

AVR マイコンと市販模型を活用した実践的メカトロニクス教材の開発

吉富秀樹*

Development of Teaching Material to learn Mechatronics using AVR Microcomputer and Toy Model

Hideki YOSHITOMI

Mechatronics is composite technology which is combined mechanics with electronics. In technical education, it has been discussed how to teach the mechatronics to beginner students. In this field of education, hand-making practice attracts our attentions as the effective education method. Some years ago, the author developed the teaching material that was the remodeling exercise of a toy model into the autonomous mobile robot by using microcomputer. This mobile robot used the Z80 microcomputer for CPU and assembly language for programming. But, in recent years, new microcomputer such as AVR microcomputer has been presented in this technical field. The AVR microcomputer is simple and highly efficient device compared with the Z80 microcomputer. So, the author improved the previous mobile robot system by altering the Z80 system to AVR one. And also, the assembly language was changed into the BASIC language. This paper shows the improved system about the mobile robot.

Key Words: Mechatronics, AVR, Microcomputer, Mobile Robot, Practical Education, Toy Model

1. はじめに

メカトロニクスという言葉は機械工学と電子工学が融合した和製英語であるが、その技術的裾野は情報工学など多岐の分野にまたがり、いわゆる複合的技術分野を形成している。この複合技術であるメカトロニクスを初心者にとどのように教えるべきかという検討が従来から行われてきた⁽¹⁾。筆者も高専の機械工学科の学生を対象としてメカトロニクス関係の教育に携わっており、以前からロボットを題材とした”もの作り”を通してのメカトロニクス教育に興味を持ち、そのための教材開発を進めてきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。また、メカトロニクスの中枢となる技術がマイクロコンピュータ(マイクロコントローラとも言うが、以下、マイコンと略称する)である。近年、このマイコンが安価で高性能かつ高信頼性になったことから、ロボットはもとより自動車や家庭用電気製品など身の回りの多くの製品に組み込まれるようになった。これは、機械にマイコンを組み込むことで、機械の高機能化や知能化が図れるためである。したがって、機械技術者といえども制御用マイコンの基礎知識は必要な時代となっている。

しかしながら、マイコンを実際に使うには、マイコン自体や電子回路等のハード面の知識、プログラミングの知識、そしてプログラム開発環境の整備などが必要であり、初心者にはなかなかハードルが高いものである。マイコンを使ったことがない者にとっては、どこから手を付けたらよいのか分からないのが実状ではなかろうか。筆者の経験では、あまり難しい本を読むよりも、まず使ってみることが大切である。つまり、簡単なライントレースロボットなどのマイコン搭載ロボットを一度自作してみれば、マイコン、センサ、アクチュエータ、インタフェース回路そしてプログラミングというメカトロニクスの全体像がある程度見通せるようになる。

このような観点から、筆者は、市販されている玩具模型(いわゆるプラモデル)にセンサやマイコンを組み込んでライントレースロボットに改造するという教材を開発し、これを前報⁽⁴⁾において紹介した。この教材は、マイコンに Z80 マイコンを使い、プログラミングはアセンブラ言語を使うシステムであった。マイコンの基礎を学ぶには十分なシステムであるものの、使い勝手の点でそろそろ時代遅れの感が否めないと感じていた。最近の高専ロボコンでも、マイコンはルネサス社の H8 や Microchip 社の PIC(Peripheral Interface Controller)などが使われているようである。本校の電子制御系の実験実習教材

原稿受付 平成19年8月31日

* 機械工学科

についても、中尾⁽⁵⁾によって Z80 マイコンから PIC への転換が検討されている。また、プログラミングにしても、アセンブラよりも高級言語である C 言語や BASIC(Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code)言語の方がプログラム開発は圧倒的に能率的である。そこで、マイコンとプログラム開発環境を新しいものに転換することにした。マイコンについては、PIC を使うことも考えたが、最近注目されている Atmel 社の AVR マイコンを使ってみることにした。AVR マイコンは、PIC と同じく RISC(Reduced Instruction Set Computer)型のマイコンであり、命令系統がシンプルで使いやすい。また、プログラム開発環境として C 言語に対応しているほか、BASIC 言語に対応したシステムが整っていることも大きな魅力であった。筆者が所属する機械工学科では、数値解析用のプログラム言語として FORTRAN を教えているが、C 言語は今のところ授業には取り入れていない。このため、FORTRAN に比較的近い高級言語である BASIC が使えれば学生にも分かりやすいと思える。このような事情から、前報⁽⁴⁾の Z80 マイコンとアセンブラ言語のシステムから、AVR マイコンと BASIC 言語のシステムに転換した。これと同時に、ハンダ付けの要らない試作回路基板すなわちブレッドボードを利用したシステムも新たに取り入れた。この結果、予想以上に安価で使いやすいシステムが構築でき、学習内容をさらに進展させることができたので、この改良したシステムについて本報で紹介する。なお、市販模型を活用する意義等については前報⁽⁴⁾を参照されたい。

2. AVR マイコンの概要

AVR マイコンは、米国の Atmel 社が開発した 8 ビットのワンチップマイコンであり、PIC と同様に RISC 型のマイコンであることから使いやすいものとなっている。AVR マイコンの外観を Fig.1 に示す。AVR と PIC を比べると、AVR の方が後発であるため PIC よりも使い勝手が向上しているようであるが、一長一短の面もあり優劣は一概には言えない。寸法外観はほぼ同じであり、価格もどちらも 1 個 100 円～1,000 円程度で購入できる。性能面では、AVR の最高動作クロック数は 8～16MHz であるが、一つの命令を 1 クロックで処理するので PIC より高速である。しかし、AVR の命令数は、RISC 型という割には 118 個もあって、必要最小限の命令数(35 個)に抑えている PIC に比べるとかなり多い。なお、AVR のプログラムはフラッシュ ROM に書き込むが、1000 回の書き込み・消去が可能となっている。また、AVR マイコンには ISP(In System Programming)という機能があり、この機能を使うとマイコンを基板から取り外すことなく数本の信号線をつ

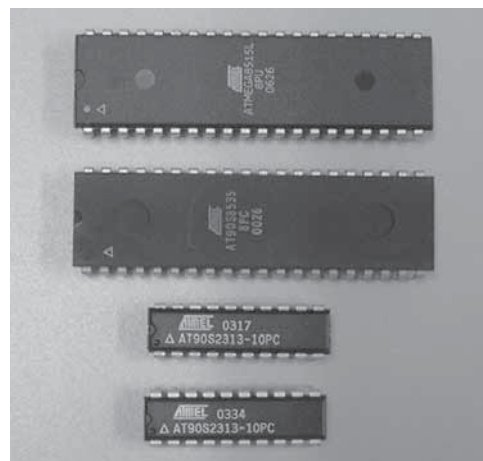


Fig.1 AVR Microcomputer

なぐだけでプログラムが書き込めるので非常に便利である。

現在、AVR マイコンのシリーズは次の 3 つに分類されている。

■AT90S シリーズ：AVR の基本的製品群である。初期に開発されたものであるが、今でも多く使われている。このシリーズの AT90S2313 は使用例等の資料が豊富であるので本報でも AT90S2313 を使っている。

■Atmega シリーズ：メモリ容量や機能を拡張したシリーズで現在の AVR の主力製品群となっている。メモリは 4k バイト～128k バイトで、ピン数は 28 ピン～64 ピン程度である。

■ATtiny シリーズ：mega シリーズとは逆に、小規模化したシリーズで、メモリは 2k バイトまで、ピン数は 8 ピン～32 ピン程度となっている。

なお、これらの詳細については Atmel 社の Web サイト⁽⁶⁾を参照されたい。また、日本語データシート⁽⁷⁾や AVR-Wiki⁽⁸⁾も公開されている。

3. プログラム開発環境

マイコン用の制御プログラムを作るためには、プログラム言語によって作成したプログラムを機械語に翻訳するソフトウェアであるコンパイラ、そしてコンパイルされたプログラムをマイコンのメモリに書き込むためのライターが最低限必要である。さらに、複雑なプログラムを開発する場合には、プログラムが正常に機能するかどうかシミュレーションする装置なども必要になる場合がある。これらを開発環境と呼んでいる。AVR マイコン用にも、インターネット上を探せばさまざまなソフトウェアを見つけることができる。これらの中には、Atmel 社の Web サイト等から無償で提供されているものもある。

3. 1 コンパイラ

AVR マイコンのプログラム開発には、アセンブラ言語、C 言語および BASIC 言語が対応している。

AVR 用に提供されている主なコンパイラとしては以下のものがある。

■AVR Studio : Atmel 社の Web サイトから入手できる純正の統合開発環境であり, Windows 環境で動作する。なお, 標準で付属している言語はアセンブラである。

■WinAVR : AVR 用の C コンパイラであり, フリーソフトとなっている。上記の AVR Studio と組み合わせて使う。

■BASCOM-AVR : AVR 用 BASIC コンパイラの定番である。本報では, このコンパイラを使っている。BASCOM-AVR には, 無償のデモ版も用意されている。デモ版はプログラムサイズが 2k バイトに限定されているものの, フラッシュ ROM の容量が 2k バイトまでの ATtiny シリーズなどのプログラム開発には, このデモ版で間に合うわけである。上記以外のコンパイラもいくつか販売されているが, ここでは省略する。

3. 2 ライタ

AVR マイコン用に提供されているライタも, 単にプログラムの書き込みをするだけのものから, プログラムの動作確認の機能を持つものなど, いくつかの種類がある。例えば, 以下のようなライタが入手可能である。

■STK500 : Atmel 社純正のライタとして, Fig.2 に示す STK500 がある。これは, 多くの種類の AVR マイコンに対応しており, プログラムの動作確認の機能も持つ。ただし, マイコンの種類によってボード上のジャンパー線をつなぎ変える必要があるなど取り扱いはやや面倒である。本報では, この STK500 を使用している。

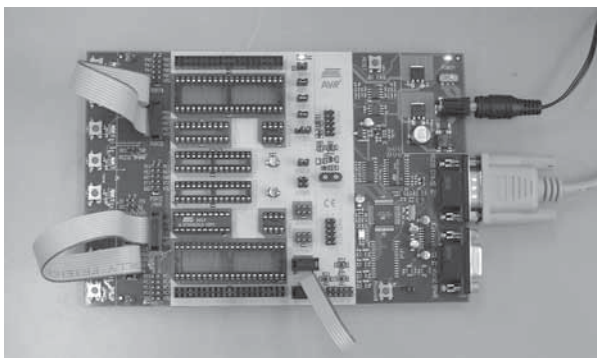


Fig.2 STK500

■簡易型 AVR ライタ : AVR の ISP 機能を使ってプログラムの書き込みを行うシンプルなライタである⁽⁹⁾。この簡易型ライタのベースとなった ISP アダプタは, Elm-Chan 氏のサイト⁽¹⁰⁾に詳しく載っているので参考になる。

4. 開発した実践的メカトロニクス教材

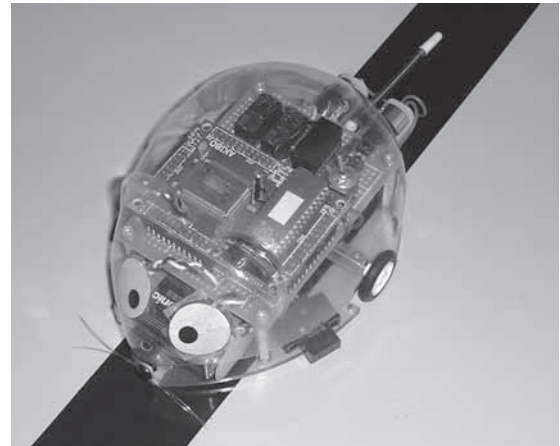
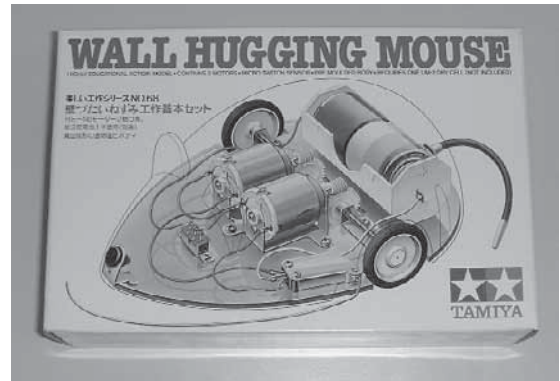


Fig.3 Original Toy Model and Line Tracing Robot

既に述べたように本報で示す教材は, いわゆるライントレースロボットである。ロボットを題材としたメカトロニクス教材としては, 一般的にライントレースロボットがよく使われる。筆者自身もライントレースロボットが適していると思う。その理由としては, ライントレースロボットには, ラインを検出するセンサ, 車輪を動かすアクチュエータ, 全体を制御するマイコン, これらのデバイス間のインタフェース回路, そしてプログラミングというメカトロニクスの 5 大要素が全て含まれており, しかも完成したときに動くので達成感が得られることが挙げられよう。以下では, 今回改良した新しいシステムを前報⁽⁴⁾の旧システムと比較しながら紹介する。

4. 1 市販模型とライントレースロボット

本報で紹介するライントレースロボットは, 左右 2 個の車輪を独立に ON-OFF させて操縦する単純な方式なので, ベースとなる市販模型は左右独立に駆動できるモータと車輪が備わっていればどのようなものでもよい。前報⁽⁴⁾では, Fig.3 上図に示す“壁づたいねずみ工作模型”を利用した。これは, 左右独立にモータと車輪を持っており, 構造もシンプルで使いやすいので本報でもこれを使用した。この模型にマイコンを組み込んでライントレースロボットに改造したものを Fig.3 下図に示す。

4. 2 システム構成と回路および使用部品

ライントレースロボットのシステム構成を Fig.4

に示す。台車部分は前述のように市販模型を利用している。また、ロボットの前部にラインを検出するための光センサを2個搭載し、後部左右の駆動用モータで車輪を回転させて走行する構成となっている。

次に、このロボットの回路図を Fig.5 に示す。図のように、回路は左側よりセンサ部、マイコン、インタフェース回路、アクチュエータ駆動回路となっており、上部が電源回路である。この回路図を機械工学科の学生にいきなり見せてもなかなか理解しようとしないので、学生に説明する際には、この回路を学生と一緒に黒板上に作って行きながらトランジスタ回路の考え方やダイオードの意味、抵抗値の決め方などを教えるという方法を採用している。

次に、使用している電子部品について説明する。マイコンは AVR マイコンの AT90S2313 を使用して

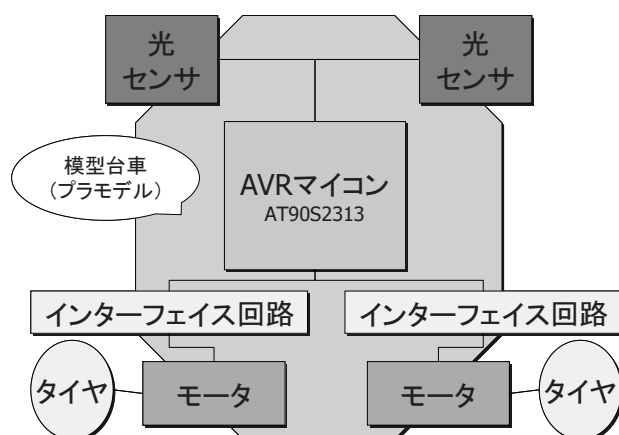


Fig.4 System Configuration

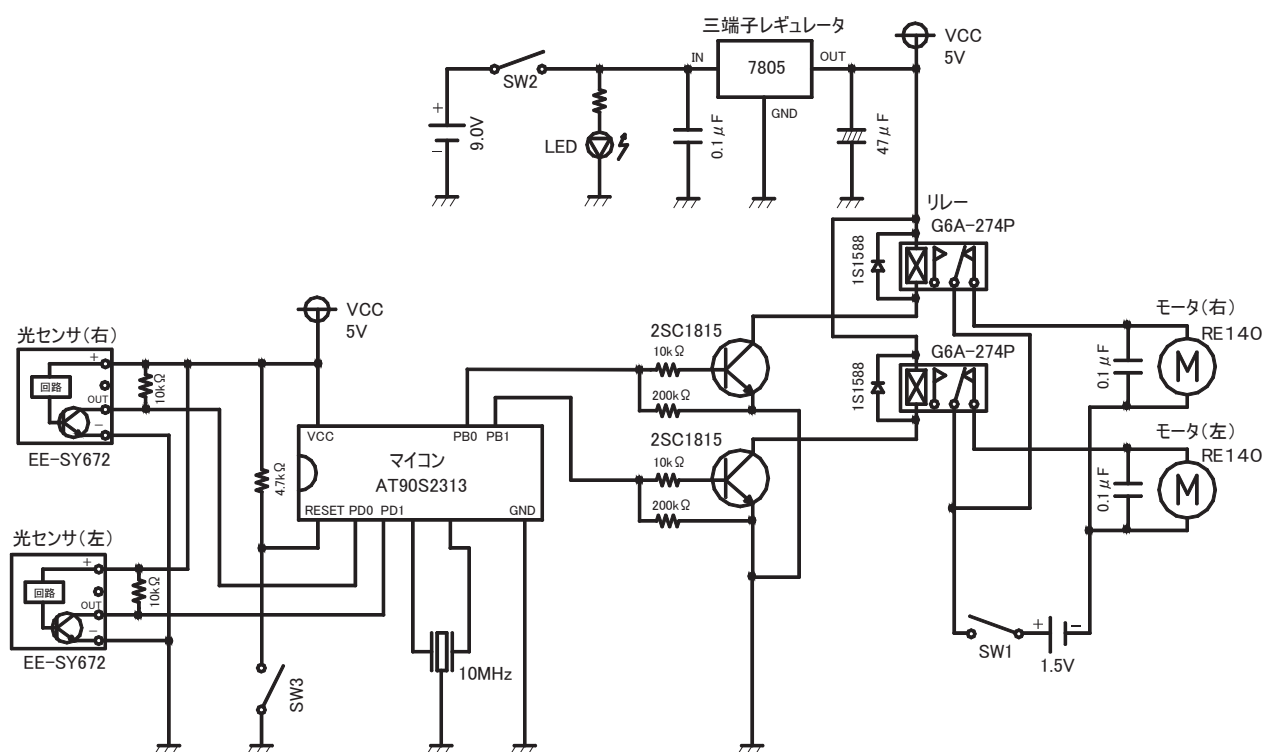


Fig.5 Circuit Diagram

いる。これは、最高動作クロック数が 10MHz、フラッシュ ROM が 2k バイトと小容量であるが、このような用途には十分な性能である。光センサは O 社の反射型フォトマイクロセンサ EE-SY671 を用いた。この光センサは、発光素子と受光素子が一体となって樹脂製筐体に入っており構造的に丈夫であるうえに、アンプも内蔵されており使いやすい。アクチュエータである駆動用モータとしては、模型に付属している M 社の RE-140 をそのまま使用している。モータの駆動回路はリレーを用いており、リレーにはコイル操作電圧が 5V のミニリレー（例えば、O 社の G6A 型など）を採用している。また、マイコンとリレー

のインタフェース回路にはスイッチングトランジスタ 2SC1815 を用いた。電源は、モータ駆動用に単三乾電池を使用し、制御機器駆動用として 006P 乾電池を搭載している。なお、マイコン等の制御機器用の 5V 電源は、前報⁽⁴⁾では 006P 乾電池から DC-DC コンバータを介して供給したが、本報ではより安価にするため三端子レギュレータ 7805 を用いている。

4. 3 新旧ロボットの比較

Z80 マイコンを搭載した旧型ライトレースロボットを Fig.6 の左側に示す。このマイコンは秋月電子の AKI-80 を使用しており、Z80 のマイコンボードとしては比較的小型であるが、外付けの EPROM を搭載

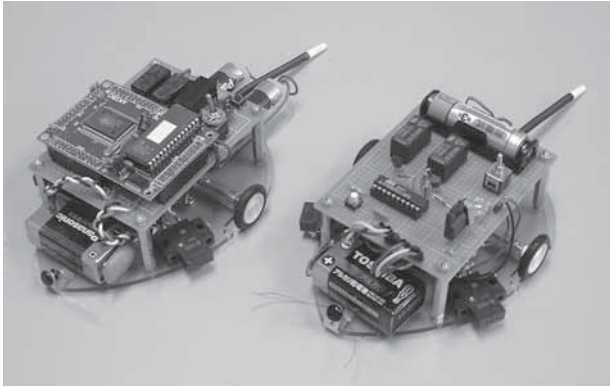


Fig.6 Old Robot(left side) and New Robot(right side)

しているため、マイコンボードがかなりのスペースを占めている。

一方、AVRマイコンのAT90S2313を使用した新しいロボットをFig.6の右側に示す。AVRマイコンは小型のワンチップマイコンであり、フラッシュROMも内蔵しているため、スペース的にかなり余裕があるのが分かる。基板スペースに余裕があるので、モータ駆動用の単三乾電池も基板上に設置している。

4. 4 新旧プログラムの比較

Fig.4に示したシステムにおいて、前方の2つの光センサの信号に応じて、左右の2つのモータをON-OFFさせるプログラムをFig.7-(a)とFig.7-(b)に示す。プログラムの説明は省略するが、Fig.7-(a)はアセンブラ言語で作成したプログラムである。わずか30行程度のプログラムであるが、アセンブラ言語の場合はマイコンのレジスタなどの知識がないとなかなか理解が難しい。一方、同じ働きをさせるプログラムをBASIC言語で作ったのがFig.7-(b)である。文法がFORTRANと似ており、理解しやすいのではないだろうか。また、高級言語であるのでレジスタなどはあまり意識することなくプログラミングできるので、マイコン自体の知識はそれほど無くても作成可能である。

5. ブレッドボードを用いたロボットへの展開

前節までで示したロボットは、ユニバーサル基板に電子部品をハンダ付けしたものであった。メカトロニクス技術の習得においては、ハンダ付けを経験しておくことも必要である。しかし、ハンダ付けしてしまうと、当然ながら、電子部品は1回しか使えないので毎回人数分の部品が新たに必要になり費用がかかる。また、ハンダ付けしてしまうと回路が間違っていたときの修正が大変である。このような手間はできるだけ掛けたくないし、経費削減の面から電子部品も再利用したいものである。

ハンダ付けしないで電子回路を作るには、試作回路基板いわゆるブレッドボードを使うことになる。筆者は、これまでもブレッドボードとレゴ・マイ

```

0000      3E 0F      ORG 0
0002      D3 1D      LD A,0FH
0004      3E CF      OUT (1DH),A
0006      D3 1F      LD A,11001111B
0008      3E 03      OUT (1FH),A
000A      D3 1F      LD A,00000011B
000C              OUT (1FH),A
000C      DB 1E      L1:
000E      CB 47      IN A,(1EH)
0010      C2 1F 00   BIT 0,A
0012              JP NZ,L2
0013      CB 4F      BIT 1,A
0015      C2 32 00   JP NZ,L4
0018      3E 00      LD A,00000000B
001A      D3 1C      OUT (1CH),A
001C      C3 0C 00   JP L1
001F              L2:
001F      CB 4F      BIT 1,A
0021      C2 2B 00   JP NZ,L3
0024      3E 01      LD A,00000001B
0026      D3 1C      OUT (1CH),A
0028      C3 0C 00   JP L1
002B              L3:
002B      3E 03      LD A,00000011B
002D      D3 1C      OUT (1CH),A
002F      C3 0C 00   JP L1
0032              L4:
0032      3E 02      LD A,00000010B
0034      D3 1C      OUT (1CH),A
0036      C3 0C 00   JP L1
0039              END
    
```

(a) Assembly Language

```

' Sample Program
Config Portb = Output
Config Portd = Input
Do
If Pind.0 = 1 And Pind.1 = 1 Then Goto Led00
If Pind.0 = 1 And Pind.1 = 0 Then Goto Led01
If Pind.0 = 0 And Pind.1 = 1 Then Goto Led10
If Pind.0 = 0 And Pind.1 = 0 Then Goto Led11
Led00:
Portb.0 = 1
Portb.1 = 1
Goto Ledend
Led01:
Portb.0 = 0
Portb.1 = 1
Goto Ledend
Led10:
Portb.0 = 1
Portb.1 = 0
Goto Ledend
Led11:
Portb.0 = 0
Portb.1 = 0
Goto Ledend
Ledend:
Loop
End
    
```

(b) BASIC Language

Fig.7 Program

ンドストームを組み合わせせた教材を開発し⁽³⁾、現在も機械工学科3年生の創造演習授業で使っている。AVRマイコンもピンピッチが2.54mmであるのでブレッドボードに差し込んで使用することができる。そこで、本報のライントレースロボットについても、ユニバーサル基板をブレッドボードに変更したバージョンを新たに導入した。

5. 1 ブレッドボードを用いたロボット

ブレッドボードバージョンのライントレースロボットを真上から見た写真をFig.8に示す。ブレッド

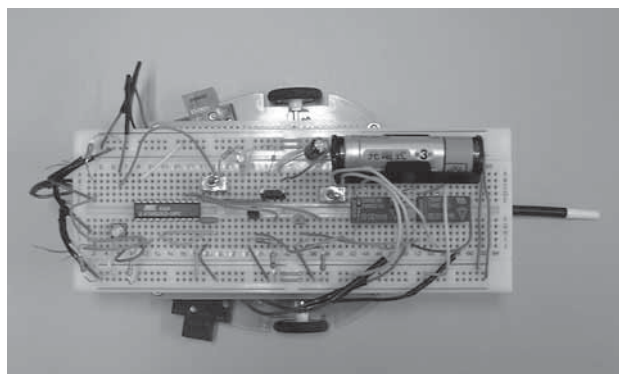


Fig.8 Upper Side View of Breadboard Version Robot

ボード上にはFig.5の回路を組んである。Fig.6のユニバーサル基板を用いたロボットよりかっこうは良くないが、ハンダ付けが不要なので短時間で製作できる。マイコンやセンサ等のデバイスも全く問題なく機能し、ライントレースが可能である。

5. 2 ブレッドボードによる学習内容の進展

ブレッドボードバージョンを用いると、単にハンダ付けが不要になるということだけにとどまらず、さまざまな回路を簡単に試作できるので、学習内容もさらに発展させることができる。

例えば、メカトロニクスの教科書によく出てくる直流モータの駆動回路⁽¹¹⁾についても、回路をブレッドボード上に組んで実際にライントレースロボットを動かしてみることで、実践的に学ぶことが可能となる。その具体的例としては、直流モータを単にON-OFF させるだけでなく、正転・逆転させる回路を取り入れてもよい。直流モータを正転・逆転させるには、H型ブリッジ回路⁽¹¹⁾をトランジスタやFETで組めばよいが、小型モータを駆動するのであれば専用ドライバ素子を使うのが便利である。筆者は、Fig.9に示すドライバ素子 TA7291Pを用いた直流モータ駆動回路を卒業研究の予備教育などで指導している。さらに、マイコンのプログラムを改良すればPWM(Pulse Width Modulation)制御による速度制御まで発展させることも可能である。

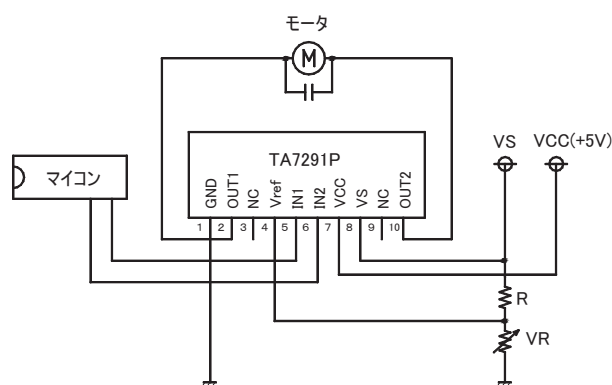


Fig.9 Motor Driver Circuit

6. おわりに

メカトロニクスは複合技術であるがゆえに、教え方の難しい技術であるとも言えよう。メカトロニクスの教科書を見ても、リンクや歯車などの機構学から電子回路、マイコン、そしてプログラミングまで出てくる。このようなメカトロニクスに興味を持ち理解するには、単に教科書を読むだけでなく、実際に手を動かしてロボットを作ってみることが大切である。先人たちが開発したメカトロニクスのハイテク部分を、学生自ら追体験してこそ理解が深まるのである。

ここで紹介した教材は、AVR マイコンを活用して玩具模型をライントレースロボットに改造するというものであるが、マイコン、センサ、アクチュエータ、インタフェース回路そしてプログラミングというメカトロニクスの5大要素が全て含まれており、メカトロニクスの基本を一通り手軽に実体験できる内容となっている。また、ロボットの台車として市販模型を使うので部品加工の必要がないこと、つまり実習工場を使わなくて済むことから、学生はもとより指導者側の負担も比較的軽い。このように、本報のメカトロニクス教材は、いろいろな教育現場で利用できるものと考えられることから紹介した次第である。

参考文献

- 1) 例えば、特集 ロボットと教育、日本ロボット学会誌、Vol.16, No.4, (1998)
- 2) 吉富秀樹：市販模型のマイコン化実習を通してのメカトロ実践教育、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集、(2001-6)、2A1-A3
- 3) 吉富、仲井、川村：レゴ・マインドストームを教材に使ったメカトロニクス教育とその教育的効果 第2報—ブレッドボードと組み合わせたメカトロニクス教材と創造演習教育、津山工業高等専門学校紀要、第46号、(2005)、pp.5~10
- 4) 吉富秀樹：マイクロコンピュータをもの作りを通して実践的に学ぶための教材研究、津山工業高等専門学校紀要、第44号、(2002)、pp.95~100
- 5) 中尾三徳：制御用マイコン PIC 等を使ったマイクロコンピュータ実験・実習、津山工業高等専門学校紀要、第48号、(2006)、pp.125~130
- 6) <http://www.atmel.com/jp/default.asp>
- 7) <http://reef.path.ne.jp/%7Ehero/hero.htm>
- 8) <http://avrwiki.jpn.ph/wiki.cgi?page=FrontPage>
- 9) <http://www2.strawberry-linux.com/products/avrsp/>
- 10) <http://elm-chan.org/docs/avr.html>
- 11) 安田仁彦監修、田中泰孝ほか編：入門電子機械、コロナ社、(2005)、pp.105~107