

# 2021 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：新型コロナウイルス（COVID-19）感染対策特定課題  
研究期間：2021 年度  
課題番号：21212015  
研究課題名（和文）：COVID-19 における感染性エアロゾル粒子への曝露リスクおよび  
対策効果の評価  
研究課題名（英文）：Assessment of exposure to infectious aerosol particles and effectiveness  
of countermeasures  
研究代表者：尾方 壮行  
交付決定額（当該年度）：500,000 円

## 1. 研究の目的

2020 年から世界的に流行する新型コロナウイルス感染症（COVID-19）はいまだ収束しておらず、引き続き感染防止策の強化・徹底が求められており、効果的で持続可能な感染対策手法に関する知見はますます重要である。

新型コロナウイルス感染症の感染防止手段として、室内空間においてデスクパーティションなどの遮蔽板が設置される場合がある。COVID-19 は呼吸器感染症であり、ヒトの咳やくしゃみ、発声、呼吸などの呼吸器活動によって発生する飛沫やエアロゾル粒子に含まれる感染性を保った新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）によって感染する<sup>1,2,3</sup>。図 1 に感染性エアロゾル粒子の曝露様式と対策のあり方を示す。発生源の近傍で発生後短時間のうちに発生する直接的な曝露による感染を防ぐための対策としては、マスクの着用や物理的な確保があり、パーティションの設置はそれら対策の実施が難しい場合等の補完的な対策として考えられる。

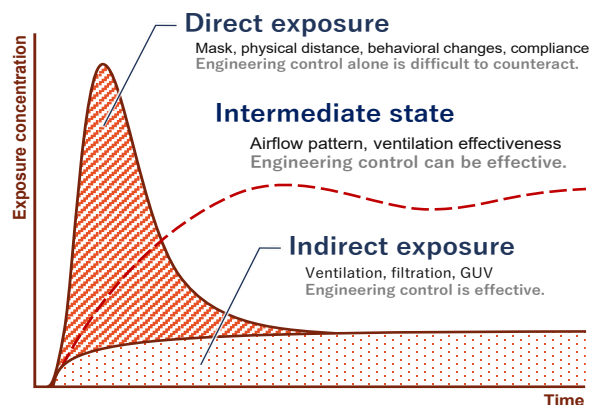


図 1 エアロゾル粒子の曝露様式と対策のあり方

室内空間におけるパーティションの設置はその遮蔽面を挟んだ短距離・短時間の直接的な曝露を防ぐためには有効な手段であると考えられる。坪倉らは、オフィスにおいてデスクパーティションの高さが飛沫・エアロゾル粒子の飛散に与える影響を数値熱流体解析により調査し、床上 1.4 m 以上の高さのパーティションを設けることで咳嗽発生後 20 秒までの直接的な曝露が低減されることを示している<sup>4</sup>。一方で、パーティションを設置することで室内空気に淀みが生じ、間接的な曝露による感染リスクが増大する可能性があるが、エアロゾル粒子の曝露に関してパーティションがどのような影響を与えるか、直接的な曝露以外の状況について知見が不足している。

本報では、執務空間を想定した室内空間におけるデスクパーティションの形状とエアロゾル粒子への曝露量の関係を検討するために模擬咳発生装置を用いて人工気候室にて行った実験について報告する。なお、本研究では飛沫感染および接触感染のリスクは評価していない。

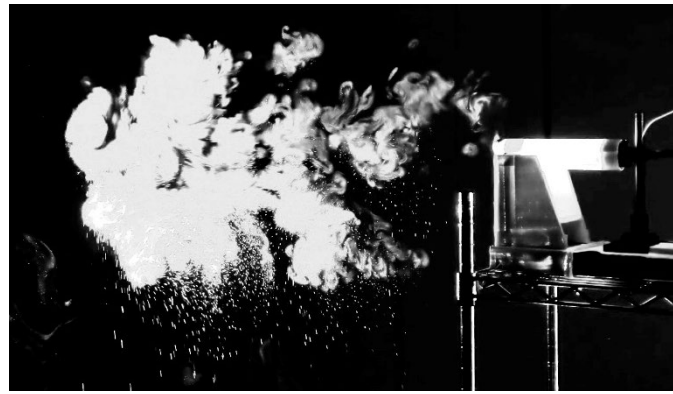
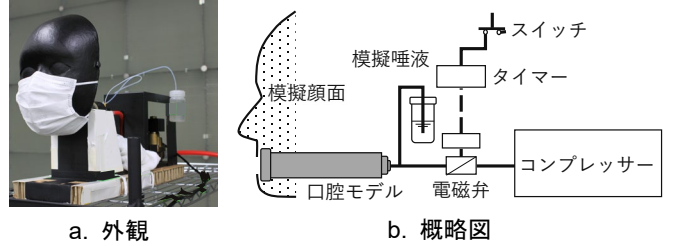
## 2. 研究の方法

人工気候室内に最大 4 名が着席できる島型オフィスデスクを設置し、パーティションの有無による各席の呼吸域におけるエアロゾル粒子曝露量の変化を把握するため、模擬咳発生装置により発生させたエアロゾル粒子の濃度をパーティクルカウンター（Model 3889, KANOMAX）にて測定した。実験は東京工芸大学風工学研究センターの人工気候室にて、2021 年 8 月 26 日

(木) から 8 月 31 日 (火) の期間で実施した。測定部の室面積は約 30 m<sup>2</sup>、室容積は約 81 m<sup>3</sup> である。

## 2.1 模擬咳発生装置

図 2 に模擬咳発生装置を示す。模擬咳発生装置は人間の口腔部を模擬したモデルから気体と液体を同時に噴出し、飛沫を含むヒトの咳を模擬する装置である。装置が発生させる模擬咳については、咳の風量、速度、飛沫量、飛沫の粒径分布を成人男性被験者の既往研究および実験の結果と比較し、飛沫を含む咳を模擬できることを確認している 5)。本研究では、模擬咳の空気温度が約 32°C となるように、リボンヒーターで口腔部モデルを加温した。また、模擬咳を発生させる際にマスクを着用した状態を実験的に再現するために、口腔モデルの先端に模擬顔面を設けた。



c. 模擬咳による飛沫・エアロゾル粒子の可視化画像

図 2 模擬咳発生装置

## 2.2 実験方法

図 3 に人工気候室の平面図を示す。室内の空気温度、相対湿度をそれぞれ 26°C、50% に設定し、模擬咳発生装置により 10 秒間隔で 5 回の咳を発生させた後、10 分間の測定を行った。測定時には静穏気流以下の微気流 (0.13 m/s) を発生させた。

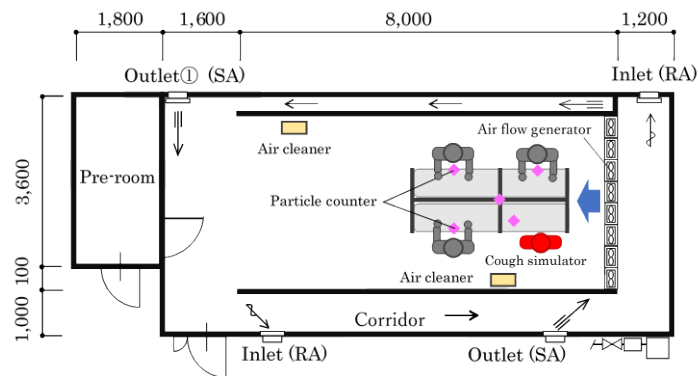


図 3 実験室平面図

図 4 に本実験に用いたデスクパーティションの形状を示す。本実験では、デスクパーティションを設置しない条件に加え、3 種類のパーティションを設置する条件を設けた。机上面高さは床上 0.7 m、デスクパーティションの高さは 0.6 m であり、パーティション上端部の高さは床上 1.3 m であった。また、模擬咳発生装置の模擬顔面に不織布マスクを装着した場合としない場合において測定を行った。模擬咳発生装置に不織布マスクを装着しない場合には、パーティ

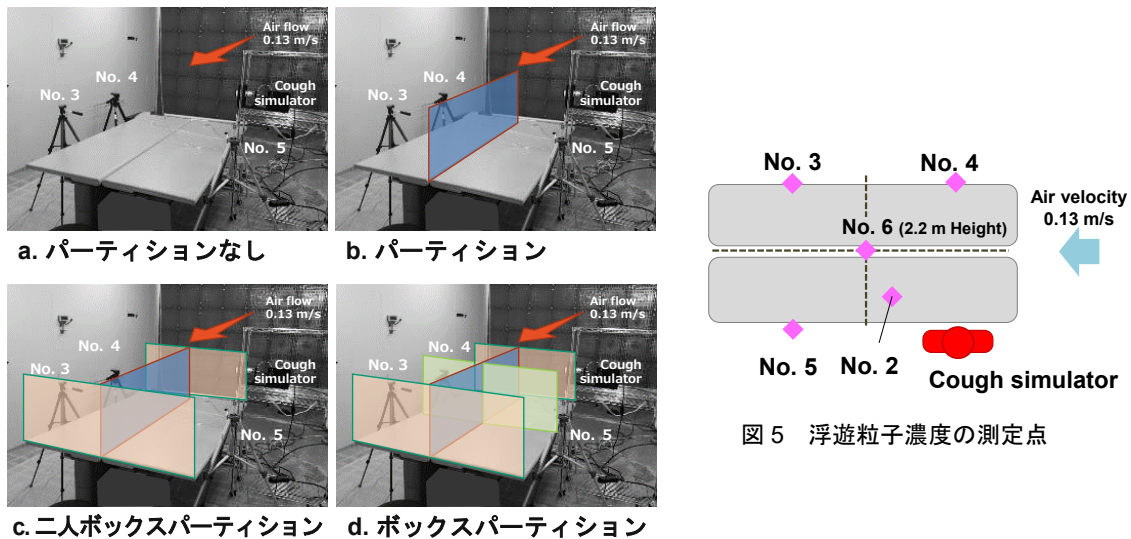


図4 デスクパーティションの形状

ションなし、パーティション、ボックスパーティション条件で、マスクを装着した場合については、パーティションなし、パーティション、二人ボックスパーティション、ボックスパーティション条件で測定した。

図5に浮遊粒子濃度の測定点を示す。感染者を想定した模擬咳発生装置を風上側となる位置に設置し、発生源となる模擬咳発生装置の近傍、正面1名と風下側2名の執務者の呼吸域位置、デスク中央の床上2.2 mの位置に測定点を設定した。測定点においてパーティクルカウンター(KANOMAX: Model 3889)で浮遊粒子数を0.3~0.5 μm、0.5~1.0 μm、1.0~3.0 μm、3.0~5.0 μm、5.0~10.0 μm、10.0 μm以上の粒径別に測定した。使用したパーティクルカウンターの流量は2.83 L/minであった。本研究では、粒径0.3~3 μmのエアロゾル粒子を対象に測定結果を分析した。

### 2.3 エアロゾル粒子の曝露量の評価方法

模擬咳発生装置によるエアロゾル粒子発生量に対するNo.2~6の各測定点での10分間のエアロゾル吸引量の割合 [%] を求めた。体積が分かっているビニルチャンバー内でサーキュレーターを運転し、マスクを装着しない模擬咳発生装置により咳を5回発生させた際のチャンバー内エアロゾル粒子濃度を測定し、粒径0.3~3.0 μmのエアロゾル粒子発生量を $3.0 \times 10^9$  [個]と推定した。各測定位置における吸引量は、人間の呼吸量を $0.5L \times 15$  回/minと仮定して算出した。

## 3. 研究成果

図6に模擬咳発生装置にマスクを着用した場合の各測定点におけるエアロゾル粒子の曝露量を、図7にマスクを着用していない場合の各測定点における曝露量を示す。また、図8にマスクを着用した場合の各条件の呼吸域における曝露量を、図9にマスクを着用した場合の各条件の呼吸域における曝露量を示す。

マスクを着用した場合、マスクを着用しない場合のどちらにおいても、発生源近傍におけるエアロゾル粒子濃度はパーティションを多く設け、デスクを細かく区画化する条件ほど高かった。これは、パーティションによって発生源からのエアロゾル粒子を含む気団の移動が妨げられること、パーティションにより室内気流が妨げられ、デスク周りにエアロゾル粒子を高濃度に含む空気が滞留することが原因として考えられる。

マスクを着用しない場合、d. ボックスパーティション条件で曝露量が最も大きくなった。これは、室内の気流がパーティションによって妨げられ、エアロゾル粒子を高濃度に含む空気が拡散せずにデスク周りに留まるために、各呼吸域における曝露量が大きくなったと考えられる。また、b. パーティション条件で曝露量が小さかった理由として、発生源から対面側へのエアロゾル粒子の拡散がパーティションにより防がれるとともに、パーティションが平行する室内の気流を妨げない配置となっており、発生後比較的速やかにエアロゾル粒子がデスク周辺から取り除かれたためであると考えられる。

マスクを着用した場合、マスクなしの場合と比べてほとんどの測定点において曝露量が低減し、パーティション条件間の差が小さくなった。これは、マスクの着用によって、模擬咳による室内空気中へ放出されるエアロゾル粒子が少なくなるためであると考えられる<sup>9)</sup>。

感染性を保ったウイルスを含むエアロゾル粒子の吸入による感染リスクには、咳や会話等により発生するエアロゾル粒子に発生源の近くで直接的に曝露されるリスクに加え、換気の不十分

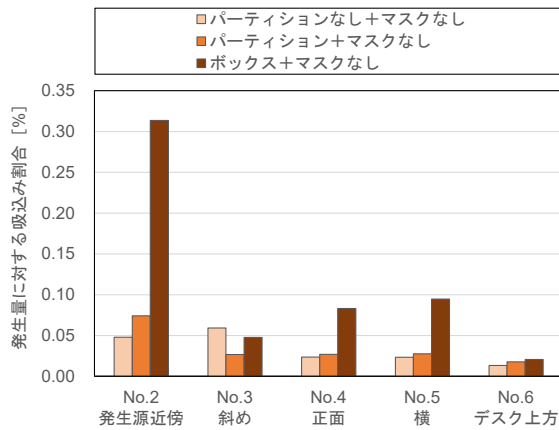


図6 各測定点における曝露量（マスクなし）

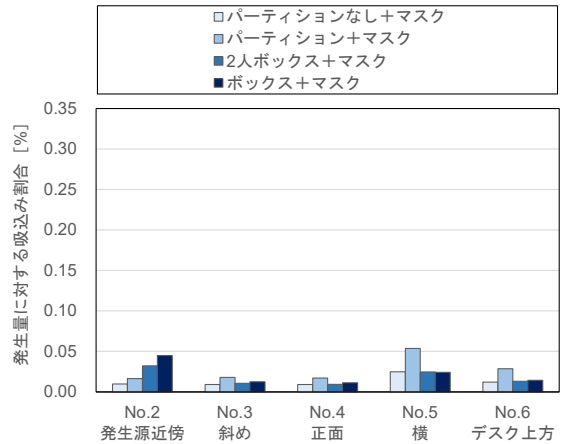


図7 各測定点における曝露量（マスク着用）

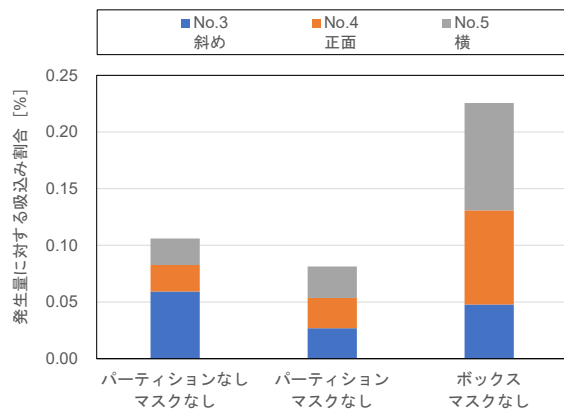


図8 各条件の呼吸域での曝露量（マスクなし）

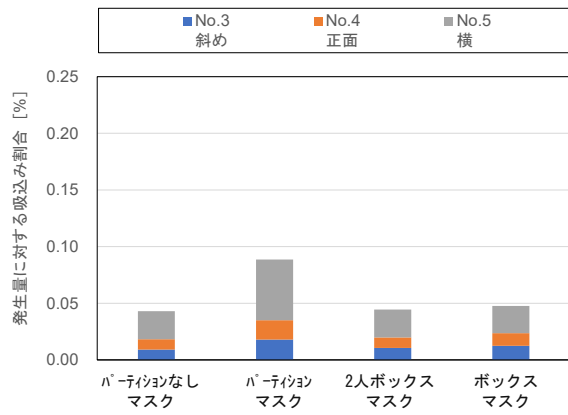


図9 各条件の呼吸域での曝露量（マスク着用）

な室内空間においてエアロゾル粒子の濃度が時間経過により上昇し、そこに長時間滞在することで間接的な曝露量が多くなるリスクが考えられる。直接的な曝露については、特にマスクの着用が有効であり、また感染者と被感染者の間にパーティションを設置することも有効であると考えられる。一方で、間接的な室内空気を介した曝露に対しては、パーティションの設置による効果は室内空間の換気システム、気流性状によって異なり、必ずしも感染リスクを低減せず、特にパーティションを多く設けて空間を細かく区画化するような場合にはリスクを増大させる可能性もあると考えられる。そのため、もしも直接的な曝露を低減するためのマスク着用等に加えた補完的な対策としてパーティションを設置する際には、給気口、排気口の位置などの換気システムを確認し、パーティションによって空気がよどみ換気効果が低下する場所ができないように留意する必要がある。

【参考文献】

- Centers for Disease Control and Prevention. How COVID-19 Spreads. Updated 14 July 2021 <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html> (2022年3月28日閲覧)
- World Health Organization. Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?, 23 December 2021, <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>. (2022年3月28日閲覧)
- 国立感染症研究所. 新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) の感染経路について, 2022年3月28日 <https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2484-idsc/11053-covid19-78.html> (2022年3月28日閲覧)
- 坪倉誠. 室内環境におけるウイルス飛沫感染の予測とその対策. 2020年8月24日 記者勉強会 発表資料. <https://www.r-ccs.riken.jp/outreach/formedia/200824Tsubokura> (2022年3月20日閲覧)
- 尾方壮行, 市川真帆, 堤仁美, 有賀隆, 堀賢, 田辺新一. 模擬咳発生装置による咳飛沫沈着量分布の測定. 日本建築学会環境系論文集. 83(743). 57-64. 2018 <https://doi.org/10.3130/aije.83.57>

- 6) 尾方壮行, 富澤佑介, 竹永めぐみ, 落合涼, 山本佳嗣, 田辺新一. 室内環境における新型コロナウイルス感染リスク低減に関する研究 その1: 研究背景・概要および模擬咳発生装置を用いた飛沫・飛沫核濃度の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学, 1215-1218, 2021年9月

#### 4. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

1. 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, 2022年度日本建築学会大会(北海道)学術講演会(掲載予定)

[図書] (計 0 件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

1. 研究成果のホームページ掲載 1件: パーティションによるエアロゾル遮蔽効果に関する実験結果の公開, 東京工芸大学風工学研究拠点ホームページ, 2021.10.29 掲載  
[http://www.collaborate.wind.t-kougei.ac.jp/document/JURC\\_211028.pdf](http://www.collaborate.wind.t-kougei.ac.jp/document/JURC_211028.pdf)

#### 5. 研究組織

(1) 研究代表者

尾方 壮行 (東京都立大学・都市環境学部建築学科・助教)

(2) 研究分担者

1. 山本 佳嗣 (東京工芸大学)
2. 網野 大河 (東京工芸大学・工学研究科・修士1年)
3. 田辺 新一 (早稲田大学・理工学術院創造理工学部建築学科・教授)
4. 落合 涼 (早稲田大学大学院・創造理工学研究科・修士2年)
5. 富澤 佑介 (早稲田大学大学院・創造理工学研究科・修士1年)

#### 6. 要約 (Abstract, 英文)

##### Research Theme:

Assessment of exposure to infectious aerosol particles and effectiveness of countermeasures

##### Representative Researcher (Affiliation):

Masayuki Ogata (Tokyo Metropolitan University)

We conducted an experiment in the artificial climate room using a cough simulator to investigate the effect of the desk partitions on exposure to aerosol particles in a simulated office space.

The aerosol particle emissions into the room were significantly reduced by the use of masks, and the exposure in the breathing zone of an office worker at an island-shaped desk was also reduced.

In the box partition condition, where partitions surrounded the desks in three directions (front, left, and right), aerosol particles tended to stay around the source and increase in concentration because the partitions themselves blocked the airflow in the room, and it took time for the particles to diffuse.

The risk of infection from inhalation of aerosol particles includes (1) the risk of direct exposure to aerosol particles generated by coughing or talking near the source, and (2) the risk that the average concentration of aerosol particles increases over time in a poorly ventilated room, and that staying there for a long time increases exposure. The risk of exposure is considered to be (1). For (1), wearing masks and installing partitions are considered effective. For (2), it may be effective to improve the ventilation efficiency of the entire room in addition to reducing the amount of aerosol generated by masks.

However, since aerosols flow with the air in a room, it is not possible to block the infection route by inhalation of aerosol particles only by installing partitions. Ventilation is necessary to reduce the risk of infection by aerosols.