

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32620
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21K04377
研究課題名（和文）エアロゾル感染を含む4感染経路の水平伝播数理モデル構築と新規リスク予想基盤の創出

研究課題名（英文）Analysis of aerosol transmission dynamics and estimation of potential risks of transmission using mathematical models.

研究代表者
堀 賢（Hori, Satoshi）

順天堂大学・大学院医学研究科・教授

研究者番号：80348937
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の室内における感染伝播に関するリスク評価のため、CO2濃度測定を活用した換気状態の評価方法と、低換気状態における必要な改善フローチャートを開発した。このフローチャートは国内の学会（日本環境感染学会、日本医療福祉設備協会など）でも発表され、さらに内閣感染症危機管理統括庁統括事業の「集団生活の感染を防ぐための換気対策 保育所等及び高齢者施設の事例集～解説編～」にも掲載された。

研究成果の学術的意義や社会的意義
換気状態の評価方法として、CO2濃度測定を根拠とした換気状態の解釈と、低換気状態の時に必要な改善フローについて単純かつ明快に示した。これにより、医療施設、福祉施設だけでなく、一般の事業所や工場でも広く活用可能な改善方針の決定ツールとして広く活用が期待されている。

研究成果の概要（英文）：To assess the risk of indoor transmission of COVID-19, we developed a method for evaluating ventilation status using CO2 concentration measurements, as well as a flowchart for necessary improvements in low-ventilation conditions. This flowchart has been presented at domestic academic conferences, including the Japanese Environmental Infection Society and the Japan Society of Healthcare Engineering, and has also been featured in the Cabinet Infectious Disease Crisis Management Office's project, "Ventilation Measures to Prevent Infections in Group Living Settings: Case Studies and Explanations for Nursery Schools and Elderly Care Facilities." It is expected to be widely utilized in daily life.

研究分野：感染症対策

キーワード：COVID-19 新型コロナウイルス感染症 感染症対策 換気 CO2濃度

1. 研究開始当初の背景

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、2020年の3月ごろには、3密条件という特殊条件下において、クラスターという集団感染を発生し、これを繰り返しながら拡大をしていくことが報告されていた。これは従来の空気感染経路や飛沫感染経路では説明ができない新しい感染経路の存在が指摘

され、のちにエアロゾル感染という新しい感染経路の存在が提唱されることになった。このような中で、「3密回避」や「社会的距離の確保」など、非特異的な予防策であるために効率が悪く、市中感染の再拡大を許してしまっていた。このため、病原ウイルスを内包して感染を媒介する感染性呼吸性粒子（当時、エアロゾルやマイクロ飛沫と称した）の大きさの範囲を解明することが、COVID-19の伝播リスクを数式化することが可能になり、さらに効果的な感染症対策を生み出す重要なキーになると考えられていた。また現建築物が、①どの感染経路に対して、②どの程度の対策が備わっているかを、定量的にリスク評価する方法が確立されていない。このため、こういった対策を、どの程度追加すべきであるのかを明らかにできないでいた。

2. 研究の目的

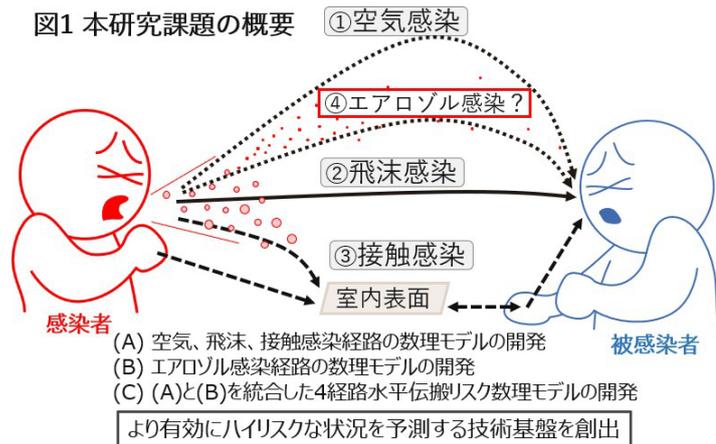
本研究課題では、学術的「問い」を「4つの感染経路（空気、飛沫、接触、エアロゾル感染経路）の総括的な数理モデル群により、実存建築物における新型コロナ感染症 (COVID-19) の感染リスク状況をより有効に予測できる技術基盤を創出できるか？」と設定した。我々は、既存建築物に対し感染経路別にどのようなリスクを内在しているかを解明するために、感染経路別の水平伝播が発生するリスクを予測する数理モデルを開発し、客観的にリスク評価するツールに実装し活用することで、有効な対策手段を具体的に提案することを可能にすることを目的とした。

3. 研究の方法

まず初めに、未知の事柄が多いエアロゾル感染経路と、既存研究が豊富な空気・飛沫・接触感染経路の3経路についてそれぞれ解析を進め、その後、エアロゾル・空気・飛沫・接触感染の4経路を統合し、総括的に評価する数理解析モデルツールを確立する目的で、研究を遂行することとし、進行スケジュールを立案した。

しかしながら、R3年度からR4年度の間に、世界各国で急速に換気に関する工学的研究が進み、建築系（主に空調などの設備系）の学会から、空気感染を主体とした感染伝播の提唱とこれら仮説に基づく換気について、具体的な推奨が発行されるに至った。この

図1 本研究課題の概要



仮説では、これまで広く認識されてきた5 μ mを境に飛沫核と飛沫を分ける前提（二元論）を否定し、特定の閾値でこれらを明確に区別することができないことから、感染伝播に寄与する感染性粒子径の範囲については数値化せず、感染性粒子を吸入して感染する様式（airborne transmission）を対象に感染症対策（特に換気対策）を立案する風潮が支配的になった。

このため、我々はプロジェクトの目的と計画を変更し、これらのガイドラインで提唱された換気方法について、実際の医療機関や職員の居室において、換気の実情をCO₂濃度測定を用いて客観評価し、さらにどのように対策をすればよいかの解決策を、フローチャート化することに変更した。

4. 研究成果

COVID-19の室内での感染拡大を防止するために必要な換気については、我が国においては、2020年3月には厚生労働省から「毎時1人当たり30m³の換気量の確保」が推奨されていた³⁾。しかしながら、換気風量の測定を日常的に実施することは困難であるため、この換気量が維持されているならば、室内のCO₂濃度は1,000 ppmを超えることはほとんどないことから、室内のCO₂濃度を目安として換気の過不足を評価することが広く広まった³⁾。我々はこの推奨を活用し、実際に順天堂大学本郷キャンパスおよび順天堂医院の各所（大学 8か所、院内32か所）における換気状態を評価してみると、添付の表1のような結果となった。大学内の施設のほとんどは、室内の収容人数（定員上限）が定められて運用されているため、換気が不足する場所はほとんどなかった。これに対し、院内の施設は多くの患者が訪れるため、CO₂濃度の最大値が大学施設に比べて比較的大きかった。CO₂濃度のピークは、外来では11:30ごろであったが、これは混雑状況と挿管していた。これに対し病棟では夜間の21:00ごろ（消灯直前）であったが、これは20:00以降に省エネルギーのために夜間（20:00-翌6:00）まで空調運転をオフセット運転していたこと、および就寝前の準備（洗顔、トイレ等）で入院患者の活動量が一時的に高まった影響と考えられた。上記測定結果を受け、我々は、CO₂濃度測定を起点とする低換気時の対応フローチャートを作成し、学内の施設課に対応を依頼したところ、2か月以内に対策が完了できた。

表 1. 代表的な学内、院内各所の CO₂ 濃度の最大値と最小値、および最大在室人数(一部抜粋)

	最大値	最小値	最大人数
生理機能検査室	900	750	6
筋力測定室	1,101	442	5
1号館病棟上層階 A	1091	562	4
1号館病棟上層階 B	1060	563	4
外来 A 中待合（狭い）	1,049	640	16
外来 B 中待合（広い）	1,041	638	27
放射線読影室	689	494	6

眼科診察室	866	480	3
小児外来待合	1,084	722	40
大学地下 1F 大会議室	887	452	128
大学 19 階会議室	870	430	150
学生講義室	890	450	142

図 1. CO₂ 濃度測定で得られた CO₂ 濃度の推移と在室人数の一例

グラフは、大学地下 1G の会議室内各所に設置した CO₂ モニターによって測定された濃度の推移を記す。人が在室していない場合の最低濃度（ベースライン）は 452 ppm であったが、入室が開始されると同時に徐々に濃度が上昇し、10:40～11:15 までがピークとなっていた。この時の在室人数は定員を下回っていた。

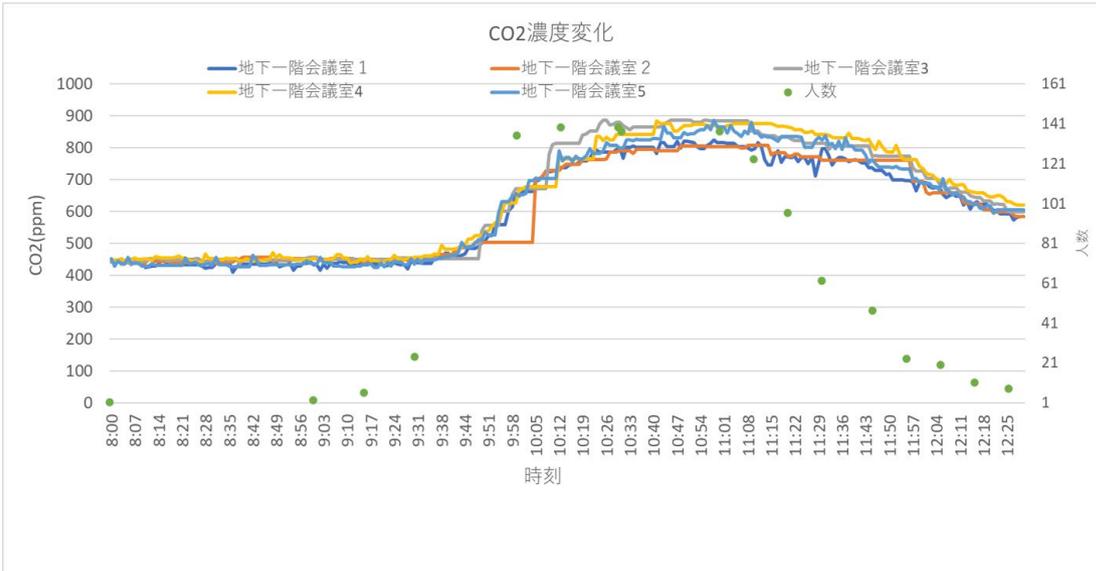
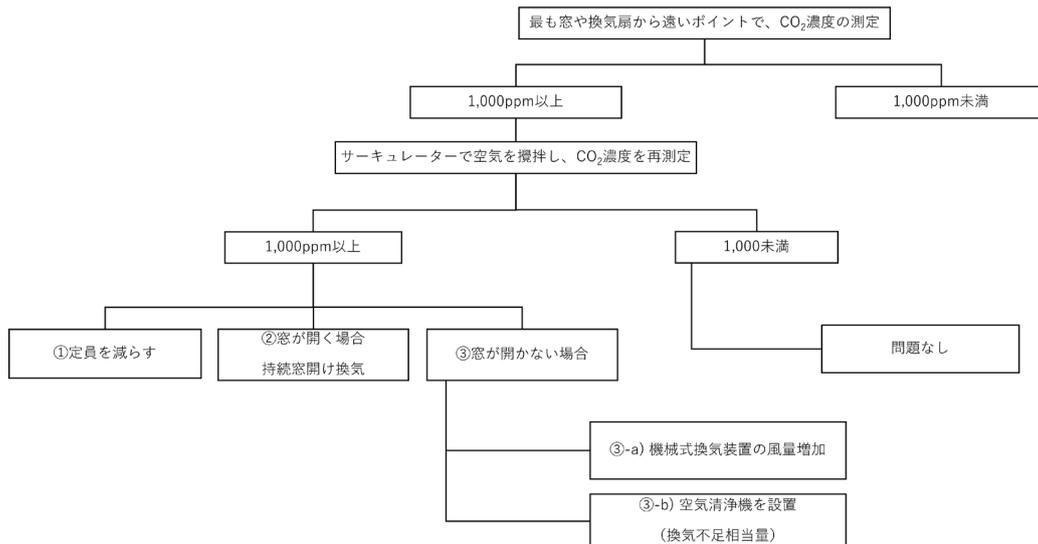


図 2. CO₂ 濃度測定を起点とする低換気時の対応フローチャート



はじめに、対象とする室内・エリアの最も換気が厳しい地点でCO₂濃度を測定する。そこでCO₂濃度が基準値（1,000 ppm）を超えたら、室内の空気をサーキュレーターなどで攪拌し再測定を行う。それでもなお基準値を超える場合には、①定員を減らす、②窓が開く場合は持続窓開け換気を行う、③窓が開かない場合は、a). 機械式換気装置の風量増加（メンテナンスを含む）、b). 不足する分の相当換気量を補完する空気清浄機を

設置する。この対策フローチャートは、CO₂濃度を適切に測定できれば非常に明快かつ簡単に方針決定ができるので、一般のオフィスにも広く応用できる。

このフローチャートについては、国内の日本環境感染学会の教育講演でも発表した。さらに内閣官房新型コロナウイルス感染症対策推進室が調査を行った「集団生活の感染を防ぐための換気対策～保育所等及び高齢者施設の事例集」の作成事業において、研究代表者が編集委員として参加し、解説編にほぼ同様のフローチャートが掲載された。同様の推奨は、海外の空調設備系学会（Indoor Air, ASHRAEなど）からも出された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Morawska Lidia, Allen Joseph, Tanabe Shin-ichi, et. al.	4. 巻 383
2. 論文標題 Mandating indoor air quality for public buildings	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1418 ~ 1420
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/science.adl0677	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 該当する
1. 著者名 Morawska Lidia, Bahnfleth William, Tanabe Shin-ichi, et. al.	4. 巻 76
2. 論文標題 Coronavirus Disease 2019 and Airborne Transmission: Science Rejected, Lives Lost. Can Society Do Better?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Clinical Infectious Diseases	6. 最初と最後の頁 1854 ~ 1859
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/cid/ciad068	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 該当する
1. 著者名 Hayashi Motoya, Yanagi U, Honma Yoshinori, Yamamoto Yoshihide, Ogata Masayuki, Kikuta Koki, Kagi Naoki, Tanabe Shin-ichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 150 ~ 150
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/atmos14010150	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 Kurabuchi Takashi, Yanagi U., Ogata Masayuki, Otsuka Masayuki, Kagi Naoki, Yamamoto Yoshihide, Hayashi Motoya, Tanabe Shinichi	4. 巻 4
2. 論文標題 Operation of air conditioning and sanitary equipment for SARS CoV 2 infectious disease control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	6. 最初と最後の頁 608 ~ 620
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2475-8876.12238	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 Morawska Lidia, Tanabe Shin-ichi, et. al	4. 巻 372
2. 論文標題 A paradigm shift to combat indoor respiratory infection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 689 ~ 691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abg2025	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 該当する

[学会発表] 計13件(うち招待講演 6件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 項 奕銘、落合 涼、富澤 佑介、尾方 壮行、堀 賢、田辺 新一
2. 発表標題 室内空間における新型コロナウイルス感染リスク低減に関する研究 その1: 空気清浄機によるエアロゾル感染対策効果の定量的評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富澤 佑介、落合 涼、項 奕銘、尾方 壮行、堀 賢、田辺 新一
2. 発表標題 室内空間における新型コロナウイルス感染リスク低減に関する研究 その2: パーティションとビニルカーテンがエアロゾル感染リスクに与える影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Tomizawa, Masayuki Ogata, Ryo Ochiai, Megumi Takenaga, Satoshi Hori, Shin-ichi Tanabe
2. 発表標題 Measurement of Ventilation Rate and Evaluation of Infection Risk in a Classroom
3. 学会等名 Indoor Air 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 頂突銘、富澤佑介、尾方壮行、堀賢、田辺新一
2. 発表標題 空気清浄機によるエアロゾル感染対策効果と清浄効果の不均一分布に関する定量的評価
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀賢
2. 発表標題 COVID-19の効果的な予防策をめぐり医療施設内でのCOVID-19感染症対策で知っておくべき換気に関すること
3. 学会等名 第37回日本環境感染学会総会・学術集会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀賢
2. 発表標題 感染制御リスクアセスメントとICDの役割
3. 学会等名 第36回日本環境感染学会総会・学術集会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀賢
2. 発表標題 環境整備を斬る ～パンデミックに備えた建築とは～
3. 学会等名 第36回日本環境感染学会総会・学術集会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀 賢
2. 発表標題 COVID-19の出現がもたらした医療福祉設備の常識の転換
3. 学会等名 第50回日本医療福祉設備学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀 賢
2. 発表標題 エアロゾル発生手技と感染対策
3. 学会等名 第38回日本環境感染学会総会・学術集会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀 賢
2. 発表標題 病院設備設計ガイドライン（空調設備編）の解説
3. 学会等名 第38回日本環境感染学会総会・学術集会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 尾方壮行，山本佳嗣，高野智希，堀賢，田辺新一
2. 発表標題 異なる換気状況が発生源近傍における呼吸器エアロゾル粒子への曝露に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集．環境工学．
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野智希, 項奕銘, 尾方壮行, 山本佳嗣, 堀賢, 田辺新一
2. 発表標題 室内空間における新型コロナウイルス感染リスク低減に関する研究 その3: 発話時間と声量が呼吸器エアロゾル粒子濃度に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集. 環境工学.
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野智希, 項奕銘, 尾方壮行, 山本佳嗣, 堀賢, 田辺新一
2. 発表標題 発話時間と声量が呼吸器エアロゾル粒子の粒径分布に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集. 環境工学.
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 シミュレーション方法、及びプログラム	発明者 堀賢	権利者 順天堂大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-100934	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 抗ウイルス空調機	発明者 堀賢	権利者 順天堂大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-142002	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 病室	発明者 堀賢	権利者 順天堂大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-139805	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	田邊 新一 (Shin-ichi Tanabe) (30188362)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	
研究分担者	尾方 壮行 (Masayuki Ogata) (90778002)	東京都立大学・都市環境学部・助教 (22604)	

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