

# 電気電子工学系学生向け組み込みシステム教育の教材試作

嶋 好 博<sup>1</sup>

## Development of Educational Materials for Embedded Systems to Electrical Engineering Students

Yoshihiro SHIMA<sup>1</sup>

This paper reports the development of educational materials for embedded systems. These educational materials are designed for electrical engineering students who are sophomore or junior. Students can understand deeply the combination of software and hardware. Students can design and implement C programming for the PIC microcontroller. Electrical circuit board can be also designed and made. The board includes the microcontroller, LED, tact switches and stepping motors.

キーワード：組み込みシステム教育，電気電子工学

Keywords : Embedded Systems Education, Electrical Engineering

### 1. はじめに

近年，組み込みシステムの需要は大きく伸びている。しかしながら，一方で組み込みシステム技術者が不足している。組み込みシステム技術者には，考える力，設計力，実現力，運用力のスキル向上が求められている<sup>(1)</sup>。マイクロコンピュータ<sup>(2)</sup>からなる組み込みシステムに関して大学教育や企業での教育が十分でないとの指摘がある<sup>(3)</sup>。

本研究の目的は，電子回路とマイクロコンピュータのプログラムを学習するための組み込みシステムの教材を提供することである。学生が将来，組み込みシステム技術者として活躍できるように，ソフトウェアとハードウェア両方の統一的理解を深めるとともに，組み込みシステムの基礎を学習できるような教材を試作する。

### 2. 組み込みシステム教材の設計方針

PIC (Peripheral Interface Controller) とは，コンピュータの周辺機器との接続部分の制御用に開発された IC である<sup>(2)</sup>。組み込みシステムにおいて入力と出力の回路について学習するには，C 言語を用いた PIC マイコン教材が必要である。本研究で述べる PIC マイコンによる組み込みシステム教材は，明星大学理工学部電気電子工学系の 2 年生，3 年生の「プロジェクト科目」<sup>(4)(5)</sup>の発展科目として取り込むことを想定している。7 セグメント LED<sup>(6)(7)</sup>やステッピングモータ<sup>(8)(9)</sup>，マトリックススイッチの制御実験を通して C 言語のプログラムおよびマイクロプロセッサ<sup>(10)</sup>の周辺電子回路を体験的に学習させる。

### 3. 7 セグメント LED 制御のための PIC マイコン教材

#### 3.1 教材のねらい

7 セグメント LED を用いて C 言語プログラムを学習させる実習科目を想定している。LED の個々の部分が独自に点灯したり消えたりすることで，アラビア数字を表現するしくみを使用し，ダイナミック点灯を実現させ，7 セグメント LED の使い方・仕組みを学ぶことを目的とした教材を作成する<sup>(11)</sup>。

#### 3.2 7 セグメント LED の仕組み

##### (1) 7 セグメント LED

個々の部分が独自に点灯したり消えたりすることで，アラビア数字を表現するしくみである。図 1 に示すように 7 セグメント LED は横 1 セグメント，縦 2 セグメントの長方形を構成しており，残る 1 セグメントがその長方形の中央を横切っている。

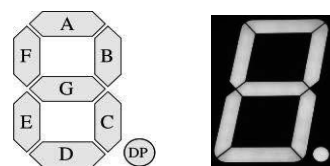


図 1 7 セグメント LED (単体)

Fig. 1 7-segment LED display (single digit)

1 明星大学理工学部総合理工学科電気電子工学系 教授 視覚映像情報



図2 7セグメントLED(3桁)

Fig. 2 7-segment LED display (3 digits)

(2) 多数桁表示の問題点

図2に示すように7セグメントLEDを3つ接続し、3桁表示にしているが、点灯を個別に制御しようとするとき、PICの端子数が不足するという問題点がある。そこでその問題点を解決するためダイナミック点灯<sup>(6)</sup>を使用する。

3-3 ダイナミック点灯の原理

(1) ハードウェアの構成<sup>(6)(7)</sup>

図3に示す回路は3つの7セグメントLEDは、並列に接続し、7つの電流制限用の抵抗を共有している。このため、7セグメントLEDの点灯制御としては、例えば、1桁目(7seg①)、2桁目(7seg②)、3桁目(7seg③)、1桁目、・・・のように、順番に繰り返し点灯させる。これは各セグメントLEDのカソードコモン端子に接続されているトランジスタのON/OFFを切り替えればよい。

また7セグメントは1セグメントあたり60mAの電流が流れるため全表示をさせたとき合計240mA(60mA×7)の電流が流れることになる。1ピン25mAしか扱えないPICにトランジスタを接続せずに流した場合PICが損傷してしまうため、トランジスタを接続している。

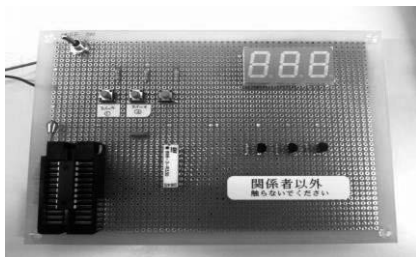


図3 作成した電子回路基板

Fig. 3 Electronic circuit board to be made

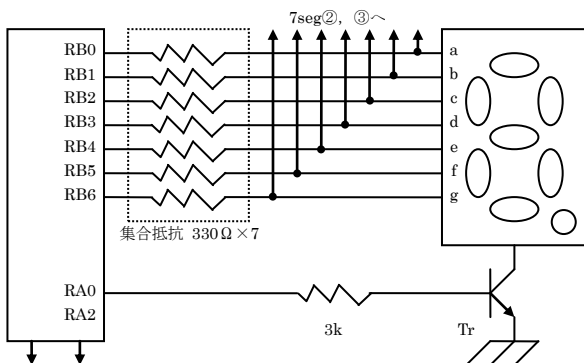


図4 回路図(一桁分)

Fig. 4 Circuit diagram (for one digit)

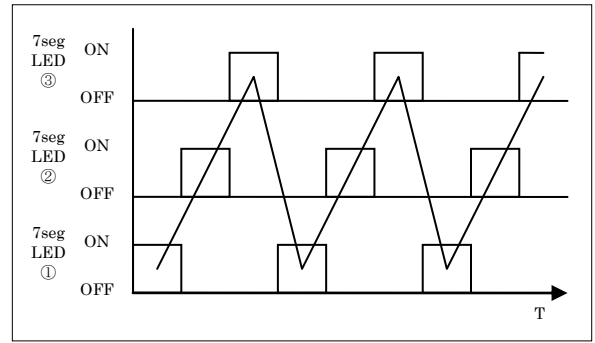


図5 ダイナミック点灯制御のタイムチャート

Fig. 5 Timing chart of LED dynamic control

(2) 点灯制御ソフト

図5にダイナミック点灯の制御のタイムチャートを示す。ダイナミック点灯のプログラムのフローチャートは図6に示す。

まず始めに、1桁目(7seg①)で点灯処理をさせて、次に2桁目(7seg②)、3桁目(7seg③)と点灯処理をさせた後、また1桁目(7seg①)へ戻るようにさせた。

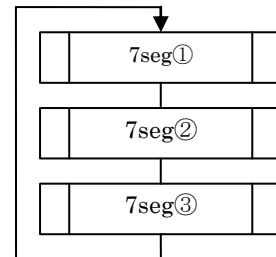


図6 ダイナミック点灯のフローチャート

Fig. 6 Flow chart of LED dynamic control

3-4 点灯実験

ここでは人間の目の残像現象を利用して3桁表示をするダイナミック点灯を用いる。ダイナミック点灯の速さを変えたとき、どの時点で3桁点灯に見えるのか、また7セグメントで何桁まで表示できるのかを検証する。

(1) 実験方法

(a) ダイナミック点灯の見え方の実験

3つある7セグメントを順次点灯させる時間を100msecから10msecまで10msecで刻み、10msecから1msecまでを1msec刻みで点灯させ、その状況を4段階で評価する。

(b) 桁数の表示限界の実験

回路に付属している3つの7セグメント以外を仮想で接続しているものと考え、何桁まで表示できるかを確認する。

(2) 実験結果

(a) ダイナミック点灯の見え方の実験の結果

表1に示すように1つの7セグメントの発光時間が4msecより早くしななければならない。今回7セグメントを3

つ使用しているので 1 サイクル 12msec 以内でなければ残像効果が得られないことが分かった。

表 1 ダイナミック点灯の見え方評価

Table 1 Visibility evaluation of LED dynamic control

|   | 時間(msec) | 状況       | 判定 |
|---|----------|----------|----|
| a | 100~50   | 順次点灯で見える | ×  |
| b | 40~20    | 点滅で見える   | ×  |
| c | 10~5     | ちらついて見える | ×  |
| d | 4~1      | 3桁表示で見える | ○  |

状況の説明：

a. 順次点灯で見える：

1桁目, 2桁目, 3桁目, 1桁目, … というように連続して表示される。

b. 点滅で見える：

連続で表示されており, 見た目は点滅して表示される。

c. ちらついて見える：

点滅が早いので数字がちらついて表示される。

d. 3桁表示で見える：

連続表示が速く 3桁が同時に光って表示される。

(b) 桁数の表示限界の実験

前途の実験データより  $n \cdot t \leq 12msec$  が求められた。ここで  $n$  は表示桁数であり,  $t$  は一つの 7 セグメントの点灯時間である。表 2 に使用した電子部品の一覧を示す。

表 2 使用パーツ一覧

Table 2 List of parts

| 部品名                                    | 個数 |
|--|----|
| 集合抵抗 8素子16ピン(独立) 330Ω                  | 1  |
| カーボン抵抗(炭素皮膜抵抗)1/4W 4.7kΩ               | 3  |
| カーボン抵抗(炭素皮膜抵抗) 1/4W 3kΩ                | 3  |
| タクトスイッチ                                | 3  |
| 両面ガラス・ユニバーサル基板 2.54mmピッチ               | 1  |
| 2.1mm標準 DC ジャック(基盤取り付けタイプ)             | 1  |
| 超小型スイッチング AC アダプタ5V<br>2A(入力100V~120V) | 1  |
| トランジスタ NPN型 C1815                      | 3  |
| セラミック発振子(セラロック)<br>コンデンサ内蔵タイプ 10MHz    | 1  |
| 高輝度ブルー7セグLED(カソードコモン)                  | 3  |
| ゼロプレッシャーICソケット(24P)<br>[8~24ピン使用可]     | 1  |
| PICマイコン 16F84A(1Kワード 10MHz)            | 1  |
| トグルスイッチ                                | 1  |

### 3.5 到達目標と今後の課題

本実験では7セグメントLEDの使い方・仕組みを理解し, 簡単な電子回路を作成することができ, 当初の目標は達成できた。今後の課題は文字や画像を表示する電子掲示板の

制御教材を作成することである。

## 4. ステッピングモータ制御のためのPICマイコン教材

### 4.1 教材のねらい

PICマイコンによるステッピングモータの制御実験は, 明星大学理工学部の「プロジェクト科目」に活用する予定である。ステッピングモータの制御実験を通してC言語のプログラムを学習させる。プリンタやデジタルカメラ等の駆動部分に用いられるステッピングモータの制御をPICで行い, 安価で生産性に優れた制御装置の製作を学習する。ステッピングモータに入力する信号と実際のモータ動作との関係を調べ, リアルタイムでの制御方法を学ぶ<sup>(12)</sup>。

この教材の特徴はステッピングモータを動作させる1相励磁, 2相励磁, 1-2相励磁の3つの制御方式をプログラムで製作することにある。また, これら方式の性能を実験的に比較, 回転速度および静止トルクについての考察を行う。

### 4.2 ステッピングモータの基礎事項

#### (1) ステッピングモータ

図 7 に示すステッピングモータは, パルスを入力することでモータが動く仕組みを持つ。入力パルス 1 個に対しモータは 1 ステップ角進み, 入力パルスの周波数で速度制御が出来る。つまり, 電気パルスの投入数だけでフィードバック機構を必要としないで, 位置決め制御装置を作る事が出来る。ただし, モータの駆動能力を超えた高速のパルスを加えると, 1パルスで1ステップという関係を維持できなくなり, その状態は脱調と呼ばれる<sup>(8)(9)</sup>。

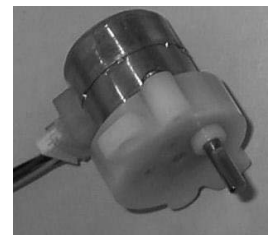


図 7 ステッピングモータ

Fig. 7 Stepping motor

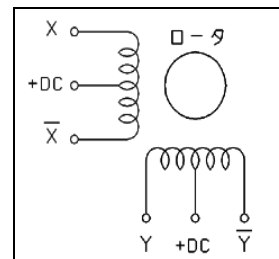


図 8 駆動コイル(ユニポーラ形式)

Fig. 8 Driving coils (unipolar type)

(2) 動作原理

図 8 は PM 型ステッピングモータ内部の駆動コイルを示す。PM 型ステッピングモータは回転部に永久磁石が使われており、その外側にコイルが 4 つ取り付けられている。それぞれのコイルに電流を流すことで磁石とコイル間の、吸引力と反発力で回転部が回転する仕組みになっている。このとき、コイルに決まったパターンの電流を流す事で、ステッピングモータの特徴が大きく変化する。

(3) 制御方式

駆動コイル、X、 $\bar{X}$ 、Y、 $\bar{Y}$  に対して決まったパターンの電流を流すことによってロータを回転させるための磁化を行う（励磁）。ステッピングモータはモータ単体と同じであっても、励磁方式によってその特性も変わっていく。

図 9 に示す 1 相励磁方式は入力パルス信号 1 個に対して常に一相ずつ励磁する方式で、消費電力が少なく静止角度に優れているが、トルクが小さく脱調を起こしやすい。特殊な用途以外ではあまり用いない。図 10 に示す 2 相励磁方式は入力パルス信号 1 個に対しモータを 2 相ずつ励磁する方式で、常に 2 つのコイルに電流が流れるため、出力トルクが高く脱調も起こりにくくなる。図 11 は 1-2 相励磁方式を示す。ステッピングモータは 2 相励磁が一般的な方式である。

図 12 は作成したステッピングモータ制御の回路図である。

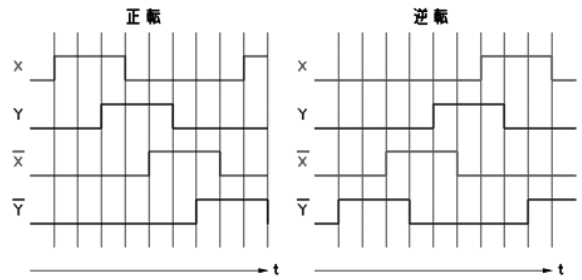


図 11 1-2 相励磁方式

Fig. 11 1-2 phase excitation control

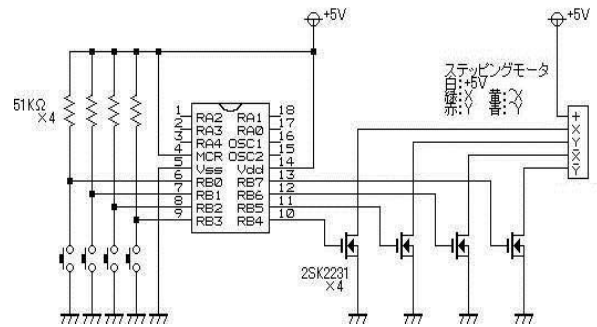


図 12 ステッピングモータの制御回路

Fig. 12 Control circuit of stepping motor

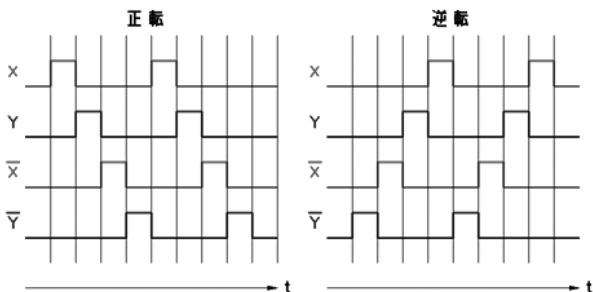


図 9 1 相励磁方式

Fig. 9 1 phase excitation control

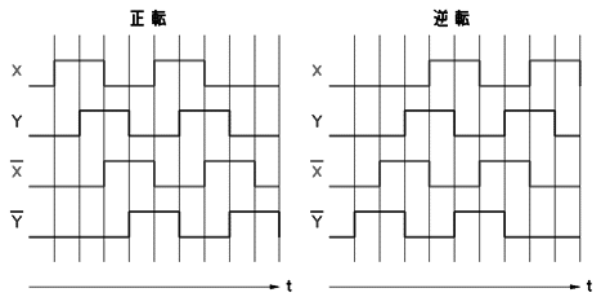


図 10 2 相励磁方式

Fig. 10 2 phase excitation control

4.3 ステッピングモータ制御の実験

(1) モータの制御プログラム

メイン関数でスイッチ ON 時の処理等を実行し、タイマ割り込みにより 0.1 ミリ秒毎に割り込み処理が実行され、割り込み回数任意の値のときに駆動パターンを 1 つ進める流れになっている。1 相励磁、2 相励磁、1-2 相励磁、方式はこの駆動パターンを変えることで実現する。図 13 はタイマ割り込みの処理内容を示す 1 相励磁のフローである。なお、割り込み処理が終了すると、割り込みが発生する前の場所に戻り、0.1 ミリ秒毎に割り込み処理が実行される。このときの割り込みカウンタの値で入力パルス周波数を変更する。このプログラムは C 言語で作成する。

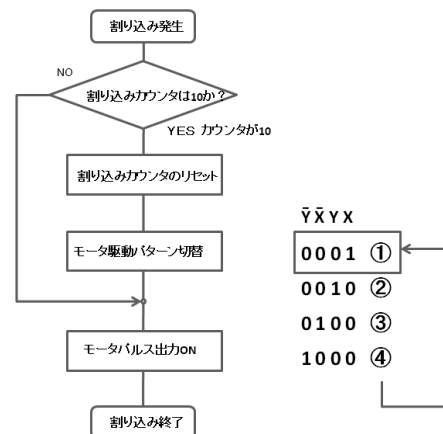


図 13 モータ制御のフローチャート

Fig. 13 Flow chart of stepping motor control

(2) 速度特性の測定

ステッピングモータは、回転速度がある一定の値に達すると正常な動作を行えなくなる。この現象は励磁方式によってある程度の改善が可能である。本実験ではそれぞれの励磁方式で、高速回転時と低速回転時における回転速度の測定を行った。なお、回転速度の測定には小野測器のデジタルハンディタコメータ(HT-4200)を使用した。表 3 に実験回路に使用した部品を示す。

表 3 使用部品  
Table 3 List of parts

| 商品名             | 仕様                     |
|-----------------|------------------------|
| セラミック発振機        | 村田製作所<br>セラロック 10MHz   |
| ダイオード           | 東芝 IS1588              |
| MOS 型 FET       | 東芝 2SK2231             |
| PIC16F84A 20MHz | MICROSHIP 社            |
| ステッピングモータ       | 日本電産コパル電子<br>SPG20-332 |

4・4 実験の結果

(1) 高速回転時の速度特性

図 14 はモータに入力するパルス周波数と、出力された回転速度の関係を示したものである。また回転速度の計算値は次の式から求めたものである。

$$N = \frac{1}{6} \cdot f \cdot \theta [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

なおNは回転速度[ $\text{min}^{-1}$ ]、f はパルス周波数[pps]、 $\theta$  はステップ角度である。なお、ステップ角度  $\theta = 0.75^\circ$  である。

回転速度を上げていくと、ある部分に差し掛かった時にモータが振動を始め、速度が急激に減少した。このとき指でモータの軸をつまむと、簡単に止まる。さらに速度を上げると、モータから大きな音を発し停止する。また 1 相励磁と 2 相励磁でモータが脱調を起こす回転速度に違いがみられ、2 相励磁の方が脱調を起こしにくいことが確認できる。

(2) 低速回転時の速度特性

低速回転時は指でモータの軸をつまんでも止まらない程度のトルクが発生していた。低速回転時は正常な動作が行えることが確認できた。

4・5 到達目標と今後の課題

ステッピングモータを駆動させるプログラムを設計、作成し、ステッピングモータの速度を制御する単純な電子回路からなる P I C マイコン組み込みシステムを製作するという目標が達成できた。この実験の特徴は、ステッピングモータに入力する信号と実際のモータ動作との関係を調べ、リアルタイムでの制御方法を理解できることである。実験を通して C 言語のプログラミングを学習し、ソフトウェアと電子回路の両方の統一的理解を深めることができる。

今後の課題としては、電圧を 5V から 12V へ昇圧させての測定、モータのトルク測定を考えている。また、実験の結果について、1-2 相励磁が 2 相励磁と同じ回転速度で脱調していたが、トルクの変化によるものか、電圧によるものか、モータの仕様なのか、を判断するために別の測定が必要である。

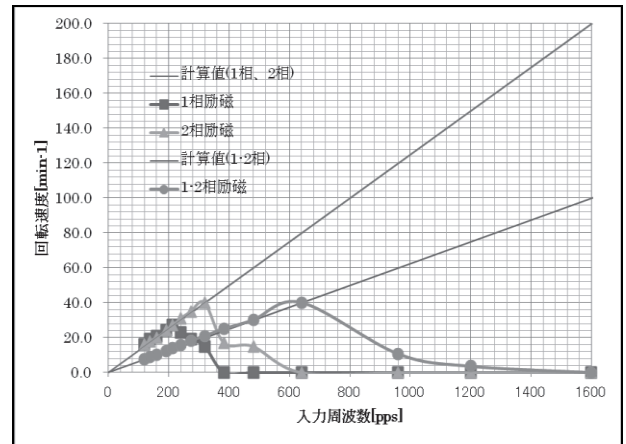


図 14 ステッピングモータ各励磁方式の速度特性  
Fig. 14 Speed-pulse frequency characteristic of each excitation control in stepping motor

5. PWMによるLED明るさ制御のためのP I Cマイコン教材

5・1 教材のねらい

PWM (パルス幅変調) はモータの速度制御やスイッチング電源の定電圧制御などに使われる技術である<sup>(7)(8)</sup>。PWMの仕組みとP I Cマイコンでの制御方法を学ぶ。出力側の波形を測定しながらPWMの利用方法を学ぶ<sup>(13)(14)</sup>。

実験を通してC言語のプログラミングを学習し、ソフトウェア (プログラム) とハードウェア (電子回路) 両方の統一的理解を深めることを目的とする。PWMによるLED明るさ制御のためにP I CマイコンのC言語プログラムを開発する。

5・2 PWMによるLED明るさ制御

PWMとはパルスの周期Tとオンタイム $\tau$ の比 (デューティ比  $D = \tau/T$ ) を変化させることで、平均電流を変化させる方式である。このデューティ比を変えることで出力する電流を自由に変えられるため、LEDの明るさを制御することができる。なお、LEDが点滅している時、パルスの周期が遅い場合、点滅の周期が長くなりLEDの光にちらつきが見えてしまう。そのためパルスの周期は十分に短い、つまり高い周波数が必要である。

5・3 PWM制御のための教材の試作

図 15 はブレッドボードに組んだ実験回路である。図 16 はP I Cの入力側と出力側の回路図である。可変抵抗器の電圧値をAD変換し入力とする。この電圧値によりデュー

ティ比を変化させる。設定したデューティ比を持つパルス  
をLEDに出力する。図17はC言語で記述したPWM制御  
プログラムの流れ図である。PWMの実現は比較器に基づ  
くPWMモード設定と、デューティ比設定を行うだけで容  
易にできる。プログラムのステップ数は約80行である。  
なおPICの外部クロックは10MHzである。入力側の  
可変抵抗器の電圧を変化させたときの出力側のLED明る  
さとパルス出力波形との関係を調べる。

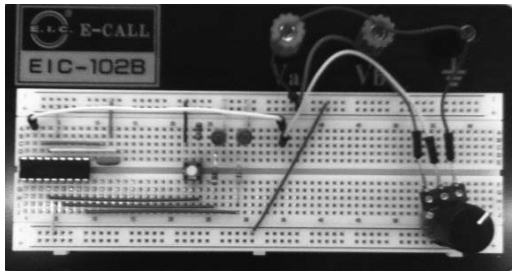


図15 試作したPICマイコンの実験回路  
Fig. 15 Experimental bread board with PIC  
microcontroller

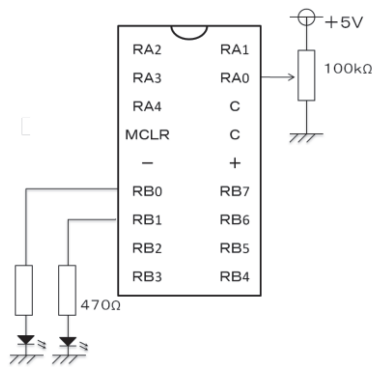


図16 回路図  
Fig. 16 Circuit diagram with PIC and LEDs

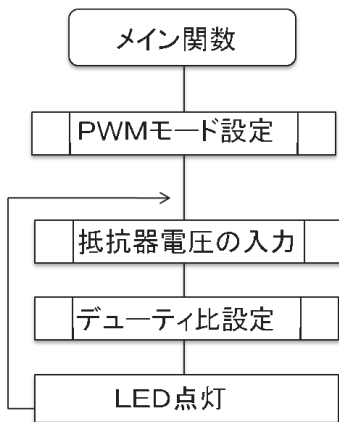


図17 PWMによる点灯制御  
Fig. 17 Flow chart of LED on-off control by PWM

5.4 LED明るさ制御実験の結果

図18に示すようにパルス出力波形を実測した。下段のよ  
うにデューティ比が大きいとLEDは明るい。上段のよ  
うにデューティ比が小さいとLEDは暗い。デューティ比を  
連続的に変化させることでLEDの明るさが変化すること  
が確認できる。

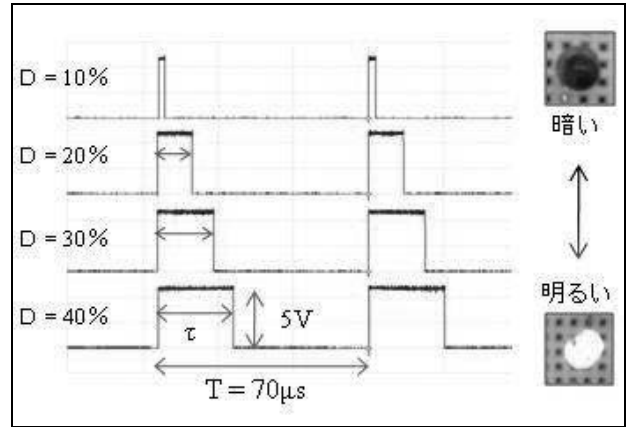


図18 パルス出力波形とLED明るさの実測  
Fig. 18 Measured pulse wave shape and the intensity  
of LED lighting

5.5 到達目標と今後の課題

到達目標はPICマイコンに内蔵されたPWMによりLED  
の明るさを制御するプログラムを製作することである。  
LEDと可変抵抗器からなる単純な電子回路教材を  
作成できる。PICのPWM機能の利用はPWMモードの設  
定をする等の簡単なプログラムで実現できる。今後の課題  
はPWMをモータ制御に適用した教材の開発である。

6. アナログ入力のためのPICマイコン教材

6.1 教材のねらい

PICに内蔵されているA/D変換 (Analog to Digital  
Converter) はアナログ値をデジタルの値に変換する技術で  
ある<sup>(7)</sup>。A/D変換の仕組みとPICマイコンでの制御方法  
を学ぶ。出力側の波形を測定しながらA/D変換の利用方法  
を学ぶ<sup>(15)</sup>。実験を通してC言語のプログラミングを学習し、  
ソフトウェアとハードウェア両方の統一的な理解を深める。

6.2 PICによるA/D変換

(1) A/D変換

PICにはA/D変換という機能が内蔵されているデバイ  
スがある。これは特定のアナログ入力端子に信号を接続し、  
そのアナログ信号の電圧を変換し、電圧値に比例したデジ  
タルデータとして読み取る機能である。デジタルデータの  
分解能は8ビットまたは10ビットになる。つまり0~2  
56または0~1024段階で電圧を表現できる。ここでは  
8ビットの分解能とする。実際に測定できる電圧値は、  
外部入力か電源電圧を参照電圧とすることができる。こ

では参照電圧は電源電圧 5.0V とする。

(2) A/D変換の動作

図 19 はA/D変換の動作を示す。どれか 1 つのチャンネルが選択されると、そのアナログ信号はいったん内部サンプルホールド用キャパシタに蓄えられる。このコンデンサの充電のために時間が必要となる。その後、参照元となる一定の電圧を加算して比較しながら計測する。ここでも計測に時間が必要となる。A/D変換を正確におこなうには、このような変換時間を考慮しなくてはならない。コンデンサの充電には約 12μsec かかり、この蓄積時間を待たずに A/D変換をスタートしてしまうと、充電の途中の電圧で変換してしまい、実際の値より小さい値になってしまう。

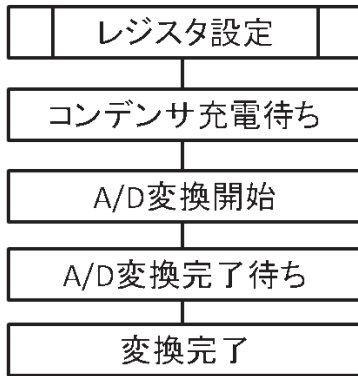


図 19 A/D変換の原理  
Fig. 19 A/D conversion principle

(3) A/D変換制御用レジスタの役割

PICには特別なレジスタ領域が存在し、PICの入出力や各種モード設定などに使うレジスタ領域となっている。PICごとにレジスタの内容は異なる。ここではPIC16F716を例にする。

A/D変換を制御するレジスタとして、ADCON0、ADCON1、ADRESの3種類がある。なおこれらのレジスタは8ビットで構成されている。

(a) ADCON0レジスタ

ADCON0レジスタの構成を図 20 に示す。ADCSx はA/D変換クロックの指定に使用。CHSx は使用可能なチャンネルの指定。GO/DONE は「1」にしたとき変換を開始し、変換完了時に自動で「0」にリセットされる。ADON は「1」にすることでA/D変換の使用が開始される。

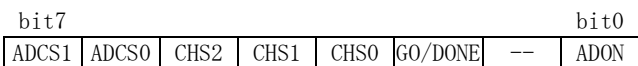


図 20 ADCON0レジスタ  
Fig.20 Configuration diagram of ADCON0 register

(b) ADCON1レジスタ

ADCON1レジスタは図 21 のようになっており、A/D変換として使うピンの指定を行う。またここではA/D変

換時の参照電圧の指定も行う。

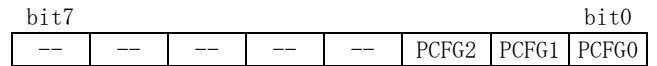


図 21 ADCON1レジスタ  
Fig. 21 Configuration diagram of ADCON1 register

(c) ADRESレジスタ

ADRESレジスタは図 22 のようになっており、A/D変換結果はこのレジスタに格納される。

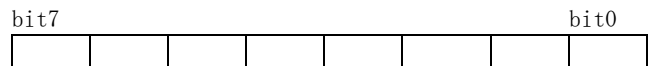


図 22 ADRESレジスタ  
Fig. 22 Configuration diagram of ADRES register

6・3 A/D変換のプログラム

図 23 に示すA/D変換のプログラムを作成した。まずそれぞれの制御用レジスタを使いA/D変換に必要な設定をする。次に内部サンプルホールド用キャパシタへの蓄積時間を待つ。その後ADCON0レジスタのGO/DONEビットを「1」にしてA/D変換を開始する。A/D変換が完了しGO/DONEビットが「0」になるまで待つ。変換完了後、ADRESレジスタからデータを読み込みその値をLEDの明るさに設定する。

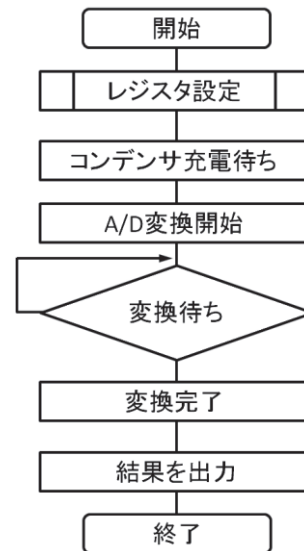


図 23 A/D変換プログラムの流れ  
Fig. 23 Flow chart of A/D conversion program

6・4 PWMによるLED明るさ制御

PWMとはパルスの周期Tとオンタイムτの比(デューティ比  $D = \tau/T$ )を変化させることで、平均電流を変化させる方式である。このデューティ比を変えることで出力

する電流を自由に変えられるためLEDの明るさを制御することができる。なお、LEDが点滅しているためパルスの周期が遅い場合、点滅の周期が長くなりLEDの光にちらつきが見えてしまう。そのためパルスの周期は十分に短い、つまり高い周波数が必要である。

6-5 アナログ入力のための教材の試作

図 24 はブレッドボードに組んだ実験回路であり、図 15 と外観は同じである。図 25 は実験回路のPICの入力側と出力側の回路図である。表 1 に実験回路に使用した部品を示す。可変抵抗器の電圧値をA/D変換し入力とする。この電圧値によりデューティ比を変化させる。設定したデューティ比を持つパルスを出しLEDに出力する。図 26 はC言語で記述したプログラムの流れ図であり、A/D変換機能はADCON0やADCON1といった制御用のレジスタの設定を行うだけで容易に実現できる。プログラムのステップ数は約80行である。なおPICの外部クロックは10MHzである。実験では入力側の可変抵抗器の電圧を変化させたときの出力側のLED明るさとパルス出力波形との関係調べる。表 4 に部品の仕様を示す。

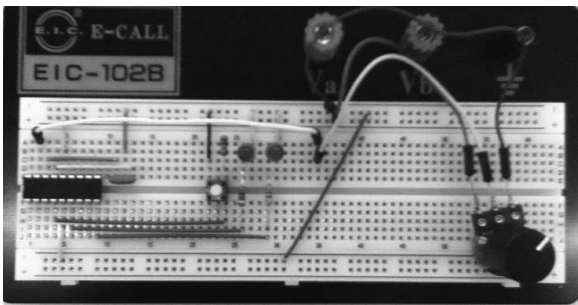


図 24 試作したPICマイコンの実験回路  
Fig. 24 Experimental bread board with PIC microcontroller

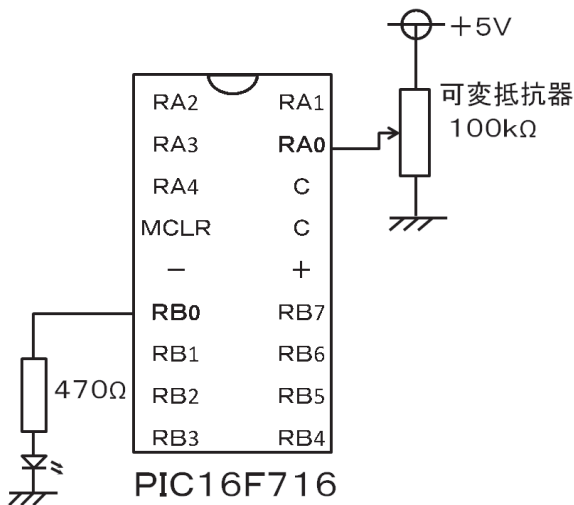


図 25 回路図 (一部分)  
Fig. 25 Circuit diagram with PIC and LED

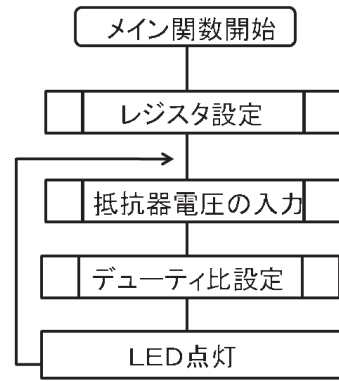


図 26 点灯制御の流れ  
Fig. 26 Flow chart of LED on-off control

表 4 使用した部品の仕様  
Table 4 List of parts

| 部品名                     | メーカー        | 個数 |
|-------------------------|-------------|----|
| セラミック発振器<br>セラロック/10MHz | 村田製作所       | 1  |
| タクトスイッチ                 | ALPS 社      | 1  |
| 発光ダイオード赤                | 三洋半導体       | 2  |
| PICマイコン<br>PIC16F716    | MICROSHIP 社 | 1  |
| 可変抵抗器                   | Supertech 社 | 1  |

6-6 実験の結果

図 27 に示すようにパルス出力波形を実測した。(a)のようにデューティ比が大きいとLEDは明るい。(b)のようにデューティ比が小さいとLEDは暗い。デューティ比を連続的に変化させることでLEDの明るさが変化することが確認できた。

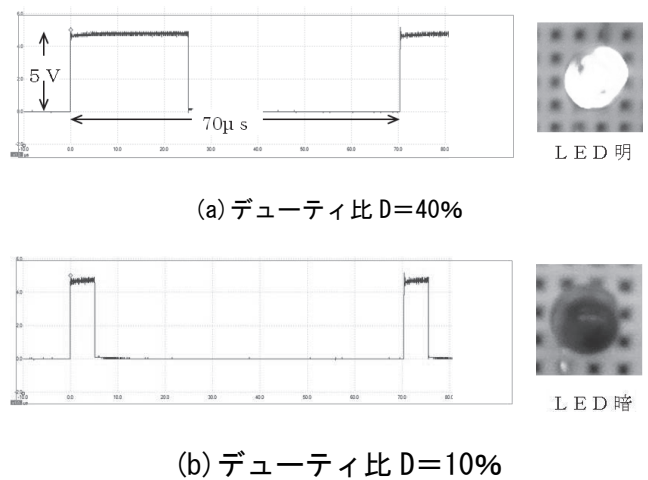


図 27 パルス出力波形とLED明るさの実測  
Fig. 27 Measured pulse wave shape and the intensity of LED lighting



6・7 到達目標と今後の課題

PICマイコンでアナログ入力によりLEDの明るさを制御するプログラムを製作するという目標が達成できる。PICマイコンと電子部品で構成される単純な電子回路教材を試作することができる。PICのA/D変換機能の利用は制御用レジスタの設定をする等の簡単なプログラムで実現できる。

今後の課題として外部入力を参照電圧とした高精度化の教材の開発を考えている。

7. マトリクススイッチのキースキャンのためのPICマイコン教材

7・1 教材のねらい

多数のスイッチを読み込むキースキャンの仕組みとPICマイコンでの制御方法を学ぶ。信号の波形を測定しながら割り込み機能の利用方法を学ぶ。実験を通してC言語のプログラミングを学習し、ソフトウェアとハードウェア両方の統一的理解を深めることができる<sup>(16)</sup>。

7・2 キースキャンの原理

多数のスイッチを接続する場合、入出力ポートを有効に活用するためにマトリクススイッチという接続方法を用いる。一般的にN×M個のスイッチを入力ポートに接続するとN×M個の入力ポートが必要になるが、入出力ポートの数などの制限によりポートを節約する必要がある。そのためマトリクススイッチとキースキャンを用いる事でN本の入力ポートとM本の出力ポートで済ませる手法が用いられる。図28にマトリクススイッチの回路例を示す。入力側は抵抗によりプルアップされており、出力側のうち読み出したい行の信号をLowとすることで、その行のスイッチの状態が入力側に反映される。スイッチが押されていない場合入力側がプルアップされているためHighになる。スイッチが押されている状態ではLowを出力している出力側の行が入力側に接続されるため、入力側もLowになる。図29に出力側のそれぞれのポートの出力信号の波形を示す。図のように出力側のうちLowを出力するライン(行)を順次切り替え、これとタイミングを合わせて入力側の状態を読み出すことで各スイッチの状態を取得する。

7・3 キースキャンのためのマイコン教材の試作

(1) マトリクススイッチのキースキャン回路

図30はPICマイコンの回路図を示す。スイッチを同時押しした際の誤認識を防ぎ、またポート保護のためにダイオードを接続している。押されたスイッチの判別結果の表示にLEDを利用する。4桁のLEDにより押したスイッチの番号を2進表示する。

(2) PICによる制御プログラム

図31はキースキャン制御の流れ図である。メイン関数では入力側のポートの状態を常に判別しスイッチが押された状態のときに押されたスイッチの番号を出力する。PICには実行中のプログラムに割り込んで別の処理を行う割り込み機能がある。この割り込み処理ではメイン関数での処理に

よらず常に一定のタイミングで出力ラインを切替える。C言語プログラムのステップ数は約190行である。

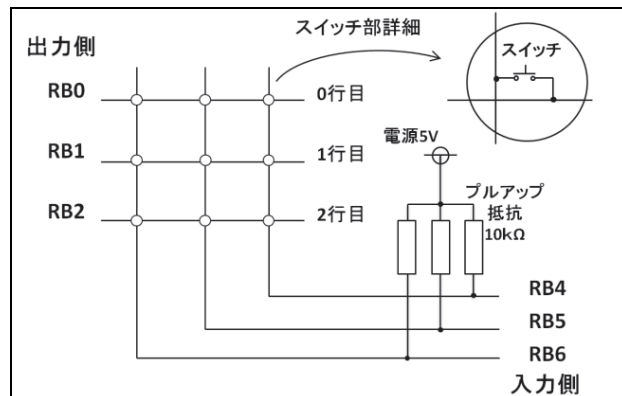


図 28 マトリクススイッチ回路の基本構成

Fig. 28 Basic configuration of matrix switch module

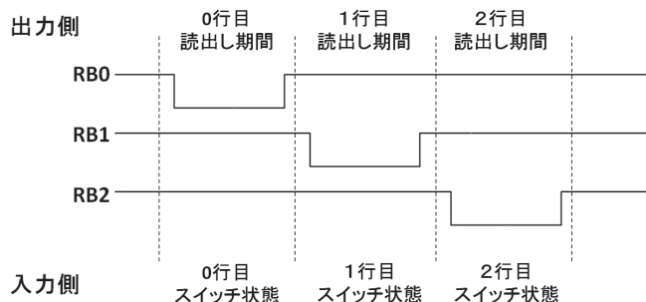


図 29 キースキャンによる各行の読み出し原理

Fig. 29 Readout principle of each line by matrix key scanning

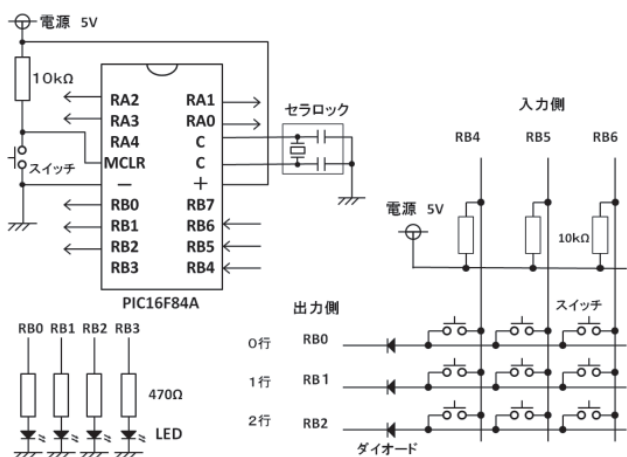
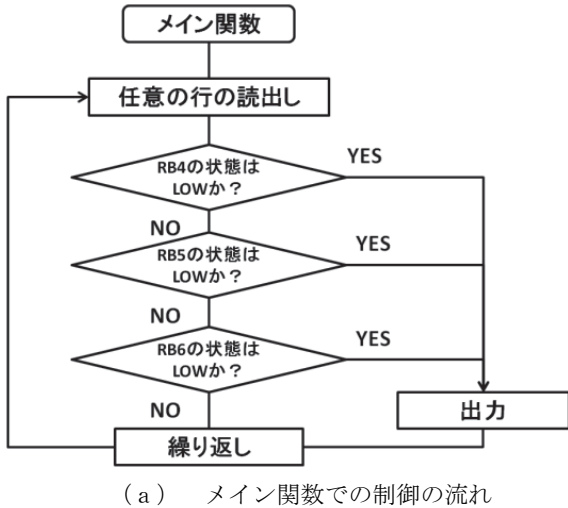
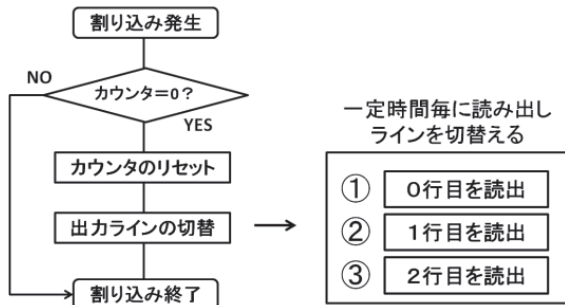


図 30 キースキャン教材の回路図

Fig. 30 Circuit diagram of matrix key scanning



(a) メイン関数での制御の流れ



(b) 割り込み発生時の制御の流れ

図 31 キースキャン制御プログラムの流れ図

Fig. 31 Flow chart of control program of key scanning

7・4 キースキャンの実験

図 32 はブレッドボードに組んだ実験回路である。PIC16F84A を使用する。スイッチの個数は3×3の9個である。表 5 に部品の仕様を示す。図 33 はそれぞれ出力側、入力側 (スイッチ off 時), 入力側 (スイッチ on 時) の波形を示す。読み出しラインの切替え周期は 10ms で、3×3 個のスイッチ全てを読み出すのに 30ms かかる。

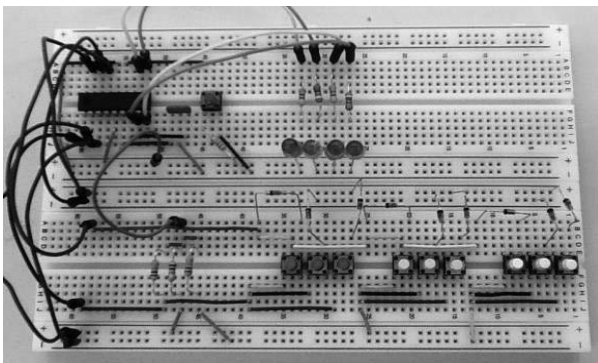


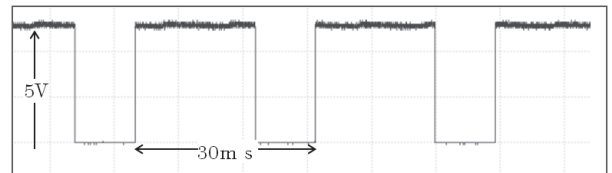
図 32 キースキャン制御の試作回路の外観

Fig. 32 Bread board of key scanning control

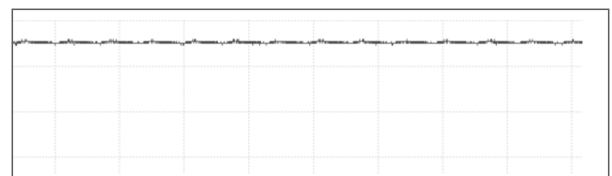
表 5 使用した部品の仕様

Table 5 List of parts

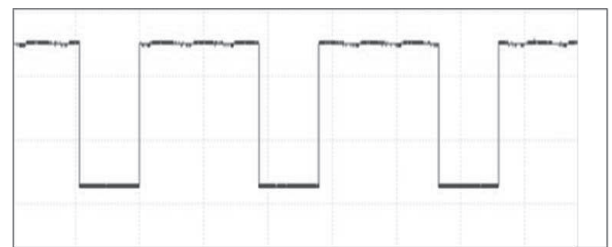
| 部品名                          | メーカー                       | 個数 |
|------------------------------|----------------------------|----|
| セラミック発振器<br>セラロック/10MHz      | 村田製作所                      | 1  |
| タクトスイッチ                      | ALPS 社                     | 10 |
| 発光ダイオード赤                     | 三洋半導体                      | 4  |
| PIC マイコン<br>PIC16F84A        | MICROSHIP 社                | 1  |
| ダイオード 1S1588                 | 東芝セミコンダクター社                | 9  |
| カーボン抵抗 (炭素皮膜抵抗)<br>1/4W 10kΩ | 利久電器                       | 4  |
| カーボン抵抗 (炭素皮膜抵抗)<br>1/4W 470Ω | 利久電器                       | 4  |
| ブレッドボード                      | E-CALL ENTERPRISE CO. LTD. | 2  |
| ブレッドボード・ジャンパーコード             | CIXI WANJIE ELECTRONICS    | 1  |
| ブレッドボード・ジャンパーワイヤ             | E-CALL ENTERPRISE CO. LTD. | 1  |
| 2.1mm標準 DC ジャック              | マル信無線電機製                   | 1  |



(a) 0 行の読み出し出力波形 (RB0)



(b) スイッチ off 時の入力波形 (RB4)



(c) スイッチ on 時の入力波形 (RB4)

図 33 キースキャンの読み出し波形

Fig. 33 Readout wave shape of matrix key scanning

## 7・5 到達目標と今後の課題

マトリクススイッチにおいてキースキャンを制御するためのプログラムを作成する目標を達成できた。複数のタクトスイッチで構成されるキーマトリクスを製作する。また、単純な電子回路からなる PIC マイコン組み込みシステムを製作できる。マトリクススイッチを用いて、使用するマイコンのポート数を節約する方法を理解する。実験を通してC言語のプログラミングを学習し、ソフトウェアと電子回路の両方の統合的な理解を深める。

今後の課題は、スイッチを増加させた場合のスイッチの応答時間についての検討である。

## 8. おわりに

電気電子工学系の学生のための組み込みシステム教材を試作した。学部2年生、3年生の「プロジェクト科目」の発展科目として実施することを想定している。

(1) 7セグメントLEDの使い方・仕組みを理解し、簡単な電子回路を作成することができる。

(2) ステッピングモータを動作させる1相励磁、2相励磁等の制御方式をプログラムで製作し、両方式の性能を実験的に比較し、回転速度および静止トルクについての考察を行うことができる。

(3) PWMの仕組みとPICマイコンでの制御方法を学ぶための支援教材を提供した。出力波形を測定しながらPWMの原理について学ぶことができる。

(4) A/D変換の仕組みとPICマイコンでの制御方法を学ぶための支援教材を提供した。A/D変換器が内蔵されているPICを使用し、制御用レジスタの設定をする等の簡単なプログラムでA/D変換を実現することができる。

(5) 多数のスイッチを読み込むキースキャンの仕組みとPICマイコンでの制御方法を学ぶための教材を提供した。信号の波形を測定しながら割り込み機能の利用方法を学ぶことができる。

これら試作した組み込みシステムの教材は、組み込みシステム開発を体験する上で有効な教材になると確信する。これら試作した教材を基に、学生に考える力、設計する力、実現する力を向上させたい。

今後の課題は、これらの試作した組み込みシステムを教育プログラムとしてプロジェクト科目に取り込みことである。また、履修学生の授業評価による教材の改良も重要である。

## 謝辞

嶋研究室において組み込みシステムの教材の製作を担当した明星大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期(修士)課程修了の三橋理恵修士、岡崎高志修士の両氏に感謝する。

## 参考文献

- (1) Edward Crawley, Johan Malmqvist, Soren Ostlund, and Doris Brodeur: "Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach", Springer, pp.49-56 (2007)
- (2) MICROCHIP: PIC Microcontrollers, <http://www.microchip.co.jp/>
- (3) 野口靖浩, 松澤芳昭, 森孝夫, 島聡司, 塩見彰睦: 「合宿とPBLによる組み込みシステムアーキテクト養成プログラムの設計と評価」, 日本教育工学論文誌 36(1), 21-33 (2012)
- (4) 嶋 好博, 伊庭健二, 大矢博史, 野澤昭雄, 星野 勉, 水野文夫: 「電気電子工学系学生のための組み込みシステム基礎教育の取組 - 設計力と会話を重視した明星大学電気電子工学系の課題解決型の体験教育 -」, 日本工学教育協会平成 24 年度工学教育研究講演会講演論文集, (09) ものづくり教育 ,P-13, pp.770-771 (2012)
- (5) 嶋 好博, 伊庭 健二, 大矢 博史, 野澤 昭雄, 星野 勉, 宮村 典秀: 「PAD と Scratch を利用した構造化プログラミング基礎教育の取組 - 設計力と会話を重視した明星大学電気電子工学系の体験教育 -」, 日本工学教育協会平成 25 年度工学教育研究講演会講演論文集, (09) ものづくり教育 ,P-14, pp.724-725 (2013)
- (6) 鈴木美朗志: 「C&PIC 制御実験」, 東京電機大学出版局, pp.122-136 (2004)
- (7) 鈴木美朗志: 「C&PIC 実用回路」, 東京電機大学出版局, pp.66-85 (2004)
- (8) 谷腰欣司: 「ステッピングモータの実用技術」, 電波新聞社, pp.3-57 (2006)
- (9) 浅川毅 監修: 「たのしくできる PIC ロボット工作」, 東京電機大学出版局, pp.102-109 (2003)
- (10) 後閑哲也: 「電子工作のための P I C 1 6 F 活用ガイドブック」, 技術評論社 pp.273-289 (2004)
- (11) 三橋理恵, 西村優一, 周東 晃, 長元久幸, 菊地沙也香, 岡崎高志, 嶋 好博: 「7セグメントLEDを用いたPICマイコンC言語プログラミング演習の支援教材」, CIEC(コンピュータ利用教育協議会) 研究大会 2009 PCカンファレンス,ポスターセッション No.28(愛媛大学城北キャンパス), pp.87-88 (2009)
- (12) 岡崎高志, 土屋祐太, 周東 晃, 杉山豪一, 嶋 好博: 「ステッピングモータ制御のためのPICマイコンC言語プログラミングの支援教材」, CIEC(コンピュータ利用教育学会)研究大会 2010 PCカンファレンス,ポスターセッション No.1(東北大学川内北キャンパス), pp.7-8 (2010)
- (13) 岡崎高志, 鯉沼祐吉, 嶋 好博: 「PWMによるLED明るさ制御のためのPICマイコンC言語教材」, 明星大学 2010 年度 研究成果報告会(明星大学連携研究センター主催),P-03,p.27 (2010)
- (14) 岡崎高志, 鯉沼祐吉, 嶋 好博: 「PWMによるLED明るさ制御のためのPICマイコン教材の試作」, 平成 23 年電気学会全国大会,1-008, 第1分冊,p.10 (2011)
- (15) 岡崎高志, 杉山豪一, 嶋好博: 「アナログ入力のためのPICマイコン教材の試作」, CIEC(コンピュータ利用教育学会)研究大会 2011 PCカンファレンス,ポスターセッションNo.9(熊本大学黒髪南キャンパス), pp.54-55 (2011)
- (16) 岡崎高志, 杉山豪一, 山本一貴, 嶋好博: 「マトリクススイッチのためのPICマイコン教材の試作」, 第3回大学コンソーシアム八王子学生発表会, pp.128-129,(2011)