

天井高と空気循環を考慮したCO₂濃度制御の検討 Examination CO₂ Concentration Control Considering Ceiling Height and Air Circulation

青柳 貴之¹⁾ 田中 康一郎¹⁾
Takayuki Aoyagi Koichiro Tanaka

1 まえがき

近年、教室のような閉鎖空間において、換気の重要性が改めて注目されている。特に多人数が集まる学習環境では、二酸化炭素(CO₂)が蓄積することにより、学習効率の低下や、頭痛・倦怠感などの健康被害が懸念される。CO₂濃度の上昇は、眠気や頭痛、集中力の低下といった症状を引き起こす要因とされており、室内のCO₂濃度を継続的に把握し、適切な換気を行うことが極めて重要である。効率的な換気を実現するには、CO₂濃度の測定だけでなく、空間内の分布や滞留傾向の把握が求められる。CO₂は空気よりもやや重く、下部に滞留しやすいとされるが、対流や暖房器具の影響により上部に蓄積する場合もある。本研究の予備測定では、CO₂が一時的に上部に蓄積した後、室温の低下に伴って下降する傾向が観察された。これはCO₂の挙動が温度分布や空気の流れに影響されることを示唆している。

本研究では、福岡県赤村にあるドームハウスにおいてCO₂濃度の時系列データを取得し、その変化や分布の特徴を分析した。まずは、ドーム型建築特有の構造や内部環境におけるCO₂濃度の挙動を明らかにすることを目的とし、測定データの整理と検討を行った。その上で、従来の大学教室において取得したCO₂濃度データと比較し、天井高、建築構造、換気方式の違いがCO₂濃度の分布や変化に与える影響を評価した。これにより、建築的な条件が室内環境に及ぼす影響を評価することを目的とする。

2 構成

本研究では、センサとマイクロコントローラを組み合わせたCO₂測定器および、測定値を閲覧するためのiOSアプリを用いた。CO₂測定器は、Wi-Fi通信機能を備えたArduino MKR WiFi 1010、NDIR方式を採用したWinsen社製MH-Z19C CO₂センサ、ならびにBosch製BME680センサを搭載したBME680センサモジュールで構成されている。

BME680は、温度・湿度・気圧に加え、空気中の揮発性有機化合物(VOC)を検出するガスセンサも内蔵しており、室内環境の総合的な評価に適している。これらのセンサから取得されたデータは、Wi-Fiまたはスマートフォンのテザリング機能を介して、定期的にサーバへ送信される。

iOSアプリでは、アップロードされた測定データを時系列グラフとして閲覧することが可能であり、また、BLE(Bluetooth Low Energy)を用いてCO₂測定器に必要な情報を書き込むことができる。

3 測定方法

測定は福岡県赤村の源じいの森のドームハウス(図1)で行い、CO₂測定器20台を使用した。測定時には8人が在室していた。センサにはEXAKA1~EXAKA20の識別子を付与し、EXAKA1を最下部、EXAKA20を最上部として、高さ順に螺旋階段に沿って設置した(図3)。センサは5台ずつの4グループに分けられ、各グループが1階から2階にかけて等間隔で配置されている。特に2階の手すり部分には複数のセンサを集中的に配置し(図4)、上下階におけるCO₂濃度の分布および滞留の傾向をより詳細に観測可能とした。なお、ドームハウス内には薪ストーブが設置されており、測定期間中にはその使用時間帯のデータも取得した。また、測定期間中は2台のエアコン(暖房運転)も併用しており、これにより室内には継続的な空気の対流が生じ、CO₂の垂直方向の分布や移動に影響を与える可能性がある。



図1 ドームハウス(外装) 図2 ドームハウス(内装)

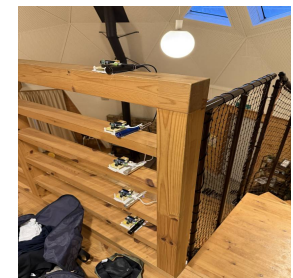
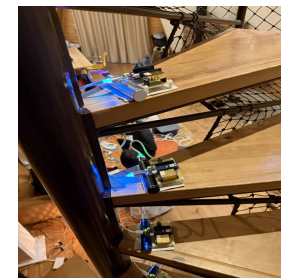


図3 螺旋階段の設置状態 図4 手すりの設置状態

4 測定結果

4.1 ドームハウス内におけるCO₂濃度変化

図5は、CO₂センサCS1~CS4における時系列変化を示す。各センサはそれぞれ1階階段下部(CS1)、階段中間部(CS2)、階段最上部付近(CS3)、および2階手すり中央部(CS4)に設置されており、高さ方向および空間的な位置の違いに基づくCO₂分布の傾向を観察する目的で用いた。

図に示すように、4地点間におけるCO₂濃度の時間的推移には顕著な差異は認められず、全体として類似した変化傾向を示した。全センサにおける濃度は概ね1,000~1,200ppmの範囲に収まっており、この値は薪ス

1) 九州産業大学理工学部情報科学科. Department of Information Science, Kyushu Sangyo University.

ストーブの燃焼に起因するCO₂の排出によるものと推察される。これにより、ドーム内の平均的なCO₂濃度はやや高い傾向を示したが、濃度上昇および下降のタイミングは各センサ間でほぼ一致しており、高さ方向における顕著な濃度偏差は確認されなかった。

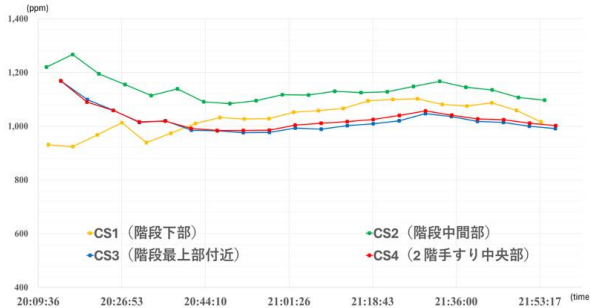


図5 CO₂濃度の変化(ドームハウス)

4.2 教室における再測定

過去の研究[1]では、大学教室内においてセンサの設置高さによりCO₂濃度に明確な差異が生じることが確認されている。本研究ではその妥当性を再検証するとともに、ドームハウスでの測定結果との比較を目的として、同様の条件下で教室における再測定を実施した。測定には、教室内に設置した全20台のセンサ(EXAKA1~EXAKA20)を使用し、5台ずつを1グループとして4グループに分割した。各グループの測定値を平均化し、それぞれCS1~CS4として扱った。この手法は、ドームハウスでのデータ処理と同様である。

教室におけるセンサの設置状況を図6に、取得したCO₂濃度の時系列変化を図7に示す。図から、最も高所に設置されたCS4のみが他と比較して明らかに高いCO₂濃度を示しており、一方でCS1~CS3のグループではほぼ同程度の濃度が維持されていることが確認できる。この結果から、センサの設置高さによってCO₂濃度に明瞭な差が生じることが示され、特に空間上部ではCO₂が滞留しやすい傾向が再度確認された。



図6 設置の様子(教室)

4.3 教室との比較によるCO₂濃度分布の検証

本研究で得られたドームハウス内の時系列データ(図5)と、大学教室で取得したデータ(図7)の比較を行った。その結果、教室においてはセンサの設置高さに応じて明確なCO₂濃度の違いが確認され、特に上部

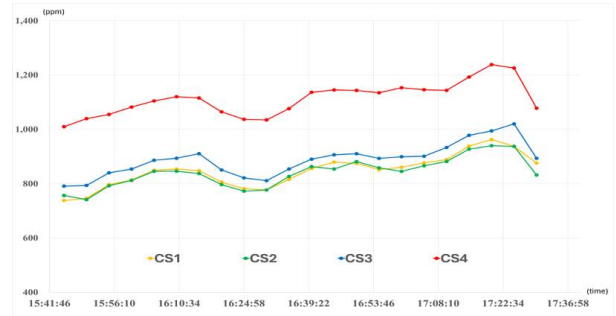


図7 CO₂濃度の変化(教室)

に設置されたセンサで高い濃度が観測されるなど、空間内における層状分布が形成されていることが示された。一方、ドームハウスでの測定では、図5に示すように、高さによる顕著な濃度差は観測されなかった。

この差異の要因として、主にセンサの設置高さが挙げられる。ドームハウスでの測定では、天井付近へのセンサ設置が行われておらず、CO₂が蓄積されやすい高層域のデータが取得できなかったため、高さによる濃度勾配の検出が困難であったと考えられる。そのため、実際には天井付近にCO₂が滞留し、層状分布が生じていた可能性も否定できない。さらに、ドームハウスの特異な構造(円形・高天井)、エアコンの稼働による空気の循環、薪ストーブによる上昇気流なども、CO₂の鉛直方向分布に影響を及ぼした可能性がある。

5 まとめ

本稿では、福岡県赤村に位置するドームハウスにおいてCO₂濃度の時系列データを取得し、従来の大学教室における測定結果と比較することで、建築構造や天井高、空調方式の違いがCO₂濃度分布に及ぼす影響について検討を行った。

ドームハウス内の測定では、1階から2階手すり付近までの範囲において、CO₂濃度に顕著な高さ依存性は認められなかった。この結果は、ドーム特有の開放的な空間構造や、薪ストーブおよびエアコンの稼働による空気の循環効果により、室内のCO₂が比較的均一に分布していた可能性を示唆する。一方、従来の大学教室における測定結果では、センサの設置高さに応じて明瞭な濃度差が確認され、CO₂が空間上部に滞留しやすい傾向が見られた。この比較から、建築形状および換気・空調方式の違いが室内におけるCO₂の鉛直分布に大きく影響することが明らかとなった。

今後の課題としては、ドームハウスの天井付近におけるデータが取得されていないため、今後は高所へのセンサ設置を含めた測定体制の拡充が必要である。また、季節や気象条件を変えた長期的な観測を行うことで、CO₂分布のさらなる特性把握と、最適な換気手法の確立に向けた知見を深めていくことが求められる。

参考文献

- [1] Abe, M. and Tanaka, K.: Design and Application of CO₂ Sensor Systems for Enhanced Indoor Air Quality Management, in *2024 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications (ITC-CSCC 2024)*, pp. 1 – 6 (2024).