

研究指導 中澤 真 教授

## IoT 時代における室内環境改善のための測定手法に関する一考察 —簡易センシングデバイスに Arduino を用いて—

渡部 悠貴

### 1. はじめに

近年の技術革新によってセンサのコストが低下したことで様々なモノがインターネットにつながるIoT化が急速に進んでいる[1]。実際、外出先から屋内の空調やドアロックを操作したり、製造現場で工場のラインの稼働状況を可視化するなど、IoT技術が様々な場面で活用されつつある。IoTセンサで取得することができるデータの中でも室内の温度や湿度といった室内環境のデータは、学習環境や労働環境において集中力や生産性にかかわる重要な要素である[2]。教育機関では外部組織による定期的な測定や、簡易的な計測器によって室内状況の測定がされているが、人数などの利用状況が変化しやすい教室において、少ない頻度の測定で環境評価を断定するには根拠に乏しい。現在、室内環境に関連する研究ではネットワーク接続機能を有さない測定装置を用いた研究や、IoTセンシング分野ではデータ収集方式などのシステム面に重きを置いた研究がされている[3][4]。しかし室内の環境測定に対してIoTデバイスによる測定結果から適切な設置方法などを明らかにしている研究はまだない。

そこで、本研究では教育機関における室内環境改善を題材として、IoTデバイスを用いた室内環境の測定手法と、測定データを分析することで教室の使用状況に応じた変化の特徴を明らかにし、連続的な測定の必要性や室内環境改善のためのIoTデバイスの設置方法の考察・提案をする。

### 2. 環境改善の取り組みと課題

#### 2.1 教育機関における環境基準と現状

現在、室内環境に対して文部科学省の学校環境衛生基準[5]では、教室等における換気の基準として温度を17℃~28℃以下に、二酸化炭素濃度は1,500ppm以下であることが望ましいとして定めており、暖房時のみではなく冷房時にも換気が必要であると記されている。この二酸化炭素濃度が2,500ppmに達すると眠気を起こし、集中力や意思決定に支障をきたすという指摘もされており[2]、学校や職場において生産性を高めるためにも二酸化炭素濃度を低く保つ必要がある。湿度についても厚生労働省の建築物環境衛生管理基準[6]で40%~70%以下を保つことが望ましいとしており、インフルエンザが流行する冬季では湿度を50%~60%に維持することで集団感染を抑えられる可能性が示されている[7]。

本学でも建築環境衛生基準に基づき2カ月に1度空気環境の測定をしているが、202教室をはじめとする一般教室で二酸化炭素濃度の基準値を超えてしまっているのが現状である。この場合の測定では記録や分析を人手でする必要があり手間がかかってしまう。室内環境を測定する測定器も販売されているが、記録機能を持つ商品や二酸化炭素測定器は価格が高く、複数箇所に設置する場合コストがかかるという問題もある。そこで注目されているのがIoTである。インターネットにつながることで連続測定も可能になり、作業の省力化ができる。また、比較的安価な部品で構成することも可能で、多様なセンサを自由に選択できることも魅力の一つである。

#### 2.2 室内環境把握のための IoT 導入課題

室内環境へのIoT活用例の一つとして、空調機器の監視や一括管理が可能なM-ACCESS<sup>1</sup>のような遠隔管理システムが挙げられる。しかし、空調機器内のセンサの値と実際に人がいる箇所では値に差がある可能性があるため、IoT化する際には空調機器とは別にセンサを設置し、人間の生活空間に合わせた測定となるよう考慮すべきである。

環境測定にIoTを導入する研究として、落合ら[3]はビル衛生管理法に基づいて1カ月に1度教室内の4つの箇所での測定を計3回、温度、湿度、二酸化炭素濃度の項目で測定し、適切な学習環境を確保するための対策を述べている。しかし、測定頻度が少ないため、普段の教室環境の状態を正確には把握できていない可能性がある。

榎屋ら[4]の研究ではArduino<sup>2</sup>とBluetooth Low Energyによって接続されたスマートフォンを介してデータをサーバへ送信する手法を提案している。この手法では1カ月に約780万個の多量のデータをサーバに蓄積することで、ユーザのニーズに合わせた情報を提供しようとしている。しかし、データの送信間隔を変えた場合に蓄積されるデータ量の比較などシステム構成のあり方に主眼が置かれており、実際の環境改善に関する分析については言及されていない。またデータ送信に近距離通信に適したBluetooth Low Energyを利用することでセンサデバイスを直接インターネットに接続せずにデータの送信を可能にしているが、連続的な室内環境の測定においては、スマートフォンを常に近くに設置する必要があるため実用上問題がある。

これらの先行研究では利用者が瞬時に室内環境を把握して換気などの対応をとることや、測定結果の分析によって快適な状態を維持するための十分な対策を講

<sup>1</sup> <https://www.mhi.com/jp/news/story/1711215902.html>

<sup>2</sup> Arduino 電子パーツを制御できるマイコンボード

ることができない。室内環境改善においてデータの即時性やセンサの活用方法といった要素は室内環境改善の観点からも欠くことのできないものである。

### 2.3 研究目的

そこで本研究ではIoTデバイスを用いた恒常的な測定と測定データの分析によって教室の使用状況に応じた変化の特徴を明らかにし、連続的な測定の必要性や室内環境改善のためのIoTデバイスの設置方法の考察・提案をする。

具体的には測定にマイクロコンピュータ(以下「マイコン」という)を用いて、センサからデータを取得するたびにサーバに送信・記録する装置を作成し問題解決を目指す。マイコンを用いることで測定や記録などの一連の動作を無人化することができるだけでなく、連続測定によって日々の室内環境の把握にもつなげることができる。また、設置箇所を変えて比較する実証実験により、センサを複数箇所設置する必要性や設置に適した場所を明らかにする。

## 3. 環境測定システム

### 3.1 システム概要

室内環境を改善するにあたって、部屋の利用者がリアルタイムに部屋の状況を把握し対処するには、温度、湿度といった情報の即時提供が求められる。そこでマイコンにセンサを組み込んだ装置を用いてIoT化することで、測定したデータをリアルタイムに記録することを目指す。また得られたデータをサーバに送信することでデータの記録や可視化が可能になるだけでなく、室外からでも室内の環境情報を確認できるようになる。取得したデータはマイコンに接続されたWi-Fiモジュールを通じて送信され、学内に設置したサーバに蓄積される。

### 3.2 環境測定システムの機器構成

本研究では2種類のセンサとWi-Fiモジュール、マイコンからなる環境測定装置を作成した。マイコンはArduino Holding製のArduino UNO R3<sup>3</sup>を使用し、Wi-FiモジュールにはEspressif Systems製のWi-Fiモジュール(ESP-WROOM-02)を使用した。センサはBOSCH製の温度と湿度、気圧が測定できるセンサ(BME280)とSparkFun製の二酸化炭素を感知するガスセンサ(CCS811)の2種類のセンサをArduinoに組み込み環境測定装置を作成した。プログラムはセンサ販売サイトに掲載されているサンプルプログラム<sup>4,5</sup>をベースに作成した[8][9]。また編集にはArduinoの開発環境であるArduino IDE<sup>6</sup>を使用した。サーバは研究室のノートパソコンにXAMPP<sup>7</sup>を導入し、WebサーバソフトウェアとしてApacheを使用した。なお、サーバ側のプログラムはPHPで作成した[8][9]。

今回は取得可能なデータの中でも学習環境への影響が大きいと考えられる温度、湿度、二酸化炭素の3つ

のデータを用いて分析をすることにした。作成した環境測定装置を図1に示す。

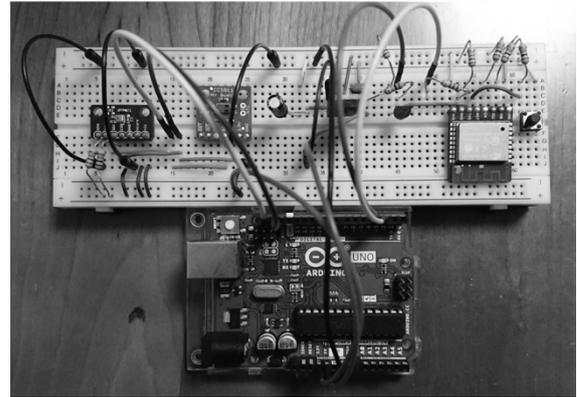


図1 環境測定装置構成図

## 4. 作成した環境測定装置による実証実験

### 4.1 測定条件

実証実験では比較する項目を測定箇所、換気方法、換気時間に分けて測定をした。測定箇所は会津大学短期大学部の202教室や203教室などの一般教室と経営情報コースの研究室<sup>8</sup>とし、それぞれ条件を変え比較する。一般教室を測定する際の測定装置の設置箇所については教室の中央と窓側の2通りとして、室内のほぼ中央となるようにそれぞれ後方の座席側から3段目の中央の席に設置した。詳細を図2に示す。

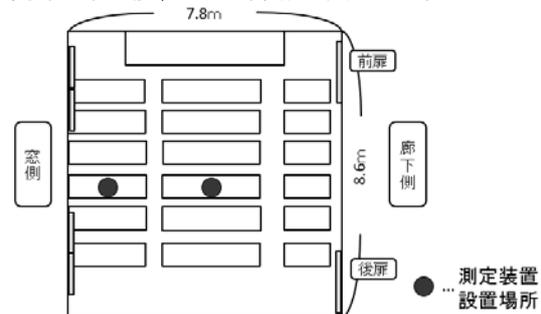


図2 一般教室の測定装置測定箇所

また測定装置の設置箇所の高さによって、温度や二酸化炭素濃度は異なるため、講義の受講者の環境に近いと考えられる机上の高さを基準として、測定装置を机の上に置いて測定した。換気方法は前後の窓のみを開ける方法と、廊下側の前後の扉のみを開ける方法、そして両方の窓と扉を同時に開ける方法の3通りとした。換気時間は5分とその約半分の2分にした。温度などの室内のデータは3秒間隔で取得しサーバに送信する。分析の際には3秒ごとに記録されたデータを1分単位で平均化する。今回の測定では、測定対象である教室内の出席人数を把握し、比較の際に室内人数による上昇傾向に差が生じないように考慮した。これらの測定条件の詳細を表1に示す。なお、測定結果のグラフは付録にまとめた。

<sup>3</sup> Arduino のモデル

<sup>4</sup> <https://www.switch-science.com/catalog/2236/>

<sup>5</sup> <https://www.switch-science.com/catalog/3298/>

<sup>6</sup> <https://www.arduino.cc/en/main/software>

<sup>7</sup> <https://www.apachefriends.org/jp/index.html>

<sup>8</sup> 約 67 m<sup>2</sup>

表 1 測定条件一覧

| 測定対象           | 測定装置  | 設置箇所 | 換気方法     | 換気時間 | 室内人数    | 条件番号 |
|----------------|-------|------|----------|------|---------|------|
| 202教室<br>203教室 | 教室中央  |      | なし       |      | 29人・21人 | 条件1  |
|                |       |      | 窓のみ開放    | 5分   | 25人     | 条件2  |
|                |       |      | 廊下側扉のみ開放 | 2分   | 18人     | 条件3  |
|                |       |      |          | 5分   | 20人     | 条件4  |
|                |       |      | 窓と扉 両方開放 | 2分   | 25人     | 条件5  |
|                |       |      |          | 5分   | 30人     | 条件6  |
|                |       |      | 換気扇のみ使用  | 常時   | 25人     | 条件7  |
|                | 窓側    |      | なし       |      | 17人     | 条件8  |
|                |       |      | 窓のみ開放    | 2分   | 20人     | 条件9  |
|                |       |      | 廊下側扉のみ開放 | 2分   | 25人     | 条件10 |
|                |       |      |          | 5分   | 18人     | 条件11 |
|                |       |      | 窓と扉 両方開放 | 5分   | 19人     | 条件12 |
| 経営情報<br>研究室    | 研究室中央 |      |          |      | 5人      | 条件13 |

### 4.2 測定装置の測定箇所による比較

まず測定装置の設置箇所の違いが測定結果に及ぼす影響を明らかにするために条件1, 4, 6, 8, 11, 12のデータを使用し、教室中央に設置した場合と窓側に設置した場合の比較をする。測定対象の教室はいずれも202教室などの一般教室とした。結果を図3, 図4, 図5に示す。

まず温度のデータを比較する。条件6と条件12に注目すると、講義開始よりある程度の時間が経過して安定した時点から換気した時点までコンスタントに2℃程度の差が生じている。また、条件4と条件11の換気による下降から上昇に転じた時点までの減少量を比較すると、条件4の下降の幅が大きい。これは測定箇所が換気場所から近いことの影響を受けたと考えられる。同様に湿度の場合でも条件1と条件8に注目すると最大で10%の差がみられる。条件1, 8と条件6, 12の2つの比較では窓側で測定を行った場合の湿度が低くなっており教室中央よりも乾燥している。これは窓側に設置されている暖房設備の影響を受けたと考えられる。二酸化炭素の場合でも条件4, 11のデータをみると約1,000ppmの差がある時間帯が存在した。これらの測定結果から室内の利用状況や空調設備などの要因があるためセンサを複数箇所設置する必要があるといえる。

### 4.3 時間の経過に注目した比較

次に連続測定の必要性を検討するため、時間の経過による教室内の室内環境の変化について考察する。教室中央で測定した条件3, 4, 5, 6のデータを使用し、その結果を図6, 図7, 図8に示す。

グラフ上で数値が急激に低下している時点により換気された時間を推定することができる。図7の条件3, 4と条件5, 6で換気時間の差の影響を比較すると、換気時間に応じて湿度が低い時間帯が長いことがわかる。このことから換気時間に比例して、元の値に戻るまでの時間が長くなる傾向が明らかになった。このように連続的に記録することで、換気の実施の有無やその時間や効果も推測することができるため、室内環境を快適な状態に維持するためには常時測定することが望ましいと結論付けられる。

### 4.4 換気方法による変化の比較

次に室内環境の維持の観点から換気方法の効果の大きさを明らかにするため、条件1, 2, 4, 6, 7のデータを使用し比較をする。換気方法は窓, 扉, 窓と扉の両方

を開放、換気扇のみ作動させる4パターンとし、換気扇は講義中常に作動させ、それ以外は5分間の換気としている。なお、教室の窓側上部に前後2か所に換気扇は設置されている。この結果を図9, 図10, 図11に示す。

3つの図をみると換気扇を使用した場合のデータがいずれも比較的強く推移していることがわかる。他の換気方法の場合、二酸化炭素濃度が換気後であっても2,000ppmを超えている時間帯があり、学習者に頭痛や眠気などを引き起こしている可能性がある。換気扇を使用した場合は常に2,000ppm以下に抑えられているため一定の効果があることが確認できた。ただし、それでも文部科学省が定める1,500ppmの基準を超えているため、換気扇の使用に加えて他の換気方法を併用する必要がある。なお、湿度については換気扇を使用することで乾燥した状態になるため、より湿度を高める対策が必要となる。

最後に、面積の異なる二つの部屋を比較した図12の結果を見ると、広い一般教室のほうが高い値で推移していることがわかる。1㎡あたりの人数は研究室が0.1、一般教室で0.4となっているため、在室者密度が二酸化炭素濃度を高くしていると説明できる。数値に注目するとどちらも基準値である1,500ppmを超えてしまっているため、教室の広さや室内の人数の多寡にかかわらず換気をする必要がある。

## 5. むすび

本研究では本学の講義に使われている教室に対して簡易IoT測定装置によって条件を変えて測定し、測定装置の複数設置の必要性の考察と、換気時間や換気方法による数値の変化の分析をした。

測定装置の設置箇所による比較では教室内に最低でも2個以上の測定装置で同時に測定をすることでより正確に測定箇所による差の傾向が把握でき状況に応じた対応が可能となる。連続測定に関しては、換気の実施の有無や換気時間とその効果も推測できることから、室内環境を快適な状態に維持するための対策を講じるためにも必要である。

また今回得られた結果から、二酸化炭素は換気しても数分で元の数値に戻ってしまうということがわかった。対策として講義中は常に換気扇を使用し、それに加えて窓を開放して換気することや、サーキュレーターなどを活用し換気の効率化を図ることなどが考えられる。図11のデータから、本学の一般教室の例では5分間の換気をする場合、15分~30分に1度程度の頻度で換気を行うことで二酸化炭素濃度を基準値以下に保つことができると考えられる。

### 参考文献

[1] 情報通信白書, 総務省, 2017, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc133100.html>, (参考 2019-2-9).

[2] 安全衛生情報センター | 快適職場づくり, 快適職場づくりとその効果, [https://www.jaish.gr.jp/user/anzen/sho/sho\\_03.html](https://www.jaish.gr.jp/user/anzen/sho/sho_03.html), (参考 2019-2-9).

[3] 落合のり子, 山下一也, 坂本功, 濱村美和子, 福澤陽一

郎, 橋本由里, 松岡文子, 恩田晴夫, “講義室利用時の二酸化炭素濃度と空気環境改善対策”, 島根県立大学短期大学部出雲キャンパス研究紀要 第4巻, pp39-45, 2010.

- [4] 樋屋洋亮, 石川憲洋, “Bluetooth Low Energy を活用したセンサデバイスからのデータ収集方式”, 情報処理学会研究報告, 2016.
- [5] 学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生基準」の理論と実践, 2018,  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kenko/hoken/1292482.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1292482.htm).(参考 2019-2-9).
- [6] 建築物環境衛生管理基準について,  
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, (参考 2019-2-9).
- [7] インフルエンザの基礎知識, 厚生労働省, 2007,  
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/iyakuhin/file/dl/File01.pdf>, (参考 2019-2-9).
- [8] Massimo Banzi , Michael Shiloh. Arduino をはじめよう, 第3版, オーム社, 2018.
- [9] 福田和宏, Arduino[実用]入門, 技術評論社, 2018.

付録

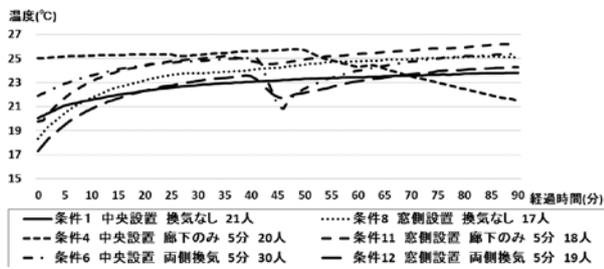


図3 複数設置の必要性(温度)

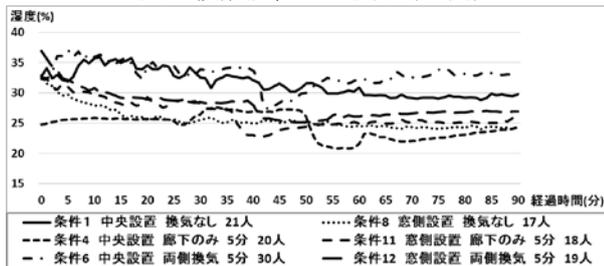


図4 複数設置の必要性(湿度)

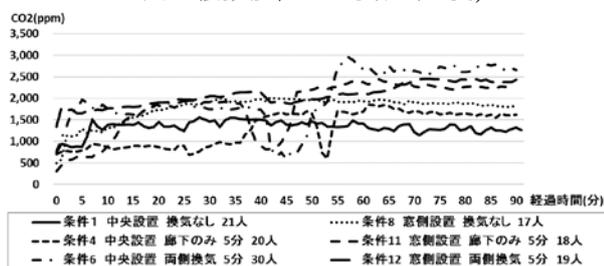


図5 複数設置の必要性(CO2)

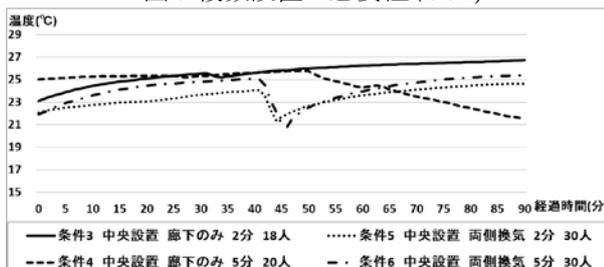


図6 連続測定の必要性(温度)

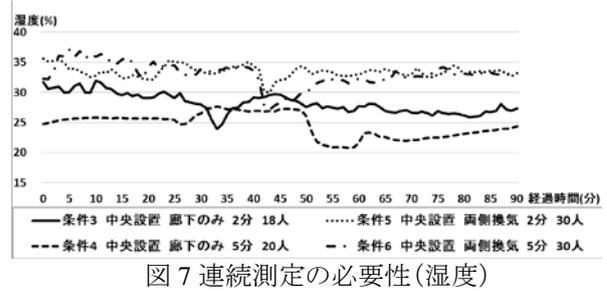


図7 連続測定の必要性(湿度)

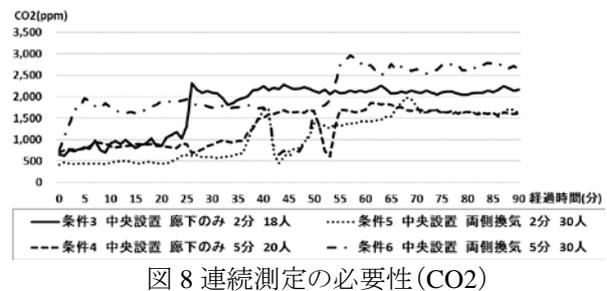


図8 連続測定の必要性(CO2)

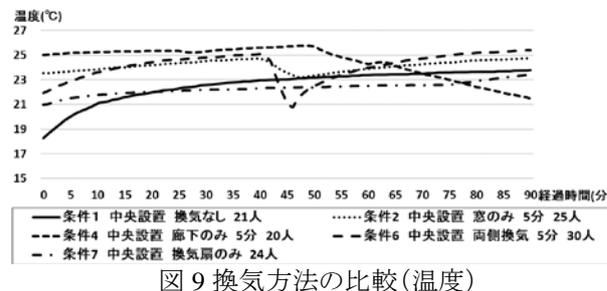


図9 換気方法の比較(温度)

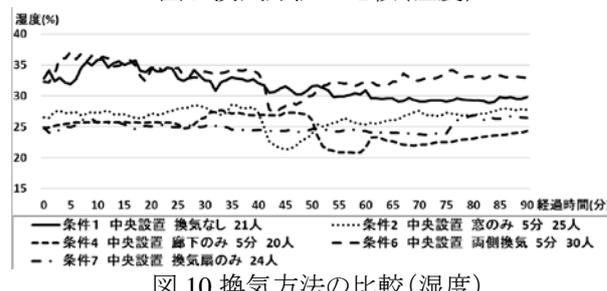


図10 換気方法の比較(湿度)

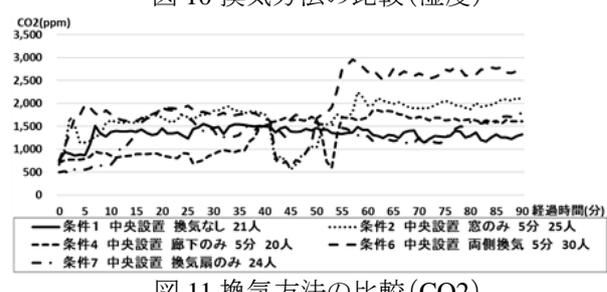


図11 換気方法の比較(CO2)

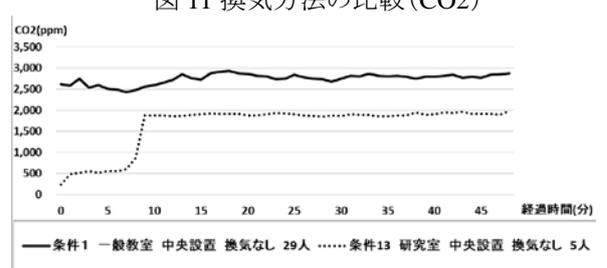


図12 一般教室と研究室の比較(CO2)