

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—

竹内 和男 西岡 利晃
田中 辰明

Research on Clean Rooms (Part 2)

—Effects of Air Shower—

Kazuo Takeuchi Toshiaki Nishioka
Tatsuaki Tanaka

Abstract

An air shower installation is usually provided at the entrance of a clean room in order to remove particles adhered to workers. Heretofore, however, the performances of air showers and efficiencies according to ways of bathing in the air showers have remained vague. In this paper, the relationships between various ways of bathing and the performances were obtained as experimental results with an actual air shower unit in a clean room. The most effective behavior in an air shower is "patting clothes while turning around," and a suitable bathing time is about 24 seconds.

概 要

クリーンルームに入室する際に、エアシャワーを浴びるのが常となっている。しかし、その効果や浴び方などについての資料はほとんど出されていない。そこで、研究用クリーンルームおよびエアシャワー室を使用し、エアシャワーの適切な浴び方、除塵効果について実験を行なった。その結果、エアシャワー室内での動作は「回転+叩き」の場合が最も効果的で、エアシャワーを浴びる時間は24秒程度が効率的であることが判明した。

1. はじめに

クリーンルームの清浄度は、人体からの発塵量に大きな影響を受ける。そこで清浄なジェットエアにより着衣(無塵衣)に付着した塵埃を除去し、クリーンルームでの人体からの発塵量を軽減させる目的で、クリーンルームの出入口にエアシャワー装置が設けられている。

そこで、当研究所研究用クリーンルームおよびそれに付置されているエアシャワー装置を使用し、エアシャワーの除塵効果、適切な浴び方などについて実験を行ない、検討した。

既往の研究^{1),2)}では、いずれもエアシャワーによる除去塵埃量だけを評価対象としており、エアシャワーを浴びた後の発塵量について全く取り扱っていない。

本研究では、エアシャワーでの除去塵埃量ばかりでなく、同時にエアシャワーを浴びた後のクリーンルーム内での発塵量も測定した。

2. 実験装置

当クリーンルームに設置されているエアシャワー装置の断面図を図-1に示す。運転は自動・手動のどちらも可能で、エアシャワー噴射時間は0~60秒の間で可変である。エアシャワー室内に入室すると、HEPAフィルター(高性能エアフィルター)でろ過された清浄空気が、側面のジェットノズルから強く吹出し、粉塵を吹落す。これを下部の吸込み口から吸引し循環させる。吸出し口はパンカールバーで、壁の片面のみに6ヶ所設置されており、その向きと開口率を変えることができる。

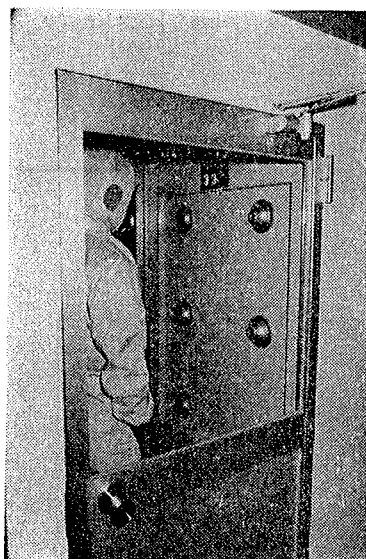


写真-1 エアシャワー装置

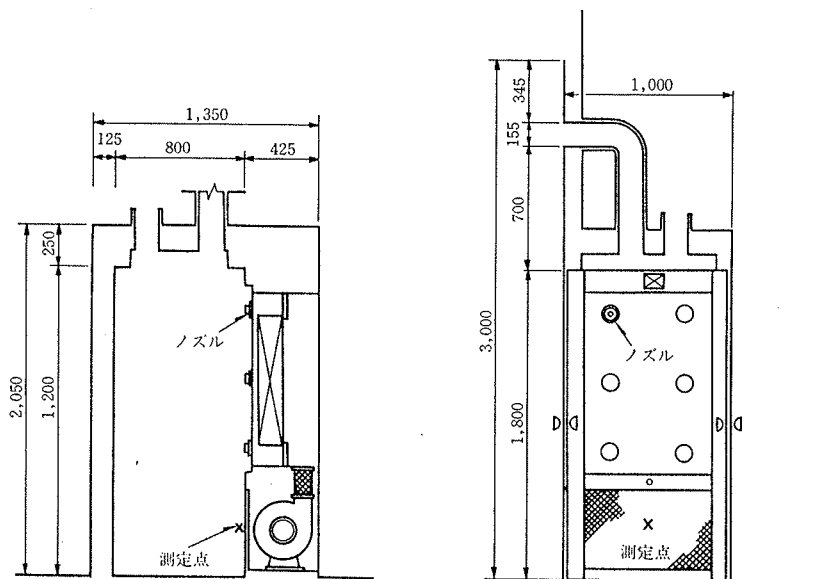


図-1 エアシャワー装置断面図

3. 実験

3.1. 予備実験

予備実験として、エアシャワーおよびクリーンルームの循環風量を、熱線風速計を用いてそれぞれ吸込み口面内9点で測定した。結果を表-1に示す。

また、入室者が立つと予想される位置(吹出し口平面から35 cmの位置)での風速分布を測定した。ノズルからのジェットエアを壁に直角に設定した場合よりも約20°内側に傾けた方が入室者に風が集中し、当る風速も速いことが判明した。また、ノズルの開口率を変化させた場合の風速測定より、開口率100%の場合が風速も速く、効率的である。

そこで、本実験においてはノズルを入室者に向け、開口率を100%とした。

3.2. 本実験

エアシャワー室内での動作別、時間別の塵埃除去効果を把握するために、表-2に示すような各動作を行なうことによる発塵量(除去塵埃量)を測定する。さらにその直後、クリーンルーム内で一定動作を行なうことによる発塵量を測定する。この二つの発塵量によって、エアシャワーの塵埃除去効果の評価を行なった。

以下に実験手順を述べる(図-3参照)。

(1) 無塵衣を着用した被験者は、付着塵埃量を一定とするため、一定濃度の監視室に一定時間滞在する。その時の監視室の浮遊塵埃濃度(以下、塵埃濃度)を光粒子カウンター(以下、フォトカウンター)により計測する。

(2) エアシャワー室内の初期濃度がほぼ0個/m³(0.3 μm以上)であることを確認した後に入室する。また、

	吸込み口平均風速(m/s)	循環風量(m ³ /h)	換気回数(回/h)
エアシャワー	0.77	858	564.5
クリーンルーム	6.6	2,970	50.0

表-1 循環風景

動作種類	詳細
静止	図-4に示した動作位置において、ノズルに向かって直立静止する。
回転	上記静止の状態、4秒間両手を後頭部付近に持ち上げる。半回転し、同様に行なう。これを繰り返す。
回転+ブラッシング	上記静止の状態、4秒間に図-2④の①~⑥を順番に1回ずつブラッシング(注)でこする。半回転し、①'~⑥'について同様に行なう。これを繰り返す。
回転+ブラッシング	上記静止の状態、4秒間に図-2⑤の①~④を順番に2回ずつ手で叩く。半回転し、①'~④'について同様に行なう。これを繰り返す。

注):ナイロン100%, 市販品

表-2 動作の種類および詳細

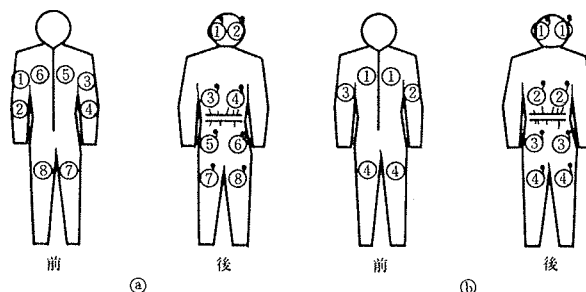


図-2 除去動作箇所

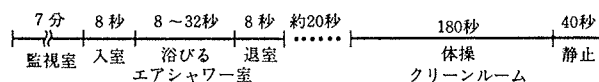


図-3 実験スケジュール(無塵衣1回の使用時間)

監視室側のドアの開閉によって、エアシャワー室内に侵入する塵埃量をレーザー粒子カウンター（以下、レーザーカウンター）により8秒間（吸引量 68.2 cc）測定する。なお、この侵入総塵埃量は、侵入した塵埃が8秒間に室内に一樣に拡散したものと考えて、以下の式によって算出した。

$$M' = \frac{M_c}{Q_c} \cdot Q_a \text{ (個)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

- M': 侵入総塵埃量 (個)
- M_c: カウンターによりカウントされた塵埃数(個)
- Q_c: カウンターの吸引量 (m³)
- Q_a: エアシャワー室容積 (m³)

(3) エアシャワーをスタートさせ、表-3に示す動作および浴びる時間の組合せ（計19種類）を行ない、塵埃量をレーザーカウンターにより測定する。清浄空気により持ち去られた塵埃量は次式によって求める。

$$\begin{aligned} M_a &= Q_a \cdot \int_0^T C(t) \cdot dt \\ &= Q_a \cdot \sum_{i=1}^n C(t) \cdot \Delta t \\ &= Q_a \cdot \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{Q_c} \text{ (個)} \quad \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

ただし、 $n = T/T_0$

- M_a: エアシャワーによる除去塵埃量 (個)
- M_i: カウンターリセット i 回目の測定塵埃数(個)
- Q_c: カウンターの吸引量 (m³/s)
- Q_a: エアシャワー循環風量 (m³/s)
- T: エアシャワーを浴びる時間 (s)
- T₀: リセットインターバル (s)
- C(t): t 秒後の塵埃濃度 (個/m³)

(4) エアシャワーを退室後、クリーンルーム内でラジオ体操第一を行ない、発塵量をレーザーカウンターにより測定する。ラジオ体操は予めテープに録音しておき、テープレコーダーに合せて行なう。

クリーンルーム内での体操による発塵位置を図-4に示す。床面全体をビニルシートで覆い、発塵位置から50 cm 離れた位置に開口部 (500×250 mm) を設け、その中心を測定点とした。発塵位置における空気が開口部へ向っていることを線香の煙により確認した。

クリーンルーム内での体操による発塵量Mは、(2)式のQ_aにクリーンルームの循環風量を代入することにより、同様に求める。

クリーンルーム内での発塵量測定では、非等速吸引による計数誤差が考えられるが、各実験においてこの条件が変化するわけではなく、また室内発塵量の絶対量を正確につかむことではなく、各動作、浴びる時間に対する相対的評価をすることが目的であるので、これを無視し

浴びる時間		単位：秒				
		0	8	16	24	32
動作	静	○	○	○	○	○
	止	○	○	○	○	○
回転	回	○	○	○	○	○
	転	○	○	○	○	○
回転+	回転+	○	○	○	○	○
	ブラッシング	○	○	○	○	○
回転+	回転+	○	○	○	○	○
	叩き	○	○	○	○	○

・エアシャワーを浴びず、通り抜ける。
 **・エアシャワーを浴びず、各動作のみ行なう。

表-3 実験の組合せ

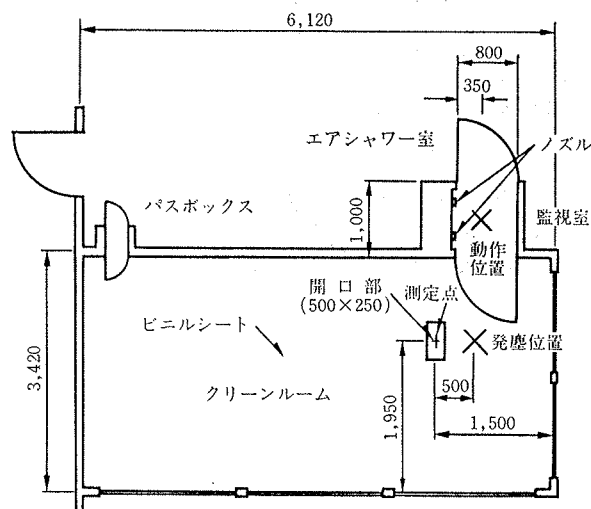


図-4 体操位置と測定点 (上一平面図, 下一断面図)

た。また、床面を覆ったビニルシートは帯電による塵埃付着が考えられるので、本来導電性のもを使用しなければならないが、室内発塵の相対量をつかむということでは特に考慮しなかった。

測定は実験の経時変化による影響を考慮して、無作為的順番でそれぞれ3回ずつ行ない、同一無塵衣（クリーニング後、クラス 1,000 の雰囲気のパックされたもの）での測定は、開封後最高30~38回までとした。また監視室の塵埃濃度が $1.13 \times 10^6 \sim 2.83 \times 10^6$ 個/m³ (0.3 μm以上) の場合に各実験を行なった。

4. 実験結果と考察

各動作を行ない、56秒間エアシャワーを浴び続けた場合の累積除去塵埃量を図-5に示す。破線で示したものが各3回の測定結果で、実線はそれらの平均値である。

エアシャワーによる除去塵埃量は、人体のみからの除去塵埃量を求めるため、除去塵埃量 M_a から侵入塵埃量 M' を差し引いた値とした。

「静止」,「回転」の場合、16秒を過ぎると除去塵埃量は急激に減少し、24秒以降はほとんど除去されなくなる。「回転+ブラッシング」,「回転+叩き」の場合、前者の場合とは異なり、さらに増加し続ける傾向にあるが、24秒以降は増加の割合はやや減少している。これは前者ではジェットエアのみによって吹飛ばされた塵埃が除去されるのに対し、後者では機械的振動により叩き出された塵埃をも除去するためと考えられる。

この結果より、32秒以降除去塵埃量は顕著に増加していない。また、それ以上浴びることは実際的ではないので、各実験の浴びる時間を8, 16, 24, 32秒の4種類に設定した。

各浴びる時間に対するエアシャワー室内での除去塵埃量とクリーンルーム内での発塵量の関係を図-6に示す。

エアシャワー室内での除去塵埃量については、図-5に示した対応する各時刻までの実験結果とよく一致している。

クリーンルーム内での発塵量については、「静止」,「回転」の場合16秒では発塵量はやや少ない。浴びる時間を増やしても発塵量は一定しており、それ以上浴びてもエアシャワーの効果は期待できない。

一方、「回転+ブラッシング」,「回転+叩き」の場合、浴びる時間が長いほどクリーンルーム内での発塵量は減少していく。しかし24秒以降はほとんど発塵量に変化は見られず、これ以上浴びてもそれほど効果は期待できない。また「回転+叩き」の場合、「回転+ブラッシング」に比べて発塵量が少なくなっている。これは後者が片手にブラシを持ち、各箇所をブラッシングしたのに対し、前者は両手で各箇所を叩いたため、同一時間中に無塵衣に機械的振動を与える箇所が前者の方が多いためである。従って、ブラシなど器具を使うことはそれ自体からの発塵も考えられ、両手で叩くことで十分である。

以上のことから、ジェットエアにより衣服に付着した塵埃を「吹き飛ばす」という効果は小さく、「叩く」という動作によって、塵埃を衣服から離脱させる方が効果的である。また、エアシャワー除去率とクリーンルーム内発塵は同じ傾向にあり、除去率で効果の測定が可能である。

5. 追加実験

実験を行なうにつれ、クリーンルーム内での発塵量の各測定値にバラツキが認められた。この原因として、同

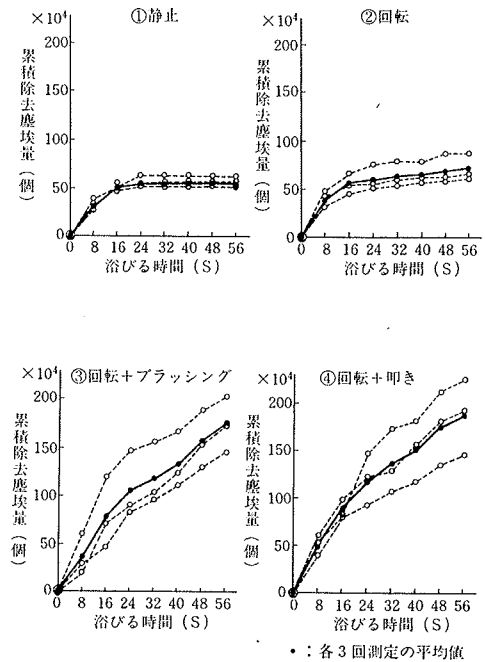


図-5 累積除去塵埃量

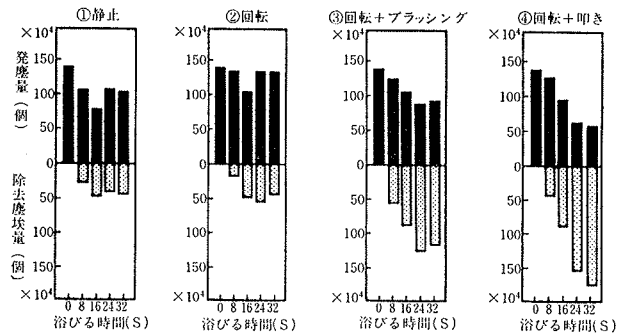


図-6 除去塵埃量と発塵量

一無塵衣での使用回数の増加が発塵量に関係すると考えられる。そこで追加実験として、無塵衣の使用回数と発塵量の関係を調べた。

実験手順は、3.2.と同様に行なった。なお、エアシャワーを浴びる際の動作は「回転」とし、同一無塵衣で20回行なった。各測定のたびに監視室の温湿度をアスマン通風乾湿計を用い測定した。

実験結果を図-7~8に示す。エアシャワーによる除去塵埃量は、使用回数が増えてもほとんど変化は見られない。これに対し、図-7では使用回数が10回前後から、クリーンルーム内での発塵量が急激に増加している。しかし、図-8では発塵量に若干の増加は見られるが、それほど顕著ではない。この原因は、監視室の濃度、動作のバラツキ、温湿度のファクターが考えられるが、定かではない。

いずれにしても、無塵衣の使用回数が発塵量に関係すると考えられる。

今回の実験では、各実験での無塵衣の使用順を無作為的順番とし、各実験場合に分散させたので、この影響は特定の動作に集中して現われることはなく、発塵量のバラツキに対する傾向に関して影響がないと言える。無塵衣からの発塵量の実験を行なう際は、同一無塵衣での使用回数を10回程度までにすれば発塵量のバラツキは少なくなり、より良好な値を得ることができると考えられる。

6. おわりに

エアシャワー室内での動作を「静止」、「回転」、「回転+ブラッシング」、「回転+叩き」とし、浴びる時間を8, 16, 24, 32秒とした。「回転+叩き」の場合がエアシャワー室内での除去量も多く、その結果としてクリーンルーム内での発塵量が最も少なかった。これは、ジェットエアにより衣服に付着した塵埃を「吹き飛ばす」という効果は小さく、「叩く」という動作によって効果的に塵埃が衣服から離脱するものと考えられる。浴びる時間に関しては、24秒程度が最も効率がよく、それ以上浴びてもそれほど効果は上がらない。

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、本社設備部の三浦良介氏に協力いただいた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

1) Austin and Timmerman: DESIGN & OPERATION OF CLEAN ROOMS, (1965), p. 151

2) (社)日本空気清浄協会: 空気清浄ハンドブック, (昭和56), p. 465

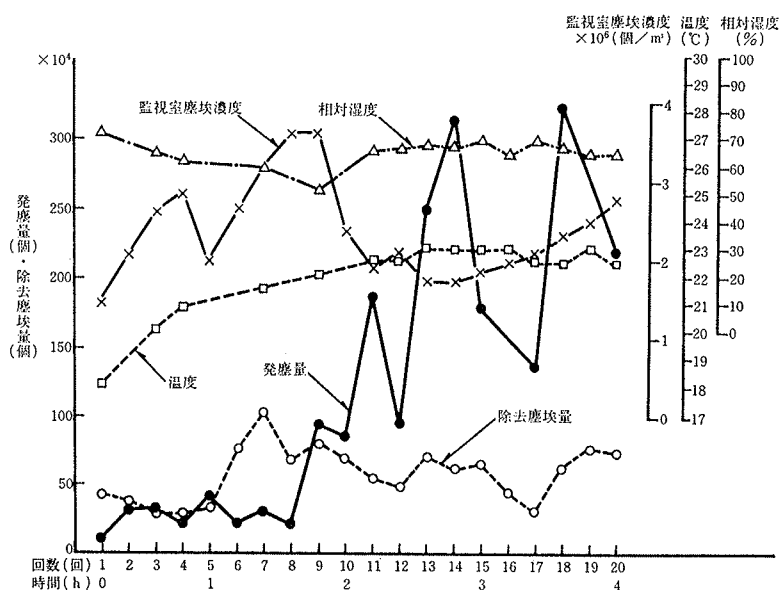


図-7 無塵衣の使用回数と発塵量 (その1)

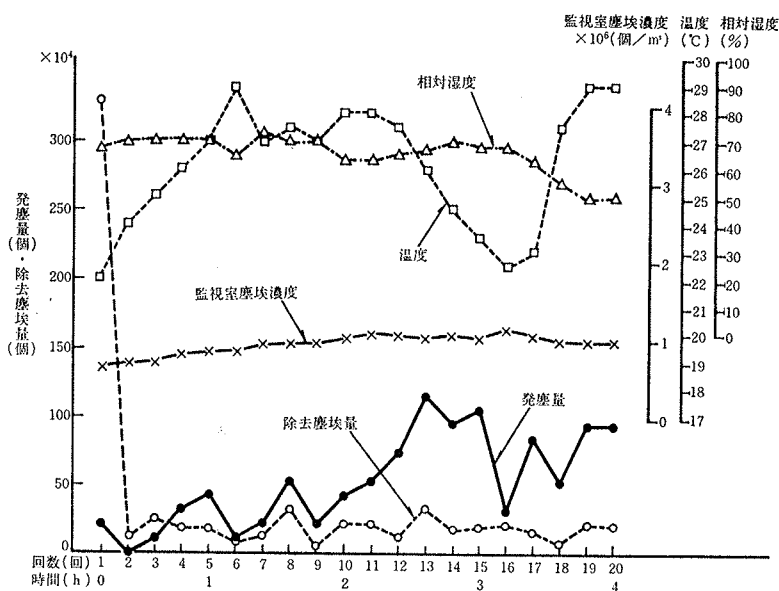


図-8 無塵衣の使用回数と発塵量 (その2)