

# 新型コロナウイルス感染防止のための換気方策 Ventilation Strategy for Infection Prevention against COVID-19

大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻  
Division of Global Architecture, Graduate School of Engineering,  
Osaka University  
山中 俊夫  
Toshio Yamanaka

**キーワード：**新型コロナウイルス感染症（COVID-19）、自然換気（Natural Ventilation）、高効率換気（High Efficiency Ventilation）、置換換気（Displacement Ventilation）、感染確率モデル（Model for Infection Probability）

## 概要

飛沫核による新型コロナウイルス感染の重要な防止対策である換気に焦点を当て、窓開け換気による必要換気量や置換換気などの高効率換気システムにおける飛沫核の暴露特性、簡易なウイルス暴露モデルによる感染リスクの相対評価方法などについて紹介し、感染防止のための換気方策について考える。なお本稿は、文末の〈本稿に関する既発表文献等〉①～②に示す文献の一部を抜粋し、取りまとめて再構成したものである。

## 1. はじめに

新型コロナウイルスの感染防止対策を行う上で、換気や空調設備による外気導入は、感染力を持つ感染性浮遊飛沫核への暴露を押さえ、感染リスクを低減するものであることが、様々なクラスターに関する研究データから一般的に認知されるようになった。当初、2020年3月に新型コロナウイルスの主な感染源は飛沫感染と接触感染であり、空気感染は特殊な医療行為の条件下でのみ発生するとしていたWHO<sup>1)</sup>が7月には換気不足の室内における飛沫核（エアロゾル）感染の可能性を認め<sup>2)</sup>、日本の「3密を避けましょう」が”Avoid the 3Cs”として推奨されるようになった。飛沫感染を避けるためには、感染者との個体距離が重要であり、飛沫の飛行距離を伸ばす気流は避けるべきであるが、飛沫が気中で水分を失い、径が縮小し気中を浮遊する飛沫核の暴露を防ぐためには、換気によって室内空気中の飛沫核濃度を低減させることが非常に効果的と言いうことができる。

本稿では、感染対策としての空調・換気設備の役割と重要性について資料を基に紹介した上で、感染症予防という観点からの自然換気の特長について考え、自然換気の効果の評価する手法やWHOによる感染症対策としての必要換気量についてのガイドラインについて紹介する。また、感染症対策に効果的な、高効率換気の評価例を紹介し、今後の換気による感染対策の一助になればと考える。

## 2. 空調・換気設備による感染防止効果

空気調和・衛生工学会では、新型コロナウイルス対策特別委員会が設置され、新型コロナウイルスの感染と空調・衛生設備との関連性について、様々な文献資料を基に検討し、その結果を解説記事例えば<sup>3)</sup>としてホームページに公表されている。本章では、それらの情報を参考に、新型コロナウイルスの感染防止対策としての空調・換気設備の役割と重要性について紹介する。

### ①換気効果

ここでは空調設備を通した外気導入も換気として取り扱うこととする。換気は、清浄な外気を室内に取り入れ、室内で発生する汚染物によって汚れた室内空気を室外に排出し、室内の空気質を良好に保つ効果のことを言うが、新型コロナウイルス感染防止の観点からは、室内で感染者から発生した咳やくしゃみ、会話や

呼気に由来し、空気中を浮遊する粒径の小さな飛沫・飛沫核を室外に排出し、空気中の濃度を低減する効果と言える。この場合、重力の影響を受けて床面に落下する  $60\mu\text{m}$  以上で  $100\mu\text{m}$  クラスの大粒径の飛沫については、換気は一般的に効果がない。しかし、逆に言えば、新型コロナウイルスの感染防止に対して換気の効果認められるということは、新型コロナウイルスが比較的小粒径の飛沫核の内部でも感染力を維持した状態で長時間存在していることを示唆している。

医学的な分類では、飛沫核は  $5\mu\text{m}$  以下のエアロゾルということになっているが、空気中を浮遊している限り、感染性の飛沫核や飛沫はいずれも問題になるわけであり、エアロゾルの状態（液相か固相か）を飛沫と飛沫核として分類する意味は大きいとは思えない。感染者から飛沫が連続的に放出されている状態下において、気中には新しい飛沫ミストと、やや時間が経ち飛沫核化した固相（水分も含む）のエアロゾルが混在しているわけであり、我々はその両者の感染力をウイルス濃度  $C$  [quanta]として総合的に評価することが必要であると言えよう。それは、言い換えれば新型コロナウイルスの寿命（感染力の低下）を考慮する必要があるということになる。

## ②気流制御効果

空調設備では、温湿度と浮遊粉塵などに対する空気浄化を目的として、新鮮外気以外の循環風量を給気口から吹き出すのが一般的である。これらの循環風量は、新鮮外気量の数倍であり（事務室で2倍）、多くの場合吹出気流は室内気流場を決定する主要な要因と言える。また、パッケージ型エアコン（以下PAC）で換気設備が別に存在している場合であっても、PACから吹き出される気流は室内の気流場を形成する。

このような室内気流がクラスター発生の一つの要因となったとされる有名な事例が広州のレストランでの事例である（図1参照）。

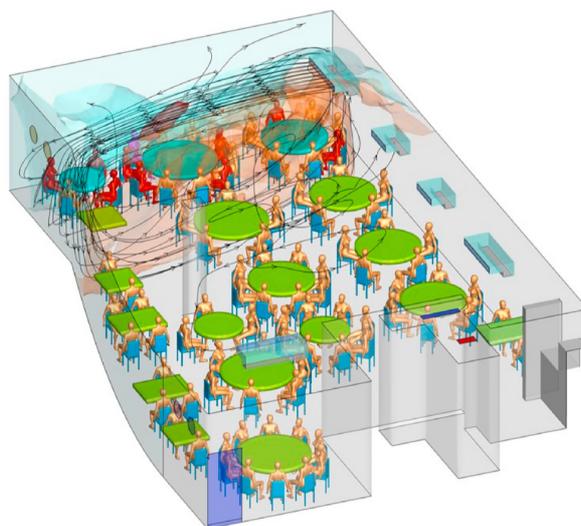


図1 広州（中国）の換気の悪いレストランで発生した細かな飛沫の拡散状況のシミュレーション結果 (Yuguo Li et al. <sup>4)</sup>)

図1では、感染者から発生した人の周りの気流が示されており、図中奥の3つのテーブルの21人のうちから、9人の二次感染者が出たことから、当初空調気流によって感染者の飛沫が遠くに運ばれ、2m以上離れた在室者の感染につながったとする論文<sup>3)</sup>が出されて話題となった<sup>3)</sup>。つまり、エアコン気流は新型コロナウイルスの感染を助長するのではないかと、ということが心配されるようになり、エアコン気流がクラスター発生の主犯とされたわけである。しかしその後の現地調査で、クラスター発生時には店内でトイレ以外の換気扇はすべて停止されており、換気回数（換気量/室容積）が  $0.56\sim 0.77$  回/hで、客数89名に対して、一人当たりの換気量が  $2.7\sim 3.7\text{m}^3/\text{h}$ であった<sup>3)</sup>ことが明らかになり、クラスターの発生は気流による飛沫の拡散だけではなく、無換気状態による飛沫・飛沫核濃度の上昇の相乗効果であったことが明らかになっている。いずれにしても、換気と共に、室内気流をうまく制御することが重要であると言える。

室内気流は、室内に供給された清浄空気の分配と汚染物の移流・拡散を決定するものであることから、換気の効率を決める重要な要因である。例えば、図2に示す置換換気のように人体発生の汚染質に対して、極めて高い効率を示す換気方式などを採用すれば、感染者がマスクをしている限りにおいては、ウイルスを含む飛沫・飛沫核の空気伝搬を防げる筈であり、室内気流が新型コロナウイルスの感染防止対策として、有効とすることができる。

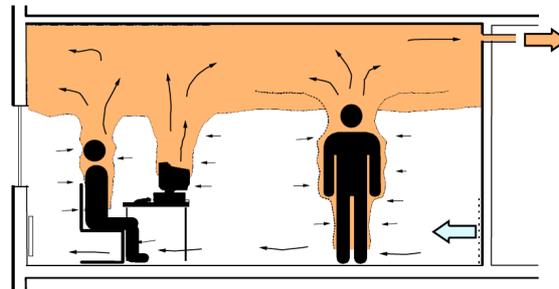


図2 置換換気の原理<sup>6)</sup>

### ③除去効果

空調機は室内から還気として循環した空気を清浄な外気と混合させ室内の汚染物濃度を希釈するとともに、エアフィルターを用いて飛沫核などの浮遊粉塵の除去を行うことができる。理想的には、HEPAフィルターを用いることが望ましいが圧力損失の問題から、一般的には中性能エアフィルターが用いられており、ASHRAE（アメリカ暖房冷凍空調学会）ではMERV13（粒径別捕集率 0.3~1.0 $\mu\text{m}$  : 50%, 1.0~3.0 $\mu\text{m}$  : 85%, 3.0~10 $\mu\text{m}$  : 90%）を推奨している。

### ④殺菌効果

いま、新型コロナウイルス感染対策として、注目されているのが、紫外線 UVC による殺菌作用である。UV ランプの設置位置によって、アップルーム式とインダクト式があり、空調システムの内部に設置するのがインダクト方式である。ただし、UVC による殺菌には時間がかかる（0.1mW/cm<sup>2</sup> の強度では 90%不活性化時間が 21 秒）ことから、空調機の中にごく短い時間しか滞在しない循環空気の殺菌には時間がかかるものと言える。その意味ではインダクト方式の UVC 照射よりはエアフィルターの方が効果的であると言える。

## 3. 空調・換気設備による感染防止効果の評価

### 3. 1 感染確率モデル

ウイルスや細菌などの感染確率に関するモデルとして、最もよく知られているのが、Wells-Riley 式<sup>7)</sup>である。

$$P = 1 - e^{-n} \quad \dots(1)$$

$P$  : 感染確率

$n$  : 吸込ウイルス量（暴露量）[quanta]

ただし、

$$n = C_{avg} Q_b D \quad \dots(2)$$

$C_{avg}$  : 時間平均ウイルス（quanta）濃度 [quanta/m<sup>3</sup>]

$Q_b$  : 呼吸量 [m<sup>3</sup>/h]

$D$  : 在室時間 [h]

である。

この式の特徴は、ウイルスの数を感染力の単位である[quanta]で表現されていることである。(1)から明ら

かな通り、暴露量  $n$  が 1 quanta のときに、感染確率  $P$  は  $1-(1/e)$ 、つまり約 63%となることがわかる。ウイルス等の種類によらず統一的に表現できることに利点がある。

一方で、(1)式を基本として、前章で紹介した換気や除去効果などを考慮した以下のウイルス濃度計算式が提案されている。

$$\frac{dC}{dt} = \frac{E}{V} - \lambda C \quad \dots(3)$$

ここに、

$C$ : ウイルス濃度 [quanta]

$t$ : 時間[h]

$E$ : ウイルス発生量 [quanta/h]

$\lambda$ : ウイルスの一次減衰係数 [1/h]

であるが、 $\lambda$  については、(4)式で表される。

$$\lambda = \lambda_v + \lambda_{dep} + k + k_f \quad \dots(4)$$

$\lambda_v$ : 換気回数 [1/h] ( $=Q/V$ )

ただし、 $Q$  は室の換気量 [ $m^3/h$ ]、 $V$  は室容積 [ $m^3$ ] である。さらに、

$\lambda_{dep}$ : 室内壁面沈着率 [1/h] ( $=0.3$ )

$k$ : ウイルス減衰率 [1/h] ( $=0.32$ )

$k_f$ : フィルター式空気清浄機のウイルス除去効果 (相当換気量) [1/h]

であり、( ) 内の数値は、REHVA のガイドランス<sup>7)</sup>での参考値である。空調設備の4つの感染防止効果のうち、換気効果は  $\lambda_v$  により、除去効果は  $k_f$  により考慮できるが、殺菌効果については  $k_f$  に含めて考慮することができる。ただし、室内気流効果については、考慮できていない。これは、(3)式が室内の完全混合、即ち発生したウイルスが瞬時に一様に拡散し、室内に濃度分布が生じない状況を仮定しているからである。図2に示す置換換気のような高効率換気システムの場合には、暴露濃度は(3)式で求められるよりも小さく、別途居住域での濃度分布を予測する必要がある。その予測については、様々なゾーンモデルを用いる手法や、CFD 解析による方法などが有効である。

ここで、(4)式に着目すると、ウイルスの減衰が考慮されていることがわかる。これは、様々な粒径の飛沫・飛沫核が空中を浮遊するなかで、時間とともに感染力が低下する現象を考慮するものであり、ウイルスの寿命の考慮ということが言える。

### 3. 2 換気とウイルスの減衰を考慮した感染確率評価

ここで、例として、感染者の咳によるウイルスのパルス発生が生じる場合における、室内でのウイルス吸込量について、試算を行うことにする。ここでは簡単のために、空調機の換気効果とウイルスの減衰効果 (寿命) についてのみ、考慮することとし、換気量と室容積をパラメータとし、ウイルスの減衰係数は  $k=0.32$  と仮定する。いま、咳によるパルス発生したウイルス量を  $q$  [quanta] とするとき、ずっと在室している在室者のウイルス吸込量  $n$  [quanta] は、次式で求めることができる。

$$n = Q_b \int_0^{\infty} C dt = Q_b \int_0^{\infty} C_0 e^{-(\lambda_v+k)t} dt = Q_b \int_0^{\infty} \frac{q}{V} e^{-(\frac{Q}{V}+k)t} dt = \frac{Q_b q}{Q + kV} \quad \dots(5)$$

ここで、 $C_0$  は咳によるパルス発生により、室内のウイルスの濃度が瞬時に上昇したときの室内一様なウイルス濃度 [quanta] ( $=q/V$ ) である。

(5)式からわかることは、ウイルスの減衰を考慮すると、換気量が見かけ上  $kV$  [ $m^3/h$ ] だけ増えたことと等価であることである。つまり、 $k$  が一定であれば、その効果は室容積に比例することになる。 $k=0.32$  とし、例えば  $V=100$  [ $m^3$ ] とすると、 $32 m^3/h$  の換気効果が得られる。完全混合、つまり瞬時一様拡散が成り立

つとしても、容積の効果が無視できないことになる。この場合、1回の咳によるウイルスの発生量  $q$  が 10 [quanta]、呼吸量  $Q_b$  を 0.60 [m<sup>3</sup>/h]と仮定する場合、室容積  $V$  [m<sup>3</sup>]とウイルス吸込量  $n$  [quanta]との関係は、**図3**の通りとなる。同図からわかることは、室の換気量が同じであったとしても、室容積によってウイルス吸込量が異なるということである。(5)式からは、ウイルス吸込量  $n$  が  $Q + kV$  に反比例することから、理解することができる。つまり、換気量に  $kV$  [m<sup>3</sup>/h]が加算されており、 $k$  が一定値の場合室容積  $V$  が大きいほどウイルス吸込量は小さくなるのがわかる。また、**図3**からは、咳1回当たりのウイルス吸込量を読み取ることができ、咳の回数に乗じることにより、総吸込量を求めることができる。

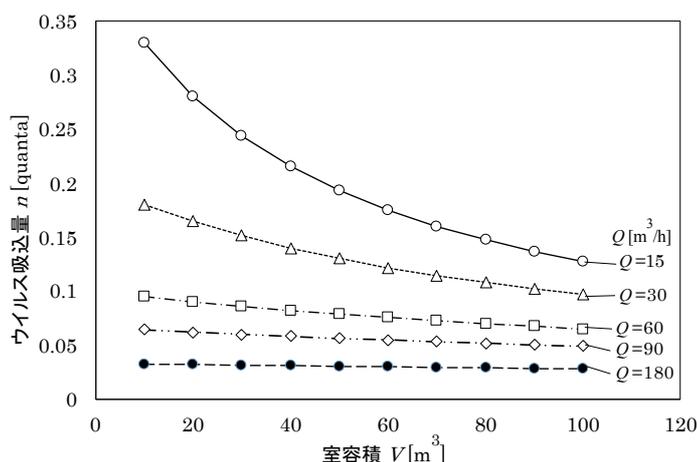


図3 室容積とウイルス吸込量との関係

ただ、マスクをしている場合に、咳1回で発生するウイルス発生量  $q$  はまだ明らかにされていないことから、現在、**図3**をそのまま使ってウイルス吸込量を評価することはできない。しかし、REHVAのガイドダンス<sup>7)</sup>では、さまざまな活動時における新型コロナウイルスの発生率  $E$  が**表1**の通り示されている。この表の値を用いれば、**図3**を用いて室に1時間滞在時のウイルス吸込量を求めることもできる。例えば、軽作業会話の場合は、 $E = 42$  [quanta] であるから、**図3**の値を4.2倍 (=42/10) すればよい。

表1 様々な活動時におけるウイルス発生量の85パーセンタイル値<sup>7)</sup>

活動の種類	ウイルス発生量 $E$ [quanta/h]
休憩、口での呼吸	3.1
重労働、口での呼吸	21
軽作業、会話	42
軽作業、歌唱（又は大声での会話）	270

#### 4. 感染症対策のための自然換気ガイドライン

本章では、感染症対策としての自然換気はどうあるべきかについて、2007年にWHOが提案している自然換気ガイドライン<sup>8)</sup>から必要換気量の推奨値について紹介する。

##### 4.1 自然換気の推奨事項

1. 医療施設における空気感染を防止する手立てのためには、患者がいるすべてのエリアにおいて十分な換気量が供給されることが必要である。

【強い推奨事項】換気量が不十分な場合には、感染のリスクが上昇し、空気感染制御のためには換気が効果的であることについて、ある程度の証拠がある。

2. 自然換気については、以下の換気量（1時間平均値）が供給されなければならない。

- 空気感染警戒病室（airborne precaution rooms）では、160 L/s・患者（576m<sup>3</sup>/h・患者）（1時間平均値）（最小換気量は80 L/s・患者）（この値は新築の医療関連施設や大規模改修工事の場合であることに注意されたい。）
- 一般の病室と外来部門では60 L/s・患者（216m<sup>3</sup>/h・患者）
- 常に決まった数の患者がいない廊下や他の通路空間においては2.5 L/s・患者（9m<sup>3</sup>/h・患者）とする；ただし、緊急事態やその他の状況下で廊下で患者のケアが行われる場合には、空気感染警戒病室や一般病室と同じ必要換気量が適用される。

なお、換気計画では、換気量の変動を考慮しなければならない。

また、自然換気だけでは推奨必要換気量が満足されない場合には、ハイブリッド自然換気（併用モード）のような代替換気システムを考慮しなければならない。なお、それでも十分な換気量が得られない場合には、機械換気システムを用いなければならない。

**【状況に応じた推奨事項】** 自然換気の利用は気候条件の良い条件に限られる。

3. 医療施設の自然換気の計画を行う場合には、全体的な気流の流れは、感染病原体の存在するエリアから、十分な希釈が期待されるエリア、できれば外気に向けて流出するように計画されるべきである。

**【状況に応じた推奨事項】** 室内の気流の方向が空気感染の拡大に関係しているとのいくつかの証拠はあるが、そのような拡大は非常に低い換気回数（4回/h以下）の場合で生じている。もし、隣室空間の換気量が十分に大きければ、感染リスクは極めて小さくなるであろう（例えば、オープンスペースなどの場合）。しかしながら、空気感染警戒病室に隣接する閉鎖空間の場合には、感染拡大の危険性を低くするために必要となる正確な換気量はわからないのが現状である。自然換気の利用は気候条件の良い条件に限られる。

4. 病原体伝染の恐れのあるエアロゾル発生（筆者註：感染患者の咳、くしゃみ、会話など）がある空間に対しては、最低限推奨2に従った自然換気による必要換気量が必要である。感染病原体が空気伝染する場合は、推奨2と推奨3が守られなければならない。

**【状況に応じた推奨事項】** エアロゾル発生が感染リスク増加に関係しているという間接的な証拠がある。しかし、エアロゾル発生過程のための必要換気量については、今後の検討が必要である。

また、WHOのガイドラインでは、換気と感染リスクとの関係については、今後の検討が必要ではあるが、CDCから機械換気では換気回数12回/h以上という推奨がなされていることを参考にしたと記述されており、同時に、自然換気の変動すること、流れの方向を制御することが難しいことなどを考慮して、現状の機械換気での推奨換気量よりも大きくすべきと述べている。機械換気での換気回数12回/hを4×2×3m<sup>3</sup>(=24m<sup>3</sup>)の部屋に適用すると、80 L/sになるがWHOのガイドラインでは、2倍の160 L/sを要求しており、これは自然換気の時変動性によると説明されている。

#### 4. 2 感染リスク評価と必要換気量

ここで、病室での換気回数12回/hがどのような理由で決められたかを紹介する。WHO<sup>8)</sup>によれば、換気回数12回/hの場合、室内の完全混合を仮定すると、10分間で1/7に希釈することができること、及び、Wells-Riley式を用いて6×6.7×2.7mの大きさの室を仮定した場合に、ウイルス発生量と換気量及び感染確率との関係を試算した場合（図4参照）、換気回数が12回/h以上になると明らかに感染確率が低下することから、換気回数12回/hが決められたと述べている。図4から明らかのように、たしかに換気回数12回/hと6回/hの間の差異は大きく、換気回数が12回/h以上になると、quanta発生率に対する感染リスクの上昇がゆるやかになっていることがわかる。なお、quantaとは、確率的に63.2%の人を感染させるウイルス（或いは細菌）の単位のことを言う。つまり、図4自体は新型コロナウイルス(SARS-coV-2)を対象としたものではないが、

新型コロナウイルスに対しても適用することができる。

ここで、注意が必要なことは、(2)式の通り、Wells-Riley 式では、感染確率は換気回数ではなく、換気量に反比例する形となっている。これは、室内の時間的な平均濃度で表されるからであり、ここでは定常濃度が想定されていると言える。つまり、換気回数が一人歩きしてはならず、想定されている室の室容積  $108.54\text{m}^3$  を乗じて、換気量  $1300\text{m}^3/\text{h}$  と考えるのが正しい。

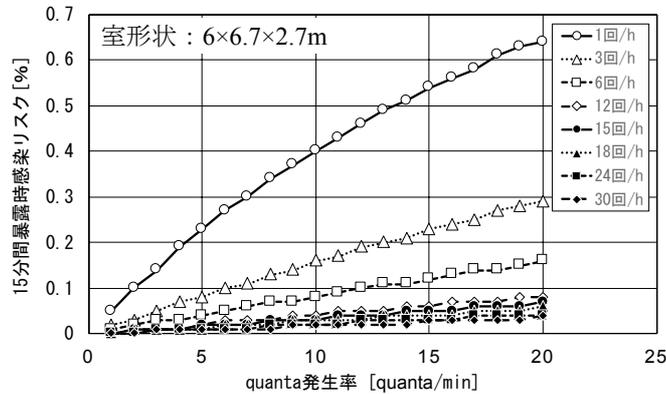


図4 quanta 発生率と 15 分間暴露時における感染リスク (文献 8) から作成)

換気回数が一人歩きする危険性は、換気量を確保せず、少ない換気量でも室容積を小さくすれば換気回数が大きくなることから、室容積を小さくすることにより換気回数 12 回/h を確保する設計の間違いから容易に理解できよう。ところで、換気量が  $1300\text{m}^3/\text{h}$  であったとしても、容積が変わる場合には、WHO<sup>10)</sup>の言うところの希釈速度としての換気回数、つまり 10 分間で 1/7 に希釈、という条件は満たされない。しかしながら、この希釈速度に基づく考え方は、理論的感染確率評価に基づくものではないことから、筆者は換気量を基にした必要換気の基準としては、4. 1 で述べた換気回数を基準にした換気量  $160\text{L/s}$  ( $576\text{m}^3/\text{h}$ ) ではなく、換気量  $1300\text{m}^3/\text{h}$  が望ましいものではないかと考えている。

## 5. 気流制御による感染予防対策案

本章では、高効率換気による感染予防手法の例として、置換換気を導入した 4 床病室と、オフィスへの導入を想定したブース型置換換気の例を紹介する。

### 5. 1 4 床病室での置換換気<sup>9)</sup>

本節では、図 5 に示す実大 4 床病室において、咳マシンを用いた咳飛沫発生に対する室内各点における濃度応答を測定した例について紹介する。咳発生には、図 6 に示す田辺・尾方らの咳マシン<sup>10)</sup>を用いた。

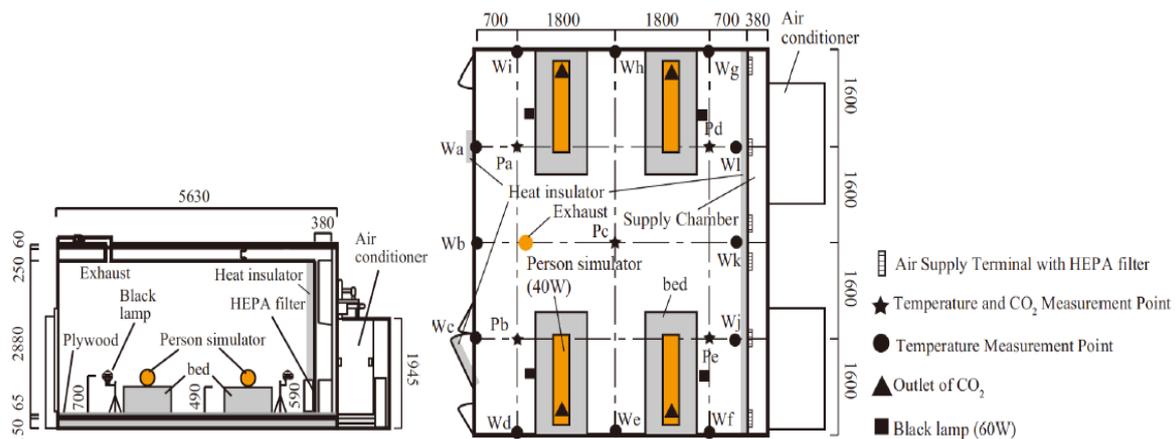


図5 実寸大 4 床病室の断面図・平面図と温度・CO<sub>2</sub> 濃度測定点<sup>9)</sup>

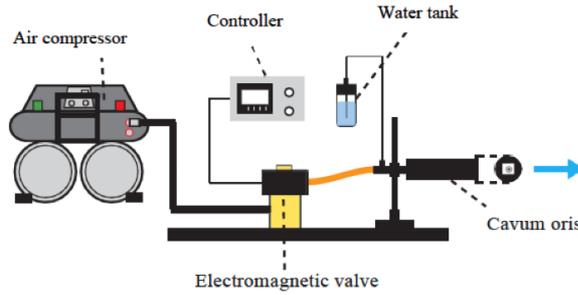


図6 田辺・尾方<sup>9)</sup>ら開発の咳マシンの概要<sup>9), 10)</sup>

実験の詳細については、参考文献<sup>9)</sup>を参照されたいが、HEPA フィルターにより清浄化された置換換気室内に、4体の模擬人体を設置し、4条件の咳発生条件(図7参照)を設定して、模擬唾液(生理食塩水相当)を用いた模擬咳を発生させ、室内各点における飛沫核濃度の時間応答を測定した。給気量は  $394 \text{ m}^3/\text{h}$  であり、給気の粉塵濃度は  $500,000 \text{ [particles/m}^3 \text{] (diameter} \geq 0.3\mu\text{m)}$  とした。咳回数は3秒間隔の3回とした。

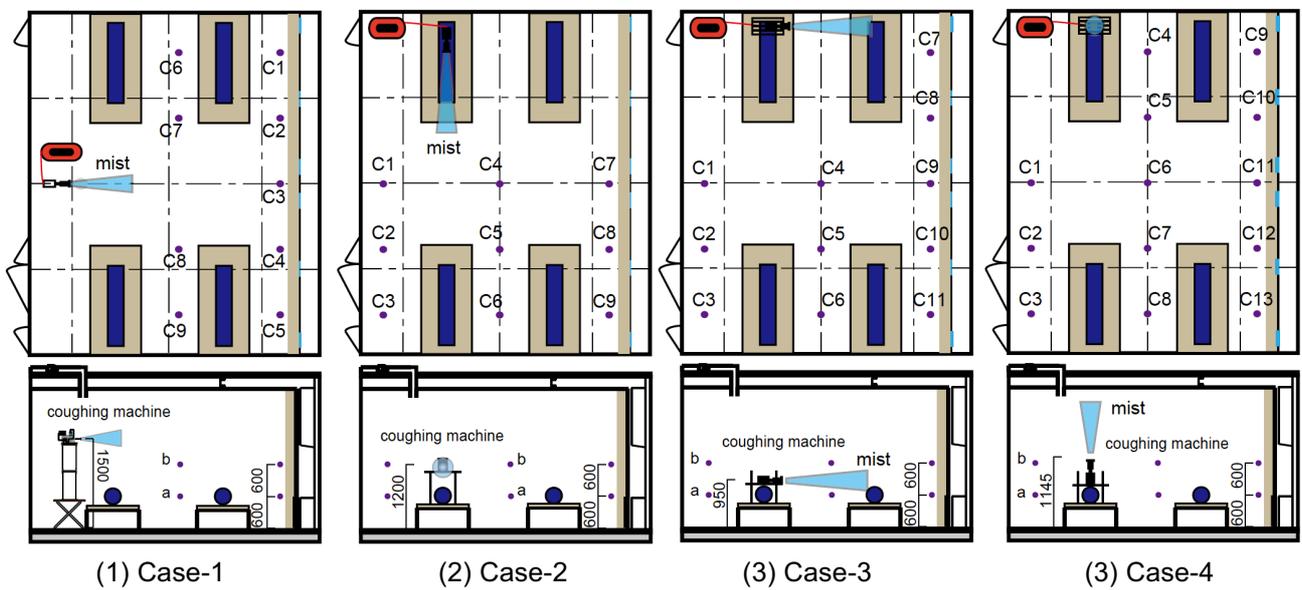


図7 咳発生条件

図8は立位人体から水平に咳が発生した場合に、室内ある点における飛沫核の濃度応答の測定例である。Case-1の条件での結果であるが、粒径によって濃度変化が異なることがわかる。このような濃度応答を知ることによって、ウイルスの暴露量を計算することができる。

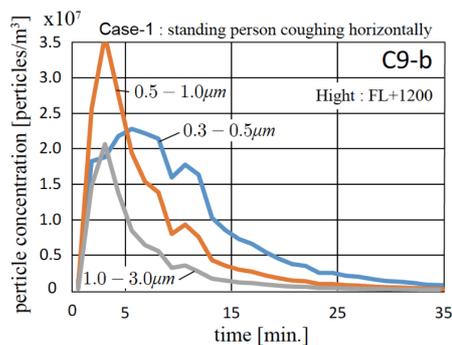


図8 室内のある点(FL+1200)における粒径別濃度応答測定例<sup>9)</sup>

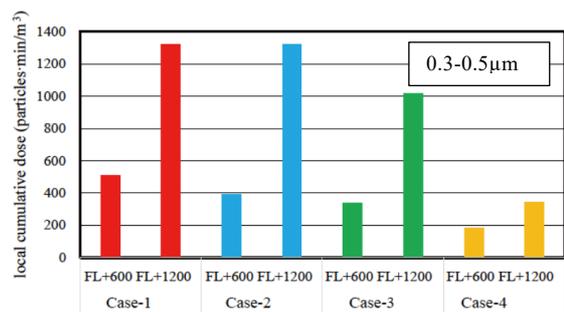


図9 Case・高さ別暴露量LCDの比較<sup>9)</sup>

図9は各条件における室内各高さでの飛沫核の暴露量（濃度の時間積分，LCD：Local Cumulative Dose）の比較を示したものである。ここでのCaseは、立位横向き（Case-1）、座位横向き（Case-2）、側臥位横向き（Case-3）、座位上向き（Case-4）を意味している。ここではウイルスの減衰（寿命）は考慮されていないものの、上下に濃度分布が見られており、床上1200mmと比較して、床上600mmの方が模擬飛沫核の暴露量（LCD）が小さくなっていること、Caseの比較においては、Case-4、即ち座位で上向きに咳をする場合が最も周辺への感染リスクの拡散を防ぐことがわかる。このように、病室に置換換気を導入することで、病床の患者のウイルス吸込量を低減することができることがわかる。ただし、本実験では飛沫核の発生量が特定できていないことから、その特定が必要であり、それができれば、呼吸量とウイルス寿命を考慮することで、感染リスクの評価を行うことができる。今後は、実際の使用状況を想定し、カーテンがある場合の濃度応答に関して検討も必要と言える。

## 5. 2 ブース型置換換気を導入した事務室<sup>11)</sup>

図10に、ブース型置換換気を事務室に導入した例での実大実験室を示す。図11は、ブースのパーティションの高さが異なる場合に、各ブースでの飛沫核の体積濃度の時間積分値（LCD）を比較した例であるが、パーティションを1.5mの高さにすることによって、咳発生時の飛沫核濃度の拡散を抑えることができることがわかる。このように、ブース型置換換気を利用する高効率換気・空調システムは、今後新型コロナウイルス感染防止対策のために非常に有効である可能性を持つものと言える。



図10 ブース型置換換気実大模型室概要

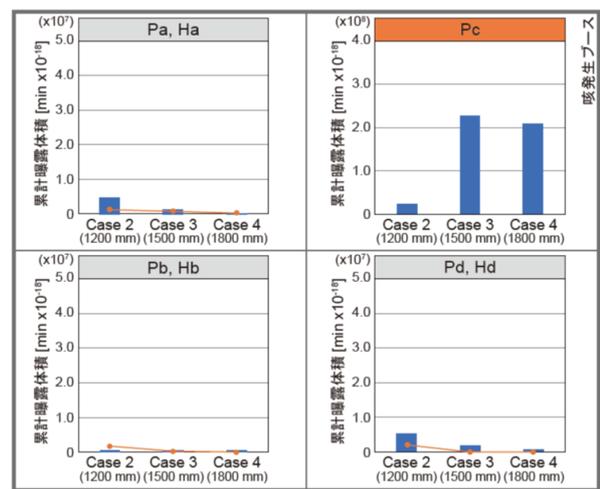


図11 各ブース・ケースでの模擬飛沫核累積暴露体積

## 6. おわりに

本稿では、空調・換気設備による感染防止効果と空調・換気設備による感染防止効果の評価方法について、紹介するとともに、感染症対策のための自然換気ガイドラインを紹介した上で、気流制御による感染予防対策案を示した。ワクチン摂取が進みつつあるとは言え、まだまだ感染症との戦いは続くと考えられ、未知のウイルスや、インフルエンザなどの従来のウイルスに対応するためにも、高効率換気による換気方法の研究は進めるべきことと言える。本稿が、今後の換気・空調システムの新しい発展につながることを願う。

#### <本稿に関する既発表文献等>

- ① 山中俊夫：自然換気と感染リスク評価，空気調和衛生工学，第95巻，第6号，pp.11-17，2021年6月
- ② 山中俊夫：新型コロナウイルス感染防止対策と空調・換気設備，ターボ機械，第49巻，第7号，2021年07月号（掲載予定）

#### <参考文献>

- 1) WHO : Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations, scientific brief 29 March (2020-3)
- 2) WHO : Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions, scientific brief, 9 July (2020-3)
- 3) 公益社団法人空気調和・衛生工学会，新型コロナウイルス感染対策としての空調・衛生設備の運用について，<http://www.shasej.org/oshirase/2103/covid19-4.pdf>, (2021-4)
- 4) Yuguo Li, Hua Qian, Jian Hang, Xuguang Chen, Pan Cheng, Hong Ling, Shengqi Wang, Peng Liang, Jiansen Li, Shenglan Xiao, Jianjian Wei, Li Liu, Benjamin J. Cowling and Min Kang : Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant, Building and Environment, Volume 196, 2021.6, 107788
- 5) Jianyun Lu, Jieni Gu, Kuibiao Li, Conghui Xu, Wenzhe Su, Zhisheng Lai, Deqian Zhou, Chao Yu, Bin Xu and Zhicong Yang : COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, Emerg Infect Dis., 26(7), pp.1628-1631, 2020, <https://dx.doi.org/10.3201/eid2607.200764>
- 6) REHVA : Displacement Ventilation, REHVA Guidebook 23, p.1, REHVA, 2017
- 7) REHVA : COVID-19 GUIDANCE Version 4.0 "How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces", REHVA, November 17, 2020.11
- 8) WHO Publication/Guidelines : Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings, World Health Organization, 2009
- 9) Toshio Yamanaka, Toshinari Taketani and Taisei Ihama : BEHAVIOR OF DROPLETS AND DROPLET NUCLEI FROM COUGHING SIMULATOR IN SICKROOM WITH DISPLACEMENT VENTILATION, ROOMVENT 2021, 2021.2.
- 10) 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, 第83巻, 743号, pp.57-64, 2018年
- 11) 鹿野奈々, 山中俊夫, 崔 ナレ, 小林知広, 田邊陽一 : 置換換気原理に基づく感染症対策ブース型パーソナル空調に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021年9月（掲載予定）