



モデルロケットの無線打上システムの開発

Development of Radio Control Launching System

齊藤 和哉¹, 貴島 政親²

¹大阪府立久米田高等学校(2年), ²和歌山大学宇宙教育研究所

和歌山大学ではモデルロケットを使用した教育活動を行なっている。打上は既製品の有線システムを使用してきたが、ケーブル断線の不具合や安全距離制限などの問題が発生してきた。そこで、無線による打上システムを開発したためここに報告する。

キーワード：モデルロケット，打上システム，無線

1. はじめに

A型モデルロケット（以下、紙モデルロケットとも云う。図1）は、申請不要の玩具火薬であるA型エンジン^[1]を使用し、取り扱いが便利であるため、ロケット製作及び打上の入門として良い教材である。宇宙教育研究所での2013年度の利用実績は8件（約80機）を超える^[1]。打上も簡便であり、1～2時間で20名以上が打ち上げることできる。

期待される教育的効果は、(1)製作による工作基礎・(2)飛翔原理座学・(3)安全管理の3点が主だったものである。

(1)製作は、A4用紙や厚紙・ゴム紐などで可能であり^[2]、小学生でも製作可能である。簡単な工作を行なうことで、基本的な工具の使用と安全について意識することができる。例年春には和歌山大学学生対象に製

作及び打上講座を開講しており、和歌山大学学生団体「和歌山大学宇宙開発プロジェクト（WSP）^[2]」「宇宙教育リーダー養成プログラム（SELTP）^[3]」の新入生歓迎も兼ねて行っている（図2）。また当研究所が主催する高校生対象の「ロケットガール&ボーイ養成講座^[3,4]」では学校の異なる高校生同士がものづくりを通して会話したり道具の貸し借りをしたりすることで打ち解ける機会としても活用している。

(2)ロケットの飛翔原理（重心・圧力中心・風見効果）を座学として学ぶことで、「重心」という学校で習ったことを活かせると自覚を促す。また「圧力中心」という学校では習わない知識について、「重心」のように理解させることで「知識を活かして未知のことを理解する」ということも無意識ながら実感させる。

(3)安全管理について議論をさせる良い教材である。



図1 A型モデルロケット



図2 自作したモデルロケットによる教育活動

ロケット打上・火薬使用という危険なことを行なうにあたり、「何が危険なのか」「どうすれば安全になるか」について意見を出させ議論させる。そうすることで「危ないことをしてはならない」といういわば消極的な対処に対して、「危ないことを安全にして挑戦する」という開拓心を養うことを狙う。挙げさせる意見としては、(A) 着火の危険については遠隔から着火することで対策する。(B) ロケット爆発については、開放空間での実験及び安全距離を確保することで対策する。(C) ロケット落下の危険については、落下予測範囲において人及び建築物などから安全な距離を確保することで対策する。

既製品の打上システムは遠隔から有線で着火させるシステムであるが(図3)、よくある不具合として、コードの断線・接触不良がある。そこで、打上システムの無線化を行なうことができれば大きく改善できると考え、開発することにした。開発は齊藤が主導し、貴島が指導や実験補助を行なった。

2. モデルロケット打上無線システム

2.1 システム全体

システム全体は図4の通り、点火指令を行なう「コントローラーモジュール」と点火を実施する「点火モジュール」からなる。

システムの無線通信にはXbee シリーズ1を使用した。Xbeeでは双方向にシリアル通信(UART)を行うことができる。Xbeeはmbedで制御している。mbedとはレギュレータ、USBメモリ、CPU、LEDが小さな基板にすでに実装されたもので、ピンソケットを使うことによりピン入出力が簡単にできるようになっ



図3 既製品の有線打上システム

ている。

打上操作について既製品の手順と同じにした。それぞれのボタン及びLEDを図5と6に掲載した。まず接続確認(通電確認と云う)を行ない、通電確認ボタンを押しながら打上ボタンを押すと打上がなされる。以下ではコントローラーモジュールと点火モジュールについての詳細を記述する。

2.2 コントローラーモジュール

コントローラーモジュールの操作パネルを図4、モジュール内部を図5、プログラムのフローチャートを付録1、ソースコードを付録2に掲載する。図4, 5を見ながら、操作手順と動作を説明する。mbed本体には4つのLEDがあり、図5の上から1番目は「通信確認表示灯」3番目は「点火表示灯」、4番目は「通電確認表示灯」として使用し、2番目のLEDは使用していない。回路図については割愛したが、xbee通信にピン27,と28, 通電確認ボタンにピン24, 点火ボタンにピン21を結線している。

コントローラーモジュールには、通電ボタン(図4の左)と打上ボタン(図4の右)がある。打上手順は、まず火薬及び点火モジュールの接続確認(以下、通電確認と云う)を行なう。通電が確認できれば、安全確認の後、通電確認ボタンを押しながら打上ボタンを押すことで点火する。

今回作ったシステムでは通電確認を手元のコントローラーモジュールで行えるように双方向通信にしてある。コントローラーモジュールで通電確認ボタンを押したときmbedがXbeeを通して点火モジュールに通電確認をするよう指示(文字列“1”, 付録1)を送る。



図4 開発した無線打上システムの全体
左がコントローラーモジュール、右が点火モジュール

点火モジュールから通電確認がされたという記号（文字列“r”，付録1）を受け取ったとき「通電確認表示灯」と点火ボタンのLEDが光るようになっている。点火させた際はさらに「点火表示灯」が点灯する。

mbedではシリアル通信はデータがなければ次に進まない仕様となっているため、データが送られてこなくなった場合に備え、コントローラーはずっと記号を送り続け、点火モジュールから記号が送り返されたときに割り込みで受信が行われるようにし、コントローラーのフリーズを防ぐようにした。また、双方向通信であることを利用してコントローラー側でも通信が行われていることを「通信確認表示灯」の点灯によって確認できる。

誤射防止のためには、通電確認ボタンを押し、かつ点火ボタンを押し、という正しい手順を踏まないと発射に至らないようにプログラミングした。

2.3 点火モジュール

点火モジュールの操作パネルを図4、モジュール内部を図6、プログラムのフローチャート及びソースコードと回路図を付録3, 4, 5に記述する。図4, 6を見ながら、動作を説明する。mbed本体のLEDについては、図6の上から「通電確認指示灯」、「通電確認灯」、「点火表示灯」、「通信確認表示灯」である。

点火モジュールはコントローラーモジュールから送られてきた記号を受け取り通電確認や点火を行い結果により記号を送り返す。LEDによる動作確認については、通信が確立されていれば「通信確認表示灯」が点灯し、コントローラーモジュールから通電確認指示が送付されれば「通電確認指示灯」、通電が確認され

れば「通電確認表示灯」、点火指示が送付されれば「点火表示灯」が点灯することで確認できる。

電源をmbed用とイグナイター用で共通にすると電力不足によってmbedが停止してしまい、点火できない場合があるため別々の電源を用いるようにした。

点火用電源を単三電池四本直列にしている理由について述べる。開発中には、点火用電源に9V角電池を使っており、2013年9月4日のイグナイター単体の実験では問題なく点火できていた。しかし2013年10月19日のロケット打上実験で点火できないという不具合が生じた。原因は、9V角電池の内部抵抗が大きいため、点火時の負荷により電圧降下が生じ、必要な電流量が得られず、点火できなかったと推測された。よって単三4本を直列して使用することとした。

通電確認時はmbedの21ピンから6V電圧を出力させ26ピンで受け取ることにし、通電確認をしていない時にはイグナイターへ電流が流れないようにした。

またmbedに点火用電源が入力されてしまうと壊れてしまう。そこで、点火時には2つのリレー素子が動作することで、mbedとの回路を切断し、点火用電源とイグナイターのみが接続されるようにした（付録5）。

2.2で述べたように、mbedではシリアル送信中にシリアル割り込みが起るとフリーズしてしまう事があった。リセットすれば回復するが、リセットするために射点に近づくことは危険が伴うので、フリーズが起らないようにシリアル割り込みは使用しない。また、通信が途切れた時は一定時間（0.3秒）で自動的に停止するようにタイマー割り込みをセットしている。

リモコンがないので通電確認できない、という事がないように、電源を付けた後2秒間、通電確認を自動

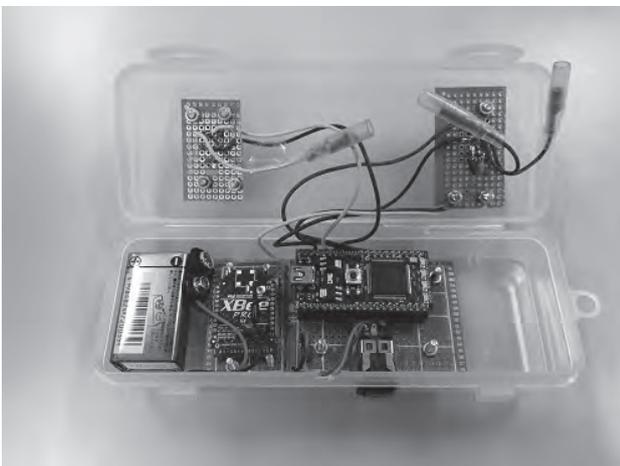


図5 コントローラーモジュールの内部

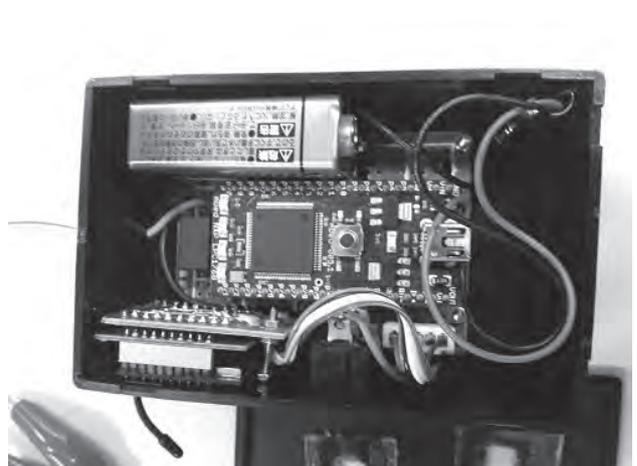


図6 点火モジュールの内部

的に行うようにした。

2.4 オプション

戦闘機ゲームのコントローラー（図7の左）をロケットの通電確認、発射ボタンに利用できるようにした。ロックオンボタンで通電確認を行い、トリガーを引くと発射できる。子供にウケが良いのではと期待している。

3. 使用実績

現在までの使用実績は2回である。2013年10月19日のA型ロケット打上実験にて、点火用電源を単三電池に変更して2機打ち上げた。2014年1月5日には当研究所が主催する「ロケットガール&ボーイ養成講座」にて使用し、3機を打ち上げることができた（図8）。この時に点火用電源の接触不良が発生したため配線の応急処置を行なった。またC型ロケットの打上を初めて行い、無線打上システムを使用することで、従来の有線打上システムではできない十分な安全距離をとって実験を行なうことができた。

4. おわりに

4.1 無線打上システムの開発を終えて（開発者：斉藤）

休みの日にしか大学に行けず、時間があまりなく大変だった。mbedのプログラミングなど、家でできることは持ち帰って作業したが、それでも時間が足りず試験を十分行えず、打上実験当日失敗し、あわてることがあった。改めて、試験することは大切なことだと感じた。

これまでは、電流の安定しているアダプターなどの電源か、そこまで電流のいらぬ回路を作っており、



図7 コントローラーのオプション

今回初めて電池の出力が問題に上がり、普段便利に使っている乾電池に感心したり、考えさせられたりすることが多かった。

この発射システムのmbedの電源には、単三電池を使うよりもスペースが小さくて済むのがいいと思って9Vの角電池を使用した。電池の消耗が激しく、すぐに取り換えないといけなかった。また、コスト面からも単三乾電池よりも高いので、次に作る時はこの電池も単三電池で作ろうと思う。

実際打ち上げが成功した時には、従来の有線システムでは発射台の近く、飛んでいく軌跡などがわかりづらいが、今回離れた所から全体像を見ることが出来たので、とても満足感を得られた。

4.2 無線打上システムの開発を終えて（指導者：貴島）

斉藤は2012年度に実施した「ロケットガール&ボーイ養成講座」でのハイブリッドロケット製作及び打上実験において、ものづくりに関する知見を以って大きく貢献した。本人が缶サット（ジュース缶サイズの模擬人工衛星）を作りたいが、学校に科学部や理解する教員がいないため、今回の活動を提示した。技術的な向上心だけでなく、他人の批判を取り入れる許容能力、人の役に立つモノを作りたいという目的意識を大変評価しており、活動を開始する上で不安はなかった。本人のやる気だけでなく、母親の理解（大学までの送迎など）もあり、継続して休日に活動することができ、今回の完成に至ることができた。

本稿の執筆についても、意義を理解し執筆を担当した。近年、学生の主体性を萌芽させるために、ものづくりを通じた教育プログラムが受講世代を問わず展開されているが、レポートや報告書及び公開についての意識が低い印象があり、執筆意義を理解しやり遂げる



図8 無線システム使用の様子

ことは大変評価している。

一方で「ロケットガール&ボーイ養成講座」で不足していたノートをとるなどの記録能力，他人に自分の意見を伝えるコミュニケーション能力（論述・表現）については，この活動を通して一定の向上がみられ，今後「独りでは成せない大きな事を，多人数で協力して成す」というプロジェクトを円滑に推進できる人材になってくれればと思う。齊藤は2013年度の「ロケットガール&ボーイ養成講座」にも再び参加し，初めての受講者に技術面だけでなく，製作スケジュールやコミュニケーション手段など多様な分野についての経験を伝え，プロジェクトの推進に貢献している場面がすでに見られていることが頼もしい。

今回開発したシステムが，他団体の参考になればと思う。さらに，バッテリー接続できるよう改良すればG型以上の打上も可能であるし，点火モジュールの出力モードを増やせばハイブリッドロケットの打上システムへの応用も可能である。また，コントロールモジュールをアプリにすれば，見学者や受講者が持参したスマートフォンやパソコンにその場でインストールし，実験を行なうこともできよう。

謝辞

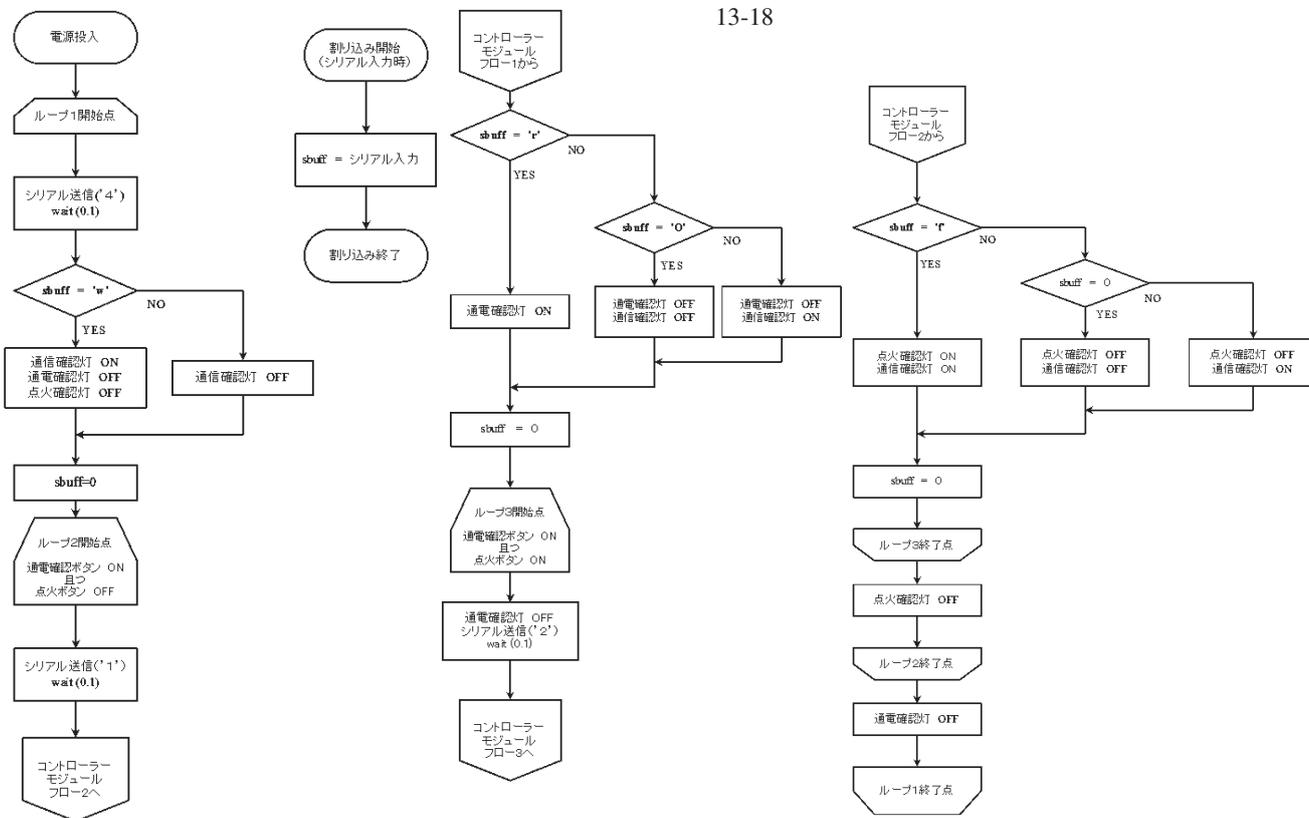
本活動及び研究については，総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより日本学術振興会を通しての助成によって推進されました。また，本活動を支えて頂いた齊藤の母親である齊藤裕子氏に謝意を表します。

注

- [1] ESTES社のA8-3エンジンを使用している。
- [2] <http://www.noshiro-space-event.org/pdf/modelrocketseisakumanual20120515.pdf>
- [3] <http://www.wakayama-u.ac.jp/ifes/rgb/index.html>
- [4] 貴島 政親, 秋山 演亮(2013): プロジェクトマネジメント型実践教育「ロケットガール&ボーイ養成講座」の実施ノウハウとその教育的効果, 4th UNISEC Space Takumi Conference, UNISEC 2013-007

引用・参考文献

- 1) 貴島政親, 他 (2014): 和歌山大学宇宙教育研究所による宇宙工学実験場の報告, 和歌山大学宇宙教育研究所紀要, 3, submitted
- 2) 横山佳紀, 他 (2013): 和歌山大学宇宙開発プロジェクト(WSP)による2012年度成層圏バルーンサット放球実験報告書, 和歌山大学宇宙教育研究所紀要, 2, 55-68
- 3) 貴島政親, 他 (2013): 和歌山大学における学部横断的な天文教材開発活動, 和歌山大学宇宙教育研究所紀要, 2, 13-18



付録1 コントローラーモジュールのプログラムのフローチャート

```

#include "mbed.h"

DigitalOut myled1(LED1);
DigitalOut myled2(LED2);
DigitalOut myled3(LED3);
DigitalOut myled4(LED4);
DigitalOut myled5(p23);
DigitalIn sw1(p24);
DigitalIn sw2(p21);

Serial S(p28,p27);
char sbuff;

void A(){
  sbuff=S.getc();
}

int main() {

  S.attach(A,Serial::RxIrq);

  while(1) {
    S.printf("4");
    wait(0.1);

    if(sbuff == 'w'){
      myled2=0;
      myled3=0;
      myled4=1;
      myled5=0;
    }else{
      myled4=0;
    }

    sbuff=0;

    while(!sw2 & sw1){
      S.printf("1");
      wait(0.1);

      if(sbuff=='r'){
        myled1=1;
        myled4=1;
        myled5=1;
      }else if(sbuff==0){
        myled4=0;
        myled1=0;
        myled5=0;
      }else{
        myled1=0;
        myled4=1;
        myled5=0;
      }

      sbuff=0;

      while(sw1 & sw2){
        myled1=0;
        S.printf("2");
        wait(0.1);

        if(sbuff=='f'){
          myled2=1;
          myled4=1;
        }else if(sbuff==0){
          myled4=0;
          myled2=0;
        }else{
          myled4=1;
          myled2=0;
        }

        sbuff=0;

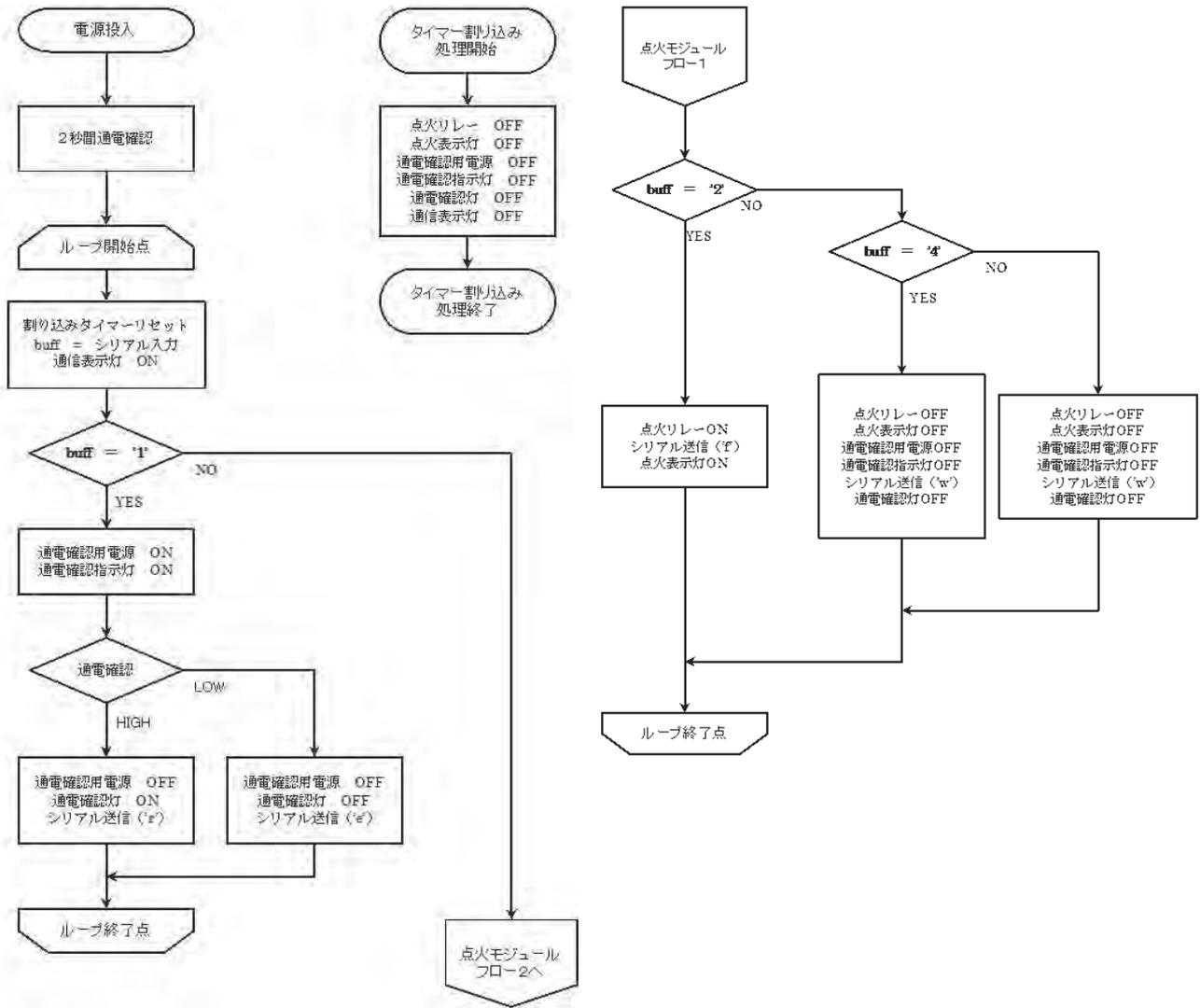
      }

      myled2=0;
    }

    myled1=0;
  }
}

```

付録2 コントローラーモジュールのプログラム



付録3 点火モジュールのプログラムのフローチャート

```

#include "mbed.h"

DigitalOut myled1(LED1);
DigitalOut myled2(LED2);
DigitalOut myled3(LED3);
DigitalOut myled4(LED4);
DigitalOut launch(p8);
DigitalIn tudenI(p26);
DigitalOut tudenO(p21);

Ticker TO;

Timer name;

int tuden;
char buff;

Serial S(p28,p27);

void NoRecive(){
    myled1=0;
    myled2=0;
    myled3=0;
    myled4=0;
    launch=0;
    tudenO = 0;
}

int main() {

    name.start();

    myled1=1;
    tudenO = 1;

    while(2 > name.read()){

        if(tudenI==1){
            myled2=1;
        }else{
            myled2=0;
        }
    }

    tudenO = 0;

    myled2=0;
    myled1=0;

    wait(0.5);

while(1) {
    TO.attach(NoRecive, 0.3);
    buff=S.getc();
    myled4=1;

    switch( buff ){

        case '1':

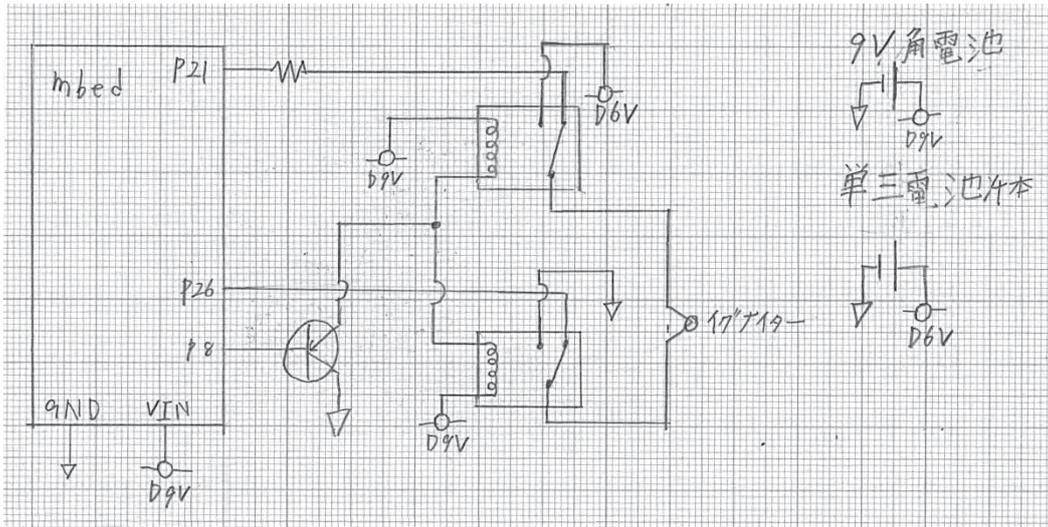
            launch=0;
            tudenO = 1;
            myled1=1;
            if(tudenI==1){
                S.printf("r");
                myled2=1;
            }else{
                S.printf("e");
                myled2=0;
            }
            myled3=0;
            break;

        case '2':
            launch=1;
            myled3=1;
            myled2=0;
            myled1=0;
            S.printf("f");
            break;

        case '4':
            S.printf("w");
            launch=0;
            tudenO = 0;
            myled2=0;
            myled3=0;
            myled1=0;
        }
    }
}

```

付録4 点火モジュールのプログラム



付録5 点火モジュールの回路図
※ mbedと xbee 通信機 (27, 28ピン) との結線は省略している。

