

チャンバーを用いた空調気流の検討
(その1 クリーンルームの吹き出し・吸い込み気流について)

正会員 ○羽山 広文* 同 中尾 正喜*
同 光町 正宣**

1. はじめに

近年、エレクトロニクス産業の発展にともない、規模の大きなクリーンルームを用途に合わせ幾つかの清浄度が異なる領域に分割し用いることが考えられる。この場合、清浄度の高い領域では垂直層流を実現するため天井及び床面での吹き出しと吸い込み風量分布の一様性を満足しつつ、清浄度の低い領域からじんあいの流入を防ぐよう設計する必要がある。そこで、これらの問題を検討するため、チャンバーを用いた気流の吹き出し及び吸い込み風量分布を求める計算法と風量分布に不均一率を用いる評価法を示し、この方法を用いクリーンルームの吹き出し・吸い込み風量分布と圧力損失、床面の通気抵抗の検討例を報告する。

2. 風量及び圧力分布の計算法

クリーンルームは、一般事務室と比べ循環風量が大きいいため、チャンバーを平行平板の一次元連続分配管、集合管と見なすことができる。

2-1. 吹き出し気流の基本式 : 図1に示す連続分配管のモデルを微小区間に分割し、j番目の開口をはさむ距離 l_j での吹き出し風量及び圧力分布はベルヌイの定理から次式で表わされる。(1)・(2)・(3)

$$Q_j - Q_{j+1} = A_d(V_j - V_{j+1}), \quad Q_j = \sum_{i=1}^j q_i \quad (1)$$

$$P_{j+1} - P_j = \frac{\gamma}{2g} (V_j^2 - V_{j+1}^2) + (\xi_0 + \lambda_j \frac{l_j}{D_d}) \frac{\gamma}{2g} V_j^2 \quad (2)$$

チャンバーの終端圧力を P_0 とすると任意の点jでの圧力は次式で表される。

$$P_j = P_0 - \frac{\gamma}{2g} V_j^2 - \sum_{i=1}^{j-1} (\xi_0 + \lambda_i \frac{l_i}{D_d}) \frac{\gamma}{2g} V_i^2 \quad (3)$$

(2)、(3)式の ξ_0 はチャンバーから流出する際に分岐損失係数であり、主流と分岐流の比が $q_j/Q_j < 50$ の場合 $\xi_0 = 0$ と見なすことができる。(4)

2-2. 吸い込み気流の基本式 : 連続集合管も分配管と同様に考えると(2)、(3)式は次式になる。

$$P_{j+1} - P_j = \frac{\gamma}{2g} (V_j^2 - V_{j+1}^2) - (\xi_i + \lambda_j \frac{l_j}{D_d}) \frac{\gamma}{2g} V_j^2 \quad (4)$$

$$P_j = P_0 - \frac{\gamma}{2g} V_j^2 - \sum_{i=1}^{j-1} (\xi_i + \lambda_i \frac{l_i}{D_d}) \frac{\gamma}{2g} V_i^2 \quad (5)$$

ξ_i は、支管からの流入で主管の流速が増加した場合の合流損失係数を表している。集合管の場合支流の流入によ

り主流の境界層が乱されるため合流損失が無視できない。佐藤は(1) 合流損失係数を主流と支流の流速比 (V/w) で整理しており、この結果を多項式に近似すると次式となる。

$$\xi_i = 0.2804 - 0.7017(V/w) + 0.6985(V/w)^2 - 0.3265(V/w)^3 + 0.071527(V/w)^4 - 5.92498 \times 10^{-3}(V/w)^5 \quad (6)$$

2-3. 吹き出し及び吸い込み風量の計算式 : 吹き出し及び吸い込みパネルの損失係数が予め既知の場合、パネルからの吹き出し及び吸い込み風量分布はチャンバーと室内の圧力差から求まり次式となる。

$$q_j = \alpha O_p \left(\frac{2g}{\gamma} (P_j - P_r) \right)^{0.5}, \quad \alpha = \frac{1}{\xi_p^{0.5}} \quad (7)$$

α は吹き出し及び吸い込みパネルの流量係数であり、パネルの抵抗係数 ξ_p は実験により求めることができる。チャンバー内の圧力分布と吹き出し及び吸い込み風量分布は(1)、(3)、(5)、(7)式を連立させ求めることができる。

3. 吹き出し・吸い込みチャンバーの特性と評価法

3-1. チャンバー内の圧力分布 : 分配管の場合、吹き出し風量 q と通気抵抗 λ がチャンバー内で均一だとし、モデルの簡略化を行い、(3)式からチャンバー内の圧力分布を求めると次式になる。(4)・(2)

$$P_x = P_0 + ((k_d + 1) \left(1 - \frac{x}{L}\right) - 1) \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{\gamma}{2g} V_i^2 \quad (8)$$

$$k_d = \lambda L / (3D_d) - 1 \quad (\text{チャンバーの特性係数}) \quad (9)$$

なお、チャンバーの入口と終端の圧力差は次式になる。

表1 記号表

Q	: チャンバーの風量(m ³ /h)	γ	: 空気密度(kg/m ³)
P	: 静圧(mmAq)	α	: 多孔板の流量係数
V	: 流速(m/h)	ξ_0	: 分岐損失係数
W	: 幅(m)	ξ_i	: 合流損失係数
A	: 断面積(m ²)	ξ_r	: 床面の通気抵抗係数
D _d	: 相当直径(m)	ξ_s	: フィルタの抵抗係数
λ	: 通気抵抗	x	: チャンバー内の位置
l	: 区間の長さ(m)	r	: 室内を示すインデックス
q	: 吹き出し吸い込み風量(m ³ /h)	d	: チャンバー
g	: 重力加速度(m/h ²)	p	: 多孔板
O	: 多孔板の開口率(%)	i	: チャンバーの入口
w	: 吹き出し吸い込み流速(m/h)	e	: チャンバーの終端

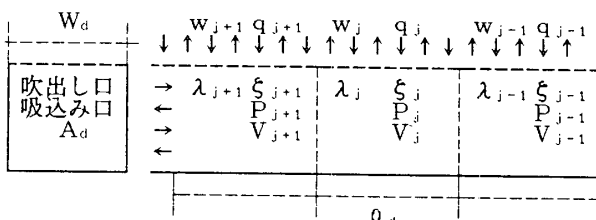


図1 吹き出し、吸い込み気流の計算モデル

$$P_i - P_o = k_d \gamma / (2g) V_i^2 \quad (10)$$

図2に(8)式を示す。これより、 $k_d < 0$ では摩擦による圧力降下より静圧再取得による昇圧が大きく、 $P_i < P_o$ となり、 $k_d > 0$ ではその逆になる。 $k_d > -1/3$ では圧力の最低値が次式の位置に現れる。

$$x_m / L = (k_d + 1/3) / (k_d + 1) \quad (11)$$

また、 $-1 < k_d < -1/3$ では最低値が $j = N$ の位置になり、終端に向かって単調増加する。

一方、集合管の場合は(5)式から j の増加ともない圧力は単調減少する。これは、合流による流速増加と摩擦抵抗がいずれも圧力降下に働くためである。

3-2. 吹き出し・吸い込み風量分布の評価 : チャンバー内の圧力分布はチャンバーを構成する条件で異なり、風量を確保するため開口の検討が必要になる。その際、風量分布の評価基準は次式の不均一率を用いる。

$$\text{不均一率} = (\text{最大風量} - \text{最小風量}) / \text{平均風量} \quad (12)$$

4. クリーンルームの吹き出し、吸い込みの計算例

4-1. 計算モデル : 図3に示すように吹き出し・吸い込みチャンバーを共有し、クリーンルーム内を清浄度が異なる2つの空間に分割した場合の計算を表2に示す条件で行った。

4-2. 吹き出し気流の計算結果 : 吹き出し風量分布の計算を行い、表2下段に示す結果を得た。その結果、吹き出し気流はフィルタの通気抵抗が大きいいため双方の領域での不均一率は小さく、一様に吹き出される。

4-3. 吸い込み気流の計算結果 : 表2の条件で吸い込み風量分布の計算を行い図4に示す結果を得た。その結果以下のことがいえる。

①双方の床面開口率を減少するとチャンバーの圧力損失

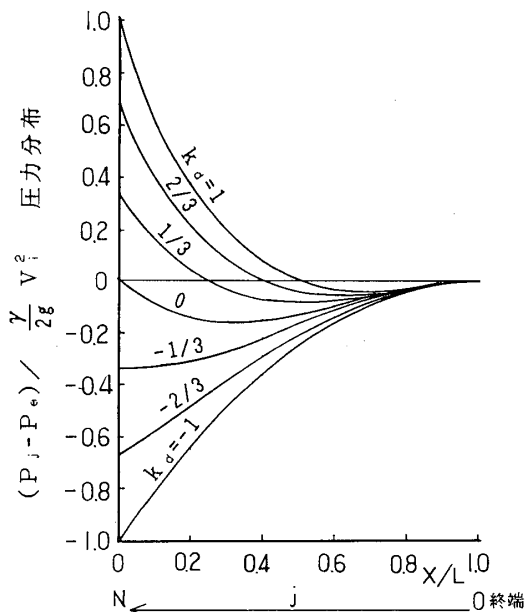


図2 連続等分布分配管の圧力分布^(*)

P_i が増大する反面、不均一率は低下する。

②計算例で示すように、クリーンルームの条件(サイズ風量、設定不均一率等)からチャンバーの圧力損失、床面開口率が容易に求めることができ、チャンバーを共有した清浄度の異なる空間を作ることが可能である。

5. まとめ

クリーンルームを構成する各種条件から吹き出し及び吸い込み風量分布を求める計算法と風量分布の評価法を示し清浄度の異なる複数の空間に分割した場合の計算例を紹介し、クリーンルームの設計に有効なことを明らかにした。

□ 参考文献

- *1) 佐藤 「等流量分配管ならびに集合管」 日本機械学会論文報告集S34
- *2) 羽山 中尾 「チャンバー吹き出し方式における空調気流の検討(その1)」 日本建築学会大会梗概集S60
- *3) 久保 他 「管寄せの分流および合流に関する研究」 日本機械学会論文報告集S43
- *4) 「管路・ダクトの流体抵抗」 日本機械学会編

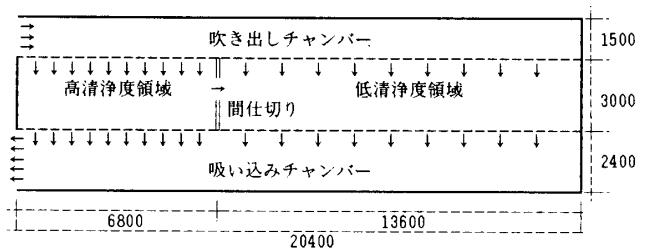


図3 計算モデルの概要

表2 計算条件と吹き出し気流の計算結果

項目		高清浄度領域	低清浄度領域
計算条件	吹き出し風量(m³/hm)⁻¹	10400	4330
	吸い込み風量(m³/hm)⁻¹	10250	4480
	フィルタ面風速(m/s)	0.5	0.5
	フィルタ設置率(%)	85	18.3
	フィルタの通気抵抗ξs⁻²	1120.6	1120.6
	チャンバーの通気抵抗λ	0.02	0.02
床面の通気抵抗ξr⁻²		2.0	2.0
計算結果	項目	高清浄度領域	低清浄度領域
	吹き出し風量不均一率(%)	0.6	0.1
	圧力損失(mmAq)	16.37	

*1 全風量の1.5%が高清浄度領域から低清浄度領域へ吹き込む。
*2 圧力損失 $\Delta P = \xi \cdot (\gamma / (2g)) \cdot V^2$ で定義し、フィルタは面風速、床グリルはのど風速でξを求めた。

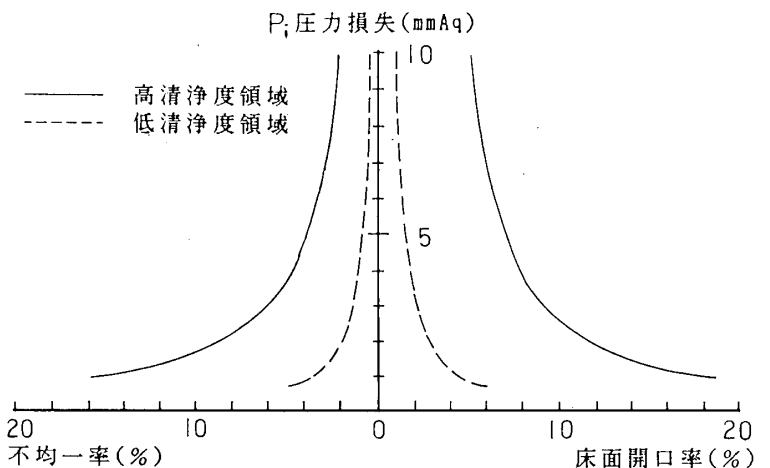


図4 吸い込み気流の圧力損失と開口率、不均一率

*NTT 建築部 建築技術開発室 **同 建築工事事務所