

三次元CO2センサの開発とCFD解析の整合性に関する研究



DZ18034 和田 美華子

Keywords

CO2 CFD COVID-19
換気環境改善 自然換気

1. 研究の背景と目的

2019年から世界中を騒がせているCOVID-19の影響を受け、感染拡大防止策の必要が重要視されてきた。自分が生活している空間の換気状態の良し悪し、そしてその対策はあるのかという問題を解決していく。そこで当研究室では昨年度から神戸商工会議所換気シミュレーションプロジェクトを立ち上げた。この活動は神戸を中心に公共施設や小規模施設などさまざまな建築を対象として換気シミュレーション、換気環境改善策提案を行う。加えて自身の研究ではCO2の三次元多点計測を実現する。CO2を選択した背景として、去年の研究では技術面などによって計測が不十分であったこと、大気汚染問題から切り離せない存在であるCO2を取り上げることによって換気環境改善策の提案が可能になると考えた。そして実際のデータと解析ソフトが算出データの比較を行うことで整合性の検証を行うことを目的とした。

2. 手法

2-1 機器開発

本研究にて新しく開発した三次元多点計測器の概要を示す。ラズベリーパイ(Rasberry Pi 4)を中心とした構成とした。ラズベリーパイとは超小型のPCであるが、WifiやUSBポートなど、一般的なPCが持つ機能はすべて実装している。このラズベリーパイにCO2感知センサー、表示部を組み合わせた計測器を作成した。その外観写真を写真1に示す。この計測器によってCO2測定器としては極めて小型かつ軽量、そしてローコストな測定器となる。この計測器にOSとしてLinuxを組み込み、Wifiによる通信を可能とする。電源部には、スマートフォンなどに対応したモバイルバッテリーを採用した。この事により、完全に独立したハードウェアに対して通信機能を持たせる事が可能となる。また、各計測器にIPアドレスを持たせ、複数の計測器を制御するためのPCより、仮想デスクトップ機能を用いて各計測器のリモート制御を行う。本体とCO2センサーの接続にはNode-Redを用いた。

2-2 実測概要

本報告においては、このCO2計測器を13台用意した。計測対象とした建物は、大阪市内に実在する20m²程度の床面積を持つ小型の喫茶店である。その概略平面図を図1



写真1 CO2センサの外観

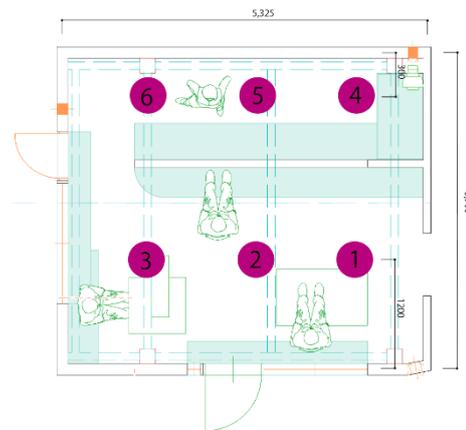


図1 対象物件の概略

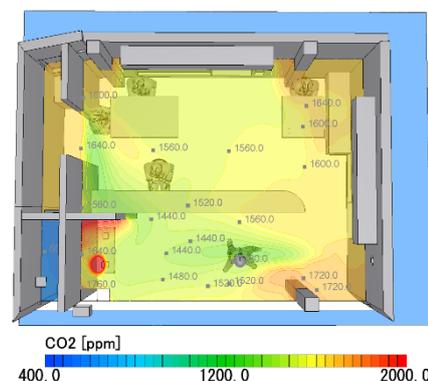


図2 CFDモデルのCO2分布解析(例)

に示す。この建物内に、X、Y、Z方向にそれぞれ2点、3点、2点の計12点にCO2計測器を設置した。またこれらとは別に、外気測定用に1台を設置した。

CO2の発生源としては、① 厨房内に設置された業務用のコンロ、② 客を想定した人間、の2種類を用意した。コンロは1台、人間の数は5名を標準とし、コンロのOn/Off、および人間の有無によりCO2発生量を変化させた。本報告においては、種類の状況の測定条件を設定した。また、これらとは別に、計測器相互間の較正用に更に1種類の状況に対して計測を行った。

2-3 CFDモデリング

測定で得られたデータとCFD解析の結果を比較するために、MSC社STREAM v2021.1による気流解析を行った。

CFDモデルにおいては、対象建物およびコンロ、在室者を忠実に再現した。その解析の1例を、図2に示す。

3. 実測結果

3-1 計測器の較正および対象室の自然換気量の測定

まず各計測器による感度の違いに対する較正を行った。コンロをOnとして、室内でのCO2濃度を3,000ppmまで上げた。その後、測定対象室内を30分間放置し、自然換気による濃度の減衰を計測した。この時の計測結果を図3に示す。ここで得られたデータに対して、計測器13台の中から1台を基準器として選び、その基準器に対して各時点でのCO2濃度を比較し、一次関数に近似する事によって計測器相互での較正を行った。

また、同じデータを用いて室の自然換気量の測定を行った。一般に建築物の室はさほど気密性が高く無いため、自然換気量が存在する。その一方で本報告の用にCFDデータを算出しようとする、CFDモデルにおいては隙間風の設定が出来ないために、半永久的に濃度減衰はしない。この違いのある実測データとCFDデータを一律に比較するために、室内の厨房にあるレンジフードを常にOnの状態とし、一定量の換気が常に行われる状況を再現した。その結果、対象室の自然換気量は158m³/hと算出された。以下のモデルにおいては、全てのケースにおいてこの量の換気が常に行われているものと設定し、比較・検討を行った。

3-2 CO2拡散状況の実測

対象室にて、CO2拡散状況の実測を行った。その際、以下に示す2つの条件、
条件① コンロOn、在室者無し
条件② コンロOn、在室者5名
の2ケースを行った。いずれの場合も計測時間は30分程度を基準とし、室内でのCO2濃度が概ね2,000ppmを超えた段階で実測を中止した。

その実測結果について、条件①については図4に、条件

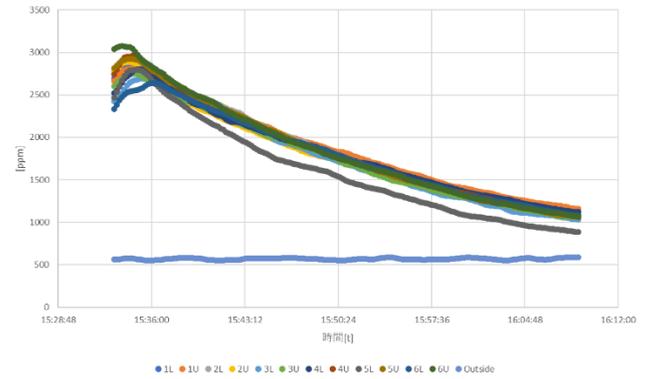


図3 条件①実測グラフ

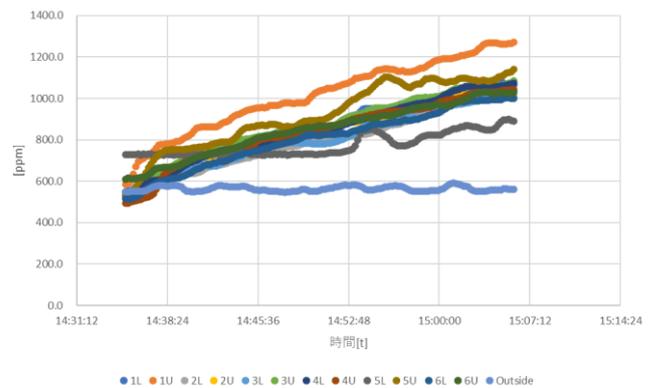


図4 条件②実測グラフ

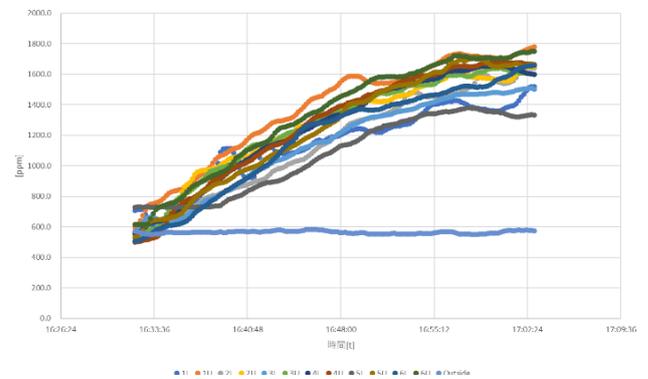


図5 条件③実測グラフ

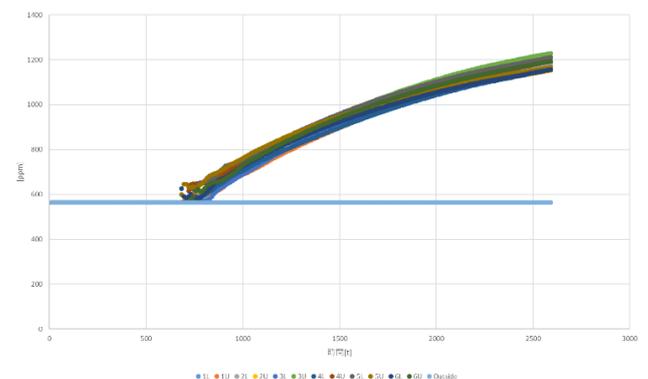


図6 条件①解析グラフ

②については図5に示す。いずれのグラフにおいても、横軸に時間を取り、縦軸にCO₂濃度(ppm)を示した。また、以下に示す測定器設置場所については、平面的な設置点を1~6、各設置点の上下をU、Lで表す。

条件①では1Uが特に上昇しているのが見てとれる。コンロが一番近いのは4Uと4Lになるため人からの排出量が多かった。5Lだけ他より目立つほど低い数値になってしまったのは疑問が残ったので、比較の際にも注意して考察する。実験②では綺麗な減衰係数が得られた。やはり5Lが目立つのが気になった。12台それぞれから換気量を計算し平均値を取ると、換気扇の換気量は158m³/hとなった。

条件②では全ての観測点においてCO₂濃度が上昇する結果が得られたが、最終的に上昇した数値はかなり差が出た。コンロが一番近い部分が一番上昇すると予想していたが、結果は違うものになった。

扉を開き換気を行った際には10分程度で外気と同等の濃度になったが、換気量測定のグラフを参照すると分かるように、換気扇のみではCO₂濃度の低下は著しく悪くなる。

3-3 CFD 解析結果

CFD解析には人のみからのCO₂排出量とコンロのみからのCO₂排出量と分けて解析をした。加えて実測によって得られた換気扇の換気量158m³/hを条件に加えた。また北側と東側に風速0.1m/sを加えた。

ここで、コンロの出力(熱量)、およびそこからCO₂発生量については分からない、という問題がある。この点については、実測結果をもとにコンロの概略容量を想定した。また、コンロの出力とCO₂発生量の関係については、コンロの燃料物性をプロパンと仮定し、モル計算によって、コンロ出力1Wから発生するCO₂量を36000Lit/hとして計算を行った。また、人間からのCO₂発生量については0.4Lit/hとした。

これらの条件のもとでCFD計算を行ったものの内、条件①での結果を図6に示す。条件①ではコンロが一番近い4Uが常に高い数値を出した。次いで4L、5L、5Uとコンロに近い順に高い数値が得られた。条件③の結果について、図7に示す。ここでは特に6U、次いで5Uの上昇が後半につれて緩やかになっている。

4. 実測結果とCFD解析結果との比較

比較には12点それぞれで比較グラフを作成した。条件①では全体的に解析の結果の数値が高くなってしまった。解析のコンロと人からの出力の調整が甘かったことが原因と考えられる。図8に示す、実測結果とCFD計算結果の比較では、5Uはほとんど合っているため、実際の計測濃度の方が高いという結果になる。また図9に示す1U点での比較においては、解析結果の方が低いため実際には濃度

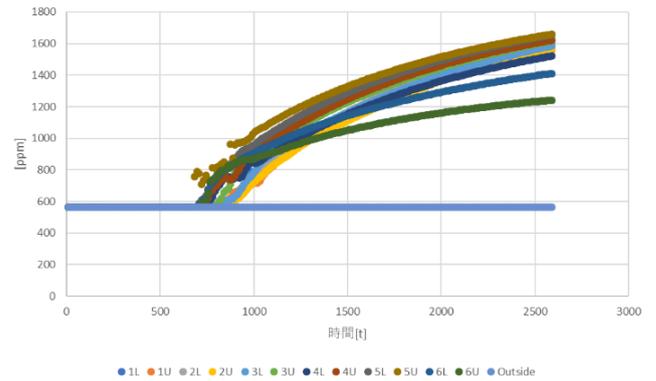


図7 条件②解析グラフ

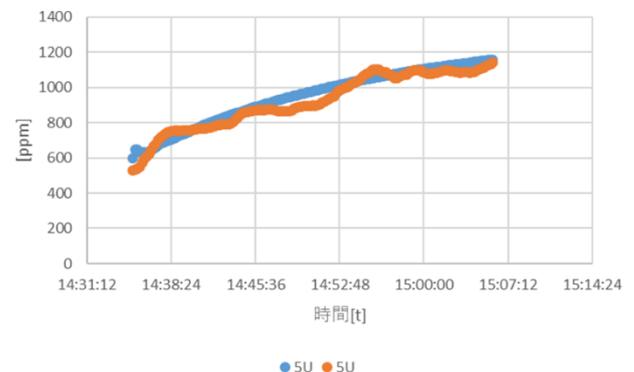


図8 条件①5U比較グラフ

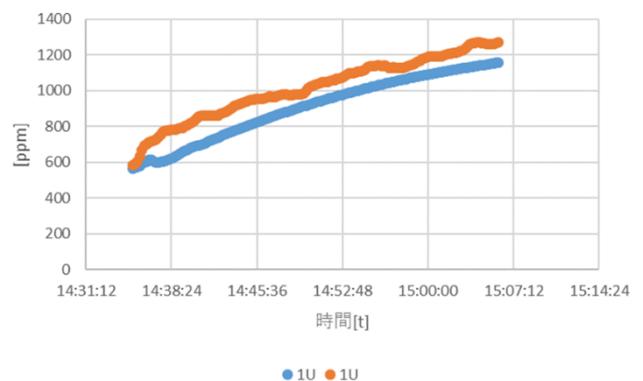


図9 条件①1U比較グラフ

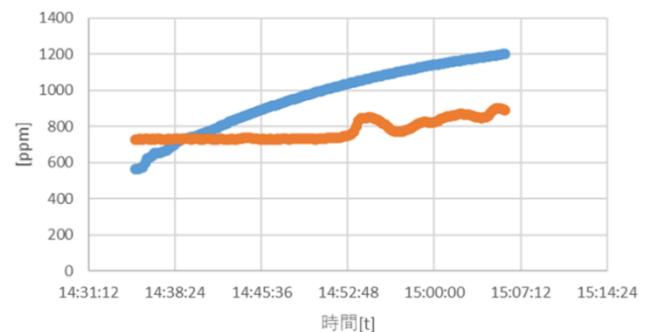


図10 条件①5L比較グラフ

が高いことが予想される。1Uは人が2人居る上の場所で、一番濃度の上昇が見られた。つまりコンロより人からの排出量が上回った結果である。ただし図10に示す5Lの測定器は換気して約500ppmまで揃えたが、800ppm近くまでしか下がらず、濃度の上昇もあまり見られなかったため、測定器の不具合と考えられる。他の機器は不具合は見られなかった。

条件②における、6U点の実測、CFD解析の比較を図11に示す。この位置で実測が1800ppm近くまで上昇し高い値を出した。これは実測での外的影響により東からの給気口から外気の取入れが少なかったことが原因と考えられる。逆に、図12に示した、同条件での1Lでは実測データが解析濃度より低い数値になったのは、北側の風速が設定条件より大きかったことが予想される。線路が北側に通っており、電車が通ると突風が吹いていたのでその影響が及んだと考えている。

5. 考察と今後の課題

本報告で得られた成果を以下に示す。

- ・多点同時測定対応型CO2濃度計の開発を行った。
- ・これを用いて、室内における実測を行った。
- ・この実測に沿った形でのCFD解析を行った。
- ・両者を比較することで、開発したCO2濃度計の精度およびCFD解析での精度の両者について検討を行った。
- ・その結果、かなりの類似性が見られるものの、一部ではかなり離れた値となる事が示された。

今後の課題としては、

- ・CO2濃度計単独での試験・評価を行い、計測器としての精度の確認、較正を行う必要がある。
- ・測定対象室における、隙間風の設定に課題を残した。特に外部で強い風が発生した場合のCFDにおける再現の可能性が問われた。
- ・コンロや人体からのCO2発生量を正確に測定し、CFD解析の際のデータとして用いる事の必要性が示された。

これらの課題を解決することによって、換気環境改善策の手立てとなることが分かった。今後の研究では今回の研究の改善点にしっかり対応し、これからの建築への換気環境に役立つ研究を行うことを目指していく。

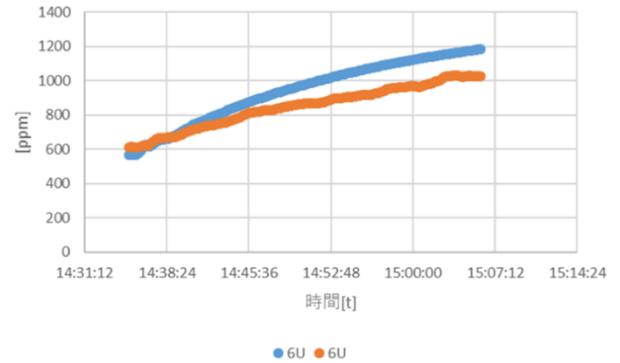


図11 条件②6U比較グラフ

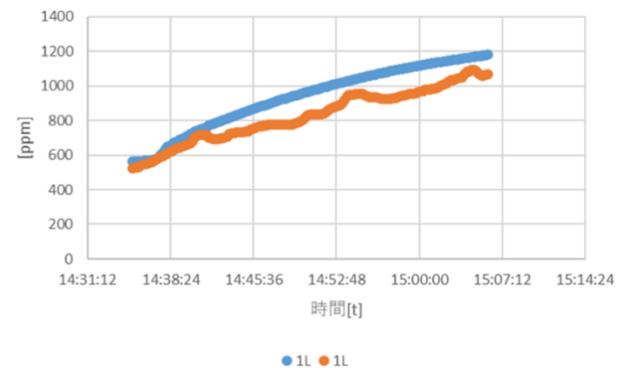


図12 条件②1L比較グラフ

<引用・参考文献>

- 1) 後閑哲也.電子工作のための Node-RED 活用ガイドブック.技術評論社.2021 参照
- 2) 小池星多.ラズパイの新常識！Node-RED でノーコード/ローコード電子工作.2021 参照

<謝辞>

本研究は、(一財)大成学術財団による2021～2022年度研究助成「新型コロナ対策としての換気シミュレーションによる室内気流の可視化及び性能評価基準の提案」に基づいて行われた。ここに謝意を表す。