



Tokyo Tech

室内空気的重要性と環境改善対策

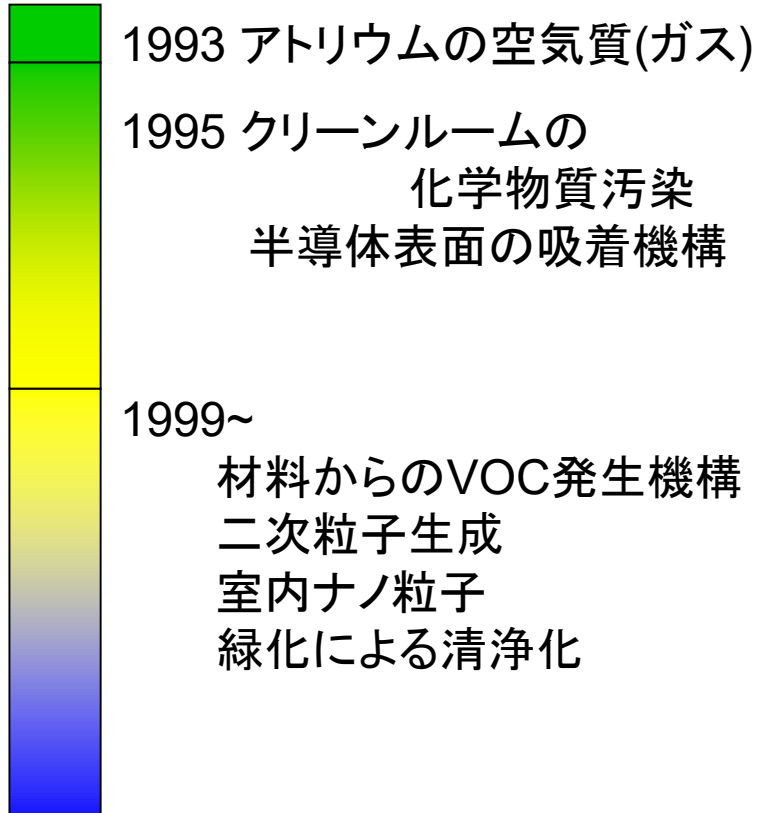
鍵 直樹
東京工業大学

令和5年度「化学物質健康影響に関する講習会」

鍵直樹の研究概要

(建築環境工学, 室内空気質, 化学物質, エアロゾル)

大学時代



国立保健医療科学院時代

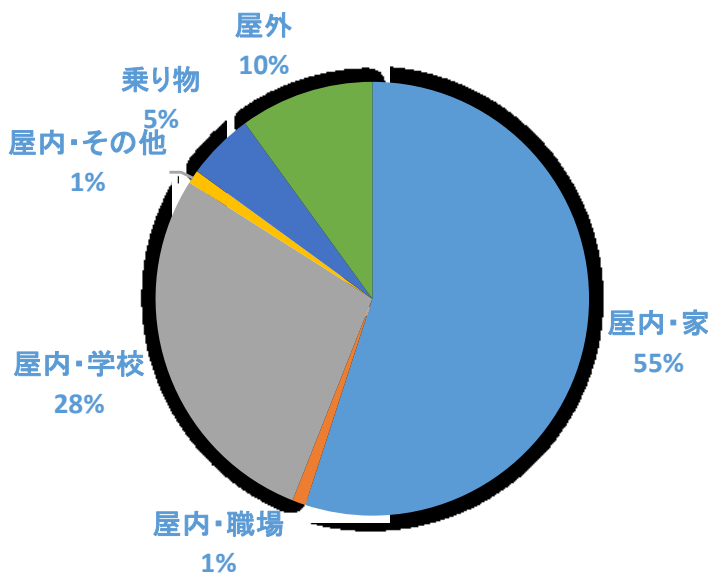


講演の内容

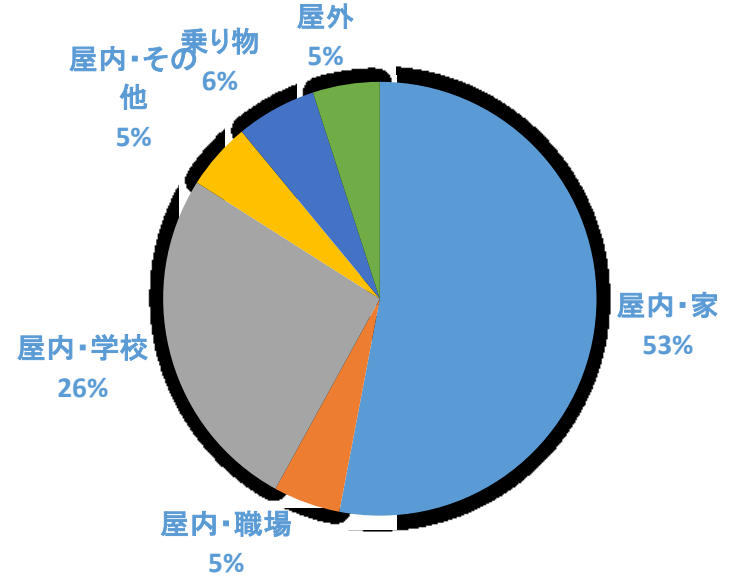
- 室内空気環境と室内空気質
- シックハウス症候群と化学物質過敏症
- 室内空気汚染物質
- 室内空気環境の改善対策（換気・空気清浄機）

建物の中にいる時間を考えてみよう

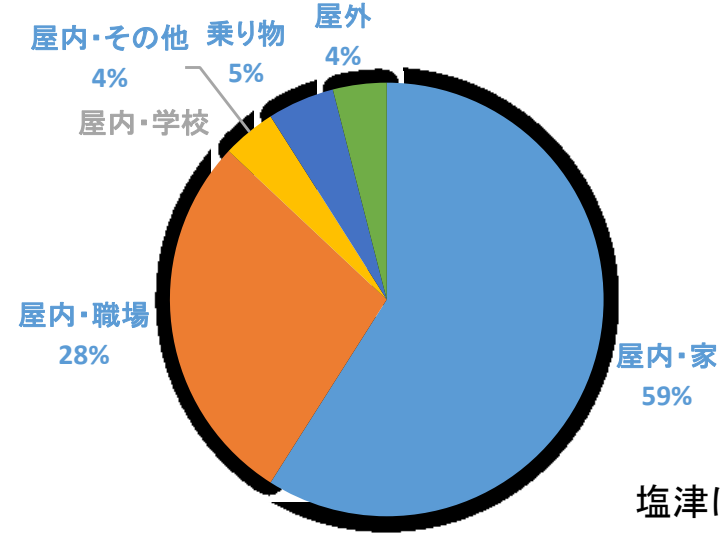
高校生



大学生

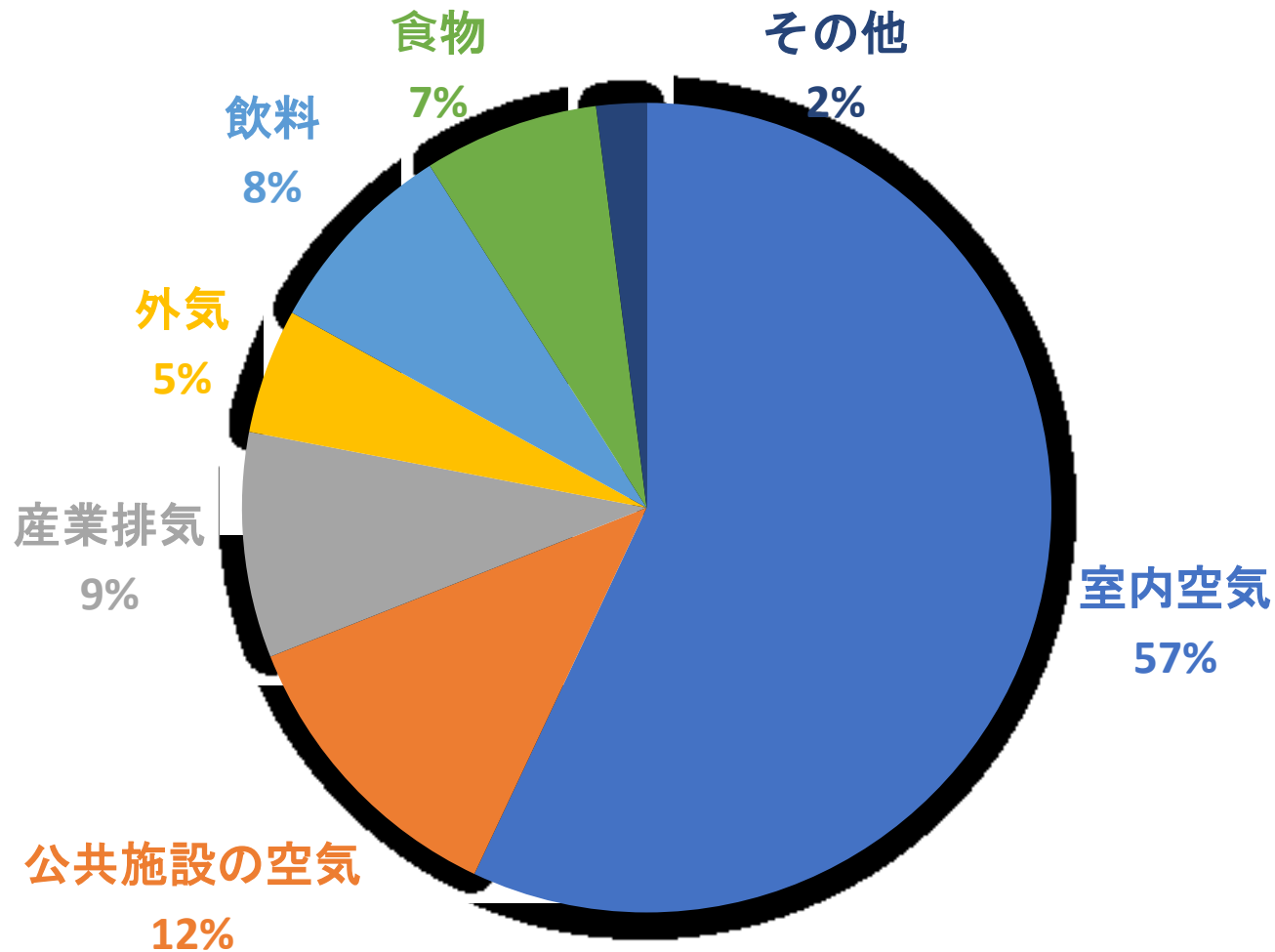


社会人



先進国では8割以上

人体への1日の摂取量（重量比）



室内空気の組成(清浄空気)

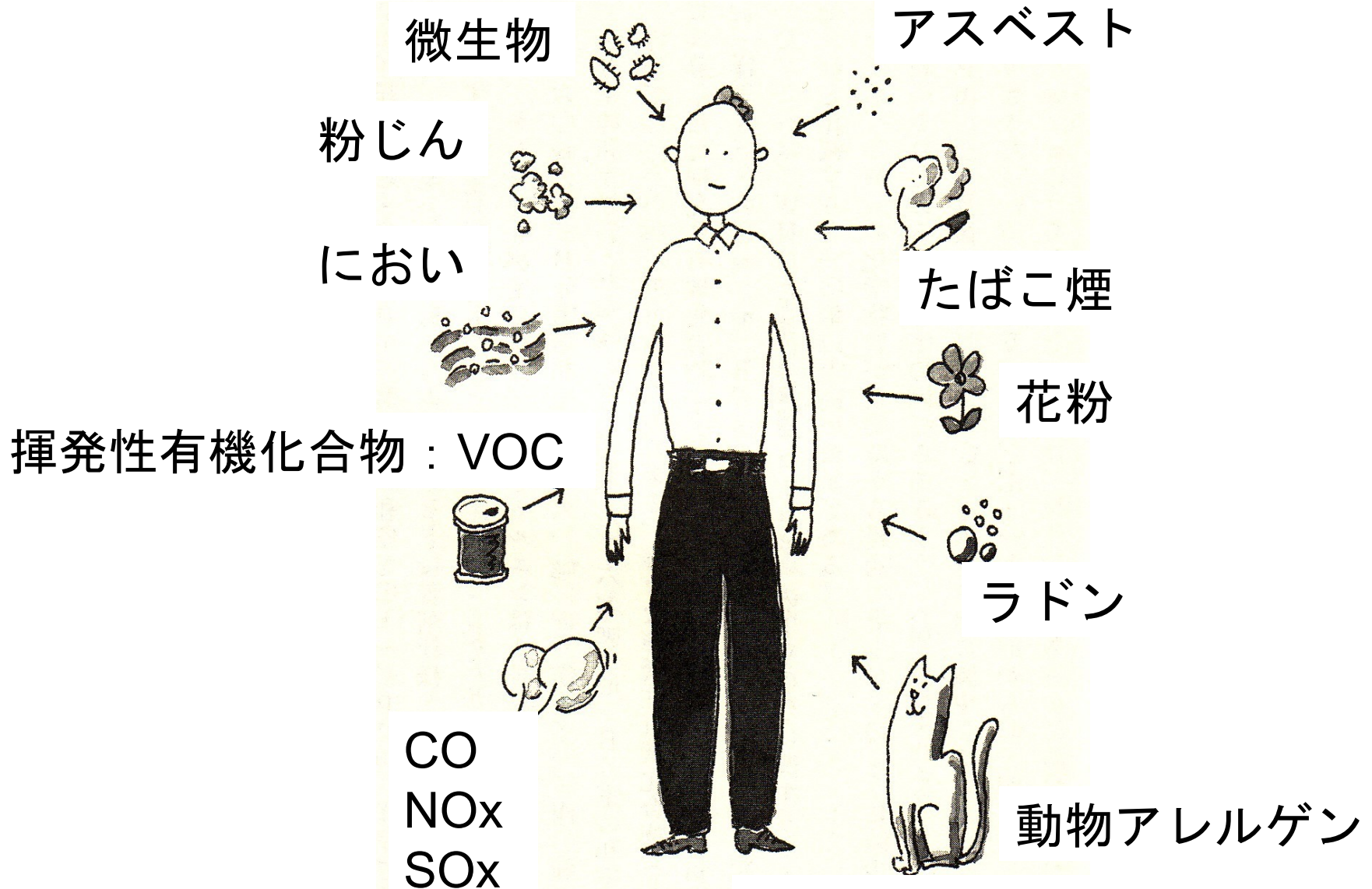
成分	割合
窒素	78%
酸素	21%
アルゴン	1%
二酸化炭素	0.03%
その他のガス	微量

通常の空気中には、水、粒子も存在
汚染になる物質は、非常に微量

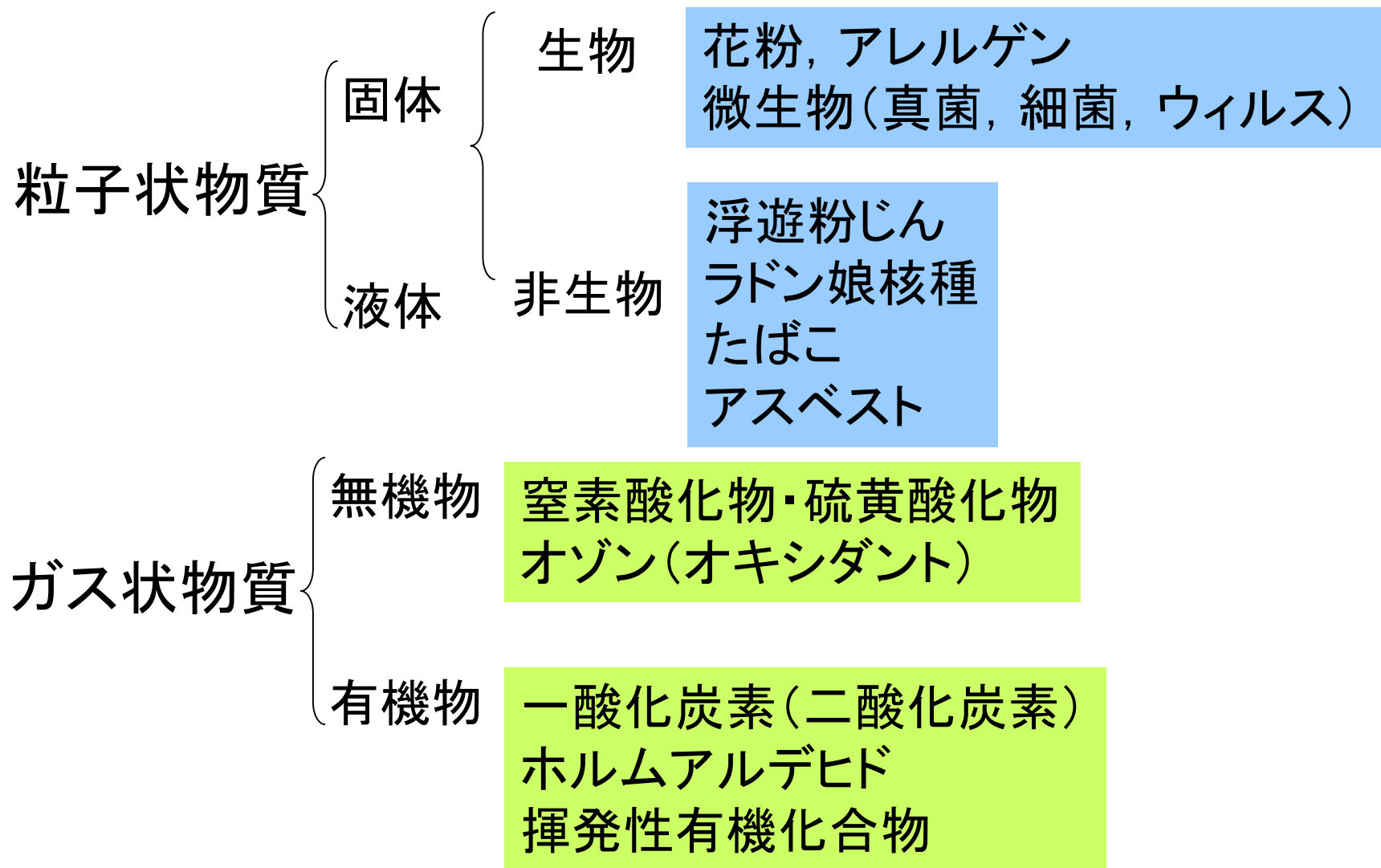
良い空気とは？

- におい・臭い
- 森(森林・森林浴)
- 自然
- 山
- 害
- 呼吸(深呼吸)
- 湿度
- 温度
- 健康
- 化学物質
- 汚染
- 排ガス・排気ガス
- 快適
- おいしい
- 緑(新緑)
- 朝

人体と様々な室内空気汚染物質



室内空気汚染物質の概要

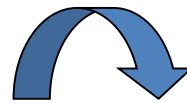


空気清浄の方法の基本

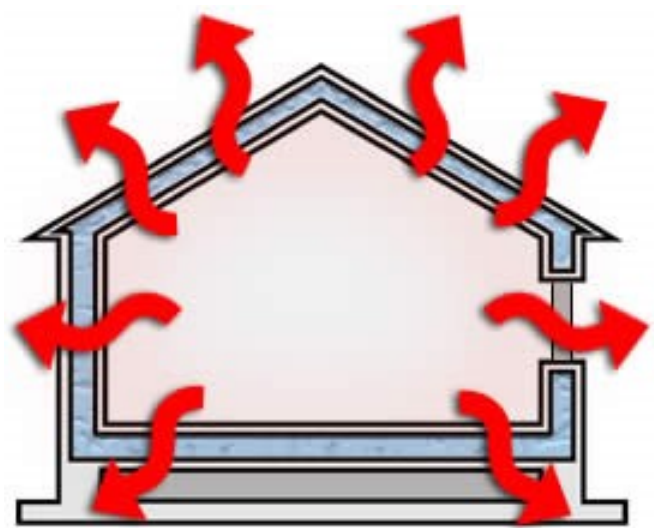
制御対象物質	特徴	方法	効果
粒子状物質	気流影響	換気・フィルタろ過・局所排気	希釈・除去
ガス状物質	拡散大	換気	希釈

吉田兼好 徒然草

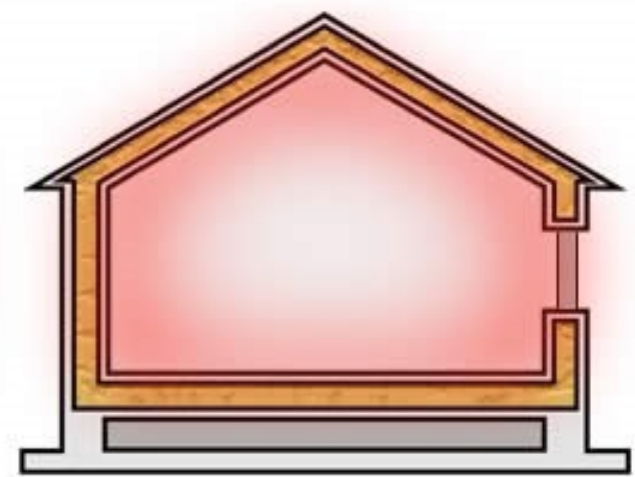
- 第五十五段
- 家の作りやうは、夏をむねとすべし。冬は、いかなる所にも住まる。暑き比わろき住居は、堪え難き事なり。



高断熱・高気密化



気密性・断熱性の低い建物



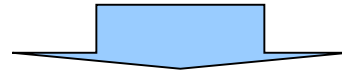
高気密・高断熱の建物

シックハウス症候群の原因

日本の住宅「住まいは夏を旨とすべし」
エネルギー危機・省エネルギー対策



建物の高気密化・換気量減少



外気取り入れ量減少



+ 新建材・什器

室内空気質の悪化
シックハウス症候群の顕在化

日本の対策：問題が顕在化後進む

シックハウス(Sick House Syndrome)とは

シックハウス症候群とは、住宅の新築や改装工事後、住宅建材から室内に発生する揮発性化学物質やダニアレルゲンが原因で体調不良または健康障害を引き起こす事と言われているが、未だその定義は明確にされていない。

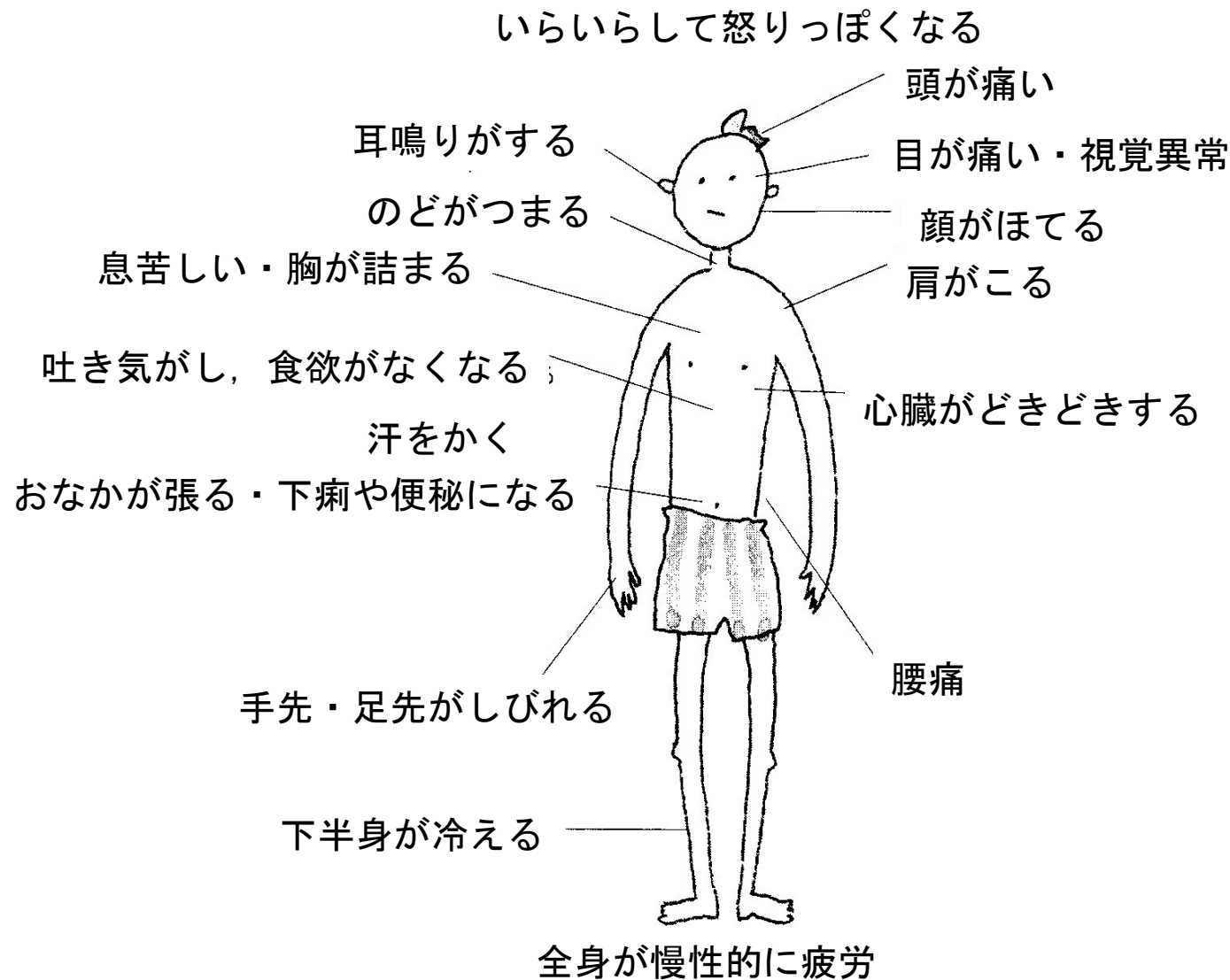
主な症状としては頭痛、喉の痛み、眼の痛み、鼻炎、嘔吐、呼吸器障害、めまい、皮膚炎などが上げられているが、病気としてのメカニズムと治療法も解明されておらず、医療分野でも対応が整備されていないのが現状。

化学物質過敏症とシックハウスの関係

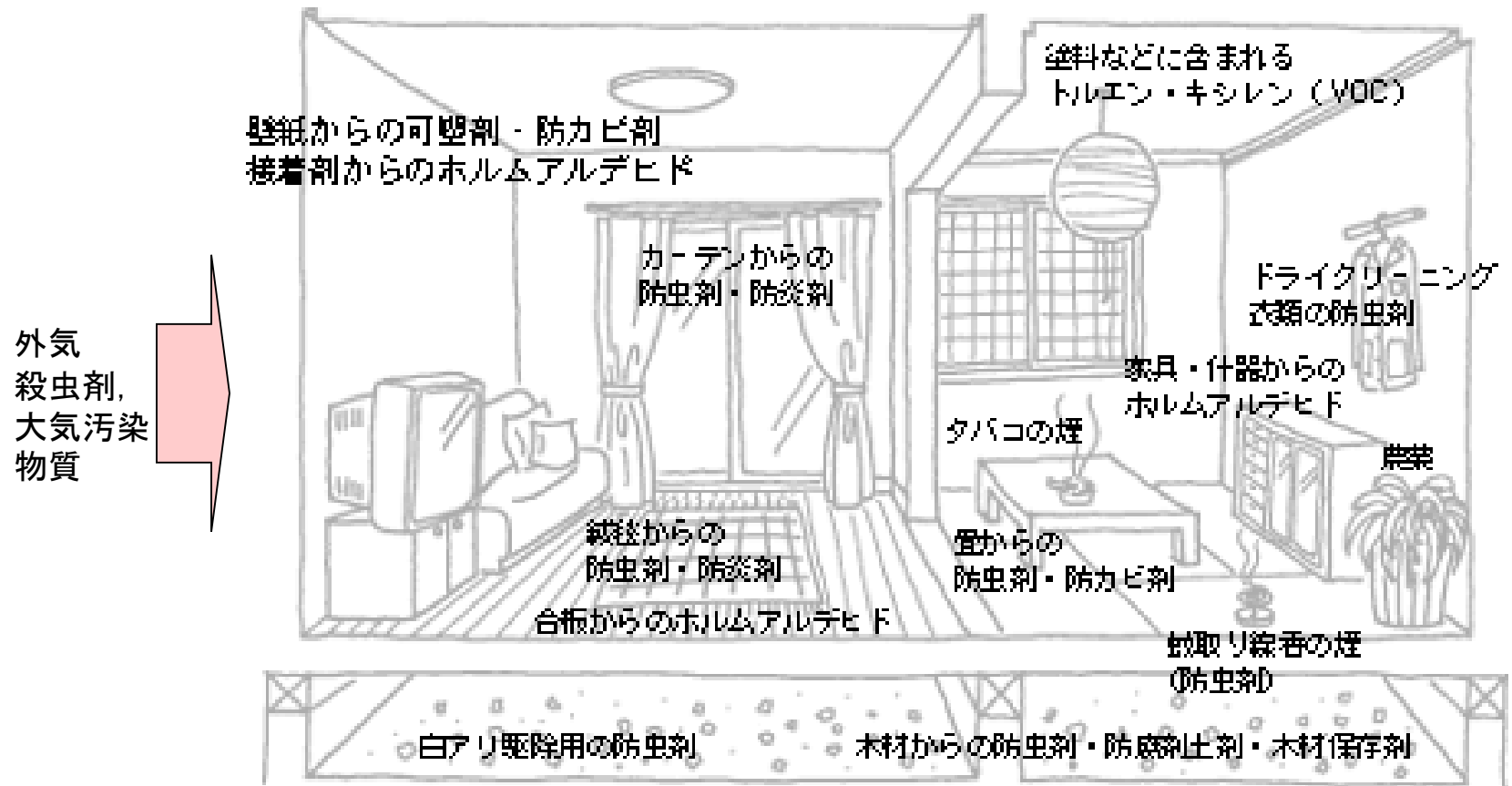
シックハウス症候群同様、**化学物質過敏症**もまた同じような症状がある。但し、シックハウス症候群は住居内での知覚症状が多いのに対し、化学物質過敏症はあらゆる環境において化学物質に過敏に反応し、排気ガスやタバコの煙など大気中の化学物質をはじめ、化粧品や洗剤などに含まれる微量の化学物質にも反応する。

このような症状から、化学物質過敏症は日常生活にも大きな支障をきたす場合が多く、現実的に自宅を離れ療養生活を余儀なくされている方も少なくない。

化学物質過敏症の症状



建築材料からの放散



化学物質過敏症：

<http://npo.house110.com/sickhouse/vol001/005.html>

厚生労働省が策定した室内濃度指針値

VOCs	Guideline value
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)
トルエン	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)
キシレン	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
p-ジクロロベンゼン	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
エチルベンゼン	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)
スチレン	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
クロルピリホス	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) For children: 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb)
ジ-n-ブチルフタル酸	17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.5 ppb)
テトラデカン	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
ジ-(2-エチルヘキシル) フタル酸	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.3 ppb)
ダイアジノン	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)
アセトアルデヒド	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)
フェノブカルブ	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb)
TVOC	暫定目標値: 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

建物側からの対策

改正建築基準法

- 規制対象は居室を有する建築物全般
- クロルピリホスの使用禁止とホルムアルデヒド発散建材の使用制限
- 建材の選定と機械換気による対策
- 例外を除き機械換気は必要
- 天井裏等の対策

建築物衛生法

- ホルムアルデヒドの基準値設定

50年代からの室内汚染の変遷

Atmospheric Environment 43 (2009) 153–169



Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv



Changes in indoor pollutants since the 1950s

Charles J. Weschler^{a,b}

^a Environmental and Occupational Health Sciences Institute, University of Medicine and Dentistry of New Jersey and Rutgers University, Piscataway, NJ 08854, USA

^b International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark

ABSTRACT

Keywords:

Air conditioning
 Body burden
 Building materials
 Endocrine disruptors
 Flame-retardants
 Indoor chemistry
 Organics
 Pesticides
 Plasticizers
 Smoking

Over the past half-century there have been major changes in building materials and consumer products used indoors. Composite-wood, synthetic carpets, polymeric flooring, foam cushioning, plastic items and scented cleaning agents have become ubiquitous. The same is true for mechanical and electrical appliances such as washer/dryers, TVs and computers. These materials and products emit an array of chemicals including solvents, unreacted monomers, and additives. The consequent changes in emission profiles for indoor pollutants have been accompanied by modifications in building operations. Residences and non-residences are less ventilated than they were decades ago. Air-conditioned buildings are more numerous, especially in certain parts of the world. Most of these recirculate a high fraction of their air. The personal habits of building occupants, including the fraction who smoke indoors, have also changed. Taken together, these changes have altered the kind and concentrations of chemicals that occupants are exposed to in their homes, workplaces and schools. Since the 1950s, levels of certain indoor pollutants (e.g., formaldehyde, aromatic and chlorinated solvents, chlorinated pesticides, PCBs) have increased and then decreased. Levels of other indoor pollutants have increased and remain high (e.g., phthalate esters, brominated flame-retardants, nonionic surfactants and their degradation products). Many of the chemicals presently found in indoor environments, as well as in the blood and urine of occupants, were not present 50 years ago. Given the public's exposure to such species, there would be exceptional value in monitoring networks that provided cross-sectional and longitudinal information regarding pollutants found in representative buildings.

建築材料と製品(論文より)

- 建築材料

複合材(ホルムアルデヒド), PVCパイプ・ワイヤー・ケーブル(準揮発性有機化合物:SVOC)

- 製品

カーペット, 床材(リノリウム→PVC), 塗料(Texanol, リモネン), 家具, パーティション, 洗剤(柔軟剤), 消臭・芳香剤(テルペン類), 家電製品(SVOC), 衣服(ドライクリーニング)

生活習慣(論文より)

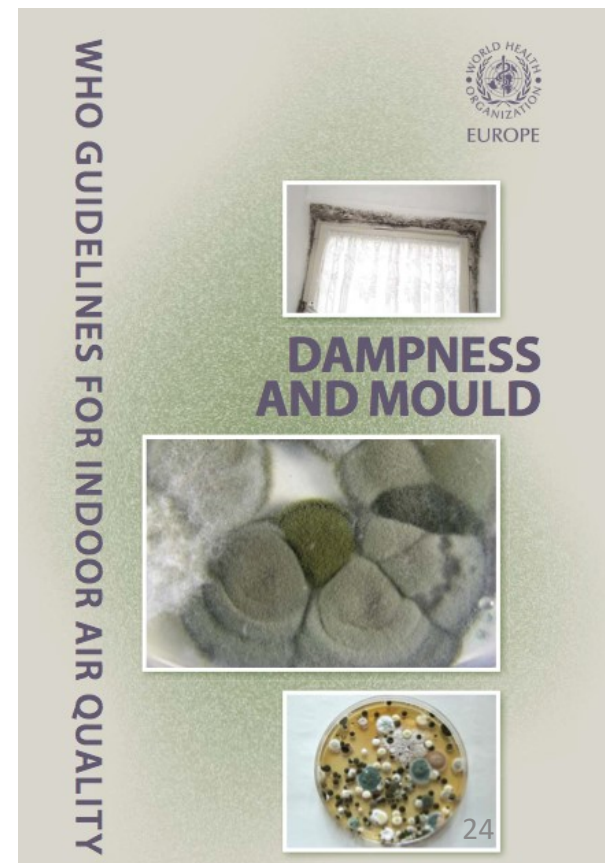
- 喫煙
室内における喫煙の減少
- 室内における時間の過ごし方
室内での時間が多くなる
- 室内ペット
ペットアレルギー

建物の特性(論文より)

- 気密性の向上
省エネの観点から
- 空調
オフィス及び住宅でも, 換気的重要性
- (日本古来の住宅から欧米化へ)
- ダンプ?

ダンプネス(ビルディング)とは

- 住宅や建築物の湿度環境が過剰であること。
- これにより、微生物の発生、材料の劣化、カビ臭、湿度過剰の問題がある。
- 室内の湿度の発生は、調理、洗濯、風呂、人、植物、その他に大気、地盤、漏水、洪水などもある。
- 高湿度と共に、結露により被害が拡大する。



室内空気汚染の傾向(論文より)

- 無機ガス

CO, NO_x, ラドン↓

オゾン? : コピー機, イオン発生器

- VVOC

ホルムアルデヒド↓

アセトアルデヒド↓? (室内化学反応)

室内空気汚染の傾向(論文より)

- VOC, アルデヒド
ヘキサナール, ノナナール, デカナール↑?(室内化学反応)
- VOC, アルカン, 芳香族↓
テトラクロロエチレン↑, ↓(ドライクリーニング)
- VOC, フタル酸類, シロキサン類
DMP, DEP↑(化粧品類)
D5(化粧品, 制汗剤)

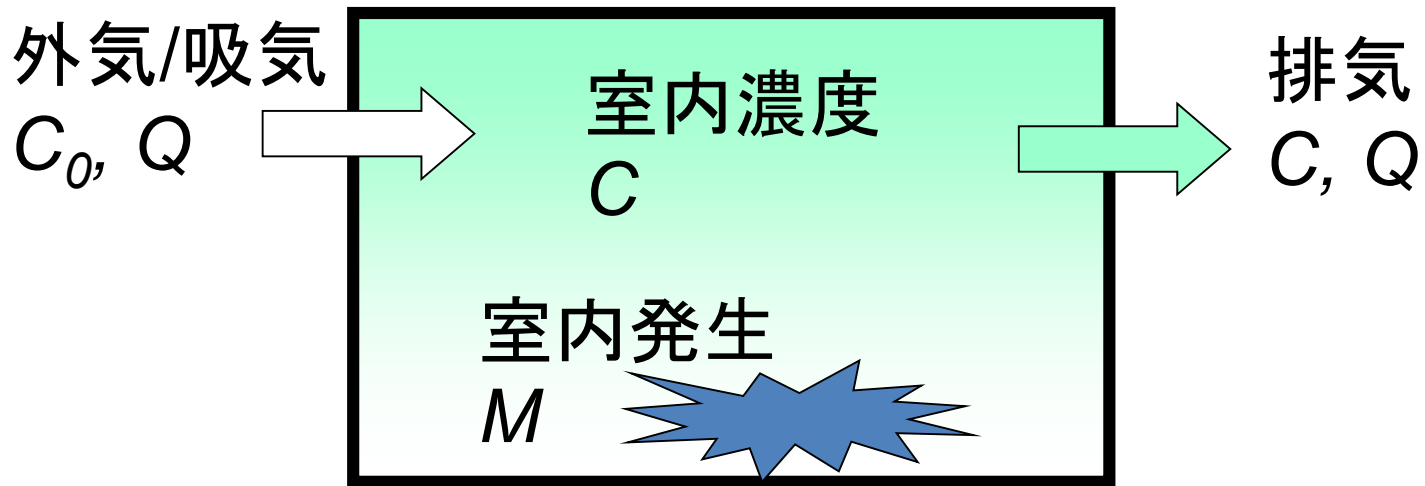
室内空気汚染の傾向(論文より)

- SVOC(準揮発性有機化合物)
BHT, DBP, BBP↑(酸化防止剤, 可塑剤)
DEHP↑↓(製品(おもちゃ)含有の減少)
- 金属, 繊維
アスベスト↓
- 粒子
アレルギー↑?(ダンプ, ペット)
真菌・細菌↑?(ダンプ)
浮遊粒子↓(喫煙の減少, 大気の減少)

空気清浄対策の基本

- 部屋に入れない：外気の影響
- 発生させない：室内の発生物
- 持ち込まない：家具，外の汚染物
- 除去する：換気，清浄機
- 堆積させない：こまめな管理

室内空気汚染物質濃度



C_0 : 外気濃度
 C : 室内濃度
 Q : 換気量
 M : 発生量
 V : 室容積

$$C = C_0 + \frac{M}{Q}$$

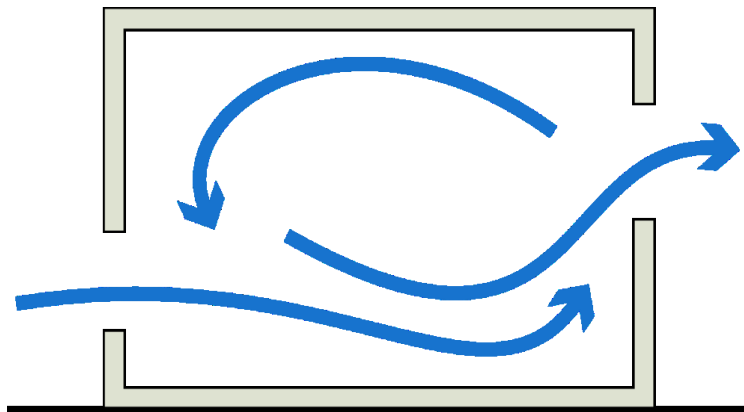
換気回数

$$n = \frac{Q}{V}$$

学校環境衛生基準（換気）

- 炭酸ガス（二酸化炭素）：常に**1000 ppm以下**であることが望ましい、いかなる場合でも1500 ppm以上に及ぶことがあってはならない（S34）
- 1000 ppm（1人あたりの新鮮空気量33 m³/h）から1500 ppmに緩和（S43）
生徒が入室後，授業の終わりに至るまでのCO₂の蓄積過程で，**1500 ppmを超えぬ**ことを条件に。
CO₂の有害性ではなく，悪影響の把握としては体臭の知覚評価を考えている。

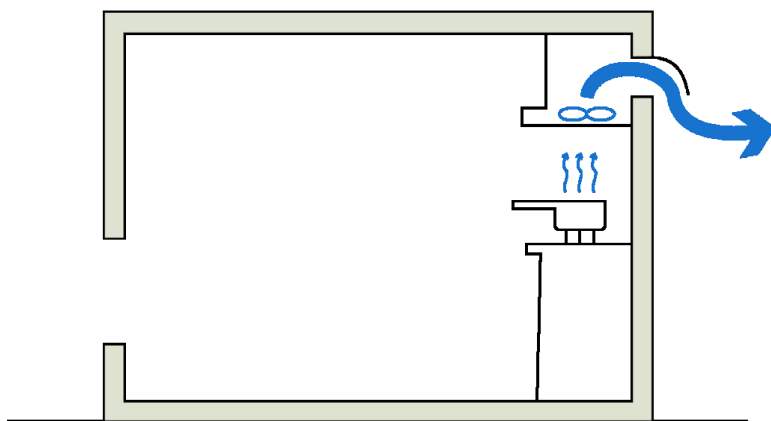
全般換気・局所換気



全般換気

室全体を換気し、室内の汚染物質を低く保つ

- 汚染物質が室内に一様に分布する場合
- 居室の一般的な換気に用いられる



局所換気

**局所的に発生する、室内の汚染物質、
臭気・水蒸気・熱などを排出する**

- 工場
- 厨房、トイレ、浴室 など

空気清浄機に求められる除去性能

- 粉じん: たばこ煙, $PM_{2.5}$, ハウスダスト, 超微粒子
- ガス状物質: シックハウス関連物質
- 臭気
- ウイルス, 真菌, 細菌, 花粉

- 花粉の分解・除去
- 浮遊ウイルス・細菌の抑制, 除菌
- アレルギー物質の抑制
- 化学物質の分解
- 付着ウイルス・臭気対策, お肌...

冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法

外気温が低いときに、「換気の悪い密閉空間」を改善する換気と、室温の低下による健康影響の防止を両立するため、以下の点に留意してください。

✓「換気の悪い密閉空間」は新型コロナウイルス感染症のリスク要因の一つに過ぎず、一人あたりの必要換気量を満たすだけで、感染を確実に予防できるわけではなく、人が密集した空間や密接な接触を避ける措置を併せて実施する必要があります。

推奨される換気の方法

① 窓の開放による方法

換気機能を持つ冷暖房設備※や機械換気設備が設置されていない、または、換気量が十分でない商業施設等は、以下に留意して、窓を開けて換気してください。

※ 冷暖房設備本体に屋内空気の入力口がある（換気用ダクトにつながっていない）場合、室内の空気を循環させるだけで、外気を取り入れ機能はないことに注意してください。

□ 居室の温度および相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持できる範囲内で、暖房器具を使用※しながら、一方向の窓を常時開けて、連続的に換気を行うこと。

※ 加湿器を併用することも有効です。

□ 居室の温度および相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持しようとすると、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の空気清浄機を併用すること。

窓開け換気による室温変化を抑えるポイント

◆ 一方向の窓を少しだけ開けて常時換気をする方が、室温変化を抑えられます。窓を開ける幅は、居室の温度と相対湿度をこまめに測定しながら調節してください。

◆ 人がいない部屋の窓を開け、廊下を経由して、少し暖まった状態の新鮮な空気を人のいる部屋に取り入れること（二段階換気）も、室温変化を抑えるのに有効です。

◆ 開けている窓の近くに暖房器具を設置すると、室温の低下を防ぐことができますが、燃えやすい物から距離をあけるなど、火災の予防に注意してください。

空気清浄機を併用する際の留意点

- ◆ 空気清浄機は、HEPAフィルタによるろ過式で、かつ、風量が毎分5m³程度以上のものを使用すること。
- ◆ 人の居場所から10m²(6畳)程度の範囲内に空気清浄機を設置すること。
- ◆ 空気のおよどみを発生させないように、外気を取り入れる風向きと空気清浄機の風向きを一致させること※。

※ 間仕切り等を設置する場合は、空気の流れを妨げない方向や高さとするか、間仕切り等の間に空気清浄機を設置するなど、空気がおよどまないようにしてください。

② 機械換気(空気調和設備、機械換気設備)による方法

必要換気量を満たすことのできる機械換気設備等が設置された商業施設等は、以下のとおり換気を行ってください。

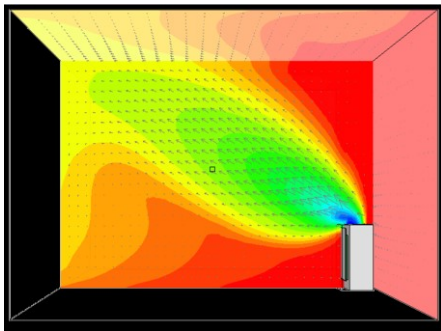
- 機械換気設備等の外気取り入れ量等を調整することで、必要換気量（一人あたり毎時30m³）を確保すること。
- 冷暖房設備により、居室の温度および相対湿度を18℃以上かつ40%以上に維持すること。

参考

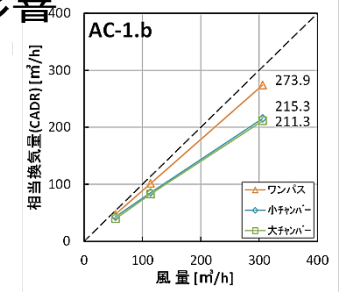
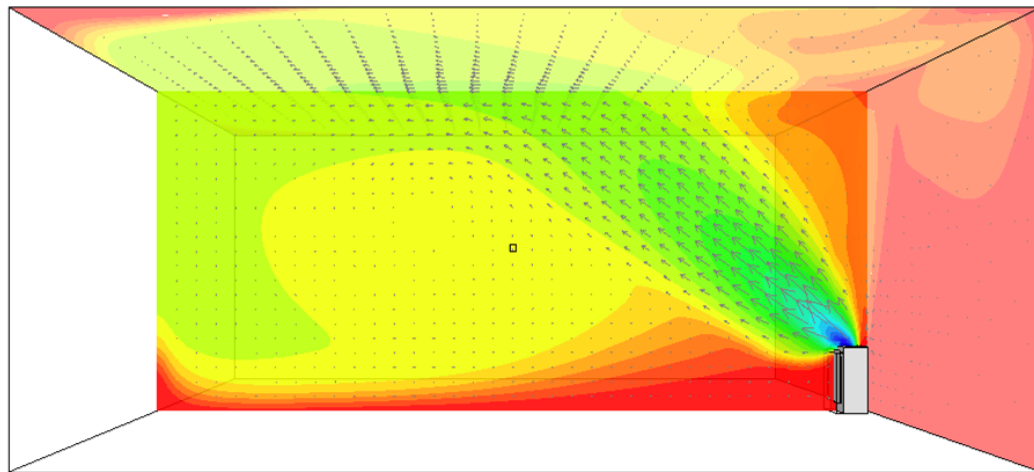
必要換気量を満たしているかを確認する方法として、二酸化炭素濃度測定器を使用し、室内の二酸化炭素濃度が1000ppmを超えていないかを確認することも有効です。

- 測定器は、NDIRセンサーが扱いやすいですが、定期的に校正されたものを使用してください。校正されていない測定器を使用する場合は、あらかじめ、屋外の二酸化炭素濃度を測定し、測定値が外気の二酸化炭素濃度（415ppm～450ppm程度）に近いことを確認してください。
- 測定器の位置は、ドア、窓、換気口から離れた場所で、人から少なくとも50cm離れたところにしてください。
- 測定頻度は、機械換気があり、居室内の人数に大きな変動がない場合、定常状態での二酸化炭素濃度を定期的に測定すれば十分です。
- 連続測定は、機械換気設備による換気量が十分でない施設等において、窓開けによる換気を行うときに有効です。連続測定を実施する場合は、測定担当者に測定値に応じてとるべき行動

数値解析による検証 - 風向とチャンバー容積の影響



◀ 【AC-1.b/小チャンバー】
 ▼ 【AC-1.b/大チャンバー】



・ 斜め前方に吹出し、室全体を混合して濃度分布の形成を抑える。



すなわちチャンバーの大きさによらず測定点近傍の濃度が下がりやすい
 相当換気量はチャンバー容積の影響を受けにくい



Tokyo Tech

Thank You

