

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

旅館業法及び興行場法の施設における感染防止対策等を含む衛生管理の推進のための研究
検疫ホテルにおけるバイオエアロゾル伝播特性の実証

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

研究要旨

今年度では、COVID-19 パンデミック期間中に検疫ホテルとして使用された宿泊施設を対象として、バイオエアロゾル粒子（BP）発生源となる客室から廊下への漏出特性について実証試験を行った。その結果、客室間および客室と廊下間の風圧差により、発生源客室のドアアンダーカット部を通じて廊下へ BP が漏出することが確認された。また、窓開放時には外部風圧の影響により BP 漏出量が増加し、ドア開放時には最も多くの BP が廊下へ漏出することが確認された。一方、空気清浄機の使用により BP 漏出量の低減が確認された。

A. 研究目的

2020 年 3 月 11 日、WHO は COVID-19 の世界的感染拡大状況および重症度を踏まえ、パンデミック（世界的大流行）を宣言した。日本においては、同年 3 月に水際対策が開始され、4 月 3 日には 14 日間の待機措置とともに、検疫ホテル（政府指定宿泊施設による入国者待機施設）の運用が開始された。海外では、香港¹⁾および台湾²⁾などにおいて検疫ホテル内でのクラスター発生事例が報告されているほか、台湾²⁾ およびシンガポール³⁾では排気システムにおける空気の逆流による感染事例も報告されている。これらの事例は、検疫ホテルにおける感染リスク低減の観点から、空調・換気の適切な運用方法および設備面での改善の必要性を示唆している。

検疫ホテル内での感染拡大を防止するためには、客室の換気性能、客室と廊下の圧力管理、排気経路の適切な管理が重要な要素となる。本報では、2020 年 9 月から検疫ホテルとして使用された成田空港近辺の A ホテルを対象に、客室と廊下間におけるバイオエアロゾル粒子（Bioaerosol Particle,

BP）の漏出特性について実証試験を行った。

B. 研究方法

2025 年 8 月 26 日に実証試験を実施した。対象とした客室はホテル西端に位置する 6 室である（図 1）。客室の空調・換気は、浴室に排気ファンを設置し、客室にはファンコイルユニット（FCU、客室上部吹出し、廊下側天井吸込み）を備えた方式である（図 2）。換気経路としては、外気を客室天井裏およびエレベーターホールに導入し、客室の浴室および廊下両端の排気口から排出する構成となっている（図 3）。

実験は表 1 に示す 4 つの条件で実施した。実験 1 は浴室トイレ換気扇を運転しない条件、試験 2 は浴室換気扇を運転する条件、実験 3 は BP 発生源とした客室②の窓を開放した場合の気流変化に伴う廊下への漏出状況の確認、実験 4 は空気清浄機の稼働による客室から BP 漏出量の低減効果の確認を目的としたものである。



図1 測定対象室と測定点



図2 客室FCU吹出口と吸込み口



図3 浴室換気扇

表1 実験概要

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

蛍光粒子は生物由来のBPの指標として用いられることがある。図1に示すように、客室②の★位置においてネブライザーを用いて蛍光粒子（粒径 $1\mu\text{m}$ の標準粒子）を1分間で計 $190\mu\text{g}$ 発生させた。客室②前の廊下にはバイオエアロゾルセンサ（BAS）⁴⁾を設置し、さらに客室②の対面に位置する客室⑤では、パーティクルカウンタによる1分間隔の連続測定を実施した。

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

C. 研究結果

図4に実験1（全室の浴室換気扇OFF）の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。CO₂発生時には、 $>5.0\mu\text{m}$ のBP濃度の顕著な上昇が確認された。また、客室②において1分間蛍光粒子を発生させた直後、廊下に設置したBASにおいて $>1.0\mu\text{m}$ の3粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。その後の実験時間帯においても、 $>1.0\mu\text{m}$ のBP濃度に断続的な上昇が認められた。さらに、実験終了後に扉を開放した際

にも、 $>1.0\ \mu\text{m}$ の 3 粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。

図 5 に実験 2（全室の浴室換気扇 ON）の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。実験 1 と同様に、 CO_2 発生時には $>5.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の顕著な上昇が確認された。また、客室②において 1 分間蛍光粒子を発生させた直後、廊下に設置した BAS において $>1.0\ \mu\text{m}$ の 3 粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。その後の実験時間帯においても、 $>1.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度に断続的な上昇が認められた。さらに、実験終了後に扉を開放した際にも、 $>1.0\ \mu\text{m}$ の 3 粒径区分すべてで濃度の上昇が確認された。

図 6 に実験 3（全室の浴室換気扇 ON、全室窓開放）の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。実験 1 および 2 と同様に、 CO_2 発生時には $>5.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の上昇が確認された。また、客室②において 1 分間蛍光粒子を発生させた直後には、廊下の BAS において BP 濃度の顕著な上昇は確認されなかったが、その後、窓開放の影響により廊下の BP 濃度の上昇が確認された。さらに、実験終了後に各室の扉を開放した際には、実験 1 および 2 と比較して廊下の BP 濃度がより顕著に上昇した。

図 7 に実験 4（全室の浴室換気扇 ON、空気清浄機 ON）の測定結果および濃度の急激な変化に関するコメントを示す。実験 1～3 と同様に、 CO_2 発生時には $>5.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の上昇が確認された。また、客室②において 1 分間蛍光粒子を発生させた直後、廊下の BAS において $>2.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の上昇が確認されたが、空気清浄機の稼働により特に $>2.0\ \mu\text{m}$ の BP 濃度の低減が確認された。さらに、実験終了後に各室の扉を開放した際には、廊下の BP 濃度の上昇が確認された。

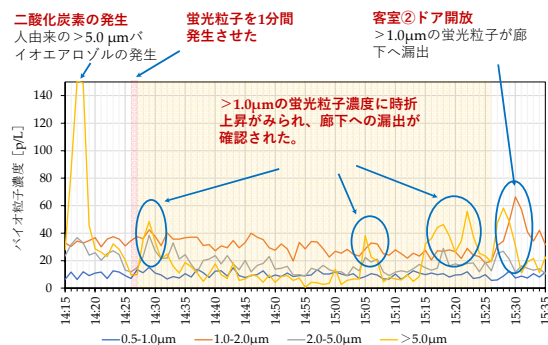


図 4 実験 1 における蛍光粒子濃度の経時変化

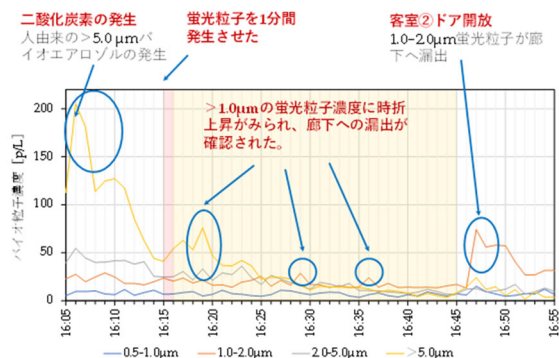


図 5 実験 2 における蛍光粒子濃度の経時変化

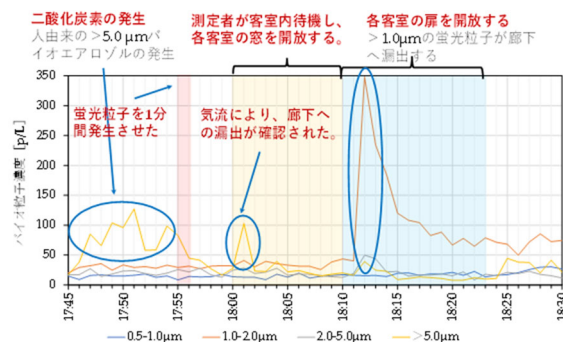


図 6 実験 3 における蛍光粒子濃度の経時変化

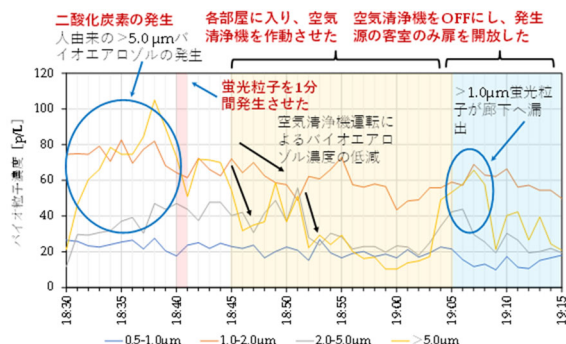


図 7 実験 4 における蛍光粒子濃度の経時変化

D. 考察

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

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

また、香港の Wong らは検疫ホテルを対象としてスモークテスターを用いた気流可視化試験を実施しており、その結果（図8）から客室と廊下間で空気の流入・流出が生じていることを確認している⁵⁾。

本研究においては、アメダス（成田観測所）の気象データによると、測定日である2025年8月26日午後（12:00～18:00頃）の風向は概ね南～南南東（海風）であり、時間帯による多少の変動はあるものの、南寄りの風が卓越していた。BP発生源である客室②は南東向きであることから、図1a（上の図）：ドアを急に開けた際の客室と廊下間の気流の方向を示す。廊下の窓は閉じていた。

図1b（下の図）：ドアを少し開けた場合、または大きく開けた場合の客室と廊下間の気流の方向を示す。ドアを大きく開けた場合、部屋のドアの上部3分の2で内向きの気流が、床付近で外向きの気流が生じることが示された。ドアを少し開けた場合も、床付近でわずかな内向きの気流が確認された。廊下の窓は閉められていた。

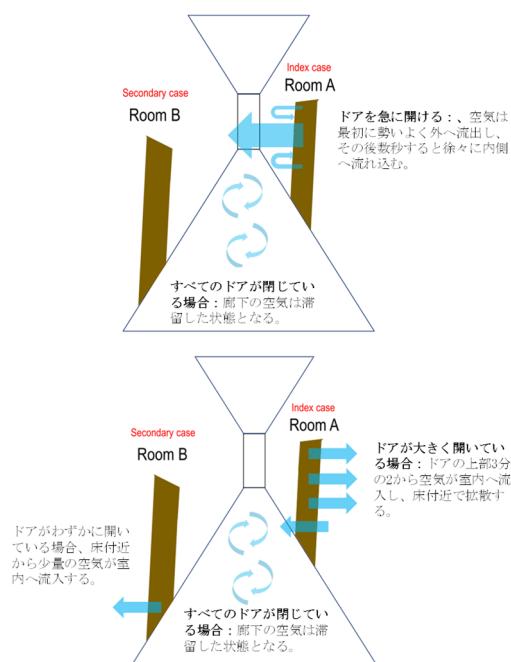


図8 旅行者向け指定隔離ホテル内の客室間で、SARS-CoV-2の懸念される変異株であるオミクロン株(B.1.1.529)が空気感染する潜在的なメカニズムを実証するための煙試験の模式図

風上側外壁に正圧が形成された可能性がある。本研究の実証試験では、浴室換気扇の運転条件（ON/OFF）にかかわらず、発生源客室②から廊下への粒径 $1.0 \mu\text{m}$ 以上のBPの漏出が確認された。これは、客室と廊下間の風圧差により、ドアのアンダーカット部を通じてBPが廊下へ漏出したためと推察される。（図4、図5）。

COVID-19パンデミック期間中には窓開放による自然換気が推奨されていたが、本試験の結果では、窓を開放すると外気の風向および風圧の影響により計画された換気経路が維持されず、その結果、発生源である客室②から廊下へのBP漏出量は試験1および試験2よりも増加することが確認された。さらに、ドアを開放した場合には、窓開放時よりも多くのBPが廊下へ漏出することが確認された（図6）。

空気清浄機は浮遊粒子濃度低減対策として有効であることが広く知られている。本研究においても空気清浄機の運転により廊下へのBP漏出量の低減が確認された（図7）。

E. 結論

本研究では、COVID-19 パンデミック期間中に検疫ホテルとして使用された宿泊施設を対象として、BP 発生源となる客室から廊下への漏出特性について実証試験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 客室間および客室と廊下間の風圧差により、発生源客室のドアアンダーカット部を通じて廊下へ BP が漏出することが確認された。
- 2) 窓開放時には、外部風圧の変化により廊下への BP 漏出量が増加することが確認された。
- 3) ドア開放時には、廊下への BP 漏出量が最も多くなることが確認された。
- 4) 空気清浄機の使用により、BP 漏出量の低減が確認された。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 柳 宇、開原典子、林基哉、戸次加奈江、黒須一見：検疫ホテルにおける客室から廊下へのバイオエアロゾル伝播特性の実証と緩和策の検討．日本建築学会大会学術講演梗概集．2026.
- 2) Yanagi, U, Fukushima, N., Nagai, H., Ye, H.; Kano, M. Bioaerosol Sensor for In Situ Measurement: Real-Time Measurement of Bioaerosol Particles in a Real Environment and Demonstration of the Effectiveness of Air Purifiers to Reduce Bioaerosol Particle Concentrations at Hot Spots. *Atmosphere*. 2023. 14, 1656.

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) Dillon C. Adam, et al. Risk of within-hotel transmission of SARS-CoV-2 during on-arrival quarantine in Hong Kong: an epidemiological and phylogenomic investigation. *The Lancet Regional Health - Western Pacific*. 2023;33: 100678.
- 2) Hsin-Yi Wei, et al. Transmission of SARS-CoV-2 through Floors and Walls of Quarantine Hotel, Taiwan. *Emerging Infectious Diseases*. 2022; 28(12).
- 3) Merrill LIM, et al. Possible inter-room aerosol-mediated COVID-19 transmission in a quarantine hotel: A case study. *Building and Environment*. 2026; 114442
- 4) Yanagi, U. et al. Real-Time Measurement of Bioaerosol Particles in a Real Environment and Demonstration of the Effectiveness of Air Purifiers to Reduce Bioaerosol Particle Concentrations at Hot Spots. *Atmosphere*. 2023. 14, 1656.
<https://doi.org/10.3390/atmos14111656>.
- 5) Wong, SC, et al. Transmission of Omicron (B.1.1.529) - SARS-CoV-2 Variant of Concern in a designated quarantine hotel for travelers: a challenge of elimination strategy of COVID-19. *The Lancet Regional Health - Western Pacific*. 2022;18: 100360.
- 6) 日本建築学会：微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説 AIJES-A0002-2013。