

層流型クリーンルーム内気流のレーザーライトシートによる可視化 ——生産機器廻りの気流を中心として——

Visualization of Air Flow in Laminar Flow Type Clean Room with Laser Light Sheet

村上 周三*・加藤 信介*・池鯉 鮒 悟**

Shuzo MURAKAMI Shinsuke KATO and Satoru CHIRIFU

生産機器を設置した全面層流クリーンルームについて模型実験を行い、室内気流をレーザーライトシートを用いた炭酸マグネシウム微粉末レーザーの散乱光により可視化する。生産機器の配置状態を系統的に変化させ機器廻りの微細な気流性状を解析する。これにより層流型クリーンルームでの内部発塵による汚染防止対策のための基礎となる設計資料を得る。

1. 序

1.1 クリーンルームのタイプと清浄度

最近の半導体・医薬品等の先端産業分野では、これらの製品の精密化・微小化・高品質化の要求から、室内の浮遊微粒子を極力除去したクリーンルームがその生産活動に不可欠な施設となってきた。

クリーンルームは分野別に見ると、半導体・フィルム・精密機器産業等に適用される工業用クリーンルームと、医薬品、食品関係、手術室等に適用される細菌等を制御するためのバイオクリーンルームに大別される。またクリーンルームは、室内の気流制御方式から層流型(Laminar Flow Type)と乱流型(Conventional Flow Type)がある。通常は層流型の場合、換気回数200回～600回、乱流型の場合20回～80回である。ちなみに通常の居室で換気扇等により機械換気がなされている室内の換気回数は10回以下となる。層流型には気流方向により、垂直層流型と水平層流型がある。前者はクラス100以下(クラス100とは、1 ft³の空気中に粒径0.5 μm以上の浮遊微粒子が100個以下存在する状態)の高清浄度を必要とするクリーンルームに適用される方式で、天井全

面から清浄空気が吹き出され床面で吸い込まれるピストンフロータイプのものである。壁全面が吹出口および吸込口となる水平層流型クリーンルームも同様の清浄度が得られるが、風上側に比べて風下側で清浄度が落ちる傾向にある。この方式は主に病院関係(手術室等)で用いられている。乱流型クリーンルームは、通常のビル空調方式と類似しており、それほど高い清浄度を要求されないクリーンルームに使用され、クラス1000以上程度の清浄度を達成すればよいクリーンルームがこのタイプである。¹⁾

1.2 クリーンルーム内気流の設計

クリーンルームでは生産活動に伴う内部発塵を生じ、それが室内の清浄度に大きく影響している。したがって、クリーンルームではこうした汚染質を速かに排出し、また室内への拡散を防ぐための室内気流の設計制御が重要な課題となっている。層流型クリーンルームでは、室内で発生した汚染質はピストンフローにより室内に拡散することなく速かに排出されることが期待されている。しかしクリーンルーム内部に置かれた生産機器等によりこうした気流が乱されていることがしばしば発生し、この気流の乱れの性状を解析することが設計サイドから強く

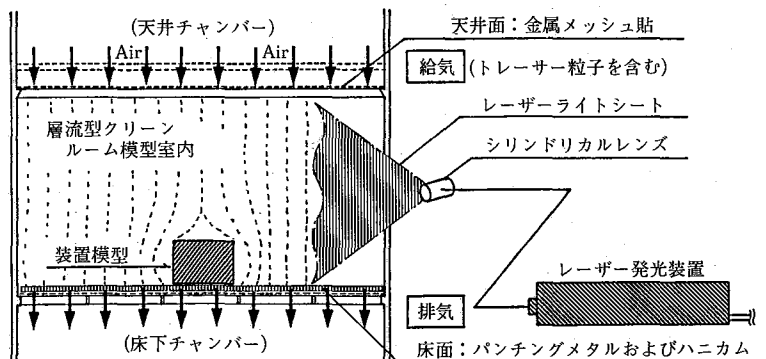


図1 可視化概念図

表1 撮影条件

フィルム	ASA 1600
シャッター速度	1秒～2秒
レンズ	25～50 mm ZOOM
絞り	4
被写体からの距離	0.8 m

* 東京大学生産技術研究所 付属計測技術開発センター

** 東京大学生産技術研究所 研究生 (高砂熱学工業(株))

望まれている。^{2)~4)}

本研究では、層流型クリーンルーム内に置かれた障害物（生産機器・人間等）の廻りの微細な気流構造を、以下に示す条件をパラメータとしてレーザー光を用いた気流の可視化手法^{5)~9)}により解析する。^{9)~11)}

- ①装置の配置 ②装置の形状 ③装置と人間の相対位置関係 ④天井面における吹出気流の障害物

2. 実験概要

2.2 室内模型および装置模型

平面寸法 6m×6m、天井高 3m の層流型クリーンルーム模型を縮尺 1/6 で作成し、その気流性状を可視化する。天井面の吹出風速は実際のクリーンルームと同程度の約 0.35m/s とした。したがって、Re 数は実物の 1/6 になるが、Re 数の変化により模型室内の気流性状にほとんど変化の生じないことは、あらかじめ確認している。なお Re 数を一致させると吹出風速が大きくなり、可視化

が困難となる。

2.2 可視化システム

図 1 に示すように、高照度のレーザーライトシート（レーザー光をシリンドリカルレンズにより薄膜状に広げたもの、レーザー出力：4W）を観察断面に照射し、気流によって運ばれるトレーサー微粒子（炭酸マグネシウム、粒径 1~10 μm）の側方散乱光により、装置廻りの気流構造をカメラで撮影する。撮影条件を表 1 に示す。

2.3 実験パターン

生産機器（装置模型）は簡略化したモデルを用いる。装置の配置については、床からの距離、2 台の装置間の間隔、高さの違い等のパラメータを組み合わせると、数多くのパターンが考えられる。ここでは直方体（高さ 1m×見付け幅 0.8m×奥行き 1m：実寸法、模型は縮尺 1/6）を基本タイプとし、壁からの距離・装置の台数・人間との相対位置関係・天井面における吹出気流の障害物による影響を考察する。

3. 実験結果および考察

3.1 基本タイプ（図 2）

直方体模型を室中央に設置した場合装置上部のほぼ中央で気流が左右に分かれ、角部で剝離し下部で再付着している。剝離部分の内側では乱れが生じて、定在渦が形成されている。なお目視の観察によれば、渦中の汚染質はここに滞留し、排出され難い。

④（写真中の数字は実物の寸法を示す。単位：mm）

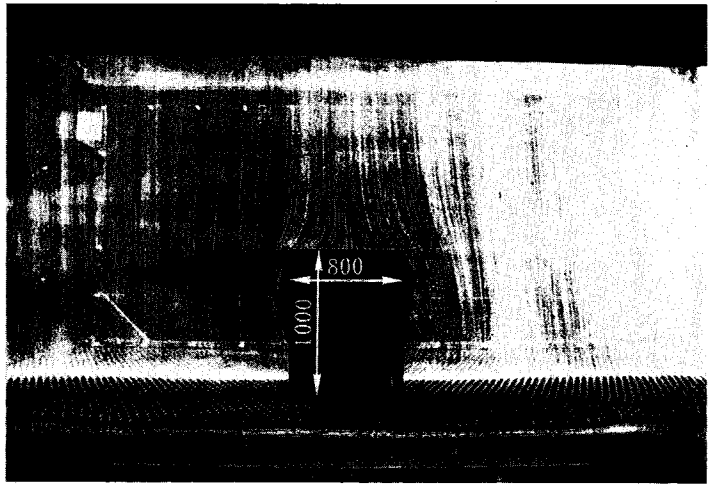
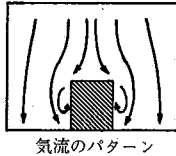


図 2 基本タイプ

3.2 壁からの距離の影響 1（図 3）

基本タイプの装置を壁に接するように配置した場合 基本タイプと比較すると、装置右側角部の剝離流はほぼ同様であるが、壁際の装置上部では定在渦が生じている。こうした渦中に汚染質が発生および混入すると、排出され難く好ましくない。

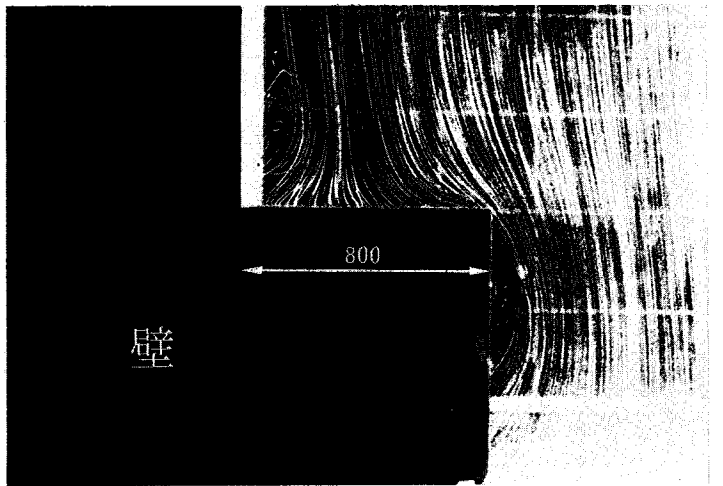
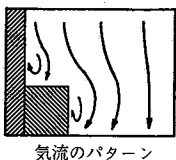


図 3 壁からの距離の影響 1

3.3 壁からの距離の影響 2 (図 4)

基本タイプの装置を壁から 100 mm 離して配置した場合 3.2 と比較すると、壁から距離をおくことによって、装置上部の定在渦が消失している。装置上端での気流の分かれ方は対称ではないが、汚染質は停滞することなく排出される。

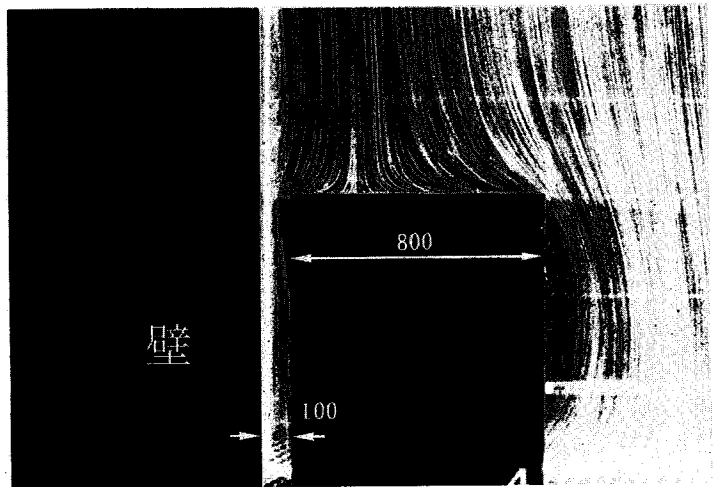
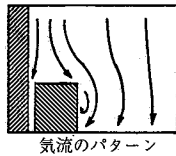


図 4 壁からの距離の影響 2

3.4 装置の複合による影響 1 (図 5)

高さ 1400 mm の装置 2 台を互いに接するように配置させた場合 基本タイプと同様に、気流は装置上端で分岐し、角部で剝離、下部で再付着している。しかし、基本タイプに比べ上端の見付け幅が広いために、中央部付近では気流が乱れている。このような状態で、汚染質が発生または混入すると、装置上部で停滞し、排出され難い。

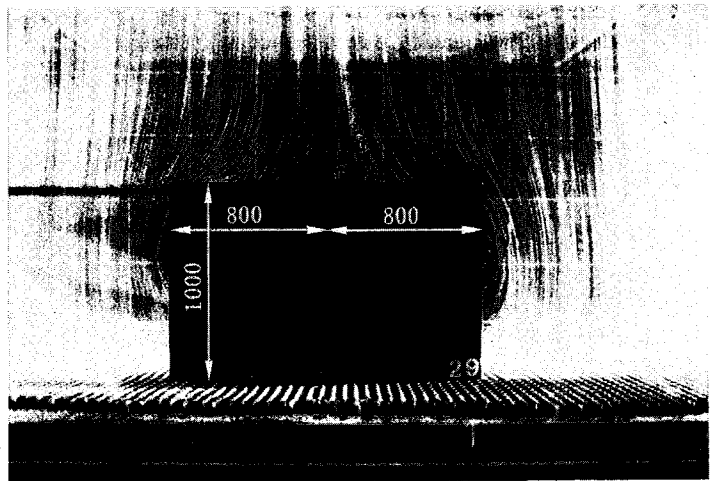
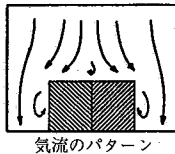


図 5 複合による影響 1

3.5 装置の複合による影響 2 (図 6)

高さ 1400 mm の装置 2 台を、装置間の距離を 100 mm として配置した場合 3.4 と比較すると、真中に隙間を設けることによって上面での滞留域が消失している。気流が 2 台の装置間にも流れ込むため、上面付近の汚染質は排出され易くなっている。

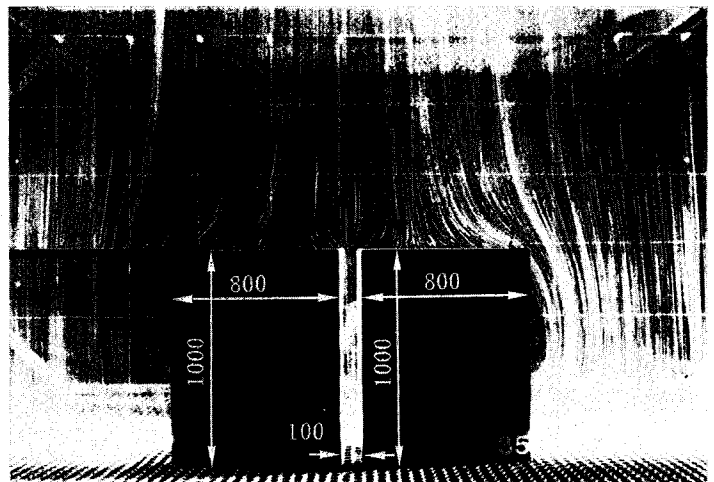
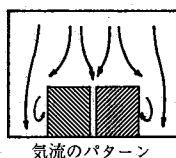


図 6 複合による影響 2

3.6 装置の複合による影響 3 (図 7)

高さ 1400 mm と 600 mm の高さの異なる装置 2 台を、互いに接するように配置した場合 背の高い装置上面中央で気流は左右に分かれ、右側の気流は装置右端で剝離して、背の高い装置側面近傍に定在渦を形成している。定在渦外側の背の低い装置上面では、気流が乱れて汚染質が停滞し易い状態になっている。

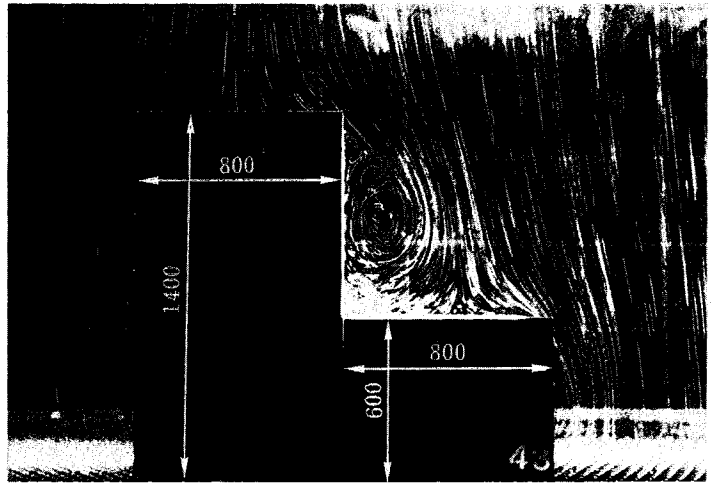
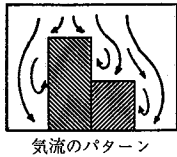


図 7 複合による影響 3

3.7 装置の複合による影響 4 (図 8)

高さ 1400 mm と 600 mm の高さの異なる装置 2 台を、装置間の距離を 100 mm として隙間を設けて配置した場合 3.6 では背の低い装置上部に定在渦が発生しているのに対し、装置の間隔をおくことにより、渦が小さくなり、右側装置上部左よりに移動して、背の高い装置の剝離渦となっている。背の低い装置上部には停滞域は見られない。

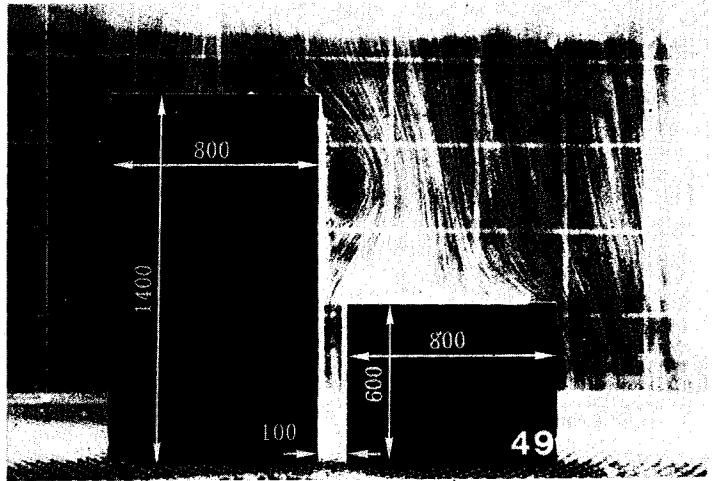


図 8 複合による影響 4

3.8 人間による影響 1 (図 9)

基本タイプの装置の傍に人間が直立している場合 基本タイプ 3.1 と比較すると、装置廻りの気流はそれほど違いがないが、装置左側面は人間によって、右側面と異なる気流性状を示している。人間が動かないせいでもあるが、人間廻りの気流の乱れは少なく、装置上面には影響を及ぼさないことがわかる。

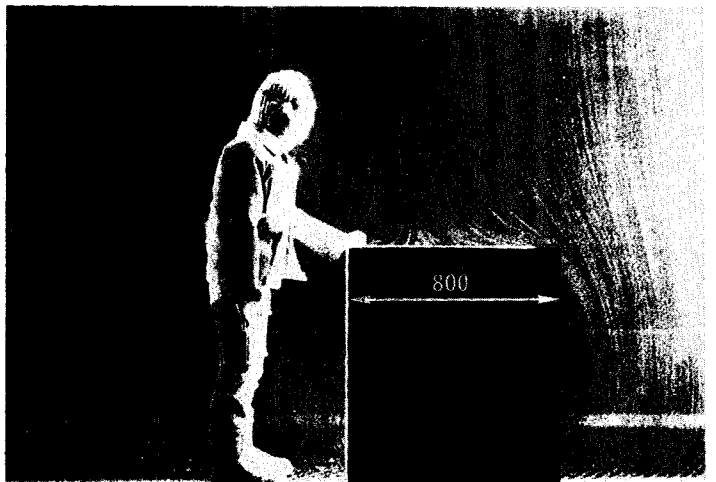


図 9 人間による影響 1

3.9 人間による影響 2 (図 10)

基本タイプの装置の傍で、人間が装置に対して前かがみの状態 装置上部と人間の間で定在渦が形成されており、装置左側面は人間が 3.8 より近づいているため、乱れが大きくなっている。ここで、人間からの発塵がある場合には装置上面に汚染質が停滞する。装置上面右半分には、人間による影響は見られず、基本タイプと変わらない。



図10 人間による影響 2

3.10 天井吹出面における盲板の影響 1 (図 11)

天井吹出面に幅 100 mm の盲板を付けた場合 これはクリーンルームの天井面に照明等の障害物がある状態を想定している。全体にわたり乱れのほとんどない流れは、盲板を付けることにより、盲板近傍で乱れが生じ、その乱れは減少しながらもほぼ床面まで達している。吹出面における障害物の影響はかなり大きいと言える。

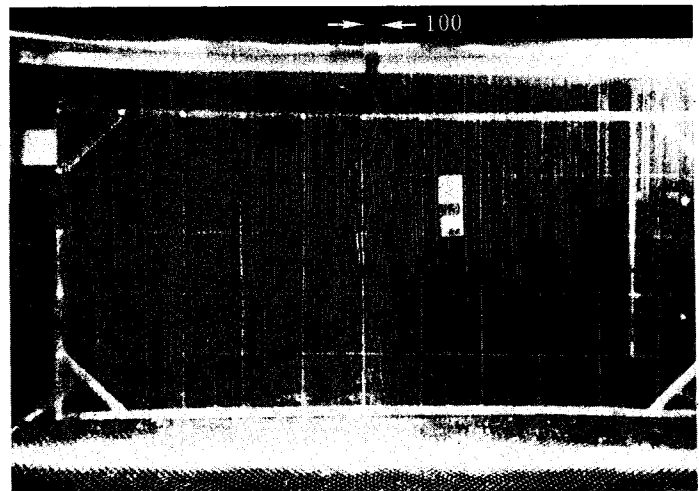
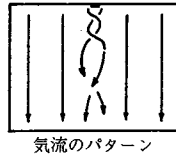


図11 天井吹出し面における盲板の影響 1

3.11 天井吹出面における盲板の影響 2 (図 12)

天井吹出面に幅 100 mm の盲板を付けた 3.10 に加え、その直下に高さ 1000 mm の基本タイプの装置を配置した場合 床面近傍まで到達する乱れにより、装置上面は大きく影響されている。

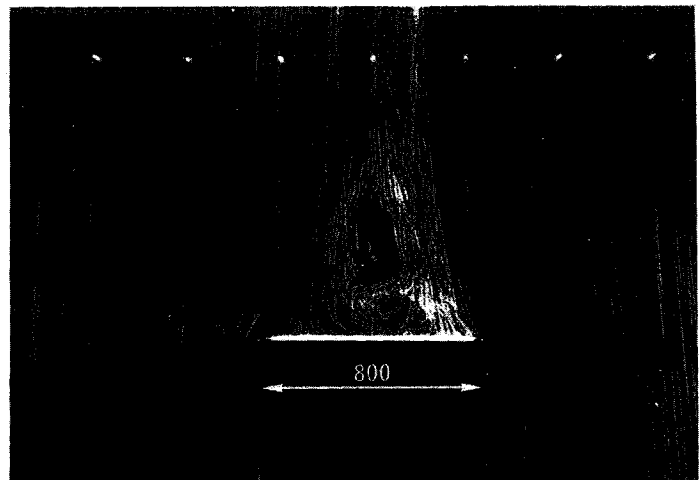
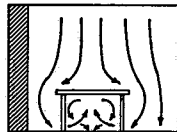


図12 天井吹出し面における盲板の影響 2

3.12 形状変化模型 (机) (図 13)

ここでは、形状を変化させた場合の一例として、机を配置した場合について考察する。机上部で気流は左右に分かれ、角部で剝離してわずかに内側に巻き込まれながら床面に吸い込まれている。机の下空間では、気流の乱れが激しい様子がよく観察される。この中に汚染質が発生または混入すると、停滞し排出され難い。



気流のパターン

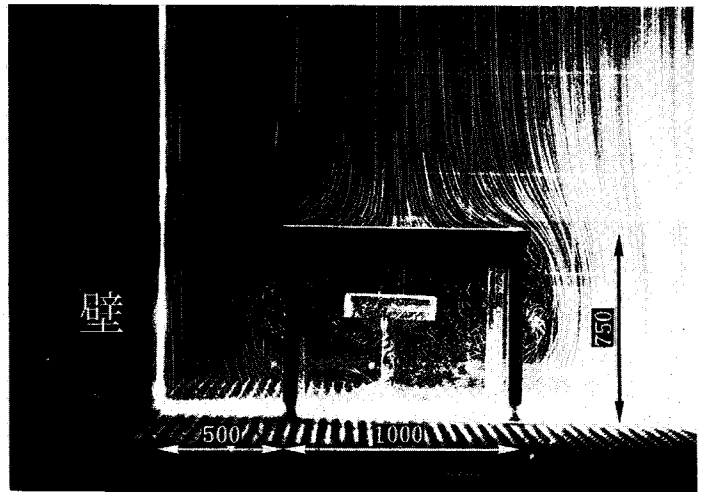


図13 形状変化模型 (机)

ム処理等については写真技術班の岡宮誠一、倉科満寿夫両氏より多大な助言をいただいた。心から謝意を表する次第である。
(1985年1月8日受理)

4. ま と め

レーザーライトシートによる気流の可視化手法によって、生産機器周辺気流の微細な構造まで可視化することができ、その気流パターンを把握することができた。本研究により明らかにされたこと、および層流型クリーンルーム内に生産機器を設置する場合の注意事項等をまとめると以下ようになる。

- 1) 装置側面には剝離渦を生じ渦中の汚染質は停滞する。
- 2) 装置を壁際に配置する場合には、壁際の装置上部に定在渦が形成され、気流が停滞しやすくなるので壁との間に隙間を設けることが望ましい。
- 3) 装置上面の見付け幅や奥行きが長くなると、装置上部で停滞域を生じる。したがって同じ高さの装置2台を接した状態で配置する場合には、上記のような滞留が生じるので、両者の間に隙間を設けるとよい。
- 4) 高さの異なる装置を接した状態で配置すると、背の低い装置上に定在渦が形成されるので好ましくない。装置間に隙間を設けることが望ましい。
- 5) 人間は、装置から離れて近傍に立っているだけでは、装置上部の気流性状には影響を及ぼさない。しかし、作業を行うため、前かがみの状態になると、装置上面に滞留が生じる。
- 6) 天井吹出面に照明器具等の吹出気流の障害物があると気流が乱れ、直下にある装置上面に乱れの大きな渦域が形成される。

謝 辞

本研究は本所選定研究費の一部を用いて実施されたものである。実験においては、レーザーによる可視化技術、写真撮影技術等同研究室の赤林伸一氏より、またフィル

参 考 文 献

- 1) 空気清浄協会編「空気清浄ハンドブック」オーム社昭和56年10月
- 2) 松橋、泉本ほか「クリーンルームにおける気流の可視化」流れの可視化 Vol.4 No.14 1984年7月
- 3) 吉田、植田ほか「クリーントンネル方式におけるエアーカーテン効果について」第3回空気清浄とコンタミネーションコントロールに関する技術研究大会 昭和59年2月
- 4) 北迫、橋本ほか「クリーントンネルにおける誘引防止の一考察」空気調和・衛生工学 第58巻第4号昭和59年4月
- 5) 轉法論「レーザーキャノン型小型風洞の開発と乱流層流の可視化実験研究」流れの可視化 Vol.4 Suppl.1984 QUANTITATIVE PAR CHRONOPHOTOGRAPHIE LASER, Proc. Colloque "Designing with the Wind, Nantes, 1981
- 7) Rodrigo MARTINEZ-VAL "Review of Recent Flow Visualization in Spain" 流れの可視化 Vol.4 Suppl. 1984
- 8) J. L. Balint, M. Ayrault, et al "Measurement of the Concentration of Aerosol Particles in Turbulent Flows through Laser Visualization Combined with Image Processing" 6th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONTAMINATION CONTROL, 1982
- 9) 村上、加藤、赤林「レーザー光を用いた室内乱流現象の可視化」生産研究 Vol.36 No.10 1984.10
- 10) 村上、加藤、赤林「レーザー光を用いた室内乱流の微細構造の可視化」——室内気流性状および浮遊粉塵の拡散過程を中心として——昭和59年度日本建築学会関東支部研究報告集
- 11) 村上、加藤、赤林「レーザー光を用いた建物周辺気流の乱流構造の可視化」日本風工学会誌 No.21 Sep.1984