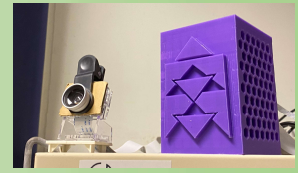




予測で換気を促す次世代CO₂モニター ～『Raspberry Pi』を用いたシステム開発と数理モデルによる解析～

伊藤俊介 山本航紀 佐藤弘基 渡部翔太郎
群馬県立高崎高等学校 物理部



概要

(1)新型コロナウイルス感染症対策として「換気」に着目し、小型コンピュータ「Raspberry Pi」を用いて、CO₂濃度と在室人数を同時にモニタリングできるシステムを開発した。



(2)測定システムを実際に校内で稼働させ、授業中や自習室におけるデータを収集し、室内CO₂濃度の数理モデル「ザイデルの式」による解析を行った。その結果、物体検出AIで測定した在室人数をもとに「ザイデルの式」で計算したCO₂濃度の理論曲線と、CO₂センサーで測定した実験データは良く一致することがわかった。

(3)現在時刻までのCO₂濃度と在室人数のデータを元に、数時間後のCO₂濃度を予測し、表示するシステムの開発に成功した。

新規性あり

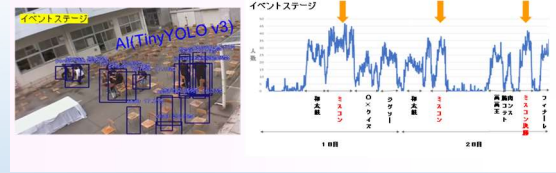
先行研究:在室人数が一定である場合の解析例あり
→在室人数が刻々と変化する場合の解析例なし

既製品にない新機能

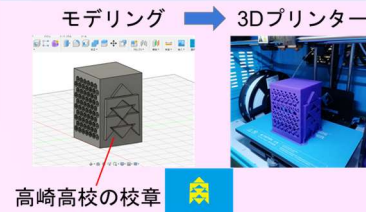
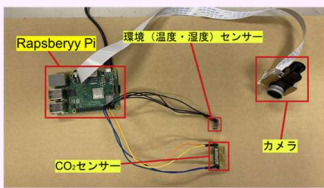


予備実験

・本校の文化祭のイベントステージで2日間に渡り、物体検出AIを用いて観客数の測定を行った結果、ミスコンの観客数が多く、人気のイベントだということが分かった。



測定システムの開発



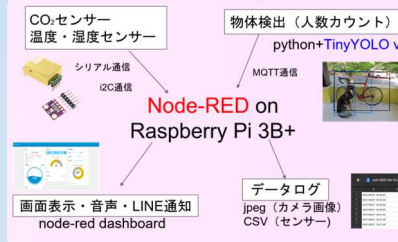
・外装は、本校の校章をデザインに取り入れ、「Fusion360」でモデリングを行った。
・印刷には、3Dプリンター「FLASHFORGE Inventor」を用いた。

・「Raspberry Pi 3B+」にNDIR方式のCO₂センサー「MH-Z19C」と環境センサー「BME280」を接続し、CO₂濃度(ppm)と温度(°C)および湿度(%)を測定できるようにした。

・写真に映った人数をカウントする目的でカメラ(1080P 5M OV5647センサー)を取り付けた。

・カメラに魚眼レンズを取り付け、広角で人物を捉えられるように工夫した。物体検出AI「TinyYOLOv3」を用いて在室人数を測定できるようにした。

・ユーザーインターフェイスも開発し、同じWi-Fiに接続しているデバイスのブラウザからいつでも現在の情報をリアルタイムで確認することができるようにした。



・プログラミングは「Python」及び「Node-RED」で行った。
・測定データをCSVファイルで書き出せるようにしており、表計算ソフト等で分析ができる。

・換気のタイミングを音声やLINEによる通知で知らせたり、自動で換気扇を回したりすることが可能である。

測定結果と数理モデルによる解析

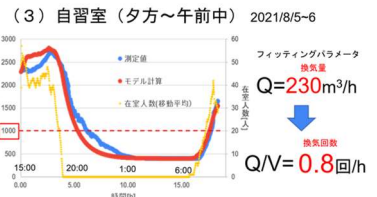
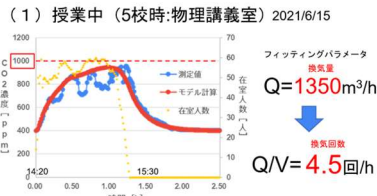
方法

・測定は(1)授業中(5校時:物理講義室)、(2)自習室(日中)、(3)自習室(夕方～午前中)で行った。開発したシステムを人々から十分離れた高さ1m程度の場所に設置して、CO₂濃度と在室人数を記録した。

・室内CO₂濃度の数理モデル「ザイデルの式」を用いて、測定値とモデル計算のフィッティングを行った。

結果・考察

・(1)～(3)の全てで測定値とモデル計算がよくフィットしていることがわかる。
・CO₂濃度は一般的に1000ppm以下にすることが望ましいと言われているが、自習室では1000ppmを大幅に超えている。
・自習室は、先生不在のオートロックでの管理のため、換気量の調整がうまくいっていない可能性がある。



ザイデルの式 (室内CO₂濃度のモデル)

$$\Delta CV = C_0 Q \Delta t + M \Delta t - C Q \Delta t$$

CO₂の変化量 = 外から入った量 + 人が出した量 - 外に出て行った量
C [ppm]:現在のCO₂濃度 V[m³]:部屋の容積
C₀ [ppm]:外気のCO₂濃度 Q[m³/h]:部屋の換気量
M [m³/h]:1人のCO₂排出量L × 在室人数 Δt [h]:時間

$$C_t = C_{t-1} + \frac{\Delta C}{V} \Delta t$$

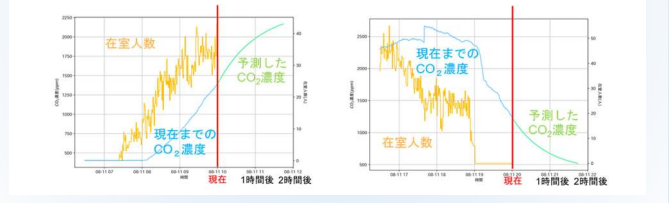
<ザイデルの式を変形>
 $\Delta C = (C_0 Q + L N_{t-1} - C_{t-1} Q) \frac{\Delta t}{V}$

○フィッティングに用いたパラメータ
・測定時間間隔 Δt=50秒
・外気のCO₂濃度C₀ = 400ppm
・部屋の容積V = 300m³
・1人あたりのCO₂排出量L = 0.013 m³/h (JIS A1406の安静時～軽作業時のCO₂排出量^{*)})

在室人数Nは物体検出AIで測定換気量Qのみを変化させてフィッティング(Qは時間で一定を仮定)

CO₂濃度予測システムの開発

・現在時刻までのCO₂濃度と在室人数が分かれば、数時間後のCO₂濃度を「ザイデルの式」を用いて予測できると考え、「Python」でプログラミングを行った。
・青色(赤線より左)が現在時刻までの測定データで、緑(赤線より右)がザイデルの式で予測したCO₂濃度である。
・「Raspberry Pi」に組み込み、現在の換気量Qや数時間後のCO₂濃度の予測値を表示することができるシステムを開発した。



今後の展望

・開発したシステムを教室や自習室に設置し、換気に対する効果を検証する実証実験を行う。
・冷暖房稼働時の温度変化も考慮した換気タイミングの最適化に関する研究を行う。

参考文献

- 1) 沢田裕二「外気の二酸化炭素濃度の実測に基づく必要外気量と外気負荷に関する検討」空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集-109-第5巻(2016)
- 2) 守谷元一「知的環境構築のための測定システムを利用した二酸化炭素濃度予測モデルの評価」情報処理学会論文誌 Vol.62 No.2 727-736 (2021)
- 3) 田島昌樹「換気測定のための在室者の二酸化炭素呼出量の推定」日本建築学会環境系論文集81巻728号885-892(2016)
- 4) 「冬場における換気の悪い密閉空間を改善するための換気の方法」厚生労働省(2020)