

教育用 MCU ボードの設計について

小 寺 敏 郎

Design of MCU board for educational purposes

Toshiro KODERA

Micro-controller based circuit board for educational purposes (subject of Project III and IV) is designed and provided for actual teaching material. 2-digits 7-segment LEDs, full-color LED and single color LEDs are arranged as data display devices. As an audio output device, one piezoelectric element through impedance converter by transistor is connected to one of register in MCU. As data input device, 4-tactile switche are connected to MCU register.

キーワード：組み込みプログラミング、教育用マイコンボード、PIC プロセッサ

Keywords : embedded system programming, microcontroller board for education purpose, PIC processor

1. まえがき

電気電子工学系では 2 年前期・後期で開講しているプロジェクト III, IV においてマイクロコントローラ(MCU)を用いたボードの製作実習ならびにプログラム実習をおこなってきた。従来は市販製品を購入していたが、ボード上のインタフェースの拡張性ならびに MCU の拡張性に難があった。今回大幅な機能拡充を図った明星大学オリジナルの MCU ボードを設計したのでその設計方針と仕様について説明を行う。

2. 設計仕様

2.1 マイクロコントローラの選定

組み込み用プロセッサである MCU の選択肢として、ARM アーキテクチャの 32bit プロセッサ、Arduino に広く用いられている 8bit Atmel AVR プロセッサ、パソコンのマウス

キーボード、ゲーム機器の周辺機器などに広く組み込まれている 8bit Microchip PIC プロセッサがある。ARM は圧倒的な市場シェアを確保しているが、32bit レジスタを念頭に入れたプログラミングは初学者には難があり、AVR については Arduino 環境を用いる場合敷居をかなり下げることができるがレジスタを直接操作するようなレイヤーの低い取り扱いには不向きである。電気電子工学系ですでに PIC 用プログラマである PICKit3 を 60 台以上配置しており、従来の教材との整合性からも PIC を設計対象とした。

PIC アーキテクチャのプロセッサについても機能と規模により百種類以上の選択肢がある。従来購入してきたボード上の MCU(16F627A)のフラッシュメモリ (通常のパソコ

ンのストレージに相当) が 1kB(1024 文字)に限られ[1]、複雑なプログラムを動作させることができないため、機能を大幅に増強させた 16F886 を採用した。表 1 に機能比較を示す。

表 1 従来ボードの MCU(16F627A)と 16F886 の比較[1][2]

	Flash	RAM	EEPROM	Timer	A/D
16F627A	1kB	224bytes	128bytes	3ch	N/A
16F886	8kB	368bytes	256bytes	3ch	11ch

表 1 に示す通り、フラッシュは 8 倍、RAM は 1.5 倍となるため、従来使用のボードよりも柔軟性の高いプログラミングが可能となる。メモリ関連のみならず、A/D 変換器を 11ch 装備しており、発展的機能としては音声信号や環境光によるプログラム動作も行うことができる。ピン数も従来品よりも多く (16F627 は 16 ピン、16F886 は 28 ピン)、レジスタポート数は一つ多くなっている[2]。

2.2 教育用ボードの回路設計

16F886 を用いて今回設計したボードは以下の機能を有する。

- (1) 8 個の LED (PORTC にバス接続)
- (2) 2 桁の 7 セグ LED (PORTC にバス接続)
- (3) RGB フルカラー LED(PORTC にバス接続)
- (4) 4 個の入力スイッチ(PORTB に直結)
- (5) 音声出力用圧電素子(RB4 に直結)

従来使用の MCU に対して 16F886 はレジスタポート数が

2から3に増強されており、PORTA、PORTBに加え、PORTCが使用可能になる。レジスタにLEDやスイッチなどペリフェラルを単純直結すると、それぞれの素子がレジスタを占有することになるため、今回のボードでデータ出力素子である8個のLED、7セグLED2桁、RGBフルカラーLEDをPORTCの8bitのレジスタに数珠繋ぎでバス接続し、それぞれの素子の活性化（アクティベート）を別の信号(PORTA)で行うことで機能の複合化を図った。なお、全ての信号はPICの設計思想により負論理(アクティブ・ロー)となっている。各機能と活性化信号の一覧を表2に示す。

表2 各機能と活性化信号

	LED	7segLED(2)	7segLED(1)	RGB LED
活性化信号	RA0	RA1	RA2	RA3

各部分の具体的実装法と使用例については後ほど機能説明で順に示す。

3. 各機能の設計と使用方法について

3.1 Config bit の記述について

PICはAtmel社(現Microchip社)のAVRに見られるヒューズビットのような不揮発性メモリに基本設定を保持する機能を持たず、プログラムバイナリ内に初期動作設定を含める必要がある。Microchip社が無償配布している開発環境であるMPLAB X IDEで開発対象チップを16F886と設定すると図1のようにconfig bitと呼ばれる初期設定データが自動生成される

```
#include <xc.h>

// #pragma config statements should ;
// Use project enums instead of #def:

// CONFIG1
#pragma config FOSC = INTRC_NOCLKOUT, // Wd
#pragma config WDTE = OFF // Pw
#pragma config PWRTE = OFF // RE
#pragma config MCLRE = ON // Cc
#pragma config CP = OFF // Dc
#pragma config CPD = OFF // Bc
#pragma config BOREN = OFF // Ir
#pragma config IESO = OFF // Lc
#pragma config FCMEN = OFF // Bc
#pragma config LVP = OFF // Fc

// CONFIG2
#pragma config BOR4V = BOR40V // Bc
#pragma config WRT = OFF // Fc
```

図1 開発環境(MPLAB X IDE)で16F886を選択すると自動生成されるコンフィグビット

各内容についてはXC8 Compilerの説明書[3]に詳しく記載されており割愛する。今回のボードで重要なのはFOSCの項目でINTRC_NOCLKOUTと記載すると16F886内部のRC発振回路(周波数4MHz)で動作し、ここをHSと記載すると基板に実装した20MHzのセラミック共振器による動作に変更できる。これ以外については特に変更の必要はない。

3.2 8個のLEDの制御方法

従来使用のPICボードと同様に8個のLEDを基板上に配置している。従来のボードは赤色単色LEDを8個配置していたが、交通信号の模擬プログラム実行の要望、LEDの入

手性・価格を配慮して緑・緑・黄・黄・赤・赤・緑・緑のLEDを配置した。図2に示す通りLEDのカソードはそれぞれPORTCのRC0からRC7までに接続している。アノードは共通端子としてPNPトランジスタ(2SA1162Y)のコレクタに接続し、ベース端子を1.5kΩの抵抗を介してPORTAのRA0に接続している。エミッタを電源端子(VCC)に接続することで、RA0がロジックレベル"0"である場合のみLEDにVCCが供給される。

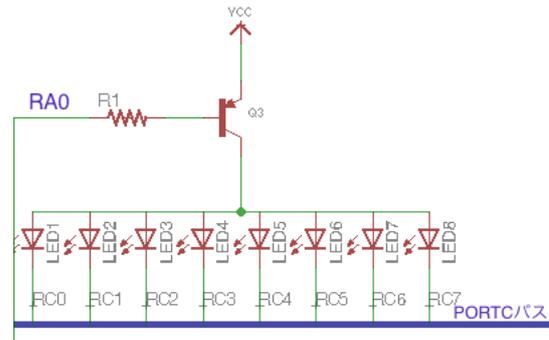


図2 LED1 から LED8 までの接続回路

図3にLED点灯のサンプルプログラムを示す。上記の通り、LEDを駆動するためにはRA0をゼロにする必要がある。RA0の設定の上、PORTCに0を設定すると各ビットに対応するLEDが点灯する。前記の通り、PICの設計思想により吐き出し電流が取れないためLEDの点灯は負論理としている。

```
TRISA=0x00; //PORTA as output
TRISC=0x00; //PORTC as output
PORTA=0b11111110; //activate LED1 to 8 by RA0=0;
PORTC=0b01010101; //ON_OFF_ON.. to LED8
```

図3 LED 8個をON, OFF, ON, ..と一つおきに点灯するサンプルプログラム

3.3 2桁の7セグメントLEDの制御方法

データを可視化するとLEDの単純点灯よりも直感的に分かりやすい。今回設計のボードでは2桁の数字を表示できるように7セグメントLEDを2個配置した。図4に接続回路を示す。

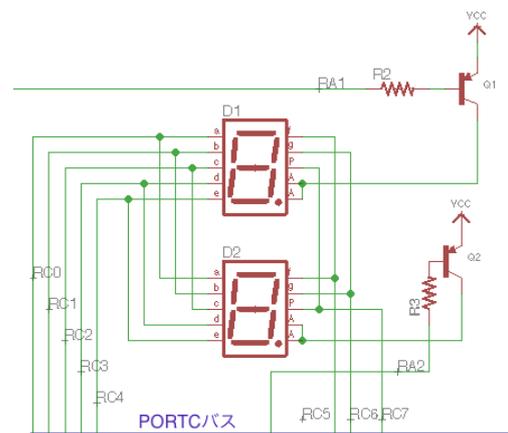


図4 7セグメントLEDの接続回路

2個の7セグメントLEDの各セグメント(a, b, c, d, e, f, g, dp)のカソード端子はPORTCの各ビット(RC0, 1, .. 7)に接続している。単色LEDの接続と同様にアノード端子はそれぞれPNPトランジスタを介してVCCに接続することで、それぞれのトランジスタのベース端子電圧により各桁の活性化を図ることができる。2桁目のLEDに接続されているトランジスタQ2のベース端子はPORTAのRA2, 2桁目のトランジスタQ1のベース端子はRA1にそれぞれ電流制限用抵抗(1.5kΩ)経由で接続している。

```

TRISA=0x00; //PORTA as output
TRISB=0x00; //PORTC as output
int seg[10]; // table definition
//////////pgfedcba//////////
seg[0]=0b11000000; // "0"
seg[1]=0b11111001; // "1"
seg[2]=0b10100100; // "2"
seg[3]=0b10110000; // "3"
seg[4]=0b10011001; // "4"
seg[5]=0b10010010; // "5"
seg[6]=0b10000010; // "6"
seg[7]=0b11111000; // "7"
seg[8]=0b10000000; // "8"
seg[9]=0b10010000; // "9"

while(1){
    PORTA=0b11111011;
    PORTC=seg[8]; // display "8"
    wait(); // some wait function
    PORTA=0b11111011;
    PORTC=seg[6]; // display "6"
    wait(); // some wait function
}
    
```

図5 7セグメントLEDに「86」を表示するサンプルプログラム

図5に2個の7セグメントLEDに数字「86」を表示するサンプルプログラムを示す。デコード回路を載せているわけではないので、図中にあるように表示の数字とセグメントの点灯状況の対応テーブル(ここではseg[i])を用意する必要がある。両方のLEDはPORTCにバス接続されており、RA1とRA2をそれぞれロジックレベル0とすることで1度に1桁しか表示できない。2桁以上の数字表示は図5のサンプルプログラムのようにダイナミック点灯と呼ばれる高速切り替え点灯をしなければならない。

3.4 RGB LEDの制御方法

色の合成演習の要望に対応して、今回のボードではRGBフルカラーLEDを図6のように接続した。単色LED, 7セグメントLEDと同様にR, G, B各色のカソード端子をPORTCのRC0, RC1, RC2端子に接続し、共通端子であるアノード端子はPNPトランジスタを介してVCCに接続している。

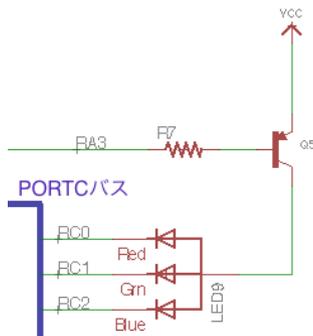


図6 RGB LEDの接続回路

RGB LEDを選択的に活性化するためにはトランジスタ(Q5)のベース端子につながっているPORTAのRA3をロジックレベル0とする必要がある。

```

TRISA=0x00; // PORTA as output
TRISC=0x00; // PORTC as output
PORTA=0b11110111; // RGB LED activated by RA3=0
for(int i=0;i<8;i++){
    PORTC=~i; //invert i for negative logic
    wait(); // some wait function
}
    
```

図7 RGB LEDを3ビット(8色)点灯するプログラム

図7にRGB LEDを駆動するサンプルプログラムを示す。RA3をロジックレベル0に設定した後、RC0をロジックレベル0に設定すると赤色、RC1で緑、RC2で青色が点灯する。RC0とRC1を同時にロジックレベル0に設定すると赤色と緑色の合成色である黄色が点灯する。3ビットカラーで8色点灯可能であるが、RC0とRC1のロジックレベルにパルス幅変調をかけることでさらに多色表示が可能である。

3.5 圧電素子の使用方法

1kbpsで変化するデジタル信号に圧電素子を接続すると1kHzの音が聞こえるが単純にデータバスに圧電素子を接続してもデータバスのインピーダンスと圧電素子のインピーダンスが大きく異なるため発音レベルははかなり小さくなる。今回の回路では図8に示すようにPNPトランジスタによりインピーダンス変換器を構成し、ロジックレベルの変化を耳で聞こえるレベルにして出力できるものにした。R6が出力インピーダンスを決定する抵抗になるが、今回は組み立て時の容易さを考慮して全ての抵抗を1.5kΩとしている。ベース端子はPORTBのRB4に接続しており、RB4を1kHzで切り替えることで1kHzの信号を作り出せる。

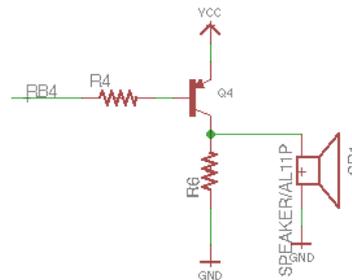


図8 圧電素子の接続回路

図9に圧電素子による発音サンプルプログラムを示す。RB4を0, 1, 0と切り替える周期を適宜作成するwait()関数のウェイト時間に応じて、出力周波数をプログラムすることができる。

```

TRISB=0x00; //PORTC as output
while(1){
    PORTB=0b00000000; //RB4=0
    wait(); // some wait function
    PORTB=0b00010000; //RB4=1
    wait(); // some wait function
}
    
```

図9 圧電素子による発音サンプルプログラム

3-6 入力スイッチの使用法

人の意思を MCU に伝えるヒューマンインタフェースの実装は汎用的ボードの構成要素として重要である。今回設計したボードでは図 10 に示す通り 4 個のタクトスイッチを PORTB の RB0 から RB3 に直結している。PORTB についてはバス共有していないため、単純に PORTB の値を読み取ることでスイッチの状態を知ることができる。出力が全て負論理であるため、これにあわせるべく入力スイッチもプルアップ抵抗(RB3)を接続することで負論理(スイッチを押すとロジックレベル 0)に設定している。

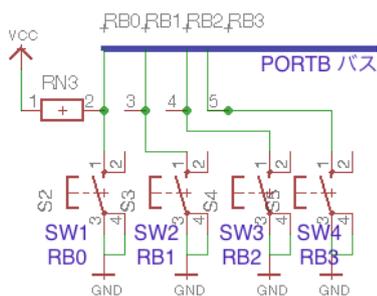


図 10 入力スイッチの接続回路

図 11 に入力スイッチのサンプルプログラムを示す。ここでは 8 個の LED の点灯状態が 4 個のスイッチが全て押されている場合のみ変化するものを記述している。

```
int temp;
TRISB=0b0001111; //RB0, 1, 2, 3 as INPUT
TRISA=0x00; // PORTA as OUTPUT
TRISC=0x00; // PORTC as output
PORTA=0b11111110; //activate LEDs by RA0=0;
while(1){
temp=PORTB;//read switch state
temp=temp<<4;//shift 4bit left
if(temp==0){
PORTC=0b10101010; //if all sw pushed
}else{
PORTC=0b01010101; //else
}
}
```

図 11 スイッチによる 8 個の LED の点灯状態の制御

4. 基板の設計と製作

以上述べてきた機能を有する回路の全体図を次ページ図 12 に示す。この回路に対応するプリント基板のパターンを Eagle という CAD ソフトで作成し、生成したデータを中国の企業(Elecrow.com)に学生人数分 60 枚発注した。送料込みの一枚あたりの単価は 140 円で、部品込みの一枚当たりの費用総額は 1450 円となった。従来使用品の価格 3400 円よりも低額で遥かに多機能なボードを設計することができた。16F886 の入出力端子の一部は何の素子も接続していないが、これらの信号も全てピンヘッダで基板上に出力している。PORTA の RA3, 4, 5 については A/D 変換器の入力端子として使用可能であるため、特に VCC (電源のプラス端子) と GND (電源のマイナス端子) と合わせてピンヘッダを配置している。バイナリ書き込みは Microchip 社の純正デ

バッグである PICKit3 使用を前提としてピンヘッダを配置しており、PICKit3 のコネクタ部分に表示がある三角印と基板上の三角印を合わせる方向で接続することで書き込みが可能である。書き込み方法の詳細はボードの設計の範囲外なのでここでは割愛する。実際の基板写真を図 13 に示す。

5. まとめ

本学学生のプログラム演習教材としてマイクロコントローラー(MCU)を用いたボードの設計を行い、実際に教材として使用するものを作成した。従来使用のボードは MCU と 4 個のスイッチと 8 個の LED でのみ構成されており、プログラミング演習の内容が限られたものであった。

今回設計した MCU ボードは従来と同様に 4 個のスイッチと 8 個の LED に加え、数字表示可能な 2 桁 7 セグメント LED、フルカラー LED、更にトランジスタによるインピーダンス変換回路を介して発音素子である圧電素子をボード上に配置している。2 桁 7 セグメント LED により数字の可読化演習、ストップウォッチやキッチンタイマーなど様々なプログラミング演習が可能となる。フルカラー LED を用いることで色の三原色(RGB)の合成による発色実験のプログラムを行うことができ、更に圧電素子を用いることでスイッチにより音が変わるリズムマシンや 7 セグメント LED と組み合わせることにより音程の可読化に関するプログラミング演習も可能となる。

これほど演習の幅が広がる教材であるにもかかわらず、従来品の半額以下の 1450 円で実現できたため、教材開発目的は十分達成できたと考えている。

参考文献

- (1) PIC16F627A/628A/648A Data Sheet, Microchip Technology, (2007).
- (2) PIC16F882/883/884/886/887 Data Sheet, Microchip technology, (2009).
- (3) MPLAB XC8 C Compiler User's Guide, , Microchip Technology, (2015).

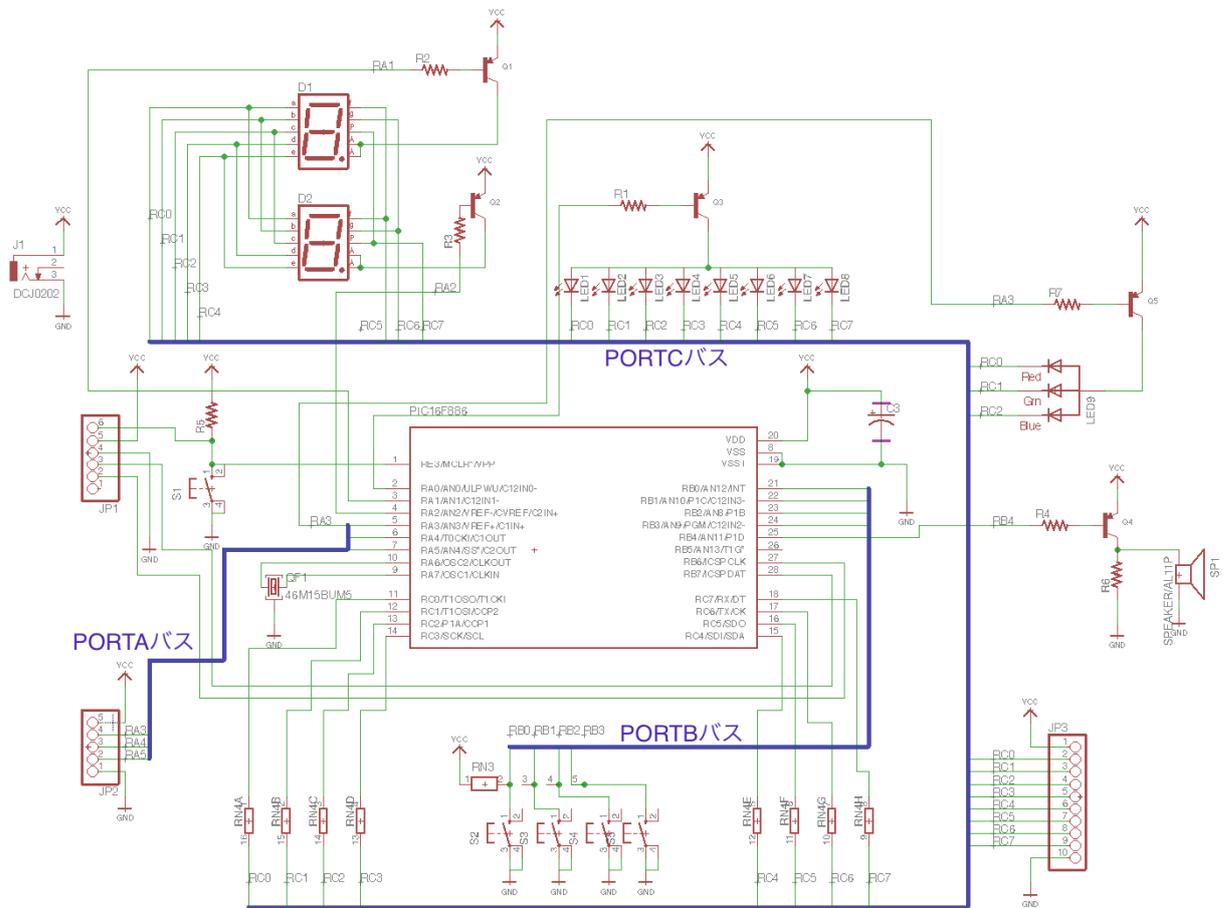


図 1 2 全体の回路図

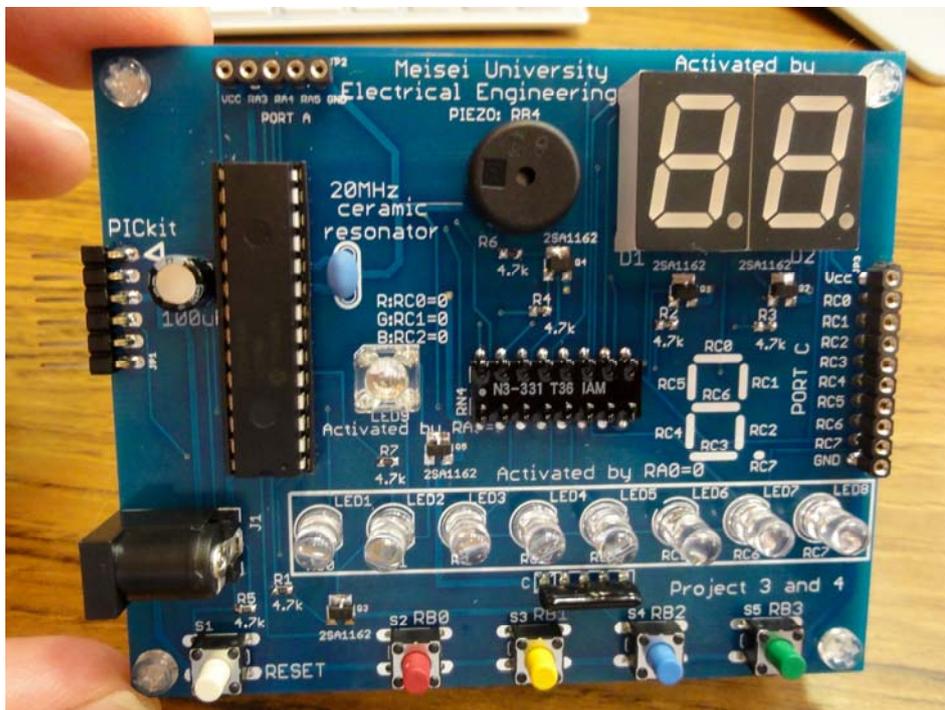


図 1 3 実際のボード写真