

組込みシステム教育の変遷

萬年 亨*

Transition of Embedded Systems Education

Toru Mannen*

要旨: 平成9年の開学時からの電子情報科、その後、令和2年度にカリキュラムの見直しに伴って科名変更した情報通信システム科でも継続して、情報システムを構築するために必要な組込み技術や情報通信技術の修得を学習目標に据えている。この間、情報通信に関わる技術は進歩を続け、あらゆる場所に設置されたセンサー情報をインターネットに接続する技術IoT (Internet of Things) が当たり前のように使われてきている。これらは組込みコンピュータを中核にした組込み技術によって成り立っており、各メーカーが鎬を削る形で最新の組込みコンピュータが市場に投入されている。このことを背景とし様々な教育用組込みコンピュータを入手出来るようになってきたが、教育効果を見定めながら選定しなければならない。組込み系を担当してきた立場から、組込みシステム教育の変遷について述べる。

キーワード: 組込みシステム, Arduino, IoT, Raspberry Pi

1. はじめに

平成9年の開学時からの電子情報科、その後、令和2年度にカリキュラムの見直しに伴って科名変更した情報通信システム科でも継続して、情報システムを構築するために必要な組込み技術や情報通信技術の修得を学習目標に据えている。

この間、情報通信に関わる技術は進歩を続け、パソコンやサーバー、プリンタ等のIT関連機器が接続されていたインターネットにそれ以外の“モノ”を接続する技術IoT (Internet of Things) が当たり前のように使われてきている。この“モノ”とは、家電や工場内、ビル内、店舗内、病院内、学校内等に設置されたセンサー情報を指しており、これらは一般的に電子機器であり、組込みコンピュータにより成り立っている。電子機器の中核となる組込みコンピュータも各メーカーが鎬を削る形で最新機種が市場に投入されている。このことを背景とし様々な教育用組込みコンピュータを入手出来るようになってきたが、教育効果を見定めながら選定しなければならない。

本稿では、組込み系を担当してきた立場から、組込みシステム教育の変遷について述べる。

2. 開学当初の組込みシステム教育

2.1 組込みシステムと関連科目

* 山形県立産業技術短期大学校庄内校
〒998-0102 山形県酒田市京田3丁目57番4号

* Shonai College of Industry & Technology
3-57-4, Kyoden, Sakata, Yamagata, 998-0102, Japan

開学当初の電子情報科における組込みシステム教育は、以下の知識を基礎とし実施してきた。

- (1) コンピュータの仕組みに関する知識
- (2) プログラム言語に関する知識
- (3) 電子回路に関する知識
- (4) 電子回路製作に関する知識

これらの知識取得のための関連科目を表1に示す。

表1 組込みシステム関連科目

教科	教科の細目	開講時期	単位
学科	電気工学	直流回路解析, 交流回路解析, 二端子対回路網, 過渡現象	1年前期 2
	電子工学Ⅰ	論理回路, 組合せ回路, 順序回路	1年前期 2
	電子工学Ⅱ	トランジスタ回路, オペアンプIC	1年前期 2
	電子工学Ⅲ	オペアンプ, 各種アナログ回路	1年後期 2
	計算機工学	処理装置, 記憶装置, 入出力装置, 命令セット, システムアーキテクチャ, CPUの設計思想	1年後期 2
	インターフェース工学	各種センサの動作原理, D/A・A/D変換回路	2年前期 2
実技	ソフトウェア工学基本実習Ⅰ	プログラミング基礎, C言語プログラミング(基本演算, 制御文, 演算子, 関数)	1年前期 6
	ソフトウェア工学基本実習Ⅱ	C言語プログラミング(配列・ポインタ, 標準ライブラリ関数)	1年後期 4
	計算機工学実習	アセンブリ言語, データ制御機構, ALU	1年後期 2
	回路作成基礎実習	部品実装, 配線と端末処理, はんだ付け	1年前期 4
	電子回路設計実習Ⅰ	デジタル回路設計製作, 電子CADによる回路設計製作シミュレーション	1年前期 4
	電子回路設計実習Ⅱ	増幅回路, インターフェース回路等の設計・製作	1年後期 4
	制御プログラミング実習	C言語による制御プログラミング(データの入出力, 割り込み, ROM化)	2年前期 4
	システム設計実習	コンピュータ応用機器の設計・製作(計画, 回路・ソフトウェアの設計・製作, マニュアル作成)	2年前期 8

電気電子に関する基本知識を実技を含めて1年前期に履修する。また、同時期にC言語プログラミングの基本を履修する。1年後期にマイコンプログラミングの基本を履修し、2年前期にマイコンプログラミングの応用を経て、「システム設計実習」にて総合実習を行い、仕上げる形になっている。

2.2 対象とする教育用組込みコンピュータの選定

教育用組込みコンピュータとして、以下の項目を考慮し選定している。

(1)対象とする教育用組込みコンピュータがボードとして供給されていること。

組込み向け小型コンピュータをマイコンと呼ぶこともあるが、マイコンは半導体製品(IC)であり、入出力装置、電源装置など、マイコンが動作するために最低限必要な部品とともに基板(ボード)上に実装した学習ボードの形態が必須である。

(2)8ビットあるいは16ビット

一度に処理できるデータの幅が小さい方が初心者理解しやすい。

(3)開発環境が安価であること。

(4)解説書が充実していること。

学生が自己学習するために数多く市販されていることが必須である。

開学当初(平成9年度)は、学習教材の中心として長年使われてきた8ビットマイコン「Z80」を採用していた。しかしながら、「Z80」製造中止のアナウンスがあり、平成18年度から、「PIC(8ビット)」へ切り換えを行っている。「PIC」にも数多くのシリーズがあるが、16F84Aや16F876Aを中心に選定していた。

3. 電子情報科新カリキュラム

組込みシステム教育は、先にも述べたが、多くの教科を基礎とし成り立っている。このため、基礎がしっかり出来上がっていなければならない。しかし、基礎固めの時期で学生間の理解度に大きな差が生じる傾向が見られた。これは、入学時点での専門教科への理解度が大きく異なることと、基礎学力が均等でないことによるものと考えられ、組込みシステム教育のみならず、学科全体での仕上がり到達度にも影響が懸念される状況であった。こ

のため、抜本的な対策として、平成26年度から電子情報科に、入学後初めて情報技術者をを目指す人が学ぶ「情報技術者育成基礎コース」と、高校で情報技術の基礎を学んだ人がさらに深く学ぶ「情報技術者育成実践コース」のコース制を導入した。このコース制導入は、主要専門科目については、能力別授業を行い、一般科目については、共通履修を行うものである。これにより、履修前の予備知識のばらつきを小さくするとともに毎時間の履修目標をより明確化することにより、仕上がり到達度を維持させるものである。

3.1 コース制導入による組込みシステム教育

新カリキュラムにおける組込みシステム教育関連科目を表2に示す。

表2 コース制導入による組込みシステム関連科目

教科	教科の細目	開講時期	開講形態	単位	
学科	電気工学	直流回路解析、交流回路解析、二端子対回路網、過渡現象	1年前期	共通	2
	電子工学Ⅰ	論理回路、組合せ回路、順序回路	1年前期	共通	2
	電子工学Ⅱ	トランジスタ回路、オペアンプ	1年前期	共通	2
	電子工学Ⅲ	オペアンプ、各種アナログ回路	1年後期	共通	2
	計算機工学	処理装置、記憶装置、入出力装置、命令セット、システムアーキテクチャ、CPUの設計思想	1年後期	共通	2
実技	インターフェース工学	各種センサの動作原理、D/A・A/D変換回路	2年前期	共通	2
	ソフトウェア工学基本実習Ⅰ	コンピュータ操作法、プログラミング基礎、Processingプログラミング(基本演算、変数、構造化、配列)および演習	1年前期	コース	4
	ソフトウェア工学基本実習Ⅱ	HTML5、JavaScript、jQueryによるWebアプリケーションの開発、Webシステムアーキテクチャ(MVCモデル)	1年後期	コース	4
	計算機工学実習	アセンブリ言語、データ制御機構、ALU、I/O、伝送制御手順	1年後期	コース	2
	回路作成基礎実習	部品実装、配線と端処理、はんだ付け	1年前期	共通	4
	電子回路設計実習Ⅰ	デジタル回路設計製作、電子CADによる回路設計製作シミュレーション	1年前期	共通	4
	電子回路設計実習Ⅱ	増幅回路、インターフェース回路等の設計・製作	1年後期	共通	4
制御プログラミング実習	C言語による制御プログラミング(データの入出力、割り込み)、シリアルI/O、他の組込み機器やPC等とのI/O、伝送制御手順	2年前期	コース	4	

学科については、コース別けせずに従来通りの開講形態としている。プログラミングの基本実習であるソフトウェア工学基本実習Ⅰ及びソフトウェア工学基本実習Ⅱについては、理解度に関きを生じやすい科目であることから、複数教員による複数クラス編成(初心者、経験者)を行っている。計算機工学実習及び制御プログラミング実習については、一人の教員が同一クラス内で難易度別に複数の課題を扱う複式クラスで対応している。

なお、制御プログラミング実習については、理

解度の開きが顕著になってきたことから平成29年度から複数教員による複数クラス編成に変更している。

3.2 対象とする教育用組込みコンピュータの設定

対象とする教育用組込み向けコンピュータは、従来にも増して初心者が扱いやすいものであることを第一義に考え、電子工作などのホビーだけではなく、組み込み開発現場でも機器のプロトタイプとして使われている「Arduino」を採用している。

Arduino は、イタリアで開発されたマイコン・ボードで、Atmel 社の AVR とよばれる 8bit マイコンと幾つかの周辺回路が実装されている。

Arduino の特徴として

(1) 「オープンソース・ハードウェア」

ハードの仕様やソフトの開発環境などが無償で公開されている。

(2) 「ハードの標準化」

Arduino と拡張基板を接続するコネクタの形状が規格化されており、「Arduino 対応」と謳っている拡張基板であれば簡単に利用できる。

(3) プログラムのしやすさ

Arduino の開発環境である Arduino IDE を使って、初心者でも比較的簡単に作れるようになっている。通常、マイコンのプログラミングをするには、ハードウェア初期化のための手続きなど、マイコンのハードウェアに関するさまざまな知識が必要となるが、Arduino ではそれらの知識なしに、必要最小限のプログラミングで済むように考えられている。

などが挙げられる。



図1 代表的な Arduino ボード (Arduino Uno)

4. 「情報通信システム科」への科名変更

4.1 科名変更

あらゆる“モノ”をインターネットを介して接続する IoT (Internet of Things) システムが身近なところでも活用されている。IoT は単なる“モノの接

続”が目的ではなく、つながることによって得られた情報を蓄積・分析して、最終的にはその情報を有効に活用するものである。これらのシステムを下支えするのが ICT (情報通信技術) であり、「センシング」「ネットワーク」「クラウド」「AI (人工知能)」などの技術要素が不可欠である。

このような状況を踏まえて、一部カリキュラムを見直すと共に科が目指す「ICT 技術者の育成」をより明確に示すために令和 2 年度より「情報通信システム科」への科名変更を行った。なお、電子情報科で行っていた学習目的に応じた 2 つのコース制「情報技術者育成基礎コース」と「情報技術者育成実践コース」は情報通信システム科でも継続している。

4.2 情報通信システム科における組込みシステム教育

4.2.1 関連科目の再構築

情報通信システム科の組込みシステム教育関連科目を表 3 に示す。

表 3 情報通信システム科の組込みシステム関連科目

教科	教科の細目	開講時期	開講形態	単位	
学科	電子工学概論	電子回路, 論理回路, 論理素子, 組合せ回路, 順序回路, 集積回路	1年前期	共通	2
	計算機工学	処理装置, 記憶装置, 入出力装置, 命令セット, システムアーキテクチャ, CPUの設計思想	1年前期	共通	2
	IoTデバイス	各種センサの動作原理, D/A・A/D変換回路, OPアンプの利用	2年前期	共通	2
実技	ソフトウェア基本実習 I	Java基礎: 制御構造, 変数, 配列, コレクション, データ構造とアルゴリズム	1年前期	コース	4
	ソフトウェア基本実習 II	オブジェクト指向の概念, 継承, カプセル化, 多態性, JavaとUML, 例外処理, JavalによるDBの利用	1年後期	コース	4
	計算機工学実習	Arduinoプログラミング基礎, RaspberryPi基礎, Pythonプログラミング基礎	1年後期	コース	4
	回路作成基礎実習	部品の実装, 配線接続, 電気電子計測	1年前期	共通	2
	電子回路設計実習	デジタル・アナログ回路設計製作	1年後期	共通	4
	IoTシステム実習	Arduinoプログラミング応用, Pythonプログラミング応用, IoTデバイス開発	2年前期	コース	4

AI, クラウド, ビッグデータの各活用技術に関連する科目を新たに導入したことに伴い、電気・電子系科目を削減している。これは、電子と情報双方の技術修得からより情報に関する技術修得を目指すことを示している。

削減の詳細は、次のとおりである。

- ①電気工学 (2 単位) 及び電子工学 I・II・III (計 6 単位) を電子工学概論 (2 単位) に集約
- ②回路作成基礎実習を 4 単位から 2 単位に削減
- ③電子回路設計実習 I・II (計 8 単位) を電子

回路設計実習（4単位）に集約

また、計算機工学実習は、2単位から4単位に増やし、IoTシステム実習とともに、複数教員による複数クラス編成（初心者、経験者）を導入している。

4.2.2 教育用組込みコンピュータの設定

経験者コースに対しては、情報通信システム科が掲げる「センシング」「ネットワーク」「クラウド」「AI」などの技術要素をより深く理解してもらうために Arduino より高性能な Raspberry Pi を導入している。また、プログラミング言語として Python 言語を選定している。

Raspberry Pi は、イギリスにある「ラズベリーパイ財団」が開発した教育用コンピュータであり、OS を搭載し、基本的には一般的なパソコンと同等の処理を実現できる。IoT デバイスの作成や AI 開発やビッグデータ解析などの分野で利用されることも多く、注目を集めている。

初心者コースは基礎固めに重きを置き従来通り Arduino を用いる。



図2 Raspberry Pi 4 Model B

4.2.3 授業概要

計算機工学実習の授業目的として、初心者、経験者コースともに入出力インターフェースを介した制御プログラムの作成としている。また、IoTシステム実習の授業目的は、初心者、経験者コースともにセンサーのデータ取得・加工処理方法、ネットワークへのアップロード、ネットワークサービスを利用した「見える化」などの修得としている。なお、各々の実習における目的は共通しているが、経験者コースが課題数も多く、難易度も高めに設定しているため、到達目標が異なっている。

5. 課題と今後の展望

5.1 コース制導入による教育効果

学生間の理解度の開きを抑えるために複数教員による複数クラス編成（初心者、経験者）を行ってきたが、各々のクラスで少なからず理解度の開き

が生じている。やむを得ない面でもあるが開きを出来るだけ小さくしなければならない。

特に初心者コースでは、プログラミングの基礎を履修後に受講しているが、理解度の開きが大きくなっている。課題を難易度別に複数用意するなどクラス内での能力別指導を行うなどの改善が必要である。

5.2 実習開発環境の再検討

情報通信システム科では、メインストリームのプログラム言語として Java 言語を選定しているが、2年次開講の AI 活用実習では、初心者、経験者ともに AI 開発のプログラミング言語として Python 言語を選定している。

Python 言語を用いる事例が多くなっていることから組込システム教育でも Python 言語をメインに据えるのも一案ではないかと思われる。この場合、経験者コースは既に Raspberry Pi, Python 言語を選定しているため問題ないが、初心者コースは Arduino から Raspberry Pi, Python 言語に変更することになる。

ここ数年、Raspberry Pi の注目度が高い状況にあるが、Arduino が初心者にとって扱いやすいボードであることに変わりはない。また、Arduino の中核である Uno シリーズの最新版 R4 に WiFi 搭載モデルが市場に投入され、より IoT デバイスの作成しやすくなってきた。

当面は初心者にとって扱いやすい Arduino を継続するが、変更検討も引き続き行っていく。

6. おわりに

振り返ると二十数年の間で、企業における組込みシステムの開発環境も大きく変化してきた。これに追従する形で組込みシステム教育も変化を遂げてきた。当科においても対象とした教育ボードも4度にわたって変更している。その都度、教育手法の見直しも行ってきた。今後、小中高でプログラミングを履修してきた学生が入学してくる。楽しく学べ、理解度が深まる教育手法を追求し続けていきたいと考えている。

文 献

- 1) 佐藤義則：「組込みシステム教育の現状と課題」, 山形県立産業技術短期大学校庄内校紀要 Vol.9, (2013)