

ロボット開発へつながる組み込みシステムの基礎教育の構想

渡辺晴美^{†1}, 近藤充資^{†2}, 三輪昌史^{†3}, 元木誠^{†4}, 小倉信彦^{†5}, 佐藤未来子^{†1},
今村誠^{†1}, 中村啓之^{†6}, 細合晋太郎^{†6}, 久住憲嗣^{†6}, 沢田篤史^{†7}

概要: 本稿では, ロボット開発へつながる基礎技術に関する教育構想について紹介する. 組み込みシステム技術は, 機械制御, 電気電子, ソフトウェアと学問領域が広い. 加えて, IoT, インダストリー4.0などの革新の時代を迎え, ますま領域が広まっている. 従って, 大学学部4年間の限られた期間に各々の専門分野において, 学ぶ内容を適切に設定することは容易ではない. また, これらの分野について2-3年次に授業を開講していても, 卒業研究やロボット開発等のPBLに結びつかない. 引いては実践力が身につかないということが多々ある. 本稿では, enPiT-Embの教育フレームワークを紹介し, ロボット開発へつながるトライアルスプリングスクールの実習例を示す. 以上をふまえた実践的な組み込みシステム開発につながる教育構想について議論する.

キーワード: 組み込みソフトウェア, 組み込みシステム, 教育, ロボット

Conception of Seamless Basic Embedded Software Education for Robot Development

HARUMI WATANABE^{†1}, MITSUSHI KONDOH^{†2}, MASAFUMI MIWA^{†3},
MAKOTO MOTOKI^{†4}, NOBUHIKO OGURA^{†5}, MIKIKO SATO^{†1},
MAKOTO IMAMURA^{†1}, HIROYUKI NAKAMURA^{†6}, KENJI HISAZUMI^{†6},
ATSUSHI SAWADA^{†7}

Abstract: The article discusses a learning framework for leading to educational robot developments. The field of embedded software is well known for the necessity of wide multi-discipline skills: control theory, electronics, and software. Additionally, with the advent of IoT, Industry 4.0, and Industry Internet, the field is expanding more and more. Thus, we feel the difficulty for giving students an adequate education. Thus, we feel the difficulty for giving students an adequate education. Furthermore, even if we could provide all subjects of their fields in the second or the third year, lots of students cannot well construct a robot in a Project Based Learning, and may not easily imagine the relationship between the subjects and their undergraduate thesis theme. As a result, this issue causes a trouble of not mastering the practical skills. In this article, we introduce a learning framework of enPiT-Emb with an excise of the trial spring school. Based on this exercise, we discuss a conception of seamless basic embedded software education.

Keywords: Embedded Software, Embedded System, Education, Robot

1. はじめに

組み込みシステム技術は, 機械制御, 電気電子, ソフトウェアの境界領域であり学問領域が広いことで知られている. さらに, IoT, インダストリー4.0などの革新の時代を迎え, ますま領域が広まっている. 一方, 産業界からは, 実践力を備え, 様々な社会の課題を解決する人物が求められている. 従って, 社会の問題を解決できる実践力を備えた人材育成を目指し, 大学学部4年間の限られた期間に各々の専門分野において, 学ぶ内容を適切に設定することは容易ではない.

文部科学省の教育プロジェクトである分野・地域を越え

た実践的情報教育協働ネットワーク enPiT[1][2] は, このような課題解決を包含した事業である. その目指すところは, 今日, 山積みとなっている高齢化, エネルギー, 環境問題, 情報セキュリティなどの社会課題を, 情報系の専門知識と技術の活用し解決できる人材を育成することにある. また, enPiT 組み込み分野(enPiT-Emb)では, 「新たな価値を持つ組み込みシステムの構築を通じて, 我が国の社会的課題を解決できる素養を持つ情報技術者を, 学部教育で育成することを目的とした実践教育ネットワークを構築する」としている. 第二期 enPiT-Emb[1]では, QuadPro (クワッドプロ) と呼ぶ教育フレームワークを定めている. 本稿では, 特に QuadPro 教育フレームワークにおける学部2年生を主に対象とした

^{†1} 東海大学
Tokai University
^{†2} 株式会社 MGIC
MGIC Inc.
^{†3} 徳島大学
Tokushima University
^{†4} 関東学院大学
Kanto Gakuin University

^{†5} 東京都市大学
Tokyo City University
^{†6} 九州大学
Kyushu University
^{†7} 南山大学
Nanzan University

組込み基礎教育である QProJ に着目し、議論する。具体的には、学部 3 年生を対象とした教育 QProB にシームレスにつながるように、QProB のロボットを意識した教育例を示す。

以下、2 章では enPiT-Emb が提供する QuadPro 教育フレームワークについて、3 章では、QProJ およびそれを達成するための目標について述べる。4 章では 3 章を実現するための実習例について述べる。

2. 教育フレームワーク QuadPro

本章では、enPiT-Emb が提供する教育フレームワーク、およびフレームワークを構成する各教育の目標について述べる。

enPiT-Emb は、社会の課題を解決すると共に成長分野を支える新たな価値を持つシステムを、組込みシステム技術を用いて構築する実践力を育成することを目標としている。本実践力を以下の 4 種に分解し、QuadPro(クワッドプロ)と呼ぶ。

- (1) Product : システムを作る技術力
 - (2) Process : 開発工程を進める能力
 - (3) Project : プロジェクトで働く能力
 - (4) Professionalism : プロのエンジニアとしての行動規範
- 本事業の主たる目標の一つは、学部年生向けカリキュラムの設計および実施を通じてこれら 4 種類の能力を育成することである。以降、学生に QuadPro の能力を育成する教育プログラムおよびそのフレームワークを QuadPro 教育フレームワークと呼ぶ。本フレームワークを図 1、教育目標を図 2 に示す。

3. 組込み基礎

本章では、enPiT-Emb が提供する組込み基礎 QProJ、および、それを実現するためにかけける教育目標の例について述べる。

3.1 QProJ

QProJ は、[1]に述べられているとおり、主に学部 2 年生を対象に実施する。学習目標は主に、ものを作るための実践的な基礎知識を学ぶことである。例えば、ソフトウェアの開発手順や、開発環境の取り扱い方、マイコンの使い方といった内容が範囲となる。同時に、技術に携わることへのモチベーションを高めることも、本科目の重要な目的とする。シラバスや教材の設計にあたっては、楽しく学べることを考慮する。結果として、QuadPro で定義する 4 つの能力について、それぞれにどのような技術や技能が存在するかの知識を習得することができる。

QProJ では、「楽しく学ぶ」を達成するために、ロボット開発につながる教育を実施する。Gregory Dudek らは、機械制御の原理について記している著書の冒頭において、多くの文献や映画を例に、ロボットの魅力について語っている

[3]. 本書に記されているとおり、学生にとって魅力のある題材であることを筆者らは実感してきた[4][5]. その経験を踏まえ、ロボットを題材としながら、ものを作るための実践的な基礎知識を楽しく学ぶ教育プログラムを目指す。

3.2 教育目標の例

前節の図 2 に示した QProJ の Product に関する目標である「楽しく作る、組込み技術の基礎知識を身につける」という点、および、次の段階の QProB にシームレスにつながることを考慮する。

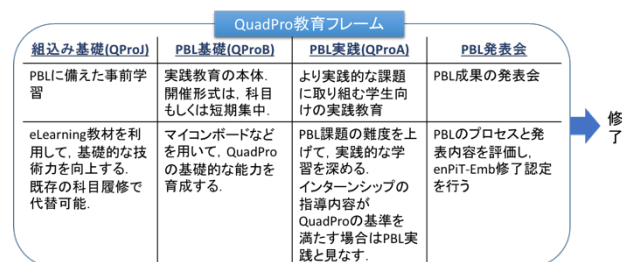


図 1 教育フレームワーク

Figure 1 Educational Framework

能力 学習	Product	Process	Project	Professionalism
QProJ	・楽しく作る ・組込み技術の基礎知識を身につける	・順序だてて作業を進める	・開発の進め方を知る	・技術者に求められる振る舞いについて知る
QProB	・一つ以上の製品技術を実践する	・開発プロセスに則った作業を実践する ・設計図を1つ以上書ける	・定められた計画に従って作業を進める	・周囲の学生と相談できる
QProA	・複数の製品技術を駆使し、開発を行う	・最適なプロセスを選択し、活用する ・設計書を書ける	・計画概要を立案し、進捗について主体的に活動できる	・ステークホルダーと積極的に会話できる。 ・責任感を持つ(最後までやりとげる)
参考 修士向け enPiT	・複数の製品技術を駆使し、 -本物で作る -本物を作る -本物に挑戦する	・最適なプロセスを選択し、活用する ・工程成果物(ドキュメント他)の品質を担保する	・詳細な計画を立案し、PM指導のもと自ら実管理を行える	・報告・連絡・相談を適切に行える ・製品品質に責任を持つ

図 2 QuadPro の教育目標

Figure 2 Educational Goal of QuadPro

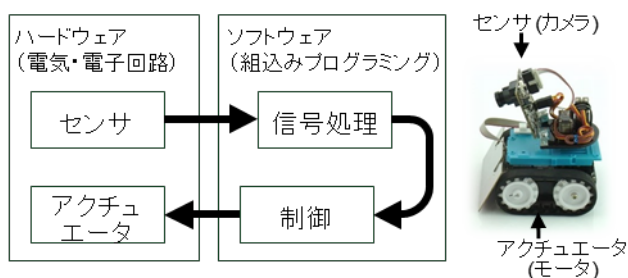


図 3 ロボットの基本構成

Figure 3 Basic Structure of Robots

図3にQProJで使うことを想定したロボット教材の例を示す。カメラから得たアナログ信号を利用して、アクチュエータの制御情報をソフトウェアで生成してロボットを動かすという教材である。実際に本教材を動かすためには、ハードウェア仕様やハードウェアを扱うための信号処理や制御方式など、個々の構成要素に関する詳しい知識が必要となる。ロボットに興味を持てたとしても、組込みシステムに馴染みのない情報学部2年生の場合、すべての理屈を短期間に習得し、ロボットを正しく制御することは難しく、結果として組込みシステムに対する興味や関心を失う要因にもなりうる。そこで、QProJでは「ものを作るための実践的な基礎知識を学ぶこと」を基本とし、まずは組込みシステムの基本構成とその要素技術のキーワードを習得させるにとどめる。本教材の場合、制御を司る計算式の意味までを完全に理解できなくても、ロボットの基本構成を理解し、各構成要素に対して設定するパラメータや制御インタフェースを習得して、パラメータ変更によりシステム上の工夫ができるようになることを目標とする。

具体的には、センサやアクチュエータなどの電気・電子回路を扱い、ローパスフィルタ、フィードバック制御、PID制御（Proportional-Integral-Differential Controller）などの信号処理・回路制御に関する構成要素の名称や機能を学ぶ。それらの機能を繋ぎ合わせて動かすことでロボット制御の基礎を学習する。また、ハードウェアとソフトウェアを連携させるための基本要素としては、アナログ・デジタル入出力ポート、割り込み、シリアル通信などがある。実際に教材を動かす際にこれらの要素を利用することで、電気・電子回路と組込みプログラム間のインタフェースについて学ぶ。近年、これらのインタフェースは組込みプログラミング環境のフレームワークに隠蔽されていることも多いが、電気・電子回路を扱うための制御用インタフェースが提供されていること、その仕様を説明書（マニュアル）で調べることなどを実習しながら学ぶ。

このようにQProJにおいては、個々の要素の詳細については深く言及せず、言葉の理解や基本要素をつなぎ合わせるための基礎知識の習得に努める。そして、QProB、QProAの学習を進めるにつれて段階的に各要素の理解を深め、応用へつながる学習とする。実際にはQProJを実践する学校ごとに教育カリキュラムに特色があるため、受講する学生の事前スキルには差があり、理解度も異なることが予想される。そのため、

- ・電気・電子部品を受け入れられるようになったか。
- ・組込みシステムに興味を持てたか。
- ・楽しく実習できたか。
- ・組込みプログラミングの開発工程を理解できたか。

などを最低限QProJでクリアしてもらう項目として定めている。

4. 実習例

本章では、3章で述べた教育目標を実現するための実習例の概要について紹介する。

4.1 トライアルスプリングスクール

図4にトライアルスプリングスクールのスケジュールを示す。本トライアルスプリングスクールでは、組込みシステム向けのソフトウェア開発を行ったことがない情報学部生を対象に、組込みソフトウェアに関する入門的な講義および実習を行う。

enpit EMB トライアルスプリングスクール 3/3-3/4 東海大学高輪キャンパス1B201			
DAY1 (3/3)		DAY2 (3/4)	
9:30	9:30	9:30	クラウド基礎1 細谷基太郎先生 九州大学
9:50	9:50	10:50	休憩
10:00	10:00	11:00	クラウド基礎2 細谷基太郎先生 九州大学
12:00	12:00	12:30	休憩
13:30	13:30	13:30	基礎講演2: 上野大輔先生 東海大学
14:30	14:30	15:00	IoTチュートリアル1 中村啓之先生 九州大学
15:00	15:00	16:00	休憩
16:30	16:30	16:10	IoTチュートリアル2 中村啓之先生 九州大学
17:00	17:00	17:10	休憩

(<http://www.roboemb.jp/2017/01/24/enpit-emb-2016/>)

図4 トライアルスプリングスクール

Figure 4 Trial Spring School

4.2 組込みプログラミング入門

トライアルスプリングスクールでは、ソフトウェア開発経験はあるが組込みソフトウェアを開発したことがない学生を対象に、「組込みプログラミング入門」というコースを設けて組込みプログラミングを実習する。本実習は、ロボットを題材とする実習へ進む前に身につけておくべき内容を扱うため、ロボット教材を用いずに要素技術を扱う内容にしている。

組込みシステム向けのソフトウェア開発は、一般的なアプリケーションプログラムの開発とは異なり、制御対象機器の状態を管理し、目的の動作をさせるためにはどのようなタイミングで何を制御するかというハードウェア仕様に基づく設計を行い、対象機器を制御するためのプログラムをクロス開発する。これは、通常のPC環境上で、PC向けアプリケーションプログラムをセルフ開発している学生にとっては馴染みのない開発工程である。本実習において、組込みソフトウェアの開発環境の導入、組込みソフトウェアの開発、対象機器の制御という一連の開発工程を簡易的に体験することで、組込みシステム開発に関心を寄せてもらい、他の組込みシステムの場合でも独習できるような基本を身につけてもらう。

4.2.1 実習環境

図5に、本実習で学生に提供する教材のMGIC社製E-station[6]を示す。E-stationは、ユーザ自身の回路設計を実

装するためのブレッドボード、Arduino Leonardo などの組み込みシステム、信号発信機、オシロスコープ、電圧・電流計、直流電源などをコンパクトに搭載したシステムである。本実習では、E-station 上ブレッドボードと Arduino Leonardo を利用して、ブレッドボード上の簡単な回路を Arduino Leonardo で制御する簡単な組み込みプログラムを作成し、組み込みプログラミングの基礎を実習する。なお、Arduino Leonardo には Windows や Linux といった汎用 OS は搭載されていないため、組み込みプログラムをクロス開発する。本実習では Arduino Leonardo におけるプログラミング環境 (IDE: Integrated Development Environment) の導入方法や利用方法を学習し、他の組み込みシステムの場合にも同様の手順で自身のクロス開発環境を構築できるようにする。

4.2.2 実習内容

本実習では、E-station を用いて図 6 に示す二つの課題に取り組む。

(1) 組み込みプログラミング入門

初めて Arduino Leonardo やブレッドボードに触れる学生を対象に、クロス開発環境の説明、Arduino Leonardo の動作確認、ブレッドボードを用いた簡易回路の作成と動作確認を行う。本実習を通じて、組み込みプログラミングの基礎を体験する。

(2) 制御技術入門

すでに簡単な組み込みプログラミングを体験したことがある学生を対象に、モータ回転動作を制御する回路をブレッドボード上に組み、Arduino Leonardo で本回路を制御する組み込みプログラミングを体験する。本実習では、モータ駆動回路やプーリーユニットなどを接続し、モータ駆動電圧を制御するサンプルプログラムを Arduino Leonardo 上で実行させて、プーリーユニットを制御する。なお、本組み込みシステムにはフィードフォワード回路も含まれており、実習内ではその詳細を説明する時間はないが、スプリングスクールでは回路の詳しい説明を本実習後に講義する。

5. おわりに

本稿では、enPiT-Emb における学部 2 年生を主要な対象とした組み込み基礎教育 QProJ について紹介した。QProJ を実現するためにかけがえる教育目標の例を示し、「ものを作るための実践的な基礎知識を学ぶこと」を基本とし、組み込みシステムの基本構成と要素技術のキーワード習得、基本要素を繋ぎ合わせて動かすことで制御の基礎を学ばせることを述べた。また、本教育目標を実現するため、「トライアルスプリングスクール」で開催する組み込みプログラミング入門における実習例を紹介した。今後、3 章で述べた目標に従い、教育を評価し、改善していきたい。

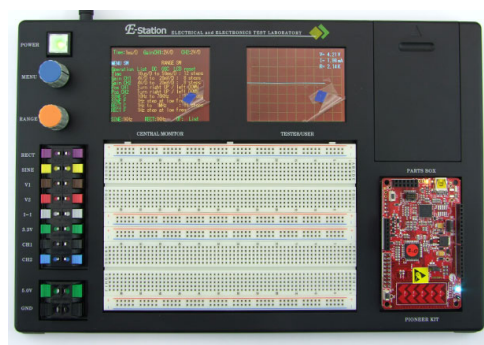


図 5 トライアルスプリングスクールで用いる
MGIC 社製 E-station

Figure 5 E-station by MGIC Corporation.

組み込みプログラミング入門	
(1) Arduino Leonardo	クロス開発のための IDE を使い、サンプルプログラムを作成
(2) LED 点灯	サンプルプログラムの実行
(3) スイッチによる LED 点灯制御回路の構築と点灯制御	ブレッドボードに簡易回路を組み、サンプルプログラムを書き換えて LED 点灯制御を実習
制御技術入門	
(1)モータ回転動作制御回路の構築	実習に必要な回路・プーリー等の構造物の作成
(2)モータ回転動作制御の動作確認	サンプルプログラムをクロス開発してモータ制御を実習

図 6 組み込みプログラミング入門の実習内容

Figure 6 Training Plan of Embedded Programming Tutorial

謝辞 本稿を執筆するにあたり、大阪大学 山本雅基教授、名古屋大学、岩手大学、九州大学、徳島大学の enPiT に関係する皆さま、東海大学情報学研究科 小川英理氏、上條弘貴氏、早川翔氏、真中絢美氏にご協力いただいた。謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 第 2 期 enPiT 共同事業計画
http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/kaikaku/enpit/1379054.htm
- [2] 福田晃: 大学における実践的教育へのチャレンジ—開かれた教育への挑戦, 情報処理 Vol.56, No.1, pp.56-57, 2015.
- [3] G. Dudek, M. Jenkin: Computational Principles of Mobile Robotics, Cambridge University, 2010.
- [4] 久住憲嗣, 渡辺晴美 編: 特集「分野を超えたものづくりと教育—組み込みシステム開発教育のためのロボットチャレンジ—」, 情報処理, Vol.56, No. 1, 2015.
- [5] ESS ロボットチャレンジ HP :
<http://www.qito.kyushu-u.ac.jp/ess/>
- [6] MGIC 社 E-Station HP : <http://m-gic.com/e-station/>