

# コンベンショナルフロー型クリーンルーム内の気流性状に関する研究

## ——吹出口削減が拡散場に及ぼす影響の数値シミュレーション——

Study on Air Velocity Distribution in Conventional Flow Type Clean Room

—Numerical Simulation for Influence of Numbers and Locations of Supply Outlets on Gaseous Diffusion—

村 上 周 三\*・加 藤 信 介\*\*・須 山 喜 美\*\*\*

Shuzo MURAKAMI, Shinsuke KATO and Yoshimi SUYAMA

### 1. はじめに

クリーンルーム内の効果的な気流設計手法の開発を目的として、筆者らは気流の予測・制御手法に関する研究を行ってきた<sup>1)</sup>。本報では、多数の吹出口を有するコンベンショナルフロー型クリーンルームモデルに関して、詳細な汚染質拡散性状の検討および清浄度評価を数値シミュレーションにより行った結果を報告する<sup>2)</sup>。

### 2. 解析対象クリーンルームモデル (図1)

解析対象のクリーンルームモデルを図1に示す。吹出口9個、吸込口4個のタイプ1および、これに対し吹出口の個数を削減したタイプ2～5<sup>3)</sup>を解析する。

### 3. 数値解析概要

$k-\epsilon$ 型2方程式乱流モデルを基礎とする3次元解析を行う。境界条件および差分スキームは文献3と同様である。差分分割は46(X)×50(Y)×17(Z)の計39,100の不均等メッシュを採用する。気流性状・汚染質拡散性状のほか、室内平均濃度<sup>4)</sup>の評価も行う。解は多少時間的・空間的に振動している。なお、本シミュレーションの実験との整合性は良好である<sup>3)</sup>。各濃度分布図では、各タイプごとの瞬時一様拡散濃度を1として表示する。また結果は解の対称性を考慮して部分的に表示する。

### 4. 基本的な気流性状、汚染質拡散性状 (図2)

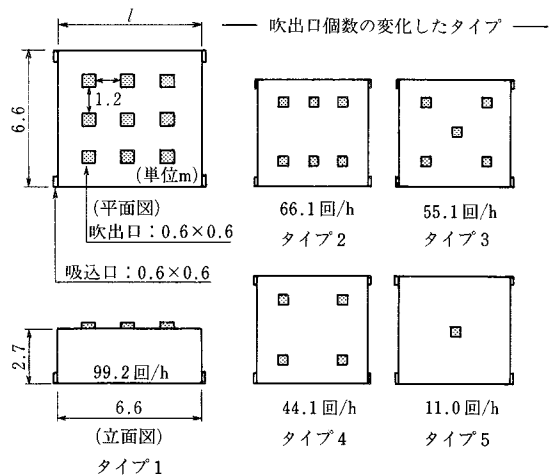
複数の吹出口を有する室内の気流性状は、吹出口1個当りの気流単位(1個の吹出噴流とその周囲の上昇流による閉じた系)の合成とみなすことができる<sup>3)</sup>。

タイプ1の気流性状および汚染質拡散性状を図2に示す。タイプ1では、気流単位が9個合成された様相(図2-(a-2))となり、吹出噴流中(A点)で発生した汚染

質は単位内に高濃度で拡散する。単位内に吸込口を有する場合((図2-(b-1, 2)), 汚染質は他の単位にはあまり拡散せず排出される。また壁側3連の吹出噴流の中央の汚染源(B点)の場合(図2-(c-1, 2)), 汚染源を含む中央の単位は高濃度となる。この場合汚染質は吸込口側の両隣の単位にも流入し拡散するが、これらの単位は中央の気流単位に比べいくぶん低濃度となる。汚染質は吸込口を含む壁側の3連の単位(室片側の1/3の領域)に拡散し、室中央側の気流単位にはほとんど拡散しない。一方、気流単位の接点(C点)で汚染質が発生した場合には(図2-(d-1, 2)), 汚染質は両単位に拡散する。

### 5. 吹出口削減の影響 (図3)

タイプ1に対し5個の吹出口を削減したタイプ4の気



\*吹出風速 1.0m/s(全タイプ共通)  
\*アンダーラインの値は各タイプの換気回数(回/h)

図1 解析したクリーンルームの室形状

\*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 第5部

\*\*\*民間等共同研究員(顧問組 技術研究所)

流性状, 汚染質拡散性状を図3に示す。気流単位1個当りの領域が増大し室の1/4を占める。単位の境界では強い上昇流が形成され、汚染質他の単位への拡散が妨げ

られる(図3-(a))。このため吹出噴流部(A点)で発生した汚染質は、これに対応し室の1/4に拡散する(図3-(b),(c))。

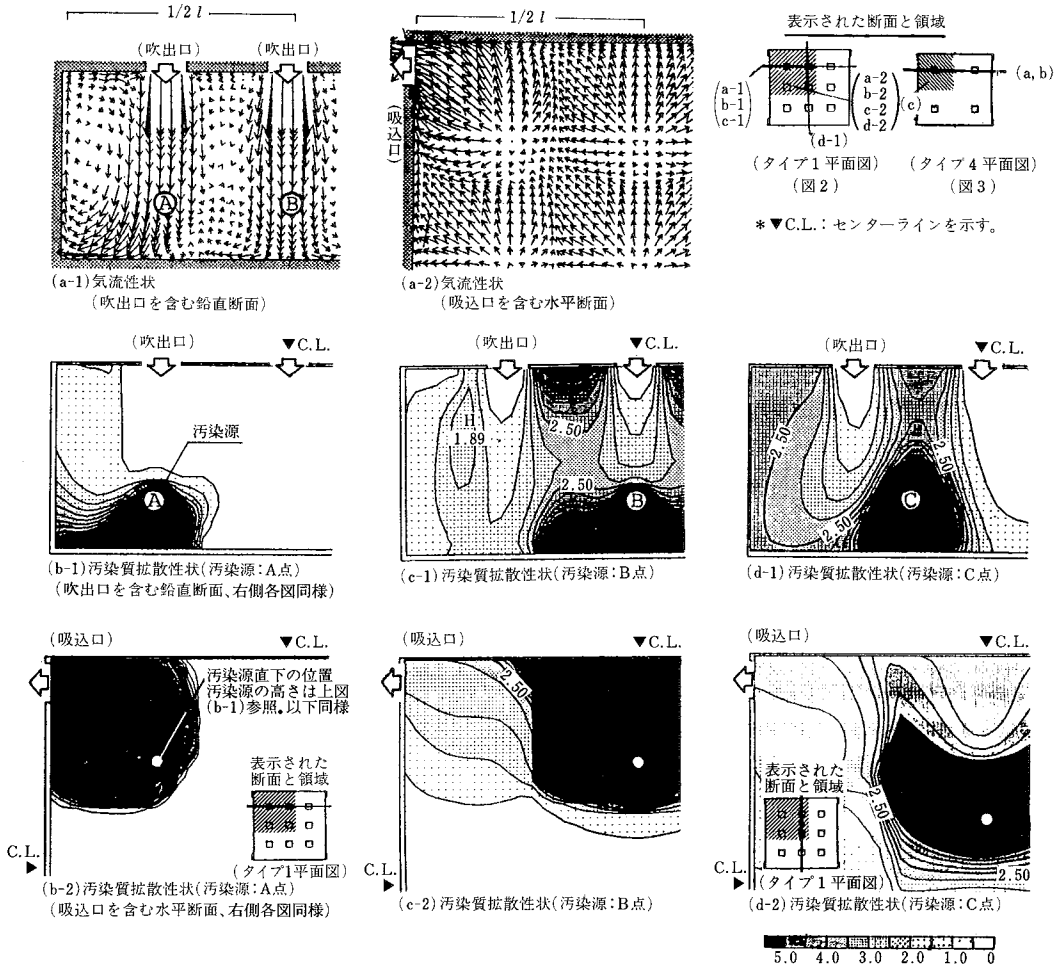


図2 タイプ1の結果 (基本タイプ吹出口9個・吸込口4個、汚染源A~C点)

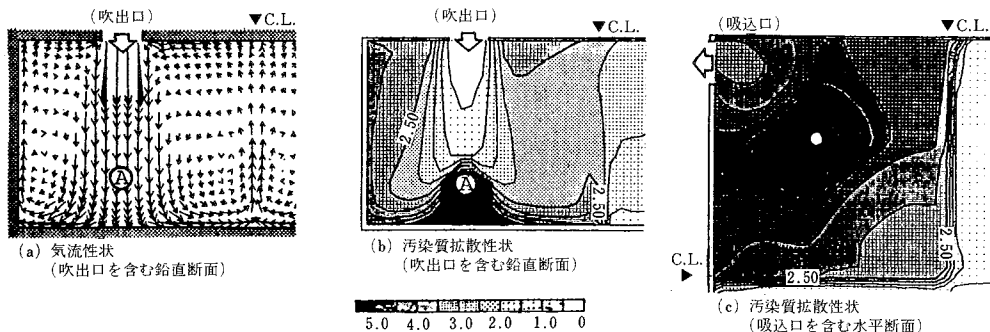


図3 タイプ4の結果 (吹出口を削減した場合, 吹出口4個・吸込口4個, 汚染源A点)

研 究 速 報

6. 吹出口の配置と汚染質拡散性状

吹出口の配置の変化に関して室中央、壁側中央部分、壁際の各汚染源ごとの汚染質拡散性状を比較する。

6.1 汚染質拡散パターン

(図4：各タイプの瞬時一様拡散濃度の値で基準化した濃度分布)

各タイプについて、室中央の汚染源 (D点) の場合の拡散パターンを図4に示す、吹出噴流中の汚染源の場合

(タイプ1：図4-(a-1, 2), タイプ3：(c-1, 2), タイプ5：(e-1, 2)), 噴流により移流・拡散され汚染源から床面まで高濃度の汚染質が分布する。室中央に吹出口のないタイプでは (タイプ2：図4-(b-1, 2), タイプ4：(d-1, 2)), 中央に上昇流が形成されるため、汚染源から天井面まで高濃度となる。また全タイプとも室中央の汚染源のため汚染質が室全体に広く拡散する。

6.2 換気回数の低減効果

(図5：タイプ1と同一汚染質発生量とし、タイプ1の瞬

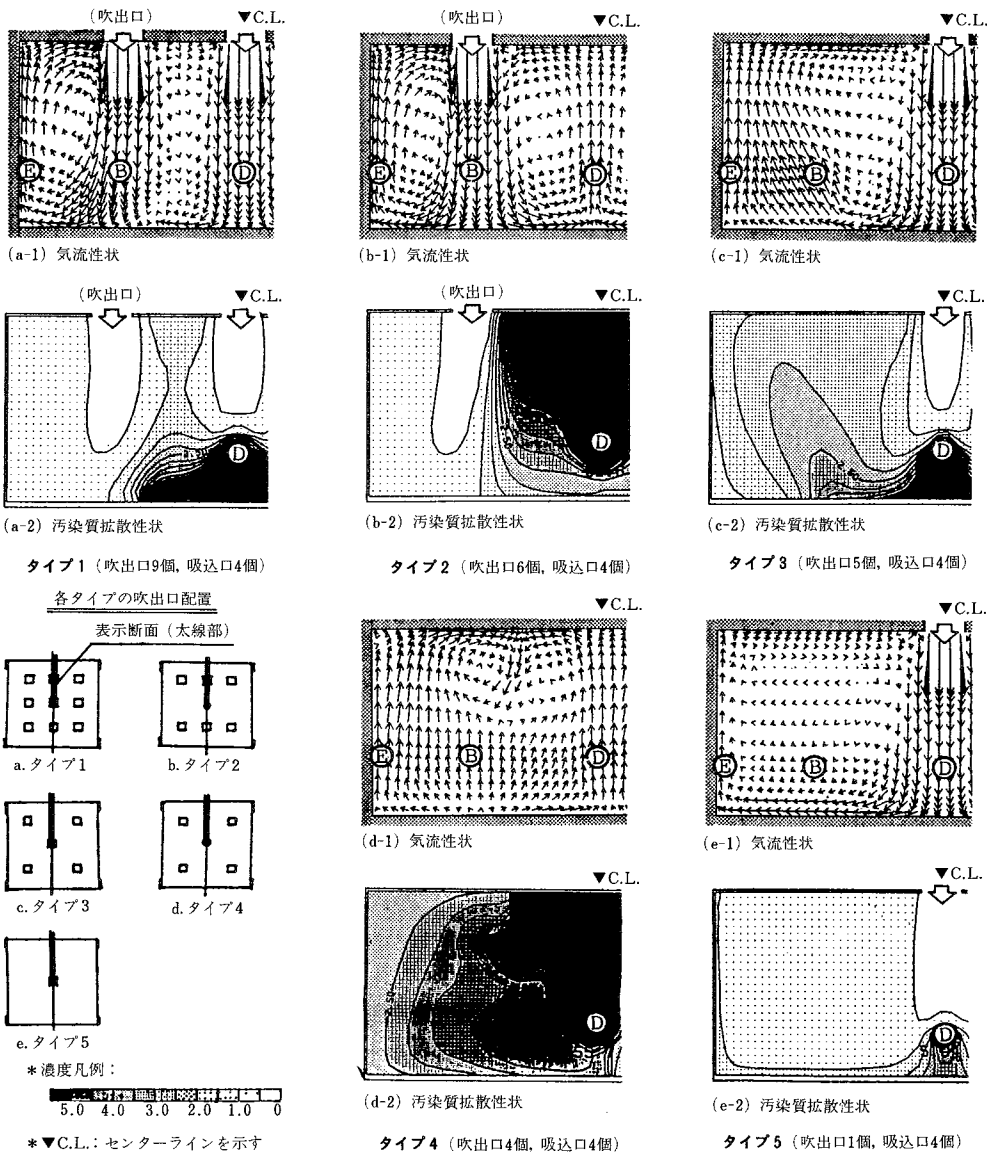


図4 吹出口個数・位置による汚染質拡散パターンの変化 (汚染源：D点)

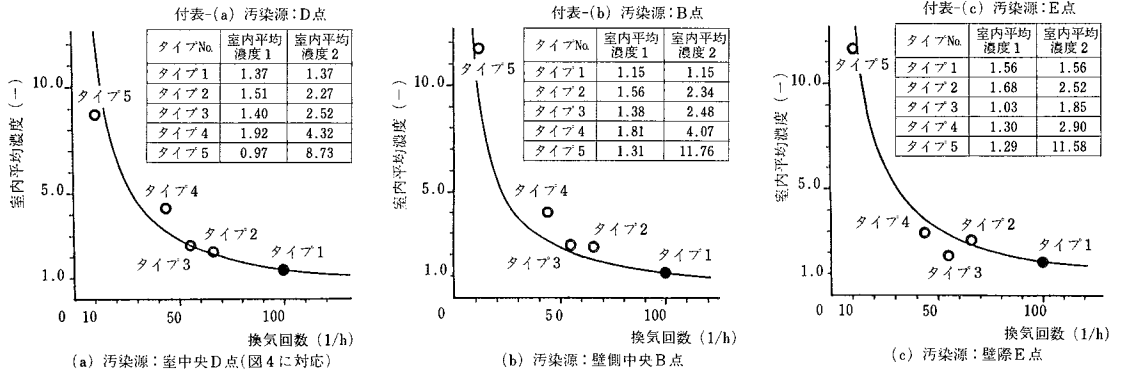


図5 換気回数が低減された場合の室内平均濃度の変化(タイプ1の瞬時一様拡散濃度基準)

時一様拡散濃度で基準化した各タイプの室平均濃度の値:注1~4参照)

吹出風量の増減は省エネルギーに係わる重要な問題である。タイプ2~5は、吹出口削減によりタイプ1に対して吹出風量を低減した場合と考えられる。

室中央の汚染源(図4:D点)の場合(図5-(a)),タイプ2,3の吹出口配置はタイプ1の吹出風速低減による換気量低減の場合と同等の換気効果となるが、タイプ4の吹出口配置では換気効果は低下する。壁側中央部分の汚染源(図4:B点)の場合(図5-(b)),換気効果はタイプ3>タイプ2>タイプ4の吹出口配置の順に低下する。壁際の汚染源(図4:E点)の場合(図5-(c)),タイプ3,4の吹出口配置は良好な換気効果となる。またタイプ2はタイプ1と同等程度である。このような位置に汚染源が想定される場合、タイプ3,4のような吹出口配置の採用が換気計画に望ましい。

7. ま と め

①汚染質はまず吹出噴流とその周囲の上昇流を単位とする気流単位内に拡散する。このため高濃度の汚染質拡散範囲に関しては気流単位の把握を行うことである程度の予測が可能である。②気流単位相互、あるいはそれらの境界を通過する汚染質拡散は気流単位と吸込口位置の相対関係により定まる。汚染質は吸込口を有する直近の気流単位に向かって拡散する。③吹出口を削減した場合その下の気流単位は消滅し、隣接する気流単位に繰り込まれる。④数値シミュレーションにより室内の汚染質拡散性状のほか、室の換気特性も定量把握でき、より有効な換気計画を立案することが可能である。

(1986年9月10日受理)

注1) 室内平均濃度1はそれぞれのタイプごとの瞬時一様拡散濃度の値で基準化した無次元濃度。

注2) 室内平均濃度2はタイプ1の瞬時一様拡散濃度で基準化した無次元濃度。この場合タイプ2~5の汚染質発生量はタイプ1と同一である。

注3) 図6中の双曲線は(換気回数)×(室内平均濃度)=一定より導かれ、タイプ1の吹出風速減少による換気量低減時、同一汚染質発生量の場合の室内平均濃度の増減を示す。各タイプの室内平均濃度の値がこの曲線より下にくるか、上にくるかタイプ1と比較した各タイプの換気効果の良し悪しの判定を行う。

注4) 室内平均濃度は定常発生の汚染質が発生から吸込口より排出されるまで平均して室内に滞在する時間に比例するものと考えられる(文献4参照)。したがって、室内平均濃度が低いほど汚染質は速やかに排出され換気効果はよいものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) たとえば村上周三, 加藤信介, 須山喜美“コンベンショナルフロー型クリーンルーム内の気流性状に関する研究, その7”, 生産研究, 37巻5号, 1985.5など
- 2) 須山喜美, 村上周三, 加藤信介“コンベンショナルフロー型クリーンルーム内の気流性状に関する研究, その16”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和61年8月
- 3) 須山喜美, 村上周三, 加藤信介, “クリーンルーム内の気流性状に関する研究, その8, その9”, 日本建築学会関東支部研究報告集, 昭和60年7月
- 4) 加藤信介, 村上周三, “換気効率の評価モデルに関する研究, その1”, 空調調和・衛生工学会学術論文集, 昭和59年10月