

# 電線・ケーブルの延焼防止対策

## Fire Protection for Grouped Cables

電線、ケーブルが多条布設されている配電線路に火災が発生すると、延焼によって重大な災害に発展する。この危険を解消するため延焼防止材料による防火処理を検討し、各種の材料を開発した。これらは塗料、パテ状シール材、テープ及び注入タイプシール材に分かれる。

この防火性能を評価するため、延焼防止処理をしたケーブルについて垂直ダクト燃焼試験を、またケーブル貫通部については2時間耐火試験を行なった。

その結果、いずれも十分な延焼防止効果が得られることを確認した。長時間になると導体の熱伝導による影響が大きくなることも認められた。各材料はそれぞれ固有の特徴をもっており、ケーブルの布設状況に応じて効果的な材料を選定し、施工することが必要である。

中川真吉\* Nakagawa Shinkichi

佐藤庄一\* Satō Shōichi

高橋健治\*\* Takahashi Kenji

垣花寿雄\*\* Kakihana Toshio

### 1 緒言

ゴム、プラスチック被覆ケーブルが多条布設されている配電線路、いわゆるグループケーブルに火災が発生すると、隣接する被覆材が互いに燃料を供給しあう形となって延焼する。

近年、米国ではこのような火災事例が多く、ビル、プラントで発生しており、グループケーブルに対する延焼防止の要求が高まってきた<sup>1)</sup>。

これを解決するには、当然のことながらケーブル自体の難燃性を向上させることが必要であり、その努力が行なわれている<sup>2)</sup>。しかし、すべてのケーブルを難燃化するには技術的、経済的な困難を伴い、また既設ケーブルの防火処理の問題も残されている。このため、特に火災危険の高い部分や延焼しやすいケーブル立上り部、あるいは壁や床の貫通部などの施工場所を選択して延焼防止策を講じることが合理的である。

日立電線株式会社ではこのような観点から、我が国では最初に延焼防止材料による防火処理工法を確立し、1971年以来グループケーブルの延焼防止工事を実施してきた。またこれと並行して、多様なケーブル布設形態に対応する各種の延焼防止材料の開発を行なってきた。

この論文では、これらの延焼防止材料の性状と特性を述べ、実際の適用例について紹介する。

### 2 延焼防止処理の重要性と開発経緯

電線、ケーブルの代表的な被覆材料であるビニル、ポリエチレン、あるいはエチレン-プロピレンゴム、クロロプレンゴムは燃焼時の発熱量が大きく、石炭に匹敵するとみなされている<sup>3)</sup>。

図1に電気室を中心としたケーブルの布設状況の一例を示す。電気室周辺には特にケーブルラック、トレイ、ダクトに多量のケーブルが収容されており、いったん燃えあがるとその煙と熱は激しく、シャフトあるいはダクトが煙突効果を呈し、燃焼をますます促進させる。煙や炎はケーブル処理室を経て電気機器にも損傷を与える。

近年、これらの問題を解消するため電線、ケーブル自体を難燃化する一次的防災対策が積極的に検討され、同時に壁及び床貫通孔の防火措置も二次被害の拡大防止の点から非常に

重要となってきている。

この要望に応じて開発されたのが、既設ケーブルの防火処理も可能な延焼防止塗料であり、またケーブル貫通部に使用するパテ状の耐火シール材である。

更にケーブルが積層して配線されており、塗料やパテ状シール材では間隙への十分な充填が困難な場所を防火処理するために考案されたのが二液性の注入タイプ耐火シール材である。

一方、変電所、洞道内にはOFケーブル、CVケーブルなどの幹線ケーブルが収容されており、通常ケーブルは一条ごとに布設されているケースが多い。このため、塗料による処理では非能率的であり、施工が簡単で、ケーブルの伸縮に対応できる強度をもつものとして延焼防止テープを開発した。

### 3 延焼防止材料の性状と特性

#### 3.1 延焼防止塗料

ケーブル用延焼防止塗料には、大別すると発泡形と非発泡形のものがある<sup>4)</sup>。発泡形塗料は、耐火性能に優れているが耐久性に難点があるため、現在では非発泡形塗料が主流となっている。ここに述べる延焼防止塗料〔以下、フレイムマスチック<sup>®</sup>(スプレアブル)とよぶ〕は非発泡形の水性塗料であり、その塗膜の難燃性によって酸素の供給を遮断し、ケーブルを燃えにくくするものである。組成の概要は水分34%、固形分66%から成っており、その固形分は無機充填剤、繊維、合成樹脂バインダ及び有機難燃剤から成る。

フレイムマスチック<sup>®</sup>(スプレアブル)の特性を表1に示す。スプレー作業に適するように粘度を約15,000cpsに調整してある。また難燃性は酸素遮断効果のほか、燃焼時に塗膜がケーブル表面から離れて断熱効果をもつような配合設計とした。

耐久性も良好であり、国内で既に8年の使用実績がある。

#### 3.2 貫通部耐火シール材

水性のパテ状シール材〔フレイムマスチック<sup>®</sup>(マスチック)とよぶ〕は目詰め作業性及び耐火性に優れている。しかし、乾燥硬化後の容積収縮があるため再充填を必要とする場合がある。

非硬化性のパテ状シール材(以下、ハイシールと略す)はこ

\* 日立電線株式会社研究所 \*\* 日立電線株式会社日高工場

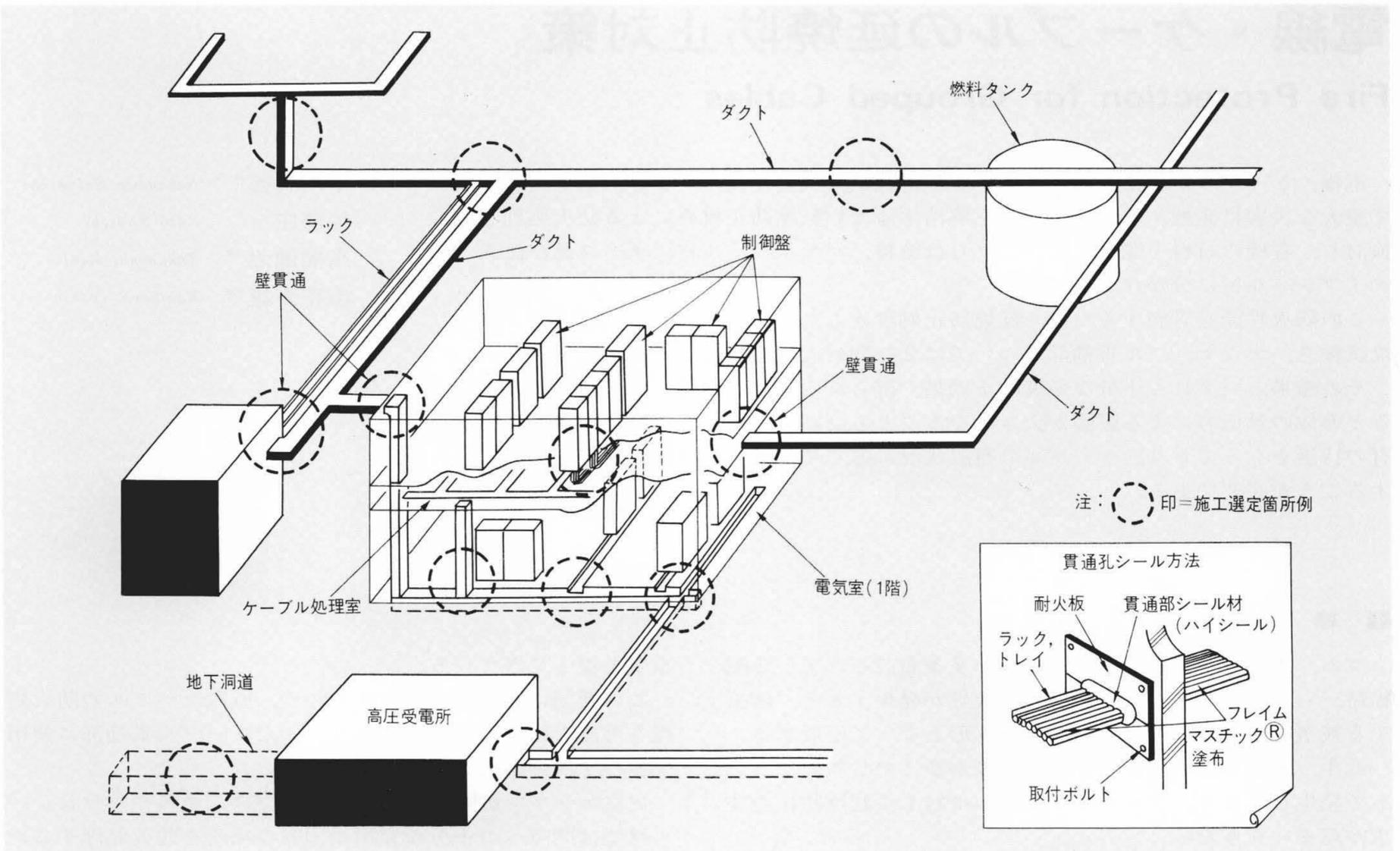


図1 ケーブルの布設状況と延焼防止施工箇所例 電気室を中心としたケーブルの布設状況と延焼防止施工箇所の一例を示したもので、貫通部は耐火板、貫通部シール材(ハイシール)及びロックウールの組み合わせで処理する。

の点を改善したもので、すなわち液状クロロプレンに無機充填剤とフェノール系難燃性繊維を加えたシール材である。

水や溶剤を含まないので容積収縮がなく、硬化しないためケーブルの増設や撤去の際にシール材を除去したり再充填することが容易である。ハイシールの特性を表2に示す。難燃性の程度を示す酸素指数が80以上で、炎に接すると強固な炭

火層を形成してファイヤバリアとなる。また目詰め作業がしやすく、ゴム、プラスチック及び金属によく付着するが、被着物に悪影響を与えないように考慮してある。

### 3.3 延焼防止テープ

ここに述べる延焼防止テープは、クロロプレンゴムに無機充填剤と難燃性軟化剤とを加えて加硫したもの(以下、ハイシ

表1 フレームマスチック®(スプレアブル)の特性 塗布作業が容易で、延焼防止性、耐久性に優れている。1.5mm(乾燥後)塗布したときの許容電流低減率は3%以下である。

項目	特性値	備考
比重(20°C)	1.3	JIS K 5400
粘度(cps)	13,000~16,000	20°C
固形分(%)	66	—
乾燥時間(h)	約48	20°C
許容電流低減率(%)	3以下	—
酸素指数	40以上	JIS K 7201
耐屈曲性	異常なし	10D(D:仕上り外径)
耐衝撃性	異常なし	300g, 0.5mH
金属腐食性	銅, 鉄, アルミへの腐食なし	20°C, 10日
耐水性	異常なし	40°C, 10日
延焼防止性	延焼せず	IEEE 383
耐候性	2,000時間, 延焼防止性能変化なし	ウェザーメータ

注: IEEE=アメリカ電気電子技術者協会

表2 ハイシールの特性 ケーブル貫通孔への目詰め作業が簡単で、耐火性がよい。長時間耐火試験でも脱落、滴下がなく強固な炭化層を形成する。

項目	特性値	備考
比重(20°C)	2.0	JIS K 0061
稠度(1/16mm)	75~85	JIS A 5752
酸素指数	80以上	JIS K 7201
加熱減量(%)	1以下	80°C, 4日
体積収縮率(%)	0.5以下	50°C, 2日~10°C, 2日
耐火性	脱落, 滴下せず 固形層を形成する。	1,000°C 3時間
金属腐食性	銅, 鉄, アルミへの腐食なし	20°C, 10日
ゴム, プラスチックへの影響	ビニル, ポリエチレン クロロプレンへの影響なし	20°C, 10日
耐水性	異常なし	40°C, 10日
耐油性	異常なし	JIS 2号油, 3日
耐酸性	異常なし	3%塩酸, 3日
耐アルカリ性	異常なし	3%カセイソーダ, 3日

表3 ハイシールテープの特性 巻付け作業が容易で、耐火性に優れている。ケーブルの伸縮に耐え、機械的保護にもなる。

項目	特性値	備考
引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	0.3以上	JIS K 6301
伸び (%)	350以上	JIS K 6301
酸素指数	45以上	JIS K 7201
難燃性	UL-FR1に合格	UL Subject 758
自己融着性 (kgf)	3.2	JIS C 2107
耐水性	異常なし	40°C, 10日
ヒートサイクル	異常なし	80°C, 1日, -20°C 1日 5サイクル
脆化温度 (°C)	-20°C以下	JIS K 6301
耐老化性		100°C, 4日
引張強さ残率 (%)	80以上	
伸び残率 (%)	80以上	

ールテープとよぶ)であり、その表面に粘着層を設けてある。

この特性は表3に示すとおりで、ケーブルに対する巻付け作業を容易にするためテープとしての十分な強度と伸びをもつように工夫してある。耐火性も良好で、UL Subject 758<sup>5)</sup>に規定されているUL-FR1垂直燃焼試験に合格し、更に10分間連続して炎をあてても滴下や脱落がなく、強固な炭化層を形成する。

### 3.4 注入タイプ耐火シール材

二液性の常温硬化形シール材(以下、ハイシールキャストと略す)は、注型用エポキシ樹脂に無機充填剤及び難燃剤を加えた主剤と、複素環形常温硬化剤とから構成される。主剤と硬化剤は施工時に混合するが、注入時の粘度が35,000~45,000cpsの範囲になるように調整してある。この特性は表4に示すとおりで、酸素指数は30以上あり、1,000°Cのバーナの炎で30分間あてても滴下や脱落がなく、強固な炭化層を形成する。ゴム、プラスチックとの付着性が良く、ケーブルの増設や撤去の際に解体できるように比較的強度が低い樹脂を選定している。

## 4 垂直ダクト燃焼試験

### 4.1 試験方法

延焼防止処理の効果をみるために、数多くの燃焼試験方法が提案されている。ここでは、再現性の良い垂直トレイ燃焼試験(IEEE 383)<sup>6)</sup>に準拠した方法を採用し、燃焼条件を更に厳しくするため、垂直ダクト中にケーブル試料を設置することにした。火源にはリボンタイプガスバーナを用い、燃料にはプロパンガスを使用した。またプロパンガスと空気の混合比は、ミキサの入口側水柱圧を各々 $26 \pm 3$  mm、 $43 \pm 5$  mmとした。

この時の燃焼温度は約1,500°F(815°C)であり、発生熱量は約70,000BTU/hである。

### 4.2 試験結果

#### (1) 延焼防止塗料

図2に示すようにケーブル(BN, CVV, CEV, CV)を10本並設し、1,800mmの部分に、乾燥後の塗膜厚が1.5mmになるように塗料を塗布する。このケーブル試料を垂直ダクトに取り付け、20分間連続して燃やし続けた。

この時のダクト内の温度変化は図3に示すとおりであり、バーナ火炎部の温度はケーブル被覆材の燃焼熱も加わったため1,020°Cに達した。また、これらの炎は煙突効果によりダク

表4 ハイシールキャストの特性 注入作業が簡単で、炎や煙のシール効果に優れている。

項目	特性値	備考
粘度 (cps)	40,000	主剤
硬化時間 (h)	20~30	20°C
比重	1.7	20°C
酸素指数	32	JIS K 7201
耐火性	脱落、滴下せず 自己消炎	1,000°C, 5分
ゴム、プラスチックへの影響	ビニル、ポリエチレン クロロレンへの影響 なし	80°C, 2日
耐水性	異常なし	40°C, 10日
解体性	良好	80°C, 2日

ト内に吸い込まれ、バーナから900mm上部で540°Cに上昇した。しかし、このような条件で20分間燃焼してもケーブル上部まで燃えないことが確認された。燃焼試験後のサンプルを観察すると塗膜がケーブル表面から離れ、その隙間がケーブル表面への伝熱を妨げたことを示している。シースの熔融状況からみて300°C以下と推定される。また塗膜にき裂を生じないことも重要である。プラスチック特にポリエチレンは400°C以上になると酸素が存在しなくても熱分解により燃焼性ガスを発

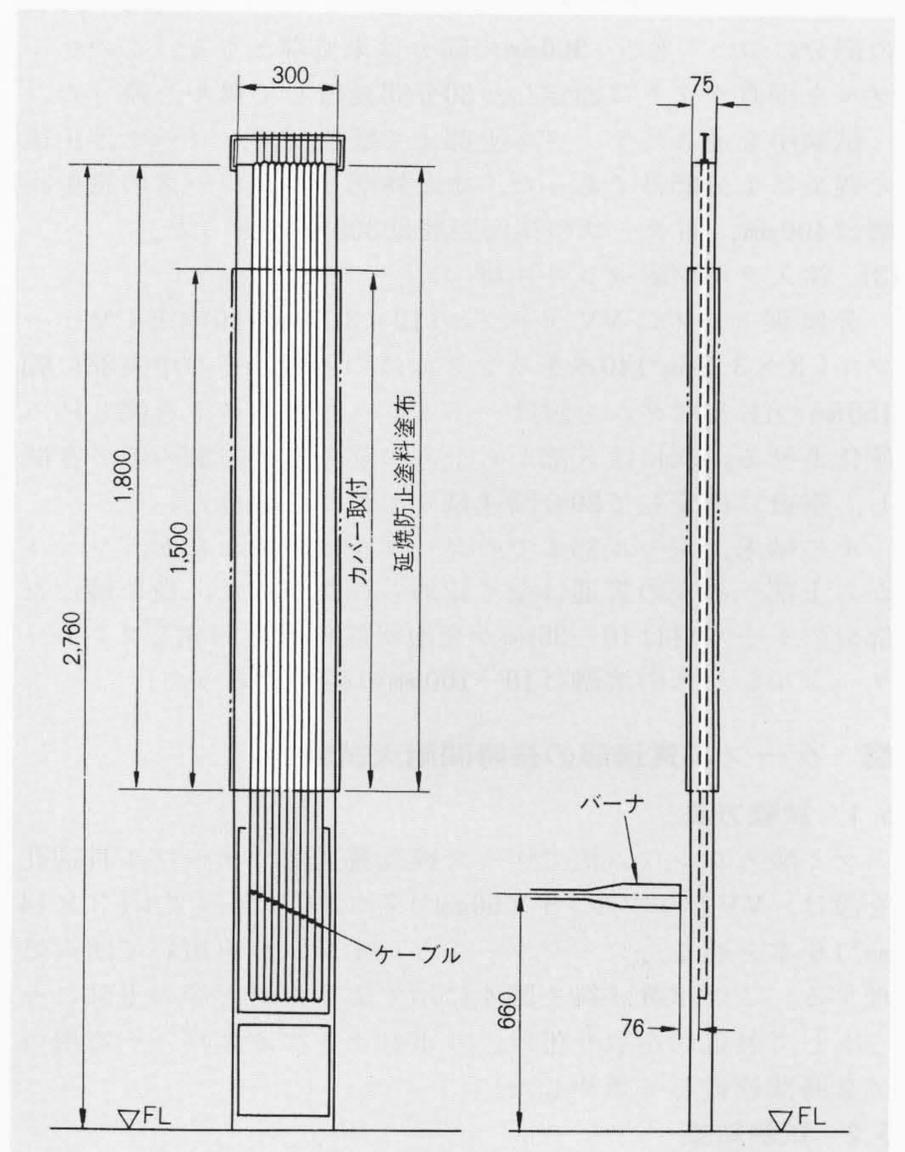


図2 垂直ダクト燃焼試験 ケーブルはBN(3心×60mm<sup>2</sup>)1本, CVV(4心×5.5mm<sup>2</sup>)3本, CEV(4心×5.5mm<sup>2</sup>)3本, CV(3心×5.5mm<sup>2</sup>)3本を並設した。

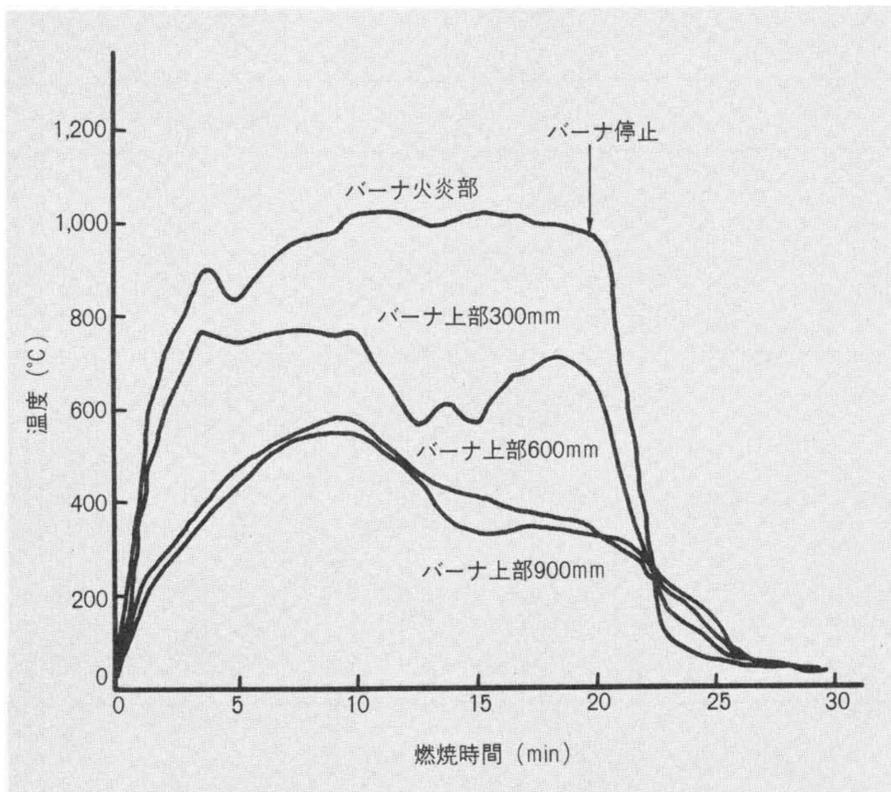


図3 延焼防止塗料塗布ケーブルの垂直ダクト燃焼試験 バーナ炎炎部は1,020°Cになり、ダクト内の温度はバーナ上部900mmの場所でも540°Cまで上昇したが、20分にバーナ停止した後は温度が低下し自己消炎した。

生ずる。したがって、ダクト内のケーブルを防火処理するには単に酸素遮断の機能だけでは不十分であり、燃焼時には断熱性をも示すもので保護しなければならない。

(2) 延焼防止テープ

CVケーブル(66kV, 1×400mm<sup>2</sup>)に厚さ0.7mm, 幅50mmのハイシールテープを1/2ラップで2回巻きする。ただし、1,700mmの部分について巻き、300mmの部分は未処理とする。このケーブルを垂直ダクトに固定し、30分間連続して燃やし続けた。

試験中を通してケーブル上部まで延焼せず、バーナ停止後の残炎は1分25秒であった。また外部ビニルシースの損傷距離は400mm, 布テープの損傷距離は300mmであった。

(3) 注入タイプ耐火シール材

金属製トレイにVVケーブル(12×3.5mm<sup>2</sup>)40本とCVケーブル(3×3.5mm<sup>2</sup>)40本をランダムにつめる。その中央部に幅150mmの注入用ダムを設け、ハイシールキャストを流し込み硬化させる。次に注入部から上方の部分金属製の蓋で密閉し、垂直に固定して20分間連続して燃やし続けた。

その結果、シール部までのケーブルは全焼したが、シールから上部への炎の貫通は全く認められなかった。炎に触れた部分のシール材は10~25mmが発泡状炭化層を形成しており、ケーブルシースの溶融は10~100mmの範囲であった。

5 ケーブル貫通部の長時間耐火試験

5.1 試験方法

ケイ酸カルシウム板で作った模擬貫通部にケーブル貫通孔を設け、VVケーブル(3×60mm<sup>2</sup>)7本とCVケーブル(3×14mm<sup>2</sup>)6本を通し、ロックウールとハイシールを用いて防火処理する。この試験試料を図4に示すように耐火炉の上部にセットして熱電対を取り付け、リボンタイプガスバーナを用いて2時間連続して燃やした。

5.2 試験結果

燃焼試験2時間を通して炎の貫通はなく、ケーブルの延焼は認められなかった。これは炉内側に充填したハイシールが強固な炭化層を形成し、滴下や脱落がなかったためである。

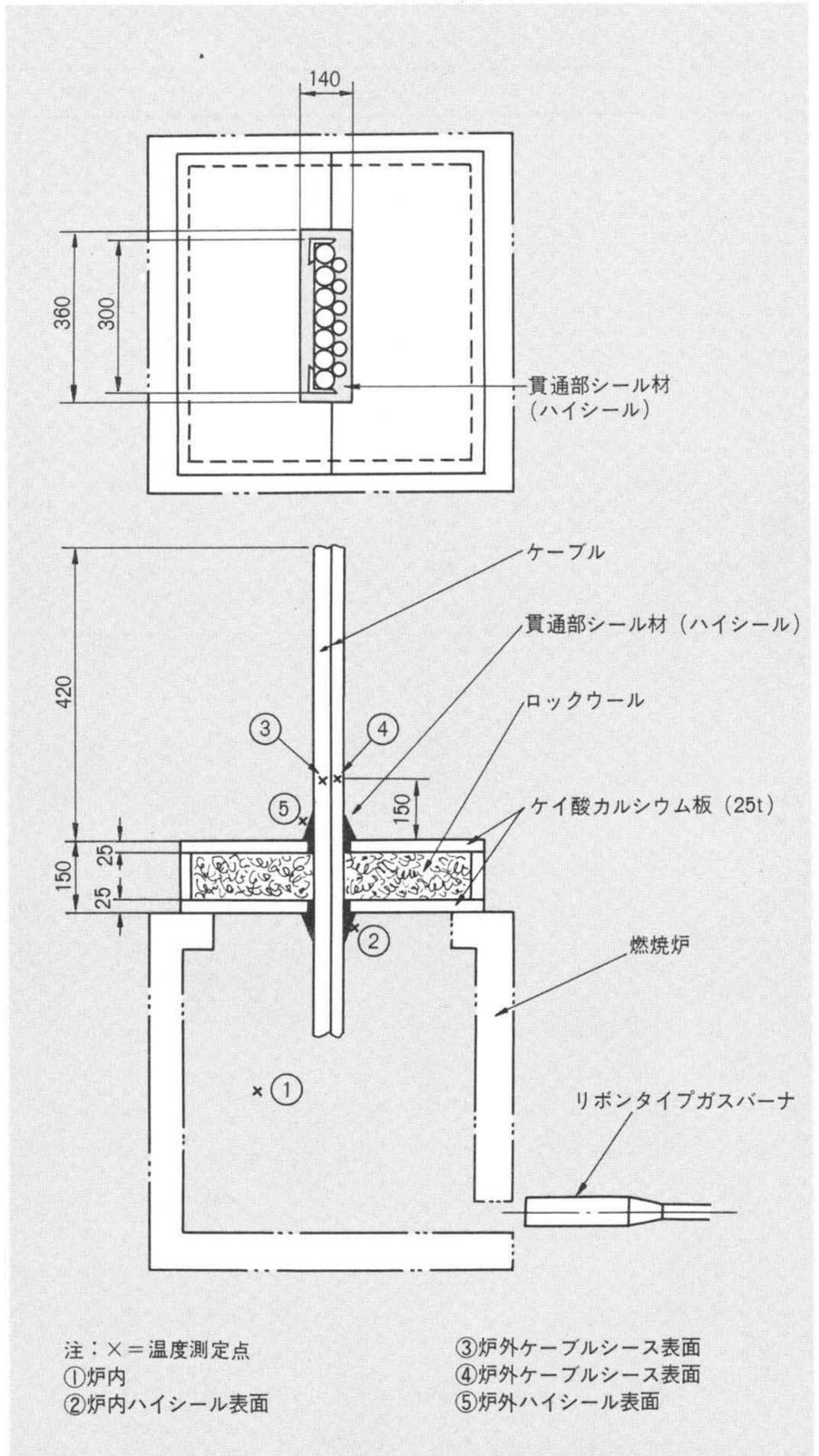


図4 ケーブル貫通部の長時間耐火試験法 ケーブルはVV(3心×60mm<sup>2</sup>)7本及びCV(3心×14mm<sup>2</sup>)6本を用い、貫通孔はロックウールとハイシールを用いてシールした。

図5は炉内外の温度変化を示したものであり、炉内の温度は1,100°Cに達し、炉外のVVケーブルは2時間後に430°C, CVケーブルでは280°Cに上昇した。このため、ケーブルは全長の3/4程度ふくれたが、発火するまでには至らなかった。

ハイシールはケーブル貫通部の耐火シール材として極めて有効であることを確認できた。しかし、長時間耐火試験では導体による熱伝導の影響も大きく、それによる発火、延焼も防止しなければならない。

5.3 熱伝導によるケーブルの温度上昇

ケーブル貫通部での炉内側からの熱伝導による炉外のケーブル表面温度を、理論式によって求める。ケーブルの長さを無限とし、熱変形がない等々の仮定をすると、定常状態でのケーブル表面温度は次の近似式で計算できる。

$$\theta_{(x,t)} = \theta_{\infty} + (\theta_f - \theta_{\infty}) \cdot e^{-mx} \dots\dots\dots(1)$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} \dots\dots\dots(2)$$

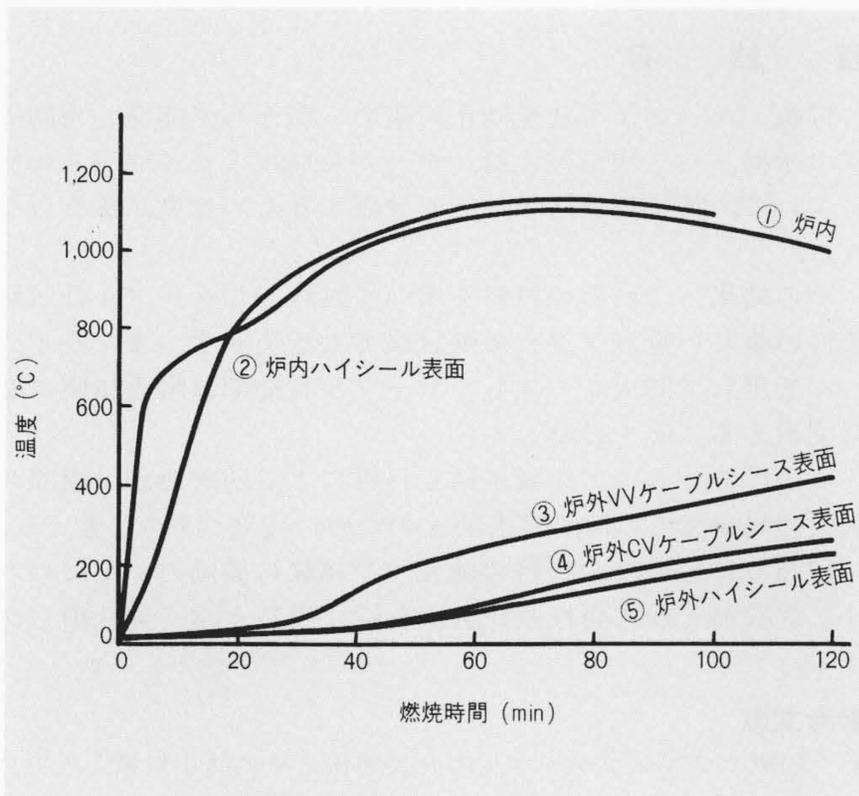


図5 ケーブル貫通部の長時間耐火試験結果 ケーブル貫通部での炎の貫通は2時間後もないが、導体の熱伝導により炉外のケーブルも温度が上昇する。導体断面積が大きいほど上昇速度も速い。



図7 壁貫通部の防火シール ケイ酸カルシウム板、ロックウール及びハイシールを用いて防火シールし、ケーブルにはフレイムマスチック®を塗布している。



図6 天井ラック布設ケーブルの延焼防止塗料施工 フレイムマスチック®(スプレアブル)をスプレー塗布したもので、この場合ケーブルの上下に塗布されている。

ここに  $\theta_{(x,t)}$ : 炉外ケーブル(距離  $x$ )の表面温度( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_{\infty}$ : 周囲温度( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_f$ : 炉内温度( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $x$ : 炉からの距離(m)  
 $h$ : ケーブル~空気への熱伝達率  
 (kcal/m<sup>2</sup>·h· $^{\circ}\text{C}$ )  
 $P$ : ケーブル円周長さ(m)  
 $k$ : 導体の熱伝導率(kcal/m·h· $^{\circ}\text{C}$ )  
 $A$ : 導体の断面積(m<sup>2</sup>)

実際には炉内のケーブルの損傷によって、炎と炉外ケーブルの距離は変化する。この点を考慮して、前述のVVケーブル及びCVケーブルについて表面温度(貫通部から150mm)を求めるとそれぞれ440 $^{\circ}\text{C}$ 及び294 $^{\circ}\text{C}$ となり、実測値とほぼ一致している。これは導体面積の大きいケーブルほど熱伝導による温度上昇が大きく、自然発火温度に近づくことを示している。したがって、貫通部外側のケーブルには延焼防止塗料あるいはテープ巻きするのが好ましい方式といえる。

## 6 適用例

延焼防止塗料の塗布に際しては最初にケーブルを清掃し、周辺機器、トレイなどを塗料飛散防止のため養生する。塗料は均一になるまで攪拌し、刷毛又はスプレーガンを用いて乾燥後の厚さが1.5mm以上になるまで塗布するが、図6に天井ラックに配線されたケーブルにフレイムマスチック®を塗布した例を示す。

壁貫通部の防火シール施工法は次に述べるとおりで、図7にその適用例を示した。

- (1) 貫通孔に合わせてシール板(ケイ酸カルシウム板あるいは鉄板)を加工し、取付ボルト用穴加工した後、壁面にホールインアンカを打ち込む。
- (2) ロックウールを充填し、両側にハイシールを詰める。
- (3) シール板を貫通孔に取り付け、ボルトで固定する。
- (4) 壁面から両側1mのケーブルを延焼防止処理する。

また延焼防止テープは、 $\frac{1}{2}$ ラップで2回巻くのを標準とす

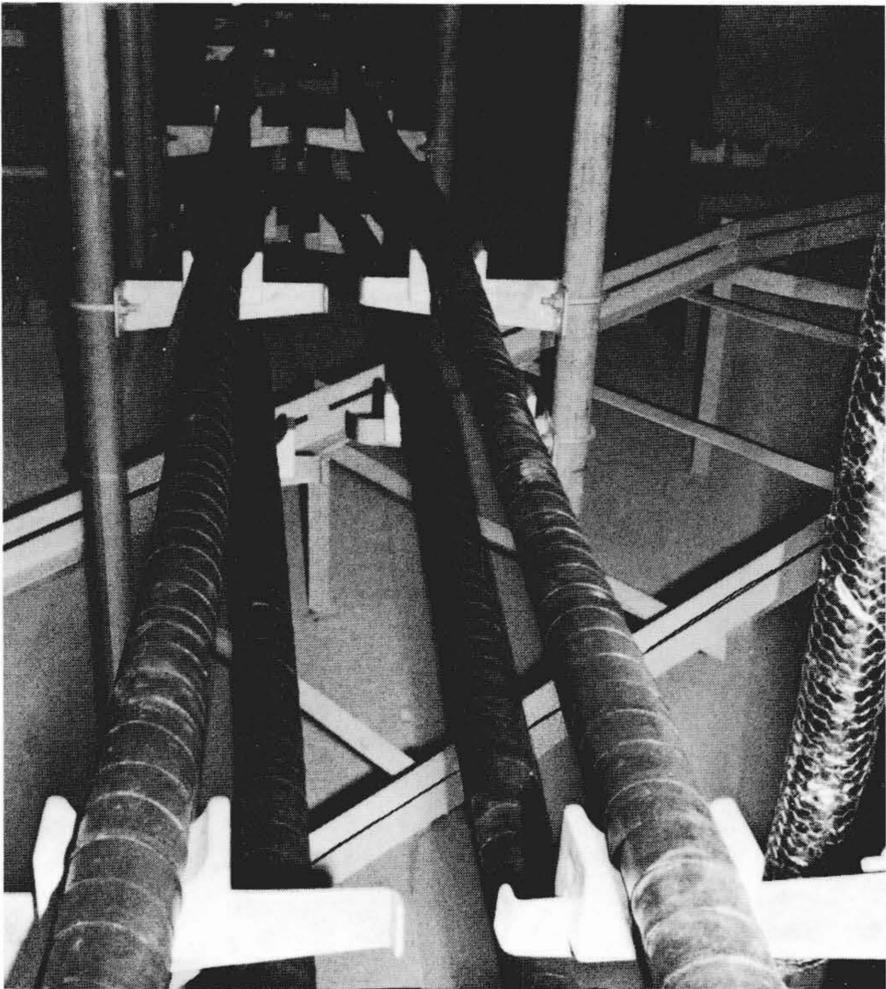


図8 延焼防止テープによる防火処理 変電所内布設CVケーブルの防火処理例で、ハイシールテープが $\frac{1}{2}$ ラップで2回巻きされている。

る。図8は変電所内に布設されたケーブルをハイシールテープで防火処理した例を示したものである。

## 7 結 言

電線、ケーブルの延焼防止対策の一環として開発した防火性の塗料、パテ状シール材、テープ及び注入タイプシール材について、特に延焼防止性能を評価するため燃焼試験を行った。

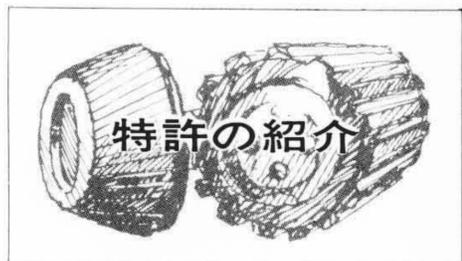
その結果、これらの材料を用いて処理したケーブルは試験条件の厳しい垂直ダクト燃焼試験でも延焼せず、またハイシールを用いて防火シールしたケーブル貫通部は耐火試験に2時間耐えることを確認した。

この性能からみて、延焼防止材料による防火処理は実際の火災の場合でも二次的被害防止のために役立つものと考えられる。

終わりに延焼防止材料の開発及び試験に御協力いただいた日立電線加工株式会社及び関係各位に対し、厚く御礼申しあげる。

## 参考文献

- 1) 松原：グループケーブルの火災事例とその防止対策，火災，Vol. 27, No. 5, 1977 21-30 (昭52-10)
- 2) 栗山，ほか4名：原子力発電所用ケーブルの開発 日立評論，58, 247-252 (昭51-3)
- 3) 松原：フレームマチックによるケーブル防火措置工法と関連法規基準，電気工事の友，31, 1-6 (昭53-6)
- 4) 松原：グループ・ケーブルによる火災被害拡大への防止対策計測技術，第3巻，第7号 60-68 (昭50-6)
- 5) UL Subject 758-1970 Vertical Flame Test on Appliance Wiring Material Used in Radio and TV Receivers
- 6) IEEE Std. 383-1974, IEEE Standard for Type Test of Class IE Electric Cables, Field Splices and Connections for Nuclear Power Generating Stations



## 特許の紹介

## ケーブルの絶縁補強部

浜田義雄・佐藤祈美男

登録実用新案 第1181893号 (実公昭51-11035号)

本考案は、あらかじめ成型したストレスコーンをケーブルの絶縁被覆層上に挿通して構成されるケーブルの絶縁補強部の改良に関するもので、電氣的に安定な絶縁補強部の提供を目的とするものである。

すなわち、図1に示すように、あらかじめ成型された絶縁性ゴム、あるいはプラスチック製のストレスコーン①をケーブル②の絶縁被覆層③上に挿通し、ストレスコーン①が備える半導電性ゴム、あるいはプラスチック製のベルマウス部④をケーブル②の外部導電層⑤へ電氣的に接続して成る絶縁補強部で、ケーブル②の絶縁被覆層③表面のベルマウス部立上り部直下に位置する部分に導電塗料⑥を塗布するとともに、この塗料⑥とベルマウス部④とを電氣的に接続して構成する。

このように構成した絶縁補強部によれば、仮にケーブルの絶縁被覆層とベルマウス部

との間の密接力が低下してそこに空隙が生じたとしても、それはベルマウス部と同電位である導電塗料との間でのこととなるこ

とから、そこにコロナ放電を生ずるような心配はなくなり、したがって、電氣的に安定した絶縁補強部を提供できる。

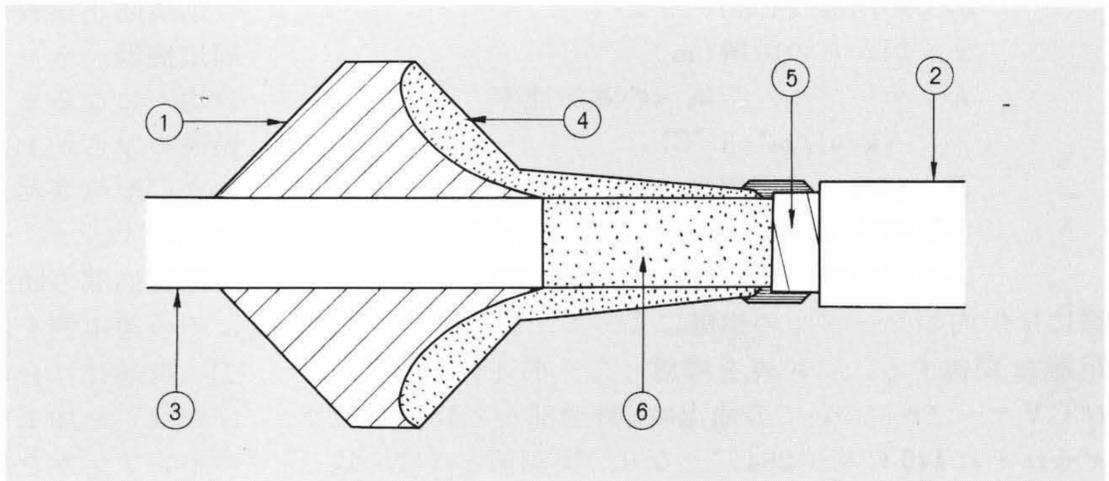


図1 本考案ケーブル絶縁補強部の断面図