

クリーンルームに関する研究 (その3)

——垂直層流方式の性能と吹出し口面積および吸込み口面積——

西岡 利晃 竹内 和男
一橋 克美

Research on Clean Rooms (Part 3)

——Effects of Opening Area on Performance of
Vertical Laminar Flow Clean Rooms——

Toshiaki Nishioka Kazuo Takeuchi
Katsumi Ichihashi

Abstract

A vertical laminar flow clean room has total displacement flow of the enclosure. The resulting clean air flow inhibits particles from moving upward or from dissipating to surrounding areas, and will yield a high degree of cleanliness. Within the context of this basic technology, the most important aspect is the area of openings. The ratio of openings is limited due to lighting fixtures and fire detectors on the ceiling and manufacturing equipment on the floor. The effects of the opening ratio in the performance of vertical laminar flow were studied experimentally. The lower limit of the opening area was investigated. It was found that for inlet openings, the larger the opening is the more quickly particles of 0.10- μ m diameter and over are flushed out. For the outlet, one with 25 percent or more of the floor area will be adequate.

概 要

垂直層流方式のクリーンルームでは、一方向に押出すピストン状の流れで、清浄空気を供給するとともに、塵埃の上流側や水平方向への拡散を押えることによって高い清浄度を実現する。このためには、天井の吹出し口や床の吸込み口は、有効開口面積が大きいほど有利である。実際には、天井に照明器具や火災報知器が設けられ、製造装置が床面を占拠するので、開口の大きさは制限を受ける。そこで、垂直層流方式の実験用クリーンルームを用いて、吹出し口面積や吸込み口面積を変化させた場合の清浄度立上り試験を行ない、これらの面積と清浄化性能の関係を検討し、清浄度に応じてどの程度の大きさにすべきかを究明した。塵埃の粒径が小さくなるほど吹出し口は大きくする必要があるが、吸込み口は、25%以上あれば十分であることが判明した。

1. はじめに

垂直層流方式のクリーンルームでは、一方向に押出すピストン状の流れによって、汚染に対して敏感な場所をパージするとともに、発生した塵埃の拡散範囲を最小にする。上流側や水平方向への塵埃の移動を防ぐことによって、重要な作業域を常に、HEPA フィルターで清浄化されたバージョンエアで洗われている状態に保つ。

HEPA フィルターから直接室に吹出す方式は、塵埃に対する高い捕集効率と、空気抵抗がかなり大きいことか

ら高清浄で、速度の均一な気流を容易に供給することができる。従って、この方式にとって HEPA フィルターは非常に適しており、しばらくは他に取って代わられることはないと思われる。層流方式の性能は、HEPA フィルターを通過して、清浄化され、速度が均一になった空気を、いかにして、乱さず(層を成して)一方向に流すかにかかっている。

前報¹⁾では、吹出し気流速度とこの性能の関係を、清浄度の立上り特性を指標にして実験的に検討した。室内に製造装置や作業者が存在しない状態でも、吹出し気流

速度が遅くなると、層流の性能が失われることを示した。

この報告では、同様にして、吹出し口面積や吸込み口面積を変化させた場合の性能を検討する²⁾。層流の性能はそれらの面積が大きいくほど良いが、実際のクリーンルームでは、天井に照明器具や火災報知器などが設けられ、製造装置が床面を占めるので、開口の大きさに制限が生じる。これらの面積の大きさと性能の関係を明らかにし、どの程度まで小さくできるかを明らかにするのがこの研究の目的である。

2. 実験概要

2.1. 吹出し口面積の設定

図-1に示すように、フィルター枠にアルミ板製の面積可変器具を取り付け吹出し面積を変化させる。取り付けけた状態を写真-1、図-2に示す。原形では、フィルター面積比(有効吹出し口面積比)が80.8%であり³⁾、これを75%,70%,60%,50%の5種類に設定し実験を行なう。

2.2. 吸込み面積の設定

(1) グレーチング床の場合 透明ビニールシートをグレーチング上に敷いて面積を変化させる。その種類を

器種	メーカー	測定位置	対象粒径 μm	吸引量 cc/sec	リセットインターバル sec	サンプリングチューブ	チューブの応答遅れ sec
レーザーカウンター	PMS	A	0.12	10.0	10.0	200cm $\phi 5\text{mm}$	3.93
フォトカウンター	DIC	B	0.5	47.2	21.2	200cm $\phi 5\text{mm}$	0.83
熱風速計	日本科学工業						

表-1 計測器の仕様

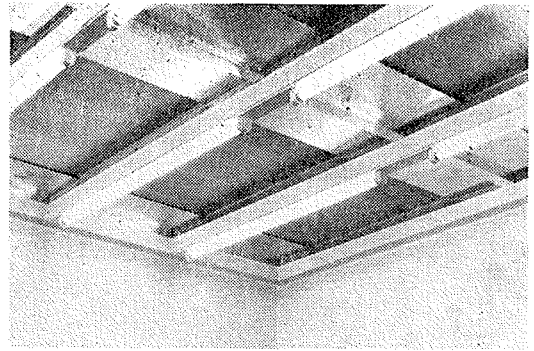


写真-1 吹出し口面積の変化 (HEPAフィルター面積比50%)

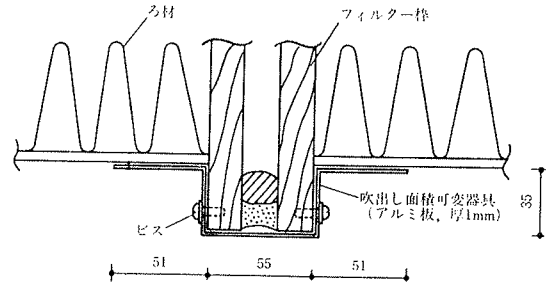


図-1 吹出し口面積変化方法

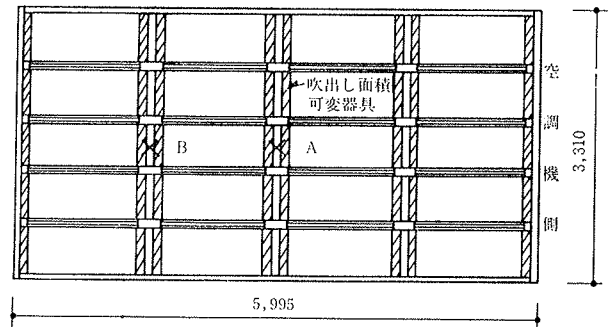


図-2 吹出し口の状況 (天井伏図)

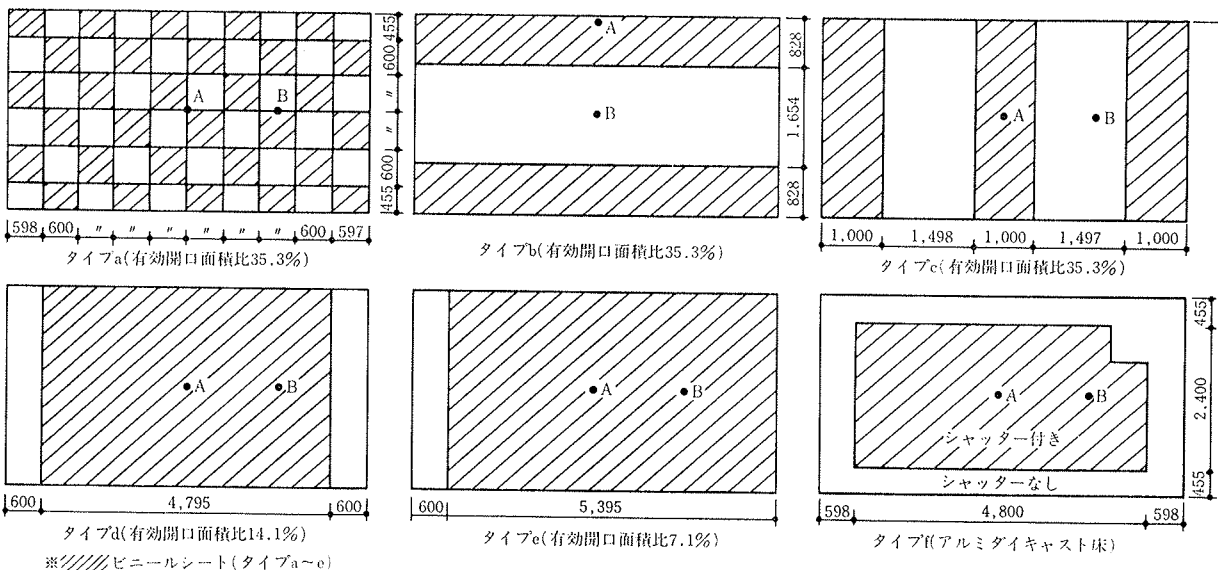


図-3 床開口の種類

図-3に示す。原形は有効開口率70.6%であり、これを35.3%, 14.1%, 7.1%の3種類に変化させる。

(2) アルミダイキャスト床の場合 写真-2に示すシャッター付きアルミダイキャスト製穴あき床パネルを用い、シャッターの開度で開口面積を変化させる。シャッター開度を100%にした場合、有効開口率は22.0%であり、シャッターをしばり21.2%, 17.6%, 14.1%と変化させる。

2.3. 実験方法

前報と同様、大気塵で自然にクリーンルーム内の塵埃濃度を飽和させ、その後空調機を運転して塵埃濃度の減衰過程を測定する。初期濃度は、粒径0.12μm以上で $4.7 \times 10^8 \sim 1.11 \times 10^9$ 個/m³(=13.4×10⁶~3.13×10⁶個/ft³) 0.5μm以上で、 $3.9 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^6$ 個/m³(=11.2×10⁴~1.0×10⁴個/ft³)の間である。

空気のサンプル位置は、図-3に示すA, Bの2点、床上1.00mの高さである。用いた計器の仕様を表-1に示す。

各実験での設定条件と、その実測値を表-2, 表-3に示す。

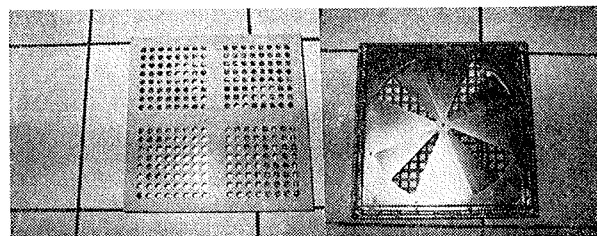


写真-2 アルミダイキャスト床プレート

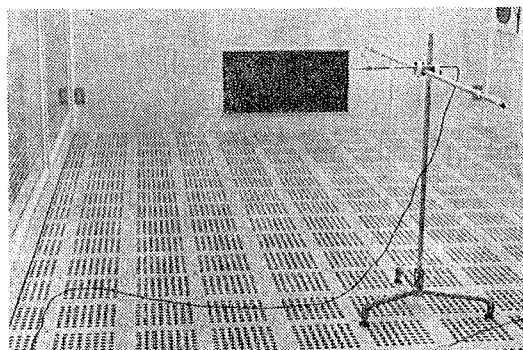


写真-3 アルミダイキャスト床とサンプル位置

3. 結果と考察

3.1. 吹出し口

(1) 平均気流速度 0.38m/s (換気回数 450回/h)

結果を図-4に示す。図より明らかなように、HEPA面積比80.8%と、それ以下とでは明確な差が認められる。一般に層流方式では、この値は70~75%と言われているが、50~75%の間にはそれほど顕著な差は認められず機械の配置や作業員の動作を適切に管理すれば、50%程度でも層流の性能(クラス100)を実現することができると思われる。集積度が256K~1MのVSLIを製造するクリーンルームに必要なとされるクラス100より1グレードあるいはそれ以上の高潔浄度に対しては、80%以上にするのが望ましい。

(2) 平均気流速度 0.25m/s (換気回数 350回/h)

結果を図-5に示す。0.12μm

設定条件 吹出し口	吹出し面積比 (%)	室内平均風速 (m/s)		フィルター面吹出し風速 (m/s)		換気回数 (回/h)	圧力差 (mmAq)	初期濃度			
		設定値	実測値	設定値	実測値			0.12μm以上		0.5μm以上	
								×10 ⁸ 個/ft ³	×10 ⁸ 個/m ³	×10 ⁴ 個/ft ³	×10 ⁴ 個/m ³
①	80.8	0.38	0.47	0.47	454.3	1.21	9.15	3.23	6.98	2.47	
	75.0	0.37	0.51	0.50	446.6	1.01	11.82	4.17	11.17	3.94	
	70.0	0.37	0.54	0.53	444.4	1.25	6.66	2.35	3.28	1.16	
	60.0	0.38	0.63	0.64	457.6	1.21	5.93	2.09	4.55	1.61	
	50.0	0.37	0.76	0.73	440.1	1.21	5.83	2.06	3.13	1.10	
	80.8	0.25	0.31	0.31	303.4	1.21	6.54	2.31	6.19	2.19	
②	75.0	0.25	0.33	0.34	305.1	1.17	7.15	2.53	6.93	2.45	
	70.0	0.25	0.36	0.36	300.0	1.28	8.73	3.08	4.35	1.54	
	60.0	0.25	0.42	0.42	300.0	1.28	5.90	2.08	5.11	1.81	
	50.0	0.25	0.50	0.51	303.4	1.25	7.35	2.60	3.29	1.16	

表-2 吹出し口実験と設定条件

タイプ 吹出し口	吹出し面積比 (%)	設定値		実測値		圧力差 (mmAq)	初期濃度					
		換気回数 (回/h)	平均風速 (m/s)	換気回数 (回/h)	平均風速 (m/s)※1		0.12μm以上		0.5μm以上			
							×10 ⁸ 個/ft ³	×10 ⁸ 個/m ³	×10 ⁴ 個/ft ³	×10 ⁴ 個/m ³		
a)	3-2	※2	450.0	0.38	438.5	0.37	1.17	6.66	2.35	4.49	1.59	
		35.3	350.0	0.29	343.9	0.29	1.21	3.13	1.11	2.86	1.01	
		250.0	0.21	257.2	0.21	1.25	10.60	3.74	4.88	1.72		
	b)	3-5	※2	450.0	0.38	456.6	0.38	1.17	6.13	2.17	3.77	1.33
			35.3	350.0	0.29	355.0	0.30	1.21	9.06	3.20	3.36	1.19
			250.0	0.21	261.6	0.22	1.25	7.21	2.55	3.74	1.23	
c)	3-8	※2	450.0	0.38	461.3	0.38	1.44	5.05	1.78	3.35	1.19	
		35.3	350.0	0.29	347.2	0.29	1.25	3.72	1.31	2.68	0.95	
		250.0	0.21	280.6	0.22	1.25	6.82	2.41	3.27	1.16		
d)	3-12	※2	450.0	0.38	441.8	0.37	1.17	4.68	1.65	11.10	3.92	
		14.1	350.0	0.29	362.2	0.30	1.17	13.42	4.74	3.98	1.41	
		250.0	0.21	243.0	0.20	1.21	7.56	2.67	4.08	1.44		
e)	3-15	※2	450.0	0.38	390.7	0.33	1.28	4.12	1.46	4.06	1.44	
		7.1	350.0	0.29	352.0	0.29	1.25	6.89	2.44	3.68	1.30	
		250.0	0.21	237.9	0.20	1.21	6.88	2.43	3.56	1.26		
	100%	3-18	※2	450.0	0.38	455.2	0.38	1.28	10.89	3.85	4.86	1.72
			22.0	350.0	0.29	355.0	0.30	1.21	6.29	2.22	6.40	2.26
			250.0	0.21	258.2	0.22	1.25	8.59	3.03	3.50	1.24	
75%	3-21	※2	450.0	0.38	447.5	0.37	1.25	7.15	2.53	3.16	1.12	
		21.2	350.0	0.29	346.5	0.29	1.17	12.80	4.52	7.06	2.49	
		250.0	0.21	258.2	0.22	1.21	7.39	2.61	3.83	1.35		
50%	3-24	※2	450.0	0.38	444.6	0.37	1.25	6.74	2.38	4.97	1.76	
		17.6	350.0	0.29	355.0	0.30	1.25	3.95	1.40	4.10	1.45	
		250.0	0.21	253.2	0.21	1.21	9.02	3.19	3.73	1.32		
25%	3-27	※2	450.0	0.38	447.3	0.37	1.60	6.53	2.31	5.15	1.82	
		14.1	350.0	0.29	351.6	0.29	1.25	3.66	1.29	3.97	1.40	
		250.0	0.21	258.2	0.22	1.25	6.16	2.18	4.91	1.75		

※1: 給気ダクト内の多点ピトー管による風量測定値から算出した値 ※2: グレーチング格子部分を開口面積から除外した

表-3 吸込み口実験と設定条件

以上の粒子では、80%とそれ以下に、0.5 μmのそれに対しては、70%前後に差が認められる。クラス100のクリーンルームでは、気流速度0.25 m/s、フィルター面積比70%以上と言われているが、このことが確かめられた。図-4と図-5の比較より、0.12 μm以上では、気流速度を速くすることによって、フィルター面積比を大きくしたのと同じ性能を得ることができる。

3.2. 吸込み口

3.2.1. グレーチング床

(1) 平均気流速度 0.38 m/s (換気回数 450回/h)

結果を図-6に示す。有効開口面積が35.5%であれば、開口の分布に関係なく性能は一定である(タイプa, b, c)。14.1%でも開口の分布が一様であれば、性能はそれほど低下しない(タイプf)。タイプd, eは、明らかに性能が落ちる。これは、既存の建家をクリーンルームに改良する場合のように、床面に吸込み口が設けられず、側壁に設けざるを得ない場合を想定した実験である。規模が大きくなり、気流速度が0.38 m/s以上あれば、この方式でもクラス100は実現できる。

(2) 平均気流速度 0.29 m/s (換気回数 350回/h)

結果を図-7に示す。(1)と同様のことが言えるが、気流速度が遅くなっただけ性能が落ちる。

(3) 平均気流速度 0.21 m/s (換気回数 250回/h)

シャッター 開口率(%)	床パネル 面積 (m ²)		開口面積 (m ²)		床面全体の 開口率 (%) ※	備 考
	0.35 (0.6×0.6)	0.07258 (φ=19mm)	穴 (1枚)	シャッター (1枚)		
100				0.08985	22.0	$\frac{0.07258 \times 60}{19.8} \times 100 = 22.0\%$
75	"	"		0.06739	21.2	$\frac{0.07258 \times 29 + 0.06739 \times 31}{19.8} \times 100 = 21.2$
50	"	"		0.04493	17.6	$\frac{0.07258 \times 29 + 0.04493 \times 31}{19.8} \times 100 = 17.6$
25	"	"		0.02246	14.1	$\frac{0.07258 \times 29 + 0.02246 \times 31}{19.8} \times 100 = 14.1$

※ 開口率100%の場合はシャッターの開口面積の方が穴の開口面積よりも大きいため、1枚当りの開口率は、穴の開口率となる。

表-4 アルミダイキャスト床の開口面積

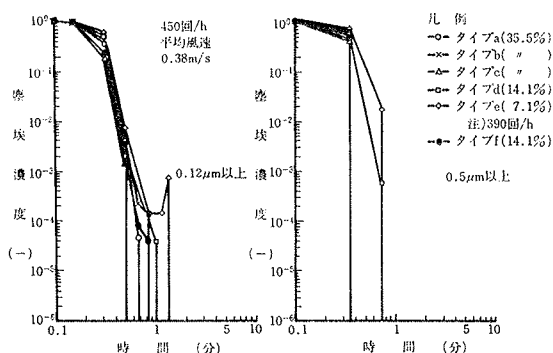


図-6 吸込み口面積と清浄度立上り その1

結果を図-8に示す。0.5 μm以上の粒子に関しても層流の性能を発揮しなくなる。

3.2.2. アルミダイキャスト床

アルミダイキャスト床では、開口の分布は一定で、気流速度(換気回数)のみ変化させた。結果を図-9, 図-10, 図-11に示す。図より明らかなように、0.12 μm以上の粒子を対象とした場合、気流速度が遅くなると、性能が悪くなる。0.5 μm

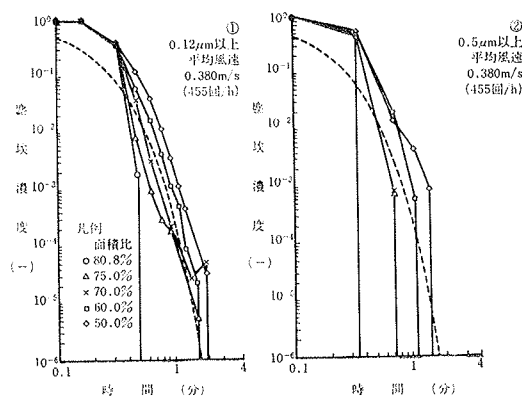


図-4 吹出し口面積と清浄度立上り その1 (平均流速 0.38 m/s)

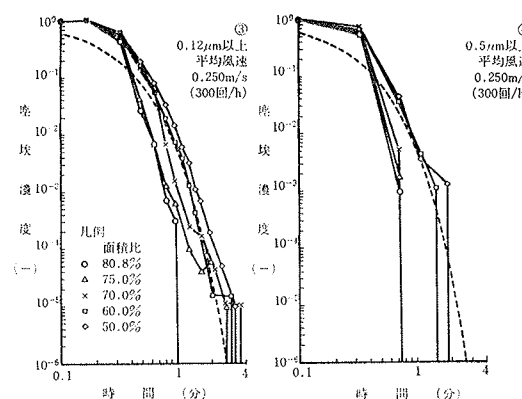


図-5 吹出し口面積と清浄度数立上り その2 (平均流速 0.25 m/s)

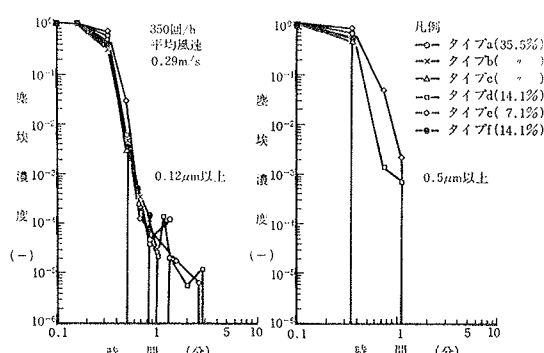


図-7 吸込み口面積と清浄度立上り その2

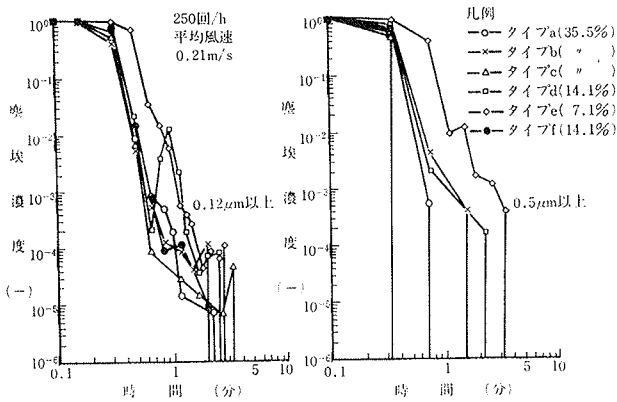


図-8 吸込み口面積と清浄度立上り その3

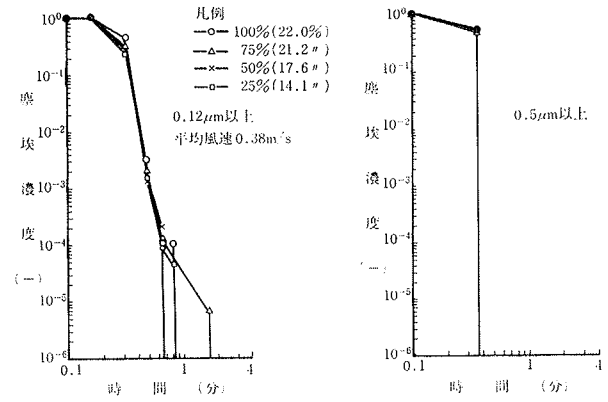


図-9 吸込み口面積と清浄度立上り その4

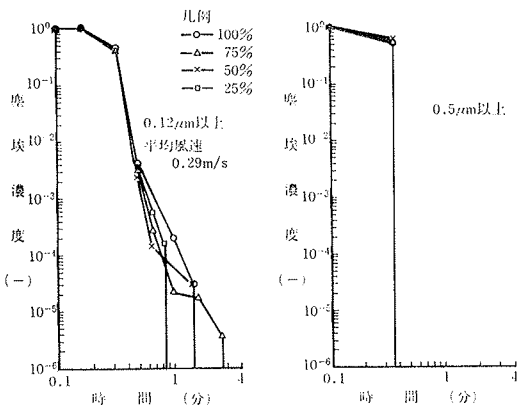


図-10 吸込み口面積と清浄度立上り その5

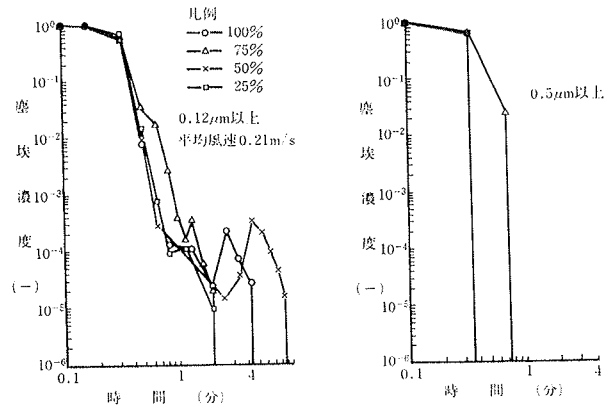


図-11 吸込み口面積と清浄度立上り その6

以上の粒子に関しては、その差はほとんど認められない。

4. まとめ

クリーンルームのグレードに応じた吹出し口および吸込み口の比率と気流速度の範囲をまとめて表-5に示す。これらはいずれも、互いに他の開口が原形（吹出し口；80.8%，吸込み口；70.6%）の場合であり、この表のものを組み合わせた場合は、性能が落ちる。

またこれらのデータは、室の裸特性とでも呼ばれるべきものであり、実際には製造装置や作業者が存在する場合の特性を知る必要がある。これらに対しては、今後引き続き検討する予定である。

参考文献

1) 西岡，竹内，一橋：クリーンルームに関する研究

グレード 気流速度(m/s)	クラス100		クラス100以上※1	
	0.38	0.25	0.38	0.25
吹出し口面積比 (%)	>50	>70	>75	-
吸込み口面積比 (%)	>14	>20	>20	-

※1 0.1µm粒径以上を対象としクラス100以上

表-5 垂直層流方式のグレード

(その1)，大林組技術研究所報，No. 29，(1984)，pp. 176~180

2) 竹内，西岡，一橋：クリーンルームに関する研究 (その6)，第4回空気清浄技術研究大会予稿集，日本空気清浄協会，(1985.2)，pp. 23~26

3) 西岡，他：大林組実験用クリーンルームについて，第2回空気清浄技術研究大会予稿集，(1983.2)，pp. 85~88