

赤外線リモコンを利用した動く工作教材

Mini Robot-Kit with IR Remote Controller as Educational Material

山本 広樹

Hiroki Yamamoto

Abstract : 赤外線リモコンの仕組みを学習する公開講座向けに開発した工作教材について紹介する。本工作教材は、TV 用の赤外線リモコンを利用して操作するミニロボットキットである。ワンチップマイクロコントローラを中心に、赤外線センサモジュール、振動モータ、圧電スピーカ、筐体となるアクリル板、移動機構用のブラシから構成されており、ボタン型電池 1 個で動作する。受講者を中学生と想定し、特殊な工具を必要とせず、3 時間内で組み立てが完了するように難易度を設定した。赤外線信号を音に変換して再生する機能を有しており、完成後は、TV リモコンを用いた操縦/プログラム動作の他、リモコンの送信情報の分析に利用することができる。

Keywords : 教材, 赤外線, リモコン, マイコン, 振動モータ

1. はじめに

本校（東京都立産業技術高等専門学校）では、教育研究活動の成果を広く社会に還元するための活動として、オープンカレッジ（以下、「公開講座」と呼ぶ）が実施されている。この公開講座には、一般の方向けの生涯学習講座や小中学生向けのものづくり講座などがある。

公開講座では、座学による解説と実験、実演、製作を組み合わせ、参加者の理解度の促進と集中力持続を図ることが多い。特に小中学生を対象とする場合、ものづくり体験のみならず、集中力の持続という側面からも、実際に手を動かす作業を講座へ組み込むことが効果的である。

そこで、このような公開講座の一つとして、赤外線リモコンの原理について学習する講座を担当した際、座学と組み合わせて利用することを念頭に、動く工作教材（以下、「教材」と呼ぶ）を開発した。本稿では、この教材について紹介する。

2. 教材の概要

本教材は、赤外線式 TV リモコンの仕組みを学習する講座において利用することを目的としたミニロボットキットである。製作条件として、15~20 名程度の中中学生を対象とし、リモコンの原理について座学による説明を受けた後、1 人 1 台の組立作業を行うものと想定した。また、特段の予備知識を前提とせず、組立て指導を受けながら 3 時間内に完成できる程度の作業難易度を目標として開発を行った。以下、教材の概要について述べる。

2.1 完成形と機能

工作後の完成品を Fig.1 に示す。直径 70mm の樹脂製円

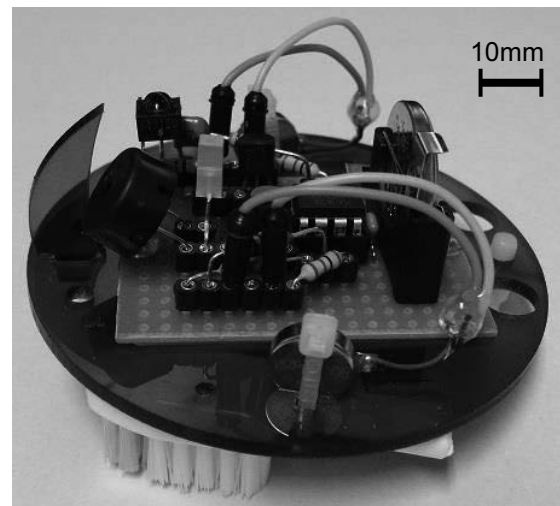


Fig.1 Mini robot (assembled).

形ベース上に電子回路基板が搭載され、下部は 2 個のブラシで支えられている。全体の高さは約 45mm、質量は約 30g である。電源にはボタン型電池を 1 個使用する。

このミニロボットは、次の 3 つの機能を備える。

① [手動による操縦]

TV リモコンを用いた遠隔操縦による前進と旋回動作。

② [自動動作（プログラム再生）]

TV リモコンにより、起動条件・移動・LED 点灯・音の発生及び順序を予め記憶させ、再生する動作。

③ [赤外線信号の分析]

TV リモコンが発する赤外線信号（“1” or “0” のデータ列）を 2 種類の音に変換し、ゆっくり再生。

操縦とプログラム再生は、楽しみながら赤外線によるデータ通信を確認する機能、赤外線信号の分析は、座学で解説

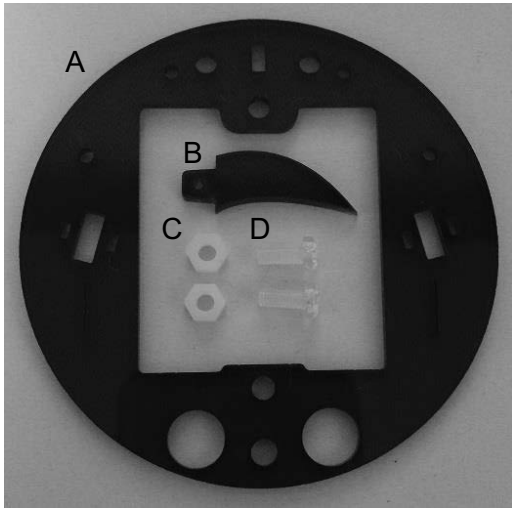


Fig.2 Base chassis with some parts.

する赤外線通信コードを実際のリモコンについて解析し、課題の考察を行うための機能である。

2.2 教材の構成

教材は、アクリル板から切り出された円形ベース等の構造部品 (Fig.2) と電子部品 (Fig.3) , ブラシ 2 個 (Fig.4) , 振動モータ 2 個と駆動系部品 (Fig.5*) から構成されている。 ※Fig.3(2) と Fig.5 に示す振動モータとジャンパワイヤは重複掲載。

制御器としてワンチップマイクロコントローラ (以下、「マイコン」と呼ぶ) (Fig.3(3)G) , インターフェース用のデバイスとして、赤外線センサモジュール (Fig.3(3)A) , 圧電スピーカ (Fig.3(3)F) , 2 色 LED (Fig.3(3)C) を各 1 個搭載する。回路図等、各部詳細は後述する。

完成形のミニロボットは、振動モータで加振したブラシにより移動機能を発揮する。また、赤外線センサモジュールにより、TV リモコンから発せられる赤外線のパルスを受信し、動作モード (後述) に合わせてマイコンにより振動モータの駆動、動作プログラムの記憶、発音が行われる。赤外線センサ以外の外部環境に対するセンサは搭載しておらず、移動時に障害物の検出等にはできない。LED は、主に現在の動作モードを示すために使用される。

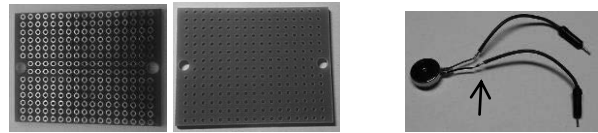
2.3 赤外線信号の分析機能

本教材の目的の一つは、TV リモコンから送信される赤外線パルスを、特別な測定機器を使用せず、受講生が自ら容易に分析するためのツールを提供することである。そこで、受信した赤外線データを音に変換してゆっくり再生する機能を搭載した。

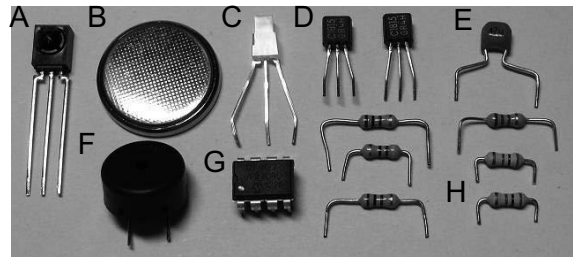
この機能は、「リモコンの各ボタンがもつコードを自分で調べる」、「メーカーによる違いを調べる」、「コードの規則性を考察する」、「押したボタンを当てるゲームを行う」といった講座中の課題に活用することができる。

2.4 工作難易度の低減対策

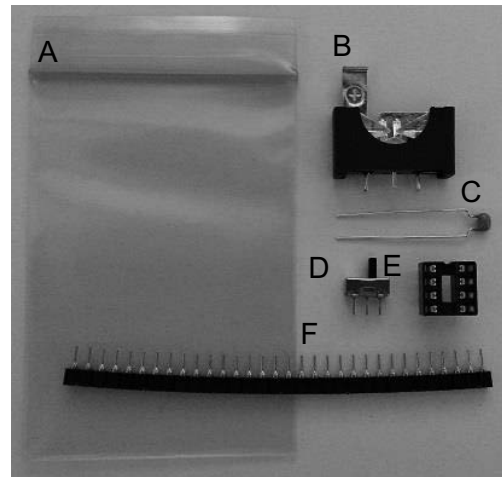
電子工作を趣味とする受講生はもちろん、はんだ付けが初めての受講生であっても、組み立て時に指導を行えば、大半の受講生は、はんだ付けにより今回の教材を組み立て



(1) Circuit board (two sides). (2) Vibration motor (arranged).



(3) Electronic parts.



(4) Battery case, Switch, Pin socket, etc.

Fig.3 Electronic components.



Fig.4 Tooth brushes.

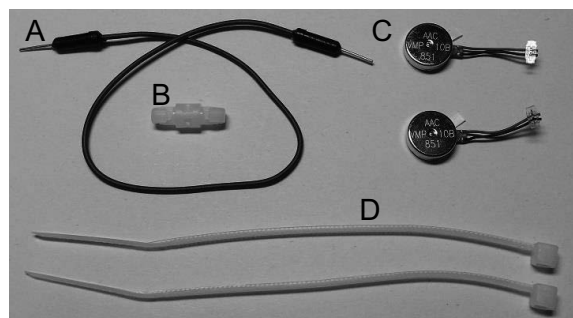


Fig.5 Actuator parts for mobile mechanism.

ること。しかしながら、キットの電子部品にはトランジスタのように小さく熱に弱いものもあるため、はんだ付けに不慣れた受講生には工作が難しい。また、短時間の指導では、なかなか欠陥の無いはんだ付けを行うことが出来ない受講生も存在する。そのため、芋はんだや天ぷらはんだ等

のはんだ付け不良が生じることが多く、動作不良のトラブルシューティングには時間を要する。従って、20名の受講生を数名で工作指導する場合、受講生毎の進度に大きな差異が生じ、全体の進行も遅れる可能性が高い。

一方、今回の教材は、単に工作を楽しむことだけが目的ではなく、赤外線リモコンの原理を学習する際に役立つことが目標である。そこで、電子工作に対する技量によらず参加者全員が確実に動作するものを組み上げられるように、電子回路の配線は、はんだ付けではなく、部品のリード線をピンソケットへ差し込むことにより行う形とした。

2.5 組立てに必要な工具と部品の費用

キットの組み立てに必要な工具を Fig.6 に示す。内容は、ラジオペンチ、ニッパ、+ドライバーの3点である。その他、受講生数名に1台程度、配線確認用のマルチテスタを用意する。いずれも、一般的な電子工作用のものでよいが、ラジオペンチは、なるべく先が細く把持面に目の入ったものの方が部品のリード線を差し込む際に扱いやすい。

教材を20セット用意するとき、1セット当たりの部品代は、原稿執筆時の市価で900円弱程度であった（はんだ、スズメッキ線、部品配布用の静電防止チャック袋などを含む）。マイコンは1個100円以下、赤外線センサモジュール、振動モータ、基板、電池ホルダは各50円程度で市販されている。亚克力板は比較的高価（300mm×450mm×2mmのものが650円程度）であるが、1枚から20台以上の部品を製作できるため、1台当たりの材料費としては安価となる。事前準備に必要なはんだや配線も同様である。

3. ハードウェア

教材のハードウェア面について述べる。Fig.7に電子回路の配線図を、Fig.8にロボットの躯体となる亚克力板の図面を示す。亚克力板は軽くかつ容易に曲がらないという条件から厚さ2mmのものを使用した。色は各種あるが、半透明のものが良い。これは、ブラシを取り付ける際、上部からブラシの向きを確認できるからである。

この躯体には、基板下部の逃げとなる切抜き部分 (Fig.8 A)、電子回路基板の固定用ボルト孔 (Fig.8 B)、装飾用の“角(つ)”を差し込み固定する四角孔 (Fig.8 C)、振動モータ (Fig.5. C) を嵌合する孔 (Fig.8 D)、振動モータとブラシを同時固定するための結束バンド (Fig.5 D) を通すための四角孔 (Fig.8 E)、傾きを抑え、転倒を防止するための樹脂スペーサ (Fig.5 B) を固定する孔 (Fig.8 F)、装飾用の化粧版を挿し込むためのスリット (Fig.8 G)、その他、軽量化と装飾 (ピンを立てるなど) を兼ねた数個の円孔がある。各孔等の配置は左右対称となっている。なお、振動モータを嵌合する孔 (Fig.8 D) は、平行ではなく“ハ”の字に配置されている。また、その幅は振動モータの厚さ+0.1mm程度であるが、長手方向は、振動モータの直径より2.2mm短く、7.8mmとなっており、振動モータを嵌合した際に振動モータの端は躯体下面に突出しない。

以下、各部の詳細及び本稿に示す具体的教材内容の例



Fig.6 Tools to assemble the kit.

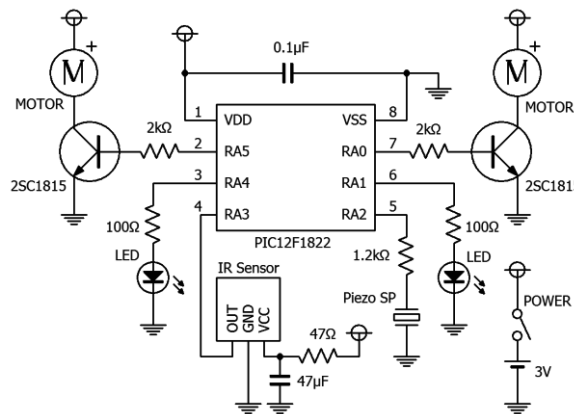


Fig.7 Circuit diagram.

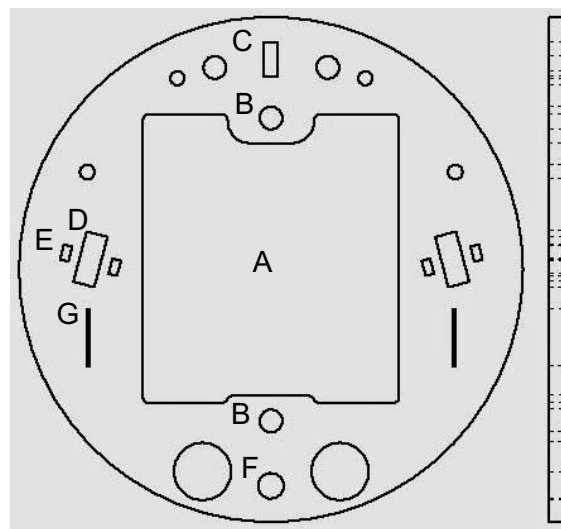


Fig.8 CAD drawing of base chassis with comments.

(以下「作例」と呼ぶ)へ使用した部品について紹介する。

3.1 回路基板とピンソケット

回路基板には、その配線パターンがブレッドボードと同じ小型のガラスエポキシ製ユニバーサル基板 (Fig.3 (1)) を使用した。配線をブレッドボードのように差し込み式とするため、40ピンのシングルピンソケット (Fig.3 (4)F) を適宜必要個数に分割して使用した。円形の躯体への固定はφ3mmの樹脂製ボルト (Fig.2 D) とナット (Fig.2 C) により行う。マイコンの実装にはプログラム書き換えのため取

外し可能なように、ソケット (Fig.3(4)E) を利用する。

3.2 マイコン

配線の容易さと小型化、性能、コストに鑑み、8pin の DIP パッケージで市販されているマイコンの中から、Microchip 社の PIC マイコン PIC12F1822 を選択した。32MHz のクロックモジュールを内蔵しており、1.8~5.5V の電源電圧範囲で動作する。プログラムメモリ (フラッシュメモリ) は 4kwords, データ SRAM は 128bytes, データ EEPROM を 256bytes 内蔵するマイコンである^[1]。ADC (AD 変換器) 等の周辺機能も内蔵しているが、本教材ではタイマと PWM に関する機能のみ使用している。外付けの水晶発振器は使用せず、内臓のクロック発生器を使用する。

なお、3V の電源電圧時に 4MHz 以上のクロック周波数で動作し、4Kbytes 程度のプログラムメモリを備えていれば、ATMEL 社、ST マイクロエレクトロニクス社など、他の 8pin パッケージのマイコンを用いても、プログラムの変更作業を除き、特に問題ないと考えられる。

3.3 センサ

赤外線を受信には、安定した動作のため、赤外線フォトトランジスタではなく、バンドパスフィルタと復調器、比較器などを内蔵した赤外線センサモジュールを使用する。リモコン装置用の安価な汎用品が市販されている。作例では、SHARP 社の GP1UXC41QS を使用した。電源電圧 3V で動作し、バンドパスフィルタの中心周波数が 38kHz, マイコンに直結可能な出力をもつ。消費電流は、データシートによれば最大で 0.6mA である^[2]。安定動作のため、電源端子近傍に CR フィルタ回路を置いている。

なお、赤外線リモコン用のものであれば他の製品でも問題ないが、3V 電源による動作へ対応し、かつ低消費電力型のものが望ましい。選択時には、対応周波数に注意する。

3.4 アクチュエータ

移動機構として、左右に各 1 個振動モータを配置し、その直下に歯ブラシ (Fig.4) を切断して作ったブラシを固定している。車輪式やクローラ式と比較し、ブラシの振動による移動方式は部品点数が少なく、コストと小型化の両面で優れると判断し、採用した。但し、同コストの場合、移動量と移動方向の制御精度については劣る。直進は両モータの同時駆動、左右操舵は、片方のモータのみの駆動もしくは、駆動電流の左右差の発生により行う。

マイコンの出力電流では振動モータを直接駆動することができないため、作例ではスイッチング用に汎用の NPN トランジスタ (Fig.3(3)D) を使用した。小型安価で入手性が良いためである。GR 型と Y 型の何れでも動作する。また、トランジスタの代わりに FET を使用してもよい。

直進性を向上するため、左右 2 個のブラシは平行ではなく、若干“ハの字”に配置する。また、前後方向の転倒を防ぐため後部をスナップ式の樹脂スペーサ (Fig.5 B) により支えている。スペーサの先端は丸く樹脂で滑り易いため、そのまま接地させており、移動時は滑る形となる。円滑な移動と良好な操縦性を得るには、組立後に、鍍などによりブラシの長さや形状を加工し、接地形状や本体の傾き (姿

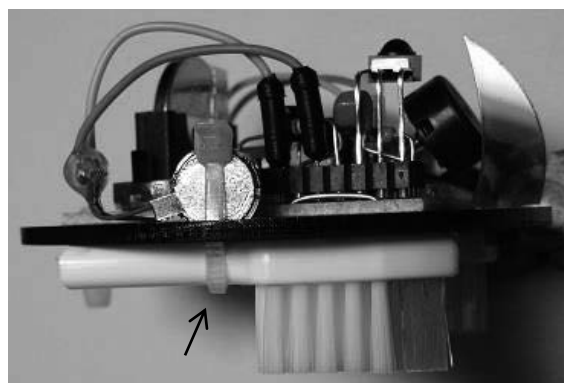


Fig.9 Mounting of actuator mechanism with cable tie.

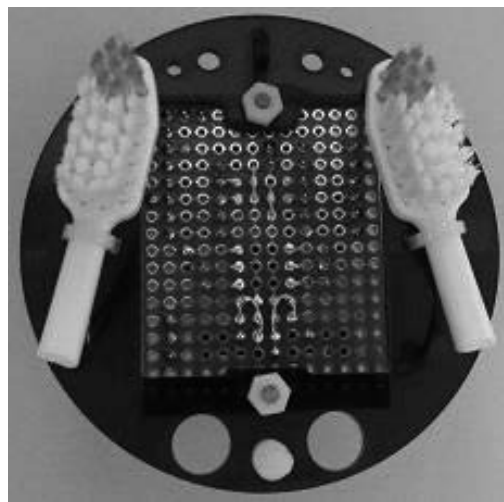


Fig.10 Bottom view of the robot.

勢) を調整する必要がある。

振動モータには、携帯端末やゲーム機用の振動モータが使用できる。作例では、回転を始める起動電圧が 1.0V と低く 3.0V で駆動した時の消費電流が 70mA と比較的小電力で動作するリード付円盤型モータ (VMP-10BC) を使用した (Fig.5 C)。質量は 1 個 0.9g, 直径 10mm, 厚さ 3mm と非常に小型である。振動を生じる偏芯錘は内蔵されており、外部に回転部分が露出していない点も採用理由である。

なお、振動モータの駆動には PWM 制御を用いており、電圧は 3V で駆動しているが、平均電流値は小さく、2 個の振動モータを両方駆動する場合であっても 70mA を大きく下回る。電源がボタン電池であり、大きな電流を取り出せないためであるが、移動に必要な振動は十分発生する。

歯ブラシは、安価な樹脂製のものを 2 本を用いる。選択の条件は、“円形ベースに収まる形と大きさの同じもの”である。ブラシの硬さは“ふつう”でよい。一般に、ペンチもしくはニッパにより切断可能である。切断面に鋭利な部分が残る場合には、やすりにより面取り仕上げを行う。

振動モータとブラシの固定は、幅 2.5mm 程度の樹脂製結束バンド (Fig.5 D) を用いる。振動モータを円形ベースに開けた穴へ一部没した状態で上部に、ブラシを円形ベース下部に配置し、円形ベースを貫通する結束バンドにより同

時に固定する。固定の様子を Fig.9 (矢印) と Fig.10 に示す。

3.5 電源

電源には、大きさ、入手性、容量に鑑み、公称電圧 3V の CR2032 型のリチウムボタン電池 1 個 (Fig.3(3)B) を使用する。作例の動作時の消費電流は、実測で 1.4mA (赤外線受信待機時) ~ 45mA (振動モータ動作時) 程度である。市販の当該ボタン型電池の容量は、例えば 225mAh 程度であるので、数時間程度の動作が期待される。

但し、CR2032 型の標準放電電流は 0.2mA、最大放電電流は 3mA と小さく、最大パルス放電電流値も 15mA 程度であるため、今回の使用方法は規格外である。特に振動モータの動作時は、電池に大きな負荷を強いるため、長時間の移動動作を続けると、早く消耗する可能性が高い。

電源の入切は小型スライドスイッチ (Fig.3(4)D) により行う。また、作例では部品配置を考え、電池ホルダ (Fig.3(4)B) に立型を使用した。

3.6 その他の部品

LED は現在の動作状態を表示するために使用される。仕様に特段の要求事項は無い。作例では赤色と黄緑色の 3mm 角型 2 色 LED (Fig.3(3)C) を使用しているが、単色のものを 2 個用いてもよい。大きさと形状も、完成時の外観デザインに合わせて選べばよい。なお、入手性がよく低価格なものを選べばよいが、ボタン電池による電源容量は小さいため、消費電流が大ききものは望ましくない。また、電流制限抵抗 (マイコンと LED 間に接続された抵抗) の値は、視認性の確保できる範囲で使用 LED に合わせて設定する。

発音用のスピーカとして直径約 13mm のピエゾスピーカ (Fig.3(3)F) を使用している⁹⁾。ピエゾ型はコイルと磁石を用いる通常のダイナミック型と比較し、マイコンの出力でも十分認識可能な音量を確保でき、消費電力も小さい。マイコンへは、I/O ピンの保護用に抵抗器を介して接続している。発音はマイコンからの方形波出力により行う。

抵抗器 (Fig.3(3)H) は特に高精度を要しないため炭素被膜型のもので十分である。細長い本体の両端からリード線が伸びるアキシアルリードパッケージの 1/4W 型を使用するとよい。1/6W 型もしくは 1/8W 型でも使用可能だが、本体が小さくラジオペンチでは扱い辛い。その上、リード線が細いためピンソケットへ差し込む際に曲がり易く、また振動で外れ易い。

コンデンサは、マイコンの電源端子付近にバイパスコンデンサ (Fig.3(4)C) と赤外線センサモジュールの電源端子付近に CR フィルタ用の 47 μ F のコンデンサ (Fig.3(3)E) を使用した。後者の 47 μ F のコンデンサには、一般的に高容量だが安価な電解コンデンサが用いられる。しかし、電解コンデンサには極性があるため、組み立て時に差し込み方向を誤ると破損する。そこで、コストアップとなるが、本作例では小型で無極性の積層セラミックタイプを使用した。小型のものを選択し、組立時に極性を間違えないように注意すれば、一般のアルミ電解コンデンサでもよい。その他、配線用に ϕ 0.6mm のスズメッキ線を使用した。

4. ソフトウェア

プログラム開発には、使用するマイコンのメモリ容量が比較的小さいこと、実時間処理が必要なことからアセンブリ言語を使用した。作例の場合、開発環境には Microchip 社の MPLAB IDE V8.92 を、アセンブラとリンカには同社の MPASM Assembler V5.51 と MPLINK Object Linker V4.49 を使用した。何れも、同社より無償提供されている。

マイコンチップへのプログラムの書き込みは、チップを基板から外し、書き込み用のソケットと同社の PICKit3 (書き込み装置) を用いて、ノート PC から行った。

作例では、16MHz の内臓クロックでマイコンを動作させている。以下、作成したプログラム関連について述べる。

4.1 赤外線信号

TV リモコンのボタンを押したときに発信される信号を、赤外線センサモジュールで受信し、オシロスコープで観察すると Fig.11 に示すような信号波形が観察できる。ボタンを押す度に対応する信号が発信される。この波形は、押すボタンとメーカー毎に異なる。また、リモコンのボタンを一定時間以上押し続けた際は、パターンの繰り返しを示す信号が発信される場合もある。なお、Fig.11 では、リモコンの赤外線 LED 発光時に電圧が高く (“H” レベル) となっている。また、LED の発光は連続点灯ではなく、周囲の環境光による影響を低減するため変調された点滅信号である。Fig.11 の測定例は、復調した後の信号波形である。

作例の場合、復調は赤外線センサモジュール内に内蔵された回路で行われるため、復調用の外付け回路やソフトウェア処理を行う必要は無い。制御用のマイコンへは電圧の高低 (H と L のデジタル信号、以下、“H”、“L” と記す) として入力されるが、プログラミングの際に、LED 発光時が “L” レベルの信号であることへ注意が必要である。

TV 用リモコンの信号フォーマットは全社で統一されていないが、国内メーカー製の TV の場合、3 種類のフォーマットが、デファクトスタンダードとなっている。一つはリモコン用マイコンを初期の頃から生産している NEC (日本電気 株) が開発したもので、複数社が採用している。次に、(株) ソニーの独自規格、最後に、複数の家電メーカーが加盟する家電協会が策定した規格である。何れも、赤外線を 40kHz 前後で変調してパルスコードを送信している点では共通である。しかし、パルス幅、パルス列の長さや配置は異なる。作例では、NEC のフォーマットに対応した。

4.2 処理全体の流れ

スライドスイッチにより電源が投入されると、マイコンは I/O ピンの入出力設定など初期化処理を行った後、7 秒間程度待機状態となる。この間は、赤外線信号の受信待機状



Fig.11 Wave form of button “1” pushing.

態となり、受信した信号により、次の 4 つのモードへ処理が分岐する。

- ① ボタン A の信号を受信した場合、手動操縦モードへ
- ② ボタン B の信号を受信した場合、自動動作モードへ
- ③ ボタン C の信号を受信した場合、自動動作モードへ
- ④ 何も受信しなかった場合、分析機能モードへ

ABC のボタンを具体的にどのボタンとするかは任意に設定できるが、各社独自の機能ボタンではなく、数字や音量調節など殆どのリモコンに存在するボタンへ割振るのが自然である。また、各モードからの終了、他のモードへの切り替えは、電源を一度切るか、各モード内で他モードへの切り替えを割り振られたリモコンのボタンを押すことにより行う。なお、②と③の違いは、記録と再生である。

マイコンの割り込み機能とスリープ機能を利用すると更に省電力化できるが、いずれも必須という訳ではない。

4.3 共通利用するサブルーチン

各モード共用のサブルーチンを次のように実装した。

① 赤外線信号の受信処理

赤外線信号を受信し、受信した信号の内容を返すサブルーチンである。正常に赤外線信号が検出・分析できた場合は、4bytes (32bits) のデータを受信データの記憶場所に格納して呼出元へ戻る。受信待機して一定時間赤外線が検出されない場合、もしくは、検出された赤外線から有効な信号列を分析できなかった場合には、それぞれに対応するエラーコードを返す。

作例の対応する信号のフォーマット (NEC フォーマット) では、信号の先頭部分 (ヘッダ部) のタイミングが Fig.12 のようになっている。ヘッダ部分に続き、2進数の送信データが 32bits 分並び、最後に、データ終了部分を表すストップ bit が送信される。

本サブルーチンは、まず、赤外線信号の先頭部分 (ヘッダ) を検出するサブルーチンを呼出し、正常にヘッダを検出できた場合、符号を検出・判定 (“0” 符号と “1” 符号) するサブルーチンを繰り返し 32 回呼び出す。各ビット情報が返る度に、その値を格納場所の LSB へセットしながら bit シフト操作を行うことにより、4bytes の戻り値を生成する。最後にストップ bit を正常に検出できれば正常終了のコードでサブルーチ

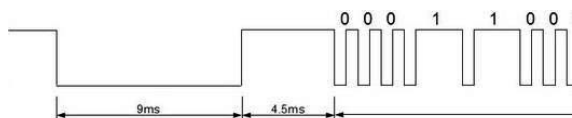


Fig.12 Part of sample code pattern.

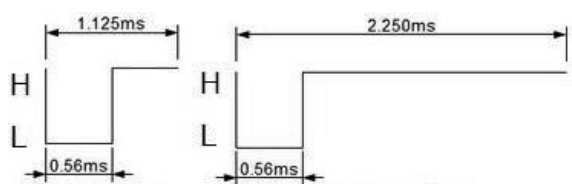


Fig.13 Code pattern of “0” (Left) and “1” (Right).

ンを終了する。途中で受信や判別に失敗した場合には、作業を終了してエラーコードを返す。

但し、ヘッダ部の検出の際、リピート信号を検出した場合には、リピートを示すコードを返す。

② 赤外線信号のヘッダ部検出

赤外線信号の始まりを検出するサブルーチンである。赤外線を受信していないときの赤外線センサモジュールからマイコンへ入力される信号レベルは “H” である。そこで、赤外線センサモジュールからの入力信号を監視し、“H” ⇒ “L” の立ち下がりを検出する。続く “L” 期間 “H” 期間の時間をマイコン内蔵のタイマ機能により測定し、Fig.12 に示すタイミングと ±10% 以内で一致すれば、ヘッダ検出のコードを返す。

また、リピートコードを示すタイミングの場合は、繰り返し信号を意味するコードを返す。その他の場合は、不明信号としてエラーを返す。即ち、既に赤外線信号の発信が開始され、データの途中で本サブルーチンが呼び出された場合、赤外線信号は検出されたが、ヘッダ部ではないとして、エラーを返すことになる。

③ 符号の判別

リモコンが送信するデータである “0” 符号と “1” 符号の検出と判別を行うサブルーチンである。呼び出された時点より、赤外線センサモジュールからマイコンへの入力信号を監視し、“L” ⇒ “H” の立ち上がり、“L” ⇒ “H” の立ち上りを検出し、“L” 期間 “H” 期間の時間をマイコン内蔵のタイマ機能を用いて測定する。そして、Fig.13 に示すタイミングと比較し、“0”、“1” ないしエラーを返す。

なお、マイコンの内臓クロックの精度、センサモジュールの応答特性、リモコン信号の精度に配慮し、タイミングの一致判定には幅をもたせる。作例の場合は、±10%の変動を許容範囲とした。

④ モータ駆動

ミニロボの移動機能を実現する振動モータを制御するためのサブルーチンである。マイコン内蔵の PWM (Pulse Width Modulation) 機能モジュールを利用して、振動モータ駆動用のトランジスタが接続された I/O ピンへ、一定時間、矩形波を出力する。右モータのみ駆動 (左旋回)、左モータのみ駆動 (右旋回)、両モータ駆動 3 種類 (直進+左右緩旋回) の 5 つのサブルーチンがある。

作例では、内臓 PWM モジュールの Steering mode を駆動周波数 4kHz で使用した。駆動波形のデューティ比は、左右モータ単独駆動の場合 50%、両モータ駆動で直進の場合各 50%、両モータ駆動で左右旋回の場合は、50%+25%の組み合わせである。

PWM 機能をもたないマイコンを使用する場合は、単純な一定時間の ON/OFF 制御となり、両モータ駆動は直進のみの 1 種類とする。

⑤ スピーカ駆動

圧電スピーカを駆動するためのサブルーチンである。

モータ駆動と同様に、マイコン内蔵の PWM モジュールを利用し、スピーカの接続された I/O ピンへ矩形波出力を行う。発音時間は、遅延ルーチン（後述）の呼出しにより制御する。作例の場合、高音と低音の 2 種類のサブルーチンを用意した。高音は 5kHz、低音は 4kHz の PWM 周波数で駆動した。デューティ比は 50%である。なお、マイコンのプログラムメモリに余裕がある場合、1 オクターブ分の音階に対応したサブルーチンを用意すれば、オルゴール的な音楽再生機能を付加することも可能である。

⑥ その他

上述のサブルーチンの他、I/O ポートを操作し LED を点灯／消灯するサブルーチン、1s と 500ms の遅延時間を発生させるサブルーチンを用意する。

4.4 手動操縦モード

このモードでは、「赤外線を受信待機状態⇒信号検出⇒どのボタンが押されたか解析⇒各ボタンへ割り振った動作の実行⇒赤外線を受信待機状態へ戻る」というループ動作を行う。リモコンの数字ボタンへ、その配列に配慮しながら、直進・左右旋回・左右緩旋回・発音などの機能を割り振る。数字ボタンの対応コードは、同じ通信フォーマットを利用していても、異なる場合がある。そのため、代表的な複数のコードを同一ボタンとして認識するようにプログラムの実装を行う。

なお、作例の NEC フォーマットの場合、受信された 32bits のデータの内、前半 16bits はリモコンを区別するためのコードであるため、ボタンの解析には使用しない。また、後半の 16bits も実質 8bits*のデータである。そのため、判別には半分の 8bits を使用し、残りの 8bits はエラー確認用に使用する。*誤り検出のため、8bits のデータの後に、符号反転されたデータが連続して送信される。

4.5 自動動作モード

このモードには、自動動作の記録作業と再生作業を行う 2 つがある。自動動作は、マイコンの EEPROM メモリへ動作コマンド列を記録し、コマンドを順番に読み出しながら実行することにより行う。一つのコマンドは「動作内容+継続時間」を 1byte で表現されている。動作内容には、直進・左右旋回・左右緩旋回・発音（高／低、実装により音階）の他、赤外線を受信待機、ループ再生、停止等を設定する。継続時間は、長・中・短の 3 種類に各継続時間を予め設定する。

記録する場合、モードに移行した最初に 1~4 の数字ボタンにより、記録するメモリ領域を選択する。作例の場合、256bytes の EEPROM を搭載しているため、このメモリを 4 分割することにより、64 個のコマンドから成る一連の動作を 4 種類記録することができる。コマンド列の入力は、内容と継続を指定する 2 回のボタン操作の繰り返しにより行う。入力の終了を示す特定ボタンの操作により、記録モードを終了する。なお、マイコンのプログラムメモリ容量に余裕がある場合は、コマンド列の入力中に取り消しや入力位置の変更ができるような編集機能を実装するとよい。

再生する場合、モードに移行した最初に 1~4 の数字ボタンにより記録するメモリ領域を選択後、該当する EEPROM のメモリ領域から、1byte コマンドを読み出し、命令内容と継続時間を解析して、対応する動作を行うサブルーチンを適宜呼び出す動作を繰り返す。

このモードの実装には、EEPROM への読み出しと書き込み用サブルーチンを用意して利用する。

4.6 赤外線信号の分析機能モード

このモードでは、TV リモコンから送信された 1 回分の赤外線パルス列を受信し、2 進数によるデータ列へ変換後、一時、マイコン内のワークメモリへ記憶する。次に、この記録した受信データ列の各 bit を 8bits 毎に区切りながら、“1”の場合と“0”の場合で音程を変えて、圧電スピーカから音として再生する。これは、1byte ずつデータを読み出し、シフト演算を利用しながら各 bit 位置の“1”“0”に合わせて、2 種類の発音用サブルーチンの呼出を行うことで実装する。8bits 毎の区切りの間（1byte の処理毎）に、一定時間の無音期間を設け、読み取り易さと書き取り時間（後述の使用法参照）に配慮する。

例えば、N 社の TV リモコンの 1 回あたりの送信データは 32bits の大きさで、送信の開始と終了を示す信号部分を含めて約 58.5~76.5ms であるが、この内データ部分 32bits のみを 40s 程かけて音として再生する。即ち、500 倍以上の時間に引き伸ばしてスロー再生を行う。

5. 教材の準備と使用

実際に工作を行う際の手順と注意点、教材の利用方法について述べる。

5.1 事前準備

教材一式として、電池ホルダと IC ソケット等が予めはんだ付けされた回路基板 1 枚、歯ブラシ（ブラシ部分のみを切り離したもの）2 個、ファスナー 2 本、アクリル部品（本体 1 個、アクリル部品（飾り Fig.2 B）、電子部品を長型 5 号程度の大きさの封筒へ入れ、受講者の人数分用意する。但し、振動モータを除き、電子部品一式は帯電防止チャック袋（Fig.3(4)A）へまとめて入れておく。

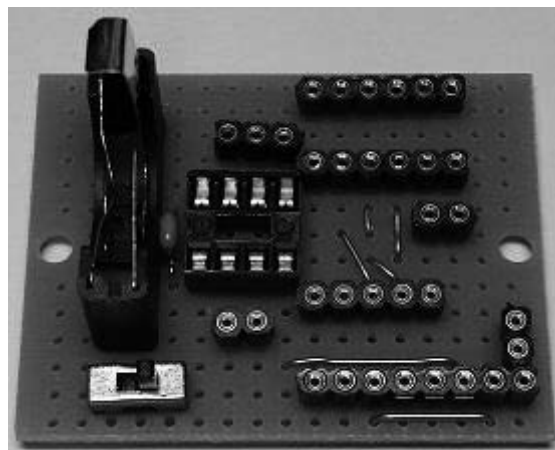


Fig.14 Arranged circuit board.

回路基板は、部品の差し込みによる配線ができるように、部品配置を考慮しながら、ピンソケットのはんだ付け、スズメッキ線による配線を行ったものを準備する。電池ホルダ等の部品を予めはんだ付けした状態の基板を Fig.14 に示す。また、同様に差し込みによる接続を行うため、振動モータのリード線にもジャンパワイヤをはんだ付けし、接続部をホットボンディングにより補強しておく (Fig.3(2)参照)。

アクリルによる躯体は、曲線を含むためレーザー加工機による切断加工が便利である。CAD から図面作成機能を用いてベクトルデータを作り、外形線部分をレーザーにより切断する。穴あけ部分も同時に加工でき、工作精度も今回の教材製作には十分である。レーザー加工機を利用できない場合は、フライス盤を用いて加工するか、ボール盤と糸鋸を用いて加工する。アクリル板は一般に割れ易く、加工時の熱で樹脂が溶け、切断面がきれいに仕上がらないことがあるため、切り屑の排出性が良いドリル刃を用いて、回転数に注意しながら加工を行う。なお、アクリル板に替え、快削性樹脂 (POM 樹脂など)、木板、アルミ板を用いてもよい。アルミ板を使用する場合は、実装時に電子回路の短絡を生じないように、導電性に注意する。

5.2 組立手順

まず、電子回路基板へ電子部品を挿し込み、組立てを行う。抵抗器 6 個⇒トランジスタ 2 個⇒LED⇒コンデンサ⇒圧電スピーカの順に、各部品のリード線をソケットに差し込んで配線して行く。抵抗器は、挿し込む前に挿入するピン間の距離に合わせ、ラジオペンチによりリード線を直角に曲げる。また、リード線は適切な長さとなるようにニッパを用いて切断する。トランジスタ、LED などは高さを揃えながらリード線を切断し、必要な間隔に拡げる。Fig.15 に部品を実装した状態を示す。

次に、部品を挿し込んだ電子回路基板を樹脂製ボルトとナットにより、アクリル製の円形躯体に取り付ける。そして、振動モータを長方形の孔へ嵌合した状態でブラシを裏面に配置し、一緒に結束バンドにて固定する。固定後、結束バンドのはみ出し部分はニッパを用いて切断する。更に、モータの配線を電子回路基板に接続、支持用の樹脂スペーサと装飾の“角”部品をアクリル製円形筐体へ挿し込む。

最後に、ノート PC と書き込み装置を利用して、プログラムをマイコンへ書き込んだ後、電子回路基板へセットする。以上でミニロボは完成となる。完成状態のミニロボにボタン電池を取り付け、上方から見た様子を Fig.16 に示す。

5.3 教材を利用した講座の構成

本教材を利用した講座は、例えば次のように 2 部構成で実施することができる。

[第 1 部：座学と実験実演]

「赤外線とは何か」に始まり、身近な TV リモコンが赤外線 LED を利用していることを座学形式で説明する。導入部の話では、「目に見えない赤外線がどのように発見されたのか」といったエピソードや「電波も光も放射線の一部も同じ電磁波であること」などについて触れる。

次に、携帯電話やデジタルカメラを使用し、赤外線リモ

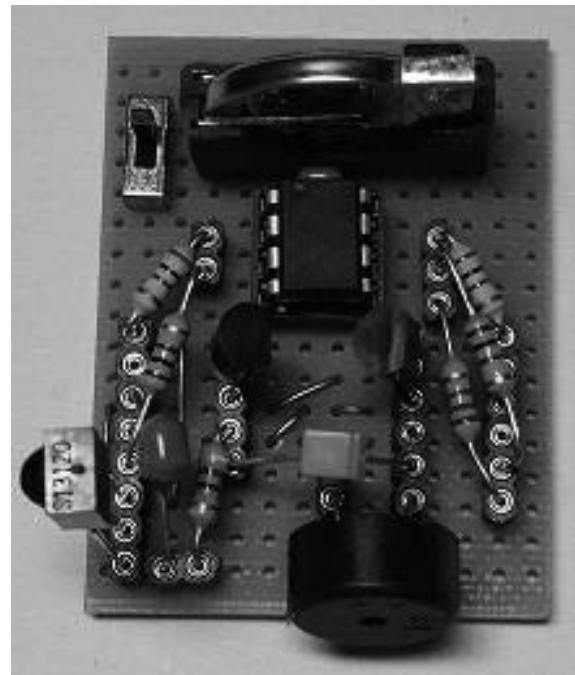


Fig.15 A completed package of circuit board.

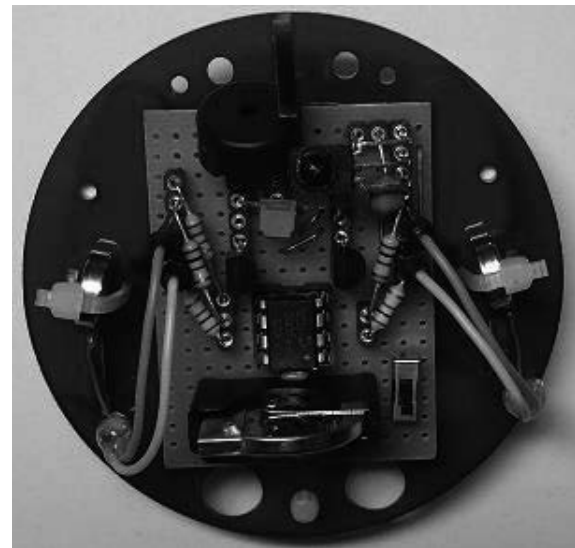


Fig.16 Upper view of the mini robot.



Fig.17 Teardown of an IR TV remote controller.

コンの発光部が、リモコンボタンの押し下げにより光ることを観察する (実演)。

そして、予め用意した赤外線式の TV リモコンを分解し、内部を受講生とともに観察する。なお、赤外線発光の確認や、分解作業は予め撮影したビデオ映像の上映でもよい。

Fig.17 にリモコンの分解例を示す。更に、分解したリモコンの中身を示しながら、主要部品が果たす役割を説明するとともに、少ない部品点数で合理的に構成されていること、マイコンが搭載されていることについて触れる。

また、赤外線式 TV リモコンから発射される赤外線を赤外線フォトトランジスタで受信し、その受信波形をオシロスコープにより観察する実験を行う。実験装置の様子を Fig.18 に示す。複数のボタンを押して波形を観察し、その違いを受講生とともに観察し、考察する。

その後、学習のポイントとして次の点を主に解説する。

- ① 信号波形には始まりと終わりを示す部分（ヘッダ、ストップビット）があること。他の部分とどう違うのか。何故、そのようになっているのか？
- ② データの“1”，“0”を表す表現（デジタル信号）が送信されていることの確認。
- ③ 変調とその効果について。波形の H 部分を拡大し、単純な ON, OFF でないことを確認。
- ④ 常に 32bits のデータ※が並んでいることを確認。
※作例の NEC フォーマットの場合。
- ⑤ データの前半部分がメーカー/機種を表す部分であること。同じリモコンでは、押すボタンが異なっても、当該部分が同じパターンであること、異なるメーカーのリモコンではパターンが異なることを、同一リモコンと異なるメーカー製の複数リモコンの複数種のボタンについてその波形を比較する実験により確認。エアコン、TV、DVD プレーヤなどのリモコンが混信しない理由について考察。
- ⑥ データの後半部分は、押したボタンに固有であること（実験による確認）。その規則性を考察。Bit の反転とその効果について考察。
- ⑦ 発光時間はどの程度か。データ送信に掛る時間をオシロスコープによる波形観測を基に測定。

なお、説明は、プロジェクトによるカラーの図や写真を交えたプレゼンテーションがよい。

[第2部：工作実習と教材を用いた学習]

本教材の組立てを行い、完成した教材を用いて動作実験や赤外線信号の分析実験を行う。手順の例を以下に示す。

- ① 工具と部品の配布。予め、受講生の席に用意しておく。
- ② 配布工具と部品の確認作業。一つ一つ名称と役割を簡単に説明しながら、確認して行く。
- ③ 組み立て作業。前節 5.2 のように進める。
講師も受講生と同時に組立を進める。書画カメラにより講師の手元と組み立て中の教材を大型スクリーンへ映しながら、1 ステップ毎に、全員が同じ進行速度で組立を進めるとよい。補助指導員を配置できる場合は、作業の遅れが生じた受講生の個別指導対応を補助指導員が適宜行う。作業に関する質問は適宜受け、質問内容の紹介と説明は全員に向けて行う。組立を進めな

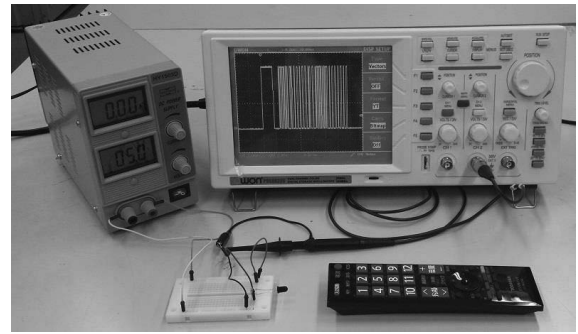


Fig.18 Demonstrative experiments.

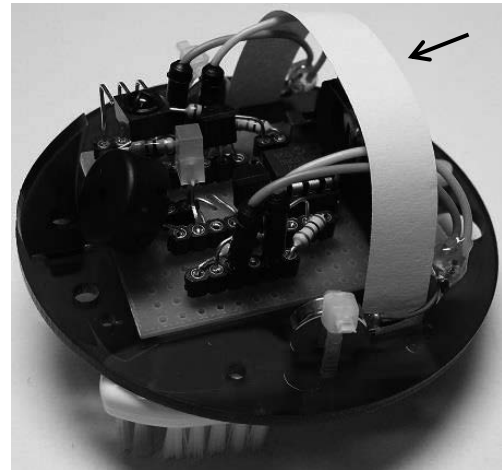


Fig.19 An application of the slits.

がら、ホワイトボードを利用して、回路図を描き、組立中の部分が、回路図上のどの部分であるか説明する。

- ④ マイコンの組み込みを除き、組立が一通り終了した時点で、マルチテスタにより配線の導通チェックと短絡の検査、要所の抵抗値測定を行う。配線に誤りが発見された場合は、修正を行う。
- ⑤ ノート PC とプログラムの書き込み装置を用いて、マイコンにプログラムの書き込みを行う。書き込みの際、使用開発環境やプログラムの内容について、簡単に説明を行う。
- ⑥ 作業時間に余裕がある場合には、Fig.19 に示すような、防護と装飾の役割を果たす、帯状の部品を紙やプラスチック板により製作し、模様を描いた後、躯体のスリットに差し込んで固定する。
- ⑦ 赤外線式 TV リモコンとボタン電池を配布し、動作確認を行う。動作確認は、手動による操縦操作により行う。作動しない場合は、原因究明と修正を行う。
- ⑧ 完成した教材（ミニロボット）を使用して、赤外線信号の分析を行う。受講生は、リモコンのボタンを押した後、再生される音を聞き取りながら 1,0 を紙等へ記録することにより、目に見えずかつ高速な赤外線の点滅による 1,0 の送信情報を読み取ることができる。そこで、「受講生自身が持参したリモコンの各ボタンのコードを調べる作業」、「各自の組み立てたミニロボットで受信、分析を行い、講師が押したボタンの種類

を当てるクイズゲーム」等の課題を行う。

なお、信号フォーマットに応用されている技術については、教材組立後に、実際の赤外線信号の分析を行いながら、受講生自身が考察と推定を行った後、解説してもよい。

[その他]

自動動作機能の応用として、TV リモコン等の赤外線通信を感知したら動作するようにプログラムすることにより、赤外線感知器として学習に用いることもできる。

5.4 使用例

本教材を「リモコン式虫ロボを作ろう ～赤外線センサの話～」と題した、中学生を対象とした定員 16 名の OPC 講座へ実際に使用した。講座は、赤外線リモコンに関する実験を交えた座学と本教材を使用した工作の 2 部構成で行った。前半 (2 時間) はプロジェクタを使用したスライドによる説明とセンサとオシロスコープを使用した実験、後半 (3 時間) は教材の製作である。前半後半の間に約 1 時間の昼休憩を挟んでいる。Fig.20 に講座の様子を示す。

午後の工作指導には、ホワイトボードとプロジェクタを併用した。ホワイトボードへ回路図と部品の説明を書きながら、書画カメラにより一つ一つの配線作業を大型スクリーンへ映しつつゆっくり組立指導を行った。組立の進行は、1 つ 1 つの配線毎に全員が同時進行で行う形をとった。教材の組み立て作業は、15 名の参加中学生に対し、教員 1 名と補助学生 2 名が指導を行い、約 2 時間半にて全員が組立を完了した。組立が完了した受講生から順に、プログラムの書き込みに関する説明を簡単に行いながら、ノート PC に USB ケーブルで取り付けたいマイコンへのプログラム書き込み機へ受講生それぞれのマイコンをセットし、プログラムの書き込みを行った。若干の動作不良に対して、トラブルシューティングを行い、開始から 3 時間以内で、参加者全員が動作する状態に至ることができた。

完成後は、用意した TV リモコンを用いて、各自が動作を確認した。なお、赤外線データを分析する機能を用いて、押したボタンを当てるゲームとパターンの規則性を確かめる課題用に、データ記録用紙を用意したが、今回の講座では時間の都合により使用しなかった。また、満足度に対する講座終了後のアンケート結果は、5 つの選択肢 (大変満足・まあまあ満足・どちらともいえない・やや不満・大変不満) に対し、6 名が大変満足、8 名がまあまあ満足、1 名が無回答 (受講生全 15 名) となり、概ね好評であった。

5.5 今後の課題

完成した教材を受講生が自宅に持ち帰り、その後も使用する場合、特定メーカー製のリモコン信号にしか対応しないのは不便である。作例での、プログラムサイズは約 1kwords 強程度となっており、搭載プログラムメモリには、まだ数百 Bytes 以上の空きが残っている。今後は、他の赤外線信号のフォーマットへ同時対応できるプログラム実装を考えたい。また、より教材への満足度を向上するため、例えば、虫の形状をしたカバーを 3D プリンタなどで製作して付加すること等が考えられる。



Facilities and a scene of the lecture.



Demonstrative experiments (Left). Craft work Scene (Right).



Tutorial scene and the guidance using document camera.

Fig.20 An open campus event.

6. おわりに

本稿では、赤外線リモコンの仕組みを学習する公開講座向けに開発した工作教材である、TV 用の赤外線リモコンを利用して操作するミニロボットキットについて紹介した。

本教材は、ワンチップマイクロコントローラを中心に、赤外線センサモジュール、振動モータ、圧電スピーカから構成されており、ボタン型電池 1 個で動作する。受講者として中学生を想定し、特殊な工具を必要とせず、3 時間内で組み立てが完了するように難易度を設定した。赤外線信号を音に変換して再生する機能を有しており、完成後は、TV リモコンを用いた操縦/プログラム動作の他、リモコンの送信情報の分析に利用することができる点に特徴がある。

本教材を実際に参加中学生 15 名の公開講座に使用してみたところ、概ね予想どおりに工作は進行し、3 時間内で全員が動作する状態に組み立てることができた。

参考文献

- [1] PIC12(L)F1822/PIC16(L)F1823 Data Sheet, Microchip Technology Inc., DS41413C, 2010-2012
- [2] ホルダーレス小型リモコン受光ユニット GP1UXC4xQS シリーズデータシート, シャープ株式会社, Sheet No. OP13001JP
- [3] 圧電発音部品 PDF カタログ, PKM13EPYH4000-A0, (株)村田製作所, P5&J.pdf, 2010