

興行場における衛生的な環境確保のための研究  
夏期における映画館観覧場の落下菌調査とその分析

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
研究代表者	開原 典子	国立保健医療科学院	生活環境研究部	上席主任研究官

研究要旨

落下菌法による観覧場の浮遊微生物評価法について冬期及び夏期の実測を行った。また 1m<sup>3</sup> 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い、エアサンプラー法との簡易的な比較を行った。そしてミスト、煙、風、座席振動など様々なエフェクトが実施される 4D 観覧場と一般の 2D 観覧場との間で落下菌の差が生じているかどうかについて統計的検討を行った。

まず、1m<sup>3</sup> あたりの個数濃度への換算方法を従来の空気運動方程式に基づき検討し、10m の天井高さを条件とした換算係数として 0.002445 CFU/(5 分間/皿)/(CFU/m<sup>3</sup>) を導出した。

冬期・夏期の 2 シーズンの実測データの統計分析の結果、夏期に 4D 観覧場の細菌数が 2D 観覧場の細菌数よりも有意に多いという結果が示された。一方、落下真菌については有意差が認められなかった。5%有意差が認められなかったものも p 値は小さい傾向にあり、4D 観覧場と 2D 観覧場との間には落下菌数に関して差があることが示された。また、4D の落下細菌数が多い理由として、主に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。

A. 研究目的

興行場法第2条、第3条関係基準条例準則では、機械換気設備の管理及び空気環境の基準を図1のように定めている。

建築物衛生法には浮遊微生物の規定はないが、食品衛生分野、学校、化粧品工場等では落下菌基準が存在する。例えば弁当及びそぎの衛生規範について（昭和54年6月29日、環食第161号）<sup>1)</sup> では、製造場内の各作業区域において落下細菌数（生菌数）、落下真菌数（カビ及び酵母の生菌数）の定めがある。この基準に照らすと観覧室は清潔作業区域（微生物を殺菌あるいは除去した後の製品を扱う区域）、場内は準清潔作業区域（汚染微生物を殺菌あるいは除去するために加熱調理を行う区域）

に相当する。

本研究の目的は3つある。第1に落下菌法とエアサンプラー法の理論的比較と映画館・観覧場を対象とした両者の換算係数の算出である。落下菌法は「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。これまでの空気力学に基づく検討では、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という仮定があることには注意を要する。

第2に準則に定められている落下細菌（生菌）数の意味を解釈すること、すなわち、どのレベル

の清浄度を期待しているのか（していたのか）を理解した上で、食品加工工場、学校、化粧品工場等で示されている落下菌或いはエアサンプリングによる細菌個数濃度等との比較を行うことである。

第3に、夏期・冬期の映画館内の実測結果と既存基準とを比較し、統計的有意差の有無を検討する。

II 入場者の衛生に必要な措置基準（法第3条第2項関係）  
 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次の基準（以下「措置基準」という。）により講じなければならない。  
 （機械換気設備の管理及び空気環境の基準）  
 3 機械換気設備の管理及び空気環境の基準は、次の各号によること。  
 (2) 空気環境の基準は、次の各号であること。  
 空中落下細菌（生菌）数（5分間開放の平板培地培養法）  
（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

図1 空気環境基準・空中落下細菌(生菌)数

## B. 研究方法

映画館の落下菌数実測をもとに微生物汚染状況とその評価法を検討することが本研究の目的である。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、映画館・観覧場を対象とした落下菌法とエアサンプラー法の換算係数を導出する。その上で、日本建築学会環境基準 AIJES-A0002-2013<sup>2)</sup>を参照しながら、事務所、学校、住宅、病院、高齢者福祉施設、食品工場、化粧品工場、医薬品工場の微生物による室内空気汚染に関する設計および維持管理基準の提案値と適時比較しながら基準値及び実測結果を評価する。

そして3映画館の冬期（11月）、夏期（8、9月）の落下菌実測結果について、統計分析を行う。

## 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( $\mu m$ ),  $\rho_s$ :微粒子密度 ( $g/cm^3$ ),  $\rho_{air}$ : 空気密度( $g/cm^3$ ),  $g$ :重力加速度( $cm/s^2$ ),  $\mu_{air}$ : 空気粘性係数(Pa · s)

微粒子の空気動力学径( $\mu m$ )と終端沈降速度の関係を図2に示す。

浮遊真菌・細菌が、この終端沈降速度(cm/s)での高さ位置から落ちてくるかが重要である。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、 $z$ 軸と直交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3）。

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 $2\sim 6\mu m$ 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、 $2\sim 6\mu m$ 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。

$$0.002445(CFU/5分 \cdot 皿)/(CFU/m^3) \quad (2)$$

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>2)</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)と示されており、空間ボリューム・天井高さを換算するとオーダー的に同等である。

## C2. AIJESに基づく落下菌個数の推定

日本建築学会環境基準における学校の落下菌基準は、細菌10 CFU/(5分・皿)である(しかし2009年4月1日から学校環境衛生の基準からは除外されており、給食室、水質のみ細菌の規定がある)。学校に関しては標準的な教室寸法及び児童数が推定できるため、浮遊菌濃度に換算することができるが、一般には室用途に応じて微生物発生源および発生量が異なるので単純比較はできない。

学校に関しては、エアサンプラーによる浮遊微生物濃度と落下菌数より次の換算係数を得ることができる。すなわち、真菌 0.005(CFU/5分/皿)/(CFU/m<sup>3</sup>)、及び細菌 0.001(CFU/5分/皿)/(CFU/m<sup>3</sup>)である。学校教室の天井高さ等は事務所、高齢者施設等とはほぼ同様と仮定すると、この換算係数を使って凡その目安を得ることは可能である。

表1 用途別微生物濃度AIJ維持管理基準提案値<sup>2)</sup>と換算値<sup>\*1</sup>

	浮遊菌濃度 (CFU/m <sup>3</sup> )	落下菌個数 (CFU/(5分・皿))
学校(真菌)	2000	10 <sup>**2</sup>
学校(細菌)	10000	10 <sup>**2</sup>
事務所(真菌)	50	0.25†
事務所(細菌)	500	0.5†
高齢者施設 (真菌)	500	2.5†
高齢者施設 (細菌)	500	0.5†

※1 AIJ提案値を換算したものに†を付す。

※2 学科環境衛生基準に記載があったが、2009年から除外。

### C2.3. 映画館の落下真菌・細菌の測定結果

東京都内2箇所、千葉県内1か所の3か所の映画館で実測を行った。冬期測定は令和4年度、夏

期測定は令和5年度に実施している。冬期測定は、4D上映を5演目(1つの劇場に固定)、2D上映3演目(3演目とも異なる観覧場)の8回測定の測定を行っている(表2)。

4D、2D観覧場ともに、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る。なお、4D観覧場については、エフェクトにより座席が震動するため、粘性テープを裏面に貼り付けて簡易固定している。現場での測定のため、サンプリング終了後、即座に培養することができない。そのため、公共交通機関の移動時など可能な限り低温保存し、科学院のインキュベーターにてDG18は25℃5日間、SCDは32℃2日間培養し、コロニー数をカウントした。冬期は移動車内中の暖房が、夏期は外気温の影響が大きいことから各段の注意を払っている。

冬期の実測結果を図4~6に示す。またA、B、C映画館の5分あたり1皿の落下菌数を算出した結果を表3に示す。また、(2)式を使い1m<sup>3</sup>当たりのコロニー数に換算した値を表4に示す。4D観覧場及び2D観覧場とで5分間暴露当たり1皿当たりのコロニー数で比較すると、A映画館の落下細菌で4Dと2Dで有意差を確認できた(t検定)。

表2 各映画館の4D、2Dの実測日と各演目数

	実測日	4D	2D
A映画館	R4/11/25	5 <sup>**</sup>	3
	R5/8/23	3 <sup>**</sup>	4
B映画館	R4/11/29	5 <sup>**</sup>	3
	R5/9/23	5 <sup>**</sup>	3
C映画館	R5/11/23	5 <sup>**</sup>	3
	R5/9/29	5 <sup>**</sup>	3

※4D観覧場は各映画館とも一観覧場のみ。2Dに関しては異なる観覧場で測定。

表3 5分・1皿あたり落下菌数結果(CFU/(5分/皿))(冬期)

		4D	2D	p 値
A	真菌	0.0989	0.1241	0.746
	細菌	1.76	0.1074	0.0001
B	真菌	0.2156	0.0407	0.161
	細菌	0.5333	0.1907	0.072
C	真菌	0.0156	0.0241	0.531
	細菌	0.2267	0.1463	0.393

表4 A,B,C 映画館の換算後落下菌数(冬期)

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

夏期測定については、令和5年8月から9月にかけて実施した。各々の映画館では、冬期同様に4D上映と2D上映を合わせて7或いは8演目について実測しているが、A映画館では、冬期と若干演目数の比率が異なること、また3映画館との間でみると、8月と9月とでは上映演目が異なるため、両者の数は同一ではない(表2)。また、3館合わせて14種類の映画を対象に全23演目の測定を実施しているが、このうち6種類は同じ演目を複数回(2或いは3回)測定している。

培養結果を図7~18に示す。A映画館の落下細菌数は概ね5個以下と少ないが(図7、8)、4D(1210-1430上映回)は90分測定時のみ49個の落下菌数となっており、エフェクトにより粒径の比較的大きな物質が落下したことが原因と考えられる。またA映画館の真菌落下数は5~90分で2~4個であり(図9、10)、こちらも少ない。細菌、真菌とも時間比例していない。F検定、t検定を行った結果、4Dと2Dとの間に有意差は見られなかった。

図11、図12はB映画館(4D,2D)の落下細菌個数の時系列グラフである。B映画館4D上映は時間経過につれ個数が増えていることが確認でき、特に1155-1410の上映回は落下細菌個数が多い

(90分時126個)。1940-2155の上映回も同一演目であるが、落下細菌個数は2番目に高い(しかし、90分時54個であり、1155-1410上映回の約43%)。エフェクト自体が他の4D演目と比べ多いこと、また日中上演時の方が、観客数が多いことが原因と考えられる。さらに2Dの落下細菌個数も漸増傾向がみられることが他の映画館と異なる特徴である。

図13、図14はB映画館の落下真菌個数の時系列グラフである。個数自体は最大10個(90分、4D1940-2155の上映回)であるが、時間経過とともに増加する状態が確認できる。空調時には気流の影響を受けるため、測定場所により偏分布が生じる可能性があるが、空調停止時に均等拡散していた浮遊真菌が落下してきた場合も同様の結果になることが想定される。今回は一般観客がいる中での実測のため、気流状態のモニタリングは行えなかったが、もし測定できているならばこの点の考察は可能であろう。

図15、16はC映画館4D、2Dの落下細菌個数の時系列グラフである。図15より4D(1125-1340上映回)は、30分時測定培地のカウント数88、60分時測定培地カウント数89、90分時測定培地カウント数66となっており、また、1405-1600上映の回も60分時測定培地カウント数102となっている。これら以外の落下細菌数は少ないことから、上映演目のエフェクトの差、観客数の違いの影響であると推測できる。図17、18にC映画館4D、2Dの落下真菌個数の時系列グラフを示す。菌数は0~5個の範囲であるが、4Dのほうが多い印象である。特に4D(1125-1340上映回)、4D(1405-1600上映回)が多い印象であるが、4D(1625-1850上映回)も単純平均では多い。

以上の測定結果から、同一映画館における4D観覧場と2D観覧場との差異を検討する。落下菌データは細菌・真菌ともに上映回毎に5点(シャレ開放時間5、10、30、60、90分)あるが、これらのデータをそのままt検定することはできない。浮遊微粒子の均質な空間分布を仮定すれば、単位

時間データに調整できるので（この調整を暴露時間調整済落下菌数と呼ぶ）、曝露時間調整済落下菌数を用いて F 検定及び t 検定を実施した。結果を表 5～7 に示す。

t 検定の結果、B 映画館の細菌は 4D、2D との間に有意水準 5% で有意差が確認された。C 映画館については有意水準 5% を少し超えているけれども差が認められる。真菌 (DG18) については A、B、C とも有意差は認められなかった。この結果より、細菌については真菌に比べるとエフェクト或いは空気調和設備、気積等何某かの影響を受けていることが推定される。

次に異なる 3 つの映画館の暴露時間調整済落下真菌・細菌個数を多重比較 (Steel-Dwass 法) にて検定を行った。その結果、4D・真菌に関しては A (0.120 CFU/(5 分・皿)、以下単位省略)、B (0.390) 間及び B (0.390)、C (0.122) 間において有意水準 5% で差が認められた。A (0.120)、C (0.122) には有意差が認められなかった。2D・真菌に関しては A (0.104)、B (0.389)、C (0.107) 間で有意差は認められなかった。

4D・細菌に関しては A (0.472) と B (2.932) との間で有意水準 1% の差がみられた。A、C (2.036) 間、B、C 間ともに有意差は求められなかった。2D・細菌に関しては A (0.219)、B (0.948)、C (0.591) 間で有意差は認められなかった。

なお、これらの値はいずれも準則に定められている観覧室の値 (上映開始後 10 分以内の測定、シャープ 5 分間開放時の落下菌 (生菌) 数 30) と比較すると、1/10～1/100 のオーダーで小さいことがわかる。また、この落下菌数を昨年度検討した係数  $0.002445(\text{CFU}/(5 \text{ 分間} \cdot \text{皿})) / (\text{CFU}/\text{m}^3)$  で換算した結果を表 8 に示す。真菌については、AIJES 事務所維持管理基準 ( $50\text{CFU}/\text{m}^3$ ) と比較すると、B 映画館 4D、2D とも基準値を超えるが、高齢者施設、学校の基準値は超えていない。因みに A 映画館 4D、2D、C 映画館 4D、2D の暴露時間調整済落下真菌数とも事務所基準値 ( $50\text{CFU}/\text{m}^3$ ) にほぼ近い値となっている。細菌に関しては B 映画館 4D、C 映画館 4D については事務所基準値 ( $500\text{CFU}/\text{m}^3$ ) を超えているが、A

映画館 4D、2D、B 映画館 2D、C 映画館 2D は事務所基準値以内に収まる結果となった。

表 5 A 映画館における 4D、2D の落下菌個数の平均値の差の検定結果 (夏期)

真菌 (DG18)		
平均(CFU/5 分・皿)	4D	2D
	0.120	0.104
p 値	0.841	
細菌 (SCD)		
平均(CFU/5 分・皿)	4D	2D
	0.472	0.219
p 値	0.238	

表 6 B 映画館における 4D、2D の落下菌個数の平均値の差の検定結果 (夏期)

真菌 (DG18)		
平均(CFU/5 分・皿)	4D	2D
	0.390	0.389
p 値	0.995	
細菌 (SCD)		
平均(CFU/5 分・皿)	4D	2D
	2.932	0.948
p 値	0.035*	

表 7 C 映画館における 4D、2D の落下菌個数の平均値の差の検定結果 (夏期)

真菌 (DG18)		
平均(CFU/5 分・皿)	4D	2D
	0.122	0.107
p 値	0.851	
細菌 (SCD)		
平均(CFU/5 分・皿)	4D	2D
	2.036	0.591
p 値	0.056	

表 8 浮遊真菌・細菌濃度 (CFU/m<sup>3</sup>) への換算

	浮遊真菌濃度 (CFU/m <sup>3</sup> )	
	4D	2D
A 映画館	49.1	42.5
B 映画館	159.5	159.1
C 映画館	49.9	43.8
	浮遊細菌濃度 (CFU/m <sup>3</sup> )	
	4D	2D
A 映画館	193.0	89.6
B 映画館	1199.2	387.7
C 映画館	832.7	241.7

## D. 考察

冬期、夏期の実測の結果、真菌数に関しては、C 映画館を除き、季節による差はみられない結果となった。一方、細菌数に関しては、夏期に増加傾向にあることがわかった。さらに、細菌数に関しては4D 観覧場が2D 観覧場と比較して有意に多いことが示された。両者の構造的な違いはエフェクト装置の有無であり、観客側の要因としては動きの有無、呼吸数の増加等である。観客側のファクターは測定できていないが、要因推定の材料としていくつか培養結果画像を示す。

写真 1 は冬期に実測した B 映画館の細菌(SCD)培養結果である。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 映画館の細菌(SCD)培養結果画像である。基本的にコロニーは1つずつにばらつくが、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)が行われるが、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推測できる。

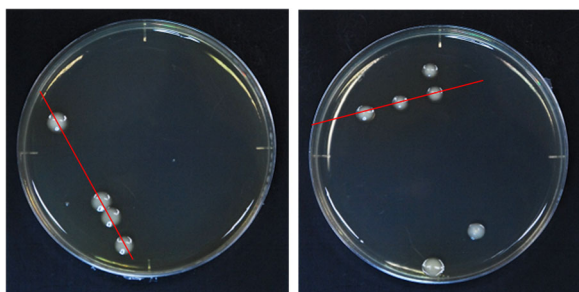


写真 1 一列上に配置されたようなコロニー

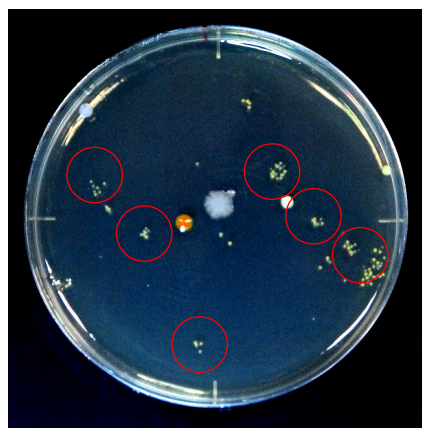


写真 2 花火状に飛散したコロニー

## E. 結論

入場者の衛生に必要な措置基準(法第3条第2項関係)に定める観覧場の落下菌数 30 或いは場内の落下菌数 50 は、日本建築学会環境基準 AIJES-A0002-2013 に掲載されている他の建物用途の基準(0.5~10、換算値含む)と比較すると 3~5 倍以上大きいことがわかった。また、冬期実測で得られた落下細菌個数は 0.1074~1.76、夏期実測では 0.219~2.932 であり、最も落下細菌個数の多い場合でも 10 倍の差が生じることが推定することができた。

次に、実測した落下菌個数から浮遊菌濃度に換算し AIJES 基準と比較した結果、4D 観覧場の場合、事務所ビルの浮遊細菌濃度基準値を超えなかったのは、冬期については B、C 映画館であり、夏期は A 映画館のみであった。冬期と夏期とで、細菌個数の多さにばらつきがあり、特定の映画館の問題ではないことが推測できる。真菌については、B 映画館 4D 観覧場に関しては冬期・夏期ともに事務所基準を超え、A 映画館は冬期・夏期ともに基準値に近い値、C 映画館は冬期少なく夏期に増える結果となった。

また実測結果を用いて、4D、2D の違いについて統計的分析を行った。映画館ごとの 4D 観覧場と 2D 観覧場の比較をした結果、真菌については冬期・夏期とも 2 つの観覧形態に有意差がないこと、細菌に関しては、冬期 A 映画館が、夏期は B 映画館で 4D 観覧場と 2D 観覧場とで統計的有意差が見られる結果となった。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

なし

## 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・引用文献>

- 1) 弁当及びそごいの衛生規範について，（昭和54年6月29日，環食第161号，各都道府県・各政令市・各特別区衛生主管部(局)長あて厚生省環境衛生局食品衛生課長通知）
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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)
- 7) 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
- 8) 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－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.

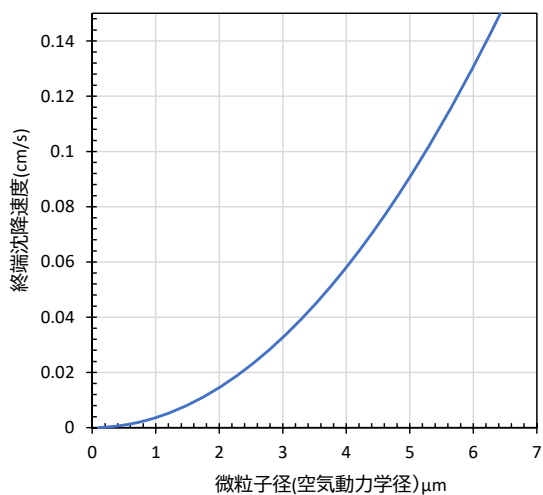


図2 微粒子径と終端沈降速度

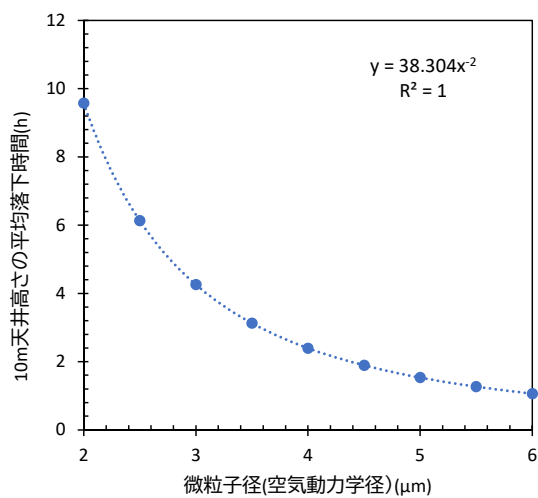


図3 微粒子径と高さ 10m 範囲の平均落下時間

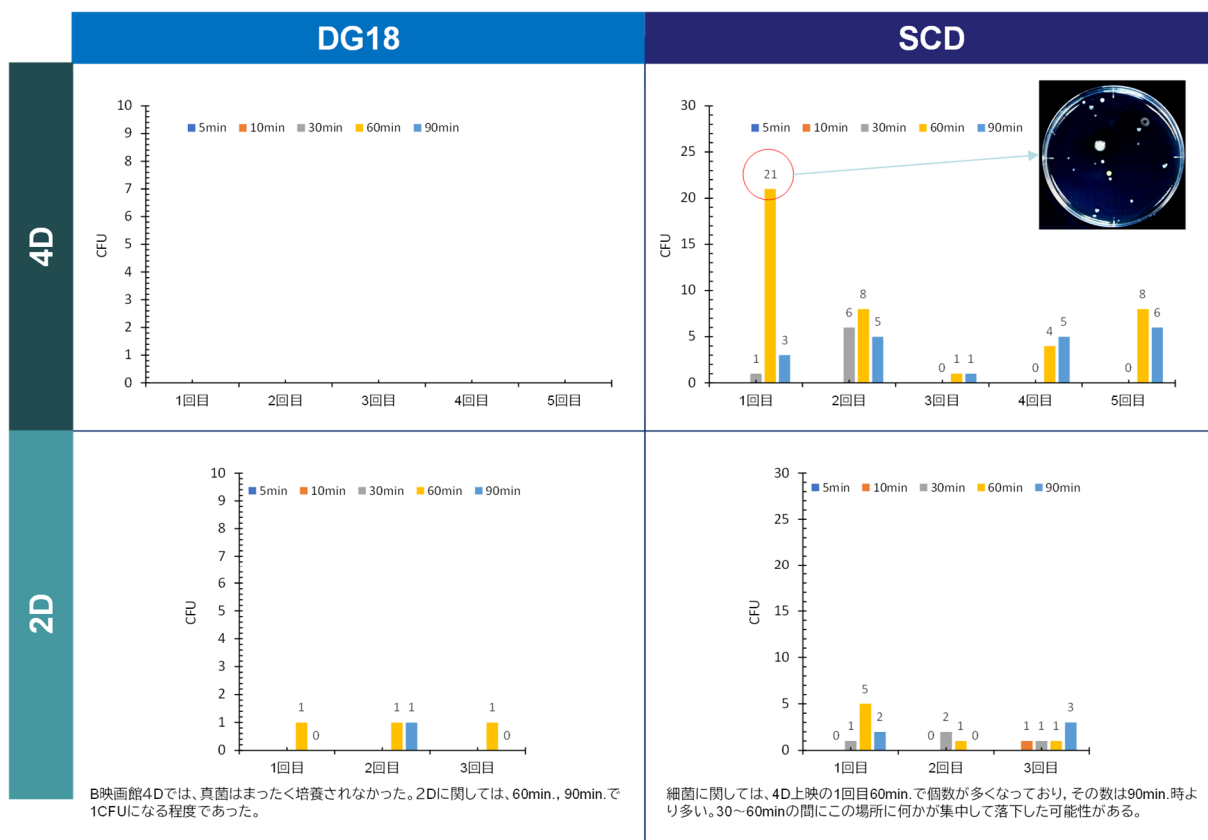


図4 A 映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果(冬期)



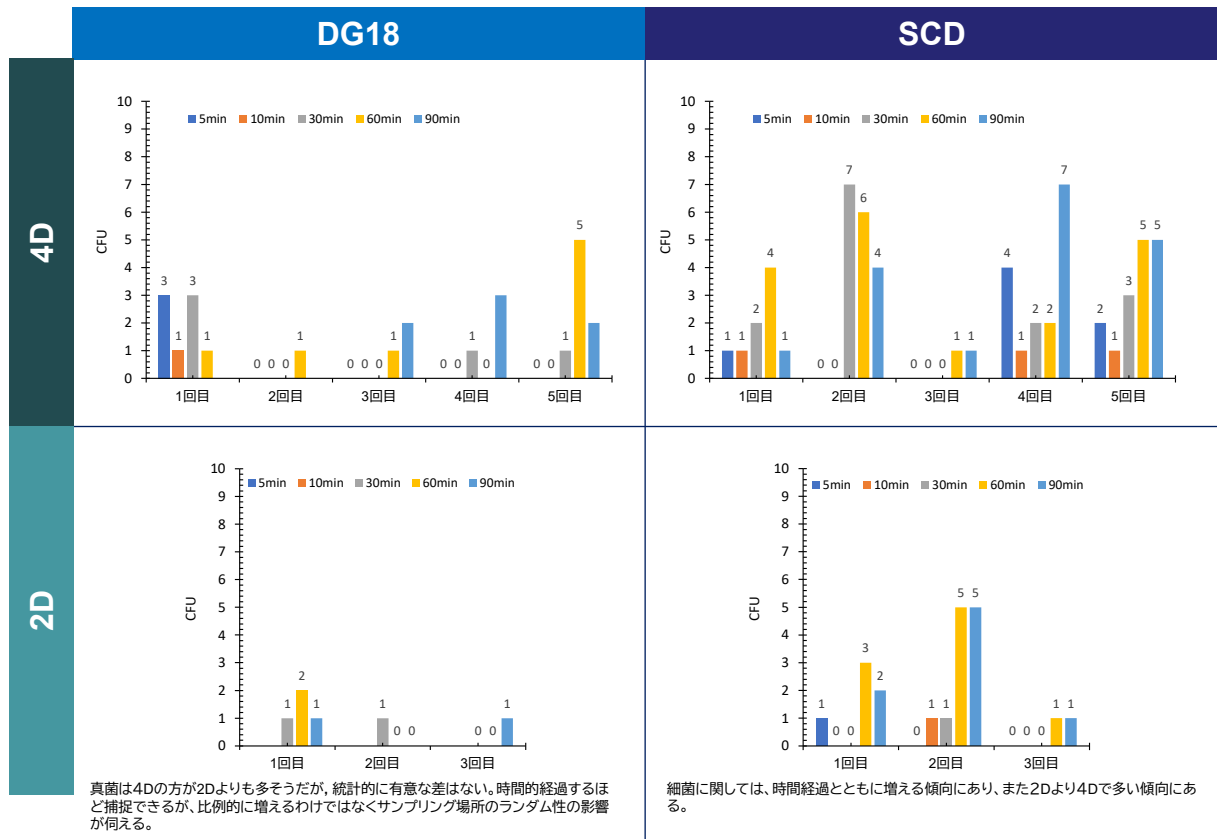


図5 B映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果(冬期)

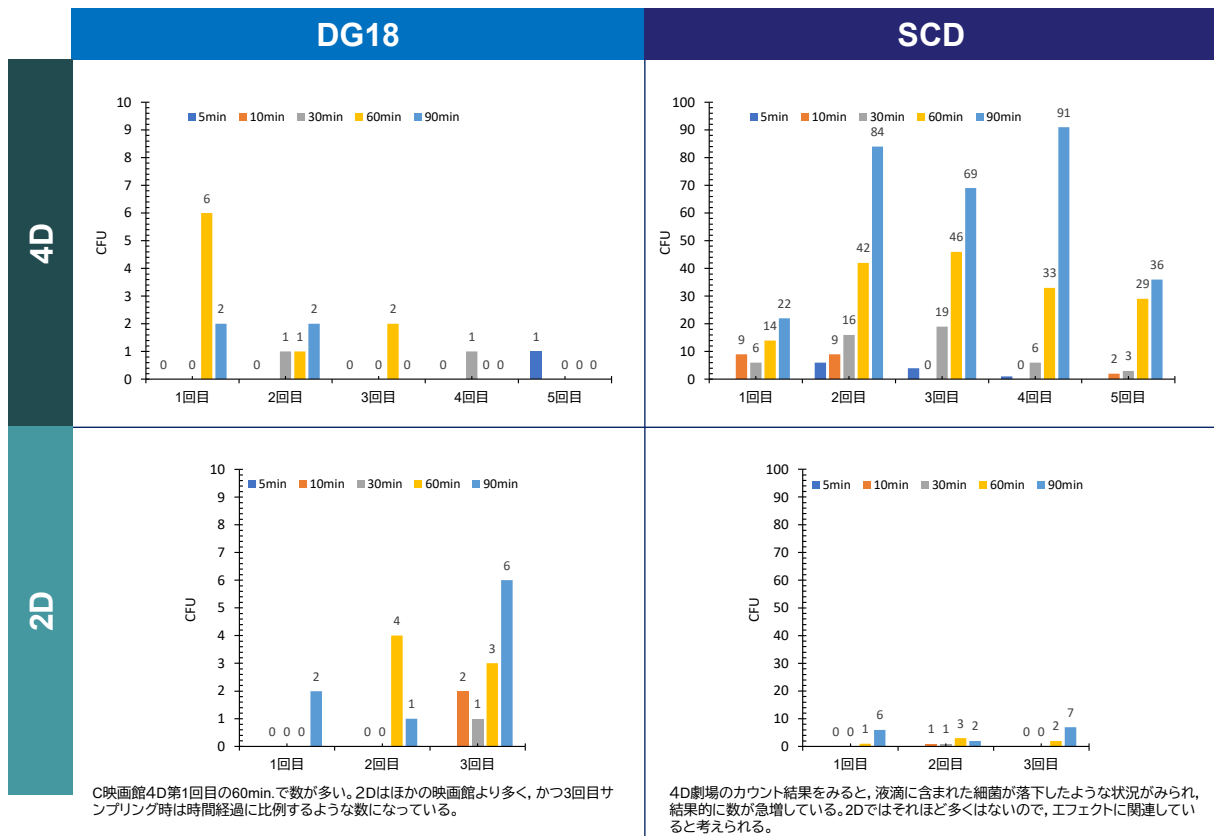


図6 C映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果(冬期)

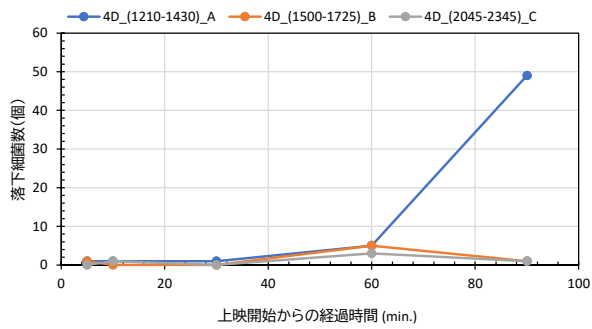


図7 A映画館4Dの落下細菌個数

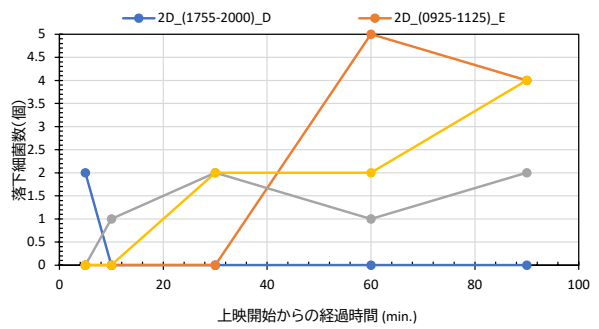


図8 A映画館2Dの落下細菌個数

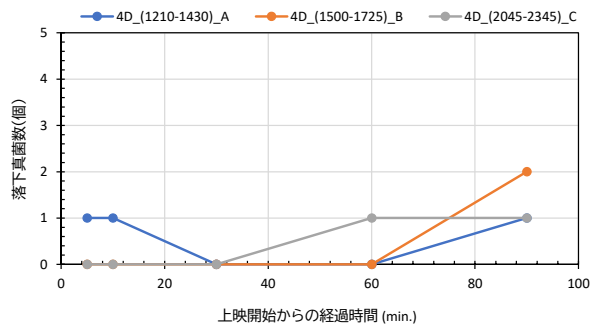


図9 A映画館4Dの落下真菌個数

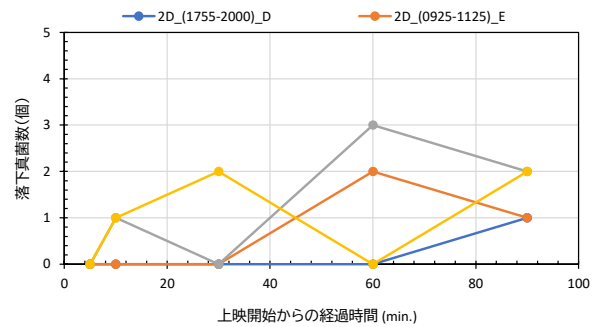


図10 A映画館2Dの落下真菌個数

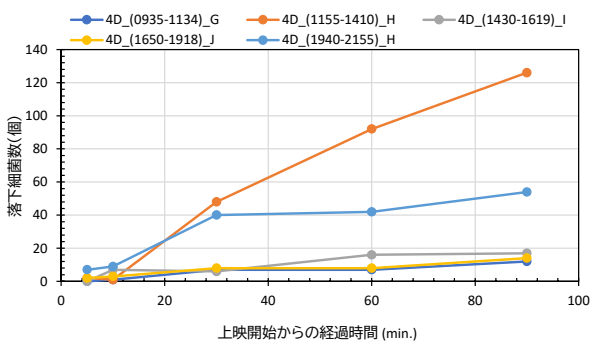


図11 B映画館4Dの落下細菌個数

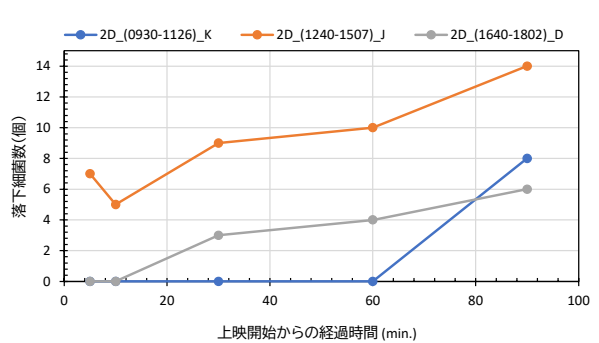


図12 B映画館2Dの落下細菌個数

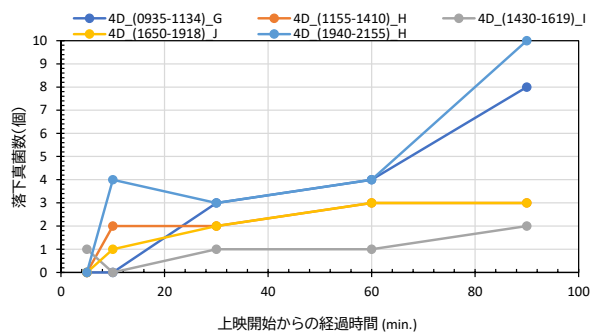


図13 B映画館4Dの落下真菌個数

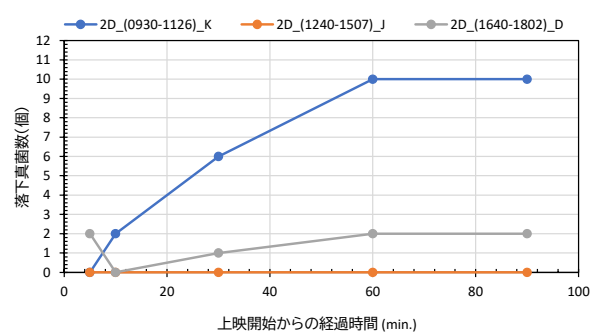


図14 B映画館2Dの落下真菌個数

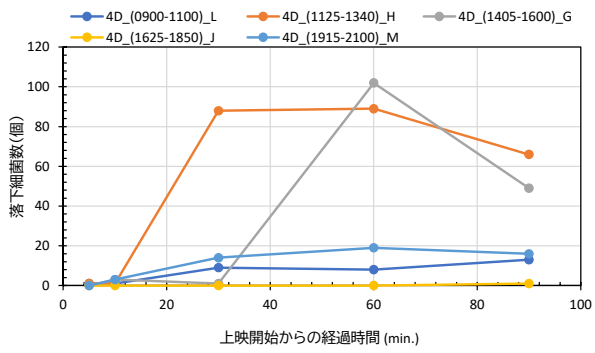


図 15 C 映画館 4D の落下細菌個数

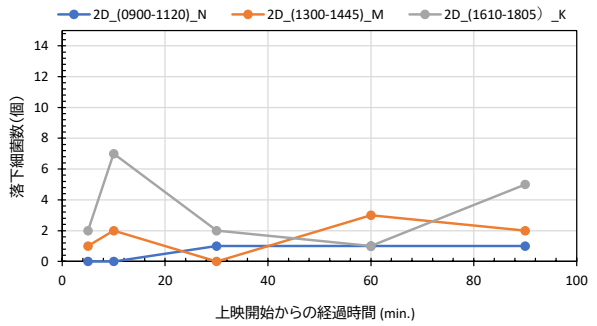


図 16 C 映画館 2D の落下細菌個数

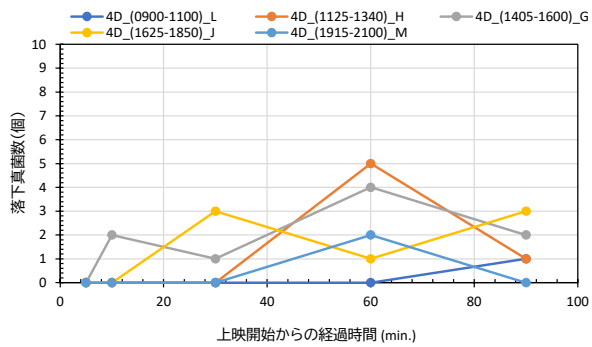


図 17 C 映画館 4D の落下真菌個数

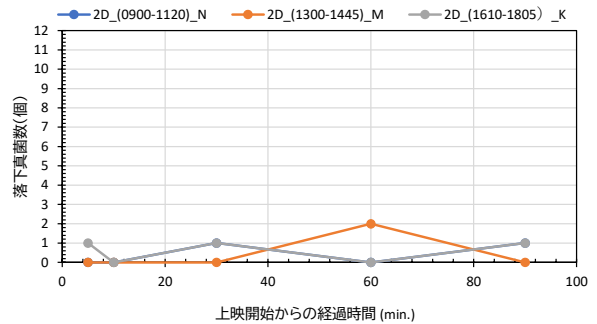


図 18 C 映画館 2D の落下真菌個数

(このページは空白です)