

## 多点 CO2 計測装置の開発と CFD との比較に関する研究

— 測定器の較正と隙間風・列車の影響について —

建築学専攻  
建築環境工学研究

MJ22155 和田 美華子  
指導教員 西村 直也

## 1. 背景と目的

当研究室では2020年度からCOVID-19を受け、神戸を中心に多様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「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。本研究では上記プロジェクトで使用しているCFD解析とCO2を比較することで整合性の評価を目的としている。これまでの研究では一定の整合性が確認できたが、対象建築の特徴上の隙間風や鉄道の影響で乖離した結果も得られた。また正確な較正についての検討も必要であることが分かった。本研究ではこれらの影響を加味した比較・検討を行う。

## 2. 手法

## 2-1 実測概要

本研究での実測調査で①機器較正・換気量計測②人体・コンロからのCO2発生調査③制気口風量計測④列車通過速度計測の4点を主とした。対象とした建築については大阪市内にある約20㎡の小規模な喫茶店である(Fig.1)。特徴として、北、南、東側に給気口、南側厨房に換気扇が取り付けられている。また北側に道路を挟んで阪急線が通っており、定期的に列車が通過する。

①前回は適当な計測器1台を基準器としたが、それでは較正の段階で正確性が不透明なため、高性能なCO2計測器のIAQモニター(Kanomax2211)を基準器として室内中央に導入した。較正と同時に換気量計測のために室内CO2濃度を約2,500ppmまで上昇させ室内空気をサーキュレーターで攪拌しながら換気扇からの濃度減衰を計測した。

②各実測概要について、CO2計測には開発した三次元多点計測器を使用する。IoTを搭載したラズベリーパイ(Raspberry Pi)を中心とし、これに各CO2感知センサ、ディスプレイと組み合わせ、Wi-Fiでの通信を可能とする。これによって軽量化・安価の測定器が作成され、三次元かつ多点での計測を可能とした。当研究では平面に9点、立面に2点、外気計測器1台の計19台を使用した。以降から上部観測点をU、下部をLと表記する。CO2発生源については人体5人と厨房コンロの2つである。各発生源、測定器設置位置はFig.1に示す。発生源からのCO2濃度測定では、扉を閉め切り換気扇を付けた状態での30分間計測した。

③各制気口における外気流入出量と換気扇換気量算定のため風速計(Kanomaxクリモマスター)を使用し、風量を可能な限り一定にするため絞リダクトを取り付けて計測した。

④列車通過速度計測にはスピード計測器(Bushnell)を使用し可能な限り定点での計測をした。上り線と下り線の2方向それぞれ2時間分計測を行った。

## 2-2 解析概要

CFD解析にはMSC社STREAMを使用した。実測で得られた各条件を挿入して可能な限り対象建築を再

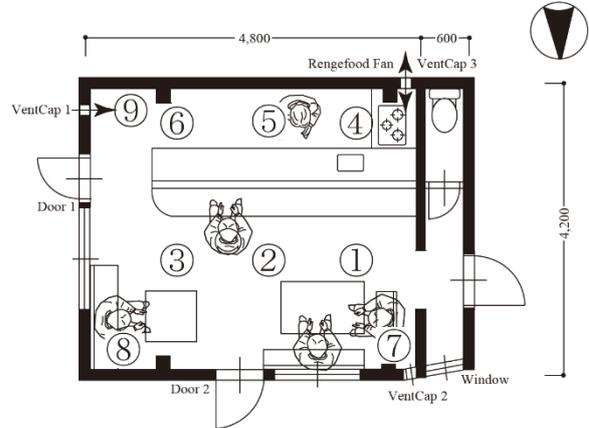


Fig.1 Floor Plan

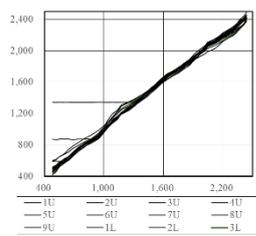


Fig.2 Result of Quadratic function Calibration

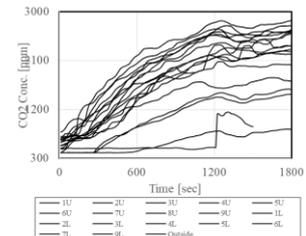


Fig.3 Temporarily Tendency of CO2 Concentration (Measured)

現している。行った解析は①人体・コンロからのCO2発生調査②列車通過における建物への影響の2点である。

主な設定条件として、

- ・コンロ出力：プロパンと仮定し、1Wから3,600Lit/h、人体発生量：40Lit/h
- ・隙間風の設定に扉周辺に5mmの隙間
- ・実測と同様のサイクルでのCO2濃度書き込み
- ・扉、制気口の詳細な解析のため多重格子法の使用
- ・実測時機器設置点と同地点に観測点の配置
- ・列車通過より室内CO2への影響を考察するため各制気口、扉内外に観測点を配置、室内2,000ppm、外気400ppmとして設定

## 3. 結果

## 3-1 実測結果

①機器較正については二次関数での較正を行ったが、一部センサは一定濃度まで感知されていないのが分かった。そこで計測される濃度以上のみを使用し、二次関数での較正を行った(Fig.2)。同時にCO2減衰率から換気扇からの換気量を算出した結果、約130m<sup>3</sup>/hとなった。以下からは較正を行ったCO2データを使用している。

②人体・コンロからのCO2発生調査ではかなりばらつきが見られる結果となった。特に東側給気口付近の濃度上昇が低いことが分かった。また8L、外部測定器の書き出しがエラーとなっている(Fig.3)。

③各制気口の風速から算出した流量をTable.1に示す。換気扇の風速から求めた換気量とIAQモニタから算

出した換気量が乖離した結果となった。給気口からの流入量がかなり低いことを見ると、隙間風からの影響が強いことが考えられる。

④列車通過速度についてはTable.2に示す。上下線ともに速度にばらつきがみられた。

### 3-2 解析結果

①実測調査と同様の条件での解析を行った結果、対象室上部が特にCO<sub>2</sub>濃度が上昇した。実測結果と比較をすると、給気口、扉からの隙間風からの影響が少ないと考えられる地点で濃度の一致が見られ、扉付近では隙間風の影響で乖離する結果となった(Fig.4/5)。室内温度分布を考察すると大きな温度層が上部に発生していることが分かった。各制気口と扉周辺の通過風量をグラフ(Fig.6/7)にすると、VentCap1.2は内部発熱に伴い逆流が起こっている。扉周辺では通過風量の増加に加え、上部と下部で流入、流出が逆転している状態となった。

②列車通過には1両20mとし、3両分の60mの移動物体を実測計測した上り線(対象建築側)の最高速度での解析を行った。圧力の結果を見ると、列車通過直前後に正圧になり、通過中に負圧となる結果が得られ、通過後暫くカルマン渦が見られた(Fig.8)。また通過流量(Fig.9/10)も併せて考察すると扉2箇所特に大きく影響を与えている。これらにより列車通過によって室内にも与えられているのが考察できる。CO<sub>2</sub>より室内の観測点に影響を与えている点を抜粋したグラフをFig.11に示す。①での比較で乖離した点と一致する形となった。

### 6. 比較・考察

列車通過の影響を考慮しない単純比較では乖離する点も見られた。列車通過の解析から乖離した点に大きく影響を与えているのを見ると、整合性を検証するには室内のみではなく外的要因も視野に入れて考察することが必要である。しかし実測時間通りに頻繁に通過する列車を実車両数走らせCFDで再現することは技術上困難であると判断される。結果、CFDと実測値を完全に再現させるのは計算時間や技術を考慮すると限度があるが、外的要因の影響やCO<sub>2</sub>発生源からの影響について考察するためのツールとしての整合性は確認することができた。

### 7. 本研究における成果

本報告で得られた知見として、

- ・信頼性を持つ計測器を用いて二次関数での各センサの校正。
- ・各制気口の風速測定を行うことで風量算出を行った。
- ・隙間風を考慮し、CFD解析に多重格子を設定することでより詳細に解析を行った。
- ・内部に大きな熱源を持つ室では、隙間風は極めて複雑な様相を示すことを確認した。そのために室全体での換気状態は不安定となりやすい。
- ・列車通過などの外部からの影響が大きい敷地ではCFD上での完全な実測再現は難しい。
- ・列車通過単体での解析を行い、室内への影響を詳細に考察した。

本研究ではCFDとCO<sub>2</sub>実測との整合性について、完全に濃度の一致したグラフは得られなかったが、不一致の要因と考えられる要素を調査し、解析・考察することで対象室へ与える影響を確認する解析ツールとして有効である。

Table.1 Air volume of each Inlet/Outlet

	Rangeood Fan	VentCap1	VentCap2
Air Flow Speed [m/sec]	1.269	0.161	0.227
Face Area [m <sup>2</sup> ]	0.023	0.009	0.009
Ventilation Rate [m <sup>3</sup> /sec]	0.029	0.001	0.002
Ventilation Rate [m <sup>3</sup> /h]	102.788	5.024	7.074

Table.2 Each train speed

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰
Up Line [km/h]	74	74	75	77	79	75	70	81	76	78	76	73	80	64	70	84	79
Down Line [km/h]	82	74	80	72	73	71	70	48	84	53	77	74	75	52	55	86	76

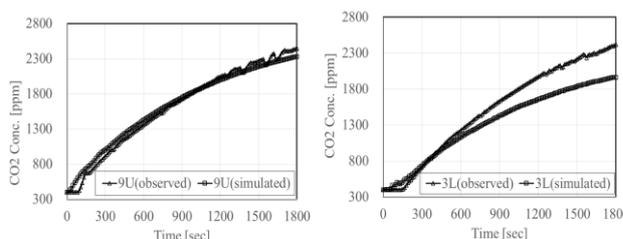


Fig.4 Comparison Between Measured and Simulated Value (9U)

Fig.5 Comparison Between Measured and Simulated Value (3L)

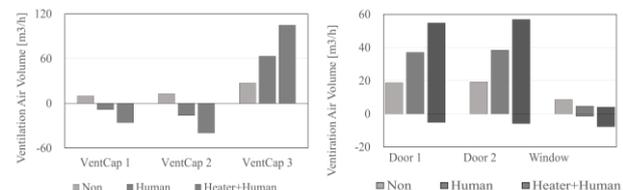


Fig.6 Air Volume of Each Inlet/Outlet

Fig.7 Air Volume Leakage Point

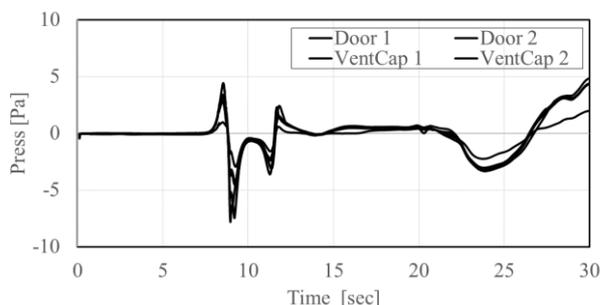


Fig.8 Pressure fluctuations an indoor observation points

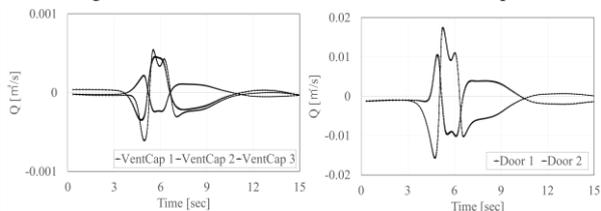


Fig.9 Air Volume of VentCap

Fig.10 Air Volume of Door

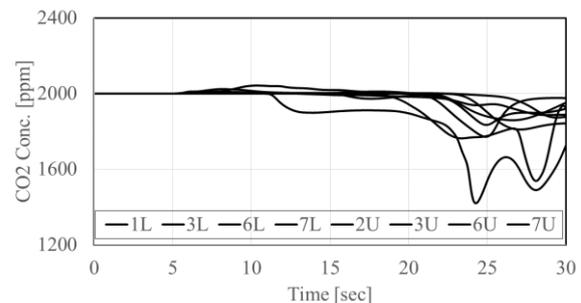


Fig.11 Excerpt of CO<sub>2</sub> concentration from analysis