

# 学校での室内空気質 VS 省エネルギー

教室内の健康的な空気質と省エネルギー（環境）との調和をとることは、エネルギー回収型の換気システムの採用が強く求められます。

1

# 室内空気質の基本原則(WHO 2000年)

「化学物質による室内空気汚染の現状と健康住宅実現のための国際シンポジウム」におけるアピール宣言(2001年1月13日、世界保健機構)

## 原則1 健康に対する人権

全ての人、健康な室内の空気を呼吸する権利を有する。

## 原則2 自主(自己決定)の尊重

全ての人、有害の可能性のある曝露に関して、適正な情報を得、少なくとも室内での曝露を制御する有効な手段を付与される権利を有する。

## 原則3 加害行為排除(危害行為の否定)

如何なる物質も、居住者が不必要な健康リスクに曝露する濃度で室内へ持ち込むべきでない。

## 原則4 善意(正しい行為)

私有、公有あるいは国有を問わず、建物に関係する全ての個人、集団、組織は、居住者が許容可能な空気質を支持または実行する責任を負う。

## 原則5 社会正義

居住者の社会的、経済的地位は、健康な室内空気質を手に入れる権利に何等の影響を与えるものでなく、むしろ健康状態が、ある特定集団のために必要な特別な事柄を決定する。

# 室内空気質の基本原則(WHO 2000年)

## 原則6 説明責任

関連する全ての組織は、建物の空気質及び居住者の健康と環境への影響を評価及び査定するための明確な基準を確立しなければならない。

## 原則7 予防原理

有害な室内空気質への曝露のリスクが存在する場合、このような曝露を防止する費用対効果のある対策を、不確定要素の存在を理由として先延ばししてはならない。

## 原則8 汚染者の費用負担

汚染者は、不健康な空気質への曝露の結果としての健康及び、または生活への如何なる危害についても説明する責任があるとともに、そのような状態を修正する責任がある。

## 原則9 持続可能性

健康と環境に対する懸念を分離することは不可能で、また、健康的な室内空気質の対策は、世界的あるいは局地的な生態系の完全性や、将来世代の人々の権利を危うくしてはならない。

# 化学物質への曝露

化学物質への曝露

不調



- ・シックビルディング症候群
- ・シックハウス症候群
- ・シックスクール症候群
- ・多種類化学物質過敏症
- ・化学物質過敏症
- ・有毒物質誘導不耐性症候群
- ・持続的疲労症候群

\* 発生のメカニズムが不明

\*\* 低濃度の化学物質への曝露影響

# 快適なIAQ(室内空気質)とは…温熱環境

快適性は様々な方法で定義されている。

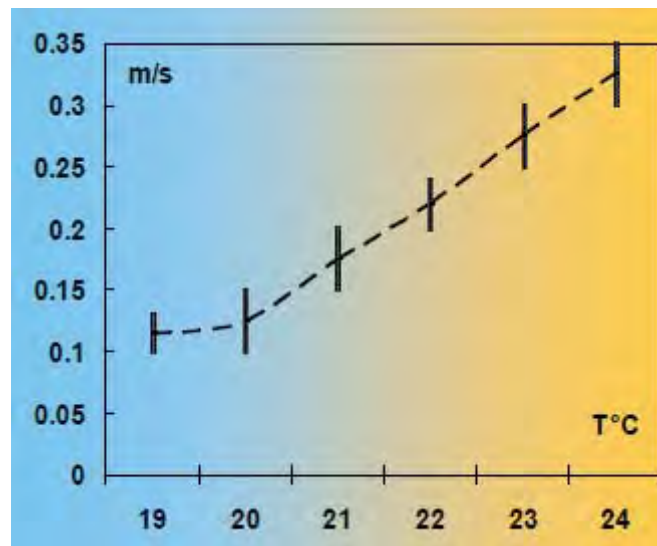
- 適切な室内温度→**20～22°C**

高くても(>23°C)低くても(<18°C)、さもないと健康問題を引き起こす危険性  
床の温度は18°C

- 適切な室内湿度→**40～60%RH(冬)**、**45～65%RH(夏)**

もし連続的>65%RHでは、カビ及び細菌問題

- 適切な気流→理想的には右のグラフ



# 快適なIAQ(室内空気質)とは…他の要素

その他の脅威/要因

- アレルギー物質…特定な人と部屋
- 建材(ペンキ、接着剤、テキスタイル)、備品、教材 …余分なガス放出
- 窒息や中毒を引き起こす危険のある無臭ガス(CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>)
- 近隣の屋外発生源からの環境汚染物質(PM、スモッグ、NO<sub>x</sub>)
- バイオフィーム及びその誘導體(ダクト/フィルタ内) …細菌、カビ等  
→水も汚染する危険
- ある種の動植物の存在
- タバコ、煙、料理油煙及び臭い
- 除去すべき代謝物

更には、我々全員が呼吸のために  
酸素を必要とする！



# IAQの現状と問題点

- ・多くの学校で化学物質( $\text{CH}_2\text{O}$ 、 $\text{C}_7\text{H}_8$ 等)に依る重大な健康問題 (“シックスクール症候群”)が発生している。
- 既存の学校→改築・補修工事の不備、不適切な管理(消毒、床ワックス、トイレの芳香剤)、不適切な換気
- 新築の学校(エコ改修)→建物の高気密・高断熱、第三種機械換気



↓  
建築の不備、不適切な管理、  
換気的能力不足

↓  
化学物質濃度を希釈できない

↓  
時として長期間使用できない

↓  
経済的ロス

# 化学物質過敏症等に関連する法律

法令	法律の目的及び主な規制内容
建築基準法 (2007年改正)	<p>建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もって公共の福祉の増進に資することを目的とする。</p> <p>○居室内において衛生上の支障を生ずる恐れのあるとして定める物質が、建築材料及び換気設備についての技術的基準に適合すること。</p> <p>○居室を有する建築物の建築材料についてのクロルピリホス、ホルムアルデヒドに関する技術的準</p> <p>ークロルピリホスを添加した建築材料の使用禁止</p> <p>ーホルムアルデヒド発散材料への規制</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・内装の仕上げに使用するホルムアルデヒド発散建築材料の面積制限</li><li>・居室を有する全ての建築物に機械換気設備の設置を原則義務化</li><li>・天井裏等は下地材をホルムアルデヒドの発散の少ない建築材料とするか、機械換気設備を天井裏等も換気できる構造とする</li></ul>
建築物における衛生的環境の確保に関する法律 (2006年改正)	<p>多数の者が使用し、または利用する建築物の維持管理に関し環境衛生上必要な事項等を定めることにより、その建築物における衛生的な環境の確保を図り、もって公衆衛生の向上及び増進に資する。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・空気環境の測定法</li><li>・空気環境にかかわる維持管理基準</li></ul>



# 厚生労働省室内化学物質濃度指針値

物質名	室内濃度指針値	健康影響
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)	目・鼻・喉への刺激・炎症、流涙、接触性皮膚炎、発がん性
トルエン	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)	目・気道に刺激、高濃度長期曝露で頭痛、疲労、脱力感
キシレン	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20ppm)	トルエンと似た症状
パラジクロロベンゼン	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)	高濃度長期曝露で肝・腎・肺・メトヘモグロビン形成に影響
エチルベンゼン	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88ppm)	目・喉への刺激、目眩、意識低下
スチレン	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)	目・鼻・喉への刺激、眠気、脱力感
クロルピリホス	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)	アセチルコリンエステラーゼ阻害、倦怠感、頭痛、目眩、
フタル酸ジ-n-ブチル	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppm)	目・鼻・気道に刺激
テトラデカン	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)	高濃度で麻酔作用、接触性皮膚炎
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6ppb)	目・鼻・気道に刺激、接触性皮膚炎
ダイアジノン	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02ppb)	クロルピリホスと似た症状
アセトアルデヒド	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03ppm)	目・鼻・喉に刺激、接触性皮膚炎、高濃度で麻酔作用
フェノブカルブ	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8ppb)	アセチルコリンエステラーゼ阻害、倦怠感、頭痛、目眩、
総揮発性有機化合物(TVOC)	暫定目標値400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

# 学校環境衛生の基準(教室等の空気環境)

## 学校保健法施行規則

項目	個別項目	基準
(1) 温熱及び 空気清浄度	温度	冬季 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、夏季 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ 最良は冬季 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 、夏季 $25\sim 28^{\circ}\text{C}$
	相対湿度	30~80%
	二酸化炭素	$\leq 1500\text{ppm}$ (0.15%)
	気流	$\leq 0.5\text{m/s}$ (機械換気)
	一酸化炭素	$\leq 10\text{ppm}$ (0.001%)
	二酸化窒素	$\leq 0.06\text{ppm}$
	浮遊粉じん	$\leq 0.10\text{mg/m}^3$
	落下細菌	$\leq 10$ コロニー
	実行輻射温度	黒球温度と乾球温度の差 $< 5^{\circ}\text{C}$

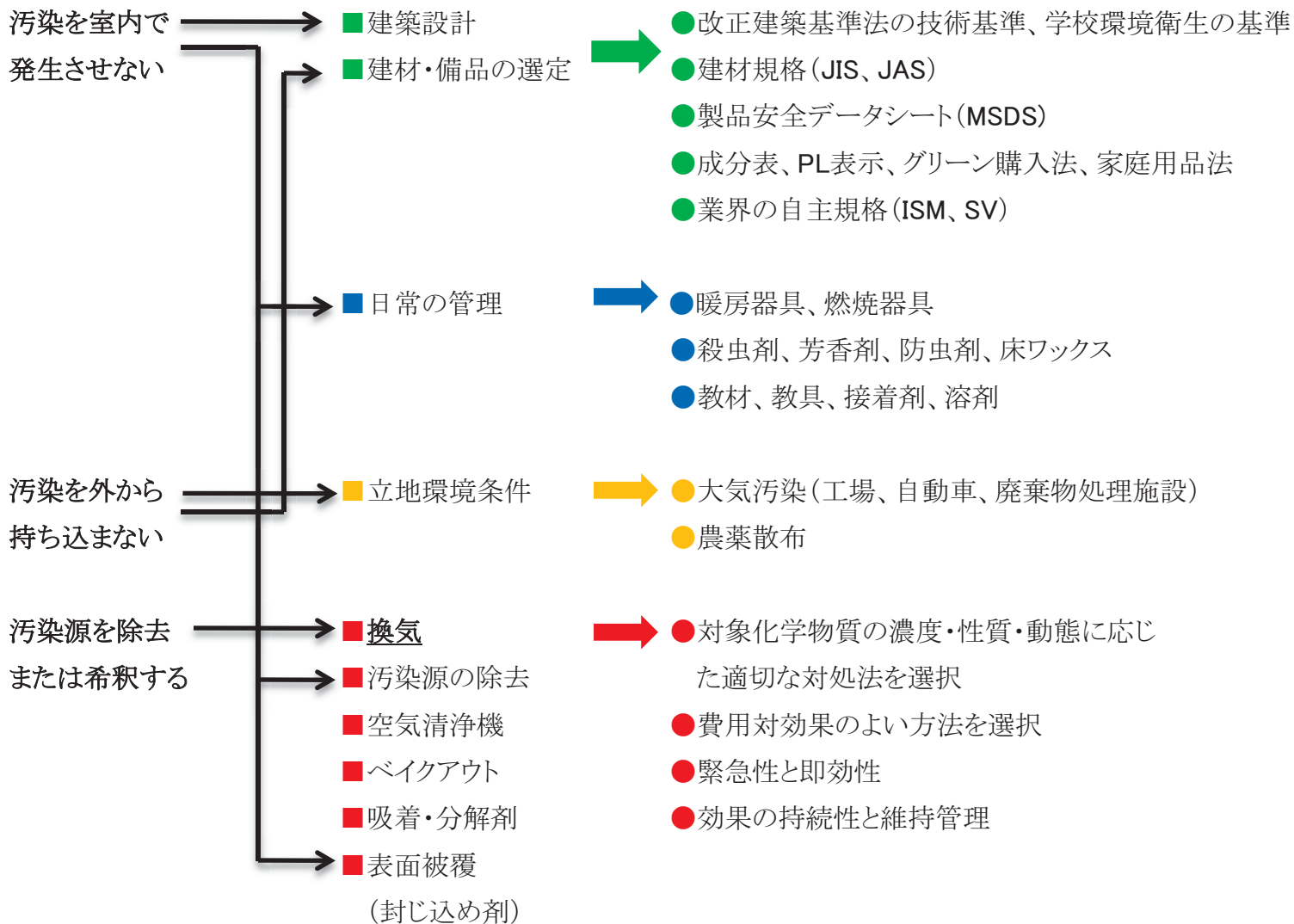
# 学校環境衛生の基準(教室等の空気環境)

項目	個別項目	基準
(2) ホルムアルデヒド 及び揮発性有機 化合物	ホルムアルデヒド(夏季)	$\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)
	トルエン	$\leq 260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)
	キシレン	$\leq 870 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20ppm)
	パラジクロロベンゼン	$\leq 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04ppm)
	エチルベンゼン	$\leq 3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88ppm)
	スチレン	$\leq 220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05ppm)
(3) 換気	換気回数(40人在室、容積 180m <sup>3</sup> の教室の場合)	幼稚園・小学校 $\geq 2.2$ 回/時、中学校 $\geq 3.2$ 回/時、高等学校 $\geq 4.4$ 回/時

# 揮発性有機化合物の発生源の可能性

化学物質	発生源の可能性となるもの	実態調査の結果
ホルムアルデヒド	机・椅子等(合板、接着剤)、ビニール壁紙、パーティクルボード、フローリング、断熱材等	コンピュータ教室、音楽室、図工室
トルエン	美術用品、油性ニス、樹脂系接着剤、ワックス溶剤、可塑剤、アンチノッキング剤	コンピュータ教室、図工室
キシレン	油性ペイント、樹脂塗料、ワックス溶剤、可塑剤	
パラジクロロベンゼン	消臭剤、芳香剤、防虫剤等	トイレ
エチルベンゼン	接着剤や塗料の溶剤及び希釈剤	
スチレン	樹脂塗料等に含まれる高分子化合物の原料	

# 化学物質汚染濃度低減化対策－基本原理



# 化学物質汚染濃度低減化対策－各種対策

対 策	実 施 方 法	低 減 原 理	特 徴
換気の励行	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械換気の運転</li> <li>・窓開けによる通風</li> </ul>	室内に放散されるVOCを速やかに排除し、建材からの放散を促進する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全ての化学物質の濃度低減に有効である。</li> <li>・夏期と比較して室温の低い冬期は効果が少ない。</li> </ul>
ベークアウト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・暖房機器の運転</li> <li>・熱源ヒータによる昇温</li> </ul>	室温を上昇させ、建材などに含まれているVOCの放散を促進する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トルエン、キシレンなど建材表面から放散される化学物質の低減に効果的である。</li> <li>・建材内部に含まれるホルムアルデヒドの低減には効果が少ない。</li> </ul>
空気清浄機の運転	<ul style="list-style-type: none"> <li>・換気量が十分確保できない空間を対象に設置し運転</li> </ul>	機種によって原理は異なるが、吸着・分解によりVOCを除去する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・VOC除去効果は物質によって異なる。</li> <li>・換気の代替と位置付けられる。</li> </ul>
吸着剤(材)の設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発生源の近くに設置</li> <li>・それ自体が低減効果を有する建材として使用</li> </ul>	製品によって原理は異なるが、吸着・分解によりVOCを除去する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ホルムアルデヒドを対象とした製品が一般的である。</li> <li>・吸着剤と空気との接触効率が除去性能に影響し、発生源近くに設置するほど低減効果が大きい。</li> </ul>
汚染源の除去	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汚染原因を除去し、放散量の少ない材料に置き換え</li> </ul>	汚染源を除去する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対策として大掛かりであり、一般的に多大な費用を要する。</li> </ul>

「健康的な学習環境を確保するために」(文部科学省、平成18年6月)より

# 化学物質汚染濃度低減化対策－整備指針

「学校施設の環境設備に関する調査研究報告書」(平成15年7月、文部科学省)

○快適性及び省エネルギーの推進のため、建物の高断熱・高気密化が進行。

シックハウス症候群防止対策として、化学物質の放散量の少ない建材等を使用するとともに、換気により室内の化学物質の濃度を低減させる必要

○改正建築基準法により、学校施設の整備に際しては、教室等において、機械換気設備の設置が原則的に義務化

○これまでの学校施設においては、窓開け等に依る自然換気が中心であった。

高気密化に依る自然換気量の減少とシックハウス症候群の防止対策上、機械換気が大変重要になっている

○冬季に窓を閉め切った状態で換気が十分に行われていない場合は、学校環境衛生の基準に規定されている二酸化炭素濃度基準を超える事態が生じており、確実に換気が行われることが必要

学校施設の整備に当たっては、

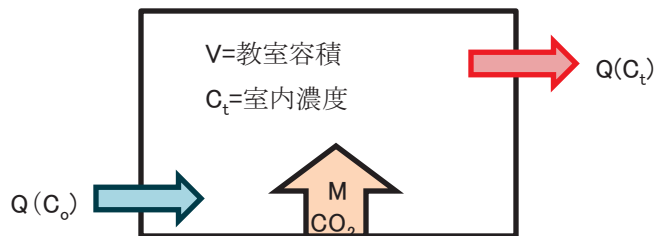
- －学校施設整備指針(平成21年3月)
- －「健康的な学習空間を確保するために～有害な化学物質の室内濃度低減に向けて～」(平成18年6月)
- －「学校施設における化学物質による室内空気汚染防止対策に関する調査研究報告書」(平成15年7月)
- －「学校施設の環境設備に関する調査研究報告書」(平成15年7月)



# 健康的な学習環境の確保ー必要な換気量・回数

「学校環境衛生管理マニュアル、Ⅶ教室等の空気」(文部科学省、平成16年3月)

## CO<sub>2</sub>発生量から換気量を決定する方法



室内濃度と換気の関係

$$\text{換気量}(Q) = M / (C_t - C_o)$$

$$\text{換気回数}(E) = Q / V$$

M:CO<sub>2</sub>発生量(m<sup>3</sup>/h)

C<sub>t</sub>:許容室内濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

C<sub>o</sub>:外気中の濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

V:教室の容積(m<sup>3</sup>)

Q:換気量(m<sup>3</sup>/h)

E:換気回数(回/h)

## 必要な換気量の算出例

学校環境衛生基準に従って教室容積180m<sup>3</sup>、二酸化炭素の判定基準1500ppm(0.0015m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)、外気の濃度を400ppm(0.0004m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)とし、小学校(低学年)の生徒40人と先生1人が在室している場合の計算。

$$M:0.011 \times 40 + 0.022 \times 1 = 0.462 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$C_t:0.0015 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$C_o:0.0004 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$Q = 0.462 / (0.0015 - 0.0004) = 420 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$E = 420 / 180 = \underline{2.3 \text{ 回/h}}$$

同じ条件で中学生及び高校生で計算

$$\text{小学生(高学年)・中学生} \quad : \underline{3.3 \text{ 回/h}(602 \text{ m}^3/\text{h})}$$

$$\text{高校生・大人} \quad : \underline{4.6 \text{ 回/h}(820 \text{ m}^3/\text{h})}$$

在室者1人当たりの二酸化炭素排出量

幼稚園・小学生(低学年) = 0.011 m<sup>3</sup>/h

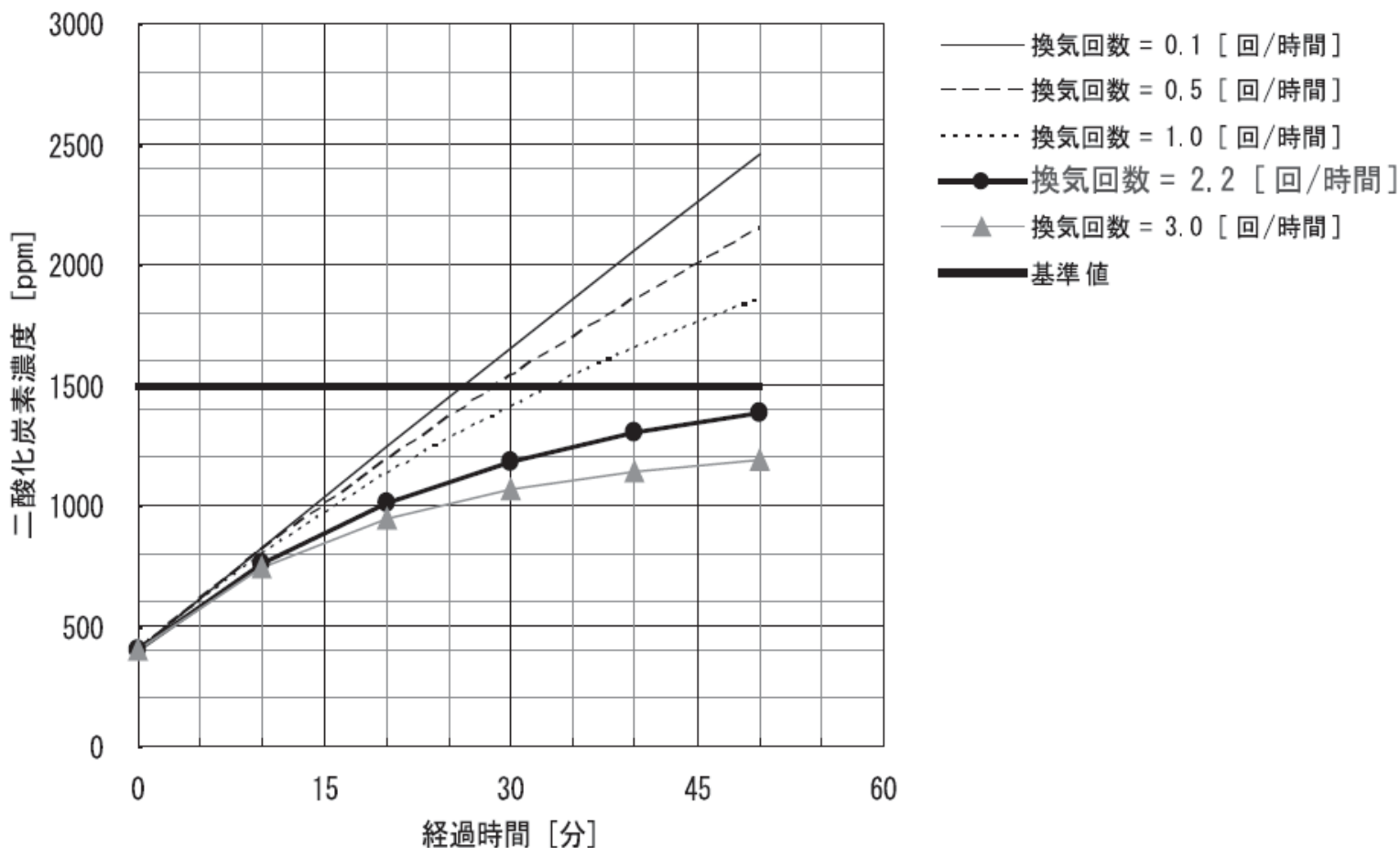
小学生(高学年)・中学生 = 0.016 m<sup>3</sup>/h

高校生・大人 = 0.022 m<sup>3</sup>/h



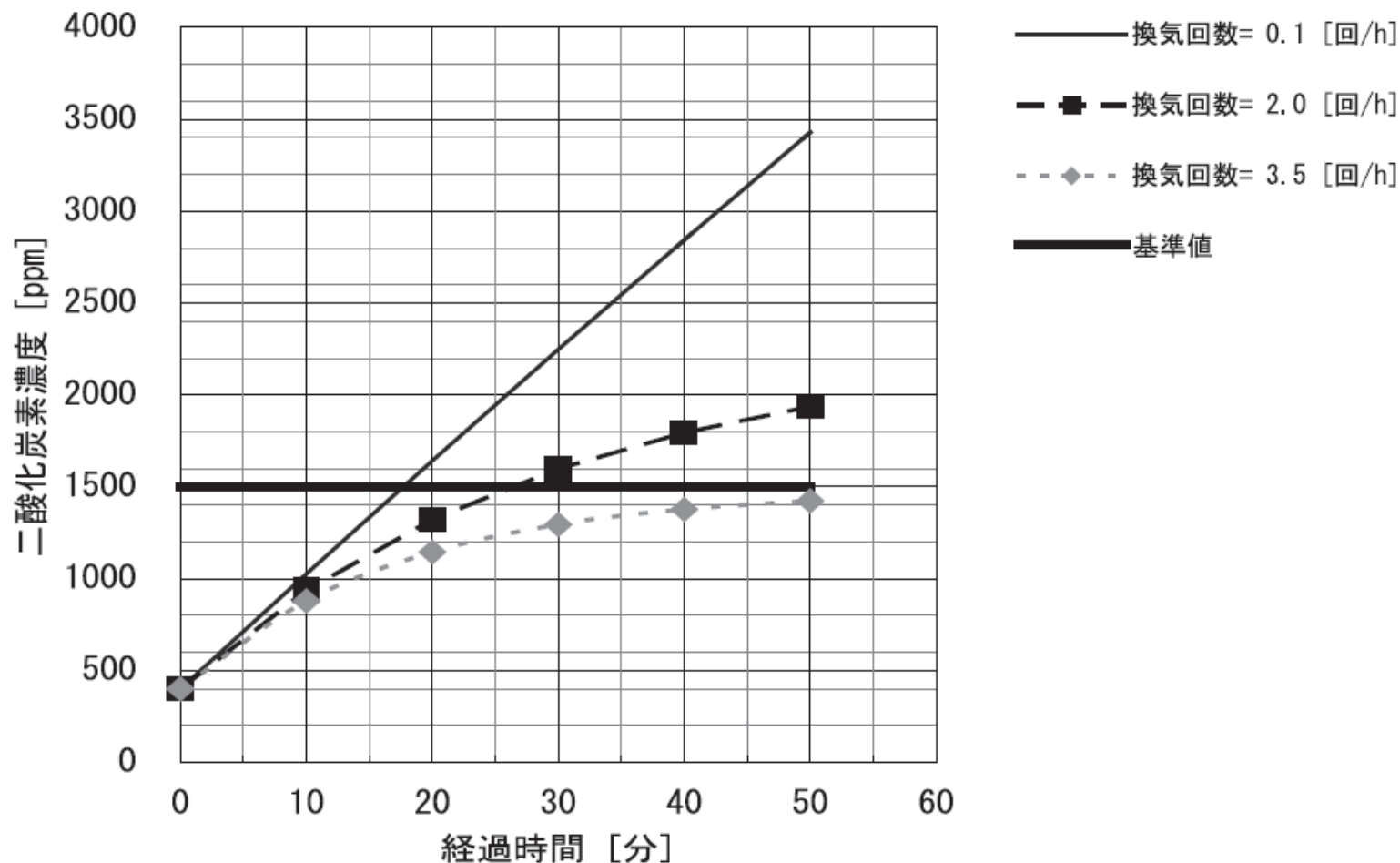
# 健康的な学習環境の確保－換気の問題点

幼稚園・小学生(低学年)－教室内の二酸化炭素濃度の経時変化のグラフ



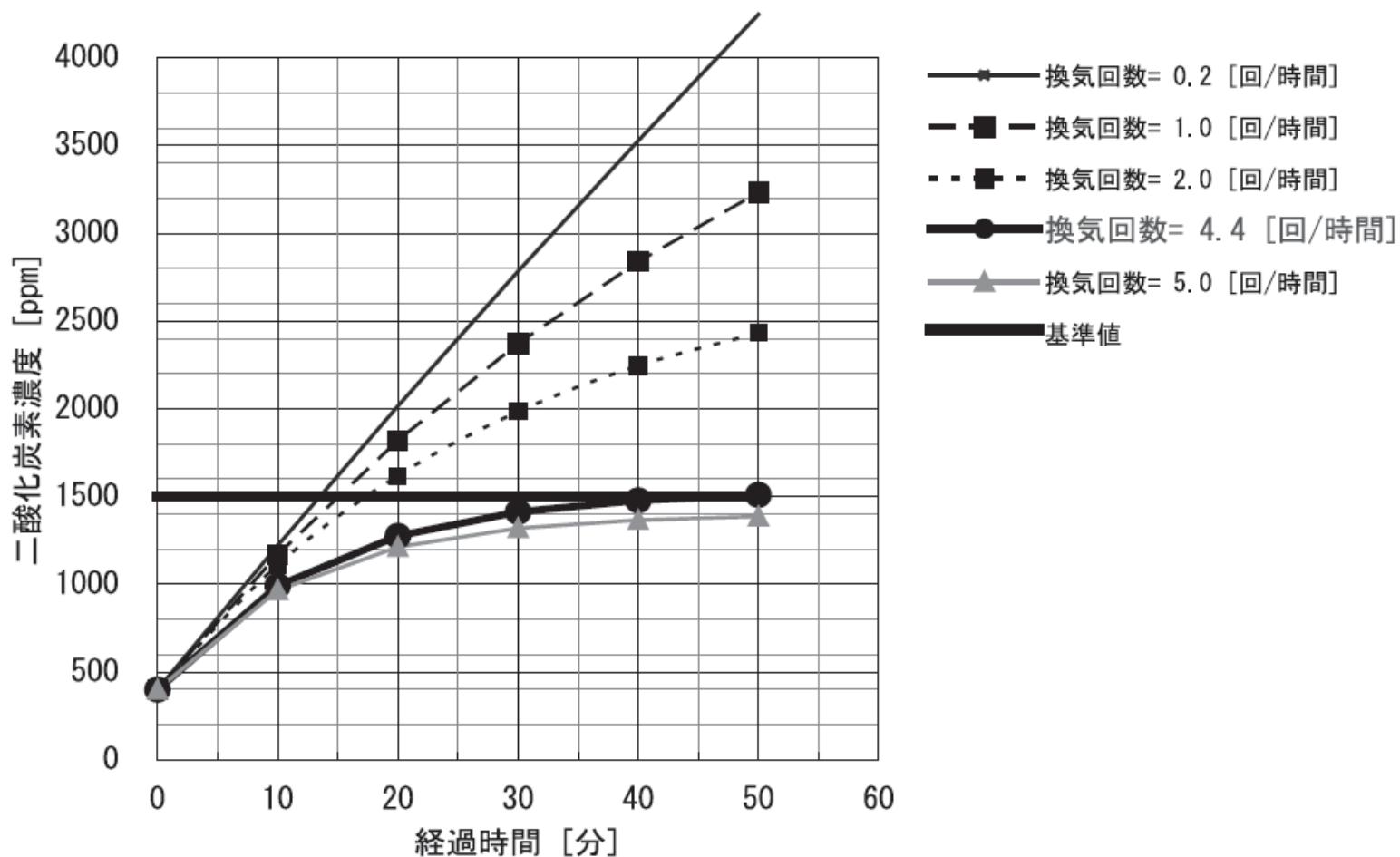
# 健康的な学習環境の確保－換気の問題点

小学生(高学年)・中学生－教室内の二酸化炭素濃度の経時変化のグラフ



# 健康的な学習環境の確保－換気の問題点

高校生・大人－教室内の二酸化炭素濃度の経時変化のグラフ



# 健康的な学習環境の確保－換気の問題点

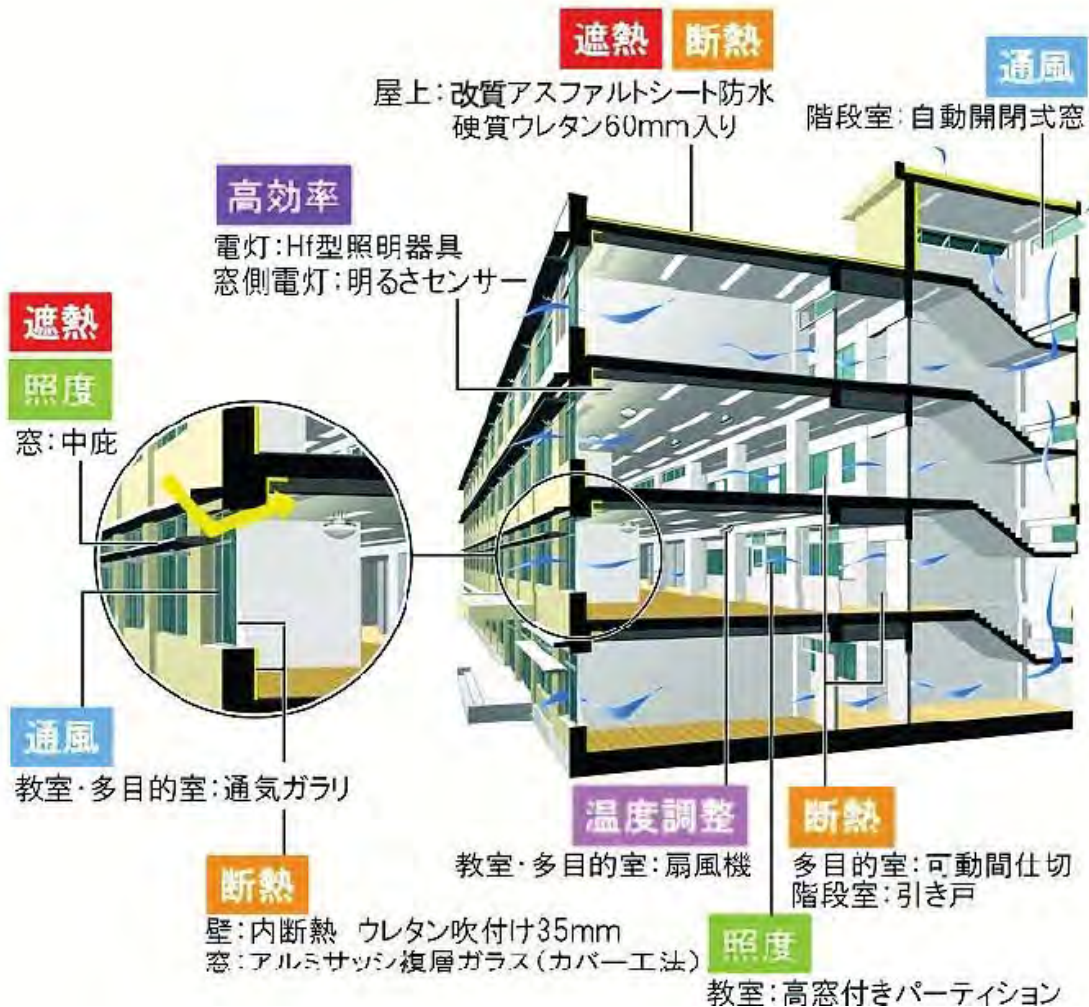
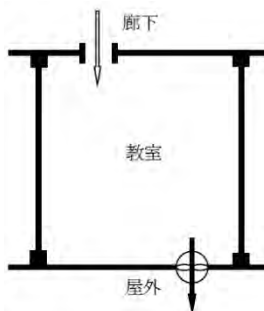
「学校環境衛生マニュアル」に依れば、換気設備は:

教室等の一般換気は、廊下側建具ガラリーを給気口として、窓側の欄間面に設置する換気扇に依り換気する。

\*第三種機械換気(下図)

「校舎のエコ改修推進のために」依れば、換気設備は:

左図のような自然通風・温度差換気



# 健康的な学習環境の確保－換気の問題点

- 健康的な学習環境を確保するためには、バランスのとれた換気が必要です。
  - －人の健康と快適性にとって、十分な換気は欠かせない。
  - －意図しない空気の漏洩を減らすには、建物の気密性を高める必要がある。
  - －適切な空気圧と気流は、建物の温度とIAQの調和に役立つ。
- 殆どの教室の換気は、現在は「窓開け換気」が主流で、将来のエコ改修や環境衛生管理マニュアルに沿った新築・改修でも自然換気や第三種換気(セントラル方式でない)で、気象、立地、管理条件に左右される換気で、時として換気過多、また、時として換気不足の危険がある。
  - －不快及び莫大なエネルギー浪費の原因
  - －教室内の湿度がコントロールされていない
    - 冬季の乾燥→健康リスク
    - 夏季または冬季の結露→バイオフィーム、カビ発生のトリガー→建物へのダメージ、健康問題



理想的には換気のコントロールが可能な第一種換気

# 健康的な学習環境の確保－第一種換気

換気の種類	第一種	第二種	第三種
設置費用が安い*1	△	○	○
メンテナンス費用が安い*1	△	○	○
新鮮な外気を確実に供給できる	○	×	△
ファン能力により教室内の換気経路を制御できる	○	△	△
教室内の減圧/加圧の制御ができる*2	○	△	△
熱交換器の使用が可能(エネルギー節約が可能)	○	×	×

○:優れているまたは対応可能

△:やや優れているまたはどちらとも言えない

×:劣っているまたは対応不可能

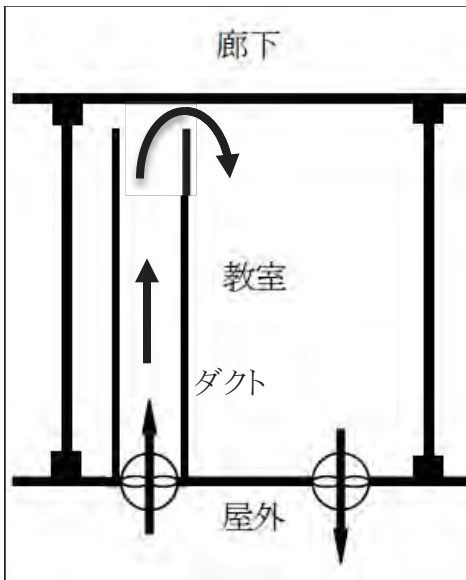
\*1:設備及びメンテナンス費用は設計によって異なる。(ダクトを用いる第三種換気とダクトレスの第一種換気では、第三種換気の方が高くなることもある。)

\*2:第二種は教室内を正圧、第三種は負圧にすることができる。第一種は、ファンの設定によりどちらにもできる。

健康的な学習環境の確保とシックハウス対策としての換気は、教室全体についてCO<sub>2</sub>レベルを基準値以下に保持し、また、化学物質濃度を低下させるために、「[全般換気](#)」、「[機械換気](#)」、「[連続運転](#)」とする必要がある。機械換気は、給気と排気の両方、またはどちらかにファンが必要。その組み合わせにより第一種(給気と排気が共にファン)、第二種(給気がファンで排気は排気口)、第三種(給気は給気口で排気はファン)の三種類に分類される。それらの特徴は上表のようです。

確実な換気を確保しながら冷暖房にかかるエネルギーの節約(運転コストとCO<sub>2</sub>の削減)が可能な第一種機械換気が最も優れているが、設置(イニシャル)及びメンテナンス費用が高いことから、次善の策として第三種機械換気が推奨選択されている。

# 第一種換気－換気だけでは解決できない問題



個別第一種機械換気方式

第一種換気により十分な換気が確保されるが、設置費用の上昇以外にも換気だけでは解決できない問題もある。

1. 設置費用(イニシャルコスト)の上昇
  - ・2個のファンと給排気のダクティング(ショートカットの防止と効果的な換気)
2. メンテナンス費用の上昇
  - ・ダクティング及び給気側に取り付けるフィルタの定期的な点検及び清掃
  - ・ランニングコストが上昇する(2倍のファン電力)
3. 湿度がコントロールされていないために、冬季の乾燥と夏季の湿気
4. 教室内と外気温度に温度差が大きいほど吹き出し口周辺では不快を感じる
5. 換気により熱を無駄に放出(換気を確実に行えばそれだけ熱損失が増える)
  - ・冷暖房にかかるエネルギーコストが、換気量に比例して増加する

1項 } → 確実な換気で費用対効果は大  
2項 }

3項 } → 個別第一種機械換気方式と全熱交換器  
4項 } を組み合わせることにより、これらの問題  
5項 } を克服可能

# 第一種換気+全熱交換器—省エネ対策

## エネルギー使用の合理化に関する法律(略称:省エネ法)への対応

延べ面積が2,000㎡以上の建物の新築・改築等を行う場合は、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」に基づく省エネルギー基準(建築物に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断基準、平成11年通商産業省・建設省告示第1号)に対応した換気設備とする必要がある。