

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19695

研究課題名（和文）新型コロナ環境下の身体運動における感染リスク評価システムの開発とその展開

研究課題名（英文）Deployment of an Infection Risk Assessment System for Physical Activities in the Context of COVID-19

研究代表者

浅井 武（Asai, Takeshi）

筑波大学・体育系（名誉教授）・名誉教授

研究者番号：00167868

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、移動型フルスケールマネキンと粒子追跡流速測定システムを用いて、対面通過時における呼気（噴流）由来のエアロゾル粒子の流れ場を可視化、計測し、ウイルス暴露リスクを検討した。その結果、換気の有無に関わらず、対面通過時のエアロゾル粒子数のピークは、歩行時、ジョギング時、ランニング時、スプリント時ともに、通過後5秒以内に発現し、その後急速に低下することが明らかになった。また、通過速度が大きいほど、このピークは小さくなり、これは、呼気と外気の相対速度が増大して粒子の拡散が促進されるためと考えられた。さらに、換気条件におけるエアロゾル粒子数は、無換気条件に比べて、顕著に少ないことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空気感染の原因となるエアロゾル粒子の挙動は、空気の主流や換気の流れ場の影響を受けるために、極めて複雑で不明な点が多く、その動態とウイルス暴露リスクの関係を明らかにすることが求められている。本研究により、対面通過時のウイルス感染リスクを低下させるためには、吸気を中断する、少なくとも1m以上の物理的距離を確保する、風上の方に位置する等の対策を、対面通過後5秒以内に行うことが、特に効果的であることが示唆された。これらの知見は、さまざまなウイルスに適用可能と考えられた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we identified the risk of virus exposure by visualizing and measuring the flow field of aerosol particles derived from exhaled air (jet stream) during face-to-face encounters using a mobile full-scale mannequin and a particle-tracking velocimetry system. Subsequently, we compared the differences between aerodynamic characteristics with and without ventilation and their effects on the risk of virus exposure. We found that, with or without ventilation, the number of aerosol particles peaked within 5 seconds after face-to-face encounters and then declined rapidly. This was observed during walking, jogging, running, and sprinting activities. The higher the transit velocity, the smaller this peak became, which may be due to the increase in the relative velocity between exhaled air and ambient air that facilitated particle diffusion.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：コロナ 空気 エアロゾル ウイルス 流体 可視化 暴露リスク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) パンデミックの早い段階では、感染者が咳やくしゃみ、会話をする際に排出される、比較的大きな飛沫を通じてウイルスが感染拡大すると考えられていた。しかし、多くの空気感染の可能性が報告され、世界保健機関 (WHO) は、短距離空中飛沫 (short-range aerosol) と長距離空中飛沫 (long-range aerosol) の2タイプの空気感染を明確に示している¹⁾。また、米国疾病対策予防センター (CDC) も、新型コロナウイルスが換気の悪い空間において、空中を浮遊するエアロゾル粒子の吸入によって空気感染を引き起こすことに、警笛を鳴らしている²⁾。

(2) 流体力学的にも、直径 100 μm 以上の飛沫は、3~5 秒程度で地面に落下するが、直径 5~100 μm の大きなエアロゾル粒子は空気中に数分~数十分程度漂い、さらに、直径 5 μm 未満になると数時間漂うとされている。従って、空気中での滞留時間が長いエアロゾル粒子による感染リスクは、滞留時間が短い飛沫での感染リスクより大きいと考えられる³⁾。

(3) 空気感染の原因となるエアロゾル粒子の挙動は、空気の主流や換気の流れ場の影響を受けるために、極めて複雑で不明な点が多く、その動態とウイルス暴露リスクの関係を明らかにすることが求められている⁴⁾。また、最近、感染拡大の収束に伴って行動規制が緩和されたことで、人の移動や通行も活発化し、移動や運動の際に生じる人の呼気 (噴流) 由来のエアロゾル粒子の可視化やウイルス暴露リスクの分析・評価が喫緊の課題となっている。

1) Liu, Y. et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature* 582, 557–560 (2020).

2) CDC. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html> (Centers for Disease Control and Prevention, 2020).

3) Wang, C. C. et al. Airborne transmission of respiratory viruses. *Science* 373, 9149 (2021).

4) Greenhalgh, T. et al. Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *Lancet* 397, 1603–1605 (2021).

2. 研究の目的

本研究では、移動型フルスケールマネキンと粒子追跡流速測定システム (Particle Trace Velocimetry, PTV) を用いて、対面通過時における呼気 (噴流) 由来のエアロゾル粒子 (マイクロ粒子) の流れ場を可視化、計測し、通過時におけるウイルス暴露リスクを明らかにしようとした (図 1)。さらに、換気の有無による、対面通過時のマイクロ粒子流れ場の挙動を比較検討することにより、換気の空力的特性とウイルス暴露リスクに及ぼす影響を検討した。

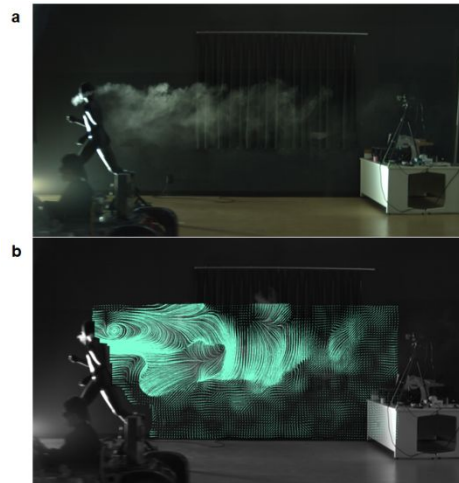


図 1 移動マネキン口部から放出される呼気（マイクロ粒子）の動態（a）と、粒子追跡流速測定システムによる大規模渦構造の流線による可視化例（b）。マネキンは画面右側から左側へ移動している。

3. 研究の方法

(1) 人体マネキン、電動カート、及びマイクロ粒子噴出装置

電動カート (Saitou Craft Co. Ltd. Japan.)のサイド 2m には、口部にマイクロ粒子噴出装置 (Solid Particle Dispenser Series of RBG 1000 (PALAS GmbH, Germany)) を連結させた FRP 製のフルスケール人体マネキン (H=1700mm) をセットし、噴流を伴うマネキンの並進運動を実現した (図 2)。

(2) マイクロ粒子計測システム。

人体マネキンの口部から噴出されたマイクロ粒子の可視化、計測には、レーザーシート (赤色) (LMD-MO-058, KATO KOKEN, Japan.) とハイスピードカメラ (K9 High-speed Camera, KATO KOKEN Co., Ltd, Japan.) で構成される Particle Tracking Velocimetry (PTV) 法を用いた。

(3) 実験条件、及び分析方法

人体マネキンは、約 20m の計測可能距離を直進移動し、マネキンの加速、減速の影響が微小と考えられるスタート地点から 10m の位置に計測エリアをセットした。噴流マネキンの速度条件は、5 km/h (歩行)、10 km/h (ジョギング)、15 km/h (ランニング)、20 km/h (スプリント) の 4 条件とし、噴流量は、運動中の呼気量 (分時換気量 VE) を想定した 30 l/min (歩行)、55 l/min (ジョギング)、80 l/min (ランニング) の 3 条件とした。マイクロ粒子数は、各試技条件において 5 回計測し、その平均値を平均マイクロ粒子数とした。

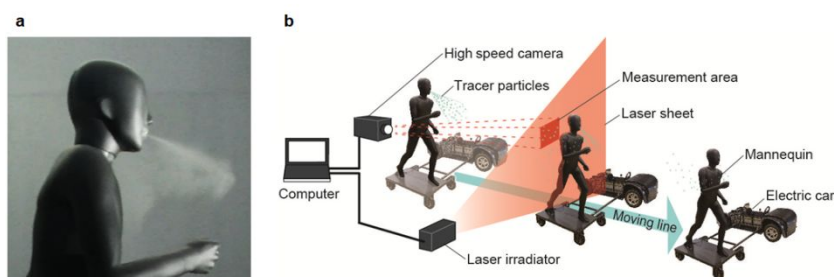


図 2 人体マネキン (a) 及び電動カート等を用いた実験セットアップ (b)。

4. 研究成果

(1) 換気無し条件

換気無し条件における、歩行速度時（5 km/h）のピークマイクロ粒子数は、全ての呼気条件において、他のジョギング速度時（10 km/h）、ランニング速度時（15 km/h）、スプリント速度時（20 km/h）より大きく、対面通過後 5 秒以内にピークがみられ、その後、急激に減少する傾向を示していた（図 3）。これは、マイクロ粒子が、呼気（噴流）の主流の通過後、マネキン後方に形成された後流乱流渦の時間経過に伴う拡散により、急激に減少することが大きな原因の一つになっていると考えられる。また、通過速度が大きいケースほど、マイクロ粒子数は減少する傾向を示していた。これは、通過速度が大きいケースほど、噴流と外流の相対速度が増加し、拡散が促進されるため、マイクロ粒子数が減少していると推測される。これらのことから、ウイルス暴露リスクが最も高まるのは、何れの速度ケース時においても、対面通過後、5 秒以内であり、通過速度が大きくなるほど、相対速度が増加し、マイクロ粒子の拡散が促進されるため、ウイルス暴露リスクは減少すると考えられる。

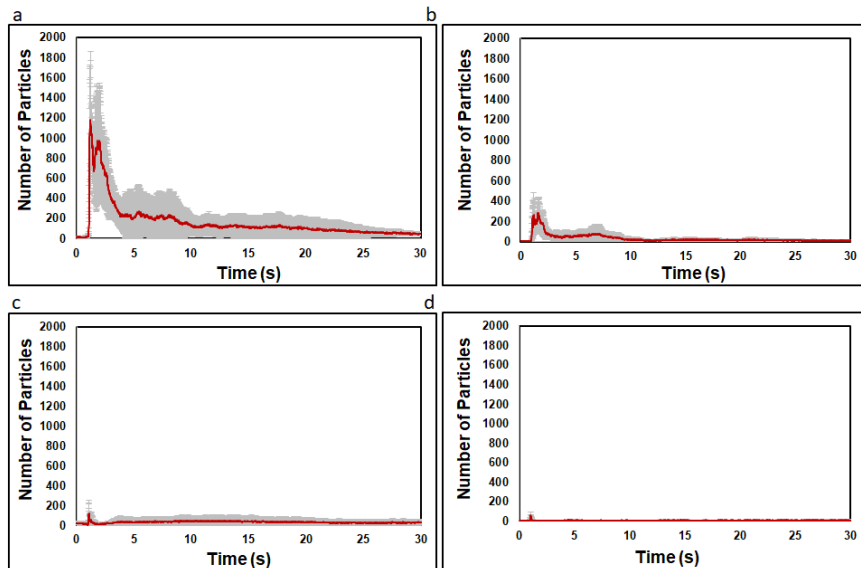


図 3 換気無し条件における移動速度 5km/h (a)、10 km/h (b)、15 km/h (c)、20 km/h (d)時の平均粒子数。

(2) 換気有り条件

換気有り条件における、歩行速度時（5 km/h）のピークマイクロ粒子数は、他の移動速度ケースより、大きくなっているものの、換気無し条件の約 55%以下となっており、マイクロ粒子数はピーク後に急激に減少し約 50 個以下の低値に留まっていた（図 4）。これは、本実験における換気有り条件では、定常的に換気が行われマイクロ粒子の拡散が促進されるため、ピークマイクロ粒子数の通過速度に対する依存性は低下し、ピーク後のマイクロ粒子数も、急激に減少していると考えられる。これらのことから、換気有り条件においても、ウイルス暴露リスクが最も高まるのは、対面通過後、5 秒以内であるが、通過後の暴露リスクは、換気による拡散効果により、換気無し条件より、大幅に減少すると考えられる。

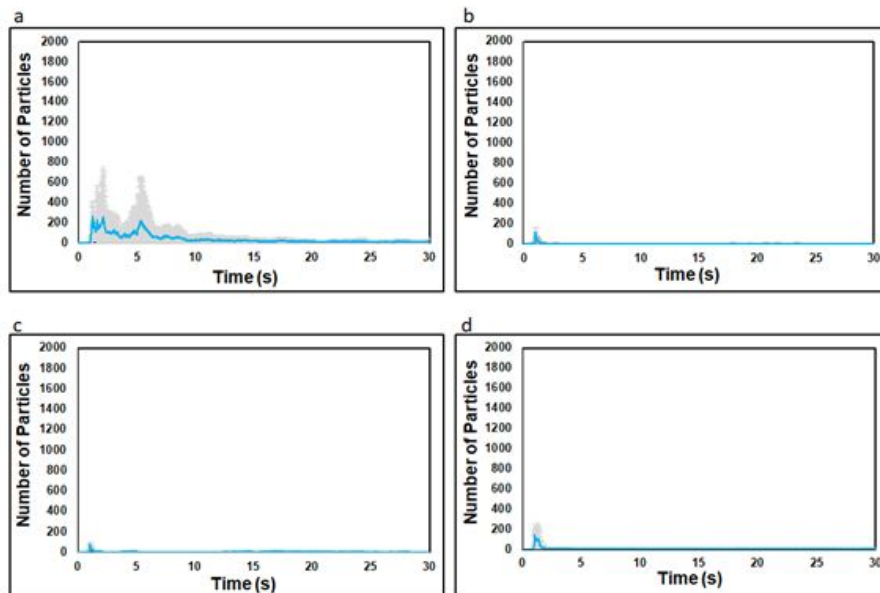


図4 換気有り条件における移動速度 5km/h (a)、10 km/h (b)、15 km/h (c)、20 km/h (d)時の平均粒子数。

(3) 換気無し条件と換気有り条件におけるウイルス暴露リスク

歩行やジョギング等の対面通過時におけるウイルス暴露リスクは、通過後5秒以内にピークがあり、その後、後流の拡散により、急激にリスクは減少すると考えられる。対面静止時の咳飛沫沈着量は、咳噴射口前方0.6 m、下方0.3 mが最も多く、90%以上の飛沫が前方0.9 m以内に沈着するとされている。したがって、対面通過時、5秒間のリスクヘッジを考慮し、進行方向の横方向にコースを移動する、風上側を通る、吸気を中断すること、1 m以上の物理的距離をおくこと等により、ウイルス暴露リスクは大幅に減少すると推測される。

また換気がある場合においても、屋外での大型イベント等の人々が密集する場面での感染事例があることから、対面通過時における5秒間リスクヘッジ効果は有効であり、屋外等の運動時においても、対面通過時における5秒間リスクヘッジを行うことは、ウイルス暴露リスクを、大幅に減少させる可能性が示唆される。さらに本実験結果は、インフルエンザやサル痘等のエアロゾルが媒介するケースにおける感染リスク低減にも応用できると思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Asai Takeshi, Kurosaki Erina, Kimachi Kaoru, Nakayama Masao, Koido Masaaki, Hong Sungchan	4. 巻 13
2. 論文標題 Peak risk of SARS-CoV-2 infection within 5?s of face-to-face encounters: an observational/retrospective study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-44967-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	洪 性賛 (Hon Sonchan) (10638547)	筑波大学・体育系・助教 (12102)	
研究分担者	中山 雅雄 (Nakayama Masao) (70217941)	筑波大学・体育系・教授 (12102)	
研究分担者	丸山 剛生 (Maruyama Takeo) (90181833)	東京工業大学・リベラルアーツ研究教育院・准教授 (12608)	
研究分担者	中村 純 (Nakamura Atsushi) (30130876)	大阪大学・核物理研究センター・協同研究員 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------