油浸フィルム絶縁系の絶縁破壊

正 員 月 岡 淑 郎 (日立製作所)

正 員 柴 藤 延 彦 (日立製作所)

1. ま え が き

電力機器の高電圧化、大容量化の傾向に伴い、絶縁寸法を短縮して機器を小形化する研究が種々行なわれている。このため絶縁系としては絶縁破壊の強さの大きいものが必要となる。絶縁系が複合材料よりなる場合の絶縁破壊の強さは、それらの材料の組合せ方によって著しく左右される。例えば、油そのもの、あるいは紙、プラスチックなど、そのもので絶縁した場合の絶縁破壊の強さは一般に小さいが、油に紙あるいはプラスチックを組合せた油浸絶縁系にすることによって破壊の強さを大きくすることができる。

このような油浸積層系の絶縁についてはこれまで数多くの研究が発表されているが、破壊現象に関しては十分に解明されていない面が多い。油浸フィルム系の場合について考えると、その破壊の強さは一般にフィルムそのものの破壊の強さ、油部分の破壊の強さ、絶縁構成などによって左右されると考えられる。

交流あるいはインパルス電圧による絶縁破壊の場合に、静電的な電位分担で油部分にかかった電界で油が破壊すると、これが系全体の破壊を左右するという考え方があられる。この考えに従えば、油の誘電率とフィルムの誘電率が等しい場合に系の破壊の強さは最も大きくなる。これについては、Vermeer 氏らがポリスチレン、ポリフェニレンオキサイド、ポリカーボネートなどのフィルムとケーブル油、パラフィン油、シリコーン油、ヒマシ油などと組合せた場合のインパルス破壊の強さを測定し、フィルムの誘電率 ϵ_s と、油の誘電率 ϵ_L の比 ϵ_s/ϵ_L が 1 のときに、破壊の強さは最

も大きくなることを報告している⁽¹⁾。しかし、我々はこれまで種々の油浸プラスチックフィルムについてインパルス破壊の強さを測定した結果、破壊は油が破壊してもフィルム層に直ちに破壊が進展しないことがわかった。一方、油の破壊はストリーマ状となって進展すると考えることができる⁽²⁾⁽³⁾。そこで、油部分が破壊して発生したストリーマは系全体の破壊の主要な役割を果たしているが、このストリーマを阻止する効果はフィルムによって異なると考えた。特にポリスチレンフィルムはこの効果が著しい。

本報告はポリスチレンフィルムの優れたストリーマを阻止する効果(ストリーマ阻止能と記述する)について検討した結果と、油浸フィルム系の破壊を左右する因子について考察した結果をまとめたものである。

2. 実験方法

試料は 9 種のプラスチックフィルムおよびクラフト紙を用いた。厚さは 50 μm あるいはそれにできるだけ近い厚さのフィルムを使用した。これらのフィルムとその略号、厚さの実測値を第 1 表に示す。電極は第 1 図に示したように試料に接する部分の直径が 25 mm の黄銅製のもので、電極周囲からの破壊を防止するため周りをエポキシ樹脂で補強したものを用いた。この電極間に 10 cm 角に切断した上記のフィルム試料をはさんで、これをアクリル円筒容器の中にセットした。次にこの容器内を 0.1 Torr で 30 分間脱気した後、気密を破らずに、この容器内に同じく 0.1 mmHg の減圧下で 2 時間以上脱気処理した鉱油を注入し、フィルム試料を油含浸した。このときの油中水分量は 5~10 ppm、油中溶存空気は 0.2%、油の破壊の強さは JIS 電極で 59.9 kV/mm (交流実効値) である。油浸フィルム試料の破壊の強さは更に 30 分間 2 気圧に保った後、1 気圧にもどしてから測定した。上下の電極に接

Electrical Breakdown of Oil Impregnated Insulating Systems.
By Hideo Tsukioka, Member & Nobuhiko Sato, Member
(Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.).
月岡淑郎: 正員, 株式会社日立製作所日立研究所
柴藤延彦: 正員, 株式会社日立製作所日立研究所

第 1 表 各種プラスチックフィルム

Table 1. Various plastic films.

フ イ ル ム	略 名	厚 さ (μm)
ポリスチレン	P S	47
ポリプロピレン	P P	42
ポリエチレン	P E	50
ポリフェニレンオキサイド	P P O	119
ポリスルホン	PSL	74
ポリイミド	P I	26
クラフト紙	—	55
ポリカーボネート	P C	52
ポリエチレンテレフタレート	P E T	48
セルロースアセテート	C A	50

第 1 図 電極および試料構成

Fig. 1. Construction of electrodes and specimen.

する 2 枚のフィルムの中心には、いずれも直径 5mm の円形の穴をあけて油溝とし、この部分を通して破壊するようにした。インパルス電圧は正負の標準波形 $1 \times 40 \mu\text{s}$ のもので、試料の予想破壊電圧の 80% から 2.5kV ステップで昇圧して破壊させた。破壊電圧は電圧印加後次のインパルス電圧が印加されるまでの時間によって変わることが予想されるので、この効果を一定にするため電圧印加時間の間隔は 3 分とした。交流は電圧上昇速度 3kV/s で破壊させた。測定値は 3 ～ 5 個の平均値をとった。

3. 実験結果

〈3・1〉 各種プラスチックフィルムの油中破壊の強さ 第 2 表は各種プラスチックフィルムおよび比較のためのクラフト紙の油中破壊の強さの測定結果と、これから静電的な電位分担が成立つと仮定して破壊時油溝にかかる電界の強さを次の式により計算して求めた値を示したものである。

$$E_L = \frac{\epsilon_S}{\epsilon_L d_S + \epsilon_S d_L} V \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 E_L : 油溝にかかる電界の強さ (kV/mm), ϵ_L : 油の誘電率, ϵ_S : フィルムの誘電率, d_L : 油溝の長さ (mm), d_S : フィルム層の厚さ, (mm), V : 破壊電圧 (kV)

なお、フィルム試料の構成は原則として第 1 図に示

第 2 表 各種油浸プラスチックフィルムの交流およびインパルス破壊の強さ

Table 2. AC and impulse breakdown strengths of various plastic films in mineral oil.

フィルム	誘電率 (1MHz)	交 流 (rms)		インパルス (正)	
		破壊の強さ (kV/mm)	破壊時油溝にかかる電界の強さ (kV/mm)	破壊の強さ (kV/mm)	破壊時油溝にかかる電界の強さ (kV/mm)
P S	2.6	230	256	304	339
P P	2.2	217	217	255	255
P E	2.3	185	191	214	220
P P O	2.6	183	205	201	226
PSL	3.1	180	228	170	215
P I	3.3	170	218	170	218
クラフト紙	3.6	—	—	150	201
P C	2.9	134	160	121	144
P E T	3.0	112	136	113	137
C A	3.1	117	146	91	113

したように 6 枚構成とし、油溝間のフィルム厚さの合計は約 200μm である。PPO, PSL, PI の場合はフィルム 1 枚の厚さが他のフィルムとかなり異なる。そこで、これらの場合、油溝のついたフィルムには PET を用い、油溝間にそう入するフィルムはそれぞれ PPO が 2 枚、PSL が 3 枚、PI が 8 枚とし、油溝間の全フィルム厚さが 200μm に近い値になるようにした。

破壊時に静電的な電位分担が成立ち、油溝での破壊が直ちに全体の破壊につながると仮定すると、破壊時に油溝にかかる電界の強さはフィルムの種類によらず一定になるはずである。しかし、第 2 表に示した結果から著しく異なっていることがわかる。特にポリスチレンフィルムを用いた場合、破壊時油溝にかかる電界の強さは交流で 256kV/mm、インパルスで 339kV/mm に達し、他のフィルムの場合に比べて著しく大きい。なおインパルス、交流ともに破壊の強さはすべて波高値で表わした。また、破壊の強さは破壊電圧を油溝を含めた全絶縁厚さで割って求めた。

第 2 図は第 2 表で示した各種プラスチックフィルムの油中インパルス破壊の強さと破壊時油溝にかかる電界の強さとの関係を示したものである。破壊の強さの大きいものは、破壊時油溝にかかる電界の強さも大きい。一般に、第 1 図のような油溝を含む油浸フィルム系の破壊は、まず油溝で起ると考える。この油中での破壊はストリーマ状になって⁽³⁾ 反対電極側に進展するが、フィルム層は油の破壊が開始した程度の電界では容易に破壊しない。油溝でのストリーマ状の放電がフィルムの層を破壊するまで長時間持続するか、あるいは

第2図 各種油浸プラスチックフィルムのインパルス破壊の強さと破壊時油溝にかかる電界の強さ

Fig. 2. Impulse breakdown strength of various plastic films in mineral oil as a function of electrical stress imposed on oil layer when impregnant broke down.

は更に高い電界がかかって更に先端電界の大きいストリーマに発展しないと系全体の破壊に至らないと考えられる。第2図からフィルムがこのような油中で発生したストリーマによって比較的容易に破壊される場合と、そうでない場合があると考えることができる。

一方、油げきのインパルス破壊の強さは電極形状、油の状態によっても大きく左右されるが、Tropper氏の実験結果から考えて⁽⁴⁾本実験の場合は50~120kV/mmと考えられ、球対球電極、0.05mm間げきで実測した結果でも99.8kV/mmと同様な値であった。なお、交流の場合は84.7kV/mmであった。このような値から考えて、セルロースアセテートフィルム、ポリエチレンテレフタレートフィルムおよびポリカーボネートフィルムを用いた場合は、油溝の油が破壊すると破壊は油溝からフィルム層へと比較的容易に進展するものと考えられる。しかし、ポリスチレンフィルムを用いた場合は、油溝の油が破壊しても破壊は油溝からフィルム層へと簡単には進展しない。仮にセルロースアセテートフィルムを用いた場合のインパルス破壊の強さを油溝の油のインパルス破壊の強さと考えると、ポリスチレンフィルムを用いた場合は油溝に油の破壊電界の約3.7倍の電界がかかるようになって始めて破壊が油溝からフィルム層に進展することになる。交流の場合では2.2倍となる。これはポリスチレンフィルムの油中ストリーマを阻止する力が極めて強いためと考えられる。第2図に示した各種フィルムで、このような油中ストリーマ阻止能はセルロースアセテート、

ポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネートではほとんどないが、ポリイミド、ポリスルホン、ポリフェニレンオキシドと図の左下から右上に行くほど大きくなる。以下、ポリスチレンフィルムのストリーマ阻止能をポリエチレンテレフタレートフィルムと組合せて種々検討した結果について述べる。

〈3・2〉 ポリスチレンフィルムとポリエチレンテレフタレートフィルムの組合せ試料の油中破壊の強さ

(1) 油溝に接するフィルムの影響 第3図はポリスチレンフィルム(以下PSと略記)2枚とポリエチレンテレフタレートフィルム(以下PETと略記)2枚とを組合せた絶縁系で、図中に示したように2枚のPSがそれぞれ両電極に接して設けられた油溝に接するようにした場合とそうでない場合とのインパルスおよび交流破壊の強さを測定した結果である。比較のため、PET単独4枚およびPS単独4枚の場合についても示した。いずれの試料構成も上下対称なので正極性インパルスのみで評価した。PETにPSを組合せた場合のインパルスおよび交流破壊の強さはPET単独の場合より高くなり、PS単独の場合に近づくようになる。しかし、2枚のPSをそれぞれ上下の油溝に接するように置いた場合は、接しないように置いた場合よりインパルスおよび交流破壊の強さともに大きい。これはPSを油中ストリーマの発生個所近くに配置するほどPSのストリーマ阻止能が効果的になることを表わしているものである。また、PSのストリーマ阻止能は交流の場合にも顕著に認められるが、インパルスの場合より小さい。これはストリーマ阻止能がインパルスを印加した場合に起る電子的な破壊に対しては

第3図 PSとPETを組合せた系の油中破壊の強さ(その1:油溝に接するフィルムの影響)

Fig. 3. Breakdown strength of combination systems of PS and PET in mineral oil (Part 1: Effect of film put in contact with oil layer).

効果的であるが、交流のように油がガス化して連続的な放電が起る場合に対しては効果が小さくなるものとする。

(2) PS のそう入位置の影響 第4図は5枚の PET 層のうち1枚を PS に置きかえた場合に、PS のそう入位置がインパルスおよび交流破壊の強さに与える影響を調べた結果である。PS が正極側の油溝から遠ざかるにつれてインパルス破壊の強さは低下する。これは破壊が主として正極側の油溝でスタートするストリーマによって左右されることと、正極側の油溝で発生したストリーマは反対電極方向に PET 層を通過して進展するにつれて先端の電界が大きくなることを表わしているものとする。このため、油溝で発生したストリーマを阻止する効果は PS が正極側の油溝から

第4図 PS と PET を組合せた系の油中破壊強度 (その 2: PS のそう入位置の影響)

Fig. 4. Breakdown strength of combination systems of PS and PET in mineral oil (Part 2: Effect of position of PS).

第5図 PS と PET を組合せた系の油中破壊の強さ (その 3: PS の厚さの影響)

Fig. 5. Breakdown strength of combination systems of PS and PET in mineral oil (Part 3: Effect of thickness of PS).

離れるにつれて減少し、PET 4 枚約 200 μ 隔るとストリーマ阻止効果は非常に小さなものとなっている。交流の場合は、正、負の両極側の油溝で放電が起り、PS がそう入されていない電極側からの破壊によって左右されるため、PS をどの位置においても破壊の強さの向上効果は認められない。

(3) PS の厚さの影響 第5図は 15.5 μ の PS を電圧印加側の油溝に接するように、それぞれ 1, 2, 3, 4 枚を 48 μ の PET 3 枚と組合せて、PS の枚数がインパルスおよび交流破壊の強さに与える影響を調べたものである。この場合は、絶縁構成が非対称なので正負のインパルスを上部の電極に印加して測定した。正インパルスを印加した場合の破壊の強さは PS の枚数が増加するにつれて大きくなっている。これから、正極側からの油中ストリーマを阻止する効果は PS の厚さの影響を受け、PS の割合が大きくなるほど効果があることを示している。負インパルスおよび交流を印加した場合は、PS をそう入することによって破壊の強さは若干大きくなるが、PS の枚数にはほとんど影響しない。負インパルス印加に対しては既述の説明のように、十分成長した正側からのストリーマに対しては阻止する力が極めて小さいためである。交流の場合、電圧印加側および接地側の油溝における油は一定の電界で破壊するが、電圧印加側からの破壊に対しては油溝に接して PS がそう入されているので破壊の進展はある程度阻止できる。しかし接地側からの破壊に対しては、油溝に接して PS がそう入されていないので容易に破壊するものとする。

(4) 電極間の絶縁厚さを一定にした場合の PS の影響 第6図は油溝間のフィルム層全体が約 190 μ の一定厚さになるようにして PET と PS を種々組合せて重ね合わせた試料の正負インパルスおよび交流破壊の強さを示したものである。上下対称のものは正インパルスの場合のみの値で示した。電圧印加側の油溝に接して 15.5 μ の PS を 3 枚置いたときの正インパルス破壊の強さと、47 μ の PS を 1 枚置いたときの正インパルス破壊の強さは、前者の方がやや小さいがほぼ同じと見なし得る。また、両極の油溝に接して 15.5 μ の PS を 3 枚ずつ置いた場合と 48 μ の PS を 1 枚ずつ置いたときの正インパルス破壊の強さもほぼ同じと見なし得る。これから、PS 全体の厚さが同じであれば、PS 層を構成しているフィルム 1 枚の厚さの影響はほとんどないことがわかる。一方、電圧印加側の油溝から 15.5 μ の PS と 48 μ の PET を 1 枚ずつ交互に置いた場合の正インパルス破壊の強さは、電圧印加側の油溝に 15.5 μ の PS を続けて 3 枚置いた場合より

第 6 図 PS と PET を組合せた系の油中破壊の強さ (その 4: 電極間の絶縁厚さを一定にした場合の PS の影響)

Fig. 6. Breakdown strength of combination systems of PS and PET in mineral oil (Part 4: Effect of PS when total thicknesses of combination systems are nearly equal).

やや大きい。前者の場合は、接地側の油溝近くにも PS が置かれるようになるため負インパルス破壊の強さも大きくなっている。また、第 5 図に示したように正極側の油溝に接して PS の枚数を増加すると、全体厚さ約 60μ まではインパルス破壊の強さは大きくなるが、第 6 図のように電圧印加側の油溝に接して 47μ の PS を 2 枚入れた場合の正インパルス破壊の強さは PS を 1 枚入れた場合とほぼ同じである。しかし、両極側の油溝に接してそれぞれ 47μ の PS を 1 枚ずつ置くとインパルスおよび交流破壊の強さともに大きくなる。これは、ある程度まで正極側の PS 層を増して正極側から発生するストリーマを阻止すれば破壊の強さが大きくなるが、やがて飽和値となり、それ以上は負極側に PS をそう入して負極側からのストリーマも阻止してやらないと破壊の強さは大きくならないことを示しているものと考えられる。

以上の結果から、油浸フィルム絶縁層が破壊する際、ストリーマは正極側と負極側からそれぞれ反対電極方向に進展し、特に正極側から伸びるストリーマが破壊の主要な働きをすることが明らかになった。

4. 考 察

(4.1) 材料の誘電率が破壊の強さに与える影響

前述の実験結果から、油浸フィルム絶縁系で破壊を左右する大きな因子の一つとしてフィルム材料のストリーマ阻止効果が挙げられることがわかった。次に、従来の破壊時油にかかる電界が系全体の破壊を左右す

第 7 図 各種油浸プラスチックフィルムのインパルス破壊の強さと ϵ_s/ϵ_L

Fig. 7. Impulse breakdown strength of various plastic films in mineral oil as a function of ϵ_s/ϵ_L .

るという考え方で前述のデータを整理して見る。

第 7 図は第 2 表の実験値について油の誘電率 ϵ_L に対するフィルム材料の誘電率 ϵ_s の比 ϵ_s/ϵ_L とインパルス破壊の強さとの関係を調べたものである。一般的な傾向としては、図中の直線で示したように ϵ_s/ϵ_L が小さくなるほど破壊の強さは大きくなる傾向が認められる。しかし、PS, PC, PET, CA などはこの直線からかなりはずれ、特に PS は大きくはずれ。

これから、油浸フィルム絶縁系の破壊の強さは単純に ϵ_s/ϵ_L 、すなわち破壊時油溝にかかる電界で説明できないことがわかる。第 8 図は破壊の強さの ϵ_s/ϵ_L に対する依存性を更に詳しく調べるために、特に PS, PP および PET を、鉱油、アルキルベンゼン、大豆油、三塩化ビフェニルなどに含浸した絶縁系のインパルス破壊の強さと ϵ_s/ϵ_L との関係を調べたものである。電極および試料構成は、前述の第 1 図と同じにした。PS

第 8 図 各種液体中におけるプラスチックフィルムのインパルス破壊の強さ

Fig. 8. Impulse breakdown strength of plastic films in various liquids.

の場合、 ϵ_s/ϵ_L の低い値は PS が 3 塩化ビフェニルに溶けるため測定できない。第 8 図の結果から、各液体材料中における PS, PP, PET の破壊の強さは、 ϵ_s/ϵ_L が 1 に近づくほど大きくなるという傾向は認められない。一方、PET の場合についてみると、 ϵ_s/ϵ_L が小さくなるほど破壊の強さは大きくなる傾向が認められる。

以上の結果は、Vermeer 氏らの $\epsilon_s/\epsilon_L=1$ のときに破壊強度が最も大きくなるとする実験結果と異にするものである⁽¹⁾。我々は、上記の実験結果から、油浸フィルム絶縁系の破壊について、次のように考えている。すなわち、交流あるいはインパルスでの破壊はまず油溝で起るであろうが、このときの油溝の破壊は誘電率による分担電圧によって左右される。しかし、油溝が破壊しても直ちに全路破壊に進展するとは限らず、PET のようなフィルムは油が破壊すると比較的容易に全路破壊に進展するであろうが、PS の場合は油が破壊しても簡単には全路破壊に進展しない。これは、PS のような材料は油中ストリーマに対して大きな阻止効果をもつためと考えている。このストリーマ阻止効果は PS と PET を組合せた場合でも認められる。また、PET の表面にポリスチレン塗膜を設けた場合、あるいはスチレングラフト重合した場合でも認められる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

PS がなぜこのように優れたストリーマ阻止効果をもち、油中破壊の強さが大きくなるのか明らかでない。分子構造的な解釈の一つとして、ベンゼン環は電子エネルギーを吸収する働きがあるため、破壊の強さを大きくする方向に働くという考え方がある⁽⁷⁾⁽⁸⁾。しかし、PPO のようにかなりベンゼン環を含むものより、PP のようにベンゼン環を含まないものの破壊の強さの方が高い。また PS は炭素結合を骨格として周りに炭素原子一つおきごとにベンゼン環が結合した線状分子から成立っている。このために PS の破壊の強さは大きいと考えることもできよう。しかし、第 3 表に示したように、油浸していない PS の真性絶縁破壊

第 3 表 PS, PE, PET および PC の
真性破壊の強さ⁽⁹⁾

Table 3. Intrinsic breakdown strength⁽⁹⁾ of
PS, PE, PET and PC.

フ イ ル ム	破壊の強さ (kV/mm)
P S	600
P E	550
P E T	550
P C	700

測定温度: 25°C

の強さ⁽⁹⁾は特に大きいとは言えない。従って、ベンゼン環の電子エネルギー吸収によって破壊を説明することは困難である。また、非晶質部分が多くなると破壊の強さは大きくなると言われているが⁽⁹⁾、第 2 表に示したプラスチックフィルムの中では PC のようにほとんど非晶質で占められるものでも破壊の強さは小さく、また PE, PP のように結晶質を多く含むものでも破壊の強さは大きいので、この場合材料の結晶性で材料相互間の破壊の強さを比較することは余り意味がないと考えられる。我々は PS が特に油中で破壊の強さが大きいのに注目し、フィルムが油から受ける影響について検討した。

まず PS, PP, PE, PC, PET の鉱油の吸油性と油中インパルス破壊の強さとの関係について調べた。第 9 図は 30°C, 80°C, 100°C の鉱油中にそれぞれ 7 日間浸漬した後の吸油量と油中インパルス破壊の強さとの関係を調べたものである。吸油量はフィルムを油に含浸した後、フィルム表面に付着した油をろ紙でよく拭いた後のフィルムの重量増加で表わした。5 種のフィルムだけの結果であるが、油中破壊の強さは油を吸いやすいフィルムほど大きくなっている。これから、プラスチックフィルムの油中破壊の強さとフィルムの吸油量とは関連のあることがわかる。PS の 100°C, 80°C の場合は PS が油に溶解するので PS の吸油量は測定できない。次に、材料の相溶性を表わす尺度の一つとされている溶解能パラメータ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾ (SP 値)を取上げ、各種フィルムの SP 値と油中インパルス破壊の強さとの関係を検討した。第 10 図はその結果である。

SP 値は分子構造からの計算値である。この計算値はフィルムの結晶性により多少異なるが、PS を除いた 8 種のフィルムは SP 値が小さくなるに従って破壊の強さが大きくなる傾向が認められる。油の SP 値と

第 9 図 各種プラスチックフィルムの吸油量
と油中インパルス破壊の強さ

Fig. 9. Impulse breakdown strength of
various plastic films in mineral oil as a
function of the oil absorption value.

第 10 図 各種プラスチックフィルムの SP 値と油中インパルス破壊の強さ

Fig. 10. Impulse breakdown strength of various plastic films in mineral oil as a function of the SP value.

フィルムの SP 値の差が小さいほど、そのフィルムの油中破壊の強さは大きくなると言われているが⁽¹⁰⁾、鉱油の SP 値は約 8 なので第 10 図からもその考え方は大体当てはまることがわかる。ただし、PS だけはこの傾向からややはずれており、SP 値の他に何らかの因子も含めて考えねば PS の油中破壊の強さがなぜ異常に大きいのか説明できない。PS と油の界面現象の一つであるぬれについて調べたが、鉱油の各種プラスチックフィルムに対するぬれの程度を表わす接触角は 165~170°C で大きな差はない。界面的な問題については今後更に検討して、PS の油中破壊の強さとの関連性の有無について確かめる必要があると考えている。

以上、プラスチックフィルムが油から受ける影響と油中インパルス破壊の強さとの関係を調べた結果、破壊の強さはプラスチックフィルムの吸油性、相溶性と関連のあることがわかった。しかし、PS だけは相溶性で説明できず、吸油性と密接な関係のあることがわかった。これは油がフィルム材料の分子中に拡散し、フィルムの分子間を油の分子で満たすことがストリーマの進展を妨げるのに役立ち、このために油中破壊の強さが大きくなるのではないかと考えられる。

5. ま と め

油浸フィルム絶縁系について、絶縁破壊現象を検討した結果をまとめると、下記ようになる。

(1) 破壊時正極および負極からそれぞれ反対電極方向にストリーマが進展するが、破壊の強さは主として正極から負極に向かって進展するストリーマによって左右される。

(2) 油中ストリーマ阻止能は PS フィルムが極めて大きく、これを正極側近くに置くほど破壊の強さは大きくなる。

(3) PS フィルムを正極側と負極側近くにそれぞれ同時に置くと、破壊の強さは正極側近くだけに置いた場合より更に大きくなる。

以上のことから、破壊は静電的な誘電率による分担電圧によって油にかかる電界が油の破壊の強さに達したとき、系全体の破壊が起るという考え方だけでは説明できないことがわかった。フィルムそのものの油中の耐ストリーマ性を考慮に入れねばならない。フィルムによってなぜ耐ストリーマ性が異なるか明確ではないが、フィルム内への油の浸透性が大きく寄与しているものとする。

終りに、本実験に協力していただいた日立研究所 佐藤盛一氏に厚くお礼申し上げます。

(昭和 51 年 3 月 29 日受付, 同 52 年 3 月 30 日再受付)

文 献

- (1) J. Vermeer & W. Boone: Proc. IEEE **114**, 981 (1967)
- (2) A. M. Sletten & T. W. Dakin: IEEE Trans. Power Apparatus Syst. **PAS-83**, 457 (1964)
- (3) Liao T. W. & Anderson J. G.: Trans. Amer. Inst. Elect. Engers **72**, Part I, 641 (1953)
- (4) H. Tropper: J. Electrochem. Soc. **108**, 144 (1961)
- (5) 小島・多田・田中: 電学誌 **83**, 1403 (1963)
- (6) 月岡: 昭 45 電気学会東京支大 **96**
- (7) 犬石・成・加藤: 昭 34 電気四学会連大 **326**
- (8) 家田・篠原・小倉・盤井: 昭 35 同上 **110**
- (9) S. Whitehead: Dielectric Breakdown of Solid (1951)
- (10) 鳥居, 他: 昭 46 電気四学会連大 **298**
- (11) P. S. Small: J. Appl. Chem. **3**, 71 (1948)
- (12) I. Skeist: "Handbook of Adhesive" Reinhold, N. Y.
- (13) 黄: 「接着化学と実務」高分子化学刊行