



AJ16053 近藤 貴寛

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 —

Keywords

HEPAフィルタ ピンホール リーク
ETFLモデル 透過率 個数濃度分布

1. はじめに

私たちが建物内で安全・快適に過ごすためには建物内部の環境要素を適切にコントロールする必要がある。特に空気環境は新型コロナウイルスの影響もあり近年最も注目度の高い環境要素となっている。

空気環境のコントロールに効果的な装置としてエアコンや空気清浄機などの空調機器が挙げられる。空調機器にはエアフィルタが使われており、エアフィルタは空気中の粒子を捕集し清浄にする役割を持っている。半導体や薬品の製造空間であるクリーンルームでは高い空気清浄度が要求とされる。そのためクリーンルームの空調機器には、定格風量で粒径が300[nm]の粒子に対して捕集効率が99.97[%]以上、かつ初期圧力損失が245[Pa]以下という高い空気清浄性能を持つHEPA(High Efficiency Particulate Air)フィルタが用いられる。しかしHEPAフィルタも損傷によりピンホールが出来てしまうとその性能を十分に発揮することが出来ず、粒子が漏れ出してしまふ。この現象をリークといいクリーンルームの汚染につながる極めて重要な問題である。

ピンホールが生じることでどれだけ粒子が漏れてしまうのかを簡略に表すモデルが2つ存在する。1つはピンホールをフィルタにチューブを通したように考えるものでST(Simple Tube)モデルという。STモデルではピンホールを通る粒子は全てフィルタを通過すると考える。しかし、実際はピンホールを通る粒子のいくつかはフィルタに付着するため全て通過することはない。そのことを踏まえたモデルがYamadaらによるETFL(Equivalent thin filter layer)モデルである。ETFLモデルではSTモデルのチューブ内に、リークが発生したフィルタをm倍した厚さの仮想フィルタがあると考えられる。Yamadaらは実験の結果から、HEPAフィルタにおいてピンホールの直径(以下孔径)0.1[mm]~0.2[mm]ではETFLモデルの仮想フィルタのm値は1/5~1/12との数値を得ており、理論的には1/12に収束すると結論づけている。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により程度以上大きな孔からのリークの性状を把握することで、ETFLモデ

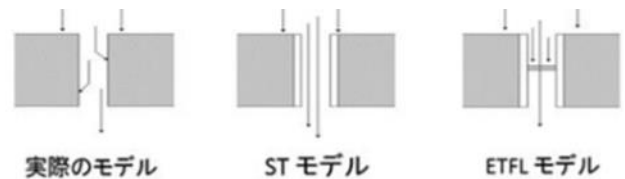


図1 繊維状フィルタのエアロゾルモデル

ルにおける仮想フィルタがより実際に近い値を示す厚さを調べ、クリーンルームの評価指標の確立を目的とした。

2. 手法

5つのフランジ付短管を繋げたチューブにフィルタをはさむ装置で実験を行った。その際、短管と短管の間にOリングを挟み、ボルトとナットを使用して強く固定することで空気の侵入を防いだ。つなげたフランジ付短管の片側にチューブを差し込み固定し、粘土で気密性を確保した。このチューブの先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た。次にチューブを差し込んである側から数えて2個目と3個目のフランジ付短管の間にHEPAフィルタを設置した。その際、HEPAフィルタを2つのOリングで挟み込むようにペーパーボンドで接着し、実験中のズレや空気の侵入を防いだ。そしてHEPAフィルタからみてチューブ側を下流側、その反対を上流側として実験を行った。なお、試験用粒子には大気塵を用いた。HEPAフィルタにドリルで孔を開けることでピンホールが出来たフィルタを再現し、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うことでリークの性状を把握した。測定イメージ形態を図2に示す。孔のサイズや個数、風量などの条件を変えて実験を行うことでリークによる汚染度に関わる要因を探った。実験を行った条件を表1に示す。

透過率を求めるためには上流側の粒子の数で下流側の粒子の数を除す必要がある。しかし上流側の粒子の数と下流側の粒子の数を同時に測定することが出来ず、下流側測定時の上流側の粒子の数を測定することが出来なかった。可能な限り下流側測定時の上流側の粒子の数を正確に把握するために上流側と下流側を交互に測定し、透過率を求めたい下流側の前後に測定を行った上流側の粒子の数を平均したものをを用いて透過率を算出した。

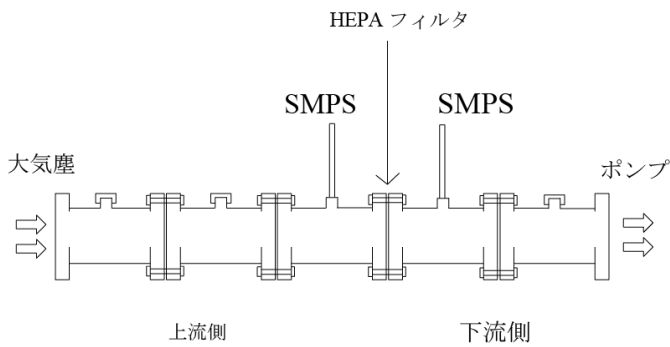


図 2 測定のイメージ形態

表 1 実験条件

孔径[mm]	孔数[-]	風量[L/min]
0.2	300	5
		11
	600	5
		11
0.4	300	5
		11
	600	5
		11
0.6	300	5
		11
	600	5
		11

3. HEPAフィルタのピンホールにおける実験結果

SMPSを使用し、14.1[nm]から710.5[nm]域のエアロゾル粒子における粒径別個数濃度の測定を行って得たデータを基に透過率を算出した。まず同じ条件下で測定した場合、どの程度のバラつきが生じるか、についての検討を行った。ここでは測定結果をそのままの形で示す。測定条件孔径0.2[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の透過率をまとめたものを図3に、孔径0.4[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の透過率をまとめたものを図4に、孔径0.6[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の透過率をまとめたものを図5にそれぞれ示す。なお1118⑧などの表記は、11月18日の8回目到下流側の測定をしたことを表している。図3と図4、図5より同じ条件で測定した透過率でもある程度のバラつきがあることがわかる。グラフの端の部分に関しては測定機器の精度の都合上不安定になってしまうのだが、安定している100[nm]の付近でも透過率に差が生じている。孔径0.2[mm]と0.4[mm]では誤差は±0.1[-]程度の差だが、孔径0.6[mm]では±0.8[-]も差が生じている。

次に同一のフィルタを使って測定をした結果をまとめて比較をした。同一のフィルタを使用した測定の条件を表2に示す。aフィルタでの透過率を図6に、bフィルタで

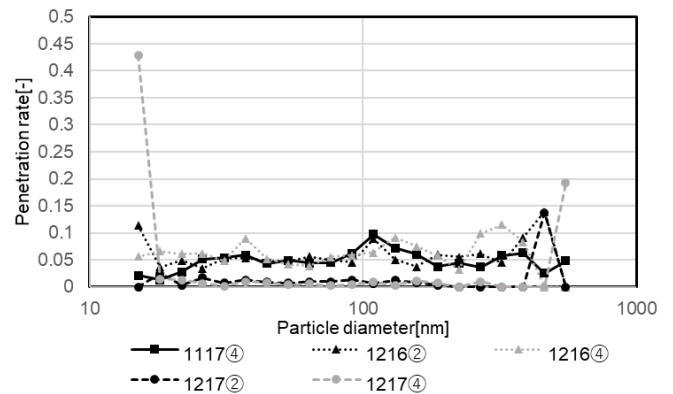


図 3 孔径0.2[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の透過率

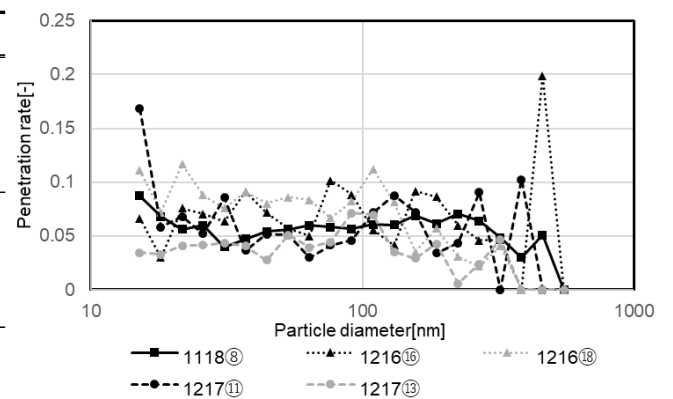


図 4 孔径0.4[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の透過率

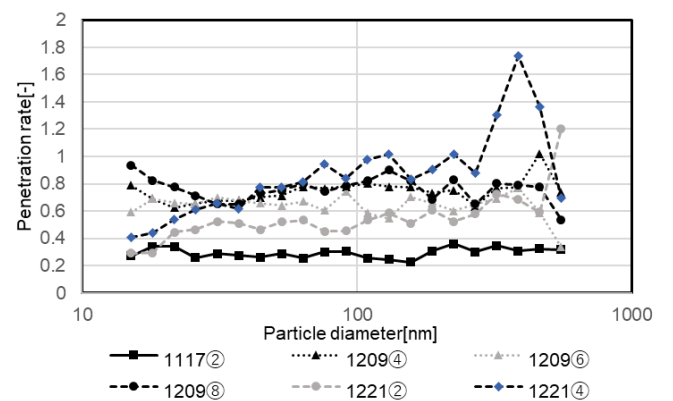


図 5 孔径0.6[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の透過率

表 2 同一フィルタでの測定条件

測定日	孔径[mm]	孔数[-]	流量[L/min]	同じフィルタを使用
1118⑤	0.4	300	11	a
1118⑧	0.4	300	5	
1119②	0.4	600	11	b
1119⑤	0.4	600	5	
1120②	0.4	600	11	c
1120④	0.4	600	11	
1120⑥	0.4	600	11	

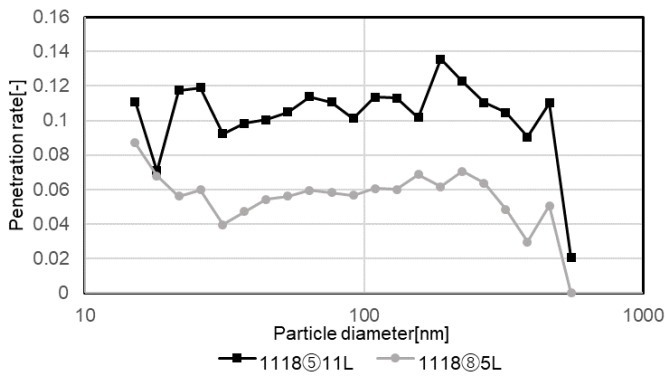


図 6 aフィルタでの透過率(孔径0.4[mm]孔数300[-])

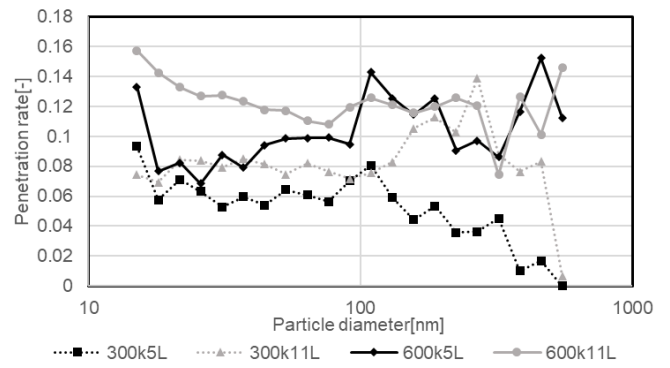


図 10 孔径0.4[mm]の平均透過率

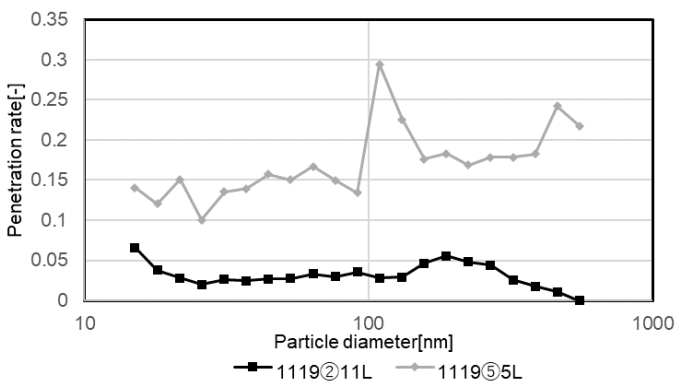


図 7 bフィルタでの透過率(孔径0.4[mm]孔数600[-])

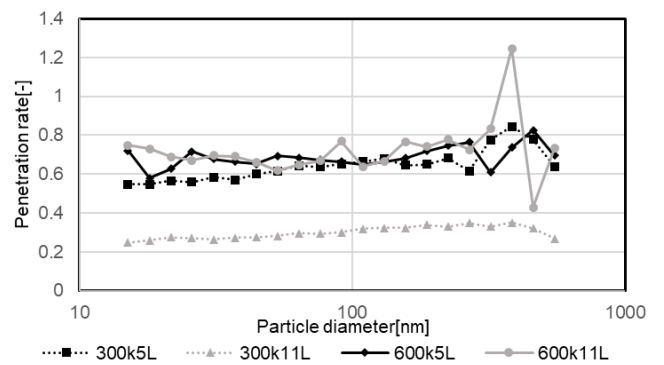


図 11 孔径0.6[mm]の平均透過率

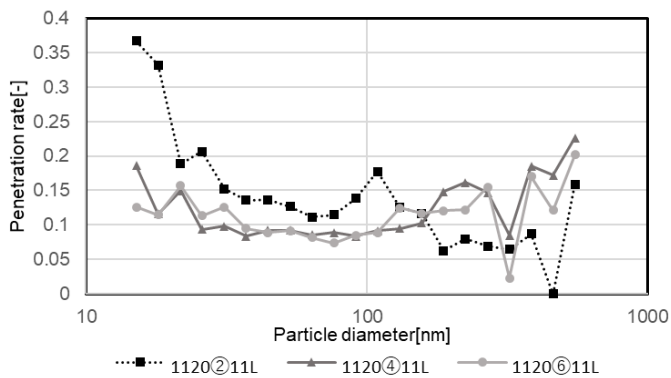


図 8 cフィルタでの透過率(孔径0.4[mm]孔数600[-])

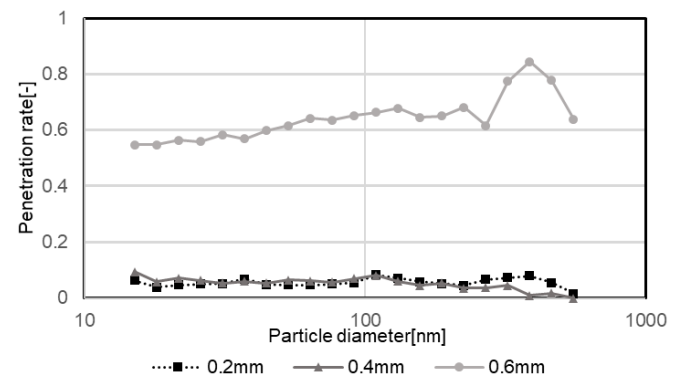


図 12 孔数300[-]風量5[L/min]の平均透過率

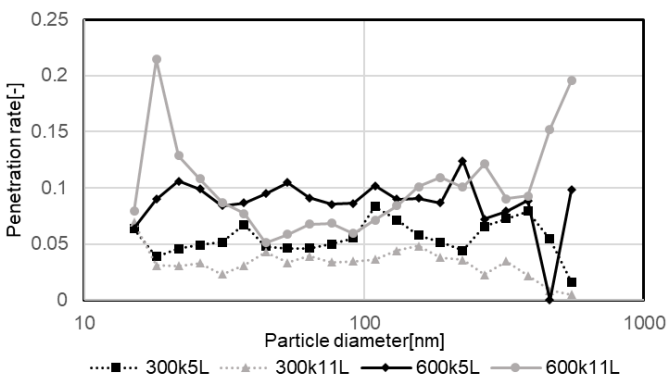


図 9 孔径0.2[mm]の平均透過率

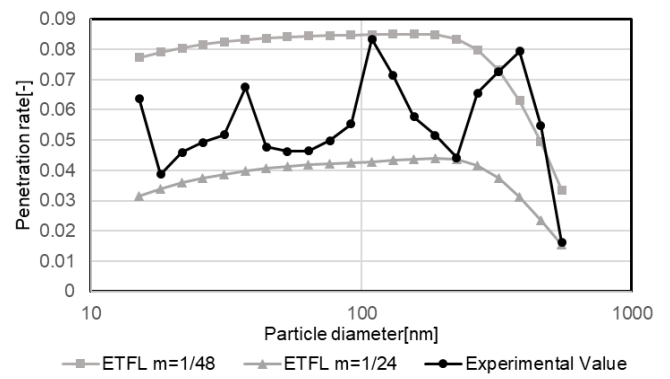


図 13 実験値と理論値の比較
(孔径0.2[mm]孔数300[-]風量5[L/min])

の透過率を図7にcフィルタでの透過率を図8にそれぞれ示す。図6よりaフィルタでは風量11[L/min]での透過率が風量5[L/min]での透過率よりも高いことが見て取れるが、図7を見るとbフィルタでは逆に風量5[L/min]での透過率が風量11[L/min]での透過率よりも高いことがわかる。また図8より同一のフィルタを使用し、風量も同じ場合でも透過率にバラつきがあることがわかる。

同じ条件で測定した透過率の平均をとり比較を行った。孔径0.2[mm]の透過率を図9に、孔径0.4[mm]の透過率を図10に、孔径0.6[mm]の透過率を図11に示す。300[-]風量5[L/min]の透過率を図12に示す。図9と図10、図11より風量が同じ場合どの孔径でも孔数が多い方が透過率が高いことがわかる。しかし孔数が同じ場合では風量が多くても必ずしも透過率が高くないことがわかる。図12より孔径0.2[mm]と0.4[mm]は透過率がほぼ同じだが0.6[mm]は他の二つよりも透過率が遥かに高い値を示している。

最後に実験で求めた平均透過率と、ETFLモデルの理論値との比較を行った。孔径0.2[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の実験値と理論値の比較を図13に、孔径0.4[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の実験値と理論値の比較を図14に、孔径0.6[mm]孔数300[-]風量5[L/min]の実験値と理論値の比較を図15に示す。図13より孔径0.2[mm]孔数300[-]風量5[L/min]ではETFLモデルのm値が1/24~1/48となる範囲に実験値は収まった。図14より孔径0.4[mm]孔数300[-]風量5[L/min]ではETFLモデルのm値が1/6~1/13となる範囲に実験値は収まった。図15より孔径0.6[mm]孔数300[-]風量5[L/min]ではETFLモデルのm値が1/70~1/150となる範囲に実験値は収まった。

4. 考察

同じ条件での測定にバラつきが出た原因として、孔を開けた時に微妙な開け方の差でフィルタの透過率が変わったと考えられる。孔径0.2[mm]と0.4[mm]の透過率のバラつきが0.1[-]程度なのに対して、孔径0.6[mm]では0.6[-]程度の大きなバラつきが生じているのは一つの孔が与える影響力が大きいためだと推測する。これに加えて、図13より孔径0.2[mm]と0.4[mm]の透過率がほとんど同じであるのに孔径0.6[mm]の透過率が他の二つに比べてはるかに大きいことから孔径0.6[mm]はクリーンルームの評価指標を考える上でのポイントであると考えられる。

図6と図7より同一のフィルタを使用した測定で風量が大きい場合に透過率が高くなる時と、風量が小さい場合に透過率が高くなる時があることや、図9、図10、図11より風量の差は透過率に影響を与え

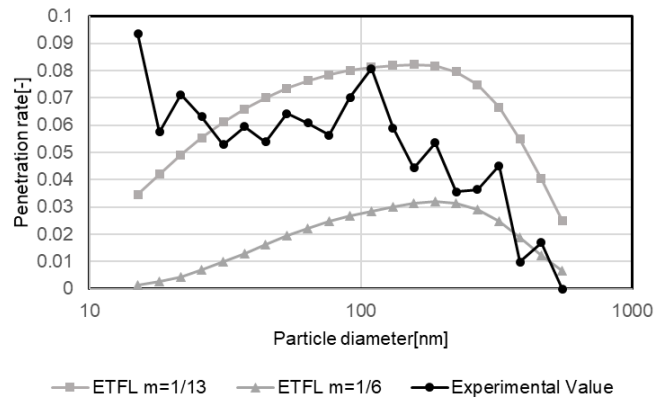


図 14 実験値と理論値の比較
(孔径0.4[mm]孔数300[-]風量5[L/min])

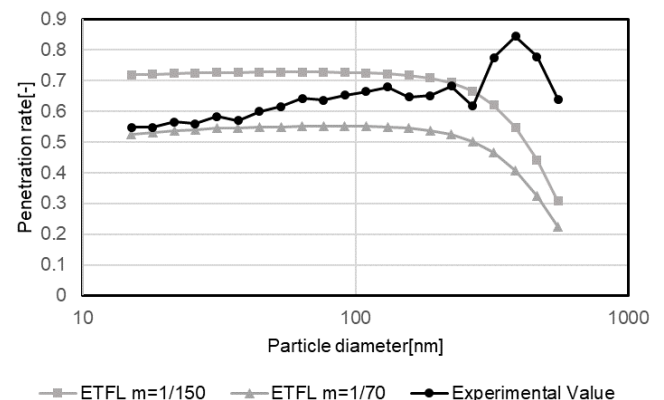


図 15 実験値と理論値の比較
(孔径0.6[mm]孔数300[-]風量5[L/min])

ないと考えられるが、より風量に大きな差があれば影響がでる可能性がある。

孔径0.2[mm]でのETFLモデルのm値に関しては既往研究で得られた値よりも小さな値となった。また、孔径0.6[mm]のETFLモデルのm値に関しては範囲が広すぎるため今回の実験結果からは若干不安定な部分が残る。

今後の研究では急激に透過率が増加する孔径0.4[mm]~0.6[mm]の間を中心として、さらに精密な実験を繰り返し、十分なデータを得ることが必要と考える。

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)