Electret Properties of Nonwoven Polypropylene Fabric by Streaming Electrification

ANDOH Katsutoshi*, TAKEUCHI Masanori

*Department of Home Economics, Osaka Seikei College,
3-10-62 Aikawa, Higashiyodogawa-ku, Osaka 533-0007, Japan*

Received 9 July 2007; accepted for publication 30 October 2007

Abstract

Conventional electret polypropylene nonwoven fabrics were made by corona discharging method. The both outer surfaces of the nonwoven fabrics had a lot of charge, but the inner parts of the nonwoven fabrics had poorer charge than both outer surfaces. Therefore, this paper reported the streaming electrification which was to make insulation liquid stream through the polypropylene nonwoven fabric. It was found that the both of outer surfaces and inner parts of the nonwoven fabric were uniformly charged, and also the polarization with positive and negative was confirmed by observation of dust figures. The performance of the filtration was superior to the conventional electret nonwoven fabric.

Key Words: Electret, Streaming electrification, Polypropylene nonwoven fabric

流動帯電によるポリプロピレン不織布のエレクトレット特性

安藤勝敏*, 竹内雅則

大阪成蹊短期大学総合生活学科

1. 緒言

ポリプロピレン不織布を用いたエレクトレットフィルターは低圧力損失、高捕集効率であるため、ビル空調、マスク、クリーンルームフィルターなどに多く使用されている[1]。このフィルターのエレクトレット化方法はコロナ荷電による電荷注入である。この方法でのエレクトレット化は電極間に不織布を設置してコロナ荷電するため、不織布の表層と裏面層に荷電が多く注入された。このため不織布内層は少ない電荷となった[2, 3]。

そこで、本報ではUSP5496507に記載されているポリプロピレン不織布に流体を通過させて、不織布内部までエレクトレット化する流動帯電法を検討したので報告する[4]。

2. 実験方法

2.1 試料

流動帯電用のポリプロピレン不織布は、ノズル孔から吐出

した溶融樹脂を加熱空気により吹き飛ばして捕集ネット上に推積し、自己融着する方式のメルトブロー不織布製造装置（文献[5]記載の装置と同様な装置）を使用して試作した。その特性は厚み0.37 mm、目付50 g/m²、平均繊維径1.7 μmであり、繊維の体積固有抵抗が10¹⁶ Ω・cm以上のポリプロピレン不織布である。

2.2 装置

流体処理装置はFig. 1に示すように、水槽内に幅1 mm、長さ150 mmのスリットを有するステンレス製の吸引パイプを設置し、サンプルホルダーに取り付けた不織布を吸引パイプのスリットに隙間なく布の張力により接触させて走行させながら、吸引ポンプで水槽の水を不織布内を通過させてスリットから吸引できる構造のものを作製して使用した。

2.3 使用流体

使用流体として電気伝導率が異なる流体（電気伝導率

* 連絡先：大阪成蹊短期大学総合生活学科 533-0007 大阪市東淀川区相川3-10-62
E-mail: andoh@osaka-seikei.ac.jp, Tel: +81-6-6829-2564, Fax: +81-6-6829-2597

Fig. 1 Apparatus for forming electret by streaming electrification.

Fig. 2 Apparatus for measuring filter performance.

2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ~ 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の7水準の水) を使用した。

2.4 処理条件

処理は流体速度 (幅1 mm, 長さ150 mmのスリットを通過する水の平均速度) を10~63 cm/s, 処理時間 (幅1 mmのスリットを不織布が通過する時間) を0.1~77 sの範囲で変更して実施した。なお, 処理時間の変更は, 不織布の移動速度を0.13 cm/s~1.0 cm/sと変更して行った。

また, 不織布移動速度を0.5 cm/sと一定にし, スリットを通過する回数 (処理回数) を1~15回と変更し, トータル処理時間を0.2~3.0 sとする実験も実施した。

流体処理したサンプルは室温で1昼夜乾燥した後, 100℃で15分乾燥したものを評価サンプルとした。

2.5 フィルター性能

自作したFig. 2の装置を用いて流体処理した不織布のフィルター性能を評価した。評価用の粉塵として室内浮遊粒子 (粒子径0.3 μm 以上) を使い, 試料フィルター入側粒子濃度 C_i と試料フィルター通過後の出側粒子濃度 C_o をレーザーカウンター (リオン (株) 製 PARTICLE COUNTER KC-01D) で測定して, 透過率 $P = C_o/C_i$ を算出した。

なお, 本報告はフィルター通過速度3 m/minの条件で測定した。また, 圧力損失はフィルター前後の静圧差から求めた。

2.6 電荷図形の作成

静電写真用の富士ゼロックス (株) 製赤色プラストナーと青色マイナストナーを荷電不織布表面に付着させて電荷図形を作成した。

2.7 熱刺激電流測定

自作したFig. 3の装置を用いた。測定は電極直径30 mmの2つの電極の間に試料を挟み, 2℃/minで試料を昇温しながら, 電極間を流れる電流をデジタルエレクトロメーター (ADVANTECH社製 R8252)で測定した。

2.8 コロナ荷電法

自作したFig. 4のコンベア式コロナ荷電装置を用い, 流体処理に使用したものと同じ不織布試料をコロナ荷電装置 (針電極: 2列×13本, 列間距離10 mm, 針間距離12.5 mm千鳥配列) の移動アース板上に設置し, 針先端との距離を10 mmにして, サンプル移動速度30 cm/min, 印加電圧-7.5 kVでコロナ荷電した。

3. 結果と考察

3.1 加工条件とフィルター性能

3.1.1 使用流体

流体の速度を30 cm/s, 処理時間を0.2 sに固定し電気伝導

Fig. 3 Apparatus for measuring thermally stimulated current (TSC).

Fig. 4 Apparatus for forming electret by corona discharging.

Fig. 5 Relationship between penetration efficiency and electric conductivity of water. Charging condition; velocity of water 30 cm/s, treating time 0.2 s.

Fig. 6 Relationship between penetration efficiency and velocity of water. Charging condition; electric conductivity of water $2 \mu\text{S/cm}$, treating time 0.2 s.

率が異なる流体 ($2 \mu\text{S/cm} \sim 225 \mu\text{S/cm}$ の 7 水準の水) を使用して流体処理した場合のフィルターの粒子透過率を測定した。その結果を Fig. 5 に示す。未処理品(粒子透過率 0.453, 圧力損失 51 Pa)に比べて処理品の粒子透過率はいずれも大幅に小さくなっているが、その値は流体の電気伝導率に大きく依存し、電気伝導率が $10 \mu\text{S/cm}$ 以下の流体では、透過率が 10^{-5} レベルの高性能のフィルターが得られた。なお、これら処理品の圧力損失は 44 ~ 50 Pa であり、未処理品よりやや低下している。

3.1.2 流体の速度

流体の電気伝導率を $2 \mu\text{S/cm}$ 、不織布の移動速度を 0.5 cm/s (処理時間 0.2 s) に固定し、流体の速度を変更した場合の粒子透過率の測定結果を Fig. 6 に示す。この結果は流体の速

Fig. 7 Relationship between penetration efficiency and treating time of streaming electrification. Charging condition; electric conductivity of water $2 \mu\text{S/cm}$, velocity of water 30 cm/s.

Fig. 8 Relationship between penetration efficiency and treating times of streaming electrification. Charging condition; electric conductivity of water $2 \mu\text{S/cm}$, velocity of water 30 cm/s.

度が 30 cm/s 付近で粒子透過率が最も小さくなっている。処理状態の目視観察結果では、10 cm/s と 20 cm/s の条件では処理後の不織布内に空気が残留した状態であり、水と繊維との摩擦が不十分と推定される。30 cm/s 以上では不織布内に空気の残留は認められず、十分な摩擦が行われたものと考えられる。

3.1.3 処理時間

電気伝導率が $2 \mu\text{S/cm}$ の流体を使用し、流体の速度を 30 cm/s に固定し、不織布の移動速度を変えて処理時間を変更した場

合の結果をFig. 7に示す。この結果は処理時間0.2 s付近で透過率が最も小さくなり、処理時間が長くなるにつれて、粒子透過率は大きくなる傾向を示している。

3.1.4 処理回数

流体の電気伝導率を $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、流体の速度を $30 \text{ cm}/\text{s}$ 、不織布の移動速度を $0.5 \text{ cm}/\text{s}$ （処理時間0.2 s）に固定し、処理回数（吸引パイプのスリット上を不織布が通過する回数）を変えた場合の結果をFig. 8に示す。処理回数を増やす（全処理時間を0.2～3.0 s）につれて、透過率は大きくなりフィルター性能は低下している。この傾向は、前記3.1.3の結果と同様、処理時間が長くなると透過率が増加することを示して

いる。

すなわち、流体処理をする場合には、最初に不織布中に含有される空気が水で排出された後に、摩擦により繊維が帯電する。しかし処理時間が長くなるにつれて既存電荷が中和されて、電荷が減少し透過率が増加すると考えられる。

3.1.5 乾燥温度

流体処理後のサンプルの乾燥温度を変更してフィルター性能を測定した結果をFig. 9に示す。ただし、サンプルの処理条件は、流体の電気伝導率 $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、流体の速度 $30 \text{ cm}/\text{s}$ 、処理時間0.2 s、乾燥時間15 minである。

この結果は 130°C までは粒子透過率の悪化は認められず、安定したエレクトレットの状態を保持していることを示している。 140°C 以上の温度で急激に悪化するの是不織布を構成するポリプロピレン繊維の結晶が部分的に融解を開始し熱運動が激しくなり、電荷が消失するためと考える。

3.1.6 経時変化

3.1.5と同条件で処理した流動帯電品 (A) の処理直後と3ヶ月後（室内常温保管）の粒子透過率をコロナ荷電品 (B) と比較してFig. 10に示す。流動帯電品はコロナ荷電品より粒子透過率が小さく、経時変化もほとんど認められず安定したフィルター性能を示している。このことから安定した帯電状態と考えられる。

3.2 電荷図形

流動帯電品の帯電状態を調べるため、赤色正トナーと青色負トナーを不織布表面に付着させて電荷図形を作成しコロナ荷電品と比較した。コロナ荷電品の電荷図 (Fig. 11) はすでに報告[3]されているように、青色負トナーの付着する部分（プラスに帯電した樹枝状放電痕部分）と赤色プラストナーの付着するその他の部分（マイナス帯電部分）が明確に区分されている。

一方、流動帯電品の電荷図形はFig. 12に示すように、赤色正トナーと青色負トナーが混在しており、赤色正トナーと青色負トナーの付着部分を区分することができない。また、コロナ荷電品では荷電側表面と反対側表面の電荷図形は異なるが[3]、流動帯電処理品では水の流入側表面と流出側表面の電荷図形は同様で区分できなかった。さらに、目視での顕微鏡観察結果では、不織布の厚み方向の正負トナーの付着状態も区分することはできなかった。これらトナーの付着状態の観察結果から、流動帯電品ではプラス帯電部分とマイナス帯電部分が不織布全体にわたってミクロに分散しているといえる。

これは、コロナ処理ではコロナ放電によってエレクトレット化するのとは主として不織布の表面の繊維であるが、流動帯電では不織布中を通過する流体は不織布表面の繊維に対して、内部の繊維に対しても同等の摩擦力を及ぼすと考えられることから表面の繊維も内部の繊維もエレクトレット化され

Fig. 9 Relationship between penetration efficiency and drying temperature after treating of streaming electrification. Charging condition; electric conductivity of water $2 \mu\text{S}/\text{cm}$, velocity of water $30 \text{ cm}/\text{s}$, treating time 0.2 s.

Fig. 10 Variation of penetration efficiency after treating of streaming electrification.

Fig. 11 Dust figure of charging surface side under negative corona charge. (a) Red: positive toner (b) Blue: negative toner.

Fig. 12 Dust figure of charging surface by streaming electrification. (a) Red: positive toner (b) Blue: negative toner.

るためと考える。この帯電機構はパイプ中を絶縁流体が流れる場合と同様に[6], ポリプロピレン繊維表面と水との間に界面電気二重層が形成され、水の乾燥除去により絶縁物である繊維表面に電荷が残留したと推定される。

3.3 熱刺激電流

流動帯電品の帯電状態を調べるため、コロナ荷電品と比較して熱刺激電流の測定を行った。流動帯電品の測定結果をFig. 13に、コロナ荷電品の測定結果をFig. 14に示す。流動帯電品では明確な熱刺激電流は認められない。

一方コロナ荷電品では140℃付近をピーク値とする明確な熱刺激電流の発生が認められる。この温度はポリプロピレン結晶が部分的に融解を開始する温度にほぼ一致する。すなわち、流動帯電品ではミクロに正に帯電した部分と負に帯電した部分が試料の表面にも内部にも均一に混在しているため、試料の昇温に伴いプラス電荷とマイナス電荷が中和して熱刺激電流は発生しないと考えられる。また、熱刺激電流と

Fig. 13 Thermally stimulated current on the sample by streaming electrification.

Fig. 14 Thermally stimulated current on the sample by corona charging.

しては検出されないが、粒子透過率が小さくフィルター性能が良好なことから、トラップされているトータル電荷量は大きいものと推定される。

一方、コロナ荷電品ではその機構上、帯電しているのは主に試料表面であり、試料全体としてはプラスまたはマイナスに帯電しているため、昇温に伴いトラップされている電荷が中和されることなく熱刺激電流となるものと考えられる。

なお、不織布の分極の様子を流動帯電品とコロナ荷電品を比較して以下にモデルで示す。流動帯電品はFig. 12のトナーの付着状況からプラスとマイナスの電荷が分極した状態で多量に混在しているものと考えられる。また前記したように熱刺激電流が検出されないことも、これを立証している。このことから帯電モデルはFig. 15のように推定される。

一方、コロナ荷電品は電荷注入に基づくため、帯電モデルはFig. 16に示すように、コロナ荷電面が多く帯電し、反対面は補償電荷として逆極性の電荷が多く帯電している。電荷注入は不織布内部まで達しないので、内部の電荷は少ない構造と推定される[3]。

Fig. 15 Charged model of polypropylene nonwoven fabric by streaming electrification.

Fig. 16 Charged model of polypropylene nonwoven fabric by corona charging.

4. 結 言

ポリプロピレンメルトブロー不織布を流動帯電させることにより、エレクトレット化でき、粒子透過率の小さい高性能のフィルターが得られることを確認した。使用流体が水の場合、電気伝導率が小さいほど粒子透過率は小さく、電気伝導率が $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、流体の速度 30 cm/s 、処理時間 0.2 s の条件で、透過率 10^{-5} レベルのエレクトレット不織布が得られた。

また、流動帯電で得られるエレクトレット不織布は、ミクロにプラスに帯電した部分とマイナスに帯電した部分が試料の表面にも内部にも均一に混在している構造をしており、コロナ荷電によるエレクトレット不織布とは分極構造が異なることを見出した。

References

- [1] Sen-i Gakkai (2004) "Sen-i Binran", pp905–906, Maruzen
- [2] Andoh K, Kondo G (1995) *Kobunshi Ronbunshu*, **52**, pp723–726
- [3] Andoh K, Kondo G (1994) *Journal of the Institute of Electrostatics Japan*, **18**, pp119–127
- [4] Agadjivand SA, Jones ME, Meyer DE (1996) "Method of charging electret filter media", Patent Number 5496507, United States
- [5] Sen-i Gakkai (2004) "Sen-i Binran", pp64–65, Maruzen
- [6] The Institute of Electrostatics Japan (1998) "Electrostatic Handbook", pp1053–1062, Ohmsha