

小型 Linux ボードを用いた組み込みメカトロニクスの教育展開

山崎悟史[†] 小林巧祈[†] 石田隼己[†]

(独)沼津高専 制御情報工学科[†]

1. はじめに

近年、日本のモノづくりが危惧される中、組み込みシステムは、日本の産業競争力を担う重要な存在といえる。組み込みシステム(マイクロプロセッサとリアルタイム OS が搭載されたシステム)の中でも、とりわけ図 1 に示すように組み込みソフトウェア開発にかかる工数は全体の約 50%にも達し、その重要性が年々高まっている[1]。一方で、製品出荷後の不具合による問題等も深刻化している[1]。これは組み込みシステム開発には、体系化された手法や理論が存在せず、各組織、個人の経験に依るところが強いことが起因と考えられる。

ところで最近の組み込みシステム開発では、スマートフォンなどを筆頭に ARM プロセッサと Linux OS を用いる形態が全盛といえる。実際それらを搭載した小型ボード(Raspberry Pi, Armadillo, BeagleBone, Dragonboard など)の活用が急速に進んでいる(例えば[2],[3]など)。図 2 は Raspberry Pi の概観である。しかし、開発者がプログラム全体を見渡せる規模であるならば、必ずしも OS を載せる必要はない[4]が、教育機関においてこのような小型 Linux ボードを活用し、システム構築するといった経験は有用と思われる。

以上より、本稿では、組み込みシステム/ソフトウェア技術の体系的理解のための教育指針を立案し、現在本校におけるメカトロニクス教材に、小型 Linux ボードを導入した開発事例を報告する。

2. 現状のメカトロニクス/組み込みシステム教育

本校低学年(1-3 年)にて実施されるメカトロニクス教育に用いられるシステム[5]について述べる。図 3 にその概観を示す。各種センサの原理や電子計測機器の使い方などの理解を含め、最終目的として、ライントレースマシンの構築、動作確認を行う点で教育機関にて採用されている典型的なメカトロニクス教育題材といえよう。[5]では制御頭脳部を、デジタル IC(Integrated Circuit)、CPLD(Complex Programmable Logic Device)、マイコンと進化させ、同一機能を異なるハードウェアデバイス上で実現させることで、メカトロニクスの基礎理解を目指している。ライントレースマシンは、各種デバイスの基本原理を習得させることには適しているが、メカトロニクスに複雑な機能(例えば画像処理や無線通信など)を実装するのは難しい。そもそもそのような機能を、マイコンをベースとしたシステムに付加するのは限界であった。

これまで産学間にてメカトロニクス教育の在りについて議論されてきた([6]など)。組み込みシステムのスキル標準(ETSS)[7]も整備されつつある。しかし、何を基礎と考えるのか、どのような技術者を輩出したいのかといった観点から絶対的な教育の在り方を見出すのは難しい。また、用いる組み込みシステムのプラットフォーム(組み込み OS)として、TRON やその発展形である T-Kernel[8]が挙

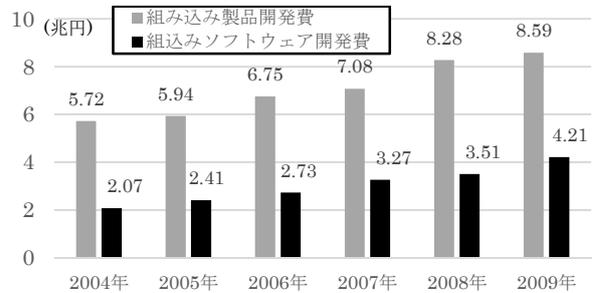


Fig.1 Costs of software development in total embedded system[1]

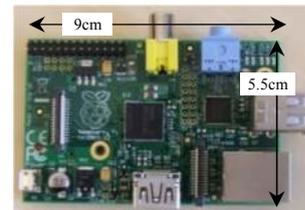


Fig.2 Small Linux Board[2]

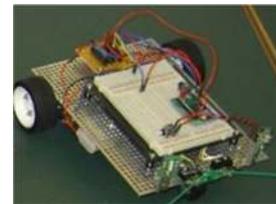


Fig.3 Mechatronics system for education[5].

げられるが、それはマイクロカーネルな OS であり、モジュールの扱いなど注意を要する。また、プロセスの状態遷移も UNIX のそれとは異なり複雑である。さらに、現在にて関連する販売書籍は数冊程度であり、一般利用者が気軽に情報を入手できる状況とは言い難い。つまり、初学者にとっては使用し難い面が懸念される。一方、Linux をベースとした小型 Linux ボードではそれらの懸念は低減されると考えられる。実際、教育研究機関において、演習・講義の教材として小型 Linux ボード(Raspberry Pi)が導入されている(筑波大学 enPiT 教材[11])。これは約 2 週間の夏季合宿で実践的なソフトウェア開発手法などを学び、合宿後に分散して実施されるプロジェクト型学習で実践力に磨きをかけることにより、ビジネスアプリケーション分野において産業界が求める実践的問題解決能力を養成することを目的としている[12]。

3. 提案する組み込みメカトロニクス教育

我々は「コンピュータを応用したシステムの設計、開発ができる技術者の育成」という目標の元、コンピュータ、すなわちマイコンや組み込みボードを活用して、自在にシステム製品を開発できることを意識している。そこ

第3層 商品化技術	
顧客ニーズ調査, 特許調査	
企画・マーケティング, 業界トレンド	
問題解決手法, 量産化技術	
テスト手法・品質管理	
プロジェクト管理	
経営工学, 販促計画	
第2層 システム固有技術	
第2層 システム固有技術	
要素技術	
-検知: センサー, センシング	
-伝送: ネットワーク(TCP/IP), ワイヤレス	
-蓄積: データベース, クラウド	
-処理: 音声, 画像等	
-制御: ON/OFF, フィードバック, 位置決め等	
-参照/指示: アプリケーション開発	
制御アプリケーション, 支援ツール	
製品仕様, 機能, 規格	
第1層 汎用技術	
開発環境	
BIOS, Bootローダ	
カーネル	
OS機能	
ユーザ環境, ユーティリティ	
サーバ設定	
システムコール(狭義OS)	
I/O, デバイスドライバ	
各種設定ファイル, logファイル	

Fig.4 Three level for embedded software system development.

で、組込みソフトウェア・システムの開発・教育指針について、図4のような3階層を提案する。つまり、OSやその周辺などの汎用技術(1層)、センサや通信、制御などのシステム固有技術(2層)、ニーズ調査やテスト品質などを含めた商品化技術(3層)に分割し、初期段階ではどの内容を学習しているのか明確化し技術力育成に努めることである。つまり、従来「組込み」という場合、個人・企業によって1層にあたるデバイスドライバなどの開発と2層における画像処理などのアルゴリズム開発や機器に組み込まれるアプリケーション開発が混在していた。そこで本稿では、まず組込みソフト開発に必要な技術を体系化するという試みが必要となることを指摘している。例えば、従来研究[9]などは、第1層の能力育成に資するものであると理解できる。本校では、1~3年時の授業科目「プログラミング演習I,II」および「メカトロニクス演習I,II」が第1層に、4年時の「創造設計」および5年時の「卒業研究」が第2層の能力育成に該当するといえる。第3層の商品化技術等の教育は、一教育機関だけでは(教える側の人員数からも)実施は厳しいのが現実である。本校では企業出身の教員が中心となりプログラム[10]の支援の元、第3層の教育体系化にも着手を進めている。フェーズ1として、企業やコンサルティングから講師を招聘し、問題解決手法などの講義を通じて、まずは教員のスキルアップを目指している。

4. 開発事例

従来のマイコン(例えば Arudino[13])と比べて、小型Linuxを用いる利欠点を表1に示す。つまり、小型Linuxをメカトロニクスに搭載し、組込みシステムを開発するには、図5に示す欠点を克服し、利点を積極的に活用することが望まれる。我々は、既存メカトロニクスシステム[5]に Raspberry Pi[2]を搭載し、スマートフォンからワイヤレス制御可能なライントレースマシンを開発している[14]。図6にその概観を示す。無線機能を標準で装備していることや大容量のストレージにログを残せること

利点	<ul style="list-style-type: none"> 高性能なCPUを搭載しており、処理能力が高い ROMの容量を増やすことが簡単であり、プログラム容量の上限が実質的に存在しない OSが提供しているリソースが利用でき、マルチタスク処理やネットワーク処理が可能 USBをはじめとする汎用性の高いインターフェースを搭載しており、多くの周辺機器が扱える
欠点	<ul style="list-style-type: none"> A/D変換回路が無く、アナログ入力が難しい マイコンに比べて消費電力が大きい 機構が複雑であり、破損のリスクがある マイコンと比較すると高価である

Fig.5 Main feature of a small Linux board.



Fig.6 Prototype of Mechatronics system controlled by wireless.

など Raspberry Pi [2]の長所を活用している。一方、一般にライントレースを行うには、フォトセンサによるアナログ量を利用してライン検知しなければならないが、Raspberry Pi [2]には AD 変換機能を有していない。AVRマイコン[15]を用いてその弱点を補っている。本開発システムは、図4に示す3階層のうち、第1層の知識をベースに、第2層における要素技術(特にセンサによる検知と無線伝送)に着目したシステムといえる。

5. おわりに

本稿では、組込みシステム/ソフトウェア技術の体系的理解のための教育指針として3階層の技術群を提案し、実際、小型Linuxボードを導入した開発事例を報告した。今後の課題は体系化の詳細を確立し、教育・研究に活用していくことである。

謝辞

本研究の一部は、本校平成25年度校長リーダーシップ経費によって実施された。関係諸氏に深謝する。

参考文献

- [1] 例えば、ソフトウェア産業の実態把握に関する調査報告書 -速報版-, (独)情報処理推進機構, 2012.4.27.
- [2] Raspberry Pi ユーザーガイド, Eben Upton, Gareth Halfacree (著), 株式会社クイープ (翻訳), 2013.3.15
- [3] Raspberry Pi をはじめよう (Make: PROJECTS), Matt Richardson, Shawn Wallace (著), 船田 巧 (翻訳), オライリージャパン, 2013.9.26
- [4] 坪内孝司, 大隅久, 米田完, “これならできるロボット創造設計”, 講談社サイエンティフィック.
- [5] 芹澤弘秀, 藤尾三紀夫, 中村卓輔, 大島茂, “制御情報工学科の低学年におけるメカトロニクス教育”, 沼津高専研究報告, 第30号, 1996.1.
- [6] 人工物設計・生産研究連絡委員会メカトロニクス専門委員会報告“メカトロニクス教育・研究に関する提言”, 2000.3.27.
- [7] 独立行政法人情報処理推進機構, 新版組込みスキル標準 ETSS 概説書, 2009.11.30.
- [8] <http://www.t-engine.org/ja/what-is-t-kernel/t-kernel>
- [9] 吉田他, “組込みソフトウェア技術者育成のためのリアルタイムカーネル実装実習プログラムとその評価”電学論 C, Vol131.No2, 2011.
- [10] 平成25年度(独)国立高等専門学校機構 企業技術者等活用プログラム「イノベーター商品開発に有効な設計教育」
- [11] http://www.nikkei.com/article/DGXNASGF0105U_S3A800C1H1EA00
- [12] <http://www.cs.tsukuba.ac.jp/en/Pi/>
- [13] <http://arduino.cc/>
- [14] 石田, 小林, 山崎, “小型Linuxボードを用いた組込みメカトロニクスの教育展開”, 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2013 予稿集 B-02.
- [15] <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/default.aspx>