

【助成 40-61】

感染症予防難易度の高い社会福祉施設における  
環境特徴量抽出と空気質管理方法に関する研究

電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター 教授 横川 慎二

電気通信大学 国際社会実装センター 特任教授 石垣 陽

産業医科大学 産業医実務研修センター 准教授 喜多村 紘子

〔研究の概要〕

感染症予防難易度の高い社会福祉施設における空気質管理のために、実際に感染症クラスターが発生した施設における現地調査(フィールドワーク)による環境特徴量の抽出と、空気質管理方法について検討した。換気量だけでは定義出来ないリスクをトレーサガス法、熱流体シミュレーションなどで明らかにした。それらの結果に基づき、自己診断と改善のツールとしての感染症対策レベル表を設計、提案した。さらに、CO<sub>2</sub>濃度の時系列データからエアロゾル感染リスクを定量判定する手法を開発した。これらの結果は、動画やガイドブックとして広く展開している。

〔研究経過および成果〕

これまで我々は、COVID-19 の感染症クラスターが発生した職場への立ち入り調査を多数行い、いずれも施設管理または安全組織運営に何らかの問題を抱えていたことを示した<sup>1, 2, 4, 5</sup>。製造工場で発生した感染症クラスターの調査では、当時の1時間あたりの換気量(Air Change per Hour; ACH)が平均で0.73回/hであり、厚生労働省が推奨する2回/hを下回ることがわかった。また、換気経路の確保などの対策により3.41~8.33回/hまで改善することができた<sup>5</sup>。

典型的な社会福祉施設として、50人を超える感染者が報告された宮城県の高齢者介護施設で実施した調査では、居室のACHが2.0~6.8回/hであったものを、窓開けなどの低コストの介入によって2.2~5.7倍改善することができた。さらに、感染者が滞在する個室から多数の入居者が集うダイニングへのエアロゾル移流を、CO<sub>2</sub>センサーネットワークを用いた測定と熱流体シミュレーションで確認し、集団感染の要因が

気流によるものであることを明らかにした<sup>4</sup>。

さらに、集団検診に用いられる循環器健診車(レントゲン車)内の換気に関する調査も行った<sup>3</sup>。自動車は建築基準法の対象ではないことや、放射線を扱うことや、受診者が軽装となる必要があることなどから気密性が高く、季節に応じて適切な換気経路を確保する必要があることを、トレーサガス法による実験や、熱流体シミュレーションなどで示した。

クラスターが発生した保育園の調査においては、換気設備、窓、布団の位置に依存して昼寝時に発生した局所クラスターの事例に遭遇した<sup>6, 8</sup>。社会福祉施設は施工から長年経過した建物を使用していることが多く、一般の飲食店や事務所の対策が適用し難いことも判明した。また、COVID-19により職員の業務負担が大幅に増加しており、対策効率を上げる支援策の必要性が非常に高い場所ともいえる。このような制約の多い場所では、ファシリティの改善だけでは改善が難しく、マネジメントから現場に至るまでの業務オペ

レーションの自律サイクルの体制構築し、全国の施設にノウハウを展開する必要がある。空気質改善に向けた活動を支援するフィードバック機能を持ったオンライン診断システムを開発し、その効果を検証した<sup>6)</sup>。

また、センサーデータを用いた客観評価として、さまざまな業態の場所において観測されたCO<sub>2</sub>濃度変化のデータを用いた時系列クラスタリングにより、観測されるデータが4つのクラスタに分けることができること、その違いを生じる要因には「クローズドスペース」、「呼気が溜まりやすい空間」、「空気の澱みの発生しやすさ」などの環境特徴量が影響することがわかった。また、ナイーブベイズ分類器を用いて、測定されたデータから属するクラスタを推測する方法を示した<sup>7)</sup>。これらの方法に基づいて、CO<sub>2</sub>センサーの時系列データのみによって、感染症リスク診断を行うことが可能となる。

以上の研究結果を広く社会還元するために、現場の担当者に向けた解説動画やガイドブックとして編集し、無償で公開して成果を展開している<sup>9)</sup>。

[発表論文]

1. Shinji Yokogawa, Yo Ishigaki, Hiroko Kitamura, Akira Saito, Yuto Kawauchi, and Taisei Hiraide; “Estimation of air change rate by CO<sub>2</sub> sensor network in workplace with COVID-19 outbreak,” *Environmental and Occupational Health Practice*, Vol.5, 2023-0007-OA (2023).
2. Yo Ishigaki, Yuto Kawauchi, Shinji Yokogawa, Akira Saito, Hiroko Kitamura, and Takashi Moritake; “Ventilatory effects of excessive plastic sheeting on the formation of SARS-Cov-2 in a closed indoor environment,” *Environmental and Occupational Health Practice*, Vol.5, 2022-0024-OA (2023).
3. 齋藤彰, 石垣陽, 横川慎二, 川内雄登, 田中晴美, 浅野美穂, 小川美紀, 石川正悟, 高橋里美, 齋藤泰紀; “CO<sub>2</sub> センサを活用した循環器健診車内の換気可視化の検討,” *日本人間ドック学会誌*, Vol.37, No.4, pp.699-707 (2022).
4. Yo Ishigaki, Shinji Yokogawa, Yuki Minamoto, Akira Saito, Hiroko Kitamura, and Yuto Kawauchi; “Pilot Evaluation of Possible Airborne Transmission in a Geriatric Care Facility Using Carbon Dioxide Tracer Gas: Case Study,” *JMIR Form. Res.*, Vol.6, e37587 (2022).
5. Hiroko Kitamura, Yo Ishigaki, Hideaki Ohashi, and Shinji Yokogawa; “Ventilation improvement and evaluation of its effectiveness in a Japanese manufacturing factory,” *scientific reports*, Vol.12, 17642 (2022).
6. 横川慎二, 石垣陽, 喜多村紘子, 齋藤彰, “感染症予防難易度の高い社会福祉施設の空気質管理,” 第14回横幹連合コンファレンス, E-1-3 (2023).
7. 川内雄登, 横川慎二, 石垣陽, “CO<sub>2</sub> センサを用いたフィールドワークと時系列データ解析に基づくエアロゾル感染リスク診断,” 第31回日本信頼性学会春季シンポジウム, S2-4 (2023).
8. 横川慎二, 石垣陽, 喜多村紘子, 齋藤彰, “保育園・幼稚園・高齢者施設の感染症抑制に向けた課題と現状分析,” 第13回横幹連合コンファレンス, B-3-2 (2022).
9. 病院の換気対策ガイド(動画版)／保育園の換気対策ガイド(動画版)／高齢者施設の換気対策ガイド(動画版), エアロゾル感染対策ガイド, <https://www.design4humanity.com/kanki>.