

マイコンモジュールを用いた IoT 及び AI 活用に関する学生実験教材の開発

Development of Student Experimental Teaching Materials on the Use of IoT and AI Using Microcontroller Modules.

貞方 敦雄¹

概要：

だれでもが IoT や AI を活用したものづくりを楽しめる時代が到来している。その背景には、オープンソースソフトウェアやオープンソースハードウェアが普及したこと、電子工作やものづくりに関するコミュニティが大きく成長し、有益な情報がシェアされたことが要因ではないかと考えている。過去 18 年程度で、このような変化が世の中では起きている。理工学部電気工学科の情報通信工学実験 I では、マイコンを用いた電子工作を組み込んだ PBL 教育を展開している。8 ビットの PIC マイコンを用いたマイコンや電子回路の基礎を学べるように独自の PIC マイコン実験ボードを開発している。さらに、M5Stack などのマイコンモジュールを用いた IoT や AI 技術を取り入れた実験教材の開発に取り組んでいる。本研究開発報告では、情報通信工学実験 I の取り組み及び実験教材の開発を紹介する。

Abstract:

The era has arrived where anyone can enjoy manufacturing using IoT and AI. We believe that this is due to the spread of open source software and hardware, the significant growth of communities related to electronics and manufacturing, and the sharing of useful information. Over the past 18 years or so, such changes have occurred in the world. Information and Communication Engineering Experiment I in the Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, is developing PBL education that incorporates electronic work using microcomputers. We are developing a unique PIC microcontroller experiment board so that the fundamentals of microcontrollers and electronic circuits can be learnt using 8-bit PIC microcontrollers. Furthermore, we are working on developing experimental teaching materials that incorporate IoT and AI technology using microcontroller modules such as M5Stack. This research and development report introduces the efforts of Information and Communication Engineering Experiment I and the development of experimental teaching materials.

キーワード：マイコン, 学生実験, 学生実験教材, IoT, AI

Keywords : Microcontroller, Student experiments, Student experimental teaching materials, IoT, AI

¹ 理工学部電気工学科 講師

1 はじめに

マイコン (Arduino、PIC、M5Stack、ESP32、STM32 など) やシングルコンピュータボード (Raspberry Pi や Jetson Nano など) を用いた電子工作ブームが起きている。お蔭で書店の電気電子や情報関係のコーナーに、ビギナー向けの電子工作やマイコン関連の書籍が多数陳列されている。例えば、手軽に温度や湿度を測定するセンサーをマイコンに繋げて定期的に測定値を LCD モニターに表示、インターネットを介して X(旧 Twitter) や LINE に投稿するなどの IoT 機器の作製にチャレンジできる内容が掲載されている。そのため、やってみようと思う障壁が低下し、多くの電子工作愛好家が生まれてきていると感じている。一方で、本やネット記事に掲載されている内容を応用して新たな創作物を考えるのは困難である。理由は大きく分けて二つあると考えている。一つ目は、ハードウェアとソフトウェアのブラックボックス化である。二つ目は、大学で体系的に学ぶアナログ回路やデジタル回路、プログラミングなどの基本を理解できていないからである。

ハードウェアのブラックボックス化とは、昔の家電製品等はカバーを開けてみると、簡単な作りの電子基板上に抵抗やコンデンサ、トランジスタ、IC などを目にすることができた。また、やる気さえあれば回路図を描き起こすことが可能で、どの様になっているのか興味本位に分解して遊んでいた。しかし、現在のスマートフォンを開けても高密度に集積されたチップ部品や何やらよくわからない大きな LSI が表面実装されている。さらに、電子基板も多層化されているため回路図を簡単には描くことはできない。

ソフトウェアのブラックボックス化とは、最近、センサーなどを購入すると、マニュアルに何々のライブラリーを使ってくださいと書かれていることが多くなった。開発者の立場からすると細かな仕様をドキュメントから読み解く必要がなくなり生産性が高くなる。しかし、初学者からすると、中身はよくわからないけど、このコードを書けば使えるで終わってしまうと、ライブラリーが無いと何もできない技術者になる。そもそも技術者に成れるかが疑問だが。しかしながら、ソフトウェアのブラックボックス化は、当然の進化であり、IoT や AI を使って何かするには避けては通れないのも理解している。ここに、現代の IoT や AI 技術の発展と大学での教育内容にギャップがあると感じている。その解決策の一つとして、九州産業大学では令和 4 年度より AI・データサイエンス副専攻がスタートしたと考えている。本専攻では、所属学科の専攻分野を問わず学部学科の枠を超えて、AI・データサイエンス分野の導入から応用レベルまで体系的に学ぶとされている。この様な取り組みがギャップを埋めるきっかけになると考えている。

理工学部電気工学科の 3 年次生 (通信システムコース) の学生実験である情報通信工学実験 I では、これまでに、PIC マイコンや M5Stack の様々なマイコンモジュールやセンサーユニットを用いて、IoT を題材にした実験テーマを考案し、学生と楽しみながら教えてきた^[1]。学生実験の教材として PIC マイコン実験ボードの開発に取り組んだ。これまでに多くの学生が

PIC マイコン実験ボードで基礎的なマイコンの動きや使い方、C 言語によるプログラミングを学んでいる。実験ボードの詳細については次章で説明する。加えて、もう少し楽しい実験を行いたいと思い M5Stack 社のマイコンモジュールである M5Core2 などを用いた実験テーマを導入している。理由は、8 ビット PIC マイコンはマイコンのハードウェアとソフトウェアの連携や動き、システムを把握することはさほど大変ではない点で、初学者がマイコンや組み込みシステムを学ぶには良いと考えている。一方で、PIC マイコンは、IoT で欠かすことのできない通信機能や処理能力が力不足であった。確かに、有線 LAN でネットワークに接続できるモジュールや Zigbee、Bluetooth、Wi-Fi などの無線通信をシリアル通信ライクに使用できるモジュールが販売されている。それらを用いるとネットワーク越しのカラクリを作ることはできるがシステム構成がスマートではない。この辺は Arduino も同じようなものである（中には Wi-Fi モジュールをボード上に取り付けられているものもあるが）。そこで、M5Core2 というマイコンモジュールに着目した。この M5Core2 はコンパクトな筐体でありながらプロダクト開発に必要な要素がすべて詰め込まれている。例えば、モニターや内蔵バッテリー、micro SD カードが使える、角速度と加速度の IMU センサーが内蔵されている。さらに、Bluetooth と Wi-Fi 用の 2.4GHz のアンテナが内蔵されているため気楽に無線通信ができる。また、開発環境はいくつかあるが、Arduino IDE が使えることが大きなアドバンテージである。そして、M5Stack には、有志のコミュニティが多く形成されており情報やライブラリーが多く手に入るのも理由の一つである。M5Stack のマイコンモジュールを用いてどのような学生実験を行っているのかは後ほど紹介する。

本研究開発報告では、情報通信工学実験 I の取り組み及び M5Stack などのマイコンモジュールを用いた IoT や AI 技術を取り入れた実験教材の開発を紹介する。

2 PIC マイコン実験ボードの開発と実験教材への応用

2.1 PIC マイコン実験ボードの概要

図 1 に情報通信工学実験 I のマイコン実験用に開発した PIC マイコン実験ボードの外観を示す。本ボードは様々な実験に取り組めるように 8 ビットマイコンである PIC16F18857 を中心にスイッチや各種センサー等を配置している。また、ボードに搭載されている回路以外にブレッドボードを用いて回路を作り動作確認を行えるような設計としている。本ボードでどのようなことが実験できるか下記にまとめた。

1. 入出力実験：

押しボタンスイッチやトグルスイッチ、ロータリースイッチ、ディップスイッチを用いて特定の入力ピンに対しての入力処理の方法、単色 LED やフルカラー RGB LED を用いた出力処理の方法について実験が行え、基本的な入出力回路の構成やプログラムとの関係性に

ついて学べる。また、出力処理としては、本ボードには7セグメントLED表示器やLCD、ブザーが搭載されている。LCDは1行16文字で2行分の情報を表示することができる。

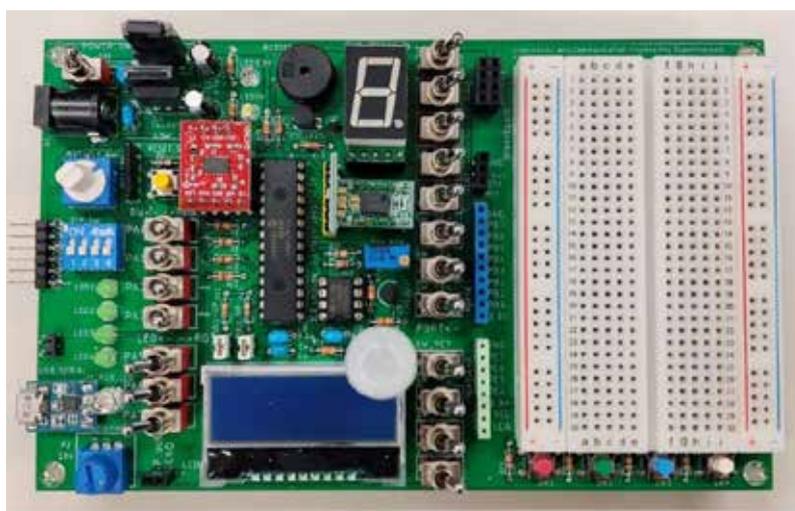


図1 PICマイコン実験ボードの外観

2. AD変換実験：

半導体温度センサーとオペアンプによる増幅回路を使用してアナログ電圧をマイコンで処理することが可能なデジタル値として変換するAD変換処理について、回路構成とPICマイコンでのAD変換処理について学ぶことができる。

3. 各種センサーについての実験：

本ボードには3軸加速度センサー、温湿度気圧センサー、人感センサーが搭載されている。これらのセンサーの動作原理を理解し、取り扱い方を学ぶことができる。

4. リアルタイムクロックを用いた実験：

IoT機器では当たり前となった日時や時刻を管理するリアルタイムクロック(RTC)ICを用いた実験が行える。

5. 各種通信実験

本ボードではPICマイコンと各種センサーIC間の通信としてI2C通信、PICマイコンとPC間の通信としてシリアル通信を採用している。シリアル通信やI2C通信といった広く普及している通信規格について勉強し、PICマイコンでどのように取り扱うのか学ぶことができる。

PICマイコン実験ボードの回路図を図2に示す。回路図はEagleという回路図エディタで作成している。回路図はやや複雑であるが、実験内容1から5までを実施できる内容となっている。また、電源回路についてはACアダプターから9Vの直流電圧を三端子レギュレータに入力し3.3Vの直流電圧を生成している。PICマイコンや各種ICは電源電圧3.3Vで駆動させている。一方で、昔から5Vで動作するICなども多いため汎用性を持たせるために三端子レギュレータで5Vも準備している。

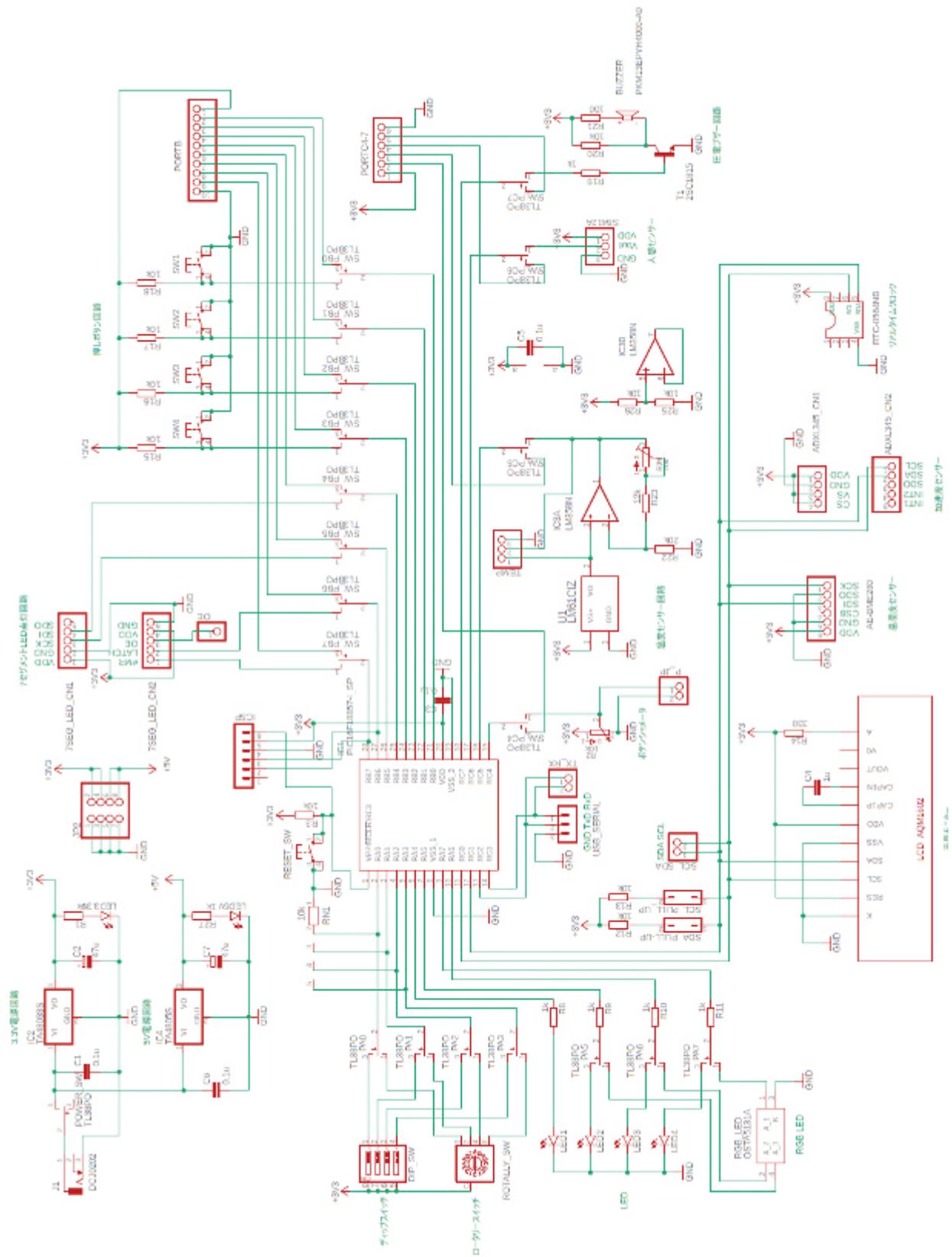


図 2 PIC マイコン実験ボードの回路図

2.2 PIC マイコン実験ボードの取扱い

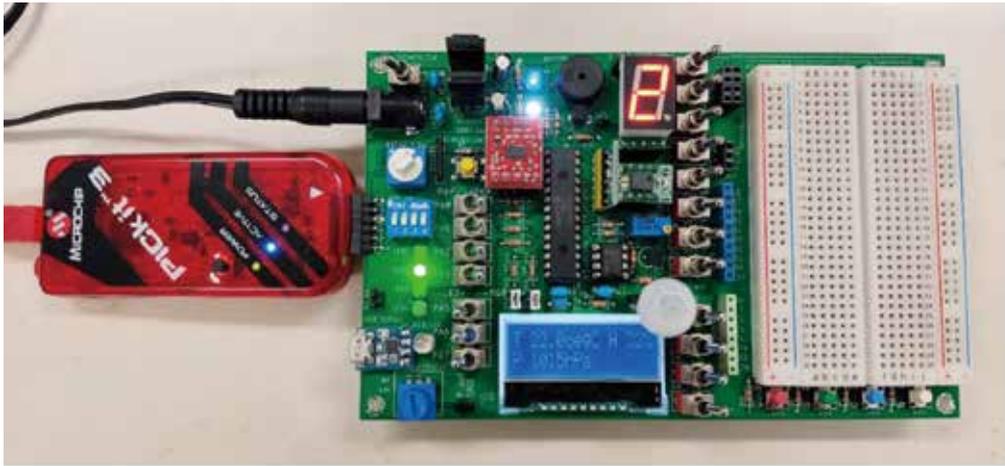


図3 PIC マイコン実験ボードの動作時の様子

PIC マイコン実験ボードは図3に示すように、左上のDC ジャックにACアダプターのコネクタを接続して電源スイッチをOn側に倒すことでボードの回路に電源が供給される。PICマイコンにプログラムを書き込むライター(PICKit3)は左側に図のようにボードと接続する。

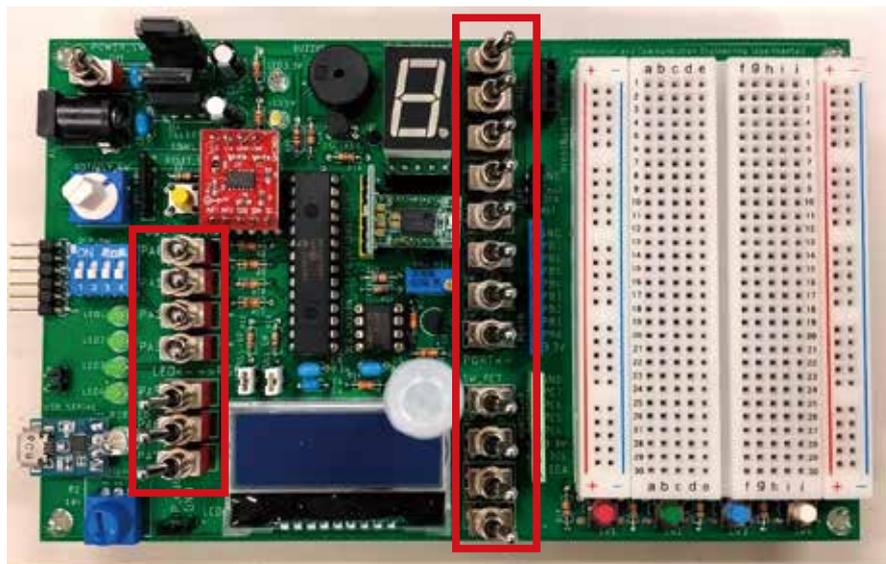


図4 PIC マイコン実験ボードの切り替えスイッチ

本ボードは、ブレッドボードを使って外部回路を組み、PICマイコンと接続して処理することができるように設計している。図中の赤枠で囲んだトグルスイッチはボード上の回路とPICマイコンの特定のピンとの接続状態を決めるスイッチである。正しい向きにしないと希望通りの動作ができないので注意が必要である。各スイッチの向きと接続先については表1と2の通りである。

表 1 左側の切り替えスイッチの役割

場所	PIC の 接続ピン	役割	
		スイッチ左向き	スイッチ右向き
上から 1 番目	RA0	ディップスイッチ 1bit 目	ロータリースイッチ 1bit 目
上から 2 番目	RA1	ディップスイッチ 2bit 目	ロータリースイッチ 2bit 目
上から 3 番目	RA2	ディップスイッチ 3bit 目	ロータリースイッチ 3bit 目
上から 4 番目	RA3	ディップスイッチ 4bit 目	ロータリースイッチ 4bit 目
上から 5 番目	RA5	LED2	RGB LED 赤
上から 6 番目	RA6	LED3	RGB LED 青
上から 7 番目	RA7	LED4	RGB LED 緑

表 2 右側の切り替えスイッチの役割

場所	PIC の 接続ピン	役割	
		スイッチ左向き	スイッチ右向き
上から 1 番目	RB7	青コネクタの RB7	7セグ LED MR 端子
上から 2 番目	RB6	青コネクタの RB6	7セグ LED LATCH 端子
上から 3 番目	RB5	青コネクタの RB5	7セグ LED SCK 端子
上から 4 番目	RB4	青コネクタの RB4	7セグ LED SDI 端子
上から 5 番目	RB3	青コネクタの RB3	押しボタンスイッチ SW4(白)
上から 6 番目	RB2	青コネクタの RB2	押しボタンスイッチ SW3(青)
上から 7 番目	RB1	青コネクタの RB1	押しボタンスイッチ SW2(緑)
上から 8 番目	RB0	青コネクタの RB0	押しボタンスイッチ SW1(赤)
上から 9 番目	RC7	緑コネクタの RC7	ブザー
上から 10 番目	RC6	緑コネクタの RC6	人感センサー
上から 11 番目	RC5	緑コネクタの RC5	温度センサー
上から 12 番目	RC4	緑コネクタの RC4	ポテンショメータ

表 2 の青や緑コネクタを利用する場合はコネクタにワイヤーピンをブレッドボードと接続して使用する。ブレッドボードへ電源供給が必要な場合は、ブレッドボードの左上側の黒のコネクタから各 5V、3.3V、GND を必要に応じて接続することとしている。

2.3 PID 制御による DC モータの回転数制御実験

DC モータの回転数制御に関して PID 制御理論を用いて実験が行える実験教材を開発した。図 5 に回転数制御実験のフィードバック制御のブロック線図を示す。目標値として 1 秒間当たりの回転数を入力し、現在の回転数を検出部に使用する磁気式ロータリエンコーダで回転数に変換し、比較部で偏差を計算する。そして、PID 制御で PWM のデューティ比を操作量とし、フルブリッジ回路 (モータドライブ回路) に接続した DC モータを駆動する。制御量として回転運動を磁気式ロータリエンコーダで回転数に変換、比較部で目標値との偏差を計算する。上記を繰り返すことで目標回転数に収束させる。

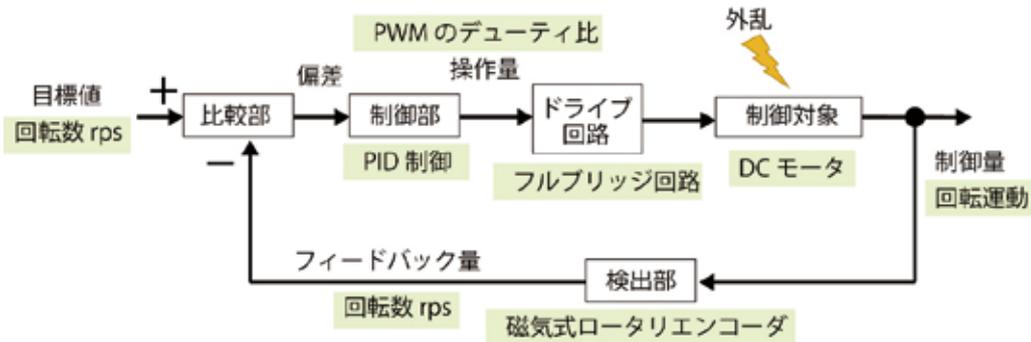


図 5 フィードバック制御のブロック線図

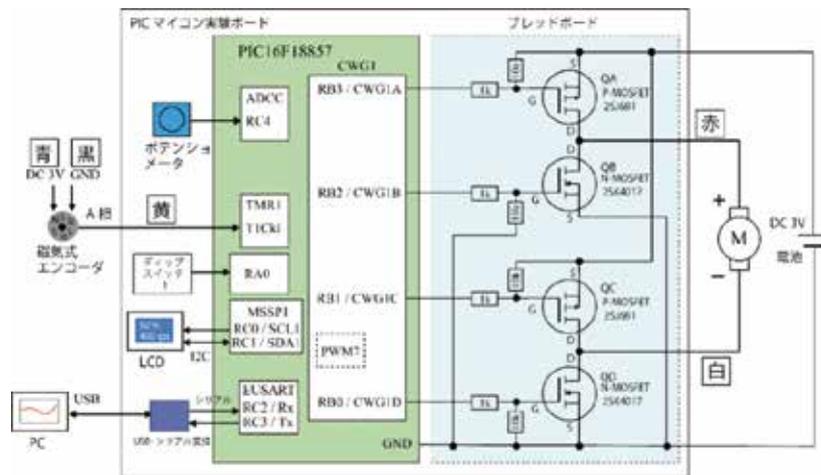


図 6 PID 制御を用いた DC モータの回転数制御実験の接続図

図 6 に本実験で用いた接続図を示す。回転数については、磁気式ロータリエンコーダの A 相のパルス電圧をタイマ TMR1 モジュールの T1CK1 ピン (RC7) に入力し、100ms 毎のパルス数を測定している。測定したパルス数は LCD に表示される。目標回転数と現在の回転数の差を求め、PWM のデューティ比を計算し、PWM7 モジュールのデューティ比を更新することでフルブリッジ回路の MOSFET に入力される PWM 波形が変化する。ゆえに、モータの回転数を調整することができる。

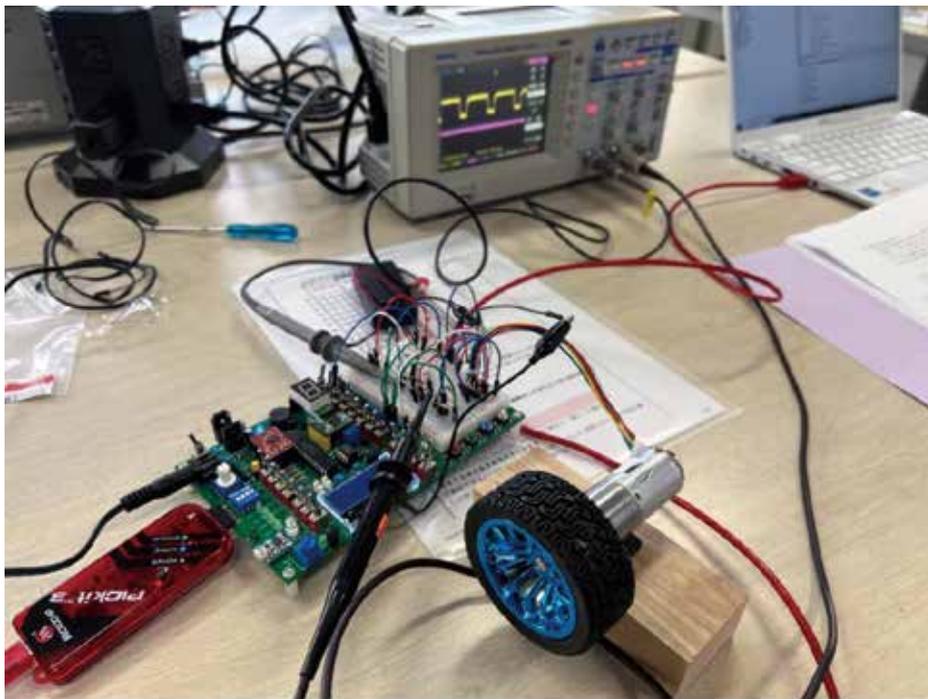


図7 DC モータ回転数制御実験の様子

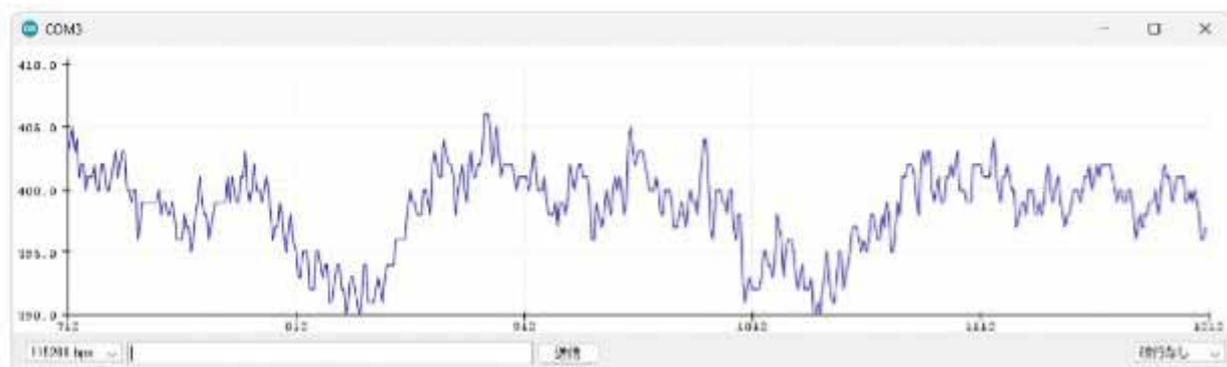


図8 回転数変化の様子

図7に示す写真は、実際に学生がMOSFETのゲート電圧波形を確認しながらPID回転数制御の実験を行っている様子である。さらに、図8に示す様に、PICマイコンからPCに送信されるパルス数をリアルタイムにグラフで確認しながら実験を進める。そして、安定した回転数が得られるPIDパラメータを探し出す実験を行っている。図8に示すグラフの横軸はデータ数(時間)、縦軸は回転パルス数である。目標回転パルス数が400である。ゆえに、図8の結果は凡そ安定した回転数制御ができていことがわかる。

3 情報通信工学実験 I での PBL プロジェクトの取り組み内容

報通信工学実験 I では、前半で、PIC マイコンや M5Stack のマイコンモジュールなどを使用した実験を通じて、マイコンのシステムや周辺回路、センサー、モータ制御、通信技術、ネットワーク技術、プログラミングなどの基礎力を身につけることを目的としている。また、回路図やプリント基板作製や製図、3D モデリング、3D プリンタ、レーザー加工機などの使い方を学び、ものづくりの土台を作る内容も盛り込んでいる。後半では、5 名程度のグループで行う PBL プロジェクトを実施している。このプロジェクトでは、日常生活における課題点を調べ、その解決策を考案する。そして、実際にプロトタイプを作製、発表を行う内容である。電気工学科の実験科目としては、異色の取組となっているが、他人と共同し、アイデア出しから作品完成までのプロダクト開発の一連の流れを体験できる貴重な時間ではないかと考えている。図 9 に過去に学生が開発した作品紹介ポスターを示す。この作品は、ラビリンスゲームという迷路盤の中に玉を置いて、2 軸のノブを手で回し、玉を落とし穴に落とさないようにゴールにたどり着けるかを楽しむゲームである。この様な古典的なゲームに、スマートフォンのアプリから盤を動かして遊ぶというテクノロジーを加えた作品へアレンジした。日常生活をちょっと楽しくしてくれそうなアイデアを具現化することの楽しさを学生は味わいながら成長していると感じている。



図 9 過去の作品例

ここでは、本年度の情報通信工学実験Iで4名の学生グループが制作した作品について紹介する。作品のテーマは、図10に示す様な植物育成システムである。皆さんも、もしくは、お子さんをお持ちの方は、夏休みと言えば、アサガオ観察日記ではないでしょうか。種を植え、毎日水やりなどの世話をを行い、どの様に芽が出て、成長し、何輪のアサガオが咲いたのか記録を紙に書き記していると思う。このアサガオ観察日記にちょっとユニークなテクノロジーを加えて、楽にアサガオ観察日記が作れたらどうだろうか。その様な発想から生み出されたのが本作品である。



図10 植物育成システム

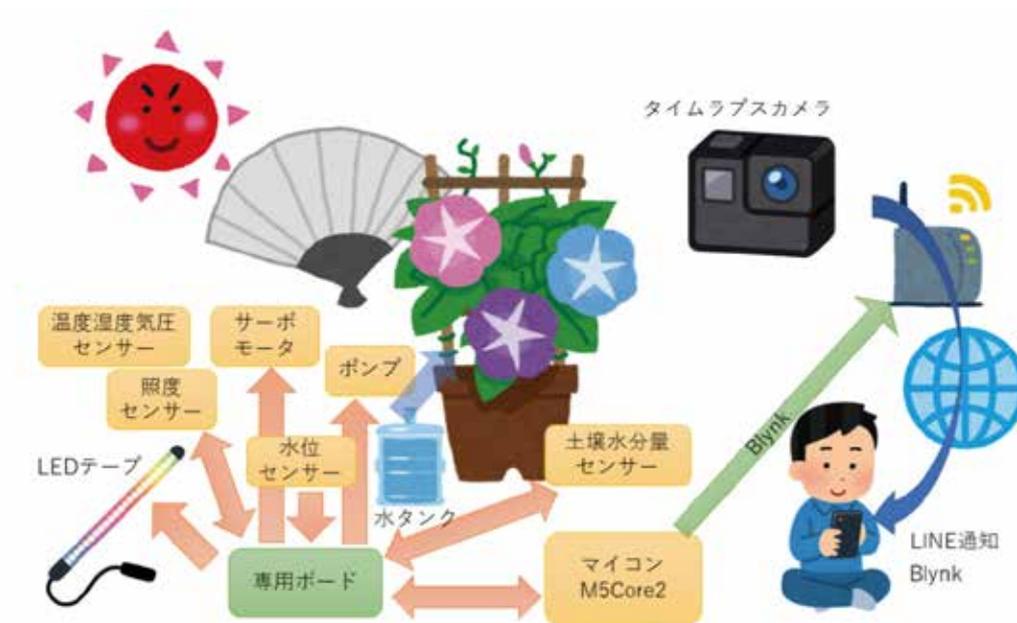


図11 植物育成システムの構成図

図 11 に植物育成システムの構成図を示す。植物を自動で育成するためのシステムを構築した。そのために、水を与えるポンプ、土壌の水分量を測るためのセンサー、水タンクの水位を測る水位センサー、土壌の水分量の状態を色で知らせるための LED テープ、現在の温度気圧湿度を測定するための ENV2 センサー、照度を測り条件によって開く扇子、3 時間おきに観察するためのカメラ、全体を制御するマイコンで構成されている。また、温度、湿度、気圧、照度、土壌水分量の情報をスマホから見れるように Blynk アプリを用いた。カメラでアサガオの生育状況を撮影して LINE 通知を使い登録されたユーザーに定期的に画像と共に温度、湿度、気圧のデータが送られる仕組みも作製した。

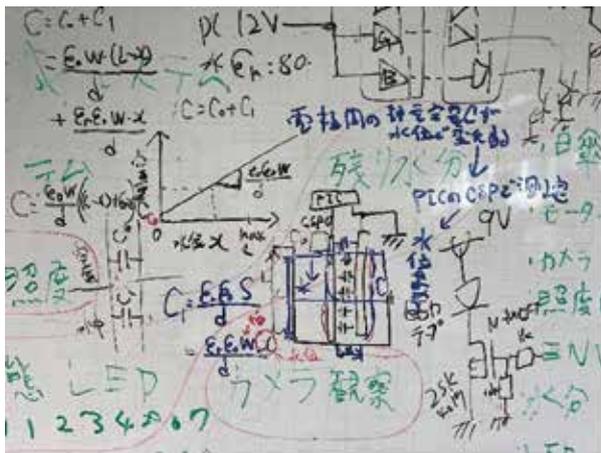


図 12 回路やセンサーなどの仕組み考え、試作をしている様子

システム構成を決めたら、具体的にどの様なセンサーを使うと良いのか、LED テープを光らせるための点灯制御回路の構成はどうしたら良いかなど、ホワイトボードを用いて考える (図 12)。その後、個別要素の試作を行う。

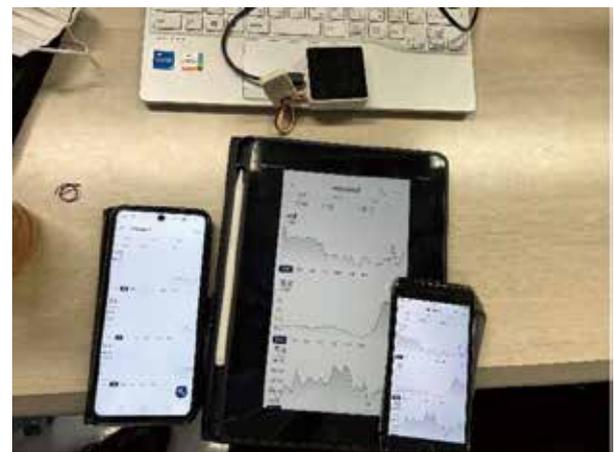


図 13 Blynk を用いた生育状況データの可視化

図 13 に示す様に、Blynk というインターネット経由で様々なデータのやり取りが簡単に実現できる機能を用いた。Blynk のスマートフォンのアプリを使うことで、グラフなどの機能を手軽に実装でき、あたかも専用アプリを作成したような仕上がりになる。

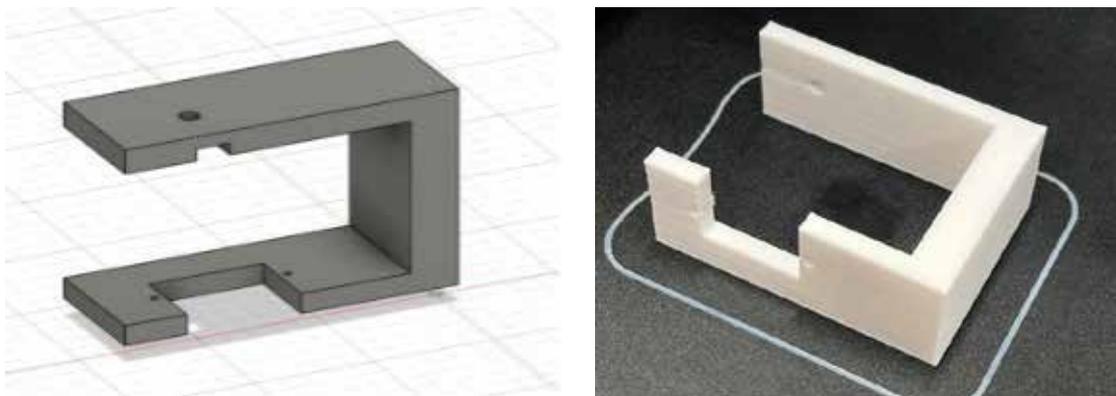


図 14 3D モデリングと造形

図 14 にセンスを開閉するために使用したサーボモータを固定するパーツを示す。このパーツは、学生がサーボモータなどのサイズを測り、大きさを決めてモデリングし、3D プリンタを用いて造形したものである。何度も試作を行い、図 15 に示す様に、扇子を上手く開閉できるようになった。なお、扇子の役目は、日差しが強くなった際に、アサガオを日光から守るという発想から作られている。



図 15 サーボモータで扇子を開いている様子

植物育成システムのシステム構成を考えると、複数のセンサーが必要である。M5Core2 には自由に使用できる GPIO の数が非常に少ない。そのため、GPIO 拡張 IC や各種センサーのケーブルをつなぎ、M5Core2 と通信を行う専用のプリント基板を開発した。図 16 に作製した

プリント基板を示している。プリント基板の設計は Eagle で行った。製造は外部のメーカーに委託している。ワンポイントとして基板の表面にシルク印刷でアサガオ柄を入れている。基板に抵抗やコネクタ、IC などはんだ付けを行った。そして、基板をむき出しにするのは良くないので、百元ショップで、半透明なケースを買い、制御装置などを入れるボックスとして使用している (図 17)。

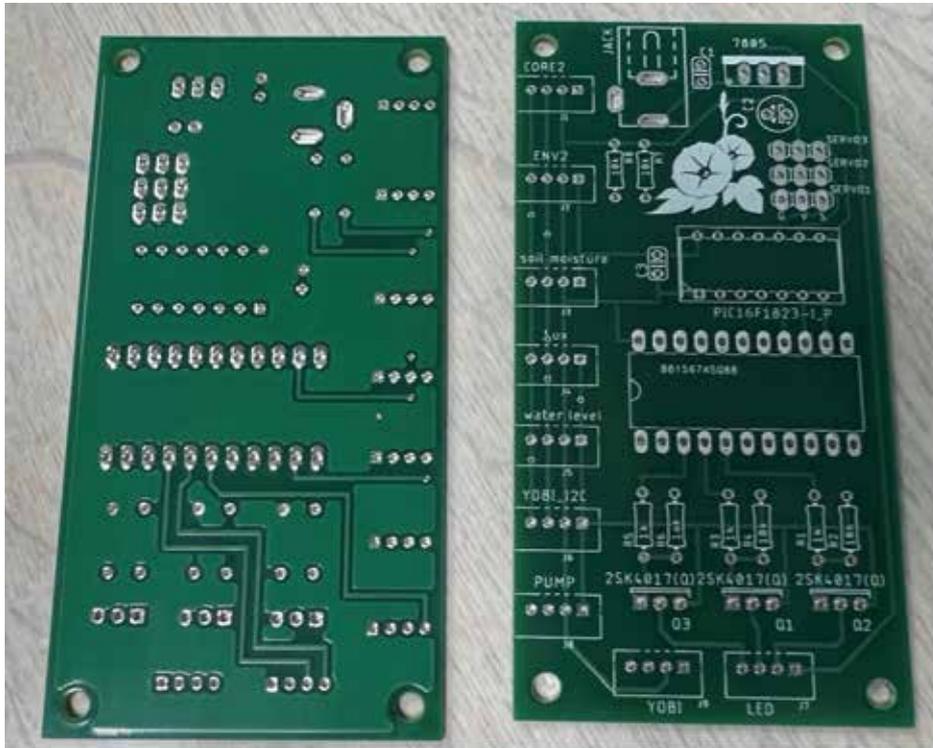


図 16 植物育成システム専用のプリント基板

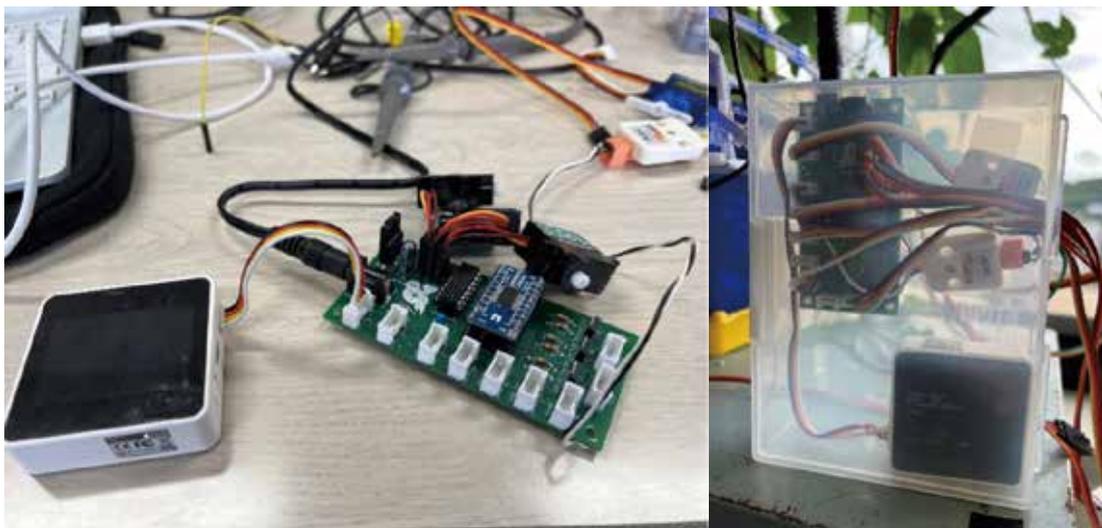


図 17 M5Core2 と自作制御ボード及び制御ボックス



図 18 アサガオとタイムラプスカメラ



図 19 アサガオの開花からしぼむ様子

図 18 に示す様に、タイムラプスカメラをアサガオに向けて 3 時間おきに撮影、登録したユーザーグループに LINE 通知機能を用いて送る。気温、湿度、気圧のデータは、カメラユニットに繋げた ENV2 センサーを用いたものである。とある日の朝 6 時ごろから夜 9 時ごろまでにタイムラプスカメラで撮影し、LINE 通知で届いた気温、湿度、気圧、アサガオの様子を図 19 に示している。時間経過は (1) から (6) の順である。アサガオの花が開いて夜になるとしぼんでいくさまが撮影されていた。

上記のことから、アサガオの観察日記としての最低限の機能を作り上げることができている。担当した学生は、夏休みに入っても学生実験室に来て作業を行っていた。最後、完成したときの喜んでいる姿は記憶に新しい。今回の経験を活かして、卒業研究などで力を発揮して頂きたい。

4 まとめ

本研究開発報告では、理工学部電気工学科の3年次生が取り組んだ情報通信工学実験Ⅰの内容を紹介した。また、PICマイコン実験のために開発している実験ボードについての紹介も行った。実験ボードを用いたPID制御によるDCモータの回転数制御に関する学生実験内容も紹介した。後半では、学生実験でのPBLプロジェクトとして行っているものづくり教育で生まれたM5Stackのマイコンモジュールと様々センサーを組み合わせた植物育成システムの作品例を示した。

本投稿を本学の在学生在が読んでいるかもしれない。少しメッセージを書いておく。昨今の電子工作ブームは、電気電子情報関係の技術者を目指す学生やものづくりに興味がある学生が気軽に電子工作やマイコンに触れる機会が創出されており、非常に良いと感じている。マイコンや電子工作に興味を湧かしたという方は、まずはインターネット上に電子工作やマイコンに関するサイト、X(旧Twitter)等のSNSで情報を集めてみると良い。それらを真似して、自分で部品を集めて、はんだ付けし、作品を作ってみる。一発では、上手く動かないこともある。いろんな知恵を振り絞ってなぜ動かないのか解決しようとするだろう。人間の脳は、その時に一番成長している。案外あっさり上手く行くとあまり頭に残らないものである。失敗を恐れず、学生の内は失敗を楽しみながら、そこから何か学んでいくと良い。上達の近道は、「百聞は一見に如かず」、「習うより慣れろ」である。教えて欲しいことがあれば8号館7階の貞方研究室に来てください。何か楽しいことをやってみましょう。

5 謝辞

情報通信工学実験Ⅰをご担当頂いている理工学部電気工学科の小倉先生及び山光先生には、実験内容等のご理解と学生への指導にご協力いただき誠にありがとうございます。同学科の松岡先生からもアドバイス等をいただき、この場を借りて感謝申し上げます。

最後に、本研究開発のチャンスを与えて頂いた九州産業大学 総合情報基盤センターのご担当者様へには、報告書の提出が遅れに遅れたこと深くお詫び申し上げます。今後ともよろしくお願いいたします。

引用・参考文献

- [1] 貞方 敦雄, 『九州産業大学 理工学部 電気工学科 情報通信工学実験Ⅰ テキスト PICマイコン実験・M5Stack実験 2023年度版』