

小論文

ECTFE 不織布を用いたエレクトレットフィルタの 静電気捕集効果

安藤 勝敏*, 菅埜 幸治*

(1995年2月13日受理)

Electrostatic Collection Effect on an Electret Filter Made by Chlorotrifluoroethylene-Ethylene Copolymer Nonwoven Fabric

Katsutoshi ANDO* and Kouji SUGANO*

(Received February 13, 1995)

The effect of electrostatic collection on filter efficiency and the durability of an electret filter which was composed of chlorotrifluoroethylene-ethylene copolymer nonwoven fabric were studied. The results of the study showed that the efficiency of electrostatic collection was improved in accordance with the increase of the charge density. Also, a feature of electrostatic collection was analyzed using single collection efficiency calculations. It was found that the charge density of a single fiber of the filter can be estimated by filter theory. The charge density was nearly the same as that of the electret film. Furthermore results showed that the heat durability was slightly better than that of the polypropylene electret filter.

1. 序論

エレクトレットフィルタは高捕集効率で、低圧力損失であるためビル空調、クリーンルームフィルタ、マスクなどに使用され始めている。この素材は主にポリプロピレンが用いられ、優れたエレクトレット性を示すが、耐熱性や耐燃性の短所も持ち合わせている。そこで、これらの特性が優れているクロロトリフルオロエチレン-エチレン共重合体(ECTFE)からなる不織布をエレクトレット化して静電気捕集効果とその温度、湿度下での耐久性を検討したので報告する。

2. 試料と実験方法

2.1 試料

ECTFE ポリマーをメルトブロー法によって直接的に不織布化して図1の電子顕微鏡写真に示す試料不織布を試作した。この特性は、厚み(H) 0.36 mm、充填率(α) 0.158、平均纖維径(d_f) 6 μm 、纖維径分散(B) 0.231、充填不均一性(δ) 2.36 である。ここで、 δ は Kirsch が

定義したファンモデルフィルタ¹⁾のクヌーセン数=0における無次元抗力と実フィルタの無次元抗力との比である²⁾。実フィルタがファンモデルフィルタに近い場合は1となる。ここで、ファンモデルフィルタとは纖維配列が流れに対して垂直でかつランダムな均一充填フィルタのことである。次に、不織布にコロナ荷電でエレクトレット化処理を行い、表面電荷密度 Q の異なるエレクトレットフィルタ(0~ $5.2 \times 10^{-10} \text{ C/cm}^2$)を作成した。

2.2 表面電荷密度

図2に示す Wieder-Kaufmann 法³⁾を用いた装置で表面電荷密度 Q を測定した。測定は電極直径 50 mm、既知コンデンサ C を用いて測定し、 Q を下式から算出した。

$$Q = C \times V/S \quad (1)$$

ここで、 V は測定電位差(V)、 S は測定面積(cm^2)である。

2.3 フィルタ性能

図3に示す装置を用いた。大気塵の入口側濃度 C_1 と試料フィルタ通過後の出口側濃度 C_0 をレーザカウンタ(PMS 製 LAS-X-CRT)で測定して透過率 $P=C_0/C_1$ を算出した。また、圧力損失 ΔP はフィルタ前後の静圧差から求めた。

キーワード: クロロトリフルオロエチレン-エチレン共重合体、不織布、エレクトレット

* 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

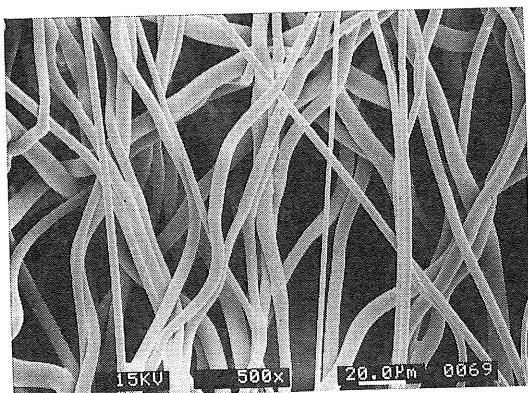


図 1 不織布表面写真

Fig. 1 Surface photograph of ECTFE nonwoven fabric.

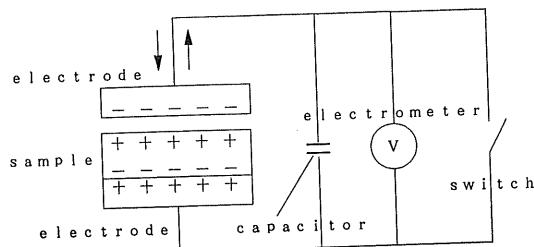


図 2 表面電荷密度測定装置

Fig. 2 Apparatus for measuring surface charge density.

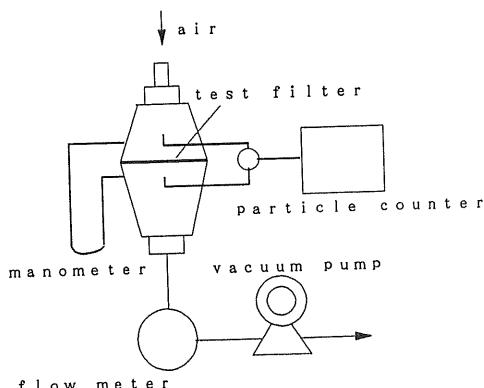


図 3 フィルタ性能測定装置

Fig. 3 Apparatus for measuring filter performance.

3. 結果と考察

3.1 静電気捕集効果

ECTFE フィルタの表面電荷密度 Q が透過率 P と粒子径 d_p の関係に与える影響を風速 2.5 cm/s の場合について検討し、図 4 に示した。 Q の増加により P が著しく

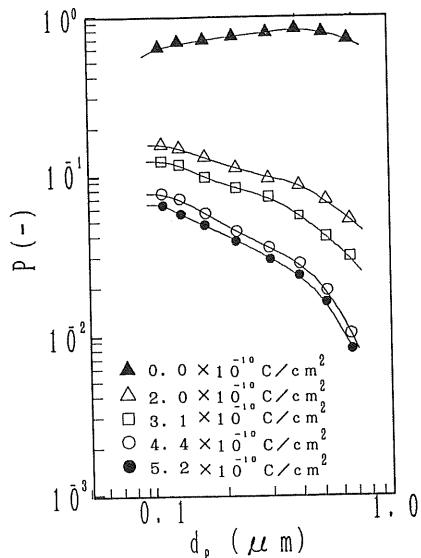


図 4 表面電荷密度と透過率の関係

Fig. 4 Relationship between surface charge density and penetration efficiency.

減少する。また、 $Q=0$ 、すなわち機械的捕集（拡散、慣性など）のみのときの最大透過率 P_{max} は粒子径 $0.4 \mu m$ 付近にある。しかし、 Q をもつ場合は P_{max} は $0.1 \mu m$ 以下となる。これは機械的捕集機構に静電気捕集機構効果が加わり、細い粒子にその効果が有効に働くため小さい粒子側へ移行したものと思われる。この静電気捕集効果をさらに詳しく調べるために単一纖維捕集効率 η について検討した²⁾。 η とは纖維無限前方において纖維の流れ方向に投影した断面内に単位時間当たりに流入した粒子量に対する纖維に捕集された粒子量の割合を示す。そこで、 $Q=0$ の場合の単一纖維捕集効率を η_M 、 Q をもつ場合の単一纖維捕集効率を η_{INC} として、静電気単一纖維捕集効率 η_{INC} は下式で与えられると仮定する。

$$\eta_{INC} = \eta_{INCM} - \eta_M \quad (2)$$

そこで、図 4 の透過率 P と粒子径 d_p の関係から η_M と η_{INC} を求めて図 5 に示した。この結果から η_M は $0.04 \sim 0.1$ 、 η_{INC} は $0.4 \sim 1.0$ となり、静電気捕集効果の大きさがわかる。次に、 Q の具体的なフィルタ性能因子である纖維表面電荷密度 q を推定する。 η_{INC} は誘起力による単一纖維捕集効率 η_{IN} とクーロン力による単一纖維捕集効率 η_C とすれば下式で仮定できる⁴⁾。

$$\eta_{INC} = \eta_{IN} + \eta_C \quad (3)$$

ここで、 η_{IN} と η_C は粒子運動の理論的考察から Brown が求めた下式を用いる⁵⁾。

$$\eta_{IN} = 0.54 h k^{-0.60} K_{IN}^{0.40} \quad (4)$$

$$\eta_C = 0.59 h k^{0.17} K_C^{0.83} \quad (5)$$

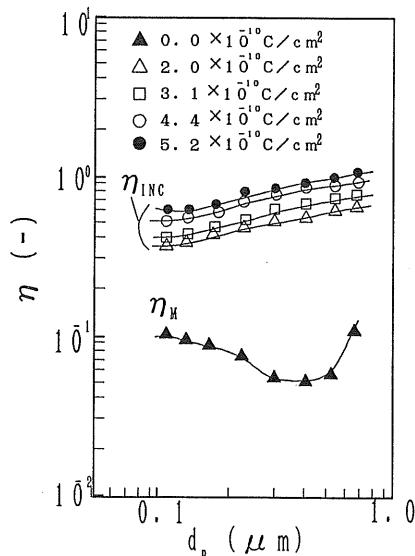


図 5 単一纖維捕集効率

Fig. 5 Single fiber collection efficiency.

ここで、 K_{IN} と K_C はそれぞれ、無荷電粒子に働く誘起力と荷電粒子に働くクーロン力を空気流により生じる抵抗力で割ることにより得られる無次元量である。すなわち、

$$K_{IN} = \frac{6}{15} \times \frac{q^2 d_p^2}{12.3 \varepsilon_0 \mu d_p u_0} \quad (6)$$

$$K_C = \frac{-eq}{10.5 \pi \varepsilon_0 \mu d_p u_0} \quad (7)$$

h_k は桑原の水力学因子で下式で表される。

$$h_k = -0.5 \ln \alpha + \alpha - 0.25 \alpha^2 - 0.75 \quad (8)$$

ここで、(6)、(7)式は大気塵の比誘電率を 3、ECTFE 繊維の比誘電率を 2.5 として算出したものである。また、 ε_0 は真空誘電率、 e は電気素量、 μ は空気粘度、 d_p は粒子径、 u_0 はフィルタ内部の空気速度とする。ここで、 d_p が大きい場合は(6)と(7)式の比較から誘起力が支配的であることがわかるので、(3)式は $\eta_{INC} = \eta_{IN}$ と近似できる。そこで、(4)と(6)式から η_{INO} を推定する。具体的には、図 5 の $Q = 5.2 \times 10^{-10} \text{ C/cm}^2$ の曲線から $d_p = 0.675 \mu\text{m}$ の場合について $\eta_{INC} = \eta_{IN}$ の値 1.1 を求める。この値を $\eta_{INC} = \eta_{IN}$ の関係から(4)式に代入して纖維表面電荷密度 $6.5 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2$ を算出した。この値はエレクトレットフィルタの表面電荷密度より大きく、また ECTFE フィルムをエレクトレット化して得た値 $9.8 \times 10^{-9} \text{ C/cm}^2$ に近い値であり、フィルム並みにエレクトレット化されているものと思われる。

3.2 耐久性

温度及び湿度が ECTFE エレクトレットフィルタの静

電気捕集効果に与える影響について検討した。オープン中で試料フィルタを 30 分間処理して、その透過率変化と TSC から求めたトラップ電荷量 ($\int_{T_R}^{T_M} idT$, T_R : 室温, T_M : 融点) とを調べた⁶。この結果を図 6 に示す。処理温度が 100°C 以上になると透過率が大きくなり性能が低下する。この傾向はトラップ電荷量の減少と密接に関係している。これは処理温度の上昇によりトラップ電荷が ECTFE ポリマーの分子運動に基づいて熱的に解放されるためである。この熱特性はポリプロピレンに比べて少し高い⁷。これは ECTFE ポリマーの結晶分散温度が 10°C ほど高いためである^{8,9}。しかし、両者の融点差 (50°C) ほどの差はない。次に湿度の影響を調べるために 50°C, 95% RH 下で長期間暴露して透過率への影響を調べた。この結果は図 7 に示すように当初は少し透過率が大きくなるがそれ以降は安定している。これは ECTFE 繊維が撥水性であるため湿度の影響を受けにくいためと思われる。最後に ECTFE の耐燃性 (ASTM D2863) は酸素指数で 60 であり、PP の 20 と大きな差がありフィルタとして用いる場合優位性がある¹⁰。

4. おわりに

ECTFE エレクトレットフィルタの静電気捕集効果の大きさを単一纖維捕集効率から明らかにした。また、

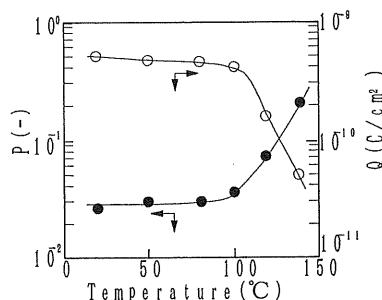


図 6 霧露気温度と透過率の関係

Fig. 6 Relationship between ambient temperature and penetration efficiency.

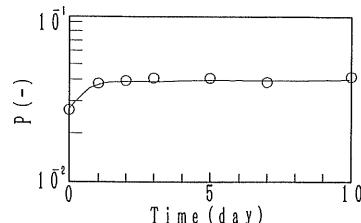


図 7 濡度と透過率の関係

Fig. 7 Relationship between ambient moisture and penetration efficiency.

ECTFE 繊維の表面電荷密度を理論式から推定し、エレクトレットフィルム並みに帶電されていることを見出した。ECTFE エレクトレットフィルタの耐熱性はポリプロピレンより少し高い程度で融点差ほどではない。しかし、耐燃性の優位性はある。

参考文献

- 1) A.A. Kirsch, J.B. Stechkina and N.A. Fuch: *Aerosol Sci.*, **6** (1975) 119
- 2) 江見 準, 金岡千嘉男, 大谷吉生: エアロゾル科学技術討論会要旨集, p. 226 (1985)
- 3) H.H. Vieder and S. Kaufman: *J. Appl. Phys.*, **24** (1953) 156
- 4) 江見 準: 応用エアロゾル工学 (高橋幹二編), p. 175, 齋賀堂 (1984)
- 5) R.C. Brown: *J. Aerosol Sci.*, **12** (1981) 349
- 6) 日野太郎: 電気学会誌, **96** (1975) 109
- 7) 安藤勝敏, 高橋正矩, 富澤良一, 奥村由治: 繊維学会誌, **49** (1993) 323
- 8) 里川孝臣編: フッ素樹脂ハンドブック, p. 513, 日刊工業新聞社 (1990)
- 9) 安藤勝敏, 近藤五郎: 高分子論文集, **51** (1994) 795
- 10) 里川孝臣編: フッ素樹脂ハンドブック, p. 519, 日刊工業新聞社 (1990)