

CO<sub>2</sub> モニター装置の開発と教室への設置および学生の意識調査小島 俊輔<sup>1,\*</sup>Development and Installation of CO<sub>2</sub> Monitor System in Classroom and Survey of Student AwarenessShunsuke Oshima<sup>1,\*</sup>

At the time of the COVID-19 Crisis in April 2021, the author became a homeroom teacher for the first grade in National Institute of Technology (KOSEN), Kumamoto College. We feel that the classroom could not be ventilated smoothly, so we develop and install the CO<sub>2</sub> monitor system in the classroom with electric parts on hand quickly. The knowledge required to develop a CO<sub>2</sub> monitor system is not limited to circuits and programs. For example, reading electronic parts specifications written in English, operating development tools such as circuit board CAD and circuit simulator, and setting up a Web server to transmit CO<sub>2</sub> data are required. After installation of the CO<sub>2</sub> monitor system, the author presents the development story of it to students and conduct a questionnaire survey. As a result, we confirm that the CO<sub>2</sub> monitor system has effects on the students' study motivation.

キーワード : CO<sub>2</sub> モニター、 Web サーバー、 開発ストーリー、 学習意欲、 高専教育

**Keywords** : CO<sub>2</sub> monitor, Web Server, Development story, Study motivation, KOSEN education

## 1. はじめに

筆者は令和3年(2021年)4月、校務として熊本高専八代キャンパス機械知能システム工学科1年生の担任となった。担任としての業務は多岐に及んでおり、コロナ禍だったこともあり特に新学期は教室内の感染対策の徹底が急務であった。感染対策として教室の換気は特に効果的とされているが、学生への声掛けなどで窓を一時的に解放させることはできるものの、定期的に換気ができているかどうかは分からず、また、教員や学生もそれを客観的に評価することができない。そこで、換気の状態を可視化する目的で、CO<sub>2</sub> モニター装置を開発することとした。この装置は、教室内のCO<sub>2</sub>濃度を計測し教室内にいる学生がリアルタイムに数値を確認できるほか、担任が教員室などの遠隔地から教室内の状態を確認することができる。

装置の開発に当たって最も優先すべきは開発までの期

間である。可能な限り早く実現したいとの思いから、ベストな設計でパーツを取り寄せて製作するのではなく、ベターな設計でかつ手持ちの電子パーツやマイコンをうまく組み合わせて実現することとした。

ところで、このCO<sub>2</sub>モニター装置の開発には、機械知能システム工学科の学生が将来学習するだろう技術的な要素を多く含んでいる。そこで、新入生に対して高専での学習モチベーションを育ませることができればよいとの思いから、1年生のクラス学生に対して開発に関する情報を提供することとした。本稿は、教室に設置したCO<sub>2</sub>モニター装置の技術情報の提供だけでなく、装置を教室に設置したことによる学生の換気に関するモチベーションの変化、さらには装置の開発に関わる技術的な情報を学生に話題提供することで生じた学生の意識変化について報告するものである。

## 2. 装置の要件定義

CO<sub>2</sub>の濃度は室内換気を目安となるため、換気対策の製品としての市販品も多く出回っている。今回は学校の教室、すなわち40~50人が座席に座った状態にある室内での運用を考える。この場合、座席のどの位置からでも

<sup>1</sup> 拠点化プロジェクト系 (情報セキュリティセンター)  
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627  
Faculty of Project Centers (Center for Information Security),  
2627 Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

\* Corresponding author:  
E-mail address: oshima@kumamoto-nct.ac.jp (S. Oshima).

CO<sub>2</sub> 濃度の数値が確認できるのは重要であろう。また、可能であれば教室内の CO<sub>2</sub> 濃度を担任が遠隔から監視できるとよい。一般に市販されている CO<sub>2</sub> 測定装置は、教室内で利用することは想定されておらず、液晶表示のコントラストが低くて数字が読みにくい、文字が小さく装置から少し離れると数値が確認できない、といった問題がある。また、インターネットなどを經由して遠隔地から CO<sub>2</sub> 濃度が確認できるような装置は IoT の分野となり、たとえば業務用で市販されているものが高価である。いずれの場合も教室に手軽に設置して利用するには向かない。

そこで、開発する CO<sub>2</sub> モニター装置の備える要件として、1) 明るく文字サイズの大きい LED 表示装置を使用すること、2) LAN に接続しネット経由で CO<sub>2</sub> がモニターできること、の 2 点を最小限の要求事項とし、これに加え、3) 手元にある電子パーツを利用した至急準備できるものであること、の計 3 点をシステム開発における要件とした。

### 3. ハードウェア設計と製作

手持ちのパーツとして、比較的表示サイズの大きい 7 セグメント LED である A-801SR<sup>(1)</sup>、また LAN インターフェースを備えたマイコンとして Raspberry PI 3 model B<sup>(2)</sup>をたまたま所持していた。また、最も重要な CO<sub>2</sub> センサーは、インターネット通販が可能なパーツショップのうち、在庫があった MH-Z19C<sup>(3)</sup>を利用した。半導体をは

表 1 Raspberry PI 3 model B 仕様

CPU	Quad Core 1.2 GHz Broadcom BCM2837 64 bit CPU
RAM	1 GB
通信インターフェース	BCM43438 wireless LAN Bluetooth Low Energy (BLE) 100-Base Ethernet wired LAN
GPIO	40 pin extended GPIO GPIO 3.3 V 1 pin あたり 16 mA 以下 (合計 50 mA 以下) 3.3 V 電源ピン 50 mA 以下 5 V 電源ピン 1000 mA 以下
USB	USB2×4 ポート
モニター出力	Full size HDMI
音声・ビデオ	2 チャンネルステレオ出力 コンポジットビデオ出力
カメラ	CSI ポート (Raspberry Pi カメラ専用)
ディスプレイ	DSI ポート (Raspberry Pi タッチスクリーン専用)
SD インターフェース	micro SD port
電源	5V 1.3A(Typ)

3.3V	1	2	5V
GPIO2(SDA)	3	4	5V
GPIO3(SCL)	5	6	GND
GPIO4(GCLK)	7	8	GPIO14(UART_TXD)
GND	9	10	GPIO15(UART_RXD)
GPIO17	11	12	GPIO18
GPIO27	13	14	GND
GPIO22	15	16	GPIO23
3.3V	17	18	GPIO24
GPIO10(MOSI)	19	20	GND
GPIO9(MISO)	21	22	GPIO26
GPIO11(CLK)	23	24	GPIO8(SPI_CE0_N)
GND	25	26	GPIO7(SPI_CE1_N)
ID_SD	27	28	ID_SC
GPIO5	29	30	GND
GPIO6	31	32	GPIO12
GPIO13	33	34	GND
GPIO19	35	36	GPIO16
GPIO26	37	38	GPIO20
GND	39	40	GPIO21

図 1 Raspberry PI GPIO PIN 配置図

じめとした世界的な電子部品の供給不足のため、2021 年 4 月の時点では、これ以外の選択肢はなかった。従って、必然的にこの 3 つのパーツを使用することを前提に、装置の設計を進めなければならない。

#### 3.1 LED ドライブ回路

表 1 に Raspberry PI 3 model B の仕様、図 1 に Raspberry PI の入出力端子である GPIO のピン配置図をそれぞれ示す。ここで注意すべきは、GPIO 入出力ピンの電流と電圧である。出力電圧は 3.3 V、電流は最大で 16 mA、すべてのピンの電流の合計は 50 mA までという制限があり、これでは LED をドライブするための十分な電流が確保できない。さらに GPIO の汎用ピン数は 26 本であるが、4 桁 7 セグメントつまり 28 本の LED と CO<sub>2</sub> センサーを独立して制御するためには、汎用 GPIO の本数が不足する。ここで注目したのは、5 V 電源ピンである。仕様によると 1000 mA まで取り出すことができ、少なくとも LED を制御するための電流程度なら十分に確保できる。そこで、5 V 電源ピンを利用して、LED のアノード側とカソード側にそれぞれトランジスタを設置し、タイミングを切り替えて ON/OFF するダイナミック点灯方式を採用する。これにより LED の各桁を制御する 4 本の信号線と、7 セグメント LED の各セグメントを制御する 7 本の計 11 本の GPIO ピンですべての LED セグメントを制御することができる。本装置における LED の 1 セグメントあたりのドライブ回路を図 2 に示す。今回使用したトランジスタは

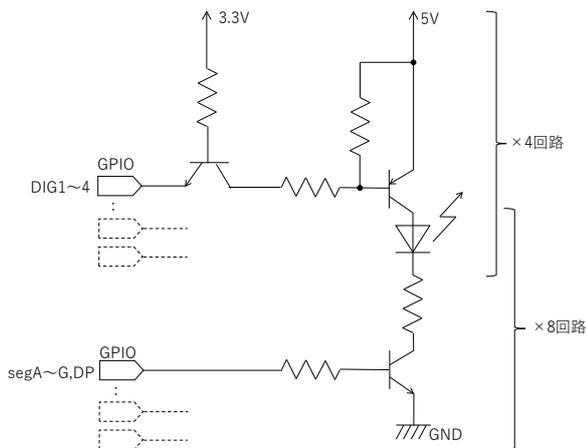


図2 電圧レベル変換を含めた1セグメントあたりのLEDドライブ回路

PNPタイプが2SA1015、NPNタイプが2SC1815である。過去に1000個購入したものの残りが手元にあったため利用したが、通常の省電力スイッチングタイプであれば何でも構わない。7セグメント4桁のLEDを接続するので、アノード側は4回路分、カソード側は7セグメントと小数点(DP)を含めた8回路分が必要である。ここで注意すべきはRaspberry PIのGPIO出力電圧が3.3Vであることである。LEDを駆動する電源電圧は5Vであり、そのためLEDのアノード側のON/OFF制御はトランジスタを2つ組み合わせて電圧レベル変換までを同時に行っている。使用した7セグメントLEDはアノードコモンタイプであるので、LEDの電流を制限する抵抗はカソード側に挿入している。なお、ダイナミック点灯用のディスプレイドライバとしては、MAX7219やMAX7221といった専用LSIがある。これらを用いるとハードウェアで簡単にダイナミック点灯を制御できるが、今回はRaspberry PIの機能でLEDを制御できるという確信があ

表2 CO<sub>2</sub>センサーMH-Z19C仕様

検出ガス	CO <sub>2</sub>
動作電圧	5.0±0.1 V DC
平均電流	<40 mA (@5 V)
最大電流	125 mA (@5 V)
インターフェース電圧	3.3 V
検出範囲	400~5000 ppm
出力信号	UART (TTL level 3.3 V)またはPWM
暖気時間	1 min
動作温度	-10~50 °C
動作湿度	0~95%
重量	5 g
寿命	> 5 year

り、また手持ちもなかったため、あえて使用していない。

### 3.2 CO<sub>2</sub>センサーMH-Z19C

今回入手したMH-Z19Cは、CO<sub>2</sub>が赤外線を吸収する効果があることを利用したCO<sub>2</sub>計測センサーである。データシートによるとUARTまたはPWMによりCO<sub>2</sub>計測値をマイコンに送信する。幸い、Raspberry PIにはUART通信専用のピンが用意されており、マイコンとセンサーそれぞれのRX端子、TX端子をクロス接続することで通信できる。MH-Z19Cの仕様を表2に示す。UARTインターフェースの電圧は3.3Vであるため、Raspberry PIのGPIOピンと直結して制御することができる。

### 3.3 その他のパーツについて

LEDをダイナミック点灯としたことでRaspberry PIのGPIO端子に余裕ができたことから、他に接続できる手持ちのセンサーが無いか探したところ、たまたま温度と湿度を計測するセンサーモジュールAM-2302<sup>(4)</sup>を持ち合わせており、また、赤色LEDやタクトスイッチも手持ちがあったことから、CO<sub>2</sub>モニター装置の機能の一部として組み込むこととした。温湿度センサーを利用することで教室の温度や湿度はもちろん、2つの数値から不快指数を計算することができる。また、LEDはCO<sub>2</sub>モニター装置の動作状況の確認用に、タクトスイッチは温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度の表示を切り替えるためのスイッチとして使用し、さらに長押しすることでシャットダウン動作を開始する機能も搭載した。これにより、CO<sub>2</sub>モニター装置を移設する際に、わざわざキーボード・マウス・HDMIモニターを接続することなく、誰でも簡単にRaspberry PIのシャットダウンを開始することができる。

なお、AM-2302はシングルバスの通信プロトコルを使用しており、Raspberry PIのSDA端子(GPIO3番ピン)に接続することで簡単に通信することが可能である。

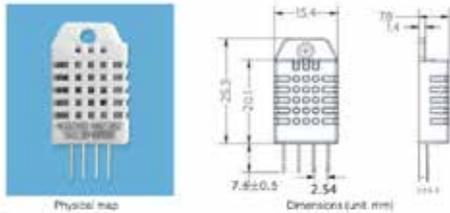
使用した主なパーツの写真を図3に示す。このうち、



図3 CO<sub>2</sub>モニターで使用した主なパーツ

1. Product Overview

AM2302 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is one that contains the component has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensor. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor core component and a high-precision temperature measurement device, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The firm of procedures, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the hardware to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Product for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special package according to user needs.



2. Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, home appliances, humidity regulator, medical, weather stations, and other humidity measurement and

図4 AM2302 データシート記載のパーツ説明とサイズ  
の例

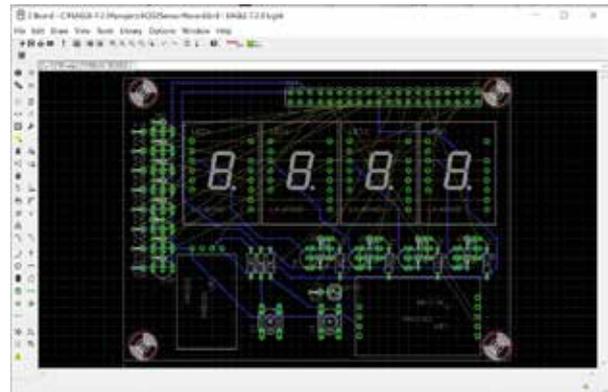
新たに購入したものは CO<sub>2</sub> センサー 1 個のみであった。

3.4 回路基板 CAD を用いたパーツ配置の検討

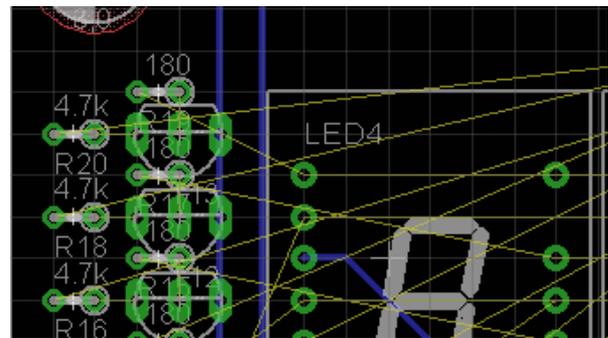
ハードウェアは文字通り一旦作成すると変更することが困難である。そのため、パーツ同士がお互いに干渉しない配置を検討する必要がある。今回は、回路基板 CAD である Eagle<sup>6)</sup> を用いて基板のパーツ配置を検討した。

Eagle は抵抗やトランジスタ、タクトスイッチなどの代表的なパーツがライブラリとして登録されており、回路図と併せてパーツ配置を作成できる。Raspberry PI の 40 ピン GPIO 端子、A-801SR、MH-Z19C、AM2302 といった LED やセンサーモジュールはパーツライブラリにはないが、Eagle CAD ではライブラリを自ら作成し新たに登録することができる。そこで、データシートに記載のパーツサイズを基に、新たに Eagle CAD のライブラリとして追加して使用することとした。図 4 は AM2302 のデータシートに実際に記載してあるパーツの説明とサイズの例である。この数値を基に、正確な外形のパーツライブラリを作成することができる。

実際の Eagle CAD の基板設計の様子を図 5(a) に示す。新たに作成した A-801SR や MH-Z19C、AM2302 といったライブラリを使用していることがお分かりいただけるだろう。また、図 5(b) は基板の左上付近の拡大図である。図を見ると分かるように、パーツの接続すべき各端子間に細い黄色線が表示されており、実際の組み立ての際の誤配線防止に役立つ。設計した基板を基に、実際にパーツをハンダ付けして組み立てたものが図 6(a), (b) である。写真でもわかるとおり、基板上の多くを大型 7 セグメント



(a) 全体図

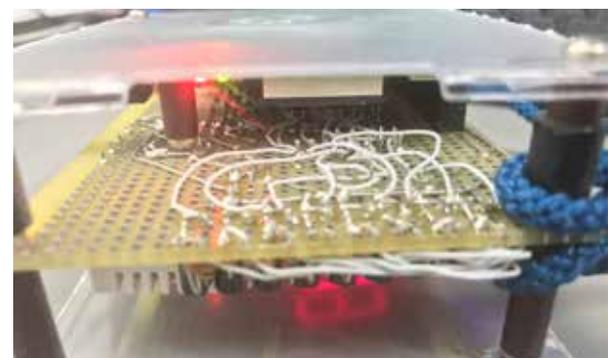


(b) 拡大図

図5 基板 CAD Eagle を用いたパーツ配置の検討



(a) 基板表面



(b) 基板裏面

図6 各パーツをはんだ付けした様子

LED とセンサーが占めており、ところ狭しと並んでいる。設計の際、CAD 上で配置を少し変えただけですべてのパーツが基板に納まりきれなくなったため、はんだ付け前に最適な場所を決定できる CAD の効果は大きい。

## 4. ソフトウェア設計と製作

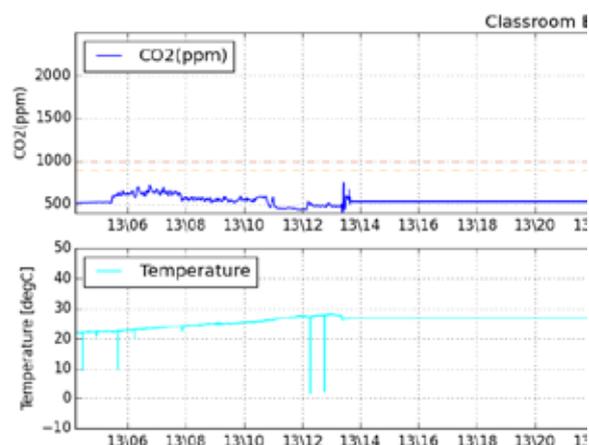
### 4.1 LED とセンサーの制御

3.1 節でも述べた通り、Raspberry PI に接続する 7 セグメント LED はダイナミック点灯方式とした。つまり、LED に CO<sub>2</sub> センサーの数値を表示するためには、Raspberry PI 側でダイナミック点灯用のソフトウェアを記述し制御する必要がある。さらに CO<sub>2</sub> センサーモジュール MH-Z19C は UART、温湿度センサーモジュール AM-2302 はシングルバス方式の通信であるため、センサーごとにデータ取得ソフトウェアを記述しなければならない。各センサーのデータシート記載の通信方式を確認し、インターネットの情報などを参考にしながらプログラムを記述した。7 セグメント LED のダイナミック点灯、センサーのデータ取得、長押しによるシャットダウン機能など、機能ごとにプログラムを分けており、各プログラムは cron を用いて Raspberry PI の OS 起動時に自動起動するように設定した。プログラムはすべて Python で記述しており、すべての行を合計するとおよそ 500 行であった。今回作成した CO<sub>2</sub> モニター装置は、ダイナミック点灯やセンサーとの通信などタイミングが非常にシビアなものが多い。当初、速度的な面で Python を用いた制御に不安があり、C 言語のようなネイティブのバイナリコードを出力する言語で記述することも考えた。しかし実際は、すべてのハードウェア制御において Raspberry PI 3 の CPU 性能と Python で十分であった。

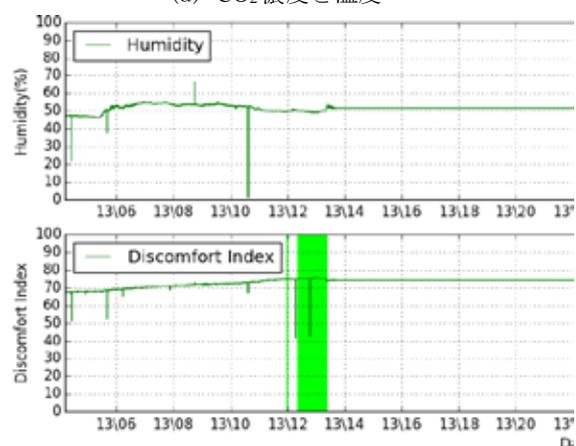
### 4.2 時系列グラフの作成と Web サーバーの構築

CO<sub>2</sub> モニター装置では、CO<sub>2</sub> 濃度や温度、湿度は 10 秒おきに計測しながら LED にダイナミック表示するとともに、Raspberry PI の SD メモリにファイルとして記録する。この記録した値を基に時系列グラフを作成し、同時に Web ページとしても公開する。

グラフ作成で使用した Python ライブラリは NumPy と PyPlot の 2 つである。NumPy によりデータを扱いやすい形に整え、PyPlot により PNG 形式のグラフィック画像を簡単に作成することができる。また、Web ページの公開には Apache を利用した。Raspbian OS で apt コマンドを使ってインストールし、サービスを起動するだけで簡単に Web サーバーを構築できる。さらに、Raspberry PI に内蔵された無線 LAN を用いて学内ネットに接続した。こ



(a) CO<sub>2</sub> 濃度と温度



(b) 湿度と不快指数

図 7 CO<sub>2</sub> モニターから配信された Web 画面の様子 (グラフ左部分を拡大)

れにより、学内のどの場所においても、簡単に教室の CO<sub>2</sub> 濃度や温度、湿度、不快指数などの時系列グラフをスマホなど手元のデバイスに表示することができる。

CO<sub>2</sub> モニター装置が Web で公開しているグラフの例を図 7 に示す。CO<sub>2</sub> や温湿度データの取得から 7 セグメント LED への表示と学生への警告、グラフの作成と Web 公開、すべて 1 台の CO<sub>2</sub> モニター装置、つまり Raspberry PI 上で完結しており、他の周辺機器は一切不要である。また、CO<sub>2</sub> 濃度や不快指数など警告すべき数値になったところで色を変えるようにした。これにより、どの時間帯が危険であったかを後で知ることができる。

ところで温度のグラフをよく見ると、急激に下がっているところが数か所ある。これは温度センサーからのデータ取得に失敗しており、記録値がおかしかったためである。データ取得に失敗する原因は不明であるが、10 秒ごとにデータ取得している頻度を考えると 1 日に数回程度の失敗であり大きな問題とはなっていない。また、デ



図 8 教室に設置した CO<sub>2</sub> モニター装置の様子

ータ取得が失敗した場合、その値をグラフ描画に含めないなど、ソフトウェア側でエラー処理することも考えたが、計測が失敗したという事実を確認できるため、そのままとしてある。

## 5. CO<sub>2</sub> モニター装置の設置と運用

教室に設置した CO<sub>2</sub> モニター装置の様子を図 8 に示す。Raspberry PI の無線 LAN 機能を使って Web で情報発信しているため、配線は図の様な AC アダプター 1 本のみであり、AC 電源さえあればどこにでも設置できる。CO<sub>2</sub> モニター装置は、教室の前方に設置するとともに、CO<sub>2</sub> 濃度が 900 ppm を超えた時点で LED を点滅させ警告を出すようにした。授業中に運用することを考え、警告は点滅のみとし音はあえて出していない。また CO<sub>2</sub> モニター装置が発信している Web ページへのアクセスを容易にするため、装置の前面に URL の 2 次元コードを貼り付けている。学生は装置の 2 次元コードを読み取るだけで簡単に手元のスマホにグラフを表示し閲覧できる。

## 6. 学生への説明とアンケートの実施

本稿で説明した設計・製作の様子や写真、実際のデータシートを含めた各種資料など、CO<sub>2</sub> センサーの作成で使用したものは学生に提示し、大まかな内容を説明した。高専の新 1 年生であることを考慮し、あえて装置の細かい仕組みや理論の説明は省き、どのような力をつければよいかに重点を置いて説明している。強調して説明したのは次の 6 点である。

- (1) すぐ使える材料だけでどう調理するか、全体を見通す力。
- (2) データシートを読むための英語力。読むだけでなく内

表 3 学生の換気意識に関する調査結果

設問	(A)	(B)	(C)	(D)
CO <sub>2</sub> モニターの値を意識したか	35%	53%	13%	0%
換気の動機づけになったか	50%	43%	8%	0%
設置されていないクラスより気を付ける人が増えたか	38%	48%	15%	0%

(A)そう思う、(B)少しそう思う、  
(C)あまりそう思わない、(D)そう思わない

容を理解しなければならない。

- (3) 回路の設計と CAD 操作の習得。回路設計には電気・電子回路の知識が必要となる。また、CAD のマニュアルは英語であり、ここでも英語力が問われる。
- (4) デバイスのデータシートを読む力。そのデータシートに沿って CAD データを作成し、さらにデバイスを動かすためのプログラムを作成しなければならない。
- (5) 正しく動くまで根気強くテストする力。ハードウェアではたった 1 本の配線、ソフトウェアではたった 1 文字が間違っただけでも正しく動作しない。ハード、ソフトどちら側の問題か、問題切り分けの力も必要。
- (6) もの作りにおける慎重さ。一旦作成してしまうとやり直しが大変。世に出てしまった後では回収すらできない。

これらの説明を踏まえた上で、これから始まる高専 5 年間の学習活動において、単に「覚える」「60 点を取る」「進級・卒業する」ではなく、「知識や技術を習得して活用する力を身に付けること」を目標とするよう指導し、さらに高専にはそのための学習環境があることを説明している。

作成した CO<sub>2</sub> モニター装置は令和 3 年 (2021 年) 5 月から運用しており、およそ 10 カ月が経過した令和 3 年度末 (2022 年 2 月) に学生アンケートを実施した。有効回答数 40 名に対して、表 3 のような結果が得られた。当初目的としていた、室内の換気に対する意識を問う設問では、約 9 割が(A)そう思う、(B)少しそう思う、と回答しており換気の意識づけに繋がったことが伺える。

次に、CO<sub>2</sub> モニターで使用した技術のうち、身に付けたいと思った技術があるか、複数選択式で回答してもらった。その結果を表 4 に示す。英語力やインターネット、IoT といった技術が低い反面、CAD やセンサーなどはおよそ半数が身に付けたいと考えている。また、意外だったのはプログラミングの 75%、およそ 4 人に 3 人が身に付けたいと考えていた。小学校や中学校でプログラミン

表 4 身に付けたいと思った技術（複数回答）

設問	割合
英語力	25%
回路図 CAD の操作	45%
ハードウェア設計（電子回路）	38%
ハードウェア製作（はんだ付け）	28%
プログラミング	75%
インターネット、WiFi	30%
Web サーバーの構築	38%
IoT 装置の設計や製作	20%
センサー技術	43%
いずれも身に付けたくない	0%

グ教育が必須化され、R7 年度入学者から大学センター試験でもプログラミングが必須となっており、この数値からも、学生の関心の高さを伺い知ることができる。

## 7. まとめ

コロナ感染防止対策の一環として CO<sub>2</sub> モニター装置を作成し、1 年生の教室にて 1 年間運用した。アンケートの結果、およそ 9 割が肯定的であり、学生の換気行動などの動機付けになっていることが確認できた。また、実際に身の回りで使用する CO<sub>2</sub> モニター装置の設計や製作を通して、高専で学習する技術の一端に触れることで、CO<sub>2</sub> モニター装置で使用した技術の習得に興味を示す学生が少なからずいる。特にプログラミングに対して興味を示す学生が多く、CO<sub>2</sub> モニター装置が学生に与えた、高専教育やその学習との向き合い方を新 1 年生に対しておぼろげながら説明できたと考える。

なお、筆者は令和 4 年度（2022 年度）も引き続き進級した 2 年生のクラス担任となっており、作成した CO<sub>2</sub> モニターは 2 年生教室で運用を続けている。まもなく、2 年間に及ぶ教室の温度や湿度、CO<sub>2</sub> 濃度などの環境データの取得ができる予定であるが、これらのデータの分析をはじめ、さらにはその後の学生の学習に対するモチベーションや行動にどのような影響があったのか、追跡調査をする必要がある。

（令和 4 年 9 月 8 日受付）

（令和 4 年 11 月 4 日受理）

## 参考文献

- (1) Para Light Nanjing Electronics Co., Ltd. : 「801SR datasheet」, 秋月電子通商, <https://akizukidenshi.com/download/ds/paralight/A-801SR.pdf>, (2022.9.7 閲覧).
- (2) Raspberry PI 財団: 「Raspberry PI 3 Specification」, <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>, (2022.9.7 閲覧).

- (3) Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. : 「MH-Z19C datasheet」, [https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19c-pins-type-co2-manual-ver1\\_0.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19c-pins-type-co2-manual-ver1_0.pdf), (2022.9.7 閲覧).
- (4) Aosong Electronics Co., Ltd. : 「AM2302 Product Manual」 秋月電子通商, <https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>, (2022.9.7 閲覧).
- (5) Autodesk: 「PCB 設計ソフトウェア Eagle」, <https://www.autodesk.co.jp/products/eagle/>, (2022.9.7 閲覧).