

温湿度・空気質センサを用いた室内環境のIoTモニタリング

常三島技術部門
情報システムグループ

辻 明典 (TSUJI Akinori)

1. はじめに

IoT技術は、情報分野に限らず様々な分野において活用が進んでいる^[1]。建設分野では、ビル全体を管理するBEMS(Building Energy Management System)と呼ばれるシステムとビル内の設備を連携させることで、働く人の生産性、快適性の向上や安全安心を実現するとともに、ビル内の省エネやメンテナンスの効率化を図る試みがなされている^[2]。

本稿では、室内にIoT端末を設置して温度・湿度センサ、空気質センサを用いて計測を行い、室内環境のIoTモニタリングを行うシステムの開発を行ったので報告する。

2. 室内環境のIoTモニタリング

IoTは、さまざまなモノをインターネットに繋げることによって、遠隔より監視、計測、及び制御を実現するフレームワークである。室内環境にIoTモニタリングを導入することで、温度・湿度センサ、空気質センサを用いて「室内環境の見える化」ができる。これらの数値の可視化によって、空調の最適な温度設定や必要に応じた換気、さらには、詳細な部屋の利用状況の把握や節電対策等への応用が期待される。

2. 1 快適な室内環境

室内環境において、温度・湿度は快適さを左右する重要な要素である。学校環境衛生基

準では、図1のように、温度を17℃以上28℃以下、相対湿度30%以上80%以下に保つよう基準が示されている^[3]。空調を使う夏期は25℃以上28℃以下、冬期は18℃以上20℃以下が示されている。室内の二酸化炭素(CO₂)濃度についても1500ppm以下に保つよう指針が示されており、CO₂濃度が高くなると集中力の欠如や眠気に襲われることが知られている。また、昨今の新型コロナウイルス感染予防のため、多くの人が密集する教室や演習室等においては窓の開放や換気扇等の使用により適切な換気が求められている。特に、空調機器の使用中は、部屋が密閉されるため注意が必要である。

このように、室内を安心安全で快適な環境に保つには、室内の状況がどのように変化しているかを詳細に知ることは重要である。そこで本研究では、室内環境にIoTモニタリングを導入して、室内の温度・湿度、CO₂濃度を「見える化」し、室内の状態変化を知るとともに遠隔監視ができるシステムを構築する。

3. システム構成

室内環境をIoTモニタリングするためのシステムの構成を図2に示す。システムは、室内に設置をするセンサを搭載したIoT端末、無線Wi-Fiルータ、及び計測したデータの可視化と遠隔監視を担うクラウドサーバにより構成される。室内環境を、温度・湿度センサ、空気質センサを用いて計測を行い、クラウドサ

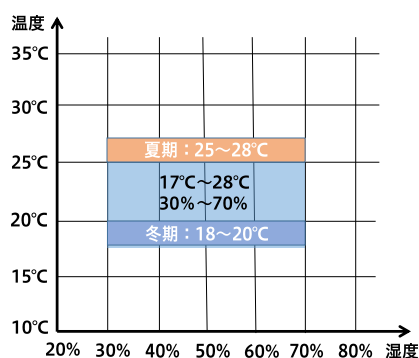


図1 快適な室内環境(温度・湿度)

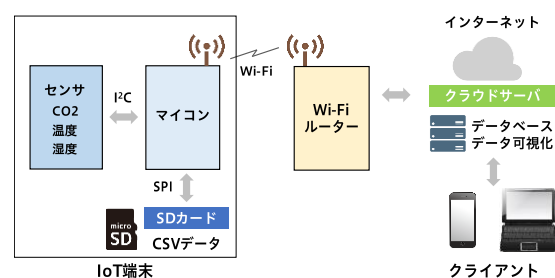


図2 室内環境IoTモニタリングシステムの構成

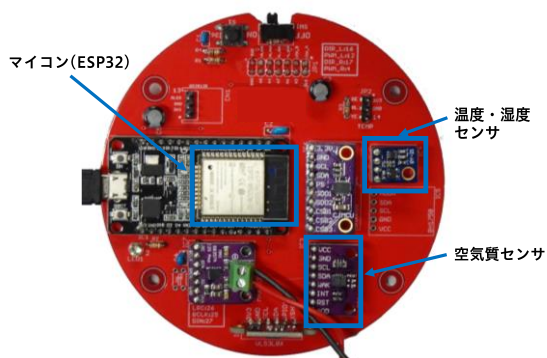


図3 無線 Wi-Fi 機能を搭載した IoT 端末基板の外観

一バヘリアルタイムに結果を送信して計測したデータの可視化を行う。次に、システムの構成要素の詳細について述べる。

3. 1 IoT端末

IoT端末は、無線Wi-Fi機能を備えたマイコン(ESP32)、温度・湿度センサ、空気質センサ、及びデータ記録用マイクロSDカードを実装した基板により構成される。図3に、IoT端末の外観を示す。マイコンと温湿度センサ、空気質センサはI²Cバスで接続され、一定時間毎に計測データが得られる。IoT端末の電源供給は、ACアダプタまたは充電電池による給電が可能である。各センサのデータは、マイクロSDカードにCSV形式で記録されると同時に、無線Wi-Fiルータ経由でクラウドサーバにもデータ送信されて記録される。SDカードにデータを記録しておくことで、通信障害が発生した場合でも計測データの保全ができる。センシングの時間間隔は分単位で設定でき、計測時以外はハイバネートする省電力モードを実装した。

3. 2 温度・湿度センサ

温度・湿度センサには、HTU21D (TE Connectivity社)を用いる。温度-40°C~150°C(±0.3°C)、相対湿度0%RH~100%RH(±2%RH)の範囲の計測ができる。センサの初期設定を、I²Cアドレスをデフォルト値0x40、温度と湿度の分解能を温度14ビット、湿度12ビットとそれぞれし、測定方法を連続測定とした。図4に、センサよりI²C通信でデータを読み出したときの信号波形を示す。図中のSCL、SDA信

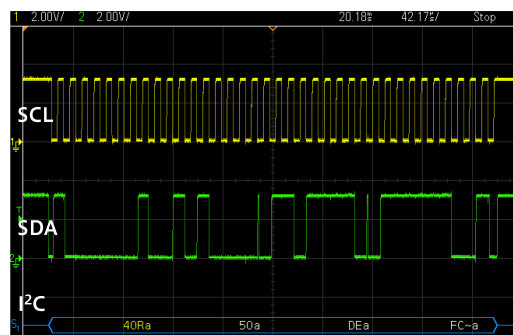


図4 温度・湿度センサの I²C 通信による計測データの読み込み

号は、I²Cアドレス(読み込み)0x40、データ0x50、0xDE、チェックサム(CRC)0xFCを示している。温度(摂氏)T、相対湿度(%RH)Hは、この読み出したデータを用いて、次式により算出した。

$$T = -46.85 + 175.72 (st / 2^{16}),$$

$$H = -6 + 125 (sh / 2^{16}).$$

ここで、stは14ビットの温度データ、shは12ビットの湿度データを表す。

3. 3 空気質センサ

空気質センサには、デジタルガスセンサCS811(AMS社)を用いる。MOXガスセンサは、温められた金属酸化物が空気中の揮発性有機化合物によって抵抗値が変化する性質を利用してガス濃度を計測する方式である。センサにはTVOC(総揮発性有機化合物)から等価二酸化炭素濃度(eCO₂)を算出するマイコンが内蔵されており、TVOCは、0ppb~1187ppb、CO₂濃度は、400ppm~8192ppmの範囲の計測ができる。空気質センサにより得られたCO₂濃度を用いて、部屋の換気に必要なCO₂濃度のレベルを表1のように分類する。ここで、学校環境衛生基準に示されている1500ppm以下のCO₂濃度を「低い」「普通」とし、1500ppm~2000ppmは「やや高い」換気が必要、2000ppm以上は「高い」換気が必須の状態と判定する。

表1 CO₂濃度と換気の状態

CO ₂ 濃度	CO ₂ (ppm)	状態
低い	400-1000	正常
普通	1000-1500	注意
やや高い	1500-2000	換気必要
高い	2000-5000	換気必須



図5 クラウドサーバ上のデータ可視化基盤(Grafana)による計測結果のブラウザ表示 (温度, 湿度, CO2 濃度, TVOC)

3. 4 クラウドサーバ

クラウドサーバは, IoT端末より送られてきたデータ(温度, 湿度, CO2濃度, 総揮発性有機化合物)をデータベースに登録し, データの可視化を行う。クラウドサーバ上には, ウェブサーバ(Apache), データベースサーバ(InfluxDB), データ可視化サーバ(Grafana), メールサーバ(postfix)のサービスをそれぞれ実装した。次に, クラウドサーバの詳細について述べる。

・データの可視化とアラート設定

図5にクラウドサーバによるデータの可視化の様子を示す。各センサより得られたデータを線グラフ, 円グラフ, 棒グラフ, 及び表データとして, WEB上の簡単なGUI操作によってブラウザに表示できる。また, 各センサのデータに対してアラート設定も適用できる。あらかじめ閾値を設定しておく, 閾値を超えたときに自動的にメール通知を送ることができる。ここでは, 指定した温度範囲, 湿度範囲を超えた場合(図4のグラフ内の赤線), CO2濃度が1500ppmを超えた場合にアラートを送る設定とした。

・データの記録

各センサのデータは, Influxデータベースにリアルタイムで記録を行った。データベースに登録することで, クエリーによって過去にさかのぼってデータを参照でき, さらに条件を指定することで, 部屋毎や日にち毎, 時間

帯毎, 場所毎等のグラフの比較表示ができる。また, データベースの関数を使用して, 平均や最大, 最小, カウント値等の演算を行うことができる。

・クラウドサーバとIoT端末の通信

クラウドサーバとIoT端末との通信には, MQTTプロトコルを採用した¹⁴⁾。MQTTプロトコルは, Pub/Sub型の非同期通信方式である。MQTTブローカによって, 複数のIoT端末とサーバとの通信を仲介することで, 効率的に少量の通信が実現できる。MQTTでやりとりするデータは, センサの計測結果(RAWデータ)をJSON形式に変換したものをを用いた。このデータにIoT端末毎のトピック名を付与して, クラウドサーバ, IoT端末間のメッセージ送受信を行った。トピック名は,

`"/jyosanjima/is/room802/temperature"`

のように, ディレクトリ構造で表すことができ, /場所/建物/部屋名/端末名/センサ種類として定義をした。MQTTサーバは, このトピック名にしたがってメッセージの配送制御ができるように設定した。

4. 評価実験

開発したIoTモニタリングシステムを用いて, 室内環境の計測を行った。評価実験では, 室内に常時2人が在室して, 来客のある状況で行った。この環境下において, 室内の温度, 湿度が, それぞれ学校環境衛生基準の範囲内

に入っているか、また、室内の温度、湿度、及びCO2濃度の日(8時30分～17時00分)の変化について計測を行った。

4. 1 IoT端末の設置

IoT端末を、室内(36m²)のドア、窓、及び換気口から離れた机の上に設置した。人の呼気にもセンサが反応するため、IoT端末を座席から50cm以上離れた。計測準備として、空気質センサを屋外に設置し、測定値が外気のCO2濃度(415ppm～450ppm)に近いことを確認した。空気質センサは起動時にウォームアップが必要のため、20分以上経過した後計測開始した。温度、湿度、及びCO2濃度の計測間隔を1分に設定して、充電池による動作とした。

4. 2 計測結果

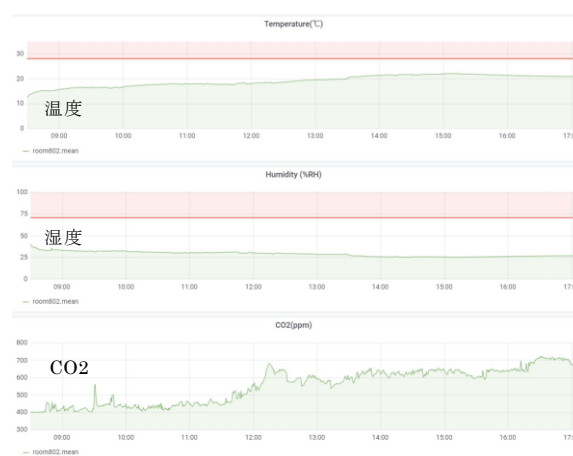
図6に、部屋の計測結果を示す。計測結果(1)、(2)は、室内の空調の有無、換気の有無を変更して計測を行った結果である。

- (1) 室内の空調なし、換気なし(図6(a))
温度：平均19℃、湿度：平均27%RH、
CO2濃度：最小400ppm、最大712ppm
- (2) 室内の空調あり、換気あり(図6(b))
温度：平均25℃、湿度：平均40%RH、
CO2濃度：最小400ppm、最大530ppm

実験結果より、いずれの条件においても温度・湿度、CO2濃度ともに学校環境衛生基準の超過はなかった。ただし、室内の空調・換気がなしの場合、室内の温度・湿度の変化は小さいが、CO2濃度が時間とともに蓄積することがわかった。室内の空調・換気がある場合、温度・湿度ともに安定して一定の値を示しており空調の稼働が認識できた。また、CO2濃度も来客時の増減はあるものの平均400ppmを保持できており、室内を安定した状態に保てる結果が確認できた。

5. まとめ

本稿では、温湿度センサ、空気質センサを用いて室内の状態をIoTモニタリングするシステムを構築した。本システムの導入によって、室内の状況を無人で24時間遠隔監視できるようになり、さらには空調の稼働状況、室内の人の有無、換気の状態の検出が可能とな



(a) 空調なし、換気なし(2020/12/11)



(b) 空調あり、換気あり(2020/12/10)

図6 室内環境が異なる場合の温度、湿度、CO2濃度の計測結果の比較

った。今後の課題として、センサより得られたデータを用いて部屋の使用頻度の把握、空調の状態確認、及び部屋の容積に応じた換気に必要な時間の算出等が挙げられる。

参考文献

- [1] John A. S., “Research Directions for the Internet of Things,” IEEE Internet of Things, Vol.1, Issue 1, pp.3-9 (2014).
- [2] 飯野穰, スマート社会を実現するCEMS・BEMS技術, 計測と制御, 第55巻第7号 pp.604-608 (2016).
- [3] 文部科学省, 学校環境衛生管理マニュアル (2018).
- [4] 辻明典, 土壌センサを用いた無線WiFiに基づくセンシングシステムの開発, 徳島大学技術支援部技術報告, No.2, pp.17-20 (2019)