

## 建築空間における微生物制御に関する研究（その2）

——発声に伴い人体口部から放出された細菌の汚染拡散範囲についての検討——

武井克丞 岩波洋

### Microbiological Control in Building Space (Part 2)

——Examination of Distribution of Bacterial Contamination  
from the Mouth Accompanying Phonation——

Yoshitsugu Takei Hiroshi Iwanami

#### Abstract

This paper describes measurements of the distribution of bacterial contamination from the mouth accompanying phonation, which is needed to be known for foodstuff factories, pharmaceuticals factories, medical equipment factories, and hospital operating rooms. Three men and three women were examined in a vertical laminar flow clean room. The results obtained are summarized as follows: (1) Much bacteria are discharged in case of speech, but little in case of breathing. (2) Most bacteria discharged from the mouth settle on the surface of the work table within a radius of 0.5 m from the body of the speaker. (3) The number of bacteria from a mouth covered by a mask is from 3.4 to 6.7 percent of the number without a mask.

#### 概要

食品加工工場、医薬品製造工場、医療用具製造工場、病院手術室などを念頭に、人が発声することにより人体口部から放出された細菌の作業面への汚染拡散に関し検討した。実験は、当技術研究所の研究用クリーンルームを用い、男女各3名ずつの被験者（各実験ごと）を対象に実施した。実験の結果、以下のことが判明した。(1) 作業面へ落下する細菌の多くは、発声に伴うものであり、呼吸によるものは少ない。(2) 作業面へ落下する細菌の汚染拡散は人体のまわり500mm以内に集中している。(3) マスクの着用の効果は大きく、作業面での検出細菌は、無着用時の3.4%～6.7%に減少した。

#### 1. はじめに

食品加工工場、医薬品製造工場、医療用具製造工場および病院手術室などでは、人体から発生した細菌の製品または患者への汚染が重大な関心事である。この細菌汚染に関する研究として、人体からの細菌の発生量についての検討や人体への侵入細菌濃度と感染・発症率の関係についての検討などが種々の関連分野で実施されている。

その詳細は諸先輩の既報の研究に譲ることとし、ここでは前報<sup>1)</sup>に引き続き人体起因の細菌の汚染・拡散の影響に関して基礎的な実験を行なったのでその結果について報告する。

前報では、人の歩行動作によって人体から放出される

細菌の汚染範囲について検討した。この報告では、人が発声することにより人体の口部から放出される細菌の作業面への汚染に関して以下の内容について実験・検討した。

- (1) 呼吸に伴い放出された細菌の作業面への落下分布
- (2) 発声に伴い放出された細菌の作業面への落下分布（無風時）
- (3) マスク着用の効果（無風時）
- (4) 風速の影響

#### 2. 実験概要

##### 2.1. 実験場所

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





写真一 被験者の着衣（マスクを着用しない時）



写真二 被験者の着衣（マスクを着用した時）



写真三 実験①, ③～⑤の様子

## 2.2. 実験条件

本実験の各種実験条件を表一に示す。発声（文章朗読）条件は、発声速度 7～8音節/s、音圧レベル（1 m の地点で）65～70 dB（C特性の単発音平均値）を目標とした。参考に、実験時に測定した音圧レベルの一例を図一に示す。

## 2.3. 実験方法

全面垂直層流式クリーンルーム（床はグレーチング）中央に机を配置し、図一3のように机上に培地を入れたシャーレを65枚並べる。机の前に被験者が着席して文章を5分間朗読する。人が発声することにより、だ液中に含まれる細菌は空気中に放出される。人体から発生した細菌は、落下法で培地上に捕集する。これを所定の培養条件で培養後、培地上のコロニー数を肉眼で計数したものを細菌数とした。被験者がマスクを着用した時と着用しない時の様子を写真一1、写真二に、実験の様子を写真三に示す。

## 3. 発声に伴い放出された細菌の汚染機構の考え方と当実験の限界

呼吸あるいは発声に伴い、だ液中に含まれる細菌は空気中に放出された後、作業面（机上面）に落下する。作業面に落下する細菌はその大きさ（粒径）により2種類に大別できる。一つはだ液と共に直接的（一次的）に作業面に落下する比較的粒径の大きいものであり、もう一つはこのだ液がただちに蒸発して空気中に浮遊し、その後、間接的（二次的）に作業面に落下する比較的粒径の小さいものである。

今回の実験では、このどちらも1個の細菌粒子として扱うことになる。この粒子としての発生細菌の検出数に影響をおよぼすと考えられる要因には、以下のことが考

$D_p$	$V_t$	$D_p$	$V_t$	$D_p$	$V_t$	$D_p$	$V_t$
1	0.003	11	0.36	21	1.33	31	2.89
2	0.012	12	0.43	22	1.46	32	3.08
3	0.03	13	0.51	23	1.59	33	3.28
4	0.05	14	0.59	24	1.73	34	3.48
5	0.08	15	0.68	25	1.88	35	3.68
6	0.11	16	0.77	26	2.03	36	3.90
7	0.15	17	0.87	27	2.19	37	4.12
8	0.19	18	0.98	28	2.36	38	4.34
9	0.24	19	1.09	29	2.53	39	4.53
10	0.30	20	1.20	30	2.71	40	4.81

落下速度  $V_t$  はストークス式による計算値

ただし、粒子の密度を  $1 \text{ g/cm}^3$ 、カニングム補正係数を 1 と仮定

表一3 粒径  $D_p(\mu\text{m})$  と落下速度  $1/t(\text{cm/sec})$  の関係<sup>2)</sup>

えられる。

- ・ 人体口部から発生した細菌の数と大きさ（粒径）  
…… だ液中に含まれる細菌数・発声音節数・音圧レベル
- ・ クリーンルームの風速（換気回数）
- ・ 机上面での気流の状態
- ・ 人体発熱などによる上昇気流

発生した粒径の小さい細菌粒子は空気中で拡散・滞留するので、実験室内の細菌分布が定常状態を得るためには非常に長い時間を要する。今回の実験は非定常状態（清浄空間の創出→5分間の実験）で行なっているので、上記の意味では一次的な汚染は捉えられるが二次的な汚染はその一部しか捉えられないことになる。

これらを整理して、発声による人体からの発生細菌の汚染機構の考え方について考察する。

### 3.1. クリーンルームの風速が 0 m/s（実験①, ②）の場合

クリーンルームの風速が 0 m/s では、人体口部より放出された細菌は自然落下により培地上に捕集される。空

被験者	実験① 0m/s マスク無	実験② 0m/s マスク有	実験③ 0.04m/s マスク無	実験④ 0.13m/s マスク無	実験⑤ 0.37m/s マスク無
ア	77	2	22	82	47
イ	33	2	114	106	151
ウ	79	5	58	54	255
カ	15	1	117	97	241
キ	17	1	11	24	60
ク	145	3	54	65	164
合計	366	14	376	428	918
平均	61.0	2.33	62.7	71.3	153
標準偏差	49.9	1.51	64.7	30.2	87.4

表—4 机上面で検出された細菌数  
(単位：個/シャーレ65枚・5分)

気中に放出された細菌が落下する速度  $V_t$  (落下速度または沈降速度) はその粒径により左右される (細菌の密度を一定と仮定する)。粒径  $D_p$  と落下速度  $V_t$  の関係を表—3 に示す。この実験において机上に到達する (培地上に捕集される) 細菌の落下速度は次式で表わされる。

$$V_t = H/t$$

H: 机上面から被験者の口部までの高さ (50 cm)

t: 測定時間 (5分間)

従って、0.17 cm/s 以上の落下速度をもつ細菌が5分間で机上に到達する (培地上に捕集される)。すなわち、捕集され得る粒径は実験開始直後に放出された細菌粒子で  $8 \mu\text{m}$  以上であり、 $7 \mu\text{m}$  以下の細菌は捕集され得ない。ただし、これには人体発熱による人体周辺の上昇気流を考慮に入れていないので、実際には捕集され得る細菌の粒径はこの値より大きくなると考えられる。

### 3.2. クリーンルームの風速が0 m/s以外 (実験③, ④, ⑤) の場合

人体口部より放出された細菌は、クリーンルームの気流に乗って下降する。気流の方向は机上面で変わるが、細菌の一部はこの気流に追従できず慣性力により机上に衝突する (培地上に捕集される)。この慣性力により培地上に捕集される細菌とそのまま気流に乗って捕集されない細菌の割合は、気流の速度と細菌の粒径に左右される。粒径の大きい細菌は慣性力が大きく、衝突捕集されやすい。

## 4. 結果および考察

### 4.1. 呼吸に伴い放出された細菌の作業面への落下分布

実験結果を表—4 に示す。この実験に先立ち、ブランク試験として、実験①, ③~⑤と同一条件で、発声しない (文章を朗読せずに机前に被験者が着席している) 場合について被験者1名を対象に実験を行なった。実験の結果 (表—5 参照), 検出細菌数は0または1 [個/シ

風速	実験① 0m/s	実験③ 0.04m/s	実験④ 0.13m/s	実験⑤ 0.37m/s
検出細菌数	0	1	0	1

表—5 呼吸に伴い放出された細菌の検出数  
(単位：個/シャーレ65枚・5分)

ャーレ65枚・5分) であった。よって、4.2.以降で人の発声により放出される細菌の挙動について検討するが、その際、呼吸のみにより発生する細菌に関しては上記の理由により無視してよいものとする。

しかしながらこの結果から、呼吸のみにより放出される細菌数が非常に少ないものであると考えるのは早計である。呼吸に伴いかなりの数の細菌が人体口部から放出されるという報告もあり、この実験結果には前記3章で示したように放出された細菌の粒径分布が大きく関与しているものと思われる。

### 4.2. 発声に伴い放出された細菌の作業面への落下分布 (無風時)

実験① (風速 0 m/s) での被験者からの発生細菌の検出数は、表—4 に示したように15 [個/シャーレ65枚・5分] ~145 [個/シャーレ65枚・5分] である。人体口部より 300 mm 以上離れた位置では5 [個/シャーレ・5分・6人] 以上の細菌は検出されない (図—5 参照)。

### 4.3. マスク着用の効果 (無風時)

マスクを着用した状態での細菌数は、マスクを着用しない状態でのその1/15 (6.7%) ~1/29 (3.4%) である (表—4 参照)。マスクの着用は、人体の口部からの細菌発生の抑制に非常に有効であることが確認された。

### 4.4. 風速の影響

実験①, ③~⑤による検出細菌数の平均値および標準偏差を図—4 に示す。クリーンルームの風速を変え、被験者がマスクを着用しない状態では、実験③ (風速0.04 m/s) と実験④ (風速 0.13 m/s) のときは検出細菌数にあまり差がみられない。実験⑤ (風速 0.37 m/s) での検出細菌数はこれらの2倍以上である。

なお、この結果と前記3章で示した事項を考え合わせると、5分間の測定時間でも十分に作業面上に落下し得る  $8 \mu\text{m}$  以上の粒径をもつ細菌粒子と、クリーンルームの風速が 0.13 m/s 以下では気流に乗って作業面に衝突し得ないほど小さい粒径をもつ細菌粒子が存在している可能性を指摘できる。すなわち、発声により人体の口部から発生した細菌の粒径分布は二つのピークをもつ可能性がある。このことは、様々な環境での浮遊細菌の粒径分布を検討した既往の研究結果とも一致している。ただし、作業面での気流の状態が明らかではないので 0.13

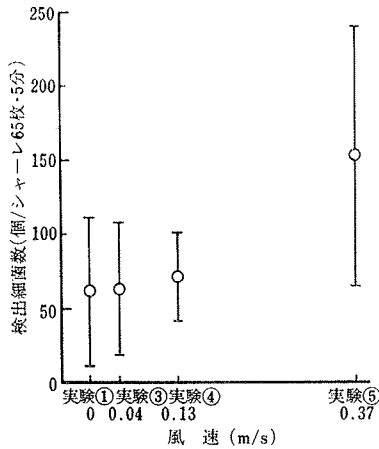


図-4 机上面で検出された細菌数と風速の関係 (平均値と標準偏差)

m/s以下の風速では捕集されない細菌粒子の粒径は求めることができない。

人体口部からの発生細菌の汚染拡散範囲を各実験ごとに集計して図-5～図-8に示す。実験⑤(風速0.37 m/s)では作業面前面(被験者側)より375 mmの位置でも細菌数が5〔個/シャーレ・5分・6人〕を越え、左右300 mm以上の位置では、細菌数が5〔個/シャーレ・5分・6人〕以下である。実験⑤では汚染範囲が作業面(被験者の反対側)へ広がり左右へはあまり広がりがみられない。実験④(風速0.13 m/s)および実験③(風速0.04 m/s)では、作業面より375 mm以上の位置では5〔個/シャーレ・5分・6人〕以下で、左右300 mm以上の位置でも細菌数が5〔個/シャーレ・5分・6人〕を越えるところがあり、汚染範囲は左右に広がりが、奥への広がりはあまりみられない。

### 5. おわりに

人が発生することにより人体の口部から放出される細菌の汚染範囲に関して実験を行なった結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 作業面へ落下する細菌の多くは発声に伴うものであり、呼吸によるものは少ない。
- (2) 作業面へ落下する細菌の汚染拡散は人体のまわり500 mm以内に集中している。
- (3) マスクの着用の効果は大きく、作業面での検出細菌は、無着用時の3.4%~6.7%に減少した。
- (4) 風速の影響に関しては、風速の一番大きい0.37 m/sのとき検出細菌数が極端に多かった以外は、実験結果の微妙な相違に対する明確な理由づけはできなかった。

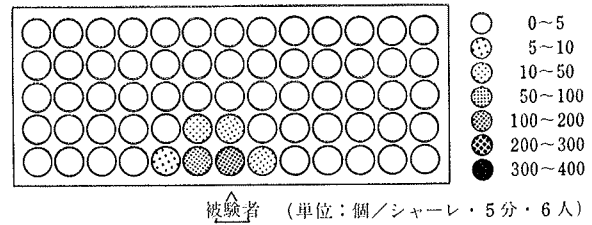


図-5 実験①(風速0 m/s)の汚染拡散範囲

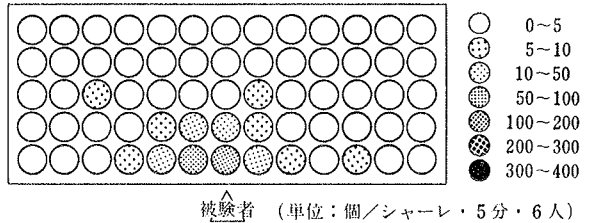


図-6 実験③(風速0.04 m/s)の汚染拡散範囲

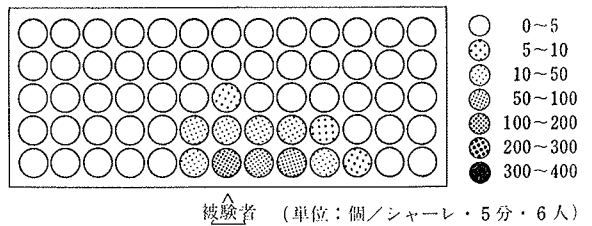


図-7 実験④(風速0.13 m/s)の汚染拡散範囲

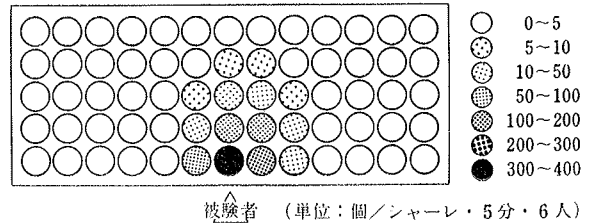


図-8 実験⑤(風速0.37 m/s)の汚染拡散範囲

なお、今後、今回解明できなかった現象について検討するために、「人体口部から放出される細菌の粒径分布」について実験を行なう予定である。

### 参考文献

- 1) 岩波 洋: 建築空間における微生物制御に関する研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 32, (1986), pp. 140~144
- 2) 春田三佐夫, 他編集: 最新食品微生物制御システムデータ集, サイエンスフォーラム, (1983), p. 185