

感染対策を目的としたデジタル技術による エアロゾル拡散防止策の評価およびエアロゾルモニタリングの検討

中尾賢志

Evaluation of aerosol diffusion prevention measures using digital technology for the purpose of infection control, and consideration of aerosol monitoring

NAKAO Satoshi

Abstract

The World Health Organization (WHO) declared the end of the state of emergency regarding the spread of COVID-19. However, it remains a significant infectious disease to be mindful of, especially for the elderly and those with underlying health conditions. In this study, a monitoring system was developed using an inexpensive dust sensor and a cost-effective single-board computer (Raspberry Pi) capable of wireless LAN and web communication. The system treated aerosols, including the novel coronavirus, as dust particles and aimed to evaluate aerosol diffusion prevention measures during meals and consider aerosol monitoring. The results revealed that the installation of partitions such as acrylic panels and wearing masks during speech effectively suppressed the dispersion of dust particles during meals. It was also found that the dining table in a typical household had the highest aerosol generation, while the occurrence was relatively low during toilet use and bedtime.

Key words: COVID-19, エアロゾル感染, デジタル技術, シングルボードコンピューター

I 緒言

厚生労働省は2023年4月27日の厚生科学審議会感染症部会を受け、2023年5月8日にSARS-CoV-2(以下、新型コロナウイルス)感染症(COVID-19)を「新型インフルエンザ等感染症(いわゆる2類相当)」から「5類感染症」へ移行することを了承した。同省は「政府として一律に日常における基本的感染対策を求めることはない」としているが「基本的感染対策の考え方について」、マスクの着用や手洗い等の手指衛生、換気、「三つの密」の回避、「人と人との距離の確保」を個人や事業者が自主的に判断する際に参考にするよう周知している[1]。我が国においては2023年5月現在までの8回にわたる大規模なCOVID-19の蔓延により「新しい生活様式」の導入が国民に求められた。その中の一つに食事時の感染防止策として飛沫拡散防止策が飲食業界を中心になされ、対策も施されてきた。

国際的には2023年5月5日にWHO(世界保健機関)のテドロス事務局長は「COVID-19を世界的な公衆衛生上の緊急事態として終了する」旨宣言した[2]。ただし同声明において「COVID-19が世界的な公衆衛生上の脅威として終わったわけではない」とし「このウイルスは残り続け、人を殺し、変異し続ける。また、新たな変異株が現れ、新たな感染拡大や死者数の増大を起すリスクが残ってい

る」と警鐘を鳴らし、引き続き警戒すべき感染症であるとした。日本においてもCOVID-19が5類感染症に移行したとはいえ、新型コロナウイルス自体が消滅するわけではなく、65歳以上の高齢者や基礎疾患を有する方にとっては依然として留意すべき感染症である。また、今後いつどのような形で新たな感染症が蔓延するといった予測は困難である。

COVID-19蔓延時に取り入れられた「新しい生活様式」では会食時における飛沫拡散が問題とされた。対策として、換気をする、仕切り(パーティション)を設ける、座席数を制限するなどの方策がとられた。いわゆる「三密」(密閉、密集、密接)の度合いを評価する方法としては二酸化炭素濃度の測定やパーティクルカウンターによる粒子計測が考えられたが、前者はやや間接的に過ぎること、後者は機器が高額(1台数万円以上)になることが課題となる。ここで「飛沫」は直径5 μm 以上の水分を含む粒子であり、飛行距離が2 m未満のものを指す。「飛沫核」は「飛沫」よりも小さく、長時間空气中を浮遊する微粒子を指し「エアロゾル」とも呼ばれる。新型コロナウイルスの感染経路は主に3つあるとされており、国立感染症研究所によると「①空中に浮遊するウイルスを含むエアロゾルを吸い込むこと(エアロゾル感染)、②ウイルスを含む飛沫が口、鼻、目などの露出した粘膜に付着すること(飛沫感染)、③ウイルスを含む飛沫を直接触ったか、ウイルスが付着したも

のの表面を触った手指で露出した粘膜を触ること(接触感染)」とされる[3]。本研究では、エアロゾル感染に着目し、エアロゾルをダストに見立て、安価なダストセンサ(1台2千円程度)を使用し、そのデータを無線LANやweb上で通信可能にする低価なシングルボードコンピューター(Raspberry Pi:ラズベリーパイ)を用いて、2020年1月にWHOから出された緊急事態宣言期間(3年3か月)に主に日本においてとられた感染症対策(エアロゾル感染対策)についての評価を定量的におこなうとともに、安価なエアロゾルモニタリングシステムの構築を検討することを目的とした。

II 材料と方法

1) 無線LANダストセンサ装置の作成

本研究で用いたダストセンサは1 μm以上の粒子に反応することからエアロゾルを含むダストを定量的に計測することができる。電力中央研究所の試み[4, 5]を参考にラズベリーパイ(Raspberry Pi 4 4GBモデル)を無線LANデータサーバー、マイクロコントローラー(マイコン)端末(M5Stick C)とダストセンサ(Grove - Dust Sensor (PPD42NS))を接続して「無線LANダストセンサ装置」(図1)とした。

2) エアロゾル拡散防止策の評価

エアロゾル拡散防止策の評価は2022年5月23日に大阪市内のマンションの一室でダイニングテーブル(天板床上約0.7 m)での食事を想定しておこなった(写真1)。部屋の環境を図2に示す。実験は密閉空間で空調および換気は停止しておこなった。床材はフローリングで、在室

人数は実験者1人、室内温度は22℃前後であった。ダストセンサの位置は床上約0.9 mで、エアロゾルに見立てたダストは北川式スモークジェネレーター(光明理化学工業(株)製)(床上約0.9 m)を使用して発生させた。ダストセンサとスモークジェネレーターの間は約0.6 mとした。

スモークジェネレーターから発生するダストをパーティ

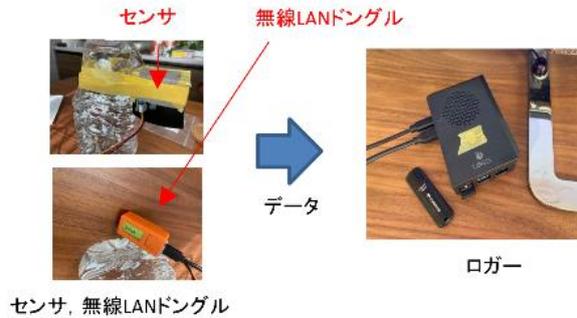


図1 ダストセンサシステム



写真1 評価の様子(ダイニングテーブル)

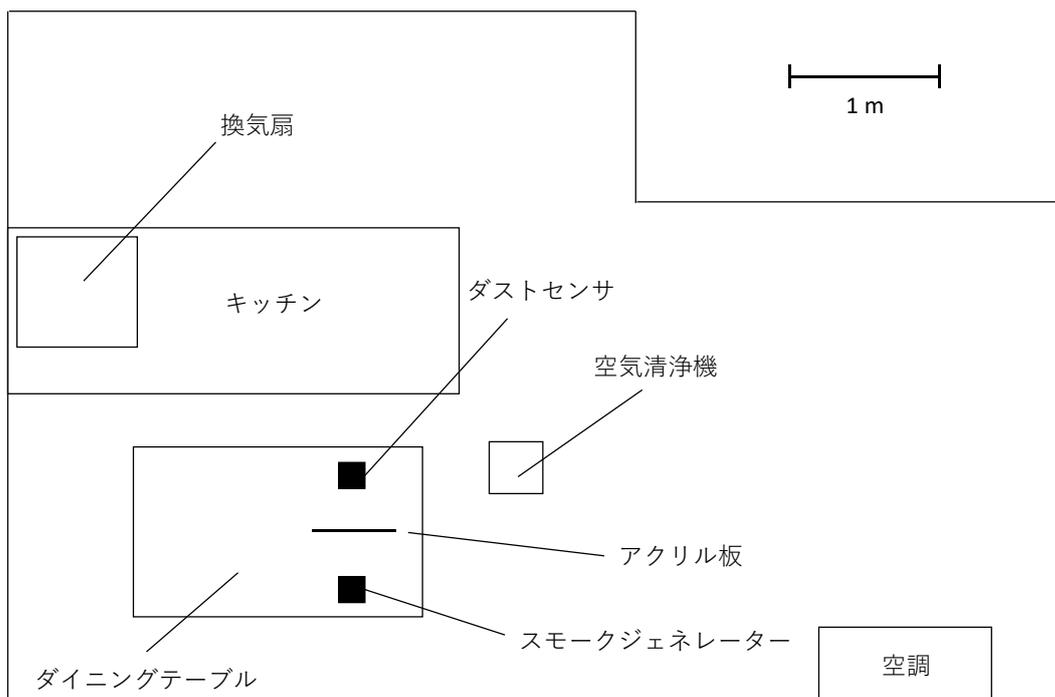


図2 実験対象部屋環境

表1 スモークジェネレーターで発生させたダストの粒度分布

粒径(μm)	>0.3	>0.5	>1.0	>2.0	>5.0
割合 (%)	32	29	24	15	0.2

クルカウンター(リオンKC-01D)で粒径別に計数した結果からその割合は表1のようになり、1 μm 以上2 μm 未満の粒子数は全体の39%、ダストセンサに反応しない1 μm 未満の粒子は61%であった。発話時に発生する飛沫数はエアロゾルの範囲(粒径5 μm 未満)では粒径2~3 μm 前後で最も多くなる[6]。このことから、本研究で使用するダストセンサは発話時に発生するエアロゾルに反応すると考えられる。食事時のエアロゾル拡散防止策として、①換気扇、②空気清浄機、③アクリル板等によるパーティション、④発話時における不織布マスク着用の4点が挙げられる。本実験では、それぞれの防止策を講じた状況下においてスモークジェネレーターからダストを1分間発生させ、それを小型扇風機(線速度:約2.6 m/s、(発話時:約0.5 m/s(参考))でダストセンサに向けて拡散させた。

3) エアロゾルモニタリングシステムの構築

2)で評価をおこなったマンションの一室においてダイニングテーブル、トイレ、寝室にダストセンサを1台ずつ設置し、いつ、どこでダストが発生しやすいのかを24時間モニタリングにて把握した。モニタリングはダイニングテーブルとトイレは2022年6月1日、寝室は同年6月6日におこなった。

III 結果および考察

1) エアロゾル拡散防止策の評価結果

各エアロゾル拡散防止策のダスト暴露低減率の結果を表2に示す。最もダスト暴露低減率が高かったのは不織布マスク(写真2)であり、次にアクリル板(写真3)、空気清浄機、換気扇(写真4)となった。特に不織布マスクとアクリル板はダスト暴露低減率が70%以上と高かった。換気扇と空気清浄機は気流の流れを変えてダストを分散させる効果はあるが、アクリル板によるパーティションと不織布マスクはダストを遮蔽する効果が高く、実際の食事においてもアクリル板によるパーティションと発話の際のマスク着用のエアロゾル拡散抑制効果は高いと考えられる。

2) エアロゾルモニタリングの検討

①ダイニングテーブル、②トイレ(写真5)、③寝室(写

表2 各飛沫防止策のダスト暴露低減率

対策	ダスト暴露濃度(個/L)	ダスト暴露低減率(%)
なし	117	—
①換気扇	100	14.5
②空気清浄機	78.9	32.6
③アクリル板	27.7	76.3
④不織布マスク	23.3	80.1



写真2 不織布マスク



写真3 アクリル板



写真4 換気扇



写真5 トイレ

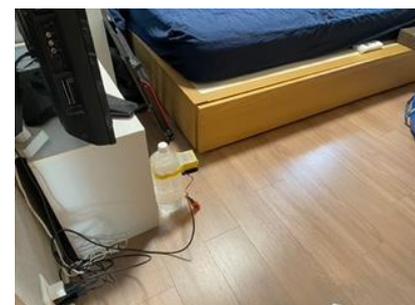


写真6 寝室

真6)、の3箇所を常時モニタリングし、家庭内のどの場所でダスト発生が多いのかを調査した。なお、今回はweb上でのリアルタイム表示といったシステムの構築はおこなっていない。図3にモニタリングの結果を示す。

①ダイニングテーブルでは、7:00~8:00に8 個 / mL程度のピークがあり、18:00前には5 個 / mL程度のピークが観察された。いずれも食事時のものであり、人の動きによるダストの発生か発話によるものかの区別はつかないが食事時間帯にダストが発生した。②のトイレでは、1~4個 / mL程度のダスト発生が観察され、③の寝室では、0.5~3 個/mL程度のダスト発生が観察された。②のトイレと③の寝室は①のダイニングテーブルよりも低いダスト濃度レベルで推移していた。この結果から、新型コロナウイルスを含むエアロゾルがダストと同様の挙動を示すとすれば、一般家庭内でのエアロゾル感染機会は食事時が最も多く、トイレや寝室でのエアロゾル感染の機会は少ないと考えられる。エアロゾル感染に限れば、本検討により安価にエアロゾルモニタリングシステムを構築できることがわかった。

IV 結論

本研究の結果から、以下の4点が明らかとなった。

1. スモークジェネレーターで発生させたエアロゾルに

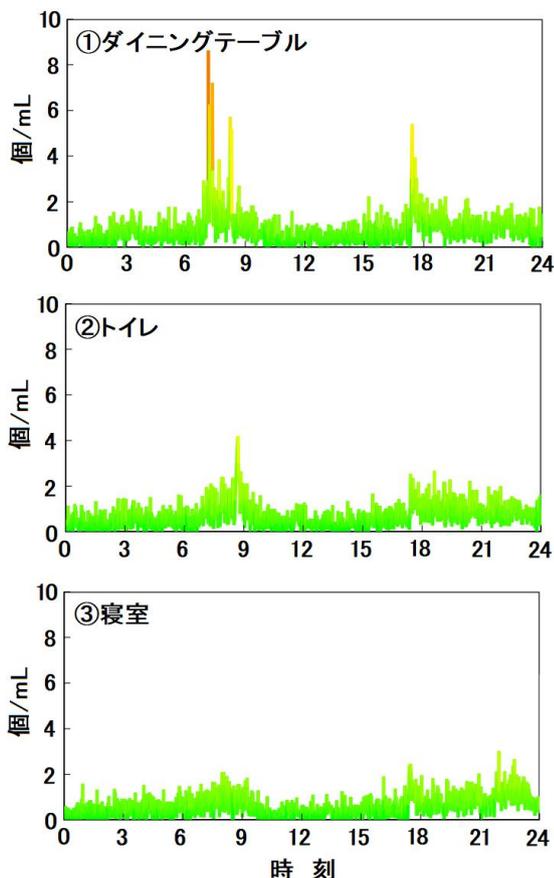


図3 ダストモニタリング結果

見立てたダストはマスクやアクリル板により 70%以上遮蔽された。

2. 一般家庭内のダスト発生のモニタリングを実施したところ、ダスト発生数が多いのは食事をおこなうダイニングテーブルであり、トイレや寝室での発生は少なかった。
3. 新型コロナウイルスを含むエアロゾルがダストと同様の挙動を示すとすれば、一般家庭内でのエアロゾル感染機会は食事時が最も多く、トイレや寝室でのエアロゾル感染の機会は少ないと考えられる。
4. 本検討により、安価にエアロゾルモニタリングシステムを構築できる。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 新型コロナウイルス感染症の5類感染症移行後の対応について, <https://www.mhlw.go.jp/stf/corona5rui.html> (WEB サイトの内容は2023年5月12日に確認した)
- 2) WHO (World Health Organization), WHO Director-General's opening remarks at the media briefing – 5 May 2023, <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing---5-may-2023>, (WEB サイトの内容は2023年5月31日に確認した)
- 3) 国立感染症研究所, 新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の感染経路について, <https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2484-idsc/11053-covid19-78.html> (WEB サイトの内容は2023年5月12日に確認した)
- 4) 電力中央研究所, ほこりモニタキット (HMK: Hokori Monitor Kit) を作ってみよう, <https://wp-criepi.denken.or.jp/technology/iot/hmk1/> (WEB サイトの内容は2023年5月12日に確認した)
- 5) 電力中央研究所, ほこりモニタキット (HMK) の作り方, <https://wp-criepi.denken.or.jp/technology/iot/hmk2/> (WEB サイトの内容は2023年5月12日に確認した)
- 6) Jarvis MC., Aerosol Transmission of SARS-CoV-2: Physical Principles and Implications, *Front Public Health*, 23;8:590041, 2020, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.590041>

謝辞: 本研究は2021年度(公財)大同生命厚生事業団「地域保健福祉研究助成」を受けておこなった。ここに記して感謝申し上げる。