

消防用耐火電線の動向

Recent Trends in Fireproof Cables

Fireproof cable used in wiring fire equipment such as fire warning equipment and fire escapes must be capable of maintaining its insulation resistance at temperatures up to 800°C. When used in house wiring, fireproof cables should not require any more attention than do common P.V.C-insulated and sheathed cables. Hitachi Cable, Ltd. has developed two types of fireproof cables, the FR-8® and the FR-8 II®, the latter an improved version of the former in terms of fire resistance. These cables are protected with a fireproof layer made of inorganic insulating material, an insulation layer made of organic insulating material, and a sheath. This article describes the development of these two cables and the properties of inorganic insulating materials used in high temperatures.

佐々木浩* Hiroshi Sasaki

関 昭二* Shōzi Seki

坂井弘一* Koichi Sakai

1 緒 言

昭和44年6月自治省消防庁は「消防法」の一部を改正した。この改正は火災の早期発見、早期通報及び安全避難をその骨子とするもので、建造物にその規模、用途に応じて非常警報設備、排煙設備、屋内消火栓設備などの設置を義務づけている。

これらの設備は火災時にその性能を発揮するものであるため、付属する電気配線には当然火災時の高温に耐え得るもの、又は耐え得るように耐熱保護を施したものを使用しなくてはならない。この耐熱配線については、消防用設備の技術基準¹⁾²⁾に定められており表1に示すとおりである。

同表にあるように非常電源の配線は、耐熱ビニル線以上の耐熱度を有する電線を金属管に入れて耐火壁の中に埋め込むことが原則であり、埋込み不可能の場合は金属管の周囲にロックウール、アスベストなどにより断熱層を施さなくてはならない。たとい鋼帯外装ケーブルといっても、これに直接断熱層を施して露出配線とすることは許されず、必ず金属管に入れその周囲に断熱層を施さなくてはならない。なんら保護を施さず配線できるのはMIケーブル(無機絶縁ケーブル)であるが、これは酸化マグネシウム絶縁、銅管シースという構造のため、配線、接続、端末処理に手数がかかるという欠点がある。このように基準どおりの配線を実施することは多くの問題があり、非常用設備の普及を妨げる原因の一つとなっていたため、VV-Fケーブル(600Vビニル絶縁ビニルシースケーブル平形)と同等の取扱いやすさで火災時の高温に耐え得る電線の出現が各方面より望まれていた。

そこで消防庁では電線の耐火試験基準を定め、これに適合する電線については、耐熱保護を施さず露出配線とすることを認めることとした。この基準は昭和44年3月に消防庁通達「消防予第48号」として定められ、この基準に適合する電線として開発したのが日立電線株式会社の耐火電線“FR-8”®である。その後昭和48年2月に基準の一部が改正され、「消防庁告示第3号」として公布された。この新基準に適合するものとして開発したのが“FR-8 II”®である。

本稿は“FR-8”®及び“FR-8 II”®の開発過程、その特性及び今後の問題について述べるものである。

表1 耐熱配線方法 火災時において30分間送電できるよう考慮した耐熱保護法で、電線の周囲温度が80°Cを超えないことを目標としている。

Table 1 Method of Fire-proof Wiring

電線などの種類	施 設 方 法
1. アルミ被ケーブル 2. 鉛被ケーブル 3. 鋼帯外装ケーブル 4. クロロブレン外装ケーブル 5. CDケーブル 6. コルゲートケーブル 7. 平形以外のポリエチレン外装ケーブル 8. 平形以外のビニル外装ケーブル 9. 600V耐熱ビニル絶縁電線 10. ハイパロン絶縁電線 11. 四フッ化エチレン(テフロン)絶縁電線 12. ワニスガラステープ絶縁電線 13. アスベスト絶縁電線 14. シリコンゴム絶縁電線	金属管、可とう電線管、硬質ビニル管及びフロアダクトに収める。 1. 耐火構造の主要構造部に埋設する。この場合の埋設深さは、壁などの表面から10mm以上とする。但し、硬質ビニル管を使用する場合は、20mm以上とする。 2. 建築物の構造その他により1.によりにくい場合は、次によること、但し、次の(1)及び(3)の場合は、硬質ビニル管を除く。 (1) 主要構造部以外の耐火性能を有する部分に1.により埋設する。 (2) 耐火性能を有するパイプシャフト、ピット内にいんべいする。 (3) 耐火性能を有する部分に埋設できない場合は、ガラスウール、ロックウール、けいそう土、モルタルなどにより厚さ15mm以上容易にはがれないように保護する。 (4) その他の方法により設ける場合、300°Cの温度に10分以上耐え得るよう保護する。
15. 600Vゴム絶縁電線 16. 600Vビニル絶縁電線 17. 引込用ビニル絶縁電線 18. 平形ビニル外装ケーブル 19. 平形ポリエチレン外装ケーブル	金属管、可とう電線管及びフロアダクトに収める。 耐火構造とした主要構造部に埋設する。この場合の埋設深さは、壁などの表面から25mm以上とする。
20. MIケーブル	端末及び接続部は、金属箱などに収めて保護する。但し、耐熱性を有するもので保護した場合はこの限りでない。
21. バスダクト	耐火性能を有するパイプシャフト内にいんべいする。

* 日立電線株式会社日高工場

2 耐火試験

昭和44年3月の「消防予第48号」による耐火試験の基準は次のとおりである。

2.1 試験資料

図1に示すようにケーブル1.3mを厚さ10mm、縦300mm、横300mmのパーライト板にステップにより固定し（ステップの間隔は200mm）、中間にケーブル2.6m相当の荷重をかけたものを資料とする。

2.2 試験方法

2.1のケーブルの線間にAC600Vの電圧を印加しながら、JIS A 1302「建築物の不燃構造部分の防火試験方法」に定める屋内火災温度曲線に準じて30分間加熱する。温度曲線は、図2に示すとおりである。

2.3 判定基準

次の3条件を満足する場合、合格となる。

- (1) 加熱中短絡しないこと。
- (2) 加熱終了直後に測定した線絶抵抗が0.4MΩ以上であること。
- (3) 加熱終了直後にAC1,500Vの電圧に1分間耐え得ること。

これらの試験は火災時を想定し、30分間600V回路の配電の可能性を模擬したものである。

3 耐火電線の基本構造

2.に述べた事項は耐火電線として要求される特性であるが、この外に低圧ケーブルとして耐火電線の構造は、「電気用品取締法」⁽³⁾による制限を満足しなくてはならない。これにより電線の構造を考えると、図3に示すものとなる。絶縁体として使用できる材料は、ポリエチレン(以下、PEと略す)、ポリ塩化ビニル(以下、PVCと略す)、天然ゴム、ブチルゴム及びエチレンプロピレンゴムに限られ、シースはPE、PVC及びクロロプレンゴムに限られる。この構造をベースとして800℃に耐え得る構造を考えると、図4に示すような導体上に耐火層を、絶縁体上に耐火補強層を有するものとなる。このように取扱い性及び常温での特性により要求される有機材料絶縁電線としての機能と、火災時を想定した高温下

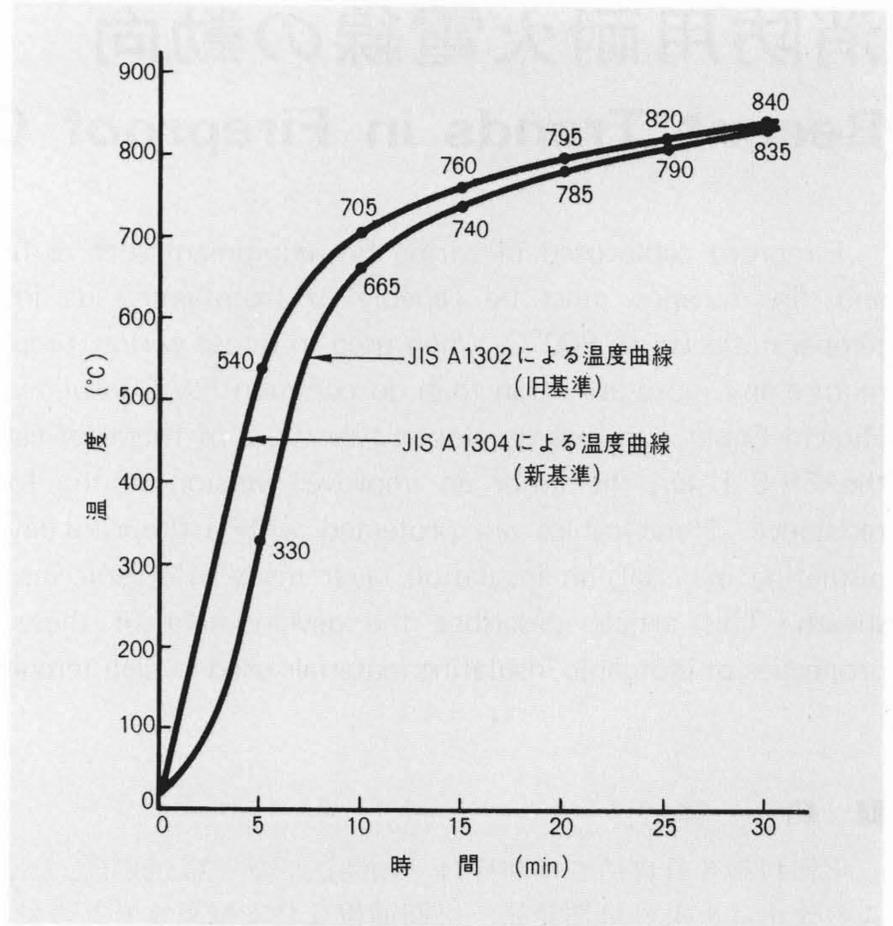


図2 耐火試験の時間-温度曲線 両者ともに屋内で火災が発生した場合の温度上昇を現わす曲線で、これを略して800℃×30分と呼んでいる。

Fig. 2 Time vs Temperature at Fire-proof Test

で要求される無機材料絶縁電線としての機能が必要となる。この二つの矛盾する機能を材料的に、構造的にいかにかに調和させるかということが耐火電線開発における最大の問題点であった。

なお使用する有機材料としては、製造上の都合よりPE、PVCを主体に考えている。

4 耐火材料の選定

図4に示すケーブルを、図2に示す温度曲線(JIS A 1302による温度曲線)に従って加熱した場合、どのような原因経

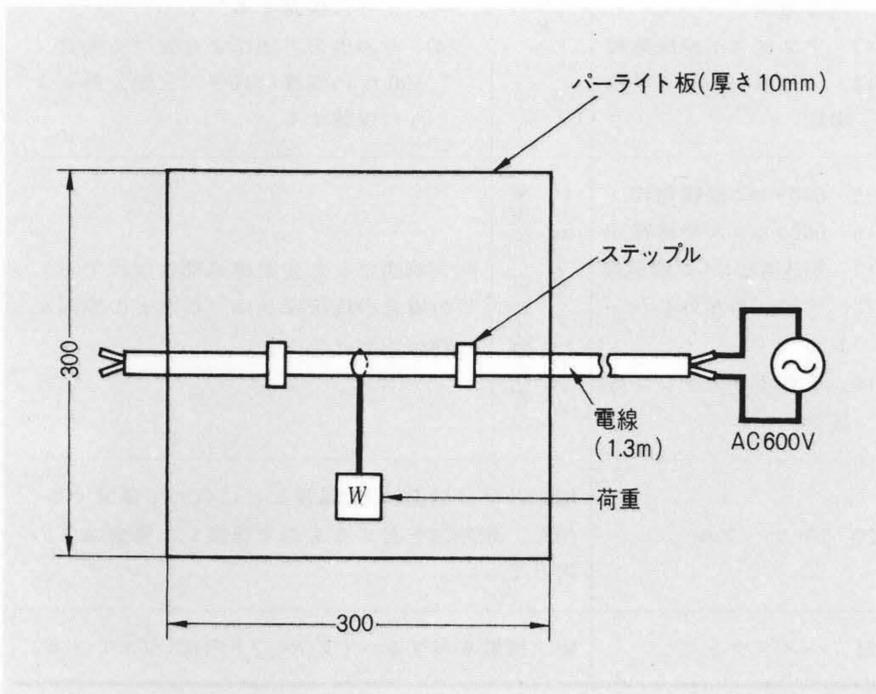


図1 耐火試験資料 電線が屋内の壁にステップにより配線された状態を模擬した試験資料である。

Fig. 1 Testing Specimen of Fire-proof Test

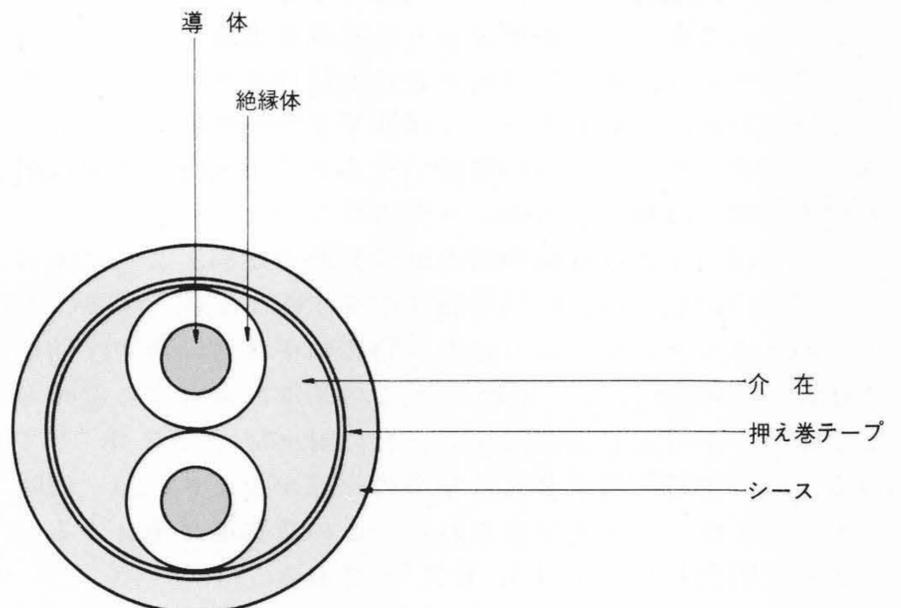


図3 ゴム-プラスチックケーブルの一般構造 屋内の露出配線用電線としては、ゴム-プラスチックケーブルが主で、中でもビニル絶縁、ビニルシースケーブルが最も一般的である。

Fig. 3 General Construction of Rubber or Thermo Plastic Insulated Cables

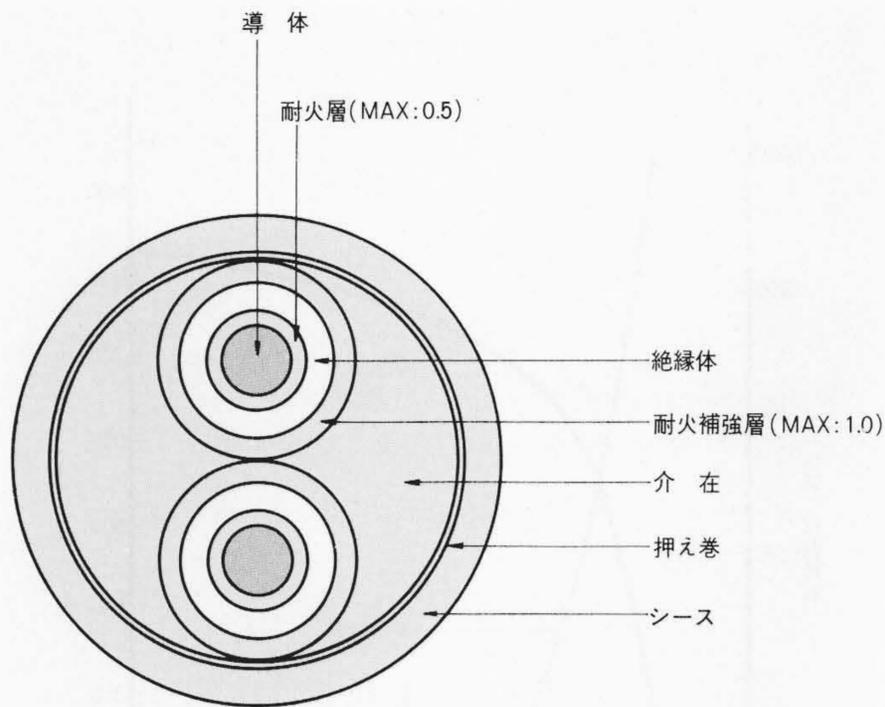


図4 耐火電線(ケーブル)の基本構造 耐火電線とは、導体上に耐火層、絶縁体上に耐火補強を有するゴム、プラスチックケーブルである。
Fig. 4 Fundamental Construction of Fire-proof Cable

過により線間短絡に至るかを明らかにするための予備実験を行なった。これにより温度の上昇とともに、ケーブルは次の3段階に変化することが分かった。

(1) 第1段階

加熱開始直後より絶縁体、シースは軟化し始める。3~5分後には有機材料はその原形をとどめず溶融、滴下し始める。溶融した有機材料の一部は耐火層内に浸入して行く。

(2) 第2段階

加熱開始後PEシースの場合は約3分後、PVCシースの場合は約5分後ケーブルに着火し、激しく燃焼する。燃焼による温度上昇及び有機材料の分解物により耐火層は劣化を受ける。第1段階において耐火層内に浸入した有機材料は、この段階で分解し線間に炭素より成る導通路を形成する。

(3) 第3段階

加熱開始後15分~20分ですべての有機材料は燃え尽き、耐火層及び耐火補強層のみが残る。温度は700~800℃であり、耐火層の絶縁抵抗は急速に低下し、同時に耐火層、耐火補強層の軟化が始まる。

この予備実験によれば、耐火試験における線間短絡の原因として考えるべきものは次の3点である。

- (1) 有機材料の熱分解により生ずる炭素に起因するもの。
- (2) 有機材料の分解生成物による耐火層の化学的劣化に起因するもの(この現象は、PVCを使用した場合顕著である)。
- (3) 耐火層及び耐火補強層の熱劣化に起因するもの。

4.1 耐火材料に要求される特性

上記の理由により、耐火材料に要求される特性は次の3点に要約される。

(1) 気密性を有すること。

線間に炭素より成る導通路の形成を阻止するということより考えて当然であるが、耐火補強層に使用する材料についてはこれは必要ではない。

(2) 高温(800℃)で化学的に安定であること。

(3) 高温(800℃)で軟化せず、 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の固有抵抗を有すること。

4.2 耐火材料の選定

上述の3条件及び電線としての加工性及び取扱性を考え検

表2 無機材料の電氣的,機械的特性 機械的特性については、試験装置の都合で定量的測定は行っていないが、マイカが高温で優れた特性を示すことが分かる。

Table 2 Electric and Mechanical Characteristics of Inorganic Materials

材 料	規 格	固有抵抗-800℃ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	機械的特性-800℃
ガラステープ	JIS R 3415	10^6 以下	軟化している。
アスベスト系	JIS R 3450	10^6 以下	脆化するが、軟化はしない。
ガラスマイカテープ	JIS C 2259	$10^8 \sim 10^{10}$	マイカは変化なし。 ガラステープは軟化。
シリコンゴム (ガラス糸編 組み補強付)	JIS C 3323	10^6 以下	SiO_2 の粉末と化し、強度はほとんどなし。 ガラス糸は軟化。

討した材料は、ガラス繊維、マイカ片をガラス繊維にはり付けたテープ(以下、マイカテープと呼ぶ)、アスベスト系及びシリコンゴムの4種類である。なおシリコンゴムは有機材料の一つであるが、高温下では酸化ケイ素(SiO_2)となるためここで取り上げた。

検討結果は表2に示すとおりである。これによれば、マイカテープの特性が最も優れていることが分かる。

5 FR-8®の開発

4.で述べた結果を基礎にして、本格的な試作及び試験を開始した。

5.1 第1回試作品

図5は、マイカテープより成る耐火層を有するPE絶縁PVCケーブルの構造を示すものである。本ケーブルの試験結果は次の二つの原因により特性基準を満足できなかった。

(1) 導体の断線

これは破断点の金属組織の調査により水素脆化⁽⁴⁾によるも

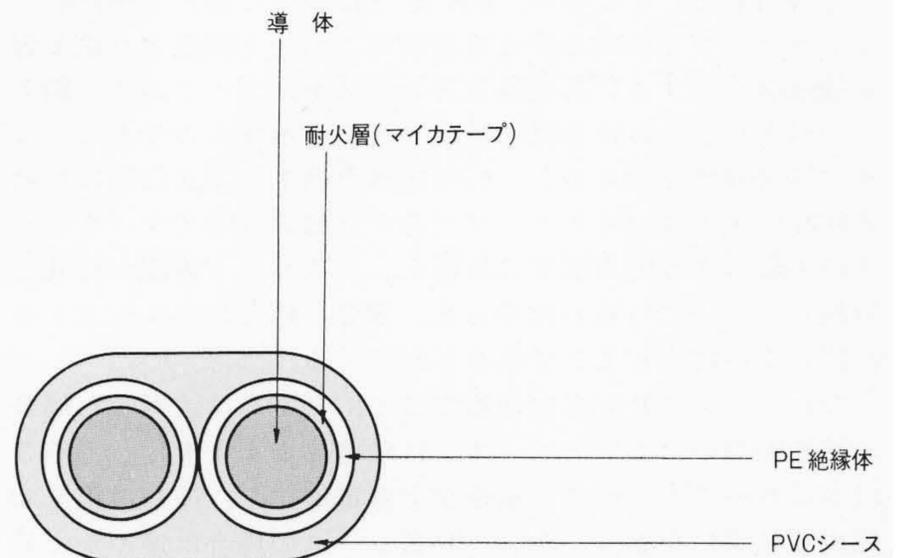


図5 第1回試作品の構造 導体上にマイカテープを巻いたPE絶縁、PVCシースケーブルである。なお“FR-8II”®も同じ構造だがマイカテープが改良されている。

Fig. 5 Construction of First Trial Fire-proof Cable

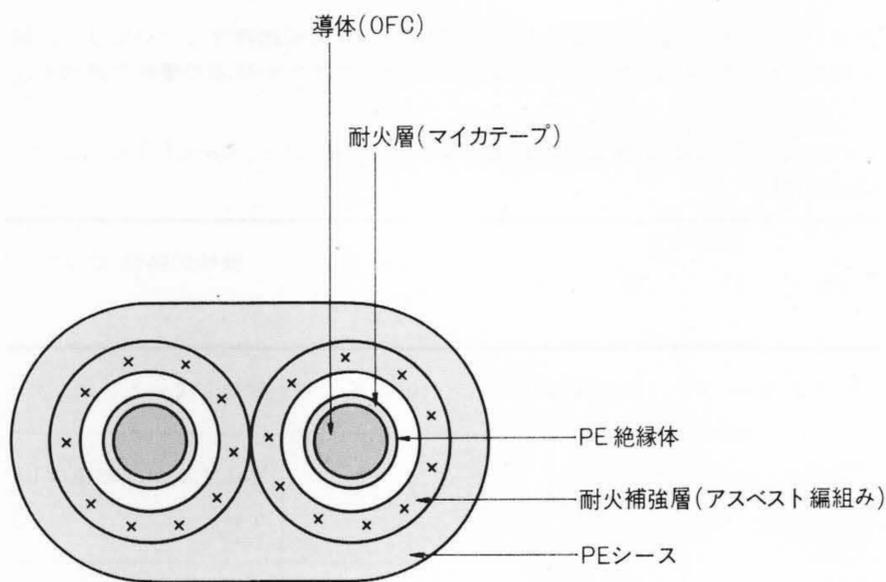


図6 “FR-8”®の構造 マイカより成る耐火層及びアスベストより成る耐火補強層を有するPE絶縁、PEシースケーブルである。

Fig. 6 Construction of FR-8

のと判明した。水素脆化とは、一般の電気用銅が高温の水素ふんい気中にさらされると金属結晶界面に含まれる酸素と反応し、組織の破壊に至る現象である。この場合の水素の供給源は、マイカテープにバインダとして使用されているワニスなどと思われる。

(2) 絶縁抵抗の低下

これはマイカテープの弱点部を通して、線間に放電が起るためであり、加熱開始後20~25分で放電が始まる。このときの温度は約800℃である。

マイカテープはマイカ片をワニスにより集積し、ガラステープにはり付けたものであるため、ある程度のばらつきを有する。このばらつきによる弱点部は、通常の使用状態(H種絶縁用)ではワニスも絶縁性を有するために問題にならぬが、800℃ではワニス飛散するため前面に出てくるものと思われる。

5.2 FR-8®の構造と特性

上述の二つの問題を解決するために、

- (1) 導体に無酸素銅(以下、OFcと略す)を使用した。
- (2) 絶縁体上に耐火補強層としてアスベスト編組をした。

なおアスベスト編組との協調のために、シースをPVCよりPEに変え図6に示すような構造とした。

これにより耐火試験基準を満足でき、消防庁での認定試験にも合格した。すなわち、FR-8®は導体にOFcを使用し、マイカテープより成る耐火層及びアスベスト編組より成る耐火補強層を有するPE絶縁PEシースケーブルである。図7は、耐火試験における絶縁抵抗の変化を示すものである。これに補足説明を加えると、4.で述べた第1,第2段階における絶縁の主体はマイカテープであり、第3段階でマイカテープの劣化による弱点部での放電を、アスベスト編組が線間を隔離して防いでいるわけである。表2に示したアスベストの軟化しない特性がここで生かされている。

なおシースにPVCを使用すると、PVCは熔融した場合の粘性が高いためにアスベストに付着したまま炭化し、第3段階においてアスベスト編組が半導電層化し、逆に放電を助長する結果になる。しかし、PEシースの場合は速やかにPEシース及びアスベストが分離し上述の現象は起こらない。

また図6中のPE絶縁体は加熱とともに速やかにアスベスト編組の外側に出て行く必要があるが、このためにはアスベスト編組がある程度間隙を有する構造であることが好ましい。

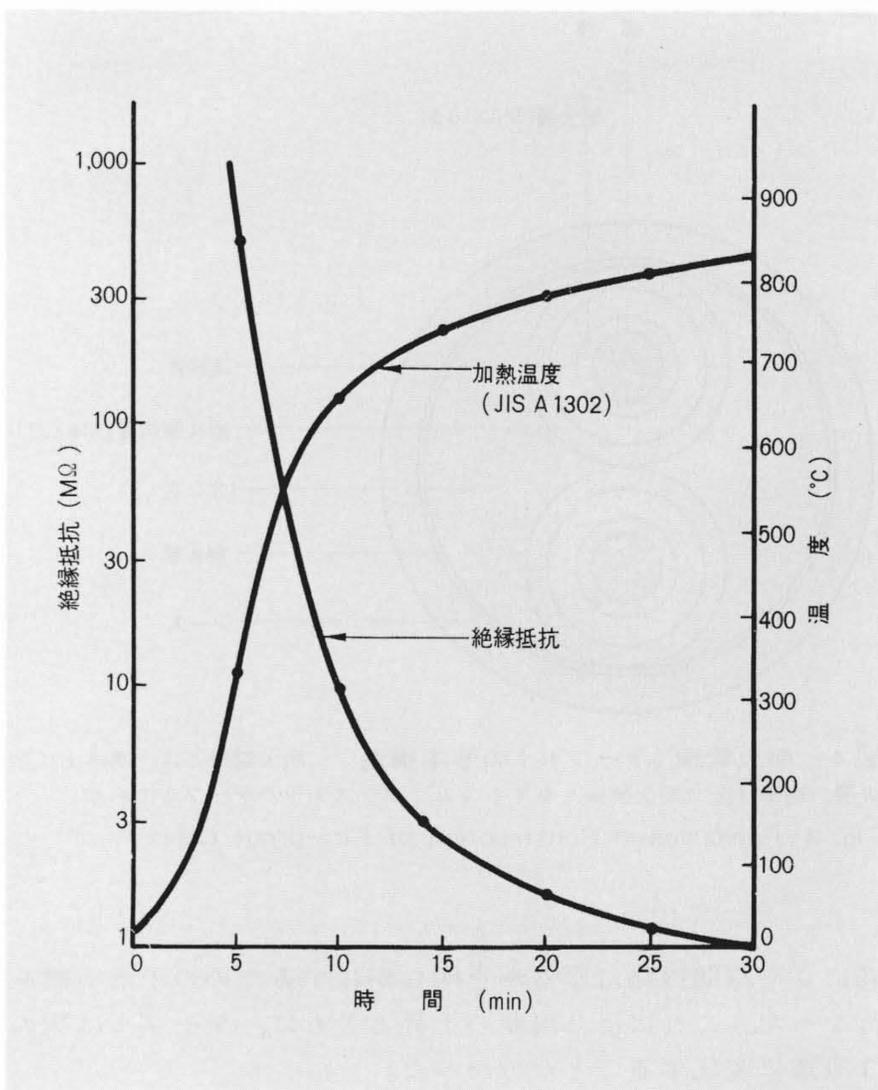


図7 “FR-8”®の温度-絶縁抵抗特性 絶縁抵抗の急激な低下より見ても、試験条件の過酷さが想像できる。

Fig. 7 Temperature vs Insulation Resistance Characteristic of FR-8

6 試験基準の変更

昭和48年2月、従来通達により運用されていた耐火電線の基準が消防庁告示として法律化された⁽⁵⁾が、これに伴い基準の一部が変更された。主な変更点は次の3点である。

- (1) 加熱炉の構造が規定されJIS A 1305「鉛直式小形加熱炉及び調整法」に準じたものに限定された。
- (2) 加熱曲線がJIS A 1304「建築構造部の耐火試験方法」に定める火災温度曲線に準ずるものとなった。
- (3) シース材料に難燃性の規定が追加された。

この中で耐火電線の仕様に最も大きく影響するものは、(3)の難燃性の規定である。従来の耐火電線は電線自体は可燃性でも、送電することができればよいという考え方であったが、電線が可燃性であるために火災時に延焼を助長することがないようにこの規定が追加されたものである。

7 “FR-8 II”®の開発

シースを難燃化するにはPEをPVCに変えればよいが、これだけでは十分な性能が得られないことは5.2で述べたとおりである。この問題を解決するには種々の方法が考えられるが、筆者らはアスベスト編組を廃止し、耐火層を強化する方法を選んだ。

7.1 マイカテープの改良

筆者らが従来使用していたマイカテープが、これ単独では耐火試験に耐えられぬ理由は、5.1で述べたようにマイカテープの弱点部に起因するものである。この解決策として最も容易な方法は、マイカテープを何枚も巻くか、又は厚さを増す

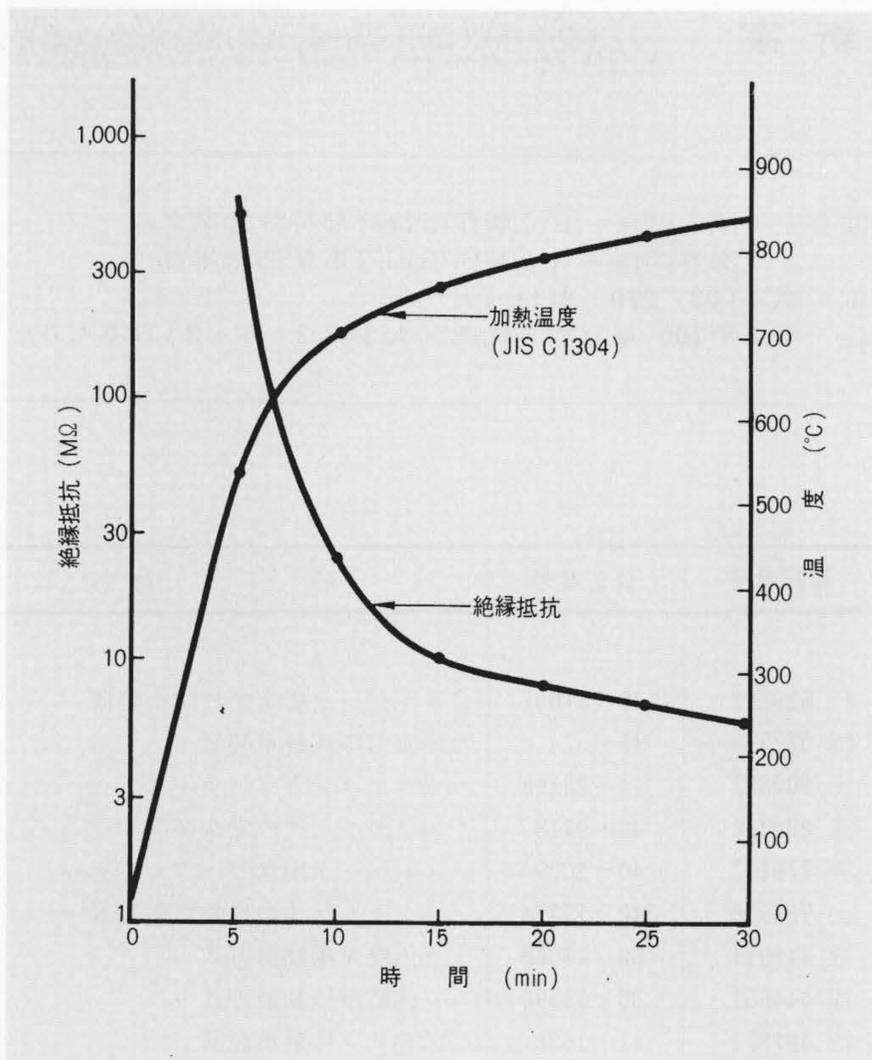


図8 “FR-8 II”[®]の温度-絶縁抵抗特性 図7と比較すれば“FR-8 II”[®]が、“FR-8”[®]より信頼性(絶縁抵抗)が優れていることが分かる。

Fig. 8 Temperature vs Insulation Resistance Characteristic of FR-8 II

ことである。しかし、ここで再び「電気用品取締法」が問題となる。これによると導体上のセパレータ(耐火層もこれに含まれる)は、0.5 mm以下と規定されている。従って、問題は限られた厚さで、いかに弱点部の少ないマイカテープを開発するかという点に帰着する。最終的に我々はメーカーの協力のもとに巻いた後の厚さが0.5 mm以下で、しかもこれ単独で耐火試験に耐え得るものの開発に成功した。

7.2 “FR-8 II”[®]の構造及び特性

“FR-8 II”[®]は図5に示す第1回試作品と同一の構造を有しており、その耐火試験における絶縁抵抗の変化は図8に示すとおりである。図7と比較すれば“FR-8 II”[®]が難燃性のみならず信頼性(絶縁抵抗)においても“FR-8”[®]を上回るものであることが分かる。図9は、“FR-8 II”[®]の構造を示すものである。

8 今後の問題

“FR-8 II”[®]は非常電源用電線として、一応一つの完成した姿を有しているものと思われるが、終わりに今後の改良点及び“FR-8 II”[®]以外の耐火電線について述べる。

8.1 低塩素化及び低煙害化

ビル火災による人身事故の原因の主なものは火災時の熱よりはむしろプラスチックを使用した建材などより発生する有毒ガスによるものであること、また、同時に発生する煙が人間の方向感覚を失わせて災害を大きくしていることである。この問題解決の一助としては、耐火電線は燃焼時の有毒ガス、煙の発生が少ないものであることが好ましい。しかしながら、有機材料を使用したものである以上、一酸化炭素、炭酸ガスの発生はやむを得ないとしても、煙及びPVC特有の塩化水



図9 ケーブル構造(FR-8 II[®]) 耐火層を除けば一般のケーブルと異なるところはない。

Fig. 9 Cable Configuration

素(有毒性)の発生については極力これを抑えるべきであろう。

筆者らは既に塩化水素ガス及び煙の発生が少ないPVCの開発に成功しており、“FR-8 II”[®]に使用するPVCについてはこのPVCへの切換えについて検討中である。

8.2 その他の耐火電線の開発

現在、屋内配線に使用される配線材料としては、IV(600Vビニル電線)VV(600Vビニル絶縁ビニルシースケーブル)及びバスダクトが主なものであり、我々はこのうちVVに耐火性を持たせた電線として“FR-8 II”[®]を開発したが、今後の問題として、IV、バスダクトにも耐火性を持たせたものの開発が必要であると考えます。

9 結 言

我々は消防用非常設備の電気配線に使用する電線として、“FR-8”[®]及びこれを改良し難燃化した“FR-8 II”[®]を開発した。両者はともに基本的にはプラスチック電線でありながら、無機絶縁電線としての特性をも兼ね備えたユニークな電線である。今後も更に改良を重ねるとともに耐熱材料の研究を続けたい所存である。

終わりに当たり耐火電線の生命ともいべきマイカテープにつき御協力をいただいた日立化成工業株式会社山崎工場の関係各位及び試作品の製作、試験に同じく御協力をいただいた日立電線株式会社日高工場関係各位に対し深謝する次第である。

参考文献

- (1) 東京消防庁予防部編「消防用設備、火を使用する設備等の技術基準」171-177(昭和46年、全国加除法令出版)
- (2) 消防庁予防課編「消防法令関係通達質疑応答集」69-72(昭和45年、全国加除法令出版)
- (3) 通産省公益事業局「電気用品取締法令集333-390(昭和45年、日本電気協会)
- (4) 皆川「日立無酸素銅線の諸特性」日立評論49, 549(昭42-10)
- (5) 官報(号外第11号) 184-186(昭48-2)