

**小論文****不織布厚みがエレクトレット帯電特性に与える影響**

安藤 勝敏\*, 近藤 五郎\*

(1994年3月18日受理)

**Effect of Various Thickness of Nonwoven Fabrics  
on Electret Charging Properties**

Katsutoshi ANDO\* and Goro KONDO\*

(Received March 18, 1994)

In the previous paper, it was found that electret charging properties on nonwoven fabrics was affected by phenomena of back discharge, by observing the light signal with image intensifier, dust figures and surface potentials. Furthermore, in order to analyze the electret mechanism, the investigation of nonwoven structures, namely thickness, packing density, fiber diameter, etc. on back discharge and charging properties are necessary. In the present paper, the effect of thickness on charging properties after back discharge is studied. After applying positive and negative voltage to nonwoven fabrics with various thickness, the influences of thickness on property between applied voltage and current, dust figure, charge density, charge retention after charging are measured. From these results, the relationship between thickness and modes of back discharge, charge distributions, charge densities, charge retentions were discussed.

**1. 序論**

オランダ TNO 応用物理研究所のターンフォルト博士の提案によるエレクトレットフィルタは、従来フィルタにない低圧力損失、高捕集効率を持つことから、ビル空調、機器、マスク用などの各種フィルタに使用されている。さらに、最近では超高性能のクリーンルームフィルタ、電気的に塵埃を吸着するワイバーや、髪の毛が落下し難いヘヤーキャップなどの用途にも用いられ始めている<sup>1)</sup>。しかしながら、エレクトレット不織布の特性は通常のエレクトレット薄膜と異なり、繊維状であるため帶電挙動、帶電特性、電気特性などほとんど知られていない<sup>2)</sup>。そこで、筆者らはコロナ放電による不織布表面でのエレクトレット化帶電挙動を調べ、不織布表面で蓄積された電荷が逆電離放電を起こし、これにより不織布をヘテロ電荷帶電させることを報告した<sup>3)</sup>。さらに詳しく、エレクトレット機構を解明するには、不織布構造が逆電離放電や帶電特性に与える影響を調べる必要がある。そこで、今回は不織布厚みが帶電特性に与える影響

を調べたので報告する。

**2. 実験条件****2.1 試料**

表1のごとく繊維充填率がほぼ同じの厚みの異なるポリプロピレンメルトブロー不織布を試料に用いた。

**2.2 電圧電流測定**

図1に示す測定装置を用いて、印加電圧-電流特性を測定した。この場合、不織布中の電界電流分布を均一にするため主電極(20 mm 直径)の周囲にガード電極(200 mm 直径)を設けて測定した。

**2.3 エレクトレット化法**

先端の尖った直径3 mm、長さ9 mm の針電極と半導体フィルム(体積抵抗率 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 、厚み200 μm)を上に置いたアース電極の間に、100 mm 直径の試料を置き、針電極1本に高電圧を印加してエレクトレット化帶電を行った。条件は電圧-40 kV、または+25 kV、電極間距離5 cm、印加時間60秒で、温度20°C、相対湿度65%で行った。

**2.4 表面電位測定**

測定試料をアース電極に接触させ、試料表面の電位を表面電位計(モンロー社製、model-244)で測定した。測定条件はプロープ試料間隙3 mmで、試料を速度20

キーワード：エレクトレット、不織布、放電、帶電

\* 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, 520 Japan

表 1 ポリプロピレン不織布の物理的特性

Table 1 Physical properties of polypropylene non-woven fabric.

non-woven fabric	thickness (mm)	packing density (—)	fiber diameter ( $\mu\text{m}$ )	weight ( $\text{g}/\text{m}^2$ )
A	0.12	0.185	1.8	20
B	0.23	0.193	1.8	40
C	0.34	0.196	1.8	60

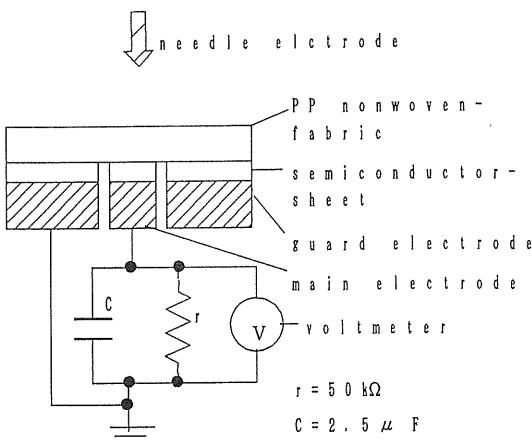


図 1 電圧電流測定装置

Fig. 1 Apparatus for measuring applied voltage and current.

cm/分で移動させながら直径 100 mm の試料表面電位を連続的に測定し、その平均値を表面電位とした。環境条件は温度 20°C、相対湿度 65% である。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 電圧電流特性

不織布厚みが印加電圧と電流特性の関係に与える影響を調べるために図 1 の装置で測定した。正負電圧の結果を図 2、図 3 に示した。両図の不織布有無曲線を比較すると、負電圧では逆電離現象による電流増加特性が認められるが、正電圧では認められなかった。正電圧でも逆電離が生じていることは、後述の電荷图形からもわかっているので、これは正負電圧による逆電離放電現象の差と考えられる。すなわち、負電圧では逆電離によりストリーマ放電が生じて電流増加を起こしているものと予想されるが、正電圧では逆電離が安定な負グローコロナであること、また発生した負イオンが放電極に供給されて電極からの放電を抑制するのではないかと推定される<sup>4</sup>。厚みの影響は火花放電の低下として現れているが、電流量には影響していない。火花放電の低下は逆電離放電に

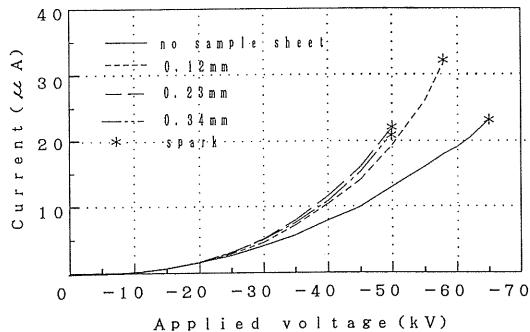


図 2 負印加電圧-電流特性

Fig. 2 Relationship between negative applied voltage and current.

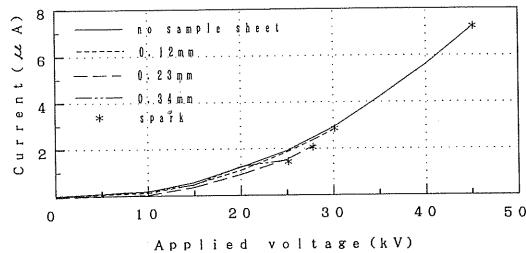


図 3 正印加電圧-電流特性

Fig. 3 Relationship between positive applied voltage and current.

よって作られる不織布層内外のプラズマ空間と関係するはずで、厚みの増加は放電ストリーマを長くすることから(3.2 項、電荷图形で説明)、プラズマ空間が長くなり火花電圧を低下したと推定される。また、電流量が変化しないのは、電流は放電極からの電圧電流特性により決まるものであり、逆電離の厚みの影響によらないためと考えられる。

#### 3.2 電荷图形

不織布厚みが逆電離放電にどのように影響を与えるかを調べるために、-40 と +25 kV で印加した後の不織布荷電面の電荷图形を調べた。图形は正負トナー(キヤノン製)を不織布荷電面の中央部付近に付着させて描いたものである。-40 kV の場合は正トナーを、+25 kV の場合は負トナーを用いて描いた。この图形を画像処理(ピアス(株), LA-525)して図 4 に、そして画像計算結果を表 2 に示した。画像処理は電荷图形の凹凸部をなくすため電子写真に撮り(富士 XEROX, Vivace 500)、これを CCD カメラを通してモニターテレビに取り込み 2 値化処理を行ったものである。図 4 から正負電圧による電荷图形模様の差、放電痕のヘテロ電荷、そして厚み增加による放電密度、放電面積率の減少が認められた。正負

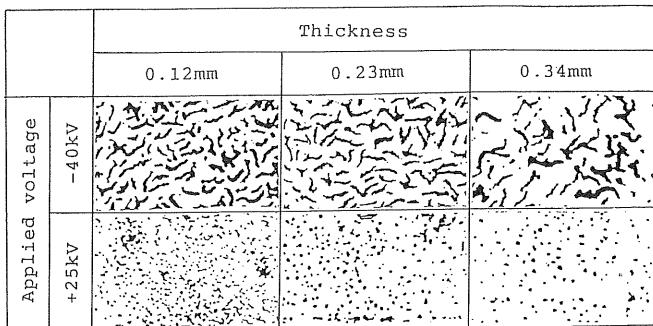


図 4 画像解析した荷電面の電荷図形

Fig. 4 Dust figures of charged surface drawn by image analyzer.

表 2 電荷図形の画像計算結果

Table 2 Results of image analyzed calculation on dust figures.

item		Thickness		
		0.12 mm	0.23 mm	0.34 mm
-40 kV	unit average discharge area (mm <sup>2</sup> )	1.8	2.2	2.5
	discharge density (un/cm <sup>2</sup> )	16.3	12.4	9.1
	discharge area rate (%)	30.2	28.7	22.9
+25 kV	unit average discharge area (mm <sup>2</sup> )	0.33	0.42	0.23
	discharge density (un/cm <sup>2</sup> )	55.2	20.8	15.8
	discharge area rate (%)	17.9	8.8	3.6

電圧による図形差は逆電離放電形式の違いによるもので、負電圧ではストリーマ状放電が、また正電圧では安定なグロー状放電が生じているため差が現れたものと考えられる<sup>3)</sup>。また、ヘテロ電荷は逆電離現象により生じた反対電荷が不織布表面に残留したものと考えられる。そして、厚みの影響は不織布上の蓄積電荷による厚みに基づく電界強度によるものと考えられる。すなわち、放電極から供給される電荷は厚みに関係なく一定であるので、不織布表面に蓄積される電荷量も一定と仮定できる。そこで、電界強度は厚みに反比例するので、薄いほど絶縁破壊電界に早く達するとともに破壊点の数が多くなるはずである。このため破壊点から蓄積電荷または空間に向かって多くの放電が起きる。反対に、厚くなれば破壊点の数は少なく、これに向って蓄積電荷が集中するため放電も長くなると予想される。表 2 の画像解析結果からわかるように、放電密度は負電圧では 9~16 個/cm<sup>2</sup>、正電圧では 15~55 個/cm<sup>2</sup> と薄くなるほど多い。放電面積率は負電圧では 22~30%，正電圧では 3~18% と同じように薄くなるほど大きい。また、1 個あたりの放電痕面積も薄くなるほど少なくなっている。このように不織布厚みは逆電離放電の様態に大きく影響を与える。

### 3.3 表面電荷密度

-40 kV と +25 kV でエレクトレット帶電した試料を、1 日間アルミ箔に包んで温調室 (20°C, 65%) に保管した後、表面電位を測定した。表面電荷密度の算出は下式(1)を用いて行い、その結果を図 5, 6 に示した。

$$\sigma = \frac{V}{d_1/\epsilon_1 + d_2/\epsilon_2} \quad (1)$$

$\sigma$  : 表面電荷密度 [C/m<sup>2</sup>]

$V$  : 表面電位 [V]

$d$  : 不織布厚み [m]

$d_1$  : 繊維層見掛け厚み (=不織布厚み  $d$  × 不織布中の纖維体積率) [m]

$d_2$  : 空気層見掛け厚み (=不織布厚み  $d$  × 不織布中の空気体積率) [m]

$\epsilon_1$  : 繊維の誘電率

$\epsilon_2$  : 空気の誘電率

正負いずれの電圧でも厚みは表面電荷密度に影響を与えるよう、厚くなれば減少している。帯電極性も厚みに依存し、薄ければヘテロ電荷であるが、厚くなれば負電圧の図形に見られるように電荷極性が乱れてくる。これらの帯電特性はエレクトレット化要因である不織布表面での逆電離の放電様態と密接に関係しているはずであ

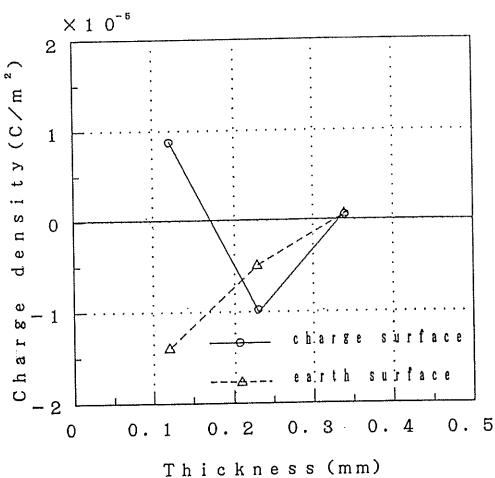


図 5 負荷電後の表面電荷密度

Fig. 5 Surface charge density after negative corona charging.

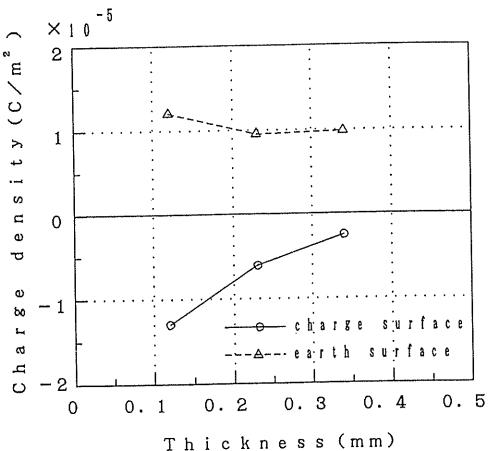


図 6 正荷電後の表面電荷密度

Fig. 6 Surface charge density after positive corona charging.

そこで、図 4 の電荷图形に示されているように薄くなれば放電面積率が大きくなるので、ヘテロ電荷に基づく表面電荷密度も大きくなるはずである。これに対して、厚くなれば放電面積率は小さくなるので、ヘテロ電荷量も少なくなりホモ電荷量が相対的に大きくなつて表面電荷密度も減少し、かつ電荷極性も乱れてくると考えられる。ここで、厚さ 0.12 mm の不織布の表面電荷密度を(1)式に従って計算すると  $1.1 \sim 1.7 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2$  となる。この値は空気の絶縁破壊電圧を基に計算した値  $3 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2$  に近く<sup>5)</sup>、表面電荷密度がヘテロとホモ電荷量の差あることを考慮にいれれば十分に帶電しているものと思われる。

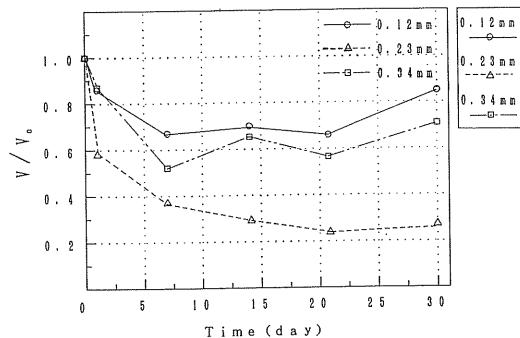


図 7 負荷電後のエレクトレット不織布の電荷安定性

Fig. 7 Charge retention of electret nonwoven fabric treated by negative corona charging.

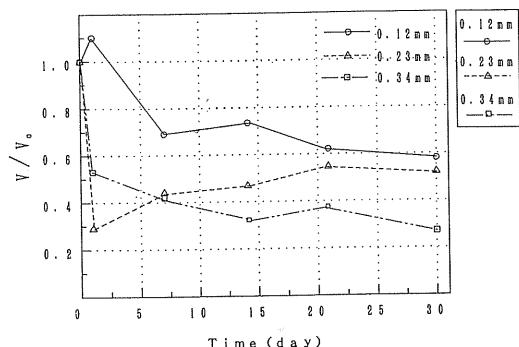


図 8 正荷電後のエレクトレット不織布の電荷安定性

Fig. 8 Charge retention of electret nonwoven fabric treated by positive corona charging.

### 3.4 電荷安定性

正負電圧で印加した厚みの異なる帶電不織布の電荷の長期安定性を調べるために、印加後の試料を温調室 ( $20^\circ\text{C}$ , 65%) に 1か月間保管しながら表面電位の変化から減衰率を測定した(図 7, 8)。厚みは減衰率に影響を与えるようで薄い不織布ほど減衰率が少ない。減衰率は薄い場合で 30~40%, 厚い場合で 50% 以上である。全体的な不織布の減衰傾向は初期に大きく、それ以降は一定値に達する。薄い不織布の電荷減衰が少ない理由を調べるために熱刺激電流特性を測定した。図 9 は  $-40 \text{ kV}$  電圧の場合の経日変化前後の熱刺激電流特性を示す。ここで、熱刺激電流特性とは試料を電極間に挟み微少電流計を介して閉回路を作り、 $5^\circ\text{C}/\text{分}$  で試料を昇温しながら発生する脱分極電流を測定したものである<sup>6)</sup>。図の電流の向きは荷電面から接地電極に流れる方向を負としている。まず印加直後では、薄い不織布ほど脱分極電荷量、すなわち温度と電流曲線で囲まれた面積は大きく、その上高温部での脱分極電流量も多い。1か月後の脱分極電流を破線で示したが、その電流減少はいずれの厚みの不

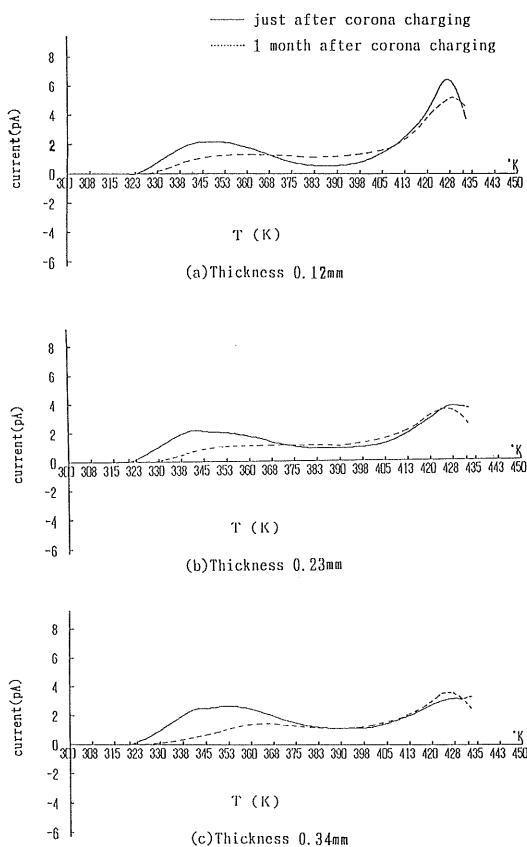


図 9 热刺激電流特性 ( $-40 \text{ kV}$ )  
Fig. 9 Thermally stimulated current ( $-40 \text{ kV}$ ).

織布も低温部のみに見られた。このことから、経日変化による電荷減衰は低温部の不安定なトラップ電荷に基づく脱分極であることがわかる。この結果、厚い不織布は

低温部の脱分極電流量比率が大きいので、電荷減衰率が大きくなつたと推察される。

#### 4. ま と め

不織布厚みがコロナ荷電によるエレクトレット帶電特性に与える影響について調べて次の知見を得た。

- (1) 不織布厚みはコロナ荷電による不織布表面上での逆電離放電様態に影響を与える。厚くなると放電密度と放電面積率とが減少する。これは蓄積電荷による電界強度が厚みに反比例するため、厚くなると絶縁破壊点の数が減少するためと考えられる。
- (2) 厚みの増加は帶電特性にも影響を与え、表面電荷密度が低下して表面の電荷極性も乱れる。
- (3) また、厚みの増加は不織布中の電荷安定性にも影響を与え、長期的な電荷減衰率が大きくなる。これは、厚みの増加が不安定なトラップ電荷を増加するためと考えられる。

#### 謝 詞

測定方法、また結果について有益なご助言を頂きました滋賀医科大学、真道公雄先生に感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) 大阪ケミカルマーケッティング：高機能フィルター NO<sub>2</sub>, p. 86 (1993)
- 2) 小田哲治、落合 淳、高橋 正：静電気学会講演論文集, '87, p. 355 (1987)
- 3) 安藤勝敏、近藤五郎：静電気学会誌, 18 (1994) 119
- 4) 増田閃一、水野 彰、阿久津顕右：静電気学会誌, 2 (1978) 188
- 5) 静電気学会編：静電気ハンドブック, p. 216, オーム社 (1981)
- 6) 橋本寿正：応用物理, 58 (1989) 375