

興行場における衛生的な環境確保のための研究
国内興行場内の微生物実態調査

研究分担者 柳 宇 工学院大学 建築学部 教授

研究要旨

4D 映画 15 上演、2D 映画 9 上映の計 24 の映画上映中における落下細菌・真菌と粒径別浮遊微粒子濃度、映画上映後の床面付着細菌・真菌と 4D 映画館のミスト吹出し口表面付着細菌叢の測定と解析の結果より次のことが分かった。①全体的に 2D 上映中より 4D 上映中の落下細菌の方が有意に多かった（最大で 34cfu/(皿・h)）。一方、落下真菌は非常に少なかった（最大で 4cfu/(皿・h)）②エフェクトによる粒径別浮遊粒子濃度の上昇が認められた。③ミスト吹出口表面に湿潤環境を好む細菌属 *Pseudomonas*、*Methylobacterium*、*Candidatus Protochlamydia*、*Neochlamydia* が優位に検出された。今後、映画上映中における浮遊細菌と真菌の測定できる方法について検討する必要がある。

A. 研究目的

この 50~60 年間においては、映画館内の空気質実態に関する研究報告が殆ど見当たらない。近年特殊効果の演出ができる 4D 映画は多くみられるようになった。エフェクト（風、ミスト、煙、ストロボなど）によるダイナミックな演出ができる 4D 映画では、これまでの 2D 映画にない臨場感を得られるが、ミストなどの衛生管理が前提条件となっている。しかし、現状ではその実態が把握されていない。本研究では、2D 映画と 4D 映画上映中の室内空気質を把握することを目的としている。

B. 研究方法

B1. 測定対象

2022 年 11 月に都内近郊の 3 映画館を対象に測定を行った。同月 21 日の測定対象を映画館 C、25 日の対象を映画館 D、29 日の対象を映画館 E とし、4D スクリーンを C1、D1、E1、2D スクリーンを C2、D2、E2 と表記する。

B2. 測定項目と方法

B2.1. 落下細菌・真菌

SCD 培地（落下細菌）と DG18 培地（落下真

菌）を用いて、上映開始から 1 時間の曝露を行った。SCD と DG18 の培養条件はそれぞれ 32℃の 2 日間と 25℃の 5 日間であった。

B2.2. 付着細菌・真菌

4D 映画館においては、上映 1~5 の最終上映 5 の後、2D 映画館においては上映 1~3（全て異なるスクリーン）の各上映の後に最前列（前）と最後列（後）の椅子下部の床表面付着細菌と真菌を粘着テープ（S 社）で採取した。

B2.3. 粒径別浮遊微粒子濃度

映画上映の時間帯に、6 段階の粒径別（0.3~0.5 μm 、0.5~0.7 μm 、0.7~1.0 μm 、1.0~2.0 μm 、2.0~5.0 μm 、5.0 μm ~）浮遊粒子濃度の測定できるパーティクルカウンタ（A 社）を用いた 1 分間隔の連続測定を行った。

B2.4. 細菌叢

（1）測定箇所とサンプリング方法

4D 映画館においては最終の上映 5 の後、2D 映画館においては上映 1~3（全て異なるスクリーン）の各上映の後に最前列（前）と最後列（後）の床表面付着細菌を拭き取りキット ST-25 で採集した。サンプリング箇所は通路を避けるために椅子の下部とした。また、D 映画館と E 映

画館の4D映画上映後に前方と後方のミスト吹出口表面の付着細菌を採取した。

(2) DNA抽出、増幅およびシーケンシング

DNAの抽出と精製については、柳らの既報¹⁾を参照されたい。DNAの増幅と次世代シーケンサーによる処理を商用ラボに依頼した。

C. 研究結果

C1. 落下細菌・真菌

図1に落下細菌の分布を示す。最も高い値を示したのはD1-1前方の34cfu/(皿・h)であった。落下真菌においては検出されない上映もあり、検出されたものにおいても最大で4cfu/(皿・h)であった(E1-1後方)。SPSS Ver29を用いたノンパラメトリックマンホイットニーU検定の結果、2D上映中より4D上映中の落下細菌数が有意に多いことが認められた。

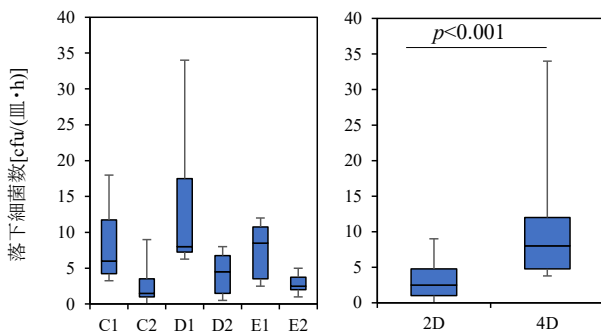


図1 落下細菌数の分布

C2. 付着細菌・真菌

2Dと4Dの付着細菌はそれぞれ25 ± 16 cfu/23cm²、9 ± 2 cfu/23cm²、付着真菌はそれぞれ15 ± 10 cfu/23cm²、15 ± 19cfu/23cm²であった。23cm²は付着菌採取用粘着テープの面積である。

C3. 浮遊細菌・真菌

計測器の音の問題で浮遊細菌と真菌を上映入れ替え時間帯に測定した。そのため、測定結果は上映中の室内環境を表すものではない。ここでは、参考までその結果を示す。映画館の浮遊細菌濃度においては基準値がないが、参考までに日本建築学会のオフィスビル管理基準値 500cfu/m³ (細菌)、50cfu/m³ (真菌)と比較すると半数以上が基準値を超えていた。

C4. 粒径別浮遊微粒子濃度

一例として図2に映画館E1の上映1の前方における<1μmと>1μmの浮遊粒子濃度の経時変化、図3に各映画館の<1μmと>1μmの濃度分布、図4に4Dと2D映画館全体の<1μmと>1μmの濃度分布を示す。

9:58~11:23の間に5分間隔のエフェクトが確認された。図2中に濃度上昇のタイミングにエフェクトのあるものを矢印で示している。<1μmと>1μmのどちらの粒径においても、映画館C、Eでは2Dより4Dの方が高い値を示した。一方、映画館Dでは2Dの方が高い値を示したが、その差は大きくなかった。全体的に2D上映中より4D上映中の方が有意に高かった。

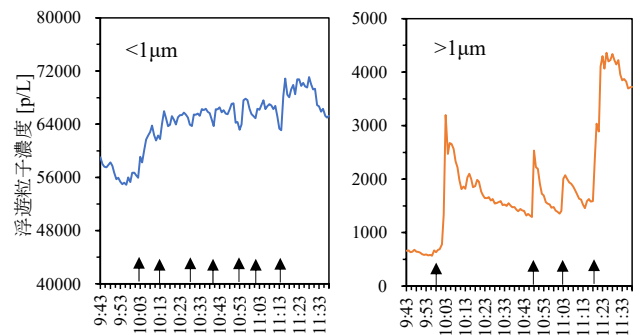


図2 浮遊粒子濃度の経時変化の例

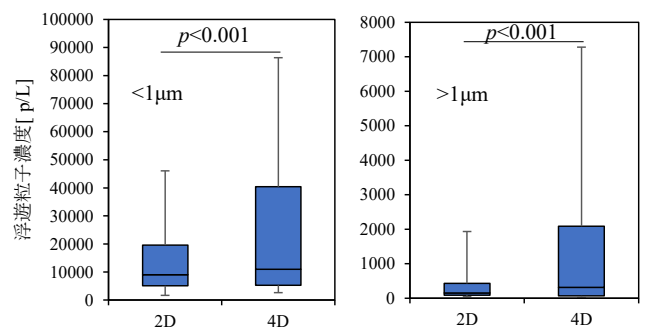


図3 各映画館浮遊粒子濃度の分布

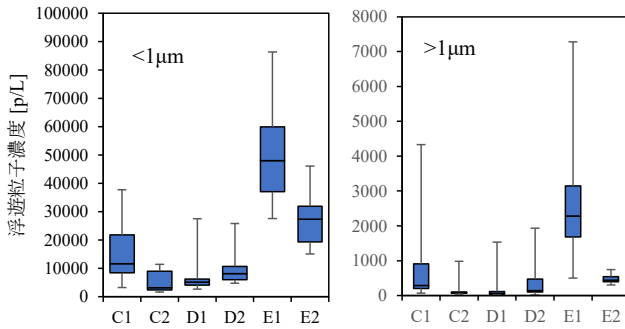


図4 4Dと2Dの浮遊粒子濃度の比較

C5. 細菌叢

(1) 細菌門

図5と図6に4D映画館と2D映画館の付着細菌門のうち相対構成比(占有率)が1%以上の優先細菌門を示す。4D映画館では、*Proteobacteria*門(プロテオバクテリア門、グラム陰性細菌門、緑膿菌を含む)が圧倒的に多く検出された。C1映画館の前方などに *Actinobacteria* 門(アクチノバクテリア門、放線菌を含む)、D1映画館とE1映画館の後方などに *Bacteroidetes* 門(バクテロイデス門、グラム陰性の細菌のグループ)、E1映画館のミスト吹出口から *Chamydiae* 門(クラミジア門、グラム陰性細菌の門)が優位に検出された。

2D映画館については、4D映画館と同様に *Proteobacteria* 門、*Actinobacteria* 門、*Bacteroidetes* 門が優位に検出されたほか、*Firmicutes* 門(フィルミクテス門、グラム陽性細菌門、腸内細菌や皮膚常在菌を含む)、*Cyanobacteria* 門(シアノバクテリア門、藍色細菌)も優位に検出された。

Proteobacteria 門、*Actinobacteria* 門、*Bacteroidetes* 門、*Firmicutes* 門、*Cyanobacteria*

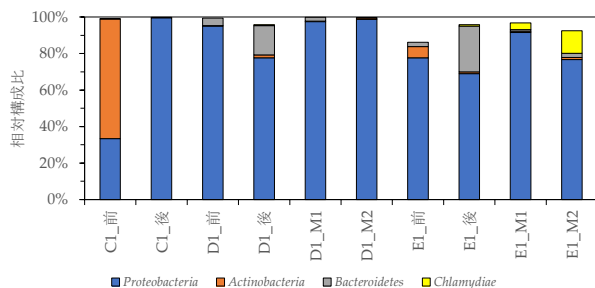


図5 相対構成比1%以上の細菌門—4D映画館

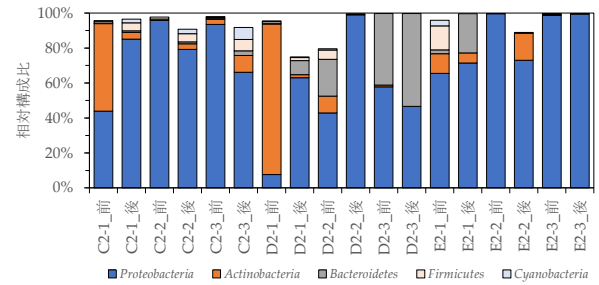


図6 相対構成比1%以上の細菌門—2D映画館

門はこれまで筆者らが実施した病院、オフィスビル、住宅、学校などの測定からも優位に検出されているが²⁻⁴⁾、*Chamydiae* 門は優位に検出されることはなかった。即ち、ミスト吹出口表面から一般環境中と異なる細菌門も優位に検出されている。

(2) 細菌属

図7と図8のそれぞれに4D映画館と2D映画館の付着細菌属のうち相対構成比が1%以上の細菌属を示す。4Dと2D映画館から共通して *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Pedobacter*, *Brevundimonas* の4属が検出される一方、異なる細菌属が多かった。

4D映画館D1のミスト吹出口1(M1)と吹出口2(M2)、E1のM1とM2から検出された *Pseudomonas* の相対構成比はそれぞれ74%、69%、5%、36%であった。*Pseudomonas* 属の菌種について、リード数100以上で検出されたのは *P. koreensis*, *P. stutzeri*, *P. putida* であった。また、D1のミスト吹出口表面から *Methylobacterium* 属も優位に検出された。この細菌はバイオフィルムを形成するものであり、浴室などからよく検出されることが知られている。また、他の箇所から検出されていない *Chamydiae* 門の *Candidatus Protochlamydia* 属と *Neochlamydia* 属がE1映画館のM1、M2、前方の床面(前者細菌属のリード数はそれぞれ: 2465、7162、725; 後者細菌属のリード数: 799、2222、354)から検出されたことから、ミスト中の細菌は映画館内に飛散したことが推察される。

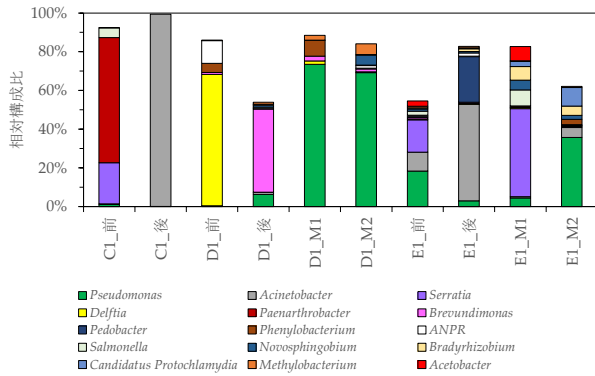


図 7 相対構成比 1%以上の細菌属－4D 映画館

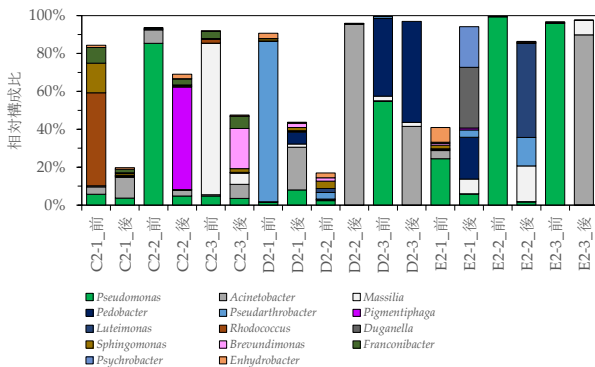


図 8 相対構成比 1%以上の細菌属－2D 映画館

(3) α 多様性

図 9 に細菌の豊かさまたは希少さを定量化する 4 種類の指標の分布を示す。なお、床面付着細菌叢を比較するために、ここでは 4D のミスト吹出口の付着細菌を除いている。SPSS Ver29 を用いたマンホイットニーの U 検定を行った結果、PD whole tree ($p < 0.05$) を除けば、4D と 2D の α 多様性の間に有意な差が認められなかった。PD whole tree は菌種の系統距離を用いた細菌の豊さを推定する指標である。

(4) β 多様性

図 10 に主座標分析の結果を示す。映画館 D1 と E1 のミスト吹出口 M1 と M2、映画館 C1 の前方と後方の床面付着細菌叢が類似していることが分かる。

D. 考察

D1. 落下と付着細菌・真菌

本研究で測定した落下細菌数は 1962 年の渡辺ら⁵⁾の冬季の測定値 48~188cfu(皿)(衛生試験法、

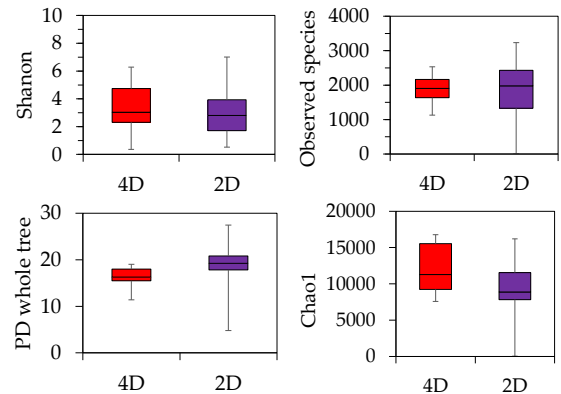


図 9 α 多様性指数

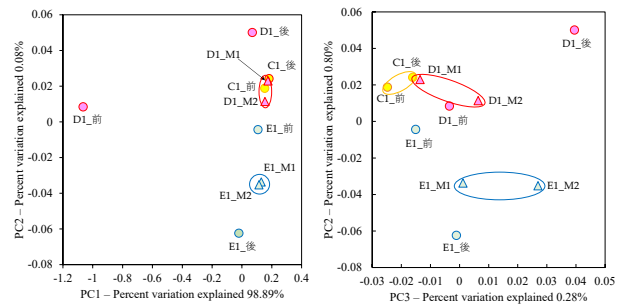


図 10 主座標分析結果(Weighted)

5 分間曝露) より遥かに少なかった。

浮遊細菌が落下している間に室内気流の影響を大きく受ける。例えば、 $5\mu\text{m}$ の粒子は無風状態で 1.5m の高さから床面まで落下するのに 35 分かかる。室内気流速度を 0.1m/s と仮定すると、落下している間に気流によって 210m 先に運ばれる。一方、気流の方向によっては 35 分間より速く落下することも考えられる。浮遊細菌・真菌と落下細菌・真菌の間に有意な相関関係はないことが実証されている⁶⁾。落下細菌・真菌の測定は簡便であるが、室内の浮遊細菌・真菌濃度を推測できるものではない。

床付着細菌と真菌数は室内の使用状況や、清掃状況等に影響されるため、2D と 4D、スクリーン前方と後方の間に明確な差が見られなかった。

D2. 浮遊細菌・真菌

上映入れ替え時の浮遊細菌と真菌濃度はドアの開閉状況、人の数や出入り頻度に影響されるため、映画上映中の浮遊細菌濃度及び真菌濃度とは異なる。今後、映画上映中における浮遊細菌と真

菌の測定できる方法について検討する必要がある。

D3. 映画館の粒径別浮遊粒子濃度

エフェクトの種類によって、4D 映画上映中に浮遊粒子濃度の顕著な上昇が認められた。2D より 4D の $<1\mu\text{m}$ と $>1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度が有意に高いのはエフェクトの影響によるものであると考えられる。

D4. 細菌叢

4D 映画館の D、E の前方と後方のミスト吹出口の菌叢が類似しており、しかもその優占細菌属は湿潤環境を好む *Pseudomonas*、*Methylobacterium*、*Candidatus Protochlamydia*、*Neochlamydia* であること、E1 映画館の前方と後方のミスト吹出口及び前方床面のみから *Candidatus Protochlamydia* と *Neochlamydia* が検出されたことから、ミスト吹出しシステムの衛生管理が必要であることが示された。

E. 結論

本研究より、下記のことが分かった。

- ① 落下細菌については、全体的に 2D 上映中より 4D 上映中の方が有意に多かった。また、2D と 4D の何れにおいてもスクリーン前方と後方の間に明確な差が見られなかった。
- ② エフェクトによる粒径別浮遊粒子濃度の上昇が認められた。上映中の室内においては、全体的に 2D より 4D の $<1\mu\text{m}$ と $>1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度が有意に高かった。
- ③ 映画上映中の落下細菌と真菌数は空中浮遊細菌と真菌濃度を推測することができないため、今後上映中の浮遊細菌と真菌の測定できる方法について検討する必要がある。
- ④ ミスト吹出口表面に湿潤環境を好む *Proteobacteria* 門の *Pseudomonas* 属と *Methylobacterium* 属、*Chamydiae* 門の *Candidatus Protochlamydia* 属 と *Neochlamydia* 属が優位に検出されたことから、適切な衛生管理は必要であることが明らかになった。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 柳 宇：コロナウイルス対策として空調・換気設備ができること。住まいと電気, 第 34, 第 8 号, 5-8. 2022. ISSN 2187-8412.
- 2) 柳 宇：エアロゾル感染を考える。近代建築, Vol.76, 2-3, 2022. ISSN 0023-1479.
- 3) Watanabe K, Yanagi U, et al. Bacterial communities in various parts of air-conditioning units in 17 Japanese houses. *Microorganisms*. 2022, 10(11), 2246. doi:10.3390/microorganisms10112246

2. 学会発表

- 1) 浅井敦人, 柳 宇, 開原典子, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈江, 伊庭千恵美, 林基哉：映画館における室内空気質実態に関する査研究第 1 報 4D と 2D 映画館における生菌と浮遊微粒子の測定結果, 2023 年日本建築学会大会学術講演梗概集.
- 2) 柳 宇, 開原典子, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈江, 伊庭千恵美, 浅井敦人, 林基哉：映画館における室内空気質実態に関する査研究第 2 報 4D と 2D 映画館付着細菌叢の解析結果, 2023 年日本建築学会大会学術講演梗概集.
- 3) 開原典子, 柳 宇, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈江, 伊庭千恵美, 浅井敦人, 林基哉：映画館における室内空気質実態に関する査研究第 3 報 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度の測定, 2023 年日本建築学会大会学術講演梗概集.

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>

- 1) 柳 宇, 加藤信介: 大学研究室におけるヒト由来細菌の分布特性. 日本建築学会環境系論文集, 83(754), 997-1004, 2018.
<https://doi.org/10.3130/aije.83.997>
- 2) Akane Odagiri, U Yanagi, Shinsuke Kato, Comparison of Generation of Particles and Bacteria in Endoscopic Surgery and Thoracotomy. *Building and Environment*, 193(2021)107664.
[doi:10.1016/j.buildenv.2021.107664](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107664).
- 3) 新村美月, 柳 宇, 鍵直樹, 金 勲, 畑中未来: クール・ヒートピットにおけるマイクロバイオームの実態解明 第1報: 室内とピット内の細菌叢の比較, 日本建築学会環境系論文集 第85巻 第770号, 259-266, 2020. [doi:10.3130/aije.85.259](https://doi.org/10.3130/aije.85.259).
- 4) 畑中 未来, 柳 宇, 永野 秀明, 加藤 信介: 学校環境におけるマイクロバイオームの実態に関する調査研究 第4報 夏期における細菌叢と室内環境の関連性, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 889-890, 2018.
[doi:10.18948/shasetaikai.2018.7.0_37](https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2018.7.0_37).
- 5) 渡辺弘, 金子ふさ: 映画館の空気性状, 大阪生活衛生協会, 6巻, 2号, 62-68, 1962年.
- 6) 柳 宇, 高島 浩介, 他7名: 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, 248-251, 2008.