



日本エアーテック株式会社
AIR TECH JAPAN, LTD.

本社/〒106 東京都港区六本木3-7-17(六本木産業ビル)
☎03-403-1731(代)
大阪営業所/〒531 大阪市大淀区中津1-11-8(旭ビル)
☎06-373-0473/06-376-0513
九州営業所/〒892 鹿児島市南林寺町19-3(第一東カンビル)
☎0992-25-6149
工場/〒340 埼玉県草加市青柳町1117-3
☎0489-36-3033(代表)
FAX/大阪 06-373-0827 工場 0489-36-3307

クラス1,000～クラス100,000クリーンルームの 清浄度計算法

1. はじめに

クリーンルーム、バイオクリーンルームの風量決定は、多くの場合経験的データに基づいており、正確に計算されていないことが多い。このため、余裕を多くとり過剰設備となっている場合がある。過剰設備により、設備コスト、運転コスト共に増加してしまう。又、計算がなされたとしても、定常値の計算であり実際の値と一致しない場合が多い。本資料は、この問題を改善するために作成されたものである。

2. 冷暖房との関係

総風量を決定する場合、以下の3種の計算を行う。

- (a) 清浄度を保持するための必要風量
- (b) 冷房時の風量
- (c) 暖房時の風量

以上の計算結果より、最も多い風量を、計画室の風量とする。普通、クリーンルームでは室内負荷が大きいので、ほとんどの場合(c)の計算は必要としない。

一方、使用時に清浄度を保つためにはある程度以上の空気循環回数が必要である。米国連邦規格(U.S.Fed. Std. 209b)によれば、室内空気の循環回数は20回/時以上とされている。したがって、(a)、(b)、(c)、による計算値が20回/時以下となる場合は、循環回数を20回/時とし、風量を決定せねばならない。

3. 外気風量の決定

外気風量は、室内の作業者に対する必要量、室内を陽圧に保つための風量、及び強制排気風量を考慮しなければならない。

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots (1-1)$$

- Q_1 : 作業者に必要な新鮮空気量
- Q_2 : 室内を陽圧に保つための風量
- Q_3 : 強制排気風量

この他に、ドアの開閉による漏洩空気も考慮する場合もあるが、普通、クリーンルームはエアershower、エアロックルーム等により出入口が二重になっているため略してよい。

i) Q_1 , 半導体工場では, $30m^3/時 \cdot 人$ とする。
本値に10%の安全率を乗ずる。

例えば, 30名の場合

$$Q_1 = 30名 \times 30m^3/時 \times 1.1 = 990m^3/時$$

$$16.5m^3/分$$

ii) Q_2 , 表1により計算し, 10%の安全率を乗ずる。

表1. 建築構造と空気漏洩量

構 造	漏 洩 量
クリーンルーム構造	0.3回/時
普通コンクリート建築	1回/時
ボード張り	2回/時

例えば, クリーンルーム $10m \times 10m$

$\times 3m^H = 300m^3$ の場合

$$Q_2 = 300m^3 \times 0.3回/時 \times 1.1 = 99m^3/時$$

$$= 1.65m^3/分$$

iii) Q_3 , 強制排気量は空調負荷に大きく影響する。そのため, 最小としなければならないが, 半導体工業において排気は不可欠であり, 少なすぎて問題となる場合がある。又, レイアウトの変更, 増設による排気風量の追加も多いため, 20%の安全率を乗ずる必要がある。

例えば, 強制排気量を $50m^3/分$ とすると,

$$Q_3 = 50 \times 1.2 = 60m^3/分 \text{となる。}$$

よって, 本例による総外気風量は1-2式で与えられる。

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots \dots \dots (1-2)$$

$$= 16.5 + 1.65 + 60$$

$$= 78.15$$

$$= 80m^3/分$$

4. 発 じ ん 量

クリーンルーム内の発生じんあいは, 以下の点に由来すると考えられる。

- 作業員より
- 機械より
- 床, 壁, 天井面より剥離

天井, 壁よりの剥離は空調機からの振動等によるが, その濃度は低い。また, 機械よりの発じん量を推定することは非常に困難であり本計算では略する。

したがって, 大部分は作業員からの発じんと考えてよい。人の動作による発じん量について表2に示す。人の動作を明確に分類することは難かしいが, 一般的な動作を記す。

表2. 人の動作と発じん量

レベル	内 容	発じん量 (個/分・人)	
		0.3 μm 以上	0.5 μm 以上
低度	頭, 腕の軽い動き	$10^5 \sim 10^6$	$10^5 \sim 5 \times 10^5$
中度	起立, 頭腕の大きな動き, 歩行	$10^6 \sim 10^7$	$5 \times 10^5 \sim 5 \times 10^6$
高度	速い歩行, 跳躍	$10^7 \sim 5 \times 10^7$ (2.5×10^7)	$5 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$ (7.5×10^6)

() 内は, 計算にて使用する値を示す。

計算上は, 表2中の高レベルの値を使用することがよい。通常は, 0.5 μm 以上の粒子濃度で表わす。例えば, 5人の場合

$$5 \times 7.5 \times 10^6 = 3.75 \times 10^7 \text{個/分}$$

とする。

5. 清 浄 度 計 算 式

5-1 式の導入

空気系統図を図1に示す。

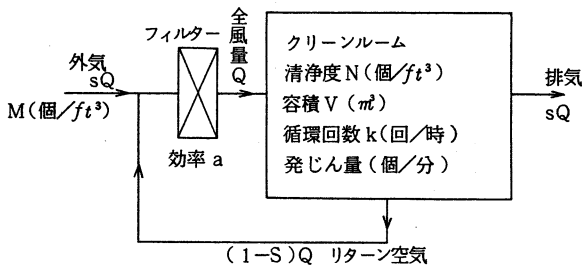


図-1. 空気系統図

計算は、以下の点を条件としている。

- (1) 発生したじんあいは瞬時にクリーンルーム内に拡散する。
- (2) じんあいは壁面に付着したり、沈降しない。
- (3) 室内発じん量及び流入外気濃度は一定である。

Δt 時間における室内塵埃の増加は、流入外気、及び循環空気に含まれる粒子と室内発生粒子により決定される。一方、減少量は室内からの排気中に含まれる量である。この両者を、図1の記号を用いると表3の通りとなる。従って、 Δt 時間における室内塵埃数の変化 ΔP は、(2-1)式で表わされる。

表3 室内粒子の変動

	フィルターを通過し、流入する粒子	室内での発生粒子
室内に流入する粒子	外気よりの粒子	循環空気よりの粒子
	$SQM(1-a) + (1-S)QN(1-a) + G$	
室外に流出する粒子	排気による粒子	循環空気による粒子
	$SQN + (1-S)QN$	

$$\Delta P = \{ SQM(1-a) + (1-S)QN(1-a) + G - SQN - (1-S)QN \} \Delta t$$

$$= \{ [SQM + (1-S)QN] (1-a) + G - QN \} \Delta t \dots \dots \dots (2-1)$$

次に、 Δt 時間における室内塵埃濃度変化 ΔN を考えると、 $\Delta N = \frac{\Delta P}{V}$ となる。また、 $Q = \frac{kv}{60}$ (m³/分) を代入する。

$$\therefore \Delta N = MKS(1-a) \Delta t + MK(1-S)(1-a) \Delta t + \frac{60G}{V} \Delta t - NK \Delta t \dots \dots \dots (2-2)$$

ここで、 $A = MKS(1-a) + \frac{60}{V} G$

$$B = K [1 - (1-S)(1-a)]$$

とすると、(2-2)式は

$$\Delta N = A \Delta t - B N \Delta t \dots \dots \dots (2-3)$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = A - B N$$

$$= B \left(\frac{A}{B} - N \right)$$

$$\frac{\Delta N}{\frac{A}{B} - N} = B \Delta t$$

これより両辺を積分する

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{\frac{A}{B} - N} = \int_0^t B dt \dots\dots\dots (2-4)$$

ここで、クリーンルーム内じんあい濃度の初期体を N_0 とする。

$$-\log \frac{\frac{A}{B} - N}{\frac{A}{B} - N_0} = Bt$$

$$\frac{A}{B} - N = \left(\frac{A}{B} - N_0\right) e^{-Bt}$$

$$N = N_0 e^{-Bt} + \frac{A}{B} (1 - e^{-Bt}) \dots\dots\dots (2-5)$$

ここで、A、Bを代入する

$$N = N_0 e^{-k[1-(1-s)(1-a)]t} + \frac{60G}{K[1-(1-s)(1-a)]} \{1 - e^{-k[1-(1-s)(1-a)]t}\} \dots\dots\dots (2-6)$$

フィルター効率 a は、HEA フィルターの場合 $a = 1$ と考えてよいので、

$$N = N_0 e^{-kt} + \frac{60G}{KV} (1 - e^{-kt}) \dots\dots\dots (2-7)$$

となる。2-7式は、時間を度数とするのでじんあい濃度過渡式と呼ぶ。

一方、 $t \rightarrow \infty$ とすると、(2-8)式となる。

$$N_\infty = \frac{60G}{KV} \dots\dots\dots (2-8)$$

これを、2-7式に対し、じんあい濃度定常式と呼ぶ。この関係を図2に示す。

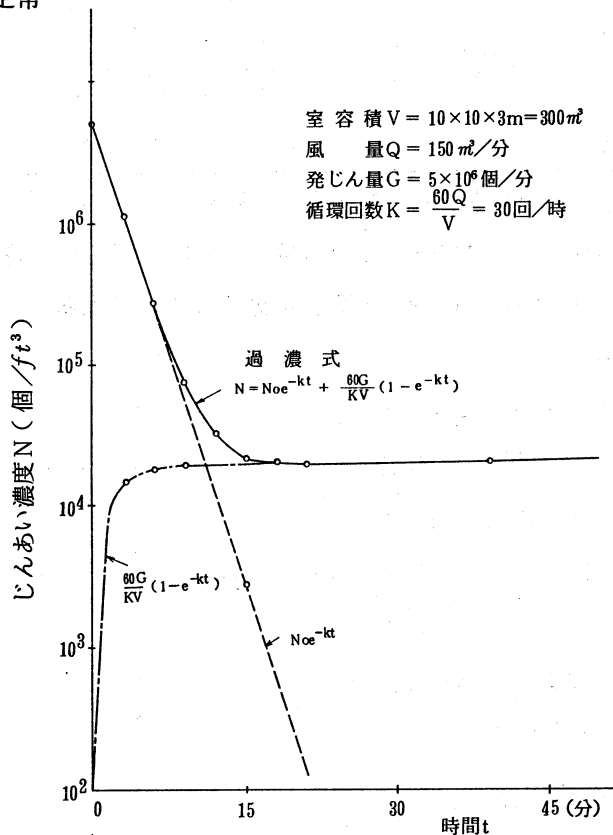


図2. じんあい濃度過渡式と定常式

5-2 定常式の不合理

室内で発生したじんあいは、室内に拡散し除々に排気される。したがって、実際の使用状態におけるじんあい濃度は一様ではなく、清浄度は図3に示すようにたえず変動している。循環回数が少

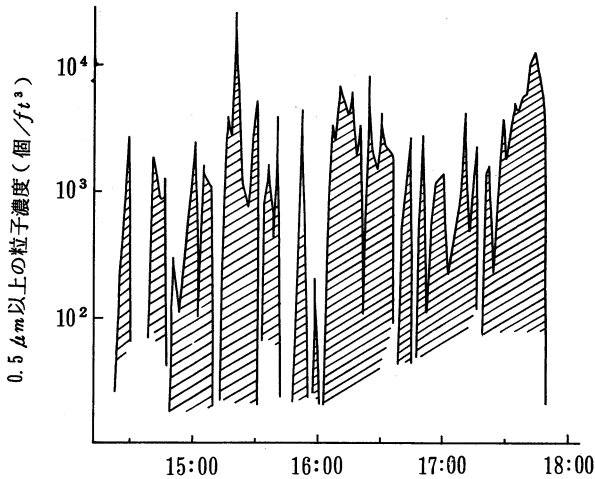


図3. クリーンルーム内1点における0.5 μ m以上の粒子濃度の時間変化

ない室では、定常値に到達するのに長時間を要するため、塵埃濃度の定常値はあまり意味のないものになってしまう(図4参照)。

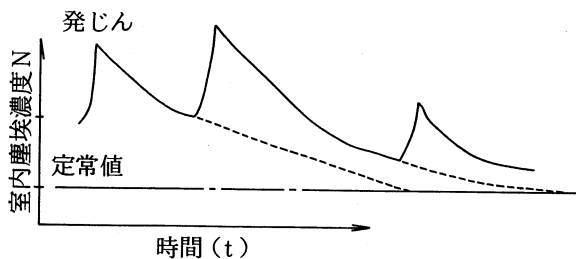


図4. 発じんと定常値

むしろ、問題は何分(時間)でどのぐらい清浄化できるかということである。このためには、定常式ではなく過渡状態で考えねばならない。実際に、定常式で設計を行うと実際の値との差が大きすぎて実用的でなくなる。

一方、層流状態では室内の粒子は、瞬時に排出されるため、過渡状態を考慮する必要はない。また、米国連邦規格(U.S. Fed. Std, 209b)は、クリーンルームの循環回数を20回/時以上を定めている。よつて、過渡状態式は、循環回数20~150回/時、あるいはクラス1,000~100,000のクリーンルームを設計する場合に用いられる。

5-3 クリーンルーム清浄化能力

当社では、クリーンルームを表4に示すように3種に分類し、使用者との協議により設計を行う。これは、主に室内の発生塵埃量より決定される。

表4. クリーンルームの能力分類表

能力クラス	性能	人員負荷	特長
AAA	10分後に、目標値の80%に到達	0.15人/㎡以上	高性能で、非作業時目標清浄度の $\frac{1}{10}$ となる。高価である。
AA	20分後に、目標値の80%に到達	0.02~0.15人/㎡	標準的性能である。
A	30分後に、目標値の80%に到達	0.02人/㎡以下	発じん量が少ないときに用いられる。安価である。

これにより、クリーンルームを以下のように表現する。

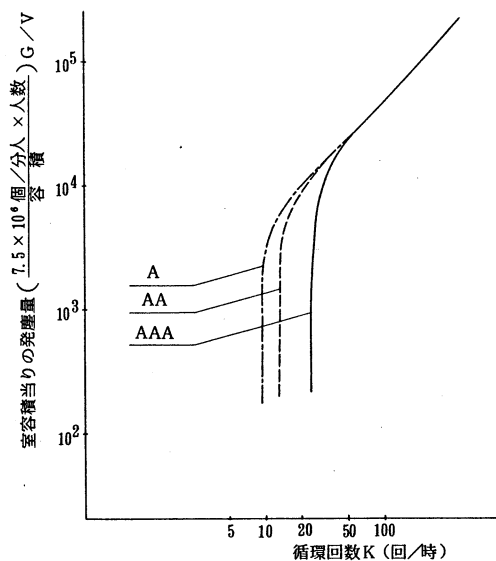
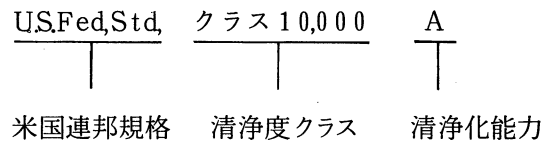


図4. 循環回数—発じん量曲線

6. 風量のまとめ方

6-1 簡易表(作業員密度と循環回数)

K-G/V曲線より、より簡易化し表5に表わす。ここでは、床面積当りの作業員数(作業員密度)より循環回数を求める方法である。K-G/V曲線にて、天井高さを2.5mとして計算してある。本方式はK-G/V曲線による方法に比べ、発じん量等の計算を不要とした簡易法である。いずれの方法で求めてもよい。

例えば、 $10m \times 10m \times 2.5m^H$ のクリーンルームにて、作業員数を4人とする。室内の清浄度をクラス10,000 AAとするには、

$$\text{作業員密度} = 4人 \div (10m \times 10m) = 0.04人/m^2$$

表5より、循環回数25回/時と求めることができる。

表5. 簡易表(作業員密度と循環回数)

清浄度 作業員密度(人/m ²)	クラス1,000			クラス10,000			クラス100,000		
	A	AA	AAA	A	AA	AAA	A	AA	AAA
0.001	10	15	25	10	15	25	10	15	22
0.002	10	15	27	10	15	25	10	15	22
0.004	23	25	33	10	15	25	10	15	22
0.006	36	36	42	10	15	25	10	15	22
0.008	48	48	50	10	15	25	10	15	22
0.01	60	60	60	10	15	25	10	15	22
0.02	130	130	130	13	18	27	13	18	22
0.04	250	250	250	23	25	33	13	15	22
0.06				30	36	40	13	15	22
0.08				48	48	50	13	15	25
0.1				62	62	62	13	17	27
0.2				130	130	130	13	18	28

* 網点部内の数値は計算値ですので、実際の計画時は20回として下さい。

6-2 天井面に対する吹出面積比

以上により、必要風量を求めることができた。クリーンルームの清浄化能力からすると、同一風量の場合、広い面積から吹き出すことが望ましい。天井面積による吹出面積比に対する清浄化能力の低下率、及び計算値に対する補正値を表6に示す。

表6. 天井面に対する吹出口の面積比率補正

天井面に対する吹出面積の比率 R	清浄化能力の低下率	補正値
3%	50%	2
5%	67%	1.5
11%	90%	1.1
17%以上	98%	1

計算値より、吹出面積を決定する場合、天井面に対する吹出面積比率は、10%以上が望ましいが、もし、5%であれば、計算による循環回数の1.5倍、3%であれば、2倍する必要がある。

6-3 計算例

例1)

- 清浄度：クラス10,000 AA
- 室容積： $10m \times 10m \times 2.5m^H = 250m^3$
- 作業員：6名

解)

作業員密度を計算すると

$$6名 \div (10m \times 10m) = 0.06人/m^2$$

表5より、循環回数は36回/時となる。

風量Qは、36

$$Q = 36回/時 \times 250m^3 = 9,000m^3/時$$

$$150m^3/分 \text{となる。}$$

次に、フィルターユニットAFU-13を用いるとすると、ユニット数は

$$150 \div 13 = 11.5$$

$$= 12台 \text{となる。}$$

$$AFU-13 \text{の吹出面積は、} 0.62m \times 0.76m = 0.446m^2$$

であるので、総吹出面積は、

$$12 \times 0.446 = 5.36m^2 \text{となる。}$$

天井面は、 $10m \times 10m = 100m^2$ であるから

天井面に対する吹出面積比率Rは、

$$R = \frac{12 \times 0.446}{10 \times 10} \times 100 = 5.36\% \text{となる。}$$

次に、表6より、補正値は1.5であるから、循環回数又は風量に1.5倍する。

$$\begin{aligned} \text{よって風量 } Q &= 9000 \times 1.5 = 13500 \text{ m}^3/\text{時} \\ &= 225 \text{ m}^3/\text{分} \end{aligned}$$

再度、フィルターユニット A F U - 13 の数を計算する。

$$\begin{aligned} 225 \div 13 &= 17.3 \\ &= 18 \text{ 台} \end{aligned}$$

よって、本条件では、A F U - 13 を 18 台用いて設計を行う。このとき、天井面に対する吹出面積比率は 8 % となる。

Copyright © AIRTECH JAPAN, LTD. All Rights Reserved.

【注意】

連絡先は発行当時の情報が記載されています。
最新の連絡先はホームページ等でご確認をお願いします。