

クリーンルームに関する研究 (その4)

——クリーンアプローチの開発——

竹 本 靖 西 岡 利 晃
富 家 貞 男

Research on Clean Rooms (Part 4)

——Development of “Clean Approach”——

Yasushi Takemoto Toshiaki Nishioka
Sadao Tomiie

Abstract

The authors have developed a new clean room entrance which is called “Clean Approach.” It is a laminar flow passage which has a single door. It has functions equal to an air shower installation. That is, it has the capabilities of intercepting contaminated outside air and also removing dust adhering to garments. Furthermore, since only a single door is provided, it is favorable with respect to function and safety. In this study, the Clean Approach was installed at a laminar-flow type clean room and also a conventional-flow type clean room, and the intercepting effects against intruding particles and the effectiveness as a dust-removing space were examined. As a result, the Clean Approach’s effectiveness was made clear and useful data for design were obtained.

概 要

クリーンアプローチとは、クリーンルームの出入口として新たに開発した、ドアが一重の通路状の垂直層流空間である。これは、エアシャワー装置と同等の機能、すなわち、外部の汚染空気を遮断する機能と、衣服に付着した塵埃を除去する空間としての機能を有している。さらに、ドアが一重になったことにより、機能性、安全性の面で有利となる。この研究では、クリーンアプローチを層流と非層流の2方式のクリーンルームに設置した場合を想定して実験を行ない、外部汚染空気の遮断効果及び除塵空間としての有効性について検討した。その結果、クリーンアプローチの有効性を確認するとともに、実用化のための有用な資料を得ることができた。

1. はじめに

クリーンルームの出入口には、入室者の衣服・身体などに付着した塵埃を除去する目的でエアシャワー装置が設置されている。しかし、ジェットエアの吹きつけによる除塵効果は少なく、衣服を叩くことが最も効果的である¹⁾。また、エアシャワー室は、外部の汚染空気を遮断する機能も有しているが、二重扉のため出入りが不便であり、特に災害時には避難の障害になる。

そこで、エアシャワー装置と同等の機能を有し、通行に関しても支障のない新たな出入口の開発を行なった。これは、扉が一重の通路状の垂直層流空間で、クリーン

アプローチと名付けた。特に垂直層流方式のクリーンルームにクリーンアプローチを設置する場合には、層流空間をビニルシートなどで仕切るだけでよく特別な装置を必要としない。

この研究では、クリーンアプローチを層流と非層流の2方式のクリーンルームに設置した場合を想定して実験を行ない、外部汚染空気の遮断性能及び除塵空間としての有効性について検討した。

2. 実験方法

実験は、当社技術研究所の実験用クリーンルームを用いて行なった。クリーンアプローチ(2.65×1.5×3.0 m)

は、非帯電性の軟質塩ビシートを天井から吊り下げることにより、図-1のごとく構成する。図-1は、クリーンルームを非層流方式とした場合である。層流クリーンルームはクラス100、非層流クリーンルームはクラス1,000程度を想定している。

監視室とクリーンルームでの塵埃濃度は図-1に示す位置（床上1.0m）で、クリーンアプローチでの塵埃濃度は図-2に示す位置で測定した。塵埃濃度の測定には光散乱式粒子カウンターを用い、0.5 μm以上の塵埃を計測した。温度は、同図に示す位置（床上1.2m）に熱電対を設置し、デジタル多点記録計で記録した。温度の制御は、監視室のファンコイルユニットのON/OFFにより行なった。

実験はすべて、扉を閉じた状態で、クリーンルーム内外差圧を0 mmH₂O（許容範囲 ±0.1 mmH₂O）に設定した後開始した。再現性を確認するため、一つの設定に対し3回ずつ行なった。

2.1. 扉開放時の侵入塵埃

クリーンアプローチの層流風速とクリーンルーム内外温度差を表-1のように設定した。測定は、扉開放後の塵埃濃度が十分定常に達してから開始した（これは、後述するように扉開放から約5分後である）。測定点は、図-2 A～Fの6点とし、各点で3分間ずつ測定した。

2.2. 入室動作による侵入塵埃

無塵衣を着衣した人が、監視室からクリーンルームへ通常で歩いて入室した場合の塵埃濃度を経時的に測定した。実験は、扉を開放し塵埃濃度が十分定常に達してから開始した。測定点は、2.1.と同様である。温度差は0℃とし、クリーンアプローチ層流風速は表-1の条件で行なった。

2.3. 除塵補助動作による侵入塵埃

クリーンアプローチ内で、除塵補助動作（無塵衣を着衣した人が30秒間手で体を叩く動作）を行なった場合の塵埃濃度を経時的に測定した。この動作は、同一人物が行ない、動作の差異が生じないように努めた。測定点はF、動作位置はB, C, D, Eの4点とした。温度差は0℃とし、クリーンアプローチ層流風速は表-1の条件で行なった。

3. 結果と考察

3.1. 非層流クリーンルームの場合

3.1.1. 扉開放時の侵入塵埃 扉開放後の濃度変化の測定例を図-3に示す。これは、温度差2℃、層流風速0.17 m/sとした場合のD点における測定結果である。クリーンアプローチへの侵入塵埃は、扉開放後2～3分で定常化している。このことから、以下の実験では、条件

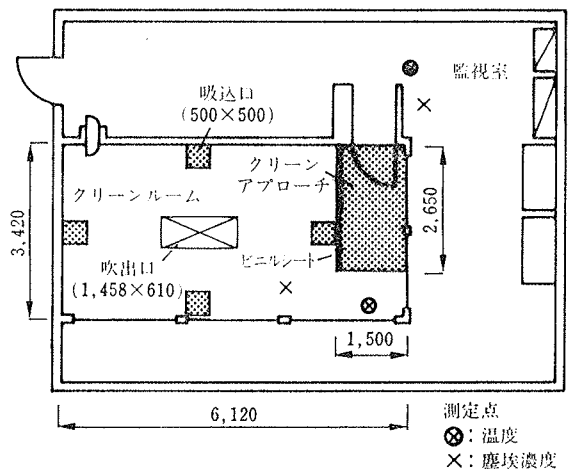


図-1 クリーンルーム平面図

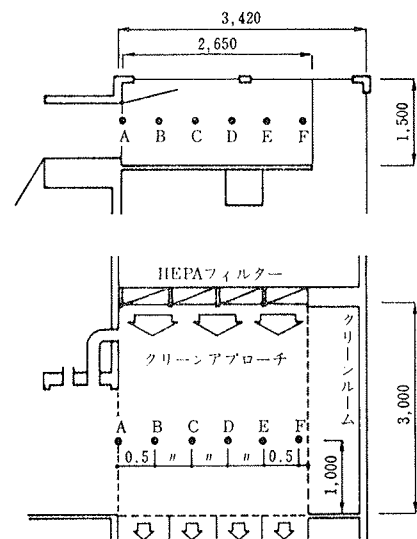


図-2 クリーンアプローチ測定点

	クリーンルームの方式					
	非層流			層流		
アプローチ層流風速(m/s)	0.17	0.25	0.33	0.17	0.25	
換気回数(回/h)	(200)	(300)	(400)	(200)	(300)	
クリーンルーム換気回数(回/h)	(12.9)	(15.7)	(21.5)	(200)	(300)	
温度差(注)(°C)	0 + 2			0 + 2		

注) クリーンルーム温度基準

表-1 実験条件

設定（扉開放）から5分後に測定を開始することにした。

図-4に測定結果を示す。縦軸の塵埃濃度は、監視室の塵埃濃度に対する比率で示している。温度差0℃と2℃では、塵埃濃度に著しい違いが認められる。

温度差0℃の場合、A点で高い塵埃濃度を示しているが、B, C点では塵埃は計測されていない。しかし、D～F点では塵埃が計測され、クリーンルームに近づくほど濃度が高くなる傾向が見られる。B, C点で塵埃が計測さ

れなかったことから、監視室からの侵入塵埃は、クリーンアプローチ入口から 0.5 m 以内で遮断されたと言える。D~F 点で計測された塵埃は、クリーンルームとクリーンアプローチの境界面において、気流の巻き込み現象が生じ、クリーンルーム内の塵埃が流入したと考えられる。このことを確認するため、境界面において線香の煙により気流を観察したところ、図-5 に示す気流が認められ、境界面上部ではクリーンルームからクリーンアプローチ側へ、下部ではその逆方向に空気が流れるのが確認された。

温度差 2°C の場合、監視室から遠ざかるにつれて塵埃濃度が緩やかに減少し、F 点付近ではほぼ 0°C の場合と等しい値となった。また、図-3 から明らかなように、扉開放後クリーンルームへの塵埃の侵入はほとんど認められなかった。このことから、2°C の温度差による外部塵埃の侵入距離は 2.0~2.5 m と考えられる。

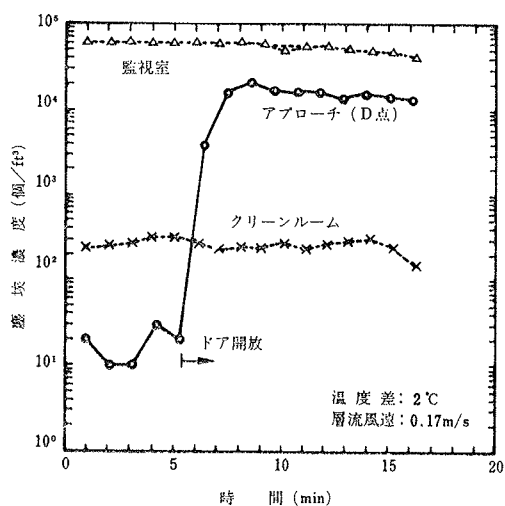


図-3 塵埃濃度の経時変化

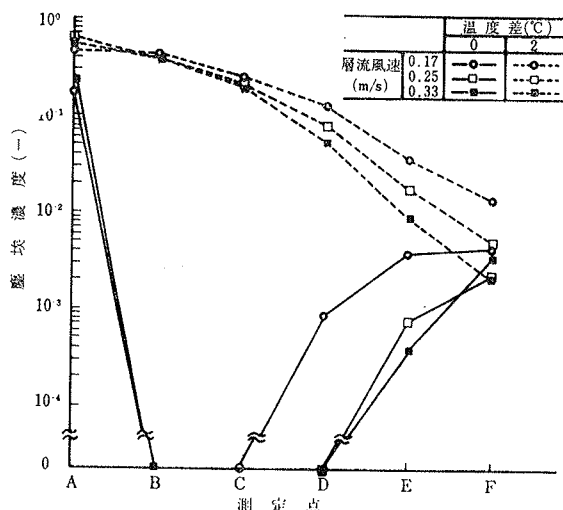


図-4 扉開放時の塵埃濃度 (非層流)

3.1.2. 入室動作による侵入塵埃 図-6 に測定結果を示す。測定中の監視室の塵埃濃度は、20,000~100,000個/ft³であった。入室動作を含めた1分間の塵埃濃度に大きな増加がみられるが、動作後1分目以降は、ほぼ入室前と同じ濃度まで減少している。これは、入室動作により発生した塵埃が速やかに排除されたことを示している。

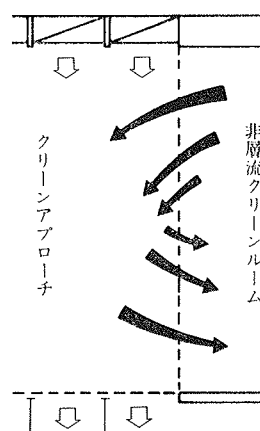


図-5 層流・非層流の境界面での気流

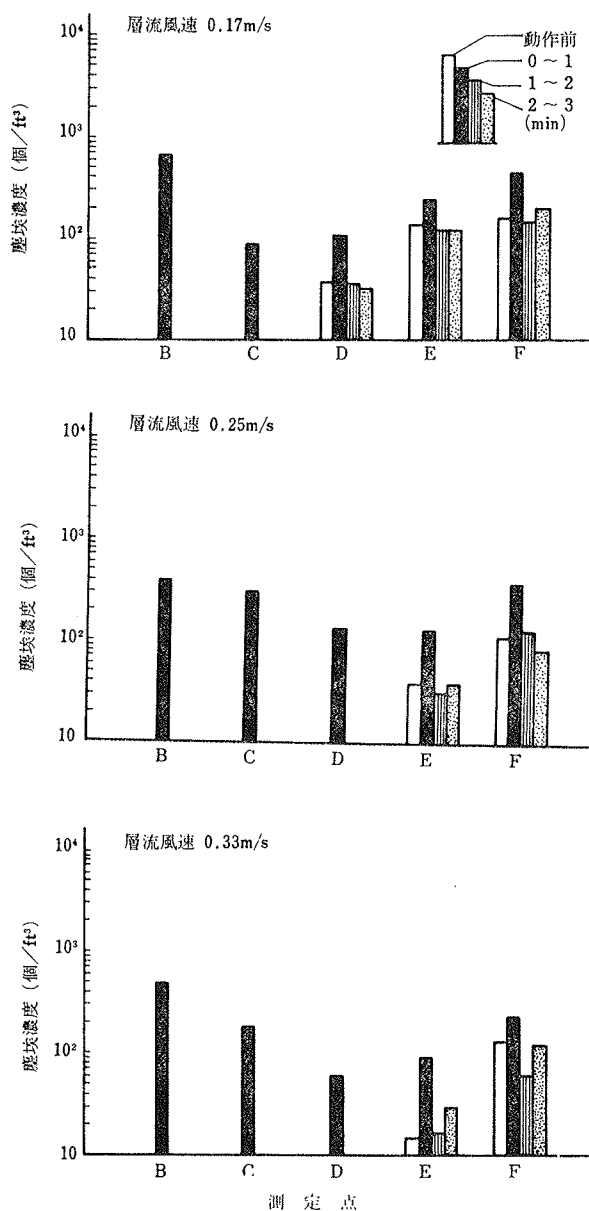


図-6 入室動作時の塵埃濃度 (非層流)

また、動作後1分間の塵埃濃度は、クリーンアプローチ入口から中央付近に至るまで徐々に低くなり、さらにクリーンルームに近づくと大きくなるという傾向がみられる。このような塵埃濃度の変化の要因として、①入室に伴う外部汚染空気の誘引、②層流・乱流境界面における気流の巻き込み現象によるクリーンルームからの塵埃流入(図-5)、③歩行による発塵等が考えられる。図-6において、動作前及び動作後1分目以降の塵埃濃度は②の要因によるものであり、動作後1分間の塵埃濃度は①~③の要因が総合したものと思われる。動作後1分間に発生した塵埃が全てクリーンルームに流入したとしても、クリーンルーム内での塵埃濃度の上昇は数個/ft³・人程度であり、非層流クリーンルームに要求される清浄度からすれば極めて微小である。したがって、今回実験で用いたクリーンアプローチの長さ(2.65m)があれば、入室に伴う侵入塵埃を十分遮断できると考えられる。

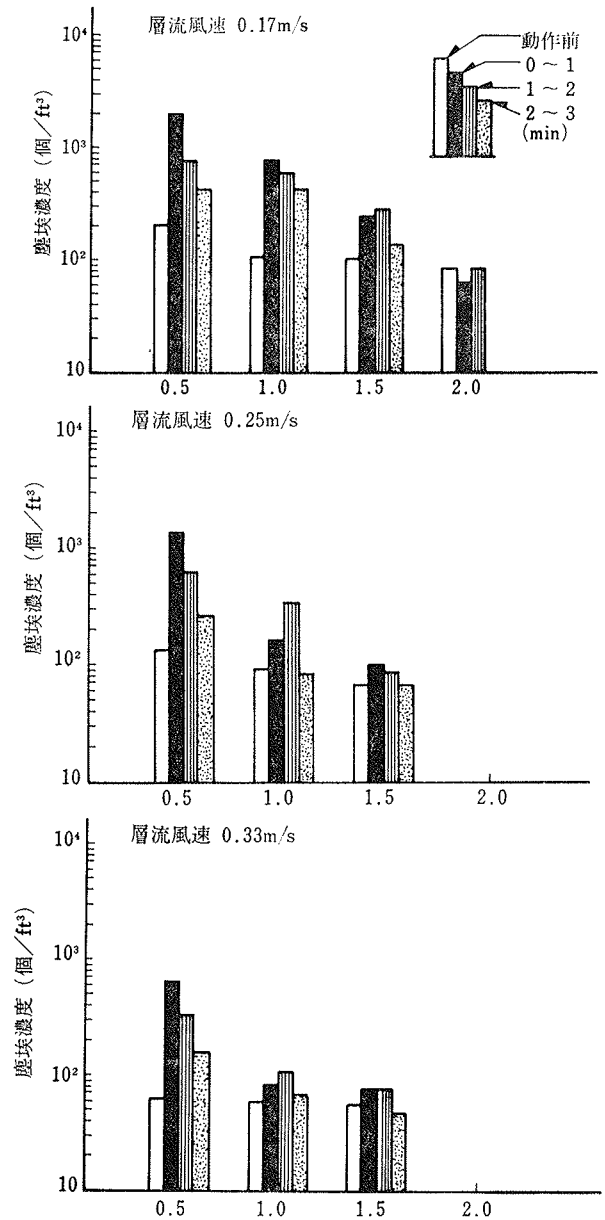
3.1.3. 除塵補助動作による侵入塵埃 図-7に測定結果を示す。動作位置が測定点(F点)から遠ざかるほど、またクリーンアプローチの層流風速が大きくなるほど、動作開始後の塵埃濃度が低くなっている。動作後の濃度上昇の有無により塵埃到達距離を推定すると、表-2のようになる。したがって、クリーンアプローチでの除塵補助動作は、クリーンルームから同表に示す距離以上離れて行なう必要がある。

3.2. 層流クリーンルームの場合

3.2.1. 扉開放時の侵入塵埃 図-8に測定結果を示す。温度差0℃の場合、A点で塵埃が計測されているが、B~F点では計測されていない。このことから、外部の汚染空気は、非層流の場合と同様、入口から0.5m以内で遮断されていると言える。境界面付近では、非層流クリーンルームのような巻き込み現象がないので塵埃は計測されていない。温度差2℃の場合、外部からの塵埃は、層流風速0.17m/sのとき2m以内、0.25m/sのとき1.5m以内で遮断されており、非層流の場合より侵入距離が短くなっている。

3.2.2. 入室動作による侵入塵埃 図-9に測定結果を示す。塵埃濃度は、監視室から遠ざかるほど減少し、E点では100個/ft³程度となっている。さらに、塵埃が計測された時間もわずかに数秒間であった。これらのことから、今回用いたクリーンアプローチの長さがあれば、入室に伴う侵入塵埃を十分遮断できると考えられる。

3.2.3. 除塵補助動作による侵入塵埃 図-10に測定結果を示す。塵埃は測定点から0.5mの地点のみで計測されている。これより、除塵補助動作による塵埃の到達距離は0.5~1.0mと考えられ、非層流の場合よりやや短縮している。また、塵埃が計測されたのは、動作を行



測定点(F点)から除塵補助動作位置までの距離(m)
 図-7 除塵補助動作時の塵埃濃度 (非層流)

		クリーンアプローチ 層流風速 (m/s)	塵埃到達距離 (m)
クリーンルーム の 方 式	非層流	0.17	1.5~2.0
		0.25	1.0~1.5
		0.33	0.5~1.0
	層流	0.25	0.5~1.0

表-2 除塵補助動作による塵埃到達距離

なっている間だけであったことから、拡散した塵埃は滞留することなく速やかに排除されると考えられる。

4. まとめ

実験の結果、クリーンアプローチがクリーンルーム出入口に要求される機能、すなわち外部の汚染空気を遮断

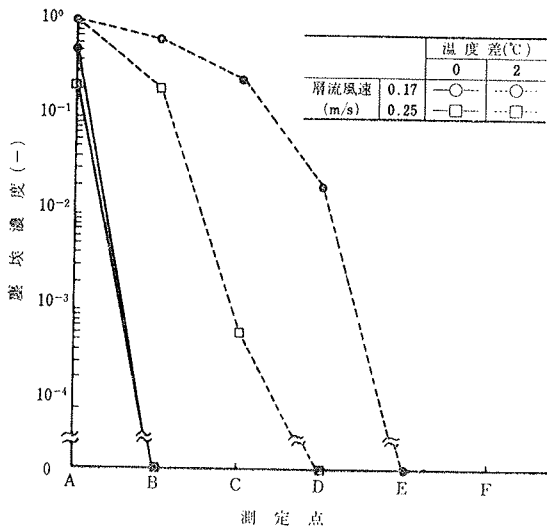


図-8 扉開放時の塵埃濃度 (層流)

する機能と、衣服に付着した塵埃を除去する空間としての機能を、十分満たすことを確認した。また、実用化のための有用な資料を得ることができた。

今回の実験は、クリーンルーム内外差圧を 0 mmH₂O (扉を閉じた状態) に設定して行なった。しかし、通常のクリーンルームでは、クリーンルーム側を正圧に保っており、クリーンアプローチの扉を開閉することにより、差圧が変動すると考えられる。したがって、今後、差圧変動による清浄度の変化、気流の乱れ等について検討を行なう必要がある。

謝 辞

実験に際し、宇都宮大学建築工学科の石福 昭教授に御指導を賜った。また、同学科 学生諸君に御協力を頂いた。ここに深く謝意を表します。

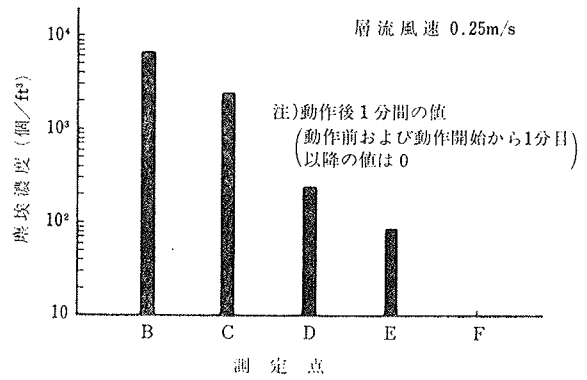


図-9 入室動作時の塵埃濃度 (層流)

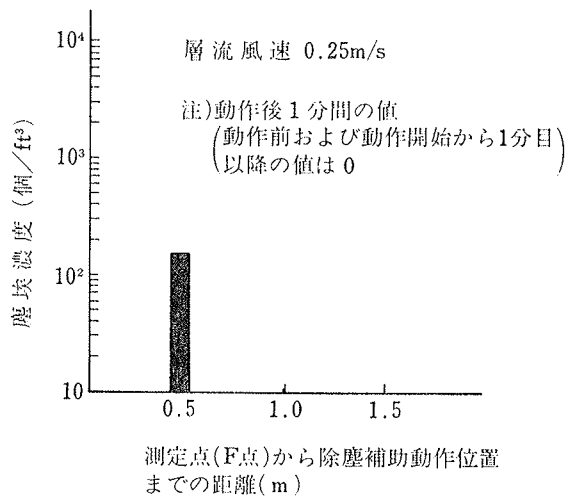


図-10 除塵補助動作時の塵埃濃度 (層流)

参考文献

- 1) 田中, 西岡, 竹内: クリーンルームに関する研究 (その2) エアシャワーの効果, 大林組技術研究所報, No. 30, (1985), pp. 168~172