

コードの接続不良による過熱並びに差込プラグの抜き差し実験について

内 田 稔・
齊 藤 洋・
渡 辺 昭 一・
薩 佐 之 久・

1. はじめに

近年、電気製品の種類が増え、生活様式がかなり電化されている。これに伴いコンセントの使用頻度が増え、差込プラグに起因する事故が発生している。

取扱い不注意によるコードの断線やプラグの破損などを起し、何度か取替え修理を行った経験があると思う。

一般に、電路に電流が流れると電線の抵抗により発熱する。まして器具とコードの接続不良または、プラグとコンセントの不完全さし込みを行った場合は、接触抵抗の増加による発熱が火災の原因となる場合が多い。

東京消防庁管内における昭和54年中の電気による発熱体からの火災件数は831件であった。このうち配線器具からの発火は125件となっている。

主な原因を表1に示す。

ちなみに過電流、地絡(漏電)に対しては保護継電器等があるが、接触不良に基づく発熱には、保護装置がないため出火率が高くなる。

この様なことから今回は、差込プラグとコードを不完全接続した場合にプラグ及びコンセントがどのような温度上昇を示し火災危険となるか、又プラグを持たずコードによる、コンセントからの引抜き(一般家庭では、この様な取扱い方をよく行う。)を行った場合の実験を行ったので報告する。

2. 実験項目

- (1) 不完全接続時の抵抗測定
- (2) 不完全接続時の温度測定
- (3) コンセント・差込プラグの材質の発熱量及び発火点の測定
- (4) 差込プラグの抜き差し繰返し実験

3. 実験供試体

- (1) 平形プラグ(丸形・角形)
- (2) ゴムプラグ
- (3) ボニープラグ(キャップ)
- (4) 平形器具用ビニールコード(公称断面積0.75 mm², 1.25 mm²)
- (5) キャップタイヤケーブル(公称断面積0.75 mm²)
- (6) 袋打コード(\varnothing 0.75 mm², 1.25 mm²)
- (7) 露出形コンセント(一口用, 二口用)

表3に(1)(2)(3)の形状を示す。

4. 実験装置

- (1) 携帯用ケーブルブリッジ(横河製)
- (2) 電流計(AC 20A), 電圧計(AC150V)
- (3) 電圧記録装置
- (4) スライダクトランス(3P・10kVA, 2P・30A)
- (5) 摺動抵抗器(40A/10 Ω)
- (6) 電気コンロ(100V 300/600W, 500/1,000W)
- (7) 12点式温度自記々録計, 熱電対0.32mmcc線
- (8) ASTM法による発火点試験器
- (9) 燃研式断熱々量計
- (10) 繰返し試験装置

表1 火災事例における発火源・着火物

経過	発火源		着火物		経過	発火源		着火物	
	項目	昭54	項目	昭54		項目	昭54	項目	昭54
漏電する	モルタルラス	14	モルタル	8	金原現象	コンセント	7	電線被覆	4
	トタン板継目	7	柱、桁、はり、敷居			さし込みプラグ	3	板張、ベニヤ	2
	壁に打ち込んだ釘	5	鴨居	8		ロータリースイッチ	1	よとん、塵ふとん、毛布	
	金属と金属の接合部	2	板張、ベニヤ	4		テーブルタップ	1	敷布、枕	2
	金属板と接地線の接触部	1	板	3		コードコネクター・ポティ	1	カーテン	2
			合成樹脂	2		セラブルプラグ	—	合成樹脂	1
		その他	5			その他	5		
電線が短絡する	コード	29	電線被覆	65	金属の接触部が過熱する	柱上用低圧閉閉器	25	電線被覆	89
	器具付コード	20	合成樹脂	10		ホルトコネクター	17	合成樹脂	9
	交通機関内配線	15	紙、紙製品	8		コンセント	9	紙、紙製品	3
	屋内線	9	紙くず、わらくず	5		屋内線	8	木材、木製品	2
	コードコネクター・ポティ	3	粉じん、ごみくず	4		コード	6	柱、桁、はり、敷居	
	その他	8	その他	28		その他	36	鴨居	2
						その他	6		
過多の電流を流す	交通機関内配線	2	電線被覆	11	絶縁劣化による発熱	街灯スイッチ	4	電線被覆	25
	コード	1	合成樹脂	4		積算電力計	2	板張、ベニヤ	4
	配電線（低圧）	1	紙、紙製品	2		コンセント	1	合成樹脂	3
	屋内線	—	木材、木製品	1		コード	1	カーテン	2
	その他	1	粉じん、ごみくず	1		かべ付スイッチ	1	木くず、のこくず	1
			その他	2		その他	4	かんなくづず	1
						その他	4		
スパークする	交通機関内配線	9	電線被覆	19	地絡する	配電線（高圧）	9	電線被覆	17
	器具付コード	3	よとん、塵ふとん、毛布			（低圧）	3	合成樹脂	2
	屋内線	3	敷布、枕	4		コード	1	紙、紙製品	1
	引込線（低圧）	2	ゴム、ゴム製品	4		屋内線	1	木材、木製品	1
	コード	2	合成樹脂	4		接地線（3種）	1	ぼろ、油ぼろ	1
	その他	7	鉱物油	3		その他	5	その他	2
			その他	8					

5. 実験内容と結果

(1) 不完全接続による抵抗測定

露出形コンセントに、次の3種類のプラグをさし込み、締付ビスの正常時及び片線締付ビスの90度、180度、270度、360度ゆるめた時、コンセント1次側からコード1mの末端までの抵抗変化をダブルブリッジにより測定した。

- 平形プラグ（丸形）ビニルコード1.25mm² 1m
- 平形プラグ（角形）ビニルコード1.25mm² 1m
- ゴムプラグ キャップタイヤケーブル0.75mm² 1m

※ ゆるみを再現させるために、ビスを人為的にゆるめたが、これには二つの意味がある。

- ① ビスを始めから不完全に締付けた場合
- ② 電流による温度変化（温度の呼吸によ

る。）

これらの二つが併発する場合が多い。

結果を表2に示す。（測定は、10回の平均）

平形プラグ丸形（以下「丸形」と言う）は、図1に示す通り、締付ビス部にスプリングワッツヤが入っているため、平形プラグ角形（以下「角形」と言う）に比べ抵抗値は低くなっている。

表2 締付ビスの状態による抵抗変化（Ω）

プラグコード種別 締付状態	平形プラグ（丸形） ビニル 1.25mm ² 1m	平形プラグ（角形） ビニル 1.25mm ² 1m	ゴムプラグ キャップ タイヤ 0.75mm ² 1m
正 常	0.01499	0.01469	0.02908
90°ゆるめる	0.01500	0.01522	0.03186
180° "	0.01516	0.01558	0.03206
270° "	0.01569	0.01600	0.03333
360° "	0.01569	0.01625	—

(2) 不完全接続による温度測定

図2に温度測定回路を示す。

プラグ丸形及び角形にビニルコード (1.25mm²) 長さ1mを接続し、コードの許容電流である12A

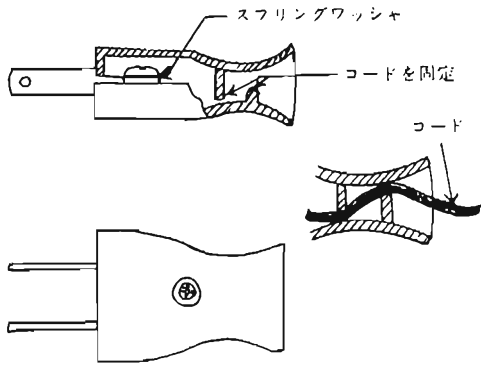


図1 平形プラグ丸形

(抵抗負荷)の電流を流し、プラグの締付ビスのゆるみによる温度上昇変化を測定した。又ゴムプラグにキャプタイヤケーブル(0.75mm²)長さ1mを接続し同様の実験を行った。

電源は、交流200V (50Hz)をスライダクトランスにより100Vに落とし、かつ別のスライダックで電圧微調整を行った。

電流は、摺動抵抗器により、差込プラグの締付

ビスを正常締付けした時負荷電流が12Aになるように設定した。

なお、プラグ内温度が飽和状態になるまで、連続通電を行った。(2~8時間連続)

ア 締付ビスの正常締付

結果を図3に示す。

各プラグ・コード及びケーブル・コンセントを比較すると、いずれもコードの温度が高い。

ゴムプラグ内温度が高いのは、放熱しにくいためと考えられる。

イ 締付ビスを90度ゆるめる。

結果を図4に示す。

丸形、角形ともに通算27時間通電したが、いずれもコード温度が一番高くなっている。ただし、プラグ内温度については、角形は丸形に比べ遙かに高い、このことは、プラグの構造的なものであり接触抵抗が大きいためと考えられる。

ここで、接触抵抗について説明すると、二つの導体の接触部には、集中抵抗及び境界抵抗、皮膜抵抗)を生じ、電圧降下する。この電圧降下を電流で割ったものを接触抵抗と言う。

集中抵抗とは、金属の接触面は微小突起部同様に接触している。この微小突起部分の接触面積は非常に小さいから、そこを流れる電流はせばめら

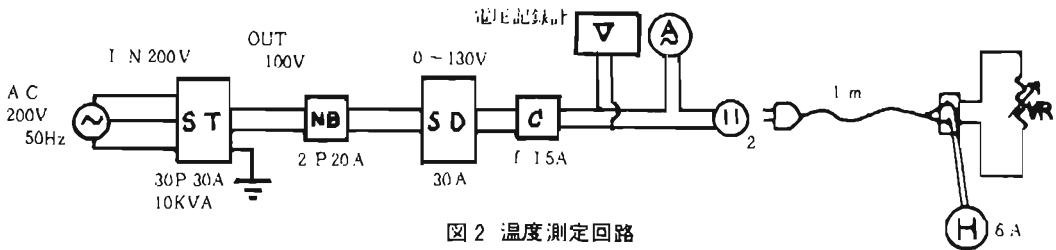


図2 温度測定回路

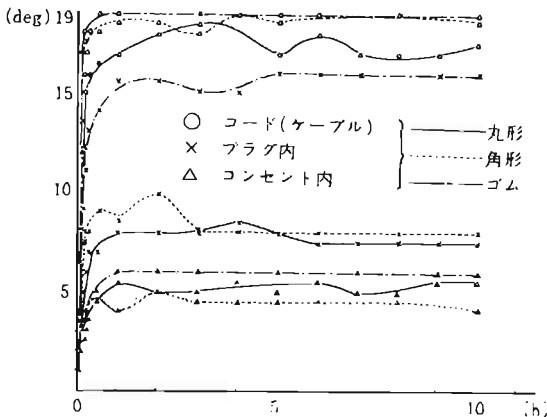


図3 丸形・角形・ゴムプラグ 締付ビス正常時の温度

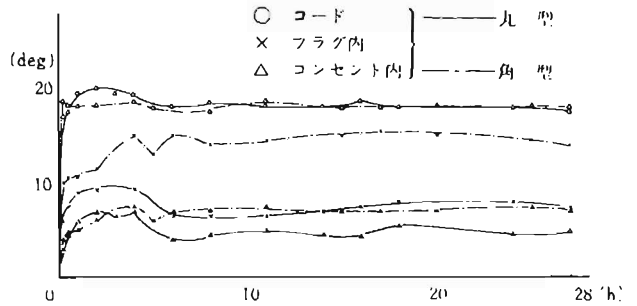


図4 丸形・角形プラグ 締付ビス90°ゆるめた時の温度

れ、抵抗を生ずる。この抵抗を言う。

次の式が提案されている。

$$R_c = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4} \sqrt{\frac{nf}{nF}} \dots\dots(1)$$

R_c : 集中抵抗

f : 弾性限界 (異種金属の場合は小さい方の値とする。)

F : 接触荷重

ρ_1, ρ_2 : 接触材料の固有抵抗率

n : 電気的に接触している部分の数

境界抵抗とは、金属の接触面は大気中で取扱われる場合、その接触面は酸化皮膜や他の汚染皮膜でおおわれている。この皮膜によって抵抗を生ずる。この抵抗を言う。

$$R_f = \frac{h^2 d}{e^2 \sqrt{2m\phi} S} \exp\left(\frac{4\pi d}{h} \sqrt{2m\phi}\right) \dots\dots(2)$$

R_f : 境界抵抗

h : Plank の定数

d : 膜の厚さ

m : 電子の質量

ϕ : 材料の仕事関数

S : 接触面積

(1)(2)式から接触抵抗を低減するには次のことが言える。

- 接触荷重 (圧力) を増加させる
- 接触面積を大きくする (電流量の大きなものにする)
- 接触材料のかたさを減少させる
- 固有抵抗の低い材料を用いる
- 接触面を清潔に保つ

以上のことから丸形は、スプリングワッシャにより接触圧力が保たれ接触抵抗が小さいため、発熱が低いと考えられる。

ゴムプラグの結果を図5に示す。

ゴムプラグは、前記丸形及び角形に比へ接触抵抗による発熱を放熱しにくいいため温度上昇が顕著となり、これがさらに接触抵抗の増加を増進する。又導体自体の抵抗も高くなると言える。

通電開始から25時間経過後ゴムの臭気を感じた。26時間後には、プラグ差込刃周囲がキツネ色に変色していた。

さらに38時間後には、プラグ差込刃周囲とコン

セント受口周囲は茶褐色となった。(写真1)

その後プラグ内温度は、上昇・下降を繰り返して通電開始から通算60時間目に締付ビス部でスパークして溶断した。

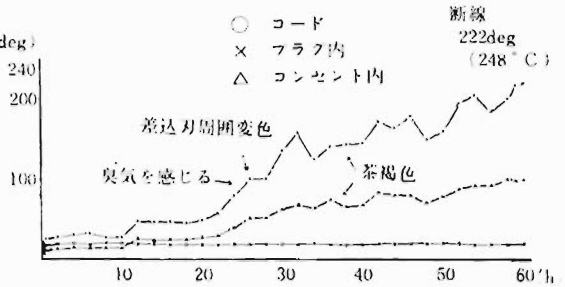


図5 ゴムプラグ締付ビス90 ゆるめた時の温度



写真1 ゴムプラグ 差込刃周囲が炭化ウ 締付ビス180度ゆるめる。

結果を図6, 7に示す。

丸形は、通電開始から通算45時間行ったが大幅な温度上昇は認められなかった。

角形の時間経過に伴う抵抗値をダブルブリッジにより、測定したところ次のような変化を示した。

- 通算24時間経過後 0.02033Ω
- " 62 " 3.33900Ω
- " 84 " 5.91100Ω

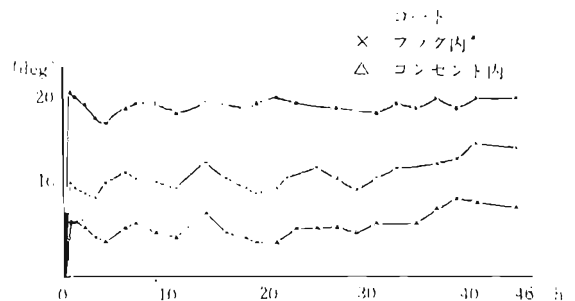


図6 丸形プラグ 締付ビス180°ゆるめた時の温度

○ コード導体の断線に至るまでの角形プラグ状態

通算78時間経過した頃、樹脂の焦げる臭がする。

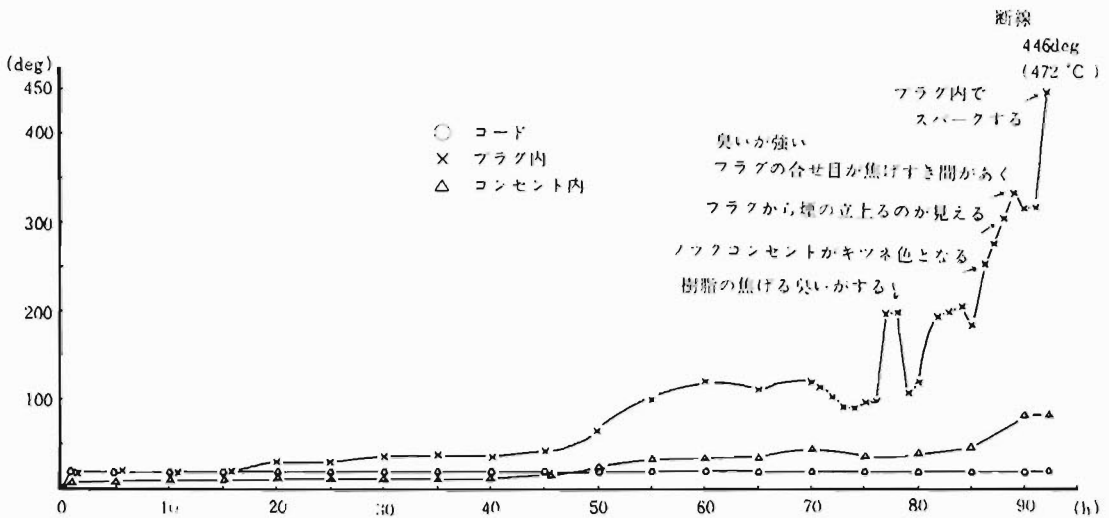


図7 角形プラグ 締付ビス180°ゆるめた時の温度

その後、温度は上昇・下降を繰り返しながら（不安定となる）上昇していく、86時間経過した頃プラグの差込刃周囲、コンセント受口周囲は、キツネ色となった。

88時間経過した頃には、プラグから煙の立上るのが見え、樹脂の焦げる臭が強くなり、プラグの合せ目が広くなり茶褐色に変色した。（写真2）

通算92時間経過した時プラグ内でスパークが起これり溶断した。

と考えられる。（写真4）

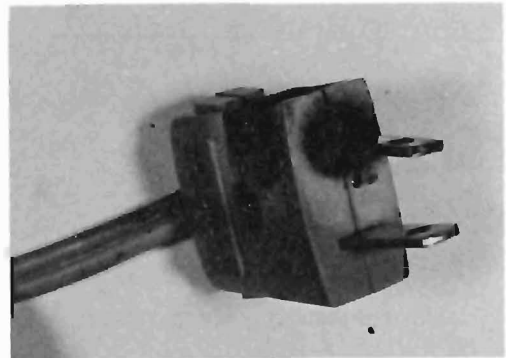


写真3 角形プラグ 差込刃周囲が炭化

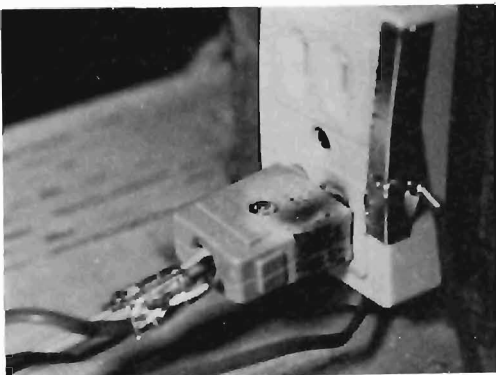


写真2 角形プラグ 熱により合せ目が炭化及び広がる。

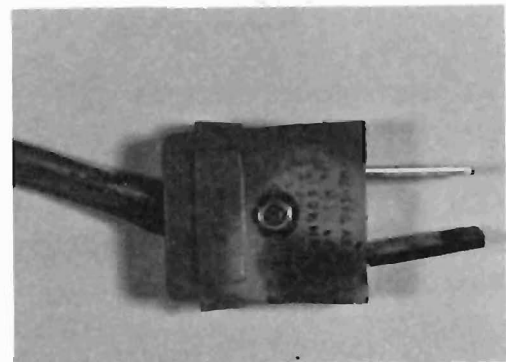


写真4 角形プラグ 差込刃片放の先端が変色

◎ 断線後のプラグ・コンセント・ビニルコード状態

- プラグ刃周囲が炭火・黒褐色となっている。（写真3）
- プラグ刃先端が黒く変色している。（コンセントの刃受けが熱によって保持力弾性を失い、接触抵抗が増加し過熱されたもの

○ プラグ内導体は、熱により溶融し、スパークによって溶断したものと考えられる。

又締付ビスにも溶着している。（写真5、6）

○ プラグ内の締付ビス部分の差込刃は、熱とスパークこんで変色している。（写真7）



写真5 プラグ内導体の溶断状態



写真6 締付ビスに棄線が溶着している状態

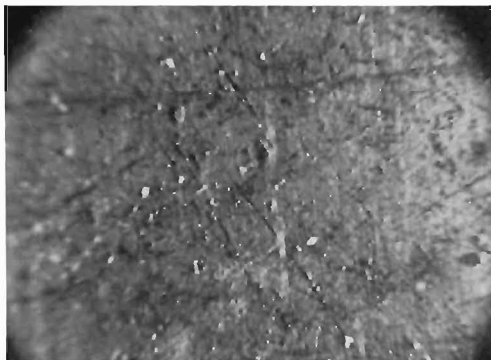


写真7 締付ビス部の差込刃 熱及びスパークにて変色している。

- コンセントは、刃受穴周囲が炭化及び黒褐色となっている。(写真8)
- コンセントの刃受けは、熱により間隔が2mm程度に開いた。
JISでは、15A以下の保持力は1~6kgf(9.81~58.8N)と定められている。
- ビニルコードは、片線がプラグ内で炭化し、プラグの接続部も一部炭化した。

(3) 差込プラグ・コンセントの発熱量及び発火点の測定

発火点は、ASTM法により発火点を測定した。
発熱量は、燃研式断熱々量計により測定した。
結果を表3に示す。

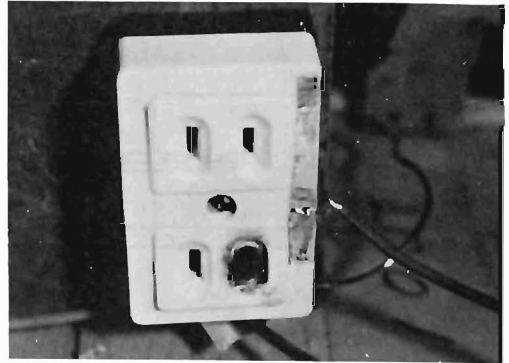


写真8 コンセントの刃受穴周囲が炭化している

(4) 差込プラグの抜き差し繰返し実験

抜き差し繰返し試験装置(図8)を使用して、次の試験を行った。

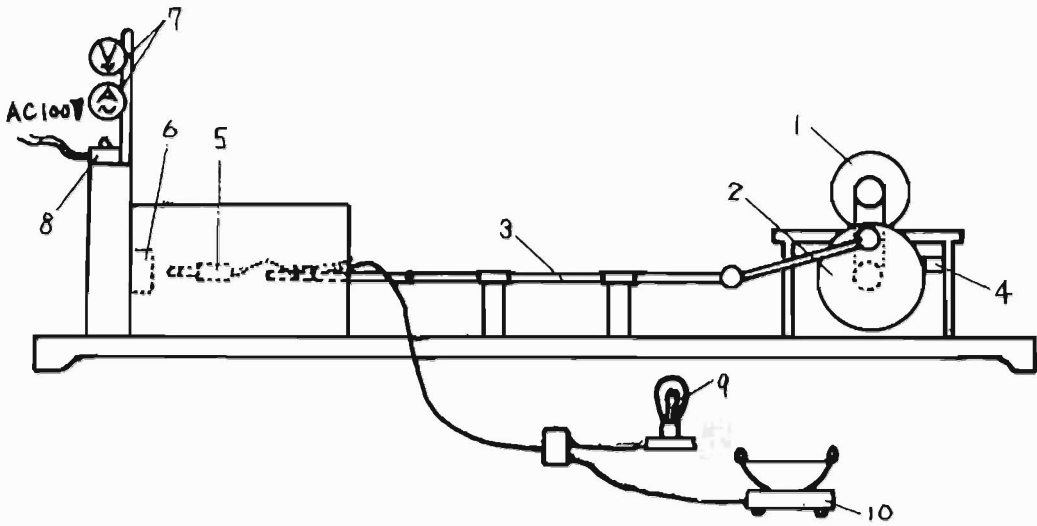
- 平形プラグ(丸形・角形) ビニルコード 0.75mm²
- ホニープラグ 袋打コード0.75mm²、1.25mm²

各プラグに合った固定金具を作成し、コードはプラグから10cmの位置を固定した。

電流は、コードの許容電流を流した、又無負荷状態の時も行った。

表3 発熱量及び発火点

	サンプル	発熱量	発火点
1	コンセント クリーム色	3,620cal/g	520℃
2	平形プラグ(丸形) 白色	3,630cal/g	590℃
3	平形プラグ(角形) グレー	3,750cal/g	520℃
4	平形プラグ(角形) 白色	3,620cal/g	590℃
5	ホニープラグ 黒	4,820cal/g	510℃
6	ゴムプラグ グレー	3,930cal/g	410℃
7	黒 黒 黒	5,210cal/g	410℃



- 1. モーター
- 2. 変速器
- 3. ストロークシャフト
- 4. カウンター
- 5. プラグ
- 6. コンセント
- 7. 電圧計・電流計
- 8. 配線しゃ断器
- 9. 自然電球
- 10. 電気コンロ

図8 繰返し試験装置

表4 プラグの抜き差し実験結果

プラグ種別	コード種別	コード径	負荷	接 続 状 態	回 数	結 果
平形プラグ (丸形)	ビニール	mm 0.75	A 7	コードをプラグ自体により2ヶ所を完全固定	20,000	異常なし
					20,000	"
平形プラグ (角形)	ビニール	0.75	7	ビニールを差込刃引掛部に完全に入れ接続	20,000	異常なし
				ビニールを差込刃引掛部に不完全に入れ接続	3,584	断 線
					4,530	"
				ビニールを差込刃引掛部に始めから入れない接続(素線が引掛部に直接触れる)	2,610	"
					2,165	"
					2,015	"
ポ ニ ー プ ラ グ	袋 打	0.75	7	直接素線接続部に力が加わらないように結びを作る	4,365	"
					4,450	"
		1.25	12	直接素線接続部に力が加わる	20,000	異常なし
					20,000	"
0.75	7	直接素線接続部に力が加わる	3,350	断 線		
				2,550	"	
1.25	12			7,352	"	

負荷には、白熱電球と電気コンロを使用し、抜き差し回数は、1分間に20回行いカウンターで読み取り最高20,000回まで行った。結果を表4に示す。丸形は、図1に示す通りコード固定が2か所(樹

脂)で行う構造となっているので、導体縮付部に力が加わらないためコードに異常は認められなかった。

角形プラグは、図9に示す通りビニルコードを差込刃引掛部に直接はさみ込む構造となっている

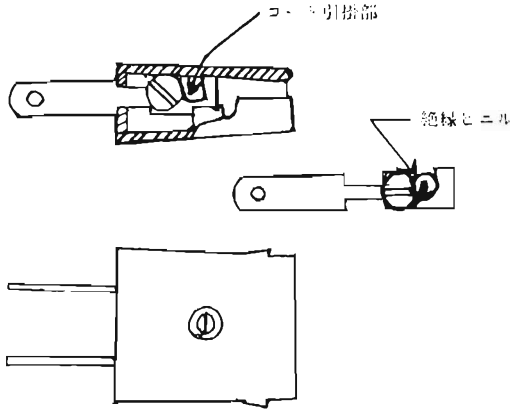


図9 平形プラグ (角形)

ために、ビニル被覆を完全にはさみ込まない状態では断線している。

また、無負荷状態では、負荷をかけた時の断線回数の約2倍となっている。このことは、負荷をかけた時には切断された素線が、締付ビス及び差込刃または素線同士の不完全接触のためスパークするからと考えられる。

袋打コードについては、プラグ内にコードの結びを作ることにより、締付部に力が直接加わらないために異常は認められなかった。



写真9 プラグ内素線
スパークにより先が丸くなり断線している

6. 考 察

不完全接続による温度測定実験においては、非常に苛酷な状態（器具の接触抵抗を増大させるための人為な措置）で行ったが、コードとプラグの接続部がゆるむことにより、その部分の接触抵抗が大となり、温度上昇が顕著となる。

温度が高くなることにより、さらに集中抵抗・

境界抵抗が増加促進され増々高温度となる。ある温度に達すると接触面が軟化（Cu 190℃）し、接触抵抗が小さくなり温度は下がるが、再び接触抵抗が大きくなり温度は上昇する。

このことが繰返され、温度はより以上の高温度となる。

最終的には、スパークを伴い溶断したと考えられる。

以上、二種類のプラグについて通電停止状態まで実験を行ったが、短絡等による過電流しや断器のしゃ断は起こらなかった。

実験の結果から次のことが考えられる。

- (1) 接触不良状態になると、接触抵抗を生ずることにより発熱し、プラグ・コンセント・コードともに炭化状態となり、その時のふんい気及び周囲可燃物の状態などによっては、発火の危険が大きいと考えられる。
- (2) 平形プラグでコード全体の押え込みの有るもの（図1）は、無いものに比べ構造上安全性が高いと言える。
- (3) 角形プラグは、図10に示すように絶縁ビニル部分を完全にはさみ込まないと断線する傾向が多い。
- (4) ボニープラグは、内部でコードの結び目を付けることにより安全性は高くなる。

なお、プラグ内で素線切れした場合、文献(3)から残存した素線には過大電流となり、異常発熱を起こし出火の危険にも至ると考えられる。

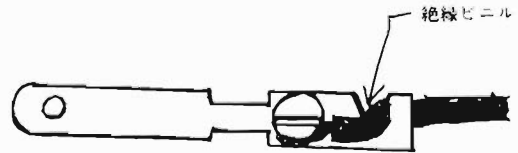


図10 絶縁ビニルを完全にはさみ込む

7. おわりに

今回の実験は、短い時間の中で行ったため、データ不足等により満足する結果を得ることができなかった。

差込プラグの抜き差し繰返し実験については、比較的安全な方法（水平方向）であったため、今後、機会があれば角度を持たせた実験及びコード直付けプラグ等についても行いたいと考えている。

参考文献

- (1) 電気工学ハンドブック(電気学会)
- (2) 土屋金彌：電気接点技術
- (3) 三橋，横井，長田，伊坂：絶縁被覆電線の劣化履歴と火災危険について（日本火災学会誌，1981，130)