

ショートレンジにおける感染リスク評価に関する 報告書

令和7年3月

国立研究開発法人産業技術総合研究所
新型コロナウイルス感染リスク計測評価研究ラボ

ダイキン工業株式会社

目次

1. 概要	2.1-6
2. 飛沫挙動評価のための室内試験	2.1-9
2.1. 目的	2.1-9
2.2. 試験方法	2.2-9
2.2.1. 試験環境、装置	2.2-9
2.2.2. 試験条件	2.2-12
2.3. 試験結果（0.3 μ m～0.5 μ m の粒子）	2.3-15
2.3.1. 空気清浄機・空調無し条件での試験結果	2.3-15
2.3.2. 空気清浄機の有無および位置による影響	2.3-16
2.3.3. 空調（送風モード）の稼働と空気清浄機の強度	2.3-20
2.3.4. 空調フィルターの使用	2.3-22
2.3.5. マスクの使用	2.3-24
2.3.6. 相当換気回数	2.3-25
2.4. 3 粒径区分の試験結果と小括（0.3～0.5 μ m、0.5～1.0 μ m、1.0～3.0 μ m の粒子） ..	2.4-26
2.5. パッシブスカラーによる簡易的な飛沫拡散解との比較	2.5-28
2.6. 引用文献	2.6-29
3. リスク評価	2.6-30
3.1. 目的	3.1-30
3.2. リスク評価モデル	3.2-30
3.2.1. モデル	3.2-30
3.2.2. パラメータ	3.2-34
3.2.3. 対策方法	3.2-34
3.2.4. リスク評価方法	3.2-35
3.3. 結果	3.3-36
3.3.1. 対策による相対感染リスク低減効果：室内平均リスク	3.3-36
3.3.2. 対策による相対感染リスク低減効果：吐出口正面のリスク	3.3-37
3.4. 引用文献	3.4-38
4. レビューコメント	3.4-40
4.1. 概要	4.1-40
4.2. レビュー内容	4.2-40
4.3. 総括コメント	4.3-41

図目次

図 2.2-1	クリーンブースにおける試験風景	2.2-10
図 2.2-2	模擬飛沫核発生ユニットの流路図	2.2-11
図 2.2-3	クリーンブース内の機器の配置（左）と使用した空気清浄機（右：ACK70Z-W） ..2.2-12	
図 2.2-4	マスク着用を模擬したマネキンの写真	2.2-14
図 2.3-1	ケース a（空気清浄機・空調の稼働なし）の濃度変化（0.3～0.5 μm ）	2.3-15
図 2.3-2	ケース a の吐出濃度に対する各地点の濃度の比の平均値（模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値）	2.3-15
図 2.3-3	空気清浄機の有無および位置条件における各地点の曝露濃度比（模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値）	2.3-16
図 2.3-4	模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比（空気清浄機の有無・位置） ..2.3-17	
図 2.3-5	模擬飛沫吐出中 30 分間の部屋全体の曝露濃度比（空気清浄機の有無・位置）	2.3-17
図 2.3-6	模擬飛沫吐出終了後 15 分間の各地点の曝露濃度比（模擬飛沫吐出中 25 分間の平均値）	2.3-18
図 2.3-7	模擬飛沫吐出終了後 15 分間の吐出口正面の曝露濃度比（空気清浄機の有無・位置）	2.3-18
図 2.3-8	模擬飛沫吐出終了後 15 分間の部屋全体の曝露濃度比（空気清浄機の有無・位置） ..2.3-19	
図 2.3-9	模擬飛沫吐出中 30 分間の各地点の曝露濃度比（左：空調なし、右：空調急）	2.3-20
図 2.3-10	模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比（空調および空気清浄機の強度）	2.3-21
図 2.3-11	模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比（空調および空気清浄機の強度） ..2.3-21	
図 2.3-12	空調および空気清浄機の強度を変化させた場合の各地点の曝露濃度比（模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値）	2.3-21
図 2.3-13	空調フィルターの設置の有無による各地点の曝露濃度比（模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値）	2.3-22
図 2.3-14	模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比（空調フィルターの有無）	2.3-23
図 2.3-15	模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比（空調フィルターの有無）	2.3-23
図 2.3-16	模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比（マスク着用の有無）	2.3-24
図 2.3-17	模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比（マスク着用の有無）	2.3-24
図 2.3-18	各試験の相当換気回数（吐出源正面）	2.3-25
図 2.3-19	各試験の相当換気回数（全体）	2.3-25
図 2.4-1	模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比（3 粒径区分比較：全データ） ..	2.4-26
図 2.4-2	模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比（3 粒径区分比較：全データ） ..	2.4-26
図 2.5-1	実測値と解析値を比較した結果	2.5-28
図 3.2-1	飛沫核吸引における実効容量の概念図	3.2-32

図 3.2-2	直接吸引を考慮する位置	3.2-33
図 3.3-1	各試験の室内平均感染リスク	3.3-36
図 3.3-2	各試験の吐出口正面位置における感染リスク（局所リスク）	3.3-37

表目次

表 2.2-1	本研究で使用した機器、稼働条件、使用目的	2.2-10
表 2.2-2	模擬飛沫核の飛散試験一覧	2.2-13
表 2.2-3	模擬飛沫核を用いた相当換気回数の計測試験一覧	2.2-14
表 3.2-1	飛沫量とウイルス量のパラメータ	3.2-31
表 3.2-2	飛沫核吸引による曝露量のパラメータ	3.2-32
表 3.2-3	微細粒子の直接吸引による曝露量のパラメータ	3.2-33
表 3.2-4	微細粒子の直接吸引による曝露量のパラメータ	3.2-34
表 3.2-5	リスク評価パラメータ	3.2-34

担当研究者

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

新型コロナウイルス感染リスク計測評価研究ラボ

保高徹生 ラボ長

内藤航 副ラボ長

篠原直秀 上級主任研究員

ダイキン工業株式会社

香川謙吉 テクノロジー・イノベーションセンター 常務執行役員

松井伸樹 テクノロジー・イノベーションセンター 主席技師

中澤武馬 テクノロジー・イノベーションセンター 主任技師

笹井雄太 テクノロジー・イノベーションセンター

田中秀和 テクノロジー・イノベーションセンター

横野遼太郎 テクノロジー・イノベーションセンター

小川夕季 テクノロジー・イノベーションセンター

レビュー実施者

聖マリアンナ医科大学 主任教授 國島 広之様

聖マリアンナ医科大学 特任教授 賀来 満夫様

近畿大学 教授 東 賢一様

東京科学大学 教授 鍵 直樹様

(所属・役職等は、2025年3月31日時点で記載している。)

1. 概要

室内でのショートレンジ¹における感染リスクの定量評価においては、実空間での拡散挙動や空気清浄機等の対策効果に関する検討、解釈を行うことは重要である。これまで、産業技術総合研究所等が開発してきた感染リスク評価モデルでは飛沫核による感染リスク評価においては、スタジアム等の屋外空間と同様に、室内に飛沫核が瞬時に均一に拡散するという前提を持っていた。一方、会議室等の室内において飛沫核濃度は、瞬時に均一に拡散することではなく、空調設備や人の配置、ドアの開閉等により、飛沫核濃度は変化する。

本研究では、クリーンブース内で模擬飛沫を用いた試験により、室内の模擬飛沫の挙動や空気清浄機の稼働や中性能フィルターをセットした空調の稼働による飛沫核の除去効果を実験的に評価するとともに、パッシブスカラー法による簡易的な飛沫拡散解析を適用しシミュレーションの妥当性を検証した。また、これらの結果に基づくリスク評価モデルを開発したので報告する。

本報告書の第2章では、会議室において対面で会話している状況を想定し、異なる設置位置での空気清浄機の稼働や中性能フィルターをセットした空調の稼働などにより、模擬飛沫核の挙動がどのように変化するかを、クリーンブース内において計測した。また、第2章6節および別添資料3ではパッシブスカラー法による簡易的な飛沫拡散解析を適用し実測との比較を実施した。さらに、第3章では、2章で実測された室内の飛沫核濃度の分布を用いて、感染リスクに対する空気清浄機の稼働や中性能フィルターをセットした空調の稼働等の各種対策の効果を評価した。

得られた知見の整理を以下に示す。

- ・ 空気清浄機の効果1（吐出口正面の人）

適切な位置での空気清浄機の使用により、模擬飛沫吐出中30分の吐出口正面の人の飛沫核への曝露は $0.3\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ の粒径で平均で64%、最大で94%低減、 $0.5\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ の粒径で平均で83%、最大で99%低減、 $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ の粒径で平均で86%、最大で99%低減できることが示唆された。これは、空気清浄機の空気の吸い込みにより飛沫核が空気清浄機の方に移動および回収が要因であった。

- ・ 空気清浄機の効果2（部屋全体）：

空気清浄機を使用した場合、模擬飛沫吐出中30分間では、 $0.3\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ については、吐出される模擬飛沫量が多いため部屋全体の飛沫核濃度は空気清浄機を使用しない場合と大きな差（平均で14%削減）がなかった。一方、 $0.5\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ の粒径では平均して、それぞれ47%、61%の削減と一定の効果が確認された。

また、 $0.3\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ の粒径についても、模擬飛沫吐出終了後15分間の結果からは、空気清浄機使用無しの場合は部屋全体の飛沫核濃度は変化しないが、空気清浄機を使用した場合、部屋全体の飛沫濃度は60～75%低減しており、部屋全体の飛沫核濃度低減にも有効なことが確認された。

¹。「Short-range（短距離）」は1～2メートル以内の近距離でのリスクを考え、感染経路としては、接触、飛沫、飛沫核（エアロゾル）が想定される。会話や咳などで発生する大きな飛沫が主なリスクとなる。一方、long-range（長距離）は、特に換気が不十分な室内でのエアロゾル感染が主なリスクで、空気中に浮遊する小さな粒子が長時間、広範囲に拡散することで感染が起こる。

- ・ 空調のみの効果

空調のみを稼働させると、粒子の模擬飛沫核濃度が、空調により均質化され、吐出口正面の曝露濃度比はいずれの粒径でも減少している。一方、室内全体の平均的な曝露濃度比は、 $0.5\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ の粒径は半分程度に減少をしたが、 $0.3\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ の粒径では、わずかに増加した。

- ・ 空調と空気清浄機の同時稼働

空調と空気清浄機を同時稼働させた結果、空調を急（表示 5）で、空気清浄機を強もしくはターボで稼働したケースでは、いずれの粒径においても、吐出口正面の曝露濃度比は平均で 90%（ $0.3\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ ）～98%（ $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ ）低減され、室内全体平均の曝露濃度比も対策無しの場合と比較して 47%（ $0.3\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ ）、71%（ $0.5\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ ）、79%（ $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ ）大幅に低減し、同時稼働の有効性が示された。ただし、空気清浄機の吸引口の位置によっては、両者の稼働が有効でないこともありうることに注意が必要である。

- ・ 空調へのフィルター設置

空気清浄機を稼働させつつ、空調内に中性能フィルターを設置して送風運転は、特に室内全体の曝露濃度比の低減に効果的であり、2 条件の室内全体の平均曝露濃度比は、曝露濃度比も対策無しの場合と比較して 80%（ $0.3\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ ）、99%（ $0.5\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ ）、99%（ $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ ）低減と、フィルター無しの条件と比較して効果が確認された。 $0.5\mu\text{m}$ ～ $1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ では、吐出口正面の曝露濃度比も大幅に削減された。この結果から、空調にフィルターの設置は、室内全体の曝露濃度比の低減に有効であることが確認された。

- ・ 室内全体の感染リスク

空気清浄機の設置は、感染者の正面に座った人の直接吸引、飛沫核吸引による感染リスクは、対策無し（空気清浄機無し、空調無し、換気有り、マスク無し）の条件に対して、室内全体の平均感染リスクも平均 69%削減（最小 43%削減、最大 84%削減）することが確認された。空調と空気清浄機を同時稼働させた場合、空調を急（表示 5）で、空気清浄機を強もしくはターボで稼働したケース（k、l、o）では平均感染リスクを平均 86%削減（最小 81%削減、最大 90%削減）となり、有効であることが確認された。一方、空気清浄機をしずか、空調を強（3）で稼働した場合（o）は、効果が薄れる場合も確認された。また、空調にフィルターを設置することで、室内全体の平均感染リスクを 90～96%削減できることが確認された。

- ・ 感染者の正面に座った人の直接吸引、飛沫核吸引による感染リスク

感染者の正面に座った人の直接吸引、飛沫核吸引による感染リスクは、対策無し（空気清浄機無し、空調無し、換気有り、マスク無し）の条件に対して、空気清浄機の設置により平均 88%削減（最小 61%削減、最大 99.5%削減）することが確認された。ただし、空気清浄機のみ設置の場合一部の位置（g、h）、空気清浄機と空調の組み合わせでは、空気清浄機をしずか、空調を強（3）と低強度で稼働した場合（o）、相対感染リスクの削減割合が上昇する傾向にあり、空気清浄機の設置場所や強度が重要であることが確認された。なお、一般的な新型コロナウイルスの感染リスク評価では、直接曝露、直接吸

引、飛沫核吸引、接触感染の 4 つの曝露経路を対象としているが、本リスク評価では、空調および空気清浄機の効果を確認することを目的とし、直接吸引、飛沫核吸引のリスクを評価対象とした。その結果、感染者の正面に座った人の直接曝露、接触感染の飛沫の曝露は評価されていないことから、感染者の正面に座った人の感染リスクは過小評価されていることに留意が必要である。

2. 飛沫挙動評価のための室内試験

2.1. 目的

ウイルス感染防止や室内汚染物質への曝露低減のために、換気や空調の循環空気の清浄化、空気清浄機などの導入が進められている。空気清浄機は室内環境における感染対策・曝露低減化対策に有用であり、その効果を評価することは社会的な意義が大きい。空気清浄機使用時の室内における粒子の拡散については、モデルシミュレーションは行われているものの、実測例は少なく、シミュレーションでの推定の確からしさの確認や推定精度の向上のために、空気や粒子の挙動の実測が必要である。本研究では、会議室において対面で会話している状況を想定し、異なる設置位置での空気清浄機の稼働や中性能フィルターをセットした空調の稼働などにより、模擬飛沫核の挙動がどのように変化するかを、クリーンブース内において計測した。

2.2. 試験方法

2.2.1. 試験環境、装置

(1) クリーンブース

実験室内（36 m²）に設置されたクリーンブースにおいて、各種条件下での模擬飛沫核の広がりに関する試験を行った（図 2.2-1）。クリーンブースは、帯電防止処理になされた塩ビシート（一部、アクリル板）で作られており、横幅 4.0 m、奥行き 3.5 m、高さ 2.4 m である（容積：32.8 m³）。天井面の対角上の角に、給気口および排気口が設けられており、それらを繋ぐダクト中に HEPA フィルターおよび換気ファンを設置することで、第一種換気を再現した。換気風量は、排気口及び給気口の開口部から 5 cm の位置の 5 点において、多点式アネモマスター（PRO Model 1590, プローブ 0976-13, 日本カノマックス社）を用いて、30 秒間計測を行った。その結果、流量の平均±標準偏差（N=5）は、排気口で 60.8 ± 2.29 m³/min、給気口で 60.7 ± 4.14 m³であった。また、試験の前後にクリーンブース内の粒子濃度を低減させるために、HEPA フィルターが内蔵されたファンフィルターユニット（ピュアスペース 20S, PSXXS-AD2, アズワン）を 20 m³/min で天井部分から通気させた。試験前～試験後の実験室内の気中を清浄に保つために、ファンフィルターユニット（ピュアスペース 20S）3 台を室内で常時 20 m³/min で稼働させた。温度は 23°C、湿度は 40%RH で試験を行った。模擬飛沫核の吐出口の向かいの人としては、サーマルマネキン（P.T. Teknik ApS 社）を、体表面温度一定（PI モード, 33°C）で用いた。クリーンブース内の温湿度は、20°C、40%RH に保って試験を行った。クリーンブース内の 21 か所（床面 5 ヶ所、高さ 120 cm 6 ヶ所、高さ 200 cm 5 ヶ所）において、温湿度計（換気 Hub 用環境センサ AS3L, 旭化成）を用いて温湿度の計測を行い、おおむね 20°C、40%RH であることを確認した。



図 2.2-1 クリーンブースにおける試験風景

表 2.2-1 本研究で使用した機器、稼働条件、使用目的

機器名	型番	メーカー名	稼働条件	使用台数	使用目的
HEPAフィルターユニット (ピュアスペース 20S)	PSXXS-AD 2	アズワン	20 m ³ /m in (常時運転)	3	室内 (クリーンブース外) の 空気清浄化
サーマルマネキン		P.T. Teknik ApS	33 °C (PIモード)	1	発生源向かいの人の発熱の再現
エアロゾル発生器 (アトマイザー)	ATM 226	Topas Gm bH	約5 L/min	1	模擬飛沫核の発生
拡散ドライヤユニット	DDU-570/H (L=470 mm)	Topas Gm bH	-	1	模擬飛沫核発生時の気中液滴の 除去・乾燥
希釈器	D IL-550	Topas Gm bH	-	2	発生粒子濃度計測のための気中 粒子の希釈
ハンドヘルド パーティクルカウンター	LPC3889	日本カノマックス	10秒ごとの計測 (10秒平均値)	29	クリーンブース内の粒径別粒子 数の計測
石鹸膜流量計	SF 1U VP-4U	堀場製作所	10回測定 (各試験の前後)	1	クリーンブース内へ発生させる アトマイザーからの流量計測
風速計 (多点式アネモマスター)	PRO Model1590	日本カノマックス	1秒ごとの計測 (1秒平均値)	1	換気口 (給気口・排気口) の風 量計測/クリーンブース内の風
風速プローブ	0976-13	日本カノマックス		12	速のモニタリング
温湿度計 (換気Hub用環境センサ)	AS3L	旭化成	1分ごとの計測 (1分平均値)	20	クリーンブース内の温湿度の モニタリング

(2) 模擬飛沫核の発生

模擬飛沫核は、人工唾液を用いてアトマイザー ATM 226 (Topas GmbH 社) により発生させ、拡散ドライヤユニット (DDU-570/H L=470 mm, Topas GmbH 社) を通過させた後、圧縮空気と混合して模擬口腔からクリーンブース内へ吐出させた。人工唾液としては、NaCl・グリセリンの水溶液 (NaCl 0.24 g・グリセリン 1.52 g を水 100 mL に溶解させた水溶液) を用いた。模擬口腔としては、内径 20 mm の塩化ビニル管 (VP20) を用いた (吐出口面積 $3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)。発生させた模擬飛沫核の濃度は、ドライヤーを通過させた後に分岐した一方を 2 台の連結させた希釈器 (DIL-550, Topas GmbH 社) で希釈した上で、パーティクルカウンタ (ハンドヘルド LPC3889, 日本カノマックス社) で測定した。分岐後の配管は、吐出口までと希釈器までで同じ長さとした。模擬口腔内で混合させる空気の流量は 17.3 L/min、アトマイザーからの流量は約 1.6 L/min とした (トータルで 1.00 m/s に設定)。試験開始前に約 40 分間のアトマイザーの暖機運転をした上で、

各試験の前後に石鹼膜流量計（SF 1U VP-4U，堀場製作所）を用いて 20 回流量計測を行い、その平均値を各試験のアトマイザーからの流量とした。

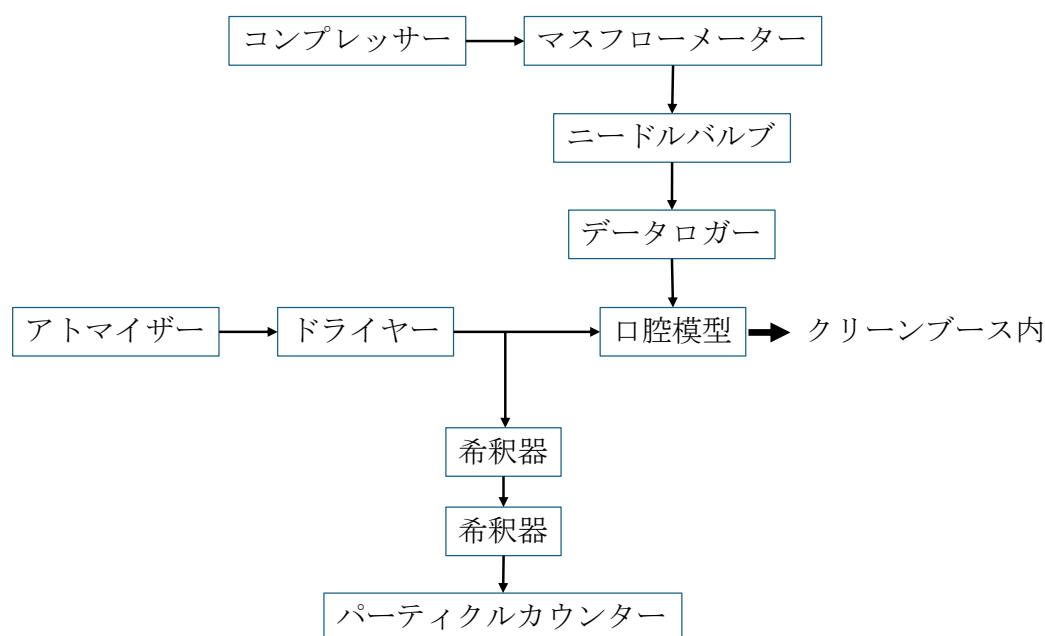


図 2.2-2 模擬飛沫核発生ユニットの流路図

人工唾液を用いた人工飛沫や人工飛沫核の生成は、これまでに数多く報告がある。人工唾液としては、既存の研究(Ogata et al., 2018; Wan et al., 2007; Nicas et al. 2005)で報告されている組成（NaCl 12 g, glycerin 76 g）を参考にしつつ、室内濃度がパーティクルカウンターで計測できる気中濃度になるように 5 倍希釈したものをを用いた。

(3) 模擬飛沫核の計測

クリーンブース内の模擬飛沫核の濃度は、高さ 120 cm で 20 ヶ所、高さ 200 cm で 9 ヶ所に、パーティクルカウンタ（ハンドヘルド LPC3889）を設置し（図 2.2-3）、10 秒ごとに測定を行った（10 秒平均値）。

(4) 使用した空気清浄機・空調設備

以下、使用した空気清浄機、空調機、フィルターユニットの型番を示す。いずれの製品もダイキン社製である。

- ・空気清浄機(ストリーマ空気清浄機 ACK70Z-W)
- ・業務用空調室内機(天井埋込カセット型 S-ラウンドフロータイプ FHCP40FC)
- ・フィルターユニット(ストリーマ除菌ユニット BAEF55D160)

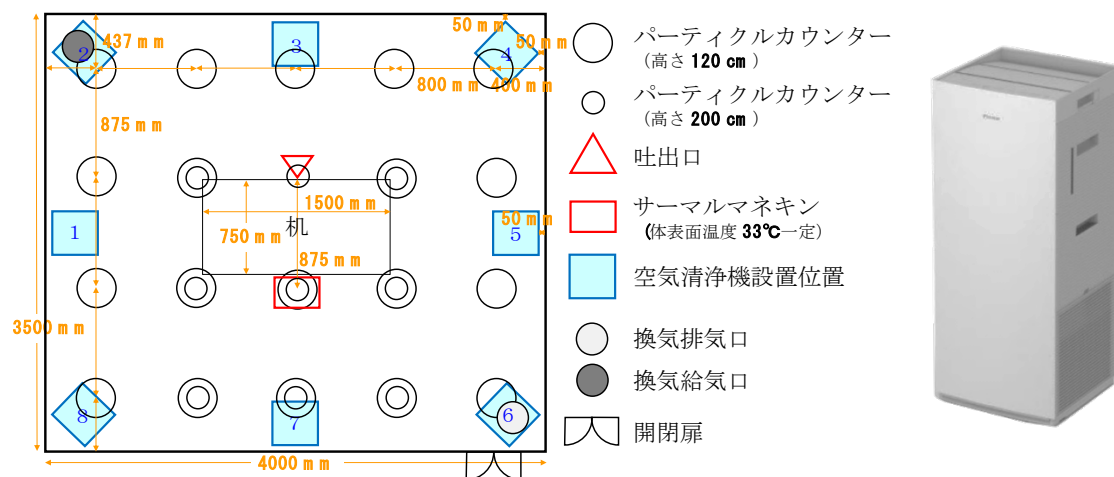


図 2.2-3 クリーンブース内の機器の配置 (左) と使用した空気清浄機 (右 : ACK70Z-W)

2.2.2. 試験条件

空気清浄機や空調の稼働、空調内フィルターやマスクの使用などの条件を変化させ、模擬飛沫核の挙動について計測した。Step 1 の試験では空気清浄機の設置位置による違い、Step 2 の試験では空調 (送風) 稼働時の空気清浄機および空調 (送風) の風量による違い、Step 3 では空調内のフィルターの有無とマスク着用の有無による違いについて試験を実施した。空気清浄機を稼働させない試験の際には、空気清浄機は位置 8 の場所に設置した。全ての試験は 2 回ずつ実施し、再現性を確認するとともに、結果は 2 試験の平均値として示した。

模擬飛沫核の吐出時間は 30 分間とし、吐出を止めた後 15 分間と併せて濃度を測定した。マスク着用時は、マスクとマネキンの間の隙間として、上部の鼻の脇 (両側) に幅 9 mm 高さ 5 mm の直角三角形、両頬部分に幅 20 mm 高さ 12 mm の三角形の隙間を設け、その他のマスクと顔の接点は全て両面テープで隙間がないよう密着させた (図 2.2-4)。

Step4 の相当換気回数の算定方法は、以下のとおりである。2.2.1 (2)と同様の方法で発生させた模擬飛沫核をクリーンブース内で均一濃度になるようにファンで攪拌し、一定時間を置いた後に、環境をそれぞれの試験条件に設定して、2.2.1 (3)と同様の方法で模擬飛沫核の濃度減衰を計測した。模擬飛沫核の濃度減衰に対して、以下の指数関数を最小二乗法でフィッティングさせることで粒子に対する相当換気回数を求めた。

$$C_{indoor} = C_0^{-Nt}$$

ここで、 C_{indoor} はブース内模擬飛沫核濃度 [particles/m³]、 C_0 は初期濃度 [particles/m³]、 N は相当換気回数 [1/h]、 t は経過時間 [h]を示す。最小二乗法のフィッティングは、Microsoft Excel for Microsoft 365 MSO (バージョン 2404)のソルバー機能を用いて行った。

なお、換気回数は、換気量 (一定時間で室内空間に外気を取り込む量、もしくは室内空気を屋外に排出する量) を対象となる室内空間の容積で割った値である。室内空間の容積分の外気が一時間当たり何回室内空間に取り込まれるか、もしくは室内空間の容積分の室内空気が一時間当たり何回屋外に排出されるかを表している。室内における粒子は、換気に加えて、フィルターでの捕集や床面・壁面などへの沈着によって経時的に減衰する。相当換気回数は、フィルター捕集や沈着の効果も含めた粒子の減衰について、換気回数との比較ができるように、換気回数と同じ単位で表現したものである。

表 2.2-2 模擬飛沫核の飛散試験一覧

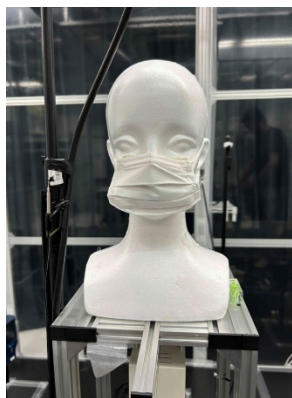
試験ID	試験計画書		空気清浄機			空調 (送風モード)			換気ファン (60 m ³ /h)	マスク
	における 試験ID		稼働 の有無	設置 位置	風量 (モード表示)	稼働 の有無	風量	フィルター の有無	稼働 の有無	着用 の有無
Step 1	a	Test 7	×	-	-	×	-	-	○	×
	b	Test 1	○	1	強 (***)	×	-	-	○	×
	c	なし	○	2	強 (***)	×	-	-	○	×
	d	Test 2	○	3	強 (***)	×	-	-	○	×
	e	Test 3	○	4	強 (***)	×	-	-	○	×
	f	Test 4	○	5	強 (***)	×	-	-	○	×
	g	なし	○	6	強 (***)	×	-	-	○	×
	h	Test 5	○	7	強 (***)	×	-	-	○	×
	i	Test 6	○	8	強 (***)	×	-	-	○	×
Step 2	j	Test 8	×	-	-	○	急 (5)	×	○	×
	k	Test 9	○	8	強 (***)	○	急 (5)	×	○	×
	l	Test 10	○	8	ターボ (↑)	○	急 (5)	×	○	×
	m	Test 11	○	8	しずか (*)	○	強 (3)	×	○	×
	n	Test 12	○	4	ターボ (↑)	○	急 (5)	×	○	×
	o	Test 13	○	4	しずか (*)	○	強 (3)	×	○	×
Step 3	p	Test 14	○	8	ターボ (↑)	○	急 (5)	○	○	×
	q	Test 15	○	8	しずか (*)	○	強 (3)	○	○	×
	r	Test 16	×	-	-	×	-	×	×	○
	s	Test 17	×	-	-	×	-	×	○	○
	t	Test 18	○	8	強 (***)	×	-	×	○	○
	u	Test 19	○	8	強 (***)	×	-	○	○	○

空気清浄機：ターボ: 7.0 m³/min、強: 3.5 m³/min、しずか: 1.4 m³/min
 空調機：急: 16 m³/min、強: 13.5 m³/min

表 2.2-3 模擬飛沫核を用いた相当換気回数の計測試験一覧

試験ID	試験計画書 における 試験ID	空気清浄機			空調 (送風モード)			換気ファン (60 m ³ /h)	マスク
		稼働 の有無	設置 位置	風量 (モード表示)	稼働 の有無	風量	フィルター の有無	稼働 の有無	着用 の有無
Step 4	v Test20	×	—	—	×	—	—	×	×
	w Test21	×	—	—	×	—	—	○	×
	x Test22	×	8	強 (***)	×	—	—	×	×
	y Test23	×	8	強 (***)	×	—	—	○	×
	z Test24	×	—	—	○	急 (5)	○	×	×
	aa Test25	×	—	—	○	急 (5)	○	○	×
	ab Test26	○	8	強 (***)	○	急 (5)	○	×	×
	ac Test27	○	8	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×
	ad Test29	○	1	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×
	ae Test28	○	2	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×
	af なし	○	3	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×
	ag なし	○	4	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×
	ah なし	○	5	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×
	ai Test30	○	6	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×
	aj Test31	○	7	強 (***)	○	急 (5)	○	○	×

空気清浄機：ターボ: 7.0 m³/min、強: 3.5 m³/min、しずか: 1.4 m³/min
 空調機：急: 16 m³/min、強: 13.5 m³/min



正面



横



上



斜め前

図 2.2-4 マスク着用を模擬したマネキンの写真

2.3. 試験結果 (0.3 μm~0.5 μm の粒子)

まず細かい粒子である 0.3μm~0.5μm の粒子の結果を詳細に見ていく。

2.3.1. 空気清浄機・空調無し条件での試験結果

空気清浄機・空調の稼働なしのケース a における、各地点の時系列ごとの濃度変化を図 2.3-1 に、吐出中 30 分間の吐出濃度（空気混合後の濃度）に対する各地点の濃度の比の平均値（以下、曝露濃度比と記す）を図 2.3-2 に示す。この曝露濃度比は、感染者と各地点にいる人の呼吸量が同じとした場合、感染者が吐出したウイルス量に対する各地点にいる人の吸入ウイルス量の比と同義になる。

図 2.3-2 からわかるように、空気清浄機・空調の稼働なしの試験条件 a では、吐出中 30 分間の平均曝露濃度比は、吐出口正面の高さ 120 cm の地点が最も高く 0.74% であり、その他の地点（高さ 120 cm）では平均値は 0.065 %~0.13 %であった。

以後、吐出口正面（マネキン位置：正面に座っている人が対象）および全地点の平均値（全エリア対象）の吐出中 30 分間の曝露濃度比を用いて、各種試験の結果を比較する。

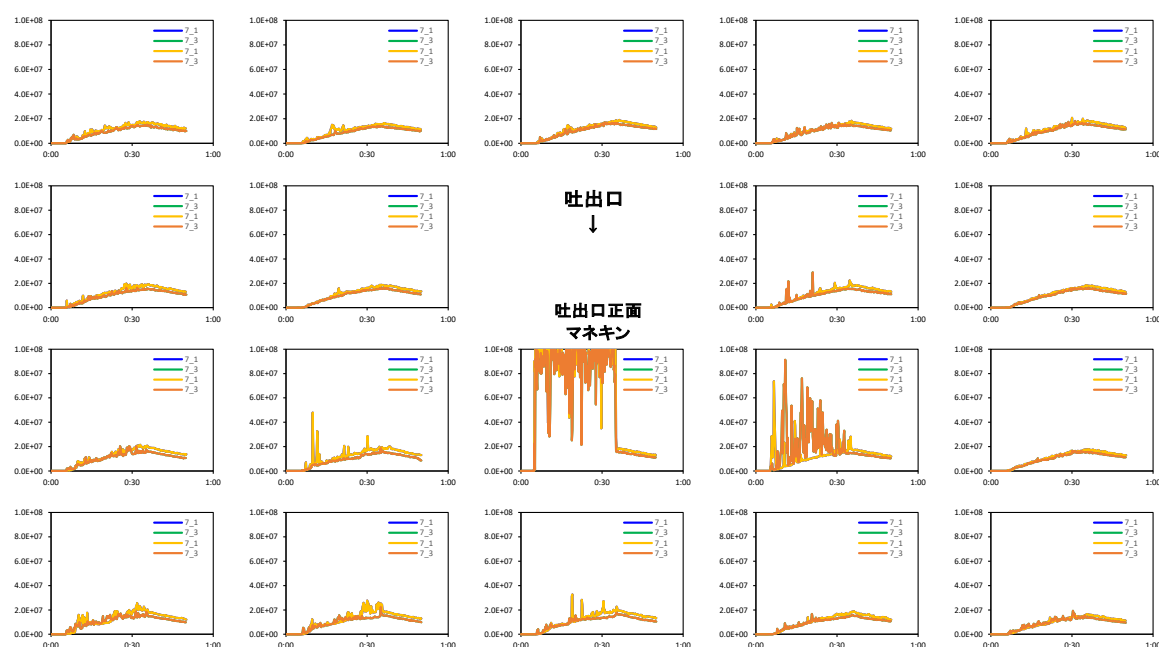


図 2.3-1 ケース a（空気清浄機・空調の稼働なし）の濃度変化（0.3~0.5 μm）
（青：1回目、緑：2回目、黄：空気清浄機なし1回目、橙：空気清浄機なし2回目）

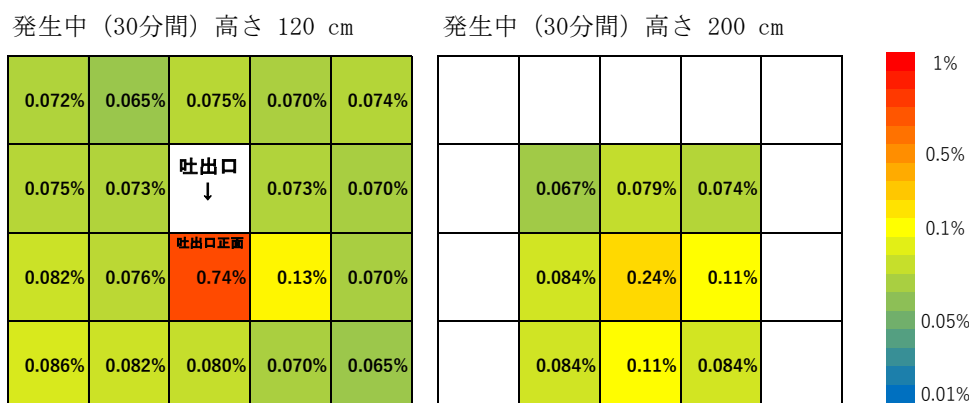
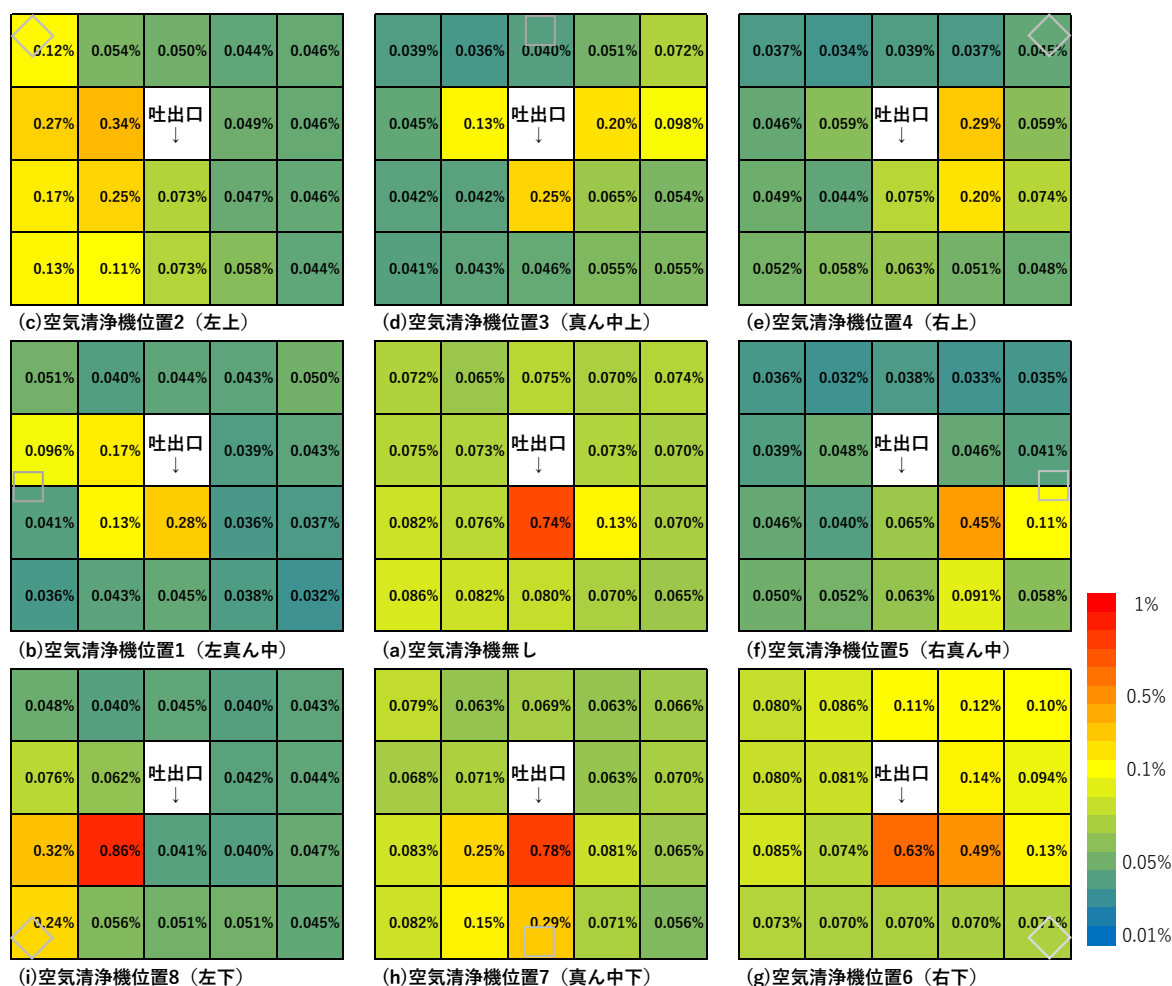


図 2.3-2 ケース a の吐出濃度に対する各地点の濃度の比の平均値

(模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値)

2.3.2. 空気清浄機の有無および位置による影響

空気清浄機を 8 つの異なる位置（図 2.2-3 の 1～8）に設置して稼働させた場合の、高さ 120 cm の吐出中 30 分間の各条件の平均曝露濃度比を図 2.3-3 に示す。いずれの地点に空気清浄機を設置した場合でも、空気清浄機を稼働させると、空気清浄機の方へ模擬飛沫核が流されている様子が観察された。



◇は空気清浄機の位置

図 2.3-3 空気清浄機の有無および位置条件における各地点の曝露濃度比

(模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値)

(1) 模擬飛沫吐出中 30 分間の空気清浄機の稼働による曝露濃度比への影響

空気清浄機を 8 つの異なる位置に設置して稼働させた場合の、吐出口の正面（高さ 120 cm）の吐出中 30 分間の各条件の平均曝露濃度比を図 2.3-4 に示す。8 箇所に設置した場合の平均した吐出口正面の曝露濃度比は 0.27%であり、空気清浄機無しの場合の 0.74%と比較して 36%に低減した。一方、設置場所別に見ていくと、曝露濃度比は 0.041%（ケース a の 0.06 倍）～0.78%（ケース h の 1.05 倍）まで約 20 倍の幅を持った結果となり、4 地点で曝露濃度比は概ね 0.1 倍以下（ケース c、e、f、i）、2 地点で 1/3 程度（b、d）、2 地点で同等レベル（g、h）と空気清浄機の設置

場所によって大きな差があった。

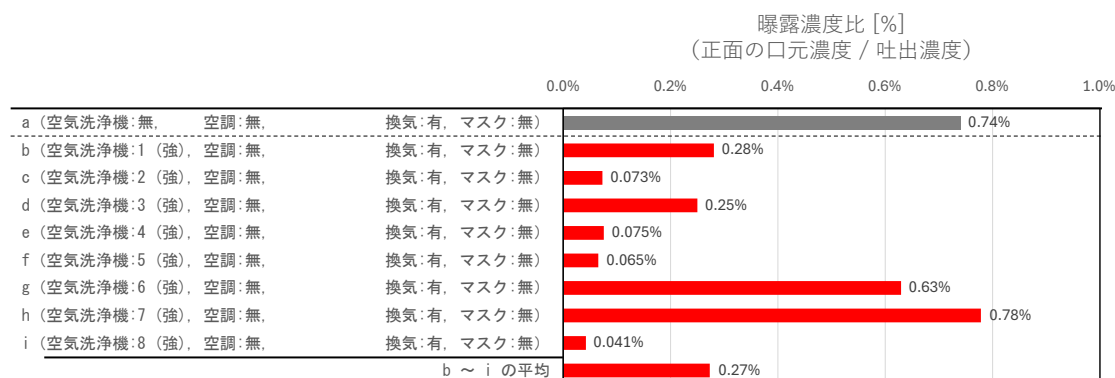


図 2.3-4 模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比 (空気清浄機の有無・位置)

一方、吐出中 30 分間の部屋全体の平均的な曝露濃度比を図 2.3-5 に示す。曝露濃度比は、空気清浄機無し条件の 0.11%に対して、空気清浄機を設置した 8 条件の試験の平均は 0.10% (0.068%～0.14%) となり、空気清浄機の設置場所によっては低減効果があるものの、吐出中 30 分間の平均値については空気清浄機による大きな低減効果は確認されなかった。

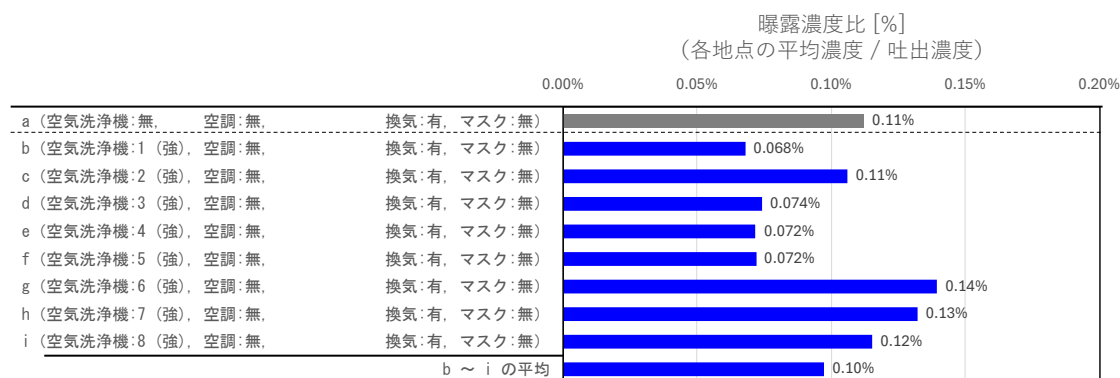


図 2.3-5 模擬飛沫吐出中 30 分間の部屋全体の曝露濃度比 (空気清浄機の有無・位置)

(2) 模擬飛沫吐出停止後 15 分間の空気清浄機の稼働による曝露濃度比への影響

また、吐出停止後 15 分間の各地点の曝露濃度比を図 2.3-6、吐出口の正面 (高さ 120cm) の曝露濃度比を図 2.3-7 に、部屋全体の平均的な曝露濃度比を図 2.3-8 に示す。曝露濃度比は、吐出口正面で 0.026%～0.057%、部屋全体でも 0.023～0.055%となり、空気清浄機がないケース a と比較して、1/4～1/2 程度まで低減することが示された。

これらの結果から、空気清浄機を使用した場合、模擬飛沫吐出中 30 分間 (図 2.3-5) では、吐出される模擬飛沫量が多いため部屋全体の飛沫核濃度は空気清浄機を使用しない場合と大きな差がなかった。一方、本実験で得られた模擬飛沫吐出終了後 15 分間の結果からは、空気清浄機使用無しの場合は部屋全体の飛沫核濃度は変化ないが (図 2.3-8-a)、空気清浄機を使用した場合、部屋全体の飛沫濃度は模擬飛沫吐出中の最大濃度から 60～75%低減しており (図 2.3-8-b-i)、部屋全体の飛沫核濃度低減にも有効なことが確認された。

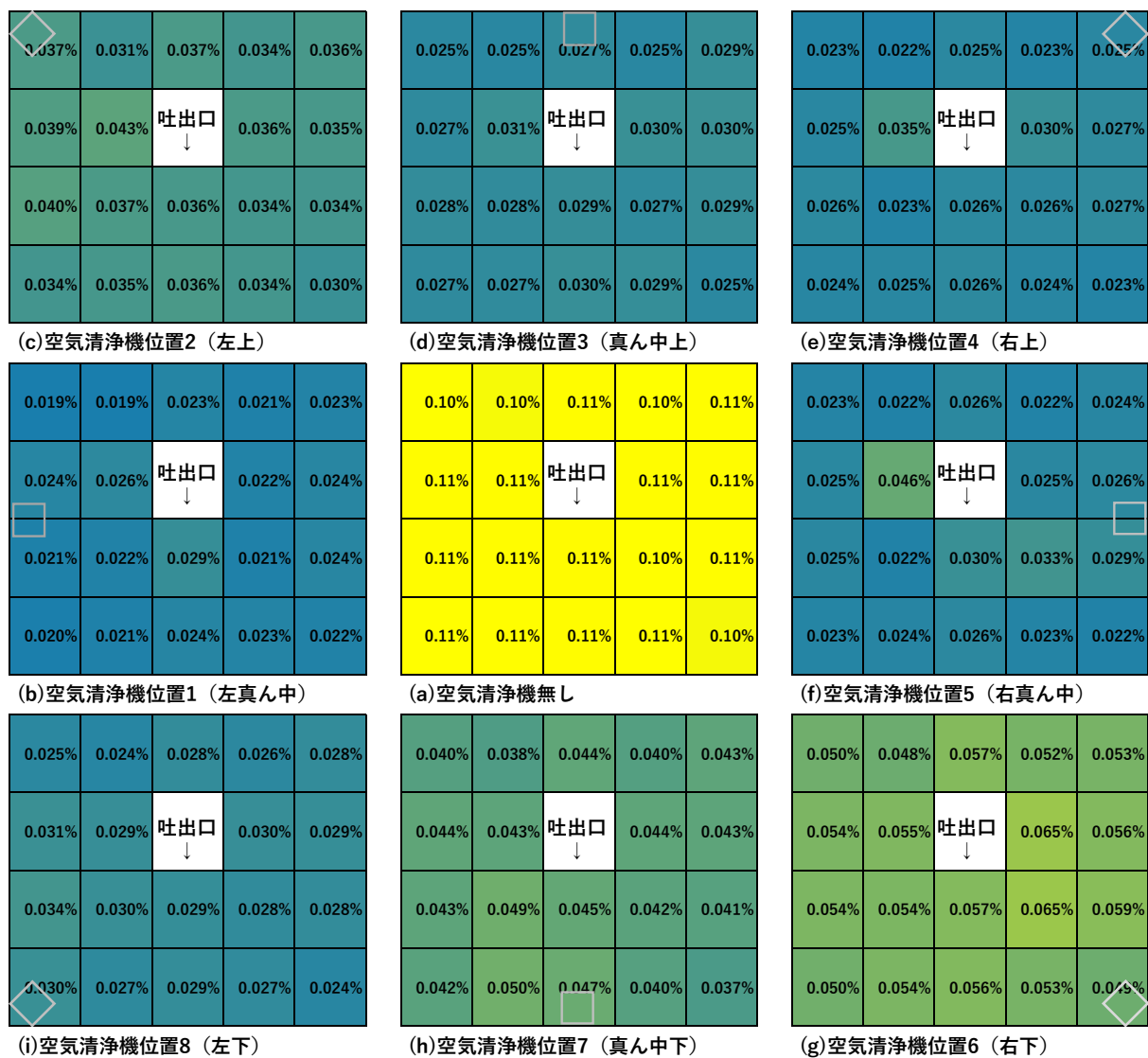


図 2.3-6 模擬飛沫吐出終了後 15 分間の各地点の曝露濃度比（模擬飛沫吐出中 25 分間の平均値）

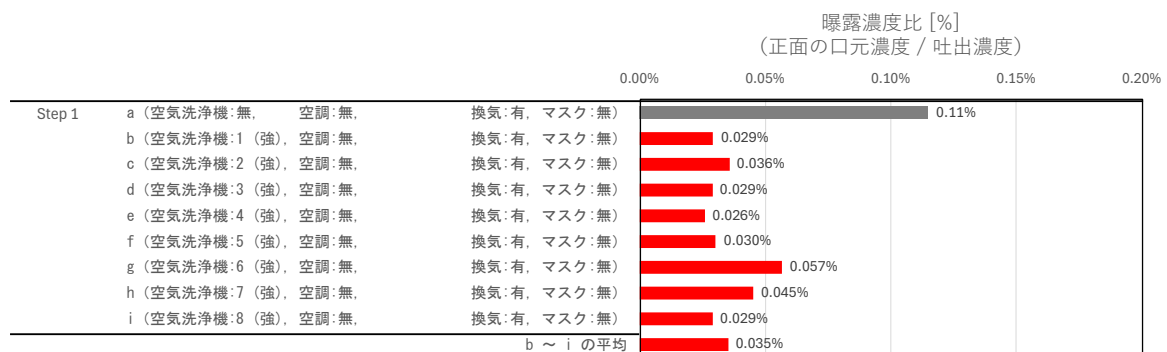


図 2.3-7 模擬飛沫吐出終了後 15 分間の吐出口正面の曝露濃度比（空気清浄機の有無・位置）

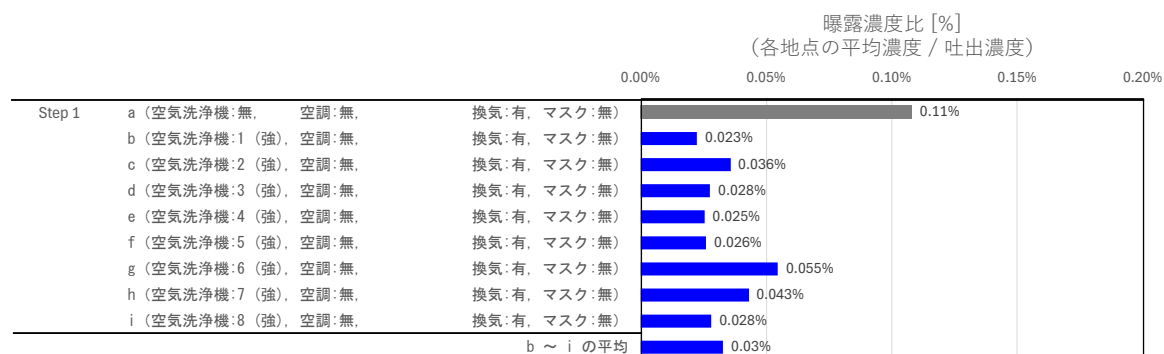


図 2.3-8 模擬飛沫吐出終了後 15 分間の部屋全体の曝露濃度比（空気清浄機の有無・位置）

(3) 空気清浄機の効果の整理

これらの結果から空気清浄機の効果として以下のことが示唆された。

- 適切な位置での空気清浄機の使用により、模擬飛沫吐出中 30 分の吐出口正面の人の飛沫核への曝露は平均で 64%、最大で 94%低減できることが示唆された。（図 2.3-4）。これは、空気清浄機の空気自体の吸い込みにより飛沫核が空気清浄機の方角に移動することが要因である。
- 模擬飛沫吐出終了後 15 分間の結果からは、空気清浄機を使用した場合、部屋全体の飛沫濃度は模擬飛沫吐出中の最大濃度から 60～75%低減しており（図 2.3-8-b-i）、部屋全体の飛沫核濃度低減にも有効なことが確認された。
- しかしながら、発生源と空気清浄機の間的位置などで、空気清浄機を稼働させなかった場合と比較して曝露濃度比が同程度や増えるケースが確認されている（図 2.3-4 ケース g、h）。また、空気清浄機を使用した場合は、正面以外の地点の曝露濃度比が高くなっていること（図 2.3-3）から、空気清浄機の設置位置と在室者の位置関係は、曝露低減に重要な因子となることが示された。
- 発生源正面の曝露濃度比と室内への広がり方を考慮すると、対角線上の天井にある給排気口の 2 隅以外の 2 隅（位置 4・8）に空気清浄機を設置することで、曝露を最も低減できることが示唆された（図 2.3-4 ケース e、i）。

2.3.3. 空調（送風モード）の稼働と空気清浄機の強度

空調および空気清浄機の強度の影響を確認することを目的として、以下の 7 つの試験を実施し、ケース a（空気清浄機：無し・空調：無し）と比較をした。結果を図 2.3-10、図 2.3-11、図 2.3-12 に示す。

ケース j	: 空気清浄機：無し	・ 空調：急（表示 5）
ケース k	: 空気清浄機：位置 8（強）	・ 空調：急（表示 5）
ケース l	: 空気清浄機：位置 8（タ）	・ 空調：急（表示 5）
ケース m	: 空気清浄機：位置 8（し）	・ 空調：強（表示 3）
ケース k	: 空気清浄機：位置 4（強）	・ 空調：無し
ケース n	: 空気清浄機：位置 4（タ）	・ 空調：急（表示 5）
ケース o	: 空気清浄機：位置 4（し）	・ 空調：強（表示 3）

(1) 空調の効果

図 2.3-9 に空調のみを稼働させたケース j と空調も稼働しないケースの曝露濃度比を示す。ケース j では、ケース a と比較して吐出口正面の曝露濃度比は 0.74% から 0.37% と半減したものの、室内全体の平均曝露濃度比は 0.11% から 0.15% とわずかに増加した。これは、クリーンブース内の模擬飛沫核濃度が、空調により均質化された結果である。吐出口正面の人の曝露量は低減するが、部屋の他の地点の曝露量は増加することが確認された。

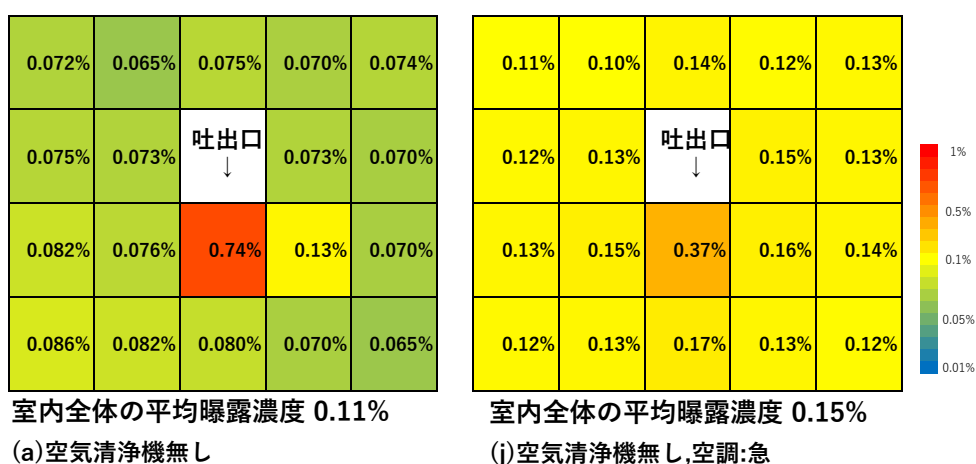


図 2.3-9 模擬飛沫吐出中 30 分間の各地点の曝露濃度比（左：空調なし、右：空調急）

(2) 空調と空気清浄機の同時稼働の結果

空調と空気清浄機を同時稼働させた結果、空調を急（表示 5）で、空気清浄機を強もしくはターボで稼働したケース k、l、n では、吐出口正面の曝露濃度比がそれぞれ 0.087%、0.11%、0.031%、室内全体平均の曝露濃度比は 0.044%、0.063%、0.069%とケース a と比較していずれのケースでも大幅に低減した。

一方、空調を強（表示 3）、空気清浄機を「しずか」で稼働したケース m、o については、吐出口正面の曝露濃度比は 0.25% と 0.70%、室内全体平均の曝露濃度比は 0.15% と 0.088% と空気清浄機を強もしくはターボで稼働したケースよりも高くなった。

空調と空気清浄機の同時稼働により飛沫核が低減する理由は、空気清浄機が吸引する床面近くの空気中の模擬飛沫核濃度が、空調非稼働時は攪拌されずに低い濃度であるのに対し、空調稼働

時には攪拌による平均化でより高い濃度になり、その結果、吐出口正面および室内全体の飛沫濃度が低減したと考えられる。これらの結果は、室内の飛沫の低減においては、一定強度以上の空気清浄機と空調の稼働が有効であること示している。ただし、空気清浄機の吸引口の位置によっては、両者の稼働が有効でないこともありうることに注意が必要である。

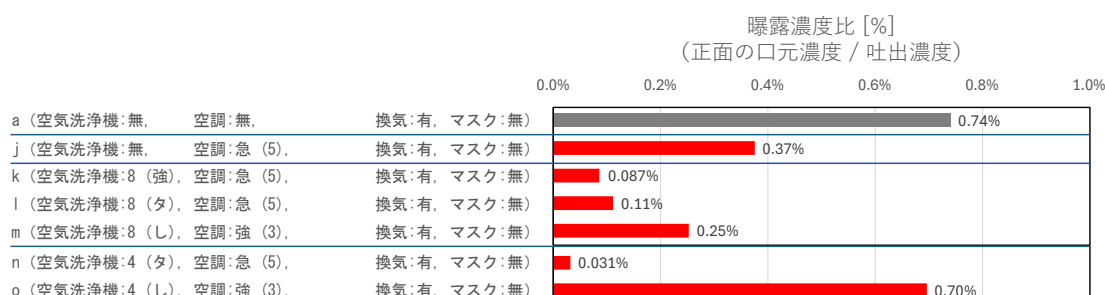


図 2.3-10 模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比 (空調および空気清浄機の強度)

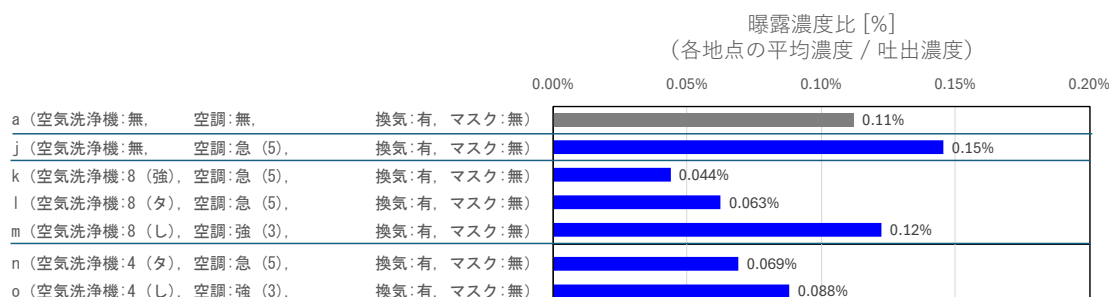


図 2.3-11 模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比 (空調および空気清浄機の強度)

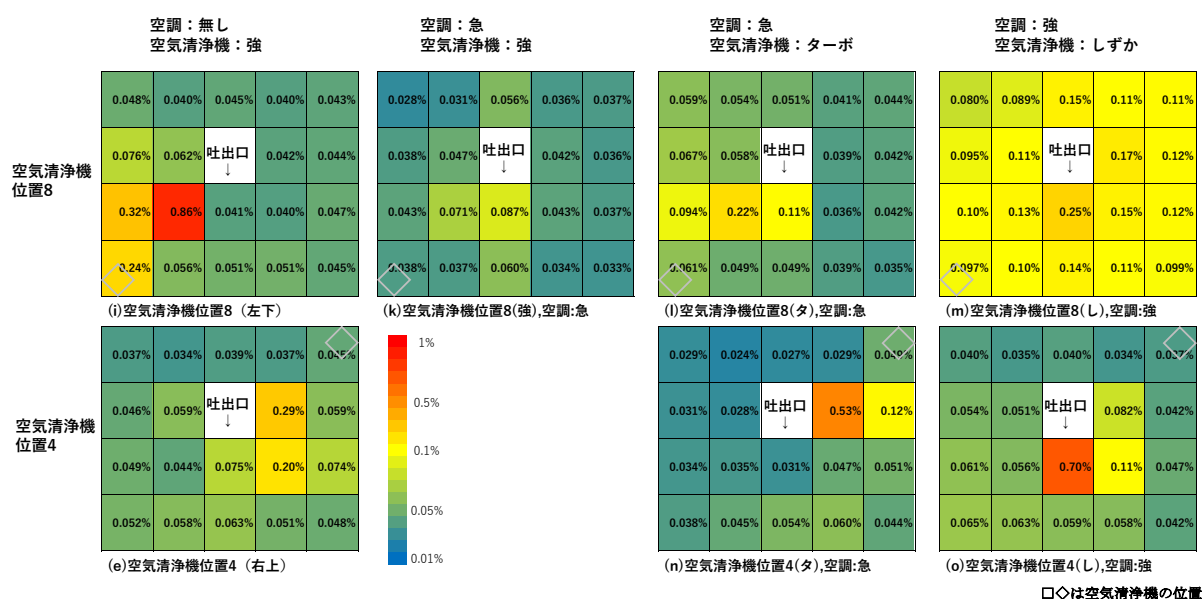


図 2.3-12 空調および空気清浄機の強度を変化させた場合の各地点の曝露濃度比 (模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値)

2.3.4. 空調フィルターの使用

空調フィルターおよびマスクの影響を確認することを目的として、以下の4つの試験を実施し、ケース a（空気清浄機：無し・空調：無し）と比較をした。結果を図 2.3-15、図 2.3-14、エラー！参照元が見つかりません。に示す。

ケース l	: 空気清浄機 : 位置 8 (タ)	・ 空調 : 急 (表示 5)
ケース p	: 空気清浄機 : 位置 8 (タ)	・ 空調 : 急 (表示 5) フィルター有
ケース m	: 空気清浄機 : 位置 8 (し)	・ 空調 : 強 (表示 3)
ケース q	: 空気清浄機 : 位置 8 (し)	・ 空調 : 強 (表示 3) フィルター有

空調内に中性能フィルターを設置して送風運転した場合、室内全体の曝露濃度比（図 2.3-14）は空気清浄機ターボで 0.013%（ケース p）、しずかで 0.031%（ケース q）であり、フィルター未設置の場合の 0.063%（ケース l）、0.12%（ケース m）と比較して、曝露濃度比は 1/4～1/5 となった。

吐出口正面の曝露濃度比は（図 2.3-15）、フィルター未設置時と比較すると、空気清浄機ターボでは低減したが、空気清浄機しずかでは、僅かに増加した。

これらの結果から、空調にフィルターは室内全体の曝露濃度比の低減に有効であり、特に一定強度以上の空気清浄機と空調の稼働をする際、空調にフィルターを付けることで曝露濃度比（模擬飛沫濃度）をさらに低減できることが確認された。

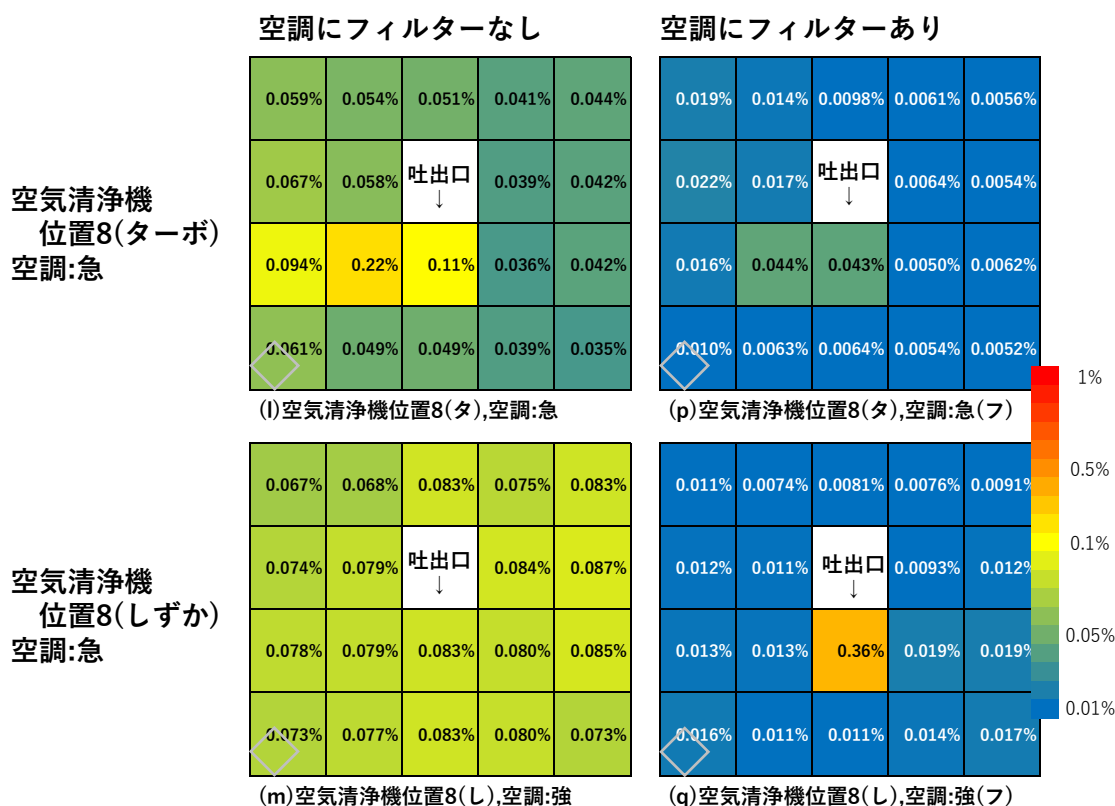


図 2.3-13 空調フィルターの設置の有無による各地点の曝露濃度比

(模擬飛沫吐出中 30 分間の平均値)

a

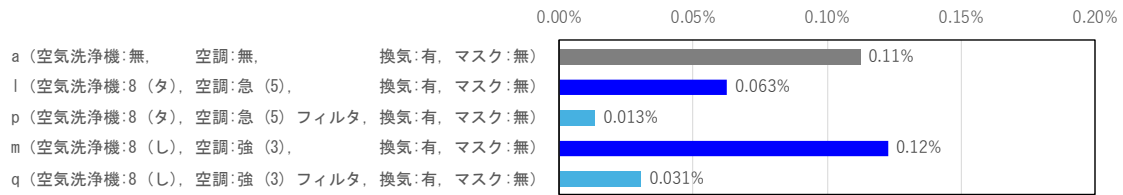


図 2.3-14 模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比 (空調フィルターの有無)

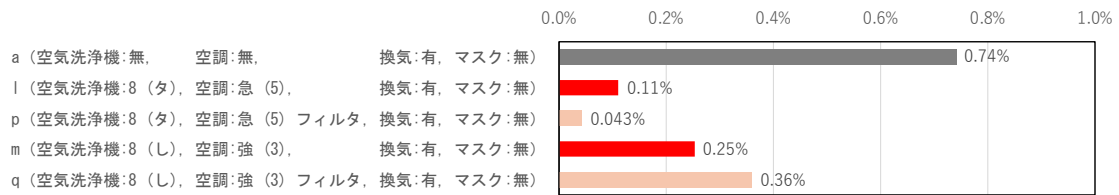


図 2.3-15 模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比 (空調フィルターの有無)

2.3.5. マスクの使用

図 2.3-16、図 2.3-17 にマスクの着用の有無による曝露濃度比の結果を示す。先に述べたとおり、マスクとマネキンの間の隙間として、上部の鼻の脇（両側）に幅 9 mm 高さ 5 mm の直角三角形、両頬部分に幅 20 mm 高さ 12 mm の三角形の隙間を設けている。

吐出口正面（図 2.3-16）では、空気清浄機無しのケースでは、マスク無の 0.74%（ケース a）に対して、マスク有で 0.12%（ケース s）と大きく減少したが、空気清浄機有のケースでは、マスク無の 0.041%（ケース i）に対して、マスク有で 0.016%（ケース t）および 0.042%（ケース u）となった。

一方、室内全体平均（図 2.3-17）では、空気清浄機無しのケース（マスク無の 0.11%（ケース a）に対してマスク有で 0.065%（ケース s））、空気清浄機有のケース（マスク無の 0.12%（ケース i）に対して、マスク有で 0.027%（ケース t）および 0.031%（ケース u））と、いずれも大幅に減少することが確認された。なお、本研究では、鼻上部と両頬に一定の隙間を設けて試験したが、実際のマスク着用時の隙間は本研究より小さいと考えられ、本研究の結果は安全側になっていると考えられる。

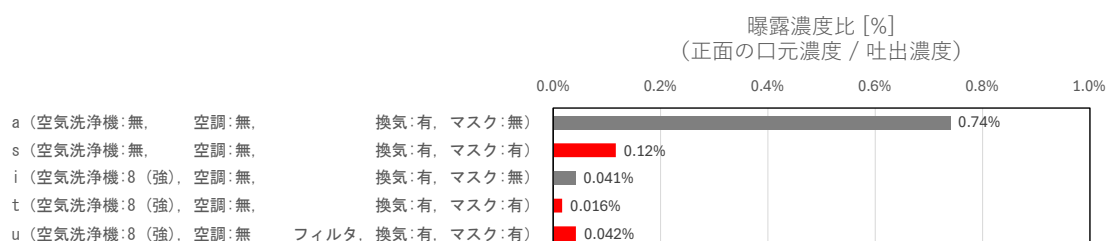


図 2.3-16 模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比（マスク着用の有無）

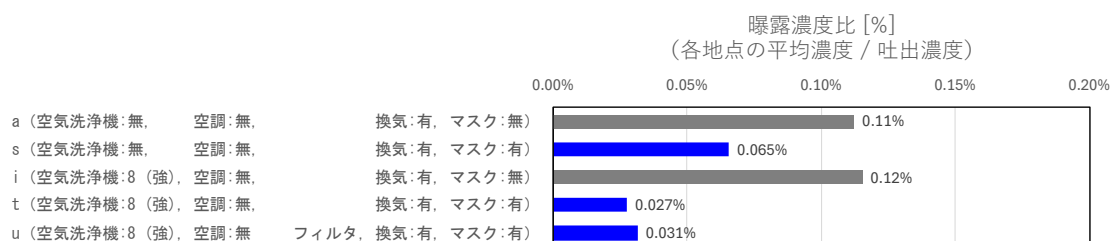


図 2.3-17 模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比（マスク着用の有無）

2.3.6. 相当換気回数

換気相当回数の試験結果を図 2.3-18 と図 2.3-19 に示す。

吐出口正面の相当換気回数は、空気清浄機、空調、換気全て無しのケース v の毎時 0.2 回に対して、換気のみを実施することで毎時 1.5 回（ケース w）、空気清浄機（強）のみを実施することで毎時 6.4 回（ケース x）、換気と空気清浄機（強）を実施することで毎時 7.5 回（ケース y）と増加した。また、空調：急（表示 5）のみを実施することで、相当換気回数は大きく増加し、毎時 22 回（ケース z）となった。また、空気清浄機（強）、空調：急（表示 5）、換気有としたケースでは、空気清浄機の場所によって多少の差はあるが、相当換気係数は毎時 27～30 回と高い値となった。また、部屋全体の相当換気回数も吐出口正面の値とほぼ同等であった。これらの結果より、空気清浄機や空調は部屋全体の相当換気回数を大幅に増加させることが確認された。

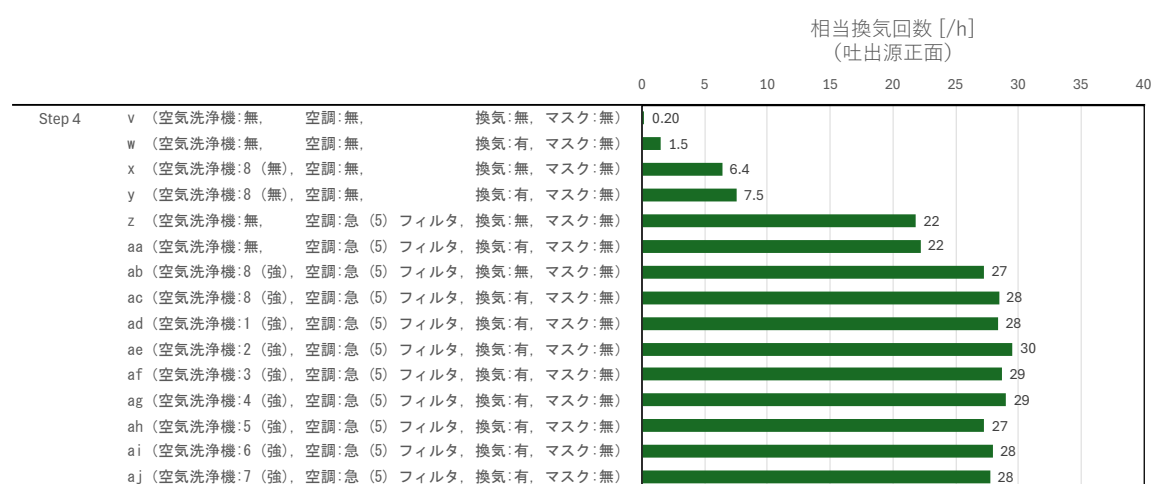


図 2.3-18 各試験の相当換気回数（吐出源正面）

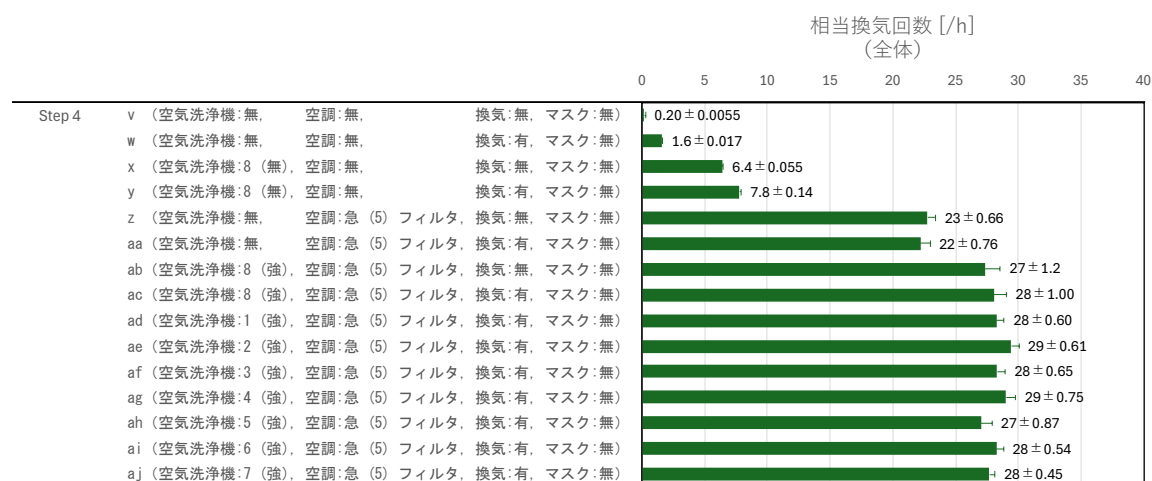


図 2.3-19 各試験の相当換気回数（全体）
(エラーバー:SD)

2.4. 3 粒径区分の試験結果と小括 (0.3~0.5 μm 、0.5~1.0 μm 、1.0~3.0 μm の粒子)

図 2.4-1 に 3 粒径区分の試験結果 (0.3 μm ~0.5 μm 、0.5 μm ~1.0 μm 、1.0 μm ~3.0 μm の粒子) の吐出口正面の曝露濃度比の試験結果を、図 2.4-2 に室内全体の曝露濃度比の試験結果を示す。全体的な傾向として、0.5 μm ~1.0 μm 、1.0 μm ~3.0 μm の粒子の結果は、これまで評価してきた 0.3 μm ~0.5 μm と類似した傾向を示すが、空気清浄機の効果 (試験 b~i)、空調および空気清浄機との組み合わせの効果 (j~o) で 0.3 μm ~0.5 μm と比較しても曝露濃度比を削減する効果を発揮している。特に空気清浄機と空調の組み合わせにフィルターを加えた条件 (p と q) では、大幅な削減効果が確認された。

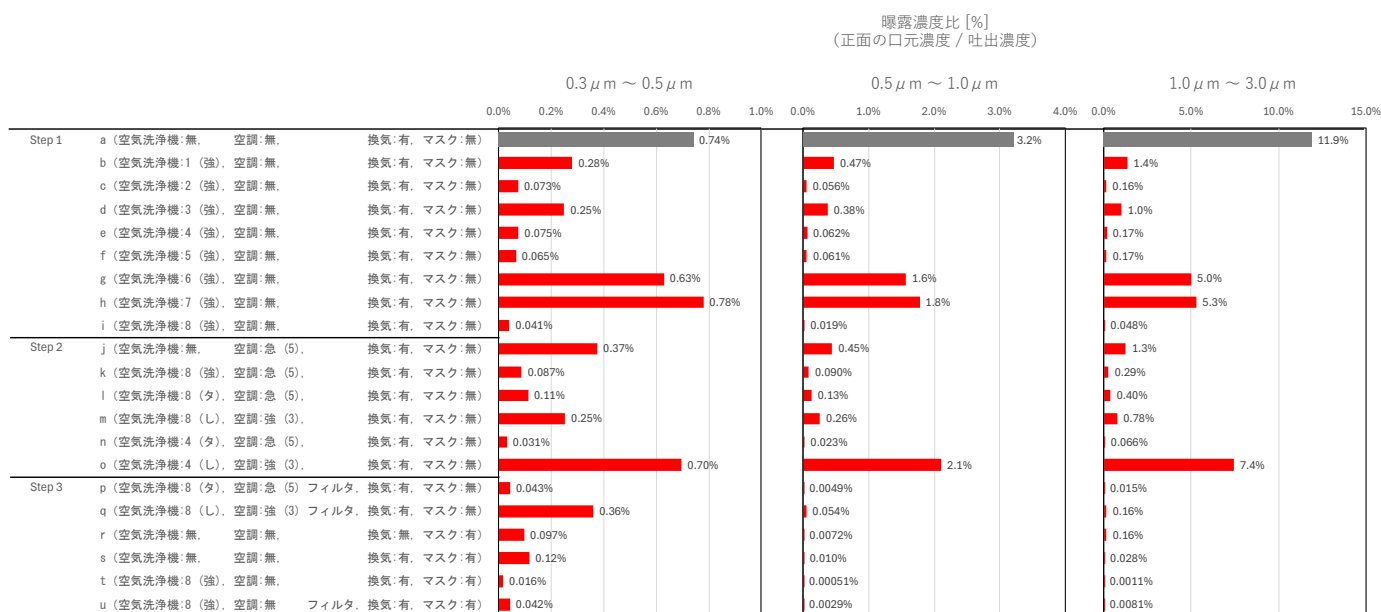


図 2.4-1 模擬飛沫吐出中 30 分間の吐出口正面の曝露濃度比 (3 粒径区分比較: 全データ)

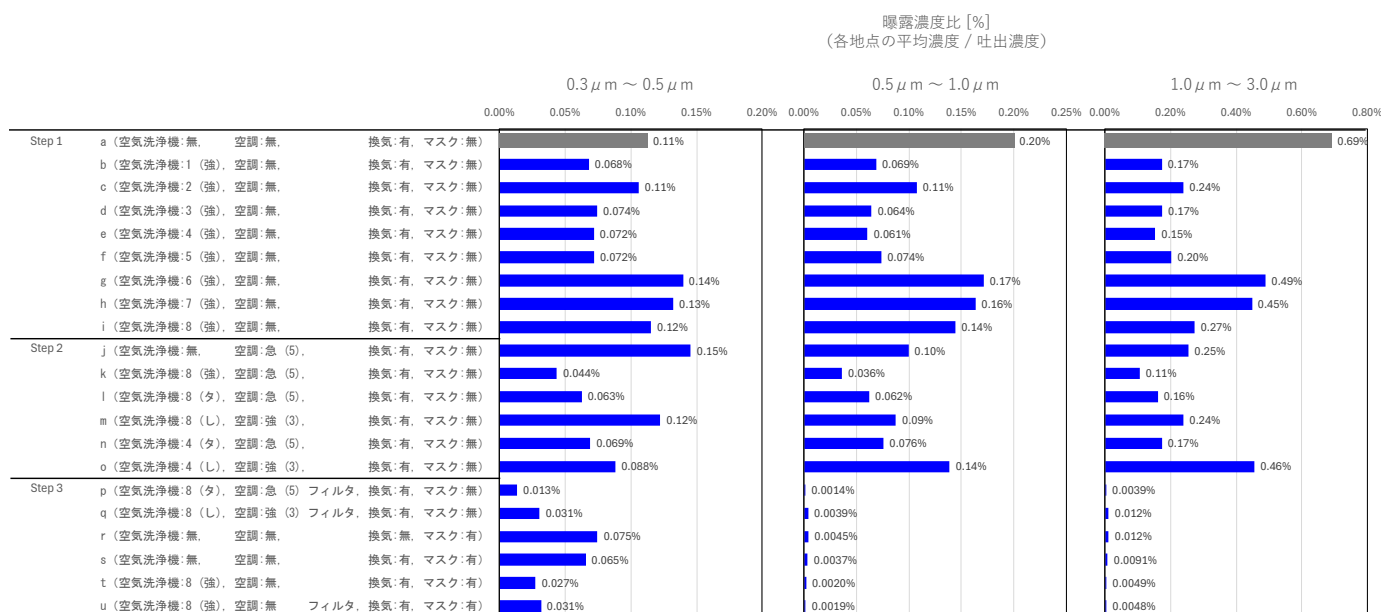


図 2.4-2 模擬飛沫吐出中 30 分間の室内全体の曝露濃度比 (3 粒径区分比較: 全データ)

前節までの結果も含めて、本試験で得られた知見の小括を内容を以下に示す。

- ・ 空気清浄機の効果 1（吐出口正面の人）

適切な位置での空気清浄機の使用により、模擬飛沫吐出中 30 分の吐出口正面の人の飛沫核への曝露は $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ の粒径で平均で 64%、最大で 94%低減、 $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ の粒径で平均で 83%、最大で 99%低減、 $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ の粒径で平均で 86%、最大で 99%低減できることが示唆された。これは、空気清浄機の空気の吸い込みにより飛沫核が空気清浄機の方方向に移動および回収が要因であった。

- ・ 空気清浄機の効果 2（部屋全体）：

空気清浄機を使用した場合、模擬飛沫吐出中 30 分間では、 $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ については、吐出される模擬飛沫量が多いため部屋全体の飛沫核濃度は空気清浄機を使用しない場合と大きな差（平均で 14%削減）がなかった。一方、 $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ の粒径では平均して、それぞれ 47%、61%の削減と一定の効果が確認された。

また、 $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ の粒径についても、模擬飛沫吐出終了後 15 分間の結果からは、空気清浄機使用無しの場合は部屋全体の飛沫核濃度は変化ないが、空気清浄機を使用した場合、部屋全体の飛沫濃度は 60～75%低減しており、部屋全体の飛沫核濃度低減にも有効なことが確認された。

- ・ 空調のみの効果

空調のみを稼働させると、粒子の模擬飛沫核濃度が、空調により均質化され、吐出口正面の曝露濃度比はいずれの粒径でも減少している。一方、室内全体の平均的な曝露濃度比は、 $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ の粒径は半分程度に減少をしたが、 $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ の粒径では、わずかに増加した。

- ・ 空調と空気清浄機の同時稼働

空調と空気清浄機を同時稼働させた結果、空調を急（表示 5）で、空気清浄機を強もしくはターボで稼働したケースでは、いずれの粒径においても、吐出口正面の曝露濃度比は平均で 90%（ $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ ）～98%（ $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ ）低減され、室内全体平均の曝露濃度比も対策無しの場合と比較して 47%（ $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ ）、71%（ $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ ）、79%（ $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ ）大幅に低減し、同時稼働の有効性が示された。ただし、空気清浄機の吸引口の位置によっては、両者の稼働が有効でないこともありうることに注意が必要である。

- ・ 空調へのフィルター設置

空気清浄機を稼働させつつ、空調内に中性能フィルターを設置して送風運転は、特に室内全体の曝露濃度比の低減に効果的であり、2 条件の室内全体の平均曝露濃度比は、曝露濃度比も対策無しの場合と比較して 80%（ $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ ）、99%（ $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ ）、99%（ $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ ）低減と、フィルター無しの条件と比較して効果が確認された。 $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ では、吐出口正面の曝露濃度比も大幅に削減された。この結果から、空調にフィルターの設置は、室内全体の曝露濃度比の低減に有効であることが確認された。

2.5. パッシブスカラーによる簡易的な飛沫拡散解との比較

2章では模擬飛沫の拡散過程および空気清浄機や空調による影響を実測試験による評価してきた。一方で、今回実施した実験については、事前準備～実験実施まで多大な労力とコストが必要となる。そのため、CFD（Computational Fluid Dynamics）によって飛沫飛散過程を物理的に解析して感染症リスクを直接的に評価する技術の活用も重要である。一般的に、CFDによって飛沫飛散過程を物理的に解析して感染症リスクを直接的に評価する技術として、スーパーコンピュータによる精密な解析が挙げられる。しかし、詳細な乱流挙動とそれに伴う粒子挙動を計算しているためコストが非常に高く、スーパーコンピュータによる解析と同等の結果を得られる簡易解析手法の開発が求められている。ダイキンでは、RANSを用いたパッシブスカラーによる物質拡散解析によって計算負荷を抑えたモデルを開発しており、実測試験とCFD解析の比較を行い簡易解析手法の有用性を確認した。これらは、令和6年度空気調和・衛生工学会大会で発表した内容（小川ら（2024））であるが、一部の結果を下記に示す。

エアロゾルの挙動を検証するため、実測における粒径 $0.3\sim0.5\ \mu\text{m}$ の準定常時における粒子数濃度と、解析における小径飛沫の体積濃度を確認した結果、発生源の濃度を1として正規化した各測定点の実測値と解析値を比較した結果を図2.5-1に示す。各条件のレンジにおいて、概ね $\pm 0.1\%$ の誤差範囲内で濃度比率の分布が捉えられた。ピークを示す09、13、18のように、実測に対して解析における誤差が0.19~0.72%程度で生じることが得られた。これらの結果の詳細は、別添資料3：小川ら（2024）を参照されたい。

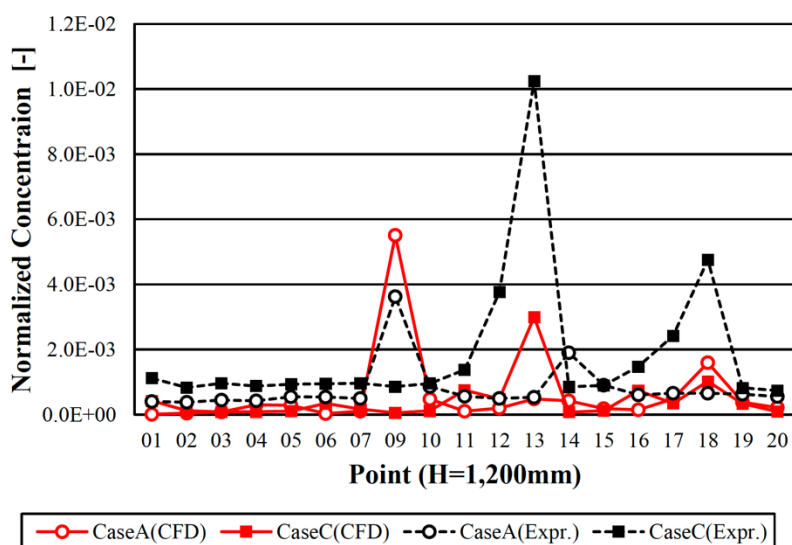


図 2.5-1 実測値と解析値を比較した結果

2. 6. 引用文献

- Wan, M.P., Chao, C.Y.H., Ng, Y.D., Sze To, G.N., Yu, W.C., 2007. Dispersion of expiratory droplets in a general hospital ward with ceiling mixing type mechanical ventilation system. *Aerosol Sci. Technol.* 41, 244–258. <https://doi.org/10.1080/02786820601146985>
- Ogata, M., Ichikawa, M., Tsutsumi, H., Ariga, T., Hori, S., Tanabe, S.-I., 2018. Measurement of cough droplet deposition using the cough machine. *J. Environ. Eng. (Trans. AIJ)* 83, 57–64. <https://doi.org/10.3130/aije.83.57>
- Nicas, M., Nazaroff W.W., Hubbard, A. 2005 Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens To cite this article. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2, 143–154 <https://doi.org/10.1080/15459620590918466>
- 小川 夕季、保高 徹生、内藤 航、篠原 直秀、横野 遼太郎、中澤 武馬、笹井 雄太、田中 秀和、
2024、室内空間における感染リスク評価の高度化（第 3 報）パッシブスカラーによる簡
易的な飛沫拡散解析の有用性検証、令和 6 年度空気調和・衛生工学会大会 講演要旨集

3. リスク評価

3.1. 目的

第3章では、第2章で実測された室内の飛沫核濃度の分布を用いて、既存感染リスクおよび空気清浄機や空調へのフィルター設置による感染リスク低減効果を評価することを目的とした。

3.2. リスク評価モデル

3.2.1. モデル

本リスク評価においては、Murakami et al.,(2021)、Yasutaka et al.,(2022)、保高ら（2024）のモデルをベースとした。上記モデルは、直接曝露、直接吸引、飛沫核吸引、接触感染の4つの経路を対象としているが、本リスク評価では、空調および空気清浄機の効果を確認することを目的とするため、直接吸引、飛沫核吸引のリスクを評価対象とした。そのため、感染者の正面に座った人の直接曝露、接触感染の飛沫の曝露は評価されていないことから、感染者の正面に座った人の感染リスクは過小評価されていることに留意が必要である。

3.2.1.1. 飛沫量とウイルス量

飛沫核の吐出中 30 分間の平均粒子数を $t=0\text{min}\sim 29\text{min}$ 、吐出停止後 15 分間の平均粒子数を $t=30\text{min}\sim 44\text{min}$ での単位時間（1 分）当たりの粒子数とした。排出される飛沫量（唾液量）は、平均粒径の球状粒子と仮定して算出した。粒子 1 つ当たりの体積は、 $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ で 3.35×10^{-14} mL/particle、 $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ で 2.21×10^{-13} mL/particle、 $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ で 4.19×10^{-12} mL/particle である。

※2章では、各種対策効果の比較の指標として、曝露濃度比（模擬飛沫量（粒子数）の比）で示した。一方、本章のリスク評価では、 $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ の粒子数を上記の手法で体積に換算し、その後にウイルス量に変換をしていることに注意が必要である。

$$\text{平均粒径 } r_p[m] = \begin{cases} 0.4 \times 10^{-6}; 0.3\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m} \\ 0.75 \times 10^{-6}; 0.5\mu\text{m} \sim 1.0\mu\text{m} \\ 2.0 \times 10^{-6}; 1.0\mu\text{m} \sim 3.0\mu\text{m} \end{cases} \quad (\text{eq.1})$$

$$\begin{aligned} \text{粒子 1 つ当たりの体積 } v_p[\text{mL/particle}] &= \frac{4}{3}\pi r_p^3 \times 10^6 \\ &\cong \begin{cases} 3.35 \times 10^{-14}; 0.3\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m} \\ 2.21 \times 10^{-13}; 0.5\mu\text{m} \sim 1.0\mu\text{m} \\ 4.19 \times 10^{-12}; 1.0\mu\text{m} \sim 3.0\mu\text{m} \end{cases} \quad (\text{eq.2}) \end{aligned}$$

感染者の唾液中のウイルス量は、SARS-CoV-2 の測定事例（To et al., 2020）より、算術平均値 2.6×10^7 copies/mL とした。フェレットにおける唾液中 SARS-CoV-2 の copy に対する TCID（Tissue Culture Infectious Dose）比（0.15）（Kim et al., 2020）および TCID に対する PFU（Plaque-Forming Unit）比（0.7）（Covés-Datson et al., 2020）より、PFU/copies 比は 0.1 とした。従って、感染者の唾液中のウイルス量は 2.6×10^6 PFU/mL である。

$$\begin{aligned}
\frac{PFU}{copies} &= \frac{PFU}{TCID} \times \frac{TCID}{copies} \\
&= 0.7 \times 0.15 \\
&\cong 0.1
\end{aligned}
\tag{eq.3}$$

$$\begin{aligned}
\text{感染者の唾液中のウイルス量 } V_{saliva}[PFU/mL] &= \frac{PFU}{copies} \times 2.6 \times 10^7 \\
&= 0.1 \times 2.6 \times 10^7 \\
&= 2.6 \times 10^6
\end{aligned}
\tag{eq.4}$$

パーティクルカウンタで計測された粒径毎の粒子数（particles）から体積（mL）を求め、体積中のウイルス量（PFU/mL）を掛け合わせて総和をとった値を $0.3 \mu\text{m} \sim 3.0 \mu\text{m}$ でのウイルス量とした。

$$0.3 \mu\text{m} \sim 3.0 \mu\text{m} \text{ のウイルス量 } V[PFU] = \sum (particles \times v_p \times V_{saliva}) \tag{eq.5}$$

表 3.2-1 飛沫量とウイルス量のパラメータ

項目	単位	値	注釈	出典
平均粒径	m	0.4×10^{-6} 0.75×10^{-6} 2.0×10^{-6}	$0.3 \mu\text{m} \sim 0.5 \mu\text{m}$ $0.5 \mu\text{m} \sim 1.0 \mu\text{m}$ $1.0 \mu\text{m} \sim 3.0 \mu\text{m}$	
粒子 1 つ当たりの体積	mL/particle	3.35×10^{-14} 2.21×10^{-13} 4.19×10^{-12}	$0.3 \mu\text{m} \sim 0.5 \mu\text{m}$ $0.5 \mu\text{m} \sim 1.0 \mu\text{m}$ $1.0 \mu\text{m} \sim 3.0 \mu\text{m}$ 球状粒子と仮定	
唾液中 SARS-CoV-2 ウイルス量	virus (copies)/mL-saliva	2.6×10^7		To et al., 2020
copy → TCID 比	—	0.15	copy に対する TCID 比	Kim et al., 2020
TCID → PFU 比	—	0.7	TCID に対する PFU 比	Cov'es- Datson et al., 2020

3.2.1.2. 飛沫核吸引による曝露量

感染者から排出される飛沫核は、局所的な空間（実効容量）内において一様に拡散すると仮定した。よって、非感染者が飛沫核吸引によって曝露するウイルス量は、実効容量内に存在するウ

ウイルス量に、実効容量に対する呼吸量の比率を掛け合わせたものとなる。単位体積当たりの粒子数を計測するパーティクルカウンタの配置条件から、20ヶ所が設置された高さ120cmでの実効容量を 0.84m^3 ($=0.875\text{m} \times 0.80\text{m} \times 1.2\text{m}$) とした (図 3.2-1)。1人当たりの呼吸量は $0.02\text{m}^3/\text{min}$ (Nicas and Sun, 2006) とした。飛沫核吸引によるウイルスの吸引係数は、呼吸量と実効容量より $2.38 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$ である。飛沫核吸引による曝露量 $D_{resp}(t)$ [PFU]は次式で表される。

$$D_{resp}(t) = \frac{0.02}{0.84} \times V(t)$$

$$\cong 2.38 \times 10^{-2} \times V(t) \quad (\text{eq.6})$$

$V(t)$ = 時刻 t における実効容量内のウイルス量 [PFU]

表 3.2-2 飛沫核吸引による曝露量のパラメータ

項目	単位	値	注釈	出典
実効容量	m^3	0.84	パーティクルカウンタを中心とする縦 0.875 m 横 0.8 m を底面とした高さ 1.2 m の領域	
呼吸量	m^3/min	0.02		Nicas and Sun, 2006

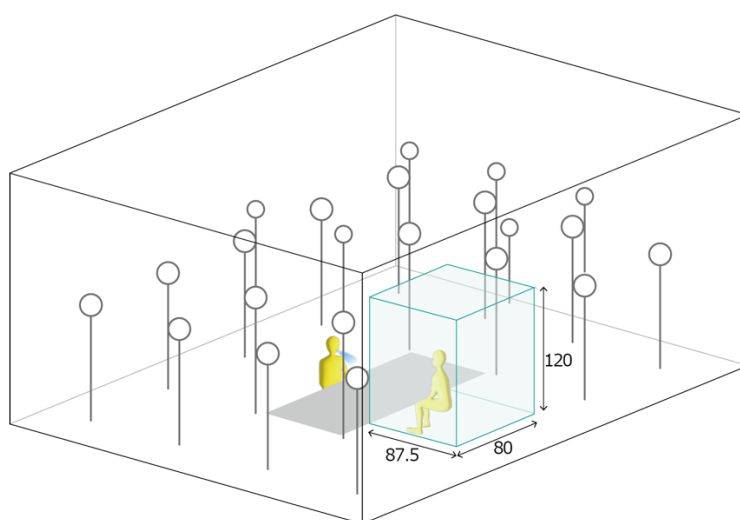


図 3.2-1 飛沫核吸引における実効容量の概念図

3.2.1.3. 微細粒子の直接吸引による曝露量

感染者から排出された微細粒子のウイルスを含む空気を近傍で吸い込むこと（直接吸引）を想定した。60度の円錐状にウイルスが感染者から排出される (Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006) とし、感染者と非感染者の距離 d [m]での排出された体積に対して、1回の呼吸量（呼吸量 $0.02\text{m}^3/\text{min}$ 、1分間の呼吸回数 15回 (Nicas and Sun, 2006) より、 $1.3 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{回}$) の比および排出されたウイルスのうち半分 (0.5) (Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006) を吸引し得るとの仮定から、直接吸引由来の曝露量 $D_{insp}(t)$ [PFU]は次式で表される。

$$D_{insp}(t) = \frac{\frac{0.02}{15} \times 0.5}{\frac{\pi d}{3} \left(\frac{d}{\sqrt{3}} \right)^2} \times \overline{V(t)} \quad (\text{eq.7})$$

$\overline{V(t)}$ = 時刻 t における直接吸引の対象領域内での平均ウイルス量 [PFU]

直接吸引由来の曝露は 60 度の円錐状を対象領域としているため、図 3.2-2 の★位置に関するリスク評価において直接吸引を考慮した。

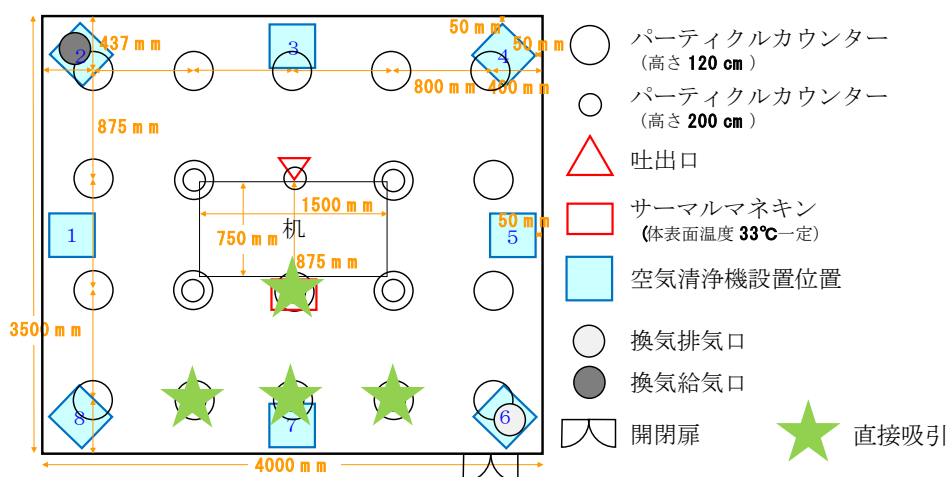


図 3.2-2 直接吸引を考慮する位置

表 3.2-3 微細粒子の直接吸引による曝露量のパラメータ

項目	単位	値	注釈	出典
呼吸量	m ³ /min	0.02		Nicas and Sun, 2006
1 分間の呼吸回数	回/min	15		Nicas and Sun, 2006
排出された微細粒子を含む空気を吸う割合	—	0.5		Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006

3.2.1.4. 用量反応

曝露量期待値 $D(t)$ における有症状感染リスク期待値 $P_{symp}(t)$ は、マウスに関する SARS-CoV の指数モデル (Watanabe et al., 2010) より次式で算出される。本指数モデルは、SARS-CoV-2 における感染リスク評価でも用いられている (Jones, 2020)。

$$P_{symp}(t) = 1 - \exp\left(-\frac{D(t)}{k}\right) \quad (\text{eq.8})$$

$$k = 410$$

この用量反応式は、マウスの死亡をエンドポイントとしており、ヒトを対象にした場合のエン

ドポイントは疾病ありに該当すると考えられる。これは、SARS-CoV-2 のような重篤な疾病の致死率は、感染個体の体力と治療を受けられるかどうかに依存するもので、体力が人よりも劣り、治療を受けられない実験マウスについては、人よりも高い致死率であると考えられるため、全ての疾病あり個体が死亡に至ったと仮定できる。

そこで、無症状者も含めた感染リスク $P(t)$ は、感染者に対する無症状者の割合 ($Rate_{asympt}$) を考慮することで、次式のように算出される。 $Rate_{asympt}$ は算術平均値 0.460 (He et al., 2020) とした。

ここで用いた用量反応式で得られる感染率は、人チャレンジ試験で得られた感染率とある程度一致している (Killingley et al., 2022; Murakami et al., 2022)。

$$P(t) = \min\left(\frac{1 - \prod_{i=0}^t (1 - P_{symp}(i))}{1 - Rate_{asympt}}, 1\right) \quad (\text{eq.9})$$

表 3.2-4 微細粒子の直接吸引による曝露量のパラメータ

項目	単位	値	注釈	出典
用量反応指数モデル係数 k	–	410		Watanabe et al., 2010
全感染者に対する無症状感染者割合	–	0.460		He et al., 2020

3.2.2. パラメータ

リスク評価に用いたパラメータを表 3.2-5 に示す。

表 3.2-5 リスク評価パラメータ

項目	単位	値	注釈	出典
粒子 1 つ当たりの体積	mL/particle	3.35×10^{-14} 2.21×10^{-13} 4.19×10^{-12}	0.3 μ m~0.5 μ m 0.5 μ m~1.0 μ m 1.0 μ m~3.0 μ m	
唾液中のウイルス量	PFU/mL	2.6×10^6		To et al., 2020; Kim et al., 2020; Cov'es-Datson et al., 2020
実効容量	m ³	0.84	パーティクルカウンタを中心とする縦 875mm 横 800mm を底面とした高さ 120cm の領域	
呼吸量	m ³ /min	0.02		Nicas and Sun, 2006
1 分間の呼吸回数	回/min	15		Nicas and Sun, 2006
排出された微細粒子を含む空気を吸う割合	–	0.5		Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006
用量反応指数モデル係数 k	–	410		Watanabe et al., 2010
全感染者に対する無症状感染者割合	–	0.460		He et al., 2020
リスク評価時間	min	45	模擬飛沫吐出中 30 分および吐出終了後 15 分の合計 45 分	実験条件

3.2.3. 対策方法

感染対策として、室内の換気ファンの稼働有無、空調の稼働有無・風量・フィルターの有無、空気洗浄機の稼働有無・設置位置・風量、マスク着用の有無を考慮した。これらの対策効果は、パーティクルカウンタで計測される粒子数に反映される。詳細な対策条件（試験条件）については表 2.2-2 を参照のこと。

3.2.4. リスク評価方法

室内に設置された個々のパーティクルカウンタの粒子数をもとに各地点毎のリスク（以降、「局所リスク」という）を求める方法と、全て（吐出部を除く、高さ 120cm の 19 ヶ所）のパーティクルカウンタの平均粒子数をもとに室内全体の平均リスク（以降、「室内平均リスク」という）を求める方法により、リスク評価を行なった。

本リスク評価は、実効容量内で測定された各粒径の粒子数からウイルス量を求めて曝露量を算出しているが、飛沫の吐出発生中の時間が 30 分間である（感染者が 30 分間休み無く発話し続ける状態を模擬している）こと、飛沫計測のため通常の会話に比べて実験で吐出する飛沫量が大きくなっていること、空気中でのウイルスの不活化などを考慮していないことから、曝露量の見積もりは大きくなっている。そのため、結果の表示は、絶対的な感染リスクではなく、対策無し（換気のみケース a）を基本ケースとして、各種対策効果を相対的に評価した。

3.3. 結果

3.3.1. 対策による相対感染リスク低減効果：室内平均リスク

表 2.2-2 の試験条件において、飛沫核吸引と直接吸引を考慮した室内平均リスクを図 3.3-1 に示す。

空気清浄機の設置は、感染者の正面に座った人の直接吸引、飛沫核吸引による感染リスクは、対策無し（空気清浄機無し、空調無し、換気有り、マスク無し）の条件に対して、空調と空気清浄機を同時稼働させた場合、空調を急（表示 5）で、空気清浄機を強もしくはターボで稼働したケース（k、l、o）では平均感染リスクを平均 86%削減（最小 81%削減、最大 90%削減）となり、有効であることが確認された。一方、空気清浄機をしずか、空調を強（3）で稼働した場合（o）は、効果が薄れる場合も確認された。

最後に空調にフィルターを設置することで、室内全体の平均感染リスクを 90～96%削減できることが確認された。

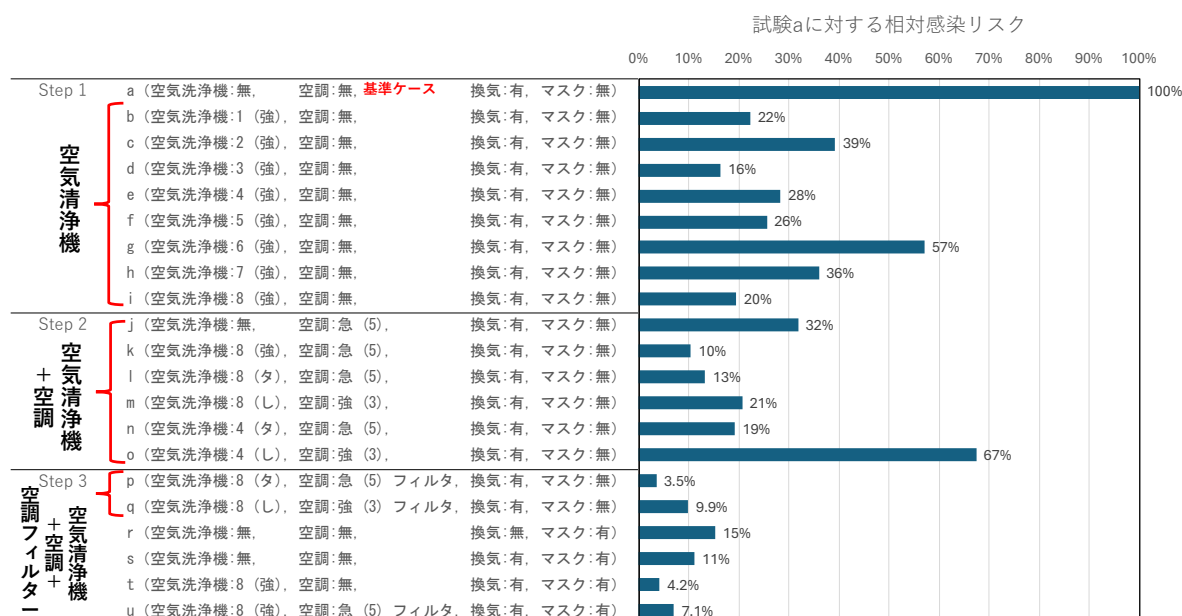


図 3.3-1 各試験の室内平均感染リスク

3.3.2. 対策による相対感染リスク低減効果：吐出口正面のリスク

表 2.2-2 の試験条件において、吐出口正面位置での飛沫核吸引と直接吸引を考慮したリスクを図 3.3-2 に示す。これらの結果、感染者の正面に座った人の直接吸引、飛沫核吸引による感染リスクは、対策無し（空気清浄機無し、空調無し、換気有り、マスク無し）の条件に対して、空気清浄機の設置により平均 88%削減（最小 61%削減、最大 99.5%削減）することが確認された。ただし、空気清浄機のみ設置の場合一部の位置（g、h）、空気清浄機と空調の組み合わせでは、空気清浄機をしずか、空調を強（3）と低強度で稼働した場合（o）、相対感染リスクの削減割合が上昇する傾向にあり、空気清浄機の設置場所や強度が重要であることが確認された。

なお、一般的な新型コロナウイルスの感染リスク評価では、直接曝露、直接吸引、飛沫核吸引、接触感染の 4 つの曝露経路を対象としているが、本リスク評価では、空調および空気清浄機の効果を確認することを目的とし、直接吸引、飛沫核吸引のリスクを評価対象とした。その結果、感染者の正面に座った人の直接曝露、接触感染の飛沫の曝露は評価されていないことから、感染者の正面に座った人の感染リスクは過小評価されていることに留意が必要である。

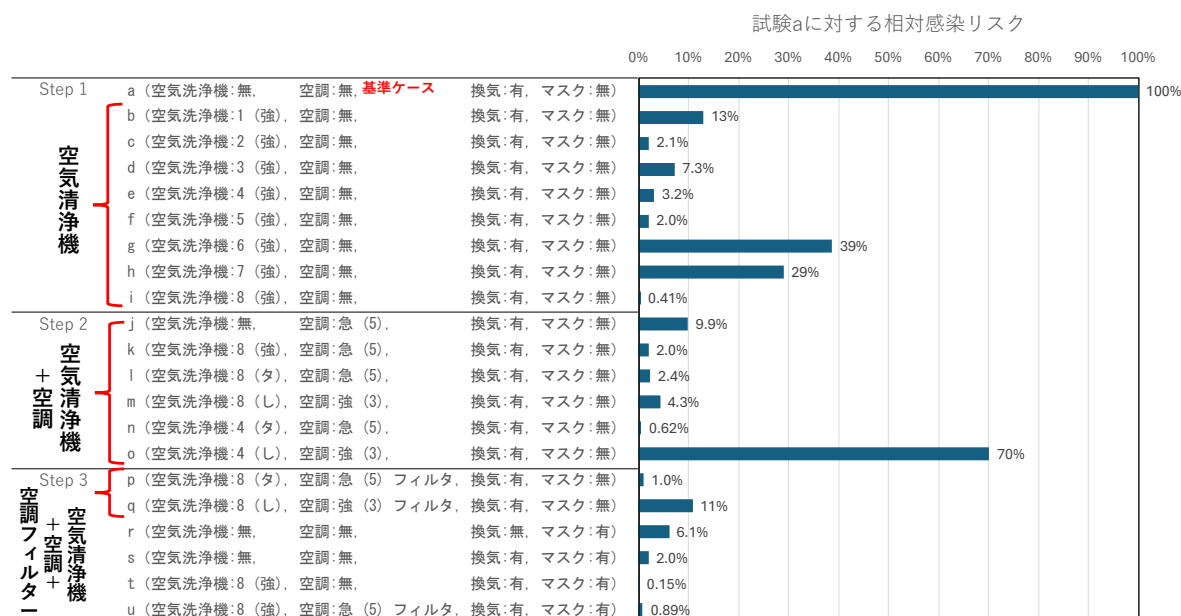


図 3.3-2 各試験の吐出口正面位置における感染リスク（局所リスク）

3.4. 引用文献

- Covés-Datson, E.M., King, S.R., Legendre, M., Gupta, A., Chan, S.M., Gitlin, E., Kulkarni, V.V., Pantaleón García, J., Smee, D.F., Lipka, E., Evans, S.E., Tarbet, E.B., Ono, A., Markovitz, D.M., 2020. A molecularly engineered antiviral banana lectin inhibits fusion and is efficacious against influenza virus infection in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(4), 2122-2132.
- He, W., Yi, G.Y., Zhu, Y., 2020. Estimation of the basic reproduction number, average incubation time, asymptomatic infection rate, and case fatality rate for COVID-19: Meta-analysis and sensitivity analysis. *Journal of Medical Virology* 92(11), 2543-2550.
- Jones, R.M., 2020. Relative contributions of transmission routes for COVID-19 among healthcare personnel providing patient care. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 17(9), 408-415.
- Killingley, B., Mann, A.J., Kalinova, M., Boyers, A., Goonawardane, N., Zhou, J., Lindsell, K., Hare, S.S., Brown, J., Frise, R., Smith, E., Hopkins, C., Noulin, N., Löndt, B., Wilkinson, T., Harden, S., McShane, H., Baillet, M., Gilbert, A., ..., Chiu, C., 2022. Safety, tolerability and viral kinetics during SARS-CoV-2 human challenge in young adults. *Nat Med* 28(5), 1031-1041.
- Kim, Y.-I., Kim, S.-G., Kim, S.-M., Kim, E.-H., Park, S.-J., Yu, K.-M., Chang, J.-H., Kim, E.J., Lee, S., Casel, M.A.B., Um, J., Song, M.-S., Jeong, H.W., Lai, V.D., Kim, Y., Chin, B.S., Park, J.-S., Chung, K.-H., Foo, S.-S., ..., Choi, Y.K., 2020. Infection and Rapid Transmission of SARS-CoV-2 in Ferrets. *Cell Host & Microbe* 27(5), 704-709.e702.
- Murakami, M., Fujita, T., Li, P., Imoto, S., Yasutaka, T., 2022. Development of a COVID-19 risk assessment model for participants at outdoor music festivals: evaluation of the validity and control measure effectiveness based on two actual events in Japan and Spain. *PeerJ* 10, e13846.
- Murakami, M., Miura, F., Kitajima, M., Fujii, K., Yasutaka, T., Iwasaki, Y., Ono, K., Shimazu, Y., Sorano, S., Okuda, T., Ozaki, A., Katayama, K., Nishikawa, Y., Kobashi, Y., Sawano, T., Abe, T., Saito, M.M., Tsubokura, M., Naito, W., Imoto, S., 2021. COVID-19 risk assessment at the opening ceremony of the Tokyo 2020 Olympic Games. *Microbial Risk Analysis* 19, 100162.
- Nicas, M., Jones, R.M., 2009. Relative Contributions of Four Exposure Pathways to Influenza Infection Risk. *Risk Analysis* 29(9), 1292-1303.
- Nicas, M., Sun, G., 2006. An Integrated Model of Infection Risk in a Health-Care Environment. *Risk Analysis* 26(4), 1085-1096.
- To, K.K.-W., Tsang, O.T.-Y., Yip, C.C.-Y., Chan, K.-H., Wu, T.-C., Chan, J.M.-C., Leung, W.-S., Chik, T.S.-H., Choi, C.Y.-C., Kandamby, D.H., Lung, D.C., Tam, A.R., Poon, R.W.-S., Fung, A.Y.-F., Hung, I.F.-N., Cheng, V.C.-C., Chan, J.F.-W., Yuen, K.-Y., 2020. Consistent Detection of 2019 Novel Coronavirus in Saliva. *Clinical Infectious Diseases* 71(15), 841-843.
- Watanabe, T., Bartrand, T.A., Weir, M.H., Omura, T., Haas, C.N., 2010. Development of a Dose-Response Model for SARS Coronavirus. *Risk Analysis* 30(7), 1129-1138.
- Yasutaka, T., Murakami, M., Iwasaki, Y., Naito, W., Onishi, M., Fujita, T., Imoto, S., 2022. Assessment of COVID-19 risk and prevention effectiveness among spectators of mass gathering events. *Microbial Risk Analysis* 21, 100215.

保高 徹生, 藤田 司, 内藤 航, 大西 正輝, 村上 道夫, 井元 清哉, 奥田 知明, 2024. 卒業式や入学式等における新型コロナウイルスの感染リスク評価. リスク学研究 33(4), 167-178.

4. レビューコメント

4.1. 概要

ショートレンジにおける感染リスク評価に関する報告書（2024 年 8 月 25 日版）に対して、内容及び将来的な研究の報告性に関する示唆を頂くため、医学および工学を専門とする 4 名の有識者にオンラインでレビューを頂き、報告書等を修正した。

4.2. レビュー内容

- ・ レビュー対象報告書：ショートレンジにおける感染リスク評価に関する報告書（2024 年 8 月 25 日版）
- ・ レビュー日時

日時	レビューワー	説明者
2024 年 8 月 26 日	近畿大学 東賢一 教授	産業技術総合研究所 保高徹生、内藤航、篠原直秀
2024 年 8 月 27 日	東京科学大学 鍵直樹 教授	産業技術総合研究所 保高徹生、篠原直秀
2024 年 9 月 2 日	聖マリアンナ医科大学 賀来満夫 特任教授	産業技術総合研究所 保高徹生、内藤航、篠原直秀
2024 年 9 月 2 日	聖マリアンナ医科大学 國島広之 主任教授	産業技術総合研究所 保高徹生、内藤航、篠原直秀

4.3. 総括コメント

聖マリアンナ 医科大学 賀来満夫 特任教授	・ これまで、空気清浄機の有用性については、エビデンスがあまりなく、空気清浄機のそば（限られた空間）は清浄化されるものの、室内空間全体が清浄化されることは難しい、と言う認識が多かった。今回の研究で、空気清浄機+空調の組み合わせ、さらに空調フィルターを追加するケースでは、一定の効果があることを示すことができたことは非常に意義深い。特に、空調や空気清浄機など、さまざまな場面設定や組み合わせをしたうえで評価することは、これまでほとんど例がなく、重要かつ貴重な成果が得られている。実験データは、しっかりとした基礎データに基づいたものであり、これまでこれだけ詳細なデータを取っていることはほとんどなく、貴重なデータである。 ・ 実際に、空間中の空気が流れがある中での最適化の条件を決定していくのは、実際の現場では複雑であり、難しいところがある。実際の現場では窓を開け閉めしたり、ドアを開け締めたりするだけでも、空気の流れが、結構変わる。例えば、実施の医療現場などでも、医師や医療従事者の動きなどは複雑であるため、それらの点を含め、人の行動などを含め、総合的に考慮していくことが今後の課題であろう。実際のさまざまなシミュレーション、またAIなども活用した評価も重要になると思われる。 ・ 医療施設の課題としては、現実に空調設備を直ちに変更することはなかなか難しい。特に医療施設はビル管理法の対象外となっているため、換気がほとんどできていないケースや換気回数が少ないケースも散見される。今後は、医療施設内での空気清浄機の有効な活用方法について、さらなる検討が必要となってくるが、今回得られたデータは、非常に有用であり、実際に今後の長期的な提言につながっていくものと考えられる。 ・ その意味でも、今後さらなる検討、空気の流れなどを考慮に入れた総合的な解析、実際の実空間での人の行動などを加味したデータの評価解析が重要となる。今後、AIなども活用したシミュレーションモデルなどを用いた、さらに詳細な解析評価研究が行われることを期待したい。
聖マリアンナ 医科大学 國島広之 主任教授	2. 総括コメント ・ 実験の実施は非常に大変だったと思う。非常に多くの貴重なデータが取れている。 ・ 実際の医療現場では、空気清浄機を置く場合は、エアコンのみ、もしくはエアコンもない、また換気が非常に悪い場所というケースで置くことが多い。今回は 60m³/h の換気をしているが、より換

	気が悪いケースでは、より空気清浄機の効果が出る可能性がある ので、そのあたりも検討をしていただきたい。 ・ 医療機関は病室のカーテンを閉めることを始めとして、多くの対策を継続しているが、効果が低い対策は、データがあると対策内容を変更することができる。効果がある、と言うデータとともに、効果が少ないという定量的なデータの蓄積も重要と考える。一方、医療機関は、ビル管理法の対象外ということで、換気が悪い場所があるのも事実。それらの換気が悪い場所の対応として、空気清浄機の有効な使い方に関する科学的なエビデンスに期待をしている。 ・ また、実臨床のデータとシミュレーション、実測の組み合わせの研究も重要である。実験の信頼性を担保するためには、実施されているシミュレーションの内容について、ぜひとも報告書に追加する方向が良いと思う。 ・ 医療機関として、お互いにマスク着用のもと、短時間の診察をしている診療所や外来では院内伝播は殆ど発生していない。一方、マスク着用せず長時間共有する病院同室者、高齢者施設、療養型病院等では多くの院内感染が発生している。これらの施設の中で、築年数が長い施設では空調設備が乏しく、更新のための経済的余裕も少ない。換気や空気清浄機がそれぞれの施設や場所における感染リスクに応じて、考慮されることが期待される。 ・ 換気というのは、ユニバーサルな感染症対応のためにも、必要不可欠な重要な手段だと思っている。一方で換気が感染症対策として有効とする科学的根拠は数少ないのが現状であり、巷には空気清浄機は本当に有効なのか、と懐疑的な意見もある。日常診療のみならずネクストパンデミックのために、エビデンスをベースとして、日本から広げていくべきだと思っている。
近畿大学 東賢一 教授	・ 多くの実験から貴重な結果が出ている。本実験結果をもとに、有効な感染対策や室内空間の環境設計をご提案いただければと考える。 ・ 感染対策は、単一の対策だけでは効果が限定されるため、複数の対策を用いて総合的に行う必要がある。感染者（宿主）からの排出を低減する方策から、排出後の環境側における対策までである。その中で、空気中のウイルスを低減させる、という環境管理型の技術的な対策というのは、軽んじてはいけない。寄与率の高い、低いという課題はあるが、非常に重要な研究である。 ・ 今回の結果だけを見ると、空調フィルターや空気清浄機に非常に効果があると見えるが、一方で先に述べたように、感染リスク全体（今回は、直接曝露、直接吸引、飛沫核吸引、接触感染のうち飛沫

	核吸引のみを考慮している)の中でどのような効果があるかという点もしっかりとご説明を頂いき、空気清浄機や空調を入れれば大丈夫、と言う誤解を招かないようにもしていただきたい。複数の対策のなかでの一つ、と言う位置づけが重要と考える。 ・ また、将来的には、シミュレーション (CFD) と実測の組み合わせの拡張、CFD の評価による最適化は重要になるので、その部分での今後の研究の進捗も期待する。
東京科学大学 鍵直樹 教授	・ 今回のデータは、空気清浄機、空調、フィルター等の効果について、限られた実験条件ではあるが、詳細に評価を実施している。実験条件としても妥当であると考えられる。 ・ ロングレンジとしては、空気清浄機の空気清浄効果は、長期暴露 (30 分、部屋全体) に対しては効果がある。また、空調にフィルターを追加することで、ロングレンジの効果は更に高まることが示された。 ・ 一方、ショートレンジとしては、空気清浄機の空気清浄効果よりは、空気清浄機により気流を変化させる効果のほうが卓越していることも確認された。空気清浄機の効果をより発揮させるための対応について、さらなる知見があるとよい。 ・ また、リスク評価においては、今回の対象が粒子の直接吸引や飛沫核の吸引に限定された評価であることがより伝わる形とすることが望ましい。 ・ 空気清浄機のユーザーの要望としては、どこに置くのか?、最適なところはどこなのか? という問がある。設備のところで動かさないものもある。これらの対応としては、良い (清浄な) 空気を供給する、もしくは感染者からの空気を非感染者に向かわせない、と言う形が基本的な対策になる。その部分については科学的な裏付けをしていくことが重要である。 ・ また、別途情報共有された、気流シミュレーションについては、実験を多数することは難しいことから、飛沫発生から、非感染者までの範囲のシミュレーションをして、最適配置をできるとよい。スマホ等を活用した簡易かつ最適な配置設定の検討等ができればよいが、なかなか難しいので、データの蓄積が重要となろう。