

家庭内・職場内等での室内感染対策

柳 宇、D.P.H., Dr.Eng.

(工学院大学 建築学部 建築学科 教授)

内容概要

1. 感染経路別の対策方法
2. エアロゾルとは
3. 職場の対策方法
4. 家庭内の対策方法



直接



間接 (媒介物)

接触感染

呼吸器系感染症感染経路別対策

【接触感染】

- ・手指衛生
- ・表面消毒

【飛沫感染】

- ・3密を避ける
- ・マスクの着用
- ・ソーシャルディスタンスの確保

【エアロゾル感染】

- ・行動変容 (3密を避ける、マスクの着用)
- ・換気
- ・空清浄化 (フィルタ・空気清浄機)
- ・紫外線による殺菌



飛沫感染



エアロゾル感染

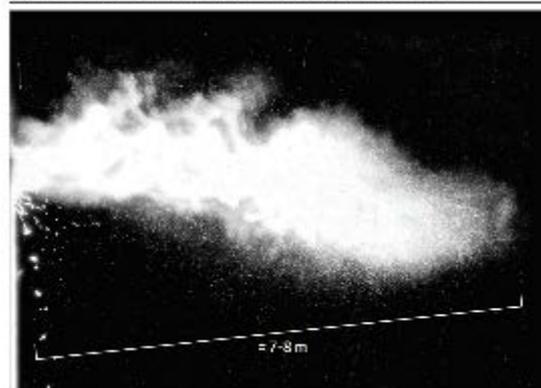
※エアロゾルとは、気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子と周囲の気体の混合体をいう。（日本エアロゾル学会）

※エアロゾルの大きさ：0.001～100 μm （1/100万～1/10 mm）

※浮遊粒子（SARS-CoV-2など）を空気と一緒に吸入するため、エアロゾルの状態となる。

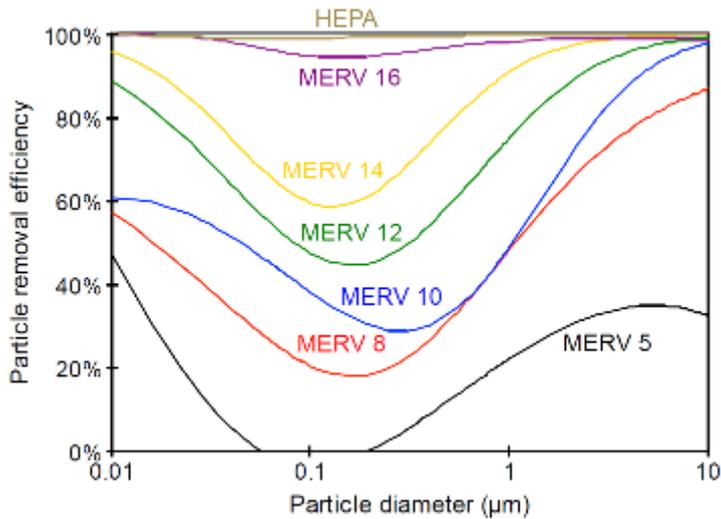


Figure. Multiphase Turbulent Gas Cloud From a Human Sneeze



← Source
Turbulent Gas Clouds
and Respiratory
Pathogen Emissions
Potential Implications
for Reducing
Transmission of
COVID-19.
JAMA.2020;323(18):18
37-1838.
<https://doi.org/10.1001/jama.2020.4756>





SARS-CoV-2の実測値1

<1μm ND

1-4μm 1384 RNA copies/m³ (40%)

>4μm 2000 RNA copies/m³ (60%)

MERV14を使用した場合の捕集率

$$= 40\% \times 90\% + 60\% \times 95\%$$

$$= 93.0\%$$

SARS-CoV-2の実測値2

<1μm ND

1-4μm 916 RNA copies/m³ (50%)

>4μm 927 RNA copies/m³ (50%)

MERV14を使用した場合の捕集率

$$= 50\% \times 90\% + 50\% \times 95\%$$

$$= 92.5\%$$

MERV・質量法・比色法の捕集率

MERV	0.3-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-10 μm	質量法	比色法
1	n/a	n/a	E3<20	<65	-
2	n/a	n/a	E3<20	65	-
3	n/a	n/a	E3<20	70	-
4	n/a	n/a	E3<20	75	-
5	n/a	n/a	20 ≤ E3	80	-
6	n/a	n/a	35 ≤ E3	80	-
7	n/a	n/a	50 ≤ E3	90	40
8	n/a	20 ≤ E ₂	70 ≤ E3	90	40
9	n/a	35 ≤ E ₂	75 ≤ E3		50
10	n/a	50 ≤ E ₂	80 ≤ E3		50
11	20 ≤ E ₁	65 ≤ E ₂	85 ≤ E3		60
12	35 ≤ E ₁	80 ≤ E ₂	90 ≤ E3		75
13	50 ≤ E ₁	85 ≤ E ₂	90 ≤ E3		90
14	75 ≤ E ₁	90 ≤ E ₂	95 ≤ E3		95
15	85 ≤ E ₁	90 ≤ E ₂	95 ≤ E3		98
16	95 ≤ E ₁	95 ≤ E ₂	95 ≤ E3		-

n/a: not available,

Source: ASHRAE Standard 52.2-2017.

Source: Chia PY, et al. Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital rooms of infected patients. *Nature Communications* (2020) 11:2800 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16670-2>

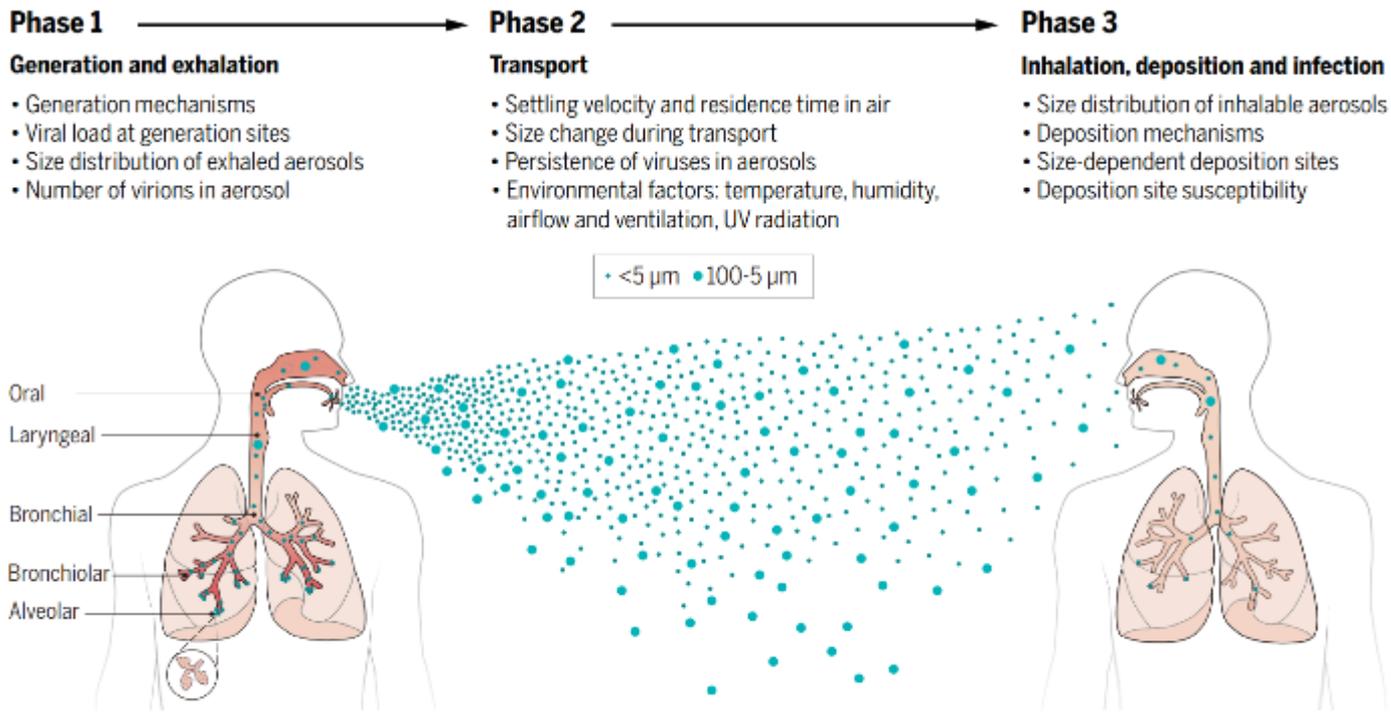
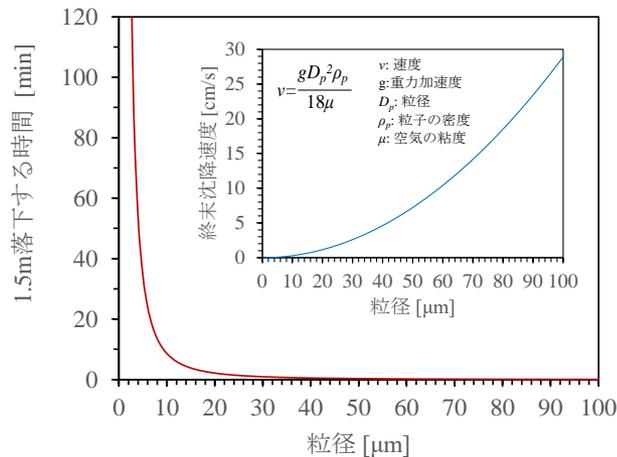


Fig. 1. Airborne transmission of respiratory viruses. Phases involved in the airborne transmission of virus-laden aerosols include (i) generation and exhalation; (ii) transport; and (iii) inhalation, deposition, and infection. Each phase is influenced by a combination of aerodynamic, anatomical, and environmental factors. (The sizes of virus-containing aerosols are not to scale.)

Wang CC, et al. Airborne transmission of respiratory viruses, *Science* 373, 981 (2021). <https://doi.org/10.1126/science.abd9149>



粒径10μm以下の粒子は無風状態で室内に長時間浮遊することが分かる (1μm: 14.4h; 5μm: 35min; 10μm: 9min)。

出典

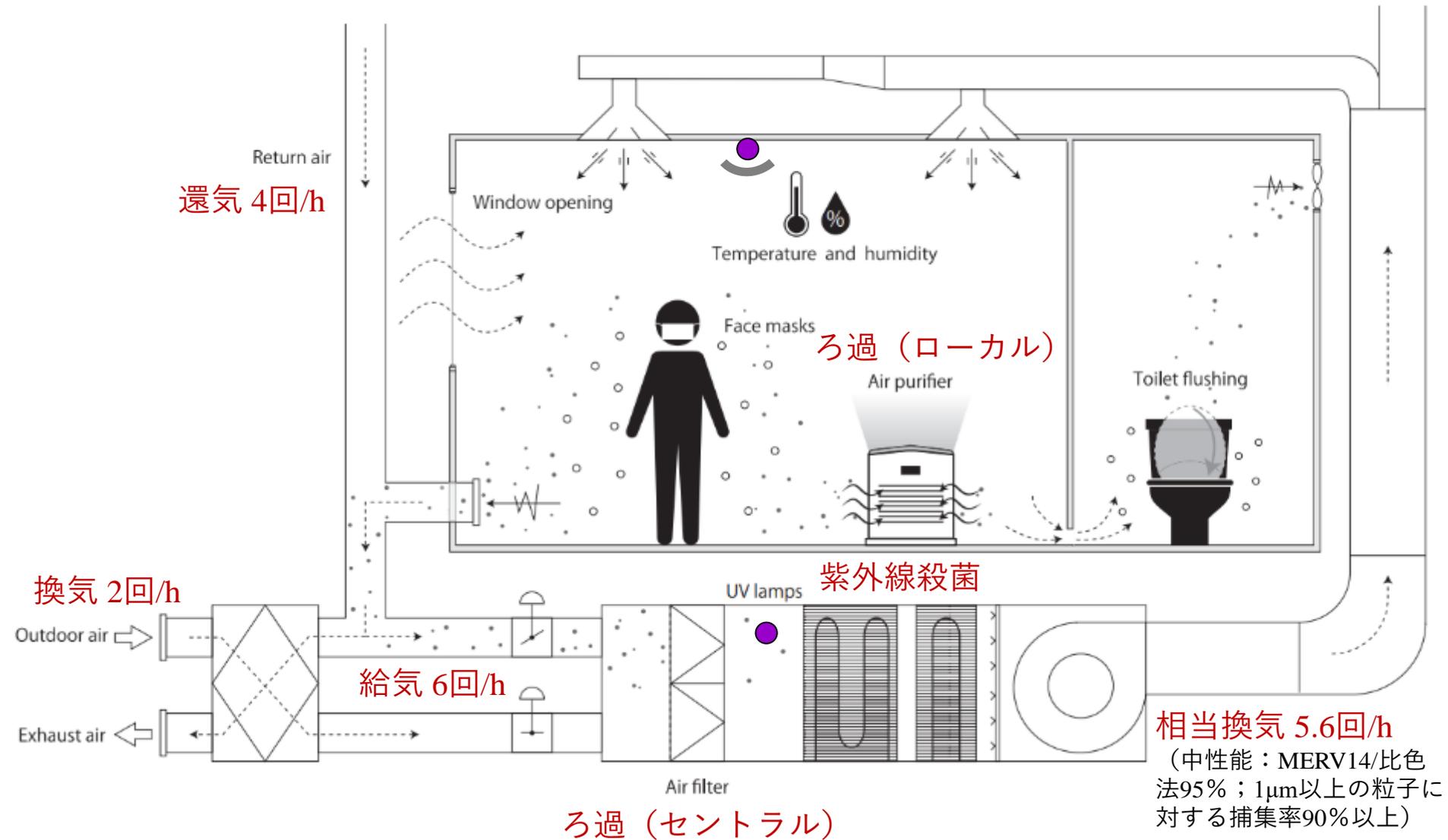
柳宇: ウイルス感染拡大を抑えるために設備技術者が出来ること感染制とその制御、BE建築設備、pp.14-20、第834号、2020

空調・換気された室内の気流速度
0.1-0.4 m/s (10~40cm/s)

Hayashi M, Yanagi U, Azuma K, Kagi N, Ogata M, Morimoto S, et al. Measures against COVID-19 concerning Summer Indoor Environment in Japan. *Jpn Archit Rev.* 3(4):423-434, 2020.

<https://doi.org/10.1002/2475-8876.12183>

ビルの場合ー中央方式空調



ビルの場合—個別方式空調（中小規模ビルが多く採用している）

MERV・質量法・比色法の捕集率

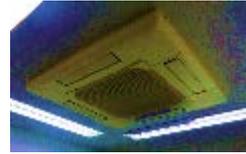
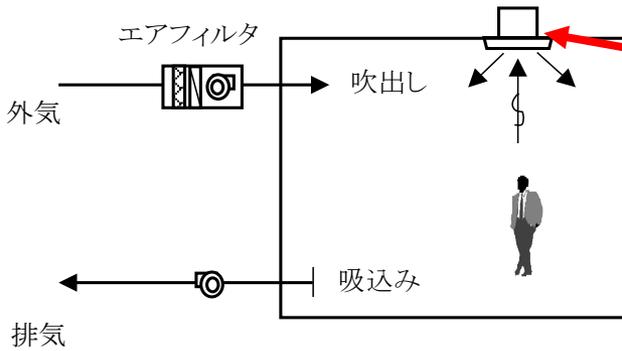
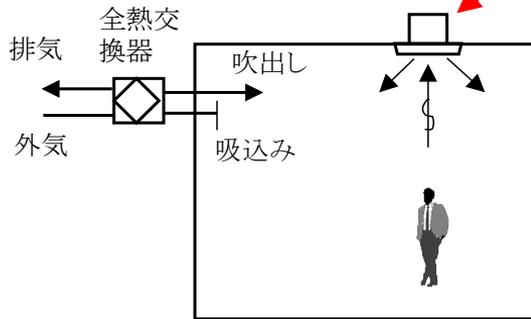


図1 個別冷暖房・中央換気方式



換気スイッチをONにする



図2 個別冷暖房・個別換気方式

MERV	0.3-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-10 μm	質量法	比色法
1	n/a	n/a	E3<20	<65	-
2	n/a	n/a	E3<20	65	-
3	n/a	n/a	E3<20	70	-
4	n/a	n/a	E3<20	75	-
5	n/a	n/a	20 \leq E3	80	-
6	n/a	n/a	35 \leq E3	80	-
7	n/a	n/a	50 \leq E3	90	40
8	n/a	20 \leq E ₂	70 \leq E3	90	40
9	n/a	35 \leq E ₂	75 \leq E3		50
10	n/a	50 \leq E ₂	80 \leq E3		50
11	20 \leq E ₁	65 \leq E ₂	85 \leq E3		60
12	35 \leq E ₁	80 \leq E ₂	90 \leq E3		75
13	50 \leq E ₁	85 \leq E ₂	90 \leq E3		90
14	75 \leq E ₁	90 \leq E ₂	95 \leq E3		95
15	85 \leq E ₁	90 \leq E ₂	95 \leq E3		98
16	95 \leq E ₁	95 \leq E ₂	95 \leq E3		-

n/a: not available,

Source: ASHRAE Standard 52.2-2017.

標準仕様：比色法 50%（MERV1）

グレードアップ：中性能まで可能なものが多い

グレードアップができない場合、空気清浄機の併用

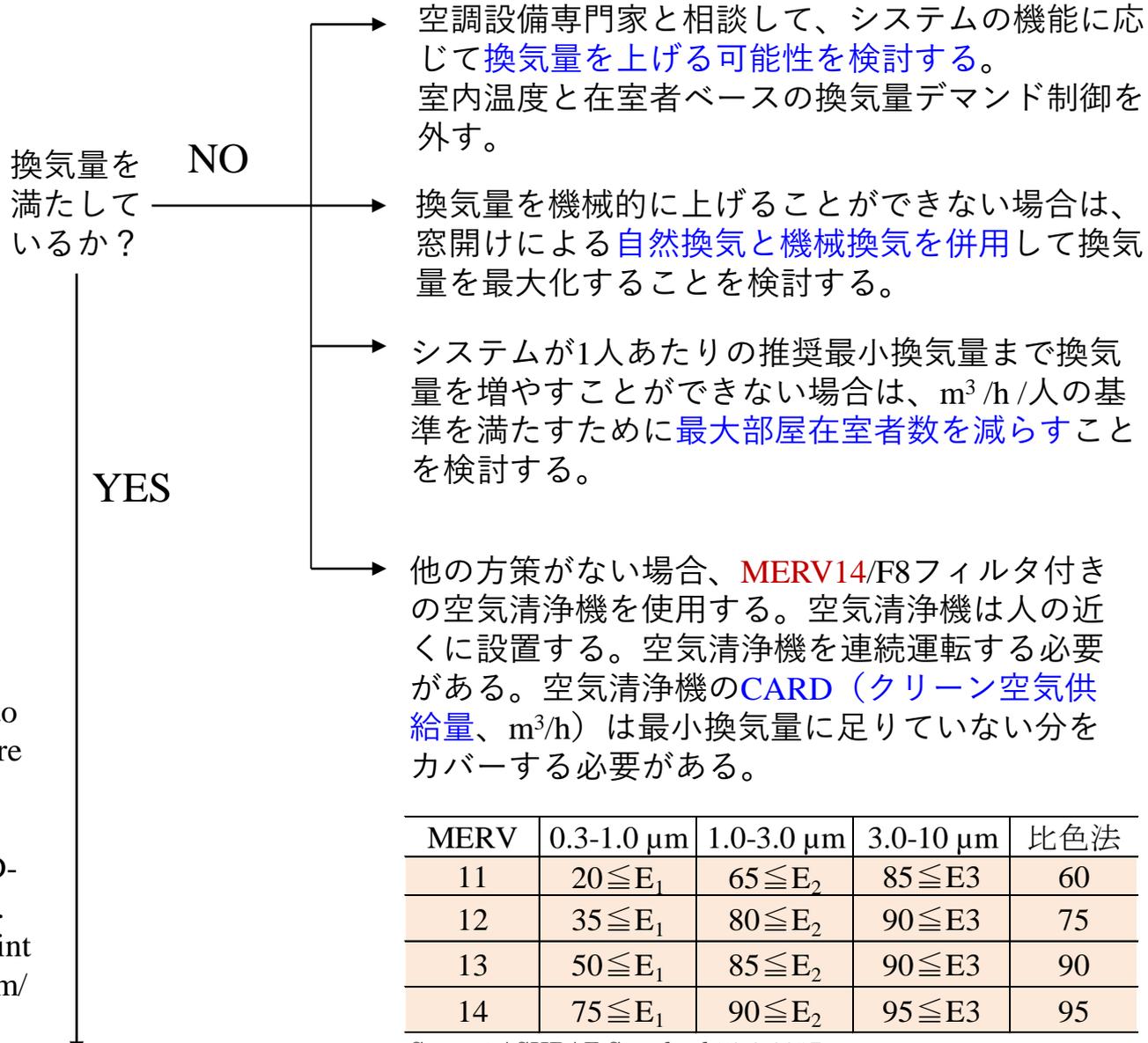
出典

（公社）空気調和・衛生工学会 新型コロナウイルス対策特別委員会：商業施設，事務所に関係する皆様へ、2020年12月9日

<http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2020.12.09%20syogyo.pdf>

WHO 非住宅 機械換気

必要最小換気量
36m³/時・人
隔離エリア



Source
WHO. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. 1 March 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>

MERV	0.3-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-10 μm	比色法
11	20 ≤ E ₁	65 ≤ E ₂	85 ≤ E ₃	60
12	35 ≤ E ₁	80 ≤ E ₂	90 ≤ E ₃	75
13	50 ≤ E ₁	85 ≤ E ₂	90 ≤ E ₃	90
14	75 ≤ E ₁	90 ≤ E ₂	95 ≤ E ₃	95

Source: ASHRAE Standard 52.2-2017.

住宅の場合

健康・快適居住環境の指針

— 健康を支える快適な住まいを目指して —



平成28年度 改定版

東京都福祉保健局



チェックポイント

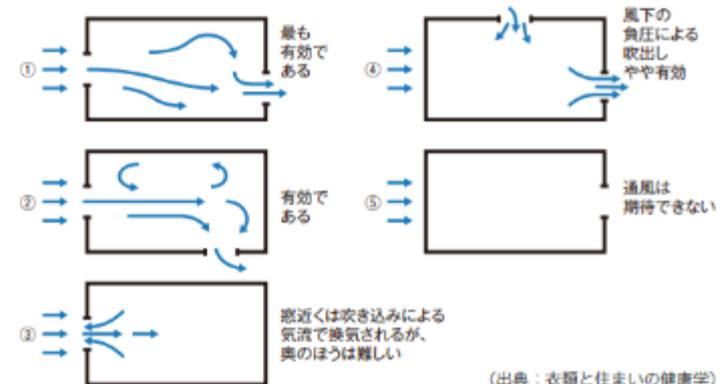
1-2

室内の換気が効率的に行われるように次のことに注意していますか。

- ①窓を2か所以上開けている。
- ②換気用の小窓や給排気口を閉めきっていたり、家具でふさいでいない。

室内の空気の流れをスムーズにするため、できるだけ対角線となるように空気の出入り口を2か所以上作りましょう。

【有効な換気の方法】



健康・快適居住環境の指針検討会（平成28年度）

■会長

松本 秀明（東海大学健康科学部 看護学科特任教授）

■委員

平 久美子（東京女子医科大学病院東医療センター麻酔科非常勤講師）

橋本 知幸（一般財団法人日本環境衛生センター東日本支局 環境生物・住環境部次長）

福富 友馬（独立行政法人国立病院機構相模原病院臨床研究センター 診断・治療薬開発研究室長）

阪東 美智子（国立保健医療科学院生活環境研究部 建築・施設管理研究領域上席主任研究官）

柳 宇（工学院大学建築学部 建築学科教授）

WHO 自宅療養・隔離エリア 自然換気

必要最小
換気量
 $36\text{m}^3/\text{時}\cdot\text{人}$
隔離エリア

換気量を
満たして
いるか？

NO

開口部の位置と面積を検討

可能な場合は、隔離エリア内のバスルーム、トイレ、キッチンの排気ファンを連続運転する。

片側しか開口部がない場合、ドアを開けて、通風を有効にする。



片側換気

両側換気



YES

窓に排気ファンを取り付け、排気を行う。



開放の窓近くに扇風機を設置し、外側に向けて換気をよくする。

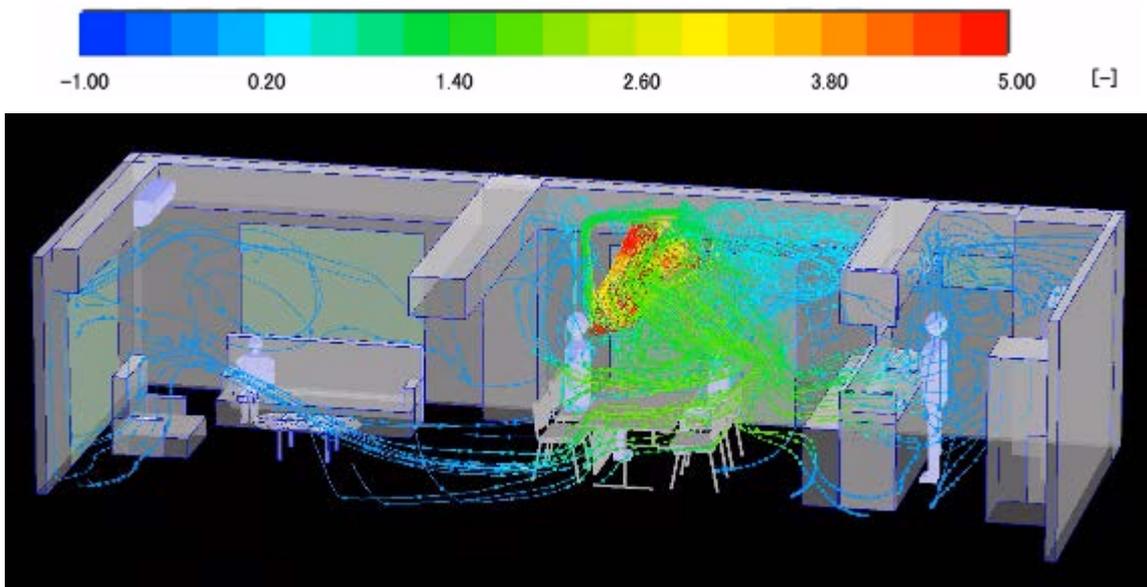


他の方策がない場合、**MERV14/F8**フィルタ付きの空気清浄機を使用する。空気清浄機は人の近くに設置する。空気清浄機のCARD（クリーン空気供給量、 m^3/h ）は最小換気量に足りていない分をカバーする必要がある。

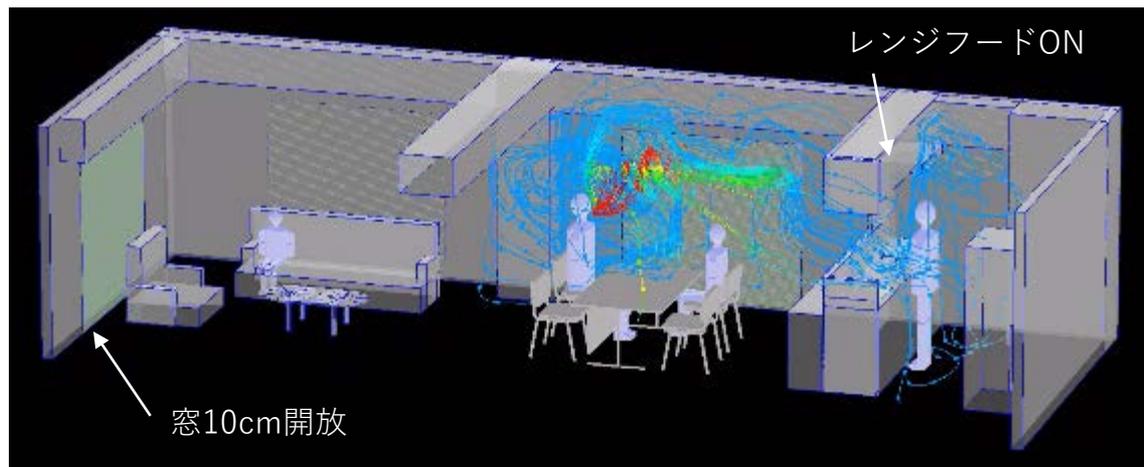


Source
WHO. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. 1 March 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>

レンジフードを活用した換気



窓：閉；レンジフード：OFF



「環境シミュレーション」

窓：10cm開放；レンジフード：ON

間欠換気と連続換気の比較

2020年8月19日

一般社団法人 日本建築学会 換気・通風による感染対策 WG

執筆 東京電機大学 鳥海吉弘

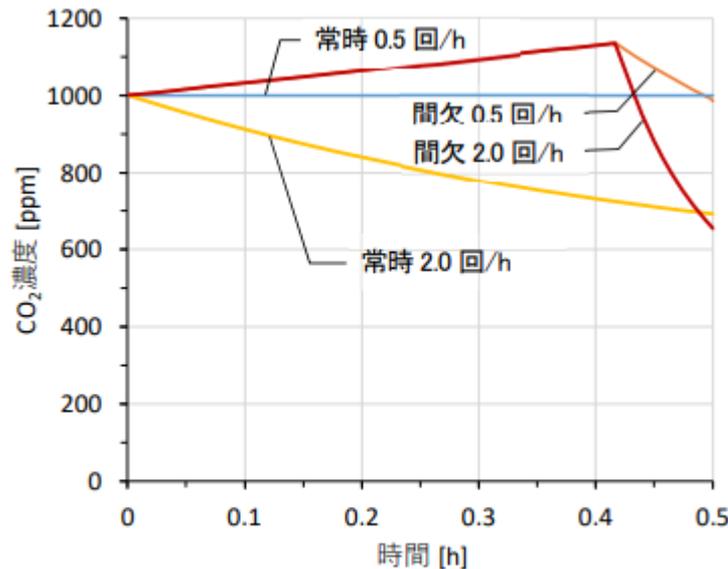
東京工芸大学 山本佳嗣*

監修 東北大学 吉野 博

東京理科大学 倉渕 隆

(*4章担当)

住宅における換気によるウイルス感染対策について



解説図4 窓の常時開放と間欠開放の濃度変化

解説表3 窓の常時開放と間欠開放

		最高濃度[ppm]	最低濃度[ppm]
常時開放	0.5 回/h	1,000(=C ₀)	1,000
	2.0 回/h	1,000(=C ₀)	692
間欠開放	0.5 回/h	1,135	986
	2.0 回/h	1,135	655

出典

http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/House_vent_1.pdf

換気量足りないときの対策

20坪：67m²
天井高：2.5m
24時間換気：0.5回/h

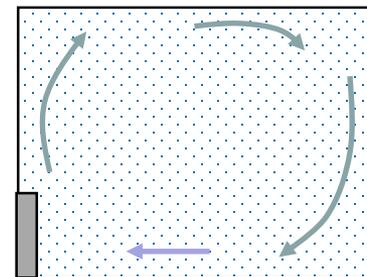
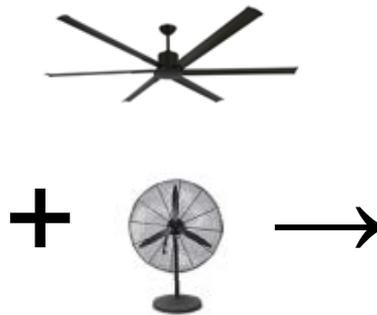
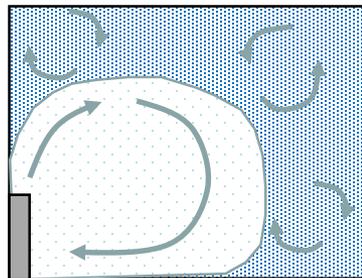
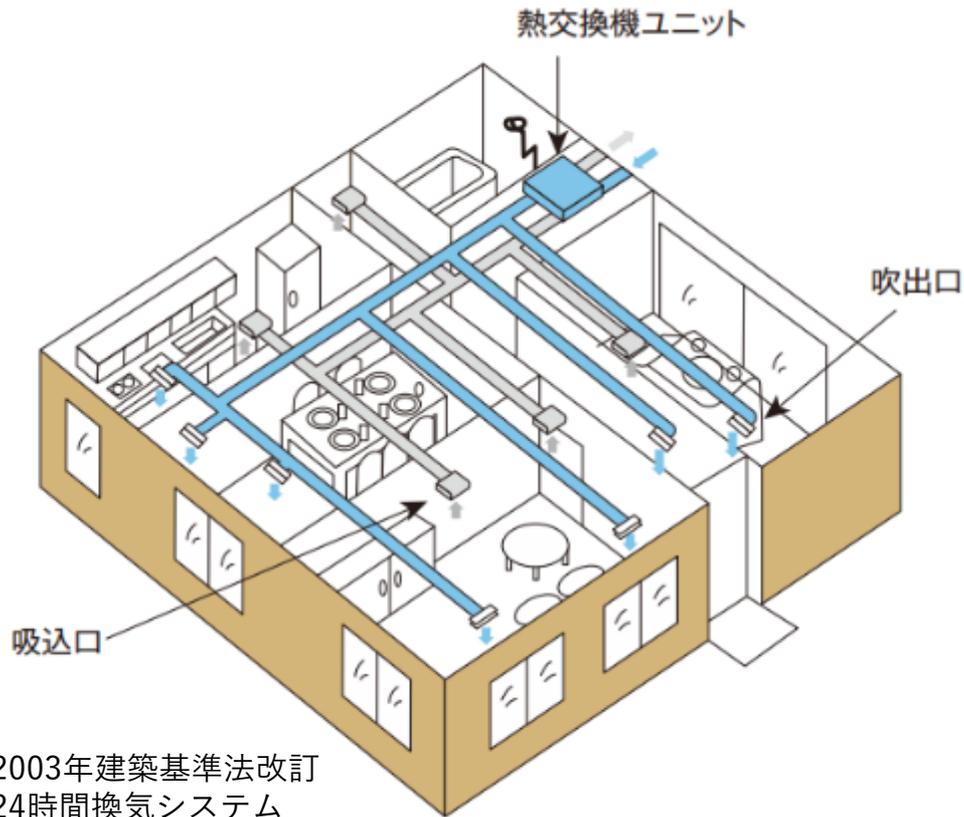
換気量： $=67 \times 2.5 \times 0.5$
 $\approx 84\text{m}^3/\text{h}$

3人家族：28m³/h・人

4人家族：

5m³/min、HEPAフィルタ付き空気清浄機（厚生労働省推奨）
CADR = $5 \times 60 \times 100\% = 300\text{m}^3/\text{h}$

5m³/min、MERV14フィルタ付き空気清浄機（WHO推奨）
CADR = $5 \times 60 \times 90\% = 270\text{m}^3/\text{h}$



～ 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

外気温が低いときに、「換気の悪い密閉空間」を改善する換気と、室温の低下による健康影響の防止を両立するため、以下の点に留意してください。

- ✓ 「換気の悪い密閉空間」は新型コロナウイルス感染症の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わけではなく、人が密集した空間や密接な接触を避ける措置を併せて実施する必要があります。

推奨される換気の方法

① 窓の開放による方法

換気機能を持つ冷暖房設備※や機械換気設備が設置されていない、または、換気量が十分でない商業施設等は、以下に留意して、窓を開けて換気してください。

※ 冷暖房設備本体に屋内空気を取り入れ口がある（換気用ダクトにつながっていない）場合、室内の空気を循環させるだけで、外気を取り入れ機能はないことに注意してください。

- 居室の温度および相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持できる範囲内で、暖房器具を使用※しながら、一方向の窓を常時開けて、連続的に換気を行うこと。
※ 加湿器を併用することも有効です。
- 居室の温度および相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持しようとすると、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の空気清浄機を併用すること。

窓開け換気による室温変化を抑えるポイント

- ◆ 一方向の窓を少しだけ開けて常時換気をする方が、室温変化を抑えられます。窓を開ける幅は、居室の温度と相対湿度をこまめに測定しながら調節してください。
- ◆ 人がいない部屋の窓を開け、廊下を経由して、少し暖まった状態の新鮮な空気を人のいる部屋に取り入れること（二段階換気）も、室温変化を抑えるのに有効です。
- ◆ 開けている窓の近くに暖房器具を設置すると、室温の低下を防ぐことができますが、燃えやすい物から距離をあけるなど、火災の予防に注意してください。

空気清浄機を併用する際の留意点

- ◆ 空気清浄機は、HEPAフィルタによるろ過式で、かつ、風量が毎分5m³程度以上のものを使用すること。
- ◆ 人の居場所から10m²(6畳)程度の範囲内に空気清浄機を設置すること。
- ◆ 空気のよどみを発生させないように、外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させること※。
※ 間仕切り等を設置する場合は、空気の流れを妨げない方向や高さとするか、間仕切り等の間に空気清浄機を設置するなど、空気がよどまないようにしてください。

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。

参考

必要換気量を満たしているかを確認する方法として、二酸化炭素濃度測定器を使用し、室内の二酸化炭素濃度が1000ppmを超えていないかを確認することも有効です。

- 測定器は、NDIRセンサーが扱いやすいですが、定期的に校正されたものを使用してください。校正されていない測定器を使用する場合は、あらかじめ、屋外の二酸化炭素濃度を測定し、測定値が外気の二酸化炭素濃度（415ppm～450ppm程度）に近いことを確認してください。
- 測定器の位置は、ドア、窓、換気口から離れた場所で、人から少なくとも50cm離れたところにしてください。
- 測定頻度は、機械換気があり、居室内の人数に大きな変動がない場合、定常状態で二酸化炭素濃度を定期的に測定すれば十分です。
- 連続測定は、機械換気設備による換気量が十分でない施設等において、窓開けによる換気を行うときに有効です。連続測定を実施する場合は、測定担当者に測定値に応じてとるべき行動（窓開け等）をあらかじめ伝えてください。
- 空気清浄機を併用する場合、二酸化炭素濃度測定は空気清浄機の効果を評価するための適切な評価方法とはならないことに留意してください。
※ HEPAフィルタによるろ過式の空気清浄機は、エアロゾル状態のウイルスを含む微粒子を捕集することができますが、二酸化炭素濃度を下げることはできません。

換気の見える化



室内CO₂濃度を建築物衛生法（ビル管理法）の管理基準値1000ppmを満たすための必要換気量は30m³/(h・人)になる

$$Q = \frac{M}{(C - C_0)}$$

$$= \frac{18000\text{mL}/(\text{p}\cdot\text{h})}{(1000\text{ppm} - 400\text{ppm})}$$

$$= 30\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{p})$$

表 1 SARS-CoV-2感染リスクを低減するためのCO₂濃度

出典	文書タイプ	内容概要	CO ₂ 濃度に関するアクションリミット
REHVA ¹	ガイダンス	学校内にCO ₂ 検知器を設置し、生徒や教師が空気質を確認する。特に歌うなどの活動中に窓を開けることを推奨する。	パンデミック期間中、CO ₂ 濃度インジケータのデフォルト設定を一時的に変更することを推奨する。 800ppm：オレンジ色 1000ppm：赤色
UK 緊急時 科学助言 グループ (SAGE) ²	公衆衛生ガイダンス	CO ₂ モニターを使用して、換気の悪い空間を特定し、改善のための優先順位を付ける。CO ₂ 濃度が低いからといって、低い在室率または大空間において必ずしも十分な換気が行われているとは限らないことに注意を要する。CO ₂ がCOVID-19リスクの直接の指標として使用できるという考えを拒否する。	CO ₂ 濃度が1500ppmを超える空間の改善は優先すべきである。エアロゾル発生行動のある空間においては、CO ₂ 濃度の目標値を800 ppm以下にする必要がある。
CDC ³	公衆衛生ガイダンス	ロギング機能付きのポータブルCO ₂ センサーを使用して室内空間をモニタリングする。	800 ppm以下に維持できない空間においては、ポータブル空気清浄機の利用を検討する必要がある。

1. Federation of European Heating Ventilation and Air Conditioning Associations. COVID-19 ventilation and building services guidance for school personnel. Ixelles, Belgium: REHVA; 2020.
2. UK Scientific Advisory Group for Emergencies Environmental Modelling Group (SAGE-EMP). Role of ventilation in controlling SARS-CoV-2 transmission. London, UK: SAGE-EMP; 2020. [ment_data/file/928720/S0789_EMG_Role_of_Ventilation_in_Controlling_SARS-CoV-2_Transmission.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/928720/S0789_EMG_Role_of_Ventilation_in_Controlling_SARS-CoV-2_Transmission.pdf).
3. US Centers for Disease Control and Prevention. Ventilation in buildings. Atlanta, GA: U.S. Department of Health & Human Services; 2021 Mar 23.