

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

2021年4月1日

公益社団法人 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

執筆担当：倉渕 隆（東京理科大学）

柳 宇（工学院大学）

尾方壮行（東京都立大学）

大塚雅之（関東学院大学）

鍵 直樹（東京工業大学）

山本佳嗣（東京工芸大学）

林 基哉（北海道大学）

田辺新一（早稲田大学）

本改訂にあたって

新型コロナウイルス感染症で想定される飛沫感染、接触感染、空気感染の中で、主要な感染経路はいまだ明らかとなっていないが、集団感染の発生リスクとして、換気の悪い密閉空間が挙げられており、空気感染のリスク低減のために空調・衛生設備の適切な運用による介入の効果に関心が高まっている。本研究ではこれまでに明らかとなっている新型コロナウイルスの特性やクラスター発生事例報告の概要を示した上で、保健医療機関から提示されているガイダンス、欧米の建築設備関連学会の推奨基準などを踏まえて、感染リスクの低減に有効となる建築設備の運用、建物用途別の留意点について述べる。

はじめに

2020年3月9日に厚生労働省の新型コロナウイルス感染症対策専門会議¹⁾が示した集団感染リスクの高い3つの「密」の一つである換気の悪い密閉空間という条件は、新型コロナウイルスにおける空気感染の可能性を世界に先駆けて指摘したものであった。この問題に関し、これまで公益社団法人 空気調和・衛生工学会、一般社団法人 日本建築学会では2020年3月23日に緊急会長談話「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して」²⁾を公表し、今回のウイルスの感染の特徴を述べるとともに、換気の方法に関する概要説明を行った。また、2020年3月30日には、「換気」に関するQ&A「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して」³⁾を公表し、換気全般に関する一般向けの解説を行った。

一方、厚生労働省は2020年3月30日に、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⁴⁾と、その内容をパンフレットにまとめた「商業施設等の管理権限者のみなさまへ「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法」⁵⁾を公表した。この中で、具体的な換気対策として機械換気による場合は、建築物衛生法におけるCO₂の室内濃度基準1000ppmを満たしている条件、つまり一人当たり30m³/hの換気量が確保されていること、窓開放による場合は換気回数を毎時2回以上（30分に1回以上、数分間程度窓を全開にする）が実施されていれば、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。建築物衛生法に規定する特定建築物に該当しない飲食店等においても必要換気量が確保できていることを確認することを推奨し、換気量が足りない場合には、在室人数を減らすことで必要換気量を確保することが可能であると述べている。

WHOは当初3月29日の段階では、今回のウイルスの主要な感染経路は、飛沫感染と接触感染であるとし⁶⁾、空気感染は特殊な医療行為の条件でのみ発生するとしていた。この場合の対策として、対人離隔距離を1~2m以上確保すること、マスクを着用すること、小まめな手洗いの励行、居住者が触れる物品や室内表面の消毒、などが有効である。一方その後、閉鎖空間で発生した集団感染事例の中には、浙江省のバス⁷⁾、広州のレストラン^{8,9)}、ソウルのコールセンターの事例¹⁰⁾など、空気感染を想定しなければ説明できないものも数多く報告されている。このため、WHOは7月9日にこれまでの方針を転換し¹¹⁾、新型コロナウイルスの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、飛沫感染とあい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は否定できないとするとともに、日本の「3つの密を避けましょう」を訳出した“Avoid the 3Cs”を新型コロナ感染対策として推奨している¹²⁾。

これまでに得られている知見から、感染者が発したウイルスを含むエアロゾル粒子は、気中を浮遊した状態で3時間以上活性を保つ可能性があること、換気回数が大きい患者の隔離室の気中では活性のあるウイルスが容易に観測されないことから、厚生労働省の推奨する換気を確実に実施することは前提に、さらに可能であればできるだけ換気量を多く保つことが、感染リスクの低減につながることは、ほぼ確実と考えられる。

通常、建築設備は居住者の快適性や知的生産性、省エネルギー性能などの最適化を目標として運用されているが、今回の新型コロナウイルス感染症対策として一定期間、これらの目標を緩和し、感染リスクの低減に向けた運用の調整を行うことが考えられる。また、換気設備以外にも感染リスクに関連があるとみられる建築設備の運用上の課題がある。

なお、REHVA (The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations)¹³⁾やASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)でも同様の推奨方針¹⁴⁾を示しているが、還気に対する取り扱いのスタンスが異なっている。REHVAは、換気システムのダクト経路でエアロゾルが輸送されて感染を引き起こした事例はないことを認めているが、ALARP原則 (As Low As Reasonably Practicable: 合理的に実行可能な範囲で最も低リスク)に基づいて還気(空調空間から空調機に戻って再循環する空気)を停止することを推奨している。一方、ASHRAEは、還気を用いるHVACシステムに有効なエアフィルタを用いることは、感染リスクの低減につながるとの立場をとっている。

本論文は、筆者らを取りまとめ、2020年の9月7日に空気調和・衛生工学会ホームページより公開した「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(改訂二版)」¹⁵⁾をベースに、その後の知見を加えて再編集したものである。

本提言の内容

- ・新型コロナウイルスの感染経路と感染力に関する最近の知見
- ・還気による感染リスクについて
- ・飛沫のサイズ、エアフィルタの捕集性能と保守管理
- ・窓開け換気の実施
- ・室内空気環境の見える化
- ・フェイスマスクの効用

- ・トイレでは便器の蓋は閉じて洗浄，換気の励行
- ・空調温湿度の調整
- ・空気清浄機の効果的な利用
- ・GUV
- ・設備再開時の留意点
- ・手指衛生と手洗い器の周辺設備
- ・建物用途ごとに推奨される建築設備の運用方法
- ・空気感染する疾病の感染リスク低減策の原則
- ・事務所等（中央式空調システム）
- ・事務所等（個別空調システム）
- ・住宅
- ・学校
- ・映画館・劇場
- ・居酒屋・カラオケ

新型コロナウイルスの感染経路と感染力に関する最近の知見

2020年の1月末から2月にかけて、シンガポールの新型コロナウイルス・アウトブレイクセンターに収容されている3名の患者の隔離室を対象としたウイルス活性に関する調査が行われた¹⁶⁾。隔離室の換気回数は12回/h、室の殺菌クリーニングは毎日実施されており、1人の隔離室のサンプルはクリーニング前に、2人のサンプルはクリーニング後に採取され、表面サンプルと空気サンプルが収集された。サンプル中に新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）が存在するかについて、逆転写ポリメラーゼ連鎖反応（RT-PCR; reverse transcriptase-polymerase chain reaction）により検査された。前者の患者の症状には上気道病変はあるが発熱、下痢はなく、後者の患者は中程度の症状でせきと発熱があった。

クリーニング前の患者の隔離室から採取した表面サンプルの多くには、トイレで採取したサンプルを含めてSARS-CoV-2が検出され、患者の便からもウイルスが検出された。空気サンプルからウイルスは検出されなかったが、排気口表面からとったサンプルからは検出された。クリーニング作業後の隔離室におけるサンプルからはウイルスは検出されなかった。この調査結果により、新型コロナウイルスの感染者が居住する室内表面は広範に汚染されるが、適切な消毒クリーニングによって汚染は除去されること、ウイルスを含むエアロゾル粒子は排気口まで移動するが、十分な換気を行うとその気中のウイルス濃度は効果的に希釈されること、また、感染者の排便が感染経路となる可能性のあることが分かる。

また、NIHの研究チームはSARSウイルス（SARS-CoV-1）と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¹⁷⁾。その結果、新型コロナウイルスを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表面では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。全般的にSARSウイルスと新型コロナウイルスは時間経過に伴う活性の維持に関して類似した性質のあることが明らかとなった。この調査より、新型コロナウイルスの感染経路としてウイルスを含むエアロゾル粒子による感染と接触感染の可能性が示唆された。なお、SARSウイルスに関しては空気感染のエビ

デンスが報告されている¹⁸⁾。

Chin ら¹⁹⁾は、諸環境における SARS-CoV-2 の安定性に関する測定を行い、次に示す結果が得られた。感染価を示す log TCID₅₀/mL (TCID₅₀ : Tissue Culture Infectious Dose 50, 50%の組織培養細胞感染量) が 6.8 の SARS-CoV-2 を含むウイルス培養液 (virus transport medium) をそのまま 14 日後まで維持し、1,5,10,30 分後、1,3,6,12 時間後、1,2,4,7,14 日後の時点での感染価を測定した。温度について、4℃では高い安定性を示し、感染価は 14 日後までほとんど変化しなかった。22℃では 7 日後まで、37℃では 24 時間後まで感染力を維持していたが、56℃では 30 分後、70℃では 5 分後には感染性のあるウイルスは検出されなくなった。また、諸表面について、紙とティッシュペーパーの表面では 30 分後まで感染力を持つウイルスが検出されたが、3 時間後には検出されなくなった。木材の表面と布の表面では 3 サンプルのうち 1 サンプルにのみ、1 日後まで感染力を持つウイルスが検出されたが、2 日目には全てのサンプルからのウイルスが検出されなかった。一方で、紙幣表面では 2 日後まで (4 日後には不検出)、ステンレス表面とプラスチック表面では 4 日後まで (7 日後には不検出)、感染性のあるウイルスが検出された。サージカルマスクについて、内側では 4 日後まで (log TCID₅₀ は 0 分が 5.88, 4 日後は 2.47, 7 日後には不検出)、外側では 7 日後まで (log TCID₅₀ は 0 分が 5.78, 7 日後は 2.79)、感染価は当初の 1000 分の 1 程度低下しながら、感染力を持つウイルスが存在していた。

次に建築設備対策を考える上で参考となる集団感染事例について見ていきたい。まず、アメリカで発生した声楽隊の練習によって生じたクラスターを紹介する²⁰⁾。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人の合計53人の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、そもそも歌う行為そのものが多量の飛沫発生を招き、これが感染拡大の原因となった可能性がある。ライブハウスやカラオケにおけるリスクに通じる事象である。

韓国ソウルのコールセンターで3月に起こったクラスターは事務所ビルの感染防止対策を考える上で重要である¹⁰⁾。事務所・住居兼用ビルの11階コールセンターにおいて勤務者216名中94名の大規模クラスターが発生した。原因の調査結果によれば、一人当たりの専有面積が3m²/人と小さいこと、机が共用でパーティションが低いこと、職員が家族的で昼食を会議室などで談笑しながら取っていたこと、勤務管理に指紋認証を用いていたこと、パッケージユニット型空調機+全熱交換器の組み合わせであったものの、全熱交換器は停止していたなど、感染防止対策が不十分であったことが原因と考えられる。

次に、浙江省の礼拝イベントで発生したクラスター⁷⁾は、1月19日に寺院を往復する67人のバスの乗客の間で起こり、往復100分の間に一人の感染者によって23人の二次感染者が確認された。バスの空調は再循環モードで運転され、開放可能な窓が四か所あったが、二次感染者の分布は一次感染者との距離にはあまり関係なく、バスのほぼ最前列から最後列まで広がっていた。

事例紹介の最後に広州のレストランで発生したクラスターを取り上げたい。1月24日に武漢から帰って広州入りした家族がレストランで食事をしたところ、うち一人がその日の夜に発症した。家族が食事したテーブルと隣接する2つの合計3テーブルの客の中から9人の二次感染者が出た。最初の感染者と二次感染者の同席時間は最短で46分間であり、店内カメラの記録から、接触感染の可能性は低いとされた。この事象を最初に取り上げた報告⁸⁾では、感染の原因は3テーブルの上部に取り付けられたファンコイルユニットからの暖房気流がテーブル間に循環気流を形成、その気流に感染者からの飛沫が乗って、通常の飛沫の飛散距離よりも遠距離運ばれたことが原因と推察した。

次の報告⁹⁾では、当時の状況を現地で再現した上で換気量の計測と室内気流のシミュレーション解析が実施された。その結果、クラスター発生当時、店内の換気扇はすべて停止状態にあり、入り口付近のトイレのみ換気扇が運転されていたことから、店内の換気回数は0.56~0.77回/h、89名の客が同席していたが換気量は2.7~3.7m³/h・人と極端に少なかったことを明らかにした。その結果、クラスター発生の原因をファンコイルによって形成された循環気流と過小な換気量によるウイルスの希釈能力の低さによるものと結論付けた。この事例は、無換気状態でエアコンのみを運転すること、あるいは換気を連続的ではなく間欠的に行うことによるリスクを示唆する結果として重要である。

次に、感染経路として古くから指摘されている、感染性のあるウイルスや微生物を含む汚物を洗浄した場合に、トイレ空間や排水管内に発生するトイレプルームのウイルスを含むエアロゾル粒子による感染リスクについて考える²⁴⁾。図1に示すように、香港のアモイガーデンにおけるSARSのアウトブレイクは、感染者の便洗浄によって生じた感染性エアロゾル粒子が、トラップが破封した室の排気換気に伴って排水管を逆流して室内から室外に拡散し、気流に乗って別の住宅に侵入したことによると考えられている²²⁻²⁵⁾。今回の新型コロナウイルスについても、中国の広州の高層集合住宅において、ウイルスが排水立て管及び通気立て管を介して浴室で封水が蒸発してしまっていたトラップから侵入し、感染した事例が報告されている²⁶⁾。日本の場合、トラップに関しては適切な排水トラップの深さ（封水深）の確保

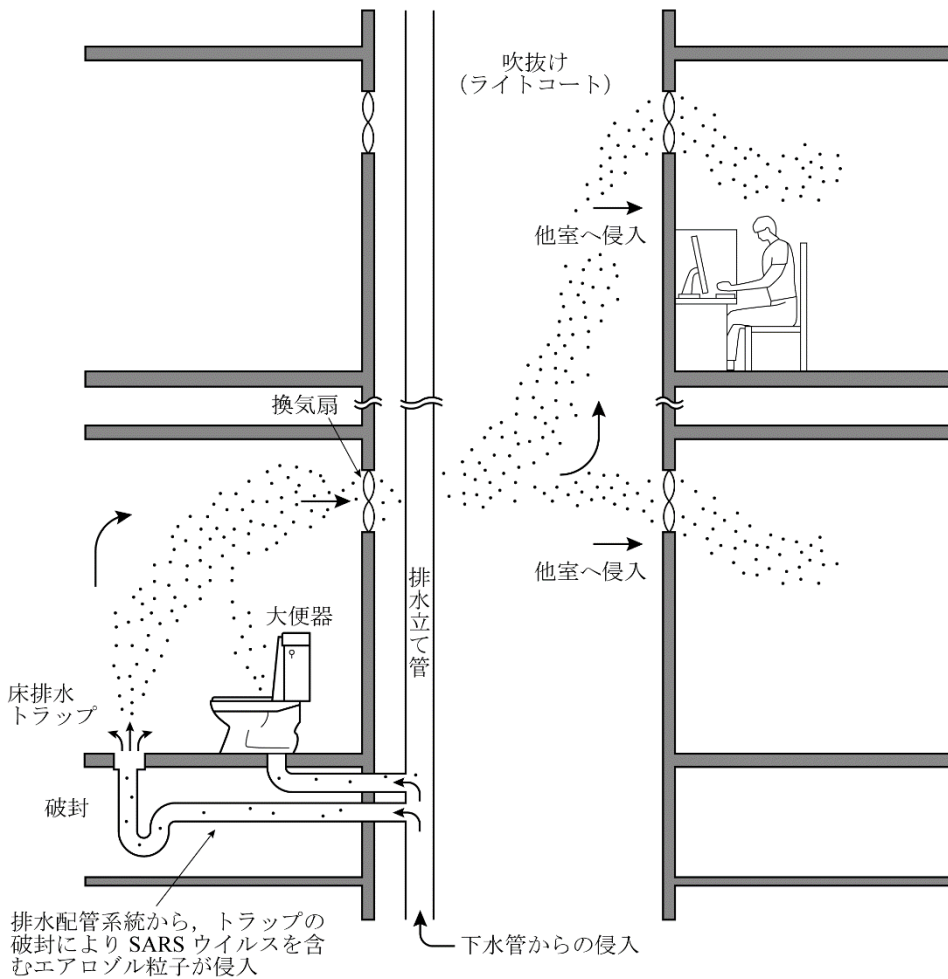


図1 アモイガーデンにおける感染ルート²⁴⁾

(原図に一部修正を加えた)

と通気対策がなされているので、破封によって排水管が感染性エアロゾル粒子の拡散経路となるリスクは低いと考えられる。しかし、新型コロナウイルス感染者の便・尿^{27,28)}中にも活性のあるウイルスが検出されていることから、便・尿を経由した感染を示す証拠は今のところないが、感染者が排便・排尿を行い洗浄する際にウイルスを含むエアロゾル粒子が発生し、トイレ室内を汚染すること、室内を漏れ出て感染を引き起こす可能性があると考えられる。

特に REHVA の報告¹⁹⁾では、排水管に接続され感染経路になる可能性のあるトイレの床トラップ（Uトラップ）を注視しており、その封水は少なくとも3週間以内ごとに確認し補充することとしている。また、建物内排水を収集し、処理する下水道処理施設においても感染者の増えた期間には、排水中からウイルスが検出されたことも国内外で報告されており、下水道に直結する排水管からのウイルスの侵入を防止する上でもトラップ封水保持には注意を払う必要があると考える^{29,30)}。

還気による感染リスクについて

還気を循環する中央式空調システムにおける感染リスクについて、集団感染が起きた客船ダイヤモンド・プリンセス号の事例について見ていきたい。ダイヤモンド・プリンセス号の客室区画は通常運用時には一般の中央式空調システムと同様、外気30%、還気70%の循環空調システムとなっていることから³¹⁾、循環空調の還気が客室間の感染拡大に寄与したのではないかと指摘する報道がある³²⁾。これまでに、この問題に注目した3つの報告がある。

Almilaji ら³³⁾は、検疫開始後の隔離期間中における感染確定者がいた客室と感染者のいない客室における症候性感染率を比較し、統計的有意差がみられなかったことから、空調システムを介した空気感染があると主張している。この論文では、検疫隔離後も客室間の空気循環を続けていたことを前提として議論しているが、実際には検疫が開始された2月5日には循環用ファンの停止、それにつながる防火・防煙ダンパーの閉鎖、居室、廊下間のドアルーバーの閉鎖が行われ、循環空調システムの運転は停止されているため、実態に即していない³⁴⁾。また、空気感染以外の感染経路や隔離期間前の曝露による影響は考慮されていない。

また、Azimi ら³⁵⁾は、ダイヤモンド・プリンセス号の感染拡大における感染経路ごとの相対的な寄与率を数値解析によって推定した結果を報告している。結果として、近距離接触時および長距離での SARS-CoV-2 を含むエアロゾル粒子の伝播が、9~12回/hの換気回数および再循環空気がない船内を仮定した場合でも、COVID-19 伝播の最も支配的な感染経路である可能性が高いと報告し、結論として飛沫・接触感染対策に加えて、小さなエアロゾル粒子の吸入を防ぐ対策が必要であると述べている。しかしながら、論文中では全体の感染者数に関する実際の報告数と推定値の比較や感染経路別の予測寄与率しか述べられておらず、同室内で感染したのか異なる部屋の間で感染が起こったのかが明確に示されていないため、室間の空気の循環や移流によって感染したと推定しているのかは定かではない。Azimi らは、この研究のモデル化アプローチの限界として、第一に利用可能な情報が不足しているために COVID-19 の伝播特性や船上での個々人の交流、換気の状態、検疫期間中の感染対策の有効性等について多くの推定値や仮定が用いられており、大きな不確実性があること、第二に繰り返し計算時に多くの入力値に一定値や平均値を仮定しており、例えばすべての乗客の他の乗客との近距離接触の割合や飛沫・飛沫核の放出量が同じ仮定となっていること等を挙げている。

一方、先述した広州レストランの事例を調査・解析した Yuguo Li らによるプレプリント³⁶⁾が公表され

ている。Liらは症例に関する情報に基づき感染動態と感染経路を分析し、船内での感染のほとんどは検査が開始される前の通常のサービスが行われていた期間である2月5日までとなり、2月6日以降の乗客の感染は感染者と同室の乗客に限られること、隔離期間中に異なる客室の乗客間で部屋をまたいだ感染がみられなかったことから、船内の中央式空調システムを介した感染、つまり長距離の空気感染経路によって感染拡大は起きておらず、大部分の感染は隔離以前の密接な接触により発生したものと推定している。また、検査前に感染者との濃厚接触がなかった乗客の感染率の高さと検査開始後の乗務員への感染率の高さから、接触感染経路が疑われると指摘している。

これらの報告では、検査期間中の循環空調の状況を適切に反映し、ダイヤモンド・プリンセス号での感染拡大に循環空調が与えた影響を明らかにするための解析および考察は行われていないと考えられる。前述の通り検査期間中は循環空調が停止され、居室は陽圧に制御されていたため、居室間では空気の再循環はなく、空調システムを原因とした感染拡大が起きたとは考えられない。循環空調によって感染拡大が引き起こされたかを明らかにするためには、検査隔離を開始する2月5日以前に感染が成立したと考えられるケースについて、飛沫感染や接触感染の可能性も含めて検討する必要がある。このように、ダイヤモンド・プリンセス号の事例は、還気が感染リスクを拡大させることのエビデンスとはなっていないと考えられる。

ASHRAEのEpidemic Task Forceの議長を務めるBill Bahnflethは、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、空調を介して空間から空間に(space-to-space)感染が拡大したことを示す報告はなく、むしろ空調システムは換気とろ過を提供し、感染リスクの低下要因になっていると主張している³⁷⁾。WHOも空気感染の可能性は認めつつも、主要な感染経路は人から人へ(person-to-person)広がるとしており¹⁾、感染対策として換気が不十分であったと指摘される多くの二次感染者を生ずる感染拡大事例は、「3つの密」が重なる空間の他、限られた空間内で会話や激しい呼吸が行われる際に発生することが確認されている³⁸⁾。

還気中に含まれた感染性を有するウイルスが発生した部屋から別の部屋へと拡散される可能性はあるが、適切な換気やエアフィルタの設置が行われていれば、その濃度は十分に低く保たれるため、通常のアクリン空間では、空調システムを介して室間の感染拡大が生じるリスクは極めて低いと考えられる。

飛沫のサイズ、エアフィルタの捕集性能と保守管理

これまでの研究報告によれば、ヒトの呼吸器系由来の活性飛沫の粒径は殆ど $<5\text{-}10\mu\text{m}$ であることが分かっている³⁹⁾。ウイルスについては、Liuら⁴⁰⁾は、集団感染が起きた中国武漢市内の病院におけるSARS-CoV-2の粒径特性に関する調査を行い、SARS-CoV-2はサブミクロン領域($0.25\sim 1.0\mu\text{m}$)と $1\mu\text{m}$ 以上の領域($2.5\mu\text{m}\sim$)にピークがあることを報告している。感染経路について、飛沫感染か空気感染かを議論するとき、工学と医学の見方が異なっている面がある。工学では、エアロゾルの気中での拡散範囲とウイルスの活性を見て判断している。微粒子であるSARS-CoV-2は気中で長時間浮遊し、また気流によって遠方まで拡散する。さらに、空調システムを介して一部(除去しきれない部分)が室内に再侵入することは十分にあり得る。一方、医学ではその拡散した後の飛沫や飛沫核からなるエアロゾルの感染力を重視している。すなわち、拡散したウイルスを含むエアロゾルが直ちに感染につながるかは別の問題である。感染するか否かは量-影響(反応)関係によって決まる。現在SARS-CoV-2の量-影響(反応)関係はまだわかっていない。感染性SARS-CoV-2については、Santarpiaらが $<1\mu\text{m}$, $1\sim 4\mu\text{m}$, $>4.1\mu\text{m}$ の

3段階粒径計測器を用いた測定の結果、患者から発生した SARS-CoV-2 を検出し、対象 6 室のうち 5 室は $<1\mu\text{m}$ にピーク、1 室は $>4.1\mu\text{m}$ にピークがあることを報告している。なお、この研究において活性を評価するには TCID₅₀ を用いている⁴¹⁾。Noti ら⁴²⁾は模擬病室におけるインフルエンザウイルスの測定を行った結果、 $<1\mu\text{m}$ 、 $1\sim 4\mu\text{m}$ 、 $>4\mu\text{m}$ のウイルスの構成比はそれぞれ 19.5%、75.5%、5%であった。

次に、エアフィルタは重力沈降、慣性衝突、さえぎり、拡散、静電気のみカニズムのどれか、または複数の捕集機構によりフィルタろ材近傍の浮遊粒子を捕集する。粒径によって捕集機構が異なり、粒径が大きければ慣性衝突、小さければ拡散による捕集率が高くなるが、 $0.2\mu\text{m}$ 前後の粒子に対する捕集率は最も低い。表 1 に ASHRAE 基準に基づく粒径別浮遊粒子に対するエアフィルタの捕集率を示す。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おり、比色法 (NBS 法、JIS9908:2001) 60%、75%、90%、95%の中性能エアフィルタはそれぞれ表中に網掛けで示す MERV11, 12, 13, 14 (MERV: Minimum efficiency reporting values, 粒径別最小捕集率報告値) に相当する⁴³⁾。

ここで、ASHRAE が推奨する MERV13 の粒径別捕集率 ($0.3\sim 1.0\mu\text{m}$: 50%、 $1.0\sim 3.0\mu\text{m}$: 85%、 $3.0\sim 10\mu\text{m}$: 90%) と、前述した Noti らのインフルエンザウイルスの粒径別の構成比から求めたインフルエンザウイルスに対する MERV13 のシングルパスの捕集率は 78%である。一般のオフィスビルでは循環換気を含めた換気回数は 6 回/h (外気 2 回/h、還気 4 回/h) であるため、計算上 10 分間で 1 回換気となる。すなわち、10 分ごとに室内から発生する粒径別構成比同様な感染性ウイルスの 78%が除去されることが推測される。また、還気を含めた換気回数 6 回/h は、清浄空気の換気回数 5.1 回/h ($2+4\times 78\%$) に相当する。なお、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 $0.3\mu\text{m}$ 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。

エアフィルタの保守管理について、全外気運転の場合通常通りでよいが、還気を取り入れる場合、フィルタに捕集された粒子による風量の低下、堆積粒子が再飛散しないように、フィルタの差圧をこまめにチェックし、必要に応じて通常より早く交換することが望ましい。また、フィルタの捕集性能を確保するために、リークを減らすことが重要である。

フィルタの捕集原理の一つとして、静電気があるが、この効果を強めたものに静電エアフィルタがある。粒子またはエアフィルタろ材の繊維、あるいは双方を帯電させると、粒子と繊維との間に静電気力が働き、大幅な捕集効率の上昇が得られる。繊維内部で半永久的に分極して帯電状態が安定なフィルタにエレクトレットフィルタがあり、エレクトレットフィルタは微小粒子に対して極めて高い捕集効率が期待できる⁴⁴⁾。しかし、たばこ煙などのミスト状の粒子がフィルタに堆積していくと静電気力が徐々に失われ、効率が減少する傾向がある。HEPA フィルタ、捕集効率は高いが、圧力損失が大きく、建築物空調機およびポータブル空気清浄機に使用することが困難である。そこで、静電フィルタを使用することで、圧力損失を低くしつつ、微小粒子の捕集効率をあげることが可能となる。日本のメーカーより販売されているポータブル空気清浄機には、静電 HEPA フィルタが利用されている。静電の効果を付加することにより、HEPA フィルタと同等の初期の性能を確保しているもので、JEM 1467⁴⁵⁾により性能を確保しているものと予想される。

窓開け換気の実施

学校の教室や戸建住宅に加えて、最近の建物では BCP 対策や省エネルギー性能を高めるために、自然換気利用を考慮して高層建物でも窓が開けられたり、自然換気用の開口部が開放できる場合がある。ド

表 1 粒径別最小捕集率報告値 (MERVs) と比色法捕集率

MERV	0.3-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-10 μm	比色法
1	n/a	n/a	E3<20	-
2	n/a	n/a	E3<20	-
3	n/a	n/a	E3<20	-
4	n/a	n/a	E3<20	-
5	n/a	n/a	20 \leq E3	-
6	n/a	n/a	35 \leq E3	-
7	n/a	n/a	50 \leq E3	40
8	n/a	20 \leq E ₂	70 \leq E3	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.

ラフトや温熱快適性の面で支障が出ない範囲で、機械換気に追加してこれらを開放するとよい。特に通風といえる数十回/h の換回数確保されると数分で室内空気清浄度は外気並み（室容積の 3 倍の外気を取り入れたとすると、室内空気の 95%が入れ替わる）となるので、定期的を実施するとよい。大きな換気量の確保のためには開口部に作用する風圧力差を確保することが重要となるため、建物の異なる面の開口部を開放すること、開口部と開口部の間にドア等がある場合、その部分が通気抵抗にならないように、外気開口面と同程度の開口面積を確保する必要がある。

風圧力の確保が難しい場合、開口部に扇風機などを設置して室内空気を強制的に排気して換気することが考えられる。床面積が 60m² 程度の室内で開口面から 40cm 程度室内側に扇風機を設置して室内空気を排気した場合、無風の条件で開口部が一箇所の条件では 500m³/h、二箇所の場合（一箇所のみ扇風機設置）は 800m³/h 程度の換気量が確保できる⁴⁶⁾。

室内空気環境の見える化

室内の換気の様子は温湿度のように体感で把握することは困難であるので、室内 CO₂ 濃度を計測して換気量の充足度を見える化することが望ましい。これは建築物衛生法の基準である CO₂ 濃度 1000ppm が充足しているかを直接確認することになり、定常状態で基準を満たしていれば換気量が在室者一人当たり 30m³/h 以上確保されていることになる。CO₂ モニターは幅広い価格帯の装置が通販などで入手できるが、1000ppm 付近の測定精度について全く信頼できないものもあるので、装置の仕様などで性能を確認し、NDIR 方式で 1000ppm 程度が精度良く測定できる機器を選択することがよい。なお、CO₂ モニターは空気清浄機やエアフィルタによる感染リスク低減効果の評価はできないことに注意する必要がある。

フェイスマスクの効用

He ら⁴⁷⁾は感染者－被感染者のデータ分析結果から発症間隔（一次感染者の発症から二次感染者の発症までの間隔）と潜伏期間を、それぞれ平均して 5.8 日、5.2 日と推定し、感染性のあるウイルス放出のピークは概ね発症日またはその直前とした。一次感染者が二次感染者に感染させる割合の 44%が発症前であったことを考慮すると、発症後の隔離対策では不十分であり、症状の有無にかかわらず全員がマスクを着用するユニバーサル・マスキングの重要性を指摘している。フェイスマスクの着用による感染防御効果の検証のために、実際に SARS-CoV-2 ウイルスを用いた事例としては Ueki らによる研究⁴⁸⁾が挙げられる。マスクを吸い込む側に着け、吐き出す側にマスクがない場合、綿のマスクはマスクなしと比べてウイルスの吸引量が 20～40%、サージカルマスクでは 50%程度低減したが、N95 マスクを正しく着けると 80～90%の削減を示した。次に吐き出す側にマスクを着け、吸い込む側にマスクがない場合、綿とサージカルマスクでは感染性エアロゾルの 50%以上がブロックされ、N95 では著しい保護効果を示した。吐き出す側と吸い込む側両方にマスクを着用すると吸引ウイルスの削減に相乗効果が得られた。一方、マスクを着けると顔が見えない、息苦しいなどから代替としてマウスシールドやフェイスシールドが用いられる場合がある。Lindsley ら⁴⁹⁾はマスクとネックゲイター、フェイスシールドが飛沫の放出量にどの程度影響するか検討した。結果は、N95 の捕集率が 99%、サージカルマスク、綿マスク、ネックゲイターの捕集率が 50～60%となるのに対し、フェイスシールドはわずかに 2%となった。従って、フェイスシールドはウイルス放出量の削減効果はなく、相手からの飛沫を遮る効果が期待できるものの、マスクの代替とはならない。従って、公共の場における通常のマスクを用いたユニバーサル・マスキングが感染リスクの低減のために推奨される。

トイレでは便器の蓋は閉じて洗浄、換気の励行

感染者がトイレで排便し、水を流して汚物を洗浄すると活性のあるウイルスを含むエアロゾル粒子が発生する可能性がある。既往研究報告では、便器の洗浄方式や器具排水特性については明確に把握されていないが、供試便器の洗浄時にエアロゾルが実測値で便座面から 25cm まで、CFD 解析により便器の設置された床面から 106.5cm まで飛ぶとの報告もある^{50,51)}。これをなるべく減らすためには、洗浄時は便器の蓋を閉めて行うことが推奨される。その一方で、蓋を閉めたままでの繰り返しの排水にについては、蓋の裏面に飛沫が付着することが指摘されており、定期的な清掃の実施や殺菌装置（GUV 等）を付帯することがなどの対策を講ずる必要がある⁵²⁾。Alvin Ck ら⁵³⁾は細菌を対象に殺菌効果の高い紫外線 LED（UVC-LED）装置を大便器の便座に装着させ、大腸菌、サルモネラ菌、表皮ブドウ球菌などの殺菌効果を検討しており、今後はウイルスの殺菌・除菌装置を有する大便器の開発も期待とされる。

トイレの水封が万全であることを定期的に確かめる（トラップが破封している場合は排水管からの異臭がする）。また、感染を引き起こす可能性があるエアロゾル粒子が漏れ出て別空間を汚染しないように、トイレの排気ファンは常時運転を徹底する。トイレに窓がある場合、その窓が風上側になるとエアロゾル粒子を含むトイレ内空気が室内に漏れ出る可能性があるため、窓は開けないことを徹底する。

空調温湿度の調整

室内温湿度、とくに湿度による COVID-19 の感染拡大または収束の影響は、SARS-CoV-2 の活性と気中での伝搬距離としてあげられる。SARS-CoV-2 の活性については、実験レベルで温度（24～35℃）、相

対湿度（20～80%）が高ければ物体表面の SARS-CoV-2 の活性が下がることが報告されている⁵⁴⁾。エアロゾル状態でのウイルスの気中での活性については、これまで異なる結果が報告されている。日光を遮断した環境における 20℃の室内での SARS-CoV-2 の不活性化率が、相対湿度が 70%のときに有意に高くなることが報告されている一方⁵⁵⁾、人工唾液を使用したエアロゾルでは、細胞培養（TCM :Tissue culture media）を用いた結果、相対湿度 40-60%の不活性化率が 68-88%の時より高いとしている⁵⁶⁾。

室内温湿度はSARS-CoV-2の伝搬距離に大きな影響を及ぼす。気中では、高温低湿環境に比べ、低温高湿環境中の飛沫飛散距離は3倍以上長いことが報告されている。また、高温低湿環境中の飛沫が速く乾燥し、多くのエアロゾルが形成される。それがエアロゾルクラウド（aerosol particle cloud）となり、遠くまで飛散しかつ長時間にわたって気中を浮遊する⁵⁷⁾。また、60%に比べ、40%の環境における SARS-CoV-2の伝播距離が長い⁵⁸⁾。

また、低温及び低湿の環境は、ヒトの呼吸気管の感染症に対する防御機構に悪影響を与えることも広く知られており^{59,60)}、一般に呼吸器系の疾病の予防には、相対湿度を 40～60%の範囲に制御することが望ましいとする報告がある¹⁴⁾。従って、温湿度の制御について、建築物衛生法の管理基準値を満たすことを原則とする。特に、相対湿度の管理基準値は 40～70%であるが、可能であれば 40～60%の範囲に制御するのがよい。

空気清浄機の効果的な利用

浮遊粒子を対象とする空気清浄機はフィルタろ過式と電気集じん式（イオン化部を通った空気中の粒子を荷電させ、その後方にある電気集じん部により粒子を捕集するもので、主に業務用）に大別される。なお、近年では、イオンを放出するなどのタイプもあるが、空中浮遊している活性ウイルスの減少効果において、既存のフィルタろ過技術に遠く及ばなかったとの報告があり⁶¹⁾、ここでは、フィルタろ過式空気清浄機について述べる。消費者庁は 2020 年 3 月 10 日「新型コロナウイルスに対する予防効果を標ぼうする商品の表示に関する改善要請等及び一般消費者への注意喚起」⁶²⁾においてマイナスイオン発生器、イオン空気清浄機に対して、当該表示を行っている事業者等に対し、緊急的に改善要請等を行っている。

フィルタ式空気清浄機のろ過原理は前述したエアフィルタと同じであるが、空調機に備えられているエアフィルタの場合、わずかなリークがあるがほとんど全ての給気がエアフィルタを通過して室内に供給される。これに対して、空気清浄機は室内の空気を循環させながら空気中の浮遊粒子をろ過するしくみとなっている。従って、フィルタろ過式空気清浄機の浄化性能はフィルタの捕集率 η のみならず、その風量 q にも関係する。フィルタろ過式空気清浄機の空気浄化性能はその能力を外気量換算した相当換気量 $q\eta$ で決まる。

空気清浄機のフィルタの捕集率について、厚生労働省や REHVA などは HEPA フィルタが必要であるとしている^{13,63)}。フィルタの捕集率と風量が重要なファクターになるので、対象空間の容積を勘案して空気清浄機の風量や台数を選定する必要がある。厚生労働省では、“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”としている。リークがない場合、感染性エアロゾルの捕集率がほぼ 100%になるため、相当換気回数は室容積を 25m³とすれば 12 回/h となる。この値は REHVA の推奨値¹³⁾の 2 倍以上になる。先に述べたように、日本において生産されている空気清浄機には静電 HEPA と呼ばれるエレクトレットフィルタが使用されていることが多い。初期性能は HEPA フィルタと同等で

あることが確認できていれば有効である。なお、空気清浄機は補助設備として有効であるが、換気量が確保できる場合は換気によるウイルス濃度低減効果の方が大きい。

GUV (Germicidal Ultraviolet)

生物の DNA (デオキシリボ核酸) の吸収スペクトルは 254nm (UVC 波長領域: 100~280nm) 近辺に存在しており、細菌、真菌、ウイルスに紫外線 (UVC) を照射すると、DNA の損傷が起き複製ができなくなる。UVC による殺菌作用はこの原理を利用している。なお、インフルエンザ A 型ウイルスや SARS-CoV-2 のような 1 本鎖 RNA (リボ核酸) ウイルスの場合も、紫外線に曝露されるとその塩基配列が壊れ、複製機能が喪失する⁶⁴⁾。実際に紫外線の殺菌効果は紫外線の強度 I (mW/cm²) と照射時間 t (s) の積 (線量) によって決まる。紫外線殺菌によるウイルスの生存率を下記の式に示す。SARS-CoV-1 を含むコロナウイルスの k 値は 1.106cm²/mW·s (0.1106 m²/J)、D₉₀ (90%殺菌線量) は 2.1mW·s/cm² (21 J/m²) であることが報告されている⁶⁵⁾。たとえば、0.1mw/cm² の強度であれば、21 秒照射で 90% のウイルスが不活化になることが予測される。この時間条件での UVC による表面のコロナウイルスの殺菌は容易であることが分かる。一方、空調機内に組み込んだ場合、空気が 1 回通過する時間が短いため、空中のウイルスに対しては UVC による殺菌は時間がかかる。なお、SARS-CoV-2 ウイルスの k 値については、現時点ではコンセンサスの得られた値は得られていない。

$$S_t = e^{-kIt}$$

S_t : 生存率 (-)

k : 殺菌係数 (cm²/mW·s)

I : 紫外線強度 (mW/cm²)

t : 照射時間 (s)

GUV の有効性から、WHO⁶⁶⁾、CDC⁶⁷⁾、REHVA¹³⁾、ASHRAE¹⁴⁾ が推奨している。また、WELL BUILDING STANDARD について、2020 年 4 月に改訂され、COVI-19 関連で空気の微生物対策の項目に紫外線殺菌が追加されている⁶⁸⁾。UV ランプの設置場所によって、アップルーム方式とインダクト方式に分類されている。前者は部屋の上部、後者は空調システム内 (空調機内またはダクト内) に UV ランプを設置することを指している。UVC はヒトの健康に影響 (白内障、皮膚がん) を及ぼすため、その紫外線を直接にヒトに当てないことが重要である。

設備運転再開時の留意点

SARS-CoV-2 が蔓延している間、長期間に渡り多くの建物の設備システムが運転停止状態にある。それらに付帯する空調設備 (冷却塔、蓄熱槽等)、給湯設備 (貯湯槽、給湯管等) で、一部に水の停滞がある場合、レジオネラ属菌が増殖しており、運転が再開されるとレジオネラ症の発症に繋がる危険性があることが指摘されている¹³⁾。設備の再開時には、各国・各機関が策定したレジオネラ症防止指針等を参考に対処する必要がある⁶⁹⁾。

手指衛生と手洗い器の周辺設備

接触感染の防止対策の一つが日常の手指の手洗いである。厚生労働省「新型コロナウイルスに関するQ&A」の中で、手指に付着したウイルス量は、流水で15秒間手洗いすると1/100、石鹼で10秒間もみ洗い後、流水で15秒間手洗いすると1/10,000に低減することが記載されている⁷⁰⁾。また、手洗いがすぐにできない状況ではアルコール消毒（濃度70～95%のエタノール）が有効であることも追記している。最近、同省が公表した「新しい生活様式」の実践例では、手洗いは30秒程度かけて水と石鹼で丁寧に洗うこと（手指消毒薬の使用も可）としている⁷¹⁾。諸外国ではISHRAE COVID-19ガイドラインにおいて石鹼を使用し、少なくとも20秒の手洗いをすることを推奨している⁷²⁾。これらガイドラインでは、推奨する洗浄時間のみが記述されているが、わが国では衛生確保のミニマム水量の検討を行った研究において、普通水栓による手洗い行為では使用流量が約4.6～5.0L/minで20～30秒程度の洗浄（使用水量1.5L/回程度と試算）によって、細菌を対象とするが92～98%の除菌効果があることが確認されている⁷³⁾。今後は、接触感染防止の観点から水栓のハンドルに触れることとなる吐水できる非接触式の自動水栓を採用することが有効である。

また、手洗い後に手を乾燥させるジェット乾燥機（ハンドドライヤー）の使用の是非が問われており、使用禁止としている建物が多い^{74,75)}。ハンドドライヤーには、高速風式（吹き飛ばし効果）と温風式（蒸発効果）があるが、国立感染症研究所新型インフルエンザ対策計画(案)では、トイレでは手拭き用のペーパータオルを常備し、温風ジェット乾燥機（温風式）は利用を禁止としている⁷⁶⁾。特に高速風式の使用において懸念される点は、設置室内の汚染された空気を手に吹き付けること、使用時に手洗いが不十分であった際に手に付着した水滴、細菌やウイルスが周囲に飛散すること、使用時に手挿入部に付着した水滴、菌も周囲に飛散することの3つである。

ハンドドライヤーの飛沫の拡散及び除菌効果に関する既往研究では、使用時の水滴と菌の飛沫拡散量と除菌効果を、高速風式、温風式、ペーパータオルの使用で比較しているものが多い。諸外国の事例では、手乾燥後の周辺の空気中に飛散する菌数は、高速風式（70.7cfu）は温風式（15.7cfu）に比べ4.5倍、ペーパータオル（2.6cfu）に比べ7倍と高い数値となることが報告されており、飛沫の少ないペーパータオルを使用することが優位とされている^{77,78)}。国内では高速風式に関する類似の報告があるが、諸外国の研究結果と比較をする際の前提として、性能試験における初期に手（または手袋）に付着していた菌数が諸外国の報告では多く、初期条件が異なることを指摘している⁷⁹⁾。同報告では、実使用に近い条件下での試験評価結果からは前述の懸念される3点への影響は少ないことを述べており、詳細な実験結果も報告されている^{80,81)}。しかし、実使用にあたってはハンドドライヤーの手挿入部、ドレンタンク、排水路、フィルタ等の清掃と消毒の頻度が日または1週以上に1回を目安と記述されており⁷⁹⁾、トイレの利用者は毎日多く、使用頻度も高いので、各部位の衛生性を確保することは難しく、使用を禁止するべきと考える。今後は、GUV装置を付加することや飛沫の拡散を抑制する対策について検討する必要もある。

建物用途ごとに推奨される建築設備の運用方法

空気感染する疾病の感染リスク低減策の原則

新型コロナウイルスのような空気感染の疑われる呼吸器系疾病において感染リスクを評価するのにWells-Rileyモデル⁸²⁾がしばしば用いられる。Wells-Rileyモデルは感染のquantumの概念に基づいて

おり、感染性のエアロゾル粒子の発生率を用いて、定常状態の十分混合された室内環境で感染性エアロゾルに暴露された個人が感染する確率をモデル化したものであり、下式で表される。

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{Iqpt}{Q}\right)$$

P : 感染確率 (-)

I : 一次感染者数 (-)

q : quantum 生成率 (1/h)

p : 呼吸量 (m^3/h)

t : 暴露時間 (h)

Q : 換気量 (m^3/h)

現状での日本での感染者の割合はよく分かっていないが、千人に一人いるかどうかの程度であるとすると、多くの場合感染者と室内で居合わせることはなく、まれに一人の感染者と居合わせた場合に、いかに二次感染のリスクを減らすかが課題となる。このためには、Wells-Riley モデルにおいて $I=1$ とおき、式の指数部分の絶対値をできるだけゼロに近づけるべきである。そのための原則は次のようになる。

q を減らす 感染性エアロゾルのソースコントロールが重要である。大声を出すとそのラウドネスに比例して飛沫の発生量が増えるとされている。まれに、けた違いに飛沫発生量が多いスーパーエミッターなる人物の存在が知られており⁸³⁾、先の声楽隊のクラスターにおける一次感染者がそうではなかったかと疑われている¹⁹⁾。また、Zhang⁸⁴⁾によれば N95 マスク、サージカルマスク、通常の布マスクの着用で、感染性エアロゾル発生量はそれぞれ 5%、25%、50%に減少するとしている。なお、新型コロナウイルスの標準的な quantum の値に関する知見は十分得られていないが、インフルエンザの 15~500 程度で、麻疹の 570~5600 よりは小さいだろうと言われている⁸⁵⁾。

p を減らす 呼吸率は代謝量で決まる。室内での運動は避け、興奮せずに静かに過ごすのがよい。

t を減らす 滞在時間をなるべく少なくする。リスクのある空間での長居は避ける。

Q を増やす ここでの Q には取り入れ外気量とエアフィルタや空気清浄機などでろ過した循環空気量の合計である。換気量が多ければ多いほど、感染のリスクは低くなる。

事務所等（中央式空調システム）

取り入れ外気量を増やす方向で調整することを原則とし、エアバランスに注意して外気給気ファンと排気ファンの VD（風量調整ダンパー：valuable damper）開度を上げ、風量がインバータ制御の場合は給気ファン、排気ファンの電流値、インバータで回転速度を上げる、外気量自動制御等を外して外気系統の CAV（Constant Air Volume）等を開固定とする。あるいは、プーリーを介してモータで駆動しているファンに対してはモータ側のプーリー径を大きいものに交換する。発生騒音に支障がない範囲で、運転モ

ードを特強運転にするなどして、換気量を増やす。外気系統のフィルタの更新が風量の増加につながる場合もある。

CO₂濃度制御がある建物の換気設備では、室内CO₂濃度設定値（一般に1000ppm程度）を引き下げると換気量は増加する（外気濃度以下にすると換気量は最大になる）。外気冷房がある場合は、外気冷房許可条件の上限値を上げ、下限値を下げ、外気冷房運転を優先的に行うように調整する。また、タイマーによる運転制御のある場合は在室時間以上に換気の運転時間を伸ばす方向で調整し、通常よりも数時間早く運転を開始し、停止時間も在室者が残っている場合を考慮して遅めにし、可能ならば24時間連続運転とする。

全熱交換器がある場合、静止形の場合は後述する個別空調の場合と同様の対応とするが、回転形の場合もパージセクターが設定され、圧力バランスが適切に調整されている（還気系圧力<給気系圧力）場合はウイルスの漏洩リスクは少ないと考えられる。従って、運転状況の確認・調整を適切に行うことを前提として有効換気量（給気量から漏洩量を差し引いた風量）が大きくなるモードでの運転を実施する。

なお、VAV（Variable Air Volume）による風量調整を行うと、風量に比例して外気量が減ってしまうことが考えられる。空調機へ接続される外気ダクトにVAVやMD（風量調整ダンパー）を設け、室内側の給気VAVの下限値であっても外気量を確保できる制御を導入している建物もあるが、そうでない場合、室内側の給気VAVの一般的な最小開度30%を大きく調整し外気量を確保する、もしくは最終的な手段として風量制御を行わない一定風量にするなどの方法が考えられる。

事務所等（個別空調システム）

外調機や全熱交換器の換気量がなるべく大きくなるよう調整する。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し、換気を行わない空調単独運転は避ける。また、室内機の循環風量を確保するために自動運転モードとせず、定風量で運転する。中央式空調システムの場合と同様、換気システムの運転時間を長く設定し、可能なら24時間運転とする。

静止形全熱交換器（熱交換型換気扇）の場合、熱交換素子を経由したウイルスの漏洩リスクは少なく、外気と排気の漏れによる漏洩も5%程度と小さいので、熱交換モードでの運転には問題ないが、処理風量を増やして有効換気量が大きくなる運転モードを取り扱い説明書などで確認して運転モードを設定する。

エアフィルタの性能が中央式に比べて劣る場合が多く、ろ過による換気量の実質的な増加が難しいので、心配な場合はフィルタ式のポータブル空気清浄機の利用や、室内機のエアフィルタの性能を中性能フィルタにグレードアップする（一般にオプション仕様として用意されている）などを考慮する。

また、空調運転時に室内ユニットから発生するドレンを共通のドレン用排水システムで処理する場合、排水管経由で室相互や合流後の排水系統との間で通気が生じ、汚染空気が拡散する可能性がある。これを抑制するには室内ユニットのドレン管に気流の逆流防止弁を設けることが有効である。

住宅

感染リスクと換気設備等による対策

家庭内感染を防ぐためには家庭外での感染を防ぎ、家庭内にウイルスを持ち込まないことが最も重要である。He⁴⁷⁾によれば、一次感染者が二次感染者に感染させる割合の半数弱が発症前であったように、COVID-19は発症する前から感染力がある。家庭内では無症状の時期に気づかぬうちに主に飛沫感

染によって同居者へと広がると考えられるため、症状が出てから対策しても感染を防ぐことは難しい。

家庭内での感染リスクが低い場合には、家庭外での感染対策や帰宅時の手指衛生を行えば、家庭内で特別な対策を行う必要はない。家庭外での感染の可能性のある家族や訪問者がいるなど感染リスクが生じる場合は、家庭内でも対策を強化することが望まれる。また、医療機関の病床の切迫などによって感染者や濃厚接触者がいる場合には、特別な対策が必要となる。

感染リスクが生じた場合の換気設備等による対策

感染リスクが低い場合においても、24時間換気設備がある場合は、常時運転する。24時間換気設備がない場合は、浴室やトイレの換気扇を常時運転する。フィルタのメンテナンスを行う。感染リスクが生じる場合には、換気設備の常時運転に加えて、窓開け換気、空気清浄機、厨房換気扇の利用などによって、換気量を増やすことが望まれる。窓開け換気については、室内環境が悪化しないように暖冷房設備を利用し、気象条件（風、雨、雪等）、外部環境（騒音、空気汚染等）を踏まえて、窓開け方法を工夫する必要である（図2）^{59,63)}。

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、より望ましい室内環境が必要である。

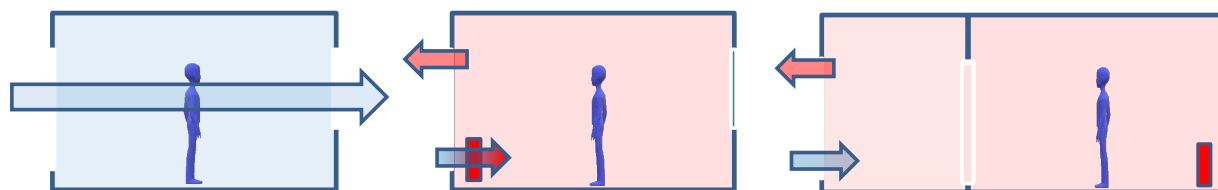


図2 窓開け方式と適用条件

感染者や濃厚接触者が待機する場合の換気設備等による対策

家庭内の感染者は、ホテルや病院に隔離することが原則である。しかし、検査の結果を待つまでの間や入院の手配が完了するまでの間など、自宅療養をせざるを得ない場合がある。日本建築学会では、ビニルカーテンを用いて感染者と家族との生活スペースの分離を行い、更にエアロゾル感染のリスクを低減するために感染者のゾーンを陰圧化する方法が紹介されている⁸⁶⁾。トイレの排気ファンを利用した陰圧化と住宅内のエアバランス上の注意点等について解説されているため参考にとすると良い。

学校

多人数が長時間在室する居室として学校の教室が重要である。ソーシャルディスタンスを取ったうえで十分な換気対策を行う必要がある。一般的にはこのために、通常教室の半分程度の定員とすることが望ましいが、これが困難な場合はマスク、フェイスシールド、パーティションなどの対策が必要となる。建築物衛生法の特定建築物でない場合、機械換気設備による換気量は十分ではない場合が多く、窓開け換気に頼らなければならない。教室の窓扉の合計開放面積と換気量の実測結果に基づき、片廊下教室、中廊下教室、教室定員別の窓扉開放面積の関係についての情報提供が日本建築学会より行われている⁸⁶⁾ので、参考にするとうい。但し、自然換気のみで換気の充足度を客観的に評価することは難しいため、CO₂モニターによる室内空気環境の見える化を行い、できれば建築物衛生法の1000ppm、少なくとも学校環境衛生基準の1500ppm以下となるよう、換気量の調整を行う。

映画館・劇場

一人当たりの専有面積は0.5～1m²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。

<参考文献>

- 1) 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議. 新型コロナウイルス感染症対策の見解, 2020年3月9日公表, <http://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000606000.pdf>
- 2) 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30日, http://www.shasej.org/recommendation/shase_COVID20200323.pdf
- 3) 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, 2020年3月30日, http://www.shasej.org/recommendation/shase_COVID_ventilizationQ&A.pdf
- 4) 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>
- 5) 厚生労働省. 一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4月3日, <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>
- 6) WHO. Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations, scientific brief 29 March 2020 https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331616/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.2-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 7) Shen Y et al. Airborne transmission of COVID-19: epidemiologic evidence from two outbreak investigations, *SSRN Electronic Journal* – Preprint, 18 May 2020, https://www.researchgate.net/publication/340418430_Airborne_transmission_of_COVID-19_epidemiologic_evidence_from_two_outbreak_investigations

- 8) Lu J, Gu J, Li K, Xu C, Su W, Lai Z, et al. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerg Infect Dis.* 2020; 26(7) :1628-1631. <https://dx.doi.org/10.3201/eid2607.200764>
- 9) Li Y et al. Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *medRxiv preprint* 2020.04.16.20067728; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728>
- 10) Park S, Kim Y, Yi S, Lee S, Na B, Kim C, et al. Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(8):1666-1670. <https://dx.doi.org/10.3201/eid2608.201274>
- 11) WHO. Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions, scientific brief,9 July 2020 <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1286634/retrieve>
- 12) WHO. Avoid the Three Cs, facebook 19 July 2020 <https://www.facebook.com/WHO/posts/3339935886051771>
- 13) RHEVA. REHVA COVID-19 guidance document, How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. August 3, 2020. https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V3_03082020.pdf
- 14) ASHRAE. ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols, April 14,2020 https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/pd_infectiousaerosols_2020.pdf
- 15) 公益社団法人空気調和・衛生工学会 新型コロナウイルス対策特別委員会 倉渕 隆, 柳 宇, 尾方壮行, 大塚雅之. 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 (改訂二版), 2020年9月7日, <http://www.shasej.org/recommendation/covid-19/2020.09.07%20covid19%20kaitei.pdf>,
- 16) Ong SWX, Tan YK, Chia PY, et al. Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient. *JAMA.* 2020;323(16):1610–1612. doi:10.1001/jama.2020.3227
- 17) van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1, *N Engl J Med.* 2020; 382:1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973
- 18) Ignatius TS et al. Evidence of Airborne Transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome Virus. *N Engl J Med.* 2004; 350:1731-1739. DOI: 10.1056/NEJMoa032867
- 19) Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen HL, Chan MCW, Peiris M, Poon LLM. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe.* 2020;1(1): e10. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
- 20) Hamner L, Dubbel P, Capron I, et al. High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice — Skagit County, Washington, March 2020. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2020; 69(19): 606–610. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6919e6>
- 21) Johnson DL, Mead KR, et al. Lifting the lid on toilet plume aerosol: A literature review with suggestions for future research, *Am J Infect Control.* 2013; 41(3): 254-258. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.04.330>
- 22) Regional Office for the Western Pacific, WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO Environmental Health Team Reports on Amoy Gardens. pp.1-3, May 16, 2003 (<https://www.info.gov.hk/gia/general/200305/16/0516114.htm>)
- 23) Yeoh EK. Severe Acute Respiratory Syndrome: Severe Acute Respiratory Syndrome: Response from Hong Kong, Hong Kong Special Administrative Region Government Hong Kong Special Administrative Region Government, June 17, 2003
- 24) 柳宇, 池田耕一, 吉澤晋. 中国における SARS 対策, 空気調和・衛生工学, 2004; 78(5): 51-59.
- 25) 大塚雅之. 初学者の建築講座 建築設備 (第四版), 市ヶ谷出版, 2020
- 26) Kang Min, et al. Probable Evidence of Fecal Aerosol Transmission of SARS-CoV-2 in a High-Rise Building, *Annals of Internal Medicine,* 2020.12, <https://doi.org/10.7326/M20-0928>
- 27) Sun J et al. Isolation of infectious SARS-CoV-2 from urine of a COVID-19 patient, *Emerging Microbes & Infections.* 2020; 9(1): 991-993. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1760144>

- 28) Wu Y et al. Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples, *Lancet Gastroenterology & Hepatology*. 2020; 5(5): 434-435.
[https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30083-2](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30083-2)
- 29) Ahmed W et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community, *Sci Total Environ*. 2020; 728: 138764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
- 30) NIID 国立感染症研究所. 環境水調査による新型コロナウイルスの下水からの検出, *IASR*. 2020; 41: 122-123.
<https://www.niid.go.jp/niid/ja/diseases/ka/corona-virus/2019-ncov/2488-idsc/iasr-news/9714-485p02.html> (最終閲覧日:2020/8/17)
- 31) Kosako M, Shiiyama K. Introduction of air-conditioning system design for a large cruise ship: Princess Cruises Mitsubishi Grand Series implementation example. *Journal of the Japan Society of Naval and Ocean Engineers*. 2008;17:24-26. https://doi.org/10.14856/kanrin.17.0_24
- 32) 朝日新聞, 循環空調 感染にリスク, 2020年7月27日
- 33) Almilaji O., Air Recirculation Role in the Spread of COVID-19 Onboard the Diamond Princess Cruise Ship during a Quarantine Period. *Aerosol Air Qual. Res.*
<https://doi.org/10.4209/aaqr.200495>
- 34) 日刊スポーツ電子版, クルーズ船から感染者搬送, バス運転手は全身防護服, 2020年2月11日
<https://www.nikkansports.com/general/nikkan/news/202002110001112.html>
- 35) Azimi P et al., Mechanistic transmission modeling of COVID-19 on the *Diamond Princess* cruise ship demonstrates the importance of aerosol transmission, *PNAS*. 2021;118(8):e2015482118.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2015482118>
- 36) Xu P, Li Y et al., Transmission routes of Covid-19 virus in the Diamond Princess Cruise ship, *medRxiv preprint* 2020.04.09.20059113; <https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20059113>
- 37) ASHRAE. Can HVAC Systems Spread COVID-19? 31 May, 2020
<https://www.achrnews.com/articles/143255-can-hvac-systems-spread-the-covid-19-virus>
- 38) Furuse Y, Sando E, Tsuchiya N, Miyahara R, Yasuda I, Ko YK, et al. Clusters of coronavirus disease in communities, Japan, January–April 2020. *Emerg Infect Dis*. 2020 Sep [cited 2020 Aug 18]. <https://doi.org/10.3201/eid2609.202272>
- 39) Ai ZT, Melikov AK. Airborne spread of expiratory droplet nuclei between the occupants of indoor environments: A review. *Indoor air*. 2018;28:500–524. DOI: 10.1111/ina.12465
- 40) Liu Y, Ning Z, Chen Y et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature*. 2020; 582: 557-660. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>
- 41) Santarpia JL, Herrera VL, Rivera DN, Ratnesar-Shumate Patrick Reid SS, Denton PW, Martens JWS, Fang Y, Conoan N, Callahan MV, Lawler JV, Brett-Major DM, Lowe JJ. The Infectious Nature of Patient-Generated SARS-CoV-2 Aerosol. *medRxiv preprint* doi:
<https://doi.org/10.1101/2020.07.13.20041632>
- 42) Noti JD, Lindsley WG, Blachere FM, Cao G, Kashon ML, Thewlis RE, McMillen CM, King WP, Szalajda JV, Beezhold DH. Detection of Infectious Influenza Virus in Cough Aerosols Generated in a Simulated Patient Examination Room. *Clin Infect Dis*. 2012; 54: 1569-1577. DOI: 10.1093/cid/cis237
- 43) 大垣豊. 各国の一般換気用エアフィルタの規格にける捕集率の比較に関する指針 (JACANo.53), 空気清浄. 2018;56(1):36-40
- 44) Emi Hitoshi. Fundamentals of Aerosol Filtration, *Eaorozoru Kenkyu*, Vol. 4, No. 4, pp. 246-255, 1989
- 45) 一般社団法人 日本電機工業会 JEM 1467 家庭用空気清浄機, 2015
- 46) 日本ネイリスト協会. 感染対策の実践ポイント, *Natiful*, Vol.143 p. 7., 2020.9.
<https://www.nail.or.jp/nailonline7/html5.html/4059>
- 47) He X. 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>
- 48) Ueki H 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>
- 49) Lindsley W. G. 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>
 - 50) Best EL, Sandoe JAT, Wilcox MH. Potential for aerosolization of *Clostridium difficile* after flushing toilets: the role of toilet lids in reducing environmental contamination risk, *Journal of Hospital Infection*. 2012;80(1):1-5, <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2011.08.010>
 - 51) Li YY, Wang JX, Chen X. Can a toilet promote virus transmission? From a fluid dynamics perspective, *Phys. Fluids*. 2020; 32: 06510, <https://doi.org/10.1063/5.0013318>
 - 52) Masayuki OTSUKA, Issue and Proposal for Plumbing System in Hospital Facilities, Unit for Design and Virus Infection for Toilet, *Journal of Healthcare Engineering Association of Japan*, 2020.10, Vol.62, No.4, 12-15
 - 53) Alvin CK Lai, et al, A New UVC LED System for Disinfection of Pathogens Generated by Toilet Flushing, A New UVC LED System for Disinfection of Pathogens Generated by Toilet Flushing, *Indoor Air*, 31, 2, 324-334, 2020.09
 - 54) Biryukov J, Boydston JA, Dunning RA, Yeager JJ, Wood S, Reese AL, Ferris A, Miller D, Weaver W, Zeitouni NE, Phillips A, Freeburger D, Hooper I, Ratnesar-Shumate S, Yolitz J, Krause M, Williams G, Dawson DG, Herzog A, Dabisch P, Wahl V, Hevey MC, Altamura LA. Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *American Society for Microbiology*. 2020; 5(4): e00441-20.
<https://msphere.asm.org/content/5/4/e00441-20>
 - 55) Dabisch P, Schuit M, Herzog A, Beck K, et al, 2020. The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols, *Aerosol Science and Technology*, <https://doi.org/doi:10.1080/02786826.2020.1829536>
 - 56) Smither SJ, Eastaugh LS, Findlay JS, Lever MS, 2020. Experimental aerosol survival of SARS-CoV-2 in artificial saliva and tissue culture media at medium and high humidity, *Emerging Microbes & Infections*, 9:1, 1415-1417. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1777906>
 - 57) Zhao L, Qi YH, Luzzatto-Fegiz P, Cui Y, and Zhu YY, 2020. *Nano Lett.* 2020, 20, 7744-7750. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03331>
 - 58) Rosti ME, Olivieri S, Cavaiola M, Seminara A, Mazzino A, 2020. Fluid dynamics of COVID-19 airborne infection suggests urgent data for a scientific design of social distancing. *Nature research, Scientific Reports*, (2020) 10:22426. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80078-7>
 - 59) 厚生労働省. 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について、
<https://www.mhlw.go.jp/content/000698866.pdf>
 - 60) Moriyama M, Hugentobler WJ, Iwasaki A, 2020. Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annual Review of Virology*, 7:83-101. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>
 - 61) 西村秀一. 高性能の空中浮遊インフルエンザウイルス不活化を謳う市販各種電気製品の性能評価, 感染症学雑誌, 2011; 85(5): 537-539
 - 62) 消費者庁. 新型コロナウイルスに対する予防効果を標ぼうする商品の表示に関する改善要請等及び一般消費者への注意喚起について(<https://www.caa.go.jp/notice/entry/019228/>)
 - 63) 厚生労働省. ~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, 2020年6月17日.
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000640917.pdf>
 - 64) Brickner PW, Vincent RL, First M, Nardell E, Murray M, Kaufman W. The Application of Ultraviolet Germicidal Irradiation to Control Transmission of Airborne Disease: Bioterrorism Countermeasure. *Public Health Reports*. 2003; 118(2): 99-114.
<https://www.researchgate.net/publication/10809688>
 - 65) Kowalski WJ, Bahnfleth WP, Hernandez MT. A Genomic Model for Predicting the Ultraviolet Susceptibility of Viruses. *IUVA News*. 2009; 11(2): 15-28.
<https://www.researchgate.net/publication/228896922>
 - 66) WHO Guideline. Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings. 2009. ISBN 978 92 4 154785 7
 - 67) CDC. Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. 2003, Updated:

July 2019

- 68) International WELL Building Institute pbc. STRATEGIES FROM THE WELL BUILDING STANDARD TO SUPPORT IN THE FIGHT AGAINST COVID-19. 2020
- 69) 公益財団法人日本建築衛生管理教育センター. レジオネラ症防止指針第4版, 2017.7
- 70) 厚生労働省ホームページ,新型コロナウイルスに関する Q&A,
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/dengue_fever_qa_00001.html#Q3-1
- 71) 厚生労働省. 「新しい生活様式」の実践例,
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000121431_newlifestyle.html
(最終閲覧日 2020年7月16日)
- 72) ISHRAE COVID-19 Guidance Document for Air Conditioning and Ventilation,
https://ishrae.in/mailler/ISHRAE_COVID-19_Guidelines.pdf
- 73) KIYA Fumitoshi, MATSUI Yoshiko, Bacteriological Study on the Effect of Washing Hands, *Transactions of the Society of Heating, Air-Conditioning and Engineering of Japan*, 1990; 42: 29-36
- 74) 厚生労働省, 職場における新型コロナウイルス感染予防, 健康管理の強化について, 2020年5月14日. <https://www.mhlw.go.jp/content/11302000/000630690.pdf>
- 75) 厚生労働省, 職場における新型コロナウイルス感染予防, 健康管理の強化について, 2020年8月7日. <https://www.mhlw.go.jp/content/11302000/000657471.pdf>
- 76) 国立感染症研究所. 国立感染症研究所新型インフルエンザ対策行動計画(PDF) ,Published 2013.9.19
<https://www.niid.go.jp/niid/ja/disclosure/3957-influenza-bcp.html>
- 77) Kimmitt PT, Redway KF. Evaluation of the potential for virus dispersal during hand drying : a comparison of three methods , *Journal of Applied Microbiology*. 2015; 120(2): 478-486.
- 78) Best EL, Parnell P, Wilcox MH. Microbiological comparison of hand-drying methods: the potential for contamination of the environment, user, and bystander. *Journal of Hospital Infection*, 2012; 88(4): 199-206. doi: 10.1016/j.jhin.2014.08.002.
- 79) 小林章樹. ハンドドライヤーの衛生性について, *環境と管理*, 2020; 166: 32-38.
- 80) Takeuchi Shiro et al, Behavior of the water from one's hand when using a hand-dryer, Technical Paper of Annual Meeting SHASE2007: 1331-1334.
- 81) Takuya Furuhashi et al; The behavior of airborne bacteria and aerosol when using a hand-dryer, *Technical Paper of Annual Meeting SHASE*, 2007: 1335-1338.
- 82) Riley EC, Murphy G, Riley RL. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *Am. J. Epidemiol.* 1978; 107: 421-432.
- 83) Asadi S et al. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep.* 2019; 9: 2348. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>
- 84) Zhang J. Integrating IAQ control strategies to reduce the risk of asymptomatic SARS CoV-2 infections in classrooms and open plan offices, *Science and Technology for the Built Environment*. 2020; 26(8): 1013-1018. <https://doi.org/10.1080/23744731.2020.1794499>
- 85) Stephens B. 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>
- 86) 日本建築学会 換気・通風による感染対策 WG. 住宅での自宅療養室の形成について 戸建て住宅での陰圧室試作と性能確認, 2020年5月27日.
<http://www.arch.t-kougei.ac.jp/yoyamamoto/wp/wp-content/uploads/2020/05/nr0529.pdf>
- 87) 飯野, 倉渕. 学校における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について, June 8, 2020,
http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/school_vent_instruction_1.pdf
- 88) 国土交通省住宅局建築指導課. 財団法人日本建築設備・昇降機センター編: 2005年版 換気・空調設備技術基準・同解説, 財団法人日本建築設備・昇降機センター, 2005