

写経型学習によるフィジカルコンピューティング講座の構成

喜多 一¹ 岡本雅子²

京都大学 学術情報メディアセンター¹, 京都大学大学院 情報学研究科²

kita@media.kyoto-u.ac.jp

概要: 近年, 工学系の専門教育のみならず Physical Computing としてデザインや趣味などの領域でも組み込み系プログラミングへの注目が高まっている. 本研究では, この領域で広く使われている Arduino を活用したフィジカルコンピューティングの授業を初学者を対象に実施した. 本報告では, 筆者らの提案する写経型学習に基づいて制作したテキスト教材や実習内容, 受講生らへのアンケート結果, 実施上の工夫と課題について論じる.

1 はじめに

近年, 組み込みマイコン低廉化, 多様なセンサやアクチュエータの利用可能性の増大から, 工学系の専門教育のみならず Physical Computing としてデザインや趣味などの領域でも組み込み系プログラミングへの注目が高まっている[1].

筆者らは, この領域で広く使われている Arduino を活用したフィジカルコンピューティング授業を初学者を対象に実施した. 授業の実施に当たって筆者らが初学者に対するプログラミング教育の方法として採用している写経型学習[2]を取り入れた. また, この実践では電子回路の構成についても学び, 主体的な作品作りを通して学んだ知識の活用も意図している.

本報告では, 筆者らの実践についての実習内容と写経型学習によるテキスト教材について紹介するとともに, 京都大学での初年次教育と社会人などを対象とした講習会での実践を通じて得られた実施上の課題や学習者の反応などについて報告する.

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とは, 組み込みマイコンにさまざまなセンサやアクチュエータを接続し, 現実世界と関わって能動的に動く仕掛けを創出することを指すが, 近年, 組み込みマイコンやセンサー, アクチュエータの低廉

化に加え, クロスコンパイルなどの開発環境のオープンソースでの進化も相まって急速に広がりを見せている. 従来, この種の活動は技術者養成やコンピュータや電子ホビーの領域に留まっていたが, メディアアートや手芸などの分野とも交差した広がりを見せている. また, より広範なものづくりにおいてデジタルでの加工技術を活用して人々をエンパワーしようとする Fablab などパーソナル・ファブリケーション[5]の活動の一環としても位置付けられる.

3. 写経型学習

初学者に対するプログラミングの教育は様々な目的で行われ, また数多くの研究がなされているが, 多くのプログラミングの授業が「プログラミング言語の文法の習得」に終始し, 主体的にプログラミングを行える能力を獲得させることに十分成功しているとは言い難い.

筆者らは社内でのプログラマの育成の実績を持つ中小企業の教育手法と参与観察と通じた指導法の分析, 改善に基づいて「写経型学習」という手法を提案している[2]. 写経型学習は以下のような指導方針から構成される:

- プログラミングと用いられる記号や予約語の音読, if 文や for 文などの日本語での訳読を通じた, 記号・略号を多用するプログラミングへの慣れの促進と教授者とのコミュニケーションの改善.

- 学習者による自習により、プログラムの入力・実行することで、プログラムに触れる経験を高めるための多数の実行可能なソースコードと実行結果の教材としての提示。
 - プログラミングの自学自習での躓きを低減するための文法誤り例の積極的に経験。
 - ソースコードの逐行解説と実用に重点を置き、図解を多用した文法的事項の解説。
- などで自学自習を可能とするプログラミング言語の文法的事項の学習を行ったのち、
- プログラムによる問題解決課程を具体例に沿ってなぞりながら、プログラムを全体として構成するプロセスを経験する、という手法である。

3. 科目「Physical Computing 入門」

3.1 科目概要

科目「Physical Computing 入門」は、京都大学の全学共通教育の特色である新入生教育科目ポケットゼミとして 2011 年に開講された科目である。ポケットゼミは新入生のみが受講

可能であり、10 人程度の少人数で実施する半期、週 1 コマのゼミナールである。この科目は研究活動なども行っている大学教員と新入生の距離を縮めることを意図しており、内容についてはその趣旨に沿っていれば科目提供する教員がかなり自由に設定できる。

本科目では、前半でワンボードマイコンのプログラミングとブレッドボードを用いた電子回路の製作について基礎的事項を学習した後、後半では使用する部品の予算制約などの範囲内で自由な発想で作品を構成し発表する。

3.2 授業計画

授業の構成は概ね以下の通りである。

第 1 週：授業のガイダンス、コンピュータの構造やセンサー、アクチュエータについての概説の後、CMS へのアクセス

第 2 週：Windows PC に Arduino Uno を接続し、例題(blink)のコンパイル、ダウンロード・実行と自身でのソースコードの入力、意図的に起こしたエラーの体験。逐次実行

第 3 週：ブレッドボードの使い方、LED とコ

2. ブレッドボード上の LED とコンタクトスイッチを使った回路の制御

2.1 ブレッドボード上での配線

(Sawano ではドーターボードのスイッチ(SW2)と LED(LED2)を使って同じ実習ができます。)

Arduino でコンタクトスイッチの押し下げ状態を検出するために図 1 のような回路をブレッドボードを使って作成します。以下の手順に従ってください。

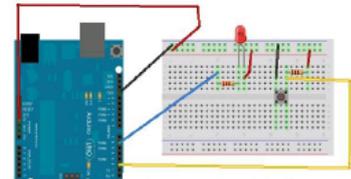


図 1 コンタクトスイッチの配線

注意！ 回路を構成している最中は、Arduino を USB ケーブルから外しておいてください。これは電源などを接続して Arduino や電子部品を壊さないようにするためです。
注意！ 電子部品の端子は柔らかくて曲がったり新れかりしやすいため、ブレッドボードに差し込む際には無理に押し込んだりせず、慎重に作業してください。

1. まず Arduino の 5V と GND からの配線を行います。5V には赤の、GND には黒のジャンパ線を使います。
2. 次に LED と抵抗器からなる回路を作成してください。
 - 5V の電源から LED のアノード (足の長いほう) へ、LED のカソード (足の短いほう) から抵抗器 (330Ω、橙、橙、茶、金のカラーコード) を介して Arduino の D6 に配線します。
3. 次にコンタクトスイッチの回路を作成します。
 - 5V の電源から抵抗器 (10kΩ、茶、黒、橙、金のカラーコード) を介してコンタクトスイッチの片側に、コンタクトスイッチの反対側を GND に配線します。
 - コンタクトスイッチと抵抗器が接続している部分から Arduino の D2 ピンに配線します。

2.2 コンタクトスイッチからの入力の処理 (その 1)

スイッチを押している間、LED が点灯するプログラムを作成します。次のプログラム (スケッチ) を作成して実行してみてください。

行番号	ソースコード	説明
1	#define LED 6	LED と書いて 6 と、
2	#define BUTTON 2	BUTTON と書いて 2 を表す定義
3	int val = 0;	ボタンの状態を格納する整数型の変数
4		
5	void setup()	
6	{	
7	pinMode(LED, OUTPUT);	
8	pinMode(BUTTON, INPUT);	2番ピンを入力用に使います
9	}	
10		
11	void loop() {	
12	val = digitalRead(BUTTON);	2番ピンの状態を読み込みます
13	if (val == HIGH) {	状態が HIGH なら
14	digitalWrite(LED, HIGH);	6番ピンを高い電圧にします
15	} else {	そうでなければ
16	digitalWrite(LED, LOW);	6番ピンを低い電圧にします
17	}	
18	delay(10);	少し待ちます
19	}	

このプログラムで新しく学ぶこと：マクロ定義と変数の利用

マクロ定義: 1 行目の「#define LED 6」と 2 行目の「#define BUTTON 2」の #define (define は定義という意味)は次に現れる名前をその次に現れる定義(文字の列)の代わりに使えるようにする命令(マクロ定義)です。

#define 名前 定義

プログラムの中に直接 6 や 2 という数字を埋め込む代わりに LED とか BUTTON と書けば、ヘリファイの際に 6 や 2 に置き換えられます。たとえば 7 行目の pinMode(LED, OUTPUT) は pinMode(6, OUTPUT) に置き換えられます。こうすることにより、直接、数字を書くより意味が分かりやすくなりプログラムが分かりやすくなります。

変数の宣言: 2 行目の「int val = 0;」は変数の宣言です。

- 変数には値を入れたり(書き換えたり)、入っている値を参照したりすることができます。プログラムの中で情報を保持するために基本的な仕組みです。

図 1 作成した授業資料の例

ンタクトスイッチを用いた配線とデジタル
入出力, 変数, 代入, 条件分岐

第4週: 圧電スピーカーによる音の出し方, 配
列, 関数定義

第5週: 力試しとして, LED 3 つとコンタクト
スイッチ, ブザーを使ったプレゼンテーショ
ンタイマの作成

第6週: 力試しの答え合わせ

第7週: アナログ入出力の扱いとホストコンピ
ュータとのシリアル通信, for 文

第8週: 作品作りのガイダンス

第9週: 作品の構想発表

第10~14週: 試作とレビュー

第15週: 作品プレゼンテーション

3.3 教材

教材としてはスイッチサイエンス社の
Arduino を始めようキット (Arduino Uno, ブ
レッドボード, ジャンパ線, LED, 電気抵抗,
コンタクトスイッチ, CdS セル) に圧電ブザー
と可変抵抗器を加えたものを標準セットとして
受講者2人でセット使用した。

後半の作品作り用には DC モータやソレノ
イドなどのほか, 工作用材や簡単な工具などを
用意した。作品の内容に応じて, 適宜, パーツ
を調達するとともに, パーツの使い方の必要に
応じて資料として作成した。

第1週~第7週の内容については, 写経型学
習の手法に沿って授業ノートを作成した (図1
参照)。2012年の資料については, 後述の
Suwano での利用を想定し, LED かコンタクト
スイッチなどで使用するポート, 極性などを統
一して例題を設計している。このほか, 参考書
として[3, 4]を適当部数用意した。

3.4 実施上の工夫

ペアでの学習: ペアプログラミングは2人で
端末を共有しながらプログラミングを行いイン
フォーマルなコードインスペクションを行うア
ジャイル開発の手法の一つであるが, 本実践で
も最初の段階から2人でペアを組む形で授業を

進めた。これにより, 常にコードや回路を相互
に確認させ, 軽微なミスを自ら発見できるよう
にする。プログラムのコードの確認はもちろん
重要であるが, 電子回路の配線の確認は, 電源
の短絡, 部品への過電圧や逆電圧の印加など,
部品の破損などを招くことから, プログラム以
上に重要である。

課題設定: 後半の自由作品の製作に当たっ
ては, 新規に購入するパーツについては予算制約
を設けたが, それに加え, 難易度などを相談し
て実現できる範囲で課題を調整した。また, 課
題に応じた電子パーツの使い方などは個別に指
導しつつ, 資料として蓄積している。

USB ドライバの設定: 本授業では Windows
PC を予め用意し, 学生に使いわせる方式を取
った。Arduino Uno での USB を用いたシリア
ル接続では, ハードウェアのシリアル番号ごと
にドライバのインストールを要求する。学生に
PCの管理者経験を与えない運用をするため,
USB のドライバはシリアル番号を無視する設
定を行ってインストールした。

3.5 学生の達成状況

2011年度の受講生は10名(5グループ),
2012年度は9名(4グループ)であった。2011
年度では第5週の中間の力試し課題の達成が一
部のグループで不十分であった。2012年度は4
グループともに課題を達成した。しかしながら,
受講生にとって課題はかなり難しいようで, 指
導法をさらに工夫する必要がある。

また, 2012年度は, 受講生の学習状況を把
握するために, 最終授業においてアンケートを
実施している(表1参照)。回答者数は, 受講生
9名全員である。授業の内容は, 「全体的に理解
できた」が4名, 「一部だけ理解できた」が5
名であった。

次に, プログラミングと電子回路のスキルに
ついて問うている。受講生Iのみ, プログラミ
ングの経験があるが, それ以外の受講生はプロ
グラミングおよび電子回路ともに初学者である。

自由作品の製作では 2011 年度は光センサと DC モータ、距離センサと DC モータを用いた車、LED を用いた装飾品、ソレノイドを使った打楽器、トグルスイッチと DC モータを使った装置などが作品として制作された。2012 年度は距離センサと DC モータを用いた車、DC モータ、可変抵抗、ソレノイド、あるいは DC モータを用いてピンポン玉を飛ばす装置、焦電センサと LCD パネルを用いた人のカウンタなどが制作された。

いずれも作品を完成しプレゼンテーションも行われたが、機構、電子回路、プログラミングなど工作対象が多様であり、チームによって不得意箇所も異なっている。機構部分で精度がでないため調整に手間取ることも多く、プログラミングの時間が圧迫されることも生じた。

また、電子回路では、DC モータの駆動にトランジスタを H 型に配置する回路を内蔵した IC を利用し、電源も Arduino 駆動用とモータ駆動用の 2 系統になる。このため初学者には配線量が多くなるが、センサ用の回路なども含めて一気に組み上げてしまうためトラブルシュートに手間取ることがあり、効率的な回路の構成やテストなどのスキルの獲得が望まれる。

4. Suwano キャンプでの実践

長野県下諏訪町のものづくり支援センターでは Arduino とコンパチブルの組み込みマイコン Suwano を開発している。これを活用した初級組み込み講座 (SUWANO CAMP) で本教材を活用した実践した。

講座は 2012 年 8 月 21 日～23 日の 3 日間の予定で行われ、6 名の参加者があった。参加者の内訳は大学院生 3 名、製造業従事者 2 名、デザイナー 1 名であった。

Suwano には予め LED、コンタクトスイッチ各 4 つと圧電スピーカーが組み込まれた演習用ドーターボードが附属している。これを活用する形で初日 (午後から開始) は先の授業案

の第 1～4 回の内容についてプログラミングの講習を行い、プレゼンテーションタイムを宿題とした。2 日目の午前にブレッドボードの使用方法和授業の第 7 回の内容を講義した。ここまでは 2 名 1 チームで講座を進めた。

2 日目の午後から 3 日目の午前では、時間の制約もあったことから 3 人ずつ 2 チームで作品の提案、作成を行った。主だった電子部品や工作用具、材料などは予め用意したものを利用してもらったが、工作用の部材など必要に応じて近くの 100 円ショップに各チームで買い出しをして取り組んでもらった。3 日目の午後には作品を紹介するプレゼンテーションと講座全体の振り返りを行った。1 つのチームは DC モータ 3 つと距離センサを用いた掃除ロボットのプロトタイプ、他方は CdS と DC モータも用いたメディアアートの作品を制作した。

5. おわりに

本報告では筆者らの提唱する写経型学習にもとづく教材などを活用したフィジカルコンピューティング講座の構成と実践について紹介した。週 1 回 90 分の授業 15 回の中で、Arduino のプログラミング、ブレッドボードを用いた簡単な電子回路の制作を学習し、自分たちのアイデアで作品を構成する授業構成を実践した。またこの授業案は 3 日間で集中実施する講座にも適用可能である。

一方、このような取り組みはフィジカルコンピューティング領域での作品作りが必ずしも高度なものではなくともプログラミングのみならず、電子回路や機構・筐体など多様なものづくり要素を含み、そのプロトタイプングが、さまざまな暗黙知に支えられていることに気づかされる。これは具体的な工作のスキルにとどまらず、プロトタイプングのプロセス全体を見渡して作業のスケジュールを作成することや、必要なパーツを探したり、その使い方を自ら学んだりするためのスキルが含まれる。今後は、この

ような点に配慮し、実践の中での学習者の躓きに配慮して指導方法や教材を改善していきたい。

参考文献

- [1] 特集 夏休み工作のためにフィジカルコンピューティング, 情報処理, Vo. 52, No. 8 (2011)
- [2] 喜多, 岡本, 吉川, 藤岡: 写経型学習による C 言語プログラミングワークブック, 共立出版 (2012)
- [3] Massimo Banzi 著, 船田 巧訳: Arduino をはじめよう, オライリージャパン (2009)
- [4] 小林茂: Prototyping Lab—「作りながら考える」ための Arduino 実践レシピ, オライリージャパン (2010)
- [5] ニール・ガーシェンフェルド 著, 糸川 洋訳: ものづくり革命 パーソナル・ファブリケーションの夜明け, ソフトバンククリエイティブ (2006)