U.D.C. 621.315.211.3 : 621.315.221.8 : 678.6

プラスチックOFケーブルの絶縁特性に関する基礎研究

Fundamental Research on the Insulation Characteristics of Plastic Oil-Filled Cables

堤　泰行*　加子泰彦**
Yasuyuki Tsutsumi　Yasuhiko Kako

内　容　梗　概

本報は，プラスチックOFケーブルの開発を目的として，モデルケーブルおよび平板電極法により，油浸プラスチック絶縁の基礎的なインパルス破壊特性および複合絶縁の破壊特性について検討している。これによって，油浸プラスチック絶縁は交流に対して一般に油浸紙より高い絶縁破壊特性を有しているが，インパルスに対しては，材質によって油浸紙よりかなり劣ることが明らかになり，これを改善するため，各種材料の組合せ効果を検討した結果，紙OFケーブルに比べてすぐれたインパルス強度を持ったプラスチックOFケーブル開発の見通しが得られた。また，インパルス強度には，極性効果が見られ，材質によってその極性が逆転することや，平等電界下でも，固体中を通ったストリーマが高誘電率または高絶縁破壊強度の障壁層で阻止されることなど，破壊現象の面でも油浸プラスチック固有の特性を明らかにすることができた。

1. 緒　　言

400 kV までの超高圧ケーブルには，従来紙絶縁OFケーブルが用いられているが，電圧上昇とともに誘電体損は急激に増大し，500 kV 以上では特別な冷却を行なうことが必要となってくる。また高電圧，長亘長ケーブルにおいては，ケーブルの静電容量を小さくすることが必要で，これを紙ケーブルで実現するには，必要以上に絶縁厚を大きくしなければならず不経済である。このような，紙固有の性質にもとづく超高圧ケーブル開発上の限界を乗り越えるため，紙の代わりに低誘電率，低誘電体損のプラスチックを使用したプラスチックOFケーブルに関する研究が最近各方面で行なわれている。

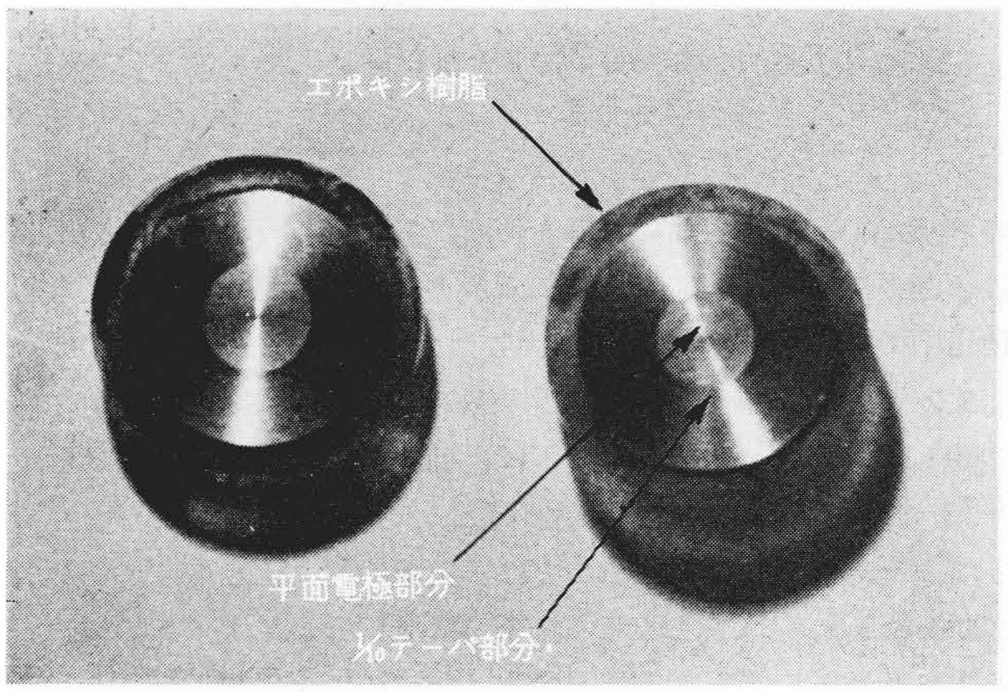
プラスチックOFケーブルに関する系統的な研究は，1958 年の C. I. G. R. E に発表されたもの[1]が最初であり，この論文では，プラスチックにみぞ付け加工をして油を完全に含浸すれば，油浸紙よりかなり高いコロナ開始電圧およびインパルス強度を得ることができると報告されている。続いて，1960 年同じ C. I. G. R. E に油浸プラスチックのインパルスを対象とした同種の報告[2]があり，破壊は，プラスチックと直列にはいった油の放電と同時に起こるため，プラスチックの誘電率が，油の誘電率に近いほど破壊電圧は高いと結論づけられている。一方アメリカにおいては，ポリカーボネートフィルムに合成油ポリブデンを含浸した All synthetic cable の試作を 1961 年に発表し[3]，現在実負荷試験中である。このケーブルでは，インパルス強度についての報告はないが，誘電正接，交流耐圧とも良好な成績を収めていると報告されている。プラスチックOFケーブル開発上の技術的な問題としては，電気特性，油流抵抗，プラスチックフィルムの油や熱による膨潤や収縮，あるいは機械的特性など各種の問題があるが，本報告では，おもに電気的な特性のうちでも問題の多いインパルス破壊特性を検討した結果をとりまとめた。研究が進むにつれて，誘電正接や交流耐圧のすぐれたケーブルを作ることはできるが，インパルス強度は必ずしも予期されたほど高くならないことが明らかになり，その原因の究明およびインパルス強度のすぐれた絶縁構成法について検討を行なった。

2. 実　　験　　法

2.1 平板電極による実験法

2.1.1 電　　極

電極は第1図に示すように黄銅製で，平面部分約 20 ϕ 端部に約 1/10 のテーパをつけ，エポキシ樹脂で補強したものを使用した。破壊試験の際は，ケーブルのテープ突き合わせ部を模凝して，人為的に油膜を作っているので，破壊はその部分を通り，電極端で破壊することはない。



第1図　平　　板　　電　　極

2.1.2 試料の乾燥および含浸

プラスチックフィルムについては短時間に急速に吸湿することはないと考え，真空乾燥（80℃，3時間以上）したものを，試験に供する分量ずつ取り出し，平板電極に配置した。これに対してクラフト紙の場合は，あらかじめOF油を真空含浸し，油浸紙としたものを真空乾燥器に入れておき試験に必要な分量ずつ取り出すようにした。試料を電極にはさみ実験容器に移した後，約 30 分ほど真空に引き，あらかじめ真空中で十分脱気したOF油を実験容器内に充満させ，大気圧にもどし，約 30 分放置した後電圧を加えた。本方法で油が十分含浸することは，同一試料を用い電極をガラス板でおきかえ肉眼で確認した。

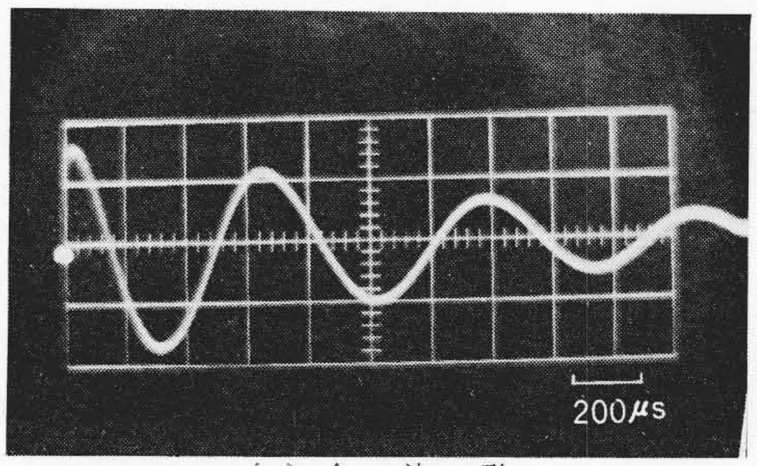
2.1.3 電 圧 印 加 法

交流電圧は，破壊電圧の約 80% から 4～5 kV/mm ずつ 1～10 分間隔で上昇し，コロナ開始電圧または破壊電圧を測定した。

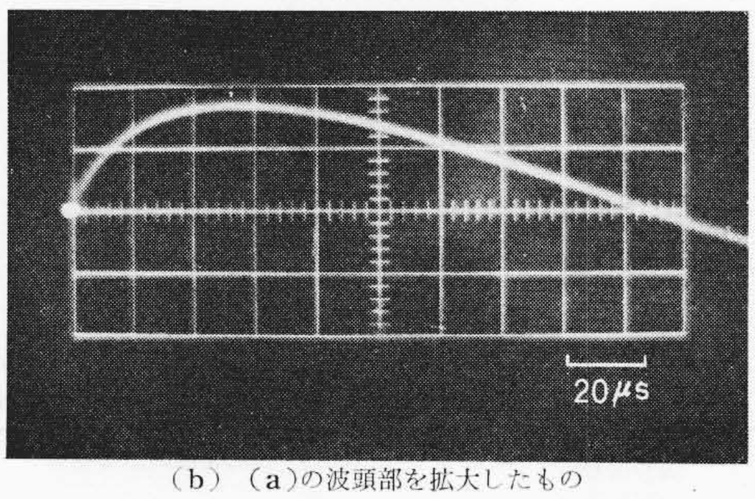
減衰振動電圧としては，第2図(a)(b)に示すように，周波数 1.3 kc，減衰時定数 3.3 ms の波形を用いた。波高値はインパルスと同様球間げきを用いて較正し，破壊電圧の約 80% から各電圧5回ずつくり返し印加し 5 kV/mm ずつ昇圧した。

インパルス電圧としては 1×40 μs の標準波を使い，破壊電圧の約 80% から各電圧5回ずつくり返し印加し 5 kV/mm ずつ昇圧

*　日立製作所日立研究所
**　日立製作所日立研究所　工博

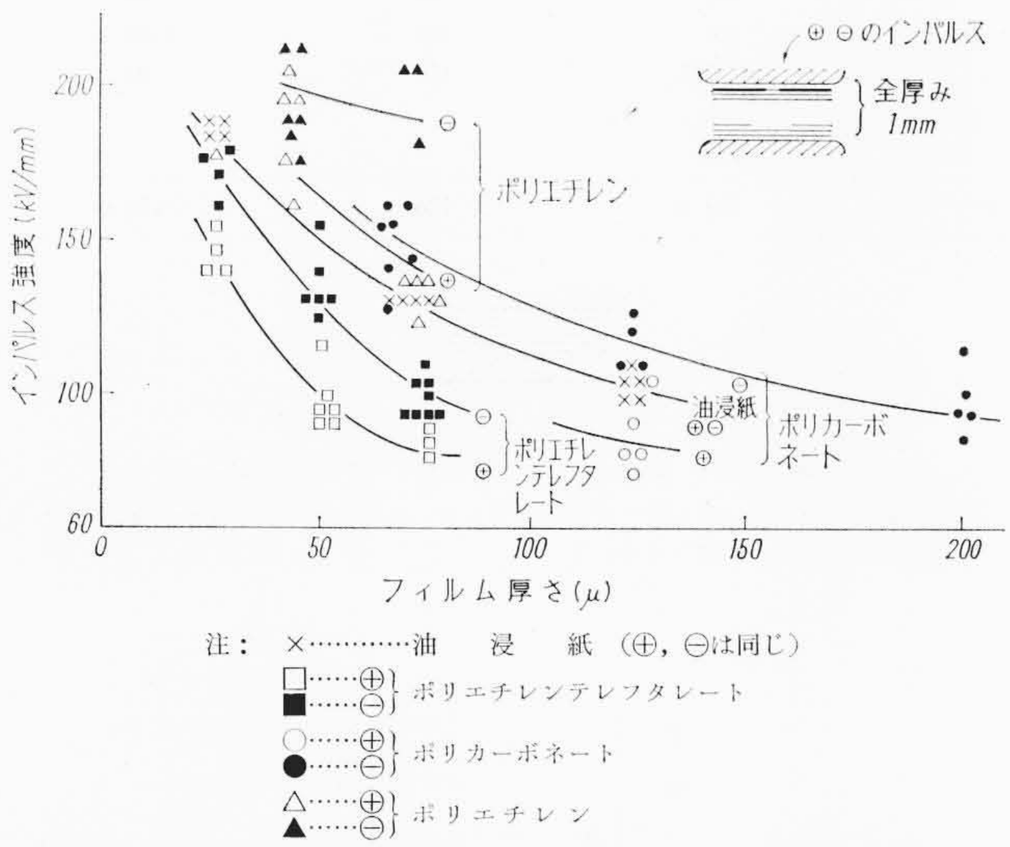


（a）全　波　形



（b）（a）の波頭部を拡大したもの

第2図　減　衰　振　動　波　形



第3図　各種材料のフィルム厚さとインパルス強度の関係

した。

2.2　モデルケーブルによる実験法

2.2.1　モデルケーブルの寸法

導体径 12.7 mm（銅管），全長 1,000～1,200 mm，有効長 250 mm，絶縁厚 1 mm のものについて実験を行なった。

2.2.2　試料の乾燥および含浸

プラスチックについては，特に予備乾燥は行なわないが，紙の場合には，加熱乾燥したテープで紙巻きし，紙巻きが終わった状態で予備真空乾燥を行なった。次に，いずれの場合にも別に予備乾燥した紙を巻き付けてストレスコーンを作り，外側の電極を取り付けた後に実験容器に入れ，ここで導体に通電して加熱し，真空に引いて本乾燥を行なった。

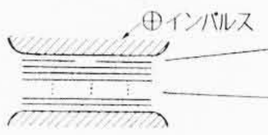
さらに乾燥終了後十分脱気したＯＦ油を注入して含浸させた。この場合，容器中の油にはコンサベータを介して 5～6 atm の圧力をかけ，10 時間程度放置して含浸の完全化をはかった。なお，破壊試験時の油圧は 1.2 atm を標準とした。

2.2.3　電圧印加法

インパルスは 60 kV または 70 kV より印加を開始し，各電圧 5 回ずつくり返し加え 5 kV ずつ昇圧した。

第1表　油膜厚さを一定とした場合のフィルム厚さとインパルス強度との関係　（単位　kV/mm）

＋ フィルム厚 (mm) ＋ / No.	0.0256	0.0365	0.0503	0.0756
1	114	98.6	101	96
2	114	98.6	101 以上	101
3	110	95.0	101	96
平　均	112.7	47.4	101	97.7
単独使用	145		95	90



ポリエチレンテレフタレート　0.0756mm　1枚
（5φ の穴をあける）
穴なしポリエチレンテレフタレート
0.0256mm厚さのとき　24枚
0.0365mm厚さのとき　16枚
0.0503mm厚さのとき　12枚
0.0756mm厚さのとき　8枚

単独使用：　その厚さのフィルムだけを重ね，3枚に1枚穴をあける。1/3 lap で巻いたケーブルのインパルス強度に対応し，フィルムの材質の効果と油膜厚の効果が同時に現われている。

3.　実験結果ならびに検討

3.1　材料およびフィルム厚さと正および負のインパルス強度との関係

第3図はいろいろな厚さのポリエチレン，ポリカーボネート，ポリエチレンテレフタレートおよび油浸紙の正および負のインパルス強度をとりまとめたものである。

3.1.1　フィルム厚さの影響

第3図の結果からわかるように，全体の厚さを一定とし（約 1 mm），かつ全体で占める試料の厚さと油膜の厚さとの比を一定としても，フィルム厚さが薄くなれば破壊電圧は上昇する。しかし，これだけの実験では破壊電圧が上昇する原因が，フィルム厚さの減少に伴う油膜の厚さの減少にあるのか，それとも同じ絶縁厚さでも，厚い試料1枚より，薄い試料を何枚も重ねた方が破壊電圧が上昇することにあるのが明らかでない。これを調べるため，**第1表**に示すように油膜の厚さおよび全体の厚さを一定として油膜と直列にはいる試料フィルムの厚さを変えてインパルス強度を測定した。この結果，25 μ のフィルムの場合，破壊電圧はやや高くなっているが，油膜の厚さの効果に比べれば十分小さく，油膜が同一なら薄い試料を多く重ねるのも厚い試料を少なく重ねるのも破壊強度の点で大差ないことがわかった。したがって**第3図**のプラスチックフィルムの厚さが小さくなるにつれて，インパルス強度が高くなる傾向は，個々の油膜が薄くなるためと考えられる。油浸紙については，すでに以前から薄紙を用いてインパルス強度の上昇することが主張されているが[4]，この場合には油膜厚の効果のほかに薄い紙ほど，密度，気密度が高く，紙自身の破壊強度も高いという材質的な変化も加わるので現象はさらに複雑である[5]。

絶縁厚に占める油膜の厚さが一定であってもインパルス強度がフィルム厚さによって変わることは，とりもなおさず油膜が放電して，残った試料に平均して全電圧がかかるというモデルが妥当でないことを示すものであり，これに代わって，フィルム厚さが増すほど放電による試料表面の局部的な電界が増大するというモデルを考えるのが妥当であろう。

3.1.2　材質の影響

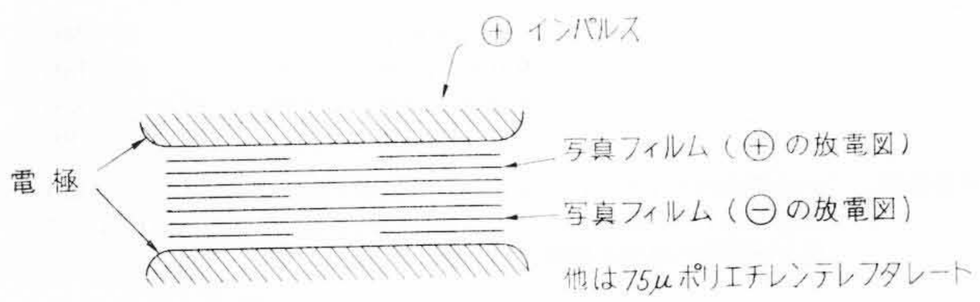
油浸紙のインパルス強度は両極性とも同じ値を示しているが，ポリエチレン，ポリカーボネート，ポリエチレンテレフタレートのような材料では，正極性インパルスが負極性インパルス強度より低くなっている。

第3図の結果で正極性インパルス強度を比較すると，ポリエチレン，油浸紙，ポリカーボネート，ポリエチレンテレフタレート

第2表　油浸絶縁のインパルス比

材　質	フィルム厚 (μ)	A.C.破壊強度 (kV/mm rms)	インパルス強度 (kV/mm)	インパルス比	備　考
ポリエチレンテレフタレート	50	65.3	125	1.35	1/2 registration 正極性インパルス強度を取っている
ポリカーボネート	120	62.5	86	0.97	
ポリエチレン	70	66.9	130	1.37	
油浸紙	70	49.0	131	1.89	

インパルス比＝インパルス強度/AC破壊強度（波高値）
破壊強度の値は3～6回の平均値である。



第4図　試　料　構　成

の順になっている。de Vos, Vermeer氏[2]らは試料と油の誘電率から油膜にかかる分担電圧を求め，これが油のインパルス強度に等しくなると油浸絶縁物全体の破壊が起こるとし，誘電率の小さいプラスチックフィルムを用いた油浸絶縁物では，油浸紙よりもかなり高い値を得たと報告している。de Vos, Vermeer氏らの実験では，導体上に実用的にはほとんど使用不可能な6μのポリエチレンテレフタレートのテープを巻いて，導体からの破壊を防いでいるので，破壊強度の値も高くなり，本実験におけるように，導体に接する油膜から破壊が出発する場合とは若干違った特性になることも考えられる。

筆者らも，**第2表**に示すように，交流破壊電圧に対しては，材質の誘電率がもっとも大きな要因となり，誘電率の小さいプラスチックフィルムを用いた油浸絶縁が油浸紙より高い値を示すことを確認したが，インパルスに対しては，**第2表**からもわかるように，必ずしも誘電率の小さい順に高くなっていない。

ここで，インパルスによる破壊機構を考える際に，コロナが発生しているか否かによって，そのイメージが非常に異なってくるので，**第4図**に示すような試料構成で，写真フィルムを試料間にそう入してインパルスコロナの発生をしらべた[6]。その結果，インパルスでも交流のコロナ開始電圧と同程度の電圧からすでに油膜中でコロナが発生していることを確かめることができた。これはまた，溶解気体や不純物を含まない油の交流破壊電圧とインパルス破壊電圧とはほとんど等しいという従来の説[7]からも十分うなづける。したがって，破壊が起こる程度のインパルス電圧では，すでに油膜内ではかなりの放電が発生しており，しかも放電によって試料の受ける電界は，平均的に受けるのではなく，局部的であることを考え合わせると，この油中の放電が試料中まで伸びるかどうかという試料材質の性質がきいてくることは明らかである。

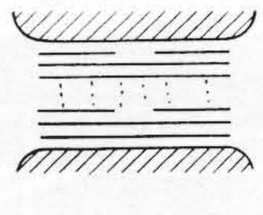
第2表は**第3図**の試料のインパルス比を比較したもので，インパルス比の大きい油浸紙ではコロナが発生してもなかなか破壊に至らないが，ほかのプラスチックでは比較的早く破壊することを示している。

3.2　減衰振動電圧による破壊

使用中のケーブルに侵入するスイッチングサージによる破壊，または，スイッチングサージによって発生したコロナが交流電圧で消滅せず，劣化の原因になることが恐れられる。**第3表**では，スイッチングを模凝した減衰振動波によるポリカーボネートの破壊強度を同じ試料のインパルス強度と比較しており，減衰振動波の破壊強度が

第3表　ポリカーボネートのインパルスおよび減衰振動波破壊強度　（単位　kV/mm）

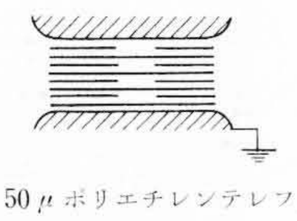
No.	⊕インパルス強度	⊖インパルス強度	減衰振動波強度
1	90	120	90
2	80	125	90
3	100	110	95
4	80	110	87.5
5	75		100
平　均	85.0	116.3	92.5



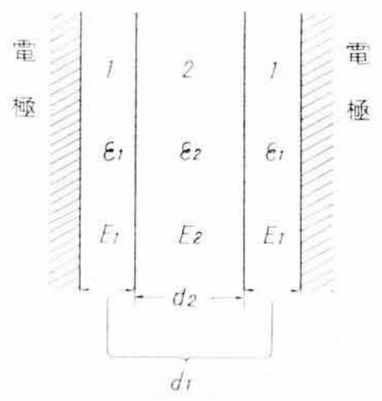
試料構成　　120μポリカーボネート9枚
減衰振動波の第1波（最大値）は正極性である。

第4表　ポリエチレンテレフタレートの減衰振動波破壊強度と後続交流の影響　（単位　kV/mm）

No.	減衰振動波だけの破壊強度	後続交流がある場合	
		交流　25 kV/mm	交流　50 kV/mm
1	110	115	120
2	110	110	110
3	120	105	105
4	127.5	110	105
5	105		
6	105		
平　均	112.9	110.0	110.0



試料構成　　50μポリエチレンテレフタレート8枚
減衰振動波の第1波（最大値）は正極性である。後続交流は減衰振動が0になると同時にリレーにより投入する。



第5図　複　合　絶　縁　モ　デ　ル

正極性インパルスの破壊強度にほとんど等しいことを示している。また，減衰振動波と交流の両方が加わる場合のコロナ発生消滅特性をポリエチレンテレフタレートを用いて検討したが，破壊はほとんど減衰振動波第1波で起こり，**第4表**に示すように減衰振動波破壊強度に及ぼす後続交流の影響はほとんどない。これは油浸プラスチックのインパルス比が油浸紙に比べて小さいので，減衰振動波でコロナが発生し，後続の交流で破壊に至るという現象は起こりにくく**第4表**のような結果になったものと考えられる。このような特性からプラスチックOFケーブルの場合には，スイッチングサージの累積によって絶縁劣化の起こることは，実用上ほとんどないものと考えられる。

3.3　複合絶縁の破壊特性

油浸プラスチックのインパルス強度を向上させるために材料の複合効果を検討した。まず最初**第5図**に示すように，2種の材料を内部，外部と分けて配置する方法について考える。おのおのの材料の

特性値を次のようにおく。ここでフィルムの重ね方はケーブルのテープ巻の場合と同様に絶縁層中にはバットギャップに相当する油膜が存在するものとする。

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$：誘電率（添字1，2は材料1，2に対応，以下同様）

E_1, E_2：インパルス強度，各材料を単独で油浸状態として測定した値である。この場合には，前述のように導体に接する油膜部から破壊が起こるので同一材料でも厚さによって異なった値を示すことになる。

E_1', E_2'：インパルス強度，電極に接する油膜が存在しない状態での値であって通常 E_1，E_2 よりかなり大きい値となる。絶縁層内部にはバットギャップに相当する油膜があるが，フィルム厚さの影響は E_1，E_2 に対するほど大きくない。

d_1, d_2：おのおのの厚さ

V：破　壊　電　圧

ここでは静電的な電圧分担のみ考え，一つの材料が破壊条件に達すれば必ず全体として破壊が起こるとして考察を進める。

なお，ここで $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ とする。

（1）　材料1を外側にする場合

（a）　$\varepsilon_2 E_2 < \varepsilon_1 E_1 < \varepsilon_2 E_2'$

この場合には材料1において先に破壊条件に達し，破壊は1より起こる。この場合の破壊電圧は(1)式のようになる。

$$V = E_1 \left\{ d_1 \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right) + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d \right\} \quad \cdots\cdots(1)$$

(1)式において $1 - \varepsilon_1/\varepsilon_2 < 0$ であるから，絶縁厚 d を一定とした場合破壊電圧を高くするには d_1 をできるだけ小さくする必要がある。

（b）　$\varepsilon_1 E_1 > \varepsilon_2 E_2' > \varepsilon_2 E_2$

破壊は材料2より起こり，破壊電圧は(2)式のようになる。

$$V = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} E_2' \left\{ d_1 \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right) + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} d \right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

なお，$d_2 \gg d_1$ とすれば(3)式のようになる。

$$V \simeq E_2' d \quad \cdots\cdots(3)$$

すなわち材料2が不変である限り材料1を種々変えても(3)式以上の破壊電圧は得られない。

一般には，材料2が低誘電率，低誘電体損の主材料であるので，これと組み合わせる材料としては，(a)または(b)の条件が成立するような誘電率と破壊強度の積の大きいものを用いれば複合の効果があらわれる。

（c）　$\varepsilon_2 E_2' > \varepsilon_2 E_2 > \varepsilon_1 E_1$

破壊は材料1より起こる。また当然複合絶縁の破壊電圧は材料2を単独で用いた場合より低くなり，この場合には両材料併用の実際的効果はない。

（2）　材料2を外側にする場合

破壊電圧を大きくするにはできるだけ d_2 を大きくする必要がある。ここで破壊の出発点は $\varepsilon_2 E_2 < \varepsilon_1 E_1'$ ならば材料2より，また $\varepsilon_2 E_2 > \varepsilon_1 E_1'$ ならば材料1より起こるがいずれの場合にも複合

第5表　P.E.と紙との組み合わせ絶縁モデルケーブルのインパルス破壊電圧

No.	絶縁構成 内側 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	外側 11	破壊電圧 (kV-回)	絶縁厚 (mm) 紙	絶縁厚 (mm) P.E.	破壊強度 (kV/mm) 紙	破壊強度 (kV/mm) R.E. or 油
1	×	B ×	×	×	×	×	×	B ×	×	W ×	×	⊖ 115-1	1.00	—	115	(171 oil)
2	B・ ×	×	×	×	×	×	×	×	×	W ×	B ×	⊖ 115-1	1.00	—	115	(171 oil)
3	B ○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	B・ ○	⊖ 145-5	—	1.00	—	145
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	B・ ○	⊖ 145-2	—	1.00	—	145
5	○	B・ ○	×	×	×	×	×	×	×	○	B・ ○	⊖ 120-1	0.64	0.36	99	156
6	○	○	○	×	×	×	B ×	×	×	○	B・ ○	⊖ 120-2	0.55	0.45	96	150
7	○	○	○	B ×	×	×	×	×	×	○	B ○	⊖ 120-3	0.55	0.45	96	150
8	B ○	○	○	×	×	×	×	×	○	○	B・ ○	⊖ 120-2	0.45	0.55	92	145
9	B ○	○	○	×	×	×	×	×	○	○	○	⊖ 115-5	0.45	0.55	88	139
10	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	B・ ○	⊖ 120-1	0.27	0.73	85	133
11	○	○	○	○	×	×	×	B ○	○	○	B・ ○	⊖ 125-4	0.27	0.73	89	139
12	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	B・ ○	⊖ 125-1	0.09	0.91	83	129
13	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	B・ ○	⊖ 130-3	0.09	0.91	86	134
14	B・ ×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	B・ ×	⊖ 155-1	0.18	0.82	106	164
15	B・ ×	○	○	○	○	○	○	B ○	○	○	×	⊖ 160-1	0.18	0.82	109	160
16	×	×	○	○	○	○	○	○	B・ ○	W ×	×	⊖ 160-5	0.36	0.64	114	184
17	×	×	○	○	○	○	○	○	B・ ○	×	×	⊖ 160-1	0.36	0.64	114	184
18	×	×	×	○	○	○	○	○	B・ ○	B・ ×	・ ×	⊖ 140-2	0.45	0.55	107	169
19	B・ ×	×	×	○	○	○	○	○	B ○	×	B ×	⊖ 160-2	0.45	0.55	123	194
20	×	W ×	×	×	○	○	○	B・ ○	×	×	×	⊖ 150-1	0.64	0.36	125	195
21	×	×	W ×	W ×	○	○	○	B・ ○	×	×	×	⊖ 145-2	0.64	0.36	121	189
22	W ×	B ×	×	×	×	B・ ○	○	×	×	×	×	⊖ 135-4	0.82	0.18	122	190
23	×	×	×	×	×	○	B・ ○	B・ ×	×	W ×	×	⊖ 135-4	0.82	0.18	122	190

注：（1）　×は紙，○はポリエチレンを示す。
（2）　フィルム厚さは紙，ポリエチレン共 100 μ。
（3）　Bはバット部貫通を示す。
（4）　Wはワックスの存在を示す。
（5）　・は破壊の出発点と推定される点を示す。
（6）　紙，ポリエチレンの誘電率をそれぞれ 3.6，2.3 とし，平等電界として破壊時における各材料の電界強度（破壊強度）を求めている。
（7）　電圧印加は 25 kV より開始し，5分間で 5 kV づつ昇圧した。

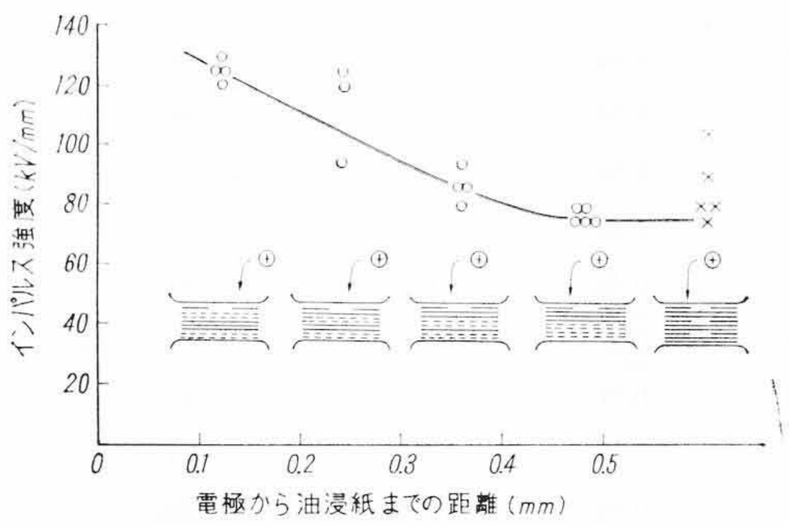
絶縁の破壊電圧は単独材料の破壊電圧より低くなり，複合絶縁とする実用上の効果はない。

第5表は100 μ紙と100 μポリエチレンの複合絶縁モデルケーブルを用いて複合効果を検討したもので，破壊強度および破壊の出発点を見ると，上記の結論がよく満足されていることがわかる。ポリエチレンをそれぞれ1，2で表わすと(1)(a)の条件すなわち$\varepsilon_2 E_2 < \varepsilon_1 E_1 < \varepsilon_2 E_2'$が成立していることが推定される。したがって**第5表**に示す紙とポリエチレンとの種々な組合せ方法のうち破壊電圧の最も高いのは，紙を少量電極に接して巻いた場合であり，実験結果もこれを裏付けている。

3.4　ストリーマ阻止効果

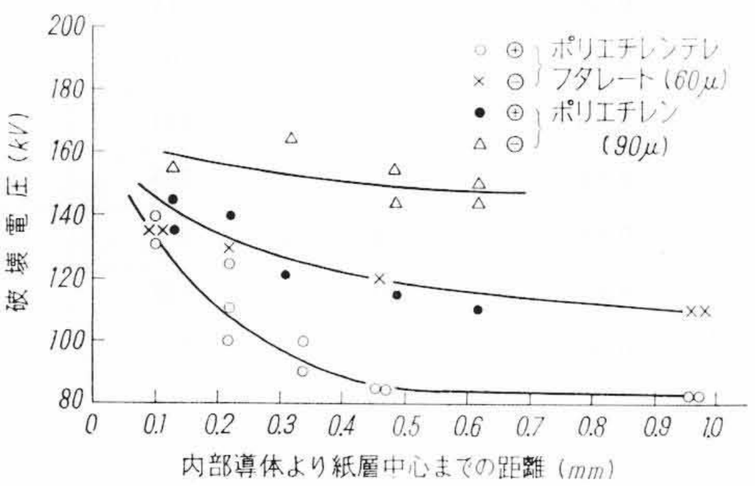
3.3節では，油中のイオン化が起これば直ちに全体としての絶縁破壊が起こるとはしていないが，固体材料中でのイオン化，すなわち固体中のストリーマが生ずれば直ちに全路破壊になるという考えで，静電的な電圧分担を考えてきた。しかし，多くの複合絶縁に関する実験結果を通じ，このような静電的考え方だけでは現象を理解するのに不十分であることが明らかになった。

油浸絶縁物では，電極に接する油膜で発生する放電が進展して絶縁破壊に至ると考えられるので，**第6図**では⊕放電の伸びを調べるために⊕側の電極に接するポリカーボネートに5 ϕの穴をあけ，放電の端緒となる油膜を作り⊖側の電極にはインパルス強度の高い40 μ紙を2枚もうけて⊖側電極からの放電の進展を防いだ。このような複合絶縁で，油浸紙の位置のみを変えると，各材料の受ける静電的ストレスは同じであるが，破壊強度は油浸紙が⊕電極から離れるほど下がる。**第7図**はモデルケーブルにより同様の効果を確認したものであり，紙の位置が0.5 mm以上離れれば，紙層そう入の効果はなくなる。**第8図**は油浸紙の代わりに誘電率の大きいポリフッ化ビニールを使用した場合の特性で紙と同様にポリフッ化ビニールの位置が電極から離れるほど，破壊電圧は下がる。この場合，他の低誘電率プラスチックと異なり，ポリフッ化ビニールは負極性インパルスに弱いことは注目に値する。



試料構成：　図中の実線は120 μ厚ポリカーボネート(4枚)，点線は40 μ厚油浸紙(4枚)

第6図　油浸紙の位置と破壊電圧の関係

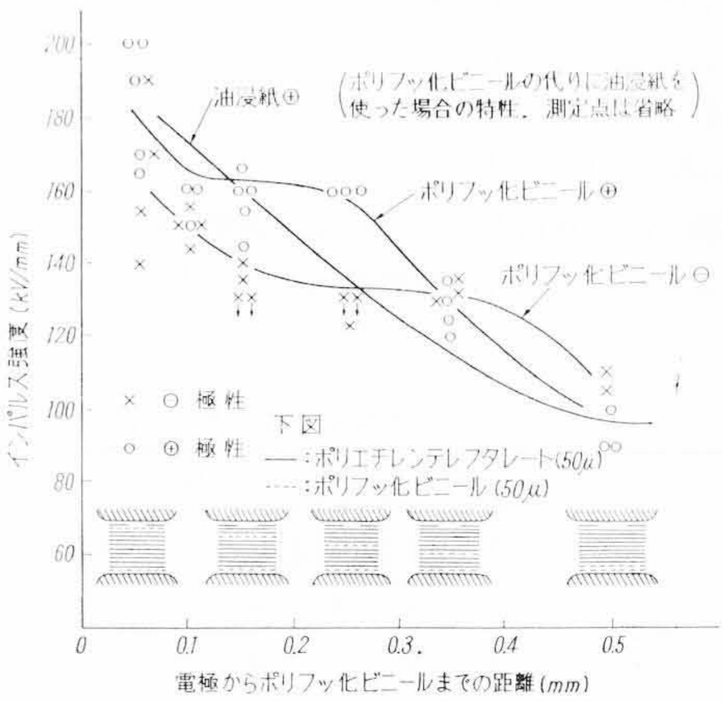


注：　紙層は40 μ厚のもの2枚である。ただし最外層には紙2～3枚を常に使用している。

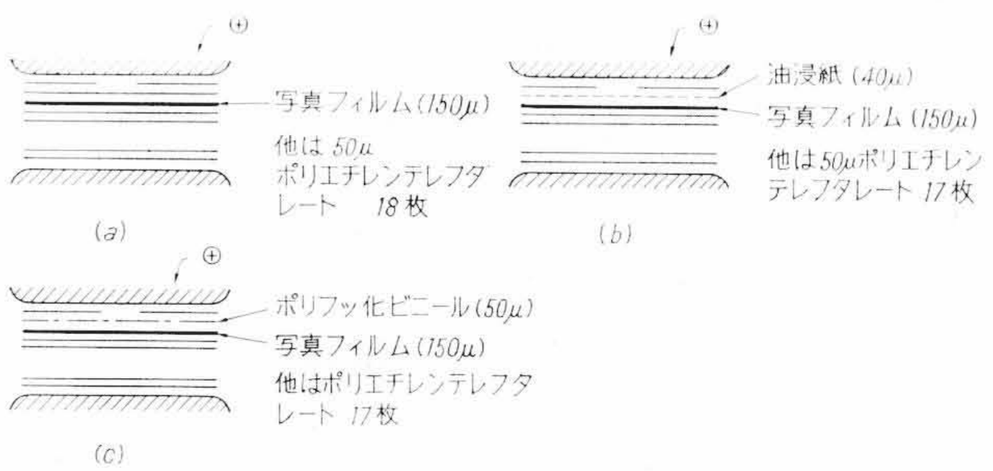
第7図　紙層位置とインパルス破壊電圧の関係

油浸紙やポリフッ化ビニールの位置によって破壊電圧が変わることは，定性的には次のように説明できる。すなわち油浸紙やポリフッ化ビニールは他の材料に比べて誘電率と破壊強度の積が大きく，ストリーマを阻止する能力が大きいが，電極から離れるほどストリーマ先端の電界強度が高くなってくるので，油浸紙やポリフッ化ビニール上でストリーマを阻止できにくくなり，このため破壊電圧は油浸紙またはポリフッ化ビニールが電極から離れるほど低下する傾向になる。

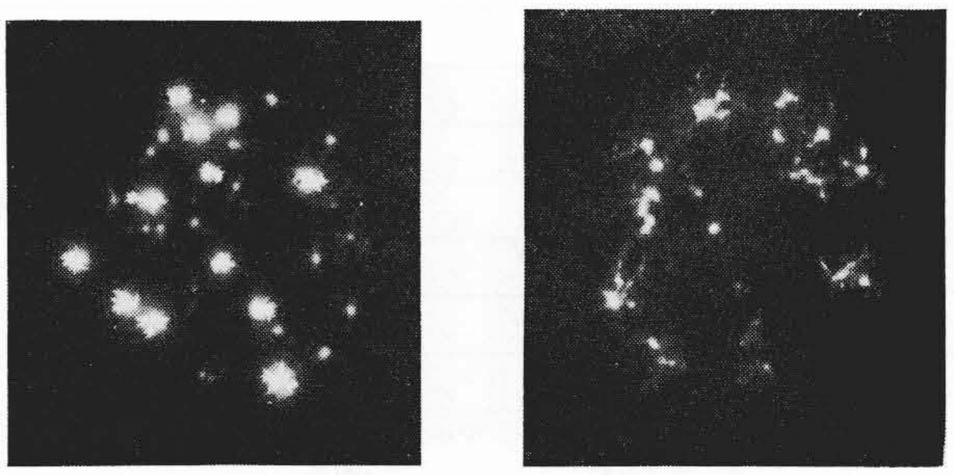
このような説明の妥当性を調べるには，電極に接する油膜から進展するストリーマをなんらかの方法で検知することが必要である。ここでは，絶縁層内の適当な個所に写真フィルムをそう入し，写真フィルムに放電が写るか否かによってストリーマの進展状態をしらべた。**第9図**はその実験法を示す。(a)の試料構成に50 μポリエチレンテレフタレートの破壊強度より高い電界(100 kV/mm)を加えると，**第10図**(a)に示すように写真フィルム上には，はっきり写った放電とボケた放電の2種が見える。ピンボケの放電は油膜で起こった放電で，光のみが写真フィルムに達したものと考えられ，



第8図　ポリフッ化ビニールの位置とインパルス強度の関係



第9図　ストリーマの進展を調べるための試料構成



(a)　　(b)

(a)　第9図(a)の試料構成で⊕ 100 kV/mm印加
(b)　第9図(b)の試料構成で⊕ 100 kV/mm印加

第10図　放　電　図　形

はっきり写った放電は，ストリーマがプラスチックを貫通して写真フィルム上まで達したものと考えられる。一方第9図(b)，(c)の試料構成では，(a)と全く同じ電圧を加えても，第10図(b)に示すようにピンボケの放電だけしか写らない。これは油浸紙またはポリフツ化ビニールでストリーマが阻止されるという仮説をよく裏付けている。ストリーマが貫通したと思われるポリエチレンテレフタレートをあとで取り出し，顕微鏡でしらべたが，穴は認められず少なくとも2μ以上の穴のないことは確かであり，ここで問題にしているストリーマは，交流電圧の実験で認められるような，いわゆるtreeingを作るような，大きな電流でなく，電流密度のきわめて小さい範囲のものである。

4. 結　　言

以上は，油浸プラスチック絶縁の基礎的なインパルス破壊特性および複合絶縁の破壊特性について検討したものであり，これによって，紙ＯＦケーブルに比べてすぐれたインパルス強度を持ったプラスチックＯＦケーブル開発の見通しが得られた。すなわち(1)薄いフィルムを使用したり，(2)電極近傍に誘電率と破壊強度の積の大きな材料を少量使用したり，(3)障壁効果を出すために，絶縁層内の適当な個所に誘電率と破壊強度の積の大きな材料をサンドイッチ状に入れるなどによりプラスチックＯＦケーブルのインパルス強度を紙ＯＦケーブルと同等またはそれ以上に向上させることができる。

またインパルス強度には極性効果がみられ，材質によってその極性が逆転することや，平等電界下でも，固体中を通ったストリーマが高誘電率または高絶縁破壊強度の障壁層で阻止されることなど破壊現象の面でも油浸プラスチック固有の特性を明らかにすることができた。

終わりに，本研究を進めるに当たり，ご指導を賜わった武蔵工大鳥山先生をはじめ，日立電線株式会社水上部長ほか関係者各位，日立製作所日立研究所河合部長，井上主任研究員らのかたがたに深謝申しあげる次第である。

参　考　文　献

(1) J. C. de Vos, J. Vermeer: CIGRE, No. 207 (1958)
(2) J. C. de Vos, J. Vermeer: CIGRE, No. 226 (1960)
(3) L. F. Hickernell, E. D. Eich: Elect, World., 155 No. 16 (1961)
(4) P. G. Priaroggia, G. Palandri: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs., 75 Pt III 1343 (1956)
(5) 小島，田中：電学誌 82, 576 (昭37-4)
(6) 加子，堤：昭37東京支部大 130
(7) B. Salvage: Proc. Inst. Elect. Engrs., 98 No. 15 (1951)

特　許　の　紹　介

特許第306875号

猪　瀬　文　之

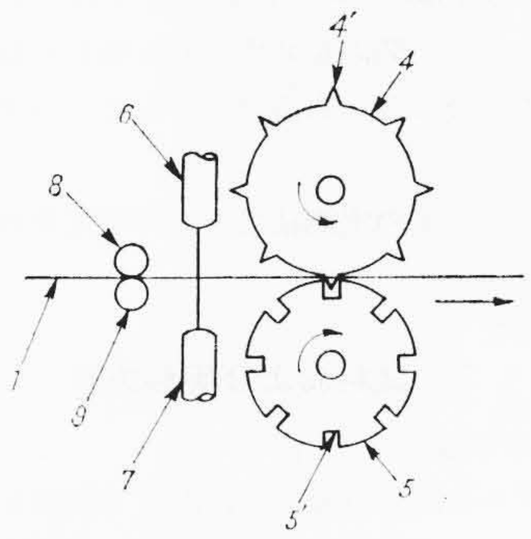
2　現　象　記　録　装　置

従来の記録計において，同一の記録紙に同時に複数の現象を記録せしめる場合には非常に複雑な機構を必要としたが，この発明では記録紙として透明のものを用い，その表裏両面にそれぞれ別個の入力で駆動される記録ペンを配置して，両者に記録を行なわせることによって非常に簡単な2現象記録装置を得たものである。

図において，1は透明あるいは半透明の記録紙でその両側には送り用の孔が穿れている。4，5は記録紙送り用ローラで突起4′とこれらとかみ合う孔5′を有しこれらが回転しながら記録紙1を移動させる。6は記録紙1の表面に記録する記録ペン，7は裏面の記録ペンでこれら両記録ペンは別個の入力で駆動される。8，9は記録紙の記録部近辺に対して十分な張力を与えるローラで記録ペン6，7の運行が円滑に行なわれる。

このよな記録装置は記録の読取りは記録紙1が透明あるいは半透明であるから一面から同時に両面における記録を読取ることができる。従って同一記録紙に対して同一時間軸，同一横軸上に2現象を簡単な機構によって明瞭に記録できるものであり，実用上顕著な効果がある。

(市　川)



特許第406129号 (特公昭37-17724)

佐　藤　興　吾・伴　野　正　美
田　内　省　二

半　　導　　体　　装　　置

本発明はGeあるいはSi pnp成長接合形トランジスタのベース電極の取付けに関する，成長接合形等の非常に薄く，均一なベース層に電極を取付けるためにはベース領域は抵抗接合，その他の領域には整流接合になるような成分の金属細線をボンデングする。

従来この目的にはSbを含んだAu線が用いられていた。しかしこれは，AuにSbが2%以上固溶しないことと，Sbの量が多くなるとAu線の細引(0.05 mφ)することが困難なためとでSbの含有率は0.6～1%程度であった。従ってボンディングによって形成される半導体基体の再結晶層のSbの濃度は1×10^{18} atoms/cm^{3}程度であり，これでは高周波トランジスタのエミッタ領域(不純物濃度約3×10^{18} atoms/cm^3)と再結晶領域とに完全な整流接合は形成し得なかった。

本発明は上記Sbに変えてAsを用い，その含有率を0.1～3%としたものである。Ge中におけるAsの偏析係数は0.03でSbのそれに対して約10倍大きく，再結晶層中に1.4×10^{19} atoms/cm^{3}の不純物濃度が得られ，エミッタ部と完全な整流接合ができる。

本発明方法の利点としては，降伏電圧の改善，コレクタ，エミッタ領域に対して完全な整流特性が得られ，従ってボンディング後の処理が省略でき，ボンディングによる歩留を非常に高かめられる等である。

(志　村)