

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

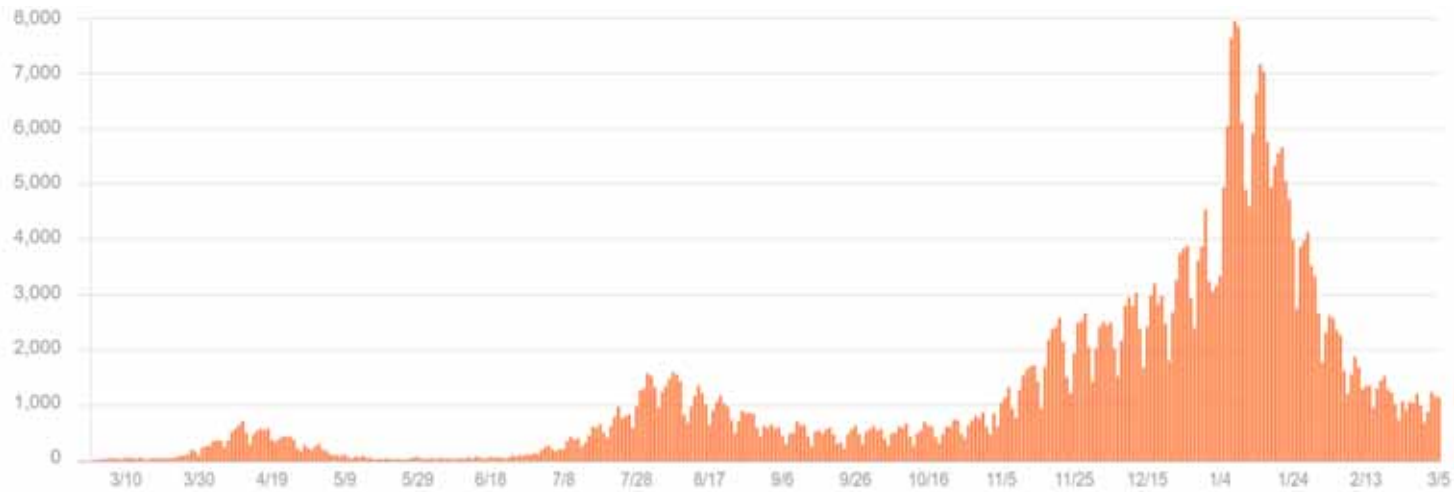
東京理科大学 工学部 教授
空気調和・衛生工学会 副会長

倉淵 隆

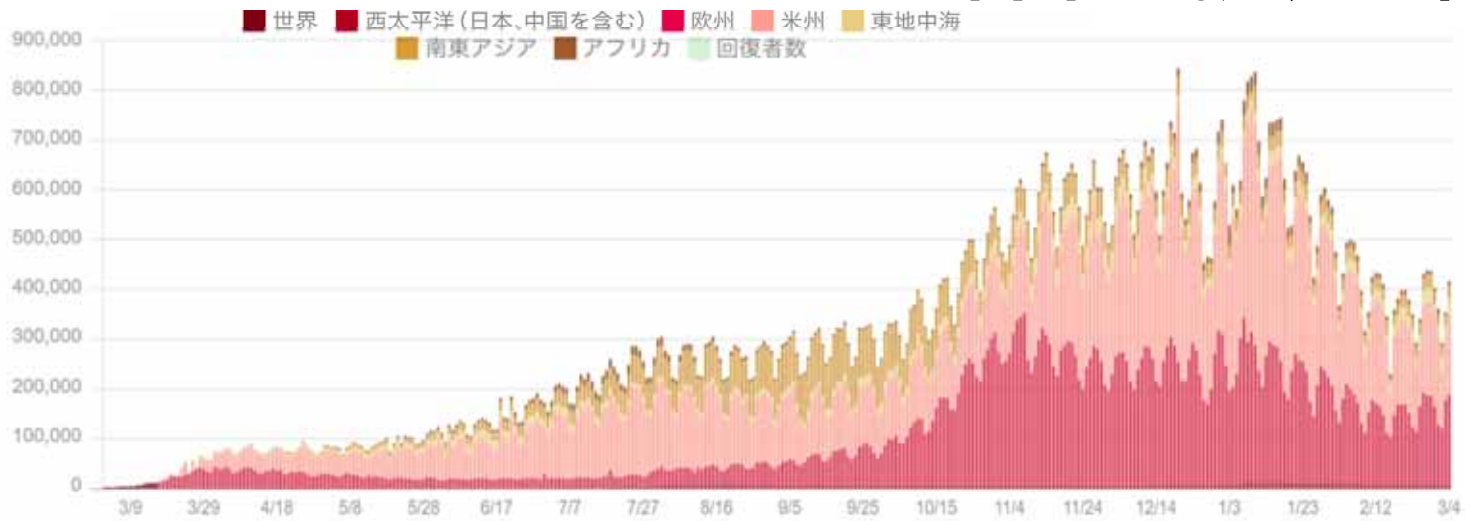
- **これまでの経緯**
- **WHO, CDCの見解**
- **厚労省のガイドライン**
- **30m³/h, 2回/hの根拠は何か？**
- **クラスター事例**
- **RHEVA, ASHRAEのガイダンス**
- **エアフィルタの効果**
- **UVGI**
- **マスクの効用**
- **感染確率モデル**
- **建物用途別対策**

これまでの経緯

2019年	12月	中国の武漢市で原因不明の肺炎患者確認
2020年	1月16日	国内初の感染者発生
	2月5日	ダイヤモンド・プリンセス，横浜沖で船上隔離開始
	2月13日	国内初の死者，感染経路不明の事例多発
	2月27日	全国学校の臨時休校の要請
	3月12日	WHOが世界の流行状況をパンデミック認定
	4月7日	7都道府県に緊急事態宣言，5月6日まで
	4月16日	緊急事態宣言を全国の拡大
	5月25日	緊急事態宣言の延期終了
	7月22日	GoToトラベル・キャンペーン開始
	10月2日	トランプ大統領新型コロナウイルス感染
	12月8日	英国でワクチン接種開始
	12月15日	GoToトラベルの全国停止
2021年	1月7日	1都3県に緊急事態宣言，2月7日まで
	1月13日	7府県の緊急事態宣言追加
	2月2日	栃木県を除く10都道府県の緊急事態宣言を3月7日まで延長
	2月28日	大阪，愛知，福岡を含む6府県で緊急事態宣言を解除
	3月5日	1都3県の緊急事態宣言，3月21日まで再延長



日本の新規感染者



世界の新規感染者

コロナ禍で住みたい国ランキング(2月25日)

Covid Resilience Ranking

← Worse Better →

RANK	CHANGE	ECONOMY	BLOOMBERG RESILIENCE SCORE	COVID STATUS			QUALITY OF LIFE		
				1-MONTH CASES PER 100,000	1-MONTH FATALITY RATE	TOTAL DEATHS PER 1 MILLION	POSITIVE TEST RATE	ACCESS TO COVID VACCINES	DOSES GIVEN PER 100
1	-	New Zealand	77.2	2	1.3%	5	0%	247%	0
2	▲1	Australia	72.6	1	0%	36	0%	250%	0.01
3	▼1	Singapore	71.3	10	0%	5	0%	85%	4.49
4	▲3	Finland	67.6	216	0.8%	132	3.7%	231%	6.57
5	▲1	Norway	66.9	149	0.8%	112	1.7%	231%	7.33
6	▼1	China	66.2	0	0.1%	3	0.1%	84%	2.89
7	▼3	Taiwan	65.4	0	3.8%	0	0.1%	37%	0
8	▲4	South Korea	65.3	25	1.7%	31	1.3%	135%	0
9	▼1	Japan	64.1	48	4.1%	60	2.6%	129%	0.01
10	▲4	Thailand	62.3	17	0.1%	1	1.5%	45%	0
11	▲6	Denmark	61.5	240	2.6%	405	0.4%	231%	8.8
12	▲1	Canada	61.4	279	2.8%	577	7.3%	335%	4.23
13	▼4	Hong Kong	61.1	11	3.5%	26	0.1%	155%	0
14	▲1	Israel	59.6	1,874	0.7%	651	6.5%	138%	84.78
15	▼4	U.A.E.	58.8	987	0.4%	116	1.7%	31%	52.73
16	▲2	India	58.7	26	0.9%	113	1.6%	85%	0.87
17	▲4	Saudi Arabia	57.5	27	1.3%	186	0.7%	5%	1.59
18	▼8	Vietnam	57.3	1	0%	0	0.1%	21%	0
19	-	France	56.7	885	2.1%	1,305	6.3%	231%	5.92
20	▲11	Greece	55.7	296	2.3%	609	3.2%	231%	7.11

<https://www.bloomberg.com/graphics/covid-resilience-ranking/>

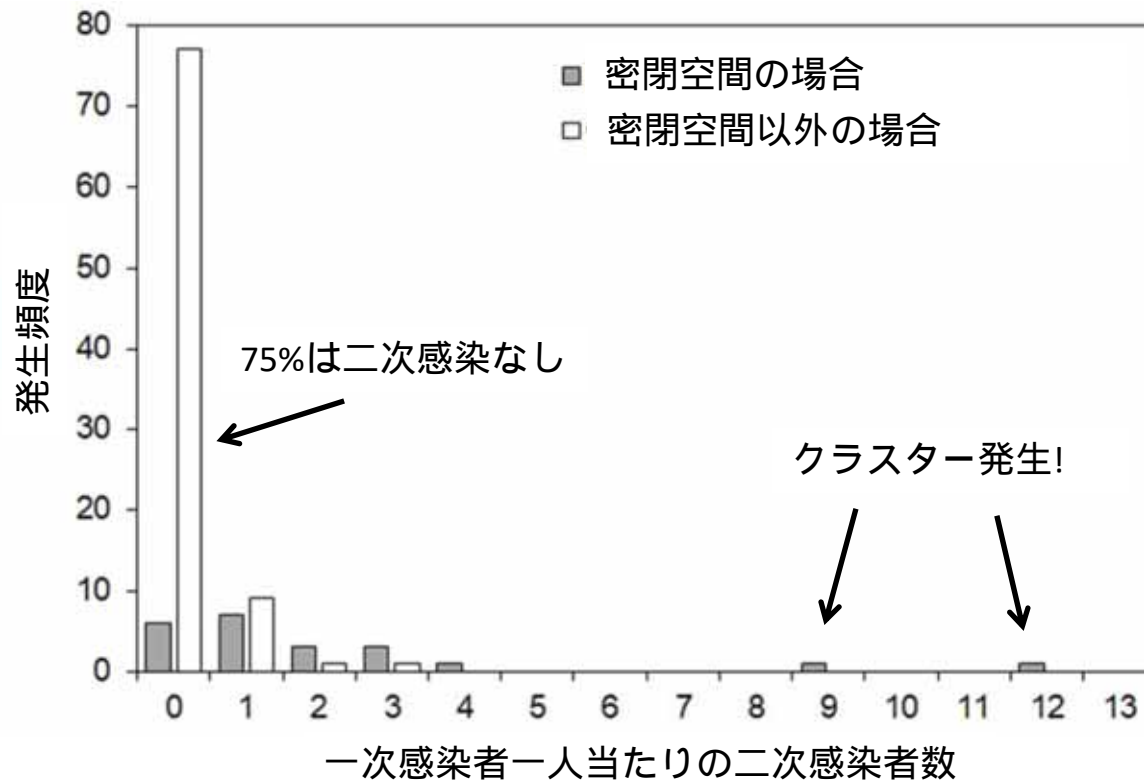
コロナ禍で住みたい国ランキング(2月25日)

Covid Resilience Ranking

← Worse Better →

RANK	CHANGE	ECONOMY	BLOOMBERG RESILIENCE SCORE	COVID STATUS		QUALITY OF LIFE		
				LOCKDOWN SEVERITY	COMMUNITY MOBILITY	2021 GDP GROWTH FORECAST	UNIVERSAL HEALTHCARE COVERAGE	HUMAN DEVELOPMENT INDEX
1	-	New Zealand	77.2	22	-4.7%	4.6%	83	0.93
2	▲1	Australia	72.6	53	-13.6%	3.7%	89	0.94
3	▼1	Singapore	71.3	51	-15.9%	5.5%	92	0.94
4	▲3	Finland	67.6	52	-21.4%	2.8%	91	0.94
5	▲1	Norway	66.9	73	-25.4%	3.5%	94	0.96
6	▼1	China	66.2	60	-15.2%	8.4%	70	0.76
7	▼3	Taiwan	65.4	25	-15%	3.7%	79	0.91
8	▲4	South Korea	65.3	60	-14.3%	3.3%	89	0.92
9	▼1	Japan	64.1	50	-17.5%	2.7%	96	0.92
10	▲4	Thailand	62.3	42	-9.1%	3.5%	72	0.78
11	▲6	Denmark	61.5	67	-36.8%	3.5%	84	0.94
12	▲1	Canada	61.4	75	-36.9%	4.7%	90	0.93
13	▼4	Hong Kong	61.1	71	-25.8%	4.3%	-	0.95
14	▲1	Israel	59.6	57	-41.5%	4.5%	81	0.92
15	▼4	U.A.E.	58.8	56	-19.7%	2.4%	63	0.89
16	▲2	India	58.7	58	-20.2%	9.2%	47	0.65
17	▲4	Saudi Arabia	57.5	50	-15.7%	3.1%	64	0.85
18	▼8	Vietnam	57.3	77	-20.3%	7.6%	60	0.7
19	-	France	56.7	64	-33.9%	5.8%	91	0.9
20	▲11	Greece	55.7	79	-42.6%	3.9%	80	0.89

<https://www.bloomberg.com/graphics/covid-resilience-ranking/>



2月28日までの110名の感染者の追跡調査により、25%で二次感染があったが（75%はなし）、密閉空間での二次感染確率はそうでない環境より、19倍高リスクであることが明らかとなった。

H. Nishiura, H. Oshitani et al.: Closed environment facilitate secondary transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19) April 16 2020
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.02.28.20029272v2>

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



専門家会議 2020年3月9日公表

首相官邸, 「密をさけて外出しましょう！」チラシ 2020年3月18日公表

<https://www.kantei.go.jp/jp/content/000061234.pdf>

WHO , CDCの見解

COVID-19感染経路 WHOの**これまでの**見解

How does COVID-19 spread ?
(COVID-19はどのように広がりますか？)

この病気は、COVID-19の人が咳や息をはくときに広がる鼻や口からの小さな飛沫によって、人から人へと広がります (**person-to-person**)。

人の周りの物体や表面に付着した飛沫に触れ、次に目、鼻、または口に触れて感染します。飛沫を吸い込んでも感染する可能性があります。従って**3フィート以上**離れていることが重要です。

<http://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses>

COVID-19感染経路 WHOの**これまでの**見解

Can the virus that causes COVID-19 be transmitted through the air ?

(COVID-19を引き起こすウイルスは空気を介して伝搬しますか？)

これまでの研究では、COVID-19を引き起こすウイルスは、**空気ではなく呼吸器の飛沫との接触によって広がる**ことが示唆されています。

<http://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses>
現在は削除されている見解

COVID-19感染経路 CDCの**これまでの**見解

How COVID-19 spreads ?

(COVID-19はどのように広がりますか？)

互いに密接に接触している人々の間(**6フィート以内**)で呼吸飛沫を介して、人から人へと広がります(**person-to-person**)。

ウイルスが付着している表面や物体に触れ、次に目、鼻、または口に触れることにより感染する可能性がある。

空気感染への言及はなし



Contents lists available at ScienceDirect

Environment International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envint



Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality

Lidia Morawska^{a,*}, Junji Cao^b

^a International Laboratory for Air Quality and Health (ILAQH), School of Earth and Atmospheric Sciences, Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland 4001, Australia

^b Key Lab of Aerosol Chemistry & Physics (KLACP), Chinese Academy of Sciences, Beijing, China



ARTICLE INFO

Handling Editor: Adrian Covaci

Keywords:

Airborne transmission
Airborne infection spread
Infections transmission
Coronavirus
COVID-19
SARS-CoV-2 virus

ABSTRACT

Hand washing and maintaining social distance are the main measures recommended by the World Health Organization (WHO) to avoid contracting COVID-19. The WHO also recommends wearing a face mask to prevent infection by inhalation of small droplets emitted by an infected person. However, there is evidence that this is a significant route of infection in indoor environments. Despite this, no countries or authorities consider this a significant route of infection in indoor environments. It is therefore recommended that countries and authorities consider the possibility of airborne transmission indoors. It is therefore recommended that countries and authorities consider the possibility of airborne transmission indoors. It is therefore recommended that countries and authorities consider the possibility of airborne transmission indoors. It is therefore recommended that countries and authorities consider the possibility of airborne transmission indoors.

The entire world is anxiously watching as COVID-19, a disease caused by the SARS-CoV-2 virus, spreads from country to country, following modern travel routes. It was first reported to the WHO Country Office in China on 31 December 2019 (<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/events-as-they->

infected person or the surfaces and fomites that the person has either touched, or on which large virus-containing droplets expired by the person have landed (Morawska 2006), and there the virus can remain stable for days (van Doremalen et al. 2020). The droplets can also be deposited directly on a person in close proximity to the infected person.

**新型コロナウイルスの空気感染：
世界は事実に直面すべき**

L. Morawska, J. Cao: Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality, *Environmental International* 139, 2020 105730
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041202031254X>

WHOの見解の変化

7月9日

主要な感染経路に変わりはないものの、屋内の換気が不十分で混雑した空間では、呼気由来のエアロゾルが発生し、飛沫感染と相まって**一定量のエアロゾルを吸引することによる感染の可能性**がある。

飛沫によって物体表面が汚染され、その表面に触れて、目、鼻、口に触れて感染する可能性がある。

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

Avoid the Three Cs

Be aware of different levels of risk in different settings.



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



Crowded places

with many people nearby



Close-contact settings

Especially where people have close-range conversations



Confined and enclosed spaces

with poor ventilation

WHO: Avoid the Three Cs, facebook 19 July 2020

<https://www.facebook.com/WHO/posts/3339935886051771>

CDCの見解の変化

10月5日

COVID-19は感染者との密接な接触（6フィート以内）で飛沫にさらされることによって感染する。

一部は換気が不十分な閉鎖空間で6フィート以上離れた他の人に空気感染したように見えるという証拠がある。

COVID-19は、汚染された表面との接触によってあまり広がらない。

<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html>

・ 実験室実験によって新型コロナウイルスが活性を維持する時間を調査した。

・ エアロゾル	> 3時間
ステンレス鋼 , プラスチック	3日間
段ボール	< 1日
銅	< 4時間

Neeltje van Doremalen, Trenton Bushmaker, Dylan H. Morris, et al. : Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1 , THE NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE, March 17, 2020
(<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc2004973>)

媒介物による接触感染リスクの誇張

実験に用いたウイルス粒子は、エアロゾルでは1mLあたり $10^5 \sim 10^7$ 、物体表面では 10^4 であり、実際の状況での濃度より数桁高い可能性はある。私の意見では**感染の可能性のあるのは咳やくしゃみの直後（1～2時間以内）に触れた場合に限られる。**また、患者由来の飛沫に含まれるウイルスに関する研究は見当たらなかった。

E. Goldman: Exaggerated risk of transmission of COVID-19 by fomites, THE LANCET Infectious Diseases, July 3, 2020
<https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S1473-3099%2820%2930561-2>

医学会が空気感染を認めようとししない理由

公衆衛生学では、**空気感染は極めて例外的**と受け止められている。伝染性が極めて強い、麻疹、水痘などのわずかな病気が空気感染すると認められており、インフルエンザも飛沫と接触感染によるものとみなされている。**空気感染は病気が非常に伝染性でなければならない**との認識が医学会にはある。

J. Jimenez: TIME article, COVID-19 Is Transmitted Through Aerosols. We Have Enough Evidence, Now It Is Time to Act, August 25, 2020
<https://time.com/5883081/covid-19-transmitted-aerosols/>

厚生労働省のガイドライン

～ 商業施設等の管理権原者の皆さまへ ～

「換気の悪い密閉空間」を 改善するための換気の方法

新型コロナウイルス感染症対策専門家会議の見解（令和2年3月9日及び3月19日公表）では、集団感染が確認された場所で共通する3条件が示されています。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どのような換気を行えば良いのかについて、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、推奨される換気の方法をまとめました。

専門家検討会の見解（抄）

クラスター（集団）感染発生リスクの高い状況の回避

- ① **換気を励行する**：換気の悪い密閉空間にしないよう、換気設備の適切な運転・点検を実施する。定期的に外気を取り入れる換気を実施する。
- ② **人の密度を下げる**：人を密集させない環境を整備。会場に入る定員をいつもより少なく定め、入退場に時間差を設けるなど動線を工夫する。
- ③ **近距離での会話や発声、高唱を避ける**：大きな発声をさせない環境づくり（声援などは控える）。共有物の適正な管理又は消毒の徹底等。

厚生労働省： - 商業施設等の管理権原者の皆様へ - 「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30日

(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>)

推奨される換気の方法

ビル管理法（建築物における衛生的環境の確保に関する法律）における空気環境の調整に関する基準に適合していれば、必要換気量（一人あたり毎時30m³）を満たすことになり、「換気が悪い空間」には当てはまらないと考えられます。このため、以下のいずれかの措置を講ずることを商業施設等の管理権原者に推奨いたします。

なお、「換気の悪い密閉空間」はリスク要因の一つに過ぎず、一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るわけではないことに留意していただく必要があります。

① 機械換気(空気調和設備、機械換気設備)による方法

- ビル管理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、ビル管理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。
- 特定建築物に該当しない商業施設等においても、ビル管理法の考え方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も可能であること。

厚生労働省： - 商業施設等の管理権限者の皆様へ - 「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30日

(<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>)

② 窓の開放による方法

- 換気回数※を毎時2回以上（30分に1回以上、数分間程度、窓を全開する。）とすること。
※ 換気回数とは、部屋の空気がすべて外気と入れ替わる回数をいう。
- 空気の流れを作るため、複数の窓がある場合、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。

換気に当たっての留意点

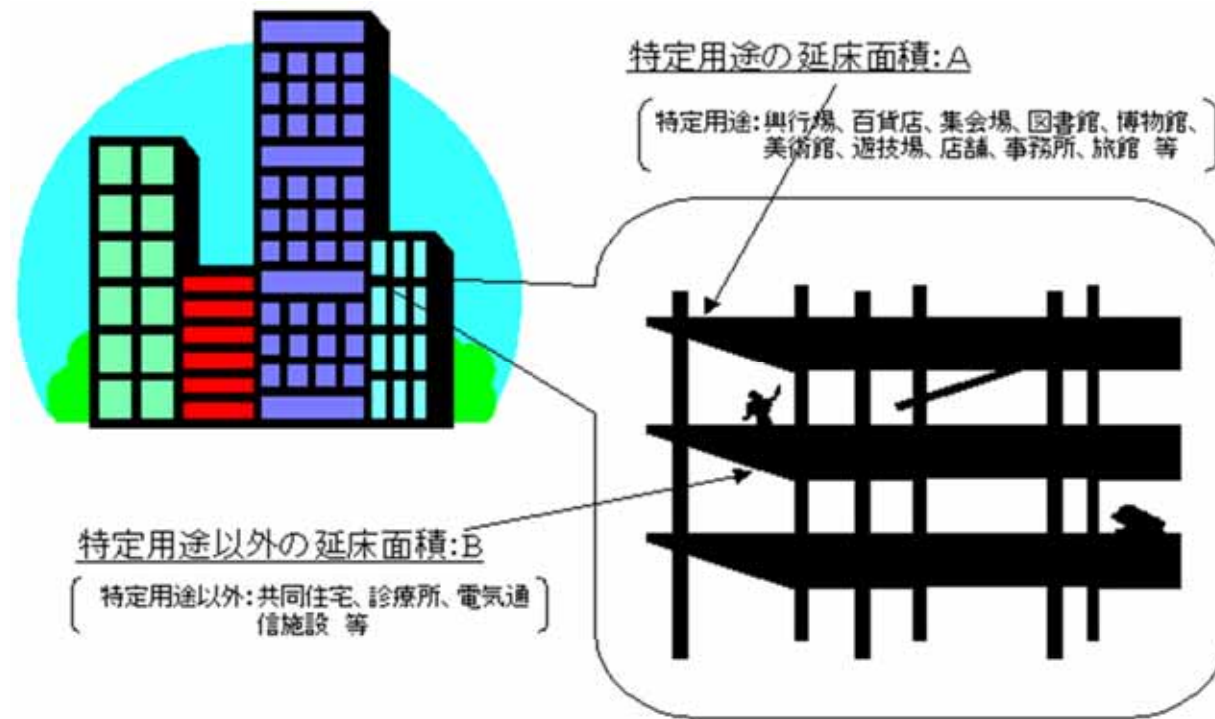
① 特定建築物に該当する場合

- 特定建築物※に該当する商業施設等の管理権原者は、ビル管理法に基づく空気環境の調整に関する基準に従って当該建築物を維持管理しなければなりません。
- 基準を満たしていない場合は、建築物環境衛生管理技術者の意見を尊重して適切な是正措置を講じ、当該建築物が基準を満たすように維持管理しなければなりません。

② 特定建築物に該当しない場合

- 特定建築物に該当しない商業施設等の管理権原者についても、ビル管理法に基づく空気環境の調整に関する基準に従って当該建築物の維持管理するように努めなければならないとされています。

30m³/h , 2回/hの根拠は何か？



建築物衛生法

興行所，百貨店，事務所などの建築物のうち，多数の者が利用する公共性の高いものを特定建築物と定め，室内環境の維持管理水準を規定する。

建築物衛生法における空気環境に関する基準

空気環境に係わる維持管理基準		
1	浮遊粉じんの量	空気1m ³ につき0.15mg以下
2	一酸化炭素の含有率	100万分の10以下 (10ppm以下)
3	二酸化炭素の含有率	100万分の1000以下 (1000ppm以下)
4	温度	17度以上28度以下 居室における温度を外気より低くする場合は、その差を著しくしないこと
5	相対湿度	40%以上70%以下
6	気流	1秒間につき0.5m以下
7	ホルムアルデヒドの量	空気1m ³ につき0.1mg以下

- 注) イ．機械換気設備については、4・5の基準は適用されない。
ロ．1～6については、2か月以内ごとに1回、定期的に測定すること。

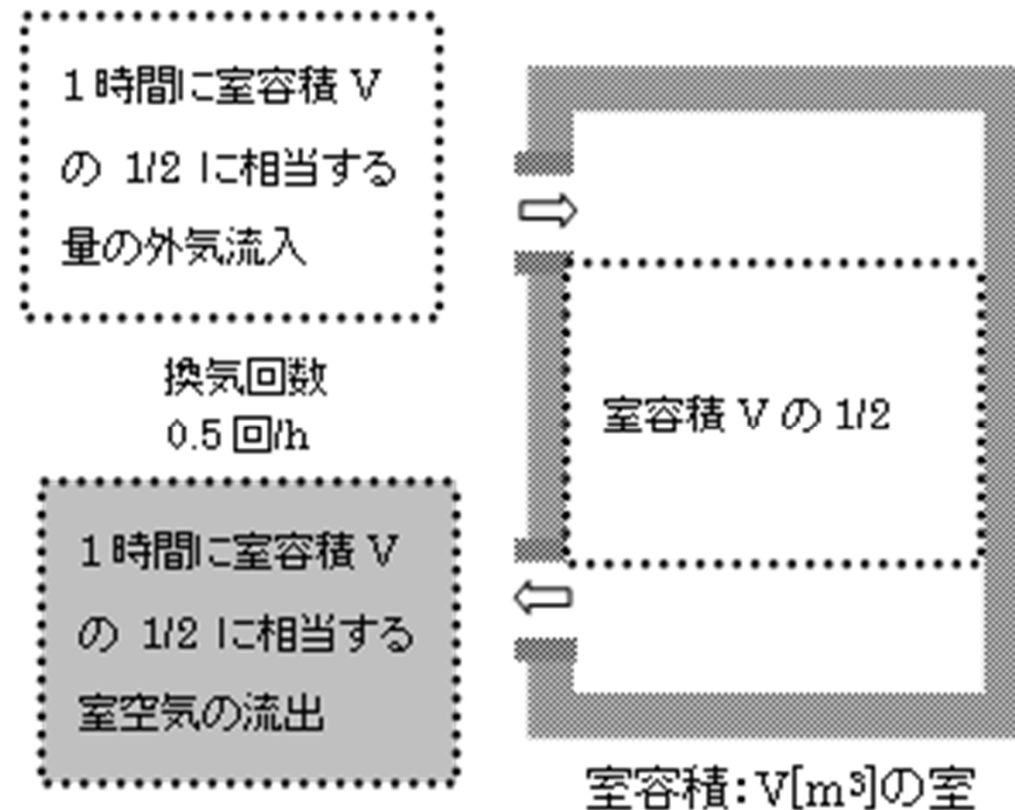
外気濃度を400ppmとすれば,

$$\begin{aligned} Q &= \frac{M}{C - C_0} \\ &= \frac{0.02}{(1000 - 400) \times 10^{-6}} \\ &= \frac{20000}{600} \\ &= 33.3 \text{m}^3 / \text{h} \cdot \text{人} \end{aligned}$$

一般にはこの値を丸めて, 必要換気量を一人当たり 1 時間当たり 30m^3 としている。

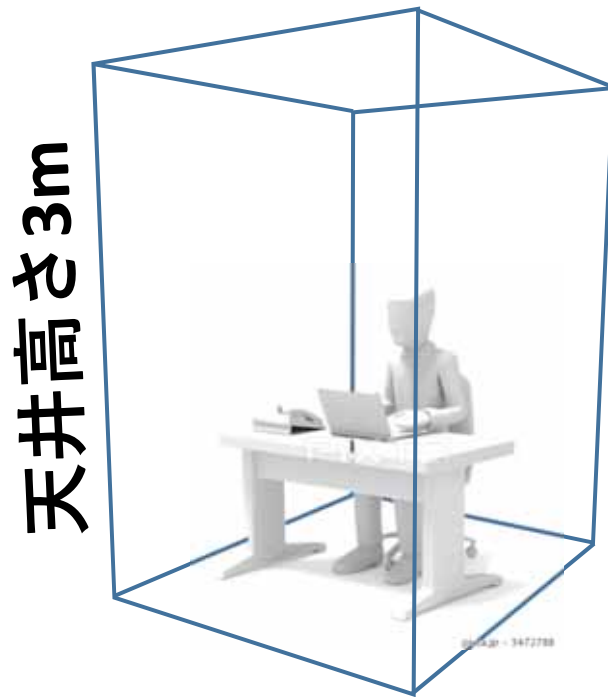
換気回数(specific airflow rate)とは？

換気回数 [回/h] = 換気量[m³/h]/室容積[m³]



換気回数2回/hとは、30分に1回窓を全開にすることではない！

換気量 Q [m^3/h]と換気回数 N [回/h]

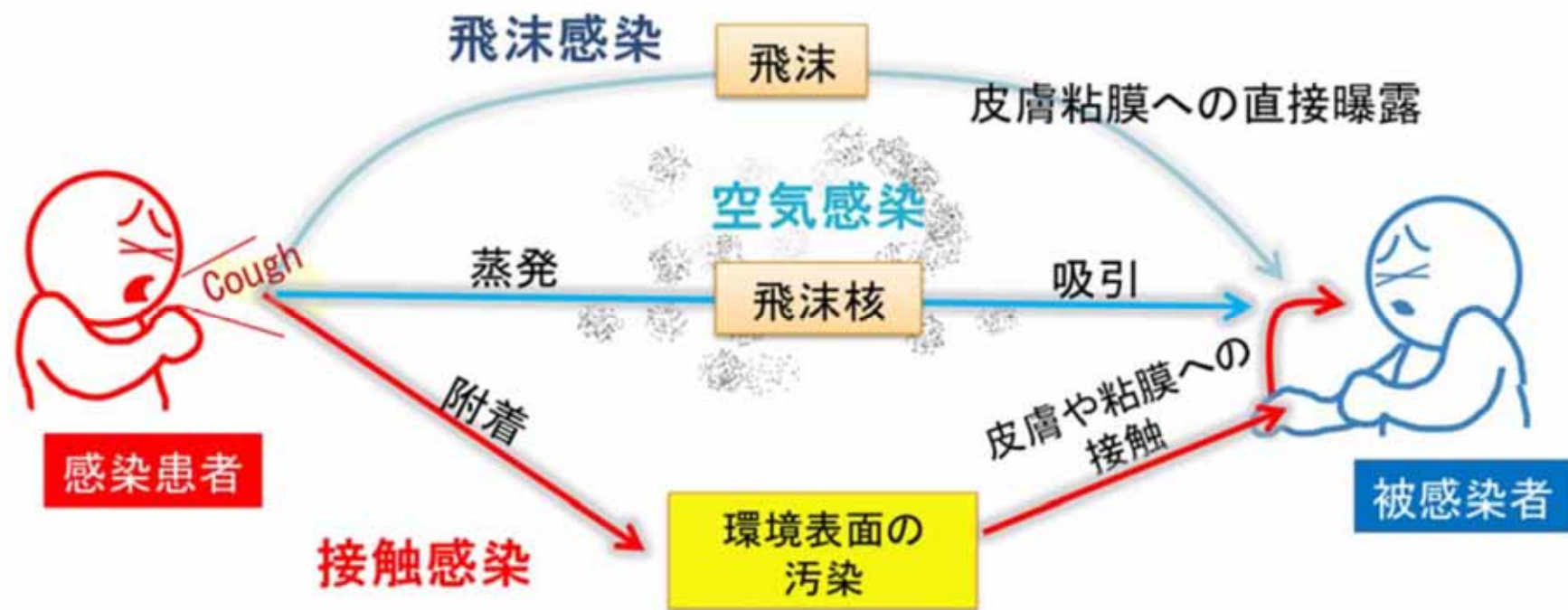


一人当たりの
専有面積 $5m^2$

一人当たりの換気量
 $Q=30m^3/h$

一人当たりの室容積
 $V=15m^3$

換気回数
 $N=Q/V=30/15 = 2$ 回/h



感染症の感染経路 飛沫感染・接触感染・空気感染

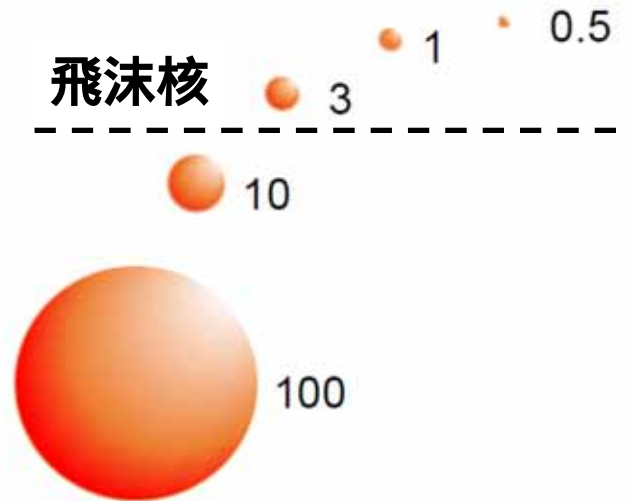
新型コロナウイルス感染制御における「換気」に関して 緊急会長談話
2020年3月23日

http://www.shasej.org/recommendation/shase_COVID20200323.pdf

空気感染とは5 μm 以下の飛沫核による感染

μm で表した飛沫直径

浮遊時間



41時間 - 21日間

1.5時間

6秒間

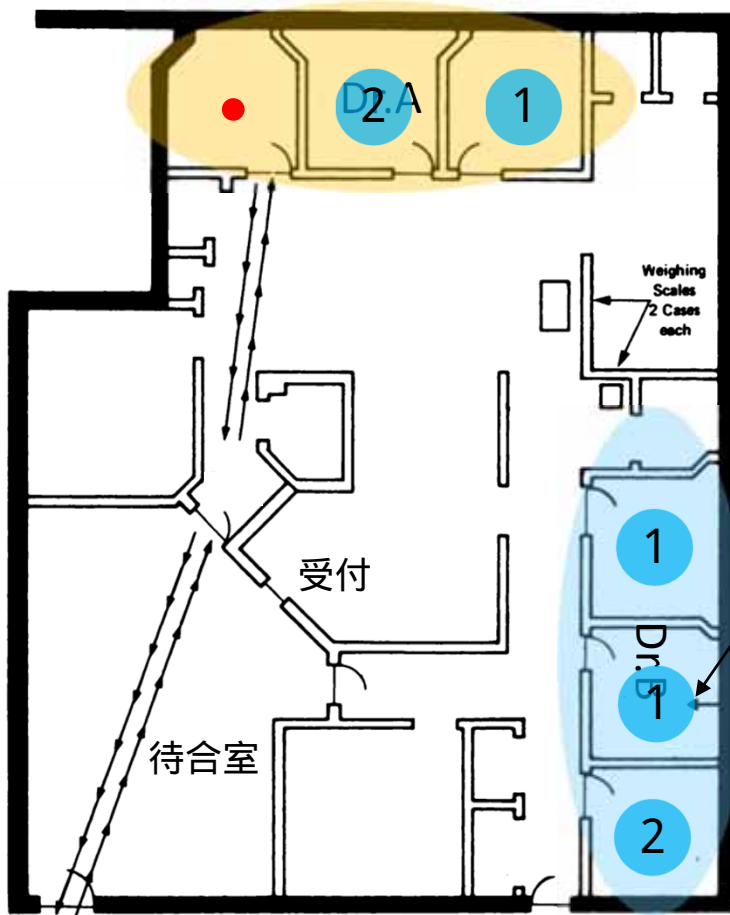
移動距離

1m 10m+

Stephanie Taylor, Presenter, "Optimize Occupant Health, Building Energy Performance and Revenue through Indoor-Air Hydration," 19 November 2019, Atlanta: ASHRAE.

アメリカの小児科病院での麻疹の空気感染事例

4階建て 外来医療病棟 1階にある小児科
医者2名(A,Bとする)



● : 感染源

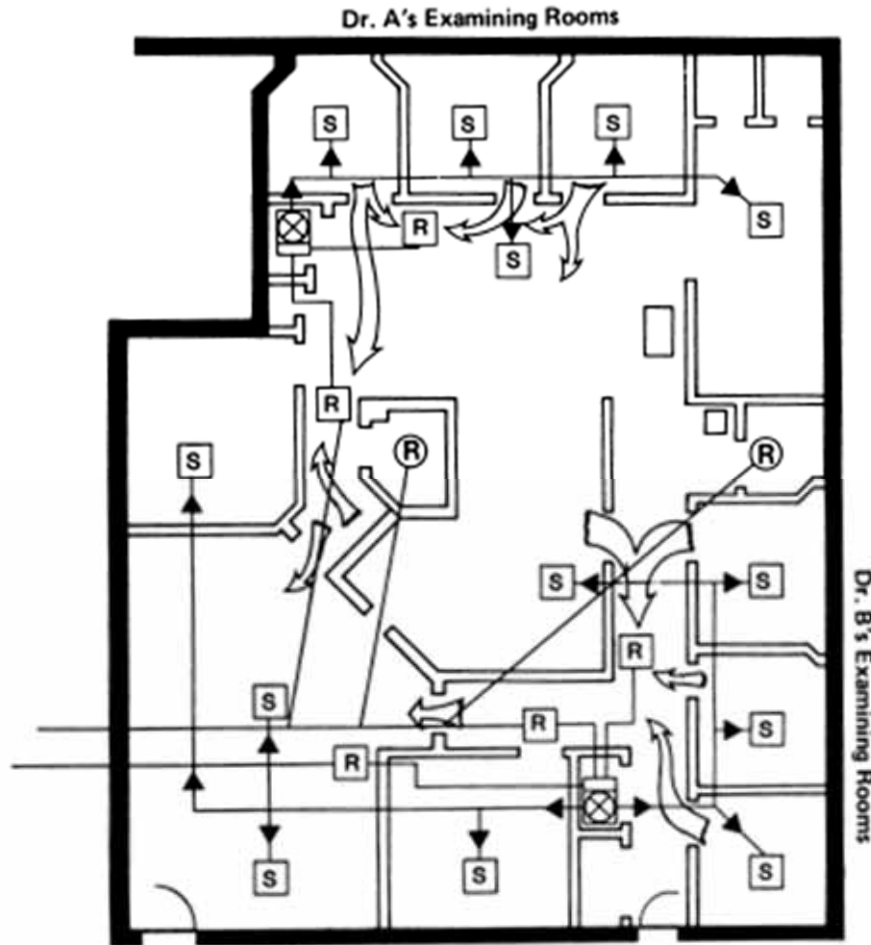
① : 二次感染(数字 : 感染者数)

感染源が病院を出て1時間後に到着した患者

Measles Outbreak in a Pediatric Practice:
Airborne Transmission in an Office Setting
Alan B. Bloch, MD, Walter A. Orenstein,
MD, William M. Ewing, William H. Spain,
George F. Mallison, Kenneth L. Herrmann,
MD, and Alan R. Hinman, MD

PEDIATRICS vol.75 No.4 April 1985

→ : 感染源の移動経路



小児科では循環空調が行われていた。

空気感染する病気は

- ・ 空間から空間へ空気が運ばれて感染する
(space-to-space)

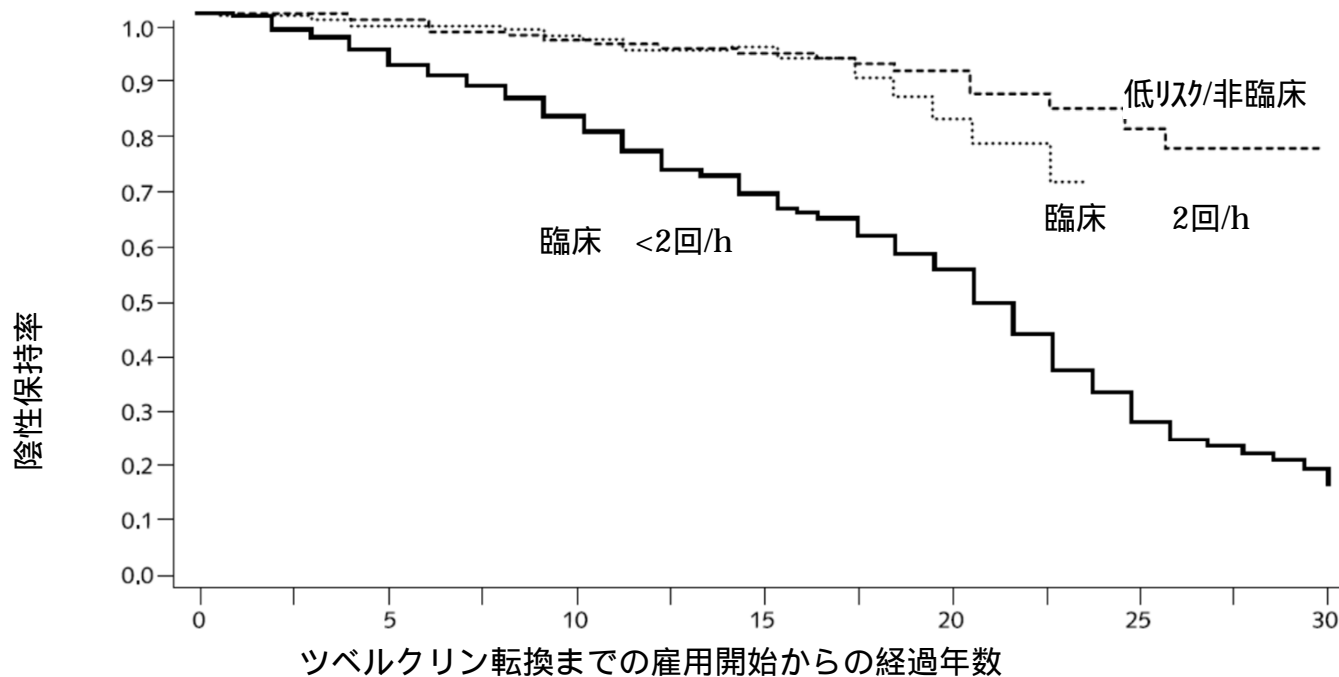
- ・ 時間差があっても感染する
(asynchronous)

カナダの医療従事者に対する病院の換気と結核の院内感染リスク

・カナダの17の救急病院に勤務する、勤務開始時ツベルクリン反応が陰性であった医療従事者1289人のその後のツベルクリン反応（結核院内感染）と、勤務セクションの換気回数との相関性研究

Hospital Ventilation and Risk for Tuberculous Infection in Canadian Health Care Workers

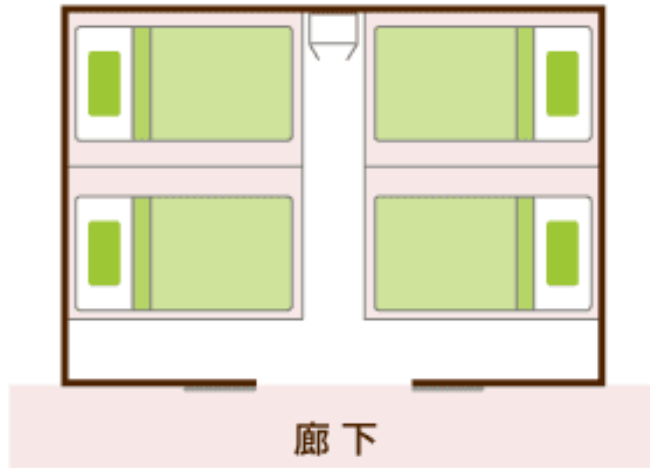
Dick Menzies, MD, MSc; Anne Fanning, MD; Lilian Yuan, MD; J. Mark FitzGerald, MD; and the Canadian Collaborative Group in Nosocomial Transmission of TB, *Annals of Internal Medicine*, Vol.133, No.10, 21 November 2000



職員,n						
<2回/h	471	372	217	139	79	22
2回/h	651	518	237	104	42	20
低リスク/非臨床	150	122	74	38	15	3

・換気回数が2回/h未満の一般病棟では、感染リスクが3.4倍高く、勤続20年以内に50%以上、30年以内に90%が結核に感染する。

・換気回数が2回/h以上であれば院内感染に対する予防効果が認められる。



カナダの一般病棟の
一床当たりの室容積

$$2 \times 4 \times 3 = 24\text{m}^3$$

$$2\text{回/h} \times 24\text{m}^3 = 48\text{m}^3/\text{h}$$

専門家会議の推奨する**30m³/h**は

48m³/h（カナダの一般病棟の**2回/h**の換気量）

≈ 30m³/h（建築物衛生法の基準）

によるものである。

クラスター事例

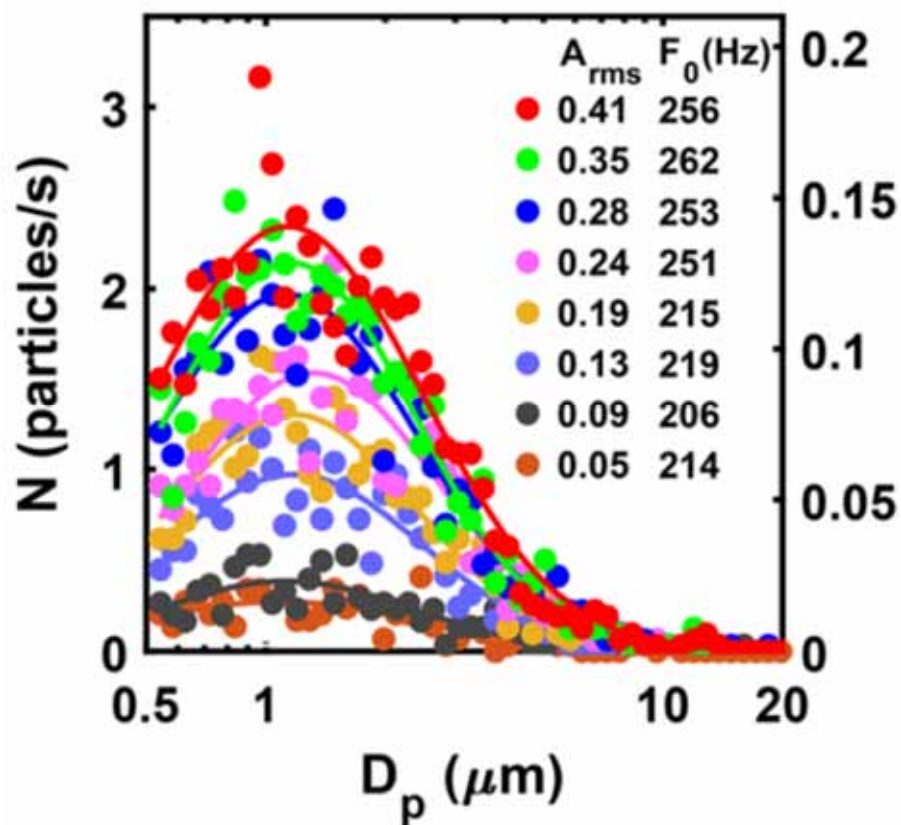
・アメリカ ワシントン州スカジット郡 声楽 隊の練習におけるクラスター感染

・3月10日，61人の2.5時間の練習後，1人の感染者によって，確定症例33人，感染の疑われるもの20人の53二次感染症例が確認された。メンバー間距離の近さ，椅子の片づけ協力の他，歌う際の飛沫発生が感染を拡大した可能性がある。

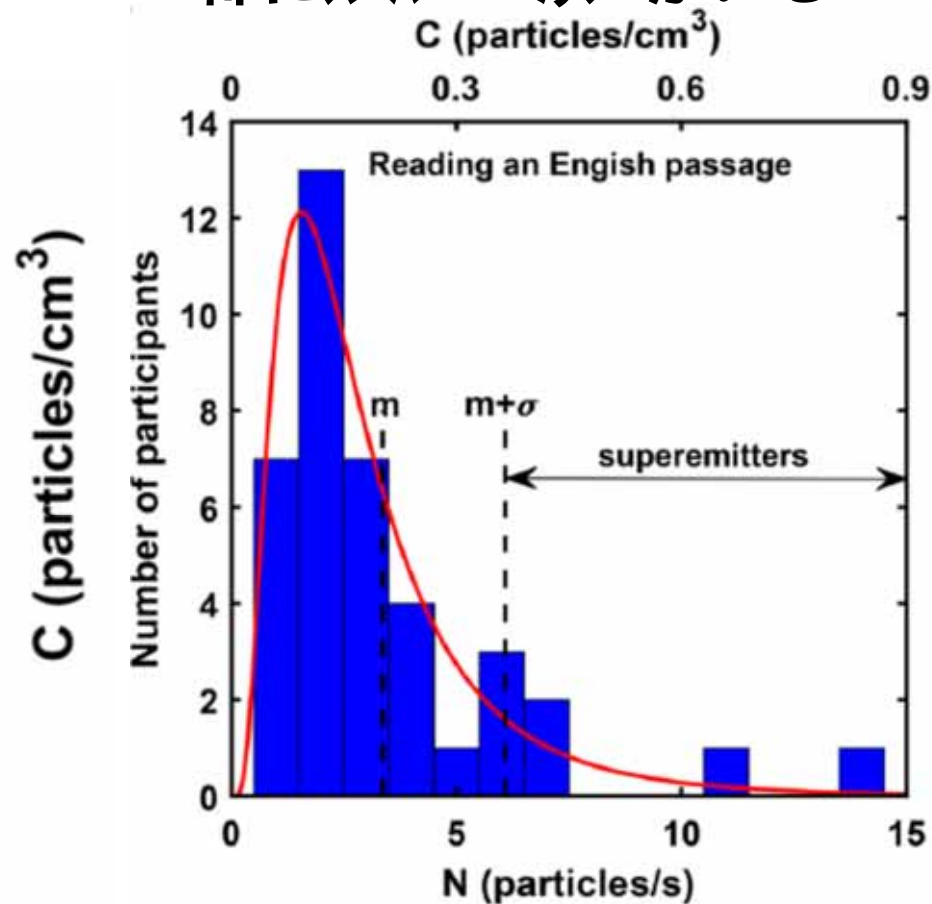
High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice — Skagit County, Washington, March 2020

Lea Hamner, Polly Dubbel, Ian Capron, Andy Ross, Amber Jordan, Jaxon Lee, Joanne Lynn, Amelia Ball, Simranjit Narwal, Sam Russell, Dale Patrick, Howard Leibrand, Morbidity and Mortality Weekly Report, vol.69, No.19 May 15, 2020 (<https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/pdfs/mm6919e6-H.pdf>)

大声を出すと粒径分布は変わらず飛沫が増える。



稀にスーパー-エミッターがいる



Sima Asadi et al.: Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. SCIENTIFIC REPORTS, 9, Article No. 2348, February 20, 2019 (<https://www.nature.com/articles/s41598-019-38808-z>)

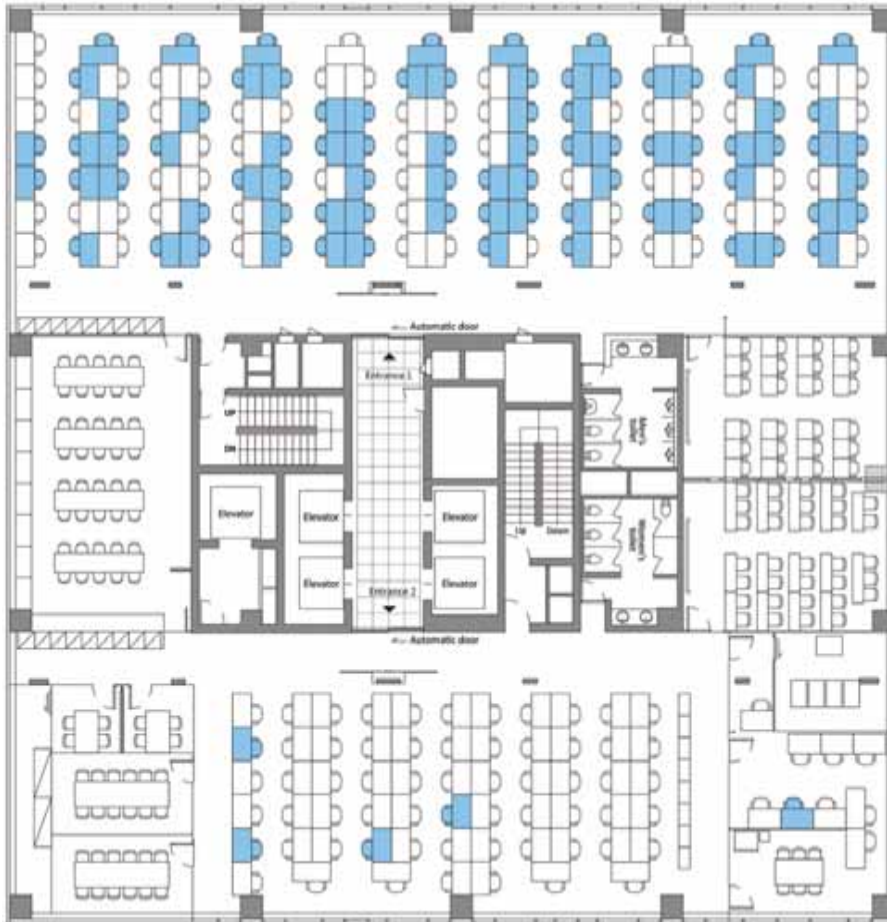
- ・ **韓国ソウル コールセンターのクラスター感染**
- ・ **3/8に感染が確認されたワーカーが勤務していた事務所・住居兼用ビルを閉鎖してクラスター調査を行ったところ、11階の勤務者216名中94名の感染が確認された。**

Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea

Shin Young Park, Young-Man Kim, Seonju Yi, Sangeun Lee, Baeg-Ju Na, Chang Bo Kim, Jung-il Kim, Hea Sook Kim, Young Bok Kim, Yoojin Park, In Sil Huh, Hye Kyung Kim, Hyung Jun Yoon, Hanaram Jang, Kyungnam Kim, Yeonhwa Chang, Inhye Kim, Hyeyoung Lee, Jin Gwack, Seong Sun Kim, Miyoung Kim, Sanghui Kweon, Young June Choe, Ok Park, Young Joon Park, and Eun Kyeong Jeong

EMERGING INFECTIOUS DISEASES , Vol.26,No.8 August 2020

(https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/8/20-1274_article)



- ・ 専有面積が 3m^2 /人程度と密度が高く、パーティションが低かった。
- ・ デスクが共用だった。
- ・ 会議室と休憩室で弁当を食べるなどの密接な環境であった。
- ・ 勤務管理に指紋認証が用いられていた。
- ・ EHP + HEXで換気は停止されていた。

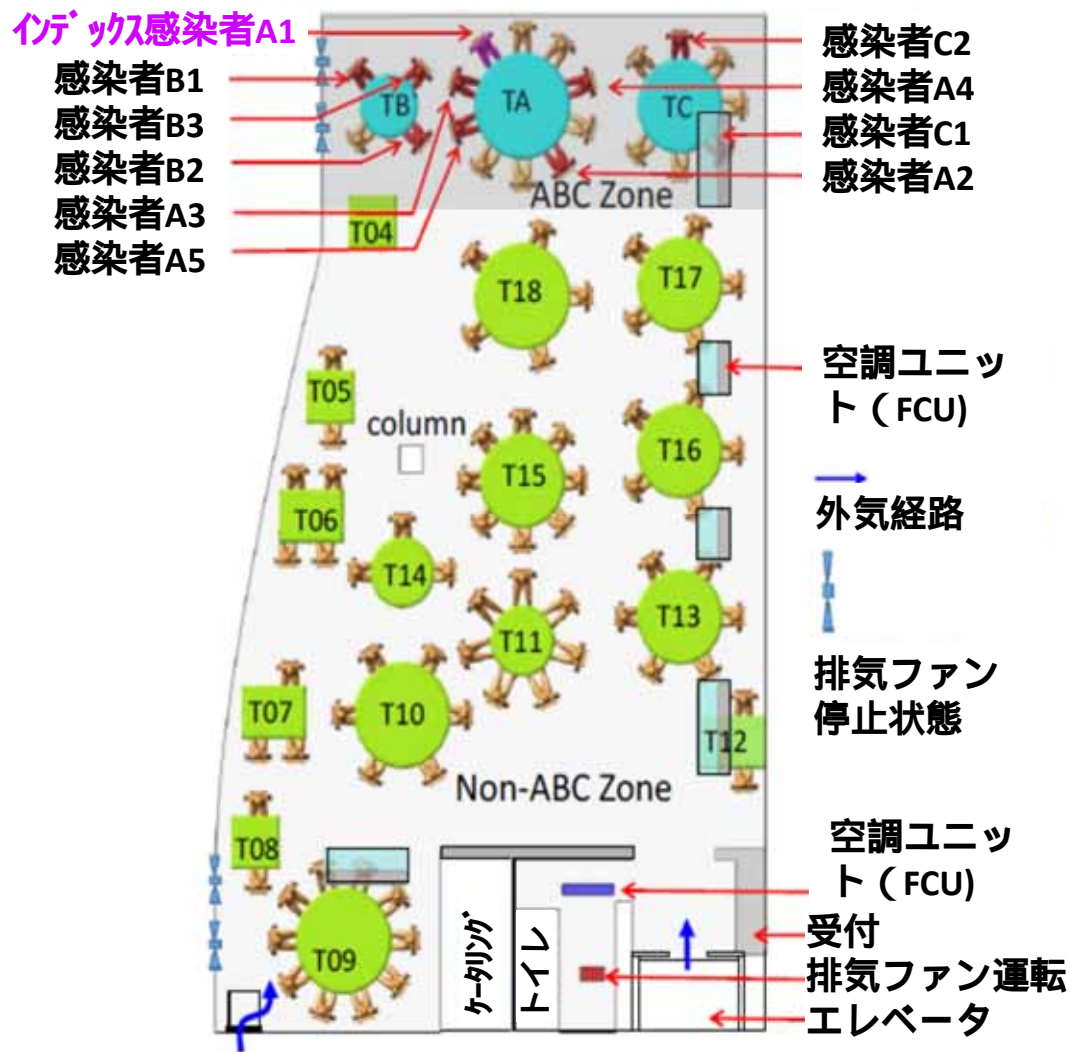
- **中国広州レストランのクラスター感染**

- **広州のレストランの隣りあうテーブルで食事した3家族のうちの1人がその日のうちに発症したが、3家族から9人の二次感染者が出た。**

- **第一報では、FCUの強い気流が大粒径の飛沫を1~2mの範囲を越えて輸送したと推定した。**

1. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020: Jianyun Lu, Jieni Gu, Kuibiao Li, Conghui Xu, Wenzhe Su, Zhisheng Lai, Deqian Zhou, Chao Yu, Bin Xu and Zhicong Yang, Emerging Infectious Diseases, Vol/26, No. 7 July 2020 Research Letter

2. Aerosol transmission of SARS-CoV-2 Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant: Yuguo Li, Hua Qian, Jian Hang, Xuguang Chen, Ling Hong, Peng Liang, Jiansen Li, Shenglan Xiao, Jianjian Wei, Li Liu and Min Kang (<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.16.20067728v1>)



第二報では当時の状況を再現した換気実測とCFD解析が行われた。当日、換気設備は入り口のトイレ以外は停止され、換気量は $2.7 \sim 3.7 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot \text{人}$ (換気回数 $0.56 \sim 0.77 \text{ 回} / \text{h}$)と少なく、テーブルA, B, C付近にFCUによる感染性のある高濃度飛沫の循環領域が発生したためとした。

循環空調 感染にリスク



クルーズ船・多くのビルも採用

「ウイルス拡散おそれ」指摘も

新型コロナウイルスの感染拡大で、建物の「換気」に注目が集まっている。乗客が密集した大型クルーズ船やプリンスホテル（DPR）号は、客室への換気の70%が別の客室などから排出された空気を循環させたものだった。建物内の空気を循環させる空調システムは国内の商業施設や病院でも広く採用されているという。専門家の団体は「ウイルスを拡散させるおそれ」を指摘している。

研究者ら「全外気運転で」

3700人の乗客乗客のうち、2階にあたる712人の乗客が確認されたDPR号が、設計・建造した三菱重工の用が2018年、この船の空調システムについて日本船舶海洋工学会の学会誌に寄稿している。それによると、客室に入ってくる空気が、新鮮な空気である外気30%、各客室などから排出された空気70%が混ざったものであるという。一方、DPR号の公室・船室は外気の割合が50%、病室については「衛生と臭気対策のため」として100%だった。客室に入る外気の割合が少ない理由は、「省エネ対策」だという。

外気と比べ温度湿度が少ないうえに、乗客同士の空気を循環させれば、電化などのコストも抑えられるためだ。DPR号のように、省エネのために建築物内部の空気を循環させる空調システムについて、東京都心の大型ビルなどを手がける大手設備設計会社幹部は「国内で広く使われている」と話す。例えば、都心のオフィスビルや大阪市内の大型商業ビルなどは、北関東の公共施設などでも採用されているという。その理由は省エネで、施工に対して「省エネ費用が安い」という理由になるからだ。しかし、世界空調会議を

開している欧州空調換気設備協会（REHVA）、本部（ベルギー）は4月、新型コロナウイルス対策として、循環させる空調システムは「汚染物質が建物すべりに広がるため推奨されない」との意見を公表。DPR号も採用する空調フィルタについても「ウイルス粒子に対して効果的ではない」とした。

また、室内の空調システムの研究や技術者が加入する公益団法人「空気調和・衛生工学会」も同月、「ウイルスが室内へ再度侵入する」とを回避するため室内からの空気量は可能な限り減らし、できるだけ全外気運転にする」との文書を会員向けに送った。国立感染症研究所がDPR号の内部を調べたところ、客室の空気を吸い取って排気する天井排気口からウイルスの濃度が検出されたという。感染拡大と換気設備との因果関係ははっきりしていないが、同研究所は「特殊な環境でウイルスが遠方まで浮遊する可能性について更なる検討が必要」としている。

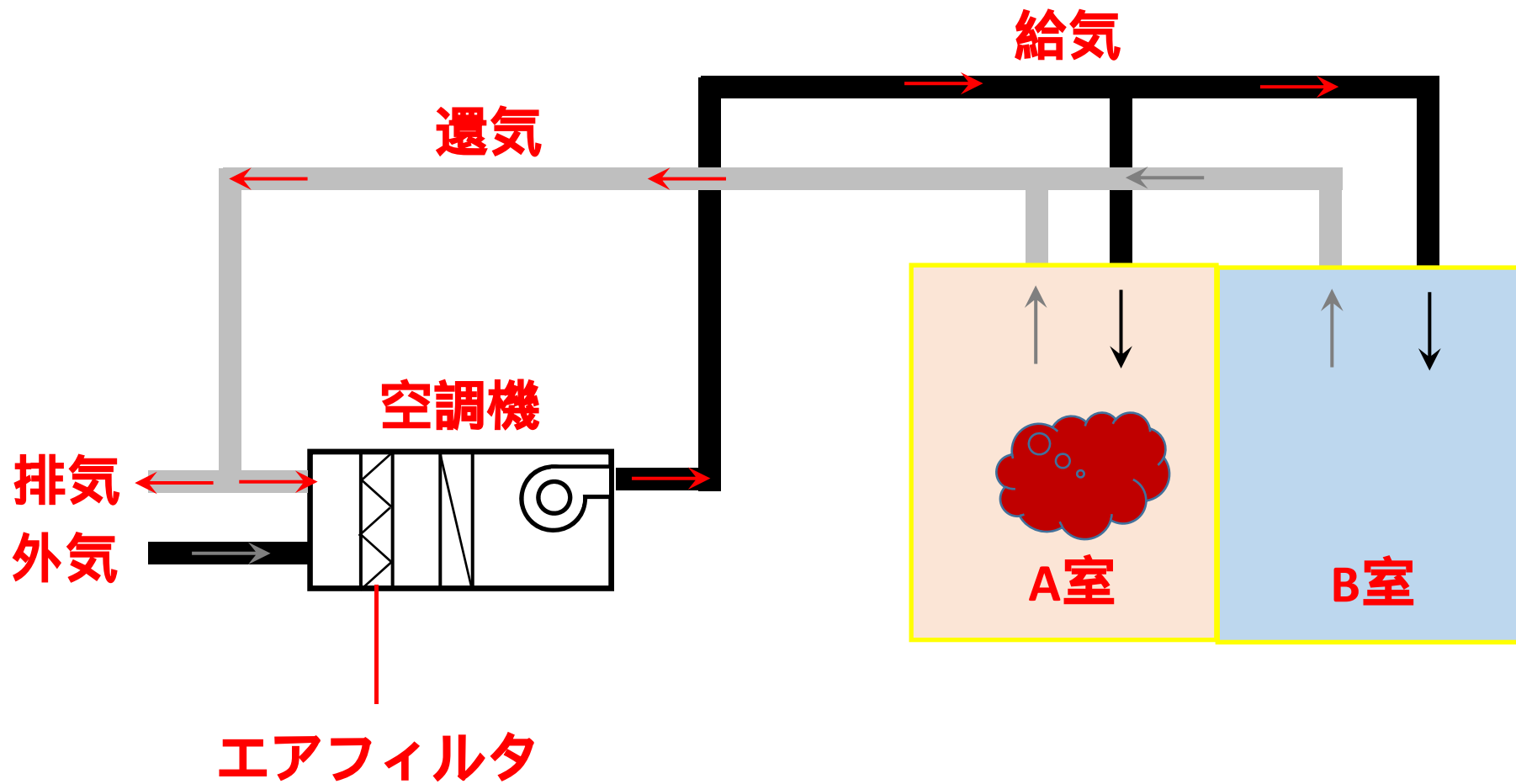
DPR号の運行会社の日本支社（東京都中央区）は取材に、「ホテルやカラオケも同じ空調システムを使用している。換気設備当時、英疾病対策センターの幹部から「ウイルスが空調システムを介して拡散することを示唆する現在の証拠はない」という意見をもらっていた」と答えた。

「空気」再認識を

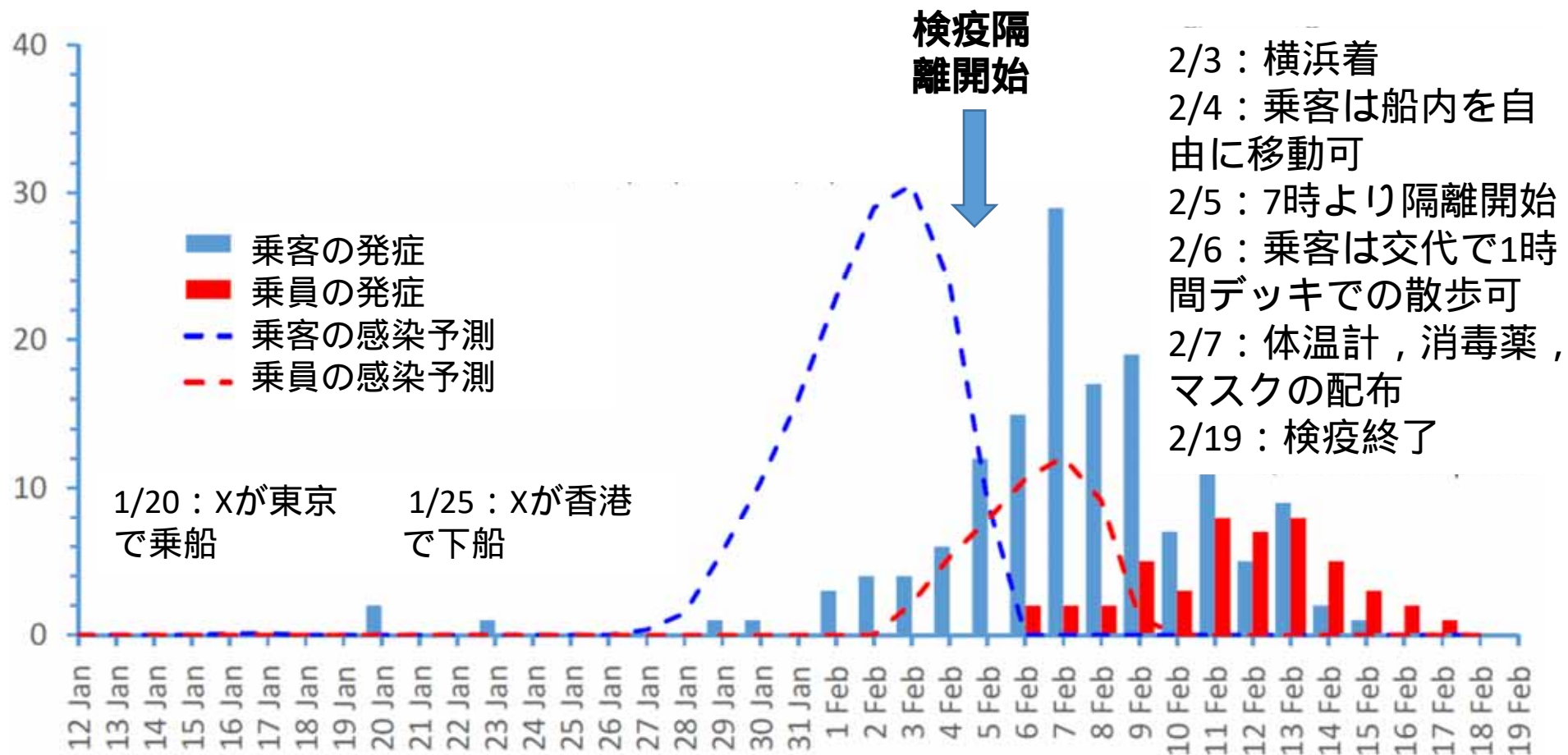
新型コロナウイルスの感染対策は、主に濃厚接触を防ぐことと重点が置かれている。ただ、世界保健機関（WHO）は「換気」の重要性を指摘している。一定の環境で空気感染が発生する可能性を「排除できない」とする見解を示した。

人は1日1万5千回以上呼吸を繰り返しているといわれる。建物内の空気を循環させる空調システムだと、ウイルスが拡散するおそれがある。そのため、換気設備の定期的なメンテナンスが重要だ。また、換気設備の定期的なメンテナンスが重要だ。また、換気設備の定期的なメンテナンスが重要だ。

と述べている。冬は、冬はその逆で、換気設備のメンテナンスが重要だ。また、換気設備の定期的なメンテナンスが重要だ。また、換気設備の定期的なメンテナンスが重要だ。



中央式空調システムの仕組み



検疫隔離後には乗客では感染者と同室の場合以外、新たな感染者はなかった。乗員の感染はDPATの指導後は感染が減少していった。

Pengcheng Xu, Hua Qian, Te Miao, Hui-ling Yen, Hongwei Tan, Benjamin J. Cowling, Yuguo J Li : Transmission routes of Covid-19 virus in the Diamond Princess Cruise ship
 (<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.09.20059113v1>)

RHEVA , ASHRAEのガイドダンス

感染性エアロゾルに対するASHRAEの立場表明

- OA増加（DCVを無効にし，OAダンパ全開）
- HVACフィルタをMERV-13にする
- システムの長時間運転
- HEPAないし高MERVエアフィルタによるポータブル空気清浄機利用の考慮
- 高密度空間に対して送風機とダクト，AHU内蔵もしくは上部空間のUVGIの設置
- 温度と湿度の制御
- 回転型熱交換器のバイパス運転
- ソースコントロールのための局所換気

ASHRAE : ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols, April 14, 2020
https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_infectiousaerosols_2020.pdf

RHEVAのCOVID-19対策文書

- OA , EA量の増加（タイマー調整 , 24時間換気 , トイレも負圧として24時間換気）
- 窓開け換気の推奨
- 暖房・冷房システムの設定変更不要
- 回転式熱交換器の適切な調整
- 循環空調の停止
- 個別空調の場合の換気への配慮
- 空気清浄機とUVGIの利用
- トイレの蓋を閉じて洗浄 , 破封の防止
- IAQモニタリング

RHEVA : RHEVA COVID-19 guidance document, August 3, 2020
https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V3_03082020.pdf

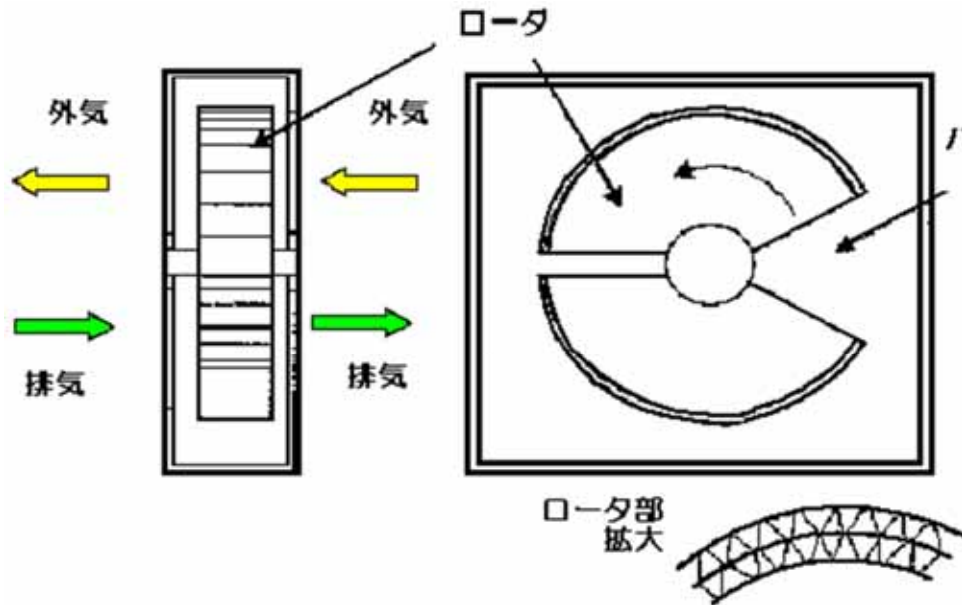


図1 回転形全熱交換器構成

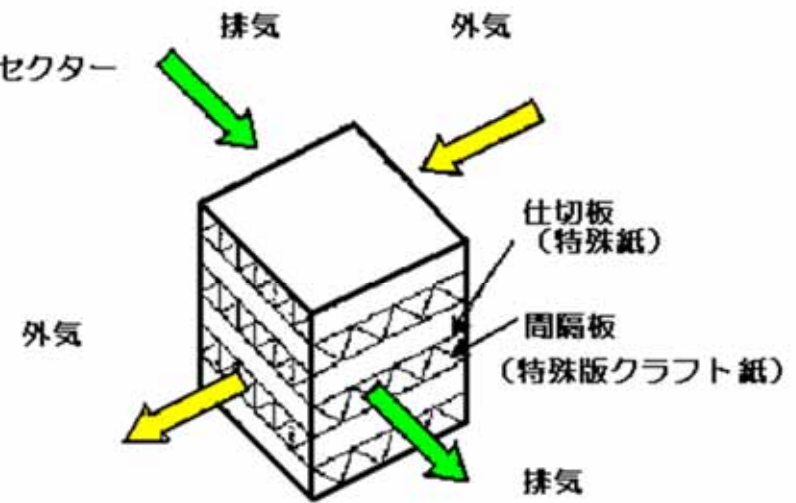


図2 静止形全熱交換器構成

- ・ 回転型はパーシセクターがありSA圧力 > RA圧力であれば漏洩は極めて少ない。
- ・ 静止型の熱交換素子はウィルスを移行しないので、物理的漏洩（5%程度）を考慮すればよい。

日本冷凍空調学会：全熱交換器

<https://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/52.html>

• Can HVAC Systems Spread COVID-19?

ASHRAE Epidemic Task Force

議長：Bill Bahnflethの見解

パンデミックが始まってから数千の論文が発表されているが、COVID-19の伝染に関するすべての報告には、**HVACシステムを介した空間から空間への伝染に関する報告はない**。ただし、HVACシステムは空気を調整するため空間内の空気を移動させる。これは汚染物質を拡散させる可能性があるが、HVACシステムは**換気とろ過**を提供し、これらはどちらもリスク低減要因となる。

ASHRAE : Can HVAC Systems Spread COVID-19? 31 May, 2020

(<https://www.achrnews.com/articles/143255-can-hvac-systems-spread-the-covid-19-virus>)

エアフィルタの効果

表 最小粒子捕集率(MERV)と粒径別捕集率

MERV	粒径別捕集率 [%]		
	0.3 ~ 1.0 μ m	1.0 ~ 3.0 μ m	3.0 ~ 10.0 μ m
6	N/A	N/A	$35 \leq E_3$
7	N/A	N/A	$50 \leq E_3$
8	N/A	$20 \leq E_2$	$70 \leq E_3$
9	N/A	$35 \leq E_2$	$75 \leq E_3$
10	N/A	$50 \leq E_2$	$80 \leq E_3$
11	$20 \leq E_1$	$65 \leq E_2$	$85 \leq E_3$
12	$35 \leq E_1$	$80 \leq E_2$	$90 \leq E_3$
13	$50 \leq E_1$	$85 \leq E_2$	$90 \leq E_3$
14	$75 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$
15	$85 \leq E_1$	$90 \leq E_2$	$95 \leq E_3$
16	$95 \leq E_1$	$95 \leq E_2$	$95 \leq E_3$

N/A: Not Available

出典: ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017 Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size

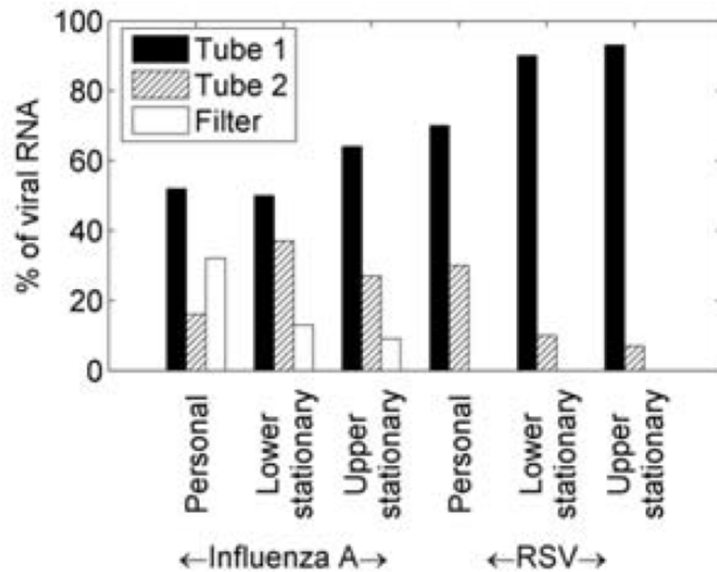


Table 2. Size distribution of influenza RNA measured in Lindsley et al. (2010)

Sampling Location	Distribution of viral RNA		
Personal samplers	< 1.7 μm	1.7-4.9 μm	> 4.9 μm
	32%	16%	52%
Lower stationary samplers	< 1 μm	1-4.1 μm	> 4.1 μm
	13%	37%	50%
Upper stationary samplers	< 1 μm	1-4.1 μm	> 4.1 μm
	9%	27%	64%

- 15% of infectious droplet nuclei are in the 0.3-1 μm size range;
- 25% exist in the 1-3 μm size range; and
- 60% exist in the 3-10 μm size range.

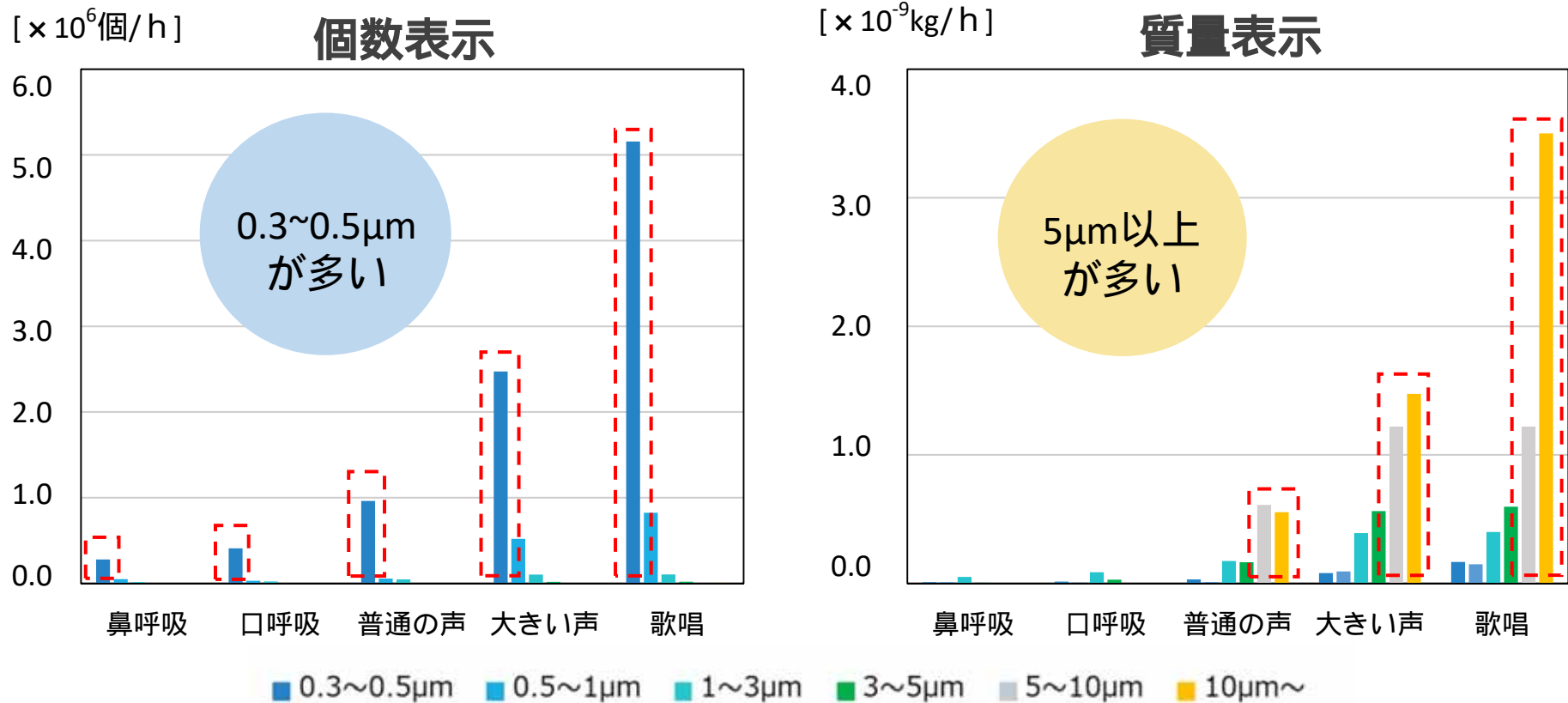
MERV	粒径別捕集率[%]			重み付け捕集率[%]
	0.3 ~ 1.0 μm	1.0 ~ 3.0 μm	3.0 ~ 10.0 μm	
11	20	65	85	70
12	35	80	90	79
13	50	85	90	83
14	75	90	95	91

1. Lindsley, W.G. et al. : Distribution of Airborne Influenza Virus and Respiratory Syncytial Virus in an Urgent Care Medical Clinic. Clinical Infectious Diseases 100125140412054-000. (<https://academic.oup.com/cid/article/50/5/693/325466>)
2. Brent Stephens: HVAC filtration and the Wells-Riley approach to assessing risks of infectious airborne diseases, Final Report (<https://www.nafahq.org/wp-content/uploads/WellsRileyReport.pdf>)

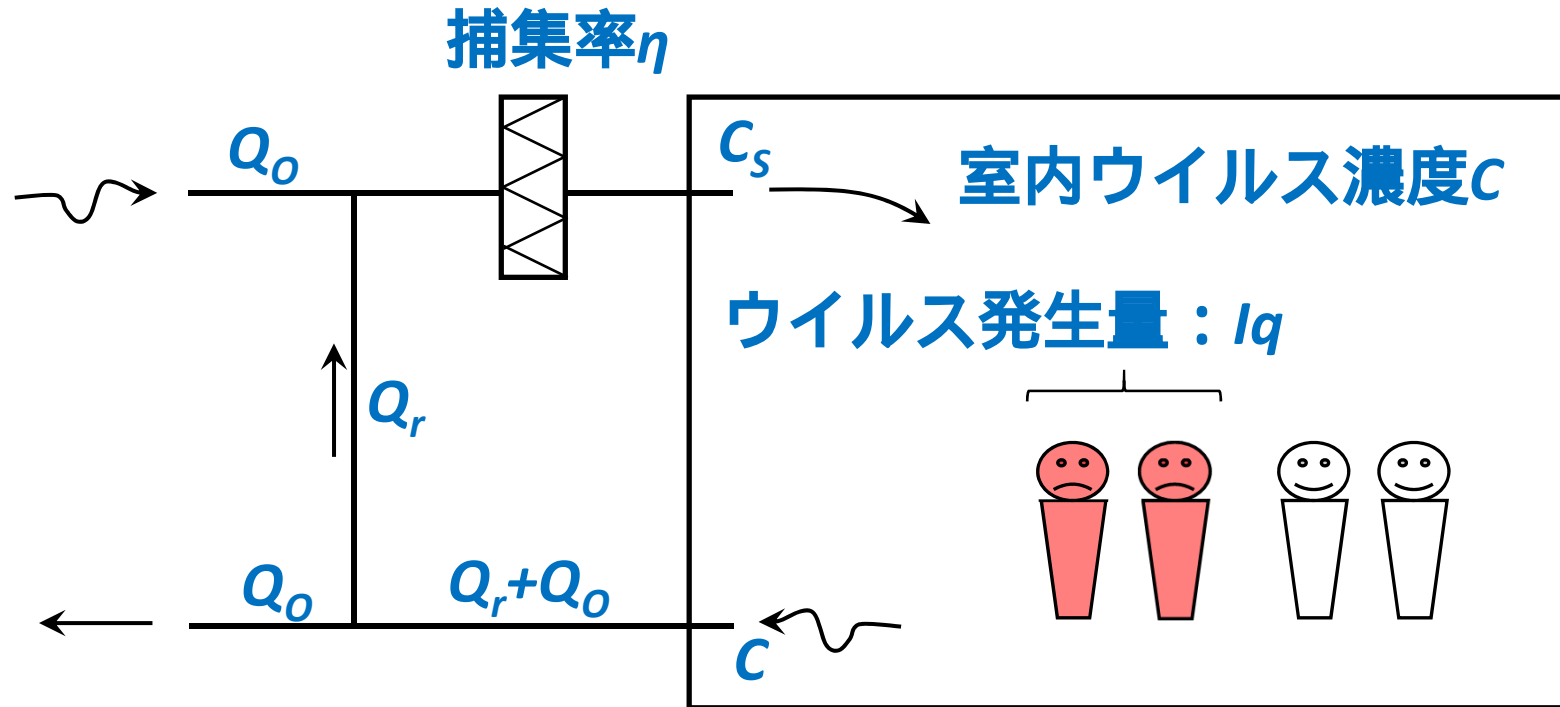
■ 呼吸関連活動に伴う飛沫発生量

測定結果

単位時間当たり飛沫発生量



個数で見ると0.3~0.5 μ mが多いが、質量換算すると5 μ m以上が多い。
歌唱時の飛沫発生量は呼吸時の10倍以上。



$$\begin{cases} (1-\eta)CQ_r = C_s(Q_o + Q_r) \\ C_s(Q_o + Q_r) + Iq = C(Q_o + Q_r) \end{cases}$$



$$Iq = C(Q_o + \eta Q_r)$$

Q_o : 外気量
 ηQ_r : 相当外気量

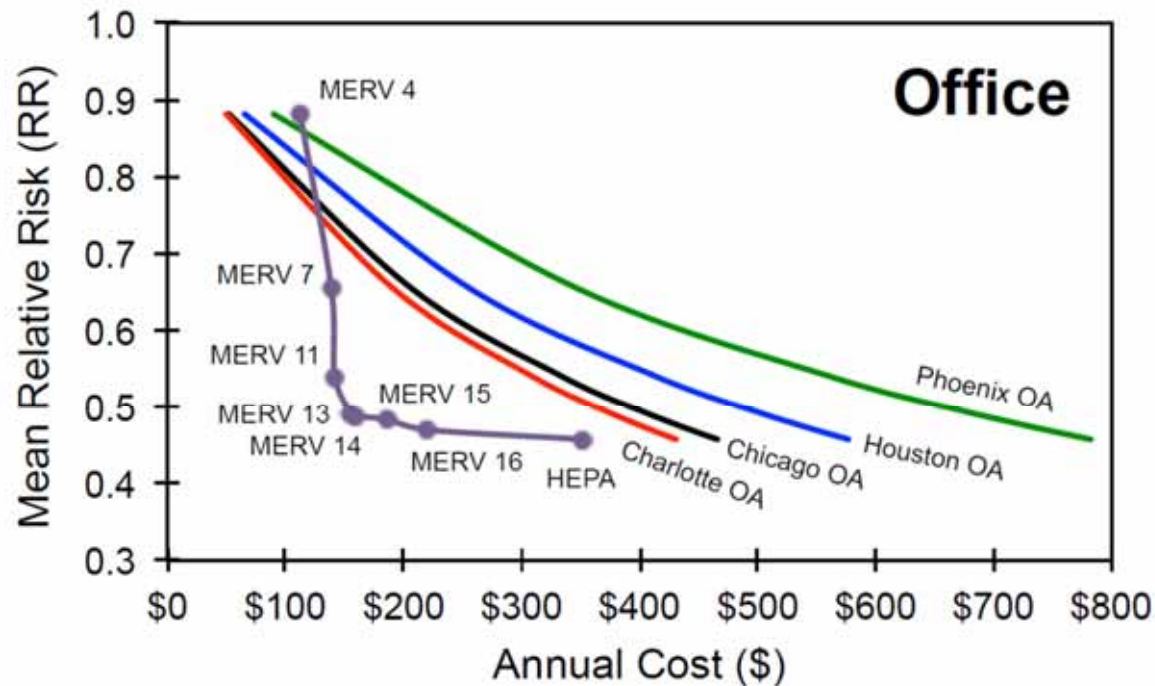


Figure 21. Relative risk (RR) of infectious disease transmission across the three diseases in the office environment with both HVAC filtration and “equivalent” outdoor air ventilation rates. Note that lower costs and lower risks (both beneficial) lie in the bottom left corner of the graph.

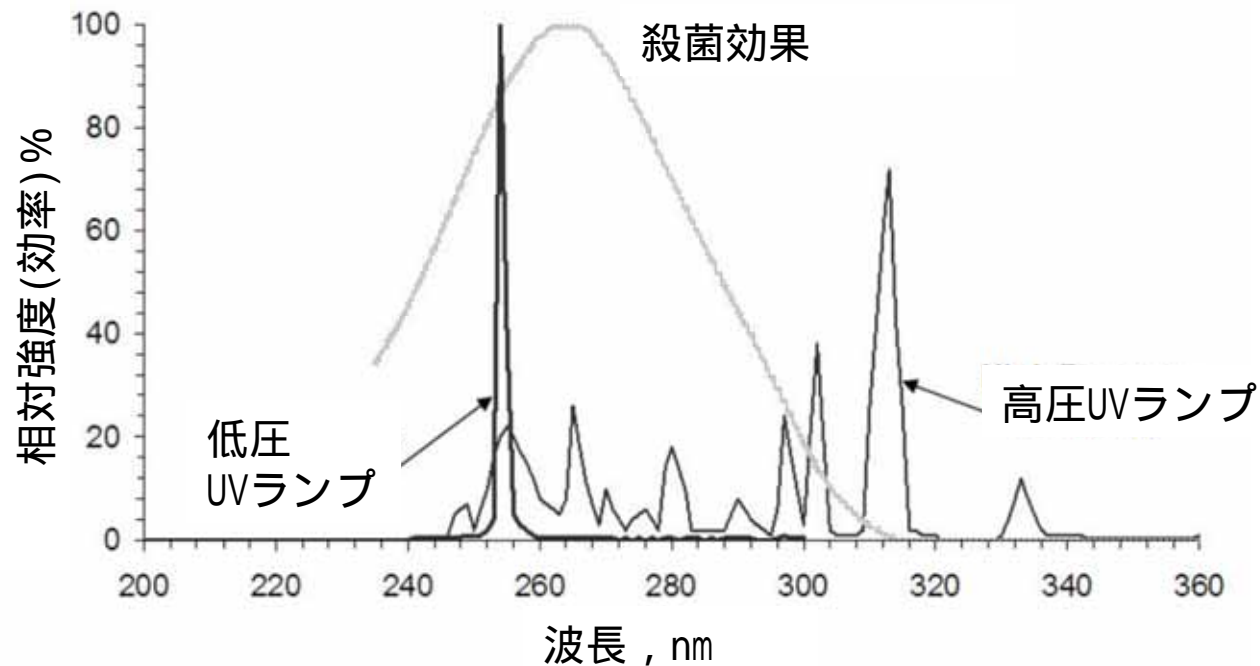
インフルエンザウイルスの感染リスクをWells-Rileyモデル（後述）で予測した場合のリスクを等価にするためのエアフィルタとOA導入に要するコスト比較

Brent Stephens: HVAC filtration and the Wells-Riley approach to assessing risks of infectious airborne diseases, Final Report

(<https://www.nafahq.org/wp-content/uploads/WellsRileyReport.pdf>)

UVGI

UVGI(Ultra Violet Germicidal Irradiation)



低圧UVランプの卓越波長254nmに対し微生物は脆弱である。DNA分子の最大吸収波長260nmに近いため、殺菌照射はDNA構造を変化させて病原体が不活化される。

UVGI



Upper-Room UVGI取り付けの例

J. B. Dreiling : An Evaluation of Ultra Violet Germicidal Irradiation (UVGI) Technology in Health Care Facilities , A Report, Kansas State University , 2008

<https://core.ac.uk/download/pdf/5164725.pdf>

UVGI

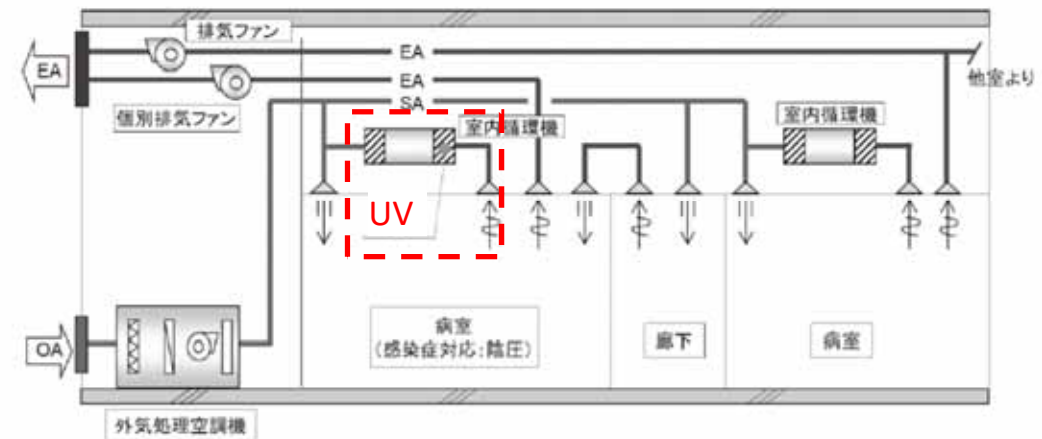
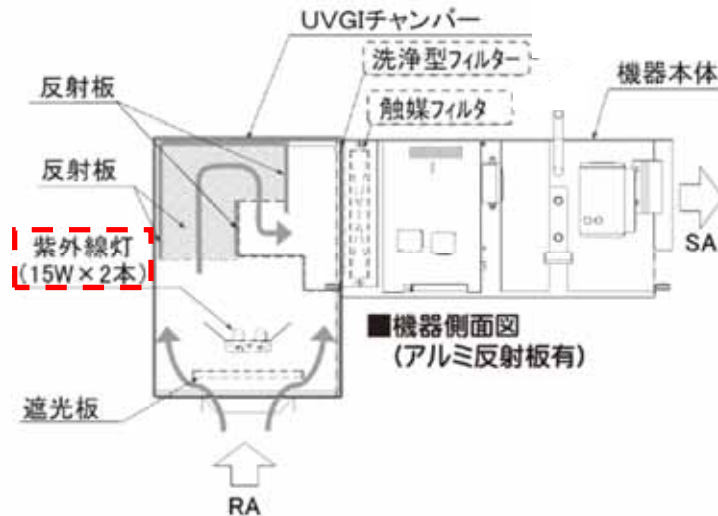


ポータブル UVGIファンユニットの例

J. B. Dreiling : An Evaluation of Ultra Violet Germicidal Irradiation (UVGI) Technology in Health Care Facilities , A Report, Kansas State University , 2008

<https://core.ac.uk/download/pdf/5164725.pdf>

UVGI

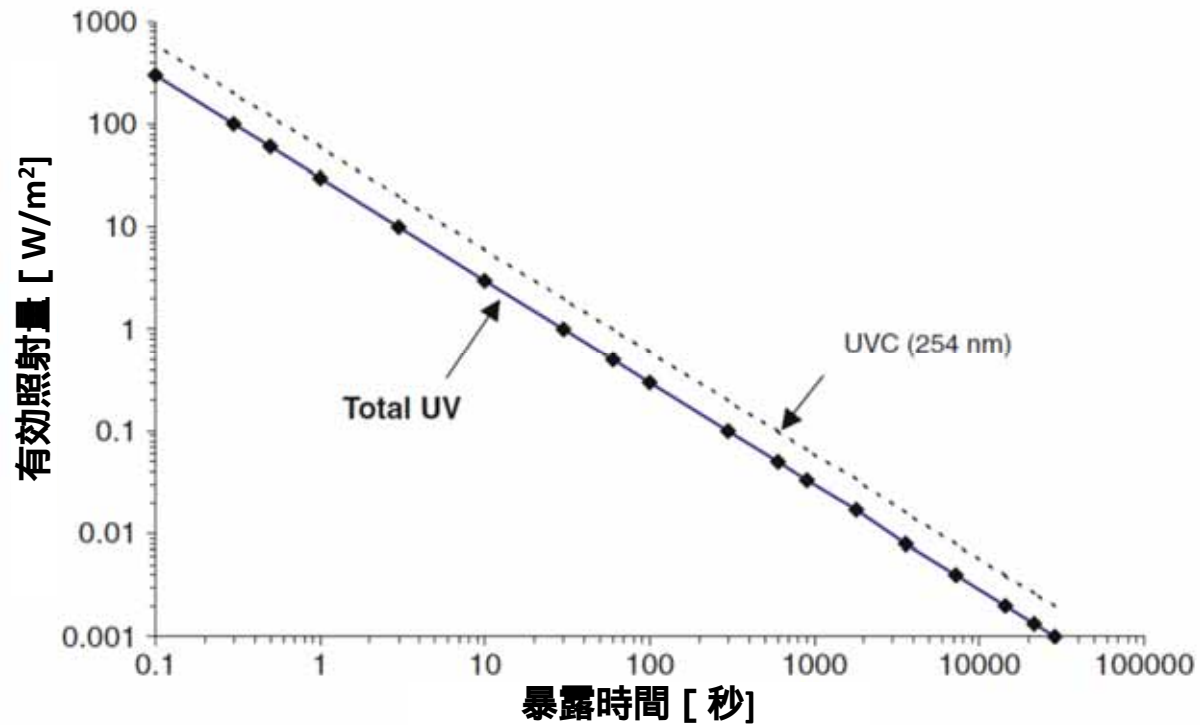


空調システムに組み込んだ例

井田他：UVGIを組み込んだ空調システムの感染対策例：臨床環境医学，vol.27，No.1，2018

https://i.kawasaki-m.ac.jp/jsce/181110-27-1/27-1-28_34.pdf

UVGI



最大暴露時間と有効照射量の関係

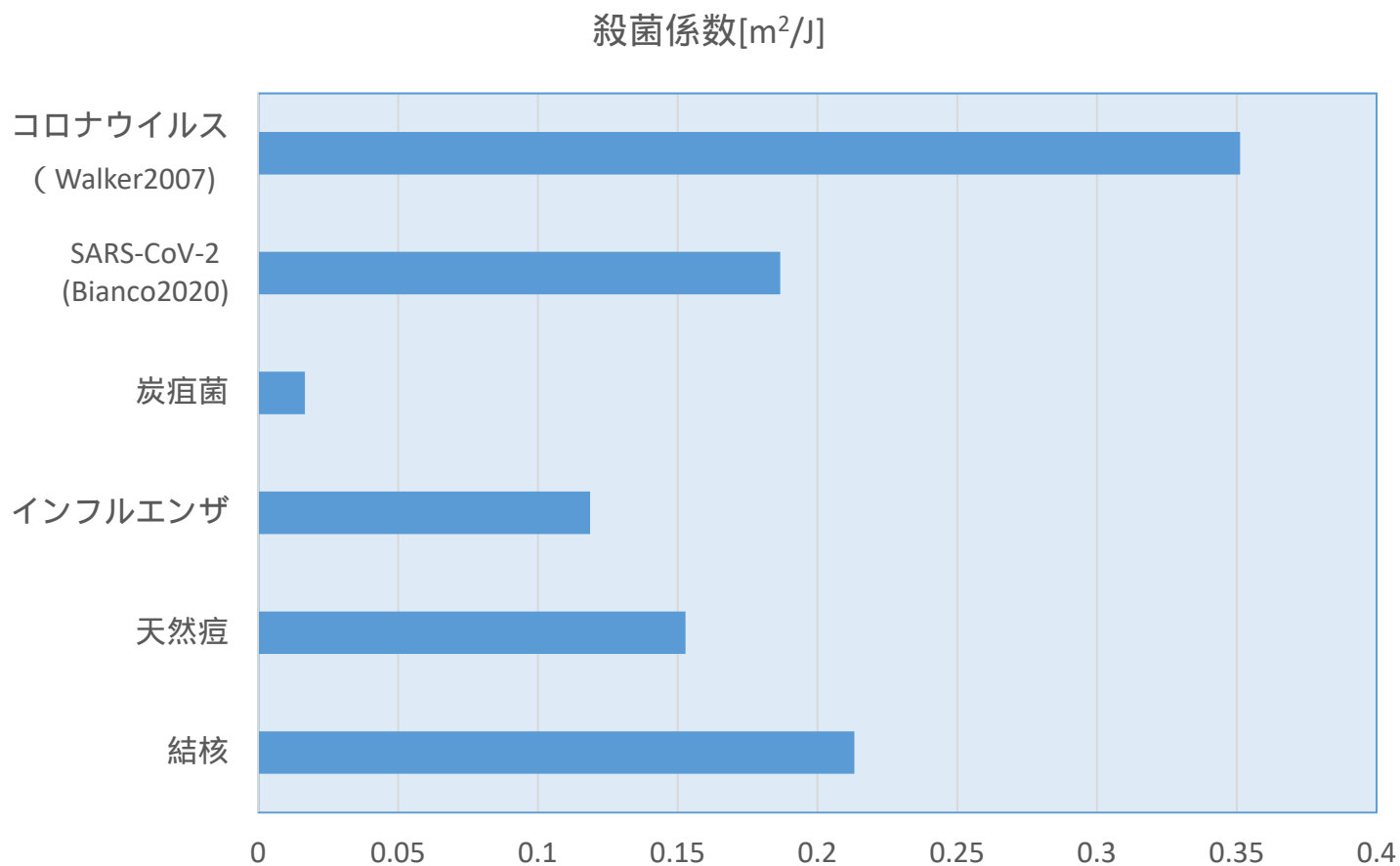
W. Kowalski : Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook, UVGI for Air and Surface Disinfection, Springer, Kansas State University , 2009

UVGIの有効性の評価：

$$\frac{N_s}{N_o} = \exp(-KIt)$$

- N_o : 暴露病原体数
- N_s : UVGI照射後の生存
病原体数
- I [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] : UVGI照射強度
- t [s] : UVGI照射時間
- K [$\text{cm}^2/\mu\text{J}$] : 殺菌係数
- (大きいほど殺菌効果大)

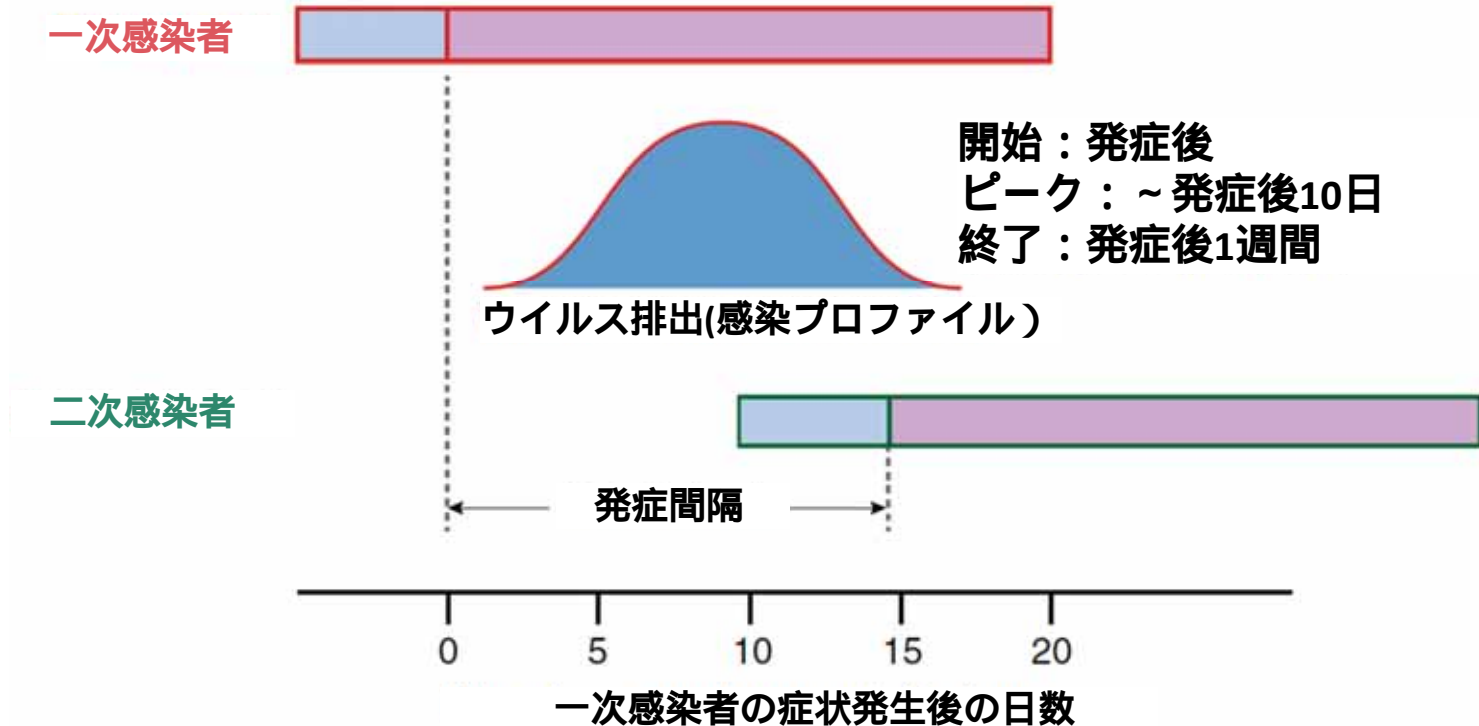
新型コロナウイルスの殺菌係数K は定まっていない：



マスクの効用

SARS 2003

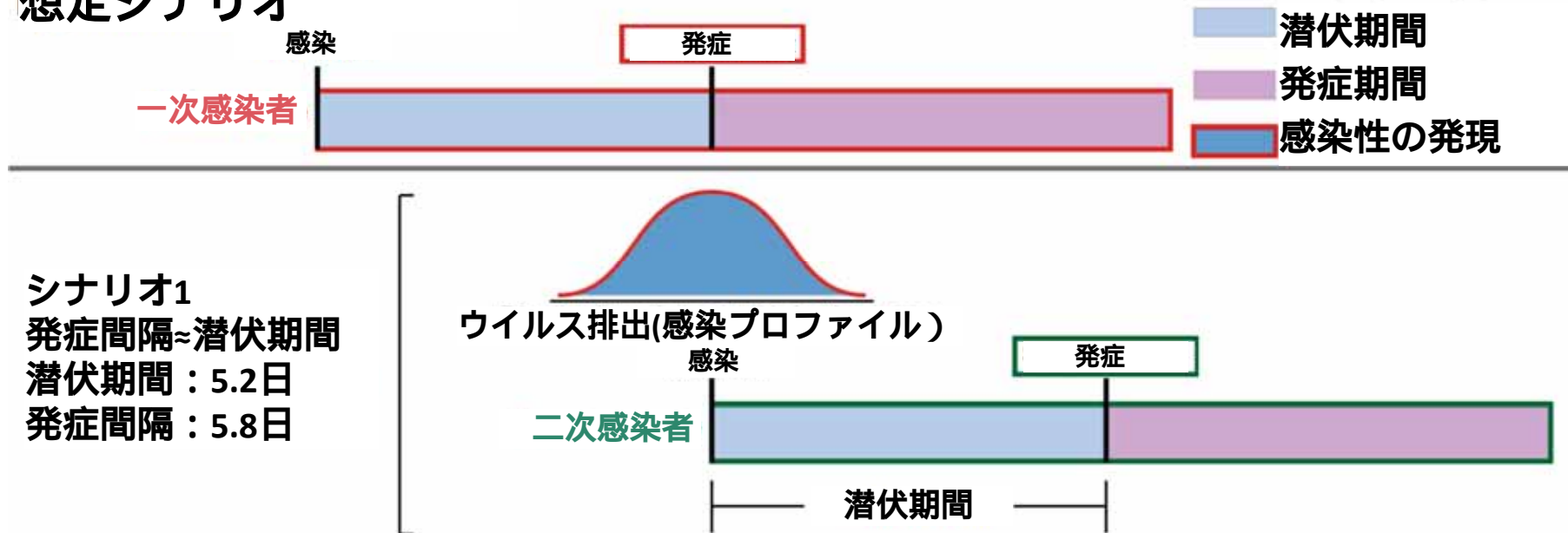
推定潜伏期間：4-5日
推定発症間隔：10-11日



SARSの場合，発症後にウイルス排出による二次感染が起こるので，発症後に隔離すれば感染の連鎖を断ち切ることが可能。

X. He et al. : Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19, NATURE MEDICINE, vol.26, may 2020, <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0869-5>

想定シナリオ



新型コロナウイルスの潜伏期間は5.2日は発症間隔は5.8日に近い。発症前の感染が44%と半数に近く、発症7日後には感染力はほぼ消失する。発症前2~3日の行動履歴が不明の場合、追跡調査による感染拡大阻止は難しく、公衆衛生的対応が必要となる。



図1 BSL3 施設内に設置したウイルス噴霧チャンバー
左側のマネキンの口から SARS-CoV-2 が噴出されチャンバー内に拡散する。右側のマネキンには人工呼吸器が繋がれており、吸い込んだウイルス粒子はウイルス回収装置に捕集される。

感染性ウイルスを用いたマスクの効果に関する研究

H Ueki et al. :Effectiveness of Face Masks in Preventing Airborne Transmission of SARS-CoV-2, mSphere, vol.5, Issue 5, September/October 2020
<https://msphere.asm.org/content/5/5/e00637-20>

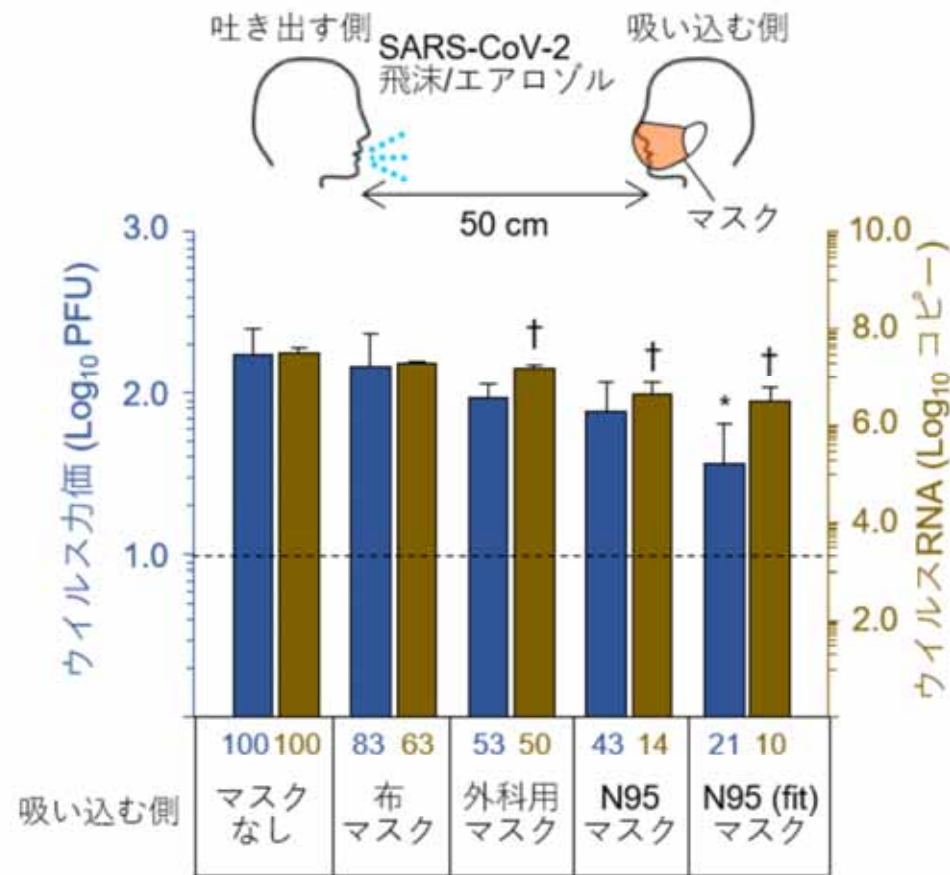


図3 マスク装着によるウイルスの吸い込みの防止効果

吸い込む側のマネキンにマスクを装着させ、ウイルスの吸い込み量への影響を検討した。N95マスクはウイルスの吸い込みに対する最も高い防御効果を示したが、フィッティングを行わないとその効果は低減した。

吸込み側にマスクを用いると、感染性ウイルスの吸引量は減少する。

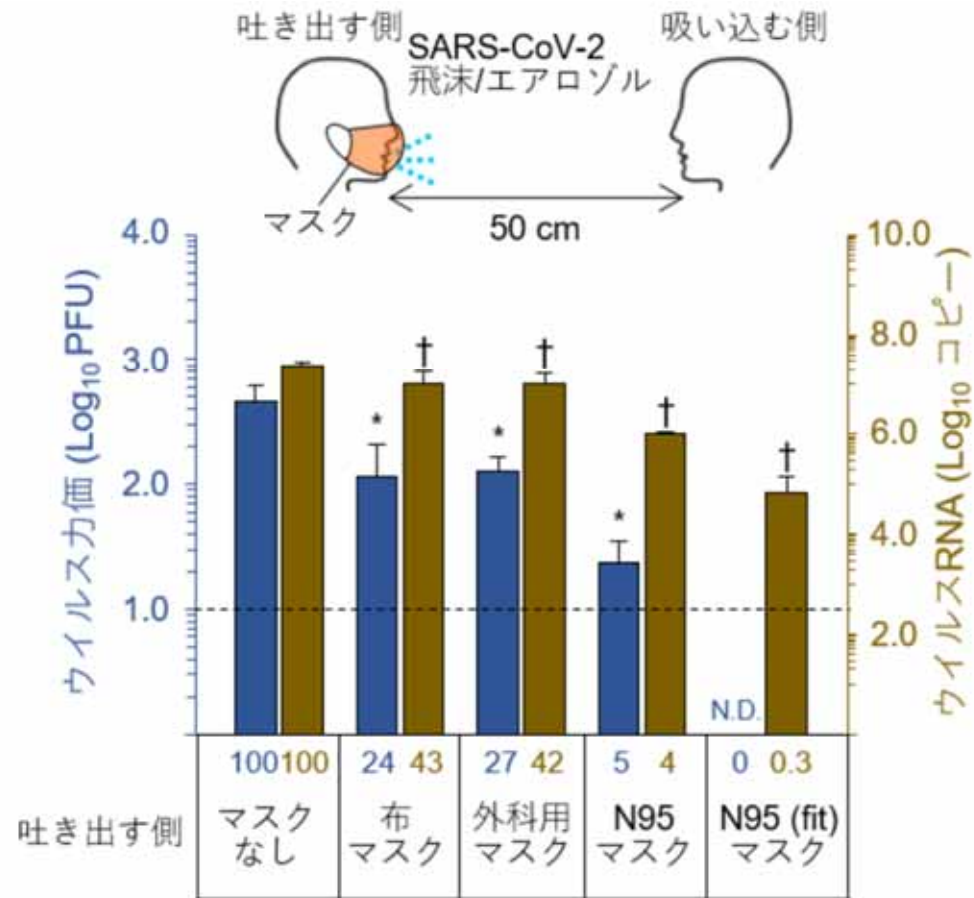


図4 マスク装着によるウイルスの拡散防止効果

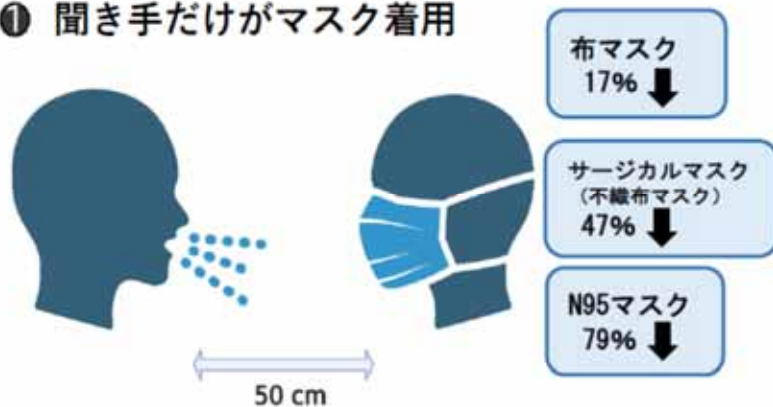
ウイルスを吐き出す側のマネキンにマスクを装着させ、ウイルスの吸い込み量への影響を検討した。布マスク、外科用マスク、N95 マスクはウイルスの拡散防止効果をそれぞれ示した。

吐き出す側にマスクを用いると、感染性ウイルスの吐き出し量は大きく減少する。

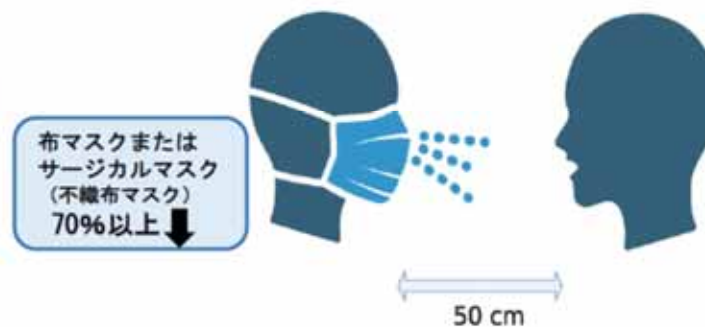
○マスクの効果

東京大学医科学研究所のデータを基に内閣官房作成

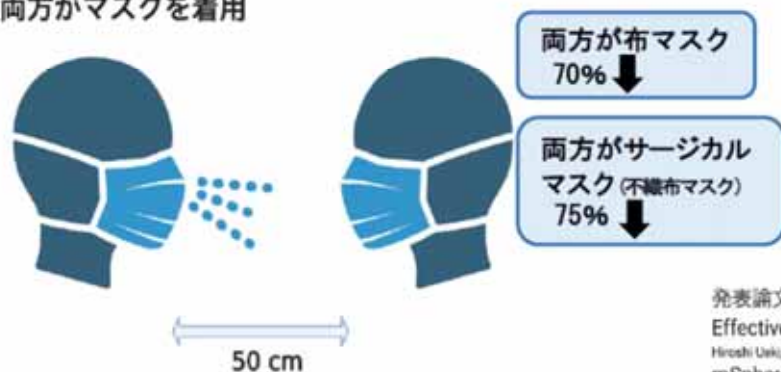
① 聞き手だけがマスク着用



② 話し手だけがマスク着用



③ 両方がマスクを着用

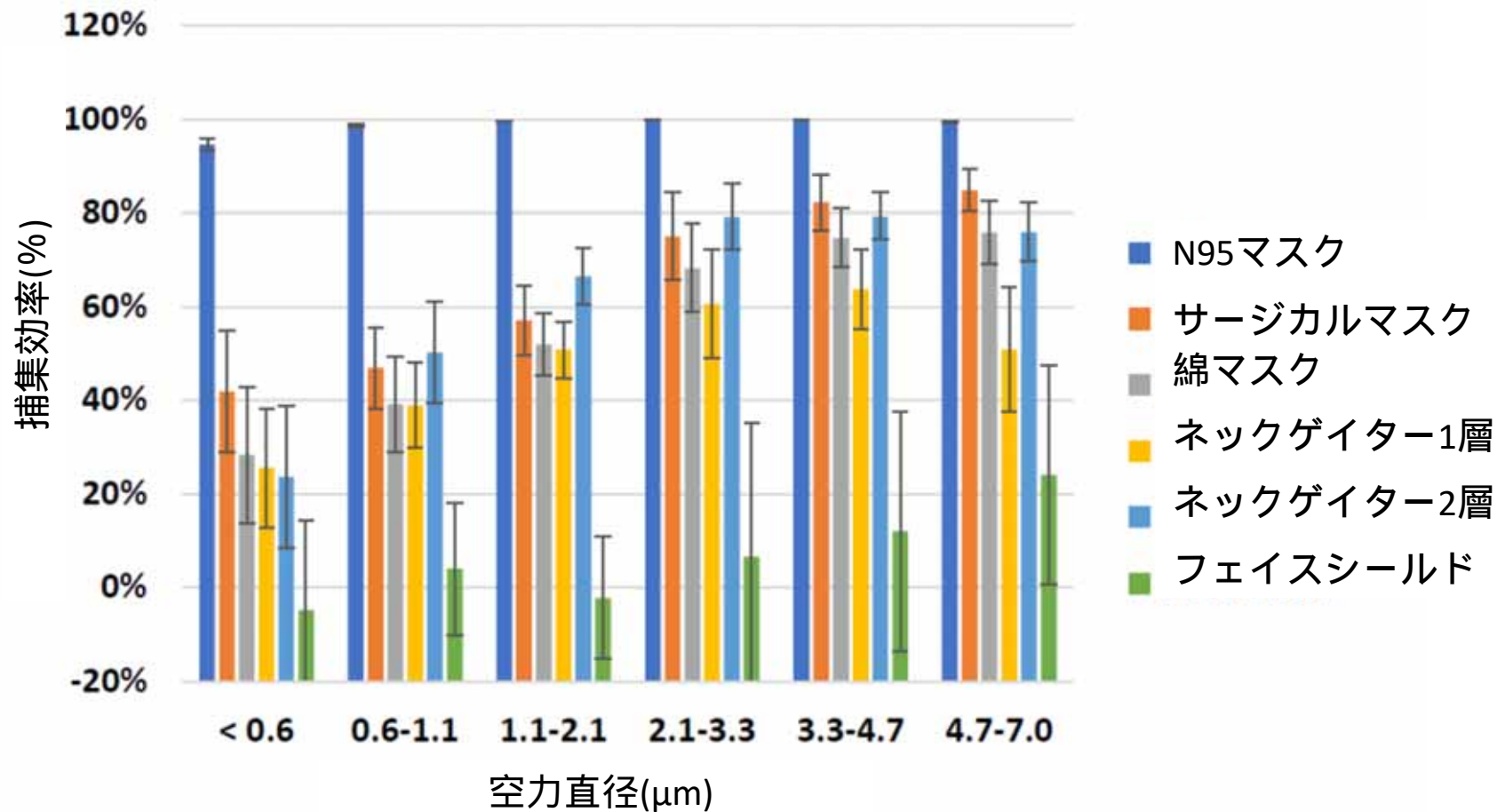


みんながマスクを
することが大切

発表論文

Effectiveness of Face Masks in Preventing Airborne Transmission of SARS-CoV-2
Hiroshi Ueki, Yuri Furusawa, Kyoko Iwatsuki-Horimoto, Masaki Inai, Hiroki Kabata, Hidetaku Nishimura, Yoshihiro Kawachi
mSphere 2020. DOI: 10.1128/mSphere.00637-20

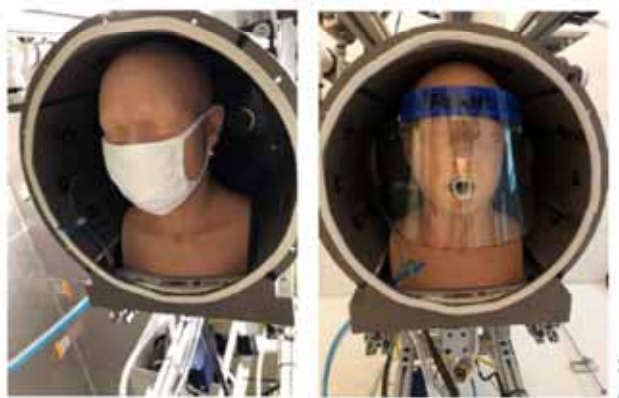
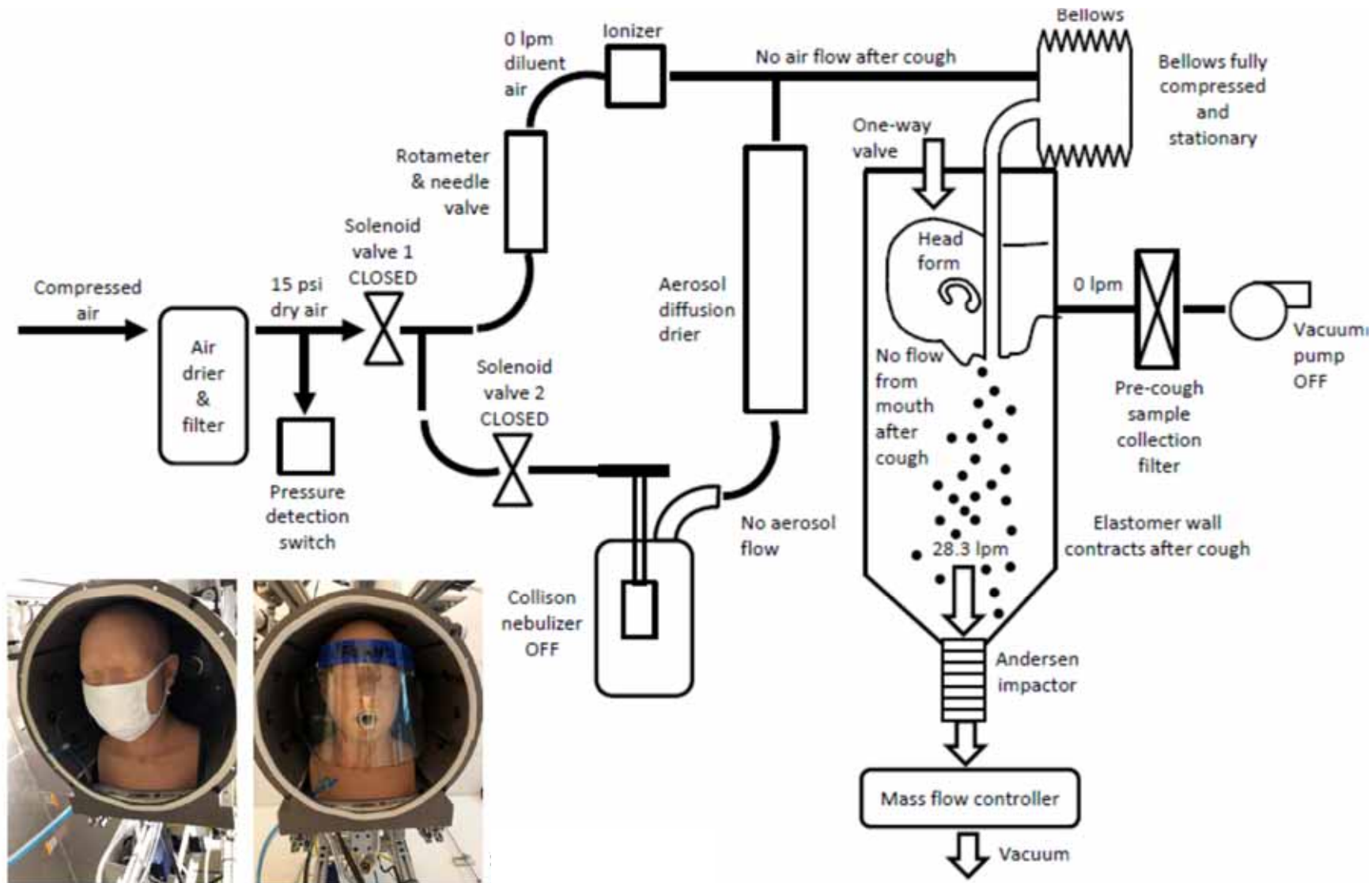
https://corona.go.jp/proposal/pdf/mask_kouka_20201215.pdf



マスク，フェイスシールドによる吐き出しウイルス量の低減効果。フェイスシールドには効果なし

W. G. Lindsley et al. : Efficacy of face masks, neck gaiters and face shields for reducing the expulsion of simulated cough-generated aerosols , medRxiv, November 2020

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.10.05.20207241v3>



飛沫を真空吸引しているなので，飛沫の進行方向の影響は考慮されない。

感染確率モデル

Wells-Riley感染確率モデル：

$$\text{感染確率} = 1 - \exp\left(-\frac{Iqpt}{Q}\right)$$

I [人]

：感染者数(1)

q [quanta/h]

：感染性粒子発生量

p [m³/h]

：呼吸量(~ 0.6)

t [h]

：滞在時間

Q [m³/h]

：換気量

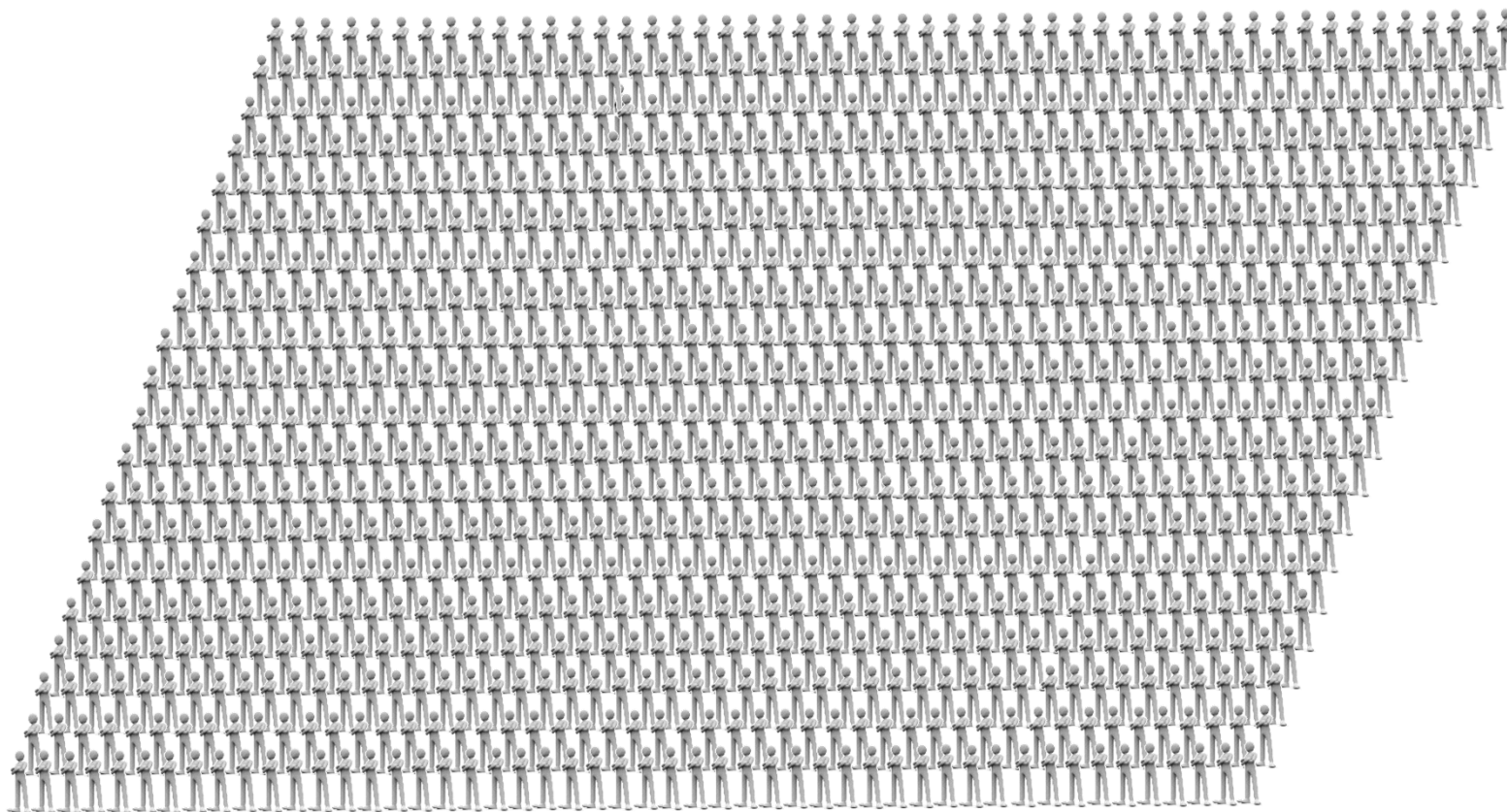
感染確率には在室者数，室容積は無関係!

実際に室内に感染者は何人いるか？

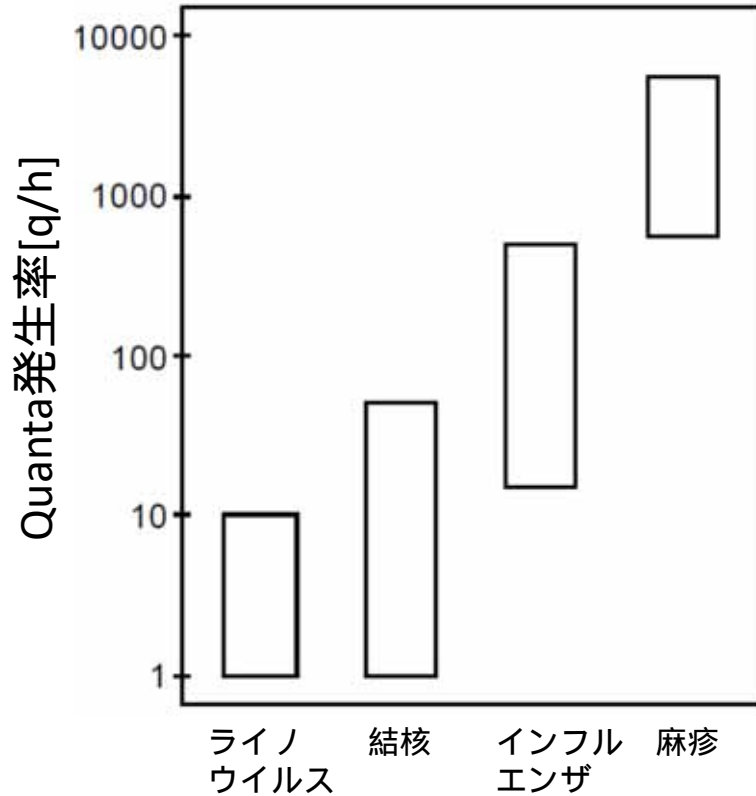
感染者1人への対策が必要では？

この人
一人が
問題

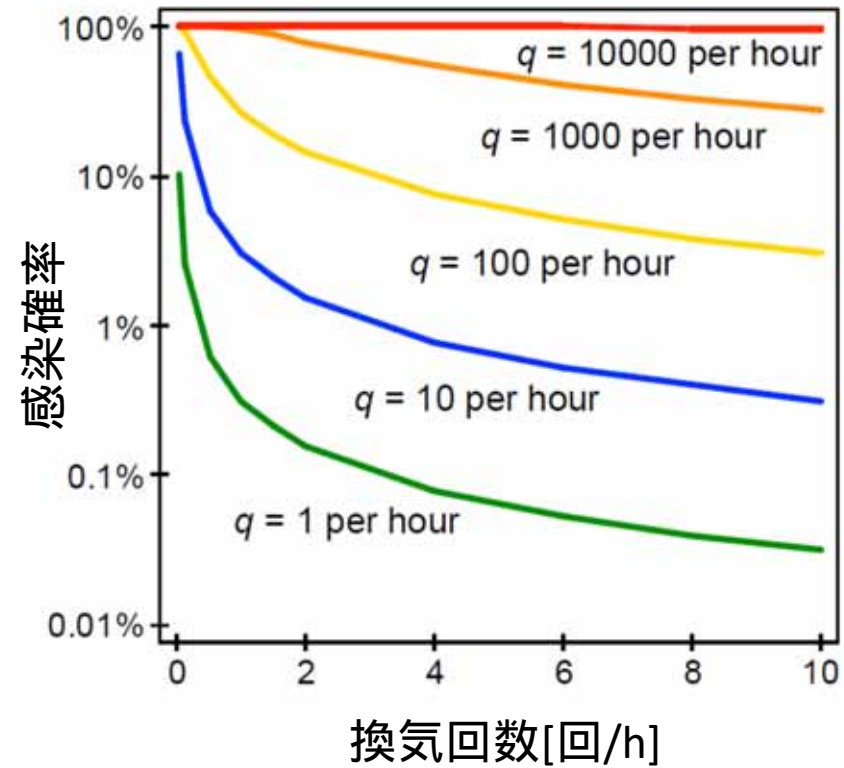
$I = 1$



Quantaの設定



4種類の既往感染症における
Quanta発生率の範囲



500m²事務所に1人の感染者がいる条件で、8時間勤務の場合の感染確率

Brent Stephens: HVAC filtration and the Wells-Riley approach to assessing risks of infectious airborne diseases, Final Report

(<https://www.nafahq.org/wp-content/uploads/WellsRileyReport.pdf>)

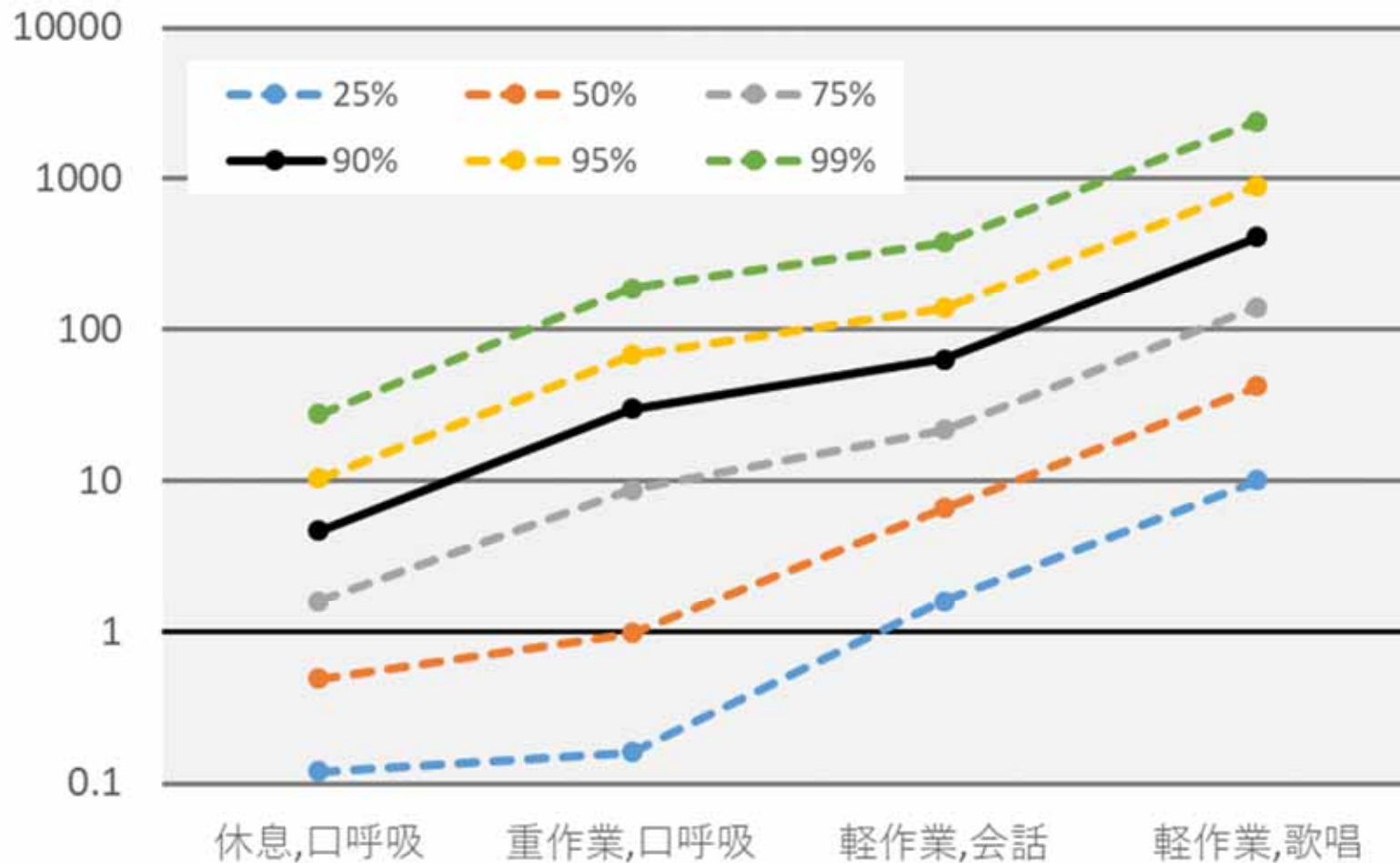
Quantaの設定

- **基本再生産数とQuanta発生率との相関に基づく推定** ... 14-48 1/h

Hui Dai and Bin Zhao : Association of infected probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces; a Wells-Riley equation based investigation
medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.21.20072397>.

- **スカジット郡クラスターに対するモンテカルロ法による推定**
... 970(± 390) 1/h

Shelly Miller et al. : Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event
medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.06.15.20132027>.



$$ER_q = c_v \cdot c_i \cdot IR \cdot V_d$$

ER_q : quanta生成率(q/h), c_v : 唾液中のRNA濃度(RNA量/mL), IR : 呼吸率(m^3/h),
 c_i : quantaとRNA量換算係数(q/RNA量), V_d : 呼気中の飛沫濃度(mL/m^3)

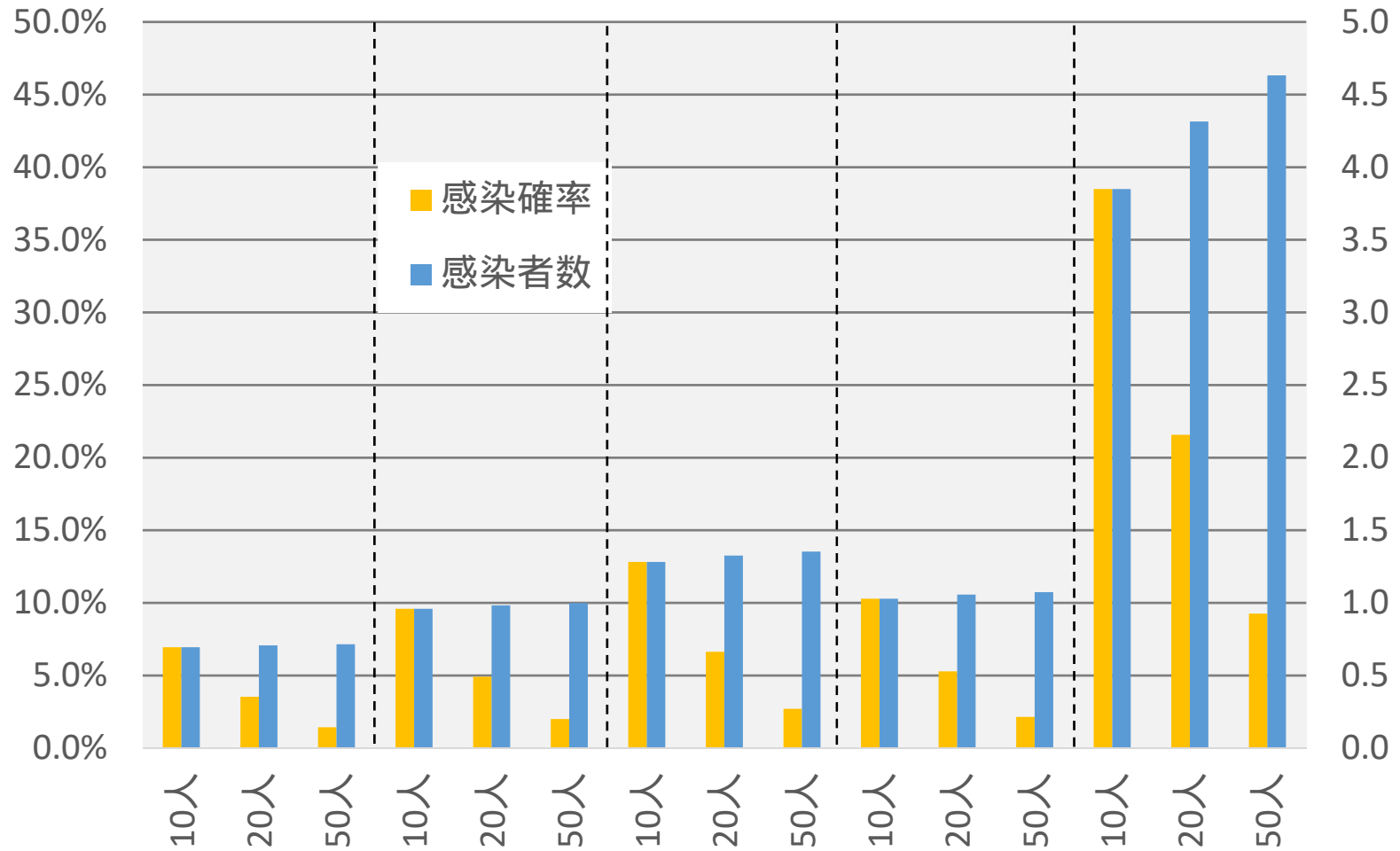
Buonanno et al.: Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications, Environmental International 145, 6 September 2020 <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.01.20118984v1>

BuonannoとRHEVAの想定するquanta生成率

Buonanno		休息 口呼吸	軽作業 会話	軽作業 歌唱(大声 出す)	重作業 口呼吸
90パーセントイル値		3.1	42	270	21
記号					
RHEVA によるquanta想定値(1/h)					
教室	事務作業	会議	レストラン	ショッピング	スポーツ
5.0	5.0	18.7	14.8	10.9	21.0
0.95 + 0.05	0.95 + 0.05	0.60 + 0.40	0.70 + 0.30	0.80 + 0.20	

RHEVA:RHEVA calculator to estimate the effect of ventilation on COVID-19 airborne transmission

<https://www.rehva.eu/covid19-ventilation-calculator>



イベント	事務1	事務2	会議	レストラン	居酒屋
継続時間(h)	8	8	2	2	1
呼吸率(m ³ /h)	0.54	0.54	1.1	1.1	0.54
Quanta(1/h)	5.0	7.0	18.7	14.8	270

各種イベントに対する感染確率と予測感染者数

換気量は在室者数に比例して増加

☞ 感染確率は概ね在室者数に反比例

感染者数の期待値は在室者数によらず一定

$$x \sim 0 \text{ 付近では } x \simeq 1 - \exp(-x)$$

$$\text{☞ } P_{\text{inf}} = 1 - \exp\left(-\frac{Iqpt}{Q_{OA}}\right) \simeq \frac{Iqpt}{Q_{OA}}$$

二次感染者数 n [人] , 在室者数 N [人] とすれば , 感染確率

$$\text{☞ } P_{\text{inf}} = n / N$$

二次感染者数をこれ以下とするための条件

$$\text{☞} \quad \frac{Iqpt}{n} \leq \frac{Q_{OA}}{N}$$

一次感染者数，二次感染者数を一人とすれば

$$\text{☞} \quad qpt \leq \frac{Q_{OA}}{N}$$

事務作業： $q=7.0q/h$ ，呼吸率： $p=0.54m^3/h$ ，
継続時間： $t=8h$ を代入すると

$$\text{☞} \quad 30.2m^3/h \leq \frac{Q_{OA}}{N}$$

感染リスクを減らす

- q を減らす
布マスクで50%
大声を出さない
- p を減らす
代謝を減らす
- t を減らす
長居をしない
- Q を増やす
外気量, 相当外気量
(フィルタ)を増やす

一人当たり換気量が確保されている室であれば, 人数が多いほど換気量が大きくなるので感染確率は小さくなる。

感染確率を「 $1/\text{在室者数}$ 」とするのが目安となるか
(倉淵私案)?

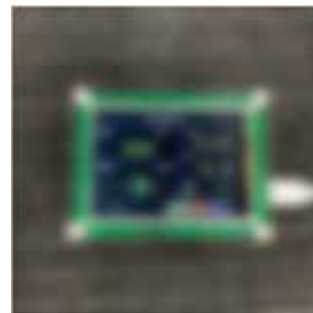
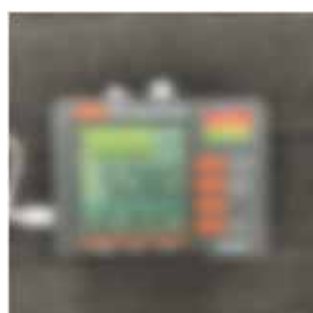
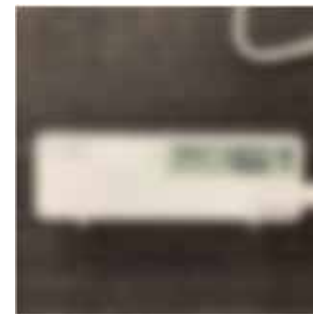
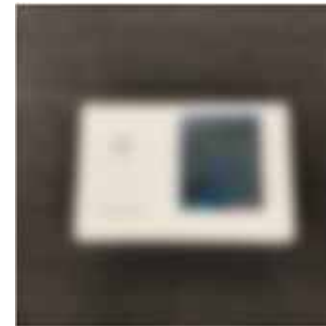
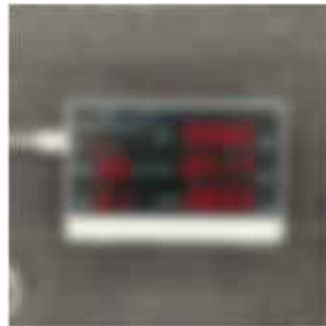
建物用途別対策

室内空気環境の見える化

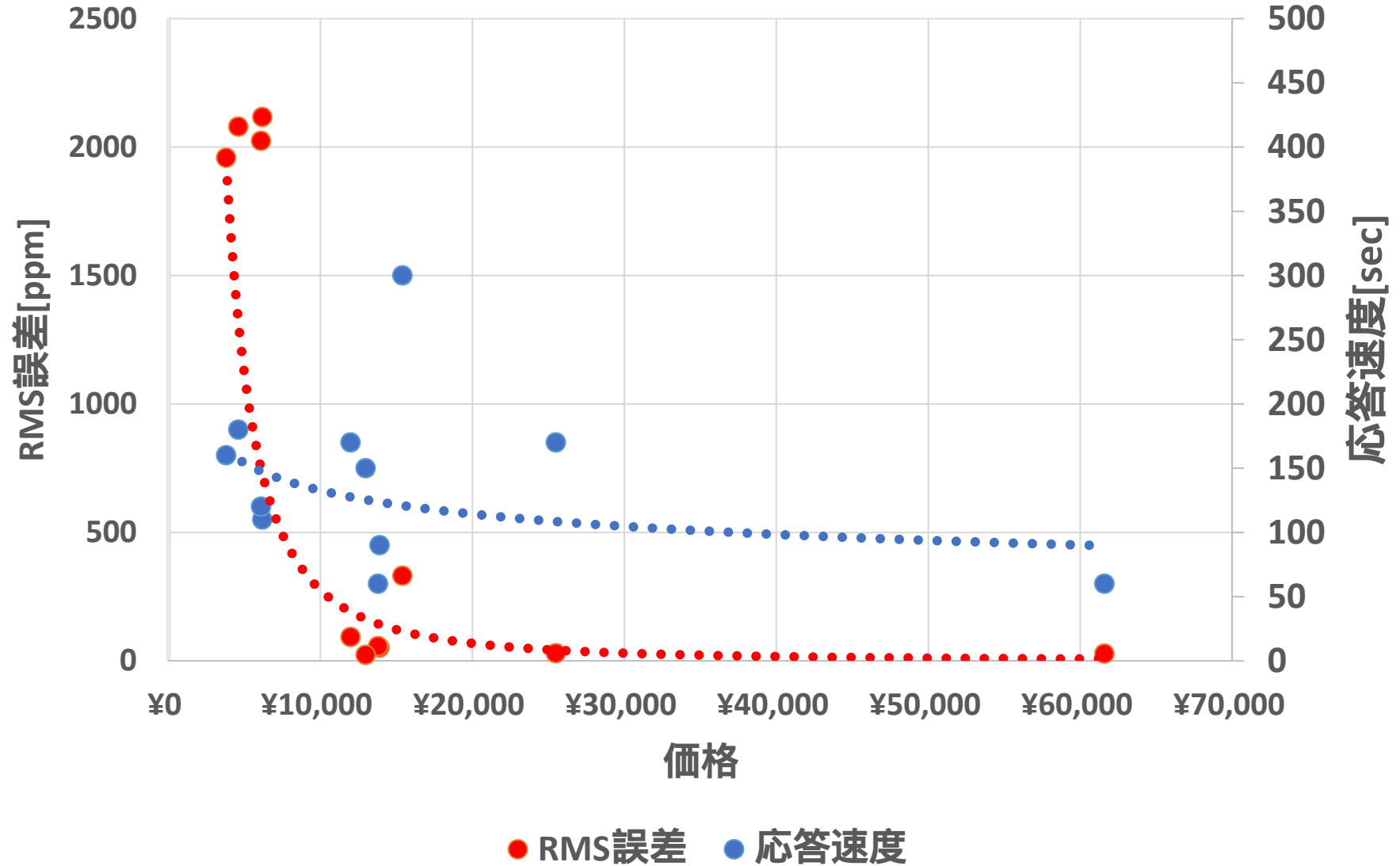


室内空気環境の良し悪しは体感できない。換気の悪い状態はCO₂濃度1000ppm以上が目安となるので、これを見える化してはどうか？

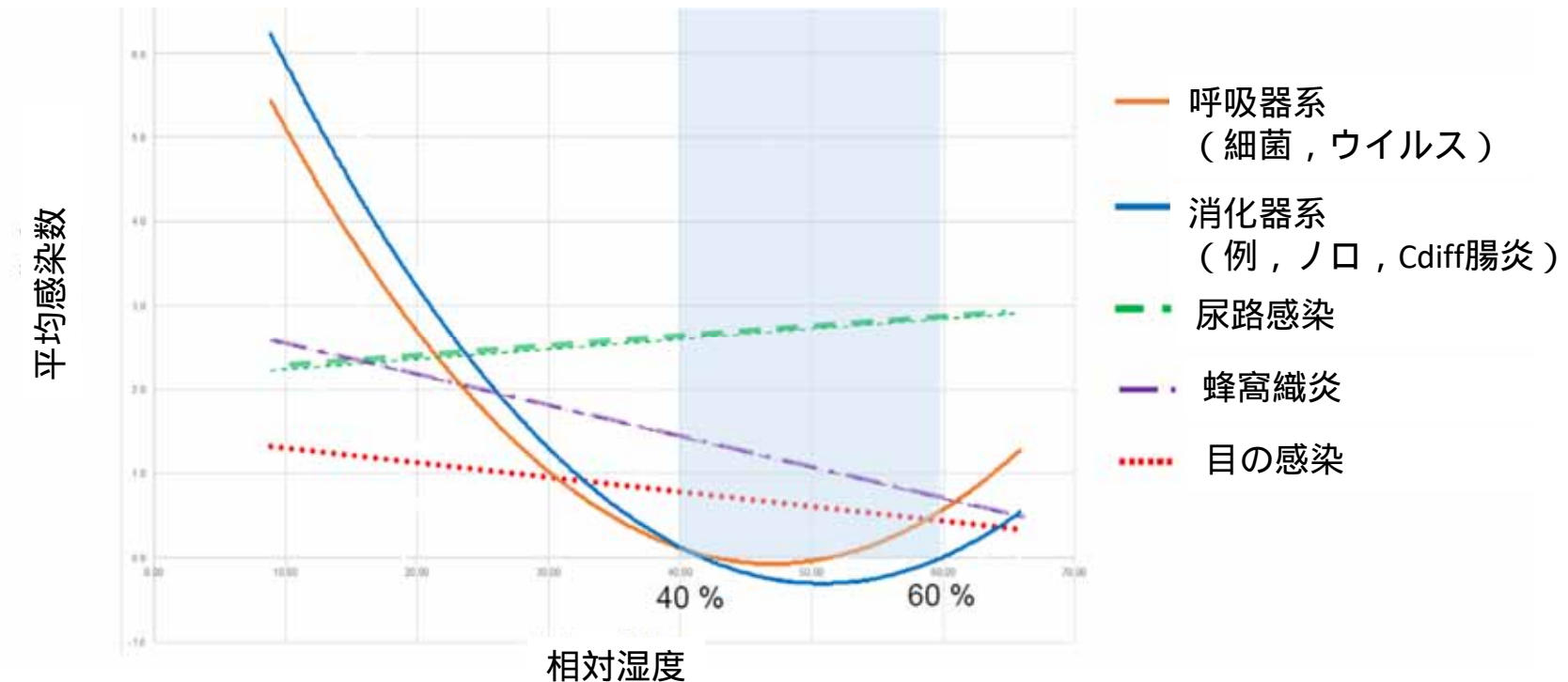
室内空気環境の見える化



室内空気環境の見える化



空調温湿度の調整



呼吸器系のウイルス感染予防のためには相対湿度を40~60%RHに制御するとよい。

Stephanie Taylor, Presenter, "Optimize Occupant Health, Building Energy Performance and Revenue through Indoor-Air Hydration," 19 November 2019, Atlanta: ASHRAE.

- WHOにおける冬期の最低室温推奨値

室内温度 18

- ASHRAE等における推奨湿度範囲

相対湿度 40~60%RH

室内環境の推奨レベル

換気量 一人当たり30m³/h

室内温度 18~28

相対湿度 40~60%RH

～ 商業施設等の管理者の皆さまへ ～

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

推奨される換気の方法

② 機械換気(空気調和設備、機械換気設備)による方法

必要換気量を満たすことのできる機械換気設備等が設置された商業施設等は、以下のとおり換気を行ってください。

- 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)**を確保すること。
- 冷暖房設備により、居室の温度および相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持すること。

厚生労働省： - 商業施設等の管理権限者の皆様へ - 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/content/10906000/000698848.pdf>)

・一人当たり $30\text{m}^3/\text{h}$ が確保されれば空気感染が防止できるエビデンスはない。

・温湿度条件が維持できる範囲で，できるだけ換気量を増やすことが，空気感染リスクの低減に有効と考えられる。

・設備容量や運用コストの観点で，これが著しく困難な場合は，エアフィルターの性能向上，空気清浄機，UVGIの導入を考慮する。

・これらは感染リスクの低減に有効と考えられるものの，感染リスク低減効果は換気ほど確実ではない。

- ・ **事務所（中央式空調）**

- 取入れ外気（OA）量を増やす**

- ・ OAファン，CO₂制御，運転モードを調整してなるべくOA量を増やし，メインフィルターの性能向上を図る。

- 全熱交換器**

- ・ 回転型熱交換器は圧力バランスの確認・調整を行うことを前提として有効換気量が大きくなるモードで運転する。

- VAV**

- ・ 制御方法によりOA量の不足がないよう留意する。

- ・ **事務所（個別空調）**

空調単独運転を避ける。

- ・ 換気システムが空調と連動して運転していることを確認する。

取入れ外気（OA）量を増やす

- ・ 外調機や全熱交換器の換気量になるべく大きくなうよう調整する。

エアフィルタの性能向上

- ・ 室内機のエアフィルタを中性能フィルタにグレードアップまたは空気清浄機の導入を考慮する。

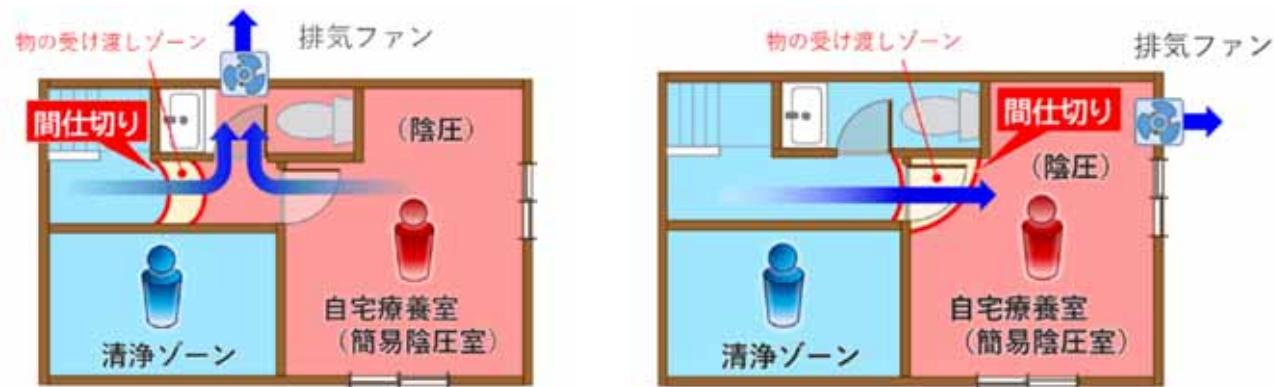
- 住宅

感染の疑われる者との同居がない場合

- シックハウス対策の換気設備の運転徹底

感染の疑われる者との同居が避けられない場合

- 換気対策は現実的でなく，積極的に隔離対策



日本建築学会，住宅における還気によるウイルス感染対策について
http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/House_vent_1.pdf



RHEVA 学校に対するガイダンス

換気が窓開放に依存している教室には、信号機付きのCO2モニターを設置する。これは、窓を開けることによって追加の換気の必要性を可視化する。CO2モニターが、外気の取り入れ口（開いている窓など）から離れた、教室の目に見える位置に配置されていることを確認する。パンデミック時には、できるだけ多くの換気を促進するために、**信号機インジケータのデフォルト設定（最大800ppmのオレンジ色のライトと最大1000ppmの赤色のライト）を一時的に変更することを勧める。**

- **映画館・劇場**

一人当たりの専有面積は $0.5 \sim 1\text{m}^2$ と密な空間ではあるが、**静かに鑑賞すれば飛沫発生は少ない**と考えられる。

専有面積を大きく取れば、一人当たりの換気量と社会的距離の確保に有効である。

また、**入れ替え時に大量の換気**を行うことがリスク低減に有効である。

- 居酒屋・カラオケ

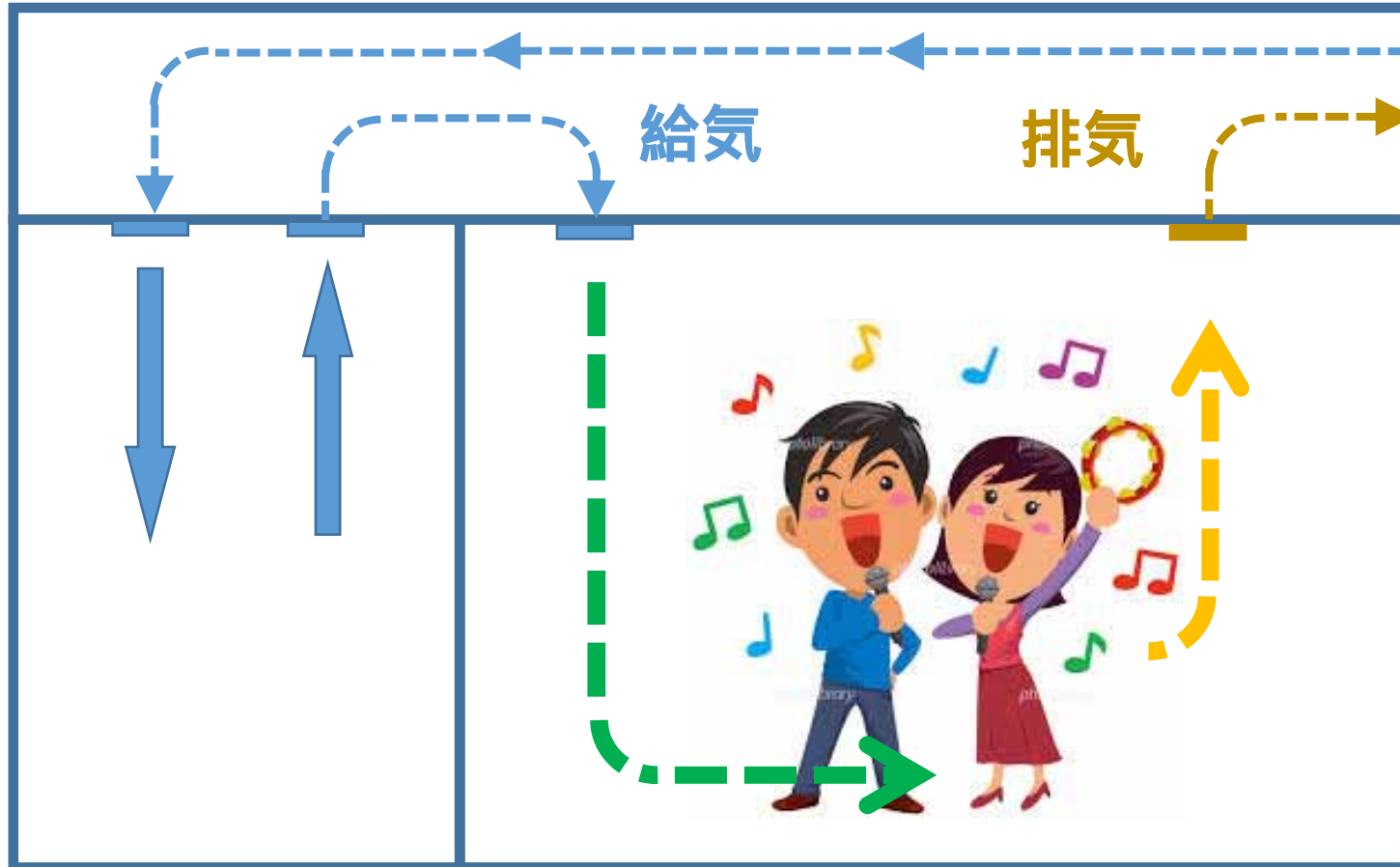
大声で叫ぶ，歌う行為は，**大量の飛沫発生**のリスクがあり，**飛沫対策が重要**である。

大量の換気を行うことで飛沫濃度の低減に努め，**社会的距離の確保**が基本対策となる。

マイクや選曲コントローラなどが**接触感染源**となりやすく，**高い頻度での消毒**が必要である。

カラオケにおける換気対策

一般的なカラオケ店でも機械換気対策がなされている。

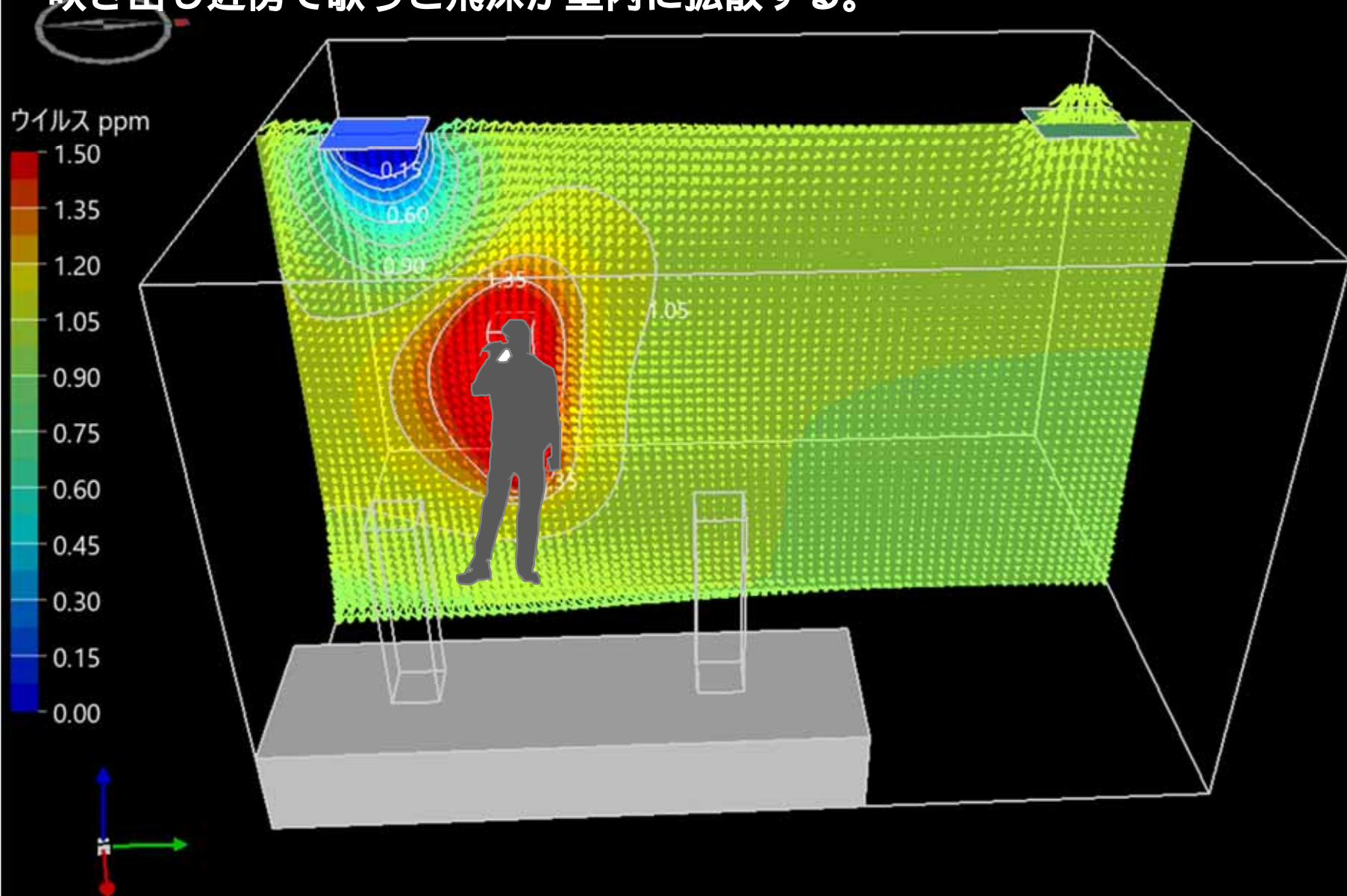


カラオケでは歌う行為が多量の飛沫を発生させるので、効果的な飛沫対策が必要

Steady state (106回)

カラオケにおける換気対策

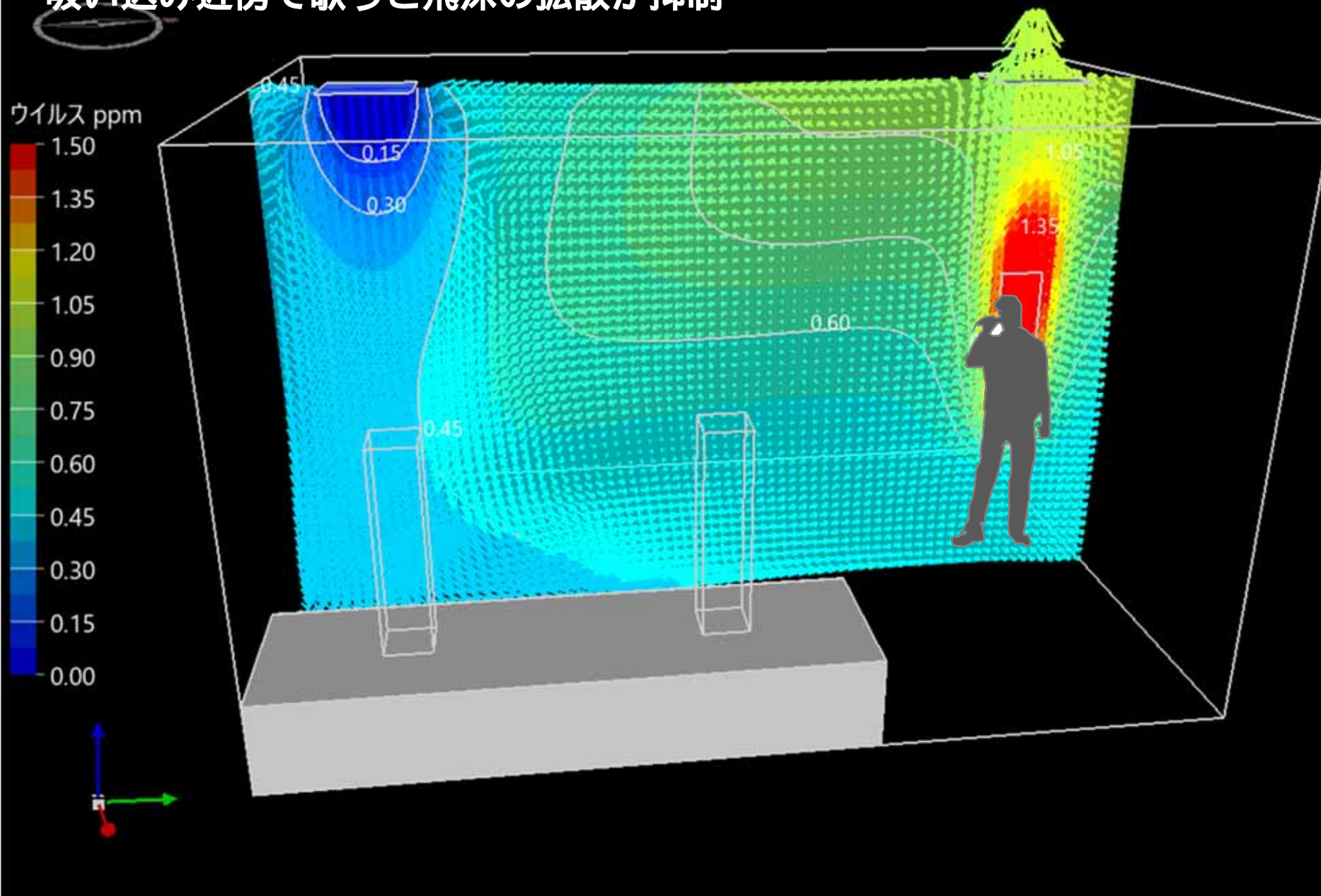
吹き出し近傍で歌うと飛沫が室内に拡散する。



Steady state (109回)

カラオケにおける換気対策

吸い込み近傍で歌うと飛沫の拡散が抑制

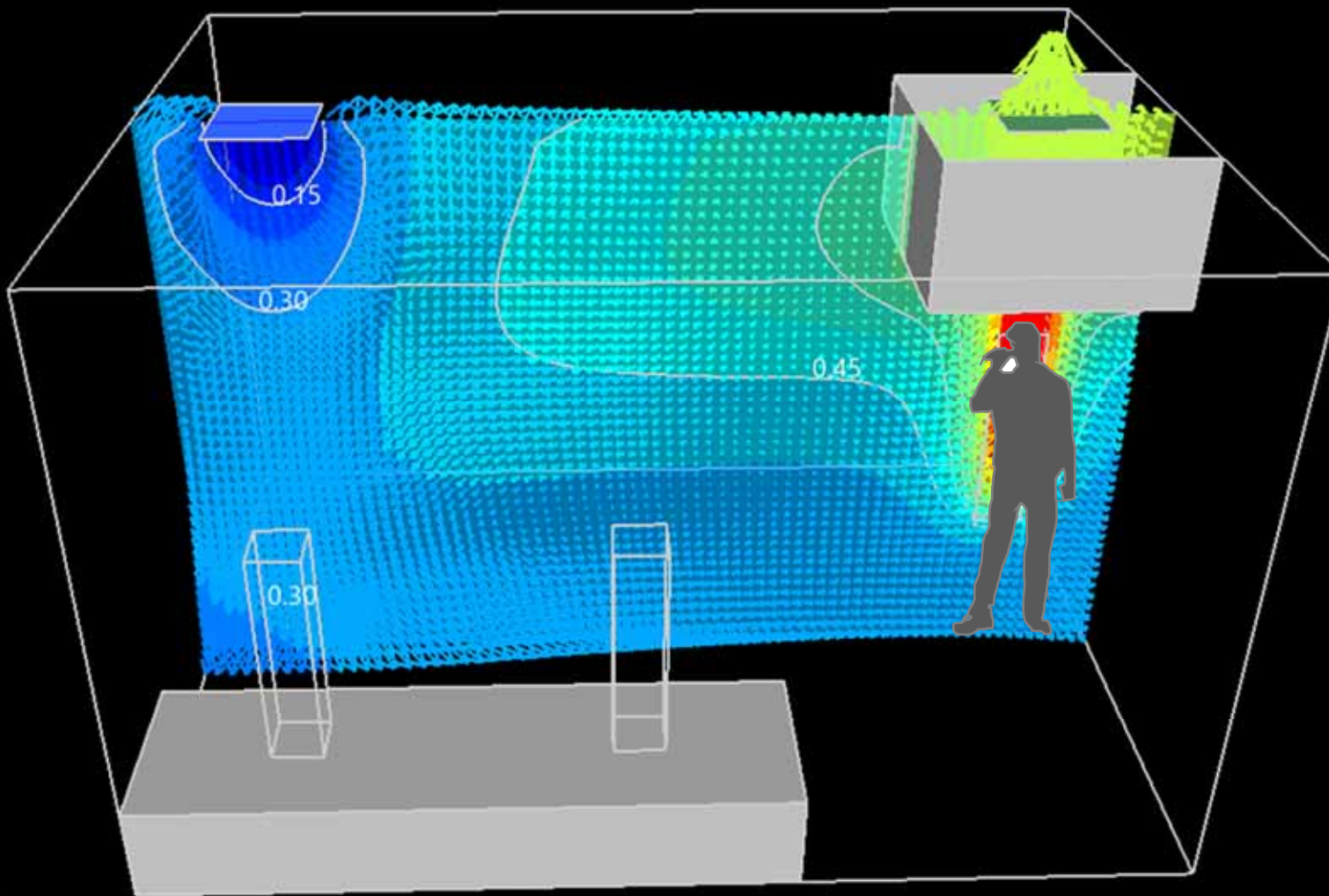
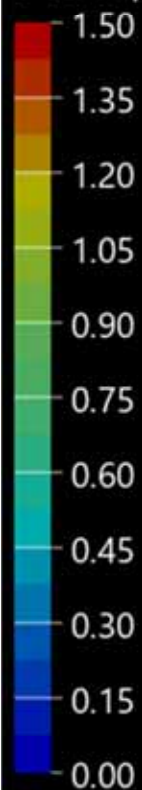


Steady state (114 回)

カラオケにおける換気対策

吸い込み口にフードを付けると拡散はさらに抑制

ウイルス ppm



まとめ

- ・ **新型コロナウイルス感染症が空気感染すること，空気感染対策に資するエビデンスとなるクラスター事例の紹介を行った。**
- ・ **エアフィルタ，マスク，UVGIの効用を示すとともに感染確率モデルに基づく効果的な感染対策について建物用途別に示した。**
- ・ **新型コロナウイルス感染症の感染経路には，飛沫感染，空気感染，接触感染があり，全ての感染経路の遮断が必要であることを強調したい。**

ご清聴ありがとうございました!

