

## 差込プラグの熱劣化による発火機構

芦澤 清美\*

(平成12年6月7日受付, 平成12年6月9日受理, 平成12年11月8日修正受理)

### Ignition Process of Attachment Plugs due to Thermal Deterioration

Kiyomi ASHIZAWA

Scientific Crime Laboratory, Kanagawa Prefectural Police Headquarters  
155-1, Yamashita-cho, Naka-ku, Yokohama 231-0023, Japan

#### Abstract

In this paper, a process, from thermal deterioration to ignition, of an attachment plug due to joule heat of defective contact between socket receptacles and plug blades (both are of 2 poles) supplied with AC100V, is studied through experiments and a new ignition process is discussed.

This process proposed is as following. Defective contact causes heat, which thermally deteriorate on the surface and inside of PVC plug insulators. The severely deteriorated PVC undergoes dehydrochlorination due to pyrolysis and reacts with calcium involved, producing calcium chloride with high hygroscopic property. Due to this thermal deterioration, it is found that the insulation resistance between 2 blades drops to  $10^5 \Omega$  order, and if kept as it is, drops further to  $10^3 \Omega$  order due to water absorption on the surface and inside the PVC. Ignition experiments was performed through this process using the plug with dropped insulation resistance, and it is found that there is danger of ignition when insulation resistance between 2 blades drops to  $10^3 \Omega$  order.

#### 1. はじめに

火災原因調査において、コンセントに接続されたポリ塩化ビニル（以下、PVCという）成形の差込プラグが、両刃間の絶縁破壊により短絡、発火した事例は数多く発生している。その原因の一つは両刃の短絡こん跡から、両刃間のトラッキング現象と考えられている<sup>1)</sup>。トラッキング現象は、PVC等の有機絶縁物表面が塩分、塵埃、水滴等による汚損や湿潤を受けた状態で電圧が印加されると、電位差を生じ表面に沿って電流が流れ、ジュール熱の発生により表面を乾燥させ、これを繰り返してシンチレーションと呼ばれる微小発

光放電が発生し、その部分に炭化物が生じ炭化導電路（トラック）が形成され、ついには表面絶縁破壊が起こる現象である<sup>2)</sup>。しかし、火災原因調査ではこん跡から原因を推定しているので、トラッキング現象を広義に解釈し、有機絶縁物表面だけでなく本体や内部においても両刃間の絶縁破壊で短絡した現象に用いられている。

したがって、両刃間で絶縁破壊を引き起こす要因については十分な議論がなされず、未解明な部分が多く残っているのが現状である。この要因を解明することは火災原因調査だけでなく、防災的観点からも重要な課題である。差込プラグ両刃間のトラッキング現象の研究では、両刃間へ導電性溶液や水、埃等を付着させ、これら付着物の影響による火災危険性が報告されてい

\* 神奈川県警察科学捜査研究所  
(〒231-0023 神奈川県横浜市中区山下町155-1)

る<sup>3)</sup>。しかし、付着物によらない熱からの議論や検討はなされていない。また、差込プラグ両刃間の絶縁破壊により発火した事例を細かく検討した研究では、その要因は付着物の汚損等によるトラッキング破壊は少なく、コンセントの刃受と差込プラグの刃との接触不良による発熱や、過負荷（過電流）使用による発熱から両刃間の絶縁物が熱劣化して絶縁耐力が低下し、発火した可能性が大きいのではないかとという提案が報告されている<sup>4)</sup>。しかし、発熱による差込プラグの熱劣化機構や、熱劣化と発火との関係は明らかにされていない。

一方、差込プラグの絶縁物として用いられているPVCは電気絶縁性に優れ、難燃性であること等から幅広く応用されている<sup>5)</sup>。PVCの添加剤には充填剤として増量、着色、電気絶縁性、弾性率の向上等の目的で、多くの場合炭酸カルシウム（CaCO<sub>3</sub>）が用いられている<sup>6,7)</sup>。PVCケーブルの熱劣化時における充填剤の挙動に関する研究では、充填剤として炭酸カルシウムを添加したPVCを加熱し熱劣化させると、PVCの熱分解と充填剤の反応により吸湿性の強い塩化カルシウム（CaCl<sub>2</sub>）が生成されることが報告されている<sup>8)</sup>。

そこで、本論文では熱劣化と吸湿に着目し、コンセントの刃受と差込プラグの刃との接触不良による発熱を取り上げ、差込プラグを熱劣化させ、両刃間の絶縁破壊を引き起こす要因から発火までの過程を実験検討した。その結果、汚損や湿潤のない使用環境においても熱劣化させると、PVCの熱分解時の反応で吸湿物質が生成され、熱劣化と吸湿により両刃間が絶縁破壊すること、それは熱劣化という新たな発火機構に基づいた火災危険があること、また、従来接触不良に起因する火災は接続不良個所での発熱が原因と考えられていたが、熱劣化からの発火機構は、その火災原因の一つであることを明らかにしたので報告する。

## 2. 実験及び方法

### 2.1 実験試料及びコンセント

実験に使用した試料は、刃とコードを圧着接続したものを絶縁物で一体に成形した2極7A125V定格の新品差込プラグである。絶縁物は充填剤に炭酸カルシ

Table 1 Components of PVC

Resin	Plasticizer	Stabilizer	Filler	Others
50%	25%	5% ≥	20%	5% >

ウムを用いたPVCで、難燃性グレード（UL94）はV-2、PVCの配合比はTable 1に示すとおりである。

コンセントは絶縁物がユリア樹脂成形で、2極15A 125V定格の新品1口コンセントを使用した。

### 2.2 実験環境

実験は差込プラグが実際に使用されている環境と同様な環境を想定し、十分自然換気の施された室内で行った。実験時の室内の気温は12~27℃、湿度は51~95%であった。

### 2.3 実験方法

#### 2.3.1 接触不良の作製

コンセントの刃受だけを次のように加工、前処理し、コンセントと試料の接続部における接触不良を人工的に作製した。新品コンセントの2極の刃受をそれぞれゲージピンにより刃と同一厚さに掘り保持力を低下させ、銅エッチング溶液（重クロム酸カリウム溶液）に1分間浸し腐食させた。更に、約900℃のワイヤーヒータを巻き付け、10分間約300℃に加熱し高温酸化させ、酸化皮膜を形成させた。このように加工、前処理した2極の刃受を装着したコンセントに試料を刃の根元まで差し込み接触不良とした。接触不良にしたコンセントと試料は9組である。なお、刃受と刃の接続時の接触抵抗及び保持力は測定していない。

#### 2.3.2 接触不良通電実験

人工的に作製した接触不良を使用しFig. 1に示す実験回路を作製し、9組それぞれについて通電実験を行い、9個の試料を熱劣化させた。

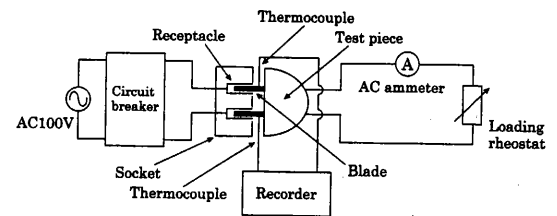


Fig. 1 Experimental circuit

まず、過負荷状態における接触不良の発熱の傾向を知るため、通電電流は試料の定格を超えた12Aとし、約1週間（160~170時間）連続通電し、発熱部の温度を調べた。発熱部の温度は、両刃それぞれの刃の根元に線径0.32mmのTYPE-K熱電対をスポット溶接し記録計で測定した温度から、同時に測定した室温を差し引いた温度上昇値である。

次に、熱劣化でどの程度絶縁抵抗が低下するのか知るため、通電終了直後実験回路から取り外した試料の両刃間の絶縁抵抗を測定し、新品試料と比較した。

更に、熱劣化後の試料が吸湿するかどうか、また、吸湿が絶縁抵抗低下に影響するかどうか知るため、通電終了後の熱劣化させた試料を実験室内に約400時間自然放置し、放置時の吸湿率と両刃間の絶縁抵抗それぞれの経時変化を測定し、吸湿率と絶縁抵抗の関係を調べた。絶縁抵抗の測定はデジタル絶縁抵抗計を用い、測定電圧は試料の定格を超えないDC100V, DC10V, DC3Vの測定可能な電圧で行った。吸湿率は放置中の試料の重量を電子天秤で測定し、(1)式から算出した。

$$m_t = \{(W_t - W_0) / W_0\} \times 100 \quad (1)$$

ただし、 $m_t$  : t時間後の吸湿率 (wt. %)

$W_0$  : 通電終了直後の試料の重量 (g)

$W_t$  : 放置 t時間後の試料の重量 (g)

### 2.3.3 発火実験

自然放置時の吸湿率の測定終了後、吸湿した試料の両刃間へAC100Vを印加(無負荷)し、PVC熱劣化部を観察しながら発火するかどうか確認する実験を行った。また、同様に吸湿した試料をFig. 1の実験回路に再び接続し、定格を超えた10Aを1~2日ごとに1時間通電し、断続(繰り返し)通電で発火するかどうか確認する実験を行った。断続通電では通電時以外、試料にAC100Vが加わらないようにした。

## 3. 結果及び検討

### 3.1 発熱部の温度

接触不良の発熱は各試料全てが異なる温度変化で、その値は片刃ごとに変動が激しかった。Fig. 2に高温を長時間継続した代表的な試料の両刃それぞれの発熱部の温度を示す。9組の接触不良は同一条件で作製したにもかかわらず、発熱部の温度は変動が激しく同程度にならなかった。その原因は通電により接続部の接触抵抗が変化していると考えられ、発熱の影響により刃受の酸化皮膜が脱落、再形成を繰り返し、刃との接触圧力や接触面積が変化していると思われるが、その過程についての詳細な説明は行っていない。

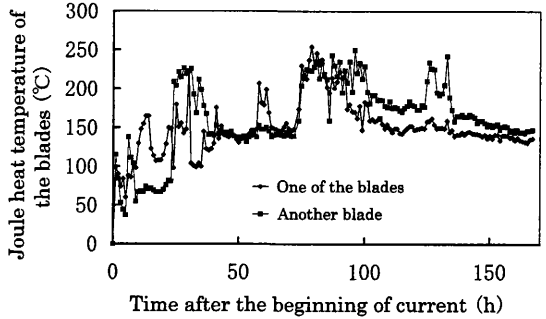


Fig. 2 Typical joule heat temperature of the blades due to defective contact (No. 8)

### 3.2 熱劣化と絶縁抵抗

新品試料の両刃間の絶縁抵抗は $8 \times 10^{11} \Omega$ 程度であった。通電終了直後の熱劣化させた9個の全試料を実験回路から取り外し、測定した絶縁抵抗の結果をTable 2に示す。

発熱部の温度が高温を長時間継続したFig. 2に示した試料はNo.8であり $3 \times 10^5 \Omega$ 程度に低下し、その他の試料はそれぞれ発熱部の温度が異なっていたので、熱劣化による絶縁抵抗低下も異なっていた。

ここで、新品試料の熱による絶縁抵抗低下の限界について検討を行った。新品試料を電気炉内へ入れ、室温から380°Cまで昇温速度4°C/minで加熱しながら両刃間の絶縁抵抗を測定し、加熱温度と絶縁抵抗の関係を調べた。測定に際し、新品試料は両刃間が平行な部分だけを取り出して加工、前処理し、PVCが熱変形して刃間距離が変化しないようFig. 3に示すセラミック容器を用いた。

電気炉による加熱温度と絶縁抵抗の関係をFig. 4に示す。絶縁抵抗は加熱温度の上昇に伴い低下し、280°Cで最低となり $5 \times 10^5 \Omega$ 程度まで低下した。その後は加熱温度の上昇と共に上昇し380°Cでは $2 \times 10^6 \Omega$ 程度であった。280°Cを超えて絶縁抵抗が上昇した原因は、熱によりPVCが発泡し、刃との密着が低下したためと考えられた。

Table 2 Insulation resistance between 2 blades immediately after thermal deterioration due to defective contact

Test piece number	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
Insulation resistance ( $\Omega$ )	$1 \times 10^{11}$	$4 \times 10^{10}$	$3 \times 10^{10}$	$8 \times 10^7$	$8 \times 10^5$	$8 \times 10^5$	$5 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$3 \times 10^5$

この検討結果から、熱による両刃間の絶縁抵抗低下の限界は $10^9 \Omega$  台程度と考えられた。したがって、Table 2 に示した通電終了直後の熱劣化させた試料のうち $10^5 \Omega$  台程度に低下したNo. 5, No. 6, No. 7, No. 8, No. 9の5個の試料は、ほぼ限界まで低下したと考えられた。

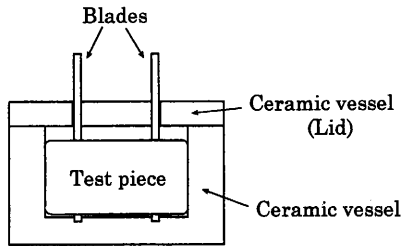


Fig. 3 Ceramic vessel and test piece

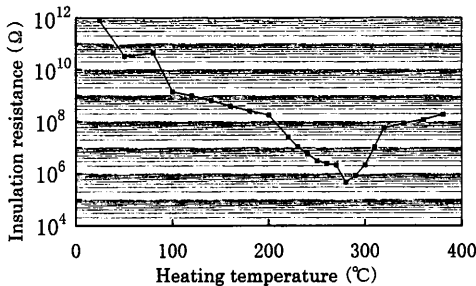


Fig. 4 Relation between heating temperature due to electric furnace and insulation resistance between 2 blades

### 3.3 熱劣化直後の試料内部の観察

接触不良通電実験と同様な方法で新品試料を熱劣化させ、両刃間の絶縁抵抗がほぼ限界の $10^9 \Omega$  台程度に低下した試料内部の状況を Fig. 5 に示す。PVC は刃に沿って内部まで熱劣化が進行し熱変色が顕著で一部炭化しており、両刃間が内部まで熱劣化していることがわかった。熱劣化の著しい部分はスポンジ状になっており、内部にも多数の空孔が形成されていた。

### 3.4 熱履歴と絶縁抵抗

Fig. 5 に示した試料内部の観察からわかるように、接触不良の発熱は刃を介した熱伝導により PVC を熱劣化させ、両刃間の絶縁抵抗を低下させていた。このことから、熱劣化による絶縁抵抗低下は、通電実験中の発熱部の温度と発熱していた時間に関係があるのではないかと考えられたので検討を加えた。

各試料は、高温で長時間発熱していた試料、一時的

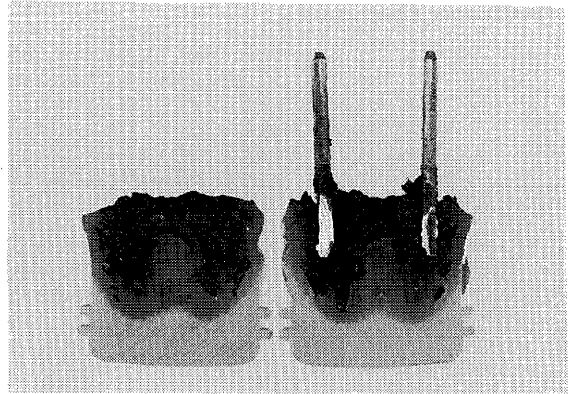


Fig. 5 Inside of a test piece whose insulation resistance between 2 blades was dropped to  $10^5 \Omega$  order immediately after thermal deterioration

に高温であったが低下した試料、これを繰り返した試料、高温にならなかった試料等さまざまで、発熱温度と発熱時間の全てが絶縁抵抗低下に影響しているのではなく、むしろある温度以上の高温で何時間発熱していたかということが絶縁抵抗低下に影響していると考えられた。そこで、9個の試料それぞれについて片刃ごとの発熱部の温度を発熱時間について積分し、両刃分を合わせた値で比較評価したところ、発熱部の温度が $180^\circ\text{C}$ を超えた高温で長時間発熱した試料ほど、両刃間の絶縁抵抗が低下する傾向であった。以下、この値を $180^\circ\text{C}$ を超えた熱履歴といい、検討結果を Fig. 6 に示す。この結果から、 $180^\circ\text{C}$ を超えた熱履歴が大きい試料ほど、絶縁抵抗が低下していることがわかった。

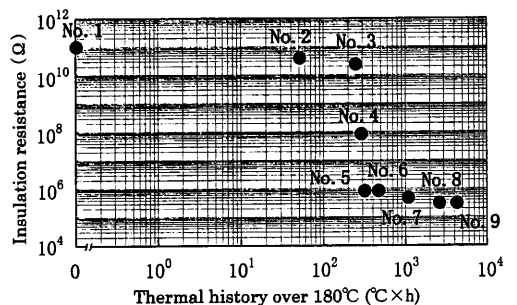


Fig. 6 Relation between thermal history over  $180^\circ\text{C}$  and insulation resistance between 2 blades immediately after thermal deterioration

### 3.5 吸湿の確認

通電終了後の熱劣化させた試料の吸湿率測定前に、試料をどの程度熱劣化させると吸湿するかどうか確認

するための検討を行った。新品試料を85, 120, 165℃の各温度で250時間それぞれ電気炉加熱し、電気炉から取り出した後実験室に約400時間自然放置し、放置時の吸湿率を測定した。その結果を Fig. 7 に示す。また、同様に電気炉加熱した試料を、電気炉から取り出しその直後、PVC 表面を X 線マイクロアナライザで元素分析し、熱分解時の反応で生成されると考えられる塩化カルシウムに関わると思われる炭素 (C)、カルシウム (Ca)、塩素 (Cl) の含有率変化を新品試料と比較した。その結果を Fig. 8 に示す。

85℃, 120℃の加熱ではほとんど吸湿がなく、165℃の加熱では顕著な吸湿をしたことから、250時間加熱した場合120~165℃の間で顕著な吸湿が発生すると考えられた。それは、カルシウムと塩素の含有率の割合が新品試料と、85℃及び120℃の加熱試料とではほとんど変化ないが、165℃の加熱試料はカルシウムの含有率の割合が非常に増加しており、120~165℃の間でPVCが吸湿原因と考えられる塩化カルシウムの生成に関して成分変化したのではないかと考えられた。また、吸湿はコンセント等の影響はなく、PVC 自体の成分変化によること、更には120℃以下で長時間加熱してもPVCが吸湿するほど成分変化しないことがわかった。

### 3.6 熱劣化後の吸湿と絶縁抵抗

通電終了後の熱劣化させた試料を実験回路から取り外し、約400時間実験室内に自然放置した時の吸湿は、180℃を超えた熱履歴の小さい No. 1及び No. 2の試料はほとんどなく、それ以外の No. 3~No. 9の試料はあり、吸湿率を測定したところその大小は180℃を超えた熱履歴に左右される傾向が見られた。

ここで、Fig. 6 に示した180℃を超えた熱履歴が大きく、熱劣化により両刃間の絶縁抵抗が $3 \times 10^3 \Omega$ 程度に低下した No. 9の試料を実験室内に自然放置した時の吸湿率と絶縁抵抗の経時変化の関係を Fig. 9 に示す。

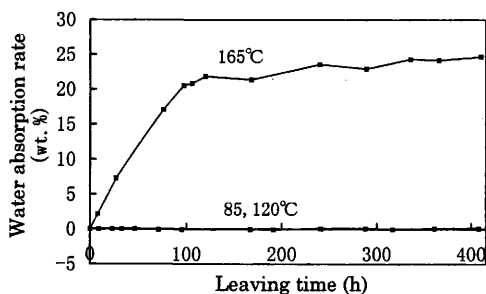


Fig. 7 Water absorption rate about 400 hours after heat treatment due to electric furnace

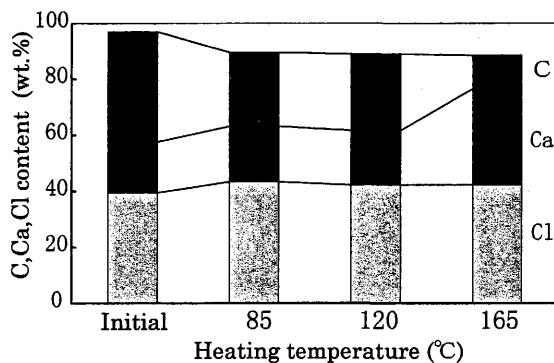


Fig. 8 C, Ca, Cl content changes of PVC surface depending on heating temperature

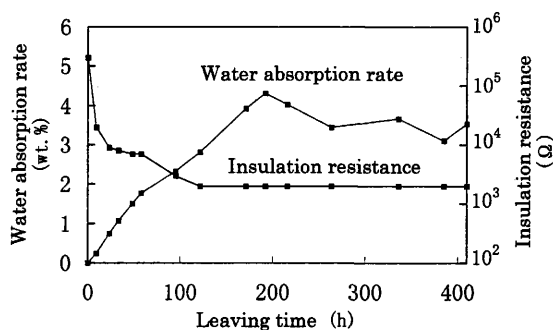


Fig. 9 Water absorption rate and insulation resistance between 2 blades (No. 9)

吸湿し始めると絶縁抵抗は低下し始め、吸湿率が増加すると絶縁抵抗は更に低下し $2 \times 10^3 \Omega$ 程度に低下した。吸湿率が2~3 wt.%の間で絶縁抵抗は最低となり、その後は吸湿率が増加しても絶縁抵抗は変化しなかった。

約400時間放置後の全試料の両刃間の絶縁抵抗測定結果を Table 3 に示す。吸湿のあった No. 3~No. 9の試料は全て絶縁抵抗が低下しており、吸湿の影響により低下したと考えられた。また、顕著な吸湿をした No. 8の試料の絶縁抵抗は Fig. 9 に示した No. 9の試料と同様で、一旦 $2 \times 10^3 \Omega$ 程度に低下した後は吸湿率が増加しても更に低下することはない、吸湿による絶縁抵抗低下の限界は $10^3 \Omega$ 台程度と考えられた。

以上から、試料は接触不良の発熱により熱劣化し、180℃を超えた熱履歴が大きいと両刃間の絶縁抵抗は $10^3 \Omega$ 程度に低下し、通電をやめ放置しておく吸湿により更に $10^3 \Omega$ 台程度に低下することがわかった。そして、両刃間の絶縁抵抗や吸湿は180℃を超えた熱履歴に左右される傾向が見られた。

熱劣化により、顕著な吸湿をした試料を目視観察す

**Table 3** Insulation resistance between 2 blades about 400 hours after thermal deterioration due to defective contact

Test piece number	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
Insulation resistance ( $\Omega$ )	$1 \times 10^{11}$	$4 \times 10^{10}$	$3 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$5 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	$2 \times 10^3$

ると、水分はPVC表面だけでなく、内部のスポンジ状の空孔内にも付着していた。

**3.7 吸湿物質の同定**

試料の吸湿原因が塩化カルシウムであるかどうか確認するため、吸湿物質の分析を行った。試料に付着していた水分を採取し、蒸発乾固したところ結晶が見られた。この潮解性の結晶についてX線回折分析を行ったところ、Fig. 10に示すように塩化カルシウムが検出された。

塩化カルシウムは試料の原材料には含有されておらず、Fig. 8の成分変化で示したように熱劣化の途中で

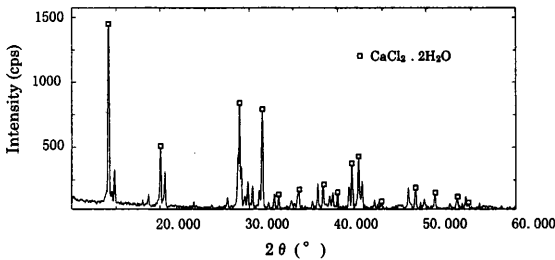
生成したと考えられた。すなわち、PVCが熱分解する際に脱塩酸し、添加含有されているカルシウム分、主に充填剤として用いられている炭酸カルシウムと反応し、生成したと考えられた。

更に、塩化カルシウムの影響により両刃間の絶縁抵抗がどの程度変化するのか確認した。新品試料の両刃間に塩化カルシウム飽和溶液を滴下し、両刃間の絶縁抵抗を測定したところ $10^3 \sim 10^4 \Omega$ 台程度であり、前項で顕著な吸湿をした試料の抵抗値とほぼ一致した。

**3.8 発火の有無**

通電終了後の熱劣化と吸湿により両刃間の絶縁抵抗が $10^3 \sim 10^5 \Omega$ 台程度に低下した5個の試料(No. 3, No. 5, No. 7, No. 8, No. 9)に、それぞれAC100Vを印加(無負荷)し、発火するかどうか確かめた。発火の確認は目視観察で、電圧を印加中PVCが燃焼を継続した場合を発火とした。なお、この実験での両刃間の絶縁抵抗は、発火実験直前に再測定した値である。

AC100Vを印加(無負荷)した結果をTable 4に示す。5個の試料のPVC熱劣化部を目視観察したところ3パターンに分類でき、I)特に変化のなかった試料(No. 3)、II)PVC表面で水分の蒸発と微少な発光を



**Fig. 10** Typical example of X-ray diffractogram

**Table 4** Results of applied voltage tests of the test pieces with 100 V AC supply and no-load current

Test piece number	Insulation resistance ( $\Omega$ )	Ignition or Non-ignition	Results of observed on PVC received thermal deterioration between 2 blades	Pattern
No.3	$3 \times 10^5$	Non-ignition	Changeless	I
No.5	$2 \times 10^4$	Non-ignition	On the surface PVC, evaporation of water, discharge with microscopic luminescence, and smoke due to the discharge	II
No.8	$2 \times 10^3$	Ignition		
No.9	$2 \times 10^3$	Ignition		
No.7	$5 \times 10^3$	Ignition	On the inside PVC like a porous sponge, evaporation of water, luminescence, and smoke, but didn't occur on the surface	III

伴う放電、及び発煙が観察された試料 (No. 5, No. 8, No. 9), III) PVC 表面では観察されなかったがスポンジ状になっている空孔の奥で水分の蒸発と発光、及び発煙が観察された試料 (No. 7) であった。このうち、発火したのは No. 7, No. 8, No. 9 の試料で、No. 3 及び No. 5 の試料は発火しなかった。

目視観察及び発火の結果から、両刃間に AC100V を印加 (無負荷) すると、 $10^5\Omega$  台程度の No. 3 の試料は PVC 熱劣化部に変化がなく発火しなかった。 $10^3 \sim 10^4\Omega$  台程度の No. 5, No. 7, No. 8, No. 9 の試料は吸湿した水分を介して電流が流れ、水分が蒸発する際に電流経路が断たれ放電が生じ、このうち  $10^4\Omega$  台程度の No. 5 の試料は短絡、発火しなかったが、 $10^5\Omega$  台程度の No. 7, No. 8, No. 9 の試料は放電のエネルギーにより炭化した PVC が導電化し、最終的に短絡、発火したと考えられた。電流は抵抗値が最も低い経路に集中するため、No. 7 の試料のように PVC 表面だけではなく内部においてもこの現象が発生すると考えられた。

次に、通電終了後の熱劣化と吸湿により両刃間の絶縁抵抗が  $10^4 \sim 10^5\Omega$  台程度に低下した 3 個の試料 (No. 3, No. 4, No. 6) をそれぞれ Fig. 1 の実験回路に再接続し、AC100V10A を 1~2 日ごとに 1 時間通電 (断続通電) し、接触不良通電の繰り返しで発火するかどうか確かめた。発火の確認は印加実験と同様である。なお、No. 3 の試料は印加実験で、変化がなかったので再使用した。この実験での通電前の絶縁抵抗は、通電直前に実験回路から取り外して測定した値である。断続通電した結果を Table 5 に示す。

通電は 3 回繰り返し、1 回目、2 回目ではいずれの試料も発火せず、3 回目通電前に両刃間の絶縁抵抗が  $9 \times 10^3\Omega$  程度に低下した No. 6 の試料だけが発火した。こ

の実験では両刃間の PVC 熱劣化部はコンセントと向かい合い目視観察できなかったが、向かい合っている隙間付近を観察すると、 $10^5\Omega$  台程度の No. 3 の試料は変化がなかったが、 $10^3 \sim 10^4\Omega$  台程度の No. 4 の 2 回目以降、及び No. 6 の試料は通電時水分の蒸発する音と発煙が観察された。

これら AC100V 印加 (無負荷) 及び断続通電の結果から、熱劣化と吸湿により両刃間の絶縁抵抗が  $10^5\Omega$  台程度に低下すると発火危険のあることがわかった。また、PVC 内部まで熱劣化が進行し、内部でも吸湿した場合、放電や短絡が内部でも発生すると考えられた。

### 3.9 差込プラグの熱劣化による発火機構

コンセントの刃受と差込プラグの刃との接触不良の発熱により試料を熱劣化させ、発火に至るまでの過程を実験及び検討結果から確認することにした。差込プラグの熱劣化による発火機構のフローを Fig. 11 に示す。

3.1 項、3.2 項、3.3 項及び 3.4 項から、接触不良の発熱により刃を介した熱伝導で PVC は両刃間の表面及び内部が熱劣化し、両刃間の絶縁抵抗が低下した。 $180^\circ\text{C}$  を超えた熱履歴の大きい、激しく熱劣化した試料は絶縁抵抗が  $10^5\Omega$  台程度まで低下した。3.5 項、3.6 項及び 3.7 項から、試料の PVC は熱分解により脱塩酸し、含有カルシウム分と反応して吸湿性の強い塩化カルシウムを生成する。熱劣化により絶縁抵抗が  $10^5\Omega$  台程度に低下した試料は、その後放置しておくとも PVC 表面及び内部で塩化カルシウムの吸湿により、更に  $10^3\Omega$  台程度に低下した。3.8 項の AC100V 印加 (無負荷) から、熱劣化と吸湿により絶縁抵抗が  $10^3\Omega$  台程度に低下した試料は、表面又は内部で放電が発生し、

Table 5 Results of repeated applied voltage tests with a load current of 10 A continued for one hour every one or two days

Test piece number	First	Second	Third
	Insulation resistance ( $\Omega$ ) Ignition or Non-ignition	Insulation resistance ( $\Omega$ ) Ignition or Non-ignition	Insulation resistance ( $\Omega$ ) Ignition or Non-ignition
No.3	$4 \times 10^5$ Non-ignition	$3 \times 10^5$ Non-ignition	$6 \times 10^5$ Non-ignition
No.4	$1 \times 10^5$ Non-ignition	$3 \times 10^4$ Non-ignition	$2 \times 10^4$ Non-ignition
No.6	$2 \times 10^4$ Non-ignition	$1.5 \times 10^4$ Non-ignition	$9 \times 10^3$ Ignition

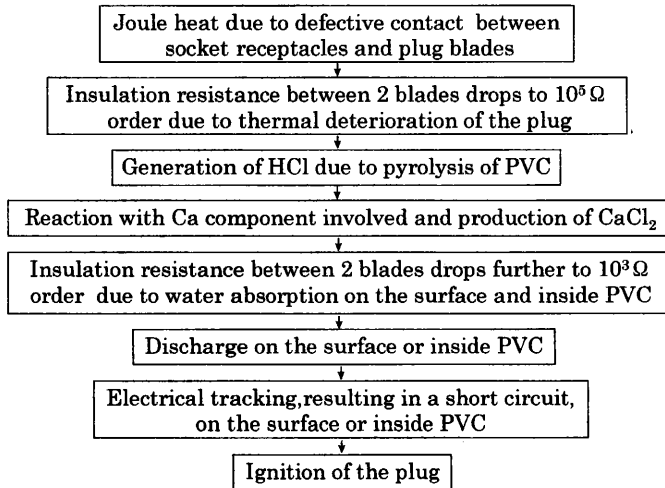


Fig. 11 Ignition process of attachment plugs due to thermal deterioration

炭化導電路を形成して短絡発火に至った。また、断続通電から、水分の蒸発、放電、吸湿を繰り返し、短絡発火に至ることも判明した。

#### 4. まとめ

差込プラグ両刃間が絶縁破壊して短絡、発火した火災は汚損や湿潤を要因としたトラッキング現象と考えられ、熱からの議論は十分なされていなかった。また、従来コンセントと差込プラグ接続部での接触不良に起因する火災は接続不良個所の発熱が原因と考えられ、両刃間の絶縁破壊からの議論は十分なされていなかった。そこで、両刃間で絶縁破壊を引き起こす要因にコンセントの刃受と差込プラグの刃との接触不良の発熱を取り上げ、接触不良通電の発熱により差込プラグを熱劣化させ短絡、発火するまでの過程を実験検討した結果、次のことが得られた。

汚損や湿潤のない使用環境において接触不良通電の発熱により差込プラグを熱劣化させると両刃間の絶縁抵抗が $10^5\Omega$ 台程度に低下すると共に、PVC自体の熱分解時の反応によりPVCには存在していなかった吸湿性の強い塩化カルシウムが生成されること、通電停止後この差込プラグを自然放置あるいは自然放置と再通電を繰り返した場合には生成された塩化カルシウムの吸湿によって絶縁抵抗が更に低下すること、そして熱劣化と吸湿により $10^3\Omega$ 台程度に低下した場合には絶縁破壊して発火危険のあること、PVCの内部まで熱劣化が進行し内部でも吸湿した場合には放電や短絡が表面だけとは限らず内部においても起こり得ることを示し、熱劣化という新たな発火機構に基づいた火災

危険性を示した。

更に、コンセントと差込プラグ接続部での接触不良に起因する発熱は、熱劣化と吸湿により両刃間が絶縁破壊する要因の一つであることを示した。

#### 謝辞

本研究にあたり御指導を賜りました三菱電機(株)住環境研究開発センターの津森昭弘氏、小俣桂氏に深く感謝の意を表します。また、X線回折分析に御協力頂いた当研究所の千葉光伸氏に御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 東京消防庁火災調査研究会：火災調査技術教本第3巻，54～61，東京防災指導協会（1987）。
- 2) 電気学会放電ハンドブック出版委員会編：改訂新版放電ハンドブック，458～472（1984）。
- 3) 東京消防庁予防部調査課：差し込みプラグ両刃間のトラッキング現象の研究，火災，44，No. 6，32～37（1994）。
- 4) 土方忠道：配線器具類からの出火事例 特徴および問題点と対策，火災，46，No. 2，13～17（1996）。
- 5) プラスチック活用ノート三訂版，254～257，工業調査会（1998）。
- 6) プラスチック添加剤活用ノート，110～116，工業調査会（1998）。
- 7) プラスチック事典，392～399，朝倉書店（1992）。
- 8) 戸田芳徳：有機絶縁材料の劣化現象について，火災，24，168～171（1974）。