

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

旅館業法及び興行場法の施設における感染防止対策等を含む衛生管理の推進のための研究
ビジネスホテルとシネマコンプレックスの室内環境

研究分担者	柳 宇	工学院大学 建築学部	教授
研究代表者	開原 典子	国立保健医療科学院 建築・施設管理研究部	上席主任研究官
研究分担者	林 基哉	北海道大学 大学院工学研究院	客員教授

研究要旨

本研究は、ホテル宿泊時の室内温湿度および二酸化炭素濃度（7 都市 27 室：夏期 24 室、冬期 3 室）、夏期における 7 つのシネマコンプレックスの映画上映中のシアター内微生物（細菌・真菌）の実態、ならびに COVID-19 パンデミック期間中に検疫ホテルとして使用された宿泊施設を対象とした蛍光粒子発生源客室から廊下への漏出特性に関する実証試験を実施した。得られた主な知見は以下の通りである。

ホテルの室内環境については、宿泊者在室時間帯を含めて測定を行い、建築物衛生法の基準値と比較した結果、温度の不適合率は 30%、相対湿度は 74%、二酸化炭素濃度は 30%であった。特に相対湿度については、夏期には 70%を超える室が多く、冬期には測定対象の全室（3 室）で 40%を下回っていた。これらの結果から、季節に応じた湿度制御の重要性が示唆された。

シネマコンプレックスに関しては、室内微生物濃度は冬期に比べて夏期に高く、浮遊・落下・付着のいずれにおいても同様の傾向が認められた。また、2024 年夏期に付着真菌が多く検出された J 映画館では、2025 年夏期においても同様の傾向が確認され、環境条件や清掃管理の影響が示唆された。さらに、バイオエアロゾルセンサの測定値に基づき推定した映画上映中の浮遊細菌濃度は、スクリーン 1 およびスクリーン 2 でそれぞれ 129 cfu/m³および 171 cfu/m³であった。

検疫ホテルに関しては、客室間および客室と廊下間の風圧差により、発生源客室のドアアンダーカット部を通じて廊下へ蛍光粒子が漏出することが確認された。また、窓開放時には外部風圧の影響により廊下への蛍光粒子漏出量が増加し、ドア開放時には漏出量が最大となった。さらに、空気清浄機の使用により、蛍光粒子漏出量の低減が確認され、感染対策としての有効性が示された。

A. 研究目的

A1. ビジネスホテル室内環境

建築物衛生法では、ホテルを含む特定建築物を対象に、2 か月以内ごとに 1 回、室内空気環境の 6 項目（浮遊粉じん濃度、一酸化炭素（CO）濃度、二酸化炭素（CO₂）濃度、温度、相対湿度、気流）の測定が義務付けられている。これら 6 項目の環境管理基準値への適合状況は、毎年、統計局より全国データとして公表されている。公表デ

ータによれば、温度、相対湿度、CO₂ 濃度の不適合率は、オフィスや学校に比べてホテルで顕著に低い傾向にある。

しかし、ホテルでは宿泊者の在室時間帯に測定を実施することが困難であると考えられ、実際の在室時における室内環境の実態は十分に把握されていない。そのため、実態に即した評価の必要性が指摘される。

本研究の目的は、ホテル宿泊者が在室している状態における室内温度、相対湿度、CO₂濃度の実態を解明することである。

A2. シネマコンプレックス室内環境

映画館に関する先行研究¹⁾では、近年導入が進む4D映画館において、上映中の浮遊微粒子、浮遊細菌・真菌、および付着細菌・真菌の測定結果が報告されている。しかし、日本に多数存在する従来型のシネマコンプレックスにおける上映中の室内環境に関する実態データは依然として不足している。特に、映画館内の微生物汚染を適切に評価するためには上映中の浮遊微生物測定が望ましいが、測定機器の動作音が観客の鑑賞に影響を及ぼすため、実施は困難である。このため、従来は落下菌法による評価が行われてきたが、本手法は簡便である一方、空調・換気による気流の影響を受けやすく、浮遊菌の実態を正確に反映しないという課題がある。

本研究では、映画館内の微生物実態を調査するとともに、上映時にリアルタイムバイオエアロゾルセンサ (Bioaerosol sensor, BAS)⁶⁾を用いた測定を実施した。さらに、その測定値に基づき浮遊細菌濃度の推定を行った。

A.3. 検疫ホテルにおけるバイオエアロゾル伝播特性の実証と緩和策の検討

2020年3月11日、WHOはCOVID-19の世界的な感染拡大状況および重症度を踏まえ、パンデミック (世界的大流行) を宣言した。日本では同年3月に水際対策が開始され、4月3日には14日間の待機措置とともに、検疫ホテル (政府指定宿泊施設による入国者待機施設) の運用が開始された。海外では、香港²⁾や台湾³⁾において検疫ホテル内でのクラスター発生事例が報告されているほか、台湾³⁾やシンガポール⁴⁾では排気システムにおける空気の逆流による感染事例も報告されている。これらの知見は、検疫ホテルにおける感染リスク低減の観点から、空調・換気の適切な運用および設備面での改善の必要性を示唆している。

検疫ホテル内での感染拡大を防止するためには、客室の換気性能、客室と廊下の圧力管理、排気経路の適切な制御が重要である。本研究では、2020年9月から検疫ホテルとして使用された成田空港近辺のAホテルを対象に、客室と廊下間におけるバイオエアロゾル粒子 (Bioaerosol Particle : BP) の漏出特性について実証試験を行った。

本研究は、検疫ホテルにおけるバイオエアロゾルの伝播特性の解明と、その緩和策の検討を目的とする。

B. 研究方法

B1. ビジネスホテル宿泊時の室内環境

B1.1. 定対象と測定時の状況

2024年夏期 (7～9月) と冬期 (11～12月) に、国内のビジネスホテルにおいて測定を実施した。表1には、測定が行われたホテルの測定日および測定状況を地域別に示している。なお、表中のA1とA2、E1とE2、F1とF2は、それぞれ同一ホテル内の異なる客室を表している。

B1.2. 湿度・CO₂濃度

調査当日は、温湿度・二酸化炭素濃度計測器 (TR-76Ui) を用いて、宿泊者の入室から退室までの間、5分間隔で連続測定を実施した。

B1.3. 換気回数

換気回数はフィッティング法により、窓を閉めた状態での就寝時のCO₂濃度の上昇値から算出した。フィッティング法は式 (1) に示す通りである⁵⁾。

$$C = C' e^{-Nt} + (C_o + \frac{M}{NV}) (1 - e^{-Nt}) \quad (1)$$

C: CO₂ 濃度 [ppm]

C': CO₂ 初期濃度 [ppm]

C_o: 外気 CO₂ 濃度 [ppm]

M: CO₂ 発生量 [mL/人]

N: 換気回数 [回/h]

V: 容積 [m³]

t: 経過時間 [h]

本研究では、CO₂濃度（ C_0 ）を 420 ppm、呼吸による CO₂発生量（ M ）を 17,000 mL/(人・h)として計算を行った。

表 1 空調方式と換気状況

ID	測定期間	宿泊人数	換気扇	空調方式
北海道地方				
A1、A2	2024年7月19日～20日	1	常時稼働	中央方式
A3	2024年7月19日～20日	1	常時稼働	中央方式
A4	2024年11月29日～12月2日	1	一定期間稼働	個別空調
A5	2024年11月29日～12月1日	1	常時稼働	中央方式
東北地方				
B1	2024年9月26日～27日	1	換気オフ	個別空調
B2	2024年9月27日～28日	1	換気オフ	個別空調
関東地方				
C1	2024年7月26日～27日	1	換気オフ	個別空調
C2	2024年8月28日～30日	1	換気オフ	個別空調
C3	2024年9月18日～19日	1	換気オフ	個別空調
中部地方				
D1	2024年7月28日～29日	1	常時稼働	個別空調
中国地方				
E1、E2	2024年9月18日～19日	1	常時稼働	中央方式
E3	2024年9月19日～20日	1	常時稼働	個別空調
E4	2024年9月19日～20日	1	常時稼働	個別空調
E5	2024年9月20日～21日	1	換気オフ	個別空調
E6	2024年9月20日～21日	1	換気オフ	個別空調
四国地方				
F1、F2	2024年8月23日～24日	1	常時稼働	個別空調
九州地方				
G1	2024年7月20日～21日	1	常時稼働	中央方式
G2	2024年9月6日～8日	1	常時稼働	中央方式
G3	2024年9月7日～8日	1	常時稼働	個別空調
G4	2024年9月10日～13日	1	不明	不明
G5	2024年9月10日～13日	2	常時稼働	個別空調
G6	2024年9月10日～11日	1	常時稼働	中央方式
G7	2024年9月12日～13日	1	換気オフ	個別空調
G8	2024年12月21日～22日	1	常時稼働	個別空調

B2. シネマコンプレックスにおける映画上映時の室内環境の測定

2024 年夏期（8 月 20 日～9 月 30 日）に、東京都の F 映画館（5 上映）、静岡県 G 映画館（3 上映）、九州の H 映画館（5 上映）、岡山県の I 映画館（2 上映）、広島県の J 映画館（2 上映）、名古屋市の K 映画館（1 上映）、神奈川県 L 映画館（1 上映）の計 7 館・19 上映を対象に室内環境の測定を実施した。測定対象はいずれも 2D スクリーンである。

また、2024 年夏期に浮遊微生物濃度および落下・付着微生物量が特に高かった F、H、J の 3 館については、2025 年冬期（2 月）にも同様の測定を実施した。さらに、このうち付着真菌数が特に多かった J 映画館では、2025 年夏期にも追加測定を行い、経年変化特性を検討した。

B2.1. 落下細菌・真菌の測定

落下細菌には SCD 培地、落下真菌には DG18 培地を使用した。測定位置はスクリーン前方の座席および後方座席横の床面とし、映画上映開始時から 1 時間ばく露を行った。培養条件は、SCD 培地が 32℃で 2 日間、DG18 培地が 25℃で 5 日間である。

B2.2. 付着細菌・真菌の測定

人の歩行の影響を避けるため、各映画の上映終了後に、落下菌測定箇所周辺の座席下の床面から、デガダーム・トランスペアレント・ドレッシングテープ（面積：23 cm²）を用いて付着微生物を採取した。採取したテープは実験室に持ち帰り、SCD および DG18 培地へ転写し、それぞれ上記と同条件で培養した。

B2.3. 浮遊細菌・真菌の測定

浮遊細菌および浮遊真菌は映画上映中に測定できなかったため、上映終了直後にスクリーン前方および後方にて、バイオサンプラ（MBS-1000）を用いて 1 分間（100 L）のエアサンプリングを実施した。使用培地および培養条件は落下・付着菌と同様である。なお、2025 年夏期の J 映画館の測定にリアルタイムバイオエアロゾルセンサ（Bioaerosol sensor, BAS）⁶⁾を用いて測定を実施した。

B2.4. バイオエアロゾル粒子

前述の落下細菌の 1 時間測定に合わせて、BAS による 1 分間隔の連続測定（計 1 時間）を実施した。筆者らの既往研究において、BAS の測定値 X と培養法による浮遊細菌濃度 Y の間には一定の関係が確認されている⁶⁾。本研究では、この関係式を用いて、BAS の測定値から映画上映時の室内浮遊細菌濃度を推定した。

$$Y=0.0038X \quad (2)$$

B3. 検疫ホテルにおけるバイオエアロゾル伝播特性の実証と緩和策の検討

B3.1. 検疫ホテルの実証実験

2025 年 8 月 26 日に実証試験を実施した。対象とした客室はホテル西端に位置する 6 室である（図

1)。客室の空調・換気は、浴室に排気ファンを設置し、客室にはファンコイルユニット（FCU、客室上部吹出し、廊下側天井吸込み）を備えた方式である（図2）。換気経路としては、外気を客室天井裏およびエレベーターホールに導入し、客室の浴室および廊下両端の排気口から排出する構成となっている（図3）。実験は表2に示す4つの条件で実施した。実験1は浴室トイレ換気扇を運転しない条件、試験2は浴室換気扇を運転する条件、実験3はBP発生源とした客室②の窓を開放した場合の気流変化に伴う廊下への漏出状況の確認、実験4は空気清浄機の稼働による客室からBP漏出量の低減効果の確認を目的としたものである。

蛍光粒子は生物由来のBPの指標として用いられることがある⁷⁾。図1に示すように、客室②の★位置においてネブライザーを用いて蛍光粒子（粒径1 μ mの標準粒子）を1分間で計190 μ g発生させた。客室②前の廊下にはBASを設置し、さらに客室②の対面に位置する客室⑤では、パーティクルカウンタによる1分間隔の連続測定を実施した。



図1 測定対象室と測定点



図2 客室FCU吹出口と吸込み口



図3 浴室換気扇

表2 実験概要

実験1 全室換気扇OFF	
二酸化炭素3000超え、撤収し部屋を出る。	14時26分30秒
発生源の部屋②の扉を開ける。	15時26分
各部屋の窓を開ける。	15時56分
実験2 全室換気扇ON	
二酸化炭素3700超え、部屋を出る。	16時15分19秒
扉を開ける。	16時45分
各部屋の窓を開ける。	17時15分
実験3 客室2の窓のみを開放、全室換気扇ON	
二酸化炭素4000超え、部屋を出る。	17時55分
各部屋の窓を開ける。	18時00分15秒
扉を開ける（開けっ放しの状態）。	18時10分53秒
各部屋の窓を開ける。	18時23分
実験4 全室空気清浄機ON・換気扇ON	
二酸化炭素4000超え、部屋を出る。	18時40分
各部屋に入り、空気清浄機をつける。	18時45分
空気清浄機止めて、部屋を出る、発生源の部屋の扉だけ開ける。	19時05分
実験終了。	19時15分

また、客室間および客室と廊下間の気流を確認するため、客室②においてドライアイスによりCO₂を発生させた後、試験参加者が手動で室内空気を攪拌し、室内CO₂濃度が3000ppm以上に達した時点で試験を開始した。各客室および廊下には温湿度・CO₂センサーを設置した。

C. 研究結果

C1. ビジネスホテル室内環境

C1.1. 湿度

図4に温度の四分位値（最大値、第3四分位数[75%タイル値]、中央値、第1四分位数[25%タイル値]、最小値）を示す。箱ひげ図中の色分けは換気扇の作動状況を示しており、青は常時稼働、赤は停止、オレンジは一定時間稼働、白は不明を表す。中央方式空調の場合は、箱ひげの下ひげにアスタリスク（*）を付して示す。さらに、建築物衛生法における室内温度の管理基準値である下限18℃および上限28℃を赤線で示している。

室温は、全体として基準範囲内に収まっている傾向が見られた。調査対象27客室のうち、実測時間帯を通じて常に基準範囲内で推移していたのは19室（70%）であり、不適率は30%であった。

図5には相対湿度の四分位値を示す。前述した温度と同様に、箱ひげ図中の色分けは換気扇の運転状況と空調方式を示している。あわせて、建築物衛生法における湿度の管理基準である下限40%（冬期）および上限70%（夏期）を赤線で表示している。

実測時間帯内を通して相対湿度が常に基準範囲内にあった客室は7室（26%）のみであり、不適率は74%に達した。これは、室内湿度の管理が温度に比べて難しいことを示唆している。

空調方式による違いについては、中央方式の客室では相対湿度が基準範囲内で推移する時間が比較的長く、個別空調方式の客室では湿度の変動が大きく、基準範囲を逸脱するケースが多かった。

C1.2. CO₂ 濃度

図6にCO₂濃度の四分位値を示す。前述の温湿度と同様に、図中の箱ひげの色分けは換気扇の運転状況を表しており、青が常時稼働、赤が停止、オレンジが一定時間稼働、白が不明を示す。さらに、建築物環境衛生管理基準における1000ppmの基準値を赤線で示した。

測定時間帯において濃度の中央値が基準値以下であったのは全体の19室（70%）であり、不適率は30%であった。なお、宿泊者がチェックインからチェックアウトまでの時間帯に常時室内に滞在しているわけではないことを考慮すると、実際の在室時間における不適率はさらに高い可能性がある」と推察される。

C1.3. 換気回数

図7に、式（1）から算出した換気回数とCO₂濃度の最大値との関係を示す。図中の赤丸は中央方式を示す。換気回数が0.5回/h以上であった客室は全体の81%にあたる22室であり、そのうちE1、E6、F2、G4、G5、G8を除く16室では、CO₂の最大濃度がいずれも基準値である1000ppmを下回った。

また、厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策本部が「換気の悪い密閉空間」の改善策として推

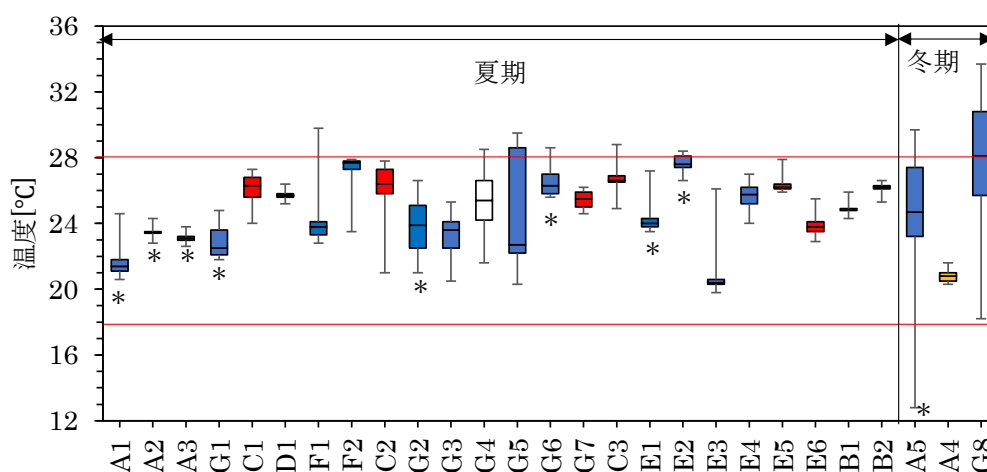


図4 各宿泊室内温度の四分分値

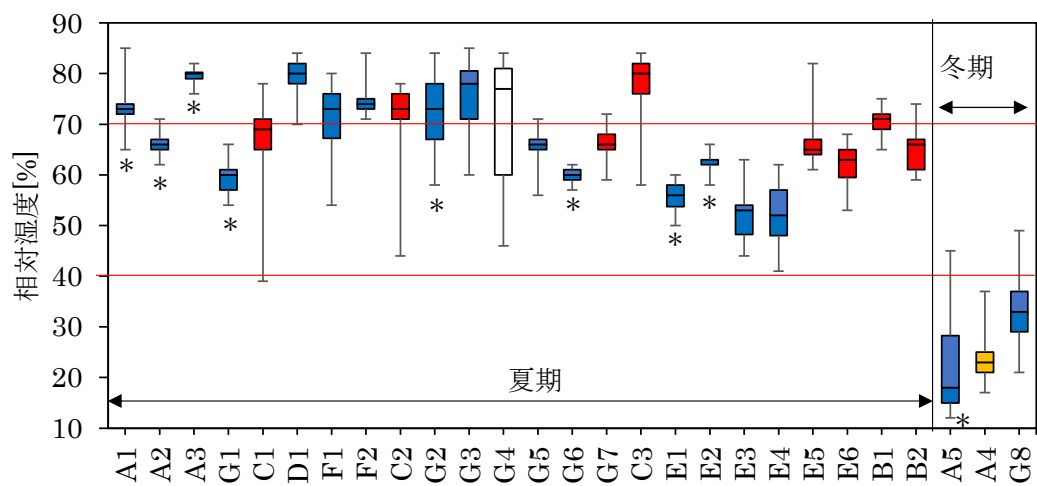


図5 各宿泊室相対湿度の四等分値

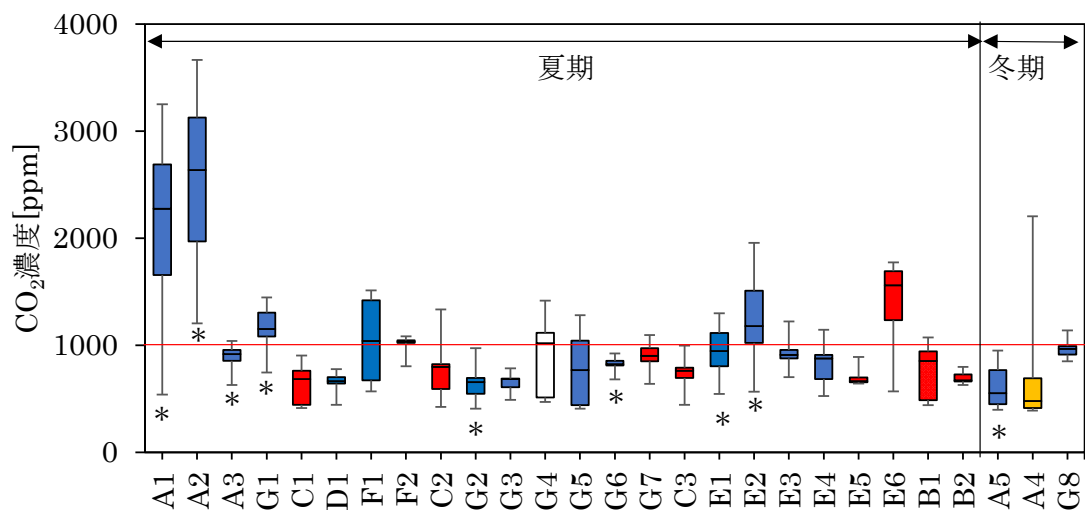


図6 各宿泊室 CO₂ 濃度の四等分値

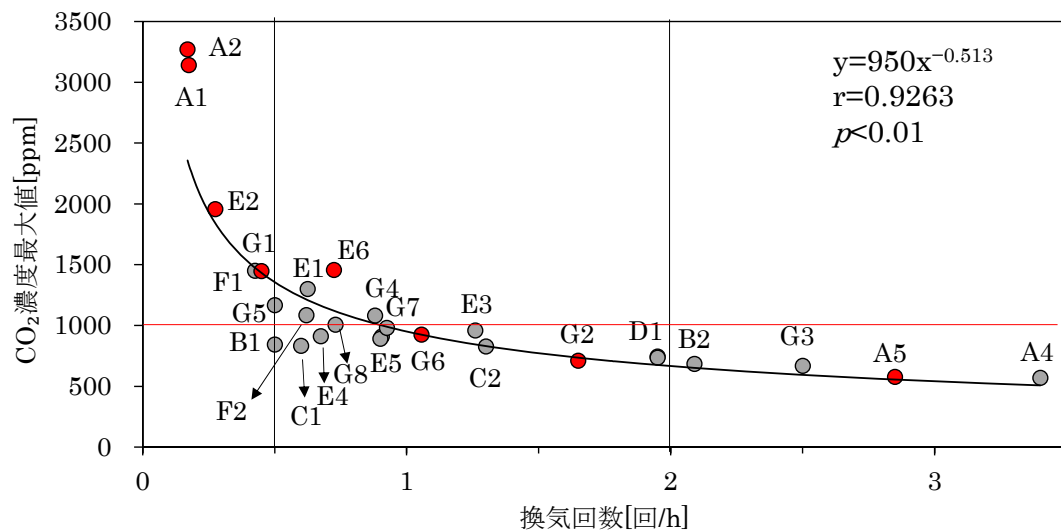


図7 各宿泊室換気回数

奨する換気回数(2回/h以上)⁸⁾を満たしたのは、A4、A5、B2、G3の4室であり、これらもすべてCO₂の最大濃度が基準値以下であった。さらに、換気回数が推奨値に近いD1およびC3(いずれも1.95回/hであり、C3とD1の濃度はほぼ同じであるため、C3はD1に重ねてみえない。)においても、同様にCO₂濃度の最大値は基準値を下回った。

C2. ネマコンプレックス上映時の室内環境

C2.1. 落下細菌・落下真菌

落下細菌に関しては、先行研究¹⁾において、4Dスクリーンに比べて2Dスクリーンの落下細菌数が有意に少なく、特に夏期では15 cfu/(皿・h)以下の値が報告されている。本調査の結果では、映画館G、I、J、K、Lでは同様に20 cfu/(皿・h)以下であったが、映画館FおよびHではそれぞれ111 cfu/(皿・h)、42 cfu/(皿・h)と高い値が検出された。

落下真菌に関しては、先行研究では4Dと2Dスクリーン間で有意差は認められなかったが、2Dスクリーンでは5 cfu/(皿・h)以下と低濃度であった。本調査では、映画館F、H、I、Lで10 cfu/(皿・h)以上の値が観測された。なお、冬期に測定した3映画館のうち、映画館Hの上映2における落下細菌を除き、落下細菌および落下真菌はほとんど検出されず、最大でも2 cfu/(皿・h)であった。

さらに、2025年度夏期におけるJ映画館の追加測定の結果、2024年夏期および2025年冬期と同様に、落下菌数は10 cfu/(皿・h)以下であった。

C2.2. 付着細菌・付着真菌

付着細菌については、映画館Jを除き、先行研究における2Dスクリーンと同程度の100 cfu/(23 cm²)以下であった。また、冬期に測定した3映画館においても、付着細菌は概ね100 cfu/(23 cm²)以下であった。

付着真菌については、先行研究では200 cfu/(23 cm²)を超える測定値が散見されたが、本調査では映画館Hで200 cfu/(23 cm²)が検出されたものの、全体として50 cfu/(23 cm²)以下の傾向を示し

た。さらに、冬期に測定した3映画館では付着真菌数は低く、最大でも2 cfu/(23 cm²)であった。

また、2025年度夏期におけるJ映画館の追加測定では、付着細菌は一部で高値を示し、最大610 cfu/(23 cm²)であったが、それ以外は概ね200 cfu/(23 cm²)以下であった。一方、付着真菌は2025年夏期に高値を示す傾向が認められ、最大2033 cfu/(23 cm²)であった。また、冬期に比べて夏期の方が付着真菌数が多い傾向が確認された。最大値を示した試料ではYeastが優占的に検出され、2024年夏期と同様にWallemia属も多く確認された。一方、2024年夏期に多く検出されたAspergillus属は、2025年夏期では低い値であった。

C2.3. 浮遊細菌・浮遊真菌

図8に、2024年夏期に測定した各映画館の浮遊細菌濃度を示す。先行研究の2Dスクリーンと同様に、映画館Fの「上映3前方」では1000 cfu/m³を超える高濃度が検出されたが、その他の測定点はいずれも1000 cfu/m³以下であった。一方、冬期に測定した3映画館の浮遊細菌濃度はすべて500 cfu/m³以下であった(図9)。

図10に示す浮遊真菌濃度については、先行研究では1000 cfu/m³以上が検出されたのは1か所のみであったのに対し、本調査では映画館Hで7か所、映画館Jで4か所において1000 cfu/m³を超える値が確認された。冬期に測定した3映画館では、映画館Jの上映2において50~200 cfu/m³の範囲を示したが、その他は50 cfu/m³以下であった(図11)。

さらに、2025年度夏期におけるJ映画館の追加測定結果を含めて比較すると、浮遊細菌および浮遊真菌のいずれにおいても、冬期より夏期の方が高濃度となる傾向が確認された。また、2024年夏期と2025年夏期の間にも濃度差が大きいことが明らかとなった。

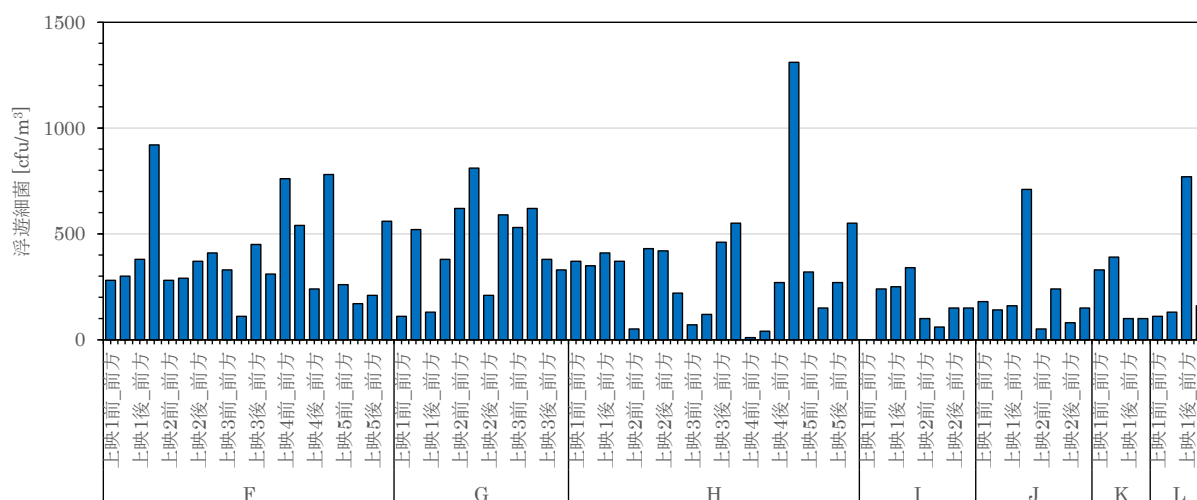


図 8 各映画館の浮遊細菌濃度－夏期

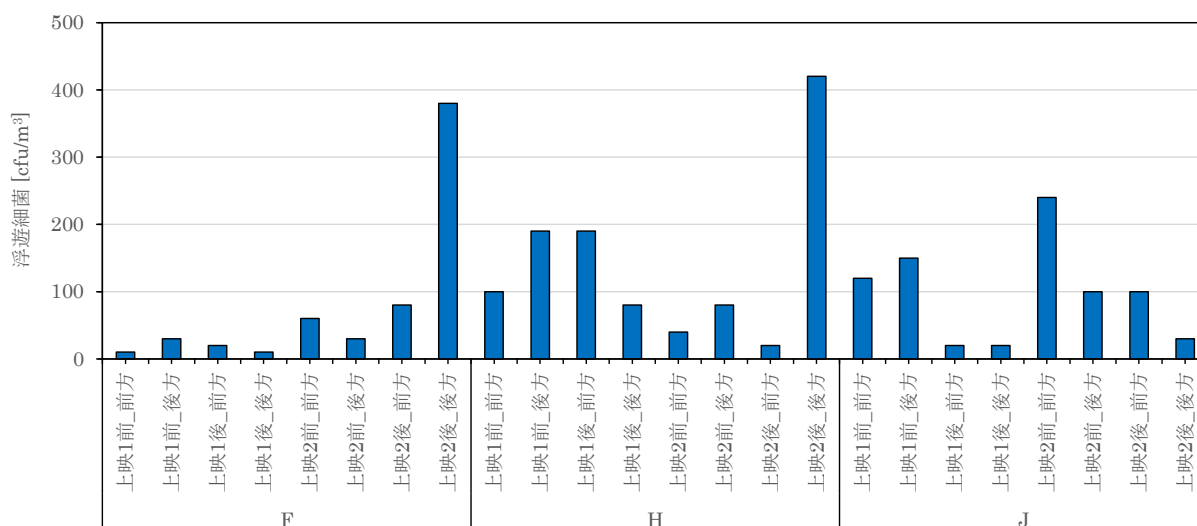


図 9 各映画館の浮遊細菌濃度－冬期

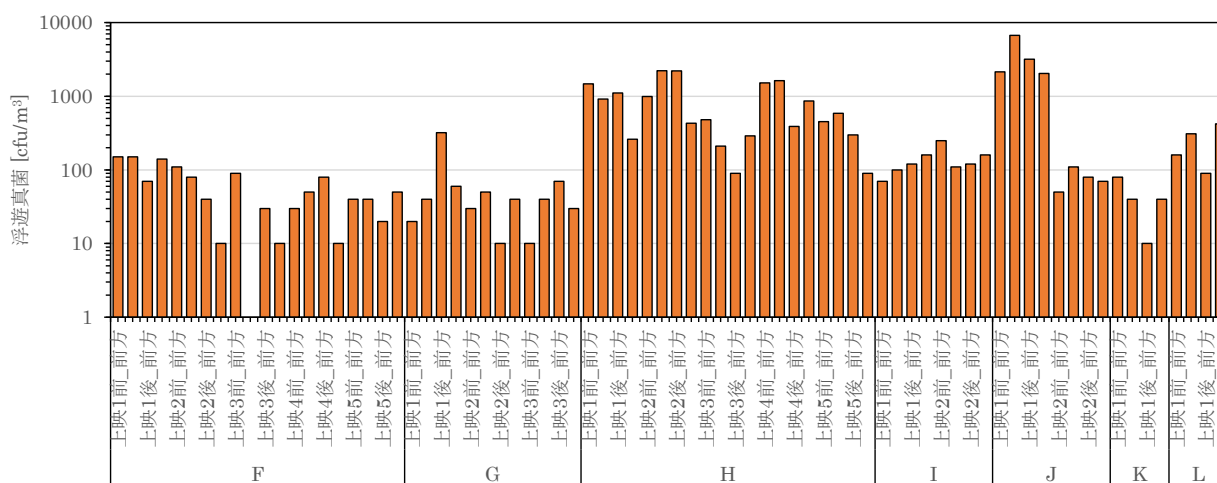


図 10 各映画館の浮遊真菌濃度－夏期

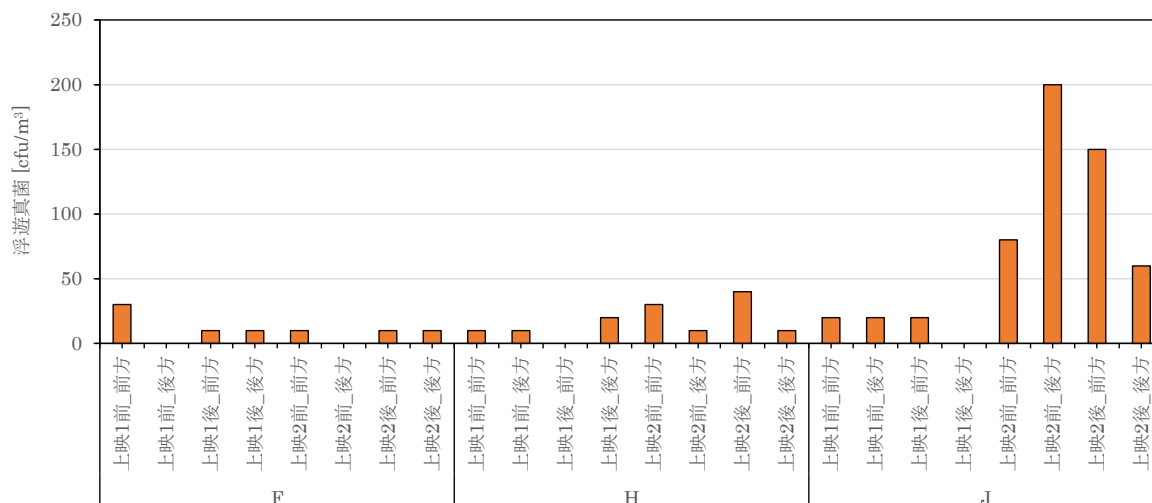


図 11 各映画館の浮遊真菌濃度－冬期

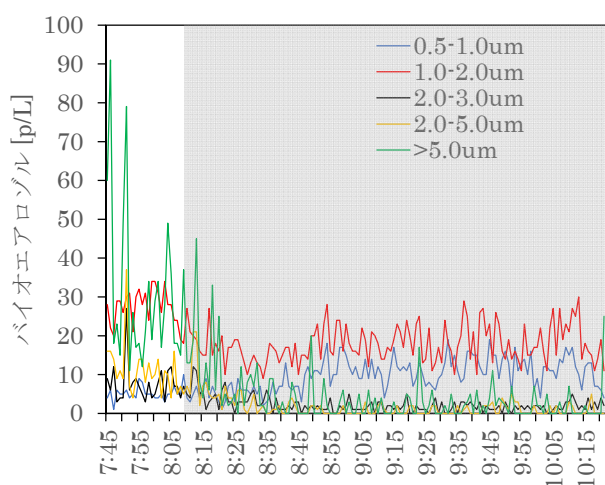


図 12 S1 映画上映中の BP 濃度の経時変化

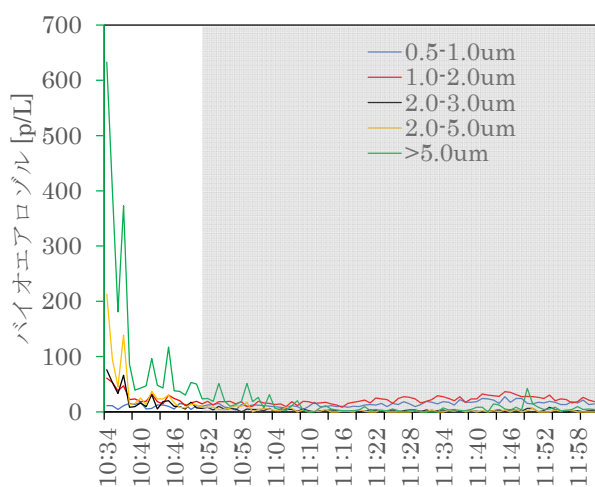


図 13 S2 映画上映中の BP 濃度の経時変化

C2.4. バイオエアロゾル粒子

2025 年 8 月の測定では、初めて BAS を用いてスクリーン 1 (S1) およびスクリーン 2 (S2) を対象に測定を行った。両スクリーンの概要は以下に示す通りである。

S1 上映時間： 8:10–10:20、規模：130 席

S2 上映時間： 10:50–13:35、規模：310 席

図 12 に S1、図 13 に S2 における粒径別 BP 濃度の測定結果を示す。

S1 では、映画上映前に 1.0-2.0 μm 、2.0-5.0 μm 、特に>5.0 μm の BP 濃度が大きく変動し、上映中より高い濃度を示した。S2 においても同様の傾向が見られ、映画上映前に 1.0-2.0 μm 、2.0-5.0 μm 、特に>5.0 μm の BP 濃度が大きく変動し、上映中より高い濃度を示した。また、席数の多い S2 では、>1.0 μm の BP 濃度は S1 と比較して顕著に高かった。

図 14 に S1 および S2 における上映前および上映中の総 BP 濃度の分布と検定結果を示す。各群間の差の有意性を検討するため、統計ソフト IBM SPSS Statistics Ver. 29 を用いてマン・ホイットニーの U 検定を実施した。図 15 に示す通り、両スクリーンにおいて上映前の BP 濃度は上映中と比較して有意に高かった。また、S2 では、上映前および上映中のいずれにおいても S1 より BP 濃度が高い結果となった。

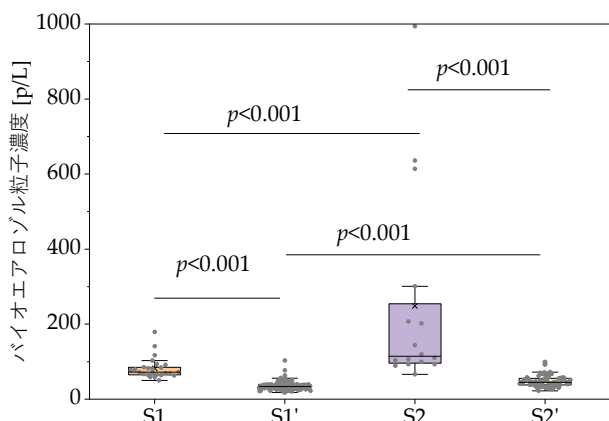


図 14 両スクリーン上映前(S1、S2)と上映中(S1'、S2')のバイオエアロゾル濃度分布

C3. 検疫ホテル

図 15 に実験 1 (全室の浴室換気扇 OFF) の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。CO₂発生時には、 $>5.0 \mu\text{m}$ の BP 濃度の顕著な上昇が確認された。また、客室②において 1 分間蛍光粒子を発生させた直後、廊下に設置した BAS において $>1.0 \mu\text{m}$ の 3 粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。その後の実験時間帯においても、 $>1.0 \mu\text{m}$ の BP 濃度に断続的な上昇が認められた。さらに、実験終了後に扉を開放した際にも、 $>1.0 \mu\text{m}$ の 3 粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。

図 16 に実験 2 (全室の浴室換気扇 ON) の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。実験 1 と同様に、CO₂発生時には $>5.0 \mu\text{m}$ の BP 濃度の顕著な上昇が確認された。また、客室②において 1 分間蛍光粒子を発生させた直後、廊下に設置した BAS において $>1.0 \mu\text{m}$ の 3 粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。その後の実験時間帯においても、 $>1.0 \mu\text{m}$ の BP 濃度に断続的な上昇が認められた。さらに、実験終了後に扉を開放した際にも、 $>1.0 \mu\text{m}$ の 3 粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。

図 17 に実験 3 (全室の浴室換気扇 ON、全室窓開放) の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。実験 1 および 2 と同様に、CO₂発生時には $>5.0 \mu\text{m}$ の BP 濃度の上昇が確認された。また、客室②において 1 分間蛍光粒子を発生させた直後には、廊下の BAS において BP 濃度の顕著な上昇は確認されなかったが、その

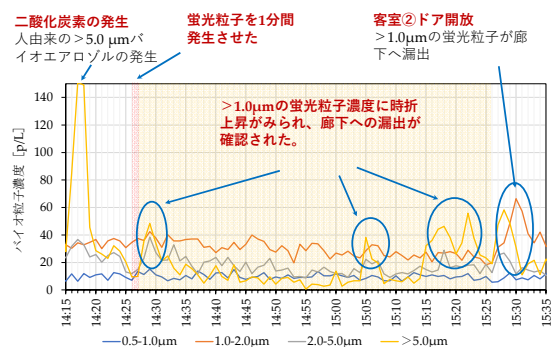


図 15 実験 1 における蛍光粒子濃度の経時変化

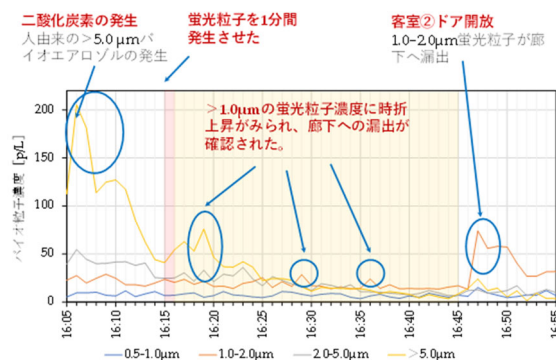


図 16 実験 2 における蛍光粒子濃度の経時変化

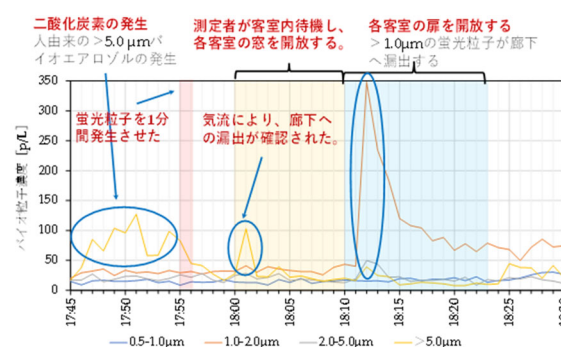


図 17 実験 3 における蛍光粒子濃度の経時変化

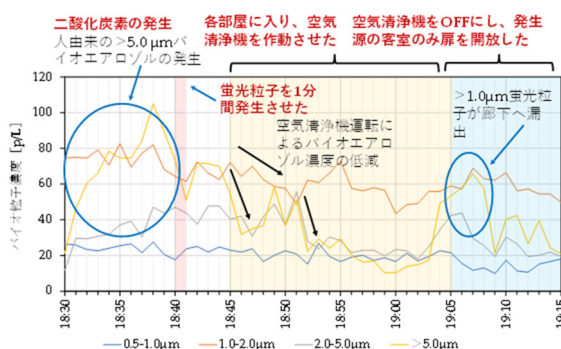


図 18 実験 4 における蛍光粒子濃度の経時変化

後、窓開放の影響により廊下の BP 濃度の上昇が確認された。さらに、実験終了後に各室の扉を開放した際には、実験 1 および 2 と比較して廊下の BP 濃度がより顕著に上昇した。

図 18 に実験 4（全室の浴室換気扇 ON、空気清浄機 ON）の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。実験 1～3 と同様に、CO₂発生時には $>5.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の上昇が確認された。また、客室②において 1 分間蛍光粒子を発生させた直後、廊下の BAS において $>2.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の上昇が確認されたが、空気清浄機の稼働により特に $>2.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の低減が確認された。さらに、実験終了後に各室の扉を開放した際には、廊下の BP 濃度の上昇が確認された。

D. 考察

D1. ビジネスホテル

冒頭で述べた通り、公開されているホテルの室内温度・相対湿度・CO₂濃度の不適率は、オフィスや学校と比較して低い傾向にある。しかし、これは宿泊者が在室していない時間帯の測定結果である可能性が高い。本研究では、宿泊者の在室時間帯を含めた測定を実施した結果、温度の不適率は 30%、相対湿度の不適率は 74%、CO₂濃度の不適率は 30%であった。特に相対湿度については、夏期・中間期において 70%を超える対象室が多く、冬期ではすべての測定室（3 室）が 40%を下回っていた。

温湿度に関しては、不在時間帯も測定に含まれているため、在室時間帯に限定すれば不適率は上記よりも低下する可能性がある。一方、室内 CO₂は宿泊者が主な発生源であることから、在室時間帯に限定した場合は不適率が 30%を上回る可能性がある。CO₂濃度の上昇は換気不足に起因すると考えられる。

就寝時間帯における CO₂ の最大濃度が 1000ppm を超えたのは全体の 41%に相当する 11 室であった。特に A ホテルの A1・A2 室では、換気扇が稼働していたにもかかわらず、最大 CO₂濃度が 3000 ppm を超えていた。このレベルは窓を閉め切った寝室と同程度であり、このことから換

気扇のフィルター詰まり等により十分な換気が行われていなかった可能性が推察される。適切な換気量を確保するためには、日常的な保守管理が極めて重要である。

厚生労働省新型コロナウイルス対策本部は、「換気の悪い密閉空間」の改善手法として、2 回/h 以上の換気回数を推奨している。本研究では、就寝時間帯の CO₂ 濃度上昇を用いて換気回数を推定した結果、2 回/h 以上を満たしていたのは 4 室にとどまり、1.95 回/h であった 2 室を含めても全体の 22%に過ぎなかった。特に 2 名以上が同室する場合、同室者間での感染伝播に注意が必要である。たとえば G5 室では、2 名の宿泊者に対して換気回数が 0.5 回/h と低く、感染リスクの存在が示唆される。

D2. 映画館

本研究では、シネマコンプレックスにおいて、冬期よりも夏期の方が浮遊・落下・付着のいずれの細菌・真菌濃度も高く、これは季節変動による影響と考えられる。また、先行研究である 2D 映画館と比較して、夏期におけるシネマコンプレックスの落下細菌・真菌数は多かった。一方、付着細菌は先行研究と同程度であったが、付着真菌は少なかった。これらの違いは、施設内の利用状況や空調・換気システムの差によると考えられる。

前述した式 (2) を用いて算出した S1 および S2 における映画上映前および上映中の浮遊細菌濃度の予測値を図 19 に示す。上映前の予測値の中央値はそれぞれ 274 cfu/m³ と 435 cfu/m³であり、浮遊細菌の実測値 (30 cfu/m³ および 260 cfu/m³) の約 9 倍と 1.7 倍であった。この差の一因として、予測値は約 20 分間の平均値に基づいて算出されたのに対し、実測値はそのうちの 1 分間の測定値であることが影響していると考えられる。また、式 (2) を用いて算出した S1 および S2 における映画上映中の浮遊細菌濃度の中央値は、それぞれ 129 cfu/m³ と 171 cfu/m³であった。

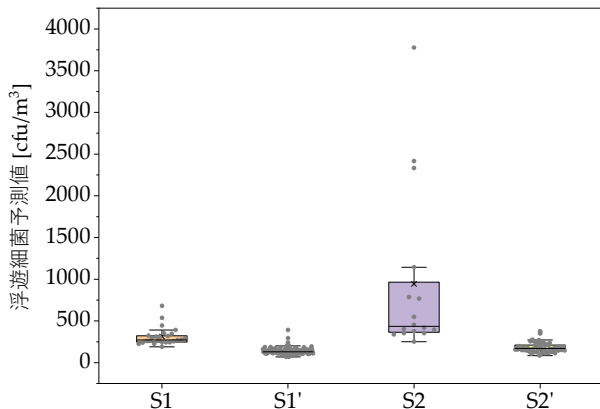


図 19 映画上映前 (S1、S2) と上映中 (S1'、S2') 室内浮遊細菌濃度推測値

D3. 検疫ホテル

検疫ホテルは検疫用途として設計された施設ではないため、客室と廊下間、あるいは客室間の気流の流れによって感染が発生する可能性がある。

前述したシンガポールの事例では、垂直方向に隣接する別々の客室に滞在していた 2 名の感染者が報告されている。疫学解析およびウイルス遺伝子配列解析の結果、両者には物理的接触がなかったにもかかわらず関連性が確認されたことから、エアロゾルトレーサ試験や目視検査を含む現場評価を通じて、両客室間における垂直方向のエアロゾル伝播経路の可能性について調査が行われた。その結果、発生源客室から放出されたエアロゾルが受容側客室へ移動していたことが確認され（平均 9.4 mg/m^3 ）、これは同一排気ダクト沿いの他の客室と比較して少なくとも 2.6 倍高い値であった。この現象は、トイレ排気口から排気シャフトへ流入した空気が、レンガ造の排気シャフト壁の隙間を通じて天井プレナムへ逆流した経路による可能性が示唆されている⁴⁾。

また、香港の Wong らは検疫ホテルを対象としてスモークテスターを用いた気流可視化試験を実施しており、その結果（図 20）から客室と廊下間で空気の流入・流出が生じていることを確認している⁹⁾。

本研究においては、アメダス（成田観測所）の気象データによると、測定日である 2025 年 8 月 26 日午後（12:00～18:00 頃）の風向は概ね南～南南東（海風）であり、時間帯による多少の変動

はあるものの、南寄りの風が卓越していた。BP 発生源である客室②は南東向きであることから、風上側外壁に正圧が形成された可能性がある。本研究の実証試験では、浴室換気扇の運転条件（ON/OFF）にかかわらず、発生源客室②から廊下への粒径 $1.0 \mu\text{m}$ 以上の BP の漏出が確認された。これは、客室と廊下間の風圧差により、ドアのアンダーカット部を通じて BP が廊下へ漏出したためと推察される。（図 15、図 16）。

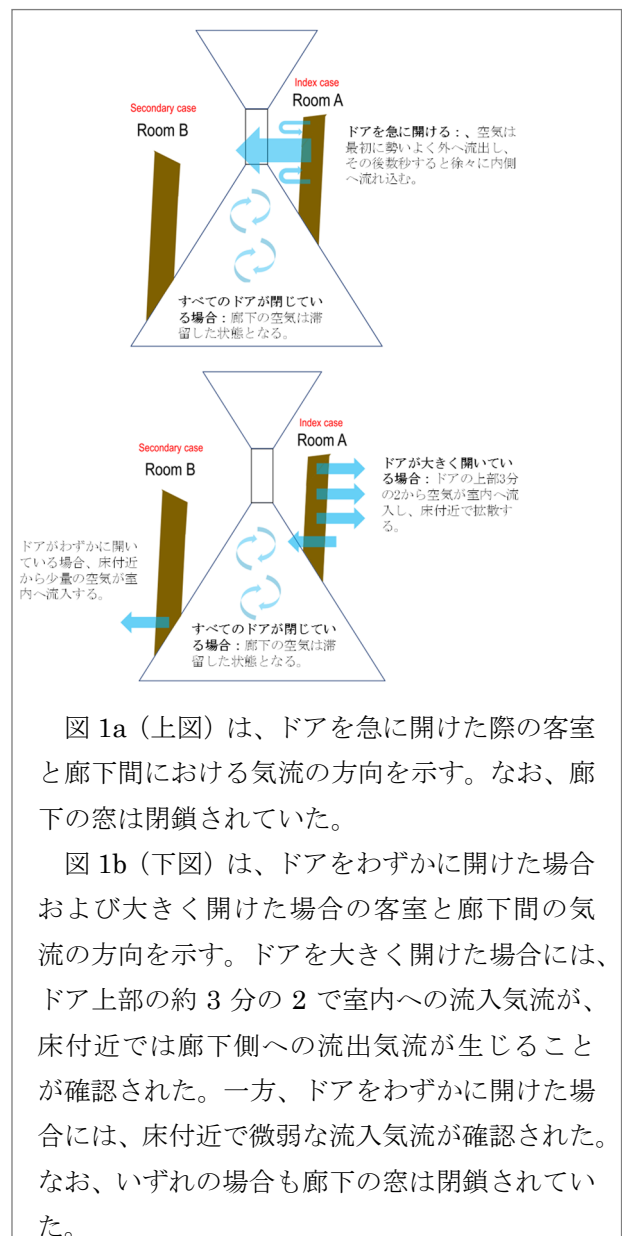


図 1a（上図）は、ドアを急に開けた際の客室と廊下間における気流の方向を示す。なお、廊下の窓は閉鎖されていた。

図 1b（下図）は、ドアをわずかに開けた場合および大きく開けた場合の客室と廊下間の気流の方向を示す。ドアを大きく開けた場合には、ドア上部の約 3 分の 2 で室内への流入気流が、床付近では廊下側への流出気流が生じることが確認された。一方、ドアをわずかに開けた場合には、床付近で微弱な流入気流が確認された。なお、いずれの場合も廊下の窓は閉鎖されていた。

図 20 旅行者向け指定隔離ホテル内の客室間で、SARS-CoV-2 の懸念される変異株であるオミクロン株（B.1.1.529）が空気感染する潜在的なメカニズムを実証するための煙試験の模式図

COVID-19 パンデミック期間中には窓開放による自然換気が推奨されていたが、本試験の結果では、窓を開放すると外気の風向および風圧の影響により計画された換気経路が維持されず、その結果、発生源である客室②から廊下への BP 漏出量は試験 1 および試験 2 よりも増加することが確認された。さらに、ドアを開放した場合には、窓開放時よりも多くの BP が廊下へ漏出することが確認された（図 17）。

空気清浄機は浮遊粒子濃度低減対策として有効であることが広く知られている。本研究においても空気清浄機の運転により廊下への BP 漏出量の低減が確認された（図 18）。

E. 結論

本研究では、ビジネスホテルにおける室内環境調査、シネマコンプレックスにおける微生物実態調査、ならびに COVID-19 パンデミック期間中に検疫ホテルとして使用された宿泊施設を対象とした、蛍光粒子発生源客室から廊下への漏出特性に関する実証試験を実施した。その結果、以下の知見が得られた。

ビジネスホテルに関しては、宿泊者の在室時間帯を含めて測定を行った結果、温度の不適率は 30%、相対湿度は 74%、CO₂ 濃度は 30%であった。特に相対湿度については、夏期には 70%を超える対象室が多く、冬期には測定対象の全室（3 室）で 40%を下回った。

シネマコンプレックスに関しては、落下細菌および落下真菌は、2024 年夏期、2025 年冬期および夏期のいずれにおいても 10 cfu/(皿・h)以下であった。また、2024 年夏期に付着真菌が多く検出された J 映画館では、2025 年夏期においても同様の傾向が確認された。さらに、バイオエアロゾルセンサの測定値に基づき推定した映画上映中の浮遊細菌濃度は、スクリーン 1 およびスクリーン 2 でそれぞれ 129 cfu/m³ および 171 cfu/m³であった。

検疫ホテルに関しては、客室間および客室と廊下間の風圧差により、発生源客室のドアアンダーカット部を通じて廊下へ蛍光粒子が漏出するこ

とが確認された。また、窓開放時には外部風圧の影響により廊下への蛍光粒子漏出量が増加し、ドア開放時には漏出量が最大となった。さらに、空気清浄機の使用により、蛍光粒子漏出量の低減が確認された。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 柳 宇、開原典子、林基哉、戸次加奈江、黒須一見：検疫ホテルにおける客室から廊下へのバイオエアロゾル伝播特性の実証と緩和策の検討. 日本建築学会大会学術講演梗概集. 2026.
- 2) 柳 宇、開原典子：シネマコンプレックス映画上映時の微生物汚染の実態. 空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集、第 7 巻、97-100. 2025.
- 3) 開原典子、柳 宇、林 基哉、戸次加奈江：中規模映画館の観覧場における温度・相対湿度・二酸化炭素濃度の実態調査. 2025 年室内環境学会学術大会講演要旨集. 198-199. 2025.
- 4) 篠田佳希、柳 宇、開原典子：映画館シアター内における上映中の微生物環境の実態. 2025 年室内環境学会学術大会講演要旨集. 302-303. 2025.
- 5) 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調査研究 第 4 報 4D 映画館ミスト噴出口の付着細菌叢, 2024 年日本建築学会大会学術講演梗概集, 121-122. 2024.
- 6) 開原典子、柳 宇、本間義規、島崎大、伊庭千恵美、戸次加奈江、林基哉：映画館における室内空気質実態に関する調査研究 第 5 報 観覧場内における 4D 上映中の温湿度及び二酸化炭素濃度の測定, 2024 年日本建築学会大会学術講演梗概集, 123-124. 2024.

- 7) 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: 4D と 2D 映画館の付着真菌叢, 令和 6 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 37-40. 2024.
 - 8) 開原典子, 柳 宇, 島崎大, 戸次加奈江, 本間義規, 伊庭千恵美, 菊田弘輝, 林基哉: 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態 その 7 映画館の上映中の室内空気質実態調査, 公衆衛生学会, 2024
 - 9) 開原典子, 島崎大, 戸次加奈江, 伊庭千恵美, 本間義規, 柳 宇, 林基哉: シネマコンプレックスの大便器利用に関する実態調査, 2024 年室内環境学会学術大会講演要旨集, 351-352. 2024.
- ### 3. 総説
- 1) 柳 宇: 映画上映中シアター内の微生物の実態、ビルと環境、No.191、13-21、2025.10. ISSN 0918-5615.
- ### 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: 興行場における衛生的な環境確保のための研究、厚生労働科学研究費補助金 (健康安全・危機管理対策総合研究事業) 分担研究報告書、2024
 - 2) Dillon C. Adam, et al. Risk of within-hotel transmission of SARS-CoV-2 during on-arrival quarantine in Hong Kong: an epidemiological and phylogenomic investigation. The Lancet Regional Health -Western Pacific. 2023;33: 100678.
 - 3) Hsin-Yi Wei, et al. Transmission of SARS-CoV-2 through Floors and Walls of Quarantine Hotel, Taiwan. Emerging Infectious Diseases. 2022; 28(12).
 - 4) Merrill LIM, et al. Possible inter-room aerosol-mediated COVID-19 transmission in a quarantine hotel: A case study. Building and Environment. 2026; 114442
 - 5) 柳 宇、吉野博、ほか: 中国における居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究 第 4 報 室内 CO₂ 濃度の実態と CO₂ 濃度測定値を用いた換気量の算出, 日本建築学会大会学術講演会梗概集 (関東), 2015
 - 6) Yanagi, U; Fukushima, N.; Nagai, H.; Ye, H.; Kano, M. Bioaerosol Sensor for In Situ Measurement: Real-Time Measurement of Bioaerosol Particles in a Real Environment and Demonstration of the Effectiveness of Air Purifiers to Reduce Bioaerosol Particle Concentrations at Hot Spots. Atmosphere. 2023. 14, 1656.
 - 7) Fennelly, M.J. et al. Review: The Use of Real-Time Fluorescence Instrumentation to Monitor Ambient Primary Biological Aerosol Particles (PBAP). Atmosphere. 2018.
<http://dx.doi.org/10.3390/atmos9010001>
 - 8) 厚生労働省: 商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について、令和 2 年 3 月 30 日。
 - 9) Wong, SC, et al. Transmission of Omicron (B.1.1.529) - SARS-CoV-2 Variant of Concern in a designated quarantine hotel for travelers: a challenge of elimination strategy of COVID-19. The Lancet Regional Health - Western Pacific. 2022;18: 100360.