

論 文

## 背後電極をもつ絶縁物の交流沿面フラッシュオーバ電圧に 界面活性剤が及ぼす影響

山野 芳昭\*, 小林繁雄\*, 高橋雄造\*

(1985年1月8日受理)

### Influence of Surfactants on AC Flashover of the Specimen Having a Back-side Electrode

Y. YAMANO,\* S. KOBAYASHI\* and Y. TAKAHASHI\*

(Received January 8, 1985)

AC surface flashover voltage in air (ACFOV) is measured with a cylindrical insulator having a back-side electrode. The insulating surface near the electrode edge is partially painted with surfactant. The insulating material used is polyvinyl-chloride heat shrinkable tube. The surfactants painted are as follows: Neogen T (anionic), Catiogen L (cationic) and Tween 20 (non-ionic). ACFOV measured depends on the type of the surfactant painted. With the Neogen-painted, ACFOV increases about 1.4 times higher than that of the non-painted at the electrode distance of 140 mm. With the other painted specimens, ACFOV is almost the same as that with the non-painted. These experimental results cannot be explained sufficiently by the decrease in the static field due to the increase of surface conductivity of the painted part. The charge generated by AC partial discharge accumulates on the insulating surface with high density before the flashover occurs. The distribution of the accumulated charge on the surface differs between the Neogen-painted and the other specimens. The higher ACFOV of the Neogen-painted may be caused by the decrease in the field enhancement due to the accumulated charge.

### 1. はじめに

高電圧機器において、絶縁物表面と高電圧導体とが接する部分に沿面部分放電が発生すると、絶縁物表面が劣化し、絶縁耐力の低下をまねくことが知られている。そればかりではなく、沿面部分放電が長時間発生しつづけると、高電圧導体近傍の絶縁物表面に、部分放電によって作られた電荷が高密度に蓄積してゆき、導体近傍の静電界をみだすことになる。とくに、交流沿面部分放電の発生および進展は蓄積電荷による電界歪の影響を強くうけることが報告されている<sup>1,2)</sup>。したがって、絶縁物表面に蓄積した電荷は、沿面絶縁耐力を低下させる可能性を十分にもっているといえる。しかし、沿面部分放電によって作られた蓄積電荷と沿面絶縁耐力との関係を詳しく検討した報告例はきわめて少ない。

このような理由から、筆者らは、大気中の交流沿面部分放電発生下における絶縁物上の蓄積電荷と交流沿面フラッシュオーバ電圧 (ACFOV) との関係を研究してきた<sup>3-5)</sup>。その結果、(1)背後電極を有する円柱状絶縁物を用いて、交流印加電圧を一定速度で上昇させてゆくと、フラッシュオーバ前に絶縁物上には最大約  $5 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2$  の「正電荷」が交流沿面部分放電によって蓄積する。(2)この「正極性蓄積電荷」によって高電圧電極近傍の電界強度は、交流印加電圧極性が「正」のときに、蓄積電荷が存在しない場合と比べて 2 ~ 3 倍強くなることがわかった(一般には正電荷による電界歪は交流印加電圧極性が「負」のときに強くなると考えられているが、実験に用いた試料に関しては、蓄積電荷分布の状態および背後電極の存在等の理由で、交流印加電圧極性が「正」のときのほうが電界歪が強くなる<sup>3)</sup>)。この蓄積電荷による電界の歪によって正リーダ状沿面放電の発生が促進され、その結果 ACFOV が低下すると考えられた。

逆に考えると、以上の実験結果は、蓄積電荷分布を何らかの方法で変化させて、蓄積電荷が電極先端の電界に与える影響を少なくすることができれば、ACFOV が上

\* 東京農工大学工学部電気工学科 (184 小金井市中町 2-24-16)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, 24-16, Naka-machi 2-chome, Koganei, 184 Japan

昇することを示唆している。そこで本研究では、背後電極を有する円柱状絶縁物を用い、界面活性剤を電極先端近傍の絶縁物表面に塗布することによって、蓄積電荷分布を変化させて ACFOV を上昇させることを目的とした。

一方、界面活性剤にはイオン性と非イオン性とがあり、とくにイオン性界面活性剤は界面活性基のもつイオンの極性によってアニオニン系とカチオニン系とに分けることができる。これらの界面活性剤を塗布した場合には、界面活性剤中のイオンが沿面部分放電の発生強度・形態に影響をおよぼし、たんなる半導電性膜を塗布した場合とは異なる効果が現われることが考えられる。筆者らは、橋わたし型試料<sup>4-6)</sup>に界面活性剤を塗布すると、界面活性剤の中に含まれているイオンによって交流正・負沿面部分放電の発生強度が変化するという実験結果を得ている<sup>6)</sup>。本実験で扱う絶縁物は、橋わたし型試料とは形状が大きく異なり、電極近傍の電界も、フラッショーバに至るプロセスも両者の間で大きく異なると考えられる。しかし、背後電極を有する絶縁物においても界面活性剤を塗布することにより、何らかの形で交流沿面部分放電の強度が変化し、それによって蓄積電荷分布を変化させることができるものと期待される。

## 2. 実験方法

### 2.1 試 料

図1に本実験に用いた試料の形状を示す。背後電極(B)としては直径 20 mm の黄銅棒を用いた。絶縁物(D)は厚さ 0.85 mm の塩化ビニル(PVC)製熱収縮チューブ(三菱樹脂(株)製)であり、これを 2枚重ねにして背後電極(B)のまわりに装着させた。したがって試料の絶縁物の厚さは 1.7 mm である。なお、背後電極(B)と絶縁物(D)とは密着させてある。絶縁物表面上に 2枚のアルミテー

プ(厚さ 50 mm、幅 30 mm)を取り付けた。アルミテープの一方(E1)に交流高電圧を印加し、それに対向するアルミテープ(E2)と背後電極(B)とは接地されている。本実験では、この 2枚のアルミテープ間(E1-E2 間)の交流沿面放電について検討した。ベーカライトの栓(C)はアルミテープ(E1)と背後電極(B)とが直接フランジオーバしないようにするために取り付けたものであり、図1のPは界面活性剤等を塗布する部分である。実験に際しては、試料は金属板を敷きつめた床から約 80 cm の高さに垂直に立てた。

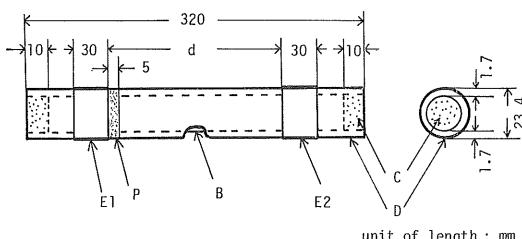
### 2.2 界面活性剤および半導電性ワニス

本実験で用いた界面活性剤は次の 3種類である。①ネオゲンT(アニオニン系)：アルキルベンゼンスルホネート(第一工業製薬)。②カチオーゲンL(カチオニン系)：アルキルトリメチルアンモニウムクロライド(第一工業製薬)。③トゥィーン 20(非イオン系)：ポリオキシエチレンソルビタンモノラウレート(花王石鹼)。以下これらの界面活性剤をそれぞれネオゲン、カチオーゲン、トゥィーンと呼ぶことにする。これらの界面活性剤を 0.005~0.06 mol/l の水溶液にして電極先端付近の試料表面(図1のP)にハケで塗布した。塗布した試料は大気中で 3 時間以上乾燥させた後に実験に使用した。

実用の高電圧機器においては、半導電性物質による静電界緩和効果を利用して、沿面部分放電の発生を防止させる方法がよく用いられている。そこで本研究では、界面活性剤塗布の効果と半導電性物質による静電界緩和の効果との相違を明らかにするため、市販の部分放電防止用半導電性ワニスを薄く塗布した試料についても実験を行なった。半導電性ワニスとしてはシリコンカーバイド混入のポリエステル(Swiss Insulating Works 製、No. 8002)を用いた。ワニスを試料表面へ塗布する場所は、界面活性剤の塗布箇所と同じ部分であり(図1のP)，塗布厚は約 0.5 mm である。

### 2.3 ACFOV の測定

ACFOV-電極間隔特性を上昇法(4.2 kVp/s 一定)で測定した。印加電圧の上昇率を一定にするために、電圧調整用トランスをモータードライブにしてある。上昇法で求める場合の ACFOV は、フランジオーバに至るまでに発生する交流沿面部分放電の発生形態および絶縁物表面に帯電・蓄積する電荷(交流沿面部分放電によって作られたもの)の状態に強く影響をうけると考えられる。電圧上昇率を極端に速くすると(たとえば 10 kVp/s)，交流沿面部分放電の発生時間が短いため、電荷が十分に試料表面に蓄積しない可能性がある。逆に電圧上昇率を遅くすると、試料表面が部分放電に長時間さらされるとにより、絶縁物表面の部分放電劣化が ACFOV に影



B : back-side electrode (connected to ground), C : bakelite plug, D : insulating material (PVC heat shrinkable tube), E1 : high voltage electrode (aluminum tape, 50 μm thick), E2 : counter electrode connected to ground (aluminum tape, 50 μm thick), P : surfactant-painted area.

図1 試料形状

Fig. 1 Configuration of specimen.

響を与える可能性がある。予備実験を行なった結果、電圧上昇率を約3~5 kVp/sの間で変化させ1分間隔で10回以上フラッシュオーバさせても、ACFOVの値に有意差は生じなかった。また、電圧上昇率が5 kVp/s以下であれば、交流沿面部分放電の発生形態と蓄積電荷分布の状態は、一定交流電圧が1分間程度印加されている場合と比較しても、きわ立った違いはみられなかった。したがって、電圧上昇率が4.2 kVp/sという特定条件で得られた実験結果をもとに、「交流沿面部分放電によって発生した蓄積電荷の分布の変化とACFOVとの関係」を議論しても、一般性をそこなうものではないと考えられる。

ACFOVは、電極間隔0~160 mmまでを、20 mmおきに測定した。一つの電極間隔について4本の試料を用いた。そして、1本の試料については1分間隔で10回フラッシュオーバさせ、これらすべての測定についての平均値を求め、その値をACFOVとした。

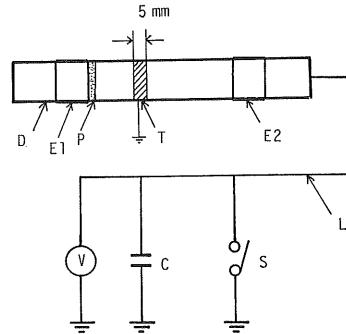
#### 2.4 交流沿面部分放電光の観測と蓄積電荷分布の測定

これら2種の実験に際しても、試料への電圧印加方法は前記のACFOVの測定と同じく設定した。

交流沿面部分放電光を、UVレンズ(F4.5)を装着したカメラを用い、印加電圧が所要の値に達したときに撮影した。また交流沿面部分放電光のうち正あるいは負の半周期(0~πまで)による放電光のみを別々に撮影するために、カメラレンズの前に同期モータで回転する円板スリットを設けた。これにより、1秒間に発生する正あるいは負放電光を別々のフィルムに多重撮影した。したがって、露光1秒間に50回発生する正あるいは負放電光がフィルム上に多重露光されることになる。撮影したフィルムはASA 3600相当の感現像を行なった。

絶縁物試料表面の蓄積電荷分布の観測にはHullの帶電粉<sup>7)</sup>によるダストフィギュア法を用いた。この方法で絶縁物上の正、負の帯電部分をそれぞれ付着粉色で識別できる。

さらに、絶縁物上に蓄積する電荷密度分布の測定を行なった。この測定方法の詳細は前報<sup>3)</sup>に述べてあるので、ここではその概略のみを説明する。図2は測定装置の概略図である。図中の導線Lは背後電極につながっている。接地された金属テープ(図中のT)を帶電した試料表面に接触させると、コンデンサCには接触で失われた電荷量と同量で反極性の電荷が誘導される。この誘導電荷量は金属テープが接触した部分に帶電していた正電荷量と負電荷量との代数和にほぼ等しいであろう。本実験で測定する試料表面には、ダストフィギュアの実験結果の項で述べるとおり、ほぼ単極性の電荷が試料の円周



T: metal tape connected to ground, C: condenser: 0.02 μF, D: electrified specimen, E1: high voltage electrode, E2: counter electrode, P: surfactant-painted area, V: universal electro-meter, L is connected to the back-side electrode. S is closed after the measurement.

図2 蓄積電荷密度分布の測定用回路

Fig. 2 Schematic diagram circuit for an estimation of distribution of the accumulated charge density.

方向にはほぼ均一に蓄積している。したがって、この誘導された電荷量を金属テープの接触部分の面積で割れば、その部分の試料表面の平均電荷密度が求まる。そして、金属テープの接触個所をかえることによって、試料表面の蓄積電荷密度分布の傾向を求めることができる。

以上述べたすべての実験は、温度20~25°C、相対湿度45~55%の大気中で行なわれた。

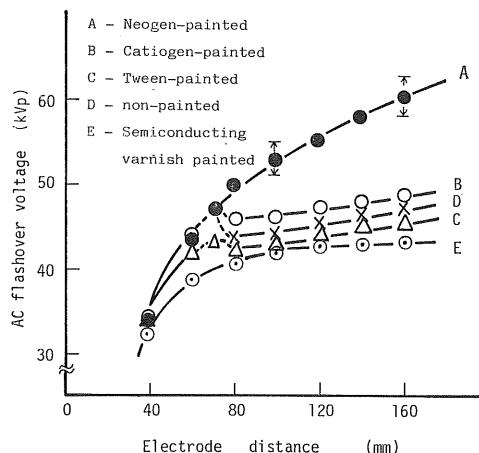
### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 ACFOV および部分放電光の界面活性剤依存性

##### 3.1.1 ACFOV 特性

図3にACFOVと電極間隔との関係を示す。ACFOVは塗布する界面活性剤の種類によって変化することがわかる。電極間隔が60 mmから160 mmの範囲で、界面活性剤塗布試料のACFOVは、(ネオゲン)>(カチオーゲン)≈(未塗布)≈(トゥィーン)の順に低くなる。電極間隔が140 mmにおいて、ネオゲン塗布試料のACFOVは未塗布に比べて1.4倍程度高くなる。前報<sup>3)</sup>で報告したように、未塗布試料では電極間隔の増加にともないACFOVは著しい飽和特性を示す。さらに、電極間隔が70~80 mm程度のところにACFOVの極小値(不連続点)がみられる。カチオーゲン、トゥィーン塗布試料も著しい飽和特性と、わずかではあるが極小値がみられる。一方、ネオゲン塗布試料のACFOVには著しい飽和特性ならびに極小値は観測されなかった。

半導電性ワニスを界面活性剤塗布と同じ場所に薄く塗布した試料のACFOVは未塗布試料のACFOVに比べ



The aqueous solution of the surfactants applied : 0.015 mol/L.

図3 ACFOVと電極間隔との関係

Fig. 3 Relation between ACFOV and electrode distance.

て上昇することはない。

カチオーゲン、トゥイーン、未塗布試料のフラッシュオーバーはついに交流印加電圧が正の位相時に発生する。またフラッシュオーバー前には、リーダ状沿面放電の発生が肉眼で観測できる。ネオゲン塗布試料では、このリーダ状沿面放電は観測できない。

図4はACFOVと界面活性剤を塗布した部分の表面

抵抗率との関係を示したものである。ACFOVは塗布部分の表面抵抗には依存せず、むしろ塗布した界面活性剤の種類に依存している。塗布部分の表面抵抗率は塗布する界面活性剤水溶液の濃度をかえることで変化させた。しかし、トゥイーン塗布部分の抵抗率は他の界面活性剤塗布部分のように広範囲に変化させることはできなかった。これらの表面抵抗の値は、界面活性剤を表面全体に塗布した円柱状絶縁物に電極間隔 10 mm でアルミテープ電極をまきつけ、DC 1 kVp を印加してから 1 分後の測定値である。なお伝導電流-印加電圧特性は、部分放電が発生していない状態では、ほぼオーミックな特性を示した（表面抵抗測定時には部分放電は発生していない）。

本実験で用いた界面活性剤塗布試料の沿面部分放電開始電圧は 7~8 kVp である（界面活性剤の種類による部分放電開始電圧の変化は試料間で生じる測定値のばらつきの範囲内にある）。この値は未塗布試料の部分放電開始電圧より 1~2 kVp 程度高い。界面活性剤塗布による部分放電開始電圧の上昇は、界面活性剤塗布により塗布部分の表面抵抗が低下し、電極先端の静電界が少し緩和されることによるとみなせる。

しかし、ACFOV の界面活性剤塗布による変化は、単に塗布部分の表面抵抗の低下による効果だけでは説明はつかない。もし、表面抵抗の低下による効果のみに関係しているのであれば、ACFOV は界面活性剤の種類に依存せず、塗布部分の表面抵抗に依存するであろう。半導電性ワニスを静電界緩和効果が十分に発揮できるように塗布した場合には、電界緩和効果および破壊電圧は塗布部分の抵抗に依存するという報告がなされている<sup>8,9)</sup>。しかし、図4に示したように、ネオゲン塗布試料とカチオーゲン塗布試料では、塗布部分の表面抵抗値が同じ程度であっても、それぞれの ACFOV 値は異なっている。以上のことから、ネオゲンを塗布した試料の ACFOV が上昇する理由は、一般に広く用いられている半導電性ワニスの場合のように、電極先端の静電界緩和にもとづく部分放電発生の抑制によるものとは考えられない。

### 3.1.2 交流沿面部分放電光

図5にネオゲン塗布試料、未塗布試料、半導電性ワニス塗布試料の交流沿面部分放電光を示す。カチオーゲン塗布試料とトゥイーン塗布試料の放電光の特徴は未塗布の放電光と似ている<sup>10)</sup>ので省略した。未塗布試料の交流正沿面部分放電光には正沿面リーダ状放電光（図5のL）が観測される。正リーダ状沿面放電光はカチオーゲン、トゥイーン塗布試料においてもときどき観測されるが、ネオゲン塗布試料では観測されない。

交流負沿面部分放電光は電極先端から一様にグロー状

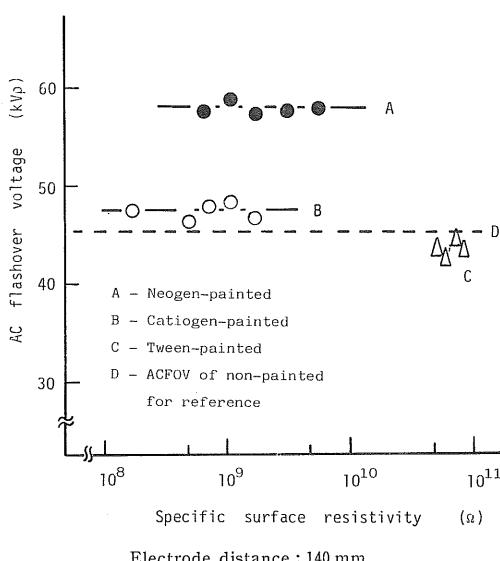
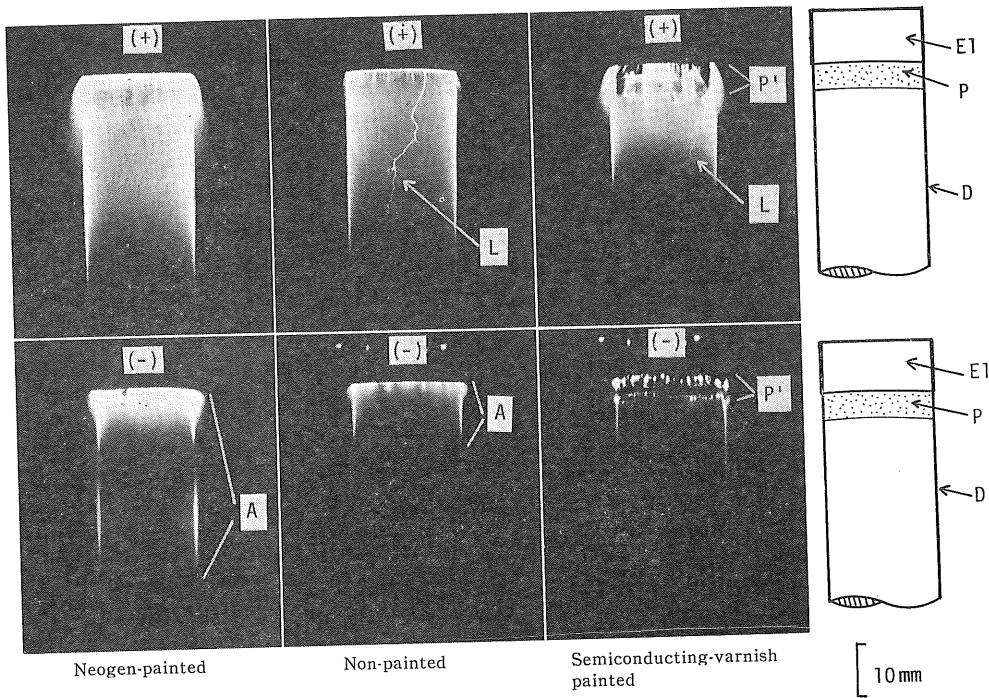


図4 ACFOVと界面活性剤塗布部分の表面抵抗率との関係

Fig. 4 Relation between ACFOV and the surface resistivity of the painted part.



A : area exposed by luminescence at the negative phase, L : positive surface leader-like luminescence, P : surfactant-painted area, P' : area painted with the semiconducting-varnish, D : insulating material, E1 : high voltage electrode, The aqueous solution of the surfactant applied : 0.015 mol/l, electrode distance : 140 mm. The applied voltage at the photographing : 49 kVp, The AC luminescence at each positive or negative half phase during 1 s is photographed individually. The luminescence of Catiogen-painted and of Tween-painted show almost the same characteristics as that of non-painted.

図5 交流沿面部分放電光

Fig. 5 Luminescence of AC surface partial discharge.

の発光が観測される。ネオゲン塗布試料が負部分放電光にさらされる部分(図5のA)は、他の界面活性剤塗布試料および未塗布試料に比べて広い。

### 3.2 界面活性剤塗布効果と半導電性のワニス塗布効果との違い

半導電性ワニスを界面活性剤塗布の場合と同じ場所に薄く塗布した試料の交流正沿面部分放電光は、ワニスを塗布した部分からも局部的に発生しているのが図5で観測される。これは、塗布部分が薄いために電界緩和効果が十分に発揮されず、ワニスが電圧印加により熱的破壊をうけて発生したものと考えられる<sup>8,9)</sup>。観測の結果、ワニス塗布試料の場合には、図5のようにワニス塗布部分から局部的に部分放電が発生すると、その後のわずかな電圧の上昇で正沿面リーダーが発生し(図5のL) フラッシュオーバへ移行してしまう。図3に示すようにワニス塗布のACFOVが未塗布に比べて上昇しないのはこのためであろう。半導電性ワニスを用いて、ACFOVを上昇させるには、電極先端を完全におおいかぶせるように厚くワニスで塗布して部分放電の発生電圧をできる限り上昇させることが必要であると考えられる。

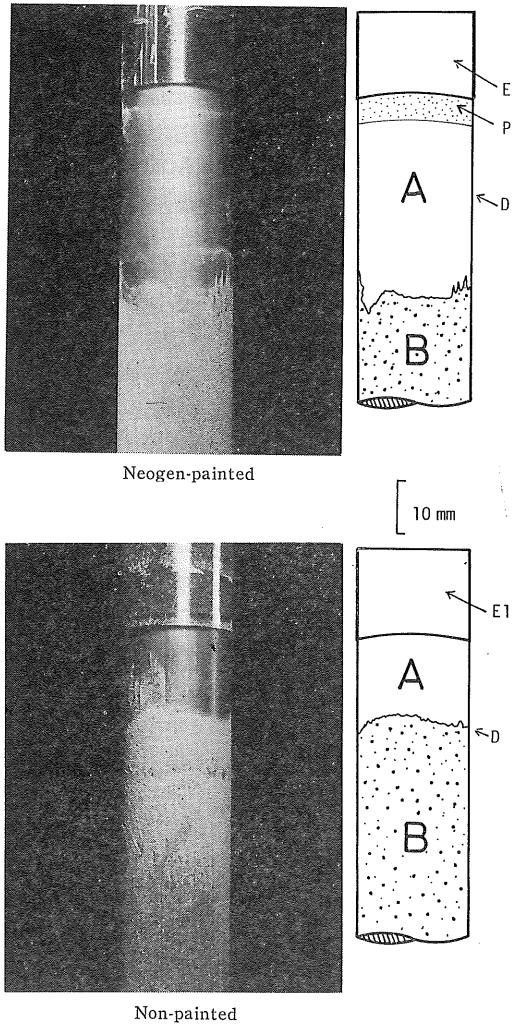
実際には、ワニスの肉厚を5 mm程度に塗布すると、部分放電の発生が抑制され、ACFOVが未塗布に比べて約1.3倍上昇する。したがって、半導電性ワニスを塗布することでは、本研究の目的である「部分放電の発生によって蓄積する電荷に起因する電界歪を緩和させてACFOVを上昇させる」効果は実現できないことがわかる。

一方、ネオゲン塗布試料の場合は、交流部分放電が発生していてもACFOVは未塗布に比べて約1.4倍上昇する。これについては次節で検討を加えるが、半導電性ワニス塗布効果とネオゲン塗布効果とではACFOV上昇の機構が異なると考えられる。

### 3.3 界面活性剤塗布試料の蓄積電荷分布とACFOVとの関係

#### 3.3.1 蓄積電荷分布の推定

図6は試料表面に蓄積した電荷の分布を示すダストフィギュアである。ダストフィギュアパターンは、試料の電極間隔が80~160 mmの間であれば、図6と同じ特性を示す。カチオーゲン、トゥイーン塗布試料のダストフ



A : area where the powder is almost invisible,  
B : area where the red powder attaches (positive charge is accumulated), D : insulating material,  
P : surfactant-painted area, E1 : high voltage electrode, electrode distance : 140 mm, cut off voltage : 40 kVp, The aqueous solution of the surfactant applied : 0.015 mol/l. Dust figure pattern of Catiogen-painted and of Tween-painted is almost the same as that of non-painted.

図6 ダストフィギュアの代表例

Fig. 6 Typical example of dust figure.

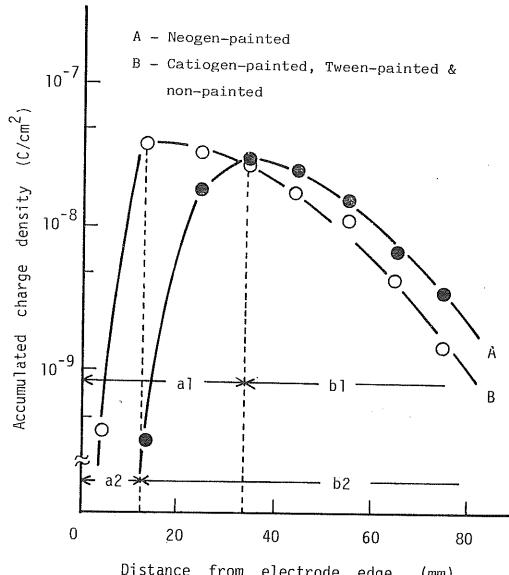
フィギュアは、未塗布試料とほぼ同じ傾向を示すので<sup>10)</sup>、ここでは省略した。図6をみると、電極近くの絶縁物表面（図6のA）には粉の付着がほとんどみられない。一方、電極先端から離れた場所（図6のB）には、正電荷が試料表面の円周方向にはほぼ均一に蓄積している。ネオゲン塗布試料の場合には、他の界面活性剤塗布試料や未塗布試料に比べて、正電荷が電極先端から遠く離れた部分に蓄積していることがわかる。このダストフィギュア

パターンの特徴はダストフィギュア作成時の交流印加電圧の遮断位相には無関係であり、またバックディスチャージによる影響も観測されない。

図7には界面活性剤塗布試料および未塗布試料の蓄積電荷密度分布の測定結果を示す。蓄積電荷密度分布は試料の電極間隔が80~160 mmの範囲では図7の結果と同じ傾向を示す。また、カチオーゲン、トゥイーン塗布試料の電荷密度分布曲線は未塗布試料とほぼ同じ傾向を示している。上記各試料についての特徴は印加電圧遮断時の位相には関係しない。

図6と図7を比較してみると、ダストフィギュア中のAは蓄積電荷密度分布を示すグラフのa1・a2と表示した部分と位置的にほぼ対応している。また、ダストフィギュアをみると限り、試料表面上のAの部分には粉はほとんど付着していない。これらのことから、ダストフィギュアのA領域の蓄積電荷量は、B領域に比べてきわめて少ないものと考えられる。そして、A領域の面積は、ネオゲン塗布試料と他の界面活性剤塗布試料、未塗布試料とを比較した場合、ネオゲン塗布試料のほうが広い。

またダストフィギュアのA領域と交流沿面部分放電の発光域（図5のA）も位置的にほぼ一致していることが



electrode distance : 140 mm, cut off voltage : 40 kVp, The aqueous solution of the surfactant applied : 0.015 mol/l. a1 and a2 almost correspond to B-area of Neogen-painted and non-painted in dust figure (Fig.6) respectively. b1 and b2 almost correspond to B-area of Neogen-painted and non-painted in dust figure (Fig.6) respectively.

図7 蓄積電荷密度分布

Fig. 7 Distribution of accumulated surface charge density.

わかる。この領域は交流正・負両方の部分放電光にさらされている。したがって、正または負どちらかの半周期の交流沿面部分放電によって試料表面に付着した電荷は次の半周期に発生する部分放電によって中和されると考えられる<sup>1)</sup>。それゆえ、ネオゲン塗布試料のダストフィギュアのA領域が他の試料に比べて広いのは交流負沿面部分放電の発光域が広いことに起因すると考えられる。

一方、ダストフィギュアのB領域に相当する試料表面では、交流正沿面部分放電光のみにさらされている。したがってこの領域では、印加電圧の上昇とともに正電荷が蓄積されてゆくことになる<sup>1)</sup>。

以上のことから、試料絶縁物表面のA領域では交流印加電圧の各サイクルで電荷の付着、中和をくりかえすが、B領域では正電荷のみが蓄積すると考えられることがわかった。これは前述したように、交流沿面部分放電の発生形態が正放電と負放電とで異なるため、正放電によって試料表面に帶電する電荷のすべてが負放電で中和しきれないことに起因すると考えられる。一方、試料に電圧を印加してからラッシュオーバに至るまでの時間は、印加電圧サイクルで換算すると、500サイクル以上もある（上昇率4.2kVp/s, ACFOVが40kVpと仮定）。したがって、B領域に蓄積する正電荷量はA領域において印加電圧各サイクル内で付着あるいは中和する電荷量に比べてきわめて多いであろう。蓄積電荷分布の観測結果が遮断電圧位相に依存しないのは、A領域に付着する電荷量に比べてB領域に蓄積している電荷量のほうがきわめて多いため、遮断電圧位相によるA領域の付着電荷の変化が観測されにくくことによるものと考えられる。また、ダストフィギュアにバックディスチャージによる影響もみられないことも考え合わせると、電圧を切った状態で測定される蓄積電荷分布は電圧印加状態での蓄積電荷分布とあまり変わらないと考えられる。

### 3.3.2 蓄積電荷が電極先端近傍の電界に及ぼす影響

未塗布試料の場合、高電圧電極先端近傍の電界強度は、蓄積電荷が存在していないと仮定した場合と比べて、とくに交流印加電圧の極性が「正」のとき、「正蓄積電荷」の影響をうけて、2~3倍強くなることを、電荷重畠法による電界解析を用いて前報<sup>3)</sup>に示した。この電界の歪が、図5のLにみられるような正リーダ状沿面放電の発生を促進させると考えられる。カチオーゲン、トゥィーン塗布試料の蓄積電荷分布は未塗布試料の分布とほぼ同じである。したがって、カチオーゲン、トゥィーン塗布試料における正リーダ状沿面放電の発生も、未塗布試料と同様、正極性蓄積電荷による電界の歪によって促進されると考えられる。正リーダ状沿面放電は対向電極に向かってのびやすい性質があるため、こ

の放電が発生するとラッシュオーバに至りやすい。このため、未塗布試料と同様に、正リーダ状沿面放電が発生しやすい試料のACFOVは、電極間隔を長くしても、それほど上昇しないと考えられる。図3において、カチオーゲン、トゥィーン塗布試料のACFOVが著しい飽和特性を示すのはこのためと考えられる。

一方、ネオゲン塗布試料上の正極性蓄積電荷は、他の試料の場合に比べて、電極先端から遠く離れたところに分布している。したがって、ネオゲン塗布試料の電極先端の電界は、他の試料と比べて、正蓄積電荷の影響をうけにくいはずである。測定した蓄積電荷密度分布のデータを用いて、電荷重畠法による電界計算を行なったところ、ネオゲン塗布試料の電極光端の電界は、蓄積電荷が存在しないときの電界とほとんど変わらないことがわかった（蓄積電荷の有無による電界の変化についての計算結果は、前報<sup>3)</sup>に詳しく報告してある）。したがって、ネオゲン塗布試料における正リーダ状沿面放電は未塗布試料のような低い印加電圧値では発生しないであろう。そのために、ネオゲン塗布試料のACFOVは他の試料に比べて高い値を示すものと考えられる。結局、ネオゲン塗布試料のACFOVが高い値を示すのは蓄積電荷分布が他の試料の分布と異なることに原因していると考えられる。

未塗布試料のACFOV特性（図3）にみられる極小値は正沿面リーダ状放電が発生するか否かの境界条件における電極間隔で現われると考えられる<sup>3)</sup>。上述したように、ネオゲン塗布試料では、正沿面リーダ状放電は他の試料のように低い印加電圧値では発生しにくい。図3において、ネオゲン塗布試料のACFOV特性に極小値がみられないのは、正沿面リーダ状放電が発生しにくくことに基づくものと考えられる。

## 4. 結論

(1) ACFOVは塗布した界面活性剤の種類によって変化する。ネオゲン塗布試料のACFOVは、電極間隔140mmにおいて、未塗布試料に比べて約1.4倍上昇する。他の界面活性剤（カチオーゲン、トゥィーン）塗布試料のACFOVは、未塗布試料に比べてあまり変化がない。

(2) ネオゲン塗布試料のACFOVが上昇する原因是、一般に知られている半導電性ワニス塗布効果のように、塗布部分の表面抵抗が下がり、電極先端近傍の静電界の集中が緩和して部分放電の発生が抑制される効果では説明がつかない。

(3) 交流沿面部分放電によって試料表面に蓄積した電荷の分布状態は、塗布する界面活性剤の種類によって異

なる。ネオゲン塗布試料では、未塗布に比べて、電極先端から遠く離れたところに正電荷が蓄積している。カチオーゲン、トゥイーン塗布試料の蓄積電荷分布とほぼ同じ特徴を示す。ネオゲン塗布試料の蓄積電荷分布が他の試料と異なるのは、交流負沿面部分放電光にさらされる試料表面積が他の試料よりも広いことに関係があると考えられる。

(4) カチオーゲン、トゥイーン塗布試料の場合は、未塗布試料と同様に<sup>3)</sup>、蓄積電荷による電極先端の電界歪がACFOVを低下させると考えられる。

一方、ネオゲン塗布試料の蓄積電荷は、他の試料に比べて電極先端より遠いところにのみ存在しているため、そのぶん電極先端の電界は蓄積電荷の影響をうけにくい。したがって、ネオゲン塗布試料のACFOVが他の試料に比べて高くなるのは、蓄積電荷による電界歪が他の試料に比べて弱いことが主原因であり、半導電性ワニス塗布によるACFOVの上昇機構とは異なると考えられる。

なお、この研究の一部は昭和58・59年度文部省科学研究費補助金（奨励研究A）によって行なわれた。

## 参考文献

- 1) J.H. Mason : IEEE. Trans. Electr. Insul., EI-13 (1979) 211
- 2) V.N. Maller and K.D. Srivastava : IEEE. Trans. Electr. Insul., EI-18 (1983) 402
- 3) 山野芳昭、高橋雄造、小林繁雄：電気学会論文誌A, 103 (1983) 641
- 4) 山野芳昭、高橋雄造、小林繁雄：電気学会論文誌A, 103 (1983) 25
- 5) S. Kobayashi, Y. Yamano, Y. Takahashi, T. Kouno and H. Fujita : 4th International Symposium of Highvoltage in Athens, No. 45.03 (1983)
- 6) Y. Yamano, S. Kobayashi and Y. Takahashi : IEEE. Trans. Electr. Insul., EI-19 (1984) 307
- 7) H.H. Hull : J. Appl. Phys., 20 (1949) 169
- 8) 平林庄司、谷 功、川上 剛：三菱電機技報, 51 (1977) 821
- 9) 谷 功、内藤権三、松田禎夫、平林庄司：電気学会論文誌A, 100 (1980) 353
- 10) 山野芳昭、小林繁雄、高橋雄造：静電気学会講演論文集'83, p. 177, 静電気学会 (1983)