

特集 情報システム

研究ノート

フィジカルコンピューティングの導入教育の取り組み

大見 嘉弘*

要旨: ソフトウェア開発者を育成する大学の課程において、幅広い技能を身に付けるために、フィジカルコンピューティングと呼ばれるハードウェア製作とプログラミングを組み合わせた形態の導入教育を行った。まず、当初の授業では加速度センサを用いたプログラミング演習を行った。しかし、ハードウェアの入出力という観点で見ると入力のみで出力を扱っておらず、バランスを欠いていた。また、加速度センサのデータを十分に活用するにはデジタル信号処理の知識が必要であり、プログラミングの難易度が高いという問題点があった。最近の授業では、時間数が大幅に減少したため、プログラミングなどは省略し、フィジカルコンピューティングの本質のみを体験できるような教材を作成し、実践した。現実世界に対する入力はボリューム、出力はスピーカとLEDを用い、入出力の関係を単純で分かりやすくした導入教育を行った。

キーワード: プログラミング教育, センサ処理, 組み込みシステム, フィジカルコンピューティング, STEM教育

A Practice of Education which Introduces Physical Computing

Yoshihiro OHMI*

Abstract: An introductory physical computing had practiced on software engineering course of university. The practice is aimed for getting wide skills. On early lessons, programming which uses accelerometer had practiced. However, that treated only a sensor as input from real world, and no output. Also, programming using accelerometer is tend to complex because it requires digital signal processing technique in many cases. On later lessons, educational material that treats only essence of physical computing is produced and practiced, because duration had significantly reduced. This practice used a volume knob as input from real world and speaker and LED as output from real world, and so relation of input and output is simple and easy to understand.

Keywords: Education of Programming, Sensor Processing, Embedded System, Physical Computing, STEM Education

1. はじめに

近年、旧来のキーボードやマウスを用いたキャラクターユーザインタフェース (CUI) やグラフィカルユーザインタフェース (GUI) だけでなく、コンピュータと物理的な世界を積極的につないだインタフェースが身近になりつつある。例えば、加速度センサやカメラで人の動きを検出して操作する方法や、カメラやGPS等で周辺の実世界の情報を捉え、その情報にコンピュータで生成された情報を重畳する拡張現実感などが挙げられる。

これに対して、大学等における従来のプログラミング教育では、演算やファイル処理などの情報処理に重点を置き、プログラムが扱う入出力に関する処理には比重が置かれていない場合が多い。このため、もっぱらCUIやGUIのみを取り扱い、近年、身近になった新たなインタフェースは扱わない場合が多く見られる。

このため、筆者は2006年に東京情報大学（以下、本学）の授業にフィジカルコンピューティングを導入し、以降12年間に渡って展開を続けてきた。フィジカルコンピューティングとは、物理世界とのやり取りを行なうコンピュータの利用形態で、多くの場合、PCと電子回路 (I/Oモジュール、センサ、アクチュエータ [注1]) を接続し、プログラミングを行なう[1]。本学のソフトウェア開発に関するカリキュラムは、ソフトウェアとネットワークに重点を置いており、ハードウェアに関する授業はごくわずかで、カリキュラム改定ごとにさらに減少している。著者は学生が単なるソフトウェア開発の技能を身に付けるだけでは不十分であると感じ、フィジカルコンピューティングを導入することで、ハードウェアを取り扱うソフトウェア開発の経験を積み、幅広い視野を持つ人材を育成することを目標とした。

フィジカルコンピューティングは、STEM教育[2]の中で大きな役割を果たしている。STEMはScience, Technology, Engineering and Mathの略であり、科学技術教育が今後の国家を発展させる鍵となるとしてアメリカで広まり始め、現在、世界に広まりつつある。フィジカルコンピューティングは、STEMのうち少なくとも技術と工学を学ぶことができる。また、工夫すれば科学や数学についても効

率的に学ぶことができる。

フィジカルコンピューティングを授業に取り入れる取り組みは、近年数多く行われている[3]-[5]。小山ら (2014) は人間の動作や感覚に反応する芸術作品を製作している。早坂 (2012) は、PICマイコン電子回路とCプログラミングによる演習事例について報告している。上村ら (2012) は、スマートフォンで動作するフィジカルコンピューティングのためのプログラミング開発環境について提案している。このように、工学系や芸術系の学校、大学での取り組みが多い。これに対して、本学のように情報系のソフトウェア開発のみに特化していると狭い技能 (STEM教育の技術のみ) しか身に付かず、将来要求される人材として不十分であるという懸念がある。このような状況もフィジカルコンピューティング教育を取り入れるきっかけとなった。

以降の節では、筆者が本学で続けてきたフィジカルコンピューティング教育について順を追って解説する。なお、並行して進めた高大連携授業における取り組みの内容は、文献[6][7]に記している。

2. フィジカルコンピューティング教育の実践

2.1 ゼミ活動

2006年に、筆者のゼミにおいてフィジカルコンピューティング教育を開始した。センサとして加速度センサを用い、I/Oモジュールを介して学生のノートPCに接続し、学生が自由にプログラミングを行うことで作品を製作した。

加速度センサは、任意の物体の動きを検出できるセンサであり、当時から安価になり、入手も容易になった。本実践で用いた3軸加速度センサは三次元の加速度を検出でき、動加速度に合わせて重力加速度も検出する。したがって、静止状態でのセンサの地表面に対する傾きも検出できる。加速度センサは手に持つなりして動かせば即座に反応するため、非常に直感的で身体性に富む。

I/OモジュールはGainer[8]を用いた。Gainerは、PCにUSB接続すれば後はPC上のプログラミングのみで制御できる手軽さがある。Gainerは回路図、プリント基板図、ファームウェアを含めたソースが全て公開されているオープンソースハードウェアであり、当初はGainer本体が高価であったため、ク

ローンを支に製作し、ゼミ生1人に1台のGainerを用意した。

PC上のプログラミングにはProcessing[9]を用いた。Processingは画像、アニメーション、インタラクションを扱うプログラムを手軽に作成できるプログラミング言語・環境である。基本的にはJava言語であるが、簡便な開発環境の工夫により、スクリプト言語で書くのに近い感覚でプログラミング作業が行える。本学では、プログラミング教育の軸としてJava言語を採用しており、Java言語に慣れている本学の学生はProcessingで円滑にプログラミングが行えることが期待できる。

ゼミ活動では、2006年は4年生に、以降は3年生のゼミ初年度教育で実践し、2014年まで続けた。図1に初期の実践で学生が製作した作品の画面を示す。センサを振るとロウソクの火が揺れるものや、センサを傾けてラケットを動かすブロックくずし、多数の球体をすくい上げる作品などを製作した。

ゼミ活動の実践では加速度センサのデータの扱いに問題点が生じた。本実践の仕組みでは、加速度センサのデータはセンサから出力される電圧をデジタル値にした生データが得られる。この値はいわゆる校正（キャリブレーション）がされておらず、センサを水平にした状態の0Gや垂直にした状態の1Gがどの値になるかは不明である。また、センサには個体差があり、それらの値はセンサによって微妙に異なる。このため、使用するセンサの0Gおよび1Gの値を測定し、正しいG（重力加速度）の値に変換する正規化を行うことが常套手段である。しか

し、学生には正規化については全く伝えなかった。一部の優秀な学生は正規化のような工夫を行うのではないかと期待した。しかし、ゼミ活動の実践では、すべての学生が生データをそのまま使用したプログラミングを行い、誰一人として正規化を行う者はいなかった。このため、違うセンサを使うと意図した通りにプログラムが動かないことや、プログラムの修正が非常に煩雑になるという問題が多発した。

2.2 情報システム学科における演習授業

2.1で述べたゼミ活動の実践により得られたノウハウをもとに、情報システム学科の3年次の演習授業「メディアシステム」でフィジカルコンピューティングを用いた授業を行った。この授業は2008年度から2014年度まで開講された[注2]。

授業内容としては、最初にProcessingの基礎から始まり、図形、画像、イベント処理、音響処理などのプログラミング演習へと続いた（約30コマ）、そして最後にフィジカルコンピューティングの演習を6コマ実施した。履修者は最大で50名程度であった。

フィジカルコンピューティングの実践については、2.1で述べたゼミ活動の内容を踏襲した。ただし、各授業において教材のスライドを新たに用意し、プログラミング例を多数用意した。また、ゼミ活動の実践では、事前に配線した電子回路を用いていたが、本授業では学生自身がブレッドボードに部品を刺し、配線を行わせた[注3]。ブレッドボードは多数の穴が開いているボードで、穴に部品や電線を刺すだけで回路が作成でき、はんだ付けの必要

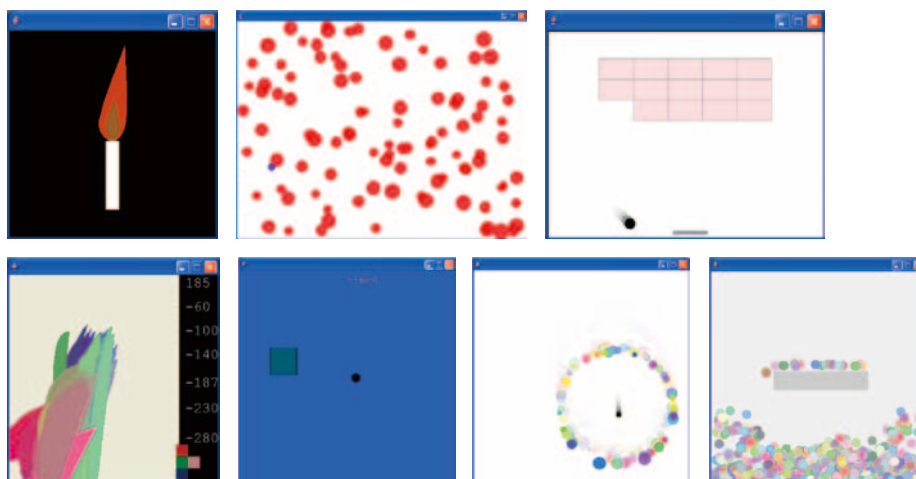


図1 ゼミ活動における作品

がない。図2に完成した回路の写真を示す。この回路では、中央にあるマイコンと右側にあるUSBシリアル変換機でGainerのクローンを構成しており、マイコンのアナログ入力ポートを左側の加速度センサに接続している。

2.1で述べたゼミ活動の問題点として挙げた正規化については、正規化を行わないと不都合が多く実用上問題があるため、正規化について教育する必要性を強く感じた。そこで本授業では正規化について教材に盛り込み、演習で学生に0Gおよび1Gの値を測定させ、各自がその値をプログラム中に書き込むことで校正を行うようにした。そして、その後のプログラミング課題では校正済みのデータを使ったプログラミングを行うようにした。図3に教材スライドの一例を示す。

本授業の問題点として、加速度センサ特有の複雑

さと、現実世界への出力が欠けている点が挙げられる。3軸加速度センサのデータをプログラミングで十分に扱うには、デジタル信号処理などの高度な知識が必要となる場合が多い。例えば、センサを手を持って円を描くように回す動作を取る場合、X軸とY軸といった二次元のセンサデータを角速度に変換し動作を検出する必要がある。このようなプログラムを学生が自力で作成することはできなかった。また、本実践をフィジカルコンピューティングを学ぶという観点で見ると、実世界への入出力は、加速度センサの入力のみであり、出力はプログラミングによるPC画面への表示のみであった。したがって、入力を経験できても、出力がないというバランスの欠いた状態であった。

2.3 総合情報学科における演習授業

総合情報学科では2.2で述べた授業がなくなっ

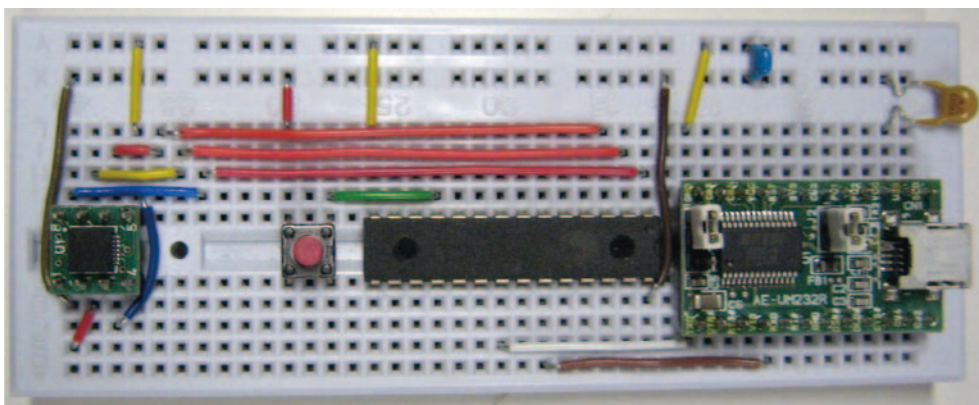


図2 完成した加速度センサ回路

センサ値のキャリブレーション(校正)

各センサが出力する値には個体差がある。
0Gなら0.0、1Gなら1.0といった具合に、ぴたり合うように調整を行う。

```
final int X0G=130, Y0G=133, Z0G=140; //0Gのセンサ値
final int X1G=185, Y1G=186, Z1G=190; //1Gのセンサ値
```

X,Y,Zそれぞれの値(0Gの時、1Gの時)を求め、上記の数値を変更する。変更後、実行して0Gと1Gの時、ほぼ0.0と1.0になることを確認する。

図3 校正について説明するスライド

たため、代替として2年生の授業「基礎演習V」においてフィジカルコンピューティングの演習を行った。基礎演習Vでは、ゲーム・アプリケーションコースの学生を対象として、クラス毎に12名程度の学生が演習を行った。期間は2014年度から2017年度までである。

2.2で述べた授業ではフィジカルコンピューティングに6コマを充てていたが、本授業では2コマである。2コマのうち、後半は別のデバイスを用いる演習を行うため、前半の1コマの一部でフィジカルコンピューティングの導入演習を行うことにした。大幅に時間が減ったため、2.2で述べた授業と同一の内容が行えない。このため、新たに演習の内容を考案した。

本演習では、30分程度の短い時間でフィジカルコンピューティングの本質が体験できるよう、単純で本質となる内容のみを残した。まず、実世界への入出力の方法について検討した。2.2で述べた授業では出力がないという問題があったため、実世界への入力と出力の両方を備え、簡単に理解できる種類のセンサとアクチュエータを選んだ。

具体的には、入力にボリューム（可変抵抗）を、出力に圧電スピーカとLEDを採用した。ボリュームのように回転して操作する方法は、電気機器、蛇

口、自動車などで古くから普及しており、なじみが深い。また、確実に操作できるという利点がある。スピーカとLEDは、ヒトの代表的な感覚である聴覚と視覚に訴えられることや安価であるという利点がある。

次に、入力と出力の関係について検討した。入力と出力の関係を強く感じさせるには、入力と出力を連動させることが最適であると考え、ボリュームの増減に応じて、スピーカの音とLEDの光の点滅の周波数が変化するようにした。周波数は約2Hzから約5,000Hzまで変化する。この音と光は同期するようにし、ヒトの聴覚と視覚の特性を感じられるようにした。ヒトは20~20,000Hz程度の音を知覚でき、0~10Hzあるいは0~20Hz程度の光の変化を知覚できるとされている。そこで、ボリュームを回して20Hz前後で変化させ、LEDの点滅が知覚できる境界を感じさせる演習を行った。なお、聴覚の低音の限界である20Hzは大型のスピーカでない限り再生できないため、低音の限界を感じさせる演習は行わなかった。

図4に学生が作成する回路を示す。I/Oコントローラのアナログ入力ポートにボリュームを、デジタル出力ポートに圧電スピーカを接続するだけの簡単な回路とした。この回路ではI/Oコントローラに

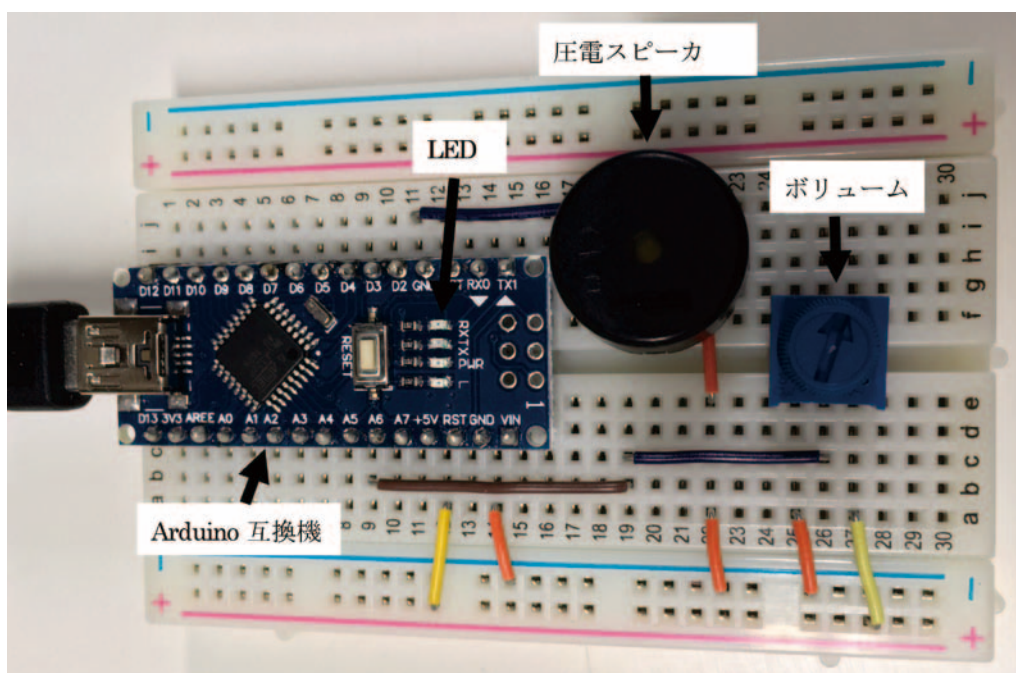


図4 完成した回路

安価なArduino[10]互換機を使用した。2.2で述べた授業と比べ、大幅に配線と部品の数を削減し、短時間で学生が配線できるようにした。

時間の制約から、実際の活動では必要となるが経験がなくてもある程度理解できる内容は省略した。具体的には、ソフトウェア類のインストールやプログラミングを省略した。プログラムはあらかじめArduino互換機に書き込んでおき、筆者が画面にプログラムを表示して、大まかな説明をするに留めた。

3. 考 察

前節で述べたゼミ活動、情報システム学科の授業、総合情報学科の授業のそれぞれについて、結果を交えた考察を行う。

ゼミ活動では、最初の取り組みということもあり、試行錯誤が多々あった。多くの学生は意欲的に取り組んでいたが、前述したように校正や正規化を行う学生はおらず、センサの扱いに苦労した学生が多く見受けられた。

情報システム学科の授業では、教材を充実させたこともあり、円滑に授業が進み、毎週課した課題も多くの学生がこなしていた。しかし、演習としてはやや学生数が多かったこともあり、画一的な授業になったという印象がある。最終課題として加速度センサを使った任意のプログラム作品を作成する自由課題を出したが、授業で取り上げたプログラム例を少し書き換えただけの作品が大多数で、特色が感じられる作品はほとんどなかった。ただし、授業評価アンケートの結果はやや評価が高かったため、学生の満足度は高かったと言える。以上から、物理世界のやり取りとして入力のみにも留まったことや、自由課題で期待通りの成果が得られなかったという問題があったが、フィジカルコンピューティングについての一定の経験を積ませるといった目的は達成できたと考える。

総合情報学科の授業では、大幅に時間が短縮されたため最低限の内容しかできなかった。しかし、興味を持ち意欲的に取り組む学生が多くいた印象を受けた。ところが、全く興味がないように見受けられる学生や、時間内に配線が完成せず時間切れになる学生が一部にいた。情報システム学科の授業と比べ、学生の個人差が大きいように感じた。フィジカ

ルコンピューティングのような手先を使って細かいものを組み立てる経験が乏しい学生が一定数いるのではないかと推測する。全員の学生に十分な体験をさせるには、設けた時間が少なすぎたという可能性がある。以上から、本授業についてはまだ改善すべき点があり、より多くの学生に興味を持ってもらえるように授業内容を改善する必要があると考える。

4. おわりに

本学で実施したフィジカルコンピューティングの演習について述べた。STEM教育は、これからさらに発展するであろう科学技術や情報通信技術が浸透した社会において、生きぬいていける社会人を育成する鍵となると考える。STEM教育の中核といえるフィジカルコンピューティングは今後さらに重要視されると予想する。今後もフィジカルコンピューティングの教育活動を継続する予定である。今年度からはフィジカルコンピューティングの技術を応用した簡単なIoTシステムを体験する授業を追加する予定である。

【注】

- [注1] モーターやLEDなどの実世界に働きかける（出力する）装置のこと。
- [注2] 後半は「知的プログラミングa,b」と科目名が変更になったが、授業内容は同一であった。
- [注3] 扱いが難しいCPU、USBモジュールは事前にブレッドボードに刺し、その他の部品を学生が刺した。

【引用文献】

- [1] 小林茂：フィジカルコンピューティング概論，情報処理 Vol.52, No.8, pp.914-917 (2011).
- [2] Libow, S. and Stager, G.: Invent to Learn - Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom, Constructing Modern Knowledge Press, (2013). (邦訳作ること学ぶ, オライリー・ジャパン) (2015).
- [3] 小山明, 橋本英治, 大内克哉, ユンジバク, 尾崎優実: ARDUINOおよびKINECTを使用したフィジカルコンピューティングに関する研究, 神戸芸術工科大学紀要「芸術工学2014」(2014).
- [4] 早坂太一: 工学デザイン教育のための上級Cプログラミング演習 —PICマイコン電子回路によるフィジカルコンピューティング体験—, 豊田工業高等専門学校研究紀要 第45号, pp.31-36 (2012).
- [5] 上村祐加, 高田喜朗: フィジカルコンピューティン

- グのためのスマートフォンを用いた開発環境の提案, 信学技報 MSS2011-55 SS2011-40 (2012).
- [6] 大見嘉弘, 滑川敬章, 永井保夫: 情報系高校におけるセンサを利用したプログラミング教育の実践と評価, 情報教育シンポジウム SSS2012 論文集 Vol.2012, No.4, pp.105-112 (2012).
- [7] 大見嘉弘, 滑川敬章, 永井保夫: 情報系高校における3Dプリンタを活用したフィジカルコンピューティング教育の実践, 情報教育シンポジウム SSS2015 論文集, Vol.2015, pp.199-206 (2015).
- [8] 遠藤孝則: 夏休み工作のためのフィジカルコンピューティング: 2.1 Gainer 入門 —ProcessingとFunnelで簡単に実現できるI/Oインタフェース—, 情報処理 Vol.52, No.8, pp.918-921 (2011).
- [9] Reas, C. and Fry, B.: Processing, (online), available from <https://processing.org/> (accessed 2018-05-15).
- [10] 菅野創: Arduino入門—15万台の販売実績を持つマイコンボード—, 情報処理 Vol.52, No.8, pp.922-925 (2011).