



Title	Study on the Infection Prevention Performance of Floor-Supply Displacement Ventilation System Combined with Local Exhaust Ventilation in Healthcare Facilities
Author(s)	吉原, 隼
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105479
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 吉 原 隼 ）	
論文題名	Study on the Infection Prevention Performance of Floor-Supply Displacement Ventilation System Combined with Local Exhaust Ventilation in Healthcare Facilities (医療施設における局所排気装置を併用した全面床吹き出し換気システムの感染防止性能に関する研究)
論文内容の要旨	
新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的流行を契機として、エアロゾル感染防止のための換気的重要性が再認識された。特に感染者との近接会話が避けられない医療施設や診察室では、室内気流を適切に制御し、感染リスクを低減する換気設計が求められている。従来の天井吹き出しディフューザ（Ceiling Diffuser: CD）を用いた方式は、室内を均一に混合することを目的とし、呼気由来の汚染空気が室全体に拡散しやすく感染拡大リスクが高いことが指摘されている。一方、床面からの低速給気によって上下温度成層を形成する置換換気（Displacement Ventilation: DV）は、人体の熱上昇流を活用して呼気や臭気を室上部に排出する手法であり、感染制御上有効とされている。 本論文では、医療・診療環境における近接会話時の感染リスク低減を目的として、局所排気装置（Local Exhaust Ventilation: LEV）と全面床吹き出し方式（Floor-Supply Displacement Ventilation: FSDV）の複合性能を体系的に評価した。LEVは発生源近傍での汚染質捕集を目的とした装置であり、FSDVは大面積・低風速の吹き出しによって静穏かつ安定した気流場を形成する。これらを組み合わせることで、近接会話時の呼気を拡散させずに排気することが期待される。本論文では、数値流体解析（Computational Fluid Dynamics: CFD）と実大実験により、床吹き出し方式・LEVの配置と風量・床吹き出し風速・湿度などが室内汚染質濃度および感染リスクに与える影響を多角的に分析した。 第1章では、研究背景およびCOVID-19の感染経路や換気方式が感染リスクに与える影響を、既往研究をもとに考察し、LEVとFSDVを組み合わせる合理性とそれぞれの課題を示した。また本論文の全体構造を示した。 第2章では、CFD解析によりLEVとFSDVを併用するシステムの基本性能を評価した。日本人の会話時の呼気速度・風量を実測して境界条件に適用し、フード排気量、位置、室全体の換気量をパラメータとした検討を行った。その結果、LEVの捕集効率はフード排気量と位置に強く依存し、適切に排気量を配分することで感染リスクが低減されることを示した。また、FSDVとの併用により、建築物衛生法に基づく一般的な換気量において高い感染抑制効果が得られることを確認した。 第3章では、LEVを設置せず、FSDV・水平床吹き出しディフューザ・旋回流型床吹き出しディフューザ・CDの4方式について実大実験を行い、トレーサガスをを用いて汚染質濃度分布を測定することで汚染質除去性能を比較した。FSDVでは安定した置換換気気流場を形成し、換気量の増加に伴う汚染質除去性能の向上が他の3種の換気方式と比較して顕著であることを示した。 第4章では、LEVと第3章で検討した4種の換気方式を組み合わせたトレーサガス実験を行い、汚染質濃度の分布および感染リスクを評価した。FSDVとLEVを組み合わせた条件では他の3方式とLEVを組み合わせた条件と比較してLEVの汚染質捕集率が高くなるため室全体で汚染質濃度が極めて低くなり、FSDVとLEVと組み合わせることの有効性を示した。 第5章では、トレーサガスおよび模擬唾液粒子の2種を用いた汚染質濃度測定実験を行うことで、感染リスクを評価した。FSDVとLEVを組み合わせた場合、換気量が大きい条件においても静穏な気流場が保たれ、汚染質拡散が最小限に抑えられることを示した。また、LEVの有効性は感染性粒子の発生位置に依存し、発生源上に設置された条件で感染リスクの低減効果が顕著であることを実験においても示した。また、模擬唾液粒子による評価では重力沈降の影響によりトレーサガスをを用いた評価よりも感染リスクが過小評価され得ることを確認した。 第6章では、FSDVにおける粒子の床からの再飛散現象を実験的に評価した。床吹き出し風速（0.01～0.04 m/s）および湿度（20～80%）を変化させた結果、粒子の再飛散はFSDVの給気気流が吹き出されるパネル孔上部付近で局所的に発生することを確認した。加えて、FSDVにおける粒子の再飛散率は10^{-8}～10^{-4} h⁻¹の範囲であり、CD条件と比較して特に空気中に長時間留まりやすい0.3～3.0 μmの粒径で小さいことを示した。また、湿度の影響についても高湿度条件で再飛散率が小さくなることを確認した。 第7章では、各章の成果を総合的に整理し、今後の研究課題と展望を述べた。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (吉 原 隼)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	小林 知広
	副 査	教授	下田 吉之
	副 査	准教授	崔 ナレ
	副 査	特任教授	山中 俊夫 (先導的学際研究機構)

論文審査の結果の要旨

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の世界的流行を契機として、エアロゾル感染防止のための換気の重要性が再認識された。特に感染者との近接会話が避けられない医療施設や診察室では、室内気流を適切に制御し、感染リスクを低減する換気設計が求められている。従来の天井吹き出しディフューザ (Ceiling Diffuser: CD) を用いた方式は、室内を均一に混合することを目的とし、呼気由来の汚染空気が室全体に拡散しやすく感染拡大リスクが高いことが指摘されている。一方、床面からの低速給気によって上下温度成層を形成する置換換気 (Displacement Ventilation: DV) は、人体の熱上昇流を活用して呼気や臭気を室上部に排出する手法であり、感染制御上有効とされている。

本論文では、医療・診療環境における近接会話時の感染リスク低減を目的として、局所排気装置 (Local Exhaust Ventilation: LEV) と全面床吹き出し方式 (Floor-Supply Displacement Ventilation: FSDV) の複合性能を体系的に評価した。LEV は発生源近傍での汚染質捕集を目的とした装置であり、FSDV は大面積・低風速の吹き出しによって静穏かつ安定した気流場を形成する。これらを組み合わせることで、近接会話時の呼気を拡散させずに排気することが期待される。本論文では、数値流体解析 (Computational Fluid Dynamics: CFD) と実大実験により、床吹き出し方式・LEV の配置と風量・床吹き出し風速・湿度などが室内汚染質濃度および感染リスクに与える影響を多角的に分析している。

第 1 章では、研究背景および COVID-19 の感染経路や換気方式が感染リスクに与える影響を、既往研究をもとに考察し、LEV と FSDV を組み合わせる合理性とそれぞれの課題を示している。また本論文の全体構造を示している。

第 2 章では、CFD 解析により LEV と FSDV を併用するシステムの基本性能を評価している。日本人の会話時の呼気速度・風量を実測して境界条件に適用し、フード排気量、位置、室全体の換気量をパラメータとした検討を行っており、その結果、LEV の捕集効率はフード排気量と位置に強く依存し、適切に排気量を配分することで感染リスクが低減されることを示している。また、FSDV との併用により、建築物衛生法に基づく一般的な換気量において高い感染抑制効果が得られることを確認している。

第 3 章では、LEV を設置せず、FSDV・水平床吹き出しディフューザ・旋回流型床吹き出しディフューザ・CD の 4 方式について実大実験を行い、トレーサガスを用いて汚染質濃度分布を測定することで汚染質除去性能を比較している。FSDV では安定した置換換気気流場を形成し、換気量の増加に伴う汚染質除去性能の向上が他の 3 種の換気方式と比較して顕著であることを示している。

第 4 章では、LEV と第 3 章で検討した 4 種の換気方式を組み合わせたトレーサガス実験を行い、汚染質濃度の分布および感染リスクを評価している。FSDV と LEV を組み合わせた条件では他の 3 方式と LEV を組み合わせた条件と比較して LEV の汚染質捕集率が高くなるため室全体で汚染質濃度が極めて低くなり、FSDV と LEV と組み合わせることの有効性を示している。

第 5 章では、トレーサガスおよび模擬唾液粒子の 2 種を用いた汚染質濃度測定実験を行うことで、感染リスクを評価している。FSDV と LEV を組み合わせた場合、換気量が大きい条件においても静穏な気流場が保たれ、汚染質拡散が最小限に抑えられることを示している。また、LEV の有効性は感染性粒子の発生位置に依存し、発生源上に設置された

条件で感染リスクの低減効果が顕著であることを実験においても示している。また、模擬唾液粒子による評価では重力沈降の影響によりトレーサガスをを用いた評価よりも感染リスクが過小評価され得ることを確認している。

第6章では、FSDVにおける粒子の床からの再飛散現象を実験的に評価した。床吹き出し風速（0.01～0.04 m/s）および湿度（20～80%）を変化させた結果、粒子の再飛散はFSDVの給気気流が吹き出されるパネル孔上部付近で局所的に発生することを確認している。加えて、FSDVにおける粒子の再飛散率は $10^{-8} \sim 10^{-4} \text{ h}^{-1}$ の範囲であり、CD条件と比較して特に空気中に長時間留まりやすい $0.3 \sim 3.0 \text{ }\mu\text{m}$ の粒径で小さいことを示している。また、湿度の影響についても高湿度条件で再飛散率が小さくなることを確認している。

第7章では、各章の成果を総合的に整理し、今後の研究課題と展望を述べている。

以上のように、本論文は特に感染防止のための換気設計が求められる医療施設を対象として、有効な対策となり得るFSDVとLEVを組み合わせた換気方式の高い感染防止性能について明らかにするとともに、他の一般的な換気方式との比較を含めた工学的応用性の高い資料と粒子の再飛散現象を定量的に評価した有益な学術的知見を提供しており、医療施設の換気設計に資するものと考えられる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。