

興行場における衛生的な環境確保のための研究  
映画館内の浮遊微生物量の評価法に関する検討

研究分担者	本間 義規	国立保健医療科学院		統括研究官
研究分担者	島崎 大	国立保健医療科学院	生活環境研究部	上席主任研究官
研究分担者	戸次 加奈江	国立保健医療科学院	生活環境研究部	主任研究官
研究分担者	伊庭 千恵美	京都大学	大学院工学研究科	准教授

研究要旨

落下菌法による興行場（映画館）の浮遊微生物評価法について実際の映画館での実測および  $1\text{m}^3$  当たりの個数濃度への換算方法について理論的な検討を行った。

落下菌法を利用することを前提とすると、準則で定める 5 分間開放では、落下菌を補足することが困難であり、さらに開放時間を延長することが必要であることがわかった。一方で、開放時間に比例した落下菌数にならず、この点に関しては既往研究をトレースする結果となった。

次に、 $1\text{m}^3$  あたりの個数濃度への換算方法を検討した結果、 $10\text{m}$  の天井高さを条件とすると  $1\text{CFU}/\text{m}^3$  あたり  $0.002445\text{CFU}/(5\text{分間}/\text{皿})$  という換算係数を算出することができた。一旦この換算係数が正しいと仮定して、3つの映画館の落下菌数を  $1\text{m}^3$  当たりの個数濃度に換算した結果、同様の空調設備を有している他の用途の建築物の基準値と比較して、超過する部分があることがわかった。

さらに、その超過理由のひとつとして、空中浮遊菌の影響ではなく、エフェクトとして発生するミストもしくは雨等の液滴が培地上に落下していることが示唆された。統計的有意差はないものの 4D 映画館は 2D 映画館より補足される微生物量は多く、こうしたエフェクトについても検査方法も含めて議論することが必要であろう。

A. 研究目的

興行場法第2条、第3条関係基準条例準則（昭和59年4月24日環指発42号、平成27年7月31日健発731第4号一部改正）では、機械換気設備の管理及び空気環境の基準として、空中落下細菌（生菌）数（5分間開放の平板培地培養法）は、（ア）観覧室は、上映（演）直後（開始から10分以内に測定）において、座面で30個以内であること、（イ）場内は営業中において座面で50個以内であること、と定められている。興行場法「第三条 営業者は、興行場について、換気、照明、防湿及び清潔その他入場者の衛生に必要な措置を講じなければならない。2

前項の措置の基準については、都道府県が条例で、これを定める。」となっているため、準則に準じる形で都道府県ごとに条例で空中落下細菌数の試験方法が定められているはずである。しかし、都道府県等自治体が定める条例・規則では浮遊細菌に関する規定はほぼ制定されていない。制定されている東京都では、『興行場の構造設備及び衛生措置の基準等に関する条例施行規則』（昭和59年9月29日規則第156号、令和2年12月15日施行）の第8条三において「平板培養法による落下細菌は、三十個以下であること。」とあるが、培地の開放時間の定めがない。

浮遊微生物の測定法は、準則で定めている落下法は培地を一定時間開放させるKoch法のほか、ステンレス鋼板法を用いて好気性培養のほか嫌気性培養を行うNASA法がある。そのほか、スリット法やピンホール法、多孔板法など固形培地に衝突させるエアサンプラー法や、液体培地を用いるインピンジャー法、そのほかメンブレンフィルタ法などのサンプリング法もある<sup>1)</sup>が、落下法に比べ、高価な専用測定器具が必要となるため一般の試験法として定めるのはハードルが高い。空中落下細菌法は食品衛生系（例えば弁当及びそうざいの衛生規範について、昭和54年6月29日、環食第161号）等でも規定されている。

いずれにしても「取り扱いが簡便」で「コストがかからない」などのメリットにより測定法として採用されているが、測定誤差が大きいことはかなり古くから多数指摘されている<sup>2)~5)</sup>。一方、空気力学に基づく運動方程式（ストークス域：層流域）から導かれる解を用いて浮遊真菌濃度から落下菌量を算出する方法も30年以上前に提案されている<sup>6)</sup>。しかし、この方法も培地の直上空間のみからの浮遊微粒子沈降を対象としているため、水平方向の移流成分が生じる空間では、均質な濃度を仮定すれば成立するが濃度むらが存在すればその仮定が成立しなくなる。

空調設備や換気量制御等も大きく変わってきていること、映画館も4D上映なども行われるようになってきている現状を踏まえると、改めて測定法や基準のあり方を再検討する時期にきているともいえる。

本研究では、昨年度に引き続き、現在の映画館の落下菌の実態を明らかにするとともに、落下菌法の問題点について既往の研究に基づいて整理することを目的とする。

## B. 研究方法

まず、浮遊微粒子の映画館内の重力沈降について、ストークスの法則からコロニー平均密度と培

地開放時間を算出してみる。そして、その知見を参考にしながら、3つの映画館の落下菌の実測結果についてその結果を報告する。

## C. 研究結果

### C1. コロニー密度を用いた浮遊真菌・細菌濃度の換算式の導出

微粒子の空気中の運動状態は、微粒子の運動方程式及び拡散方程式を解くことで予測できることはよく知られており、レイノルズ数が2以下のときの微粒子終端速度は(1)式で与えられる。

$$u_t = \frac{d^2(\rho_s - \rho_{air})g}{18\mu_{air}} \quad (1)$$

但し、 $u_t$ :微粒子終端速度(cm/s)、 $d$ :空気動力学径( $\mu\text{m}$ )、 $\rho_s$ :微粒子密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )、 $\rho_{air}$ : 空気密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )、 $g$ :重力加速度( $\text{cm}/\text{s}^2$ )、 $\mu_{air}$ : 空気粘性係数( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )

微粒子の空気動力学径( $\mu\text{m}$ )と終端沈降速度の関係を図1に示す。

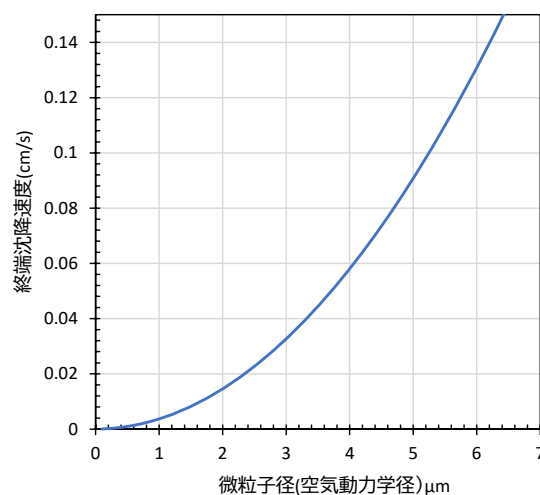


図1 微粒子径と終端沈降速度

浮遊真菌・細菌が、この終端沈降速度(cm/s)でどの高さ位置から落ちてくるかが重要である。例えば、培地上10cmからなのか、10m上からなのかによってカウント結果が変わってきてしまう。しかし、均等拡散を前提とすると、どの高さ位置に

あるのかは全て同じ確率である。また、異なるベクトル方向からの流入も想定されるが、均等拡散を前提とすれば、z 軸と直行する要素は無視できる。従って培地上 z 軸方向(空間高さ 10m を仮定)に 90mm シャーレ円筒形の空間を想定する。その上で、各高さ位置からの等確率で微粒子が落下する時間を積分し、長さ平均した落下時間を微粒子径の関数として算出する (図 2)。

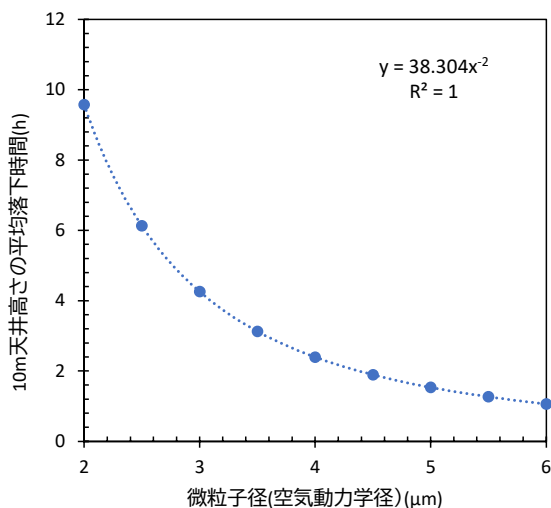


図 2 微粒子径と高さ 10m 範囲の平均落下時間

浮遊微粒子(真菌・細菌)の微粒子径は特定できないので、ここでは仮に 2~6 μm とする。単位時間のシャーレ開放によって培地上に落ちる確率は、平均落下時間の逆数になるので、2~6 μm の範囲で積分しその平均値を求めればよい。以上のプロセスで 5 分間開放時間での浮遊微粒子濃度との換算値を求めると (2) のようになる。

$$0.002445(\text{CFU}/5 \text{ 分})/(\text{CFU}/\text{m}^3) \quad (2)$$

日本建築学会：微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準・同解説<sup>7)</sup>では、学校の真菌は浮遊菌 2000CFU/m<sup>3</sup> 以下、落下菌 10(CFU/(5 分・皿))以下、(0.005(CFU/5 分/皿)/(CFU/m<sup>3</sup>))以下、細菌については 10000 CFU/m<sup>3</sup> 以下落下菌 10(CFU/(5 分・皿))以下 (0.001(CFU/5 分/皿)/(CFU/m<sup>3</sup>))以下) となり、オーダー的には同等になる。

## C2. 3 映画館の落下真菌・細菌の測定結果

令和 4 年 11 月 21 日、令和 4 年 11 月 25 日および令和 4 年 11 月 29 日に A、B、C の 3 か所の映画館劇場内で落下真菌・細菌をサンプリングした。

各々の映画館では、4D 上映を 5 演目 (1 つの劇場に固定)、2D 上映 3 演目 (3 演目とも異なる劇場) の 8 回測定の測定を行っている。

4D、2D 劇場ともに、客席の座面上に DG18 培地および SCD 培地を 5 枚ずつ設置し、上映開始からの経過時間 5 水準 (5 分、10 分、30 分、60 分、90 分) で蓋を占めていく方法でサンプリングを行った。90 分を上限としたのは、1 演目の最大時間からの想定であり、測定場所等の課題がなければ別の対応 (例えば、上映開始から最終演目終了時まで) という暴露時間でも構わない。なお、4D 劇場に関しては、エフェクトにより座席が震動するため、粘着性テープを裏面に貼り付けて簡易固定している。

培養結果を図 3~5 に示す。A 映画館の 4D 上映では、時間に比例しておらず、DG18 (真菌) では 0~5CFU、SCD (細菌) では 0~7CFU の範囲に散らばった。1 上映当たりの 5 分間暴露換算にすると、4D\_DG18 で 1.078CFU/ (5 分)、4D\_SCD では 2.667CFU/(5 分) となった。一方、2D 上映に関しては DG18 については 0~2CFU、SCD については 0~5CFU で、5 分間暴露平均にすると、DG18 で 0.204CFU/(5 分)、SCD で 0.954CFU/(5 分) となった。同様な手順で B、C 映画館も算出した結果を表 1 に示す。

4D および 2D で 5 分間暴露当たり 1 皿あたりのコロニー数で比較すると、C 映画館の落下細菌で 4D と 2D で有意差を確認できた (F 検定のあと対応のない 2 標本の t 検定を実施)。

表 2 に、0.002445(CFU/5 分)/(CFU/m<sup>3</sup>) を用いて CFU/m<sup>3</sup> 単位に換算した値を示す。

表1 上映方式毎の5分あたりコロニー数

		4D	2D	p-value
A	DG18	0.2156	0.0407	p=0.161
	SCD	0.5333	0.1907	p=0.072
B	DG18	0.0156	0.0241	p=0.531
	SCD	0.2267	0.1463	p=0.393
C	DG18	0.0989	0.1241	p=0.746
	SCD	1.76	0.1074	p=0.0001

表2 表1を0.002445(CFU/(5分))/CFU/m<sup>3</sup>で1m<sup>3</sup>当たりのコロニー数に換算

		4D (CFU/m <sup>3</sup> )	2D (CFU/m <sup>3</sup> )
A	DG18	88	17
	SCD	218	78
B	DG18	6	10
	SCD	93	60
C	DG18	40	51
	SCD	720	44

#### D. 考察

表2で推定したコロニー数が全て空气中に浮遊している微生物(真菌・細菌)が落下したものとすると、空調設備を利用している建物用途の代表的なものとして事務所の日本建築学会規準<sup>7)</sup>の維持管理規準(細菌 500CFU/m<sup>3</sup>以下、真菌 50CFU/m<sup>3</sup>以下)と比較すると、真菌に関してはA映画館4D、C映画館2Dが、細菌に関してはC映画館4Dがこれらの基準値を超える結果となった。事務所と比較することの妥当性は検討の余地を残しているものの、全体として4D映画館が同じ建物の2D映画館よりも汚染度が高い点は否めない。

写真1にSCD培養結果の画像を示す。これはB映画館のSCDの培養結果であるが、一直線上にコロニーが配置されているように見える。写真2はC映画館のSCDの画像である。基本的にコロニーは1つずつになるが、この画像では、1つのコロニーが花火上に細かく飛散している様子が伺

える。4D映画館はエフェクトとして水噴霧(ミスト、雨)が行われる。自然落下したように見えないこれらの結果は、液滴エフェクトで生じたものではないかと考えている。

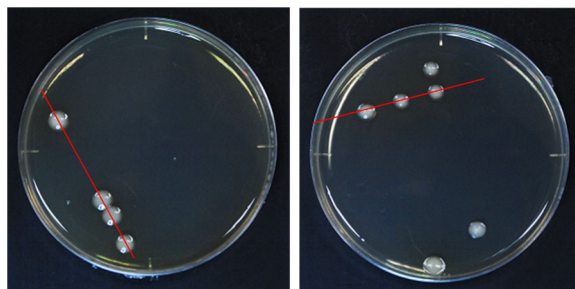


写真1 一直線上に配置されたようなコロニー

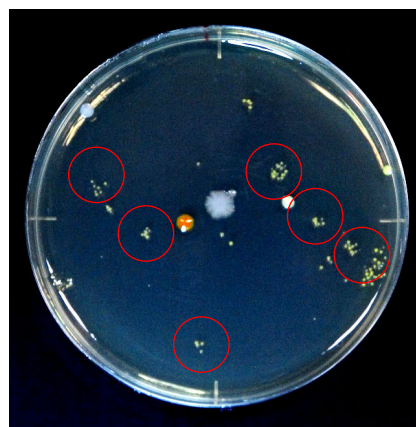


写真2 花火状に飛散したコロニー

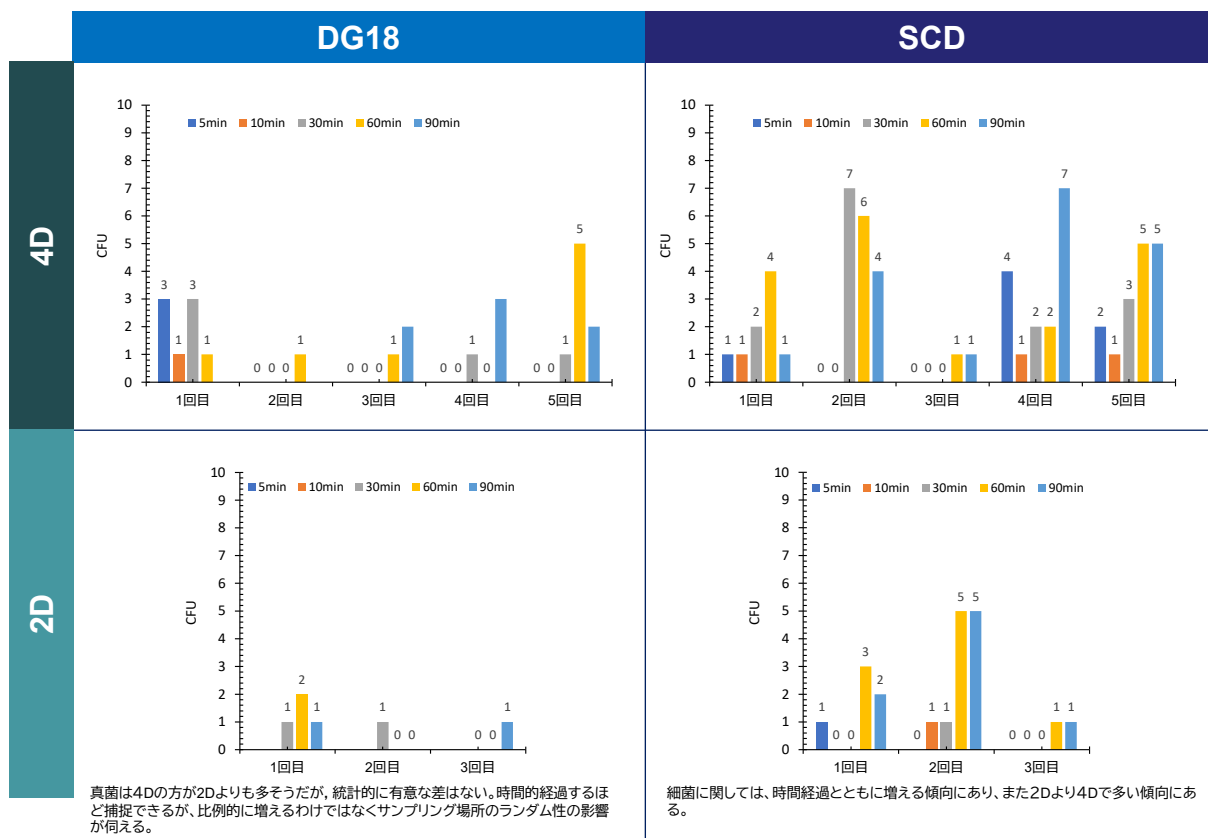


図3 A 映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果

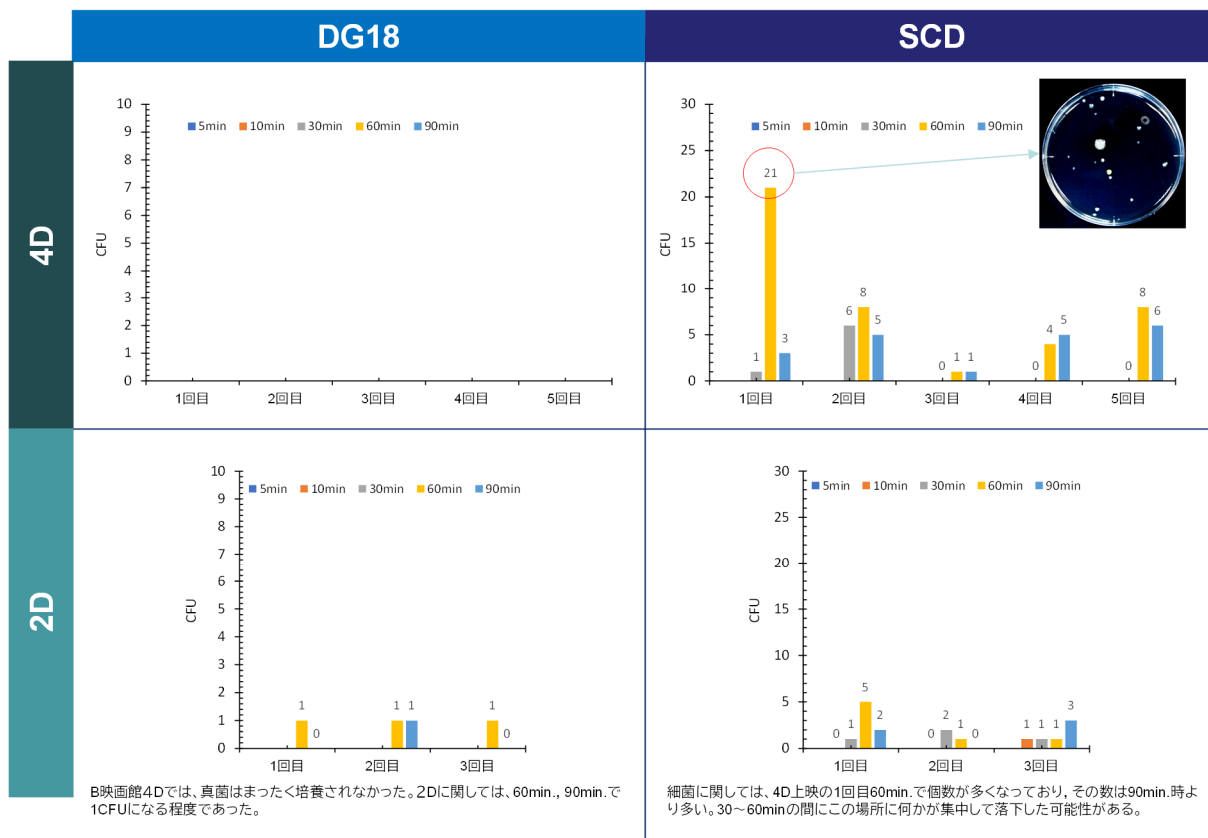


図4 B 映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果

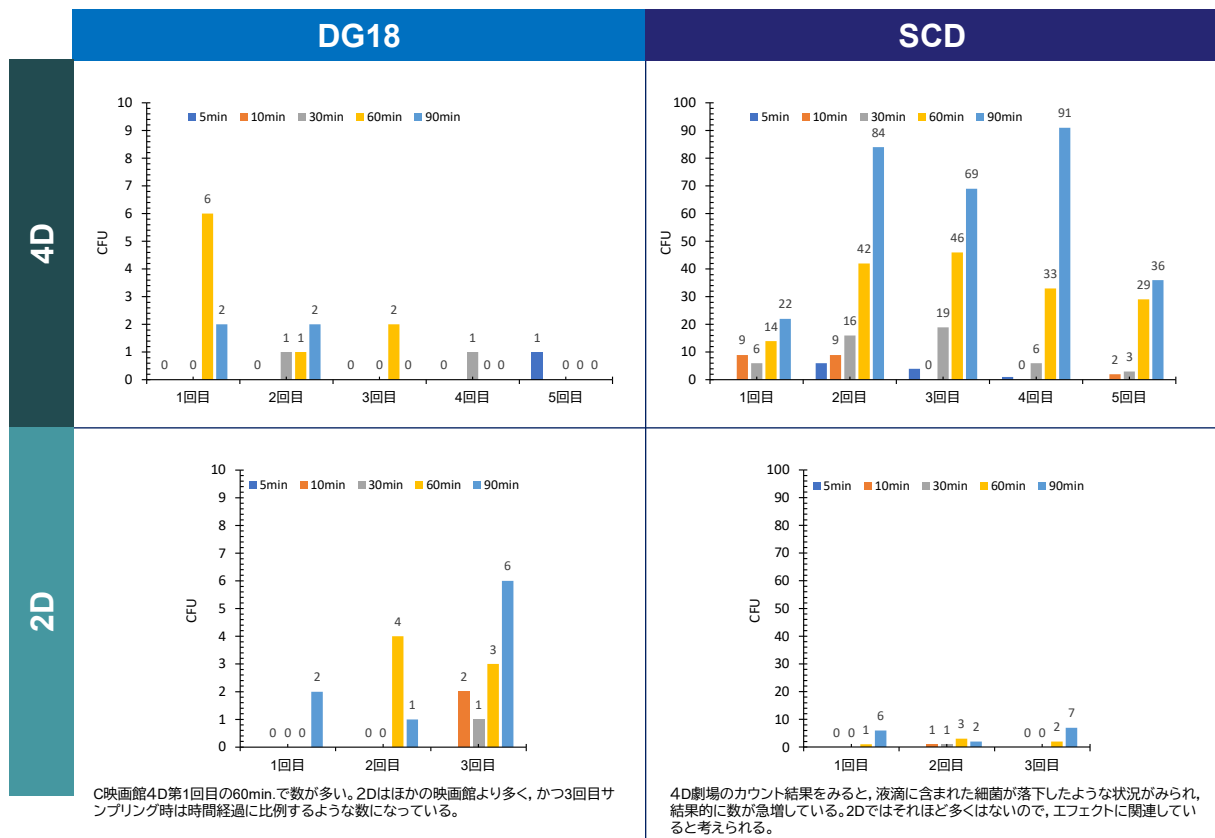


図5 C映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果

## E. 結論

興行場法第2条、第3条関係基準条例準則に定められた落下菌法による浮遊微生物評価法について検討を行った。単純に5分間開放の結果だけから判断すれば、コロニー数の最大値は6であるので、すべての映画館で基準を満たしている結果となった。

しかし、開放時間を10分、30分、60分、90分を加えて5水準で評価すると、比例関係にはないものの、5分間開放では補足できなかった落下微生物を補足することができた。

次に、映画館内の浮遊微生物濃度が均等拡散であると仮定し、5分開放の落下菌数から $1\text{m}^3$ 当たりの個数濃度に換算する方法について検討した。

一方、一旦この換算係数が正しいと仮定して、3つの映画館の落下菌数を $1\text{m}^3$ 当たりの個数濃度に換算すると、その数値は、事務所（空調設備が設置され、外部に対して窓開放のない建物）の基準値を超える場合もあることが推定された。

さらに、培養画像から単純な落下菌ではなく、もっと落下速度の速い液滴が培地上に落ちたような形跡も確認できた。これは空中浮遊菌の評価とは異なる要素である。液滴を発生させるエフェクトについても、検査方法も含めて議論することが必要であろう。

最後に、既往研究からは落下菌法の問題点が多数指摘されているが、本研究ではその問題点を含めて判断するため、あえて落下菌法の検討を行った。現状の準則が妥当かどうかはまだ判断できないが、少なくとも改善点と換算方法を導き出す可能性は示すことができた。今後の準則でこの方法をどのように改善すべきか、それとも全く別の方法で評価すべきか等についても今後も引き続き検討する必要があるだろう。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

- 1) 本間義規, 開原典子, 柳宇, 林基哉, 菊田弘輝, 島崎大, 戸次加奈恵, 伊庭千恵美. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態その5 映画館内における浮遊微粒子の空間挙動把握. 第81回日本公衆衛生学会総会;2022.10.7-9; 甲府(ハイブリッド形式). 日本公衆衛生雑誌. 2022;69(10 特別付録):441.

## G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

## <参考文献・引用文献>

- 1) 山崎省二:環境の微生物測定法と問題点, エアロゾル研究 13(1), 13-19,1998
- 2) 南部昌生・斎藤和恵: 空中細菌の計測, 寒天培地落下菌法の問題点, 医器学, Vol.58, No.3 (1998)
- 3) 麻生典昭・吉澤晋・北谷充由: 落下菌法による空中菌測定の問題点, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 659-660, 1991
- 4) 柳宇, 高鳥浩介, 狩野文雄, 横地明, 青山敏信, 池田耕一, 木ノ本雅通, 三上壮介, 山崎省二, クリーンルームの微生物汚染評価ー最終報告, 第26回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 248-51, 2008.
- 5) 日本防菌防黴学会: 防菌防黴ハンドブック, 724-734, 技法堂出版, 1986
- 6) 吉沢晋・菅原文子: 建築空間における空中浮遊微粒子の評価方法に関する研究(第5報), 空中浮遊粒子濃度と落下量の関係, 日本建築学会計画系論文報告集第391号, 32-38, 昭和63年9月
- 7) 日本建築学会環境基準 AIJES-A0002-2013 微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説, 丸善, 2013

