

# マイコン搭載型ロボット製作を通しての メカトロニクス学習

— 平成 18 年度 技術教育専修「機械情報工学特論」—

森岡 弘・崔 日男\*・白石 拓也\*・弘中 誠\*\*・村上 亮介\*・養畑 裕紀\*

A Study of Mechatronics through the Production of Robot with On-board Microcomputer  
—“Advanced Mechanical Information Engineering” 2006—

MORIOKA Hiroshi, Ri-Nan Cui\*, SHIRAISHI Takuya\*,  
HIRONAKA Makoto\*\*, MURAKAMI Ryosuke\*, YOUHATA Hironori\*

(Received January 15, 2008)

キーワード：マイコン、組込みシステム、メカトロニクス学習、技術教育

## はじめに

中学校の技術科では、学習指導要領の改訂ともなう継続的な授業時間の削減により、これまでの学習内容が大幅に整理統合され6領域から、「技術とものづくり」と「情報とコンピュータ」との二つの分野に集約された。それを指導する教員には二つの分野を複合した高度な知識の習得が必要不可欠になってきている。また、情報産業界からは「組込みシステム」の開発を担当できるエンジニアへの採用要求が強くなってきている。

山口大学大学院教育学研究科の技術教育専修に所属する学生は、大きく分けて現職の中学校の技術科教員や将来技術科の教員を目指す教員養成課程の出身者と、いわゆる新課程（表現情報コース）の出身者で将来は何らかの形で情報産業に携わろうとする学生との二つのグループで構成されている。機械研究室では、このような学生達へ、先の社会からの要請である複合技術の一つであるメカトロニクス技術を習得させるために、大学院の講義である「機械情報工学特論Ⅰ、Ⅱ」の授業を利用して「マイコン搭載型ロボット」を実際に設計製作する教育プログラムを開発した。

## 1. マイコン搭載型ロボットの仕様

本章では、機械研究室でこれまでに開発している本研究に係る既存のシステムをはじめに紹介し、つぎに、H18年度に技術教育専修で開講した機械情報工学特論の講義の中で開発したマイコン搭載型ロボットの仕様を示す。

---

\*山口大学大学院教育学研究科 \*\*山口大学大学院教育学研究科 (柳井西中学教諭)

### 1-1 既存のシステムの概要

機械研究室では、これまでに、中学校の技術科におけるロボコン教材として、本来自律制御型であるマインドストーム<sup>1)</sup> (レゴ社のロボット作成キット) を外部コントローラにより遠隔操作するためのリモコンを開発している<sup>2),3)</sup>。

このリモコンは、操作対象となるロボットに決められた範囲の数値(1~255)を送信する仕組みになっており、操作するロボット毎に異なる数値範囲を割り当てると、複数のロボットが混在するロボットコンテスト用の遠隔操作装置として利用することができる<sup>4)</sup>。

### 1-2 マイコン搭載型ロボット

開発するロボットの仕様を図1に示す。ロボットは1-1節で紹介した赤外線リモコンにより遠隔操作可能であり、動作部として三つのモーターを持つものとする。

ロボットをソフトウェア部とハードウェア部にわけると、ソフトウェア部としては、リモコンまたはマインドストームのコントローラである **Robotic Command Explorer** (以下、「RCX」という。) から送信されてくる数値信号の受信機能と三つのモーターを制御する制御機能とがある。ただし、数値信号の送信機能は持たないものとする。

そして、ハードウェア部としては、走行系 (モーター×2) とアーム (モーター×1)、それぞれのモーターの減速器用のギヤボックス、赤外線を受信部等がある。マイコンとしてはPICマイコン<sup>5)</sup> (PIC16F648A) を使用しており、電源は単3電池を4本直列に搭載している。

ロボットの本体は平成18年度の全日本中学校技術・家庭科研究会の主催である「創造アイデアロボットコンテスト」のA部門「どきどきタワー2006」への参加を想定した構造とした。

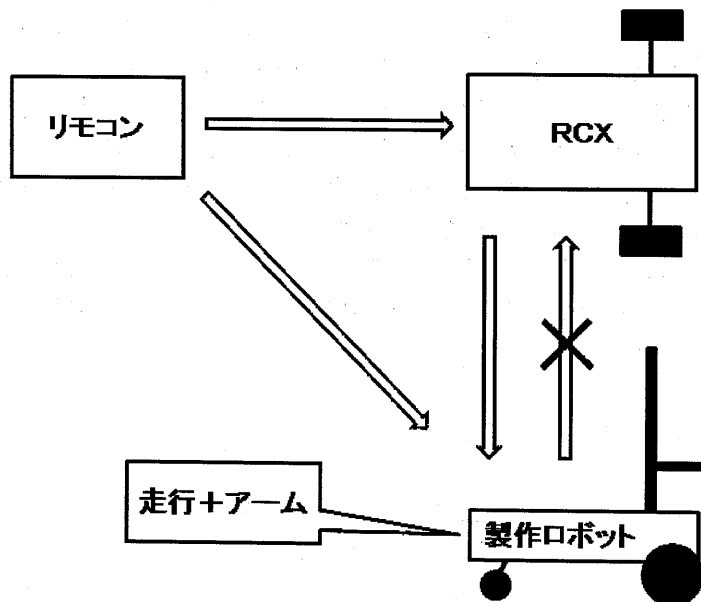


図1 ロボットの仕様

## 2. マインドストーム用リモコンの通信方法

マインドストームにはRCXと呼ばれるロボットの頭脳となるコンピュータが装備されている。このRCXにはセンサーやモーターの入出力制御のほか、赤外線によるデータの送受信機能も搭載されている。本章では、RCXの通信方式を概説する。

### 2-1 RCXのデータフォーマット

RCXの赤外線は一般のリモコンと同様に38kHzに変調され、通信速度は2400bpsで使用されており、赤外線通信の受信コードは図2のようにになっている<sup>2)</sup>。

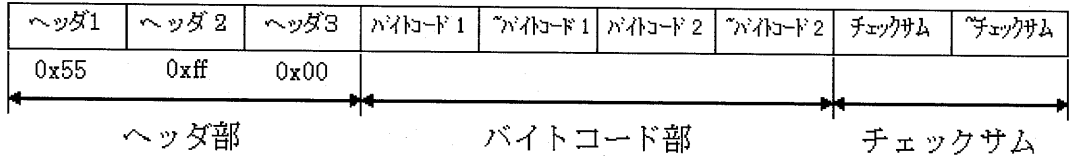


図2 RCXの通信コード

ヘッダ部の3バイトはRCXの信号であることを示すIDコードであり、その値は0x55、0xff、0x00である。

RCXの通信ではコマンドに対応したバイトコードがやり取りされる。リモコンはRCX間で数値メッセージをやりとりするとき使用するコマンド“set message”を用いる。この場合のバイトコード1は0xf7であり、バイトコード2には実際に引数として送信する1~255の数値を入れる。チェックサムは、バイトコード1とバイトコード2の和である。

図3はRCXから6を引数としてメッセージの送信を行ったときに、受信機が受信したデータを時系列で示したものである。

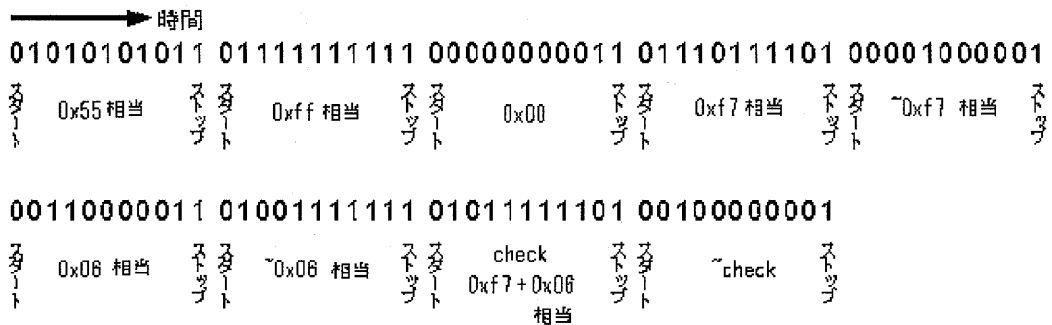


図3 数値6をメッセージとして受信した場合

RCXからの信号は一般的なリモコンの通信方式であるPPM方式とは異なり、調歩同期方式のシリアル通信フォーマットの信号で、誤り制御として垂直パリティチェック方式の奇数パリティチェックを行っている<sup>6)</sup>。

## 2-2 リモコン

リモコンの製作にはマイコンとしてPIC(PIC16F84A)を用い、赤外線発光ダイオードはTLN110を用いた。製作したリモコンを図4に示す。

図に示したように、トグルスイッチをロボットの走行系の駆動用として左右に1個ずつ、またアームの駆動用として中央に1個の合計3個取り付けている。

表1にこれら三つのスイッチの状態と送信するデータの対応を示す。ロボットの本体の移動方向を変える8通り(表の上部)とアームを上下に動かす2通り(表下部)の計10通りの動作に1~10の数値を割り当てている。

RCXは1~255までの数値を取り扱うことが可能なため、分割して数値を割り当てると25台のロボットを同時に操作できることになる。

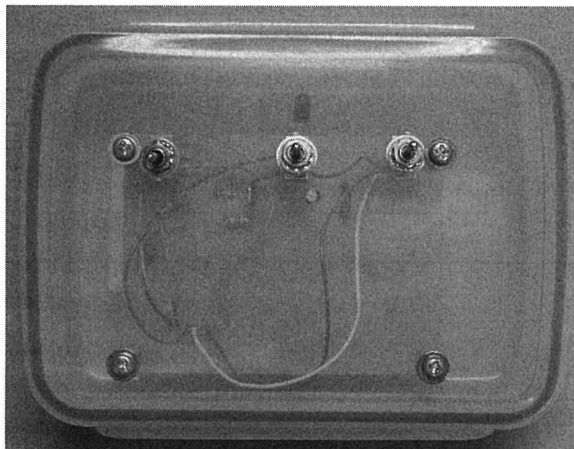


図4 リモコンの完成図

表1 3つのスイッチの状態と送信データ

		左スイッチ(SW1)		
		上	中	下
右 ス イ ッ チ (SW2)	上	<b>5</b> 0101	<b>4</b> 0100	<b>6</b> 0110
	中	<b>1</b> 0001	送信なし	<b>2</b> 0010
	下	<b>9</b> 1001	<b>8</b> 1000	<b>10</b> 1010

+

		中央スイッチ(SW3)		
		上	中	下
		<b>3</b> 0011	送信なし	<b>7</b> 1100

\*表のデータ+ロボットナンバーが実際の送信データ

\*「中」はスイッチを入力していない状態

### 3. 機械情報工学特論の講義概要

山口大学大学院教育学研究科における技術教育専修に属する多くの学生は本学教育学部の「学校教員養成課程の技術教育選修」または「情報科学教育課程の表現情報処理コース」の卒業生である。前者は将来の教員を目指す学生であり、後者は広く情報産業界で活躍が期待される学生である。

最近では、中学校の技術科では「技術とものづくり」と「情報とコンピュータ」を融合した高度な複合型教材を利用するスキルが重要になりつつあり、また情報産業界からはハードウェアの知識も必要である「組み込みシステム」を設計開発できるエンジニアの養成が期待されている。

しかしながら、現状として技術教育選修の卒業生は「コンピュータ関連」より「ものづくり関連」の知識や技能の習得レベルが一般的に高く、表現情報処理コースの卒業生はコンピュータ全般に関する知識を有してはいるものの、どちらかと言えば「ハードウェア」よりは「ソフトウェア」に強い傾向にある。

これらのことを考慮して、本講義では、それぞれの得意領域を設計製作担当し、最終的には、それらを統合して一つのシステムを作ることにした。

すなわち、ロボットの本体の機構と電気設計をハードウェア部として技術教育選修の卒業生に、ロボットの通信機能とモーターの制御機能を実現するソフト設計をソフトウェア部として表現情報処理コースの卒業生に、それぞれ担当させた。そして、逐次両設計部門で情報交換しながら、最終的に1台のマイコン搭載型ロボットを製作した。

マイコン搭載型ロボットは、自分の担当の箇所の理解だけでは完成させることはできない。それぞれの担当者が意思の疎通を図りながら設計することが重要である。また、講義担当者は常に両部門を統括することに留意した。

このカリキュラムを体験すると受講生は企業の設計部門における「ものづくり」や「技術開発」等の一連の過程を疑似体験することになり、総合的なメカトロニクス技術を習得することができる。

機械情報工学特論はⅠ（前期）とⅡ（後期）から成り、それぞれ単独の授業ではあるが、受講生には可能な限り通年受講を促し、以下のように前後期通したカリキュラムを組んだ。

表2 講義概要

機械情報工学特論の講義概要				
機械情報工学特論Ⅰ(前期)			機械情報工学特論Ⅱ(後期)	
週	ハード部	ソフト部	ハード部	ソフト部
1	赤外線通信方式		電子基板の製作 * 実体配線図の製作 * 基板の配線	通信ソフトの制作
2	マインドストームの通信方式			
3	モータードライバの使用法			
4				
5	赤外線の受光素子、三端子レギュレータ等の電子部品の説明		ロボットの本体の製作 * 胴体の設計製作 * 足回りの設計製作 * アーム部の設計製作	モータ制御用ソフトの制作
6				
7				
8	赤外線受光部の設計	マインドストームの通信プロトコルの受信プログラムの設計・開発(フローチャートの作成)		
9	電源部の設計			統合テスト
10	モータドライブ部の設計			エラー処理
11	PIC部の設計			
12	総合設計	マインドストームの通信プロトコルの受信プログラムのコーディング	ハード部調整	ソフト部調整
13			ハード&ソフトの組み合わせテスト	
14			レポート提出	
15	レポート提出		レポート提出	

## 4. マイコン搭載型ロボットの設計製作

本章では、マイコン搭載型ロボットの設計製作内容を、ソフトウェア部門とハードウェア部門に分けて説明する。そして、設計・製作後の両部門の組み合わせ試験と製作したロボットの完成イメージを報告する。

### 4-1 ハードウェア部の設計

ハードウェアの設計については、表2に基づき、前期の前半に通信方式や使用部品についての説明を行い、後半にハード担当部門が授業中および授業外の時間を利用して各部の設計を実施した。

講義担当者は夏季休業期間中に学生が設計した図面に従い実際にプロトタイプ機を製作した。このときの不具合を後期の授業のはじめに学生に紹介した。

ハードウェア部門では、最終的な回路図(図5)と、この回路図を元に実体配線図(図6)を作成し、これらの図面に従い基板を製作した。基板に使用した電気・電子部品のリストを表3に示す。

ロボット本体には、走行用としてタミヤ製のギヤボックス(ツインモーターギヤボックス、FA-130×2付)、アーム用としてタミヤ製のギヤボックス(ユニバーサルギヤボックス、FA-130×1付)をそれぞれ使用した。また、駆動タイヤはタミヤ製のスポーツタイヤセット(56mm径)を使用している。その他、アルミ部材、プーリー、タコ糸、アクリル板、ねじ等を少々使用している。

表3 パーツリスト

記号	品名	値・型式	個数
U1	PICマイコン	PIC16F648A	1
U2-4	モータドライブ	TA7291P	3
D1	LED(赤)	TLG123相当	1
D2	LED(緑)	TLR123相当	1
U5	3端子レギュレーター	78L05,5V,100mA	1
C1-3	セラミックコンデンサ	0.001 $\mu$ F	3
C4,5	電解コンデンサ	100 $\mu$ F	2
C6	電解コンデンサ	22 $\mu$ F	1
C7	セラミックコンデンサ	0.1 $\mu$ F	1
R1,2	抵抗	470 $\Omega$ , 1/4W	2
R3	抵抗	100 $\Omega$ 1/4W	1
R4	抵抗	3K $\Omega$ , 1/4W	1
R5	可変抵抗	2K $\Omega$ , 0.5W, 基板用トップアジャストタイプ	1
U6	赤外線受光部	SPS-443-1	1
X	セラミック振動子	20MHz	1
S1	スライド基板用スイッチ	3P	1
M1-3	モーター	タミヤ	3
	電池ホルダー	単3 × 4	1

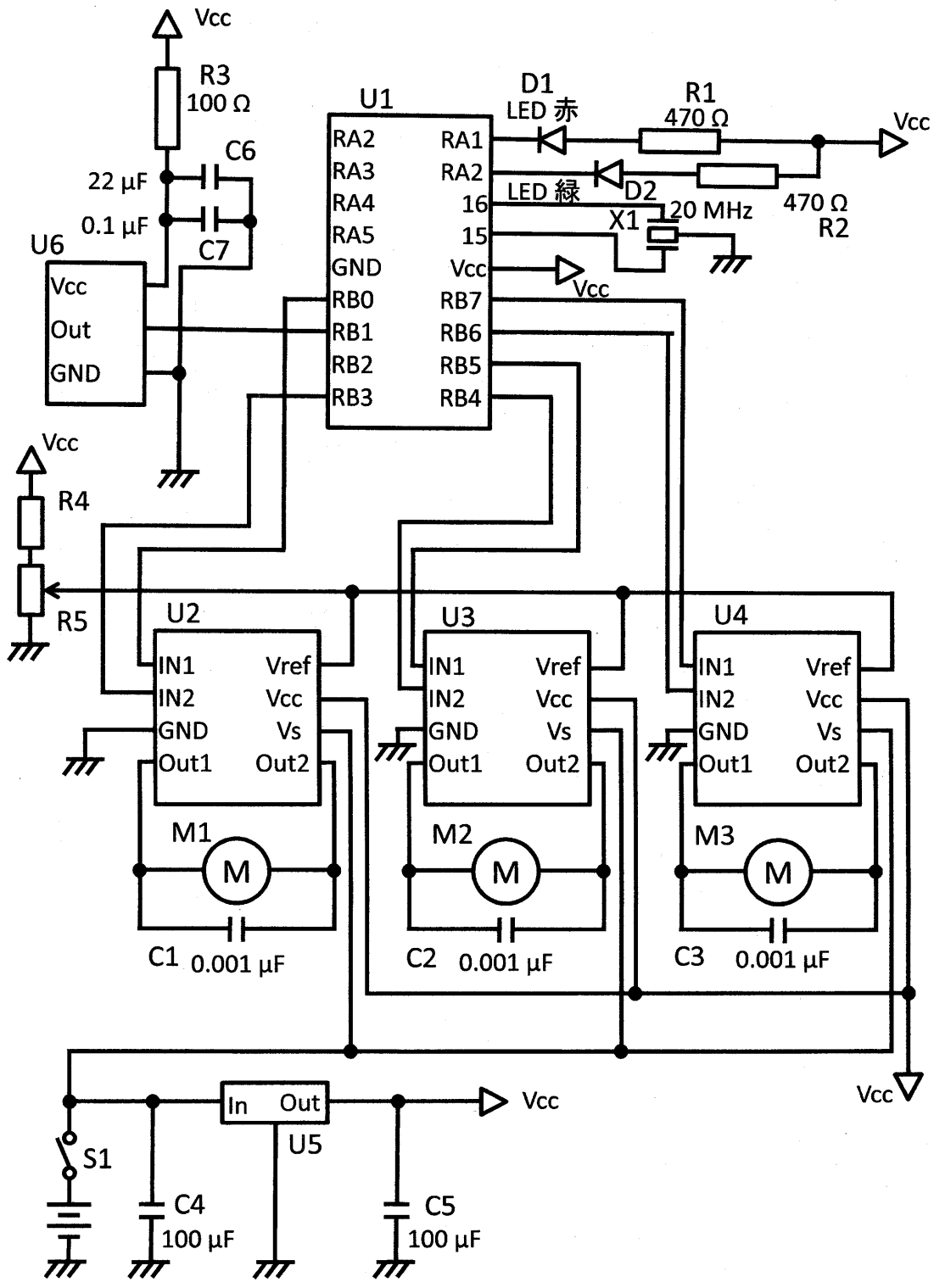


图 5 回路图

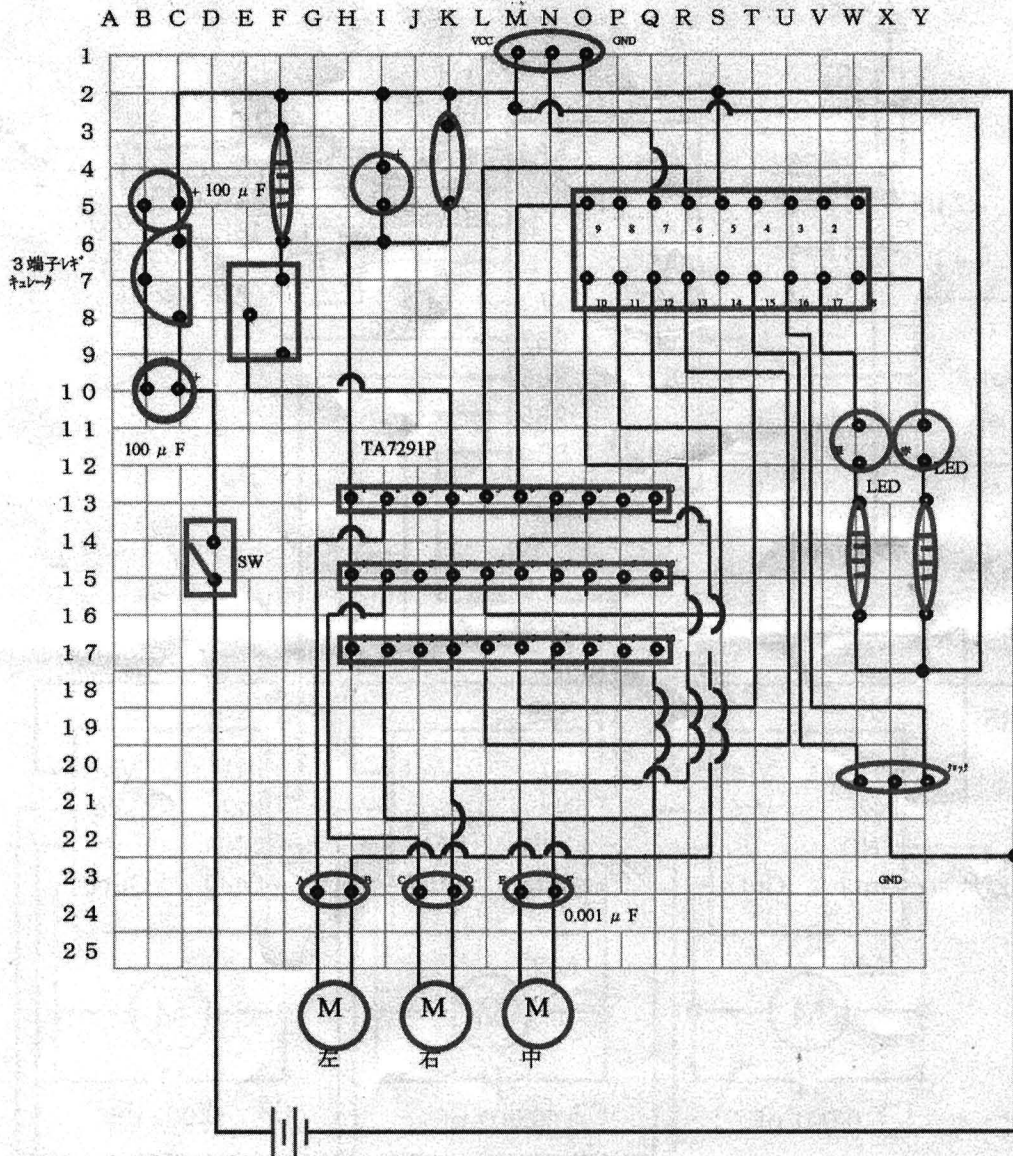


図6 実体配線図

#### 4-2 ソフトウェア部の設計

ソフトウェアの設計については、表2に従い前期の前半に通信方式やモータードライバ等の共通項目の説明を行い、PICマイコン特有のプログラムの方法を説明した。

前期の後半は図7に示した通信プログラムのフローチャート<sup>7)</sup>の作成を行い、それに伴いプログラムをコーディングした。

講義担当者は夏季休業期間中に製作したプロトタイプ機に学生が設計したフローチャートに基づき独自に作成したプログラムを実装し、前もって動作確認を実施した。後期は表2の講義概要に基づきソフト部門の設計製作を進めた。



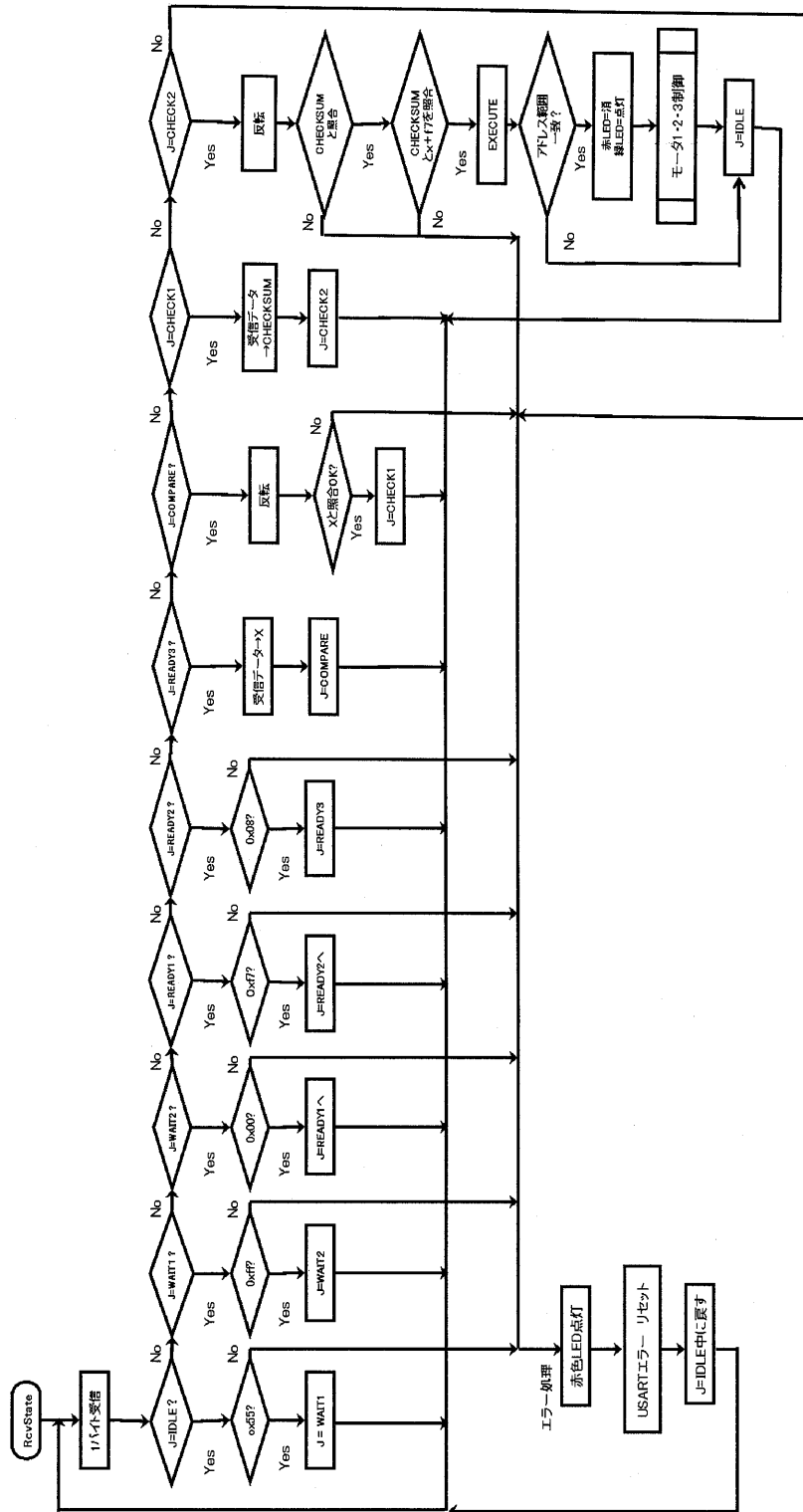


図7 フローチャート

プログラムの主な構成は①ヘッダ部と②main 関数、および③受信状態遷移処理関数である Rcvstate( )と④モーターの制御関数である motion\_cont() からなる。その主要部分のソースコードを以下に示す。

```
① //PIC デバイス指定とコンフィギュレーションの指定
#include <16F648A.h>
#fuses HS,NOWDT,PUT,NOPROTECT,BROWNOUT,NOLVP,NOMCLR,NOCPD
#use delay(CLOCK = 2000000)
#use rs232(BAUD =2400, XMIT = PIN_B2, RCV =PIN_B1, PARITY = O,  ERRORS)
```

```
②//main 関数
void main(void)
{
    省略
    state = idle;                //受信待ち状態
    //メインループ
    while(1)                    //永久ループ
    {
        char data;
        //受信動作実行
        data = getc();          //受信データの取り出し
        if((RS232_ERRORS & 0x06) == 0) //受信エラーありか?
            RcvState(data);     //データ処理
        else
            RcvErr();          //エラー処理
    }
}
```

```
③ //受信状態遷移処理関数 USART を使用 2400bps
void RcvState(char data)
{
    int motion; //モーター制御コード

    //正常受信したので状態遷移チェック
    output_high(RedLED);
    switch(state)
    {
        case idle:                //スタート待ちの時
            if(data == 0x55)
                state = wait1;    //0xff の待ちにする
            else
                RcvErr();         //0x55 でない場合 idle にする
            break;

```

省略 (受信の状態に応じて case 文がある)

```
case check2:
    if(data != ~checksum)
        RcvErr();
    else{
        if(checksum != (data_remote + 0xf7))
            RcvErr();
        else{
            state = execute;

```

```

        if ((GROUP_NUM <= data_remote) && ((GROUP_NUM + 10) >=
            data_remote) || (data_remote == 0xff)){
            output_toggle(GreenLED);
            if(data_remote != 0xff)
                motion = data_remote - GROUP_NUM;
            else
                motion = data_remote;
            motion_cont(motion);
        }
        state = idle;
    }
    break;
default : break;
}
}
}

```

④ //モーターの制御関数  
void motion\_cont(int motion)

```

{
    switch (motion)
    {
        case 1: //左モーター前進
            output_bit(PIN_B0,1);
            output_bit(PIN_B3,0);
            output_bit(PIN_B4,0);
            output_bit(PIN_B5,0);
            output_bit(PIN_B6,0);
            output_bit(PIN_B7,0);
            break;

        省略 (受信データの数值により異なるモーター制御がある)

        case 10: //右左モーター後退
            output_bit(PIN_B0,0);
            output_bit(PIN_B3,1);
            output_bit(PIN_B4,0);
            output_bit(PIN_B5,1);
            output_bit(PIN_B6,0);
            output_bit(PIN_B7,0);
            break;

        case 255: //全モーターオフ
            output_bit(PIN_B0,0);
            output_bit(PIN_B3,0);
            output_bit(PIN_B4,0);
            output_bit(PIN_B5,0);
            output_bit(PIN_B6,0);
            output_bit(PIN_B7,0);
            break;
        default:break;
    }
}
}

```

### 4-3 ハード&ソフトの組合わせ試験

ソフト部門とハード部門の設計製作が完了した時点で、両者を統合して組合わせ試験を実施した。さまざまな問題点があったが、それがソフト的なものなのか、それともハード的なものなのか、どちらで解決したほうが良いかを議論した後に該当部門が修正を行った。最終的には目的を達成するマイコン搭載型ロボットを完成させることができた。

未解決な問題点が一つ残った。それは、リモコンが操作の完了時に1度だけ送信するストップ信号(0xff)を受信部が拾えない場合、ロボットが止まらなくなってしまうことである。これはmain()関数の中のgetc()で処理待ちになることが原因だと推測された。

本教材は平成19年度以降も同講義で使用予定であるので、割込み処理で一定時間ごとにモーターを強制的に停止させる処理を追加するなどして改良していく予定である。本教材により、割込み処理等のハードウェアと密接な関係にあるプログラムの学習も可能になることが期待できる。

### 4-4 完成イメージ

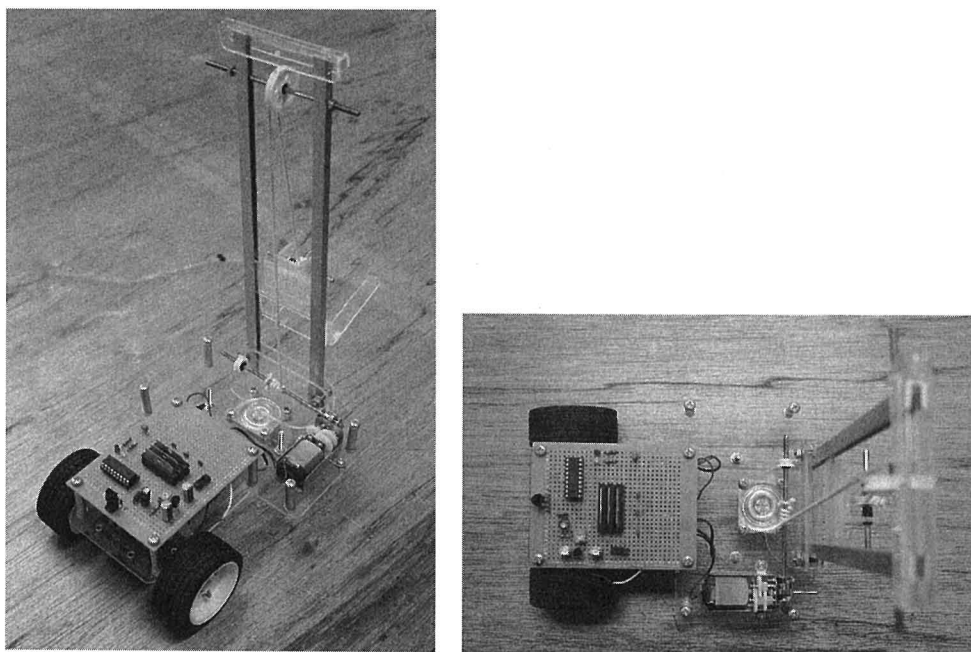


図8 完成イメージ

今回制作したロボットは、全日中主催の「創造アイデアロボットコンテスト」のA部門「どきどきタワー2006」にあわせたものである。競技は自陣におかれたタワーを崩さずにアイテムを取り出し、得点を競い合う形式である。

アイテムはペットボトルのキャップを2つ重ねて接着し、その上にピンポン球(直径40mm練習球)を接着させたものである。タワーは、床に200×200×2の透明塩ビ板、4本の柱にはフィルムキャップ2つを接着したものを使用した2階建てである。下段の高さは2mm、中段の高さは104mm、上段の高さは206mmである。

製作したロボットはアイテムのペットボトルのキャップ部分を挟み、持ち上げることが

できるよう、幅38mmのフォークを取り付けたフォークリフト式とした。

また、フォークリフト用のモーターは滑車を利用してリフトでフォーク部を巻き上げるためにギヤボックスと組み合わせて使用し、配置場所は車体前部とした。図8に製作したロボットを示す。

## おわりに

機械研究室では大学院の授業である機械情報工学特論を利用して企業におけるOJT(On the job training)のような形式でマイコン搭載型ロボットの設計製作を行う教育プログラムの開発を行った。

本教育プログラムは、中学校技術科の学習内容である「技術とものづくり」と「情報とコンピュータ」、そしてコンピュータの「ハードウェア」と「ソフトウェア」にまたがる複合技術を習得するためのものである。その有効性については機械情報工学特論の受講生から確認することができた。

最後に本研究の一部は平成19年度科学研究費補助金基盤研究(C)課題番号 18500710の助成を受けたものである。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) Paul Wallich : Mindstorms not just a Kid's Toy, IEEE Spectrum September , pp.52-57, 2001
- 2) 上村 梨紗、森岡 弘、落合 積、岡 正人、白濱 弘幸、秋本 泰宏 : PIC を用いたマインドストームの遠隔操作装置の開発、山口大学教育学部・附属教育実践総合センター研究紀要第18号、pp.97-112、2005
- 3) 森岡 弘、亀島 健一、秋本 泰宏、岡 正人、白濱 弘幸、森 慎之助 : PIC を用いたマインドストームの遠隔操作装置の開発(2)、山口大学教育学部・附属教育実践総合センター研究紀要第20号、pp.141-154、2005
- 4) 森岡 弘、上村 梨紗、秋本 泰宏、森 慎之助、白濱 弘幸、岡 正人 : マインドストームのための遠隔装置(リモコン)の開発とそれを用いたロボットコンテストの授業実践、日本産業技術教育学会誌第48巻第2号、pp.129-136、2006
- 5) 後閑哲也 : 電子工作のための PIC 活用ガイドブック、株式会社技術評論社、2000
- 6) 朝日新聞社 : パソコン・データ通信 プロトコル・ハンドブック、朝日新聞社、1989
- 7) 後閑哲也 : ロボット改造マニュアル②ラジコンロボット・6 足インセクト、技術評論社、2004