

フィジカルコンピューティングとパーソナルファブリケーション によるプロジェクト型学習の実践

A Practical Study of Project-based Learning by Physical Computing and Personal Fabrication

野村 淳一
Junichi Nomura

Abstract

In this study, project-based learning through the practice of physical computing and personal fabrication has been attempted and applied, and the educational effect has been considered from the standpoint of learning attitude of students and number of credits acquired.

In project-based learning through physical computing, practices in interacting with sensors and the internet were carried out by using Arduino, an open source hardware, with the aim to improve the level of understanding of software and hardware. The final goal of the project was to complete an original work and present their achievements. From the standpoint of submission rate of experiment notes and the increase in the number of credits acquired, the project-based learning improved students' learning attitude and the level of basic understanding in the relationship with software and hardware.

In project-based learning through personal fabrication, students learned 3D printing prototyping method, and the final goal was demonstration exhibition at a local event. As a result, there was a contribution towards the development in a sense of responsibility and assertiveness through off-campus presentation experience.

Keywords: Physical Computing, Personal Fabrication, Digital Fabrication, Project-based Learning

1. はじめに

本研究は、個人によるものづくりのプロトタイピングが容易になりつつある現状を踏まえ、特に経営学部 IT 経営コースの 3 年生に対して、フィジカルコンピューティングおよびパーソナルファブリケーションの実践を通したプロジェクト型学習を試行するものである。

フィジカルコンピューティングとは、マイコンのプログラミングを通してコンピュータのふるまいを経験的に身に付け、コンピュータと人間のインタラクションを捉え直すものである (小林 2011)。通常、簡易なプログラミング言語を用いており、初学者でも比較的容易に習得できる。また、作成したプログラムの結果は、ハードウェア (マイコン) に接続した各種電子部品 (LED やセンサなど) の反応として可視化されるため、プログラミング初学者向けの教育プログラムとしても注目されている。

また、パーソナルファブリケーションは、MIT Center for Bits and Atoms のガーシェ

ンフェルドらが新しいものづくりの形として提唱している概念であり、日本語では個人の生産活動あるいは個人的なものづくりなどと呼ばれている（Gershenfeld 2012、相部 2011）。田中（2013）によれば、個人的なものづくりの文化は、デジタル工作機械の小型化・低価格化・デスクトップ化を源流とするデジタルファブリケーション、ものづくりの知識や方法がインターネット上に広く公開・共有されるオープンソースデザインの 2 つの流れにより進展している。ここで、デジタルファブリケーションは、レーザーカッターや 3D プリンタといった機器が PC の周辺機器として普及しつつある中で誕生した概念であり、PC 上のデジタルデータを入力データとして利用する新しい形状設計およびものづくりである（五十嵐 2013）。また、オープンソースデザインとは、機械や装置について一般に向けて設計図が公開され、自由な変更を許可するオープンソースハードウェアの流れを汲むものであり、家具や食器などの生活用品にまで拡大した概念である（田中 2013）。オープンソースデザインで公開・共有されるものは、設計図やソースコードの他、部品リストやレシピ（製作手順書）などが含まれる。

本研究では、オープンソースハードウェアの Arduino¹ 互換機を学生に提供し、センサやインターネットなどからの入出力を伴うものづくりを体験させ、最終的にオリジナルの作品を公開する、フィジカルコンピューティングの考え方を基にしたプロジェクト型の教育を試行する。また、3D プリンタによるパーソナルファブリケーションについて、地域でのイベントにおけるデモンストレーション展示を目的とするプロジェクトを行う。そして、両プロジェクトの教育効果について、課題への取組状況や取得単位数などの面から考察する。

II. プロジェクト型学習の実践

(1) フィジカルコンピューティングによるプロジェクト型学習

2014 年度前期、筆者担当科目である「ゼミナール I」において、フィジカルコンピューティングの考え方を基に、Arduino 互換機を用いたオリジナル作品の制作および大学祭での研究発表を最終目標とするプロジェクト型学習を試行・実践した。当該期のゼミナール I の講義内容は、表 1 のとおりである。

ゼミナール I の 2 回目～9 回目にかけて、主にテキスト²の例題を作成することを通じて、Arduino 互換機を用いたフィジカルコンピューティングの基本を身につけさせた。学生のプログラミングスキルにより、例題の完成にいたる時間は前後したが、次回までの課題として授業時間外に取り組ませることにより、10 回目までに全員がすべての例題を完成させることができた。

また、実習にあたっては、学生のソフトウェア（プログラミング）およびハードウェアに対する理解度の向上を図るため、そして講義の後半にオリジナル作品を制作することを踏まえて創造性を高めるため、例題 1 つごとに実験ノートの記入を課した。図 1 に実験ノートの記入例を示す。

¹ Arduino はオープンソースハードウェアの代表例であり、フィジカルコンピューティングに適したマイコンとして知られている（菅野 2011）。

² テキストには、Banzi（2012）および Reas and Fry（2011）を用いた。

表 1 ゼミナール I 講義内容

回	内容	詳細
1	オリエンテーション	プロジェクト型学習の説明。Arduino IDE（統合開発環境）インストール
2	Arduino 実習 1	Arduino 本体およびテキストの配布。フィジカルコンピューティングとパーソナルファブリケーション、プロトタイピング、クラウドファンディングの説明。実験ノート記入方法解説。スケッチ「Example01」（LED の点滅）
3	Arduino 実習 2	Arduino プログラミングの流れ。スケッチ「Example02」（プッシュボタンを使った LED のコントロール）
4	Arduino 実習 3	スケッチ「Example03A、03B、03C」（単一回路の複数用途への転用）
5	Arduino 実習 4	スケッチ「Example04」（PWM（パルス幅変調）による LED の明るさ調節）、「Example05」（プッシュボタンによる LED の明るさ調節）
6	Arduino 実習 5	スケッチ「Example06A、06B」（アナログセンサの活用）、「Example07」（シリアル通信の利用）
7	Arduino 実習 6	Processing ³ のインストール。スケッチ「Example11-6」（シリアル通信による情報取得：Arduino 版）、「Example11-7」（シリアル通信による情報取得：Processing 版）
8	Arduino 実習 7	スケッチ「Example08A、08B」（Arduino と Processing を連携させたインターネットからの情報取得）
9	Arduino 実習 8	スケッチ「Example08A、08B」
10 ～ 16	オリジナル作品制作	Arduino を用いた入出力を伴う作品制作。制作ノート記入方法解説。Generative Gestaltung ⁴ 紹介

実験ノートには、作成する例題の「テーマ」「ねらい」「写真」「使用部品名と個数、回路詳細（接続）」「コード」「作成上の注意点」「改善点・発展」を記入する。

「テーマ」および「ねらい」は、システムの目的および動作内容を記述する。「写真」は Arduino 互換機およびブレッドボード⁵上に配置した各種電子部品の配置画像であり、動作中のシステムの様子を撮影したものを貼り付ける。「使用部品名と個数、回路詳細（接続）」

³ オブジェクト指向プログラミング言語の一種。Arduino 互換機単体ではインターネットとのインタラクションが難しいため、ネット接続された PC 上で Processing スケッチを実行することにより、インターネットからの情報取得が可能になる。

⁴ 同名の書籍で紹介されているインタラクティブアートのサンプルスケッチを公開しているサイト (<http://www.generative-gestaltung.de/>)。

⁵ 電子回路の試作・実験用の基板であり、本研究でははんだづけが不要な種類のものを用いることで、プロトタイピングを容易にした。

実験ノート		作成日：2014年4月16日
講義名：ゼミナール I	担当教員：野村淳一	
学籍番号：1219876	氏名：	
テーマ：Arduinoをはじめよう		
【ねらい】（サンプル名：LEDを点滅させる、ページ数：pp.24-28） LED（発光ダイオード）を1秒間隔で点滅させる。		
【写真】		
		
【使用部品名と個数、回路詳細（接続）】		
接続先 1	部品名	接続先 2
GND（カソード：短い方）	LED	13（アノード：長い方）
【コード】（ファイル名：Example01.ino）		
<pre>// Example 01: Blinking LED const int LED = 13; // LED はデジタルピン 13 に接続 void setup() { pinMode(LED, OUTPUT); // デジタルピンを出力に設定 } void loop() { digitalWrite(LED, HIGH); // LED を点ける delay(1000); // 1 秒待つ digitalWrite(LED, LOW); // LED を消す delay(1000); // 1 秒待つ }</pre>		
【作成上の注意点】＜回路配置の注意点や、プログラムでエラーを起こしやすい点を記入＞ LED のプラスとマイナスに注意する。		
【改善点・発展】（工夫を加えたら、どんなことを行うか） ＜簡単によいので、テキストの例に工夫を加える＞ delay の組合せを工夫し、楽曲に合わせて点滅できるようにする。		

図 1 実験ノートの記入例

は Arduino およびブレッドボード上に配置した各種部品の接続を一覧表にするものであり、ハードウェアへの理解度を高めるために記述する。「コード」は Arduino IDE 上で作成したスケッチ⁶を記載する。「テーマ」から「コード」までの 5 項目は、例題においては全員が同じ記載内容になるはずであり、ソフトウェアおよびハードウェアに対する理解度を一定のレベルに保つために、基礎力を底上げする課題として意図したものである。

実験ノートの残りの項目は、「作成上の注意点」と「改善点・発展」である。「作成上の注意点」は、回路配置の注意点やプログラムでエラーを起こしやすい点を記入する。Arduino を用いたシステム開発のコツを形式知化することを意図した項目であり、他学生とノウハウを共有する目的としても活用した。最後の「改善点・発展」は、例題のシステムに独自の工夫を加えるものであり、構想を述べることに加えて、実現するためのスケッチの改良や部品配置の修正も考えさせた。最後の項目は、講義の後半でオリジナル作品を制作することを念頭に、創造性を高め、自ら独創的なアイデアを提案するきっかけとし

⁶ Arduino IDE および Processing では、プログラムコードのことをスケッチと呼ぶ。

て意図したものである。

Arduino 実習（全 8 回）において、およそ 9 つの例題の作成を課したが、受講生（11 名）は全員が期日通り完成し、実験ノートの提出率も 100%であった。

さらに、ゼミナール I の 10 回目～16 回目にかけて、Arduino 互換機を用いた入出力を伴うオリジナル作品の制作を行った。制作にあたっては、「入力の値が〇〇したら、出力が△△する」というように発想することを指導した。たとえば、光センサに手をかざす（センサを暗くする）と、LED の明るさも暗くなるというような、比較的単純なアイデアを元にして提案するように求めた。また、制作の過程において、Arduino 実習における実験ノートに対応して、制作ノートの記入を課した。図 2 に制作ノートの記入例を示す。

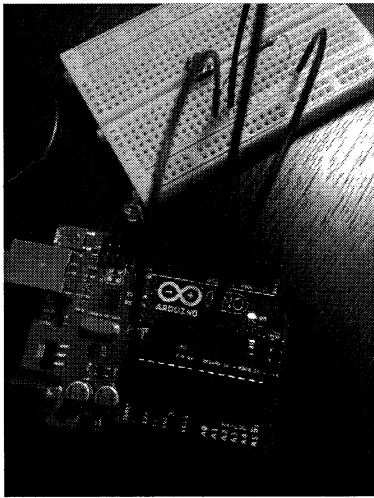
制作ノート	作成日：2014 年 7 月 30 日
講義名：ゼミナール I	担当教員：野村淳一
学籍番号：	氏名：
テーマ：Arduino と Processing を使った作品づくり	
【入力】＜どの入力を使うかを記載する＞ 温度センサ	
【出力】＜どの出力を使うかを記載する＞ LED (5 つ)	
【作品のねらい】＜「入力の値が〇〇したら、出力が△△する」と発想する。作品のアピール＞ 温度センサにより気温を測定し、LED の発光状態（1 つ点灯、2 つ点灯、…）により、現在の気温を見える化する。	
【写真】＜回路の配置と出力の様子が見えるような写真（スクリーンショット）を撮影し、貼り付け＞ 	
【使用部品名と個数、回路詳細（接続）】	
【スケッチ】	
【作成上の注意点】	
【改善点・発展】（工夫を加えたら、どんなことを行おうか）	

図 2 制作ノートの記入例

実験ノートの項目に加えて、「入力」「出力」および「作品のねらい」の項目を設けた。「入力」には作品で利用する入力部品（たとえば、温度センサ）を記入し、「出力」には入力に応じて変化する出力部品（たとえば、LED）を記入する。「作品のねらい」には、どのような動作をすることを目的とした作品なのかを記入する。入出力および作品の目的を

明確にすることにより、スケッチや回路の作成途中における指針となることを意図したものである。

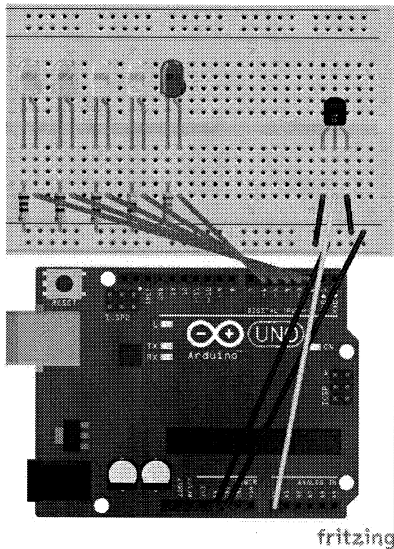
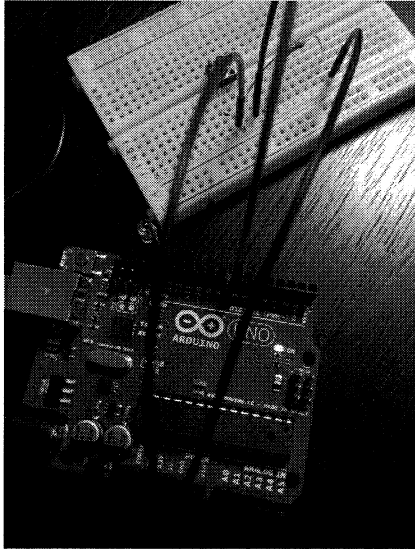
受講生たちは一部過大な目標を立て、途中で作品の内容を変えたものもいるが、距離センサや光センサ、タッチセンサ、超音波センサなど、多様な入力部品を活用したオリジナル作品の制作を完遂した。完成した作品は、大学祭の研究発表にてデモンストレーション展示を行った。研究発表資料の例を図3に示すとともに、巻末付録としてすべての発表資料を掲載する。

2014 年度星城大学経営学部野村ゼミ 3 年成果発表【デジタル×リアルの未来教室】

Arduino with 温度センサ

☆ 概要

Arduino に温度センサをつなげて、LED の発光状態により現在の気温を知らせる。



☆ 利用シーン

夏場に部屋においておけば、熱中症対策に活用できます。たとえば、気温が 27℃以上のときに緑 LED を 1 つ点灯、29℃以上のときには緑 LED を 2 つ点灯、と気温が 2℃上がる毎に点灯する LED が 1 つずつ増えるように設定します。熱中症に特に注意が必要な気温 35℃以上になったときには、赤色 LED を含むすべての LED が点灯し、周りにいる人たちに注意を促し、水分補給や冷房の温度調節など、必要な対策を行うように喚起します。(参考：三月兎(2013)「熱中症対策センサー」robot-fan.net)

図3 研究発表資料の例

(2) パーソナルファブリケーションによるプロジェクト型学習

パーソナルファブリケーションを活用したプロジェクト型学習については、デジタル工作機械の 3D プリンタを用いたプロトタイピングを題材とし、地域イベントにおけるデモンストレーション展示を目標として試行・実践した。筆者担当の後期科目「ゼミナールⅡ」において、パーソナルファブリケーションをテーマに卒業研究を行う学生を募集したところ、3名の学生が参加した。3D プリンタの活用においては、3D モデリングが不可欠

であり、ゼミナールⅡのほとんどの時間はモデリングの技術習得に充てられた。本学の講義科目において、3D モデリングを本格的に扱うものが存在しないため、技術の習得に時間がかかり、研究上の進展はあまりなかった。しかし、地域イベントでのデモンストレーション展示は、2014 年 11 月に行われた東海市の産業まつりにおいて、星城大学ブースの催しの 1 つとして実施し、プロジェクトの目標は達成できた。図 4 に産業まつり当日の会場の様子を示す。



図 4 産業まつりにおける 3D プリンタのデモンストレーション展示

Ⅲ. プロジェクト型学習の効果

ここでは、本研究におけるプロジェクト型学習が学生のソフトウェアおよびハードウェアに対する理解度の向上にどのように寄与したのか、総括を試みる。

まず、フィジカルコンピューティングによるプロジェクト型学習では、Arduino 実習（全 8 回）において、受講生 11 名全員が期日通り完成し、実験ノートの提出率も 100%であったことが挙げられる。実験ノートの記載項目設計においては、ソフトウェアおよびハードウェアに対する理解度を一定のレベルに保つために基礎力を底上げする項目、Arduino 互換機を用いたシステム開発のコツを形式知化する項目、そして、創造性を高め、自ら独創的なアイデアを提案するきっかけとする項目を配置した。実験ノートの提出率が 100%であったことから、ソフトウェアおよびハードウェアに対する理解度はある程度向上したのではないかと考える。経営学部では 3 年次にプログラミングの科目が配置されており、3 年進級時点では本格的なプログラミングの経験を持つものは少ない。この点、Arduino 互換機を用いたことにより、プログラム（ソフトウェア）と実際の実行結果（ハードウェア）の関係性が可視化され、基礎的な理解度を高める効果が得られたことが、全員が例題を完成させ、課題提出率が 100%であった結果に表れているといえよう。

また、定量的に教育効果をはかる指標として、筆者のゼミナール所属学生における3年次の取得単位数について、2013年度と本研究の対象となった2014年度を比較する（図5⁷）。取得単位数の平均値および中央値は、2013年度がそれぞれ39および42であるのに対して、2014年度は39および40であった。図5からわかるとおり、2014年度の方が最大あるいは最小の取得単位数が増加しており、さらに平均値と中央値の乖離も減少している。このことから、本研究におけるプロジェクト型学習により、学生の学業に取り組む意識が向上し、その結果として全体的に取得単位数が増加したと見ることもできよう。筆者のゼミナールはIT経営コースであり、3年次配当科目としてプログラミング関係の講義を受講している学生も多いことから、Arduino実習を通したソフトウェアおよびハードウェアに対する理解の向上の効果が、間接的に表れていると考えてもよいだろう。

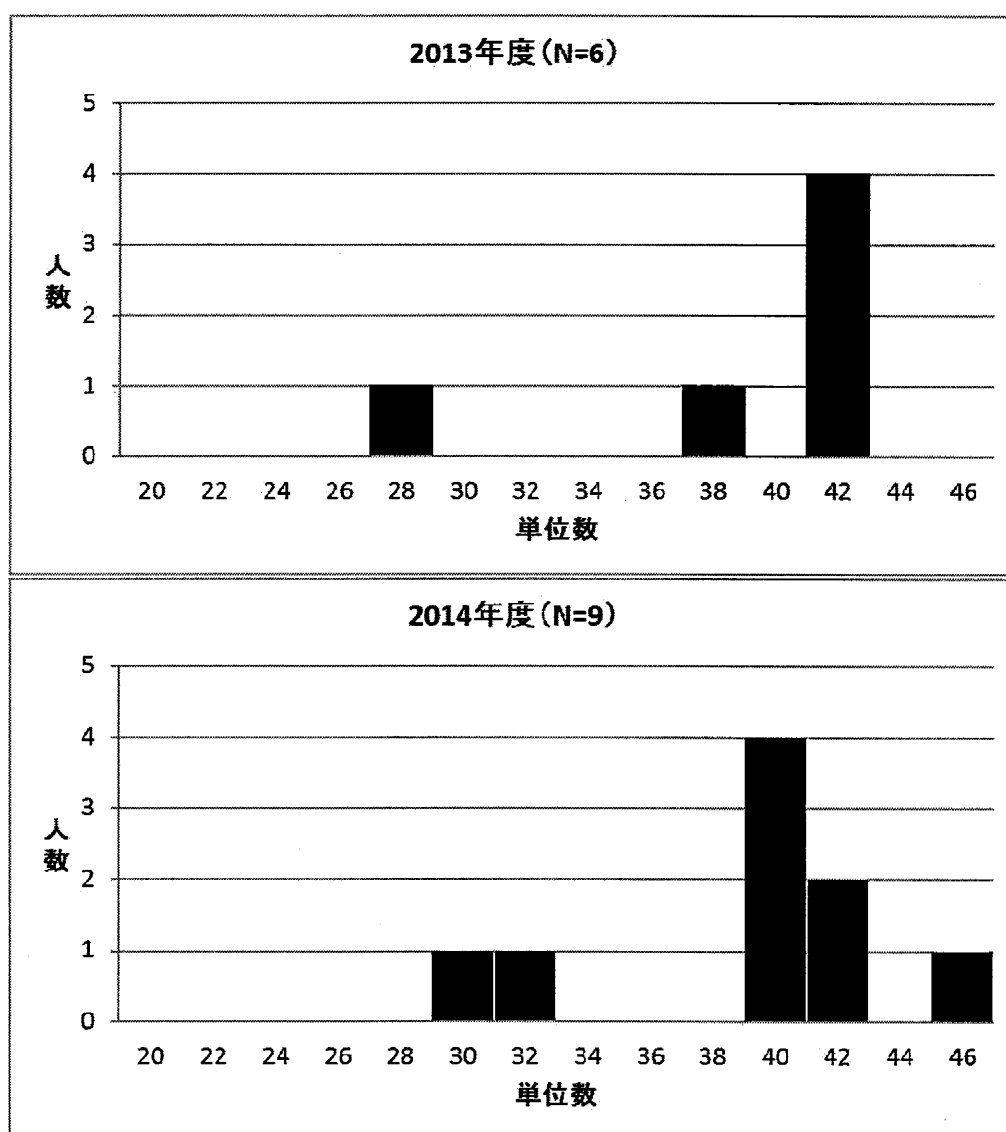


図5 3年次取得単位数の比較

⁷ 図5において、比較には各年度所属学生の取得単位数のうち、最大および最小の学生の結果を除いているため、2013年度はN=6、2014年度はN=9である。

一方、パーソナルファブリケーションによるプロジェクト型学習については、3D モデリングの技能習得に事前の想定以上に時間がかかり、学生の能力向上に寄与したかどうかを判断するに至らなかった。ただし、地域イベントでのデモンストレーション展示の経験を通して、自らの研究内容に関して大学を代表して説明するという責任感や積極性は生まれたように思われる。

IV. おわりに

本研究では、フィジカルコンピューティングおよびパーソナルファブリケーションの実践を通じたプロジェクト型学習を試行・実践し、その教育効果について、受講生の取組状況や取得単位数の面から考察した。

フィジカルコンピューティングによるプロジェクト型学習では、Arduino 互換機を用いてセンサやインターネットなどからの入出力を伴う実習を行い、ソフトウェアおよびハードウェアに対する理解度の向上を目指した。プロジェクトの最終目標は、オリジナル作品の制作および研究発表とした。実験ノートの提出率および取得単位数の増加の観点から、プロジェクト型学習により学業に取り組む意識や、ソフトウェアとハードウェアの関係性に関して基礎的な理解度が向上したと見られる。

パーソナルファブリケーションによるプロジェクト型学習では、3D プリンタを用いたプロトタイピングを学習し、地域イベントにおけるデモンストレーション展示を最終目標とした。3D プリンタにおけるモデルデータの作成の技術習得に時間がかかり、明確な研究成果は得られなかったが、学外での発表経験により責任感や積極性の涵養に寄与したように思われる。

今回のプロジェクトの問題点としては、フィジカルコンピューティングおよびパーソナルファブリケーションの双方において、技術的に習得しなければならない項目が多く、ゼミナールの講義時間だけでは両者を平行して取り扱うことが難しい点が挙げられる。また、Arduino 実習についても、少し丁寧に時間をかけすぎたように思われる。筆者が受講した実務者向けセミナー⁸においては、6 時間で Arduino の基礎知識を習得できるように設計されていた。セミナーはプログラミングの知識を習得している者を対象にしたものであり、3 年次まで本格的なプログラミングの科目が配置されていない本学にはそのまま転用はできないが、重要な機能や頻繁に用いられる構文など、要点を絞って実習を設計すれば、少ない授業回数にまとめられる可能性がある。なお、2015 年度の筆者担当のゼミナール I では、本研究と同様にフィジカルコンピューティングによるプロジェクト型学習を実践しているが、上記の問題点を踏まえて、Arduino 実習において基礎的な内容を 4 回分の実習にまとめ、その後の 5 回をオリジナル作品の制作に充てている。

謝辞

本研究は、星城大学経営学部より、特別研究奨励費の助成を受けた研究成果の一部である。ここに記して、感謝の意を表する。

⁸ 「3G 通信技術を活用した M2M アプリケーション開発技術 (オープンハードウェア Arduino による開発期間短縮技術)」独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構 高度職業能力開発センター

参考文献

- ・ 小林茂 (2011) 「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
- ・ Neil Gershenfeld 著、田中浩也監修、糸川洋訳 (2012) 『Fab—パーソナルコンピュータからパーソナルファブ리케이션へ』 オライリージャパン／Neil Gershenfeld (2008), *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop—from Personal Computers to Personal Fabrication*, Basic Books
- ・ 相部範之 (2011) 「パーソナル・ファブ리케이션序論」『情報処理』 Vol. 52、No. 8、pp. 958-963
- ・ 田中浩也 (2013) 「パーソナルファブ리케이션時代におけるものづくりのオープンソース化の動向と Fab Commons の提案」『情報処理』 Vol. 54、No. 2、pp. 127-134
- ・ 五十嵐健夫 (2013) 「デジタルファブ리케이션 編集にあたって」『情報処理』 Vol. 54、No. 2、pp. 84-85
- ・ 菅野創 (2011) 「Arduino 入門」『情報処理』 Vol. 52、No. 8、pp. 922-925
- ・ Massimo Banzi 著、船田巧訳 (2012) 『Arduino をはじめよう 第2版』 オライリージャパン／Massimo Banzi (2011), *Getting Started with Arduino, 2nd Edition*, Maker Media, Inc
- ・ Casey Reas and Ben Fry 著、船田巧訳 (2011) 『Processing をはじめよう』 オライリージャパン／Casey Reas and Ben Fry (2010), *Getting Started with Processing*, Maker Media, Inc

フィジカルコンピューティングによるプロジェクト型学習の成果物（大学祭における研究発表資料）

— 11 —