

**小論文****液体中のエレクトレットフィルタの静電気捕集効果**

安藤 勝敏\*, 奥村 由治\*

(1994年9月9日受理)

**The Effect of Collection Efficiency by Electrostatic Force  
on Electret Filter in Liquids**

Katsutoshi ANDO\* and Yoshiharu OKUMURA\*

(Received September 9, 1994)

The effect of collection efficiency by electrostatic forces on electret filter in air is well known, but the effect in liquid has not been investigated. Therefore, for researching the electret effect in liquid, JIS-11 particle was dispersed in organic solvents and insulation oils, and has measured collection efficiency. As a result the electret effect is useful even in liquid and enhance the filtration efficiency. It is found that the collection efficiency is exerted influence upon relative permittivity, additives, particle size, liquid viscosity.

**1. 序論**

オランダの TNO 応用物理研究所のターンハウト博士が、ポリプロピレンフィルムをエレクトレット化して、それを割糸、不織布化してエアフィルタとして使用することを提案した。纖維表面に存在する電荷が、フィルタ内を通過するエア中の粒子に対して静電気吸着効果を及ぼし、著しい捕集効率の改善が認められた。それ以降、各種不織布を用いたエレクトレットエアフィルタの研究が進み<sup>1)</sup>、低圧力損失で高捕集効率のフィルタとしてクリーンルームフィルタ、ビル空調フィルタ、機器フィルタ、マスクなどに使用され始めている。しかしながら、液体中でのエレクトレット効果についてはまだ研究されていない。そこで、エア中と同じように誘電率の低い液体中であれば静電気捕集効果が分散粒子に働くはずと考え、有機溶剤と絶縁オイルについて調べたので報告する。

**2. 実験方法****2.1 試料**

エレクトレットフィルタ (EL フィルタと略す) として纖維径 2 μm, 厚み 0.14 mm, 見掛け密度 0.143 g/cm<sup>3</sup> の EL 化ポリプロピレンメルトブロー不織布を 3

**キーワード:** エレクトレット、フィルタ、液体、不織布

\* 東レ株式会社纖維研究所 (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

枚積層して用いた。1 枚の表面電荷密度は静電誘導法 (2.3 節) で測定した結果, 5.5 × 10<sup>-5</sup> C/m<sup>2</sup> であった。

**2.2 濾過方法と濾過評価法**

図 1 に示す簡単な濾過装置で EL フィルタの性能を評価した。液体 100 ml 中に 1 g/l で JIS11 種ダスト (関東ローム, 中位径 2 μm) を分散させて、この分散液を図のごとく 40 mm ヘッド高さで自然落下させた。落下前後の溶液濃度を図 2 の装置で測定した。石英製の正方形断面のサンプル容器にダストを含んだ溶液を入れ、片側から光を入射し、反対側で受光される光の強度を測定する。溶液中に含まれるダスト濃度が高ければ受光強度は低下する。ダスト濃度を  $n$ , 光の強度を  $I$ , 入射強度を  $I_{in}$ , 透過強度を  $I_{out}$ , 光の液中での光路距離を  $x$  とすると、単位距離当たりのダストの散乱による光の減衰量は、定数  $a$  を用いて下式のごとく表される。

$$\frac{dI}{dX} = -anI \quad (1)$$

ここで、(1)式を解けば(2)式となる。

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \exp(-an) \quad (2)$$

そこで、濃度の定量法として数種の既知ダスト濃度の溶液の  $I_{out}/I_{in}$  強度比を測定して、(8)式にあてはめて定数  $a$  を決定した。これより濃度未知の溶液の  $I_{out}/I_{in}$  を測定して濃度  $n$  を求め、下式(3)より濾過効率  $\eta$  を求めた。

$$\eta = \frac{n_{in} - n_{out}}{n_{in}} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

$n_{in}$  は初期濃度,  $n_{out}$  は濾過後の濃度である。

そして、また濾過速度の目安として溶液の落下時間を測定した。

### 2.3 表面電荷密度測定

図3に示す装置で、電極間に絶縁オイル含浸前後の試料をはさみ、静電誘導法で電極に誘起された電荷を既知コンデンサに蓄積し、その両端の電圧を測定して下式(4)より求めた。

$$Q = CV/B \quad (4)$$

$Q$  は表面電荷密度 ( $C/m^2$ ),  $C$  は既知コンデンサ ( $F$ ),  $V$  は電圧 ( $V$ ),  $B$  は電極面積 ( $m^2$ ) である。

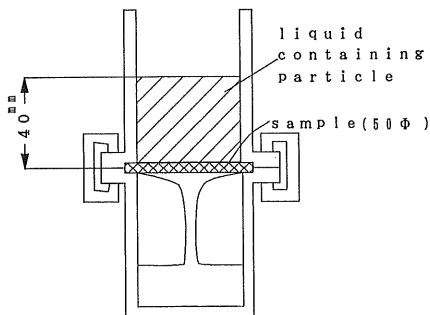


図1 液体濾過の評価装置

Fig. 1 Apparatus for liquid filtration.

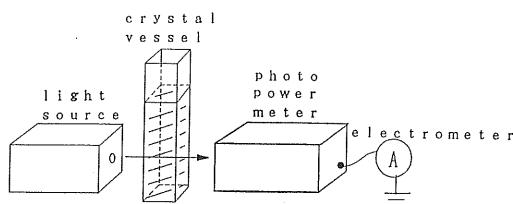


図2 液体中の粒子濃度測定装置

Fig. 2 Apparatus for measuring particle concentration in liquids.

表1 有機溶剤中のエレクトレットフィルタの濾過効率

Table 1 Collection efficiency of electret filter in organic solvents.

Organic solvent	$\epsilon$	Collection efficiency (%)		$r$ value
		non-EL filter	EL filter	
Toluene	2.2	29.5	99.8	3.92
Tetrachloroethylene	2.3	78.0	99.7	3.83
Tetraline	2.7	60.1	92.5	2.81
Trichloroethylene	3.4	59.0	91.5	2.76
Methanol	31.2	16.0	17.8	1.12

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 有機溶剤中の EL 効果

溶液中のダストがエレクトレット繊維の静電気力の影響を受けて吸着するとし、繊維-液体界面での相互作用を考慮に入れないすれば、液中での電界強さは液体の比誘電率 ( $\epsilon$ ) に逆比例するはずである。そこで、比誘電率の異なる5種の有機溶剤、トルエン ( $\epsilon=2.2$ , 粘度 0.77 cps), パークレン ( $\epsilon=2.3$ , 粘度 0.88 cps), テトラリン ( $\epsilon=2.7$ , 粘度 2.0 cps), トリクレン ( $\epsilon=3.4$  粘度 0.58 cps), メタノール ( $\epsilon=31.2$ , 粘度 0.59 cps)<sup>2)</sup> に JIS11種ダストを分散させてエレクトレット効果の有効性を図1, 2の評価装置で調べた。この場合、液中の平均粒子径はトルエン中では 320  $\mu\text{m}$ , パークレン中で 315  $\mu\text{m}$ , テトラリン 280  $\mu\text{m}$ , トリクレン中で 240  $\mu\text{m}$ , メタノール中で 8  $\mu\text{m}$  であった。結果は表1に示すとおりで、EL フィルタの濾過効率は EL 化前のフィルタに比較して著しい向上が認められた。また、EL 化前のフィルタに対する EL フィルタの濾過効率の向上度合いを示す指標として  $r$  値を下式(5)にて定めた。

$$r = \frac{\log P_2}{\log P_1} \quad (5)$$

ここで、 $P_1=1-EL$  化前フィルタの濾過効率,  $P_2=1-EL$  フィルタの濾過効率、である。すなわち、 $r$  値は EL フィルタ 1 枚の濾過効率が EL 化前フィルタの何枚

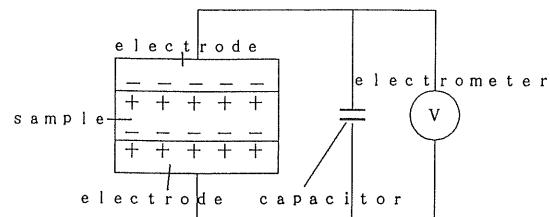


図3 表面電荷密度測定装置

Fig. 3 Apparatus for measuring surface charge density.

分に相当するかを示している。この結果、比誘電率の小さいトレエンやパークレンでは約3.8と大きな効果が認められたが、比誘電率の大きいメタノールでは1.12とその効果は小さい。このように予想どおり比誘電率の大きさがEL効果に影響を与えるといえそうである。また、EL化前フィルタの濾過効率は有機溶剤の種類により効率が異なり、EL化前フィルタの濾過効率が高いほどELフィルタの効率も高くなる傾向が認められる。これは、前述したようにEL化前フィルタの濾過効率の高い溶剤中では、粒子径は大きく、分散粒子の凝集が起きていることから、このように凝集しやすい系では、粒子-溶液界面での電気二重層の相互作用と粒子間のVan der Waals引力との関係を示すDLVO理論<sup>3)</sup>からも推定されるように、粒子界面での電気二重層の相互作用効果は小さく、ダスト粒子に対してELの静電気力が働くと考えられ、これが効率を高める原因の一つと思われる。

### 3.2 絶縁オイル中のEL効果

次に低誘電率の種々絶縁オイルにJIS11種ダストを分散させて、そのEL効果を有機溶剤の場合と同じように図1、2の評価装置で調べた。誘電率測定はJIS C2151に準じて行い、インピーダンスアナライザは横河ヒューレットパッカード(株)4329Aを用いて50~1MHzで測定した。周波数による $\epsilon$ 値の変動は見られなかったので1kHzの結果を表2に示した。濾過効率結果は表3に示すとおり、絶縁オイル中でも有機溶剤と同じくELによる効率向上が認められた。図4(a), (b)はトランス油を用いたEL化前とELフィルタ表面のダスト捕集の様子を示す写真であるが、EL化前フィルタ上では、繊維間隙より大きな凝集粒子(8~20μm)の捕集が見られ、そして透過粒子も比較的大きな粒子2~11μm含んでいた。また、ELフィルタ上では繊維間隙より小さな粒子(3~20μm)の捕集状態が観察され、そして透過粒子は2~6μと小さい粒子であった。このように誘電率2前後の絶縁オイルにおいて、ELによる静電吸着力の効果

は認められたが、オイルの種類によって $r$ 値に差が生じた。また、EL化前フィルタの濾過効率も有機溶剤の場合と同じように、高い効率のものはELフィルタの濾過効率も高くなる傾向にはあるが、機械油Bのように低くてもELフィルタの濾過効率が高いものもあり単純ではない。そこで、ELフィルタの濾過効率は静電気効果、すなわち直接的な粒子に対する電気的引力と繊維-液体界面での電気二重層による相互作用での静電気効果、濾過速度、粒子径に依存すると考え、まずオイル中で静電気効果を知るため、ELフィルタが外部に対して形成する電界の強さを図3の方法で、オイル含浸前後の表面電荷密度として測定した。そして、オイル含浸前の表面電荷密度を含浸後の表面電荷密度で割った値をCD比として、表3に示した。この値が小さいことは繊維表面電荷による外部への電界強さが大きいことを意味し、この結果と $r$ 値とはよい相関がみられた。この中で機械油Bの $r$ 値が大きい理由は、粘度の影響を受けたものと思われ、高粘度により濾過速度が遅くなり(表3にオイル落下時間を示す)、静電気作用が有効に働いたためと考えられる。CD比は、オイル中の電荷担体が繊維界面に形成する電気二重層の相互作用、すなわち電気シールド効果がないならば、比誘電率と等しくなるはずである。しかし、実際にはCD比と比誘電率には差が生じるため、オイルには何らかの電荷担体が含まれ、これが電気シールド効果をもたらすと考えられる。機械油Aと作動油

表2 絶縁オイルの特性

Table 2 Properties of insulation oils.

Insulation oil	$\epsilon$	Viscosity (cSt)
Discharge oil	1.92	6
Transformer oil	2.19	8.7
Machine oil A	2.21	10
Machine oil B	2.09	46
Hydraulic oil	2.06	32

表3 絶縁オイル中のエレクトレットフィルタの濾過効率

Table 3 Collection efficiency of electret filter in insulation oils.

Insulation oil	Collection efficiency (%)		$r$ value	Time (min)	Ratio of CD
	non-EL filter	EL filter			
Discharge oil	50.0	99.9<	9.96<	15	2.3
Transformer oil	79.9	99.7<	3.62<	19	2.5
Machine oil A	22.3	39.5	1.99	21	4.3
Machine oil B	10.0	96.4	31.6	67	2.6
Hydraulic oil	16.0	48.5	3.81	48	3.2

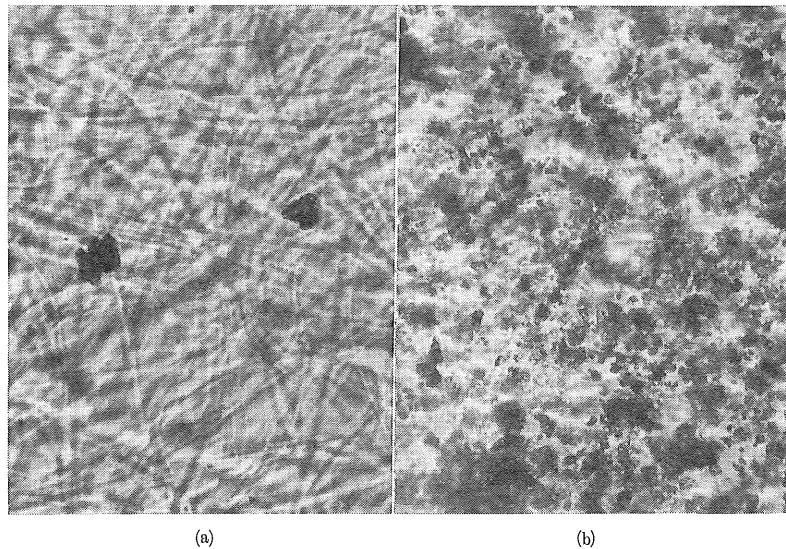


図 4 フィルタ上の捕集粒子

Fig. 4 Collected particle on filter medium.

- (a) non-electret filter
- (b) electret filter

は、CD 比と比誘電率の差が大きく、電荷坦体を多く含むため濾過効率が低いと思われる。電荷坦体として考えられるのは、オイル中に含まれる焼き付き防止剤、錆止め剤、酸化防止剤、摩耗防止剤、消泡剤、粘度調整剤、剪断安定剤など多くの界面活性剤である。次に、EL 化前のフィルタの濾過効率が高いということは、有機溶剤の場合と同じように、オイル中の粒子が凝集していると思われる。放電加工油や図 4 に示すトランス油がその例である。このような系では、DVLO 理論<sup>3)</sup>から電荷坦体による粒子界面での電気シールド効果は弱く、EL の静電気力は粒子に十分に働くため、EL フィルタの濾過効率を高めると考えられる。

#### 4. ま と め

液体中の EL フィルタの静電気的捕集効果を検討するため、有機溶剤と絶縁オイルに JIS 11 種ダストを分散させて、40 mm 高さで分散液を自然落下させて濾過

効率への影響を調べ、次の知見を得た。

- 1) EL フィルタの静電気的捕集効果は有機溶剤および絶縁オイル中で認められた。有機溶剤の場合、濾過効率は比誘電率と凝集粒子径の影響を受け、絶縁オイルの場合は、濾過効率は比誘電率と凝集粒子径だけでなく、添加物、粘度の影響も受けると思われる。
- 2) 液体中の EL フィルタが外部に形成する電界強さ CD 比は濾過効率の  $r$  値と相関がある。
- 3) EL 化前フィルタの濾過効率の高いものは EL フィルタの濾過効率も高い傾向にある。

#### 参 考 文 献

- 1) 江見 準、金岡千嘉男、大谷吉生：第3回エアロゾル科学技術討論会要旨集, p. 226 (1985)
- 2) 有機合成化学協会：溶剤ポケットブック, p. 251, オーム社 (1967)
- 3) D.J. Shaw : *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*, p. 183, Butterworths (1980)