

高性能エアフィルター寿命及び各種ろ材性能評価

このレポートについてのお問合せ TEL 048-936-3033(代表) FAX 048-936-3307 部署/設計部 山田 翔太

1. はじめに

半導体、製薬及びバイオ医薬品における製造空間では、製品の歩留り向上や品質保持の為、高潔浄度なクリーンルームが要求される。清浄度維持管理には、高性能エアフィルターが使用され、要求される仕様に応じてろ材を選定する必要がある。半導体分野での LSI 高集積化による高潔浄度化により、当社では HEPA*1 フィルター、アウトガス対策品及び高潔浄度に対応した PTFE*2 フィルター及び新型コロナウイルスなど新興感染症による抗菌仕様の要求拡大に伴い、捕集した微生物を死滅させフィルターからの二次汚染防止が可能な酵素 HEPA フィルターの製造を行っている。

フィルターは長期間使用すると、捕集した塵埃により目詰まりが生じて圧力損失が上昇し寿命となる。フィルター寿命は周囲環境、処理風量、使用するろ材及び送風機の特性等により異なる。本報では、各種高性能フィルターの目詰まりによる寿命比較試験を行い、各種ろ材の粒子捕集状況を顕微鏡にて観察し、目詰まりのメカニズムを考察した。

*1: High Efficiency Particulate Air *2: Polytetrafluoroethylene

2. 試験方法

2-1 試験対象フィルター

表 1 に試験対象フィルターの仕様を示す。フィルター寸法は 915W×610L×50T、試験粒子は大気塵とし、捕集効率は 99.97%以上(0.3 μ m にて)を有するフィルターを使用した。

PTFE-HEPA フィルターは、低圧力損失及びアウトガス発生が少ない等の特長を有する。当社にて採用しているろ材は、3 層の不織布の間に 2 層の PTFE 膜を挟んだ 5 層構造である。

HEPA フィルターは、ガラス繊維ろ材を使用し、JIS 規格では『定格流量で粒径が 0.3 μ m の粒子に対して 99.97%以上の粒子捕集率を持ち、かつ初期圧力損失が 245Pa 以下の性能を持つエアフィルター』と定義されている¹⁾。

酵素 HEPA フィルターは、HEPA フィルターろ材の繊維間に天然の溶菌酵素を付加し、フィルターに捕集した微生物を死滅させる効果を有する。機能として、グラム陽性菌を死滅させ、真菌の成長を抑制し、エンベロープを有するウイルスの無力化が可能である²⁾。

表 1 試験対象フィルターの仕様(915W×610L×50T)

項目	PTFE-HEPA フィルター	HEPA フィルター	酵素 HEPA フィルター
ろ材	PTFE	ガラス繊維	
定格風量	15.2 m ³ /min		
初期圧力損失	82Pa 以下	109Pa 以下	140Pa 以下

2-2 試験方法

寿命試験は、対象フィルターを図 1 に示すエアシャワーユニットに取り付け 24 時間連続運転し、風量及び圧力損失の経時変化を測定した。

試験対象フィルターが組み込まれたエアシャワー装置は、クリーンルームなど高潔浄度が要求される空間にて使用するのが一般的であるが、寿命の加速試験を行うため、本実験では一般環境内に設置した。

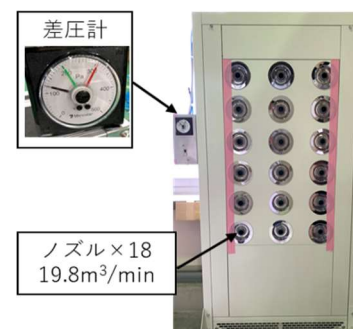


図 1 エアシャワーユニット実験装置

2-3 試験期間

表 2 に試験期間を示す。試験期間は、各試験フィルターの最終圧損値を参考に定めた。

表 2 試験期間

試験フィルター	試験期間	
・PTFE-HEPA フィルター	2019 年 6 月 12 日～2019 年 10 月 3 日	(123 日間)
・HEPA フィルター	2019 年 12 月 4 日～2020 年 9 月 16 日	(272 日間)
・酵素フィルター	2020 年 8 月 27 日～2021 年 3 月 1 日	(146 日間)

2-4 評価方法

試験フィルターの目詰まりは、各試験フィルターにより異なる。風量及び圧力損失の比較は試験期間が短い PTFE-HEPA フィルターの 123 日間を基準とした。また、フィルター毎に初期定格風量が異なるため、HEPA フィルターの風量を 1 とし、各々のフィルターの風量比から風量係数を算出した。測定値より算出した圧力増加率、風量低下率に各々の風量係数を乗じ換算し比較を行った。

2-5 試験結果

試験フィルターの風量及び圧力損失測定結果を表 3 に、圧力測定結果を図 2 に、風量測定結果を図 3 に示す。圧力損失の増加率に関しては、一般環境にて測定した影響により PTFE-HEPA フィルターが最も高く、HEPA 及び酵素 HEPA フィルターは同等な値となった。一方、風量低下率は高静圧ファンを使用したため低く、各ろ材に顕著な差はなかった。

表 3 風量、圧力損失測定結果(123 日間経過時)

項目	圧力損失			風量		
	増加率	風量係数	換算増加率	低下率	風量係数	換算低下率
HEPA	16.2%	1.00	16.2%	6.4%	1.00	6.4%
酵素 HEPA	10.6%	1.10	11.7%	4.1%	1.10	4.5%
PTFE-HEPA	70.3%	1.09	76.6%	2.7%	1.09	2.9%

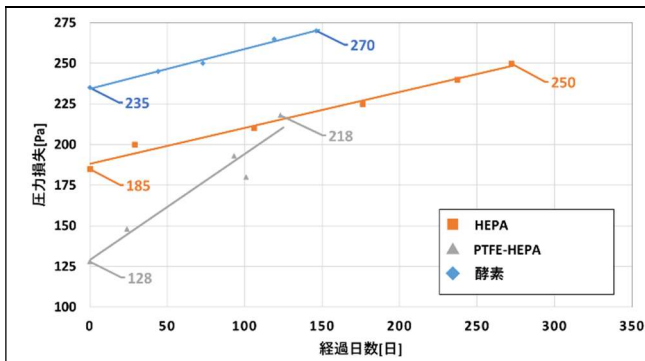


図 2 圧力損失測定結果

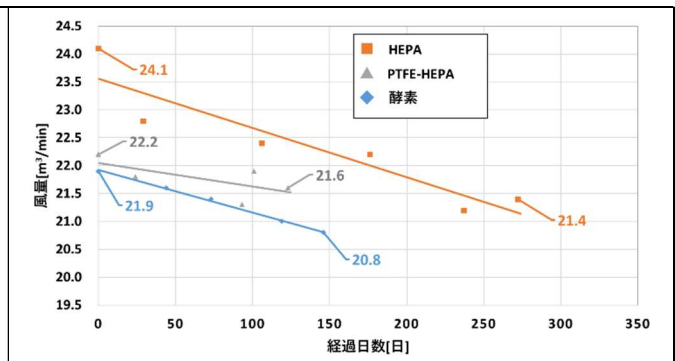


図 3 風量測定結果

2-6 考察

- (1) PTFE-HEPA フィルターは、初期圧力損失が低いが、圧力損失は他のフィルターと比較し顕著に増加した。PTFE フィルターは、ガラス繊維の繊維ごとの表面にて粒子を捕集する HEPA フィルターと比較し、1 層目の PTFE 膜のみで粒子を捕集するため、大粒子塵埃の多い一般環境では目詰まりが早い。一般環境下や清浄度が低いクリーンルームで使用する際は十分に注意する必要がある。
- (2) 酵素 HEPA フィルターは、HEPA フィルターと比較し初期圧損が 50Pa 高く、増加率は HEPA フィルターと同等であった。これは、使用しているろ材の種類(ろ材の空間率や厚み等)が異なることが影響していると推定する。既存装置への交換時は、圧力損失値上昇に伴い、所定の風量値を満たさないため注意が必要である。

3. 顕微鏡を用いたフィルターろ材の構造観察

3-1 観察方法

寿命試験後の各フィルターからろ材を切り出し、図 4 に示す①上流側、②下流側、③ろ材断面の 3 方向より顕微鏡を用いて観察した。試験フィルターとして、ろ材構成材料の異なる PTFE-HEPA 及びガラス繊維-HEPA フィルターにて捕集の状態及びろ材の観察を行った。

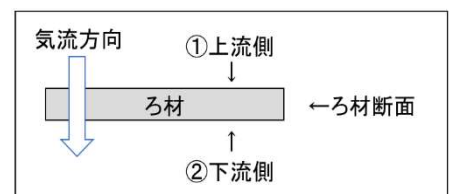


図 4 観察概要図

3-2 結果

表 4 に寿命試験終了後の PTFE-HEPA、HEPA フィルターのろ材観察結果①を示す。表 5 に HEPA フィルター、酵素 HEPA フィルターのろ材観察結果②を示す。

表 4 寿命試験後のろ材観察結果①

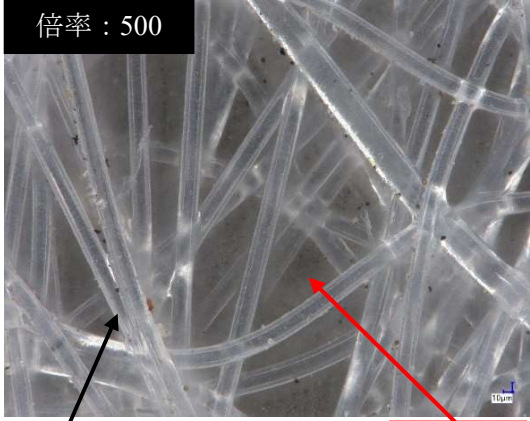
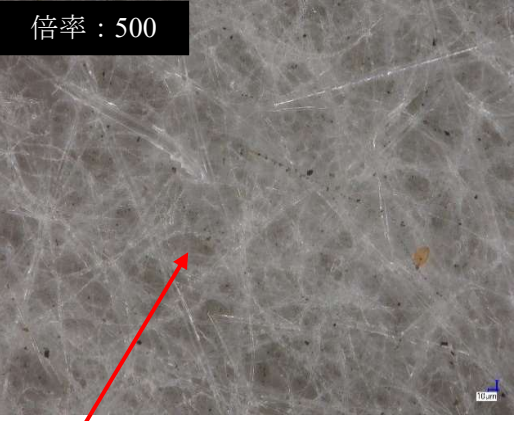
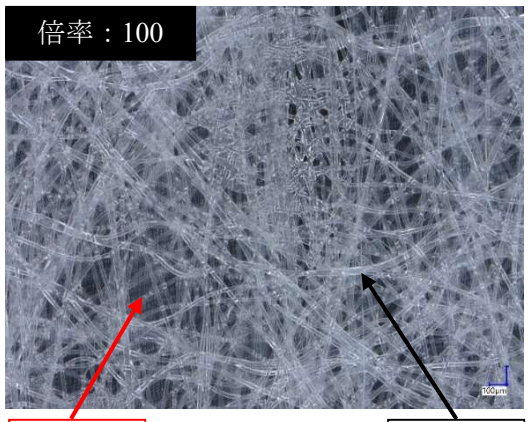
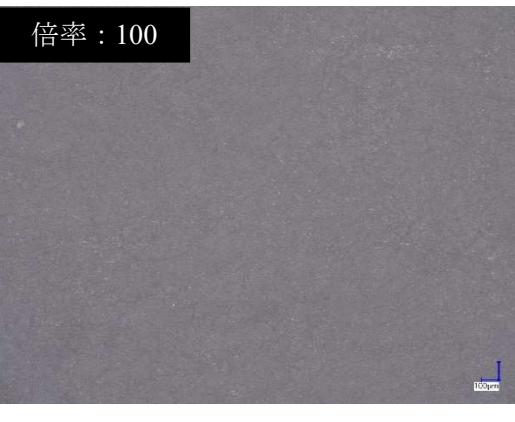
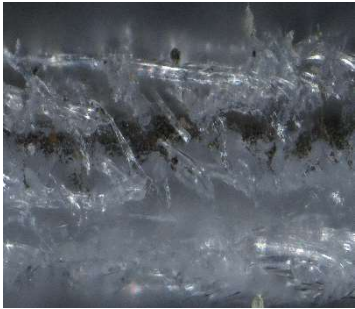
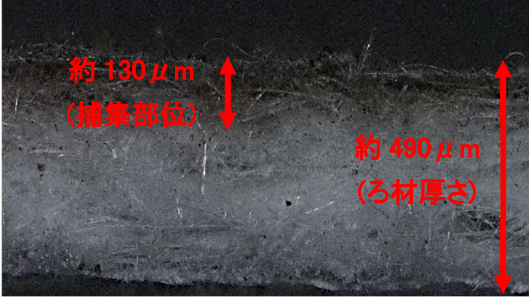
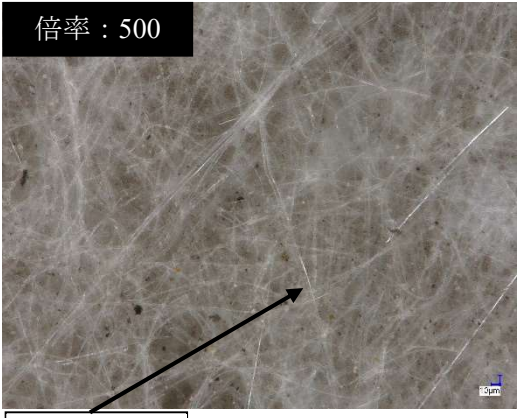
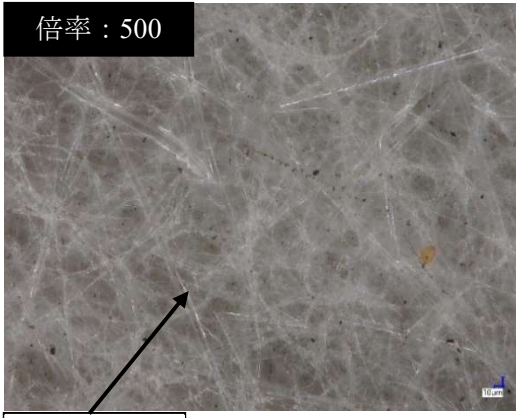
観察箇所	PTFE-HEPA	HEPA(ガラス繊維)
<p>① 上流側</p>	<p>倍率：500</p>  <p>不織布</p> <p>PTFE 膜</p> <ul style="list-style-type: none"> ・不織布は、繊維で粒子捕集 ・PTFE 膜は、表面で粒子を捕集するため、灰色に見える 	<p>倍率：500</p>  <p>ガラス繊維</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス繊維の繊維ごとの表面にて粒子を捕集する ・フィルターの奥まった部分に捕集した粒子が溜まり、灰色に見える
<p>② 下流側</p>	<p>倍率：100</p>  <p>PTFE 膜</p> <p>不織布</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下流側の不織布及び PTFE 膜には、粒子付着なし 	<p>倍率：100</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ガラス繊維に粒子付着なし
<p>③ ろ材断面</p>	 <p>不織布</p> <p>PTFE 膜 (1層目)</p> <p>不織布</p> <p>PTFE 膜 (2層目)</p> <p>不織布</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1層目 PTFE 膜表面で粒子捕集 (写真黒色部) ・2層目 PTFE 膜には、粒子付着なし 	 <p>約 130 μm (捕集部位)</p> <p>約 400 μm (ろ材厚さ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ろ材厚さ：400～500 μm ・黒色部は、粒子捕集部分 ・ろ材断面約 3 割で塵埃を捕集

表 5 寿命試験後のろ材観察結果②

観察箇所	酵素 HEPA (ガラス繊維)	HEPA (ガラス繊維)
① 上流側		
	・酵素 HEPA 及び、HEPA フィルター共にろ材は同一で差異がない。	

3-3 考察

- (1) PTFE-HEPA フィルターは、表 4-③ろ材断面に示す如く、大気塵に含まれる大粒子を PTFE 膜表面(1 層目)のみでしか捕集されていない。繊維の厚み方向にて粒子を捕集する HEPA フィルターと比較し保持できる粒子量が少ない特性があることを確認できた。そのため一般環境で使用するのはなく、クリーンルーム等清浄度が保たれた環境下で使用することが最適である。
- (2) HEPA フィルターは、ろ材の厚さ 400 μm ~ 500 μm に対し上流側 20~30%の深さで粒子を捕集していることが表 4 に示すろ材断面捕集部位より確認できた。PTFE-HEPA よりも粒子を保持できる容積が多い為、一般環境下にて使用した場合、圧力損失増加率は PTFE-HEPA と比較し緩やかである。

4. まとめ

クリーンルームを使用する製造空間には、HEPA フィルター等の高性能フィルターを使用した装置の設置が必要不可欠である。装置に組込むフィルターは、要求される対象捕集粒径及び室内清浄度により選定を行う。クリーンルーム内の高清浄度化に伴い、年々要求される仕様は高くなっている。本報で実施した一般環境下での実地寿命試験データにより、各フィルターの特性を記載した。フィルター選定を行う際は、参考にして頂ければ幸いである。

参考文献

- 1) JIS Z 8122:コンタミネーションコントロール用語
- 2) 磯前 和郎:酵素フィルターについて、クリーンテクノロジー、Vol.17、No.2、pp.55-59(2007)

 日本エアテック株式会社

【注意】
連絡先は発行当時の情報が記載されています。
最新の連絡先はホームページ等でご確認をお願いします。

本 社	〒110-8686 東京都台東区入谷1丁目14番9号	TEL 03-3872-6611	FAX 03-3872-6615
東北営業所	〒984-0032 宮城県仙台市若林区荒井七丁目12番5号	TEL 022-352-4504	FAX 022-352-4507
中部営業所	〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1丁目18番11号CK21広小路伏見ビル9F	TEL 052-219-7100	FAX 052-219-7200
北陸営業所	〒930-0005 富山県富山市新桜町4-28 朝日生命富山ビル7F	TEL 076-471-7752	FAX 076-471-7753
関西営業所	〒531-0071 大阪府大阪市北区中津1丁目11番11号第1リッチビル2F	TEL 06-6373-0473	FAX 06-6373-0827
中国営業所	〒732-0825 広島県広島市南区金屋町2丁目14番 アフロディテビル8F	TEL 082-568-7522	FAX 082-263-1505
九州営業所	〒810-0062 福岡県福岡市中央区荒戸3-6-29 クリエイト西公園1F	TEL 092-401-1595	FAX 092-401-1594
南九州出張所	〒889-4332 鹿児島県霧島市国分中央3-38-28 ショーヤ105号	TEL 0995-47-7422	FAX 0995-47-7433

