

換気

～指標となるCO₂濃度のモニタリング～

小川 貴人

1 換気の見える化

「換気の見える化」が、新型コロナウイルス（COVID-19：Coronavirus Disease 2019）の感染拡大とともに話題となっている。

この感染拡大は終息の気配が未だまったく見えていないが、集団感染が確認された場所や状況の共通点は「三つの密（密閉・密集・密接）」が同時に重なったところであるとされている。

問題となる場所としてはオフィス、商業ビル、学校教室、飲食店などの不特定多数の人が集まる施設が挙げられる。その改善策として国は、商業施設などの「換気の悪い密閉空間」を改善する方策として、厚生労働省の専門家会議による提案を2020（令和2）年3月に公表した。

また、夏期は、換気対策のための窓開けと熱中症対策の冷房機器使用の両立についても話題となった。この換気環境についての対策も同年6月に公表され、（公社）空気調和・衛生工学会（SASHE）の換気設備委員会からも空調設備の運用についてコメントが出された。

冬期についても同様に、新型コロナウイルス集団感染の対策として、改めて、建築物における換気的重要性が指摘されている。主に、空調設備の

表1 CO₂濃度の各種基準

公衆衛生上の推奨基準	800～1 000ppm
建築物環境衛生管理基準	≤ 1 000ppm
学校環境衛生基準	≤ 1 500ppm
労働環境、作業環境の基準	2 500～5 000ppm

点検や窓開けといった内容で、室内換気方法の基本といえる。

いずれも建築物衛生法の特定建築物（大型ビルなど）では規制があり対応しやすいが、空調設備の脆弱な中小ビルや住宅では、換気方法が時間ごとの窓開け換気となり、目的が達成されるか疑わしい部分がある。

そこでこの記事では、二酸化炭素（CO₂）濃度を換気の指標として位置づけ、その濃度から居室の「換気の見える化」を行う方法を提案したい。

2 換気に関する法規制

一般に、換気の指標としてCO₂濃度の基準が定められている（表1）。これは、CO₂による人体影響という観点から定められたものではなく、CO₂濃度を換気量の目安とする公衆衛生的な推奨数値である。

CO₂濃度が高くなると空気汚染に結び付きやす

く、居住者はあくびや眠気が出て動作が緩慢になり、仕事や勉強への意欲が低下する。その意味から、生活環境に応じた換気量に関する規制が、さまざまな分野で定められている。

2-1. 建築基準法

建築基準法と同法施行令では、居室には換気のために有効な開口部を床面積の1/20以上設けること（注：採光のために有効な開口部は床面積の1/5以上必要）、もしくは換気設備を設けることが義務づけられている。

CO₂濃度を1 000ppm以下とし、さらに2003（平成15）年の改正により、シックハウス対策としてクロルピリホスやホルムアルデヒドなどの化学物質を発散する建材の使用制限と、そうした化学物質を排出するための換気設備の設置が義務づけられるようになった。

2-2. 建築物衛生法

「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）」では「建築物環境衛生管理基準」が定められ、ビルの衛生管理面が強化された。この

法律でも特定建築物の室内CO₂濃度を1 000ppm以下にするように定められ、またその定期的な測定も義務化されている。

この法律は、1970年代の、霞が関ビルの建設に代表される、いわゆる「超高層ビルの曙」時代に制定・施行されており、その背景として、窓の開かない密閉空間における空調設備のフィルター性能のあり方が議論されると同時に、室内での喫煙が問題視された。以降、室内環境衛生に対する認識が向上し、外窓を開けることとその快適性が議論され、空調設備の高度化が進められた。

この法律の基準値は、1人当たりに必要な換気量を約30m³/hとして、居室の在室密度に応じて必要換気量を定めている。世界的に影響があったシックハウス症候群がわが国で大きな問題とならなかったのは、この法律があったからともいわれている。

2-3. 学校保健安全法

学校保健安全法では、「学校環境衛生基準」が制定されており、学校教室等の換気、保温、採光、照明、騒音、空気質、水質などさ

まざまな基準が定められている。

特に、密閉・過密空間となる教室は、一定時間生徒が在室するため、空気汚染の蓄積が問題となることが多い。そのため、40人学級から35人学級へ人数を変更して在室者数を減らし、CO₂濃度を1 500ppm以下に維持するため定期測定を義務づけるとともに、指導に当たる学校薬剤師を選任することになっている。

なお、室温を管理する冷暖房設備は、近年、導入する学校が増えて贅沢品ではなくなってきたが、換気の管理は問題として依然残っている。

ちなみに、延べ面積8 000m²以上の学校は、特定建築物として、前述の建築物衛生法の適用を受けることとなる。

2-4. 労働安全衛生法、作業環境測定法

「事務所衛生基準規則」などでは、換気について労働者1人当たり10m³の空気が必要とされ、床面積の20分の1以上の大きさの窓を設けるか、換気設備が必要としている。また、屋内において気温が10℃以下の場合は、換気に際して労働者が風速1m/s以上の風にさらされないようにする規定がある。作業環境に換気設備がない場合、CO₂濃度は0.5%（5 000ppm）以下とされている。

3 COVID-19 と換気対策

政府の「新型コロナウイルス感染症対策分科会」では、その見解として、集団感染（クラスター感染）を回避するため、以下の3点を挙げている。

①換気の励行

②人の密度を下げる

③近距離での会話や発声、高唱を避ける

特に、①の換気の励行では、換気状態の悪い密閉空間としないよう、「換気設備の適切な運転・点検をし、定期的に外気を取り入れる換気を実施することとしている。

勘違いされがちだが、一般的に「エアコン」と称されている家庭用冷暖房機器は、室内で空気を循環させているだけで、外気を取り入れる機能がないものが多い。エアコン＝冷暖房機器であるので、外気を取り入れるには窓開け換気しかない。

この点、大型ビルの空調設備は、常時1/3を「排気&外気取入れ」し、2/3を「再循環」させていて、専門の設備管理者が必要換気量を満たすための管理を行っている。

新型コロナウイルス感染症のリスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するため、特に夏期は、以下の点が窓を開けて換気する場合の留意事項として挙げられた。

- 居室の温度28℃以下、相対湿度を70%以下
(50～60%)に維持できる範囲内で、二方向の窓を常時できるだけ開け、連続的に室内に空気の取入れを促す。
 - 一方向しか窓がない場合は、ドアを開けるか、天井や壁の高い位置にある窓を追加で開ける。
 - 居室の温度を28℃以下、相対湿度を70%以下に維持しようとする、窓を十分に開けられない場合は、窓からの換気と併せて、可搬式の高性能な空気清浄機を併用する。その際、エアコンの温度設定にも注意する。
- 居室の温度と相対湿度の管理は、温湿度計の使用が望ましいが、在室者自身の「暑い・寒い」という感覚でもある程度の把握はできる。しかし、感覚での換気量把握というのは難しい。
- 前述のように、換気量の把握にはCO₂濃度が指標の一つとなる。そこで以下では、CO₂測定機器3機種を紹介する。

4 CO₂ 測定機器

4-1. 検知管法との比較

室内でのCO₂濃度測定は、居住者の在室中に連続値で評価することが望ましいが、検知管法ではガラス管の交換などに時間を要し、連続測定が困難な場合もある。

たとえば、「学校環境衛生基準」ではCO₂濃度

表2 学校環境衛生基準でのCO₂濃度測定法

検査項目	方 法
(1)換気	二酸化炭素は、検知管法により測定する
備考：学校の授業中に、各階1以上の教室等を選び、適当な場所1か所以上の机上の高さにおいて検査を行う。上表に掲げる検査項目について、右欄に掲げる方法またはこれと同等以上の方法により、毎学年2回定期的に検査を行うものとする。	

測定を表2のように規定している。これによれば、検知管法を最低基準として、これと同等以上の検査方法の使用を定めている。

ちなみに、学校関係の検査方法としては、以下の方法によることになっている。

(1) 検査場所

学校の授業中に、各階1以上の教室等を選び、適当な場所1か所以上の机上の高さにおいて検査を行う。なお、幼稚園等では、たとえば子どもたちが床で活動するのであれば、床の上で検査を行うなど、その活動状況を考慮して検査を行う。

(2) 検査方法

CO₂濃度測定は、授業開始前から授業終了時まで経時的に行うことが望ましいが、測定回数を1回とする場合は、CO₂濃度が高くなる授業終了直前に行う。

この方法は検知管法を基準に規定したもので、1回の数値で経時変化や換気量の算出は不可能である。

この点、非分散型赤外線ガス分析計（NDIR方式）の場合は、自動測定機器であるので、測定には人手を必要とせず、測定点の結果がデジタル表示され、その数値を読み取って換気測定法として利用できる。

表3に検知管法とNDIR方式の比較を示す。

表3 NDIR法と検知管法の比較

比較項目	NDIR 法	検知管法
測定値	デジタル表示	スリット目盛を目視確認
測定間隔	数秒ごとに測定値が更新	5分以上
測定方法	自動測定	手動測定
消耗品	なし（電源が必要）	測定ごとに新たな検知管が必要
価 格	機器本体のみ	吸引ポンプ+検知管



写真1 移動測定用RT-55



写真2 定点測定用RT-56

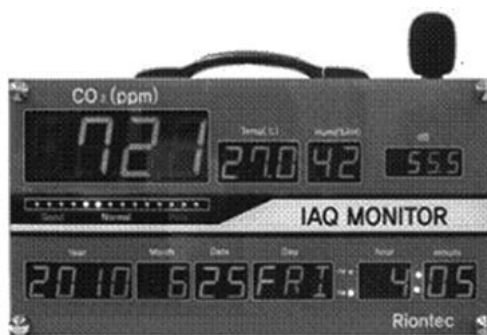


写真3 広報用RT-60



写真4 RT-55による測定の様子

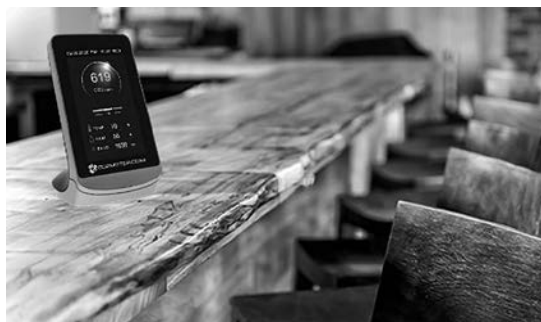


写真5 RT-56による測定の様子

表4 移動測定用RT-55 の仕様

CO ₂ 測定範囲	350～50000ppm
温度測定範囲	－ 5.0～＋ 50.0℃
湿度測定範囲	5.0～80.0% RH
電 源	USB 充電式（フル充電時で約10 時間）
大 き さ	100 × 60 × 17mm
重 さ	85g

4-2. NDIR 方式のCO₂ 測定機器

次にNDIR 方式のCO₂ 濃度測定機器として移動測定用のRT-55、定点測定用のRT-56、広報用のRT-60 を紹介する（写真1～3）。

（1）移動測定用RT-55（（公財）日本学校保健会推薦品13号）

RT-55 は、ポケットに入ってしまうほどコンパクトなCO₂ モニターである。フル充電時で10 時間程度の連続測定が可能であり、1 日に複数の場所を測定する場合に向いている。

室内環境測定用に開発され、移動測定用の環境

表5 定点測定用RT-56 の仕様

CO ₂ 測定範囲	400～5000ppm
温度測定範囲	－ 10～＋ 50℃
湿度測定範囲	20～85% RH
気圧測定範囲	860 ～ 1060hPa
電 源	USB 充電式（フル充電時で約3 時間）
大 き さ	145 × 76 × 96mm
重 さ	210g

RT-56 は、事務所や飲食店、教室などで常時コンセントから電源供給する定点測定を想定して開発した機種である。

大きさはスマートフォン程度で（写真5、表5）。CO₂ 濃度を画面に大きく表示し、濃度によって緑色・黄色・赤色と、色でCO₂ 濃度（換気状態）を知らせる機能がある。それゆえ、商業施設などで机上に置いて用いれば、店舗側も来店者も、換気状態をひと目で把握できる。

測定機器として学校薬剤師や測定業者に広く利用されている（写真4、表4）。

（2）定点測定用 RT-56



写真 6 RT-60の設置例

また、店舗側からすれば、来店者に「換気に気をつかっている店」というPR 効果も期待できる。この他に気圧測定機能や時計機能なども付いている。たとえば飲食店のテーブルにRT-56 が置いてあれば、CO₂ 濃度の確認と同時に、会食時間を把握するのにも役立つ。

なお、RT-56 を定点測定に使用し、RT-55 を移動測定に用いて必要に応じて複数か所で測定してCO₂ 濃度を確認すると、測定の精度を大幅に向上させることができる。

(3) 広報用RT-60

大型のLED 表示部に現在のCO₂ 濃度、温度・湿度、日付、時刻、騒音レベルを表示する(写真6、表6)。遠くからの視認性があるので、ホール、大広間、病院や薬局などの待合室での使用にも適している。

RT-60 の特長の一つに、「騒音レベル」の表示がある。

口から発せられた飛沫がどれほど周りに飛び散ってしまうのか、スーパーコンピューター富岳の計算シミュレーションがメディアで大きく取り上げられたのは記憶に新しいところである。大き

表 6 広報用RT-60の仕様

CO ₂ 測定範囲	400～5000ppm
温度測定範囲	0.0～+ 60.0℃
湿度測定範囲	0～90% RH
電 源	AC100V
大 き さ	500 × 250 × 47mm
重 さ	3.6kg

表 7 CO₂基準値の0.15% (1,500ppm) 以下にするための必要換気回数

収容生徒数	35 人
教室の容積	190m ³
1 人当たりの気積	5.1m ³ /人
幼稚園、小学生	1.9 回/h
中学生	2.8 回/h
高校生	3.9 回/h

な声を出せば、当然、口からの飛沫が飛び散る可能性が上がる。冬期はコロナウイルス以外に、インフルエンザや風邪などで病院を受診する患者も増えるので、CO₂ 濃度で換気状態を把握すると同時に、騒音レベルも監視することで、飛沫感染防止対策に資することが期待できる。

5 RT-55 による 学校教室の測定事例

移動測定用CO₂ モニターRT-55 を使用した学校教室での調査例を以下に示す。

- ・測定実施日：2018 年 9 月 12 日(水) 4 限目
- ・測定場所：東京都S区公立中学校（住宅地域に立地するRC 造 4 階建て）3 階に位置するB 教室
- ・教室設備：冷暖房設備（エアコン）、全熱交換型換気設備（三菱電機製ロスナイ）

B 教室は気積が約190m³、35 人在室で、出入口の一部が換気のために開いており、エアコン、全熱交換型換気設備がON の状態であった。この教室の大きさ、在室人数から算出した必要換気回数の理論値などは表7のとおりである。

学校環境衛生基準では、CO₂ 濃度の基準値が0.15%(1,500ppm)のため、中学校教室では1時間



写真7 RT-55によるB教室での測定風景



写真8 B教室での測定箇所

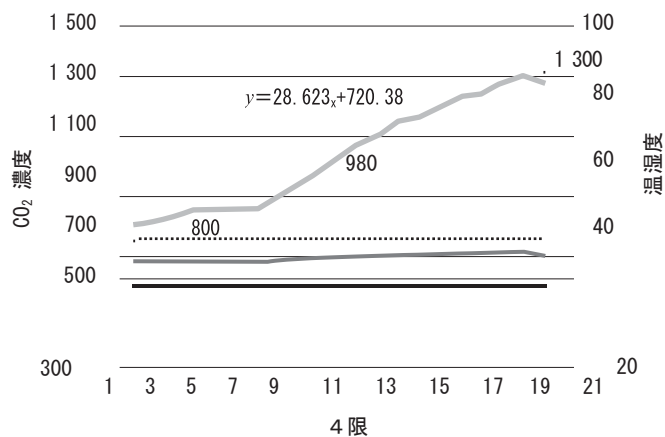


図1 B教室でのCO₂濃度変化

当たり2.8回の換気回数が求められる。

測定ではRT-55を写真7・8のようにセットし、CO₂濃度の増加量から、後述する弊社開発の「換気回数計算ソフトウェア」(屋内換気量測定方法JIS A 1406に準拠)を使って教室の換気回数を求めた。

RT-55で10分ごとに教室後部のCO₂濃度を自動測定した結果は、4限目開始時が800ppmで、授業終了時に1300ppmと、CO₂濃度の増加傾向がほぼ一定であった(図1)。

この10分ごとの実測値、部屋の大きさ、在室人数を「換気回数計算ソフトウェア」に投入した結果が図2である。4時間目開始時800ppm、授業終了時1300ppmはいずれも学校環境衛生基準の1500ppm以下となっている。また、実測値のグラフは、「換気回数3.2回」の場合の近似線となっ

ている。この換気回数3.2回も、基準の2.8回以上を確保していることが読み取れる。

上記の結果から、この教室は全熱交換型換気設備が十分機能していると判断される。授業中も換気設備をうまく利用することで、学校教室のような密になる環境でもCO₂濃度の上昇はある程度抑えられることがわかった。

なお、今回の4限目は換気設備が作動している状態でCO₂濃度800ppmから授業が始まり、授業終了時は1300ppmとなった。仮に、この4限に続けて次の授業を開始すれば、1300ppmから授業が始まり、学校環境衛生基準の1500ppmを超える可能性も考えられる。そのため、休み時間には窓を開放し、授業中は換気設備を使用するなど、換気方法の工夫が必要なことも判明した。

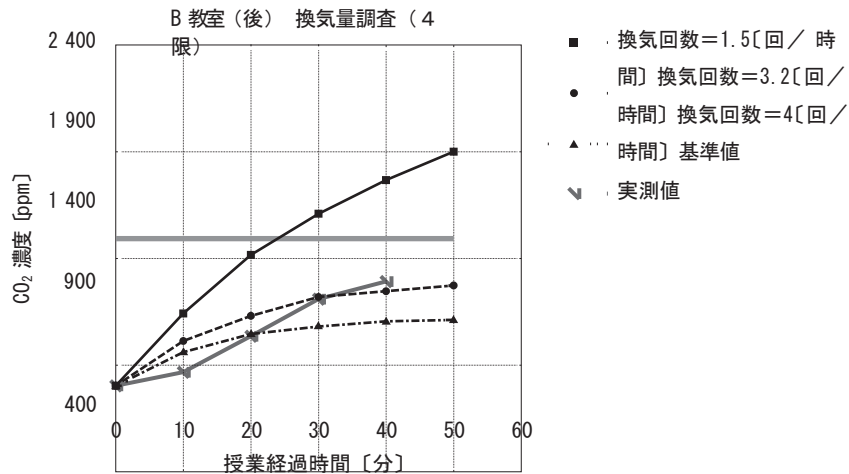


図2 B教室での換気回数によるCO₂濃度変化

①条件入力 ⇒ ②グラフによる確認 ⇒ ③機械換気による対策 =

①条件入力

ここでは、測定したCO₂濃度から教室の換気回数を推定するための条件を入力します

■教室の気積を入力します（単位：m³）

教室の気積 180 ▼

■授業中の教室内在室者（教師、生徒）数を入力します（単位：人）

教師（大人） 1 ▼
 幼稚園・小学生（低学年） 35 ▼
 中学生・小学生（高学年） 0 ▼
 高校生 0 ▼

■外気の CO₂濃度を入力します（単位：ppm）

外気 CO₂濃度 400 ▼

■授業開始時における室内CO₂濃度を入力します（単位：ppm）

初期 CO₂濃度 800 ▼

■1時限中に測定したCO₂濃度を入力します（単位：ppm）

測定データ	経過時間	濃度
測定値（授業開始時）	0	800
測定値（その1）	10	1000
測定値（その2）	20	1200
測定値（その3）	30	1400
測定値（その4）	40	1600
測定値（その5）	50	1800
測定値（その6）		

図3 換気回数計算ソフトウェアの画面例

④グラフによる確認

測定値の結果を用いて、測定した教室の環境が、どれくらいの換気回数であるか確認します
※必要であれば「①条件入力」画面に戻り、参照用の換気回数グラフを再設定してより詳細な値を推定します

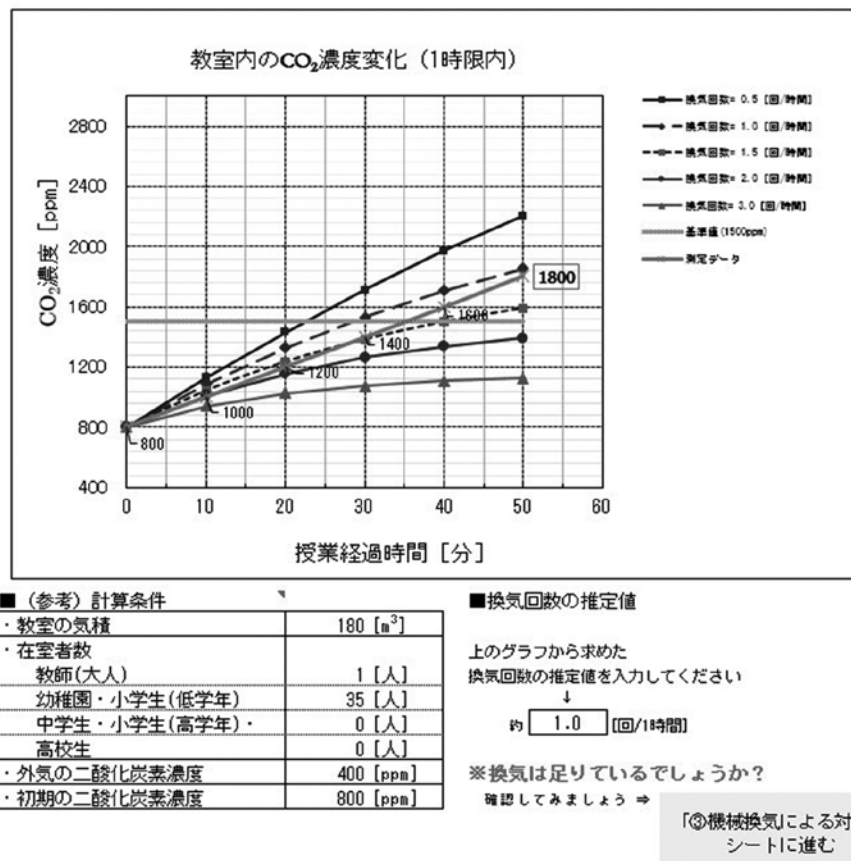


図4 換気回数計算ソフトウェアでの計算結果表示の例

表8 NDIR方式のCO₂モニターの校正（検査）

検査項目	検査基準	規格値
温度 [°C]	標準器との差が規格値を満足すること	± 1.0
湿度 [% RH]	標準器との差が規格値を満足すること	± 10
CO ₂ 濃度 [ppm]	400ppm に対して規格値を満足すること	360~440
	3 000ppm に対して規格値を満足すること	2700~3300
	対象空間の気積 [m ³]	

6 換気回数計算ソフトウェア

弊社では、CO₂ 濃度測定結果を利用した居室内（教室）換気量を求めるソフトウェアを用意している。これはCO₂ 濃度の増加に基づいて換気量を求める方式となっており、その一部を例示する。

換気回数の計算には以下の情報が必要となる。

- ・在室人数 [人]
- ・CO₂ 濃度の経時変化 [ppm]

上記の数値をソフトウェアに投入して自動計算する（図3）。換気回数参照用グラフは、五つ設定が可能で、実測値の換気回数を割り出すことはもちろん、パターンごとにCO₂ 濃度変化のシミュレーションも可能である（図4）。

図4の場合、実測値（測定データ）の線は「換気回数1.0 回／ 時間」の近似線ということがわかる。また、測定開始から40 分後には学校環境衛生基準の1 500ppm を超えてしまっているため、換気回数を「2.0 回／ 時間」まで増やすことができれば、基準以下に抑えられることも読み取れる。

このように条件を変えてCO₂ 濃度を換気回数計算ソフトウェアに投入すれば、CO₂ 濃度の変化量が想定でき、換気環境の改善に役立てることが可能である。

7 CO₂ モニターの校正

NDIR 方式のCO₂ モニターを用いて測定する場合、精度管理のため、定期的な校正が必要となる（表8）。

正確な測定に必須となる校正を安価に提供するため、弊社では簡易校正装置を自社で設備している（写真9）。

* * *

以上、現場用のCO₂ モニターRT-55、RT-56 と広報用RT-60 について、使用法と換気量調査の概要を述べた。

「換気」という概念は特に目新しいものではないが、コロナ禍の中で人間の生活にとって重要であり、日常の管理に欠かせないものとして改めて認識されている。

室内環境を適正に維持するには、換気のために二方向の窓を何分開けるとい程度の指示だけでなく、

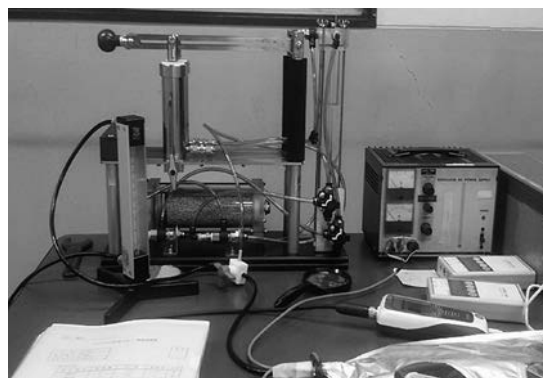


写真9 CO₂モニターの校正（検査）作業

CO₂ 濃度を測定・管理することが重要である。

ここで紹介した機器を使用することにより、簡単に正確なCO₂ 濃度測定が行え、換気回数計算ソフトウェアを利用し、居室の換気シミュレーションが可能となる。こうした調査や換気量測定結果が、コロナ禍での換気状態の改善に、少しでもつながれば幸いである。

<参考文献>

- 村松學 編著『室内の環境を測る—ビル・住まい・学校環境—』オーム社
- 河野通泰、小川貴人、中村正則「新型CO₂ モニターの換気量調査研究」2018 年室内環境学会発表資料
- 村松學、古川誠 私信「換気量測定用ソフトの開発について」

（リオンテック（株）

〔オガワ タカト〕