
電力ケーブル特集

超高圧プラスチック OF ケーブルの開発	57
ケーブル被覆用 Pb-Cu-Te 系合金の諸特性	62
高電圧 3 心 OF ケーブルのノーオフセット布設実験	67
高電圧ポリエチレンケーブルのトリイーイング劣化	72
高電圧ゴム, プラスチックケーブルの諸問題	77
電力紙ケーブルの部分放電特性	82

超高圧プラスチック OF ケーブルの開発

Development of EHV Plastic-tape Insulated Oil-filled Cable

佐藤 政 勝* 遠 藤 桓*
Masakatsu Satō Takeshi Endō
岡 皓 一* 千 葉 司*
Kōichi Oka Tsukasa Chiba

要 旨

500 kV 以上の超高圧用プラスチック OF ケーブルの絶縁体としてポリフェニレンオキサイド、ポリスルホンなど7種のプラスチックフィルムについて、種々の絶縁油中における電気特性および耐油性を検討し、現時点での最も有望な材料としてポリフェニレンオキサイドフィルムとシリコン油の組合せを選定した。

そしてモデルケーブルにより油流抵抗、曲げ、絶縁破壊、課電劣化特性を検討した結果、いずれも良好な特性を示し、この組合せで超高圧用プラスチック OF ケーブルを開発できる見通しを得た。

1. 緒 言

プラスチックテープ絶縁 OF ケーブル (以下プラスチック OF ケーブルと略す) は 1958 年にオランダ KEMA 研究所の J. C. de Vos 氏⁽¹⁾らが基礎的な研究結果を発表して以来世界各国でケーブルの試作を含めて広範囲の研究が行なわれてきた。特に最近になって大容量の長距離送電線路として 500 kV 以上の超高圧ケーブルの必要性が高まり、ケーブル絶縁体の低損失化がいちだんと要求されるようになった。また一方でポリフェニレンオキサイド、ポリスルホンなど新しい耐熱性プラスチックが開発されるに及びよりいっそう注目を集めはじめている⁽²⁾。

日立電線株式会社においても 500 kV 以上の超高圧用としてこの種のプラスチック OF ケーブルを開発するため現在おもにポリフェニレンオキサイドフィルムとシリコン油の組合せを対象にして検討を進めているが⁽³⁾、本論文ではこの組合せを選定した根拠およびモデルケーブルで得られた結果を報告する。

2. 各種プラスチックフィルムの電気特性および耐油性

2.1 実験に用いたフィルムの種類

フィルムの種類とその一般特性 (文献値) を表 1 に示す。ポリフェニレンオキサイド (PPO) およびポリスルホン (PSL) は 1964~1965 年にそれぞれ GE, UCC 社が開発した新しい耐熱性プラスチックであり熱変形温度が高く、また前者はすぐれた誘電特性を有している⁽⁴⁾。以下フィルムは表 1 に示した記号を用いて表わす。

2.2 電 気 特 性

(1) 誘 電 特 性

これらのフィルムの油浸状態における誘電特性を油浸紙の特性と比較して図 1 に示した。これはケーブルのバットギャップを模擬してピッチ 18 mm, 幅 1.5 mm のスリットを付けたフィルムを 3 枚重ね平板電極にそう入しシリコン油 [以下信越化学製シリコンオイル KF 96 (20) をいう] を含浸して測定したものである。

フィルムの場合には油の占める割合が少ないのでフィルム自体の特性に近い値が得られ、いずれのフィルムも油浸紙よりすぐれた特性を示している。特に PE, 二軸延伸 PP, PPO では誘電体損

失が 80°C において油浸紙の約 1/10~1/5 となっている。

(2) 破 壊 特 性

有効直径 25 mmφ の平板電極に 3 枚ごとに 1 枚だけ直径 9 mmφ のパンチ孔を設けたフィルムを 6 枚そう入しシリコン油を含浸して常温および 90°C で破壊試験を行なった。電圧印加法は交流

表 1 実験に用いたプラスチックフィルムの種類とその特性 (文献値)

項 目 試 料	構 造 式	厚 さ (公称) (mm)	密 度 (20°C) (g/cm ³)	熱変形 温 度 (18.6kg/cm ²) (°C)	誘電率 (20°C)	誘電正接 (20°C) (%)	体 積 抵抗率 (20°C) (Ω-cm)	記 号
高 密 度 ポ リ エ チ レ ン	—CH ₂ —CH ₂ —	0.1	0.95	50	2.30	0.02	10 ¹⁷	PE
高分子量高密度 ポ リ エ チ レ ン	—CH ₂ —CH ₂ —	0.05	0.95	50	2.30	0.02	10 ¹⁷	高分子量 PE
照 射 高 密 度 ポ リ エ チ レ ン	—CH ₂ —CH ₂ — (架 橋) (ゲル分率 73%)	0.1	0.95	—	2.30	0.02	10 ¹⁷	照 射 PE
二 軸 延 伸 ポ リ プ ロ ビ レ ン	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \end{array}$	0.1	0.91	70	2.20	0.03	10 ¹⁷	二軸延伸 PP
ポリカーボネート	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \quad \text{O} \end{array}$	0.1	1.20	137	2.95	0.05	10 ¹⁷	PC
ポリフェニレン オ キ サ イ ド (PPO)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C}-\text{C}-\text{O}- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	0.1	1.06	190	2.58	0.03	10 ¹⁷	PPO
ポ リ ス ル ホ ン	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}- \\ \quad \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	0.125	1.24	174	3.14	0.08	5×10 ¹⁶	PSL

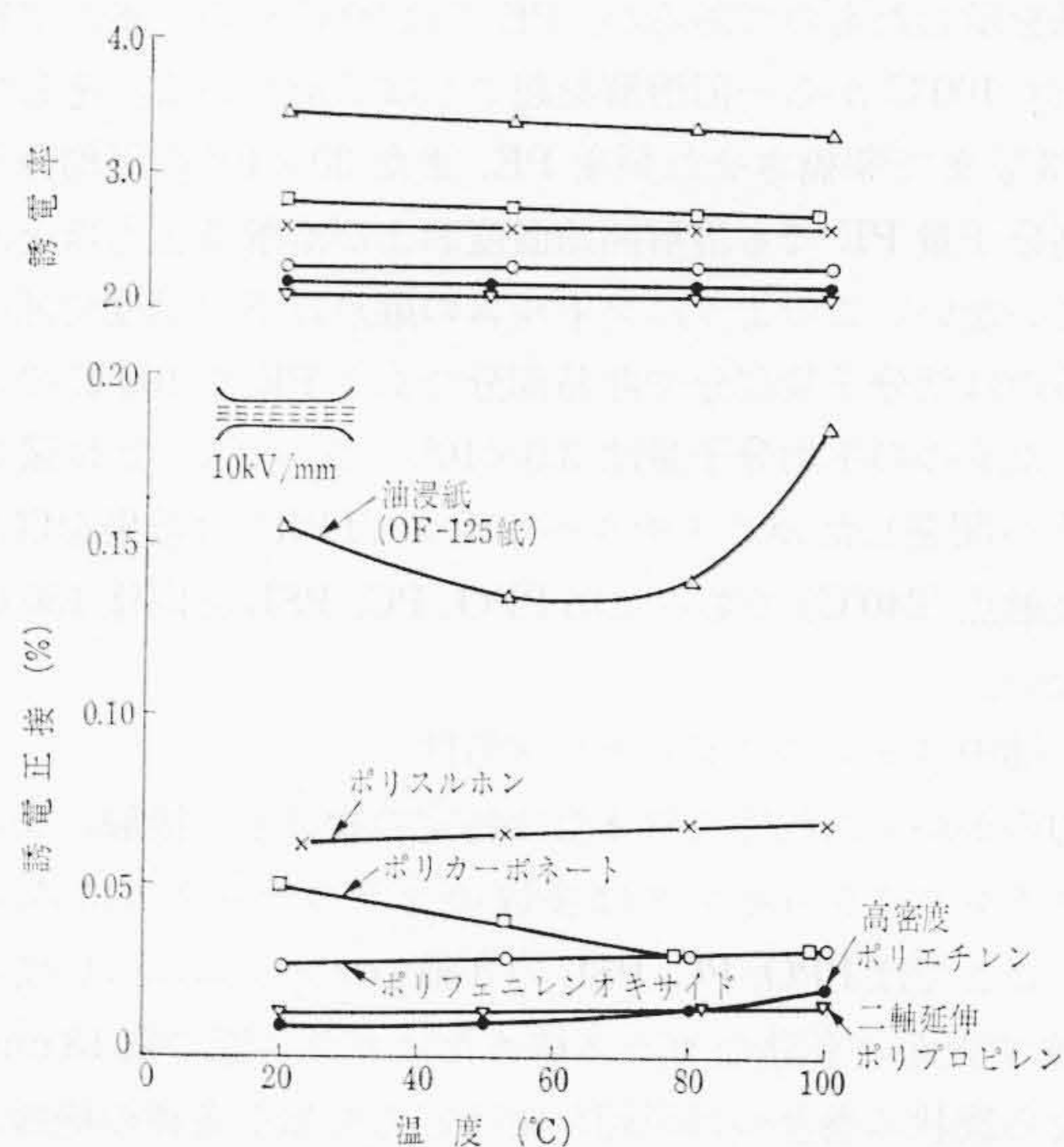


図 1 シリコン油含浸各種プラスチックフィルムの誘電特性

* 日立電線株式会社研究所

では破壊予想値の70%値を1分間加え以後1kV/minのステップで上昇し、インパルスでは破壊予想値の70%値を3回加え以後2.5kV/3回のステップ方式である。

図2は破壊試験結果を示したものである。一般にこのような複合絶縁体の交流破壊はオイルギャップから起こると考えられており、低誘電率のフィルムすなわちPE、二軸延伸PPなどは破壊強度が高くなっている。一方インパルス破壊についてはPPOが特に高く図2に併記した油浸紙の強度の約2倍に達している。PPOは表1に示したようにフェニレン基がエーテル

結合で結ばれており無極性に近い構造をとっていることと芳香環の存在比が高いためと考えられる。破壊強度は温度が上昇すれば低下するが、フィルムの種類による差は少なく交流、インパルスとも90℃の強度は常温のそれよりも10~15%低くなっている。ただ照射PEのみは例外で正負インパルス強度とも30%も低下している。なお原因は明らかでないが二軸延伸PPとPCの二者はインパルス破壊での極性効果が大きく、オイルギャップに接する電極に正極性電圧を加えると破壊強度が著しく低くなり、PCでは油浸紙の強度よりも低くなっている。

2.3 耐油性

(1) 膨潤および溶解特性

フィルムの絶縁油中における膨潤特性はフィルムの種類(分子構造や結晶化度の相違など)によって異なっているが油種による差が大きい。たとえばPE、二軸延伸PP、PPOを鉱油系OFケーブル油中100℃で72時間加熱したときの吸油量は8, 22, 41%にも達するのに対しシリコン油中ではいずれも全く吸油しない。シリコン油は分子構造上凝集エネルギーが小さくまた比較的分子量が大きいためである。

一方図3はこのように安定に存在すると考えられるシリコン油中におけるポリオレフィン系フィルムの溶解量と加熱温度の関係を示したものであるが、PEでは90℃から、また二軸延伸PPでは100℃から一部溶解を起こしはじめている。そしてゲル分率73%まで架橋させた照射PE、また 30×10^4 の平均分子量を持つ高分子量PEでも溶解開始温度および溶解量ともほとんど変化していない。このようにフィルムの融点以下の温度で油中に溶解するのは低分子量部分や非晶部分でありPEで100℃の油中に溶解したものの平均分子量は 3.0×10^3 であった。なお図3にはICI社が開発したポリメチルペンテン(TPX)の結果を併記したが、高融点(240℃)であるためPPO、PC、PSLと同様150℃で溶解しない。

(2) 油中ストレスクラッキング特性

応力のかかった状態で熱または特定の物質との接触によって起こるストレスクラッキングは多数のプラスチックにみられるが⁽⁵⁾、ここではPPO、PC、PSLの3種のフィルムについて実験した。まず表面の平滑なガラス棒またはガラス管に幅18mmのテープをらせん状に巻きつけ単純な曲げ応力に加え各種の絶縁油中に浸漬し100℃で24時間加熱したときのクラッキングの発生状態

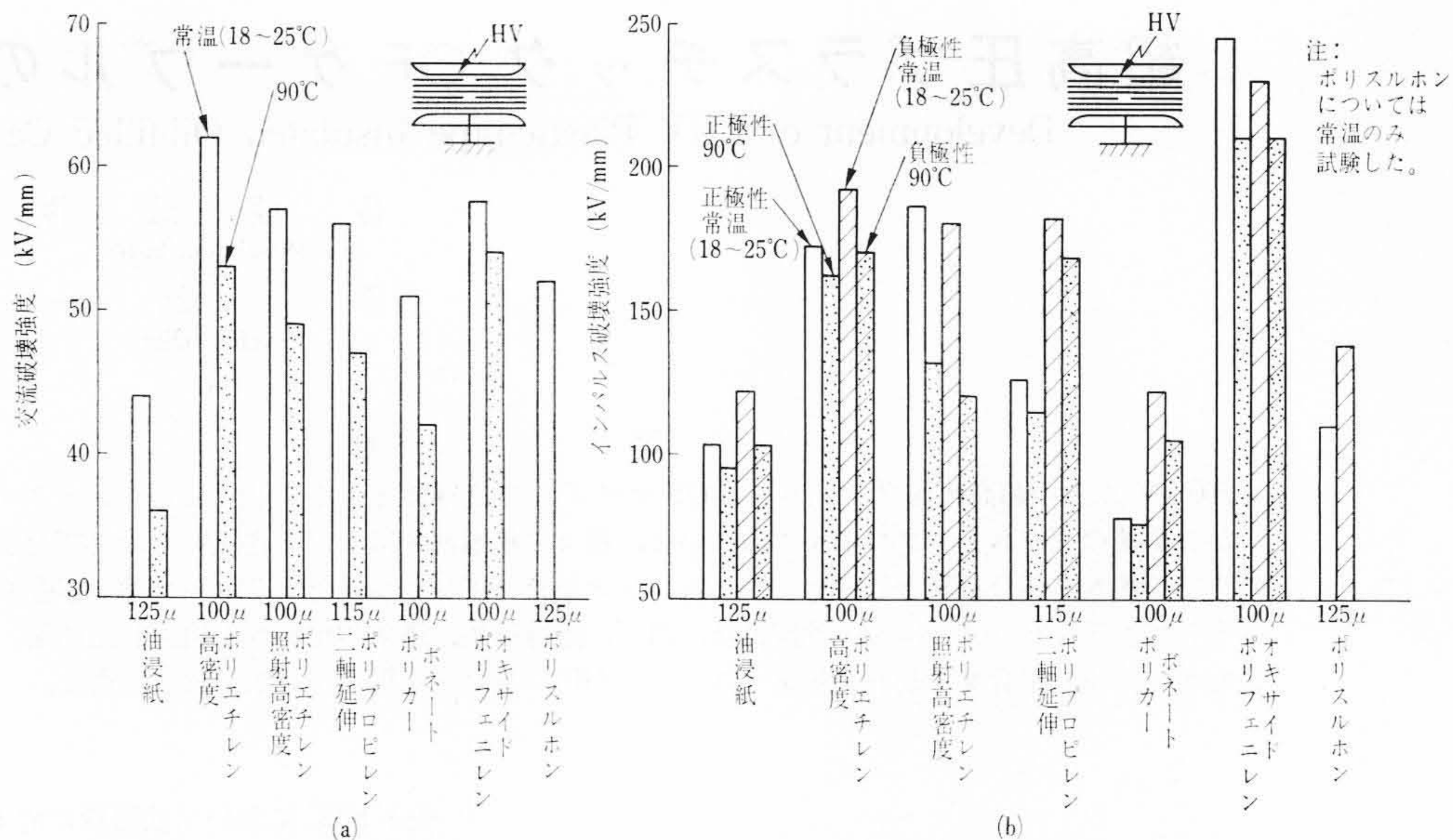


図2 シリコン油含浸各種プラスチックフィルムの交流、およびインパルス破壊特性

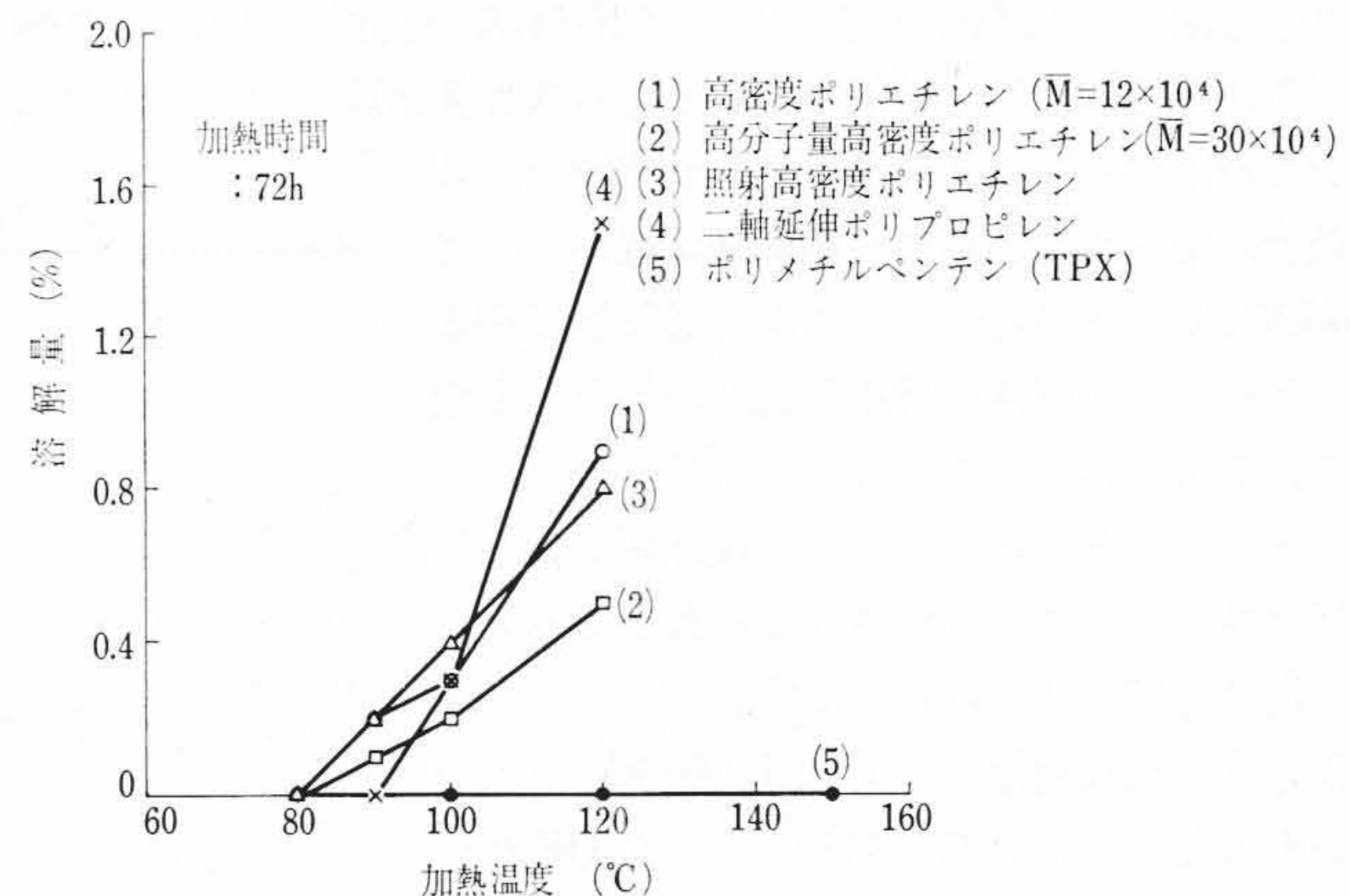


図3 ポリオレフィン系フィルムのシリコン油中における溶解特性

表2 プラスチックフィルムの油中ストレスクラッキング特性

油種	フィルムの種類 巻き付け径(mmφ)	ポリフェニレン オキサイド (厚さ0.13mm)			ポリカー ボネート (厚さ0.10mm)			ポリス レン (厚さ0.14mm)			備考 油の動粘度 (210°F) (CS)
		10	20	40	10	20	40	10	20	40	
(空 気 中)		×	○	○	×	○	○	×	○	○	—
パラフィン油	流動パラフィン(A)	×	×	○	×	○	○	×	○	○	1.6
	流動パラフィン(B)	×	○	○	○	○	○	○	○	○	9.1
芳香族油	鉱油系OFケーブル油	×	×	×	×	×	○	×	○	○	3.0
	アルキルベンゼン系OFケーブル油	×	×	×	×	×	×	×	×	○	2.8
	鉱油系ソリッドケーブル油	○	○	○	○	○	○	○	○	○	22.3
ポリブデン油	ポリブデンLV-50E	×	○	○	×	○	○	×	○	○	9.7
	ポリブデンHV-15E	○	○	○	○	○	○	○	○	○	34.5
シリコン	シリコンオイルKF96-(20)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	7.2

記号 ○：クラッキング発生せず ×：クラッキング発生
加熱温度：100℃ 加熱時間：24h

を肉眼で観察した。表2はその結果である。

PPOについてみると低粘度の炭化水素油、特に鉱油系およびアルキルベンゼン系OFケーブル油中では非常にクラッキングを起こしやすく油中の芳香族成分がクラッキングを誘発させるが、そのほかに同種の油でも低粘度油ほどクラッキングを起こしやすいことからみて油分子の大きさにも関係があり分子量の大きい鉱油

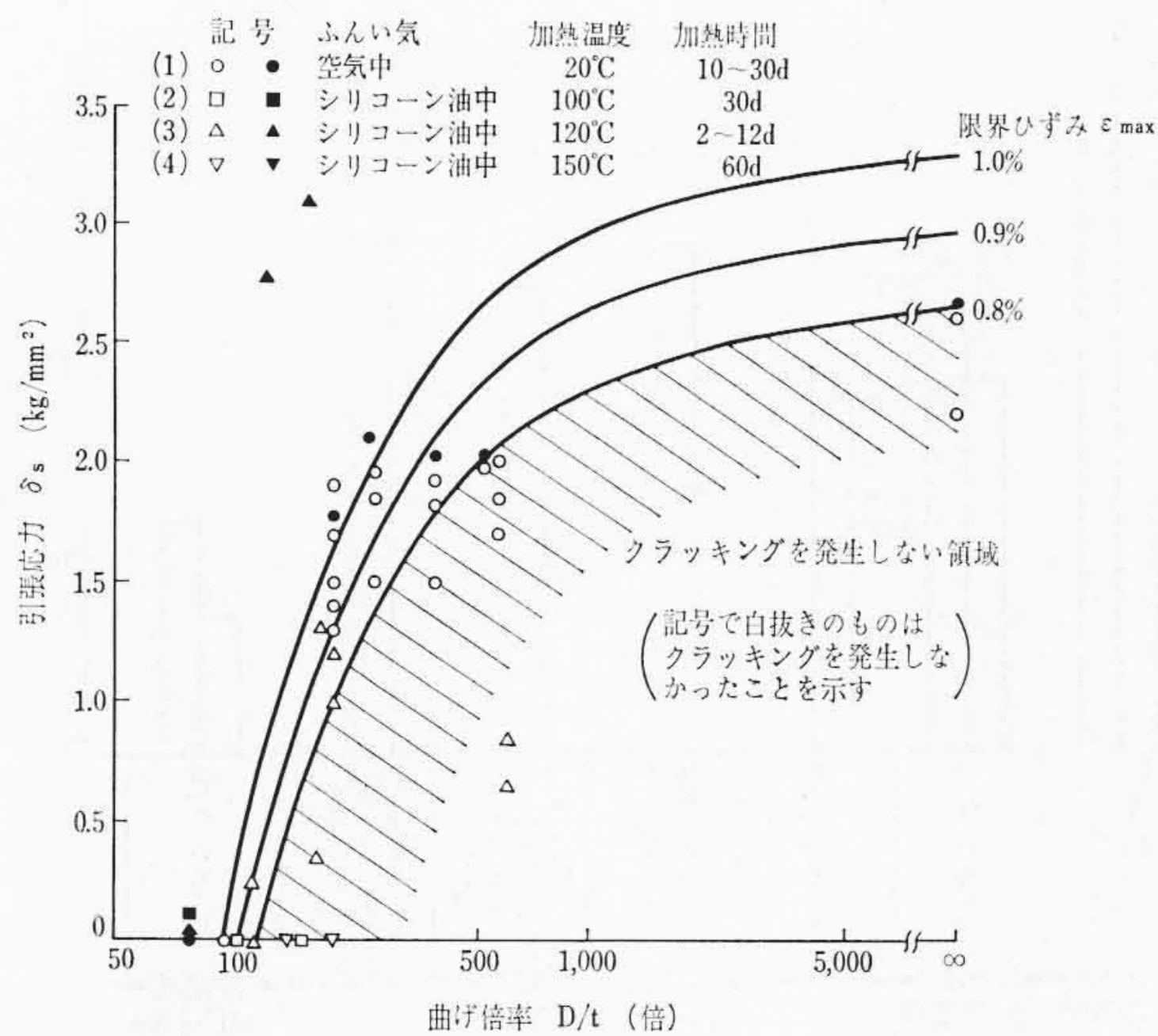


図4 ポリフェニレンオキサイドフィルムのストレスクラッキングに対する曲げ応力および引張応力の影響

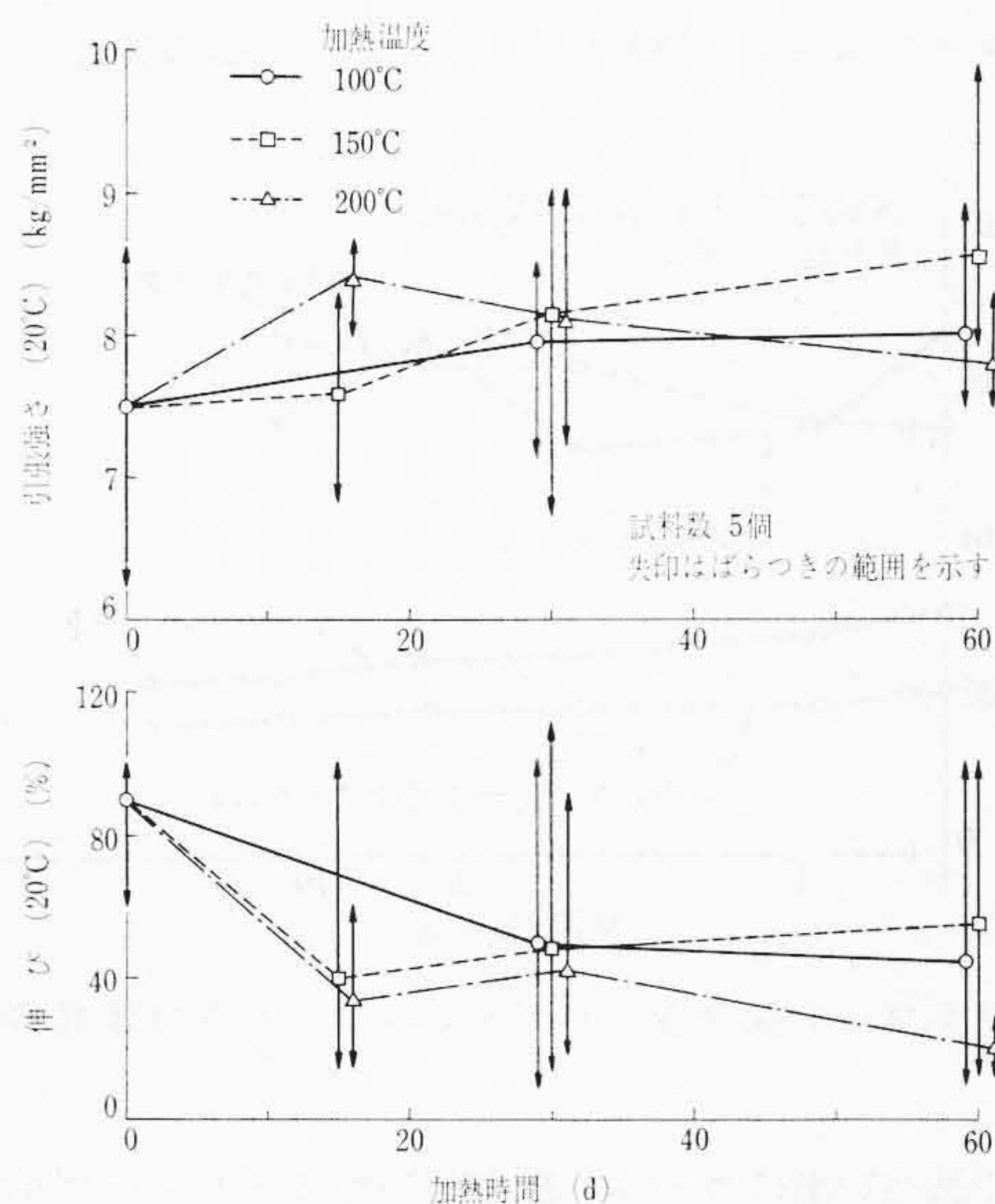


図5 ポリフェニレンオキサイドフィルムのシリコン油中加熱による機械的強度の変化

系ソリッドケーブル油 ($\bar{M}=510$), ポリブデン HV-15E ($\bar{M}=610$), シリコンオイル KF96(20) ($\bar{M}=2,050$) では巻き付け径が $10\text{ mm}\phi$ のときにも安定である。特にシリコン油の場合は以下に述べるように油の影響がなく PPO の本質的な性質が現われるようである。PC, PSL は全般的にクラッキングを起こしがたいが油の効果はほぼ同様である。

次に PPO について曲げ応力と引張応力が同時に加えられたときのクラッキングを検討してみた。図4はその結果である。

いまフィルムにある限界以上のひずみが与えられたときにクラッキングが発生すると仮定し次式から限界ひずみを求めてみた。

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{2\pi\left(\frac{D}{2}+t\right)-2\pi\left(\frac{D}{2}+\frac{t}{2}\right)}{2\pi\left(\frac{D}{2}+\frac{t}{2}\right)} = \frac{t}{D+t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_s}{E_s} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\varepsilon_{\max}$: クラッキングが発生する限界ひずみ
 ε_1 : 曲げのひずみ

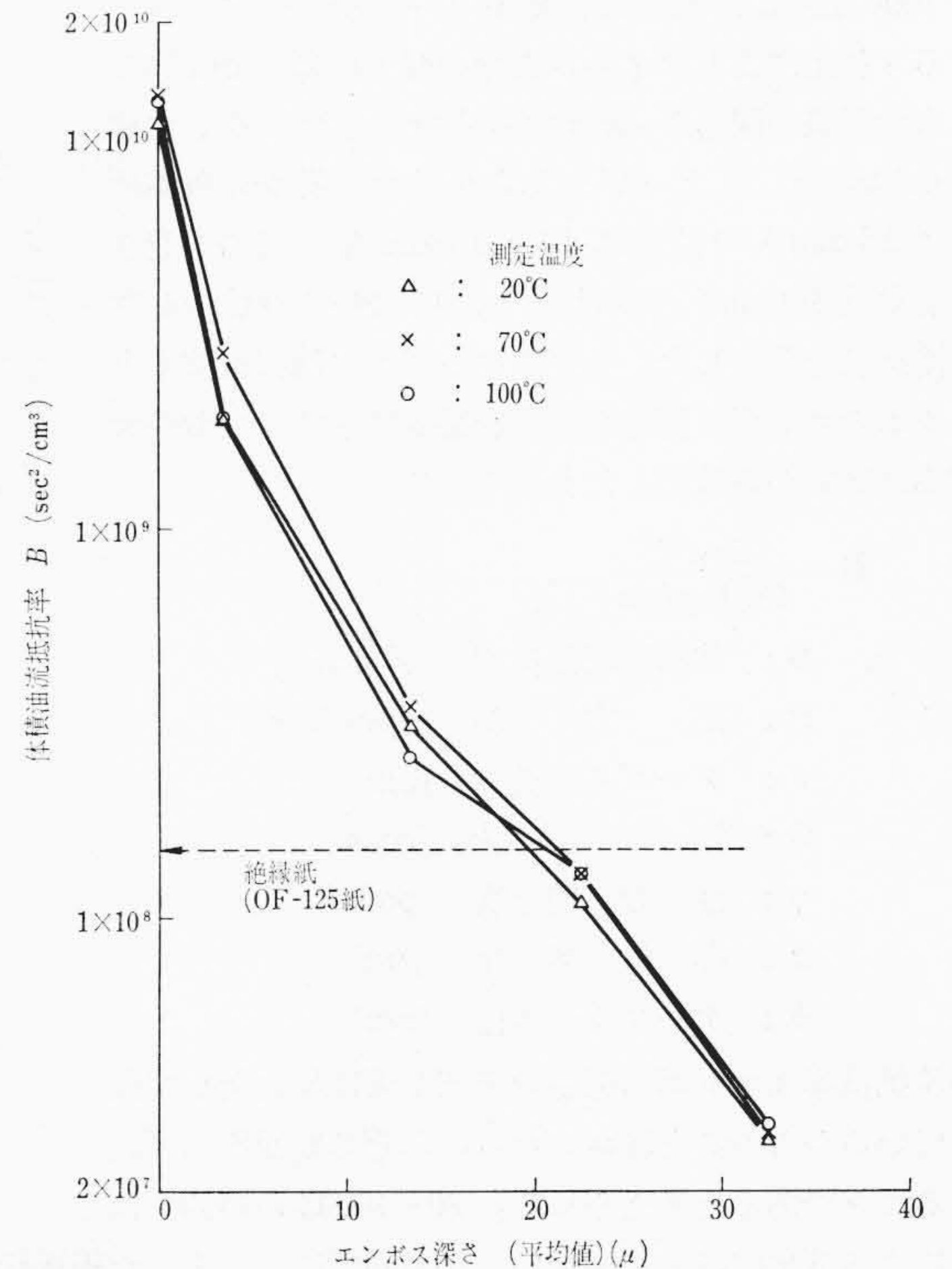


図6 シリコン油含浸 PPO モデルケーブルの油流抵抗とフィルムのエンボス深さとの関係

ε_2 : 引張のひずみ

D : 巻き付け径 (mm)

t : フィルムの厚さ (mm)

σ_s : 引張応力 (kg/mm^2)

E_s : 引張弾性率 (kg/mm^2)

PPO の引張弾性率 $E_s=330\text{ kg/mm}^2$ (実測値) を使って限界ひずみ曲線を描いてみると図4に示すとおりになり、ひずみが0.8%以下の領域ではクラッキングを発生しないことがわかる。そしてシリコン油中では空気中20°Cで得られた結果とほぼ同様な傾向にありシリコン油の影響がみられず、また加熱温度による差もないようである。

(3) 熱劣化特性

PPO を脱気したシリコン油中で100~200°Cに加熱したときの機械的強度の変化を図5に示した。

引張強さは変化しないが、伸びのほうは加熱によってばらつきの範囲が大きくなり伸びが10%程度に低下している試料があった。しかしこの変化が加熱温度や加熱時間に関係なく、また赤外線吸収スペクトルでは組成変化が認められないのでPPOが熱分解を起こしたのではなく物理的構造の変化に起因するものと考えられる。

3. シリコン油含浸 PPO モデルケーブルの特性

3.1 フィルム表面の粗面化(エンボス加工)と油流抵抗

2. で述べたように PPO は誘電特性が良好で、またインパルス破壊強度が著しく高いなど電気的には格段にすぐれた特性を有し、しかもシリコン油中では比較的安定に存在し得るので500 kV以上の超高圧プラスチック OF ケーブルの材料として PPO とシリコン油の組合せが最も有望と考えモデルケーブルにより二、三の検討を行なった。

プラスチック OF ケーブルでは油流抵抗を下げ、テープ間に油を完全に含浸させるためにフィルム表面を粗面化する必要がある。そ

こで100~120℃に加熱した彫刻ロールを用いアフターエンボス加工によりフィルム表面の幅方向に1mm当たり3本の間隔で深さ5~35μのみぞを作った。そして幅18mmに切断したテープをあらかじめ小孔を多数あけた外径16mmφの銅管に1kg/18mm幅の張力で巻き付け有効長100mmの試料をつくり、20~100℃の範囲で油流抵抗を測定した。モデルケーブルの油流抵抗率とフィルムのエンボス深さの関係を図6に示す。なお油流抵抗率は次式から算出したものである。

$$B = \frac{2\pi Pl}{Q \eta \log b/a} \dots\dots\dots (4)$$

- ここで、
 B : 体積油流抵抗率 (s^2/cm^3)
 P : 圧力差 ($dyne/cm^2$)
 l : ケーブルの長さ (cm)
 Q : 流量 (cc/s)
 η : 油の粘度 (poise)
 a : 導体半径 (cm)
 b : ケーブルの半径 (cm)

油流抵抗率はエンボス深さのほぼ2乗に反比例して低下しているがこのことはエンボスのみぞの断面積に反比例することであると考えられる。20~100℃の範囲では温度による変化はほとんどない。なお同様に求めた絶縁紙の油流抵抗率は $1.5 \times 10^8 s^2/cm^3$ 程度であり、PPOでエンボス深さを15~20μにすれば同等の特性となる。

3.2 曲げ特性

250mm²より線導体(外径24mmφ)に幅18mmのエンボス加工を施したテープを張力1kg/18mm幅、1/3ラップで絶縁厚さ5mmに巻き、被鉛後シリコン油を含浸したものを試料とし、曲げ倍率20倍(650mmφ)で逆向き2往復の曲げ試験を行なった。曲げによりテープは均一に移動しており製造時のバットギャップ1mmに対し、曲げた状態での外側のバットギャップは1.0~2.2mm、内側のバットギャップは0.0~0.3mmの範囲にはいていた。そのほかテープじわ、テープ切れ、座屈じわなどの異常もなく良好な結果を得た。

3.3 破壊特性

直径16mmφ、長さ450mmの銅管に幅18mm、厚さ0.100mmのテープを1/3ラップで9枚巻き絶縁厚約1mm、有効長100mmのモデルケーブル構造とし、これを80℃で真空乾燥後脱気したシリコン油を含浸して試料をつくった。なお遮へい層を施した試料の場合は導体および絶縁体上に幅18~30mm、厚さ0.065~0.145mmの遮へいテープをそれぞれ2枚ずつ巻きつけて実験した。

電圧印加法は交流では破壊予想値の70%値を30分間印加したのち2kV/30minのステップで上昇する。またインパルスでは導体側に正極性の電圧を加えたが破壊予想値の70%値を3回印加したのち4kV/3回のステップ方式で破壊させた。図7は破壊試験結果を示したものである。

交流およびインパルス強度ともフィルムのエンボス深さによって大きな影響を受ける。たとえば無処理のフィルムを用いた場合には交流、インパルス強度とも平板電極で得られたシート試験結果とほぼ同等の強度が得られたが、エンボス深さが35μと極端に大きなエンボス加工を施したフィルムの場合には破壊強度が著しく低下しており、しかも破壊はエンボス面に沿ったクリープ破壊が多かった。しかし誘電正接の電圧特性を改善した特殊処理カーボン紙、アルミハクはり合せマイラテープ、および半導電性ポリエチレンテープなどで遮へいした場合には常温、90℃とも15~20%程度交流破壊強度は上昇している。したがって15μ程度の浅いエンボスを施した

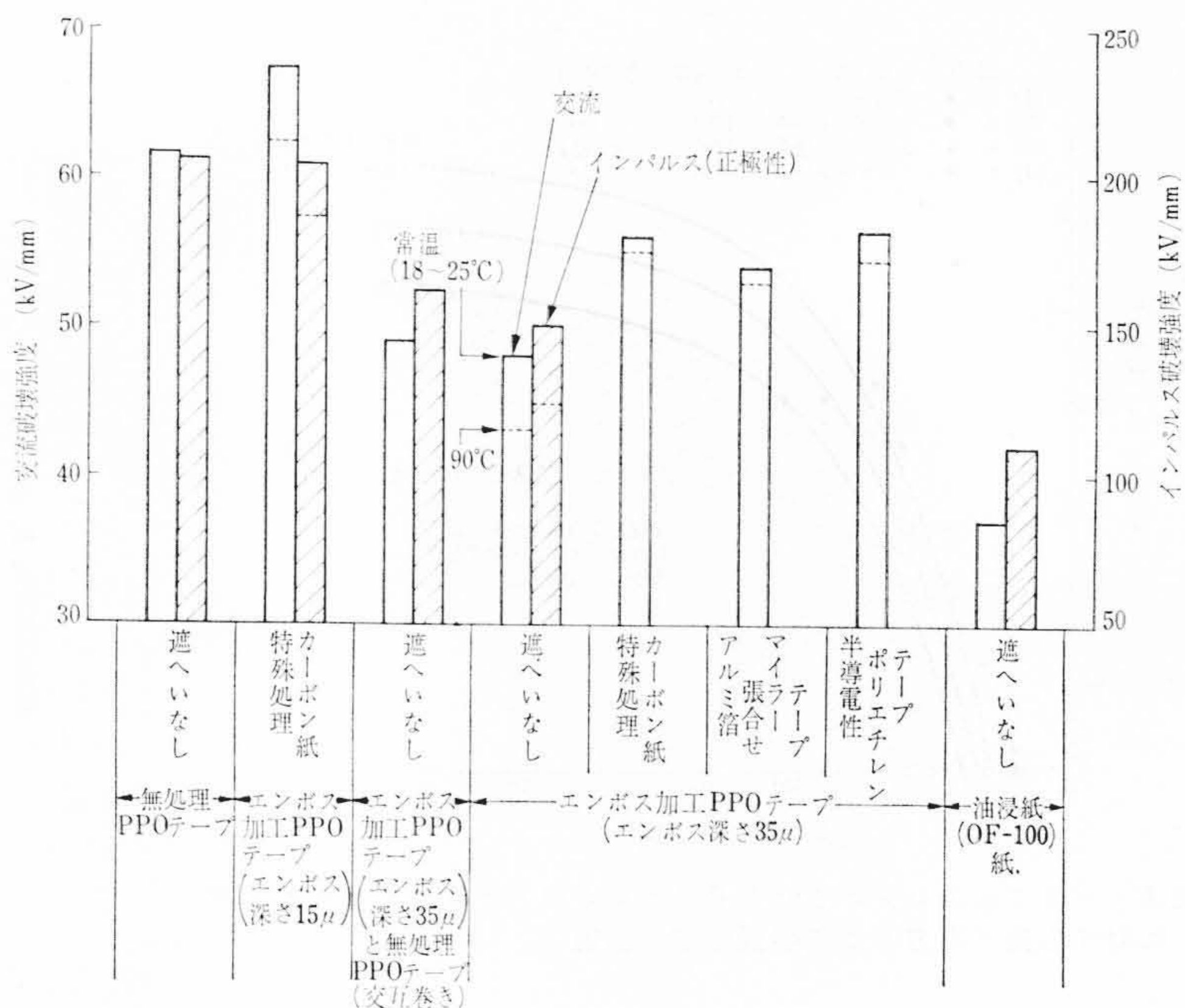


図7 シリコン油含浸PPOモデルケーブルの破壊特性

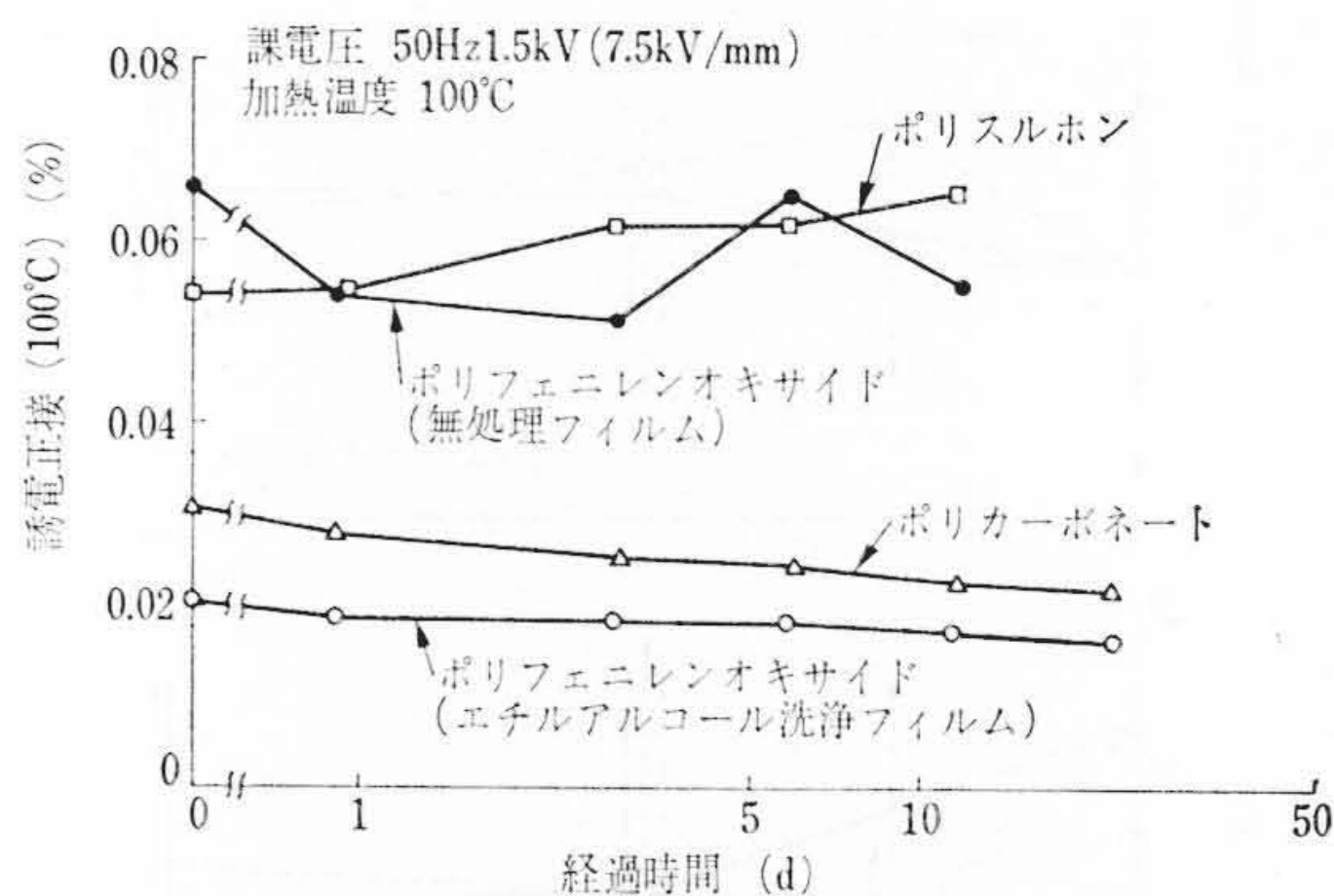


図8 シリコン油含浸コンデンサエレメントの課電劣化特性

フィルムで遮へい層にカーボン紙を用いたモデルケーブルでは無処理のフィルムで得られた結果と同等以上になっている。いずれの場合も同時に試験した油浸紙と比較すると交流、インパルス強度とも30%以上高い値が得られている。

3.4 課電劣化特性

直径25mmφ、長さ150mmのガラス管上に0.100×110×1,100mmのフィルム2枚と0.015×80×700mmのアルミハク電極を組合せて巻き、80℃で真空乾燥後シリコン油を含浸してコンデンサエレメントを作製した。これに50Hz、1.5kV(7.5kV/mm)の電圧を課電し、温度100℃に加熱して誘電正接の時間変化を測定した。これまでに得られた結果を示したのが図8である。

試験にはエチルアルコールで洗浄したフィルムと無処理のフィルムを用いたが前者は初めの誘電正接が小さくきわめて安定した特性を維持している。一方ゴミなどの付着した無処理のフィルムは初期の誘電正接が大きく、課電エージングによる誘電正接の低下は認められない。

4. 結果の検討

500kV以上の超高压ケーブルでは絶縁体の電気特性、特に許容電流に大きな影響を与える誘電特性がきわめて重要である。図1に示したようにここで試験したフィルムはいずれも油浸紙に比較すれば誘電率、誘電正接ともに小さく、ケーブルの誘電体損失を低下さ

せることができるが、なかでも PE, 二軸延伸 PP, PPO はすぐれた特性を有し, 80°C の誘電体損失は油浸紙の 1/10~1/5 となっている。また油浸状態の破壊特性をみると図 2 に示したように低誘電率の PE, 二軸延伸 PP, PPO は交流, インパルス強度とも高く, 特に PPO はインパルス強度が著しく高くなっている。それに比較して PC, PSL の二者は破壊強度の点では油浸紙と同程度である。しかも PC の場合はインパルスの破壊で極性効果が大きく正極性電圧を加えると強度が著しく低下し, 油浸紙の強度よりも低くなっている。(この極性効果は二軸延伸 PP にもみられるが原因は明らかでない)

さらにテープ巻き方式を採用するプラスチック OF ケーブルではフィルムの耐油性が重要な問題であり, もしフィルムがケーブル油によって膨潤, 溶解, またはストレスクラッキングを起こすと絶縁体内部に欠陥が生ずることになり, ケーブルの破壊電圧を低下させる。また油流抵抗を増大させるなど大きな弊害が予想される。フィルムの耐油性はフィルムの種類によって異なることはもちろんであるが, 油種によっても大きな影響を受ける。たとえば鉱油系やアルキルベンゼン系 OF ケーブル油中では膨潤, またはストレスクラッキングを起こしやすい PPO もシリコン油中では安定に存在し, 150°C で膨潤せず, また限界ひずみ 0.8% 以下の応力ではクラッキングは起こさない。500 kV 以上の超高圧ケーブルでは必然的に大サイズケーブルとなり導体径は 50mm ϕ 程度になると考えられる。また最新の紙巻き機によればテープ巻き時の張力は 0.5 kg/厚さ 0.1 mm $\times$ 幅 20 mm 以下にすることができる。このときテープに与えられるひずみは約 0.28% であり, クラッキングの点でじゅうぶん裕度がある。なお PE, 照射 PE, 二軸延伸 PP はシリコン油中でも 90~100°C から一部溶解しはじめるので現状では使用できないと考えられる。

PPO とシリコン油の組合せについてはモデルケーブルによって検討を行なったが, 適切なエンボス加工を施すことによって油流抵抗を油浸紙程度に低下させることができ, しかも破壊特性の点でもじゅうぶん満足する特性が得られた。そしてコンデンサエレメントによる課電劣化試験によれば高温課電下においてもきわめて安定した誘電特性を維持することが確認できた。

以上のように PPO とシリコン油の組合せにより技術的には

500 kV 以上の超高圧プラスチック OF ケーブルを開発できる見通しが得られたが, 今後に残された問題点としてはテープの洗浄, 接続, エンボス加工条件やテープ巻き条件など実ケーブルの製造条件を確立することと実負荷試験により長期の寿命を確認することである。

他面この材料で問題になるのは PPO, シリコン油とも高価な材料であり経済性に難点があることである。現段階では紙 OF ケーブルの約 5 倍となるが材料費中 75% は PPO が占めており, シリコン油のほうはフィルム内部に油がはいらないため量的には少なく上記材料費中 0.5% を占めるにすぎない。将来これらの材料が量産化されれば価格の低下する見込みがあると考えられる。

5. 結 言

500 kV 以上の超高圧プラスチック OF ケーブル用の材料としておもにポリフェニレンオキサイドフィルムとシリコン油の組合せについて電気特性および耐油性を検討した。結論を要約すれば次のとおりである。

- (1) ポリフェニレンオキサイドはシリコン油中では比較的安定で誘電特性, 破壊特性にすぐれており, 技術的にはこの組合せにより超高圧用のプラスチック OF ケーブルを開発できる見通しを得た。
- (2) ポリエチレン, 二軸延伸ポリプロピレンはシリコン油中でも 90~100°C で溶解しはじめるので実用できない。
- (3) ポリカーボネート, およびポリスルホンと比較的耐油性は良いが電気特性の点でいくぶん劣る。

最後にご指導いただいた株式会社日立製作所日立研究所紫藤主任研究員をはじめ関係者のかたがたに感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- (1) J. C. de Vos, J. Vermeer: CIGRE, No. 207, (1958)
- (2) J. Vermeer, W. Boone: Electrical World, 167, 106 (April 1967)
- (3) 外山, 岡, 佐藤, 遠藤: 電学東京支大, 97 (昭 43-10)
- (4) R. L. Burns: Insulation, 14, 67 (October 1968)
- (5) 佐藤: 高分子化学, 22, 145 (1965)



特 許 の 紹 介



特許第 513628 号 (特公昭 42-23740 号)

今 井 利 宣・橋 本 博 治
ト 部 義 清・星 野 弘 之
大 友 勇

ケ ー ブ ル 引 入 用 管 路 内 異 常 個 所 検 出 方 法

この発明はケーブルを管路に引き入れる前にあらかじめ管路の異常個所を検出するための方法であり, 複数個の放射状可動検出触手 2 を管路 3 内を移動させ, 管路の異常個所で発生する検出触手の機械的変位を電気的信号に変換して管路外に導き出して異常個所を検出するものである。

この発明の検出方法によると, 試験棒を貫通する従来の検出方法のように, 異常個所有無の程度を検出するにとどまらず, 有無の検出はもちろんのこと異常個所の異常の大小の差別なく, どのような異常も検出することが可能である。異常の模相, すなわち接続パイプのずれのような大きな異常個所, あるいはパイプ内面の凹凸のような小さな異常個所であるかということも, 可動検出触手の変位量を電気信号に変換して, その信号の大小を読み取ることにより, 容易に判別することができ, さらに従来の試験棒による検出方法と比較して, 作業時間が短縮でき, しかも検出結果より管路の要補修位置が明確にわかりその後の補修工事を容易にする (なお, 1 は保持体, 4 はストレンゲージなどの変換素子, 5 ワイヤ, 6 は検出信号のリード線, 7 は記録計, 10 は防水カバーである)。

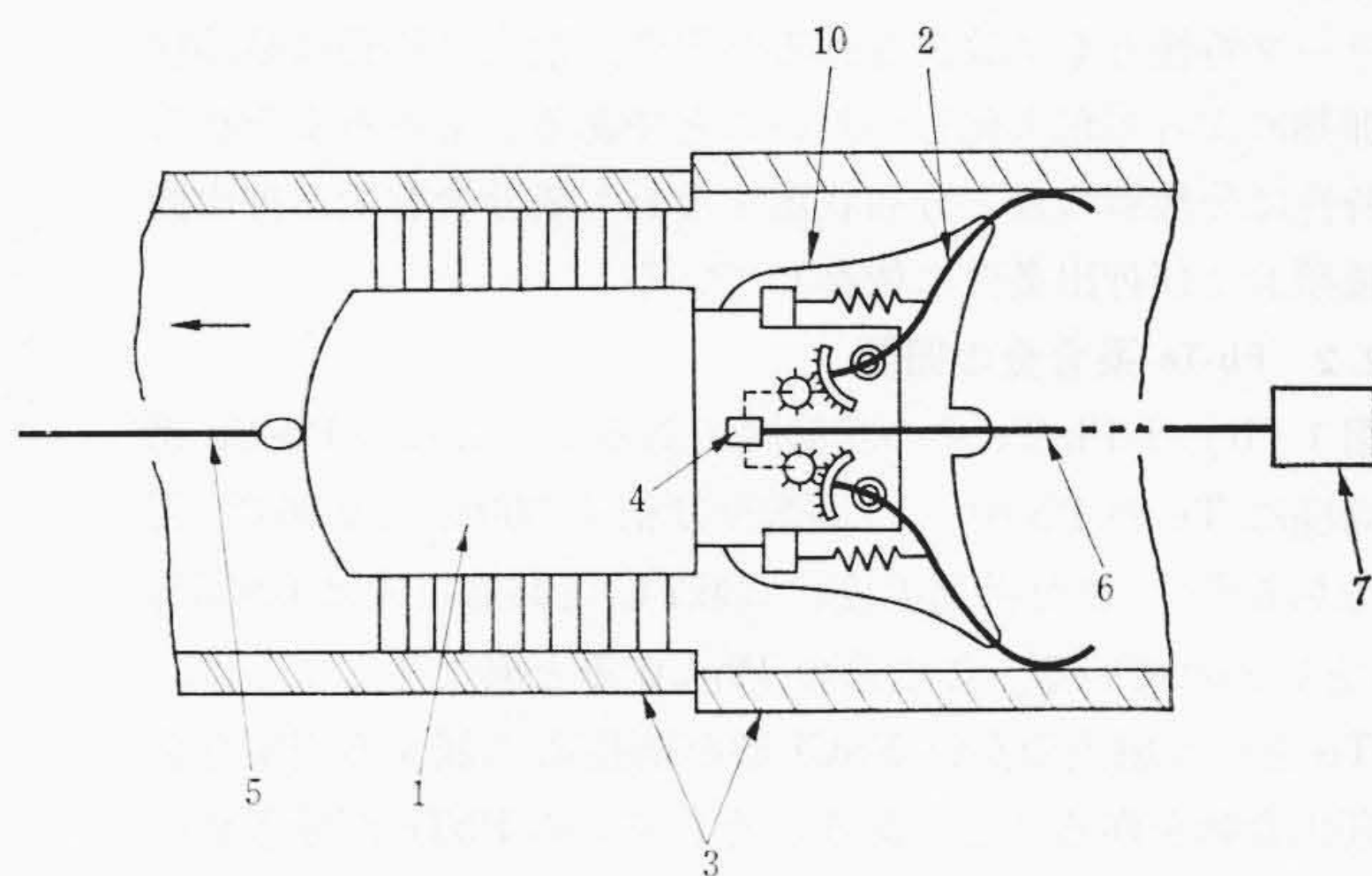


図 1