

屋内換気状況見える化実験の目的

三木光範(理工学部名誉教授)

◆実験名：屋内換気状態見える化実験

◆目的：

COVID-19 が完全に収束しない状況において、オフィス、病院、レストラン、学校など多数の人が集まる場所では三密(密集・密閉・密接)を避けることが感染防止に有効である。

このため、定員の半分程度の人が屋内の部屋にいても、秋など外気の温度が良好な時期ではドアや窓を開けて十分な換気をすれば COVID-19 の感染の虞は少なかった。しかし、冬にはドアや窓を開けて十分な換気をしたくても屋内の人が寒さで活動できない、あるいは風邪を引くなど課題が生じる。

そこで、本実験では、屋内において十分な換気はどのように達成できるかという問題に対する解決法を見出すことを目的とする。

◆実験の意義

この実験では教室における入室人数を定員の 1/6 または 1/4 とした場合において、ドアや窓を開けての換気条件で部屋の各部分の CO₂ 濃度の変化の測定、および我々が開発した換気状態見える化システムの CO₂ センシングポールの有効性を検証した。ここでの結果は、学校の教室だけでなく、飲食店、病院、介護施設、店舗、イベント会場など、種々の屋内空間において換気的重要性を明瞭に確認することに繋がる。

たとえば、学校の教室を用いて対面授業を行う場合、三密を避けるため、教室定員の半分以下の受講生を入れ、互いに隣接しない着席とし、かつ、教員および受講生にはマスク着用を求めるなど、感染防止対策を徹底することが重要である。

しかしながら、教室内の空気の換気をどうするかに関しては文科省からもガイドラインが示されておらず、「換気に気をつける」。あるいは「換気を十分に行う」など、抽象的な基準があるだけである。このため、教室の窓とドアをすべて開けるのか、窓だけをすべて開けるのか、一部だけを開けるのか、という基準が存在しない。このようなことは学校だけでなく、病院、レストラン、介護施設、オフィス、あるいは屋内でのイベント会場でも同様である。

これから冬を迎える中で、屋内の換気を十分に行うためのガイドラインの策定は利用者に対しても、施設提供者に対しても極めて重要である。なぜなら、最も簡単な方法は「すべての窓とドアを開放する」ことであるが、それによるデメリットも大きい。生じる問題は、風や雨が屋内に吹き込み、人が活動できない、暖房が効かない、外や廊下の騒音で活動ができないなどである。さらに、カラオケ店や地下のレストランなどでは窓がなく、ドアを開けても外気が流入しないなどの問題がある。

◆CO₂ 濃度に関する基準

冬期における最大の問題は暖房と換気のバランスである。換気を重視すれば暖房が効かず、暖房を優先して考えれば換気が不十分となる。空調設備があるビルなどの建物では建築物衛生法によりその部屋の定員が入室した状態で CO₂ 濃度が 1000 ppm を超えないように外気が屋内に導入されているはずである。ただ、空調設備が古くなるなど、保守管理が十分でない設備では、実際に計測すると CO₂ 濃度はその基準を超えている場合が多いと思われる。

たとえば多数のカラオケ店を実測した結果では 2000 ppm を超えていた。

野村 藍「東京都におけるカラオケボックス20店舗の空気環境の実測調査」

<http://www.aero.ds.shibaura-it.ac.jp/stuff/2010/10ronbun/j07093.pdf>

また、厚生労働省もビル管理法が適用されるビルはもちろん、適用されない建物でも CO2 濃度は 1000 ppm 以下にすることを推奨している。

<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf>

一方、学校の教室では機械換気システムは導入されていない場合が大部分であるが、教室の廊下側と反対側はすべて窓である場合が多く、窓を開けることで簡単に換気できる。また 45～90 分に 1 回は休憩時間があり、生徒や学生は廊下に出たり、屋外に出るなど外気を吸う機会も多いため、CO2 濃度基準は 1500 ppm 以下にすることとなっている。

https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2018/07/31/1292465_01.pdf

◆CO2 濃度センサーの市販状況

このような状況により、現在、多くの CO2 濃度を計測する機器やシステムが販売されており、ネットで「CO2 センサー」という単語で検索すれば種々のセンサーを確認することができる。しかしながら、どの計測器もシステムも次の 3 つの特徴を持つ機器はない。

- ①屋内の換気状況を、誰でも、どこから見ても明瞭に見えること。
- ②設置が極めて単純で、電源に接続すれば何もしなくても良い。
- ③移動が簡単であること。

こうした観点から、筆者は株式会社堺精機工業所、エースポイントシステムズ株式会社、および同志社大学理工学部教員の協力を得て「換気状態見える化システム CO2 センシングポール®」を開発した。この機器は、屋内の換気状態を、利用者も施設提供者も視覚的に同時に確認できるシステムであり、屋内に設置した換気状態見える化システムのセンシングポールが緑色であれば換気は十分に良好であり、黄色なら換気推奨、赤なら換気必要であることが、誰にでもすぐに分かる。

これにより、建築基準法に基づく施設では機械換気の換気状態を確認することができるほか、室内のパーティションなどで空気の流れが阻害されている場所を発見することもできる。また、機械換気装置が無い場合には、最小限の窓開け、ドア開けなどで屋内活動を実施できるため、ドアや窓の全開放で生じる多くの課題を解決することができる。天井が高いなど、屋内空間の容積が十分に大きい場合には、利用前に十分な換気を行えば、入室人数を選らせばかなりの時間においてすべての窓とドアを閉じた状態で活動することもできると思われる。また、利用状況に応じて開放する窓や開放する時間の目安が分かれば適切な換気をルーチン化することもできると思われる。

◆実験内容：

学校において定員が 100 人程度の小規模の教室を対象とし、18～25 名（定員の 18%～25%）が着席し、教員 1 名が教壇上にいる状態を CO2 ガスポンペと流量計、および各着座席への配管システムで作り出し、90 分間の講義中の CO2 濃度の変化を教室の各場所で計測し、窓とドアの全閉から全開まで、複数の換気条件で行った実験から、①ドアや窓をすべて閉めた場合、一部開けた場合などで CO2 濃度はどのように変化するか計測し、CO2 濃度の変化の傾向を明らかにする、②部屋の各場所での CO2 濃度の変化とドアや窓の開放状況との関係性を見いだす。また、換気状態見える化システムの CO2 センシングポールを用いて、③換気状態見える化システムの有効性を明らかにする。

なお、CO2 センシングポールの表示器の点灯色変化については、ここでは実験時間短縮と精度検証のため、600 ppm 以上で黄色、700 ppm で赤色とした。実際の製品版では 1000 ppm 以上で黄色、1500 ppm 以上で赤色に設定している。

以上

窓やドアをすべて閉鎖した屋内の CO2 濃度変化(計算値)

建築基準の中の建築物衛生法では、オフィス空間の CO2 濃度は 1000ppm 以下にすることが求められており、文科省の学校環境衛生基準では教室の CO2 濃度は 1500ppm 以下にすることが求められている。

しかし、冬期では窓を開けるなど換気操作が不十分となり、文部科学省の調査においても教室内の CO2 濃度が 2000 ppm を超えることが指摘されている。

https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/shuppan/04062201/032.htm

三木は昨年担当していた「知的システム工学」(受講生約 60 名、教室定員は約 200 名)において、定期試験(2019 年 1 月)中に CO2 測定器を持ち込み、教卓で CO2 濃度を測定したが、70 分の試験時間終了時に CO2 濃度は 2000ppm を超えていた。このことから、教室では冬期にドアや窓を開けることが少なくなり、十分な換気が達成されていないと思われる。

なお、換気がないとした場合の小規模教室(定員 50 名)における CO2 濃度の変化を計算した結果を図 1 に示す。

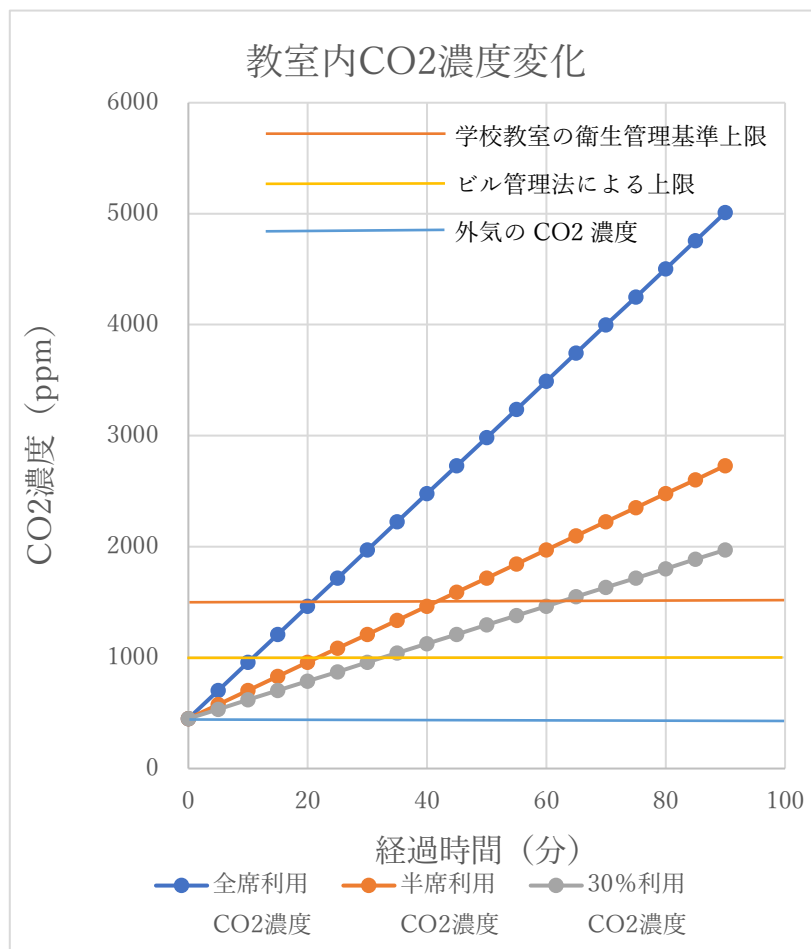


図 1 換気無しにおける小教室での CO2 濃度変化(席数 50)

表 1 計算に用いたパラメータの値

一人CO2 吐出量(m ³ /min)	着席人数 (人)	教壇人数 (人)	部屋幅 (m)	部屋奥行 (m)	部屋高さ (m)	部屋体積 (m ³)
0.000299167	50	1	8.2	12	3	295.2

この結果は表 1 に基づいて計算した CO2 濃度の 90 分間の変化である。なお、初期濃度は完全に換気されているとして、外気の CO2 濃度(450ppm)を用いた。このため、初期濃度が高い場合、計算値はその分増大する(上に移動)。

この図から明らかなことは、ドアや窓を閉鎖した教室では、講義が始まる前に教室のドアや窓を開放して十分な換気を行ったとしても、50 人が着席すると 20 分で、半数の 25 人でも 40 分で 1500 ppm に到達する。30%利用、すなわち 17 名でも 70 分には教室の衛生基準を超えるということである。

2019 年度に三木が講義中の CO2 濃度を測定したところ、講義終了時には教壇付近で 2000ppm を超えていた。この場合、受講学生は定員の 1/3 程度であったことから図 1 の計算結果は妥当と言える。

CO2 濃度に関しては、1000ppm を超えると、外気から入って来た人が「人がいる空間だと感じる」程度であるが、2000ppm を超えると「空気が悪い」と感じ、3000ppm を超えると気分が悪くなる人が出てくる。5000ppm を超えると多くの人が不調を訴える。ただし、CO2 には毒性はないので健康被害には直接繋がらない。

新型コロナウイルスの感染拡大が発生する前までは建築物衛生法の 1000ppm や教室の換気基準である 1500 ppm を超えていてもそれほど大きな実害は無かったが、新型コロナウイルスの感染拡大防止を考えると、これらの換気基準を守った屋内施設の運用が望ましい。必要な機械換気を行うか、適宜の窓やドアの開放が必要になる。

以上