

IoT 社会に求められる技術力と創造性を育む フィジカル・コンピューティング教育の実践 *

堀内泰輔*¹・宮寄敬*²

Practice of Physical Computing Education to Foster the Technological Capabilities and Creativity Required of IoT Society

Horiuchi Taisuke and Miyazaki Takashi

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

1. はじめに

筆者らは過去 6 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（以下，PhCom と略す）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¹⁾。本論では，昨年度後期に実施した科目「フィジカル・コンピューティング」において，創造教育に焦点を当てた総合実習を行い成果を上げたので，これを中心に概要を述べ，授業等での実践結果と評価について報告する。

2. 本科目設置以後の各年度の実践概要

平成 24 年度から 1 年生をターゲットとした基礎的な PhCom 教育システムを，Arduino²⁾を用いて構築し授業実践してきた。

さらに，応用的な PhCom 教育を実践するために，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」を平成 27 年度に設置した。ここでは，年度ごとに各カリキュラムと授業実践の概要について述べる。

初年度の平成 27 年度は，定員は 20 名程度とし，Arduino の応用を目標とした。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，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。

平成 28 年度は，前半は前年度を踏襲したが，後半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で，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。

なお，この年度に，Arduino に続く教育用マイコンである Raspberry Pi（以降，ラズパイと略す）を用いた応用的な PhCom 教育システムの開発を行い，他の科目（電気電子工学科 4 年選択）において，授業実践を行った。

そして平成 29 年度では，前年度に構築したラズパイシステムを全面的に用いて，創造教育を標榜する総合実習を取り込むためにカリキュラムの大改訂を行った。

* 2018 年 8 月 25-26 日 日本産業技術教育学会 第 61 回全国大会（信州）で報告予定

本研究は，平成 24~29 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 2018 年 5 月 18 日

3. カリキュラムの概要

3-1 カリキュラム

表1に、平成29年度「フィジカル・コンピューティング」(後期、1単位)のカリキュラムを示す。当初は、総合実習の時間を3週のみとした³⁾が、この科目が学修単位科目であり、自学自習時間の60時間が利用できるため、前半のテキストを用いた講義・実験の時間を少なくして、総合実習に7週、その発表会に1週を当てた。

学生のほとんどは、1年生でArduino教育を受けたのみでラズパイの経験がないため、その概論を第1週で行う。

第2週では、最低限のLinuxコマンドと簡単なシェルスクリプトのプログラミングを学ぶ。

第3~4週では、ラズパイでの主力言語であるPythonのプログラミングを学習する。学生は1年生でProcessingを全員が学び、専門学科ごとにC、Java、Fortranなどのプログラミングを経験しているが、Pythonの経験者が少ないためである。理解の助けとして、C言語とPython言語との比較資料を作成・配布した。

第5週では、Arduinoと同様に、各種センサとアクチュエータをブレッドボードに配線して実験するスタイルを採った。

採用した教科書⁴⁾には、センサとしてスイッチ、カメラ、加速度センサ、ジョイスティックが、アクチュエータとしてLED、DCモータ、ステッピングモータ、サーボモータが掲載されているが、Arduinoでの実験経験や予算の関係から、ジョイスティック、ステッピングモータ、サーボモータの各実験を省略した。

第6週では、1年次に学習したArduinoとの連携について学習する。これは、ラズパイとArduinoのそれぞれの利点を活かしたシステムの作成を総合実習において実現させるためである。

第7週のIoTへの応用では、IoTを意識させて、PCやスマホなどとの連携ができることを目的とする。これにより、総合実習のテーマ作成に幅を持たせることができる。

なお、第6~7週の内容は教科書に言及がないため、独自の教材を作成した。

第8~14週の総合実習においては、各自のアイデアによってテーマを設定して、創造的なシステムを設計・製作させる。最終週においては、総合実習で製作したもののプレゼンテーションを行わせて相互評価を行わせる。これらについては後述する。

表1 「フィジカル・コンピューティング」の
カリキュラム (平成29年度)

週	授業内容・方法	到達目標
1週	Raspberry Pi 概論	Raspberry Pi の歴史、機能が理解でき、使いこなすことができる。
2週	Linux 入門 (1) (2)	Linux の歴史、機能が理解でき、基本コマンドを活用できる。 Linux の応用コマンドが理解できる。 シェルスクリプトを読むことができ、基本的なシェルスクリプトのプログラミングができる。
3週	Python プログラミング (1)	C言語とPythonとの相違が理解できる。 Pythonを用いて数値計算のプログラムが理解できる。
4週	Python プログラミング (2)	オブジェクト指向の概念が理解できる。
5週	センサ・アクチュエータ制御 (1) (2)	各種センサをRaspberry Piで制御できる。 各種アクチュエータをRaspberry Piで制御できる。 センサとアクチュエータを連携できる。
6週	Arduino との連携	Arduino との連携が理解でき、Raspberry Pi との通信プログラムが理解できる。
7週	IoT への応用	IoT の意義が理解でき、近隣のPCとの通信プログラムが理解できる。 スマートフォンとの通信方法が理解でき、サーバを介した通信プログラムが理解できる。
8~14週	総合演習 (1) ~ (7)	これまでの講義・実習内容を元に、オリジナルなフィジカル・コンピューティングを用いたシステムの設計と製作ができる。
15週	総合演習 (8)	作成したオリジナルなフィジカル・コンピューティングを用いたシステムの、効果的なプレゼンテーションができる。

3-2 ハードウェア

実験用のハードウェア(ラズパイ、電源、ブレッドボード、各種部品など)については、前年度に構築した実験キットを貸与した。

また、キーボード、マウス、ディスプレイなどのIO機器については、情報教育センターのPCシステムを流用した。

総合実習に当たっては、学生各自所有ノートPCを、リモート端末ソフト(VNC⁵⁾)を用いて無線LANにて利用させるようにした。また、ラズパイ本体とその電源については、後述のように各学生に購入させた。これにより、センター外、時間外での実習が可能となった。

4. デモ教材の作成とデモ

これまで、Arduino教育の一環として、オリジナルなデモ(3次元LEDマトリックス、無線操縦の喋るタンクなど)を作成してきたが、ラズパイ教育用にもArduinoとの連携のデモとしての「2つのサーボモータによるルービックキューブ求解・実技ロボット」と、RasPi Zeroを用いた「問題画像入力カメラ付き数独求解・表示システム」、「走るAIスピーカー」の3つを作成し、授業中にデモを行った。これらを図1に示すが、これらは、総合演習時の大きな動機付けとなった。

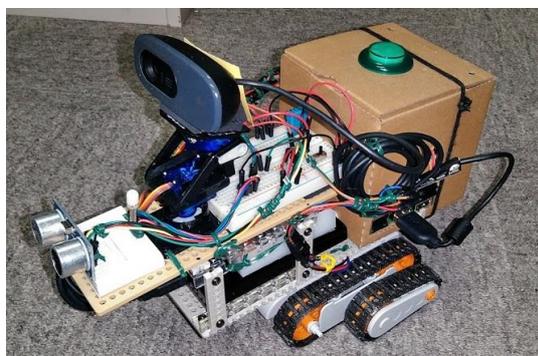
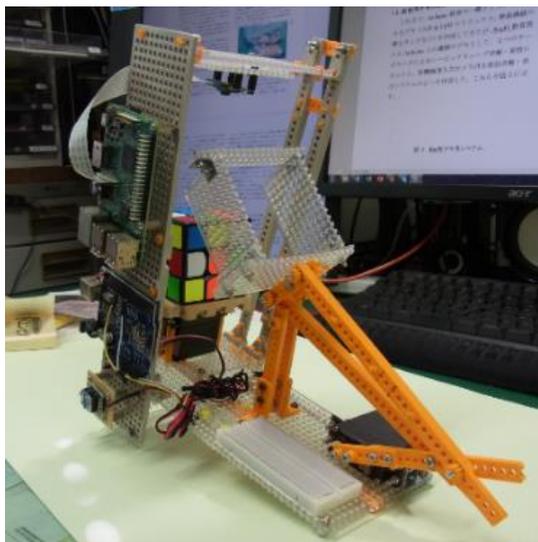


図1 3つのラズパイ用デモ教材

5. 総合実習の方法

5-1 総合実習の目的

前述のように、総合実習の目的は、1年次に学んだ Arduino と本カリキュラムで履修したラズパイと Python 言語の知識を総動員して、オリジナルな作品を設計・構築・発表することにある。

5-2 テーマの選定

この実習は、年間の約 1/4 の期間で行うため、回路やプログラミングを全て自力で行うことは不可能である。一方で、Arduino やラズパイを用いた様々な作品がインターネット上に公開されている。今回は、これらの既存の作品をいくつか組み合わせて、独自のユニークな作品を構築させることとした。

ただ時間的制約を伴うため、Arduino の利用は任意とした。

5-3 ラズパイ本体と必要部品

製作に必要なラズパイ本体と電源については、各学生の負担とした。これは、実習が終わっても5年次の卒業研究などで将来的に援用できるためである。また、ラズパイの機種は様々なものがあるが、小型で安価な Zero 系のものでも良いこととした。

これ以外の必要部品は、一人当たり 1 万円を上限として、自由に選択させた。この予算は本校の特別経費プロジェクトによるものである。学生には部品の購入依頼を提出させ、こちらで一括発注した。

5-4 総合実習の手順

実習の手順は、図2のように設定した。

テーマの設定に当たっては、個人面接を行い、その独創性、実現可能性を中心にチェックを行った。

次に、計画表を提出させ、いつまでにどこまでやるかを明確にさせた。

なお、⑨はケースを設計・製作させるものであるが、既存の 3D プリンタやレーザカッターも利用可とした。

6. 授業実践結果

6-1 テキスト部分の講義と実習

前半のテキスト部分の講義と実習については、予定通りこなすことができた。Python 言語はほとんどの学生が初めてであったので、C 系言語のイメージからの脱出が大変なようであったが、総合実習を行う程度のプログラミングは履修できたと思われる。

また、ラズパイを用いた実習も問題なく行えた。これは、Arduino での実習経験が大いに役立ったと思われる。

また、総合実習を行うための自分の PC とラズパイ

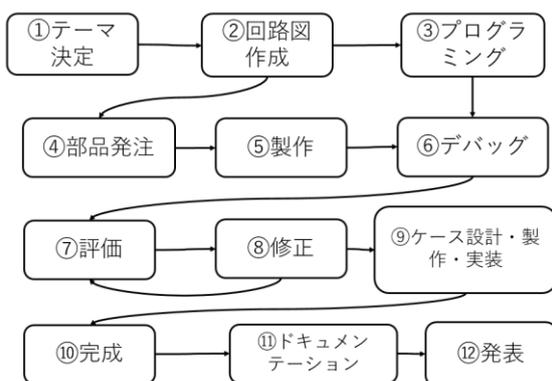


図2 総合実習の流れ

とのリモート接続もスムーズに行うことができ、学校でも寮でも自宅でも任意の場所での総合実習ができる環境が整えられた。これは、授業時間以外に実習を行うのに最適な環境と思われる。

6-2 総合実習の実践結果

各学生のテーマを各学生の所属学科（E:電気電子，S:電子制御，J:電子情報，C:環境都市）とともに表2に示す。テーマは多岐に渡ったが、ロボット系のものと時計に焦点を当てたものが多かった。

図3には、総合実習の1コマを示す。

また、図4には、作品例の1つを示す。この作品はAIスピーカの機能に加えてDCモータを用いて任意の方向に移動できる「チャットマシーン」である。ここでは、Arduinoにモータ駆動部分を、ラズパイに音声合成と音声認識部分、とそれぞれの得意分野を担当させて連携動作させたものである。

6-3 ラズパイの選定と部品代のコスト

ラズパイ本体は結果的に全員が Raspberry Pi 3 Model B を選定した。これは、Zeroは本体が安価であっても必要な部品や変換コードを要するため、省スペースが必要なテーマがなかったことによる。

1人1万円としていた部品代については、平均して6,000円程度で収めることができた。これは、同種のものをもとめて購入したこと、特に高額な部品を必要としなかったこと、一部の学生が自費購入したこと、Arduinoを利用しない学生が多かったこと、などによる。

6-4 発表会の実施と成績評価

総合実習の時間をできるだけ多く捻出するために、最終回に行う予定であった発表会は、試験後の特別編成授業の時間を利用して行った。

質疑応答を含め一人10分という制約の中でデモを含めて発表を行わせたが、プレゼン慣れしている学生が多く、十分な質疑応答の時間まで確保できた。

この科目の成績評価は、この発表会の内容に重点を置くが、各学生には自己評価の他に他学生の発表内容を評価させる、という相互評価の手法を取り入れた。図6には、最終成績の順位を横軸に、教員評価（成績）と相互評価（自己評価，他者評価）との関係を示すが、他者評価と教員評価が同じ傾向を示しており、学生が真面目に発表を聞き適正な他者評価を行っていることが確認された。また、自己評価は全般に低い傾向が見られた。このように、教員再度からでは目が届かない、学生固有の状況を相互評価によって得ることができ、通常の教員のみによる評価に比べて、精度の高い成績評価が行えた。

表2 総合実習での各テーマ

学科	テーマのタイトル
E	RASPI TWEET BOT
E	デジタル・アナログ時計
E	チャットマシーン
S	音声認識世界時計
S	Raspberry Pi を用いた音楽再生機器の作成
S	植物監視システム
S	簡易防犯システム
S	Web カメラによる顔認識・自動追尾
S	Raspberry Pi を使用した RC タンク
S	Blynk を使った音楽再生サーバの製作
J	自撮りロボットの作成
J	Binary Clock
J	画像認識
J	Smart alarm
C	Raspberry Pi で動かす RC 戦車



図3 総合実習の1コマ

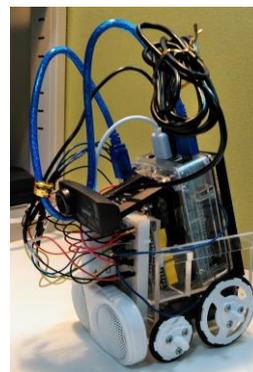


図4 作品例「チャットマシーン」



図5 発表会の様子

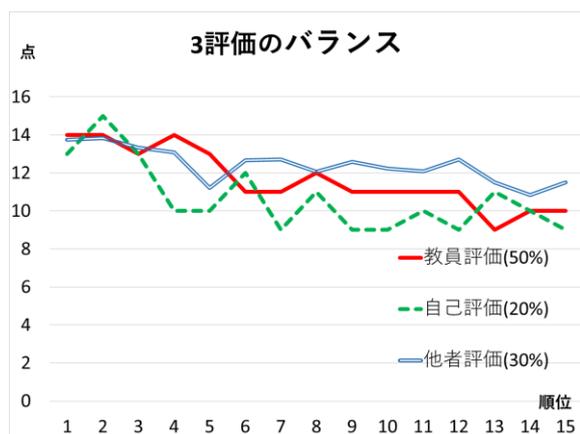


図6 教員・他者・自己評価のバランス

表3 アンケート集計結果(部分)

Q1 Raspberry Piの概要は理解できましたか	人数	Q9 総合演習全般について、予定通りできましたか	人数
よく理解できた	2	ある程度できた	3
ほとんど理解できた	6	普通	3
中程度理解できた	4	あまりできなかった	6
Q3 Pythonプログラミングの基本は習得できましたか	人数	Q10 総合演習のハードウェアについて、予定通りできましたか	人数
よく習得できた	1	完全にできた	2
ほとんど習得できた	1	ある程度できた	4
中程度習得できた	7	普通	2
余り習得できなかった	3	あまりできなかった	3
		まったくできなかった	1
Q4 センサやアクチュエータの制御方法は理解できましたか	人数	Q11 総合演習のソフトウェアについて、予定通りできましたか	人数
よく理解できた	1	ある程度できた	5
ほとんど理解できた	3	普通	1
中程度理解できた	6	あまりできなかった	6
余り理解できなかった	2		
Q5 Arduinoとの連携の技術を習得できましたか	人数	Q12 総合演習の時間数は適当でしたか	人数
ほとんど習得できた	2	適当	7
中程度習得できた	1	少ない	5
余り習得できなかった	4		
全く習得できなかった	5		
Q6 自分のノートPC持ち込み方式について	人数	Q13 総合演習の部品代は1万円以内でしたが…	人数
自分のPCの方がよい	12	適当	10
		もっと安くてもよい	1
Q7 ラズパイ本体は個人負担でしたが…	人数	Q18 発表会について、発表時間(5分)は?	人数
個人負担がよい	9	適当	8
学校からの貸与がよい	3	短すぎる	4
Q8 総合演習は…	人数		
非常にやってよかった	7		
ある程度やってよかった	5		

7. システム評価

本授業の評価を行うために、発表会終了直後に受講

学生(受講者数18名,発表者15名,回答者12名)に対してアンケート調査を行った.主な項目についての結果を表3に示す.

まず,前半のテキスト内容の理解(Q1~4)については,中程度が多かった.但し,テキストにはなかったArduino連携(Q5)についてはほとんどが理解できなかったと回答している.これは,実習時間が短いと思われる.

Q6の自分のノートPC持ち込みについては,全員が学校のPCよりも良い,と回答した.これは,時間と場所を選ばない演習方式が評価された結果である.また,Q7のラズパイ本体の個人負担については,2/3の学生が個人負担,1/3の学生が学校からの貸与と回答している.数千円とはいえ,学生の経済負担が必要なため,今後は貸与のための予算を確保していきたい.

総合演習(Q8~13)については,概ね良好な結果が得られたが,時間数が少なかつたために計画通り進められた学生が比較的少なかつた.また,自由記述の感想でも,演習の方式は非常に良いが時間が足りない,という意見が大勢を占めた.

自由記述の一部を以下に示すが,今回の総合演習を概ね好評に受け入れられたことがわかつた.

- 自分で操作して覚えることが重要だと思うので,作業する時間が多く取られていて良かった.基本的な技術の説明に重点を置いていて余計なことが少ないのも良いと感じた.
- 授業内で色々な作品を紹介してくれていたため,より発想力が高まつた.
- 開催時期的に忙しい学生が多い印象だったが,総合演習は十分な期間が確保されていた.
- 製作の時間は少なかつたが,分野への興味を広げる,という意味ではよい経験になったと思う.

以上の結果により,今年度の実施に当たっては,テキスト内容を精選することにより総合演習の時間をさらに多く取ること,今回の総合実習作品をデモ教材として利用する,などを中心に改良を行っていきたい.

8. おわりに

これまで6年間に渡って構築してきたすべてのPhCom教育システムの集大成として,創造教育の側面を持つ授業の実践例を示し,ユニークな総合演習の実施に一定の評価を受けたことを報告した.この内容は昨今の社会や教育界で重要キーワードとなっている「IoT社会」に要求される技術者教育の一例でもある.

今後は,もうひとつのキーワードである「AI」のた

めの教育システムの方向も取り入れて、新しい時代の高専のための技術者教育を模索していきたい。

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) 堀内 泰輔, 宮寄敬, 西正明, 山本博章: Raspberry Pi と Arduino の連携による, フィジカル・コンピューティング教育システムの開発, 日本産業技術教育学会第29回関東支部大会, B-6, pp. 30-31, (2017. 12).
- 2) Massimo Banzi: "Getting Started with Arduino", O'Reilly Media(2009).
- 3) 本校 Web シラバス (平成 30 年度) : https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/PublicSyllabus?school_id=20&department_id=12&subject_id=0097&year=2015
- 4) 石井モルナ・江崎徳秀: みんなの Raspberry Pi 入門 (第3版), リックテレコム(2016. 12).
- 5) VNC (VIRTUAL NETWORK COMPUTING): <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/vnc/README.md>