグ及びコンセントは再現実験と同じものを用意し、表3の4種類について実験

表3 燃焼実験の試験体及び実験結果

番号	プラグ	コンセント	燃焼方法	状況
C-1	新品	新品	炎の先端を接続部に接する	15分30秒で実験中止 プラグの塩化ビニルが燃焼した
C-2	老化品	新品	接続部を炎中で燃焼	4分20秒後コンセント内部で短絡しブレーカが切れた。6分11秒で実験中止
C-3	老化品	老化品	接続部を炎中で燃焼	2分20秒後プラグの付根のコードで短絡しブレーカが切れた。3分30秒で実験中止
C-4	新品	老化品	接続部を炎中で燃焼	1分40秒後プラグの付根のコードで短絡しブレーカが切れた。5分30秒で実験中止

し、表の結果を得たが樹脂部分が燃焼したのみで、差し刃に変化は無かった。

6 比較検討

(1) トラッキング再現実験結果との比較

20A 配線用遮断器が、燃焼実験ではコンセント内又はコード部分で短絡が発生したことにより作動したが、トラッキング実験では作動しなかった。また、燃焼実験では絶縁物の燃焼状況が一樣で、著しく炭化した部分は存在しなかった。さらに、絶縁物が焼損しても、プラグ差し刃に熔融は見られなかった。このことから、燃焼しているうちに絶縁物が焼失していくことによって短絡が発生し、配線用遮断器を作動させる。この際に電流は流れず、したがって差し刃の根元部分が熔融する現象も起きていない。

(2) 現場採取品との比較

現場採取品の中には、絶縁物が大きく焼損しているものもあるが、燃焼実験時に短絡した箇所などに見られる短絡痕が採取品には発生していない。また、燃焼実験時においては、差し刃の部分に変化が無いのに対して、採取品には差し刃の根元部分が熔融する現象が見られることから、明らかに様相が異なる。

7 トラッキング火災発生メカニズム

これまでの実験結果、現場採取品も併せて差し込みプラグ両刃間のトラッキングのメカニズムを整理すると次のとおり推定される。

ア 差し刃間の絶縁物上に導電性溶液又は塵埃を含む水分などが存在したとき、沿面に漏洩電流が流れる。この電流によっ

てジュール熱が発生し、絶縁物上の水分が蒸発する。このとき導電路が断たれ、瞬間的にその境界線が最大の電位傾度となり、小さなアーク閃絡が起きる。このアーク熱によって絶縁物が炭化(グラフアイト化)する。

イ 一度炭化部分ができると、漏れ電流は常にその部分に集中し、炭化部の近くでアークが発生する状態が繰り返され、炭化導電路が発達する。

ウ この過程において、アークで発生した熱によって、差し刃間の絶縁物が加熱される。この加熱により、絶縁物の成分が気化し発火に至らせる。塩化ビニル製のプラグであることから、熱によって気化した自己消炎性を有する塩素ガスが発熱部の周囲を取り巻くことにより、逆に差し刃間の絶縁物の燃焼を抑え、内部の温度を高温にするため、差し刃の熔融を引き起こすと考えられる。

エ 炭化導電路又は導電性物質に流れる電流により、差し刃の根元付近から、電気化学溶解を起こすことも考えられる。その電気化学溶解により熔融した銅、亜鉛が差し刃間に流れ込めば、次第に極間の抵抗を下げるなど、トラッキングを促進する要因になることも考えられる。

オ 「水+ホコリ」によっても燃焼したことから、界面活性剤など導電性の高いものは、トラッキングの進行を促進する効果はあるものの、直接の誘因物質とはならず、微量の導電性物質の存在でも長時間かければトラッキング火災に至る。

8 トラッキングの判定方法

(1) 目視による判定方法

- ア 差し刃の付け根部分において、両刃とも熔融痕が存在するか溶断している。
- イ 再現実験でプラグが燃焼したときには、極間に相当の電流が流れて差し刃が溶融したにもかかわらず、配線用遮断器は作動しなかった。これは、プラグ差し刃間のトラッキングで燃焼する差し刃を溶融するだけの熱エネルギーは発生するものの、その電流は定格電流までには至っていない。ただし、プラグから発生した火災がコードなどに延焼した場合には、二次的に短絡を起こす可能性もあるため、熔融痕の場所との関連で判断する必要がある。
- ウ 現場採取品のほとんどが、塩化ビニル製のプラグであり、再現実験においてはユリア樹脂製のプラグは燃焼に至らなかった。

(2) 材料物性による判断

- ア 極間の絶縁抵抗測定
テスターなどにより、差し刃間の絶縁物表面の抵抗を調査する。数 Ω 程度であれば、トラッキングであると考えられる。

イ 絶縁物表面上の成分分析

絶縁物表面上から採取したサンプルの成分分析を行い、銅又は亜鉛の存在が確認できればトラッキングの判断要因となる。

ウ 使用環境による裏付け

2 で述べたとおり、当該プラグの抜き差し状態、施設場所、当該プラグの使用期間等から裏付けをする必要がある。

おわりに

今回の調査・研究において、差し込みプラグ両刃間のトラッキング現象を判定する方法を目指し、現場採取品の分析、トラッキングの再現実験及びプラグの施設状態での燃焼実験などを実施したが、差し込みプラグ両刃間においては、両刃間の沿面距離が長い(10.8mm 以上)ことから、トラッキング現象が起こるまでには長期間を要するものであるため、本来の現象を捉えるには十分とは言いがたい部分がある。

しかしながら火災予防の見地からしても、今回の成果には役立つ部分があるであろう。本報告で述べたいいくつかの事項については、火災予防の喚起にも役立ててもらえば幸いである。