

知能表現を行う群ロボットを目指した 小型ロボットの製作

高知工科大学 知能機械システム工学科

知能ロボティクス研究室

学籍番号 1030157

矢萩孝志

2003年 2月

目次

第一章 序章	1
1.1 はじめに	
1.2 本研究について	
1.2.1 研究背景	
1.2.2 研究目的	
1.2.3 群ロボットとは	
第二章 移動ロボットの製作	3
2.1 コンセプト	
2.2 DC モータ	
2.2.1 ブラシ付き DC モータ	
2.2.2 DC モータ特性	
2.2.3 DC モータの電気的特性	
2.3 モータの制御	
2.3.1 モータの ON/OFF 制御	
2.3.2 Hブリッジ制御回路	
2.3.3 ドライバ IC	
2.4 PIC	
2.4.1 PIC とは	
2.4.2 PIC16F877	
2.5 モータ駆動回路	
2.6 リモコン入力	
2.7 移動ロボット	

第三章 距離センサを用いた自律ロボット	18
3.1 距離センサ	
3.1.1 超音波センサ	
3.1.2 赤外線センサ	
3.1.3 PSD センサ	
3.1.4 性能比較	
3.2 PIC の A/D 機能	
3.3 PWM 制御	
3.4 自律ロボット	
第4章 小型化の検証	28
4.1 小型・軽量化	
4.2 小型部品	
4.2.1 小型モータ	
4.2.2 小型電池	
4.2.3 PIC フラットパッケージ	
4.2.4 小型モータドライバ	
4.2.5 小型カメラ	
4.3 小型化の利点	
第5章 結章	35
5.1 本研究のまとめ	
5.2 今後の展開	
参考文献	36
謝辞	37

第1章 序章

1.1 はじめに

近年よく見られる複数の移動ロボットを用いた工場内の生産ラインシステム等は、多くの場合、集中管理によって制御される。しかし、このような集中管理型のシステムでは効率が良い反面、柔軟性の欠如等問題点が指摘されている。非常時の対応や素早い状況変化に柔軟に対応するために集中管理型システムに替わるシステムが必要になってきた。よってそれぞれのロボットに自律性を持たせ、システムの分散管理を目的とした自律分散ロボットシステムが提案され、盛んに研究が行なわれている。しかし集中管理型システムより効率が劣る自律分散ロボットシステムを実用域に達するためにはコストをいかに落とすかが課題となってくる。

1.2 本研究について

1.2.1 研究背景

現在存在するロボットの多くが単一でどれだけ複雑な動作を行うことを追求している。一方、近年のロボット技術の発展は目覚しく小型多機能化が進んでいる。しかし単体のロボットでできる仕事には限度があり、極端な多機能化は逆に効率の低下に繋がることが知られている。そこで近年、仕事を複数のロボットに分担させて一つの目的を達成させる群ロボットシステムの研究が行われている。

1.2.2 研究目的

複数台のロボットを同じ空間内で作業させるにはロボット間の連携が不可欠になってくる．本研究では群行動に必要な最小限なロボットを製作する．これは後に群行動させるため，無駄な機能を削除しシステム全体の量産，小型化を念頭においているためである．

1.2.3 群ロボットとは

本研究で言う群ロボットとは「ある目的を達成するために協調作業を行う複数台のロボット」のことである．例えば餌を運ぶ蟻を思い浮かべて欲しい．個体としての蟻は餌を運べる量に限界がある．しかし蟻の群れとしてはどうだろうか．何十匹と集まって一固体の何十倍もある虫を運ぶ様子，列をなして砂糖を運ぶ蟻の群などをみると一固体の能力の低さを複数集まる事で補っている様子がよくわかる．群ロボットとはこのように複数集まり固体の能力以上を発揮できるロボットである．

第2章 移動ロボットの製作

2.1 コンセプト

今回移動ロボットを製作するに当たって高度な制御用コンピュータや複雑な移動機構は必要としない。よって制御部にマイクロコンピュータ，駆動部に DC ブラシ付きモーターによる二輪独立の差動駆動方式を採用する。理由としては機構がわかりやすく方向転換が容易で制御も簡単なためである。また入手性やコスト面でも優位で選択の幅が広がる利点もある。

2.2 DC モーター

2.2.1 ブラシ付き DC モーター

モーターとは電機エネルギーを回転としての機械エネルギーに変換する装置です。ほとんど全てのロボットのアクチュエータとして採用されている。

ブラシ付き DC モーターは固定子に永久磁石を使い，回転子（電機子）にコイルを使って構成されたもので，ブラシにより電機子に流れる電流の向きを切り替えることで磁力の反発，吸引の力で回転力を生成させるものです。一般に DC モーターは回転の制御がしやすく，制御用モーターとして非常に優れた特性を持っているといわれている。一般的な市販モーターの構造は図 2.1 の様になっている。

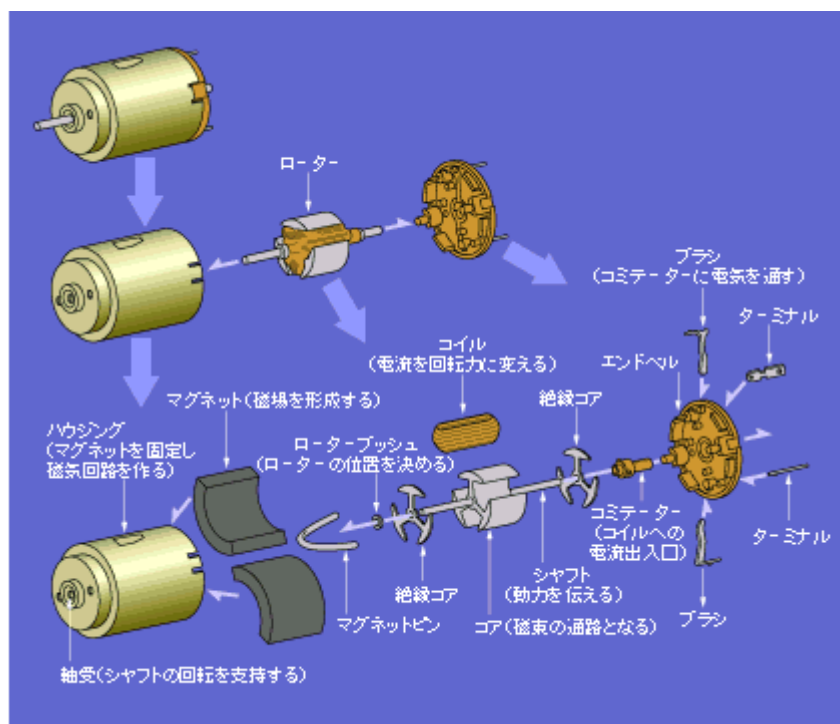


図 2.1 ブラシ付き DC モーター

2.2.2 DC モーター特性

DC モーターの特性として下記が特徴的なことです。

- (1) 起動トルクが大きい
- (2) 印加電圧に対し回転特性が直線的に比例する
- (3) 入力電流に対し出力トルクが直線的に比例し
かつ出力効率が良い
- (4) 制御性に優れる
- (5) 低価格

以上のことよりロボットの製作に非常に適しているといえる。

2.2.3 DC モータの電気的特性

(1) T-I 特性 (トルク対電流)

流した電流に対して、きれいに直線的にトルクが比例する。

(2) T-N 特性 (トルク対回転数)

トルクに対し回転数は直線的に反比例する。

(3) 印加電圧特性

また印加電圧に対して回転数が比例し、図 2.2 のように平行に移動させたグラフとなる。

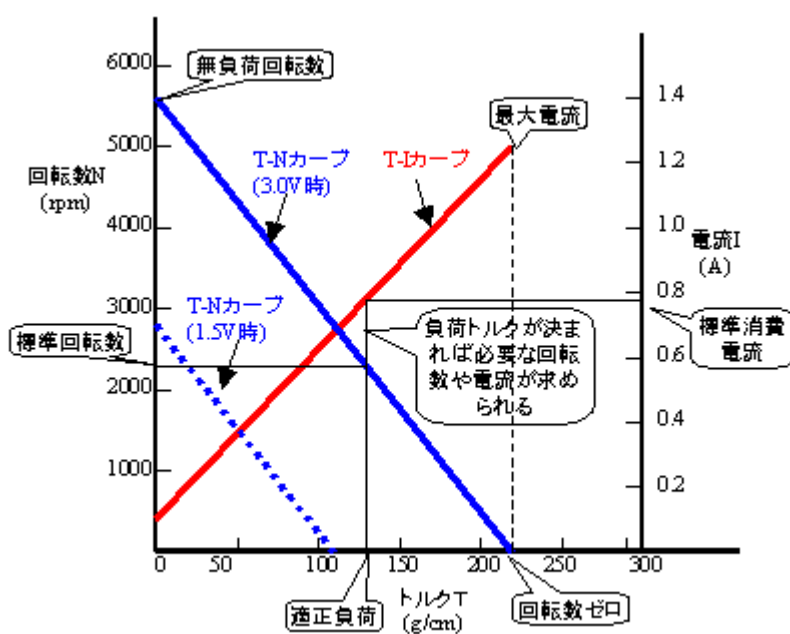


図 2.2 DC モータの特性図

2.3 モータの制御

2.3.1 モータの ON/OFF 制御

モータを On/Off 制御する時の基本回路には幾つかあり，今回は代表的なものを紹介する．

(1) トランジスタ駆動（エミッタ負荷）

図 2 . 3 の回路のように配置し，トランジスタを On/Off することで，モータを On/Off させる．しかし，この回路はトランジスタを完全に飽和した On 状態にはできず， V_{ce} が大きいので電圧ロスが大きくなる．動作としては，自動的に負帰還が働くため動作は安定する．このため，簡易な速度制御を行うためオペアンプを追加した回路が使われる事が多い．

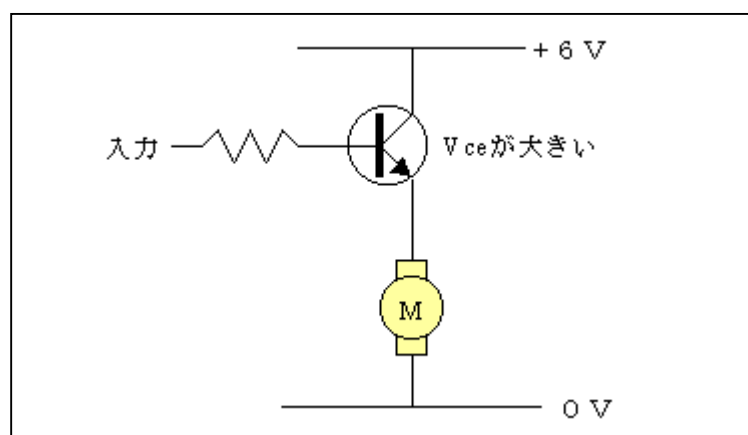


図 2 . 3 エミッタ増幅回路

(2) トランジスタ駆動（コレクタ負荷）

図 2 . 4 のようにモータをトランジスタのコレクタの負荷としたもので，トランジスタを完全に飽和した On 状態で駆動できるため，ドライブ能力が大きく電圧ロスも少なく出来る．従って，一般的にはこの回路が多用されて

いる。

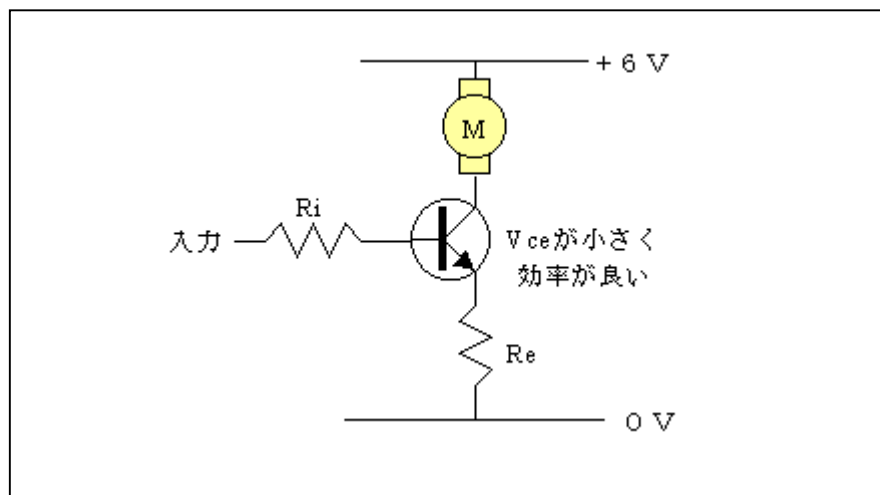


図2.4 コレクタ増幅回路

2.3.2 Hブリッジ制御回路

モータの On/Off 制御はトランジスタを用いた増幅回路で制御が可能だが回転の向きを変えたい時には電圧のプラスマイナスを逆にしなければならない。しかしこの動作は単一のトランジスタのみでは不可能です。そこで、単一の電源でモータに加える電圧の向きを変えられる回路として「Hブリッジ回路」を用いる。基本構成は図2.5のようになっており、H型をしていることからこう呼ばれている。

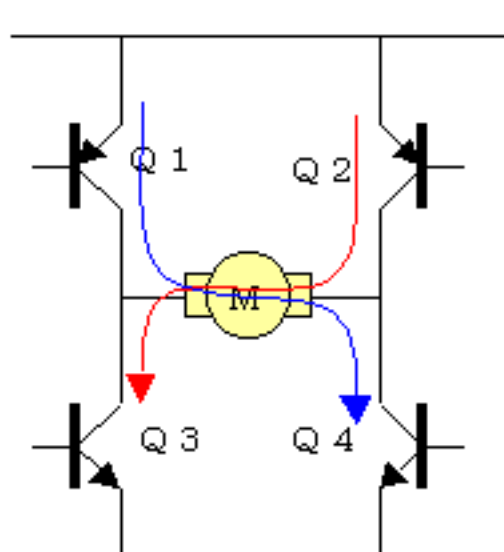


図2.5 Hブリッジ制御回路

基本動作は、Q1とQ4のトランジスタだけを同時にOnとすると、青線の様に電流が流れ、モータは正転する。

逆にQ2とQ3だけをOnとすれば、赤線の様に電流が流れ、モータは逆転する。

Q3とQ4だけを同時にOnとするとモータにブレーキをかける。

2.3.3 ドライバ-IC

最近では上記のHブリッジ制御回路が一つのICにパッケージ化されたものも市販されています。今回用いるTA8429H(写真2.1)は東芝製の「DCモータ用フルブリッジ」と呼ばれるもので、Hブリッジドライバーとその制御回路を内蔵したHブリッジドライバーICです。トランジスタでHブリッジ回路を組むより少スペース、高精度化ができる。の特徴としては平均3A、瞬間値で4.5Aの大電流を流すことができる。制御端子2本への信号で正転、逆転、ブレーキ、ストップの4モードをコントロールでき、しかも加熱による阻止の破壊を防ぐ熱遮断回路と過電流による阻止の破壊を防ぐ過電流防止回路が内蔵されている。モーター系と制御系の電源は独立しており、モーター系は27Vまで、制御系は7V~27Vとなっている。各ピンの仕様は図2.

6の様になっている。



写真 2 . 1 TA8429H

端子番号	端子記号	端子説明
1	IN1	出力の状態を制御する入力端子。 PNP タイプの電圧コンパレータを内蔵しています。
2	IN2	
3	N.C	Non Connection
4	OUT1	DC モータがつながる端子で Sink、Source とも 3 A の電流容量を持ちます。 また、モータの逆起電圧吸収用のダイオードを V _{CC} 側と GND 側に内蔵しています。
5	N.C	Non Connection
6	GND	接地端子
7	N.C	Non Connection
8	OUT2	④ピンとの間にモータがつながる端子で、④ピンと同等の機能を持ち、①、②ピンにより制御されます。
9	N.C	Non Connection
10	V _S	出力部の電源端子
11	V _{CC}	制御部の電源端子で V _S とは完全に分離されています。
12	ST	OPEN または GND にすると出力は OFF し、消費電流は 100 μA と小さくなります。

図 2 . 6 TA8429H 仕様

2.4 PIC

2.4.1 PIC とは

PIC (Peripheral Interface Controller) とは , 米国マイクロチップテクノロジー社 (Microchip Technology Co.) が開発したワンチップマイコンのことです . PIC には数多くの種類があり , 大きく分けてベースラインシリーズ , ミッドレンジシリーズ , ハイエンドシリーズの 3 シリーズに分けられる . また , これらのシリーズ間でもアーキテクチャが共通になっているため , 上位交換した場合でもほとんど同じプログラムで動かすことができる利点がある . PIC は本来 , コンピュータに接続される周辺機器との接続部分を制御するために開発された「マイクロコンピュータ」と呼ばれる領域の IC であり , 高機能 , 高速性を追求しないかわりに周辺機器を制御するのに便利な機能を内蔵している . 最新のマイクロコンピュータに比べると PIC の命令数は少なく , 35 個しかないという簡素な構造になっている . よって使いやすく安価というのが最大の利点になっている . また , PIC に関する情報も豊富にあるため本研究では数多くあるマイコンの中から PIC を選定した .

2.4.2 PIC16F877

本研究では数多くある PIC の種類の中でミッドレンジシリーズの PIC16F877 (写真 2 . 2) を使用する . PIC16F877 の選択理由としては比較的安価で入出力ピン数が多く A/D 機能など必要な機能を全て兼ね備えている点である . 図 2 . 7 は PIC16F877 の主な仕様 , 図 2 . 8 は各ピンの仕様である .



写真 2 . 2 PIC16F877

プログラムメモリ (word)	8 K
データメモリ (byte)	368
Flash メモリ (byte)	256
入出力ピン数	33
A/D コンバータ	10bit
アナログコンパレータ	×
キャプチャ/コンパレータ/PWM	2
シリアルポート SPI/I2C USART	SPI SUART
パラレルポート	1
タイマ	3 + WDT
動作可能電源電圧 (V)	2.5 ~ 5.5
最大動作周波数 (MHz)	20
命令数	35
パッケージピン数	40PDIP

図 2 . 7 PIC16F877 仕様

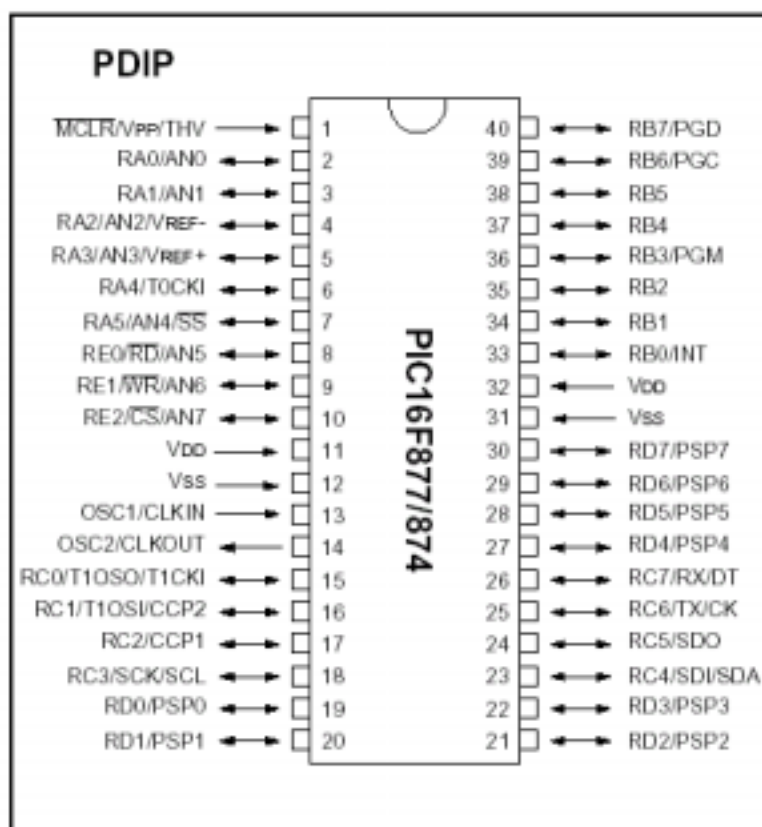


図 2 . 8 PIC16F877 ピン配置

2.5 モーター駆動回路

PIC の出力信号をドライバ IC を増幅させ、モータを駆動させる回路を製作した。回路図は図 2.9 の通りである。

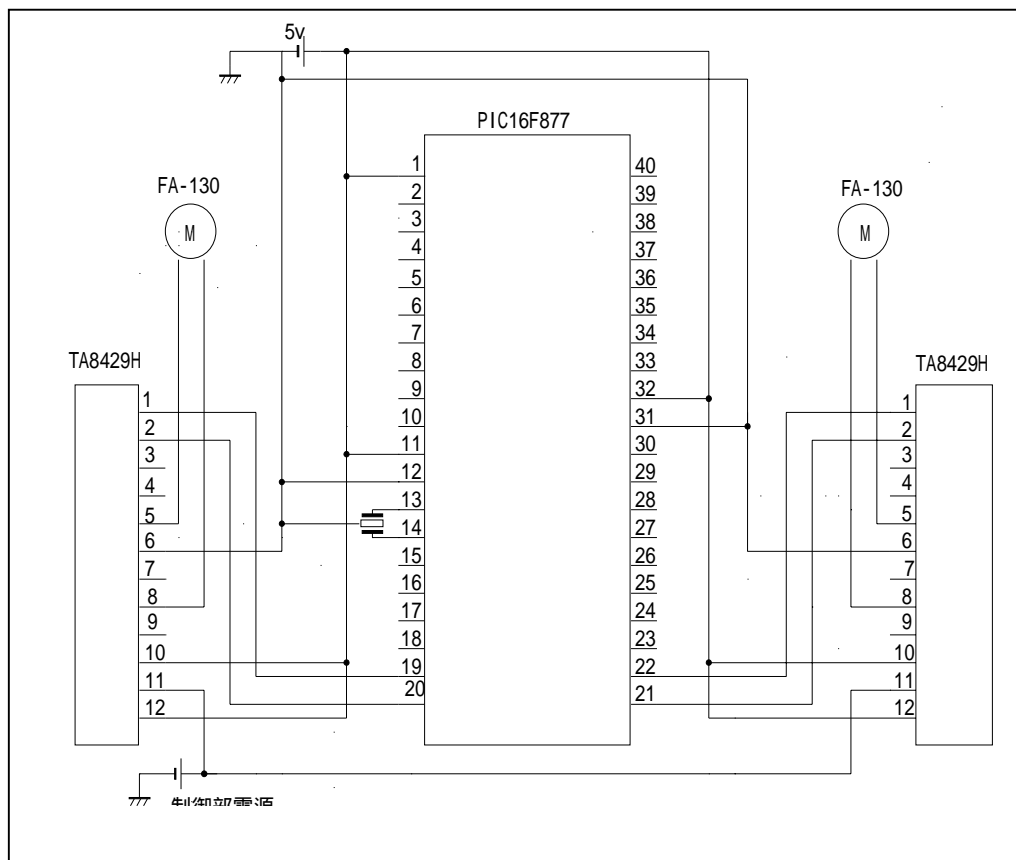


図 2.9 モーター駆動回路図

初めは制御部電源と駆動部電源を統合して設計していたが後に二つに分離させた。理由としては、

- 1、消費電力の関係で駆動時間が短くなる。
- 2、モータのノイズにより PIC の動作が不安定になる。
- 3、大きなバッテリーを積むより小さいものを二つ積む方がスペース的に有利。

以上の理由である。

2.6 リモコン入力

上記でモータの動作が確立したため次に PIC への外部入力によってモータを操作するスイッチングリモコンを製作する。リモコンの原理は(図2.10に表されるように

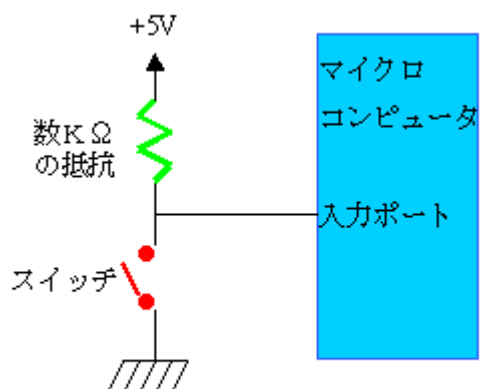


図2.10 入力回路図

1、スイッチが「Off」の場合

マイコンの入力ポートに5Vが加わり続けプログラム上で「1」となる。

2、スイッチが「ON」の場合

マイコンの入力ポートに0Vが加わりプログラム上「0」となる。

というものを利用する。

製作したスイッチングリモコン（写真2.3）とその回路図（図2.11）である。

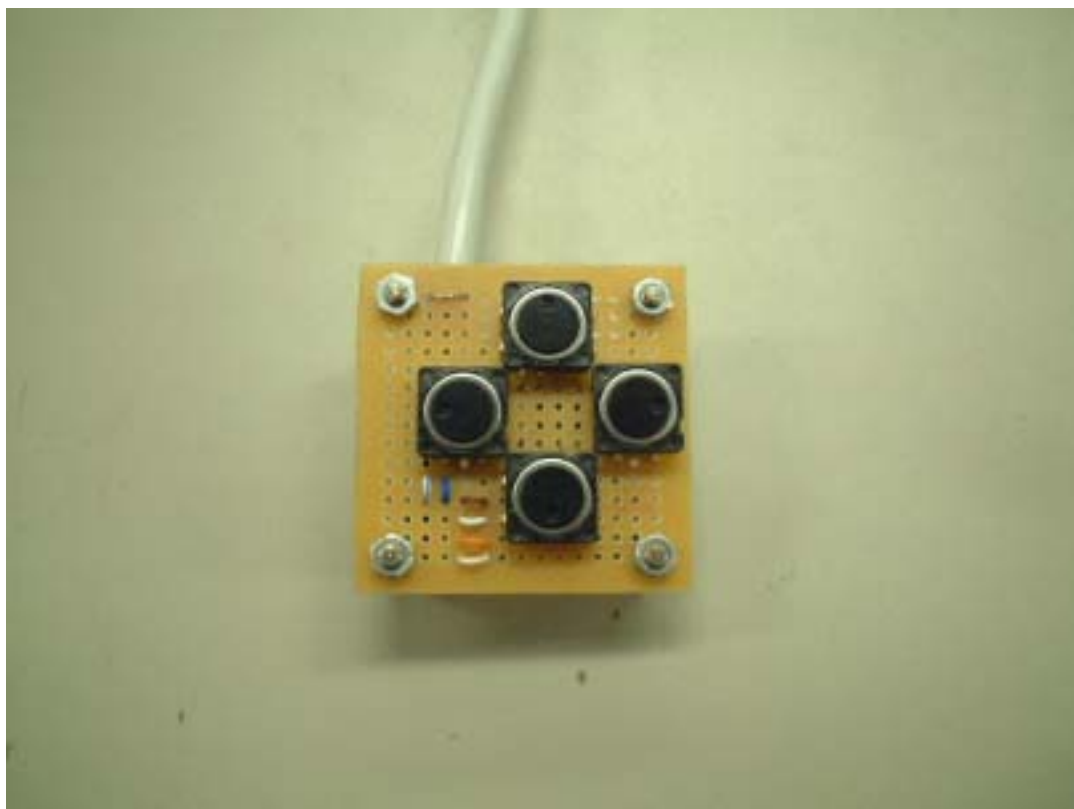


写真2.3 リモコン

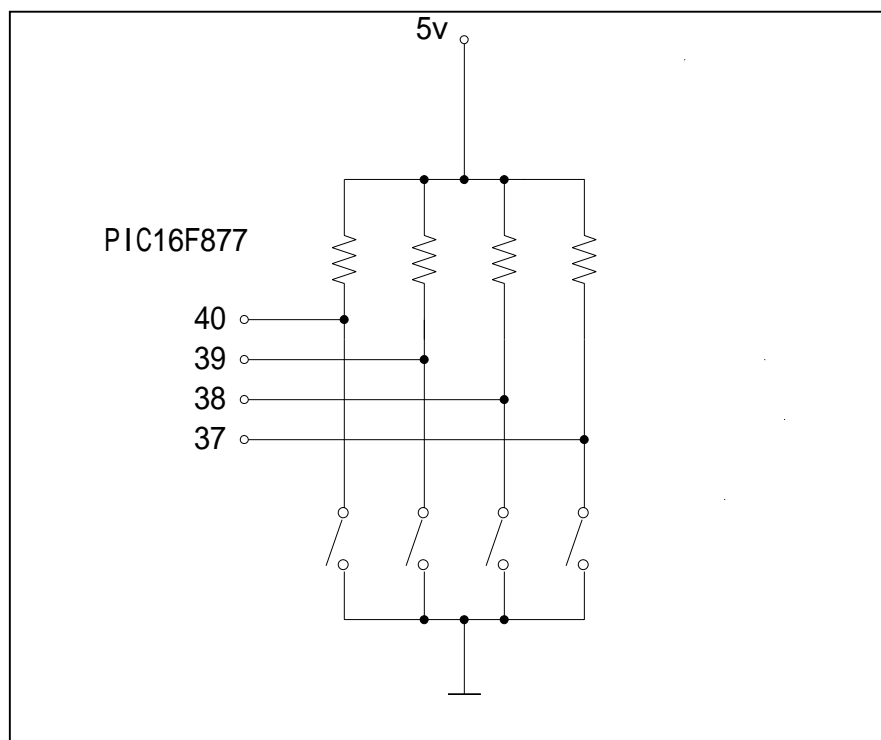


図 2 . 1 1 リモコン回路図

2.7 移動ロボット

製作した移動ロボットが写真 2 . 4 である .

行動パターンは前進 , 後退 , 右旋回 , 左旋回の 4 パターンのみである . 今回 , PIC への外部入力により自在にモータの制御ができることを確認した .

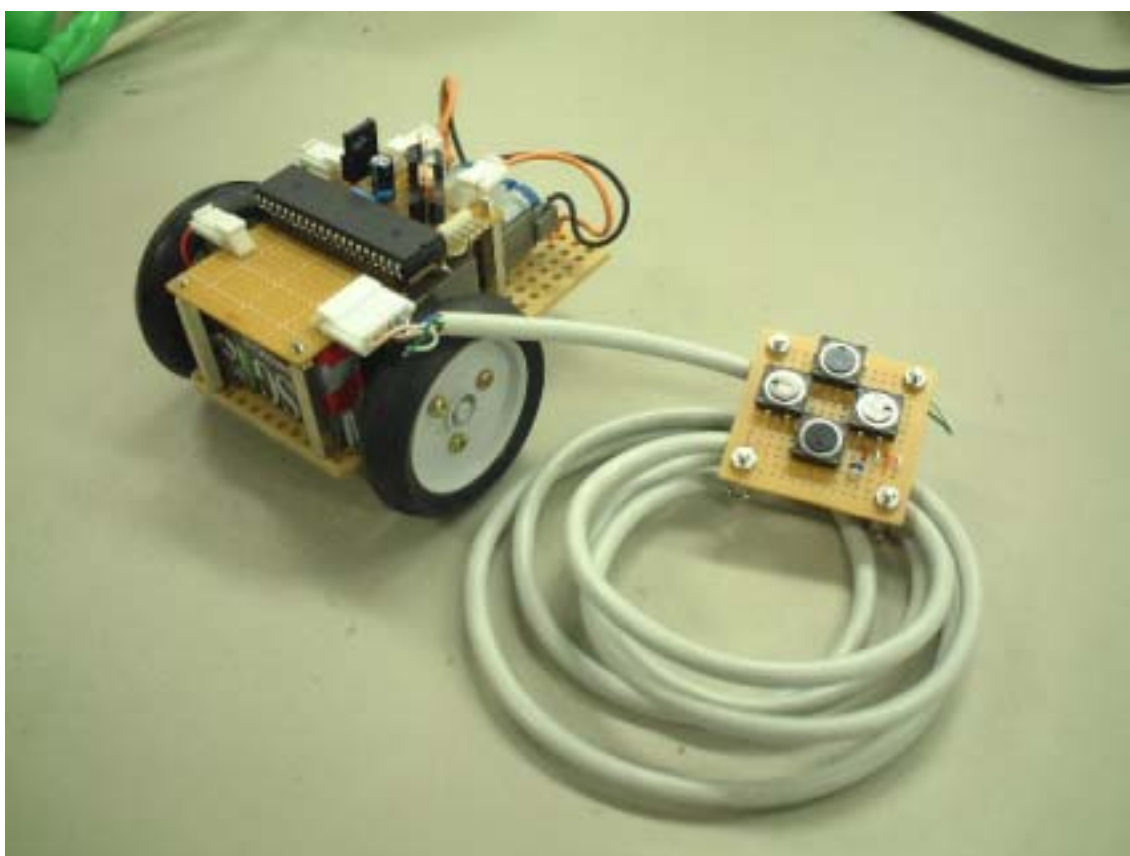


写真 2 . 4 移動ロボット

第3章 距離センサを用いた自律ロボット

3.1 距離センサ

移動ロボットが周囲との接触を避けるために非接触で距離を感知できる距離センサを用いる必要がある。今回その性能を比較し、最適なものを移動ロボットに搭載することにする。

3.1.1 超音波センサ

超音波センサとは超音波を発射して障害物に反射して返ってくるまでの時間によってその障害物との距離を得るセンサである。一般に（数 10KHz ~ 数 MHz）の送信器と受信器から構成される。送信器からでた超音波が物体で反射して受信器まで帰ってくるまでの時間を測定することによって、物体までの距離を測定する。送信器、受信器には水晶などの圧電素子が用いられている。圧電素子に電界をかけると、機械的にひずみ、厚さが変化する。また、逆に、一定の方向にひずませると分極による電荷が現れる。送信器で超音波を発生させ反射してきた超音波により受信機が発生する電荷を読み取りその時間差を用いて距離を測定をする。移動ロボット用に T40-16/R40-16（写真 3.1）がよく使われる。動作原理は図 3.1 の通りである。



写真3.1 超音波センサ

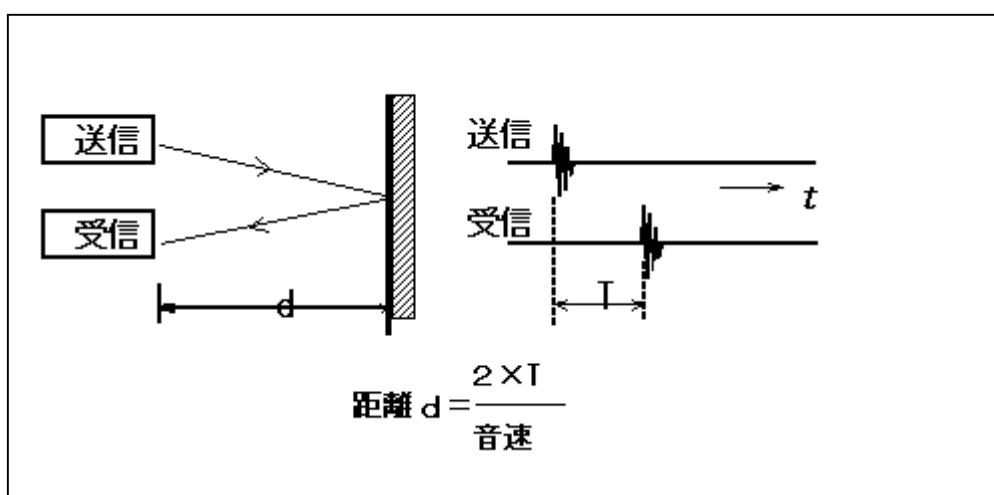


図3.1 超音波センサ測定原理

超音波センサの特徴としては

- 1、入手性が良い
- 2、安価
- 3、温度変化，風速，湿度等に影響を受けやすい
- 4、複雑な形状，音波の反射率の悪いものには極端に精度が落ちる．

3.1.2 赤外線センサ

赤外線センサとは、赤外線を照射し、その反射光を検知することでものを判別するタイプのセンサです。比較的小さく入手性もよく安価です。赤外線の照射にはLED、受光にはフォトトランジスタやフォトダイオードを用いる。周りの明るさや対象物の色に左右されやすいので距離の計測には不向き。対象物の有無を判別することに使われることが多い

3.1.3 PSD センサ

PSD (Position Sensitive Detector) は、半導体位置検出素子といい、スポット状の光の位置を検出できる光センサーです。

PSD は光源から発せられた赤外線を三角測量の原理 (図3.2) によって距離を測定します。

三角測量とは、三角形の一辺の長さや2つの角の角度が、2辺の長さとそのはさむ角の角度がわかれば三角形の形状がわかることを利用して距離を測る方法で、一般に普及している PSD センサ GP2D12 (写真3.2) は前者の性質を利用したものです。

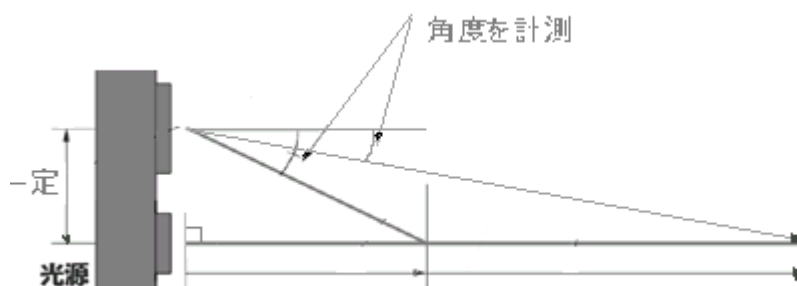


図3.2 PSD センサ測定原理



写真3.2 PDS センサ

PSD の特徴としては

- 1、 応答性が約 $1\mu\text{s}$ と非常に早い .
- 2、 分解能が $1/4000$ 以上と非常に高い .
- 3、 性能が場所の明るさの影響を受けにくい .
- 4、 モノの形状 , 材質に関係なく安定した制度を保てる .
- 5、 周辺温度の影響を受けにくい .

等の特徴をもつ .

3.1.4 性能比較

赤外線センサは距離の測定能力が乏しいので、超音波センサ (T40-16/R40-16)、PSDセンサ (GP2D12) を比較してみる。(図3.3)

	超音波センサ	PSDセンサ
分解能	1cm程度	約2mm
測定範囲	10~300cm	10~80cm
外形寸法	16.2 × 12.2mm	29 × 18.9 × 13.5
外部回路	要	不要
価格	600円	750円

図3.3 距離センサ性能比較図

外形寸法や価格に大きな違いは見られないが PSD は分解能が良く、超音波は測定範囲が広い。PSDセンサ (GP2D12) は完全にユニット化されていて取り付けるだけで使用が可能なのに対し、超音波センサ (T40-16/R40-16) は外部回路を必要としその分余計なスペースを取ると予想できる。今ロボット製作ではそれほど広い測定範囲を必要としていないので精度が良い PSD センサを用いることにする。

3.2 PIC の A/D 機能

センサの入力信号の多くはアナログ信号なのでプログラム上で扱う時にはデジタル信号に変換する必要がある。アナログ信号をデジタル信号に変換することを A/D 変換と言い PIC にはこの機能を初めから持つものが数多くある。

PIC16F8XX シリーズには AD コンバータが内蔵されており PIC16F677 にも 10 ビット = 1024 の分解能を持つ AD 変換モジュールが 8 チャンネル用意されている。

PIC では、A/D 変換をするために、まずアナログ信号を一旦内部のコンデンサに蓄えます。その後、参照となる一定の電圧を加算して比較しながら計測するという原理であるため、A/D 変換を正確に行うためには、蓄積するまでの時間と計測する時間の両方を確保することが必要になる。内部コンデンサの充電時間を考慮に入れてプログラミングをする必要があるが比較的簡単なそうさで精度が良いのが特徴となっている。

今回用いた PIC16F877 での時間を計算すると

$$20 \mu \text{sec} + 1.6 \mu \text{sec} \times 12 = \text{最小 } 39.2 \mu \text{sec}$$

(クロック 20MHz の時)

となる。

よって今回は少し余裕を持たせるためにプログラム上で 50 μ sec のディレイタイマーを用いることにした。

3.3 PWM 制御

二章でモーターの ON/OFF 制御は達成したが,モーターの速度を連続的に変化させるために PWM (Pulse Width Modulation) 方式を用いる。PWM はパルス幅変調法とも呼ばれている。動作原理はモータ駆動電源を一定周期で On/Off するパルス状とし,そのパルスのデューティ比 (On 時間と Off 時間の比) を変えることでモーターの速度制御をする。これは,DCモータが早い周波数の変化には,機械反応をしないという性質を利用したものである。基本回路は図3.4の様にし,図中のトランジスタを一定時間間隔で On/off すると,駆動電源が On/Off される。

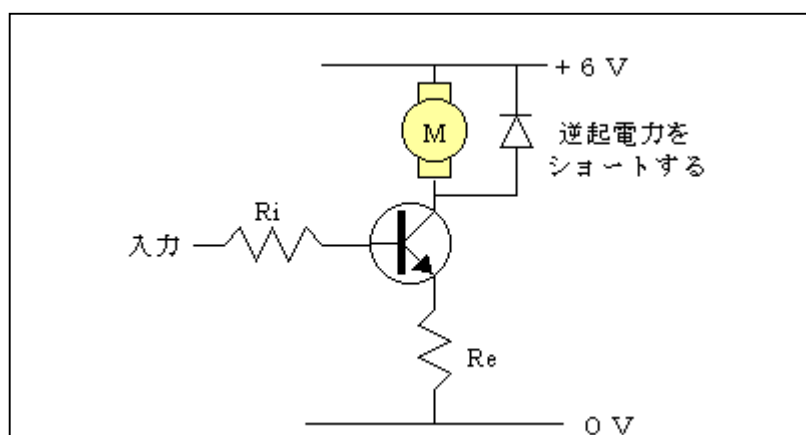


図3.4 PWM 基本回路図

このパルス状の電圧でDCモータを駆動したときの,モータに加わる電圧波形は図3.5の様になり,平均電力,電圧を考えれば,見かけ上,駆動電圧が変化していることになる。

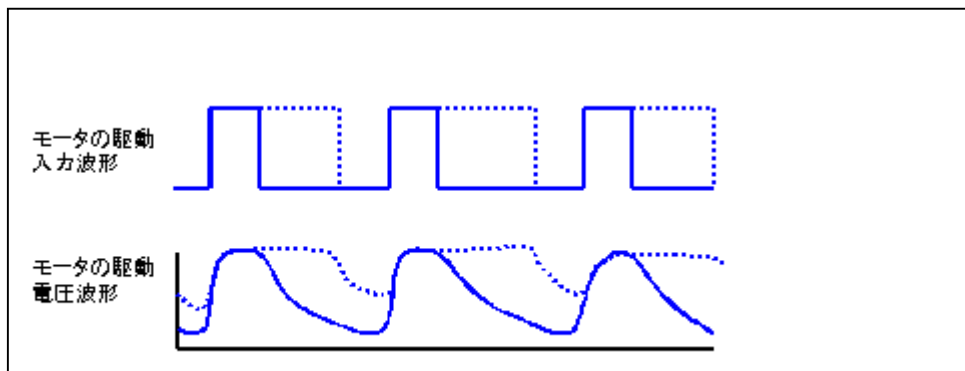


図3.5 パルス波形

ここで重要な働きをしているのが、上記回路図にあるダイオードで、ダイオードが使われるが、その動作内容からフライホイールダイオードと呼ばれている。つまり、トランジスタが Off の間、モータのコイルに蓄積されたエネルギーを電流として流す働き（回生電流）をしている。

フライホイール効果により、モータに流れる電流はトランジスタが Off の間にも休みなく流れているように見えることになり、平均電流も On 時の電流とこの回生電流の和となる。

3.4 自律ロボット

2章で用いたロボットに PSD センサをを搭載し , 自律運動をさせる . PSD センサの周辺回路は図 3 . 6 である .

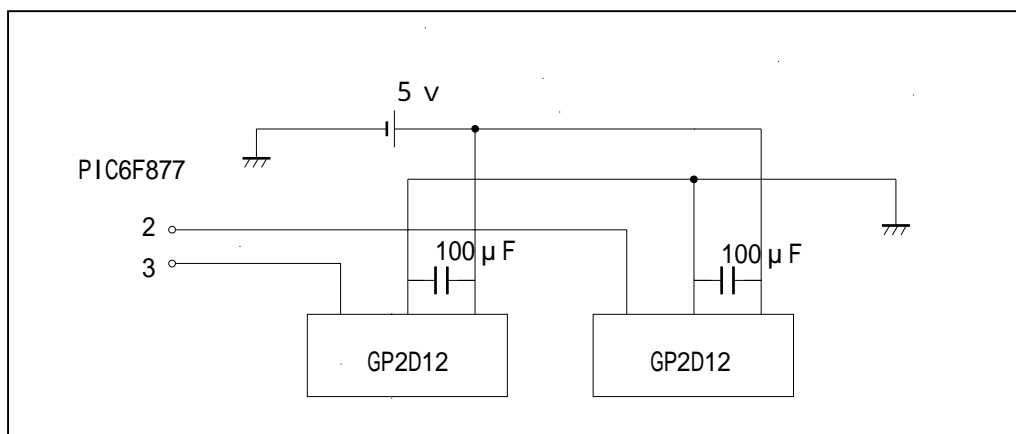


図 3 . 6 PSD センサ回路図

PSD ユニット単体でも動作が可能だが外乱を取り除き動作を安定させるためにコンデンサを追加した .

センサを搭載した自律ロボットが写真 3 . 3 である .



写真3.3 自律ロボット

第4章 小型化の検証

4.1 小型・軽量化

一通りの動作が可能な自律ロボットを製作したが、ロボットに限らず大半の物が技術の進歩により小型・軽量化されている。この流れは必ずメリットがあるからである。この章では今後の小型化によってどのようなメリットが生まれるかを検証する。

4.2 小型部品

今回、開発の過程で利便性が悪いために使用を見送った小型部品が多数ある。今回はこれらを紹介する。

4.2.1 小型モータ

今回製作したロボットで使用したギアボックスはタミヤ製ツインモータギアボックス写真4.1の左で大きさが75×50×23mmの大きさがあった。写真4.1の右がS.T.L.Japan製の栄42Dです。栄42Dは小型ながら精密ギアボックスを備え、十分なトルクを発揮し、電力消費を半分以下に抑えられる。

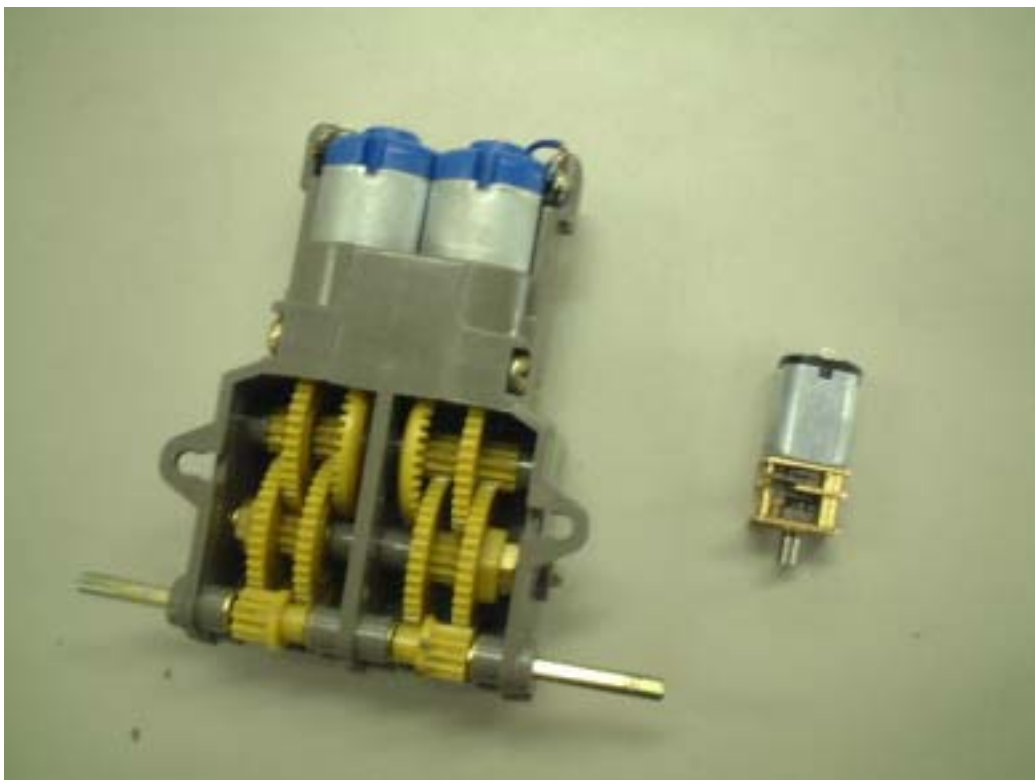


写真4.1 小型モータ

4.2.2 小型電池

PIC の稼働に最低 5 V の電圧を必要とするので電源はそれ以上必要になる。今回は 9 V のマンガン電池（写真 4 . 2 の左）を使用した。（写真 4 . 2 の右）は 9 V の小型アルカリ電池である。小型だが電気容量が非常に少ないためロボットを省電力化をしないと稼働時間が著しく短くなると予想できる。



写真 4 . 2 小型電池

4.2.3 PIC フラットパッケージ

PIC には研究、開発用の通常タイプと製品用のフラットパッケージがあり、後者は基盤に直接乗せるために小型・省電力化されている。このフラットパッケージは手作業でのはんだ付けが非常に困難なため、製品以外ではあまり使われない。今回用いた PIC16F877 (写真4.3の左) とフラットパッケージ版 PIC16F877 (写真4.3の右) は全く同じ機能を持っている。

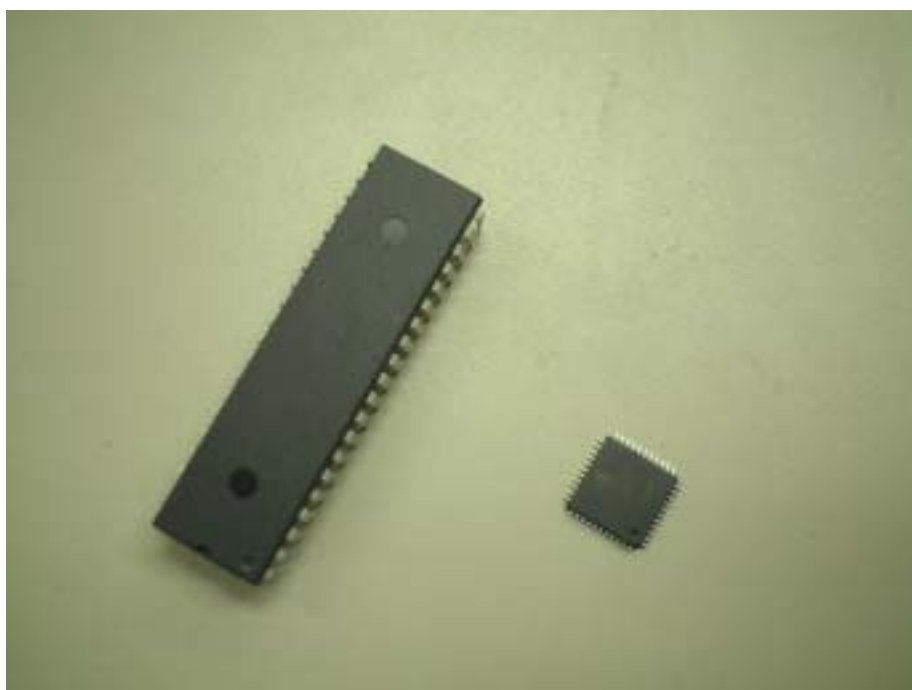


写真4.3 小型マイコン

4.2.4 小型モータドライバ

モータドライバにもかなり小型のものが市販されている。一般に小型のモータドライバは FET 損失（スイッチング時の電圧降下）が少なく効率がよいが、耐電圧や耐電流は低くなる。NEC 製の小型モータドライバ μ PD16805G（写真 4.4）は耐電圧 8V、耐電流 1A と低めだが 10×7.7 mm のパッケージでフルブリッジを実現し、差動電圧が 3V と低電圧で作動できるため消費電力が格段に少なくなっている。



写真 4.4 小型モータドライバ

4.2.5 小型カメラ

Treva (写真4.5) は PHS 用のカラーデジタルカメラユニットです。CMOS イメージセンサが使われており小型、軽量、低消費電力といった特徴をもっています。本来 PHS の液晶画面で見られることを想定しているため、画像サイズは 96×72 画素と小さいが、使用目的を考えると十分といえる。仕様は図4.1の通りである。



写真4.5 小型カメラ

本体サイズ, 重量	幅 30 × 厚さ 32 × 高さ 16 mm , 10g
映像素子	1/4 型 10 万画素 , CMOS イメージセンサ (OV6630)
出力画像解像度	96 × 72 画素
レンズ	固定焦点 (30cm ~)
画角	水平 46 ° , 垂直 37 °
露出	自動制御
ホワイトバランス	自動調整
接続プラグ	2.5 mm , 4 ピンプラグ
電源	3 V 単一 , 10mA 程度
フレームレート	最大 7 フレーム / 秒
画像フォーマット	16 ビット YUV 形式

図 4 . 1 T r e v a 仕様書

4.3 小型化の利点

上記した電子パーツは小型・軽量化した結果、消費電力が少なくなっている。そのため電池の必要電気容量が減り、結果的にコストが安くなるといえる。また、重量が軽くなるということはアクチュエータの出力が小さくても動作が可能になり相乗的に小型化に繋がる。ロボットを小型化し多数配置すれば単位面積あたりの仕事量が増える。結果として効率があがる。

小型化の唯一の欠点はインターフェイス性が著しく落ちることです。メンテナンスや操作がしにくくなる。携帯電話がある大きさより小さくなっていないのは技術面よりも小型化により便利性が低下してしまうことが理由になっている。最終的には人が操作しなくてはならないものには小型化の最適な点が存在すると思われる。

第5章 結章

5.1 本研究のまとめ

本研究では複数台を協調行動させるための小型自律ロボットの試作機を製作するため、まず初めにP I CやドライバーI C使い方から始め、その後リモコン制御、自律制御の順で動作を検証してきた。しかし群行動を行うロボットの方向性を示すのには未だ不十分といえる。今回の一連の研究を通してロボットの方向性を決め、設計から製作まで一貫してこれたことは大きな成果だと感じる。

5.2 今後の展開

本研究では試作機の製作に留まったわけだが、今研究で行ったことを元に第4章で述べたような小型部品を用いつつ小型化・高性能化をすすめる。さらに複数製作し複数で一つのシステムとしてのロボットの可能性を検証させていければよいと思う。そのロボットを用いて互いに協調作業を行い作業の効率化を検証させていく。

参考文献

- 1)後閑哲也：PIC 活用ガイドブック，技術評論社
- 2)籠屋健：PHS 用小型カメラ “ Treva ” をパソコンに接続する方法，
トランジスタ技術，Vol.4，pp.291~295(2002)
- 3)ロボコンマガジン，No.15，pp.50

謝辞

本論文は筆者が高知工科大学知能機械システム工学科に在学中に行った研究をまとめたものである。本研究にあたりご指導くださった高知工科大学知能機械システム工学科王碩玉教授に深く感謝致します。また、忙しい中筆者のため時間を割きアドバイスを下さった溝淵宣誠氏をはじめ同大学知能ロボティクス研究室の方々に感謝致します。

最後に、筆者の研究に対し理解を示し、理解して下さった両親に感謝致します。