

Arduino を用いた実験教材の開発

井手尾 光臣*¹, 南齊 清巳*²

Development of teaching material for Engineering experiment using Arduino

Mitsuomi IDEO, Kiyomi NANSAI

Embedded computer technology is very important in the field of an electronic control system. It makes lower grade students take experience to control a thing using a computer, so we have used a line tracing car controlled by a pocket computer for a teaching material of a student experiment as the purpose for giving interest to this field. However, a pocket computer was discontinued, we developed an experiment teaching material replaced with Arduino which has spread widely as embedded computer.

KEYWORDS : Arduino, Line Tracing Car, Teaching material, Engineering experiment

1. はじめに

電子制御系の分野では組込みコンピュータ技術は大変重要である。低学年のうちにコンピュータを用いてものを制御することを体験させ、この分野に興味を持たせることを目的としてポケットコンピュータにより制御するライントレースカーを学生実験の教材として使用してきた。しかし、ポケットコンピュータの販売中止に伴い、組込みコンピュータとして広く普及してきた Arduino¹⁾に置き換えた実験教材を開発したので報告する。

2. 実験教材の開発

Arduino を用いて開発した実験教材は、ライントレースカーである。センサによってモータを制

御し、線に沿って走行させるライントレースカーは、組込みコンピュータ技術や制御技術の実験教材として大変有効である。従来の実験では、このライントレースカーを制御するためにポケットコンピュータを使用していた。しかし、販売中止になったことから、最近、組込みコンピュータとして広く普及している Arduino に置き換えてライントレースカーの制御を行うことにした。Arduino を使用することにした主な理由を以下に示す。

- デジタル入出力を 8 本以上備えている。
- C 言語ベースの言語によりプログラム開発が行える。
- 外部電源により単体で動作する。
- ライントレースカーに搭載可能な基板サイズである。
- 低価格である。

*1 技術室(Technical Office), E-mail: ideo@oyama-ct.ac.jp

*2 電気電子創造工学科(Innovative Electrical and Electronic Engineering)

2. 1 Arduino の概要

図1にArduinoマイコンボードを示す。Arduinoは、約73mm×53mmの大きさで、8ビットのワンチップ・マイクロコントローラを中心に14本のデジタル入出力端子と6本のアナログ入力端子及び6本のアナログ出力端子（デジタル入出力端子と兼用）を備えている。パソコンとは、USBケーブルで接続することにより、データの送受信及び電源供給を行っている。また、ACアダプタジャックまたは外部電源入力端子Vinに7V~12Vの直流電圧を供給することにより単体での動作も可能となっている。Arduinoの販売価格は、現在2,900円程度であり、比較的安価なマイコンボードである。

プログラム開発は、統合開発環境であるArduino IDEを使用する。使用する言語は、C言語ベースのArduino言語²⁾である。Arduino IDEは、プログラムの作成及びコンパイル、マイコンへの書き込みを行うことができる。Windows及びMac OS X, Linuxの各OS上で動作し、無償で提供されているため、プログラム開発も容易になっている。

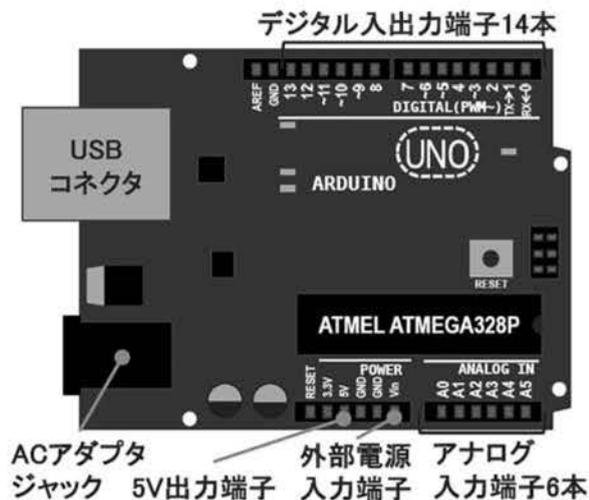


図1 Arduino マイコンボード

2. 2 開発したライントレースカーの概要

開発したライントレースカーの全体像を図2に示す。ライントレースカーは、図3に示すArduino本体、接続コネクタ基板、タイヤ、キャスター、ギヤーボックス、直流モータ、モータドライバ、反射型フォトセンサなどの部品で構成している。上面のスペーサーの上にArduinoボードを載せ、ネジで固定している。また、Arduinoを単体で動

作させるための外部電源として9V乾電池1本、モータ駆動用として1.5V単三アルカリ乾電池4本を使用している。ライントレースカー1台あたりの製作費用は、約1万円である。

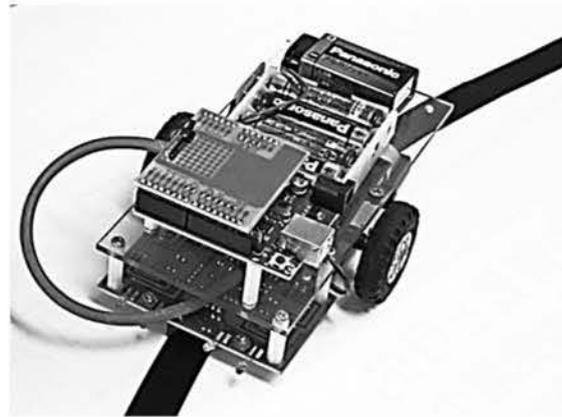


図2 開発したライントレースカー

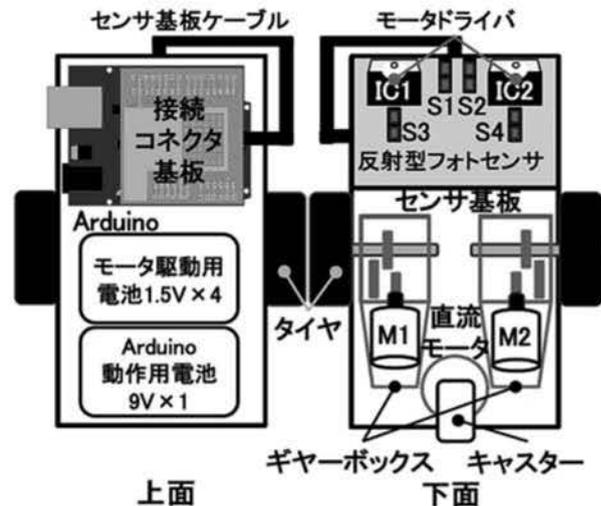


図3 ライントレースカーの構成

ライントレースカーのセンサ基板ケーブルとArduinoの接続方法は、Arduinoの各端子のピンソケット（メス）に直接配線することが最も簡単である。しかし、ライントレースカー動作時の振動により、配線が抜けやすくなることや誤配線を防ぐため、接続コネクタ基板の製作を行った。図4に製作した接続コネクタ基板を示す。接続コネクタ基板のサイズは、53mm×48mmである。基板の12列と16列のシングルピンヘッダ用の取り付け穴とArduinoのピンソケットの位置を合わせたことにより、Arduinoの上に乗せて接続できるようにした。接続コネクタ基板とArduinoとの接続は、

シングルピンヘッダ (オス) をピンソケット (メス) に挿し込むことによって、配線が簡単に抜けることを防ぐことができる。また、センサ基板ケーブルを半田付けして取り付けたことにより、誤配線を防ぐことができる。

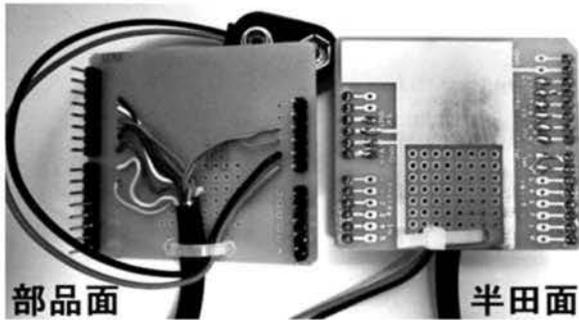


図4 製作した接続コネクタ基板

3. ライトレースカーの制御

3.1 ライトレースカーの入出力

図5にライトレースカーの入出力ブロック図を示す。反射型フォトセンサは、赤外線を照射して反射した赤外線を受光することにより、物体を検出できるセンサである。センサの動作は、黒色など光の反射が僅かな場合は、「H (5V)」を出力し、白色など光の反射が大きい場合は、「L (0V)」を出力する。この出力されたデジタル信号を読み取ることによって、黒い色などを判別する。

反射型フォトセンサ S1~S4 の信号線 4 本は、Arduino のデジタル入出力端子 10 番~13 番に接続し、センサからの「H」、「L」のデジタル信号を Arduino に入力して読み取る。また、センサ駆動用の+5V 電源線を Arduino の 5V 出力端子に接続している。

左右にある2つの直流モータ M1 と M2 は、それぞれモータドライバの IC1 と IC2 に接続している。モータドライバの入力 DI1 と DI2 に対して「H」や「L」の制御信号を入力することによって、直流モータを制御する。モータドライバの IC1 及び IC2 の入力信号線 4 本は、Arduino のデジタル入出力端子 6 番~9 番に接続し、「H」、「L」のデジタル信号を Arduino から出力する。

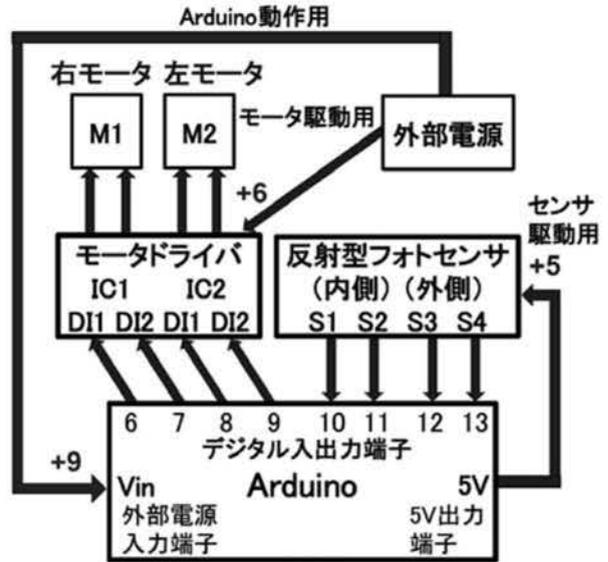


図5 入出力ブロック図

3.2 直流モータの制御

モータドライバの入力 DI1 と DI2 の制御信号入力による直流モータの動作は、入力が共に「L」の場合、ストップモードとなりモータは惰性で停止する。DI1 が「H」、DI2 が「L」の場合、モータは正回転する。DI1 が「L」、DI2 が「H」の場合、モータは逆回転する。入力が共に「H」の場合、ブレーキモードとなりモータはすぐに停止する。

ライトレースカーは、左右の直流モータを正回転、逆回転、停止させることによって、前進、右折、左折、停止などの動作を行う。

表1に左右モータの制御における車体動作を示す。左右のモータを共に停止させると車体は惰性で停止し、共に前進させると車体は前進する。左モータを前進させ、右モータを停止すると車体は前進しながら右折する。左モータを停止し、右モータを前進させると車体は前進しながら左折する。左モータを前進させ、右モータを後進させると車体は右に旋回する。左モータを後進させ、右モータを前進させると車体は左に旋回する。左右のモータを共にブレーキにすると車体はブレーキがかかり停止する。プログラムでは、Arduino 言語のデジタル入出力関数「DigitalWrite」を使用することにより、「High(5V)」、「Low(0V)」のデジタル信号を Arduino のデジタル入出力端子から出力できる。

表1 左右モータの制御における車体動作

| 左モータ M2 動作 | | 右モータ M1 動作 | | 車体動作 |
|---------------|-----|---------------|-----|------|
| DI2 | DI1 | DI2 | DI1 | |
| 停止 | | 停止 | | 停止 |
| L | L | L | L | 前進 |
| L | H | L | H | 前進右折 |
| H | L | H | L | 前進左折 |
| L | L | L | H | 右旋回 |
| L | H | H | L | 左旋回 |
| H | H | H | H | ブレーキ |

3.3 センサによる走行制御

内側センサの S1 と S2 を使用した走行制御の例を図6に示す。S1, S2 センサが黒い線の上にある場合、共に「H」であるため、モータ出力を「前進」とする。黒い線より左にずれた場合、S1 は「H」、S2 は「L」になるため、モータ出力を「前進右折」とし、車体を右側に曲げ S2 を黒い線の上に戻す。黒い線より右にずれた場合、S1 は「L」、S2 は「H」になるため、モータ出力を「前進左折」とし、車体を左側に曲げ S1 を黒い線の上に戻す。

プログラムでは、Arduino 言語のデジタル入出力関数「DigitalRead」を使用することにより、「High」、「Low」を Arduino のデジタル入出力端子で読み取ることができる。内側センサを使用した走行制御プログラムの例を図7に示す。



図6 内側センサによる走行制御

```

sketch_mar12a | Arduino 1.0.5
ファイル 編集 スケッチ ツール ヘルプ

sketch_mar12a $
#define SENSOR4 13
#define SENSOR3 12
#define SENSOR2 11
#define SENSOR1 10
}
#define M2_DI2 9
#define M2_DI1 8
#define M1_DI2 7
#define M1_DI1 6
}

void setup()
{
  pinMode(SENSOR4, INPUT);
  pinMode(SENSOR3, INPUT);
  pinMode(SENSOR2, INPUT);
  pinMode(SENSOR1, INPUT);
}
pinMode(M2_DI2, OUTPUT);
pinMode(M2_DI1, OUTPUT);
pinMode(M1_DI2, OUTPUT);
pinMode(M1_DI1, OUTPUT);
}

void loop()
{
  int S1,S2,S3,S4;
  S1 = digitalRead(SENSOR1);
  S2 = digitalRead(SENSOR2);
  S3 = digitalRead(SENSOR3);
  S4 = digitalRead(SENSOR4);
  if(S1 == HIGH && S2 == HIGH){
    digitalWrite(M2_DI2,LOW);
    digitalWrite(M2_DI1,HIGH);
    digitalWrite(M1_DI2,LOW);
    digitalWrite(M1_DI1,HIGH);
  }
  if(S1 == LOW && S2 == HIGH){
    digitalWrite(M2_DI2,LOW);
    digitalWrite(M2_DI1,LOW);
    digitalWrite(M1_DI2,LOW);
    digitalWrite(M1_DI1,HIGH);
  }
  if(S1 == HIGH && S2 == LOW){
    digitalWrite(M2_DI2,LOW);
    digitalWrite(M2_DI1,HIGH);
    digitalWrite(M1_DI2,LOW);
    digitalWrite(M1_DI1,LOW);
  }
}
コンパイル終了。
コンパイル後のスケッチのサイズ: 1,224バイト (最大容量32,256バイト)
56 Arduino Uno on COM4
    
```

図7 内側センサによる走行制御プログラム

4. 工学実験への活用

4. 1 実験内容

今回、開発したライントレースカーは、平成25年度前期に電気電子創造工学科1年の電気電子創造工学実験において、実験教材として活用した。実験概要を表2に示す。また、実験風景を図8に示す。

表2 実験概要

| | |
|------|--|
| テーマ名 | ライントレースカー |
| 学年 | 電気電子創造工学科1年 |
| 実験形態 | 一斉実験 (42名) |
| 実験週数 | 3週×2時間 (計6時間) |
| 実験内容 | Cプログラムによる入出力の基礎 モータ制御 センサ入力とモータ制御 |
| 使用機器 | ライントレースカー (21台) Arduino UNOR3 (21台) ロジック回路学習ボード (21台) USB ケーブル (21本) 006P (9V) 乾電池 (21個) 1.5V 単三アルカリ乾電池 (84個) プログラム開発用パソコン (42台) 統合開発環境 Arduino IDE 1.0.5 |

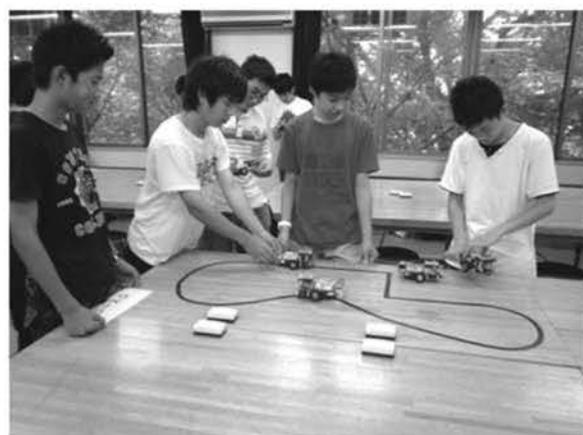


図8 実験風景

ライントレースカー実験では、Arduino を用いてライントレースカーを動作させるプログラムを作成する。この実験を通して、C 言語によるプログラミングの基礎を学び、デジタル信号の入出力方法やモータ制御の方法について理解することを目的としている。実験内容の詳細を(1)～(3)に示す。

(1) Cプログラムによる入出力の基礎

Arduino とロジック回路学習ボードを使用してLED を点滅させるプログラムを作成し、プログラム作成の入力方法及びコンパイルの実行方法、プログラムの基本形を学ぶ。

(2) モータ制御

Arduino とライントレースカーを使用して、左右のモータを前進させる、車体を90度曲げる、ジグザグ走行するプログラムを作成し、モータの制御方法を学ぶ。

(3) センサ入力とモータ制御

内側センサ (S1, S2) または外側センサ (S3, S4) を用いて黒い線に沿って走行するライントレースのプログラムを作成し、ひょうたん型や直角のコースをライントレースカーが正しく走行できるか動作確認を行う。

4. 2 アンケート調査

電気電子創造工学科1年生42名を対象として実験に関するアンケート調査を行い、学生40名よりアンケートの回答を得られた。以下にアンケートの結果を示す。

(1)「ライントレースカーの実験は興味を持って行えたか」と尋ねたところ、「はい」との回答が100%であった。

| | | |
|-------------|-------|------|
| 「はい」 | | 100% |
| 「いいえ」 | | 0% |
| 「どちらとも言えない」 | | 0% |

(2)「どんなところが面白かったか」と尋ねたところ、「実際にものを動かしたところ」との回答が72.5%と最も多い結果であった。多くの学生は、実際にライントレースカーを動かすことに面白さ

を感じたのではないかとと思われる。

| (複数回答可) | |
|-----------------|-------|
| 「実際にものを動かしたところ」 | 72.5% |
| 「プログラムを考えたところ」 | 15.0% |
| 「全体的に」 | 20.0% |
| 「特になし」 | 0% |

(3)「実験の難易度はどうか」と尋ねたところ、「簡単」と「普通」の回答を合わせると87.5%であった。しかし、コンパイルエラーやライントレースカーの動作不良によって、実験が進まなかった学生には、難しく感じたのではないかとと思われる。

| | |
|-------|-------|
| 「簡単」 | 25.0% |
| 「普通」 | 62.5% |
| 「難しい」 | 12.5% |

(4)「ハードウェアとソフトウェアのどちらにより興味を持っているか」と尋ねたところ、「ソフトウェア」との回答が57.5%であった。半数以上の学生は「ソフトウェア」に興味を持っている結果であった。

| (複数回答可) | |
|----------|-------|
| 「ハードウェア」 | 10.0% |
| 「ソフトウェア」 | 57.5% |
| 「両方」 | 30.0% |
| 「興味なし」 | 2.5% |

(5)「これまでにプログラミングの経験はあるか」と尋ねたところ、「ある」が32.5%、「ない」が67.5%の回答であった。7割近くの学生は、今回の実験で初めてプログラミングを経験したことになる。

| | |
|------|-------|
| 「ある」 | 32.5% |
| 「なし」 | 67.5% |

(6)「パソコンを持っているか」と尋ねたところ、「自分専用」と「家族で共用」との回答を合わせると100%の学生がパソコンを持っている結果であった。

| | |
|---------|-------|
| 「自分専用」 | 42.5% |
| 「家族で共用」 | 57.5% |
| 「なし」 | 0% |

(7) 実験の感想について、回答の一部を示す。

- ハードウェア、ソフトウェアのどちらも実験、学習できたのが良かったです。
- 今回、プログラミングを初めてやってみたが、実際にものが動くところがやっていて面白かったです。
- プログラムを入力するのは大変だったけれど、楽しかった。
- 本体に動作不良があり、実験が終わらない時があった。

5. まとめ

従来の実験において使用していたポケットコンピュータから Arduino に置き換えたライントレースカーの実験教材を開発した。Arduino を用いてセンサ信号の読み取りやモータの制御、ライントレースのプログラムを作成し、ライントレースカーを制御することができた。また、ライントレースカーを本校電気電子創造工学科1年の工学実験において活用し、実験学生へのアンケート調査を行った。アンケート結果より、多くの学生が実験に興味を持ち、自分のプログラムでものを動かしたところに面白さを感じていることなどから、低学年における組込みコンピュータ技術の実験教材として大変有効であるといえる。

しかし、ライントレース走行の実験では、反射型フォトセンサの誤動作により、直角のコースを走行できなかったライントレースカーが数台あり、実験が進まなかった学生もいた。今後は、センサの高さの調整を行い、全てのライントレースカーが直角を曲がれるようするなど、学生が実験をスムーズに行えるように改善していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 小林 茂 著: Prototyping Lab, pp.47-76, オライリー・ジャパン(2010)
- 2) Massimo Banzi 著, 船田 巧 訳: Arduino をはじめよう, pp.91-187, オライリー・ジャパン(2009)

【受理年月日 2013年 9月30日】