

「換気シミュレーター」

＜ 新型コロナウイルス対策－換気の良否が簡単に見積れるツール ＞

【使用方法の詳しい説明と解説】

2020年4月25日

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の集団感染発生を防止するためには、換気の悪い密閉空間、多数が集まる密集場所、間近で会話や発声をする密接場面（「3密」）、を避けることが重要です。一つ目の「換気」に関して、日本産業衛生学会産業衛生技術部会は、部屋の換気の良否を容易に見積ることができるツール「換気シミュレーター（以下、「本シミュレーター」という）」を作成しました。産業衛生の専門職の方（産業医、産業看護職、技術職など）、企業の安全・衛生に関わる安全管理者、衛生管理者、人事/総務担当の方など、およびその他の必要な方が本シミュレーターを用い、事業場内の部屋の換気の良否を見積り、その結果をきっかけに必要な改善を行い、「換気の悪い密閉空間」を避けることができます。

本シミュレーターを用いるに当たっては、本書に述べる使用上の注意事項および免責事項等に十分留意するようお願いいたします。

1. 本シミュレーターを使用する上での注意事項

- (1) Microsoft EXCEL 2010 以降のバージョンを使用してください。
- (2) 政府や地方自治体および新型コロナウイルス感染症対策専門家会議による宣言（緊急事態宣言など）、指示、要請、提言等は、本シミュレーターによる「見積り結果」より優先されます。例えば、緊急事態宣言により就業、営業、集会等の自粛が要請されている場合は、本シミュレーターの結果に関わらずそれらを自粛する必要があります。本シミュレーターは、それらの自粛要請の対象以外の地域や行為、または自粛要請が解除された状況などの適切な条件下に限り使用することができます。
- (3) 本シミュレーターは、室内の空気の完全混合や換気装置の設計値などの前提条件をもとに換気の良否を見積るため、現実の空気の流れ、換気装置の稼働状態などの諸条件により、実際と異なる結果となる場合があります。
- (4) 本シミュレーターは、換気装置の状態に基づき見積りを行います。まず、部屋に換気装置があるか、運転されているか等を確認してください。原則として必ず運転し、「強・弱・静」等の設定がある場合は「強」にして見積りを行ってください。なお、「換気」とは外気を取り入れることをいい、空気を循環させるだけの家庭用などのエアコンや扇風機等は「換気装置」に該当しません。
- (5) 本シミュレーターでは、部屋の換気量（設計値や実際の値）がわからなくても見積りはできますが、わかった方がより良い見積りになります。設計時の換気量は、一般に建物や施設の管理者、ビルの監視センターやメンテナンス担当会社などに尋ねるとわかります。
- (6) 本シミュレーターは、屋内の換気のみを対象としています。屋外については使用できません。

- (7) 本シミュレーターによる「見積り結果」が良い場合でも、他の感染防止対策を合わせて行う必要があります。「3密」の他の2つである「多数が集まる密集場所」と「間近で会話や発声をする密接場面」について別途対策を行うべきであり、例えば、いくら換気が良い部屋であっても、人が密集したり、近距離で会話したりすることは避ける必要があります。さらに、咳エチケット、手洗いを励行するなど、感染防止対策を実施してください。

2. 「換気シミュレーター」の背景と基本の考え方

- (1) 労働衛生や建築の分野では、室内の換気の良否の指標として室内の二酸化炭素(CO₂)濃度を用いることが一般に行われています。一定の換気のある室内で、在室者から一定速度でCO₂が発生し、完全混合され排出される「換気モデル」を用いると、室内のCO₂濃度を予測することができます。このモデルは労働衛生工学や建築環境工学で使われるもので、本シミュレーターでもこれを用いています。
- (2) 「商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について(厚生労働省、令和2年3月30日)」では、「ビル管理法の基準(CO₂濃度の基準値1,000ppm、対応する換気量30m³/h・人)を満たせば、「換気の悪い密閉空間」には当てはまらない」としています。本シミュレーターの基本の考え方はこれに沿うものです。
- (3) 本シミュレーターは、あくまで「換気の観点から見た室内環境の良否」を見積るものであり、在室者から発生する飛沫等の換気による除去能力、またはその部屋におけるウイルス感染の可能性の大小等を直接評価するものではありません。

3. 換気モデルと諸条件設定の詳細

(1) 各種変数、定数の設定

- 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)
- C_o : 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。)

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

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(m^3/h)

Q_f : 設計時の床面積当たり換気量($m^3/m^2 \cdot h$)

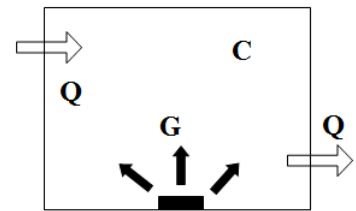
Q_p : 設計時の一人当たり換気量($m^3/h \cdot 人$)

R: 一人当たり呼気発生量(安静時)(m^3/h)(0.39 m^3/h (6.5 L/min)とする。(着座事務作業を想定)

S: 部屋の床面積(m^2)

t: 経過時間(h)

V: 部屋の容積(m^3)



(2) 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 CO_2 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 CO_2 濃度の時間変化は, 次式および次図となる(初期濃度を C_o とする)。なお, 室内に在室者以外の CO_2 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。

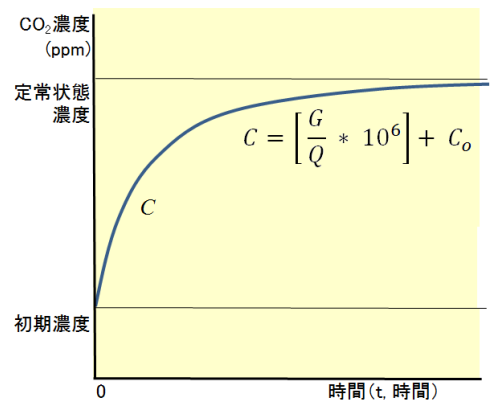
$$C - C_o = \frac{G}{Q} \left(1 - e^{-\frac{Q}{V}t} \right) * 10^6$$

定常状態($t = \infty$)では, 室内 CO_2 濃度(C)は次式となる。

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

CO_2 発生量(G)は, 次式となる。

$$G = C_e * n * R * k * 10^{-6}$$



< CO_2 濃度の経時変化 >

$$= n * k * 0.01794 \dots(2)$$

室内 CO₂ 濃度(C)は, (1)(2)より次式となる。

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

換気量(Q)は次の(3)項の方法で算出する。

(3) 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)

各ケース別に, 以下(A)~(E)のように換気量(Q)を求める。

【重要な注意】

換気装置は一般にその最大能力で運転した場合に(「強・弱」等の設定がある場合は「強」), 設計換気量が得られる。換気装置を最大能力以外で運転している時は, 設計値を用いず, 必ず「実際の換気に見合った数値(以下『実際値』という)」を用いる。

(例: 「強・弱」設定で「弱」の場合, 設計値の 1/2 等の換気量をシミュレーターで手入力する。換気装置が停止されている場合は, 「換気装置なし」として扱う。)

(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。

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

(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。

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

(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_f)」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 _f (m ³ /m ² ・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人当たり換気量を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。

換気量(Q)は次式となる。

$$Q = Q_f * S \quad \dots(6)$$

(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

* 参照文献(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。

- 換気量(Q)は次式となる。

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

(4) 室内 CO₂ 濃度(C)の計算

室内 CO₂ 濃度(C)は, 上記(A)～(E)で得た換気量(Q)を用い, 次式で求める(式(3)を再掲)。
(表 2 中の「CO₂ 濃度計算式」も参照)

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

4. 換気の良否の見積り

推定した室内 CO₂ 濃度に対応する「換気の良否見積り区分」を次表のように設定し, 各区分に応じた対策を推奨します。なお, ある見積り結果が出た時, 在室者数を減らすなど条件を変えて再度見積りを行うことができます。

表 5. 換気の良否見積り区分

換気の良否見積り区分	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 2500 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: 空気調和・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

5. 換気の良否の見積り例

オフィスの事務室(広さ 5 m x 10 m, 定員 10 人, 設計換気量 1 人当たり 30 m³/h)を想定し, 複数のモデル的な状況に関して, 換気の良否を見積りました。結果は下表の通りとなります。

標準の状態(事務作業, 在室者数 10 人)では, CO₂ 濃度は 1,000 ppm で換気の良否見積り区分は「良い」となります。在室者数が定員の 1.5 倍, および 2 倍になると, CO₂ 濃度と見積り

区分はそれぞれ「1,300 ppm, やや良い」, 「1,600 ppm, 悪い」と変化します。一方, 在室者数が定員であっても, 発言の多い会議(呼吸量の大きさを表す係数, $k=2$)の場合は「1,600 ppm, 悪い」, 立食懇親会($k=3$)の場合は「2,200 ppm, 悪い」となります。さらに在室者数が定員の 2 倍で, 発言の多い会議($k=2$)の場合は, 「2,800 ppm, 非常に悪い」となります。以上のように, オフィスの事務室であっても, どのような使い方の時に「換気の悪い密閉空間」となる可能性があるかを見積ることができます。

表 6. 換気の良い否の見積り例 (5 m x 10 m x 高さ 2.6 m の部屋を想定)

状況	在室者数, n	呼吸量の係数, k	設計換気量 Q_p , (m ³ /h・人)	換気量, Q (m ³ /h)	推定 CO ₂ 濃度, C (ppm)	換気の良い否見積り区分
事務作業 標準の状態	10	1	30 (定員 10)	300	1,000	良い
事務作業 定員の 1.5 倍	15	1	30 (定員 10)	300	1,300	やや良い
事務作業 定員の 2 倍	20	1	30 (定員 10)	300	1,600	悪い
発言の多い会議	10	2	30 (定員 10)	300	1,600	悪い
立食懇親会	10	3	30 (定員 10)	300	2,200	悪い
発言の多い会議 定員の 2 倍	20	2	30 (定員 10)	300	2,800	非常に悪い

6. 免責事項

- (1) 本シミュレーターは公益社団法人日本産業衛生学会内産業衛生技術部会が作成したものであり, 著作権は公益社団法人日本産業衛生学会が有します。使用者は著作権法および関連法規を順守し, 権利者に無断で再配布することを禁じます。また営利目的での使用, 配布, または他の製品と合わせて配布すること, 改変したものを配布することを禁じます。
- (2) 本シミュレーターは使用する者の全責任の下において使用してください。著作権者および作成者は利用者に対していかなる保証や, 責任を負うものではありません。

7. 参照文献

- (1) 厚生労働省. 3 つの密を避けましょう(リーフレット). [Online]. 2020 [cited 2020 Apr 8]; Available from: URL:
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000164708_00001.html#kokumin
- (2) 厚生労働省. 3 つの密を避けるための手引き(リーフレット). [Online]. 2020 [cited 2020 Apr 15]; Available from: URL:

- https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000164708_00001.html#kokumin
- (3) 厚生労働省. 商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について. [Online]. 2020 [cited 2020 Apr 8]; Available from: URL:
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000616069.pdf>
 - (4) 新型コロナウイルス感染症対策専門家会議. 新型コロナウイルス感染症対策の状況分析・提言. [Online]. 2020 [cited 2020 Apr 8]; Available from: URL:
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000610566.pdf>
https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/pdf/CREATE-SIMPLE_design_v2.0.pdf
 - (5) 日本作業環境測定協会. 化学物質のリスクアセスメント・マネジメントハンドブック. 東京: 2007; 2: 62-9.
 - (6) 垂水弘夫, 鍵直樹, 丸井基史, 小崎美希, 冨田隆太. 建築環境工学. 東京: 井上書院, 2017: 47-50.
 - (7) 厚生労働省. CREATE-SIMPLE の設計基準, 換気条件による補正. [Online]. 2019; 12-3 [cited 2020 Apr 8]; Available from: URL:
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000616069.pdf>
 - (8) 東京都福祉保健局. 「健康・快適居住環境の指針」17 分野と 37 指針について, 室内空気環境の管理. [Online]. 2020 [cited 2020 Apr 8]; Available from: URL:
https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/kankyo/kankyo_eisei/jukankyo/indoor/kenko/kenkai_bunyatosisin.files/web_bunya1.pdf
 - (9) 石原知久, 大川健, 嶋津民男. 健康な住まいづくりハンドブック. 東京: 建築資料研究社, 2001: 161.
 - (10) 三菱電機. 換気送風機総合カタログ技術編. [Online]. 2016; 710. [cited 2020 Apr 22]; Available from: URL:
<https://www.mitsubishifan.com/catalog2016/pdf/710.pdf>
 - (11) 田島昌樹, 井上貴之, 大西裕治. 換気測定のための在室者の二酸化炭素放出量の推定. 日本建築学会環境系論文集 2016; 81: 885-92.
 - (12) Satish U. et.al, Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance. Environ Health Perspect. 2012 Dec; 120(12): 1671-7.
 - (13) 空気調和・衛生工学会, 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, 緊急会長談話. [Online]. 2020 [cited 2020 Apr 8]; Available from: URL:
<https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200323.pdf>

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 (産業衛生技術部会部会長)

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部会長)

協力者

武藤 剛 北里大学 医学部

* * *

Copyright © 2020 公益社団法人日本産業衛生学会 All Rights Reserved

作成: 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