「不織布」特集

高機能フィルター用不織布の動向

安藤 勝敏

1. はじめに

フィルター用不織布は、我々の身近にたくさん用いられている。エアコン、掃除機、空気清浄機、換気扇に用いられているエアーフィルター、コーヒーフィルターやティーバッグに用いられている液体フィルター、自動車のエンジンを空気中の塵埃から守るカートリッジフィルター、エンジン中の金属粉を除去するオイルフィルター、また製品を回収するバッグフィルターなどが挙げられる。不織布は繊維1本、1本が均一に分散し、多くの空隙を持つためフィルター材料として適している。その使用量は年間約2千5百万 m^2 で、7~10%で成長している^{1,2)}。フィルター用不織布が対象とする粒子は、土、泥、金属粉、セメント、小麦粉、石炭粉、トナー、カーボン、花粉、タバコ煙、ヒューム、ミスト、バクテリアなど様々のものがあり、その粒径は大きなもので1000 μm 、小さなもので0.1 μm と広範囲にわたっている。フィルター用不織布への要求は、産業の高度化に伴い年々厳しくなり、いままで要求のなかった粒子や臭い、さらに細かい微粒子、低圧損化、高捕集化、長寿命化、耐熱性、耐薬品性、粒子の選択的な捕集など様々である。

この高機能化の動向をバッグフィルター、エアーフィルター、液体フィルターという3つの使用分野に分けて概観する。

2. バッグフィルター

本フィルターは比較的高価な製品の回収に、化学工場、粉体工場、研磨工場などの労働環境の改善に、また焼却炉、石炭ボイラー、製鉄炉などから出る粉塵の除去に用いられる。

Nonwoven Fabrics in Filtration

筆者紹介 KATSUTOSHI ANDO Toray Industries, Inc., Fiber & Textile Laboratory 東レ株式会社 繊維研究所 主席研究員

筆者は、高分子加工が専門で、趣味はスキー。

本稿では、不織布フィルターの高機能化の動向を紹介していただいた。中でも、特に動向が注目されるエレクトレットフィルター、イオン交換繊維フィルター、血液フィルターにも言及していただいた。

このように粉塵発生量の多い条件のものでは、濾材の圧力損失の上昇が早い。このため捕集した粉塵を間欠的に払い落しながら使用される。また粉塵の捕集は濾材による捕集のみでなく、堆積した粉塵によっても2次的に行われる。捕集する粒子は1 μm 以上と大きいので、重力、さえぎり、慣性が主である。濾材に必要な要件は高捕集効率、低圧損、易払い落し性、耐クリープ性、耐熱、耐薬品、長寿命の通りであるが、産業の発展とともに様々な厳しい要求を受けるのがこの分野である。

(1) 省エネフィルター

低圧損、高速濾過という二律背反を達成しようとするのが省エネフィルターである。従来から使用されている織物は比較的単純な構造で、空隙が少なくまたその孔径が大きいので、高風速下ではダストの通り抜けが多く目詰りも生じ易い。これに対して不織布は織物の空隙率の2倍もあり、構成繊維の1本1本が分離した複雑なジャングル構造を持つため、高風速の条件下でも高い捕集効率を持つ。そこでこの不織布を用いて低圧損、高捕集でダストの剥離性を向上し、長寿命化を図ったのが省エネフィルターである。これは表層部が密で、中へ行くほど粗という密度勾配構造で、かつ表層の剥離性を高め、不織布のクリープ強度を上げるため樹脂加工が施してある。これを酸化鉄粉塵を捕集する高炉用バッグフィルターに実用テストして、織物に比べて省エネ性を立証している³⁾(表1)。

(2) 制電性フィルター

酸化鉄、樹脂粉、小麦粉など絶縁性の高い粒子は輸送過程で帯電される。また濾材自身もエアー、ダストとの摩擦、振動によって帯電され、強固なダスト付着や爆発の原因となる。このため電荷を取り除く必要があり、金属繊維やカーボン入り導電繊維を濾材に混入してこれを防止する。この繊維は蓄積電荷を着火エネルギー以下の微弱な放電に変えて電荷を減少する。混入率は0.5~

表1 省エネフィルターと織物フィルターとの性能比較

項 目	省エネフィルター	織物濾材
処理風量 (Nm^3/min)	6100	6100
濾材面積 (m^2)	4896	6528
濾材通過速度 (m/min)	1.24	0.98
バッグ形状	円 筒	円 筒
ダ ス ト	酸化鉄	酸化鉄
ダスト粒径 (μm)	12	12
使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)	80	80
テスト期間 (月)	31	21
テスト後の圧損 (mmAq)	90	130
捕集効率 (%)	99.98	99.95

省エネフィルター：密度勾配スパンボンドフィルター
目付 $400\text{g}/\text{m}^2$

織 物 濾 材：織物密度 75×49 本/in, 織物組織 5
枚朱子 糸番手, 20番双子

実用テスト機：高炉用集塵機 テスト期間 2～3年

3%の範囲で、筋状、または全面に混入される(表
2⁴⁾。

表2 制電性フィルターと織物濾材との特性比較

項 目	制電性フィルター	織物濾材
摩擦帯電圧 (V)	1800	9800
摩擦電荷量 ($\mu\text{C}/\text{m}^2$)	2.2	13.2

摩擦帯電圧：京大式ロータリースタティックテスター
 $20^{\circ}\text{C} \times 20\% \text{RH}$ JIS-1094 (B 法)

摩擦電荷量：JIS-1094 ファラデーゲージ法
 $20^{\circ}\text{C} \times 20\% \text{RH}$

制電性フィルター：カーボン入り導電繊維を混入したス
パンボンドフィルター 目付 $400\text{g}/\text{m}^2$

織 物 濾 材：ポリエステル短繊維織物 目付 $400\text{g}/\text{m}^2$

(3) 耐熱、耐薬品フィルター

150°C 以上の条件下で濾過を必要とするカーボンブラ
ック捕集用、製鋼、合金鉄の電気炉の直引用ガス集塵、
セメントクリンカークーラー排ガス集塵、鑄造用キューボ
ラ排ガス集塵などにガラス繊維バッグやアラミド繊維を
用いていたが、石炭ボイラーやゴミ焼却集塵には耐熱性
の上に対薬品性も必要とされ、最近ポリフェニレンサル
ファイド繊維が用いられる⁵⁾。この繊維はアラミドと同
等の常用耐熱温度を持ち、四フッ化ポリエチレンに次ぐ
薬品性を持っているので今後の発展が期待できる。

3. エアフィルター

ビル、ホール、住居など居住空間の快適化、機器の保

全、バクテリアなどによる汚染防止、製品の収率向上を
目的にエアフィルターを使用する。バッグフィルター
が高濃度のダストを捕集するのに対して、エアフィル
ターは低濃度のダストを捕集する。このため長期間使用
することができるため使い捨てが多い。機能化は快適居
住空間を作る、超微粒子、超微生物を効率的に捕集する
クリーン空間の実現を目指して進んでいる。

(1) エレクトレットフィルター

機械的捕集原理に基づき高捕集化を図る場合、①繊維
径を細くする、②シート厚みを増す、③均一性を向上す
るなどの方法があるが、いずれも圧力損失の上昇を招
く。エレクトレットフィルターは、今までの機械的捕集
に電氣的捕集を加えることにより、この問題を解決しよ
うとするものである。エレクトレット繊維は電場のない
状態でも恒久的に電気分極を保持して周囲に対して電界
を作るため、電荷を持つ粒子にはクーロン力で、また電
荷のない粒子にも誘起力で繊維表面に粒子を付着する⁶⁾
(図1)。エレクトレットフィルターと一般フィルターの
捕集効率の比較を図2に示す。これにより、エレクトレ
ットによる電氣的捕集効果が一般フィルターに比較して
大きいことが判る⁷⁾。また江見等の実験結果によれば、
同一捕集効率でエレクトレットフィルターとHEPAフ
ィルターの圧力損失を比較すると、エレクトレットフィ
ルターの圧力損失はHEPA フィルターの $1/2 \sim 1/3$
であることが示されている⁸⁾。このようにエレクトレ
ットフィルターは捕集効率が高く、圧力損失が低いため、
マスク、空気清浄機フィルター、機器フィルター、掃除
機フィルターに使われ始めている。さらに将来にはクリ
ーンルームフィルターにも適用が検討されるだろう。

図1 エレクトレット繊維による帯電粒子と非帯電粒子
の捕捉の様子

図2 エレクトレットフィルターと一般フィルターとの性能比較

捕集効率: $0.3\mu\text{m}$ ポリスチレン標準ラテックス

(2) 脱臭フィルター

本フィルターは活性炭のような物理吸着でなく、化学的反応によりアンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、トリメチルアミンなどの悪臭を分解する。即ち、第1鉄化合物、植物精油などの反応性物質を、表面積を多くするため不織布に付着したものである⁹⁾。第1鉄化合物の2価鉄の反応活性を用いてアンモニア取り除く例を図3に示す¹⁰⁾。

図3 脱臭フィルターを用いたアンモニアガスの消臭効果

測定条件 10リットルデシケーターに3%アンモニア水を滴下、ガス雰囲気を作る。
比較サンプルセットをセット 活性破過点までアンモニアを繰り返し滴下して測定。

本フィルターは、エアーフィルターで微粒子を除去した後に、使用すると効果的である。

(3) 活性炭素繊維フィルター

コールタールを原料にしてピッチを溶融紡糸し、酸化雰囲気中で熱処理、不融化して、その後賦活ガス中で高温反応処理する。得られた活性炭素繊維は繊維状であるため、表面積が活性炭に比べて多く、また表面のミクロポア構造も異なる特徴を持つ(図4¹¹⁾)。このため次のような特徴がある。①大きな吸着性能、②早い吸着速度、③種々形状への加工④再生使用が可⑤軽量⑥炭塵の発生が少ない⑦他機能繊維との複合が容易。

図4 粒状活性炭と活性炭素繊維の細孔モデル

(4) 抗菌性フィルター

本フィルターは、捕集した菌類やバクテリアが、フィルター内で増殖して2次的な害を及ぼさないようにするフィルターである。このためフィルターを構成する繊維表面に抗菌、抗霉剤を塗布する。一般に抗菌、抗霉剤には①ジフェニールエーテル系、②第4級アンモニウム塩、③ピクアナイド系、④金属イオン/セラミック複合、などがある。これらの薬剤を繊維表面に0.05~0.2%重量分率で、単体あるいは接着用樹脂と共に付着する。その抗菌作用は細胞膜の代謝を阻害するように働くと言われている。表3にポリエステル不織布フィルターに応用した例を示す。この結果から抗菌性フィルターと一般フィルターとの間に有意な差が認められる。

表3 抗菌処理をポリエステル不織布フィルターに応用した例

	抗菌処理前	抗菌処理後	
		洗濯前	洗濯後
抗菌性	1.6以下	4.5以上	4.5以上

評価方法: 菌数測定法 AATCC-100

試料: ポリエステル不織布 目付250g/m²

抗菌剤: ピクアナイド系0.1%

洗濯: 5回

4. 液体フィルター

液体フィルターは、ベルトプレスフィルター、プレフィルターを中心とする織物が主体で、不織布は全体のまだ2割であるが、カートリッジフィルターを中心とする精密濾過分野で今後発展すると思われる。この濾材には不織布構造が適し、産業界のニーズに応じて高温、高粘度に耐えるもの、濾過精度の向上、長寿命化濾材が開発されるであろう。今回は主濾材とは異なるが新しい機能フィルターを紹介する。

(1) イオン交換繊維フィルター

ポリスチレン系イオン交換樹脂は、化学的に安定なことから、大きな交換容量を持つことから工業的に広く使用されている。このため繊維状にしてさらに性能を高めることが試みられているが、脆いという欠点があった。これを解消するため、複合繊維構造を用いたイオン交換繊維が開発されたので紹介する(図5¹²⁾)。これはポリスチレンを海成分、ポリエチレンまたはポリプロピレンを島成分として、脆さを改良した多芯海島複合構造繊維である。

図5 イオン交換繊維の断面

図6 金属イオンの交換性能
イオン交換率の時間変化
1 M NaCl 水溶液 (250ml)
Ca 形カチオン交換体 (5.7meq)

この繊維をバラホルムアルデヒド-硫酸溶液中で架橋不溶化して架橋ポリスチレン繊維を作り、これをスルホン化して強カチオン交換繊維を合成する。またクロルメチル基を導入した後、トリメチルアンモニウム化することによって、強アニオン交換繊維も合成する。本繊維は既存のイオン交換樹脂と同等の性能を持つが、その上、表面積が多いことからイオン交換速度が速い、高分子のイオン性物質に対する吸着容量が大きい、また触媒活性が高いという特徴を持つ(図6)。またカットファイバーからなるため、イオン交換樹脂に比較して通気抵抗が低く、スムーズなイオン交換ができる特徴もある。商品形態はカットファイバと不織布ペーパーがある。イオン交換樹脂は種々機能を持つため、純水製造、原子力発電の復水処理、有害イオンの除去、タンパク質及び酵素の吸着と固定化など広い応用範囲を持つ。

(2) 血液フィルター

輸血後の副作用を防止するために、輸血用血液から白血球（リンパ球）を取り除く必要がある。この目的にコットンやポリエステル繊維フィルターが既に使用されている。しかし濃厚血小板から白血球だけを、血小板の機能を低下させることなく取り除くことは難しい。このため1.8 μ m という極細繊維のポリエステル不織布にポリマーコーティングをすることにより、白血球の選択的吸着を試みている¹³⁾。このコーティングポリマーにはヒドロキシエチルメタクリレートとジエチルアミノエチルメタクリレート (DE) 共重合体を用いている。この不織布フィルター (0.11g) に1単位の濃厚血小板を流速2.1m/分で通過させて、白血球、赤血球、血小板の通過率を測定した。この結果、DEの含有率が5%で血小板と赤血球の透過率が高く、白血球の透過率の低くなることを見い出している。また血小板の機能低下も従来品に比べて少ないという。このように化学的修飾による選択吸着の例は新しい機器フィルターの方と思われる。

5. まとめ

以上、高機能フィルター用不織布の動向を述べたが、まだ不織布の機能化は始まったばかりである。不織布はフィルターとして優れた構造である。この構造を基礎にして機能化を図れば、電子工業、バイオ、原子力、精密機械、精密化学など様々なニーズに応えられる新しいフィルター用不織布が期待できる。

参考文献

- 1) 大阪 CMC：高機能フィルターの展開，5 (9)，27 (1989)

- 2) 矢野経済研究所：注目商品フィルター市場の現状と展望 (1986)
- 3) K. Ando: Resin Treated Spunbond Filter, International Conference on Textiles, Fibers and Fabrics, INDEX 84, EDANA 主催 (1981)
- 4) 東レ：高性能制電性バッグフィルター，“アクスター” DF-SA, カナログ
- 5) 東洋紡：プロコン カタログ
- 6) 安藤勝敏：紙パルプ技術タイムス, 30 (11), 35 (1987)
- 7) 東レ：電石不織布“トレミクロン”，カタログ
- 8) 江見準，金岡千嘉男，大谷吉生：第3回エアロゾル科学技術研究討論会, 226 (1985)
- 9) 特開昭59-132937 (1984)
- 10) 東レ：トイレ用消臭シート“テクノフレッシュ”カタログ
- 11) 田井和夫：不織布の最新の技術開発と応用展開，産業技術研究会主催, 10 (1989)
- 12) 吉岡敏雄：造水技術, 14 (2), 1 (198)
- 13) 宮本正樹，西村隆雄等：第17回医用高分子シンポジウム予稿集, 17 (1988)

(平成元年7月12日受理)

賛助会員入会社 (1社1口)

株式会社 J S P 1社1口

正会員入会者 (20名)

	紹介者		紹介者
金井 宏彰 (金井重要工業)		加藤 哲雄 (旭化成)	
藤本 克宏 (旭化成)		田川由利香 (大阪市工研)	
白石 信夫 (京大)	稲垣 博	進藤 忠文 (大日本印刷)	瓜生 敏之
鈴木 勉 (アイセロ化学)	細川 純	谷尾 宣久 (慶応大)	大塚 保治
矢谷 真一 (オリジン電気)		八柳 晃 (清水建設)	壁矢 久良
大音 眞 (滋賀織工指)		豊田 春和 (昭和女子大)	小原奈津子
古本 五郎 (旭化成)		樋口 才二 (長崎県立女大)	
李 舜九 (東洋ナイロン)		澤 裕子 (武庫川女大)	
井上みよ子 (山形大)	増子 徹	城戸 淳二 (山形大)	増子 徹
安積 弘充 (吉田工業)	鎌田 佳伸	岸 英幸 (片倉チッカリン)	

学生会員入会者 (13名)

	紹介者		紹介者
石田 則和 (都立大)	甲斐 昭	吉延 匡弘 (九州大)	坂田 功
石北 幸子 (都立大)	甲斐 昭	西 恵治 (農工大)	佐渡 篤
滝沢 智嘉 (昭和女子大)	小原奈津子	杉浦 誠 (京大化研)	宮本 武明
安達 稜 (山形大)	増子 徹	久保田和典 (山形大)	増子 徹
伊藤 博昭 (山形大)	増子 徹	鷺谷 常久 (山形大)	増子 徹
岩本 洋介 (山形大)	増子 徹	松島 智士 (山形大)	増子 徹
及川 政春 (山形大)	増子 徹		