ノート

衛生・医療用繊維製品の性能評価に関する研究

三浦　一真*　古畑　雅弘*　明歩谷　英樹*　佐藤　清治*　皆川　森夫*

Study on Performance Evaluations of Sanitary and Medical Textile Products

MIURA Kazuma*, FURUHATA Masahiro*, MYOBUDANI Hideki *, SATO Seiji*
and MINAGAWA Morio*

1. 緒　　言

マスクなどのフィルターを有する製品や医療用ガウンなどの衛生・医療用繊維製品の市場拡大に伴い，マスクを中心に性能評価に関する問い合わせや試験依頼が増えている。

これらの要望や今後の製品開発支援に対処するため，当センターではマスクなどの衛生・医療用繊維製品の性能評価に用いられる試験手法に関する調査を行い，並行して関連する試験の環境整備・体制づくりを進めている。

本報では，当センターで実施可能な試験手法を中心に，試験手法と実施した試験結果の一例を紹介する。

また，フィルターを有する製品への適用が期待される素材である炭素化繊維について，その特徴と実用化に向けた課題を述べる。

2. 試験手法及び試験結果

2.1 試験手法

性能評価には，粒子捕集（ろ過）効率，通気性能，接触冷温感があげられる。

粒子捕集（ろ過）効率試験は粒子のバリア性能を評価する試験法で，約 0.1μm サイズの粒子をどれくらいろ過（捕集）できたのかを表す微粒子ろ過効率（Particle Filtration Efficiency）試験（以後，P.F.E 試験と表記），3μm の細菌を含む粒子がどれくらいろ過（捕集）できたのかを表すバクテリア（細菌）ろ過効率（Bacterial Filtration Efficiency）試験（以後，B.F.E 試験と表記），約 0.1μm～5.0μm のウィルスが含まれた粒子がどれくらいろ過（捕集）できたのかを表すウィルスろ過効率（Viral Filtration Efficiency）試験（以後，V.F.E 試験と表記）があり，P.F.E 試験ではインフルエンザウィルス，ウィルス単体（飛沫核），結核菌ウィルスなど，B.F.E 試験では花粉や咳・くしゃみに伴う水分を含んだウィルスの飛沫（ひまつ）など，V.F.E 試験ではインフルエンザウィルス，咳・くしゃみを伴う水分を含んだウィルスの飛沫などがそれぞれ対象となり，ろ過（捕集）効率が 99%の場合，それぞれ「PFE99%」，「BFE99%」，「VFE99%」と表記[1)]する。

通気性試験は生地の組織の隙間を通る空気の量を調べることによって，生地の通気性の程度を評価する試験であり，1cm^2 の面積を 1 秒間で通過する空気量の通気度（cm^3/(cm^2·s)）で表し，この数値の大小で比較，マスクでは呼吸のしやすさを示すための指標として用いられる。

接触冷温感試験は肌が生地に触れたときに生じる「温かい」「冷たい」といった肌から生地への熱の移動量によって異なる皮膚感覚を評価する。

通気性試験と接触冷温感試験については，それぞれ JIS L 1096「織物及び編物の生地試験方法」，JIS L 1927 「繊維製品の接触冷感性評価方法」に準拠した繊維製品の試験を数多く行っており，これらの経験をもとに，マスクなどのフィルターを有する製品の試験を行っている。

一方，粒子捕集（ろ過）効率試験については，P.F.E 試験と B.F.E 試験について準備をすすめているところである。次節ではそれぞれの試験手

* 素材応用技術支援センター

法概略と一部試験を試行し得られた結果について述べる。

2.2　粒子捕集（ろ過）効率試験

図 1 に P.F.E 試験検査装置（PFE-01 型，柴田科学（株）製）を示す。米国材料試験協会規格 ASTM F2299「医療用フェイスマスク素材のポリスチレンラテックス球による初期捕集効率試験方法」で規定された装置で，チャンバー中央部に φ100mm にサンプリングしたろ材をセットする。その後，HEPA フィルターによってクリーンな環境に維持されたチャンバー内に粒径 0.1μm のポリスチレンラテックス粒子を連続供給，一定流量（28.3L/min）で吸引しながらろ材を通過させたときのろ材通過前（一次側）の粒子数とろ材を通過後（二次側）の粒子数をそれぞれ粒子数測定器で計測する。捕集効率（PFE%）は以下の式で求められる。

PFE(%) =(1−二次側粒子数/一次側粒子数)×100

表 1 にろ材 A～D について，3 回試験を行い，一次側と二次側で計測された粒子数と粒子数から計算された捕集効率（PFE%），捕集効率の平均値を示す。捕集効率の値が大きいほど，微小粒子を捕集（ろ過）できる性能が高いことを示す。表 1 の結果を見ると，ろ材 A は二次側で計測された粒子数はわずかで，ほとんどがろ材で捕集されたことを示す。ろ材 B も捕集効率は 99%と高く，ろ材 C で 84%，ろ材 D は約 60%で粒子の 40%がろ材を通過していることを示す。なお，本装置は差圧計があり，通気抵抗を測定することができる。まだデータの検証ができていないことから，記載していないが，通気抵抗は捕集効率と相関があり，検証後，その関係を示す予定である。

図 2 に B.F.E 試験検査装置（BFE-02 型，柴田科学（株）製）を示す。ASTM F 2101 に規定されており，B.F.E 試験では黄色ぶどう球菌を使用する。細菌懸濁液を送液ポンプでネブライザーに供給し圧縮空気と混合することによって細菌含有のミストを発生する。そのミスト粒子を試験粒子としてフィルター素材のろ過効率を測定する。黄色ぶどう球菌の懸濁液の作製方法やミスト生成条件の設定は把握できていないことから，最適な B.F.E 試験条件の設定が課題である。

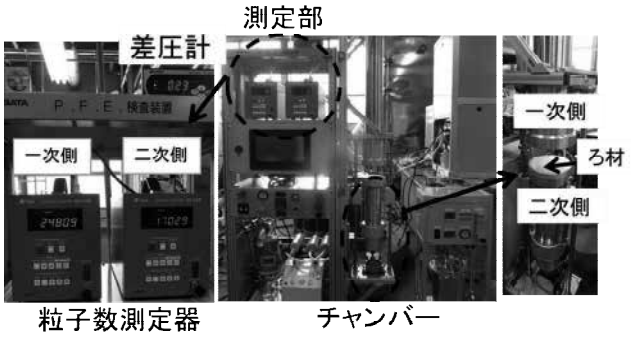

図 1　P.F.E 試験検査装置外観

3.　炭素化繊維

綿，セルロース系繊維（キュプラなど）及び絹を高温で焼成する（炭素化処理）ことで得られる炭素化繊維は軽量かつ柔軟性があり，吸着性・導電性・撥水性・透湿性・電磁波シールド性などの特性が付与されることから，衣料はもとより非衣料分野の様々な製品に幅広い需要が期待される。

表 1　ろ材の粒子捕集効率（PFE%）試験結果

	ろ材A	ろ材B	ろ材C	ろ材D
一次側粒子数	25667	26249	24863	26335
	24820	26525	25731	26350
	25538	27278	25194	26115
二次側粒子数	2	253	3406	9115
	2	290	4034	10068
	3	290	4573	10495
PFE（%）	100.0	99.1	86.1	64.8
	100.0	98.9	84.1	61.2
	100.0	99.0	81.6	59.2
PFE（%）平均値	**100.0**	**99.0**	**83.9**	**61.7**

図 2　B.F.E 試験装置外観

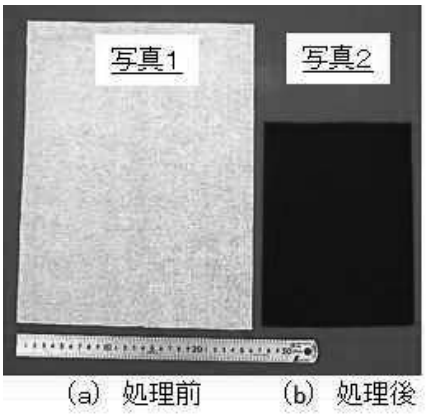

図 3　絹の炭素化処理前後のシート外観

図 3 は絹の炭素化処理前(a)と処理後(b)の外観を示す。(b)は 1300℃で処理したもので，処理によって黒色状となり約 1/3 ほど収縮する。

炭素化繊維を電子顕微鏡によって観察し，□で囲まれた(A)部の EDS 分析結果を図 4 に示す。この結果より，炭素化繊維は完全にグラファイト（炭素）化していることがわかる。

炭素化処理前の絹織物シートの抵抗値は十数Ωであるが，炭素化処理でグラファイト化することで抵抗値は低下し，2～3Ω までに低下するものもある。この場合，導電性が向上し，電磁波シールド特性を有する。電磁波シールド特性は素材の開口率，すなわち繊維組織によって変化し，以前の研究では絹の織物で最もシールド特性が高い場合，30～40dB を得ている[2)]。柔軟性を有しながら，一定の電磁波シールド特性を有することが特徴であり，織物の網目組織を工夫することで特性はさらに上がるものと考える。

炭素化繊維は吸着性能を有することから，マスクなどのフィルター材への応用が期待される。

また，撥水性や透湿性の特性を有する。本研究で撥水性評価のための接触角測定や透湿度試験を行い，接触角は 130～140°，透湿度は 400～500g/m^2·h を得た。膜蒸留法による海水の淡水化に用いられている水処理膜としての応用が期待される。

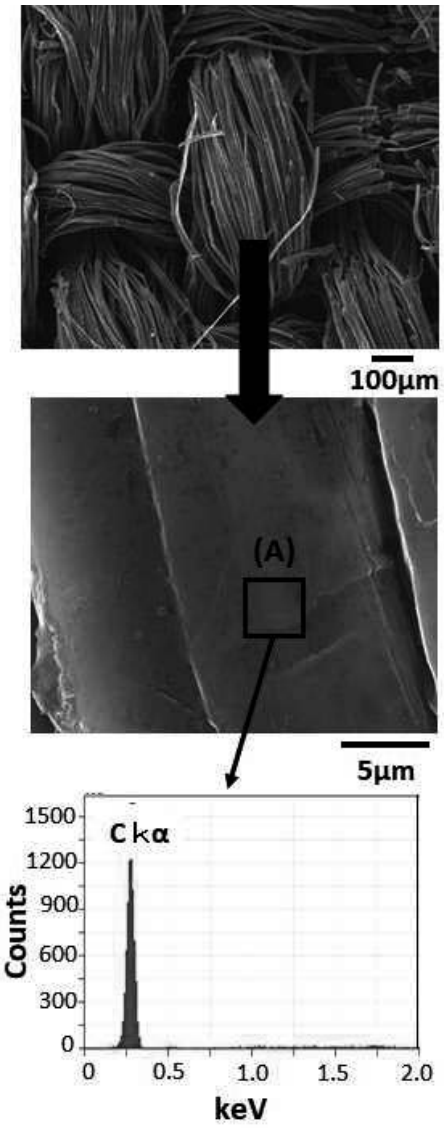

図 4　炭素化繊維（絹）の電子顕微鏡写真および EDS 分析結果

撥水性や透湿度については，現行のフッ素系膜のレベルに到達している。フッ素系膜が高温下で有害とされ，後処理にコストがかかるのに対して，炭素化繊維は無害であり，コストの面で有利になると考える。

炭素化繊維はハンドリングが行えるレベルの強度ではあるが，製品に用いるためには，シートの強度の改善が必要である。炭素化繊維（絹）のシート強度は繊維素材・繊維組織・厚さ・開口率で変わる。シート強度については測定を始めたところであり，詳細については今後報告するが，現状では最高で 10N の強度を得

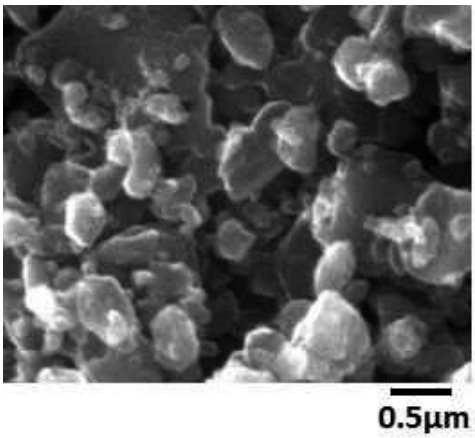

図 5　炭素化繊維粉体の電子顕微鏡写真

ている。ニットは織物より伸度が高く，強度も上回っている。今後，繊維素材・組織，炭素化処理プロセスとの相関に関するデータを蓄積するとともに，伸縮性を有するニットを活用し，強度改善のための生地を設計する。

炭素化繊維は軽量であることから粉砕による粉体の微粒子化が可能である。φ0.1μm 以下の粉体に加工することができれば，フィルター材のほか，化粧品などへの応用ができることから，炭素化繊維の粉砕処理を試行した。

図 5 はボールミルによる粉砕処理後の炭素化繊維粉体の電子顕微鏡写真である。試行段階のため，粒径がばらついており，平均では φ0.5 μm 程度であるが，φ0.1μm の粒径も得られており，粉体処理技術を開発することで実用化に必要な φ0.1μm の粉体を得ることは可能と考える。炭素繊維が高強度・高剛性繊維として，プラスチックとの複合材料を含み，航空宇宙分野や産業分野の構造材料，スポーツ・レジャー用品に用いられるのに対し，炭素化繊維は柔軟性や伸縮性といった炭素繊維にない特徴を有することから，炭素繊維とすみ分けすることで，今後の需要が期待される。絹，キュプラ，レーヨンを中心とした炭素化繊維について，技術課題解決や製品適用のための実用化研究を継続していく。

4.　結　　言

(1) マスクなどの衛生・医療用繊維製品の性能評価の試験手法として，粒子捕集（ろ過）効率試験（P.F.E 試験と B.F.E 試験），通気性試験，接触冷温感試験をあげ，各試験方法の概略を述べた。

(2) 粒子捕集（ろ過）効率試験のうち，4 種類のろ材の P.F.E 試験を試行し，捕集効率（P.F.E%）を得た。

(3) 炭素化繊維はマスクなどのフィルター材や工業用膜への適用が期待される。実用化のためにはシート強度の向上が課題である。粉体は実用化の見通しを得た。

参考文献

1) 古畑雅弘，河原崇史，渋谷恵太，桑原理絵，笠原勝次，石澤賢太，中津山國雄，細貝一也：“炭素化繊維による電磁波シールド材の開発”，月間 JETI，Vol.66，No.2，2018，pp.37-38.

2) 高島悠一郎，“マスクの種類と素材，その評価方法”，繊維学誌雑，Vol.77，No.3，2021，pp.106-110.