

コロナ禍における換気と冷暖房

東京都市大学名誉教授 坊垣和明

1. はじめに

新型コロナウイルスの流行で、われわれの暮らしや仕事は一変した。

3月末からの感染者数の急増を受けて4月7日に首都圏などに緊急事態宣言が発出された。その数日後に感染者数のピーク（約700名/日）を迎え、4月16日に宣言の対象区域は全国に拡大され、外出自粛、仕事は在宅等の状況が続いた。それから1か月余、全国の感染者数が50人未満の日が1週間余続き、5月25日に宣言は全面解除された。

しかしながら、残り火と言うほど弱々しくはない不気味な状況が続き、第二波、第三波の流行到来が懸念されている。世界が驚くほどの緩い対応で何とか「感染爆発」は抑えられた。しかし、予断は許されない。

そんな中、今、暑い夏を迎えようとしている。不幸にも、3か月予報では、今夏は全国的に暑い夏になるといふ。どう見ても冷房は必須、同時に換気も不可欠という、矛盾する対応が求められることになろう。この矛盾にどう対応していけばよいのか、まとめておきたいと思う。

2. 換気の必要性

新型コロナウイルスをはじめウイルスや細菌による感染経路は主に次の3つである¹⁾。

- ①接触感染 感染者（源）に直接接触して感染する
- ②飛沫感染 咳やくしゃみで飛び散ったしぶき（飛沫）を吸い込むことにより感染する
- ③空気感染 空気中を漂う微細な粒子（飛沫核）を吸い込むことにより感染する

感染症にはこの他に、汚れた水や食品、昆虫等による④媒介物感染があるが、新型コロナウイルスには該当しないであろう。

周知のとおり①接触感染は、手洗いでかなりの部分が回避できる。②飛沫感染は、距離をとることやマスクが有効である。日本で感染爆発が起きなかったのには、マスクの着用に抵抗がないことが効いているともいわれる。③空気感染については、空気中では希釈が比較的早く進むので、そのリスクは高くないといわれている。しかし、3密の一つである密閉空間を避ける意味で、換気が重要なことは多方面^{2) 3)}から発信されている。

咳やくしゃみで飛び散るしぶきの内、5 μ m程度より大きいもの（飛沫）は重いので短時間で沈積する。また、2m程度以上の距離（ソーシャルディスタンスといわれる）をとれば直接吸い込んだり皮膚に付着することは避けられる。しかし、それより小さいもの（飛沫核）は軽いので空気中を漂い、しかも長時間（数時間から数日）感染力を持続する。それらを吸い込むことによる感染が空気感染であり、それを回避するのが換気である。

飛沫核を含む浮遊粒子状物質のことを「エアロゾル」と呼んでいるが、これを速やかに希釈し排出するためには、空気の流れを考慮した効果的な換気が求められる。

3. 換気の方法と効果

換気は、その動力源によって「自然換気」と「機械換気」に分けられる。

(1) 自然換気

自然換気は風力や温度差などの自然力を動力源とした換気であり、コストはかからないが気まぐれな風などが相手なので安定した換気量を確保することが難しい。

換気は室内外の圧力差によって生じるが、自然換気の場合に圧力差を生むのが風力と温度差であり、風が強いほど、温度差が大きいほど換気量は増加する。そして、換気量は、風速に比例し、温度差および開口部の高低差の平方根に比例する。したがって、窓開けによる換気は、風が強い方が、また暖房で温度差がつきやすい冬の方が効果的である。部屋に一つしか窓がない場合、暖房時には窓の下から外気が入り、上の方から室空気が出ていく。したがって、空気の出入り口の高低差が大きくなる掃出し窓の方が腰窓より換気効果は高い。地窓と天窓のような組み合わせはさらに効果的である。

また、窓の開け方によっても換気効果は大きく異なる。図1⁴⁾に、その例を示した。

窓や扉は対向面にあって、その両方をできるだけ大きく開けるのが効果的である。また、夏より冬の方が換気回数が数倍大きいのは、夏は温度差の換気力が期待できないからである。事例1の夏の換気回数が数回となっているが、これは若干の風がある状況であり、カーテンが動かない無風状態ではこの数分の一に低下する。したがって、風の状況を見ながら窓の開け方を調節する必要がある。

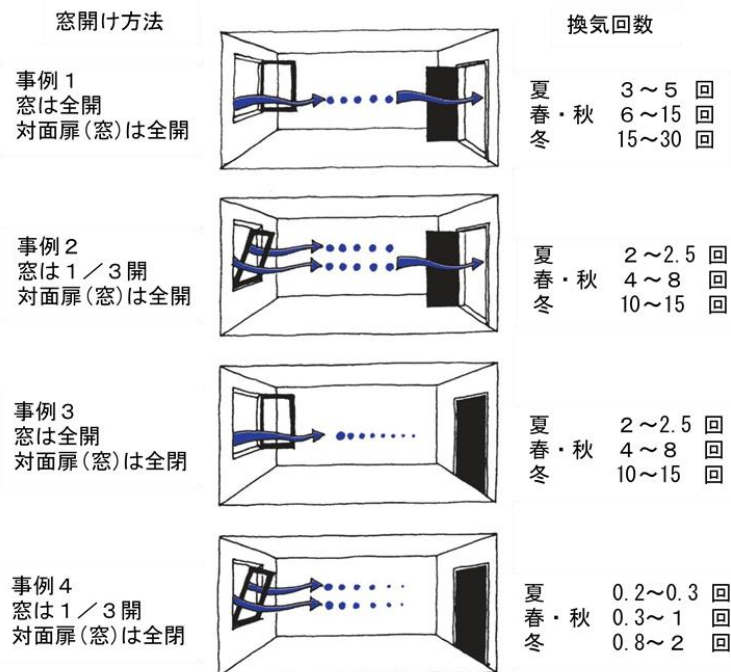


図1 窓の開け方とその効果

図2³⁾に、住戸全体で見た時の窓の開け方を示した。図は集合住宅の例であるが、戸建て住宅でも同様であり、風上と風下の両方の窓・扉を開放するのが原則である。また、窓を開けない部屋はほとんど換気できないので、換気が必要な部屋の窓は必ず開放する。夏には網戸も必須のアイテムとなろう。網戸の無い扉・ドアの場合には窓を活用することになるが、廊下側の窓を開けることに抵抗がある場合、扉や扉周りに開閉可能なガラリをつけたり、通風用ダクトを設けると良い。

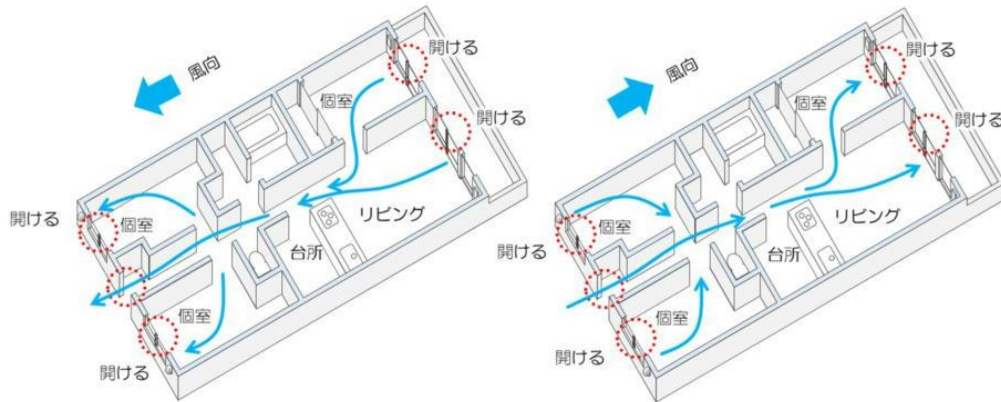


図2 集合住宅における窓の開け方

(2) 機械換気

一方で、機械換気は換気扇などの動力を利用した換気であり、電力エネルギー等を使用するので多少のコストはかかるが、一定の換気量を維持することができる。

2003年7月以降に新築された住宅では24時間換気が義務付けられたので、最低限(換気回数約0.5回)の換気は常時行われている。図3³⁾は集合住宅の場合で、浴室とトイレから常に排気されるシステムの例である。図4³⁾の戸建て住宅の例でも、フロアごとにトイレや浴室・廊下の換気扇から排気される。

24時間換気はついているものの、夏は暑い、冬は寒い、電気代がかかるといったことで止めている住戸も多いという。換気は、二酸化炭素濃度(1000ppm)やホルムアルデヒド濃度(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を基準値以下にするのが主要な目的であるが、臭気や湿度、微生物(細菌やウイルスも含む)などへの対応の意味でも重要であり、決して停止してはならない。

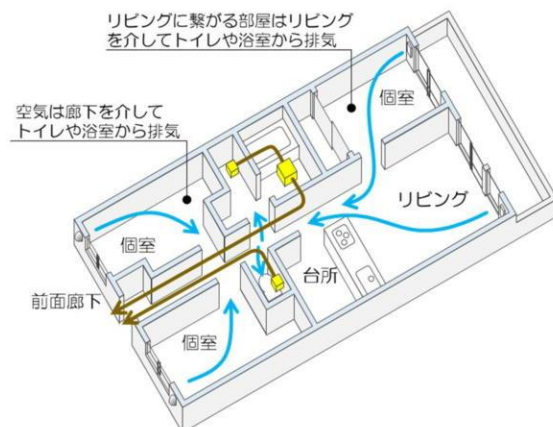


図3 集合住宅における24時間換気の例

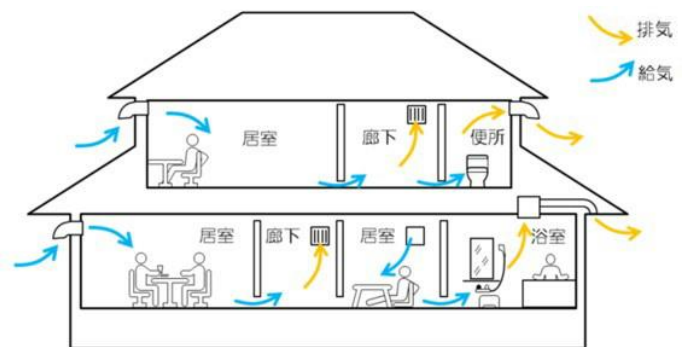


図4 戸建て住宅における24時間(集中排気方式)

もちろん、ウィルス対応を考えると0.5回の換気で十分とは言えないが、確実に一定量の換気が行われ、リスク低減に貢献しているわけで、停止によってそれを放棄するのは極めて「もったいない」といえる。

(3) 台所換気扇の活用

それでは、もっと大量の確実な換気方法はないのか。答えの一つは台所換気扇である。台所の換気扇は、300～600 m³/時の換気能力をもっている。例えば80 m²のマンションの場合（戸建て住宅の1フロア分と考えても良い）、全体空気量は収納部分の容積（20%とする）を除外し天井高さ2.5mとすると160 m³であり、台所換気扇を運転すれば2～4回程度の換気回数となる。これは、図1の事例1（対向する窓・扉全開）夏に匹敵する換気回数である。

この換気量は、24時間換気が設置されている住宅であるならば、窓をすべて閉鎖していても給気口等から流入する外気で確保される。窓を少し開ければ、より大量に確実な換気が行われる。ただし、窓を開けるとそれ以外の部屋の換気がほとんど行われなくなるので、換気したい部屋は均等にバランス良く開ける必要がある。

(4) もし感染者が出たら

最近では、陽性で症状がある人は確実に隔離する方向ではあるが、もし同居しなければならなくなった場合の対応である。陽性で症状がない人も同様であるが、生活空間を分けることが求められている。

戸建ての2階建て以上で、各フロアで最低限の生活ができるなら、フロアで分けるのが明確で効果的である。平屋やマンションの場合、健常者と感染者のエリアをできるだけ離す必要がある。例えば、先ほどのマンションの事例（図5）にあてはめれば、玄関わきの2室がその候補となる。リビング隣の個室は、トイレまでの動線が長く不適當である。

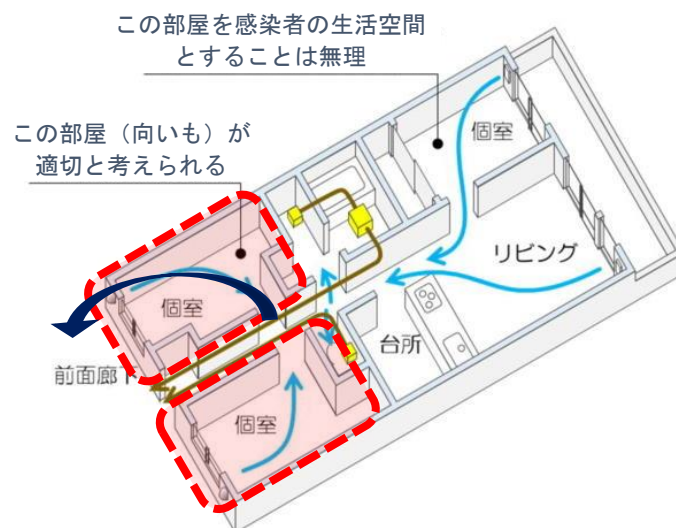


図5 感染者の生活空間を分ける

感染者の部屋として玄関わきが適切であるが、24時間換気が作動している場合、そこから廊下を介してトイレ、浴室に空気が流れる。ウイルスが付着した飛沫核（エアロゾル）は、個室からその流れに乗って健常者の居住域に流れてくる。図5では、幸いリビングや台所に流れ込むリスクは小さいが、ゼロではないし、トイレや浴室の利用時には飛沫核を含む空気と触れ

る可能性が高い。

それを回避するためには、①個室から直接外に排気するか、②浴室等に流れ込むのを防ぐ必要がある。前者①の流れを示すのが黒矢印である。給気口に換気扇をつけて、外に排気すればよい。これが最も確実である。後者②としては、トイレと台所・浴室の境目にビニール等で壁を作り、個室の空気はトイレからすべて排気され、居住域に流れ込まないようにする方法がある。健常者がトイレを使用するときには、ビニール壁をトイレの玄関側に一時的に移動させればよい。この方法の詳細は、日本建築学会で公開されている⁵⁾ので参照されたい。

(5) フィルターの活用

空気中のエアロゾル（飛沫核）が捕捉できれば、流出するウィルスを拡散させないし、ウィルスの流入を回避できる。そのような働きが期待できるものの一つにフィルターがある。

過信は禁物であるが、一定の効果が期待できるものに HEPA フィルターがある。HEPA フィルターは、JIS Z 8122 によって、「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もち、かつ初期圧力損失が 245Pa 以下の性能を持つエアフィルタ」と規定されている。図 6⁶⁾ は、その捕集効率のテスト結果（フィルター通過流速別）例である。図でもわかるとおり、捕集率が最も落ちるのは粒径 $0.05\sim 0.2\mu\text{m}$ であるが、落ちたとしても 99.9% を超えているので、高い捕集率が期待できる。このフィルターを給気口につければ入ってくるのを、排気口につければ出ていくのを防ぐことができる。

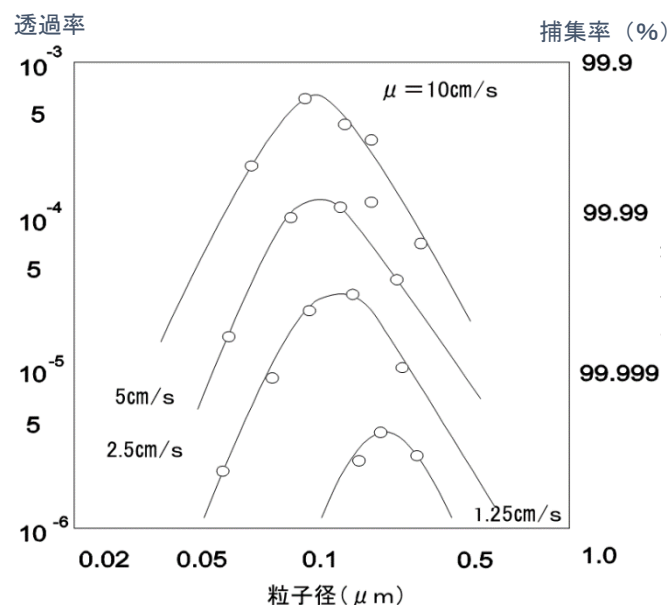


図6 HEPAフィルターの流速別透過率（捕集率）
（江見準、エアロゾル研究 Vol. 4）

エアコンや空気清浄機のように室内空気の循環機能のある機器では、その機器内のフィルターの性能を上げる、あるいは吸い込み口に高性能フィルターを付加するといった対応によっ

て、室内空気中のエアロゾル（飛沫核）を除去できる可能性もある。

HEPA フィルターは高い捕集効率を持つので、エアコンと空気清浄機のフィルターをこれに交換する方法がある。HEPA フィルターは、ウイルスを捕捉できてもウイルスそのものを不活性化することはできない。もちろん、時間がたてばウイルスは感染力を失うので危険性が持続するわけではないが、あまり長時間の使用は避けるべきであろう。また、フィルタ交換時には防護服の着用など、細心の注意を払う必要がある。

ウイルスを不活性化する機能を持つフィルターもあり、JIS の試験方法で抗ウイルス活性値が3.0以上であれば「十分な効果あり」とされている。HEPA フィルターにこの機能を付加したものもあり、抗ウイルス性をうたうフィルターもある。前者の例としては、「ヴァニッシュコンパクトフィルタ（日本無機（株）⁷⁾）」などがあり、後者の例として「エコウィンフィルター（(株)エコファクトリー）」などがある。抗ウイルス活性値は、ヴァニッシュフィルタで3.1、エコウィンフィルタで4.1であり、いずれも「十分な効果がある性能」となっている。

なお、コロナウイルスに同等の効果が期待できるか否かは不明であるが、インフルエンザウイルスと同様の構造であるならば有効と考えられる。

エコウィンフィルタは、エアコンの吸い込み口に後付けで簡単に取り付けられる（図7⁸⁾）ため、専門家の支援は必要なく実用性は高い。

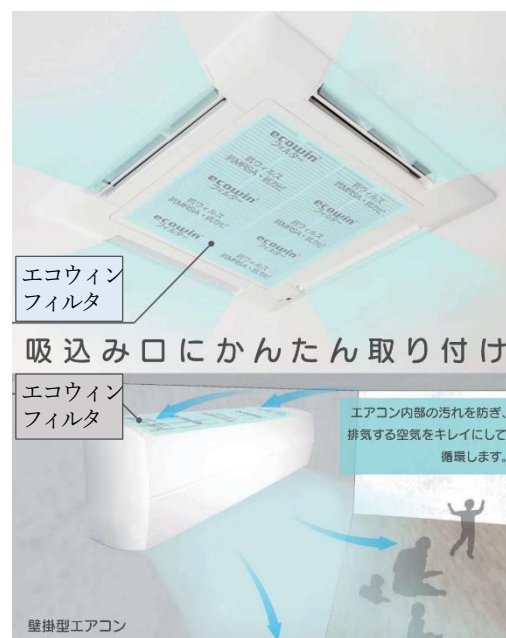


図7 エコウィンフィルタの設置イメージ

（6）面白い空気清浄機

空気中に漂うエアロゾル（飛沫核）を、呼吸する直前に除去してしまおうという製品⁹⁾もある。図8がその使用イメージである。上腕に取り付けた眼鏡状のフィルタユニットで浄化された空気がマスク内に送られ、呼気はマスク中央から排出される。元々は、汚染された外気を清浄することを目的とし、屋外使用が想定されているようであるが、感染危険性が高い室内で

も有用である。感染者と同居する場合など、感染者ゾーンに入るときにこれを装着すればリスクは抑えられるであろう。



図7 HEPA フィルタの使用例

4. コロナ禍の冷暖房

大量の換気は大きな熱損失となる。例えば、 $32^{\circ}\text{C} \cdot 70\%$ の外気を $26^{\circ}\text{C} \cdot 50\%$ にするのに約 $10\text{W}/\text{m}^3$ のエネルギーが必要である。面積 30m^2 、天井高 2.5m （容積 75m^3 ）の部屋で換気回数 0.5 回（換気量 37.5m^3 ）の場合、換気負荷は 375W （ 10×37.5 ）となる。換気負荷の割合を 20% 程度とすると貫流負荷（窓・壁等から入る熱）は 1500W 、全負荷は 1875W 程度となる。これが換気回数 5 回（換気量 375m^3 ）になると全負荷は 5250W （ $1500 + 3750$ ）となり、冷房能力 4kW のエアコンでは $26^{\circ}\text{C} \cdot 50\%$ は維持できず $28^{\circ}\text{C} \cdot 60\%$ 程度になってしまう。電力消費量も 2 倍以上となる。

（1）究極の冷房空間

もちろん、多少暑いにしても $28^{\circ}\text{C} \cdot 60\%$ ならそこそこいいんじゃないとも言えるし、冷房が効いてない空間でその空気温より数度以上低温の冷風が吹いてくるのは、ある意味究極の冷房であって、そんな贅沢な環境（電気代を気にしなければであるが）になるともいえる。

生存に適さない（不快な）環境から生存（生命維持）に負荷のかからない環境に移るときに、神様は報酬として快適感が得られるように人を作られた。不快な環境は人体へのダメージが大きく、場合によっては死に至る。そのような危険から回避する行動をとった時のご褒美が快感なのだと思う。

京都の料亭で、窓を開放して窓下のエアコンから冷風を吹き出す、時折、風に乗って冷風が届く。そんな環境の中で料理を提供しているという話を聞いた時、これは理想の環境制御かもしれないと思った。エアコンを効かせながら換気するという状況もこれに近いので、是非こんな環境を体験していただきたいと思う。

（2）換気時にこそ輻射冷暖房を

とは言いながら、もっといい冷暖房があるのではないかと考えると、ここは輻射（放射）冷暖房の出番である。輻射熱は、間にどんな空気であろうとなかろうと（真空でも）直接届く。

冷房の場合、多少室温が高くなっても、体表面から直接冷輻射面に熱が移動するので快適性が維持される。

輻射パネルの効果によって平均輻射（放射）温度（MRT）が 2°C 低ければ、体感温度も約2度低くなる。先の例で、換気によって 28°C になっても輻射パネルがあれば 26°C 程度の体感温度が維持できるというわけである。

写真1、2は、直膨式（エアコンの冷媒利用）の輻射パネルの運転状況である。この時、室温は $28^{\circ}\text{C} \cdot 60\%$ 、パネル表面温度約 12°C である。パネル面積は決して大きくないので、黒球温度は室温より $0.3\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 低いだけであるが、室温と表面温度の差は 16°C 、体表面との温度差は 20°C 以上あるので、冷輻射を感じることができる。

このパネルの特徴は、輻射効果で快適性が向上することに加えて、エアコン冷凍サイクルの効率改善で冷房時で約20%、暖房時に約40%の電力量削減になることである。窓開け換気などを行うと電気代が高くなるが、このパネルを併用すればその上昇を抑制でき経済的である。

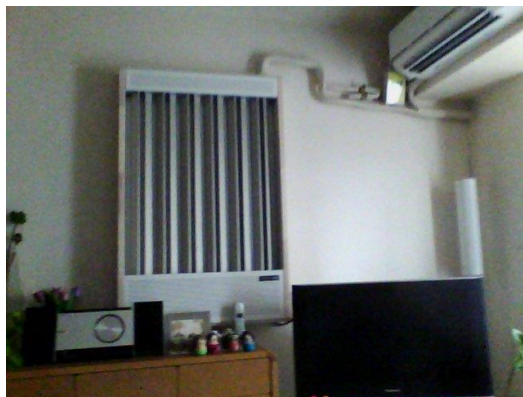


写真1 輻射パネル設置状況



写真2 輻射パネル運転時熱画像

輻射（放射）冷暖房については、すでに多くの製品が展開されている。そんな中で、少し面白い製品を紹介しておこう。写真3はその試作品である。特殊な放熱パイプ（写真の中の下2本）を基本として、パイプ（+放熱板）の長さとお数を部屋の形状や用途に合わせて設定できるので、自由度の高い設計が可能となる見込みである。（2020年初秋リリース予定）



写真3 新しい輻射パイプ（パネル）

余談になるが、輻射冷暖房が窓開け換気をしていても有効であるということは、少々気密性が悪い家でも効果が期待できるということでもある。「エアコンの効きの悪い隙間だらけの家にこそ輻射冷暖房を」といえる。

(3) 熱中症対策としての輻射冷房

暑くなりそうな夏に向けて、熱中症への懸念が強くなっている。エアコンを使用しても、窓開け換気で室温が高くなると熱中症のリスクは高くなる。エアコンの冷風を直接受けられる位置にいればよいと言えるが、不用意に低温風を長時間受け続けることは冷房病などの逆のリスクも生じることになる。

そんな環境でも輻射冷房が効果的である。なぜなら、人体の熱放散の50%が輻射によって行われているからである。エアコンの冷風（対流による放散は20~30%）を受けると、輻射冷熱で熱を放散する方が効果的といえる。先にも示した通り、輻射による熱のやり取りは室温の影響を受けにくいので、窓開けで室温が高くても効果が期待できる。

加えて、輻射パネルに直接接触することによる深部体温の低下効果¹⁰⁾にも触れておきたい。手のひら（足の裏、頬も同様）にはAVA（動静脈吻合）という特殊な血管があり、ラジエーターのような働きをするので、手のひらで輻射パネルに触れば深部体温を下げられるというわけである。その適温は15℃ということなので、輻射パネルは温度的にもうってつけである。

写真2の例ではパネル表面温は12℃であったが、これは立ち上がり時であり、定常時（安定時）には15~17℃程度となる。写真3の輻射パイプは直径約50mmなので、握るのにちょうどよい太さである。

また、冷房時の輻射パネルは結露しているので、その水分の蒸発潜熱で体表面温度を下げる効果も期待できるかもしれないという。

以上のような、輻射パネルの副次的な効果も見逃せないと思う。

5. おわりに

コロナ禍において、熱中症を予防しながら効果的な換気の励行が求められる。窓を開けながら冷房するという矛盾する対応の中にも快感が見いだせることや、24時間換気、台所換気扇などの活用、さらにはフィルターの効果や輻射冷暖房の優位性などを紹介した。制限の多い暮らしの中で、前向きにとらえ、多少なりとも安全・安心な暮らしに役立てば幸いである。

問い合わせ先

本文中の「エコインフィルター」「直膨式輻射パネル」「新しい輻射パイプ」についての問い合わせは info@irham.biz Fax 03-6273-7367

参考文献等

- 1) AMR 臨床リファレンスセンターHP <http://amr.ncgm.go.jp/general/1-1-1.html>
- 2) 日本建築学会・空気調和・衛生工学会共同緊急会長談話「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して」 <https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200323.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」 <https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200330.pdf>
- 4) 日本バウビオロジー研究会、通信教育講座テキスト第3巻
- 5) 日本建築学会 WG、「住宅内にビニールカーテンによる仮設の陰圧室を作り出す方法」
<http://www.arch.t-kougei.ac.jp/yoyamamoto/wp/wp-content/uploads/2020/05/nr0529.pdf>
- 6) 江見準、「気中微粒子汚染の基礎」、エアロゾル研究 Vol.4 No.4 p246-256、1989
- 7) 日本無機（株）HP <https://www.nipponmuki.co.jp/vanish.html?gclid>
- 8) メーカー資料より
- 9) 株式会社 Gloture パーソナル空気清浄機 FitAir <https://gloture.jp/products/fitair>
- 10) NHKHP https://www.nhk.or.jp/kenko/atc_1018.html