

2024 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災 or 室内環境 or 屋外環境 or 分野横断・異分野連携

研究期間：2024 年度
 課題番号：共同研究課題番号:24242010
 研究課題名（和文）：感染対策としての換気・室内気流設計がエアロゾル粒子曝露量に及ぼす影響の呼吸器エアロゾル模擬装置を用いた評価

研究課題名（英文）：Evaluation of the Effect of Ventilation and Airflow Design as Infection Control Measures on Aerosol Particle Exposure Using the Respiratory Aerosol Simulator

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）
 交付決定額（当該年度）： 240,000 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を目的とする。エアロゾル粒子は、図 1 に示すような影響要因によって、環境に応じて粒径分布が異なる。特に室内の相対湿度が与える影響は大きいと思われるため、室内相対湿度がエアロゾルの粒径分布及び拡散に与える影響について実験を行った。

ラウールの法則より液滴表面の水蒸気圧 P_d は不揮発性溶質により低下する。

$$P_d = \gamma \cdot \frac{n_A}{n_A + n_B} \cdot P_{so}$$

γ : 溶液の活性
 n_A : 溶媒（水）のモル数
 n_B : 溶質（NaCl）のモル数
 P_{so} : 純水の蒸気圧

曲率を持つ液滴表面の蒸気圧や、ある相対湿度内での平衡液滴径はケルビン式により求められる。

$$\frac{P_d}{P_s} = \exp\left(\frac{4\sigma\bar{V}}{D_p k T N_{av}}\right)$$

σ : 表面張力
 \bar{V} : モル容積
 N_{av} : アボガドロ数
 D_p : 液滴径（ケルビン直径）
 P_s : 平坦な液滴表面の飽和蒸気圧
 T : 絶対温度

相対湿度

周辺環境の水蒸気圧 (∞)

水分の蒸発により液滴粒径が縮小すると不揮発性の溶質の濃度が上がり、液滴表面の水蒸気圧が低下

その他、NaClの結晶化・潮解も粒子径に大きく影響

図 1 エアロゾルの蒸発に影響を与える要因

2. 研究の方法

2-1 実験概要

最初に、咳マシンで用いる模擬唾液の妥当性を検証し、本実験では、人の咳等で発生する感染性エアロゾルを対象とし、チャンバー(60cm×60cm×120cm)を用いて、室内相対湿度が低湿度帯(20%~30%)と高湿度帯(80%)においてエアロゾル濃度や空気中での粒径分布の測定を行い。人の唾液成分に近い医療用人工唾液と簡易的な模擬唾液を比較することにより、エアロゾルの拡散実験に適した模擬唾液の成分について検討を行った(図 2)。次に相対湿度が異なる室内で咳マシンによりエアロゾルを発生させ、2m 離れた位置でのエアロゾルの到達量について確認した(図 3)。

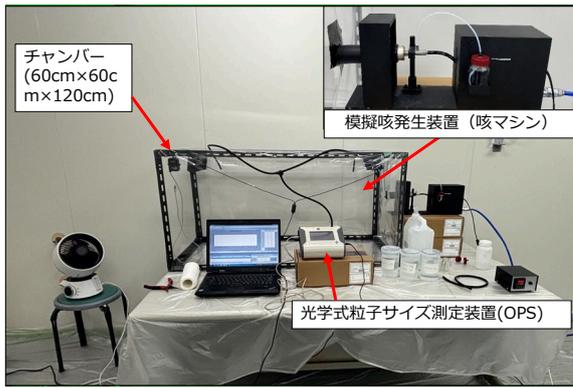


図2 チャンバー実験

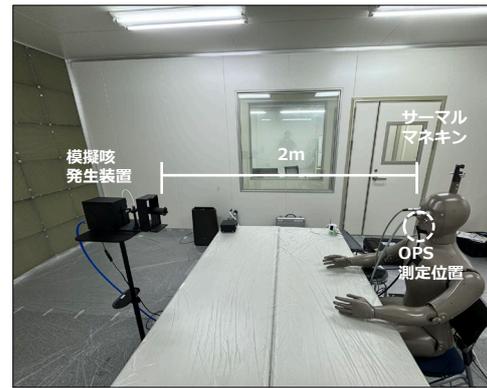


図3 エアロゾル拡散実験

チャンバー実験ではチャンバーと模擬咳発生装置を用い、測定機器として Optical Particle Sizer (以下 OPS) を使用した。実験室内は空調機の高性能フィルターと HEPA フィルター搭載の空気清浄機 3 台を使用しクリーンな状態を保持した。実験手順は、模擬咳発生装置に模擬唾液をセットし、発生装置の起動と OPS の測定開始を同タイミングで行う。簡易なファンで攪拌されたチャンバー内で 2 分間測定を行い、測定後チャンバーの蓋を開けて残留粒子を送風機で排出する。この一連の流れを各模擬唾液で 5 回ずつ行い、平均値を結果とした。

2-3 チャンバー実験の測定条件

実験は東京工芸大学風工学研究センターに設置されている人工気候室にて行った。室内温度は 24℃、室内相対湿度は低湿度帯(20~30%)と高湿度帯(80%)の 2 条件で行った。模擬咳発生装置の噴射はコンプレッサー圧力 0.4MPa かつ電磁弁開放時間 0.2 秒間とし、OPS の測定は 1 秒間隔で計 2 分間の測定を行った。模擬唾液は、純水・医療用人工唾液を除き、純水 500ml (電気伝導率 1~3 μ S/cm) に以下の溶媒を溶かした水溶液とした。実験では①純水、②NaCl(6g)水溶液、③グリセリン(38g)水溶液、④NaCl(3g)+グリセリン(38g)水溶液、⑤NaCl(6g)+グリセリン(38g)水溶液、⑥医療用人工唾液の 6 種類を①から順番に測定した。比較に使用する人工唾液は Biochemazone 社製品(BZ390)を使用した。主な成分は塩化ナトリウム、リン酸カリウム、尿素、ムチン等、pH 値は 7 である。模擬唾液を変更する際、液体が混ざり測定結果に錯誤が生じるのを防ぐため、変更後の模擬唾液での 15 回の空吹きを毎回必ず実施した。

3. 研究成果

3-1 チャンバー実験の測定結果

図 4 と図 5 に測定開始から 30 秒経過した時の粒径分布のグラフを示す。結果は 5 回の測定平均値を用いているが、低湿度、高湿度ともに④NaCl(3g)+グリセリン(38g)、⑤NaCl(6g)+グリセリン(38g)では同条件下で測定結果の標準偏差は 500 個/cm³ 前後であり、その他のケースは 100 個/cm³ 未満となり、ばらつきが小さいことを確認した。図 2 は低湿度 (20%~30%) のグラフで、⑤NaCl(6g)+グリセリン(38g)水溶液の数値が一番高く、続いて④NaCl(3g)+グリセリン(38g)水溶液と②NaCl(6g)水溶液が高い。図 5 の高湿度 (80%) においても同様の結果であった。表 1 に測定開始 30 秒後の粒径 0.3 μ m 粒子での各模擬唾液の低湿度時と高湿度時の平均個数濃度[個/cm³]および低湿度時を基準とした時の高湿度時の比率[%]を記す。表 1 より、低湿度(20%~30%)より高湿度(80%)の方が 30 秒経過時に残るエアロゾルが 1.3~2 倍の範囲で多いことが確認された。

表 1 粒径 0.3 μ m の平均個数濃度 (測定開始 30 秒後)

	低湿度 [個/cm ³]	高湿度 [個/cm ³]	比率 [%]
①純水	499	1011	202
②NaCl(6g)	3635	5632	154
③グリセリン(38g)	1542	5147	334
④NaCl(3g)+グリセリン(38g)	3853	5485	142
⑤NaCl(6g)+グリセリン(38g)	4568	6105	133
⑥医療用人工唾液	1777	3118	175

低湿度時(20%~30%)と高湿度時(80%)における粒径 $0.3 \mu\text{m}$ 粒子の 2 分間の個数濃度の時間変化を表したグラフを図 6,7 に示す。全体的に測定開始 12 秒後までは濃度が急激に低下する傾向があり、⑥医療用人工唾液は 12 秒以降の変化は少なかった。図 6 の低湿度時(20%~30%)では、NaCl 水溶液や NaCl とグリセリンを混ぜた②,④,⑤の水溶液は 12 秒以降の濃度変化は緩やかであったが、③グリセリン(38g)水溶液はその後も急激に濃度が低下した。④NaCl(3g)+グリセリン(38g)でも 12 秒以降での濃度低下が見られた。図 7 の高湿度時(80%)では、各模擬唾液の個数濃度の数値が 1000 個/cm^3 ほど高くなっているが、グラフの形状は低湿度時の時と大きな変化はない。しかし、③グリセリン(38g)水溶液の個数濃度の下がり方が低湿度時と比べ緩やかになった。また、濃度変化について、④NaCl(3g)+グリセリン(38g)水溶液と⑤NaCl(6g)+グリセリン(38g)水溶液を比較すると個数濃度の数値に差があることから、グリセリンに対する NaCl の割合が増えるほど濃度が増えると思われる。図 6,7 より時間経過時の濃度変化が⑥医療用人工唾液と類似しているのが②NaCl(6g)水溶液と⑤NaCl(6g)+グリセリン(38g)水溶液の 2 種類だと分かった。

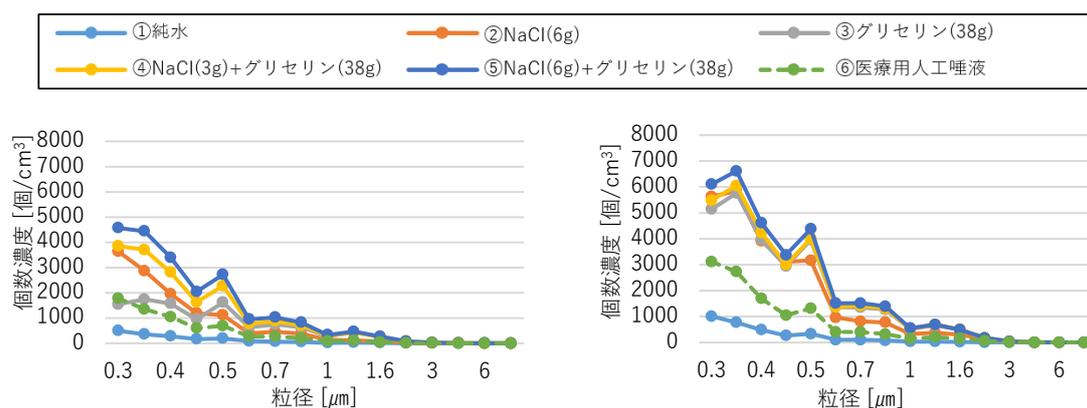


図 4 30 秒経過時の粒径分布 (湿度 20%~30%)

図 5 30 秒経過時の粒径分布 (湿度 80%)

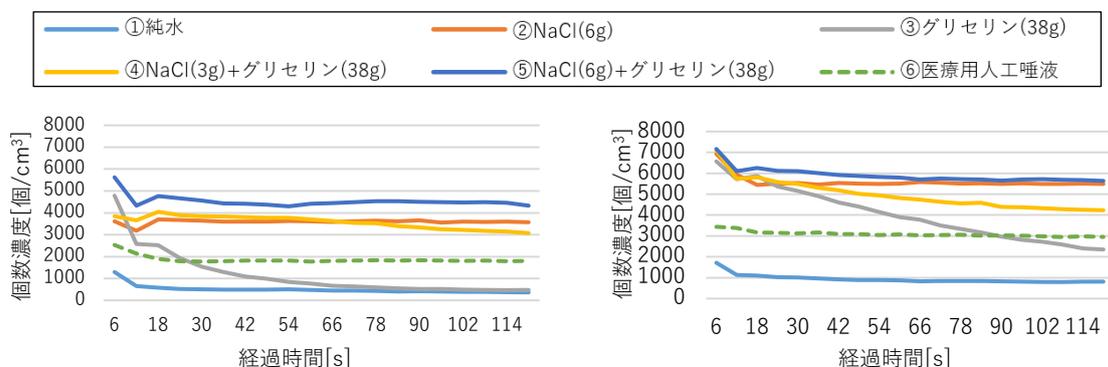


図 6 $0.3 \mu\text{m}$ 粒子の時間変化 (相対湿度 20%~30%)

図 7 $0.3 \mu\text{m}$ 粒子の時間変化 (相対湿度 80%)

3-2 エアロゾル拡散実験の測定結果

相対湿度 20%と 80%において模擬咳発生装置から 2m 離れた位置のエアロゾル到達量を測定した結果を図 8 に示す。模擬咳発生装置の設定は圧力 0.4 MPa 、電磁弁開放 0.2 s であり、模擬唾液は⑧医療用人工唾液を用いた。咳マシンと向かい合わせにサーマルマネキンを設置し、口元に OPS の吸込み口を設置した。咳マシンとサーマルマネキンの距離は 2m 確保した。サーマルマネキンは表面 33°C 一定制御で発熱させており、室内環境は室温 24°C の静穏気流状態である。高湿度と低湿度の結果を比較すると、粒径ごとに多少の変動は見られるものの、高湿度時は低湿度時の 2 倍程度の値となった。低湿度時には蒸発により瞬間的に粒径が $0.3 \mu\text{m}$ 未満となっているものと思われる。また、新型コロナウイルスの大きさは $0.1 \mu\text{m}$ とされており、 $0.3 \mu\text{m}$ 未満のエアロゾルの感染力は小さくなると想定される。本実験では、高湿度環境でのエアロゾル到達量が低湿度時と比較して多くなる傾向を示したが、室内相対湿度がエアロゾル感染に与える影響については今後、多くの実験にて検証をされる必要がある。

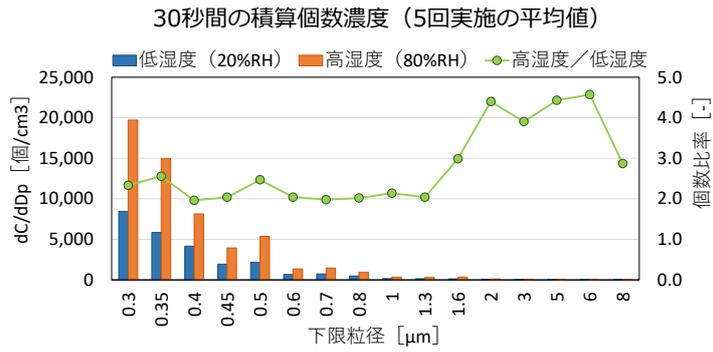


図 8 高湿度・低湿度時の積算個数濃度



図 9 測定風景

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 0 件)

[図書] (計 0 件)

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

1. 特になし

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)

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme : Evaluation of the Effect of Ventilation and Airflow Design as Infection Control Measures on Aerosol Particle Exposure Using the Respiratory Aerosol Simulator

Representative Researcher (Affiliation): Masayuki Ogata (Tokyo Metropolitan University)

This study aims to model the mechanism of the phenomenon based on the mode of exposure to aerosol particles that cause infection, and to comprehensively evaluate the risk of infection. Aerosol particles have different particle size distributions depending on the environment due to various influencing factors. In particular, since the influence of indoor relative humidity is thought to be large, experiments were conducted to examine the effect of indoor relative humidity on aerosol particle size distribution and diffusion. In this study, we examined the change in aerosol concentration when the indoor humidity was low and high, and the difference due to the components of experimental simulated saliva. As a result of the experiment, it was confirmed that the aerosol concentration increased at high humidity (80%) compared to low humidity (20% to 30%). In addition, it was found that the concentration change over time was close to that of medical artificial saliva for two types of solutions: ② NaCl (6g) aqueous solution and ⑤ NaCl (6g) + glycerin (38g) aqueous solution. Furthermore, an aerosol diffusion experiment was conducted under low and high humidity conditions. Comparing the results of high and low humidity, the aerosol concentration at a distance of 2m was about twice as high as that at low humidity.