

mbed 講習会

2012 年度生用

梶本研究室

ver.1 2012.3.25

ver.2 2012.4.11

ChangeLog

Ver2 回路図の微修正

1 はじめに

3年生の宿題 (DxLib+mbed) で、ブレッドボードを用いた mbed の基本的な導入については済んでいるものとして、ここでは mbed をより本格的に活用していきます。

ここで作成したモジュールは研究の中で標準的なインターフェースとして使用しますので、きれいに作りましょう。

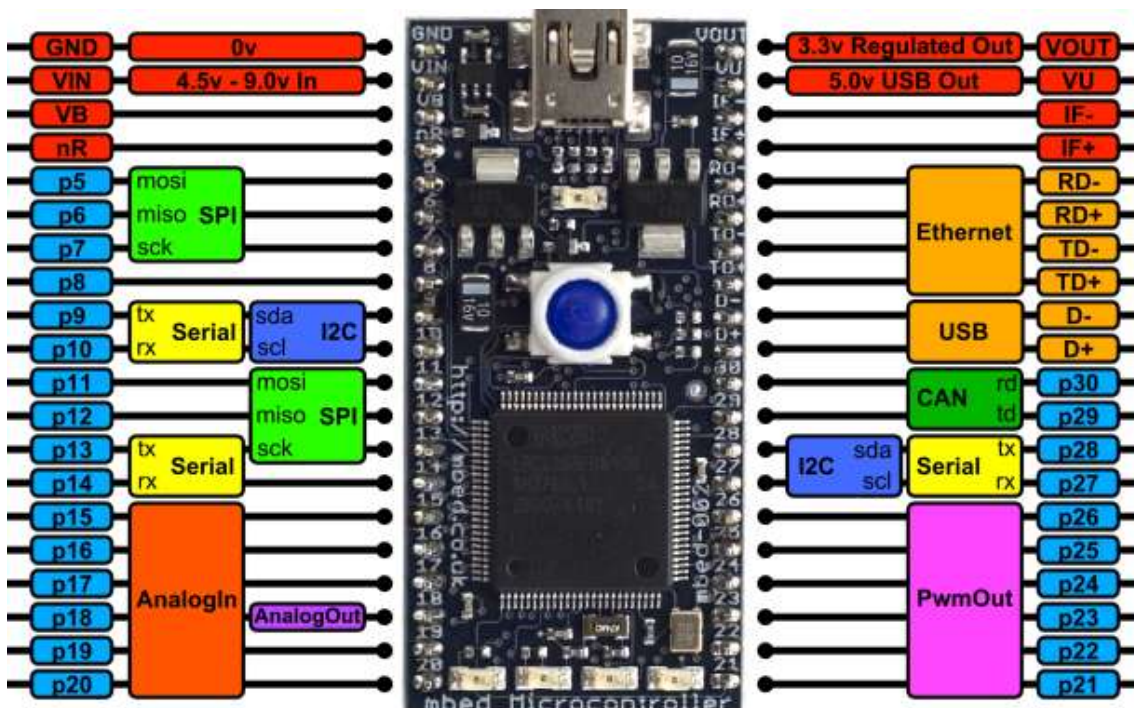


図 1 mbed ピン配置(<http://mbed.org/handbook/mbed-NXP-LPC1768>)

1.1 手元において欲しい本

電子工作に関する参考書は沢山ありますが、標準的な研究室新入生 (ハンダ付け経験なし) には「電子工作の素」を勧めます。



1.2 課題の進め方

mbed はできることがあまりに多いので、まず研究室標準のインタフェースとして使えるところまで皆で行います。その後、個々のテーマに関しては選択課題として振り分けて行います。発表会はこの選択課題について行います。

全員が行うのは以下のとおりです。これは最初の一週間で行います。

- 2章「回路の準備」：ブレッドボードで行ったことを自作の基板で行います。
- 3章「外付けスイッチ」：外付けスイッチによる入力を行います。
- 4章「LEDの駆動」：LEDを点灯させます。
- 5章「RCサーボモータの駆動」：RC（ラジコン）サーボモータを動かします。
- 6章「アナログ出力」：内蔵のDA変換器を使います。
- 7章「SPI通信」：SPI通信によるポートの拡張例としてDA変換ポートの増設を行います。

一日目 2～3章、二日目 4～5章、三日目 6章、四日目 7章、五日目予備日というペースです。

また選択課題は以下のとおりです。これは後半の一週間で行います。

- 8.1「7セグメントLED」：7セグメントLEDを動かします。シフトレジスタを使う例題にもなっています。
- 8.2「振動呈示型データグローブ」：曲げセンサと振動モータを動かします。
- 8.3「複数のスピーカの駆動」：7章で作った8chのDA出力を音声出力として用います。
- 8.4「USBAudio」：12bit、2chのDA変換器を用い、またmbed自体をUSBオーディオデバイスとして認識させることで、PCからの音声出力を聞けるようにします。
- 8.5「リニアアクチュエータの駆動」：ポテンシオメータの値を読んでリニアアクチュエータを動かします。Hブリッジ回路を用います。

- 8.6「DC モータの駆動」：エンコーダカウンタの値を読んで DC モータを動かします。Hブリッジ回路を用います。
- 8.7「外付けAD」：12bit、8ch の AD 変換器を二つ使い、またフィルム状力センサを用いて力分布を測定します。

1.3 レポート

最後にレポートを書いてください。鉄は熱いうちに打てということで添削します。

- Word を標準とします。Word 講習を兼ねていますので、図表番号への参照などの参照機能およびアウトライン定義は必ず行なって下さい。
- 実験中に取得した図（特にオシロスコープの画面キャプチャ）を貼って下さい。
- 回路図など、テキストにある内容を繰り返す必要は無いので、結果と考察のみ述べたコンパクトなレポートとして下さい。
- コツはレポートを書きながら実験を行うことです。これは研究の場面でも同じです。データはリアルタイムに文書化していきましょう。
- 提出されたレポートの添削と回覧は研究室全体で行います。

2 回路の準備

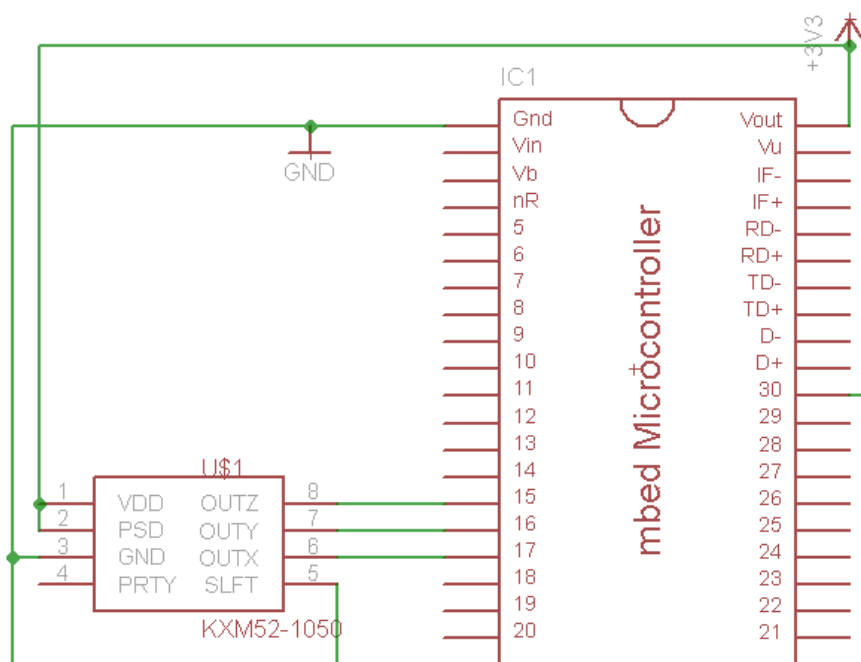
春休みにブレッドボードを用いて作った加速度センサ回路を作成する。ただし回路は配線しやすいように微修正してある。

配線は錫メッキ線、あるいはジャンプロン線（非常に細い）を用いる。無用に太い線は使わない（ただしモータを駆動する部分や電源部分には太い線を用いる）。加速度センサは後で外すので 8 ピンの IC ソケットを用いる。mbed 用には 20 ピンのシングルソケットを 2 つ用いる。

ハンダ付けの方法は下記リンクや「電子工作の素」などを参照する。

ハンダ付けの方法 <http://www.youtube.com/watch?v=S5f7jueQHr8>

良いハンダ付け形状など <http://homepage1.nifty.com/x6/elecmake/solder.htm>



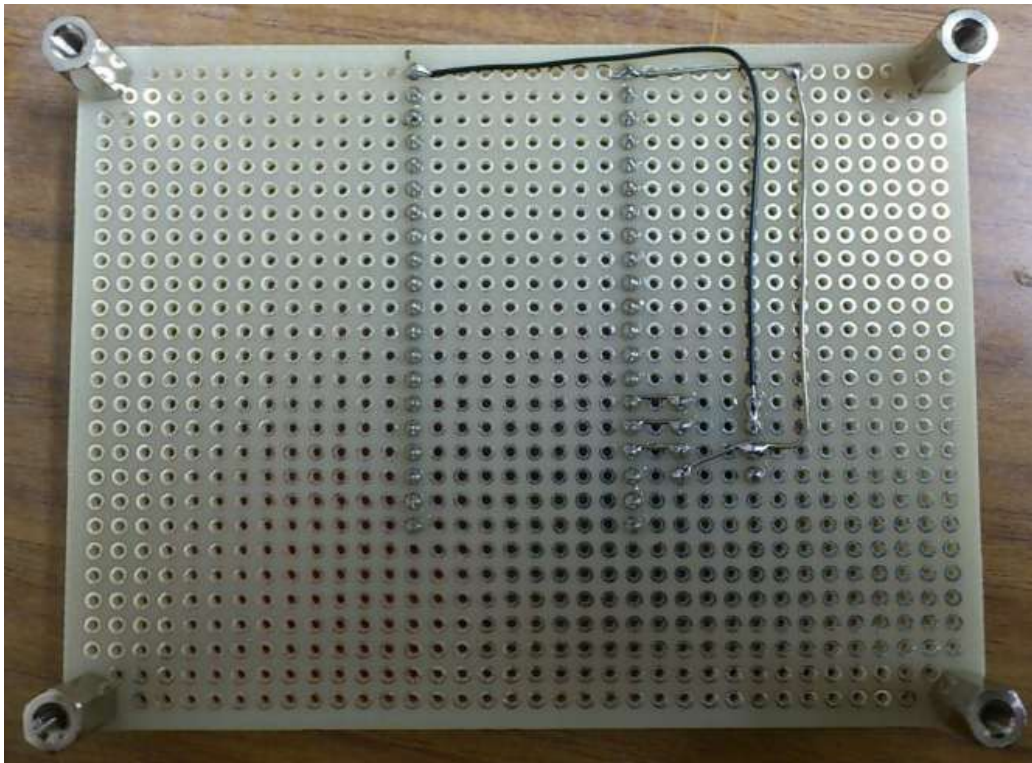
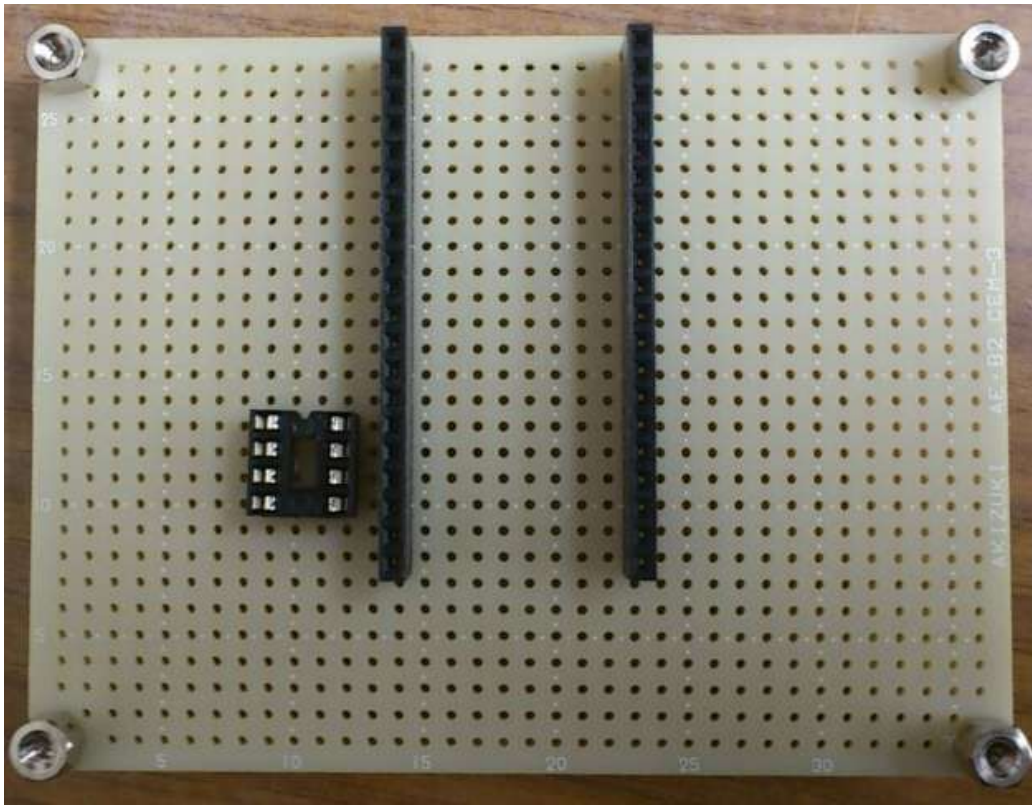


図 2 加速度センサ回路

3 外付けスイッチ

DigitalIn を用いて、外部からスイッチ入力を受け付けるようにする

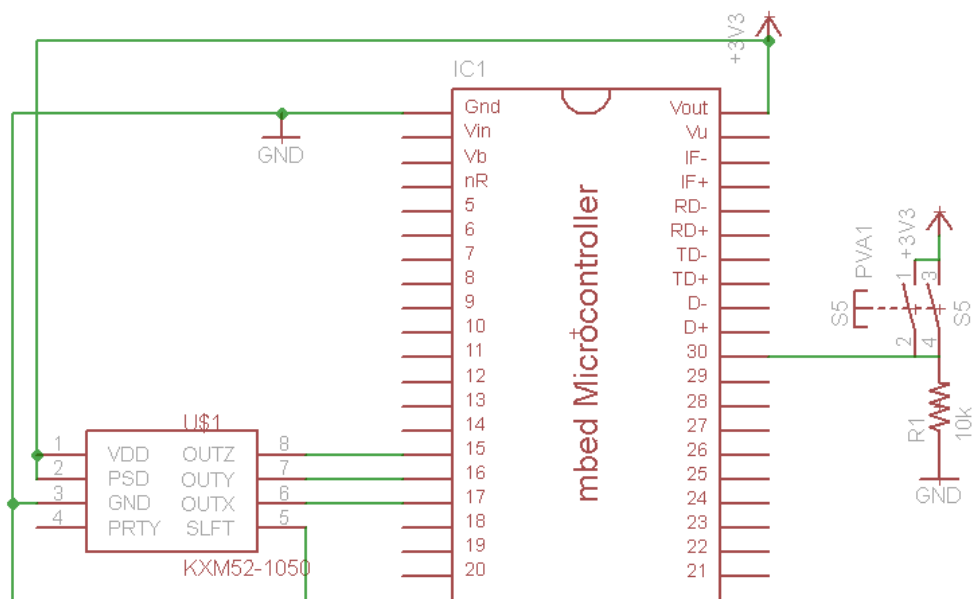
<http://mbed.org/handbook/DigitalIn>

回路構成上の注意：タクトスイッチの向きに注意。90 度間違えることがある。ボタンを押したときにどこが導通するかはテストでチェックする。

web のサンプルを使って mbed 上の LED を光らせてみる。ただし入力ピンは p5 ではなく (P5 は後で使う)、p30 とする。

[課題1] スwitchのステータスをシリアル通信で PC に伝えるようにする。例えばスイッチが押されている間は”a”を、押されていない間は”b”を送信し続けるなど。PC 側はシリアル通信ソフトを用いる (TeraTerm など)

[課題2] スwitch回路に抵抗が必要な理由を考察せよ



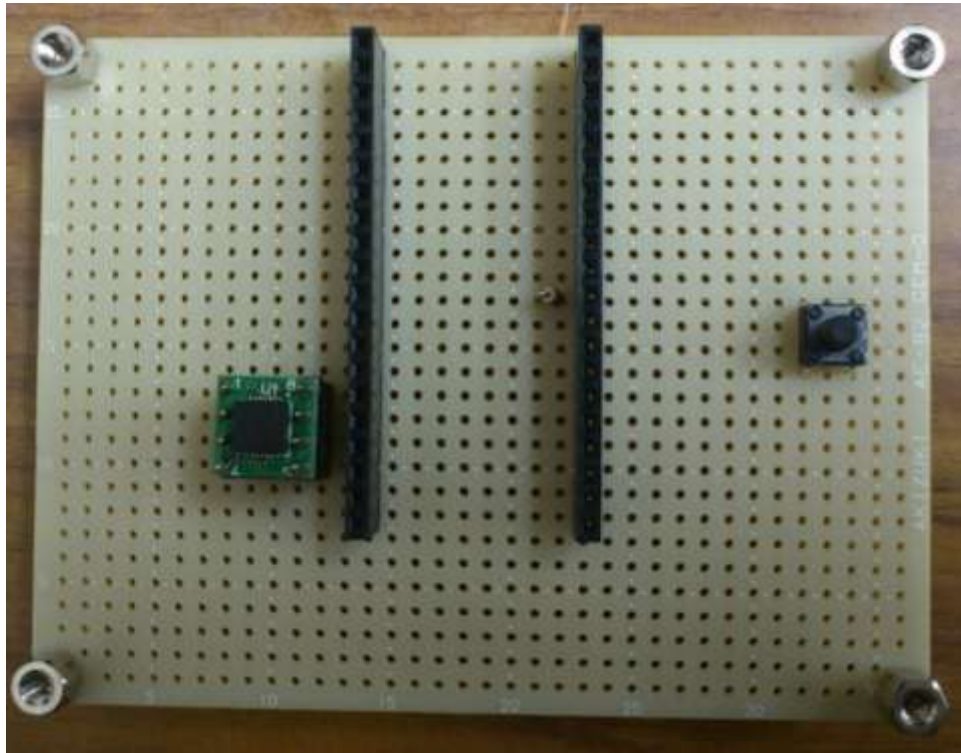


図 3 タクトスイッチ回路

4 mbed で LED 駆動

外付け LED を駆動する。ここでは p29 に接続する。

- LED の極性はテストで確認すること。
- LED に直列に接続する抵抗 (制限抵抗) はここでは $1k\Omega$ としているが、電源電圧が変わる場合等もあるので計算できなければならない。抵抗値の計算方法は下記リンクなどに記載されているので自習する。大体 $1mA \sim 10mA$ 流れるようにする。

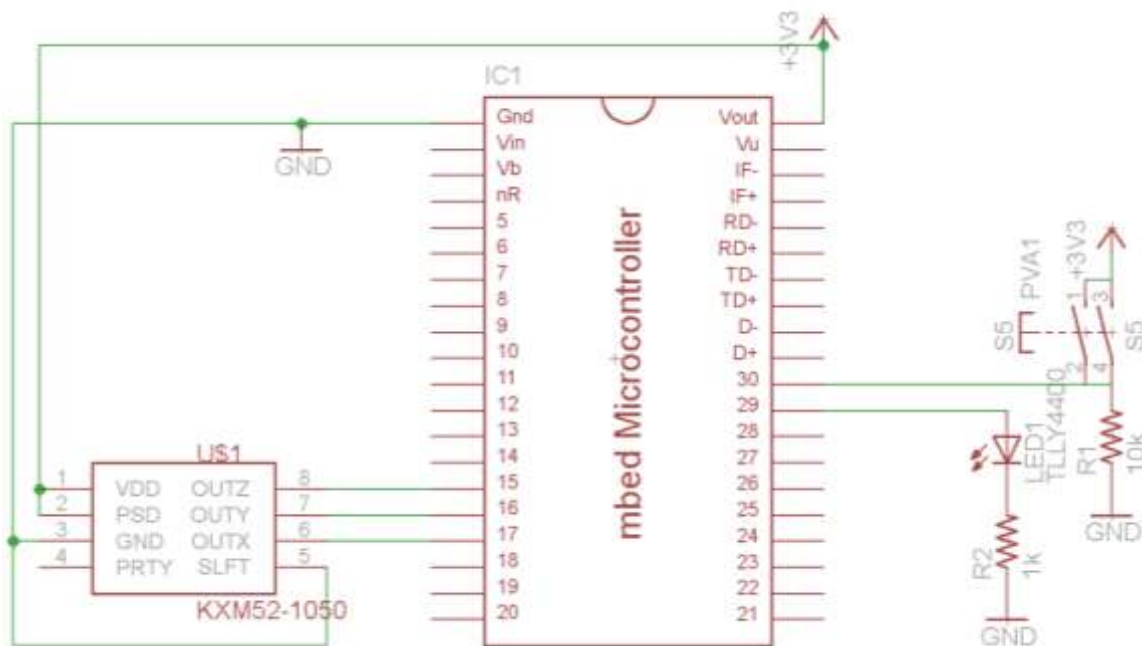
<http://www.rank-a.com/html/led.html>

<http://www.ops.dti.ne.jp/~ishijima/sei/letselec/letselec11.htm>

- 抵抗のカラーコードは読めるようになること。「電子工作の素」などを参照。

[課題1] タクトスイッチを押すと LED が光るようにする

[課題2] LED を流れる電流を計測する (≒抵抗間の電圧を計測する)。どれだけの電流が流れていることになるか計算する。その値は計算と比較して妥当か。



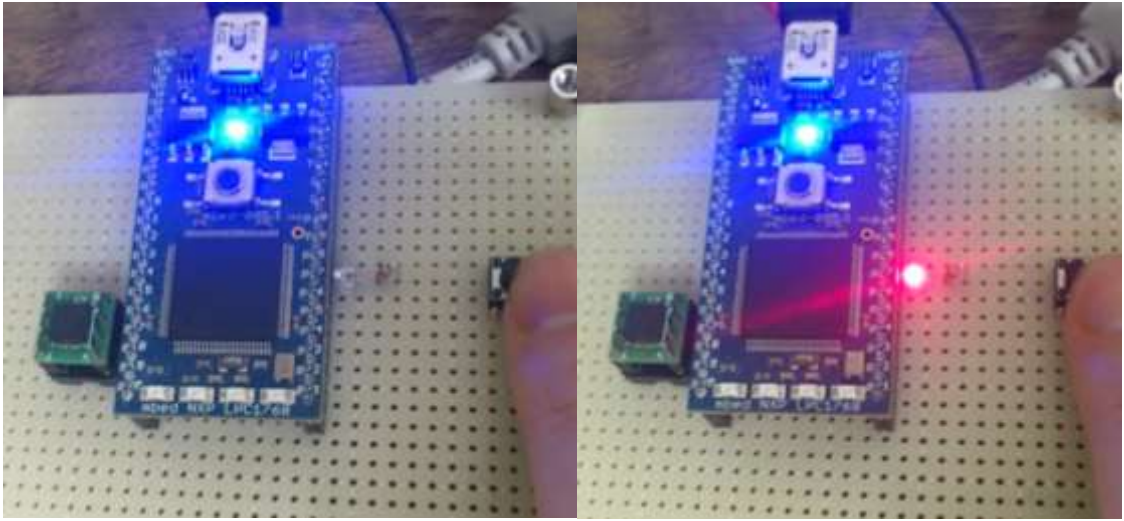


図 4 LED 回路 (タクトスイッチを押すと光る)

5 mbed で RC サーボモータ駆動 (PWM)

P21 から p26 まだが PWM 出力可能なピン。PWM 出力を利用して RC サーボモータを動かすことが出来る。ここでは RC サーボモータの信号線を P21 につなげる。

RC サーボモータの駆動には大電流が必要でこれまでの USB 給電では限界があるため外部電源 (5V) をつなげる。RC サーボの電源はここから取る。

(参考)

- RC サーボモータの制御方法について
http://berry.sakura.ne.jp/technics/servo_control_p1.html
- MiniStudio の小型 RC サーボ RB50 の配線
<http://www.ministudio.co.jp/Cgi-bin/Order-JP/DetailJp.asp?GoodsNum=202>
<http://www.ministudio.co.jp/Japanese/Goods-RB50-1.htm>

(サンプルソース)

- PWM 制御のサンプル
<http://mbed.org/handbook/PwmOut>
- RC サーボに特化したライブラリ。こちらを使っても良い。
<http://mbed.org/cookbook/Servo>

[課題3] PC からのシリアル通信でサーボモータの姿勢を制御する。例えば 0-9 の数値を送る。PC 側はシリアル通信ソフトが良い。オシロスコープで PWM 信号を観察する。パルス幅、パルス間隔は計算どおりとなっているか (オシロスコープで観察と書いてある場合はその画面をオシロの機能でキャプチャし、レポートに添付すること。以降も同様)

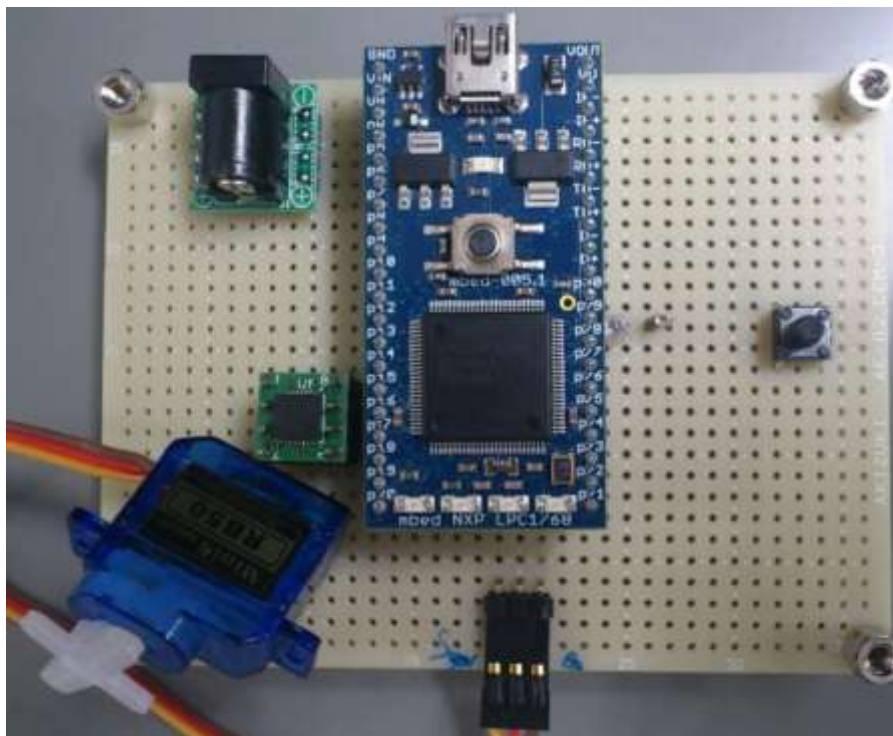
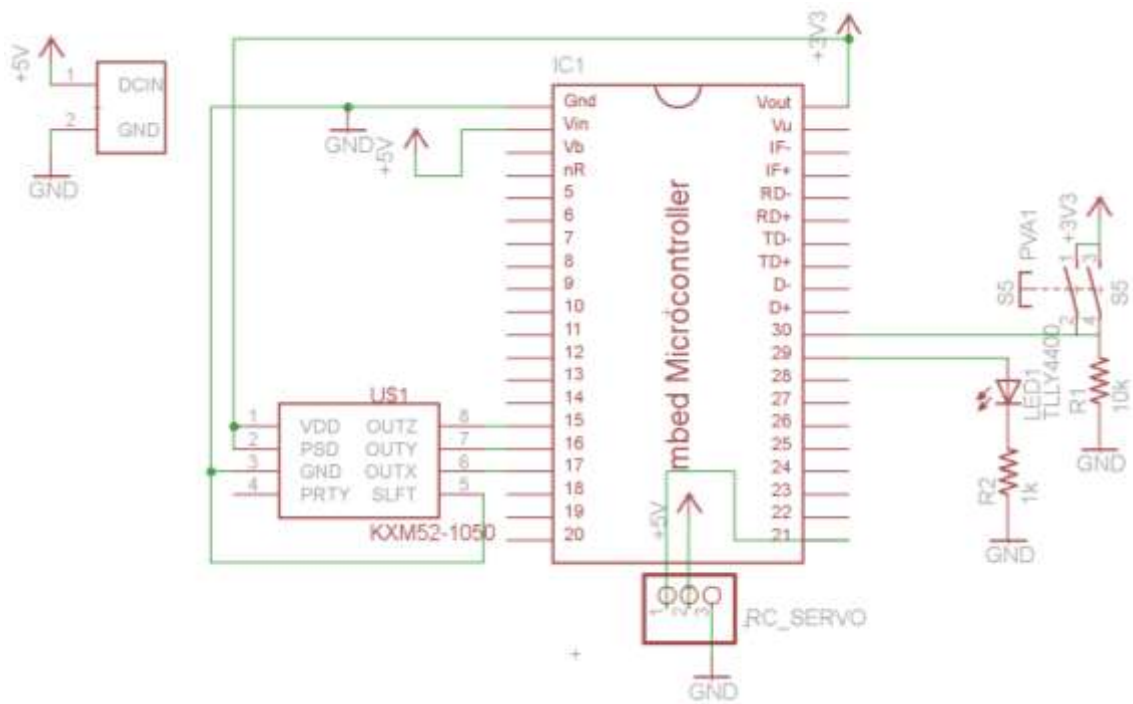


图 5 RC サーボ回路

6 mbed でアナログ出力（+オペアンプ最初の一歩）

mbed は 1ch, 10bit の DA および 6ch, 12bit の AD を持っている（ただし DA を使う場合は AD がひとつ減る）。すでに加速度センサを使う際にこの AD を 3ch 使用した。

18 番ピンから出力する。サンプルソースを用いて出力波形を確認する。

<http://mbed.org/handbook/AnalogOut>

オペアンプを使ってスピーカを駆動する。回路図（図 6）を参照のこと。次のことが行われている。

- ① ボリュームとして DA 信号を可変抵抗（10k Ω 程度）で分圧。
- ② オペアンプ（新日本無線製 NJM4580）の電圧フォロア（ボルテージフォロア）回路でインピーダンス変換。
- ③ コンデンサ（10 μ F 程度）によって直流成分をカット。
- ④ イヤフォンジャックからイヤフォンやスピーカに出力。

（注意）

- 電解コンデンサの極性に注意。+側をオペアンプの出力側とする（これはなぜか）
- 可変抵抗の 3つの端子の使い方はテストで確認する
- イヤフォンジャックは基板に直付けできるタイプのものもあるがここではケーブルタイプを用いる。圧接端子の使い方の講習も兼ねる。

（参考）

オペアンプおよび電圧フォロア回路について：オペアンプについて全く知らない場合は全部読むこと。

http://picavr.uunyan.com/op_amp.html

[課題4] PC からのシリアル通信でスピーカの音を制御する。1-8 の数値を送ると「ドレミファソラシド」が鳴るようにする。PC 側はシリアル通信用ソフトが良い。オシロスコープで波形の変化を確認する。（正弦波を出力するには？）

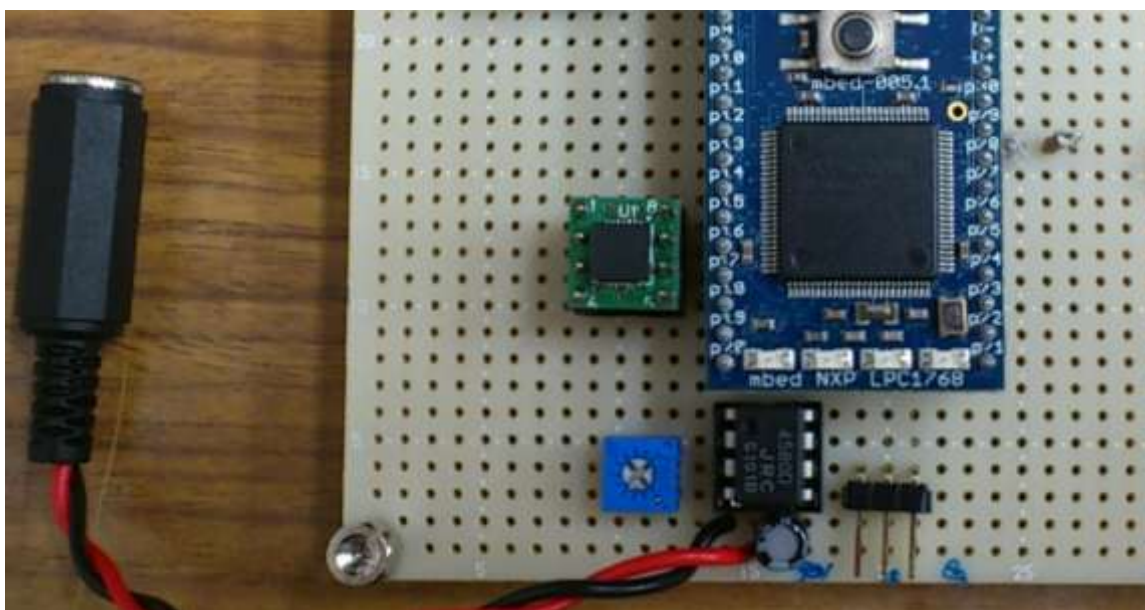
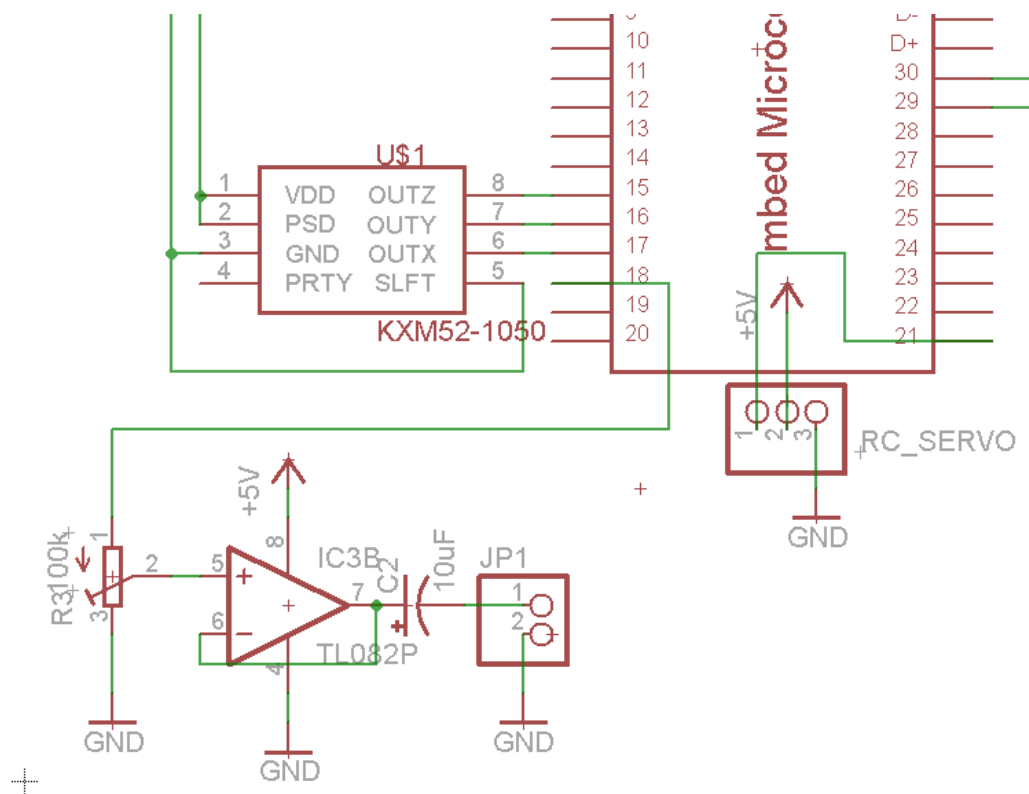


図 6 アナログ出力⇒オペアンプ回路（電圧フォロア） **TODO:圧接端子版に変更**

7 外付けの DA (SPI 通信によるポートの拡張)

mbed には SPI 通信モジュールが二つ用意されている。これを使うことでポートを拡張することが出来る。ここでは 8ch の D/A ポートを実現する。

SPI 通信、およびシフトレジスタについては自習すること。

外付けの DA 変換器としてオクタル 10bit D/A コンバータ LTC1660CN を用いる。特にこの課題はマニュアルを読む練習を兼ねている。

<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-02794/>

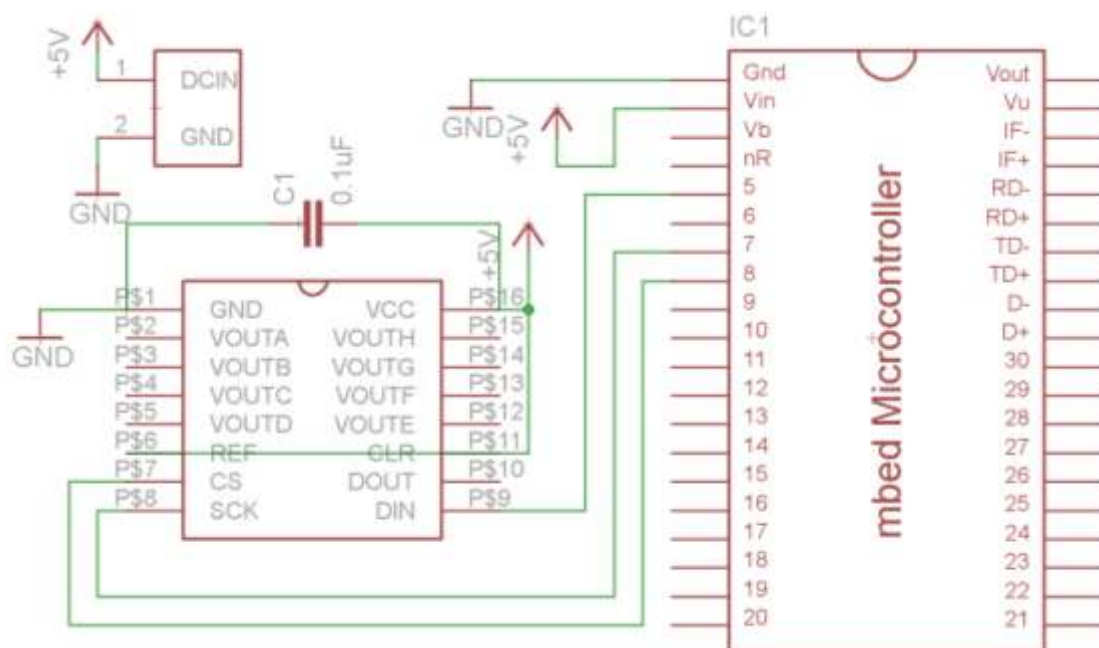
SPI 通信のサンプルソース

<http://mbed.org/handbook/SPI>

SPI 通信

http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus

- DA 変換器の電源とグラウンドの間に電圧安定化のためのコンデンサを入れる。コンデンサの数値コードは読めるようになること。「電子工作の素」などを参照。



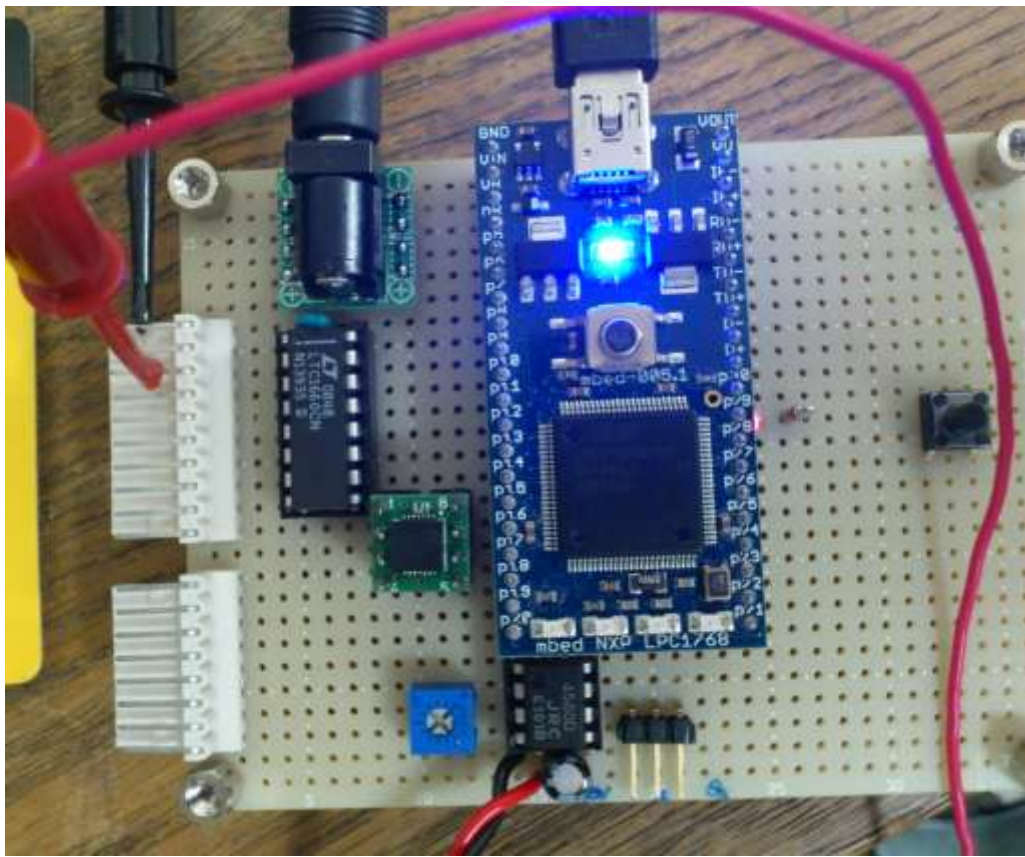


図 7 8ch DA ポート回路 (10pin の端子を使い、余った 2pin はグランドにしている。またこの写真では mbed の AD6ch を 8pin の端子で出力している。この場合は余った 2pin はグランドと 3.3V)

```

#include "mbed.h"

SPI spi(p5, NC, p7); // mosi (出力 master output slave input) , miso (入力) , sclk
                    (クロック)。今回は入力不要なので NC(not connected)とする
DigitalOut cs(p8); //chip select ピン

Serial pc(USBTX, USBRX); // tx, rx

int main() {
    int t=0;
    short spiData,DA;
    char channel=0;
    // SPI のセットアップ。16bit、立ち上がりエッジ、1MHz clock
    spi.format(16,0);
    spi.frequency(1000000);

    while (1) {
        t++;
        //矩形波
        if (t%2==0) {
            DA=0x3FF;
        } else {
            DA=0;
        }
        cs = 0; //clock を有効化
        //データの整形。マニュアル参照のこと
        spiData = (((channel&0x07)+1)<<12) | ((DA&0x3FF)<<2);
        spi.write(spiData);
        cs = 1; //clock を無効化し、データをロード
        wait_ms(1);
    }
}

```

図 8 8ch D/A 変換器 LTC1660 を動かす最初のサンプルプログラム

[課題5] サンプルプログラムを動かし、オシロスコープを使って波形を観察する。つぎに

クロック信号とデータ信号を同時に観察する（CS ピンをトリガとする。**オシロスコープのトリガの使い方の練習も兼ねている**ので調べること）。

二つの信号のタイミングはどのような関係にあるか。それらは LTC1660 のデータシートのタイミングチャートと比較して妥当か。

16bit のデータ信号はプログラムとどのような関係にあるか。またそれらは LTC1660 のデータシートと比較して妥当か。

[課題6] 波形を適当な正弦波に変更、プログラム中のウェイトを無くしオシロスコープで観察する。データ更新一周期にどのくらいの時間がかかっているか。

[課題7] チャンネルを指定して電圧を出力できる関数を作成する。

```
void DAout(char channel, float voltage)
```

LTC1660 のデータシートによると、チャンネルを指定するにはどうすれば良いか。また電圧を 0.0 から 5.0 までの float で指定するにはどうすれば良いか。

その上で、8ch それぞれから指定した異なる周波数の正弦波を出力し、オシロスコープで波形を観察する。

以上により、**DA8ch(10bit)**、**AD6ch(12bit)**、**多数のデジタル入出力**を備えた標準的なインタフェースデバイスを手に入れたこととなります。この後の選択課題ではさらに各種のインタフェース拡張を行います。

研究室の別の講習ではインタフェース社の PCI ボード (DA/AD/Enc) を扱います。mbed とこれらの PCI ボードは機能としては重なっていますが、研究開発の流れの中では別の役割を果たします。まず PCI ボードで素早いプロトタイピングと検証を繰り返し、最終的なデモでは mbed 化する、という流れになります（よって両方必要、と今は判断しています）。

8 選択課題

一人1課題を行う。すべての課題がある種のインタフェース拡張であり、最終的にPCとの通信を行う。PC側はDxlibのプログラムを動かし、ユーザからの何らかの入力を反映してmbed側も変化するようにする。

説明は完全では無い(回路図も未検証で間違っているかもしれない)ので、必要であれば部品のマニュアルを読む。

8.1 7セグメントLEDを動かす(初級～中級)

7セグメントLED(シャープ製GL9A040G)で数字を表示させる。これは数字を表示するための8つのLEDの集合であり、アノードコモン、カソードコモンの2種類がある(図9)。今回使用するのはアノードコモンであり、「吸い込み」電流によって点灯させることを前提としている。

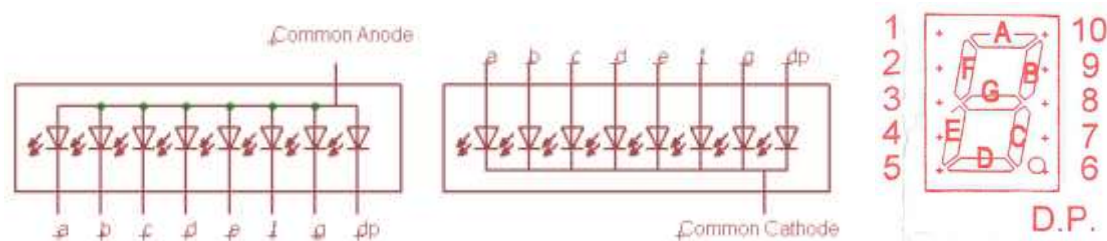


図9 7セグメントLEDの内部構造。(左)アノードコモン、(中)カソードコモン、(右)LEDの配置

8つのLEDを光らせる必要があるために8本のピンが必要である。そこでポート拡張のためシフトレジスタ(今回は74HC164)を用いる。SPI通信を使ってデータを送る。74HC164にはラッチが無いので、データ移動の最中にもLEDが点灯することに注意。ラッチを持つICもある(例えば74HC595。またすでに扱ったD/A変換ICも)。

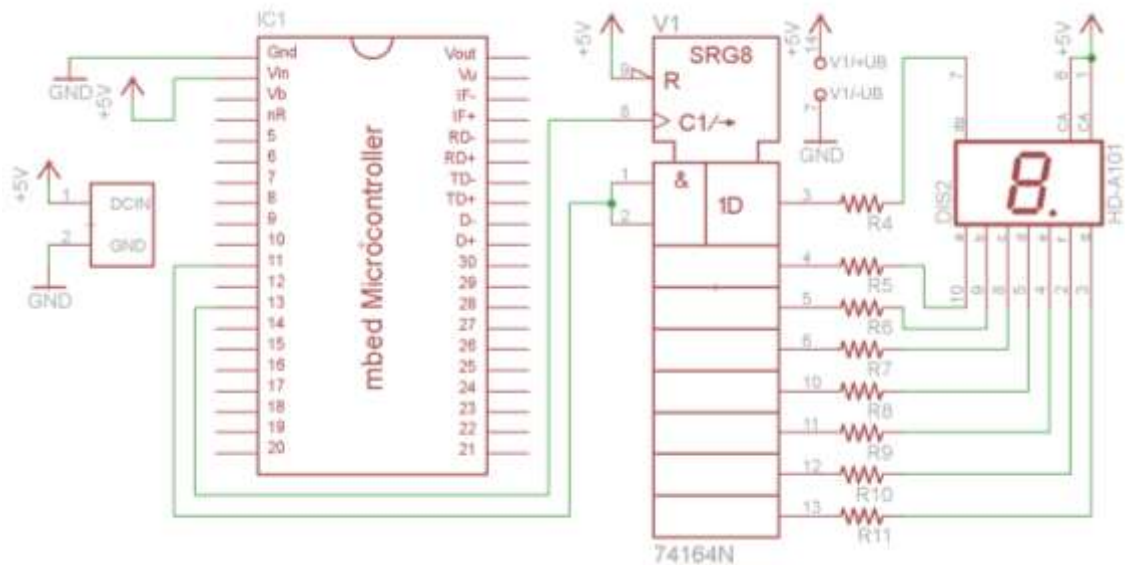


図 10 7セグメント LED 点灯回路

- 回路保護のため 74HC164 と 7セグメント LED は IC ソケットで半田付けすること。
- 74HC シリーズは入出力ピン一つあたり最大 4mA までしか電流を流すことができない。このため LED 用の抵抗 R2-9 はやや大きめのものを使う（計算すること）。

[課題8] PC から送られてきた 0~9 の数値を表示する。さらにシフトレジスタを二段連結して二つの 7セグメント LED を駆動し、PC から送られてきた文字を 16 進数で表示する。（シフトレジスタの連結は前段の最後の出力を次段の入力とすれば良い）。PC 上でも DxLib を用いて数値をグラフィカルに表示する。

8.2 振動提示型データグローブ（初級～中級）

軍手に 5つの曲げセンサ+5つの振動モータを取り付け、簡単なデータグローブとする。曲げセンサの値がある閾値を超えたら振動モータを駆動させることで、バーチャルな物体を触る状況を実現する。

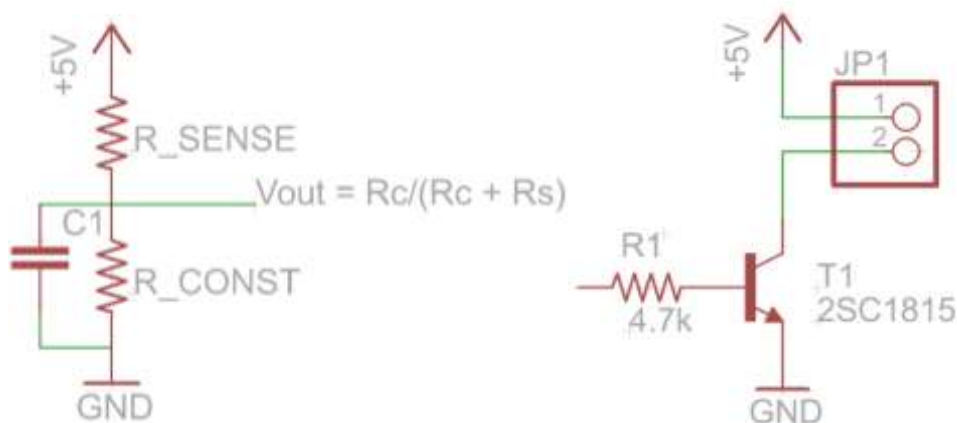


図 11 曲げセンサ回路（簡易版）と振動モータ回路

- 曲げセンサは曲がりが大きくなるほど抵抗値が下がる。この時図のように固定抵抗(R_c)との間で分圧回路を組むと、簡易的に曲げに応じた電圧出力が得られる。この出力をそのまま A/D 入力に入れれば良い。固定抵抗の値は実験的に適したものをを用いるが、例えば $10k\Omega \sim 100k\Omega$ 程度である。またノイズを低減するために固定抵抗と並列に小さなコンデンサ（例えば $0.01\mu F \sim 0.1\mu F$ ）を入れる場合が多い。
- 振動モータはトランジスタによって駆動する。PWM 出力可能な P21～P26 から出力する。抵抗値は適当なので変える必要があるかもしれない。トランジスタ（ここでは NPN トランジスタ）について知らなければ自習のこと。

[課題9] 指の曲げに応じて振動の強さを変える。5つの振動モータそれぞれが PWM 出力可能であるので、例えば曲げが大きくなるにつれて振動の強さが大きくなるという制御が可能である。以上は mbed で完結するが、PC 側 (DxLib) で何が出来るかも検討する。最低限、状態の表示は行う。

8.3 複数スピーカの駆動と波形ファイルの用意（初級～中級）

8ch の DA 出力にオーディオ用パワーオペアンプ 8 個を接続、8ch のスピーカを駆動する。アンプは LM675 等を用い、外部電源 $\pm 12V$ で駆動する。

LM675 の回路はマニュアルを参照すること。

[課題10] DxLib と連動して音源位置を動かすようにする。例えばスピーカを自分の周囲に配置し、マウスカーソルを動かすと音源位置が移動するようにする。さらに適当な音源（例えばピアノの音や人の声）をテキストファイルに変換し、mbed のヘッダファイルに配列として定義することによって、その音が出るようにする（wave ファ

イルからテキストへの変換ソフトは検索すると沢山出てくる。また実は mbed に wave プレイヤのサンプルが沢山ある。その場合は外付けの SD カードが必要なようである)

8.4 USBAUDIO デバイスを作る (中級～上級)

PC 側からは普通の USB-Audio デバイスとして認識される USBAUDIO デバイスを作成する。新たに外付けの USB コネクタを取り付ける必要がある。9 章を参照のこと。

<http://mbed.org/handbook/USBAudio>

[課題11] 12bit、2ch の D/A コンバータ MCP4922-E/P を用いるなどして PC 接続の USB オーディオデバイスを作る。アンプは NJM4580 を用いる

8.5 リニアアクチュエータの駆動 (中級～上級)

研究室標準のリニアアクチュエータである Firgelli 社製 PQ12-P を駆動する。

AD によるポテンショメータの読み取り、Hブリッジ回路による制御+PWMを行う。ポテンショ (可変抵抗) は分圧して A/D ポートで読み取る (図 12)。制御用 IC にはここでは TA8429HQ を使用する。

PQ12-P <http://www.firgelli.com/>

Hブリッジ回路について <http://www.picfun.com/motor03.html>

モータ駆動 (Hブリッジ駆動) 用ライブラリ <http://mbed.org/cookbook/Motor>

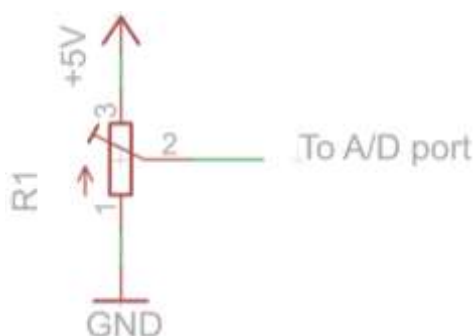


図 12 ポテンショメータ回路

駆動回路は TA8429 のマニュアルを参照すること (図 13)。ただし電源電圧は 24V ではなく 12V を使用する。1,2 番ピンに mbed からの入力を加えることで、正転、逆転、ブレーキ、ストップを実現する。

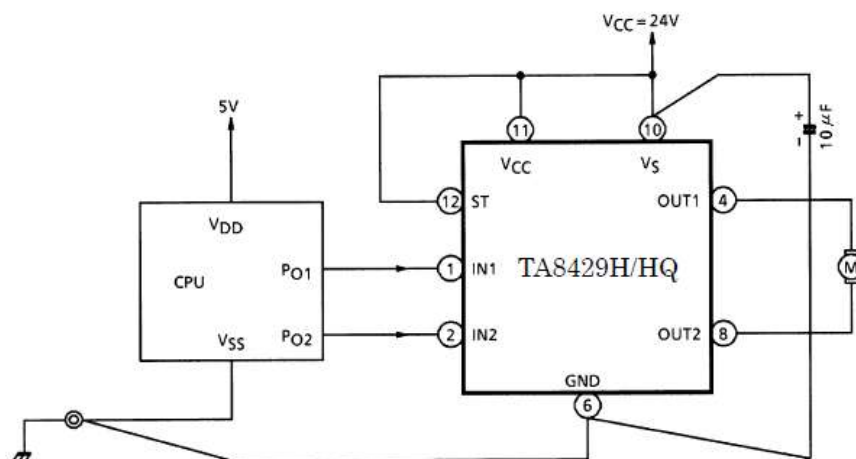


図 13 駆動回路(TA8429 マニュアルより)

[課題12] リニアモータの先端にフィルム状力センサを付け、加わる力も測定する。指で押した時に、リニアモータの振る舞いによって「柔らかい」材質を再現する。またこの材質の変形の様子を何らかの形で DxLib で表示する。

8.6 DC モータの駆動 (中級～上級)

研究室標準の DC モータである MAXON 社製 DC モータを駆動する。これ自体はインタフェースボード講習会でも行うので、B4 はなるべくこの課題を選ばないこと。

Hブリッジ回路による制御+PWM

エンコーダライブラリを用いてパルスカウントを行う。

エンコーダ用ライブラリ QEI <http://mbed.org/cookbook/QEI>

モータ駆動については 8.5 節と同様。

[課題13] DC モータの制御により「カチカチ感」を呈示する。モータの回転の様子を DxLib でビジュアルに表示する

8.7 外付けの AD を使う (中級～上級)

mbed には 6ch もの AD 変換が用意されているが、それでは足りない場合もある。この場合も、SPI 通信で外付けの AD を増やすことが出来る。DA の場合と違って入力。

12ビット 8ch AD コンバータ MCP3208-CI/P を使う。

<http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-00238/>

↓サンプルソースの例

<http://mbed.org/cookbook/SPI-communication-with-external-ADC-MCP3>

↓専用クラスの例

<http://mbed.org/users/Kemp/libraries/mcp3208/lsnbqh/docs/>

この IC 1 つで 8ch のチャンネルを追加できる。さらに追加する場合には、SPI 通信のデータ、クロック線は共通にし、CS 信号を追加すれば良い。

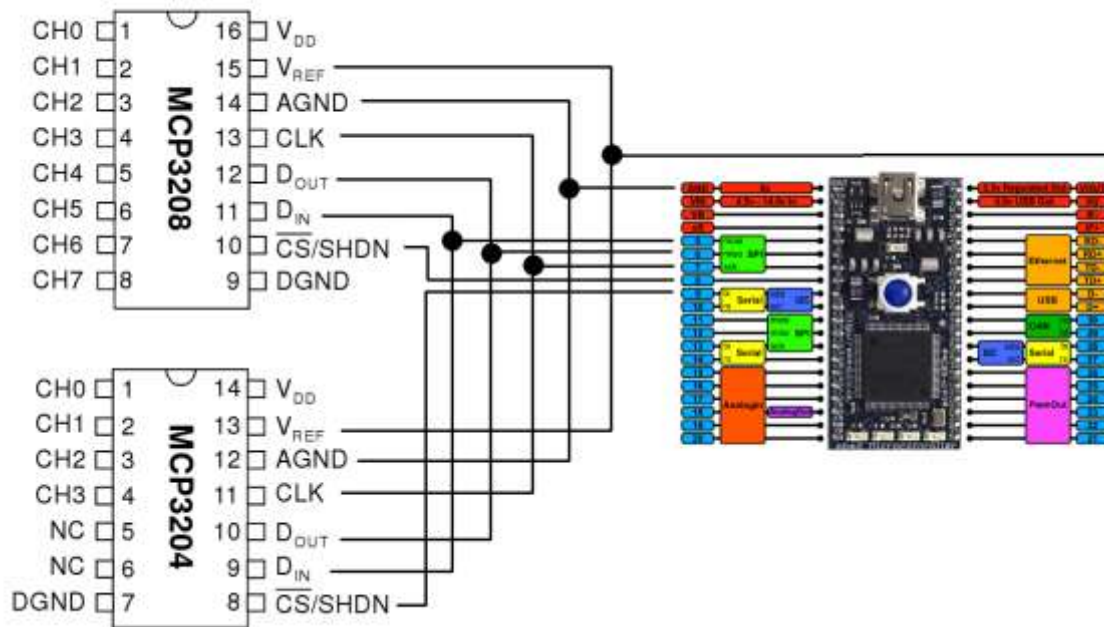


図 14 複数の AD コンバータをつなぐ例。Vdd は 5V に接続。CS によって IC を選ぶ。

<http://mbed.org/cookbook/SPI-communication-with-external-ADC-MCP3> より

[課題14] フィルム状力センサを 16 枚使い、4x4 の分布型触覚センサを作る。力分布を DxLib で画像表示する。回路は図 11 の曲げセンサ回路と同じで良い。

以上により、mbed を研究室の研究で使ういろいろな場面に対応出来ました。この講習では省いた他の機能としては、インターネットへの接続、USBAudio 以外の USB デバイスなどがあります。例えばインターネットへの接続はデバイスの無線化などに力を発揮するでしょう。ここまで出来たなら対応は容易でしょう。