

# Arduino と Raspberry Pi を用いた、 高専向けフィジカル・コンピューティング教育システムの開発 \*

堀内泰輔\*<sup>1</sup>・宮寄敬\*<sup>2</sup>

## Development of the Physical Computing Education System for Technical Colleges Using Arduino and Raspberry Pi

Horiuchi Taisuke and Miyazaki Takashi

キーワード：フィジカル・コンピューティング，Arduino，Raspberry Pi，マイコン制御，高専教育

### 1. はじめに

筆者らは過去 5 年間に渡り、高専にふさわしいフィジカル・コンピューティング教育のための教育システムを開発し、様々な場面において実践を行ってきた。本論では、開発した 2 つのシステムを中心にして概要を述べ、授業等での実践結果と評価について報告する。

### 2. フィジカル・コンピューティング教育の目的

「フィジカル・コンピューティング」(以下、PhCom と略す)とは、物理的世界とコンピュータ上の仮想的な世界との間でのコミュニケーションを行う分野のことで、ニューヨーク大学の ITP で 2004 年に、T・アイゴらを中心に教育プログラムとして開始された。

全国高専での情報処理教育は、ソフトウェアに関する教育がほとんどで、PhCom に代表されるようなハードウェア教育は行われていないのが現状である。しかし、PC やマイコン組込機器をブラックボックスとして扱うことは、モノ作りを主眼としている高専にあっては、大きな問題点と思われる。このことから、すべての高専学生に対して基本的な PhCom 教育

を行うべきと考えられる。

PhCom 教育を低学年の段階で行うことで、高専に求められている創造性の向上にも資する。これは、各種実験科目・総合実習科目・卒業研究はもちろん、国際化を意識した留学生や国際交流などのような場でも実践が可能となる。

### 3. 教育対象とシステム開発の過程

#### 3-1 本システムの教育対象

本校では 1～2 学年において、所謂、混合学級制を敷いている。これは、5 つの工学科(機械、電気電子、電子制御、電子情報、環境都市)の各学生を均等に 5 クラスとして分割して一般教育を行い、専門科目の授業でのみ各学科に分かれて受講する、というものである。

筆者は、1 年生の科目「情報処理基礎」を担当している。この科目は専門科目ではあるが、一般科目の範疇に入れて、5 学科の学生が各学科の個別の特性を活かしつつ、情報リテラシーのみならず、プログラミングの基本を学習させている。

PhCom 教育は電子工学と情報工学との産物であるために、電子・情報系以外の学生には不必要ではないか、という意見がある。本校の場合、機械工学科と環境都市工学科がその対象となるが、エンジニアとしてはマイコン制御の基本がどのような分野においても必要であり、IoT や AI が重要視されている将来においては、ますます PhCom 教育が高専生にとって必須のものとなる。

以上により、本システムの教育対象としては全学科の 1 年生とした。さらに高学年において PhCom を用いて創造的なシステムを設計・開発させることを目的に、電気電子工学科 4 年生の専門科目授業でも

\* 2017 年 2 月 19 日 日本産業技術教育学会 第 32 回情報分科会研究発表会で報告

本研究は、平成 24~28 年度長野高専特別経費の助成を受けて行われた

\*1 一般科嘱託教授

\*2 電気電子工学科教授

原稿受付 2017 年 5 月 22 日

使うこととした。

以上により、5年次での卒業研究での PhCom の本格的利用が可能となり、短期留学生などの受け入れ時にも PhCom 教育の成果が大いに活用できることとなる。

### 3-2 本システムの開発過程

本システム全体を概観するために、開発を開始した5年前からの流れを平成29年度の予定を含めて表1に示す。

表中の「A1～3」は最初に開発した Arduino を用いた教育システムであり、部品やカリキュラムの追加とともにバージョンアップを行ってきた。

「P1～2」は創設した科目「フィジカル・コンピューティング」での実践を示す。さらに「R1～2」は応用的な PhCom 教育のために、Raspberry Pi を用いた教育システムを意味する。

## 4. Arduino 教育システムの開発

### 4-1 Arduino の選定

最初の平成24年度には、Arduino マイコンを用いた教育システムを開発した。

Arduino プロジェクトは2005年にイタリアで教育用マイコンの開発として始まり、本システムの開発を始めた5年前は、世界中の Web サイトにて様々なコンテンツが紹介され、初心者でも簡単に目的のマイコン制御システムが製作できる状況であった<sup>2)</sup>。

一方、Raspberry Pi も教育用マイコンとして2012年2月に発売が開始された<sup>3)</sup>。本システムは同年6月頃に開発を開始したため、両機をそれぞれサンプル購入し比較検討を行った。その結果、低学年教育のしやすさと価格の両面から、Arduino を選定した。

前述の1年生の履修科目での教育プログラミング言語としては、従来から Processing を用いている。この言語は入門用として最適であるとともに、C言語系の文法であるために、多くの専門学科の科目で採用しているC言語の基本を効率的に身につけさせることが可能である。

一方で Arduino の開発環境は Processing と同等のものが用いられているために、Arduino 教育への移行も容易である、という大きなメリットがある。

### 4-2 本システムの概要

システムは図1に示すように、マイコンとブレッドボード上に配線されたセンサ/出力系部品とからなる。

マイコンのプログラミングは PC 上でを行い、デバッグ後のマイコンのオブジェクトプログラムは USB ポートを用いて、マイコンに転送・実行される。

表1 各システムの開発過程と授業等での実践

	H24	H25	H26	H27	H28	H29
1年生	A1	A2	A3	A3	A3	A3
2年生						
3年生						
4年生	A1	A2	A3	A3	A3、R1	A3、R2
				P1	P1	P2
5年生		卒業研究	卒業研究	卒業研究	卒業研究	卒業研究

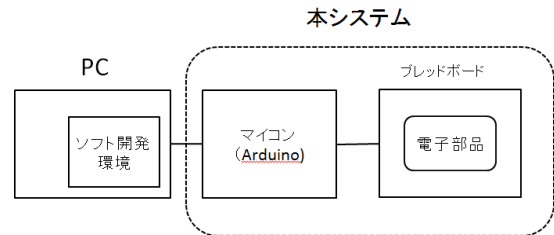


図1 本システムの概要

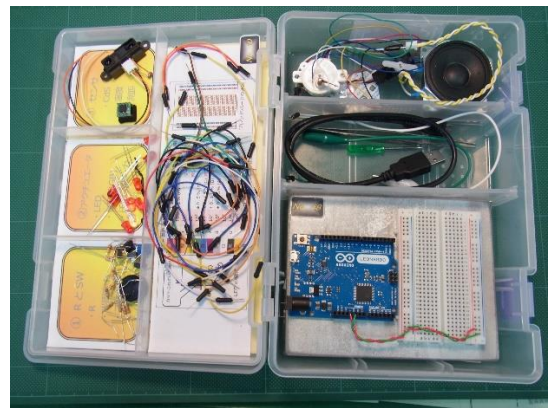


図2 Arduino 実験用セット一式 (A2)

図2には、開発したシステムの中核である、各学生用の実験用セット一式を示す。このセットとソフト開発環境を組み込んだ PC とにより、ブレッドボード上の部品の配置と配線、PC 上でのソフト開発、マイコンへの転送・実行という手順で、各種実験を行うことができる。

### 4-3 部品の選定

センサ系の部品としては、当初、温度・距離・光の各センサを用意した。また、アクチュエータ系の部品には、LED・カラーLED・圧電スピーカを選定した（表1のA1）。

その後、センサでは3軸加速度（A2）・焦電（A3）を、アクチュエータでは小型スピーカ・サーボモータ・ステッピングモータ（以上A2）、LCDパネル・DCモータ・LEDマトリクス・無線（Xbee）（以上A3）

を増設してきた。

#### 4-4 システムの評価

A1の時点にて、1年生全クラスと4年電気電子工学科の授業において、90分授業3コマを使って本システムの試用を行った。さらに、4年生ではその後総合実習を行った。

部品の配線では、時折、接続を間違えて実行がうまくいかない学生も見られたが、ハードウェア上での故障には至らず、初心者で安心して利用できるシステムであることが確認できた。ただし、配線のためのジャンパワイヤが接触不良であるものが散見された。これは、費用を抑えるために安価なものを選択したことが原因である。ブレッドボードも安価なものを選定したが、今回の試用ではトラブルは生じなかった。

システム評価のために、授業後にアンケート調査を行った。結果の一部を表2に示す。1年生では、どの学科の学生にとっても興味深い実験であり、かつ、将来も役立つものである、という、予想以上の反応・評価が得られた<sup>4)</sup>。

次年度以降のA2、A3でも同様のアンケートを実施し、システムのバージョンアップの成果も実証された。

一方の4年生の授業においては、1年生向けのカリキュラムの実施後に数コマ（年度によって異なるが2~4コマ）を用いて総合実習を行った。これは、オリジナルなシステムを製作させ報告させるもので、レポートには動画を添えることを規定した。この結果、それまでの専門科目の内容を活かした創造的な作品が多く見られた。

### 5. 科目「フィジカル・コンピューティング」

A3が完成した平成26年度に、応用的なPhCom教育を実践させるために、4年生全学科向けの選択科目「フィジカル・コンピューティング」を翌年度から創設することとした。定員は20名程度とした。カリキュラムは、前半と後半に分け、前半ではArduino

互換基板の製作、後半では3Dプリンタの製作と評価をその内容とした。前半においては、2DCADとプリント基板製作CADを学習させ、小型のArduino基板の回路設計、プリント基板製作、応用実験を行った。小型化のためにチップ部品の半田付けが失敗した学生も見られたが、2年間で平均70%程度の学生が完成させることができた。

後半の3Dプリンタの製作はArduinoの応用分野として採用したもので、1班4人構成として、各班1台の3Dプリンタ、全体で4台を製作させた。

この実習によって、機構部分の製作での機械工学的な側面、ソフト導入での情報工学的側面、調整作業での制御工学的側面の、様々な工学分野を総合的に履修させることができた。

なお、2年目は前年度に製作したものを分解後製作させた。1年目は部品加工に予想以上の時間がかかったが、2年目はそれが不要なことと、分解時に各部や全体の把握ができるため、分解と製作を合計しても1年目の所要時間を下回ることができた。

3Dプリンタの機構としては、製作が容易なデルタ型を採用したが、その半面、最後の調整に時間がかかるため、班によっては、完全な3Dプリンタが完成できなかった点が悔やまれる。

## 6. Raspberry Pi 教育システムの開発

Arduinoに続く、応用的なPhCom教育システムとして、Raspberry Piを用いたものを平成27年度より開発を始め、平成28年度後期より授業実践を行っている。

### 6-1 Raspberry Pi のハードウェア設計

Raspberry PiはArduinoとは違って完全なPCであるため、キーボード・マウス・ディスプレイが必要となる。これについては、予算やスペースの問題などから、既存のPCに接続しているものを利用することとした。

Raspberry Piには諸バージョンがあるが、最新で動作も高速な「3 Model B」を選択した。

LAN（有線/無線）が完備しているので、Webやスマホとの連携ができ、IoTへの利用が可能なため、応用的なPhCom教育として最適である。

OSを含めてソフトやデータは、ハードディスクでなくSDカードに置く構成になっている。容量が少ない面はあるが、16GBのものを用いればPhComとして十分であることを確認した。

Raspberry Piの唯一の欠点は、Arduinoには完備されていたアナログポートがなく、センサからのデータを受信するためには追加の回路(A/Dコンバータ)

表2 アンケート結果の一部

#### 実習への興味と理解度・意識

観点	1年生	4年生
楽しさ	63%	78%
有用性	57%	78%
部品理解度	61%	75%
プログラム理解度	31%	56%
ハードウェア容易性	30%	58%
ソフトウェア容易性	15%	49%
将来の利用予想	42%	78%
PhComの必要性	65%	75%

が必要になる点である。しかし、Arduino と連携することでこの問題は解消でき、Raspberry Pi では Arduino ではできない高レベルの機能活かすようにして、機能分散させることはコスト的にも有用な手法である。

開発した実験用セットを図 3 に示す。通常、Raspberry Pi には専用ケースが必要であるが、Arduino のシステムと同様に、MDF 板の上に固定することでこれが不要となる。また、電子回路の規模が大きくなる可能性を考えてブレッドボードを長いものにした。

なお、ブレッドボードとの配線には通常は、Raspberry Pi 側がメス、ブレッドボード側がオスのタイプのジャンパーを用いるが、Raspberry Pi 側にメス～メス変換コネクタを自作して配備し、Arduino と同様に両端オスのタイプのジャンパーを利用できるよう工夫した。

さらに、SenseHat という各種センサ（温度、湿度、気圧、3 軸加速度、ジャイロ）、カラーマトリクス LED（8×8）、ジョイスティックが搭載された拡張ボードを採用した。これにより、Arduino や A/D コンバータを使用することなく、主要なセンサ利用が可能となる。

さらに、Raspberry Pi 専用のカメラ（静止画、動画対応）も装備した。これにより、画像認識など AI 的な応用分野にも対応可能となる。

## 6-2 Raspberry Pi のソフトウェアの設計と教材

OS はフリーの数多くの Linux 系のものから選択できるが、今回は標準の Raspbian を選択した。

プログラミング言語の選定であるが、Linux OS であることから任意の言語が利用でき、Processing や C 言語を選択することもできるが、今回は Raspberry Pi の標準言語であり、AI にもよく利用されている Python3 を選定した。カリキュラム作成に関しては、平成 28 年度は 4 年生の授業の時間数の制約から、Linux 教育とカメラの利用を省略して、以下のような 4 コマ向けのものを作成した。

- (1) Raspberry Pi 概論
- (2) 速習 Python 入門
- (3) SenseHat プログラミング
- (4) Arduino との接続
- (5) 総合演習

平成 28 年度の実習の様子を図 4 に示す。

## 7. 卒業研究等での利用

これまでの授業実践により、各年度の卒業研究において、Arduino の効果的な利用がされてきている。

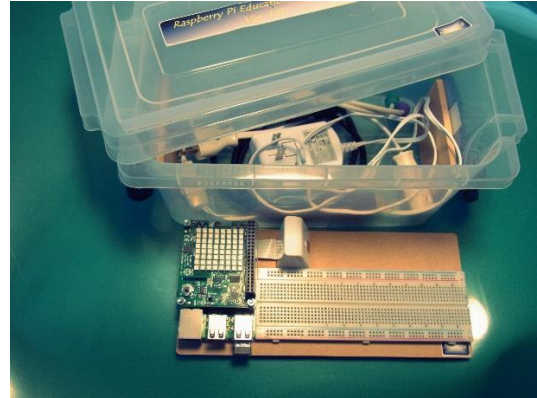


図 3 Raspberry Pi 実験用セット



図 4 Raspberry Pi 実習風景

以前は卒業研究テーマ用のマイコンとして PIC などが多用されてきた。しかし、このようなマイコンはプログラミングに多大な時間を要し、システムの完成まで到達できなかつたり、中途半端は機能不足のものになってしまう嫌いがあった。

しかし、Arduino は Web などにより非常に高速な開発を売りにしているだけあり、年度当初に予定した以上の機能を持ったものを完成させることができるようになった。筆者らの研究室での創造性を育む研究テーマを以下に羅列する。

- ①ウェアラブル健康管理システム
- ②小電力無線モジュール TWE-Lite を活用した人検出システム
- ③小電力無線モジュール XBee を使った屋内環境モニタシステム
- ④壁面測距機能の走行ロボットへの応用
- ⑤高齢者向け対話型ミニロボット
- ⑥スマホによる歩行ロボットコントロールシステム
- ⑦ドローンを活用した鳥獣被害防止システム

この他、年度によっては海外からの短期留学生を

受け入れる場合もあり、Arduino を用いたテーマを希望する学生が多く、開発システムを有効に利用できた。これが十分な研究成果に結びつき、海外学会での論文発表を行うこともできた<sup>5)</sup>。

## 8. おわりに

これまでの5年間に渡るPhCom教育を俯瞰するかたちで、その概要を報告した。開発当初では予想できなかったものに、IoTやAIの一般への普及があるが、これまでに開発した複数のシステムを使えば、効率的・効果的にその教育が可能である。

今後は、Raspberry PiによるPhCom教育システムをさらに拡張させ、IoTやAIをも包括する応用PhCom教育を実践していきたい。

**謝辞** 本研究は、科学研究費補助金(26350356、代

表：堀内泰輔)の助成を受けたものである。

## 参 考 文 献

- 1) Dan O.Sullivan, Tom Igoe: "Physical Computing", Thomson Course Technology(2004).
- 2) Massimo Banzì: "Getting Started with Arduino", O'Reilly Media(2009).
- 3) Matt Richardson, Shawn Wallace: "Getting Started with Arduino", O'Reilly Media(2012).
- 4) 堀内泰輔, 宮寄敬: "高専におけるフィジカルコンピューティング教育", 日本産業技術教育学会関東地区部会, (2016.2)など.
- 5) Fumiya Shinohara, Yohei Manabe, Takashi Miyazaki, Taisuke Horiuchi, Yam Man Fu, Lloyd and Naruki Shirahama: "Development of Movement Measuring System by Using Arduino and PIR Sensor", ISTS, 199, (2014).