

2023 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

研究期間：2023 年度

課題番号：23232014

研究課題名（和文）：呼吸器エアロゾル粒子への暴露様式に基づいた曝露量および対策効果の評価

研究課題名（英文）：Evaluation of the effectiveness of infection prevention measures based on modes of exposure to infectious respiratory aerosol particles

研究代表者：尾方 壮行

交付決定額（当該年度）：360,000 円

1. 研究の目的

本研究は、感染を引き起こすエアロゾル粒子への曝露様式に基づいて現象のメカニズムをモデル化し、包括的に感染リスクを評価することで、既存の感染対策効果を評価・改善するとともに新たな対策手法を提案することを目的とする。

2020 年から今までの COVID-19 への対応を通じて、呼吸器感染症に対する換気やフィルタによる過を主とした工学的な感染予防策の重要性が広く認識されるようになった。主な感染経路と考えられる感染性を有するウイルスを含むエアロゾル粒子の吸入について、距離や角度を主要な要因とした直接的な曝露および完全混合を仮定した間接的な曝露についてはよく一般化されているが、実際の感染拡大の多くは中間的な状況で起こっていると考えられる（図 1）。発生源から時-空間的に近接した濃度分布がある室内空間において曝露を受けた場合には、直接的・間接的な曝露を考慮するだけでは実態との乖離が大きくなる恐れがある。ここに具体的な状況をモデル化することで、換気効率や室内における濃度分布に影響を与える気流性状、温湿度の条件を考慮した建築や建築設備システムのデザインによる積極的な対策を提案する余地があると考えられる。

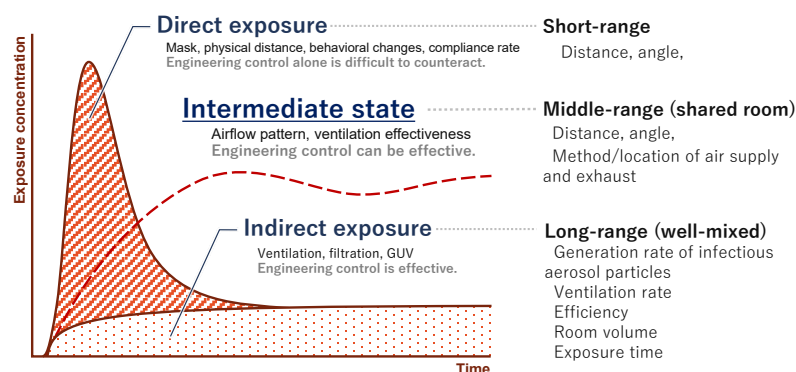


図 1 エアロゾル粒子への曝露様式と対策のあり方

Li ら¹⁾は、数値解析により換気の悪い空間において発生源近傍における曝露量が大きくなることを示し、空調等の環境制御技術による対策の効果が見込みにくいと考えられている発生源近傍で曝露を受ける状況においても換気量が曝露量に大きく影響することを報告しているが、実験や実測による調査は少ない。そこで本研究では、模擬呼吸器エアロゾル発生装置の開発及びオフィス想定した環境において同装置を用いて個別送風機の有無が呼吸器エアロゾル粒子の曝露量に与える影響を評価する実験室実験を行った。

2. 研究の方法

研究代表者らは、コンプレッサーで気体圧力を調整した空気に水タンクからの液体を混合させ飛沫を噴射することで人間が呼吸器から発するエアロゾルを再現する実験装置を開発してきた¹⁾。これまで咳を模擬するための条件については精度検証を行っているが、他の呼吸器活動によるエアロゾル発生については再現ができていなかった。本研究では、噴出圧力、開放時間と開

口面積を調整し、会話時のエアロゾル発生を模擬するため条件を整理し、曝露量評価実験に用いた。

2.1 模擬呼吸器エアロゾル発生装置の精度検証

2.2.1 流量測定

東京都立大学研究室内にて $11.66 \text{ L/min}^2)$ を目標に、スパイロメーターを使用し、マシンより噴出される飛沫量を測定した。マシンの圧力を $0.1, 0.2, 0.3, 0.4 \text{ Mpa}$ に設定し、開放時間を $0.01 \sim 0.10, 0.15, 0.20 \text{ s}$ に設定し測定したところ、結果は $0.3, 0.4 \text{ Mpa}$ では開放時間を短くしても噴出された飛沫は咳の様子に近似していたため、 $0.1, 0.2 \text{ Mpa}$ を中心に速度測定を行うように範囲を絞った。

2.2.2 速度測定

高速度カメラで撮影した映像を画像に分解し 2 つの連続する写真の間の経過秒数で進んだコマ数により速度を求める。前述した流量測定の結果から $0.1, 0.2 \text{ Mpa}$ を中心とする設定値で噴射した画像を分析したところ、 $0.1, 0.2 \text{ Mpa}$ 共に結果は全て既往研究より得られる $2.31 \text{ m/s} \sim 6.56 \text{ m/s}^{3)4)5)}$ の速度範囲を満たしたため、会話時の息の使い方、強さにより近い圧力 0.1 Mpa 、開放時間 0.07 s に設定した。

2.2 模擬呼吸器エアロゾル発生装置を用いた曝露量評価実験

実験は東京工芸大学風工学センターにおいて実施した。コールセンターのような常に会話が生じるオフィス環境を想定し、座席をアイランド型に配置した実験室内平面図を図 2 に示す。実験室内は冬のオフィス内の一般的な環境を再現するため温湿度を $22^\circ\text{C}, 40\%$ に設定した。感染者にマシン、被感染者にサーマルマネキンを使用し、図 3 のように 2 つを正対または隣位置になるように配置した。マシンの噴射を行い、浮遊するエアロゾルの個数を感染者の前方、被感染者の口元、その他隣、斜め 2 席の口の高さ(地面から 116 cm 上)での 4 点でパーティクルカウンター(KANOMAX, ハンドヘルドパーティクルカウンター Model 3889)を用いて測定した。個別送風機は、マネキンとマシン口元において $3.1 \sim 3.2 \text{ m/s}$ の速度で使用し、ウイルスをなるべく含まない空気が届くよう、口元より 40 cm 下から送風した。実験は室内が十分に清潔になったことを確認した後、実験室から全員退出し、エアロゾル粒子個数の測定を開始して測定開始 1 分後からマシンを 0.1 Mpa で 0.07 s 開放、 0.53 s 休止の一定ペースで 3 分間噴射、マシン噴射終了 2 分経過後に測定を終了する手順で全条件分繰り返し行った。室内気流なし/マネキン正面、室内気流なし/マネキン隣、室内気流あり(0.13 m/s)/マネキン隣の 3 つの室条件それぞれで両者送風機なし、被感染者のみ使用、感染者のみ使用、両者使用の 4 条件、計 12 条件を 1 条件につき 3 回ずつ測定した。

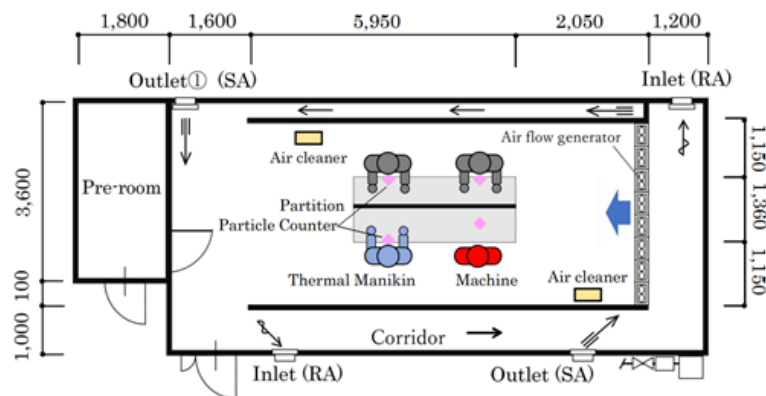
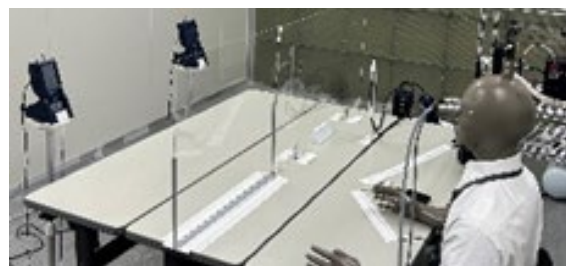


図 2 実験室内平面図



a) マネキン正面条件



b) マネキン隣条件

図 3 実験時のセッティングの様子

3.研究成果

3.1 曝露量評価実験の結果

測定により得られたデータを模擬呼吸器エアロゾル噴射開始から 180 秒後までで平均した結果をまとめたグラフを以下の図 4 に示す。両者送風機なし条件の値を基準として、送風機を使用した場合の曝露量の増減を比較した。

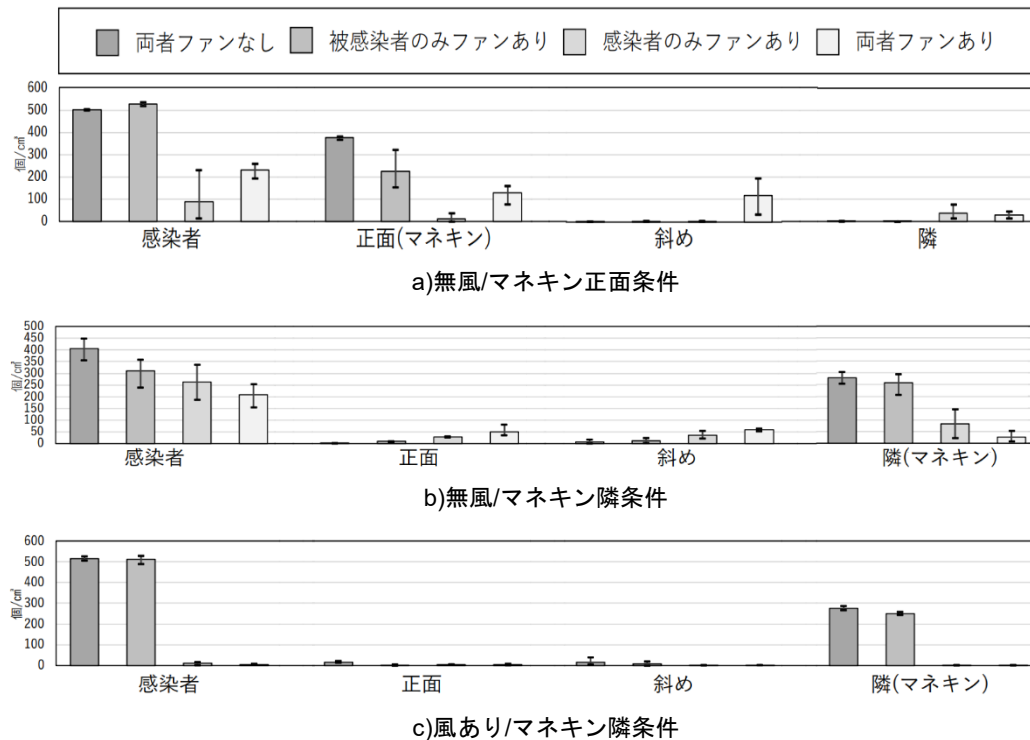


図 4 各測定点における平均エアロゾル粒子濃度
(模擬呼吸器エアロゾル噴射開始から 180 秒後まで)

3.1.1 無風マネキン正面条件

正面位置(マネキン)の測定点に関して一番効果があった感染者のみ使用で 97%減少、一番効果が小さかった被感染者のみ使用でも 40%減少しており、減少の程度に差はあるが送風機を使用することで曝露量を減らすことができるとわかった。一方で、送風機の使用により主に感染者の口元で吹き上げられウイルスを含むエアロゾル粒子が飛散することで斜め、隣の 2 席へは曝露量が基準条件と比較して最も高くして約 1100%増加してしまう結果が得られた。

入院患者との面会や高齢者施設への訪問等、外部から来た症状はなくとも感染症への潜在リスクを持つ人と免疫力が低下している人が 2 人で対峙して会話する状況で送風機を使用することで曝露量を低減できると考えられる。

3.1.2 無風マネキン隣条件

この室条件下での測定では、全測定位置で曝露量が基準条件での値と比較して減少する効果があった。特に、感染者のみ使用と両者使用に関しては全席で約 70%以上、最大で 99%減少させられた。また、送風機使用の中で一番減少割合が低かった被感染者のみ使用に関しても感染者以外の 3 席に関しては、9%以上の減少が見られる。

換気の悪い環境下で隣合った席で会話する状況の際には送風機を使用した方が何も使用しない時と比較して曝露量を減らすことができるとわかった。

3.1.3 風ありマネキン隣条件

隣位置(マネキン)の測定点に関して一番効果があった両者使用で約 90%、一番効果が小さかった被感染者のみ使用でも 8%減少させることができたため、送風機の使用で曝露量を減少させられるとわかった。しかし、こちらも無風マネキン正面条件同様、送風機の使用による吹き上げ効果から起こる飛散の影響で正面、斜め位置の 2 席では逆に曝露量が最大で約 5600%増加してしまった。

今回想定したコールセンターやその他オフィス等のように常時会話が生じる環境で無症状であるが感染している可能性のある人達が隣同士で着席している場合に送風機を使用することで曝露量を低減させることができるといえる。

3.2 まとめ

曝露量評価実験の結果、感染者と被感染者の2人の配置と送風機の使用について、症状がなくとも感染している可能性がある人と、感染していない人が対峙または隣接している際に感染の可能性のある人(感染者と定義)が使用することで、最大で対峙時に97%、隣接時に99%曝露量が低減することがわかった。また、両者が使用した場合にも最大で対峙時に66%、隣接時に99%低減する効果があり、入院患者との面会時や高齢者施設への訪問等免疫力が低いとされる人と会話する機会がある時や仕事場で感染の有無が不明な人と隣合う状況において送風機を使用することで感染していない人の曝露リスクを抑えられる効果があるとわかった。

【参考文献】

- 1) 尾方壮行ら, 模擬咳発生装置による飛沫沈着量分布の測定, 日本建築学会環境系論文集、2018年83巻743号p.57-64
- 2) Gupta, J.K. et al, Characterizing exhaled airflow from breathing and talking. Indoor Air, 20: 31-39.
- 3) Chao, C.Y.H et al., Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening. Journal of Aerosol Science Volume40, Issue2, February 2009, Pages 122-133.
- 4) Soon-Bark Kwon et al., Study on the initial velocity distribution of exhaled air from coughing and speaking, Chemosphere. 87(2012)1260-1264.
- 5) Mengtao Han et al., Experimental measurements of airflow features and velocity distribution exhaled from sneeze and speech using particle image velocimetry. Building and Environment Volume 205, November 2021, 108293.

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

1. 尾方壮行, 山本佳嗣, 高野智希, 堀賢, 田辺新一, 異なる換気状況が発生源近傍における呼吸器エアロゾル粒子への曝露に与える影響, 2023年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会
2. 高野智希, 項奕銘, 尾方壮行, 山本佳嗣, 堀賢, 田辺新一, 室内空間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3: 発話時間と声量が呼吸器エアロゾル粒子濃度に与える影響, 2023年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会

〔図書〕(計0件)

〔その他, 産業財産権, ホームページ等〕

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・工学部工学科建築コース・准教授)
2. 津田 真梨乃 (東京都立大学・都市環境学部建築学科・学部4年)
3. 高野 智希 (早稲田大学大学院・創造理工学研究科・修士1年)
4. 仲野 潤平 (早稲田大学大学院・創造理工学研究科・修士1年)
5. 渡邊 百花 (早稲田大学大学院・創造理工学研究科・修士1年)
6. 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)

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme

Evaluation of the effectiveness of infection prevention measures based on modes of exposure to infectious respiratory aerosol particles

Representative Researcher (Affiliation)

Masayuki Ogata (Tokyo Metropolitan University)

Summary · Figures

In this study, we developed a respiratory aerosol simulator and conducted laboratory experiments to evaluate the effect of the presence or absence of personal fans on exposure to respiratory aerosol particles in a simulated office environment.

The seating was arranged in an island-like configuration to simulate an office environment such as a call center where conversations are always taking place. The temperature and humidity in the experimental room were set to 22°C and 40% to reproduce a typical office environment in winter. A respiratory aerosol simulator was used for the infected person role, and a thermal mannequin was used for the exposed person role. They were positioned to face each other or sit side by side. Aerosols were injected from the simulator, and the number of floating aerosols was measured using a particle counter at four points: in front of the infected person, at the mouth of the infected person, next to the other person, and at the mouth level (116 cm above the ground) of two diagonal seats. Personal fans were used at a speed of 3.1 to 3.2 m/s at the mannequin and simulator mouths, and the air was blown from 40 cm below the mouth to ensure that air containing as little virus as possible was delivered.

The experiment results showed that when an infected person and an uninfected person were placed facing each other or side by side. The potentially infected person (defined as the infected person) used a fan when facing or adjacent to a person whose infection status was unknown, the exposure to the uninfected person was reduced by up to 97% and 99%, respectively. The results also demonstrated that in situations such as visiting a hospitalized patient, visiting an elderly care facility, talking to a person considered to have low immunity, or in workplace situations where one is adjacent to a person whose infection status is unknown, the use of fans by both parties can reduce the exposure risk to the uninfected person by up to 66% when facing each other and 99% when adjacent. Using fans in such situations is suggested to reduce the exposure risk for uninfected individuals effectively.