

フィルタのピンホールに関する研究
 - HEPA フィルタにおける実験的比較 -



HEPA フィルタ 個数濃度平均	SMPS の 透過率	ETFL モデル ST モデル	AJ16092 指導教員	廣瀬 覚士 西村 直也
---------------------	---------------	--------------------	-----------------	----------------

1. はじめに

エアフィル室内の空気の浄化に不可欠である。エアフィルタは空間の使用目的や求められる清浄度により異なったグレードのものが使用されるが、その中でも特に高い清浄度が求められる場合には HEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルタが使用される事が多い。HEPA フィルタは定格風量において粒径 0.3[μm]の粒子に対して 99.97[%]以上の捕集効率を持ち、かつ初期圧力損失が 245[Pa]以下の性質を持つものであり、クリーンルームなどで用いられる。

但し、HEPA フィルタも出荷時に全品テストを行うものの施工、取り付け時に損傷を受ける場合があり、その結果リークが発生する事案がしばしば見受けられ、クリーンルームで製造される半導体や医薬品にダメージを及ぼす懸念がある。フィルタのリークに関しては以前より幾つかの研究が見られる。その中でも単純にリーク部から直接粒子の漏れが発生していると考えられるもの以外に、1)リーク部を直管と見なして、管内付着を考慮するもの、2)繊維層フィルタの場合、リーク部内でもある種の捕集効率があると考えられるもの、などがある。

この中で、1)については Gormley の理論がよく知られており、また 2)については Yamada からの理論がある。Gormley の理論によるモデル(以下 ST モデル:Simple Tube モデル)では、ピンホールをまっすぐな円筒型の孔として扱い、ピンホールの孔径が 0.1[mm]以上では粒子がほぼ 100%透過するとしている。一方で Yamada からの理論は ETFL(Equivalent thin filter layer)モデルと呼ばれ、孔内に薄いフィルタがあると仮定し、その導フィルタにおいて粒径依存性をもって透過するものとしてその薄フィルタの厚さは 1/5~1/12 程度とし、理論的に 1/12 に収束するとしている。各モデルの概略図を図 1 に示す。

本報告では、HEPA フィルタに異なる孔径の孔をあけ、そこから漏れ出す粒子の計測を行う事である程度以上大きな孔からのリークの性状を把握することを目的とした。

2. 手法

最初に 4 つのフランジ付短管をつなぎ、中央に 99.97[%]以上の粒子捕集率をもつ HEPA フィルタを設置した。片側のフランジ付短管に空気を吸い込むための LV 用ポンプ又はミニポンプを設置し、粘土やテープを使用し気密性を

確保した。フランジ付短管のフィルタ通過前を上流側、通過後を下流側として実験を行った。

粒度分布については、TSI 社 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) モデル 3936 を用いてフランジ管の上流側と下流側の粒度分布の計測を行った。なお、試験用粒子には大気塵を用いた。測定イメージ形態を図 2 に示す。

次に今回の実験では、HEPA フィルタにピンホールを作るため、ピンバイスを使用し穴を開け実験を行った。孔のサイズや個数、風量の種類分けを表 1 にまとめる。そして、それぞれの場合の個数濃度平均と透過率を求め、ST モデルおよび ETFL モデルの理論値と実測値の比較、検討を行った。

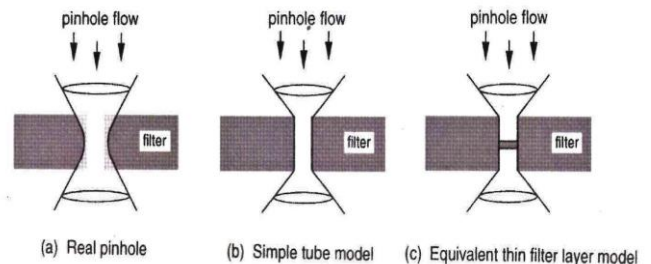


図 1 繊維状フィルタのエアロゾルモデル

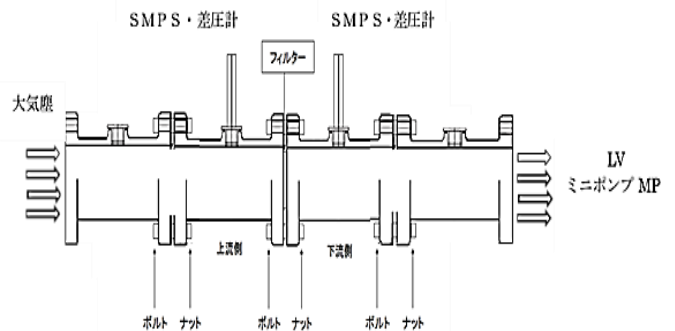


図 2 測定のイメージ図

表 1 条件の種類分け

Diameter of pinhole[mm]	Number of pinholes[N]	Air flow face velocity[m/s]
0.20	2000	0.0192
0.40	1500	
0.60	1000	
0.80	300	0.0384
1.0	200	

3. HEPA フィルタのピンホールにおける実験結果

(1) 個数濃度平均と透過率の算出

SMPS を使用し 14.1[nm] から 710.5[nm] 域のエアロゾル粒子の測定を行った。最初に上流側を測定して、各粒径ごとの値を平均し、上流側個数濃度平均を算出した。下流側も同様に表 1 の条件のもと、個数濃度平均を算出した。それぞれの個数濃度平均の一例を図 3 に示す。図 3 より孔径 0.2[mm] の実験時の上流側は分布性状に乱れが大きい事がある。また、下流側の分布の乱れも大きい、個数としては十分に採取出来ていると思われる。その後、下流側を上流側の結果で除し、透過率を求める。面速度ごとの透過率の結果の一例を図 4、面速度 0.0192[m/s] での各孔径の透過を図 5 にそれぞれ示す。各グラフは、測定した粒径ごとの値をあけた孔の数で割り、一個当たりの個数濃度平均と透過率とした。図 4 の結果から、孔径が 0.2[mm] と 0.8[mm] の時で面速度に対する透過率が逆転している。フィルタは一般に面速度が低いほど、捕集効率が高くなるがこの傾向は孔径が 0.6[mm] までは続くが、0.8[mm] 以上になると逆転する。薄フィルタ効果よりも孔周囲での圧力の乱れ及び気流の乱れが関係している可能性が考えられるが明確には分からない。図 5 から、0.2[mm]~0.6[mm] のグラフの形が類似するが、孔径が 0.6[mm] 以上になると、分布性状に乱れが大きくなる。ST モデルと ETFL モデルでも説明ができないが、この理由も明確ではない。

(2) ST モデルと ETFL モデルとの比較

実験結果から求めた透過率を理論値で求めた ST モデルと ETFL モデルの透過率と比較する。孔の大きさが 0.2[mm] と 0.8[mm] で面速度 0.0192[m/s] の時の透過率を図 6 に示す。孔径 0.2[mm] の時の ST モデルの値が重なるため見づらいが、全体の傾向は比較的近い。孔径 0.8[mm] の時の実験値は両者の中間的な値となっている。

4. 結論

実験結果から孔の大きさが大きくなるにつれ、各粒径ごとの個数濃度平均と透過率の値が高くなり、グラフの上り幅も増えていった。孔の大きさが 1.0[mm] では、グラフの型が大きく乱れ、値の規則性があまりみられず、孔径が大きすぎてデータがうまく取れなかったことがわかる。また、実験値と理論値から求めた透過率を比較したところ、図 6 の孔の大きさ 0.8[mm] で面速度 0.0192[m/s] が ETFL モデルに最も近い結果となった。ETFL モデルは、小さな山なりの形になっていて、孔の大きさ 0.8[mm] は理論値の値を変更していくことで、より ETFL モデルに近づいていくと考えられる。本論文で使用したピンバイスは 0.2[mm]~1.0[mm] であり孔の大きさが目視ではわかりにくかった。さらに、手作業で数百から数千個開けてくため全て一定の孔の大きさにすることが難しく、正確性に欠ける可能性はある。自動で一定の大きさで孔をあける機械があれば正確なデータにつながるであろう。

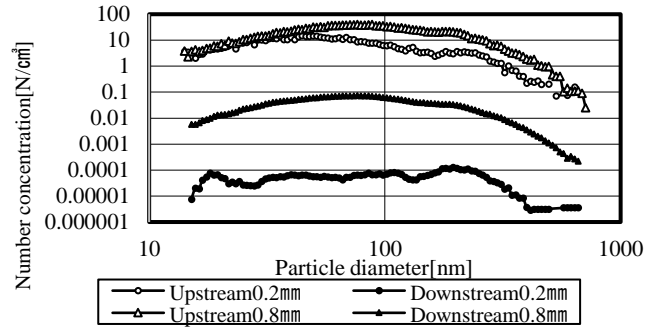


図 3 面速度 0.0192[m/s] での上流側と下流側データ

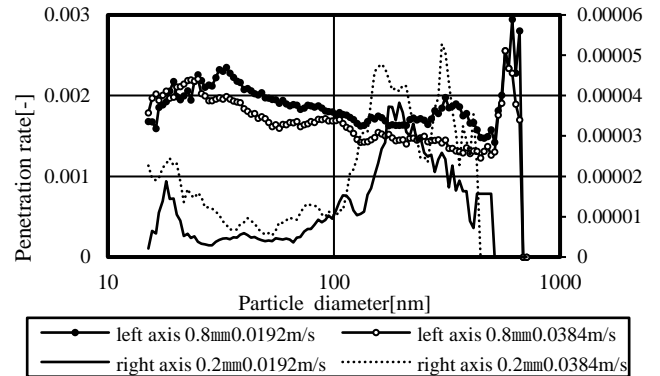


図 4 面速度 0.0192[m/s] と 0.0384[m/s] の透過率

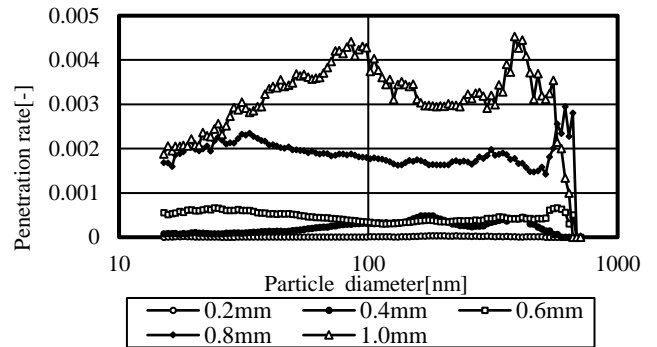


図 5 面速度 0.0192[m/s] での各孔径の透過率

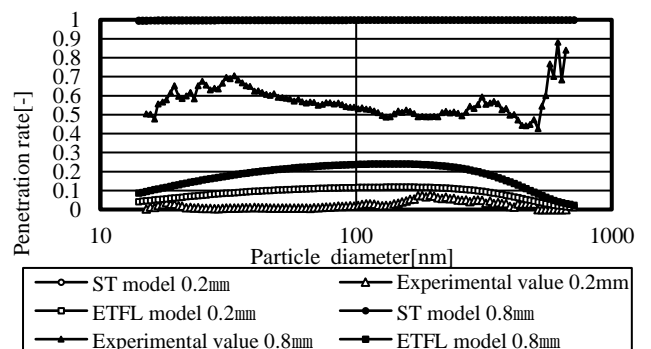


図 6 実験値と理論値の比較

【引用・参考文献】

- 1) 山田ら:A Model of Aerosol Penetration through Fibrous Filters with Pinholes,エアロゾル研究 11(1),p35-43,(1996)
- 2) 協伸産業株式会社 フィルタの種類 <http://www.k-kyoshin.jp/14530179299773>
- 3) 西村 直也:高性能繊維層フィルタにおけるリークの特性,日本建築学会計画系論文集 第 515 号,p83-88,(1999)
- 4) 西村 直也:クリーンルーム用エアフィルタのリーク試験法に関する研究,日本建築学会計画系論文集 第 516 号,p53-59,(1999)