

人との関係性に注目した空気環境可視化デバイスの開発 Development of Air Quality Display that Focused on Human-Machine Relationship

山田 恭平[†] 水戸 慎一郎[†]
Kyohei Yamada Shinichiro Mito

1. はじめに

教室は狭い空間に長時間、数十人が留まるため、空気環境が悪化しやすい[1]。特に冷暖房使用時は適切な換気がされづらく、健康・快適さ・学習意欲への影響が懸念される。こうした教室の空気環境を表す指標として、一般的に二酸化炭素濃度が用いられる[2]。これは、人の呼気によって二酸化炭素濃度が上昇するとき、同時に他の汚染物質も増加すると考えられるためである。外気の二酸化炭素濃度は現在およそ 400 ppm であるが[3]、教室は 1500 ppm 以下に維持することが望ましいと文部科学省が定めている[2]。しかし換気が適切でない場合、ときには 4000 ppm を超えることも報告されている[1]。これを解消するには、学生自らが窓を開けたり、換気扇を使用したりする必要がある。しかも、二酸化炭素自体の悪影響も近年指摘されており、1000 ppm 程度の二酸化炭素濃度でも集中力に悪影響を及ぼすことが報告されている[4]。したがって、教室の空気環境を学習に適した状態に維持するためには、利用者自身による換気行動が必要であると言える。

一方で、人間はこの程度の二酸化炭素濃度を知覚できないため自発的な換気行動は難しい。そのため換気の参考となる、いつ・どの程度空気環境が悪化するのかという情報が必要となるが、学校環境衛生基準[2]では年に 2 回の定期検査が行われるのみであり、換気を行うべきタイミングは分からない。したがって、換気を行うタイミングを利用者に伝え、換気行動を促すデバイスが必要であると言える。

こうした情報の収集・提供手段として、人との関係性に注目した空気環境可視化デバイスを提案する。これは、時系列の空気質(二酸化炭素濃度)情報を収集してサーバに送信し、同時に換気行動を促すための可視化を行なうものである。安価なセンサを用いてデバイスを製作し、実際の教室にて動作実験を実施した。実験結果とユーザーアンケートの結果について報告する。

2. 人との関係性を利用した換気システムの設計

2.1 弱いロボット

教室を換気するシステムには、2 つの手法が考えられる。機械が自動で換気する方法と、情報を受けた人間が換気を行う方法である。我々は、後者のシステムを実装した。前者の方法では窓の開閉を行う駆動部が大規模になり、技術的難易度も高いためコストがかかる。後者はシステムに人間を組み込むことで、駆動部は情報提示のみで済む。換気の決定権が人間に委ねられるため、強制感も少ない。このように、人間と性能の限られた機械とで作業を分担し、人間の手助けがあって初めて機能が完結する“弱いロボット”

[5]という考え方がある。これに基づき、人の換気を促すという関係性に着目したデバイスの設計を行った。

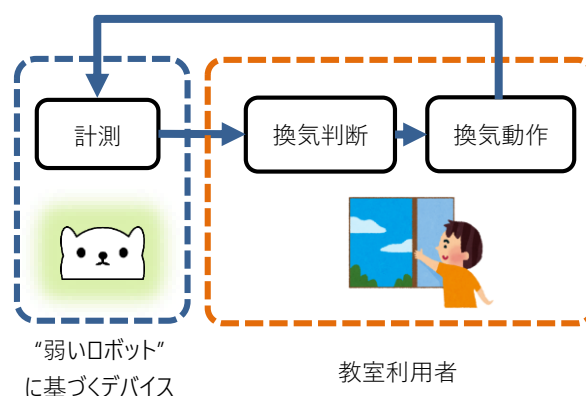


図1 人との関係性を組み込んだ換気システム

2.2 キャラクター性のあるデザインと発光による提示

“弱いロボット”の用途において、可視化デバイスは単なる表示器ではなく、コミュニケーションの対象でなければならない。利用者がデバイスの気持ちを察して換気し、その反応が見られるというインタラクションを成立させ、それを換気システムの一部とする。そのために、デバイスには親しみやすいキャラクター性を持たせ、発光の様子で空気質を表現する。400 ppm であれば緑に光り、2000 ppm に近づくにつれて発光色が赤く変化する。家電のユニバーサルデザインガイドライン[6]に則り、2000 ppm を超えた場合には色に加えて点滅でも提示する。

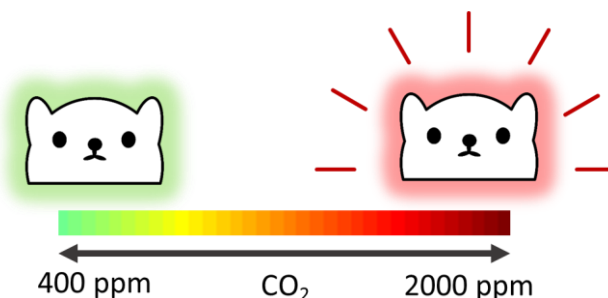


図2 二酸化炭素濃度による発光の変化

3. デバイスの実装

3.1 簡易空気質センサ MQ135 による計測機能

本デバイスでは、二酸化炭素濃度の計測に空気質センサ MQ135 を用いる。一般的に、二酸化炭素濃度の計測には非分散型赤外吸収(NDIR)式のセンサが用いられるが、高価(数千円)である。換気の目安であれば、精度やガスの選択性に劣るセンサでも十分利用可能であると考え、固体電解質式の安価(数百円)なセンサ MQ135 を採用した。このセ

[†] 東京工業高等専門学校
National Institute of Technology, Tokyo College

ンサは内蔵されたヒータによって加熱して使用し、ガス濃度に応じて抵抗値が変化する。この抵抗値が温度や湿度によっても変化するため、デバイスには温湿度センサを搭載して補正した。温度センサを同一の筐体に組み込んだ場合、ヒータの影響を受けて雰囲気温度が取得できないため、温湿度センサを本体から分離し、熱伝導の影響を低減した。



図3 発熱の影響を受けないためのセンサ配置

3.2 IoT 機能: クラウドへのデータ送信

光による可視化だけでなく、データ活用を可能にするため IoT(Internet of Things)機能を搭載した。デバイスのマイコンに Wi-Fi 機能を持つ ESP-WROOM-02 を使用し、温度・湿度・空気質センサのデータをサーバへアップロードする。本実験では、IFTTT を利用して Google Drive にデータを記録することと、M2X を利用して学生向けにグラフを提供することに用いた。

4. 教室での動作実験

4.1 空気質センサの校正と校正結果による計測

実装したデバイスを、東京工業高等専門学校内の教室に設置して実験を行った。温度、湿度、空気質センサの抵抗値と二酸化炭素濃度との相関性を調べるため、デバイスを動作させてデータ収集を行った。基準とする二酸化炭素濃度は、NDIR 式 CO₂ データロガー(MCH-383SD)を用いて計測した。これらのデータを用いて、重回帰分析により温度・湿度の依存性を調べ、1 次近似により補正を行った。補正前後の二酸化炭素濃度と空気質センサ出力との関係を図 4 に示す。補正結果をもとに、センサ出力値を線形近似により CO₂ 濃度に換算した(図 5)。この結果から、換気の基準である 1500ppm を超える状態を検知できていると言える。

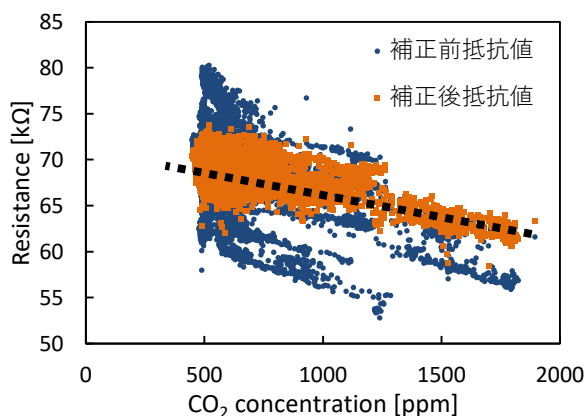


図4 センサ CO₂ 特性の温湿度補正による向上

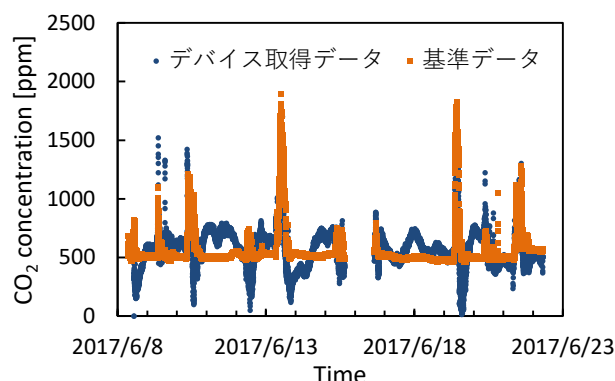


図5 開発したデバイスと NDIR 計測器との比較

4.2 アンケートの実施

デバイスを設置したクラスに対してアンケートを実施したところ、46.0%の人がデバイスがあることで換気がしやすくなると回答した。また、Web でグラフを見られるシステムとしたが、74.4%がこれを見たことがないと回答した。このことから、数字やグラフではなく光で表示するだけでも十分に換気行動を促せたといえる。また、デバイスの外観についても 84.6%の人が肯定的に捉えていた。

5. まとめ・今後の予定

二酸化炭素濃度の可視化する IoT デバイスを開発し、教室の空気環境がモニターできることを確認した。発光による可視化はクラス全体へ周知でき、人の行動を促すのに有効な情報提示であると考えられる。利用状況の観察では、換気によってデバイスに働きかけ、反応を受けるといったデバイスと人間との相互関係が換気の励行に有効であることも垣間見えた。

今後は、空気環境が一層悪化すると考えられる冬季に複数箇所で実験することを計画し、量産時の個体差の校正について検討する。デバイスにより具体的に換気が増加し、空気環境が改善することの確認を目指す。

謝辞

本研究は独立行政法人国立高等専門学校機構平成 28 年度高専連携教育研究プロジェクト“IoT を活用した高速ものづくりプラットフォームの開発と応用”の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 日本建築学会 環境工学委員会 空気環境運営委員会 換気・通風小委員会, “学校における温熱・空気環境に関する現状の問題点と対策 一子供たちが健康で快適に学習できる環境づくりのために” (2015)
- [2] 文部科学省, “学校環境衛生基準” (2009).
- [3] 秋山薫, 増田龍彦, 石倉淳士, “東京都における大気中の二酸化炭素濃度の推移”, 東京都環境科学研究所年報 (2014)
- [4] Usha Satish, Mark J. Mendell, Krishnamurthy Shekhar, Toshifumi Hotchi, Douglas Sullivan, Siegfried Streufert, and William J. Fisk, “Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance”, Environmental Health Perspectives, Vol. 120, No. 12 (2012).
- [5] 岡田美智男, “弱いロボット”, 医学書院 (2012).
- [6] 家電製品協会 技術関連委員会 ユニバーサルデザイン技術関連 WG, “家電製品における操作性向上のための報知光に関するガイド” (2009)