

報 告

## プロトタイピング手法を導入した実践的な技術教育とその成果

辻 明典\*, 川上 博\*\*

Introduction of the Prototyping Method to Technical Education and Its Effect

Akinori TSUJI\* and Hiroshi KAWAKAMI\*\*

### 要 旨

近年の急速な社会構造の変化に伴い、新たな価値を見出すイノベーションの創出が求められている。教育研究現場においても新産業や新技術に対応できる人材の育成は急務である。これに対して、2012年度から大学開放実践センターにおいてマイクロコントローラを用いた公開講座を開講している。本講座では、電子製品のプロトタイプ（試作品）を教材として使用し、製品開発手法の一つであるプロトタイピング手法を導入した実践的な技術教育を行っている。本稿では、公開講座において取り組んだプロトタイピング手法について述べた後、2012年度から2015年度に行った講座の実施状況について述べる。受講者のアンケート結果や講座内での討論から成果と今後の課題について検討する。

キーワード：プロトタイピング手法，マイクロコントローラ，技術教育

### 1. はじめに

近年の急速な社会構造の変化に伴い、新しい価値を見出すイノベーションの創出が教育研究現場においても求められている<sup>[1]</sup>。新産業や新分野の開拓には、大学での一般教養や専門教育を基盤とした基礎教育に加え、より実践的で応用に直結する基礎技術の習得も不可欠である。筆者らは、2012年度から一般の方を対象とした公開講座において、マイクロコントローラを用いたプロトタイプ（試作品）を教材に利用し、製品開発手法の一つであるプロトタイピング手法を導入した講座を行っている。本稿では、本講座の目標について述べた後、公開講座において取り組んだプロトタイピング手法の概要について述べる。次に、2012年度から2015年度に行った講座の実施状況につ

---

\* 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部総合技術センター

\*\* 徳島大学名誉教授

いてまとめる。さらに、受講者のアンケート結果や講座内での討論から成果についての検証を行う。最後に、まとめと今後の課題について検討する。

### 1.1 講座の目標

本講座では、電子機器や家電製品に使用されるマイクロコントローラを用いたプロトタイプ（試作品）を製作し、受講者自らが開発過程を体験できるとともに能動的に学習できる機会を提供している。講座の目標は、プロトタイプの開発を通じて高度化・複雑化が進む電子製品の基本原理や仕組みの理解を促し、習得した技術を活用して、新たなアイデアの創出、課題発見能力や課題解決能力の向上、並びに分野横断的な思考を身に付けることである。

### 1.2 マイクロコントローラを教材に活用

本講座では、マイクロコントローラを教材として活用する。マイクロコントローラは、マイクロプロセッサにデータ入出力や通信などの周辺機能を集積した半導体である。マイクロコントローラを内蔵した製品は組み込みシステムと呼ばれ、身近な家電製品にとどまらず、医療、農業、工業、運送、航空・宇宙産業をはじめとして応用分野は広範囲に及ぶ（図1）。したがって、マイクロコントローラの基礎技術を習得できれば、分野横断的な思考を身に付けられ、新たな製品の開発や様々な分野への技術移転の推進が期待できる<sup>[4]</sup>。また、同時に関連する専門技術（プロセッサ、電子回路、センサ計測、信号処理、ネットワーク通信、システム制御、プログラミングなど）についても学習できるため、製品を製作するために必要な技術の習得や動作原理の理解も深められる。

一方で、マイクロコントローラは、あらゆる産業の中心にありながら、現状では一部の専門家のみが取り扱える状況にある。本講座の目的の一つは、専門家ではない人でもマイクロコントローラの仕組みを理解して使いこなせるようになることである。

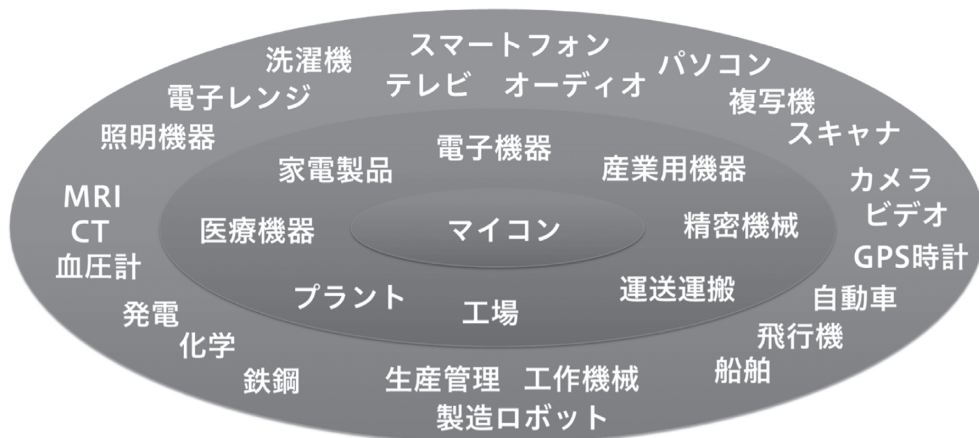


図1 マイクロコントローラの応用範囲

## 2. プロトタイピング手法

新しい価値を創出するには、様々な分野の意見を持ち寄り各分野において抱える課題や未解決の問題について議論を深め共有することが重要である。異分野間でのコミュニケーションには互いの言葉を理解するための共通のプラットフォームが必要になる。そこで、本講座ではマイクロコントローラの応用について議論するために、電子製品のプロトタイプ（試作品）を教材に用いる。本章では、製品開発手法の一つであるプロトタイピング手法の開発工程について述べた後、プロトタイプ製作の現状について述べる。

### 2.1 プロトタイピング手法における開発工程

一般に、製品開発の初期段階には、製品の実現可能性や製品仕様・機能を確認するために試作（プロトタイピング）が行われる。開発の早い段階で試作品を用いて評価を行い、ユーザや開発者からの改善点を最終製品の仕様に反映させる開発手法をプロトタイピング手法という<sup>[5][6]</sup>。図2はプロトタイピング手法における開発工程を示したものである。開発工程は大きく分けると4段階あり、①製品アイデアの構想、②試作品の設計・製作、③ユーザによる試用・評価、④ユーザ要求を取り入れた製品仕様の改善が基本になる。これらを短い期間で反復することによって、製品仕様の決定や機能の精査ができ、ユーザからのニーズや意見を正確に製品に反映できる。また、実際に動作するプロトタイプを用いることにより、ユーザ・開発者間での問題意識の共有をはかることも可能になる。

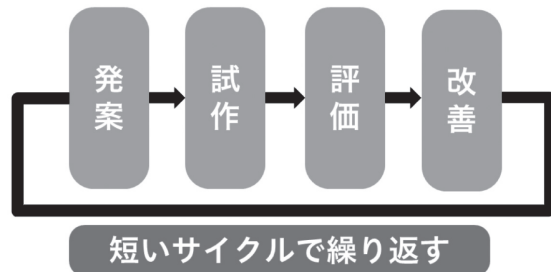


図2 プロトタイピング手法における開発工程

### 2.2 プロトタイプの製作

従来、コンピュータや電子機器のハードウェアのプロトタイプ製作には多くの開発費や時間を要したが、近年、3Dプリンタによる筐体製造、海外工場による回路基板製造、ならびにオープンソースソフトウェアの利用によって、大幅に試作コストを削減できる環境が整備されている。そのため、個人でも特別な設備がなくとも、インターネット環境さえあればファブレスで容易に開発をスタートできる。こうした現状から、公開講座にプロトタイピング手法を導入し、講座内で得られた受講者からの意見やアイデアをもとに、マイクロコントローラを用いたプロトタイプを製作し、教材として利用した。

## 3. 公開講座へのプロトタイピング手法の導入

公開講座は生涯学習を目的とした一般の方向けの講座である。公開講座におけるプロトタイピン

表 1. プロトタイピング手法を導入した公開講座の実施状況<sup>[2]</sup>

実施年度	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度
講座 タイトル	マイコンをはじめよう	マイコンをはじめよう	ロボットをつくろう	LED を光らせよう
講座内容	マイコンの基礎	マイコンの基礎	自律型 2 輪ロボット	LED ランタン
実施回数	8 回	8 回	12 回 (6 回 + 6 回)	12 回 (6 回 + 6 回)
実施期間	7/21-9/15 (毎土)	7/20-9/14 (毎土)	7/12-8/30 (毎土) 10/4-11/15 (毎土)	5/23-6/27 (毎土) 10/3-11/14 (毎土)
受講者数	10 名	11 名	17 名, 16 名	14 名, 11 名
新規 受講者数	10 名	7 名	10 名, 0 名	7 名, 1 名
マイコン ボード	LaunchPad	Arduino UNO	自作 Arduino 互換	自作 Arduino 互換
使用部品	LED, Tr., 光センサ, スイッチ, 圧電ブザー	LED, スイッチ, 光 センサ, 圧電ブザー	LED, 赤外線, 光 検出, サーボモータ, スピーカー, (無線)	LED, 温湿度, 光, 赤外線, 距離センサ, 液晶表示
開発環境	△ (専用 SW)	△ (Arduino, 及び Processing)	○ (Arduino 及び Library)	○ (Arduino 及び Library)
プログラム	△ (専用 SW)	△ (マイコン依存)	○	◎ (サンプル提供)
ブレッド ボード	△	○	○ (オリジナル設計 基板)	○ (オリジナル設計 基板)
回路製作 半田付け	-	-	× (難易度高い)	-

グ手法の開発工程との対応は、①受講者からのアイデアの集約（発案）、②プロトタイプを製作して受講者に提供（試作）、③講座内でプロトタイプを用いて講義・演習（評価）、④講座にて討論及びアンケートを行い提案や改善点を抽出（改善）である。この工程の①から④を、1年または半年の周期で繰り返す。これにより、定期的に受講者から意見やアイデアが得られ、その結果を次回の講座にフィードバックでき、講座内容の改善が期待できる。また、実際に動作するプロトタイプを用いることで、受講者からより多くのアイデアや意見が得られると考える。

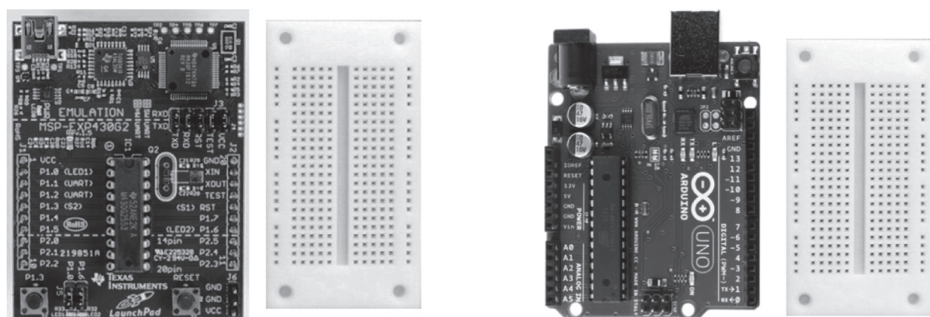
### 3.1 公開講座の実施状況

2012 年度から 2015 年度の 4 年間に、プロトタイピング手法を導入した公開講座を開講した。表 1 に実施状況を示す。講座はマイクロコントローラの基礎技術の習得を目的として、市販のマイコンボードを用いた基礎講座、自律型 2 輪ロボットや LED ランタンの製作を目標とした講座を開講した。一講座の実施回数は、2012 年度、2013 年度は 8 回実施した。受講者から継続して学習したいとの要望により、2014 年度以降、春夏・秋冬の二部構成にして計 12 回とした。二部構成による効果は、春夏に基礎、秋冬に応用として、講座内容を基礎的な項目に終始せず、発展的な内容までも講座で取り扱えるようになった。ただし、各年度の受講者数の内、半数以上が「新規受講者」のため、

必ず初回にマイコンの開発環境の構築やマイコンの概要についての説明を行った。講座の評価は、受講者に講座内容に関するアンケートを実施するとともに、講座内で講師と受講者間で討論（ディスカッション）する時間を設け、アンケートでは得られない受講者からの率直な意見や要望を聞く機会を持ち、様々な課題に対する認識の共有をはかることとした。

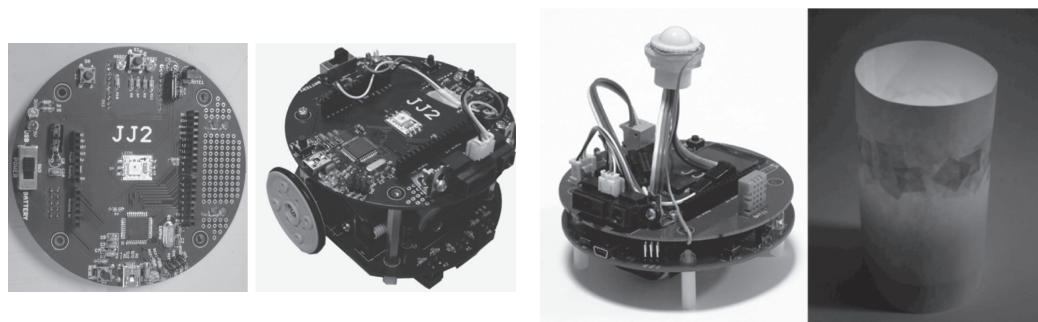
### 3.2 講座のプロトタイプに使用したマイコンボード

講座のプロトタイプとして、マイコンが実装された評価ボードを用いた。図3に講座に使用したプロトタイプ用の基板を示す。マイコンボードとして、2012年度はMSP430 LaunchPad, 2013年度以降はArduinoを用いた。プロトタイプに使用する評価ボードは、低価格、オープンソース（設計図公開）、開発環境の無償提供、並びに技術情報が書籍やインターネットで公開されていることが望ましい。また、プロトタイプの性質上、マイコンボードに簡単に短時間で電子回路やセンサを接続して動作確認できる必要がある。そのため、電子回路のプロトタイプ製作にはブレッドボードとジャンパワイヤを用いた。2014年度、2015年度には、講座内容に合わせ専用のオリジナル基板を設計・製造し、プロトタイプの自律型2輪ロボット、LEDランタンの基板を配付した。



(a) LaunchPad (2012年度)

(b) ArduinoUNO (2013年度)



(c) 自作 Arduino 互換ボード  
自律型2輪ロボット (2014年度)

(d) 自作 Arduino 互換ボード  
阿波和紙 LED ランタン (2015年度)

図3 公開講座において使用したプロトタイプ用基板

マイコンの開発環境は、オープンソースのフリーソフトウェア (CodeComposer<sup>[7]</sup>, Arduino<sup>[8]</sup>, Processing<sup>[9]</sup>) を使用した。特に, Arduino, Processing は, 電子回路の専門家やプログラマでなくとも使いやすいようユーザインタフェースが設計されておりプロトタイプングの教材に適している。

#### 4. 公開講座の実施結果と考察

2012年度から2015年度の講座の実施結果を示し, 各年度のアンケート結果及び講座内の討論より得られた意見や提案から考察する。講座の受講者は10代から70代の一般の方(高校生, 大学生を含む), 全体では60代70代の受講者が多かった。なお, ほとんどの受講者は, マイコン開発やプログラム経験がない未経験者であった。

##### 4.1 マイコンをはじめよう (2012年度)

マイコンを教材に用いた講座の初年度である。講座はマイコンの基礎知識の習得を目指した。市販の安価なマイコン評価ボード (LaunchPad) とブレッドボードを用いて講座を行った。電子回路の動作確認に, ブレッドボードとラッピングワイヤを用いてプロトタイプを作製した。受講者は, 講師の説明を聞きながら回路製作とプログラムを自ら行い, 回路実験やプログラムを経験した。

###### (a) 結果

アンケートから「来年度もぜひ開講して欲しい」「はじめての取りかかりとして非常に有効だった」「初めての体験で理解に役立った」という回答があり, 受講者の興味・関心を引き出したことが伺える。一方で, 「説明や解説はわかりやすかった, 講座のレベルを適切だった」の項目に対する評価が低く, 「時間が足りなかったように思う」との意見があった。

###### (b) 考察

講座内容をマイクロプロセッサの知識があることを前提として構成したため, 複雑なレジスタ設定や専門用語が多数あり, 初学者にとって理解するのが困難であった。また, ブレッドボードの回路製作も煩雑になり慣れない作業が多く時間を要した。これらを解消するため, 開発環境の変更と専門用語を多用しないよう講座の進め方を見直すことにした。

##### 4.2 マイコンをはじめよう (2013年度)

講座内容は, マイコンの基礎知識を習得することを目標とした。2012年度の結果から, マイコンの開発環境をArduinoに変更し, 使用する電子部品を減らした。マイコンのハードウェア (I/O, Timer, AD/DA 等) に関する内容を中心に講座内容を構成した。また, 時間に余裕ができたため, Processingを使用したパソコンによるプログラムにも取り組んだ。

###### (a) 結果

受講者のアンケートから「大変おもしろく受講した」「はじめてですが良かったです」「とても役に立ちました」「具体例を示してくれたのでわかりやすかった」という評価があり, 一定の改善が



見られた。講座内での討論から「講座を継続して受講したい」「プログラムをもっと詳しく知りたい」との積極的な意見が多数寄せられた。

#### (b) 考察

受講者の多くより「継続して学習したい」との学習意欲を引き出すことができた。これは開発環境を Arduino に変更したことによりプログラムの理解が進んだためと考えられる。しかし、内容がマイコンのハードウェアに関する項目の網羅になり、全体として散漫な印象を与えた。マイコンの応用を考えると、システムの一部としてマイコンの基礎を学習するのが良いのではないかと考える。

### 4.3 ロボットをつくろうー前編，後編ー（2014年度）

受講者からマイコンを用いた具体的なものを製作したいとの意見が多くあり、今回は自律型2輪ロボットを教材として製作した。受講者に基板と電子部品を配付して、部品の半田付けの講義・演習を行い、試作を一から経験する内容とした。講座の最後には、ライントレースをするフィールドを用意して、自身で製作したロボットを走らせた。

#### (a) 結果

プロトタイピングとしてロボットを課題にしたことにより、受講者との議論では、非常に多くの意見やアイデア、講座の改善案について活発なやりとりが行われた。「講座の内容を発展させて実用的なものを作りたい」「電気回路、プログラムの基本的なことをもっと学びたい」「オープンソースカンファレンスで広報してはどうか」など、積極的な関わりが見られた。その一方で、「授業時間が短くなかなか理解できない」「もう少しゆっくり説明して欲しい」「質問を受け付ける時間を設けた方が良い」との回答があり、依然として講座レベルを適切に調整する必要があることが明らかになった。

#### (b) 考察

ロボットという直感的にわかりやすいプロトタイプを開発対象とすることで、受講者の講座に対する取り組み方や考えが大きく変わったことを実感した。開発の全工程を取り入れたことにより、製作できたことによる達成感が得られたが、一部の受講者は「半田付けに失敗したり」「プログラム入力に手間取ったり」と開発課題が負担であった。このことから、講座全体のレベル調整に加え、受講者の進捗に応じた説明や演習を行うことの必要性を感じた。

### 4.4 LEDを光らせようー前編，後編ー（2015年度）

受講者との議論の中で、LEDを使ったり、温度や湿度を測りたいとの要望から、阿波和紙を使ったLEDランタンをプロトタイプの教材とした。LEDの発光原理及びマイコンによる制御方法、センサの使用方法を学習して作品づくりに取り組んだ。LEDランタンの応用として、熱中症の危険度を光や音で知らせるランプ、人が近づくとLEDを点灯させるなどのプログラムを実装した。

#### (a) 結果

受講者から制作に関するアイデアや意見が最も多く寄せられ、「天気の変化や声などでLEDを光らせたい」「イルミネーションを作りたい」「帽子に取り付けたい」などの提案があった。「マイコンを知らなかったがセンサなど仕組みがわかった」との回答もあり、講座を通じてマイコンをどのように応用するか理解が深められた。また、「プログラムの書き方や基本を学びたい」「継続して受講したい」との回答も多数あり、講座の受講により、さらに興味関心が深まったことが伺えた。

#### (b) 考察

これまで講座の時間配分についての指摘があったが、全体への説明時間を最小限にした上で、課題を全員に出して自習時間を十分に確保することにした。これにより、受講者間での進捗時間が異なるのを吸収し、受講者の個別の質問にも答えられるよう対策した。また、LED ランタンの部品の半田付けはあらかじめ行うことにし、プログラムについてもサンプルを事前に配付することにした。これにより、マイコンやセンサの動作原理の理解とプログラムの応用にも時間が持てるようになった。

## 5. まとめ

本稿では、プロトタイピング手法を導入した公開講座の取り組みについて述べた。プロトタイピング手法は、プロトタイプを用いて問題点を発見して早急に改善をはかることが基本的な考えにある。講座へのプロトタイピング手法の適用によって、受講者の状況を把握し、講座内容やレベルを適切に調整することが可能となった。アンケートや講座内での議論の結果から、講座を通じて受講者の自発的な学習意欲を引き出し、課題発見能力や課題解決能力の向上が伺えた。実際に目に見えるプロトタイプを用いたことによる効果は、受講者の進捗状況の把握を容易にして理解度の確認にも繋がった。さらに、受講者がマイクロコントローラの原理や仕組みを理解した上で、アイデアや意見を述べることにより、潜在的なニーズを知ることができた。以上の結果から、プロトタイピング手法の有効性が確認された。

プロトタイピング手法の適用に際しては、(1) 開発に対する目的や目標を明確にする。(2) プロトタイプの製作（講座準備）に十分な時間を確保する。(3) 対象に合わせて講座レベルを調節する。(4) 短い期間内にフィードバックをして改善をはかることが重要である。プロトタイピング手法において、理想的な講座に近づけるためには多くの試行錯誤が伴うことになる。今後の課題として、より最適な講座レベルの調整や時間の管理、受講者間のコミュニケーションを促進する取り組みが必要であると考えられる。公開講座を通じて得られた知見は、学部や大学院の実験や演習などにも適用が可能であり、今後さらなる応用が期待できる。なお、プロトタイプの製作には目的に応じた専門家によるアドバイスや支援が必須である。



## 参考文献

- (1) 文部科学省 (2013), 平成 25 年版科学技術白書第 1 部イノベーションの基盤となる科学技術第 1 章我が国の科学技術政策を取り巻く動向, pp. 103–133.
- (2) 辻明典, 川上博 (2016), 公開講座におけるプロトタイピング手法を用いた体験型教育の実践, 平成 27 年度 FD 推進プログラム大学教育カンファレンス in 徳島発表抄録集, pp. 64–65.
- (3) G.E., Moore (1998), Cramming More Components Onto Integrated Circuits, Proceedings of the IEEE, Vol. 86, Issue 1, pp. 82-85.
- (4) 辻明典 (2014), 組み込みシステム応用に基づく実践的な教育研究支援, 平成 25 年度 FD 推進プログラム大学教育カンファレンス in 徳島発表抄録集, pp. 52–53.
- (5) Brooks, F. P. (1987), Jr., No Silver Bullet : Essence and Accidents of Software Engineering, Computer, vol. 20, no.4, pp. 10-19.
- (6) Scott Berkun (2000), UI プロトタイプ作成の技法, Microsoft Corporation, <https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/cc401806.aspx>.
- (7) LaunchPad, <http://www.tij.co.jp/tool/jp/msp-exp430g2>
- (8) Arduino, <http://www.arduino.cc/>
- (9) Processing, <http://www.processing.org/>

## Abstract :

Industrial innovation and technological diffusion are rapidly becoming a major phenomenon to find new added value in existing technologies. Development of human resources for innovative technologies and manufacturing is required in education and research site. We have started an extension course on the development of a micro-controller from 2012 in the Center for University Extension of the Tokushima University. In our extension course, the prototype of an electronics product is used as teaching material. We practice technical education introducing the prototyping method in one of the manufacturing development methods. In this report, we give an explanation of our proposed prototyping method and also summaries on status of implementation of our course from 2012 to 2015. From the results of a survey and a discussion with the students, we consider the achievement and future issues of our proposed method.