17 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

東京大学生産技術研究所 村上周三 加藤信介[○]

高砂熱学工業(株) 池鯉鮒悟(東大生研 受託研究員)

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

S. MURAKAMI*, S. KATO*, S. CHIRIFU**

In laminar flow type clean room, an air flow is disturbed by apparatus and operators

It is required urgently to clarify the turbulence characteristic around them.

A scale model of laminar flow type clean room was used to visualize the air flow pattern within it. A laser light sheet and fine magnesium carbonate powder were adopted as the light source and the particle tracer respectively. Scattering light of tracer particles was taken into picture and the turbulent flow was analyzed. Various dimensions of rectangular prism models were used as simplified apparatus. By changing the arrangement of these apparatus in the model room, the basic design data were obtained, those were useful for predicting and controlling the contamination distribution in laminar flow type clean rooms.

1. 序 クリーンルーム内気流可視化の必要性

近年の半導体・医薬品等の先端産業分野では、室内の浮遊微粒子を極力排除したクリーンルームが欠くべからざる施設となっている。しかしその室内では生産活動に伴う発塵を生じ、これが室内の清浄度に大きく影響している。従ってクリーンルームではこうした汚染質を速やかに排出し、又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やかに排出されることが期待されている。しかしその中に設置された製造装置によってこうした気流が乱されており、この気流の乱れの性状を明らかにすることが強く望まれている。

本研究では、層流型クリーンルーム内にある障害物(製造装置・人間等)の廻りの微細な気流構造を、1/6縮尺模型を用い、レーザーライトシートによる気流の可視化手法により解析する。ここでは、1)装置の配置、2)装置と人間の相対位置関係、3)装置の形状、4)天井面における吹出気流の障害物、5)装置周辺気流の乱れの対策、の5項目の検討結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 室内模型及び装置模型

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。Fig.1に示すように、模型は給気チャンバー、クリーンルーム、排気チャンバーから成り、天井面は金属メッシュ、床面はハニカムでできている。又、天井面の吹出風速は実際のクリーンルームと同程度の0.35m/sとした。従ってRe数は実物の1/6になるが、Re数の減少により装置模型周辺の気流性状が大きく変化しないことは写真撮影等によりあらかじめ確認している。なお、Re数を一致させた場合、吹出風速が大きくなり可視化撮影が困難となる。

* Institute of Industrial Science, Tokyo Univ. Roppongi, Minatoku, Tokyo 106

** Takasago Thermal Engineering Co., Ltd. Kanda, Chiyodaku, Tokyo 101

Fig.1 Clean Room Model (1/6 Scale Model)

Fig.2 Visualization System (Virtual Section)

Table 1 Camera Conditions

Film	ASA1600
Shutter Speed	1-2sec.
Lens	25-50mm Zoom Lens
Iris	4
Distance	0.8 meters

2.2 可視化システム

Fig. 2 に示すとおり、模型側面より高照度のレーザーライトシート（レーザービーム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 4 W）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（炭酸マグネシウム微粉末、粒径 1 ~ 10 μ m）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 Table 1 に示す。

2.3 実験パターン

実験は模型クリーンルーム内に設置する製造装置模型の設置状況を変化させて行なう。ここで、製造装置模型は簡略化した直方体モデルを用いる。装置の配置については、床からの距離、壁からの距離、2 台の装置間の間隔、高さの違い等のパラメーターを組み合わせることにより数多くのパターンが生ずるが、ここでは直方体（高さ 1 m × 見付け幅 0.8 m × 奥行き 1 m；実物換算寸法、模型は縮尺 1/6）を基本タイプとし、1）壁、2）人間、3）天井吹出面における障害物、4）装置の形状、5）装置周辺の乱れの対策、の各要素の影響に関して検討した結果を示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 直方体モデルにおける側面の剥離渦の対策

1）直方体モデルの側面に生じる剥離(Photo.1)

直方体模型を室中央に設置した場合。装置上部の中央で気流が左右に分かれ、角部で剥離し下部で再付着している。剥離部の内側では乱れが生じて、定在渦が形成されている。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。なお、これ以後の写真中の寸法は実物換算寸法を示す。（単位：mm）

Photo.1 Separations at Side Walls of Apparatus Model

2) 装置の隅切りの効果 (Photo. 2)

装置側面剥離域の減少をねらって装置の右上端を一辺 60 mm づつ切り落とした場合。左上隅と比べると、右上隅では剥離が生じるのは、隅切りした下角の部分以下である。従って隅切りすることにより、剥離の発生位置を作業域である装置上面より削った分だけ遠ざけることができる。隅切り詳細図

Photo. 2 Effect of Corner Cutting

3) 剥離域で気流の吸い込みを行なった場合

(Photo. 3) 装置側面の剥離域において、気流を吸い込む(吸込口寸法: 縦 30 × 横 950 mm、吸込風速: 0.7 m/s (下降気流の 2 倍の流速)) ことにより、剥離渦がなくなっている。気流は速やかに流れており、剥離渦を解消するのに有効な手段と言える。

Photo. 3 Effect of Suction at Separating Area

3. 2 壁からの距離と装置周辺に生じる乱れの関係

1) 壁に接して配置した場合 (Photo. 4)

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、装置右側角部の剥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又は混入すると、排出され難く好ましくない。

Photo. 4 Arranging Apparatus in Contact with Wall

2) 壁から離して配置した場合 (Photo. 5)

基本タイプの装置を壁から 100 mm 離して配置した場合。1) 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。

Photo. 5 Arranging Apparatus apart from Wall

3.3 複数の装置の相対位置と乱れの関係

1) 同じ高さの装置2台を接して配置した場合
(Photo. 6) 高さ1000mmの装置

2台を、互いに接するように配置させた場合。基本タイプに比べ装置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又は混入すると、装置上部で停滞し排出され難い。

Air Flow Pattern

Photo. 6 Arranging two Apparatus in Contact

2) 同じ高さの装置2台を隙間を設けて配置した場合 (Photo. 7) 高さ1000mmの装置2台を、装置間の距離を100mmとして配置した場合。1)と比較すると、真中に隙間を設けることにより装置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。

Air Flow Pattern

Photo. 7 Arranging two Apparatus separately

3) 高さの異なる装置2台を接して配置した場合 (Photo. 8) 高さ1400mmと600mm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剥離して、背の高い装置側面近傍すなわち背の低い装置左側上部に定在渦を形成している。

Air Flow Pattern

Photo. 8 Arranging two Apparatus in Contact

4) 高さの異なる装置2台を隙間を設けて配置した場合 (Photo. 9) 高さ1400mmと600mmの高さの異なる装置2台を装置間の距離を100mmとして隙間を設けて配置した場合。装置の間隔をおくことにより、背の低い装置上の定在渦が小さくなり、装置上部左よりに移動している。背の低い装置上部には停滞域は見られない。

Air Flow Pattern

Photo. 9 Arranging two Apparatus separately

3.4 装置近傍に人間がいる場合の流れ

1) 人間が直立している場合 (Photo. 10)

基本タイプの装置の傍に人間が直立している場合。基本タイプと比較すると、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していないことがわかる。

Air Flow Pattern

Photo. 10 Air Flow around Operator standing upright beside Apparatus

2) 人間が前かがみになっている場合

(Photo. 11) 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に定在渦が形成されており、装置左側面は人間が1)より近づいているため、

乱れが大きくなっている。装置上面右半分には人間による影響は見られず、基本タイプと同じ気流性状を示している。

Air Flow Pattern

Photo. 11 Air Flow around Operator bending over Apparatus

3.5 天井吹出面の気流障害物による乱れ

1) 装置を配置していない場合 (Photo. 12)

これはクリーンルームの天井面に照明器具等の気流の障害物(盲板:幅100mm)がある状態を想定している。盲板を付けることにより盲板近傍で乱れが生じ、その乱れはそれほど減衰せずに床面まで達している。

Air Flow Pattern

Photo. 12 Turbulence generated by Obstacle at Ceiling, no decaying at Floor

2) 直下に装置を配置した場合 (Photo. 13)

天井吹出面に幅100mmの盲板を付けた3)に加え、その直下に高さ1000mmの基本タイプの装置を配置した場合。基本タイプ3.1)と比較すると、床面近傍まで到達する乱れにより、装置上面に非常に大きな乱れと定在渦が生じている。

Air Flow Pattern

Photo. 13 Turbulence generated at Ceiling, colliding with Apparatus Surface

3.6 机の廻りの乱れ (Photo. 14)

ここでは形状を変化させた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、角部で剥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。

Air Flow Pattern

Photo. 14 Turbulence around Table

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し、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、及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をまとめると以下ようになる。

- 1) 装置側面には剥離渦を生じ、渦中の汚染質は停滞しやすい。
- 2) 装置の隅切りを少々行なっても、装置側面の剥離気流性状はあまり変化しないが、剥離の始まる位置を作業面より隅切りした分だけ遠ざけることができる。
- 3) 装置側面の剥離域で気流の吸い込みを行なうことは剥離渦を解消させることに有効である。
- 4) 装置を壁際に接して配置する場合には、壁際の装置上部に定在渦が形成され汚染質が停滞し易くなるので、壁との間に隙間を設けることが望ましい。
- 5) 装置上面の見付け幅や奥行きが大きいと、装置上部で停滞域を生じる。従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。
- 6) 背の高さが異なる装置2台を配置する場合にも両者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、両者の間に隙間を設けるとよい。
- 7) 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影響を及ぼさない。しかし作業を行なうため前かがみの状態になると、装置上部に大きな滞留域が生じる。
- 8) 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、これがそれほど減衰せずに床面に到達し、直下に装置がある場合にはその上面に乱れの大きな渦域が形成される。
- 9) 机等のように下部に空間のある場合には、そこで気流が乱れ、汚染質は停滞する。

参考文献

- 1) 北迫、橋本、安藤「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 昭和59年4月
- 2) 村上、加藤、池鯉鮒「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」生産研究 昭和60年3月
- 3) 村上、加藤、池鯉鮒「層流型クリーンルーム内気流のレーザー光による可視化」空調・冷凍連合 昭和60年4月
- 4) 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 昭和59年10月
- 5) 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」昭和59年度日本建築学会関東支部研究報告集
- 6) 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