

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：53601
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2014～2016
 課題番号：26350356
 研究課題名(和文) フィジカルコンピューティングと3D指向の物作りでのアルゴリズム教育システムの研究

 研究課題名(英文) Research on algorithmic education system in physical computing and 3D oriented material making

 研究代表者
 堀内 泰輔 (HORIUCHI, Taisuke)

 長野工業高等専門学校・一般科・教授

 研究者番号：90132604
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、フィジカル・コンピューティング(以下、PhC)を教育するための各種システムの開発である。PhCとは、通常のPCの画面内だけでなく、外界の状態を検知したり装置を制御することをいい、今後の利用の拡大が予想される。

本研究では、ArduinoとRaspberry Piという2種類のマイコンを用いたPhC教育システムを開発し授業実践を行った。また、PhCの応用である3Dプリンタに焦点を当て、教育用3Dプリンタを開発し授業実践を行った。さらに、PhCによるものづくり教育が促進できるように3Dプリンタやレーザカッタを導入し、各種の小型ロボットを開発して授業で利用できるようにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is development of various systems for educating physical computing (referred as PhC). PhC refers not only to the screen of a normal PC but also to the detection of the state of the outside world (temperature, brightness, etc.) and control of a device (such as a motor), and further use in the future is expected.

In this research, we developed a PhC education system using two kinds of microcomputers Arduino and Raspberry Pi, and carried out class practice. In addition, focusing on 3D printer which is application of PhC, we developed new 3D printer for teaching and practiced it in the class. In addition, we introduced 3D printers and laser cutters to promote manufacturing education by PhC, and developed various small robots (voice dialogue, puzzle solution etc.) so that they can be used in the class.

研究分野：情報教育、情報工学

キーワード：フィジカル・コンピューティング Arduino Raspberry Pi 3Dプリンタ レーザカッタ FabLab アルゴリズム教育

1. 研究開始当初の背景

「フィジカル・コンピューティング」(以下、PhC)は、ニューヨーク大学で始まった教育プログラム・研究指針であり、これまでのマウスやディスプレイに留まるコンピューティングを、現実世界の様々な実物の制御にまで拡張するもので、新しいコンピュータの姿として教育界への影響が大きく、いろいろな教育機関でその模索がなされている。また、PhCの核となるマイコンとして、2005年にArduinoがイタリアの大学で、その開発環境とともに誕生し、教育界を中心に世界中に広まっている。

申請者は以上の動きに同調して、これまでにPhCの教育を、Arduinoを活用して安価かつ効率的に実施できる実験用キットシステムを50セット製作し、実際の授業で実践・評価してきた。また、Arduino開発環境で用いるプログラミング言語であるProcessingによるプログラミング教育についても、これに先んじて行っている。さらに、3Dプリンタに関しても、早くからその教育面での有用性を感じ、小型3Dプリンタを試作し、授業などで提示してきた。

2. 研究の目的

上記の背景において、本研究の目的の第一は、種々の教育機関においてPhCをより効果的に教育するためのシステムを構築することである。

そして第二の目的は、PhC教育の応用としての3Dプリンタ技術の教育を通して、3D指向のものづくりのためのアルゴリズム教育を、効果的・有機的に行うための一連の教育システムを開発し提供することである。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的の遂行のために、以下の諸目標を設定し、この順序で研究を遂行した。

(1) 小・中・高専・大学等の各レベルに対応した、PhC教育のためのハードウェア教材の選定

すでに、高専生を対象とするArduinoを用いたPhC教育システムを構築し、授業での評価を行っている。ここでは、制御対象のセンサやアクチュエータとして基本的なもののみを選定したが、PhC教育をあらゆる教育機関で実施できるようにするため、複数のレベルにふさわしい各部品群を選定することがここでの目標である。

(2) PhC教育を意識した、Arduino開発環境の改善と拡張

Arduino開発環境は、そのソースも公開されている。これを拡張することにより、PhC教育を行いやすくするための改善や拡張が可能となる。

(3) 教育用3Dプリンタの設計と試作

3Dプリンタは、3D指向のアルゴリズム教育を行う上で非常にふさわしいものであるため、学生に実際に3Dプリンタを製作させることで、そのメカニズムを理解させる。その上で、3D印刷のためのアルゴリズムを考えさせ、Arduino上にそれをインプリメントさせる。これにより、これまでのアルゴリズム教育に欠けていた3D指向のアルゴリズムの教育を効果的に行える。

なお、RepRapというボランティア団体により、3Dプリンタのハードウェアやソフトウェアが公開されている。これを援用することで、効率的に学生の実験が行えるメリットがある。

ここでの目標は、以上の実験を学生に行わせるためのフレームワークを構築することである。

(4) 3Dプリンタを活用した、アルゴリズム教育のための教育用ソフトウェアの開発と評価

(3)により、3Dプリンタの製作を通して3D指向のアルゴリズムの教育を行えるが、ここでは、従来の1D・2D指向のアルゴリズムの直感的理解を促進するための、斬新的な教育用ソフトウェアの開発を目標とする。現行のアルゴリズム教育では、その進行過程を文字や数字で表示する方法が採られる。しかし、文字の羅列はわかりにくいため、これをグラフィックスに変換してビジュアルにその過程を捕らえることができるようにすることも可能である。これは2Dでの手法といえる。

本研究では、学生の理解をさらに容易にするために、ここに3D手法を投入する。つまり、ディスプレイに表示するのではなく、3Dプリンタにその過程を出力していく。これにより、積層型3Dプリンタであれば、下層から上層に時間軸の流れとしてアルゴリズムの途中過程を目で見たり、手に取っても実感できる。このような手法は3Dプリンタなくしては実現できないもので、時宜にかなった応用であり、本研究の独創性と斬新さに繋がるものである。

(5) 小・中・高専・大学等の各レベルに対応した、パッケージングとコースウェアの整備

最後に、以上のシステムを複数の教育レベルに対応して簡単に利用できるようにするためのパッケージングを行う。さらに、小学校から大学院レベル、ひいては社会人に向けた各パッケージに最適なコースウェアの整備も欠かせないものとなる。これらが最終段階の目標である。

以上の5つの目標を達成するために、初年度には(1)~(2)と(3)の前半、2年目には(3)の後半と(4)、最終年度には(5)を順次研究していく計画を当初立てた。

4. 研究成果

ここでは、前述した(1)～(5)の各目標ごとに、それに関係した研究成果について述べる。

(1) 小・中・高専・大学等の各レベルに対応した、PhC 教育のためのハードウェア教材の選定

まず高専向けのハードウェア教材としては、平成 24 年に開始した低学年用の PhC 教育向けの Arduino を選定してこれを拡張する方針とした。また、高学年向けの教材としては、各種マイコンの比較検討を行った結果、Raspberry Pi を選定した。

一方、小中学校向けのマイコンも同様に比較を行い、ichigojam を選定した。

(2) PhC 教育を意識した、Arduino 開発環境の改善と拡張

PhC 教育では、どのようなセンサやアクチュエータを採用するか決定することが重要となる。初期の Arduino 教育システムでは、温度・距離・光の各センサと、アクチュエータ系の部品として、LED・カラーLED・圧電スピーカを選定したが、その後はこれまでに、センサでは 3 軸加速度・焦電を、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、LCD パネル・DC モータ・LED マトリクス・無線 (Xbee) を増設してきた。

本研究では、高専の低学年をターゲットにして、最適な PhC 教育について検討の結果、図 1 に示すような最終的な Arduino 教育用実験キットを 50 セット製作した。



図 1 高専低学年向け Arduino 教育用実験キット

本システムの評価は、1 年生と 4 年生の授業で、同時に開発したカリキュラムと実験マニュアルにより行った。授業後にアンケートを実施したが、その一部 (センサーに関する興味) を図 2 に示す。このように、学年により興味の対象が異なることがわかり、低学年向けとは異なる高学年向けの PhC 教育システムの必要性が明確となった。

次に、①で選定した Raspberry Pi を用いた高専高学年向けの PhC 教育用の実験キットの設計と構築を行った。

Raspberry Pi は Arduino とは違って完全な

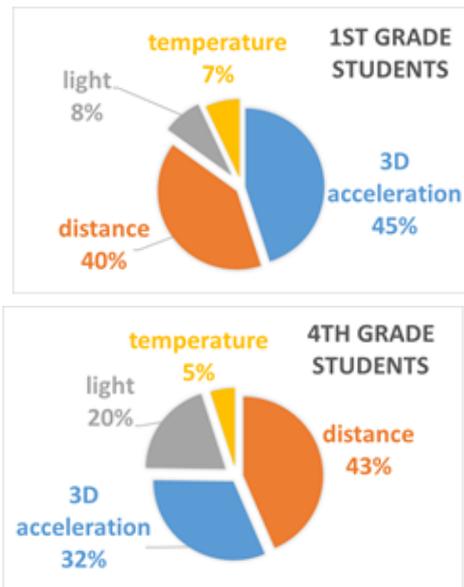


図 2 アンケート結果 (一部)

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 への利用が可能のため、応用的な PyCom 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 PyCom 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) 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、



図 3 高専高学年向け Raspberry Pi 実験用セット

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に工夫した。

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。

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 Rasbian 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、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

以上で、PhC の基本から応用までを包含した教育用システムが構築できたが、さらなる展開を図るために、Arduino と Raspberry Pi とを接続して、それぞれの得意分野を協調させた応用システムの教育のためのデモ教材をいくつか開発した。

最初に、東京都立大学で開発された「マグボット」を製作し、ハードウェアとソフトウェアの両面で、デモ内容がより充実するように改造を行った。

マグボットは簡易な小型ロボットであり、首を回転したり目を点滅できる (Arduino による) ほかに音声合成機能も備える。これに音声認識機能 (Raspberry Pi による) を追加して、簡単な会話ができるものに改造した。

次に、パズルとして有名なルービックキュームを実際に回転させて 6 面を完成させるロボットを設計・開発した。これを図 4 に示すが、2 つのサーボモータの制御を Arduino

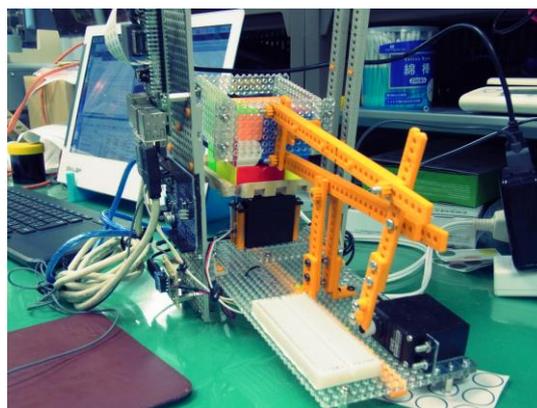


図 4 ルービックキューブ解法ロボット

に、解法のアルゴリズムの実装を Raspberry Pi で、それぞれ分担させて、2 つのマイコン間のシリアル通信により連携させている。これらは、今後の授業でのデモとしての活用のほか、総合実習での製作のターゲットとしても利用して行きたい。

(3) 教育用 3D プリンタの設計と試作

以上の基礎となる Phc 教育を補完し、応用的な Phc 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」を翌年度から創設し、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。

この教育用 3D プリンタの設計については、部品コストの低減化と製作の容易さから、デルタ型を採用した。

最初は、設計した 3D をプリンタに必要な各部品をそれぞれ買い集めて試作を行ったが、国内では高価な部品も多く、結局、同程度のキットを海外から輸入することとした。

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から、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。

図 5 には、授業中の製作の様子を示す。

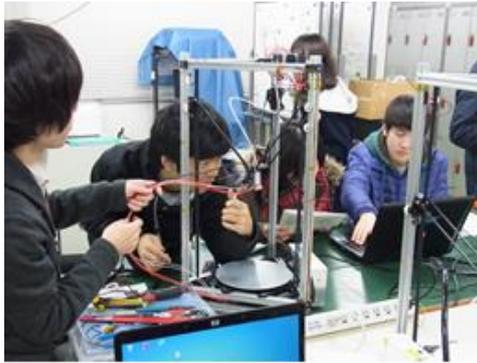


図5 教育用3Dプリンタ組立の様子

(4) 3Dプリンタを活用した、アルゴリズム教育のための教育用ソフトウェアの開発と評価

当初は、3色の印刷可能な3Dプリンタを購入予定であったが、価格が低下しないことと、3色ではアルゴリズム教育の面からは色が少ないことがわかり、市販のプリンタを援用したフルカラー対応の3Dプリンタの導入を検討した。

しかし、印刷結果の色の品質が良くないことがわかり、本研究に最適なカラー対応3Dプリンタを設計することとした。この設計には予想以上に時間を要しており、研究期間内には完成できなかった。今後はこの完成に向けて研究を継続したい。

教育用のアルゴリズムについては、すべてのアルゴリズムの基本とも言うべき、ソーティングを第一段階として選定した。また、プログラミング言語として Raspberry Pi でも採用されていて最近注目度が高い Python を選定した。

カラー対応の3Dプリンタがネックになっていることから、別のアプローチも試みた。これは、近年低価格化が著しいレーザカッターを用いるものである。レーザカッターであれば任意の色の部材の加工ができ、加工速度も3Dプリンタに比較すると一桁以上も速い。

フィジカルコンピューティングの分野では、近年、各地に FabLab が設置されてきている。これは、3Dプリンタやレーザカッターなどの機器や電子工作用の工具や作業スペースを提供するもので、ものづくり教育のひとつのアプローチとして注目されている。

ものづくり教育を全面に置いている本校などの高専では、3Dプリンタの導入は進んでいるものの、レーザカッターは高価なこともあり、産業用の大型レーザカッター以外はほとんど導入できていない現状にある。

一方で、最近数十万円オーダのキットが多数販売されるようになってきている。そこで、20万円台の国産のキットを購入して製作を行った。これを図6に示す。

今後は、既設の3Dプリンタとともに専用の部屋に設置し、ミニ FabLab として学生や地域住民に対して公開して行きたい。



図6 レーザカッター組立結果

(5) 小・中・高専・大学等の各レベルに対応した、パッケージとコースウェアの整備
 予定では、この研究の最終段階で、開発したシステム全てをパッケージ化して Web 等を用いて公開することとしていたが、Arduino システムのみの公開準備を行っている状況である。

ここ数年の PhC に関する大きな動向として IoT が非常に注目されている。2017 年度から3年間に渡る科研費を取得できた(課題名: 「IoT 社会を支えるフィジカルコンピューティング教育の教材開発と拡充に関する研究」)ため、これからの研究成果を含めて、世界の教育界に向けて公開を行っていきたい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

①堀内泰輔, 宮寄敬, 淀優介, 西正明, 山本博章: Arduino と Raspberry Pi を用いた、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 32 回情報分科会(上越)研究発表会 講演論文集, (2017. 2), pp. 71-74. 査読無し

② Taisuke Horiuchi, Takashi Miyazaki, Yusuke Yodo, Yasuki Yokoyama, Hiroaki Yamamoto, Masaaki Nishi: Development of Physical Computing Education Systems for Technical Colleges using Free Softwares, SEIA2016, The 2nd International Conference on Sensors and Electronic Instrumental Advances, 65, (2016. 9), pp. 65-66. 査読有り

③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). 査読無し

④ Takashi Miyazaki, Fumiya Shinohara, Taisuke Horiuchi, Yusuke Ohira, Hiroaki Yamamoto, Masaaki Nishi: Health Checking System Using Wearable Health Device and PIR Sensors, SEIA2016, The 2nd International Conference on Sensors and

Electronic Instrumental Advances, 67,
(2016.9), pp.67-68. 査読有り

⑤Yusuke Yodo, Takashi Miyazaki, Taisuke Horiuchi, Noriyuki Tanaka, Naruki Shirahama: Mutual Evaluation System Using Video and Web for Making Circuit Experiment, ISATE2015, The 9th International Symposium on Advances in Technology Education, (2015.9), pp.122-127. 査読有り

⑥堀内泰輔, 宮寄敬: Arduino を用いたフィジカルコンピューティング教育環境の充実, 日本情報科教育学会第7回全国大会講演論文集(1-B1-4), (2014.7), pp.7-8. 査読無し

⑦Fumiya 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, 4th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2014), 199, (2014.11), p.127. 査読有り

⑧堀内泰輔, 宮寄敬, 山本博章, 西正明: Arduino を用いたフィジカルコンピューティング教育環境の開発と実践, 日本産業技術教育学会第26回北陸支部大会講演論文集, (2014.11), p.5. 査読無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀内 泰輔 (HORIUCHI, Taisuke)
長野工業高等専門学校・一般科・教授
研究者番号: 90132604

(2) 研究分担者

宮寄 敬 (MIYAZAKI Takashi)
長野工業高等専門学校, 電気電子工学科・
教授
研究者番号: 10141889

(3) 連携研究者

山本 博章 (YAMAMOTO Hiroaki)
信州大学・工学部・教授
研究者番号: 10182643

西 正明 (NISHI Masaaki)
信州大学, 教育学部, 教授
研究者番号: 50218103