

厚生労働行政推進調査事業費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

旅館業法及び興行場法の施設における感染防止対策等を含む衛生管理の推進のための研究
COVID-19 を踏まえた宿泊施設の換気対策に関する検証実験

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

研究要旨

COVID-19 を踏まえた旅館の換気対策として、宿泊施設のエアロゾル感染対策、客室の換気方式と施設内給排気バランス及び気圧性状、客室の換気効果に関する課題と対応、エアロゾル感染対策の評価手法について研究を行い、以下の結果を示した。

宿泊施設の空調換気設備に係る設計及び実態を踏まえ、客室及び廊下・ホール・食堂などの共用空間におけるエアロゾル感染対策の可能性を検討した。特に、長時間滞在する客室からのエアロゾル拡散に注目し、換気方式と給排気バランス特に気圧性状を整理した。空調換気方式が多様であることを踏まえて、客室の換気効果に関する課題を明らかにした。これらに基づいて、多様な課題に対するエアロゾル感染対策の可能性を整理した。また、既存施設における換気性能の確認方法の整理を行った。以上によって、宿泊施設の客室、フロア、棟、施設全体におけるエアロゾル拡散性状が多様であることを示し、エアロゾル感染対策の課題と対策評価の枠組みを優先順に以下のように示した。**I** 客室における温調器の風量変化、個別スイッチ操作のエアロゾル拡散への影響を明らかにする。また、客室の空調換気方式に対応した陰圧化方法を示す。**II** フロアの空調換気方式によるフロア内の換気経路とエアロゾル拡散の性状を把握し、客室の対策が感染リスク（エアロゾル濃度）に与える影響を明らかにする。**III** 宿泊施設の建築形態及び暖冷房の実態などの諸条件を想定し、施設内外の温度分布及び外部風の影響を考慮して、各空調方式が換気経路とエアロゾル拡散に与える影響を把握する。また、各空調方式における対策を仮定し、その効果を評価する。**IV** 複数フロア間のエアロゾル移動と感染リスクに関する評価を行う。**V** 複数棟間のエアロゾル移動と感染リスクに関する評価を行う。また、エアロゾル感染対策の評価手法として、空調換気設備に依存する施設内のエアロゾルの流れを把握するために、換気回路網計算を用いたエアロゾル濃度分布のシミュレーションの必要性を示した。

宿泊施設におけるエアロゾル感染対策の効果を検証するための基礎資料を得るために、トレーサーとして、CO₂ 及びエアロゾルを用いて、感染者が滞在する客室から廊下及び近隣の客室への拡散性状を測定する方法を宿泊施設内で試行し以下の知見を得た。

感染者が滞在する客室内では、ウイルスを含むエアロゾルが拡散し、換気量が少ない場合にはその濃度が高くなる。従って、感染者が滞在する客室は、排気を十分に確保して陽圧にならないようにすることが基本である。外気が客室のファンコイルユニットを経由して供給される場合には、暖冷房に伴って外気の供給量が増加し、陽圧になってしまう可能性がある。このような特性を踏まえて陽圧を防止するための空調換気設備の運転制御が必要である。ドアを開放すると急速にエアロゾルが廊下に流

出して拡散する。従って、ドア開放の回数及び時間を最小限にすることが望ましい。また、空気清浄機（フィルタ）などによって、客室のエアロゾル濃度を抑制することも必要である。感染者が滞在する客室の近傍の廊下などの空間では、特に、空気が停滞する部分や排気口の近くなどの気流の風下になる空間では、エアロゾル濃度が高くなる可能性がある。このような空間では、換気量増加や空気清浄機の利用が必要である。換気量の確保の手段として、窓の開放があるが、窓の開放は、空調換気設備の効果に不確定な影響を与える可能性がある。外部風の圧力によって客室のエアロゾルが廊下に流出しやすくなる。また、排気ダクトや給気ダクト内の空気の流れを減少させ、逆流させる可能性がある。これらの窓開放による影響を踏まえて、急速な換気が必要となる緊急時の対応方法を検討する必要がある。

エアロゾルの挙動と感染対策の効果は空調換気や温度差に影響される室内気流に左右されたため、より詳細な温度、気流、トレーサ濃度の測定で空間分布を把握し、CFD解析による分析が必要である。

A. 研究目的

A1.

COVID-19 パンデミックにおける浮遊飛沫（エアロゾル）による空気を介する伝播・感染（以下、エアロゾル感染）に関する指摘¹⁾⁻⁹¹⁾を踏まえて、旅館などの宿泊施設におけるエアロゾル感染を踏まえた換気対策を示すことが求められている。感染者及び感染の疑いがある者が宿泊施設内に滞する場合、エアロゾル感染を想定することが必要である。エアロゾル感染のリスクを抑制するためには、空調換気設備の運転、空気清浄機の利用などの対策（換気等の対策）を具体化する必要がある。

本報告では、宿泊施設のエアロゾル感染対策（客室、食堂、ホール、浴室等の共用空間）、客室の換気方式と陰圧性状、客室の換気効果に関する課題と対応について、宿泊施設に関する既往の調査結果⁹²⁾⁻⁹⁶⁾、換気に関する基準等⁹⁷⁾⁻⁹⁹⁾、本研究による宿泊施設に対するヒアリング及び室内環境調査の結果を踏まえて整理し、エアロゾル感染対策の評価に向けた課題と手法¹⁰⁰⁾を検討する。

A1.1. 宿泊施設のエアロゾル感染対策

客室の換気等の対策、共用空間（食堂、ホール、浴室等）の換気等の対策について、求められる条件と対策の可能性について整理する。

A1.2. 客室の換気方式と陰圧の性状

客室の空調換気設備の実態を踏まえて、客室の給排気収支及び気圧に関する性状を整理する。

A1.3. 客室の換気効果に関する課題と対応

客室の換気効果が低下し、エアロゾル感染のリスクが上昇する要因を整理する。

A1.4. 換気性能の確認方法

市中感染及びパンデミックが発生する前に、簡易に換気性能を測定する方法について検討する。

A1.5. エアロゾル感染対策の評価手法

エアロゾル感染の対象範囲（客室、フロア、棟、施設）を想定し、エアロゾル拡散対策の評価を行うための手法を検討する。

A2.

COVID-19 パンデミックにおける浮遊飛沫（エアロゾル）による空気を介する伝播・感染（以下、エアロゾル感染）に関する指摘を踏まえて、旅館などの宿泊施設におけるエアロゾル感染を踏まえた換気対策を示すことが求められている。感染者及び感染の疑いがある者が宿泊施設内に滞する場合、エアロゾル感染を想定することが必要である。エアロゾル感染のリスクを抑制するためには、空調換気設備の運転、空気清浄機の利用などの対策（換気等の対策）を具体化する必要がある。

昨年度は、宿泊施設のエアロゾル感染対策（客室、食堂、ホール、浴室等の共用空間）、客室の換気方式と陰圧性状、客室の換気効果に関する課題

と対応について、宿泊施設に関する既往の調査結果、換気に関する基準等、本研究による宿泊施設に対するヒアリング及び室内環境調査の結果を踏まえて整理し、エアロゾル感染対策の評価に向けた課題と手法を検討し以下を示した。宿泊施設の空調換気設備の実態を踏まえて、客室及び共用空間におけるエアロゾル感染対策の可能性を検討した。特に、長時間滞在する客室の換気方式と陰圧の性状を整理し、空調換気方式が多様であることを踏まえ、換気効果に関する課題を明らかにし、客室におけるエアロゾル感染対策の可能性を整理した。また、換気性能の確認方法の整理を行った。以上によって、宿泊施設の客室、フロア、棟、施設全体におけるエアロゾル拡散性状が多様であることを示し、エアロゾル感染対策の課題と対策評価の枠組みを示した。最後に、エアロゾル感染対策の評価手法として、換気回路網計算を用いたエアロゾル濃度分布のシミュレーションの必要性を示した。

本年度は、宿泊施設におけるエアロゾル感染対策の効果を検証するための基礎資料を得るために、トレーサーとして、CO₂ 及びエアロゾルを用いて、感染者が滞在する客室から廊下及び近隣の客室への拡散性状を測定する方法を宿泊施設内で試行し、測定結果を用いた換気性状、エアロゾル拡散性状、感染リスクの推定法に関する分析を行った。以上によって、今後のシミュレーション等による対策効果の検証に関するケーススタディーの有効性の基礎データを取得した。

B. 研究方法

B1.

B1.1. 宿泊施設のエアロゾル感染対策

宿泊施設の空調換気設計条件、宿泊施設の施設担当者に対するヒアリング及び室内環境調査（温湿度・CO₂ 濃度等）の結果を踏まえて、各空間におけるエアロゾル感染対策の可能性と課題を整理する。

B1.2. 客室の換気方式と陰圧の性状

宿泊施設の空調換気設計条件、宿泊施設の施設担当者に対するヒアリング及び室内環境調査（温湿度・CO₂ 濃度等）の結果を踏まえて、客室の換気方式と陰圧の性状を整理する。

B1.3. 客室の換気効果に関する課題と対応

宿泊施設の空調換気設計条件、宿泊施設の施設担当者に対するヒアリング及び室内環境調査（温湿度・CO₂ 濃度等）の結果を踏まえて、客室における換気効果の低下と感染性エアロゾル吸引の可能性を挙げ、対応の可能性を示す。

B1.4. 換気性能の確認方法

換気風量、換気量、気流、差圧などの換気性の簡易測定方法について整理する。

B1.5. エアロゾル感染対策の評価手法

平時及び感染の可能性がある者が滞在している場合を想定し、空間内で長時間にわたって感染性エアロゾルが発生する場合の空調換気対策を評価するためのシミュレーション手法を検討する。

B2.

感染者が客室に滞在する場合、その客室ではウイルスを含むエアロゾルの濃度が上昇し、廊下に流出する可能性がある。客室の気圧が廊下よりも高い場合（陽圧）には、ドアの隙間やアンダーカット等の開口部を介して、エアロゾルが定常的に廊下に流出する。また、陽圧でない場合にも、客室及び廊下の気流によって生じる隙間や開口部に働く動圧によって、エアロゾルが廊下に流出する可能性がある。

宿泊施設では、客室への入室や退室、職員のサービスの場面では、客室のドアが一時的に解放される。また、宿泊者が退室した後の清掃作業時にはドアが解放状態になる場合が想定される。ドア開放時には、客室と廊下の間の開口面積が大きくなるため、客室と廊下で大きな相互換気が発生する。ドア開放時には客室と廊下の気圧差がほとんどなくなるため、客室及び廊下の気流の影響

を受けやすくなるとともに、客室と廊下の温度差による相互換気（温度差換気）が発生する。

エアロゾル拡散による感染リスクを抑制するためには、客室の気圧やドア開放によって生じるエアロゾル拡散性状に関する知見が重要であり、感染対策立案の基礎となる。本実験では夏期冷房時に行われた。ドア閉鎖時とドア開放時の客室からのエアロゾル拡散の性状を明らかにするために、空調換気設備の風量測定に加えて、ウイルスを含むエアロゾルを模擬するトレーサの発生と各所の濃度応答の測定を行った。これらの測定値を用いて、エアロゾルの拡散性状に関する分析を行い、換気対策の検証の基礎とした。

図1に示す宿泊施設内の6客室と廊下によって構成されるエリアを測定対象として、Room2を感染者が滞在する客室と想定してトレーサ（CO₂とエアロゾル）を発生する発生室とした。初めに、対象エリアの空調換気設備の風量を測定し、続いて、トレーサ発生実験を行った。対象の客室の空調換気設備は、図2及び表1に示すように、外調機から外気（OA）がファンコイルユニットに供給（SA）され、バスユニットから排気（EA）されている。客室のファンコイルユニットへの還気（RA）は、入口天井付近の吸気口からファンコイルユニットに供給され、外気と混合した後に冷却され、客室の下がり壁の給気口から水平方向に、客室中央部に向けて供給されている。また、客室ドアにはドアアンダーカットがあるが、ドア閉鎖時にはドア内蔵の仕切り版が下りて隙間を塞ぐ自動遮蔽装置が施されている。ただし、ある程度の隙間があると考えられ、その程度は、客室によって、或いは、床のカーペットの状況等によって差があり、閉鎖程度は安定していない可能性がある。

実験対象エリアの客室フロア全体の空調換気は、表1に示すように、外気が客室及び廊下中央部に供給され、客室及び廊下端部から排気されている。従って、廊下の空気は大略的には中央部から端部に向かって移動している。また、客室の空気は、バ

スユニットから排気されるが、バスユニットの排気ファンは個別スイッチで制御されているため、バスユニットを使用していない時間には停止している可能性がある。ただし、排気ファンを停止していても集中排気設備によってある程度の排気が確保されている。

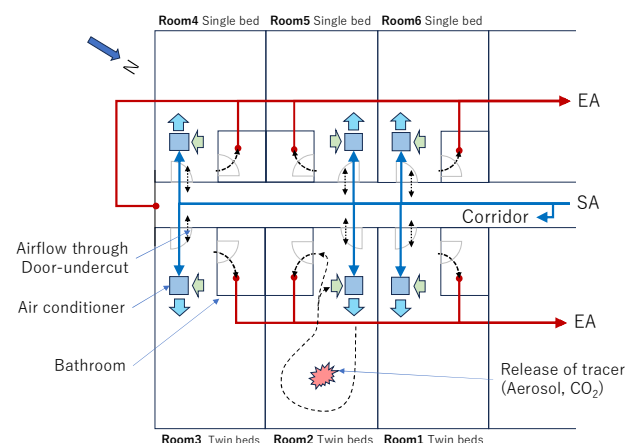


図1 実験を行ったエリア（客室及び廊下）

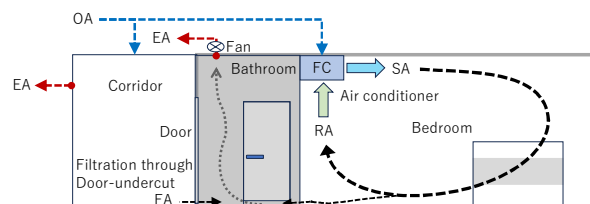


図2 客室の空調換気設備

表1 客室の空調換気設備

外気 (OA)	外調機 客室空調機(ファンコイルユニット)に供給 廊下中央部給気口（エレベータホール）
排気 (EA)	浴室排気口（個別排気ファン付） 廊下の端部の排気口
暖冷房 (AC)	客室ファンコイルユニット FC（客室内循環）
その他	客室ドア下部に自動遮蔽装置

1) 風量測定

客室では、バスユニットの排気口、ファンコイルユニットの給気口及び吸気口、廊下では排気口の風量を、風量計(KANOMAX 6750)及び熱線風速計(KANOMAX 6501)を用いて測定した。バスユニットの EA は、風量計を用いて測定した。客室の SA の長方形給気口（開口面積 0.02 m²）の3点で

風速を測定し、有効開口率 0.6 を乗じて風量を算出した。客室の RA の正方形吸気口（開口面積 0.16 m²）は、5 点で風速を測定し、有効開口率 0.9 を乗じて風量を算出した。廊下端部の排気口（開口面積 0.06 m²）も、5 点で風速を用いて有効開口率を 0.9 として風量を算出した。

2) トレーサー実験

CO₂ は、ドライアイス熱湯に投入して発生させた。発生時は、濃度ムラが生じないように攪拌し、3000ppm 程度を超えた時点で発生を停止し退室した。各所の CO₂ 濃度、温湿度を、(T&D おんどり TR-76) を用いて測定した。客室内では高さ約 0.7m の 3 点、廊下では、廊下巾のほぼ中央で約 2m 間隔の高さ約 0.7m で測定した。

退室後にエアロゾルを遠隔で発生させた。エアロゾルは、蛍光粒子（粒径 1 μm の標準粒子）を 1 分間で計 190 μg 発生させ、エリア内の客室中央部及び廊下でパーティクルカウンター(KANOMAX 3889)によって粒径 (0.3 0.5 1.0 3.0 5.0 10.0 μm) 毎の数を測定した。エアロゾルは、発生室中央で発生させ、攪拌は行っていない。客室内では、室中央高さ約 0.7m の各室 1 点で、廊下では、廊下巾のほぼ中央で約 2m 間隔の高さ約 0.7m で測定した。

発生室でトレーサーを発生させた後、ドアを閉鎖した状態で一定時間経過した後に、ドアを開放した。ただし、空気清浄機 (HEPA フィルタ搭載) を用いた下記の実験 4 では発生室のドアを開放しなかった。

実験条件は、以下のとおりである。なお、ファンコイルユニットの冷房運転は「中」とした。

1. 浴室排気 OFF : 発生室ドア (1-1 閉、1-2 開)
2. 浴室排気 ON : 発生室ドア (2-1 閉、2-2 開)
3. 浴室排気 ON : 発生室窓 開、発生室ドア (3-1 閉、3-2 開)
4. 浴室排気 : 全室空気清浄機運転、発生室ドア (4-1 閉、4-2 開)

なお、実験時の外気条件は、最も近い気象観測点の気象データで気温 : 28~34℃、風速 : 2.5~5.2 m/s、風向 : 南~南東であった。

3) 分析

風量測定結果から、エリア内のドア閉鎖時の空気の流れを示す図を作成し、エアロゾル拡散の基礎となる客室と廊下の間の気流方向を把握した。トレーサー実験で得られた、各測定点の濃度応答の減衰部分から、客室及び廊下の換気回数及び換気量を算出し、さらに濃度応答曲線の時間積分によって、定常状態(トレーサーが連続発生した場合)の感染者が滞在する客室の濃度に対する各測定点の濃度の比を算出した(参考文献 1)。式 1 に示すように、発生室の濃度変化から、濃度が安定するまでの濃度積分値を算出し、次に各測定点の濃度積分値を算出した。その比が、発生室で連続発生した場合(定常発生)の、発生室の濃度に対する各測定点の濃度の比 Rc となる。なお、濃度積分はバックグラウンド濃度(初期値:実験開始時の濃度)との差を用いて算出した。

$$Rc = Ci / Cs \dots\dots\dots \text{式 1}$$

ここに、Rc : 定常発生時の濃度比

Ci : 測定点 i における定常濃度

Cs : 発生室 s における定常濃度

さらに、この濃度比 Rc を用いて、廊下における感染リスクを試算し廊下における感染リスクを示すとともに、廊下のエアロゾルが他の客室に流入した場合の感染リスクの上限値を算出した。

感染リスクの算出は、以下の方法を用いた。ウイルス発生源(一次感染者)が存在する空間の換気量と感染リスクの関係を表す Wells-Riley 感染確率モデルは式 2 で示される(参考文献 2,3)。

$$n/N = 1 - \exp(-Iqpt/Q) \dots\dots\dots \text{式 2}$$

ここに、 n :二次感染者数

N :在室者数

I :感染者数

q [1/h]:時間当たりの quanta 生成率

p [m³/h]:呼吸量

t [h]:滞在時間

Q [m³/h]:換気量

感染リスク n/N の試算に当たって、以下のよう
に仮定した。

I :感染者数 = 1 (感染者が田尾在する客室)

q [1/h]:時間当たりの quanta 生成率

=12.5 (新型コロナウイルスオミクロン株
安静状態)

p [m³/h]:呼吸量=0.48 (立位)

なお、滞在時間は宿泊施設であり得る状況に応
じて設定し、換気量は測定値を用いた。

以上によって、エアロゾル感染対策として考え
られる客室の陰圧化、ドア開放時間の抑制、空気
清浄機によるエアロゾルの捕集の効果、窓開け換
気の影響について考察し、エアロゾル感染対策の
基本を示した。

4) 気流可視化

以上の分析を踏まえて、客室の気圧と廊下への
流出及び廊下での拡散について微粒子可視化手法
を用いて確認した。

量噴霧型純水ミスト発生器により生成した微粒
子、及びネブライザー(オムロン NE-C28)に経口
補水液(大塚製薬 OS-1)を注入して発生させたも
のをトレーサーとして用い、可視化用光源には、
微粒子可視化用レーザー光源「パラレルアイH」
およびファイバー伝送式レーザー光源「パラレル
アイF」並びに微粒子可視化用LED光源「パラ
レルアイM」を使用した。撮影はカラーカメラを
用い、時間変化を含むトレーサーの挙動を記録し
た。

図1に示す対象エリアは中廊下型であり、客室
が廊下を挟んで配置されている。撮影は以下の4
場面を設定して実施した。

(1) 客室からの流出:客室扉閉鎖状態において
室内を陽圧(約0.4Pa)とし、客室扉下隙間から
の流出を撮影、その後に浴室換気扇を利用して客
室を陰圧化(-0.4Pa)して気流の変化を撮影

(2) 対面2客室からの流出:2室を陽圧(約
0.4Pa)とし、2室から流出する気流と衝突後の
上昇を撮影

(3) 客室扉開放:客室を陽圧(約0.4Pa)にし
て、室内にトレーサーを充満させた後に客室扉を
開放し、廊下への気流を撮影

(4) 客室窓開放:客室を陽圧(約0.4Pa)にし
てトレーサーを充満させた後に、ドアガード分の
み開放(約5cm)し、さらに客室窓を開放し、廊
下への気流を撮影

以上によって、エアロゾル感染対策として考え
られる客室の陰圧化、ドア開放時間の抑制、空気
清浄機によるエアロゾルの捕集の効果、窓開け換
気の影響について考察し、エアロゾル感染対策に
関する基本を確認した。

C. 研究結果

C1.1. 宿泊施設のエアロゾル感染対策

宿泊施設における宿泊者の基本的な行動は、ホ
ールなどで受付を行い客室に移動、その後に施設
内の共有空間を利用する。その後、受付を行って
退所する。従業員は、出勤後各空間を移動して業
務に従事した後に退勤する。これらの施設在所要
によるエアロゾル感染は、施設内各所で発生する
可能性があるが、比較的滞在時間が長い空間で、
エアロゾル濃度が上昇し感染リスクが高くなると
考えられる。例えば、感染者が滞在する客室に來
客や清掃従業員が入室した場合には、エアロゾル
の吸引と感染の可能性が生じる。また、エアロゾ
ル濃度が高い空間の空気が流出する空間でもエア
ロゾルの吸引・感染の可能性が生じる。例えば、感

染者が滞在する客室の排気が不十分で、客室内のエアロゾルが廊下に流出すると、廊下でのエアロゾル吸入による感染の可能性が生じる。

客室では、夜間などに長時間のエアロゾル発生があり濃度が上昇する。高濃度のエアロゾルが廊下に流出すると廊下での吸引と感染の可能性が高くなるため、客室から直接排気して、エアロゾルが廊下に流出しないようにする客室の陰圧化が望まれる。空気清浄機等によって客室内のエアロゾルを捕集する方法も考えられるが、その場合でも廊下への流出を抑制することが望まれる。

共用空間の食堂や浴室などでは、感染者が比較的に長い時間にエアロゾルを放出し濃度が上昇する可能性があり、他の利用者が吸引し感染する可能性が生じる。共用空間では、換気量が少なく感染者が放出したエアロゾルの濃度が高くなることによる感染（空間拡散感染）に加えて、室内気流によって感染者の風下で部分的に濃度が高くなる場合の感染（風下感染）の可能性が生じる。共用空間では感染者の位置が特定できないため、風下感染を抑制することが難しいが、扇風機やサーキュレータ等によって、空気の流れを変化させることでリスクを平均化することが出来る。なお、扇風機やサーキュレータは、首振りなどの機能を用いて流れが固定されないようにすることが望ましいとされている。また、空気清浄機はエアロゾルを捕集するが、さらに空気清浄機の気流を生かす方法も考えられる。

以上のように、宿泊施設では客室と共用空間のエアロゾル感染対策が異なる。客室では換気量の確保と陰圧化によるエアロゾル拡散防止、共用空間では換気量の確保と気流制御が必要である。

C1.2. 客室の換気方式と陰圧の性状

図3に、客室の主な給気方式及び空調換気方式を示す。給気方式には、外調機がある場合には、Aダクトからの給気、B天井裏空間を利用した給気、C廊下からの間接的な給気、がある。外調機が無い場合には、D廊下からの間接的な給気、E客室

の自然給気口からの給気、F廊下からの給気と自然給気口からの給気の併用、がある。なお、その他の給気方法も考えられる。

客室の排気は、バスユニットやトイレの排気口から行われる。排気が連続運転（24時間換気）の場合と、個別スイッチで停止できる場合がある。

空調は、ファンコイル（FC）、壁掛けエアコンがある。客室のパネルで風量を調整（強中弱）する場合と客室のパネルで温度を設定すると風量が自動的に変化する場合がある。外調機からの外気が、ファンコイルユニットに供給される場合には、空調の風量によって外気の流入量が変わる可能性がある。特に、天井裏を利用して外気を客室に導入する場合（B）には、空調の風量が低い客室への外気導入量が減少する可能性がある。

客室の陰圧性状は、給気方式、排気の運転状況、空調の運転状況、外気条件（外部風・気温）によって異なると考えられる。

C1.3. 客室の換気効果に関する課題と対応

図4に、空調方式毎の換気効果の低下、エアロゾル感染の可能性と対応を示す。

廊下経由で客室に給気する場合（図4のFig.1）、客室が廊下に対して陰圧になり、客室からのエアロゾルの流出が少ないと考えられる。しかし、廊下の空気が客室ドアのアンダーカットを介して流入し、ドア近くのバスユニット等から排気されることでショートサーキットが発生する可能性がある。客室に空気の停滞が発生し、エアロゾルの濃度が高くなる。この対応としては、エアコン（AC）やファンコイルユニット（FC）の風量を維持（暖冷房が必要ない場合にも送風を行う。）して、客室内を攪拌することで、停滞を解消することが出来ると考えられる。また、サーキュレータや空気清浄機によって攪拌する方法も考えられる。

FC経由で給気する場合（図4のFig.2）、FCの風量が低下すると外気導入量が低下する可能性がある。対応としては、FCの風量を維持（暖冷房が

必要ない場合にも送風を行う。) し、外気導入量を維持する方法が考えられる。

客室不在時の排気や空調の停止によって、客室内のエアロゾル濃度が高く維持される可能性がある。また、省エネルギーのために CO₂ 濃度計を用いて換気量を抑制する場合、次のような換気量の減少が発生する場合がある。一般的な CO₂ 濃度計には自動補正機能があり、一定期間の最低濃度を外気濃度に一致させるように濃度表示を補正する。不在時の換気停止によって維持された比較的高い濃度を外気濃度とするために、補正後は実際よりも濃度が過小評価され、換気量が抑制される。このような事象は、事務所ビルで確認されている。対応として、不在時の換気量の一定時間の維持による濃度の低減が必要となる。

自然給気口を用いた場合 (図 4 の Fig 3)、客室ドアのアンダーカットの気流方向が、外気条件の影響を受けやすい。客室への空気の流入が安定するように、排気しながら自然給気口とドアアンダーカットのいずれかを閉鎖し空気の流れ方向を確定して客室を陰圧化する方法が考えられる。

C1.4. 換気性能の確認方法

市中感染及びパンデミックが発生する前に、以下の方法を用いて換気性能を点検し、必要な改善を行うことが望ましい。図 5 に、客室と共用空間における換気性能の測定方法を示す。

客室では、感染の疑いがある宿泊者を受け入れる場合は、事前の点検と改善が非常に重要である。
①風量の測定、②CO₂ 濃度の測定、③差圧・気流の測定が必要である。風量の測定によって、一人当たりの換気量の目安 30 m³/h を超えているかを確認することが望まれる。CO₂ 濃度の測定では、在室時に 1000ppm を超えないことが望まれる。また、不在時の CO₂ 濃度の減衰から、換気量を算出することが出来る。この換気量が前述の目安を満たしていることが望ましい。また、差圧・気流によって客室の陰圧を確認することが出来る。

共用空間では、①風量の測定、②CO₂ 濃度の測定が必要であり、客室の場合と同様に一人当たりの換気量の目安 30 m³/h を超えているかを確認することが望まれる。

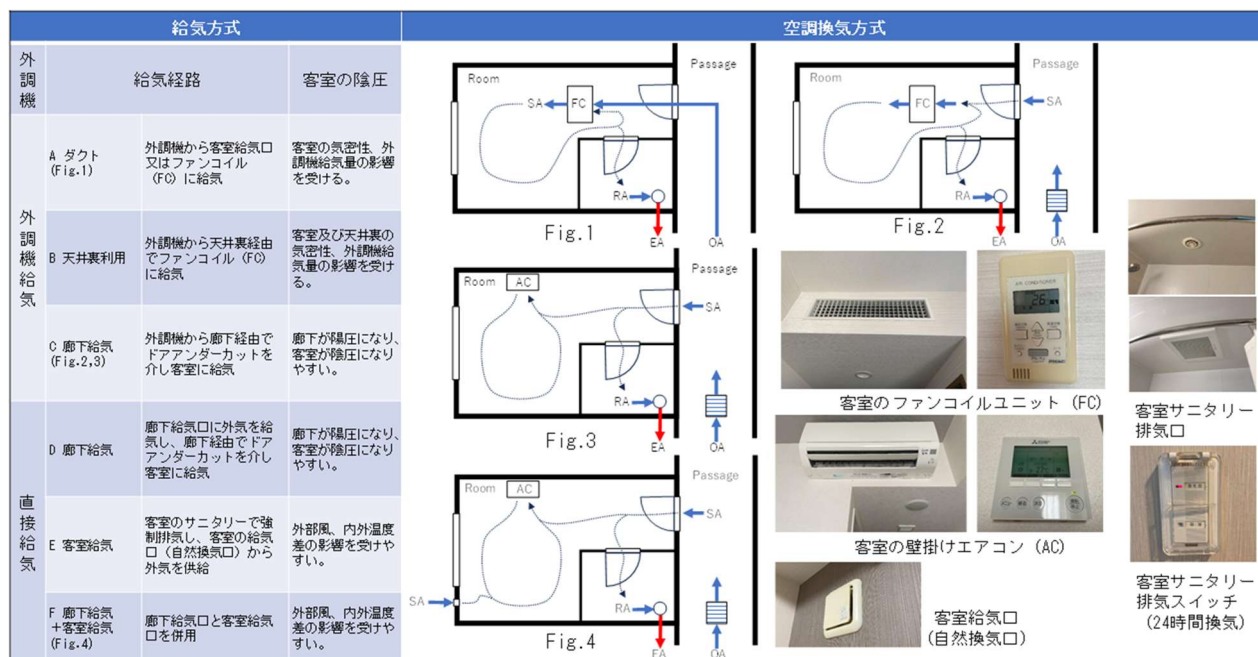


図3 客室の換気方式と陰圧の性状

C1.5. エアロゾル感染対策の評価手法

エアロゾル感染対策は、ウイルス等の病原体の性質（感染力や毒性）によって必要レベルが異なる。感染者から放出されたエアロゾルの挙動は、空調換気設備、空気が流れる経路、外気条件によって形成される換気経路（空気の流れ）に依存する。従って、感染者の位置からどの程度の空間範囲までを対象に評価するかは、これらを踏まえて検討する必要がある。表2は、対象範囲の換気経路形成要因を踏まえたエアロゾル拡散対策とその優先度を示している。また、対策評価の要点を示している。感染力及び毒性が低い場合でも必要となる換気対策を優先して評価すべきであると考えられる。

平時及び感染の可能性がある宿泊者がいる場合の対策としては、客室で発生したエアロゾル拡散対策（Ⅰ）の評価が最も優先度が高いと考えられる。次に、フロア全体の換気経路は空調換気設備によって異なり、客室から拡散したエアロゾルの挙動が多様であるため、フロアを対象にした評価（Ⅱ）も重要である。宿泊施設の条件（建築形態、空調換気設備、運用・維持管理）によって、換気経路は多様である。このため、エアロゾル拡散対策

の効果を一律に評価することは出来ない。従って、宿泊施設の条件とエアロゾル拡散対策の効果の関係性の全体像を把握（Ⅲ）することも重要である。複数フロアで構成される棟では、階段室やエレベータ、空調ダクトを介してエアロゾルがフロア間で拡散し、感染の要因となる場合（Ⅳ）が考えられる。また、複数の棟で構成される施設全体でのエアロゾル拡散（Ⅴ）も否定できない。これらのエアロゾル拡散対策とその効果は、実態調査や実験のみで明らかにすることは出来ないため、建築物の形態、空調換気設備の特性を考慮した換気回路網及び気流の解析（シミュレーション）によって評価する必要がある。

図6は、課題Ⅰ及び課題Ⅱに関するシミュレーションモデルの案を示している。課題Ⅰでは、客室の空調換気運転が客室のエアロゾル濃度に与える影響を示す。また、それぞれの状況で対策を行った場合の効果を示すことが出来る。課題Ⅱでは、フロア内の客室の空調換気運転の組合せがフロア内のエアロゾル濃度分布に与える影響を示す。そして、対策の効果を示すことが出来る。このエアロゾル濃度のシミュレーションは、換気回路網計算によって行うことが出来る。

空調換気方式	換気効果の低下と感染性エアロゾル吸引の可能性	対応
廊下給気 (Fig. 1)	- 廊下からドアアンダーカットを介して客室に給気される場合、客室内でドアアンダーカットからサニタリーへのショートサーキットが発生する。 - 客室内に換気ムラが発生し、内部が高濃度になる。 - AC及びFCの風量が下がり客室内空気の攪拌が弱くなると、換気ムラが顕著になる。	ACで暖冷房が必要ない場合には、ACの送風やサーキュレーターで攪拌して淀みを解消する。
FC給気 (Fig. 2)	- FCに清浄空気（外気）を、ダクト及び天井裏を介して給気する場合、FCの風量によって換気効果が変化する。 - FCの風量が低下すると、客室の濃度が上昇する可能性がある。	FCで暖冷房が必要ない場合には、FCの送風を運転して風量を維持する。
不在時停止	- サニタリー排気が停止すると、濃度が維持される。 - AC・FCが停止すると、換気効果が抑制される。 - 不在時の停止によって濃度が維持されるため、その後に入室する従業員等が暴露する濃度が低下しない可能性がある。 - CO₂濃度計を利用する場合、不在時に濃度が外気と同等まで低下して外気ないと、自動補正によって、濃度が過小評価される。	- 不在になっても、換気量を維持する。 - 不在になっても、AC・FCの送風やサーキュレーターを一定時間運転し、濃度を低下させる。
給気口（自然換気口） (Fig. 3)	- 給気口の通気は、外部風、内外温度差の影響を受け、客室の気圧が変化しやすい。 - 換気量が増加するとともに、客室空気の廊下流出と廊下空気の流入のいずれも発生する可能性がある。 - 客室の高濃度と廊下の濃度上昇の可能性がある。	- 給気口を塞ぎ、廊下給気によって陽圧を保ち、空気の流れ方向を安定させる。 - ドアのアンダーカットを塞ぎ、給気口から外気導入を促進し、流れ方向を安定させる。

図4 客室の換気効果に関する課題と対応

換気性能の確認方法

A) 客室の換気性能

市中感染及びパンデミックが発生する前に、以下の方法を用いて換気性能を点検し必要な改善を行う。特に、感染の疑いがある宿泊者を受け入れるための客室では、事前の点検と改善が重要である。

① 風量の測定

サニタリーの排気口の風量を風量計等で測定する。

② CO₂濃度の測定

客室使用時のCO₂濃度の連続測定を行い、1000ppmを超えないことを確認する。

客室使用後の濃度変化から、減衰法を用いて換気量を換算する。

③ 差圧・気流の測定

客室と廊下の気圧差を測定し、客室の陰圧を確認する。ドアアンダーカットの気流方向をスモークテスターで確認する方法もある。

B) 共用空間（食堂、ホール、入浴施設等）の換気性能

市中感染及びパンデミックが発生する前に、以下の方法を用いて換気性能を点検し必要な改善を行う。

① 風量の測定

給排気口の風量を風量計で測定する。なお、給排気口の形状などによって風量計で測定できない場合がある。

② CO₂濃度の測定

CO₂濃度の連続測定を行い、満席の状態でも1000ppmを超えないことを確認する。

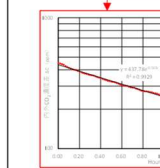
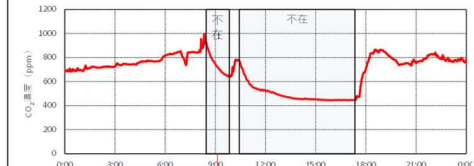
空間使用後の濃度変化から、減衰法を用いて換気量を換算する。なお、エアコン等の攪拌が行われないと濃度むらが発生するために正確な換気量が得られない。

風量の測定



- 風量計によって排気量 (m³/h) を測定
- 風速計によって、風速 (m/h) を測定し、断面積を考慮して排気量 (m³/h) を算出

CO₂濃度の測定と換気量の算出



- CO₂濃度の測定
 - 使用状態の連続データで、1000ppmを超えないことを確認する。
 - 不在時の濃度変化から減衰法によって換気量を換算する。
- 換気回数 $N = 0.567$
 空間容積 $V = 13.3 \times 2.3 = 30.6 (\text{m}^3)$
 換気量 $= N \times V = 17.3 (\text{m}^3/\text{h})$

図 5 宿泊施設における換気性能の確認方法

表 2 換気経路 (空気の流れ) とエアロゾル拡散対策の評価

対象範囲	換気経路形成要因	エアロゾル拡散対策	研究課題と優先度 (I - V)	感染性エアロゾルの挙動
客室 (居室、水回り…)	客室の給排気風量、温調 (FCU等) の風量	客室から廊下へのエアロゾル拡散を抑制 (客室の陰圧化)	I 客室における温調器の風量変化、個別スイッチ操作のエアロゾル拡散への影響を明らかにする。また、客室の空調換気方式に対応した陰圧化方法を示す。	感染性エアロゾル発生形式 ① 呼吸及び咳等による発生 (インフルエンザ、コロナなど) ② 嘔吐・排泄に伴う発生 (ノロウイルス、インフルエンザ、コロナなど) 感染性エアロゾル発生空間 ① 客室 ② サービス (リネン室等) ③ 廊下/ホール ④ エレベータ ⑤ 食堂 ⑥ 共用浴場 感染性エアロゾルの影響範囲 (病原体の感染力等によって想定される順位) ① 発生空間内 ② 隣接空間 (下流又はドア開閉時の拡散) ③ 換気経路下流の空間 (隣接空間のさらに下流) ④ 空調換気系統の下流の空間 (ダクト経由)
フロア (客室+共用空間…)	客室、共用空間 (廊下、ホール等) の空調換気系統	感染性エアロゾルが発生する空間からエアロゾルがフロア内に拡散することを抑制	II フロアの空調換気方式によるフロア内の換気経路とエアロゾル拡散の性状を把握、客室の対策が感染リスク (エアロゾル濃度) に与える影響を明らかにする。	
棟 (複数フロア)	単一/複数の空調換気系統	フロア間のエアロゾル拡散の抑制	IV 複数フロア間のエアロゾル移動と感染リスクに関する評価を行う。	
施設 (複数棟)	複数の空調換気系統	棟間でのエアロゾル拡散の抑制	V 複数棟間でのエアロゾル移動と感染リスクに関する評価を行う。	

C2.

1) 風量測定

図 7 に客室の給排気風量を示す。風量測定は、浴室排気ファンの ON、OFF、ファンコイルユニット (ここでは AC と表記) の ON、OFF の計 4 条件で行った。風量は客室によって差がある (図 7)。

浴室排気ファンの ON、OFF については、ON の方が排気風量が大きい傾向がある。ファンコイ

ルユニット (ここでは AC と表記) の ON、OFF については、ON の方が SA が顕著に大きい。図中の FA (Filtration Air) は、客室の給排気量収支から算出した空気量であり、ドア廻りの隙間を介する空気の流れの方向や程度の参考値となると考えられる。ファンコイルユニット (ここでは AC と表記) が ON の場合は、浴室排気ファンが OFF になると、客室から廊下に空気が流れるが、ON にすると流れが逆になることを示した。

感染者が滞在する客室の対策として、客室の排気を確保して、廊下へのエアロゾル拡散を抑制することが望まれる。このため、トレーサー実験では、浴室排気ファンが ON の場合に注目することとした。なお、比較のために浴室排気ファン OFF の場合も最初に行った。また、暖冷房が必要であることを踏まえ、ファンコイルユニット (AC と表記) は、ON とした。

図 8 に、発生室 (R2:Room2) の風量測定結果を示す。4 条件による発生室の風量の差の傾向は、他の客室と類似している。トレーサー実験の条件である浴室排気ファン ON (EA ON)、ファンコイ

ルユニット ON (AC ON) では、FA が非常に小さく、客室と廊下が概ね等圧の状態となると考えられる。従って、ドア閉鎖時には、客室のエアロゾルが廊下に拡散しづらい状況であったと考えられる。ただし、ファンコイルユニットが運転されているため、客室内の気流によってドア廻りに動圧が発生しエアロゾルが廊下に流出する可能性は否定できない。

エリア内の廊下端部の排気口の風量は、 $210\text{m}^3/\text{h}$ であった。従って、廊下では端部に向かう気流が生じやすいと考えられる。

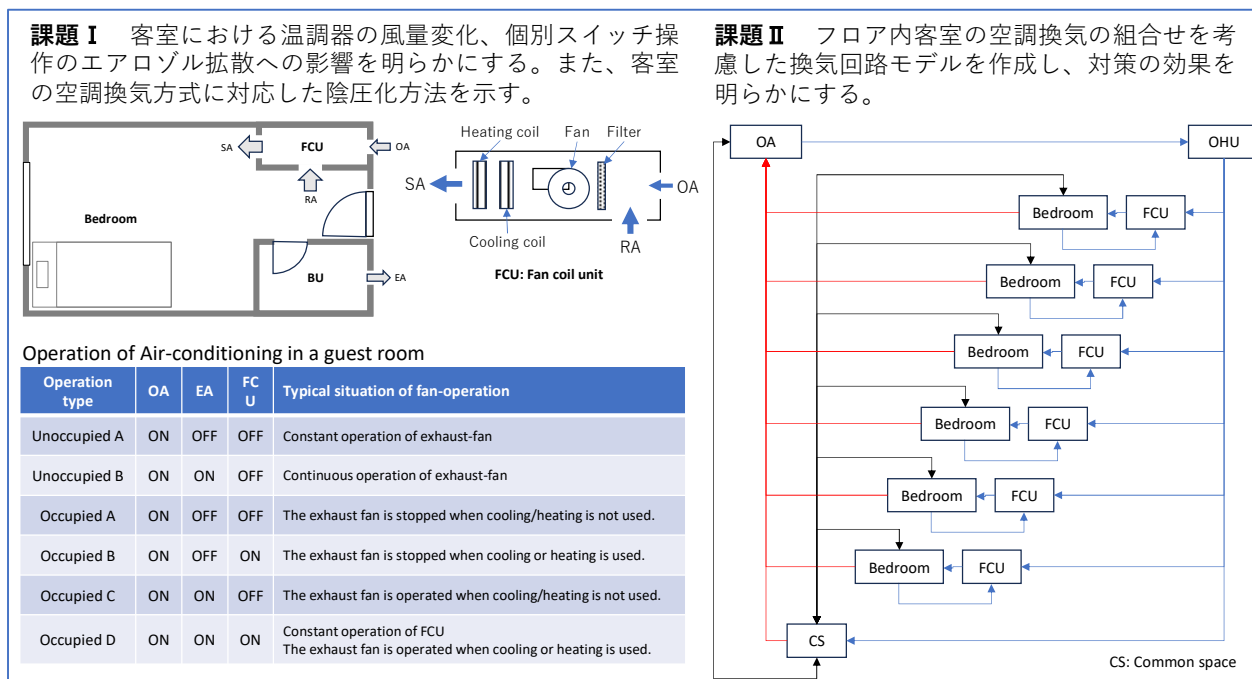


図 6 課題Ⅰ及び課題Ⅱに関するモデル (FCU:ファンコイルユニット)

- ・ 排気ファン停止時も排気されているが、エアコンの運転によって外気の供給量が増加して、客室が廊下に対して正圧になる。
- ・ 拡散実験時は、排気ファンを運転しており、客室は廊下に対して負圧になっている。

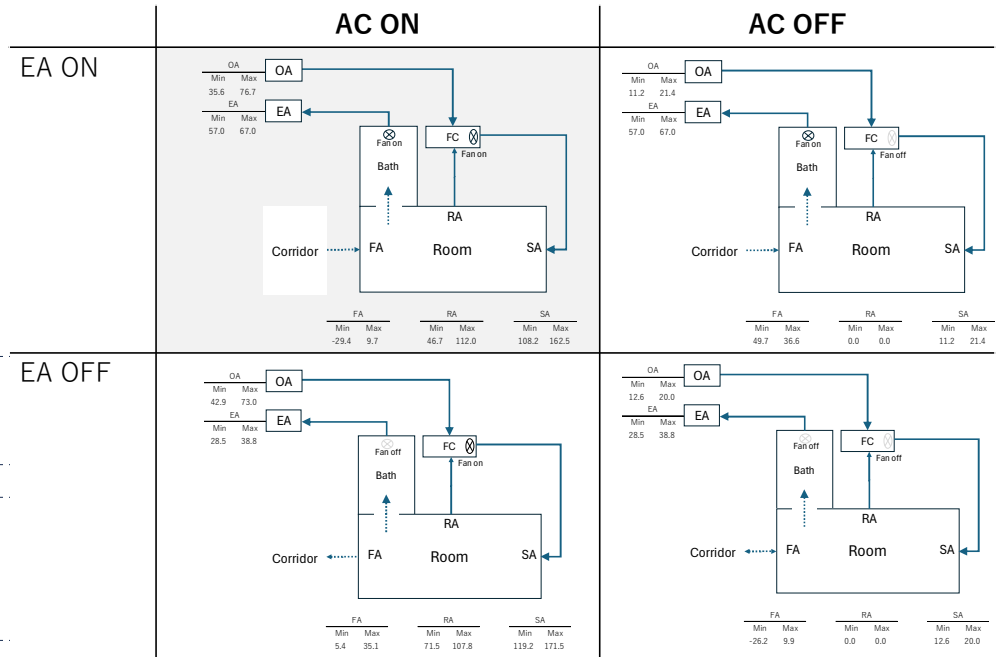
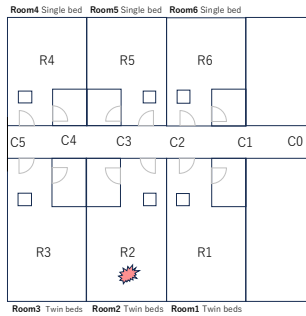


図 7 客室の給排気風量 Air flow rates in guest rooms (Max. and Min. of airflow rates in R1-R6)

- ・ エアロゾル拡散実験時は、発生室R2の排気ファンが運転され、エアコンが運転されている。なお、他の客室も同様である。
- ・ 発生室R2は、廊下に対して負圧になっており、ドア閉鎖時は客室の空気が流出しないと考えられる。

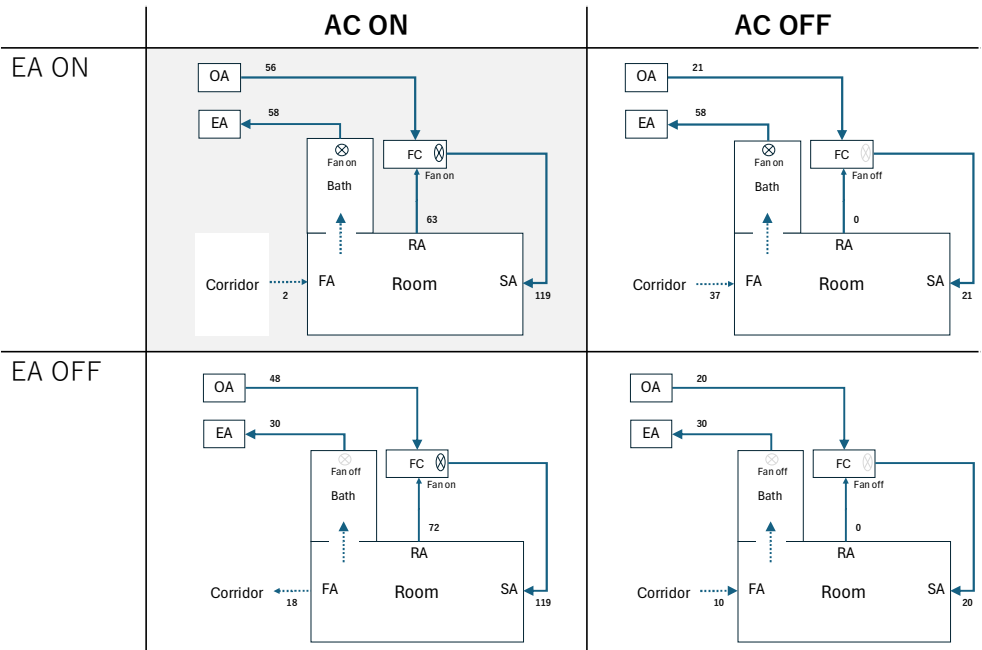
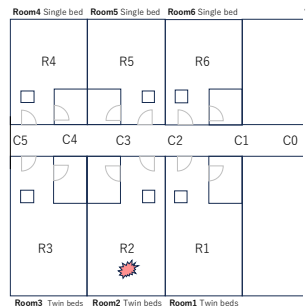


図 8 発生室 R2 の給排気風量 Air flow rates in the guest room where the tracer is released (R2)

2) トレーサー実験

図 9 に、トレーサー実験時の CO_2 及びエアロゾルの濃度推移を示す。エアロゾルは、パーティクルカウンターの粒径 ($0.1 \sim 10.0 \mu\text{m}$) 毎の測定結果の合計値を用いた。なお、粒径毎の数は小径ほど多い。 $0.5 \mu\text{m}$ 以下の粒径の数は全体の 99%を占め、小粒径の比率は時間経過によって上昇した。トレ

ーサーを発生させた R2(Room2)では、発生にともなって濃度が上昇し、発生停止後に減衰した。ドアを開放すると減衰が早まった。また、空気清浄機を運転した状態では、エアロゾルのみが早く減衰した。廊下では、ドア閉鎖時には顕著な上昇はなかったが、ドア開放時には濃度が上昇した。な

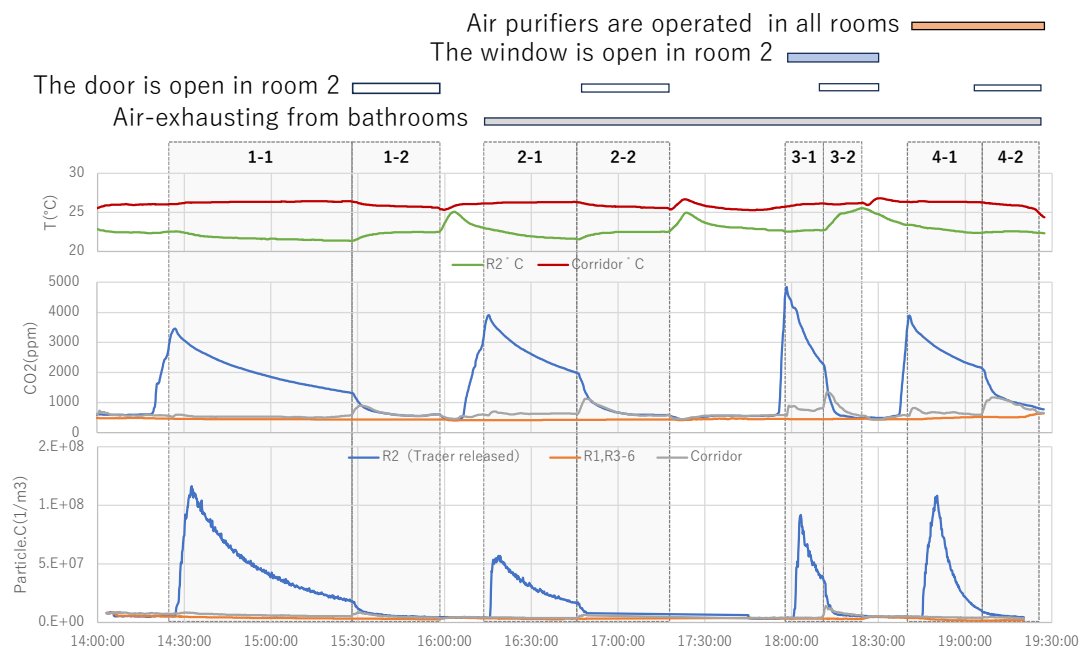


図 9 トレーサー実験時の CO₂ 及びエアロゾルの濃度推移

お、客室の冷房運転により、トレーサーを発生させた発生室 R2 は、廊下よりも最大 5℃程度低く推移した。また、ドアが開放されると、発生室 R2 の温度上昇と廊下の温度低下によって温度差が縮小した。

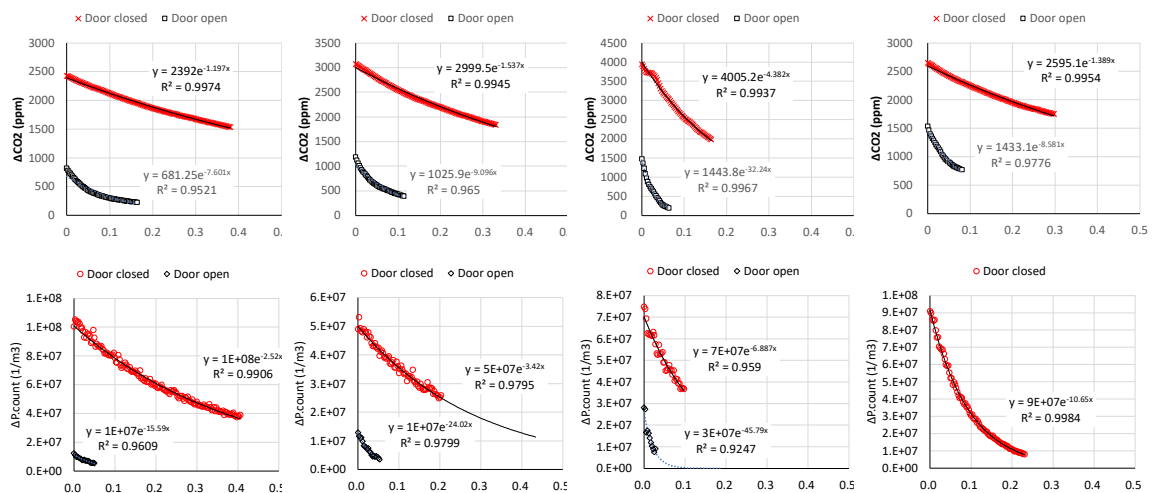
2-1) 濃度減衰時の換気量

図 10 に、濃度減衰と換気量換算値を示す。ドア閉鎖時については、発生終了直後からの減衰曲線を用いて換気量を換算したが、ドア開放時は開放後に相互換気が始まり安定した減衰が生じた時間の曲線を用いて換気量を換算した。

図 11 に換気回数及び空間容積を用いて算出した換気量を示す。1-1・2-1・4-1 のドア閉鎖時の換気量 (127・173・539 m³/h) は、外調機からの給気量(約 56 m³/h)より大きい。3-1・3-2 の窓開放時には、ドア閉鎖時の換気量 (348 m³/h) 及びドア開放時の換気量 (2316 m³/h) は顕著に大きい。いずれの場合も、客室と廊下の間の温度差が大きいため、ドアの開放によって温度差換気が発生し、換気量が増加していると考えられる。

同図に示すように、CO₂ による換気量に対するエアロゾルによる換気量の比は 1.5 程度と大きい。

従来、エアロゾルの減衰は、換気の効果による濃度減衰 (CO₂ 減衰に近い) に対して、エアロゾルの内装や家具などの表面への付着によってより早くなると考えられている。これまでの研究における実験住宅における差 (参考文献 4) を踏まえると、今回の比はさらに顕著に大きい。客室の場合には、カーテンや寝具などの付着しやすい表面が多いことがこの比の大きさの要因として考えられる。また、CO₂ は発生室で発生時に攪拌したことで発生室内での初期の濃度ムラが小さかったが、エアロゾルは攪拌していなかったために、初期においても濃度ムラが大きかったと考えられる。この濃度ムラの大小が、換気回数及び換気量の差の要因となった可能性がある。エアロゾル濃度が底部で高い濃度分布があると、測定高さでの濃度低下速度を早くする場合があると考えられる。この現象は、客室内だけではなく廊下においても発生した可能性がある。このような、トレーサーの差、攪拌の有無による差は、空調換気や温度差に影響される空間内の気流に左右されるため、より詳細な温度、気流、トレーサー濃度の測定で空間分布を把握し、CFD 解析による分析が必要である。



1-1 door closed, 1-2 door open 2-1 door closed, 2-2 door open 3-1 door closed, 3-2 door open 4-1 door closed, 4-2 door open
 図 10 各実験条件の濃度減衰と近似曲線

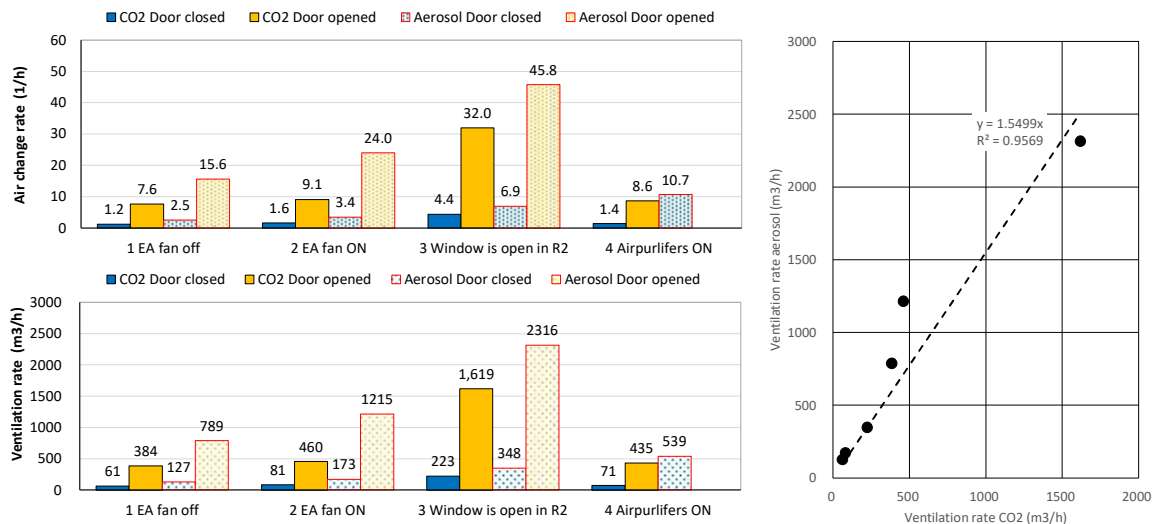


図 11 換気回数及び換気量の換算結果と CO₂ 及びエアロゾルの比較

2-2) 定常発生時の濃度比の試算

発生室 R2 に感染者が滞在し、連続的にウイルスを含むエアロゾルが発生した状況を想定した。各条件で発生室 R2 に対する各所の濃度比を算出し、エリア内のエアロゾル濃度の分布、すなわちエアロゾル拡散による感染リスクの上昇の可能性を示した。

図 12 に、ドアを開放した状態でトレーサー発生停止後の濃度応答 (1-1・2-1) と、その状態でドアを開放した後の濃度応答 (1-2・2-2) を示す。ドア開放後の濃度応答は、CO₂ とエアロゾルのいずれ

の場合も、数分後に発生室 R2 の濃度低下速度が上がる。ドア開放の後に、一定の時間を経てから温度差換気の気流速度に達し、それとともなう濃度変化も表れたと考えられる。廊下の濃度は、発生室 R2 の濃度低下に対応して上昇した。温度差換気に伴って、廊下に流出したトレーサーの一部は、発生室 R2 に戻されたと考えられる。発生室 R2 の温度が廊下より低いことから、発生室 R2 の空気はドア開口の下部から廊下に流出し、廊下の空気はドア開口の上部から発生室 R2 に流入したと考えられる。

図 13 に、トレーサー濃度応答より算出した定常発生時の濃度比 R_c (Ratio of concentration) を示す。発生室 R2 以外の客室 (R1, R3-R6) の濃度比 R_c は、発生室 R2 のドアの閉鎖、開放にかかわらず、いずれも低く、ほぼ 0 % であり、発生室 R2 からの流出は、浴室の排気ファンの運転にかかわらずほとんどないことを示している。ドア開放時には、廊下の濃度比 R_c が 10~80% であり、発生室 R2 からの顕著な流出と廊下での拡散が確認できる。廊下では、C0 から C5 に向かって濃度比 R_c が高くなっている。この傾向は、廊下の端部に排気口があるために、端部に向かう気流が発生し、風下で濃度比 R_c が上昇したと考えられる。廊下における濃度比 R_c の分布は、 CO_2 とエアロゾルで異なっており、エアロゾルの方が風下と風上の濃度比 R_c の差が大きい。この差の要因として、 CO_2 は発生室で発生時に攪拌したことで濃度ムラが小さかったが、エアロゾルは攪拌していなかったた

めに濃度ムラが少なかったことが挙げられる。エアロゾルは経口補水液を霧状に噴霧する方法で発生させたため、気化に伴う温度低下によって、上下の濃度差が生じたと考えられる。ドア開放時には、ドア開口の下部から発生室の空気が流出したため、廊下においても上下の濃度差が発生した可能性がある。廊下の下部で廊下の端部に向かう気流が上部よりも強いために、濃度比 R_c が廊下の風下の測定点でより高くなる傾向がより顕著になった可能性が指摘される。なお、3-2 Door opened EA ON の条件では、エアロゾルの測定に一時的な欠損が生じたため、濃度比 R_c を算出しなかった。

このような、トレーサーの差、攪拌の有無による差は、換気回数及び換気量の分析の場合と同様に、空調換気や温度差に影響される空間内の気流に左右されるため、より詳細な温度、気流、トレーサー濃度の測定で空間分布を把握し、CFD 解析による分析が必要である。

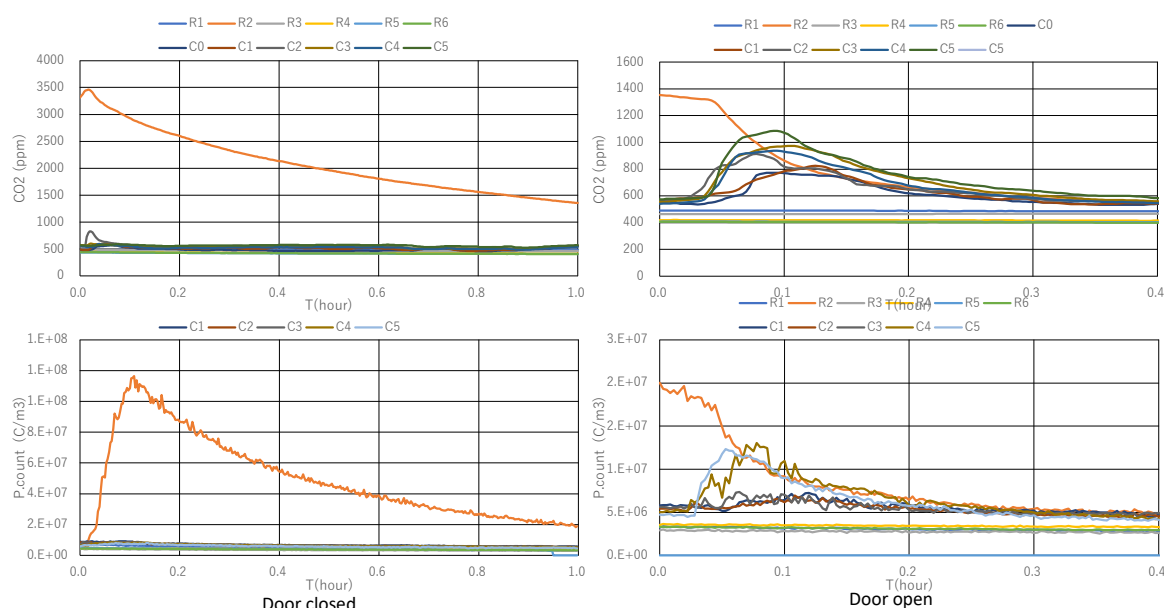


図 12 トレーサーの濃度応答の例（ドア閉鎖：1-1,2-1、ドア開放 1-2,2-2）



図 13 トレーサー濃度応答より算出した定常発生時の濃度比 R_c (Ratio of concentration)

図 14 は、感染者が滞在する客室内に、未感染者が入出した場合の感染リスク n/N の試算結果を示す。同図の上は、24 時間滞在の感染リスクであり、感染者と同じ客室に滞在した場合に相当する。この場合の感染リスクは非常に高い。ドアを開放状態にするとエアロゾルが廊下に流出するため濃度が低下し、感染リスクが低下する。ただし、廊下の感染リスクを上昇させる。また、空気清浄機を運転すると同様に濃度及びリスクが低下する。

同図の下は、10 分間の感染リスクを示す。感染者の客室を訪問したり、サービスをしたりするなど、一時的に入室する場合に相当する。時間が短いため感染リスクは低い、ゼロではない。

図 15 は、ドア開放によって廊下に流出拡散したエアロゾルによる 24 時間感染リスク n/N を示す。この値は、各室のドアが解放されている場合または陰圧となっている場合の各室の感染リスクの上限値であると考えられる。廊下から各室にエアロゾルが流入する場合には、その客室のドア近傍のエアロゾル濃度が、客室のエアロゾル濃度を左右

する。従って、測定対象エリアでは、廊下の客室に濃度が高くなる可能性がある。同図には、 CO_2 による濃度比 R_c を用いた感染リスクとエアロゾルによる濃度比 R_c を用いた感染リスクを示している。その差は、濃度比 R_c における差に対応している。

感染者が滞在する発生室 $R2$ の窓を開放した条件では、比較的感染リスクが低くなった。今回の実験では、窓開放によって客室濃度が低下し、廊下にも気流が及んだことで、濃度低下があったことによると考えられる。しかし、窓開け換気の影響は、前述のように不確定であり、様々な反作用が考えられることに留意する必要がある。

空気清浄機を用いた条件では、顕著な感染リスクの低下がみられなかった。この試算では、空気清浄機が $R2$ のみで使用された状況を想定している。空気清浄機の効果は、ドアを閉鎖している場合には顕著であるが、ドアを開放している状況では、十分な効果が得られないことによる結果であると考えられる。

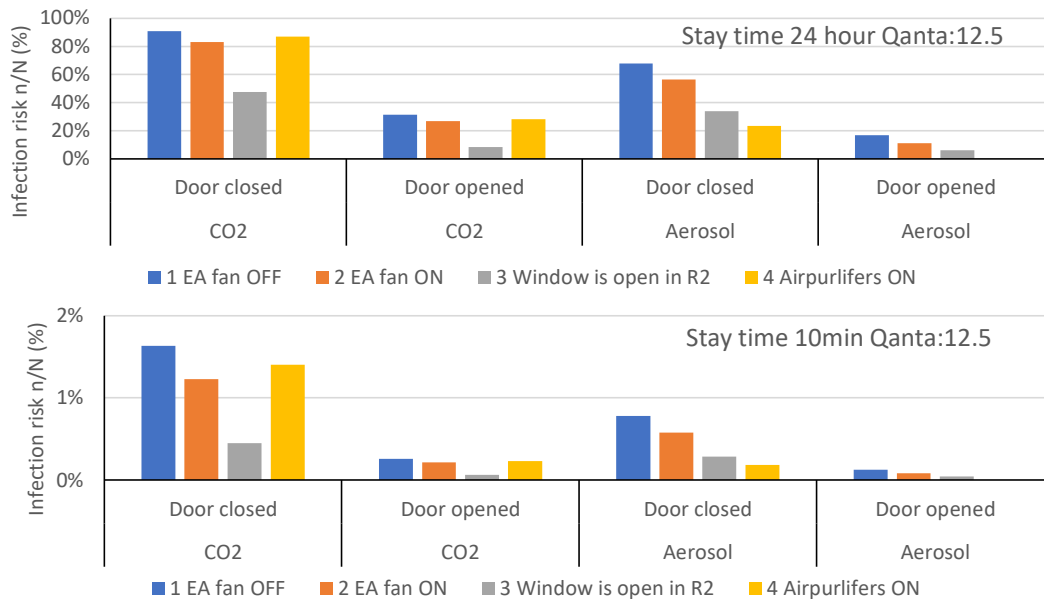


図 14 感染者が滞在する客室内に、未感染者が入出した場合の感染リスク n/N

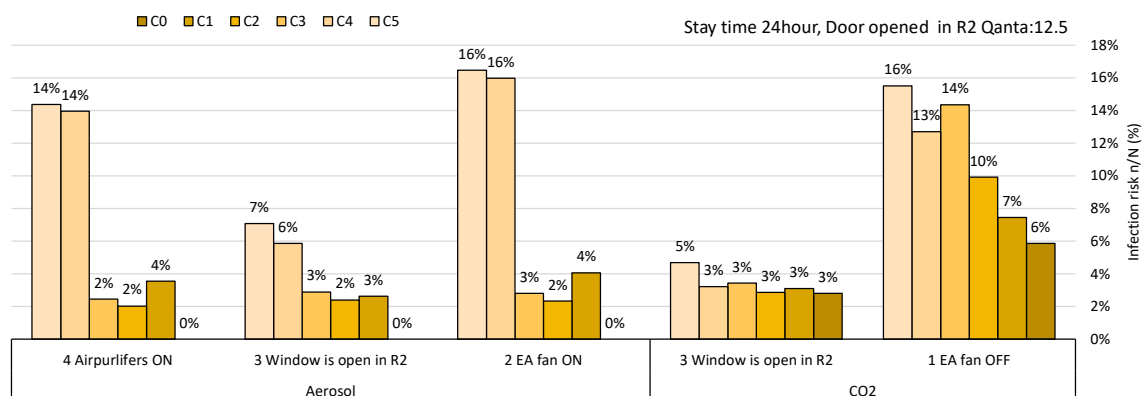


図 15 ドア開放によって廊下に流出拡散したエアロゾルによる 24 時間感染リスク n/N
(各室のドアが解放されている場合または陰圧となっている場合の各室の感染リスクの上限値)

3) 測定結果のまとめ

風量測定及びトレーサー実験によって、対象エリアの換気及びエアロゾル拡散性状に関する以下の知見が得られた。

- ① 客室ドア閉鎖時：客室が陽圧になっていない場合には、客室ドアを閉鎖している時間には感染者が滞在する客室からのウイルスを含むエアロゾルの流出が抑制され、廊下での濃度上昇もほぼ見られない。ただし、空調による気流がドアに直接当たらないことが条件となる可能性がある。なお、一般的に、空調の吹き出し気流

は室中央部に向いているため、この条件に対応していると考えられる。

- ② 客室ドア開放時：客室が陽圧になっていない場合においても、客室のドアを開放すると、感染者が滞在する客室からのウイルスを含むエアロゾルが流出し、廊下で拡散する。空調によって客室と廊下の間の温度差が大きいと、流出が早くなる。また、温度による気流は、ドア開放後一定時間をおいて速くなるため、短時間のドア開放であれば、温度差換気の影響は少ないと考えられる。ただし、その定量には、より詳細な研究が必要である。

③ 廊下では、排気口に向かう気流によって、排気口に近い部分のウイルスを含むエアロゾル濃度が高くなる。特に、廊下の端部に排気口がある場合には、廊下の端部でウイルスを含むエアロゾルが停滞して濃度が維持される。

④ CO₂ とエアロゾルに対する換気対策効果には、以下のような差があると考えられる。

- ✓ 基本的な知見として、空気清浄機（フィルタ）は、エアロゾルに対しては有効であるが、CO₂ に対しては無効である。
- ✓ 同じ換気風量でも、CO₂ 濃度の減衰よりもエアロゾル濃度の減衰の方が速い。エアロゾルは、表面に付着するために、CO₂ よりも濃度減衰が速いと考えられる。しかし、エアロゾルの付着は、温湿度、気流、表面の性状、静電気などの複数の要素の影響を受ける可能性があり、十分に解明されていない。従って、換気の効果として CO₂ 濃度の減衰の状況を参考にするのが適切である。
- ✓ エアロゾルには粒径の異なるものが含まれ、小さい粒径が多く、大きな粒径は少ない。今

回の実験では、0.3 μm 以下の粒径も分析対象とした。室内空間中のエアロゾルは、時間経過によって小粒径の比率が増加する傾向があり、乾燥による粒径縮小がその変化の要因として挙げられている。なお、小さな粒径に含まれるウイルスの数は少ないと考えられるが、粒径と感染リスクに関する知見は明確になっていない。

4) 気流可視化

以下に、各場面における可視化結果を示す。

図 16 に、照射及び撮影の位置を示す。廊下下層へのレーザー照射 i は、客室の扉下隙間から流出し床面を這う気流と上層への上昇を撮影するために、レーザー光源は床面高さ約 2 cm に向け、LED 光源は、床面から高さ約 30 cm までを照射した。廊下中央縦断面の照射と撮影 ii は、廊下での拡散状況を撮影するために、廊下中央縦断面にレーザーを照射した。なお、撮影は、3 月初旬の暖房期に行われた。

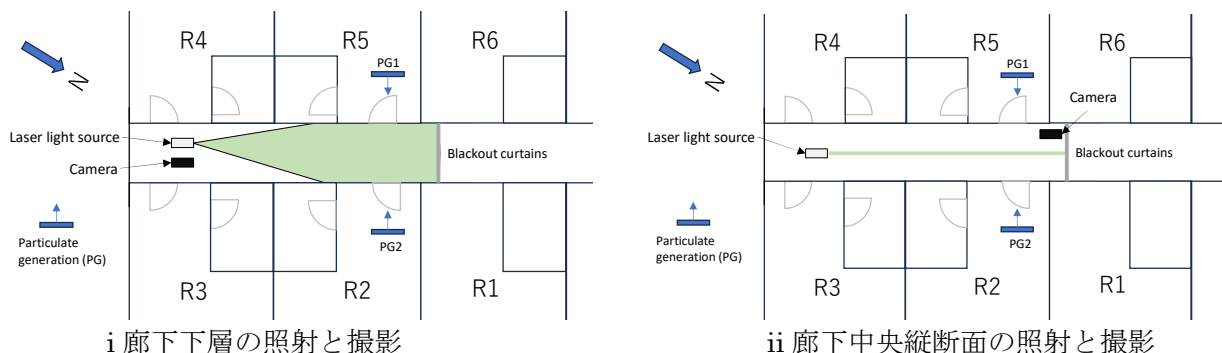


図 16 レーザー光源と撮影の配置

(1) 客室からの流出

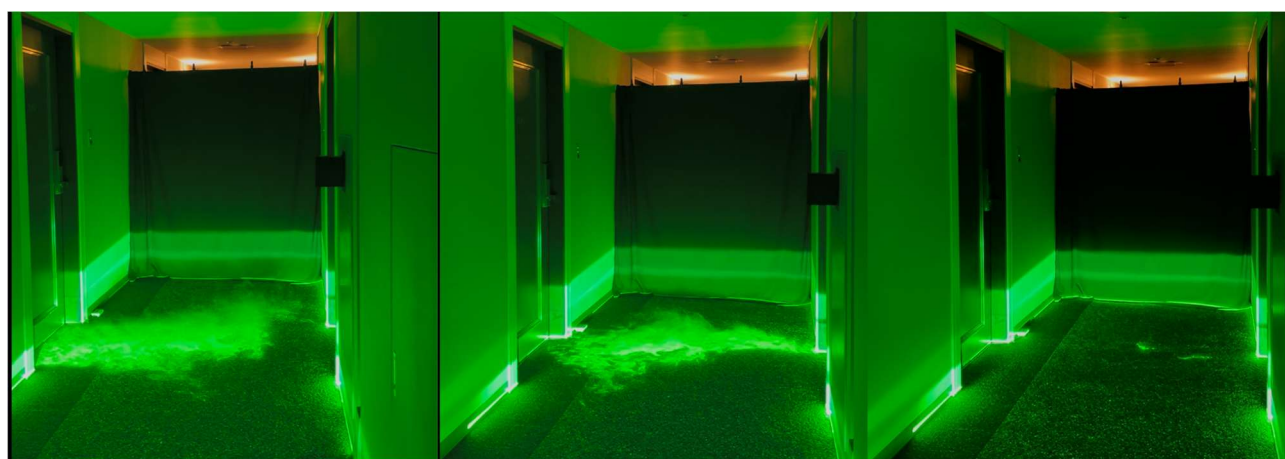
図 17 は、客室 R5 と客室 R2 が陽圧の状態、客室 R5 でミストを発生(PG1)した場合の画像を示す。扉下隙間から廊下へ流出し、粒子は床面に沿って前方に移動した。また、廊下の中央部で上昇がみられた。客室 R5 の浴室換気扇を利用して陰圧にすると、廊下への流出が止まり、扉下近傍ではミストが映らなくなった。さらに陰圧化後 5 秒には、ミストが映らなくなった。ミストは、時間経過によって蒸発によって消滅するために、上記のような画像の変化が起きたと考えられる。

図 18 は、客室 R5 と客室 R2 が陽圧の状態、客室 R5 で経口補水液の微粒子を発生(PG1)させた場合の廊下中央部縦断面の画像を示す。経口補

水液を用いたトレーサーは水分蒸発による粒径縮小が起きるが、水以外の成分が含まれるために消滅しない。客室 R5 から流出したトレーサーは、廊下中央部で上昇し画面奥に向かって移動している。画面奥の排気口（約 200 m³/h）が、気流方向に影響していると考えられる。

(2) 対面 2 客室からの流出

図 19 は、客室 R5 と客室 R2 が陽圧の状態、両室(R5、R6)でミスト(PG1+PG2)を発生させた場合の画像を示す。2 室から流出した気流が廊下中央部で衝突し、左右に広がるとともに上昇する。上昇したトレーサーは、図 14 に示すように天井付近まで到達する。

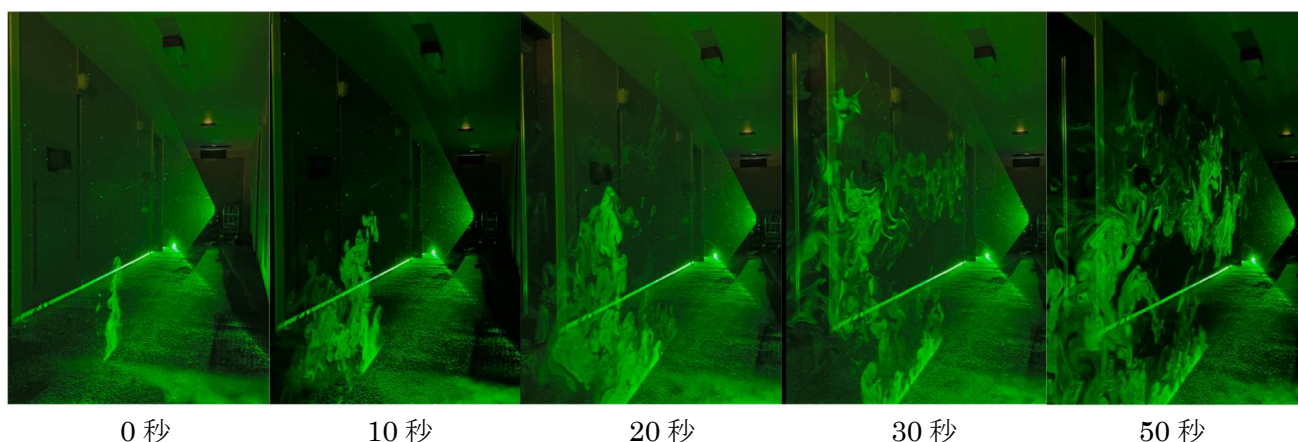


陽圧時の流出

陰圧化直後

陰圧化後 5 秒

図 17 客室扉下からの流出（陽圧と陰圧、ミスト）



0 秒

10 秒

20 秒

30 秒

50 秒

図 18 廊下での拡散（陽圧、経口補水液）

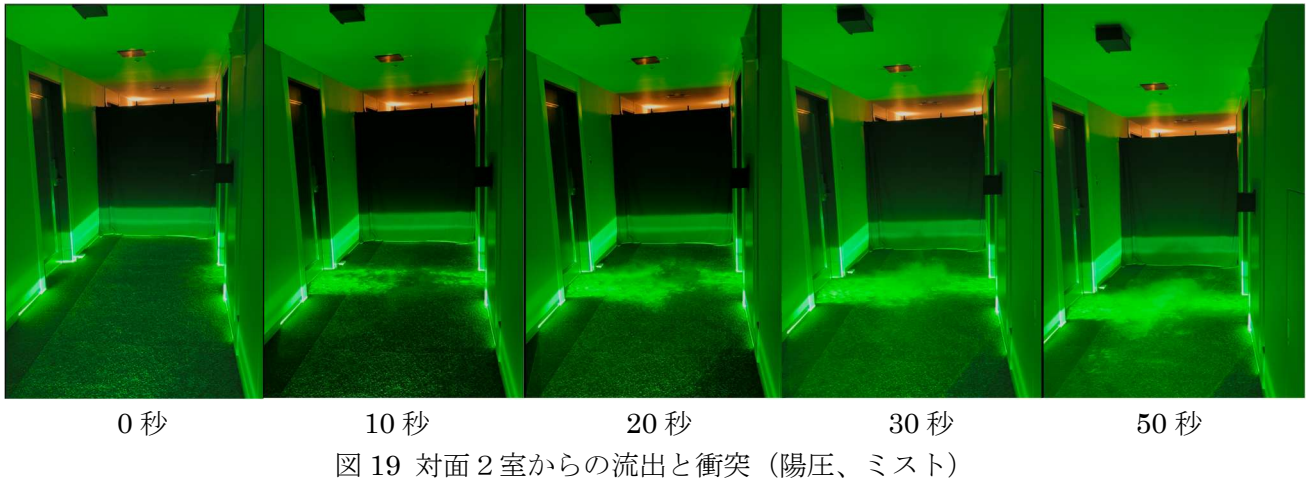


図 19 対面 2 室からの流出と衝突（陽圧、ミスト）

(3) 客室扉開放

図 20 は、客室 R5 と客室 R2 が陽圧の状態、客室 R5 で経口補水液の微粒子を発生(PG1)した場合の画像を示す。客室扉を開放すると、廊下中央断面に 2 秒以内で到達する。最初の到達は、扉の左前方の上層で見られる。その 4 秒後には下層にも到達する。それ以降には、扉近傍への到達は見られなくなり、主に上層で拡散しながら画面奥の排気口に向かって移動している。なお、最初に到達した空気塊は、6 秒後にも確認できる。

扉は内開きであるため、開放にともなって客室の気圧が一時的に上昇し、客室内の空気が一時的に速い速度で流出したと考えられる。また、客室の暖房によって廊下よりも高い空気が流出したこと、扉開放者が気流の抵抗になっていることによって、扉開口部の上部からの流出が顕著であったと考えられる。扉開放時の急速な流出の後には、急速な流出が止まったことで、このような画像の変化が生じたと考えられる。

(4) 客室窓開放

図 21 は、客室 R5 と客室 R2 が陽圧の状態、客室 R5 で経口補水液の微粒子を発生(PG1)した場合の画像を示す。客室扉を半開き(約 5 cm)にした状態で、客室の窓(ドレーキップ・巾約 10 cm×長さ約 1.2m)を開放した。開放後 2 秒程度で、廊下の上部への到達が見られる。扉開放の場合(図 16)の場合と同様、客室内の空気が最初に上部に到

達したと考えられる。その後の経過はしばらく、ドア開放時に類似し、排気口に向かって移動した。

開放後 40 秒後に、急速な流出が発生した。この場合は、廊下の上層から下層までの到達が見られる。その後、しばらく急速な流出は見られなくなるが、2 分 30 秒後に再び急速な流出が見られる。この場合は、廊下の下層への到達が顕著となった。その後、画面奥の排気口側へ拡散した。

実験時の近隣地点の気象データによると、外部風は、南東 2.5m/s であり、開放した窓は風下側であったと考えられるが、外部風の変動による圧力変動、内外温度差、空調換気設備の運転によって、廊下と客室 R5 の差圧及び気流は変動していたと考えられる。窓開放時には、外気の流入が多くなるため、室内温度が急速に低下した。廊下への流出は、初期には上層であったが次第に下層になったと考えられる。

以上の可視化実験は、以下の知見を示した。

客室の扉を閉めていても、客室が廊下に対して陽圧になっていると、扉下の隙間から流出が発生する。扉下から流出した空気は、廊下で上昇し拡散する。廊下の濃度は、廊下の空気の流れに影響されるが、特に排気口がある場所に向かうため、その近傍の濃度が高くなる可能性がある。客室から廊下への流出は、客室の陰圧化によって防止できる。浴室の排気ファンの運転によって客室の気圧を下げるができるが、ファンコイルユニッ

トの運転等によって外気量が増加すると客室の気圧が上昇する。従って、空調換気設備の運転状況を踏まえた気圧管理が必要である。

客室の扉を開放すると、急激な流出が発生する。流出の状況は、客室と廊下の温度差の影響を受ける。例えば、暖房期に客室温度の方が高くなると、廊下の上層に流出し、冷房期に客室の温度の方が低くなると廊下の下層に流出する。扉開放時の流出量は多く、扉近傍では一時的に高濃度となる。

客室の窓を開けると、自然換気が発生し、換気量が増加する。また、外部風等の変動によって客

室と廊下の気圧差が変化し、空気が流れる方向が変化する。このため、一時的に急速に客室の空気が廊下に流出する可能性がある。窓の開放は、屋内の温湿度維持を難しくするとともに、空気の流れや空気中の濃度を制御することを難しくする。従って、このような窓開け換気の性質を踏まえて利用することが必要である。

以上の可視化実験の結果は、トレーサー実験の分析結果と整合している。

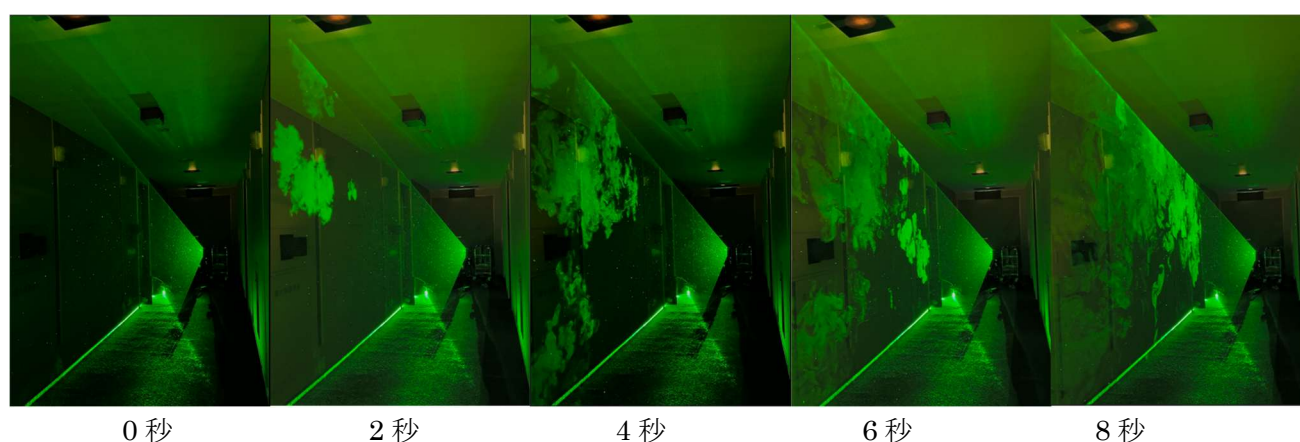


図 20 客室扉開放（陽圧、経口補水液）

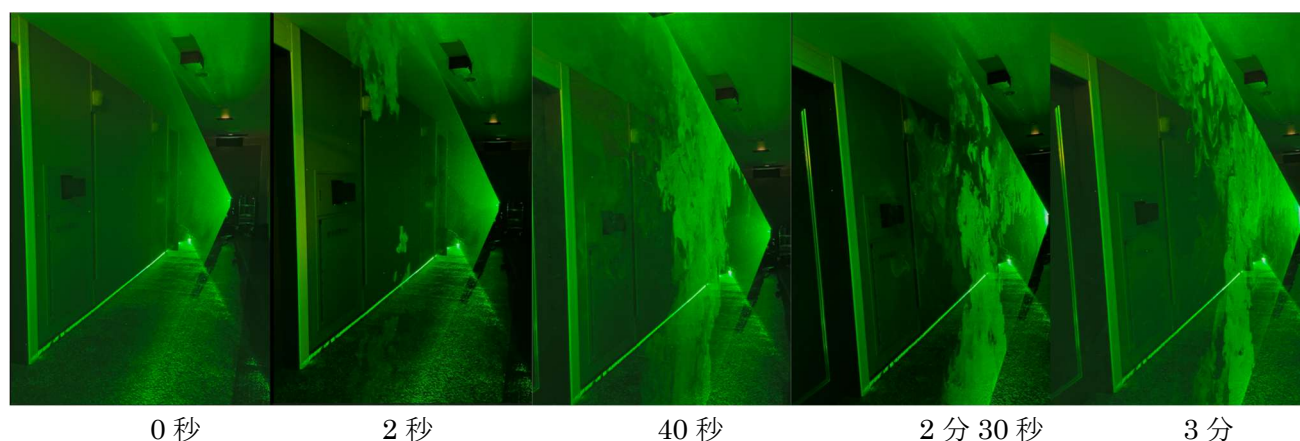


図 21 客室扉開放（陽圧、経口補水液）

D. 結論

宿泊施設の空調換気設備の実態を踏まえて、客室及び共用空間におけるエアロゾル感染対策の可能性を分析した。特に長時間滞在する客室の換気方式と陰圧の性状を整理し、空調換気方式が多様であり、換気効果に関する課題も多い。客室におけるエアロゾル感染対策の方法があるが、その前提として換気性能の確認が必要である。宿泊施設の客室、フロア、棟、施設全体におけるエアロゾル拡散性状が多様であるため、エアロゾル感染対策の課題と対策評価の枠組みが必要である。その枠組みの中で優先的に取り組むべき課題があり、その課題に対する対策の評価が必要である。評価の手法として換気回路網計算を用いたエアロゾル濃度分布のシミュレーションが適している

宿泊施設におけるエアロゾル感染対策の効果を検証するための基礎資料を得るために、トレーサーとして、CO₂ 及びエアロゾルを用いて、感染者が滞在する客室から廊下及び近隣の客室への拡散性状を測定する方法を宿泊施設内で試行し、今後のシミュレーション等による対策効果の検証に関するケーススタディーの有効性に関する実証データを取得し、以下の知見が得られた。

感染者が滞在する客室内では、ウイルスを含むエアロゾルが拡散し、換気量が少ない場合にはその濃度が高くなる。客室が陰圧になっていない場合には、エアロゾルが常時廊下に流出するため、廊下の濃度も上昇する可能性がある。従って、感染者が滞在する客室は、排気を十分に確保して陽圧にならないようにすることが基本である。

感染者が滞在する客室でバスユニットの排気ファンを運転することで客室が陽圧にならないようにできる可能性があるが、外気が客室のファンコイルユニットを経由して供給される場合には、暖冷房に伴って外気の供給量が増加し、陽圧になってしまう可能性がある。このように、空調換気方式や運転状況によって客室の気圧が変化する。こ

のような特性を踏まえて陽圧を防止するための空調換気設備の運転制御が必要である。

感染者が滞在する客室が廊下に対して陰圧であっても、ドアを開放すると急速にエアロゾルが廊下に流出して拡散する。特に客室と廊下の間の温度差が大きいと、温度差換気によって流出が速くなる。従って、ドア開放の回数及び時間を最小限にすることが望ましい。また、空気清浄機（フィルタ）などによって、客室のエアロゾル濃度を抑制することも必要である。

感染者が滞在する客室の近傍の廊下などの空間では、ドア開放などにともなうエアロゾルの拡散の可能性が高い。特に、空気が停滞する部分や排気口の近くなどの気流の風下になる空間では、エアロゾル濃度が高くなる可能性がある。このような空間では、換気量増加や空気清浄機の利用が必要である。

換気量の確保の手段として、窓の開放があるが、窓の開放は、空調換気設備の効果に不確定な影響を与える可能性がある。感染者が滞在する客室の窓を開放すると、窓が外部風の風上側にあると、外部風の圧力によって客室のエアロゾルが廊下に流出しやすくなる。また、一部の客室の窓を開放すると、外部風圧の影響によって、排気ダクトや給気ダクト内の空気の流れを減少させ、逆流させる可能性がある。逆流が発生すると、ダクトを経由したエアロゾルの他室への侵入が発生する可能性が生じる。これらの窓開放による影響を踏まえて、急速な換気が必要となる緊急時の対応方法を検討する必要がある。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 山田裕巳, 杉山幸輝, 菊田弘輝, 長谷川麻子, 鍵直樹, 本間義規, 林基哉; 保育施設におけるエアロゾル感染対策のための機械換気設備の改修 (その 1): CO₂ トレーサーガスを用いた換気改修効果の検証, 日本建築学会環境系論文集 830, p.185-194, 2025.04
- 2) Ryo Asaoka, Wataru Umishio, Naoki Kagi, Motoya Hayashi, Takao Sawachi, Takahiro Ueno; Office environments and worker satisfaction with thermal and air environments during and after the COVID-19 pandemic in Japan, Building and Environment 268(2025) 112319.
- 3) Motoya Hayashi, Sayaka Murata, Koki Kikuta; Ventilation characteristics in a hospital where a COVID-19 outbreak occurred in the winter of 2020, Indoor Environment, 2025.03, <https://doi.org/10.1016/j.indenv.2024.100065>
- 4) Koki Kikuta, Shun Omori, Masakazu Takagaki, Yasuhiko Ishii, Kazuhiro Okubo, Yuta Ohno, Yoshihiro Fujiya, Hitomi Kurosu, Tomoe Shimada, Tomimasa Sunagawa, Takuya Yamagishi and Motoya Hayashi; Verification of Ventilation and Aerosol Diffusion Characteristics on COVID-19 Transmission through the Air Occurred at an Ice Arena in Japan; Buildings 2024, 14(6), 1632, 2024.4.
- 5) 開原典子, 林基哉, 本間義規; 高齢者の乾燥由来の健康リスク低減に向けた住まいの湿度環境提案, 住総研研究論文集・実践研究報告集, 2024 年 50 巻 p. 257-268 (2024)
- 6) 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 2): 2020 年と 2021 年における室内環境と環境満足度の関連; 日本建築学会環境系論文集 817, p.135-140, 2024.03.
- 7) Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Koki Kikuta, Asako Hasegawa, Sayaka Murata, Hiromi Yamada, Masayuki Ogata, Naoki Kagi, U Yanagi, Toshio Yamanaka, Hoon Kim, Kenichi Kobayashi, Noriko Kaihara, Akira Ito, Fumihiko Shinohara and Shoichi Morimoto; Ventilation measures to control aerosol transmission based on COVID-19 outbreaks in hospitals in Japan, JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW 7(1), 2024.1.
- 8) 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 2): 2020 年と 2021 年における室内環境と環境満足度の関連, 日本建築学会環境系論文集, Vol.817, pp.135-140, 2025.3.
- 9) 山田裕巳, 杉山幸輝, 菊田弘輝, 長谷川麻子, 鍵直樹, 本間義規, 林基哉; 保育施設におけるエアロゾル感染対策のための機械換気設備の改修 (その 1) トレーサーガスを用いた換気改修効果の検証, 830 号, 185-194, 2025-04
- 10) Akihiro Katsuki, Koki Kikuta, Yu Tanaka, Masato Iguchi, and Motoya Hayashi; Relative Evaluation Approach for Cross-Room Exposure in a Detached House Using a Measurement-Informed Multizone Model; Buildings 2026, 16(3), 583, 2026.1.30.
- 11) Yu Tanaka, Koki Kikuta, Takema Nakazawa, Yuta Sasai, Yuki Ogawa, Yoshiaki Gu, Fujiko Mitsumoto-Kaseida, Katsunori Yanagihara, Kazuhiro Tateda, Motoya Hayashi; Ventilation characteristics and infection risk in Japanese hospital wards: An assessment

based on field measurements and CFD, Indoor Environment, 2026.2.26.

- 12) Yu Tanaka, Koki Kikuta, Takema Nakazawa, Yuta Sasai, Yuki Ogawa, Yoshiaki Gu, Fujiko Mitsumoto-Kaseida, Katsunori Yanagihara, Kazuhiro Tateda, Motoya Hayashi; Influence of Poor Ventilation and Door Operation on the Spread of Infectious Respiratory Particles and Infection Risk in a Hospital Ward, JAR, 2026.4.1.

2. 学会発表

- 1) 林基哉「フィンランド高齢施設の室内環境特性と感染症対策」第83回日本公衆衛生学会総会国立保健医療科学院企画シンポジウム「高齢者施設の室内環境と感染症対策を考える」(2024)
- 2) 林基哉「環境衛生管理における不適の実態と課題を考える」第51回建築物環境衛生管理全国大会シンポジウム「求められる建築物衛生管理を考える」(2024)
- 3) 林基哉「ポスト COVID-19 における 空調・換気・通風計画」自立循環プロジェクトフェーズ7シンポジウム, IBECs (2024)
- 4) 青山恭子, 森太郎, 林基哉, 大沢飛智; 省エネルギー区別にみた日本における気象データと健康の関係に関する分析, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.569-570, 2024.07.
- 5) 金勲, 東賢一, 林基哉, 篠原 直秀; SVOC のハウスダスト中濃度と居住環境に関する全国調査, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.1235-1256, 2024.07.
- 6) 柳宇, 開原典子, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈江, 伊庭千恵美, 浅井敦人, 林基哉; 映画館における室内空気質実態に関する調査研究 第4報 4D 映画館ミスト噴出口の付着細菌叢, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.1281-1282, 2024.07.
- 7) 開原典子, 柳宇, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈江, 伊庭千恵美, 浅井敦人, 林基哉; 映画館における室内空気質実態に関する調査研究 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, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.1283-1284, 2024.07.
- 8) 新谷理一, 菊田弘輝, 金勲, 阪東美智子, 東賢一, 長谷川兼一, 本間義規, 林基哉; 新築戸建住宅における室内化学物質と換気に関する全国実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.1335-1336, 2024.07.
- 9) 田中雄, 菊田弘輝, 勝木皓大, 井口雅登, 林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染に関する研究 その1 エアロゾル感染リスクの試算, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.1337-1338, 2024.07.
- 10) 勝木皓大, 田中雄, 菊田弘輝, 井口雅登, 林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染に関する研究 その2 室内濃度シミュレーションモデルの構築, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.1339-1340, 2024.07.
- 11) 勝木皓大, 田中雄, 菊田弘輝, 井口雅登, 林基哉; ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染に関する研究 その2 室内濃度シミュレーションモデルの構築, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学 I, p.1339-1340, 2024.07.
- 12) 柳宇, 開原典子, 本間義規, 島崎大, 戸次加奈江, 伊庭千恵美, 林基哉; 4D と 2D 映画館の付着真菌叢, 空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.37-40, 2024.09
- 13) 水口晃輔, 菊田弘輝, 林基哉; 室内浮遊ウイルスの効果的な捕集方法の検討および病室等における捕集実験, 空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.45-49, 2024.09

- 14) 田中雄,菊田弘輝,勝木皓大,井口雅登,林基哉;ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染対策に関する研究(第1報)エアロゾル感染リスクの試算,空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.105-109, 2024.09
- 15) 勝木皓大,菊田弘輝,田中雄,井口雅登,林基哉;ダクト式全館空調システム住宅のエアロゾル感染対策に関する研究(第2報)室内濃度シミュレーションモデルの構築,空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.109-112, 2024.09
- 16) 長屋杏美,菊田弘輝,林基哉,佐藤花菜子,高橋篤志,竹田恵美,古橋拓也;換気回路網計算モデルを用いた戸建て住宅の常時換気設備におけるエアロゾル除去性能の評価,空気調和・衛生工学会大会学術論文集, p.113-116, 2024.09
- 17) 開原典子,柳 宇、林 基哉、戸次加奈江:中規模映画館の観覧場における温度・相対湿度・二酸化炭素濃度の実態調査. 2025 年室内環境学会学術大会講演要旨集. 198-199. 2025.
- 18) 柳宇、開原典子、林基哉、戸次加奈江、黒須一見:検疫ホテルにおける客室から廊下へのバイオエアロゾル伝播特性の実証と緩和策の検討. 日本建築学会大会学術講演梗概集. 2026.
- 19) 山田裕巳,林基哉,菊田弘輝,杉山幸輝,長谷川麻:換気設備のエアロゾル低減効果に関する研究 粒子濃度のステップ応答を用いた曝露濃度換算法、日本建築学会大会学術講演梗概集. 2025.
- 20) 石附健太郎,近藤寿紀,菊田弘輝,林基哉:新型コロナウイルス感染症における自宅療養時の家庭内感染に関する研究 第1報 調査概要と感染予防策の実態、日本建築学会大会学術講演梗概集. 2025.
- 21) 近藤寿紀,石附健太郎,菊田弘輝,林基哉:新型コロナウイルス感染症における自宅療養時の家庭内感染に関する研究 第2報 感染予防策及び家庭内感染リスクの分析、日本建築学会大会学術講演梗概集. 2025.
- 22) 佐藤花菜子,高橋篤志,古橋拓也,勝木皓大,菊田弘輝,林基哉:第一種換気システムを用いた戸建て住宅における汚染物質挙動に関する研究 (第1報) CO₂による実測および換気回路網モデルによる検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集. 2025.
- 23) 勝木皓大,菊田弘輝,佐藤花菜子,高橋篤志,古橋拓也,林基哉:第一種換気システムを用いた戸建て住宅における汚染物質挙動に関する研究 (第2報) エアロゾル相当換気回数の推定、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集. 2025.
- 24) 杉山幸輝,山田裕巳,菊田弘輝,林基哉,長谷川麻子:保育施設におけるエアロゾル感染リスク低減のための換気設備改修効果の検証、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集. 2025.
- 25) 菊田弘輝,田中雄,中澤武馬,笹井雄太,小川夕季,林基哉:医療施設における感染対策のための空調換気に関する研究 (第1報) 3 病院における空気環境の実態調査、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集. 2025.
- 26) 田中雄,菊田弘輝,中澤武馬,笹井雄太,小川夕季,林基哉:医療施設における感染対策のための空調換気に関する研究 (第2報) 病棟部における換気特性の実態調査、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集. 2025.
- 27) 笹井雄太,小川夕季,菊田弘輝,林基哉,中澤武馬,田中雄,田中秀和:医療施設における空気環境の維持・管理に関する研究 (第3報) 換気条件および病室扉の開閉による感染リスク評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集. 2025.

- 28) 長倉竜也, 倉本朗, 金野知哉, 木田秀幸, 太田秀一, 渡邊洋平, 掛水和彦, 目黒順一, 開原典子, 本間義規, 菊田弘輝, 林基哉: 全室個室で発生した COVID-19 集団感染病棟における空調換気性能とエアロゾル拡散に関する検討、第 46 回札幌市病院学会. 2026.2.7
- 29) 林基哉: “空気を介した感染”と病院設備の備え—ポスト COVID-19 時代の設計・運用を考える—ポスト COVID-19 の医療施設に求められる空調換気性能、第 54 回 日本医療福祉設備学会. 2025 年 11 月 29 日
- 30) 林基哉, 石黒信久, 開原典子, 島崎大, 戸次加奈江, 柳宇, 黒須一見: 旅館業法及び興行場法の施設の感染拡大防止対策に関する調査研究 その 2 COVID-19 を踏まえた宿泊施設の換気対策、第 84 回日本公衆衛生学会総会. 2025.10
- 31) Ryo Asaoka¹, Wataru Umishio, Naoki Kagi, Motoya Hayashi, Takao Sawachi⁴, and Takahiro Ueno: Relationship of perceived indoor environmental control and worker satisfaction. Findings from field measurements in 22 offices in Japan, Sustainable Built Environment Conference 2025 in Tokyo. 2025.12.
- 32) 林基哉: 医療施設における感染リスクと空調換気—医療施設におけるエアロゾル感染と空調換気対策、第 40 回日本環境感染学会総会・学術集会. 2025.7.12
- 33) 林基哉: 2025 年日本臨床環境医学会学術集会シンポジウム 高齢者施設感染症対策の現状と課題—呼吸器感染症に備える空調換気対策、日本臨床環境医学会学術集会. 2025.6.21
- 34) 林基哉: シンポジウム—ポスト COVID-19 の医療福祉施設における建築物衛生法の遵守—ポスト COVID-19 の医療福祉施設における建築物衛生法の遵守、第 95 回 日本衛生学会学術総会. 2025.3.21
- ### 3. 書籍等
- 1) 林基哉, 新建築物の環境衛生管理, 第 1 章 建築物環境衛生管理総論 要点, 1.4.4 建築物環境衛生管理業務の課題, 1.5 建築物環境衛生管理の展望, 第 2 章 建築物衛生行政概論 要点 (2024)
 - 2) 林基哉, ポスト COVID-19 の高齢者施設における空気清浄の課題と対策, 空気清浄 62 巻 4 号, PP.42-49 (2024)
 - 3) 林基哉, 海塩渉, 菊田弘毅, 村田さやか, 開原典子, 今後の住宅・建築物の感染症対策—ポスト COVID-19 の空調・換気・通風計画, IBECS No.251PP2-17 (2024)
 - 4) 林基哉 巻頭言—ポスト COVID-19 における空気清浄管理への期待, 空気清浄 62 巻 3 号, PP.1-2 (2024)
 - 5) 林基哉 室内環境の健康リスクと居住リテラシー—健康維持増進のための住環境整備に関する一連の研究—, 住まいと環境東北フォーラム H&E レター, PP.1-3 (2024)
 - 6) 林基哉 COVID-19 クラスター事例の換気性状と対策—換気不良とエアロゾル感染—, 空気調和・衛生工学 98 (10), PP.839-846 (2024)
林基哉: 新建築物の環境衛生管理, 第 1 章 建築物環境衛生管理総論 要点, 1.4.4 建築物環境衛生管理業務の課題, 1.5 建築物環境衛生管理の展望, pp.46-51, 第 2 章 建築物衛生行政概論 要点, 2025.4.
 - 7) 林基哉: アレルギー防除のための空調換気対策, ビルと環境 No.189, 2025.4.15
 - 8) 林基哉, レジオネラ症への感染防止対策; 一般社団法人日本公衆衛生協会 月間「公衆衛生情報」, pp.6-7, 2025.6.
 - 9) 林基哉: 健康のための室内環境と居住リテラシー, キハラ株式会社 情報誌『Library &

Information Science News (LISN)』No.24 夏号,pp.13-16, 2025.7.

- 10) 林基哉; 随想 なぜ建築は健康危機を引き起こすのか?, 空気清浄第 63 巻第 2 号, pp.74-76, 2025.7.31.
- 11) 林基哉; 医療施設の COVID-19 クラスタとこれからの換気対策, ヨシダ製薬 医療関連情報の季刊誌 CARLISLE Vol.28 No2, pp.1-2, 2025.8.
- 12) 林基哉; 感染症対策のための湿度制御と高齢者施設の実態, 日本工業出版社 クリーンテクノロジー2025 Vol.35 No8, 2025.8.
- 13) 林基哉; 興行場におけるエアロゾル感染リスクと対策-アイスアリーナの COVID-19 クラスタに関する分析-, ビルと環境 No.191, pp.29-35, 2025.10.15.
- 14) 林基哉; ソーラーアーキテクチャーガイドブック 第 3 章 要素技術の基礎知識 2 換気、3 通風・排熱, (一般社団法人)日本太陽エネルギー学会 pp.28-41.2025.10.26.

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)
 - 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) 倉淵隆,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, Cavaola 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, Yoltz 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. 高齢者施設のに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; Kiyoun 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) Burrridge, 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
- 92) 一般社団法人 全日本ホテル連盟 調査研究委員会, ANHA アンケート調査 報告書 2022 年 3 月 (令和 4 年) , 2022.3_ANHA アンケート調査報告書_v220325.pdf.
- 93) 空気調和・衛生工学会便覧 第 14 編空気調和設備編, p.482.
- 94) 空気調和・衛生工学会第 97 巻第 11 号,竣工設備概要データシート「西鉄・林業会館ビル」,「楽水山」 pp.71 -75.
- 95) 小池武雄,AIVC 特集 ホテル換気,空気調和・衛生工学 第 80 巻第 8 号,pp.33-39.

- 96) 森一順他,ビジネスホテル客室の換気計画に関する研究：その 1 課題の抽出と基礎的検討,日本建築学会大会論文 環境工学Ⅱ, pp.669-670, 2009-07
- 97) 空気調和・衛生工学会 SHASE-S102-2022 換気規準・同解説,2022
- 98) 空気調和・衛生工学会 SHASE-S117-2017 換気・空調設備の現場風量測定法,2017
- 99) 空気調和・衛生工学会 SHASE-S116-2020 トレーサガスを用いた単室の換気量測定法,2020
- 100) Motoya Hayashi, Sayaka Murata, Koki Kikuta; Ventilation characteristics in a hospital where a COVID-19 outbreak occurred in the winter of 2020, Indoor Environment,2025.03,<https://doi.org/10.1016/j.indenv.2024.100065>
- 101) Motoya Hayashi, Sayaka Murata, Koki Kikuta; Ventilation characteristics in a hospital where a COVID-19 outbreak occurred in the winter of 2020, Indoor Environment, 2024.5.20.
- 102) EC Riley, G Murphy, RL Riley: Airborne spread of measles in a suburban elementary school, Am. J. Epidemiol, 107(5), pp.421-432(May 1978).
- 103) G. Buonanno et al.: Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications, Environment International, 145 (September 6.2020).
- 104) Akihiro Katsuki, Koki Kikuta, Yu Tanaka, Masato Iguchi, and Motoya Hayashi: Relative Evaluation Approach for Cross-Room Exposure in a Detached House

Using a Measurement-Informed Multizone Model; Buildings 2026, 16(3), 583, 2026.1.30.