

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01168

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文) Study on development and expansion of teaching materials for physical computing education which supports IoT society

研究代表者

堀内 泰輔(Horiuchi, Taisuke)

長野工業高等専門学校・一般科・特命教授

研究者番号：90132604

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：小型・高機能で利便性の高いマイコンの出現と、安価で多種多様なセンサ・アクチュエータの普及により、フィジカルコンピューティング(以下、PhC)が出現した。更に昨今はネットワークの発達と拡大によりIoTが安価に実現できるようになり、これまでの情報処理教育にこれらの新技術に対応させることが、すべての教育機関において急務となっている。

本研究では、まず高等教育機関向けの教育システムの構築を行い、高専において実践した結果、予想以上の教育効果を上げることができた。さらに、小学校向けの教育システムを構築して実践の結果、こちらについても単なるプログラミング教育以上の成果を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

PhCならびにIoTという新技術のための教育システムが構築できたことで、情報処理教育や工学教育等の分野への学術的意義が認められる。

高等教育機関向けのPhCならびにIoT教育システムの構築については、従来の教育手法から脱皮してアクティブラーニングを主眼とした。このために学生が必要とするコンテンツ、ハードウェア等を総合的・網羅的に開発できたため、これらをWeb等により社会一般に公開することで、高等教育機関への貢献面で社会的意義の達成となる。更に、小学校向けの教育システムの構築についても、2020年から必修化されたプログラミング教育のための大きな貢献が期待され、初等学校教育への社会的意義と成り得る。

研究成果の概要(英文)：Physical computing (hereinafter called “PhC”) has emerged due to the advent of compact, high-performance, highly convenient microcomputers and the widespread availability of inexpensive and diverse sensors and actuators. Furthermore, due to the recent development and expansion of networks, the IoT can be realized at low cost, and it is an urgent need for all educational institutions to make these new technologies compatible with the information processing education that has been done so far.

In this research, we first constructed an educational system for higher education institutions and practiced it in a technical college. As a result, we were able to improve the educational effect more than expected. Furthermore, as a result of constructing an educational system for elementary schools and putting it into practice, we were able to obtain more than just programming education.

研究分野：情報処理教育

キーワード：Arduino Raspberry Pi micro:bit フィジカルコンピューティング IoT教育 小学校プログラミング教育 AI教育 農業におけるIoT

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ここ数年における小型・高機能で利便性の高いマイコン (Arduino など) の出現と、安価で多種多様なセンサ・アクチュエータの普及により、これまでの単なるコンピューティングに加えてフィジカルコンピューティング (以下、PhC と略す) が簡単に実現できるようになっている。

この応用として、最近では IoT (Internet of Things) のキーワードとともに、コンピュータのみならず様々な物体に通信機能を持たせインターネット接続することで、相互の通信により自動認識・制御や遠隔計測が可能な時代となった。

さらに、IoT のカギとも言うべき無線 LAN や WiFi のための安価かつ小電力な部品やモジュール (XBee、TWE-Lite、ESP8266 など) が続々と市場に出てきている。また、これを制御したりデータ保存するためのサーバについても、従来のように高価な専用サーバを用いる必要はなくなり、サーバとして十分な機能と速度を持つ、超低価格な高機能マイコン (Raspberry Pi など) が容易に入手できるようになっている。

以上の背景により、これまでの情報処理教育がコンピューティングのみであったことから、PhC や IoT のための新しい教育が急務となっている。

本研究は、これまでの研究成果 (2014~2016 科研費) である PhC 基礎教育システム (以下、第 1 期と略す) の構築を土台として、IoT 教育としての PhC 応用教育システム (以下、第 2 期と略す) の開発を行うものである。

2. 研究の目的

急激に社会的要請が強まっている PhC と IoT に対し、PhC 応用教育としての IoT 教育システムの構築を最終目標とする。これを達成するための目標群は以下の通りである。

- (1) 第 1 期の成果を集大成し、これまでターゲットとした高専等の高等教育機関での低学年向けの PhC 基礎教育システムを見直すことにより、小・中学校においても利用できる教材化を行うこと。
- (2) 高専等の高等教育機関での高学年向けの PhC 応用教育システムを構築すること。
- (3) PhC 応用教育システムをさらに拡大して、高専専攻科や大学 3・4 学年向けのシステムを構築すること。
- (4) IoT 教育のための、実社会に適応可能な具体的なシステムとして、農業での農産物生育管理のための IoT 援用システムを構築すること。

3. 研究の方法

- (1) 高等教育機関低学年向け PhC 基礎教育システムの見直しと小学校向け教育システムの構築
PhC 基礎教育システムとして開発した、高専 1 年生向けの Arduino 教育システムについて、これまでの実践で得られた知見をもとに、教育効果と学生の意欲向上を目標に改良を加える。

次に、小学校でのプログラミング教育に PhC を盛り込むことを目標に、マイコンの選定と教材作成を行う。

- (2) 高等教育機関高学年向けの PhC 応用教育システムの構築

平成 26 年度に開設された科目「フィジカル・コンピューティング」でのカリキュラムを全面的に改訂して、安価な IoT 用マイコンとして定評のある Raspberry Pi を用いた PhC 応用教育システムを構築する。

- (3) PhC 応用教育システムの拡張

(2) で構築したシステムの延長として、AI 教育が可能な教材を開発し、高専専攻科や大学 3・4 学年向けの高度な PhC 応用教育システムを構築する。

- (4) IoT 教育援用のための農産物生育管理システムの開発

以上の、各レベルの PhC 教育システムに対応した、実社会に適応可能な具体的なシステムの一例として、農業での農産物生育管理のための IoT 援用システムを構築する。

4. 研究成果

- (1) 高等教育機関低学年向け PhC 基礎教育システムの見直しと小学校向けの教育システムの構築

これまでに構築してきた Arduino 教育システムについて、学生の意見などを元に、**図 1** のような実験キットに改訂を行った。これにより、PhC に必要な基本的なセンサやアクチュエータを網羅して、学生が創造的に実験できる環境が整った。授業での実践結果では、これまでより顕著な学生の興味や反応の向上が見られた。

次に、小学校での必修化となるプログラミング教育に PhC を盛り込むことを目標に、マイコンの選定とカリキュラムの構築、ならびに実践を行っ



図 1 Arduino 実験用キット

た。その結果 micro:bit がコストと実用性の面で最適であることが判明し、Scratch 言語によるプログラミング教育と、基本的なセンサ・アクチュエータとして、LED・スピーカ・温度センサ・方位センサ等の制御が学習できる教材を作成した(図2)。この実践として、地域の小中学生向けの講座において実習させた結果、小学校高学年においても十分な興味を持って PhC や IoT の基礎が履修できるという大きな成果が得られた。

(2) 高等教育機関高学年向けの PhC 応用教育システムの構築

Arduino に続く、応用的な PhC 教育システムとして、Raspberry Pi を用いたものを H27 年度より開発を始め、H28 年度後期より授業実践を行った。構築した Raspberry Pi 実験用キットを図3に示す。このキットにはマイコン本体の下部に 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装備しており、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。また実験に十分な大きさのブレッドボードを配し、Arduino と同じ感覚で実験できるように配慮した。

これを科目「フィジカル・コンピューティング」(表1にカリキュラムを示す)において、Python 言語の習得と基本的な PhC 教育を行った後に、総合演習として、「Arduino と Raspberry Pi を連携させたオリジナルなシステムの作成」という課題を出題した。これは、学生の創造力を伸ばすことを目標にしており、アクティブラーニングの形で実施した。学生はインターネット検索によりあらゆる分野で Raspberry Pi が利用されていることを理解させた上で、多くの入門者向けの記事やフリーの各種ツールやライブラリを援用することで、学生独自のシステムを構築させた。通常、このような実習を行わせるには長期間の実習時間が必要となるが、インターネット上の

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。
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選択できる。
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。



図2 micro:bit 実験用教材の一例



図3 RaspberryPi 実験用キット

表2 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
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	Q12 総合演習の時間数は適当でしたか	人数
Q5 Arduinoとの連携の技術を習得できましたか	人数	ほとんど習得できた	2
ほとんど習得できた	2	中程度習得できた	1
中程度習得できた	1	余り習得できなかった	4
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
Q7 ラズパイ本体は個人負担でしたが...	人数	もっと安くてもよい	1
個人負担がよい	9	Q18 発表会について、発表時間(5分)は?	人数
学校からの貸与がよい	3	適当	8
Q8 総合演習は...	人数	短すぎる	4
非常にやってよかった	7		
ある程度やってよかった	3		

情報を組み合わせるだけでハードウェアやソフトウェアが構築できるため、授業時間外の必要な学修時間の確保のみで、ほとんどの学生が独自システムを構築できた。

表2には、事後に行ったアンケート調査結果の一部を示すが、概ね良好な結果が得られた。

(3) PhC 応用教育システムの拡張

(2)での総合実習は、過去3年度に渡って実施してきたが、最近ではAI関連のテーマ(特に画像認識)も多くなってきている。しかし、AIで主流となる機械学習において、Raspberry Piの実行速度が問題になる場面が生じており、PhC 応用教育システムを拡張して、並列プログラミングの習得のためのデモ教材を作成した。

このシステムを図4に示すが、最新版のRaspberry Pi 3 Model B+16台搭載したクラスタとなっている。先行事例では、LANケーブルやUSBケーブル(電源用)の取り回しに苦労している様子が見られたため、できるだけ細く短く弾力性のあるものを選定した。デモシステムとしての考慮事項の一つに携帯性がある。よって、駆動用PCを除いて、一体化する必要から、小型のスチールラック(3段)を用いた。1段目にはスイッチングハブを、2段目にはラズパイ16台を積層型ケース(4台用)を4つ用いて設置した。また、構築時に必要となるインターネット接続用ルータも奥に格納した。3段目(最上段)には電源(USB用)を載せることになるが、駆動用ノートPCを載せられるように、電源は3段目の下側にぶら下げる方式とした。さらにデモ効果を高めるために、カラーLEDマトリックスパネルを全面に取り付けることとした。これにより、実行状態をノード(各Raspberry Pi)ごとにビジュアルに理解できる。

このシステムの結果として、ノード数を増加させていった過程での実行時間の減少割合を図5に示すが、この実装では約10ノードまでは実行時間の短縮が得られた。今後は通信環境の改良を図りつつ多数ノードでの時間短縮を目標としたい。

(4) IoT 教育援用のための農産物生育管理システムの開発

このシステムの目的は、実社会でIoTが実際に稼働していて多大な成果があることを学習者に理解させることである。これまで、多大な労力を要していたのが、IoTの出現によりその労力が限りなく0に近づくような事例として、農産物の生育管理を選定した。

本システム中は現在試作中であるが、光・温度・土壌水分の各センサをArduinoに接続したものを、私有の圃場内に設置してWiFiにより圃場内のPCに転送して状況分析するものである。これによる計測例を図6に示す。今後は既存の散水装置を制御して自動灌水を行うシステムに拡張し、IoTの事例の一つとして利用してIoT教育に活かして行きたい。



図4 クラスタデモシステム全景

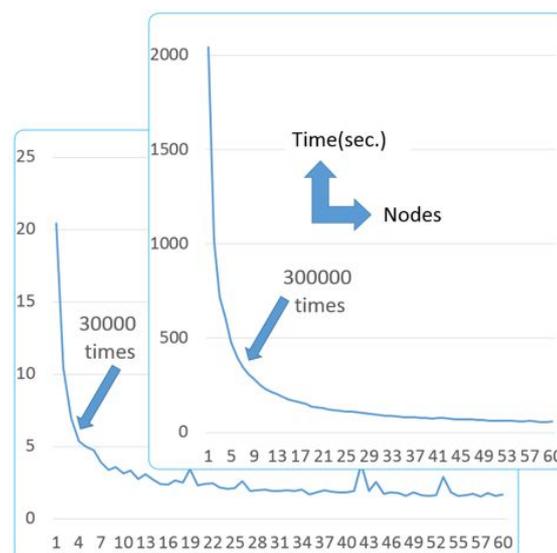


図5 ノード数増加に伴う実行時間の変化

日時	気温	地温	土壌水分(mV)	日照(mV)
8:00:00	6.2	5.7	625	1059
9:00:00	6.3	5.6	625	1497
10:00:00	9	5.6	626	2193
11:00:00	11	5.6	628	2758
12:00:00	14.8	5.7	634	2809
13:00:00	12.5	5.7	643	2419
14:00:00	12.3	5.8	650	2045
15:00:00	11.1	6	655	1619
16:00:00	9.9	6.1	656	1123

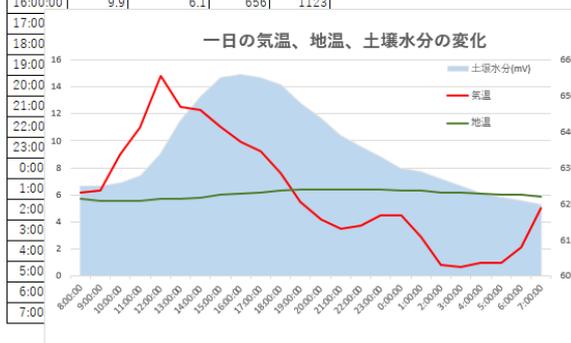


図6 農産物用IoTシステムでの取得データ例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 堀内泰輔, 宮寄敬	4. 巻 52
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 長野工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 1, 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 堀内泰輔, 宮寄敬	4. 巻 51
2. 論文標題 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	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 長野工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 堀内泰輔, 宮寄敬, 西正明, 山本博章
2. 発表標題 高専における, 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
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第61回全国大会 (信州) 講演要旨集, 情報2 (1B12)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀内泰輔, 宮寄敬, 西正明, 山本博章
2. 発表標題 Raspberry Piを用いた並列プログラミング実習環境の構築
3. 学会等名 日本産業技術教育学会 第34回情報分科会 (宇都宮) 研究発表会 講演論文集 pp.81-84
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀内 泰輔, 宮寄敬, 西正明, 山本博章
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第29回関東支部大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	宮寄 敬 (Miyazaki Takashi) (10141889)	長野工業高等専門学校・電気電子工学科・教授 (53601)	
連携 研究者	山本 博章 (Yamamoto Hiroaki) (10182643)	信州大学・工学部・教授 (13601)	
連携 研究者	西 正明 (Nishi Masaaki) (50218103)	信州大学・教育学部・教授 (13601)	