

新型コロナウイルス感染症における換気的重要性



2021年10月21日
早稲田大学建築学科・教授
田辺新一
日本建築学会会長・日本学術会議会員

日本建築学会 + 空気調和・衛生工学会 緊急会長談話（2020年3月23日）



WASEDA University

2020年3月23日

公益社団法人 空気調和・衛生工学会

会長 田辺新一

一般社団法人 日本建築学会

会長 竹脇 出

新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して 緊急会長談話

厚生労働省の新型コロナウイルス感染症対策専門家会議が2020年3月9日に公表した「新型コロナウイルス感染症対策の見解」[1]、及び首相官邸、厚生労働省が2020年3月18日に公表した「密をさけて外出しましょう！」[2]というチラシに換気の悪い密閉空間という記述があり、一般社団法人日本建築学会や公益社団法人空気調和・衛生工学会の室内環境を専門とする会員に換気に関する問い合わせが寄せられています。

新型コロナウイルスに対する換気の効果に関しては、西浦らが、これまでの感染発生事例をもとに、一人の感染者が生み出す二次感染者数を分析したところ、感染源が密閉された（換気が不十分な）環境にいた事例において、二次感染者数が特徴的に多いことが明らかになっています[3]。厚生労働省もこの結果を引用しています[4]。

窓開け換気は理解しやすいものの、多くの現代的な建築物では空気調和設備や機械換気システムが利用されています。両学会は「換気」に関する正しい知識や運用方法を提供して行くことを表明致します。



換気に関する厚生労働省の見解 (2020年3月30日)




- ✓ 厚生労働省は、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、という資料を公表している
- ✓ 具体的な換気対策として機械換気による場合は、**一人当たり 30m³/h の換気量が確保されていれば、感染を確実に予防できるとはいえないものの、換気の悪い密閉空間には当たらないとしている**
- ✓ 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→**誤解されやすい**

厚生労働省：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）
(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000616069.pdf>)

✓換気回数を毎時2回以上とすること

→室容積の2倍の空気を1時間に屋外から導入すること

~~少しの時間だけ小窓を全開~~

方法	機械換気設備 	窓開けによる換気 	空気清浄機 
メリット	必要な換気量を確保可能 換気扇も活用可	設備の改修が不必要 費用がかからない	導入費が比較的安く 早急に設置可能 温熱環境に影響しない
デメリット	短時間での改修が困難 改修費が必要	夏季・冬季において 熱的快適性が悪化する 可能性	機種による効果の相違 空調機の中性能以上の フィルターも有効

機械換気設備の改修にはコスト必要、不足する場合には窓開換気は有効
 緊急対策として（適切な）空気清浄機の導入も有効



Environment International

Volume 142, September 2020, 105832



Correspondence

How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?

Lidia Morawska ^a ✉, Julian W. Tang ^b, William Bahnfleth ^c, Philomena M. Bluysen ^d, Atze Boerstra ^e, Giorgio Buonanno ^f, Junji Cao ^g, Stephanie Dancer ^h, Andres Floto ⁱ, Francesco Franchimon ^j, Charles Haworth ^k, Jaap Hogeling ^l, Christina Isaxon ^m, Jose L. Jimenez ⁿ, Jarek Kurnitski ^o, Yuguo Li ^p, Marcel Loomans ^q, Guy Marks ^r, Linsey C. Marr ^s, Livio Mazzarella ^t, Arsen Krikor Melikov ^u, Shelly Miller ^v, Donald K. Milton ^w, William Nazaroff ^x, Peter V. Nielsen ^y, Catherine Noakes ^z, Jordan Peccia ^{aa}, Xavier Querol ^{ab}, Chandra Sekhar ^{ac}, Olli Seppänen ^{ad}, Shin-ichi Tanabe ^{ae}, Raymond Tellier ^{af}, Kwok Wai Tham ^{ag}, Pawel Wargocki ^u, Aneta Wierzbicka ^{ah}, Maosheng Yao ^{ai}



^a International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), WHO Collaborating Centre for Air Quality and Health, School of Earth and Atmospheric Sciences, Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland, Australia

^b Respiratory Sciences, University of Leicester, Leicester, United Kingdom

^c Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, USA

^d Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft University of Technology, the Netherlands

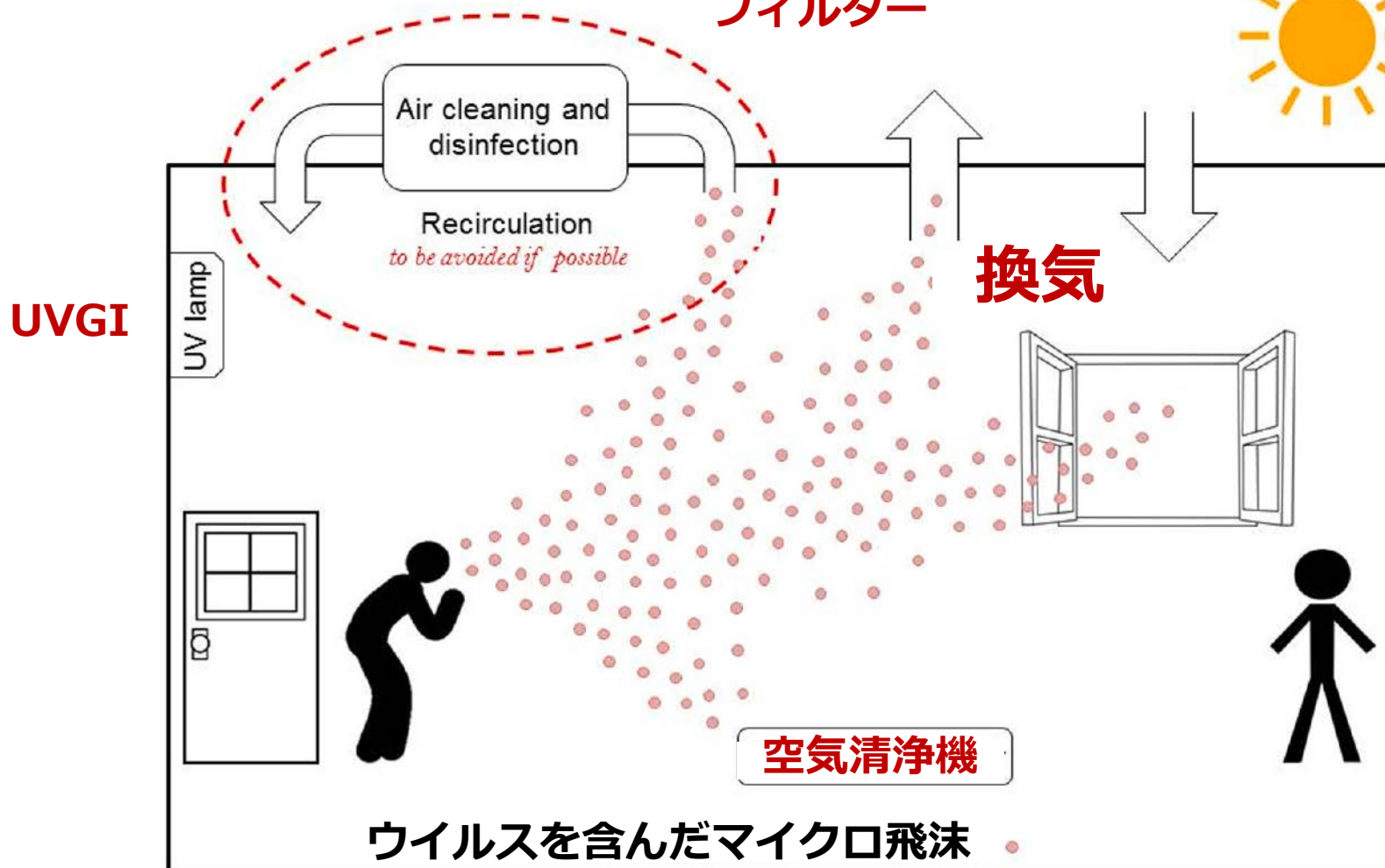
換気をはじめとした環境制御による感染対策が重要

→その後、同グループでWHO（世界保健機関）に提言

How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>

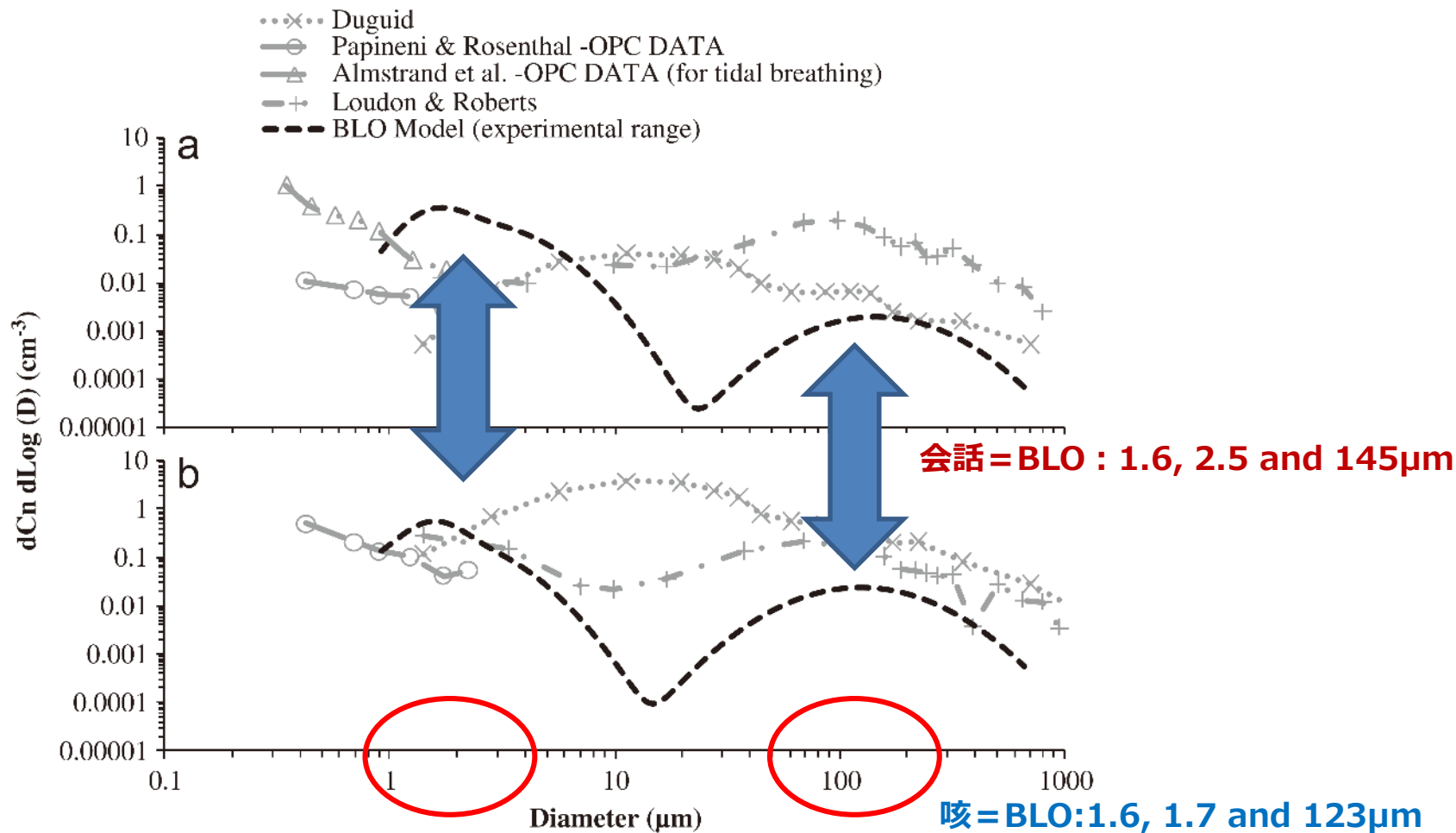
何をすればよいか？

循環の場合：空気清浄
フィルター



室内の汚染物質を希釈する対策が重要

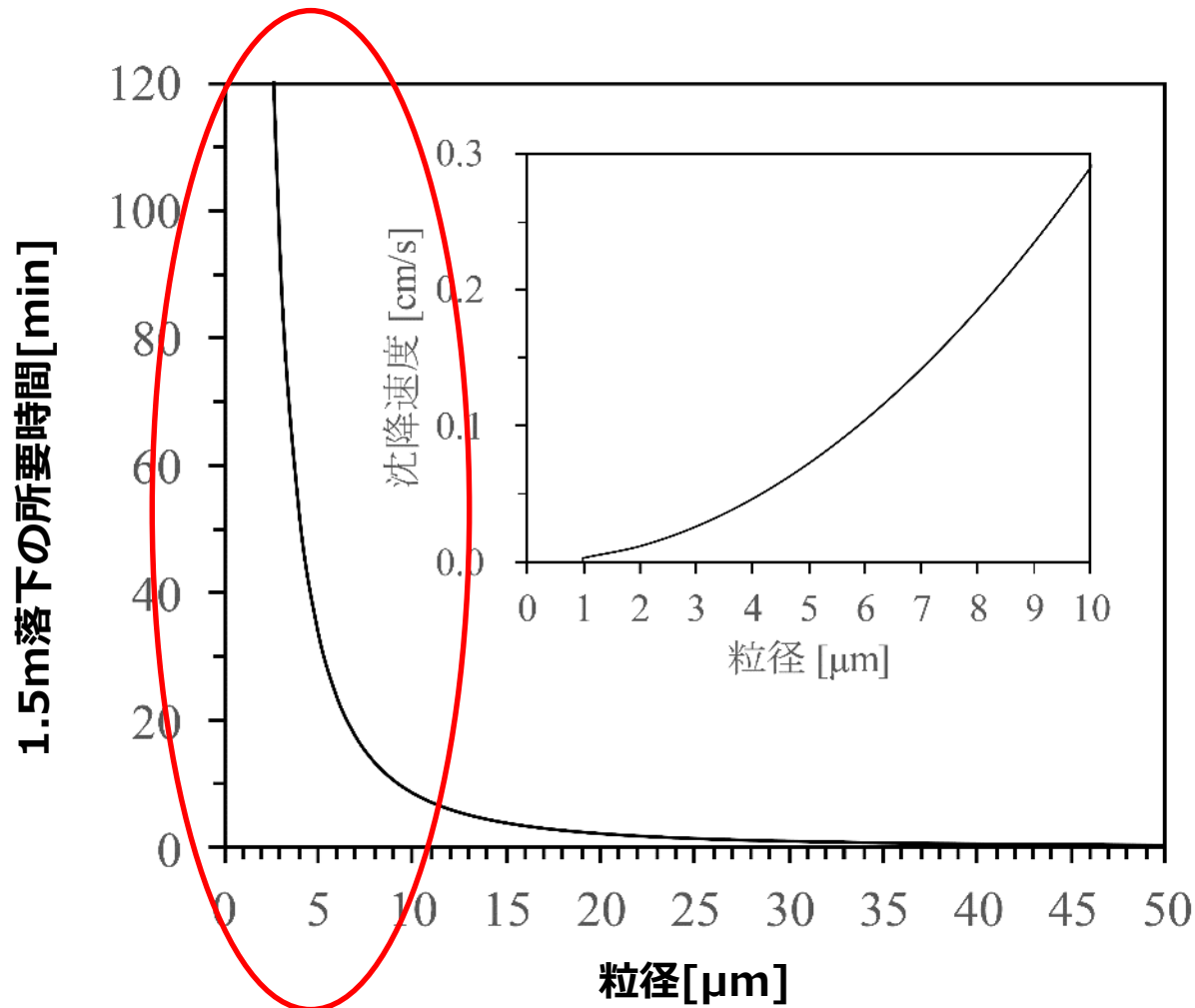
会話・咳によるエアロゾル粒径には、1~5 μm と100 μm 付近に山がある



B : 下気道深部、L : 喉頭、O : 口腔を含む上気道

G.R. Johnsona, L. Morawska et al., Modality of human expired aerosol size distributions, Journal of Aerosol Science, Volume 42, Issue 12, December 2011, pp.839-851

Department of Architecture, WASEDA University



5μm以下のエアロゾルは室内の空气中に浮遊する

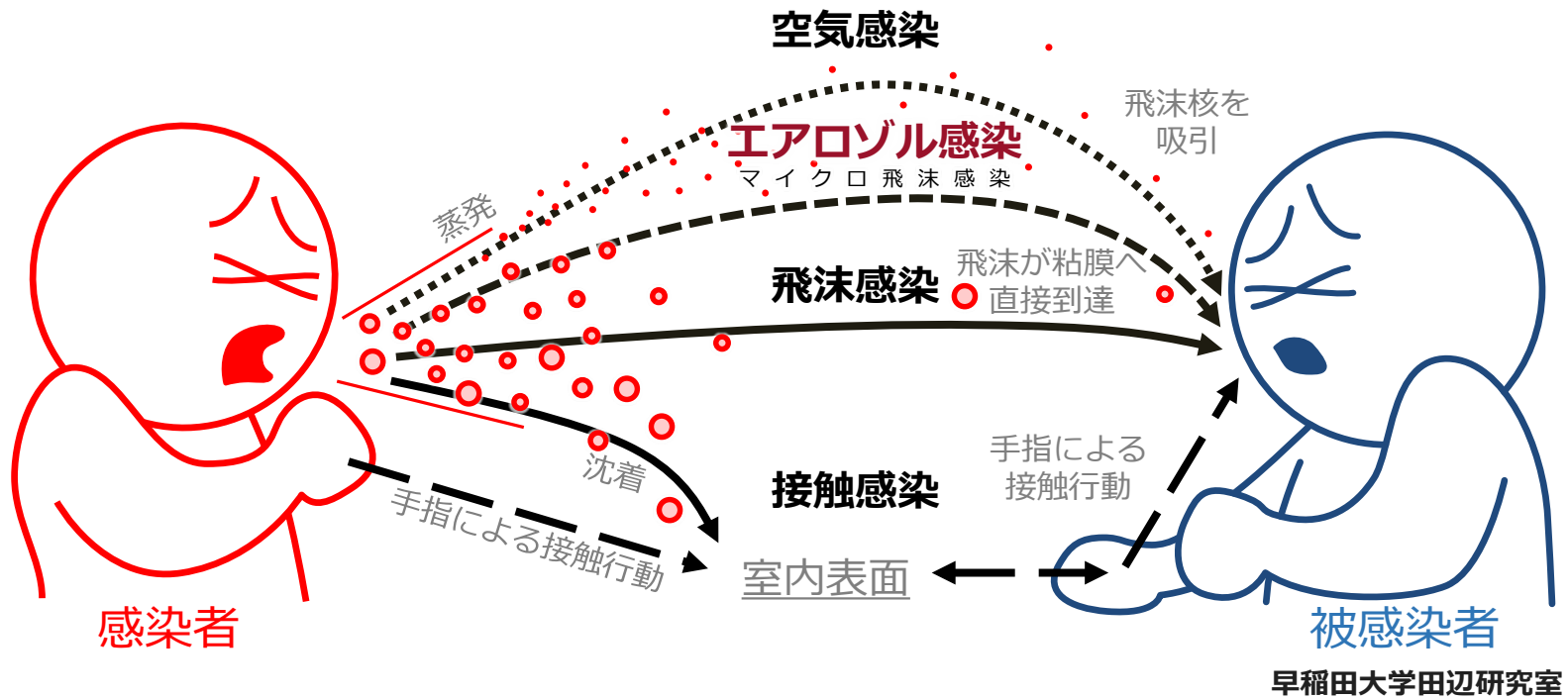
林、柳、東、鍵、尾方、森本、羽山、森、菊田、田辺、倉淵、山田、小林、金、開原：「新型コロナウイルス感染症予防のための夏期における室内環境対策」建築衛生分野の研究者からの報告、2020年5月20日、国立保健医療科学院 から引用

シンガポールでの研究、会話・歌唱中に発生する微細なエアロゾル ($\leq 5\mu\text{m}$) には、大きなエアロゾル ($> 5\mu\text{m}$) よりも多くのSARS-CoV-2コピーが含まれていた。**微細なエアロゾル ($\leq 5\mu\text{m}$) は感染に大きな影響がある。**



Kristen K Coleman et al., Viral Load of SARS-CoV-2 in Respiratory Aerosols Emitted by COVID-19 Patients while Breathing, Talking, and Singing, *Clinical Infectious Diseases*, ciab691, <https://doi.org/10.1093/cid/ciab691>

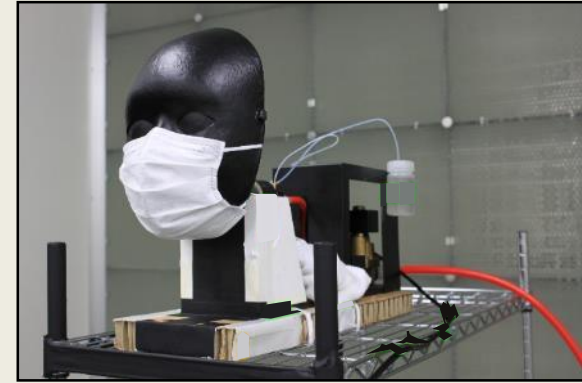
空気感染→結核や麻疹など エアロゾル感染（マイクロ飛沫感染）



室内環境では、主に3つの感染経路がある
→空気感染とエアロゾル感染（マイクロ飛沫感染）
を分離した方が良いか

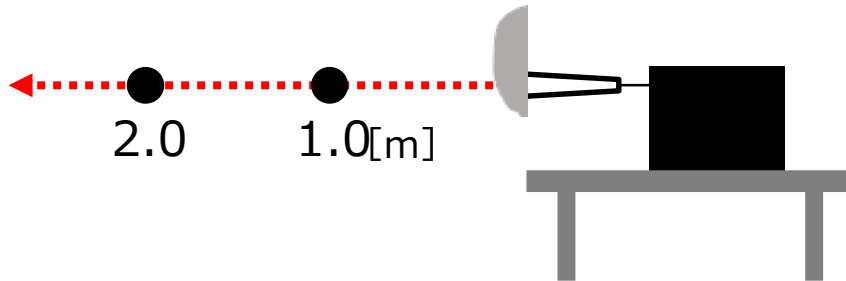
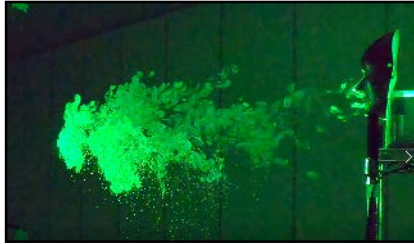
咳マシン実験

場所 : 東京工芸大学人工気候室
期間 : 2020年9月30日~10月1日
共同実験: 山本佳嗣研究室 (東京工芸大)
尾方壮行先生 (都立大)

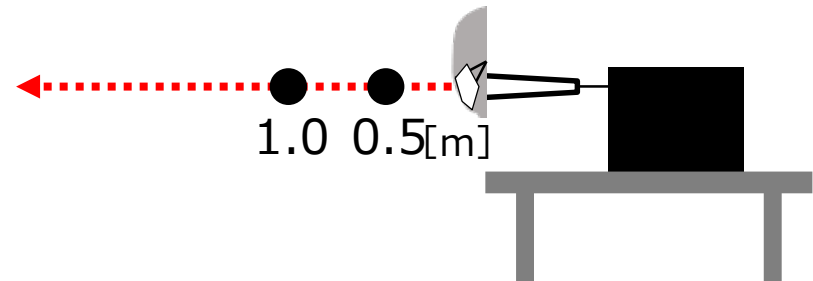


咳マシンに**模擬顔面+マスク**を装着し、放出される粒子濃度を測定

マスク未着用時の測定点



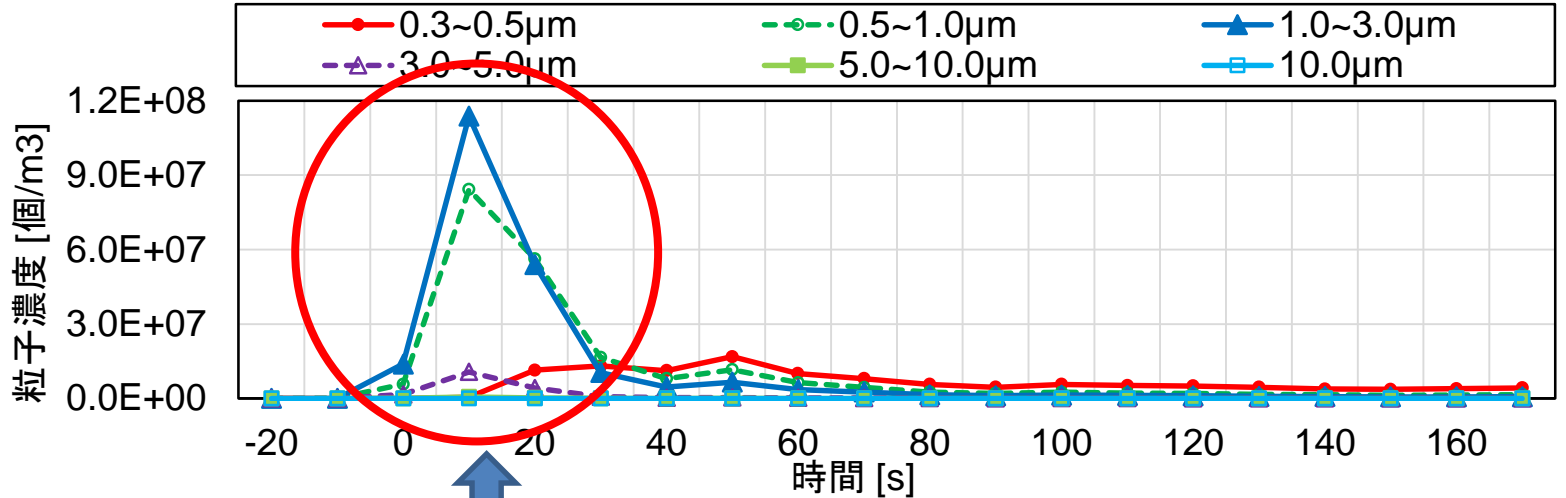
マスク着用時の測定点



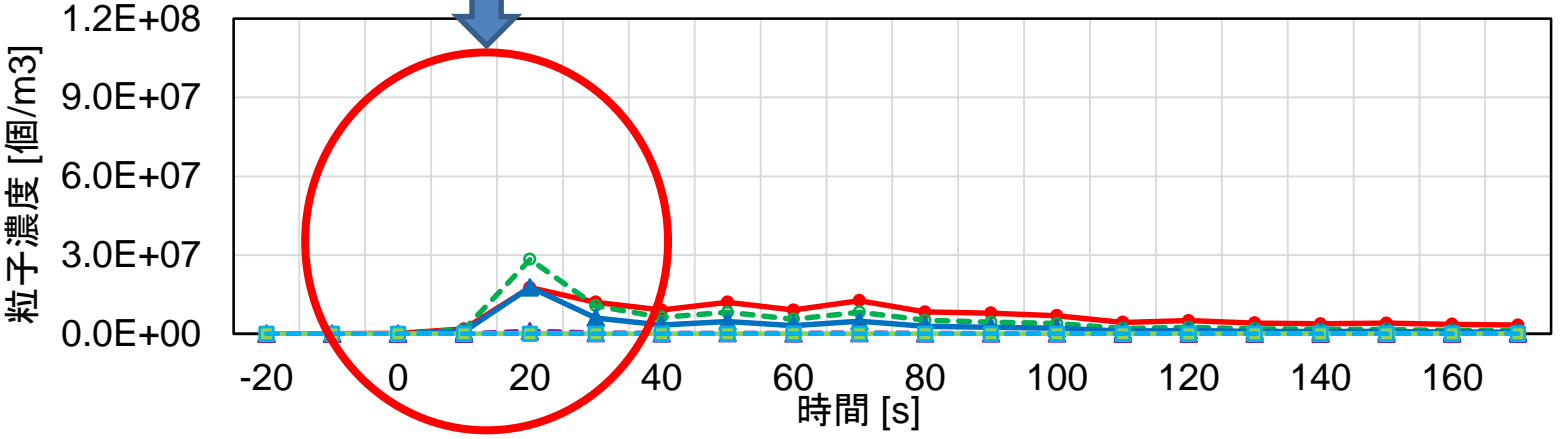
- 尾方壮行、市川真帆、堤仁美、有賀隆男、堀賢、田辺新一: 模擬咳発生装置による飛沫沈着量分布の測定、日本建築学会環境系論文集、Vol.83、No.743、pp.57-64、2018、doi.org/10.3130/aije.83.57
- 尾方壮行、富澤佑介、竹永めぐみ、落合涼、山本佳嗣、田辺新一: 室内環境における新型コロナウイルス感染リスク低減に関する研究 その1: 研究背景・概要および模擬咳発生装置を用いた飛沫・飛沫核濃度の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、環境工学、pp.1215-1218、2021

マスク未着用時の前方の距離による比較

前方
1.0 m



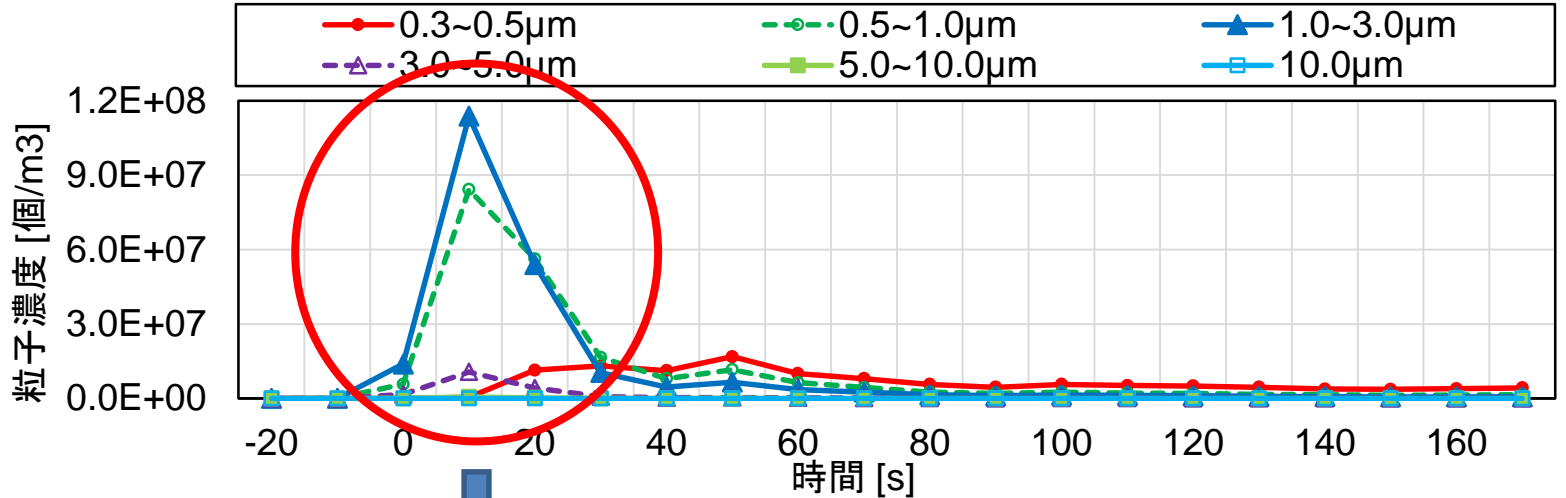
前方
2.0 m



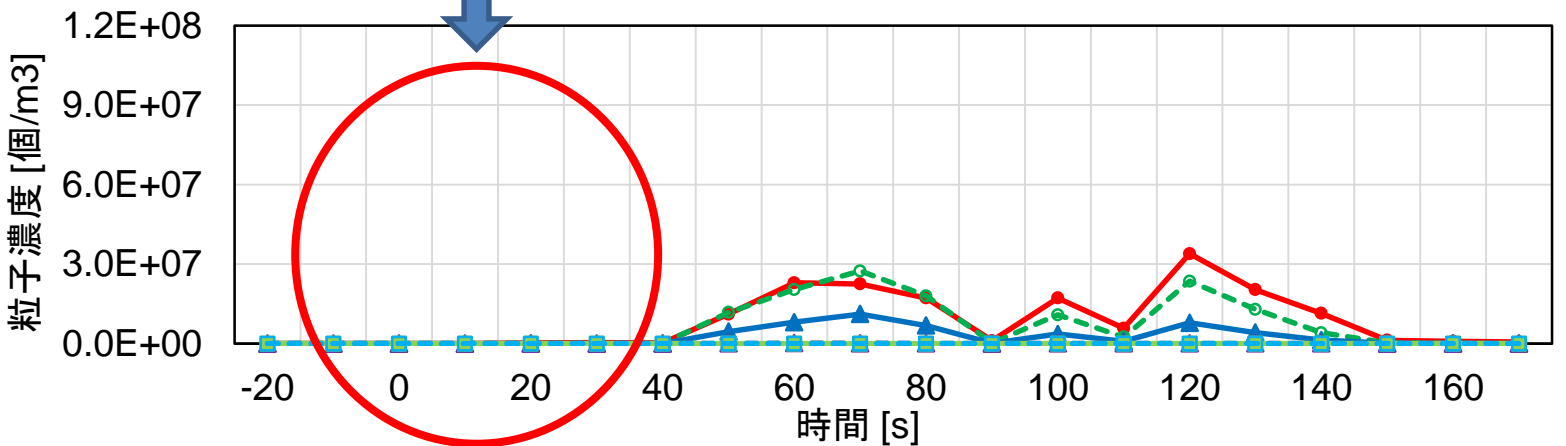
マスク未着用の1mと2mは大幅に結果が異なる

前方1.0 m地点におけるマスク有無比較

マスク
未着用



マスク
着用



マスク着用で0.5~3.0µmの粒子が激減

教室換気量実測

場所：早稲田大学教室

期間：2020年9月9日～9月21日

方法：濃度減衰法（CO₂ガス、初期濃度3500ppm）


15人配置：千鳥配置（定員の約1/4）

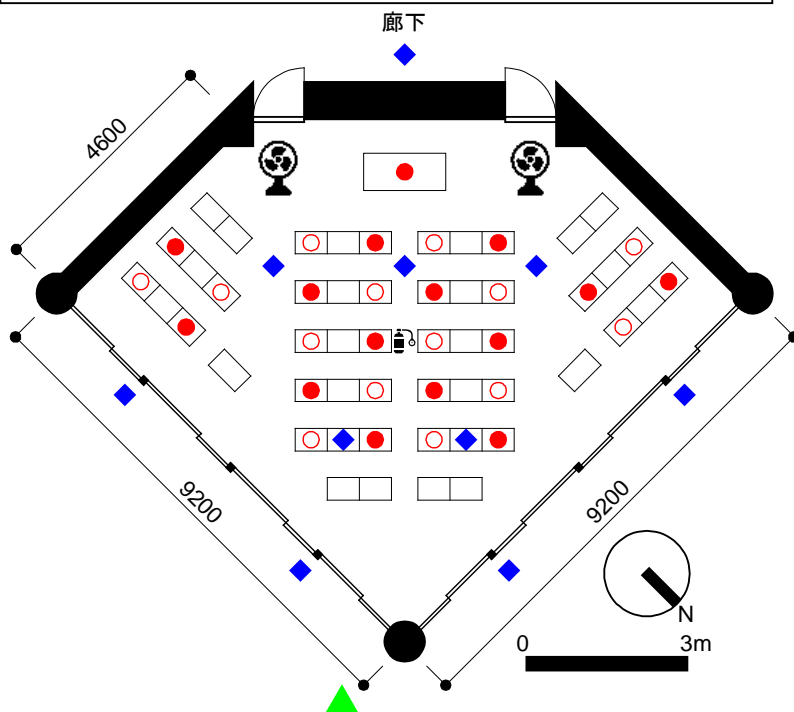
29人配置：1つ空き配置（定員の約1/2）

53人配置：全席配置（定員）



実測教室内観

● ○ 模擬人体発熱
 ◆ CO₂濃度計
 ▲ 風向風速計
  ガスポンペ



条件

サーキュレータ **ON/OFF**

ドア **開放/閉鎖**

窓 **開放/閉鎖**

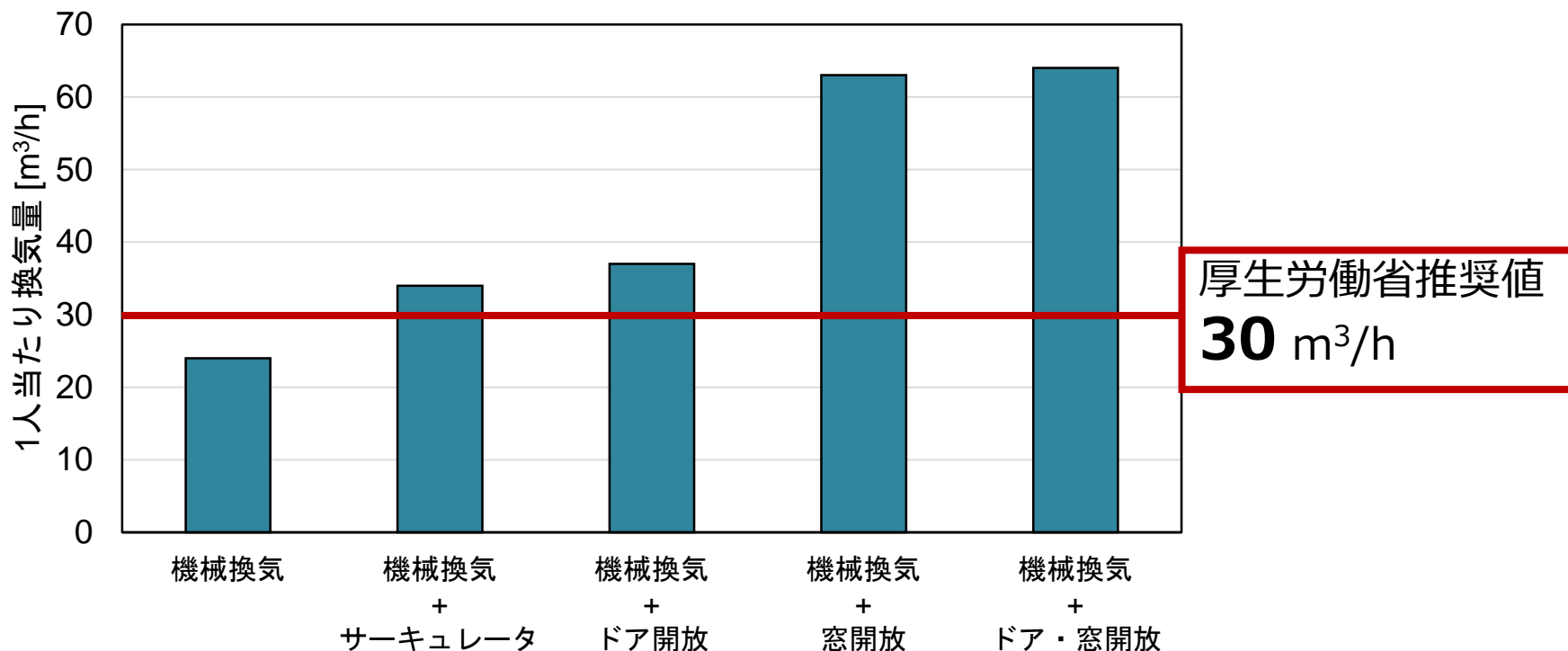
富澤佑介、尾方壮行、竹永めぐみ、落合涼、稲葉愛永、田辺新一：
室内環境における新型コロナウイルス感染リスク低減に関する研究
その2：長期・短期曝露による感染リスク評価に基づく
教室運営方法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、
環境工学、pp.1219-1222、2021

29人在室想定

機械換気は全て**強運転**

機械換気カタログ値: 1000 m³/h

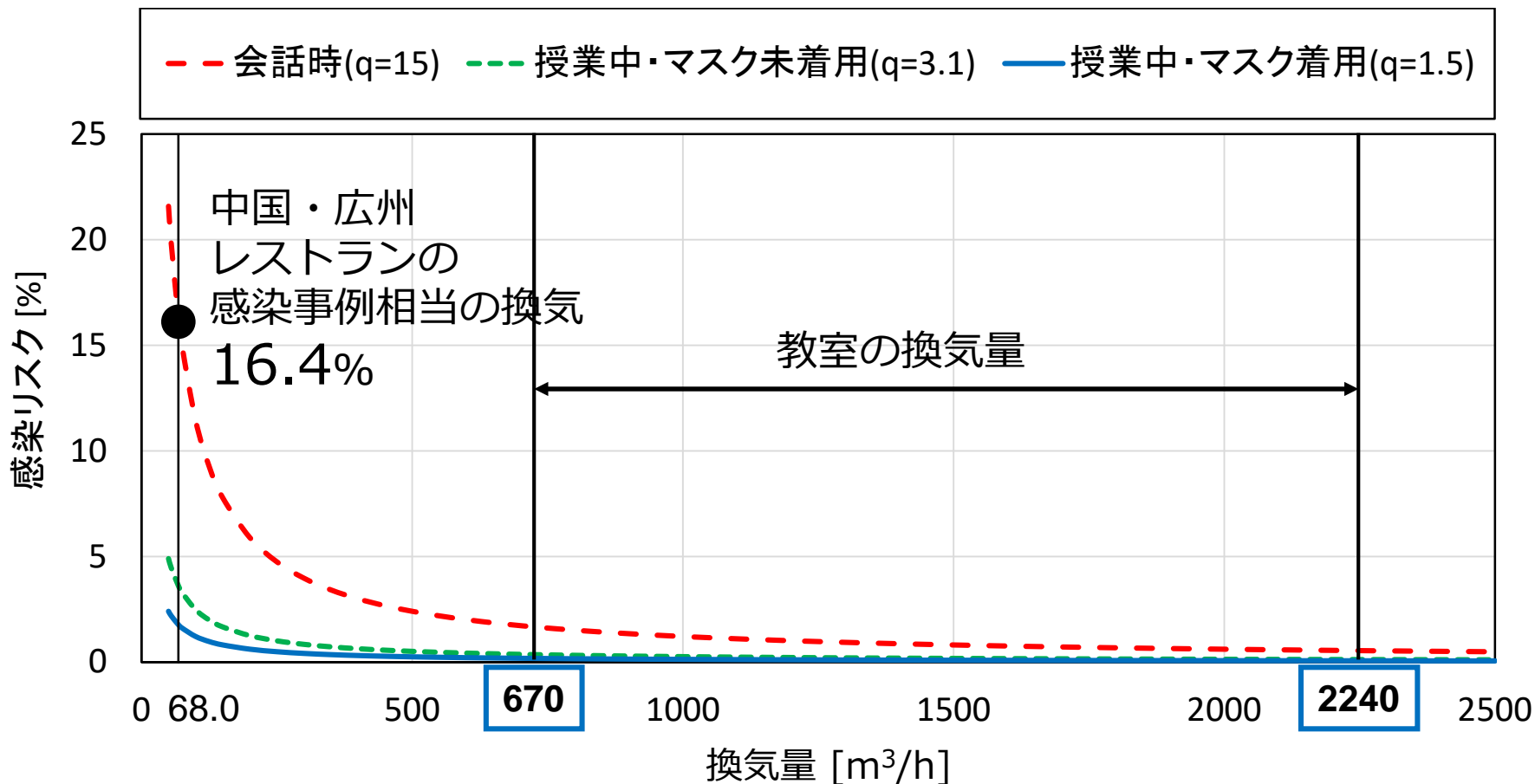
⇒29人在室の場合、1人当たり約 **34** m³/h



中間期には窓開放を併用すると換気効果大

- 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
- 富澤佑介、尾方壮行、竹永めぐみ、落合涼、稲葉愛永、田辺新一: 室内環境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: 長期・短期曝露による感染リスク評価に基づく教室運営方法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海)、環境工学、pp.1219-1222、2021

授業中の空気感染リスク評価



**換気量を増大させ、マスクを着用することにより
感染リスクを大幅に低減することが可能**

Li et al.: Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant, *Building and Environment*, 2021

ほか、Riley et al (1978)、Buonanno et al (2020)、Adams, W.C. (1993)、Lindsley et al (2020)

- ✓ **新型コロナウイルス感染症における換気は非常に重要**
- ✓ **中大規模な建物では、機械換気を適切に運転**
- ✓ **小規模な建物では、窓開け換気や空気清浄機を併用すると安心**
- ✓ **換気を行っていても、不織布マスク、距離を保ち、ウイルスの飛散や吸い込みを極力少なくすること**
- ✓ **換気システムがしっかりと働いているか、運用管理が大切**
- ✓ **バックヤードや休憩室などの換気には要注意**

- 空気調和・衛生工学会
<http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/caution.html>
- 日本建築学会
https://www.aij.or.jp/covid19_info.html#7
- 日本医師会有識者会議「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して」
<https://www.covid19-jma-medical-expert-meeting.jp/topic/1729>

①換気の悪い 密閉空間



②多数が集まる 密集場所



③間近で会話や 発声をする 密接場面



<https://www.kantei.go.jp/jp/content/000061868.pdf>

Avoid the Three Cs

Be aware of different levels of risk in different settings.



There are certain places where COVID-19 spreads more easily:



1 Crowded places

with many people nearby



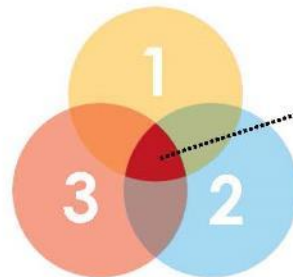
2 Close-contact settings

Especially where people have close-range conversations



3 Confined and enclosed spaces

with poor ventilation

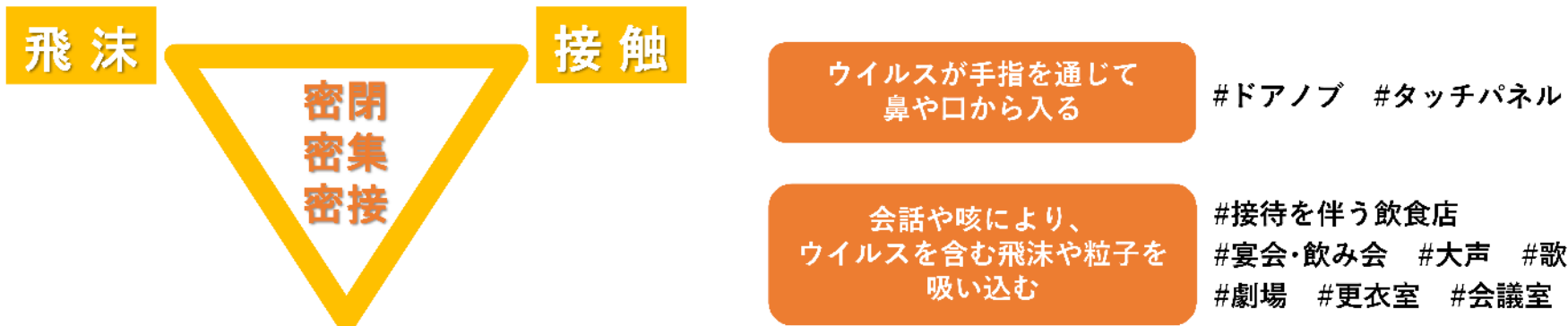


The risk is higher in places where these factors overlap.

Even as restrictions are lifted, consider where you are going and #StaySafe by avoiding the Three Cs.

WHO, COVID-19 Avoid the Three Cs,
<https://www.who.int/brunei/news/infographics---english>

新型コロナウイルス感染症はこうした経路で広がっています



マイクロ飛沫

換気の悪い密閉空間では、5 μ m未満の粒子がしばらくの間、空気中を漂い、少し離れた距離にまで感染が広がる可能性も

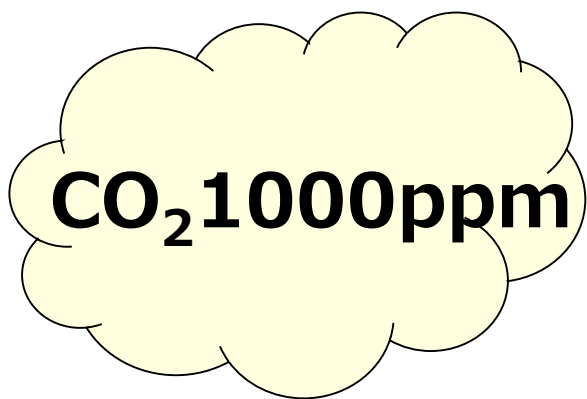
※いわゆる「空気感染」は、結核菌や麻疹ウイルスで認められており、より小さな飛沫が、例えば空調などを通じて空気中を長時間漂い、長い距離でも感染が起これるもの。「マイクロ飛沫感染」とは異なる概念であることに留意が必要。



- ⚠ 3つの**密**を避けましょう！ ①換気の悪い**密閉**空間、②多数が集まる**密集**場所、③間近で会話や発声をする**密接**場面
- ⚠ 手洗い・手指消毒、マスクの着用、2m(最低1m)の身体的距離が大事！適度な**換気**も重要です！

室内CO2濃度は換気を目安

換気回数2回：オフィスにおいて、**1人当たり5m²の占有面積**で、**天井高3m**の時、**1000ppm**程度になる換気量



$$Q = \frac{18 \times 10^{-3}}{(1000 + 400) \times 10^{-6}} = 30$$

一人当たりのCO₂発生量 [L/h]

外気CO₂濃度 [ppm]

一人当たりの換気量 [m³/h]

ヒトの呼吸によりCO₂が出るため、その値を測定すれば換気の善し悪しがわかる

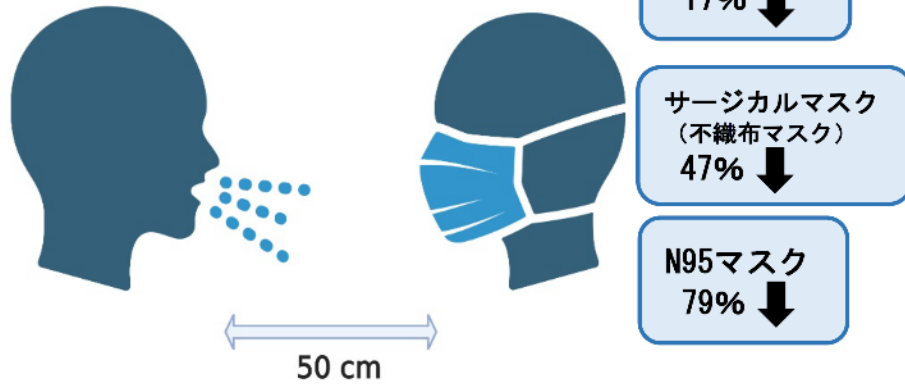
$$N = \frac{30 \times 1}{15} = 2.0$$

換気回数 [回/h]

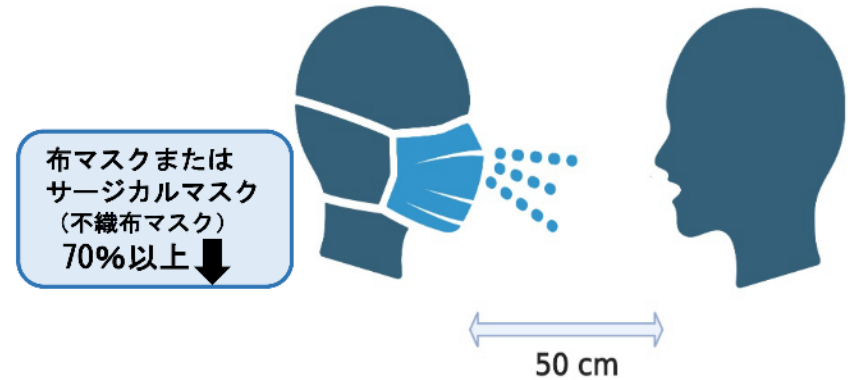
SARS-CoV-2を用いたマスク実験 (東大)



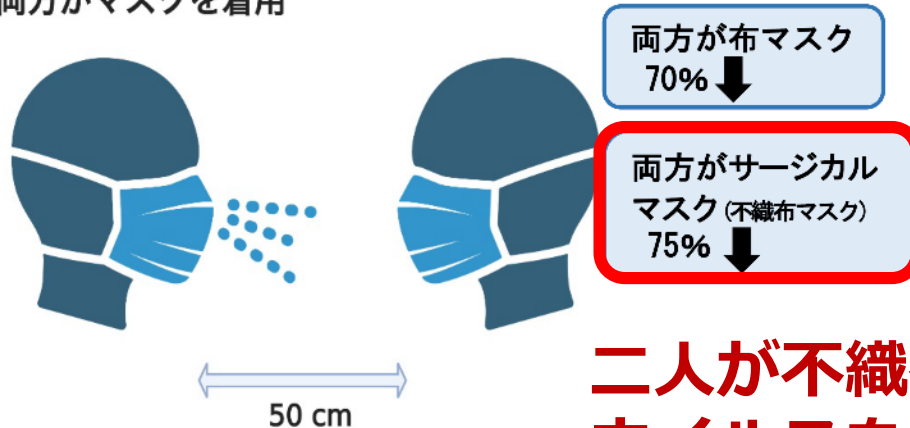
① 聞き手だけがマスク着用



② 話し手だけがマスク着用



③ 両方がマスクを着用



みんながマスクを
することが大切

**二人が不織布マスクをすると75%も
ウイルスを削減できる**

Hiroshi Ueki et al., Effectiveness of face masks in preventing airborne transmission of SARS-CoV-2,
DOI: 10.1128/mSphere.00637-20, <https://msphere.asm.org/content/5/5/e00637-20.full>
内閣官房資料から図表引用 : https://corona.go.jp/proposal/pdf/mask_kouka_20201215.pdf

中央式空調



→冷暖房と換気が同時に
行われている

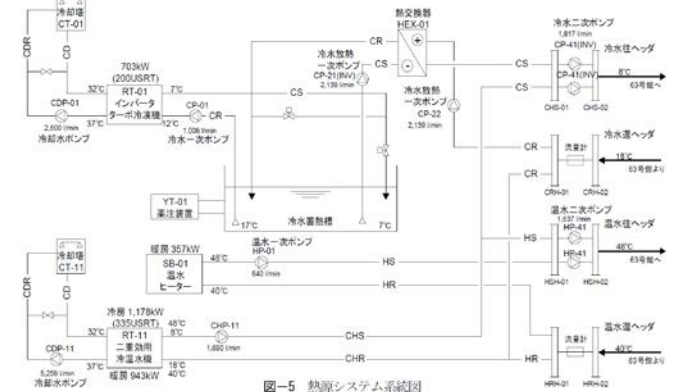
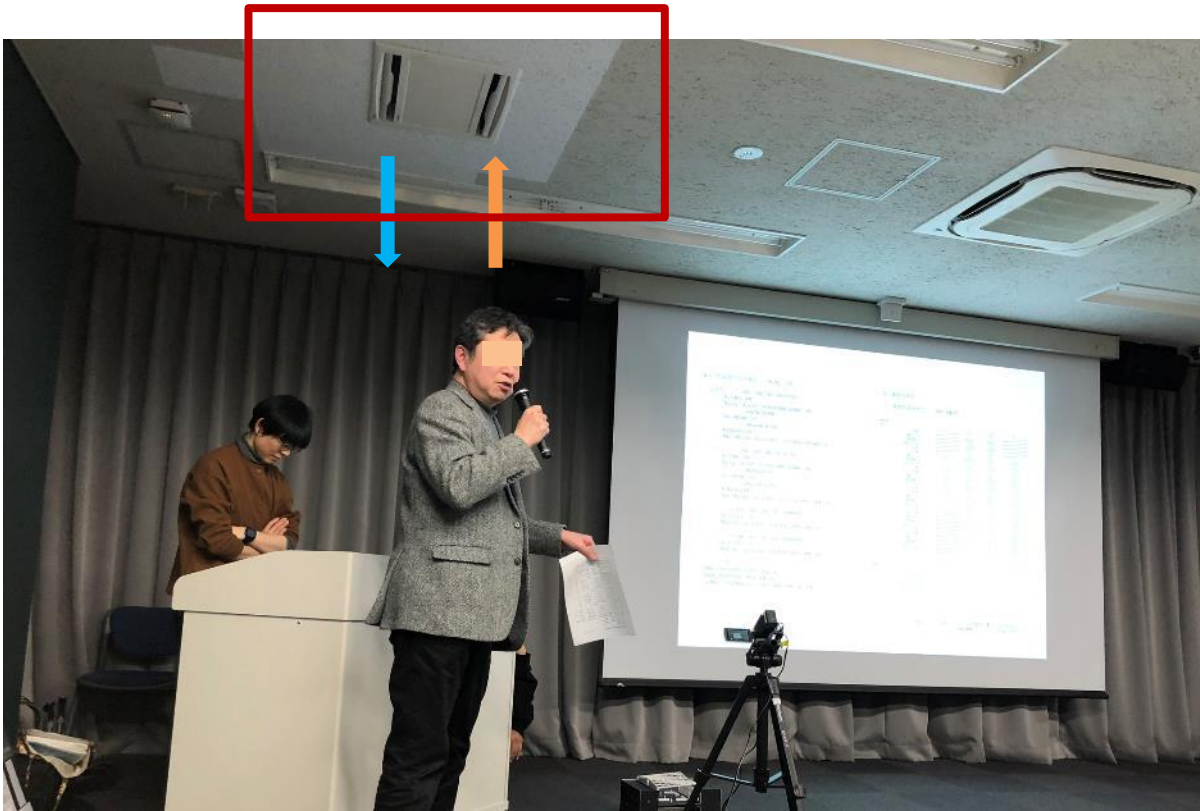
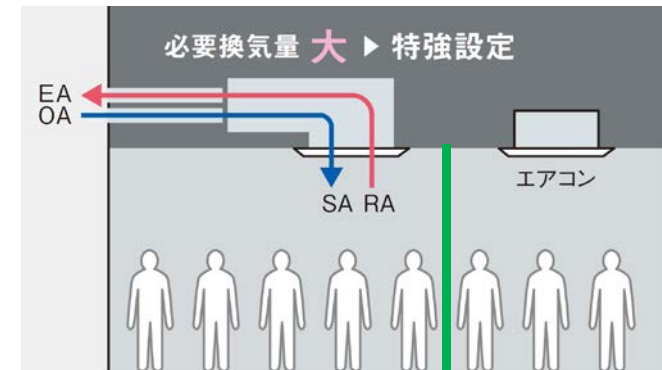


図-5 熱源システム系統図

個別分散空調の換気



同じ場所で給排気を行っているので、天井からのビニールカーテンは注意！



仕切りをすると換気空気が届かない

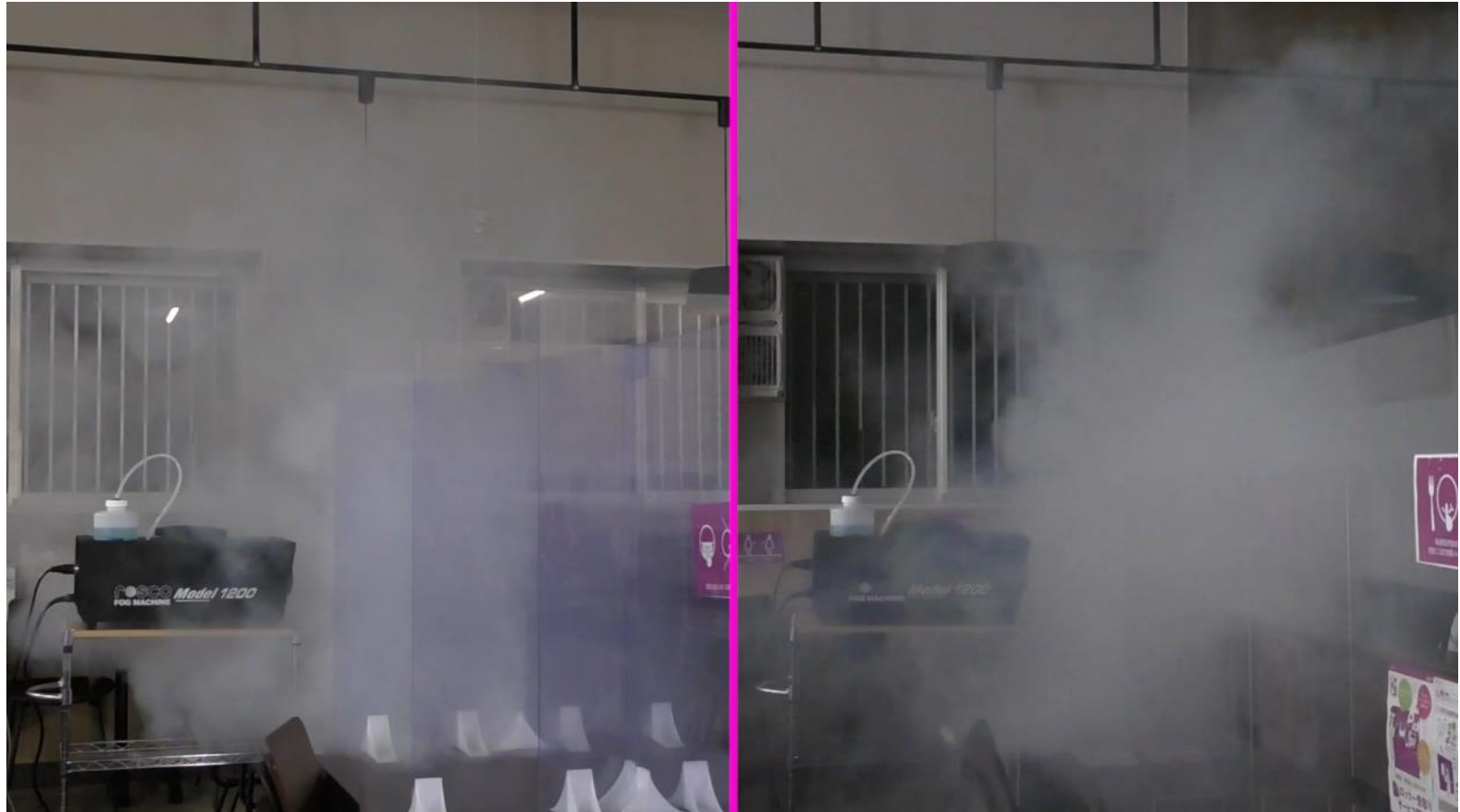
✓ カセット型全熱交換換気システムを採用している

冷暖房→



←エアコンスイッチと換気スイッチ別、連動していないので注意！





スモークマシンにて換気性能を評価

INFECTIOUS DISEASE

A paradigm shift to combat indoor respiratory infection

Building ventilation systems must get much better

By Lidia Morawska, Joseph Allen, William Bahnfleth, Philomena M. Bluysen, Atze Boerstra, Giorgio Buonanno, Junji Cao, Stephanie J. Dancer, Andres Floto, Francesco Franchimon, Trisha Greenhalgh, Charles Haworth, Jaap Hogeling, Christina Isaxon, Jose L. Jimenez, Jarek Kurnitski, Yuguo Li, Marcel Loomans, Guy Marks, Linsey C. Marr, Livio Mazzarella, Arsen Krikor Melikov, Shelly Miller, Donald K. Milton, William Nazaroff, Peter V. Nielsen, Catherine Noakes, Jordan Peccia, Kim Prather, Xavier Querol, Chandra Sekhar, Olli Seppänen, ~~Shin-ichi Tanabe~~, Julian W. Tang, Raymond Tellier, Kwok Wai Tham, Pawel Wargocki, Aneta Wierzbicka, Maosheng Yao

2021年5月21日 Scienceに公開

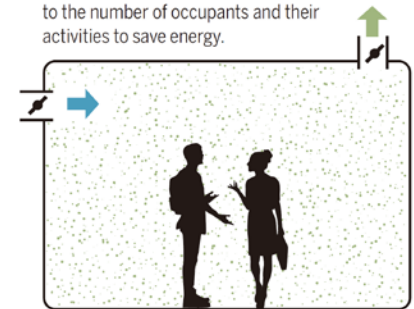
Science 372 (6543), 689-691. DOI:
10.1126/science.abg2025

呼吸器感染症と戦うパラダイムシフト

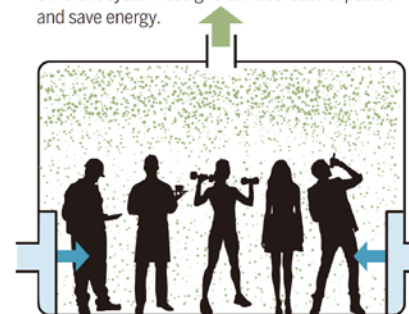
Design occupancy
Ventilation is set for maximum occupancy.



Demand controlled
Ventilation is adjusted according to the number of occupants and their activities to save energy.



Improved air distribution
Different system designs can decrease exposure and save energy.



Personalized ventilation
Clean air is supplied where needed to further reduce exposure and energy use.

