

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19820

研究課題名（和文）IoT環境測定とエンターテインメント化された情報提示による劇場での感染症予防

研究課題名（英文）Preventing Infectious Diseases in Entertainment Environments through Air Quality Measurement and Information Visualization

研究代表者

石垣 陽（Ishigaki, Yo）

電気通信大学・国際社会実装センター・特任教授

研究者番号：50723350

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：感染リスクが高い都市活動での適切な空気環境実現を目指し、IoTセンサ技術・演劇学・空調学を融合した学際的アプローチにより、CO₂/PM_{2.5}トレーサガスを用いた換気量迅速診断パッケージの開発、運営者・行政を巻き込んだ大規模フィールド調査、CO₂濃度情報提示による三密回避行動促進、に取り組んだ。

研究成果は、ライブイベントでのCO₂濃度可視化実証実験や、高齢者施設・学校等でのクラスター原因究明を通じ、感染症対策ガイドライン策定に反映され、国民の意識・行動変容に大きく貢献した。また、病院・福祉施設での継続的な調査・提言、CO₂可視化装置など研究成果の社会実装も進め、学術論文も出版した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、CO₂やPM_{2.5}をトレーサガスとして用いた換気量の迅速診断や、CO₂濃度の可視化による行動変容の促進など、感染症対策における新しい環境測定・可視化手法を確立した点にある。また、研究成果が政府の対策ガイドラインの策定や、メディアを通じた国民の意識・行動変容に大きく寄与し、ライブイベントや高齢者施設、学校等での感染クラスター対策に貢献した点で、社会的意義も高いといえる。CO₂可視化装置の社会実装や、病院・福祉施設への継続的な調査・提言など、研究成果の社会への還元も積極的に行われ、学術的のみならず社会的にも大きなインパクトを持つ研究であったと言える。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to achieve optimal air environments in urban activities with high infection risk by: 1. Developing a rapid ventilation rate diagnostic package using CO₂ and PM_{2.5} tracers, 2. Conducting large-scale field surveys with facility managers and government officials, 3. Promoting behavior change to avoid the "3 Cs" by visualizing CO₂ levels. The findings significantly contributed to establishing guidelines for infectious disease control and transforming public awareness through experiments at live events, investigations of infection clusters in elderly care facilities and schools, surveys and recommendations for hospitals and welfare facilities, and social implementation of CO₂ visualization devices. The final year focused on disseminating results through academic publications.

研究分野：室内環境可視化

キーワード：トレーサガス ポストコロナ リスク可視化 アイドル エンターテインメントコンピューティング 感染症対策 行動変容 クラスター

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2019 年末に中国・武漢で発生した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、瞬く間に全世界に拡大し、人々の生活や社会経済活動に甚大な影響を及ぼした。感染拡大の初期段階では、感染経路や予防策に関する知見が不足しており、特に人が密集する都市活動においては、感染リスクの高まりが懸念された。このような状況下において、感染リスクを低減しつつ、社会経済活動を継続するための方策が強く求められていた。

2. 研究の目的

本研究は、感染リスクが高い都市活動において、運営側と利用者の双方が満足できる適切な空気環境を実現するための、効果的な環境測定と情報提示の方法を確立するべく、以下の 3 点を目的として設定した。

CO₂ や PM_{2.5} をトレーサースガスとして用いた換気量の迅速診断パッケージの開発

運営者や行政関係者を巻き込んだ大規模なフィールド調査の実施

CO₂ 濃度の可視化による「三密」を避ける行動変容の促進

3. 研究の方法

本研究では、IoT センサ技術、演劇学、空調学を融合した学際的なアプローチを採用した。まず、CO₂ や PM_{2.5} をトレーサースガスとして用いた換気量の迅速診断パッケージを開発した。このパッケージは、複数のセンサを組み合わせることで、室内の換気状況を迅速かつ正確に評価できるものである。

次に、開発したパッケージを用いて、ライブイベント会場、高齢者施設、学校など、感染リスクが高い都市活動の現場において、大規模なフィールド調査を実施した。調査では、運営者や行政関係者とも連携し、換気状況の評価だけでなく、感染リスクの高い場面や行動の特定、感染拡大の原因究明なども行った。

さらに、CO₂ 濃度の可視化によって、利用者に「三密」を避ける行動変容を促す手法の開発と実証を行った。具体的には、会場内の CO₂ 濃度をリアルタイムで測定し、大型ディスプレイ等で可視化することで、利用者が自ら感染リスクを認識し、行動変容を促すことを目指した。

4. 研究成果

換気量迅速診断パッケージの開発

- CO₂ と PM_{2.5} をトレーサースガスとして用いた換気量迅速診断パッケージを開発。
- 開発したパッケージを用いて、10 分以内に室内の換気状況を評価することが可能に。
- 従来の換気量測定法と比較して、測定時間を 80%以上短縮することに成功。

大規模フィールド調査の実施

- ライブイベント会場 (40 公演以上、図 1)、高齢者施設 (20 施設以上)、学校 (10 校以上) において、換気状況の評価と感染リスクの分析を実施。
- 調査の結果、ライブイベント会場では平均 CO₂ 濃度が 1,000ppm 以上となる場面が多数確認され、換気の改善が必要であることが明らかに。
- 高齢者施設では、換気量が不十分な場所でのクラスター発生事例が複数確認され、換気対策の重要性が再認識された。

CO₂ 濃度可視化による行動変容の促進

- ライブイベント会場での実証実験で、CO₂ 濃度の可視化によって、来場者の 98%が「とても安心できる」「安心できる」と回答。
- 可視化された CO₂ 濃度情報を参考に、来場者が自発的に換気の良い場所へ移動するなどの行動変容が確認された。
- CO₂ 可視化装置の社会実装が進み、研究期間中に 10 種類以上の製品化が実現。

さらに、当初計画していなかったものの、次の成果も得られた。

感染症対策ガイドラインへの反映

- 研究成果が、ライブイベント業界や自治体の感染症対策ガイドライン (図 2) に反映され、安全なイベント開催の実現に貢献。
- ガイドラインでは、CO₂ 濃度を指標とした換気管理の重要性が明記され、本研究で開発した換気量迅速診断パッケージの活用が推奨された。
- 本研究の成果を反映したガイドラインに基づき、多数のライブイベントが安全に開催された。

メディアを通じた社会への情報発信

- 研究成果が、NHK をはじめとする主要メディアで多数報道され、国民の感染症対策に関する意識向上に貢献。

- メディア報道を通じて、CO2 濃度を指標とした換気の重要性が広く認知されるようになった。
- 研究代表者が、感染症対策に関する専門家会議に招聘され、研究成果に基づく政策提言を行った。

以上のように、本研究は、感染症対策における革新的な環境測定・可視化手法を確立しただけでなく、研究成果の社会実装や政策への反映を通じて、感染リスクの低減と社会経済活動の両立に大きく寄与したといえる。



図1 音楽会場におけるCO2濃度可視化ライブの例
(換気の効果を実視化するため意図的にCO2濃度を上げた状態での実験)



図2 研究成果を元に策定された自治体のガイドブックの例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ishigaki Yo, Yokogawa Shinji	4. 巻 19
2. 論文標題 Monitoring the ventilation of living spaces to assess the risk of airborne transmission of infection using a novel Pocket CO2 Logger to track carbon dioxide concentrations in Tokyo	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0303790	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ishigaki Yo, Yokogawa Shinji, Kato Tatsuo	4. 巻 40
2. 論文標題 Evaluation and risk communication of the effects of alcohol exposure on disposable procedure masks and portable air purifiers in hospital environments	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Toxicology and Industrial Health	6. 最初と最後の頁 117 ~ 124
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/07482337241227010	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 -
1. 著者名 Yokogawa Shinji, Ishigaki Yo, Kitamura Hiroko, Saito Akira, Kawauchi Yuto, Hiraide Taisei	4. 巻 5
2. 論文標題 Estimation of air change rate by CO ₂ sensor network in workplace with COVID-19 outbreak	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Environmental and Occupational Health Practice	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1539/eohp.2023-0007-0a	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 -
1. 著者名 Ishigaki Yo, Kawauchi Yuto, Yokogawa Shinji, Saito Akira, Kitamura Hiroko, Moritake Takashi	4. 巻 5
2. 論文標題 Ventilatory effects of excessive plastic sheeting on the formation of SARS-Cov-2 in a closed indoor environment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Environmental and Occupational Health Practice	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1539/eohp.2022-0024-0a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石垣 陽, 加藤辰夫	4. 巻 16
2. 論文標題 事業所のエアロゾル感染予防に向けた調査手法の提案と実証 - 医療・高齢者施設における事例分析 - (調査報告)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 労働安全衛生研究	6. 最初と最後の頁 173-180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 石垣 陽, 加藤辰夫	4. 巻 in press
2. 論文標題 事業所のエアロゾル感染予防に向けた調査手法の提案と実証 - 医療・高齢者施設における事例分析 - (in press)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 労働安全衛生研究	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 石垣 陽, 三上 浩弥	4. 巻 43 (4)
2. 論文標題 折紙式メガホンの試作と飛沫抑制効果の評価 (in press)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 可視化情報学会論文集	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yo Ishigaki, Shinji Yokogawa, Yuki Minamoto, Akira Saito, Hiroko Kitamura, Yuto Kawauchi	4. 巻 6(12)
2. 論文標題 Pilot Evaluation of Possible Airborne Transmission in a Geriatric Care Facility Using Carbon Dioxide Tracer Gas: Case Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JMIR Formative Research	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2196/37587	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroko Kitamura, Yo Ishigaki, Hideaki Ohashi, Shinji Yokogawa	4. 巻 12(1)
2. 論文標題 Ventilation improvement and evaluation of its effectiveness in a Japanese manufacturing factory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-22764-2.	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 -

1. 著者名 Hiroko Kitamura, Yo Ishigaki, Tomoko Kuriyama, Takashi Moritake	4. 巻 0
2. 論文標題 CO2 Concentration Visualization for COVID-19 Infection Prevention in concert halls (in press)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental and Occupational Health Practice	6. 最初と最後の頁 0-0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yo Ishigaki, Shinji Yokogawa, Yuki Minamoto, Akira Saito, Hiroko Kitamura, Yuto Kawauchi	4. 巻 2022.01.27.22269512
2. 論文標題 Investigation of air change rate and aerosol behavior during an outbreak of COVID-19 in a geriatric care facility	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 medRxiv	6. 最初と最後の頁 0-0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2022.01.27.22269512	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shinji Yokogawa, Yo Ishigaki, Hiroko Kitamura, Akira Saito, Yuto Kawauchi, Taisei Hiraide	4. 巻 0
2. 論文標題 Prevention of SARS-CoV-2 airborne transmission in a workplace based on CO2 sensor network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 medRxiv	6. 最初と最後の頁 0-0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2022.03.04.22271934	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yo Ishigaki, Yuto Kawauchi, Shinji Yokogawa, Akira Saito, Hiroko Kitamura, Takashi Moritake	4. 巻 0
2. 論文標題 Experimental investigation to verify if excessive plastic sheeting shielding produce micro clusters of SARS-CoV-2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 medRxiv	6. 最初と最後の頁 0-0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2021.05.22.21257321	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yo Ishigaki, Koji Enoki, Shinji Yokogawa	4. 巻 0
2. 論文標題 Accuracy verification of low-cost CO2 concentration measuring devices for general use as a countermeasure against COVID-19	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 medRxiv	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2021.07.30.21261265	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 石垣 陽, 西浦知子
2. 発表標題 高齢者施設、障害者・障害児施設向け エアロゾル感染対策ガイドブック説明会
3. 学会等名 京都府 京都府健康福祉部主催 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石垣 陽
2. 発表標題 COVID-19感染症対策のためのスマート環境センシング
3. 学会等名 電気学会全国大会シンポジウム講演「Society5.0における環境・農業センシング最前線」S18-1 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石垣 陽
2. 発表標題 医療・介護施設におけるエアロゾル集団感染の実態と対策
3. 学会等名 第365回クリーンテクノロジー研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田 直久(保健環境研究所 所長・医師), 石垣 陽
2. 発表標題 福祉施設向け説明会 換気から見た新型コロナ対策 府内42施設調査でわかった傾向と対策
3. 学会等名 京都府健康福祉部 主催（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田 直久(保健環境研究所 所長・医師), 石垣 陽
2. 発表標題 医療機関向け説明会 換気から見た新型コロナ対策 府内42施設調査でわかった傾向と対策
3. 学会等名 京都府新型コロナウイルス感染症施設内感染専門サポートチーム、京都私立病院協会 京都府慢性期医療協会 京都府健康福祉部 共催（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石垣 陽
2. 発表標題 クラスター事例から学ぶ、エアロゾル感染対策のポイント
3. 学会等名 第48回東北腎不全研究会共催シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Kawauchi, Y. Ishigaki, S. Yokogawa
2. 発表標題 Time Series Clustering of CO2 Concentration Sensor Data for Risk Classification
3. 学会等名 Indoor Air 2022, 17th International Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate, Finland
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平出大誠, 川内雄登, 石垣陽, 横川慎二, 齋藤彰, 喜多村紘子
2. 発表標題 熱流体シミュレーションと応答曲面法を用いたX線検診車の換気とリスクの分析
3. 学会等名 第30回日本信頼性学会春季信頼性シンポジウム 2022年5月31日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石垣 陽
2. 発表標題 COVID-19感染症対策のためのスマート環境センシング
3. 学会等名 電気学会全国大会シンポジウム講演、「Society5.0における環境・農業センシング最前線」S18-1, オンライン
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石垣 陽
2. 発表標題 COVID-19 クラスタ発生場所における室内環境測定と介入改善の事例紹介
3. 学会等名 第28回大気環境学会令和2年度北海道東北支部学術集会 要旨集, pp. 9-10, オンライン (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石垣 陽
2. 発表標題 CO2センサによるSARS-CoV-2の飛沫核感染予防と行動変容の実践
3. 学会等名 電子情報通信学会 信学技報, vol. 121, no. 158, R2021-24, pp. 14-19, 2021年8月. (ISSN 0913-5685) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 盛武 敬、石垣 陽、棚橋 善克
2. 発表標題 モバイルCO2センサによる病院での密集・密閉の可視化
3. 学会等名 第30回日本産業衛生学会全国協議会、2020.11.20-11.30 (Web開催)
4. 発表年 2021年

〔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

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