

## 小論文

## 永久帯電防止樹脂内部の空間電荷挙動の観測

福永香\*, 前野 恭\*

(1994年12月20日受理)

Internal Space Charge Measurement in an  
Anti-electrostatic Polymer

Kaori FUKUNAGA\* and Takashi MAENO\*

(Received December 20, 1994)

Polymer dielectric materials are easily charged, and some improvements have been developed in order to prevent ESD. Anti-ESD polymers recently developed are composed of polymer solid-electrolyte and polymers for general use including insulating materials, but the mechanism of their inhibitive action against ESD has not been understood. We investigate the mechanism of the anti-ESD effect of the new polymer by measuring the space charge distribution using the pulsed-electroacoustic method. The internal space charge of the polymer was found to compensate the applied electric field by approaching the electrode. Thus, the anti-ESD polymer can prevent ESD, because it does not produce a surface electric field.

## 1. はじめに

誘電体の帯電現象に関する研究は、観測対象を周囲環境に依存した表面のみとする場合が多く<sup>1-5)</sup>、誘電体内部の蓄積電荷については、その存在が推定されているものの観測に基づく検討例はない。誘電体の帯電対策として一般的な手法は、導電性を高くすることであり、その性能評価は主として表面抵抗の測定により行われている<sup>6)</sup>。しかし最近では、樹脂内部に電荷が存在する永久帯電防止樹脂がポリマーアロイ技術を用いて開発されており<sup>6)</sup>、表面の電気的な性質のみでは正確な評価ができない。また、内部電荷がどのように静電気放電を抑制しているのかは理論的に検討されていない。

近年、誘電体内部の空間電荷の測定方法は著しく進歩しており、空間電荷分布を非破壊かつ定量的に計測できる「パルス静電応力法<sup>7)</sup>」は、直流用絶縁材料の評価方法として広く知られている。最近その分解能が数 $\mu\text{m}$ まで向上し、100 $\mu\text{m}$ 程度のフィルム表面での電荷の挙動がより詳細に観測できるようになった<sup>8)</sup>。

筆者らは表面処理等を施さず課電履歴のない誘電体内

の空間電荷分布をパルス静電応力法により測定した結果、製造時に誘電体内部に蓄積されると思われる電荷が存在する可能性があることが明らかになった<sup>9)</sup>。さらに高分子固体電解質をポリマーアロイ技術を用いて樹脂中に分散させた永久帯電防止樹脂の静電気放電抑制メカニズムを、内部の空間電荷分布の観測結果に基づいて検討を進めてきた<sup>10)</sup>。今回アクリル樹脂をベースとする永久帯電防止樹脂内部の電荷挙動を観測した結果、内部の正電荷が極めて容易に移動し、外部電界を補償することが明らかになった。

2. 試料および実験方法<sup>7,8)</sup>

表1に試料の材料名、および厚さを示す。永久帯電防止樹脂内部の電荷挙動を観測するため、直流電界を印加した場合の樹脂内部の電荷分布を観測し、ベースであるアクリル樹脂 (PMMA) の結果と比較した。さらに蓄積電荷をもった塩化ビニルフィルムと密着させた場合の電荷分布の測定を行った。すべての試料は室温、大気中に保管されたもので、特別な前処理は行わずに用いた。

図1に実験装置の概略図を示す。印加するパルス電圧のパルス幅を5 ns、圧電素子 (PVDF) の厚さを4 $\mu\text{m}$ とし、雑音対策を十分に施して高い周波数の信号まで検出することにより、分解能および測定感度を向上させている。出力波形の観測には、デジタルオシロスコープ (LeCroy 9350) を用いた。そのサンプリング速度は1 GHz/s、周波数帯域は500 MHzである。この装置の分

キーワード: 空間電荷分布, 永久帯電防止樹脂, パルス静電応力法

\* 通信総合研究所電磁波技術部 (184 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Electromagnetic Technology Division, Communications Research Laboratory, 4-2-1 Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo, 184 Japan

表 1 試料  
Table 1 Specimens.

材 料 名	厚 さ
アクリル樹脂 (PMMA)	500 $\mu\text{m}$
永久帯電防止樹脂 (BAYON®)	500 $\mu\text{m}$
塩化ビニル	420 $\mu\text{m}$

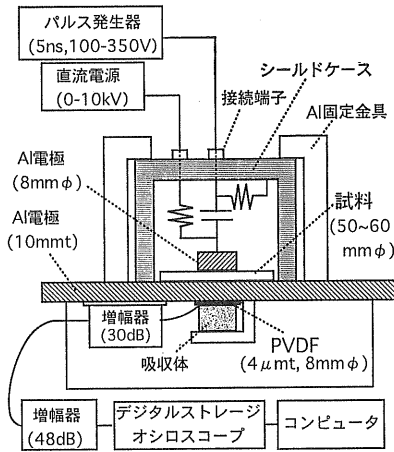


図 1 高分解能 PEA 空間電荷分布測定装置  
Fig. 1 High resolution PEA space charge measurement system.

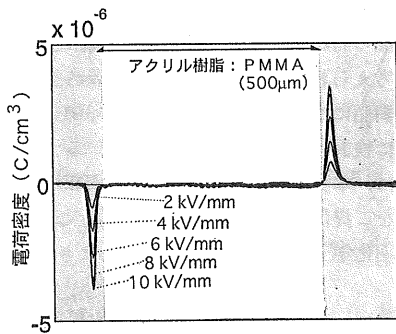


図 2 PMMA に直流電界を印加した場合の電極上の表面電荷分布  
Fig. 2 Surface charge distribution on the electrodes while applying DC electric field to a PMMA sheet.

解能は測定系の周波数帯域幅に依存し、約  $10 \mu\text{m}$  となった。したがって電気二重層のように極めて近接した領域に逆極性の電荷が存在する場合には、各極性の電荷による信号が重なり、打ち消しあうため、厳密な測定は困難となる。また、観測波形と電荷分布は正確には一致しないため、測定系全体の伝達関数を考慮した処理をしなければならない。本測定法においては、空気ギャップに

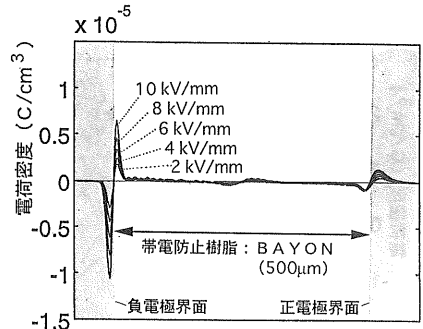


図 3 永久帯電防止樹脂に直流電界を印加した場合の空間電荷分布  
Fig. 3 Space charge distribution in the anti-ESD polymer sheet under DC electric field.

直流電界を印加したときに生ずる電極表面上の電荷密度を、サンプリング時間 (1 ns) に相当する厚み ( $2 \mu\text{m}$ ) に分布していると仮定してデコンボリューションを行い、電荷分布を各場所における体積密度で表しているが、詳しくは文献を参照されたい<sup>8)</sup>。

### 3. 直流電界印加時の空間電荷分布

PMMA に直流電界 ( $2 \sim 10 \text{ kV/mm}$ ) を各 1 分間印加した場合の電荷分布を図 2 に示す。Al 電極上の表面電荷による信号のみが観測され、PMMA 内部の電荷は検出されない。

次に、永久帯電防止樹脂に直流電界 ( $2 \sim 10 \text{ kV/mm}$ ) を各 1 分間印加した場合の電荷分布を図 3 に示す。図 2 の PMMA の場合と著しく異なり、電極と試料である樹脂との界面に電極上と逆極性の電荷が蓄積しており、特に正電荷の蓄積が著しいことがわかる。樹脂内部の電荷は、外部印加電界の増大にしたがって電荷量が増加しており、この空間電荷は、外部印加電界を補償するような空間電荷電界を形成すると考えられる。

今回用いた永久帯電防止樹脂は、PMMA 内部に親水性のゴム粒子を三次元の網目状に構築し、さらにアルカリ金属の単原子イオンを電解質として含まれている。したがって正のアルカリ金属イオンが水を介して移動でき、負電極との界面付近に蓄積するものと思われる。一方、正電極側では顕著な電荷の蓄積が見られなかった。その原因として、①アルカリ金属イオンが電離した負イオンは分子量が大きく外部より直流電界を印加しても移動しにくく、低い密度で樹脂中に分布している、②負イオンもしくは負イオンから離脱した電子が、正電極との界面から分解能 (約  $10 \mu\text{m}$ ) 以下の範囲に分布している、③負イオンもしくは負イオンから離脱した電子が正電極側で再結合する、等が考えられるが詳細は今後の課

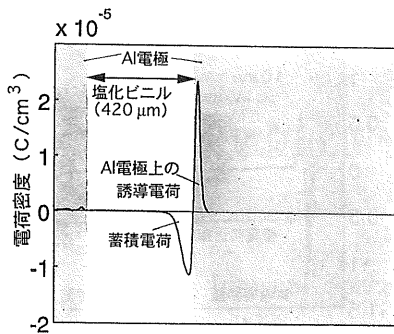


図4 塩化ビニル内部の蓄積電荷分布  
Fig. 4 Accumulated space charge distribution in a PVC sheet.

題としたい。

#### 4. 初期蓄積電荷の補償

ある種の塩化ビニルフィルムには、図4に示すように外部から電界を印加しなくてもフィルム片側に集中した電荷分布が観測され、製造時に何らかの原因で蓄積されたものと推定している<sup>9)</sup>。この局所的な電荷が存在するフィルムと永久帯電防止樹脂を密着させて電荷分布を測定した結果を図5に示す。図4および図5はほぼ一致しており、永久帯電防止樹脂内部の電荷が塩化ビニルフィルムの局所的な負の蓄積電荷を補償していることがわかる。

今回用いた塩化ビニルフィルムは、大気中において簡易表面電位計で数十 kV 以上を示した。一般に高分子表面に存在する電荷は、周囲の水分や、塵等を引きつけることによってある程度電氣的に中和された状態にあると考えられているが、乾燥した清浄な雰囲気中では周囲環境による静電気放電防止は期待できない。今回用いた永久帯電防止樹脂の場合には、樹脂内部で同様の現象が起き、周囲環境によらず樹脂表面を電氣的に中和された状態に保持できる。

#### 5. ま と め

静電気放電を防止する樹脂として開発が進められ、最近では電子部品の製造ライン、搬送用器材にも使用されている永久帯電防止樹脂内部の空間電荷挙動を、高分解能パルス静電応力法を用いて観測した。その結果、以下のような結果が得られた。

- (1) 外部から直流電界を印加した場合には、試料内部で外部電界を補償するような空間電荷分布が形成されており、特に正電荷の負電極側界面付近での蓄積が顕著である。
- (2) あらかじめ局所的に負の蓄積電荷の存在する塩化

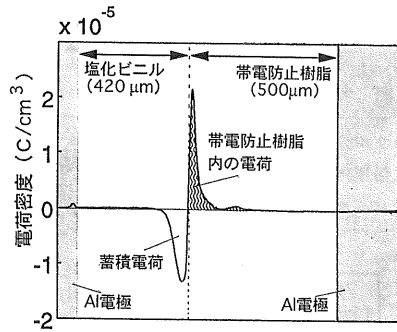


図5 塩化ビニルと永久帯電防止樹脂を密着させた場合の空間電荷分布

Fig. 5 Space charge distribution obtained by a layered sheet of PVC and the anti-ESD polymer.

ビニルと密着させた場合、それによる電界を補償するように内部の正電荷が界面付近へ移動する。

したがって、樹脂内部に電荷が存在するポリマーアロイ技術を用いた新種の永久帯電防止樹脂は、樹脂自身による電界緩和作用があることが明らかになった。

現在商品化されているポリマーアロイ型の帯電防止樹脂は、比較的高い表面抵抗や体積抵抗を有しており、従来の評価方法である「帯電した電荷を逃がす性能<sup>4)</sup>」のみでは、優れた特徴を十分に表せない可能性がある。その場合、樹脂内部での空間電荷挙動を観測することにより、樹脂の材料物性に基づく、より詳細な評価が行えるものと考えられる。今後は各種のポリマーアロイ型の帯電防止樹脂について同様の実験を行い、そのメカニズムを詳細に検討する予定である。

最後に、本実験を行うに当たり、PVDF フィルムおよび試料をご提供いただき、さらに有益なご助言を賜りました呉羽化学工業株式会社の皆様により感謝申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 静電気学会編：静電気ハンドブック，オーム社 (1981)
- 2) 小野雅司：静電気学会誌，15 (1991) 125
- 3) 村田雄司：表面・高分子と静電気，共立出版 (1988)
- 4) 二澤正行：静電気対策マニュアル，オーム社 (1989)
- 5) 有本匡男，大橋朝夫：静電気学会誌，16 (1992) 500
- 6) 鈴木正保：工業材料，42 (1994) 94
- 7) Y. Li and T. Takada：IEEE Electrical Insulation Magazine，10 (1994) 16
- 8) 前野 恭，福永 香，田中康寛，高田達雄：電気学会論文誌A，115 (1995) 101
- 9) 福永 香，前野 恭：電気学会論文誌C，115 (1995) 558
- 10) K. Fukunaga and T. Maeno：IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation，2, No. 1 (1995) 36