

日本における COVID-19 エアロゾル感染に対する換気対策

Ventilation Measures against Aerosol Infection of COVID-19 in Japan

林基哉¹

1, 北海道大学大学院 工学研究院

Motoya Hayashi¹

1, Faculty of Engineering, Hokkaido University

Abstract

The importance of ventilation as one of the measures against COVID-19 is widely recognized in the world. In Japan, at the early stage of the pandemic, in March 2020, an official announcement was made about basic ventilation measures against COVID-19 by the Japanese government. They showed ventilation methods of preventing heatstroke in summer and ventilation methods of preventing cold air inlet in winter. In July 2022, the governmental subcommittee on Novel Coronavirus Disease Control provided an emergent proposal about effective ventilation methods of preventing two types of aerosol infection: infection by large aerosol on the air current and infection by small floating aerosol diffusion in a room.

Key Words: COVID-19; aerosol infection; ventilation; air current

キーワード: 新型コロナウイルス感染症, エアロゾル感染, 換気, 気流

1. はじめに

2019年11月22日、中国武漢市で「原因不明のウイルス性肺炎」が確認された後世界に広がり、WHOは2020年3月11日にパンデミック相当との認識を示した。その後の3年間に、全世界で7億6千万人超が感染しその1%が死亡、日本では3千万人超が感染しその0.2%が死亡したとされている。日本の新規感染者数は増減を繰り返し、2020年4月、8月、2021年1月、5月、8月、2022年2月、8月、2023年1月にピークを示し、死亡者数は新規感染者数に対応して変化した。緊急事態宣言等による感染対策が行われ新規感染者数増加が抑制されたが、2021年以降は感染者数が大幅に増加し死者数も顕著に増大した(図1)。

2020年2月から集団感染が確認されはじめ、2月25日に厚生労働省クラスター対策班が設置された。3月1日に、新型コロナウイルスの感染拡大の予防策として「新型コロナウイルスの集団感染を防ぐために」が公表され、集団感染の共通要因として、換気が悪く、人が密に集まって過

ごすような空間、不特定多数の人が接触するおそれが高い場所、が挙げられ、建築物の室内環境対策が緊急となった。

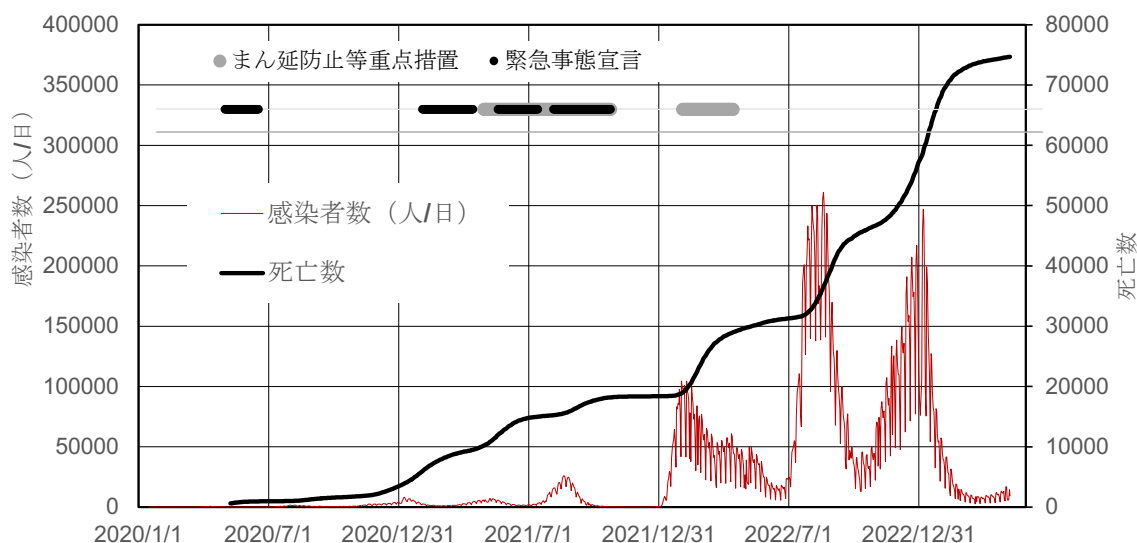


図1 COVID-19 の新規感染者数と累積死亡者数の推移(厚生労働省「国内の発生状況」)

従来、ペッテンコフファー(1818-1901)、ナイチンゲール(1820-1910)、森鷗外(1862-1922)など、医療看護、公衆衛生の視点から、建築物の室内環境の重要性が指摘されてきた。建築分野においては、感染症対策などの利用者の健康維持は最も基本的な要素であると考えられ、設計計画の基礎と位置付けられている。日本では1970年に建築物衛生法が施行され、建築物の室内環境を維持する体制が設けられている⁽¹⁾。しかし、これまでの室内環境基準は公衆衛生を維持向上させるためのもので、感染力が強いウイルスを抑制することまでは意図していなかった。危険性が高いウイルス等を扱う研究施設や医療施設に対しては特定の基準が設けられているが、このような基準を一般の建築物に適用することは不可能である。2009年に発生した新型インフルエンザ(A/H1N1)の流行を踏まえ、2013年4月13日に新型インフルエンザ等対策措置法が施行された。この法律では、患者数のピークを抑えることで健康被害を最小限にとどめるために、国民、企業、医療、行政等に様々な対応を要請・指示する措置が示されたが、建築物の室内環境に関する基準の検討は行われなかった。

一方、1970年代の石油危機を契機に省エネルギーの必要性が広く認識され、近年では地球温暖化対策が国際的な重要課題となり、建築物においてもエネルギー消費の削減が必須となっている。建築物衛生法に基づく室内環境の測定結果によると、特定建築物の室内CO₂濃度基準(1000ppm)に対する不適率(立入検査等によって基準を満たさない比率)が2000年以降上昇している。このように換気量が不足している建築物が増加しているが、この要因として省エネルギーのための換気量の抑制が挙げられている(図2)⁽²⁾。換気量の不足は、室内空気環境を悪化させ様々な健康影響をもたらすと共に、室内でのウイルス感染リスクを増加させる。なお、2021年度にCO₂の不適率が急激に低下したのは、後述の換気対策の影響であると考えられる。

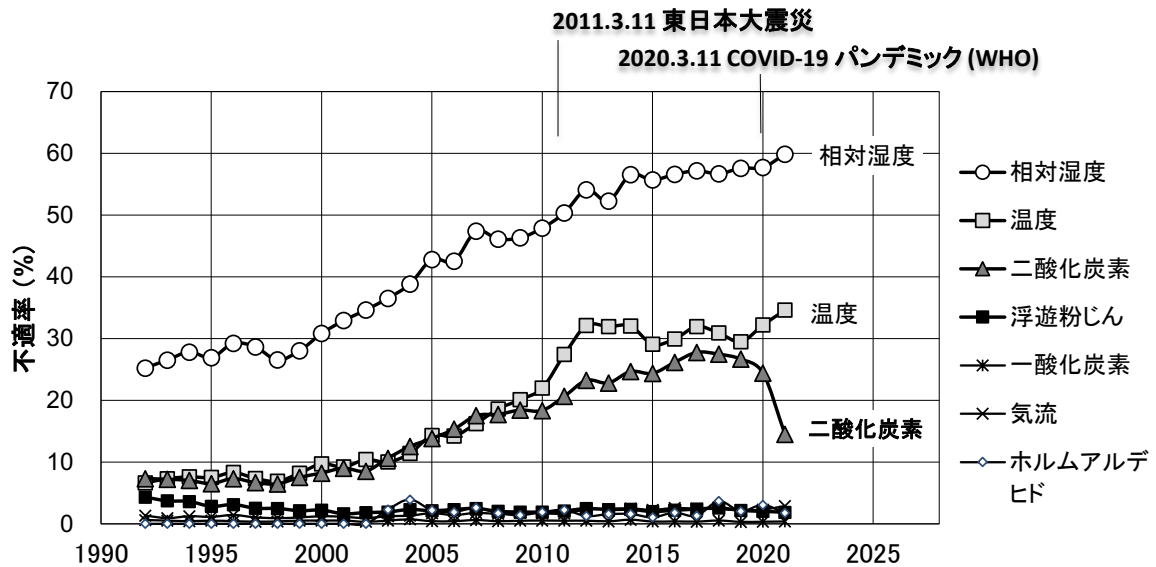


図2 建築物衛生法特定建築物の空気環境不適率の推移 (厚生労働省行政報告例)

従来、感染経路には接触感染、飛沫感染、空気感染の3つがあるとされてきた。新型コロナウイルスについては、当初空気感染は否定されていたが集団感染の調査などによって空気感染の可能性が否定できないことが指摘された。つまり、感染者の咳や発声等に伴う飛沫を近距離で吸引することによる感染ばかりではなく、室内空気中に浮遊したエアロゾル中のウイルスを吸引することによる感染の可能性が示されたのである(図3)。後者は、感染拡大の当初「マイクロ飛沫感染」と呼ばれ、その後に「エアロゾル感染」と呼ばれるようになった。

感染者から放出されたウイルスを含む飛沫は、大きな粒径のものは重力落下するが、ほとんどの飛沫は空気に浮遊して移動する。放出後に飛沫中の水分が蒸発して縮小しより浮遊しやすくなる。ウイルスの直径は約 $0.1\ \mu\text{m}$ であるためそれ以下の飛沫にはウイルスは含まれないと考えられるが、 $0.1\ \mu\text{m}$ を超える飛沫中のウイルスは空気中に長時間浮遊する(図4、表1)。エアロゾル感染の可能性として、2つの感染機構が考えられる。一つは、空調や気流によって比較的大きな粒径が到達することによる感染(風下感染)である。大きな粒径の飛沫には、多くのウイルスが含まれている可能性が高く、被感染者は多くのウイルスに暴露されると考えられる。もう一つは、空間中に拡散して充満した比較的小きな粒径の飛沫による感染(空間拡散感染)である。換気の悪い部屋では、感染者から放出された飛沫の濃度が上昇する。在室時間が長いとウイルス濃度が高い空気をより多く吸引することになる。エアロゾル感染リスクの定量化は現在においても非常に難しいが、浮遊飛沫(エアロゾル)の挙動を踏まえ、風下感染と空間拡散感染の双方に配慮することが必要であると考えられる。

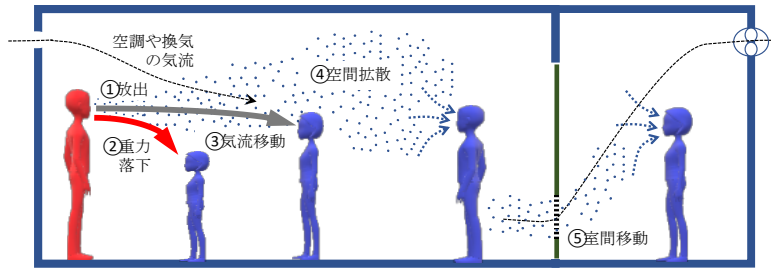


図3 室内環境中の浮遊飛沫(エアロゾル)の挙動

表1 室内における飛沫の挙動と感染リスクへの影響

現象	挙動	感染リスクへの影響
① 放出	ウイルス(約 $0.1\sim m$)を含む飛沫が呼吸・会話等で放出。放出後の水分蒸発により室内湿度に対応した粒径に変化。	飛沫には、 $10^{-1}\sim 2$ (m)の粒径が含まれ、放出量・粒径構成は、感染者の症状、行為、マスクの効果等によって異なる。
② 重力落下	粒径が大きいほど落下速度が速い。	放出速度、被感染者との高低差・距離が、到達飛沫量、感染リスクに影響。
③ 気流移動	空調(暖冷房)等の気流によって移動する。	風下感染 $300\sim m$ 程度以下の飛沫は、室内気流にともなって風下に移動。
④ 空間拡散	室内空間中で拡散し、浮遊飛沫濃度を高める。	空間拡散感染 浮遊飛沫濃度がウイルス吸引による感染リスクに影響。
⑤ 室間移動	浮遊飛沫は、他室への気流によって移動する。	室内浮遊飛沫濃度、移動量、他室の換気・気流が、感染リスクに影響。

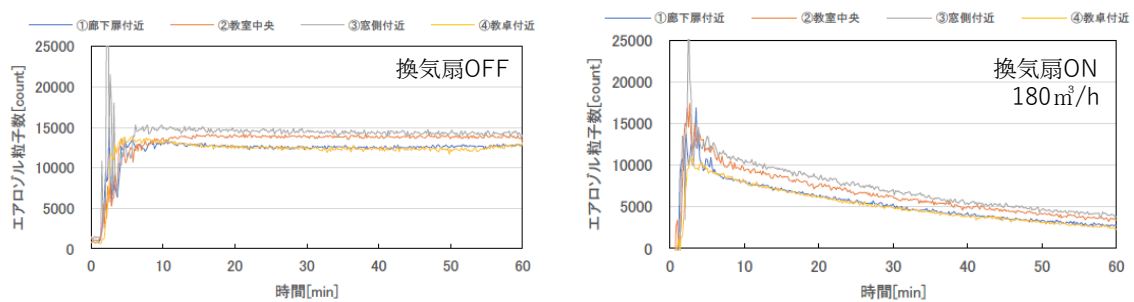


図4 室内における浮遊飛沫(エアロゾル)濃度の推移⁽³⁾

2. COVID-19 に対する換気対策

新興感染症に対しては、その感染力や重症化リスクなどの感染対策の基礎情報が不明な段階で、対策を進めなければならない。このため、進行する感染事例の分析によって対策を立案し、速やかに実施することが重要である。厚生労働省は2020年2月25日にクラスター対策班を設置して、個別のクラスター感染の拡大抑止を図るとともに、クラスター感染の要因分析を行った。この分析に基づいて、厚生労働省は3月1日に「新型コロナウイルスの集団感染を防ぐために」⁽⁴⁾を公

表した。その中で、換気対策の必要性が示された。その背景には、日本の建築物における換気の全体像が不明であると共に、換気に関する基準を満たさない、場合によっては大幅に換気量が少ない建築物が存在している可能性が否定できないことがある⁽²⁾。

厚生労働省は、クラスター対策班によるクラスター感染事例の分析、建築物衛生法に係る換気の実態等を踏まえ、2020年3月30日に「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」⁽⁵⁾を公表し、建築物衛生法に対応した換気量の確保の徹底と、換気設備の調整や窓開けによる換気量の増加を推奨した。

2020年4月中旬から建築物衛生分野の研究者らによって夏期に向けた換気対策の検討が行われ、国立保健医療科学院のウェブサイトで公表⁽⁶⁾⁽⁷⁾された。5月26日に環境省と厚生労働省は、自治体等に「令和2年度の熱中症予防行動について(周知依頼)」⁽⁸⁾を通知し、新型コロナウイルス感染症対策を踏まえた熱中症予防の周知を求めた。また、厚生労働省は有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、推奨される方法を検討し、6月17日に「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(参考資料)」⁽⁹⁾を公表した。

厚生労働省は、冬期の外気温が低い環境下において、換気の悪い密閉空間の改善と適切な室温及び相対湿度の維持をどのように両立するかについて、有識者の意見を聴取し、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、11月27日に「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」⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾を公表した。

令和2年度厚生労働科学研究「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」の一環でクラスター感染が発生した病院に関する空調換気調査が行われた。クラスター感染が発生した病院9件を対象に、感染時の換気及びエアロゾル挙動に関する調査を行った。病棟内の広い範囲の患者と医療スタッフが感染した場合とネーザルハイフロー(NHF)等のエアロゾルが発生する医療行為にともなった感染が指摘された場合がある。厚生労働省は、この結果に基づいて2021年4月7日に事務連絡「新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について」⁽¹²⁾を出し、保健所などに対応を求めた。

国立感染症研究所は2022年3月28日に、「新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の感染経路について」⁽¹³⁾を示し、「エアロゾル感染」を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による感染と記した。新型コロナウイルス感染症対策分科会は、2022年7月14日に「感染拡大防止のための効果的な換気について」⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾を公表し、エアロゾル感染を室内気流の風下のエアロゾル感染と空間内に拡散充満したエアロゾルによる感染に分け、両者を踏まえた効果的な換気方法を推奨した。換気量の確保のみではなく、空気の流れを考慮した対策がエアロゾル感染の予防に必要であることを示した。建築物衛生法の空気環境基準のみでは満たせない条件を求めるに至った。

2.1 「換気の悪い密閉空間」を改善するための対策(5)

厚生労働省は、クラスター対策班によるクラスター感染事例の分析、建築物衛生法に係る換気の実態等を踏まえ、2020年3月30日に「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」を公表し、建築物衛生法に対応した換気量の確保の徹底と、換気設備の調整や窓開けによる換気量の増加を推奨した。以下にその概要を示す。

厚生労働省は、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」（令和2年3月9日及び3月19日公表）を受けて、「換気の悪い密閉空間」を改善するために、多数の人が利用する商業施設等における換気等の措置について、有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察した。その結果、「換気の悪い密閉空間」はリスク要因の一つに過ぎず、1人あたりの必要換気量を満たすだけで、感染を確実に予防できるということまで文献等で明らかになっていないことを踏まえて、以下の見解を示した。建築物衛生法における空気環境の調整に関する基準に適合する、必要換気量(1人あたり毎時30m³)を満たすことを、「換気が悪い空間」には当てはまらない条件とした。それに基づいて、以下のいずれかの措置を講ずることを商業施設等の事業者に推奨した。

機械換気(空気調和設備、機械換気設備)による方法として、建築物衛生法における特定建築物に該当する商業施設等については、同法に基づく空気環境の調整に関する基準が満たされていることを確認し、満たされていない場合、換気設備の清掃、整備等の維持管理を適切に行うことを求めた。特定建築物に該当しない商業施設等においても、建築物衛生法の考え方に基づく必要換気量(1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1人あたりの必要換気量を確保することも可能であることを示した。窓の開放による方法について、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)とること、空気の流れを作るために複数の窓がある場合に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にはドアを開けること、を推奨した。なお、施設の管理権限者は以上を踏まえて維持管理することに留意することが求められた。なお、特定建築物とは、興行場、百貨店、集会場、遊技場、店舗等の用途に供される延べ床面積が3,000m²以上の建築物等であって、多数の者が使用・利用するものをいう。

3月31日には「新型コロナウイルス感染症の大規模な感染拡大防止に向けた職場における対応について」を通知し、その中でも上記の対応を要請し、4月2日には「特定建築物における空気調和設備等の再点検について」を通知し、改めて換気量確保の徹底を要請した。合わせて、4月3日に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』を公表し、特定建築物と特定建築物以外の建築物における換気対策のガイドを示した¹⁾。

これらの通知等においては、1人あたり必要換気量約30m³を毎時確保することを基本としている。これは、既往の換気設計で確保されるべき換気量の確保を最低条件として示したことを意味する。さらに、クラスター発生の要因である密集への対策を踏まえ、居室単位の必要換気量ではなく1人当たりの必要換気量を確認し、不足する場合には在室者数の制限を求めた。前述の通り新型コロナウイルスの感染を抑制するための必要換気量が明らかになっていない中で、窓開け換気の励行が推奨された。しかし、窓の有無、開口面積や方位など、様々な条件で期待される効果が異なるため、具体的方法の表示は困難であった。

5月4日の新型コロナウイルス感染症対策専門家会議で、「新型コロナウイルスを想定した『新しい生活様式』」が示され、感染防止の3つの基本である①身体的距離の確保、②マスクの着用、③手洗いや、「3密(密集、密接、密閉)」を避ける等の対策をこれまで以上に取り入れた生活様式の実践が求められた。

2.2 夏期における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気⁽⁶⁾⁻⁽⁹⁾

2020年4月中旬から建築物衛生分野の研究者らによって夏期に向けた換気対策の検討が行われた。梅雨時や夏期には、窓の開放によって冷房や除湿の効果が得られなくなり、室内環境が悪化し、熱中症、不眠、カビ・ダニによるアレルギー症状などの健康リスクが高まる可能性がある。このため、夏を前に新たな知見の収集、用途ごとの換気空調対策、熱中症対策を踏まえた感染対策について検討し、5月20日に「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提言」がまとめられ、国立保健医療科学院のウェブサイトで公表された。

この提言では、換気量等の具体的な基準値を示すことが難しい状況の下で、夏期の熱中症対策のために換気量を抑制せざるを得ないことを踏まえ、図5に示すように推奨される空調・換気の対策を示している。

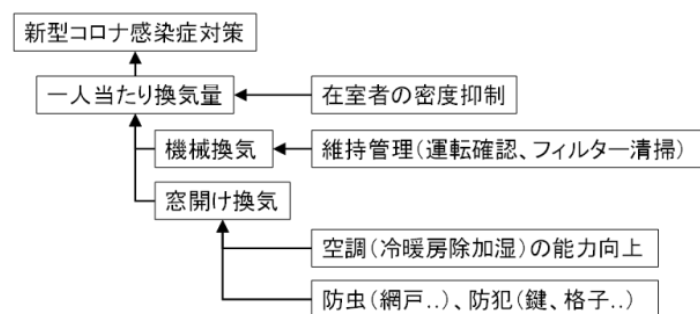


図5 夏期の新型コロナウイルス感染症対策のための換気

この提言では、以下の結語を示した。

【す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。

5月26日に環境省と厚生労働省は、自治体等に「令和2年度の熱中症予防行動について(周知依頼)」を通知し、新型コロナウイルス感染症対策を踏まえた熱中症予防の周知を求めた。また、厚生労働省は有識者の意見を聴取しつつ、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、推奨される方法を検討し、6月17日に「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(参考資料)」を公表した。

換気機能のない冷暖房設備しか設置されていない商業施設等の場合、最高気温が30℃以上の真夏日や、35℃以上の猛暑日のように外気温が高いときは、必要換気量を満たすための換気(30分ごとに1回、数分間窓を全開にする)を行うと、ビル管理法で定める居室内の温度(28℃以下)及び相対湿度(70%以下)の基準を維持できないことが想定されるため、熱中症の発生を防止するために以下に留意して換気等を行う必要があるとした。

居室の温度及び相対湿度を28℃以下及び70%以下に維持できる範囲内で、2方向の窓を常時、できるだけ開けて、連続的に室内に空気を通す。この際、循環式エアコンの温度をできるだけ低く設定する。1方向しか窓がない場合は、ドアを開けるか、天井や壁の高い位置にある窓を追加で開けることを示した。

居室の温度及び相対湿度を28℃以下及び70%以下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も有効であり、併用に当たっては、空気清浄機は、HEPA フィルターによるろ過式で、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10m²(6畳)程度の範囲内に空気清浄機を設置すること、空気のおよ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に留意することを求めた。

換気機能を持つ空調設備が設置された建築物では、ビル管理法における空気環境の調整に関する基準に適合するように空調設備の外気取り入れ量等を調整することで、必要換気量(1人あたり毎時30m³)を確保し、居室の温度及び相対湿度を28℃以下及び70%以下に維持することを示した。以上のように、窓を開けて換気する場合の留意点、空気清浄機を併用する際の留意点などが示された。さらに、「新型コロナウイルスに関するQ&A(一般の方向け)」で、本格的な夏の到来の中で、家庭用エアコンと換気についての情報を発信した。熱中症予防にはエアコン等を使用することが必要であることを示すとともに、一般的なエアコンに換気機能がないことへの注意喚起を行った。また、室内の空気が1時間に2回以上入替わるような換気を確保することを推奨するとともに、24時間換気システムなどの機械換気の利用方法を示した。

2.3 冬期における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

厚生労働省は、冬期の外気温が低い環境下において、換気の悪い密閉空間の改善と適切な室温及び相対湿度の維持をどのように両立するかについて、有識者の意見を聴取し、文献、国際機関の基準、国内法令基準等を考察し、その結果を以下のようにまとめた。

換気機能を持つ冷暖房設備や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(1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。換気機能を持つ冷暖房設備や機械換気設備が設置されていない商業施設等、又は、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。一方向の窓を常時開けて連続的に換気を行うこと、加湿器を併用することも有効であることに留意することを求めた。

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。併用に当たっては、空気清浄機は、HEPA フィルターによるろ過式で、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 10m² (6 畳) 程度の範囲内に空気清浄機を設置すること、空気よ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、に留意することを求めた。

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 CO₂ 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。但し、窓開け換気に加えて空気清浄機を併用する場合、CO₂ 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ことを示した。

以上のように、厚生労働省は季節ごとに気象条件に応じた換気対策を推奨してきた。この背景には、我が国の建築物の室内環境に起因する健康リスクの実態がある。1990 年代以降に顕在化したシックハウス症候群、化学物質過敏症、建築物衛生法の特定建築物における空気環境基準を満たさない建築物の 1999 年度以降に見られる増加、事務所ビルにおけるシックビルディング症候群に関する実態が報告されている(厚生労働科学研究「建築物衛生管理基準の検証に関する研究」等)。また、真菌・ダニ等によるアレルギー、室内温度がリスク因子となる高血圧症、脂質異常症、温度差が原因で発症する虚血性心疾患、脳血管疾患等の多様な住居環境に係る健康リスクに関する医学分野の知見の整理が行われている(厚生労働科学研究「健康増進に向けた住宅環境整備のための研究」等)。感染対策のための換気量増大は、室内空気質を向上させる面があるが、温湿度環境を悪化させる場合があるため、換気量には上限が必要である。しかし、感染対策のために必要な換気量が明らかになっていないことから、季節の気象と室内温湿度条件を踏まえた窓開放の方法を示すにとどまっている。

図 6 に示すように、窓開放による換気は、外部風と内外の温度差の影響を受ける。中間期には、換気量の確保による室内温湿度への影響は小さいが、夏期や冬期には影響が大きい。特に内外の温度差が大きい冬期には、換気量の影響が大きいいため、より安定した換気量を維持できる開放の方法が望まれる。このため、感染拡大初期に推奨された、外部風の影響を受けより換気量が確保できる二方向の開放に代わって、一方向の開放が推奨された。一方向の開放は、外部風の風向風速の影響を受けづらいために、内外の温度差による開放程度の調整によって、比較的安定した換気量が確保できる。また、外気流入による温度低下を防止するために、窓の近くの放熱器による加温、非使用空間経由の外気導入による温度緩和(2 段階換気)を推奨した。

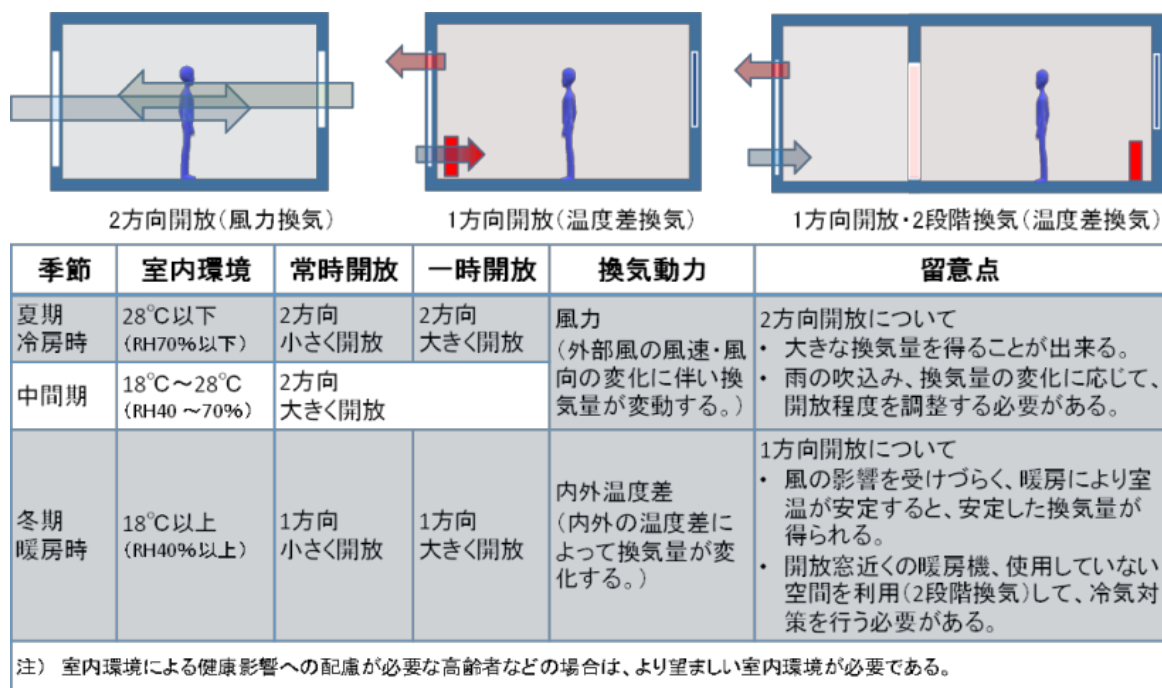


図6 季節の気象条件を踏まえた換気方法

2.4 新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について⁽¹²⁾

令和2年度厚生労働科学研究「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」の一環でクラスター感染が発生した病院に関する空調換気調査が行われた。クラスター感染が発生した病院9件を対象に、感染時の換気及びエアロゾル挙動に関する調査を行った。病棟内の広い範囲の患者と医療スタッフが感染した場合と、ネーザルハイフロー(NHF)等のエアロゾルが発生する医療行為にともなった感染が指摘された場合がある。空調換気設備は、日本医療福祉設備協会発行の病院設備設計ガイドライン等を踏まえて設計施工されている。病室は給気の場合と給排気の場合があり、病室気圧は正圧・等圧が多いが一部で陰圧がある。感染起点の病室及び病棟全体の換気等の調査(①空調換気方式・維持管理、②病室気圧、③給排気風量、④出入口・廊下の気流方向)を行った。また、病室空気の流出に関する現場実験(CO₂及びエアロゾルをベッド上で発生させ各所の濃度応答を測定)を行った。この他に、NHFからのエアロゾル発生と拡散等に関する調査が行われた。

多くの事例で出入口は常時開放され、エアロゾルが廊下に流出した。また、病室の換気回数が0.0～1.1(平均0.5)回/hと少なく夜間7時間停止していた事例や、病室給気量は設計値に近いが排気量が少なく定期的に給気が停止した事例があった。調査を通じて以下の問題が指摘された。設備の老朽化、省コスト等のための一時的換気停止によって、換気量が設計値より減少し、感染者から発生したエアロゾルの濃度が上昇した。病室が等圧又は正圧であり、病室出入口の開放によって、感染者から発生したエアロゾルが廊下に流出し他の部屋に流入した。NHFによって、エアロゾルが連続的に発生した。

病室の換気量の確保、気圧管理、出入口開閉に関する配慮が十分に行われていれば、クラスター感染の状況が異なった可能性は否定できない。新型コロナウイルス感染者への治療に際しては、

空調換気設備の点検、維持管理及び補修・改善、出入口の開閉の配慮など対策が必要であることが示された。

厚生労働省は、この結果に基づいて2021年4月7日に事務連絡「新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について」を出し、保健所などに以下のように通知し、対応を求めた。

- 1 換気量(給気量や排気量)の不足が、病院内でのクラスター感染の要因となった可能性が否定できないと考えられ、換気量が設計時に対して減少する要因として、換気設備の老朽化や省エネルギー、省コスト等のための換気量調整が挙げられます。
- 2 新型コロナウイルス感染症患者の治療に当たり、換気設備について以下の対応を検討することとして下さい。
 - ① 換気設備の換気量の測定等を行い、適切に機能していることを確認して下さい。
 - ② ①の測定の結果、適切な換気量が確保できていない場合は、フィルター等の清掃や老朽化した換気設備の補修等を行うことにより、換気状況の改善を図れるよう検討を行って下さい。なお、改善を行うまでの対策として、窓開け等により換気を行うことも考えられます。
 - ③ 医療機関等から換気状況の改善方法等について相談があった場合は、必要に応じて、建築物衛生法担当部局と連携を図ってください。

2.5 新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の感染経路⁽¹²⁾

国立感染症研究所は2022年3月28日に、新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)の感染経路に関する見解を以下のように示した。「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接触したか、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⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。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⁽¹⁵⁾⁽¹⁸⁾。」

2.6 感染拡大防止のための効果的な換気⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾

政府の新型コロナウイルス感染症対策分科会は2022年7月14日に、エアロゾル感染対策を踏まえた換気対策を含む緊急提言を行った。以下にその概要を示す。

- ・2つのエアロゾル感染への対策(図7)

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、1 μ m以下の微小なものから100 μ m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遅い場合は、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発生するため、その気流に乗って風下に移動する。

このため、感染者の風下では、小さい粒径のみ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、距離が長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。

換気対策の考え方

①エアロゾル感染+②飛沫感染（※）の対策が必要 （※）飛沫感染：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により感染すること。

① エアロゾル感染の対策

- エアロゾル粒径と感染の関係が明らかになっていないため、A+Bの対策が望ましい。

A 大きい粒径が到達する風下での感染の対策
人の距離を確保、横方向の一定気流を防止（扇風機首振り・エアコンスイングなど）

B 小さい粒径が浮遊する空間内での感染の対策
必要な換気量（1人当たり30m³/h以上、CO₂濃度1000ppm以下）を確保

② 飛沫感染の対策
マスクの装着、飛沫放出が多い場合には直接飛沫防止境界（パーティションなど）を設置

室内環境中の飛沫の挙動と伝搬の可能性

対策の要点

<p>① 空間のエアロゾル除去（換気）性能の確保</p> <ul style="list-style-type: none"> 換気量（CO₂濃度）基準を満たすことは、多くの建物の換気設備で可能。 換気設備の性能が不十分な場合は、窓開け換気を実施。 <p>② エアロゾルの発生が多い行為等への対応</p> <ul style="list-style-type: none"> エアロゾル発生が多い行為（口腔ケア、激しい運動）が想定される場合には、A 風下での感染+B 空間内に拡散することによる感染の双方を十分に配慮。 	<p>③ 換気量増加（窓開け換気）の副作用への配慮</p> <ul style="list-style-type: none"> 冬期には寒さ（ヒートショック等）、夏期には暑さ（熱中症等）と湿気（結露による真菌細菌等）に配慮。 夏期には、温度計を設置し室温をモニターしながら冷房と換気を同時に行い、熱中症とならないよう工夫。 窓開けが難しい場合には、CO₂濃度を確認した上で、必要に応じて人の密度を抑制（人距離確保と感染者が存在する確率を抑制）、空気清浄機を利用。
---	---

図7 換気対策の考え方1（新型コロナウイルス感染症対策分科会 2022/7/14）

・エアロゾル感染対策のための効率的な換気方法

エアロゾル感染対策のための効率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（図8）。

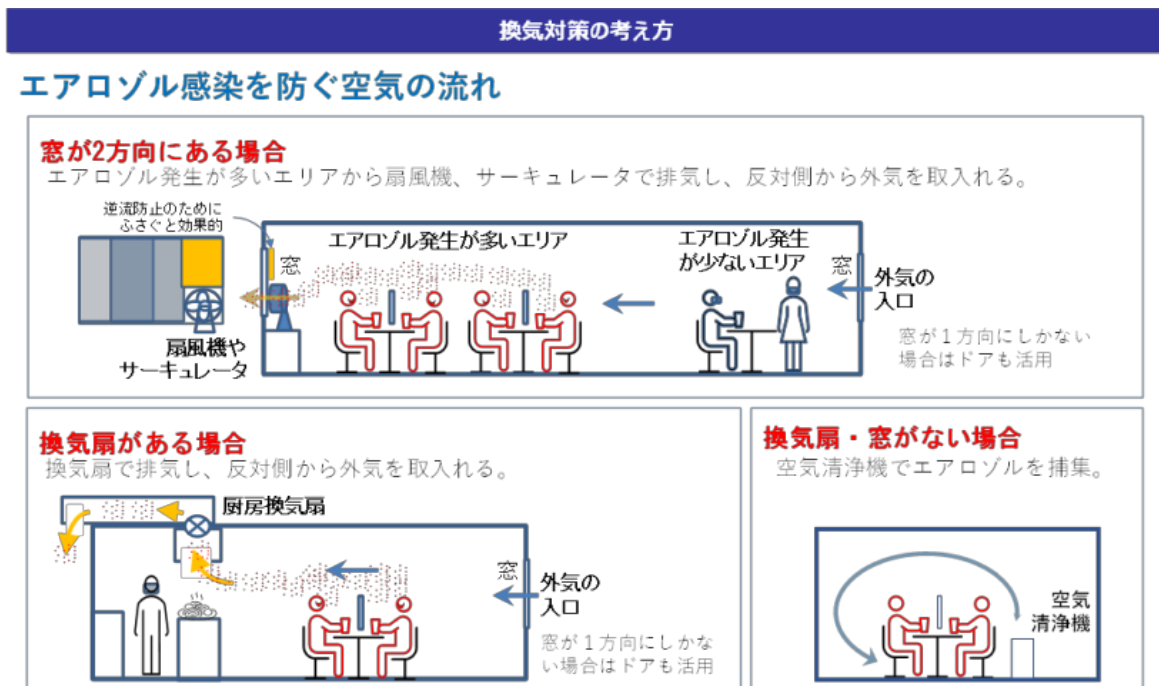


図8 換気対策の考え方2（新型コロナウイルス感染症対策分科会 2022/7/14）

・ 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（図9）。

換気を阻害しないパーティションの配置について

- 空気の入口（給気口）と出口（排気口）を確認
- 空気の流れを阻害しないようにパーティションを配置

[高いパーティションを用いる場合の留意点]

(天井からのカーテン、目を覆う程度の高さより高いパーティションなど)

- ① 高いパーティションは、空気の流れに対して平行に配置する。
- ② 高いパーティションと壁で囲まれた空間ではCO₂濃度を測定し、濃度が高い場合には空気清浄機やファン（扇風機、サーキュレータ、エアコンの送風）を用いて換気を改善する。
- ③ ファンを用いる場合には、風下での感染対策のために首振りやスイングを用いる。
- ④ 高いパーティションの隙間には気流が集中するため、その風下には席を配置しない。

[低いパーティションを用いる場合の留意点]

(目を覆う程度の高さのパーティション)

- ① 横の人との距離を1m程度以上確保できる場合は、空気によどみを作らないように、3方向を塞がないように配置する。

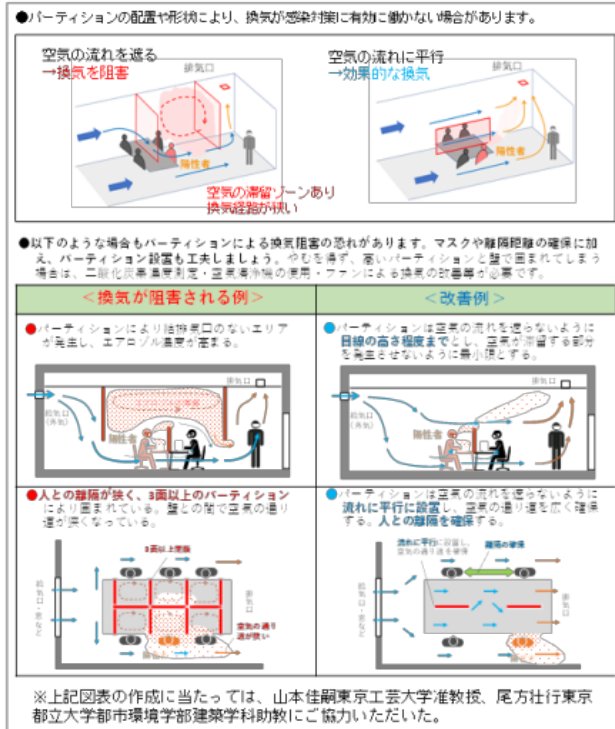


図9 換気対策の考え方3（新型コロナウイルス感染症対策分科会 2022/7/14）

・施設の特성에 応じた留意点

高齢者施設、学校、保育所等の特성에 応じた留意点の中で、高齢者施設における空気の流れに関する留意点が以下のように示された。

「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)”である。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])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に、局所的な換気対策を実施。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。)CO₂濃度測定器を設置することにより、更衣室、脱衣所、職員休憩室の換気の状態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。」

3. おわりに

エアロゾル感染制御の基本は、建築物衛生法の空気環境基準を満たすことであるが、市中感染拡大時、建築物内での集団感染発生時などリスクがより高い状況では、更なる対応が必要になる。平時から強い対策を講じることが望ましいが、換気量増加、在室密度の抑制は、暖冷房、照明、動力などのエネルギー消費の効率を低下させる可能性がある。個々の建築物内のウイルス感染症

リスクを適切に想定し、そのリスクに応じて対策レベルを変える臨機応変の方法が必要である。

地球温暖化による生態系の変化、永久凍土の融解が、感染症媒介動物の生態変化、新興ウイルス等の発生・伝搬の要因として挙げられており、地球温暖化対策は、新興再興感染症対策としても重要である。ポスト COVID-19 に向けて、省エネルギーと感染症対策の両立が大きな課題となったと考える。

本論文の内容は、政府のコロナ対策関係部署、厚生労働省クラスター対策班、国立感染症研究所、国立保健医療科学院等の関係の研究機関、自治体及び保健所、建物設備管理者等の施設関係者、日本建築学会、空気調和・衛生工学会、日本公衆衛生学会、室内環境学会、日本臨床環境医学会、日本環境感染学会、日本医療福祉設備学会、日本ウイルス学会等の関連学会、建築衛生等の関連分野の研究者（柳宇、東賢一、鍵直樹、尾方壮行、森本正一、羽山広文、森太郎、菊田弘輝、田辺新一、倉渕隆、伊藤一秀、長谷川麻子、村田さやか、山田裕巳、本間義規、小林健一、金勲、開原典子、澤地孝男、山本佳嗣、海塩渉、上野貴広他の各氏）の協力の下で行われた調査、研究、施策に基づいたものであることを記し、謝意を表す。

参考文献

- (1) 厚生労働省:“建築物における衛生的環境の確保に関する法律(昭和 45 年法律第 20 号)”, 2015.3.20
- (2) 林基哉,金勲,開原典子,小林健一,鍵直樹,柳宇,東賢一:特定建築物における空気環境不適率に関する分析,日本建築学会環境系論文集,2019; 84 (765) :1011-1018.
- (3) 松永崇孝,菊田弘輝,吉住佳子,林基哉; 学校教室を対象とした新型コロナウイルス感染症対策における換気と空気清浄の効果検証,日本建築学会大会梗概集,環境工学 I ,1267-1270,2021-07
- (4) 厚生労働省:新型コロナウイルスの集団感染を防ぐために,
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000601720.pdf>
- (5) 厚生労働省:換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法,2020 年 3 月 20 日,
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>
- (6) 国立保健医療科学院,日本建築学会: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,2020 年 5 月 20 日,
https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/arch/COVID19_summer.pdf,
<http://dx.doi.org/10.1002/2475-8876.12183>
- (7) 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
- (8) 厚生労働省:令和 2 年度の熱中症予防行動について（周知依頼） ,<https://www.mhlw.go.jp/content/000633494.pdf>
- (9) 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の方法, 2020 年 6 月 17 日,<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000640917.pdf>
- (10) 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 年 11 月 27 日,https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_15102.html
- (11) 厚生労働省:新型コロナウイルス感染症の治療を行う場合の換気設備について,2021 年 4 月 7

- 日,<https://www.mhlw.go.jp/content/000766517.pdf>
- (12) 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,
2022.3.28,<https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2484-idsc/11053-covid19-78.html>
- (13) World Health Organization (WHO), “Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?” (2021);
[who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted](https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted).
- (14) 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.
- (15) Jang S, et al. Cluster of Coronavirus Disease Associated with Fitness Dance Classes, South Korea. *Emerg Infect Dis.* Aug 2020;26(8):1917-20.
- (16) 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.
- (17) 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.
- (18) 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.
- (19) 新型コロナウイルス感染症対策分科会:感染拡大防止のための効果的な換気について,
2022.07.14https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/taisakusuisin/bunkakai/dai17/kanki_teigen.pdf
- (20) 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) 150-164, 2023.1.10