

# 建築空間における微生物制御に関する研究（その1）

——人体から発生する細菌の垂直層流式クリーンルーム  
における汚染・拡散範囲についての検討——

岩 波 洋

## Microbiological Control in Building Space (Part 1)

——Examination of Diffusion of Sphere Contaminated by Bacteria from Human Body  
in Vertical Laminar Flow System Clean Room——

Hiroshi Iwanami

### Abstract

This paper describes the results of experiments on the sphere of contamination by bacteria from the human body in a vertical laminar flow system clean room at the research institute of the author's company. The experiments were made with three men and three women in the clean room. The results obtained are summarized as follows: (1) Bacteria from the human body are dispersed mostly from the front with some from the side and the back. (2) The sphere of contamination becomes smaller the higher the wind speed. (3) The relation between the detection rate of bacteria and the distance from the human body can be expressed by the formula  $I_n(Y) = a + b \cdot I_n(x)$ .

### 概 要

この研究は、人体から発生する細菌の垂直層流式クリーンルームにおける汚染・拡散範囲に関し、種々の条件で実験・検討したものである。実験は、当技術研究所の実験用クリーンルームを用い、男女各3名ずつの被験者を対象に実施した。実験の結果、以下のことが明らかとなった。(1) 人体起因の細菌の発生割合は、人体の前部からが多く、側部と後部からは少ない。(2) 細菌の汚染・拡散範囲は、風速が大きいほど狭まる。(3) 細菌の検出率は、人体からの距離が遠いほど小さくなり、この関係は、風速が大きいほど顕著になる。また、これを両対数の近似式で表すことができる。

### 1. はじめに

近年、建築物全般において、微生物制御の必要性が大きく認識され始めた。

その対象施設は、従来から清浄空間として検討されてきた病院の手術室や半導体製造工場、医薬品製造工場に始まり、GMP (Good Manufacturing Practice)化の動きのある食品加工工場、新分野として注目を集めているバイオハザード関連施設などである。また、事務所ビルやホテルなどの一般建築物においても、温湿度だけでなく微生物レベルでの室内環境制御について論議され出した。

当社では、長年、クリーンルームに関する研究を行な

っているが、このような状況下、建築空間における微生物の挙動およびその制御方法についても詳細な検討を行なうこととした。

そこで、手始めにこの研究では、基礎的なデータの収集の意味から、人体から発生する細菌の垂直層流式クリーンルームにおける汚染・拡散範囲に関し、当技術研究所内に建設された実験用クリーンルームを用い、種々の条件で実験・検討することにした。なぜなら、人体から発生する細菌に関しては、過去に数多くの研究が行われてきたが、その多くは細菌量についての検討であり、その汚染・拡散について空間的な広がりについて検討された例はわずかに数えるほどしかないからである。

以下に、その内容について報告する。

## 2. 調査方法

### 2.1. 実験用クリーンルームの概要

実験に使用した当研究所の実験用クリーンルームの概要を表一1および図一1に示す。

### 2.2. 実験方法および条件

実験は、全面垂直層流式クリーンルーム（床はグレーチング）内に図一2に示すように、32枚の培地入りシャーレを並べ、その中央に写真一1および写真一2のように被験者を立たせて行なった。実験条件は、表一2に示すとおりである。

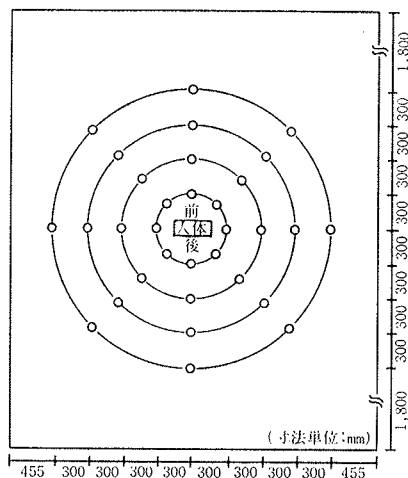
## 3. 実験結果と考察

### 3.1. 人体からの細菌発生の方向性

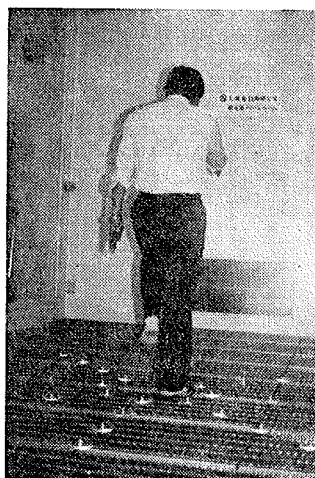
最初に断わっておくが、この実験データは、あくまで

条件	実験①	実験②	実験③	実験④	実験⑤
風速 (換気回数)	0.042m/s 50回/h	0.083m/s 100回/h	0.167m/s 200回/h	0.374m/s 450回/h	0.042m/s 50回/h
被験者	男女各3名				
被験者の服装	平常衣				
被験者の姿勢	足踏み(2歩/s)			直立不動	
試験時間	5分間				
シャーレ	普通寒天培地入り(内径90mm)				
培養条件	37°C 48時間				
細菌の計数方法	培養後、肉眼でコロニーを計数				

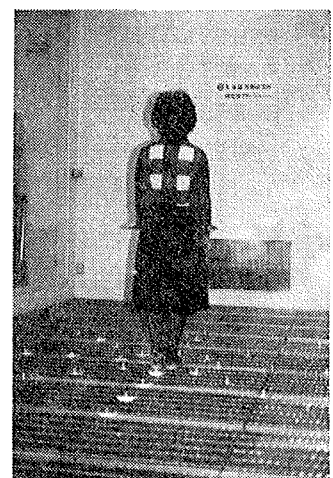
表一2 実験条件



図一2 シャーレの設置位置



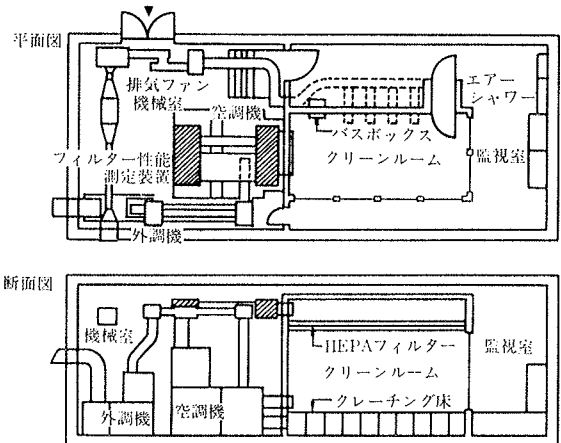
写真一1 実験①～④の様子



写真一2 実験⑤の様子

- I 名称：大林組技術研究所 研究用クリーンルーム
- II 所在地：東京都清瀬市下清4-640 大林組技術研究所内
- III 規模：延面積 113.13m<sup>2</sup>  
クリーンルーム 19.8m<sup>2</sup>(5.995m×3.310m×3.000m)
- IV 構造：主体 鉄骨造平家  
外壁 角波カラー鉄板
- V 構成：クリーンルーム、監視室、機械室
- VI クリーンルームの仕上げ：床下 エポキシ系防塵塗装  
床 フリーアクセスフロア  
壁 軽量鉄骨軸組、化粧石膏ボード  
天井 システム天井(特許出願中)
- VII クリーンルームの仕様：  
清浄度 クラス1~100,000  
換気回数 20回/h~540回/h(吹出風速最大0.45m/s)  
排気量 最大2,400CMH(約40回/h)  
型式 全面垂直層流、水平層流、乱流  
HEPAフィルター 0.1μm 99.99%  
温度 26.0±1.0°C  
湿度 50.0±5.0%  
差圧 室内外差圧±6.0mmAqの範囲で調節可能
- VIII 実験用途：汎用クリーンルーム、超清浄クリーンルーム、  
バイオクリーンルーム

表一1 実験用クリーンルームの概要



図一1 実験用クリーンルームの平面図および断面図

も人体から発生する細菌の床面における汚染・拡散域について相対的に評価したものであり、細菌発生数を絶対量として捕えたものではない。

まず、実験①～⑤のデータをもとに、人体起因の細菌の発生方向性について考察する。実験①～⑤のデータを方向別に集計した値を表-3に示す。

表から明らかなように、細菌の発生割合は、人体の前部からが多く、側部と後部からは少ない。これは、呼吸に伴い被験者の鼻口部分から発生する細菌が多かったためと思われる。

また、この関係は風速が大きいと特に顕著となる。これは、実験用クリーンルームにおいて、風速が大きい時には均一な垂直層流が形成されるのに対し、風速が小さい時には気流の乱れが生じ層流が一部くずれするためと思われる。

### 3.2. 細菌の汚染・拡散範囲

次に、細菌の汚染・拡散範囲について考察する。

図-3～図-7には、実験①～⑤のデータを各実験別にサンプリングポイントごとに集計し表現した。

この実験の場合、細菌の汚染・拡散は被験者（人体）および被験者の運動による気流の乱れに大きく影響されるものと考えられるが、図から明らかなように、細菌の汚染・拡散範囲は、風速が大きいほど狭まっている。

これを具体的に被験者からの距離で表現すると、風速が小さい場合には1,200 mmのポイント（最遠点）でも細菌が検出されるのに対し、風速が大きい場合には600 mmのポイントでも検出される細菌数はほんの

わずかとなる。

### 3.3. 被験者(人体)からの距離と細菌の検出率との関係

前項で判明した事項を、もう少し明確にする目的で、被験者（人体）からの距離と細菌の検出率との関係について、実験①～④の測定データをもとに統計的解析を試

人体に対する方向	実験①	実験②	実験③	実験④	実験⑤	平均値
前部	17.7	23.0	26.5	24.9	21.1	22.7
右前部	22.0	9.0	22.7	35.9	10.5	20.0
左前部	7.1	24.1	17.9	8.8	10.5	13.7
右側部	19.6	1.9	3.2	11.2	5.3	8.2
左側部	2.5	14.2	9.6	3.3	5.3	7.0
後部	11.3	13.7	7.9	2.1	15.7	10.1
右後部	15.2	4.7	6.0	8.3	10.5	8.9
左後部	4.6	9.4	6.2	5.5	21.1	9.4
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表-3 方向別の細菌検出割合  
(各実験別に集計して算出, 単位 ; %)

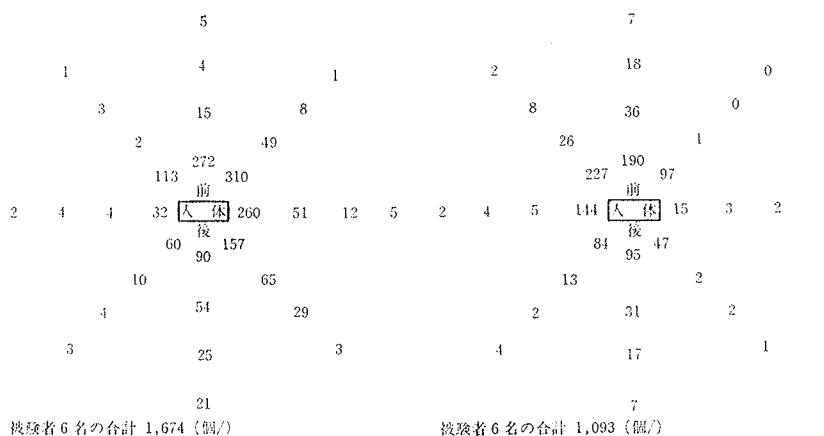


図-3 細菌の汚染・拡散範囲(実験①)

図-4 細菌の汚染・拡散範囲(実験②)

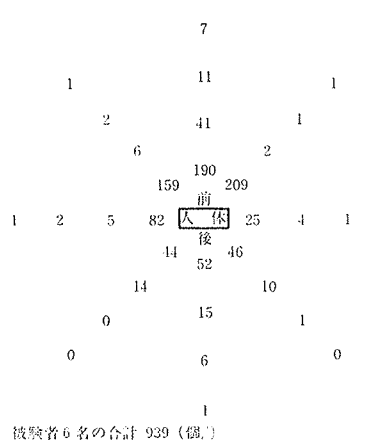


図-5 細菌の汚染・拡散範囲  
(実験③)

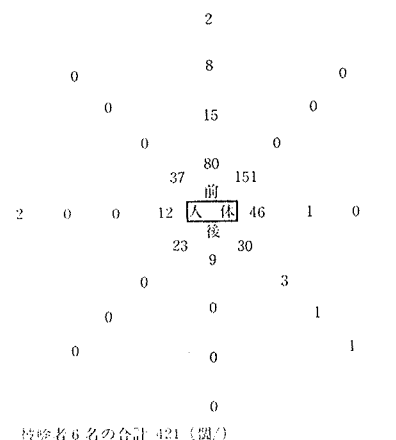


図-6 細菌の汚染・拡散範囲  
(実験④)

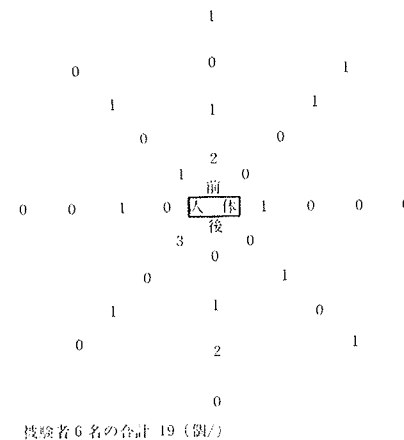


図-7 細菌の汚染・拡散範囲  
(実験⑤)

みた。その結果を図-8～図-11に示す。なお、これらの図は被験者からの距離 300 mm, 600 mm, 900 mm, 1,200 mm の各ポイントのデータを距離別に集計し、各被験者ごとにプロットしたものである。

図から、細菌の検出率は、被験者からの距離が遠いほど小さくなるが、この関係は、風速(換気回数)が大きいくほど顕著である。これを近似式で示すと以下のようになる。

$$\text{LOGe}(Y) = a + b\text{LOGe}(X)$$

ここで、

X: 被験者(人体)からの距離(mm)

Y: 床面における細菌の検出率(%) ……被験者からの距離 300 mm のポイントでの細菌検出率を 100% とする。

a, b: 風速により決まる係数

$$a = \text{LOGe}100 - b\text{LOGe}300$$

- b = -2.5 (風速 0.042 m/s の場合……実験①)
- 2.8 (風速 0.083 m/s の場合……実験②)
- 3.6 (風速 0.167 m/s の場合……実験③)
- 4.0 (風速 0.374 m/s の場合……実験④)

被験者(人体)からの距離と細菌の検出率との関係は理論的説明は別として、ほぼこの近似式で実用上問題がないものと考えている。

例えば、この式から細菌の検出率を求めると図-12のようになり、被験者からの距離 300 mm のポイントでの細菌検出率を 100% とすると、風速 0.042 m/s (換気回数50回/h) の場合の細菌検出率は距離 600 mm のポイントで 17.7%, 距離 1,200 mm のポイントで 3.1% となる。同様に、風速 0.374 m/s (換気回数450回/h) の場合の細菌検出率は、距離 600 mm のポイントで 6.2%, 距離 1,200 mm のポイントで 0.4% となる。

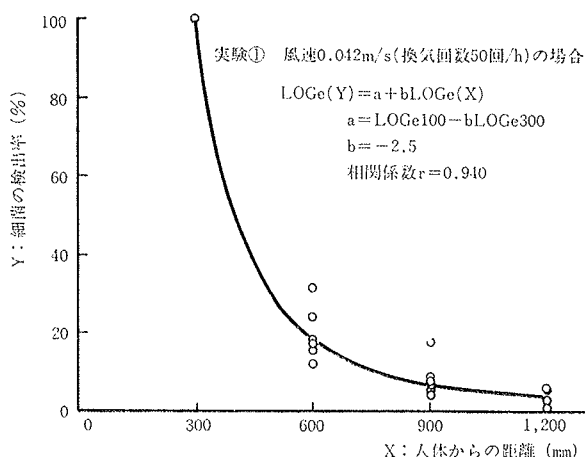


図-8 人体からの距離と細菌の検出率との関係 (実験①の測定データと近似曲線)

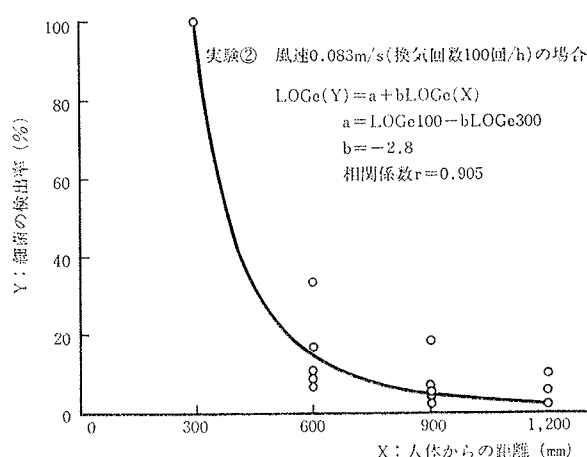


図-9 人体からの距離と細菌の検出率との関係 (実験②の測定データと近似曲線)

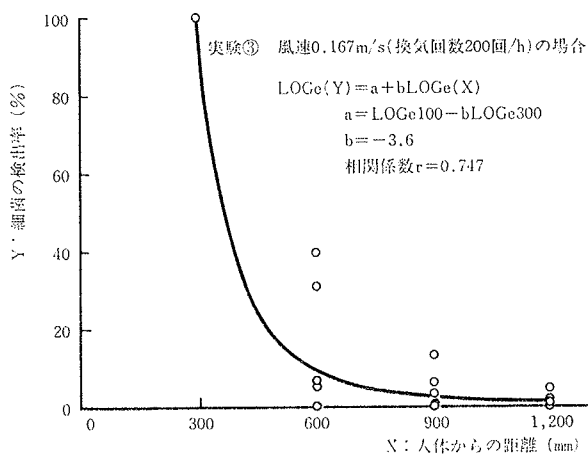


図-10 人体からの距離と細菌の検出率との関係 (実験③の測定データと近似曲線)

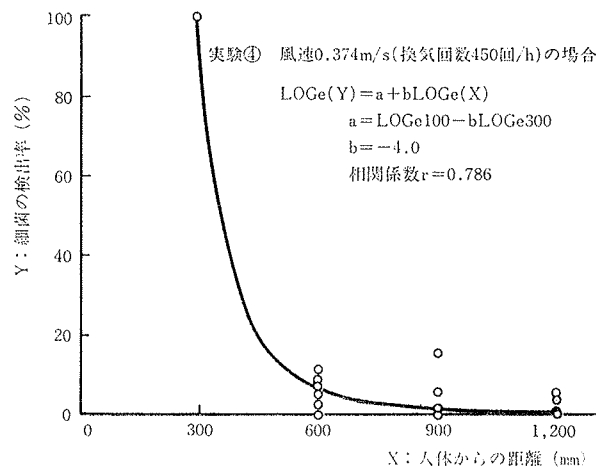


図-11 人体からの距離と細菌の検出率との関係 (実験④の測定データと近似曲線)

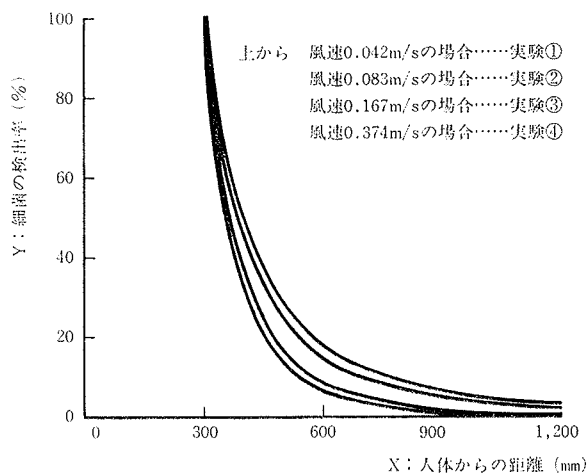
#### 4. おわりに

以上、実験と考察の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 人体起因の細菌の発生割合は、人体の前部からが多く側部と後部からは少ない。
- (2) 細菌の汚染・拡散範囲は風速が大きいほど狭まる。
- (3) 細菌の検出率は人体からの距離が遠いほど小さくなり、この関係は風速が大きいほど顕著になる。また、これを両対数の近似式で表現することができる。

なお、今後は人体の発声による鼻口部分からの細菌の発生・拡散について、実験と検討を行なっていく予定である。

また、この実験手法は、クリーンルームの気流分布の把握方法の一つとしても興味もたれるので、今後、この実験と気流の可視化実験の比較および実験データ間の照合などを行なう予定である。



図—12 人体からの距離と細菌の検出率との関係  
(各実験ごとの近似曲線の比較)