

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

興行場における衛生的な環境確保のための研究

令和5年度 総合・分担研究報告書

研究代表者 開原 典子

令和6（2024）年5月

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

興行場における衛生的な環境確保のための研究

令和5年度 総合・分担研究報告書

研究代表者	開原 典子	国立保健医療科学院	上席主任研究官
研究分担者	林 基哉	北海道大学	特任教授
	柳 宇	工学院大学	教授
	島崎 大	国立保健医療科学院	上席主任研究官
	戸次加奈江	国立保健医療科学院	主任研究官
	本間 義規	国立保健医療科学院	統括研究官
	伊庭千恵美	京都大学	准教授

協力団体	全国興行生活衛生同業組合連合会		
研究協力者	谷川 力	ペストコントロール協会	
	山崎 和生	山崎技術士事務所	
	菊田 弘輝	北海道大学大学院	
	山岸 拓也	国立感染症研究所	
	黒須 一見	国立感染症研究所	

令和6年（2024）年5月

目 次

I. 総合研究報告	-----	p. 1
興行場における衛生的な環境確保のための研究		
開原典子		
II. 分担研究報告		
1. 海外の規制と技術に関する文献調査	-----	p. 15
島崎大、柳宇、伊庭千恵美		
2. シネマコンプレックスの温熱環境と衛生器具等利用に関する実態調査	---	p. 29
開原典子、柳宇、伊庭千恵美、島崎大、戸次加奈江、本間義規、 林基哉、菊田弘輝、山崎和生		
3. 映画館の映画上映中の浮遊と落下粒子状物質の実態調査	-----	p. 49
柳宇		
4. 夏期における映画館観覧場の落下菌調査とその分析	-----	p. 63
本間義規、島崎大、戸次加奈江、伊庭千恵美、開原典子		
5. 興行場における空気中化学物質の分析法の検討と実態調査	-----	p. 75
戸次加奈江		
6. 映画館内の換気に関する実態とその評価法に関する検討	-----	p. 87
本間義規、林基哉、開原典子		
7. COVID-19の影響を踏まえた興行場の換気対策	-----	p. 103
林基哉、菊田弘輝、山岸拓也、黒須一見		
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	p. 145

興行場における衛生的な環境確保のための研究

研究代表者 開原 典子 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

興行場では新しい演出が求められることから、新たな興行内容の実態等を踏まえた衛生基準への提言に資する科学的根拠の構築が必要となっている。本研究班では、①国内外の衛生基準調査、②実態調査、③衛生管理手法の確立について、興行場に求められる衛生基準への提言に資する科学的根拠を示す。

国内外の衛生基準の調査では、これまでに、国内外の文献調査に基づいて、欧米各国や国際機関等における興行場を対象とした衛生管理に関する既往の規制やガイドライン、ならびに、興行場に係る新型コロナウイルス感染症対策に関する各国の規制等を抽出し整理を行っているが、継続して国内外の情報集積を行い、必要に応じて情報を更新した。これらの情報は、我が国の興行場の感染症対策等、今般の変化を踏まえた衛生管理のあり方に関する知見と位置付けられる。

実態調査では、これまでの通知では十分に想定されていない映画館の4D上映等、興行場における新たな興行内容・規模・時間を踏まえた衛生管理の実態把握のため、各都道府県等の条例について、衛生項目別に分析し、その課題を抽出するとともに、現場調査として、興行場のうち映画館のシネマコンプレックスの観覧場（2D観覧場と4D観覧場）の実測（入場者数、4D等エフェクト記録、温度・湿度・二酸化炭素濃度・空気清浄度の連続測定および真菌・細菌）と維持管理に関するヒアリングを行い、温熱環境を含む多面的な衛生管理に関するエビデンスを集積した。調査を行った施設の観覧場は、十分な運転能力を有した設備機器を備え、一定水準以上で維持管理がされており、4Dと2Dの観覧場で大略的には温湿度二酸化炭素濃度に大きな差はみられなかった。また、新型コロナウイルス感染症の換気対策として、映画館でもシネマコンプレックスのような空気調和設備等が備えられた施設では、二酸化炭素濃度1,000ppm以下の運転が可能であることも確認された。安心安全な施設の維持には、空気調和設備等の適切な維持管理を継続するとともに、4D装置を有する場合は吹出口を含めた給水システムの適切な衛生管理を継続することが重要である。4Dのエフェクト効果などによる映画館特異的な発生源の影響を調べるため、GCMS/異臭分析システムを用い、映画館内の4D及び2D観覧場におけるにおい成分の測定を行ったところ、有害性が懸念されるレベルのものは検出されなかった。衛生器具の利用に資するため施設内の滞在人数を算出したところ、満員の際にも施設の観覧場以外には総定員比の半分以下となるように上映スケジュールが計画されており、衛生器具を利用する最大人数はコントロールされていた。準則（法第3条第2項関係）にある観覧場の落下菌数30或いは場内の落下菌数50について検討したところ、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示された。また、落下真菌については、1時間の曝露でも数cfuしか検出されず、1時間の曝露で落下細菌は0～60cfuしか検出されていないことから、5分から10分間程度の曝露ではスクリーン内の浮遊細菌と真菌の評価は難しいといえる。このように、興行場の映画館のシネマコンプレックスにおいて、これまでに明らかにならなかった上映中の室内環境及び衛生状況のエビデンスを集積した。

衛生管理手法の確立では、安心安全な興行場の室内衛生環境の確保を目指して、浮遊飛沫（エアロゾル）感染リスクの検討を行い、建築物、空調換気設備、維持管理、空気清浄やマスクの感染対策等、多数の要因の影響を受ける可能性を分析した。また、興行場のスポーツ施設に該当するアイスアリーナについて、空調換気性状と COVID-19 集団感染との関連性、エアロゾル感染対策の立案と効果検証を行い、施設の特徴を踏まえた空調換気設備の設計と運転制御、感染対策が必要であることを示した。

研究分担者	研究協力関連団体・研究協力者
林 基哉 北海道大学	全国興行生活衛生同業組合連合会
柳 宇 工学院大学	谷川 力 ペストコントロール協会
島崎 大 国立保健医療科学院	山崎 和生 山崎技術士事務所
戸次 加奈江 国立保健医療科学院	菊田 弘輝 北海道大学
本間 義規 国立保健医療科学院	山岸 拓也 国立感染症研究所
伊庭 千恵美 京都大学	黒須 一見 国立感染症研究所

A. 研究目的

興行場における衛生管理の体制および法規制等、営業・行政・関連団体の実態を踏まえた効果的な通知に資する情報整備を目的としている。通知では十分に想定されていない映画館の 4D 上映等の新たな興行内容もあり、衛生管理の実態を踏まえた効果的な通知の基礎情報として、国内外を見渡した衛生基準の情報整備、実測等含めた実態把握、指導助言に資する衛生管理手法の確立が求められている。

B. 研究方法

本研究班「興行場における衛生的な環境確保のための研究」は、求められる成果①～③に対応して、3つの研究部会から構成（①国内外の衛生基準調査と分析、②実態調査（条例と指導状況の把握および事例調査）、③衛生管理手法の確立）される。これら一連の研究成果を通じて興行場に求められる衛生基準を策定するための科学的根拠を示すとともに情報整備を行う。具体的な研究計画及び方法を以下に示す。

B1. 国内外の衛生基準の調査【R3-R4】

我が国の興行場の衛生基準を策定するための基礎情報とするために、建築物衛生法や建築基準法等の同時に規制を受ける関係法規や海外の規制について、文献調査や国内外の技術動向の資料に基づき、知見を整理する。

B1-1. 国内法規の整理と課題の提示（開原/本

間/林）

興行場の衛生措置に関する国内の関連法規を整理し、関連団体等へのヒアリング等を通じて、現状の法を取り巻く課題と構造を整理する。

B1-2. 海外の規制と技術に関する調査（島崎/伊庭/柳）

興行場の衛生措置について海外の規制を整理し、海外の新しい技術の衛生管理状況とその課題を文献調査等により集積する。

B2. 実態調査【R3-R5】

各都道府県の条例と事例調査も含めた各都道府県等の衛生実態及び指導状況を整理し、通知の衛生項目に関する課題の有無および現通知との乖離している項目の抽出を行う。

B2-1. 各都道府県の条例とその指導状況に関する調査と整理（戸次/島崎/開原）

各都道府県の条例を整理し、各都道府県の指導状況を調査するためのヒアリング等を行い、衛生項目別に分析しその課題を整理する。

B2-2. 事例調査（真菌・細菌：柳、水質：島崎、化学物質：戸次、落下細菌・粉じん・換気：林、本間、温熱・建築計画：開原、伊庭、ねずみ昆虫：谷川、設備・装置：山崎、維持管理：齋藤）

施設の規模や新旧および空調方式の違いを踏まえて、実測調査を行う。映画館等の 4D 等を有す

興行場における衛生的な環境確保のための研究



図1 研究の構造

る場合、「水しぶき」「バブル」「霧」など水回りに関連する装置メカニズムを踏まえた衛生管理を中心として、水質調査等や維持管理状況について、施設にてヒアリング及び観察調査を行う。

(1) 調査対象

4Dを備えた映画館(シネマコンプレックス)について、冬期と夏期に調査(3施設全33観覧場)を行った。各施設は、4D観覧場を1つと、2D観覧場約10を持っている。観覧場の規模は、4Dでは客席が100名以下、2Dでは100名以下から約400名の客席を有しているものであった。

(2) 調査A(温湿度及び二酸化炭素濃度等温熱環境の調査)

施設内観覧場において、通常の上映中に、温度および相対湿度、二酸化炭素濃度(HOBO、mx1102aを使用)を1分間隔で測定した。詳細調査として、測定機器を座席の肘掛けに固定し、1つの観覧場内で、平面的に5点(スクリーンに向かい右前、右後、左後、左前、中央)を測定した。4D観覧場では、映画のシーンに合わせ、客席のシートが動くとともに、水しぶきや、香り等の五感を刺激する特殊効果が連動する仕組みとなっているため、機器の設置位置は、これら水しぶき等が直接機器にかからないように設置するとともに、4Dの演出を記録した。調査は、3つ各シネマコンプレックスとも、4D観覧場の場合は

開演から終演までの約 5 演目を連続して測定し、2D 観覧場の場合は規模の異なる 3 つの観覧場について各 1 演目ずつ測定した。3 つの施設とも、冬期調査は 2022 年 11 月に、夏期調査は 2023 年 8 月～9 月に実施した。

(3) 調査 A (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。

(4) 調査 A (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。

(5) 調査 A (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。

(6) 調査 A (細菌叢と真菌叢)

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 (全て異なる観覧場) 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、冬期では、D 映画館と E 映画館の 4D 映画上映後、夏期では C、D、E 映画館の 4D 映画上映後に前方と後方のミスト噴出口表面の付着細菌と付着真菌を採取した。

DNA の抽出は、付着菌のサンプルを採取した後、綿棒をストマッカー (MiniMix 100 P CC Interscience) で処理し、3 mL の DNA フリー水とサンプル溶液 2 mL を合わせ、ストマッカー Biomaster 装置で DNA を抽出した。その後、処理したサンプルをストマッカーバッグから取り出

し、1.5 mL 試験管に入れ、4 °C、3000 rpm で 30 分間遠心分離 (KUBO-TA5911) して細菌を抽出した。NucleoSpin®Tissue キット (740952、MACHEREY-NAGEL) を用い、ボルテックスミキサーで処理液を混合することにより、DNA を精製した。

DNA の増幅と塩基配列の決定は、各サンプルについて、細菌は 16S リボソーム RNA (rRNA) 遺伝子の可変領域 4 (V4)、真菌は ITS2 領域の解析を行った。

DNA は品質を Agilent 2200 TapeStation を用いて確認し、解析に必要な品質と量の核酸濃度を含むすべてのサンプルを解析した。生成した配列ライブラリーを結合し、再増幅した PCR 産物を AMPure XP ビーズ (ビーズ量比 1:1) で精製し、配列ライブラリーの品質を向上させた。データ解析は QIIME (Ver.1.9.0、Silva 132 Database) を用いて行った。

4D 観覧場と 2D 観覧場の粒径別浮遊粒子濃度および生菌 (落下細菌・付着細菌・浮遊細菌; 落下真菌・付着真菌・浮遊真菌) の違いについて、統計ソフト IBM SPSS Statistics Ver29 を用いたマン・ホイットニーの U 検定を用いた。データは中央値および四分位範囲 (IQR)、平均値で表示した。 p 値 < 0.05 を統計的に有意であるとみなした。 β 多様性は、重み付け UniFrac 距離を用いた主座標分析により示す。各サンプルの菌叢を比較するために、QIIME 2 を用いて重み付け UniFrac 距離行列を算出した。

(7) 調査 B (2 週間の連続測定)

上映中の通常営業時の観覧場内において、冬期調査と同様に、温湿度及び二酸化炭素濃度 (HOBO、mx1102a を 1 台使用) を 1 分間隔で連続的に 2 週間程度測定した。機器の設置場所は、観覧場の排気側とした。調査は、各施設の全ての観覧場 (各施設約 10 の観覧場) を対象に、冬期調査は 2022 年 11～12 月に、夏期調査は 2023 年 8～10 月に実施した。

(8) 浮遊微生物量の評価法に関する検討

日本建築学会環境基準 AIJES-A0002-2013 では、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規準の提案値が示されている。現在はエアサンプラーを用いた空中浮遊菌濃度が主流であり、各用途施設における浮遊菌濃度の設計基準及び維持管理基準が提案されている。唯一、学校のみ両方の数値が示されており、換算係数を求めることができる。その係数を用いて事務所、高齢者施設の落下菌個数を算出し、その後の結果の比較に用いる。

浮遊微生物の落下は、発生源から拡散した浮遊微粒子の重力沈降である。これまでの検討では、ストークスの法則から、映画館の天井高さ(気積)とコロニー平均密度、培地開放時間を仮定して $0.002445(\text{CFU}/(5 \text{ 分間} \cdot \text{m}^3))/(\text{CFU}/\text{m}^3)$ を導出した。この結果を用いて 3 映画館の夏期(8、9月)の落下菌実測の結果を分析した。

(9) 空気中の準揮発性有機化合物(SVOC)の分析

可塑剤及び難燃剤を含む数種類の SVOC 標準物質を異なる温湿度条件下で自然拡散させ、流速 100 ml/min で一定時間空気を捕集した(室温: 25°C、30°C、湿度: 50%)。これらのサンプルを TD-GCMS (TD-GCMS-QP2020 NX、島津製作所) で分析した。このとき、空気捕集にはコンディショニング済みの Tenax-TA 捕集管を用い、捕集流量は 12 L または 48 L とした。

(10) 空気中のイソシアネートの分析

拡散サンプラーを屋内外に設置しサンプリングを実施した後、メタノール:硫酸:トルエン(= 3:3:5、v/v) で液抽出し濃縮したものを試料としイソシアネート誘導体を LC-MS/MS で分析した。また、比較のためアクティブサンプラーにより 0.1 L/min の流速でサンプリングを行った。SCX-DBA サンプラーは、アセトニトリルで抽出後、濃縮したものを同様の方法で分析した。

(11) 加熱脱着 GCMS を用いた空気中のにおい成分に関する分析

GCMS/異臭分析システムを用い、過去の異臭問題で特定された異臭成分に関するデータベース 145 成分を対象とし、映画館内の 4D 及び 2D シアターにおけるにおい成分の測定を行った。空気の捕集には、Tenax TA を充填した捕集管を用い、演目ごとに 2 時間(流速: 100 ml/min) ずつ空気を捕集し、得られたサンプルは、加熱脱着-GCMS 装置でにおい成分を同定・定量した。

(12) 換気に関する実態とその評価法に関する検討

4D 観覧場の実測調査結果から、換気量を簡易にシミュレーション推定する方法について検討する。また、水噴霧やスモークなどの環境効果に伴う浮遊微粒子の放出状況、及び準則で定める空中落下菌等を確認するため、パーティクルカウンターを用いた連続測定を行う。

映画館観覧場は床面積に対する座席密度は高い一方で一人当たりの占有気積は大きいという特徴を有しているため、大空間の換気性能評価に関する課題点を整理した。また、中央式空調の場合の OA 比と潜熱負荷の関係などについても簡単な検討を行った。

(13) 衛生器具の使用状況に関する調査

調査対象施設は、興行場法の施設の映画館のうち、シネマコンプレックスとした。調査を行ったシネマコンプレックスは、1フロアに 10 の観覧場を持ち、総定員は 2,000 名程度である。施設内の 3 つのエリア(エントランス、メインロビー、シアター内)に便所が設置されている。なお、シアター内は、鑑賞券を持っていないと入れないエリアとなっている。

エリアの利用傾向調査として、都内近郊の 1 つのシネマコンプレックスの混雑日と通常日を対象に、2022 年 11 月~12 月に調査を行った。具体的には、当該施設の 3 箇所の便所(施設入口付近(以降、エントランスという)、券売機売店等の

メインロビー（以降、メインロビーという）、検札後のシアター内（以降、シアター内という）を対象に、10時半から14時半までの計4時間のそれぞれの便所の利用者の傾向を記録するとともに人数を男女別にカウントした。

詳細調査として、衛生器具の利用実態について、施設内の衛生器具等に開閉センサー及び人感センサー等を設置し使用状況を計測した。大便器利用については、ブース扉に開閉センサーを設置し、各センサーから発せられる通知メールやアラーム履歴を収集し、発報機器名、時間を記録している。また、施設利用の人数と利用者の利用傾向を把握するために、観覧場の人数を測定するとともに、上映演目及び上映時間等の情報を記録した。機器の設置場所は、施設内の3つのエリアを対象とした。測定は、2024年2月から3月の2か月間行われた。

B3. 衛生管理手法の確立【R3-R5】

衛生管理手法の確立を目指し、自治体の指導助言に資する4D上映等の装置と空気調和設備の維持管理に関する知見を整備するとともに、施設の種類等を踏まえた安心・安全につながる感染症対策の知見を整備する。

B3-1. 施設の種類を踏まえた消毒・換気対策（林/谷川/山崎）

興行場の施設の種類等を踏まえて、COVID-19の感染対策の知見を整理し、そのリスクを検討した。また、施設の消毒・換気対策に関する情報を整理し、啓発資料を作成に資する情報を集積した。

B3-2. 映画館における4D上映等の新しい装置についての維持管理手法の確立（林/谷川/山崎）

興行場の安心・安全につながる衛生対策の知見整備として、映画館の4D上映等の新しい装置の維持管理のヒアリング調査等から課題を抽出した。

B3-3. 指導助言に資する空気調和設備の維持管理のマニュアル（本間/山崎/林）

特定建築物の個別空調方式の行政指導等マニ

アル（令和4年度終了、代表・林基哉）を活用し、空気調和設備の維持管理マニュアルに資する情報を整備した。

C. 研究結果

C1. 国内外の衛生基準の調査

興行場法第2条、第3条関係基準条例準則の条文ごとに、国内の関連法規（建築物衛生法、建築基準法、消防法、バリアフリー新法（高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律）等）との関連条文整理を行った。一方、興行場に関する衛生基準の設置等の権限は、保健所設置し及び特別区へ移譲されているため、各自治体の条例・規則・細則等の衛生基準に関する項目について、抽出し整理した。

本邦の建築物衛生法に関する空気環境とその維持管理に関して、興行場について入手しうる資料は殆どなかった。従って、これから環境に関する実態調査や管理者に対する管理現状のヒアリングは重要であるといえる。

アメリカでは、ASHRAEが室内空気質に関する基準値や詳細なガイドラインを示していた。興行場に関連した衛生管理や規制についての情報は、空気質についてのみ確認できた。

欧州規格ならびにISOの建物内の空気質と換気に関わる規格では、興行場に特化したものではないものの、使用者の占有率と建物由来の汚染物質排出量に応じた設計換気量の決定方法、室内空気質の測定・評価方法、および目標とする室内空気質を達成するための設計方法が詳細に記述されていた。

給排水設備や水質に関する基準としてイギリスと中国を、興行場等の換気・空気質について、イギリス、中国、ベルギーの3か国の基準を参照し、後者では興行場の用途に応じて推奨される換気量が異なること、イギリスの推奨換気量はオフィスと同程度であり、中国およびベルギーよりも多いことが分かった。

WHO 本部ならびに欧州地域事務局が公開する室内空気質に関するガイドラインは、興行場等の短時間において不特定多数の利用者が滞在する施設を対象としていなかった。一方、韓国の Indoor air quality control act では映画館や展示場等の不特定多数が使用する施設、電車等の公共交通機関、ならびに、医療施設等が対象に含まれていた。

The Indoor Environmental Quality (IEQ) guidelines database により各国の法規制やガイドラインを参照したところ、公共施設または商業施設を対象とした室内空気質に関する法令やガイドラインは 8 カ国・地域に存在したものの、映画館などの興行場を対象とした法令等は見受けられなかった。一方、興行場等を対象とした室内換気に関する法令やガイドラインは 3 カ国に存在しており、用途に応じて、各国とも同程度の最小換気量または推奨換気量が定められていた。

国内各省庁では、COVID-19 流行期間中に多くのガイドラインが公表されている。感染症対策の視点から参考となるものが多かった。

米国ニューヨーク州健康局が定める映画館を対象とした COVID-19 感染症に係る暫定ガイドラインは、映画館の所有者や運営会社等を対象とした営業再開に係る運用上の規範が示されていた。

C2. 実態調査

(温度・湿度・二酸化炭素濃度)

実態調査の結果、映画館のシネマコンプレックスの 4D 等の観覧場は、十分な運転能力を有した設備機器を備え、一定水準以上で維持管理がなされている。4D 上映における水やにおい等の演出が温度・相対湿度・二酸化炭素濃度に及ぼす影響は、空気調和設備の能力や維持管理等によるものが大きい。安心安全な観覧場の衛生環境確保のため、適切な維持管理を継続することが重要である。

(付着細菌叢)

優占率上位 20 の細菌属について、冬期では 13

属 (65%)、夏期では 8 属 (40%) は水環境に適しているものであった。また、ミスト吹出口の付着細菌と床面の付着細菌が一致しているなどことから、吹出口を含めた給水システムの適切な衛生管理は必要であることが明らかになった。

細菌叢の α 多様性指数 Chao1, Observed species, Shannon, PD whole tree を解析した結果、季節別の細菌の豊かさと均等性の間に有意な差が認められなかったが、冬期の PD whole tree が有意に低かった。即ち、冬期に近縁な細菌が多かった。

夏期と冬期のミスト吹出口表面からそれぞれバイオフィルムを形成する *Pseudomonas* と *Methylobacterium* は最もと優占的検出された。

(付着真菌叢)

2D 観覧場から検出されず、4D 観覧場から検出された優占真菌は 11 属があり、このうちの *Knufia* (子囊菌)、*Trechispora* (担子菌) は床表面からも優占的に検出されたことから、ミストによる真菌の発生があったことが示された。

同 4D 観覧場の前列または後列の噴出口表面から湿潤環境に適している *Cladosporium*, *Malassezia*, *Malassezia*, *Zygoascus* が夏季と冬季共に検出された。

α 多様性では、2D 観覧場に比べ、4D 観覧場のミスト噴出口表面付着真菌の豊かさは劣るものの、近縁菌が多いことから、ミスト噴出口表面付着真菌が特有な真菌叢を有している。

β 多様性では、夏季と冬季共に 4D 観覧場前後のミスト噴出口表面の真菌叢が類似している。

ミスト噴出口表面の優占真菌は高湿環境に適しているため、細菌と同様に給水系統にある真菌が室内環境に影響を与えている可能性がある。

(落下細菌)

1 時間の曝露でも数 cfu しか検出されなかった。また、1 時間の曝露で落下細菌は 0~60 cfu しか検出されていないことから、従来の 10 分間の曝露では観覧場内の浮遊細菌と真菌の評価は難しい。

(浮遊微生物量の評価法に関する検討)

観覧場内の浮遊微生物濃度は、人体由来の汚染質発生量と換気量とのバランスで決定する。呼吸域濃度は、観覧場内の観覧者人数、着席位置、また空調設備の運転状況等多くのファクターが影響する。現場実測結果はあくまで一事例でしかないが、同一観覧場内 2D、4D の微生物汚染状況の比較は可能である。

測定結果を分析した結果、同一観覧場内では、2D、4D の真菌落下菌数は統計的な有意差が見られず（それぞれ $p=0.84$ 、 0.99 、 0.85 ）、一方、細菌落下数については有意差が見られる観覧場もあった（それぞれ $p=0.24$ 、 0.03 、 0.06 ）。また 4D に関しては 2D よりも細菌数が多い傾向にあることがわかった。

準則（法第 3 条第 2 項関係）にあ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。

（空気中の準揮発性有機化合物（SVOC）の分析）

特に揮発性の低い成分について、室内の温度や捕集流量が検出結果に大きく影響し、長時間捕集することで、検出可能となることが示唆された。

（空気中のイソシアネートの分析）

1 週間の長期サンプリングが可能となったことで、低濃度であっても高感度に長期のモニタリングが可能となった。

（加熱脱着 GCMS を用いた空気中のにおい成分に関する分析）

分析の結果から、対象とした 145 成分のうち、4D 及び 2D シアターの各演目の中で検出された成分は 61 成分あり、これらの成分を臭いの系統ごとに分類すると、カビ系（2 種）、果物（19 種）、食品・植物系（13 種）、防虫剤系（6 種）、溶剤・油系（23 種）、その他（2 種）というように、果物や溶剤・油系の成分が比較的多い傾向にあった。また、2D から検出された成分は 59 成分で、4D から検出された成分は 61 成分であったが、2D から

検出された成分の中には、4D と重なるものも多数含まれていたことから、これらは 4D のエフェクトの影響によるものではなく、上映中の飲食や衣類などに由来する人の行動や建物の建材や機材などに由来する成分が多く影響していると考えられた。

得られた結果は、有害性が懸念されるレベルではない。

（衛生器具の使用状況に関する調査）

シネマコンプレックスにおいて、施設内に 10 観覧場程度を有する構成になり、基準の緩和について同 準則 9 項、ただし書きについて同 準則 8 (3) に示されてはいるものの、興行場法の対象施設は多様であり、1 つの基準では施設の運用状況により適当数となっていない（多い場合、或いは少ない場合がある）ことも考えられる。映画館は、1 演目ごとに観客が入れ替わる。観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数は、施設側が上映の開始と終了時刻をずらすことや、上映開始前に入場できるタイミングをコントロールすること等によって、一定程度コントロールされている。観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数を算出したところ、満員の際にも施設の観覧場以外には総定員比の半分以上となる運営計画となっていた。

ワンフロアに計画されているシネマコンプレックスの場合、施設入り口付近、券売機付近、観覧場のあるシアター内の概ね 3 つのエリアにトイレが設置されていることが多く、観覧場は上映開始前に入場できる時刻をコントロールしている。また、ショッピングモール等複合施設内にある場合には、シネマコンプレックスに入るまでに、他の場所のトイレを利用している場合もある。施設計画の際に、運用計画等を踏まえて、適正数を設置することは、利用者の利便性の向上につながるとともに、営業者の維持管理等の負担を軽減する効果があると考えられる。

デジタル技術の活用により使用頻度等が可視化できれば、便器の清掃や物品の補充等の維持管理

についても、営業者側の人手不足の解消につながるとともに、効率的に行うことができる可能性がある。一方、利用者にとっても、ブースの混雑情報が得られることは、利便性の向上につながる可能性がある。調査結果からは、エントランスのブースが混雑している際に、メインロビーのブースが空いている場合があることが示されている通りである。

C3. 衛生管理手法の確立

C3.1. 浮遊飛沫感染に関するエビデンス整理

(浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染の機序)

新型コロナウイルスについては、これまでの感染事例から、室内空気中の浮遊飛沫 (エアロゾル) による感染の可能性が指摘され、換気対策が求められた。国内外で、浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染の対策が講じられたが、換気性状と感染リスクの関係は定量的に把握することが出来ていない。

(室内空気環境とウイルス感染)

室内空気環境の指標である二酸化炭素については、換気量に左右されるため、空気中の浮遊飛沫の濃度と関係する。温湿度については、インフルエンザに関する研究によって、ウイルスの不活化速度に影響するとされている。絶対湿度が高い場合と低い場合に、不活化速度が低下するとされており、建築物衛生法の温度及び湿度の基準は、一定の妥当性があると考えられている。しかし、新型コロナウイルスについては、空気中の浮遊飛沫及びウイルスに関する研究が過渡であり、その影響の機序に関する結論が得られていない。

(建築物の室内空気環境の実態)

建築物の室内空気環境に関する既往の調査結果によると、二酸化炭素濃度が 2000 年以降高い傾向があり、浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染対策の観点で好ましくない。同様に、冬期の相対湿度が顕著に低い傾向があり、インフルエンザウイルスの感染防止の観点で好ましくない。

C3.2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染のリスクは、建築物、空調換気設備、維持管理、空気清浄やマスクなどの感染対策など、多数の要因の影響を受ける。また、感染者の行為や症状、被感染者の行為、滞在時間などによって、被感染者が吸引するウイルス RNA 量が変わり、感染リスクの程度を規定すると考えられる。主には、換気量が少なく、行為の代謝量が多い場合に感染リスクが高くなると考えられる。興行場では、施設用途によってさまざまな行為を想定する必要がある。行為に伴う代謝量を想定すると、感染リスクに大きな幅がある。しかし、換気設計ではこのような幅が考慮されていないため、代謝量が多い行為が行われる興行場では、浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染のリスクが高くなっていると考えられる。興行場においては、用途に応じた換気対策が必要であると考えられる。

C3.3. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

COVID-19 パンデミックに際し、政府機関によって換気の必要性が啓発された。夏期の熱中症、冬期の寒さ対策を踏まえた換気対策を示すなど、WHO 等の国外の情報、国内のクラスター調査の知見を踏まえ、日本独自の対策が発信された。また、感染抑制に必要な換気量、空気の流れに関する定量的な知見が非常に少ないと共に、変異株の流行の影響に関する定量的な推定も困難である中、国立感染症研究所はエアロゾル感染に関する整理を行い、政府の新型コロナウイルス感染症対策分科会は、エアロゾル感染対策として、空気の流れを考慮した効率的な換気方法を示した。これらの対応は、今後の新興再興感染症への対策に影響し、パンデミック時の空調換気運転のあり方、建築設備の設計と維持管理に関する課題を提起した。

C3.4. 集団感染と浮遊飛沫感染対策に関する調査

クラスター発生時の換気性状については、CO₂ をトレーサーとしてアイスリンク内と客席の換気回数を示した。クラスター発生時のエアロゾル拡散性状については、スモークを用いて練習試合

時の選手の運動の影響を確認した。また、換気性状の測定結果に基づいて、アイスリンク内の選手及びレフリー、西側の客席の観客の感染リスクに関する試算を行い、選手等から観客へのエアロゾル感染の可能性を示した。

しかし、実際のクラスター発生時と測定及び分析の条件には、以下の相違点が挙げられる。実際のクラスター発生時には、休憩時に整氷車が使用され、整氷作業に伴うアイスリンク内空気の攪拌があったと考えられる。また、選手及び観客等の出入りによって出入口での通気やアリーナ内の気流変化が発生したと考えられる。従って、実際のクラスター発生時には、アイスリンクの冷氣溜まりから客席へのエアロゾルの移動、客席での拡散は、本測定及び分析の結果よりも顕著であった可能性がある。

エアロゾル感染対策の検証では、アイスリンク内空気の客席への拡散を抑制するために、西側の低層に排気ファンを設置した。スモークを用いた検証を行い、有意な効果を確認した。

しかし、試合中の選手の運動、整氷作業、観客の移動などによる空気の攪拌が、対策ファンの効果に一定の影響を及ぼす可能性がある。

本研究は、特定建築物の興行場に分類されるアイスアリーナにおける空調換気性状と COVID-19 クラスタとの関連性、エアロゾル感染対策の立案と効果検証を行った。アイスアリーナには、アイスリンクの氷の維持、透明防護ガラスの結露や曇りの防止、霧の発生防止などの特有の条件がある。このため、アイスリンク上の空気の安定維持を優先した、空調換気設備と運転制御が行われている。このような特有の空調換気性状の下で、アイスリンク内で選手などから発生したウイルスが冷氣溜まり中で蓄積する。さらに、透明防護パネルがない選手ベンチから流出して客席に拡散することで、観客を含めた大きなクラスターが発生した。

興行場の用途、空調換気性状は多様であるため、

感染リスクにも大きな差があると考えられる。このような多様性を踏まえた空調換気設備の設計と運転制御、感染対策が必要であることを、釧路アイスアリーナにおける COVID-19 クラスタの調査分析の結果は示したと考えられる。

D. 結論

興行場では新しい演出が求められることから、新たな興行内容の実態等を踏まえた衛生基準への提言に資する科学的根拠の構築が必要となっている。本研究班では、①国内外の衛生基準調査、②実態調査、③衛生管理手法の確立について、興行場に求められる衛生基準への提言に資する科学的根拠を示した。

国内外の衛生基準の調査では、これまでに、国内外の文献調査に基づいて、欧米各国や国際機関等における興行場を対象とした衛生管理に関する既往の規制やガイドライン、ならびに、興行場に係る新型コロナウイルス感染症対策に関する各国の規制等を抽出し整理を行っているが、継続して国内外の情報集積を行い、必要に応じて情報を更新した。これらの情報は、我が国の興行場の感染症対策等、今般の変化を踏まえた衛生管理のあり方に関する知見と位置付けられる。

実態調査では、これまでの通知では十分に想定されていない映画館の 4D 上映等、興行場における新たな興行内容・規模・時間を踏まえた衛生管理の実態把握のため、各都道府県等の条例について、衛生項目別に分析し、その課題を抽出するとともに、現場調査として、興行場のうち映画館のシネマコンプレックスの観覧場（2D 観覧場と 4D 観覧場）の実測（入場者数、4D 等エフェクト記録、温度・湿度・二酸化炭素濃度・空気清浄度の連続測定および真菌・細菌）と維持管理に関するヒアリングを行い、温熱環境を含む多面的な衛生管理に関するエビデンスを集積した。調査を行った施設の観覧場は、十分な運転能力を有した設備機器を備え、一定水準以上で維持管理がされており、4D

と 2D の観覧場で大略的には温湿度二酸化炭素濃度に大きな差はみられなかった。4D 上映における水やにおい等の演出が温度・相対湿度・二酸化炭素濃度に及ぼす影響は、空気調和設備の能力や維持管理等によるものが大きいといえる。また、新型コロナウイルス感染症の換気対策として、映画館でもシネマコンプレックスのような空気調和設備等が備えられた施設では、二酸化炭素濃度 1,000ppm 以下の運転が可能であることも確認された。安心安全な施設の維持には、空気調和設備等の適切な維持管理を継続するとともに、4D 装置を有する場合は吹出口を含めた給水システムの適切な衛生管理を継続することが重要である。4D のエフェクト効果などによる映画館特異的な発生源の影響を調べるため、GCMS/異臭分析システムを用い、映画館内の 4D 及び 2D 観覧場におけるにおい成分の測定を行ったところ、有害性が懸念されるレベルのものは検出されなかった。衛生器具の利用に資するため施設内の滞在人数を算出したところ、満員の際にも施設の観覧場以外には総定員比の半分以下となるように上映スケジュールが計画されており、衛生器具を利用する最大人数はコントロールされていた。準則（法第 3 条第 2 項関係）にある観覧場の落下菌数 30 或いは場内の落下菌数 50 について検討したところ、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示された。また、落下真菌については、1 時間の曝露でも数 cfu しか検出されず、1 時間の曝露で落下細菌は 0～60 cfu しか検出されていないことから、5 分から 10 分間程度の曝露ではスクリーン内の浮遊細菌と真菌の評価は難しいといえる。このように、興行場の映画館のシネマコンプレックスにおいて、これまでに明らかになっていなかった上映中の室内環境及び衛生状況のエビデンスを集積した。

衛生管理手法の確立では、安心安全な興行場の室内衛生環境の確保を目指して、浮遊飛沫（エア

ロゾル）感染リスクの検討を行い、建築物、空調換気設備、維持管理、空気清浄やマスクの感染対策等、多数の要因の影響を受ける可能性を分析した。また、興行場のスポーツ施設に該当するアイスアリーナについて、空調換気性状と COVID-19 集団感染との関連性、エアロゾル感染対策の立案と効果検証を行い、施設の特徴を踏まえた空調換気設備の設計と運転制御、感染対策が必要であることを示した。

これら一連のエビデンスの集積により、興行場の建築設備の設計と維持管理や運用の在り方に関する課題の提起が可能となる。

E. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Yanagi, U; Kaihara, N.; Simazaki, D.; Bekki, K.; Homma, Y.; Iba, C.; Asai, A.; Hayashi, M. Bacterial Flora on Mist Outlet Surfaces in 4D Theaters and Suspended Particle Concentration Characteristics during 4D Movie Screenings. *Microorganisms* 2023, 11, 1856. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071856>
- 2) Kosuke Minakuchi, Koki Kikuta, Hisashi Hagiwara, Kenji Miyazaki, and Motoya Hayashi, Effective Method to Collect Indoor Floating Aerosols Using Cooling Equipment, *Atmosphere*, 2023.11.
- 3) 山田裕巳,本間義規,阪東美智子,林基哉; 宿泊施設の衛生的環境に関する実態調査 住宅宿泊事業法施行期の長崎・京都・大阪における室内環境調査; 日本建築学会環境系論文集 813,p.857-868,2023.11.
- 4) 浅岡凌,海塩渉,鍵直樹,林基哉,澤地孝男,上野貴広; 新型コロナウイルス感染症蔓延時のオフィスにおける室内環境質の実態 (その1): 室内環境の2時点比較および感染症対策との関連; 日本建築学会環境系論文集 808,p.547-555,2023.06.
- 5) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi, Shin-ichi Tanabe; Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan ;*Atmosphere* 14(1) 150-150, 2023.01.10
- 6) 林基哉, 環境工学からの情報発信・予期せぬ事態に専門家がとるべきスタンスとは(<連載> コロナ備忘録), 日本建築学会建築雑誌,p36-39,2023.01
- 7) 林基哉, 建築物環境衛生研究者からみた環境過敏症 建築物の換気不良と室内空気環境の実態,室内環境 25,p33-40,2022
- 8) 林基哉, 【特集】 COVID-19 を振り返る 日本政府による新型コロナウイルス感染症のエアロゾル感染対策, 空気清浄 60 巻 5 号, 2023. 01.31
- 9) 赤松大成,森太郎,林基哉,羽山広文, 新型コロナウイルス感染症流行下の寒冷地の学校教室における室内環境と換気代替手法の評価, 日本建築学会環境系論文集 Vol.803 p43-49,2023.01
- 10) 金勲,阪東美智子,小林健一,下ノ菌慧,鍵直樹,柳宇,菊田弘輝,林基哉, 接待を伴う飲食店における室内環境と感染症対策 (その1): 建築設備の概要及びコロナ禍における換気運用と感染状況,日本建築学会環境系論文集 Vol.806 p300-306,2023.04
- 11) 柳宇: 新型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.
- 12) 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.
- 13) 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. 総説

なし

3. 書籍

なし

4. 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、pp.1393-1394.
- 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、pp.1395-1396.
- 3) 開原典子、柳 宇、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 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、pp1397-1398.
- 4) 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：冬期の 4D 映画館におけるミスト噴出口と床面の付着真菌叢、2023 年室内環境学会学術大会講演要旨集、pp.214-215.
- 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：シアターにおける室内空気質実態に関する査研究 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 (in press) .
- 6) 開原典子、柳 宇、開本間義規、島崎大、伊庭千恵美、戸次加奈江、林基哉：シアターにおける室内空気質実態に関する査研究 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 (in press) .
- 7) 松永 崇孝 , 菊田 弘輝 , 林 基哉, 換気と空気清浄によるエアロゾル除去性能の評価, 日本建築学会学術講演梗概集, p1561-1562, 2023-07
- 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. 第 83 回日本公衆衛生学会総会 (in press) .
- 9) 川崎嵩, 菊田弘輝, 林基哉, 阪東美智子, 長谷川兼一, 澤地孝男, 新型コロナウイルス感染下における居住リテラシーに関する WEB 調査 その 2 冬期の調査結果, 日本建築学会学術講演梗概集, p901-902, 2022.07
- 10) 尾方壮行, 山本佳嗣, 鍵直樹, 林基哉, 田辺新一, デスクパーティションが呼吸器エアロゾル粒子への曝露に与える影響, 日本建築学会学術講演梗概集, p1331-1332, 2022.07
- 11) 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 下ノ蘭慧, 鍵直樹, 柳宇, 菊田弘輝, 林基哉, 接待を伴う飲食店における換気と室内環境 感染症対策に関する実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集, p1355-1358, 2022.07
- 12) 山本直輝, 菊田弘輝, 長谷川麻子, 林基哉, 新型コロナウイルス感染症のクラスター感染が発生したコールセンターの空気環境, 日本建築学会学術講演梗概集, p1547-1548, 2022.07
- 13) 赤松大成, 森太郎, 五宮光, 林基哉, 羽山広文, 換気方式の異なる室内空間における換気効率の比較, 日本建築学会学術講演梗概集, p2093-

2094,2022.07

- 14) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 拡散サンプラーを用いた空気中イソシアネートの捕集及び分析. 2022年室内環境学会学術大会; 2022. 12.1-2; 東京. 同講演集
- 15) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 簡易測定法による空気中イソシアネートの濃度調査. 第93回日本衛生学会学術総会; 2022. 3.2-3; 東京. 同講演集
- 16) 柳宇, 林基哉, 中野淳太, 開原典子, 菊田弘輝, 本間義規, 長谷川兼一. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態その1 中央方式と個別方式における空気環境の比較. 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):251.
- 17) 林基哉, 菊田弘輝, 長谷川麻子, 柳宇, 中野淳太, 鍵直樹, 長谷川兼一, 東賢一, 本間義規, 小林健一, 阪東美智子, 金勲, 開原典子. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態その2 COVID-19事例における空調換気の調査. 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.
- 18) 開原典子, 柳宇, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈恵, 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4 興行場の衛生管理と室内環境. 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.
- 19) 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.

- 20) 伊庭千恵美, 島崎大, 柳宇, 開原典子, 戸次加奈恵, 本間義規, 林基哉. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態その6 海外の規制等に関する文献調査. 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):442.

F. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

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

興行場における衛生的な環境確保のための研究
海外の規制と技術に関する文献調査

研究分担者	島崎 大	国立保健医療科学院 生活環境研究部	首席主任研究員
研究分担者	柳 宇	工学院大学 建築学部	教授
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

国内外の文献調査に基づいて、欧米各国や国際機関等における興行場を対象とした衛生管理に関する既往の規制やガイドライン、ならびに、興行場に係る新型コロナウイルス感染症対策に関する各国の規制等を抽出し、明らかにすることを目的とした。

米国では、ASHRAE が室内空気質に関する基準値や詳細なガイドラインを示しており、興行場に関連した衛生管理や規制の情報は、空気質についてのみ確認できた。室内空気質に関する WHO ガイドラインおよびファクトシートは、映画館や展示場等の不特定多数が短時間滞在する施設を対象としていなかった。欧州規格ならびに ISO の建物内の空気質と換気に関わる規格では、使用者の占有率と建物由来の汚染物質排出量に応じた設計換気量の決定方法、室内空気質の測定・評価方法、および目標とする室内空気質を達成するための設計方法が詳細に記述されていた。韓国の室内空気質に関する法規制では、映画館や展示場等の不特定多数が使用する施設、電車等の公共交通機関、医療施設等が対象に含まれていた。中国・イギリスの建築物内給排水設備に関する規格、ならびに、中国・イギリス・ベルギーの換気に関する基準より、劇場やコンサートホール、講堂という用途の建物における 1 人あたり換気量の推奨値を確認した。国際室内環境質・気候学会が公開する室内環境質ガイドラインデータベースを参照し、各国の室内空気質および室内換気に関する法規制を検索、公共施設や興行場等における基準項目や基準値、適用される用途を確認した。本邦の各省庁では、COVID-19 流行期間中に多くのガイドラインが公表されていた。また、米国ニューヨーク州健康局による映画館を対象とした COVID-19 感染症に係る暫定ガイダンスでは営業再開に係る運営管理上の規範が示されており、いずれも感染症対策の視点から参考になると考えられた。

A. 研究目的

国内外の興行場においては、体感型・没入型を指向する新技術を導入した様々な施設が見受けられており、既往の法規では想定されていない、衛生管理上の新たな課題が生じると懸念される。

当研究課題では、海外の文献やデータベース等の調査に基づいて、①欧米各国や国際機関等における興行場を対象とした衛生管理に関する既往の

規制やガイドライン、ならびに、②興行場に係る新型コロナウイルス感染症対策に関する各国の規制等を抽出し、明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

B1. 欧州、日本、COVID-19 関連（柳）

国内で最大のデータベース J-Stage、海外で最大のデータベース Scopus を用いた（2021 年 12 月

5日現在)。また、国内における各省庁関連団体から公開された興行場に関する関連情報についても調査を行った。

B2. アメリカ、ISO、ヨーロッパ規格、COVID-19 関連 (伊庭)

アメリカに関しては衛生管理のガイドラインや環境保護の規制を調べるため、ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; アメリカ暖房冷凍空調学会) および US EPA (United States Environmental Protection Agency; アメリカ合衆国環境保護庁) を対象とし、あわせて日本国内においてアメリカの規制について調査された文献を調べた。

ヨーロッパに関しては、ISO (International Organization for Standardization) およびドイツ規格協会 DIN が発行するドイツの国家規格 DIN EN、イギリス、ベルギーなどの国内規格を対象とし、さらに中国の文献も対象とした。

また、COVID-19 パンデミック後に海外の映画館が活動を再開するにあたり、海外で環境調査をした事例についても調べた。

B3. WHO、韓国、データベース検索、COVID-19 関連 (島崎)

WHO 本部および各地域事務局が発行する室内空気質に関連するガイドライン、ならびに、韓国における室内空気質に関する法規制を参照し、当研究が対象とする興行場に関する規制や推奨事項を探索した。国際室内環境質・気候学会 (the International Society of Indoor Air Quality and Climate: ISIAQ) が公開する、室内環境質ガイドラインデータベース (the Indoor Environmental Quality (IEQ) guidelines database

<https://www.ieqguidelines.org/>) を参照し、各国の興行場等を対象とした、①室内空気質、ならびに、②室内換気に関する法規制を検索した。新型コロナウイルス感染症対策に係る興行場に関するガイドライン等の所在について、検索を行った。

C. 調査結果

C1. 欧州、日本、COVID-19 関連

C1.1. J-Stage による調査結果

以下に検索キーワードとヒット数、内容概要を示す。

(1) ステップ 1

- ① 映画館 3,047 件
- ② 劇場 10,438 件

(2) ステップ 2 (絞り込み)

- ① 映画館 環境 1,618 件
- ② 劇場 環境 4,172 件
- ③ 映画館 空気環境 5 件

この 5 件は何れも映画館の内容ではなかった。

- ④ 劇場 空気環境 26 件

この 26 件のうち、関連する 2 件は以下の通りである。何れも 90 年代の研究であり、温熱環境や換気効率に関する検討結果の報告である。

- 1) 橋 太ら: 5,000 人収容多目的ホールの温熱・空気環境に関する模型実験(その 3): 音楽系イベント開催時における冷房時の温熱環境、三空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 1994。

https://doi.org/10.18948/shasetaikai.1994.3.0_1473

- 2) 孔鉄男ら: 床吹き出し空調方式の劇場での温熱空気環境に関する CFD 解析: その 2 上部階席の温熱環境・換気効率および全体空間での温度・湿度分布に関する検討 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2000。

https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2000.1.0_241

- ⑤ 映画館、環境管理 14 件

このうち下記の 2 件は関連する内容であった。

- 1) 渡辺弘ら: 映画館の空気性状、生活衛生 6・2、pp.62-68、1962
- 2) 門脇亜美ら: 超微細なパルス射出を用いた一呼吸中におけるにおいの時間特性の測定、におい・かおり環境学会誌, 第 42 巻, 第 1 号,

pp.51-58, 2011

上記渡辺らの報告は、温湿度、風速、塵埃数、落下細菌の実態調査結果に関する内容であった。門脇らの報告は、香料を最小化する射出タイミングを解明するために、実験協力者の一呼吸中において香料を提示した際の臭覚の時間特性を詳細に測定した結果に関する内容であった。

⑥ 劇場、環境管理 19件

⑦ 映画館、衛生管理 13件

⑧ 劇場、衛生管理 34件

上記の⑥~⑧において、関連性のあるのは何れも上記渡辺らの1件のみであった。

C1.2. Scopus による調査結果

以下に検索キーワードとヒット数、内容概要を示す。

① movie AND theatre 1,555件

② movie AND theatre AND air quality 142件

ここでは、上記の142件中に関連性のある論文と記事計3件について述べる。

1) Giuseppe Petrone, et al. A multi-physical simulation on the IAQ in a movie theatre equipped by different ventilating systems. BUILD SIMUL (2011) 4: 21-31.

<https://doi.org/10.1007/s12273-011-0027-6>

この論文は、温度分布、気流速度分布、CO₂濃度分布について検討を行った。空調・換気方式によってCO₂濃度の分布は異なることが報告されている。

2) ROGER CHANG. Historic Theaters and Their Impact on Air Conditioning Today. ASHRAE Journal, December, 2019. Pp.44-53, 2019.

この記事はASHRAE125周年の特別寄稿であり、映画館空調システムの変遷について述べている。

3) Chenjiyu Liang, et al. Is it Safe to Reopen Theaters During the COVID-19 Pandemic? Frontiers in Built Environment. Volume 7,

Article 637277.

<https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.637277>.
2021.

この論文では、Covid-19流行期間中に映画館内の感染リスクについて検討を行った。

感染確率について、次の結論が述べられている。全ての聴衆が75%の捕集率のマスクを着用すれば、感染確率を93.7%減らすことができる。最大感染確率と平均感染確率は、それぞれ0.20と0.03%を超えず、十分に安全であると見なされる。したがって、パンデミック期間中に観客は映画を見るときにマスクを着用する必要がある。

C1.3. 各省庁や団体から公開された興行場におけるCovid-19の対策

関連団体のホームページ上に表1に示すガイドラインが公表されている。ガイドライン中に詳細な対策方法が示されている。文部科学省、厚生労働省、経済産業省の関連団体から積極的に発信されている。

C1.4. その他

(1) 空気調和・衛生工学便覧(第14版)に示されている映画館の空調システムは、床吹出と壁吹出を併用する方式である。

(2) 日本の自治体を代表する東京都福祉衛生局ホームページでの検索を行った。キーワードとヒット数、内容概要は以下の通りである。

① 興行場 400件

② 興行場 劇場 0件

③ 興行場 映画館 0件

④ 劇場 0件

⑤ 映画館 232件

⑥ 映画館 53件

上記の何れも映画館や劇場の環境管理に関するものではなかったが、中では1件が空気検査に関する結果であった。東京都は、映画館、多目的ホール等の興行場について、夏期と冬期の年2回、場内の空気検査を実施している。

表 1 業種別ガイドライン

令和 3 年10月15日現在

1. 劇場、観覧場、映画館、演芸場		
担当省庁名	団体名	掲載ガイドライン
文部科学省	公益社団法人 全国公立文化施設協会	劇場、音楽堂等における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドライン
文部科学省	クラシック音楽公演運営推進協議会	クラシック音楽公演における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドライン
文部科学省	緊急事態舞台芸術ネットワーク	舞台芸術公演における新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン
文部科学省	一般社団法人全日本合唱連盟	合唱活動における新型コロナウイルス感染症拡大防止のガイドライン
厚生労働省	全国興行生活衛生同業組合連合会（映画館）	映画館における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドライン
厚生労働省	全国興行生活衛生同業組合連合会（演芸場）	演芸場における新型コロナウイルス感染拡大予防ガイドライン
経済産業省 文部科学省	一般社団法人コンサートプロモーターズ協会	音楽コンサートにおける新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン（無観客公演関係）
	一般社団法人日本音楽事業者協会	
	一般社団法人日本音楽制作者連盟	
経済産業省 文部科学省	一般社団法人コンサートプロモーターズ協会	音楽コンサートにおける新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン（有観客公演）
	一般社団法人日本音楽事業者協会	
	一般社団法人日本音楽制作者連盟	

C2. アメリカ、ISO、ヨーロッパ規格、COVID-19 関連

C2.1. ASHRAE の基準・ガイドライン

興行場の衛生管理に関連する内容が記載されている基準・ガイドラインを7つ挙げ、それぞれの関連する内容について簡単にまとめる。

1) Standard 62.1-2019, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality

- ・建物使用者の健康への悪影響を最小限に抑える室内空気質 (IAQ) を提供することを目的とした最小の換気量およびその他の手段を指定することを目的としたもの。換気および空気洗浄システムの設計や運用、保守の要件を定義している。
- ・換気に加え、外気や建設プロセス、湿気、生物等の汚染物質および汚染源に関連する要件が含まれる。
- ・建物の用途でカテゴリー分けされ、建物占有者ごとの必要外気量、床面積あたりの必要外気量、空気質のクラスが示されている。

・「Music/theater/dance」という用途の建物では、使用者の活動は高く、非常に声を出していることに加えて、かなりの有酸素運動があるが、空間に関連する重大な汚染物質はないことから、1人あたりに必要な新鮮外気量は5 [L/s] で、クラス1（汚染物質濃度が低く、感覚刺激強度が低く、不快な臭いのない空気）とすることが示されている。ただし、施設使用者数により導入外気量を制御するデマンド制御換気 (DCV) を採用することができるとも書かれている。

2) Guideline 29-2019 -- Guideline for the Risk Management of Public Health and Safety in Buildings

- ・新築および既存の建物における複数のリスクを軽減するための対策の評価、設計、および実装のためのガイダンス。
- ・このガイドラインの主な対象は空気、食物、水が含まれ、異常な (extraordinary) イベントには、火災、地震、化学的および生物学的物質の

放散、爆風、その他の異常な危険が含まれる。

- ・建物使用者の健康と安全に影響を与える建物の性能、つまり化学的、生物学的、および放射線学的 (CBR) 保護や防火、排煙、濾過、空気質、汚染物質の経路や建物外皮についても言及されている。

3) Standard 52.2-2017, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size

- ・粒子サイズの関数として空気洗浄装置の性能を評価するための試験手順を示したもの。粒子サイズごとの除去効率を計算するために、空気洗浄装置の上流と下流で直径 0.30~10 μ m の浮遊粒子をカウントする方法も示されている。
- ・試験を実施するために必要な機器の性能・仕様および、試験データから得られた結果を計算する方法も示されている。

4) Standard 180-2018 -- Standard Practice for Inspection and Maintenance of Commercial Building HVAC Systems (ACCA Co-sponsored)

- ・商業ビルで許容可能な熱的快適性、エネルギー効率、および室内空気質を達成するシステムの能力を維持するための最小限の HVAC システムの検査および保守要件がまとめられている。
- ・この基準が作成された背景には、それまでは一貫性のない保守、慣行がなされてきたこと、システムに障害が発生した時のみ対処をしてきたこと、個別のコンポーネント (システムの要素) にのみ保守点検が適用されてきたことなどがあり、建物全体の HVAC システムとして、快適性とエネルギー効率を評価することが求められるようになったことがある。

5) Standard 188-2018, Legionellosis: Risk Management for Building Water Systems

- ・新築および既存の商業、機関、集合住宅、工業用の建物とそれに関連する (飲用および非飲用) 水システムおよび構成要素の設計、建設、運用、

保守管理のための最小限のレジオネラリスク管理要件を示している (一戸建て住宅は含まない)。

6) Guideline 12-2020 -- Managing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems

- ・5)の基準と同様に、ホテル、オフィスビル、病院、その他のヘルスケア施設を含む新築および既存の商業、機関、集合住宅、工業用の建物の給水システムにおける、レジオネラ菌の管理に関する情報をまとめている。
- ・温水プールやホットスパ、クーリングタワー、水噴霧冷却装置など具体的なシステムについて、レジオネラ菌のサンプリングや管理要件が述べられている。

7) Indoor Air Quality Guide: Best Practices for Design, Construction and Commissioning

- ・1)の Standard 62.1 で対象とする商業用、機関用建物における IAQ について、設計者や建設事業者だけではなく、所有者、コミッショニング事業者、建物評価機関、施設管理者等への情報をまとめたガイドブック。
- ・Objective として、IAQ を維持する管理・設計方法、湿度の制御、屋内外汚染物質の閾値、機械換気の制御、汚染物質の捕捉や空気浄化などが挙げられている。
- ・改修した Theater における空気質の悪化を改善する手法として、デマンド制御換気による CO₂ 濃度の変化についての事例が紹介されている。

C2.2. US EPA の規制

Toxic Substances Control Act (TSCA): Persistent, Bioaccumulative, and Toxic (PBT)

米国の環境保護庁 (EPA) は、2021 年 1 月 6 日付けの連邦官報で、有害物質規制法 (TSCA) の第 6 条の (h) 項に基づいて、以下に示す 5 種類の難分解性、生体蓄積性および毒性 (PBT) を有する化学物質 (PBT 物質)、当該物質を含有する製品 (product) および成形品 (article) の製造、加工

および商業的流通を禁止および制限する最終規則を公表した。

C2.3. 国内の文献

東 *1,2)はアメリカの基本戦略として、以下のよう

に述べた。「アメリカでは、ホルムアルデヒドや VOCs の指針値が策定されていない。住宅の管理責任は居住者にあることや、VOCs による健康影響は、年間死亡者数が多い受動喫煙や一酸化炭素よりも小さいこと、業界団体からの環境基準作成の要求がなかったことなどが、その理由に挙げられている。1989 年に連邦省庁間室内空気質委員会を発足して省庁間の連携を強化し、1) 自ら実例を示して導く (Leading by example)、2) 研究の実施、3) 教育の提供、4) 民間の責任の強化等による非規制戦略を実行してきた。

また、環境保護庁は、室内空気質に関連する多数のパンフレットを出版し、関係業界や居住者の自主的な取り組みを促している。」

*1)東賢一：諸外国の室内空気質規制に関する調査研究，日本建築学会環境系論文集，No.597，pp.89-96，2005

*2)東賢一：国内外における室内空気汚染の現状と対策，生活衛生，Vol.54，No.2

C2.4. ISO およびヨーロッパ規格

DIN EN 16798-1, 16798-3 および ISO 17772-1 は、"Set of EPB standards"と呼ばれる建物のエネルギー性能評価方法の国際調和を目的とした一連の規格の一部である。DIN EN 16798-1 の Scope には、熱環境、室内空気質、照明および音響に関する室内環境パラメータの要件を規定し、建物システム設計およびエネルギー性能計算のためにこれらのパラメータを確立する方法を規定すると書かれている。本規格では、屋内環境品質を、建物使用者の期待度に対応した4つのレベルに分類しており、通常のレベルは「Medium」であるとしている。

室内空気質については、発生源の制御、換気、およびフィルタ/空気清浄という手段によって制御

されなければならないとし、設計換気量を求める方法について規定されている。例えば、健康に関して影響を与える物質の発生源が特定された場合、それらが健康閾値を下回るような換気量とすることや、室内で検知される個々の汚染物質を希釈するために必要な換気量の計算方法などが示されている。興行場のような非住宅建物については、人が利用しない時間帯にも、材料から放出される汚染物質濃度を制限するために、最低限必要な換気量や運転時間を決定することとされている。また、空気をフィルタまたは同様の装置に通すことで、屋外の空気取り入れ口からの浮遊汚染物質（花粉、カビ、粉塵など）の量を削減すること、室内空気中の汚染物質の量を減らすために、二次空気や還気をフィルタまたはその他の空気清浄装置に通過させることにも触れられている。ISO 17772-1 にも同様に設計換気量を求める手順が示されており、付属書には、WHO による、健康への影響を考慮した室内・外気の汚染物質の閾値の記載もある。

DIN EN 16798-1 付属書 B.3 には、室内空気質と換気量の基準が示されている。非住宅用途の建物については、使用者の占有率 (Occupancy) と建物由来の汚染物質排出量により、換気量が計算できるとされている。予測される不満足者率で区分された建物の用途別の1人あたりの換気量、建物からの汚染物質排出量に応じた床面積あたりの換気量が示されている。

例えば、10m²のオフィスの場合、オフィスの占有率が 0.1 人/m² で、カテゴリー III で Low polluting building を選択すると、10m²×0.4 L/(s・m²)=4 L/s となり、一方、10m²×0.1 人/m²=1 人に対してはカテゴリー 3 で 4 L/s 必要とされているので、その和として、8 L/s が設計換気量として求められる。映画館のように占有率の高い施設では、同じ面積でも使用人数が多くなるため、より多くの換気量が必要となることが推測される。

DIN EN 16798-3 には、非住宅建物について、計算された設計換気量を達成するための換気・空

調システムの技術的要件と、省エネルギー性能を計算する方法が述べられている。空気浄化の方法として、空気清浄機については述べられていないが、フィルタによる外気の浄化については、屋外の粒子汚染レベルと必要な供給空気の質、特定の状況（稼働時間、粉塵負荷、特殊な局所汚染状況など）に応じて、様々なレベルでのろ過が必要であるとされている。

ISO 16000 シリーズでは、室内空気のサンプリング方法、様々な化学物質の分析方法等が示されている。例えば、ISO 16000-8 は、建物内の換気状態の指標として、局所的な空気の平均空気齢を決定するための単一トレーサーガスの使用について述べたものである。建物の換気要件が満たされているかどうか、室内空気質に問題がある建物の換気の適切性の推定、室内の汚染物質排出源の分布の評価に利用される。

ISO/TC 205 によって規格化された ISO 16814 は、建物および暖房、換気、空調システムの設計での使用を目的とした、許容可能な屋内環境（熱、音響、照明および室内空気質 IAQ）を実現するための新築・改修方法を規定する一連の国際規格の 1 つである。ISO 16814 は、IAQ を表現する方法と、優れた IAQ を達成するという目標を設計プロセスに組み込む方法を対象とする。この方法の目的は、室内空気汚染物質を、一般的な温熱環境下で汚染物質が有害な影響を及ぼさない濃度レベル以下に制御することである。選択した方法に応じて、設計者はさまざまなアプローチを適用して良好な IAQ を達成できる。

このように、欧州規格・ISO では、設計換気量の決定方法、室内空気質の測定・評価方法、および目標とする室内空気質を達成するための設計方法が詳細に記述されている。

C.2.5. 海外の映画館の空気質管理の動向

COVID-19 による行動の制限が緩和された後、ドイツの映画館では入場者に安全な環境を提供する取り組みが強化された。連邦政府文化メディア

委員会（BKM）の資金提供を受け、フラウンホーファー研究所が、「Covid-19 感染症パンデミック時の屋内空気衛生と映画館における空気浄化技術の使用に焦点を当てた」CineCov プロジェクトを実施することが、2021 年 12 月にプレスリリースされた。実際の映画館で、鑑賞者の体温による空気温度への影響を考慮するための温度制御されたダミー人形と、代替ウイルス粒子を用いて、既存の換気設備に加え、新規の空気浄化技術（活性酸素や UV-C を使用するもの）を使用した場合と使用しない場合の、粒子数の低減効果が比較された。MedKlinn による、フラウンホーファー研究所の報告書の抜粋によれば、既存の換気設備の希釈効果でも希釈効果はあり、実験ではウイルス粒子数や TVOC のレベルはドイツ連邦環境庁によって定められた閾値内となったものの、空気浄化技術と比較して効率が低いことが示された。映画館が満員になる前に換気が十分に作動していない場合や十分な新鮮な空気が導入されない場合は、空気浄化技術の追加を検討することが推奨されている。

2021 年 3 月のアメリカの空調に関する雑誌の記事によると、アメリカに本社を置く映画館運営会社が、各映画館の空調設備のフィルタを高性能なものに変更したことに加え、バイポーライオン空気浄化システムを設置するなど、空気質を維持するための投資がなされたことを紹介しており、従来よりも映画館での空気質に注目が集まっていることがうかがえる。

C2.6. 各国の換気・水質確保に関する基準の調査

給排水設備や水質に関する基準はイギリス (BS8580 : Water Quality. Risk assessments for Legionella control) と中国 (GB55020-2021 建筑给水排水与节水通用规范 General code for design of building water supply and drainage and water saving) のものが確認できた。BS8580 では、レジオネラ属菌のリスク評価、建物内の水設備でのレジオネラ属菌増殖に対する設計・管理上の配慮についての記述がある。特に、噴水やプ

ール、スプレー式加湿器において、微生物の増殖を防ぐため、システムは定期的な運転と洗浄のプロセスを組み込むことによって停滞を避けるための細心の注意を含め、加湿器に良質の水を供給することに重点を置くことが注意されている。

GB55020 では、一般規定として、給水管・貯水・加圧設備の汚染防止、排水設備から汚水や廃水を安全かつ確実に排出することについて様々な規定がある。特に、スイミングプール、娯楽・レジャー施設の給水システムについては、水質の定期・非定期検査項目とその閾値、衛生基準値が細かく規定されている。なお、人体に直接接触する噴水設備の水質は、現在の国家基準「飲料水の衛生基準」GB5749 の要件に準拠するとされており、例えば映画館での 4D 上映で水が噴霧される場合は、この基準が準用される可能性があると考えられる。

換気・空気質については、イギリス(BS5925: 1991 Code of practice for Ventilation principles and designing for natural ventilation)、中国(GB50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 Design Code for Heating Ventilation and Air Conditioning for Civil Buildings)、ベルギー(The NBN D50-001 1991 Standard and the Wallon Regulations on ventilation)、チェコ(No. 303/2022)、デンマーク(DS 447)、フィンランド(NBC-D2)の 6 か国の基準を参照したが、チェコ、デンマーク、フィンランドの基準からは興行場の換気に関連しそうな項目が読み取れなかった。

BS5925 の建物の用途別の換気量として、「Thertres」では、1 人あたり 8 [L/s]、最低でも 5 [L/s]の換気を行うことが推奨されている。8 [L/s]は、28.8 [m³/h]となるため、日本のオフィスの目安である 30 [m³/h]に近い。なお、喫煙者の多少によって、必要換気量が変わることも示されている。

GB50736 では、建物用途として「theater, concert hall, conference hall, multi-function

hall, meeting room」という用途が挙げられており、1m²あたりの人数を P として、 $P \leq 0.4$ の時、1 人あたりの換気量が 14 [m³/h]、 $0.4 < P \leq 1.0$ の時 12 [m³/h]、 $1.0 < P$ の時 11 [m³/h]、となっている。なお、一般のオフィスは日本と同じ 1 人あたり 30 [m³/h]である。

NBN D 50-0001 でも用途別に換気量が規定されており、映画館等に最も近い「Auditorium, conference room」において、床面積 1m²あたり 23 [m³/h]とされている。映画館では、施設管理部分を除いた客席部分での 1 席あたりの床面積は 0.5~0.7 [m²]であることが多く、1 人あたりにすると 11.5~16.1[m³/h]となり、中国の GB50736 と同程度であることがわかる。

C3. WHO、韓国、データベース検索、COVID-19 関連

C3.1. WHO

WHO 本部および WHO 欧州地域事務局により、室内空気質に関する以下のガイドラインが公開されていた。特定の公共施設や興行場等を対象としたガイドラインは見受けられなかった。

①WHO 本部: Guidelines for indoor air quality:

Household fuel combustion (2014)

<https://www.who.int/publications/i/item/9789241548885>

建築物内にて暖房や調理に使用される燃料の燃焼（不完全燃焼）により生じ、健康影響をきたす PM_{2.5} 濃度および一酸化炭素濃度を対象としていた。

②WHO 本部: Factsheet: Household air pollution and health (2022)

<https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/household-air-pollution-and-health>

世界の 24 億人が室内大気質汚染を生じる燃料（木炭、練炭等の固形燃料）を暖房や調理に使用しており、燃料の燃焼（不完全燃焼）により生じる

一酸化炭素や PM2.5 等の物質により生じる室内大気質汚染は 320 万人の死亡に寄与していること、そのうち 5 歳以下の死亡数は 23.7 万人に上ること、主な主な死因は脳卒中、虚血性心疾患、COPD、肺がん等であることが示された。

③WHO 欧州事務局: guidelines for indoor air quality: dampness and mould (2009)
<https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2009/damp-and-mould-health-risks,-prevention-and-remedial-actions2/who-guidelines-for-indoor-air-quality-dampness-and-mould>

室内の湿気と微生物（特に真菌類）の繁殖に関わる健康問題について、学術文献等を中心とした科学的証拠のレビューが行われており、換気等の湿度制御に関する手法や、健康影響に関する疫学調査事例が示されていた。

④WHO 欧州事務局: Guidelines for indoor air quality - selected pollutants (2010)
<https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/who-guidelines-for-indoor-air-quality-selected-pollutants>

室内空気質に係る化学物質を対象としたガイドラインであり、ベンゼン、一酸化炭素、ホルムアルデヒド、ナフタレン、二酸化窒素、多環芳香族炭化水素が対象であった。

C3.2. 韓国

環境省が所管する Indoor air quality control act が室内空気質に関する規制を定めており、適用対象は図書館、博物館、映画館、展示場等、不特定多数が使用する施設であった。また、電車等の公共交通機関も対象に含まれていた。

具体的な基準項目や適用の要件など詳細については同法の省令にて規定されていた。興行場等を含む施設を対象に、8 項目 (PM10, PM2.5, 二酸化炭素, ホルムアルデヒド, 一酸化炭素, 二酸化窒素, ラドン, 総 VOCs) が定められていた。なお、

本邦の特定建築物を対象とした、建築物環境衛生管理基準にて規定されている項目は、7 項目 (浮遊粉じん, 一酸化炭素, 二酸化炭素, 温度, 湿度, 気流, ホルムアルデヒド) である。規制対象が異なるため一概に比較はできないものの、韓国の基準項目は浮遊粉じんを PM10, PM2.5 に分けて設定していること、二酸化窒素, ラドン, 総 VOCs が含まれること、一方で温湿度や気流は含まれないことが特色であった。なお、映画館等の興行施設のうち、「室内公演場・室内体育施設等」については別立てとなっており、PM10 のみ基準値が設定されていた。また、「医療施設・高齢者療養施設等」についても同法の範疇に含まれており、多くは映画館等よりも厳しい基準値であるとともに、微生物に係る基準項目 (浮遊細菌, かび) も設定されており、健康上のリスクが高い患者への考慮がうかがえた。

C3.3. 室内環境質ガイドラインデータベースによる各国の基準の調査

当該の the Indoor Environmental Quality (IEQ) guidelines database では、室内空気質および室内換気に関し、36 国・1 地域の法令やガイドラインが収録されていた。

①室内空気質(Indoor Air Quality)

公共施設または商業施設を対象とした法令やガイドラインは 8 カ国・地域 (ブラジル、中国、香港、ナイジェリア、ノルウェー、ポルトガル、南アフリカ、タイ) において設定されていたものの、映画館などの興行場を対象とした法令等は見受けられなかった。

ブラジルは、Resolucao 09/2003 – ANVISA において 5 項目 (室温、相対湿度、CO₂、PM₁₀、空気由来真菌) を対象としていた。

中国は、China National Indoor Air Quality Standard (CNIAQS) において 2 項目 (ラドンおよび空気由来全菌数) を対象としていた。

香港は、IAQ objectives for offices and public places において 9 項目 (CO₂, CO, PM₁₀, NO₂, O₃, ホルムアルデヒド, TVOCs, ラドン, 空気由来全

菌数)、A guide on indoor air quality certification scheme for offices and public places において 2 項目(室温, 相対湿度)を対象としており、いずれも「優(excellent class)」および「良(good class)」の基準値が設けられていた。うち NO₂ とホルムアルデヒドは、8 時間平均値と 1 時間(NO₂) または 30 分(ホルムアルデヒド) 平均値が設けられていた。

ナイジェリアは、National Environmental (Air Quality Control) Regulations, 2021 において 11 項目を対象としており、その内訳は香港と大部分が共通していたものの、CO₂ が含まれず、風速が含まれていた(CO, PM₁₀, NO₂, O₃, ホルムアルデヒド, TVOCs, ラドン, 空気由来全菌数, 室温, 相対湿度, 風速)。

ノルウェーは、Indoor air quality および Thermal conditions に関する各ガイドラインにおいて、室温のみを対象としていた。

ポルトガルは、SAÚDE E AMBIENTE E AÇÃO CLIMÁTICA Portaria n.º 138-G/2021 において、9 項目(CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, ホルムアルデヒド, TVOCs, ラドン, 空気由来全菌数, 空気由来真菌)を対象としていた。

韓国は、IAQ Management Act において、2 項目(PM₁₀,ホルムアルデヒド)を対象としているとされた。

タイは、Notification of indoor air quality for public buildings B.E 2565 (2022)において、12 項目(CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, ホルムアルデヒド, TVOCs, 全菌数, 全真菌数, 室温, 相対湿度, 風速)を対象としていた。その内訳は香港やナイジェリアと大部分が共通していたものの、NO₂ とラドンは含まれず、PM_{2.5}が含まれていた。

各項目別に比較すると、CO₂ は 800~1250ppm、CO は 1.7~9ppm、ホルムアルデヒドは 30~100µg/cm³、NO₂ は<21~100µg/cm³、PM₁₀ は 20~200µg/cm³ と各国間で差が見られた。とりわけ、香港およびナイジェリアは厳しい基準値・ガイド

ライン値を採用していた。

②室内換気(Ventilation)

室内換気については、アジアの 3 カ国(中国、シンガポール、タイ)において、興行場等の施設に特化した法令が定められていた。

中国では、ボウリング場、博物館および展示ホール、映画館観客席を対象に、General code for heating, ventilation and air-conditioning of civil buildings において、人口密度(0.4 人/m² 以下・0.4-1.0 人/m²・1.0 人/m²超)に応じた最小換気量が設定されており、各値はいずれも映画館(11-14m³/時間/人)<博物館(15-19m³/時間/人)<ボウリング場(23-30m³/時間/人)であり、利用者の運動量を反映していた。

シンガポールでは、SS 553: 2016 Code of practice for air-conditioning and mechanical ventilation in buildings において、ダンスホールおよび劇場・映画館観客席を対象に、最小換気量が設定されており、前者が 10.5L/秒/人(37.8 m³/時間/人)、後者が 3L/秒/人(10.8 m³/時間/人)であった。

タイでは、EIT 031010-60 Ventilation for acceptable indoor air quality standard by the Engineering Institute of Thailand (EIT) and Air Conditioning Engineering Association of Thailand (ACAT)において、博物館、カジノ・ゲームセンター、音楽室・映画館・ダンスルームを対象とした推奨換気量が定められており、博物館、カジノ・ゲームセンターは 3.8L/秒/人(13.7 m³/時間/人)、音楽室・映画館・ダンスルームが 5L/秒/人(18 m³/時間/人)であった。各国とも、用途に応じて同程度の換気量が設定されていることが示された。

C3.4. 新型コロナウイルス感染症対策関連

米国ニューヨーク州健康局: Interim guidance for movie theaters during the covid-19 public health emergency (2021.4.26 時点)

<https://www.governor.ny.gov/sites/default/files>

/atoms/files/Movie_Theater_Detailed_Guidelines.pdf

州内の映画館の経営者や管理者に対して、映画館の再開に際して従業員や観客に関する新型コロナウイルス感染症対策を示した暫定ガイドライン。以下の4項目に関する考え方や行動例が示されていた。

①PEOPLE

- ・物理的距離の確保
- ・「密」の回避
- ・運営に関わる従業員数等の制限
- ・人流の制御

②PLACES

- ・空調設備の要件と適切な運用 (MERV-13以上の設備を使用するなど)
- ・保護具 (マスク等) の着用
- ・手指衛生、清掃、消毒
- ・段階的な営業再開
- ・従業員等との意思疎通

③PROCESSES

- ・日常的な健康確認の実施と記録
- ・陽性者と疑わしき事例の健康部局への速やかな情報提供、ならびに、全濃厚接触者の追跡等に関する協力

④EMPLOYER PLANS

- ・事業者による COVID-19 安全計画立案の支援

D. 考察

D1. 欧州、日本、COVID-19 関連

国内では、映画館や劇場の室内空気環境に関する実態調査報告は半世紀前のものであった。現在の映画館や劇場の建築と空調・換気システムと異なるため、参考できるものは殆どなかった。

国内・海外では、近年の研究は主としてシミュレーションの手法を用いたものである。Covid-19 流行期間中に全ての聴衆が捕集率 75%のマスクを着用すれば、最大感染確率と平均感染確率は、それぞれ 0.20 と 0.03%を超えないとのシミュレ

ーションの結果が報告されている。

国内各省庁では、Covid-19 流行期間中に多くのガイドラインが公表されている。感染症対策の視点から参考できるものが多い。

建築物衛生法に関する空気環境とその維持管理に関しては、入手しうる資料は殆どなかった。従って、これから環境に関する実態調査や管理者に対する管理現状のヒヤリングは重要である。

D2. アメリカ、ISO、ヨーロッパ規格、COVID-19 関連

アメリカでは、国としての室内空気質の指針値や規制を見つけることはできなかったが、ASHRAE が基準値や詳細なガイドラインを示していた。特にガイドラインは、空気質だけではなく快適性や省エネ、レジオネラ菌対策、災害等のリスクについても対象としており、設備の構成要素単体ではなく、建物にインストールされた際のシステム全体としての設計と保守・点検、管理に関する具体的な手順が示されていることから、実務の上ではそれらが参照されていると考えられる。ただし、あくまでもガイドラインという位置づけであれば、遵守しないことによる罰則等はないと考えられるため、実際どのように使われているのかについて、今後確認をしていきたい。ヨーロッパや中国では、空気質や換気、水質管理に関する国際・国内基準があることがわかった。

興行場に関連した衛生管理や規制についての情報は空気質についてのみ確認できた。劇場等では観客の代謝量がそれほど大きくないと考えられるため、一般のオフィスと同程度かそれ以下の換気量が推奨されていた。

国内の映画館でも、観客の活動量は少ないものの密度が高く、オープンな飲食物を持ち込むことから、空気質の確保には清浄な空気の導入が必須であるが、常時満員となるわけではないため、省エネの面からは人数によって換気量を制御するDCV (デマンド制御換気) のような方法を導入することも検討の余地があるといえる。

D3. WHO、韓国、室内環境質ガイドラインデータベース、新型コロナウイルス感染症

WHO 本部ならびに欧州地域事務局が公開する各ガイドラインやファクトシートは、健康影響に関する科学的な根拠が明確であり、かつ、疾病負担 (Burden of diseases) が大きいと評価されている化学物質群 (PM_{2.5}、一酸化炭素、二酸化窒素、ベンゼン、ホルムアルデヒド、ナフタレン、多環芳香族炭化水素) や、微生物群ならびに環境因子 (真菌類、湿度等) が対象となっていた。これらは長時間の曝露が想定される居住空間が主な対象となっており、公共施設や興行場等、短時間において不特定多数の利用者が滞在する空間に関する記述は見受けられなかった。

一方、韓国の環境省が所管する Indoor air quality control act では、映画館や展示場等の不特定多数が使用する施設、電車等の公共交通機関、ならびに、医療施設等が対象に含まれていた。規制項目は 8 項目 (PM₁₀, PM_{2.5}, 二酸化炭素, ホルムアルデヒド, 一酸化炭素, 二酸化窒素, ラドン, 総 VOCs) であり、医療施設等に対しては厳しい基準値と微生物に係る基準項目 (浮遊細菌, かび) が設定されていた。

各国の室内空気質や換気量に関する規制データベースを参照すると、前者では映画館などの興行場を対象とした法令等は見受けられなかったものの、後者では興行場等を対象とした法令やガイドラインは 3 カ国に存在しており、いずれも、用途に応じて、各国とも同程度の最小換気量または推奨換気量が定められていた。

米国ニューヨーク州健康局が定める映画館を対象とした COVID-19 感染症に係る暫定ガイダンスは、映画館の所有者や運営会社等を対象に、COVID-19 感染症制御から推奨される最低限の項目について、①人々、②空間、③行動、④事業者計画の 4 項目に関する規範が示されており、既往の CDC による COVID-19 感染症に係る営業再開暫定ガイダンスや、ASHRAE による空調設備に関す

るガイドライン等に基づいていた。なお、通常の映写のみを行う映画館を対象としており、演劇や演奏等の実演を伴う興行場は当ガイダンスの対象外であった。

E. 結論

- 本邦の建築物衛生法に関する空気環境とその維持管理に関して、興行場について入手しうる資料は殆どなかった。従って、これから環境に関する実態調査や管理者に対する管理現状のヒヤリングは重要である。
- アメリカでは、ASHRAE が室内空気質に関する基準値や詳細なガイドラインを示していた。興行場に関連した衛生管理や規制についての情報は、空気質についてのみ確認できた。
- 欧州規格ならびに ISO の建物内の空気質と換気に関わる規格では、興行場に特化したものではないものの、使用者の占有率と建物由来の汚染物質排出量に応じた設計換気量の決定方法、室内空気質の測定・評価方法、および目標とする室内空気質を達成するための設計方法が詳細に記述されていた。
- 給排水設備や水質に関する基準としてイギリスと中国を、興行場等の換気・空気質について、イギリス、中国、ベルギーの 3 か国の基準を参照し、後者では興行場の用途に応じて奨される換気量が異なること、イギリスの推奨換気量はオフィスと同程度であり、中国およびベルギーよりも多いことが分かった。
- WHO 本部ならびに欧州地域事務局が公開する室内空気質に関するガイドラインは、興行場等の短時間において不特定多数の利用者が滞在する施設を対象としていなかった。一方、韓国の Indoor air quality control act では映画館や展示場等の不特定多数が使用する施設、電車等の公共交通機関、ならびに、医療施設等が対象に含まれていた。
- The Indoor Environmental Quality (IEQ)

guidelines database により各国の法規制やガイドラインを参照したところ、公共施設または商業施設を対象とした室内空気質に関する法令やガイドラインは 8 カ国・地域に存在したものの、映画館などの興行場を対象とした法令等は見受けられなかった。一方、興行場等を対象とした室内換気に関する法令やガイドラインは 3 カ国に存在しており、用途に応じて、各国とも同程度の最小換気量または推奨換気量が定められていた。

- ・国内各省庁では、COVID-19 流行期間中に多くのガイドラインが公表されている。感染症対策の視点から参考となるものが多かった。
- ・米国ニューヨーク州健康局が定める映画館を対象とした COVID-19 感染症に係る暫定ガイダンスは、映画館の所有者や運営会社等を対象とした営業再開に係る運用上の規範が示されていた。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 伊庭千恵美, 島崎大, 柳宇, 開原典子, 戸次加奈江, 本間義規, 林基哉. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態 その 6 海外の規制等に関する文献調査. 第 81 回日本公衆衛生学会総会 ; 2022.10.7-9 ; 甲府. 同抄録集. P-21-11.

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

(このページは空白です)

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

興行場における衛生的な環境確保のための研究
シネマコンプレックスの温熱環境と衛生器具等利用に関する実態調査

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
研究分担者	柳 宇	工学院大学	建築学部	教授
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	本間 義規	国立保健医療科学院		統括研究官
研究分担者	林 基哉	北海道大学	大学院工学研究院	教授
研究協力者	菊田 弘輝	北海道大学	大学院工学研究院	准教授
研究協力者	山崎 和生	山崎技術士事務所		所長

研究要旨

興行場の室内空気環境等の実態や興行場の用途毎の特質を踏まえた衛生基準への提言に資する科学的根拠の構築が求められている。本報では、興行場における衛生的な環境確保を目的として、大規模映画館であるシネマコンプレックスの室内温熱環境と衛生器具の使用状況について、実態を把握した。

実態調査の結果、映画館のシネマコンプレックスの4D等の観覧場は、十分な運転能力を有した設備機器を備え、一定水準以上で維持管理がなされている。4D上映における水やにおい等の演出が温度・相対湿度・二酸化炭素濃度に及ぼす影響は、空気調和設備の能力や維持管理等によるものが大きい。安心安全な観覧場の衛生環境確保のため、適切な維持管理を継続することが重要である。

シネマコンプレックスの大便器利用の実態調査の結果、観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数は、施設側が上映の開始と終了時刻をずらすことや、上映開始前に入場できるタイミングをコントロールすること等によって、一定程度コントロールされている。観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数を算出したところ、満員の際にも施設の観覧場以外には総定員比の半分以下となる運営計画となっていた。シネマコンプレックスでは人手が不足する傾向にあることから、トイレの維持管理におけるデジタル技術の活用にも期待したい。

A. 研究目的

A1. 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度

興行場法に定める興行場の衛生措置は、条例で定められることが法で規定されているが、興行場の室内空気環境の実態等について、地方自治体への技術的助言に資する情報が不足している。

興行場法は、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）のように、建物の規

模や用途で対象を定めておらず、興行場の許可施設としては、多様な施設がある。また一方で、現在の地方自治体への技術的助言では十分に想定されていない映画館の4D上映等の新たな興行内容もあり、様々な興行内容による室内環境への影響や衛生管理を踏まえた衛生基準の情報整備が必要になっている。

本調査では、前年度に続き、興行場のうち、映画館において、同一施設に複数のスクリーンを有するシネマコンプレックスの温熱環境を含む多面的な衛生管理の調査を行い、エビデンスを集積することを目的としている。

A2. 衛生器具の使用状況に関する調査

A2.1. 各自治体の興行場法に関する施行条例等の整理

都道府県等、自治体の興行場法施行条例、同施行細則、同規則について、衛生器具の個数等の基準を把握することを目的としている。

A2.2. 衛生器具利用の実態調査

映画館の衛生器具の利用状況について、現場調査を行い、実態を把握することを目的としている。

B. 研究方法

B1. 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度

4D を備えた映画館（シネマコンプレックス）について、冬期と夏期に調査（3 施設全 33 観覧場）を行った。各施設は、4D 観覧場を 1 つと、2D 観覧場約 10 を持っている。観覧場の規模は、4D では客席が 100 名以下、2D では 100 名以下から約 400 名の客席を有しているものであった。

B1.1. 調査 A（詳細調査）

施設内観覧場において、通常の上映中に、温度および相対湿度、二酸化炭素濃度（HOBO、mx1102a を使用）を 1 分間隔で測定した。詳細調査として、測定機器を座席の肘掛けに固定し、1 つの観覧場内で、平面的に 5 点（スクリーンに向かい右前、右後、左後、左前、中央）を測定した。4D 観覧場では、映画のシーンに合わせ、客席のシートが動くとともに、水しぶきや、香り等の五感を刺激する特殊効果が連動する仕組みとなっているため、機器の設置位置は、これら水しぶき等が直接機器にかからないように設置するとともに、4D の演出を記録した。調査は、3 つ各シネマコンプレックスとも、4D 観覧場の場合は開演から終演までの約 5 演目を連続して測定

し、2D 観覧場の場合は規模の異なる 3 つの観覧場について各 1 演目ずつ測定した。3 つの施設とも、冬期調査は 2022 年 11 月に、夏期調査は 2023 年 8 月～9 月に実施した。

B1.2. 調査 B（2 週間の連続測定）

上映中の通常営業時の観覧場内において、冬期調査と同様に、温湿度及び二酸化炭素濃度（HOBO、mx1102a を 1 台使用）を 1 分間隔で連続的に 2 週間程度測定した。機器の設置場所は、観覧場の排気側とした。調査は、各施設の全ての観覧場（各施設約 10 の観覧場）を対象に、冬期調査は 2022 年 11～12 月に、夏期調査は 2023 年 8～10 月に実施した。

B2. 衛生器具の使用状況に関する調査

B2.1. 各自治体の興行場法に関する施行条例等調査

全自治体（都道府県、指定都市等、特別区）の興行場法施行条例、同施行細則、同規則について、インターネット検索とヒアリングにより、衛生器具の数に関する内容を整理した。

B2.2. 衛生器具利用の実態調査

(1) 調査 1（エリアの利用傾向調査）

都内近郊の 1 つのシネマコンプレックスの混雑日と通常日を対象に、2022 年 11 月～12 月に調査を行った。具体的には、当該施設の 3 箇所の便所（施設入口付近（以降、エントランスという）、券売機売店等のメインロビー（以降、メインロビーという）、検札後のシアター内（以降、シアター内という））を対象に、10 時半から 14 時半までの計 4 時間のそれぞれの便所の利用者の傾向を記録するとともに人数を男女別にカウントした。

(2) 調査 2（詳細調査）

施設内の衛生器具等に関閉センサー及び人感センサー等を設置して、その利用状況を計測した。大便器利用については、ブース扉に関閉センサーを設置し、各センサーから発せられる通知メールやアラーム履歴を収集し、発報機器名、時間を記

録した。また、施設利用の人数と利用者の利用傾向を把握するために、観覧場の人数を測定するとともに、上映演目及び上映時間等の情報を記録した。機器の設置場所は、施設内の3つのエリアを対象とした。測定は、2024年2月から3月の2か月間行われた。

C. 研究結果

C1. 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度⁵⁾

C1.1. 調査 A (詳細調査)

図1に、4D・2Dの観覧場の通常日と混雑日の温度・相対湿度・二酸化炭素濃度について、演目ごとの冬期調査結果を示す。図中のボックス部は下から1/4分位点、3/4分位点を示し、最上及び最下の線は最大最小値、○印は平均値を示している。温度・相対湿度は、終日比較的安定している。二酸化炭素濃度の演目ごとの平均値は各回とも1,000ppm以下となっている。通常日・混雑日のいずれの場合も、施設のある自治体の条例の基準を満たしている(本報の対象施設の基準は、「興行場法第2条、第3条関係基準条例準則」⁶⁾と同じである)。

図2に、図1と同様に夏期の場合を示す。温度・相対湿度・二酸化炭素濃度について、通常日・混雑日のいずれの場合も、施設のある自治体の条例の基準を満たしている。

図3に、冬期・夏期の各施設の4D観覧場の上映中の温度の場内の分布の結果を示す^{注1), 注2)}。各施設とも、冬期・夏期の差は小さく、ほぼ同じ温度(平均約23℃～約25℃)に管理されている。日内の変動も小さいが、観覧場内5か所の分布も小さいことがわかる。

図4に、冬期・夏期の各施設の4D観覧場の上映中の相対湿度の場内の分布の結果を示す^{注1), 注2)}。温度とは異なり、施設により運用に差があることがわかる。具体的には、施設Cの場合、冬期・夏期によらず観覧場内は約50%RHとなるよう湿度調整されていることがわかる。施設Dや施設Eの

場合、相対湿度の基準の範囲で外気を多く導入していることがわかる。また、各施設とも、温度同様に、平面的な空間分布は小さく、日内の変動も小さい。

図5に、冬期・夏期の各施設の4D観覧場の上映中の二酸化炭素濃度の場内の分布の結果を示す^{注1), 注2)}。こちらも施設により運用に差があることがわかる。平均値においてはいずれの施設も冬期・夏期ともに1,000ppm以下となっているが、なかでも施設Dは外気を多く導入し常時1,000ppm以下となる運用を目指していることがわかる結果となっている。なお、温湿度と同様に、各施設とも条例の基準を満たしている。

C1.2. 調査 B (2週間の連続測定)

(1) 冬期調査

3施設全33観覧場の排気側において、上映中の温度・相対湿度・二酸化炭素濃度全の結果を取得した。事例的に、施設Cの2D観覧場の結果を示す。当該施設の測定期間では、測定開始後、2日目～3日目、9日目～10日目が、混雑日であった。

図6に、温度の結果を示す。日によって多少異なるものの、平均値は約21℃～約22.5℃であり、条例の基準を満たしており、混雑日においても、大略的には通常日と同様に基準を満たしていた。

図7に、相対湿度の結果を示す。温度同様、日によって多少異なるものの、通常日、混雑日にかかわらず、条例の基準を満たしている。

図8に、二酸化炭素濃度の結果を示す。概ね1,000ppm以下で管理されており、基準を十分に満たしている。

(2) 夏期調査

冬期調査同様、3施設全33観覧場の排気側において、上映中の温度・相対湿度・二酸化炭素濃度全の結果を取得した。事例的に、施設Cの4D観覧場の結果を示す。当該施設の測定期間では、測定開始後、2日目～3日目、9日目～10日目が、混雑日であった。

図9に、温度の結果を示す。測定期間を通じて、各日の変動は小さく、観覧場内の日平均値は約23℃～約24℃であった。条例の基準を満たしており、混雑日においても、大略的には混雑日以外（以下、通常日という）と同様となっている。

図10に、相対湿度の結果を示す。観覧場内の日平均値は約35%RH～約62%RHであった。通常日、混雑日にかかわらず、条例の基準を満たしている。

図11に、絶対湿度の結果を示す。観覧場内の日平均値は約7g/kg(DA)～約11g/kg(DA)であった。

図12に、二酸化炭素濃度の結果を示す。概ね1,000ppm以下になるように管理されていることがわかる。

C2. 衛生器具の使用状況に関する調査

C2.1. 各自治体の興行場法に関する施行条例等調査

各自治体の条例等における衛生管理の項目の便器の数は、令和4年度分析の157自治体において、基準を有するのは117自治体であった。また、そのうちの約4割が人数基準、約6割が面積基準という状況であった。また、面積基準の場合には、観覧場の床面積の合計について傾斜配分になっている場合と、定員数に対して傾斜配分になっている場合がある。また、傾斜配分の場合、いくつかのパターンを有していることが確認されている。なお、“適当数”とのみ表示している場合は、基準を有していないものにカウントした。

C2.2. 衛生器具利用の実態調査

(1) 施設概要

調査対象施設は、興行場法の施設の映画館のうち、シネマコンプレックスとした。調査を行ったシネマコンプレックスは、1フロアに10の観覧場を持ち、総定員は2,000名程度である。施設内の3つのエリア（エントランス、メインロビー、シアター内）に便所が設置されている。なお、シアター内は、鑑賞券を持っていないと入れないエ

リアとなっている。表-1に3つのエリアの衛生器具の設置数を示す。

(2) 調査1（エリアの利用傾向調査）

調査の結果、以下の傾向がある。

- ① エントランス>メインロビー>シアター内の順に総利用人数となる傾向にある。
- ② エントランスは、家族連れ（両親+子供）で来場し父親がトイレ前で待機し母親と子供（性別にかかわらず）が鑑賞前後に利用するケース、1人（性別にかかわらず）で来場し鑑賞前に利用するケース、女性同士複数人で来場し鑑賞前後に利用するケースが主であった。
- ③ メインロビーは、発券後に利用するケースが主であった。
- ④ シアター内は、鑑賞前に男性来場者（家族で来場のよう）が利用するケース、鑑賞中にシアターを抜けて子供が利用するケース、女性同士複数人で来場或いは家族で来場し鑑賞後に利用するケースが主であった。
- ⑤ 各スクリーンの演目をずらしていることもあり、各設置場所のトイレに利用者が全くいない時間があった。
- ⑥ 各設置場所で、混雑の場所、空いている場所が同時にみられることがよくあった。

(3) 調査2（詳細調査）

図13に、調査施設の混雑日と通常日の上映スケジュールの例を示す。施設側の運営として、各スクリーンの演目をずらして幕間を調整し、利用者が無計画とならないようになっている。

図14に、満員である場合の観覧場以外の施設内に滞在する人数（観覧場以外の施設内人数）と、施設の総定員比（施設内の人数/施設定員）を算出した結果を示す。調査対象の施設では、上映開始時刻の10分前から観覧場に入場できるようになることを踏まえ、利用者によっては、早くから施設

にいる場合もあるものの、観覧場以外の施設内人数について、上映スケジュール（図 13）を基に、上映時刻前後 10 分間は、観覧場の定員の人数が施設内にいると仮定して算出した。図より、混雑日は平均約 12%、通常日は平均約 10%であり、混雑日・通常日を通じて最大でも総定員比 50%以下であった。すなわち、この人数が、施設内の観覧場以外（廊下やホール等）に最大数（満席の場合）として滞在する人数となる。

以降、実測の結果を図 15～図 20 に示す。図中の 1,2,8,9,12,15,16,22,23 日目が混雑日として想定されている日であった。

図 15 に、大便器ブースの扉が閉まった回数^{注 3)}を示す。男性用・女性用ともに、通常日より混雑日の使用回数が多い。男性用の場合、最も使用回数の少ない通常日の場合でも、使用回数の最も多い混雑日約 1/4 倍である。一方、女性用の場合は、最も使用回数の少ない通常日の場合、最も使用回数の多い混雑日の約 1/5 倍である。また、大略的には、男性用も女性用も使用回数の多い日と少ない日は、連動している傾向にある。エリアの使用頻度をみると、エントランスが最も多く、次いでシアター内、メインロビーであることがわかる。エントランスが最も使われるという傾向は、どのような日であってもかわることはなかった。

図 16～図 18 に、表 1 に示したブースの別について、回数、日平均（回数/日）、時間平均（回数/h）を示す。図 16 はエントランス、図 17 はメインロビー、図 18 はシアター内である。どのエリアであっても、日による使用回数の“多い/少ない”の傾向は類似している。また、これらのブースは、エリアが異なる場合にも、混雑日・通常日ともに、使用されやすいブースの順は変わらない傾向にある。女性用のブースの場合、エントランスでは E8 と E1、メインロビーでは M10 と M9、シアター内では T2 と T1 の使用頻度が最も高い一方で、エントランスでは E6 と E5、メインロビーでは M6 と M5、シアター内では T7 と T6 の使用頻度が低い。すな

わち、入口に近いブースは使用頻度が高く、入り口から遠いブースは使用頻度が低い傾向にある。

以降、利用の多い女性用について、結果を示す。

図 19 に、混雑日と通常日の日内の大便器ブースの使用回数（女性用の場合）を示す。混雑日・通常日ともに、各スクリーン上映までに 25 分間の幕間が設けられているが、その時間に大便器ブースの利用が増えることが確認できる。また、19 時以降の利用が日中に比べて少ないこともわかる。

図 20 に、エリア別に混雑日と通常日の日内の大便器ブースの使用回数（女性用の場合）を示す。エントランスとメインロビーは、観覧券を持っていない人も利用できるが、エントランスの方がメインロビーよりも利用者が多く混雑する傾向にある。メインロビーで利用者がいない或いは少ない場合にも、エントランスで混雑或いは多い場合がある。

D. 考察

D1. 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度¹⁾

事例的にはなるが、興行場のうち大規模映画館であるシネマコンプレックスの観覧場は、十分な運転能力を有した設備機器を備え、一定水準以上で維持管理がされているといえる。また、4D 演出による観覧場内の温度・相対湿度・二酸化炭素濃度への影響の程度は大きいとはいえない。シネマコンプレックスの場合、4D の演出の効果や客数の変動に対応できる空気調和設備等の設計がなされていることが推測される。また、新型コロナウイルス感染症の換気対策として二酸化炭素濃度 1,000ppm 以下が商業施設等に求められていたが、映画館でもシネマコンプレックスのような空気調和設備等が備えられた施設の場合、二酸化炭素濃度 1,000ppm 以下の運転が可能であることも確認された。安心安全な施設の維持には、空気調和設備等の適切な維持管理を継続することが重要である。

D2. 衛生器具の使用状況に関する調査

シネマコンプレックスにおいて、施設内に 10 スクリーン程度を有する構成になり、基準の緩和について同 準則 9 項、ただし書きについて同準則 8 (3) に示されてはいるものの、興行場法の対象施設は多様であり、1 つの基準では施設の運用状況により適当数となっていない（多い場合、或いは少ない場合がある）ことも考えられる。映画館は、1 演目ごとに観客が入れ替わる。観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数は、施設側が上映の開始と終了時刻をずらすことや、上映開始前に入場できるタイミングをコントロールすること等によって、一定程度コントロールされている。観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数を算出したところ、満員の際にも施設の観覧場以外には総定員比の半分以下となる運営計画となっていた。

ワンフロアに計画されているシネマコンプレックスの場合、施設入り口付近、券売機付近、観覧場のあるシアター内の概ね 3 つのエリアにトイレが設置されていることが多く、観覧場は上映開始前に入場できる時刻をコントロールしている。また、ショッピングモール等複合施設内にある場合には、シネマコンプレックスに入るまでに、他の場所のトイレを利用している場合もある。施設計画の際に、運用計画等を踏まえて、適正数を設置することは、利用者の利便性の向上につながるのと同時に、事業者の維持管理等の負担を軽減する効果があると考えられる。

デジタル技術の活用により使用頻度等が可視化できれば、便器の清掃や物品の補充等の維持管理についても、事業者側の人手不足の解消につながるのと同時に、効率的に行うことができる可能性がある。一方、利用者にとっても、ブースの混雑情報が得られることは、利便性の向上につながる可能性がある。調査結果からは、エントランスのブースが混雑している際に、メインロビーのブースが空いている場合があることについて示されている。

E. 結論

興行場の室内空気環境等の実態や興行場の用途毎の特質を踏まえた衛生基準への提言に資する科学的根拠の構築が求められている。本報では、興行場における衛生的な環境確保を目的として、大規模映画館であるシネマコンプレックスの室内温熱環境と衛生器具の使用状況について、実態を把握した。

実態調査の結果、映画館のシネマコンプレックスの 4D 等の観覧場は、十分な運転能力を有した設備機器を備え、一定水準以上で維持管理がなされている。4D 上映における水やにおい等の演出が温度・相対湿度・二酸化炭素濃度に及ぼす影響は、空気調和設備の能力や維持管理等によるものが大きい。安心安全な観覧場の衛生環境確保のため、適切な維持管理を継続することが重要である。

シネマコンプレックスの大便器利用の実態調査の結果、観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数は、施設側が上映の開始と終了時刻をずらすことや、上映開始前に入場できるタイミングをコントロールすること等によって、一定程度コントロールされている。観覧場以外の施設内に滞在する利用者の人数を算出したところ、満員の際にも施設の観覧場以外には総定員比の半分以下となる運営計画となっていた。シネマコンプレックスでは人手が不足する傾向にあることから、トイレの維持管理におけるデジタル技術の活用にも期待したい。

注釈)

注 1：凡例は、アルファベットは施設を示し、アルファベットに続く数字“1”は 4D 観覧場“2”は 2D 観覧場を示す。次に続く数字は、観覧場の測定点の平面分布であり、スクリーンに向かい右前を“1”、右後を“2”、“左後を”3“、左前を”4“、中央を”5“とする。また、末尾の”w“は冬期調査（2022 年 11 月）・”s“は夏期調査（2023 年 8～9 月）を示している。

注2：図中の赤色の破線は、「興行場法第2条、第3条関係基準条例準則」における各要素の基準を示している。

注3：回数には、掃除の目的で扉の開閉を行ったものも含まれている。

<謝辞>

本研究にご協力いただいた全国興行生活衛生同業組合連合会及び、各映画館の関係各位に謝意を表す。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) U Yanagi, Noriko Kaihara, Dai Simazaki, Kanae Bekki, Yoshinori Homma, Chiemi Iba, Atsuto Asai and Motoya Hayashi. Bacterial Flora on Mist Outlet Surfaces in 4D Theaters and Suspended Particle Concentration Characteristics during 4D Movie Screenings. *microorganism* 2023. 6; 11(7). DOI:10.3390/microorganisms11071856

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調査研究 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年度日本建築学会大会(近畿); 2023.9; 京都. p.1393-4
- 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調査研究 第2報 4Dと2D映画館付着細菌叢の解析結果. 2023年度日本建築学会大会(近畿); 2023.9; 京都. p.1395-6
- 3) 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3報 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度の測定. 2023年度日本建築学会大会(近畿); 2023.9; 京都. p.1397-8
- 4) 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. 冬期の4D映画館におけるミスト吹出口と床面の付着真

菌叢. 2023年室内環境学会学術大会;2023.11;
沖縄. p.214-5

- 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映画館ミスト吹出口の付着細菌叢. 2024年度日本建築学会大会 (in press) .
- 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年度日本建築学会大会 (in press) .
- 7) 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. 第83回日本公衆衛生学会総会 (in press) .

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

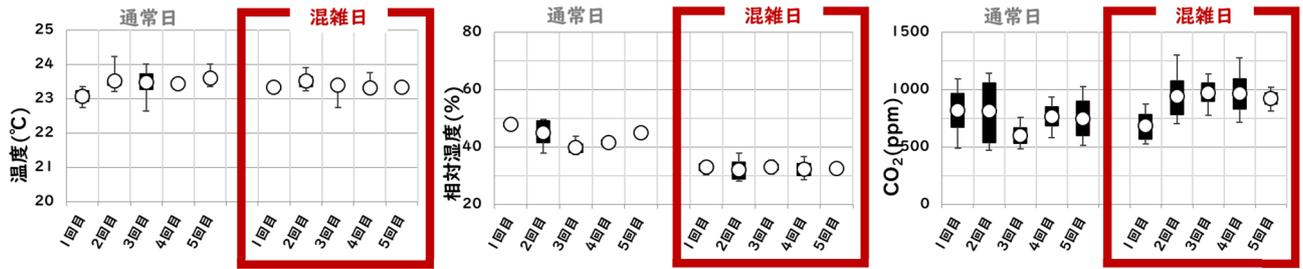
<参考文献>

- 1) Yanagi, U; Kaihara, N.; Simazaki, D.; Bekki, K.; Homma, Y.; Iba, C.; Asai, A.; Hayashi, M. Bacterial Flora on Mist Outlet Surfaces in 4D Theaters and Suspended Particle

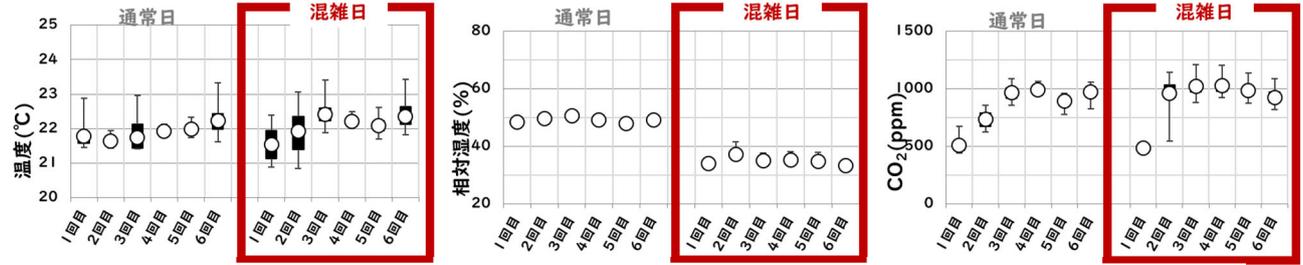
Concentration Characteristics during 4D Movie Screenings. *Microorganisms* 2023, 11, 1856. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071856>

- 2) 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調査研究果 第1報 4D と2D 映画館における生菌と浮遊微生物粒子の測定結果. 2023 年日本建築学会大会学術講演梗概集, 1393-1395.
- 3) 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, 1395-1396.
- 4) 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, 1397-1398.
- 5) 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年度日本建築学会大会 (in press) .
- 6) 興行場法第2条、第3条関係基準条例準則, <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinanzenbu/0000126004.pdf> (accessed 2024.3.15)

- 7) 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. 第83回日本公衆衛生学会総会 (in press) .

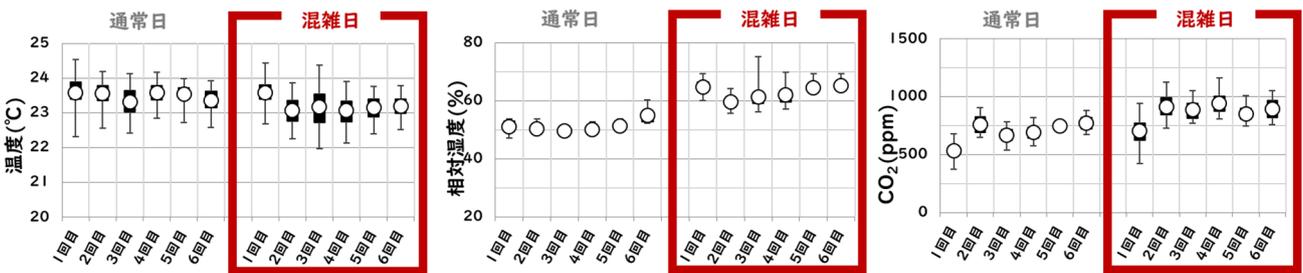


(4D の場合)

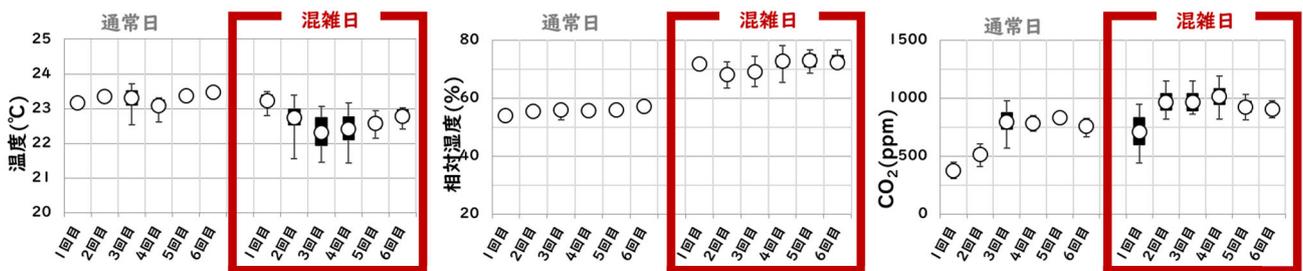


(2D の場合)

図1 観覧場の温熱環境 (施設 C, 各演目, 冬期の場合)



(4D の場合)



(2D の場合)

図2 観覧場の温熱環境 (施設 C, 各演目, 夏期の場合)

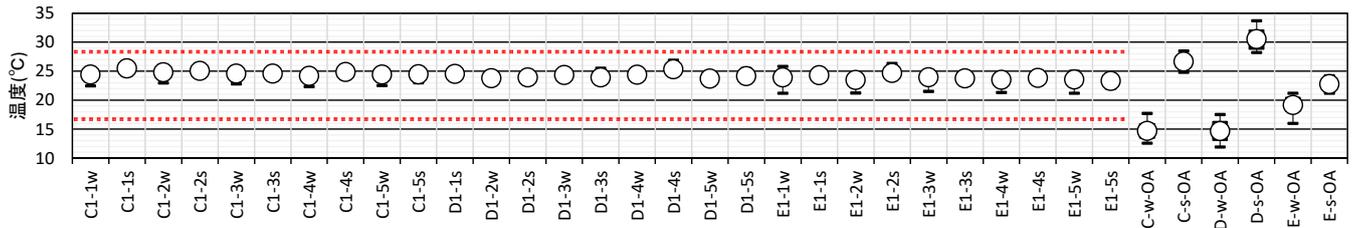


図3 4D観覧場の温度分布^{注1), 注2)} (冬期・夏期調査, 施設C~E, 開演時間~終演時間まで, OA:外気)

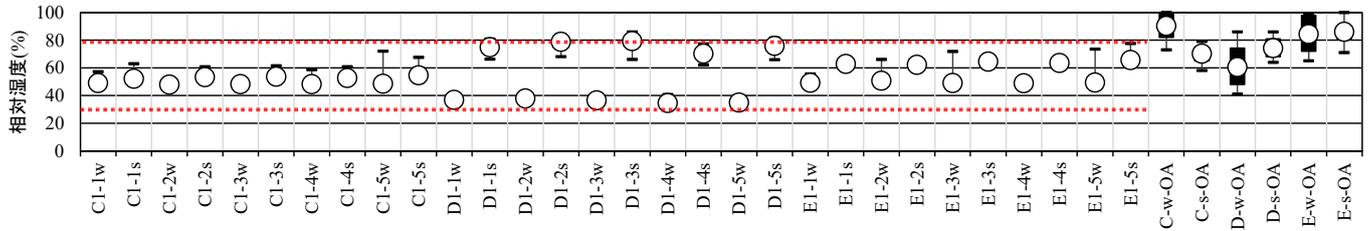


図4 4D観覧場の相対湿度分布^{注1), 注2)} (冬期・夏期調査, 施設C~E, 開演時間~終演時間まで, OA:外気)

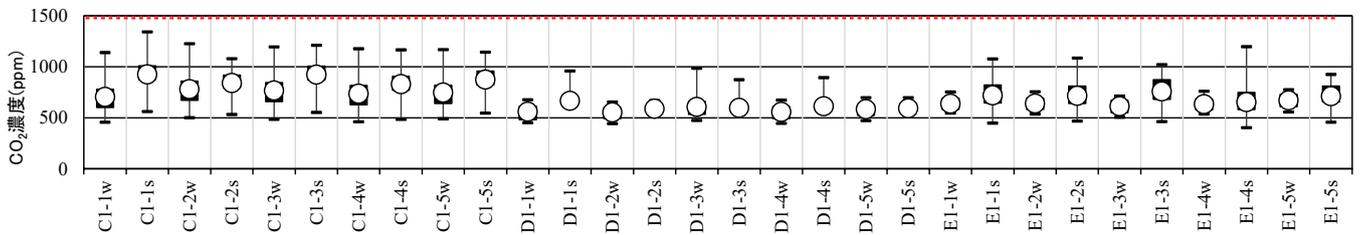


図5 4D観覧場の二酸化炭素濃度分布^{注1), 注2)} (冬期・夏期調査, 施設C~E, 開演時間~終演時間まで, OA:外気)

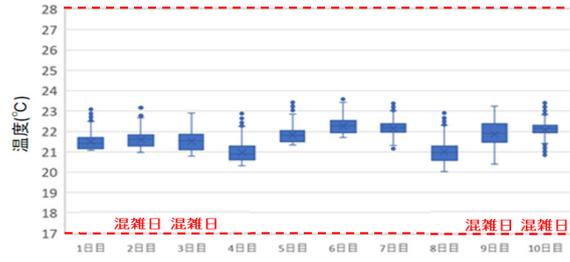


図6 観覧場の温度^{注2)} (終日の上映時間のみ, 施設Cの2Dの1事例)

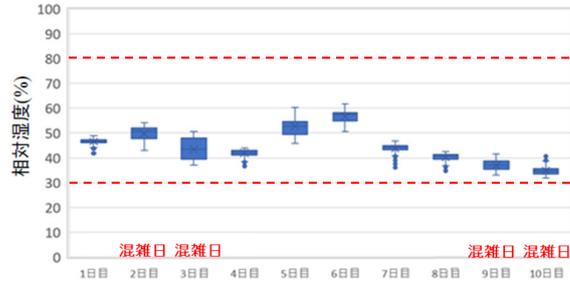


図7 観覧場の相対湿度^{注2)} (終日の上映時間のみ, 施設Cの2Dの1事例)



図8 観覧場の二酸化炭素濃度^{注2)} (終日の上映時間のみ, 施設Cの2Dの1事例)

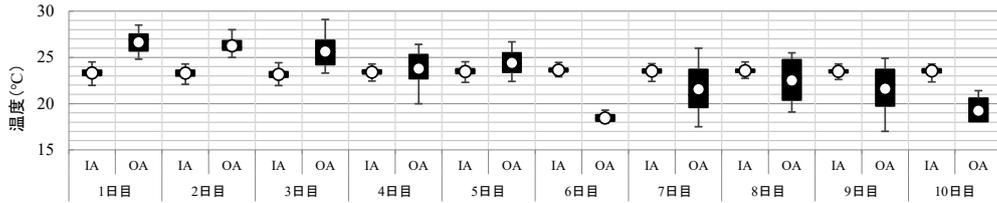


図9 観覧場の温度（夏期調査，施設 C，各日の開演時間～終演時間まで，IA:観覧場内，OA:外気）

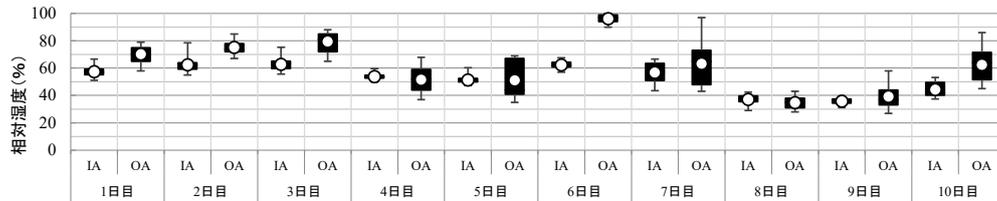


図10 観覧場の相対湿度（夏期調査，施設 C，各日の開演時間～終演時間まで，IA:観覧場内，OA:外気）

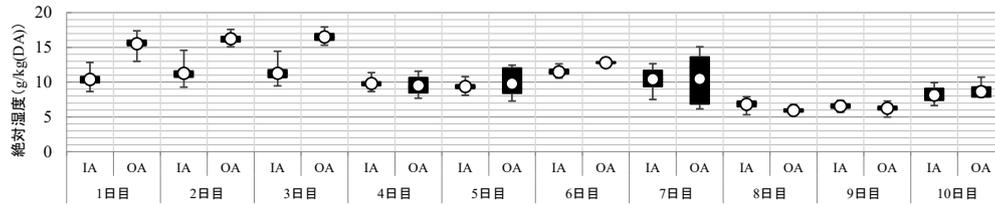


図11 観覧場の絶対湿度（夏期調査，施設 C，各日の開演時間～終演時間まで，IA:観覧場内，OA:外気）

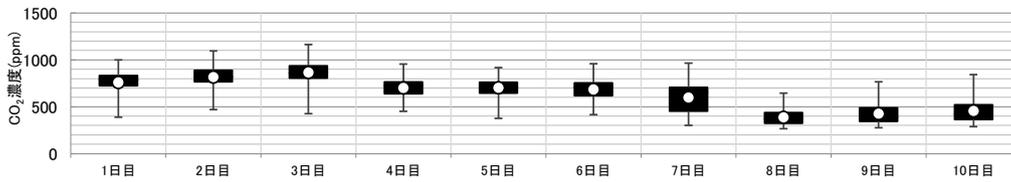
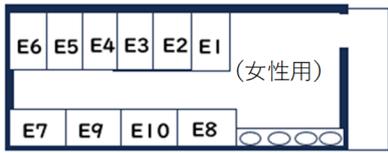
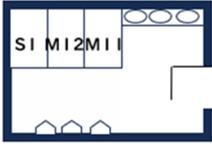
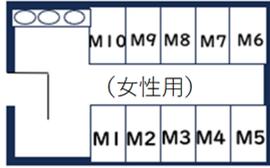
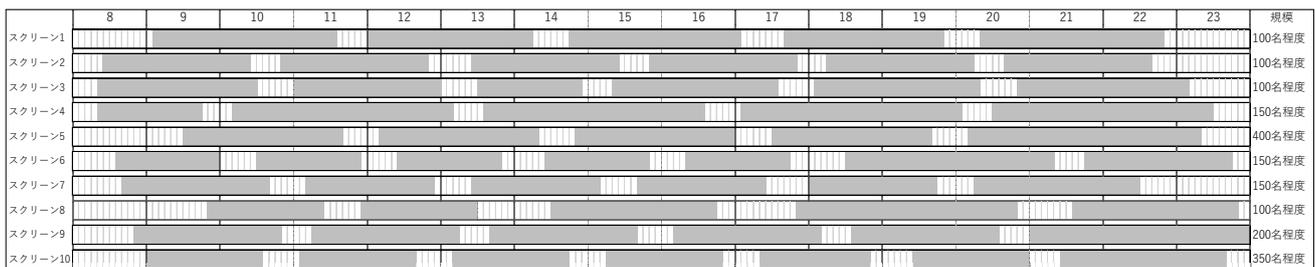


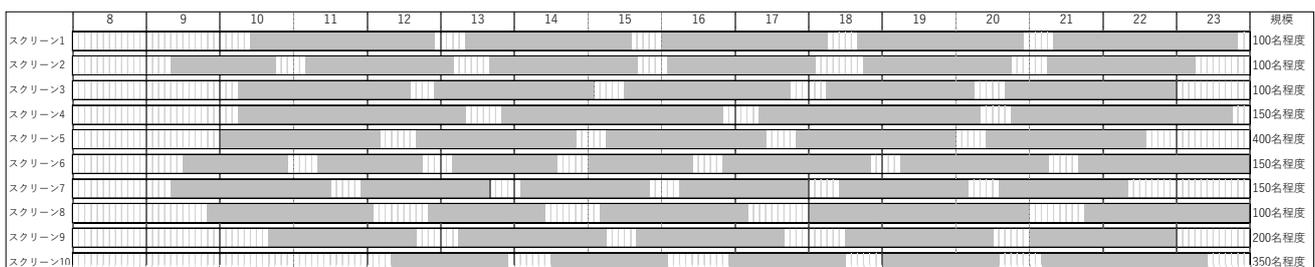
図12 観覧場の二酸化炭素濃度（夏期調査，施設 C，各日の開演時間～終演時間まで）

表1 衛生器具の設置数

			エントランストイレ	
男性用	大便器	3	 (男性用)	 (女性用)
	小便器	11		
	手洗い器	3		
女性用	大便器	10		
	手洗い器	4		
			メインロビートイレ	
男性用	大便器	3	 (男性用)	 (女性用)
	小便器	3		
	手洗い器	3		
女性用	大便器	10		
	手洗い器	3		
だれでもトイレ		1		 T12
			シアター内トイレ	
男性用	大便器	2	 (男性用)	 (女性用)
	小便器	4		
	手洗い器	2		
女性用	大便器	9		
	手洗い器	2		

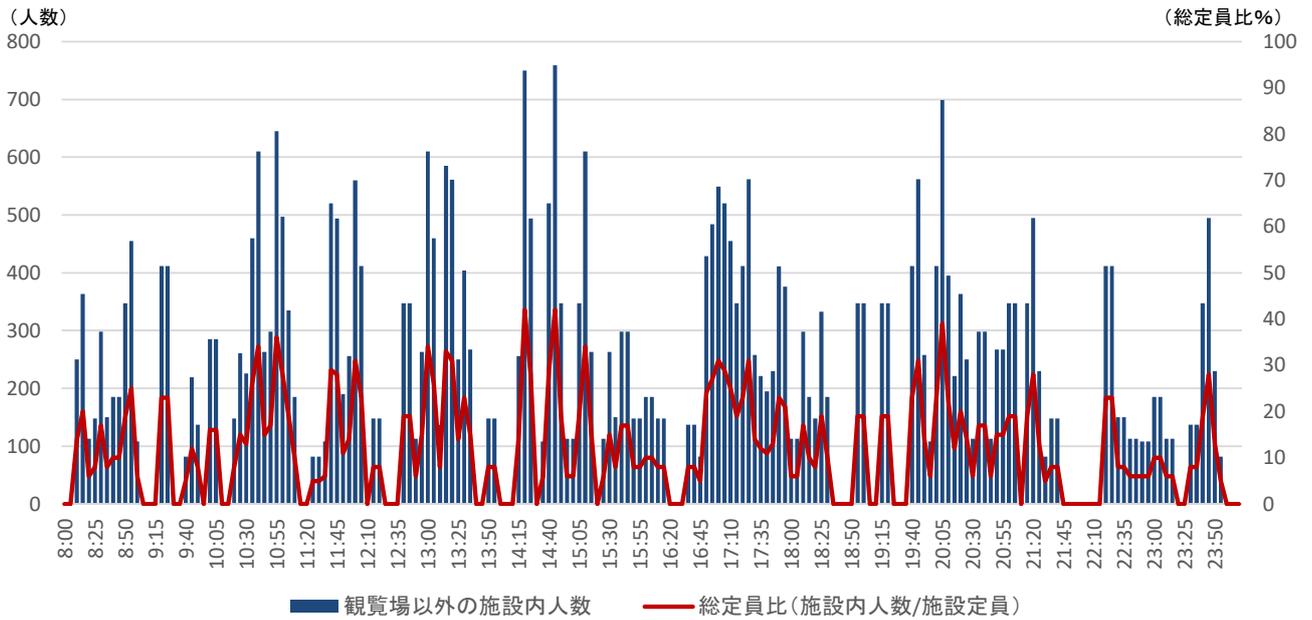


1) 混雑日の例

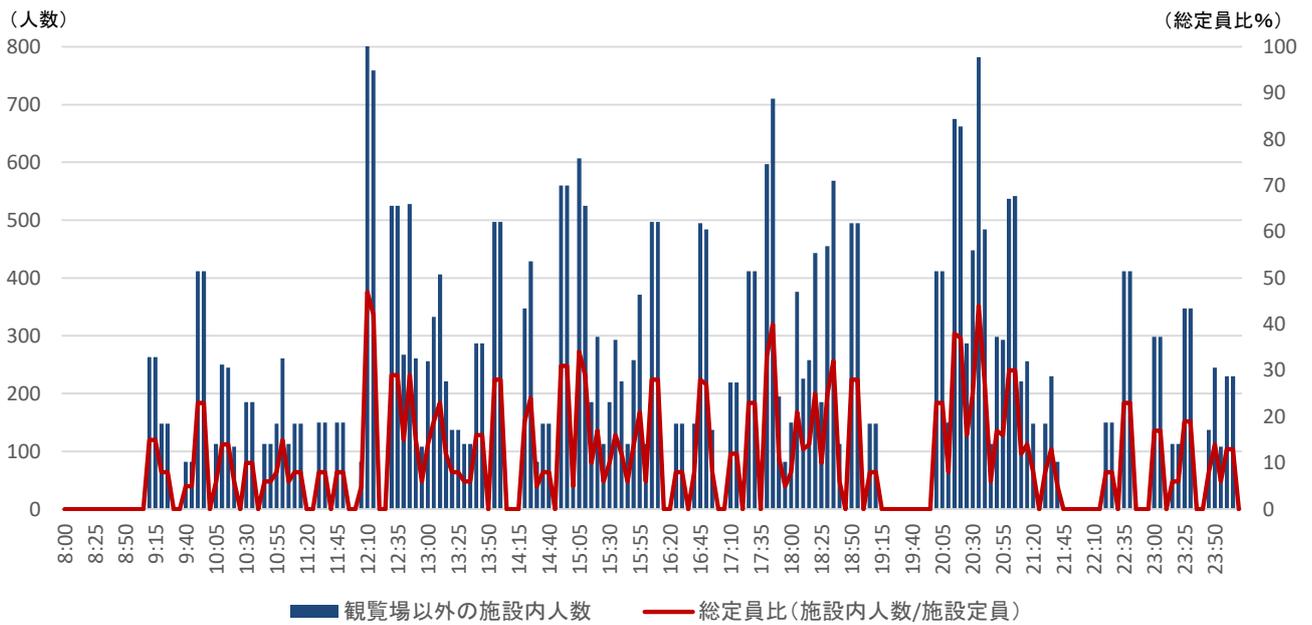


2) 通常日の例

図13 上映スケジュールの例

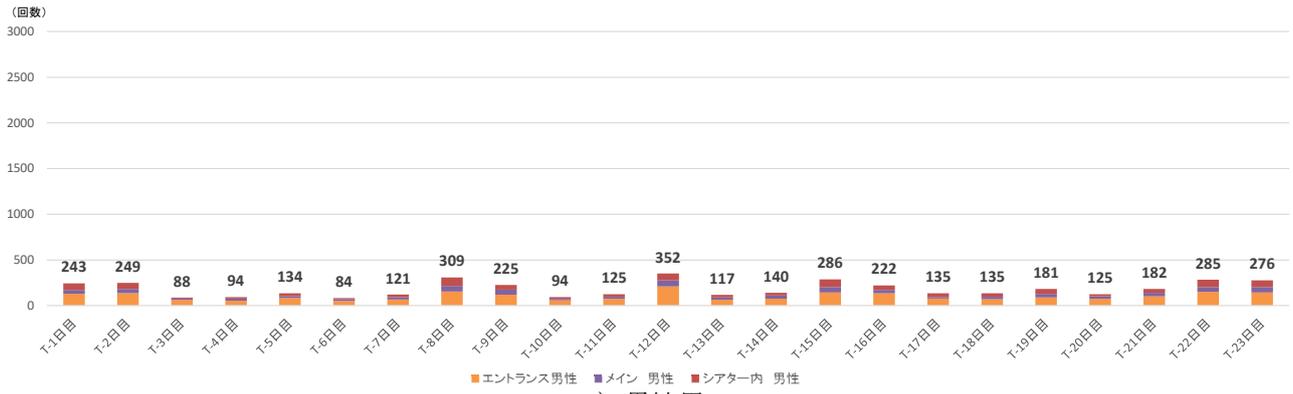


1) 混雑日の例

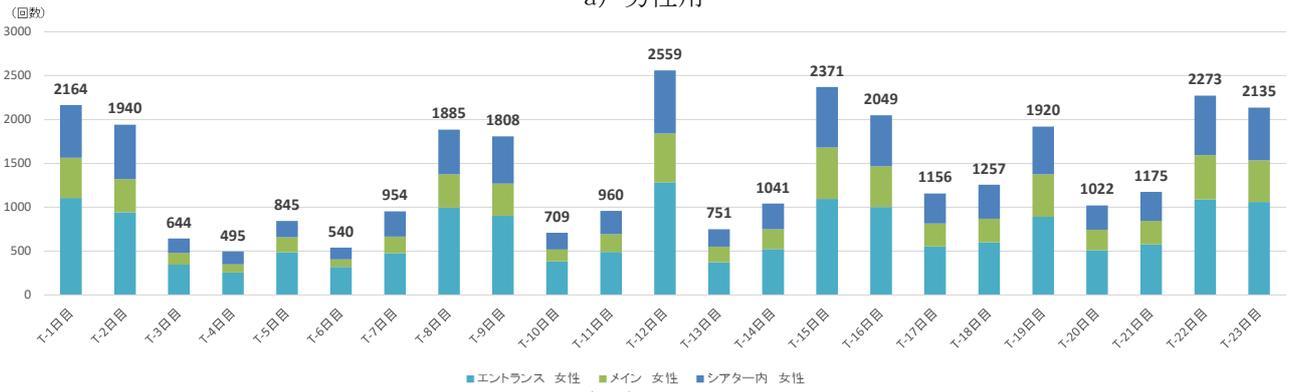


2) 通常日の例

図 14 観覧場以外の施設内人数と総定員に対する割合 (満員である場合)

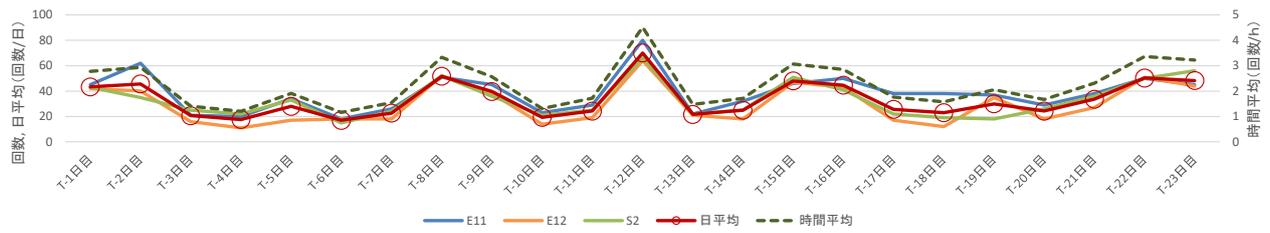


a) 男性用

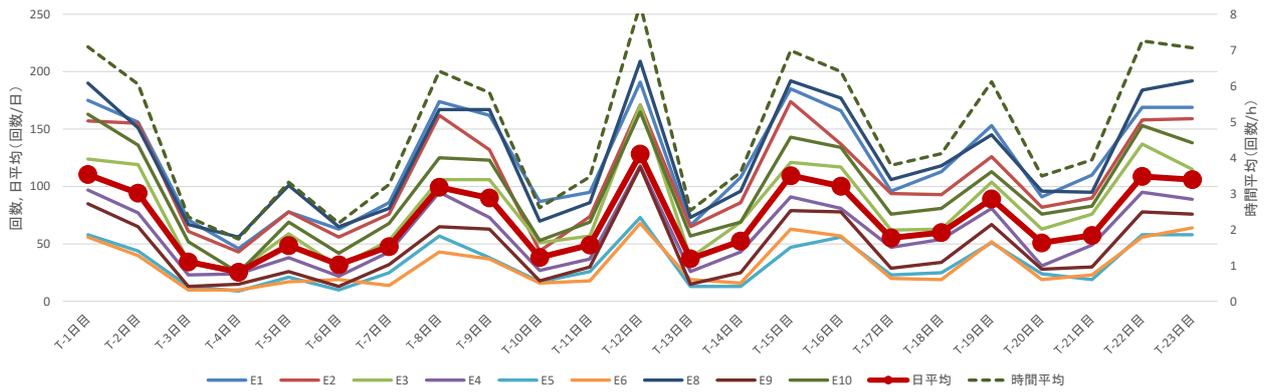


b) 女性用

図 15 大便器ブースの使用回数 (エリア別)

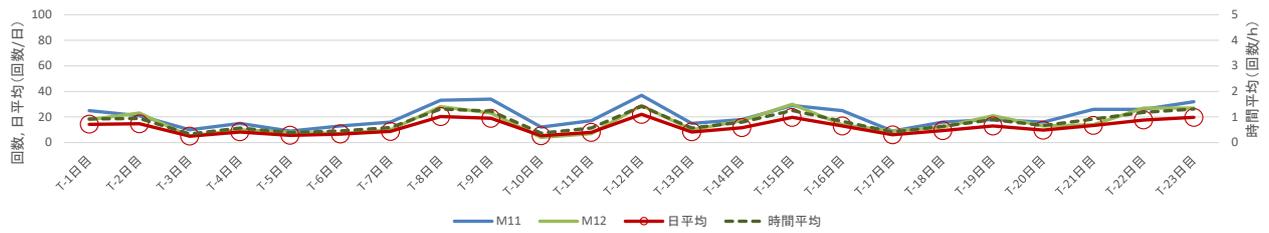


a) 男性用

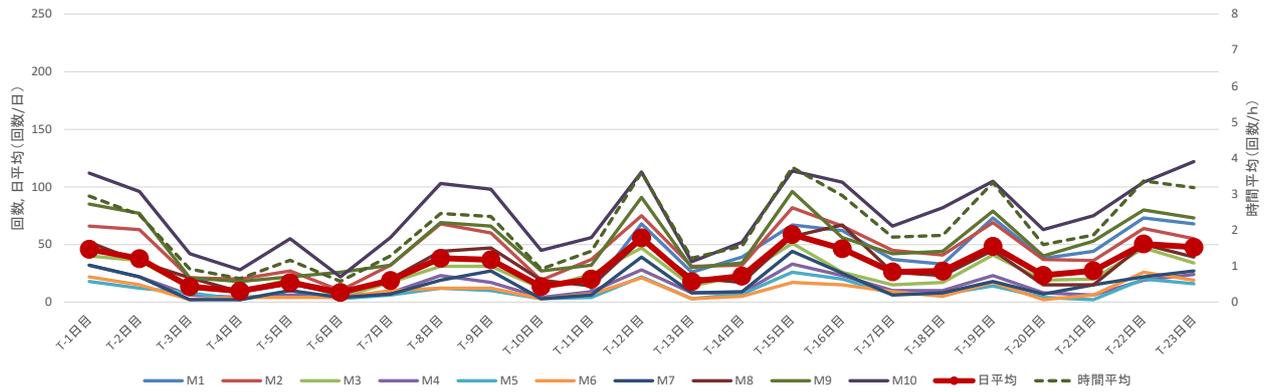


b) 女性用

図 16 大便器ブース別の使用回数 (エントランス)

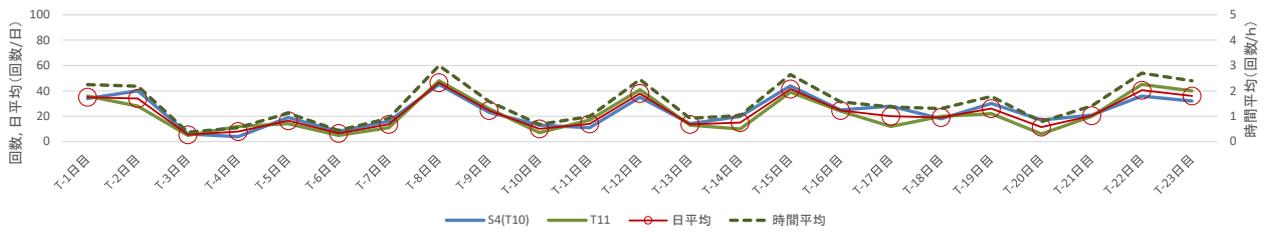


a) 男性用

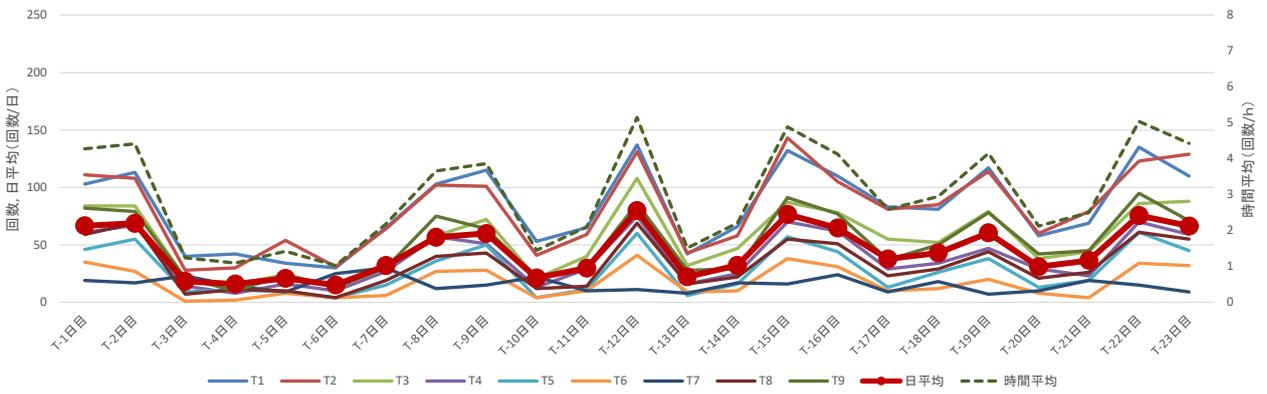


b) 女性用

図 17 大便器ブース別の使用回数 (メインロビー)

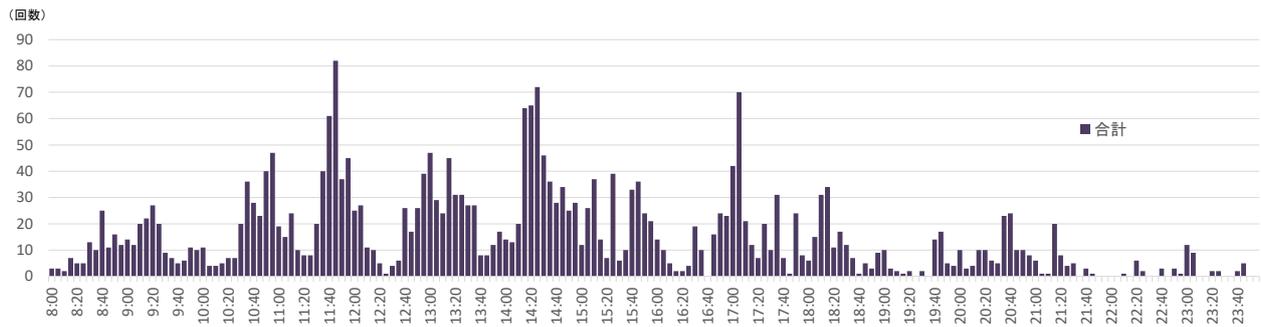


a) 男性用

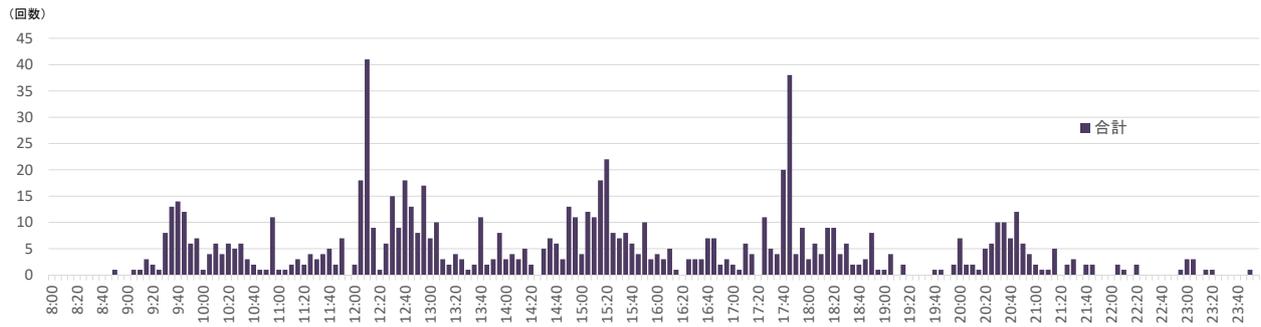


b) 女性用

図 18 大便器ブース別の使用回数 (シアター内)

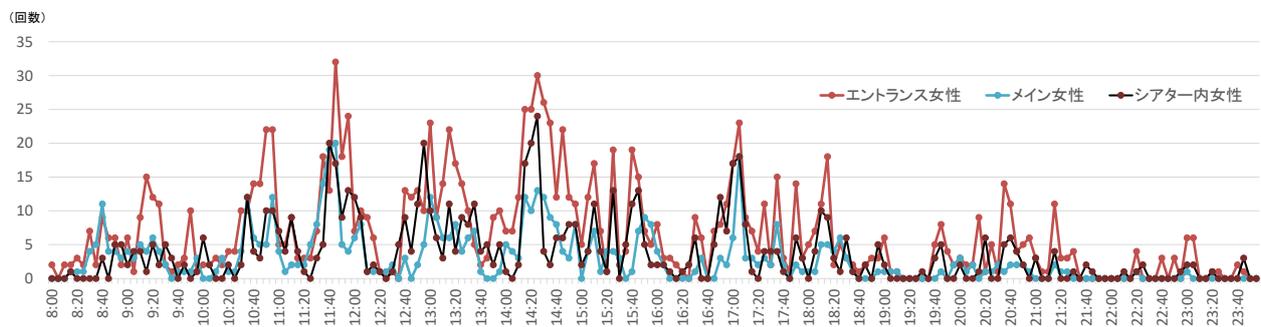


(T-12 日目の場合, 混雑日)

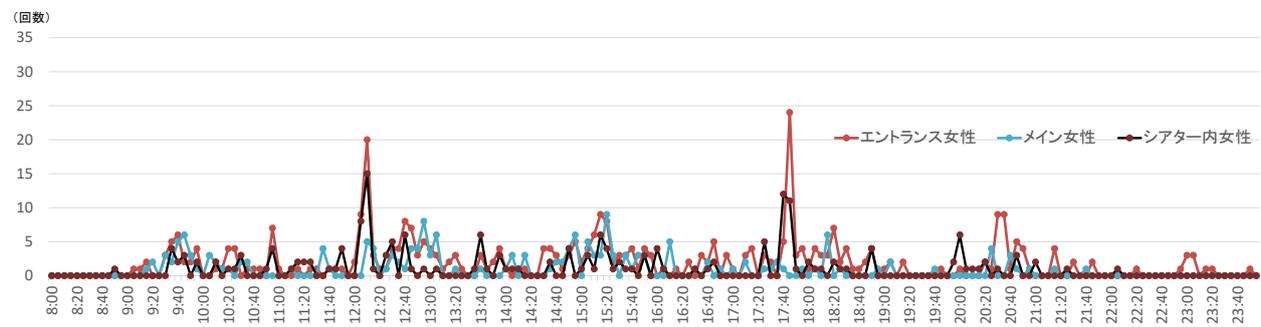


(T-13 日目の場合, 通常日)

図 19 日内の大便器ブース使用回数 (混雑日と通常日, 女性用)



(T-12 日目の場合, 混雑日)



(T-13 日目の場合, 通常日)

図 20 エリア別の日内の大便器ブース使用回数 (混雑日と通常日, 女性用)

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

興行場における衛生的な環境確保のための研究
映画館の映画上映中の浮遊と落下粒子状物質の実態調査

研究分担者 柳 宇 工学院大学 建築学部 教授

研究要旨

2022年冬期と2023年夏期に映画館C、D、Eの4Dスクリーンと2Dスクリーンにおける映画上映中の落下細菌・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スクリーンのミスト噴出口表面の付着細菌叢・真菌叢の測定と解析を行った。本研究で得られた主な結果は次に示す通りである。① 4D映画上映中の浮遊粒子濃度の上昇はエフェクトによるものである。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。② 落下細菌については、冬期と夏期と共に2D上映中より4D上映中の方が有意に多かった。③ 落下真菌については、1時間の曝露でも数cfuしか検出されなかった。また、1時間の曝露で落下細菌は0~60cfuしか検出されていないことから、従来の10分間の曝露ではスクリーン内の浮遊細菌と真菌の評価は難しい。④ 夏期と冬期と共に、湿潤環境を好む細菌と真菌がミストの噴出口表面と床面から優占的に検出されたことから、ミストの給水システムが何らかの影響を与える可能性が示唆された。

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。4D映画館の室内空気質について、Scopus、Google Scholar、PubMedのデータベースを用いた検索を行ったところ、ヒット数は0であった¹⁾。

本研究では、映画館における環境衛生の適正な管理が行えるために、4D映画と2D映画上映中の室内空気質実態の調査を行った。

B. 研究方法

B1. 測定対象と測定時期

測定期間は2022年冬期と2023年夏期であった。以下に季節別での各映画館における測定日を示す。

(1) 冬期

映画館C：2022年11月21日

映画館D：2022年11月25日

映画館E：2022年11月29日

各映画館において4Dでは同スクリーンの5上演（計15上映）、2Dでは異なるスクリーン各1上映（計9上映）中及びその前後に測定を行った。

(2) 夏期

映画館C：2023年9月29日

映画館D：2023年8月23日

映画館E：2023年9月29日

測定は前述冬期と基本的に同様であったが、映画館 D において、4D スクリーンの 5 上映のうちの 1 上映は 2D 映画であった。

B2. 測定項目と方法

B2.1. 落下細菌・落下真菌

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°C の 2 日間と 25°C の 5 日間であった。

B2.2. 付着細菌・真菌

4D スクリーンにおいては最終の上映 5 の後、2D スクリーンにおいては上映 1~3（全て異なるスクリーン）の各上映の後に、最前列と最後列の椅子下部の床表面付着細菌と付着真菌を粘着テープ（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（0.3~0.5µm、0.5~0.7µm、0.7~1.0µm、1.0~2.0µm、2.0~5.0µm、5.0µm~）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. 細菌叢と真菌叢

B2.4.1. 測定箇所とサンプリング方法

4D スクリーンにおいては最終の上映 5 の後に、2D スクリーンにおいては上映 1~3（全て異なるスクリーン）の各上映の後に最前列と最後列の床表面付着細菌と付着真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、冬期では、D 映画館と E 映画館の 4D 映画上映後、夏期では C、D、E 映画館の 4D 映画上映後に前方と後方のミスト噴出口表面の付着細菌と付着真菌を採取した。

B2.4.2. DNA 抽出

付着菌のサンプルを採取した後、綿棒をストマッカー（MiniMix 100 P CC Interscience）で処理し、3 mL の DNA フリー水とサンプル溶液 2 mL を合わせ、ストマッカー-Biomaster 装置で DNA を抽出した。その後、処理したサンプルをストマッカーバッグから取り出し、1.5 mL 試験管に入れ、4 °C、3000 rpm で 30 分間遠心分離

（KUBO-TA5911）して細菌を抽出した。NucleoSpin®Tissue キット（740952、MACHEREY-NAGEL）を用い、ボルテックスミキサーで処理液を混合することにより、DNA を精製した。

B2.4.3. DNA の増幅と塩基配列の決定

各サンプルについて、細菌は 16S リボソーム RNA（rRNA）遺伝子の可変領域 4（V4）、真菌は ITS2 領域の解析を行った。

B2.4.4. DNA の塩基配列と解析

DNA の品質は Agilent 2200 TapeStation を用いて確認し、解析に必要な品質と量の核酸濃度を含むすべてのサンプルを解析した。生成した配列ライブラリーを結合し、再増幅した PCR 産物を AMPure XP ビーズ（ビーズ量比 1 : 1）で精製し、配列ライブラリーの品質を向上させた。データ解析は QIIME（Ver.1.9.0、Silva 132 Database）を用いて行った。

B3. 統計解析方法

本研究では、4D スクリーンと 2D スクリーンの粒径別浮遊粒子濃度および生菌（落下細菌・付着細菌・浮遊細菌；落下真菌・付着真菌・浮遊真菌）の違いについて、統計ソフト IBM SPSS Statistics Ver29 を用いたマン・ホイットニーの U 検定を用いた。データは中央値および四分位範囲（IQR）、平均値で表示した。 p 値 < 0.05 を統計的に有意であるとみなした。 β 多様性は、重み付け UniFrac 距離を用いた主座標分析により示す。各サンプルの菌叢を比較するために、QIIME 2 を用いて重み付け UniFrac 距離行列を算出した。

C. 研究結果

C1. 生菌（細菌）

C1.1. 落下細菌

図 1 に夏期と冬期に測定した落下細菌の結果を示す。図 1 には、四等分値と平均値のほか、測定値の分布を示している。図 1 中の S は夏期、W は冬期、4D は 4D スクリーン、2D は 2D スクリーンを表す。図中に検定の結果を併せて示す。

夏期と冬期と共に映画上映中の2Dスクリーンより4Dスクリーンの落下菌数は有意に多かった。一方、季節による有意な差が認められなかった。

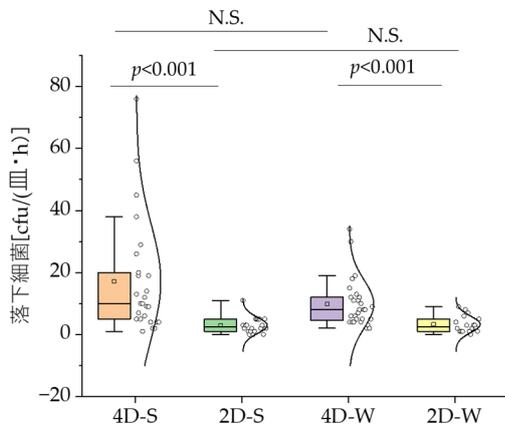


図1 4Dと2Dの落下細菌数の比較

C1.2. 付着細菌

図2に夏期と冬期に測定した付着細菌の結果を示す。23cm²は付着真菌採取用粘着テープの面積である。4Dスクリーンと2Dスクリーンと共に冬期より夏期の付着細菌数が有意に多かった。また、冬期では4Dスクリーンより2Dスクリーンの方が有意に多かったが、夏期ではその有意な差が認められなかった。

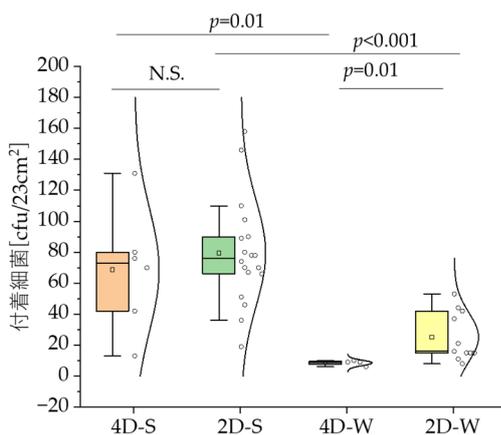


図2 4Dと2Dの付着細菌数の比較

C1.3. 浮遊細菌

浮遊細菌については映画上映中に測定ができなかったため、上映入れ替えの時間帯に測定を行

った。従って、その結果は上映中の室内浮遊細菌濃度を表すものではなく、また測定時に人の出入りの影響(人数とそのアクティビティ)を受けると考えられる。

図3に夏期と冬期に測定した浮遊細菌濃度の結果を示す。冬期では、4Dスクリーンより2Dスクリーンの浮遊細菌濃度が有意に高かったが、夏期ではその有意な差が認められなかった。細菌の主な発生源は在室者であるため、上記の結果は上映入れ替えの時間帯の出入りする人数とそのアクティビティに関係すると考えられる。

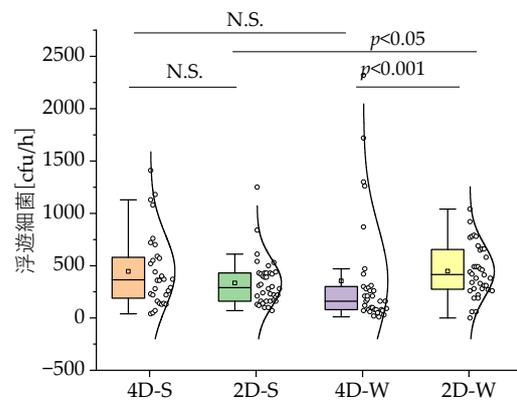


図3 4Dと2Dの浮遊細菌濃度の比較

C2. 生菌(真菌)

C2.1. 落下真菌

図4に夏期と冬期に測定した落下真菌の結果を示す。細菌と同様に冬期より夏期の4Dスクリーン内の落下真菌数が有意に多かった。また、落下真菌数は数cfuであり、前述した落下細菌数より少なかった。

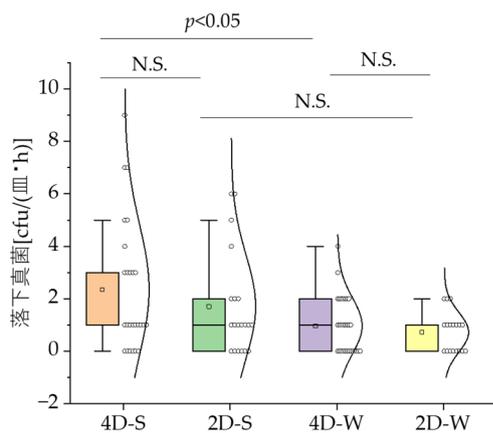


図4 4Dと2Dの落下真菌数の比較

C2.2. 付着真菌

図5に夏期と冬期に測定した付着真菌の結果を示す。2Dスクリーンにおいては、冬期より夏期の付着真菌数が有意に高かったが、他においては有意な差が認められなかった。

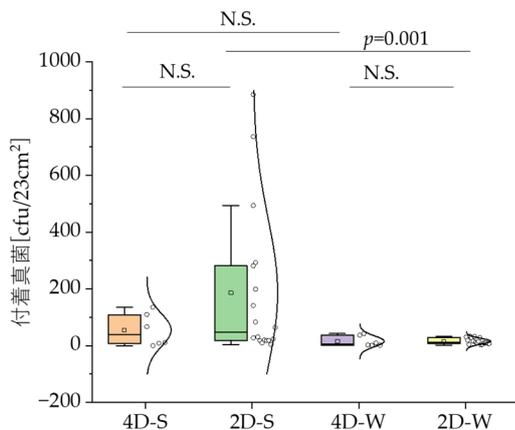


図5 4Dと2Dの付着真菌数の比較

C2.3. 浮遊真菌

図6に夏期と冬期に測定した浮遊真菌濃度を示す。冬期では、4Dスクリーンより2Dスクリーンの浮遊真菌濃度が有意に高かったが、夏期ではその有意な差が認められなかった。また、4Dスクリーンでは、冬期より夏期の浮遊真菌濃度が有意に高かった。

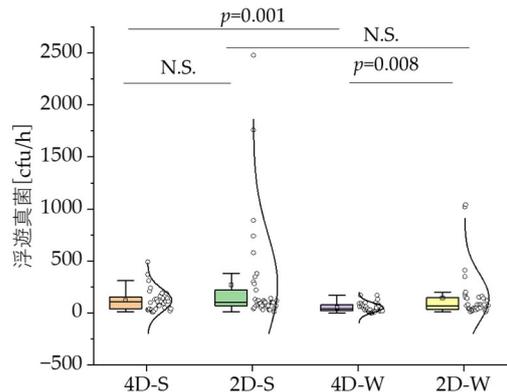


図6 4Dと2Dの浮遊真菌濃度の比較

C3. 菌叢

C3.1. 細菌叢

C3.1.1. 細菌門

(1) 冬期

図7と図8に4Dスクリーンと2Dスクリーンの付着細菌門のうち相対構成比(占有率)が1%以上の優占細菌門を示す。

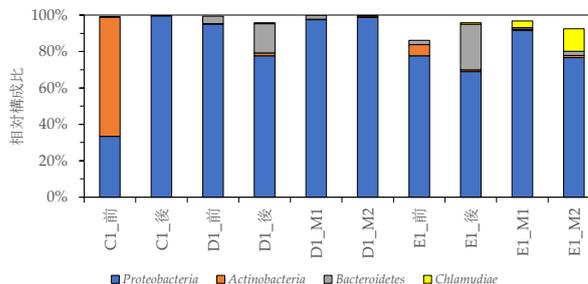


図7 4Dスクリーンの優占細菌門-冬期

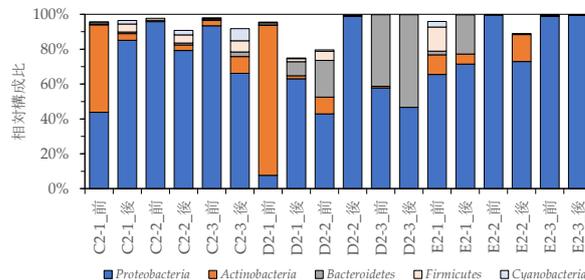


図8 2Dスクリーンの優占細菌門-冬期

4Dスクリーンでは、*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。C 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)、D 映画館と E 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)、E スクリーンのミスト噴出口から *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 スクリーンについては、4D スクリーンと同様に *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* 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、ミスト噴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) 夏期

図 9 と図 10 に 4D スクリーンと 2D スクリーンの検出された相対構成比トータルで 1% 以上の細菌門を示す。

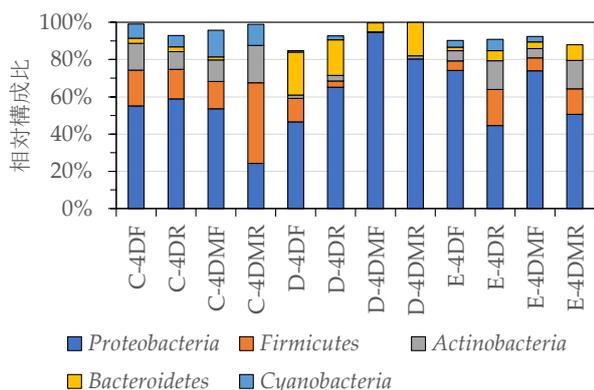


図 9 4D スクリーンの優占細菌門-夏期

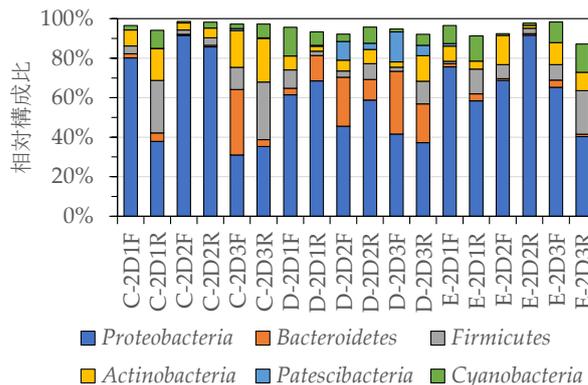


図 10 2D スクリーンの優占細菌門-夏期

4D スクリーンでは、*Proteobacteria* 門、*Firmicutes* 門、*Actinobacteria* 門 *Cyanobacteria* 門が優先的に検出された。これらの細菌門は大学の研究室⁴⁾やオフィスビル²⁾などからも優位的に検出されている。2D スクリーンでは、上記の 5 門のほか、*Patescibacteria* 門が検出された。

C3.1.2. 細菌属

(1) 冬期

図 11 と図 12 のそれぞれに 4D スクリーンと 2D スクリーン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。

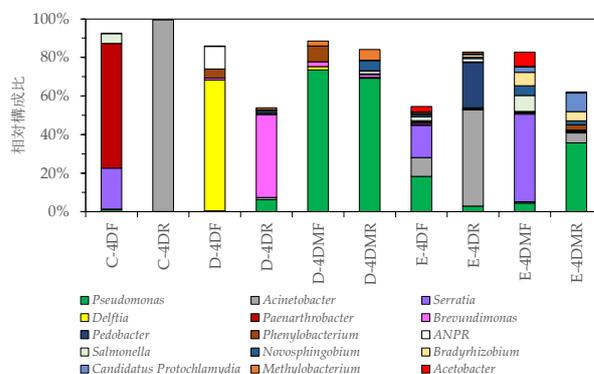


図 11 4D スクリーンの優占細菌属-冬期

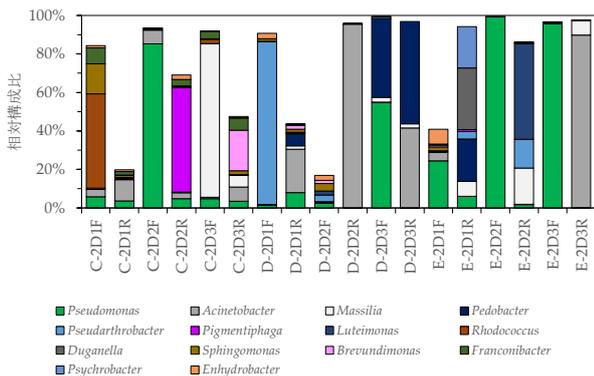


図 12 2D スクリーンの優占細菌属-冬期

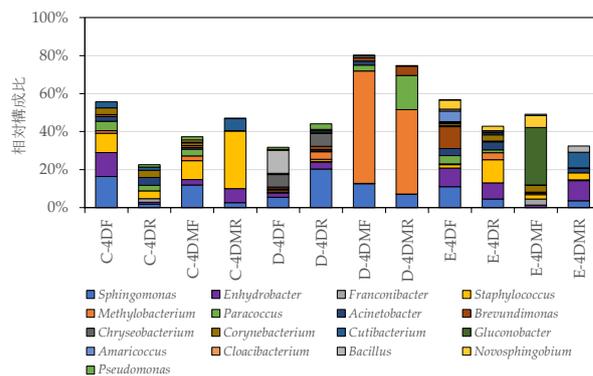


図 13 4D スクリーンの優占細菌属-夏期

4D スクリーンと 2D スクリーンから共通して *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。

D 映画館の 4D スクリーン前方のミスト噴出口 (D-4DMF) 後方の噴出口 (D-4DMR)、E 映画館の 4D スクリーン前方の噴出口 (E-4DMF) と後方の噴出口 (E-4DMR) 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 のミスト噴出口表面から *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 E 映画館 4D スクリーン前方と後方のミスト噴出口、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。

(2) 夏期

図 13 と図 14 に 4D スクリーンと 2D スクリーンで検出された相対構成比 1%以上の細菌属を示す。

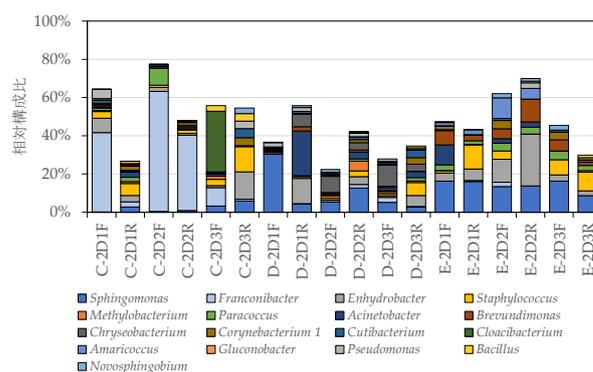


図 14 2D スクリーンの優占細菌属-夏期

夏期では、上位 20 属のうち、冬期と同様に *Methylobacterium*、*Novosphingobium*、*Legionella*、*Bradyrhizobium* が検出されたほか、水環境に適している *Sphingomonas*、*Enhydrobacter*、*Paenibacillus*、*Brachybacterium* も優占属として検出された。

冬期に最も高い相対構成比で検出された *Pseudomonas* は夏期での相対構成比が 0-1.7% であった。一方、夏期に最も優占的に検出されたのはバイオフィルムを形成する細菌 *Methylobacterium* であった。この細菌は浴室でよく検出されることが知られている。また、冬期と夏期ともに *Legionella* が優占的に検出されたが、同属で同定できた細菌種のうち、*L. pneumophila* が含まれていなかった。

4D スクリーンから検出された優占細菌 38 属のうち、2D スクリーンで優占種として検出されていないのは 16 属があり、そのうちの 11 属は水環境に生育が適しているものであった (*Bdellovibrio*、*Brachybacterium*、

Brachymonas, *Bradyrhizobium*,
Calothrix PCC-6303, *Dermacoccus*, *Halomonas*,
Legionella, *Phenylobacterium*,
Sphingobacterium, *Thermomonas*).

C3.1.3. α多様性

図 15 に季節別の 4D スクリーンと 2D スクリーンの PD whole tree 指数、図 16 に Shannon 指数を示す。4D と 2D それぞれ、夏期より冬期の方は近縁菌種が多く、細菌の豊かさと菌叢性が低かった。また、夏期と冬期は共に 2D スクリーンより 4D スクリーンの方は近縁菌種が多かった。

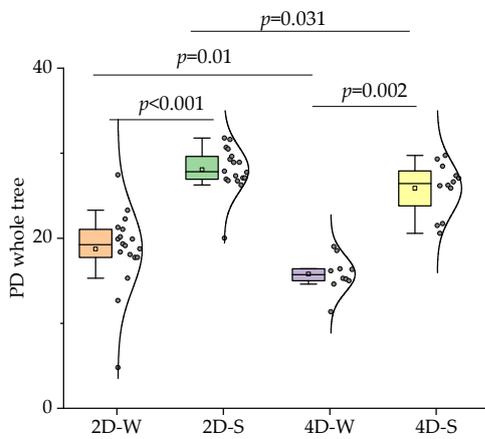


図 15 PD whole tree 指数

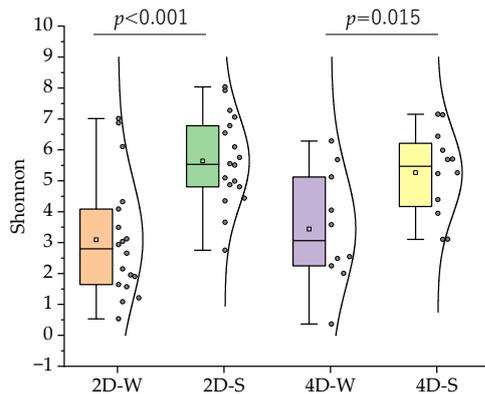


図 16 Shannon 指数

C3.1.4. β多様性

図 17 と図 18 に夏期と冬期における 4D スクリーンの主座標分析 (weighted) の結果を示す。

夏期では、映画館 C と映画館 D のそれぞれ前方と方向のミスト噴出口の付着細菌叢、D と E 映画館のそれぞれ床表面の付着細菌叢が類似している。冬期も同様な傾向がみられた。

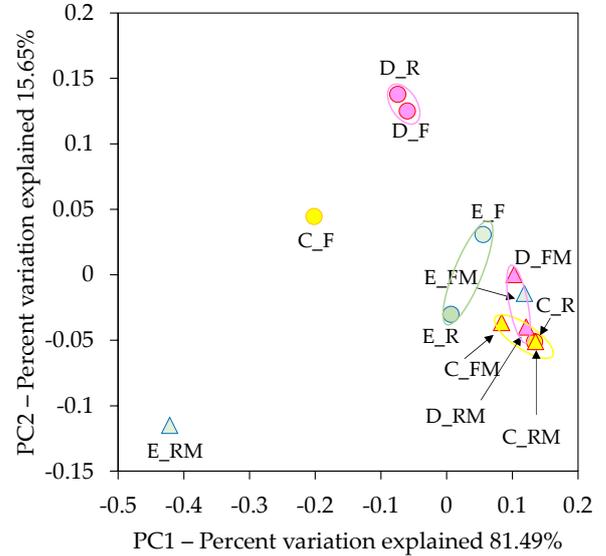


図 17 主座標分析の結果-夏期

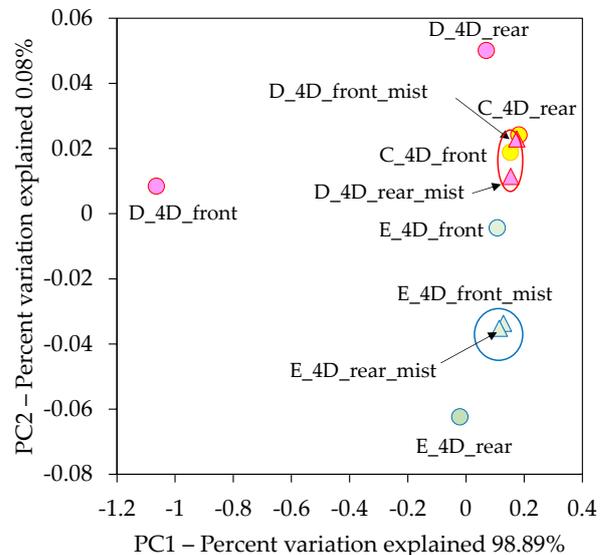


図 18 主座標分析の結果-冬期

C3.2. 真菌叢

C3.2.1. 真菌門

(1) 冬期

図19と図20に4Dスクリーンと2Dスクリーンの検出された相対構成比トータルで1%以上の真菌門を示す。

4Dスクリーンについて、C映画館では担子菌(Basidiomycota)の相対構成比は子囊菌(Ascomycota)より大きいですが、他では子囊菌の方が大きかった。また、全体的に子囊菌と担子菌が全体の60%以上を占めた。

2Dスクリーンについて、D映画館の2上映の前方の子囊菌と担子菌の相対構成を併せても40%を下回っていたが、他は70%以上を占めていた。

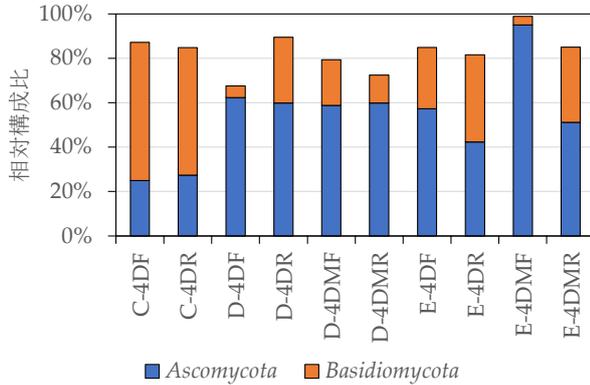


図19 4Dスクリーンの優占真菌門-冬期

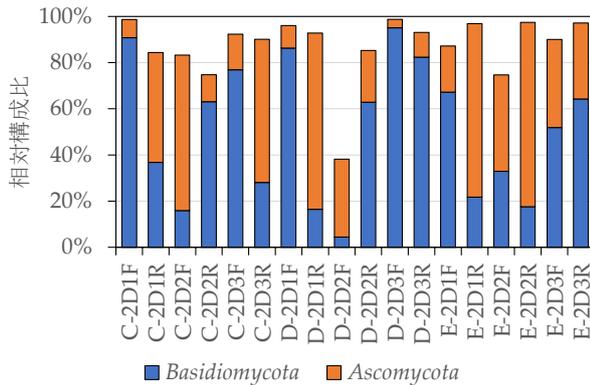


図20 2Dスクリーンの優占真菌門-冬期

(2) 夏期

図21と図22に4Dスクリーンと2Dスクリーンの検出された相対構成比トータルで1%以上の真菌門を示す。

4Dスクリーンについて、E映画館上映2の子囊菌と担子菌の相対構成を併せても20%程度であったが、他は70%以上を占めていた。

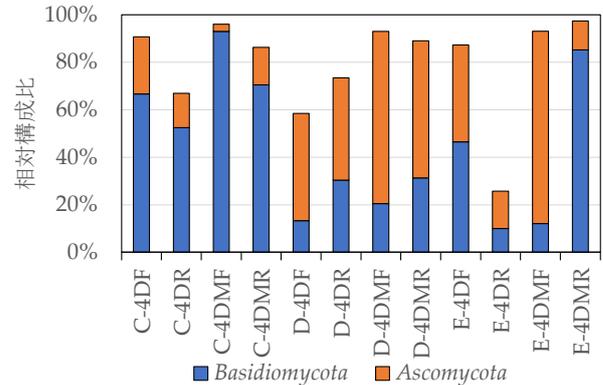


図21 4Dスクリーンの優占真菌門-夏期

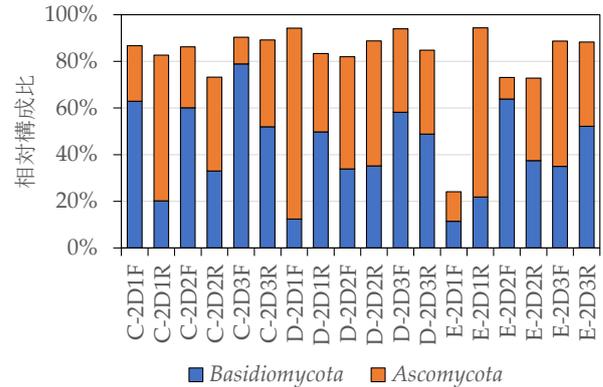


図22 2Dスクリーンの優占真菌門-夏期

C3.2.2. 真菌属

(1) 冬期

図23と図24に4Dスクリーンと2Dスクリーンで検出された相対構成比1%以上の真菌属を示す。4Dスクリーンについて、ミストの噴出口表面から以下に示す高湿性真菌が顕著に検出された。

Dスクリーン前方：*Knufia* (39%)、*Cladosporium* (17%)、*Candida* (1.1%)

Dスクリーン後方：*Cladosporium* (48%)、*Candida* (1.8%)

E スクリーン前方 : *Zygoascus* (74%)
 E スクリーン後方 : *Zygoascus* (26 %)、
Knufia (1.2%) *Cladosporium* (8%)、
Trametes (3%)。

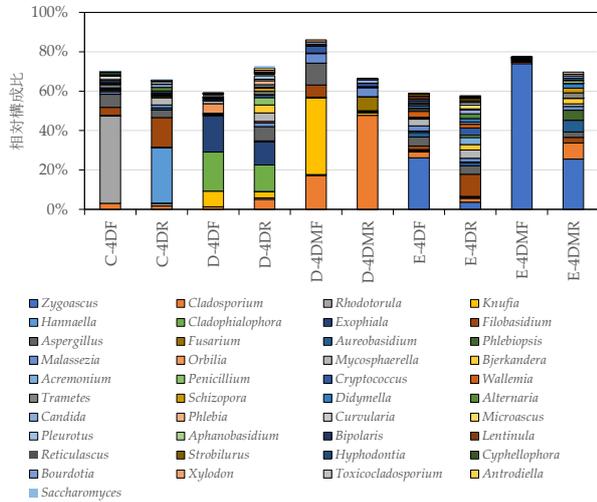


図 23 4D スクリーンの優占真菌属—冬期

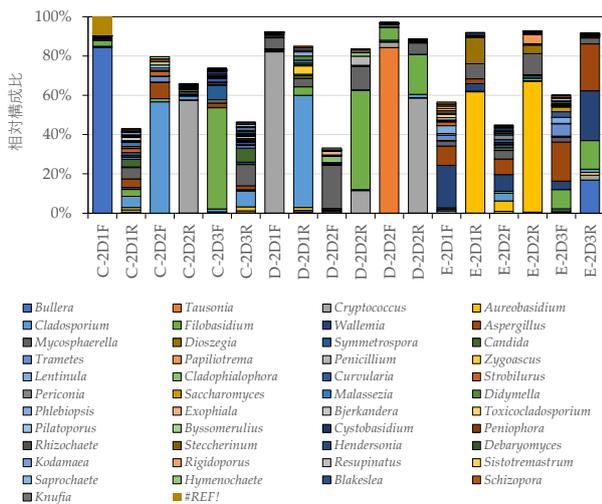


図 24 2D スクリーンの優占真菌属—冬期

(2) 夏期

図 25 と図 26 に 4D スクリーンと 2D スクリーンで検出された相対構成比 1%以上の真菌属を示す。

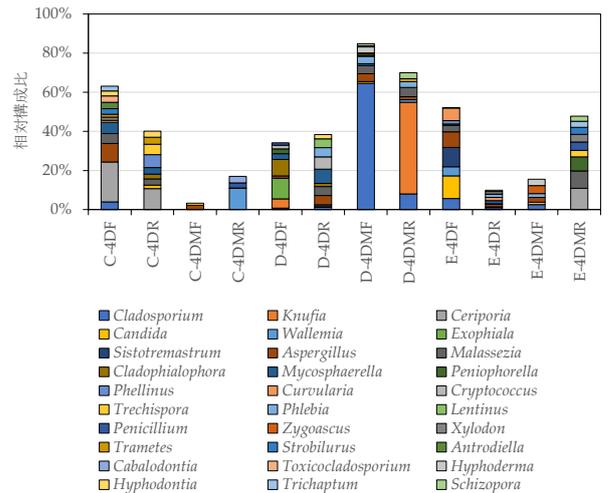


図 25 4D スクリーンの優占真菌属—夏期

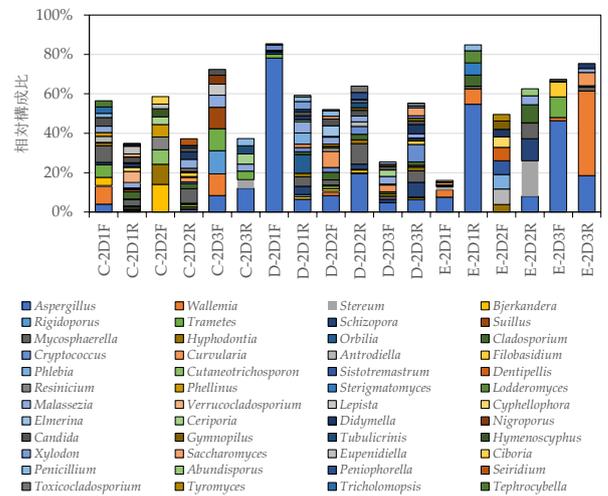


図 26 2D スクリーンの優占真菌属—夏期

4D スクリーンについて、ミストの噴出口表面から以下に示す高湿性真菌が顕著に検出された。

D スクリーン前方 : *Cladosporium* (64%)、*Phlebia* (3.7%)、*Hyphoderma* (3.1%)、*Schizopora* (1.1%)。

D スクリーン後方 : *Knufia* (47%)、*Cladosporium* (8.0%)、*Phlebia* (2.9%)、*Trametes* (1.5%)、*Schizopora* (3.0%)。

E スクリーン前方 : *Zygoascus* (4.1%)、*Hyphoderma* (3.2%)、*Cladosporium* (2.5%)、*Phlebia* (2.0%)、*Candida* (1.3%)。

E スクリーン後方 : *Ceriporia* (11%)、*Strobilurus* (3.5%)、*Trechispora* (3.4%)、*Schizopora* (2.7%)。

夏期においては、上記 4D スクリーンのミスト噴出口から検出されている高湿性真菌のうち、2D スクリーンから検出されていないのは *Hyphoderma*、*Knufia*、*Zygoascus*、*Strobilurus*、*Trechispora* の 5 属であった。さらに、この 5 属のうちの *Knufia* (担子菌)、*Trechispora* (担子菌) の 2 属は床表面からも優占的に検出されたことから、ミストによる真菌の発生があったと考えられる。

C3.2.3. α 多様性

図 27 に季節別の 4D スクリーンと 2D スクリーンの PD whole tree 指数、図 28 に Observed species 指数、図 29 に Shannon 指数を示す。4D スクリーンと 2D スクリーンが共通して、夏期より冬期の真菌が豊かであり、2D より 4D は近縁菌種が多かった。また、菌種の均等性の中に有意な差がみられた。

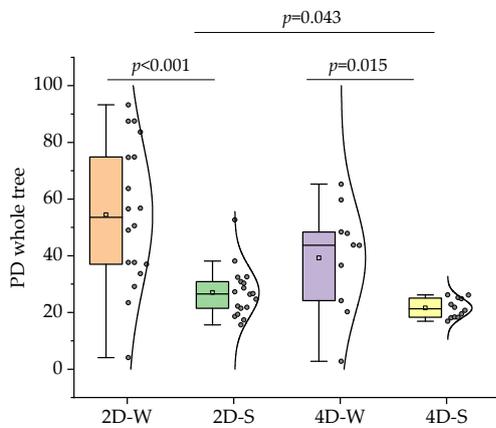


図 27 PD whole tree 指数

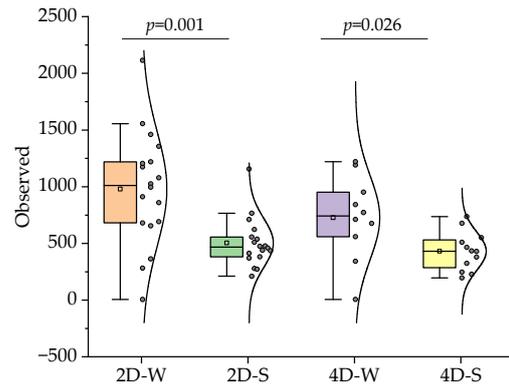


図 28 Observed species 指数

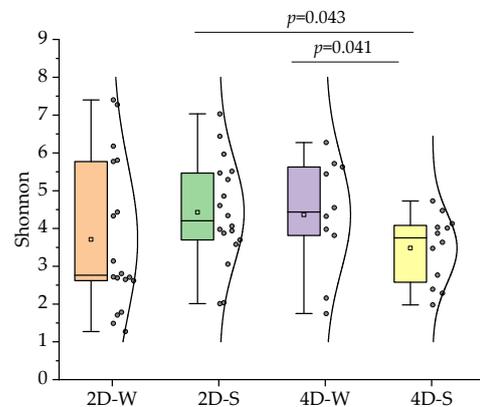


図 29 Shannon 指数

C3.2.4. β 多様性

図 30 と図 31 に夏期と冬期における 4D スクリーンの主座標分析 (weighted) の結果を示す。

夏期では、4D スクリーンの前列と後列の真菌層が類似しているほか、噴出口と床表面の真菌叢も類似している。冬期も同様な傾向がみられた。

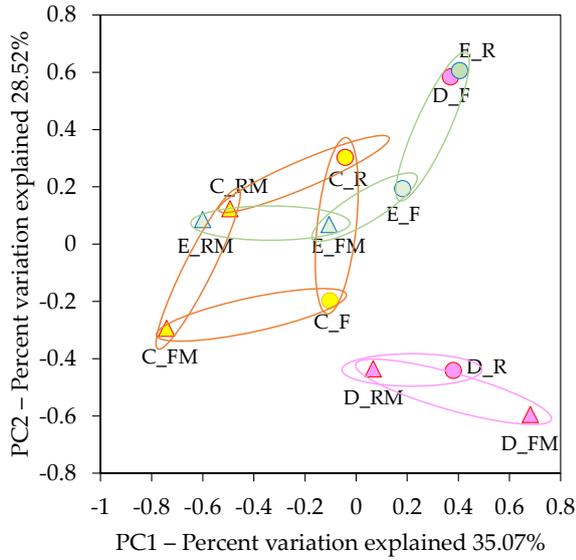


図 30 主座標分析の結果—冬期

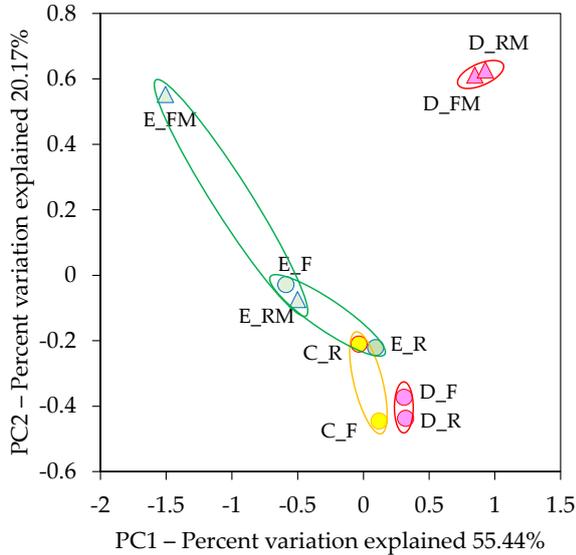


図 31 主座標分析の結果—夏期

C4. 粒径別浮遊粒子濃度

図 32 と図 33 に冬期と夏期における 2D と 4D の浮遊粒子濃度の比較を示す。<math><1\mu\text{m}</math> の浮遊粒子濃度においては、4D スクリーンと 2D スクリーンと共に夏期の方が有意に低い値を示した。また、2D より 4D の濃度が有意に高かった。> $1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度においても上記と同様な結果が得られた。

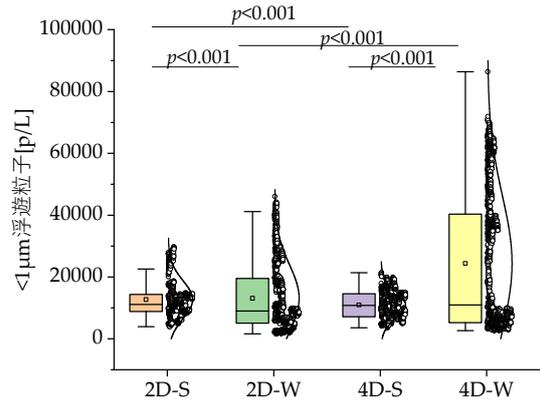


図 32 2D と 4D の浮遊粒子濃度の比較 (<math><1\mu\text{m}</math>)

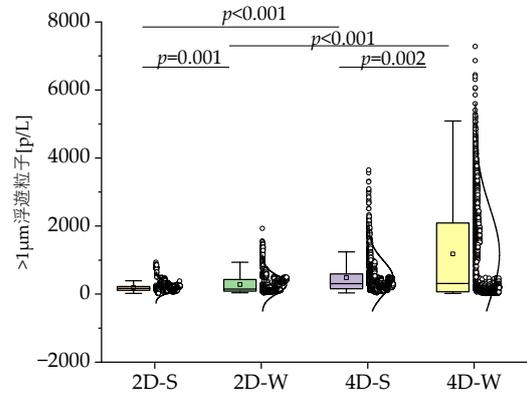


図 33 2D と 4D の浮遊粒子濃度の比較 ($>1\mu\text{m}$)

D. 考察

D1. 浮遊粒子と生菌

<math><1\mu\text{m}</math> と $>1\mu\text{m}$ の浮遊粒子濃度はともに、2D より 4D の方が有意に高かった。これは、エフェクト時に濃度の急な上昇、すなわち、浮遊粒子の発生があったためであると考えられる。

落下細菌と付着細菌については、夏期と冬期ともに 2D スクリーンより 4D スクリーンの方が有意に多かった。上映中に浮遊細菌濃度の測定ができず、直接にエフェクトによる細菌の発生を確認することができなかったが、以上の浮遊粒子濃度の結果と併せて考えると、エフェクトにより粒子のみならず、浮遊細菌の発生もあったと推測される。

一方、付着真菌については冬期の 2D スクリーンより夏期の 2D スクリーンが有意に多かったが、他において有意な差が認められなかった。付着微生物は空中から落下する微生物のほか、床面清掃の状況に大きく影響を受ける。落下真菌については、1 時間の曝露で数 cfu しか検出されなかった。また、細菌と真菌とともに、落下菌数と付着菌数の多少において一致する傾向が見られなかった。

D2. 細菌叢と真菌叢

細菌叢について、細菌属では *Pseudomonas*、*Acinetobacter*、*Brevundimonas*、*Pedobacter* が、4D スクリーンと 2D スクリーンの両方で、1%以上の相対構成比で共通して検出された。これまで、*Brevundimonas* は小売店、屋内環境、教室、新生児集中治療室で検出され、*Pedobacter* は飲料水や土壌で検出されている。他の場所では検出されていない *Chamydiae* 門の *Candidatus Protochlamydia* は、スクリーン E の前後列のミスト噴出口で検出され、それぞれ 2465、7162 および 725 のリードがカウントされた。同様に、スクリーン E の前後列のミスト噴出口表面および後列の床面からは、相対構成比 0.4% の *Chamydiae* 門 *Neochlamydia* 属が、リード数 799、2222 および 354 で検出され、ミスト中の菌がスクリーンに飛散していたこと示された。また、床面から上記 2 種類の細菌が検出されたことから、スクリーン内の空気の流れが関係していると考えられる。すなわち、スクリーン内の気流は、前述の通り、一般的に天井から前方のスクリーンに向かって流れ、客席に到達した後、ミストとともに放出された菌の一部が床面に落下する。*Candidatus Protochlamydia* は地下水から、温泉から分離されたアメーバ (*Acanthamoeba*) HS-T3 は、ネオクラミジア属は飲料水系から検出されている。これら 2 つの属は、水中で生活することができる細菌です。この 2 属に加え、4D スクリーンで多く検出され、2D スクリーンでは 1%以上の相対構成比で検出されなかったセラチア、サルモネラ、ノボスフィンゴビウム、ブラディリゾビウム、メチロバクテリウムは水環境に適した細菌であり、ミスト供給システムに関連している

と推測される。ことは、 β 多様性の解析結果からも説明できる。すなわち、スクリーン D とスクリーン E の前後のミスト噴出口表面の細菌叢が類似している。

真菌叢につて、2D スクリーンから検出されていないのは *Hyphoderma*、*Knufia*、*Zygoascus*、*Strobilurus*、*Trechispora* の 5 属であった。さらに、この 5 属のうちの *Knufia* (担子菌)、*Trechispora* (担子菌) の 2 属は床表面からも優占的に検出されたことから、ミストによる真菌の発生があったと考えられる。

α 多様性では、2D スクリーンに比べ、4D スクリーンのミスト噴出口表面付着真菌の豊かさを劣るものの、近縁菌が多いことから、ミスト噴出口表面付着真菌が特有な真菌叢を有することが考えられる。

β 多様性では、4D スクリーン前後のミスト噴出口表面の真菌叢が類似しているのは、同じ水道を起源とするためと考えられる。前述したように、ミスト噴出口表面の優占真菌は高温環境に適しているため、細菌と同様に給水系統の真菌が室内環境に影響を与えている可能性がある。なお、本調査では培養法を用いていないため、検出された菌が生菌であるかどうかは判断できない。

E. 結論

本研究より、下記の事柄が分かった。

- ① 4D 映画上映中の浮遊粒子濃度の上昇はエフェクトによるものである。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。
- ② 落下細菌については、冬期と夏期と共に 2D 上映中より 4D 上映中の方が有意に多かった。
- ③ 落下真菌については、1 時間の曝露でも数 cfu しか検出されなかった。また、1 時間の曝露で落下細菌は 0~60 cfu しか検出されていないことから、従来の 10 分間の曝露ではスクリーン内の浮遊細菌と真菌の評価は難しい。

- ④ 夏期と冬期と共に、湿潤環境を好む細菌と真菌がミストの噴出口表面と床面から優占的に検出されたことから、ミストの給水システムが何らかの影響を与える可能性が示唆された。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Yanagi, U; Kaihara, N.; Simazaki, D.; Bekki, K.; Homma, Y.; Iba, C.; Asai, A.; Hayashi, M. Bacterial Flora on Mist Outlet Surfaces in 4D Theaters and Suspended Particle Concentration Characteristics during 4D Movie Screenings. *Microorganisms*. 2023; 11: 1856. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071856>.

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：スクリーンにおける室内空気質実態に関する査研究 第 1 報 4D と 2D スクリーン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、pp.1393-1394.
- 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：スクリーンにおける室内空気質実態に関する査研究 第 2 報 4D と 2D スクリーン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、pp.1395-1396.
- 3) 開原典子、柳 宇、本間義規、島崎大、戸次加奈江、伊庭千恵美、林基哉：スクリーン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、pp.1397-1398.
- 4) 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：冬期の 4D スクリーンにおけるミスト噴出口と

床面の付着真菌叢、2023 年室内環境学会学術大会講演要旨集、pp.214-215.

- 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：スクリーンにおける室内空気質実態に関する査研究 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（印刷中）.
- 6) 開原典子、柳 宇、開本間義規、島崎大、伊庭千恵美、戸次加奈江、林基哉：スクリーンにおける室内空気質実態に関する査研究 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（印刷中）.

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) Yanagi, U; Kaihara, N.; Simazaki, D.; Bekki, K.; Homma, Y.; Iba, C.; Asai, A.; Hayashi, M. Bacterial Flora on Mist Outlet Surfaces in 4D Theaters and Suspended Particle Concentration Characteristics during 4D Movie Screenings. *Microorganisms*. **2023**; 11: 1856. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071856>.
- 2) 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 **2020** ; 85 (770) : 259-266. <http://doi.org/10.3130/aije.85.259>.
- 3) Watanabe K, Yanagi U, Shiraishi Y, Harada K, Ogino F, Asano K. Bacterial communities in various parts of air-conditioning units in 17 Japanese houses. *Microorganisms*. **2022**, 10(11), 2246. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112246>
- 4) Yanagi, U; Kato, S.; Nagano, H.; Ito, K.; Yamanaka, T.; Momoi, Y.; Kobayashi, H.; Hayama, H. Dispersion characteristics of oral microbial communities in a built environment. *Jpn Archit Rev*. **2022**; 5(2):225–232. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12261>.

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 1m³ 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、1m³ 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/m³) 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）¹⁾ 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-A0002-2013²⁾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(μm), ρ_s :微粒子密度 (g/cm^3), ρ_{air} : 空気密度(g/cm^3), g :重力加速度(cm/s^2), μ_{air} : 空気粘性係数(Pa · s)

微粒子の空気動力学径(μm)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²⁾では、学校の

真菌は浮遊菌 2000CFU/m³ 以下、落下菌 10(CFU/(5分・皿))以下、(0.005(CFU/5分/皿)/(CFU/m³))以下)、細菌については 10000 CFU/m³ 以下落下菌 10(CFU/(5分・皿))以下 (0.001(CFU/5分/皿)/(CFU/m³))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/m³)、及び細菌 0.001(CFU/5分/皿)/(CFU/m³)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²⁾と換算値^{*1}

	浮遊菌濃度 (CFU/m ³)	落下菌個数 (CFU/(5分・皿))
学校(真菌)	2000	10 ^{**2}
学校(細菌)	10000	10 ^{**2}
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1m³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 ^{**}	3
	R5/8/23	3 ^{**}	4
B映画館	R4/11/29	5 ^{**}	3
	R5/9/23	5 ^{**}	3
C映画館	R5/11/23	5 ^{**}	3
	R5/9/29	5 ^{**}	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 ³)	2D (CFU/m ³)
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分測定培地のカウント数88、60分測定培地カウント数89、90分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/m³) への換算

	浮遊真菌濃度 (CFU/m ³)	
	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 ³)	
	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。

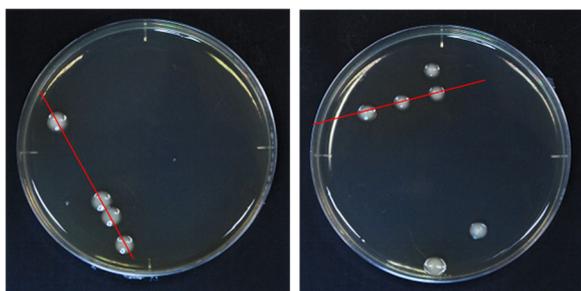


写真 1 一列上に配置されたようなコロニー

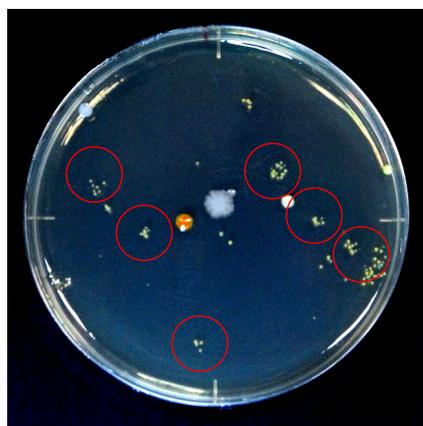


写真 2 花火状に飛散したコロニー

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.

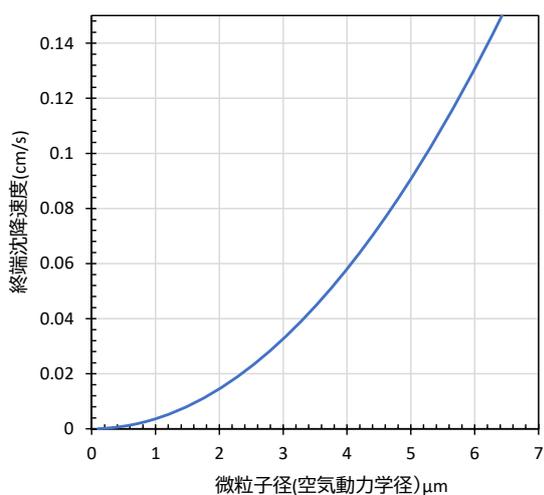


図2 微粒子径と終端沈降速度

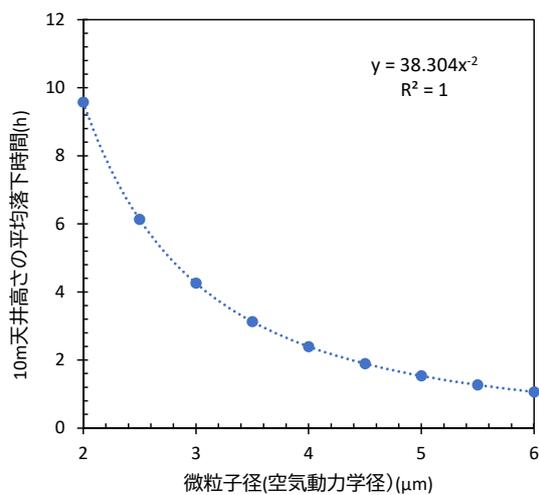


図3 微粒子径と高さ 10m 範囲の平均落下時間

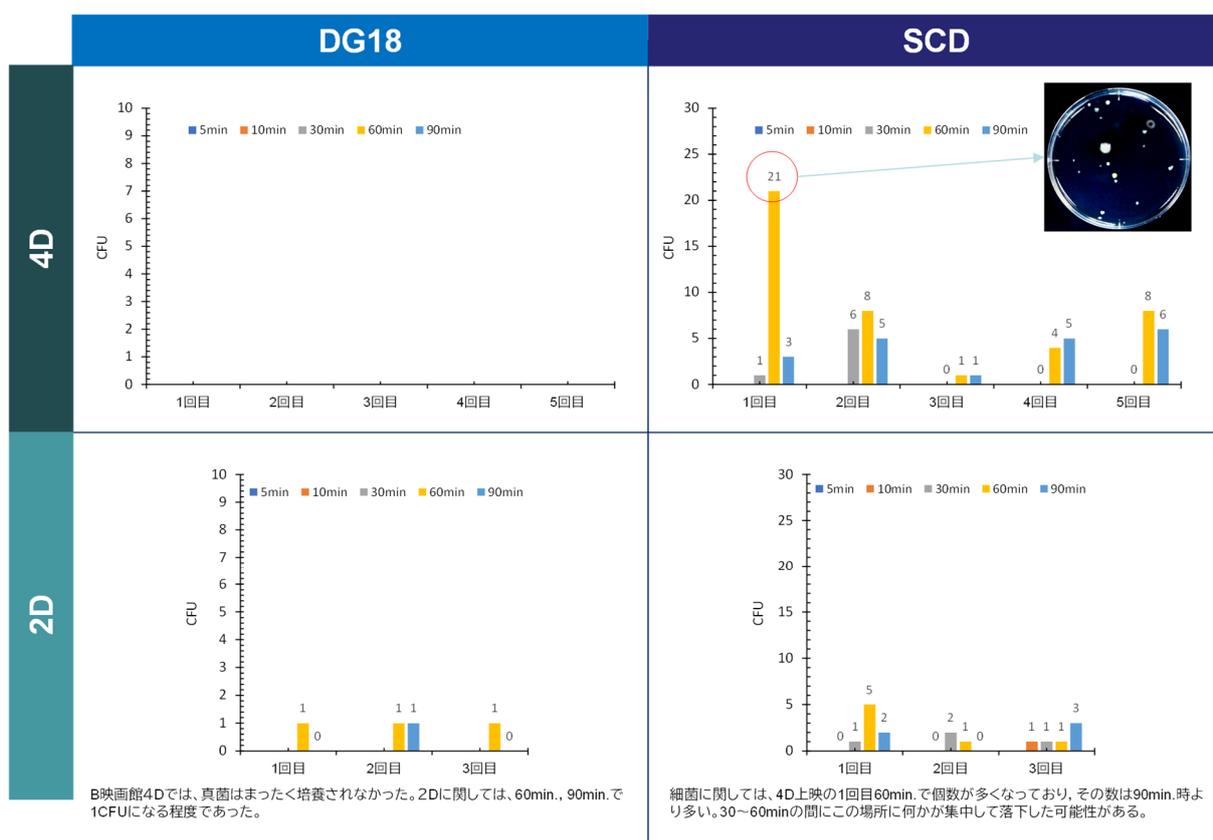


図4 A 映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果(冬期)

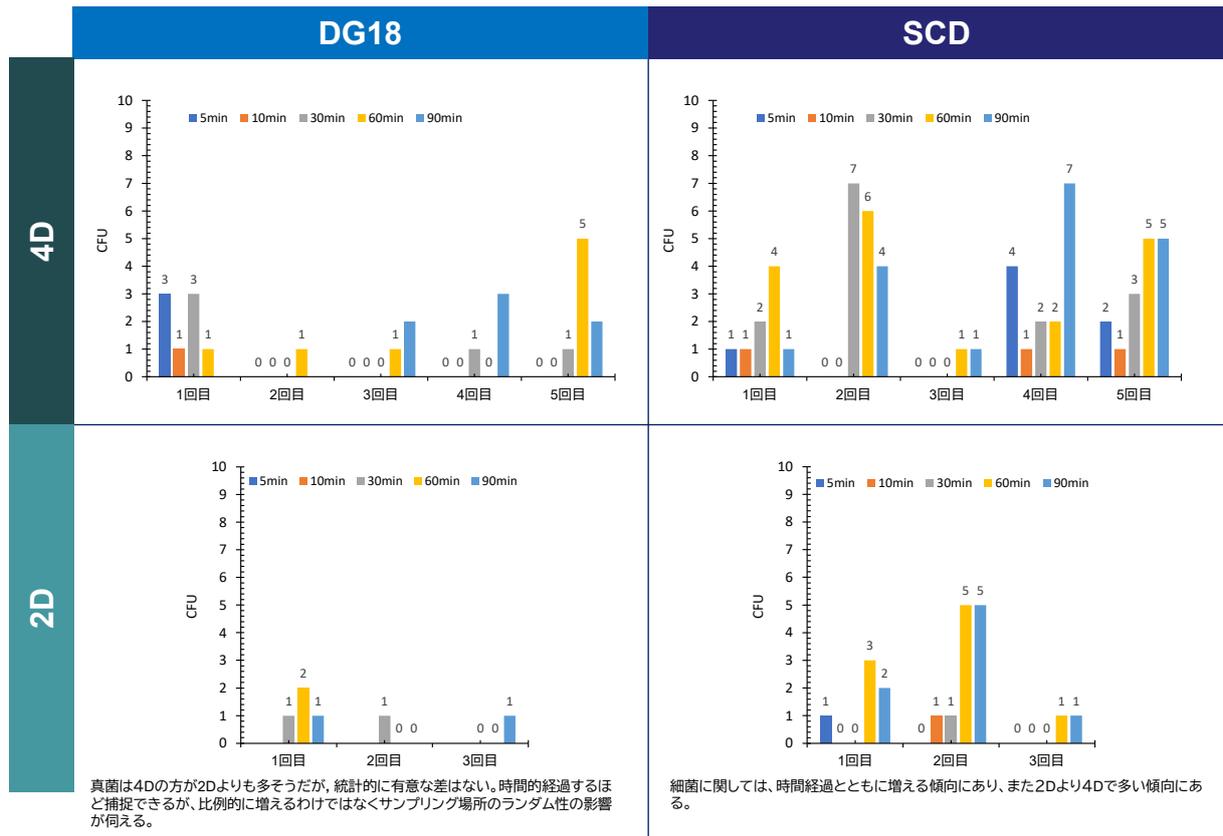


図5 B映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果(冬期)

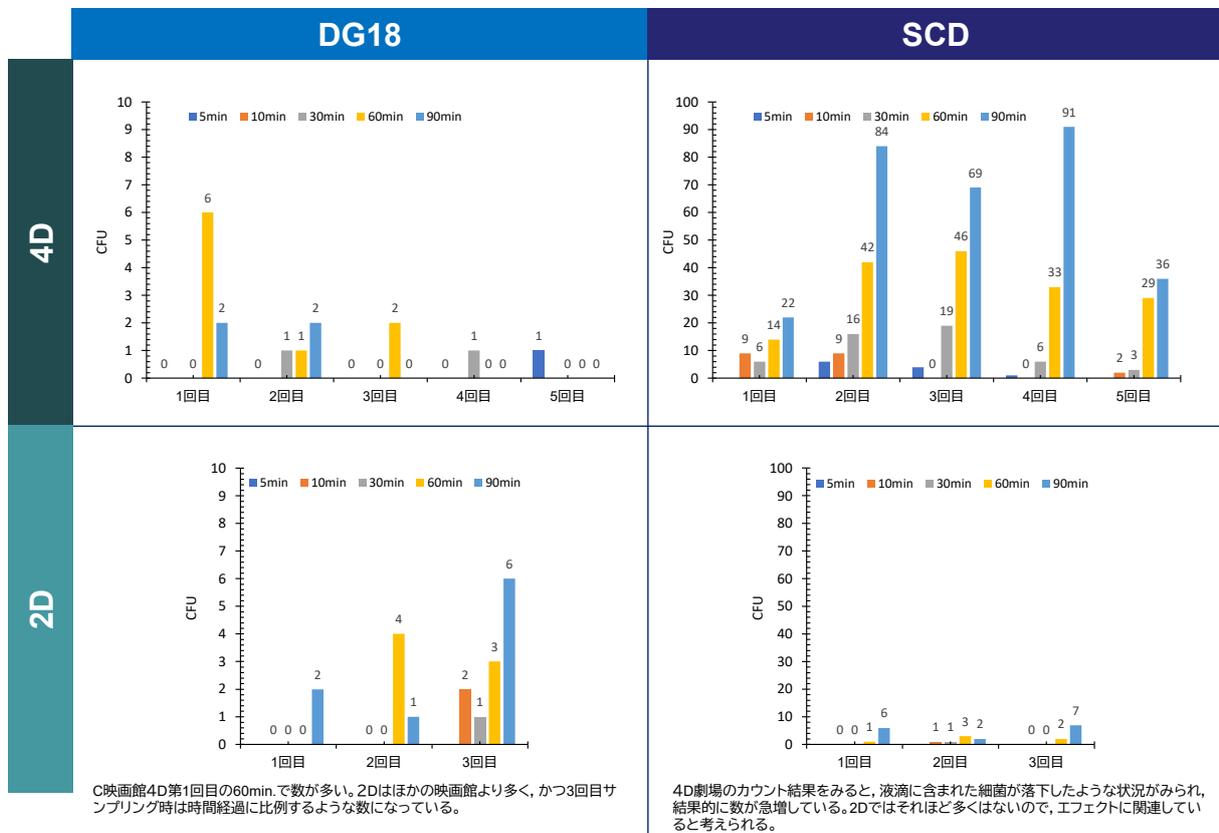


図6 C映画館の真菌・細菌の落下菌数カウント結果(冬期)

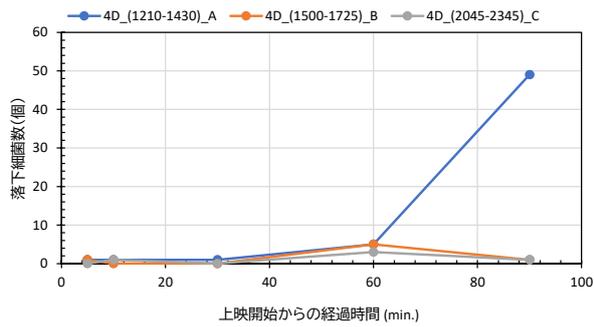


図7 A映画館4Dの落下細菌個数

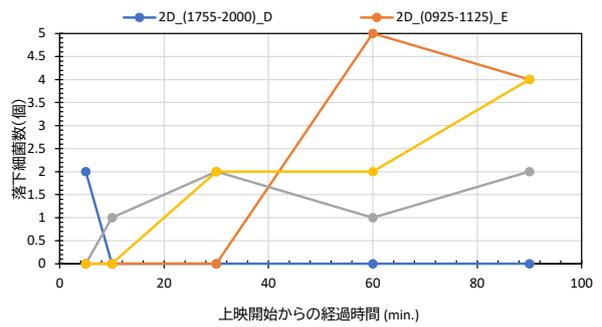


図8 A映画館2Dの落下細菌個数

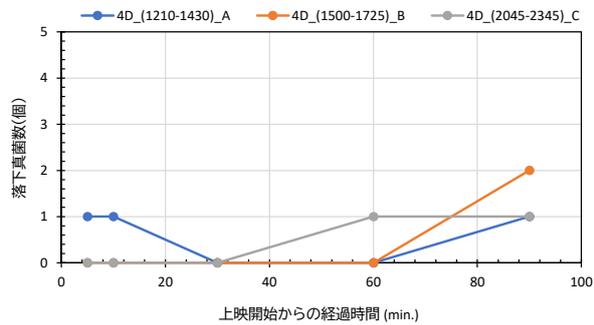


図9 A映画館4Dの落下真菌個数

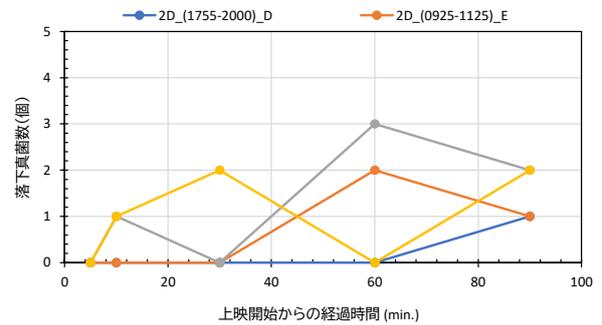


図10 A映画館2Dの落下真菌個数

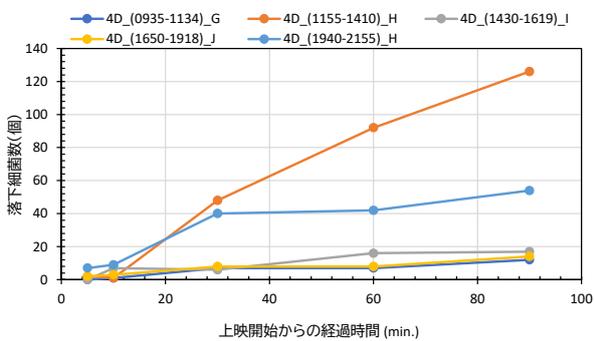


図11 B映画館4Dの落下細菌個数

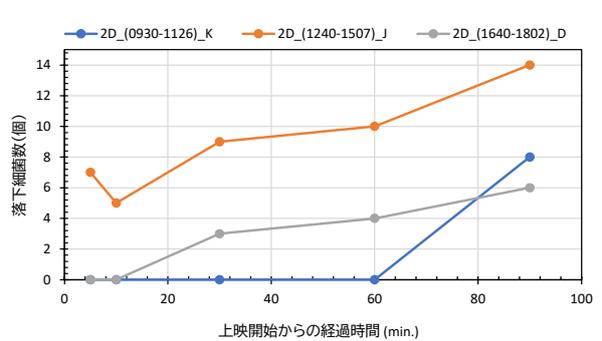


図12 B映画館2Dの落下細菌個数

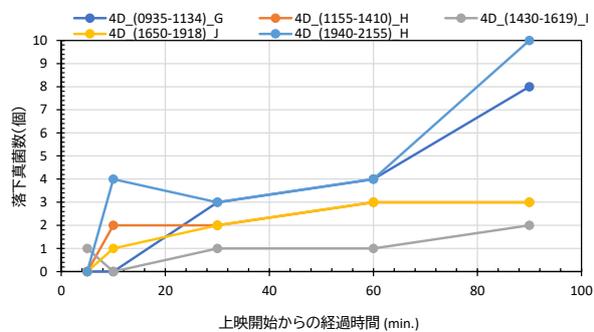


図13 B映画館4Dの落下真菌個数

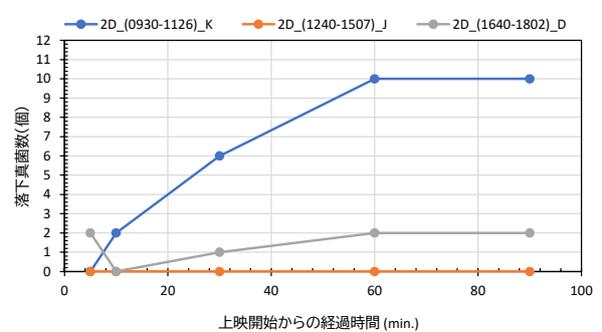


図14 B映画館2Dの落下真菌個数

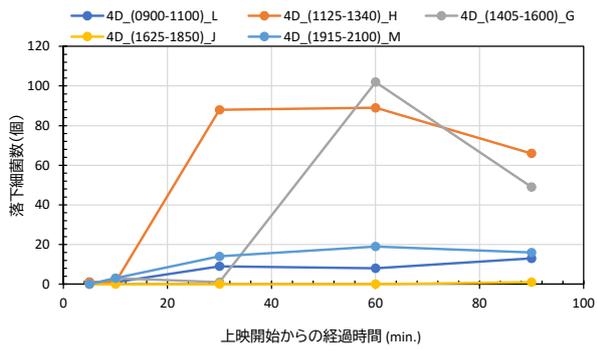


図 15 C 映画館 4D の落下細菌個数

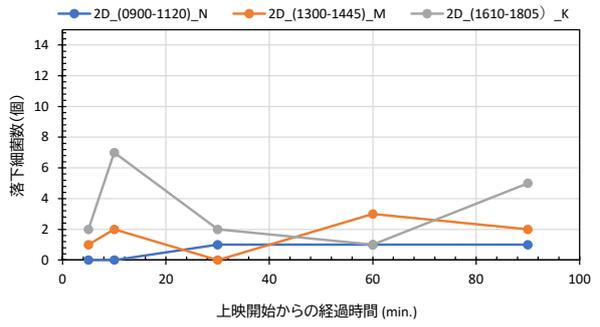


図 16 C 映画館 2D の落下細菌個数

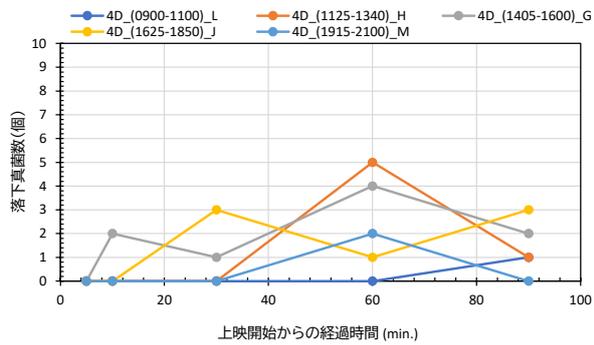


図 17 C 映画館 4D の落下真菌個数

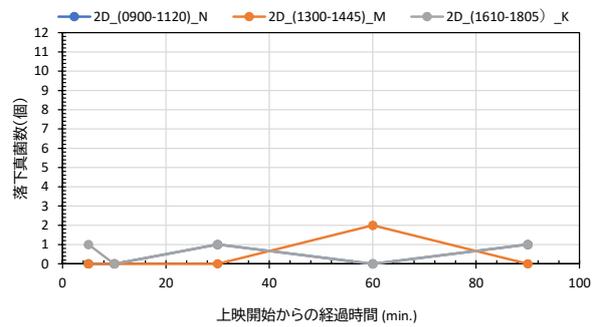


図 18 C 映画館 2D の落下真菌個数

(このページは空白です)

興行場における衛生的な環境確保のための研究
興行場における空気中化学物質の分析法の検討と実態調査

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

研究要旨

空気中には多種類の化学物質が存在し、我々は主に吸入、経皮、経口曝露を介してこのような化学物質に日常的に曝露されることで、健康影響を引き起こす可能性が指摘されている。幅広い世代を対象とした娯楽施設として多くの人が利用する映画館などの興行場では、上映のための機器や客席などの設備、4Dのエフェクトに使用される香料、さらに飲食も可能であることから食べ物に由来した様々なにおい成分など、多種類の化学物質が存在するものと考えられる。近年、においによる香害を訴える患者も増えてきていることや、室内化学物質との関連性が指摘されるシックハウス症候群の要因も定かでないことなどから、未だ、多方面から室内の化学物質を対象とした研究が行われている。そこで、本研究では以下に示す3項目について、主に吸入により摂取する可能性の高い空気中の化学物質の分析法を検討し、実態調査を行うこととした。

① 空気中の準揮発性有機化合物（SVOC）の分析

SVOC13成分及び可塑剤・難燃剤を含む12成分の合計25成分を対象に、固体捕集法による空気捕集とTD-GCMSを用いた分析法を検討した。特に揮発性が低く低濃度の成分（BDE-3、DBA及びDBE-DBCH etc.）は、室温35℃、吸引流量48L（100 ml/min）の条件下で検出された。そのため、環境条件や季節の違いなどが、SVOC濃度に影響しているものと考えられた。

② 空気中のイソシアネートの分析

拡散サンプラーを使用したイソシアネートの捕集法及び分析法を検討したところ、室内外で1週間のサンプリングが可能となり、長期のモニタリングを行うことで、低濃度の成分についても高感度に検出可能となった。実際の環境測定で検出されたイソシアネートは、成分によって、室内または屋外からの異なる発生源が影響している可能性が考えられた。

③ 空気中のにおい成分の分析

株式会社島津製作所によるGCMS/異臭分析システムを用い、異臭成分が登録されたデータベースに含まれる145成分を対象に、4D及び2D映画上映中の空気中のにおい成分を分析した。その結果、4D及び2Dから検出された成分は65種であり、臭いの系統ごとに分類すると、カビ系（2種）、果物（19種）、食品・植物系（13種）、防虫剤系（6種）、溶剤・油系（23種）、その他（2種）であった。これらは、主に上映中の飲食や衣類などの人の行動に由来する成分の影響が比較的大きいと考えられたが、建物の内装材や施設に由来する有害性のある成分も含まれていた。

以上の結果、映画館などの興行場は、多数の人々が利用する場として、今後も継続した衛生管理を行っていく必要があると考えられた。

A. 研究目的

空気中には多種類の化学物質が存在し、我々は主に呼吸を介してこうした化学物質に日常的に曝露されることで、健康を損なう可能性も指摘されている。特に映画館では、設置された様々な機器や客席などの設備、食べ物、4Dのエフェクトに使用される香料など、様々な化学物質が存在しているものと思われる。また近年、においによる香害を訴える患者も増えてきていることや、室内の化学物質との関連性の強いシックハウス症候群の要因も定かでないことなど、様々な健康影響と化学物質との関連性が示唆されている。

そこで本研究では、室内において空気中での汚染が懸念される化学物質を対象に、捕集及び分析法を検討し、映画館内での濃度レベルを調べることにした。

B. 研究方法

B1. 空気中の準揮発性有機化合物に関する分析

B1.1. 標準物質

実験室内において、SVOCが空気中へ放散する可能性を検討するため、SVOC13成分標準混合試料（GLサイエンス）及び可塑剤・難燃剤を含む12成分の合計25種類の標準物質を用いた（表1）。

B1.2. サンプルング及び分析方法

可塑剤及び難燃剤を含む数種類のSVOC標準物質を異なる温湿度条件下で自然拡散させ、流速100 ml/minで一定時間空気を捕集した（室温：25℃、30℃、湿度：50%）。これらのサンプルをTD-GCMS（TD-GCMS-QP2020 NX、島津製作所）で分析した（表2）。このとき、空気捕集にはコンディショニング済みのTenax-TA捕集管を用い、捕集流量は12 Lまたは48 Lとした。本研究で実施した成分分析は、株式会社島津製作所分析計測事業部、グローバルアプリケーション開発センターへ依頼し実施したものである。

B2. 空気中イソシアネートの分析

B2.1. 対象物質

本研究では、環境中での検出頻度が高く主に環境中においてガス状で存在するイソシアネート4種（イソシアン酸（ICA）、メチルイソシアネート（MIC）、エチルイソシアネート（EIC）、プロピルイソシアネート（PIC））を測定の対象とした。

B2.2. サンプルング及び分析方法

メタノール洗浄したグラスファイバーフィルター（GFF）（AP25、Merk社製）（厚さ1.2 mm、直径9 mm）に、誘導体化剤1.5 mol/lジブチルアミン（DBA）と等量の酢酸を溶解したメタノール溶液を含浸させ溶媒を乾燥（50℃）させた後、専用のカートリッジに装着したものを拡散サンプラー（GDDサンプラー）としてサンプルングに使用した。

拡散サンプラーを屋内外に設置しサンプルングを実施した後、メタノール：硫酸：トルエン（＝3：3：5、v/v）で液液抽出し濃縮したものを試料としイソシアネート誘導体をLC-MS/MS¹⁾で分析した。また、比較のためアクティブサンプラーにより0.1 L/minの流速でサンプルングを行った。SCX-DBAサンプラーは、アセトニトリルで抽出後、濃縮したものを同様の方法で分析した。

B3. 空気中におい成分の分析

B3.1. 対象物質

株式会社島津製作所によるGCMS/異臭分析システムを用い、過去の異臭問題で特定された異臭成分が登録されたデータベースに含まれる145成分を対象とする（表3）。

B3.2. サンプルング及び分析方法

4D及び2D映画上映中の空気中におい成分を分析するため、流速100 ml/minで一定時間空気を捕集した。これらのサンプルをTD-GCMS（TD-GCMS-QP2020 NX、島津製作所）で分析した（表4）。このとき、空気捕集にはコンディショニング済みのTenax-TA捕集管を用い、捕集流量は12 Lとした。本研究で実施した成分分析には、株式会社島津製作所社製GC/MS異臭分析システムを用いた。

C. 研究結果及び考察

C1. 空気中の準揮発性有機化合物 (SVOC) に関する分析

C1.1. SVOC の同定

実験室内で自然拡散させた標準物質においては、揮発性の高い 2E1H、DEP、Hexadecane、DBP、DEHP、DEHA が比較的高濃度検出される傾向が見られた。また、スキヤンにより検出されたクロマトを同定したところ、標準試料に含まれる化合物以外にも 25 成分が検出され、これらには Nonane、Hexadecanoic acid、methyl ester などの成分が含まれていた。

C1.2. 捕集条件の比較

温湿度の異なる条件下で捕集した各サンプルの分析結果を表 5 に示す。対象とした 25 成分のうち、9 成分を除く全ての成分が、設定したいずれかの温湿度または捕集流量において検出された。DBA、PBBZ 及び DBE-DBCH は、25℃条件下では検出されなかったものの、35℃条件下では微量ながらピークが確認された。さらに、BDE-3、DBA 及び DBE-DBCH など低濃度の成分については、捕集流量を 12L から 48L にすることでピーク面積が増加し、検出可能となることが確認された。

C2. 拡散サンプラーを用いた空気中イソシアネートの分析

C2.1. サンプリングレート (SR) の算出

はじめに、捕集期間を検討するため、GDD サンプラーで 1 日ごとに 7 日間まで室内空気を捕集し、イソシアネート濃度の推移を調べた。その結果、対象とするイソシアネート 4 種 (ICA、MIC、EIC、PIC) が検出され、7 日間まで直線性のある時間依存的な濃度の増加が確認されたため、1 週間の連続した捕集が可能であることを確認した。次に、空気中のイソシアネート濃度を算出するため、SCX-DBA サンプラーによるアクティブ法と GDD サンプラーとの比較により SR を求めたところ、各成分ごとに次の結果が得られた。

(ICA: 296 ml/min、MIC: 78 ml/min、EIC: 548 ml/min、PIC: 311 ml/min)。

C2.2. 室内環境測定

拡散サンプラーを用い、関東に位置する一般住宅 23 軒にて、2022 年 9 月-11 月のいずれかの 1 週間連続したサンプリングを行った (図 1)。その結果、各住宅で検出されたイソシアネートは、住宅によって濃度に差が見られたものの、ICA については、屋内よりも屋外で濃度が有意に高い傾向が見られ、屋外に発生源が多い可能性が考えられた。一方で、環境中で検出された EIC 及び PIC の濃度は、比較的低濃度であったものの、屋外よりも屋内で検出される住宅が多い傾向にあり、生活用品や生活習慣に起因した特異的な発生源があるものと考えられた。また、一部の住宅において、屋内で ICA (0.8 ppb) が突出して高い濃度検出されたが、この住宅では室内で紙巻タバコを吸う喫煙者がいたため、喫煙の影響と考えられた。これまでの調査研究から、大気中の ICA 濃度は、1 ppb を超えると健康に影響を及ぼす可能性がある²⁾とされている。実際に、喫煙をする住宅では、ICA が 1ppb 近く検出されていたことから、環境の改善や生活習慣を見直す必要性が考えられた。

C3. におい成分の定性/定量

分析の対象とした 145 成分のうち、4D 及び 2D のいずれかから検出された成分は 65 種であり、これらの成分を臭いの系統ごとに分類すると、カビ系 (2 種)、果物 (19 種)、食品・植物系 (13 種)、防虫剤系 (6 種)、溶剤・油系 (23 種)、その他 (2 種) であった。また、2D から検出された成分は 59 成分であり、4D から検出された成分は、61 成分であった。さらにこのとき、フェノール、2、4-ノナジエナル、メシチルオキサイド、1-ウンデカノール及びグアヤコールについては、4D のみから検出され、ボルネオール、2-エチル-1-ヘキサノール、5-メチル-2-フルフラール及びベルベノールについては、2D のみから検出された。2-エチル-1-ヘキサノールについては、プラスチックの可塑剤の加水分解による生成や接着剤、塗料などが発生源となっているこ

とが知られており、その健康リスクへの懸念から、室内環境指針値の検討物質としても挙げられている。実際に、調査を行った映画館内には、材質の一部にプラスチックが使用された客席などが多数設置されていることや、壁紙や絨毯などが整備されていることから、こうした設備や内装材が発生源の一つとなり、影響している可能性も示唆された。

4D 及び 2D のいずれの場所からも検出された 55 成分のうち、厚生労働省がシックハウス対策の取り組みの一環として、健康への有害な影響を受けないレベルとの判断により設定された室内濃度指針値が定められる成分としては、キシレン、トルエン、パラジクロロベンゼン、スチレンが含まれていたが、いずれも指針値を上回る濃度のものはないことを確認している。

E. 結論

本研究で、室内において空気中での汚染が懸念される化学物質を対象に、補習及び分析法を検討したところ、SVOC については、特に揮発性の低い成分について、室内の温度や捕集流量が検出結果に大きく影響し、長時間捕集することで、検出可能となることが示唆された。

拡散サンプラーを使用したイソシアネートの測定については、1 週間の長期サンプリングが可能となったことで、低濃度であっても高感度に長期のモニタリングが可能となった。一般住宅で検出されたイソシアネートは、成分によって、室内または屋外からの異なる発生源が影響している可能性が考えられ、屋外濃度については、季節的な変動等についても調べる必要性が考えられた。また、一部の住宅では、喫煙により発生したイソシアネートが、汚染の要因となる可能性があり、健康影響への配慮から、環境改善の必要性も示唆された。今後は、さらに継続したモニタリングを行うことで季節変動や、汚染源を詳細に調べる必要性が示唆された。

さらにもっと成分を分析した結果からは、主に上映中の飲食や衣類などの人の行動に由来する成分の影響が比較的大きいと考えられたが、建物の内装材や施設に由来する可能性のある成分も含まれていたことから、多数の人々が利用する場としても、継続した衛生管理を行っていく必要性が考えられた。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 拡散サンプラーを用いた空気中イソシアネートの捕集及び分析. 2022 年室内環境学会学術大会; 2022. 12.1-2; 東京. 同講演集
- 2) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 簡易測定法による空気中イソシアネートの濃度調査. 第 93 回日本衛生学会学術総会; 2022. 3.2-3; 東京. 同講演集

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) Bekki K et al. Anal. Bioanal. Chem. 2020, 412, 103-111.1.
- 2) Marand A. et al. J. Environ. Monit. 2005, 7, 335-343.

表1 対象成分

Table1 対象成分

		化合物	略称	M.W.
SVOC13成分標準混合 試料	1	Dodecamethylcyclhexasiloxane		444
	2	Butyl hydroxy toluene		220
	3	n-Hexadecane		226
	4	n-Eicosane		282
	5	Di-n-butyl adipate	DBA	258
	6	Di(2-ethylhexyl)adipate	DEHA	371
	7	Di-ethyl phthalate	DEP	222
	8	Di-n-butyl phthalate	DBP	278
	9	Di(2-ethylhexyl)phthalate	DEHP	390
	10	Tri-n-butyl phosphate	TBP	266
	11	Tris(2-chloroethyl)phosphate	TCEP	285
	12	Triphenyl phosphate	TPP	326
	13	2-Ethyl-1-hexanol	2E1H	130
追加成分	14	Tris(1,3-dichloroisopropyl)phosphate	TDCIPP	430
	15	Triphenyl phosphate	TPHP	326
	16	2,2,4-Trimethylpentane-1,3-diyl diisobutyrate	TXIB	286
BFR&NBFR	17	4-bromodiphenyl ether	BDE-3	249
	18	2,4-dibromodiphenyl ether	BDE-7	328
	19	4,4'-dibromodiphenyl ether	BDE-15	328
	20	2,4,4'-tribromodiphenyl ether	BDE-28	406
	21	2,2',4-tribromodiphenyl ether	BDE-17	406
	22	2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether	BDE-99	564
	23	1,2-Dibrom-4-(1,2-dibromethyl)cyclohexan	DBE-DBCH	427
	24	Pentabromobenzene	PBBZ	472
	25	2-ethyl-hexyl tetrabromobenzoate	EH-TBB	549

表 2 分析条件

表 1 分析条件

TD 部	チューブ加熱温度	250℃
	チューブデソープ流量	60mL/min
	チューブデソープ時間	10 min
	トラップ冷却温度	10℃
	トラップ加熱温度	250℃
	トラップデソープ時間	5 min
	ドライバージ	なし
	捕集管	TENAX-TA
	トラップ管	TENAX-TA (PN S225-23328-41)
	バルブ保温温度	250℃
	トランスファライン温度	250℃
	ジョイント温度	250℃
	内部標準	-----
チューブ待機温度	35℃	
トラップ待機温度	35℃	
GC 部	使用カラム	Ultra Alloy-PBDE 長さ 15m 内径 0.25mm 液相膜厚 0.05μm
	カラム温度	50℃(3 min)→20℃/min→300℃(3 min)
	キャリアガス	He
	キャリアガス制御	圧力一定
	入口圧	50 kpa
	注入方法	スプリット法
	スプリット比	10
MS 部	イオン源温度	230℃
	インターフェース温度	300℃
	測定モード	FAAST(スキャン,SIM 同時測定)
	走査範囲及びモニタイオン	m/z 50-1000 モニタイオンは Insight レポートを参照ください
	イベント時間	スキャン : 0.15sec,SIM:0.15sec
	イオン化法	電子イオン化 (EI)
エミッション電流	60 μ A(標準モード)	

表3 成分表

	化合物	保持時間	臭いの種類	質量	確認イオン
1	プロピオン酸	2.27	酢, 酢酸, 酪酸	73	74.00-45.00
2	ペンタナール	2.51	チーズ, 油の酸化	58	57.00-44.00
3	アセトイン	2.63	ヨーグルト, バター	88	45.00-43.00
4	メチルメタクリレート	2.67	アクリル樹脂	69	100.00-99.00
5	ジメチルジスルフィド	3.25	硫黄, 玉ねぎ, 腐ったキャベツ	94	79.00-61.00
6	イソ酪酸	3.33	チーズ, ヨーグルト	73	88.00-43.00
7	酢酸-sec-ブチル	3.47	甘い溶剤	87	43.00-56.00
8	1-ペンタノール	3.69	ブタノール	70	55.00-42.00
9	トルエン	3.75	溶剤, ペンキ, シンナー	91	65.00-51.00
10	5-ヘキセン-2-オン	3.85	セメダイン, ゴム, 甘いメロン, 酢酸エチル	55	83.00-98.00
11	酪酸	3.97	チーズ, ヨーグルト	60	73.00-55.00
12	2-ヘキサノン	4.19	シンナー, セメダイン, 熟したメロン	100	58.00-85.00
13	メシチルオキサイド	4.43	甘い溶剤	83	98.00-55.00
14	ヘキサナール	4.53	油, フライ油	56	82.00-72.00
15	酢酸-n-ブチル	4.96	バナナ	43	56.00-73.00
16	2-メチルピラジン	5.27	落花生, 雑巾	94	67.00-53.00
17	イソ吉草酸	5.85	酸, 足の裏, ブルーチーズ	60	87.00-69.00
18	2-メチル酪酸エチル	6.12	リンゴ	102	115.00-85.00
19	2-メチル酪酸	6.16	酸, 足の裏, ブルーチーズ	74	87.00-57.00
20	エチルベンゼン	6.49	溶剤, ペンキ, キシレン	91	106.00-77.00
21	プロピレングリコール-1-モノメチルエーテル-2-アセテート	6.64	溶剤	43	58.00-72.00
22	m-キシレン	6.77	溶剤, ペンキ	91	106.00-77.00
23	p-キシレン	6.80	溶剤, ペンキ	91	106.00-77.00
24	吉草酸	7.10	酸, 足の裏, ブルーチーズ	60	73.00-55.00
25	3-ヘプタノン	7.16	熟したメロン	57	85.00-72.00
26	2-ヘプタノン	7.29	甘い溶剤	58	114.00-99.00
27	スチレン	7.38	樹脂, 発泡スチロール	104	78.00-103.00
28	o-キシレン	7.41	溶剤, ペンキ	91	106.00-65.00
29	ブチルセロソルブ	7.70	溶剤	57	100.00-75.00
30	エトキシエチルアセテート	7.72	溶剤	72	59.00-43.00
31	2-エチルピラジン	7.99	落花生, ナッツ, ローストアーモンド	107	108.00-80.00
32	2,3-ジメチルピラジン	8.04	落花生, ナッツ	108	67.00-109.00
33	ジエチルジサルファイド	8.19	ニンニク, ガス, ニラ	122	94.00-66.00
34	α -ピネン	8.53	柑橘, 木	93	121.00-136.00
35	β -ピネン	8.53	柑橘, 木	93	121.00-136.00
36	イソカブロン酸	8.81	酸, 足の裏, ブルーチーズ	57	73.00-83.00
37	2-ヘプテナール	9.03	油の酸化, ゴマ	83	97.00-68.00
38	5-メチル-2-フルフラール	9.15	焦げ	110	109.00-81.00
39	ベンズアルデヒド	9.20	杏仁豆腐, ビターアーモンド	106	77.00-105.00
40	ジメチルトリスルフィド	9.40	硫黄, タクアン	126	111.00-79.00
41	カブロン酸	9.55	酸, ドライフルーツ	60	87.00-73.00
42	フェノール	9.62	樹脂	94	66.00-65.00
43	メチルスチレン	9.67	発泡スチロール	118	103.00-115.00
44	2-オクタノン	9.79	チーズ, フルーツ	58	43.00-128.00
45	o-クロロフェノール	9.84	消毒, 塩素	128	100.00-92.00
46	2-n-プロピルピラジン	9.92	落花生, ナッツ	93	120.00-106.00
47	オクタナール	10.13	柑橘, ミカンの皮	84	56.00-110.00
48	ヘキシルアセテート	10.31	洋ナシ	84	69.00-56.00
49	2,4-ヘプタジエナール	10.31	柑橘	81	110.00-79.00
50	p-ジクロロベンゼン	10.42	防虫剤	146	111.00-75.00
51	5-エチル-2-メチルピラジン	10.58	落花生, 雑巾	121	106.00-77.00
52	2-エチル-1-ヘキサノール	10.68	樹脂, カーペット, 車	83	57.00-70.00
53	リモネン	10.74	柑橘	93	121.00-136.00
54	シネオール	10.80	ハッカ	139	111.00-154.00
55	ベンゼンメタノール	10.82	バラ	108	77.00-90.00
56	フェニルアセトアルデヒド	11.03	ハチミツ, 菜の花	91	120.00-65.00
57	サリシルアルデヒド	11.05	樹脂の焦げ, 辛い	122	121.00-104.00
58	o-クレゾール	11.19	消毒, 獣	108	77.00-90.00
59	アセトフェノン	11.50	樹脂, さくらんぼ (チェリー)	105	120.00-77.00
60	1-オクタノール	11.54	カメムシ, 酸化した油	56	70.00-84.00
61	o-プロモフェノール	11.54	消毒, 塩素	172	174.00-93.00
62	5-ノナン	11.56	甘い, フルーツ	85	142.00-100.00
63	エナント酸	11.56	チーズ, ドライフルーツ	60	87.00-101.00
64	p-クレゾール	11.60	消毒, 獣	107	77.00-90.00
65	m-クレゾール	11.62	消毒, 獣	108	107.00-79.00
66	6-クロロ-o-クレゾール	11.76	消毒, 塩素	107	142.00-77.00
67	ベンジルメチルカプタン	11.85	エポキシ接着剤, 硫黄	91	77.00-65.00
68	グアヤコール	11.89	スモーク, 正露丸	109	53.00-81.00
69	3-エチル-4-メチルピラジン	11.89	タバコ, ピラジン	121	106.00-79.00
70	2-メトキシ-3-イソプロピルピラジン	11.91	ゴボウ, ビーマン	137	152.00-124.00
71	2-ノナン	11.93	チーズ, ヨーグルト	58	71.00-142.00
72	ソルビン酸エチル	12.07	甘い, カaramel	140	125.00-95.00
73	リナロール	12.11	フローラル	93	121.00-136.00
74	2-ノナノール	12.13	カメムシ, 油	45	98.00-129.00

	化合物	保持時間	臭いの種類	質量	確認イオン
75	2-フェニルエタノール	12.38	ハチミツ, 菜の花	92	122.00-103.00
76	1,2,4,5-テトラメチルベンゼン	12.47	コールドタール, 石油	119	134.00-115.00
77	イソホロン	12.58	薬品, 焦げた樹脂, 弱いハッカ	82	138.00-95.00
78	ベルペノール	12.97	ハッカ, メントール, ユーカリ	94	109.00-137.00
79	カンファー	13.10	防虫剤, ハッカ, 樟脳	95	152.00-108.00
80	2-ノネナール	13.22	カメムシ, 油の酸化, 枕, バジヤマ	83	96.00-70.00
81	p-エチルフェノール	13.31	獣, 絨毯, 羊毛	107	122.00-77.00
82	オクタン酸	13.33	綿実油, 油様酸, 酸化した油	73	101.00-115.00
83	2,4-ジクロロフェノール	13.43	消毒, 農薬	162	126.00-98.00
84	2,3-キシレノール	13.52	溶剤, ベンキ, 石油	107	122.00-91.00
85	2-イソブチル-3-メトキシピラジン	13.52	ゴボウ, ビーマン, 土	124	151.00-94.00
86	ボルネオール	13.54	カビ, 目薬, 墨汁	95	110.00-139.00
87	L-メントール	13.60	ハッカ	95	123.00-138.00
88	2-ブロモ-p-クレゾール	13.63	消毒, 樹脂	186	188.00-107.00
89	ナフタレン	13.83	防虫剤, ナフタレン, 口臭	128	102.00-126.00
90	2-メチルイソボルネオール	13.86	カビ, 目薬, 墨汁	95	135.00-150.00
91	サリチル酸メチル	13.88	湿布, サロンパス	120	152.00-65.00
92	α -テルピネオール	13.90	柑橘, 木	136	59.00-43.00
93	p-ジブロモベンゼン	13.95	防虫剤, パラゾール, 塩素系溶剤, スチレン	236	155.00-75.00
94	n-デカナール	14.00	柑橘	57	112.00-128.00
95	2,6-ジクロロフェノール	14.03	消毒, 塩素, カルキ	162	164.00-126.00
96	ベルペノン	14.16	柑橘, 木, ヒノキ, 杉	107	135.00-150.00
97	2,4-ノナジエナール	14.19	油, フライ油	81	53.00-67.00
98	2-フェノキシエタノール	14.27	弱いバラの香り, 弱いハチミツ	94	45.00-107.00
99	ベンゾチアゾール	14.51	機械油	135	108.00-91.00
100	フェニル酢酸	14.61	ハチミツ	91	136.00-92.00
101	ベンジルアセトン	14.67	フルーツ, パイン	148	105.00-133.00
102	ゲラニオール	14.74	バラ	123	111.00-69.00
103	γ -オクタラクトン	14.85	ピーチ, マンゴー	85	100.00-124.00
104	p-プロピルフェノール	14.85	樹脂, 獣	107	136.00-77.00
105	カプロラクタム	14.87	杏仁豆腐, ベンズアルデヒド	113	56.00-84.00
106	ペラルゴン酸	14.92	ドライフルーツ様酸	73	115.00-129.00
107	2-デセナール	14.93	カメムシ, 油の酸化	70	110.00-121.00
108	4,6-ジクロロ-o-クレゾール	14.97	消毒	141	176.00-111.00
109	p-エチルグアヤコール	15.19	スモーク, 焦げ	137	152.00-122.00
110	2,4-ジクロロアニソール	15.38	カビ	176	161.00-133.00
111	2-ウンデカノン	15.40	チーズ, フルーティー	71	112.00-170.00
112	インドール	15.54	防虫剤, ナフタレン, 口臭	117	90.00-63.00
113	2-メチルナフタレン	15.66	コールドタール, 重油	142	141.00-115.00
114	2,4-デカジエナール	15.84	キュウリ	81	152.00-95.00
115	1-メチルナフタレン	15.93	コールドタール, 重油	142	115.00-89.00
116	2,4,6-トリクロロアニソール	16.08	カビ	195	210.00-167.00
117	オイゲノール	16.39	木	164	149.00-131.00
118	カブリン酸	16.41	蠟	73	129.00-143.00
119	2,4-ジブロモフェノール	16.41	消毒	252	250.00-171.00
120	2,4,6-トリクロロフェノール	16.45	消毒, 樹脂	196	160.00-198.00
121	1-ウンデカノール	16.62	柑橘, カメムシ	83	126.00-111.00
122	4,5-エポキシデセナール	16.75	金属, カーベット, 中華鍋, 印刷カタログ	68	81.00-152.00
123	2,6-ジブロモフェノール	16.89	消毒, 塩素, カルキ	252	250.00-143.00
124	スカトール	16.98	防虫剤, ナフタレン, 口臭	130	131.00-103.00
125	メチルオイゲノール	17.02	木, サウナ	178	163.00-147.00
126	バニリン	17.08	バニラ	152	123.00-109.00
127	n-ドデカナール	17.16	柑橘	82	57.00-96.00
128	2,4,6-トリクロロアニリン	17.30	カビ	195	159.00-124.00
129	p-プロモキシレノール	17.31	消毒, 樹脂, 薬品	200	202.00-121.00
130	α -イオン	17.45	スマイル, フローラル, 柔軟剤, リンス	121	192.00-136.00
131	ジオスミン	17.48	カビ, 下水管, 泥, 土	112	125.00-149.00
132	クマリン	17.79	桜餅	146	118.00-90.00
133	イソオイゲノール	17.80	木	164	149.00-131.00
134	γ -デカラクトン	18.01	ピーチ, マンゴー	85	128.00-100.00
135	1-ドデカノール	18.05	蠟, ワックス	111	140.00-83.00
136	β -イオン	18.26	スマイル, フローラル, 柔軟剤, リンス	177	192.00-162.00
137	2,6-ジブロモ-p-クレゾール	18.49	消毒, 塩素, カルキ	266	185.00-187.00
138	ジブチルヒドロキシトルエン ; BHT	18.54	樹脂	205	220.00-177.00
139	2-メチル-3-フリルジスルフィド	18.98	ビタミン (B1)	113	226.00-85.00
140	2,4,6-トリブロモアニソール	20.18	カビ	344	329.00-301.00
141	ベンゾフェノン	20.36	樹脂, 杏仁豆腐	182	105.00-77.00
142	2,4,6-トリブロモフェノール	20.49	消毒, 樹脂	330	332.00-250.00
143	1-テトラデカノール	20.71	蠟, 甘い油	97	111.00-125.00
144	γ -ドデカラクトン	20.79	ピーチ, マンゴー	85	128.00-110.00
145	ジベンジルジサルファイド	25.43	ゴム	91	246.00-181.00

表 4 分析条件

TD 部	チューブ加熱温度	280°C
	チューブデソープ流量	60mL/min
	チューブデソープ時間	5min
	トラップ冷却温度	-20°C
	トラップ加熱温度	250°C
	トラップデソープ時間	5min
	ドライバージ	なし
	捕集管	TENAX-TA
	トラップ管	TENAX-TA (PN S225-23328-41)
	バルブ保温温度	250°C
	トランスファライン温度	250°C
	ジョイント温度	250°C
	内部標準	----
	チューブ待機温度	40°C
トラップ待機温度	50°C	
GC 部	使用カラム	InertCap 5MS/Sil 長さ 30m 内径 0.32 mm 液相膜厚 0.5µm
	カラム温度	50°C(5min)→10°C/min→250°C(10min)
	キャリアガス	He
	キャリアガス制御	圧力一定
	入口圧	44.5kpa
	注入方法	スプリット法
	スプリット比	5
MS 部	イオン源温度	200°C
	インターフェース温度	250°C
	測定モード	FAAST(スキャン,SIM 同時測定)
	走査範囲及びモニタイオン	m/z 45-500
	イベント時間	スキャン:0.1sec,SIM:0.3sec
	イオン化法	電子イオン化(EI)
	エミッション電流	60µA(標準モード)

表5 分析結果(ピーク面積)

ID	化合物名	STD	BL1	BL2	25°C_12L		25°C_48L		25°C_12L		25°C_48L	
1	2-Ethyl-1-hexanol	327858	8752	9062	700267	1180956	2978107	2568302	1692764	1009232	3759880	4069831
2	Dodecamethylcyclohexasiloxane	347564	-	-	136530	229410	451305	404707	441010	288145	844467	953882
3	Butyl hydroxy toluene	346640	-	-	2313	6302	10957	11674	31277	22833	83862	115761
4	Diethyl Phthalate	441553	1547	5277	6324	9428	28438	22584	33788	24013	95892	120460
5	2,2,4-Trimethylpentane-1,3-diyl diisobutyrate	693134	841	485	526575	868992	2198535	1924359	1911506	1138671	4284752	4666404
6	n-Hexadecane	464415	1676	918	24921	41397	115980	97255	121469	78258	307489	364211
7	Tri-n-butyl phosphate	114416	-	-	869	1779	5033	4895	7052	4510	24047	30115
8	4-bromodiphenyl ether	30149	-	-	-	-	-	-	-	-	1468	1993
9	Tris(2-chloroethyl)phosphate	84755	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Di-n-butyl adipate	225314	-	-	-	-	-	-	1620	1474	6372	10025
11	2,4-dibromodiphenyl ether	46729	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1,2-Dibrom-4-(1,2-dibromethyl) cyclohexan	462954	-	-	-	-	-	-	1037	710	2516	3425
13	Di-n-butyl phthalate	824141	17305	15940	117886	189206	398467	369054	539072	325438	1215155	1289902
14	4,4'-dibromodiphenyl ether	42595	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1,2-Dibrom-4-(1,2-dibromethyl) cyclohexan	91830	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Pentabromobenzene	62098	-	-	-	-	-	-	110	54	160	179
17	n-Eicosane	458706	3006	573	8147	13790	37154	33559	56927	32589	135108	137332
18	2,4,4'-tribromodiphenyl ether	15840	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	2,2',4-tribromodiphenyl ether	16597	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	Tris (1,3-dichloroisopropyl) phosphate	93310	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	Triphenyl phosphate	2315105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	Di (2-ethylhexyl) adipate	349122	-	-	4135	10001	28309	27497	53703	32305	140053	164013
23	Di (2-ethylhexyl) phthalate	468075	23888	12926	83344	151557	208958	182490	388824	248938	899664	1047815
24	2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether	8079	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	2-Ethylhexyl tetrabromobenzoate	1757162	2281	297	3086	4005	1024	1093	2600	5613	1824	1739

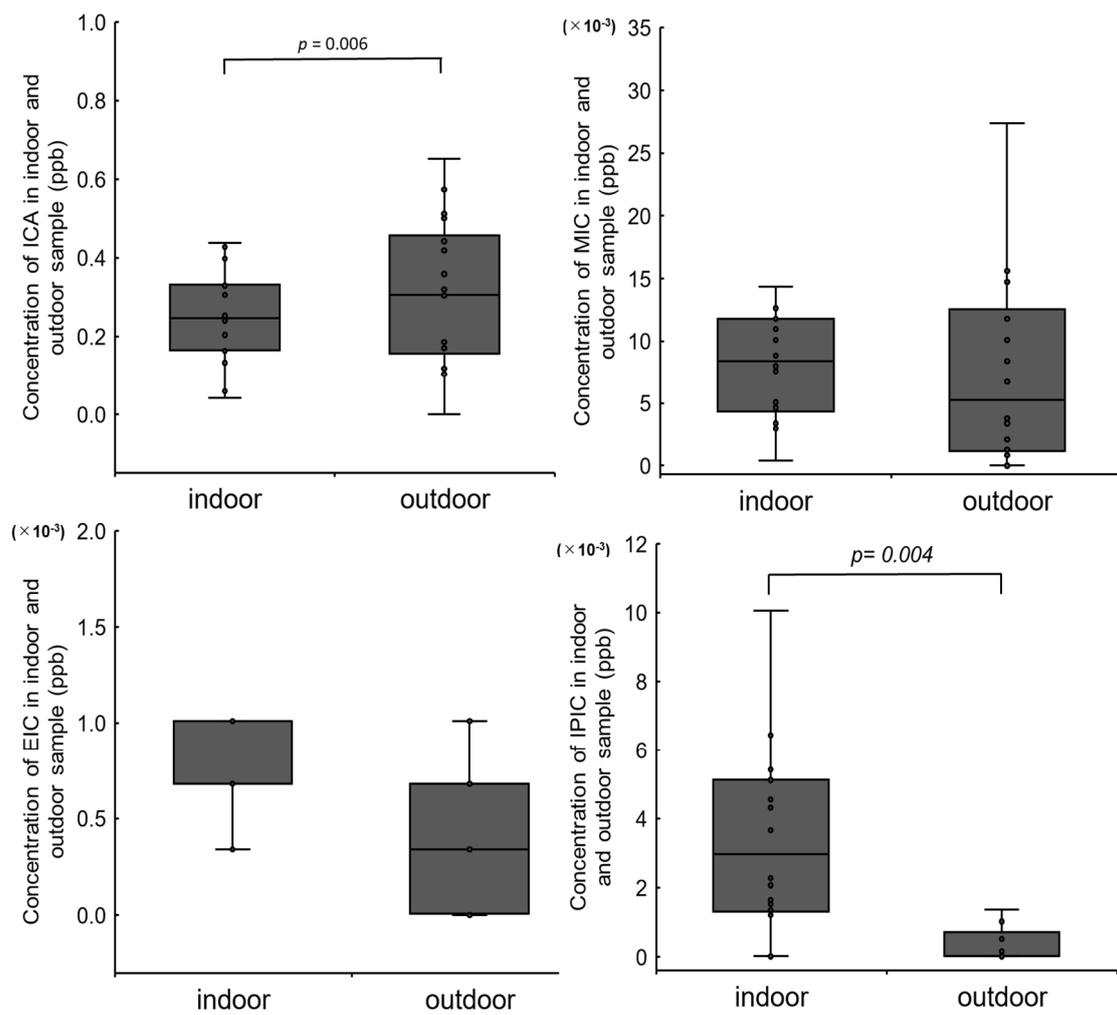


図1 室内外のイソシアネート濃度

(このページは空白です)

興行場における衛生的な環境確保のための研究
映画館内の換気に関する実態とそ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	林 基哉	北海道大学 大学院工学研究院	特任教授
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

映画館観覧場は天井が高く気積が大きい。空気清浄度を確保するために、換気量を確保することは重要であるが、観客数の増減のある大空間で常に一定量の換気を行うことは省エネルギー上非効率であり、観客数に応じた換気風量のデマンド調整やCO₂濃度制御も行われる。CO₂濃度制御は運転制御が容易な反面、気積が大きいためファン停止時間が長くなる傾向にある。このことが空間気流性状を変化させるとともに、空調機によって作り出される気流も相俟って、汚染物質濃度の高い場所を結果として作り出してしまう可能性がある。本研究では、観客の呼気排出CO₂をトレーサーとする簡易な換気評価法を用いて空気環境を確認するとともに、測定法の課題を明らかにすることを目的とする。

ここでは、2つの映画館を対象として上映中温湿度、CO₂濃度および浮遊微粒子個数濃度を測定・分析した。CO₂の濃度変化に関する微分方程式に実測CO₂濃度を代入することで、客席位置の相当換気量を逐次同定できることを確認した。そして、同定した換気量を観客数で除して一人当たり換気量を算出した結果、30m³/h/人の確保割合は、A映画館は上映時間中の31%、B映画館は48%となった。また、同定した換気量と観客人数および空間湿気容量を適切に見込むことで、実測した絶対湿度を概ね再現できることを確認した。

A. 研究目的

映画館内の空気衛生環境を左右するファクターは、①観客自身の衛生状態、②空調機もしくは換気装置によって供給される空気（真菌等の微生物、浮遊微粒子）の2点である。平時興行中の空気環境の衛生状態は、適切な空調管理が基本であり、そのうえで有害微生物等を持ち込ませない空調制御が必要である。一方、感染症クラスター感染対策の観点では、観客席周りの十分な換気と濃度むらを作らない適切な気流形成も重要な確認要素となる。興行場法第2条、第3条関係基準条例準則の5.空気環境に係る構造設備、ウ(ウ)に「給気口は、内部に取り入れられた空気の分布を均等にし、かつ、局部的に空気の流れが停滞しないよう良好な

気流分布を得るため適当な吹出機能のものを、また排気口は排気を効果的にできる適当な吸引機能のものを、適当な位置に設けること。」という規定があり¹⁾、空間内を淀みなく排気すること、また観客席が排気経路に入らないことがリスク低減のためにとっても重要である。また、4D上映のエフェクトに関する衛生管理基準は定められておらず、特に浮遊微粒子の観点での空気環境の実態把握も必要である。

本研究は、特に4D観覧場を有する映画館を対象に、その換気状況とエフェクトに伴う浮遊微粒子濃度との実態を調査し、高天井・大空間の特徴を考慮した空調・換気設備の評価法について検討することを主な目的としている。

B. 研究方法

第1に、4D 観覧場を有する映画館を対象に換気状態に関する実測調査を行う。第一に温湿度環境が準則を満たしているかどうかを確認すること、またその時の換気量を簡易にシミュレーション推定する方法について検討する。また、水噴霧やスモークなどの環境効果に伴う浮遊微粒子の放出状況、及び準則で定める空中落下菌等を確認するため、パーティクルカウンターを用いた連続測定を行う。

第2に、映画館観覧場は床面積に対する座席密度は高い一方で一人当たりの占有気積は大きいという特徴を有しており、そうした空間に適した換気評価法もしくは設計法に関する検討が必要である。本研究では、大空間の換気性能評価に関する課題点を整理した。また、中央式空調の場合のOA比と潜熱負荷の関係などについても簡単な検討を行った。

C. 研究結果

C1. 映画館場内空気環境測定と換気量・感染リスク予測

C1.1. 2つの映画館の温湿度性状および換気性状の実態調査

映画館観覧場の換気状態・運転方法等の実態を把握するため、エフェクト機能を有する観覧場のある映画館2件（A映画館、B映画館）の空気環境調査を行った。各々の映画館では調査日に2種類の演目を計5回上映している。調査した映画館A、Bの座席数、各回の上映時間ならびに観客数を表1に示す。

表1 実測した2つの映画館の座席数、上映時間・観客数

座席数	A 映画館		B 映画館	
	96		106	
上映回	上映時間 (min)	観客 (人)	上映時間 (min)	観客 (人)
第1回	165	23	120	16
第2回	105	8	120	56
第3回	165	19	190	20
第4回	105	8	190	22
第5回	165	22	190	14

C1.1.1. A 映画館の温湿度測定結果

上映中の温湿度、CO₂濃度、浮遊微粒子濃度、落下菌・浮遊菌濃度の測定を行った。図1-1～3にA映画館の上映回ごとの温湿度平均値のBox Plot図を示す。温度に関しては各回とも23℃程度であり、適切に室温コントロールされている様子が伺える。しかし相対湿度は第1回目の上映を除き30%を下回っており、かつ変動幅が小さい。外れ値はエフェクト(水噴霧)の影響である。絶対湿度も第1回目の上映から高く徐々に減っていき、第5回目の上映で増加している。第1回、第3回、第5回は同一演目A(上映時間165分)、第2回と第4回は同一演目B(上映時間105分)であり、観客数は第1回目から順に23名、8名、19名、8名、22名であった。観客数と絶対湿度に相関関係は認められなかった。平均約2.3g/kgDAの加湿があった。

C1.1.2. B 映画館の温湿度測定結果

図2-1～3にB映画館の上映回ごとの温湿度平均値のBox Plot図を示す。温度、相対湿度に関しては第1回目上映時の変化幅が大きく、空調立ち上がりに伴う加温および大風量換気の影響がみられる。相対湿度、絶対湿度の変化幅が大きいのは第3回目上映時であり、後述するCO₂濃度変化も考慮すると、途中から換気量が増大したことが要因であると推定できる。一方、第2、4、5回は特に相対湿度および絶対湿度の変化幅が小さいことが特徴として挙げられる。

C1.2. CO₂濃度変化と換気量推定

C1.2.1. A 映画館の CO₂濃度変化

図3にA映画館の8:00~24:00のCO₂濃度変化を示す。開場時700ppmであった状態から10時にかけて450ppmまで下がり、その後、徐々に濃度上昇していき、第5回終了時には約1000ppmに達する。9~10時の急激な低下は大風量換気が考えられる。1、3、5回目に濃度上昇傾向となるのは、換気量低下と観客数(20名前後と多い点)が原因である。また温度変動、CO₂濃度変動を見る限りA映画館は、VAV制御と考えられる。

C1.2.2. B 映画館の CO₂濃度変化

図4にB映画館の8:00~24:00のCO₂濃度変化を示す。開場時濃度の高さは測定班のセンサー設置の影響である。午前中は徐々に濃度が上昇していき、第2回目上映は観客数が56名ということもあって上映終了時には1000ppmを超える状態になっていた。休憩時には濃度低下するが、第3回目開始とともに再び濃度上昇に転じる。しかし第3回目中盤から濃度低下し、その後の休憩時間で再上昇、第4回目中盤まで濃度減少が続き、その後終了まで700ppm前後で推移する状況であった。これは手動制御が行われていた可能性が高い。

C1.3. 濃度平衡式からの換気量簡易推定

映画館観覧場は、気積大きいことに起因する応答遅れがあるため、濃度応答遅れのある変化をする。この点を考慮して空気容量を考慮した換気量推定を行う。客席は床付近に集中し、そのため発生源も床付近に集中することから、気流状態に伴う空間濃度むら²⁾が想定されるが、まずは客席位置における換気量簡易推定を行う。劇場内CO₂濃度C_{in}は外気CO₂濃度C_{out}、呼吸によるCO₂発生量M(m³/h)、呼吸密度ρ_b(kg/m³、呼吸温度35℃と仮定³⁾)、外気密度ρ_{out}(kg/m³)、劇場内空気密度ρ_{in}(kg/m³)、劇場の気積をV(m³)、観客数p(人)、一人当たりの呼気CO₂排出量M(15L/h/person)、外気供給量Q_{in}(m³/h)、室内排気量Q_{out}(m³/h)とすると、次に示す常微分方程式で表すことができる。

$$c_{out}\rho_{out}Q_{in} - c_{in}\rho_{in}Q_{out} + p\rho_b M = \rho_{in}V \frac{dc_{in}}{dt} \quad (1)$$

なお、供給空気は全量外気と仮定すると次式が成り立つ。

$$\rho_{out}Q_{in} = \rho_{in}Q_{out} \quad (2)$$

以上より、室内排気量Q_{out}(m³/h)は次式で表すことができる。

$$Q_{out} = \frac{1}{\rho_{in}(c_{out} - c_{in})} \cdot \left(\rho_{in}V \frac{dc_{in}}{dt} - p\rho_b M \right) \quad (3)$$

観客数p(人)と一人当たりの呼気CO₂排出量MからCO₂発生量を算出し、実測したCO₂濃度(座席4隅および中央の5か所の居住域濃度平均値)を用いて客席位置換気風量を同定する。A映画館の同定結果を図5-1に、B映画館の同定結果を図5-2に示す。

濃度変動を再現する風量で再度濃度算出した結果が、図5-1および図5-2の赤太線である。算出した風量および観客一人当たりの換気量を図6-1(A映画館)、6-2(B映画館)に示す。B映画館は濃度が急激に下がる9~10時に2000~8000m³/hの大容量換気を行ったと推定され、その後は200~750m³/h程度(換気回数で0.1~0.35ACH)の換気状態であったと推定される。観客数は上映回によって変動しているため、この点を考慮し一人当たり換気量に換算したのが図6の点線である。一人当たり30m³/hの換気量を満たしているのは、A映画館の場合、上映時間全体(705分間)の31%、B映画館の場合、上映時間全体(810分間)の48%であった。なお、この結果は座席位置の濃度(居住域濃度)である。実際の換気風量では設計値通りであったとしても、室内換気効率によって結果は大きく異なる。

C1.4. 推定換気量を用いた絶対湿度変動予測

空気中水分は換気に伴って移動するため、CO₂

と同様にトレーサーとして扱うことができる。一般に 0.5ACH 以上の換気量であれば、空間に存在する椅子やフロアカーペット、壁装などの湿気容量（空間湿気容量）はほぼ無視できるが、0.1～0.35ACH 程度の換気量になると、前述した家具・什器等や空気を含めた湿気容量が無視できなくなる。

水分発生量として、観客の不感蒸泄発湿量を考慮し、また外調機使用を前提として、①外気給気加湿量で $\Delta x=1.0, 2.0\text{kg/DA}$ とした場合、および②空間湿気容量を一質点として組み込み（(4) 式）、空気湿気容量の 0、2、4 倍の 3 水準として試算した。A 映画館、B 映画館の絶対湿度変動の同定結果を各々図 7-1 および図 7-2 に示す。

$$X_{out}\rho_{out}Q_{in} - X_{in}\rho_{in}Q_{out} + pW_1 + W_2 = (\rho_{in}V + C)\frac{dX_{in}}{dt} \quad (4)$$

なお、 X_{out} は外気絶対湿度(g/kgDA)、 X_{in} は室内絶対湿度(g/kgDA)、 W_1 は一人当たりの不感蒸泄量(40g/h/person に設定)、 W_2 は外調機使用を想定した外気給気への加湿量(g/kg)、 C は空間湿気容量(g)である。

A 映画館の場合、外調機加湿分は $\Delta X=0\sim 1\text{g/kgDA}$ 、空間湿気容量は空気の 2～4 倍の組み合わせで実測した観覧場内の p 絶対湿度をほぼ再現できることがわかる。B 映画館は、16 時以降の状況を見ると、外調機加湿 $\Delta X=0\sim 0.5\text{g/kgDA}$ 、空間湿気容量は空気の 2～4 倍の組み合わせで最も当てはまりが良くなる。A・B 映画館は規模的にも内装仕上げもほぼ同じであり、両者の結果を合わせると空間湿気容量は空気湿気容量の 2 倍程度と考えるのが妥当であろう。

なお、ここでは外調機加湿（外気に対する加湿給気）としているが、エフェクト（水噴霧）に伴う水分発生量は考慮していない。エフェクトは 1 席 1 回あたり 1mL としても 100 席同時に噴出する

となると 100mL となることから、こうしたエフェクトが 60 分間に 10 回あれば合計 1000g/h の加湿になる。

C1.5. 空中浮遊微粒子の測定結果

A 映画館、B 映画館ともにパーティクルカウンターで空中浮遊微粒子測定を実施した。パーティクルカウンターは Kanomax Model3889 (6 粒径) を用いた。図 8-1 および図 8-2 に A 映画館の第 1 回目 (165 分の演目、アニメ映画) および第 2 回目 (105 分の演目、ハリウッド映画) の 2 演目の時系列粒子個数濃度 (片対数表示) を各々示す。水噴霧およびスモーク等が発生することにより、粒径別粒子個数濃度が増加する時間帯がある。A 映画館第 1 回目の演目の場合、スタート時の粒子個数濃度に対し、各々 $0.3\mu\text{m} : 4.2$ 倍、 $0.5\mu\text{m} : 16.3$ 倍、 $1.0\mu\text{m} : 61.1$ 倍、 $3.0\mu\text{m} : 61.2$ 倍、 $5.0\mu\text{m} : 5.3$ 倍、 $10.0\mu\text{m} : 57.0$ 倍となった。 $1.0\mu\text{m}$ 、 $3.0\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ の粒子個数濃度は、他の粒径に対し 1 桁オーダーが大きく、エフェクトに伴って放出されたエアロゾルの特徴を示すと考えることができる。また、エフェクトのない後半 30 分程度の粒子個数濃度からみかけの濃度減衰を算出してみたのが図 9-1 および図 9-2 である。粒径が小さいほど減衰するのに時間を要しており、空中浮遊していることがわかる。図 10-1、10-2 に B 映画館第 1 回目および第 3 回目の粒子個数濃度 (片対数表示) を示す。A 映画館と異なり、エフェクト時のピークが明確に確認できず、また粒子個数濃度も高めである。図 11-1 および図 11-2 に減衰していると思われる時間帯の濃度減衰を示す。第 1 回目の演目 (120 分の演目) は A 映画館と類似の変化を示すが減衰するのは遅い。第 3 回目(190 分の演目) は、粒径の大きな粒子個数濃度の変動が大きい。

図 12-1、12-2 に A 映画館、B 映画館の第 1～5 回上映時の平均粒子個数濃度から算出した清浄度 (ISO-14644-1) を示す⁵⁾。A 映画館は粒径 $5.0\mu\text{m}$ の粒子個数濃度が class8 レベルを下回り、その他の粒径は class8 レベルを超える程度の濃度である。

B 映画館は第 1 回目の $3.0\mu\text{m}$ 径および第 1~5 回の $0.3\mu\text{m}$ の粒子個数濃度が class8 レベルを超えているが、全般的に $1.0\mu\text{m}$ 以上の粒径は class8 を下回っている。

C1.6. 4D 上映映画館の環境効果技術

日本の 4D 上映には 2 社の環境効果技術（エフェクト）が用いられている。一つは韓国 4DX PLEX 社の「4DX」⁶⁾、もう一つはアメリカ Media Motion 社の「MX4D」⁷⁾ である。シートひじ掛け若しくは背もたれから風や水、香りなどを放出するエフェクトのほかまた、空気環境には基本的に影響しないと考えられるシート振動がある（ダストなどが舞う可能性はある）。以上のようなエフェクトは 4DX で 12 種類⁶⁾、MX4D で 10 種類⁷⁾ ある。このうち観客の顔等に直接空気や液水が噴きかかるエフェクトは、MX4D の場合、「香り」、「風」、「水しぶき」、「エアブラスト」の 4 種類である。これらのエフェクトのタイミングは 1 秒単位でプログラムされているというが、その情報を直接提供していただくことが困難であったため、環境計測時に測定者がエフェクト記録を行った。A・B 映画館の本編が始まってからの経過時間と 5 分刻みのエフェクトの回数を図 13-1~4 に示す。

今回は、統計的手法でエフェクトと粒径密度の関係を簡易推定した。具体的な手順を示す。まず各粒子個数密度の 1 分間データのうち、 $\mu + 1.3\sigma$ よりも大きなデータ（全体の 10%）を抽出し、それ以外のデータとで差の検定を実施した。なお、t 検定に先立ち、F 検定を実施している。A 映画館。B 映画館の分析結果を表 2-1~2-6 に示す。なお、演目によって発生しなかったエフェクトやデータ欠損のあるエフェクトは分析対象から外している。

A 映画館の第 1 演目のエフェクト「水」の粒径は $3.0\mu\text{m}$ 、 $10.0\mu\text{m}$ 、エフェクト「煙」は $5\mu\text{m}$ で統計的有意差があり、第 2 演目のエフェクト「水」は $0.3\mu\text{m}$ 、エフェクト「煙」は $0.3\mu\text{m}$ 、 $10.0\mu\text{m}$ で有意差が生じている。A 映画館の第 1 演目、

第 2 演目は同一映画館であるため基本的に同じエフェクト装置を使用しているが、水エフェクトもいくつか種類があり、発生させる位置や量によって差が生じた可能性はある。

B 映画館は第 2 演目のエフェクト「煙」のみの記録で 1.0 、 3.0 、 5.0 、 $10.0\mu\text{m}$ の粒径で有意差があることが確認できた。B 映画館の煙はスモークジェネレーターが使用されており、そのリキッド成分はプロピレングリコール、脱イオン非界面活性剤、脱イオン水となっている。

C2. 空調方式別の感染リスク評価および空調負荷の検討

C2.1. 大空間の換気性能評価

映画館は劇場タイプの形式であり、床面積に対する一人当たりの占有面積は小さく（つまり密度が高く）、一方で天井が高く気積が大きいという特徴がある。

空間の換気性能評価には、前述した濃度測定値からの同定ではなく、瞬時一様拡散を仮定した炭酸ガス濃度減衰が一般的である。この方式は、空間濃度を一定にしたうえで（一様拡散状態）その濃度減衰から Seidel 式で算出する方法である。気積の小さな単室であれば、一定精度で換気量（漏気量含む）を把握することが可能である。一方、劇場タイプのような大空間も濃度むらが生じなければ同様な精度が期待できるが、濃度むらを解消することは難しく、一般には空気齢などの換気効率を前提とすることが求められる²⁾。

C2.2. 感染症対策としての空気質評価と感染リスク予測

観覧場は上演プログラムによって 1 時間以上の滞在となり、また隣席との距離が近い（密接状態となる）ことから、特措法¹⁴⁾第 24 条第 9 項に基づく時短要請に係る施設にリストアップされている。すなわち、劇場や映画館等の興行場の衛生管理基準を検討するうえで、感染症対策は重要である。

感染リスク予測には、Wells-Riley Equation⁸⁾ -
¹⁰⁾が広く利用されている (5) 式。

$$P = \frac{C}{S} = 1 - e^{-\frac{Iqpt}{Q}} \quad (5)$$

ただし、P:感染確率、C:感染ケース、S:感染可能性のあるケース、I:感染者数(person)、q:クオンタ発生量(quanta/h)、p:呼吸量(m³/h/person)、t:滞在時間(h)、Q:換気量(m³/h)

この式に使用される換気量Qは瞬時一様拡散を前提としており、気積の大きな劇場空間にはこのまま適用することができない。中央式空調の場合は、RA率(一般には0.85)をどこまで下げられるかが感染リスクに影響し、個別分散空調の場合は、OHUの熱交換器の有効換気量率や全熱エレメントの感染性粒子移行率(特にロータリー式の場合は要注意)も加味したリスク予測が求められる。そのほか、空気清浄装置(HEPAフィルター、ULPAフィルターや電子集塵、UVGIなども含む)の効果も基準検討には含めて考える必要がある。

吹出口および排気口の位置は、劇場内の気流性状に大きく影響する。吹き出し位置と風量を把握した上で空間濃度分布を測定し、その実態を把握するとともに、CFDによる気流解析を行うことが必要である。現行の空調方式を踏まえながら、①既存建築物の衛生管理基準を考えるとともに、②新規に建設される興行場の空調設備設計に資するガイドラインの策定が必要である。

以上より、空調方式として中央式空調および個別分散空調の2種類について、その特徴に基づいた感染リスク予測式の検討を行った。図14、図15に各々中央式空調、個別分散空調の場合の換気状況・感染リスクモデルの概念図を示す。また、これらを加味したWells-Riley Equationを各々(6)、(7)式に示す。

中央式空調の場合の修正 Wells-Riley Equation

$$P = 1 - e^{-\frac{I(q+RA \cdot Q) \cdot p \tau}{Q}} \quad (6)$$

ただし、RA:排気再利用率(0-1)

個別分散空調の場合の修正 Wells-Riley Equation

$$P = 1 - e^{-\frac{I(q+\{(1-\eta)+\gamma\} \cdot Q) \cdot p \tau}{Q}} \quad (7)$$

ただし、η:有効換気量率(0-1)、γ:全熱交換器経由再移行率(0-1)

映画館、劇場等の大空間で実験的評価を行うことが図14、15に示すモデル構築には欠かせない。なお、図14、図15に示した風向は、一般的な吹出位置を想定したが、実際には天井吹出、天井吸込み(排気)など、多様な方法が見られる。また、空調設備の温湿度処理により、同一風量でも、潜熱負荷すなわち運用コストや設備稼働状況にも影響を及ぼし、延いては空気環境にも波及する。従って、各々の省エネ性能の把握も必要である。

C2.3. 外気導入量と負荷との関係

中央式空調で冷却コイルを用いる従来タイプは、再熱も必要であるため省エネ性能は高くなく、また排気空気を再利用するため感染リスクを高める危険性がある。一方、外気処理を分離するビルマルチ等の個別分散方式空調システムは、ヒートポンプ性能によっては省エネになる可能性もある。そこで、制御方法をパラメータとした空調機負荷を試算した。

映画館の特徴は、観客席及び観客数が多いため潜熱負荷が大きいことである。空調機負荷を低減させるためには外気負荷(特に潜熱負荷)を小さくすることが重要である。

C2.3.1. 計算条件

室内 26℃ 50% (10.499 g/kgDA)、外気 33.6℃ 18.1 g/kgDA (54.1%) 東京 (t-h 基準)
 床面積 1500m² (100人収容、面積密度 1.5m²/人)、天井高さ 3, 6, 9m、一人当たり発生熱量 75W、水分発生量 30g/h、呼気 CO₂ 発生量 15L/h/person

映画館を想定し、2.5時間満席状態、次の幕まで12分間休憩と仮定している。

C2.3.2 一人当たり外気導入量が負荷に与える影響

一人当たりの換気風量 $30\text{m}^3/\text{h}$ は外気導入量であり空調機の吹出風量 (SA) ではない。潜熱負荷を削減するため OA と RA を混合するが、一般に OA 比率 (新鮮外気の導入量) は SA 全体の 15% 程度である。感染リスクを低減させるためには SA を全量 OA とすれば良いが、当然のことながら OA が増加すると負荷が大きくなり省エネとならない。そこで、 $20000\text{m}^3/\text{h}$ を基準として、SA を $3000\text{m}^3/\text{h}$ 、 $7500\text{m}^3/\text{h}$ 、と低減させた場合の顕熱・潜熱負荷、再熱負荷および除湿量を算出した (図 16)。また空間平均化 CO_2 濃度も算出した。SA 風量を低減すれば省エネルギーになり騒音問題も解決できるが、 CO_2 濃度は上昇し、結果として感染リスクは高まる。衛生環境を確保しつつ省エネ性能を満たすために、観客席まわりの空気流れの工夫が必要であろう。

C2.3.3. 排気再利用率が外気負荷に及ぼす影響

一人当たりの外気導入量を $30\text{m}^3/\text{h}$ に固定する。そのうえで OA 比を変化させた場合について試算した。通常、OA 比が大きくなると冬期であれば顕熱負荷が、夏期であれば潜熱負荷が大きくなるが、今回の条件では顕熱負荷、潜熱負荷、除湿量は同一となる。一方、SA が減ると当然ながら再熱負荷が大きく減少する。 CO_2 濃度は外気量が同一のため変わらない。

D. 考察

D1. 映画館場内空気環境測定と換気量・感染リスク予測

実測により、映画館内の換気性状について検討し、観客数および空間容積に伴う濃度の非定常変化を考慮することで換気量を一定精度で同定することが可能であることを示した。また、同定した換気量と観客人数とから映画館内の絶対湿度を再現する方法を示した。今回の検討では、空気の有する湿気容量の 2 倍程度の空間湿気容量 (カーペ

ットや座席等のファブリック) を見込むことで、ほぼ妥当な値を算出できることを確認した。

一方、一人当たり $30\text{m}^3/\text{h}$ の換気量確保という観点では、推定した換気量をもとに判定すると、A 映画館は上映時間中の 31%、B 映画館は 48% の時間しか満たしていないことがわかった。

さらに、粒子個数濃度の測定結果から、粒径が小さいほど減衰するのに時間がかかることを確認した。また、統計的に分析しエフェクトと粒径の関係について分析した。

映画館ごとに定格換気風量、吹出位置、排気位置が異なり、また運転方法の考え方も異なることから場内の気流性状にも差異が生じているはずで、その影響は無視できない。浮遊微粒子個数濃度測定は、今回、右前の座席位置での測定であったが、測定位置によっても異なるはずである。特にウイルス等の粒径の小さな粒子が除去されずに空中を漂うのであれば、エアロゾル感染防止の観点から今後より詳細な検討が必要である。

D2. 数値シミュレーションによる検討

今回の試算ケースは、映画館だけではなく劇場、多目的ホール等も含めた大空間施設に最大収容人員が入っている条件でシミュレーションしているが、実際には常に満席状態とは限らないし、換気風量も一定値で制御しているわけではない。つまり CO_2 濃度を測定して基準値を下回っていたとしても空気環境の安全性を担保することにはならない。また、気積の大きな空間は、測定タイミングによっても濃度が異なる。風量設定についても、一人当たり換気量は OA で決めなくてはならないにも関わらず SA 風量で判断してしまう危険性もある。設計時は装置容量や給排気位置を決定するが、運用によって換気性状延いては空気衛生環境に影響を及ぼしうることを念頭に置く必要である。

E. 結論

興行場の空気衛生について、まずは 2 つの 4D 映画館を対象に空調・換気設備の測定を行い、その実態を明らかにするとともに観客席における空気環境評価法について検討を進めた。実際の設備運転時における空気環境の実態把握には、興行時に測定を行うことが不可欠である。しかし、換気性状等は CO₂ の呼気排出があるため評価になじみにくい。そこで、大空間での呼気排出をトレーサーとする簡易な評価法を検討した。観客数および空間容積に伴う濃度の非定常変化を考慮することで居住域の換気量を同定することが可能であることを示した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 同定した換気量と観客人数とから映画館内の絶対湿度を再現し、空間湿気容量を適切に見込むことでほぼ実測値に近い値を算出できることを確認した。
- 2) 一部の要素を除き、凡そ興行場法条例準則に定められた空気管理基準を満たしていた。しかし、満員状態での測定ではないため、その実態は設備の稼働状況に依存する。
- 3) 一人当たりを 30m³/h を基準とした換気量は、A 映画館は上映時間中の 31%、B 映画館は 48% が満たすことがわかった。
- 4) 粒子個数濃度の測定結果より、エフェクト時は 1.0, 3.0 および 10.0 μm の粒子数が増加する傾向にあること、粒径が小さいほど減衰に時間を要することが確認できた。

こうした感染症対策や設計に資することを含め、大空間を対象とした空気環境評価の課題、また、設備運用や省エネルギーに起因する課題について以下の通り整理した。

- 1) 映画館等の実測評価：今回は 2 件の映画館で実態評価を行ったが、設備情報（採用している設備や運転、エフェクト付きの映画館は水噴霧量や空気質など）や運用状況の情報を得ることが必要である。特に、居住域濃度の影響（つまり空間濃度むらの存在）は高さ方向

の分布や排気口での測定が必要である。

- 2) 感染リスク評価法の構築：以上の検討を踏まえて、映画館（を含めた劇場建築物、興行場）に適する修正 Wells-Riley Equation を構築した。

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、戸次加奈江、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 映画館内浮遊微粒子の空間挙動の把握、第 81 回日本公衆衛生学会総会；2022.10.7-9；甲府。P.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・引用文献>

- 1) 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, 各都道府県知事・各政令市市長宛, 厚生省環境衛生局長通知, 平成 27 年 7 月 31 日健発 0731 第 4 号一部改正
- 2) 空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 115-2017 室内換気効率(規準化居住域濃度)の現場測定法, 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 2017
- 3) 米沢義道・伊藤一典・牛山喜久: 呼気温を指標とした体温計測, 医用電子と生体工学第 26 巻第 3 号, 7-13, 1998.9
- 4) 山田義昭・桑原亮一・何平・水谷国男: 換気効率指標の設計応用に関する検討, 一高天井空間における基準化居住域濃度について, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 605-608, 2000.9
- 5) 鍵直樹: 一般室内環境及びクリーンルームの粒子状物質について, 室内環境 vol.23, No.2, 171-179, 2020
- 6) 4DX, <https://www.cj4dx.com/jp/>, 令和 4 年 5 月 24 日閲覧
- 7) MX4D, <http://www.mx-4d.com/>, 令和 4 年 5 月 24 日閲覧
- 8) Rudnick SN, Milton DK: Risk of Indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration, Indoor air 2003, 13, 237-245
- 9) Chenjiyu Liang et. Al.: Is It Safe to Reopen Theaters During the COVID-19 Pandemic? Frontiers in Built Environment, March 2021, Volume 7, Article 637277
- 10) Catherine J. Noakes and P. Andrew Sleight: Applying the Wells-Riley equation to the risk of airborne infection in hospital environments: The importance of stochastic and proximity effects, Indoor Air 2008, 17-22 August 2008, Copenhagen, Denmark - Paper ID: 42
- 11) SHASE-S 115-2017 室内換気効率(規準化居住域濃度)の現場測定法, 公益社団法人 空気調和・衛生工学会
- 12) 佐藤要・倉渕隆・竹内仁哉・吉野一・鳥海吉弘・池村尚也: 高応答性濃度測定機器を用いた動的定常濃度に基づくトレーサガス実験法に関する検討 part1. 定常濃度分布測定, pp.145-148, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集第 4 巻 (2019.9.18~20, 札幌)
- 13) 池村尚也・倉渕隆・竹内仁哉・吉野一・鳥海吉弘・佐藤要: 高応答性濃度測定機器を用いた動的定常濃度に基づくトレーサガス実験法に関する検討 part1. 空気齢分布測定, pp.149-152, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集第 4 巻 (2019.9.18~20, 札幌)
- 14) 宮嶋舞佳・倉渕隆・竹内仁哉・吉野一・井上洋輔・李時桓: 空気循環系における動的定常濃度に基づくトレーサガス実験法(その 4)CFD 解析と実験室実験によるトレーサガス実験法の妥当性検討, pp.25-28, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集第 4 巻 (2016.9.14~16, 鹿児島)
- 15) 池永徹博・絵内正道・荒谷登・林基哉: トレーサガスの濃度むらを利用した熱対流型換気の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) D-2, pp.609-610, 1992/08
- 16) 新型インフルエンザ等対策特別措置法, (平成二十四年法律第三十一号), 令和三年法律第三十六号による改正

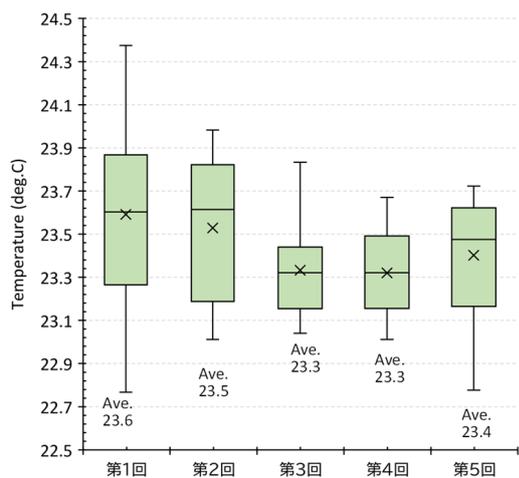


図 1-1 A 映画館の上映回毎の温度統計量

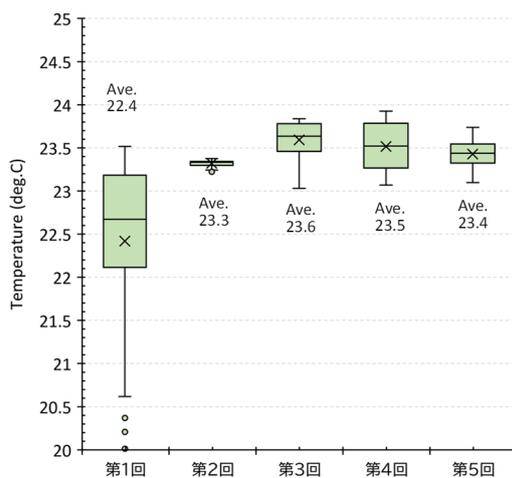


図 2-1 B 映画館の上映回毎の温度統計量

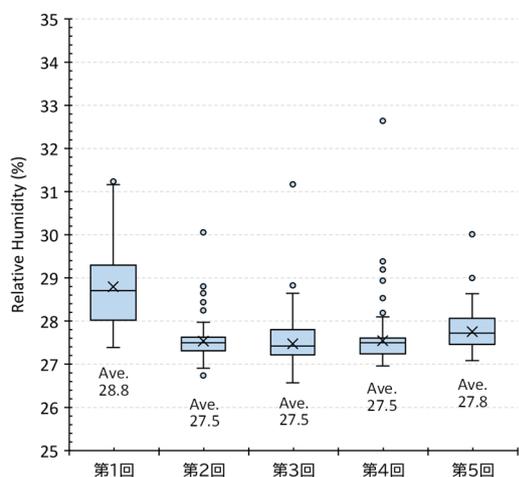


図 1-2 A 映画館の上映回毎の相対湿度統計量

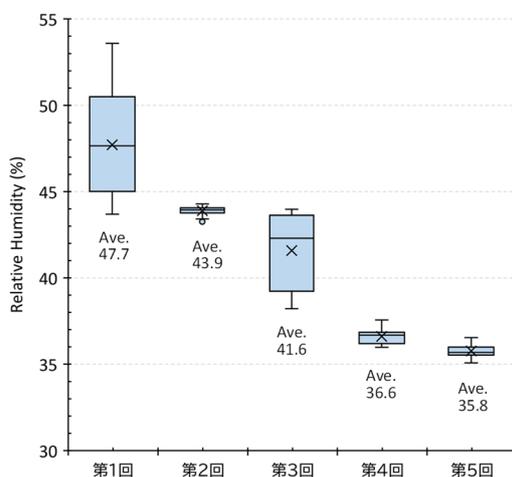


図 2-2 B 映画館の上映回毎の相対湿度統計量

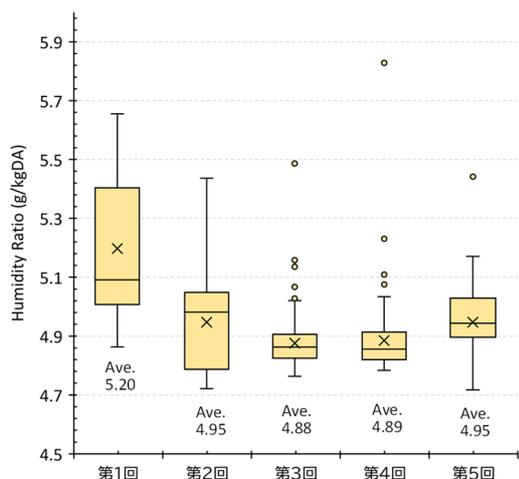


図 1-3 A 映画館の上映回毎の絶対湿度統計量

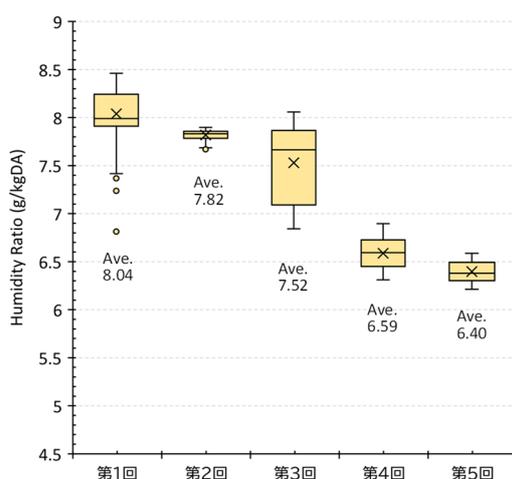


図 2-3 B 映画館の上映回毎の絶対湿度統計量

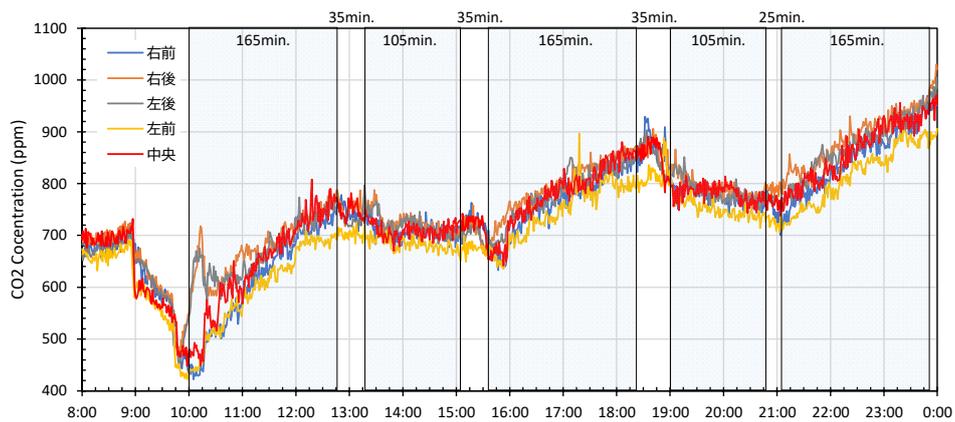


図 3 A 映画館の CO₂ 濃度変化

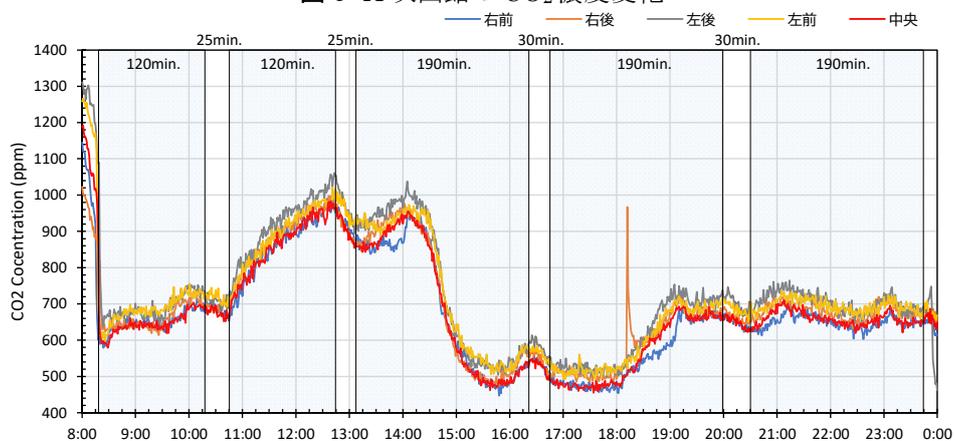


図 4 B 映画館の CO₂ 濃度変化

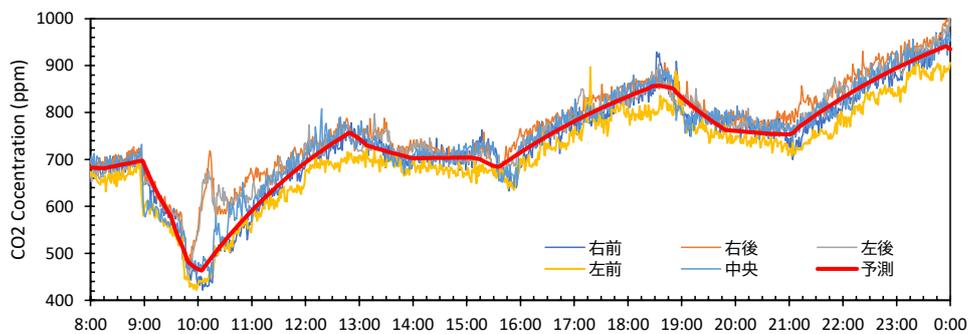


図 5-1 A 映画館の CO₂ 濃度同定結果

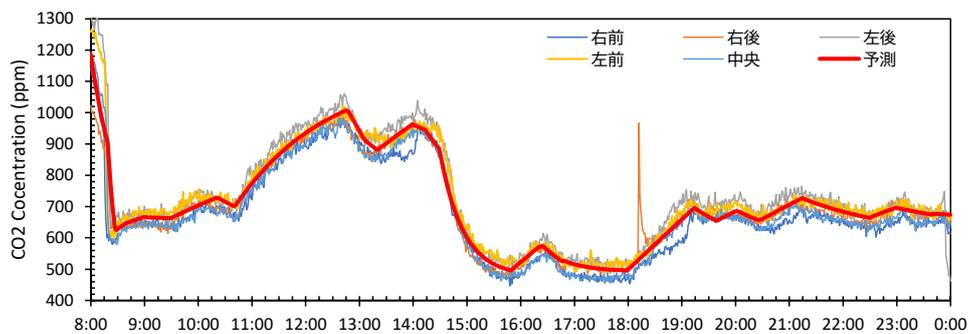


図 5-2 B 映画館の CO₂ 濃度同定結果

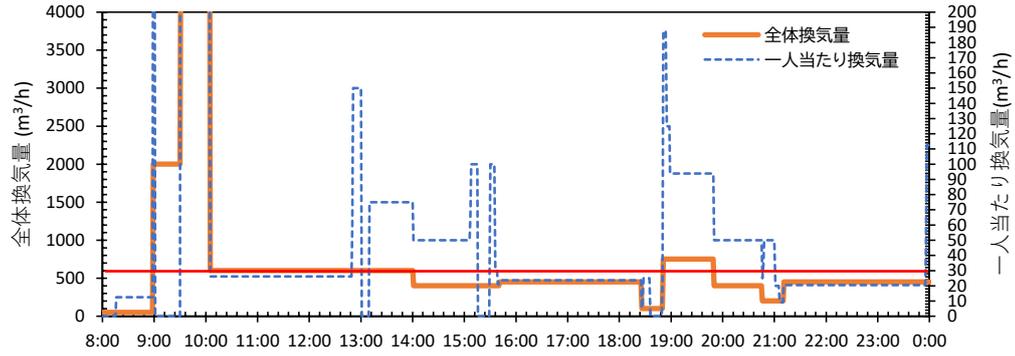


図 6-1 A 映画館の全体換気量および一人当たり換気量推定結果

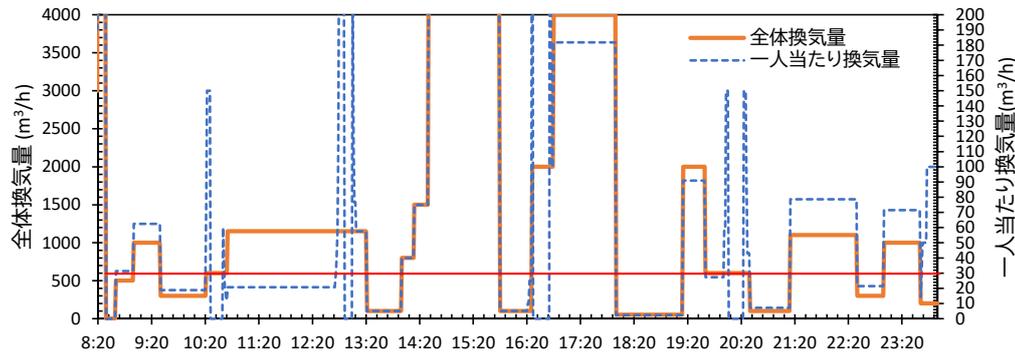


図 6-2 B 映画館の全体換気量および一人当たり換気量推定結果

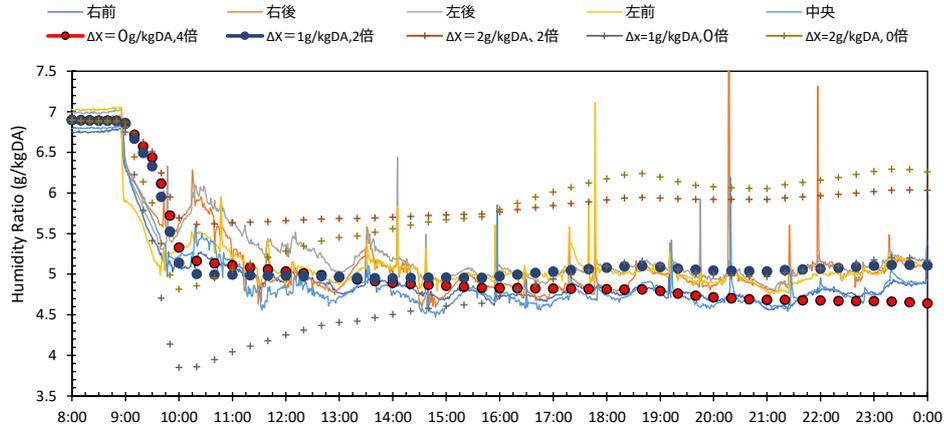


図 7-1 推定換気量を用いた A 映画館の絶対湿度同定結果

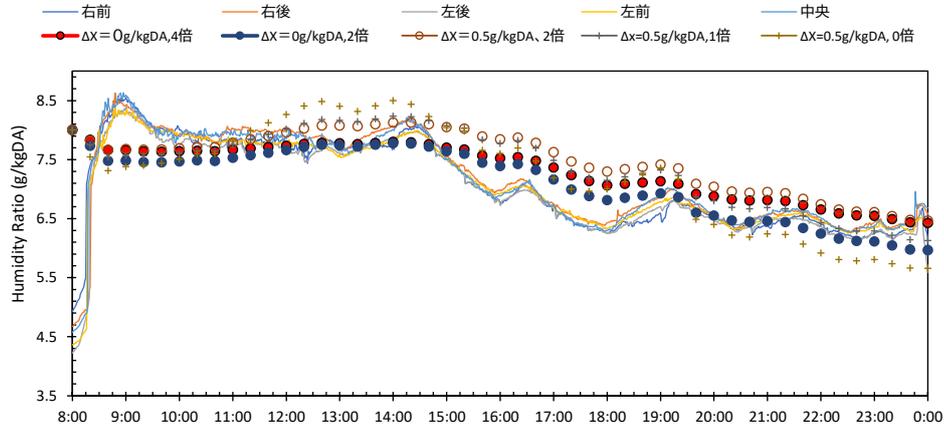


図 7-2 推定換気量を用いた B 映画館の絶対湿度同定結果

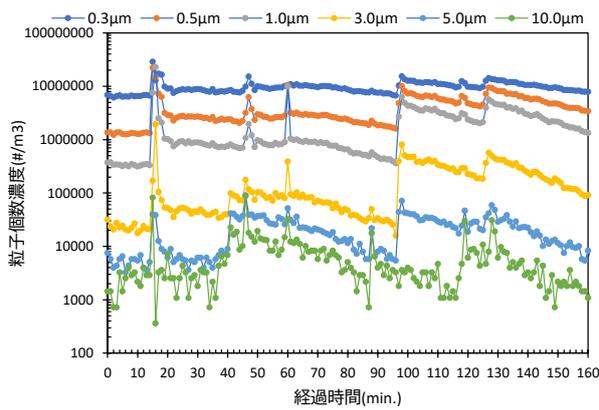


図 8-1 A 映画館第 1 回目の粒子個数濃度

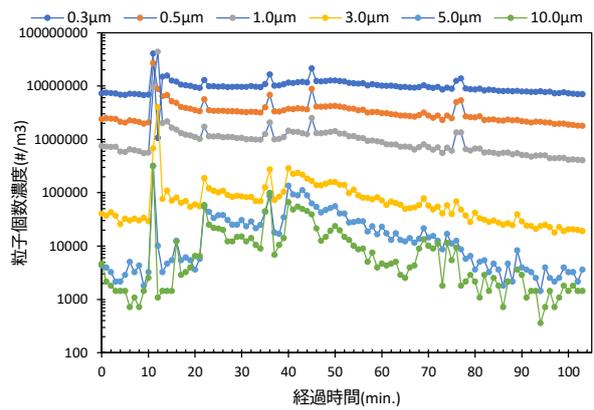


図 8-2 A 映画館第 2 回目の粒子個数濃度

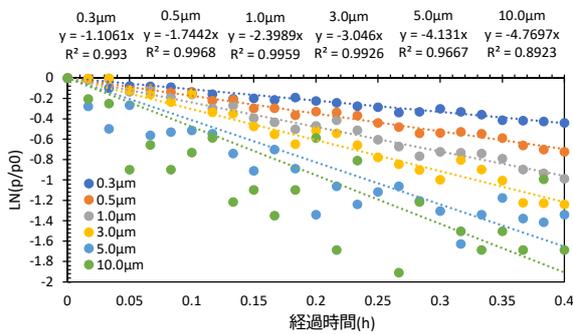


図 9-1 A 映画館第 1 回目 130~160 分の粒子個数濃度減衰

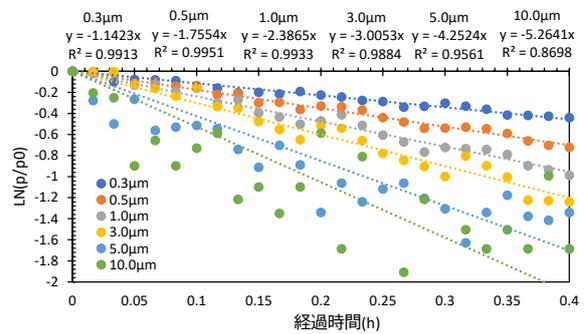


図 9-2 A 映画館第 2 回目 80~100 分の粒子個数濃度減衰

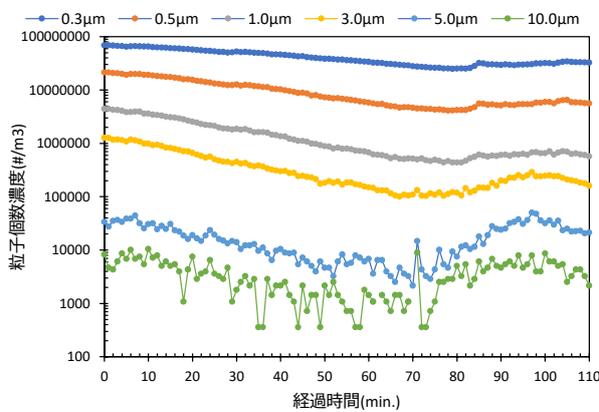


図 10-1 B 映画館第 1 回目の粒子個数濃度

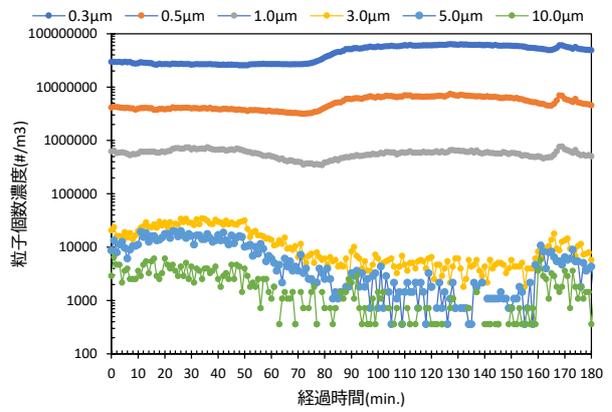


図 10-2 B 映画館第 3 回目の粒子個数濃度

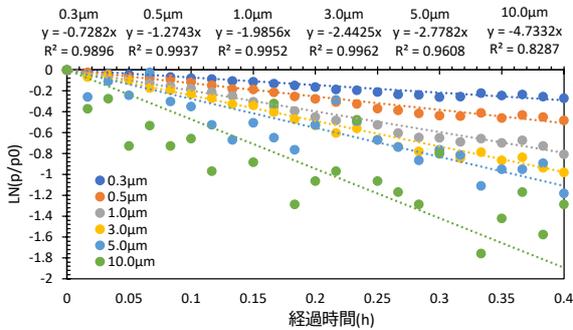


図 11-1 B 映画館第 1 回目 10~40 分の粒子個数濃度減衰

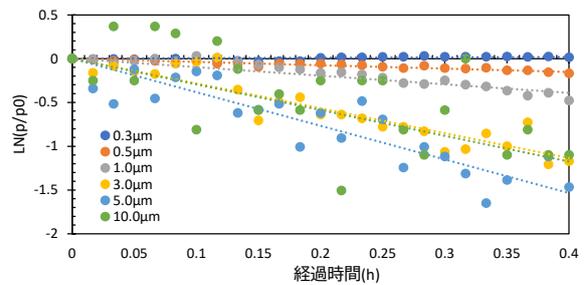


図 11-2 B 映画館第 3 回目 40~70 分の粒子個数濃度減衰

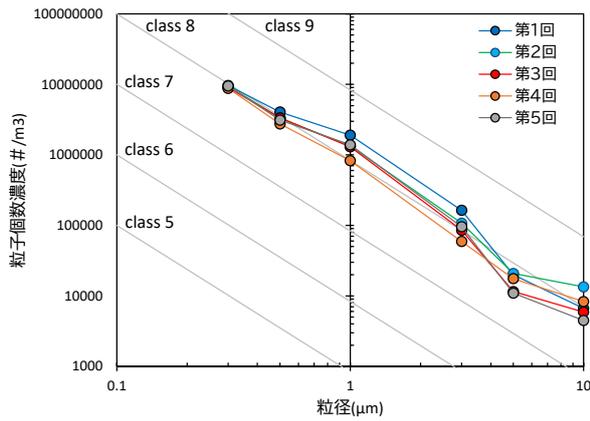


図 12-1 A 映画館の第 1~5 回の清浄度比較

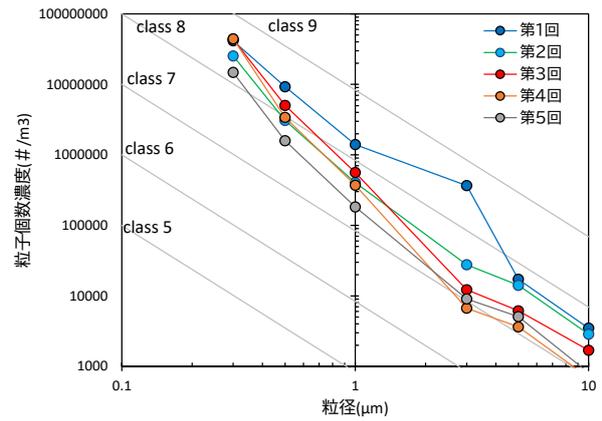


図 12-2 B 映画館の第 1~5 回の清浄度比較

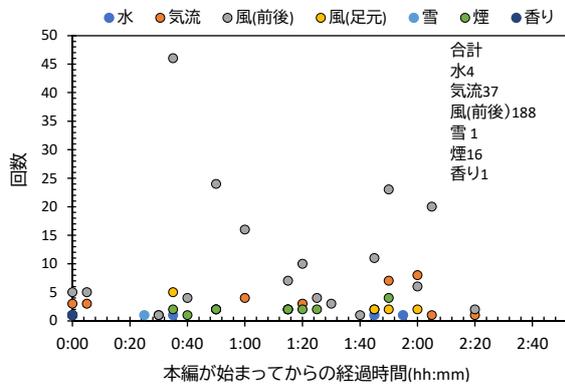


図 13-1 A 映画館第 1,3,5 回目演目のエフェクト記録

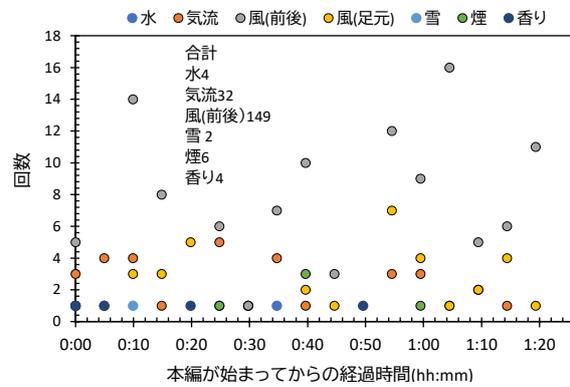


図 13-2 A 映画館第 2,4 回目演目のエフェクト記録

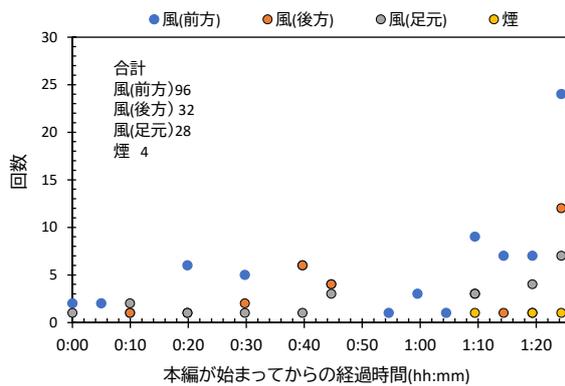


図 13-3 B 映画館第 1,2 回目演目のエフェクト記録

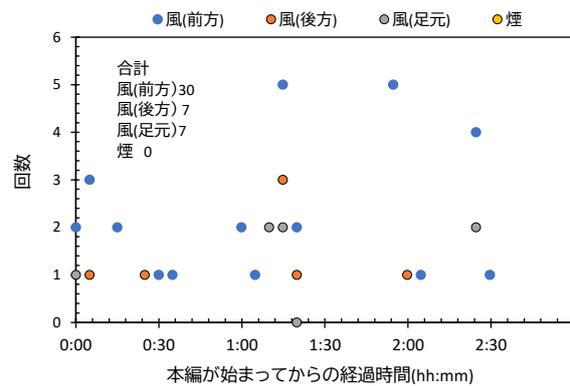


図 13-4 B 映画館第 3,4,5 回目演目のエフェクト記録

表 2-1 A 映画館 第 1 演目の「水」の統計分析結果

水				
粒径	上側10%値	下側90%値	比率	p値
0.3um/m3	12115917	9274991.9	1.31	0.107
0.5um/m3	6416821.8	3709807.1	1.73	0.116
1.0um/m3	3632573.5	1652347.3	2.2	0.126
3.0um/m3	290484.5	144816.37	2.01	0.028 **
5.0um/m3	28048.3	18688.076	1.5	0.084
10.0um/m3	11510.15	5881.5379	1.96	0.043 *

表 2-3 A 映画館 第 2 演目の「水」の統計分析結果

水				
粒径	上側10%値	下側90%値	比率	p値
0.3um/m3	13016065	9419117.3	1.38	0.001 ***
0.5um/m3	5645494.5	3110910.2	1.81	0.102
1.0um/m3	3867751.5	856038.4	4.52	0.165
3.0um/m3	349939.25	65812.4	5.32	0.137
5.0um/m3	57963.75	17070.8	3.4	0.066
10.0um/m3	35554.25	9452.4	3.76	0.079

表 2-5 B 映画館 第 2 演目の「煙」の統計分析結果

煙				
粒径	上側10%値	下側90%値	比率	p値
0.3um/m3	25494939	25527254	1	0.485
0.5um/m3	3168753.7	3092989.7	1.02	0.316
1.0um/m3	450011.2	379627.28	1.19	0.009 ***
3.0um/m3	37457.575	25038.707	1.5	0.016 **
5.0um/m3	19833.025	10807.453	1.84	0.001 ***
10.0um/m3	4022.35	2150.0133	1.87	0.002 ***

表 3 SA 風量をパラメータとした負荷比較

ケース	OA 比	SA(m³/h)	一人当たり外気導入量(m³/h/p)	
A1	0.15	3000	4.5	
A2	0.15	7500	11.25	
A3	0.15	20000	30	
ケース	顕熱負荷 (kW)	潜熱負荷 (kW)	再熱負荷 (kW)	除湿量 (kg/h)
A1	0.95	4.27	11.14	6.79
A2	2.36	7.84	27.85	12.48
A3	6.29	17.76	74.28	28.28

表 4 OA 風量を固定とし SA 風量をパラメータとした場合の外気負荷比較

ケース	OA 比	SA(m³/h)	一人当たり外気導入量(m³/h/p)	
B1	0.15	20000	30	
B2	0.5	6000	30	
B3	0.8	3750	30	
ケース	顕熱負荷 (kW)	潜熱負荷 (kW)	再熱負荷 (kW)	除湿量 (kg/h)
B1	6.29	17.76	74.28	28.77
B2	6.28	17.76	22.55	28.77
B3	6.28	17.76	14.23	28.77

表 2-2 A 映画館 第 1 演目の「煙」の統計分析結果

煙				
粒径	上側10%値	下側90%値	比率	p値
0.3um/m3	11119889	9139172.8	1.22	0.052
0.5um/m3	5097915.9	3698734.6	1.38	0.132
1.0um/m3	2684606.8	1638860.5	1.64	0.133
3.0um/m3	244326.98	136279.88	1.79	0.08
5.0um/m3	28182.975	17147.344	1.64	0.015 *
10.0um/m3	9292.525	5690.6	1.63	0.076

表 2-4 A 映画館 第 2 演目の「煙」の統計分析結果

煙				
粒径	上側10%値	下側90%値	比率	p値
0.3um/m3	12149819	9650116.2	1.26	0.027 *
0.5um/m3	5241183	3109016.7	1.69	0.150
1.0um/m3	3711205.8	897783.93	4.13	0.183
3.0um/m3	322411.75	73153.067	4.41	0.169
5.0um/m3	40007.25	21859.2	1.83	0.114
10.0um/m3	30921.5	10687.8	2.89	0.020 *

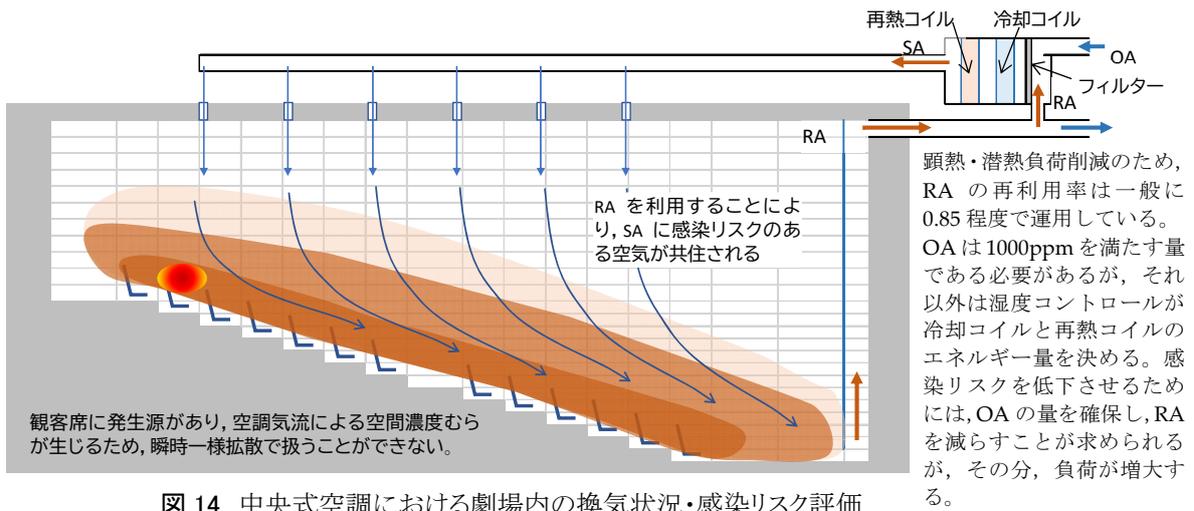


図 14 中央式空調における劇場内の換気状況・感染リスク評価

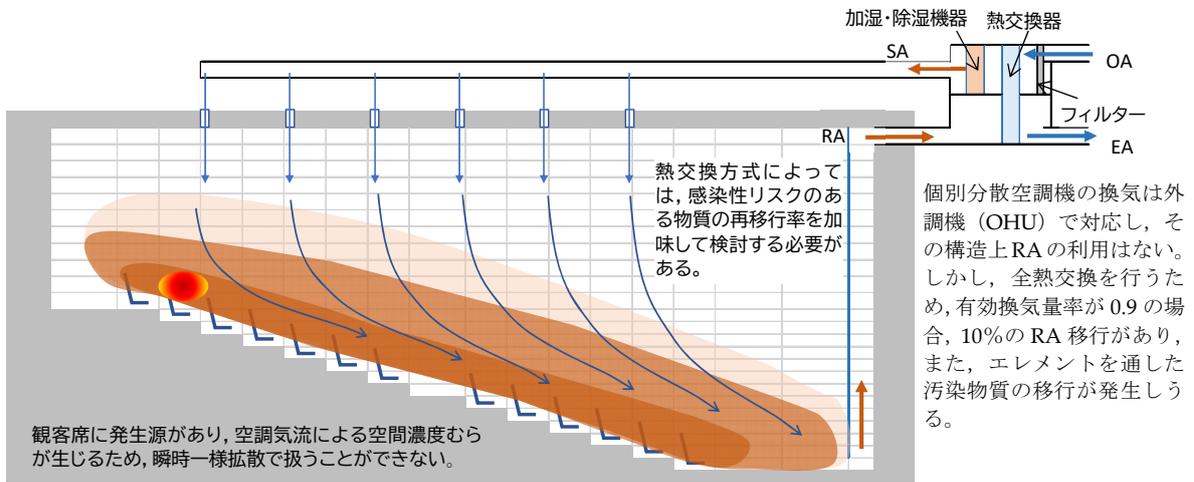


図 15 個別分散空調における劇場内の換気状況・感染リスク評価

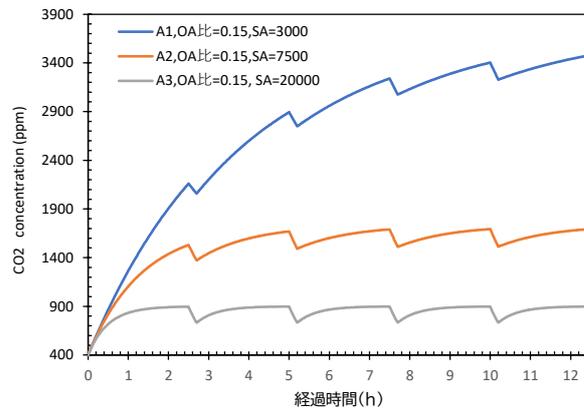


図 16 CO₂ 濃度変化 (A1, A2, A3)

興行場における衛生的な環境確保のための研究
COVID-19 の影響を踏まえた興行場の換気対策

研究分担者	林 基哉	北海道大学 大学院工学研究院	特任教授
研究協力者	菊田 弘輝	北海道大学 大学院工学研究院	
研究協力者	山岸 拓也	国立感染症研究所	
研究協力者	黒須 一見	国立感染症研究所	

研究要旨

興行場の室内空気環境の特徴を踏まえ、COVID-19 の浮遊飛沫（エアロゾル）感染対策に関するエビデンス整理、浮遊飛沫感染リスクの分析を行った。換気性状と感染リスクの関係は定量的に把握出来ていない。CO₂ 濃度は換気量に左右され、エアロゾル濃度と関係する。温湿度は、インフルエンザウイルスの不活化に影響するとされている。特定建築物の室内空気環境は、2000 年以降に CO₂ 濃度の上昇傾向、冬期相対湿度の低下傾向があり、感染防止の観点で好ましくない。

感染リスクは、建築物、空調換気設備、維持管理、空気清浄やマスクなどの感染対策、感染者の行為や症状、被感染者の行為、滞在時間等の影響を受けるが、換気量が少なく、行為の代謝量が多い場合に感染リスクが高くなる。興行場では用途によって異なる行為があり、感染リスクに大きな幅がある。興行場においては、用途に応じた換気対策が必要である。

エアロゾル感染に関するエビデンスとして、政府機関による換気に関する啓発、夏期の熱中症、冬期の寒さ対策を踏まえた換気対策、WHO 等の国外情報等の建築環境対策と関連する知見を整理した。これらの知見は、今後のパンデミック時の空調換気運転のあり方、建築設備の設計と維持管理に関する課題を示した。

特定建築物の興行場に分類されるアイスアリーナにおける空調換気性状と COVID-19 集団感染との関連性、エアロゾル感染対策の立案と効果検証を行った。アイスアリーナには、氷の維持、結露や曇りの防止、霧の発生防止に配慮した設計が行われ、特有の空調換気設備と運転制御が行われている。アイスリンク内で選手などから発生したウイルスが冷氣溜まり中で蓄積し、透明防護パネルがない選手ベンチから流出して客席に拡散することを確認した。

興行場の用途、空調換気性状は多様であるため、感染リスクにも大きな差がある。多様性を踏まえた空調換気設備の設計と運転制御、感染対策が必要である。

A. 研究目的

2019 年 11 月に中国武漢市で「原因不明のウイルス性肺炎」が確認され、2020 年 3 月 11 日に WHO はパンデミック相当との認識を示した。我が国では、2 月 3 日に横浜港に寄港したクルーズ船で多数の感染者が確認され、その後、屋形船、ス

ポーツジム、病院など様々な場所でクラスター感染が発生した。厚生労働省は、2 月 25 日に「クラスター対策班」を設置し、3 月 1 日にクラスター感染に共通する条件として「換気が悪く、人が密に集まって過ごすような空間、不特定多数の人が接触する恐れが高い場所」を挙げ、換気対策の必

要性を世界に先駆けて示した¹⁾。6月17日に「熱中症予防に留意した『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気について」²⁾を示し、11月27日に「冬場における『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法」³⁾を示し、必要換気量を満たしているかを確認する方法として、室内の二酸化炭素濃度の測定を挙げた。

1970年に制定された「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）」では、室内の二酸化炭素（CO₂）濃度基準値が1000ppmとされており、特定建築物においては室内濃度の定期測定が行われ、その適合に向けて自治体が監視指導を行っている⁴⁾。CO₂濃度の基準はCO₂自体の人体影響によって定められているものではない。CO₂と共に発生する様々な空気汚染物質の人体影響を踏まえて、室内の空気環境を総合的に維持するための指標として定められている。従って、換気量を確保しこの基準値を持たすことで、新型コロナウイルスの感染をどの程度まで抑制できるかは明らかになっておらず、今後の調査研究が必要となっている。また、建築用途によって、COVID-19の感染リスクが異なると考えられるが、これまで建築用途を考慮した対策に関する研究は少ない。本研究では、興行場の室内空気環境の特徴を踏まえて、適切な換気対策を実施することを目標に、以下の研究を行った。

A1. 浮遊飛沫感染に関するエビデンス整理

室内空間中の飛沫の挙動と感染、室内環境とエアロゾル感染の関係、国内外の対策の動向に関するエビデンスを整理する。

A2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

A.1.に基づいて、浮遊飛沫感染機序を想定した上で、興行場内でも行為を設定して、COVID-19の感染リスクを想定する手法を策定する。さらに、室内空気環境の指標であるCO₂濃度と感染リスクの関係に関する試算を行う。

A3. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

2022年度までの国内におけるCOVID-19に対する建築環境対策と関連する知見を整理した。

A4. 集団感染と浮遊飛沫感染対策に関する調査

特定建築物の興行場に分類されるアイスアリーナにおける空調換気性状とCOVID-19集団感染との関連性、エアロゾル感染対策の立案と効果検証を行った。アイスアリーナには、氷の維持、透明防護ガラスの結露や曇りの防止、霧の発生防止などの特有の設計条件があり、特有の空調換気設備と運転制御が行われている。アイスアリーナ特有の換気性状と大規模集団感染の関係に関する調査と換気対策効果に関する検証を行った。

B. 研究方法

B1. 浮遊飛沫感染に関するエビデンス整理

COVID-19に与える、室内環境の影響に関する国内外の文献、厚生労働省「新興・再興感染症のリスク評価と危機管理機能の実装のための研究」等、国土交通省「ポスト COVID-19における空調・換気・通風計画のあり方検討委員会」等、日本建築衛生管理教育センター「新型コロナウイルス対策検討委員会」による調査研究による知見、国内学会（日本公衆衛生学会、日本建築学会、空気調和・衛生工学会、臨床環境医学会等）、海外の調査研究（世界保健機関 WHO、米国疾病予防センターCDC、欧州空調・換気設備学協会 REHVA 等）の見解を収集し整理した。

以上の知見に基づいて、換気と湿度の関係性、エネルギー消費等の関連要因を踏まえた考察を行い、COVID-19をはじめ従来のインフルエンザ等の感染症対策のための室内湿度基準の考え方について検討した。最後に、建築物衛生法の空気環境基準に基づく換気空調設備の設計や維持管理における新興・再興感染症への対応のために必要となる研究課題を抽出した。

B2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

室内環境中の感染対策の基本である換気及び空気清浄による浮遊飛沫濃度の抑制に注目した分析例を以下に紹介する。図 1-1 に、建築設備・維持管理と空間拡散感染の関係を示したフローを示す。建築設備の設計・施工、維持管理の状況が、換気量、捕集効率、室内温湿度に影響し、さらにはウイルスの減少率に影響する。温湿度の影響は、ウイルスの感染力低下（不活化）の速度に影響すると考えられるが、その程度は研究の過渡にあり定量的な評価はできない。市中感染の状況、在室密度や行為などの建物利用の状況等が、室内空間中の感染者数に影響する。また、感染者の症状やマスク利用によって、ウイルスの放出量が増える。ウイルスの減少率と放出量から、室内濃度を求めることができる。被感染者が吸引するウイルスの量は、この室内濃度とマスクの利用によって算出される。そして、感染の有無については、被感染者の体調等の感染しやすさ（被感染性）の影響を受けると考えられる。このフローを用いて、被感染者数を算出するためには、様々な関係性に関する定量化が必要であり、条件及び関係性を仮定すればウイルス吸引量を算出することは可能である。ここでは、空間拡散感染に関する状況がある程度明らかになっている広州のレストランの事例を基準に、作業レベルや室用途によってウイルス吸引量がどのように変化するか試算した結果を紹介する。この試算ではウイルス量を RNA 数で表現する。インフルエンザウイルスは 8 つの RNA を持っており、コロナウイルスは 1 つの RNA を持っ

ている。従って、新型コロナウイルスの場合、RNA 数はウイルス数と一致する。

室内の CO₂ 濃度は、CO₂ 発生量と換気量から算出することができる。ただし、これらが変化する場合にも濃度も変化することになるが、空間の大きさによってその変化の速度が異なる。従来、空間内瞬時一様拡散を仮定すれば、ザイデル式等によって濃度計算が可能である。発生量及び換気量に変化がないと、時間経過とともに換気による CO₂ の出入りが均衡して安定濃度に近づくことになる。人体からの CO₂ の発生量は、活動レベルによって変化する。従って、室内での発生量は、在室人数や室用途によって異なる。室内燃焼がない場合や、厨房のレンジフード等によって燃焼ガスが発生場所から速やかに排出される場合には、室内での CO₂ 発生源は人体のみであると考えられる。また、CO₂ 量は換気によって削減されるが、空気清浄機によって削減されることはない。

CO₂ の発生量は、在室者数と活動レベルの影響下にあるのに対して、RNA 発生量は、感染者数と活動レベルの影響下にあると考えられる。なお、活動量は呼吸量に関係し、さらに RNA 発生量に関係すると考えられる。一般に大きい室では、在室人数が多いことが想定され、設計換気量が大きくなっている。しかし、感染者数は感染状況や建築用途によって異なると考えられる。具体的には、クラスター感染の場合には、初期の感染者数は少ないが、時間経過とともに多くなり RNA 発生量が多くなることになる。

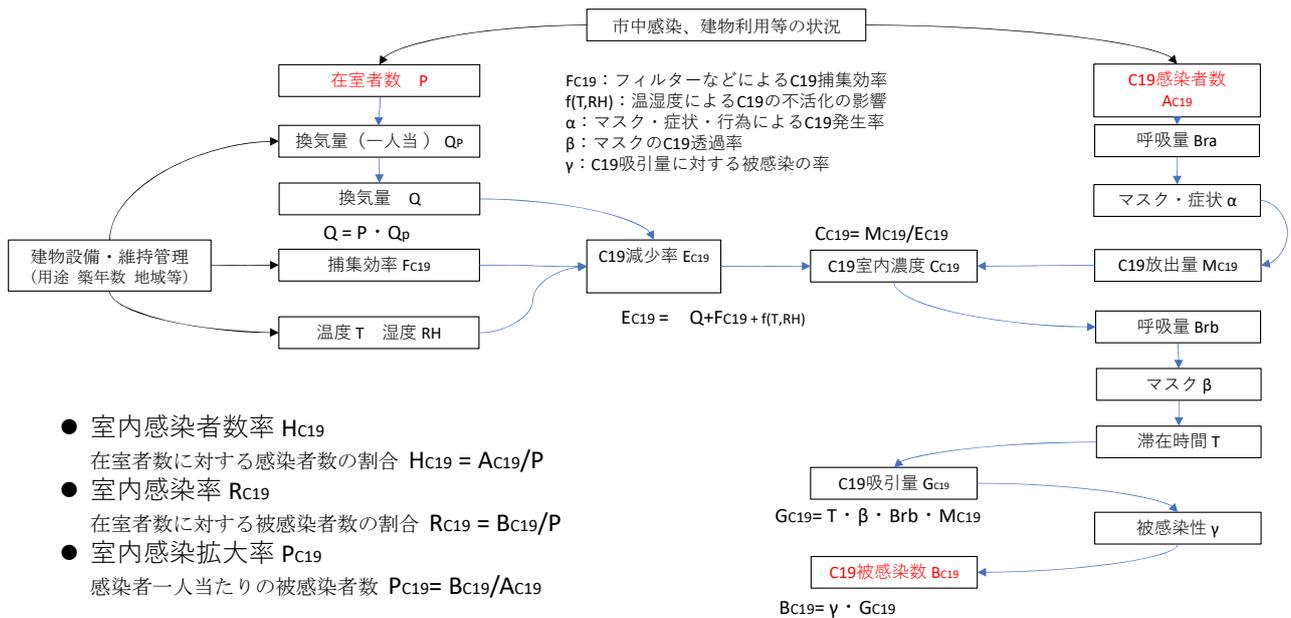


図 1-1 建築設備の設計施工・維持管理と空間拡散感染の関係

B3. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

COVID-19 に与える、室内環境の影響に関する国内外の文献、厚生労働省「新興・再興感染症のリスク評価と危機管理機能の実装のための研究」等、国土交通省「ポスト COVID-19 における空調・換気・通風計画のあり方検討委員会」等、日本建築衛生管理教育センター「新型コロナウイルス対策検討委員会」による調査研究による知見、国内学会（日本公衆衛生学会、日本建築学会、空気調和・衛生工学会、臨床環境医学会等）、海外の調査研究（世界保健機関 WHO、米国疾病予防センターCDC、欧州空調・換気設備学協会 REHVA 等）の見解を収集し整理した上で、我が国の COVID-19 に対する建築環境対策を時系列で整理し、その概要をまとめた。

B4. 集団感染と浮遊飛沫感染対策に関する調査

大規模な COVID-19 集団感染が発生したアイスアリーナを対象とした、2022 年 2 月～3 月に行われた冬期の集団感染発生時の換気性状に関する調査とエアロゾル対策効果の検証を行った。

C. 研究結果

C1. 浮遊飛沫感染に関するエビデンス整理

C1.1. 浮遊飛沫（エアロゾル）感染の機序

室内環境中でのウイルス感染の経路は、図 1-2 に示すように多様である。新型コロナウイルスの感染者からのウイルス発生量には、オーダーレベルのばらつきがあり、人体に侵入した後の感染の機序に不明な点が多い。従って、空調換気性状と感染の関係を定量的に評価することは非常に難しい。

図 1-3 に示すように、室内空気中のウイルスを含む飛沫(エアロゾル)は多様な挙動を示す。飛沫の粒径は、 $0.3\mu\text{m}$ 程度からその 1000 倍程度まで幅があると考えられる。大きな飛沫は重力落下するが、微小飛沫は、空気中に浮遊し続ける。また、微小飛沫の水分蒸発は速く、より軽くなり、より浮遊しやすくなる。また、空調換気等による室内気流の影響も受ける。このような状況を踏まえ、気流移動による風下での感染「風下感染」と空間拡散飛沫による感染「空間拡散感染」と仮に表現した。室内では「風下感染」と「空間拡散感染」が同時に発生していると考えられる。室内気流に変化がなく、人の位置関係が一定であると「風下感染」

のリスクが高まり、換気量が少ないと空間内の浮遊飛沫濃度が高くなり「空間拡散感染」のリスクが高まる。さらに、高濃度の室から室間移動し他室の感染リスクを高めると考えられる。

空間拡散感染の対策として、換気による浮遊飛沫の排出、空気清浄機等による浮遊飛沫の捕集が

挙げられる。これらは、室内の浮遊飛沫濃度を低減し被感染者へのウイルス到達を抑制する方法である。いずれの場合も、感染者の近傍での排出と補修が効果的であるが、室内空間内での感染者の位置を特定することは難しいため、空間内の平均濃度を下げることが対策の基本である^{5) -17)}。

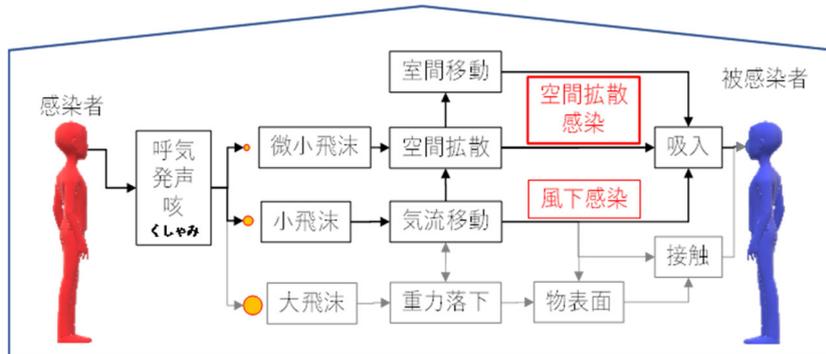


図 1-2 室内環境中の飛沫の挙動と感染経路

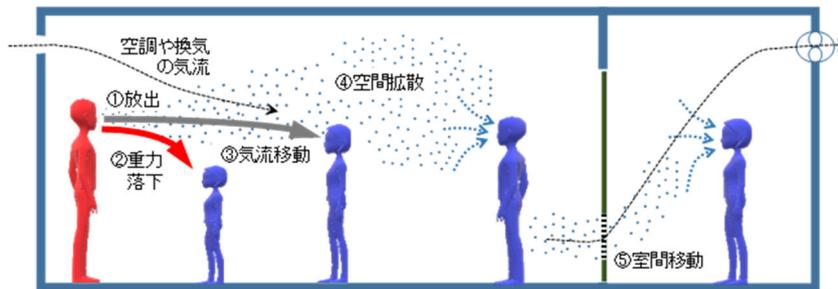


図 1-3 室内空気中の飛沫の挙動

日本における新型コロナウイルスの感染拡大の初期には、感染対策に必要な情報が不足し、温湿度の影響については、インフルエンザなどのそれ以前のウイルス感染に関する知見を参考にする必要があった。インフルエンザウイルス感染者から放出されるウイルス量は感染者によってオーダーレベルの差がある⁸⁾。また、インフルエンザウイルスに対しても、ウイルスを含む飛沫が人体に侵入した後の挙動や感染に関する機序には不明な点が多い。感染者から放出される飛沫の挙動は粒径によって異なるが、その挙動の違いがどれほど感染に影響するのか、という最も重要な点についても明らかになっていない。感染者の隔離施設につ

いては、空気感染を防ぐための換気等の基準⁹⁾⁻¹⁶⁾があったが、この基準を満たす建築物は極めて少なく、感染予防の条件とすること不可能であった。初期にクラスター感染が発生した屋形船、レストラン、スポーツジムの室内環境の特徴として、人の密度が高いことに加え、換気が悪く、鍋料理や運動による水蒸気発生が多いことが挙げられた(図 1-4)。人が多く運動や発声が多いと水蒸気発生量が多くなり湿度が高くなる。換気量が少ないと水蒸気排出量が少なく湿度が高くなる。ウイルスや二酸化炭素(CO₂)も同様に発生量が多くなり、換気量が少ないと濃度が高くなる。従って、湿度やCO₂濃度が高い室内環境は、ウイルス濃度が高

くなる特性を持つ。また、被感染者が運動や発声などで呼吸量が多くなると、ウイルスの吸引量が多くなり、感染リスクが高まると考えられる。

湿度がインフルエンザウイルスの感染に与える機構は明らかになっていない¹⁸⁾。インフルエンザウイルスに関する実験では、湿度が低いと空気中のウイルスの生存時間（感染力の持続時間）が長

くなる。また、湿度が高い場合も生存時間が長くなる。気道粘膜の維持のために低湿度を避ける必要があるが、ウイルスの生存時間の点では高湿度も避ける必要があることを示唆している。クラスター感染が発生した空間では、ウイルス濃度が高いことに加え湿度が高いことによって感染リスクが2重に高められた可能性が否定できなかった。

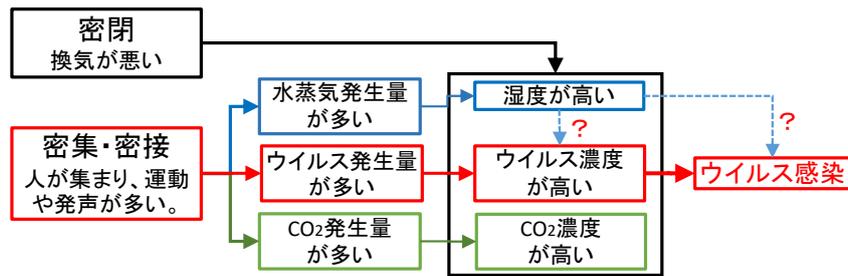


図 1-4 クラスター感染空間の室内空気環境の特性

C1.2. 室内空気環境とウイルス感染

これまでに、温湿度とインフルエンザウイルスの気中生存率に関する実験、室内空間での挙動や気中濃度の予測が試みられている。J.H.Hemmes 他は、気中ウイルスの死滅率の変化を測定し、温湿度の影響を調べ、インフルエンザウイルスの死滅速度は、相対湿度 15-40%の場合に対して、50~90%では顕著に速いことを示した¹⁹⁾。また、G.J.Harper は、気中ウイルスの生存時間を測定し、相対湿度が 34~36%の場合より 50~51%の場合の方が顕著に短いことを示した²⁰⁾。この結果を受け、Jeffrey Sharman 他は、絶対湿度の重要性を指摘し²¹⁾、倉渕他は絶対湿度と生存率の関係性を整理して大略的に絶対湿度倍増で生存率が 1/10 になるとした²²⁾。F. L. Schaffer 他は、インフルエンザウイルスは、50~80%RH で非常に不安定であることを示し²³⁾、Anice C.他は、動物曝露実験で 20°Cの条件では低湿と高湿の場合に感染伝搬力が高いことを示した²⁴⁾。

1970 年に施行された建築物衛生法の建築物環境衛生管理基準では、相対湿度の範囲を 40~70%としている。相対湿度の下限値の検討においては、

インフルエンザウイルスの感染抑制が要因として挙げられている。冬期の相対湿度維持に必要なエネルギー消費、設備容量などの観点も配慮され、インフルエンザウイルス感染抑制に必要な最低限の相対湿度が設定されたと考えられる²⁵⁾。「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」(小林陽太郎他)では、基準値の概念としては、理想値、目標値、推奨値、許容最低限度といった各段階があることを示し、相対湿度については単独に設定する意味は少ないとしつつ、推奨値を 55~70%とし許容限度の例として 35~70%を示した²⁶⁾。2003 年の建築物衛生法関連政省令改正に先んじた 2002 年 7 月の建築物衛生管理検討会(吉澤晋他)においては、「現時点では、主としてインフルエンザウイルス生存時間の観点から基準値を引下げることを合理化する科学的知見は得られていないので、基準値を改訂するには至らない。温湿度条件とインフルエンザウイルスの生存時間の関係についての再現試験が行われており、この結果が得られ次第、相対湿度の基準値を再検討することが適当である」とされた²⁵⁾。

2017~2019 年に行われた厚生労働科学研究「建

築物衛生管理基準の検証に関する研究²⁷⁾では、湿度基準の検証のために、湿度がインフルエンザウイルスの感染に与える影響に関するエビデンス収集と検討が行われた。低温、乾燥状態ではインフルエンザウイルスの感染リスクが増大することが疫学研究で報告され、感染リスクは絶対湿度の低下率と強く関係していることが示唆された。また、鳥インフルエンザウイルスの不活性化実験では、絶対湿度が大きく関係している。以上から、相対湿度の下限値を40%より低くする妥当性は現時点ではないとされた。

新型コロナウイルスに関する研究は、途上にある。温湿度がエアロゾル中のウイルスによる感染に与える影響は、エアロゾルの空気中の挙動への影響、物体に付着したエアロゾルへの影響、人体内における挙動及び感染への影響等が考えられる。

エアロゾルの空気中の挙動については、咳等によるエアロゾルの挙動の再現実験や気流解析等が行われている。既往の研究では、空気中のエアロゾル中の水分蒸発による粒径の縮小によってエアロゾルの到達距離が長くなることが示されている²⁸⁾。従って、粒径が小さく質量が小さいエアロゾルは、より長く空气中を浮遊することになる²⁹⁾。室内空气中のエアロゾル中のウイルスの活性は、相対湿度が70%の時に高くなることが報告されている³⁰⁾。一方、人工唾液を用いたエアロゾル中のウイルスの活性は、相対湿度が68~88%の場合よりも40~60%の場合の方が高いとする報告がある³¹⁾。

物体に付着したエアロゾルへの影響については、温度が24~35℃、相対湿度が20~80%の範囲で実験が行われ、相対湿度が高いとウイルスの活性が低下すること示されている³²⁾。

人体内における挙動及び感染への影響については、低温低湿の環境によって人体のウイルス感染防御

機能が低下することが従来知られている^{33),34)}。

温湿度がエアロゾル中のウイルスに与える影響については不明な点が多い。インフルエンザウイルスに関する研究においても、感染力を測定したエアロゾルの粒径分布、時間経過とともに生じる物理的变化が十分に把握されていない。また、実際の環境中でのエアロゾルの挙動、物理的变化を踏まえた、感染力の把握を行う必要がある。現在、実環境中のエアロゾルの物理的变化に関する研究、BSL3施設におけるチャンバー内のエアロゾルの感染力の実験が行われている。このような実験結果を検証し、実環境における温湿度の影響を早急に解明することが望まれる。

室内空気環境が、エアロゾルの粒径変化や空气中挙動に与える影響については、物理学的研究が従来行われている。前述の通り、人体から放出される飛沫の粒径には一定の中があるため、粒径ごとの挙動に留意する必要がある。室内空気中では飛沫中の水分が蒸発し粒径が減少することが知られている。表1-1に、飛沫の水分蒸発の粒径変化を示し、図1-5には同表をグラフで示したものを示す。粒径が小さいほど粒径変化速度が大きくなることを示している。図1-6には、粒径変化速度(dr/dt)の近似式を用いて、初期粒径10 μm の場合の粒径変化を試算した結果を示す。実際には、室内空気の温湿度によって最終粒径が決まると考えられるが、この試算結果は10 μm の飛沫は5秒以内に最終粒径になることを示している。最終粒径については、相対湿度50%以下では元の飛沫の大きさの40%程度、相対湿度90%では元の飛沫の大きさの50%程度になるとされている³⁷⁾。飛沫中の水分の率については、症状や人体内の発生場所などによって異なると考えられるため、今後の研究と新たな知見が望まれる。

表 1-1 飛沫の水分蒸発と粒径変化^{34), 35), 36)}

Evaporation time T_e (sec)	Initial diameter r_0 (μm)	Decrease rate dr/dt ($\mu\text{m}/\text{sec}$)	Reference
0.001	1	17.20	1)
0.08	10	5.64	1)
0.8	20	4.03	2)
1.3	40	2.88	1)
2	50	2.59	3)
24	200	1.32	3)

1) W. C. Hinds, *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*, John Wiley & Sons (1982).
 2) Morawska L et al.: Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*. 40, 256–269. (2009)
 3) Xie X et al.: How far droplets can move in indoor environments – revisiting the Wells evaporation–falling curve. *Indoor air*. 17: 211–225. (2007)

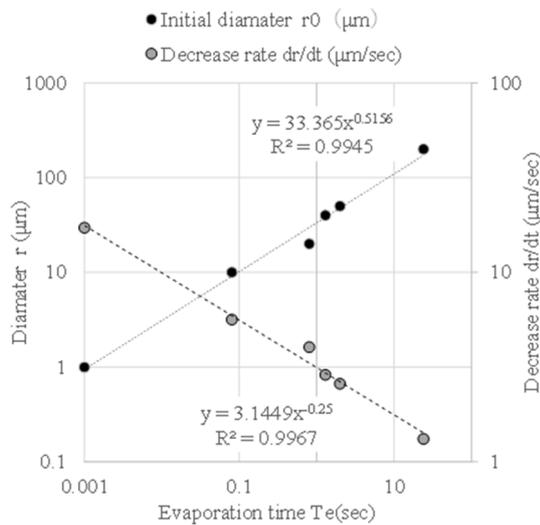


図 1-5 飛沫の粒径と蒸発時間(表 1 をグラフ化)

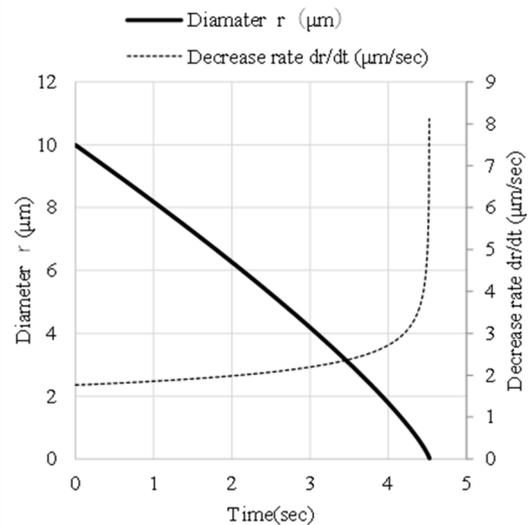


図 1-6 飛沫粒径の変化(初期粒径 10 μm)

粒径によって、落下速度が異なると共に、浮遊性状にも影響することが知られている。図 1-7 は、温湿度が浮遊飛沫数の変化に与える影響に関する実験³⁸⁾のである。本実験では、不活化した新型コロナウイルスの懸濁液をステンレス製のチャンバー内に噴霧した後の浮遊飛沫(エアロゾル)数の推移を、パーティクルカウンター(KANOMAX Model3889)で測定した。浮遊飛沫(エアロゾル)数は、粒径によって異なる推移を示した。粒径 0.5 μm 以上の数は概ね初期より減少するが、粒径 0.3 μm 以下の数は約 3.5 時間(210 分)にわたって次第に増加した後に緩やかに減少した。この現象の原因には、A:飛沫からの水分蒸発による粒径

の減少、B:飛沫の分裂による粒径の減少、C:重力沈降や静電気による表面への吸着などが考えられる。なお、この実験では静電気防止スプレーによって静電気の影響を抑えている。また、予備実験でチャンバー内に表面結露が発生した場合に急激に浮遊飛沫(エアロゾル)数が減少したことから、表面結露が発生しないようにチャンバー天井部の温度低下を抑えるために保冷剤下部を断熱した。

同図右に、初期の飛沫数に対する 6 時間(360 分)後に浮遊している飛沫数の比(エアロゾル数比)を示す。エアロゾル数比は、絶対湿度 AH(温度及び相対湿度)の影響を受けることが示された。温度 20 $^{\circ}\text{C}$ の場合、相対湿度が 40~70RH%のエア

ロゾル数比が大きくなることとなった。絶対湿度 AH が低い場合には $0.3\mu\text{m}$ の比率が小さく、絶対湿度 AH が高い場合には $0.3\mu\text{m}$ の比率が比較的大きい。このような絶対湿度の影響に関する仮説としては、絶対湿度 AH が低いことによって、静電気による吸着効果が顕著となって特に粒径が小さい浮遊飛沫（エアロゾル）の数が減少した。また、絶対湿度 AH が高いことによって、浮遊飛沫からの水分蒸発による粒径減少や分裂が抑制され

ること、部分的な表面の濡れによって吸着が促進されたことによって、浮遊飛沫（エアロゾル）数が減少したことが考えられた。本実験は、小型のチャンバー（約 0.2 m^3 ）を用いて行われたため、実際の室内空間での挙動と異なる可能性があるが、温湿度が浮遊飛沫（エアロゾル）の挙動に影響することを示した。また、温湿度と感染力との関係については、今後の実験の成果が望まれる。

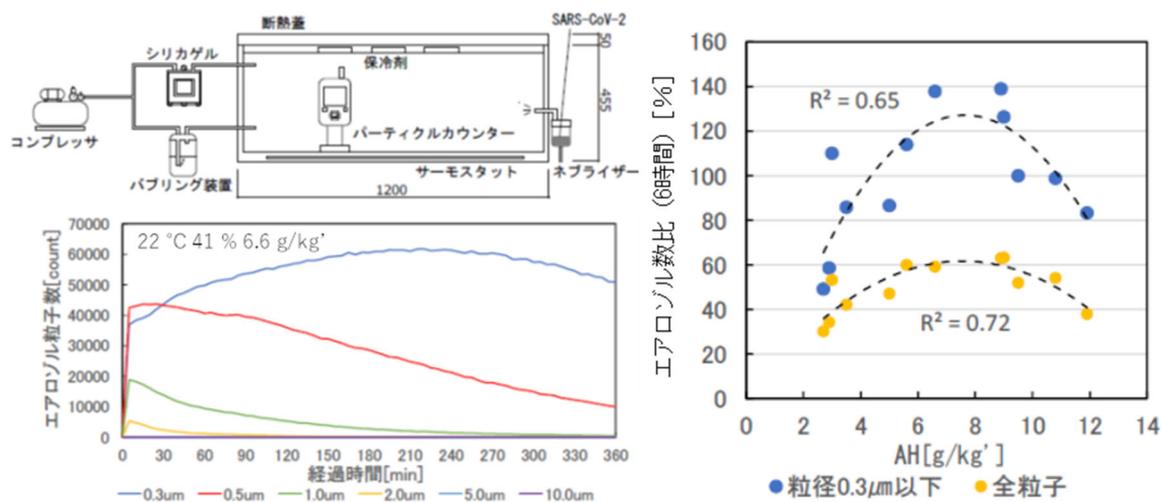


図 1-7 温湿度が浮遊飛沫数に与える影響に関するチャンバー実験³⁸⁾

建築空間内での浮遊飛沫の挙動に関する測定例は少ない。冬期暖房時（室内温度 21°C 、室内相対湿度 13% ）に、教室内でネブライザーから浮遊飛沫を放出し、換気扇、空気清浄機の効果を測定した例³⁹⁾を以下に示す。本実験は、発生後のエアロゾル数の変化の状況が、新型コロナウイルスの懸濁液の場合と比較的近い、経口補水液（OS-1）を用いて実施された。図 1-8 に、放出開始後の浮遊飛沫数をパーティクルカウンター（KANOMAX Model3889）で測定した全粒径合計値を示す。同図右上のグラフは換気扇を停止した場合の結果であるが、浮遊飛沫（エアロゾル）は 5 分程度で空間内に拡散し、その数は少なくとも 60 分間にわたって全く減少しなかった。同図右下に、換気扇を運転した場合を示すが、発生終了後に浮遊飛沫数は減少し、外気濃度に近づく変化を示した。空気

清浄機を運転した場合も、同様の減少がみられた。この実験では、冬期暖房時の低湿度環境においては、浮遊飛沫は空気と同様の挙動を示し、換気量及び空気清浄機の相当換気量に対応した濃度減少が生じることが確認された。

図 1-9 に、教室で換気扇を停止した状態での浮遊飛沫（エアロゾル）数の粒径ごとの推移を示す。合計値（ $0.3\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ ）は、60 分間にわたり大きな変化はないが、 $0.3\mu\text{m}$ は増加するとともに、 $0.5\mu\text{m}$ と $1.0\mu\text{m}$ は減少した。前述の浮遊飛沫（エアロゾル）中の水分蒸発による秒単位の粒径変化に比べると、本実験の変化が大幅に遅いことから、水分蒸発とは別の原因で粒径の小さな浮遊飛沫（エアロゾル）が増加している可能性がある。原因の候補としては、大きな飛沫が分裂して小さな飛沫を発生させたことが考えられる。

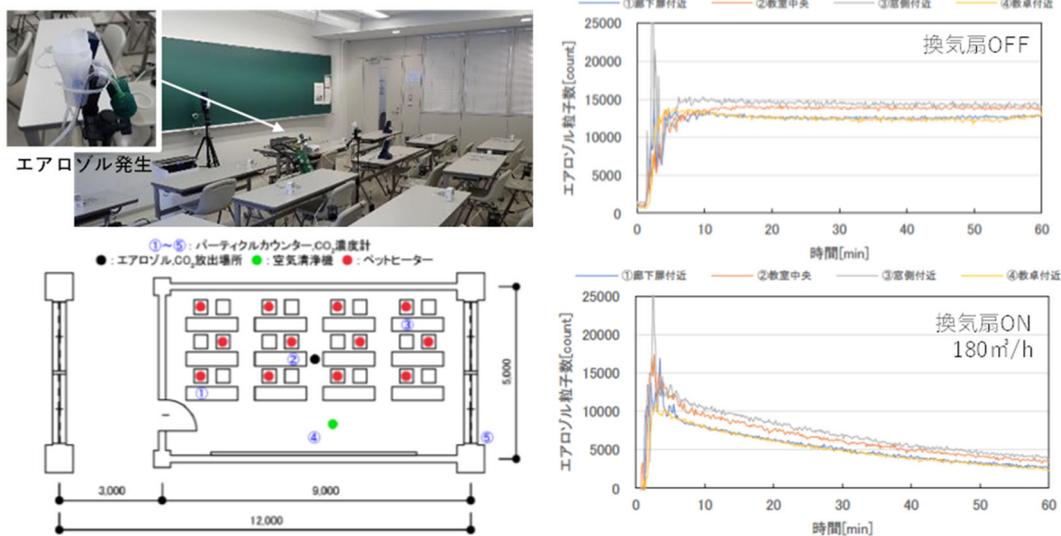


図 1-8 換気及び空気清浄機を用いた教室の浮遊飛沫数に関する実験³⁹⁾

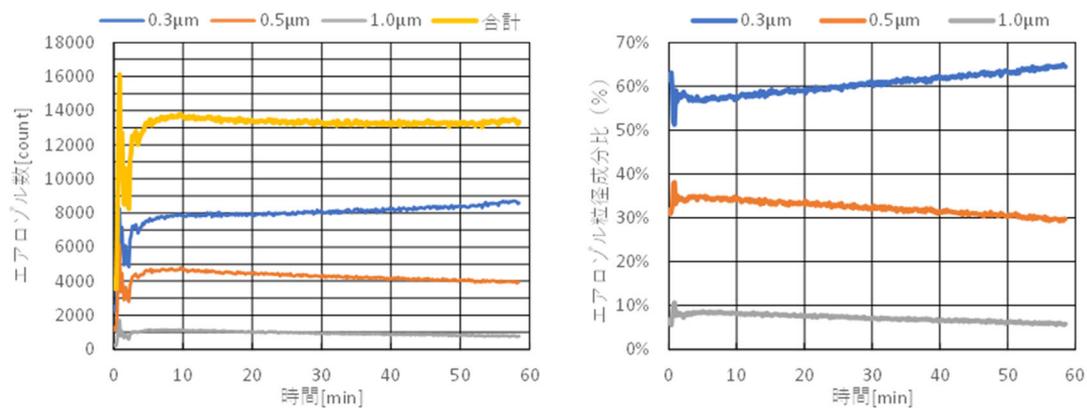


図 1-9 浮遊飛沫の粒径別の推移(教室・換気扇 OFF)³⁹⁾

C1.3. 建築物の室内空気環境の実態

日本では、1960年代の建築物の大型化や高層化に伴って、建築物の衛生環境の悪化に伴う健康影響が指摘された⁴⁰⁾。1970年に「建築物における衛生環境の確保に関する法律（建築物衛生法）」が制定され、空調、給水等について建築物環境衛生管理基準が定められた⁴¹⁾。建築物衛生法では、興行所、百貨店、集会場、図書館、博物館、美術館、遊技場、店舗、事務所、学校、旅館の特定用途に使用される建築物を「特定建築物」とし、自治体による立入検査等の監視指導対象としている。また、1980年代には米国において建材などの化学物質

によるシックビル症候群が発生し、その対策として材料や換気の基準が検討された。日本では、2003年の建築基準法改正、いわゆるシックハウス対策法において、ホルムアルデヒド等の化学物質の使用制限、換気設備の設置義務が求められることとなった。建築物衛生法についても、制定後の建築物の省エネルギー化、シックハウス問題等の建築物に係る状況の変化に対応するため、2002年に政省令改正が行われ特定建築物の対象、空調・換気設備の対象、空気環境の管理項目の追加などの見直しが行われた。建築物衛生法に基づく建築物衛生管理は、ビルメンテナンス業、自治体、衛生

管理に関する教育研究組織による他国に類を見ない組織的な体制によって支えられている。日本では、住宅におけるシックハウス症候群が顕在化した。大型の建築物においてシックビル症候群が顕在化しなかった要因として、建築物衛生法に基づく換気確保が挙げられている。

建築物衛生法の建築物衛生管理基準では、室内の浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒドに関する基準値を設けている。一酸化炭素は、燃焼や喫煙によって発生し、中毒など人体に有害な影響をもたらすことを踏まえて、基準値が 10ppm となっている。二酸化炭素は、それ自体が人体に与える影響のみによって基準値が定められていない。二酸化炭素とともに発生する人体からの臭気、燃焼ガス中の汚染物質の影響を想定した総合指標として、二酸化炭素濃度を国際基準に準じて 1000ppm としている。空気調和・衛生工学規格では、人体から発生する二酸化炭素量に基づき、1人あたりの必要換気量を約 30m³ 毎時とし、居室の在室密度に応じた必要換気量を示している。相対湿度の基準は、前述のインフルエンザ等の感染症の対策の他に、カビ、ダニの繁殖によるアレルギー疾患の予防等を踏まえて、40～70%とされている。

これらの基準への適合は、測定業者による定期的測定によって確認され、自治体の立入検査によ

って指導が行われている。全国の自治体の立入検査結果は、行政報告例として集計され概況が公表されている。図 1-10 に空気環境の基準に対する不適率 (Nonconformity rate Rnc%) を示す。湿度、温度、二酸化炭素濃度は不適率が高く 1999 年度以降に継続的な上昇が見られる。また、温度は 2011 年度から 2014 年度に一時的な上昇が見られる。空気環境の不適率の上昇要因として、1999 年の省エネルギー法改正にともなう換気量、設定温湿度の調整、個別空調の普及、2011 年の東日本大震災後の節電に伴う設定温度の調整の影響の可能性が伺える。したがって、このような変化が特定建築物だけではなく建築物全般で起きている可能性は否定できない。二酸化炭素の不適率の上昇は、換気が不足している建築物の増加を意味していると考えられる。また、相対湿度の不適率の増加は、主に冬期の低湿度の増加によるものであり、加湿の能力不足が広がっていることを示している。二酸化炭素の不適率増加は、ウイルス感染のリスクが上昇していることを示していると考えられる。また、相対湿度の不適率の増加は、従来のインフルエンザの感染リスクが高まっていることを示している。しかし、新型コロナウイルスの場合は、前述のように相対湿度の感染力への影響は不明である。

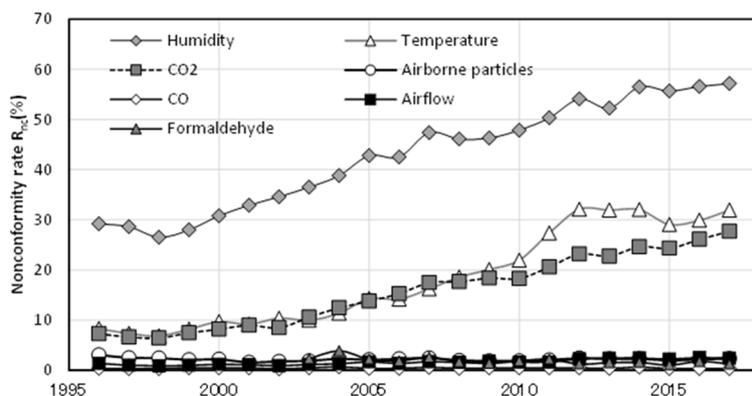


図 1-10 特定建築物における空気環境の不適率

高齢者施設等福祉施設は、健康ハイリスクの入居者が利用する建築物である。上記の建築物衛生法の特定建築物は不特定多数の利用者を想定しているために、福祉施設については、保健所などの自治体が立入検査などで空気環境を調査することはない。このため、保健所などはインフルエンザ等の感染症対策の観点で、温湿度等の適切な維持、換気の必要性などの、室内空気環境に関する啓発を行ってきた。しかし、立入検査や行政指導に必要な法的根拠が明確ではないために、室内空気環境に関する情報収集が十分に行われておらず、実態が把握されていなかった。このような状況の中で、2012年から国立保健医療科学院を中心に大学などの研究機関によって、建築・空調設備、維持管理体制、室内空気環境等の実態に関する調査が行われている^{42)~44)}。

従来のインフルエンザの感染対策では、冬期に換気量を確保し湿度を維持することが求められている。換気量を増やすと水蒸気排出量が増え加湿負荷が増大してしまう。このため、換気量を適正に制御して湿度を維持することが必要となる。インフルエンザの空気感染予防のためには気中インフルエンザウイルス濃度の低減が必要である。このためには湿度を維持して気中インフルエンザウイルスの生存率を低下させ、換気量を確保して気中インフルエンザウイルス濃度を希釈することが必要である(図1-11)。しかし、これらの方法は換気による熱損失及び加湿のためのエネルギー消費を増大させることとなる。効率的にエネルギーを使用してインフルエンザ空気感染予防を行うためには、換気量及び加湿量の最適設定が必要となる。しかし、新型コロナウイルスの感染予防に適した湿度域が従来のインフルエンザの場合と異なる可能性は否定できない。

図1-12に、国内の特別養護老人ホームの冬期室内環境の測定結果を示す。図中の左に示す室内温度は、ほとんどの時間に25~26℃の範囲にあり、

建築物衛生法の基準(17~28℃)を満たしている。しかし、相対湿度はほとんどの時間に40%以下になっており、上記基準(40%以上)を満たしていない。同図右に示す1人当り換気量は、CO₂濃度基準(1000ppm)を満たす30 m³/人をほとんどの場合超えている。この図の一人当たり換気量は、CO₂濃度から算出したものである。CO₂濃度が1000ppmよりも十分低いことからこのような結果となった。換気量が多い理由は、換気設備の風量が大きいこと、泄処理時の臭気対策のための窓開け、インフルエンザ等の感染症対策のための窓開けによる考えられた。暖房によって室温が比較的高めに維持されているとともに換気量が多いため、相対湿度が低くなっていると考えられた。すべての施設で、インフルエンザ等の集団感染の防止、皮膚の乾燥防止のために、多数の加湿器が用いられ湿度維持が試みられていたが、上記の原因によって低湿度になっていた。このような状況は、以下のような問題点と関係していると考えられた。加湿器への給水、清掃が職員の負担になっている上、加湿器内のレジオネラ等の細菌汚染による感染リスクが発生している。窓開けによる空気の流れの変化によって、個室で発生する臭気が廊下に流出し、施設全体に臭気を広げており、職員に精神的負担をもたらしている。このように湿度や換気の制御が十分にできていない状況は、新型コロナウイルス感染症の集団感染の制御の観点からも問題である。特に空気の流れが計画されていない状況は、浮遊飛沫(エアロゾル)感染の対策を計画することを困難にしている。

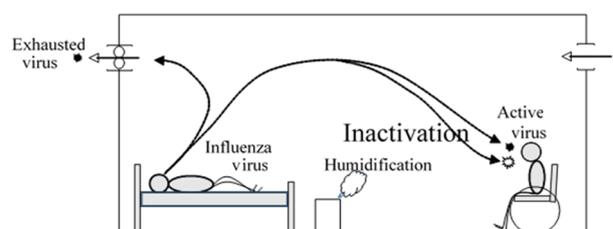


図1-11 室内のインフルエンザウイルスの挙動

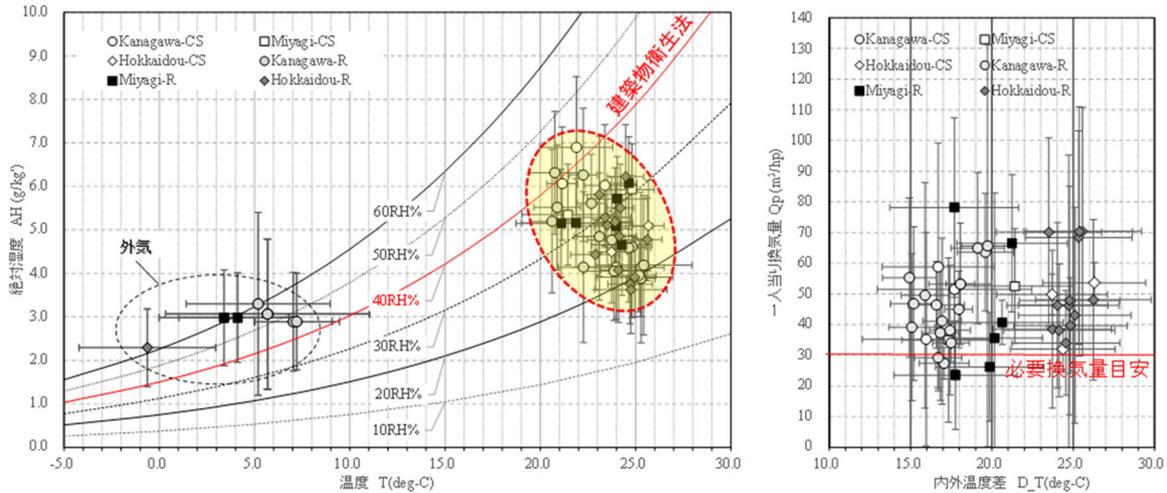


図 1-12 国内の高齢者施設(特別養護老人ホーム)の室内空気環境

C2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

はじめに、作業レベルを考慮したウイルス RNA 吸引数に関する試算を行った。作業レベルによって呼吸量が増え、CO₂ 排出量及びウイルス排出量が増え、室内における作業レベル、滞在時間、在室人数、感染者数、呼吸量を想定し、ウイルス RNA 吸引数を試算した。広州のレストランの事例については、多人数がテーブルで飲食した状況から安静時よりも多くの呼吸量を設定した。感染者から放出される RNA 数には大きな幅があるため、呼気 10L 中の RNA 数を既往の研究⁸⁾に基づいて、平均値 (Mean) を 250 とし最大値(Max) を 2500 とした。また、室内感染者数を 1 名と仮定した。マスクの効果については、既往研究及び実際の着用実態を踏まえ RNA 透過率 50% とした。広州のレストランの事例^{46), 47)}では、滞在時間 1.5 時間、在室者数 21 名、感染者数 1 名、呼吸量 1 m³/h と想定した。安静や中作業の場合に、RNA 数が広州レストランの事例に対してどの程度の比になるかを算出した結果を図 1-13 に示す。図中のプロットのラベルは、作業レベル・在室者一人当たりの換気量を示している。図中の安静 30 (作業レベルが安静で一人当たり換気量が 30 m³/(h・人)) の場合、広州レストランに対する RNA 吸引数比は、マスクなし Mean

(マスクなしで RNA 発生量が平均レベル) の場合で 0.09 である。中作業 30 の場合は、マスクなし Mean の RNA 吸引数比は、2.42 となる。マスクありの場合は、それぞれ 0.02、0.6 となる。

また、換気量が 60 になると、RNA 吸引数比は 30 の場合の 0.5 になる。同図の横軸に安定 CO₂ 濃度を示す。同図は、安定 CO₂ 濃度が高い場合 (換気量が少ない場合、CO₂ 発生量が多い場合、これら両方の場合) に、RNA 吸引比が大きくなる傾向があることを示している。しかし、安定 CO₂ 濃度の場合でも、マスクの有無及び RNA 発生量によって、RNA 吸引数比に大きな差が生じている。このことから、CO₂ 濃度は換気の不足や空間拡散感染リスクを推察する参考にはなるが、CO₂ 濃度によって個々の室内における空間拡散感染のリスクを定量的に判断することは難しいと考えられる。

表 1-2 試算に用いた数値

	滞在時間	在室人数	感染者数	呼吸量
広州事例	1.5 h	21 人	1 人	1.00 m ³ /h
安静	3.0 h	10 人	1 人	0.45 m ³ /h
中作業	3.0 h	10 人	1 人	2.40 m ³ /h
マスク効果：ウイルスの50%が通過				

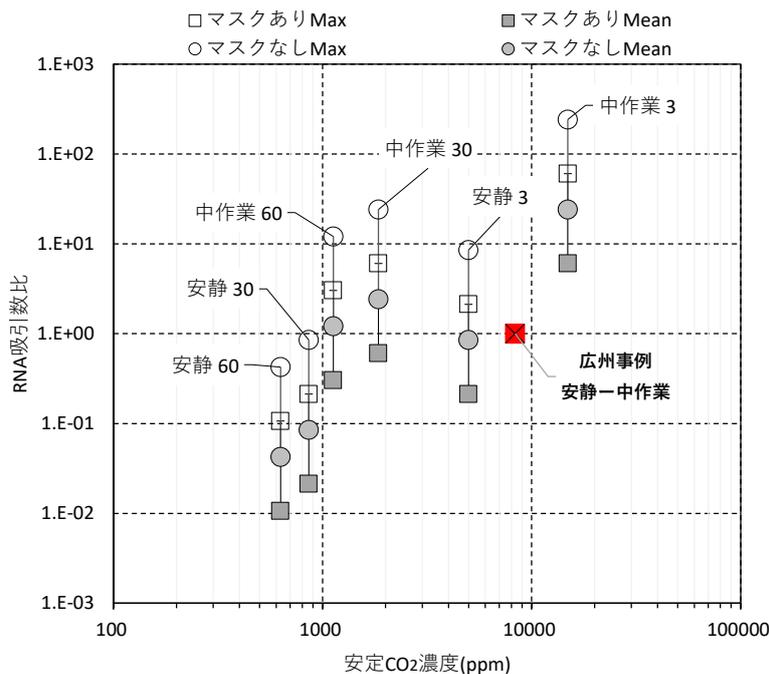


図 1-13 作業レベルを考慮したウイルスRNA吸引数比に関する試算結果

次に、室用途を考慮したウイルス RNA 吸引数比に関する試算を行った。室用途によって、作業レベル、在室時間等の条件が想定できる。図 1-14 に、病室等（病院の病室、高齢者施設等の福祉施設の寝室）、事務室、教室（大学等の講義室）、住宅、飲食店を例に、感染者が 1 人の場合の RNA 吸引数比を試算した結果を示す。図中のプロットのラベルは、用途・在室時間・マスクの有無（M:マスクあり、:マスクなし）・在室者一人当たりの換気量を示している。例えば、「学校 8M30」は、学校で在室時間 8 時間、マスクあり、一人当たり換気量 30 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ の場合を示す。なお、在室者数は、病室等 4 人、事務室 100 人、教室 40 人、住宅 4 人、飲食店 20 人として試算している。また、呼吸量は、病室等 0.45、事務室 0.6、教室 0.6、住宅 0.45、飲食店 1.0 (m^3/h) として試算している。病室等では、在室時間が長い上マスクなしを想定しているために、一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 発生量が平均値 (Mean) の RNA 吸引数比は 1.7 で、1.0 (広州事例) より大きい。また、これまでのクラスター感染が発生した病院で測定された換気量

に近い場合 (1 人当たり換気量が 1.0 の場合と 5.0 の場合)⁴⁸⁾には、RNA 吸引数比がそれぞれ 10.2、51.0 と非常に大きくなった。住宅も在室時間が長いとともにマスクなしを想定しているために、一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 吸引数比は 0.85 であり、1.0 (広州事例) に近い。事務室と教室では、マスクありと想定している。一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 吸引数比は、事務室で 0.01、教室で 0.03 と比較的小さくなった。事務室の方が教室より小さくなった理由は、在室人数が多いことである。より小規模で在室者数が少ない事務室の場合、在室者数に対する感染者数の率が高くなるため RNA 吸引数比が大きくなる。飲食については、一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 吸引数比は、在室時間が 1 時間の場合に 0.07、4 時間の場合に 0.28 となった。なお、基準とした広州事例ではクラスター感染に相当する感染が発生しているため、RNA 吸引数比が 1.0 では感染抑制が期待できないと考えられる。

横軸の安定 CO_2 濃度との関係を見ると、安定 CO_2 濃度が高いと RNA 吸引数比が高い傾向が大

略的にはみられるが、同一の安定 CO₂濃度においても、RNA 吸引数比には 102 以上の開きがある。この幅の要因には、在室時間、作業レベル、マスクの有無、RNA 発生量がある。CO₂濃度だけでなく、これらの要因にも配慮することが重要である。

今回の試算は、新型コロナウイルスの初期の集団感染事例（広州事例）を基準にしている。その後に発生している変異株の感染力はより高い場合がある。この場合には、より高いレベルの空間拡散感染対策が必要であると考えられる。

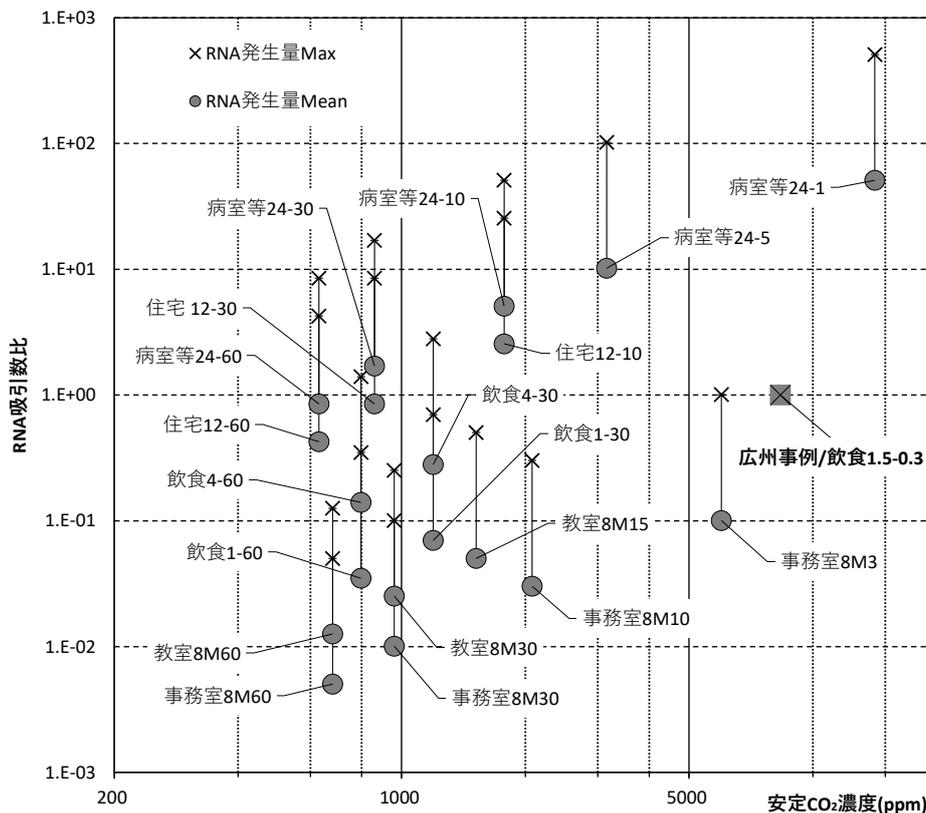


図 1-14 室用途を考慮したウイルス RNA 吸引数比に関する試算結果

興行場における行為は多様であるため、既往のエビデンスでは正確に、代謝量、呼吸量を想定することは難しい。入手可能な資料を参考⁴⁹⁾に、興行場における主な行為による代謝量を想定した。表 1-3 に、興行場における主な行為と観客の代謝量、代謝量から算出した呼吸量をします。さらに、在室者に占める行為者の率（行為者率）を想定し、一人当たり換気量が 30 m³ / (h・人) の場合の行為者及び観客の呼吸吸引量を示す。呼吸吸引量は以下の式のように、呼吸量と換気量から算出した室内空気中の呼吸の濃度に呼吸による吸引量を乗じて算出したものである。なお、α=0.45 とし、βは

100%、50%、10%、5%の場合について、呼吸吸引量を算出した。β=100%の場合は、観客がいない場合に相当する。この状況は、映画館、遊戯施設、ライブハウスのように観客がすべて行為者である施設、観客席がなく競技の練習をする施設で見られる状況であると考えられる。βが小さい場合は、行為者に対して観客が多い場合に相当する。音楽ホール、劇場、競技場（スポーツ施設）で見られる状況であると考えられる。

$$M_{ra} = \alpha \cdot MET \cdot \dots \cdot \text{式 1}$$

M_{ra} : 呼気発生量 (Release rate of respiratory air)

α : 呼吸量換算係数

(Ratio of respiratory air rate toward MET)

MET : 代謝量 (Metabolic equivalent)

Q_p : 一人当たりの換気量

(Ventilation rate a person)

$$S_{ra-play} = M_{ra-play} \cdot C_{ra} \cdot \dots \cdot \text{式 3}$$

$$C_{ra} = \frac{\beta \cdot M_{ra-play} + (1 - \beta) \cdot M_{ra-view}}{Q_p} \cdot \text{式 2}$$

$S_{ra-play}$: 行為者の呼気吸引量

(Player's suction rate of respiratory air)

C_{ra} : 呼気濃度

(Respiratory air concentration)

$M_{ra-play}$: 行為者からの呼気発生量

(Release rate of respiratory air from player)

$M_{ra-view}$: 観客からの呼気発生量

(Release rate of respiratory air from viewer)

β : 在室者数に対する行為者の割合

(Rate of number of players toward number of people in a space)

$$S_{ra-view} = M_{ra-view} \cdot C_{ra} \cdot \dots \cdot \text{式 4}$$

$S_{ra-view}$: 行為者の呼気吸引量

(Viewer's suction rate of respiratory air)

表 1-3 に示すように、施設及び行為の種類、行為者の率によって、行為者及び観客の呼気吸引量は大きく異なる。また、呼吸量が多い行為者の方が観客よりも呼気吸引量が多くなる。

表 1-3 興行場における行為の想定と呼気吸引量

施設	行為	METs		呼吸量 (m ³ /h)				室内平均呼吸量 (m ³ /h)				行為者の呼気吸引比 (対安静)				観客の呼気吸引量比 (対安静)				引用文献 1) の記述	
		行為者	観客	行為者	観客	100%	50%	10%	5%	100%	50%	10%	5%	100%	50%	10%	5%				
映画館	映画	1.5	1.5	1.5	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	映画を見る	
	4 Dx	2.5	2.5	1.5	1.13	1.13	0.68	1.13	0.90	0.72	0.70	6.3	5.0	4.0	3.9	3.8	3.0	2.4	2.3	楽な労力	
遊戯施設	ゲーム	2.3	5.0	1.5	1.04	2.25	0.68	1.64	1.16	0.77	0.72	13.3	9.4	6.3	5.9	5.5	3.9	2.6	2.4	アクティブビデオゲーム: 楽な労力-ブートキャンプトレーニング	
	ダンス	3.0	7.8	1.5	1.35	3.51	0.68	2.43	1.55	0.85	0.76	29.2	18.6	10.2	9.2	8.1	5.2	2.8	2.5	社交ダンス-ディスコ	
音楽ホール	クラシック等	2.3	2.3	1.5	1.04	1.04	0.68	1.04	0.86	0.71	0.69	5.3	4.4	3.6	3.5	3.5	2.9	2.4	2.3	チェロ演奏-指揮	
ライブハウス	ロック等	5.5	5.5	1.5	2.48	2.48	0.68	2.48	1.58	0.86	0.77	30.3	19.3	10.5	9.4	8.3	5.3	2.9	2.6	マーチングバンド: 早いペース	
劇場	演劇・歌舞伎等	5.0	5.0	1.5	2.25	2.25	0.68	2.25	1.46	0.83	0.75	25.0	16.3	9.3	8.4	7.5	4.9	2.8	2.5	教会でスピリチュアルダンスを踊る	
	バレエ	5.0	6.8	1.5	2.25	3.06	0.68	2.66	1.67	0.87	0.77	34.8	21.8	11.4	10.1	8.9	5.6	2.9	2.6	リハーサル-公演	
競技場 スポーツ施設	バレーボール	3.0	6.0	1.5	1.35	2.70	0.68	2.03	1.35	0.81	0.74	20.3	13.5	8.1	7.4	6.8	4.5	2.7	2.5	全般-試合	
	バスケットボール	4.5	8.0	1.5	2.03	3.60	0.68	2.81	1.74	0.89	0.78	39.1	24.2	12.3	10.9	9.4	5.8	3.0	2.6	練習-試合	
	バドミントン	5.5	5.5	1.5	2.48	2.48	0.68	2.48	1.58	0.86	0.77	30.3	19.3	10.5	9.4	8.3	5.3	2.9	2.6	練習	
	テニス	4.5	8.0	1.5	2.03	3.60	0.68	2.81	1.74	0.89	0.78	39.1	24.2	12.3	10.9	9.4	5.8	3.0	2.6	ダブルス-シングルス	
	卓球	4.0	4.0	1.5	1.80	1.80	0.68	1.80	1.24	0.79	0.73	16.0	11.0	7.0	6.5	6.0	4.1	2.6	2.4	全般	
	柔道・剣道	5.3	10.3	1.5	2.39	4.64	0.68	3.51	2.09	0.96	0.82	60.8	36.3	16.6	14.2	11.7	7.0	3.2	2.7	2.7	武術: 初心者-ほとほとのペース
	体操	3.8	3.8	1.5	1.71	1.71	0.68	1.71	1.19	0.78	0.73	14.4	10.1	6.6	6.1	5.7	4.0	2.6	2.4	全般-試合	
	水泳	4.8	4.8	1.5	2.16	2.16	0.68	2.16	1.42	0.82	0.75	23.0	15.1	8.8	8.0	7.2	4.7	2.7	2.5	2.5	背泳ぎ-バタフライ
	アイスホッケー	8.0	10.0	1.5	3.60	4.50	0.68	4.05	2.36	1.01	0.84	81.0	47.3	20.3	16.9	13.5	7.9	3.4	2.8	2.8	全般-試合
	スケート	7.0	7.0	1.5	3.15	3.15	0.68	3.15	1.91	0.92	0.80	49.0	29.8	14.4	12.4	10.5	6.4	3.1	2.7	2.7	スケート一般
カーリング	4.0	4.0	1.5	1.80	1.80	0.68	1.80	1.24	0.79	0.73	16.0	11.0	7.0	6.5	6.0	4.1	2.6	2.4	2.4	全般	
基準施設	安静 (MET=1)	1.0	1.0	1	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	Met= 1 (安静)

1) 国立健康・栄養研究所 中江、田中、宮地、改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』 2012年4月11日改定

出展 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. Med Sci Sports Exerc. 2011, 43(8):1575-1581.

図 1-15 に、表 1-3 に示す行為者と観客の呼気吸引量の試算結果を示す。行為者については、B 場大きいほど、呼気吸引量が大きくなる。行為ごとに見ると、アイスホッケー、スケート、柔道・剣道、テニスバスケットボードの順に多い。映画、4 Dx、クラシック等は比較的少ない。ただし、同図に示す基準施設・安静 (MET=1) の場合に比べると、いずれも大きい。一人当たり換気量を $30 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$ としおり、安静 (MET=1) の場合の行為者の呼気吸引量は、 $0.45 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。また、この条件での室内 CO_2 濃度は建築物衛生法の基準値 1000ppm になると考えられる。従って、試算対象の興行場及び行為では、いずれもこの CO_2 濃度基準を満たさないと考えられる。すなわち、興行場では、呼吸量が安静時よりも大きくなるため、事務所などを想定した必要換気量を満たす換気設計

では、 CO_2 濃度基準を満たさないことがこの計算で確認できる。また、浮遊飛沫及びウイルスの RNA については、呼吸量が多いことによって呼気量と吸引量がともに増加することで、呼気吸引量が 2 重に増加することになる。これによって、代謝量及び呼吸量が大きい行為については、浮遊飛沫及びウイルス RNA の吸引量が顕著に増加することとなる。なお、呼吸量とウイルス RNA の脳出量の関係、ウイルス吸引量と感染リスクの関係は不明であるため、今後の研究によって明らかにされることが望まれる。今後は、施設の用途 (行為) に応じた、呼気の発生と吸引の時間を考慮して、浮遊飛沫及びウイルス RNA による感染リスクの分析を行う必要がある。また、室内環境によって影響される可能性がある浮遊飛沫の挙動と感染力の変化の考慮が望まれる。

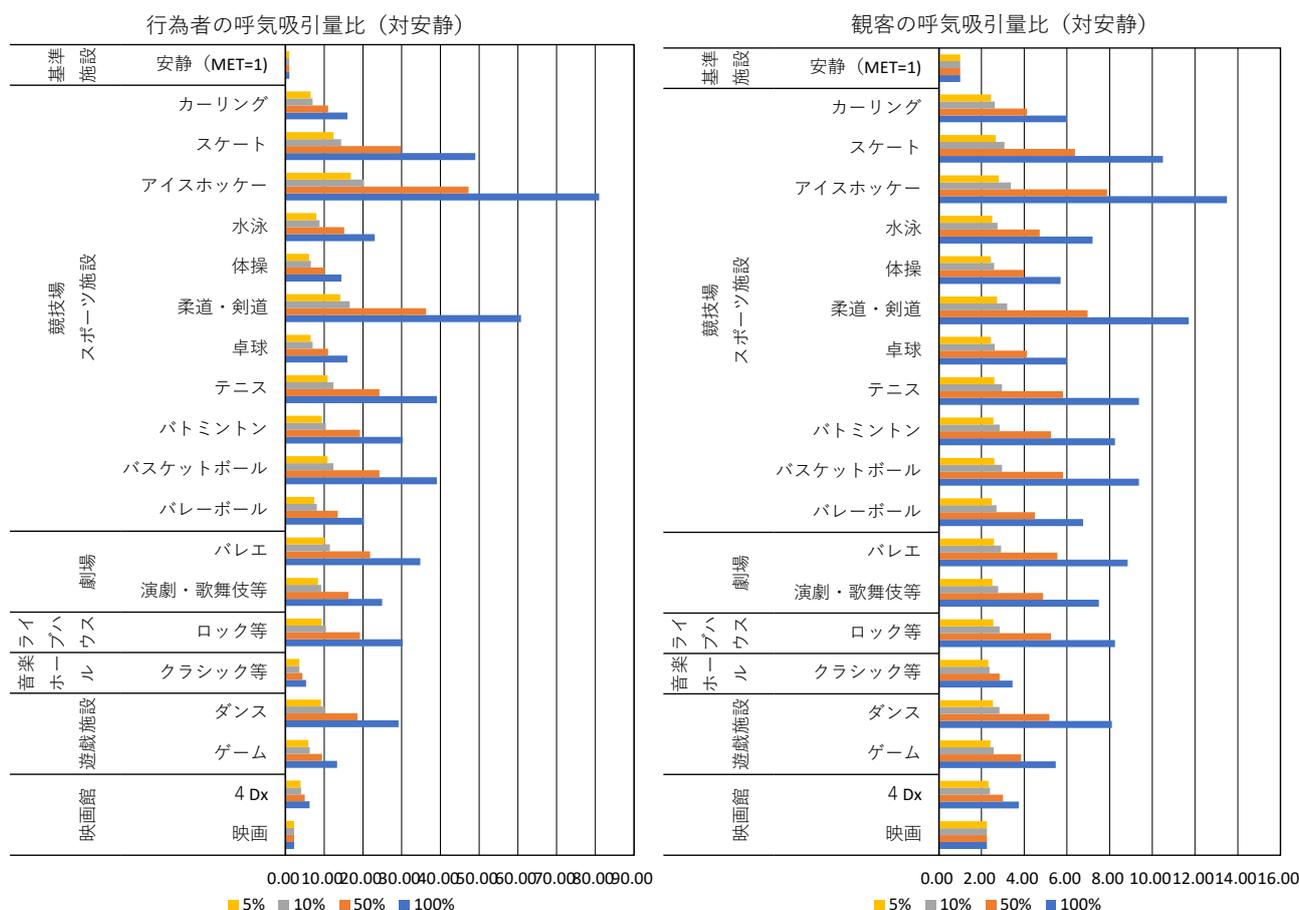


図 1-15 興行場における呼気吸引量比 (対安静) の試算結果

C3. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

2020年1月から、日本における新型コロナウイルス感染症(COVID-19)のクラスター感染が発生し始め、3年以上にわたって感染拡大の波が繰り返されている。感染拡大当初は、新型コロナウイルスの感染経路は、インフルエンザの場合と同様に、接触感染と飛沫感染であると想定し、通常生活での感染リスクは高くないとしていた。しかし、初期のクラスター感染の状況から浮遊する飛沫による感染の可能性を検討し、2020年3月には換気が悪い密閉空間をクラスター感染の要因として挙げ、換気の確保を求めた^{1),2),3)}。上記の換気対策の基礎となった調査等について、以下に概要を示す。

C3.1. 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(2020年3月30日)⁴⁾

新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の「新型コロナウイルス感染症対策の見解」(2020年3月9日及び3月19日公表)、集団感染が確認された場所で共通する3条件が示されている。

新型コロナウイルス厚生労働省対策本部では、この見解を踏まえ、リスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するため、多数の人が利用する商業施設等において推奨される換気方法をまとめた。

(ア) 機械換気については、建築物衛生法に基づく必要換気量(一人あたり毎時30m³)が確保できていることを確認すること。必要換気量が足りない場合は、一部屋あたりの在室人数を減らすことで、一人あたりの必要換気量を確保すること。

(イ) 窓開け換気については、換気回数を毎時2回以上(30分に一回以上、数分間程度、窓を全開する。)とすること。空気の流れを作るため、複数の窓がある場合は二方向の壁の窓を開放すること。窓が一つしかない場合はドアを開けること。

C3.2. 厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策アドバイザーボード(2020年7月30日)

新型コロナウイルス感染症は、「飛沫感染」及び「接

触感染」が主たる感染経路と考えられてきたが、わが国においては、2月に基本方針を策定した頃から、いわゆる「3密」の条件における「飛沫感染」や「接触感染」では説明できない感染経路を指摘し、対策に取り組んできた。「3密」と「大声」に関連する感染経路として、最近になっていわゆる「マイクロ飛沫感染」が世界的にも重要と認識されている。様々な状況証拠から「3密」と「大声」の環境においては、「飛沫感染」や「接触感染」に加えて、「マイクロ飛沫感染」が起こりやすいものと考えられている。一方で、屋外を歩いたり、感染対策がとられている店舗での買い物や食事、十分に換気された電車での通勤・通学で、「マイクロ飛沫感染」が起きる可能性は限定的と考えられる。

C3.3. 新型コロナウイルス感染症予防のための夏期における室内環境対策-建築衛生分野の研究者からの報告-(2020年5月20日)⁴⁶⁾

新型コロナウイルスに関連した最新のエビデンスの収集・整理に基づいて、夏期冷房時の換気対策についてまとめた。現時点でのエビデンスからは、換気量等の具体的な基準値を示すことが難しいため、状況に応じて推奨される空調・換気の対策を示している。今回の取りまとめ内容以外に留意すべきことも含めて、以下のような推奨と注意喚起が必要であると考えている。

【すべての室内空間について】

- i. 新型コロナウイルスの感染防止のためには、換気の確保が必要である。
- ii. 窓等の開放は換気に有効であり、より大きくより長く開放することが望まれる。
- iii. 夏期には、熱中症対策など健康維持のために冷房が必要である。(冬期には、ヒートショック対策など健康維持のために暖房が必要である。)
- iv. 一般のエアコンでは換気が行えないため、機械換気及び窓等の開放が必要である。
- v. 窓等の開放時には、虫や鼠などの衛生動物に対する対策が必要である。

【空調・換気設備を有する場合】

- vi.設備の維持点検によって、設計換気量が得られることを確認する。
- vii.1人当たりの換気量を確保するために、在室人数を制御する。また、在室時間を短くする。
- viii.空調・換気設備の調整による換気効果の向上、空気清浄機の利用、冬期の加湿器の利用などの対策については、建物用途、空調・換気設備、使用状況に応じた検討が必要である。

C3.4. 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について(2020年11月27日)

3)

厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策推進本部では、外気温が低い環境下において、新型コロナウイルス感染症のリスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気と、室温の低下による健康影響の防止をどのように両立するかについて、推奨される方法をまとめた。

① 機械換気について、機械換気設備が設置された商業施設等は、機械換気設備等の外気取り入れ量等を調整することで、必要換気量（一人あたり毎時30m³）を確保しつつ、居室の温度及び相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持する。機械換気設備が設置されていない商業施設等、または、機械換気設備等が設けられていても換気量が十分でない商業施設等は、暖房器具を使用しながら窓を開けて、居室の室温18℃以上かつ相対湿度40%以上を維持しつつ、適切に換気を行う必要がある。

② 窓開け換気について、居室の温度及び相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持できる範囲内で、暖房器具を使用しながら、一方向の窓を常時開けて、連続的に換気を行うこと。また、加湿器を併用することも有効である。

③ 居室の温度及び相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持しようとする、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の空気清浄機を併用することは換気不足を補うために有効であること。空気清浄機は、HEPAフ

ィルタによるろ過式で、かつ、風量が5m³/min程度以上のものを使用すること。人の居場所から10m²程度の範囲内に空気清浄機を設置し、空気のおよびを発生させないように外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させること。

④ 換気の確認については、換気が必要換気量を満たしているかを確認する方法として、室内の二酸化炭素濃度を測定し、その値が1000ppmを超えないことを監視することも有効である。ただし、窓開け換気に加えて空気清浄機を併用する場合、二酸化炭素濃度測定は空気清浄機の効果を評価することができず、適切な評価方法とはならない。

C3.5. 新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の感染経路について 国立感染症研究所(掲載日:2022年3月28日)¹⁷⁾

SARS-CoV-2は、感染者の鼻や口から放出される感染性ウイルスを含む粒子に、感受性が曝露されることで感染する。その経路は主に3つあり、①空中に浮遊するウイルスを含むエアロゾルを吸い込むこと(エアロゾル感染)、②ウイルスを含む飛沫が口、鼻、目などの露出した粘膜に付着すること(飛沫感染)、③ウイルスを含む飛沫を直接触ったか、ウイルスが付着したものの表面を触った手指で露出した粘膜を触ること(接触感染)、である^{7),8)}。また、感染者との距離が近いほど(概ね1-2メートル以内)感染する可能性が高く、距離が遠いほど(概ね1-2メートル以上)感染する可能性は低くなる^{8),9)}。特に換気が悪い環境や密集した室内では、感染者から放出された感染性ウイルスを含む粒子が空中に漂う時間が長く、また距離も長くなる。こうした環境に感染者が一定時間滞在することで、感染者との距離が遠いにもかかわらず感染が発生した事例が国内外で報告されている⁵⁰⁾⁻⁵³⁾。

C3.6. 緊急提言(20220714)における換気対策⁵⁴⁾

C3.6.1. 2つのエアロゾル感染への対策

これまでの換気対策では、換気によって空气中

のエアロゾルを排出するために、換気量を確保することが求められたが、この提言では、以下に示すエアロゾル感染の特性を考慮して効率的な換気の実施を求めている。

感染者から放出されるウイルスを含むエアロゾルは、 $1\mu\text{m}$ 以下の微小なものから $100\mu\text{m}$ を超えるものまで含まれている。大きなエアロゾルは、重力によって落下するが、落下しないエアロゾルは空気中に浮遊する。空気中で水分が蒸発して秒単位の速さで縮小してより浮遊しやすくなる。エアロゾルは咳やくしゃみなどの放出速度が速い場合は前方に飛ぶが、小声での会話やマスク着用時など放出速度が低い場合は、室内気流に乗って運ばれる。特に気流が弱い室内では人体発熱による上昇気流に乗る。しかし、多くの場合は空調や換気等によって気流があるため、その気流に乗って移動する。

このため、感染者の風下では、小さい粒径ばかりではなく大きな粒径のエアロゾルも伝搬する。それに対して、距離が大きい場所では大きな粒径は落下し、小さなエアロゾルは拡散によって薄められる。しかし、換気が悪い場合には、拡散したエアロゾルが空間内で蓄積され、距離にかかわらずエアロゾル濃度が高くなる。このようなエアロゾルの挙動を考慮して、A 大きなエアロゾルが伝搬する風下での感染と B 換気の悪い空間でのエアロゾルの拡散充満による感染の双方に対処する必要がある。

C3.6.2. エアロゾル感染対策のための効果的な換気方法

エアロゾル感染対策のための効果的な換気方法として、上記の A の対策として空気の流れに配慮すること、上記の B の対策として換気量の確保が必要である。室内でエアロゾル発生が多いエリアから排気し、その反対側から外気を取り入れることで、風下での感染雄リスクを抑えると同時に、室内のエアロゾル濃度を効率的に抑制することが出来る。このような空気の流れを作るために、厨

房換気扇や扇風機を用いて排気し、反対側の窓やドアを利用する。このような空気の流れが作れない場合には、空気清浄機でエアロゾルを捕集する必要がある。

従来指摘されている通り、夏期や冬期には外気の流入による室内環境の悪化に注意する必要がある。室内温湿度、CO₂ 濃度をモニターして、暖冷房、換気を調整することが必要である。

C3.6.3. 空気の流れを阻害しない飛沫防止対策

飛沫感染防止のために、特にマスクが使用できない場合には飛沫防止境界（パーティションやカーテン等）が必要である。しかし、高いパーティションや天井からのカーテンなどによって、空気の淀みが発生してエアロゾルの濃度が高くなる。空気の淀みが生じないように、パーティションの高さを低くし、空気の流れに沿う方向に設置する必要がある。

C3.6.4. 施設の特性に応じた留意点

高齢者施設、学校、保育所等の特性に応じた留意点の中で、高齢者施設については空気の流れに関する留意点が以下のように示された。

- ① 望ましい空気の流れは、“エアロゾルを発生させる人⇒ファン(サーキュレータ・扇風機)⇒排気口(換気扇(排気)・窓+ファン)”。ファンはエアロゾルを発生させる人の風下側に設置し、その間には立ち入らないこと。(介護の場合は、介護者(マスク着用)⇒被介護者⇒扇風機⇒排気口[排気扇や窓])
- ② マスクを着用していない有症状者に対し、食事、入浴、口腔介助のように飛沫が飛散する介護を行う場合、フェイスシールドとマスクの二重使用による飛沫対策を行うとともに、大量に発生するエアロゾルに対応できるよう、局所的な換気対策を実施。
- ③ 空気がスムーズに流れるように、ファンの強さや位置を調整。(空気が流れる方向を、スモークテスター、線香、ティッシュや糸などを利用して確認。)

④ 二酸化炭素濃度測定器を設置することにより、更衣室、脱衣所、職員休憩室の換気の状態を常に確認するとともに、必要に応じて同時に利用する人数を制限。

C4. 集団感染と浮遊飛沫感染対策に関する調査

アイスアリーナは、建築物衛生法の特定建築物の特定用途の中の興行場に分類される。これまでのアイスアリーナの空気環境に関する研究では、整氷車の排気ガスによる空気汚染対策等が検討されている⁵⁵⁾⁻⁶⁰⁾。アイスリンクでは、氷の安定や霧の防止を重視した空調換気設備と運用が求められ⁶¹⁾、密度が高い冷気がアイスリンク上に停滞することで、換気量が少なくなることが指摘されている。米国ではアイスホッケーの試合に伴う新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のクラスターの報告がある。⁶²⁾ 日本では、2021年の夏期に行われた全国高等学校選抜アイスホッケー大会で、事前合宿ばかりではなくアイスアリーナで感染が発生した。このため、アイスアリーナの換気性状の測定が行われ、防護パネルに囲まれたアイスリンクの冷気溜まりが確認された。⁶³⁾

2022年1月に釧路アイスアリーナでアイスホッケーの試合が行われ、COVID-19の大規模なクラスターが発生した。釧路アイスアリーナ、日本アイスホッケー連盟、北海道、釧路保健所、国立感染症研究所が感染状況に関する調査を行った結果、アイスリンクから客席までの比較的大きな距離を隔てた感染経路が確認され、浮遊飛沫による感染 (エアロゾル感染)⁶⁴⁾⁻⁶⁶⁾の可能性が指摘された。エアロゾル感染対策の立案のために、北海道大学工学研究院環境空間デザイン学研究室が協働し、換気性状とエアロゾル拡散性状の測定、対策立案と効果検証が、2022年2月～6月に行われた。調査及び検証を踏まえた対策が、対象施設で行われるとともに、日本アイスホッケー連盟の対策に随時反映された。^{67), 68)}

C4.1. クラスター事例の概要

1) COVID-19 クラスターの概要

2022年1月15日及び16日に北海道釧路市の釧路アイスアリーナで行われたアジアリーグアイスホッケーの試合が開催され、選手及び関係者、大会運営の関係者、観客によるCOVID-19のクラスターが発生した。

図2-1に示すように、選手及びチーム関係者が発症した後、観客及び大会関係者の発症が増加した。陽性者172の内、観客は102名(59%)を占めた。選手42名中の陽性者は42名(100%)、チーム関係者17名中の陽性者は13名(76%)、大会関係者(アイスリンク上)14名中の陽性者は5名(36%)、大会関係者(アイスリンク外)62名中の陽性者は10名(16%)、観客867名中の陽性者は102名(12%)であった。ゲノム解析では、オミクロン株(B.1.1.529系統)と一致した。

図2-2に示すように、観客の来場者数に対する陽性者数の比は、1月15日、16日の両日に共通した偏りが見られた。西側(J,A,B,C)は11～29%であり、特に西側中央席は24～29%で顕著に高かった。北側及び東側(D,E,F)は0～6%で比較的低かった。東側と南側(H,G)は7～12%で比較的高かった。南側(I)は0%で低かった。

アイスリンク上では、選手同士の接触、選手と大会関係者の接近があったが、観客と選手及びチーム関係者の間には接触及び接近はなかったと考えられた。複数の選手及びチーム関係者の発症は比較的早いことから、試合の時点で感染源となっていたと考えられた。アイスリンク上の選手から発生したウイルスを含むエアロゾルがアイスリンクから客席に流れたことで、観客が感染した可能性が指摘された。⁶⁹⁾

なお、アイスホッケーの試合は、20分のピリオド(Period)を15分の休憩を挟んで3回(1P, 2P, 3P)行なう計約2時間であり、休憩時間に整氷車(電気式)による作業が行われる。⁷⁰⁾

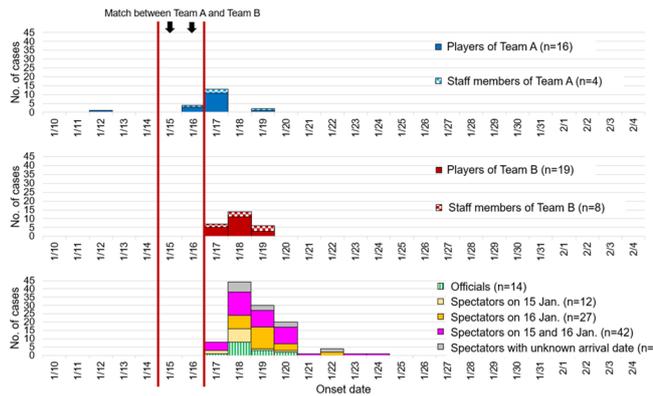


図 2-1 The number of the infected

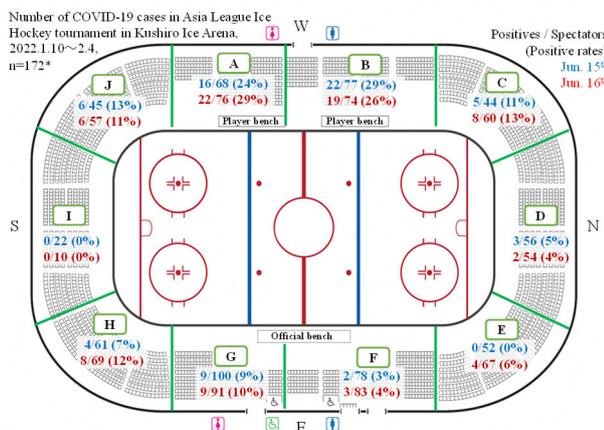


図 2-2 The distribution of the infected

2) 釧路アイスアリーナの建築・設備の概要

釧路アイスアリーナは、建築面積 6663 m²、延床面積 7564 m²、収容人数 3739 人(固定席 2539 人、立見 1200 人)、鉄筋コンクリート造の施設である。図 2-3 に示すように、アイスホッケーアイスリンク 1 面 (60m×30m) を有する。

アイスリンクの西側に選手ベンチ、東側にオフィシャルベンチがある。アイスリンクはアイスパックから観客を守るための透明の防護パネルで囲まれている。アイスリンク周囲のパネルの氷表面からの高さは、全周にある腰壁状の不透明のパネルは 107cm、東側 (サイドライン) の透明防護パネルは 180cm、南側及び北側 (エンドライン) の透明防護パネルは 240cm である。¹⁶⁾

図 2-4 に示すように、西側の選手ベンチ部分 (図 2-2 の A,B) には防護パネルが無い。同図に示すようにアイスリンク内の冷氣は、選手ベンチから流出することがスモークを用いて可視化されている。一方、オフィシャルベンチの南側 (図 2-2 の G、F) は、防護パネルがある。ただし、オフィシャルベンチ付近の (図 2-2 の G,F) のゴール収納部分には開口部があるが、試合時には閉鎖されている。開口部には隙間があるが、スモークの可視化ではこの部分からの冷氣の流出は見られなかった。

図 2-5 に示すように、空調機 (AHU2 台) が 2 階北側に設置されている。図 2-5 及び図 2-6 に示すように、アイスリンクの西側と東側の天井付近の 2 本のダクト (900Φ) につながる各ダクト 9ヶ所の円形給気口 (350Φ) からアイスリンク中央側に向け、斜め下方に給気される。2 階通路の北側に 2 つの還気口があり、空調機につながっている。天井付近に排気ファンが 6 台ある。空調換気的设计値は、以下の通りである。外気量は 12000(m³/h) で、給気風量は 42000(m³/h) である。排気量は、12000(m³/h) である。外気量は必要換気量 30 m³/(h・人) の 400 人分である。

試合が行われた両日の外気条件は、図 2-7 に示すように 15 日の午後は北風が夜にかけて強くなり、16 日の午後は特に強くなかった。また、図 2-8 に示すように測定時のサーモカメラ (testo 883) によるアリーナ内の表面温度 (3 月 1 日 13:28) は、給気口 15℃、天井面 8℃、客席 5℃、アイスリンク表面 -2℃ で、上下に大きな温度差がある。このような上下温度差は、クラスター発生時も同様であったと考えられる。



図 2-3 Inside of Kushiro Ice Arena

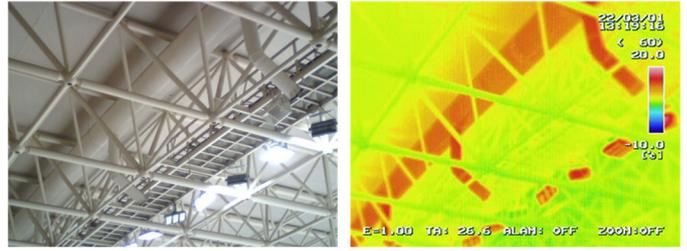


図 2-6 Air supply ports and temperature



図 2-4 Cold airflow from the rink to the player bench

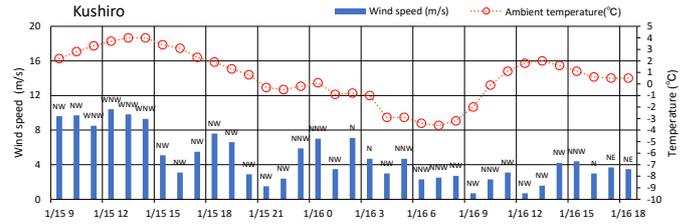


図 2-7 Climate condition at the cluster

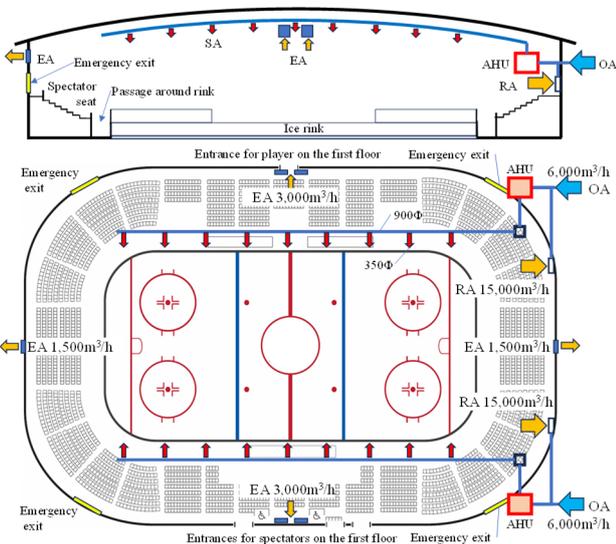


図 2-5 Air conditioning and ventilation facilities of the arena

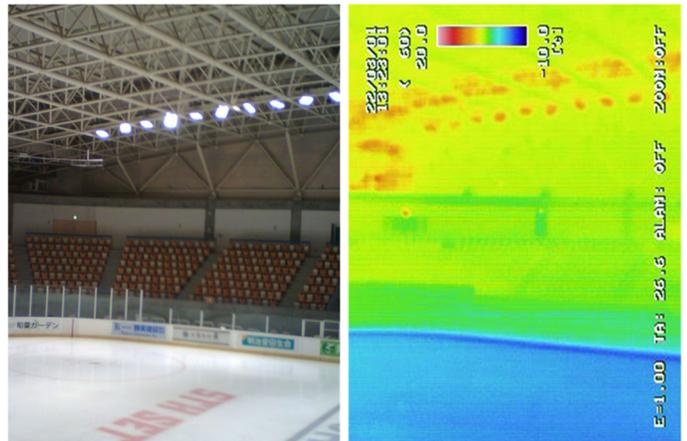


図 2-8 Thermos-camera image of the inside of the arena

C4.2. 空調換気性状の調査

1) 調査の概要

調査は、2022年2月～3月に行われた。建物及び空調換気設備に関する調査を行い、換気性状及びエアロゾル拡散性状に関する以下の測定を行った。

(ア) 換気性状

アイスアリーナの換気性状を把握するために、アイスリンク内でボンベからCO₂を発生させ、アイスリンク内、客席等の濃度 (T&D TR-72) を測

定し、各測定点の濃度減衰から換気回数を算出した¹⁷⁾。

(イ)エアロゾル拡散性状

試合時の選手の運動によるエアロゾル拡散性状を確認するために、アイスリンク内でスモークジェネレータ (Sharelife 400W, ANTARI FLR-5) からパーティクルを発生させた。アイスリンク内に広がった後に、図 2-9 に示す練習試合を行った。各所のパーティクル濃度 (ワッティー株式会社 HYPM PM2.5 センサー, 0.3~10.0 μ m) を測定し、クラスター発生時のエアロゾル拡散性状に関する基礎データとした。



図 2-9 Reproduction of the ventilation characteristic at the cluster by a period game

C4.3. 換気性状の測定と結果

(ア)換気性状

アイスリンク内に向けてボンベから CO₂ を発生させ、各所の高さ 1.6m の濃度が概ね 1000ppm 以上になった 5 分間で、計 14 kg を発生させた。その後の濃度推移から換気回数を算出した。測定はクラスター発生時の空調換気設備運転を再現し、室内温度が安定している状況で実施した。図 2-10 及び図 2-11 に示すように、温湿度・CO₂ 濃度測定器 (T&D TR-72) を設置して連続測定 (10 秒間隔) を行った。なお、図 2-12 に示すように、測定時 (3 月 1 日の 12 時~15 時) は、南西の風が強かった。

アイスリンクの換気性状について、以下の結果が得られた。図 2-13 に示すように、アイスリンクの温度は高さ 0.6m と 2.8m で約 2°C の差があった。選手ベンチは、南側ではアイスリンクの 1.6m に近い温度であるが、北側は比較的高かった。オフィシャルベンチ、西側の通路は 6~7°C で比較的高かった。客席は、7°C 程度で比較的高かった。CO₂ 濃度は、図 2-14 に示すように、発生停止時 (0.1hour) にアイスリンク中央の高さ 0.6m で 2000ppm に達したが、アイスリンク中央の高さ 2.8m では 700ppm 程度であった。アイスリンク内の測定点全体を通じ、高さ 1.6m が 0.6m よりも濃度が低く推移した。図 2-15 に示すように、選手ベンチはアイスリンクの高さ 1.6m と比較的近い濃度で、南側が北側よりも概ね高く推移した。オフィシャルベンチと西側の通路は、選手ベンチよりも低く推移した。西側客席は、アイスリンク、選手ベンチ、通路よりも低く推移し、800ppm 以下であった。このように、アイスリンクの低層 (0.6m)、中層 (1.6m) と選手ベンチ、西側通路、西側客席の順で、濃度が高く推移した。

図 2-16 に、CO₂ 濃度減衰 (0.25~0.45 hour) から算出した換気回数を示す。同一の大空間内で不均一となっている状況で、各測定点への CO₂ の流入と流出の差によって生じる CO₂ 濃度減少から算出したものである¹⁷⁾。アイスリンクの高さ 0.6m の換気回数 (1/h) は東が 2.3 で最も高く、その他は 1.2~1.4 であった。アイスリンクの高さ 1.6m の換気回数は 0.8~1.4 で、高さ 0.6 と同程度であった。高さ 2.8m の換気回数は 0.5 であり、0.6m 及び 1.6m よりも小さかった。選手ベンチは、1.4 と 2.1 であり、アイスリンクの高さ 0.6m 及び 1.6m と大きく異ならなかった。オフィシャルベンチは 0.9 であり、アイスリンクの 1.6m と同程度であった。西側の通路は北が 0.4 で南が 1.6 であり、南側が大きかった。この傾向は選手ベンチと同様であった。客席は、0.0~0.3 であり、小さかった。図 2-14 及び図 2-15 に示す濃度推移を踏まえると、

アイスリンク内の空気は、特に南側の選手ベンチを介して、通路、客席に流れ、客席ではある程度停滞したと考えられた。

(イ)エアロゾル拡散性状

選手の運動によるエアロゾル拡散性状を確認するために、アイスリンクの南側と北側でスモークジェネレータからパーティクルを発生させた後に、プロリーグの選手が練習試合を行った。以上の条件で、各所のパーティクル濃度（重量濃度）をPMセンサーで測定した。なお、測定時の外気温は2.0℃、アリーナ内の温度は、アイスリンク高さ0.6mが4.0℃、2.8mが6℃、選手ベンチが4.5℃、客席は5.0～6.0℃程度で上下温度差があった。

図2-17に、スモーク発生開始後のパーティクル濃度の推移を示す。スモークの発生に伴って、西側の南入口、選手ベンチで濃度が上昇し、続いて西側の中央入口の濃度が上昇した。なお、選手ベンチ南側は初期にデータの欠損があった。客席では、0.1hour以降に濃度のピークが見られ、0.2hour以降に濃度の減少が見られた。

スモークを停止し、同図の0.27hourから20分間(0.33hour)練習試合が行われた。なお、練習試合中はアイスリンク内のパーティクル濃度の測定は出来なかった。図2-18に、練習試合中の濃度減衰から算出した換気回数を示す。選手ベンチ及び西側通路の換気回数は、0.9～1.6であり、練習試合が行われなかった場合のCO₂による換気回数(0.4～2.1)と大きく異ならなかった。しかし、客席の換気回数は、1.1～1.6であり、CO₂による換気回数(0.0～0.3)よりも顕著に大きくなった。この差の要因として、選手の動きが気流及びエアロゾル拡散に影響し、アイスリンクから客席へのエアロゾルの拡散が早いとともに客席での濃度減衰が早くなった可能性が考えられた。



図2-10 Measurements of CO₂ and particles in ice rink

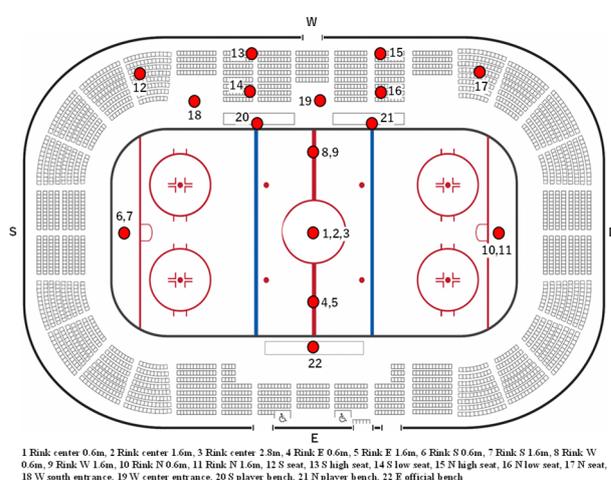


図2-11 Measurement points

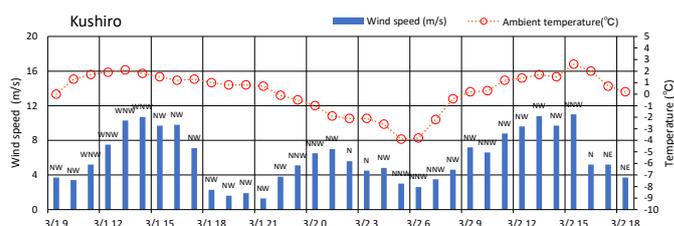


図2-12 Outside conditions of measurements

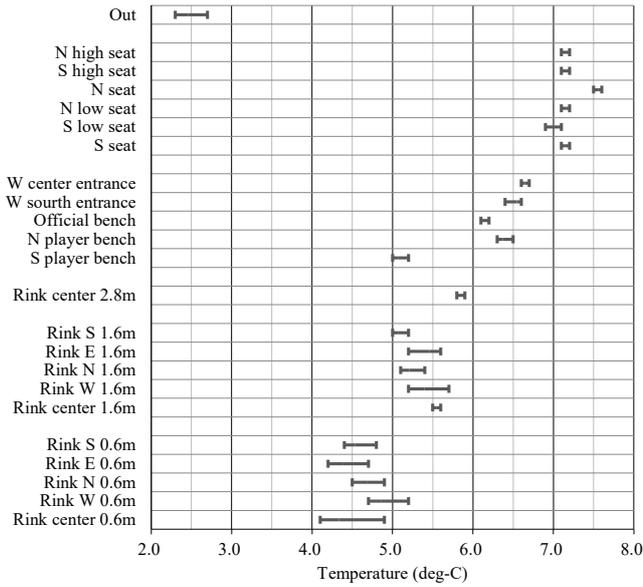


Figure 2-13 Temperatures of measurements (13:00~13:36)

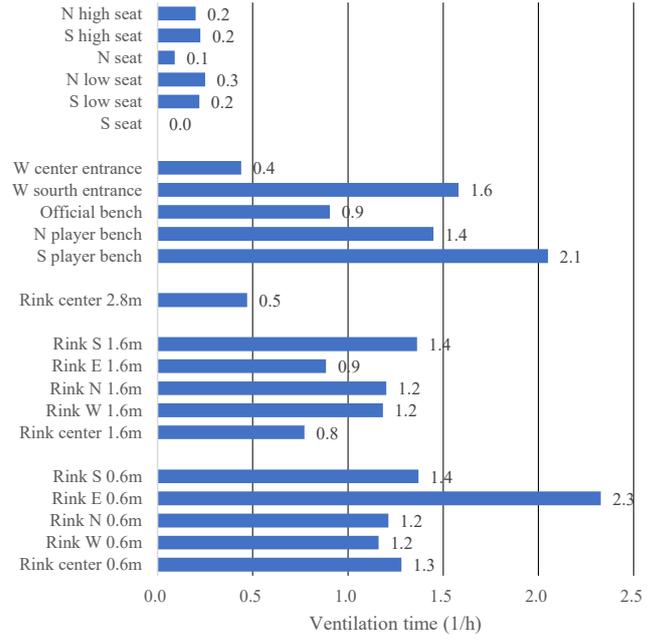


Figure 2-16 Ventilation times using CO₂ concentration decay

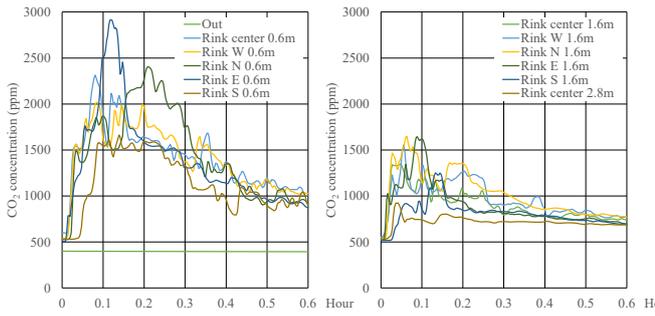


Figure 2-14 CO₂ concentrations in ice rink

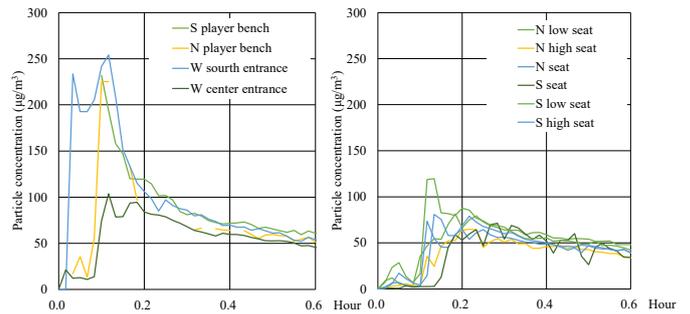


Figure 2-17 Particle concentrations of training game

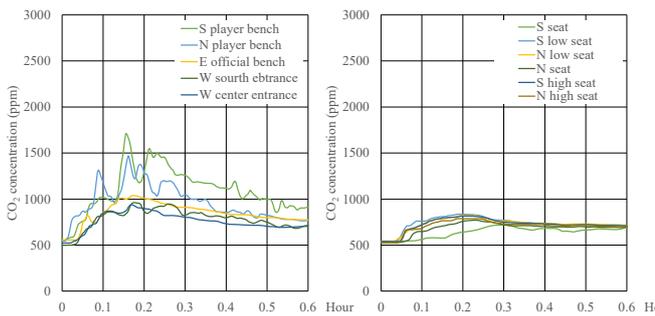


Figure 2-15 CO₂ concentrations in player benches and audience seats

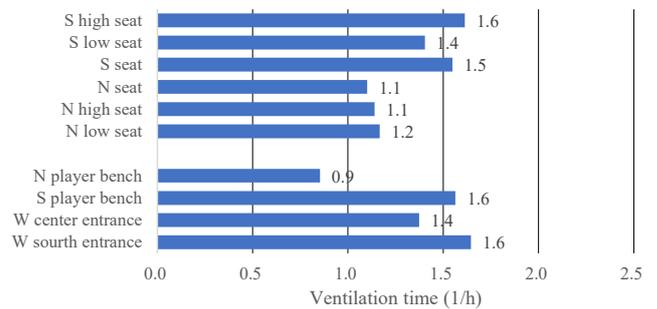


Figure 2-18 Ventilation times particle concentration decay

C4.4. クラスター発生時の CO₂ 濃度及びウイルス濃度の試算

ウイルスを含むエアロゾルによる感染（エアロゾル感染）のリスクは不明な点が多い。^{72)~86)} 以下のような仮定に基づいてウイルス濃度及び吸引量を試算し、エアロゾル感染が指摘された広州のレストランにおける事例^{81), 87), 88)}と比較した。

感染者からのウイルス放出量には大きな幅があるとされ、^{89, 90)}代謝量や咳の有無によって大きく変わる。代謝量も運動量によって変わり、アイスホッケーの試合は運動が激しく代謝量は安静時の10倍に及ぶ可能性がある。⁹¹⁾ ウイルス吸引量はマスクの効果、呼吸量の影響を受ける。呼吸量は代謝量の影響を受ける。なお、クラスター発生時には、選手、レフリー、観客のほとんどはマスクをしていなかった。

対象のクラスターでは、選手から放出されたウイルスを含むエアロゾルが客席に到達し、観客が吸引することで感染した可能性が指摘されている。また、西側客席の感染率が他の席に比べて顕著に高いとともに、アイスリンクから西側客席へのエアロゾルの拡散が確認されているため、西側客席に注目した。

アイスリンクで発生した CO₂ 及びパーティクルをウイルスのトレーサーとし、アイスリンク上の選手・レフリー及び西側客席の観客のウイルス吸引量を試算した。トレーサーが単位量発生した場合の濃度応答 $r(t_i)$ が既知となれば、図 2-19 に示すように任意の発生パターンに対する濃度 $C(t_i)$ を、単位応答の積み上げ(畳み込み積分)によって算出することが出来る。外気濃度を C_{out} とすると、任意の発生 $m(t_i)$ がある場合の濃度 $C(t_i)$ を、以下のように示すことが出来る。

$$C(t_i) = \sum_{k=0}^{i-1} \{m(t_{i+k}) \cdot r(t_{i+k})\} + C_{out} \cdots \cdots 1$$

図 2-20 に、CO₂ 発生時の濃度変化を示す。同図の Space1 は、アイスリンク内、選手ベンチ、西側

通路を含む、アリーナの低層で比較的濃度の高い空間としている。Space2 は、西側観客席である。それぞれの空間内の測定点の平均値を Space1(Measured)とした。また、この後半の20分間の濃度減衰曲線を延長した濃度を Space1(predicted)とした。同様に、Space2(measured)、Space2(predicted)とした。

Space1 の濃度が上昇した後に Space2 の濃度が上昇してピークを示し、その後に減衰した。減衰は、Space1 の方が Space2 よりも早くなった。クラスター発生時の試合における3ピリオドと休憩の計2時間の Space1 と Space2 の濃度を算出した。図 2-21 は、この間の選手からの発生パターンである。表 2-1 に示すように、CO₂ の発生量は、選手の代謝量が大きい(10.0 Mets)ことを想定し、一人当たりの発生量を 0.132 m³/(h・人)とし、アイスリンク内の選手22人から 2.90 m³/h の CO₂ 発生があると仮定した。

図 2-22 は、アイスリンク内で発生した CO₂ による Space1 及び Space2 の濃度推移である。いずれの空間でもピリオドの時間に濃度が上昇し、第3ピリオド終了時に最も高くなった。なお、選手は休憩時には、この空間の外にある控室に移動するため、CO₂ の発生はないとした。実際には、アイスリンク外の観客などからも CO₂ が発生するため、より高濃度になったと考えられる。

表 2-1 に示すように、安静時の呼気中のウイルス量を 244(copies/10L)と仮定し、選手の代謝量(10.0 Mets)を考慮して、ウイルス発生量を 2440(copies/10L)とした。この発生量は、呼気中のインフルエンザウイルスの RNA 数²⁰⁾を参考にしたものである。インフルエンザウイルス中の RNA 数が8で、新型コロナウイルスの RNA 数が1であることを考慮して、呼気中のウイルス RNA 数(copies)を設定した。この仮定は、ウイルスの吸引量を広州レストランの事例(表 2-1 の A cluster case in a restaurant)^{18), 19)}に対して相対的に比較するために設定したもので、感染リスクを定量す

るものではない。以上の設定に基づいて、アイスリンク内で 1930.5×10^3 (copies/h) のウイルス発生を仮定した。

図 2-23 は、アイスリンク内の選手の半数にあたる計 22 人から発生したウイルスによる、Space1 及び Space2 のウイルス濃度の推移である。ウイルス濃度の推移は CO₂ 濃度の場合と類似し、第 3 ピリオド終了時に最高濃度になった。選手及びレフリーが吸引するアイスリンク内で 216 (copies/m³)、観客が吸引する客席で 151 (copies/m³) に達した。

図 2-24 は、Space1 の選手及びレフリーと Space2 の観客のウイルスの吸引量を示す。選手及びレフリーは試合中のみに吸引量が増加する推移となり、観客の吸引量は、休憩時を含めて連続的に増加した。選手及びレフリーの吸引量は 452 (copies $\times 10^3$) となり、観客の吸引量は 115 (copies $\times 10^3$) となった。

広州レストランのクラスター事例をモデルに、空間内の約半数が感染した吸引量を試算すると、吸引時間 1.5 時間、換気量 3.0 m³/(h・人)、代謝量 1.5 Mets、感染者 1 名、空間内人数 21 人とする、同様の算出方法による吸引量は 113 (copies $\times 10^3$) となる。従って、選手及びレフリーの感染リスクは非常に高かった可能性があると考えられる。また、西側客席の観客の感染リスクは否定できない状況であったと考えられる。また、広州レストランの事例は武漢株であったが、釧路アイスアリーナのクラスターはオミクロン株によるものであったため、より感染リスクが高かった可能性があると考えられる。

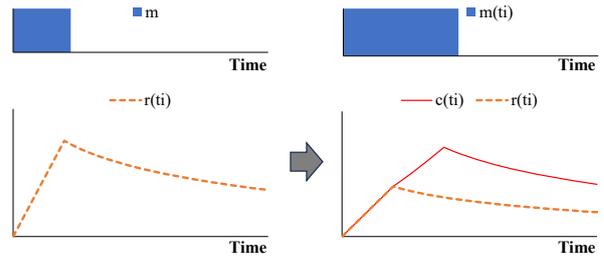


図 2-19 Concentration-response and integration

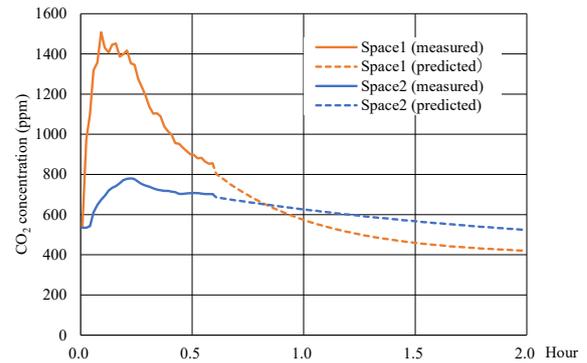


図 2-20 CO₂ concentration responses

表 2-1 Release of CO₂ and virus

CO ₂	Release (m ³ /h)
Players*	2.90
Virus (SARS-CoV-2)	Release (copies/h) $\times 10^3$
Players **	1930.5
A cluster case in a restaurant ***	13.16

* 22 players on the ice rink, Mets 10, Respiration of a player 3600 l/h

** 22 players on the ice rink are infected, Mets 10,

RNA of respiration 1950/8 (copies /10L) , Respiration of a player 3600 l/h

*** spectators, Mets 1.5, Respiration of a spectator 540 l/h

*** A person is infected, Mets 1.5, Ventilation rate a parson 3 (m³/hp)

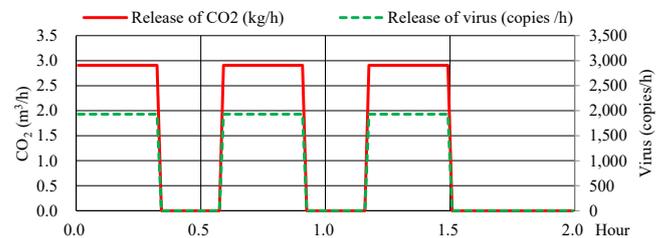


図 2-21 Release pattern of CO₂ and virus

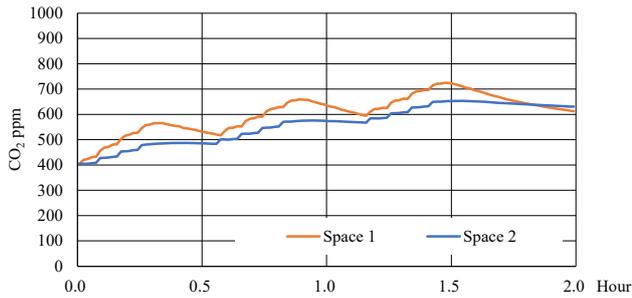


図 2-22 Predicted CO₂ concentrations

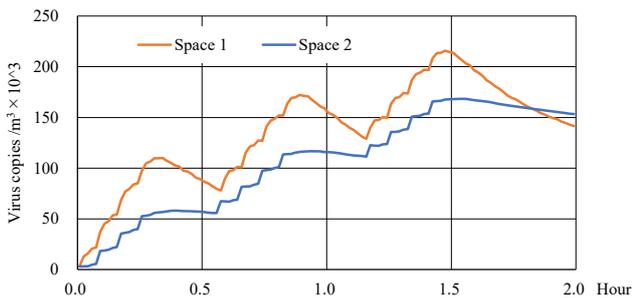


図 2-23 Predicted virus concentrations

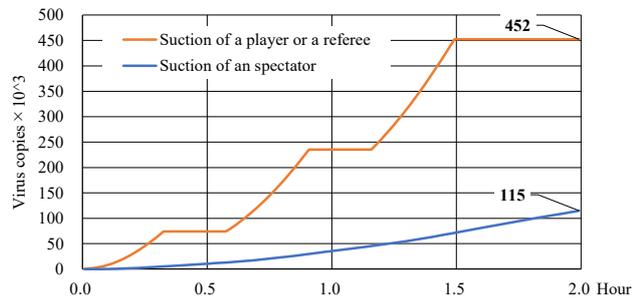


図 2-24 Predicted suction rates of virus

C4.5. エアロゾル感染対策の検証

アイスリンクから客席へのエアロゾルの拡散を抑制することでクラスターを防止する方法を検討し、以下の対策案を作成した。図 2-25 及び図 2-26 に示すように、選手出入口の一つにファンを設置（図中の Exhaust fan、以後は対策ファンと記す）し、アリーナ空間の下層に停滞する冷気を排出することで、アイスリンクから客席へのエアロゾルの上昇を抑制する。

対策案の効果を検証するために、表 2-2 に示す 4 条件のエアロゾルの拡散性状の測定を行った。

対策ファンの運転の有無に加えて、外気の入力の必要性を確認するために 2 階非常口の開放の有無を条件に加えた。なお、対策ファン停止時は、対策ファンを設置したドアを閉鎖して、通気を止めた。

図 2-27 に示すように、アイスリンク中央でスモークジェネレータからパーティクルを高さ 0.8m で発生させ、図 2-28 に示す測定点のパーティクル数（カノマックス パーティクルカウンター Model 3889）を測定した。同図に示すように、スモークは水平方向に広がり、図 2-4 に示すように選手ベンチに流出した。測定時の外気条件は、図 2-29 に示すように風が強く、2 階非常口を開放した条件では、開口部の気流に影響したと考えられた。

図 2-30～図 2-33 に、スモークによる可視化を行った結果を示す。条件 1 では、図 2-30 に示すようにスモークは下層に広がりながら南側の選手ベンチから流出するとともに、アイスリンクの北側に広がった後に全体に広がった。選手ベンチ裏に設置された対策ファンの影響によって、南側に流れた可能性が伺える。条件 2 では、図 2-31 に示すように条件 1 と同様に主にアイスリンクの北側に広がったが、条件 1 よりもスモークの希釈が早く進んだ。クラスター発生時の条件である条件 3 では、図 2-32 に示すように、条件 1 よりも高くスモークが広がり、同様にアイスリンクの北側に広がった。さらに、選手ベンチから流出し、北側の選手ベンチの裏にある客席（図 2-2 の B）の 4 段目まで目視できる程度に上昇した。また、南側の選手ベンチの裏にある客席（図 2-2 の A）の 2 段目まで目視できる程度に上昇した。条件 4 では、図 2-33 に示すように、条件 3 の条件で残った客席のスモークが次第に透明になった。

スモーク停止後 16 分後の画像を比較すると、アイスリンクのスモークの状況は以下のようになった。条件 1 ではアイスリンク全面で低層に残った。条件 2 はアイスリンク全面で少ない。条件 3 と条

件 4 では北側に残った。客席については、条件 3 では明らかにスモークが残ったが、条件 1、条件 2、条件 4 では、客席のスモークは確認できなかった。以上の可視化実験の結果から、クラスター発生時の条件 (条件 3) では、アイスリンク上のエアロゾルは西側客席の少なくとも中段まで上昇したと考えられる。対策ファンはアイスリンク上のエアロゾルの客席への上昇を抑制すること、非常口の開放は客席のエアロゾルを希釈する効果が期待されることが示された。

図 2-34 及び図 2-35 に、測定点のパーティクル濃度の推移を示す。この濃度は、パーティクル粒径 $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下の合計値である。いずれの測定点でも小粒径の比率が高く、 $1\mu\text{m}$ 未満のパーティクルは測定限界を一時超えた。このため、 $1\mu\text{m}$ 以上のパーティクル濃度を用いて分析を行った。

図 2-34 に示す通路の濃度は、選手ベンチのある西側の通路では、スモーク発生後に次第に上昇した。対策ファンを運転している条件 1 と条件 2 の場合の濃度上昇に対して、対策ファンを停止している条件 3 と条件 4 の場合の濃度上昇は顕著に大きかった。オフィシャルベンチのある東側の通路では、上昇がほとんど見られなかった。対策ファンの有無によらず、アイスリンク内のエアロゾルは東側客席へほとんど流れていないことが確認された。

図 2-35 に示す客席の濃度は、対策ファンを運転している条件 1 と条件 2 では比較的強く推移したが、対策ファンを停止している条件 3 と条件 4 では、顕著に高くなった。

条件 1 では、スモーク発生後に西側の南客席の下で濃度上昇が見られた。条件 2 では、西側の南客席の下が若干高い状況が続き、西側の北客席の下、西側の北客席の上、西側の南客席の上でも若干の濃度上昇が見られた。条件 3 では、いずれの客席でも濃度上昇が見られた。その中では西側の北客席の上の濃度上昇が遅かった。条件 4 では、

客席の上では高い状況が続いたが、客席の下では低下傾向が見られた。また、いずれの測定点でも変動が大きく、非常口の開口を介して外部の強風の影響があったと考えられる。濃度推移の状況は、スモークの可視化結果と概ね整合している。

図 2-29 に示すように、測定時 (3 月 19 日の 12 時~14 時) は、北東から北北東の風が強かった。非常口を開放している条件 2 と条件 4 では、主に東側の非常口の開口部から外気が流入したと考えられる。外部風の影響による濃度変動が発生したと考えられる。

図 2-36 に、対策ファン運転時のスモーク発生後の平均濃度と標準偏差を示す。対策ファンに近い西側通路の濃度が比較的高くなった。また、条件 1 よりも条件 2 の濃度が高く、非常口の開放によるアリーナ内の気流変化が影響した可能性が考えられた。図 2-37 に、対策ファン停止時のスモーク発生後の平均濃度と標準偏差を示す。条件 3 と条件 4 の平均濃度に大きな差はないが、非常口の開放によってむしろ濃度が上昇した。条件 2 の場合と同様に、非常口の開放によるアリーナ内の気流変化が影響した可能性が考えられた。

表 2-3 に、各条件の結果の概要を示す。同表の基準化濃度は、条件 3,4 のスモークの発生時間が条件 1,2 の場合の 1.5 倍であるため、条件 1,2 の平均濃度を 1.5 倍に修正したものである。基準化濃度は、対策ファンの運転によって顕著に低くなった。また、非常口を開放した条件 2,4 の濃度は、閉鎖時に比べて若干高くなった。クラスター発生時の条件に近い、条件 3 と比較すると、基準化濃度は、条件 1 では 7%、条件 2 では 29%、条件 4 では 112%となり、対策ファンの効果が確認される一方、外気取入れ効果の不安定性が確認された。以上の結果から、対策ファンによる排気はアイスリンク上のエアロゾルの客席への拡散を抑制する効果を持つことが期待できると考えられた。対策ファンの排気のためには給気のための開口が必要であるが、強風時には外気流入によるアリーナ内

の気流変動が生じ、エアロゾルの拡散に影響する可能性がある。外気取入れの方法や外気条件の配慮が望まれること示唆された。

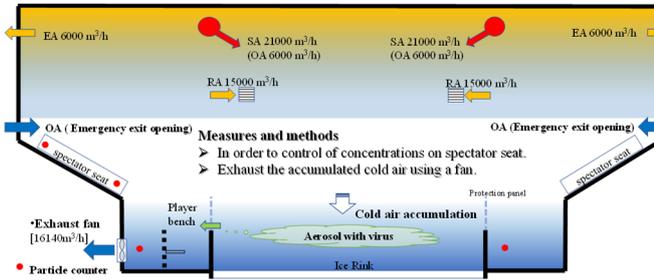


図 2-25 Ventilation measures and exhaust fan

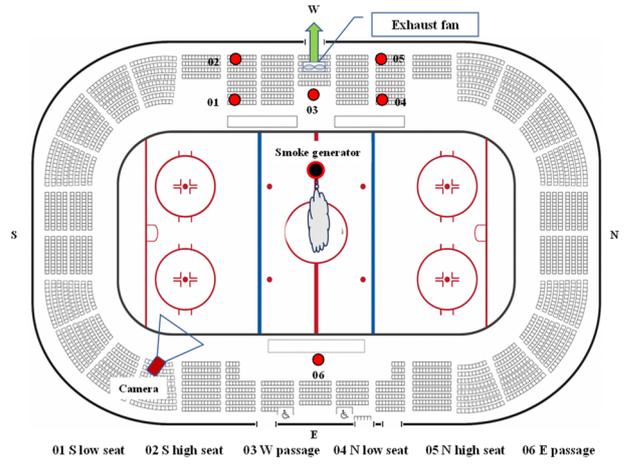


図 2-28 Measurement points of particle



Exhaust fan

- In order to control of aerosol concentration on spectator seat, the accumulated cold air have to be exhausted using a fan.
- An exhaust fan was set at an entrance for players.
- Electric consumption (50 Hz) 257 W
- Airflow rate 269 m³/min. [16,140 m³/h]

図 2-26 Exhaust fan to improve ventilation

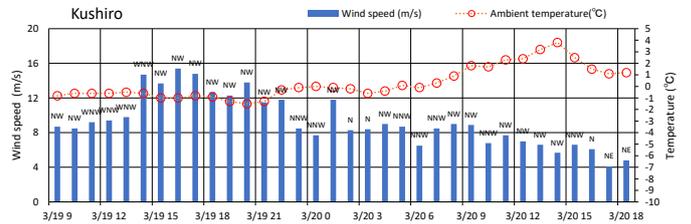


図 2-29 Outside conditions of measurements

表 2-2 Conditions of measurements to evaluate ventilation

	Condition 1	Condition 2	Condition 3*	Condition .
Exhaust fan**	ON	ON	OFF	OFF
Emergency exit ***	close	open	close	open

*Condition 3 is the most similar condition of cluster case
 **Exhaust fan on the first floor behind the player bench, 1,6140 m³/h
 ***Emergency exit on the second floor (open area :4 exit ×1.0 m²=4.0 m²)



図 2-27 Release of particle and diffusion

Condition 1

0 minutes, start smoke release. Smoke generator h=0.8m	8 minutes, smoke moves mainly to south player bench.
4 minutes, stop smoke release. Smoke moves to player bench.	16 minutes, smoke spreads whole and stay mainly northside.

図 2-30 Visualization using smoke on condition 1

Condition 2

0 minutes, smoke spreads whole and stay mainly northside.	8 minutes, smoke stays in lower layer on whole.
4 minutes, smoke stays in low layer on whole.	16 minutes, a little smoke stays only on northside.

図 2-31 Visualization using smoke on condition 2

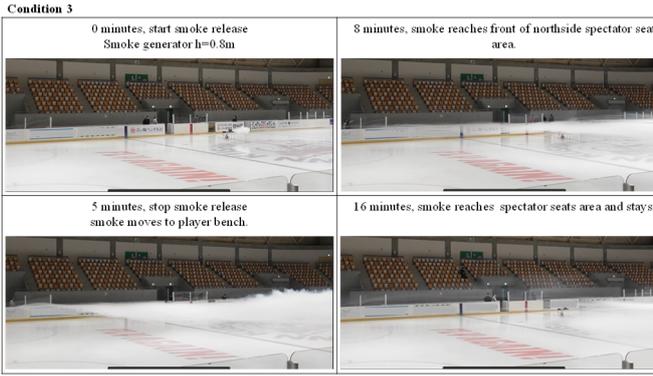


图 2-32 Visualization using smoke on condition 3

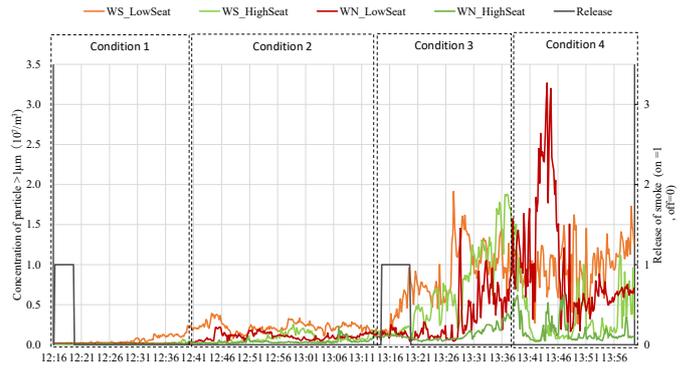


图 2-35 Particle concentrations of audience seats

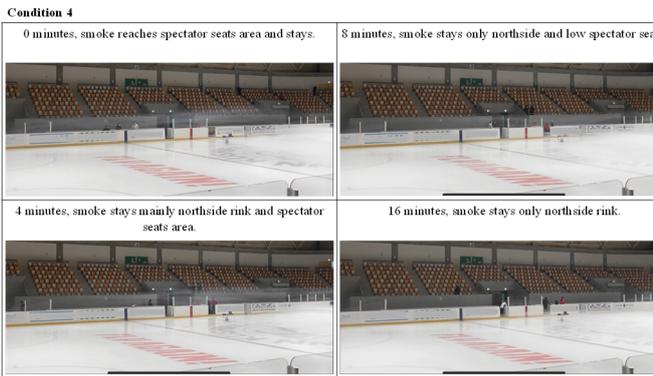


图 2-33 Visualization using smoke on condition 4

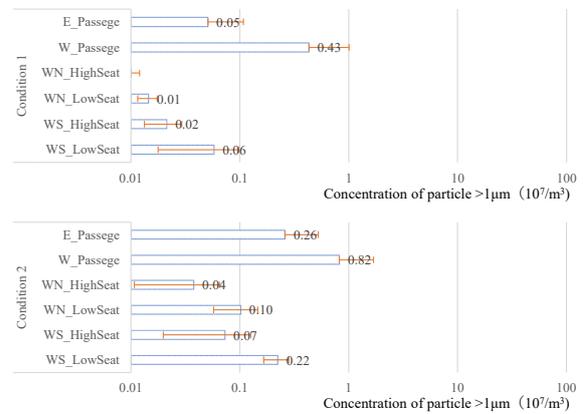


图 2-36 Particle concentrations of condition 1,2

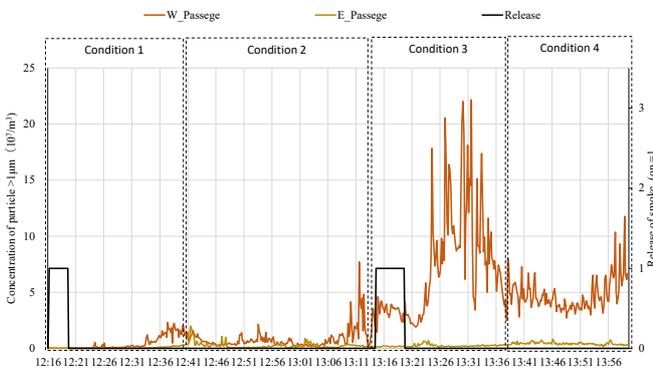


图 2-34 Particle concentrations of passages

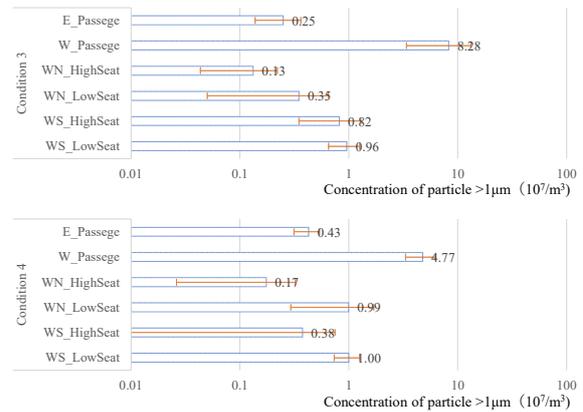


图 2-37 Particle concentrations of condition 3,4

表 2-3 Effect of exhaust fan

	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
Average concentration*	0.03	0.11	0.57	0.64
Normalized concentration**	0.04	0.16	0.57	0.64
Ratio to condition 3***	7%	29%	100%	112%

*Concentration of particle >1 μ m (10⁷/m³)

**Normalized using release time (condition 1,2= 4min,condition3,4=6min)

*** Condition 3 is the most similar condition of cluster case

D. 結論

D1. 浮遊飛沫感染に関するエビデンス整理

浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染の機序

従来の感染症の感染経路には、接触感染、飛沫感染、空気感染があるが、近年パンデミックが憂慮されてきたインフルエンザウイルスについては、空気感染の可能性は低いとされてきた。新型コロナウイルスについては、これまでの感染事例から、室内空気中の浮遊飛沫 (エアロゾル) による感染の可能性が指摘され、換気対策が求められた。国内外で、浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染の対策が講じられたが、換気性状と感染リスクの関係は定量的に把握することが出来ていない。このため、現実的に可能な換気対策を講じてきた。

室内空気環境とウイルス感染

室内空気環境の指標である二酸化炭素については、換気量に左右されるため、空気中の浮遊飛沫の濃度と関係する。温湿度については、インフルエンザに関する研究によって、ウイルスの不活化速度に影響するとされている。絶対湿度が高い場合と低い場合に、不活化速度が低下するとされており、建築物衛生法の温度及び湿度の基準は、一定の妥当性があると考えられている。しかし、新型コロナウイルスについては、空気中の浮遊飛沫及びウイルスに関する研究が過渡であり、その影響の機序に関する結論が得られていない。

建築物の室内空気環境の実態

建築物の室内空気環境に関する既往の調査結果によると、二酸化炭素濃度が 2000 年以降高い傾向があり、浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染対策の観点で好ましくない。同様に、冬期の相対湿度が顕著

に低い傾向があり、インフルエンザウイルスの感染防止の観点で好ましくない。

D2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染のリスクは、建築物、空調換気設備、維持管理、空気清浄やマスクなどの感染対策など、多数の要因の影響を受ける。また、感染者の行為や症状、被感染者の行為、滞在時間などによって、被感染者が吸引するウイルス RNA 量が変わり、感染リスクの程度を規定すると考えられる。主には、換気量が少なく、行為の代謝量が多い場合に感染リスクが高くなると考えられる。興行場では、施設用途によってさまざまな行為を想定する必要がある。行為に伴う代謝量を想定すると、感染リスクに大きな幅がある。しかし、換気設計ではこのような幅が考慮されていないため、代謝量が多い行為が行われる興行場では、浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染のリスクが高くなっていると考えられる。興行場においては、用途に応じた換気対策が必要であると考えられる。

D3. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

COVID-19 パンデミックに際し、政府機関によって換気の必要性が啓発された。夏期の熱中症、冬期の寒さ対策を踏まえた換気対策を示すなど、WHO 等の国外の情報、国内のクラスター調査の知見を踏まえ、日本独自の対策が発信された。また、感染抑制に必要な換気量、空気の流れに関する定量的な知見が非常に少ないと共に、変異株の流行の影響に関する定量的な推定も困難である中、国立感染症研究所はエアロゾル感染に関する整理を行い、政府の新型コロナウイルス感染症対策分科会は、エアロゾル感染対策として、空気の流れを考慮した効率的な換気方法を示した。これらの対応は、今後の新興再興感染症への対策に影響し、パンデミック時の空調換気運転のあり方、建築設備の設計と維持管理に関する課題を提起した。

D4. 集団感染と浮遊飛沫感染対策に関する調査

クラスター発生時の換気性状については、CO₂ をトレーサーとしてアイスリンク内と客席の換気

回数を示した。クラスター発生時のエアロゾル拡散性状については、スモークを用いて練習試合時の選手の運動の影響を確認した。また、換気性状の測定結果に基づいて、アイスリンク内の選手及びレフリー、西側の客席の観客の感染リスクに関する試算を行い、選手等から観客へのエアロゾル感染の可能性を示した。

しかし、実際のクラスター発生時と測定及び分析の条件には、以下の相違点が挙げられる。実際のクラスター発生時には、休憩時に整氷車が使用され、整氷作業に伴うアイスリンク内空気の攪拌があったと考えられる。また、選手及び観客等の出入りによって出入口での通気やアリーナ内の気流変化が発生したと考えられる。従って、実際のクラスター発生時には、アイスリンクの冷氣溜まりから客席へのエアロゾルの移動、客席での拡散は、本測定及び分析の結果よりも顕著であった可能性がある。

エアロゾル感染対策の検証では、アイスリンク内空気の客席への拡散を抑制するために、西側の低層に排気ファンを設置した。スモークを用いた検証を行い、有意な効果を確認した。

しかし、試合中の選手の運動、整氷作業、観客の移動などによる空気の攪拌が、対策ファンの効果に一定の影響を及ぼす可能性がある。

本研究は、特定建築物の興行場に分類されるアイスアリーナにおける空調換気性状と COVID-19 クラスターとの関連性、エアロゾル感染対策の立案と効果検証を行った。アイスアリーナには、アイスリンクの氷の維持、透明防護ガラスの結露や曇りの防止、霧の発生防止などの特有の条件がある。このため、アイスリンク上の空気の安定維持を優先した、空調換気設備と運転制御が行われている。このような特有の空調換気性状の下で、アイスリンク内で選手などから発生したウイルスが冷氣溜まり中で蓄積する。さらに、透明防護パネルがない選手ベンチから流出して客席に拡散する

ことで、観客を含めた大きなクラスターが発生した。

興行場の用途、空調換気性状は多様であるため、感染リスクにも大きな差があると考えられる。このような多様性を踏まえた空調換気設備の設計と運転制御、感染対策が必要であることを、釧路アイスアリーナにおける COVID-19 クラスターの調査分析の結果は示したと考えられる。

<謝辞>

厚生労働省の新型コロナウイルス感染症対策本部、クラスター対策班、国立感染症研究所、国立保健医療科学院、北海道総合研究機構、自治体・保健所等の新型コロナウイルス感染症対策関係の皆様、日本建築学会、空気調和・衛生工学会、日本臨床環境医学会、建築環境・省エネルギー機構等の新型コロナウイルス感染症対策関係の委員会各位からご助言ご協力をいただいた。記して謝意を表す。また、北海道大学工学研究院 環境空間デザイン学研究室 菊田弘輝、同研究室の学生、大学院生、北海道釧路保健所、北海道保健福祉部、北海道立衛生研究所、国立感染症研究所 の各位によって実施された。また、釧路市、釧路市スポーツ振興財団、日本アイスホッケー連盟、釧路アイスホッケー連盟、アジアリーグアイスホッケー ジャパン オフィス および両チーム関係者の協力があった。記して謝意を表す。

F. 研究発表

1. 論文発表
 - 1) Motoya Hayashi, State of Poor Ventilation and Indoor Air Environment in Buildings - Environmental Hypersensitivity from Perspective of a Building Environmental Hygiene Researcher -, Indoor Environment, Vol25, No1, pp.1-8, 2022.
 - 2) Takashi Kurabuchi, U. Yanagi, Masayuki Ogata, Masayuki Otsuka, Naoki Kagi, Yoshihide Yamamoto, Motoya Hayashi and Shinichi Tanabe, Operation of air-conditioning and sanitary equipment for SARS-CoV-2 infectious disease control. Japan Architectural Review, 4, 423-434, 2021. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12238>
 - 3) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi, Shin-ichi Tanabe ; Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan ;Atmosphere 14(1) 150-150, 2023.01.10
 - 4) 林基哉, 環境工学からの情報発信-予期せぬ事態に専門家がとるべきスタンスとは(<連載> コロナ備忘録), 日本建築学会建築雑誌,p36-39,2023.01
 - 5) 林基哉, 建築物環境衛生研究者からみた環境過敏症 建築物の換気不良と室内空気環境の実態,室内環境 25,p33-40,2022
 - 6) 林基哉, 【特集】 COVID-19 を振り返る 日本政府による新型コロナウイルス感染症のエアロゾル感染対策, 空気清浄 60 巻 5 号, 2023. 01.31
 - 7) 赤松大成, 森太郎, 林基哉, 羽山広文, 新型コロナウイルス感染症流行下の寒冷地の学校教室における室内環境と換気代替手法の評価, 日本建築学会環境系論文集 Vol.803 p43-49,2023.01
 - 8) 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 下ノ 菌慧, 鍵直樹, 柳宇, 菊田弘輝, 林基哉, 接待を伴う飲食店における室内環境と感染症対策 (その1) : 建築設備の概要及びコロナ禍における換気運用と感染状況, 日本建築学会環境系論文集 Vol.806 p300-306,2023.04
 - 9) Kosuke Minakuchi, Koki Kikuta, Hisashi Hagiwara, Kenji Miyazaki, and Motoya Hayashi, Effective Method to Collect Indoor Floating Aerosols Using Cooling Equipment, Atmosphere, 2023.11.
 - 10) 山田裕巳, 本間義規, 阪東美智子, 林基哉; 宿泊施設の衛生的環境に関する実態調査 住宅宿泊事業法施行期の長崎・京都・大阪における室内環境調査; 日本建築学会環境系論文集 813,p.857-868,2023.11.
 - 11) 浅岡凌, 海塩渉, 鍵直樹, 林基哉, 澤地孝男, 上野貴広; 新型コロナウイルス感染症蔓延時のオフィスにおける室内環境質の実態 (その1) : 室内環境の2時点比較および感染症対策との関連; 日本建築学会環境系論文集 808,p.547-555,2023.06.
2. 学会発表
 - 1) 山崎佑基, 菊田弘輝, 玉村壮太, 林基哉, 室内環境が新型コロナウイルスの空気感染に与える影響に関する実験法, 日本建築学会大会梗概集, 2021.9
 - 2) 松永崇孝, 菊田弘輝, 吉住佳子, 林基哉, 学校教室を対象とした新型コロナウイルス感染症対策における換気と空気清浄の効果検証, 日本建築学会大会梗概集, 2021.9
 - 3) 川崎嵩, 菊田弘輝, 林基哉, 阪東美智子, 長谷川兼一, 澤地孝男, 新型コロナウイルス感染下における居住リテラシーに関するWEB調査 その2 冬期の調査結果, 日本建築学会学術講演

梗概集,p901-902,2022.07

- 4) 尾方壮行,山本佳嗣,鍵直樹,林基哉,田辺新一,デスクパーティションが呼吸器エアロゾル粒子への曝露に与える影響,日本建築学会学術講演梗概集,p1331-1332,2022.07
- 5) 金勲,阪東美智子,小林健一,下ノ菌慧,鍵直樹,柳宇,菊田弘輝,林基哉,接待を伴う飲食店における換気と室内環境 感染症対策に関する実態調査,日本建築学会学術講演梗概集,p1355-1358,2022.07
- 6) 山本直輝,菊田弘輝,長谷川麻子,林基哉,新型コロナウイルス感染症のクラスター感染が発生したコールセンターの空気環境,日本建築学会学術講演梗概集,p1547-1548,2022.07
- 7) 赤松大成,森太郎,五宮光,林基哉,羽山広文,換気方式の異なる室内空間における換気効率の比較,日本建築学会学術講演梗概集,p2093-2094,2022.07
- 8) 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調査研究 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,日本建築学会学術講演梗概集,p1393-1394,2023-07
- 9) 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2報 4Dと2D映画館付着細菌叢の解析結果,日本建築学会学術講演梗概集,p1395-1396,2023-07
- 10) 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3報 観覧場内の温湿度及び二酸化炭素濃度の測定,日本建築学会学術講演梗概集,p1397-1398,2023-07
- 11) 松永崇孝,菊田弘輝,林基哉,換気と空

気清浄によるエアロゾル除去性能の評価,日本建築学会学術講演梗概集,p1561-1562,2023-07

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) 厚生労働省,“商業施設の管理権限者へ向けて「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法”, 2020.04.03
- 2) 厚生労働省,“熱中症予防に留意した『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気について”, 2020.06.17
- 3) 厚生労働省,“冬場における『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法”, 2020.11.27
- 4) 厚生労働省,“建築物における衛生的環境の確保に関する法律(昭和45年法律第20号)”, 2015.3.20
- 5) Li, Y., et al. (2007) “Role of Ventilation in Airborne Transmission of Infectious Agents in the Built Environment: A Multidisciplinary Systematic Review.” *Indoor Air* 17 (1): 2–18.
- 6) Menzies D et al. (2000) Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in Canadian health care workers. *Annals of Internal Medicine*, 133(10):779–789.
- 7) Quin H, Li Y, Sun H, Nielsen PV, Huang X, Zheng X (2010) Particle removal efficiency of the portable HEPA air cleaner in a simulated hospital ward. *Build. Simul.* Vol.

- 3, No.3 pp.215-224.
- 8) Kevin P Fennelly, Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control, *THE LANCET Respiratory Medicine* VOLUME 8, ISSUE 9, P914-924, SEPTEMBER 01, 2020.
 - 9) ASHE (2013) Literature Review: Room Ventilation and Airborne Disease Transmission. Edit. Memarzadeh F. Chicago.
 - 10) Bloch AB et al.(1985) Measles outbreak in a pediatric practice: airborne transmission in an office setting. *Pediatrics*, 75(4):676–683.
 - 11) CDC (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 52 (RR-10).
 - 12) WHO (2009) Natural ventilation for infection control in health-care settings. WHO Press Geneva.
 - 13) WHO (2014) Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health care. World Health Organization, Geneva.
 - 14) Gesellschaft für Aerosolforschung, “GAeF position paper on understanding the role of aerosol particles in SARS-CoV-2 infection” (2020); https://ae00780f-bbdd-47b2-aa10-e1dc2cdeb6dd.filesusr.com/ugd/fab12b_0b691414cfb344fe96d4b44e6f44a5ab.pdf
 - 15) World Health Organization (WHO), “Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?” (2021); [who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted](https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted).
 - 16) S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), “Scientific brief: SARS-CoV-2 transmission” (2021); www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html.
 - 17) 国立感染症研究所（掲載日：2022年3月28日），新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の感染経路について（[niid.go.jp](https://www.niid.go.jp/niid/)）
 - 18) Thomas P. Weber, Nikolaos I. Stilianakis, Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: A critical review, *Journal of infection* 57. pp.261-373, 2008
 - 19) Hemmes JH, Winkler K, Kool SM. Virus survival as a seasonal factor in influenza and poliomyelitis. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 1962; 28: 221–33.
 - 20) G.J.Harper, Airborne micro-organism : Survival tests with four virus J.Hyg ; pp.479-486, 1961.
 - 21) Jeffrey Sharman, Melvin Kohn : Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality *PNAS* vol.106 no9; pp.3243-3248, March 3 2009.
 - 22) 倉渕隆,小笠原岳,熊谷一清,浅利雄太郎:インフルエンザの感染に影響するインフルエンザウイルス生存率と絶対湿度の関係について,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 1339-1343, 2009.9
 - 23) F.L.Shaffer, M.E.Soergel and D.C.Straube, Survival of airborne influenza virus: Effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids, *Arch Virol*.1976;51(4):263-73. doi: 10.1007/BF01317930.
 - 24) Anice C. Lowen, Samira Mubareka, John Steel1, Peter Palese ,Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature, *PLoS*

Pathogens · November 2007

- 25) 「建築物環境衛生管理に関する調査研究」平成 22 年度研究報告書, 財団法人ビル管理教育センター, 2011
- 26) 小林陽太郎他, 「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」昭和 40 年度厚生科学研究報告書, 昭和 41 年 3 月
- 27) 林基哉他, 「建築物衛生管理基準の検証に関する研究」平成 29 年度厚生労働科学研究報告書, 2020 年 3 月
- 28) Rosti ME, Olivieri S, Cavaiola M, Seminara A, Mazzino A, 2020. Fluid dynamics of COVID-19 airborne infection suggests urgent data for a scientific design of social distancing. *Nature research, Scientific Reports*, (2020) 10:22426. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80078-7>
- 29) Zhao L, Qi YH, Luzzatto-Fegiz P, Cui Y, and Zhu YY, 2020. *Nano Lett.* 2020, 20, 7744–7750. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03331>
- 30) Dabisch P, Schuit M, Herzog A, Beck K, et al, 2020. The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols, *Aerosol Science and Technology*, <https://doi.org/doi:10.1080/02786826.2020.1829536>
- 31) Smither SJ, Eastaugh LS, Findlay JS, Lever MS, 2020. Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity, *Emerging Microbes & Infections*, 9:1, 1415-1417. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1777906>
- 32) Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, Ferris A, Miller D, Weaver W, Zeitouni NE, Phillips A, Freeburger D, Hooper I, Ratnesar-Shumate S, Yolitz J, Krause M, Williams G, Dawson DG, Herzog A, Dabisch P, Wahl V, Hevey MC, Altamura LA. Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *American Society for Microbiology*. 2020; 5(4): e00441-20. <https://msphere.asm.org/content/5/4/e00441-20>
- 33) Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A, 2020. Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annual Review of Virology*, 7:83–101. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>
- 34) W.C.Hinds, *Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles*, John Wiley & Sons (1982).
- 35) Morawska L et al.: Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*. 40, 256–269. (2009)
- 36) Xie X et al.: How far droplets can move in indoor environments – revisiting the Wells evaporation–falling curve. *Indoor air*. 17: 211–225. (2007)
- 37) Yang W and Marr LC: Dynamics of Airborne Influenza A Viruses Indoors and Dependence on Humidity. *PlosOne*, 6: e21481. (2011)
- 38) 山崎佑基, 菊田弘輝, 玉村壮太, 林基哉, 室内環境が新型コロナウイルスの空気感染に与える影響に関する実験法, 日本建築学会大会梗概集, 2021.9
- 39) 松永崇孝, 菊田弘輝, 吉住佳子, 林基哉, 学校教

室を対象とした新型コロナウイルス感染症対策における換気と空気清浄の効果検証 ,日本建築学会大会梗概集,2021.9

- 40) Furuya Shousuke:Building Maintenance Low, Teikokuchiho-gyoseigakkai, pp.15-19, 1971 (in Japanese) 古谷章介:ビル管理法, 帝国地方行政学会,pp.15-19,1971
- 41) Ministry of health, labour and welfare : Act on environmental health in buildings, 2015.3.20 (in Japanese) 厚生労働省“建築物における衛生的環境の確保に関する法律 (昭和 45 年法律第 20 号)”, 2015.3.20
- 42) 金勲, 阪東美智子, 林基哉, 大澤元毅. 高齢者施設のおい環境と対策に関する全国調査, 日本建築学会環境系論文集 2018.4;83(746):393-401.
- 43) 開原典子, 林基哉, 金勲, 大澤元毅, 阪東美智子, 小林健一, 本間義規, 巖爽, 菊田弘輝, 羽山広文, 特別養護老人ホームの温熱環境に関する実態調査, 日本建築学会環境系論文集, Vol.83 No.745, 2018.3 ; pp.267-276.
- 44) 林基哉,本間義規,巖爽,菊田弘輝,羽山広文,加用現空,鈴木信恵,開原典子,金勲,阪東美智子,小林健一,大澤元毅. 寒冷地の高齢者施設における室内生活環境の年間特性 フィンランド・エスポー及び北海道・札幌における室内温熱空気環境の実態. 日本建築学会環境系論文集. 2019 ; 84 (761) : 699-708.
- 45) M HAYASHI, K KOBAYASHI, H KIM, N KAIHARA, The state of the indoor air environment in buildings and related tasks in Japan. J. Natl. Inst. Public Health, 69 (1).69-72. 2020.
<https://www.niph.go.jp/journal/data/69-1/202069010008.pdf>
- 46) M Hayashi et al. Measures against COVID-19 concerning Summer Indoor Environment in Japan. Japan Architectural Review, 3, 608–620, 2020.
<https://doi.org/10.1002/2475-8876.12183>
- 47) K Kurabuchi et al. Operation of air-conditioning and sanitary equipment for SARS-CoV-2 infectious disease control. Japan Architectural Review, 4, 423–434, 2021. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12238>
- 48) 厚生労働省,“新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について”, 2021.04.07
- 49) 国立健康・栄養研究所 中江、田中、宮地、改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』 2012 年 4 月 11 日改定
- 50) Jang S, et al. Cluster of Coronavirus Disease Associated with Fitness Dance Classes, South Korea. Emerg Infect Dis. Aug 2020;26(8):1917-20.
- 51) Cai J, et al. Indirect Virus Transmission in Cluster of COVID-19 Cases, Wenzhou, China, 2020. Emerg Infect Dis. 2020 Jun;26(6): 1343-5.
- 52) Katelaris AL, et al. Epidemiologic Evidence for Airborne Transmission of SARS-CoV-2 during Church Singing, Australia, 2020. Emerg Infect Dis. 2021 Jun;27(6):1677-80.
- 53) Toyokawa T, et al. Transmission of SARS-CoV-2 during a 2-h domestic flight to Okinawa, Japan, March 2020. Influenza Other Respir Viruses. 2021 Oct 3.
- 54) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi, Shin-ichi Tanabe ; Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan; Atmosphere 14(1) 150-150, 2023.01.10

- 55) Dong-Won Yoon; Kiyoung Lee; Yukio Yanagisawa; John D. Spengler Paul Hutchinson. Surveillance of indoor air quality in ice skating rinks. "Environment International Volume 22, Issue 3", 309-314, 1996.
- 56) Philip Demokritou; Qingyan Chen; Chunxin Yang; John Spengler. THE IMPACT OF VENTILATION ON AIR QUALITY IN INDOOR ICE SKATING ARENAS." Design and operation of HVAC systems, 407-412, 2000.
- 57) H. Guo; S.C. Lee and L.Y. Chan. Indoor air quality in ice skating rinks in Hong Kong. Environmental Research 94, 327–335, 2004.
- 58) Yukiko Abe; Yasushi Kondo and Yasuhiro Nagasawa. Measurement and CFD Simulation on Air Quality in Indoor Ice Skating Arena, The Society of Heating, Air-Conditioning Sanitary Engineers of Japan No94, 2004.
- 59) Health Canada. Best practices for improving air quality in ice arenas, <https://www.canada.ca/en/health-canada>, 2021.
- 60) United states Environmental Protection Agency. Indoor Air Quality and Ice Arenas, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-air-quality-and-ice-arenas>, 2024.
- 61) ASHRAE, ASHRAE Handbook-Registration 1998. Chapter34-"Ice Rink", 1988.
- 62) David Atrubin; Michael Wiese; Becky Bohinc. An Outbreak of COVID-19 Associated with a Recreational Hockey Game — Florida, June 2020, Centers for Disease Control and Prevention, Weekly / October 16, 2020 / 69(41);1492–1493, 2020.
- 63) National Institute of Infectious Diseases. Case of Novel Coronavirus Infection (COVID-19) at the National High School Selection Ice Hockey Tournament, (IASR Vol. 42 p227-228: 2021.10), <https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2488-idsc/iasr-news/10667-500p02.html>, 2021. (In Japanese).
- 64) World Health Organization (WHO). Coronavirus Disease (COVID-19) How Is It Transmitted? 2021, Available online: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> (accessed on 30 December 2023).
- 65) National Institute of Infectious Diseases. Infection Routes of SARS-CoV-2. 28 March 2022. Available online: <https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2484-idsc/11053-covid19-78.html> (accessed on 1 October 2022). (In Japanese).
- 66) Motoya Hayashi; U Yanagi; Yoshinori Honma; Yoshihide Yamamoto; Masayuki Ogata; Koki Kikuta; Naoki Kagi; Shin-ichi Tanabe. Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan, Atmosphere 14(1), 2023.
- 67) Japan Ice Hockey Federation. "Japan Ice Hockey Federation Tournament Novel Coronavirus Infection Response Manual (Spectator Version)", 2022.
- 68) National Institute of Infectious Diseases. Case of COVID-19 at the Asian League Ice Hockey Tournament, IASR Vol. 43,143-145: June 2022.
- 69) Japan Ice Hockey Federation.

- "Generalization of various measures against new coronavirus infections in JIHF projects", 2023.
- 70) International Ice Hockey Federation. "2018-2022 Official International Rules of Ice Hockey", International Ice Hockey Federation, 2018.
- 71) SHASE, SHASE102-2003, Ventilation requirement for acceptable indoor air quality, 2003.
- 72) World Health Organization. COVID-19 Cases WHO COVID-19 Dashboard. Available online <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c> (accessed on 4 March 2024).
- 73) Doremalen, N.van; Bushmaker, T.; Morris, D.H.; Holbrook, M.G.; Gamble, A.; Williamson, B.N.; Tamin, A; Harcourt, J.L.; Thornburg, N.J.; Gerber, S.I.; et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med.* 2020, 382, 1564–1567, 2020.
- 74) Stadnytskyi, V.; Bax, C.E.; Bax, A.; Anfinrud, P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *PNAS.* 2020, 117(22), 11875–11877, doi:10.1056/NEJMC2004973, 2020.
- 75) Smither, S.J.; Eastaugh, L.S.; Findlay, J.S.; Lever, M.S.; Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity. *Emerging Microbes & Infections* 2020, 9(1), 1415–1417, doi:10.1080/22221751.2020.1777906, 2020.
- 76) Schuit, M.; Ratnesar-Shumate, S.; Yolitz, J.; Williams, G.; Weaver, W.; Green, B.; Miller, D.; Krause, M.; Beck, K.; Wood, S.; et al. Airborne SARS-CoV-2 Is Rapidly Inactivated by Simulated Sunlight. *The Journal of Infectious Diseases* 2020, 222(4), 564–571, 291 doi:10.1093/INFDIS/JIAA334, 2020.
- 77) Vuorinen, V.; Aarnio, M.; Alava, M.; Alopaeus, V.; Atanasova, N.; Auvinen, M.; Balasubramanian, N.; Bordbar, H.; Erästö, P.; Grande, R.; et al. Modeling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors. *Safety Science* 2020, 130, 104866, doi:10.1016/J.SSCI.2020.104866, 2020.
- 78) Miller, S.L.; Nazaroff, W.W.; Jimenez, J.L.; Boerstra, A.; Buonanno, G.; Dancer, S.J.; Kurnitski, J.; Marr, L.C.; Morawska, L.; Noakes, C. Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air* 2021, 31(2), 314–323, doi:10.1111/INA.12751, 2021.
- 79) Lewis, D. Superspreading drives the COVID pandemic—and could help to tame it. *Nature* 2021, 590(7847), 544–546, doi:10.1038/D41586-021-00460-X, 2021.
- 80) Azimi, P.; Keshavarz, Z.; Laurent, J.G.C.; Stephens, B.; Allen, J.G. Mechanistic transmission modeling of COVID-19 on the *Diamond Princess* cruise ship demonstrates the importance of aerosol transmission. *PNAS.* 2021, 118(8), e2015482118, doi:10.1073/pnas.2015482118, 2021.
- 81) Li, Y.; Qian, H.; Hang, J.; Chen, X.; Cheng, P.; Ling, H.; Wang, S.; Liang, P.; Li, J.; Xiao, S.; et al. Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly

- ventilated restaurant. *Build Environ.* 2021, 196, 107788, doi:10.1016/J.BUILDENV.2021.107788, 2021.
- 82) Dai, H.; Zhao, B. Association of the Infection Probability of COVID-19 with Ventilation Rates in Confined Spaces. *Build Simul* 2020, 13, 1321–1327, doi:10.1007/s12273-020-0703-5, 2020.
- 83) Li, B.; Cai, W. A Novel CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation Strategy to Limit the Spread of COVID-19 in the Indoor Environment. *Build. Environ.* 2022, 219, 109232, doi:10.1016/J.BUILDENV.2022.109232, 2022.
- 84) Burridge, H.C.; Fan, S.; Jones, R.L.; Noakes, C.J.; Linden, P.F. Predictive and Retrospective Modelling of Airborne Infection Risk Using Monitored Carbon Dioxide. *Indoor and Built Environment* 2022, 31(5), 1363–1380, doi:10.1177/1420326X211043564, 2022.
- 85) Peng, Z.; Jimenez, J.L. Exhaled CO₂ as a COVID-19 Infection Risk Proxy for Different Indoor Environments and Activities. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2021, 8(5), 392–397, doi:10.1021/acs.estlett.1c00183, 2021.
- 86) Santarpia, J.L.; Rivera, D.N.; Herrera, V.L.; Morwitzer, M.J.; Creager, H.M.; Santarpia, G.W.; Crown, K.K.; Brett-Major, D.M.; Schnaubelt, E.R.; Broadhurst, M.J.; et al. Aerosol and Surface Contamination of SARS-CoV-2 Observed in Quarantine and Isolation Care. *Sci. Rep.* 2020, 10, doi:10.1038/s41598-020-69286-3, 2020.
- 87) Motoya Hayashi; U Yanagi; Kenichi Azuma; Naoki Kagi; Masayuki Ogata; Shoichi Morimoto; Hirofumi Hayama; Taro Mori; Koki Kikuta; Shin-ichi Tanabe; Takashi Kurabuchi; Hiromi Yamada; Kenichi Kobayashi; Hoon Kim; Noriko Kaihara. Measures against COVID-19 concerning Summer Indoor Environment in Japan, *Japan Architectural Review* Volume 3, Issue 4, 2020.
- 88) Huang, C.; Wang, Y.; Li, X.; Ren, L.; Zhao, J.; Hu, Y.; Zhang, L.; Fan, G.; Xu, J.; Gu, X.; et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet* 2020, 395, 497–506, doi:10.1016/S0140-6736(20)30183-5, 2020.
- 89) Kevin P Fennelly, Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. *Lancet Respir Med*, <https://doi.org/10.1016/2020>, 2020.
- 90) Yuan Liu et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two hospitals, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>, 2020.
- 91) Ainsworth BE; Haskell WL; Herrmann SD; Meckes N; Bassett DR Jr; Tudor-Locke C; Greer JL; Vezina J; Whitt-Glover MC; Leon AS. Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values., *Med Sci Sports Exerc.*1575-1581, 2011

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）

興行場における衛生的な環境確保のための研究

研究成果の刊行に関する一覧表

論文発表

- 1) Yanagi, U; Kaihara, N.; Simazaki, D.; Bekki, K.; Homma, Y.; Iba, C.; Asai, A.; Hayashi, M. Bacterial Flora on Mist Outlet Surfaces in 4D Theaters and Suspended Particle Concentration Characteristics during 4D Movie Screenings. *Microorganisms* 2023, 11, 1856. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071856>
- 2) Kosuke Minakuchi, Koki Kikuta, Hisashi Hagiwara, Kenji Miyazaki, and Motoya Hayashi, Effective Method to Collect Indoor Floating Aerosols Using Cooling Equipment, *Atmosphere*, 2023.11.
- 3) 山田裕巳,本間義規,阪東美智子,林基哉; 宿泊施設の衛生的環境に関する実態調査 住宅宿泊事業法施行期の長崎・京都・大阪における室内環境調査; 日本建築学会環境系論文集 813,p.857-868,2023.11.
- 4) 浅岡凌,海塩渉,鍵直樹,林基哉,澤地孝男,上野 貴広; 新型コロナウイルス感染症蔓延時のオフィスにおける室内環境質の実態 (その 1) : 室内環境の 2 時点比較および感染症対策との関連; 日本建築学会環境系論文集 808,p.547-555,2023.06.
- 5) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi, Shin-ichi Tanabe ; Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan ;*Atmosphere* 14(1) 150-150, 2023.01.10
- 6) 林基哉, 環境工学からの情報発信-予期せぬ事態に専門家がとるべきスタンスとは(<連載>コロナ備忘録),日本建築学会建築雑誌,p36-39,2023.01
- 7) 林基哉, 建築物環境衛生研究者からみた環境過敏症 建築物の換気不良と室内空気環境の実態,室内環境 25,p33-40,2022
- 8) 林基哉, 【特集】COVID-19 を振り返る 日本政府による新型コロナウイルス感染症のエアロゾル感染対策, 空気清浄 60 巻 5 号, 2023. 01.31
- 9) 赤松大成,森太郎,林基哉,羽山広文, 新型コロナウイルス感染症流行下の寒冷地の学校教室における室内環境と換気代替手法の評価, 日本建築学会環境系論文集 Vol.803 p43-49,2023.01

- 10) 金勲,阪東美智子,小林健一,下ノ菌慧,鍵直樹,柳宇,菊田弘輝,林基哉, 接待を伴う飲食店における室内環境と感染症対策(その1): 建築設備の概要及びコロナ禍における換気運用と感染状況,日本建築学会環境系論文集 Vol.806 p300-306,2023.04
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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

書籍

なし

総説

なし

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、pp.1393-1394.
- 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、pp.1395-1396.
- 3) 開原典子, 柳 宇, 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 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、pp1397-1398.
- 4) 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: 冬期の 4D 映画館におけるミスト噴出口と床面の付着真菌叢、2023 年室内環境学会学術大会講演要旨集、pp.214-215.
- 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: シアターにおける室内空気質実態に関する査研究 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 (in press) .

- 6) 開原典子、柳 宇、開本間義規、島崎大、伊庭千恵美、戸次加奈江、林基哉：シアターにおける室内空気質実態に関する査研究 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 (in press) .
- 7) 松永 崇孝 , 菊田 弘輝 , 林 基哉,換気と空気清浄によるエアロゾル除去性能の評価,日本建築学会学術講演梗概集,p1561-1562,2023-07
- 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. 第83回日本公衆衛生学会総会 (in press) .
- 9) 川崎嵩,菊田弘輝,林基哉,阪東美智子,長谷川兼一,澤地孝男, 新型コロナウイルス感染下における居住リテラシーに関するWEB調査 その2 冬期の調査結果,日本建築学会学術講演梗概集,p901-902,2022.07
- 10) 尾方壮行,山本佳嗣,鍵直樹,林基哉,田辺新一, デスクパーティションが呼吸器エアロゾル粒子への曝露に与える影響,日本建築学会学術講演梗概集,p1331-1332,2022.07
- 11) 金勲,阪東美智子,小林健一,下ノ菌慧,鍵直樹,柳宇,菊田弘輝,林基哉, 接待を伴う飲食店における換気と室内環境 感染症対策に関する実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集,p1355-1358,2022.07
- 12) 山本直輝,菊田弘輝,長谷川麻子,林基哉, 新型コロナウイルス感染症のクラスター感染が発生したコールセンターの空気環境, 日本建築学会学術講演梗概集,p1547-1548,2022.07
- 13) 赤松大成,森太郎,五宮光,林基哉,羽山広文, 換気方式の異なる室内空間における換気効率の比較, 日本建築学会学術講演梗概集,p2093-2094,2022.07
- 14) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 拡散サンプラーを用いた空气中イソシアネートの捕集及び分析. 2022 年室内環境学会学術大会 ; 2022. 12.1-2 ; 東京. 同講演集
- 15) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 簡易測定法による空气中イソシアネートの濃度調査. 第 93 回日本衛生学会学術総会 ; 2022. 3.2-3 ; 東京. 同講演集
- 16) 柳宇, 林基哉, 中野淳太, 開原典子, 菊田弘輝, 本間義規, 長谷川兼一. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態その 1 中央方式と個別方式における空気環境の比較. 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):251.
- 17) 林基哉, 菊田弘輝, 長谷川麻子, 柳宇, 中野淳太, 鍵直樹, 長谷川兼一, 東賢一, 本間義規, 小林健一, 阪東美智子, 金勲, 開原典子. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態その 2 COVID-19 事例における空調換気の調査. 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.

- 18) 開原典子, 柳宇, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈恵, 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4 興行場の衛生管理と室内環境. 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.
- 19) 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.
- 20) 伊庭千恵美, 島崎大, 柳宇, 開原典子, 戸次加奈恵, 本間義規, 林基哉. 建築物の空調換気設備と環境衛生の実態その6 海外の規制等に関する文献調査. 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):442.