

ネットワーク接続型二酸化炭素モニターの開発

Development of network-connected CO₂ monitor

真壁 友
MAKABE Tomo

キーワード：センサー、IoT、Arduino、二酸化炭素、ネットワーク

Keywords：sensor, IoT, Arduino, carbon dioxide, network

Ventilation of the room is important as a countermeasure against new corona infection. In classrooms where many people gather, carbon dioxide concentration can be used as a guide for ventilation. Carbon dioxide monitoring devices are now on the market as a countermeasure against infection. In this study, we will build a system that can monitor the carbon dioxide concentration in multiple classrooms. Information is displayed by a simple mechanism using a web browser to visualize the data. This study showed that such a system can be realized and operated if simple technology can be used.

1. はじめに

コロナ禍において感染防止のために、三密の回避が言われている。三密とは密集、密接、密閉である。その空間内に人がどのくらい密集するのか、外気の取り入れと排気が適切に行われているかを配慮することである。直接に密を測定するセンサーは存在しないが、人の呼気に含まれる二酸化炭素を測定することにより、その室内でどのくらい人がいるのか、また適切な換気が行われているのかの目安にすることが可能である。厚生労働省は「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について」¹という資料を令和2年11月27日に出している。この資料では「室内の二酸化炭素濃度を1000ppmに維持することは、1人あたりの換気量として毎時約30m³を確保することに相当する」と記述されている。事務所衛生基準規則 第二章 事務室の環境管理（第二条-第十二条）²では、空気調和設備を使う場合に二酸化炭素濃度を1000ppm以下にすることと定められている。

学校の教室では、学校環境衛生基準³では教室の二酸化炭素濃度を1500ppm以下にすることが望ましいとされている。また、「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル（2020.12.3 Ver.5）」⁴にも換気の必要性が書かれている。この中で、機器による二酸化炭素濃度のモニタについても触れられている。二酸化炭素濃度の測定は、厚生労働省の資料「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について」の中で、非分散型

赤外線吸収法によるセンサー（NDIRセンサー）を用い設置場所はドア、窓、換気口から離れた場所で、人から少なくとも50cm離れた場所とすべきとしている。また測定点として、部屋の中央部の床上75cm以上150cm以下の位置と規定されている。

教室では、授業時間中と無人の時には二酸化炭素濃度は変化する。感染対策のためには、教室内の二酸化炭素濃度の変化を連続して測定する事が有効であると考えられる。教室が無人の時、授業中、その変化により換気の状態、人の密集度を推測することが可能となる。本研究では、そのための測定とデータ記録システムの開発を目標とする。

2. 先行事例

現在販売中の二酸化炭素測定装置には、業務用とコロナ禍後に注目されている一般向けがある。業務用は建築物環境衛生管理基準に合致しているか測定するためのCO₂測定器がある⁵。価格帯は4万円～6万円程度となっている。一般用としては、コロナ禍以降に飲食店や人の集まる場所への導入が始まった1万円以下の安価なモデルがある。数値で現在の二酸化炭素濃度を液晶パネルに表示するモデル、一定以上になると警告ランプの表示色を変えるとといったモデルもある。日本精機から発表されている測定器（図1）⁶は一定以上の値でLEDランプの色を黄色、赤と変化させるタイプである。

ただし、コロナ禍の需要により適切ではないセンサーを使った測定装置の報道もある⁷。二酸化炭素センサーにはいくつかの種類があるが、人間の呼気に含まれる二酸化炭素に適したセンサーを使う必要がある。一部のセンサーでは他のガスに反応するタイプがある。厚生労働省の資料でも推奨されているNDIRセンサーを使った測定器を使う必要が確実な測定のためには必要である。

3. 開発

3.1 システム

システムの目的はCO₂濃度を継続的に測定し、記録することである。また記録したデータを簡易な方法で閲覧できる仕組みも必要である。そして、複数教室のCO₂濃度を監視するために複数台の設置が必要となる。そこで、学内のwi-fiを使い、データをクラウドのサーバーに送信するシステムとする。マイクロコントローラを使いセンサーの値を読み取り、wi-fiでクラウド上のサーバーに送信する。大学



図1 日本精機の二酸化炭素モニタ

内の各教室は wi-fi が入っているので、どの教室にも設置が可能となる。

3.2 マイクロコントローラの選定

ESP8266⁸ は Espressif 社が開発したマイクロコントローラである。このチップを搭載した ESP-WROOM-02⁹ が一般に入手も容易で Arduino IDE での開発も可能であり、資料も充実している。このチップの特徴は wi-fi に簡単に接続してクラウドとデータのやり取りが容易なことである。この ESP-WROOM-02 を使い、システムの開発を行った。このシステム構成を図 2 に示す。センサーの値をマイクロコントローラで取得し、そのデータを wi-fi 経由でクラウド上のサーバーに送信する。データを受け取ったサーバーは CSV 形式で記録する。測定結果の表示には web ブラウザを使用する。

3.3 CO₂ センサーについて

一般に入手可能な NDIR CO₂ センサーは各種あるが、

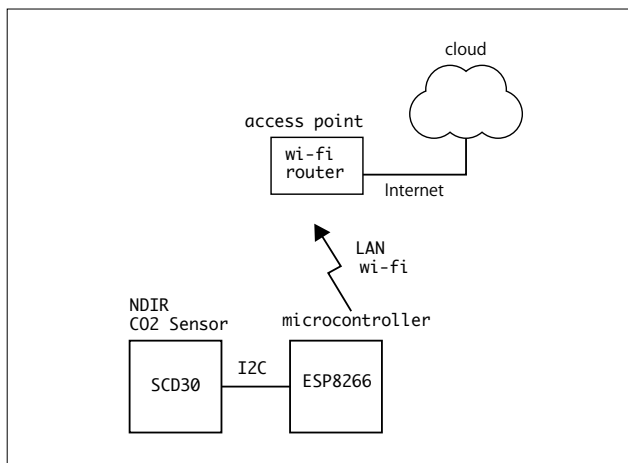


図 2 システム構成図

回路設計時点 (2020.4) で一番安価なセンサーは Grove - CO₂ & Temperature & Humidity Sensor for Arduino¹⁰ であった。このセンサーを使い、回路を設計した。回路図を図 3 に示す。プログラムは Arduino IDE を使い開発を行なった。ESP8266 と SCD30 の通信にはライブラリ¹¹ を使う。コードは [コード 1] の通りである。一定時間ごとに測定しデータを送信。データはクラウド上のサーバーの PHP で受信する。マイコンには教室の場所を表す ID をプログラムに入れてある。データと一緒にその ID を送信し、教室ごとのデータとして保存している。

3.4 センサーとマイコンの電源

センサーとマイクロコントローラを動かすには 3.3V の電源が必要となる。設置場所の自由度を上げるために乾電池を使用したモデルを作成し、実際に教室に設置してテストを行った。設置の外観は図 4 を参照。単一乾電池 2 本を使用し、昇圧型の電源を入れて 3.3V を得た。しかし、電池の電圧が低くなったときにセンサーの値が安定しない。また wi-fi の接続不良時に接続処理を繰り返し電池の消耗が激しい。結果、頻繁に電池を交換する必要があり、運用上の手間があった。そこで、設置場所の自由度は下がるが、コンセントから電源を得て動くモデルを制作した。こちらを実際に教室のコンセントに設置したものが図 5 である。AC 電源により安定して稼働し、連続したデータ測定と送信が可能になっている。

3.5 データの記録と結果表示

データを受け取った PHP は、次の処理を行う。

ID 番号に従ってデータをファイルに追記保存。そのときに時刻と一緒に記録する。データの表示は、次の 2 種類の web ページで行っている。

- 1 全体の過去 1 時間の概要表示ページ
- 2 詳細表示ページ

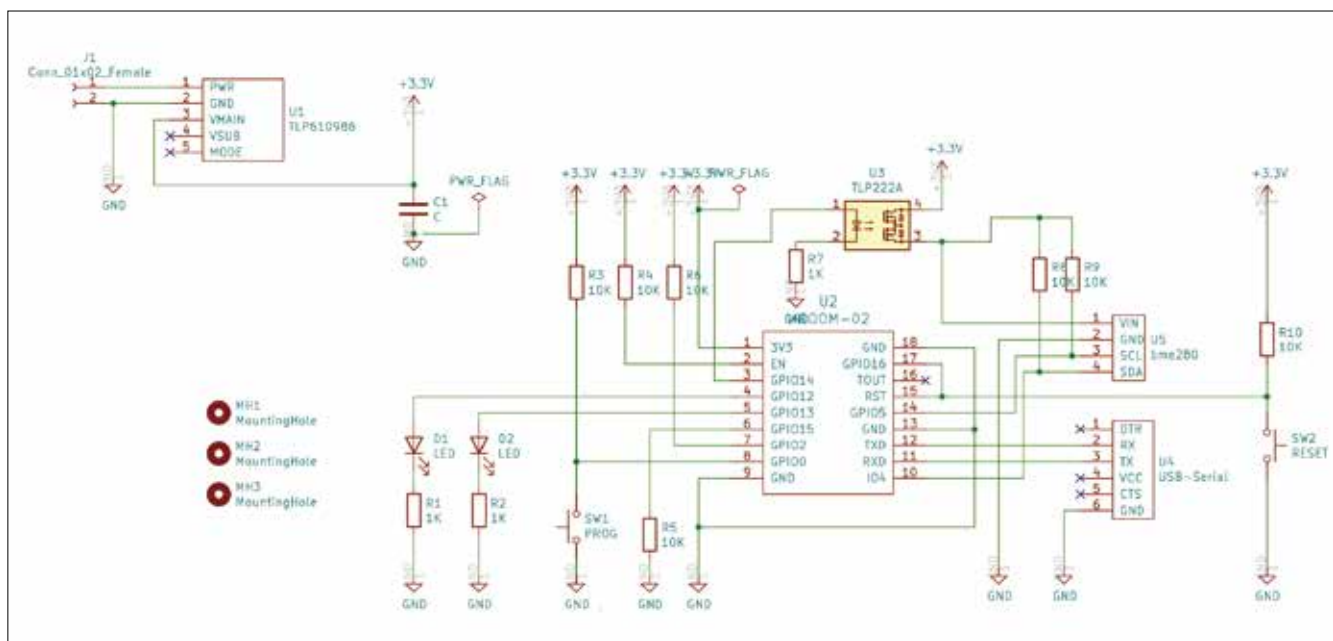


図 3 回路図



図4 乾電池駆動モデル



図5 AC電源で動作する試作品

概要表示のページは図6のようになっている。概要表示ページのソースコードは[コード2]の通り。JavaScriptでfileList.php[コード3]を呼び出し、そのリストに従って各教室の過去1時間の平均を求め PHP[コード4]を呼び出している。これらの値をJavaScriptでページに表示している。コードはGitHubに載せているので、リンクを参照。

概要ページで教室名をクリックすると詳細ページを表示する。詳細ページではその日の24時間の変化をグラフで表示する。日付ボタンにより、任意の日付のグラフを表示することも可能である。このページのコードは[コード5]の通りである。JavaScriptで日付を取得し、PHPに送信してその日付に該当するデータを受信し画面に表示する。表示されるページは、図7のようになる。このページで任意の日付のデータを表示することも可能である。

一覧表示から値の傾向を見て、気になる教室の二酸化炭素の変化をグラフで時系列に確認ができるページ設計となっている。

4. 測定結果

測定結果のグラフを図8に示す。2021年7月15日木曜日、3-203 演習室の測定結果である。9:00~12:10は基礎造形実習があり、授業開始時点に向けて二酸化炭素濃度が上がり、12:10の授業終了から下がり始めている。午後は提出に向けて教室で作業をしている学生による濃度と

各部屋の測定値					
過去1時間の平均値。					
ID	部屋	CO2[ppm]	温度[°C]	湿度[%]	不快指数
1	個人研究室(真壁)	357	26.8	63.3	75.8
10	3-201	446	25.9	58.6	74.0
11	3-202	607	26.3	61.6	74.9
12	3-203	495	26.1	64.3	74.8
13	3-204、205	661	25.8	65.0	74.5
14	3-206	329	25.9	63.4	74.5
15	3-301	379	28.2	57.3	76.9
16	3-302、303	332	27.8	58.4	76.6
17	201	428	25.6	60.1	73.7
18	202	478	25.6	64.1	74.2
19	203	504	23.7	60.9	71.1
20	204	525	25.5	58.5	73.4
21	プロトタイプینگルーム	439	27.2	62.0	76.2
22	ゼミ室A	528	28.1	53.3	76.3
23	ゼミ室C	486	28.7	52.1	77.0
24	ゼミ室D	513	29.9	52.0	78.5

部屋名をクリックで詳細グラフを表示

図6 概要表示ページ

コード1 ESP-WROOM-02 ソースコード

<https://github.com/mkbtm/CO2monitorESP8266/blob/main/CO2monitor.ino>

コード2 概要表示ページ html コード

<https://github.com/mkbtm/CO2monitorESP8266/blob/main/index.html>

コード3

<https://github.com/mkbtm/CO2monitorESP8266/blob/main/upload.php>

コード4

<https://github.com/mkbtm/CO2monitorESP8266/blob/main/getAve.php>

コード5

<https://github.com/mkbtm/CO2monitorESP8266/blob/main/graph.html>

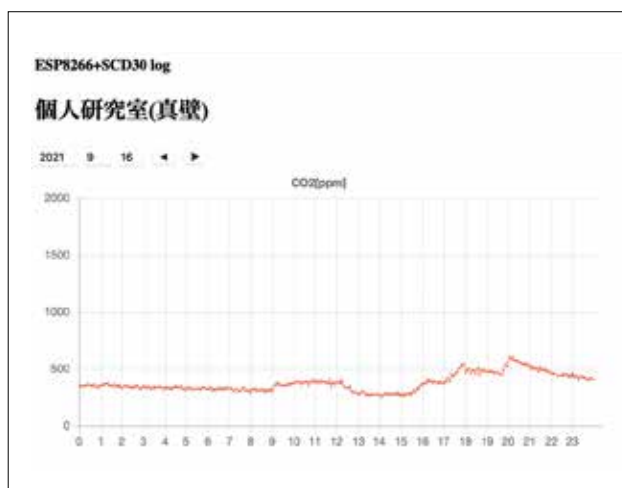


図7 二酸化炭素 測定値のグラフ表示

考えられる。校舎閉鎖と共に教室の換気システムにより濃度が下がり翌朝には外気と同じレベルに下がっている。通常の外気の二酸化炭素濃度は400ppmであるが、センサーの補正をしていないため、センサーごとにばらつきがある。そのため測定値をそのまま信用するには難しい。夜中の人がない数値を基準として考え、グラフを読む必要がある。通常の大気のCO₂濃度は400ppmである。CO₂濃度1000ppmを上限とするなら夜中の無人時の値+600ppmを上限値として理解する必要がある。大半の演習室でその

基準値に入っているので、建物の換気は建築物環境衛生管理基準内に定められる通りに行われていることが確認できた。

5. おわりに

5.1 結論

市販されている NDIR 方式の CO₂ センサーとマイコンを使い、wi-fi 環境下で複数箇所の二酸化炭素濃度を監視するシステムを構築、運用可能なことが確認できた。設置台数の上限はなく部屋数の多い事業所、学校でも運用が可能である。Arduino IDE で簡単なコードと電気回路で実現可能である。センサー単体では濃度の測定だけであるが、マイクロコントローラでネットワークに接続し、クラウドにデータの送信が可能になる。そしてクラウド上のサーバー上で稼働する PHP のコードでデータの受信と記録。データの表示には HTML+JavaScript。これらはすべてネットに情報があり容易に情報にアクセスし開発に取り組むことができる。

5.2 今後の課題

現在のシステムでは、マイクロコントローラでセンサーの値を読み取りクラウドにデータを送信という基本の動作はできている。しかし、wi-fi の接続が不安定な場合に問題がある。データの送信が正常にできているのか確認の処理を入れていないために、エラー時にはデータが失われてしまう。また、送信時に認証などを行っていないために、不正アクセスなどの対処がない。今回はまず動くシステムを作り検証をするというプロトタイプングであったためにこれらの処理を入れていない。実際の運用時には、これらを考慮したシステムを設計する必要がある。

また、測定データの可視化についても今後の検討が必要である。データの送信と保存ということを中心にしたシステムのため、その教室にいる人でもパソコンやスマートフォンを使い、値を確認する必要がある。現在の値を小型の液晶ディスプレイを使うなどして表示する仕組みを検討する必要がある。

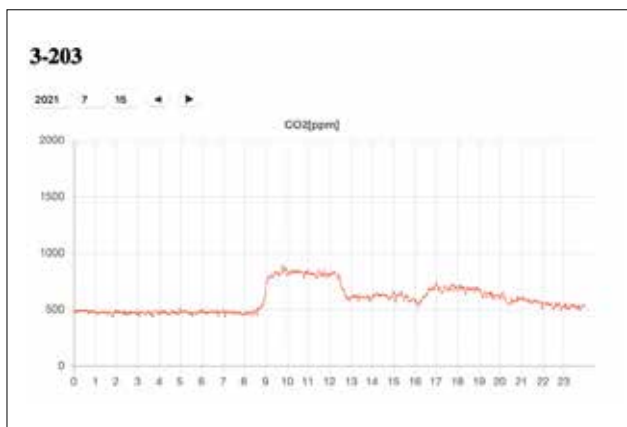


図8 授業時間を含む教室の測定結果

注釈

- ¹ 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について
<https://www.mhlw.go.jp/content/10906000/000698849.pdf> (2021/10/4 最終アクセス)
- ² 事務所衛生基準規則 第二章 事務室の環境管理 (第二条 - 第十二条) <https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-2/hor1-2-36-2-0.htm> (2021/10/4 最終アクセス)
- ³ 学校環境衛生基準
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2018/04/16/1292838_01.pdf (2021/10/4 最終アクセス)
- ⁴ 「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル (2020.12.3 Ver.5)」https://www.mext.go.jp/content/20201221-mxt_kouhou01-000007001_01.pdf (2021/10/4 最終アクセス)
- ⁵ 装置例 <http://www.fusorika.co.jp/environment/MIC-98132SR.pdf> (2021/10/4 最終アクセス)
- ⁶ 日本精機 CO₂ 測定器 https://www.nippon-seiki.co.jp/news/top_news_cat_r/co2lamp/ (2021/10/4 最終アクセス)
- ⁷ 独自検証 “CO₂ センサー” 粗悪品か “密” 反応せずテレビ朝日 2021/8/10 報道 https://news.tv-asahi.co.jp/news_society/articles/000225127.html (2021/10/4 最終アクセス)
- ⁸ ESP8266
<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266> (2021/10/4 最終アクセス)
- ⁹ ESP-WROOM-02
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-wroom-02u_esp-wroom-02d_datasheet_en.pdf (2021/10/4 最終アクセス)
- ¹⁰ Grove-CO₂ & Temperature & Humidity Sensor for Arduino
<https://www.seeedstudio.com/Grove-CO2-Temperature-Humidity-Sensor-SCD30-p-2911.html> (2021/10/4 最終アクセス)
- ¹¹ Seeed_SCD30
https://github.com/Seeed-Studio/Seeed_SCD30 (2021/10/4 最終アクセス)

付録

本稿で使用しているプログラムソースコードは長岡造形大学リポジトリ (<https://nagaoka-id.repo.nii.ac.jp>) で付録として公開している。

(長岡造形大学リポジトリ/長岡造形大学研究紀要第 19 号/付録/ネットワーク接続型二酸化炭素モニターの開発【コード】)