

PICを用いたマインドストームの遠隔操作装置の開発 (2)

森岡 弘・亀島 健一*・秋本 泰宏**・岡 正人***・白濱 弘幸****・森 慎之助****

Development of a Remote Control System of Mindstorms with using a PIC (2)

MORIOKA Hiroshi, KAMESHIMA Kenichi, AKIMOTO Yasuhiro, OKA Masato,
SHIRAHAMA Hiroyuki and MORI Shinnosuke

(Received July 25, 2005)

キーワード：リモコン、赤外線、マインドストーム、ロボットコンテスト、PIC

1. はじめに

筆者らはこれまでに、ロボット製作に期待されている問題解決型学習の充実のために、LEGO MindStorms Robotics Invention System (以下「マインドストーム」という。)^{1)~3)}を中学校技術科の題材として利用する方法について授業実践を通して検討してきた^{4)~7)}。

その間、実際に授業に参加した生徒から、本来自律型ロボットであるマインドストームを外部から操作可能にする遠隔操作装置の開発要望が多くあった。この要望に答え、平成15年度山口大学教育学部、学部・附属共同研究として支援を受け、マインドストームの遠隔操作の赤外線リモコン (以下「リモコン」という。)を開発した。そのリモコンの製作方法は前報⁸⁾において詳しく報告している。

平成15年度に山口大学教育学部附属光中学校の技術の授業において、開発したリモコンを導入したマインドストームを用いたロボットコンテスト形式の授業を実施した⁹⁾。その授業最終日に行ったロボコン競技の終了後に、生徒達のリモコンに対する評価をアンケート形式で調べた。

本論文では、生徒達から得たアンケート結果に基づき、リモコンの問題点を検討するとともに、その検討に基づいたリモコンの改良結果を報告する。第2章では、開発したリモコンを使用した平成15年度の授業実践例を示す。第3章では、そのとき実施したリモコンのアンケート調査結果とその内容の検討について述べる。第3章の結果を踏まえ、第4章では、リモコンのハードウェア面での改良について検討し、さらに第5章では、ソフトウェア面における改良について検討する。最後に第6章では、まとめを行う。

*山口大学教育学部技術教育 卒業生 (現在 広島大学大学院生)

**山口大学教育学部附属光中学校

***宇部工業高等専門学校

****愛媛大学教育学部

2. 授業実践例

開発したリモコンを利用した授業実践を平成15年10月～平成16年3月にかけて、山口大学教育学部附属光中学校の技術を選択した3年生の選択授業において行った。実施時間は連続した2校時を使用したトータル26校時であった。対象は技術分野を選択した3年生の男子生徒13名、女子生徒11名の計24名であり、1班2～3名の11グループに分けて授業を行った。

授業は最終日に設定した共通の競技に参加するためのロボットを各班が試行錯誤しながら製作していくロボットコンテスト形式である。

リモコンに関する授業では、マインドストームの一般的なプログラミングの修得を前提にして、リモコンの使い方とプログラム作成演習を行った。図1は生徒達自身が作成したリモコン用プログラムを使って、テスト走行を行っている場面である。このリモコンを利用してロボットを操縦する場合は、リモコン信号を受信するRCXの受信部をロボット本体の後側にくるようにすると、操縦が容易になる。



図1 リモコンの動作確認

競技では、平成14年度の授業実践⁶⁾では不足がちであったモーターを1つ追加して3つまで使用可能にした。また、アームがあるほうが有利になるような競技フィールドを新しく製作した。

競技内容は図2に示した競技フィールドの各地点に得点設定（1段目：3点、2段目：10点、最上段：50点）されたフィルムケースを置き、そのケースを自分の陣地に持って帰り、競技終了時に陣地内にあるケースの合計得点を競うものとした。授業中は、常時フィールドを教室内に設置しておき、生徒達が実際のフィールドを使用して試行錯誤できるようにした。

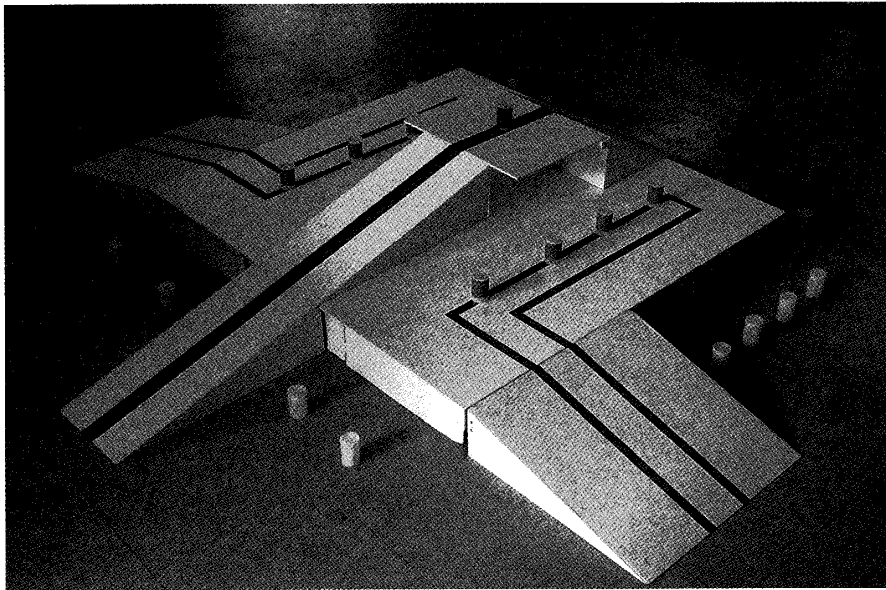


図2 競技フィールド

3. リモコンおよび競技の評価

平成15年度は開発したリモコンを初めて授業に導入した。その評価を行うためにロボットコンテストを行った授業最終日にアンケートを実施した。本章では3.1において、その調査結果を報告する。そして、3.2ではアンケート結果とリモコンの改良について検討する。

3.1. リモコンおよび競技についての調査結果

リモコンについての設問項目の回答結果を図3に示す。同様に競技についての結果を図4に示す。ここで、++：肯定(はい)、+：弱い肯定(どちらかといえばはい)、-：弱い否定(どちらかといえばいいえ)、--：否定(いいえ)を表す。

設問は、リモコンに関する設問(1)～(3)と競技に関する設問(4)、(5)とがあり、その内容をそれぞれ以下に示す。

設問(1)「リモコンはあったほうがよい」、設問(2)「リモコンは簡単に使えた」、設問(3)「リモコンを利用するためのロボットのプログラムは理解できた」、設問(4)「競技は難しかった」、設問(5)「今回のフィールドで楽しく競技できた」。

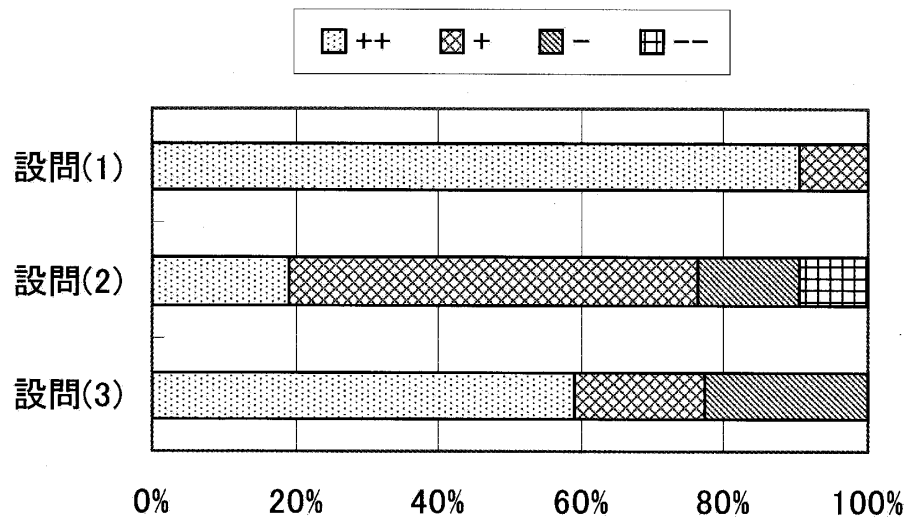


図3 リモコンについてのアンケート結果

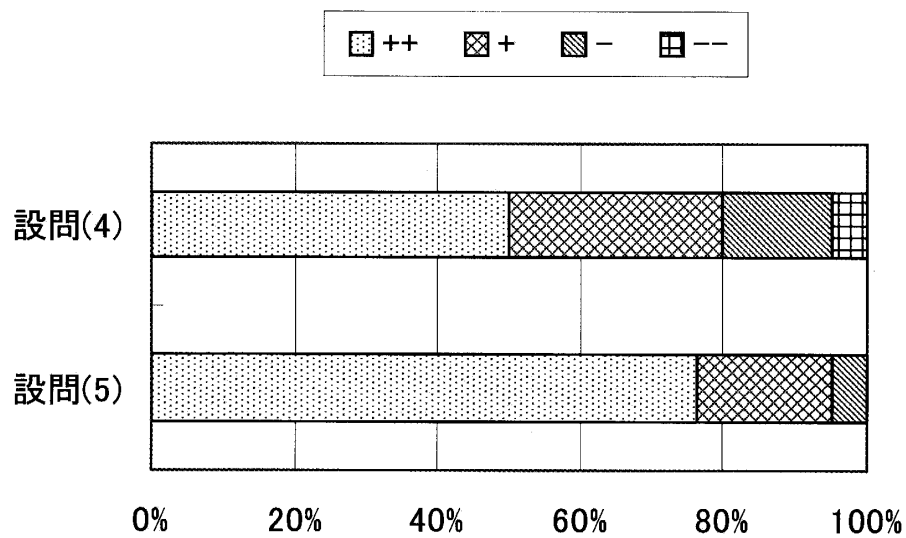


図4 競技についてのアンケート結果

さらに、「リモコンを使って思ったこと」という質問に対する記述式の回答結果を以下に示す。

リモコンを使って思ったこと

- ・ 3つスイッチが欲しかった
- ・ 電池の消耗が早い
- ・ 電池がすぐ外れる
- ・ 操作が難しかった
- ・ リモコンは強く押せば強くなることがわかった
- ・ 本番で調子が悪く残念だった
- ・ リモコンに指示を送ってもあまり動かなかった

- ・楽しかった
- ・センサーが届く範囲が少ない

3.2. アンケート結果の検討とリモコンの改良

はじめに、図3のリモコンについてのアンケート結果について検討する。設問（1）「リモコンはあったほうがよい」に対しては、約90%の生徒がはい（肯定）と答えており、弱い肯定を含めると、すべての生徒がリモコンの導入を肯定的にとらえているのがわかる。リモコンを使用するとロボットの遠隔操作ができるようになるので、思い通りにロボットが動くよう試行錯誤してプログラムを何度も組換える生徒達の姿も見られた。その結果、設問（3）「リモコンを利用するためのロボットのプログラムは理解できた」に対しては、約59%の生徒が肯定的な回答をしており、弱い肯定を含めると約77%の生徒が肯定的であることがわかった。設問（2）「リモコンは簡単に使えた」では、はい（肯定）と答えた生徒は約19%にとどまっている。弱い肯定を含めると全体として76%の生徒が肯定的にとらえてはいるものの、肯定が19%程度では、リモコンの操作性に問題があることも考えられる。また、この結果は、記述式の質問「リモコンの使用で思ったこと」の回答として「操作が難しかった」、「本番で調子が悪く残念だった」という答えがあったことから推測できる。しかしながら、リモコンが簡単に使えるようになるためには、ロボットを直感的に操作可能のようにプログラムを修正することや、リモコン自体の操作に慣れることを、生徒達自らがトライするようにながすことも重要である。

つぎに、競技についてのアンケート結果（図4）について検討する。設問（4）「競技は難しかった」については、50%の生徒がはい（肯定）と答えており、どちらかといえばはい（弱い肯定）まで含めると80%の生徒が、競技は難しかったと感じているのがわかる。設問（5）の「今回のフィールドで楽しく競技できた」に対して、95%の生徒が肯定的にとらえていること、および設問（4）の回答から総合的に判断して、生徒達は競技自体の難易度は高いと感じつつも、競技に楽しんで参加していたことがわかった。

最後に、記述式の質問「リモコンの使用で思ったこと」に対する回答について検討する。この中には、すぐにでも対策が必要な「電池がすぐ外れる」といった基本的な問題点があった。これは、電池ボックスとタッパーの底に必要以上の空間があるためである。そこでタッパーの底に50mm×60mm×7mm程度のスポンジを取り付けることにより解決した。また、回答の中に「リモコンを強く押せば強くなることが分かった」というリモコンに対する誤った認識も含まれていた。リモコンの使用前に、赤外線通信の特徴を十分に生徒に説明することが必要である。

その他、「リモコンに指示を送ってもあまり反応しなかった」、「センサーが届く範囲が少ない」という回答があった。これらに関連して、リモコンをロボットに近づけて操縦する生徒も多くいることから、赤外線発光ダイオードの通信距離や指向特性、RCX側の受信プログラムの反応速度についても検討が必要である。また、「3つスイッチがほしかった」という回答がある通り、スイッチの数についても検討する必要がある。

以上の問題点の解決方法について、次章以降、ハードウェア面に関しては第4章、ソフトウェア面に関しては第5章においてそれぞれ検討する。

4. リモコンの問題点とその改良（ハードウェア面）

本章では、3章の結果をふまえ、リモコンのハードウェア面の改良について検討する。4.1では赤外線発光ダイオードの特性について調べ、授業に最適な赤外線発光ダイオードを選出する。4.2では、生徒達の要望に沿って操作スイッチを1つ増やして、合計3つ取り付けられることを検討している。最後に4.3では、コントローラの製作も将来的には授業に取り込むことを考慮して電子回路のプリント基板化について検討する。

4.1. 赤外線発光ダイオードの特性の検討

現在のリモコンで使用しているTLN105Bは、通信距離が1.5～2m、指向特性が $\pm 23.5^\circ$ である。競技フィールドが大きくなると、この通信距離、指向特性では使用しにくくなることも考えられる。しかし、赤外線発光ダイオードを放射強度の強いものに変えると、リモコン同士でデータが混信する可能性もある。そこで、さまざまな赤外線発光ダイオードの特性について調べ、授業に最適な発光ダイオードの選出を行う。

今回調べた赤外線発光ダイオードは、TLN105B、TLN110、TLN115、TLN103Aの4つである。

これらの4つの赤外線発光ダイオードについて調べた結果、それぞれ特徴があることがわかった。また、実際にリモコンに取り付けてみると、使いやすいものや使いにくいものがあることがわかった。とくにリモコンとして使用する場合、通信距離と指向特性が重要になってくる。そこで、4つの赤外線発光ダイオードの通信距離と指向特性についてまとめたものを表1に示す。

表1 赤外線発光ダイオードの特性

	通信距離	指向特性
TLN105B	2m 00cm	$\theta 1/2 = \pm 23.5^\circ$ (標準)
TLN110	2m 50cm	$\theta 1/2 = \pm 10^\circ$ (標準)
TLN115	2m 20cm	$\theta 1/2 = \pm 10^\circ$ (標準)
TLN103A	1m 10cm	$\theta 1/2 = \pm 80^\circ$ (標準)

表1より、図2のフィールドで競技することを考えると、通信距離が長く指向特性があまり広くないものがよいと考えられる。したがって、TLN110を選出し取り付けることにした。実際に使用してみたが、リモコン同士でデータが混信することもなかった。

4.2. 操作スイッチの追加

昨年度に導入したリモコンに対して、操作スイッチをモーターの個数に合わせて2つから3つに、赤外線発光ダイオードをトランジスタ駆動にそれぞれ変更した。

これまでは、赤外線発光ダイオードの点滅は目で確認できないことから、生徒達はリモコンが正常に動作しているのかどうかを確認することができなかった。そのため、動作反応が遅いときなど、つい、リモコンのスイッチを強く押したり、必要以上にリモコンをロボットに近づけたりしてしまう生徒が見られた。この解決方法として、可視化のため赤外線発光ダイオードと同じタイミングで駆動する発光ダイオードを1つ追加した。

今回改良したリモコンの回路図とパーツリストを、それぞれ図5と表2に示す。

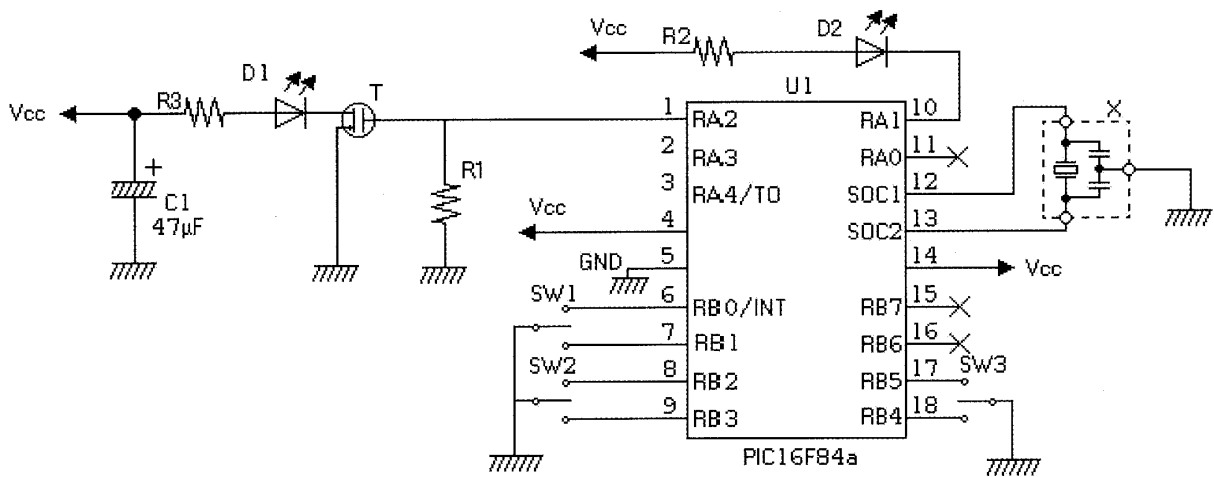


図5 リモコンの回路図

表2 パーツリスト

記号	パーツリスト	値・型名	個数	単価(目安)
U1	IC	PIC16F84a	1	350
D1	赤外線発光ダイオード	TNL110	1	80
D2	発光ダイオード	TLUG-163	1	55
R1	抵抗	10kΩ 1/4W	1	10
R2	抵抗	470Ω 1/4W	1	10
R3	抵抗	33Ω 1W	1	28
C1	電解コンデンサ	47μF 16V	1	55
T	MOSトランジスタ	2SK2231	1	120
X	セラミック振動子 (コンデンサ内蔵タイプ)	20MH	1	40
SW1、2	トグルスイッチ (はね返り)	MS-500EB	3	175
	ICソケット	18ピンDIP	1	50
	基板	ICB-93S	1	295
	電池ボックス	単4×2個用	1	90
	電池ボックス	単4×1個用	1	70
	電池	単4	3	100
	ケース	タッパ		100
合計				2178

4.3. リモコン回路のプリント基板化

本リモコンは山口大学教育学部附属光中学校の技術を選択した3年生の選択授業において使用することを前提に開発を行ったものである。しかし、将来的にはリモコンの製作を授業の一部に取り込むことを検討している。そのために、プリント基板化をはかり、出来る限りはんだ付けの点数を減らすことにした。プリント基板は平成16年度の技術教育専修

(大学院)における機械工学特論Ⅱの授業において設計製作したものを使用する。

図6はリモコン回路を無料のパターン図作成ソフトウェアであるPCBEを使用して作成した本リモコン装置のパターン図である。このパターン図を用いて、露光、現像、エッチング、感光剤除去、穴あけ加工を経て^{10,11)}できあがったプリント基板を図7に示す。最終的なリモコンの完成品を図8に示す。

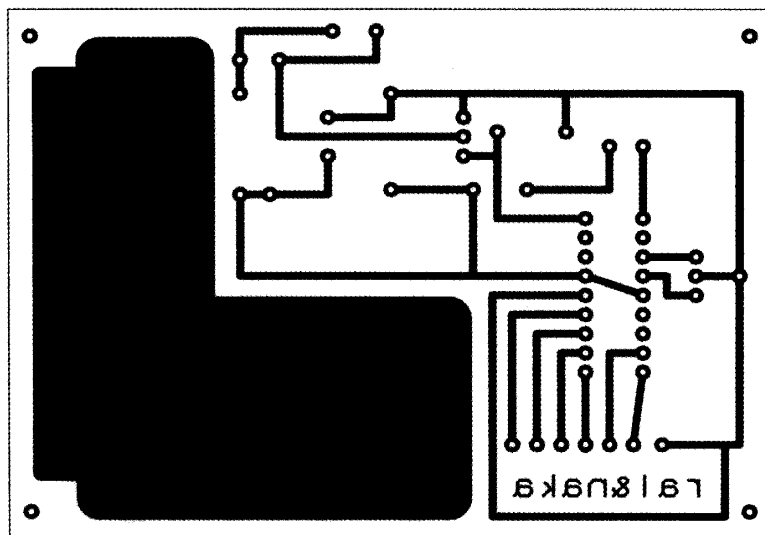


図6 プリントパターン図

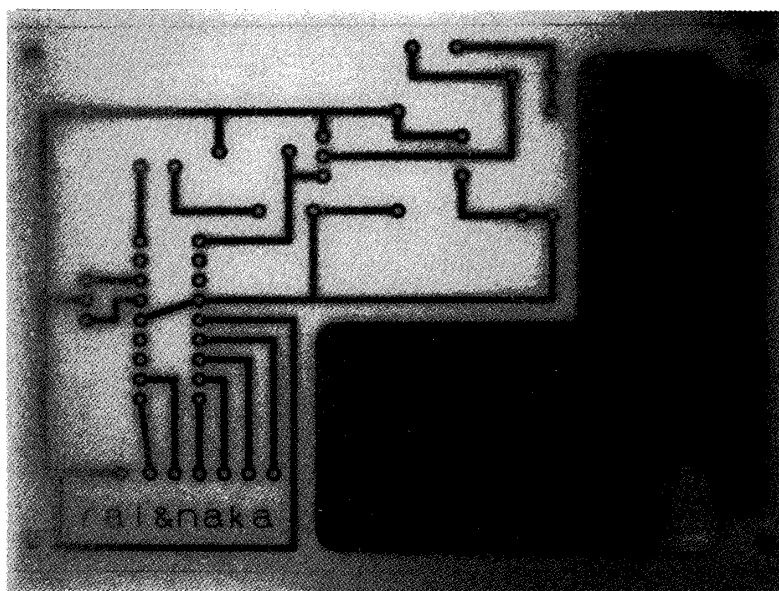


図7 プリント基板

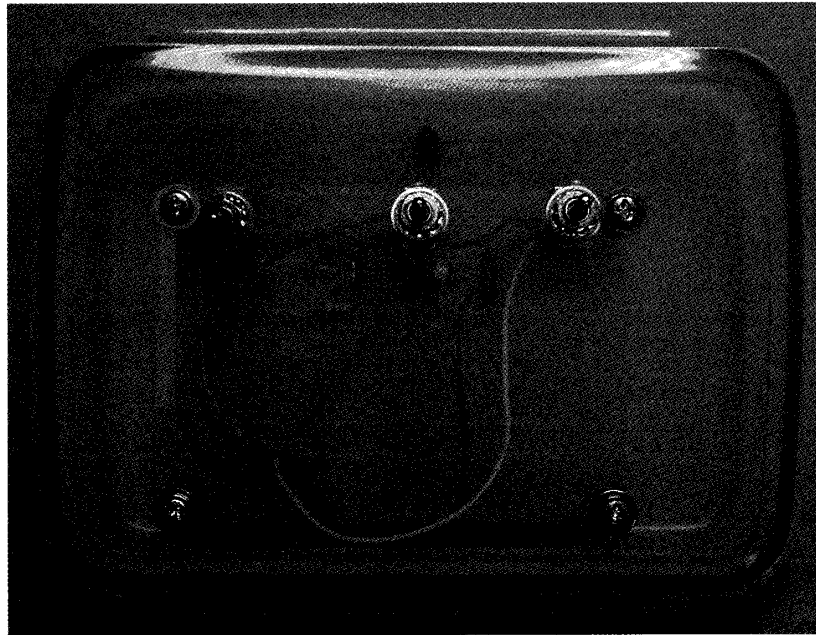


図8 リモコン完成品

5. リモコンの問題点とその改良（ソフトウェア面）

本章では、3章の結果をふまえ、リモコンのソフトウェア面の改良について検討する。5.1ではリモコンからRCXへのデータ送信プログラムについて検討している。5.2では、リモコンからRCXへ送られて来るデータの受信プログラムについて検討する。

5.1. 送信プログラム

平成15年度に開発したリモコンはスイッチを2つ使用していた。図5に示したように、スイッチ(SW) 1、2はそれぞれRBポートのRB0～RB3に接続していた。

表3に示したように、スイッチの入力にあわせた数値データを送信し、1つのリモコンで8通りの動作を数値として送信するようになっている。RCXは1～255の数値を持っているので、この数値を細かく区切り、班ごとに使用する値を割り当てておけば、複数のロボットが同じ場所にあっても別々に操作することが可能になる。

表3 スイッチ入力と送信データ

通し番号	10進数 (送信データ)	2進数			
		RB3	RB2	RB1	RB0
1	1	0	0	0	1
2	2	0	0	1	0
3	4	0	1	0	0
4	5	0	1	0	1
5	6	0	1	1	0
6	8	1	0	0	0
7	9	1	0	0	1
8	10	1	0	1	0

同様な考え方で、リモコンの中央にスイッチ(SW3)を追加して合計3つにすると、1つのリモコンで26通りの動作を数値として送ることになる。

しかしこの場合、RCXの持っている1～255の数値を区切っていくと、9班分しか割り当てることができない。これでは使用できるロボットが少なく、参加人数に限りが出てしまう。そのため、まず班の数値を送信し、その後に動作の数値を送信するという方法について検討した。この方法を採用すると、動作の数値は26だけあればよく、残りの229の数値は班の数値に割り当てることが可能になる。

リモコンのコントローラであるPIC^{(13),(14)}にダウンロードされた送信用プログラムはC言語で記述されている⁸⁾。現在は、表3に示した8通りの数値データを送るのみであるが、スイッチを動かさずとまず班の数値を送信し、その後、動作の数値を送信するよう変更した。また、RCX側の受信プログラムは班の数値を受信するまでは反応しないようにした。3.2で示したように、現状でもRCXの反応がにぶく操作性に問題があるのに、本方式を採用すると送信データが2倍に増加するため、ロボットの反応が実用に耐え得ないレベルになってしまった。

そこで、ロボットの本体の移動方向を変える従来の8通りとアームを前後に動かす2通り、計10通りの動作の数値を班ごとに振り分けるという方法を採用することにした。さらに、1～10の数値内でRCXが動作可能になれば、1～255の数値を25班に割り当てることができる。そのために、表3において、未使用であった数値データ3、7を用いて、表4に示したように、従来のスイッチ2個の送信データはそのままにして(上表)、中央のSW3を上を押すとデータ3を送り、下を押すとデータ7を送信することにした(下表)。

表4 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	5 0101	4 0100	6 0110
	中	1 0001	送信なし	2 0010
	下	9 1001	8 1000	10 1010

+

		中スイッチ(SW3)		
		上	中	下
		3 0011	送信なし	7 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

5.2. 受信プログラム

マインドストームはいろいろなソフトウェアを使ってプログラムすることができる。現在使用しているのは、LEGO MindStorms Robotics Invention System (RIS) 2.0に添付されてくる標準ソフトウェアである日本語版 RCX CODE2.0 (以下、「RCXコード」という。) である。

この RCX コードは LEGO ブロックを組立てるように、グラフィカルにロボットの動きをプログラミングできるが、処理速度が遅く、リモコンからの指示に対して、少し時間が経過してからロボットが動くという問題点がある。このほかのソフトウェアとして、RCX コードに比べ、より複雑な制御が可能な日本語版 ROBOLAB1.5、C言語に似た文法を使用する NQC (Not Quite C)^{14),15)} がある。また、マイコンが持っている本来の性能を発揮させることができる Brick OS¹⁶⁾ や Java 言語による leJOS¹⁷⁾ 等がある。

今回は、これらの中からもっとも導入が容易な NQC の使用について検討する。NQC はグラフィカルな言語ではなく、その名が示すように、C言語に似た記述が可能である。例えば、モーター A を 10 秒間回転して、停止するというプログラムは NQC では図 9 のようになる。このように、NQC は C 言語と似ていて、必ず「main()」という関数を定義する必要がある。モーターを特定時間回転させるためには「OnFor」という組み込み関数を利用する。時間を指定する引数は 1 秒を 100 で表すので、10 秒の場合は、1000 となる。また、同様のプログラムを RCX コードを用いて作成すると図 10 のようになる。

```
task main()
{
  OnFor( OUT_A, 1000);
  Off( OUT_A);
}
```

図 9 NQCによるプログラミング例

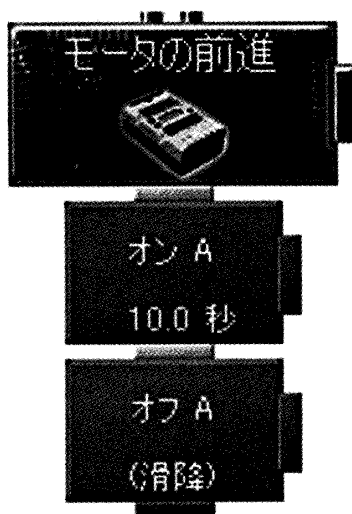


図10 RCXコードによるプログラミング例

同じ動作内容のプログラムでも使用するプログラミング言語により、見た目が違うことがわかる。複雑な動作を表すプログラムを作成する場合は、RCX コードでプログラムを記述するより、NQC の方が記述しやすい場合が多い。例えば、今回のリモコンからの送信データを受信するプログラムを NQC で記述すると図11のように簡単に作成することができる。

```
Task main()
{
  while(true)
  {
    if(Message()== 5){Fwd(OUT_A+OUT_C);OnFor(OUT_A+OUT_C,80);};
    if(Message()== 10){Rev(OUT_A+OUT_C);OnFor(OUT_A+OUT_C,80);};
    if(Message()== 4){Fwd(OUT_C);OnFor(OUT_C,80);};
    if(Message()== 8){Rev(OUT_C);OnFor(OUT_C,80);};
    if(Message()== 1){Fwd(OUT_A);OnFor(OUT_A,80);};
    if(Message()== 2){Rev(OUT_A);OnFor(OUT_A,80);};
    if(Message()== 6){Fwd(OUT_C);Rev(OUT_A);OnFor(OUT_A+OUT_C,80);};
    if(Message()== 9){Rev(OUT_C);Fwd(OUT_A);OnFor(OUT_A+OUT_C,80);};
    if(Message()== 3){Rev(OUT_B);OnFor(OUT_B,40);};
    if(Message()== 7){Fwd(OUT_B);OnFor(OUT_B,40);};
    ClearMessage();
  }
}
```

図11 リモコン送信データの受信プログラム例

しかしながら、NQC も標準 LEGO ファームウェアを使用しているため、その制限を受けることから、プログラムの処理速度の大幅な向上は期待できない。結局、NQC を導入しても RCX コードに対して受信側の処理速度を大幅に向上させることはできなかった。BrickOS や Lejos の導入を今後は検討しなければならない。

6. まとめ

平成15年度に、山口大学教育学部附属光中学校において、開発したマインドストーム用のリモコンを導入したロボットコンテスト形式の授業を実施した。本論文は、その中で、行ったリモコンに関する生徒達のアンケート調査の結果を検討し、その結果に基づきリモコンの改良を行ったものである。

アンケートの結果からリモコンの導入については、すべての生徒が肯定的であったが、操作性については、若干の問題があることが判明した。

そのことをからハードウェア面では、赤外線発光ダイオードの変更と点滅の可視化、スイッチの追加、回路のプリント基板化等を行った。

また、ソフトウェア面では、スイッチの追加に伴い、送信プログラムを変更した。当初検討した、班の数値を送信し、その後に動作の数値を送信する方法は、今後の拡張性を考えると優れた方法ではあるが、受信側の反応速度を考えると採用することはできなかった。代替案として、今回追加した中央スイッチの2つの状態を単独に送信する方法を提案した。

ソフトウェア面の改良については、リモコン側の送信プログラムの改良はハードウェアも含めて設計製作しているので融通が利くが、RCX側はLEGO社の開発であり、容易に改造することはできない。リモコン操作に対するRCXの反応速度の向上を望むならば、今後はRCXに搭載されているマイコンが持っている本来の性能を発揮させることができるBrick OS¹⁶⁾やJava言語によるleJOS¹⁷⁾等の導入を検討していかなければならない。

最後に本研究を進めるにあたり平成16年度山口大学教育学部、学部・附属共同研究として支援を得たことに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Paul Wallich : Mindstorms not just a Kid's Toy, IEEE Spectrum September, pp.52-57, 2001
- 2) S・パパート (奥村 喜世子訳) : マインドストーム, 未来社, 1982
- 3) Jin Sato, 白川裕記, 牧瀬哲郎, 倉林大輔, 衛藤仁郎 : LEGO MindStorms パーフェクトガイド, 翔泳社, 1999
- 4) 森岡 弘, 上村 梨紗, 秋本 泰宏 : マインドストームを利用した技術科教育方法に関する研究, 日本産業技術教育学会第46回全国大会講演要旨集, p.57, 2003
- 5) 森岡 弘, 上村 梨紗, 秋本 泰宏, 岡 正人 : マインドストームを利用した技術科の教育方法に関する研究, 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17号, pp.35-50, 2004
- 6) 森岡 弘, 上村 梨紗, 秋本 泰宏, 岡 正人 : マインドストームを使用した技術科の授業実践報告, 山口大学教育学部・附属教育実践研究紀要第3号, pp.151-160, 2004
- 7) 森岡 弘, 上村 梨紗, 秋本 泰宏 : マインドストームを使用した技術科の授業実践報告1 (ロボコン形式の授業に対する目標準拠評価), 日本産業技術教育学会中国支部第33回大会講演要旨集, p.5, 2004
- 8) 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
- 9) 森岡 弘, 上村 梨紗, 秋本 泰宏, 岡 正人, 白濱 弘幸, 森 慎之助: マインドストームを使用した技術科の授業実践報告2 (赤外線リモコンを使用したロボットコンテスト), 日本産業技術教育学会第47回全国大会講演要旨集, p.62, 2004
 - 10) 後閑哲也: 誰にでもできる電子工作入門, 株式会社技術評論社, 2001
 - 11) 後閑哲也: 作って遊べるロボット工作, 株式会社技術評論社, 2003
 - 12) 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
 - 13) 川田和男, 藤澤正一郎, 山本透: 教材化のためのマイクロコントローラ (PIC) とその制御用プログラム, 日本産業技術教育学会誌第45巻3号, pp.157~167, 2003
 - 14) <http://minds.cs.hkg.ac.jp/>
 - 15) <http://www.cs.uu.nl/people/markov/lego/>
 - 16) <http://brickos.sourceforge.net/>
 - 17) 長瀬 嘉秀/二上 貴夫 監訳: マインドストーム・プログラミング入門, CQ出版社, 2004
 - 18) 上村 梨紗: LEGO Mindstorms を使用した技術科教育方法に関する研究, 山口大学大学院教育学研究科修士論文, 2004