

クリーンルーム用フィルタの空気清浄度比較

徳永 和美* 城所 義雄*
長井 大祐*

要 旨

工業生産施設や医療・食品施設における空気清浄度への要求は、品質や歩留りの向上、コンタミネーション（汚染）防止を目的とてますます高まってきている。

本研究は、空気清浄度クラスに適したフィルタを選定するために、代表的なHEPAフィルタおよびULPAフィルタについて、空気清浄度、微粒子の粒径分布の特性を実験により確認することを目的とする。実験では、当社技術研究所の環境実験室内に簡易実験装置を設置し、フィルタ直後の風速と空気清浄度を測定した。その結果、HEPAフィルタ直後の空気清浄度は、クラス3~4、ULPAフィルタでは、クラス1であった。

1. まえがき

JIS¹⁾によると、クリーンルームとは、『コンタミネーションコントロールが行われている限られた空間であって、空気中における浮遊微小粒子、浮遊微生物が限定された清浄度レベル以下に管理され、また、その空間に供給される材料、薬品、水などについても要求される清浄度が保持され、必要に応じて温度、湿度、圧力などの環境条件についても管理が行われている空間』と定義されている。そのクリーンルームでは空気浄化の一手法として、一般に、高い粒子捕集率をもつHEPAフィルタおよびULPAフィルタが用いられている。

本報では、代表的なHEPAフィルタおよびULPAフィルタ直後の吹出空気について、その清浄度および微粒子の粒径分布の実測結果を中心に報告する。なお、清浄度クラスの表示はJIS²⁾に基づくものとした。清浄度クラスの上限濃度を表-1に示す。

2. フィルタ直後の空気清浄度測定

2.1 測定環境

測定は、当社技術研究所内環境実験室に簡易実験装置を設置して、1998年1月13日~2月4日の期間に行った。

なお、測定を行うにあたり、簡易実験装置の近傍にて空気清浄度をパーティクルカウンタにより測定したところ、測定対象粒径0.5 μm以上の粒子が吸引量0.283 L (0.01ft³)あたり約1,000個(1m³あたりに換算すると3,500,000個)で、クラス8であった。

2.2 実験の概要

実験に用いた密閉型簡易実験装置の概略を図-1に、フィルタの仕様を表-2に示す。

本装置のサブライユニット吹出面の下流側の気流は整流用金網により、整流化されている。また、実験条件としてHEPAフィルタおよびULPAフィルタのそれぞれについて、基準風速を0.5、0.4、0.3、0.1m/sの4種類設定して比較実験を行った。

表-1 清浄度クラスの上限濃度 (個/m³)

粒径 (μm)	清浄度クラス							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.1	10	100	1,000	10,000	100,000	(1,000,000)	(10,000,000)	(100,000,000)
0.2	2	24	236	2,360	23,600	—	—	—
0.3	1	10	101	1,010	10,100	101,000	1,010,000	10,100,000
0.5	(0.35)	(3.5)	35	350	3,500	35,000	350,000	3,500,000
5.0	—	—	—	—	29	290	2,900	29,000
清浄度クラス 粒径範囲	0.1~0.3		0.1~0.5		0.1~5.0		0.3~5.0	

- 備考 1. クラス3、クラス4、クラス5、クラス6、クラス7及びクラス8は、それぞれFederal Standard 209 Dのクラス1、クラス10、クラス100、クラス1,000、クラス10,000及びクラス100,000に相当するものである。
 2. 上限濃度は、対象粒径以上の粒子濃度を表している。
 3. 上限濃度は、粒径0.1及び0.5 μmの値を基準としている。
 4. 表-2に示されていない清浄度クラス粒径範囲内の上限濃度は、次の式で求める。

$$N_c = 10^N \times (0.1/D)^{2.08}$$
 ここに、Nc：粒径以上の上限濃度 (個/m³)、N：清浄度クラス(—)、D：粒径 (μm)
 5. 括弧内の数字は、清浄度クラスを評価するための対象粒径以上の粒径に対する値で、参考値である。

*技術研究所

以下に所定の基準風速を与えた場合の実験手順を示す。

1. 簡易実験装置の循環ファンを始動させる。
2. サプライユニット吹出面中央から200mm直下の地点の風速(以下、基準風速という。)を風速計を用いて設定する。
3. サプライユニット吹出面中央から300mm直下の地点に、サンプリングチューブの吸引口を、鉛直上向きに設置する。
4. パーティクルカウンタを30分間の予熱運転をさせた後、フィルタ直後の空気清浄度測定を開始する。なお、JIS²⁾に準じ、最少サンプリング空気量は、清浄度クラス1かつ対象粒子径0.1 μ mの清浄度測定に必要な2m³以上確保する。1回の測定に要する時間は測定器の性能を考慮して、75分(サンプリング空気量:2.1m³)とし、連続して40回(75分×40回=50時間)測定する。
5. 測定終了後、基準風速を再度測定し、変化のないことを確認する。

3. 結果

3.1 フィルタ直後の清浄度クラス

各条件の個数濃度(個/m³)の最大、平均、最小値を表-3に示す。また、各条件の個数濃度の平均値と清浄度クラスの上限濃度の関係を図-2に示す。

図-2から、HEPAフィルタ直後の空気清浄度は、0.5、0.4、0.3m/sでクラス3、0.1m/sでクラス1、一方、ULPAフィルタ直後の空気清浄度は、基準風速に関係なくクラス1であった。

なお、各条件の個数濃度の最大値を空気清浄度で表した場合でも、HEPAフィルタでは0.5m/sでクラス4、0.4、0.3m/sでクラス3、0.1m/sでクラス2、一方、ULPAフィルタでは基準風速に関係なくクラス1であった。

これらから、HEPAフィルタでは基準風速が低いほどフィルタを通過する個数濃度が減少し、フィルタの浮遊微粒子の捕集効果が高ることがわかる。一方、ULPAフィルタでは、基準風速の変化による個数濃度への影響がみられなかった。その理由は、表-2に示すよう

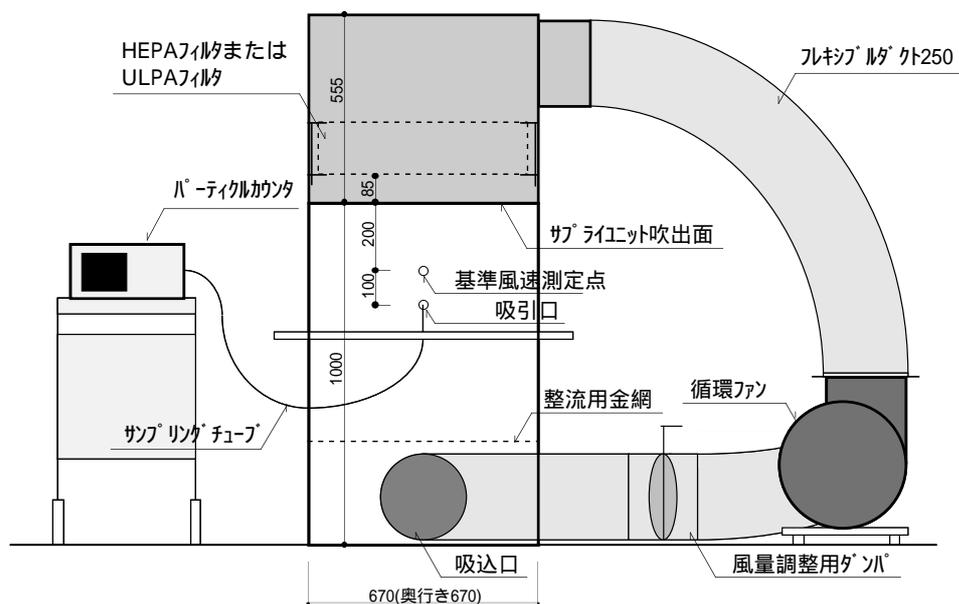


図-1 簡易実験装置概略図

表-2 フィルタの仕様

仕様	HEPAフィルタ	ULPAフィルタ
捕集効率	0.3 μ mDOPにて99.97%以上	0.1 μ mDOPにて99.9995%以上
定格風量	17.0m ³ /min	同左
初期圧力損失	245Pa	同左
寸法	610*610*150	同左

表 - 3 各条件における最大、平均、最小個数濃度 (個/m³)

使用フィルタ 基準風速	条件							
	HEPA フィルタ				ULPA フィルタ			
	0.5m/s	0.4m/s	0.3m/s	0.1m/s	0.5m/s	0.4m/s	0.3m/s	0.1m/s
対象粒径	最大濃度 (個/m ³)							
0.07 μm以上	2624.53	1122.99	747.73	30.88	0.47	0.94	0.94	0.47
0.1 μm以上	2307.29	982.62	669.12	24.33	0.47	0.47	0.94	0.00
0.15 μm以上	939.10	415.51	356.55	12.17	0.47	0.47	0.94	0.00
0.2 μm以上	286.36	145.99	137.10	6.55	0.00	0.00	0.47	0.00
0.3 μm以上	13.57	8.42	8.42	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 μm以上	0.47	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.7 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
対象粒径	平均濃度 (個/m ³)							
0.07 μm以上	745.22	455.66	213.60	3.79	0.12	0.11	0.11	0.07
0.1 μm以上	636.68	396.69	188.62	3.05	0.05	0.02	0.06	0.00
0.15 μm以上	247.20	172.19	96.41	1.58	0.01	0.01	0.04	0.00
0.2 μm以上	73.51	62.26	37.77	0.77	0.00	0.00	0.01	0.00
0.3 μm以上	3.09	3.11	2.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 μm以上	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.7 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
対象粒径	最小濃度 (個/m ³)							
0.07 μm以上	43.05	3.74	7.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.1 μm以上	39.30	2.34	5.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15 μm以上	19.18	1.40	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2 μm以上	4.21	0.47	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.7 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0 μm以上	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

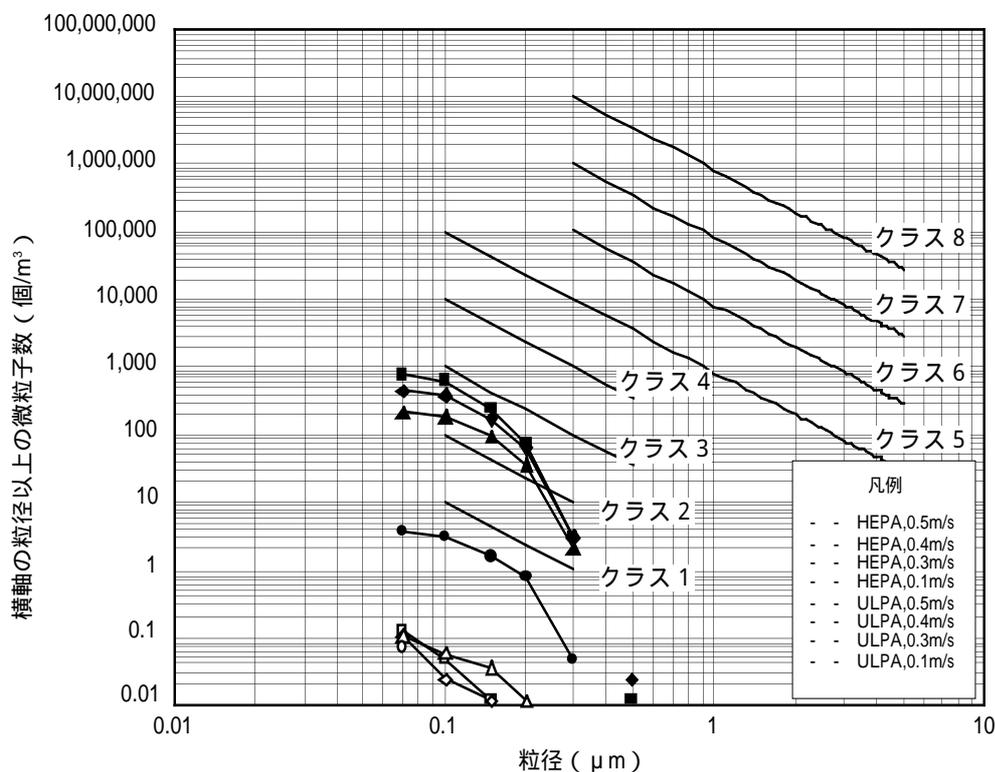


図 - 2 各条件の個数濃度の平均値と清浄度クラスの上限濃度の関係

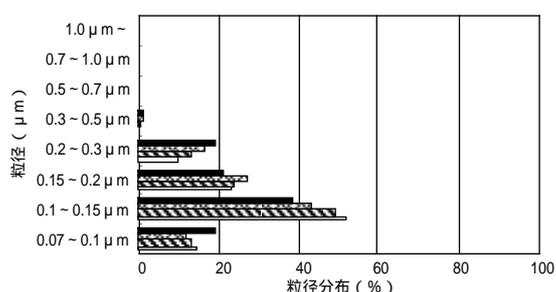


図 - 3 HEPAフィルタ直後の粒径分布

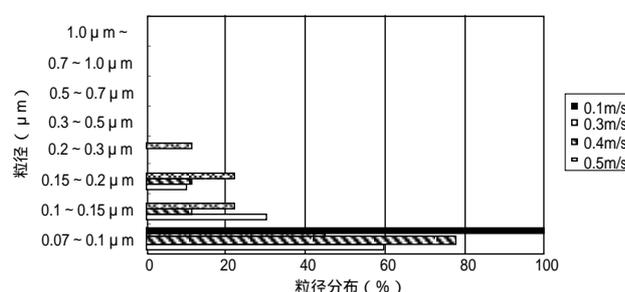


図 - 4 ULPAフィルタ直後の粒径分布

に、ULPAフィルタがHEPAフィルタより高い捕集効率があり、今回の実験のサンプリング時間では個数濃度が低すぎたため、基準風速と個数濃度の相関関係が得られなかった、と考える。

3.2 フィルタ直後の粒径分布

個数濃度の平均値で整理した、各基準風速ごとのHEPAフィルタ直後の粒径分布の割合を図-3に、ULPAフィルタ直後の粒径分布の割合を図-4に示す。ここでいう粒径分布には、0.07 μm未満の粒子の割合を含まない。

図-3からHEPAフィルタ直後の空気中に0.1~0.15 μmの粒径のものが基準風速にかかわらず約50%を占めるのがわかる。

一方、図-4からULPAフィルタについては、0.07~0.1 μm以下の割合が50~100%と非常に高く、HEPAフィルタとの粒径分布の相違がみられた。

今回の測定環境においては基準風速の大小にかかわらず、HEPAフィルタ直後の粒径分布が比較的安定している結果を得たことから、今後類似する室内環境の空気清浄度測定を評価する際にデータが安定したかどうかをみる要素として利用できるものと考え。

4. まとめ

今回の測定により、HEPAフィルタおよびULPAフィルタ直後の吹出し空気について0.07 μm以上の粒子を対象とした個数濃度および粒径分布を確認することができた。その結果から、室内からの発塵がないとした場合でも、HEPAフィルタの性能がクラス3~4付近で限界域となることが推測できる。

言い換えれば、クラス1~2にはULPAフィルタが必要であり、クラス3~4にはHEPAフィルタまたはULPAフィルタの使用の検討が必要となるといえる。また、JACA³⁾によると、クラス1~3にはULPAフィルタ、クラス4~5にはHEPAフィルタまたはULPAフィルタを推奨しており、今回の結果より1クラス厳しい

選定基準を示している。安全率を考慮すれば、今回の結果からも同様な選定基準となることがいえる。

今後、実物件でフィルタの選定をする際には、これらの実験結果を考慮に入れ、クリーンルームの条件に合わせてフィルタの選定を行うことを奨める。特にHEPAフィルタをクラス3~5に用いる場合はULPAフィルタの必要性がないかどうか、十分な検討をすることが必要である。

参考文献

- 1) 財団法人日本規格協会：コンタミネーションコントロール用語JISZ8122、JISハンドブッククリーンルーム、57p、1995
- 2) 財団法人日本規格協会：クリーンルーム中における浮遊微粒子の濃度測定方法及びクリーンルームの空気清浄度の評価方法JISB9920、JISハンドブッククリーンルーム、pp.172~193、1995
- 3) 社団法人日本空気清浄協会：クリーンルームの性能評価指針、クリーンルーム性能維持・管理推奨基準JACA No.24、pp.32~36、1990