

興行場における衛生的な環境確保のための研究
COVID-19 の影響を踏まえた興行場の換気対策

研究分担者 林 基哉 北海道大学 大学院工学研究院 教授

研究要旨

興行場の室内空気環境の特徴を踏まえて、浮遊飛沫感染対策に関するエビデンスとして、2022 年度までの国内における COVID-19 に対する建築環境対策と関連する知見を整理した。

COVID-19 パンデミックに際し、政府機関によって換気の必要性が啓発された。夏期の熱中症、冬期の寒さ対策を踏まえた換気対策を示すなど、WHO 等の国外の情報、国内のクラスター調査の知見を踏まえ、日本独自の対策が発信された。また、感染抑制に必要な換気量、空気の流れに関する定量的な知見が非常に少ないと共に、変異株の流行の影響に関する定量的な推定も困難である中、国立感染症研究所はエアロゾル感染に関する整理を行い、政府の新型コロナウイルス感染症対策分科会は、エアロゾル感染対策として、空気の流れを考慮した効率的な換気方法を示した。これらの対応は、今後の新興再興感染症への対策に影響し、パンデミック時の空調換気運転のあり方、建築設備の設計と維持管理に関する課題を提起した。

A. 研究目的

2022 年度は、興行場の室内空気環境の特徴を踏まえて、適切な換気対策を実施することを目標に、以下の研究を行った。

A1. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

2022 年度までの国内における COVID-19 に対する建築環境対策と関連する知見を整理した。

B. 研究方法

B1. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

COVID-19 に与える、室内環境の影響に関する国内外の文献、厚生労働省「新興・再興感染症のリスク評価と危機管理機能の実装のための研究」等、国土交通省「ポスト COVID-19 における空調・換気・通風計画のあり方検討委員会」等、日本建築衛生管理教育センター「新型コロナウイルス対策検討委員会」による調査研究による知見、国内学会（日本公衆衛生学会、日本建築学会、空気

調和・衛生工学会、臨床環境医学会等）、海外の調査研究（世界保健機関 WHO、米国疾病予防センター CDC、欧州空調・換気設備学協会 REHVA 等）の見解を収集し整理した上で、我が国の COVID-19 に対する建築環境対策を時系列で整理し、その概要をまとめた。

C. 研究結果

C1. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

2020 年 1 月から、日本における新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のクラスター感染が発生し始め、3 年以上にわたって感染拡大の波が繰り返されている。感染拡大当初は、新型コロナウイルスの感染経路は、インフルエンザの場合と同様に、接触感染と飛沫感染であると想定し、通常生活での感染リスクは高くないとしていた。しかし、初期のクラスター感染の状況から浮遊する飛沫による感染の可能性を検討し、2020 年 3 月には換気

が悪い密閉空間をクラスター感染の要因として挙げ、換気の確保を求めた^{1),2),3)}。上記の換気対策の基礎となった調査等について、以下に概要を示す。

C1.1. 商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について（2020年3月30日）⁴⁾

新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の「新型コロナウイルス感染症対策の見解」（2020年3月9日及び3月19日公表）、集団感染が確認された場所で共通する3条件が示されている。

新型コロナウイルス厚生労働省対策本部では、この見解を踏まえ、リスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するため、多数の人が利用する商業施設等において推奨される換気方法をまとめた。

(ア) 機械換気については、建築物衛生法に基づく必要換気量（一人あたり毎時30m³）が確保できていることを確認すること。必要換気量が足りない場合は、一部屋あたりの在室人数を減らすことで、一人あたりの必要換気量を確保すること。

(イ) 窓開け換気については、換気回数を毎時2回以上（30分に一回以上、数分間程度、窓を全開する。）とすること。空気の流れを作るため、複数の窓がある場合は二方向の壁の窓を開放すること。窓が一つしかない場合はドアを開けること。

C1.2. 厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策アドバイザーボード（2020年7月30日）

新型コロナウイルス感染症は、「飛沫感染」及び「接触感染」が主たる感染経路と考えられてきたが、わが国においては、2月に基本方針を策定した頃から、いわゆる「3密」の条件における「飛沫感染」や「接触感染」では説明できない感染経路を指摘し、対策に取り組んできた。「3密」と「大声」に関連する感染経路として、最近になっていわゆる「マイクロ飛沫感染」が世界的にも重要と認識されている。様々な状況証拠から「3密」と「大

声」の環境においては、「飛沫感染」や「接触感染」に加えて、「マイクロ飛沫感染」が起りやすいものと考えられている。一方で、屋外を歩いたり、感染対策がとられている店舗での買い物や食事、十分に換気された電車での通勤・通学で、「マイクロ飛沫感染」が起きる可能性は限定的と考えられる。

C1.3. 新型コロナウイルス感染症予防のための夏期における室内環境対策-建築衛生分野の研究者からの報告-(2020年5月20日)⁵⁾

新型コロナウイルスに関連した最新のエビデンスの収集・整理に基づいて、夏期冷房時の換気対策についてまとめた。現時点でのエビデンスからは、換気量等の具体的な基準値を示すことが難しいため、状況に応じて推奨される空調・換気の対策を示している。今回の取りまとめ内容以外に留意すべきことも含めて、以下のような推奨と注意喚起が必要であると考えている。

【続べての室内空間について】

- i. 新型コロナウイルスの感染防止のためには、換気の確保が必要である。
- ii. 窓等の開放は換気に有効であり、より大きくより長く開放することが望まれる。
- iii. 夏期には、熱中症対策など健康維持のために冷房が必要である。（冬期には、ヒートショック対策など健康維持のために暖房が必要である。）
- iv. 一般のエアコンでは換気が行えないため、機械換気及び窓等の開放が必要である。
- v. 窓等の開放時には、虫や鼠などの衛生動物に対する対策が必要である。

【空調・換気設備を有する場合】

- vi. 設備の維持点検によって、設計換気量が得られることを確認する。
- vii. 1人当たりの換気量を確保するために、在室人数を制御する。また、在室時間を短くする。
- viii. 空調・換気設備の調整による換気効果の向上、空気清浄器の利用、冬期の加湿器の利用などの対策については、建物用

途、空調・換気設備、使用状況に応じた検討が必要である。

C1.4. 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について(2020年11月27日)⁶⁾

厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策推進本部では、外気温が低い環境下において、新型コロナウイルス感染症のリスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気と、室温の低下による健康影響の防止をどのように両立するかについて、推奨される方法をまとめた。

- ① 機械換気について、機械換気設備が設置された商業施設等は、機械換気設備等の外気取り入れ量等を調整することで、必要換気量（一人あたり毎時 30m³）を確保しつつ、居室の温度及び相対湿度を 18℃以上かつ 40%以上に維持する。機械換気設備が設置されていない商業施設等、または、機械換気設備等が設けられていても換気量が十分でない商業施設等は、暖房器具を使用しながら窓を開けて、居室の室温 18℃以上かつ相対湿度 40%以上を維持しつつ、適切に換気を行う必要がある。
- ② 窓開け換気について、居室の温度及び相対湿度を 18℃以上かつ 40%以上に維持できる範囲内で、暖房器具を使用しながら、一方向の窓を常時開けて、連続的に換気を行うこと。また、加湿器を併用することも有効である。
- ③ 居室の温度及び相対湿度を 18℃以上かつ 40%以上に維持しようとする、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の空気清浄機を併用することは換気不足を補うために有効であること。空気清浄機は、HEPA フィルタによるろ過式で、かつ、風量が 5m³/min 程度以上のものを使用すること。人の居場所から 10 m²程度の範囲内に空気清浄機を設置し、空気のおどみを発生させないように外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させること。
- ④ 換気の確認については、換気が必要換気量を満

たしているかを確認する方法として、室内の二酸化炭素濃度を測定し、その値が 1000ppm を超えないことを監視することも有効である。ただし、窓開け換気に加えて空気清浄機を併用する場合、二酸化炭素濃度測定は空気清浄機の効果を評価することができず、適切な評価方法とはならない。

C1.5. 新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) の感染経路について 国立感染症研究所(掲載日:2022年3月28日)⁷⁾

SARS-CoV-2 は、感染者の鼻や口から放出される感染性ウイルスを含む粒子に、感受性者が曝露されることで感染する。その経路は主に3つあり、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）、である^{7),8)}。また、感染者との距離が近いほど（概ね 1-2メートル以内）感染する可能性が高く、距離が遠いほど（概ね 1-2メートル以上）感染する可能性は低くなる^{8),9)}。特に換気が悪い環境や密集した室内では、感染者から放出された感染性ウイルスを含む粒子が空中に漂う時間が長く、また距離も長くなる。こうした環境に感染者が一定時間滞在することで、感染者との距離が遠いにもかかわらず感染が発生した事例が国内外で報告されている^{10),13)}。

C1.6. 緊急提言 (20220714) における換気対策¹⁴⁾

C1.6.1. 2つのエアロゾル感染への対策

これまでの換気対策では、換気によって空気中のエアロゾルを排出するために、換気量を確保することが求められたが、この提言では、以下に示すエアロゾル感染の特性を考慮して効率的な換気の実施を求めている。

感染者から放出されるウイルスを含むエアロゾルは、1μm 以下の微小なものから 100μm を超えるものまで含まれている。大きなエアロゾル

は、重力によって落下するが、落下しないエアロゾルは空気中に浮遊する。空気中で水分が蒸発して秒単位の速さで縮小してより浮遊しやすくなる。エアロゾルは咳やくしゃみなどの放出速度が速い場合は前方に飛ぶが、小声での会話やマスク着用時など放出速度が低い場合は、室内気流に乗って運ばれる。特に気流が弱い室内では人体発熱による上昇気流に乗る。しかし、多くの場合は空調や換気等によって気流があるため、その気流に乗って移動する。

このため、感染者の風下では、小さい粒径ばかりではなく大きな粒径のエアロゾルも伝搬する。それに対して、距離が大きい場所では大きな粒径は落下し、小さなエアロゾルは拡散によって薄められる。しかし、換気が悪い場合には、拡散したエアロゾルが空間内で蓄積され、距離にかかわらずエアロゾル濃度が高くなる。このようなエアロゾルの挙動を考慮して、A 大きなエアロゾルが伝搬する風下での感染と B 換気の悪い空間でのエアロゾルの拡散充満による感染の双方に対処する必要がある。

C1.6.2. エアロゾル感染対策のための効果的な換気方法

エアロゾル感染対策のための効果的な換気方法として、上記の A の対策として空気の流れに配慮すること、上記の B の対策として換気量の確保が必要である。室内でエアロゾル発生が多いエリアから排気し、その反対側から外気を取り入れることで、風下での感染雄リスクを抑えると同時に、室内のエアロゾル濃度を効率的に抑制することが出来る。このような空気の流れを作るために、厨房換気扇や扇風機を用いて排気し、反対側の窓やドアを利用する。このような空気の流れが作れない場合には、空気清浄機でエアロゾルを捕集する必要がある。

従来指摘されている通り、夏期や冬期には外気の流入による室内環境の悪化に注意する必要がある。室内温湿度、CO₂濃度をモニターして、暖冷房、換気を調整することが必要である。

C1.6.3. 空気の流れを阻害しない飛沫防止対策

飛沫感染防止のために、特にマスクが使用できない場合には飛沫防止境界（パーティションやカーテン等）が必要である。しかし、高いパーティションや天井からのカーテンなどによって、空気の淀みが発生してエアロゾルの濃度が高くなる。空気の淀みが生じないように、パーティションの高さを低くし、空気の流れに沿う方向に設置する必要がある。

C1.6.4. 施設の特性に応じた留意点

高齢者施設、学校、保育所等の特性に応じた留意点の中で、高齢者施設については空気の流れに関する留意点が以下のように示された。

- ① 望ましい空気の流れは、“エアロゾルを発生させる人⇒ファン(サーキュレータ・扇風機)⇒排気口(換気扇(排気)・窓+ファン)”。ファンはエアロゾルを発生させる人の風下側に設置し、その間には立ち入らないこと。(介護の場合は、介護者(マスク着用)⇒被介護者⇒扇風機⇒排気口[排気扇や窓])
- ② マスクを着用していない有症状者に対し、食事、入浴、口腔介助のように飛沫が飛散する介護を行う場合、フェイスシールドとマスクの二重使用による飛沫対策を行うとともに、大量に発生するエアロゾルに対応できるよう、局所的な換気対策を実施。
- ③ 空気がスムーズに流れるように、ファンの強さや位置を調整。(空気が流れる方向を、スモークテスター、線香、ティッシュや糸などを利用して確認。)
- ④ 二酸化炭素濃度測定器を設置することにより、更衣室、脱衣所、職員休憩室の換気状況を常に確認するとともに、必要に応じて同時に利用する人数を制限。

D. 結論

D1. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

COVID-19 パンデミックに際し、政府機関によって換気の必要性が啓発された。夏期の熱中症、

冬期の寒さ対策を踏まえた換気対策を示すなど、WHO等の国外の情報、国内のクラスター調査の知見を踏まえ、日本独自の対策が発信された。また、感染抑制に必要な換気量、空気の流れに関する定量的な知見が非常に少ないと共に、変異株の流行の影響に関する定量的な推定も困難である中、国立感染症研究所はエアロゾル感染に関する整理を行い、政府の新型コロナウイルス感染症対策分科会は、エアロゾル感染対策として、空気の流れを考慮した効率的な換気方法を示した。これらの対応は、今後の新興再興感染症への対策に影響し、パンデミック時の空調換気運転のあり方、建築設備の設計と維持管理に関する課題を提起した。

<謝辞>

厚生労働省の新型コロナウイルス感染症対策本部、クラスター対策班、国立感染症研究所、国立保健医療科学院、北海道総合研究機構、自治体・保健所等の新型コロナウイルス感染症対策関係の皆様、日本建築学会、空気調和・衛生工学会、日本臨床環境医学会、建築環境・省エネルギー機構等の新型コロナウイルス感染症対策関係の委員会各位からご助言ご協力をいただき、記して謝意を表す。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi, Shin-ichi Tanabe; Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan ;Atmosphere 14(1) 150-150, 2023.01.10
- 2) 林基哉, 環境工学からの情報発信-予期せぬ事態に専門家がとるべきスタンスとは(<連載> コロナ備忘録), 日本建築学会建築雑誌, p36-39, 2023.01
- 3) 林基哉, 建築物環境衛生研究者からみた環境過敏症 建築物の換気不良と室内空気環境の実態, 室内環境 25, p33-40, 2022
- 4) 林基哉, 【特集】COVID-19を振り返る 日本政府による新型コロナウイルス感染症のエアロゾル感染対策, 空気清浄 60 巻 5 号, 2023. 01.31
- 5) 赤松大成, 森太郎, 林基哉, 羽山広文, 新型コロナウイルス感染症流行下の寒冷地の学校教室における室内環境と換気代替手法の評価, 日本建築学会環境系論文集 Vol.803 p43-49, 2023.01
- 6) 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 下ノ 菌慧, 鍵直樹, 柳宇, 菊田弘輝, 林基哉, 接待を伴う飲食店における室内環境と感染症対策(その1): 建築設備の概要及びコロナ禍における換気運用と感染状況, 日本建築学会環境系論文集 Vol.806 p300-306, 2023.04

2. 学会発表

- 1) 川崎嵩, 菊田弘輝, 林基哉, 阪東美智子, 長谷川兼一, 澤地孝男, 新型コロナウイルス感染下における居住リテラシーに関するWEB調査 その2 冬期の調査結果, 日本建築学会学術講演梗概集, p901-902, 2022.07

- 2) 尾方壮行,山本佳嗣,鍵直樹,林基哉,田辺新一, デスクパーティションが呼吸器エアロゾル粒子への曝露に与える影響,日本建築学会学術講演梗概集,p1331-1332,2022.07
- 3) 金勲,阪東美智子,小林健一,下ノ菌慧,鍵直樹,柳宇,菊田弘輝,林基哉, 接待を伴う飲食店における換気と室内環境 感染症対策に関する実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集,p1355-1358,2022.07
- 4) 山本直輝,菊田弘輝,長谷川麻子,林基哉, 新型コロナウイルス感染症のクラスター感染が発生したコールセンターの空気環境, 日本建築学会学術講演梗概集,p1547-1548,2022.07
- 5) 赤松大成,森太郎,五宮光,林基哉,羽山広文, 換気方式の異なる室内空間における換気効率の比較, 日本建築学会学術講演梗概集,p2093-2094,2022.07

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<参考文献>

- 1) 厚生労働省:“商業施設の管理権限者へ向けて「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法”, (2020.04.03)
- 2) 厚生労働省:“熱中症予防に留意した『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気について”,(2020.06.17)
- 3) 厚生労働省:“冬場における『換気の悪い密閉空間』を改善するための換気の方法”(2020.11.27)
- 4) 厚生労働省：参考資料 商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について（2020年3月30日）
- 5) Hayashi M, et al. Measures against COVID-19 concerning Summer Indoor Environment in Japan, JAR vol.3 no.4 423-434,2020.10
- 6) 厚生労働省：参考資料 冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について（2020年11月27日）
- 7) 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（2022年3月28日）
- 8) World Health Organization (WHO), “Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?” (2021); [who.int/news-room/qa-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted](https://www.who.int/news-room/qa-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted).
- 9) S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), “Scientific brief: SARS-CoV-2 transmission” (2021); www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html.
- 10) Jang S, et al. Cluster of Coronavirus Disease Associated with Fitness Dance Classes, South Korea. Emerg Infect Dis. Aug 2020;26(8):1917-20.
- 11) Cai J, et al. Indirect Virus Transmission in Cluster of COVID-19 Cases, Wenzhou, China,

2020. *Emerg Infect Dis.* 2020 Jun;26(6):1343-5.
- 12) Katelaris AL, et al. Epidemiologic Evidence for Airborne Transmission of SARS-CoV-2 during Church Singing, Australia, 2020. *Emerg Infect Dis.* 2021 Jun;27(6):1677-80.
- 13) Toyokawa T, et al. Transmission of SARS-CoV-2 during a 2-h domestic flight to Okinawa, Japan, March 2020. *Influenza Other Respir Viruses.* 2021 Oct 3.
- 14) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi, Shin-ichi Tanabe ; Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan; *Atmosphere* 14(1) 150-150, 2023.01.10

