

電気安全とその教育に関する考察 (2)

—— 半断線状態のクロロprenコードの発火に到る 断続回数と電流の関係、及び発火原因の究明 ——

高木三郎*

(60年5月8日受理)

1 ま え が ぎ

前報¹⁾において、クロロprenコードは半断線を起こした場合、その部分で電流を断続すると極めて危険な激しい発火現象を起こすことが多いことを報告したが、発火するまでの電流の断続回数の問題などの実際上の危険性、及び発火原因については十分な検討が行われていなかったので、その後これらについて実験を行い検討を加えた結果について報告する。

しかし、後者の発火原因については現在明確な判断を下すまでには到っておらず、その究明の手掛りになると思われる二、三の現象を確認しているにとどまっている状況ではあるが、これらの現象は極めて貴重に思われるので記載した。

なお、前報発表後に、補足しなければならない問題が2件生じたのでこれについても説明する。

2 前報に関する補足

前報発表後に、是非補足説明を要すると思われることが下記の2件生じたので説明を加える。

(1) 筆者の研究より6年も前に、日本火災学会機関誌「火災」²⁾に、「加熱によるコード被覆の絶縁劣化」と題して金原壽郎氏がクロロprenゴムに関する論文を発表していることを知った。

しかし、この研究はコードという立場からと言うよりも、むしろクロロprenゴムという絶縁材料の立場からのものであって、コードの素線を全部抜き取って、それを電気炉内で加熱して行ったもので、発生する現象は普通の発煙、発火であって、筆者が前報で報告したような通電中に発生する激しい発火現象とは全く異なるものである。

しかしながら、研究は精密なものであり、その結果は筆者が今後継続して行う発火原因の探究に非常に参考になるものである。また、論文の最後に「クロロprenゴムコードの発火危険」として、「最も起こりそうなのは、心線が切れ、しかも両端が度々着いたり離れたりする場合である。」としており、筆者の報告に近い現象を予想しておられることには敬意を表するものである。しかし、同氏は筆者が前報で報告したような、激しい破裂的な発火現象を継続しな

* 岩手大学教育学部

がら電源側に向かって燃焼を続けるすさまじい状況は予想しておられなかったと思うし、発火原因についても、後述するように単にゴムのグラファイト化のみではないであろうと思われる。

(2) 前報の「まとめ」の(5)に「JISの『ゴム絶縁電線試験方法』には、この発火に関する項目がないから加えるべきではないか」と提案したが、電気用品取締法に強度に関しては次のように規定されていることを知った。

『電気用品の技術上の基準を定める省令』の別表第一の中のコードの「チ、機械的強度」よりの抜粋

(ロ) 曲げ強度

公称断面積が 0.75mm^2 以上の多心コードであって、外部編組または外装を有しないものにあつては、次に適合すること。

- (a) 完成品から適当な長さの試料をとり、その一端を直径5mmの円筒2本の間にはさみ、他の一端に導体の断面積 1mm^2 につき150gの重さ(500g未滿となる場合は500g)のおもりをつるし、試料に許容電流に等しい電流を通じ、電線をすべらさずに2本の円筒の軸方向の中心線を軸として左右にそれぞれ約 180° ずつ交互に回転させて試料を屈曲させる操作を毎分約10回の速さで連続して100回行ったとき、導体の素線の断線率が50%以下であること。
- (b) 完成品から適当な長さの試料をとり、これを 100°C の温度に48時間保ったのち、(a)に規定する方法により1の線心が断線するまで屈曲を行ったとき、線間短絡が生ぜず、かつ、絶縁体にひび、割れその他の異状が生じないこと。

上記の(a)を見ると、確かに苛酷な程の試験ではあるが、素線が切れないというのではなく、状況や回数によっては切れることは明らかなので、この項は筆者の研究結果に直接には関係するものではない。

また、(b)の内容は一見すると筆者の研究結果のようなことが起こらないためのもののように見えるが、この方法では最後に残った数本の素線が切れる瞬間の1回だけ電流断の状態が起こり、これで試験は終わるのであるから、後で述べる実験結果からみても発火はほとんど起こらない。

なお、「線間短絡が生ぜず」とあるのは、心線と心線が直接接触することを意味していると思われるが、筆者が報告した激しい短絡状態は、心線間のゴムが熱により完全に劣化して起こるものと思われるのでこの項には該当せず、この規定は項目名の通り「機械的強度」のみを対象としたものであり、筆者の言う危険性にとっては対処されていないと言わざるを得ない。

ここで念のため付言しておきたいことがある。それは、「前報に『クロロプレンコードは黒いゴム系のコードで、ネオプレンコードとも言われている。』と述べたが、黒いゴム系のものが全部クロロプレンコードであるというのではない。」ということである。黒いゴム系には他に天然ゴムのもの、SBR、EPゴムなどがあり、形も平形、袋打、丸打、キャブタイヤなど種々あり外観では一見判別できない。ただクロロプレン平形コードの場合は、多くは断面が角形をしており、JISでは白い糸1本を導体と絶縁体との間、又は絶縁体真上に縦添えすることに規定されており、普通は並行している2本の中の一方向に入っている。

3 実験結果と考察

今回の実験では、前報で「今後解明したい問題」としていたことであるが、「製品として出ている多種のクロブレンコードの発火率を調べ、実際の危険性について検討する」とともに、そのため行う数多い実験の途中現れる種々の現象及び結果の検討の中から、発火原因の探求に係わると思われることを、できるだけ多く得ようとした。

(1) 連続試験

半断線部分での電流の断続が何回くらい行われたら発火するものか、またその回数はメーカーによって違っているものかどうかを試験したものであるが、電流の断続は約1~2秒おきぐらいに手で引っ張ったり離したりして行った。

第1図はその結果であるが、A, A', B, C はメーカーを表す。A'はAと同じメーカーであるが製造年が4年も後であり、切断面を見たところAと組成が明らかに違って見えたので試料に加えたものである。

試料には断面積0.75mm²のコードを用い、まず交流100 [V]、電流は6, 8, 10 [A]で行った。(8 [A]が試料コードの許容電流である。)この結果については次のことが言える。

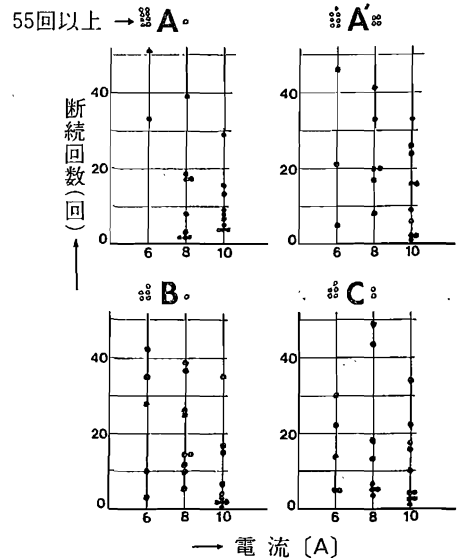
- i) 発火に到る断続回数の多寡には電流値が影響していることは当然と考えられるが、6 [A]で若干、許容電流の8 [A]では相当数のものが数回で発火している。

これは、次の「累積試験」の結果と関連して言えるのであるが、極めて危険なことである。というのは、数回だけの断続であれば、実際に使用している時には気付かないことが少なくないからである。

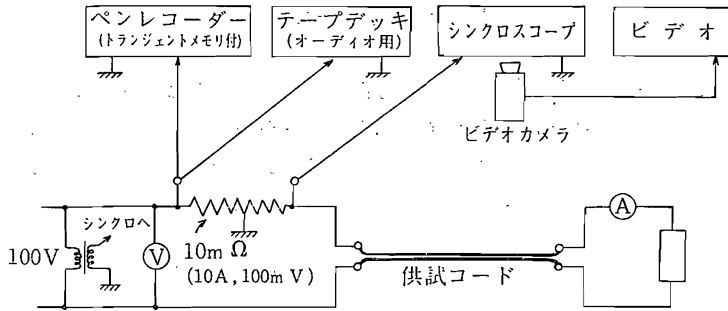
- ii) 全体的に見ると、メーカーによる差はそれ程目立つものがないように見えるが、あえて言うと、A'が若干優れ、Aが8 [A], 10 [A]に関する限り最も悪く、B, Cでは6 [A]での発火数が多くなっている。しかし、この断続回数には問題があると思われる。というのは、電流の断続を行う場合、その断続にあずかる素線が内部でどんな位置にあるか、すなわちゴム壁に近い所で火花が発生した場合は早く発火すると考えられるので、半断線部分の素線の状態が大きく影響していると思われるのである。

次に念のため、交流200 [V]の6と8 [A]で、さらに直流100 [V]の4, 6, 8 [A]で同様に行って見た。その結果の図表は掲載しなかったが、200 [V]では100 [V]の時より非常に早く、大半は5回以内、その他のものもほとんど10回以内に発火し、破裂も極めて激しかった。直流の場合は全部1~2回で発火したが、これは予想されたことで、半断線部分にアークが発生し、それが持続されるためと思われる。

実験装置は第2図に示したが、断続回数の測定のみではなく、発火原因の探究と短絡電流測



第1図 連続試験結果 (交流100 [V])



第2図 実験装置

定のため、 $10\text{m}\Omega$ (10 [A] , 100 [mV]) の抵抗を負荷に直列に接続し、その抵抗に現れる電圧の波形を記録した。図の左端のペンレコーダーは、 50 [Hz] や短絡状態の場合は早い変化にペンが追隨して動くことができず、正確な直接記録は不可能であった。しかし、附屬しているトランジェントメモリに収めることに努めた結果、記憶時間が極めて短いので適切な時点の現象を捉えるのは非常に困難ではあったが幸い数例記録できた。

中央のテーブデッキは全く参考にするためのもので、記録された波形にははね返り現象が著しく発生しており実用にはならなかったが、電流の断続数を数えたりするには便利であった。

右端のシンクロスコープ、ビデオ、カメラの組み合わせは、電流の長時間記録用であるが、この実験の発火現象はいつ起きるか全く予想できないので相当長い（少なくとも10分間）の波形を記憶し、後で長時間に伸ばして見れる装置が望ましいのであるが所有していないのでこれで代行したもので、シンクロスコープの画像をビデオに収録したものを、後でスローやストップモーションで見れるので非常に役立った。ただシンクロスコープの帰線期間に現象が入ったり、像の不鮮明のことがあったりする不備の点があった。なお、短絡状態の時はシンクロスコープの単掃引で写真撮影を何回か試みた。

電源の近くに並列に小さな変圧器を置いたのは、その二次電圧波形をシンクロスコープに画かせて電流波形の変化と対照して見るためのもので、電圧と電流の位相関係などの解析の他にヒューズが切れたかどうかの判別に役立った。

なお、直列抵抗の途中を共通アース点とし、左右からテーブデッキとシンクロスコープへと分けたのは、テーブデッキのはね返りが外部にも影響を与えることを恐れたからである。

(2) 累積試験

実際の使用場所では(1)で行ったような連続的な電流の断続はほとんどあり得ないことであり、問題は、例えば一日に1, 2回断続するような場合、それらの影響が累積して、連続試験の時と同様に何回目かには、ただ1回の断続でも発火するであろうかということである。この問題を究明すべく行ったのがこの試験である。

各社の10本につき許容電流の 8 [A] で行ったが、その方法は、先ずスイッチを入れ電流を30分間流してから1回だけ断続し、そのまま電流を30分間流して置き、また1回だけ断続してスイッチを切る。そしてそのあと2時間休ませ、再び前と同様に電流を流して30分おきに1回ず

つ2回断続するということを繰り返して行ったものであり、その結果は第3図の(a)である。同図(b)は比較のため第1図の連続試験の結果から各社の8[A]の所だけを取り出したもので、回数は26回以上のものは「不発」とした。

この結果は全く予想外のものであった。というのは、連続的に断続した場合は内部が相当高温になり発火しやすい状態になると思われるが、この実験では時間間隔をおいて1回ずつであり、通電しない時間が夜を

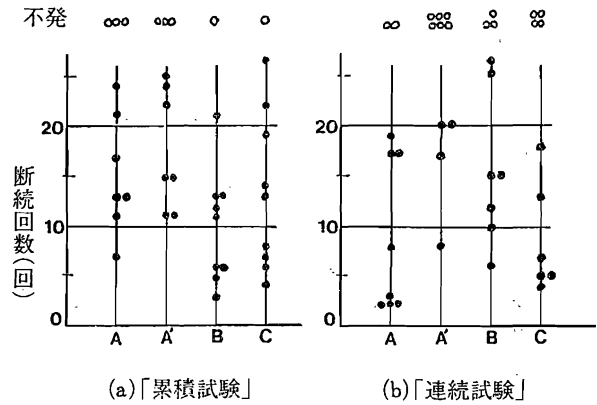
含めて相当あるから、なかなか発火しないであろうと思ったのである。ところが(b)図と比較して見ると、A社のもの以外は(a)の累積試験の方が発火率が大きくなっている。勿論これらの結果は各社10本ずつだけの試験であるから確定的には結論を下されないが、「コードの半断線部分における電流の断続によるクロロブレンゴム絶縁物の劣化は累積し、いつかは1回だけの断続で発火するおそれが多分にあることは確実であり、極めて危険である。」と言える。

なお、重大なもう一つのことは、発火後の短絡状態の時に15[A]の安全ブレーカーは全く作動せず、ヒューズも熔断する時としない時があり、仮に熔断してもその時は既に火災状態になっている時であるということである。

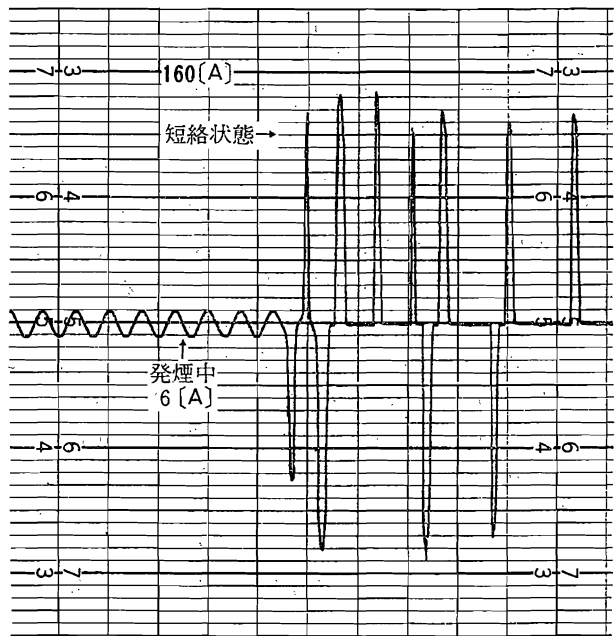
(3) 発火原因探究に係わると思われること

上記の実験の途中で発生した現象、及びその検討の中で、発火の原因を探究する上に係わりを持つと思われることが二、三あるのでここに記述する。

(a) 発火には、一気に短絡状態になり発火する場合と、並行する2本の中の片一方の線が発煙し、ある時間を経てから短絡状態になり発火する場合と、片一方が発煙ではなく発火をし、ゴムは燃焼しながらしばらくの間正規の電流を流し続けてから激しい短絡



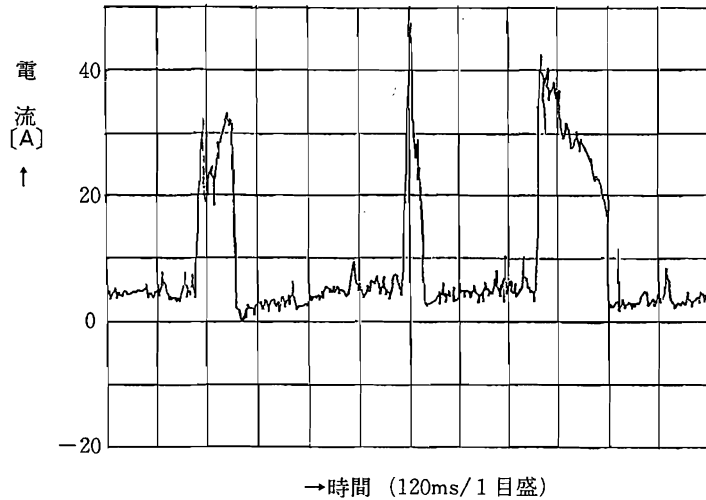
第3図 累積、連続試験結果の比較



第4図 異状時の電流 (100 [V], 6 [A] の時)

状態の発火になる場合の3種類の状態がある。

(b) 異状時の電流波形の問題であるが、第4図は発煙状態から短絡状態になった期間をペンレコーダのトランジェントメモリに捉えたもので、発煙中は正規の電流が流れており、短絡状態(発火)の電流がピークで約160 [A]にも達している



第5図 直流の短絡電流 (100 [V] 8 [V] の時)

ること、短絡の発生が不規則であること、またその前後の電流には見るべき変化がないことなどがよく記録されている。

第5図は直流の場合の短絡状態の時の電流波形である。使用した電源が2 [kW] の発電機であることが電流値などに影響していると思われるが、電流の流れている時間や波形が交流の場合と全く違っている。これはアーク状態になっているためと思われる。

第6図の写真は交流100 [V], 8 [A] での短絡時のシンクロスコープの像であるが単掃引で撮ったものである。スケールは1cmあたり50 [A] になるようにしてあったからピークで150 [A] 以上のものも出ている。下部の正弦波は電源電圧波形であるが、短絡は決まって正弦波の最大の所で発生している。

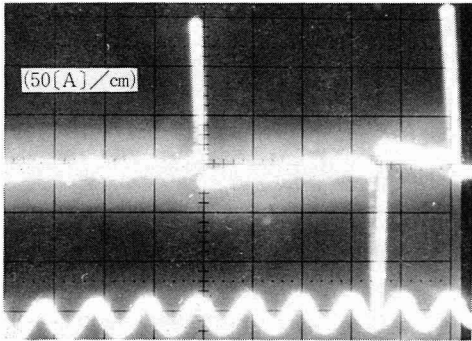
これら異状時の電流は、半断線部分にかかっている電圧の波形なども記録して、これらと対照し今後充分検討しなければならないものである。

(c) 電流を断続すると、その時の熱で素線が溶けて飛び散り周囲のゴム壁に付着することが考えられる。これを確認したのが第7～9図である。

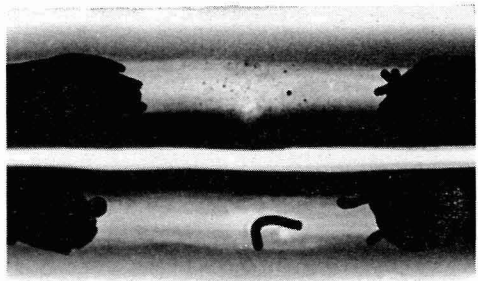
第7図は電流を数回断続したコードを直接X線撮影したもので、上の線に多くの銅の粒子が見えているがこの他に飛沫状のものがあることが当然考えられる。そこで、この部分の一部の状態を電子顕微鏡で撮影したのが第8図 (a), (b) であり、全く電流を断続しない部分のゴム壁の表面である同図 (c) と比較すると、ゴム壁の荒れが明瞭にわかるが、それぞれの写真の中に矢印で一部の銅粒子を示しておいた。

第9図の (a), (b), (c) は第8図の (a), (b), (c) とそれぞれ同じ試料をX線マイクロアナライザーで銅の特性X線像を撮影したもので、電流を断続した部分の (a), (b) ではほとんど全面的に銅の存在が見られ、断続しない部分の (c) では当然ながら全く存在していない。(白点が銅の存在を示すものであるが、点の大きさが粒子の大きさを表すものではなく、点の密度が銅の存在の程度を表しており、粒子の部分の一部明瞭に表れている。)

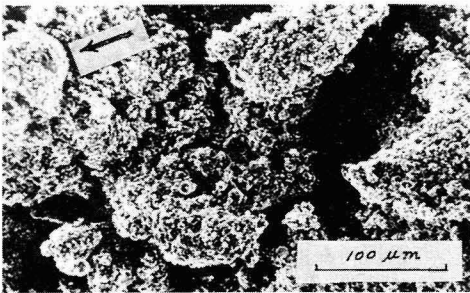
このゴム壁の表面の荒れを見ると、これは火花の熱のみでなく、熱せられた銅粒子がゴム



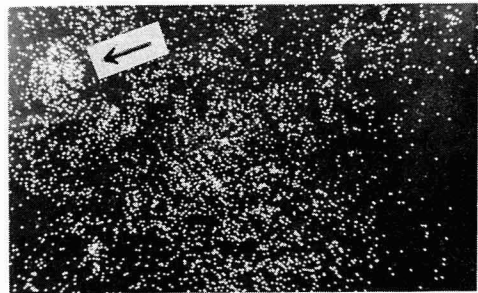
第6図 短絡電流(交流100 [V] 8 [A] の時)



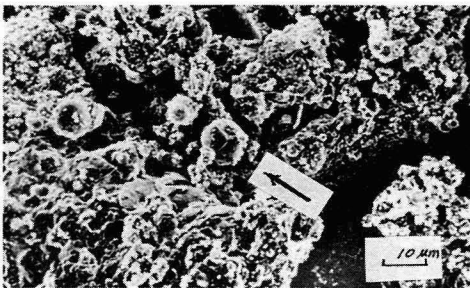
第7図 コード内の銅の粒子



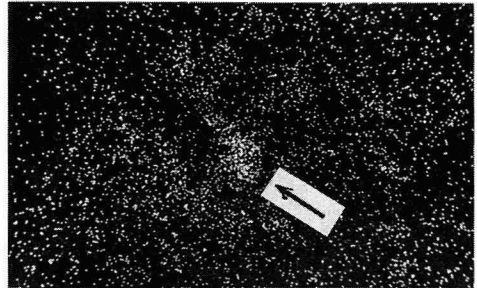
(a) 電流断続部分(300倍)



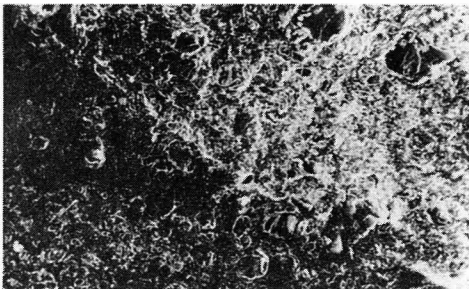
(a) 電流断続部分(300倍)



(b) 電流断続部分(1000倍)



(b) 電流断続部分(1000倍)



(c) 電流を断続しない部分(300倍)



(c) 電流を断続しない部分(300倍)

第8図 ゴム壁の電子顕微鏡写真

第9図 ゴム壁の銅の特性X線像

に突き刺さる状態でも起きているものと思われ、金原氏は発火原因は「熱によるゴムのグラファイト化」としているが、実際のコードの場合はこの銅の飛沫や粒子の付着もグラファイト化や絶縁抵抗の減少の大きな原因になっているものと思われる。

4 む す び

今回の実験で、電気安全上非常に大切な次のことが明らかになった。

- (1) クロロプレンコードが半断線を起こした場合、その部分での電流の断続が相当な時間間隔をおいて1回ずつ行われても、その影響は累積し、いつかは1回だけの断続で発火することが多分にあり得、しかも、許容電流の前後では数回目で発火するものもあるから極めて危険である。(使用試料の断面積は 0.75mm^2)
- (2) 短絡状態になり発火しても、15 [A] の安全ブレーカーは作動せず、ヒューズの場合も熔断する時としない時があり、仮に熔断してもその時は既に火災状態になっている時である。
- (3) 交流 200 [V] や直流での使用の時は発火しやすいから、充分注意する必要がある。また、発火原因探究上の手掛りになるであろうと思われる二、三の現象を確認し得たが、特に電流の断続時に熱せられた銅粒子が飛散してゴム壁に付着していることをX線マイクロアナライザーで確認したことは極めて意義深いことであると思われる。

ここにクロロプレンコードは半断線を起こした場合は極めて危険なコードであることが確認されたので、速やかに発火原因を明らかにし、発火しないように改良することと、前報にも記したようにJISで試験法を定めることが必要である。そのためにも、筆者は今回の実験中に知り得た色々な現象を手掛りとし、実験方法にも改良を加えて発火原因の究明をして行く予定である。

この研究を行うに当たり、発火原因の究明上極めて貴重な電子顕微鏡写真と特性X線像の撮影に多大の御協力をいただいた岩手県工業試験場化学部の河野隆年氏に対し心から深く感謝申し上げます。また、実験装置の製作や実験に協力してくれた当技術科の川嶋良昭技官に感謝の意を表します。

(注)

- 1) 高木三郎「電気安全とその教育に関する考察(1)——クロロプレン絶縁平形コードの異状発火の事例(1)——」岩手大学教育学部研究年報、第44巻第1号(1984)
- 2) 金原壽郎「加熱によるコード被覆の絶縁劣化」日本火災学会誌『火災』, VoL. 28, No. 6 (1978)

本論文は前報(上記の注1)の副題「クロロプレン絶縁平形コードの異状発火の事例(1)」に続く(2)に該当するものである。