

Tutorial 2A

創造設計第二 TA：傍島 駿介

2013 年 10 月 10 日

1. はじめに

今回の Tutorial では、既製品のセンサーやモジュールの使い方を学ぶことを目的とする。本日使用するものは、磁気センサ、PSD センサ、赤外線受信リモコンモジュールである。本 Tutorial で理解してもらいたいのは以下の 3 点である。

1. A/D 変換によるアナログ信号の計測
2. 外部トリガによる割り込み処理
3. 赤外線通信

本 Tutorial の課題は 5 章にある。2 章から 4 章の内容をよく読んだ上で取り組んでほしい。

本 Tutorial で使用する道具

- マイコンボード (VS-WRC003)
- 磁気センサ、PSD センサ、赤外線受信リモコンモジュール、赤外線 LED、抵抗
- ブレッドボード、ジャンパ線、わにぐちクリップ一式
- 単 3 電池 4 本、電池ボックス



注意

本 Tutorial では既製品のセンサを扱うことが多いが、各種センサをマイコンに接続する際には、配線が誤っていないかを十分確認せよ。センサの誤接続はセンサ本体に負荷をかけることになり、最悪の場合、センサが使えなくなる。

2. PSD センサ

創造設計第二では A 類部品として PSD センサ (GP2D12) が配布されている。PSD センサを利用することで対象との距離を計測することができる。

2.1 PSD センサの概要

PSD はセンサ自体が赤外線を発し、反射光の戻って来る位置を測定することで距離情報を計測する測距センサである。PSD は反射光の強度ではなく位置を測定に用いるため、反射物の色、反射率の影響を受けにくいという特徴がある。また、物体の接近だけでなく、物体への距離を数値的に計測することができる。

Fig.1 を見ればわかるが、GP2D12 の駆動電圧は約 5[V] であり、本マイコンの電源電圧 (3.3[V]) では GP2D12 は駆動しない。したがって、GP2D12 を駆動するにあたっては外部から電源を供給する必要がある。本 Tutorial では外部電源として充電式ニッケル水素電池 4 本 ($1.2[V] \times 4 = 4.8[V]$) を用いる。

GP2D12 のピン配置は、Fig.2 のようになっている。

2.2 PSD の出力と A/D 変換

PSD センサからの出力はアナログ出力である。今回配布する PSD センサは距離に対応した電圧を出力する。この電圧を A/D 変換してマイコンボードに取り込む。Fig.3 にデータシートを示す。



注意

PSD センサは個々で特性線図が異なるため、精密な測定をする場合は実験をして個々の特性線図を作成する必要がある。

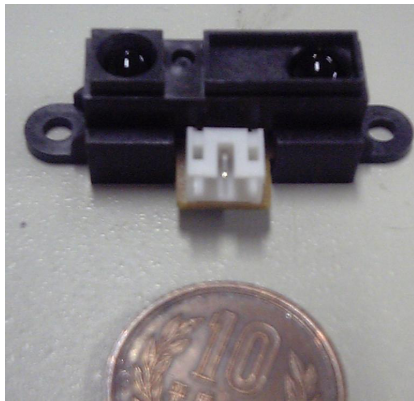
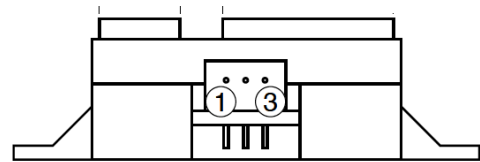


Fig. 1: GP2D12 (PSD センサ)



Terminal connection

- ① V_O (Signal)
- ② GND
- ③ V_{CC} (5V)

Fig. 2: GP2D12(PSD センサ) のコネクタ

■ 出力電圧と距離特性(GP2D12)

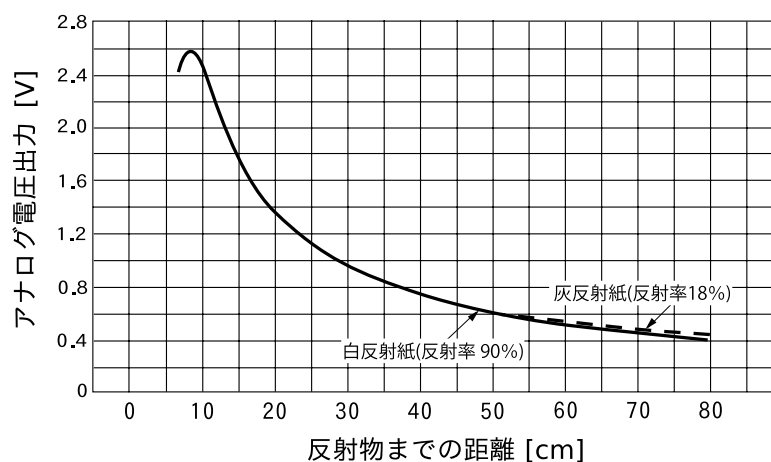
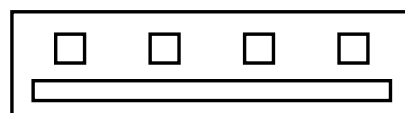


Fig. 3: データシートより

2.3 A/D 変換

本マイコンボードには 10 ビット分解能の A/D 変換器が搭載されており、合計 8 チャンネルの入力が可能となっている。A/D 変換の動作モードには単一モードとスキャンモードの 2 種類があり、レジスタを設定することによって動作モードを切り替えることができる。単一モードは特定のレジスタが 1 になったとき A/D 変換を行い待機状態に戻るのに対し、スキャンモードは連続的に A/D 変換を行う。スキャンモードは大変便利であるが、消費電力が大きくなってしまうので注意が必要である。

以下に、AN1^{*1}を用いてスキャンモードによる A/D 変換の設定例を示す。ただし、マイコンボードの A/D 変換用のピンの配置については Fig. 4 を参照されたい。



+3.3V, 100Ω-GND, GND, signal (+3.3V pull-up)

Fig. 4: A/D 変換用のピン配置

^{*1} ハードウェアマニュアルで言うところの AN1 であり、マイコンボードには AN2 と記載されているので注意されたい。

```

float adVoltage; /* AD 変換の結果を格納する */

/**** AN1 で AD 変換させる ****/
AD.ADCSR.BIT.CH   = 1; /* チャンネルを 0b001 に設定する */
AD.ADCSR.BIT.ADST = 0; /* クロックセレクト変更のため */
AD.ADCSR.BIT.CKS   = 0; /* クロックセレクト変更. この変更は ADST = 0 のもとで行う */
AD.ADCSR.BIT.SCAN  = 1; /* SCAN モードにする */
AD.ADCSR.BIT.ADIE  = 0; /* 割り込みは入れない */
AD.ADCSR.BIT.ADST  = 1; /* AD 変換をスタートさせる */

.....

while (1) {
    adVoltage = 3.3 * (AD.ADDRB >> 6) / 1024.0;
}

```

最後の 1 行について説明を加えておこう．ここで用いた A/D 変換の分解能は 10bit であり，0[V] から 3.3[V] までの値を 10bit に離散化した値が `AD.ADDRB` の上位 10bit に格納されるようになっている．すなわち，AD 変換の入力に加えられた電圧を $V \in \mathbb{R}$ ，`AD.ADDRB` の上位 10bit が表す値を $k \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}$ とすると，

$$k = \left\lfloor \frac{2^{10} \cdot V}{3.3} + \frac{1}{2} \right\rfloor$$

という関係をもつ．ただし $1/2$ を加えた後の floor は四捨五入を意味している．上式を書き換えると

$$\frac{3.3}{2^{10}} \left(k - \frac{1}{2} \right) \leq V < \frac{3.3}{2^{10}} \left(k + \frac{1}{2} \right)$$

となるが，今は便宜的に $V \approx 3.3k/2^{10}$ としてしまうことにする．また，16bit 変数である `AD.ADDRB` の上位 10bit を得るためには `AD.ADDRB` を 6 回右シフトすればよく，さらに $2^{10} = 1024$ であるから，これを C 言語で記述すると最後の 1 行のようになる．

2.4 回路例

以下に回路の例を示す．必ずしもこの通りにしなければならないわけではない．**Fig. 5** に出力と MCU ボードの端子台の間に Op-Amp によるバッファをはさんだ回路の例を示す．必ずしもこの通りにしなければならないわけではないことに注意する．また，Op-Amp は LM358（ピン配置は **Fig. 6**）を用いる．

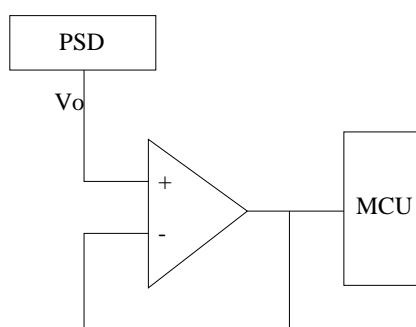


Fig. 5: バッファ

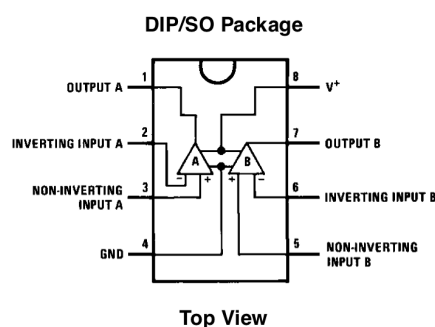


Fig. 6: LM358 ピン配置

3. 磁気センサ

マグネットなどの磁気を検出するために、本 Tutorial では磁気センサ W2DG-E01 を用いる。W2DG-E01 の定格および内部接続図は Fig. 7 の通りである。内部接続図をみると、この磁気センサはただのスイッチのようになっていること

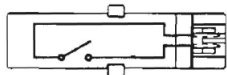
■ 定格		■ 内部接続図	
項目	規格		
接点構成	Ia接点		
定格負荷	DC12V 10mA (抵抗負荷)		
接点電圧の最大値	DC100V		
接点電流の最大値	DC0.5A		
開閉容量の最大値	DC10W		
使用温度範囲	0~55℃ (ただし、氷結・結露のないこと)		
使用湿度範囲	35~85%RH		

Fig. 7: W2DG-E01 の定格

がわかる。磁石を近づけるとスイッチがオンとなり、遠ざけるとオフとなる。つまり、センサ出力は 2 値的に変化する。そのため、今回は A/D 変換を使わずに IO ポートの外部割り込みを利用してセンサ出力を取得することにする。

しかし実際には、磁気の強さによって連続的に出力が変化しており、A/D 変換を用いてセンサ出力を監視することもできる。A/D 変換については前節を参照されたい。

3.1 接続例

ポートの出力を安定化するためにプルアップあるいはプルダウンを必要とする。Fig. 8 はプルダウンを施した場合の接続例である。

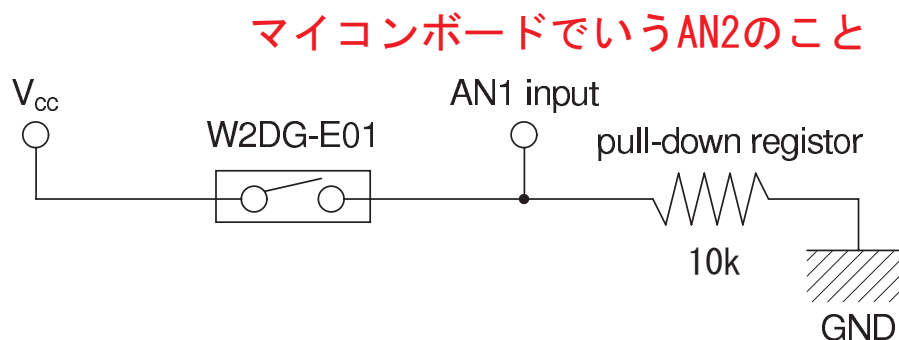


Fig. 8: 磁気センサ接続例

3.2 磁気センサを外部トリガとした割り込み処理

ここでは「磁気センサが反応したら割り込み処理を起こす」という動作をマイコンに組み込んでみる。Fig. 8 のようにマイコンとセンサを接続した場合、マイコンの P50 ポート (Fig. 9) は、磁気センサが反応していないときは約 0 [V]、反応しているときは約 3.3 [V] になる。P50 を入力ポートに設定し、P50 の電圧が上がったときに割り込み処理が入るようにする。具体的な設定は以下ようになる。

PB6, PB4, P71, P74, P66, P62, P56, P54, P52, P50, NMI, Vbat, GND



PB7, PB5, P70, P72, P67, P63, P57, P55, P53, P51, RES, --, +3.3V

Fig. 9: VS-WRC003 の IO ピン配置

```

/** P50 の外部トリガで割り込みを発生させる */
IENR1.BIT.IENWP = 1; /* WKP 割り込みを利用可能にする */
IO.PMR5.BIT.WKP0 = 1; /* P50 を WKP0 割り込み入力ポートに */
IEGR2.BIT.WPEG0 = 1; /* 立ち上がりを検出 */
IWPR.BIT.IWPF0 = 0; /* 割り込みフラグレジスタ */

.....

/* * * * * *
 * INT_WKP : P50 の立ち下がりを検出して割り込みをかける関数
 * */
__interrupt(vect=18) void INT_WKP(void)
{
    /* 次の割り込みのためにフラグを下げておく */
    IWPR.BIT.IWPF0 = 0;

    /* 以下、割り込み関数の内容を記述する */
}

```

4. 赤外線通信

赤外線通信は、TV などのリモコンや携帯電話などに利用されている無線データ通信である。受信部である赤外線受信モジュールが、送信部の赤外線 LED が発する赤外線を受信し、その信号をマイコンでデータ化することでデータ通信が成立している。

ここで、私たちにとって身近な赤外線リモコンの仕組みを見てみよう。

4.1 赤外線リモコンの仕組み

赤外線リモコンは、2 つの変調を使ってデータを送信している。

1 つ目の変調は、振幅偏移変調 ASK (Amplitude Shift Keying) と呼ばれる変調である。約 38 [kHz] の搬送波 (キャリア) の上にチャンネルなどの情報をのせて TV の受信部にデータを送る振幅変調である。

この変調によってノイズに強い通信を行うことができる。自然界にはいくつかの赤外線のノイズ源が存在している。これらのノイズの中で正しく信号をやり取りするには、受信部でノイズレベル以上となるような強度で赤外線を送信する必要がある。しかし、単純に赤外線の強度を上げるには、大きな電力が必要になる。そこで、キャリア周波数で赤外線を ON/OFF し、赤外線 OFF の時間をつくることで、同じ電力でも赤外線強度を強くすることができる。

この違いを模式的に表したのが以下の Fig. 10 である。

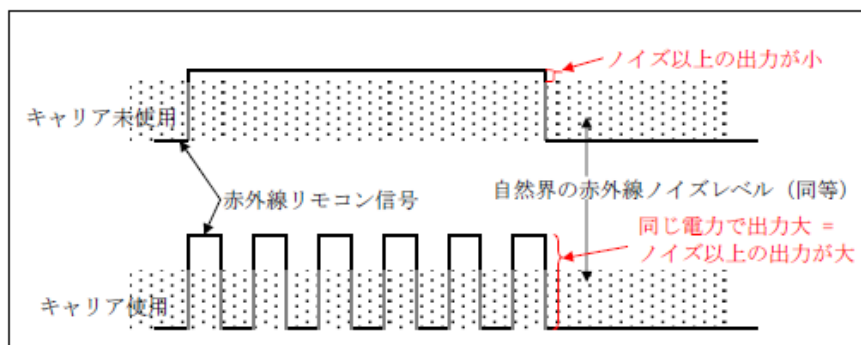


Fig. 10: ASK 変調

キャリアを用いない時にはノイズとほとんど変わらないような場合でも、キャリアを用いてピークの電力だけを大きくした場合には、トータルでは同じ電力でもノイズより信号を大きくできる。また、キャリア周波数で ON/OFF する

ことで、受信時にその周波数成分以外にフィルタをかけて取り出す事で、さらにノイズに強い通信を行うことが可能である。

2つ目の変調は、パルス位置変調 PPM (Pulse Position Modulation) である。データが“0”の場合は ON の時間と OFF の時間を同じにし、“1”の場合には ON の時間の後に OFF の時間が ON の時間の約 3 倍続くようにする (Fig. 11)。このように OFF の時間をデータによって変えることで、情報の伝達を行う変調方式である。つまり、“0”と“1”の区別は赤外線の有無ではなく、ビットの長さ (つまり、赤外線が出されていない期間の長さ) で区別するようになっている。

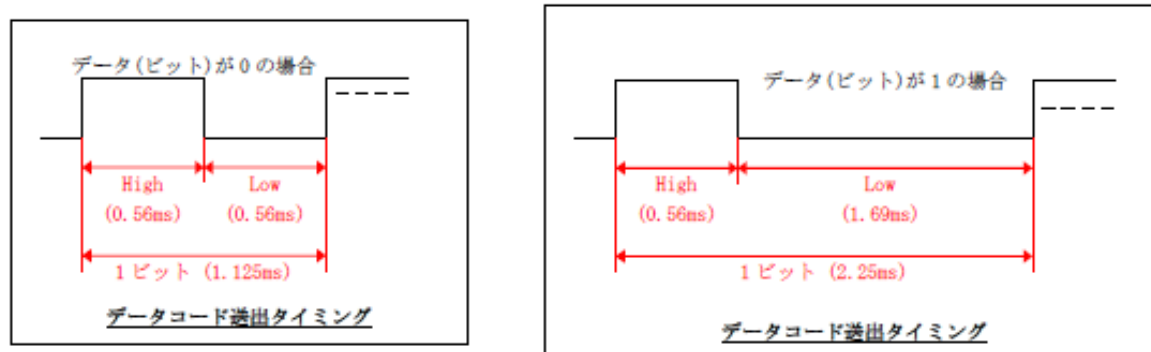


Fig. 11: PPM 変調

4.2 赤外線受信モジュール (受信部)

赤外線受信モジュール (PL-IRM2121-A538) を Fig. 12 に示す。電源は 5V であり、充電式ニッケル水素電池 4 本 ($1.2[V] \times 4 = 4.8[V]$) で駆動できる。

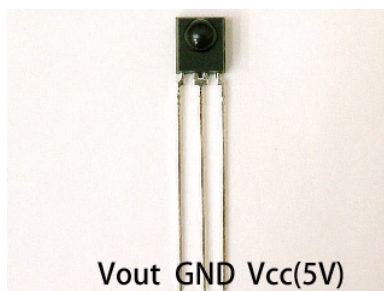


Fig. 12: PL-IRM2121-A538 (赤外線受信モジュール)

受信モジュールのブロック線図 (Fig. 13) を見ると、フォトトランジスタやフォトダイオードとは異なり、搬送波で変調された信号を増幅・成形出力するための、さまざまな回路 (増幅回路、フィルタ回路、復調回路等) がすでに内蔵されていることがわかる。そのため、回路を新たに追加する必要はない。この受信モジュールには、中心周波数 38 [kHz] のバンドパスフィルタ (Fig. 14) が内蔵されており、38 [kHz] 程度で点滅する赤外線にのったデータを選択的に受信することができる。つまり、照明光などによる誤作動が防止されている。

受信モジュールは、赤外線を受けたとき約 0 [V] を出力し、受けないときは約 5 [V] を出力する。

4.3 赤外線 LED (送信部)

送信部となる赤外線 LED の回路例を Fig. 15 に示す。抵抗値を変えることで、赤外線 LED の出力を変えることができ、受信モジュールの反応する距離を調整できる。



注意

LED は足の長い方が+極である。

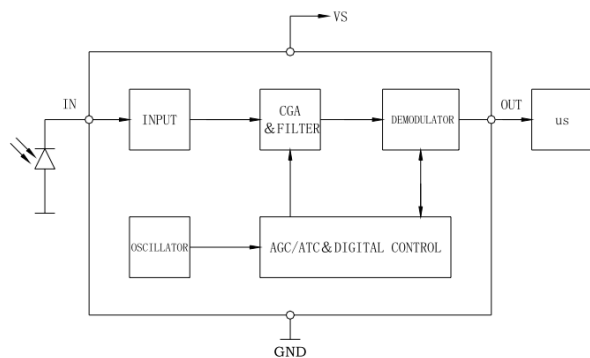


Fig. 13: ブロック線図

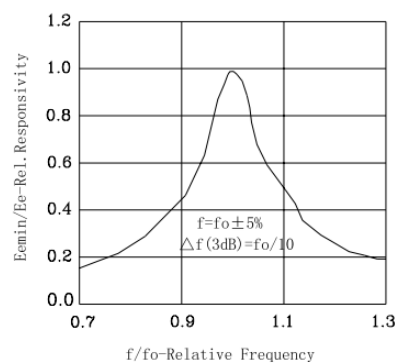


Fig. 14: バンドパスフィルタ ($f_O = 38$ [kHz])

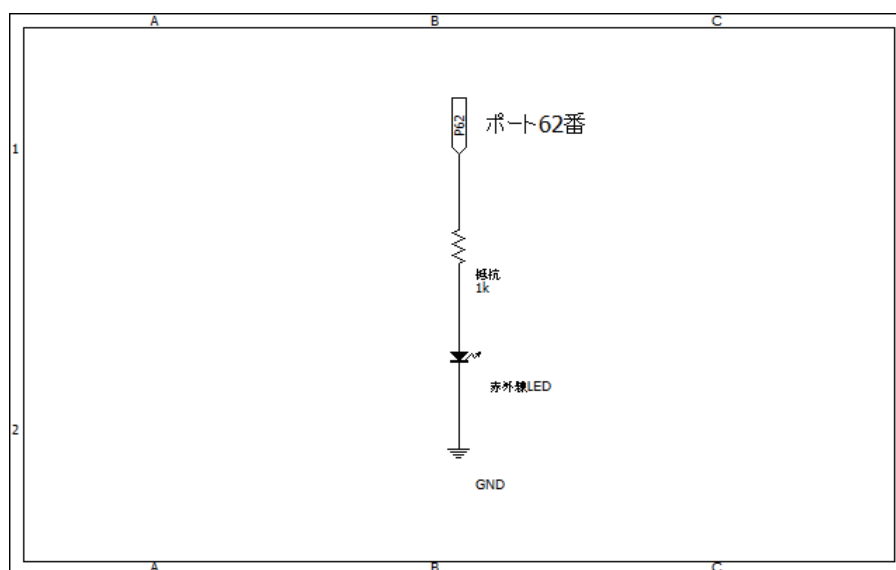


Fig. 15: 送信部の回路例

4.4 参考資料

秋月電子通商, リモコンフォーマット, http://akizukidenshi.com/download/k4174_format.pdf

5. 本 Tutorial の課題

5.1 準備

- (1) 講義のホームページ <http://www.irs.ctrl.titech.ac.jp/ss2013.htm> から Tutorial2A の資料をダウンロードせよ。課題をこなすにあたっては、フォルダ内にある H8/36064 ハードウェアマニュアル等を適宜参照せよ。
- (2) Tutorial1 回目を参考に、モニタプログラム (/monitor/monitor/Release/MONITOR.MOT) をマイコンに書き込み、モニタプログラムを使うことで、printf と scanf が使えるようになる。(自作プログラムを ROM に書き込む場合には、printf 及び scanf は利用できない。)

まず、Tutorial2A のフォルダ内の ss2shisaku02 のプロジェクトを使う。

5.2 PSD センサ

- (1) PSD センサの発光部から赤外線が出ていることを確認せよ。赤外線は人間の目には見えないが、携帯電話に搭載されたカメラなどを通して確認することができる。



注意

PSD センサの電源電圧は、5 [V]。配線を間違えないように。

- (2) モニタプログラムを利用して、AD 変換により PSD センサの値を確認せよ。(Hterm 上で"ss2shisaku02.mot"を Load し Go する。)
- (3) PSD センサとある物体の距離が約 10cm のときのセンサ値を確認し、閾値を決めよ。
- (4) その閾値を使って、物体がセンサから約 10cm の距離にあるときに LED1 が点灯するようにせよ。

5.3 磁気センサ

- (1) プルダウンを施した回路を作成し、モニタプログラムを利用して、AD 変換により磁気センサの値を確認せよ。(Hterm 上で"ss2shisaku02.mot"を Load し Go する。)



注意

磁気センサの+極に加える電圧は、マイコンから得られる 3.3 [V] でよい。

- (2) 閾値を適当に設定し、磁石がセンサに近づいたときに LED1 が点灯するようにせよ。
- (3) 次に AD 変換ではなく外部割り込み WKP (P50) を使って、磁石がセンサに近づいたときに LED2 が点灯するようにせよ。(AD 変換時の配線はそのままよい。センサの信号線を P50 につなげよ。)

これ以降は、Tutorial2A のフォルダ内の irCommunication のプロジェクトを使う。

5.4 赤外線通信

送信信号と受信信号をイメージしやすいように、オシロスコープの波形を Fig. 16 と Fig. 17 に示した。サンプルプログラムを読み解くヒントにせよ。ただし、送信部のプログラムには、Tutorial 第 3 回に登場するタイマ Z が使用されているので、今すぐに理解する必要はない。

課題のサンプルプログラムでは、"0"と"1"のデータをリモコンの仕組みと同様に、赤外線 LED を OFF にしている時間をもとに区別している。受信部のプログラムには、立ち下がりエッジを検出する外部割り込み WKP が使われており、立ち下がり-立ち下がり間の時間をタイマ B で計測することで、"0"と"1"の判別を行っている。

- (1) ブレッドボードなどを活用し、送信部 (Fig. 15) と受信部 (WKP を使うため、信号線を P50 につなぐ) の回路を作成せよ。(一つのマイコンは送信部の役割を、もう一方には受信部の役割を割り当てよ。)



注意

受信モジュールの電源電圧は、5 [V]。

- (2) ボタンを押していないときは、赤外線 LED から”0”のデータが受信モジュールに送られ LED1 が点灯し、一方押しているときは、”1”のデータが送られ LED2 が点灯するようにしたい。P64 と P65 のデータレジスタ (PDR) の値を設定せよ。
- (3) Hterm を使うのではなく、マイコンの ROM に irCommunication.mot を書き込みプログラムを実行せよ。(1bit のデータをマイコン間でやりとりできるようになった。リモコンの仕組みを参考に、やりとりできる bit 数を多くできるように各自プログラムを改良してもらいたい。)

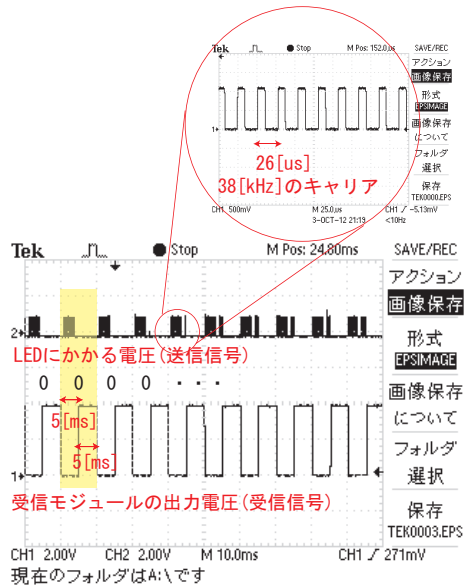


Fig. 16: "0"のデータ波形

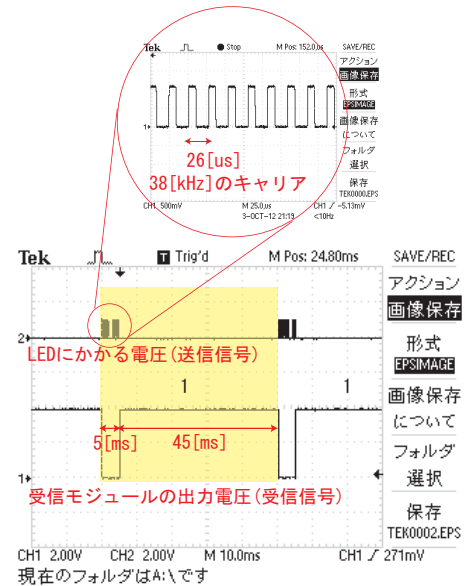


Fig. 17: "1"のデータ波形