

## 論 文

## エレクトレットポリプロピレン不織布の帯電特性

安藤 勝敏\*, 近藤 五郎\*

(1993年5月17日受理)

## Charging Properties of Nonwoven Polypropylene Electret

Katsutoshi ANDO\* and Goro KONDO\*

(Received May 17, 1993)

Charging properties of nonwoven polypropylene electret made of fine fibers was studied. The surfaces of the nonwoven fabrics during corona charging were observed by an image intensifier, and it was confirmed that electret charging was based on back discharge occurring in them. Therefore, the influence of the back discharge on the nonwoven fabric electret were discussed in detail analyzing results of the surface charge distribution, surface potentials and thermally stimulated depolarization currents. From these results, the formation mechanism of electret and the charging model of the nonwoven fabric electret can be estimated.

## 1. 緒 言

近年, エレクトレット不織布は従来のフィルタにない低圧力損失と高捕集効率という優れた性質を持つことから, 空気清浄機, ビル空調, クリーンルーム, マスクなどのフィルタに使用され始めている<sup>1)</sup>. しかしながら, このエレクトレット不織布<sup>2)</sup>は通常のエレクトレット薄膜と異なり, 繊維状であるため帯電挙動, 帯電状態, 電気特性などほとんど知られていない<sup>3)</sup>. そこで, 筆者らはエレクトレット化時のコロナ荷電による不織布の帯電挙動をイメージンテンシファイアを用いた微弱発光観察で, また帯電後の特性を電荷図, 表面電位, 熱刺激電流測定から調べ, エレクトレット不織布の帯電特性の解明を試みたので報告する.

## 2. 実験方法

## 2.1 試 料

試料はメルトブロー紡糸法による平均繊度 0.01 d (直径 1.3  $\mu\text{m}$ ), 目付 20 g/m<sup>2</sup>, 厚み 0.14 mm, 体積抵抗率  $1.4 \times 10^{18} \Omega \cdot \text{cm}$  (JIS-C2151) の極細繊維ポリプロピレン不織布 (以下 PP 不織布と略称する) を用いた.

## 2.2 エレクトレット化方法

図1のとおり, 200×200 mm 角の試料をアース電極に接触した半導体フィルム (体積抵抗率  $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ ) の上に置き, 先端の尖った半径 3 mm, 長さ 9 mm の針電極1本に直流高電圧を印加してエレクトレット化処理を行った. 印加電圧は -20~50 kV と +10~+30 kV, 電極と PP 不織布間距離は 5 cm, 印加時間は 60 秒で, その雰囲気条件は温度 20°C, 相対湿度 60% で処理を実施した.

## 2.3 微弱発光の観測

微弱発光観測は紫外線領域に感度特性を持つイメージンテンシファイア (浜松ホトニクス, C5085) をビデオカメラに取り付けて行った. 観測結果はビデオレコーダに収録し画像解析を行った. 画像解析装置は浜松ホトニクス製, DSV-3000 を用いた.

## 2.4 逆電離波形観察

図2に示す観察回路を用いて, 抵抗  $r$  (50 k $\Omega$ ) の両端の電圧をシンクロスコープで測定し, 逆電離波形を観察した. この場合, 主電極上での不織布層中の電界電流分布を均一にするため, 平板電極を主電極 (20 mm 径) とガード電極 (200 mm 直径) とに間隙 (1 mm) を設けて分けた<sup>4)</sup>.

## 2.5 電荷図形の作成

静電写真用の赤色プラスチック (キャノン, PC20) または青色マイナスタナー (キャノン, NP300R) を荷電不織布表面に附着させて電荷図形または放電図形を作成した.

キーワード: エレクトレット, 帯電, コロナ放電, 逆電離放電, 不織布

\* 東レ株式会社繊維研究所 (520 滋賀県大津市園山 3-3-3) Fibers & Textiles Research Laboratories, Toray Industries, Inc., 3-3-3 Sonoyama, Otsu, Shiga, 520 Japan

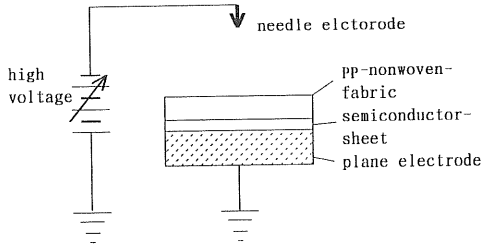


図1 エレクトレット化実験装置  
Fig. 1 Experimental apparatus for electret corona charging.

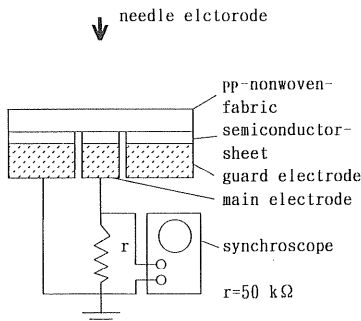


図2 逆電離観察回路  
Fig. 2 Electrode system for studying back discharge.

2.6 表面電位の測定

測定するエレクトレット不織布の片面をアース電極に接触させ、その反対面の電位を表面電位計（モンロー社製，Model-244）で測定した。この場合，電位計プローブと不織布表面の間隙は3mmに設定し，不織布とアース電極を接触したままで，速度20cm/分で移動しながら表面電位を連続的に測定した。測定環境条件は温度20℃，相対湿度60%で行った。

2.7 熱刺激脱分極電流の測定

図3に示すように試料（2cm直径）を2枚の電極間に挟み，エレクトロメータ（アドバンテスタ社製，TR8652）を介して閉回路を作り，昇温速度5℃/分で発生する脱分極電流をエレクトロメータで計測し，その出力をパソコンに取り込んで温度-熱刺激脱分極電流の関係曲線を作成した。

3. 実験結果と考察

3.1 荷電中の不織布表面観察

図1の装置でPP不織布に直流を印加し，エレクトレット化を行った際の電圧-電流特性を図4に示した。正負印加電圧ともに10kV以上になると電流が急増し，正電圧では+28kV，負電圧では-45kVで火花放電に達した。この中でエレクトレット化検討を+10~+30kV

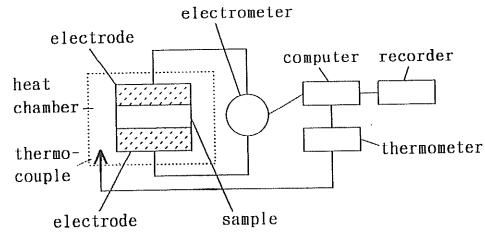


図3 熱刺激脱分極電流測定装置  
Fig. 3 The schematic diagram for measuring thermally stimulated depolarization currents.

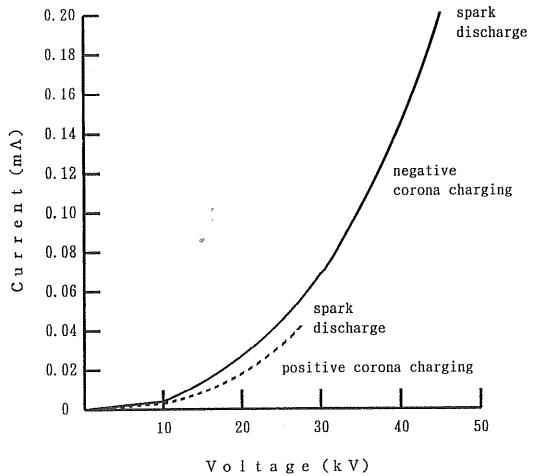


図4 荷電中の電圧-電流特性  
Fig. 4 Relationship between voltage and current under corona charging.

と-10~-50kVの範囲で行った。まず，コロナ荷電中の針電極と不織布表面の微弱発光状況をイメージインテンシファイアを用いて観測した。その代表的な写真（-40kV）を図5に示したが，連続的な青白い発光現象が2か所に認められた。発光1は針電極のコロナ放電，また発光2は不織布表面の発光で逆電離放電に基づくものである。この逆電離放電は正負電圧ともに10kVぐらいから明確に認められ，その発光輝度分布の画像解析図を電圧-35kVの場合について図6aに示した（矢印は電極位置を示す）。この分布は図6bに示す方法で測定したもので，不織布表面の発光輝度分布を明確に知るため針電極の真下にPP不織布（200×400mm角）の中心を一致させ，中心からx軸の正方向に平板電極をなくし，その部分の逆電離放電を抑制して，平板電極のある部分のみの発光状態をイメージインテンシファイアを用いてビデオ撮影し，その映像を6秒間画像解析装置を用いて積分し描いたものである。図6aでz軸の高さは相対的な輝度強度を示し，その輝度強度は電極真下の中心から周辺に行くに従い暗くなり，拡がり直径は200mm

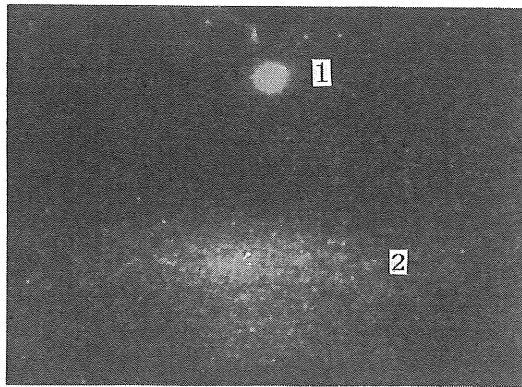
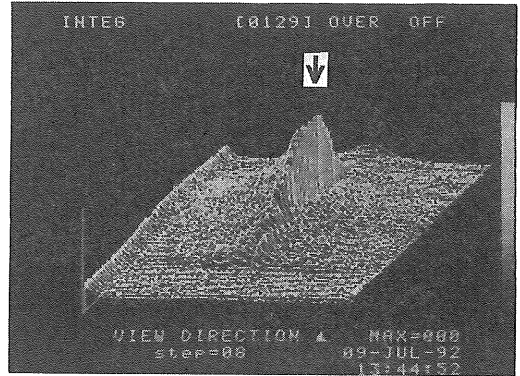


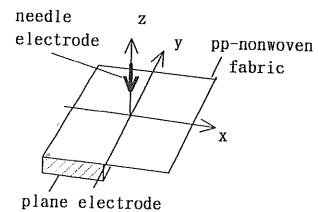
図5 逆電離放電の微弱発光現象

Fig. 5 Light signal phenomena under back discharge.

ほどであった。逆電離放電が不織布表層の蓄積電荷による絶縁破壊現象と考えれば、その電荷に達するまでの時間は図4の電圧-電流特性から試算して数msとなり、逆電離放電は繰り返し放電のはずである。このため、輝度分布は針電極からの電流密度と関係することになる<sup>5)</sup>。さらに詳しく逆電離特性を観察するため図2の装置で、徐々に印加電圧を上げながら抵抗  $r$  の両端に現れる波形をシンクロスコープで観察することを試みた。図7a, bに、アースした平板電極上にPP不織布がある場合とない場合の観察波形を示した。不織布がない場合、図7bのとおり  $-8 \sim 25 \text{ kV}$  でランダムパルス、次いで  $-25 \sim$



(a)



(b)

図6 逆電離放電の発光輝度分布

(a) 発光輝度分布曲線

(b) 測定方法

Fig. 6 Light brightness distribution on back discharge.

(a) Curve of light brightness distribution.

(b) Measuring method.

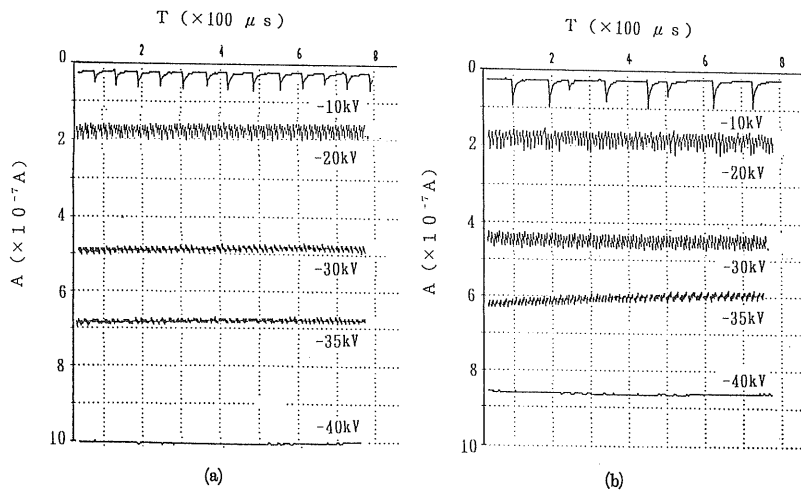


図7 逆電離波形観察

(a) PP不織布あり

(b) PP不織布なし

Fig. 7 Pulse currents under back discharge.

(a) With pp-nonwoven fabric.

(b) Without pp-nonwoven fabric.

-38 kV でトリッチェリパルス, 最後に -38 kV 以上で無パルスコロナが現れる<sup>6)</sup>. これに対して不織布がある場合, 図 7aのごとく最初からランダムパルスは現れず, -8~-38 kV でトリッチェリパルスが現れ, -38 kV 以上で無パルスコロナとなり, またそれと共に -30 kV 以上で電流量の大幅な増加が認められた. この結果から不織布表面の逆電離現象の波形は, 波高値の高い不均一なランダムパルスでなく, 規則的な周波数の高いトリッチェリパルスか無パルスコロナであろう. また, 印加電圧の上昇による逆電離電流の増加は, 空間及び不織布層内への電荷の蓄積速度が早くなり, 放電繰り返し時間が短くなって放電電流が増加したものと思われる. 正印加では負印加と若干異なり無パルスコロナのみが観測されたが, 逆電離電流は同様に電圧 +20 kV 以上で増加した. このように逆電離現象が発生する理由は, 針電極から生じたコロナ電流が絶縁体の不織布層の電界強度を上げ, その絶縁性を破壊して逆電離を生じ, それが空間と蓄積電荷に向かって放電を起こすためと考えられる<sup>7)</sup>.

### 3.2 電荷図形

#### 3.2.1 負荷電の場合

荷電後のエレクトレット不織布の帯電状態を調べるために静電写真用カラートナー (粒子径 10  $\mu\text{m}$ ) を用いて電荷図形を作成した. 検討した電圧は -20~-40 kV

で, 荷電後の不織布をアルミ箔で包み, 24 時間温調室 (20°C, 相対湿度 65%) で保管し, 表面の過剰電荷を除いたものを試料とした. 図 8a, b, c, d は電圧 -20 と -40 kV で印加した場合の荷電側の代表的な電荷図形, 図 9a, b, c, d はその反対面図形である. まず, 図 8a, b はマイナストナーで描いた荷電側表面の電荷図形であるが, 樹枝状のストリーマ放電痕が明確に認められ, これから逆電離放電が生じていることがわかる. ストリーマ長さは電圧の上昇につれて短く, 放電痕密度は多くなっている. また, 試料中心部と周辺部の電荷図形を調べたがその差は認められなかった. 放電痕の極性は付着トナーの極性から正である. 図 8c, d は同じ表面をプラストナーで描いた図形であるが, 丁度, 図 8a, b の逆電荷図形となっている. この確認は, 図 10 のとおり, プラストナー 1 を付着させた後, 残った白抜き部分にマイナストナー 2 が付着することから確認した. また, プラストナーとマイナストナーの間に中性の空帯 3 があることもわかった. 以上から, 荷電側の電荷図形は放電痕が正で, その他が負と空帯である. 次に, 図 9a, b はマイナストナーを付着させた反対面の電荷図形であるが, ドット状グロー放電痕と樹枝状ストリーマ放電痕の二つのタイプの放電痕が存在した. 印加電圧を高くすると, 樹枝状の放電長さが短くなり放電痕密度が多くな

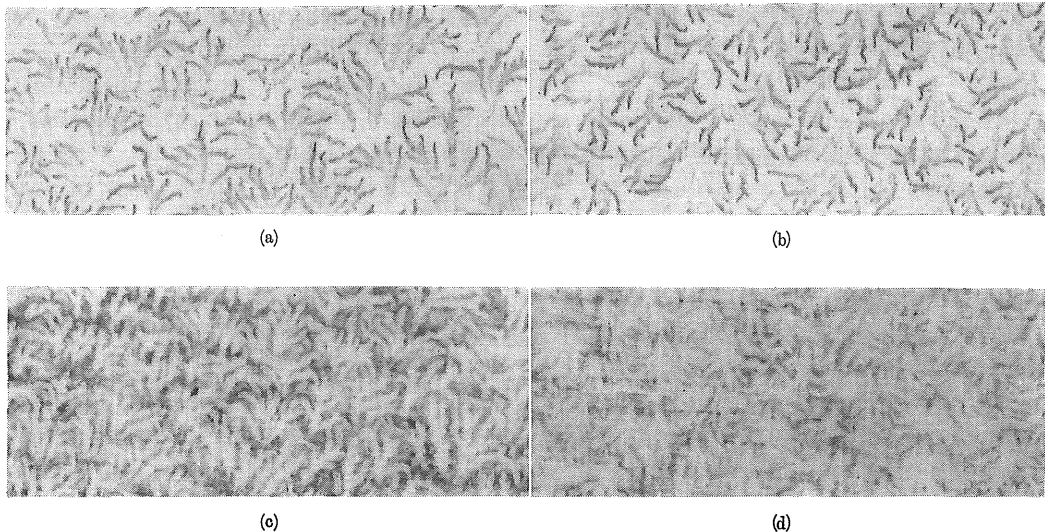


図 8 負印加条件の荷電側電荷図形

(a) マイナストナー使用, -20 kV, (b) マイナストナー使用, -40 kV, (c) プラストナー使用, -20 kV, (d) プラストナー使用, -40 kV.

Fig. 8 Dust figures of charging surface side under negative corona discharge.

- (a) negative toner used, applied voltage of -20 kV.
- (b) negative toner used, applied voltage of -40 kV.
- (c) positive toner used, applied voltage of -20 kV.
- (d) positive toner used, applied voltage of -40 kV.

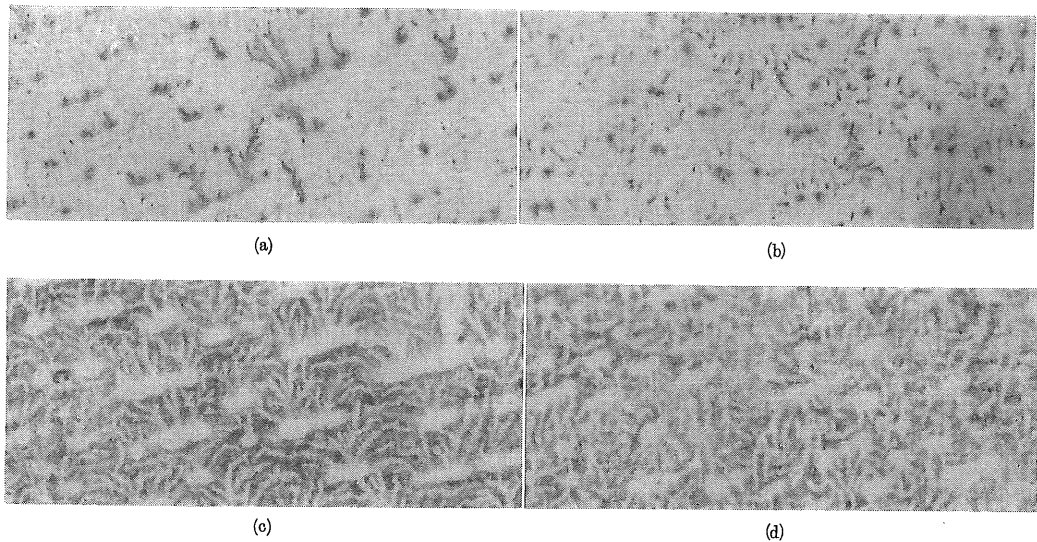


図9 負印荷条件の反対面電荷図形

(a) マイナストナー使用, -20 kV, (b) マイナストナー使用, -40 kV, (c) プラストナー使用, -20 kV, (d) プラストナー使用, -40 kV

Fig. 9 Dust figures of opposite surface side under negative corona discharge.

- (a) negative toner used, applied voltage of -20 kV.
- (b) negative toner used, applied voltage of -40 kV.
- (c) positive toner used, applied voltage of -20 kV.
- (d) positive toner used, applied voltage of -40 kV.

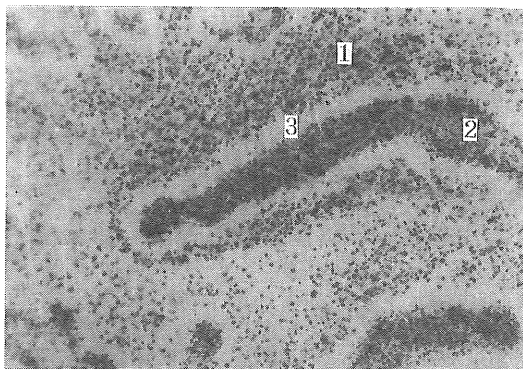


図10 正負トナーを用いた電荷図形 (印加電圧 -40 kV, 写真倍率 75 倍)

Fig. 10 Dust figures drawn with both of positive and negative toner.  
(Applied voltage of -40 kV.  $\times 75$ )

る傾向は荷電面の場合と同じであった。また、プラストナーで描いた図 9 c, d はやはり逆電荷図形で、反対面も荷電面と同じような正負電荷の混在となっている。これらの結果から、不織布表面の電荷は、放電痕がヘテロ電荷、その他がホモ電荷と空帯であることがわかった。

### 3.2.2 正荷電の場合

正荷電は電圧 +10~25 kV の範囲で検討し、代表的な電荷図形を図 11, 12 に示した。図 11 a, b, c, d は

+10 kV, +25 kV で荷電した荷電側電荷図形。図 12 a, b, c, d はその反対面図形である。図 11 a, b はプラストナーで描いた荷電側図形で、細かいドット状のグロー放電痕が認められ、負荷電の放電パターンとは異なる。図 11 c, d はマイナストナーで描いた逆放電図形である。図 12 a, b は反対表面をプラストナーで描いたもので、荷電表面と同じようなドット状のグロー状放電痕が認められ、その形状は荷電面より幾分大きい。また、図 12 c, d はマイナストナーで描いたもので、やはりその逆放電図形である。以上から、正荷電は負荷に比べて放電痕の極性とパターンは違うが、放電痕はヘテロ電荷、その他の部分はホモ電荷と空帯の混在で、負荷電の場合と同じ規則性を持つことがわかった。

### 3.2.3 放電痕形態と放電モード

さらに、電荷図形から放電痕形態を詳しく調べるため、凹凸の多い不織布表面の図形を複写機でコピーして平面化し、それを CCD カメラでとらえて画像解析 (ピラス(株), LA-525) を行い、その結果を表 1 に示した。これから放電痕面積率は正負コロナ印加とも全面積中の 25~35% を占め、印加電圧が上がれば放電痕面積率は大きくなる。また、放電痕 1 個当たりの放電痕面積は平均して負コロナで 0.6~1.1 mm<sup>2</sup>, 正コロナで 0.11 mm<sup>2</sup> であり、負コロナの方が 5~10 倍その面積が大きい。こ

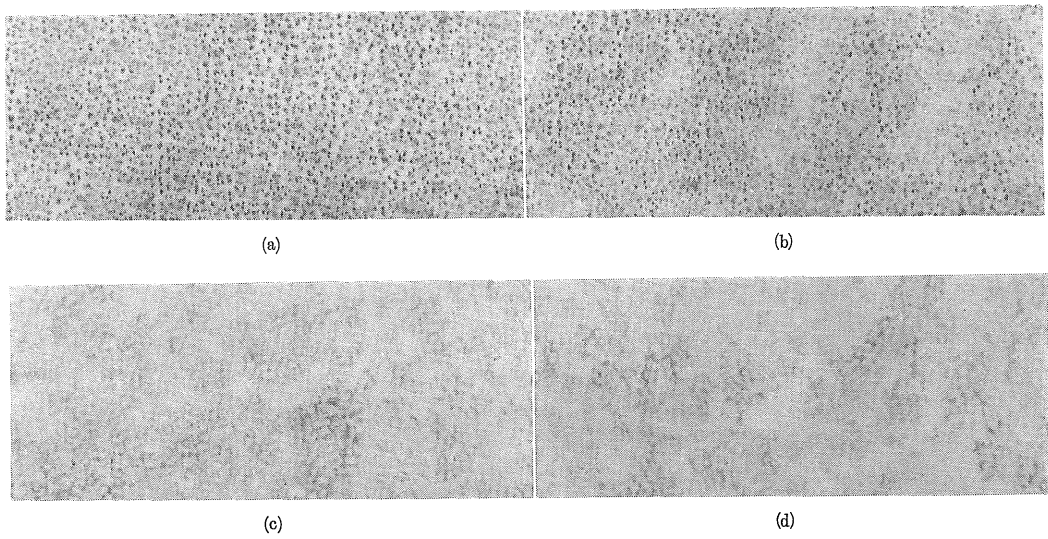


図 11 正印荷条件の荷電側電荷図形

(a) プラストナー使用, +10 kV, (b) プラストナー使用, +25 kV, (c) マイナストナー使用, +10 kV, (d) マイナストナー使用, +25 kV

Fig. 11 Dust figures of charging surface side under positive corona discharge.

- (a) positive toner used, applied voltage of +10 kV.
- (b) positive toner used, applied voltage of +25 kV.
- (c) negative toner used, applied voltage of +10 kV.
- (d) negative toner used, applied voltage of +25 kV.

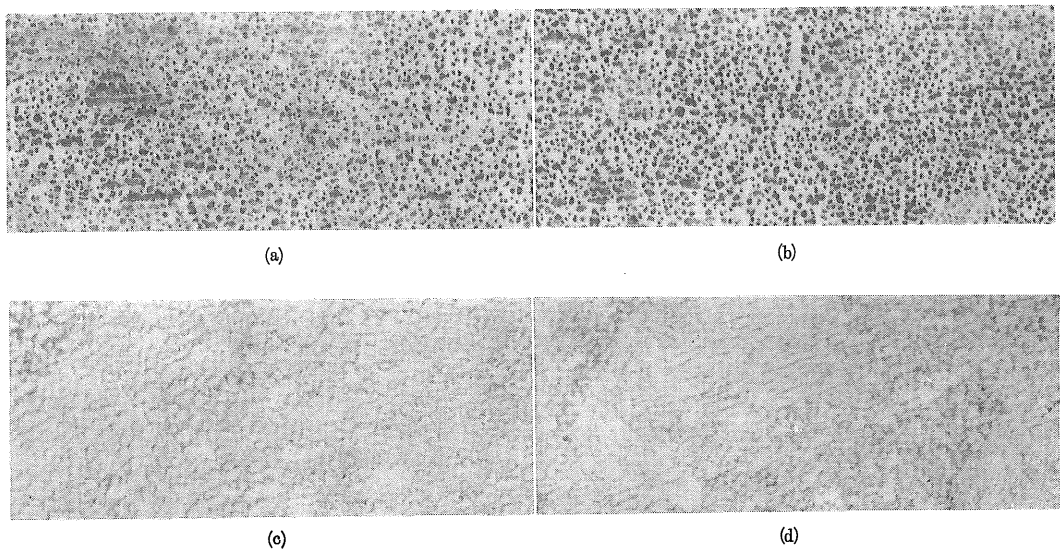


図 12 正印加条件の反対面電荷図形

(a) プラストナー使用, +10 kV, (b) プラストナー使用, +25 kV, (c) マイナストナー使用, +10 kV, (d) マイナストナー使用, +25 kV

Fig. 12 Dust figures of opposite surface side under positive corona discharge.

- (a) positive toner used, applied voltage of +10 kV.
- (b) positive toner used, applied voltage of +25 kV.
- (c) negative toner used, applied voltage of +10 kV.
- (d) negative toner used, applied voltage of +25 kV.

表1 電荷図形特性

Table 1 Properties of dust figures.

Item	Applied voltage			
	+10 kV	+25 kV	-20 kV	-40 kV
Discharge area rate (%)	27.2	31.2	28.2	32.5
Discharge area/unit (mm <sup>2</sup> /unit)	0.11	0.11	1.1	0.67
Discharge pattern density (unit/cm <sup>2</sup> )	250	280	29.5	39.5

れはストリーマ放電とグロー放電の放電形式の違いによるものである。放電痕数密度は負コロナで 30~40 個/cm<sup>2</sup>, 正コロナで 250~280 個/cm<sup>2</sup> と, 正コロナの方が 6~9 倍多く, また電圧が上がるとその数も増える。以上のように, コロナ荷電した PP 不織布の表面には逆電離放電痕が認められ, その放電痕はコロナ印加極性に対してヘテロ電荷, その他はホモ電荷である。ただし, 面積的には少ないがヘテロ電荷とホモ電荷の間に電荷を持たない空帯が存在する。このような現象は, 逆電離放電で生じた空間ストリーマと沿面ストリーマが反対電荷の空間イオンや沿面イオン源を作り, それが放電痕にヘテロ電荷として残り, また, 未放電箇所にはそのままホモ電荷が残ったと思われる。さらに, 空帯は正負電荷が等しくなり, 中性として残ったと考えられる。このような現象は今までのエレクトレット薄膜には見られなかったエレクトレット不織布特有の新しい現象である<sup>8)</sup>。

次に, 今回の実験で見られた沿面放電モードについて考えてみる。一般に, 沿面放電は荷電極性, 荷電電圧, 背後電極, 固有抵抗率, 固有容量, 不織布構造, 電極との接触状態などの影響を受けると思われる<sup>9)</sup>。すなわち, 沿面放電はコロナ電流による電荷が不織布内に蓄積して電界強度を上げ, それが絶縁破壊強度を越えて逆電離放電となり, 不織布表面を蓄積電荷に向かって放射状に進展したものである。不織布層が絶縁破壊した瞬間には, 破壊点の頂部に集中する電界ができるはずで, 放電後は破壊点の電位はゼロとなり, 周囲に沿面放電電界が放射状に形成される。その強度は破壊時の試料表面電荷密度に依存し, これが絶縁破壊強度を越えると沿面ストリーマが発生する。この電界分布を左右する因子は電極間の印加電圧による外部電界, 空間及び不織布表面に蓄積された電荷であるが<sup>10)</sup>, 不織布の場合は, 表面抵抗が高いため空間電圧分担に比べて, 不織布層の電圧分担が大きいため, 空間ストリーマは少なく沿面ストリーマが主に発生すると考えられる。この現象は今回の実験でも確認されている。さらに今回の結果を詳しく説明すると, 負コロナ荷電の場合, 十分なコロナ電流によって不織布内への電荷蓄積が進み, 樹枝状のストリーマ・モードが破壊

点から沿面方向の蓄積電荷に向かって進展したものとされる。また, 同じ負コロナ荷電でも不織布裏面に生じる 2~3 mm のドット状放電は, 表層破壊点から層内の蓄積電荷に向かって進展したものか, また層内蓄積電荷と背後電極との間で形成された電界により破壊進展したグロー・モード放電と考えられる。さらに, 裏面でグロー・モード放電と一緒に見られる樹枝状のストリーマ・モード放電は, 背後電極と不織布との接触が不完全なために裏面上を進展した表面層と同じようなストリーマ・モードと推定できる。次に, 正コロナ荷電で見られる 1 mm 以下のドット状沿面グロー放電は絶縁破壊点が安定な負グローコロナとなること, さらに多量の負イオンが放電極に供給されることにより放電極に安定な負イオンのシースができ, 正ストリーマの進展を抑制するというハームシュタイン効果<sup>11)</sup>の影響によるものと思われる。また, 裏面のドット状の沿面グロー放電痕が荷電面より大きい理由は, 蓄積電荷の分布に依存して, 広い面積に蓄積された電荷が背後電極に放電したものと考えられる。

### 3.2 表面電位

電荷図形に続きエレクトレット不織布の帯電状態を知るためすでに述べた 2.6 の方法で表面電位を測定した。試料には電荷図形に用いたものと同じものを使用した。図 13, 図 14 に -40 kV と +25 kV で印加した荷電面とその反対面の表面電位を印加前の結果と比較して示した。この図から表面電位は印加極性によらずヘテロ電荷を示し, 中心部と周辺部の差もなく, また印加電圧が大きくなると高くなることがわかる。負コロナでは最大 160~180 V, 正コロナでは最大 200~240 V を示し, 正コロナの方がやや高い表面電位を示した。表面電位曲線の変動は正負電荷の混在を示しており, また, 一樣な表面電位極性は全般的にヘテロ電荷がホモ電荷より多いことを示すもので, 見掛け上はヘテロ電荷である。この理由は逆電離現象により生じた反対イオン源が荷電面の放電痕に残り, また反対面では接触電極からその補償電荷が与えられたと考えられる。また, 試料の中心部と周辺部で輝度分布があるにもかかわらず電位差が生じなかった

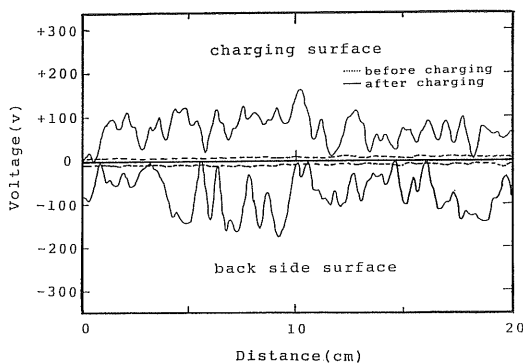


図 13 表面電位 (印加電圧 -40 kV)  
Fig. 13 Surface potential (applied voltage of -40 kV).

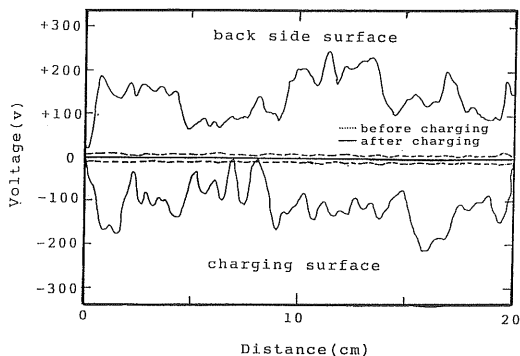


図 14 表面電位 (印加電圧 +25 kV)  
Fig. 14 Surface potential (applied voltage of +25 kV).

理由は、ある程度以上のコロナ電流密度と外部電界があれば逆電離が生じて均一な帯電が得られるものと思われる。いいかえれば逆電離は繰り返し放電であるので、位置によりコロナ電流密度差が生じて<sup>12)</sup>、絶縁破壊すればイオン源による帯電電位は変わらないものと推定できる。今回の実験で得られたエレクトレット不織布の表面電荷密度は表面電位を基に計算すると、 $1.3 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2$  (平均電位 200 V の場合) となり、空気の絶縁破壊強度<sup>13)</sup> から計算した表面電荷密度  $2.7 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2$  にほぼ近い値であり、電荷が混在していることを考慮すれば十分に帯電されていると思われる。

3.3 熱刺激脱分極電流

エレクトレット不織布の生成機構、帯電状況を調べるため熱刺激脱分極電流 (TSDC) を測定した。試料には前述と同じものを使用した。図 15, 16 は、それぞれ負及び正コロナ印加で、電圧を変更した試料の TSDC である。図の電流の向きは荷電面から接触電極に流れ出る方向を正としている。正負いずれのコロナ印加でも観測されたのはヘテロ電流であり、電圧が高くなると電流が大

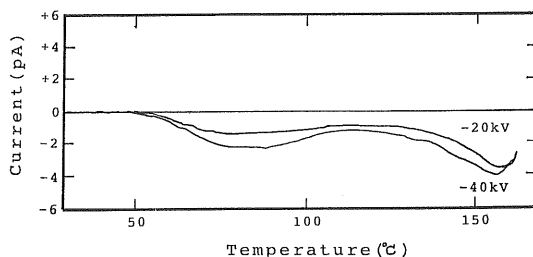


図 15 熱刺激脱分極電流 (-20 kV, -40 kV)  
Fig. 15 Thermally stimulated depolarization currents (applied voltages of -20 and -40 kV).

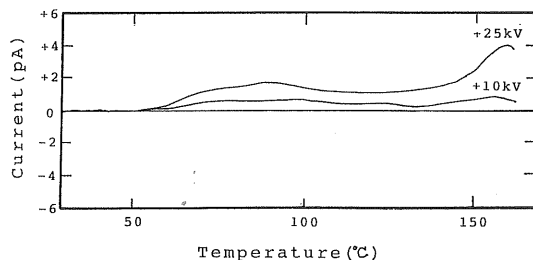


図 16 熱刺激脱分極電流 (+10 kV, +25 kV)  
Fig. 16 Thermally stimulated depolarization currents (applied voltages of +10 and +25 kV).

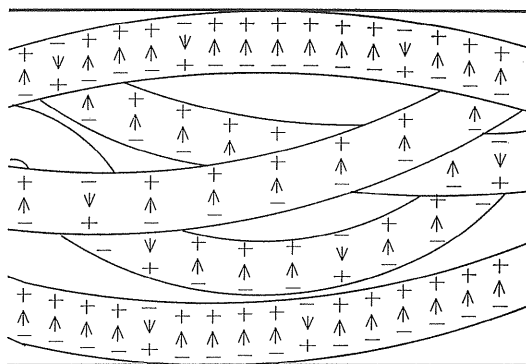


図 17 エレクトレット不織布の帯電モデル  
Fig. 17 Charged model of electret nonwoven fabric.

きくなる傾向にある。TSDC の原因はイオン分極と電荷注入が考えられるが、コロナ印加法から主に電荷注入と考えて良い<sup>14)</sup>。また、ピーク温度は 80°C と 150°C に現われ、その曲線は荷電極性によらず良く似ている。80°C ピークは PP の動的粘弾特性 ( $\tan \delta$ ) の  $\alpha$  分散のピーク温度<sup>15)</sup> と一致することから、結晶内及び結晶界面に物理的にトラップされた電荷<sup>16)</sup> が熱解放されたものと考えられる。また、もう一つのピークは PP の融点付近の熱運動によって解放されたもので、一層安定な電荷と考えられる。また、ヘテロ電流が観測される理由は、電荷図形や表面電位の結果から明らかとなった不織布帯電モデルを図 17 とすれば説明できる。すなわち、電荷は繊維表



面に多いヘテロ電荷対と少ないホモ電荷対が双極子的に分布していると思われる。また、内層は電荷注入も逆電離現象も生じ難く、電荷は少ないと思われる。これらの電荷対は温度上昇によって熱解放され、表面抵抗の少ない繊維表面を流れて電荷消失するため、ヘテロ電流が観測されたものと考えられる。

### 3.4 エレクトレット化機構の推定

エレクトレット化機構は今まで述べてきたとおりであるがまとめると次のようになる。高圧印加した針電極から発生したコロナ電流により体積抵抗率の高い不織布内に電荷が蓄積され、ある点で電界が絶縁破壊強度以上となると、逆電離現象を生じて空間と沿面に放電を起こす。これによりできた反対イオンが放電痕に残留すると共に、反対面から補償電荷が入ってヘテロ電荷を形成する。また、その他の部分では、未放電の注入電荷によりホモ電荷を形成する。このためヘテロ電荷とホモ電荷の混在であるが、ヘテロ電荷のほうが多いため、見掛け上はヘテロ電荷である。また、不織布層内は電荷注入も少ないので、逆電離放電も生じ難く、エレクトレット化帯電は少ないはずである。この点については、今後もう少し詳しい検討が必要である。

## 4. 結 論

コロナ荷電によるポリプロピレン不織布のエレクトレット帯電特性の解明を試み、次の新しい知見を得た。

(1) ポリプロピレン不織布のエレクトレット化帯電が、不織布層で生じる逆電離現象に起因するという、従来の薄膜エレクトレットでは見られなかった不織布特有の新しい現象であることを見出した。また、逆電離で生成された電荷は、主にヘテロ電荷であるが、他にホモ電荷と中性の空帯も存在することがわかった。

(2) 逆電離放電の波形は不均一なランダムパルスでなく、規則的なトリッチェリパルスか無パルスコロナと考えられる。また、印加電圧の上昇による逆電離電流の増加は、放電回数の増加に基づくものと思われる。

(3) 逆電離放電モードにはストリーマ・モードとグロー・モードとがあり、これらは印加極性、印加電圧、不織布と電極との接触状態の影響を受けることがわかった。

(4) 電荷凶形と表面電位の解析結果からエレクトレット不織布の帯電モデルを提案した。

(5) 熱刺激電流の解析結果からエレクトレット不織布の生成機構が電荷注入機構であることを推定した。

## 謝 辞

熱刺激電流測定法と結果について有益なご助言を頂きました滋賀大学、真道公雄先生（現滋賀医科大学）とイメージインテンシファイア測定に協力頂きました浜松ホトニクス(株)高田浩美氏、吉田治正氏に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 安藤勝敏：繊維学会誌, 47 (1991) 344
- 2) 安藤勝敏, 小川 庸, 富樫良一 (東レ)：特開昭 61-102476 (1986)
- 3) 小田哲治, 落合 淳, 高橋 正：静電気学会講演論文集 '87, p.355 (1987)
- 4) 増田閃一：電気学会誌, 80 (1960) 1482
- 5) 増田閃一, 新岡正樹：電気学会論文誌A, 96 (1976) 412
- 6) 玉河 元：放電 (実験物理学講座 19), p.60, 共立出版 (1975)
- 7) S. Masuda : Inst. Phys. Conf. Ser., 27 (1975) 154
- 8) W. Stark : J. Electrostat., 22 (1989) 329
- 9) 大木正路：放電ハンドブック (電気学会編), p.222, オーム社 (1974)
- 10) 増田閃一, 水野 彰, 阿久津顕右：静電気学会誌, 2 (1978) 188
- 11) 増田閃一, 新岡正樹：電気学会論文誌B, 95 (1975) 424
- 12) 大久保利一, 野本幸治, 足立宜良：静電気学会誌, 8 (1984) 398
- 13) 静電気学会：静電気ハンドブック, p.713, オーム社 (1981)
- 14) 静電気学会：静電気ハンドブック, p.155, オーム社 (1981)
- 15) 高木謙行, 佐々木平三：ポリプロピレン樹脂, p.60, 日刊工業新聞社 (1989)
- 16) 家田正之, 高井吉明：静電気学会誌, 4 (1980) 262