

新型コロナウイルス感染症制御における 「換気」に関して

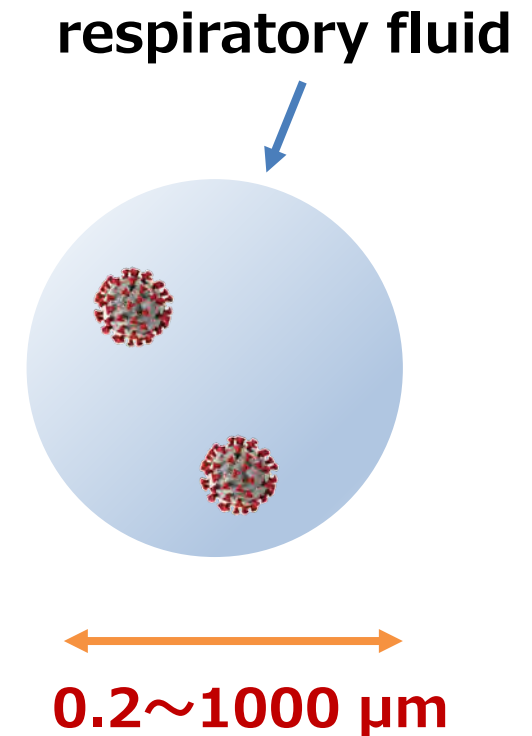
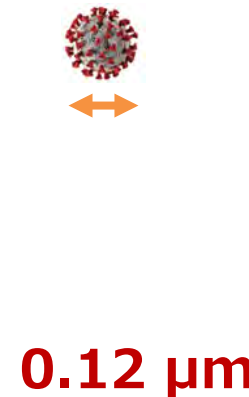
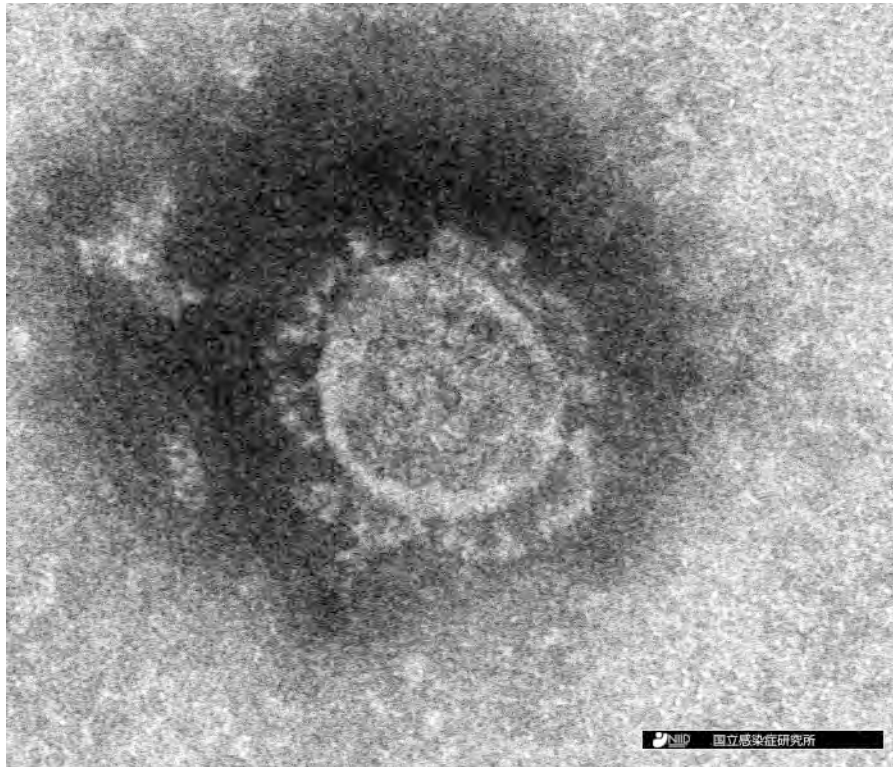


本資料で示した見解は本日時点の発表者によるものです。研究や対策が急速に進展している分野であり、新しい知見が今後加わることによって変更される可能性があることに留意下さい。

2020年7月29日
早稲田大学建築学科
田辺新一

新型コロナウイルス (SARS-CoV-2)

- 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)
- 新型コロナウイルス (**SARS-CoV-2**)
- SARSウイルス(SARS-CoV-1)



https://www.niid.go.jp/niid/images/images/nCoV/2019nCoV-200130monos_niid.jpg

3密

①換気の悪い 密閉空間



②多数が集まる 密集場所

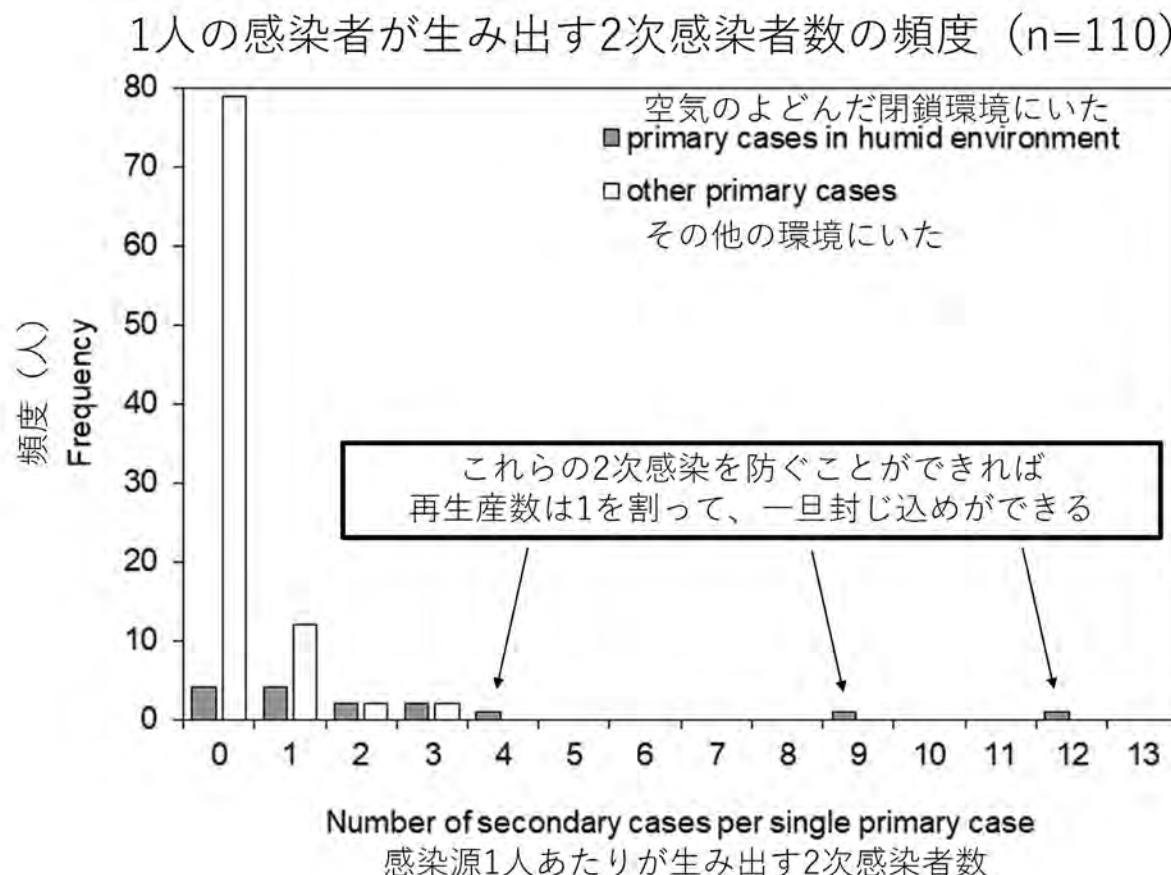


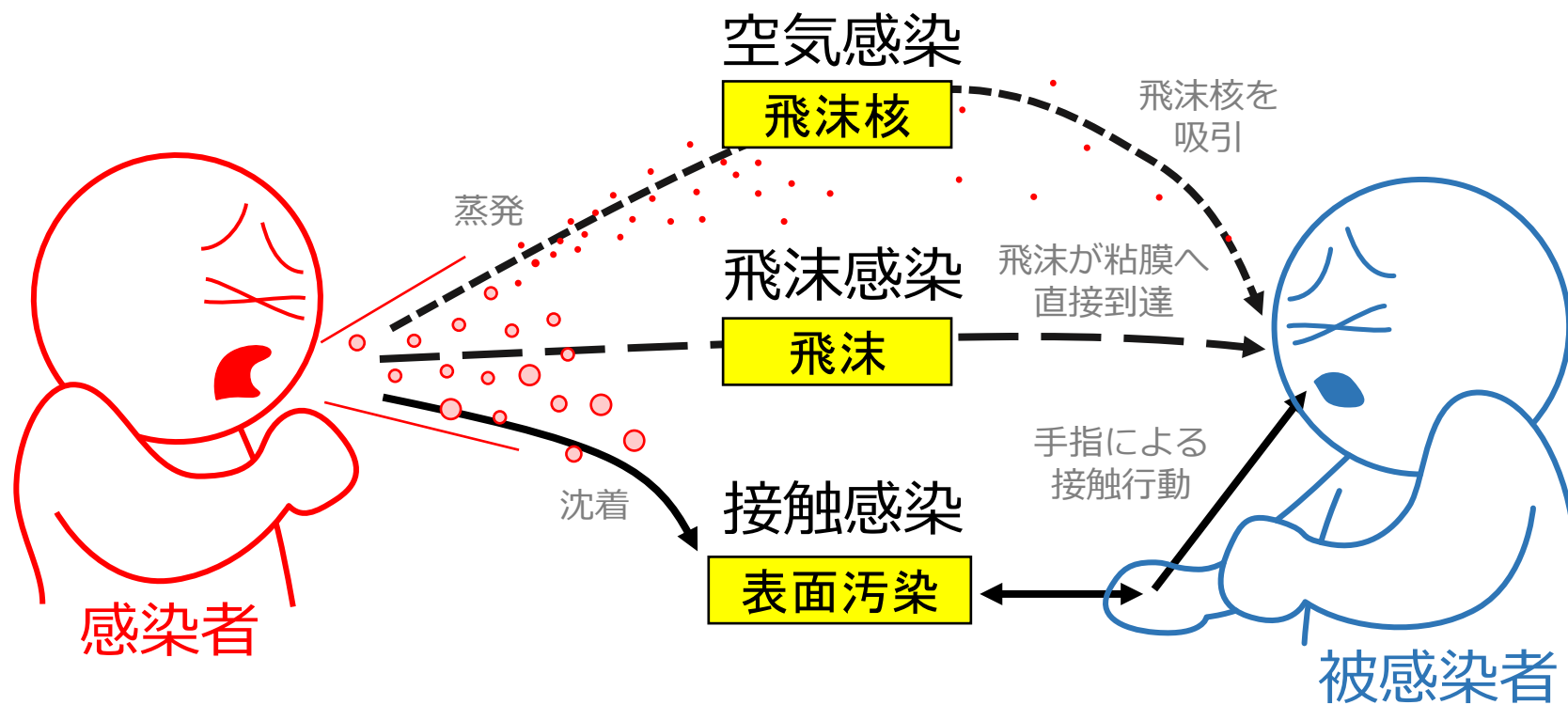
③間近で会話や 発声をする 密接場面



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

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た。**





室内環境では、主に3つの感染経路がある

政府の注意喚起（2020年3月9日）



WASEDA University

1. **換気を励行する**：窓のある環境では、可能であれば 2 方向の窓を同時に開け、換気を励行します。ただ、**どの程度の換気が十分であるかの確立したエビデンスはまだ十分にありません。**
2. **人の密度を下げる**：人が多く集まる場合には、会場の広さを確保し、お互いの距離を **1 - 2メートル程度あける**などして、人の密度を減らす。
3. **近距離での会話や発声、高唱を避ける**：周囲の人が近距離で発声するような場を避けてください。やむを得ず近距離での会話が必要な場合には、自分から飛沫を飛ばさないよう、咳エチケットの要領で**マスクを装着**するかします。

引用：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」

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）

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。



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 Flotoⁱ, Francesco Franchimon^j, Charles Haworth^k, Jaap Hogeling^l, Christina Isaxon^m, Jose L. Jimenezⁿ, 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

Available online 27 May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>

It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19

Lidia Morawska, Donald K. Milton



WASEDA University

Clinical Infectious Diseases

Issues More Content ▾ Publish ▾ Purchase Advertise ▾ About ▾

All Clinical Infectious Diseases

ACCEPTED MANUSCRIPT

It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19

Lidia Morawska , Donald K Milton

Clinical Infectious Diseases, ciae939, <https://doi.org/10.1093/cid/ciae939>

Published: 06 July 2020 Article history ▾

PDF Split View Cite Permissions Share ▾

2020年7月6日公開

There is significant potential for inhalation exposure to viruses in microscopic respiratory droplets (microdroplets) at short to medium distances (up to several meters, or room scale), and we are advocating for the use of preventive measures to mitigate this route of airborne transmission.

The following scientists contributed to formulating this commentary: Linsey C. Marr, William Bahnfleth, Jose-Luis Jimenez, Yuguo Li, William W. Nazaroff, Catherine Noakes, Chandra Sekhar, Julian Wei-Tze Tang, Raymond Tellier, Philomena M. Bluyssen, Atze Boerstra, Giorgio Buonanno, Junji Cao, Stephanie J. Dancer, Francesco Franchimon, Charles Haworth, Jaap Hogeling, Christina Isaxon, Jarek Kurnitski, Marcel Loomans, Guy B. Marks, Livio Mazzarella, Arsen Krikor Melikov, Shelly Miller, Peter V. Nielsen, Jordan Peccia, Xavier Querol, Olli Seppänen, **Shin-ichi Tanabe**, Kwok Wai Tham, Pawel Wargocki, Aneta Wierzbicka, Maosheng Yao.

新型コロナ「空気感染の恐れ」＝公開書簡で対策要請一日欧米など32カ国の239名の専門家
公開書簡作成に協力した田辺新一早稲田大教授は、取材に対し「日本は密閉空間の換気対策で進んでいるが、WHOはまだ公式に換気の有効性を認めていない。**感染者から排出された小さな飛沫や飛沫核が空気中を漂うリスクを認識することが大切だ**」と強調した。（時事）

- ✓ The World Health Organization (WHO), do not recognize airborne transmission except for aerosol-generating procedures performed in healthcare settings. Hand washing and social distancing are appropriate, but in our view, insufficient to provide protection from virus-carrying respiratory microdroplets released into the air by infected people.
- ✓ 世界保健機関（WHO）は、気管挿管時など特殊な医療環境でなければ、エアロゾルを介した新型コロナウイルス感染（空気感染）は起きないとする立場を取ってきた。手洗いと社会的距離を保つという点は適切ですが、我々の見解（Grobe 36）では、これだけは感染した人々によって空中に放出されたウイルスを含むマイクロ飛沫からの感染防止には不十分です



- ✓ 2020年7月9日 WHOは、密集した空間で換気が悪い場合に空気感染（エアロゾル感染）の可能性あることを示唆

Available online 27 May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>

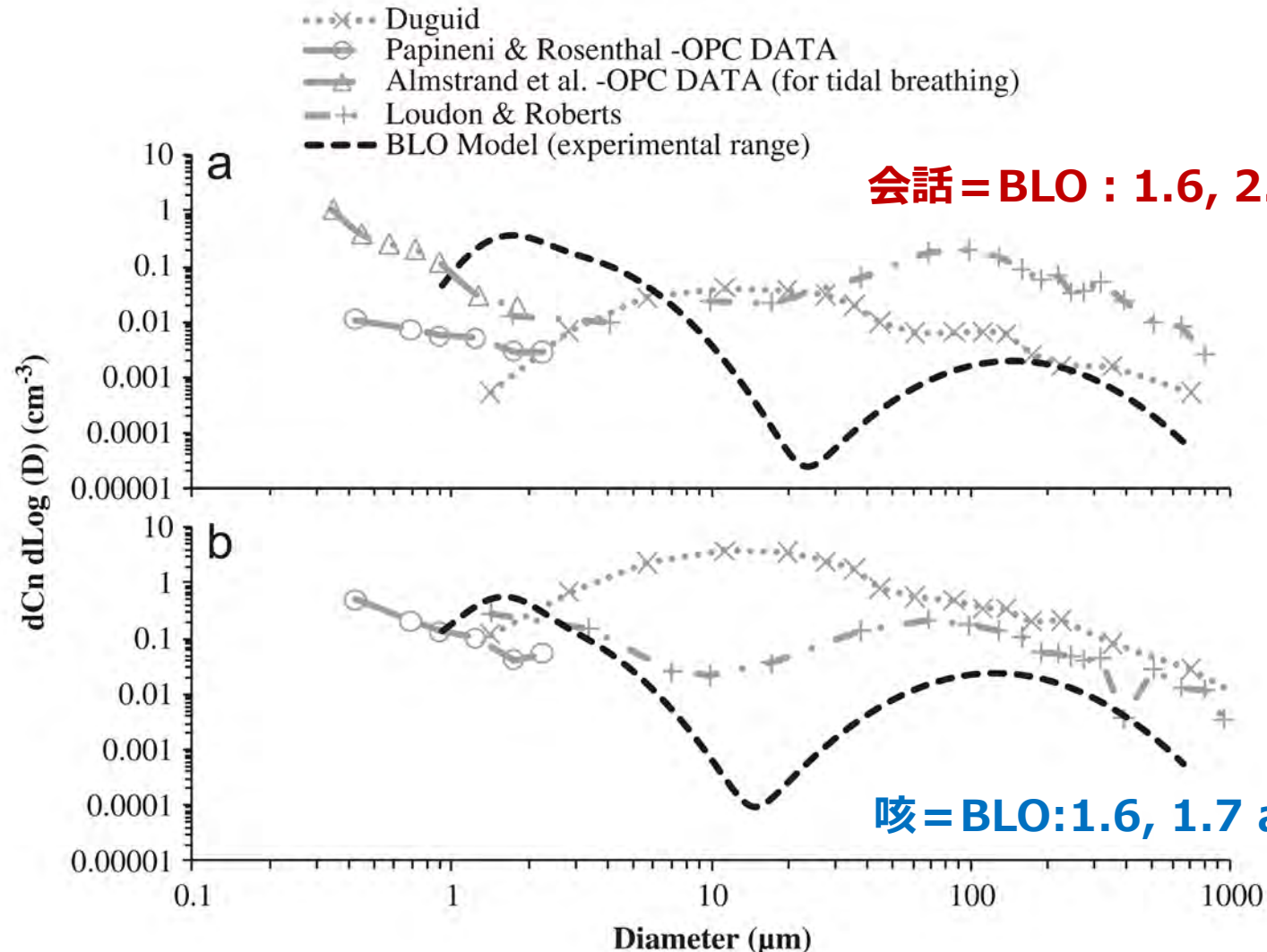
WHO: <https://www.who.int/publications/i/item/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>

会話と咳による飛沫・飛沫核粒径



B : 下気道深部、L : 喉頭、O : 口腔を含む上気道

活性飛沫核の粒径は10~20 μm よりも小さい

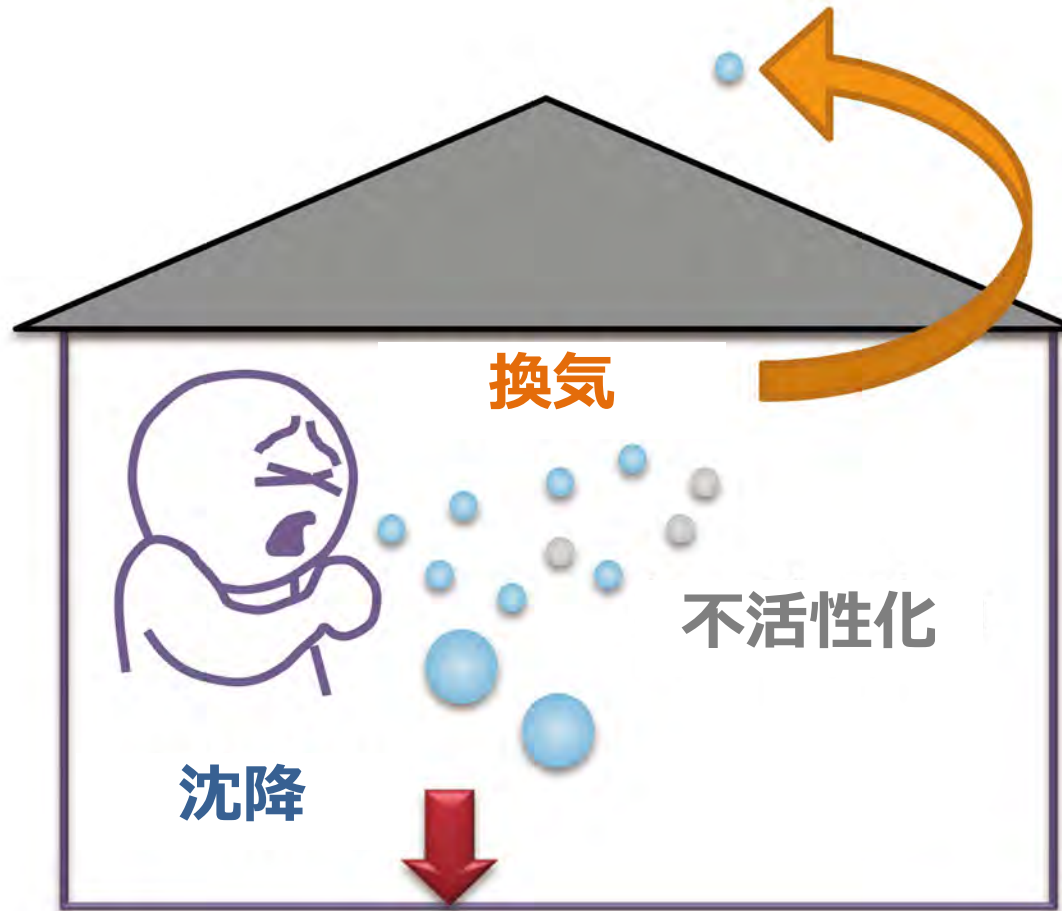


会話 = BLO : 1.6, 2.5 and 145 μm

咳 = BLO: 1.6, 1.7 and 123 μm

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



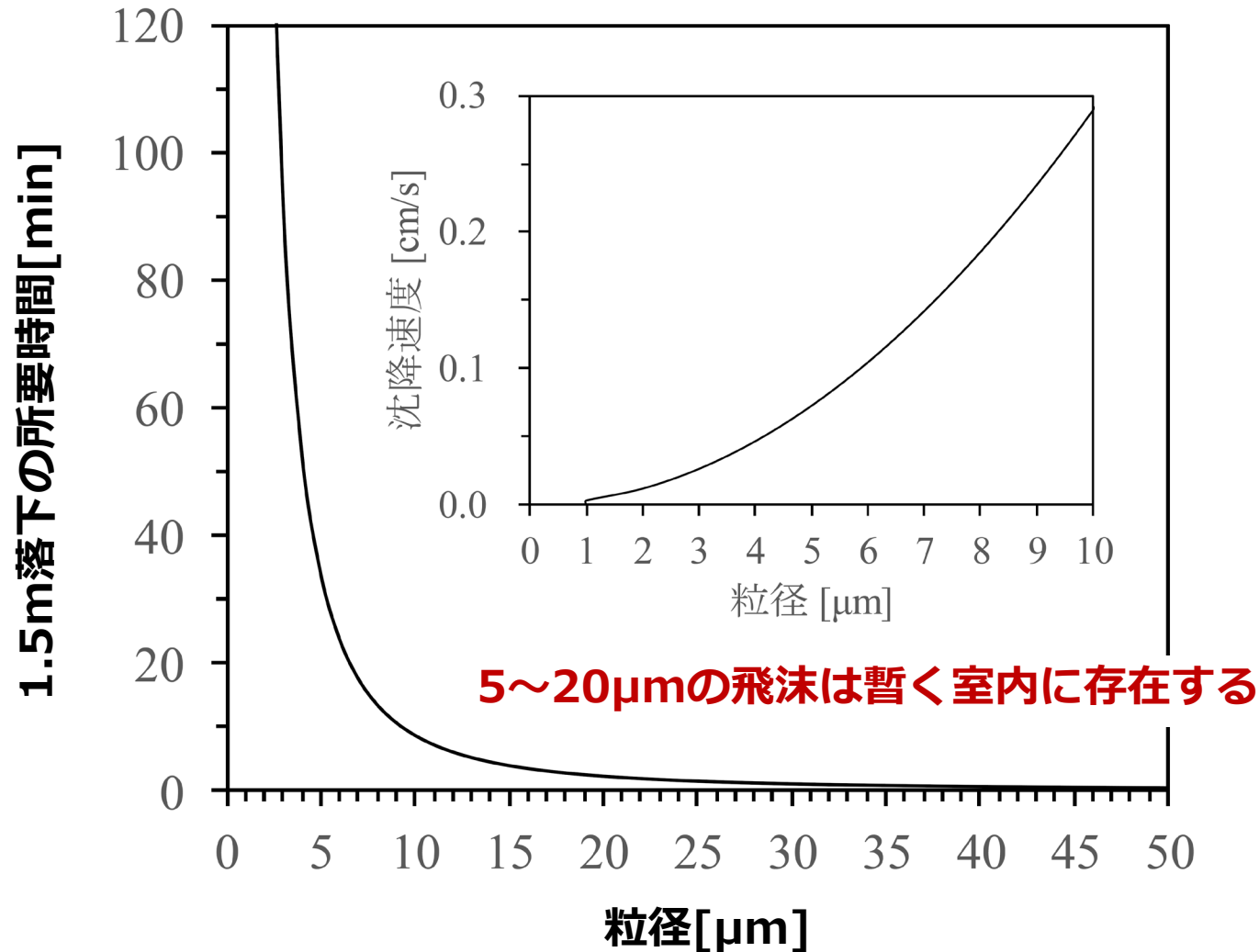
- ✓ 飛沫の沈降速度は粒子の直径に比例する
- ✓ 直径は相対湿度に影響を受ける
- ✓ 不活性化率は温湿度やウイルスによる

✓ **飛沫 : droplets**
> 5 μ m 直径

✓ **飛沫核 : droplet nuclei**
 $\leq$ 5 μ m 直径

飛沫が蒸発したもの

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/112656/9789241507134_eng.pdf?sequence=1



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

**診察室において、各種感染防止対策手法を行った際の
患者の咳による空気感染リスク低減効果を検討**

咳気流（飛沫核）の模擬として
トレーサーガスCO₂・模擬唾
液・粉塵を噴出

マネキンの呼吸域の
濃度を測定

診察室を模擬し
た実験室

模擬咳気流発生装置を
備えたマネキン（咳をする患者）

サーマルマネキン
（咳に曝露される医師）

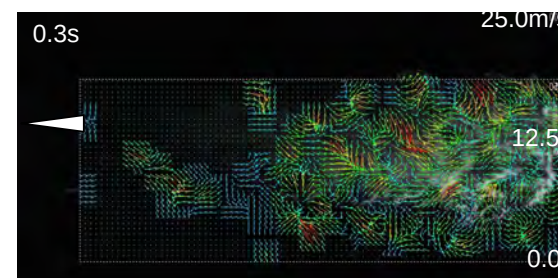
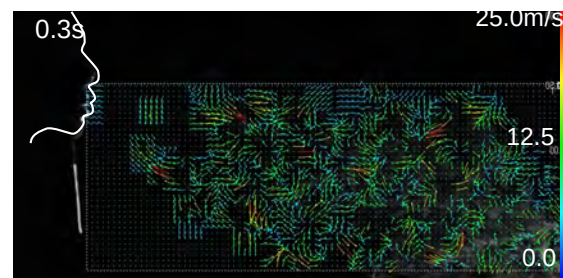
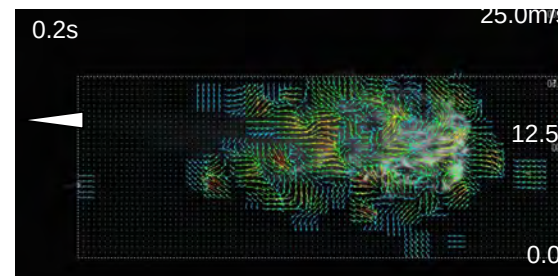
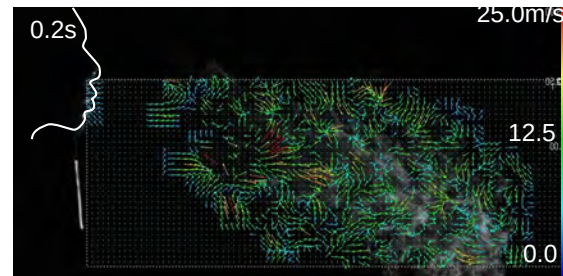
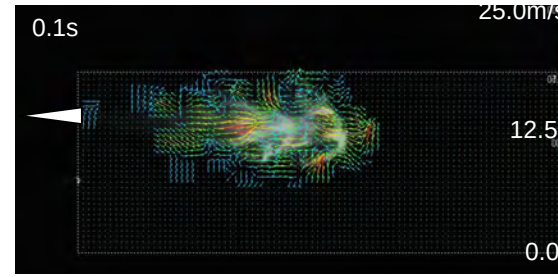
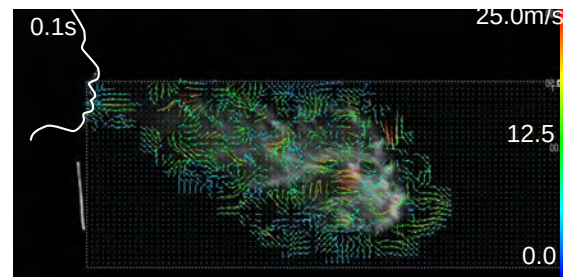
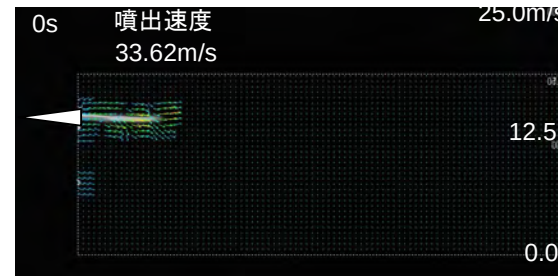


▲ 実験風景

感染防止対策

- ・ 人体位置の変更
- ・ プッシュプル装置
- ・ 隔壁
- ・ マスク

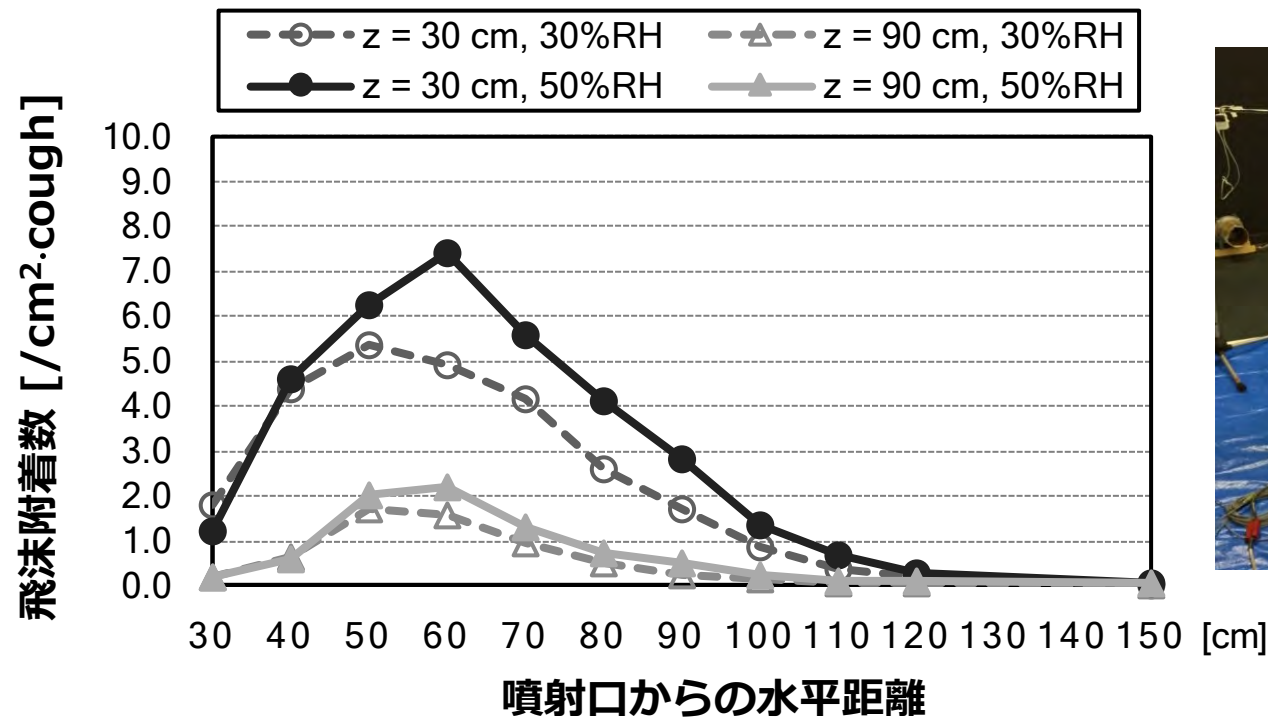
人間の咳気流と模擬咳気流の比較



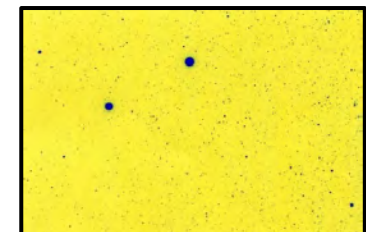
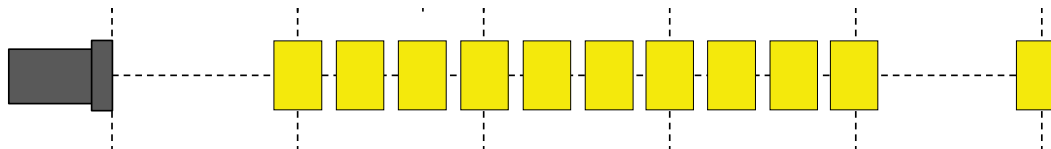
吐出時の最大流速

	平均値 (S.D.) [m/s]
被験者 A	31.43 (2.93)
被験者 B	31.49 (2.46)
被験者 C	18.95 (5.05)
被験者 D	28.53 (5.87)
被験者 平均	27.60 (6.88)
咳マシ ーン	33.62 (-)

水平面 飛沫附着数の分布

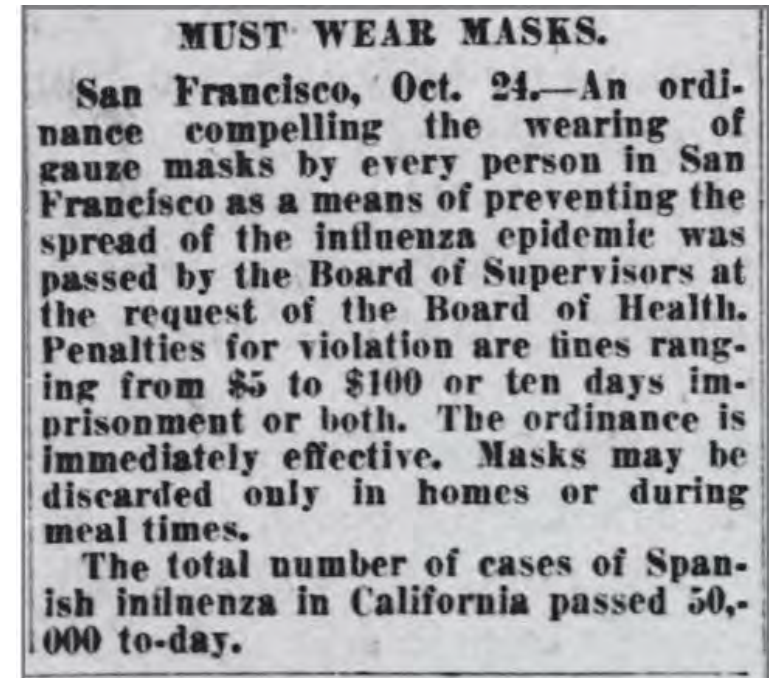
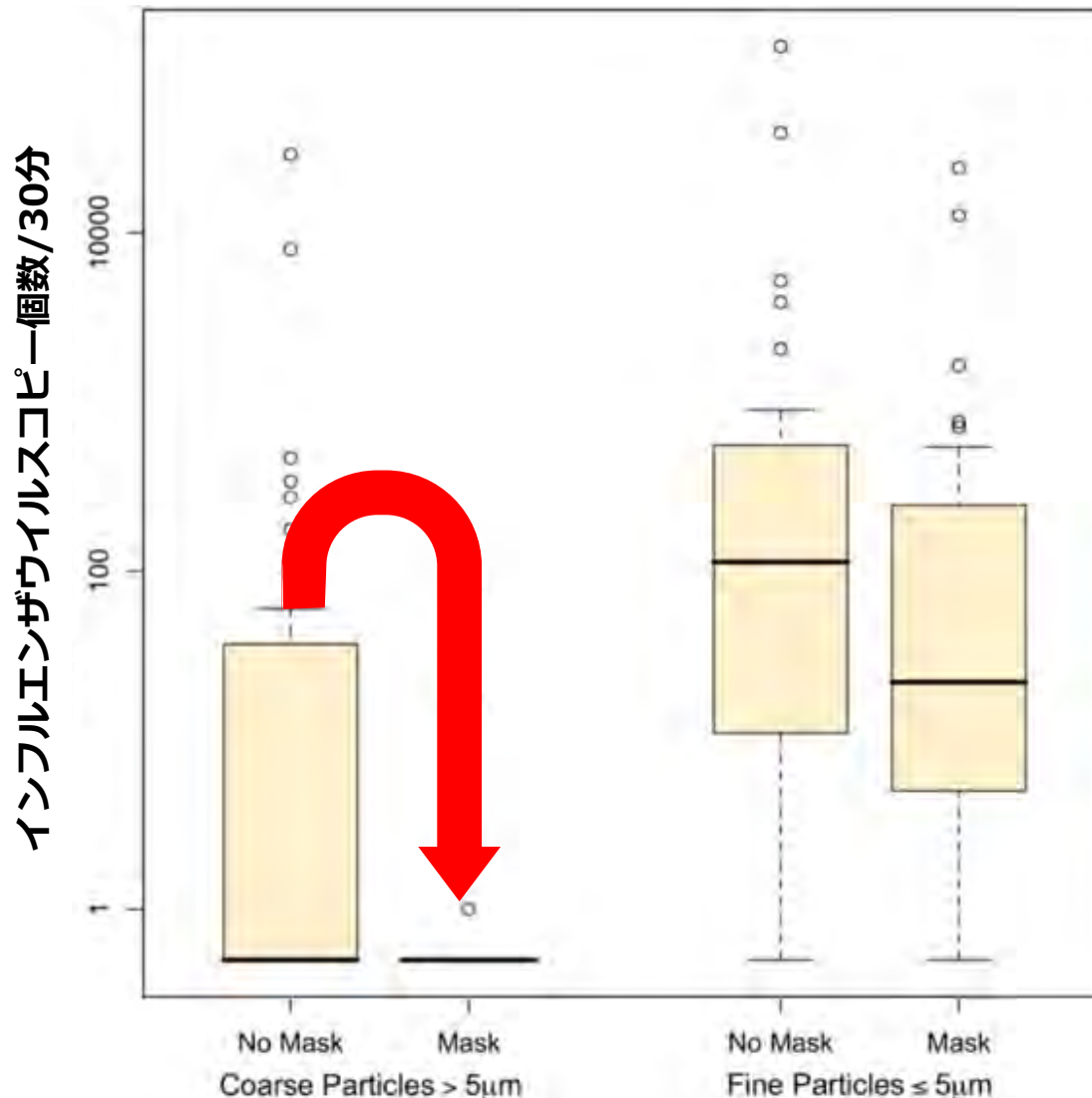


- 120cm離れると飛沫附着数はほぼゼロになる→**大きな飛沫は1~2m離れるとOK**
- 飛沫は蒸発するため、口からの下方向の飛沫附着数は少ない→**湿度が低いと浮遊**



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

5 μ mを越える飛沫拡散防止にはマスクは大きな効果がある！



1918年10月24日 San Francisco Chronicle
1918年スペイン風邪の時にサンフランシスコではマスクの着用が義務化になった。違反すると罰金あるいは10日間の拘留

Milton et al., 2013, *PLoS Pathogens*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23505369>

一連の米国の研究からマスクと3~4尺の距離を学んだ

FACE MASKS IN INFECTIONS OF THE
RESPIRATORY TRACT *

BREWSTER C. DOUST, M.D. (SYRACUSE, N. Y.)

Captain, M. C., U. S. Army

AND

ARTHUR BATES LYON, M.D. (BOSTON)

Lieutenant, M. C., U. S. Army

NEW YORK

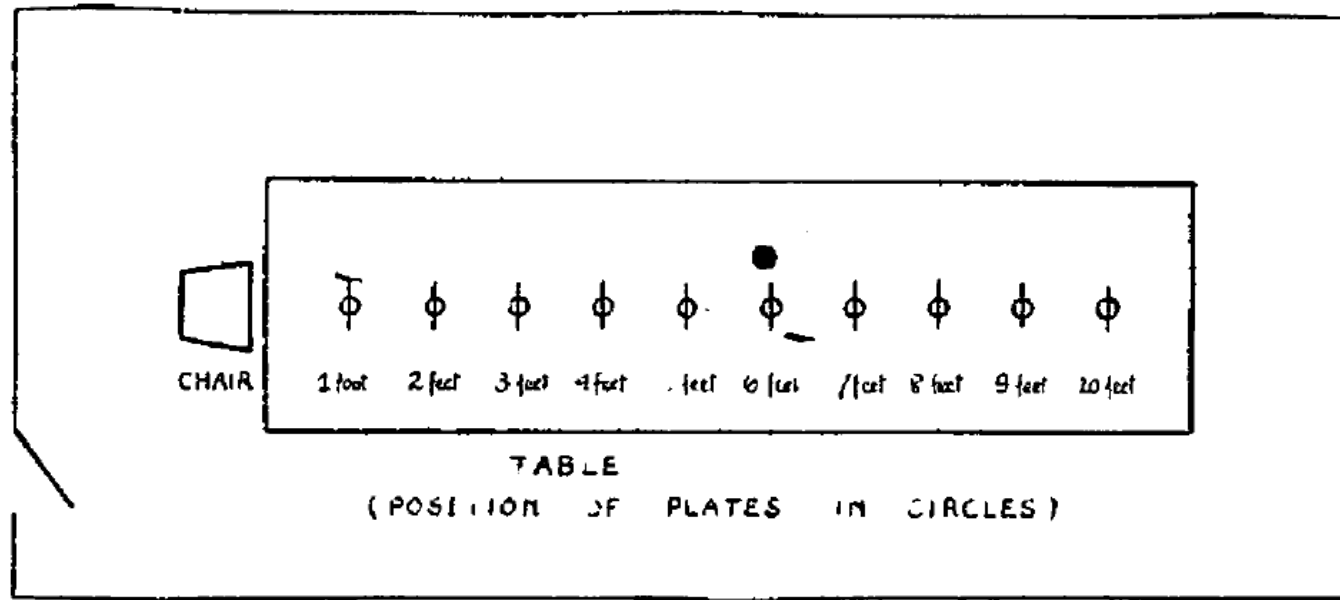


Fig. 1.—Arrangement of furniture and plates for tests.



防^{ばう} 豫^よ 感^せ 流^か

(局生衛省務内)

一、近^{ちか}寄^よるな——咳^{せき}する人^{ひと}に

二、鼻^{はな}口^{くち}を覆^{おほ}へ——身^みの爲^{ため}にも

三、豫^よ防^{ばう}注^{ちゅう}射^{しゃ}を——轉^{ころ}ばぬ先^{さき}に

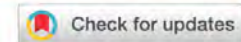
四、含^う嗽^{がひ}ぜよ——朝^{あさ}な夕^{ゆふ}なに

- 94名の感染者に関して調査
 - 発症時、発症前の咽頭スワブのウイルス量が最大
 - 二次感染の44%は、インデックス感染者の発症前と推定
- 無症状の感染者が二次感染をおこす可能性大！

BRIEF COMMUNICATION

<https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>

nature
medicine



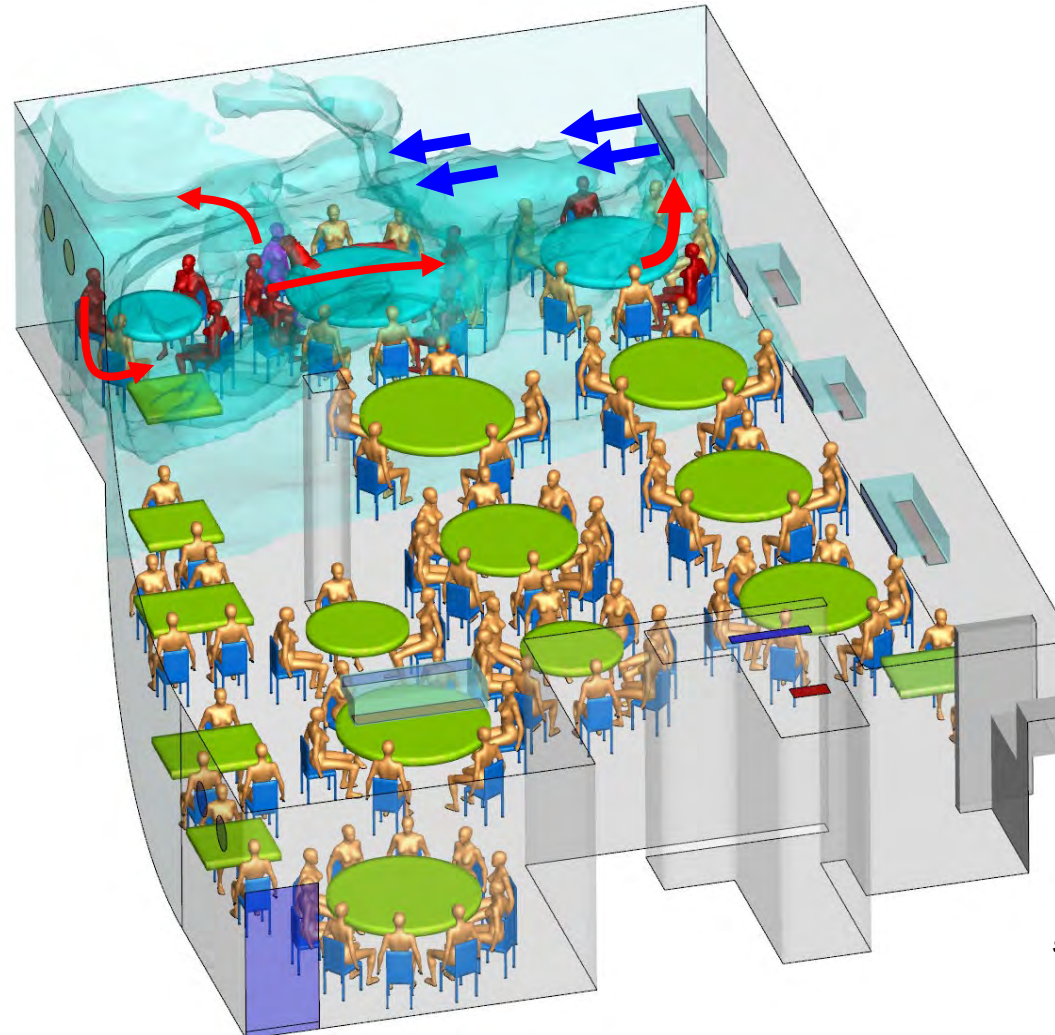
Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19

Xi He^{1,3}, Eric H. Y. Lau^{2,3}  , Peng Wu², Xilong Deng¹, Jian Wang¹, Xinxin Hao², Yiu Chung Lau², Jessica Y. Wong², Yujuan Guan¹, Xinghua Tan¹, Xiaoneng Mo¹, Yanqing Chen¹, Baolin Liao¹, Weilie Chen¹, Fengyu Hu¹, Qing Zhang¹, Mingqiu Zhong¹, Yanrong Wu¹, Lingzhai Zhao¹, Fuchun Zhang¹, Benjamin J. Cowling^{2,4} , Fang Li^{1,4} and Gabriel M. Leung^{2,4} 

[Nature Medicine](#) volume 26, pp672–675(2020)

広州のレストランの事例

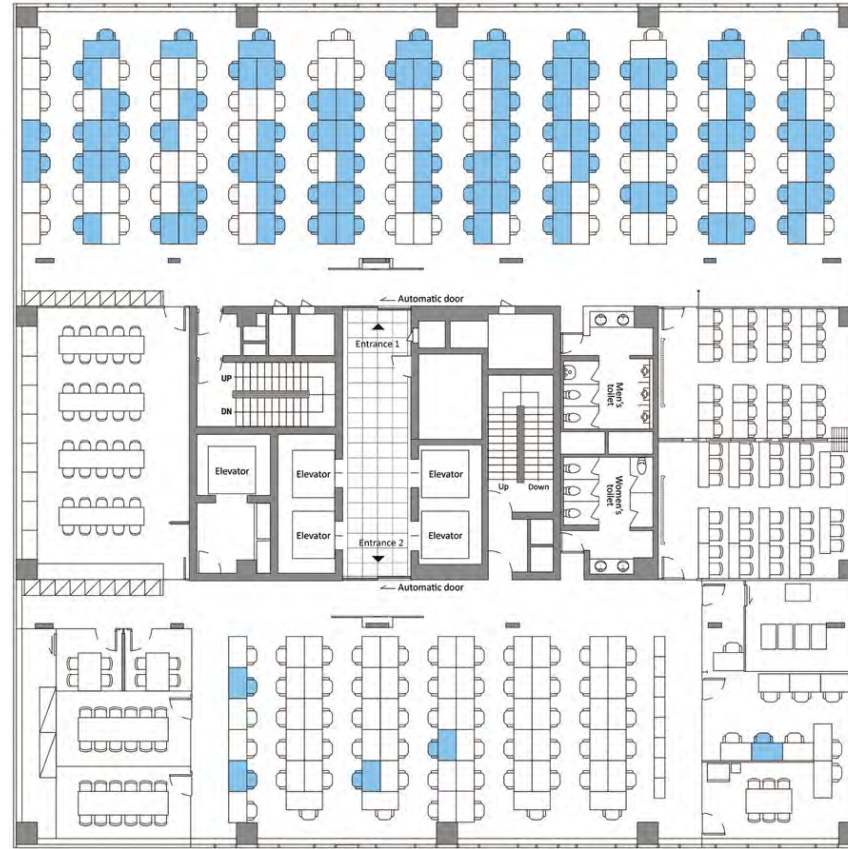
「厚生労働省が悪くない換気とする換気量1人当たり $30\text{m}^3/\text{h}$ に対して1/10の約 $3\text{m}^3/\text{h}$ と推定」



香港大学Yuguo Li教授グループ提供

Y. Li, et al., Running title: Aerosol transmission of SARS-CoV-2, Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant, (<https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728>)

韓国のコールセンターでの集団感染



1人の感染者が出勤した。同フロアには216人の従業員。2/25ビル閉鎖、3/9までの約2週間に、94人（43.5%）が感染。94人のうち92人が発症。オフィスの片側が主に感染しているのに対し、反対側では感染者が非常に少なかった。**混雑したオフィス環境では SARS-CoV-2が非常に伝搬しやすい**ことを示している。また、エレベーターやロビー等において異なるフロアの労働者と多くの接触があったであろうにもかかわらず、感染はほとんどが1フロアに限定されている。接触時間が問題か？

Park SY, Kim YM, Yi S, Lee S, Na BJ, Kim CB, et al. Coronavirus disease outbreak in call center, South Korea. Emerg Infect Dis. 2020 Aug [date cited]. <https://doi.org/10.3201/eid2608.201274>

- ✓ 中国グループの研究によると、rRT-PCRを使用して、SARS-CoV-2に感染した73人の入院患者の便中のウイルスRNAを試験した結果、**患者の53%が便でRNAの陽性を示した**。SARS-CoV-2が気道で検出不可能なレベルに減少した後でも、患者の23%は糞便中に陽性のままであった報告している。査読後Gastroenterologyに掲載
- ✓ ドイツのグループの研究は、RNAの泌尿器からの検出と特別な考慮事項に関する論文をWorld Journal of Urology に発表。**ウイルスRNA陽性は尿と便の両方のサンプルで検出された**。

F. Xiao, et al., Evidence for Gastrointestinal Infection of SARS-CoV-2. Gastroenterology, 158, pp.1831–1833, 2020 (<https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.02.055>)
World Journal of Urology: <https://doi.org/10.1007/s00345-020-03246-4>

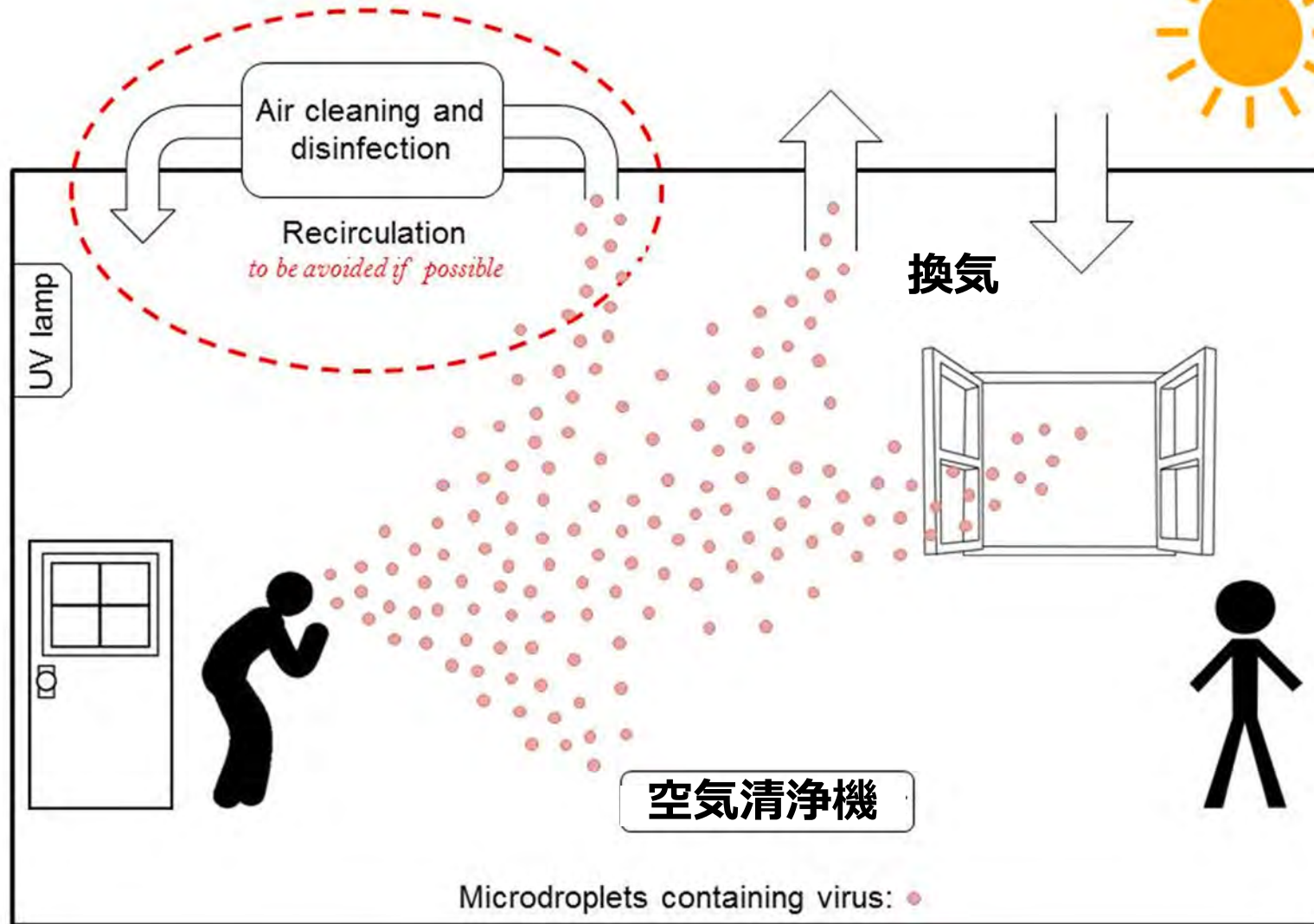
- ✓ Saliva is more sensitive for SARS-CoV-2 detection in COVID-19 patients than nasopharyngeal swabs (2020年4月16日)
- ✓ 唾液中でもPCR検査が可能
- ✓ 食事・会話・カラオケなどの危険性

A. L. Wylliemed, et al. Rxiv doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067835>

何をすればよいか？

循環の場合：空気清浄

UVGI



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 $30\text{m}^3/\text{h}$ 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**

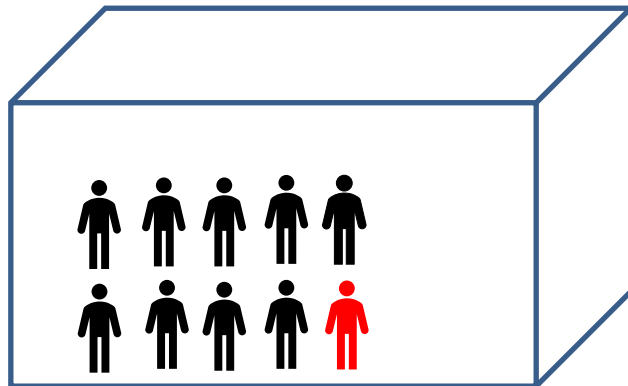
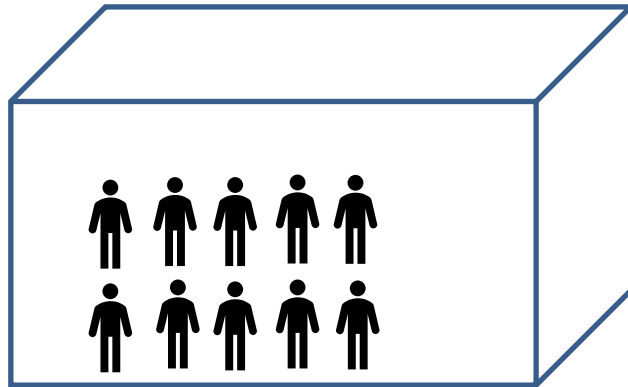
厚生労働省：商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について（2020年3月30日）
(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000616069.pdf>)

一人当たり30m³/hの誤解

$$Q(\text{換気量}) = \frac{\text{在室人数} \times 20\text{L} \times 10^{-3}}{(1000\text{ppm} - 350\text{ppm}) \times 10^{-6}} = 30\text{m}^3/\text{h} \times \text{在室人数}$$

$$10\text{人} \times 30\text{m}^3/\text{h} = 300\text{m}^3/\text{h}$$

$$5\text{人} \times 30\text{m}^3/\text{h} = 150\text{m}^3/\text{h}$$



MERV	0.3-1.0 μ m	1.0-3.0 μ m	3.0-10 μ m
カテゴリ E-3			
6	—	—	35~50%
7	—	—	50~70%
8	—	—	70~85%
9	—	—	>85%
カテゴリ E-2			
10	—	60~65%	>85%
11	—	65~80%	>85%
12	—	80%+	>85%
カテゴリ E-1			
13	<75%	>90%	>99%
14	75~85%	>90%	>99%
15	85~95%	>90%	>99%
17	99%	99%	99%

出典: ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007(ASHRAE 2007).

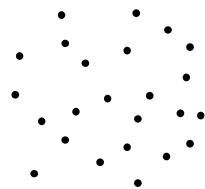
比色法75%の中性能エアフィルタはMERV12に相当

中央式空調のオフィスビルには一般的に中性能エアフィルタが使用されている（E-2に相当），病院の手術等空気清浄度の要求が高い対象室では高性能フィルタ（HEPA: 定格風量で粒径が0.3 μ mの粒子に対して99.97%以上の粒子捕集率を有する）が使用されている。

NIOH Research



飛沫感染



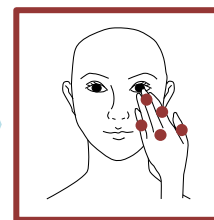
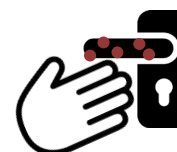
空気感染



接触感染



直接接触感染
身体的な接触により
直接伝播



間接接触感染
環境表面を介して
間接的に伝播



手指衛生が
効果的

顔面接触行動
知見が重要

- ✓ NIH の研究チームは新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）のエアロゾル粒子中およびプラスチック、ステンレス鋼、銅、段ボール上での活性度の維持に関する比較実験を行った。
- ✓ 新型コロナウイルスのエアチャンバーに封入された 5 μ m 未満のエアロゾル粒子の状態では、感染力価は低下するものの活性は実験時間の 3 時間を通して維持され、
- ✓ ステンレス鋼とプラスチックでは 3 日間、段ボールでは 1 日未満、銅では 4 時間未満維持されることが分かった。

The NEW ENGLAND JOURNAL of MEDICINE

CORRESPONDENCE

Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1

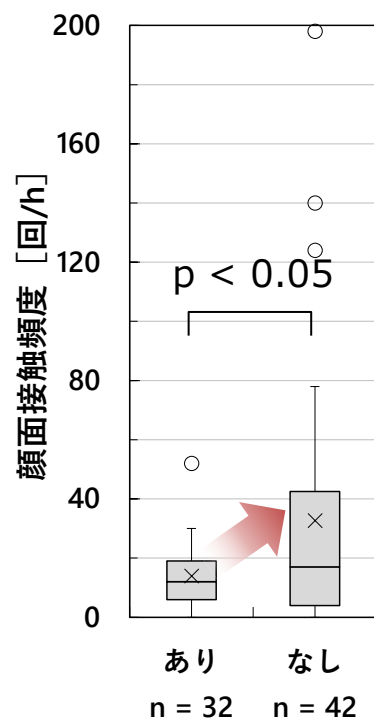
模擬電車内空間



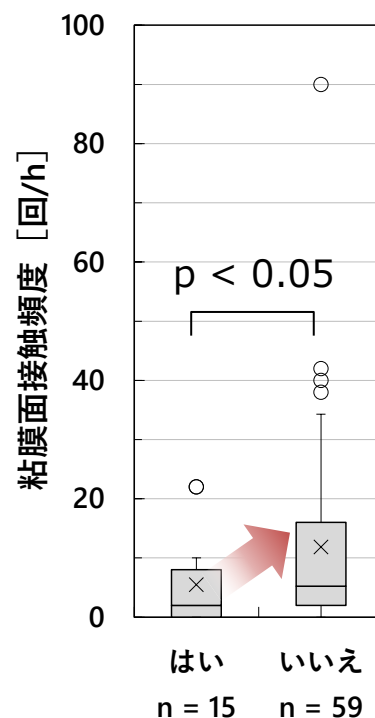
模擬電車内空間実験結果



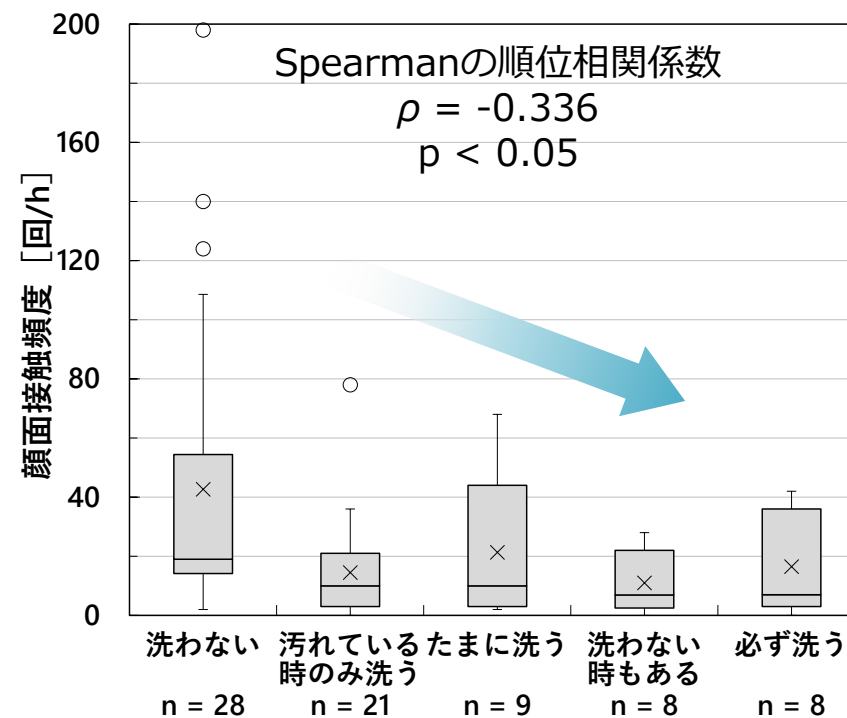
一時間に10～40回程度顔面接触



化粧の有無

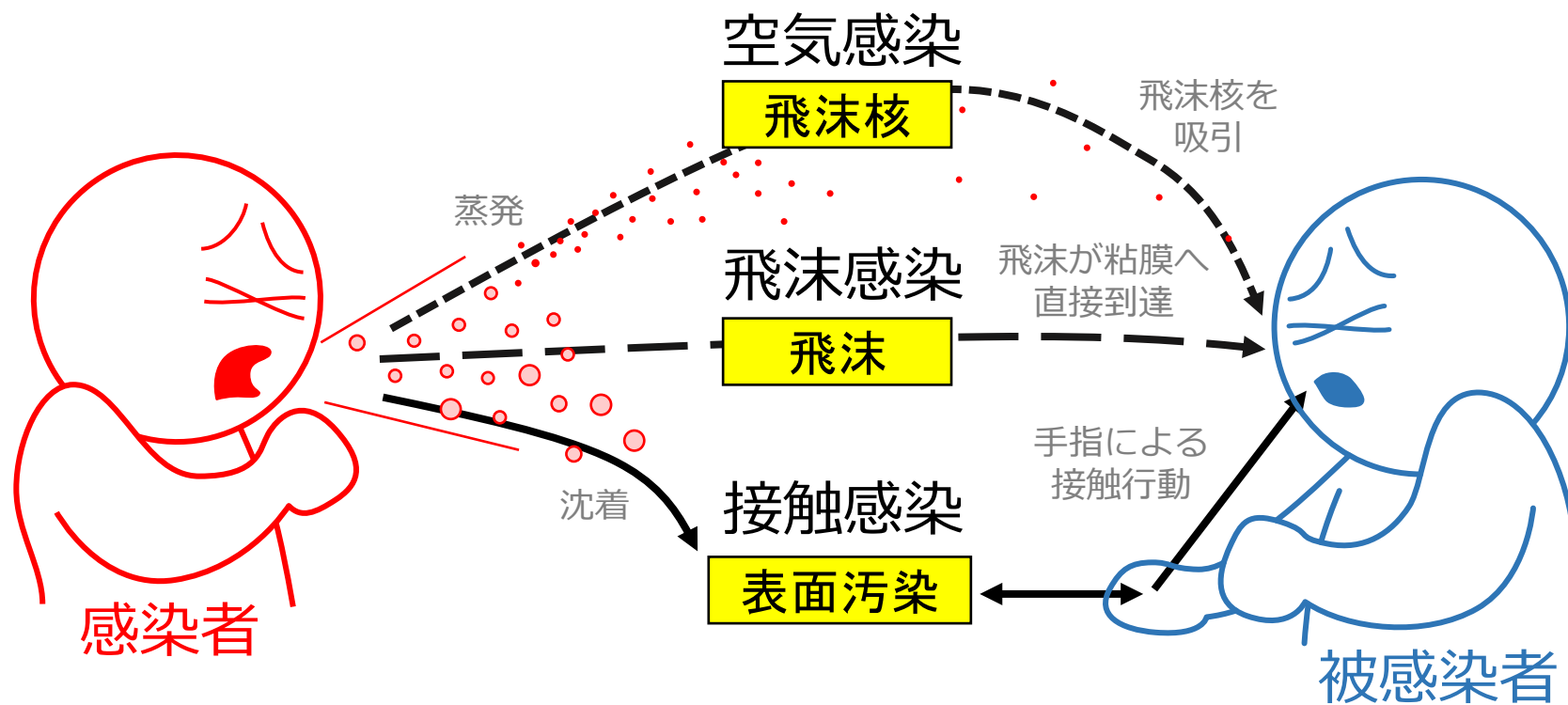


乾燥性敏感肌か



電車に乗った後の手指衛生頻度

森田、橋本、尾方、堤、田辺、堀: 行動による感染リスク低減に関する研究、(その1) 模擬電車内における顔面接触頻度の把握、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第7巻、pp.53-56、2018.9



室内環境では、主に3つの感染経路がある

- どの感染ルート：飛沫、接触、空気（エアロゾル）？

→飛沫、接触が重要だが、エアロゾル感染は無視できない

- クラスター発生時の詳細な環境データ？
- SARS-CoV-2は空気中でどのように不活化するか？
- 様々な大きさの飛沫・飛沫核が含むウイルスの量？

→インフルエンザ患者で咳一回当たり 75,400個 /咳、快復後は咳一回当たり 52,200 個 /咳の粒子が含まれていた

- 感染の様々な段階で排出されるウイルスの量？
- どの程度のウイルス量で感染するのか？
- 実世界の条件下ではどのようなになるのか？
-
-

どのような社会になるのか？

- ✓ 脱炭素社会
- ✓ 超分散社会
- ✓ デジタル社会

- ✓ 空気調和・衛生工学会、日本建築学会：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、2020年3月23日
http://www.shasej.org/recommendation/shase_COVID20200323.pdf
- ✓ 日本建築学会、空気調和・衛生工学会：新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して、「換気」に関するQ&A
<https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200330.pdf>
- ✓ 空気調和・衛生工学会：新型コロナウイルス感染対策としての空調設備を中心とした設備の運用について、http://www.shasej.org/recommendation/Operation_of_air-conditioning_equipment_and_other_facilities20200407.pdf
- ✓ RHEVA, COVID-19 Guidance, <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance> L. J. Schoen, Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic,
- ✓ ASHRAE(<https://www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic>) ASHRAE, Pandemic COVID-19 and Airborne Transmission, April 17, 2020
- ✓ 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>

COVID-19に関連した日本建築学会の活動情報（リンク集）

https://www.aij.or.jp/covid19_info.html