

2021/2/3

埼玉産業保健総合支援センター
産業保健セミナー（オンライン）

換気について考える

独立行政法人労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所
環境計測研究グループ 上席研究員
齊藤宏之

saitoh@h.jniosh.johas.go.jp

**JNIOSH**

National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

本日の構成



1. 換気について
 - 換気とは？
 - 我が国の建物における換気についての歴史的経緯
 - 換気の方法と仕組み
 - 良い換気と悪い換気
2. CO₂濃度と換気
 - CO₂濃度の基準と健康影響
 - オフィス及び居室におけるCO₂濃度の実態
3. COVID-19対策と換気
 - COVID-19対策に必要とされる換気
 - CO₂濃度を指標とした換気の評価
 - 測定不要な換気シミュレーターの紹介と実演

1. 換気について



3

「換気」とはなんだろうか？



- 空気を入れかえること（広辞苑）
- 屋内・室内の汚れた空気を，新鮮な空気と入れ替えること（大辞林）
- 建物内の空気を外気と入れかえること。（世界大百科事典）
- 室内の空気環境を清浄に保つために，不良となった室内空気を戸外の「いわゆる新鮮な空気」と入れ替えることをいう。（南山堂医学大辞典）

換気とは「室内の空気と外気を交換すること」
換気の目的

- 外の空気を室内に取り入れ，
- 室内の空気を外に追い出すことにより，
- 室内の空気中の汚染物質を排出または希釈すること。

4

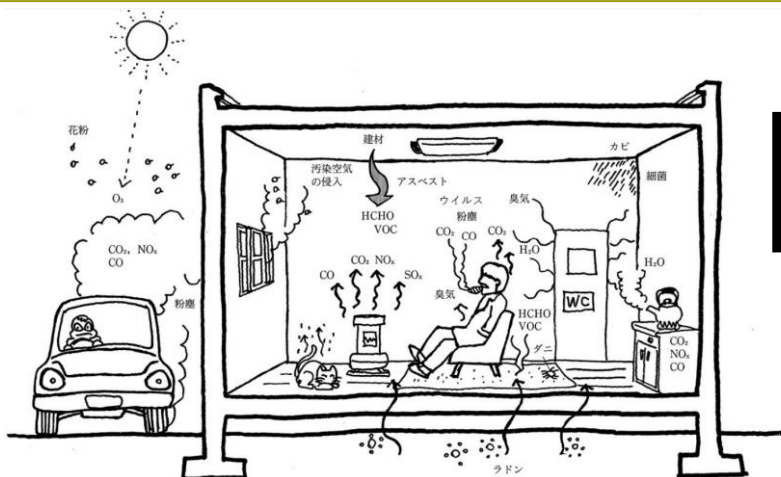
なぜ換気が必要か？

- 室内の有害物質の濃度を軽減するため
 - 作業現場で発生する有害物質の濃度軽減
 - ⇒ 局所排気装置, プッシュプル換気装置など
 - 室内で発生する有害物質の濃度軽減 (シックビル症候群対策)
 - 人体から発生する二酸化炭素の濃度軽減
- (燃烧機器がある場合) 不完全燃焼による一酸化炭素の生成を防ぐため
- 感染症を防止するため
 - 空気感染, 飛沫核感染防止に効果があるとされる。
 - 昨今のCovid-19パンデミックに伴い, にわかに脚光を浴びている。

作業環境管理によるもの
(今回は対象外とします)

5

建築物における空気汚染物質と換気



換気目的

これらを排出・希釈して
有害性を軽減すること。

出典：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、「換気」に関するQ&A
<https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200330.pdf>

6

我が国における「換気」の歴史（その1）



- 近代日本における「換気研究」のはじまりは？
 - 『人体由来の「腐気」が有害であり、指標としてCO₂としてその室内容限度の目安を600～700ppmとする』
（森林太郎，陸軍衛生教程，1889）
 - 『特に太陽光と新船外機の適切な取り入れが重要』
（森林太郎，造家学会講演，1893）



森鷗外（もりおうがい、文久2年1月19日〈1862年2月17日〉 - 1922年〈大正11年〉7月9日）は、日本の明治・大正期の小説家、評論家、翻訳家、陸軍軍医（軍医総監＝中将相当）、官僚（高等官一等）。位階勲等は従二位・勲一等・功三級、医学博士、文学博士。本名は森林太郎（もりりんたろう）。

7

我が国における「換気」の歴史（その2）



- 東京府下の小学校での換気量測定を行った上で、『基準としての室内CO₂濃度1000ppmを満たすための必要換気量と比べて圧倒的に不足している』
- 『CO₂はそれ自体が当該濃度で有害ではなく、あくまでも主な発生源が人体である際の基準として1000ppmが提唱されている』
（田原良純，大日本私立衛生会雑誌，1884）

⇒ この頃と現在で、問題が本質的には変わっていない点に注目！

8



換気に関する法規制 (1)

建築物衛生法 (大規模建築物)

建築物衛生法	3,000m ² 以上の建物 (学校の場合8,000m ² 以上)	空気調和設備あるいは機械換気設備を設けている場合、下表の目標基準値を守ることを。												
		<table border="1"> <tr> <td>浮遊粉塵量</td> <td>空気1m³につき0.15mg以下</td> </tr> <tr> <td>CO 含有率</td> <td>10ppm (厚生労働省令で定める特別の事情がある建物にあっては厚生労働省令で定める数値) 以下</td> </tr> <tr> <td>CO₂ 含有率</td> <td>1,000ppm以下</td> </tr> <tr> <td>温度</td> <td>1) 17℃~28℃ 2) 室内温度を外気温度より低くするとき、その差を著しくしないこと。</td> </tr> <tr> <td>相対湿度</td> <td>40%~70%</td> </tr> <tr> <td>気流</td> <td>0.5m/sec以下</td> </tr> <tr> <td>ホルムアルデヒドの量</td> <td>空気1m³につき 0.1mg/m³ (0.08ppm) 以下</td> </tr> </table>	浮遊粉塵量	空気1m ³ につき0.15mg以下	CO 含有率	10ppm (厚生労働省令で定める特別の事情がある建物にあっては厚生労働省令で定める数値) 以下	CO ₂ 含有率	1,000ppm以下	温度	1) 17℃~28℃ 2) 室内温度を外気温度より低くするとき、その差を著しくしないこと。	相対湿度	40%~70%	気流	0.5m/sec以下
浮遊粉塵量	空気1m ³ につき0.15mg以下													
CO 含有率	10ppm (厚生労働省令で定める特別の事情がある建物にあっては厚生労働省令で定める数値) 以下													
CO ₂ 含有率	1,000ppm以下													
温度	1) 17℃~28℃ 2) 室内温度を外気温度より低くするとき、その差を著しくしないこと。													
相対湿度	40%~70%													
気流	0.5m/sec以下													
ホルムアルデヒドの量	空気1m ³ につき 0.1mg/m ³ (0.08ppm) 以下													

換気に関する法規制 (2)



建築基準法 (居室)

建築基準法	全ての居室 (除外: 外気に常時開放された開口部等の換気上有効な面積の合計が床面積に対して0.15%以上の場合など)	常時機械換気設備 必要有効換気量 $Vr \geq n \cdot A \cdot h$ [m ³ /時] n : 住宅等の居室にあっては 0.5 その他の居室にあっては 0.3 A : 居室の床面積 [m ²] h : 居室の天井高さ [m]	換気回数
	①換気上の無窓居室。 (但し特殊建築物は除く) ②集会の用途に供される特殊建築物の居室。 (劇場・映画館・演芸場・観覧場・公会堂・集会場その他これらに類するもので政令で定めるもの)	●機械換気設備/中央管理式の空気調和設備 有効換気量 $V \geq 20Af/N$ [m ³ /時] Af : 床面積 [m ²]、 N : 1人当たりの占有面積 ●なおかつ、中央管理式の空気調和設備 必要有効換気量 $Vr \geq 10 \cdot (E + 0.02 \cdot n \cdot A)$ [m ³ /時] E : 建築材料から発散するホルムアルデヒドの量 [mg/m ² ・時] n : 住宅等の居室にあっては 3 その他の居室にあっては 1 A : 居室の床面積 [m ²] 性能: おおむね下表を満足すること。	

浮遊粉塵量	空気1m ³ につき0.15mg以下
CO 含有率	10ppm以下
CO ₂ 含有率	1,000ppm以下
温度	1) 17℃以上28℃以下 2) 居室における温度を外気温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
相対湿度	40%~70%
気流	0.5m/sec以下

換気に関する法規制（3）



労働安全衛生法（事務所）

労働安全衛生法	労働者が執務する事務所 (事務所衛生基準規則)	一般の換気は換気に有効な開口部面積を床面積の1/20以上とするが換気設備を設けCO濃度を50ppm、CO ₂ 濃度を5,000ppm以下とすること。中央管理式空調和設備等を設ける場合は下表基準値に適合すること。								
		<table border="1"> <tr> <td>浮遊粉塵量</td> <td>空気(1気圧、25℃)1m³中0.15mg以下</td> </tr> <tr> <td>CO含有率</td> <td>10ppm以下(但し、外気が汚染されているためCO含有率10ppm以下の供給が困難なとき20ppm以下)</td> </tr> <tr> <td>CO₂含有率</td> <td>1,000ppm以下</td> </tr> <tr> <td>室内の空気の流れ</td> <td>室内の流速は0.5m/s以下とし、室内に流入する空気が特定の労働者に直接、且つ継続して及ばないようにすること。</td> </tr> <tr> <td>温湿度条件</td> <td>室温17~28℃ 相対湿度40~70%</td> </tr> </table>	浮遊粉塵量	空気(1気圧、25℃)1m ³ 中0.15mg以下	CO含有率	10ppm以下(但し、外気が汚染されているためCO含有率10ppm以下の供給が困難なとき20ppm以下)	CO ₂ 含有率	1,000ppm以下	室内の空気の流れ	室内の流速は0.5m/s以下とし、室内に流入する空気が特定の労働者に直接、且つ継続して及ばないようにすること。
浮遊粉塵量	空気(1気圧、25℃)1m ³ 中0.15mg以下									
CO含有率	10ppm以下(但し、外気が汚染されているためCO含有率10ppm以下の供給が困難なとき20ppm以下)									
CO ₂ 含有率	1,000ppm以下									
室内の空気の流れ	室内の流速は0.5m/s以下とし、室内に流入する空気が特定の労働者に直接、且つ継続して及ばないようにすること。									
温湿度条件	室温17~28℃ 相対湿度40~70%									

11

換気の種類



換気の方法	自然換気	換気口により換気 風力、温度差など自然現象により換気量が変動
	機械換気	換気ファン等により換気 機械力により強制的に排気、若しくは給気を行うため、より確実な換気量の確保が可能
	機械換気の種類	<p>第1種換気：給気と排気の両方とも換気ファンを用いるもの</p> <p>第2種換気：給気は換気ファン、排気に換気口を用いるもの</p> <p>第3種換気：排気は換気ファン、給気に換気口を用いるもの</p>

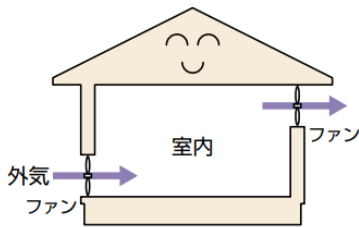
12

機械換気の種類（第1種～第3種）



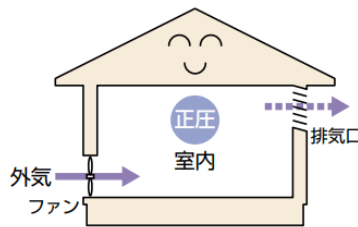
第1種換気

給気 } 共にファン
排気 }



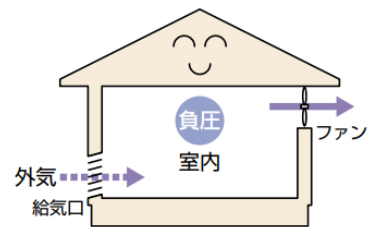
第2種換気

給気 - ファン
排気 - 排気口



第3種換気

給気 - 給気口
排気 - ファン



13

機械換気の種類別比較



第1種換気

給気 } 共にファン
排気 }

第2種換気

給気 - ファン
排気 - 排気口

第3種換気

給気 - 給気口
排気 - ファン

機械換気設備の種類別比較

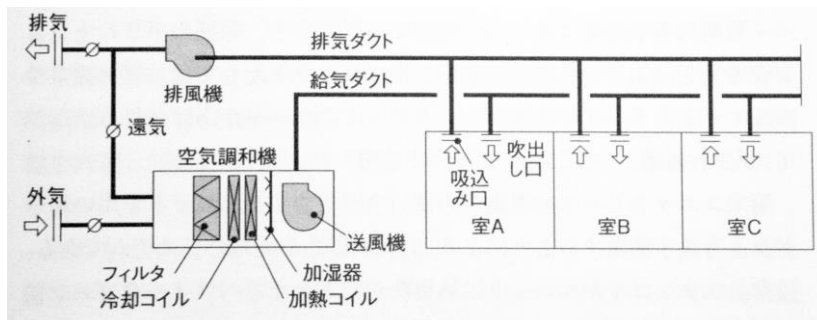
	第1種換気	第2種換気	第3種換気
設備費用が安い（※1）	△	○	○
メンテナンス費用が安い（※1）	△	○	○
トイレ等の局所換気を兼ねることができる	○	×	○
新鮮な空気を確実に供給できる	○	○	△
ファンの能力の決め方により室内の空気の流れを制御できる	○	△	△
室内が減圧されるため壁内への湿気の侵入を抑制できる（※2）	△	×	○
室内が加圧されるため天井裏等からの空気の侵入を抑制できる（※2）	△	○	×
熱交換器を用いることが可能	○	×	×

14

オフィスにおける換気 (集中制御方式の空調と換気)



- 大規模なオフィスで採用されている集中制御方式の空調では、外気導入による換気が導入されていることが多い。
 - オフィスによってはCO₂濃度での制御が行われている場合もある。



集中制御の空調・換気システムの例 (定风量単一ダクト形式)

15

オフィスにおける空調・換気の注意点

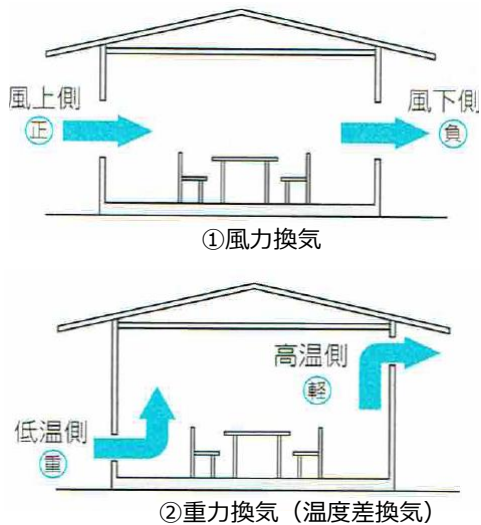


- 集中制御でない空調 (例: 個別のパッケージエアコン) や、ファンコイル方式の場合、換気が行われていない場合がある。
 - どのような空調方式・換気方式なのかを確認し、適切な対応を取る必要がある。



16

自然換気の種類



□ 風力換気

- 風上側で正圧，風下側で負圧になり，その圧力差で換気する
- 換気力は大きいですが，風向きや風速に依存する。

□ 重力換気（温度差換気）

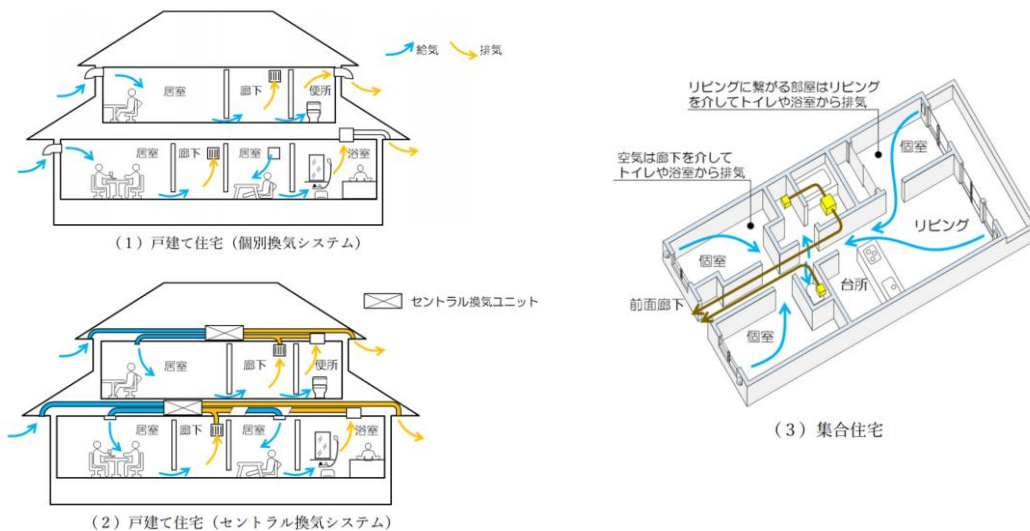
- 空気に温度差がある場合，空気の重さによって換気が行われる。

□ 効率的な換気を行うには？

- 風力換気と重力換気を組み合わせて換気を考える。

17

住宅における換気の実例



18

住宅における換気 (24時間換気の義務化)



- 2003年の建築基準法改正に伴い、住宅においても常時換気装置の設置が義務化

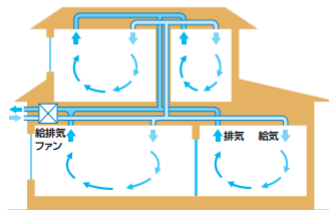
- 主として、建材由来のVOCによるSBS（シックビル症候群）防止の目的
- 換気回数0.5回/h（居室）の機械換気設備の設置が義務化

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。

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

24時間換気システムの一例



出典：国交省パンフレット

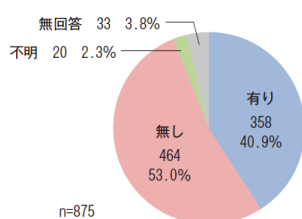
19

住宅における換気 (24時間換気の義務化)



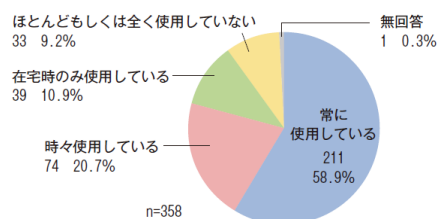
- 2003年の改正前の建造物については設置義務なし
- 設置されていても稼働していないケースがある（電気代、音がうるさい等）
- 主としてSBS防止のための基準であり、CO₂濃度軽減（およびCovid-19対策）には不十分な場合も。

[24時間換気システムの有無]



(東京都福祉保健局 平成28年度アンケート調査)

[24時間換気システムの使用頻度]

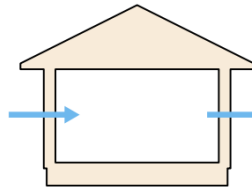


(東京都福祉保健局 平成28年度アンケート調査)

20

換気の性能評価

- 換気の性能は、「換気量」または「換気回数」で評価。
- 換気量：1時間に何平方メートルの空気を取り入れるか（単位： m^3/h ）
 - 換気回数：1時間にその部屋の容積の何倍の空気を取り入れるか、何回空気が入れ替わるか（単位：回/h）
 - 必要換気量：空気中の汚染物質濃度を基準濃度以下に保つために必要な換気量。通常、呼吸で生じる CO_2 濃度（1000ppm）とすることが多い。
 - 同じ換気量でも、その部屋の容積（気積）によって換気回数は異なることに注意。



換気回数：
室内の空気が1時間に何回
外気と入れ替わるのか

21

換気量について（過去の測定例）

国	研究者	対象	測定法	換気率の範囲（度数分布）				
				1	2	3	4	5 回/h
日本	高津寄(1921)	自身の自宅(1軒)	CO_2 濃度減衰法	1.50~2.70 回/h				
	野村(1924)	代表的日本家屋(1軒)	同上	1.50~6.50				
	大谷(1929)	立方体の住宅模型(7個)	同上	0.30~2.63				
	勝田(1953)	RC造集合住宅(1戸)	CO_2 濃度減衰法 と開口風量測定法	0.80~50				
	池田ほか(1985)	代表的日本家屋(7軒)	CO_2 濃度減衰法	0.50~3.60				
	山本ほか(1987)	RC造集合住宅(1戸)	同上	0.20~1.70				
	池田ほか(1987)	プレハブ実験住宅(3軒)	同上	0.07~8.00				
北米	Bahnfleth et al (1953)	実験住宅(2軒)	He濃度減衰法	0.16~0.43				
	Tamura et al (1964)	居住状態のカナダの住宅(2軒)	同上	0.06~0.63				
	Tamura et al (1979)	居住状態のカナダの住宅(2軒, 上記と同じ住宅)	同上	0.05~0.43				
	Goldschmit et al (1979)	モービルホーム(2軒)	CO濃度減衰法	0.10~2.00				
	Grot et al(1979)	低所得者向け住宅(256軒)	濃度減衰法と減圧法	0.25以下~4.25				

22

換気量について（日本と欧米の比較）

【従来】

- 従来型の木造家屋・・・隙間が多く、自然換気での換気量が多い。
- 欧米の家屋・・・気密性が高く、換気量は少ない。シックビルディング症候群が問題に。



昔ながらの日本家屋は気密性が低く、すきま風によって2~3回/時の自然換気が確保されていました。

【現在】

- 我が国でも省エネルギー対策も相まって、気密性の高い建物が多くなり、自然換気では換気量が保てなくなっている。
- シックビルディング対策のため、2003年の建築基準法にて、住宅での24時間換気が義務付け。

換気量について（日本と欧米の比較）

国	研究者	対象	測定法	換気率の範囲（度数分布）	
				回数/h	換気率
日本	高津寄(1921)	自身の自宅(1軒)	CO ₂ 濃度減衰法	1.50~2.70	1.50~2.70 回/h
	野村(1924)	代表的日本家屋(1軒)	同上	1.50~6.50	1.50~6.50 回/h
	大谷(1929)	立方体の住宅模型(7個)	同上	0.30~2.63	0.30~2.63 回/h
	勝田(1953)	RC造集合住宅(1戸)	CO ₂ 濃度減衰法と開口風量測定法	0.80~50	0.80~50 回/h
	池田ほか(1985)	代表的日本家屋(7軒)	CO ₂ 濃度減衰法	0.50~3.60	0.50~3.60 回/h
	山本ほか(1987)	RC造集合住宅(1戸)	同上	0.20~1.70	0.20~1.70 回/h
北米	池田ほか(1987)	プレハブ実験住宅(3軒)	同上	0.07~8.00	0.07~8.00 回/h
	Bahnfleth et al (1953)	実験住宅(2軒)	He濃度減衰法	0.16~0.43	0.16~0.43 回/h
	Tamura et al (1964)	居住状態のカナダの住宅(2軒)	同上	0.06~0.63	0.06~0.63 回/h
	Tamura et al (1979)	居住状態のカナダの住宅(2軒, 上記と同じ住宅)	同上	0.05~0.43	0.05~0.43 回/h
米	Goldschmit et al (1979)	モービルホーム(2軒)	CO濃度減衰法	0.10~2.00	0.10~2.00 回/h
	Grot et al(1979)	低所得者向け住宅(256軒)	濃度減衰法と減圧法	0.25以下~4.25	0.25以下~4.25 回/h

出典：池田耕一
「室内空気の汚染メカニズム」
鹿島出版会、1992

換気量について（日本と欧米の比較）



北	Hollowell et al (1980)	省エネルギー住宅(数軒)		1 2 3 4 5 回/h	0.04~1.00
	Janssen et al (1980)	実験住宅(数軒)	トレーサーガス法		0.13~0.75
	Cole et al (1980)	カナダの実験住宅とプリンストンのダウンハウス			0.06~0.68
米	Shaw (1981)	実験住宅(2軒)	トレーサーガス法		0.15~0.40
	Basset et al (1981)	同上。ただし上記とは異なる2軒の住宅。	CO ₂ およびSF ₆ 濃度減衰法		0.20~1.10
	Moschandres et al (1981)	アメリカ各地の各種の住宅(50軒程度)			0.06~1.57
	Shaw et al (1982)	実験住宅(1軒)	SF ₆ 濃度減衰法		0.17~0.40
	MacLaren Inc.	居住状態の家(12軒)	同上		0.13~0.78
	Persily (1983)	バシップソーラーハウス(56軒)	濃度減衰法	濃度 40 30 20 10	0.10以下~3.20
	Doyle (1984)	住宅(58軒)	減圧法	1 2 3 4 5 回/h	0.30~2.30
	Nazaroff (1985)	床下空間を持つ住宅(2軒)	同上		0.30~0.65
	Warren et al (1980)	住宅(25軒)	NO _x 濃度減衰法	濃度 40 30 20 10	0.21以下~2.20
北	Hildingson et al (1981)	スウェーデンの住宅(5,600軒)	濃度減衰法	1 2 3 4 5 回/h	0.17~1.20
欧	Liddament (1982)	スウェーデンの住宅(2軒)	同上		0.05~1.15
	同上	イギリスの住宅(3軒)	同上		0.10~1.70
	同上	スイスの住宅(1軒)	同上		0.20~0.40

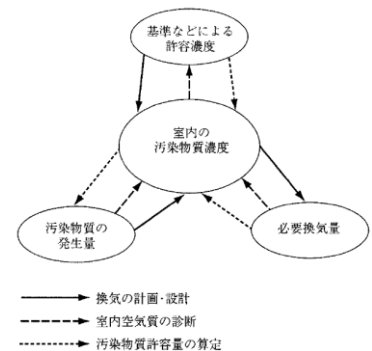
出典：池田耕一
「室内空気汚染メカニズム」
鹿島出版会，1992

25

必要換気量とは？



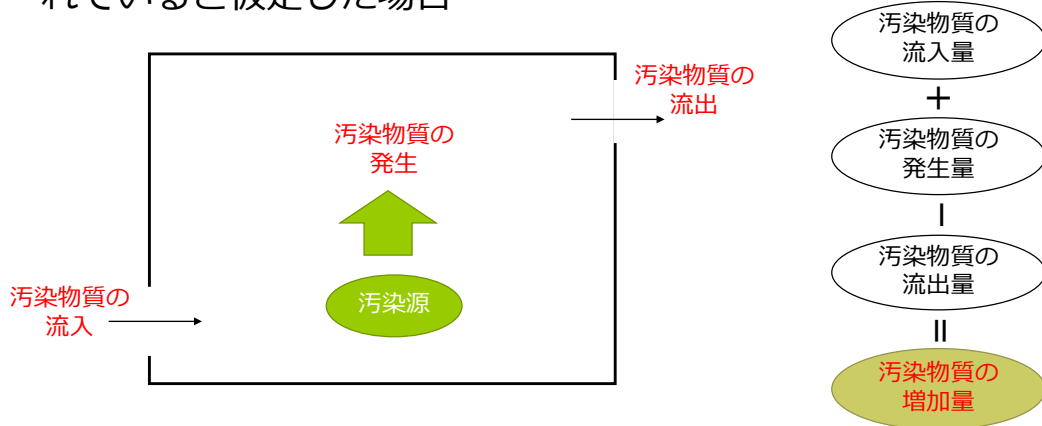
- 換気の目的を満足するための必要な換気量のこと。
 - 新鮮外気として換気の役割を果たすために取り入れられる外気の必要量
 - 汚染物質の濃度を基準とする濃度より低く保つための最小限必要量
- 換気の計画や設計時に考慮されるものである
 - 室内の汚染物質の発生は、建物の用途に応じた通常状態を仮定したもの
 - 事務所の場合は、ヒトの呼吸によるCO₂を基準とすることが多い（基準値：1000ppm）



26

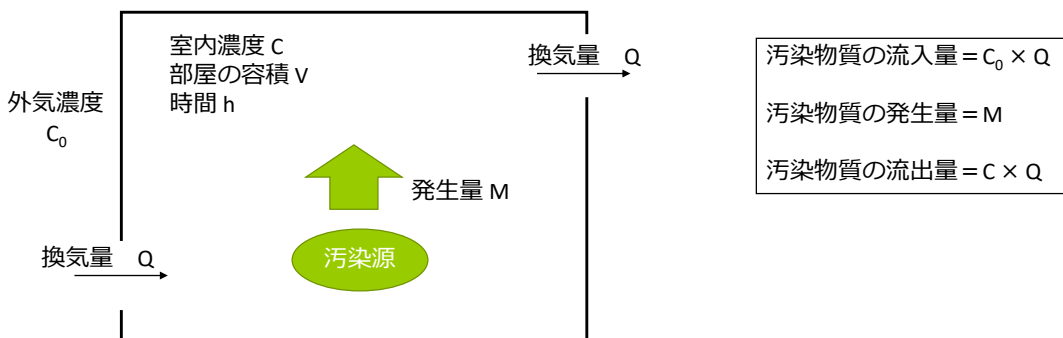
室内の汚染物質濃度の推定

- 一つの空間で、汚染物質が一定濃度で増加し、一定の換気が行われていると仮定した場合



27

汚染物質の発生と換気のモデル



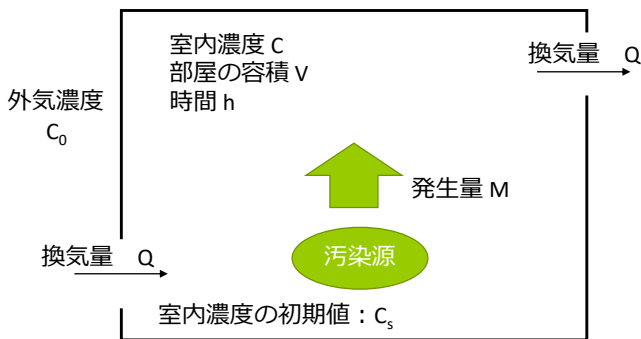
(外気とともに入ってくる汚染物質) + (室内で発生する汚染物質) - (室外に排除される汚染物質)
= (室内にある汚染物質の変化量)

$$\rightarrow C_0 \times Q \times dt + M \times dt - C \times Q \times dt = V \times dC$$

この微分方程式を解くと・・・

28

汚染物質の発生と換気モデル



$$C_o \times Q \times dt + M \times dt - C \times Q \times dt = V \times dC$$

$$C = C_o + (C_s - C_o) e^{-\frac{Q}{V}t} + \frac{M}{Q} \left(1 - e^{-\frac{Q}{V}t}\right)$$

(ザイデルの式)

ここで、 Q/V は換気回数 N (1/h) とも呼ばれる。

発生量 M が一定で、十分に時間が経過したと仮定すると、濃度は一定値に収束する。
すなわち、 $t \rightarrow \infty$ とすると、下記のように簡略化できる。

$$e^{-\frac{Q}{V}t} \rightarrow 0 \text{ となるので} \dots$$

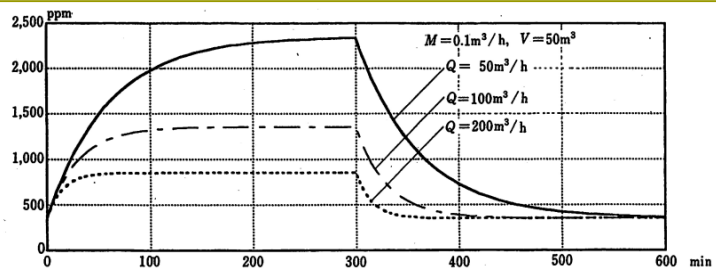
$$C = C_o + \frac{M}{Q}$$

と簡略化できる。

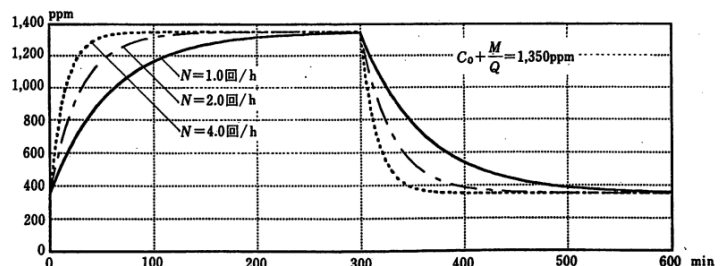
29

濃度の時間変化の例

- (1) 汚染発生量が一定で、換気量が変わった場合。



- (2) 定常濃度が同じで、換気回数が異なる場合



30

呼吸による二酸化炭素の発生量と必要換気量



- 居室の二酸化炭素の許容濃度・・・1000ppm
- 外気の二酸化炭素の濃度・・・350ppm
- 二酸化炭素の発生量・・・0.02 m³/(h・人)

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



$$Q = \frac{M}{C - C_o}$$

となるので・・・

必要換気量

$$Q = \frac{0.02}{0.001 - 0.00035} = 30.8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$$

※この場合の濃度cは体積濃度となるので・・・

1000 ppm : 0.001m³ /m³

一人あたり、約30 m³の換気量が必要になる

エネルギー代謝率 RMR	作業程度	CO ₂ 吐出し量 [m ³ /h・人]	計算採用CO ₂ 吐出し量[m ³ /h・人]
0	安静時	0.0132	0.013
0～1	極軽作業	0.0132～0.0242	0.022
1～2	軽作業	0.0242～0.0352	0.030
2～4	中等作業	0.0352～0.0572	0.046
4～7	重作業	0.0572～0.0902	0.074

31

作業強度別の必要換気量



計算採用CO ₂ 吐出し量 [m ³ /h・人]	計算エネルギー代謝率 RMR	作業程度	必要換気量 [m ³ /h・人]	
			CO ₂ 許容限度0.10%	CO ₂ 許容限度0.15%
0.013	0	安静時	18.6	10.8
0.022	0.8	極軽作業	31.4	18.3
0.030	1.5	軽作業	43.0	25.0
0.046	3.0	中等作業	65.7	38.3
0.074	5.5	重作業	106	61.7

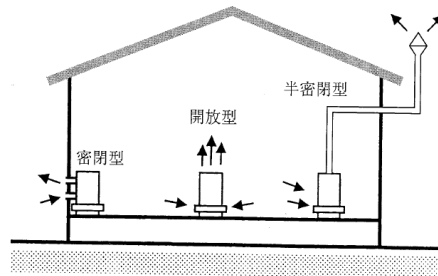
一般的な事務所の場合、「極軽作業」を想定した値（約30 m³/h・人）が基準となる。

32

燃焼器具によるCO₂発生量と必要換気量



- 石油ストーブ, ガスファンヒーターなどの開放型燃焼器具は, 人の呼吸の10~20倍のCO₂を発生する。
- ⇒ 室内でこれらを使用する場合は, 必要換気量は大きくなる。
(酸素濃度が低下すると一酸化炭素も発生するので要注意!)

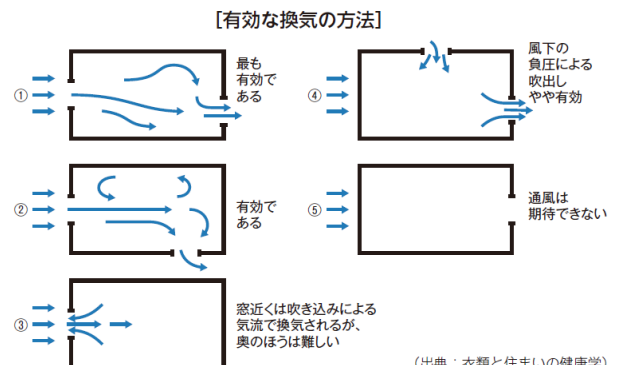


33

有効な換気とは？ (自然換気の場合)

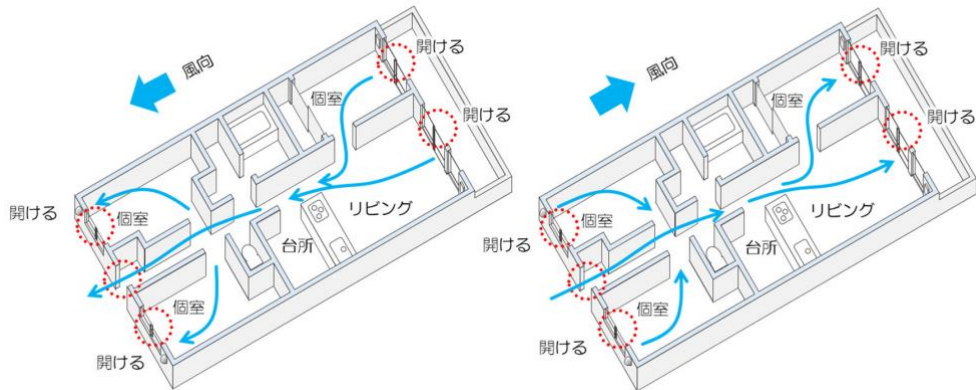


- 自然換気の場合, 空気の流れをスムーズにするため, 空気の出入り口を2ヶ所以上作る。
- できれば対角線の窓を開けると効果的。
- 風が弱い時は長めに開ける必要がある。



34

集合住宅における窓開けの例

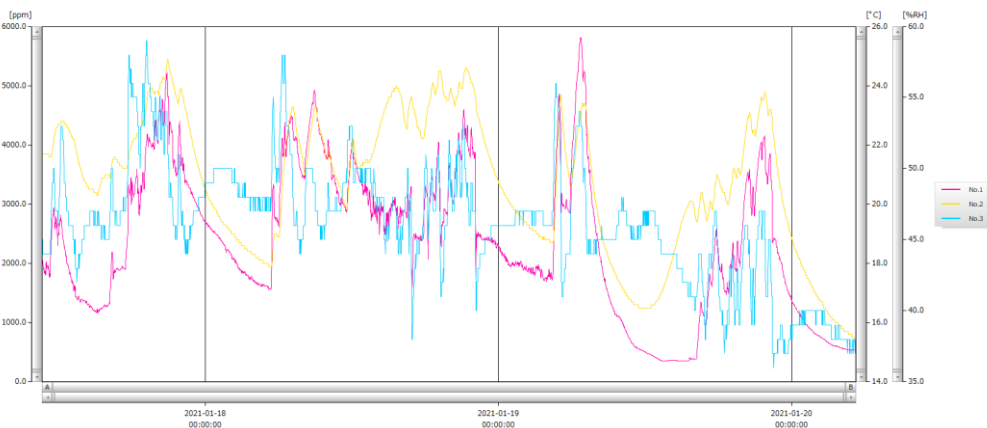


35

住居における一例



- 某分譲マンションの一室（居間）で測定した事例
 - 1981年築のマンション，建築基準法改正前のため，常時換気システムなし。
 - ガスファンヒーターあり，在室人数：1～4人





住宅における換気効果の報告例

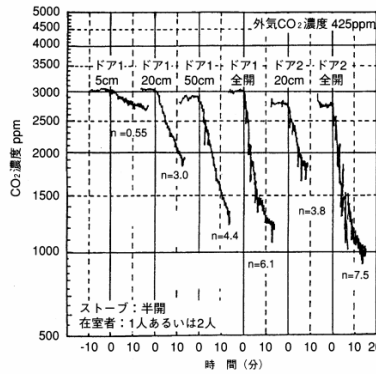
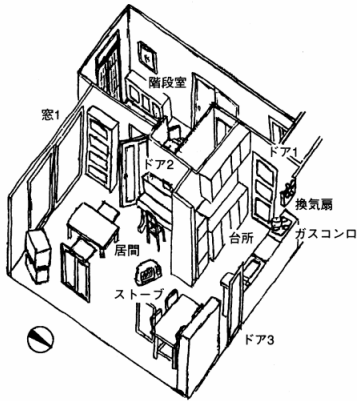


図2 隣室との換気の効果1—ドアの開放長さとの関係
 (注) n (換気回数、回/h) は減衰後、5-10分間の値であり、CO₂濃度が定常状態でのnは0.50回/h

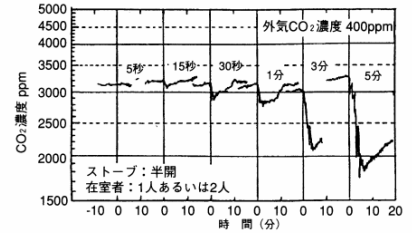


図3 隣室との換気の効果2—ドアの開放時間とCO₂濃度の減少との関係

宮崎竹二：住宅における換気の効果について、生活衛生 39(3) 129-133, 1995.

37

住宅における換気効果の報告例 (続き)

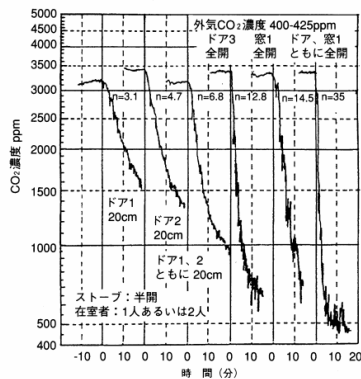


図4 隣室との換気の効果3—2開口の効果および外気との換気1—2開口の効果
 (注) n (換気回数、回/h) は減衰後、5-10分間の値であり、CO₂濃度が定常状態でのnは0.50回/h

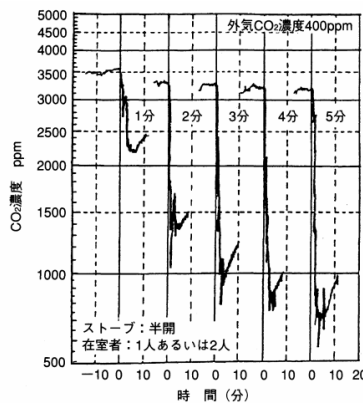


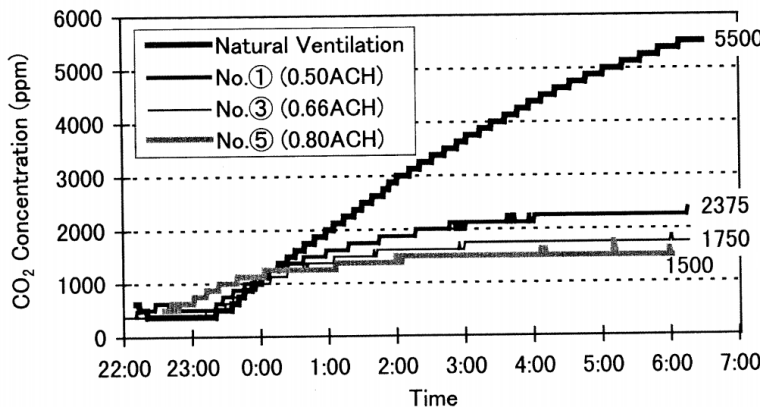
図5 外気との換気2—換気時間とCO₂濃度の減少との関係ドア1 (全開)と窓1 (80cm程度)による換気

- (1) 隣室との換気は、換気効果としては外気を入れる場合より劣る。開口は、1カ所より2カ所の方が、換気効果は大きい。
- (2) 外気との換気については、1カ所より2カ所の方が、換気効果は大きい。開放する時間は、今回のように外部の風速が弱ければ、最低5分は必要と考えられる。
- (3) 換気扇による換気は、ドアを開けて空気の入口をつくってやれば、効果的である。その場合、どのドアを開ければ効果的かは、空気の流れから決められる。

宮崎竹二：住宅における換気の効果について、生活衛生 39(3) 129-133, 1995.

38

24時間換気システムの効果



2名が就寝している和室にて、
 ・自然換気（換気回数 0.10）
 ・機械換気①（換気回数 0.50）
 ・機械換気③（換気回数 0.66）
 ・機械換気⑤（換気回数 0.80）
 で比較。

木村洋ほか：集合住宅の24時間換気システムによる室内空気質改善効果。人間と生活環境 8, p.18-26, 2001.³⁹

住居における換気の問題 （在宅勤務を念頭に置いて）



- 集中機械制御されているオフィスと異なり、住居の換気は不十分になりがち
 - 最近の住宅は常時機械換気が義務化されているが、換気回数は不十分で、使用されていないことも多い
 - 2003年以前の古い住宅では、常時機械換気が義務化されておらず、自然換気に頼っている。
 - 自然換気での換気効率には風向き・風速にも左右される。
- 在宅勤務でのリモートワークが一般化しつつある状況において、自宅での換気にも留意する必要がある。
 - 事務所と異なり、規制の対象外であるが、良好な環境をどのように維持管理していくか？

2. 二酸化炭素 (CO₂) と換気



41

CO₂による健康影響（高濃度）



- 主に呼吸性アシドーシス（血液中のpHの低下）により、下記の症状が発生する。

二酸化炭素濃度	影響
1% (10,000ppm)	呼吸数 (RR) 増加 (37%)
1.6% (16,000ppm)	分時換気量 (MV) の増加 (100%)
2% (20,000ppm)	RR増加 (~50%), 脳血流増加
3% (30,000ppm)	運動耐容能力の低下
5% (50,000ppm)	MV増加 (~200%), RR増加 (~100%) めまい, 頭痛, 混乱, 呼吸困難
7.2% (72,000ppm)	RR増加 (~200%), 頭痛, めまい, 混乱, 呼吸困難
8-10%	重度の頭痛, めまい, 混乱, 呼吸困難, 発汗, 視力悪化
10% (100,000ppm)	激しい呼吸困難, 嘔吐, 失見当, 高血圧, 意識消失

東賢一, 室内環境 21, 113-120, 2018

42

CO₂濃度による健康影響 (低濃度～)



CO ₂ 濃度	生理変化	精神運動機能	症状	基準等
500ppm	pCO ₂ , 心拍数, 心拍変動, 血圧, 抹消血液循環		700ppm以上でSBSの報告例あり	
1000ppm		認識能力(意思決定, 問題解決等)		<ul style="list-style-type: none"> • ビル管法 • 事務所則(空気調和設備あり)
5000ppm (0.5%)				<ul style="list-style-type: none"> • 事務所則(空気調和設備なし) • 日本産業衛生学会許容濃度 • ACGIH TLV
10000ppm (1%)	呼吸数増加, 呼吸性アシドーシス, 代謝性侵襲(血中Ca, 尿中リン濃度低下), 脳血流増加, 分時換気量増加			
30000ppm (3%)				<ul style="list-style-type: none"> • ACGIH STEL
50000ppm (5%)			めまい, 頭痛, 混乱, 呼吸困難	
100000ppm (10%)			激しい呼吸困難に続き, 嘔吐, 失見当, 高血圧, 意識消失	

東賢一, 室内環境 21, 113-120, 2018 を元に一部改変

43

二酸化炭素 (CO₂) 濃度の基準



			気温	相対湿度	CO	CO ₂	
空調なし	室内環境の環境基準	第3条			50ppm以下	5000ppm以下	
空気調和設備	供給空気	第5条			10ppm以下	1000ppm以下	
	室内環境の環境基準		17°C以上 28°C以下	40%以上 70%以下			
機械換気設備	供給空気				10ppm以下	1000ppm以下	
燃焼器具	換気	第6条			50ppm以下	5000ppm以下	
学校環境衛生基準			第1条	10°C以上 30°C以下	30%以上 80%以下	10ppm以下	1500ppm以下

44



CO₂濃度による有害度と基準値

	濃度 [vol%]	意義	摘要	備考
700ppm	0.07	多数継続在室する場合の許容濃度 (Pettenkoferの説)	CO ₂ そのものの有害限度ではなく、空気の物理	
1000ppm	0.10	一般の場合の許容濃度 (Pettenkoferの説)	的・化学的性状が、CO ₂ の増加に比例して悪化すると仮定したときの、汚染の	ビル管理法および建築基準法の値
1500ppm	0.15	換気計算に使用される許容濃度 (Rietschelの説)	指標としての許容濃度を意味する。	
2000～5000ppm	0.2～0.5	相当不良と認められる		
5000ppm～	0.5以上	最も不良と認められる		
40000～50000ppm	4～5	呼吸中枢を刺激して、呼吸の深さや回数を増す。呼吸時間が長ければ危険。O ₂ の欠乏を伴えば、障害は早く生じて決定的となる。		
80000ppm	～8～	10分間呼吸すれば、強度の呼吸困難・顔面紅潮・頭痛をおこす。O ₂ の欠乏を伴えば、障害はなお顕著となる。		
	18以上	致命的		

出典：現代労働安全衛生ガイドブック
(労働科学研究所)

45



CO₂濃度基準の根拠と妥当性

- 古典的なCO₂の健康影響についての知見
 - 5000ppm以上で呼吸数がガス交換が必要なレベル以上に増加し、呼吸系統に付加的な重荷を負わせる。
 - 700～1000ppmを二酸化炭素の許容濃度とみなすとの提言 (Pettenkoferら, 1881年)
- 1000ppmの吸入実験で呼吸、循環器系、大脳の電気活動に変化、室内濃度として1000ppmを超えるべきではないと提言
- これらがWHO「住居の衛生基準に対する生理学的基礎」(1968年)で引用。これを根拠に建築物衛生法の基準値 (= 事務所則の基準値) が決定されたと考えられる。

46

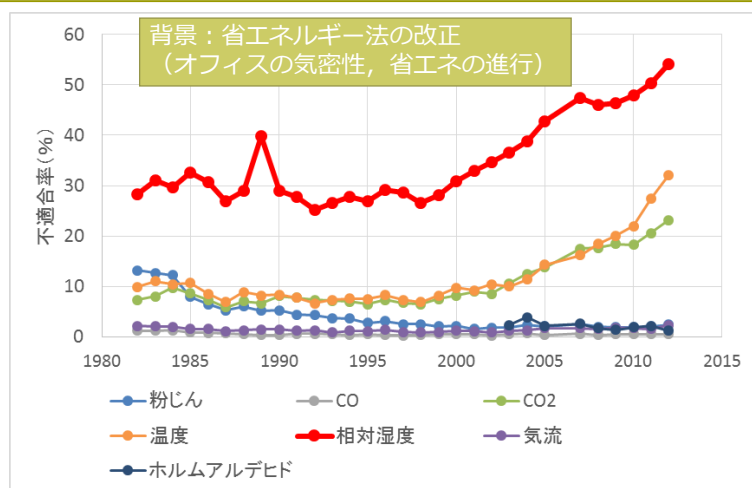


低濃度CO₂での健康影響の指摘

- 800～1000ppmでSBS（シックビル症候群）が増加するとの報告が多数
- 500～4000ppmで心拍変動や抹消血液循環増加が報告（McNaughton 2016, Vehvilainen 2016）
- 1000ppmで優位に意思決定能力が低下（Satish 2012）
- CO₂濃度の基準値を下げるべきとの意見もあるが、実際の管理状況を考えると難しいと思われる。
 - 当面の間、1000ppmが基準値として維持されることが考えられる。

47

オフィスにおけるCO₂濃度の実態 (不適合率の推移)



厚生省生活衛生局企画課～厚生労働省健康局生活衛生課調べ。

48

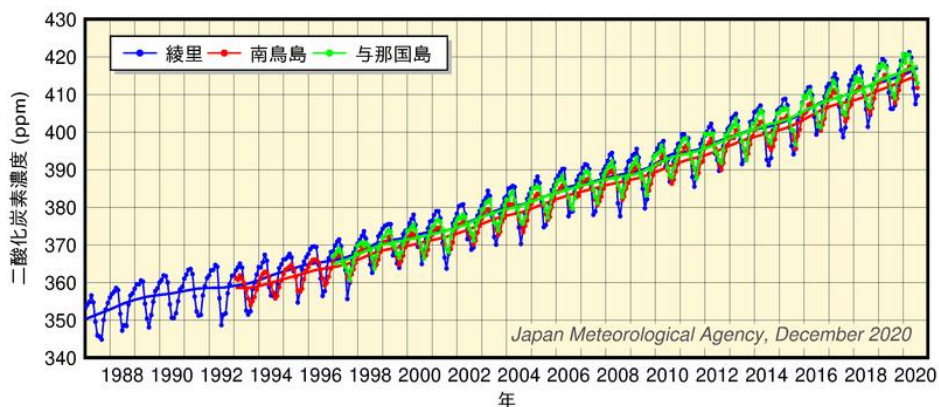
CO₂の不適合率が上昇している原因



- 建築物衛生法における特定建築物のCO₂不適合率が増加傾向。
- 原因として、下記が指摘されている。
 - 外気のCO₂濃度上昇
 - 空調の省エネ運転増加（外気取り入れ量の減少）
 - 個別空調方式の増加
- 平成11年の「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（通称：省エネ法）の改正施行も影響していると思われる。
 - オフィスビルにも省エネ法が適用。
 - 空調の省エネ運転により、外気取り入れ量が減少した可能性。

49

(参考) 外気のCO₂濃度の上昇

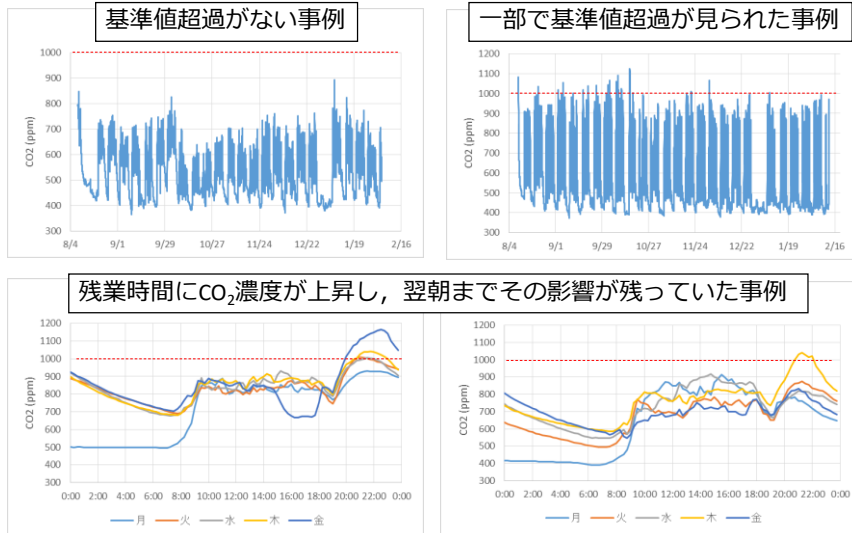


出典：気象庁

http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html

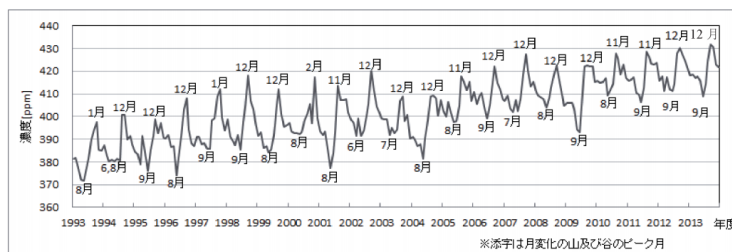
50

オフィスにおけるCO₂濃度の実態 (集中制御空調ありの場合)



51

CO₂基準値は下げるべきか？



出典：東京都環境科学研究所年報，2014

- CO₂は外気にも400ppm程度存在している
 - 年々増加しており、特に都市部では500ppm近くになっている
 - 仮に基準値を下げた場合、換気で基準値以下とすることは容易ではなくなる。
- 基準値以下の低濃度における健康影響は軽微である。
 - ⇒ 現状、基準値を下げることは考えにくい。

52



CO₂濃度についてのまとめ

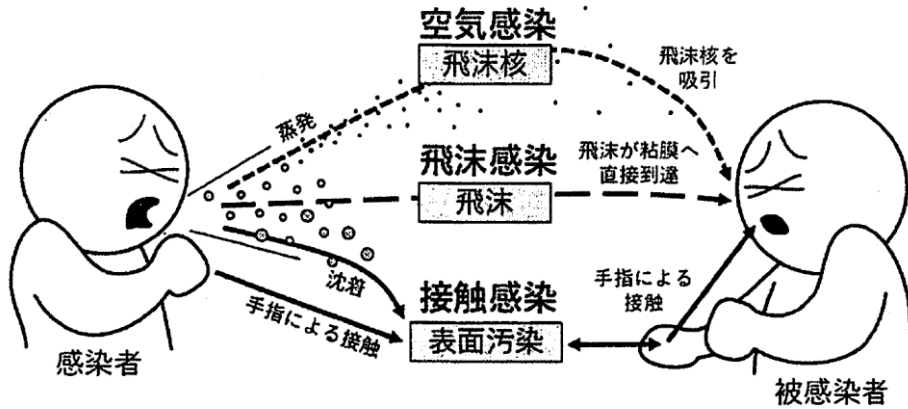
- CO₂の主たる排出源は「ヒトによる呼吸」
 - 一人あたりの気積が不十分，換気が不十分である場合に濃度が高くなる
- 空調がきちんと管理されたオフィスでは概ね基準値（1000ppm）以下に管理されている。
 - 残業時間，夜間，休日等，空調が切れた後に高くなる事例あり。
 - 住宅では換気が不十分でCO₂濃度が高くなる可能性が高い。
- CO₂濃度は屋内の換気の指標としても有用。
 - 主たる発生源がヒトの呼吸であることから，換気の指標として用いられる。
 - 昨今のCOVID-19対策で一躍脚光を浴びている。

53

3. 新型コロナウイルス感染症 と換気

54

Covid-19の感染経路



Covid-19で考えられている感染経路
(出典：田辺新一ほか，建築防災 2020.10，24-31)

いわゆる「三密」を避ける必要性

新型コロナウイルスの集団発生防止にご協力をお願いします

3つの「密」を避けましょう!

- ①換気の悪い **密閉空間**
- ②多数が集まる **密集場所**
- ③間近で会話や発声をする **密接場面**

3つの条件がそろった場所がクラスター(集団)発生のリスクが高い!

※3つの条件のほか、共同で使う物品には消毒などを行ってください。

新型コロナウイルスへの対策として、クラスター(集団)の発生を防止することが重要です。日頃の生活の中で3つの「密」が重ならないよう工夫しましょう。

首相官邸 | 厚生労働省 | 厚生労働省フリーダイヤル

厚労省 コロナ 検索

新型コロナウイルスの感染拡大防止にご協力をお願いします

「密閉」「密集」「密接」しない!

●「ゼロ密」を目指しましょう。屋外でも、密集・密接には、要注意!

- 他の人と十分な距離を取る!
- 窓やドアを開けこまめに換気を!
- 屋外でも密集するような運動は避けましょう!
・多人数での会話は避ける
・顔と顔が近づくようなジョギングなどは大丈夫
- 飲食店でも距離を取りましょう!
・多人数での会話は避ける
・顔と顔が近づくようなジョギングなどは大丈夫
- 会話をするときはマスクをつけましょう!
5分間の会話は1回の咳と同じ
- 電車やエレベーターでは会話を慎みましょう!

首相官邸 | 厚生労働省 | 厚生労働省フリーダイヤル

厚労省 コロナ 検索 0120-565653

出典：首相官邸Webページ



Covid-19感染防止と換気

- Covid-19は飛沫・飛沫核感染を感染ルートの一つとしている
 - いわゆる「三密」を避けることが求められている。
 - 三密のうち、「換気の悪い密閉空間」改善することが対策の一つとされている。
- 換気回数として、下記を提唱（厚生労働省）
 - 一人あたり必要換気量として、 $30 \text{ m}^3/\text{時}$
 - これはビル管法（事務所則）の基準と同じ
 - 典型的なオフィスビルを想定すると、毎時2回の換気回数に相当。
 - CO_2 濃度1000ppmの基準を満たしていれば、「換気の悪い密閉空間」には当たらない

57



Covid-19対策における換気の根拠

- Covid-19対策における換気回数については、明確なエビデンスは存在しない。
- 結核等の「空気感染する感染症」において、換気回数と感染症の発生に一定の関連性があるとの報告がある。
 - 換気回数が2回/時以上と未満の間に差があるとの報告あり
 - 急性呼吸器感染症（ARI）隔離施設の基準として、CDC・WHOは12回/時（既存建物は6回/時）を規定
 - 一般の空間としては、2回/時の換気が適当。
 - 一人あたり必要換気量として、 $30 \text{ m}^3/\text{時}$ に相当
 - 建築基準法の空気環境基準に適合していれば確保可能。

58

(参考) 空気感染する結核での例



- 医療関係者のツベルクリン反応陽転率が、時間あたりの換気回数が2より大きな病棟に比較して、2以下の病棟勤務の医療関係者では優位に高かった。
- 中学校で発生した集団感染事例について、換気回数が1.6～1.8回の教室での感染率が90%と高かった。
- 換気回数0.45～1回/時の学校で162人中7名が陽性だったのに対し、3.57～7回/時の学校では108名中陽性者は認められなかった。



空気感染リスクのある感染症（結核）においては、換気の良否が集団感染リスクと関連がある。

古屋博行：「室内CO₂濃度測定による結核感染リスクの推定に関する総説」,
結核 93 (8) 479-483, 2018

59

Covid-19対策における換気対策の妥当性



- 「換気の悪い空間」が感染リスクの一つであることはほぼ明らか
 - 空気感染する結核においてエビデンスが存在。
 - Covid-19は飛沫核感染の可能性があるので、準用可能。
 - 感染リスクを減らすという意味では重要
 - 少なくとも、「空間除菌」などよりは効果が期待できる
- 「換気」だけで完全な効果があるわけではない
 - あくまでもマスク、手洗い、表面殺菌等の対策を併用する必要がある
 - 換気を行っていれば（CO₂濃度を測定していれば）安心、というのは危険な風潮

60

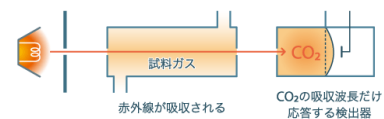
CO₂濃度を指標とした換気の評価

- CO₂は人間の呼気に含まれる
 - 換気が不十分な場合、室内のCO₂濃度が上昇する
 - ヒトが滞在する空間において、換気の指標としてCO₂を用いることが以前から行われてきた。
- 室内のCO₂濃度を1000ppmに維持することは、一人あたりの換気量 30m³/時を確保することに相当。
 - 事務所則（ビル管法）のCO₂の基準（1000ppm）を維持することで、Covid-19対策で求められる「良好な換気」を維持していることが可能となる。

61

CO₂の測定方法について

- 検知管による測定（作業環境測定基準にて規定）
 - 誤差10%程度
 - 200円/本くらい
 - 二酸化炭素測定器
 - 1万円以上の機種はNDIR方式によるものが多い。
 - 数千円の安価な機種は精度に疑問がある。
 - 定期的な校正や較正が必要
 - 記録（ログ）が取れるものもある
- ※NDIR方式の測定器を選択することが重要。



62

検知管も測定器もない場合には・・・



新型コロナウイルス感染症(COVID-19)対策用 換気シミュレーター (新型コロナウイルス対策の一つである、換気の良否を簡単に見積もることができるツール)

部屋にいる人数、部屋のサイズ、室内での活動状況、換気装置の条件などを入力することにより、室内の二酸化炭素 (CO₂) の濃度を推定し、これにもとづいて換気の良し悪しを見積ります。事務所、会議用の部屋、集会などの場所、家庭内など、室内のさまざまな状況で利用できます。

部屋の状況を入力

部屋にいる人数、部屋のサイズ、活動状況 (何をしているか)
換気装置の有無、換気装置の換気量 (わかる場合) など

見積り結果 (例)

見積り結果

2,790 ppm 非常に悪い

※特定の換気 (金網) ほかその部屋の換気量は控えめです。
※正確な換気量は換気装置の換気量 (換気量) と換気回数 (換気回数) とを考慮して推定します。

(CO₂の濃度の単位: ppm、100万分の1)

では実際に使ってみましょう (下の「スタート」を押すとエクセルファイルがダウンロードできます)

スタート

本シミュレーターの作成者
公益社団法人日本産業衛生学会
産業衛生技術部会 新型コロナウイルス(COVID-19)対応検討チーム

チームリーダー

橋本 晴男 東京工業大学 キャンパスマネジメント本部 (産業衛生技術部会会長)

メンバー(五十音順)

飯田 裕貴子 株式会社環境管理センター

貴志 孝洋 みずほ情報総研株式会社

齊藤 宏之 (独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所

中原 浩彦 JXTG エネルギー株式会社

中村 修 筑波大学

山内 武紀 昭和大学

山田 憲一 中央労働災害防止協会

山野 優子 昭和大学 (産業衛生技術部会副会長)

協力者

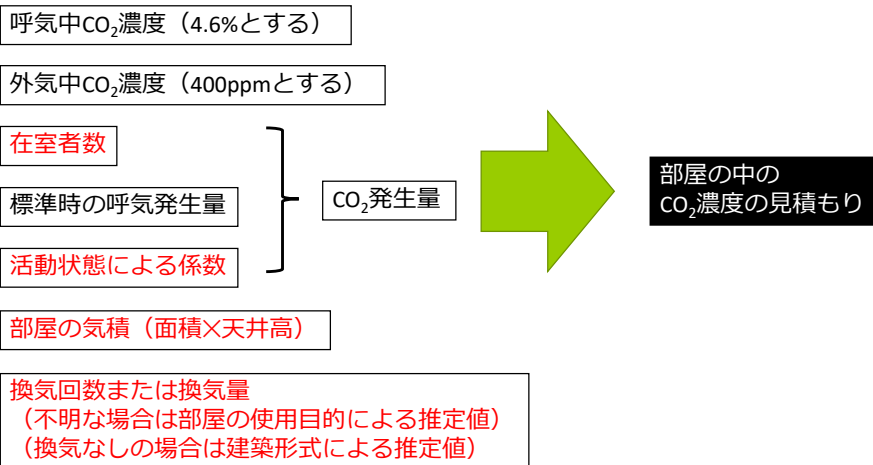
武藤 剛 北里大学 医学部

日本産業衛生学会 産業衛生技術部会

http://jsoh-ohe.umin.jp/covid_simulator/covid_simulator.html

63

換気シミュレーターの仕組み



64



シミュレーターの理論 (CO₂濃度)

換気モデルと計算式(基本の式)

在室者から一定速度で発生するCO₂が、一定量の換気空気と完全混合されるモデルを仮定すると、室内のCO₂濃度の時間変化は、次式および次図となる(初期濃度をC₀とする)。なお、室内に在室者以外のCO₂発生源(ガス器具等)がある場合は、このモデルは適用できない。

$$C - C_0 = \frac{G}{Q} \left(1 - e^{-\frac{Q}{V}t} \right) * 10^6$$

定常状態(t = ∞)では、室内CO₂濃度(C)は次式となる。

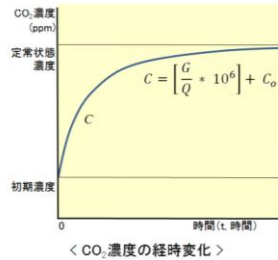
$$C = \left[\frac{G}{Q} * 10^6 \right] + C_0 \quad \dots(1)$$

CO₂発生量(G)は、次式となる。

$$G = C_e * n * R * k * 10^{-6} \\ = n * k * 0.01794 \quad \dots(2)$$

室内CO₂濃度(C)は、(1)(2)より次式となる。

$$C = \left[\frac{n * k * 0.01794}{Q} * 10^6 \right] + 400 \quad \dots(3)$$



- C: 室内CO₂濃度(ppm)(注:ppmは百万分の一)
 C_e: 呼気中CO₂濃度(ppm)(46,000ppm(4.6vol%)とする)
 C₀: 換気空気(外気)中のCO₂濃度(ppm)(400ppmとする)
 G: CO₂発生量(在室者合計)(m³/h)
 k: 呼吸量の大きさを表す係数(k)。在室者の活動状態により呼吸量は変わるため、活動状態を次表のように区分し、その時の呼吸量を標準時の「k」倍で表す。(表1はシミュレーター中に内蔵されている。)
 m: 換気回数(回/h)
 n: 在室者数(人)
 n_p: 設計時の部屋の定員数(人)
 Q: 換気量(m³/h)
 Q_f: 設計時の床面積当たり換気量(m³/m²・h)
 Q_p: 設計時の一人当たり換気量(m³/h・人)
 R: 一人当たり呼吸発生量(安静時)(m³/h)(0.39m³/h(6.5L/min)とする。(着座事務作業を想定))
 S: 部屋の床面積(m²)
 t: 経過時間(h)
 V: 部屋の容積(m³)

表1. 呼吸量の大きさを表す係数(k)

活動状態の区分	k	活動の例(室内での活動)
標準時	1	一般的な事務作業(着席)
ごく軽度の動き	2	頻繁な電話対応、発言の多い会議、ゆるいストレッチ、ランニングマシン(遅い歩行、3~4 km/h)
軽度の動き	3	軽作業、ラジオ体操、ストレッチ、ランニングマシン(速めの歩行、6 km/h)
運動など(軽い~激しい)	5	筋トレ、ランニングマシン(ジョギング、9 km/h)、スポーツ一般、筋肉労働

65

シミュレーターの理論 (換気量)



換気量(Q)の計算

調べようとする部屋に関して、換気装置の有無、および換気量に関するどのような数値が得られるかにより計算方法が異なる。次表のようにケースを分けて計算を行う。

表2. 換気装置の状況に応じた計算方法

換気装置	換気量がわかる?	換気量(Q)の求め方	換気量の計算に用いる値	CO ₂ 濃度計算式
あり	わかる	(A)	換気量(Q)(部屋の総換気量)	(3)
		(B)	換気回数(m)	(3), (4)
		(C)	設計時の一人当たり換気量(Q _p)および、設計時の部屋の定員数(n _p)	(3), (5)
	わからない	(D)	設計時の床面積当たり換気量(Q _f)	(3), (6)
なし*	—	(E)	換気回数(m)	(3), (4)

(*換気装置が停止されている場合を含む)

66



シミュレーターの理論（換気量）

(A) 換気量(Q) (部屋の総換気量)がわかる場合,

- 換気量(Q)の設計値(または実際値)を用いる。(シミュレーターでは手入力する。)

(B) 換気回数(m)がわかる場合,

- 換気回数(m)の設計値(または実際値)を用いる。(シミュレーターでは手入力する。)
- 換気量(Q)は次式となる。

$$Q = V * m \quad \dots(4)$$

(C) 設計時の一人当たり換気量(Q_p), および設計時の部屋の定員数(n_p)がわかる場合,

- これら2つの数値を用いる。(シミュレーターでは手入力する。)
- 換気量(Q)は次式となる。

$$Q = Q_p * n_p \quad \dots(5)$$

67

シミュレーターの理論（換気量） 換気装置があるが、換気量がわからない場合の推定



(D) 換気装置があるが、換気量がわからない場合,

- 部屋の種類(タイプ)に応じて、設計時に一般に使用される次表の「設計時の床面積当たり換気量(Q_r)」を用いる。適当な「部屋の種類」がない場合は、使用状況が最も近い種類を選ぶ。(表3はシミュレーター中に内蔵されている。)

表3. 部屋の種類と床面積当たり換気量

部屋の種類(タイプ)	床面積当たり換気量 Q_r ($m^3/m^2 \cdot h$)*1
オフィス (事務室, 事務室を転用した会議室, その他の部屋)	7.2
ミーティングルーム (会議専用の設計に限る)*2	30
戸建て住宅・集合住宅, 小売店 (ショップ)・コンビニ	9
理髪店, 美容室	6
デパート (一般売場), スーパー	20
劇場・映画館, 宴会場	37.5
飲食店 (席の間隔広め, 高級レストランなど)	17.7
飲食店 (席の間隔狭め, 居酒屋, ファミレス, カフェなど)	30

*1: 1人当り換気量を30m³/hとした。空調・衛生工学会規格「HASS 102 1972」を参照

*2: 専用に設計されたミーティングルームや会議室に限る。事務室を転用したり、オフィスの一般フロアを仕切って会議用としている部屋などを除く。

68

シミュレーターの理論（換気量）

換気装置がない場合



(E) 部屋に換気装置がない場合(停止されている場合を含む),

- 次の表の換気回数(m)を用いる。(表4はシミュレーター中に内蔵されている。)

表4. 換気回数(m)の推定

換気回数, m (回/h)*	部屋の状況, 例など
0.5	コンクリート建築(ビル, マンション等)
1	一般木造建築(洋室)
2	一般木造建築(和室)
3	古い木造建築
5	窓やドアを常時開放

* 参考文献(8)~(10)を参考に部屋の状況に対応する代表的な数値を定めた。

69

換気の良い否の見積り



表5. 換気の良い否見積り区分

換気の良い否見積り区分	対応するCO ₂ 濃度(ppm)(*)	説明, 推奨される対策
良い	1,000 以下	良好でありこの状態を保つ
やや良い	1,000 ~ 1,500 以下	受け入れられる限度。時々一部の窓を開けることもよい(1時間に数分間程度)
悪い	1,500 ~ 2,500 以下	30分に数分間程度窓を開ける(全開) またその部屋の使用は控える
非常に悪い	2,500 ~ 3,500 以下	常時窓を開ける(全開) またその部屋の使用は控える
極めて悪い	3,500 超	その部屋の使用は控える

* 各数値の説明

1,000 ppm: ビル管理法および労働安全衛生法事務所衛生基準規則による基準値

1,500 ppm: 学校保健法による推奨値

2,500 ppm: 以下の観点から総合的に判断したもの。① 1,500及び3,500 ppmの中間値、② 2,500 ppmを超える濃度で在室者の意思決定機能に明らかに悪影響が見られたとの文献、③ 次の条件で推定CO₂濃度が2,800 ppmになること、「一人当たり30 m³/hの換気量、定員の2倍の在室者数、かつ発言の多い会議時($k=2$)」。

3,500 ppm: 空調和・衛生工学会規格(SHASE-S102-2011 換気規準)による設計基準濃度、およびカナダの室内空気の基準値

70

換気シミュレーターの使用方法（実演）



換気シミュレーター ver.1.0.

見積りの目安

手入力項目 選択項目 下記に空白あるいは無効の状態を入力・選択してください。

○ステップ1【基本情報】 まず最初に下記を入力してください。

床の幅の長さ	入力	5 m
床の横の長さ	入力	7 m
天井の高さ	入力	2.6 m (一般に2.5~3m、不測の場合は2.6mを入力)
部屋にいる人の数	入力	2 人
人の活動状態	選択	標準時

○ステップ2【換気設備の有無】 次に下記に回答してください。

換気設備はありますか？	選択	いいえ (ありません、または換気停止中)	換気設備の有無
-------------	----	----------------------	---------

○ステップ3【建物のタイプの選択】 最後に下記に回答してください。

建物のタイプ	選択	コンクリート建築
--------	----	----------

見積り結果

予測CO2濃度 換気設備は 1,060 ppm やや良い

受け入れられる限度。時々一部の窓を開けることもよい（1時間に数分閉程度）

以上を越えて、1人が換気すると予測値は必要範囲での換気も続けてください。
 窓はシャット（アスロック）も考慮し必要になります。

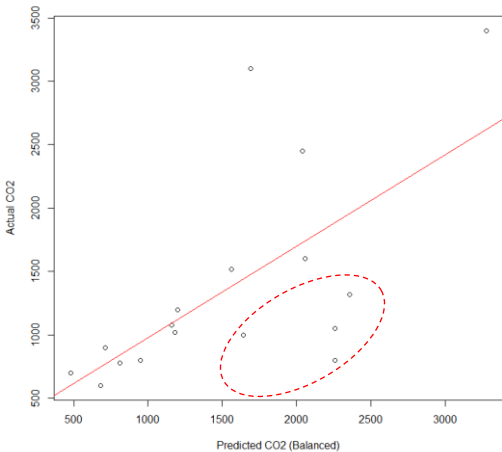
Copyright © 2021 公益財団法人日本労働安全衛生協会 第 1073 号
 作成：日本労働安全衛生協会 健康安全情報部（新型コロナウイルス(COVID-19)対応資料）

実際に換気シミュレーターを使って
実演してみましょう。

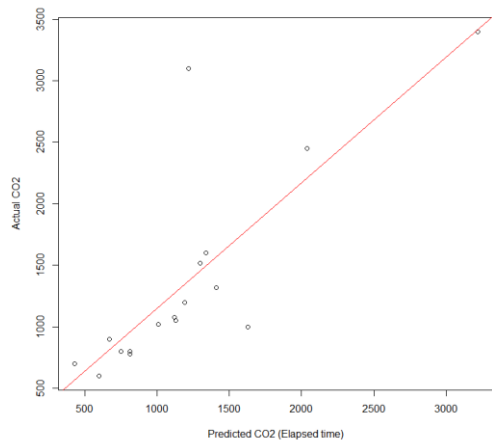
換気シミュレーターの見積り値と 実測値の比較



実測値と見積り値（平衡値）の比較



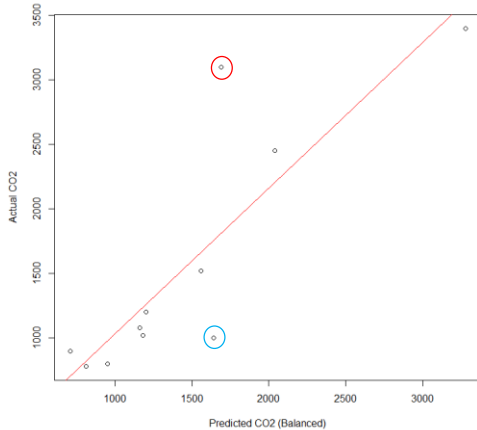
経過時間を考慮して見積もった場合



換気シミュレーターの推測値と 実測値の比較



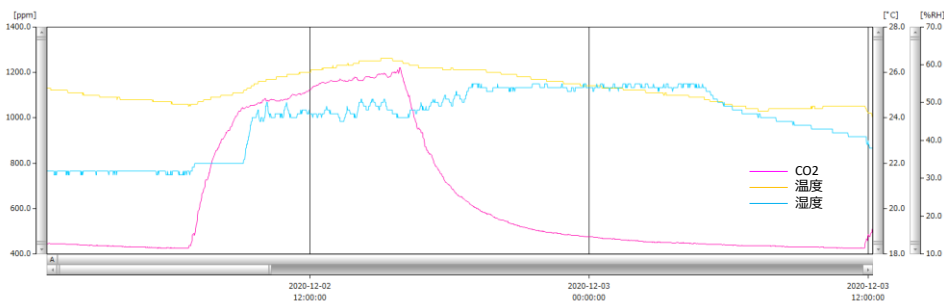
経過時間120分以上のデータのみを使用し、
平衡値と比較した場合



- 換気後（入室後）の時間が短い場合に実測値との一致度が低いケースが見受けられた
 - 平衡に達したと仮定したシミュレーターであるため、平衡に達していない実測値よりは高めに出る傾向がある。
 - 換気の必要性を見積るというシミュレーターの性格上、問題にはならないと考える。
- 換気回数が不明、あるいは換気なし（自然換気）の場合においても、比較的高い一致度が見られた
 - 一部、推測値よりも実測値が高いケース（赤丸）や、実測値が低いケース（青丸）が見られた。
 - 換気回数が不明（換気なし）における換気量の推定値と実際の換気量に乖離があったためと思われる。

73

推定値と実測値が比較的良好に合致した事例

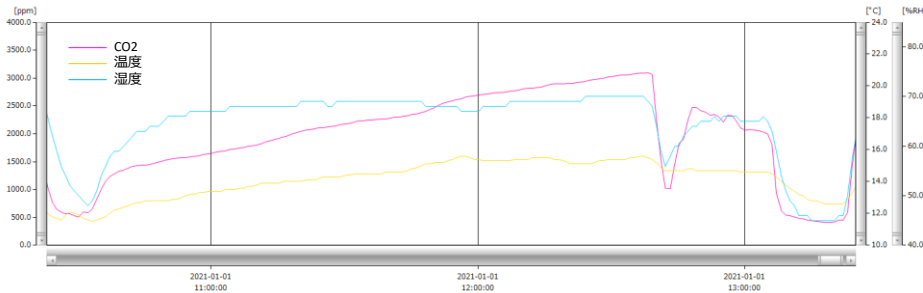


□ 築45年の研究所の居室

- 機械換気なし，自然換気のみ
- 見積り結果：1170 ppm，実測値：1220 ppm（8時間後）
- シミュレーターでは「コンクリート製建築物」で推定換気回数0.5回/時であるが、実際の換気回数がほぼ一致していたと思われる。

74

推測値よりも実測値のほうが高かった事例



□ 築40年のマンション一室での例

- 2003年の建築基準法による常時換気義務化以前の建造物（機械換気なし，自然換気のみ）
- 見積り値：1690 ppm，実測値：3100 ppm（2時間後）
- シミュレーターでは「コンクリート製建造物」で推定換気回数0.5回/時であるが，実際の換気回数はもっと少なかった可能性が高い。

75

換気シミュレーター使用の注意点



□ あくまで簡易的なシミュレーターである

- 換気回数が不明な場合，機械換気システムが無い場合はあらかじめ用意した推定値が用いられているが，環境によっては誤差が大きくなる可能性がある
- 人以外のCO₂発生源がある場合には使えない（ガスファンヒーター，ガス調理器等）
- 室内のCO₂濃度が平衡に達した時の濃度を予測しているため，入室後（換気後）の時間が短い場合は，実測値との間に差が出る可能性がある。

□ 換気状況を正確に判断するためにはCO₂測定を行うことが基本。

76

実際にシミュレーターを使用した感想・ご意見をお寄せ下さい。



換気シミュレーター ver.1.0.

入力項目

ステップ1【基本情報】 必ず最初に下記を入力してください。

床の長さ	入力	6m
床の幅	入力	7m
天井の高さ	入力	2.6m (一般に2.5~3m、平場の場合は2.6mを入力)
部屋にいる人の数	入力	2人
人の活動状態	選択	標準時

ステップ2【換気設備の有無】 次に下記に回答してください。

換気設備はありますか？	選択	いいえ (取りません、または換気停止中)
-------------	----	----------------------

ステップ3【建物のタイプの選択】 最後に下記に回答してください。

建物のタイプ	選択	コンクリート建築
--------	----	----------

換気シミュレーションの結果

CO₂濃度: 1,000 ppm

換気回数: やや良い

受け入れられる限度、時々一部の窓を開けることもよい (1時間: 数分換気)

以上に加えて、「人が換気すること」(換気)と必要に応じて換気回数を確認してください。

※このシミュレーションは、換気シミュレーター (換気シミュレーター) の結果です。

©2021 JNIOSH. 換気シミュレーター (換気シミュレーター) の結果です。

- 皆さんの身近な環境で試して、よろしければご活用ください。
- 使ってみた感想、ご意見、活用した結果などをお寄せ頂けると大変ありがたいです。(私宛のメールで結構です)

77

CO₂による「良好な換気」と Covid-19対策の留意点



- 在室者の呼気に由来するCO₂濃度と良好な換気の間には一定の相関がある
 - 換気な良好な空間では、Covid-19の感染リスクは低下するらしい (現時点でエビデンスなしだが、空気感染する結核等ではエビデンスあり)
- CO₂濃度を低く保つことと併せ、換気を適切に行うことは必要だが、これによるCovid-19感染対策は限定的
 - 換気を適切に保つとともに、他の感染対策を徹底することが最も重要。
 - 換気が良好だから、他の対策をしなくていい/おろそかにしていいわけではない。
 - CO₂濃度は、あくまでも換気の必要性を確認するためのツールとして使うことが肝要。

78



まとめ（1）

- 作業場や居住空間の換気を適切に行うことは重要
 - 有害物質やCO₂による健康影響の防止（シックビル症候群を含む）
 - 不完全燃焼の防止（燃焼器具がある場合）
 - 空気感染・飛沫感染の可能性のある感染症の防止
- CO₂濃度は室内の換気の良否の基準になりうる
 - 事務所則（ビル管法）の基準（1000ppm）が目安
- テレワーク時代を念頭に置くと、オフィスのみならず、居住空間での換気を適切に行うことが重要
 - 居住空間の換気はまだまだ不十分
 - オフィスでは空調での換気設定の確認を！

79

まとめ（2） 換気を良くするには？



- 機械換気設備がある場合・・・きちんと機能しているかどうかを確認（CO₂濃度による確認が有効）
 - 心配な場合は「窓開け」による換気。できれば2方向の窓を開ける。
 - 窓の開かない建物の場合は、機械換気装置の風量を上げる。
- 機械換気がなく、自然換気の場合
 - 定期的に「窓開け」による換気を行う（できれば2方向の窓を開ける）。
 - 30分に1回、5分以上。
 - 台所や浴室、トイレ等の換気扇を運転
 - 燃焼器具を使う場合は、換気回数を増やす必要がある（可能であれば、燃焼による暖房は使わない）。

80

まとめ（3）

新型コロナウイルスにおける換気



- 新型コロナウイルス（COVID-19）対策として、いわゆる「三密」を避けるために換気を良好に保つことは重要。
 - 換気だけを行えばよいわけではないことに注意（マスク，手洗い，消毒，会食を行わないなど）
 - 換気の良否を判断するために，CO₂濃度の測定は有用。
 - 測定出来ない場合は，シミュレーターの活用も有用。
 - 加湿（湿度40%超）との共存は難しいが，三密を避けることが最優先（可能であれば湿度も維持できるように努力する）。