HoBEAフォーラム　2021年1月21日

住まい・コロナの今とこれから

コロナと換気、分かっていること、分からないこと

北海道大学大学院　工学研究院　建築都市部門
空間デザイン分野　環境空間デザイン学研究室　教授
林　基哉

1

・分かっていること

- 換気が非常に悪いと感染する。
- 浮遊飛沫（エアロゾル）は、室内環境の影響を受ける。

・分からないこと

- 感染者は、ウイルスをどれほど放出するか？
- ウイルスをどれくらい吸うと感染するのか？
- どの大きさの飛沫（エアロゾル）が危険なのか？
- 温湿度や気流は、感染にどの程度影響するか？
- 感染を防ぐには、どの程度の換気が必要なのか？

2

21世紀の国際的な公衆衛生上の緊急事態

Public Health Emergency of International Concern.

2003	SARSコロナウイルス（SARS-CoV）感染症
2009	新型インフルエンザの世界的流行
2012	MARSコロナウイルス（MARS-CoV）感染症
2014	野生型ポリオ流行
2014	西アフリカエボラ出血熱流行
2015-2016	アメリカ大陸におけるジカ熱流行
2018-2019	コンゴ民主共和国北キブ州でのエボラ出血熱流行
2019.11	中国武漢市「原因不明のウイルス性肺炎」
2020.1 -	新型コロナウイルス（SARS-CoV2）の感染症（COVID-19 ）の世界的流行

3

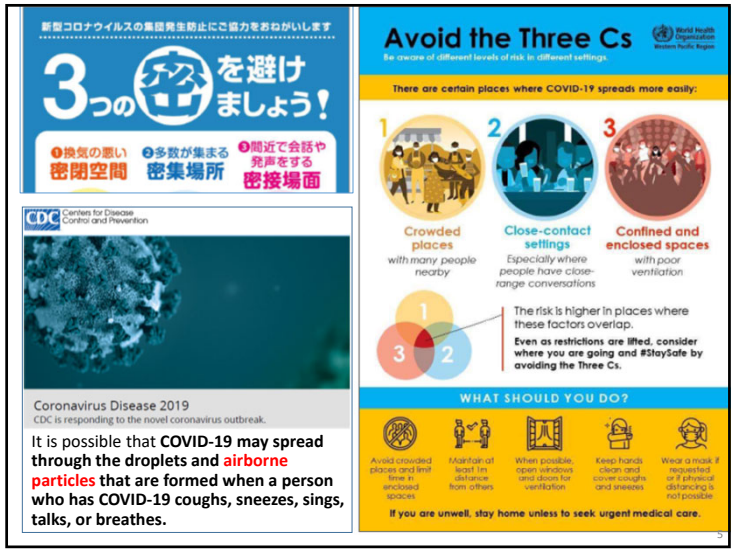
日本におけるCOVID-19の流行と対応

2020.1
感染者（武漢帰国）**を確認**
⇒　**当初の見解**
「通常生活の感染リスクは低い。」

2020.2
クルーズ船、屋形船、病院、スポーツジムなどで、
クラスター感染を確認

2020.2.25
厚生労働省クラスター対策班
⇒　クラスター感染空間の分析
⇒　**換気の重要性**を示唆

4

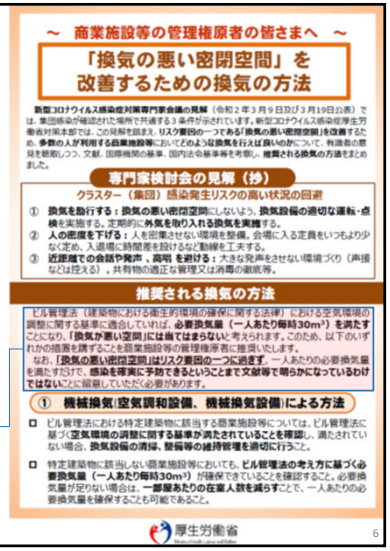


2020.3.30
「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について

2020.3.31
新型コロナウイルス感染症の大規模な感染拡大防止に向けた職場における対応について

2020.4.2
特定建築物における空気調和設備等の再点検について

2020.4.3
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

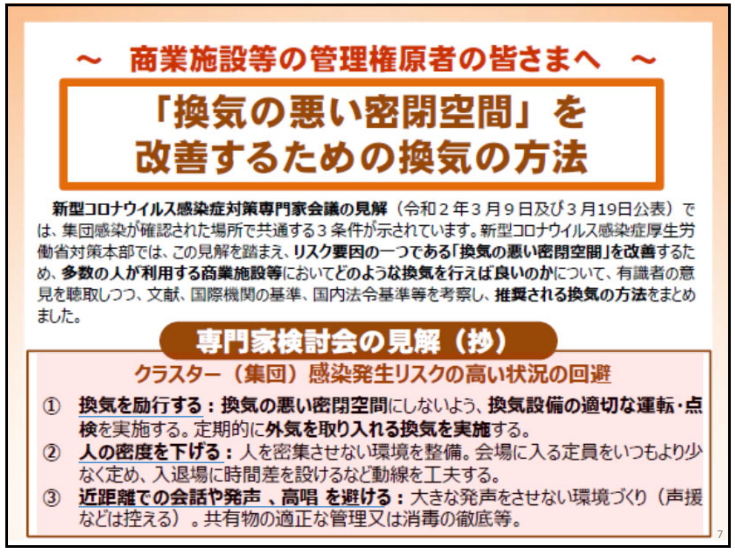


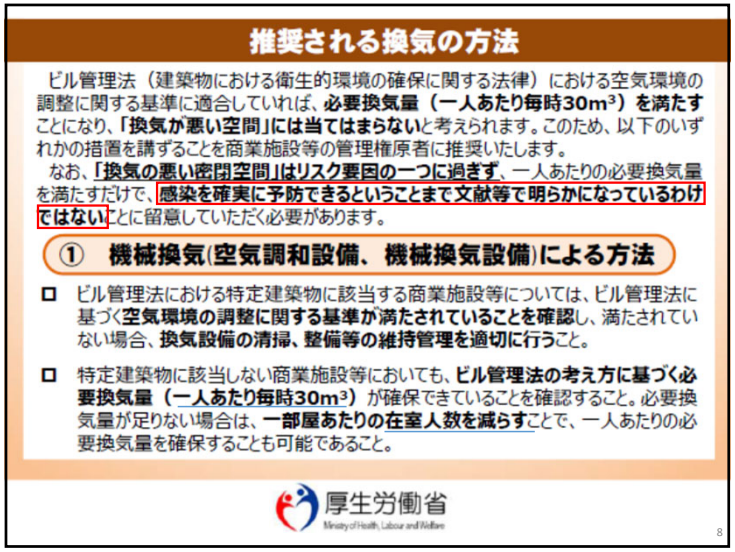
➢ 感染抑制に必要な換気量に関する十分なエビデンスはない。

⇩

① 建築物衛生法に準じ、必要換気量を、1人あたり毎時30m³とする。（換気量の確保、在室者数の抑制）

② 窓開け換気等を推奨する。





ビル管理法における空気調和設備を設けている場合の空気環境の基準

項目	基準
ア 浮遊粉じんの量	0.15 mg/m³以下
イ 一酸化炭素の含有率	100万分の10以下（＝10 ppm以下） ※特例として外気がすでに10ppm以上ある場合には20ppm以下
ウ 二酸化炭素の含有率	100万分の1000以下（＝1000 ppm以下）
エ 温度	1. 17℃以上28℃以下 2. 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
オ 相対湿度	40%以上70%以下
カ 気流	0.5 m/秒以下
キ ホルムアルデヒドの量	0.1 mg/m³以下（＝0.08 ppm以下）

※機械換気設備を設けている場合は、上記の表のアからウまで、カ及びキを遵守する必要がある。

② 窓の開放による方法

- □ **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。
  ※ 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。

9

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※1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※2**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。

※1 ビル管理法における特定建築物とは、興行場、百貨店、集会場、遊技場、店舗等の用途に供される延べ床面積が3,000m²以上の建築物であって、多数の者が使用・利用するものをいいます。
※2 近年、二酸化炭素の含有率の基準を満たしていない特定建築物が多数報告されています。改めて換気設備の点検を行うなど、適切な維持管理を行ってください。

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。
- □ これを踏まえ、機械換気による場合、換気設備を設計した者や換気の専門業者に依頼し、**換気量がどの程度あるかを確認**し、一人あたりの必要換気量が確保できるよう、**部屋の内部の利用者数の上限を把握**するよう努めなければなりません。

10
R2.4.3

～ 換気機能のない冷暖房設備を使っている商業施設等の皆さまへ ～

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の方法

換気機能のない冷暖房設備（循環式エアコン）※1しか設置されていない商業施設等の場合、外気温が高いときに、必要換気量を満たすための換気（30分ごとに１回、数分間窓を全開にする）※2を行うと、ビル管理法で定める居室内の温度および相対湿度の基準（28℃以下・70%以下）※3を維持できないときがあります。

新型コロナウイルス感染症のリスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気と、熱中症予防を両立するため、以下の点に留意してください。

窓を開けて換気する場合の留意点

- □ 居室の温度および相対湿度を28℃以下および70%以下に維持できる範囲内で、２方向の窓を常時、できるだけ開けて、連続的に室内に空気を通すこと※4。
  - ◆ この際、循環式エアコンの温度をできるだけ低く設定すること。
  - ◆ １方向しか窓がない場合は、ドアを開けるか、天井や壁の高い位置にある窓を追加で開けること。
- □ 居室の温度および相対湿度を28℃以下および70%以下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※5することは換気不足を補うために有効であること。

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5m³/min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※6。

熱中症の予防のためには、こまめな水分補給や健康管理など※7にも留意が必要です。

厚生労働省

～ 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※1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の取り入れ口がある（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、外気の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※2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。

厚生労働省

11

● 令和2年度~厚生労働科学研究費

健康増進に向けた住宅環境整備のための研究

北海道大学林基哉 森太郎 荒木敦子 秋田県立大学長谷川兼一 慶應義塾大学杉山大典 奈良県立医科大学佐伯圭吾
近畿大学東賢一 国土技術政策総合研究所桑沢保夫 国立保健医療科学院小林健一 阪東美智子 金勲 開原典子

健康増進住宅の整備

健康住宅のガイドライン案
（健康エビデンスに基づく健康増進のための住宅環境改善）

本研究：健康増進に向けた住宅環境整備のための研究

健康住宅のガイドライン作成のための基礎資料
住宅環境改善の健康状態に対する効果の検証

2021–2022 3) 住宅環境改善の健康状態に対する効果の検証
方法：住宅環境に係る健康エビデンスと住宅環境の実態を踏まえた住宅環境改善効果の推定

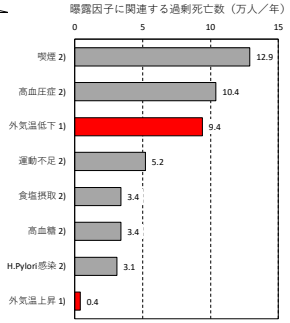
1) 健康エビデンスの収集・整理
2020 WHO健康住宅ガイドライン、健康維持増進住宅、スマートウェルネス住宅など、国内外エビデンスの整理

2) 住宅環境の実態と健康影響の分析
2020–2022 我国の住宅ストック、建築基準法、省エネルギー法等の住宅関連施策、我国の住宅環境と健康影響の将来予測

2019 厚労科研（特別研究）：健康増進のための住環境についての研究

2014–2018 国交省他：スマートウェルネス住宅研究開発
2007–2012 国交省他：健康維持増進住宅研究

2000–2003 国交省他：シックハウス対策技術の開発
1997–2000 国交省他：健康的な居住環境形成技術の開発

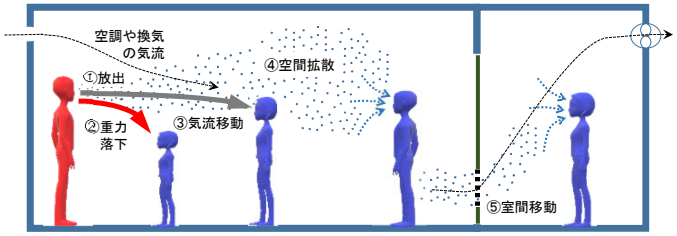


1) Gasparrini et al. Lancet 2015;386:369-75
2) Ikeda et al. PloS Med 2012;9:e1001160

12

室内環境中の新型コロナウイルス（SARS-CoV2） の挙動

① **放出**　：SARS-CoV2（約0.1μm）を含む大小の飛沫が放出される。
② **重力落下**：大飛沫は、近傍に落下する。
③ **気流移動**：小飛沫は気流によって風下に移動する。
④ **空間拡散**：微小飛沫は空気中に拡散する。
⑤ **室間移動**：微小飛沫は気圧が低い空間に移動する。



室内環境中の新型コロナウイルス（C19）の挙動と感染

13

ウイルス等を含む飛沫の放出（インフルエンザ・結核）

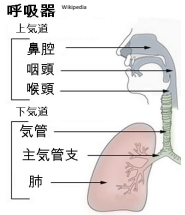
➢ **インフルエンザ感染者**

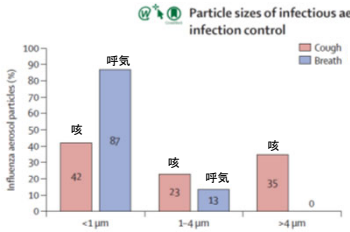
呼気：　4μm以下の小さな飛沫で構成される。

咳　：　4μm以上の比較的大きな飛沫を含む。

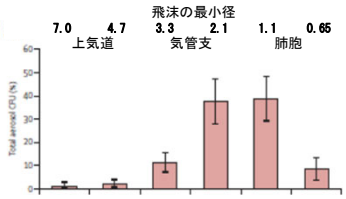
➢ **結核感染者**

咳には、気管支、肺胞からの飛沫が多く含まれる。



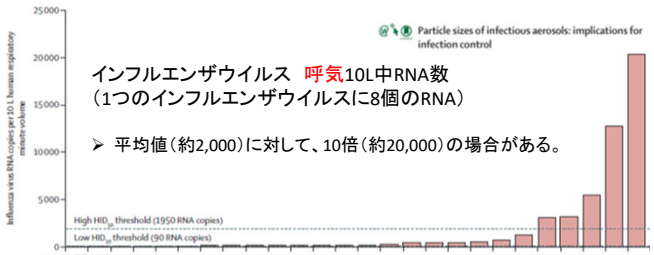


インフルエンザ感染者の呼気と咳の飛沫径



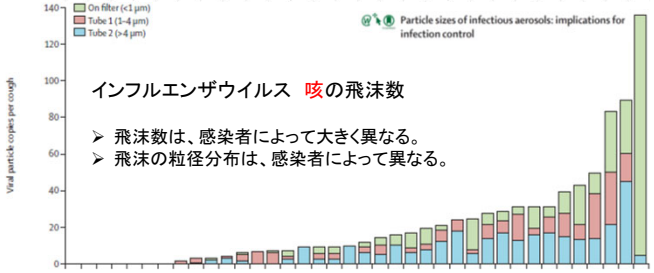
結核菌染者の咳の飛沫サイズ

14



インフルエンザウイルス　呼気10L中RNA数
（1つのインフルエンザウイルスに8個のRNA）

➢ 平均値（約2,000）に対して、10倍（約20,000）の場合がある。



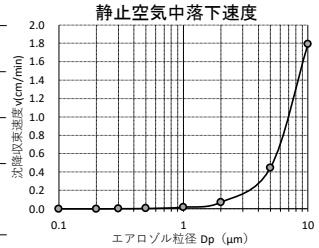
インフルエンザウイルス　咳の飛沫数

➢ 飛沫数は、感染者によって大きく異なる。
➢ 飛沫の粒径分布は、感染者によって異なる。

15

室内環境中のSARS-CoV2の感染

飛沫径 飛沫速度	小←呼気　発声　咳，くしゃみ→大
• 微小飛沫	• 飛沫中のウイルス数は少ない。 • 肺に達する。
● 小飛沫	• 飛沫中のウイルス数はやや多い。
● 大飛沫	• 飛沫中のウイルス数が多い。 • 直接または物表面を経由して目や口に付着する。

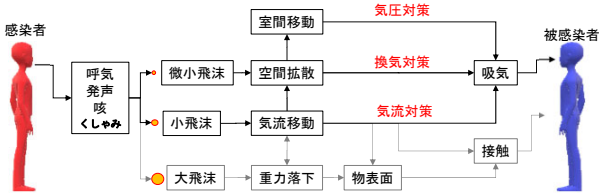


分類	飛沫径（μm）	静止空気中の1.5m落下	空間内の主な挙動	気圧対策 室間の飛沫移動の防止	換気対策 室内飛沫濃度の低減	気流対策 気流風下の対策
微小飛沫	5 以下	30 分以上	乾燥によって粒径が急速に縮小し空間内に拡散	○	◎	
小飛沫	10	8 分	気流で移動しながら、落下または空間内に拡散		○	◎
	100	5 秒				
大飛沫	200 以上	1.3 秒以下	近傍に重力落下			○

16

室内環境中のSARS-CoV2の感染対策

分類	気圧対策	換気対策	気流対策	遮蔽・接触対策
微小飛沫	**室間移動の抑制** ・空調換気設備 気圧の管理 （給排気バランス） ・ドアの気密化 ・気流止めシート	**飛沫濃度の抑制** ・空調換気設備 換気量の確保 ・窓開け換気 ・空気清浄機		
小飛沫			**風下感染の配慮** ・空調換気設備 風量の調整 ・家具、空気清浄機、扇風機等の配置	**直接飛沫・表面の配慮** ・遮蔽（マスク、フェイスガード、仕切り板） ・清掃、消毒、UV等
大飛沫				



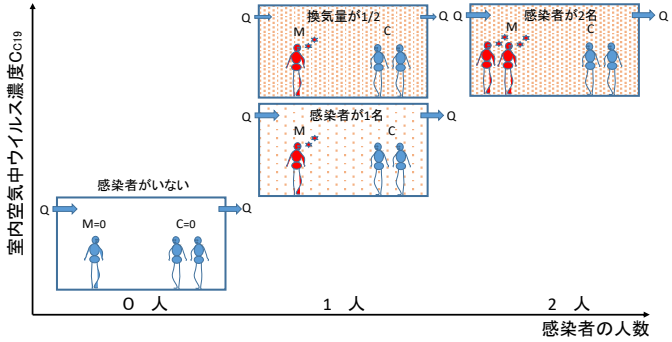
室内環境中の新型コロナウイルス（C19）の挙動と感染対策

17

室内環境中のSARS-CoV2微小飛沫感染リスク評価

➢室内気中ウイルス濃度 C_{C19} ＝ M_{C19} ／ Q

M_{C19}ウイルス発生量＝ α・Bra・A_{C19} Q 換気量
α：マスク・症状・行為によるC19発生率　Bra:感染者呼吸量
A_{C19}：感染者数 ＝ f（市中感染レベル、建物用途、定員等）



18

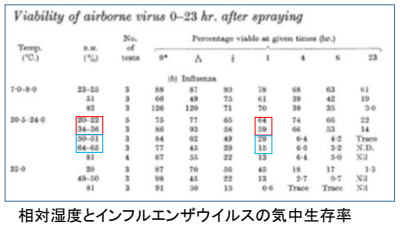
温湿度とインフルエンザウイルスの感染に関する研究

✓J.H.Hemmes 1960,1962

エアロゾル中のウイルス死滅率を測定した結果、インフルエンザの死滅速度Kは、相対湿度15-40%の場合は0.0073であるのに対して、50-90%では0.09と顕著に高い。

✓G.J.Harper 1961

エアロゾル中のウイルス生存数を測定した結果、インフルエンザの生存率は、50-51%の場合より34-36%の場合が顕著に高かった。


Viability of airborne virus 0–23 hr. after spraying

Temp. (°C.)	r.h. (%)	No. of tests	Percentage viable at given times (hr.) 0*	½	1	1	4	6	23
(b) Influenza									
7·0–8·0	23–25	3	88	87	80	78	68	63	61
	51	3	66	49	75	61	39	42	19
	82	3	126	120	71	70	39	35	3·0
20·5–24·0	20–22	5	75	77	65	64	74	66	22
	34–36	3	86	93	58	58	66	53	14
	50–51	3	94	62	49	29	6·4	4·2	Trace
	64–65	3	77	45	29	15	6·6	3·2	N.D.
	81	4	67	55	22	13	6·4	5·0	N.D.
32·0	20	3	87	70	56	45	18	17	1·3
	49–50	3	98	45	22	13	2·7	0·7	N.D.
	81	3	91	50	15	6·6	Trace	Trace	N.D.

相対湿度とインフルエンザウイルスの気中生存率 / Harper 1961　*J. Hyg., Camb.* (1961), **59**, 479

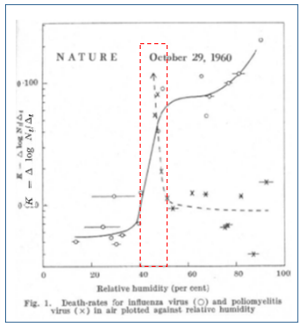


Fig. 1. Death-rates for influenza virus (○) and poliomyelitis virus (×) in air plotted against relative humidity

相対湿度とインフルエンザとポリオのウイルス死滅速度K / Hemmes 1962

19

✓F.L.SCHAFFER et.al 1975

エアロゾル中のインフルエンザの感染力は、低温と高湿で高い。

動物曝露実験　2007

Lowen (2007) PLoS Pathogens
モルモット実験より

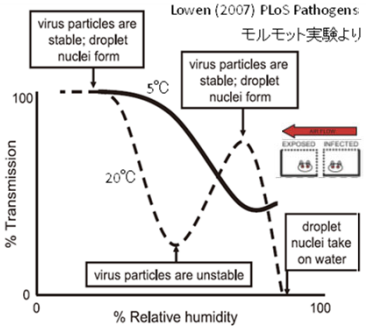
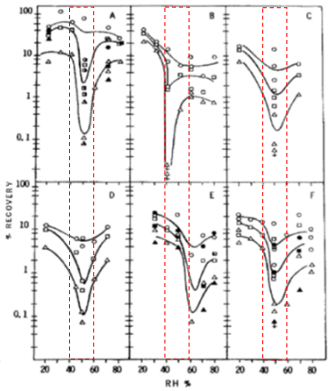


Figure 6. Variation of Transmission Efficiency with Relative Humidity: A Model

Survival of Airborne Influenza Virus: Effects of Propagating Host, Relative Humidity, and Composition of Spray Fluids

F. L. Schaffer, M. E. Soergel, and D. C. Straube
Naval Biosciences Laboratory, School of Public Health, University of California, Berkeley, California, U.S.A.



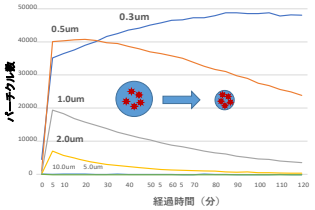
20

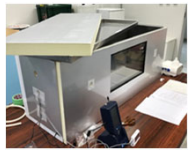
温湿度とSARS-CoV2の感染に関する研究

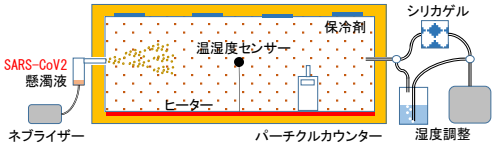
微小飛沫の挙動（SARS-CoV2懸濁液）

① 物理的特性（恒温恒湿ボックス）
- 空気中で乾燥して小さくなる。
- 0.5μm以上は減少し、0.3μm以下は増加する。
- 2時間後、ほとんどが浮遊している。

② 感染特性（実験実施中）
- 空気中での感染力の持続性が高い可能性がある。





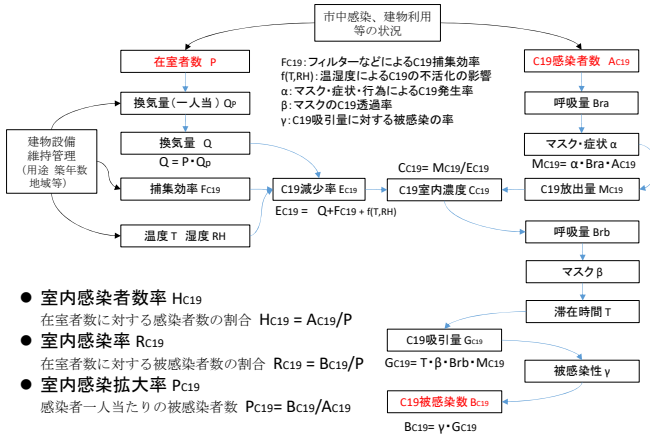


恒温恒湿ボックスにおけるSARS-CoV2噴霧実験

21

室内環境中のSARS-CoV2微小飛沫感染リスク評価

呼気による感染リスクを、RNA吸引量で評価することが出来ると仮定した場合



- 室内感染者数率 H_{C19}
  在室者数に対する感染者数の割合 $H_{C19} = A_{C19}/P$
- 室内感染率 R_{C19}
  在室者数に対する被感染者数の割合 $R_{C19} = B_{C19}/P$
- 室内感染拡大率 P_{C19}
  感染者一人当たりの被感染者数 $P_{C19} = B_{C19}/A_{C19}$

22

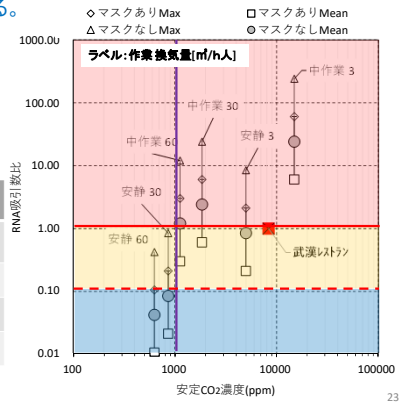
室内環境中のSARS-CoV2微小飛沫感染リスク評価

呼気中SARS-CoV2による感染リスク（吸引量）の試算（武漢レストランとの比較）
（呼気中インフルエンザRNA数によるSARS-CoV2のRNA数：Mean250、Max2500）

① 活動レベル：感染リスクを上げる。
② マスク：感染リスクを下げる。
③ 換気：感染リスクを下げる。
④ CO_2濃度：感染リスクとある程度相関する。

試算条件

	滞間	在室人数	感染者数	呼吸量 m³/h
武漢レストラン	1.5 h	21 人	1 人	1.00
安静	3.0 h	10 人	1 人	0.45
中作業	3.0 h	10 人	1 人	2.40
マスク効果：ウイルスの50%が通過				

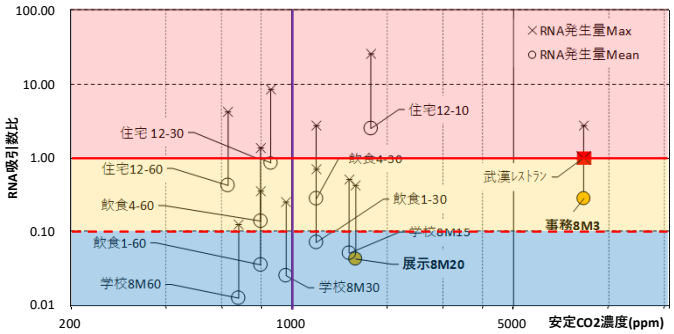


23

室内環境中のSARS-CoV2微小飛沫感染リスク評価

呼気中SARS-CoV2による感染リスク（吸引量）の試算（武漢レストランとの比較）
（呼気中インフルエンザRNA数によるSARS-CoV2のRNA数：Mean250、Max2500）

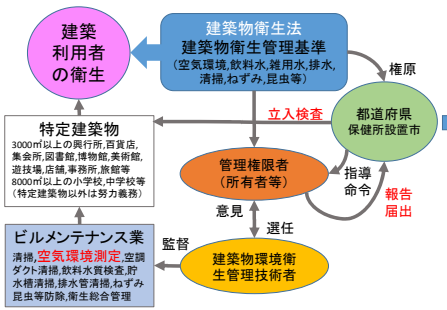
感染者が室内に1人の場合のRNA吸引量比
事例及びモデル （用途 滞在時間[h] マスク[M,ー] 換気量[m³/h人]）



24

建築物の室内環境の対策と実態

建築物衛生法 1970	浮遊粉塵、CO、CO2、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒド
労働安全衛生法1972 事務所衛生基準規則	浮遊粉塵、CO、CO2、温度、相対湿度、気流
建築基準法 2003	全ての居室、常時機械換気設備（必要有効換気量／換気回数）



建築物衛生法に基づく衛生管理の仕組み体制

行政報告例
＝ 立入検査結果＋報告徴取結果

- **立入検査**
  環境衛生監視指導員が、立入により基準適合を判断する。
- **報告徴取**
  環境衛生監視指導員が、空気環境測定業のデータを用い基準適合を判断する。

基準不適率の状況

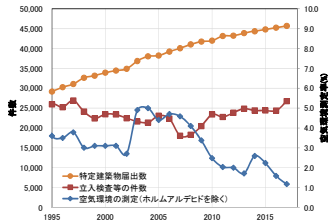
厚生労働科研
- H26-28 建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究
- H29-30 建築物衛生管理基準の検証に関する研究
- H29 -30 中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究
- R1_ 建築物環境衛生管理における空気調和設備等の適切な運用管理手法の研究

➢ 特定建築物は増加してるが、立入検査及び空気環境の測定は横ばい

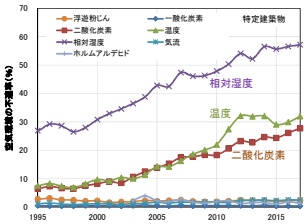
➢ 相対湿度、温度、CO_2濃度の不適率は、1999年度以降に継続的に上昇

➢ 省エネルギー、東日本大震災後の節電、個別空調の普及等の影響の可能性

➢ 一般の建築物においても同様の悪化が起きていることは否めない。

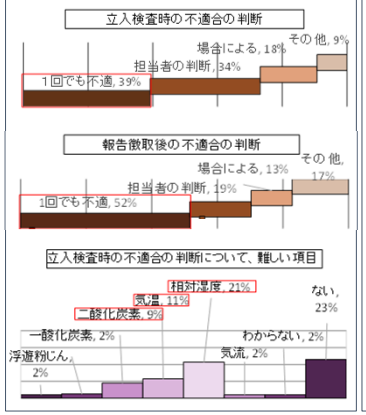


立入検査等・空気環境測定率の推移



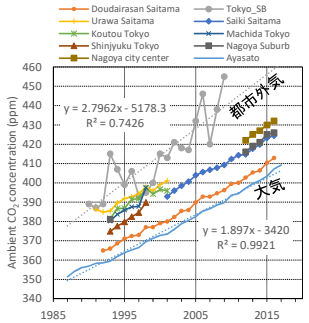
特定建築物の空気環境の不適率

➢ 報告徴取の方が、立入検査より不適になりやすい傾向がある。



➢ 外気のCO_2濃度は一年で2ppm程度上昇し続けている。

➢ 外気濃度上昇によって室内濃度が上昇し、不適率が高まる。

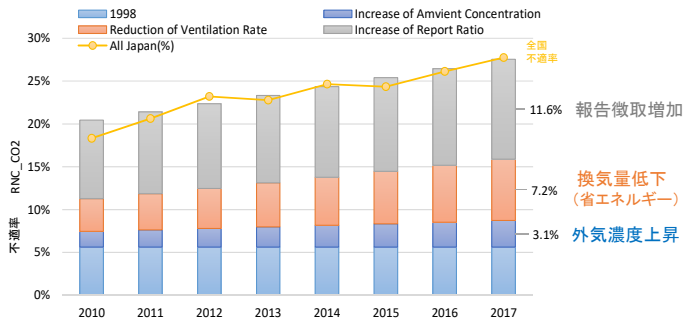


外気二酸化炭素濃度の推移

不適率上昇の要因と影響程度に関する分析

$$R_{nc}(y) = \left(e + R_i(y)\cdot(1-e)\right)\cdot exp\left[-\left(\frac{\left(\gamma_s - d\gamma\cdot(y-y_s)\right)\cdot(C_s - C_{out}(y))}{\beta}\right)^{\alpha}\right]$$

y年の不適率$R_{nc}(y)$、調査数に対する立入検査数の比を立入検査率 $R_i(y)$、換気量減少率γ、基準年y_sの減少率γ_s、減少率変化速度$d\gamma$、報告徴取の不適率に対する立入検査時の不適率の比を立入検査不適率特性e

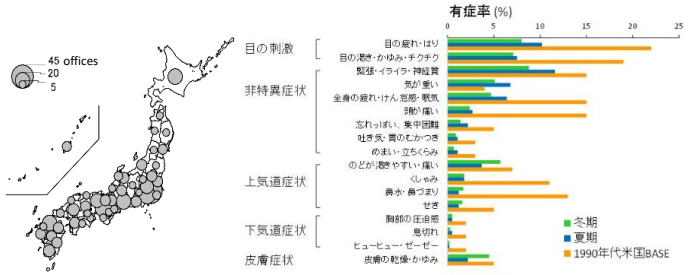


要因別不適率推定値の推移（1998年値を基準にした場合）

建築物の健康影響に関する調査1

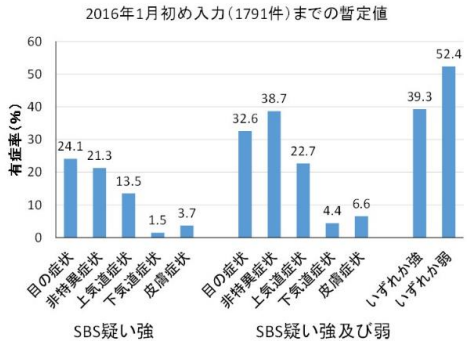
- 全国ビルメンテナンス協会の会員企業（約3,000社）から489社の協力を得て特定建築物を含む全ての建物を対象
- 米国EPAと欧州のシックビルディングシンドローム（SBS）調査票、厚労省ストレス調査票をもとに調査票作成

◆ SBS有症率：毎週1～3日または毎日、症状を呈し、職場を離れるとよくなる。



建築物の健康影響に関する調査2

- 大阪市と東京都の特定建築物の事務所に勤務する管理者及び従業員（東京都は延床面積1万m²以上）
- 大阪市：1543施設、東京都：1582施設



➢ **SBS疑い強**：
毎週1～3日または毎日、症状を呈し、職場を離れるとよくなる。

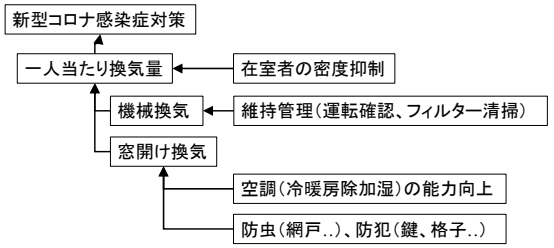
➢ **SBS疑い弱**：
過去1ヶ月に1～3日、症状を呈し、職場を離れるとよくなる。

夏と冬の新型コロナ感染症対策のための換気

- ✓ 飛沫感染の対策に加えて、換気対策が必要
- ✓ 夏期： 熱中症対策のために、冷房・除湿が必要
- ✓ 冬期： ヒートショック等の対策・感染症対策のために、暖房・加湿が必要

⇒ 換気量の制御が必要

✓ 新型コロナ感染症対策を踏まえた室内環境管理が必要



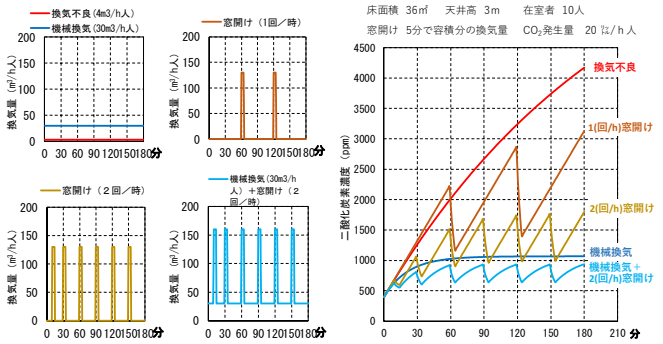
機械換気と窓開け換気

◆ 最低条件：機械換気（30m³/h人）⇒建築物衛生法 CO_2：1000ppm

◆ 状況*に応じ、窓開け換気等で換気量を増加 ⇒機械換気＋窓開け

＊熱中症、ヒートショック、外気条件（雨、雪、風、花粉、PM2.5、騒音‥）、防音、防虫、防犯‥

◆ 機械換気を連続運転して、換気量を常時確保することが重要である。



窓開け換気の方法

➢ 季節に応じて、適切な窓開け換気の方法を選択する。

季節	室内環境	常時開放	一時開放	換気動力	留意点
夏期 冷房時	28℃以下 （RH70%以下）	2方向 小さく開放	2方向 大きく開放	風力 外部風の風速・風向の変化に伴い換気量が変動する。	2方向開放について • 大きな換気量を得ることが出来る。 • 雨の吹込み、換気量の変化に応じて、開放程度を調整する必要がある。
中間期	18℃～28℃ （RH40 ～70%）	2方向 大きく開放			
冬期 暖房時	18℃以上 （RH40%以上）	1方向 小さく開放	1方向 大きく開放	内外温度差 内外の温度差によって換気量が変化する。	1方向開放について • 風の影響を受けづらく、暖房により室温が安定すると、安定した換気量が得られる。 • 開放窓近くの暖房機、使用していない空間を利用（2段階換気）して、冷気対策を行う必要がある。
注） 室内環境について、室内環境による健康影響への配慮が必要な高齢者などの場合は、より望ましい環境が必要である。					

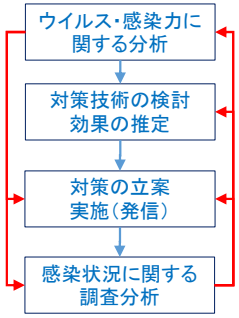
2方向開放（風力換気）　1方向開放（温度差換気）　1方向開放・2段階換気（温度差換気）

33

新興・再興感染症への対応

新たなウイルスによる感染拡大の抑止には、
多分野（国内外、研究から現場まで）のネットワーク、
迅速なフィードバックが必要である。

- 2020年2月- （厚労省クラスター対策班等）
  ★クラスター感染の室内環境分析
  ⇒ 換気と感染の関係？
- 2020年4-5月 （内閣官房,環境省,厚労省等）
  ★感染対策と熱中症対策
  ⇒ 冷房時の換気対策？
- 2020年6月- （内閣官房,厚労省等）
  ★感染対策と冬期室内環境対策
  ⇒ 暖房時の換気対策？
- 2020年8月- （国交省建築研究所等）
  ★対策技術の実効性と評価
  ⇒ ポストCOVID-19空調・換気・通風計画？



34

ありがとうございました。

35