

航空機実験用加速度スイッチの作り方 (第四回) 初心者のためのマイコン電子工作講座

夏井坂 誠

How to Make an Acceleration Switch for Parabolic Flight Experiments (No. 4) A lecture for a Beginner to Make a Microcomputer-Controlled, Electronic Device

Makoto NATSUISAKA

Abstract

The lecture introduces how to make a microcomputer-controlled, electronic device for a beginner. A series of lectures provides not only how to measure a physical property with an electronic sensor, convert it to a digit (analog digital conversion), switch on and off an electronic circuit with FET (Field Effect Transistor), and control those with a microcomputer but also practical know-how to design an actual electronic circuit, choose appropriate electronic parts, and mount those to a PCB (printed-circuit board), with explaining how to make “an acceleration switch”. The switch can automatically turn on and off a connected device according to an acceleration level measured with an acceleration sensor and contribute to parabolic flight experiments through size reduction of an apparatus, less operation, and precise control of the experiments.

Keyword(s): acceleration, microcomputer, sensor, FET, parabolic flight

1. はじめに

さて今回は、いよいよ加速度スイッチを組み立てます。

や定格を変更したいときに、最小限の手直しで済むように、スイッチング基板を制御基板から独立させています。

2. 加速度スイッチの組み立て

2.1 仕様

今回製作する加速度スイッチは、以下のような仕様とします。

- ・制御加速度： Z 方向 1 軸のみ (1Hz サンプリング)
- ・スイッチング可能な回路数： 4ch (各 ch に DC100V, 23A までの装置を接続可能←スイッチングに使用する MOSFET, IRLI540NPbF の性能に由来)

製作する基板は、制御基板 (電源回路, MDSPIC2012 と MM2860 を搭載) とスイッチング基板 (FET を 4 つ搭載) の 2 枚になります (Fig. 1)。頑張れば 1 枚にまとめられるのですが、将来部品を追加したくなったり、修正を加えなくなったりしたときのために、あえて大きめの基板を使用し、また、スイッチング対象装置の接続数

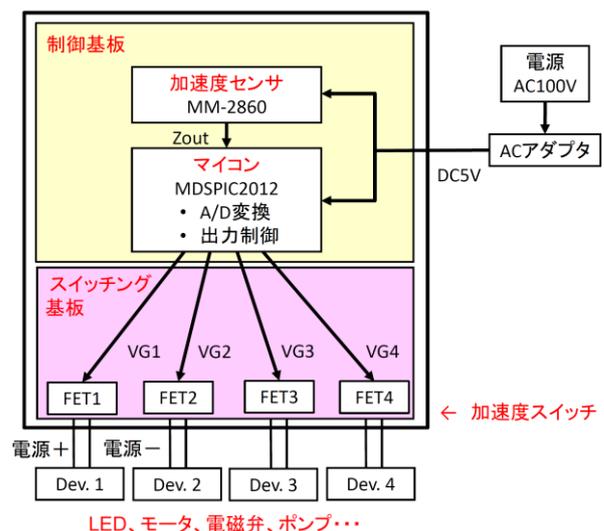
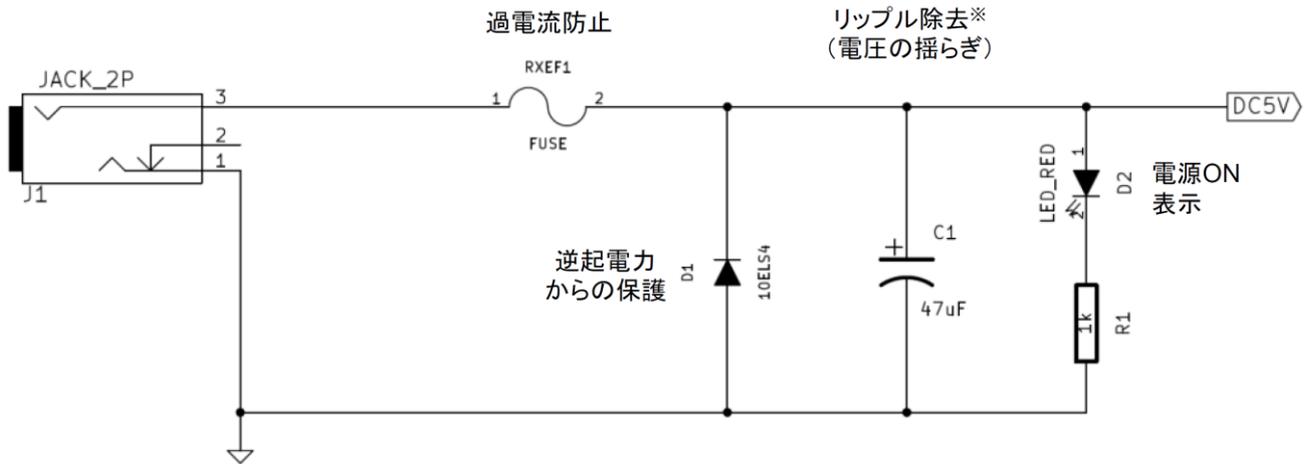


Fig. 1 Acceleration Switch



※ リップル除去には電気容量の大きい電解コンデンサが使われる
宇宙機では電解液の漏れを予防するためにタンタルコンデンサが使われることがある
(ただしショートモードで壊れないものを使う)

Fig. 2 Power Input Circuit

2.2 制御基板の製作

まず、制御基板を製作します。全体の回路図を **Appendix 1** に示します。以下、電源回路と制御計測回路（マイコン基板 MDSPIC2012+加速度センサ・モジュール MM2860）とに分けて、解説を加えます。

(1) 電源回路

今回使用する部品は MDSPIC2012 と MM2860 だけなので、必要となる電源は DC5V のみになります。そこで、DC5V 出力の AC アダプタを使用することにしました。回路の消費電力は 1A もないと思いますが、余裕をみて 1.5A 以上のものを選んで下さい。（今回は 2A のものを使用しています。）これ以外にも、三端子レギュレータや DC-DC コンバータなどを使用していただいても結構です。ここで、AC アダプタからの DC5V を直接マイコンや加速度センサに供給しても良いのですが、誤接続、電源リップル（電圧の揺らぎ）などによる回路の破壊、誤動作を防止するために、通常 **Fig. 2** のようにいくつかの保護素子を入れます。

・DC ジャック (Figs. 2, 3 の J1)

DC ジャックは、いくつか規格がありますので、使用する AC アダプタに合ったものを選んで下さい。また、極性がありますので、使用する AC アダプタの極性（今回使用するものはセンタ+）を確認の上、組み付けるようにして下さい。なお、一般的な DC ジャックの足はユニバーサル基板に挿りませんので、今回は DC ジャック DIP 化キット (**Fig.3** の J1) を使用しています。事前に組み立てを行って下さい。

・フューズ (Figs. 2, 3 の FUSE)

過電流防止のためにフューズまたはブレーカを挿入します。通常のガラス管式フューズなどを使用しても良い

のですが、場所を取るのと、フューズが切れた場合交換が必要になるので、今回はポリマ・リセットابل・フューズ（ポリ・スイッチなどとも呼ばれる：**Fig. 3**）を使用します。ポリマ・リセットابل・フューズは、導電性フィラーを充填した高分子樹脂の中に電極を差し込んだ構造をしており、通常はフィラー同士が接触し合っているために、電流が流れるのですが、大きな電流が流れるとジュール熱が発生、高分子樹脂が膨張するために、フィラー同士が分離、電流が遮断されることとなります。さらに電流が遮断されるとジュール熱が発生しなくなるので、高分子樹脂が収縮、導電性フィラーの接触が回復するので、ガラス管式のように新しいものに交換しなくても、自然に導通が回復することになります。また、サイズもガラス管式に比べれば非常に小さいので、大変使い勝手の良いフューズとなっています。様々なものがありますので、使用条件に合わせて適当なものを選んで下さい。

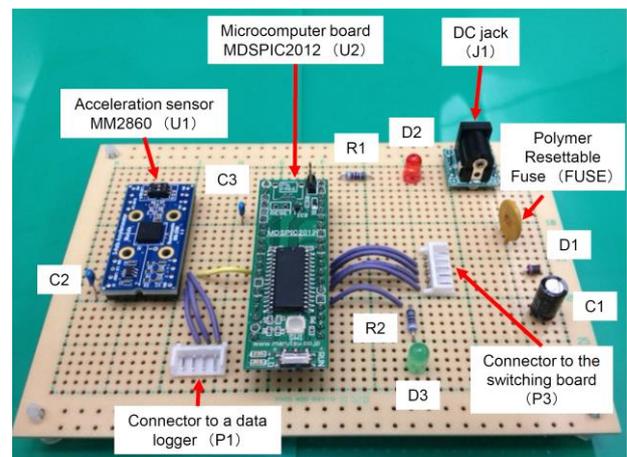
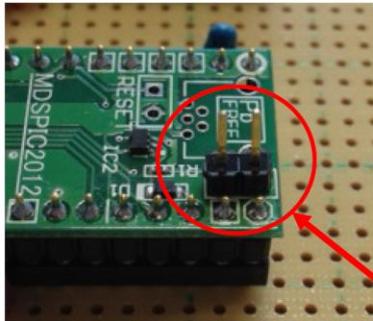


Fig. 3 Components on the Switching Board

グラムを書き込むときに使用されるダウンロード・ケーブルは、PROG_DATA と GND に接続します。直接 40 番と 39 番ピンにダウンロード・ケーブルをハンダ付け、またはダウンロード・ケーブル用コネクタを取り付けても良いのですが、MDSPIC2012 基板上に 2 極の角ピン・ヘッダを取り付けられるようになっていますので、



Connector for a download cable

Fig. 5 Connector for a Download Cable



Fig. 6 Download Cable

今回はここに角ピン・ヘッダをハンダ付けして (Fig. 5)、使用することとしました。ダウンロード・ケーブルは、第二回で一度説明しましたが、この角ピン・ヘッダに合うように以下の通り、改良または再製作して下さい。

- ・Dsub9 ピン・コネクタのメスと PC 用 LED 延長ケーブル 2P タイプ (パソコン自作パーツ屋で販売) を購入。
- ・Dsub9 ピンの 3 番ピンと 5 番ピンにケーブルを取り付ける。3 番ピンがデータ線 (マイコンの 40 番ピンに接続)、5 番ピンがグラウンド (マイコンの 39 番ピンに接続)。番号はピンの横に小さく書かれている。
- ・ハンダ付け後は、接合部を熱収縮チューブで覆う。
- ・PC 用 LED 延長ケーブル 2P タイプのオス側を切り離し、メス側のリード線を、Dsub9 ピン・コネクタにハンダ付けしたリード線に接続する。著者の場合は、PC 用 LED 延長ケーブル 2P タイプを半分に分断 (Fig.6 右)、オス側、メス側を各々接続できるように、Fig.6 左のように ECON コネクタ (住友 3M 製) で接続しています。(オス側はブレッドボードなどで使用。)

2.3 スイッチング基板の製作

スイッチングは、MOSFET (International Rectifier 社製 IRLI540NPbF) で行います。4 回路接続可能なように、4 個の MOSFET を使用します (Appendix 2)。冗長となるので、1 回路分しか描いておりませんが、Fig. 7 に基本構成を示します。制御対象回路は、2 極のコネクタ P102~P105 (Fig. 8) に接続します。また、制御基板から送られてきた制御電圧は 5 極コネクタ P101 (Fig. 8) を

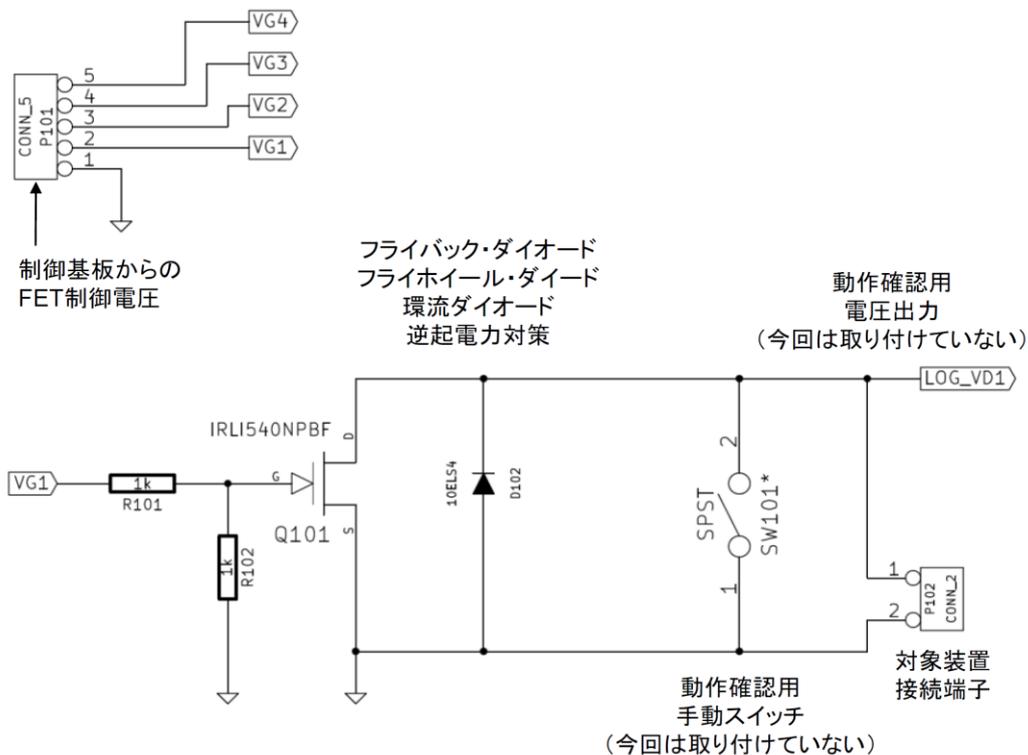


Fig. 7 Switching Interface with a MOSFET

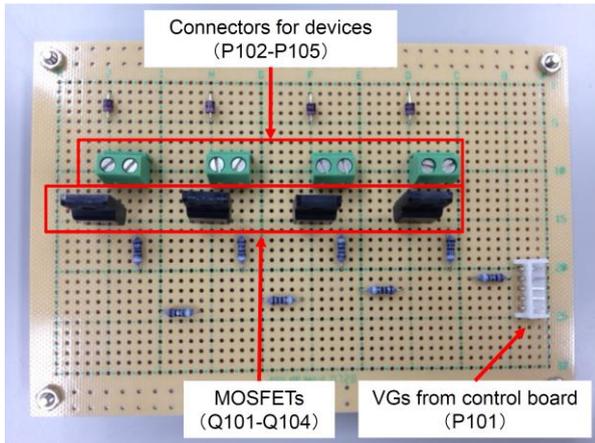


Fig. 8 Switching Board

經由して、スイッチング基板に入力されます。この電圧 (Fig. 7 の VG1-VG4) を MOSFET (Fig. 8 の Q101-Q104) のゲートに入力させてスイッチングを行います。第一回で説明した通り、電流制限抵抗 R101, R103, R105, R107 とプルダウン抵抗 R102, R104, R106, R108 も忘れずに接続して下さい。ダイオード D102-D105 は、フライバック・ダイオード、フライホイール・ダイオード、環流ダイオードなどと呼ばれ、誘導性 (コイル成分を持つ) 負荷を接続した場合に発生する逆起電力対策として入れています。また、今回使用しないのですが、スイッチ (Appendix 2 の SW101-SW104) を入れておけば、手動でスイッチングを行うことができ、接続回路側の健全性確認などに使用することができるようになります。さらに、Appendix 2 の LOG_VD1-LOG_VD4 の各電圧をモニターすることによって、MOSFET (Appendix 2 の Q101-Q104) のスイッチングの様子を監視することが可能となります。(スイッチ OFF で接続回路端子間電圧, ON で 0V 近くの値 (正確に言うと MOSFET の ON 抵抗 × 接続回路端子間電流) となる。)

2.4 組み立て

これから各基板の組み立てを行います。使用する部品を Appendix 3 にまとめてあります。また、実体配線図というにはお粗末ですが、ユニバーサル基板に対してどのように配置・配線を行うかを Appendix 4, 5 に示しています。各々ハンダ面を表しています。緑の線は、今回使用したユニバーサル基板 (秋月電子 P-00183 : Appendix 3 参照) の部品面に目印として印刷されている緑色の線を表しています。赤い線は DC5V ライン, 青い線はグランド・ライン, 黄色い線は信号ラインを表しており、銅線またはすずメッキ線などをハンダ付けして下さい。ラジオペンチなどで外形を整え、動かないように適当箇所をテープ止めにしてハンダ付けを行って下さい。(後から部品のリード線をハンダ付けしたりするので、最初は要所のみをハンダ付けして下さい。) 次に、実体配

線図と部品リストを参照しながら、各部品を組み付けていきます。コネクタ, IC ソケット, 抵抗, ダイオードというように背の低いものから順番に組み付けていきます。ハンダ付けの要領は第二回にまとめてありますので、そちらをご覧ください。ご参考まで、ハンダ面の様子を Fig. 9, Fig. 10 に示します。Appendices 4, 5 中、ダイオードは回路図記号と同じように極性を書いておりますので、正しい向きに取り付けて下さい。また、電解コンデンサも極性がありますので、正しい向きに取り付けて下さい。制御基板の U1, U2 には各々 MM2860, MDSPIC2012 を取り付けるのですが、取り外し可能なように IC ソケットを介して取り付けます。各々 28 × 600MIL, 40 × 600MIL のものをハンダ付けして下さい。なお、IC ソケットにも向きがあります。Appendices 4, 5 中、U1, U2 の○の向きに、IC ソケットの切り欠きが来るように取り付け、完成後はその向きに 1 番ピンが来るように、各 IC を差し込んで下さい。(Appendix 4 中、MDSPIC2012 の足の所に割り振られた P1, P3, P4・・・という番号は、ピン番号を表しています。) また、MOSFET (Q101-Q104) の 3 本の足にも取り付ける向きがありますので、データシートでどの足が G, D, S

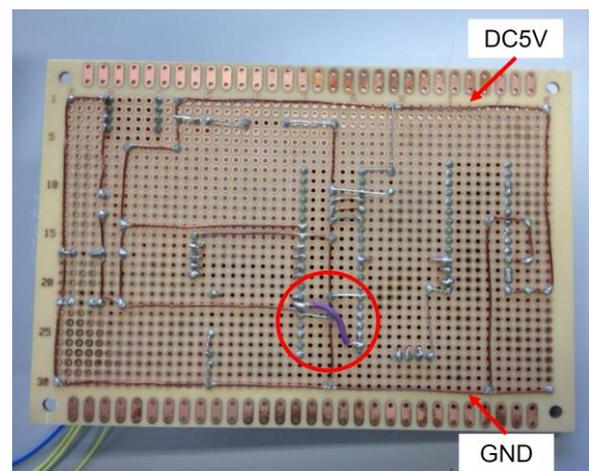


Fig. 9 Wiring for the Control Board

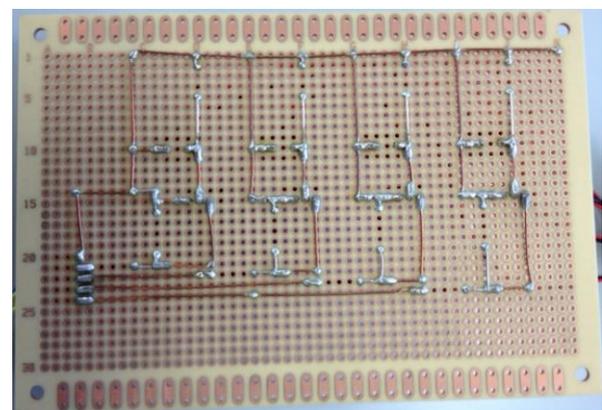


Fig. 10 Wiring for the Switching Board

のいずれに対応するかを確認した上で、適切な場所に取り付けて下さい。(P101 からの信号ラインを接続するのが G, センターが D, グランド・ラインに接続するのが S.)

Appendix 4 の黄色い破線は、部品面側に被覆線で結線して下さい (**Fig. 3** 中の紫と黄色の被覆線)。被覆線で結線した理由は、将来的に結線を替えたり、保護素子等を加えたりできるようにしたからです。また、**Appendix 4** の赤い破線は、ハンダ面側でグランド・ラインを跨ぐように被覆線で結線して下さい (**Fig. 9** 中の赤色の丸囲み)。

なお、制御基板とスイッチング基板の接続には、制御基板上のコネクタ P3 とスイッチング基板上的のコネクタ P101 にマッチするケーブルを自作して下さい。(取り外しを行うことを考えて、コネクタを使用していますが、コネクタは入手性に難があったり、高価な専用工具が必要となったりしますので、コネクタを使わず、そのまま直結していただいても結構です。)

3. 試してみよう

後は、スイッチングさせたい装置をコネクタ P101-P104 に接続していただいて、適当なプログラムを書き込んでいただければ完成となります。ここでは、一例として、以下のような加速度インジケータを製作します。

P101-P104 各々に LED を接続、0G 未満ならば 1 灯 (RB6) のみ点灯、0G 以上 0.5G 未満ならば 2 灯 (RB6&RB7) 点灯、0.5G 以上 1G 未満ならば 3 灯 (RB6-RB8) 点灯、1G 以上ならば 4 灯 (RB6-RB9) 点灯。

3.1 デモ基板の組み立て

Figure 11 に示した通り、4 組の LED を持つデモ基板を製作して下さい。LED の電源として、図中 9V の乾電池を使用していますが、6.3V 以上 (実際はもう少し余裕があった方が良い) のものを用意していただければ、乾電池、AC アダプタ、3 端子レギュレータ、DCDC コンバータ、なんでも結構です。完成したら **Fig. 11** 中、4 組ある赤と黒のリード線の組みを各々 P101-P104 に接続して下さい。

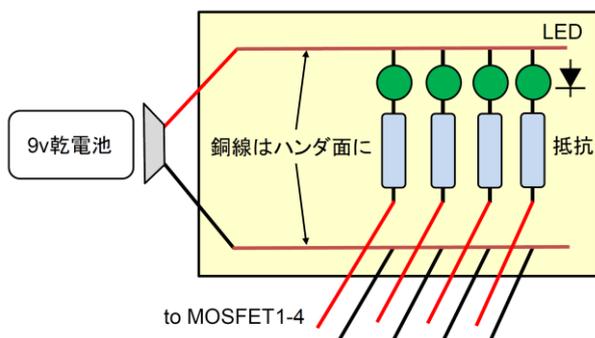


Fig. 11 Demonstration Board

3.2 デモプログラム

動作は、既述の通り、

- 0G 未満なら 1 灯 (RB6) のみ点灯
- 0G 以上 0.5G 未満なら 2 灯 (RB6&RB7) 点灯
- 0.5G 以上 1G 未満なら 3 灯 (RB6-RB8) 点灯
- 1G 以上なら 4 灯 (RB6-RB9) 点灯

となります。ここで、スイッチング閾値 0G, 0.5G, 1G は、加速度センサ Z 方向の出力電圧で表すと、各々 1.65V, 2.05V, 2.45V となり、12 ビット AD 変換を行うと、1350, 1678, 2006 となりますので、加速度センサからの入力電圧の 12 ビット AD 変換結果が、

- 1350 (0G) 未満なら RB6 のみ ON
 - 1350 (0G) 以上 1678 (0.5G) 未満なら RB6&RB7 を ON
 - 1678 (0.5G) 以上 2006 (1G) 未満なら RB6-RB8 を ON
 - 2006 (1G) 以上なら RB6-RB9 を ON
- します。

なお、前回までデジタル出力は、PORT コマンドを使って、「PORTBbits.RB6=1;」(RB6 に出力する場合) のように記述して下さいと説明してきました。しかし、今回は LAT コマンドを使って、「LATBbits.LATB6=1;」(RB6 に出力する場合) として下さい。これは、PORT コマンドを使用した場合、容量性負荷 (コンデンサ成分を持つ負荷; MOSFET のゲート端子も寄生容量を持つ) をつなぐと、レジスタの書き換えが間に合わず誤動作する可能性があるため、LAT コマンドを使用することにより、これを回避することが可能です。(MOSFET のゲート端子にも寄生容量があります。)

全体のプログラムは、**Appendix 6** に示します。

なお、加速度のサンプリング周波数は、Part10 のループで制御しています。(30Hz 以下の場合、RF5 に接続した緑色 LED (D3) の点滅で確認できます。) サンプリング周波数を調整したい場合は、ここを変更して下さい。

(より厳密にサンプリング周波数を設定する場合は、水晶発振器のような正確なクロックを組み込むとともに、「割り込み」という機能を使います³⁾。)

3.3 Let's try!

上記のプログラムを書き込んだら、マイコンを RUN させ、制御基板を傾けてみて下さい。加速度センサの Z 方向は基板にシルク印刷されていますが、基板に垂直方向となります。基板を水平に置いた場合が 1G, 60° 傾けた場合が 0.5G, 90° 傾けた場合が 0G となりますので、基板の傾きに応じて、前項の通りの点灯状態となっていることを確認して下さい (**Figs. 12, 13**)。

3.4 シグナル・コンディショニング

最後に、シグナル・コンディショニングに少しだけ触れたいと思います。詳しく説明すると、紙面がいくらあっても足りませんので、キーワードだけ列記します。各々について良書が多数ありますので、詳しくはそちらをご参照下さい。

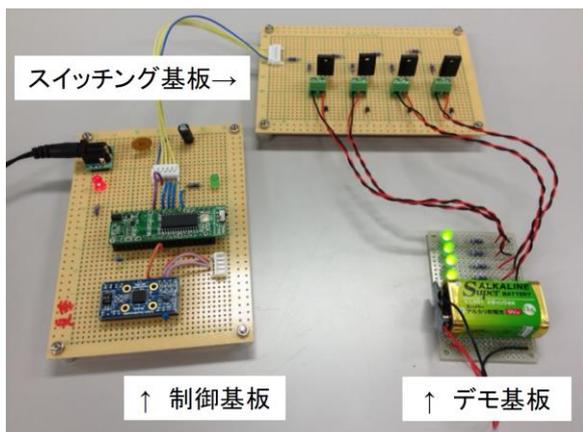


Fig. 12 Demonstration Set Up and Nominal Action above 1.0G

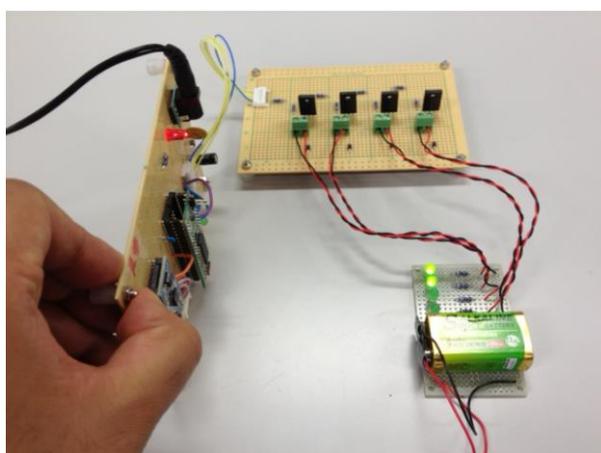


Fig. 13 Nominal Action at 0G-0.5G

(1) 回路保護

2.2 項では、フューズや環流ダイオードを使用した回路保護を紹介しましたが、素子間で信号を受け渡しするときは、素子間に電流制限抵抗やダイオード・クリップ回路を挿入します。

(2) 空きピン処理

IC 類の何も接続されていないピンを、空きピンといいます。空きピンをそのままにすると、周囲からの電磁干渉を受けやすくなるので、通常は空きピン処理（プル・ダウンまたはプル・アップ）をすることが求められます。今回も本当は空きピン処理を行った方が良いのですが、将来的に未使用ピンを使う可能性もあるかと思いましたが、また、起動直後、各ピンは非常に大きなインピーダンスを持つ入力モード（dsPIC30F2012 ではアナログ入力モード、ブートローダを用いた場合はデジタル入力モード）となっており、直流的に絶縁された状態になっているので、あえて空きピン処理を行っていません。回路を将来的にいじる可能性がないようでしたら、空きピン処理を行って下さい。

(3) 電圧増幅

3 軸加速度センサモジュール MM2860（サンハヤト（株）製）の出力電圧範囲は 0~3.3V となっています。一方、今回の AD 変換の設定では、入力電圧範囲を 0~5V に設定しています。これでは、せっかくの 12 ビット分解能を生かし切れません。このような時は、オペアンプを使用した増幅回路で、入力信号を増幅してから、マイコンに取り込みます。オペアンプは、信号の増幅、インピーダンス変換などを行うことが可能で、増幅器、フィルタ、バッファ、発振器などに使われます。（上限基準電圧 V_{refH} を 3.3V に設定して AD 変換することも可能ですが、この方法だと、ツェナー・ダイオードや専用 ICなどを組み込んで、3.3V の基準電圧を用意しなければなりません。また、S/N 比のことを考えると信号電圧は大きい方が良いので、前述の通り信号電圧自体を増幅した方が良いでしょう。）

(4) ノイズ除去

また、大抵の信号にはノイズがのっています。ノイズがのっていると、閾値の見極めが難しくなり、想定した動作をさせることが難しくなりますので、フィルタ回路を組み込んでこれを除去します。フィルタ回路には、帯域、遮断特性、回路構成に応じて、様々な種類がありますが（Table 1）、通常のノイズ対策であれば、抵抗とコンデンサを一つずつ組み合わせた RC Low Pass Filter で十分かもしれません。RC Low Pass Filter については、ネット、参考書などで簡単に調べられますので、まずはお試しください。なお、今回も Low Pass Filter を組み込んだ方が良いのですが、実は MM2860 の基板に

Table 1 Filters

帯域に基づく分類	<ul style="list-style-type: none"> ローパス・フィルタ (LPF) <ul style="list-style-type: none"> …高周波をカット ハイパス・フィルタ (HPF) <ul style="list-style-type: none"> …低周波をカット バンドパス・フィルタ (BPF) <ul style="list-style-type: none"> …中間周波数帯のみを通過 バンドエリミネーション・フィルタ (BEF) <ul style="list-style-type: none"> …中間周波数帯をカット ノッチ・フィルタ <ul style="list-style-type: none"> …特定の周波数をカット
遮断特性に基づく分類	<ul style="list-style-type: none"> バターワース型 <ul style="list-style-type: none"> …通過域がフラット チェビシェフ型 <ul style="list-style-type: none"> …急峻な遮断が可能だが通過域にリップル 逆チェビシェフ型 <ul style="list-style-type: none"> …遮断域にリップルを持たせて、通過域をフラットに ベッセル型 <ul style="list-style-type: none"> …群遅延特性に優れる 連立チェビシェフ型 <ul style="list-style-type: none"> …さらに急峻な遮断が可能
回路構成に基づく分類	<ul style="list-style-type: none"> アナログ・フィルタ <ul style="list-style-type: none"> 抵抗, コンデンサ, コイルで構成 オペアンプ, 抵抗, コンデンサなどで構成 デジタル・フィルタ <ul style="list-style-type: none"> デジタル回路で構成 (dsPIC でも実現可能)

1.6kHzのRC Low Pass Filterがあらかじめ組み込まれていますので(MM2860 付属の回路図参照のこと)、省略しています。また、せっかくのdsPICですので、DSP関数を使用してデジタルフィルタをソフトウェア的に組み込むことも可能です³⁾。ただし、そのような場合でも、入力信号はクリーンな方が良いと思いますので、物理的なフィルタを併用した方が良いと思います。

4. 結び

4.1 最後に

以上で加速度スイッチの完成です。ご希望の装置をつないで、ご希望の動作をプログラミングして、ご使用下さい。MOSFETの定格を満足するものであれば、何を繋いでもOKです(Fig. 14)。なお、「航空機実験用加速度スイッチの作り方」は、今回は最終回となります。入門として、ごくごくシンプルな構成としましたので、実際の実験で使おうとすると不足している部分もあるかもしれません。そのような場合は、著者宛てメールにてお問い合わせください。できる範囲でお答えさせていただきます。また、本講座の内容を実習形式で身につけていただくために、今夏、サマースクールを開講しました。来年度以降も継続予定ですので、よろしければご参加ください。(開催予定が決まりましたら学会メーリングリストおよびウェブページにてご案内致します。)

4.2 参考情報

これまでに電子部品を購入したことのない方の利便性を考えて、自分が知っているお店をリストしておきます。ただし、筆者および本学会が強くこれらのお店を推薦しているわけではありません。他にもお店がありますので、各自適当なところで購入するようにして下さい。

- マルツパーツ館 <http://www.marutsu.co.jp/index.php>
マルツエレクトリック社の販売店。本講座で使用するdsPIC30F2012 モジュール基板 MDSPIC2012 や 3

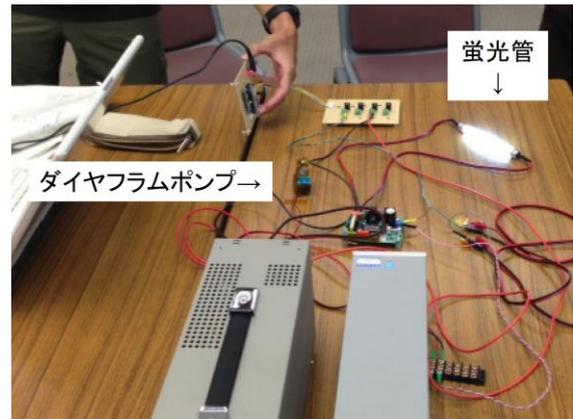


Fig. 14 Practical use of Acceleration Switch

軸加速度センサモジュール MM-2860 (サンハヤト(株)製)の販売。店舗販売&通販。

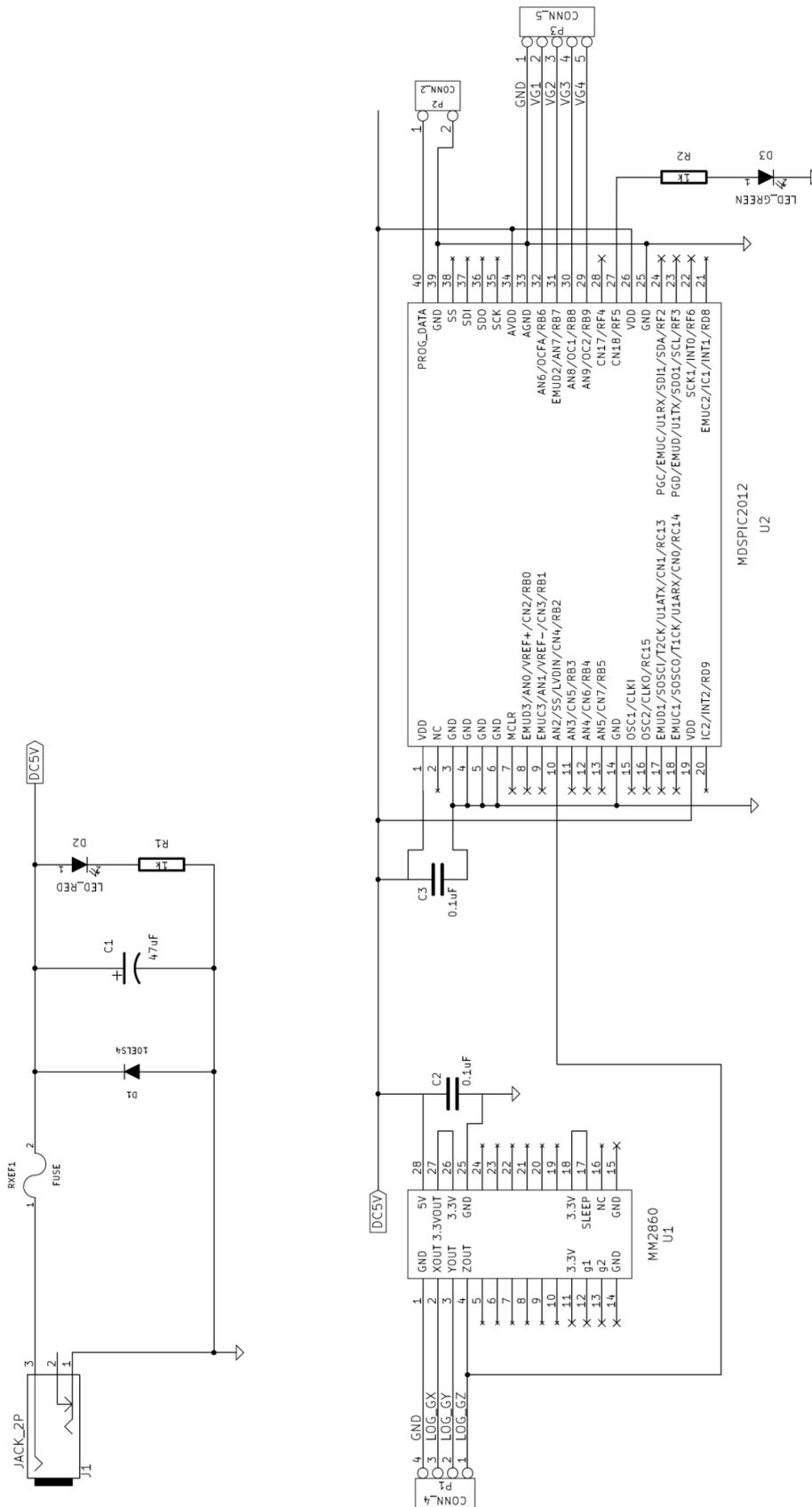
- 秋月電子通商 <http://akizukidenshi.com/>
バルク品等お値打ち品が見つかる可能性大。店舗販売&通販。
- 千石電商 <https://www.sengoku.co.jp/>
バルク品等お値打ち品が見つかる可能性大。店舗販売&通販。
- RS コンポーネンツ <http://jp.rs-online.com/web/>
法人契約が必要となりますが、在庫品に関しては翌日配送が可能なので重宝しています。通販のみ。

参考文献

- 1) MPLAB X IDE ユーザガイド マイクロチップ・テクノロジー社 DS52027A_JP
- 2) dsPIC30F ファミリーリファレンスマニュアル マイクロチップ・テクノロジー社 DS70046B_JP
- 3) トランジスタ技術 2007年8, 9月号 CQ出版

(2013年10月11日受理)

Appendix 1 Control Board

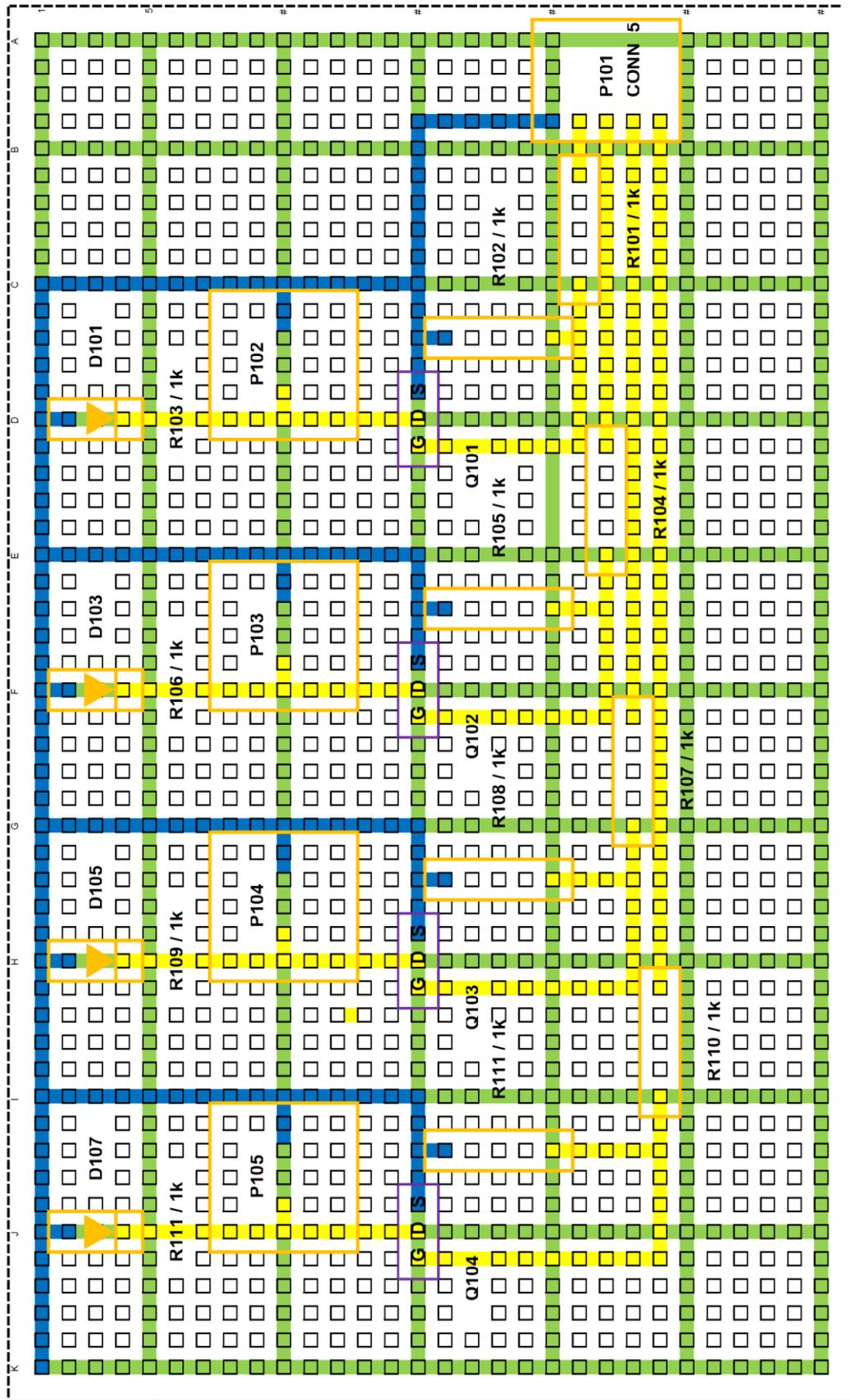


Appendix 3 Parts List

部品名	回路図 アノテーション	仕様	メーカー名	製品番号	購入先 品番	数量
制御基板						
AC アダプタ	-	5V2A			秋月電子 M-06590	1
ユニバーサル基板	-	50x30 穴			秋月電子 P-00183	1
DC ジャック DIP 化キット	J1	DC5V2A			秋月電子 K-05148	1
フューズ	FUSE	ポリマーリセットブルフューズ 72V, 保持 1.1A, トリップ 2.2A	レイケム	RXEF110		1
ダイオード	D1	FRD, VRSM=600V, IF(RMS)=1.57A	日本インター	10ELS4	秋月電子 I-04988	1
電解コンデンサ	C1	47uF, 50V, 85°C			秋月電子 P-06640	1
抵抗 1/4W	R1, R2	1kΩ 前後				2
LED	D1	赤				1
基板コネクタプラグ	P2	4 極	JST	EH シリーズ	RS コンポーネンツ 515-1327	1
加速度センサ・ モジュール	U1		サンハヤト	MM2860	マルツパーツ	1
IC ソケット	-	28x600MIL				1
セラミック・コ ンデンサ	C2, C3	0.1uF, 50V				2
マイコン・モジュール	U2	dsPIC30F2012		MDSPIC2012	マルツパーツ	1
丸ピン・ヘッダ	-	20 ピン				2
IC ソケット	-	40x600MIL				1
コネクタ 2 極	P2	角ピンヘッダ				1
基板コネクタプラグ	P3	5 極	JST	EH シリーズ	RS コンポーネンツ 515-1333	1
LED	D3	緑				1
スイッチング基板						
ユニバーサル基板	-	50x30 穴			秋月電子 P-00183	1
基板コネクタプラグ	P101	5 極	JST	EH シリーズ	RS コンポーネンツ 515-1333	1
抵抗 1/4W	R101-R108	1kΩ 前後				12
MOSFET_N 型	Q101-Q104	N 型, Logic Level Gate Drive, TO- 220FP, VDSS=100V, RDS(on)=0.044Ω, ID=23A	International Rectifier	IRLI540NPBF	RS コンポーネンツ 543-0513	4
ダイオード	D101, D103, D105, D107	FRD, VRSM=600V, IF(RMS)=1.57A	日本インター	10ELS4	秋月電子 I-04988	4
スイッチ (今回が採用済み)	SW101- SW104	SPST				4

ネジ止め端子	P102-P105	5.08mm ピッチ, 55°エントリ	PHOENIX CONTACT		RS コンポーネンツ 189-5871	4
基板懸結ケーブル						
コネクタハウジング	-	5 極	JST	EH シリーズ	RS コンポーネンツ 311-6237	2
圧着ターミナル			JST	EH シリーズ	RS コンポーネンツ 311-6439	10
ケーブル		AWG22-26 くらい				
機構部品						
基板スペーサ		基板間				4
基板スペーサ		足用				4
ナット		M3				4
スプリングワッシャ		M3				4
平ワッシャ		M3				4

Appendix 5 Solder Pattern for the Switching Board



Appendix 6 Demonstration Program

```

/* -----
* AN2 (ピン 10) に入力された加速度センサ Z 方向電圧出力を読みとり, AD 変換を行う.
* Gz<0g なら RB6 のみ ON
* 0g<=Gz<0.5g なら RB6&RB7 のみ ON
* 0.5g<=Gz<1.0g なら RB6-RB8 のみ ON
* 1.0g<=Gz なら RB6-RB9ON
* 一定時間間隔でループ
----- */

// Part1 (ヘッダ・ファイルの追加指示)
#include <p30f2012.h>
#include <adc12.h>

// Part2 (マイコンの動作設定)
// configuration
// _FWDT(WDT_OFF);
// _FGS(CODE_PROT_OFF);
// _FOSC(CSW_FSCM_OFF & FRC_PLL16);
// _FBORPOR(PBOR_OFF & PWRT_64 & MCLR_EN);

// Part3 (AD 変換の制御変数の型宣言)
// AD control register
unsigned int _ADCON1;
unsigned int _ADCON2;
unsigned int _ADCON3;
unsigned int _ADCHS;
unsigned int _ADPCFG;
unsigned int _ADCSSL;

// Part4 (プログラムで使用する変数の型宣言)
// data
unsigned int ResultDataGz; // 加速度 AD 変換結果
unsigned int i; // 待ち時間カウンタ
unsigned int j; // 待ち時間カウンタ

// Part5 (メイン・プログラム)
int main(void){

    TRISBbits.TRISB6=0; // RB6 を出力モードに
    TRISBbits.TRISB7=0; // RB7 を出力モードに
    TRISBbits.TRISB8=0; // RB8 を出力モードに
    TRISBbits.TRISB9=0; // RB9 を出力モードに
    TRISFbits.TRISF5=0; // RF5 を出力モードに

// Part6 (無限ループ)
    while (1){

// Part7 (AD 変換の準備)
// ADC
// AD 変換モジュールのオフを確認します
    ADCON1bits.ADON=0;
// AD 変換モジュールを初期化します
    _ADCHS=ADC_CH0_POS_SAMPLEA_AN2 &
        ADC_CH0_NEG_SAMPLEA_NVREF;
    SetChanADC12(_ADCHS);
    ConfigIntADC12(ADC_INT_DISABLE);
    _ADCON1=ADC_MODULE_ON &
        ADC_IDLE_CONTINUE &
        ADC_FORMAT_INTG &
        ADC_CLK_AUTO &
        ADC_AUTO_SAMPLING_OFF &
        ADC_SAMP_OFF;
    _ADCON2=ADC_VREF_AVDD_AVSS &
        ADC_SCAN_OFF &

```

```

        ADC_SAMPLES_PER_INT_1 &
        ADC_ALT_BUF_OFF &
        ADC_ALT_INPUT_OFF;
// Tad=(Tcy(ADCS+1))/2>334ns, Then ADCS>18.7, Tad=10*Tcy
    _ADCON3=ADC_SAMPLE_TIME_1 &
        ADC_CONV_CLK_SYSTEM &
        ADC_CONV_CLK_10Tcy;
    _ADPCFG=ENABLE_AN2_ANA;
    _ADCSSL=SCAN_NONE;
    OpenADC12(_ADCON1, _ADCON2, _ADCON3, _ADPCFG, _ADCSSL);

// Part8 (AD 変換の実行)
// 自動サンプリングを開始します
    ADCON1bits.SAMP=1;
// AD 変換の完了を待ちます
    while(BusyADC12());
// 12 ビットデータを読み出します
    ResultDataGz=ReadADC12(0);

/* Part9 (LED の点灯制御) -----
 * ResultDataGz (加速度センサー出力電圧) が,
 * 1350 (0G) 未満ならば, RB6 のみ ON
 * 1350 (0G) 以上 1678 (0.5G) 未満ならば, RB6&RB7 を ON
 * 1678 (0.5G) 以上 2006 (1G) 未満ならば, RB6-RB8 を ON
 * 2006 (1G) 以上ならば, RB6-RB9 を ON
----- */

    if(ResultDataGz < 1350){
        LATBbits.LATB6=1; // RB6 ON
        LATBbits.LATB7=0; // RB7 OFF
        LATBbits.LATB8=0; // RB8 OFF
        LATBbits.LATB9=0; // RB9 OFF
    }

    if(1350 <= ResultDataGz && ResultDataGz < 1678){
        LATBbits.LATB6=1; // RB6 ON
        LATBbits.LATB7=1; // RB7 ON
        LATBbits.LATB8=0; // RB8 OFF
        LATBbits.LATB9=0; // RB9 OFF
    }

    if(1678 <= ResultDataGz && ResultDataGz < 2006){
        LATBbits.LATB6=1; // RB6 ON
        LATBbits.LATB7=1; // RB7 ON
        LATBbits.LATB8=1; // RB8 ON
        LATBbits.LATB9=0; // RB9 OFF
    }

    if(2006 <= ResultDataGz){
        LATBbits.LATB6=1; // RB6 ON
        LATBbits.LATB7=1; // RB7 ON
        LATBbits.LATB8=1; // RB8 ON
        LATBbits.LATB9=1; // RB9 ON
    }

// Part10
// 待ち時間
    for (i=0; i<6; i++){
        for (j=0; j<65000; j++){ // 何もしない
        }
        LATFbits.LATF5=~LATFbits.LATF5; // ステータス表示用 LED の点滅
    }
}

```