

2022 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：2022 年度
課題番号：22222013
研究課題名（和文）：呼吸器エアロゾル粒子への曝露様式に基づいた感染リスク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）：420,000 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。

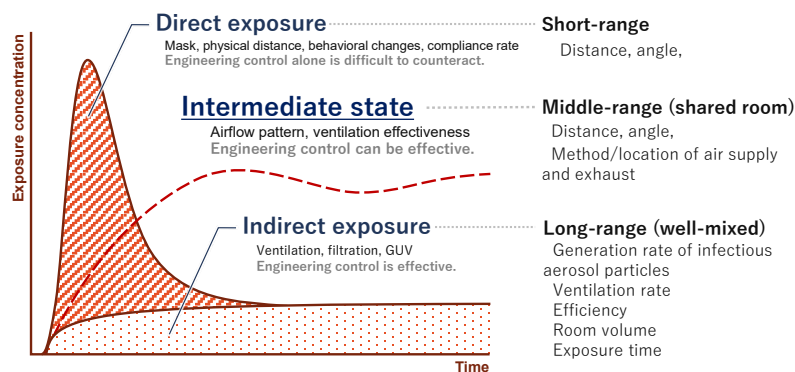


図 1 エアロゾル粒子への曝露様式と対策のあり方

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。本報告書では、異なる換気・気流状況が発生源近傍におけるエアロゾル粒子への曝露に及ぼす影響を検討するために、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。

2. 研究の方法

人工気候室内で異なる換気状況を設定し、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、2022 年 8 月 24 日（水）から 8 月 31 日（水）の期間に実施した。測定部の室面積は約 30 m²、室容積は約 81 m³である。

2.1 模擬咳発生装置

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²⁾。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。

2.2 実験方法

室内の空気温度を26°C、相対湿度を50%に設定し、模擬咳発生装置により1回の咳を発生させた後、エアロゾル粒子濃度を10分間測定する実験を条件毎に3回行った。

表1に実験条件を示す。実験条件として、実験室の空調を運転しない条件、実験室の空調を運転して天井SA吹き出し口に接続されたダクト内のインバータファンを運転しない条件、実験室の空調を運転し、天井SA吹き出し口に接続されたダクト内のインバータファンを運転する条件の3条件を設定した。空調機器のファンは20 Hz、インバータファンは15 Hzにて運転した。天井吹出口の風速については、8点で測定した平均値を、相当換気量については、発煙管により発生させた粒子をトレーサーとしてパーティクルカウンターにより室内空気中の濃度を測定し、濃度減衰法により算出した値を示している。

表1 実験条件

条件名	空調 運転	天井SAダクト内 INV FAN 運転	天井SA吹出口 平均風速 [m/s]	相当換気量 [ACH]
換気なし (No Ventilation)	なし	なし	—	1.7
空調 1 (HVAC 1)	あり	なし	1.1	14.3
空調 2 (HVAC 2)	あり	あり	2.4	15.9

図2に実験室内平面図を示す。測定部の天井SA吹出口から水平方向に3 m離れた床上1.1 mの高さに模擬咳発生装置を設置し、天井SA吹出口と模擬咳発生装置の間の模擬咳発生装置から水平方向に0.5, 1, 1.5, 2 m離れた床上1.1 mの位置にてパーティクルカウンター (KANOMAX: Model 3889) を設置した。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0.5~10 μmのエアロゾル粒子を対象に測定結果を分析した。

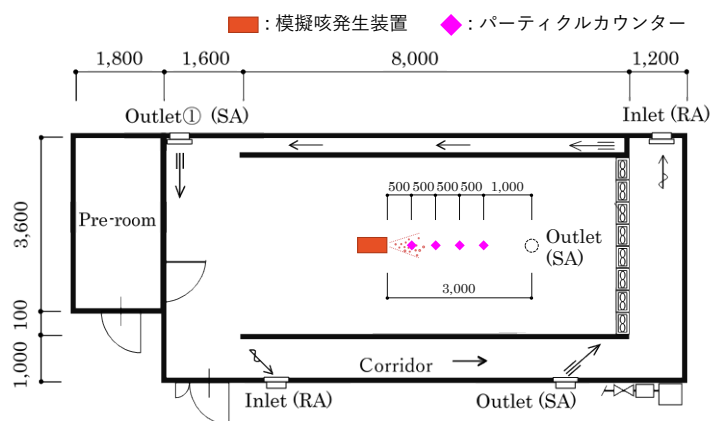


図2 実験室内平面図

3. 研究成果

図3に模擬咳発生直後から1分経過時までの各条件・各測定点における平均エアロゾル粒子濃度を、図4に1分経過時から2分経過時まで、図5に2分経過時から5分経過時まで、図6に5分経過時から10分経過時までの結果を示す。

模擬咳発生直後は特に発生源近傍においてエアロゾル粒子が高濃度に測定され、どの条件でも0.5 m、1.0 mにおける発生後1分までの平均エアロゾル粒子濃度は高かった。一方で、特に天井SA吹出口からの気流速度が大きく換気の良い空調2条件では、1.0 m、1.5 mにおいて換気なし条件と比較してエアロゾル粒子濃度が大きく低減した。発生後1分から2分までの平均エアロゾル粒子濃度をみると、空調条件では発生源近傍でも約1 count/cm³にまで低減しているのに対し、換気なし条件ではエアロゾル粒子を高濃度に含む空気が滞留し、平均エアロゾル粒子濃度

が高くなった。発生後 2 分から 5 分までの平均エアロゾル粒子濃度は換気なし条件よりも空調条件で攪拌効果により一時的に高くなったが、空調条件ではエアロゾル粒子濃度が単調に減衰していくのに対して換気なし条件では減衰がないため、発生後 5 分から 10 分ではどの測定点においても換気なし条件でエアロゾル粒子濃度が高かった。

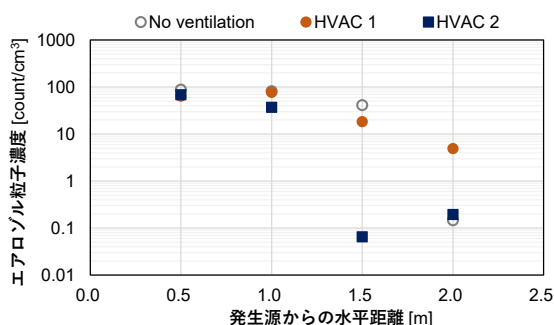


図3 発生後 1 分までの平均エアロゾル粒子濃度

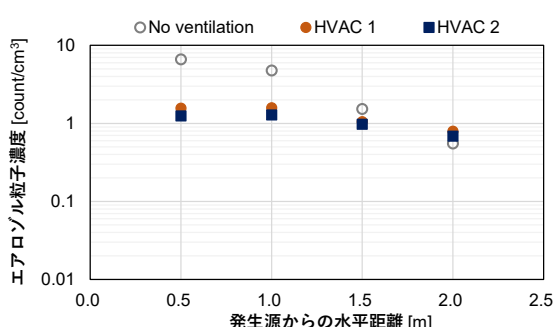


図4 発生後 1 分から 2 分までの平均エアロゾル粒子濃度

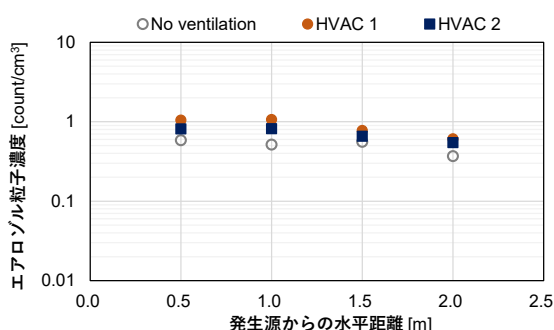


図5 発生後 2 分から 5 分までの平均エアロゾル粒子濃度

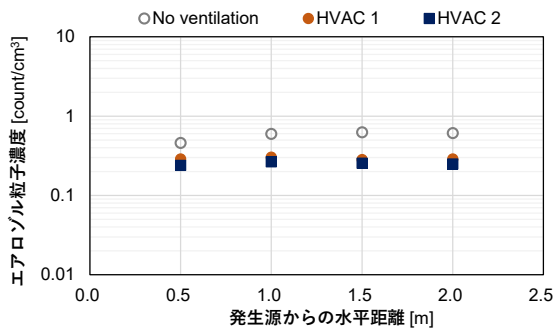


図6 発生後 5 分から 10 分までの平均エアロゾル粒子濃度

本報では、異なる換気・気流状況が発生源近傍におけるエアロゾル粒子の曝露に及ぼす影響に関する模擬咳発生装置を用いた実験について報告した。結果から、発生源近傍において高濃度な呼吸器エアロゾル粒子を含む空気に曝露される場合においても、換気が少なく気流が小さい環境より、換気・気流のある環境において、対象空間中のエアロゾル粒子濃度が低減しうることを実験により確認した。

【参考文献】

- 1) Li Y, Cheng P, Jia W. Poor ventilation worsens short-range airborne transmission of respiratory infection. *Indoor Air*. 2022;32(1). doi:10.1111/INA.12946
- 2) 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>.

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 (掲載予定)
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と与える影響, 2023 年度日本建築学会大会 (近畿) 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]

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. 富澤 佑介 (早稲田大学大学院・創造理工学研究科・修士2年)
3. 項 奕銘 (早稲田大学大学院・創造理工学研究科・修士1年)
4. 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

This study aims to assess the impact of varied ventilation and airflow conditions on aerosol particle exposure in proximity to a source. Results from measurements of aerosol particle concentrations generated by the cough simulator within a controlled artificial climate chamber are presented. The room temperature and relative humidity were set to 26°C and 50% respectively, and the aerosol particle concentrations were recorded three times for 10 minutes after a single coughing simulation by the generator. The study found that aerosol particle concentrations were elevated immediately after coughing, particularly near the source, and that the average aerosol particle concentrations were high at 0.5 m and 1.0 m for up to a minute after coughing under all conditions. However, the concentrations at 1.0 m and 1.5 m were significantly lower in the air-conditioned condition, particularly in the air conditioning 2 setting which featured a high airflow velocity from the ceiling SA outlet and efficient ventilation. The average aerosol particle concentration from 1 to 2 minutes after coughing decreased to approximately 1 count/cm³ in the air-conditioned environment, whereas it remained elevated in the unventilated condition where air with high aerosol particle concentrations was retained. The average aerosol particle concentration was temporarily higher in the air-conditioned environment from 2 to 5 minutes after coughing due to the stirring effect, but as the concentration monotonically decreased in the air-conditioned condition, whereas it remained constant in the unventilated condition, the aerosol particle concentration was higher in the unventilated environment at all measurement points from 5 to 10 minutes after coughing. The study concludes that ventilation and airflow can reduce aerosol particle concentrations in the target space, even when exposed to air containing high concentrations of respiratory aerosol particles near the source, as opposed to environments with limited ventilation and airflow.