

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

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整理、興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析を行った。

新型コロナウイルスについては、これまでの感染事例から、室内空気中の浮遊飛沫（エアロゾル）による感染の可能性が指摘され、換気対策の必要性が指摘された。国内外で、浮遊飛沫（エアロゾル）感染の対策が講じられたが、換気性状と感染リスクの関係は定量的に把握することが出来ていない。二酸化炭素濃度は、換気量に左右されるため、空気中の浮遊飛沫の濃度と関係する。温湿度は、インフルエンザに関する研究によって、ウイルスの不活化速度に影響するとされている。絶対湿度が高い場合と低い場合に、不活化速度が低下するとされている。新型コロナウイルスについては、空気中の浮遊飛沫及びウイルスに関する研究が行われているが、その機序に関する結論が得られていない。建築物の室内空気環境に関する既往の調査結果によると、二酸化炭素の濃度が 2000 年以降高くなっている傾向があり、浮遊飛沫（エアロゾル）感染対策の観点で、好ましくない。冬期の相対湿度が顕著に低くなっている傾向があり、インフルエンザウイルスの感染防止の観点では、好ましくない。

浮遊飛沫（エアロゾル）感染のリスクは、建築物、空調換気設備、維持管理、空気清浄やマスクなどの感染対策など、多数の要因の影響を受ける。また、感染者の行為や症状、被感染者の行為、滞在時間などによって、被感染者が吸引するウイルス量が変わる。換気量が少なく、行為の代謝量が多い場合に感染リスクが高くなる。興行場では、施設用途によってさまざまな行為があり、感染リスクには大きな幅がある。興行場においては、用途に応じた換気対策が必要であると考えられる。

A. 研究目的

2019 年 11 月に中国武漢市で「原因不明のウイルス性肺炎」が確認され、2020 年 3 月 11 日に WHO はパンデミック相当との認識を示した。我が国では、2 月 3 日に横浜港に寄港したクルーズ船で多数の感染者が確認され、その後、屋形船、スポーツジム、病院など様々な場所でクラスター感染が発生した。厚生労働省は、2 月 25 日に「クラスター対策班」を設置し、3 月 1 日にクラスター感染に共通する条件として「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

接触する恐れが高い場所」を挙げ、換気対策の必要性を世界に先駆けて示した¹⁾。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」²⁾を示し、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」³⁾を示し、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の測定を挙げた。

1970 年に制定された「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）」では、室内の二酸化炭素（CO₂）濃度基準値が 1000ppm と

されており、特定建築物においては室内濃度の定期測定が行われ、その適合に向けて自治体が監視指導を行っている⁴⁾。CO₂濃度の基準はCO₂自体の人体影響によって定められているものではない。CO₂と共に発生する様々な空気汚染物質の人体影響を踏まえて、室内の空気環境を総合的に維持するための指標として定められている。従って、換気量を確保しこの基準値を持たすことで、新型コロナウイルスの感染をどの程度まで抑制できるかは明らかになっておらず、今後の調査研究が必要となっている。また、建築用途によって、COVID-19の感染リスクが異なると考えられるが、これまで建築用途を考慮した対策に関する研究は少ない。

本研究では、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、以下の研究を行う。

A1. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

本報告では、室内空間中の飛沫の挙動と感染、室内環境とエアロゾル感染の関係、国内外の対策の動向に関するエビデンスを整理する。

A2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

A1.に基づいて、浮遊飛沫感染機序を想定した上で、興行場内でも行為を設定して、COVID-19の感染リスクを想定する手法を策定する。さらに、室内空気環境の指標であるCO₂濃度と感染リスクの関係に関する試算を行う。

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。

以上の知見に基づいて、換気と湿度の関係性、エネルギー消費等の関連要因を踏まえた考察を行い、COVID-19をはじめ従来のインフルエンザ等の感染症対策のための室内湿度基準の考え方について検討した。最後に、建築物衛生法の空気環境基準に基づく換気空調設備の設計や維持管理における新興・再興感染症への対応のために必要となる研究課題を抽出した。

B2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

室内環境中の感染対策の基本である換気及び空気清浄による浮遊飛沫濃度の抑制に注目した分析例を以下に紹介する。図1に、建築設備・維持管理と空間拡散感染の関係を示したフローを示す。建築設備の設計・施工、維持管理の状況が、換気量、捕集効率、室内温湿度に影響し、さらにはウイルスの減少率に影響する。温湿度の影響は、ウイルスの感染力低下（不活化）の速度に影響すると考えられるが、その程度は研究の過渡にあり定量的な評価はできない。市中感染の状況、在室密度や行為などの建物利用の状況等が、室内空間中の感染者数に影響する。また、感染者の症状やマスク利用によって、ウイルスの放出量が増加する。ウイルスの減少率と放出量から、室内濃度を求めることが出来る。被感染者が吸引するウイルスの量は、この室内濃度とマスクの利用によって算出される。そして、感染の有無については、被感染者の体調等の感染しやすさ（被感染性）の影響を受けると考えられる。このフローを用いて、被感染者数を算出するためには、様々な関係性に関する定量化が必要であり、条件及び関係性を仮定すればウイルス吸引量を算出することは可能である。ここでは、空間拡散感染に関する状況が

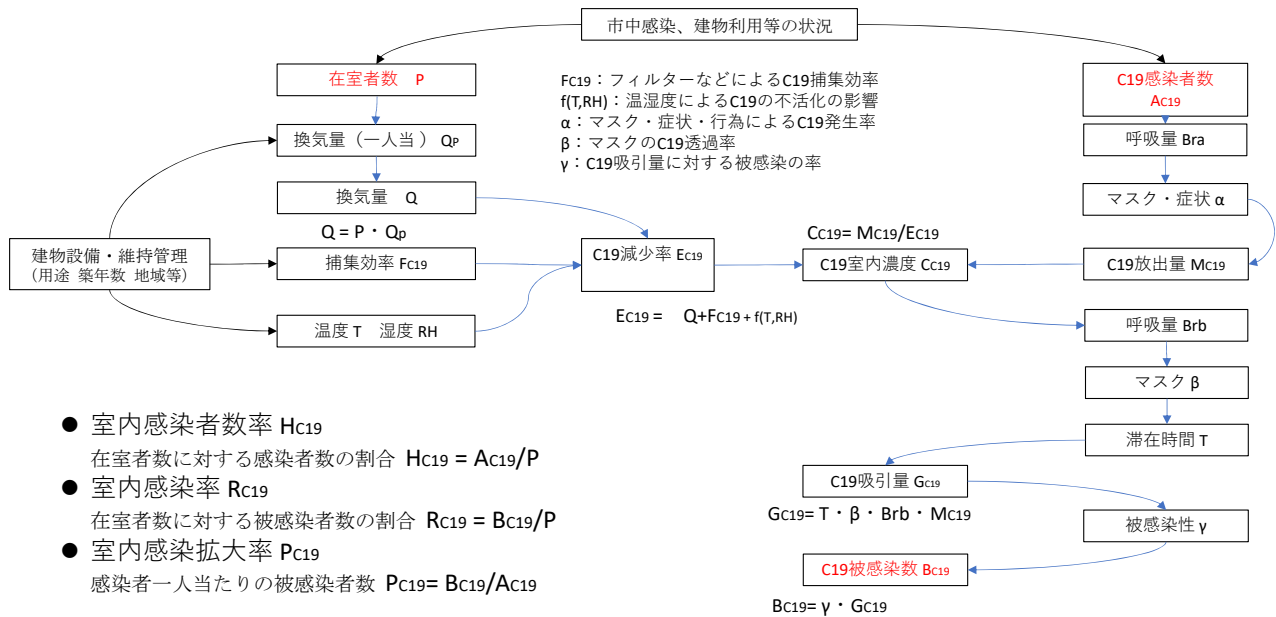


図1 建築設備の設計施工・維持管理と空間拡散感染の関係

ある程度明らかになっている広州のレストランの事例を基準に、作業レベルや室用途によってウイルス吸引量がどのように変化するか試算した結果を紹介する。この試算ではウイルス量をRNA数で表現する。インフルエンザウイルスは8つのRNAを持っており、コロナウイルスは1つのRNAを持っている。従って、新型コロナウイルスの場合、RNA数はウイルス数と一致する。

室内のCO₂濃度は、CO₂発生量と換気量から算出することが出来る。ただし、これらが変化する場合には濃度も変化することになるが、空間の大きさによってその変化の速度が異なる。従来、空間内瞬時一様拡散を仮定すれば、ザイデル式等によって濃度計算が可能である。発生量及び換気量に変化がないと、時間経過とともに換気によるCO₂の出入りが均衡して安定濃度に近づくことになる。人体からのCO₂の発生量は、活動レベルによって変化する。従って、室内での発生量は、在室人数や室用途によって異なる。室内燃焼がない場合や、厨房のレンジフード等によって燃焼ガスが発生場所から速やかに排出される場合には、室内でのCO₂発生源は人体のみであると考えら

れる。また、CO₂量は換気によって削減されるが、空気清浄機によって削減されることはない。

CO₂の発生量は、在室者数と活動レベルの影響下にあるのに対して、RNA発生量は、感染者数と活動レベルの影響下にあると考えられる。なお、活動量は呼吸量に関係し、さらにRNA発生量に関係すると考えられる。一般に大きい室では、在室人数が多いことが想定され、設計換気量が大きくなっている。しかし、感染者数は感染状況や建築用途によって異なると考えられる。具体的には、クラスター感染の場合には、初期の感染者数は少ないが、時間経過とともに多くなりRNA発生量が多くなることになる。

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

C1.1. 浮遊飛沫 (エアロゾル) 感染の機序

室内環境中でのウイルス感染の経路は、図2に示すように多様である。新型コロナウイルスの感染者からのウイルス発生量には、オーダーレベルのばらつきがあり、人体に侵入した後の感染の機序に不明な点が多い。従って、空調換気性状と感染の関係を定量的に評価することは非常に難しい。

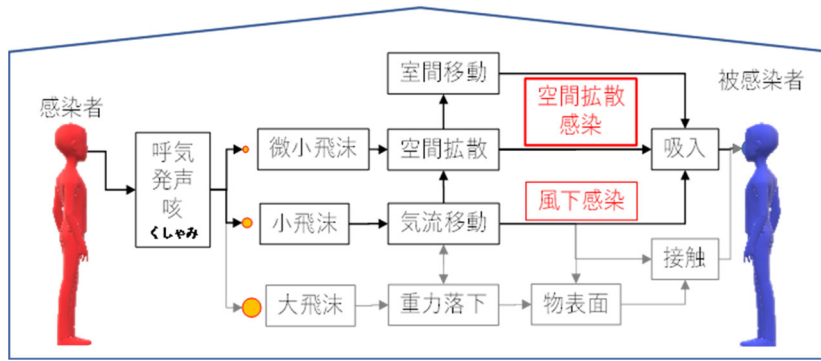


図 2 室内環境中の飛沫の挙動と感染経路

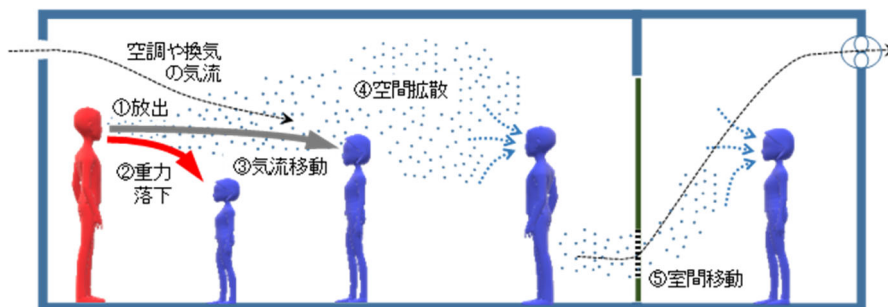


図 3 室内空気中の飛沫の挙動

図 3 に示すように、室内空気中のウイルスを含む飛沫(エアロゾル)は多様な挙動を示す。飛沫の粒径は、 $0.3\mu\text{m}$ 程度からその 1000 倍程度まで幅があると考えられる。大きな飛沫は重力落下するが、微小飛沫は、空気中に浮遊し続ける。また、微小飛沫の水分蒸発は速く、より軽くなり、より浮遊しやすくなる。また、空調換気等による室内気流の影響も受ける。このような状況を踏まえ、気流移動による風下での感染「風下感染」と空間拡散飛沫による感染「空間拡散感染」と仮に表現した。室内では「風下感染」と「空間拡散感染」が同時に発生していると考えられる。室内気流に変化がなく、人の位置関係が一定であると「風下感染」のリスクが高まり、換気量が少ないと空間内の浮遊飛沫濃度が高くなり「空間拡散感染」のリスクが高まる。さらに、高濃度の室から室間移動し他室の感染リスクを高めると考えられる。

空間拡散感染の対策として、換気による浮遊飛沫の排出、空気清浄機等による浮遊飛沫の捕集が

挙げられる。これらは、室内の浮遊飛沫濃度を低減し被感染者へのウイルス到達を抑制する方法である。いずれの場合も、感染者の近傍での排出と補修が効果的であるが、室内空間内での感染者の位置を特定することは難しいため、空間内の平均濃度を下げることが対策の基本である⁵⁾⁻¹⁷⁾。

日本における新型コロナウイルスの感染拡大の初期には、感染対策に必要な情報が不足し、温湿度の影響については、インフルエンザなどのそれ以前のウイルス感染に関する知見を参考にする必要があった。インフルエンザウイルス感染者から放出されるウイルス量は感染者によってオーダーレベルの差がある⁸⁾。また、インフルエンザウイルスに対しても、ウイルスを含む飛沫が人体に侵入した後の挙動や感染に関する機序には不明な点が多い。感染者から放出される飛沫の挙動は粒径によって異なるが、その挙動の違いがどれほど感染に影響するのか、という最も重要な点についても明らかになっていない。感染者の隔離施設につい

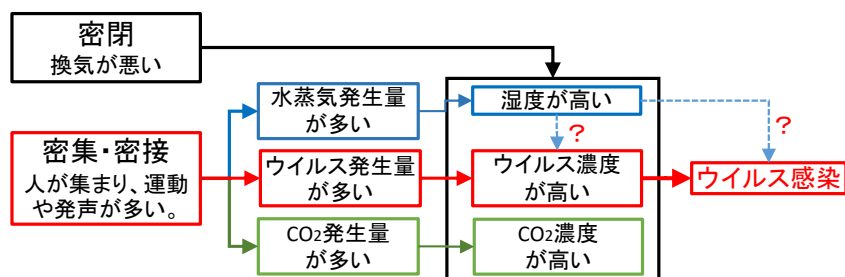


図4 クラスタ感染空間の室内空気環境の特性

ては、空気感染を防ぐための換気等の基準^{9)・16)}があったが、この基準を満たす建築物は極めて少なく、感染予防の条件とすること不可能であった。初期にクラスタ感染が発生した屋形船、レストラン、スポーツジムの室内環境の特徴として、人の密度が高いことに加え、換気が悪く、鍋料理や運動による水蒸気発生が多いことが挙げられた(図4)。人が多く運動や発声が多いと水蒸気発生量が多くなり湿度が高くなる。換気量が少なく水蒸気排出量が少なく湿度が高くなる。ウイルスや二酸化炭素(CO₂)も同様に発生量が多くなり、換気量が少ないと濃度が高くなる。従って、湿度やCO₂濃度が高い室内環境は、ウイルス濃度が高くなる特性を持つ。また、被感染者が運動や発声などで呼吸量が多くなると、ウイルスの吸引量が多くなり、感染リスクが高まると考えられる。

湿度がインフルエンザウイルスの感染に与える機構は明らかになっていない¹⁸⁾。インフルエンザウイルスに関する実験では、湿度が低いと空気中のウイルスの生存時間(感染力の持続時間)が長くなる。また、湿度が高い場合も生存時間が長くなる。気道粘膜の維持のために低湿度を避ける必要があるが、ウイルスの生存時間の点では高湿度も避ける必要があることを示唆している。クラスタ感染が発生した空間では、ウイルス濃度が高いことに加え湿度が高いことによって感染リスクが2重に高められた可能性が否定できなかった。

C1.2. 室内空気環境とウイルス感染

これまでに、温湿度とインフルエンザウイルス

の気中生存率に関する実験、室内空間での挙動や気中濃度の予測が試みられている。J.H.Hemmes他は、気中ウイルスの死滅率の変化を測定し、温湿度の影響を調べ、インフルエンザウイルスの死滅速度は、相対湿度15-40%の場合に対して、50~90%では顕著に速いことを示した¹⁹⁾。また、G.J.Harperは、気中ウイルスの生存時間を測定し、相対湿度が34~36%の場合より50~51%の場合の方が顕著に短いことを示した²⁰⁾。この結果を受け、Jeffrey Sharman他は、絶対湿度の重要性を指摘し²¹⁾、倉渕他は絶対湿度と生存率の関係性を整理して大略的に絶対湿度倍増で生存率が1/10になるとした²²⁾。F.L.Schaffer他は、インフルエンザウイルスは、50~80%RHで非常に不安定であることを示し²³⁾、Anice C.他は、動物曝露実験で20℃の条件では低湿と高湿の場合に感染伝搬力が高いことを示した²⁴⁾。

1970年に施行された建築物衛生法の建築物環境衛生管理基準では、相対湿度の範囲を40~70%としている。相対湿度の下限値の検討においては、インフルエンザウイルスの感染抑制が要因として挙げられている。冬期の相対湿度維持に必要なエネルギー消費、設備容量などの観点も配慮され、インフルエンザウイルス感染抑制に必要な最低限の相対湿度が設定されたと考えられる²⁵⁾。「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」(小林陽太郎他)では、基準値の概念としては、理想値、目標値、推奨値、許容最低限度といった各段階があることを示し、相対湿度については単独に設定する意味は少ないとしつつ、推奨値を55~70%とし

表 1 飛沫の水分蒸発と粒径変化^{34),35),36)}

Evaporation time T_e (sec)	Initial diameter r_0 (μm)	Decrease rate dr/dt ($\mu\text{m}/\text{sec}$)	Reference
0.001	1	17.20	1)
0.08	10	5.64	1)
0.8	20	4.03	2)
1.3	40	2.88	1)
2	50	2.59	3)
24	200	1.32	3)

1) W. C. Hinds, *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*, John Wiley & Sons (1982).
 2) Morawska L et al.: Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*. 40, 256–269. (2009)
 3) Xie X et al.: How far droplets can move in indoor environments – revisiting the Wells evaporation–falling curve. *Indoor air*. 17: 211–225. (2007)

許容限度の例として 35～70%を示した²⁶⁾。2003 年の建築物衛生法関連政省令改正に先んじた 2002 年 7 月の建築物衛生管理検討会（吉澤晋他）においては、「現時点では、主としてインフルエンザウイルス生存時間の観点から基準値を引下げを合理化する科学的知見は得られていないので、基準値を改訂するには至らない。温湿度条件とインフルエンザウイルスの生存時間の関係についての再現試験が行われており、この結果が得られ次第、相対湿度の基準値を再検討することが適当である」とされた²⁵⁾。

2017～2019 年に行われた厚生労働科学研究「建てる。温湿度がエアロゾル中のウイルスによる感染に与える影響は、エアロゾルの空気中の挙動への影響、物体に付着したエアロゾルへの影響、人体内における挙動及び感染への影響等が考えられる。

エアロゾルの空気中の挙動については、咳等によるエアロゾルの挙動の再現実験や気流解析等が行われている。既往の研究では、空気中のエアロゾル中の水分蒸発による粒径の縮小によってエアロゾルの到達距離が長くなることが示されている²⁸⁾。従って、粒径が小さく質量が小さいエアロゾルは、より長く空気中を浮遊することになる²⁹⁾。室内空気中のエアロゾル中のウイルスの活性は、相対湿度が 70%の時に高くなることが報告されている³⁰⁾。一方、人工唾液を用いたエアロゾル中のウイルスの活性は、相対湿度が 68～88%の場合よ

建築物衛生管理基準の検証に関する研究²⁷⁾では、湿度基準の検証のために、湿度がインフルエンザウイルスの感染に与える影響に関するエビデンス収集と検討が行われた。低温、乾燥状態ではインフルエンザウイルスの感染リスクが増大することが疫学研究で報告され、感染リスクは絶対湿度の低下率と強く関係していることが示唆された。また、鳥インフルエンザウイルスの不活性化実験では、絶対湿度が大きく関係している。以上から、相対湿度の下限値を 40%より低くする妥当性は現時点ではないとされた。

新型コロナウイルスに関する研究は、途上よりも 40～60%の場合の方が高いとする報告がある³¹⁾。

物体に付着したエアロゾルへの影響については、温度が 24～35℃、相対湿度が 20～80%の範囲で実験が行われ、相対湿度が高いとウイルスの活性が低下すること示されている³²⁾。

人体内における挙動及び感染への影響については、低温低湿の環境によって人体のウイルス感染防御機能が低下することが従来知られている^{33,34)}。

温湿度がエアロゾル中のウイルスに与える影響については不明な点が多い。インフルエンザウイルスに関する研究においても、感染力を測定したエアロゾルの粒径分布、時間経過とともに生じる物理的変化が十分に把握されていない。また、実際の環境中でのエアロゾルの挙動、物理的変化

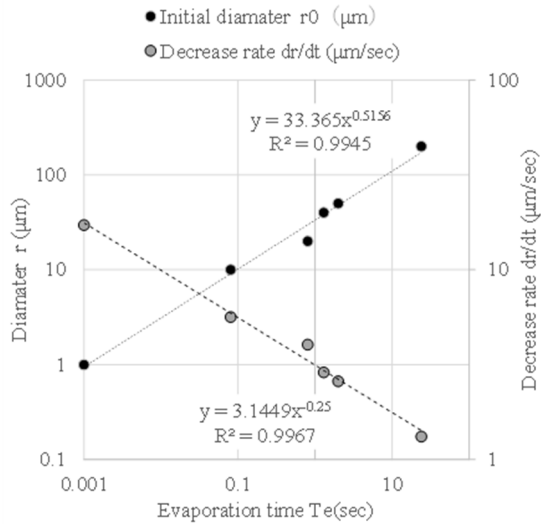


図5 飛沫の粒径と蒸発時間(表1をグラフ化)

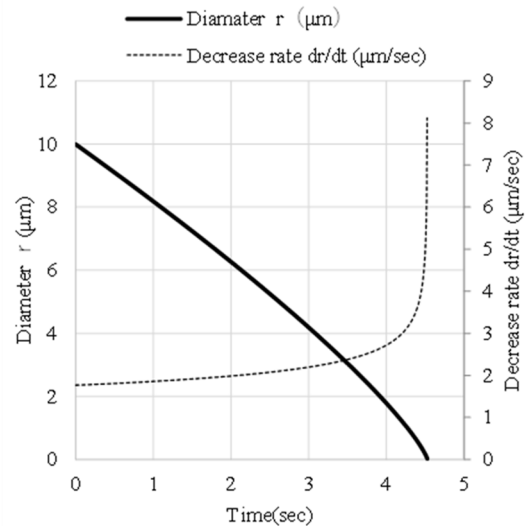


図6 飛沫粒径の変化(初期粒径 10μm)

を踏まえた、感染力の把握を行う必要がある。現在、実環境中のエアロゾルの物理的変化に関する研究、BSL3施設におけるチャンパー内のエアロゾルの感染力の実験が行われている。このような実験結果を検証し、実環境における温湿度の影響を早急に解明することが望まれる。

室内空気環境が、エアロゾルの粒径変化や空気中挙動に与える影響については、物理学的研究が従来行われている。前述の通り、人体から放出される飛沫の粒径には一定の巾があるため、粒径ごとの挙動に留意する必要がある。室内空気中では飛沫中の水分が蒸発し粒径が減少することが知られている。表1に、飛沫の水分蒸発の粒径変化を示し、図5には同表をグラフで示したものを示す。粒径が小さいほど粒径変化速度が大きくなることを示している。図6には、粒径変化速度(dr/dt)の近似式を用いて、初期粒径 10μm の場合の粒径変化を試算した結果を示す。実際には、室内空気の温湿度によって最終粒径が決まると考えられるが、この試算結果は 10μm の飛沫は 5秒以内に最終粒径になることを示している。最終粒径については、相対湿度 50%以下では元の飛沫の大きさの 40%程度、相対湿度 90%では元の飛沫の大きさの 50%程度になるとされている

37)。飛沫中の水分の率については、症状や人体内の発生場所などによって異なると考えられるため、今後の研究と新たな知見が望まれる。粒径によって、落下速度が異なると共に、浮遊性状にも影響することが知られている。図7は、温湿度が浮遊飛沫数の変化に与える影響に関する実験³⁸⁾のである。本実験では、不活化した新型コロナウイルスの懸濁液をステンレス製のチャンパー内に噴霧した後の浮遊飛沫(エアロゾル)数の推移を、パーティクルカウンター(KANOMAX Model3889)で測定した。浮遊飛沫(エアロゾル)数は、粒径によって異なる推移を示した。粒径 0.5μm 以上の数は概ね初期より減少するが、粒径 0.3μm 以下の数は約 3.5 時間(210分)にわたって次第に増加した後に緩やかに減少した。この現象の原因には、A:飛沫からの水分蒸発による粒径の減少、B:飛沫の分裂による粒径の減少、C:重力沈降や静電気による表面への吸着などが考えられる。なお、この実験では静電気防止スプレーによって静電気の影響を抑えている。また、予備実験でチャンパー内に表面結露が発生した場合に急激に浮遊飛沫(エアロゾル)数が減少したことから、表面結露が発生しないようにチャンパー天井部の温度低下を抑えるために保冷剤下部を断熱した。

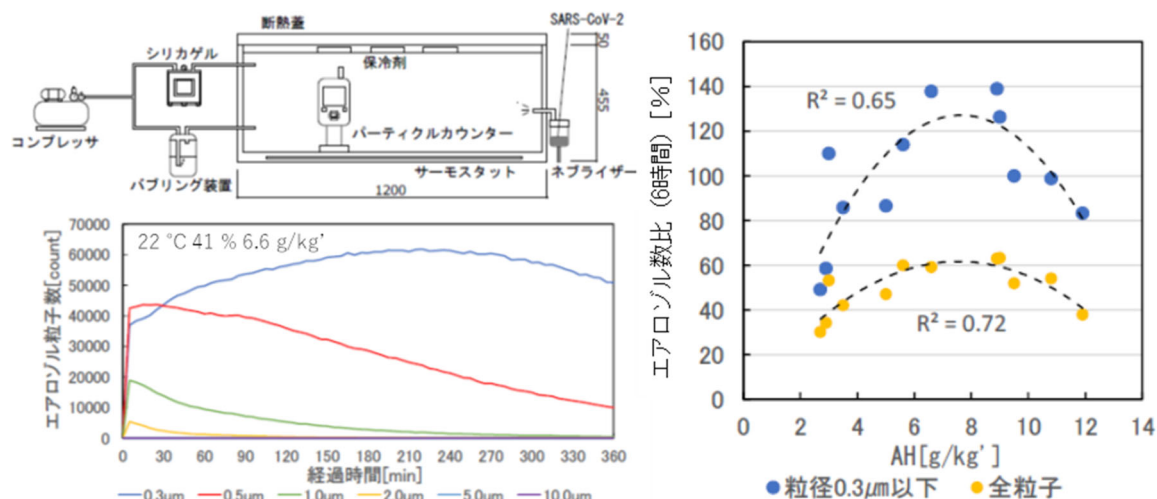


図 7 温湿度が浮遊飛沫数に与える影響に関するチャンバー実験³⁸⁾

同図右に、初期の飛沫数に対する 6 時間 (360 分) 後に浮遊している飛沫数の比 (エアロゾル数比) を示す。エアロゾル数比は、絶対湿度 AH (温度及び相対湿度) の影響を受けることが示された。温度 20°C の場合、相対湿度が 40~70RH% のエアロゾル数比が大きくなることとなった。絶対湿度 AH が低い場合には 0.3μm の比率が小さく、絶対湿度 AH が高い場合には 0.3μm の比率が比較的に大きい。このような絶対湿度の影響に関する仮説としては、絶対湿度 AH が低いことによって、静電気による吸着効果が顕著となって特に粒径が小さい浮遊飛沫 (エアロゾル) の数が減少した。また、絶対湿度 AH が高いことによって、浮遊飛沫からの水分蒸発による粒径減少や分裂が抑制されること、部分的な表面の濡れによって吸着が促進されたことによって、浮遊飛沫 (エアロゾル) 数が減少したことが考えられた。本実験は、小型のチャンバー (約 0.2 m³) を用いて行われたため、実際の室内空間での挙動と異なる可能性があるが、温湿度が浮遊飛沫 (エアロゾル) の挙動に影響することを示した。また、温湿度と感染力との関係については、今後の実験の成果が望まれる。

建築空間内での浮遊飛沫の挙動に関する測定例は少ない。冬期暖房時 (室内温度 21°C、室内相対湿度 13%) に、教室内でネブライザーから浮遊飛

沫を放出し、換気扇、空気清浄機の効果を測定した例³⁹⁾を以下に示す。本実験は、発生後のエアロゾル数の変化の状況が、新型コロナウイルスの懸濁液の場合と比較的近い、経口補水液 (OS-1) を用いて実施された。図 8 に、放出開始後の浮遊飛沫数をパーティクルカウンター (KANOMAX Model3889) で測定した全粒径合計値を示す。同図右上のグラフは換気扇を停止した場合の結果であるが、浮遊飛沫 (エアロゾル) は 5 分程度で空間内に拡散し、その数は少なくとも 60 分間にわたって全く減少しなかった。同図右下に、換気扇を運転した場合を示すが、発生終了後に浮遊飛沫数は減少し、外気濃度に近づく変化を示した。空気清浄機を運転した場合も、同様の減少がみられた。この実験では、冬期暖房時の低湿度環境においては、浮遊飛沫は空気と同様の挙動を示し、換気量及び空気清浄機の相当換気量に対応した濃度減少が生じることが確認された。

図 9 に、教室で換気扇を停止した状態での浮遊飛沫 (エアロゾル) 数の粒径ごとの推移を示す。合計値 (0.3μm、0.5μm、1.0μm) は、60 分間にわたり大きな変化はないが、0.3μm は増加するとともに、0.5μm と 1.0μm は減少した。前述の浮遊飛沫 (エアロゾル) 中の水分蒸発による秒単位の粒径変化に比べると、本実験の変化が大幅に遅いこと

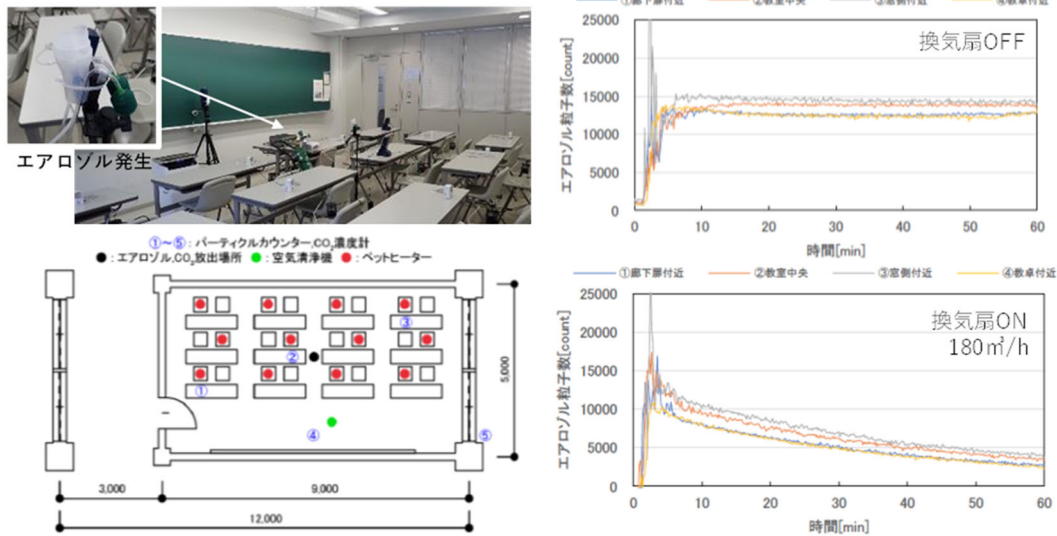


図8 換気及び空気清浄機を用いた教室の浮遊飛沫数に関する実験³⁹⁾

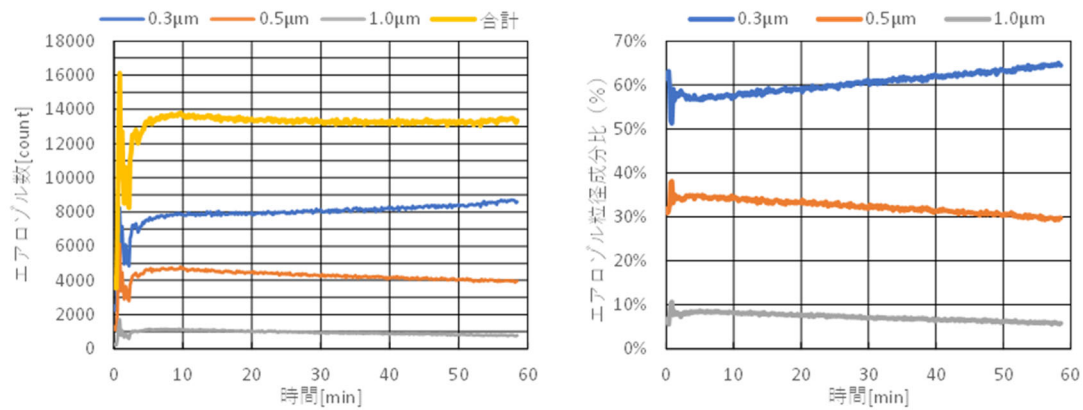


図9 浮遊飛沫の粒径別の推移(教室・換気扇 OFF)³⁹⁾

から、水分蒸発とは別の原因で粒径の小さな浮遊飛沫(エアロゾル)が増加している可能性がある。原因の候補としては、大きな飛沫が分裂して小さな飛沫を発生させたことが考えられる。

C1.3. 建築物の室内空気環境の実態

日本では、1960年代の建築物の大型化や高層化に伴って、建築物の衛生環境の悪化に伴う健康影響が指摘された⁴⁰⁾。1970年に「建築物における衛生環境の確保に関する法律(建築物衛生法)」が制定され、空調、給水等について建築物環境衛生管理基準が定められた⁴¹⁾。建築物衛生法では、興行所、百貨店、集会場、図書館、博物館、美術館、遊技場、店舗、事務所、学校、旅館の特定用

途に使用される建築物を「特定建築物」とし、自治体による立入検査等の監視指導対象としている。また、1980年代には米国において建材などの化学物質によるシックビル症候群が発生し、その対策として材料や換気の基準が検討された。日本では、2003年の建築基準法改正、いわゆるシックハウス対策法において、ホルムアルデヒド等の化学物質の使用制限、換気設備の設置義務が求められることとなった。建築物衛生法についても、制定後の建築物の省エネルギー化、シックハウス問題等の建築物に係る状況の変化に対応するため、2002年に政省令改正が行われ特定建築物の対象、空調・換気設備の対象、空気環境の管理項目の追加などの見直しが行われた。建築物衛生法

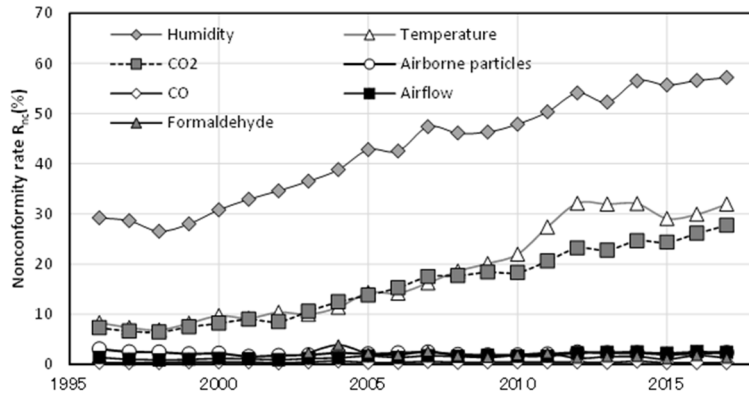


図 10 特定建築物における空気環境の不適率

に基づく建築物衛生管理は、ビルメンテナンス業、自治体、衛生管理に関する教育研究組織による他国に類を見ない組織的な体制によって支えられている。日本では、住宅におけるシックハウス症候群が顕在化した。大型の建築物においてシックビル症候群が顕在化しなかった要因として、建築物衛生法に基づく換気確保が挙げられている。建築物衛生法の建築物衛生管理基準では、室内の浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒドに関する基準値を設けている。一酸化炭素は、燃焼や喫煙によって発生し、中毒など人体に有害な影響をもたらすことを踏まえて、基準値が 10ppm となっている。二酸化炭素は、それ自体が人体に与える影響のみによって基準値が定められていない。二酸化炭素とともに発生する人体からの臭気、燃焼ガス中の汚染物質の影響を想定した総合指標として、二酸化炭素濃度を国際基準に準じて 1000ppm としている。空気調和・衛生工学規格では、人体から発生する二酸化炭素量に基づき、1 人あたりの必要換気量を約 30m³ 毎時とし、居室の在室密度に応じた必要換気量を示している。相対湿度の基準は、前述のインフルエンザ等の感染症の対策の他に、カビ、ダニの繁殖によるアレルギー疾患の予防等を踏まえて、40～70%とされている。

これらの基準への適合は、測定業者による定期的測定によって確認され、自治体の立入検査によ

って指導が行われている。全国の自治体の立入検査結果は、行政報告例として集計され概況が公表されている。図 10 に空気環境の基準に対する不適率 (Nonconformity rate Rnc%) を示す。湿度、温度、二酸化炭素濃度は不適率が高く 1999 年度以降に継続的な上昇が見られる。また、温度は 2011 年度から 2014 年度に一時的な上昇が見られる。空気環境の不適率の上昇要因として、1999 年の省エネルギー法改正にともなう換気量、設定温度の調整、個別空調の普及、2011 年の東日本大震災後の節電に伴う設定温度の調整の影響の可能性が伺える。したがって、このような変化が特定建築物だけではなく建築物全般で起きている可能性は否定できない。二酸化炭素の不適率の上昇は、換気が不足している建築物の増加を意味していると考えられる。また、相対湿度の不適率の増加は、主に冬期の低湿度の増加によるものであり、加湿の能力不足が広がっていることを示している。二酸化炭素の不適率増加は、ウイルス感染のリスクが上昇していることを示していると考えられる。また、相対湿度の不適率の増加は、従来のインフルエンザの感染リスクが高まっていることを示している。しかし、新型コロナウイルスの場合は、前述のように相対湿度の感染力への影響は不明である。高齢者施設等福祉施設は、健康ハイリスクの入居者が利用する建築物である。上記の建築物衛生法の特定建築物は不特定多

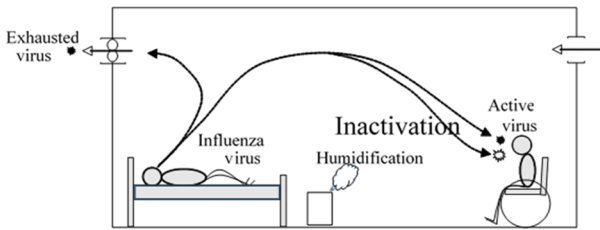


図 11 室内のインフルエンザウイルスの挙動

数の利用者を想定しているために、福祉施設については、保健所などの自治体が立入検査などで空気環境を調査することはない。このため、保健所などはインフルエンザ等の感染症対策の観点で、温湿度等の適切な維持、換気の必要性などの、室内空気環境に関する啓発を行ってきた。しかし、立入検査や行政指導に必要な法的根拠が明確ではないために、室内空気環境に関する情報収集が十分に行われておらず、実態が把握されていなかった。このような状況の中で、2012年から国立保健医療科学院を中心に大学などの研究機関によって、建築・空調設備、維持管理体制、室内空気環境等の実態に関する調査が行われている^{42)~44)}。

従来のインフルエンザの感染対策では、冬期に換気量を確保し湿度を維持することが求められている。換気量を増やすと水蒸気排出量が増え加湿負荷が増大してしまう。このため、換気量を適正に制御して湿度を維持することが必要となる。インフルエンザの空気感染予防のためには気中インフルエンザウイルス濃度の低減が必要である。このためには湿度を維持して気中インフルエンザウイルスの生存率を低下させ、換気量を確保して気中インフルエンザウイルス濃度を希釈することが必要である(図 11)。しかし、これらの方法は換気による熱損失及び加湿のためのエネルギー消費を増大させることとなる。効率的にエネルギーを使用してインフルエンザ空気感染予防を行うためには、換気量及び加湿量の最適設定が必要となる。しかし、新型コロナウイルスの感

染予防に適した湿度域が従来のインフルエンザの場合と異なる可能性は否定できない。

図 12 に、国内の特別養護老人ホームの冬期室内環境の測定結果を示す。図中の左に示す室内温度は、ほとんどの時間に 25~26℃の範囲にあり、建築物衛生法の基準(17~28℃)を満たしている。しかし、相対湿度はほとんどの時間に 40%以下になっており、上記基準(40%以上)を満たしていない。同図右に示す 1 人当たり換気量は、CO₂濃度基準(1000ppm)を満たす 30 m³/人をほとんどの場合超えている。この図の一人当たり換気量は、CO₂濃度から算出したものである。CO₂濃度が 1000ppm よりも十分低いことからこのような結果となった。換気量が多い理由は、換気設備の風量が大きいため、窓開けによる考えられた。暖房によって室温が比較的高めに維持されているとともに換気量が多いため、相対湿度が低くなっていると考えられた。すべての施設で、インフルエンザ等の集団感染の防止、皮膚の乾燥防止のために、多数の加湿器が用いられ湿度維持が試みられていたが、上記の原因によって低湿度になっていた。このような状況は、以下のような問題点と関係していると考えられた。加湿器への給水、清掃が職員の負担になっている上、加湿器内のレジオネラ等の細菌汚染による感染リスクが発生している。窓開けによる空気の流れの変化によって、個室で発生する臭気が廊下に流出し、施設全体に臭気を広げており、職員に精神的負担をもたらしている。このように湿度や換気の制御が十分にできていない状況は、新型コロナウイルス感染症の集団感染の制御の観点からも問題である。特に空気の流れが計画されていない状況は、浮遊飛沫(エアロゾル)感染の対策を計画することを困難にしている。

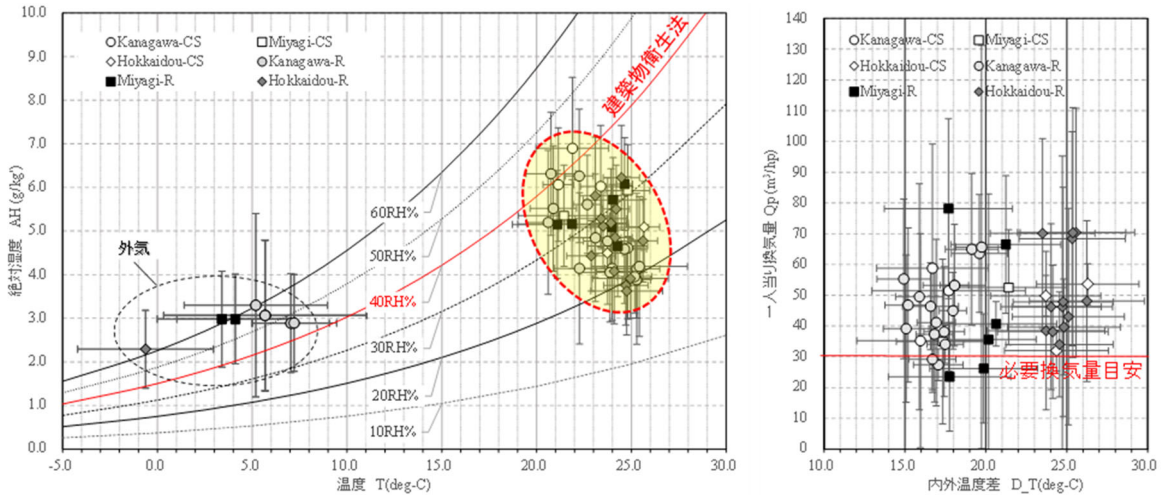


図 12 国内の高齢者施設（特別養護老人ホーム）の室内空気環境

表 2 試算に用いた数値

	滞在時間	在室人数	感染者数	呼吸量
広州事例	1.5 h	21 人	1 人	1.00 m ³ /h
安静	3.0 h	10 人	1 人	0.45 m ³ /h
中作業	3.0 h	10 人	1 人	2.40 m ³ /h
マスク効果：ウイルスの50%が通過				

C2. 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

はじめに、作業レベルを考慮したウイルス RNA 吸引数に関する試算を行った。作業レベルによって呼吸量に変化し、CO₂ 排出量及びウイルス排出量に変化すると考えられる。表 2 に示すように、室内における作業レベル、滞在時間、在室人数、感染者数、呼吸量を想定し、ウイルス RNA 吸引数を試算した。広州のレストランの事例については、多人数がテーブルで飲食した状況から安静時よりも多くの呼吸量を設定した。感染者から放出される RNA 数には大きな幅があるため、呼気 10L 中の RNA 数を既往の研究⁸⁾に基づいて、平均値 (Mean) を 250 とし最大値 (Max) を 2500 とした。また、室内感染者数を 1 名と仮定した。マスクの効果については、既往研究及び実際の着用実態を踏まえ RNA 透過率 50% とした。広州のレストランの事例^{46),47)} では、滞在時間 1.5 時間、在室者

数 21 名、感染者数 1 名、呼吸量 1 m³/h と想定した。安静や中作業の場合に、RNA 数が広州レストランの事例に対してどの程度の比になるかを算出した結果を図 13 に示す。図中のプロットのラベルは、作業レベル・在室者一人当たりの換気量を示している。図中の安静 30 (作業レベルが安静で一人当たり換気量が 30 m³/(h・人)) の場合、広州レストランに対する RNA 吸引数比は、マスクなし Mean (マスクなしで RNA 発生量が平均レベル) の場合で 0.09 である。中作業 30 の場合は、マスクなし Mean の RNA 吸引数比は、2.42 となる。マスクありの場合は、それぞれ 0.02、0.6 となる。

また、換気量が 60 になると、RNA 吸引数比は 30 の場合の 0.5 になる。同図の横軸に安定 CO₂ 濃度を示す。同図は、安定 CO₂ 濃度が高い場合 (換気量が少ない場合、CO₂ 発生量が多い場合、これら両方の場合) に、RNA 吸引比が大きくなる傾向があることを示している。しかし、安定 CO₂ 濃度の場合でも、マスクの有無及び RNA 発生量によって、RNA 吸引数比に大きな差が生じている。このことから、CO₂ 濃度は換気の不足や空間拡散感染リスクを推察する参考にはなるが、CO₂ 濃度によって個々の室内における空間拡散感染のリスクを定量的に判断することは難しいと考えられる。

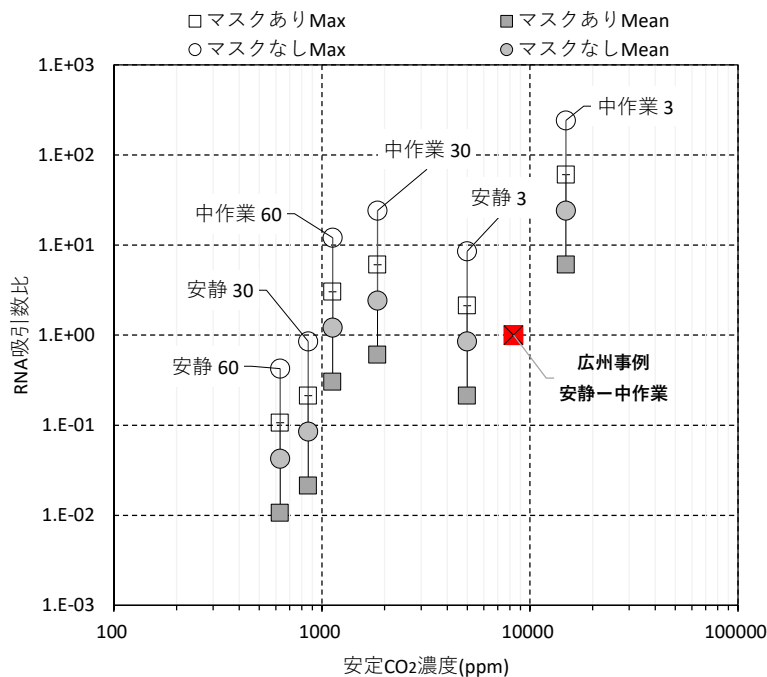


図 13 作業レベルを考慮したウイルス RNA 吸引数比に関する試算結果

次に、室用途を考慮したウイルス RNA 吸引数比に関する試算を行った。室用途によって、作業レベル、在室時間等の条件が想定できる。図 14 に、病室等（病院の病室、高齢者施設等の福祉施設の寝室）、事務室、教室（大学等の講義室）、住宅、飲食店を例に、感染者が 1 人の場合の RNA 吸引数比を試算した結果を示す。図中のプロットのラベルは、用途・在室時間・マスクの有無（M:マスクあり、:マスクなし）・在室者一人当たりの換気量を示している。例えば、「学校 8M30」は、学校で在室時間 8 時間、マスクあり、一人当たり換気量 30 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ の場合を示す。なお、在室者数は、病室等 4 人、事務室 100 人、教室 40 人、住宅 4 人、飲食店 20 人として試算している。また、呼吸量は、病室等 0.45、事務室 0.6、教室 0.6、住宅 0.45、飲食店 1.0 (m^3/h) として試算している。病室等では、在室時間が長い上マスクなしを想定しているために、一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 発生量が平均値 (Mean) の RNA 吸引数比は 1.7 で、1.0 (広州事例) より大きい。また、これまでのクラスター感染が発生した病院で測定された換気量に近

い場合 (1 人当たり換気量が 1.0 の場合と 5.0 の場合) 48) には、RNA 吸引数比がそれぞれ 10.2、51.0 と非常に大きくなった。住宅も在室時間が長いとともにマスクなしを想定しているために、一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 吸引数比は 0.85 であり、1.0 (広州事例) に近い。事務室と教室では、マスクありと想定している。一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 吸引数比は、事務室で 0.01、教室で 0.03 と比較的小さくなった。事務室の方が教室より小さくなった理由は、在室人数が多いことである。より小規模で在室者数が少ない事務室の場合、在室者数に対する感染者数の率が高くなるため RNA 吸引数比が大きくなる。飲食については、一人当たり換気量が 30 の場合の RNA 吸引数比は、在室時間が 1 時間の場合に 0.07、4 時間の場合に 0.28 となった。なお、基準とした広州事例ではクラスター感染に相当する感染が発生しているため、RNA 吸引数比が 1.0 では感染抑制が期待できないと考えられる。

横軸の安定 CO_2 濃度との関係を見ると、安定 CO_2 濃度が高いと RNA 吸引数比が高い傾向が大

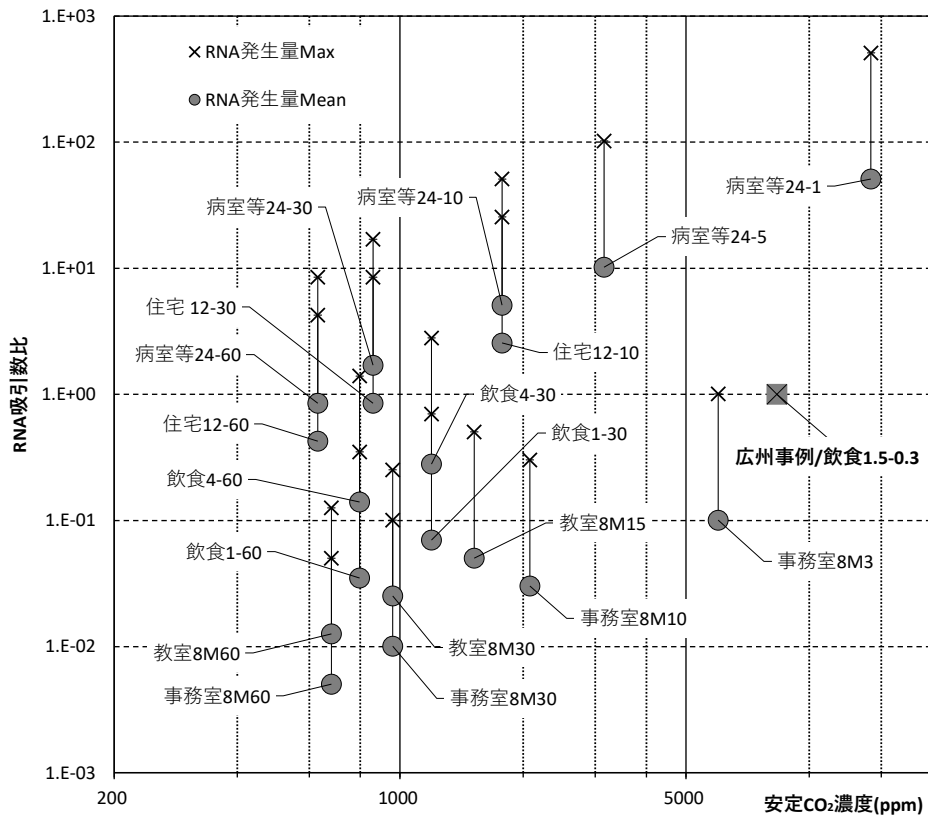


図 14 室用途を考慮したウイルス RNA 吸引数比に関する試算結果

略的にはみられるが、同一の安定 CO₂ 濃度においても、RNA 吸引数比には 102 以上の開きがある。この幅の要因には、在室時間、作業レベル、マスクの有無、RNA 発生量がある。CO₂ 濃度だけでなく、これらの要因にも配慮することが重要である。今回の試算は、新型コロナウイルスの初期の集団感染事例（広州事例）を基準にしている。その後発生している変異株の感染力はより高い場合がある。この場合には、より高いレベルの空間拡散感染対策が必要であると考えられる。興行場における行為は多様であるため、既往のエビデンスでは正確に、代謝量、呼吸量を想定することは難しい。入手可能な資料を参考⁴⁹⁾に、興行場における主な行為による代謝量を想定した。表 3 に、興行場における主な行為と観客の代謝量、代謝量から算出した呼吸量をします。さらに、在室者に占める行為者の率（行為者率）を想定し、一人当たり換気量が 30 m³ / (h・人) の場合の行為者及び観客の呼気吸引量を示す。呼気吸引量は以下の式のように、

呼吸量と換気量から算出した室内空気中の呼気の濃度に呼吸による吸引量を乗じて算出したものである。なお、 $\alpha = 0.45$ とし、 β は 100%、50%、10%、5% の場合について、呼気吸引量を算出した。 $\beta = 100\%$ の場合は、観客がいない場合に相当する。この状況は、映画館、遊戯施設、ライブハウスのように観客がすべて行為者である施設、観客席がなく競技の練習をする施設で見られる状況であると考えられる。 β が小さい場合は、行為者に対して観客が多い場合に相当する。音楽ホール、劇場、競技場（スポーツ施設）で見られる状況であると考えられる。

$$M_{ra} = \alpha \cdot MET \cdot \dots \cdot \text{式 1}$$

M_{ra} : 呼気発生量 (Release rate of respiratory air)
 α : 呼吸量換算係数
(Ratio of respiratory air rate toward MET)
MET: 代謝量 (Metabolic equivalent)

表 3 興行場における行為の想定と呼気吸引量

施設	行為	METs		呼吸量 (m/h)				室内平均呼吸量 (m/h)				行為者の呼気吸引比 (対安静)				観客の呼気吸引量比 (対安静)				引用文献 1) の記述	
		行為者	観客	行為者	観客	100%	50%	10%	5%	100%	50%	10%	5%	100%	50%	10%	5%				
映画館	映画	1.5	1.5	1.5	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	映画を見る	
	4 Dx	2.5	2.5	1.5	1.13	1.13	0.68	1.13	0.90	0.72	0.70	6.3	5.0	4.0	3.9	3.8	3.0	2.4	2.3	楽な労力	
遊戯施設	ゲーム	2.3	5.0	1.5	1.04	2.25	0.68	1.64	1.16	0.77	0.72	13.3	9.4	6.3	5.9	5.5	3.9	2.6	2.4	アクティブビデオゲーム：楽な労力-ブートキャンプトレーニング	
	ダンス	3.0	7.8	1.5	1.35	3.51	0.68	2.43	1.55	0.85	0.76	29.2	18.6	10.2	9.2	8.1	5.2	2.8	2.5	社交ダンス-ディスコ	
音楽ホール	クラシック等	2.3	2.3	1.5	1.04	1.04	0.68	1.04	0.86	0.71	0.69	5.3	4.4	3.6	3.5	3.5	2.9	2.4	2.3	チェロ演奏-指揮	
ライブハウス	ロック等	5.5	5.5	1.5	2.48	2.48	0.68	2.48	1.58	0.86	0.77	30.3	19.3	10.5	9.4	8.3	5.3	2.9	2.6	マーチングバンド：早いペース	
劇場	演劇・歌舞伎等	5.0	5.0	1.5	2.25	2.25	0.68	2.25	1.46	0.83	0.75	25.0	16.3	9.3	8.4	7.5	4.9	2.8	2.5	教会でスピリチュアルダンスを踊る	
	バレエ	5.0	6.8	1.5	2.25	3.06	0.68	2.66	1.67	0.87	0.77	34.8	21.8	11.4	10.1	8.9	5.6	2.9	2.6	リハーサル-公演	
競技場 スポーツ施設	バレーボール	3.0	6.0	1.5	1.35	2.70	0.68	2.03	1.35	0.81	0.74	20.3	13.5	8.1	7.4	6.8	4.5	2.7	2.5	全般-試合	
	バスケットボール	4.5	8.0	1.5	2.03	3.60	0.68	2.81	1.74	0.89	0.78	39.1	24.2	12.3	10.9	9.4	5.8	3.0	2.6	練習-試合	
	バトミントン	5.5	5.5	1.5	2.48	2.48	0.68	2.48	1.58	0.86	0.77	30.3	19.3	10.5	9.4	8.3	5.3	2.9	2.6	練習	
	テニス	4.5	8.0	1.5	2.03	3.60	0.68	2.81	1.74	0.89	0.78	39.1	24.2	12.3	10.9	9.4	5.8	3.0	2.6	ダブルス-シングルス	
	卓球	4.0	4.0	1.5	1.80	1.80	0.68	1.80	1.24	0.79	0.73	16.0	11.0	7.0	6.5	6.0	4.1	2.6	2.4	全般	
	柔道・剣道	5.3	10.3	1.5	2.39	4.64	0.68	3.51	2.09	0.96	0.82	60.8	36.3	16.6	14.2	11.7	7.0	3.2	2.7	2.7	武術：初心者-ほとほとのペース
	体操	3.8	3.8	1.5	1.71	1.71	0.68	1.71	1.19	0.78	0.73	14.4	10.1	6.6	6.1	5.7	4.0	2.6	2.4	全般-試合	
	水泳	4.8	4.8	1.5	2.16	2.16	0.68	2.16	1.42	0.82	0.75	23.0	15.1	8.8	8.0	7.2	4.7	2.7	2.5	2.5	背泳ぎ-バタフライ
	アイスホッケー	8.0	10.0	1.5	3.60	4.50	0.68	4.05	2.36	1.01	0.84	81.0	47.3	20.3	16.9	13.5	7.9	3.4	2.8	2.8	全般-試合
	スケート	7.0	7.0	1.5	3.15	3.15	0.68	3.15	1.91	0.92	0.80	49.0	29.8	14.4	12.4	10.5	6.4	3.1	2.7	2.7	スケート-一般
	カーリング	4.0	4.0	1.5	1.80	1.80	0.68	1.80	1.24	0.79	0.73	16.0	11.0	7.0	6.5	6.0	4.1	2.6	2.4	2.4	全般
基準施設	安静 (MET=1)	1.0	1.0	1	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	Met= 1 (安静)

1) 国立健康・栄養研究所 中江、田中、宮地、改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』 2012年4月11日改定
 出版 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. Med Sci Sports Exerc. 2011, 43(8):1575-1581.

$$C_{ra} = \frac{\beta \cdot M_{ra-play} + (1 - \beta) \cdot M_{ra-view}}{Q_p} \quad \cdot \text{式 2}$$

$S_{ra-play}$: 行為者の呼気吸引量
 (Player's suction rate of respiratory air)

C_{ra} : 呼気濃度

(Respiratory air concentration)

$M_{ra-play}$: 行為者からの呼気発生量

(Release rate of respiratory air from player)

$M_{ra-view}$: 観客からの呼気発生量

(Release rate of respiratory air from viewer)

β : 在室者数に対する行為者の割合

(Rate of number of players toward number of people in a space)

Q_p : 一人当たりの換気量

(Ventilation rate a person)

$$S_{ra-play} = M_{ra-play} \cdot C_{ra} \quad \cdot \text{式 3}$$

$$S_{ra-view} = M_{ra-view} \cdot C_{ra} \quad \cdot \text{式 4}$$

$S_{ra-view}$: 行為者の呼気吸引量

(Viewer's suction rate of respiratory air)

表 3 に示すように、施設及び行為の種類、行為者の率によって、行為者及び観客の呼気吸引量は大きく異なる。また、呼吸量が多い行為者の方が観客よりも呼気吸引量が多くなる。

図 15 に、表 3 に示す行為者と観客の呼気吸引量の試算結果を示す。行為者については、 β 場大きいほど、呼気吸引量が大きくなる。行為ごとに見ると、アイスホッケー、スケート、柔

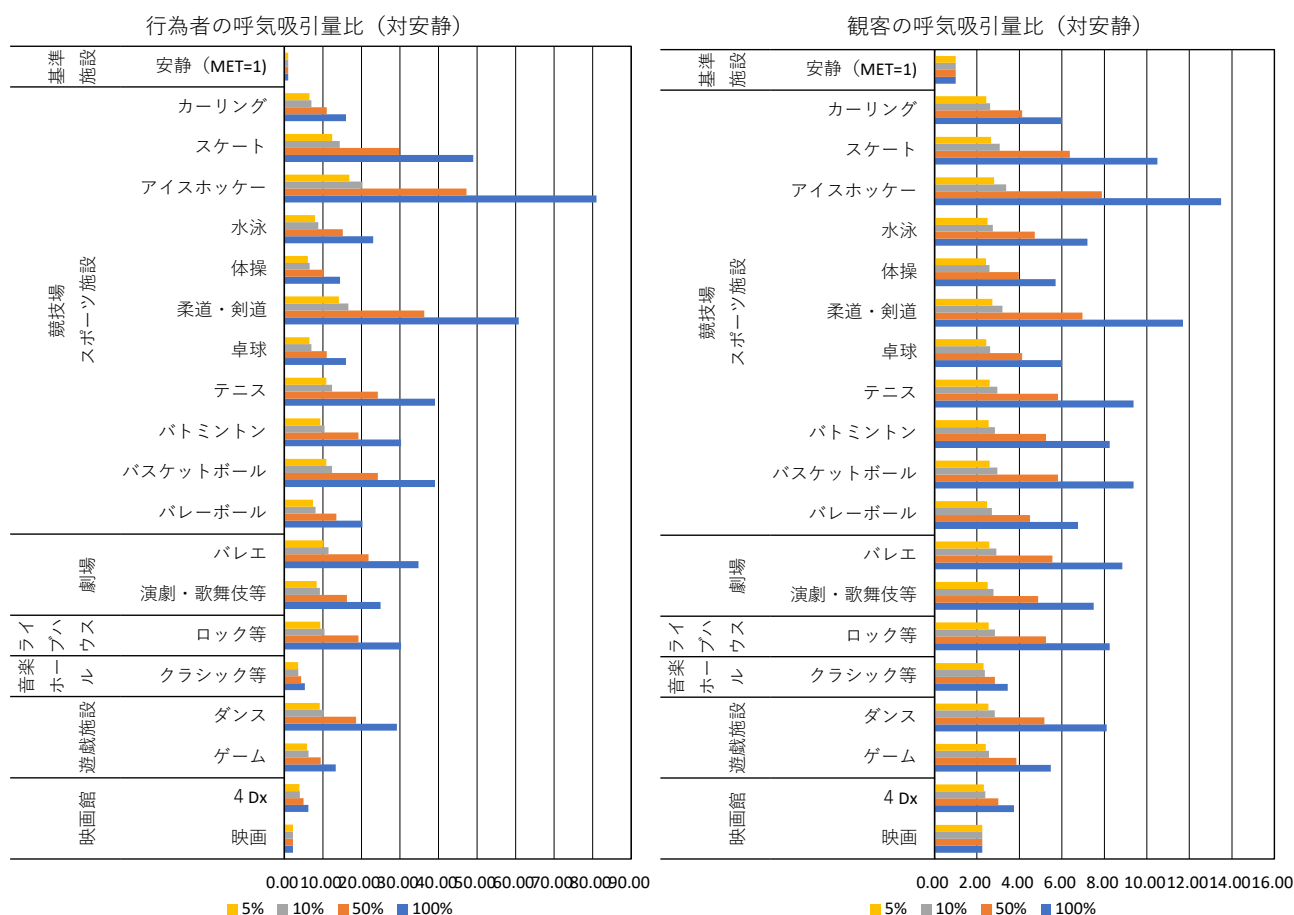


図 15 興行場における呼気吸引量比(対安静)の試算結果

道・剣道、テニスバスケットボードの順に多い。映画、4 Dx、クラシック等は比較的少ない。ただし、同図に示す基準施設・安静 (MET=1) の場合に比べると、いずれも大きい。一人当たり換気量を $30 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$ としおり、安静 (MET=1) の場合の行為者の呼気吸引量は、 $0.45 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。また、この条件での室内 CO_2 濃度は建築物衛生法の基準値 1000ppm になると考えられる。従って、試算対象の興行場及び行為では、いずれもこの CO_2 濃度基準を満たさないと考えられる。すなわち、興行場では、呼吸量が安静時よりも大きくなるため、事務所などを想定した必要換気量を満たす換気設計では、 CO_2 濃度基準を満たさないことがこの計算で確認できる。また、浮遊飛沫及びウイルスの RNA については、呼吸量が多いことによって呼気量と吸引量

がともに増加することで、呼気吸引量が 2 重に増加することになる。これによって、代謝量及び呼吸量が大きい行為については、浮遊飛沫及びウイルス RNA の吸引量が顕著に増加することとなる。なお、呼吸量とウイルス RNA の脳出量の関係、ウイルス吸引量と感染リスクの関係は不明であるため、今後の研究によって明らかにされることが望まれる。今後は、施設の用途(行為)に応じた、呼気の発生と吸引の時間を考慮して、浮遊飛沫及びウイルス RNA による感染リスクの分析を行う必要がある。また、室内環境によって影響される可能性がある浮遊飛沫の挙動と感染力の変化の考慮が望まれる

D. 結論

D1. 浮遊飛沫感染対策に関するエビデンス整理

(1) 浮遊飛沫（エアロゾル）感染の機序

従来の感染症の感染経路には、接触感染、飛沫感染、空気感染があるが、近年パンデミックが憂慮されてきたインフルエンザウイルスについては、空気感染の可能性は低いとされてきた。新型コロナウイルスについては、これまでの感染事例から、室内空気中の浮遊飛沫（エアロゾル）による感染の可能性が指摘され、換気対策が求められた。国内外で、浮遊飛沫（エアロゾル）感染の対策が講じられたが、換気性状と感染リスクの関係は定量的に把握することが出来ていない。このため、現実的に可能な換気対策を講じてきた。

(2) 室内空気環境とウイルス感染

室内空気環境の指標である二酸化炭素については、換気量に左右されるため、空気中の浮遊飛沫の濃度と関係する。温湿度については、インフルエンザに関する研究によって、ウイルスの不活化速度に影響するとされている。絶対湿度が高い場合と低い場合に、不活化速度が低下するとされており、建築物衛生法の温度及び湿度の基準は、一定の妥当性があると考えられている。しかし、新型コロナウイルスについては、空気中の浮遊飛沫及びウイルスに関する研究が過渡であり、その影響の機序に関する結論が得られていない。

(3) 建築物の室内空気環境の実態

建築物の室内空気環境に関する既往の調査結果によると、二酸化炭素濃度が 2000 年以降高い傾向があり、浮遊飛沫（エアロゾル）感染対策の観点で好ましくない。同様に、冬期の相対湿度が顕著に低い傾向があり、インフルエンザウイルスの感染防止の観点で好ましくない。

(4) 興行場における浮遊飛沫感染リスクの分析

浮遊飛沫（エアロゾル）感染のリスクは、建築物、空調換気設備、維持管理、空気清浄やマスクなどの感染対策など、多数の要因の影響を受ける。また、感染者の行為や症状、被感染者の行為、滞在

時間などによって、被感染者が吸引するウイルス RNA 量が変わり、感染リスクの程度を規定すると考えられる。主には、換気量が少なく、行為の代謝量が多い場合に感染リスクが高くなると考えられる。興行場では、施設用途によってさまざまな行為を想定する必要がある。行為に伴う代謝量を想定すると、感染リスクに大きな幅がある。しかし、換気設計ではこのような幅が考慮されていないため、代謝量が多い行為が行われる興行場では、浮遊飛沫（エアロゾル）感染のリスクが高くなっていると考えられる。興行場においては、用途に応じた換気対策が必要であると考えられる。

<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, State of Poor Ventilation and Indoor Air Environment in Buildings - Environmental Hypersensitivity from Perspective of a Building Environmental Hygiene Researcher -, Indoor Environment, Vol25, No1, pp.1-8, 2022.
- 2) Takashi Kurabuchi, U. Yanagi, Masayuki Ogata, Masayuki Otsuka, Naoki Kagi, Yoshihide Yamamoto, Motoya Hayashi and Shinichi Tanabe, Operation of air-conditioning and sanitary equipment for SARS-CoV-2 infectious disease control. Japan Architectural Review, 4, 423-434,

2021. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12238>

2. 学会発表

- 1) 山崎佑基, 菊田弘輝, 玉村壮太, 林基哉, 室内環境が新型コロナウイルスの空気感染に与える影響に関する実験法, 日本建築学会大会梗概集, 2021.9
- 2) 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, 2021.9

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, “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
- 5) Li, Y., et al. (2007) “Role of Ventilation in Airborne Transmission of Infectious Agents in the Built Environment: A Multidisciplinary Systematic Review.” *Indoor Air* 17 (1): 2–18.
- 6) Menzies D et al. (2000) Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in Canadian health care workers. *Annals of Internal Medicine*, 133(10):779–789.
- 7) Quin H, Li Y, Sun H, Nielsen PV, Huang X, Zheng X (2010) Particle removal efficiency of the portable HEPA air cleaner in a simulated hospital ward. *Build. Simul.* Vol. 3, No.3 pp.215-224.
- 8) Kevin P Fennelly, Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control, *THE LANCET Respiratory Medicine* VOLUME 8, ISSUE 9, P914-924, SEPTEMBER 01, 2020.
- 9) ASHE (2013) Literature Review: Room Ventilation and Airborne Disease Transmission. Edit. Memarzadeh F. Chicago.
- 10) Bloch AB et al.(1985) Measles outbreak in a pediatric practice: airborne transmission in an office setting. *Pediatrics*, 75(4):676–683.

- 11) CDC (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 52 (RR-10).
- 12) WHO (2009) Natural ventilation for infection control in health-care settings. WHO Press Geneva.
- 13) WHO (2014) Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health care. World Health Organization, Geneva.
- 14) Gesellschaft für Aerosolforschung, “GAeF position paper on understanding the role of aerosol particles in SARS-CoV-2 infection” (2020); https://ae00780f-bbdd-47b2-aa10-e1dc2cdeb6dd.filesusr.com/ugd/fab12b_0b691414cfb344fe96d4b44e6f44a5ab.pdf
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 国立感染症研究所（掲載日：2022年3月28日），新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の感染経路について（niid.go.jp）
- 18) Thomas P. Weber, Nikolaos I. Stilianakis, Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: A critical review, *Journal of infection* 57. pp.261-373, 2008
- 19) Hemmes JH, Winkler K, Kool SM. Virus survival as a seasonal factor in influenza and poliomyelitis. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 1962; 28: 221–33.
- 20) G.J.Harper, Airborne micro-organism : Survival tests with four virus J.Hyg ; pp.479-486, 1961.
- 21) Jeffrey Sharman, Melvin Kohn : Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality *PNAS* vol.106 no9; pp.3243-3248, March 3 2009.
- 22) 倉渕隆,小笠原岳,熊谷一清,浅利雄太郎:インフルエンザの感染に影響するインフルエンザウイルス生存率と絶対湿度の関係について,空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 1339-1343, 2009.9
- 23) F.L.Shaffer, M.E.Soergel and D.C.Straube, Survival of airborne influenza virus: Effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids, *Arch Virol*.1976;51(4):263-73. doi: 10.1007/BF01317930.
- 24) Anice C. Lowen, Samira Mubareka, John Steel, Peter Palese ,Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature, *PLoS Pathogens* · November 2007
- 25) 「建築物環境衛生管理に関する調査研究」平成22年度研究報告書,財団法人ビル管理教育センター,2011
- 26) 小林陽太郎他,「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」昭和40年度厚生科学研究報告書,昭和41年3月
- 27) 林基哉他,「建築物衛生管理基準の検証に関する研究」平成29年度厚生労働科学研究報告書,2020年3月
- 28) Rosti ME, Olivieri S, Cavaiola M, Seminara A, Mazzino A, 2020. Fluid dynamics of COVID-19 airborne infection suggests urgent data for a scientific design of social

- distancing. *Nature research, Scientific Reports*, (2020) 10:22426.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-80078-7>
- 29) Zhao L, Qi YH, Luzzatto-Fegiz P, Cui Y, and Zhu YY, 2020. *Nano Lett.* 2020, 20, 7744–7750.
<https://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03331>
- 30) Dabisch P, Schuit M, Herzog A, Beck K, et al, 2020. The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols, *Aerosol Science and Technology*,
<https://doi.org/doi:10.1080/02786826.2020.1829536>
- 31) Smither SJ, Eastaugh LS, Findlay JS, Lever MS, 2020. Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity, *Emerging Microbes & Infections*, 9:1, 1415-1417.
<https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1777906>
- 32) Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, Ferris A, Miller D, Weaver W, Zeitouni NE, Phillips A, Freeburger D, Hooper I, Ratnesar-Shumate S, Yolitz J, Krause M, Williams G, Dawson DG, Herzog A, Dabisch P, Wahl V, Hevey MC, Altamura LA. Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *American Society for Microbiology*. 2020; 5(4): e00441-20.
<https://msphere.asm.org/content/5/4/e00441-20>
- 33) Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A, 2020. Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annual Review of Virology*, 7:83–101. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>
- 34) W.C.Hinds, *Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles*, John Wiley & Sons (1982).
- 35) Morawska L et al.: Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*. 40, 256–269. (2009)
- 36) Xie X et al.: How far droplets can move in indoor environments – revisiting the Wells evaporation–falling curve. *Indoor air*. 17: 211–225. (2007)
- 37) Yang W and Marr LC: Dynamics of Airborne Influenza A Viruses Indoors and Dependence on Humidity. *PlosOne*, 6: e21481. (2011)
- 38) 山崎佑基, 菊田弘輝, 玉村壮太, 林基哉, 室内環境が新型コロナウイルスの空気感染に与える影響に関する実験法, 日本建築学会大会梗概集, 2021.9
- 39) 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, 2021.9
- 40) Furuya Shousuke: *Building Maintenance Low*, Teikokuchiho-gyoseigakkai, pp.15-19, 1971 (in Japanese) 古谷章介: *ビル管理法*, 帝国地方行政学会, pp.15-19, 1971
- 41) Ministry of health, labour and welfare : Act on environmental health in buildings, 2015.3.20 (in Japanese) 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
- 42) 金勲, 阪東美智子, 林基哉, 大澤元毅. 高齢者施設のおい環境と対策に関する全国調査, 日本建築学会環境系論文集

2018.4;83(746):393-401.

- 43) 開原典子, 林基哉, 金勲, 大澤元毅, 阪東美智子, 小林健一, 本間義規, 巖爽, 菊田弘輝, 羽山広文, 特別養護老人ホームの温熱環境に関する実態調査, 日本建築学会環境系論文集, Vol.83 No.745, 2018.3 ; pp.267-276.
- 44) 林基哉, 本間義規, 巖爽, 菊田弘輝, 羽山広文, 加用現空, 鈴木信恵, 開原典子, 金勲, 阪東美智子, 小林健一, 大澤元毅. 寒冷地の高齢者施設における室内生活環境の年間特性 フィンランド・エスポー及び北海道・札幌における室内温熱空気環境の実態. 日本建築学会環境系論文集. 2019 ; 84 (761) : 699-708.
- 45) M HAYASHI, K KOBAYASHI, H KIM, N KAIHARA, The state of the indoor air environment in buildings and related tasks in Japan. J. Natl. Inst. Public Health, 69 (1).69-72. 2020.
<https://www.niph.go.jp/journal/data/69-1/202069010008.pdf>
- 46) M Hayashi et al. Measures against COVID-19 concerning Summer Indoor Environment in Japan. Japan Architectural Review, 3, 608–620, 2020. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12183>
- 47) K Kurabuchi et al. Operation of air-conditioning and sanitary equipment for SARS-CoV-2 infectious disease control. Japan Architectural Review, 4, 423–434, 2021. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12238>
- 48) 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”, 2021.04.07
- 49) 国立健康・栄養研究所 中江、田中、宮地、改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』 2012年4月11日改定

