

原著論文

フィジカルコンピューティング教材を用いた情報技術教育の実践

辻 明典*・桑折 範彦[†]・川上 博[†]

A Practice for Information Technology Education Using Teaching Materials Based on
the Physical Computing

Akinori TSUJI, Norihiko KOORI, Hiroshi KAWAKAMI

キーワード：フィジカルコンピューティング，情報技術，実践教育，教材開発

要 旨

近年，IoT（モノのインターネット化），人工知能，ビッグデータ解析をはじめとした次世代技術を核とした社会基盤の構築に向け世界的に広く開発が進められている。一方で，高度な情報技術を身に付けた技術者が将来大幅に不足すると予想されており，このような技術を持つ人材の育成は急務である。こうした背景の下，本研究では教育研究現場における情報技術教育に着目し，専門を問わず初学者でも容易に学習できる情報技術教材の開発を行った。開発した教材は，実世界とコンピュータネットワークとのインタフェースを成すフィジカルコンピューティングの枠組みに基づいて設計を行ったものである。開発した教材を2017年度徳島大学大学開放実践センター公開講座において実際に使用して評価を行った。本稿では，フィジカルコンピューティング教材の開発背景について述べた後，開発した教材の詳細について述べる。さらに，講座内で受けた質問等から得られた知見，受講者との意見交換により得られた成果に基づいて考察し，最後に今後の課題と展望について述べる。

1. はじめに

近年，IoT（モノのインターネット化），人工知能，ビッグデータ解析をはじめとした次世代情報技術を核とした社会基盤の構築に向け世界的に広く開発が進められている⁽¹⁾。次世代技術に共通するのは，コンピュータネットワークに基づく情報技術を活用し，センサにより取得した多種多量のデジタルデータを蓄積・解析することで，新たな価値の創出やその成果を分野横断的に社会へ

* 徳島大学技術支援部

[†] 徳島大学名誉教授

実装することである。従来、情報技術は業務の効率化や改善を主として用いられてきたが、次世代技術の普及によって、我々が生活する「実世界」とコンピュータやインターネット上に広がる「サイバー空間」との連携が密接になり、近い将来、生活に組み込まれることとなる。これにより、これまで解決が困難であった多様な社会問題に対して、自律的に対応できる情報社会インフラの整備が期待される。一方で、こうした情報社会基盤を支える技術者は今後ますます不足するとされている。2016年の経済産業省の調査では、日本のIT人材数が約90万人に対して不足数は約17万人と見積られており、人材の不足数は2020年に約36.9万人、2030年に約78.9万人に達するといわれている⁽²⁾。今後、安定した社会基盤の維持や持続的な経済発展のためには、将来の情報技術産業を担う人材の育成が必要である^{(3),(4)}。このような背景を鑑みて、本研究では教育研究現場における情報技術教育に着目し、専門を問わず初学者でも容易に学習できる情報技術教材の開発を行うことを目的とする。筆者らは、これまでに組み込みシステム向けのプログラミング教材⁽⁵⁾やIoTを学習するための教材⁽⁶⁾の開発を行っており、そこで得られた知見や成果を活用して新たな教材の開発を行った。教材開発においては、実世界とコンピュータネットワークとのインタフェースを成す“フィジカルコンピューティング”の枠組みを取り入れることで、専門分野を問わず共通に扱えるプラットフォームの構築を目標とした。

2. フィジカルコンピューティング

フィジカルコンピューティングは、ニューヨーク大学芸術学部のトム・アイゴらを中心に提唱された概念である⁽⁷⁾。フィジカルコンピューティングでは、我々の身の回りの物理的（フィジカル）な「実世界」とコンピュータやネットワーク上の「サイバー空間」とのインタフェースの創出を目的としている。また、技術の創造的な使い方を探求するプログラムITP（Interactive Telecommunications Program）を通して、テクノロジーをエンジニアだけでなく社会科学、政治学、文学などの学生にも共通に教えることをもう一つの目的として掲げている⁽⁸⁾。この教育プログラムでは、既存のマウスやキーボード、ディスプレイに限らず、マイクロコントローラ（以下、マイコン）にスピーカー、マイクロフォン、センサ、及びアクチュエータ等の入出力装置を組み合わせ、コンピュータを通じた身体表現によるインタフェースを用いた作品制作を行っていた。トム・アイゴはオープンソースのハードウェアArduinoの開発者の一人でもある⁽⁸⁾。Arduinoは工学の専門教育を受けていないデザイナーやアーティストが電子回路の基礎を学び、わずかな投資で作品のプロトタイプを作るための手段を提供しており世界的に評価を受けている⁽⁹⁾。

フィジカルコンピューティングの取り組みにおいて注目するのは、専門を問わず分野横断的に収集したアイデアや知識をもとにプロトタイプとなる作品制作を共同で行うと同時に、新たな表現を創出するための共通プラットフォーム（ツール）も開発している点である。

フィジカルコンピューティングの実現手段の一つとしてマイコンの使用があるが、通常のコンピュータプログラムと異なり、マイコン専用の開発環境を用いるため専門家以外が習得するには難

易度が高い内容となる。一方、Arduino 開発環境を使用すると、必要最小限の関数や表記を覚えるだけで、マイコンを用いたコンピュータとの通信や入出力装置の制御が可能となるため、プロトタイプ制作やプログラミング習得にかかる学習コストを大幅に削減でき、アイデアを短時間のうちに実装できる利点がある。本研究ではフィジカルコンピューティングの持つ既存の枠組みを超えた柔軟な発想、プロトタイプの実現可能性、専門を問わない分野横断的な考えに基づいて教材の開発を行った。

3. フィジカルコンピューティング教材の開発

フィジカルコンピューティングの実現には、Arduino や Gainer⁽¹⁰⁾、Raspberry Pi⁽¹¹⁾等のマイコンの評価ボードが使用される。それぞれ一般に市販されており、センサやアクチュエータ、マイクロフォンやスピーカー等の入出力装置を接続して簡単に自作のインタフェースを構築できる。これにより、パソコンのキーボードやディスプレイに限らず、音や光、熱などの様々な物理インタフェースを通じてコンピュータと接続でき、入力に合わせてモーターを動かしたり、LED を光らせたり様々な表現ができる。市販のマイコンボードを用いて入出力を拡張するには、ブレッドボードやジャンパ線による配線やシールドと呼ばれる拡張用ボードを用いて機能を追加できる。それに対して、本研究ではオープンソースのハードウェア Arduino をベースとして初学者に最適なフィジカルコンピューティングを実現する機能を集約したオリジナルのマイコンボードを制作した。

3.1 フィジカルコンピューティングに対応したマイコンボード

フィジカルコンピューティングの教材としての要素は、①センサやアクチュエータによる入出力、②マイコンのプログラム、③パソコンとの通信、及び④データの可視化がある。一般にマイコンの開発は、ハードウェアからソフトウェアへ抽象度が上がるように①から④の順に沿って開発を進める。教材の開発に際して、これまでの講座で得られた知見からハードウェア部分に時間を要すると全体の理解度が低下することがわかっている⁽⁵⁾。そのため、市販の Arduino ボードを用いる場合には、センサやモーター、LEDなどを接続する時、まずブレッドボードを用いた配線を行う必要がある。ここで、電子回路の知識が少ない受講者にとって、こうした作業は手順に従って実施できるものの「何故このように配線をするのか?」といった疑問を抱えたまま次の作業に移るため、集中して現象の理解やプログラミングに取り組むことを阻害する要因の一つになると考えている。そこで、できる限りハードウェア部分の配線をなくし、簡単なコネクタによる接続方法に切り替え、さらにはマイコンボード上に実装可能なセンサやモーターについてはあらかじめ基板上に配線した状態で使用できるようオリジナルのマイコンボードを設計した。図1に開発したマイコンボードを示す。開発したマイコンボードには、フィジカルコンピューティングを実現するのに必要な入出力装置として、温度センサ、電子ボリューム、デジタル温度センサ、照度センサ、加速度・ジャイロセンサ、サーボモーター、振動モーター、LED を実装し、マイコンとして Arduino 互換

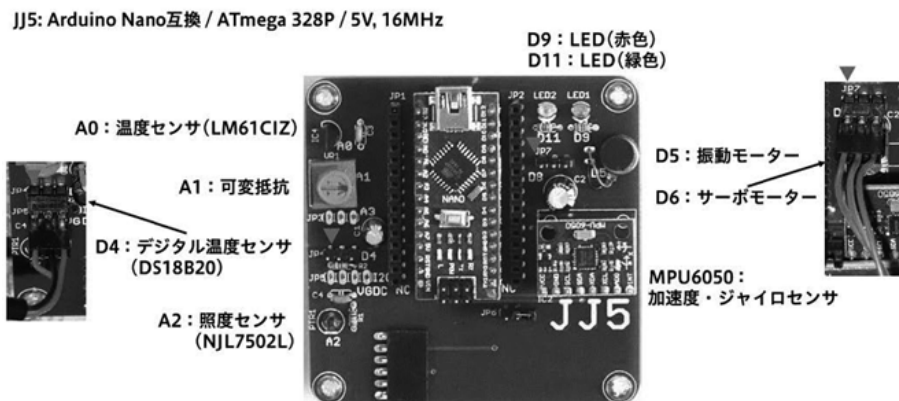


図1. 開発したフィジカルコンピューティング用マイコンボード (JJ5)

の Arduino Nano を搭載している。さらに、無線によるパソコン通信用に Bluetooth モジュールを搭載している。本マイコンボードを用いることによって、自由な発想でさまざまなセンサとアクチュエータの組み合わせを試すことができ、パソコンとの無線通信によってインターネットとの接続も可能となる。センサを用いることで、実世界の光、温度、加速度を始めとした物理量を計測でき、その計測結果に応じて、LED を光らせたり、振動を発生させたり、対象物を動かしたり、実世界にあるモノに働きかけることができる。マイコンボードは 70mm 角と小型で携帯電話の充電器やパソコンの USB 端子より電源供給できる。無線通信とあわせて使用すると身に付けたり、持ち運びができ、講義や演習内容に合わせて柔軟に自由度の高いアレンジが期待できる。この開発したマイコンボードをフィジカルコンピューティング教材として用いる。

4. フィジカルコンピューティング教材の公開講座への導入と評価

開発したフィジカルコンピューティング教材の有効性を検証するため、2017 年度徳島大学大学開放実践センター公開講座（春夏）において「センサのしくみを知ろう」と題した講座に導入した。本講座では様々なセンサやアクチュエータについて、実習を通じて動作原理を理解し、自身でプログラミングを行い、マイコンを使いこなせるようになることを目標とした。講座は一般の方を対象とした公開講座で、マイコンやプログラミング未経験の人、専門家でない人でも自由に参加できる。2017 年度春夏講座では、50 代から 70 代を中心に中学生 1 名を含む受講者 7 名の参加があった。ここでは、フィジカルコンピューティング教材を導入して講座を実施した結果について述べる。開発した教材の評価は、積極的な働きかけがない中でも講師の説明を聞いた後、提供されたサンプルプログラムをもとに課題に取り組めるかという点と自発的な学習を促す効果が現れたかどうかという点に着目する。また、受講者からの質問や意見交換により得られた成果をもとに考察する。最後に、今後の課題と展望について述べる。

4.1 講座の実施内容

講座の日程と内容の詳細を表1に示す。講座内容は、演習を通じてプログラミングの楽しさやセンサを用いた物理現象の計測、アクチュエータの動作理解に主眼を置いた。本講座用に開発したマイコンボードを用いて、身の回りの様々な物理現象を適切なセンサを用いて計測を行う課題を準備した。計測結果はパソコンの画面上で波形として確認できる他、デジタルデータとしてパソコンに保存することもできる。LEDの点滅や測定結果のグラフ表示、モーターの速度制御など、パソコン上のプログラミングでは経験できない、実世界とのインタラクションを通じたフィジカルコンピューティングならではのプログラミング経験によって学びを深められる。教材の課題として、①温度センサによる室温や水温の計測(図2)、②照度センサを用いたデータの可視化、③加速度センサによる重力加速度の計測、ジャイロセンサによる角速度の計測、④PWMによる振動モーターの制御、サーボモーターの制御(図3)、⑤センサとアクチュエータの組み合わせ実験(図4、図5)、センサで取得したデータの信号処理、Bluetooth無線によるセンシングを行った。各回ごとに、講師より動作原理の説明、プログラミング方法(使用する関数、変数、制御構造など)の解説を行った。特に、受講者自身による問題設定や課題解決能力、思考力を高めるため、各回に対象となるセンサやアクチュエータ、シリアル通信のサンプルプログラムをあらかじめ提供し、それらを改編しながら試行錯誤することで所望の動作を実現する方法で講座を進めた。例えば、照度センサとLEDの動作を連動させる場合、図4のように蛍光灯の状態と照度センサとLEDの動作状態を提示、受講者にプログラミングを行ってもらった後、しばらく様子を見て図5の回答例を示す。発展的な課題については、以前の回に作成したサンプルプログラムの組み合わせや穴埋め式にすることで段階的に課題を解決できるよう配慮した。プログラムの実装方法や閾値の決め方などによって、各自が異なるアプローチで考えプログラミングに取り組むことができるため、受講者間での協力を促す効果も期待できる。

表1 平成29年度公開講座(春・夏)「センサのしくみを知ろう」日程と内容

回数	日程	タイトル	内容
1	5月20日	講座概要、開発環境構築	Arduino 開発環境の説明, LEDとスイッチ
2	5月27日	温度をはかる	温度の計測(お湯、室温、体温の例)
3	6月3日	明るさをはかる	電圧の計測(電子ボリューム) 照度の計測(光度、輝度、光束、照度)
4	6月10日	モーターを動かす	サーボモーター(ペットボトルの例) 振動モーター(PWM、携帯電話の例)
5	6月17日	モノの動きをはかる	加速度の計測(傾き) 角速度の計測(ジャイロ)
6	6月24日	センサとアクチュエータ を組み合わせる	自由にセンサとアクチュエータを連携 照明とLED、モーターと姿勢制御の例

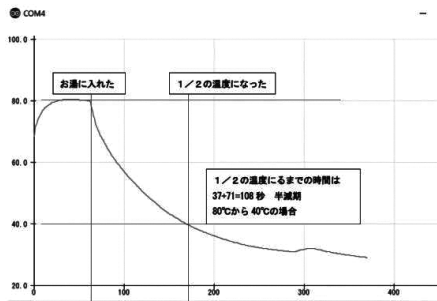


図2 温度センサによるお湯の計測結果
温度変化から半減期を求める実験

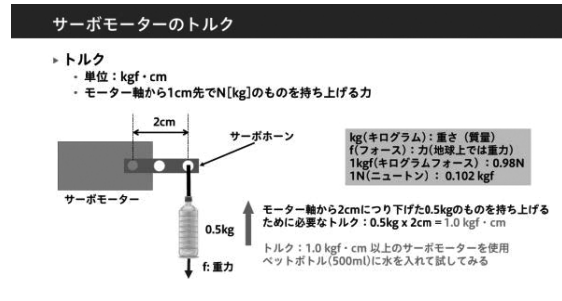


図3 サーボモーターのトルク計算とペットボトルの
つり上げ実験

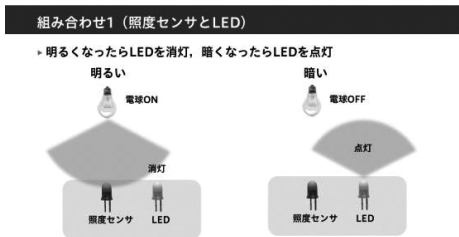


図4 照度センサとLEDの組み合わせ
課題の提示例

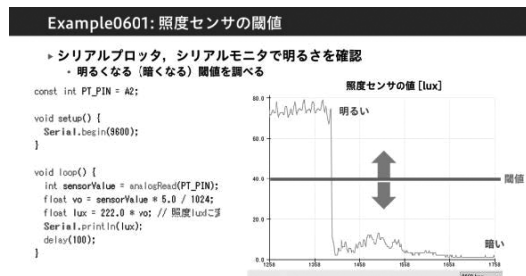


図5 照度センサとLEDの組み合わせ
課題の回答例

4.2 開発した教材の評価結果

開発したフィジカルコンピューティング教材の評価は、受講者に対して講座内容に関するアンケートを実施した後、講座内で討論の時間を設け、受講者からの意見や要望を直接聞くことにより行った。講座受講後の受講者との意見交換では、「テーマと内容（分量）が適切である。」「センサ等の動作原理をよく理解できた。」「プログラムは難しいという先入観があったが楽しいことに気付けた。」など、前向きな意見が多数挙がった。さらに、多くの受講者より「講座前に予習や自習を行いたい。」「プログラミングの参考図書を教えて欲しい。」「プログラミングをもっと勉強したい。」などの意見が寄せられ、問題に対する興味や関心を引き出すことができ、さらに自主的に課題に取り組む姿勢が確認された。これらの結果は、講座内の演習時間を増やし、具体的な課題設定が適切にできたことによる効果が現れたものとする。その一方で、「講義のペースが速い。」「資料を（予習のため）早く提供して欲しい。」との意見も少数挙がった。これらの意見を踏まえて、平成29年度公開講座（秋・冬）では、講義回数を増やすと同時に、さらに学習したい受講者向けに発展的な課題を準備して改善を図った。

4.3 今後の課題と展望

2012年度よりマイコンを用いた講座を開講し、受講者との対話の中から生まれた課題に対して

フィードバックを行い、講座内容の改善を図ってきた。今回、フィジカルコンピューティングの要素を取り入れた教材を導入した結果、これまで課題となっていた講義時間の不足に対する指摘が大幅に減少した。これは、各回の達成目標を明確化することで、本質的に受講者にとって必要な課題を抽出することができ、講座内で課題に取り組む時間的余裕ができたためと考えられる。その一方で、短時間に目的や目標を達成することと基礎に時間をかけて学ぶことはトレードオフの関係にあり、バランスよく講座を進めることが求められる。今後の課題としては、開発した教材に適したテキストを作成し、さらに内容を充実させるとともに、受講者の自学習を支援する教材開発も必要であるとする。

5. まとめ

本稿では、フィジカルコンピューティング教材の開発を行い、徳島大学大学開放実践センターの公開講座に導入して評価を行った。フィジカルコンピューティングは、実世界とサイバー空間を結ぶインタフェースを用いたプロトタイプ制作を通じて、製品の原型となるアイデアや知識を専門家に限らず共有できる共通のプラットフォームを与えることができる枠組みを提供している点で優れている。フィジカルコンピューティングを講座に導入した結果、以前の講座に比べ、講座の目的や目標が明確化し、それに伴い演習や課題を厳選することが実現でき、講座内の時間を有効に活用することができた。初学者や工学を専門としない人にとっては、積み上げ式に基礎から順を追って時間をかけて進める方法と比較すると、課題や目標を提示し、解決策を考えていく過程において経験を積む方法がより学習意欲の向上を図れ、自主的な学習行動に結びつけることができることを確認した。開発したフィジカルコンピューティング教材は、センサ、マイコン、無線通信機能を搭載し、マイコンのプログラミングによってセンシング、データ解析、及び通信を経験できる内容である。また、大がかりな実験装置を必要としないので、個人単位での実験や演習、研究にも応用できる。本教材は汎用性が高く専門領域を選ばないため、今後、専門分野の垣根を越えた共通のフレームワークとしての活用が見込まれる。

参考文献

- (1) John A. Stankovic, "Research Directions for the Internet of Things," IEEE Internet of Things Journal, Vol. 1, Issue 1, pp. 3-9 (2014).
- (2) 経済産業省 (2016), IT 人材の最新動向と将来推計に関する調査結果, pp.1 - 35.
- (3) 文部科学省 (2017), 平成 27 年度情報技術人材育成のための実践教育ネットワーク形成事業
- (4) 文部科学省 (2018), 平成 28 年度成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成 (enPiT)
- (5) 辻 明典, 川上 博 (2016), "プロトタイプング手法を導入した実践的な技術教育とその成果", 徳島大学大学開放実践センター紀要第 25 巻, pp.55 - 63.
- (6) 辻 明典, 川上 博 (2017), "次世代エンジニア育成のための IoT 学習教材の開発と実践",

徳島大学大学開放実践センター紀要第 26 巻, pp.19 - 26.

- (7) Dan O. Sullivan, Tom Igoe, "Physical Computing - Sensing and Controlling the Physical World with Computers", Thomson Course Technology (2004).
- (8) Dentsu Lab Tokyo (2016), 世界のクリエイティブ・テクノロジストに聞く : トム・アイゴ 「20 年前から IoT を教えていました」 <http://dentsulab.tokyo/article/?p=1123>
- (9) Arduino, <http://www.arduino.cc/>
- (10) Joshua J. Noble, "Programming Interactivity: A Designer's Guide to Processing, Arduino and Open Frameworks", OREILLY (2009).
- (11) Gainer, <http://gainer.cc/>
- (12) Raspberry Pi, <http://www.raspberrypi.org/>

Abstract

Technologies of Internet of Things, Artificial Intelligence, and Big data analysis are recently being developed for social infrastructure in the world wide. The shortage of engineers with these advanced technology skills is growing more and more serious issue in the near future in Japan, so we must start considering the human resource development for the next generation of engineers. In our research, we have focused on education of the information technology in academic and research field and have developed a teaching material for beginners. Our developing educational material for teaching is designed based on a framework of the physical computing method that is enable us to realize an interface between the physical world and cyber internet world. We practiced using the teaching material in the extension course of the Center for University Extension of Tokushima University in 2017. In this study, we evaluated the effectiveness of physical computing method and our developed teaching material. Finally, we investigated from the results of classroom discussion and survey on student activity in the lecture.