

## フィジカル・コンピューティング教育における Arduino の導入と実践

青山 義弘

福井工業高等専門学校 電子情報工学科(〒916-8507 鯖江市下司町)

yfa@fukui-nct.ac.jp

### Introduction to the practice of Arduino in physical computing education

Yoshihiro AOYAMA

National Institute of Technology, Fukui College (Gesshi, Sabae, Fukui 916-8507, Japan)

(Received October 19, 2015; Accepted December 7, 2015)

Various interface methods between humans and computers have been developed. Physical computing has created a new material for designers and artists using electronics. By connecting various input and output devices, information exchange with the computer is possible in various forms. We have introduced the Arduino system, an easy platform in physical computing education. By using sensors and actuators, our students have practiced writing a program into the microprocessor of an Arduino board. Since the grade 4 and 3 students were experienced in creative engineering exercises for physical computing education, we report the results.

**Key words:** Arduino system, physical computing education, creative engineering

#### 1. はじめに

人間とコンピュータ間のインタフェースがいろいろと開発されている中で、身体的インタラクションに関してフィジカル・コンピューティング教育が情報教育に導入されている。そして、それを簡単に取り扱えるプラットフォームとして、Gainer や Arduino が開発され活用されはじめている[1, 2]。福井高専(以下、本校)では、情報教育の一環の中で、フィジカル・コンピューティング(Physical Computing)教育として Arduino Uno ボードを導入してそのボードのマイクロプロセッサ(マイコン)にプログラムを書き込み、周辺機器、特にセンサやアクチュエータを活用してその教育を実践したので、報告する。

#### 2. フィジカル・コンピューティング教育

近年流行しているテレビゲームは、リモコンのボタンを押したり、リモコン自体を振ったりして、カメラ、距離センサ等の複合センサを用いた遊び方は様々な形態を可能にしている。また、パソコンやスマートフォンなど完成された製品で画期的なフィジカル・コンピューティングが実用されている。フィジカル・コンピューティングはエレクトロニクスを使ってデザイナーやアーティストのために新しい素材を生み出している。

コンピュータにセンサやアクチュエータなどを組み合わせることによって、いろいろな入出力デバイスをつなぎ合わせて様々な形態でコンピュータと情報交換が可能となり、フィジカル・コンピューティング教育が実践され

ている。それは、情報社会とつながる本格的な情報教育として極めて重要である。

本校電子情報工学科では 2011 年から、Arduino Uno ボードを導入して LED(ランプ)、モータ、リレーなどを活用してフィジカル・コンピューティング教育を電子工学演習(実験)で実践した。Arduino による計測制御を行うことにより、創意工夫の幅を広げることが教育目的である。

具体的な事例を挙げると、Arduino Uno ボードに関する基礎を学習して、学生自身で LED キットをつないで光らせ動かして実習する。次に、Arduino の言語が C 言語に似ていることから、その言語に慣れ、簡単なプログラミングを行う。Arduino の場合、プログラムのことを“スケッチ”というのがこの演習では使わない。学生自身のアイデアでいろいろな I/O 周辺キットをつないで自作のシステムを構築して実習する。作ったシステムをクラスで発表し更なるシステムの改良を検討し、レポートする。学生が創った作品を見せるだけでも創造的刺激を学生自身が共有することができる。

以上の教育方針で、フィジカル・コンピューティング教育を実践した。この学習は、クリエイティブな技術者が専門知識なしで創造的なデザインを構築できるとともに、手軽にマンマシンインターフェースを実験的に実装できる能力を育成することが目的である。ハードウェア設計情報の EAGLE ファイルが無料公開されており、誰でも Arduino システムを組み立てることができるのが特徴である。

### 3. Arduino Uno ボード

Arduino は 2005 年にイタリアで考案されたコンピュータ・システムであり、その CPU は 8 ビットマイコン ATmega328P である。このマイコンはパソコンに搭載されている Windows コンピュータと違い、CPU、メモリ、周辺機器が 1 つのパッケージに入っている集約型コンピュータである。

この演習で使用したものは Arduino Uno ボードで、開発プラットフォームは Arduino IDE という総合開発環境を利用した。Arduino IDE のバージョンは 1.0 で、無償で利用できるソフトウェアで Windows, MacOS X, Linux で

動作する。Arduino Uno ボードの本体構成は図 1 のようで、スイッチやコネクタ等に関する詳細はその使用説明書に委ねる[3]。Arduino の現行モデルは USB 経由でプログラミングされる。



図 1 Arduino Uno の本体

Arduino Uno ボードには図 1 のようなコンピュータ本体をはじめとして IC などの部品類がむき出し状態で搭載されており、いろいろな I/O 機器との接続には可視的で教育的効果が高いものである。これは、14 本のデジタル I/O ピンの利用が可能でそのうち、6 本は PWM (パルス幅変調) 信号を生成することができ、他に 6 本のアナログ入力を用意されている。Arduino Uno ボードとブレッドボードを用意してハンダ付けしなくてもキットの先を差し込むだけで様々な計測制御システムを構築できる。

演習実験では、電子回路にはランプ、スイッチ、センサ、モータなどアクチュエータを基板に取り付けることができる。公開されている Arduino コミュニティや各種シールド類を活用していかに創造的なシステムを構築するかがフィジカル・コンピューティング教育の課題である。Arduino IDE を活用することで学生は自分がやりたいことをスピーディに実現し実践することができるのが特徴である。

#### 4. 創造工学演習実験

本校電子情報工学科 4 年生の創造工学演習は PBL 演習である。この演習においてハードウェアを設計するためには各種センサを利用することが考えられ、その利用法を簡単に学ぶために Arduino Uno ボードを導入して表 1 のような演習テーマを設定し、受講させた。図 2 に示すようにパソコン(PC)と Arduino Uno ボードと入出力装置でいろいろなシステムを構成させた。図 3 にその接続構成の写真を示す。実験の手引きとしては、船田巧訳の Massimo Banzi 著 “Arduino をはじめよう” [4]を用いた。

実験に必要な機器はすべて用意して学生に演習させて、実験結果と考察のレポートを提出させた。

表 1 実験 “Arduino をはじめよう”

基本問題 (テーマ)	
1. LED 点灯実験	Arduino IDE の基本的な使い方を学ぶ。プログラム、簡単な回路を示してください。
2. 物体とセンサの距離をはかる	プログラム、簡単な回路を示してください。 値はどのように変動するか?
3. 振動を検出する	プログラム、簡単な回路を示してください。 値はどのように変動しましたか?
4. 物体の色を判定する	プログラム、簡単な回路を示してください。 値はどのように変動しましたか?
5. 人の動きを検出する	プログラム、簡単な回路を示してください。 値はどのように変動しましたか?
6. 加速度センサをつなぐ	プログラム、簡単な回路を示してください。 値はどのように変動しましたか?
7. LED を光らせる	プログラム、簡単な回路を示してください。 LED の明るさはどのように変動しましたか?
8. フルカラーLED を光らせる	プログラム、簡単な回路を示してください。

9. 7segLED を光らせるプログラム、簡単な回路を示してください。

10. 振動モータを動かす  
プログラム、簡単な回路を示してください。

11. スイッチのチャタリング問題を解決してみよう  
スイッチを 2 回押したことを認識して LED を ON/OFF させるとか、スイッチを押すごとに 7segLED をカウントアップさせるとか、スイッチのチャタリングを回避しよう。

#### 応用問題

これらのセンサを組み合わせ、おもしろい回路を作ってください。

#### 考察

使用したセンサの仕組みを調べてください (3 つ以上)。アナログ出力の代わりに用いた PWM (Pulse Width Modulation)について調べて下さい。

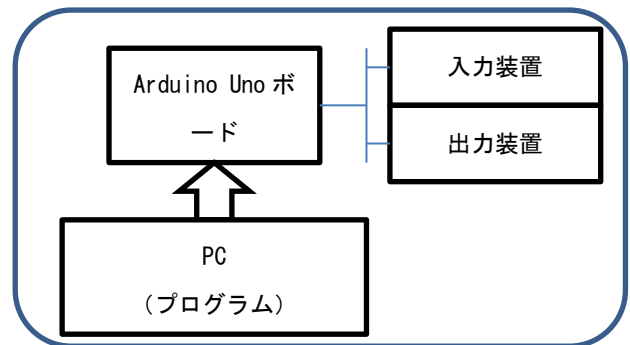


図 2 システムの構成

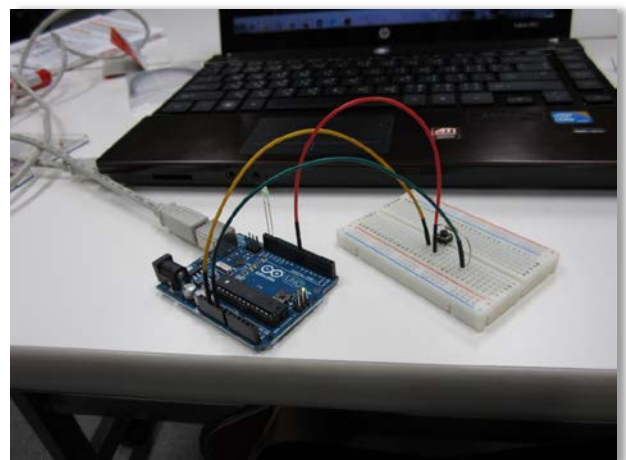


図 3 パソコンとの USB 接続

本校では、高専機構主管のショートステイ留学生制度で、2011年10月の1か月間、タイ(キングモンクット工科大学)の留学生2名を受け入れた。その学生の専門分野が情報工学であったために本校電子情報工学科での受け入れとなり、実習テーマとしてArduinoによる1か月間の組込みシステム演習とした。システム設計実験では、PHPによるWebプログラム作成とArduinoをシステム設計実験とした[5]。

ハードウェアの実験に関してもどれくらいのことを学んできているかわからないため、回路設計やプログラミングを同時に学べる組込みシステム演習を行うことにした。対象として、インタフェースが容易なArduino を選択し、スイッチ、LED、赤外線センサなどを接続し、その制御プログラムを作成する実験を行った。

### 5. 演習実験の学生成果

学生が実践した演習成果の一部を報告する。

まず、Arduino IDE の基本操作を全員に学習させるために簡単なプログラムと LED 点灯回路を提示させ、点灯動作実験を行った。Arduino Uno ボードと LED(赤)を用意し、そのカソードを GND にアノードを端子 13 に図 4 のようにセットした。図 5 に回路図を示す。

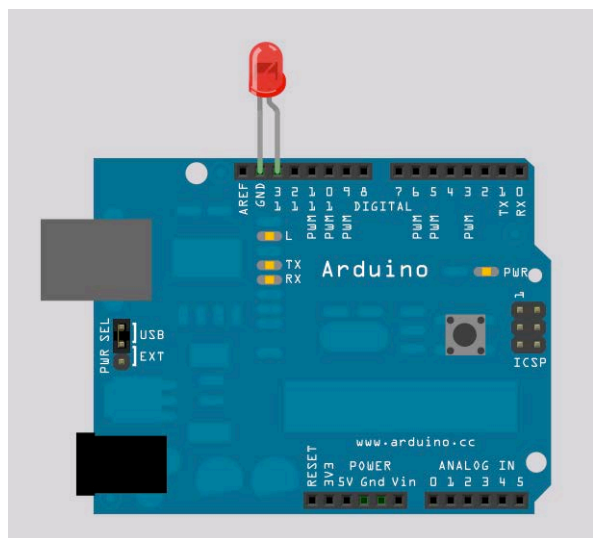


図 4 LED のカソード(K)を GND にアノード(A)を端子 13 にセットした図

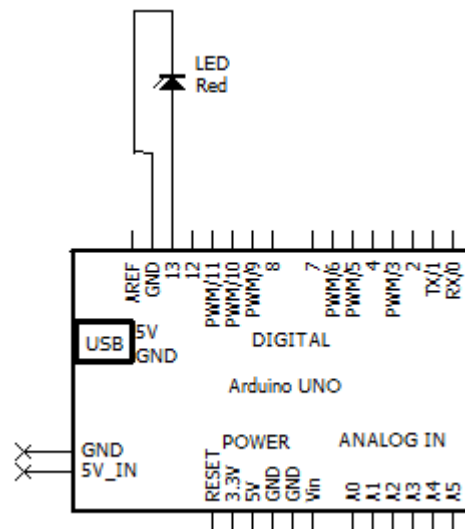


図 5 LED 点灯実験の回路

プログラムのアルゴリズムとして、

- ① LED 点灯
- ② 一定時間待つ(1 秒)
- ③ LED 消灯
- ④ 一定時間待つ(1 秒)

以上のことを Arduino のプログラムで示すと、表 2 のようになる。プログラムの中の//は注釈である。

表 2 Arduino プログラム

```
const int led_out = 13

//LED connected to digital pin 13

void setup() {

// initialize the digital pin as an output
pinMode(led_out, OUTPUT);
}

void loop() {

digitalWrite(led_out, HIGH);

//① set the LED on

delay(1000); //② wait for a second

digitalWrite(led_out, LOW);

//③ set the LED off

delay(1000); //④ wait for a second

}
```

先の4つの操作は loop() で行っており、1000ms のタイマーは1秒であり、LED の ON は HIGH で 5V、OFF は LOW で 0V を出力する。delay() 関数はインターバルを取っている。はじめに setup() で出力端子を 13 と宣言している。出力は digitalWrite() 関数となる。

次に、スイッチに挑戦した。プッシュボタンをスイッチセンサとして使って LED をコントロールして、回路を組んだのが図 6 である。

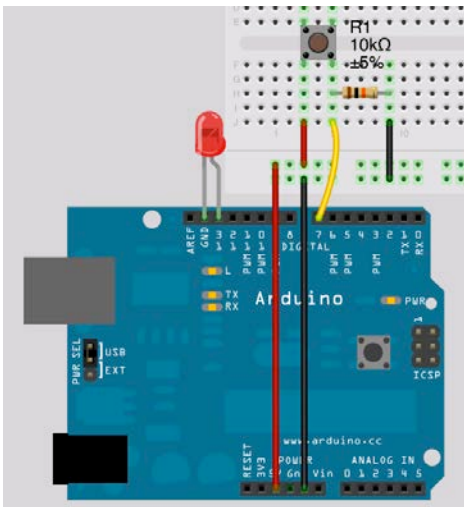


図 6 プッシュボタンによる LED のスイッチ制御

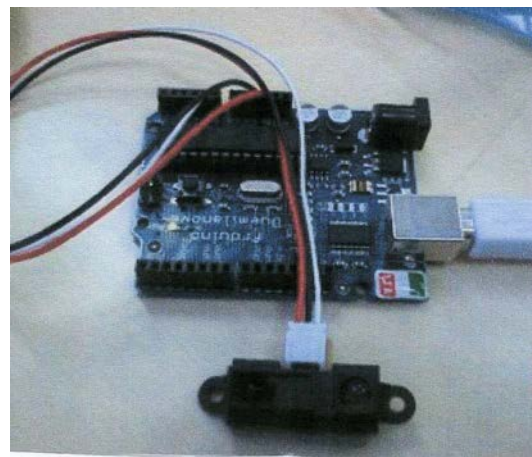
スイッチングのプログラムを表 3 に示す。使用する関数は、出力が digitalWrite() なら、入力 は digitalRead() であり、プッシュボタンの ON/OFF 情報を獲得する。

以上、LED 点灯制御における演習成果を記述したが、テーマ 2 の物体とセンサの距離を測るのが図 7 である。距離のサイズは 0 から約 8cm として制御値が変動した。距離センサのアナログ値の獲得は analogRead() 関数で行った。以下、この関数を多用した。物体の距離を測定する原理は三角測量法で、赤外線発光ダイオードと受光素子を用いた。

表 3 スイッチングのプログラム

```
const int buttonPin = 2;
// プッシュボタン pin を 2 につなぐ
const int ledPin = 13;
// LED pin を 13 につなぐ
```

```
int buttonState = 0;
// プッシュボタンの状態変数の初期化
void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
}
void loop() {
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  // プッシュボタンが ON で HIGH、OFF で LOW
  if (buttonState == HIGH) {
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
}
```



キヨリ	0	〜	約 8cm
値	0	〜	630

図 7 物体とセンサの距離測定

テーマ 3 の振動の検出を図 8 に示す。振動の検出には圧電スピーカなる圧電素子を用いた。振動センサを指でたたいた時の強度値が 0 から 186 と変動した。

テーマ 4 の物体の色を判定するのは図 9 に示す。システム構成は、赤外線 LED(発光部)とフォトトランジスタ(受光部)からなり、LED 発光の光が物体に当たった反射光を

受光する仕組みである。物体の色の強度値は、黒 1020 から平常色 950、そして白 480 と変動した。

テーマ 5 の人の動きの検出を図 10 に示す。人や物体から赤外線が出ており、これを焦電センサで感知してその動きを検出する。検知できるエリア内に温度変化が生じたら、焦電素子に波長の違う赤外線が当たり、「人が来た。」と検出する仕組みである。何もしない 500 から手をかざす 1013 までの値に変動した。

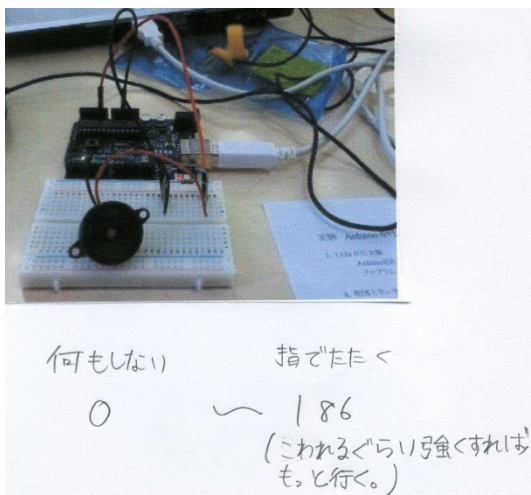


図 8 振動の検出

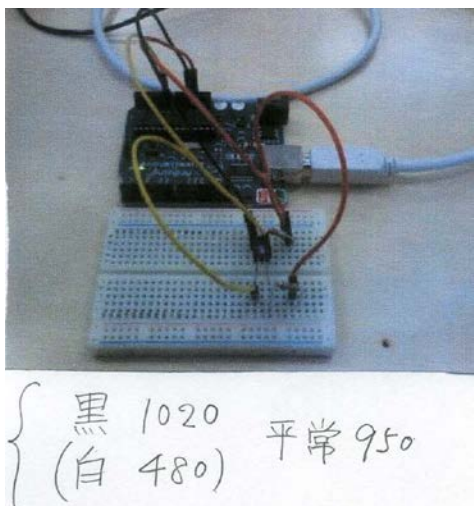


図 9 物体の色判定

テーマ 6 の加速度センサによるものを図 11 に示す。加速度センサは、錘が 3 軸で支えられており、その錘が左右、上下に動いた分のバネの移動量で加速度を測定する仕組みである。静止 700 から動かす 400 までの数に変動とした。

テーマ 9 の LED アレイを光らせるのを図 12 に示す。学生のコメントとして、「確認のためだけだったため、そのままプログラミングしたがもっとしっかり作るなら、配列に入れるべき。」とあった。



図 10 人の動きの検出

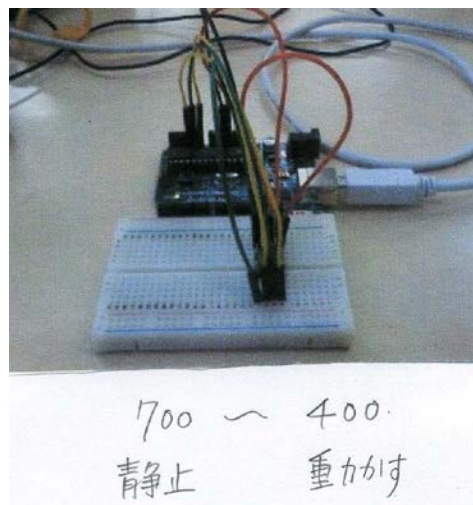
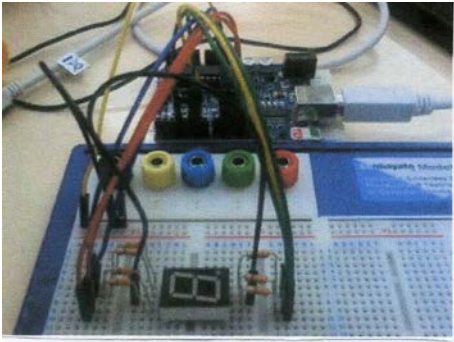


図 11 加速度センサ

応用問題として、Arduino ボードに無線通信できる Xbee 無線キットを取り付けて、受信側に数値表示の 7segLED をセットした通信システムを図 14 に示す。送信側から数値 “8” をパソコンから送ると、受信側の 7segLED に数字 “8” が表示された。このような無線通信システムも構築できた。



○ 石確認のためだけだったため、そのままプログラミングしたかもっとしっかり作るなら、配列に入れるべき。

8 と 7秒ごとに点滅

図 12 7segLED 表示

タイからの留学生には1か月間というショートステイなので Arduino による計測制御システム作りは最適な課題であった。なぜならば、彼女らはタイでの在学中に Arduino によるフィジカル・コンピューティング教育を受けておらず、基礎からの学習であったので、教育的効果があった。特に、ショートステイ留学を終えた報告会では、Arduino によるシステム作りの報告があり、その一部として図 15 のように電圧を変えて 3 色の LED を点灯させるシステムや、図 16 のように 7segLED を用いた電圧レベルの表示システムを作成した。学生によると Arduino システムは初めての体験実習だったということなので、使用した一式をそれぞれの学生にタイへの帰国の際持ち帰りの学習成果として持たせた。

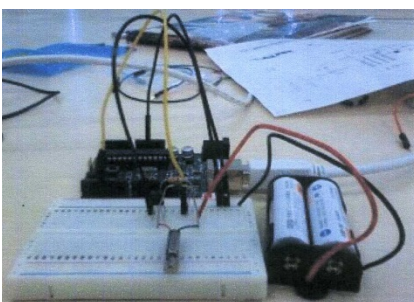


図 13 振動モータの動作

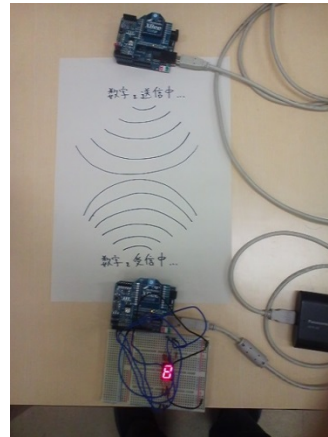


図 14 無線通信で数値を送受信したもの

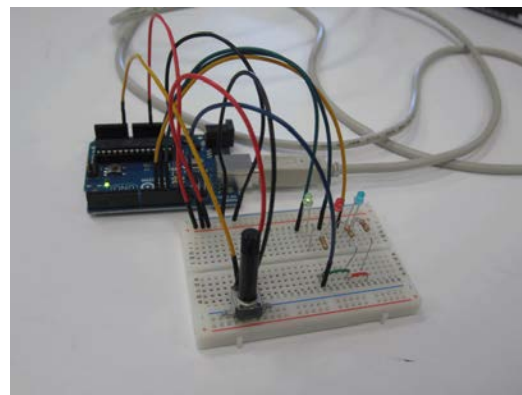


図 15 電圧を変えて 3 色の LED を点灯

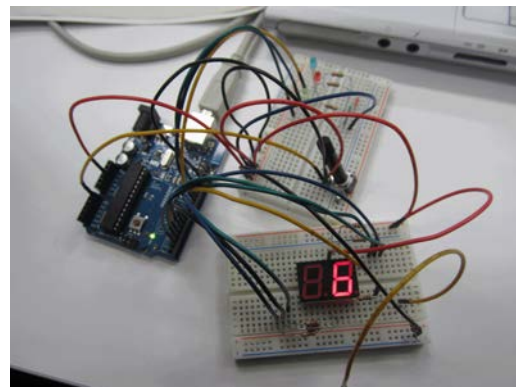


図 16 7segLED で電圧レベルの表示

## 6. アンケートと評価

2012 年に Arduino ボードを用いた創造工学演習を 4 年時に履修した 5 年生にアンケートを実施し 42 名クラス中 Arduino 実験経験者 15 名が回答した。また、2013 年に電子情報工学実験 II において 3 年生が Arduino ボードを用いて実験を行い、うち 29 名が回答した。以下に整理する。

Arduino ボードの導入以前は 8 ビット・マイコンボード

(H8)を用いて演習させていたので、その学習度比較を尋ねたところ、図 17 と図 18 のようであった。設問 1 は H8 マイコンボードと Arduino ボードとの分かりやすさを問い、設問 2 はマイコンでの勉強・興味の度合いを問い、設問 3 は Arduino での勉強・興味の度合いを問うたものである。図 17 と図 18 ではほとんど同じ傾向で、Arduino の方が優位であった。

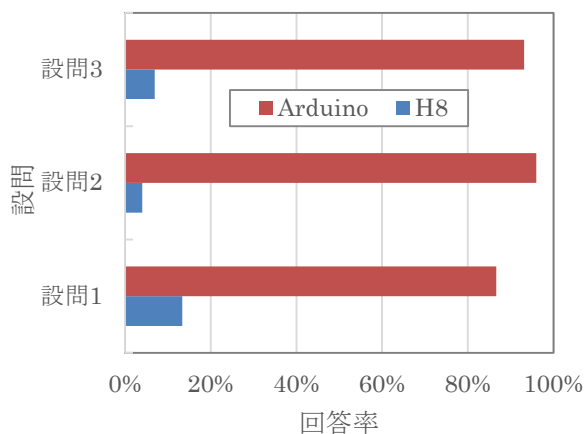


図 17 2012 年時の回答結果 (回答人数 15 名)

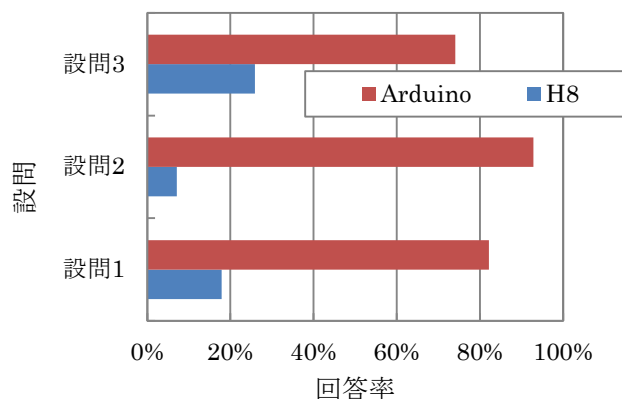


図 18 2013 年時の回答結果 (回答人数 29 名)

アンケート結果からわかることは、H8 ボードに比べて Arduino ボードで学んだ方が学習度は大きかった。しかし、システム処理における興味は Arduino のシステム完成度が高い分、薄いと回答された。これはプログラミング教育の高級言語とアセンブラ言語の関係に似ている。プログラミング入門からその応用では高級言語を用いる方が向いている。しかし、アセンブラ言語を学ぶことによりシステムの細かい部分を学んだり動作させたりすることができ

る。Arduino も入門者や簡単にシステムを作成するには最適であり、H8 はシステムをもっと詳しく学ぶものに向いている。よって、フィジカル・コンピューティング教育には Arduino システムの導入は効果的であったと言える。

学生が個々に回答した記述意見は以下のものであった。文末を○で区切り記述し、Arduino をフィジカル・コンピューティングに導入したことで教育的効果があったことを示す。

実際に回路を組み、プログラム、LED、センサを使った実験ができたことがよい○実験が分かりやすく楽しくでき、勉強になった○音センサや光センサ、圧力センサなど、いろいろな入力装置を使って簡単な動作実験ができた○ H8 は配線が難しくわからなかったけど Arduino の方は理解しやすかった○LED を光らせるだけでなく、他の器具を取り付けてやってみたい○ H8 の実験を行った後、Arduino を使ったので全体的によく理解できた○ゲームを作ってみたい○動作を確認しやすく理解しやすかった○ H8 よりも配線が少なくハードウェアも設計しやすかった○ロボットと連動させてみたい

## 7. 謝辞

Arduino 導入及び学生指導に関して本校電子情報工学科の齊藤徹氏と高久有一氏のサポートがあったことを表記し、深謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 菊池拓己、伊藤敏、井上祥史、“Processing による簡易な制御教育環境”、科教研報、Vol.24, No.1, pp.9-10(2011)
- 2) 松浦敏雄、中村亮太、西田知博、“プログラムによる計測と制御のしくみを学ぶための学習支援ソフトウェア”、2012 PC Conference, pp.77-78(2012)
- 3) Arduino Uno ホームページ (<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>)
- 4) Massimo Banzi, “Arduino をはじめよう”、オライリー・ジャパン(2009)
- 5) 青山義弘、齊藤徹、高久有一、吉村忠与志、「組込みシステム演習を取り入れた留学生ショートステイ教育プログラムの事例紹介」、高専教育フォーラム(2013)