

子どもが利用する施設の室内空気質対策



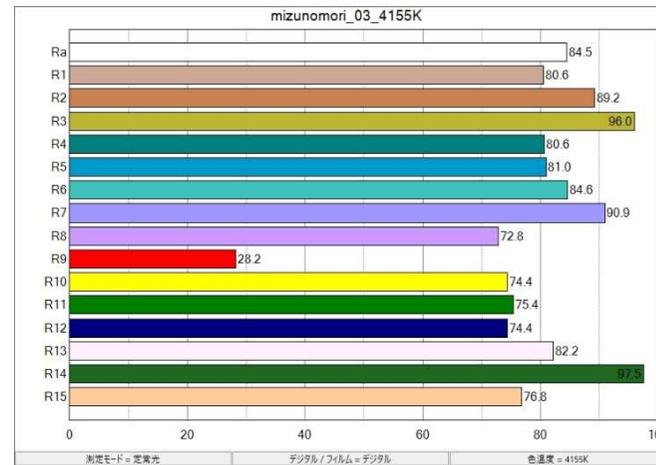
本間義規

国立保健医療科学院
建築・施設管理研究部長
E-mail: honma.y.aa@niph.go.jp

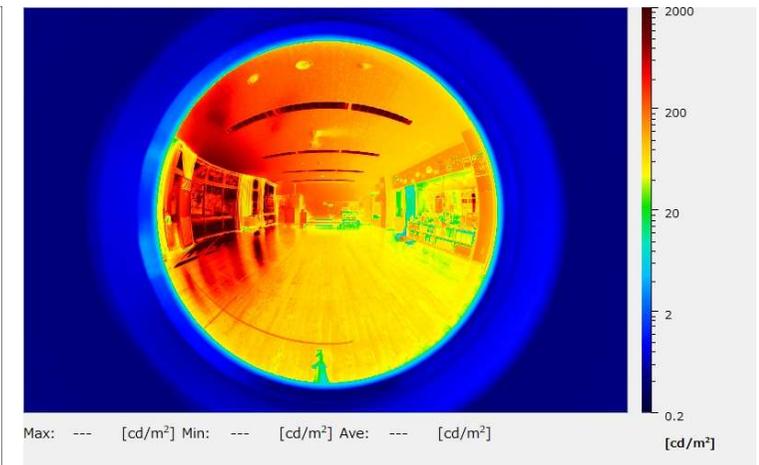
子どもの保育・教育空間に必要な室内環境要素



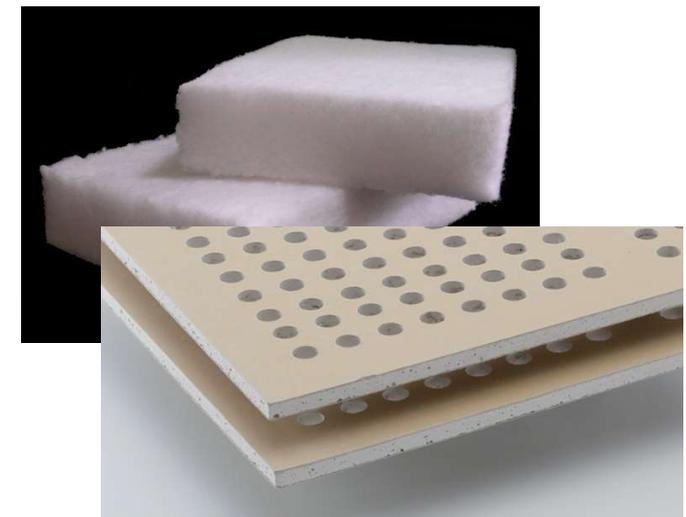
温熱環境



色彩環境(色再現)



光環境(輝度)



空気環境

音環境



空気環境の保全に求められること

空気中には必ず異物が存在する

異物の特性を知る

異物の健康影響

異物の発生源対策

発生物質を適切に除去する



空気環境の保全に求められること

空気中には必ず異物が存在する

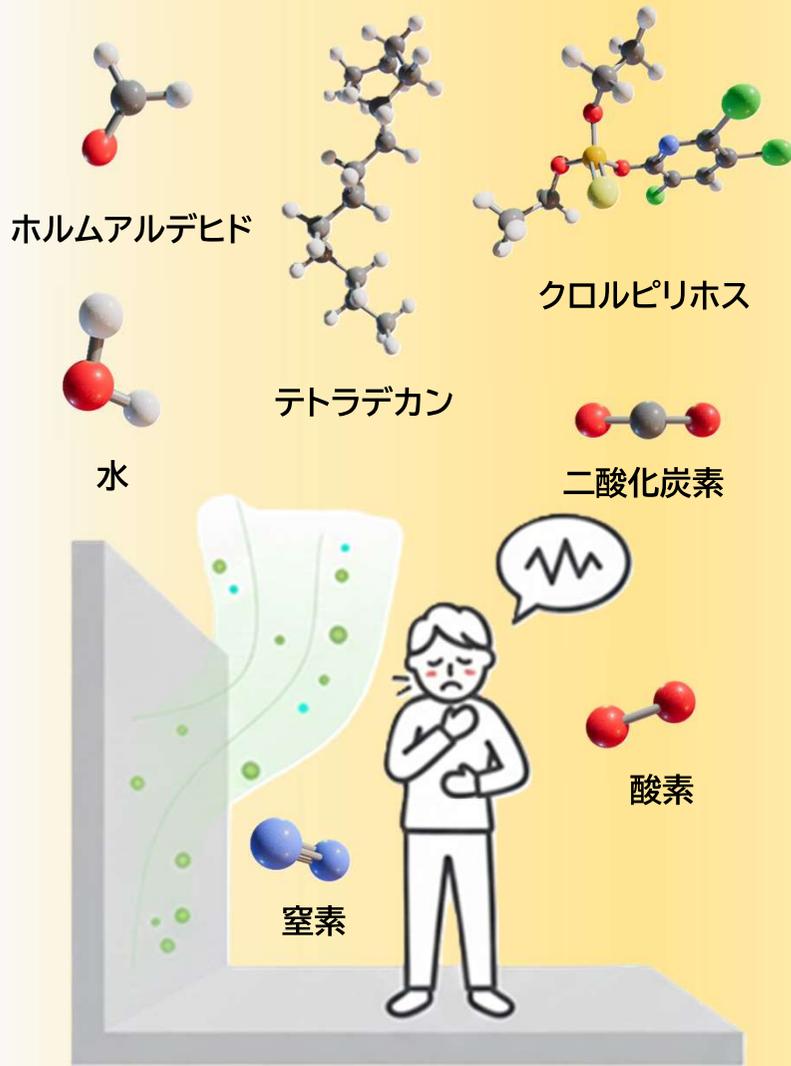
異物の特性を知る

異物の健康影響

異物の発生源対策

発生物質を適切に除去する

ガス状物質(気体)



微粒子(固体・液体)



副流煙のイメージ



PM2.5のイメージ



インフルエンザウイルスのイメージ

異物の大きさの違いでガスと微粒子に分かれます



空気環境の保全に求められること

空気中には必ず異物が存在する

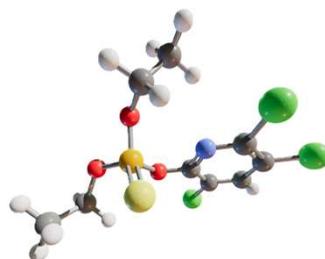
異物の特性を知る

異物の健康影響

異物の発生源対策

発生物質を適切に除去する

化学物質



- 体内に取り込まれた化学物質が、正常な生体分子(DNA、タンパク質、酵素など)と化学反応を起こし、それらの機能を損なう原因となる。
- 体内に取り込まれた化学物質が、ホルモンや神経伝達物質などの受容体に結合してしまうことがある。
- 細胞膜やたんぱく質を壊してしまうことがある。



厚生労働省の室内化学物質濃度ガイドライン

この指針値は、通常この濃度以下であればヒトが一生涯にわたって暴露したとしても、有害な健康影響が表れないであろう値で設定されています。

物質	毒性指標	室内濃度		沸点(°C)	指針値設定日 (改定日)
		指針値			
ホルムアルデヒド	ヒト吸入曝露における鼻咽頭粘膜への刺激	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.08 ppm)	-20	H9.6.13
アセトアルデヒド	ラットの経気道曝露における鼻咽頭嗅覚上皮への影響	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.03 ppm)	21	H14.1.22
トルエン	ヒト吸入曝露における神経行動機能及び生殖発生への影響	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.07 ppm)	111	H12.6.26
キシレン	人における長期間職業曝露による中枢神経系への影響	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.05 ppm)	138-144	H12.6.26
エチルベンゼン	マウス及びラット吸入曝露における肝臓及び腎臓への影響	370$\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.88 ppm)	136	R7.1.17
スチレン	ラット吸入曝露における脳や肝臓への影響	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.05 ppm)	145	H12.12.15
パラジクロロベンゼン	ビーグル犬経口曝露における肝臓及び腎臓等への影響	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.04 ppm)	174	H12.6.26
テトラデカン	C8-C16混合物のラット経口曝露における肝臓への影響	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.04 ppm)	253	H13.7.5
クロルピリホス	母ラット経口曝露における新生児の神経発達及び新生児脳への形態学的影響	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.07 ppb)	41-42	H12.12.15
		0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.007 ppb)		
フェノブカルブ	ラットの経口曝露におけるコリンエステラーゼ活性などへの影響	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(3.8 ppb)	112-113	H14.1.22
ダイアジノン	ラット吸入曝露における血漿及び赤血球コリンエステラーゼ活性への影響	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(0.02 ppb)	120	H13.7.5
フタル酸ジ-n-ブチル	ラットの生殖・発生毒性についての影響	17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(1.5 ppb)	340	H12.12.15
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	ラットの雄生殖器系への影響	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(6.3 ppb)注1	385	H13.7.5
総揮発性有機化合物 TVOC	国内の室内VOC実態調査の結果から、合理的に達成可能な限り低い範囲で設定	暫定目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 注2, 注3			H12.12.15

注1 フタル酸ジ-2-エチルヘキシルの蒸気圧については1.3×10⁻⁵Pa(25°C)～8.6×10⁻⁴Pa(20°C)など多数の文献値があり、これらの換算濃度はそれぞれ0.12～8.5ppb相当である。
 注2 この数値は、国内家屋の室内VOC実態調査の結果から、合理的に達成可能な限り低い範囲で決定した値である。TVOC暫定目標値は室内空気質の個別の揮発性有機化合物(VOC)を総合的に考慮した目安として利用されることが期待されるものであるが、毒性学的知見から決定したのではなく、含まれる物質の全てに健康影響が懸念されるわけではない。また個別のVOC指針値とは独立に扱わなければならない。
 注3 TVOCは、n-ヘキサンからn-ヘキサデカンまでの範囲で検出されたVOCの総量をいう。JISA1901-2015では、ガスクロマトグラフのピーク面積の総和を用いてトルエン換算値を求める。



揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds) の分類

ガス状物質は常温(10~30℃)で気体になっているということです。沸点はマイナスかそれ以下ということの意味します。

沸点が高いほど、常温では固体(微粒子)のまま存在します。

記号	分類	沸点範囲(℃)		化学物質例	備考
VVOC	高揮発性有機化合物	-160	100	ホルムアルデヒド アセトアルデヒド 塩化ビニルモノマー	建材の製造過程で揮発しやすい
VOC	揮発性有機化合物	50	260	トルエン キシレン エチルベンゼン スチレン パラジクロロベンゼン	化学製品としてつくられる有機化合物など
SVOC	準揮発性有機化合物	260	400	テトラデカン フタル酸ジブチル フタル酸ジ-2-エチルヘキシル クロルピリホス	建材中に存在していても揮発しにくい。長期にわたり放散
POM	粒子状物質	380	~	ベンゾピレン ホキシム	建材中に存在していても揮発しにくい。空気中では凝縮して浮遊している可能性もある。
TVOCs	総揮発性有機化合物	VOCs全ての物質の総量			

これまで沸点の低いガス状物質の指針値が示されてきましたが、沸点の高い化学物質(**SVOC**)の健康影響が検討されるようになってきています。

厚生労働省室内濃度ガイドライン指針値改定

引き続き, 継続となった化学物質(3物質)

2E1H
2-エチル-1-ヘキサノール
C₈H₁₈O, 沸点183-185°C

テキサノール(TEXANOL)
2,2,4-トリメチルペンタン-1,3-ジオールモノイソブチラート
C₁₂H₂₄O₃, 沸点255°C

TXIB
2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート
C₁₆H₃₀O₄, 沸点281.5°C

既指定物質の指針値改定(3物質)

DEHP 120 µg/m³ → 100 µg/m³
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル
C₂₄H₃₈O₄, 沸点386°C

DBP 220 µg/m³ → 17 µg/m³
フタル酸ジ-n-ブチル
C₁₆H₂₂O₄, 沸点340°C

キシレン 870 µg/m³ → 200 µg/m³
C₈H₁₀, 沸点144°C (o-キシレン)

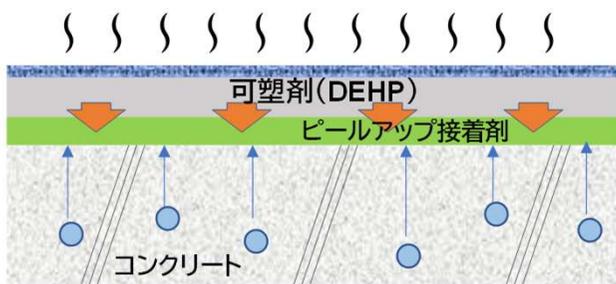
エチルベンゼン
3800 µg/m³ → 370 µg/m³
C₈H₁₀, (C₆H₅CH₂CH₃) 沸点136°C

加水分解

フタル酸エステル類

2E1Hの発生には湿気・水分が大きく影響

DEHPの加水分解(化学反応)により2E1H(2-エチル-1-ヘキサノール)が放散される



未乾燥状態のコンクリート(約 5.0 wt %以上)
平衡状態(余剰水分放出後)のコンクリート
含水率: 2.0~3.0 wt %

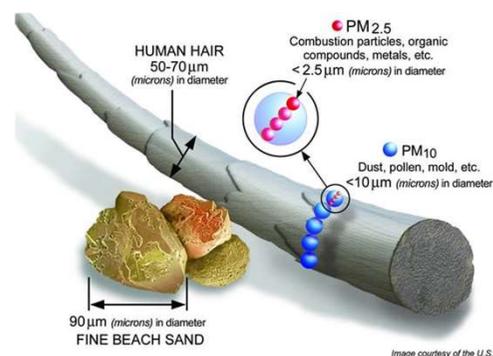
コンクリート水分とDEHPの反応による2E1Hの発生メカニズム

既指定物質(4物質)

エチルベンゼン
3800 µg/m³ → 370 µg/m³ に改定。
(2025/1/17)

しかし, まだまだ化学物質はたくさんある

浮遊微粒子(エアロゾル)



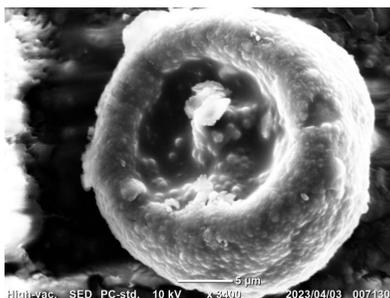
Particulate Matter and Human (US EPA, 2016)

- 無機物, 有機物ともに存在。
- 生物(微生物), 非生物という分類の仕方もできる。
- 感染性微粒子, 非感染性微粒子という分類もある。
- 粒径が $10\mu\text{m}$ 以下をPM10, $2.5\mu\text{m}$ 以下をPM2.5などという。
- 微生物にはカビ, 細菌, ウイルスがあり, これらも微粒子。
- 誤解を恐れずにいうと, 揮発していない化学物質で, かつ分子の塊が大きくなったものとも考えることもできる。

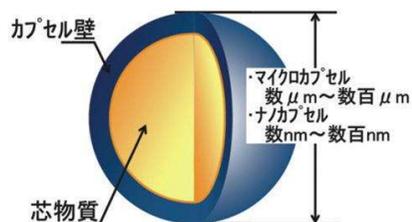
固形物要因 (PM2.5, 副流煙, 花粉など)



Image courtesy of the U.S. EPA
Particulate Matter and Human (US EPA, 2016)



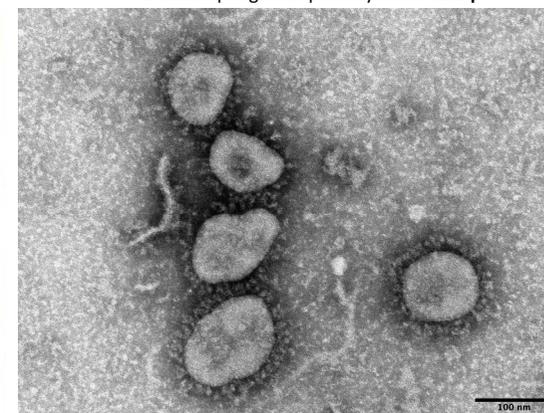
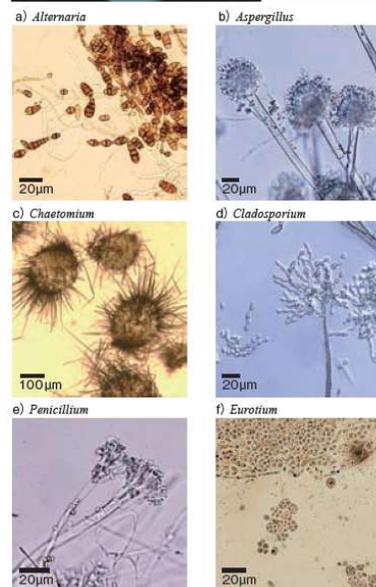
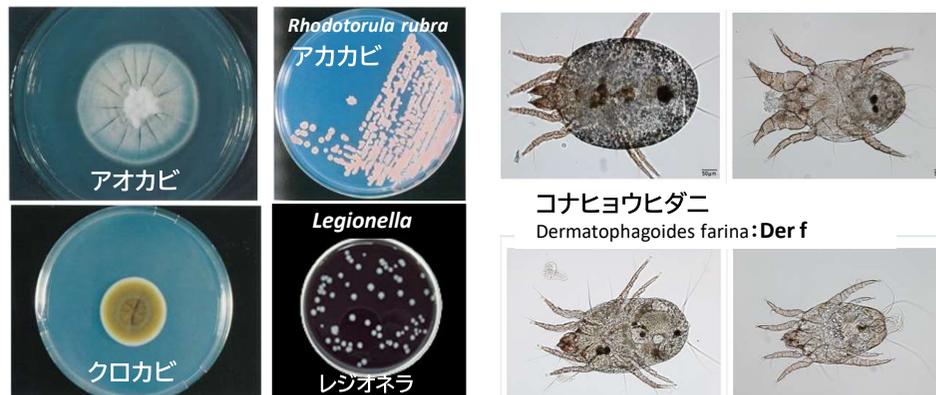
スギ花粉: 岐阜聖徳大学・花粉サーチ電子顕微鏡
<https://mooc.ha.shotoku.ac.jp/kafun/#kensaku>



新潟大学複合微粒子研究室
<http://capsule.eng.niigata-u.ac.jp/microcapsule.html>

- PM_{2.5}は燃焼ガスに含まれる微粒子や有機化合物, 重金属などが該当。
- 土壌や砂に含まれる粉塵も浮遊微粒子です。
- 花粉もそのままの形態ではなく, 欠けて小さくなります。
- マイクロカプセル, ナノカプセル技術により, 人為的に化学物質を高濃度で輸送可能に(柔軟剤の香り成分など)。
- **自己増殖はしません。**

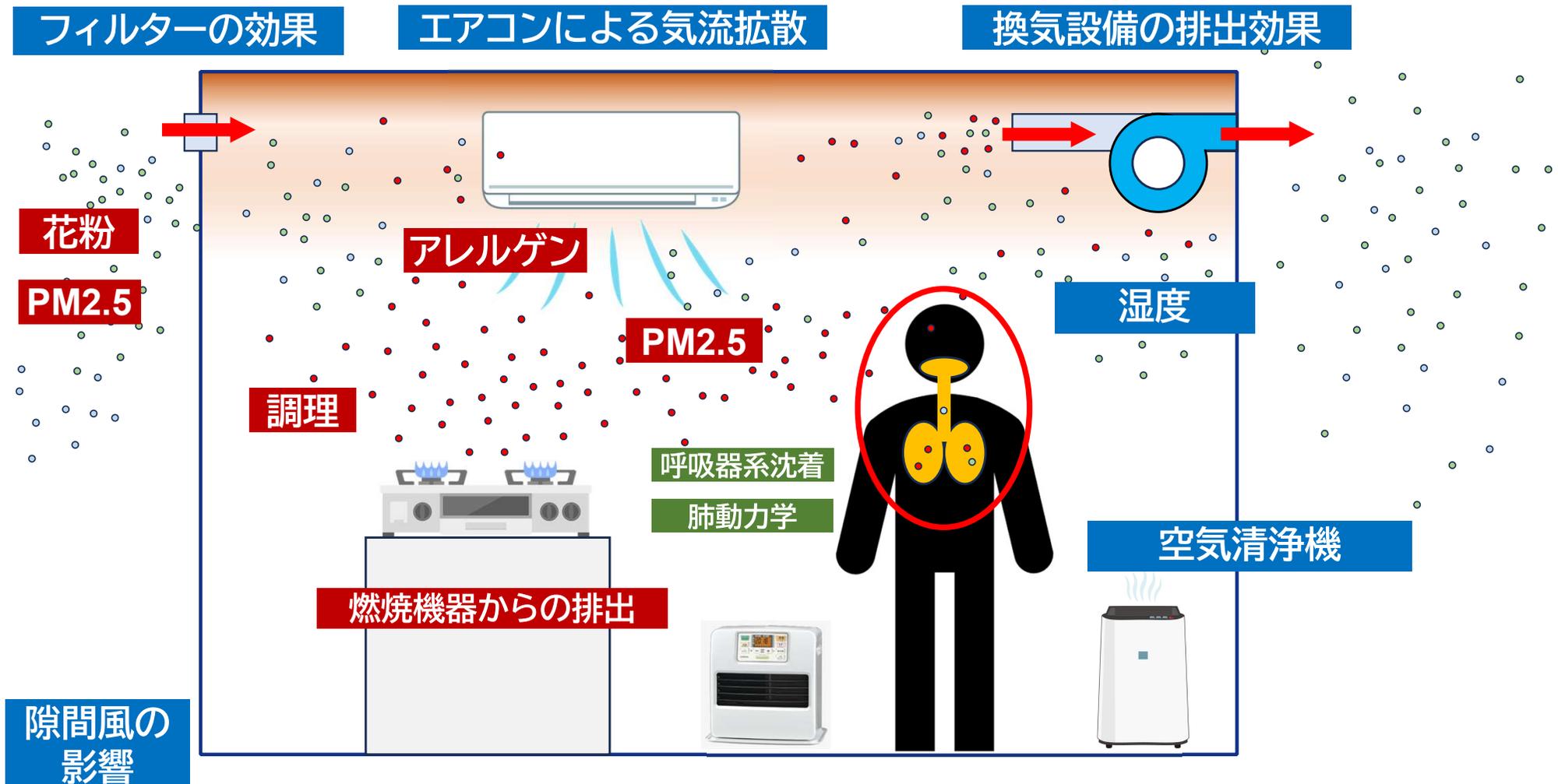
微生物学的要因 (カビ, 細菌, ウイルス)



国立感染症研究所で分離された新型コロナウイルス カリフォルニアで主に検出されるB.1.429 (Epsilon) 系統 (SARS-CoV-2 Variant of Interest, Lineage B.1.429, Epsilon) の電子顕微鏡写真像

- カビ(真菌)は, エアコン, タンスの裏, 床下, 壁の中などに増えやすい。
- バクテリア(細菌)もエアコンや加湿器で増えやすい。
- カビのあるところにダニは増えます。ダニの死骸やダニの糞など(10~40 μm)がアレルゲンになります。
- **微生物なので, 自己増殖します。**

室内に存在する微粒子の種類が発生源



家庭内では、**燃焼機器**(ガスコンロ、石油ファンヒーター)にも注意！
PM2.5, PM10, CO, CO₂, NO, NO₂, 多環芳香族炭化水素(PAH, おもにベンゾ(a)ピレン),
ベンゼン, ホルムアルデヒド



空気環境の保全に求められること

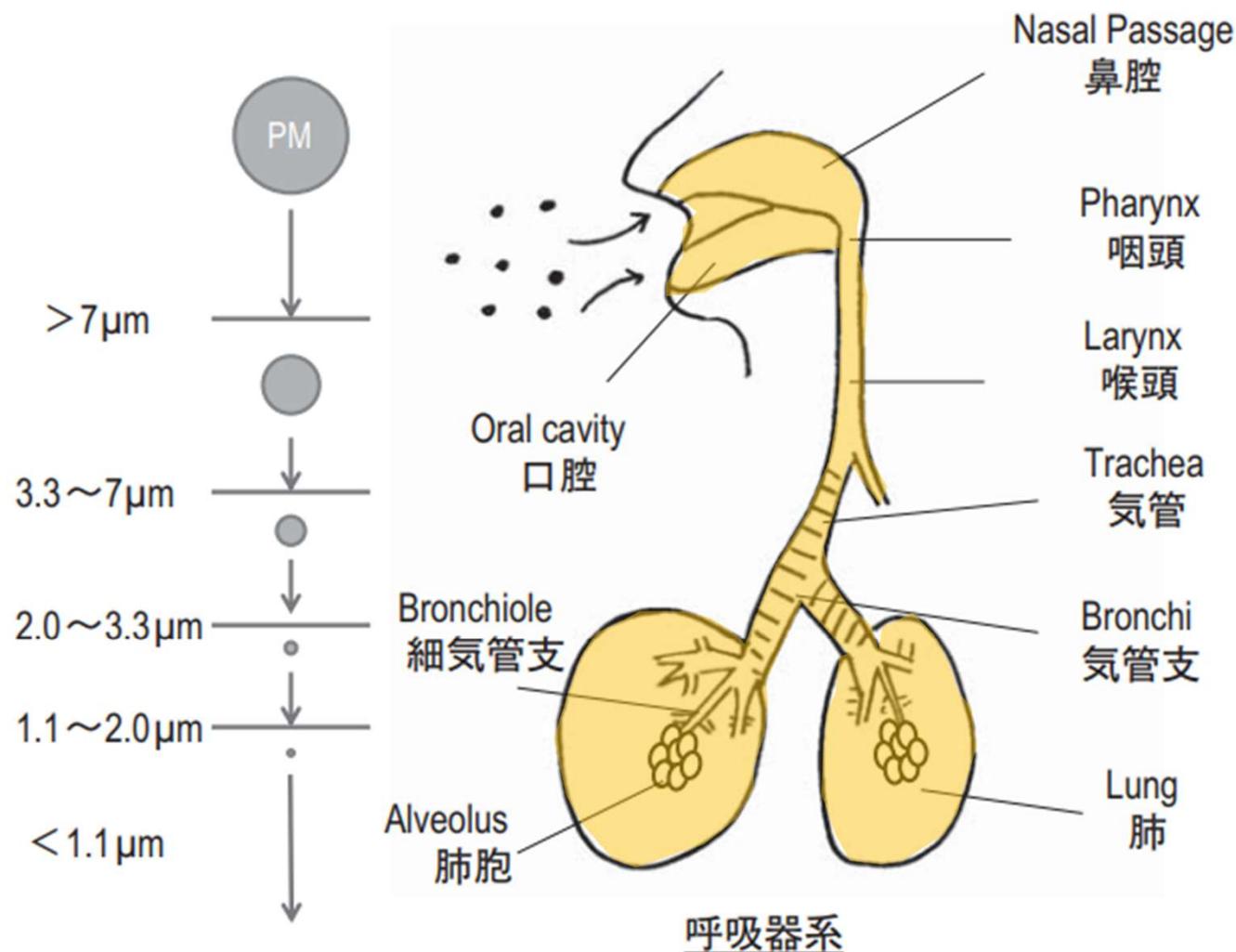
空気中には必ず異物が存在する

異物の特性を知る

異物の健康影響

異物の発生源対策

発生物質を適切に除去する



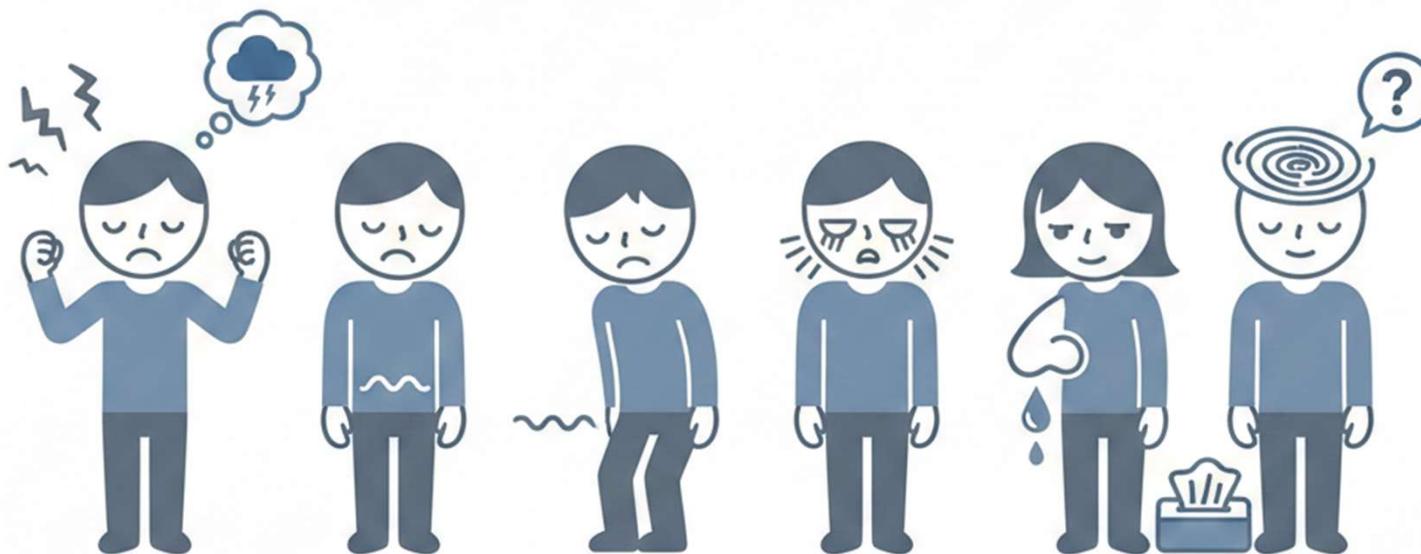
- 異物に対する防御反応
- ウイルスなど体内で増殖する感染性物質に対する免疫反応
- 微粒子の大きさにより、呼吸器系のどこまで入り込むかがほぼ決まってくる
- 肺胞等奥まった部分や酸素交換する場所での炎症は重症化しやすい。

関根嘉香. 微小粒子状物質(PM2.5)の健康影響について. 室内環境, Vol.17, No.1, 19-35, 2014

- 肺胞部分はガス交換機能があるため、保護粘膜層がありません。
- **不溶性微粒子**の場合、肺胞部まで達するとその除去に数か月オーダーの時間を要します。
- **可溶性微粒子**は肺胞膜を通過し血液中に溶出し、他の臓器に影響を与える場合もあります。
- **SARS-CoV-2**などのウイルスも微粒子です。

Sick Building Syndrome (SBS)

… 第一次オイルショック(1973)後, 省エネを理由として, 「**休日の空調機運転停止**」と運転時の「**換気不足(風量不足)**」で起こった**不定愁訴**などの健康問題。

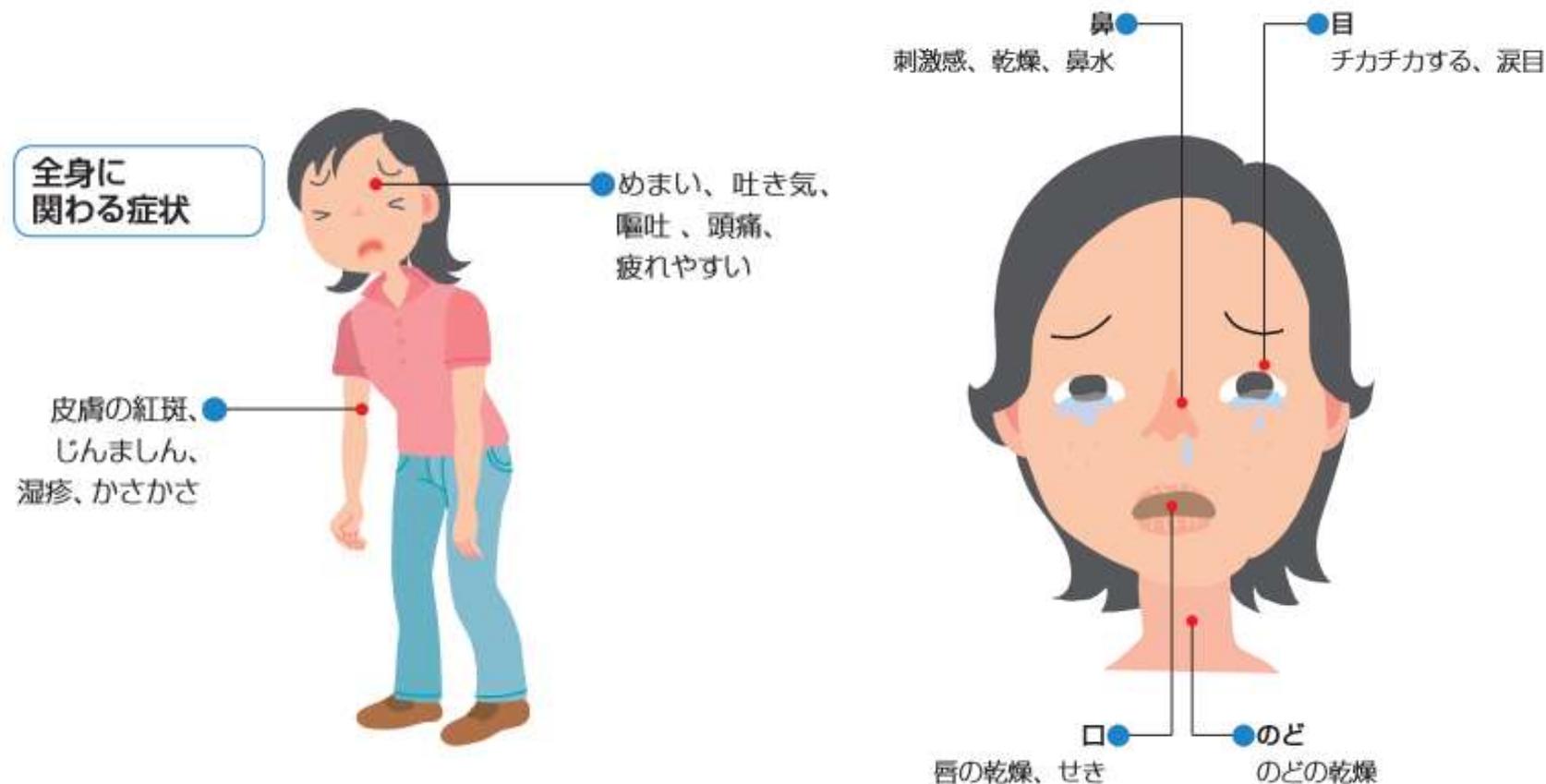


アメリカは, 一人当たり**25m³/h(1973)**の換気量を**10m³/h(1981)**に減らして**SBS**を増加させた。
日本(建築物衛生法)は, 昭和45年から**30m³/h**(室内CO₂濃度1000ppm)のままである。

当初, 月曜日に不定愁訴を訴える人が多く, ブルーマンデー症候群と間違えられました, その後の調査研究で空調機の微生物汚染が原因であると判明。

シックハウス症候群

日本では、カビなどの微生物汚染はあまり問題となりませんでした。1980年代から**化学物質汚染(ホルムアルデヒド)**の問題がクローズアップされます。その背景として、内装材や家具などで接着剤を多用する製品が増えたこと、集成材や合板の使用などの普及が一因であると言われています。

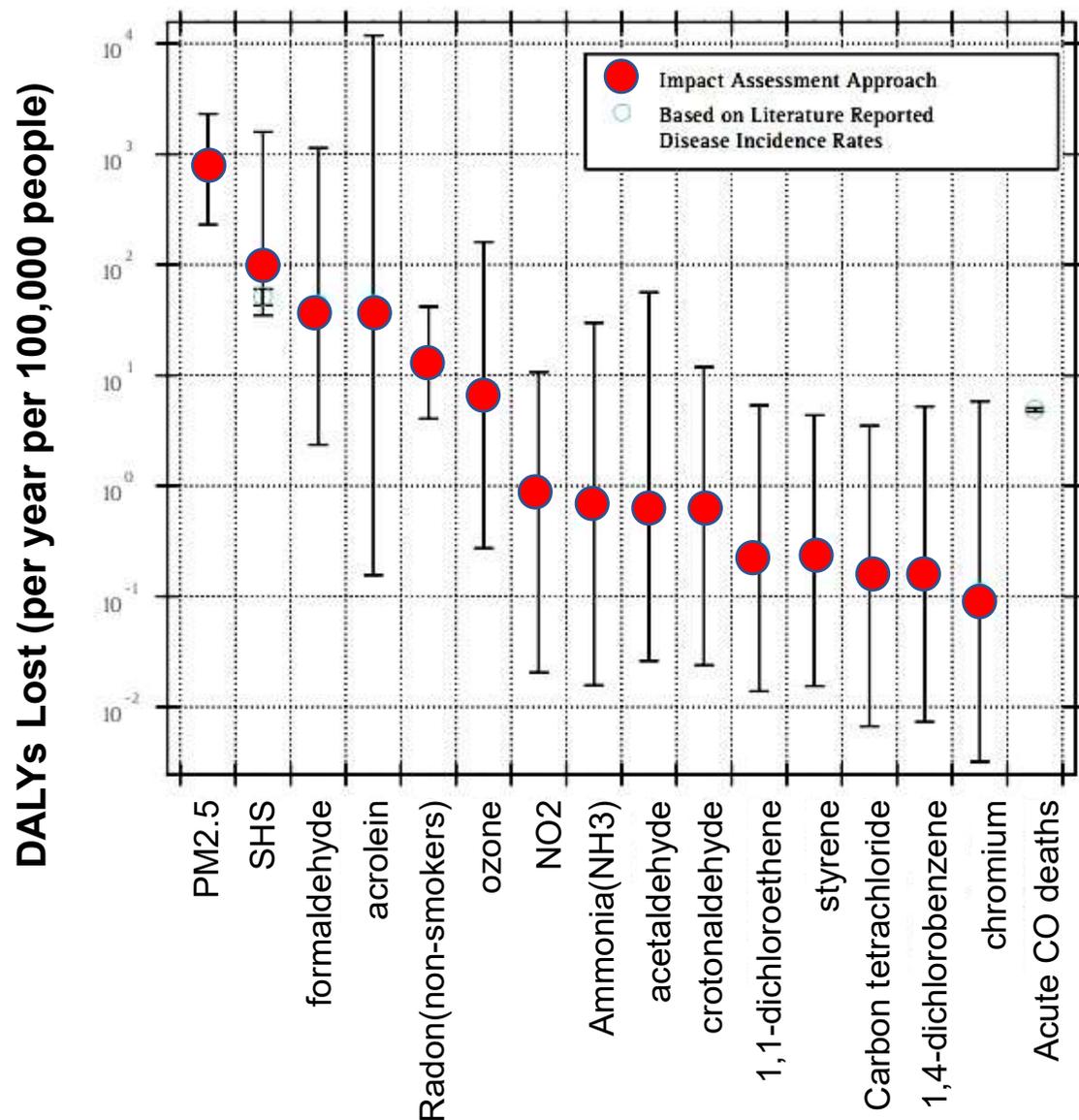


		シックハウス症状					
		鼻	喉・呼吸器	眼	皮膚	精神神経	
環境要因	化学物質	◎	○	◎			
	湿気	ダンプネス	○	○	○	△	△
		真菌			△		
		ダニアレルゲン	○		○		
	人体	アレルギー既往	◎	○	◎	○	
		ストレス				△	◎
		性(女性)				◎	△

◎:オッズ比 ≥ 2 かつ $p < 0.05$, ○:オッズ比 > 1 かつ $p < 0.05$, △: $p < 0.1$, あるいは個別のモデルでは $p < 0.05$

シックハウス症状(鼻, 喉・呼吸器, 眼, 皮膚, 精神・神経症状)は, 化学物質によって鼻, 眼, 喉・呼吸器に症状を引き起こします。

ただ, 化学物質以外にも, アレルギー既往歴やダンプネス(高湿化), ダンプネスが原因で生じるカビ(真菌), ダニアレルゲンが関与することがわかります。



健康影響トップ5

1. PM2.5
2. SHS: 副流煙
3. Formaldehyde: ホルムアルデヒド
4. Acrolein: アクロレイン
5. Ozone: オゾン

PM2.5 :VOCの化学変化で生成する二次有機エアロゾル粒子を含む。

Acrolein: アクロレイン
 毒性の強いアルデヒドの一種。食用油脂中の多価不飽和脂肪酸の酸化によって生成し、「油酔い」の原因の一つになると言われてい(Shunji Kato et al. NPJ Science of Food 2, 2018)。

Ozone: オゾン:
 酸素の紫外線分解により生成。室内ではコピー機、コロナ放電利用空気清浄機等から多く発生。

Technical Note AIVC 68 Residential Ventilation and Health, Feb. 2016

障害調整生命年 (DALY) = 損失生存年数 (YLL) + 障害生存年数 (YLD)



空気環境の保全に求められること

空気中には必ず異物が存在する

異物の特性を知る

異物の健康影響

異物の発生源対策

発生物質を適切に除去する

シックハウス対策のための規制導入

改正建築基準法は平成15年7月1日に施行されました。

シックハウスの原因となる化学物質の室内濃度を下げると、建築物に使用する建材や換気設備を規制する法律です。対象は住宅、学校、オフィス、病院等、全ての建築物の居室となります。

改正建築基準法に基づくシックハウス対策の概要

1 ホルムアルデヒドに関する建材、換気設備の規制

- ①内装仕上げの制限
- ②換気設備設置の義務付け
- ③天井裏などの制限

せっかく建てる家だからシックハウス対策は十分にチェックしておきましょう!



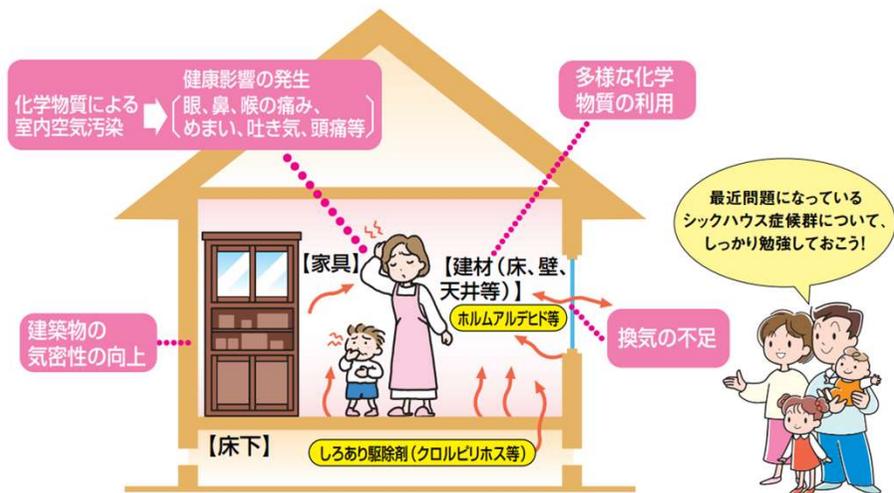
2 クロルピリホスの使用禁止

シックハウス症候群とは?

新築やリフォームした住宅に入居した人の、目がチカチカする、喉が痛い、めまいや吐き気、頭痛がする、などの「シックハウス症候群」が問題になっています。その原因の一部は、建材や家具、日用品などから発散するホルムアルデヒドやVOC(トルエン、キシレンその他)などの揮発性の有機化合物と考えられています。「シックハウス症候群」についてはまだ解明されていない部分もありますが、化学物質の濃度の高い空間に長期間暮らしていると健康に有害な影響が出るおそれがあります。

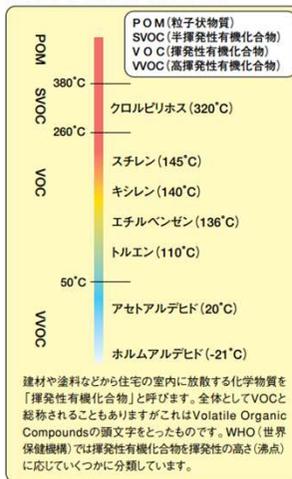
シックハウス症候群はなぜ起きるのでしょうか?

- ①住宅に使用されている建材、家具、日用品などから様々な化学物質が発散。
- ②住宅の気密性が高くなった。
- ③ライフスタイルが変化し換気が不足しがち。



化学物質とはどんなもの? どんな建材から発散してくるのでしょうか?

揮発性の有機化合物の沸点と分類



化学物質の室内濃度の指針値(厚生労働省)

化学物質	指針値※	主な用途
①ホルムアルデヒド	0.08ppm	合板、パーティクルボード、壁紙用接着剤等に用いられるユリア系、メラミン系、フェノール系等の合成樹脂、接着剤、一部ののり等の防霉剤
②アセトアルデヒド	0.03ppm	ホルムアルデヒド同様一部の接着剤、防霉剤等
③トルエン	0.07ppm	内装材等の施工用接着剤、塗料等
④キシレン	0.20ppm	内装材等の施工用接着剤、塗料等
⑤エチルベンゼン	0.88ppm	内装材等の施工用接着剤、塗料等
⑥スチレン	0.05ppm	ポリスチレン樹脂等を使用した断熱材等
⑦パラジクロロベンゼン	0.04ppm	衣類の防虫剤、トイレの芳香剤等
⑧テトラエカン	0.04ppm	灯油、塗料等の溶剤
⑨クロルピリホス	0.07ppb <small>(小児の曝露0.007ppb)</small>	しろあり駆除剤
⑩フェノカルブ	3.8ppb	しろあり駆除剤
⑪ダイアジノン	0.02ppb	殺虫剤
⑫フタル酸ジ-n-ブチル	0.02ppm	塗料、接着剤等の可塑剤
⑬フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	7.6ppb	壁紙、床材等の可塑剤

①⑨は建築基準法の規制対象物質
①～⑥は住宅性能表示で濃度を測定できる6物質

化学物質対策 シックハウス法(建築基準法)

建築基準法のホルムアルデヒド対策をさらに詳しく見てみましょう

(対策Ⅰ) 内装仕上げの制限

① 建築材料の区分

内装仕上げに使用するホルムアルデヒドを放散する建材には、次のような制限が行われます。

建築材料の区分	ホルムアルデヒドの放散	JIS, JASなどの表示記号	内装仕上げの制限
建築基準法の規制対象外	少ない 放散速度 5 μ g/mh以下	F☆☆☆☆	制限なしに使える
第3種ホルムアルデヒド発散建築材料	5 μ g/mh ~20 μ g/mh	F☆☆☆	使用面積が制限される
第2種ホルムアルデヒド発散建築材料	20 μ g/mh ~120 μ g/mh	F☆☆	
第1種ホルムアルデヒド発散建築材料	多い 120 μ g/mh超	旧E ₂ , Fc ₂ 又は表示なし	使用禁止

※1 μ g(マイクログラム):100万分の1gの重さ。放散速度1 μ g/mhは建材1m²につき1時間あたり1 μ gの化学物質が発散されることをいいます。
 ※2 建築物の部分に使用して5年経過したものについては、制限なし。
 ※3 JASでは、F☆☆☆☆のほかに「非ホルムアルデヒド系接着剤使用」などの表示記号もあります。

規制対象となる建材は次の通りで、これらには、原則としてJIS, JAS又は国土交通大臣認定による等級付けが必要となります。

木質建材(合板、木質フローリング、パーティクルボード、MDFなど)、壁紙、ホルムアルデヒドを含む断熱材、接着剤、塗料、仕上塗材など

② 第2種・第3種ホルムアルデヒド発散建築材料の使用面積の制限

第2種ホルムアルデヒド発散建築材料及び第3種ホルムアルデヒド発散建築材料については、次の式を満たすように、居室の内装の仕上げの使用面積を制限します。

$$\frac{N_2 S_2}{A} + \frac{N_3 S_3}{A} \leq 1$$

第2種分 第3種分

S_2 : 第2種ホルムアルデヒド発散建築材料の使用面積
 S_3 : 第3種ホルムアルデヒド発散建築材料の使用面積
 A : 居室の床面積

居室の種類	換気回数	N ₂	N ₃
住宅等の居室(※)	0.7回/h以上	1.2	0.20
	0.5回/h以上0.7回/h未満	2.8	0.50
上記以外の居室(※)	0.7回/h以上	0.88	0.15
	0.5回/h以上0.7回/h未満	1.4	0.25
	0.3回/h以上0.5回/h未満	3.0	0.50

※ 住宅等の居室とは、住宅の居室、下宿の宿泊室、寄宿舎の寝室、家具その他これに類する物品の販売業を営む店舗の売場をいいます。上記以外の居室には、学校、オフィス、病院などの用途の居室が含まれます。

国土交通省

https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.files/sickhouse_2.pdf

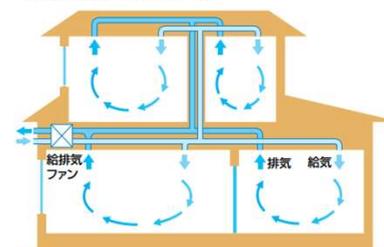
(対策Ⅱ) 換気設備設置の義務付け

原則として機械換気設備の設置が義務付けられます。

ホルムアルデヒドを放散する建材を使用しない場合でも、家具からの放散があるため、原則として全ての建築物に機械換気設備の設置が義務付けられます。

例えば住宅の場合、換気回数0.5回/h以上の機械換気設備(いわゆる24時間換気システムなど)の設置が必要となります。

24時間換気システムの一例



居室の種類	換気回数
住宅等の居室	0.5回/h以上
上記以外の居室	0.3回/h以上

(対策Ⅲ) 天井裏などの制限

機械換気設備を設ける場合には、天井裏、床下、壁内、収納スペースなどから居室へのホルムアルデヒドの流入を防ぐため、次の①~③のいずれかの措置が必要となります。ただし、収納スペースなどであっても、建具にアンダーカット等を設け、かつ、換気計画し居室と一体的に換気を行う部分については、居室とみなされ、対策Ⅰの対象となります。

① 建材による措置	天井裏などに第1種、第2種のホルムアルデヒド発散建築材料を使用しない(F☆☆☆以上とする)
② 気密層、通気止めによる措置	気密層又は通気止めを設けて天井裏などと居室とを区画する
③ 換気設備による措置	換気設備を居室に加えて天井裏なども換気できるものとする

建材や換気設備に関しても
ハウスメーカーや設計事務所、
工務店の人としっかり
相談しておこう!



知ってください!!

その香り

困っている人もいます

柔軟剤などの香りで頭痛や吐き気がするという相談があります。自分にとって快適な香りでも、困っている人もいることをご理解ください。

香りの感じ方には個人差があります。

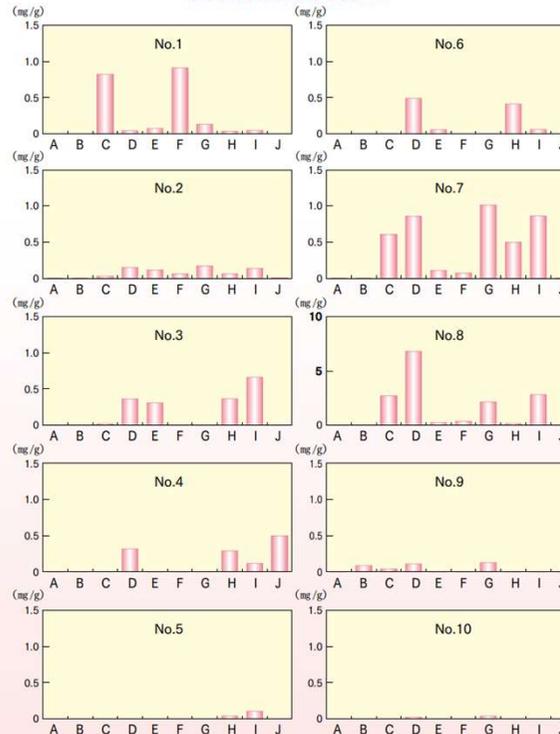
香り付き製品の使用に当たっては、周囲の方にもご配慮下さい。なお、使用される場合は、使用量の目安なども参考に。

柔軟剤の香りにはどんな成分が含まれているのでしょうか？

10成分について、柔軟剤などに含まれる量を調べました。

記号	成分名	香り
A	α -ピネン	松の香り
B	β -ピネン	木の香り
C	d-リモネン	柑橘の香り
D	リナロール	すずらんの香り
E	l-シトロネロール	柑橘の香り
F	ゲラニオール	バラの香り
G	α -イソメチルイオン	花の香り
H	2-メチル-3-(4-tert-ブチルフェニル)プロパナル	花の香り
I	α -ヘキシルシンナムアルデヒド	花の香り
J	安息香酸ベンジル	オレンジの香り

香り成分の含有量



- どの銘柄にも、複数の香料が使用されていました。
- 海外製品のNo. 7 と、特に香りをつけることができると謳われていたNo. 8 の銘柄で対象成分が多く含まれていました。

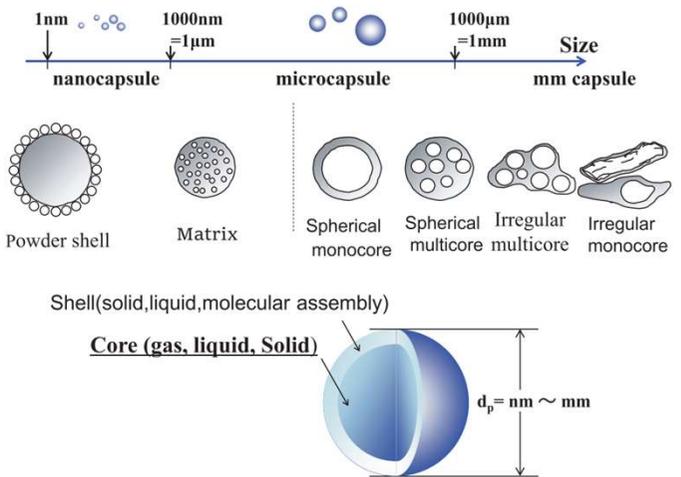


Fig. 1 Size, structure and shape of microcapsules.

マイクロカプセルのサイズ・構造

田中真人. マイクロカプセルの現状と応用展開, 日本画像学会誌 第59巻第4号, 367-375, 2020

- α -ピネン, β -ピネン, d-リモネンなどはモノテルペン類のVOC(揮発性有機化合物)。
- リナロール, l-シトロネロール, ゲラニオール等はモノテルペンアルコールに分類されるVOC(揮発性有機化合物)。
- 自然素材であっても化学物質であることに注意が必要。
- EUではマイクロプラスチック規制が2029年10月から実施(香料のカプセルに使用する合成ポリマー微粒子は2029年10月17日から適用)†。

†環境省資料

<https://www.env.go.jp/content/000354340.pdf>



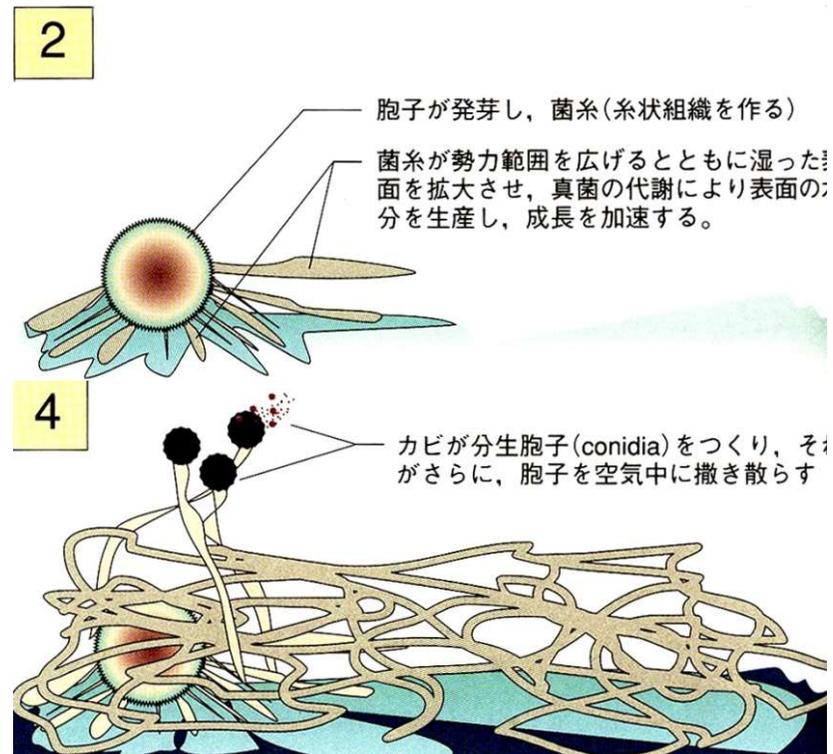
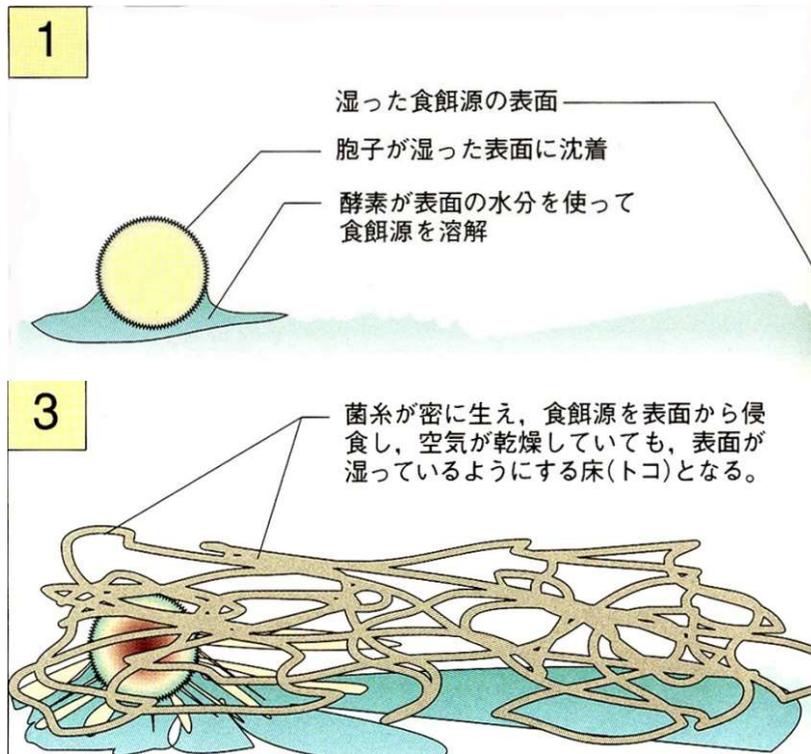
“92 % of people worldwide do not breathe safe air” WHO
世界人口の92%は安全な空気を吸っていない(2017)
現在のWHO Air Quality Guidelines基準に従うと、世界人口の99%は安全な空気を吸っていない(年平均 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24時間平均 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$)

カビの生育条件: 空気, 栄養, 温度, 水分, 時間

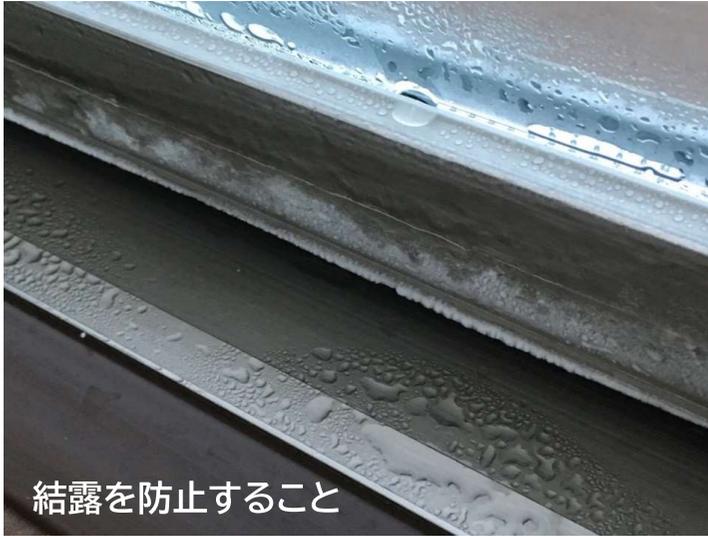
カビも水分を生成する(真菌の代謝が必要な水分を供給する)

カビも生存競争のために揮発性有機化合物を放出している(かび臭さ)

MVOCとして, アルコール類, ケトン類, アルデヒド類, ペルテン類など検出



浮遊微粒子対策(微生物汚染)



結露を防止すること



ドレンパンの水漏れ・ダクト内結露等の防止



加湿モジュールの状態



中性能フィルターの状態

AHU 内の付着微生物培養結果(100 倍希釈)

	1F AHU		供給側室内浮遊微生物	
	加湿モジュール 表面積 4.71 cm ² /分	チャンバー床 表面積 100 cm ² /分		
真菌 DG18				
細菌 SCD				

感染症の伝播メカニズム

細菌・ウイルスに感染した人・保有源(動物, 食品, 環境)

増殖メカニズム, 感染力持続時間

① 接触感染

主に経口感染症の原因

② 飛沫感染(近距離空気感染)

③ 空気感染(長距離空気感染)

主に呼吸器感染症の原因

感受性宿主

感染経路(直接, 間接, 空気)

増やさない工夫
(温度, 湿度)

減らす工夫
(換気量, 空気の流れ,
清拭頻度)

感染症リスク

微生物濃度

×

病原性

×

曝露時間

宿主感受性(免疫状態)

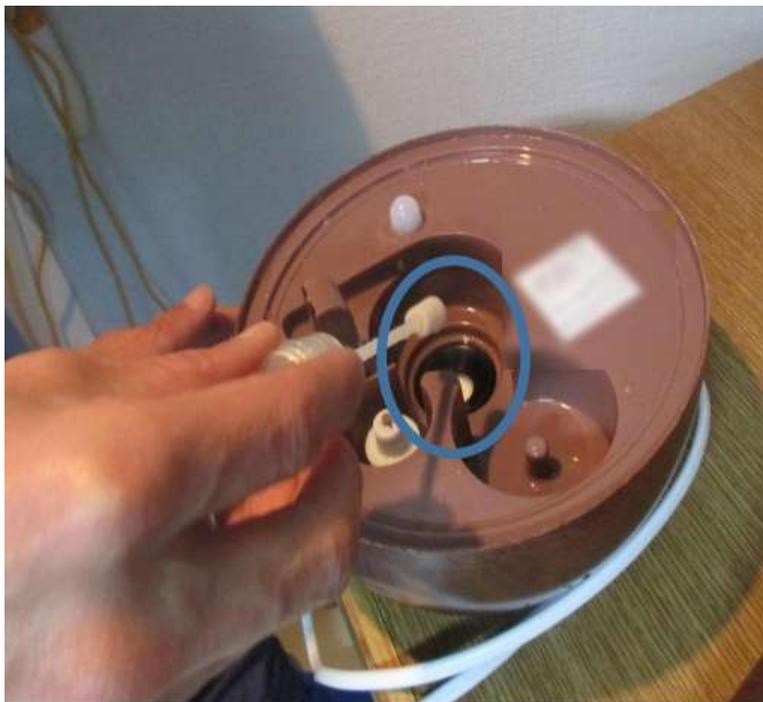
温度・湿度コントロールや換気制御は『建築』の役割

発生施設:大分県老人福祉施設

発生期間:2017年12月～2018年1月

感染源:ポータブル加湿器(超音波式)

患者数:3名(うち死者1名、ただしもう1人も治癒後の誤嚥性肺炎で死亡)



2例目患者居室の加湿器

大分県福祉保健部資料より

レジオネラ症を予防するために必要な措置に関する技術上の指針(厚生労働省)

加湿器を発生源とするレジオネラ症は、国内では報告例は少ないが、新生児室、高齢者施設等における感染例が報告され、海外でも同様の事例が報告されており、感染源として留意することが必要である。

加湿器の種類には、主に建築物の空気調和設備に組み込まれているもの(以下「加湿装置」という。)及び家庭等で使用される卓上用又は床置き式のもの(以下「家庭用加湿器」という。)がある。

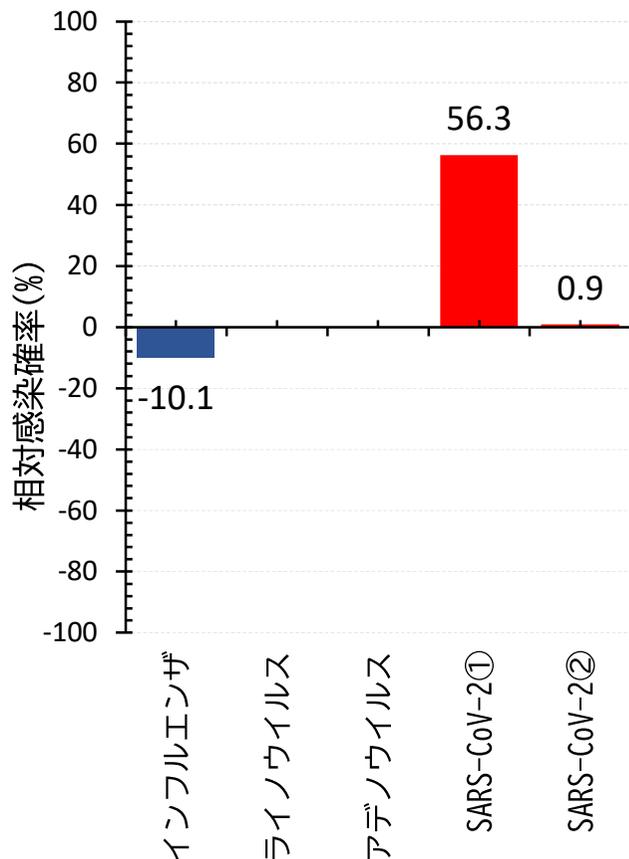
加湿器では、タンク内等において生物膜が生成されることによって、レジオネラ属菌をはじめとする微生物が繁殖しやすくなる。そのため、加湿器のタンク内等に付着する生物膜の生成を抑制し、その除去を行うことが必要である。……

インフルエンザ予防のための加湿が裏目に……

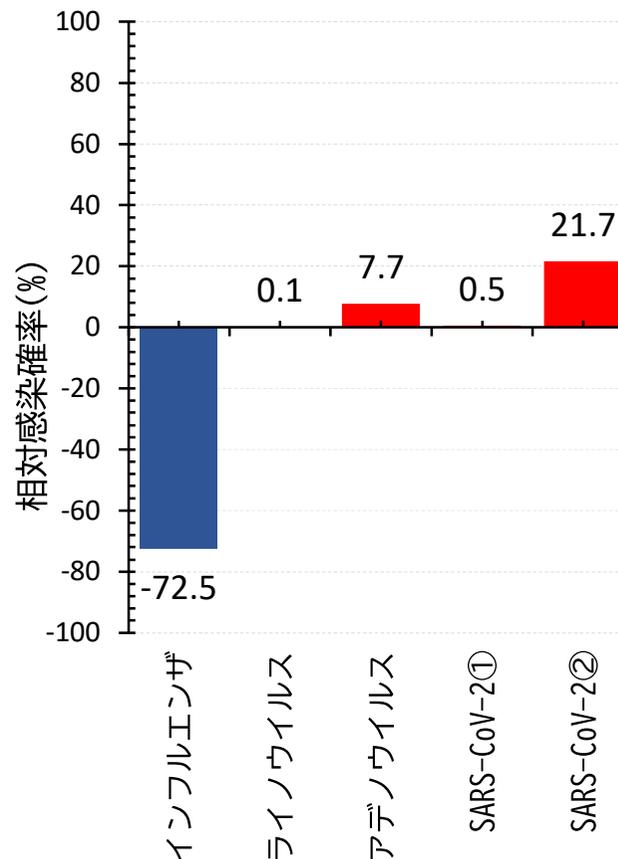
浮遊微粒子対策(ウイルス対策)

5種類の空気感染ウイルスに対する相対湿度の影響

相対湿度 20%→35%



相対湿度 20%→50%



換気量0.5回/h

加湿することによって相対感染確率を低下させることができたのはインフルエンザウイルスのみ。アデノウイルス, SARS-CoV-2は加湿することによって相対感染確率は上昇しています。



空気環境の保全に求められること

空気中には必ず異物が存在する

異物の特性を知る

異物の健康影響

異物の発生源対策

発生物質を適切に除去する

化学物質対策 シックハウス法(建築基準法)

建築基準法のホルムアルデヒド対策をさらに詳しく見てみましょう

(対策Ⅰ) 内装仕上げの制限

① 建築材料の区分

内装仕上げに使用するホルムアルデヒドを発生する建材には、次のような制限が行われます。

建築材料の区分	ホルムアルデヒドの発生	JIS, JASなどの表示記号	内装仕上げの制限
建築基準法の規制対象外	少ない 放散速度 5 μ g/mh以下	F☆☆☆☆	制限なしに使える
第3種ホルムアルデヒド発生建築材料	5 μ g/mh ~20 μ g/mh	F☆☆☆	使用面積が制限される
第2種ホルムアルデヒド発生建築材料	20 μ g/mh ~120 μ g/mh	F☆☆	
第1種ホルムアルデヒド発生建築材料	多い 120 μ g/mh超	旧E ₂ , Fc ₂ 又は表示なし	使用禁止

※1 μ g(マイクログラム):100万分の1gの重さ。放散速度1 μ g/mhは建材1m²につき1時間あたり1 μ gの化学物質が発生することをいいます。
 ※2 建築物の部分に使用して5年経過したものについては、制限なし。
 ※3 JASでは、F☆☆☆☆のほかに「非ホルムアルデヒド系接着剤使用」などの表示記号もあります。

規制対象となる建材は次の通りで、これらには、原則としてJIS, JAS又は国土交通大臣認定による等級付けが必要となります。

木質建材(合板、木質フローリング、パーティクルボード、MDFなど)、壁紙、ホルムアルデヒドを含む断熱材、接着剤、塗料、仕上塗材など

② 第2種・第3種ホルムアルデヒド発生建築材料の使用面積の制限

第2種ホルムアルデヒド発生建築材料及び第3種ホルムアルデヒド発生建築材料については、次の式を満たすように、居室の内装の仕上げの使用面積を制限します。

$$\frac{N_2 S_2}{\text{第2種分}} + \frac{N_3 S_3}{\text{第3種分}} \leq A$$

S_2 : 第2種ホルムアルデヒド発生建築材料の使用面積
 S_3 : 第3種ホルムアルデヒド発生建築材料の使用面積
 A : 居室の床面積

居室の種類	換気回数	N ₂	N ₃
住宅等の居室(※)	0.7回/h以上	1.2	0.20
	0.5回/h以上0.7回/h未満	2.8	0.50
上記以外の居室(※)	0.7回/h以上	0.88	0.15
	0.5回/h以上0.7回/h未満	1.4	0.25
	0.3回/h以上0.5回/h未満	3.0	0.50

※ 住宅等の居室とは、住宅の居室、下宿の宿泊室、寄宿舎の寝室、家具その他これに類する物品の販売業を営む店舗の売場をいいます。上記以外の居室には、学校、オフィス、病院などの用途の居室が含まれます。

国土交通省

https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.files/sickhouse_2.pdf

(対策Ⅱ) 換気設備設置の義務付け

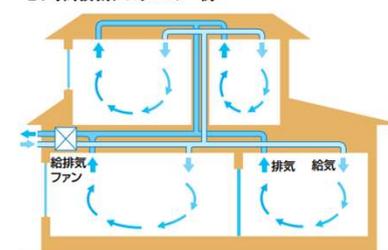
原則として機械換気設備の設置が義務付けられます。

ホルムアルデヒドを発生する建材を使用しない場合でも、家具からの発生があるため、原則として全ての建築物に機械換気設備の設置が義務付けられます。

例えば住宅の場合、換気回数0.5回/h以上の機械換気設備(いわゆる24時間換気システムなど)の設置が必要となります。

24時間換気システムの一例

居室の種類	換気回数
住宅等の居室	0.5回/h以上
上記以外の居室	0.3回/h以上



(対策Ⅲ) 天井裏などの制限

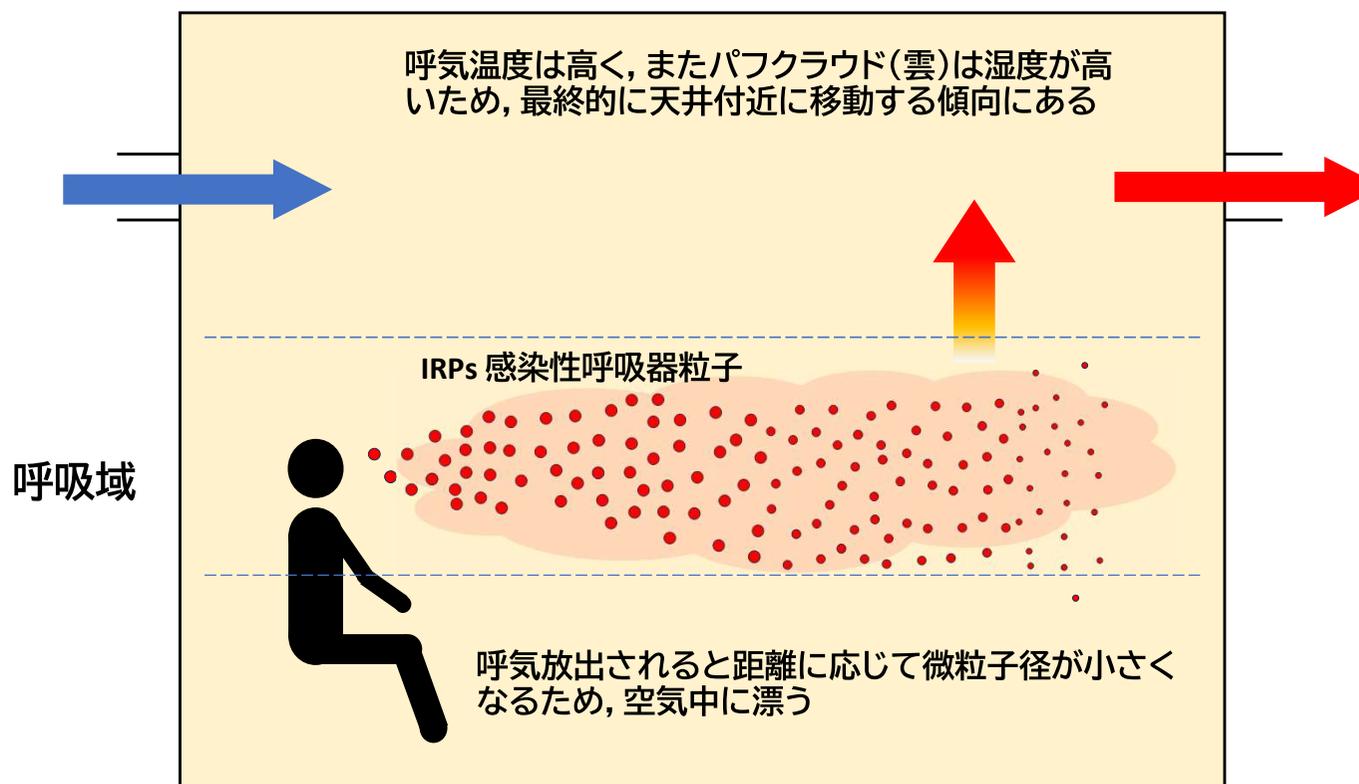
機械換気設備を設ける場合には、天井裏、床下、壁内、収納スペースなどから居室へのホルムアルデヒドの流入を防ぐため、次の①~③のいずれかの措置が必要となります。ただし、収納スペースなどであっても、建具にアンダーカット等を設け、かつ、換気計画し居室と一体的に換気を行う部分については、居室とみなされ、対策Ⅰの対象となります。

① 建材による措置	天井裏などに第1種、第2種のホルムアルデヒド発生建築材料を使用しない(F☆☆☆以上とする)
② 気密層、通気止めによる措置	気密層又は通気止めを設けて天井裏などと居室とを区画する
③ 換気設備による措置	換気設備を居室に加えて天井裏なども換気できるものとする

建材や換気設備に関してもハウスメーカーや設計事務所、工務店の人としっかり相談しておこう!



IRPs (Infectious Respiratory Particles) の効果的除去



- IRPs(感染性呼吸器粒子)はすぐには拡散せず、雲のように空気中を漂う。
- 扇風機などで攪拌することは、IRPsを移動させることになり、風下感染の原因になる。
- IRPsが拡散する前に排出するのが効果的。
- 無症状病原体保有者も居ることを想定すると、原則呼吸域の空気は攪拌せずに排気することが有効。

空気の流れをコントロールすること

呼吸域空気の清浄度を高めるためには、室内の空気流れをコントロールする必要があります。どのパターンが最も望ましいでしょうか？

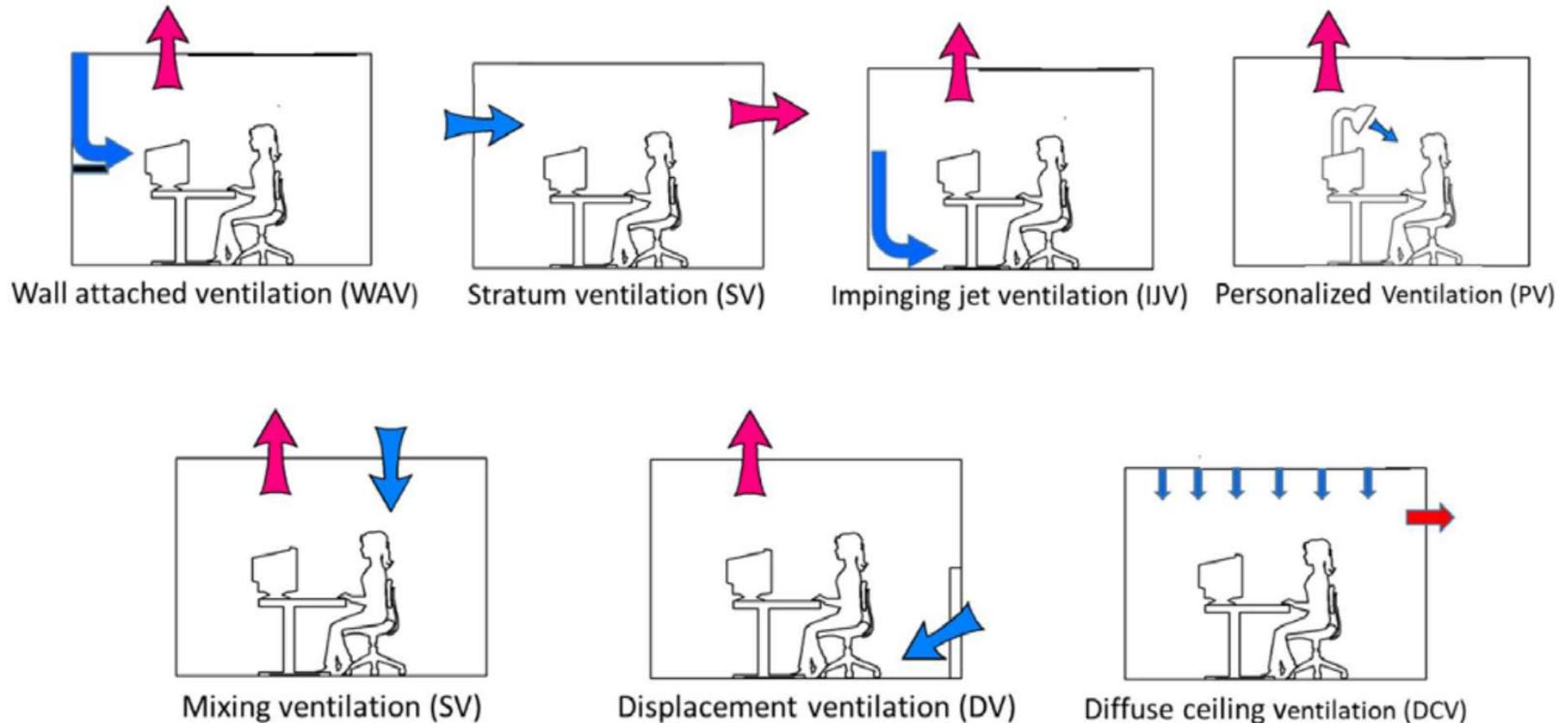
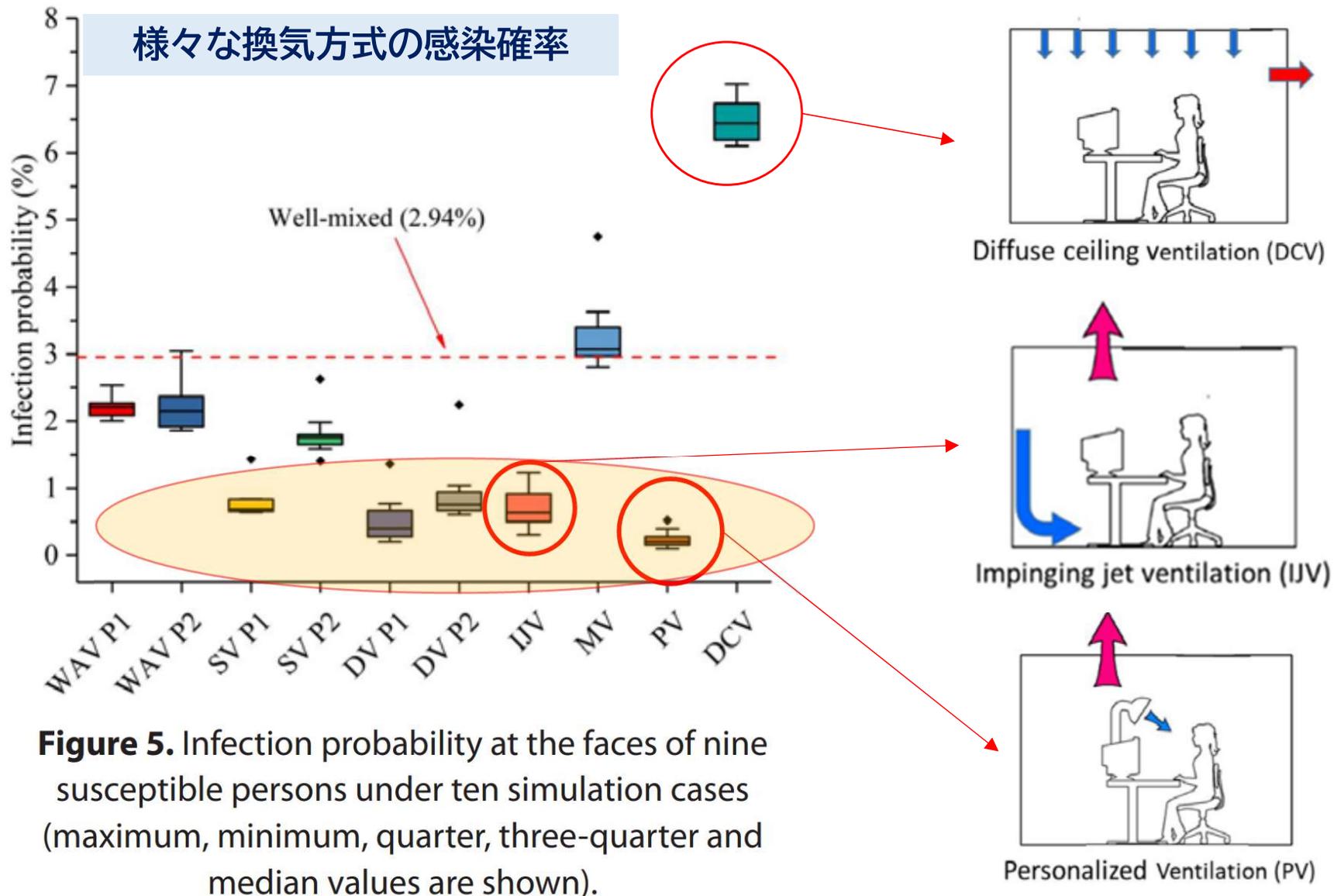


Figure 3. The simulated air distribution methods (blue arrows: supply; red arrows: exhaust).

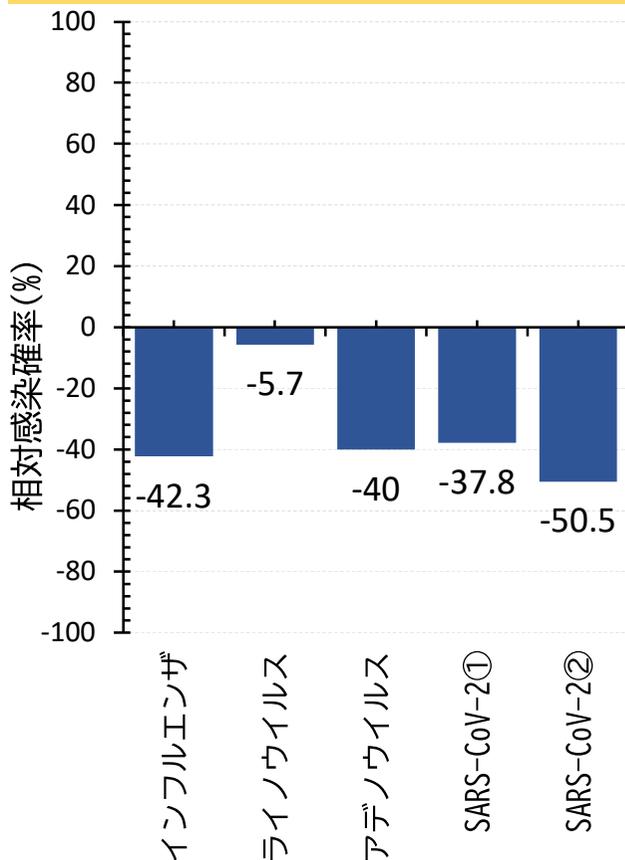


2.94%の感染確率(一様拡散換気の場合)が、流れをコントロールすることで感染確率が増減する。今回の場合、SV(Stratum Ventilation), DV(Displacement Ventilation), PV(Personalized Ventilation)が良い結果となる。

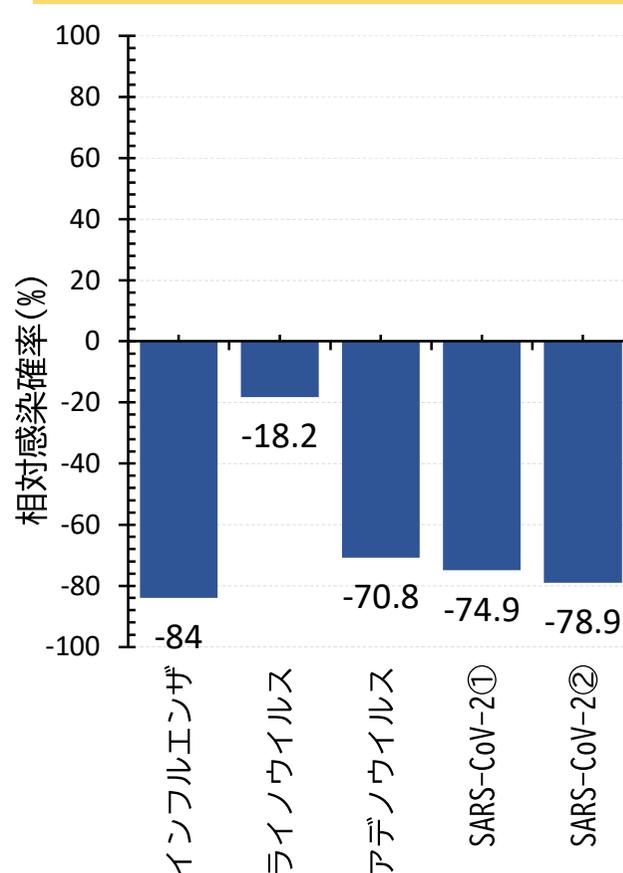
浮遊微粒子対策(ウイルス対策)

5種類の空気感染ウイルスに対する相対湿度の影響

換気量2.0回/h



換気量6.0回/h



相対湿度 20%

相対湿度が20%RHでも、換気量が増えることによって感染性微粒子(ウイルス)は除去されるため、相対感染確率は減少します。

集団生活の感染を防ぐための換気対策 保育所等及び高齢者施設の事例集

2023年11月

課題に対する改善策(詳細)

旧保育棟2階-保育室2

横浜さがみ幼稚園 3

- ① 天井裏にダクトを設置するスペースがないため、天井露出で全熱交換型換気設備を設置しました
- ② 築年数が古く、壁に穴を開けてダクトを貫通させることができないため、窓を一部塞いで設置しました
- ③ CO₂濃度による換気量自動制御、遠隔操作や温湿度等の確認ができるスマートスイッチと環境センサーを設置しました

■ 平面図(改善後)

■ 実際に設置した機器

■ 導入機器

全熱交換型換気設備(保育室2) 2台	
製造会社	三菱電機株式会社
機器名称(型番)	業務用ロスナイ天井付型(LGH-N50CS3)
最大風量	500m ³ /h
寸法(mm)	高さ440×幅1334×奥行770

オプション

製造会社	三菱電機株式会社
機器名称(型番)	スマートスイッチ(P-045WRC)
寸法(mm)	高さ120×幅70×奥行82

■ 環境センサー

製造会社	三菱電機株式会社
機器名称(型番)	環境センサー(温度・湿度・CO ₂)(P-09RC)
寸法(mm)	高さ76×幅84×奥行37

凡例

- 外気取込用ダクト(OA)
- 全熱交換型換気設備
- 排気用ダクト(EA)
- 換気扇
- 既設ダクトの再利用
- 壁掛け型パッケージエアコン

事後測定の結果

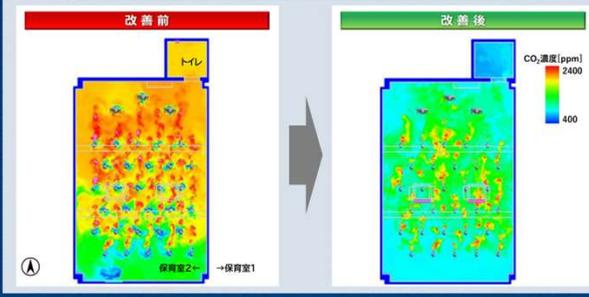
②空気のよどみの解消 CO₂濃度の改善

旧保育棟2階-保育室2

横浜さがみ幼稚園 3

- ① 改善前は保育室全体のCO₂濃度が高い状態でしたが、改善後は全体的にCO₂濃度が低下しました

通常保育時^{※1}の保育室2の各地点^{※2}におけるCO₂濃度をシミュレーションし、改善前後で比較した
※1 3~5歳児30名(男児15名、女児15名)、保育士3名が立っている状況場合を想定
※2 立った状態の園児の顔の高さ(0.9m)に設定



課題に対する改善策(詳細)

旧保育棟2階-保育室1・トイレ

横浜さがみ幼稚園 3

- ① 天井裏にダクトを設置するスペースがないため、天井露出でCO₂濃度による換気量の自動制御機能を搭載した全熱交換型換気設備を設置しました
- ② 築年数が古く、壁に穴を開けてダクトを貫通させることができないため、窓を一部塞いで設置しました
- ③ トイレには人感センサー(残置運転機能付き)を内蔵する換気扇を設置しました

■ 平面図(改善後)

■ 実際に設置した機器

■ 導入機器

全熱交換型換気設備(保育室1) 2台	
製造会社	三菱電機株式会社
機器名称(型番)	学校用ロスナイ天井露出形(SCH-50EXC)
最大風量	500m ³ /h
寸法(mm)	高さ295×幅900×奥行985

換気扇(トイレ)

製造会社	三菱電機株式会社
機器名称(型番)	パイプファン・トイレ洗面所用人感センサータイプ(V-12PEAD?)
最大風量	140m ³ /h
寸法(mm)	高さ230×幅230×奥行114.5

凡例

- 外気取込用ダクト(OA)
- 全熱交換型換気設備
- 排気用ダクト(EA)
- 換気扇
- 既設ダクトの再利用
- 壁掛け型パッケージエアコン

事後測定の結果

①換気量の確保

旧保育棟2階

横浜さがみ幼稚園 3

- ① 改善前は十分な機械換気設備がなく、窓開け換気を行っていましたが、改善後は機械換気設備のみで空気を換気量を確保できるようになりました
- ② 改善前は窓を閉めた状態ではCO₂濃度が1000ppmを大きく上回っていましたが、改善後は全熱交換型換気設備のみの運用でも1000ppmを下回り、以前の4分の1程度に改善しました
- ③ 改善前の換気量不足を窓開け換気で補っていた場合と比較すると、換気によって増加するエアコンの電力量は、新しいエアコンと熱交換換気の活用によって暖房時は約4分の1に、冷房時は約40%に減少します

	改前前	改前後
換気の方法	自然換気(窓は閉めた状態)	全熱交換型換気設備2台
1人当たりの換気量	毎時 4.4 m ³	毎時 29.9 m ³
CO ₂ 濃度 ^{※1}	3924 ppm	917 ppm
換気によるエアコンの電力増加量 ^{※2}	暖房時(1月):553 kWh 冷房時(8月):238 kWh	暖房時(1月):144 kWh 冷房時(8月):95 kWh

通常保育時に想定される1人当たりの換気量、CO₂濃度、消費電力量を計算し、改善工事前の状態と比較した。
^{※1} 3~5歳児30名、保育士3名が立った状態で様々な活動をしている場面を想定した。
^{※2} 改善前については、窓開け換気によって改善後と同じ換気量が得られたと仮定した。設定温度は1月22℃、8月26℃とした。
 全熱交換型換気設備、熱交換換気、エアコンの成績係数はカタログ値を使用した。

新型コロナウイルス感染症クラスターが発生した幼稚園での換気改修事例。換気量を増加させながらも、窓開け換気比べてエネルギー消費を抑える事例となりました。

内閣危機管理統括庁 感染拡大防止に向けた取組
https://www.caicm.go.jp/proposal/pdf/kanki_jirei_case_2023_1121.pdf





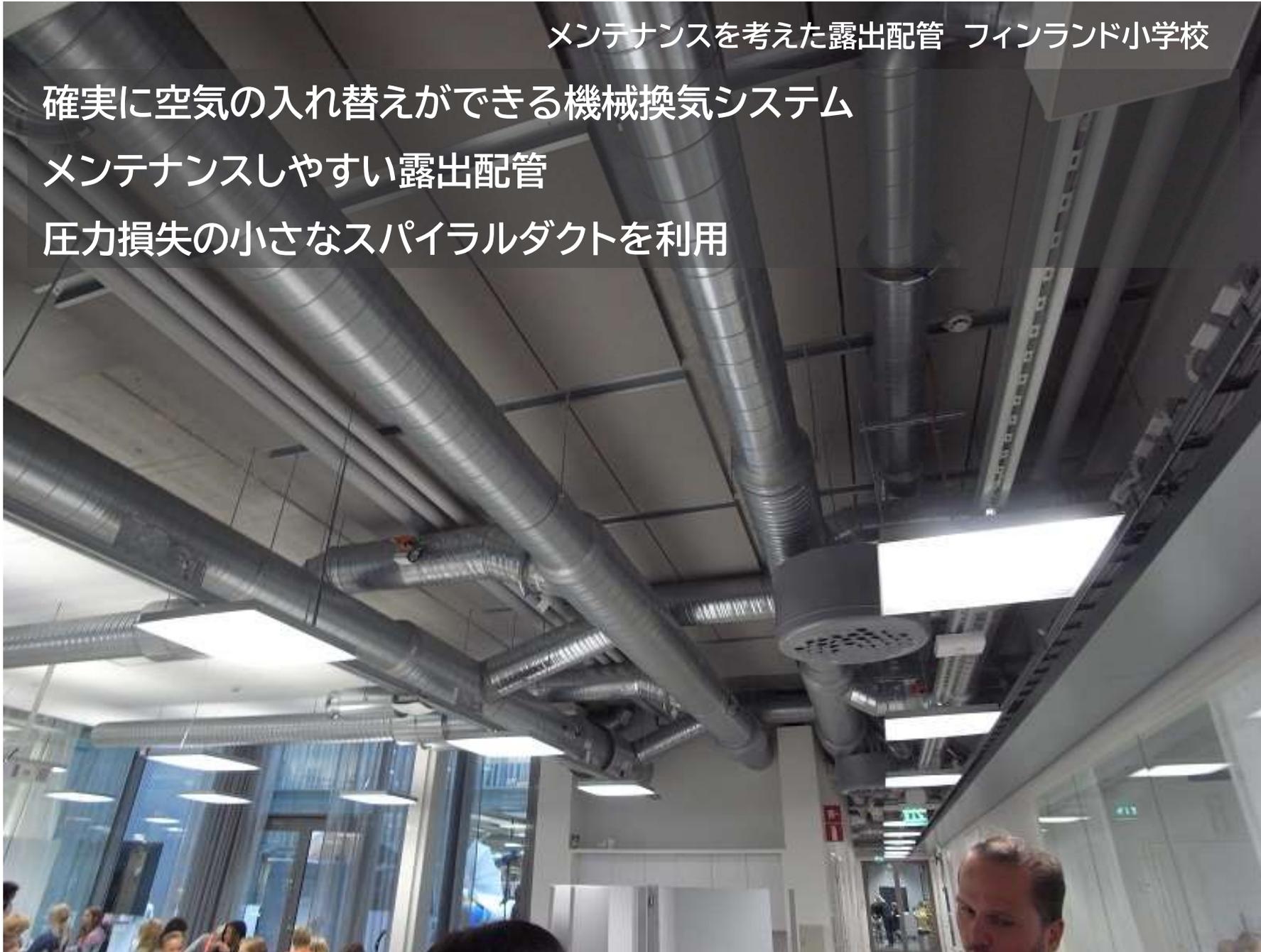
メンテナンスを考えた換気ダクト

メンテナンスを考えた露出配管 フィンランド小学校

確実に空気の入れ替えができる機械換気システム

メンテナンスしやすい露出配管

圧力損失の小さなスパイラルダクトを利用



メンテナンスを考えた換気ダクト



フィンランド小学校

オリフィスという風量確認の装置が設置されている。



適切な換気量を確保できる設備を



換気用エアハンドリングユニット フィンランド小学校

確実に空気の入れ替えができる機械換気システム

メンテナンスしやすい露出配管

圧力損失の小さなスパイラルダクトを利用

空気中には必ず異物が存在する

目に見えないナノ粒子、ミクロ粒子は空気中にたくさんあります。どんな異物が存在するのかを理解しましょう。

異物の特性を知る

気体の状態になっている化学物質(ガス)と固体・液体の微粒子が空中に浮遊しています。化学物質は他の物質と反応して別の物質に変わります。

異物の健康影響

どんな物質でも許容量を超えると有害です。どのように有害なのかは物質の特性によります。化学反応を起こすのか、感染性なのか非感染性なのか、免疫反応が起こるのかなど各々の特徴を把握しましょう。

異物の発生源対策

化学物質は、どこに含まれているのかを理解することが大切です。化学反応しない限り増えません。カビや細菌などの微生物は室内環境中で増殖します。ウイルスは体内で増殖します。

発生物質を適切に除去する

発生させないことが大事ですが、発生した化学物質、浮遊微粒子は換気によって適切に除去しましょう。換気の仕方によって効果が変わりますので注意が必要です。微粒子はフィルター、電気集塵式の空気清浄機が、ガス状化学物質は吸着剤等が利用できます。これらも適宜利用しましょう。