

短期大学における組込みシステムプログラミング用基板の 開発と取り組み

小田井 圭[†] 小野 博敏[†] 小松 恵一^{††}

[†] 湘北短期大学情報メディア学科
^{††} 湘北短期大学エクステンションセンター
E-mail: [†]{keiodai,ono}@shohoku.ac.jp

あらまし 組込みシステムプログラミングの教育に対する短期大学における取り組みを紹介する。情報系学科でソフトウェア開発を指向している学生に、ハードウェアとの関係を理解させることを目的として、1985年から組込みシステムのプログラミング教育を実施してきた。ソフトウェアでハードウェアを制御する仕組みを学生に味わってもらうため、現在までに7種類の演習基板を開発してきた。本報では、その演習基板の概要とその演習内容について報告する。

キーワード 組込みシステム, プログラミング教育, 教育用演習基板

Development of Embedded System Education-boards in a Junior College

Kei ODAI[†], Hirotoishi ONO[†], and Keiichi KOMATSU^{††}

[†] Department of Informatics and Media Technology, Shohoku College
^{††} Shohoku Extension Center, Shohoku College
E-mail: [†]{keiodai,ono}@shohoku.ac.jp

Abstract We have developed seven kinds of embedded system education-board since 1985. It is a purpose to make the students studying the programming understand the relation between software and hardware. In this paper, we introduce the education-boards for embedded system and the education program for embedded system at junior college.

Key words Embedded system, programming education, education-board

1. はじめに

日本の産業界で必要とされているプログラムの多くは、家電製品をはじめとして車や携帯電話といった、モノを動かす、光らせる、鳴らすといった「組込みシステム」のプログラムである。短期大学は、2年間で学生に専門技術を身に付けさせて実社会へ送り出す。教育内容は社会のニーズに沿ったものにすることが求められている。そのため、本学情報メディア学科^(注1)でも、1985年度より独自に組込みシステムプログラミングの入門用演習基板を開発し続け

てきた [1], [2]。

当時から、市販のキット類では本学学生の学習内容やレベルに合ったものを見つけないことができず、独自に演習基板やテキストを作成してきた。本報ではそのシステムと教育内容について報告する。

2. 教育対象

現在、組込みシステム用演習基板 (OT-1 および KT-2) を使用する受講生は、本学情報メディア学科2年生である。主に情報処理コースの学生が選択をする。半数は女子学生であり、ほとんどの学生が普通高校出身者である。入学時は、プログラマという職業に対して漠然としたイメージしか持っていない。C言語のプログラム作成とアセンブリ言

(注1): 学科名は、1974年度から1989年度まで電子工学科、1990年度から2002年度までは電子情報学科。

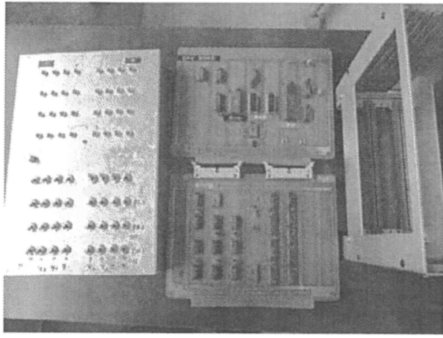


図 1 1号機 (CPU: Z80)

語は1年次から学習している。ハードウェアに関する知識は1年次に受講したデジタル回路(必修科目)程度であり、ソフトウェアとハードウェアの関係についてはあまり意識していない状態である。1年後期には「セミナー」という科目で、実社会でのプログラムの使われ方について卒業生に講演をしてもらい、プログラム(ソフト)がモノ(ハード)を制御している実態について予備知識をもたせるようにしている。

本演習基板を使用する現在の授業は「組込みシステム演習」(選択科目)である。2年前期に週1回2時間続きの科目である。この授業では毎回レポートが課せられる。そのレポート作成および演習内容の解説のために「組込みシステム」という講義科目(1時間)も同時期に開講している。

3. 開発してきた演習基板

3.1 1号機 (Z80) と 2号機 (Z80)

1985年に開発した1号機は、本学の電子工学科が本格的に組込みシステムの教材を自主開発し、実用化した演習システム(図1)であった。CPUはZ80、ROMは16KbyteのEPROM、RAMは19Kbyteで、実行プログラムの開発はハンドアSEMBルで行った。入力素子として32個のON/OFFスイッチ、出力素子は32個のLEDだけである。二人の学生が1組で、システム製作からプログラム開発までを学習した(表1)。I/O map、Memory mapを設計し、アドレスデコーダのタイミング調節等で苦労をしていた。

1号機は、ハードウェアの作製が主目的であったため入出力素子がSWとLEDのみという簡素なものであった。翌1986年に、主目的を素子類の制御プログラム作成にシフトするためマイコン制御演習装置の第2号機を開発した。

CPUとしてクロック周波数2MHzのZ80を使い、周辺素子として7 segments LED(7seg.LED)、A/D、D/A、ステッピングモータ、フォトインタラプタを搭載した。CPUボード(図2)は市販のND80Z(中日電工社)を利用した。周辺素子類はI/Oボードとして、本学で設計・製作してCPUボードと接続した。プログラムは、アセンブリ言語

表 1 1号機での演習実施項目

回	演習項目
1	Z80の概要
2	Z80のインストラクションコード
3	Z80のハンドアSEMBル
4	設計方針
5	I/O map, Memory mapの設計
6	アドレスデコーダ回路の設計
7	入出力素子(D-FFを使用)の設計
8	CPU board, I/O boardの設計
9	製作
10	検証
11	ROM作製(検査プログラム)
12	I/O入出力実験
13	ソフトウェアタイマの設計
14	学習機能プログラムの設計[3]
15	学習機能プログラムの検証

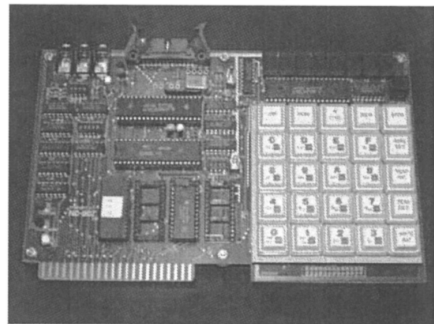


図 2 2号機のCPUボード (CPU: Z80) I/O部は別

で記述しハンドアSEMBルしていた。この基板を使った演習項目は表2に示したとおりである[4]。表1に比較して素子類をプログラムで制御する演習項目が多くなっている。

表 2 2号機での演習実施項目

回	演習項目
1	ND80ZSRの使用法
2	Z80 Parallel I/Oの使用法
3	ソフトウェア・タイマ
4	液晶による文字の表示
5	スイッチ状態の入力
6	データ転送の基礎
7	JK-FF, バイナリカウンタ
8	周波数カウンタ
9	A/D変換, D/A変換
10	ステッピングモータ
11	Z80 Counter Timer Circuitの使用法
12	Z80 Serial I/Oの使用法
13	特別課題(フォトインタラプタ, 割り込み, デジタル時計等)

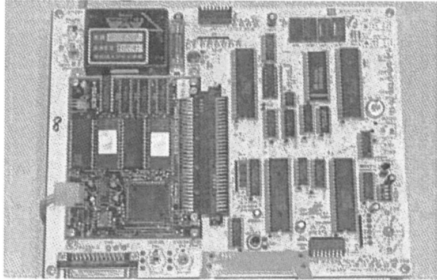


図3 3号機 (CPU: V50)

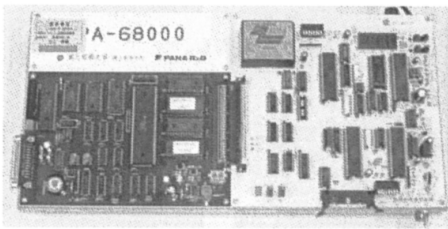


図4 4号機 (CPU: 68000)

3.2 3号機 (V50) と 4号機 (68000)

1990年に、C言語を使ったプログラミングを実施するために8ビットのZ80よりも高性能のCPU(16ビット)を使った新しい組込みシステムプログラミング用演習基板の開発に着手した(図3と図4)。この時期に、本学ではプログラミング言語の教育にC言語を取り入れたことに伴う変更である。学生にとって扱いやすいシステムにするために、この新しい演習基板の開発コンセプトは次のようなものにした。

- 1 パソコン(PC)上でプログラムを作成する。
- 2 プログラミング言語はアセンブリ言語ではなく、C言語を使う。フリーソフト LSI-C86(エル・エス・アイジャパン)を採用。
- 3 本演習基板用のライブラリを教員が作成し、学生はその関数を呼び出すことで入出力素子を扱えるようにする。
- 4 配線はPCと演習基板を結ぶケーブル(RS-232C)のみで、半田付け等の面倒な作業が無いようにする。RS-232Cを使って、演習基板上のCPUにプログラムを転送する。

これは、あくまでもプログラムを作ることが目的なので、受講者はハードウェアの知識はあまり持っていないことを前提としているためである。この基本的な考え方は、現在授業で使用している6,7号機まで全て共通している。

同時に2台の演習基板を開発したのは、当時主流のCPUであるインテル系とモトローラ系のものを採用して、学生の就職先に応じてどちらのニーズにも対応できるように考

表3 3,4号機での演習実施項目

回	演習項目
1	V50 or 68000 の概要とシステムの解説
2	入出力インターフェース LSI(8255) の使用方法
3	スイッチの状態を読み込む
4	D/A 変換、A/D 変換
5	データの入出力と応答確認
6	ステッピングモータの制御
7	状態遷移図とプログラミング
8	メロディ演奏
9	周波数カウンタ
10	割り込み

えたからである。

本基板の入出力素子は、8ビットのディップスイッチ、A/D入力、フォトインタラプタである。また、出力素子としては、8ビットLED、7seg.LED4個、D/A出力、ステッピングモータである。これらの素子は、8ビットパラレルI/OインターフェースのLSIである8255を通じてCPUに接続した。3号機の外形はW244mm×H57mm×D193mm、4号機はW427mm×H67mm×D210mmである。演習項目は表3に示したとおりである[5]。基板上に簡単な増幅回路を搭載したので、その出力端子に小型スピーカーを接続させることで第8回のメロディ演奏を実現した。また、状態遷移図を使ったプログラミングについての項目(第7回)をこの時期から開始した。

3.3 5号機 (V25)

1998年に、マルチタスクプログラミングを教育内容に含めるため、CPUを組込み機器用のV25(NEC)、オペレーティングシステム(OS)をμITRON2.0とした基板(図5)を開発した。実行プログラムはmakeを使ってコンパイル・リンクするスタイルにした。

本基板での演習項目を表4に示す[6]。演習内容は、基本的に第3号機のものマルチタスク化したものである。第6回のD/A変換には、基板上に搭載したD/A変換器

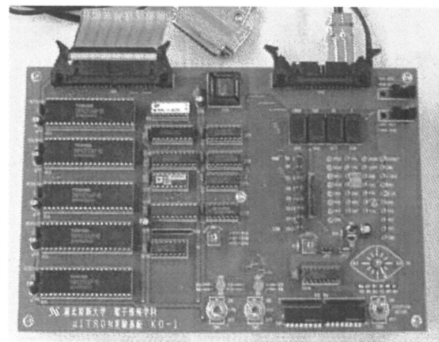


図5 5号機 (CPU: V25)

表 4 5号機での演習実施項目

回	演習項目
1	ITRON の概要
2	タスク同期機能 (セマフォ)
3	タスク同期機能 (イベントフラグ)
4	入出力インターフェース LSI(8255) の使用方法
5	スイッチの状態を読み込む
6	D/A 変換、A/D 変換
7	データの入出力と応答確認
8	ステッピングモータの制御
9	状態遷移図とプログラミング
10	メロディ演奏
11	周波数カウンタ
12	割り込み

AD558 を使い、出力はオシロスコープで観察させた。また、A/D 変換は 8 ビットの A/D 変換器 AD7821 を利用した。5 号機の外形は W229mm × H77mm × D153mm である。3,4 号機に比較してかなりコンパクトにすることが出来たが、PC と基板との間のデータ転送のために採用した市販の「えきでんくん」というボックスのため高さが約 8cm になった。

3.4 6号機 (SH7045)

2004 年に 5 号機の更新のため、CPU を SH2(ルネサステクノロジ)、OS を μ ITRON3.0 とした基板 OT-1(図 6)を開発し、テキストも出版 [7] した。SH2 は学生らが持ち歩く携帯電話にも使われており、学習内容をより身近に感じてもらうためこの CPU を採用した。CPU ボードは YellowSoft 社の YS45-1 を利用した。この 6 号機を現在の授業「組込みシステム演習」で主に使用している。外形は W220mm × H54mm × D160mm である。この 6 号機からは、I/O ポートがチップに内蔵されているため、たくさんの素子類を基板上に配置可能になった。本基板での演習項目を表 5 に示す。この基板では 2 行 × 16 文字の液晶

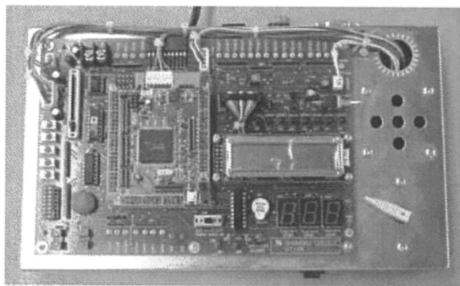


図 6 6号機 (CPU: SH7045)

ディスプレイ (LCD) を採用した。第 3 回目の授業であるが、液晶画面で学生の名前を電光掲示板のように移動させる演習は興味をもって取り組んでもらっている。第 2 回で

表 5 6号機 (OT-1) での演習実施項目

回	演習項目
1	組込みの基礎 ITRON と SH2
2	LED
3	LCD
4	ステッピングモータ
5	データの入出力と応答確認
6	マルチタスク マルチタスク
7	タスク同期・通信機能 (セマフォ)
8	タスク同期・通信機能 (イベントフラグ)
9	フォトインタラプタ
10	D/A 変換
11	SH2 の機能 A/D 変換
12	サウンド
13	割り込み
14	タイマ機能

は LED をイルミネーションのように点滅させたり、第 4 回ではステッピングモータでモータの回転速度や回転角度を変更させたりさせている。演習の早い段階で素子類を光らせたり動かしたりする課題を取り入れ、学生にプログラムを完成させる楽しさを味わってもらえるようにした。その後に、マルチタスクの必要性や割り込み・タイマ機能といった CPU 固有の機能について学習させている。第 12 回のサウンドは、5 号機でのメロディ演奏 (表 4 第 10 回) と同じであるが、本機ではスピーカーを内蔵している。

3.5 7号機 (SH7050)

2005 年には、演習内容の多様化に対応するため 6 号機の上位機種として、ブルートゥースや各種センサを搭載した基板 KT-2(図 7)を開発した。CPU として SH2 の 7050 を、CPU ボードは YellowSoft 社の YS50-1 を利用した。

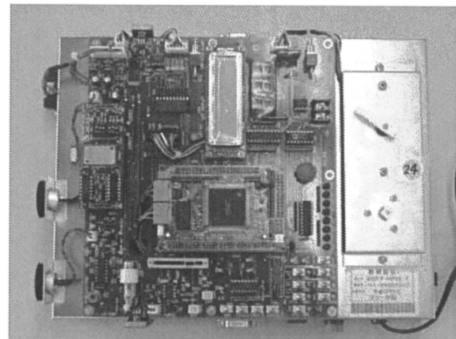


図 7 7号機 (CPU: SH7050)

6 号機の OT-1 に無い機能を多く採用し、マルチタスクで各種の素子を複合的に制御することを体験させている。今までの演習基板に無い機能として、ブルートゥースによる通信、光距離センサ、赤色レーザ、超音波発生・受信装置、温度センサ、DC モータなどがある。本基板での演習

表 6 7号機 (KT-2) での演習実施項目

回	演習項目
1	マルチタスク・A/D 変換
2	DC-MOTOR
3	Photo Reflector
4	Laser
5	Distance Sensor
6	Temperature Sensor
7	Bluetooth
8	割り込み
9	Watch Dog Timer
10	DSP
11	RS-232C

項目例を表 6 に示す。この基板は、本学エクステンションセンターが実施する企業の新人教育研修にも利用している。外形は W290mm × H67mm × D290mm である。多機能化のためにかなり大きくなった。また、ステッピングモータと DC モータと 2 種類のモータを積んでいるため重量が 2.0kg となっている。

4. 教育効果

PC 上でのプログラミングとシミュレーションではなく、実際に自分の作ったプログラムでモノが動いたり LED が光ったりするという点で、学生の興味を引き出すことが出来ていると感じている。液晶に文字を表示したり、モータを思い通りに回転させたりすることで、学生にはゲーム感覚で組み込みシステムのプログラミングを楽しんでもらえている。情報処理系の学生の就職は、システムエンジニアやネットワークエンジニアといった職種以外に、ゲーム業界や WEB といった方向を志望する傾向が強い。しかし、当該授業により組み込み系分野への就職も選択肢の一つとなり、就職の幅を広げることに成功していると考えている。

情報処理系の教育用として演習基板設計・開発を行ってきたが、モノを動かしたりするにはハードウェアの知識も必要であることから、逆に電子系の学生に、プログラミングの基礎を教える教材ともなりえらると思う。現在は理工系のどの分野でも、プログラムによる機械や測定機器の制御は欠かせない技術であることから、CPU に接続する周辺機器をそれぞれの分野のものに変更することで制御の基礎教育としても活用可能であると考えている。PC 画面上でのシミュレーションだけでは味わえない楽しさを体験してもらえると期待できる。

5. まとめ

日本は組み込みの技術が世界のトップレベルであり、本学への求人や本学学生の就職先は組み込み系の企業が多い。そのため、短期大学の情報処理コースといえども PC 上で動作するプログラムの作成方法だけでなく、組み込みのプログ

ラミングも専門科目として教える必要がある。ところが、組み込みの入門用専門書やそのプログラミングを解説した著書、また教材は少ないのが現状である。また組み込み用のテキストは、その演習基板に合わせた内容や学習する学生のレベルに合わせて書く必要があるため、大学独自で開発せざるを得ない状況である。

市販のキットを使い授業を行う場合は、配線や素子の着脱などの作業が入ることが多く、本来のプログラム作成に集中することが出来ない。我々が開発してきた演習基板は素子類を全て半田付けてあるため (3号機以降)、配線は基本的に PC から実行プログラムを基板へ転送するシリアルケーブル (RS-232C) だけである。その分、PC 上でのプログラミングに集中することができる。以上のような状況から、我々は情報メディア学科のプログラマ志向の学生を対象に、ハードウェアの知識が少なくても、手軽に組み込みシステムのプログラミングを体験できるような教材の開発に取り組んできた。情報系学部・学科を持つ大学においても組み込みシステムの学生教育は実施されているが、その教育方法について報告されている例は非常に少ないと感じる [8], [9]。今までの本学での組み込みシステム教育への取り組みを紹介することで、高等専門教育におけるプログラミング教育への一助となればと思う。

6. 今後の課題

現在、組み込みシステムの開発では、OS として ITRON だけでなく Linux も使われている。次期開発の演習基板では、これらの環境を取り入れることも考えている。RS-232C ケーブルが家電量販店で見つけることが難しくなってきた現在、基板へプログラムを転送するためのケーブルも USB ケーブルにする予定である。組み込みでの標準通信プロトコルである TCP/IP によるネットワーク接続なども考慮したい。

また、CPU や演習基板が変わるとテキストを全部書き換える必要がある。それを避けるため、CPU の抽象化・モジュール化などハードウェアの変更に対して頑丈なソフトウェア構造を模索して、学生用の例題プログラムを工夫したい。また学生の興味を引くようなゲーム感覚の課題なども取り上げてみたい。

謝辞 特色ある教育研究補助金 (旧私学振興財団) (1985 年度)、「C 言語を用いた教育用マイコン制御実験装置の開発」(1988 年度)、「C 言語を用いた教育用マイコン制御実験装置の実用化」(1990 年度)、「C 言語を用いた 68000CPU によるマイコン制御実験装置の開発」(1991 年度)、「C 言語を用いた 68000CPU によるマイコン制御実験装置の実用化」(1992 年度)、「C 言語を用いた ITRON によるマイコン制御実験装置」(1998-1999 年度)、および私立大学教育研究高度化推進特別補助金 (日本私立学校振興・共済事業団)「SH2 および FPGA を用いた組み込みシステム実

験・演習装置の実用化と運用」(2004-6年度)の交付を受けた。また、演習基板の開発には株式会社パナ R&D、株式会社ホリウチ電子設計のお世話になった。この場を借りてお礼を申し上げる。

文 献

- [1] 小田井 圭, 小松 恵一: 組み込みシステムプログラミングの教育用基板の開発, 平成 17 年度大学情報化全国大会予稿集, pp.137-138 (2005).
- [2] 小田井 圭, 小松 恵一: 組み込みシステムプログラミングの教育用基板の開発と取り組み, 平成 18 年度全国大学 IT 活用教育方法研究発表会予稿集, pp.38-39 (2006).
- [3] 北川 一雄: 制御用マイコンの作り方・使い方, オーム社 (1981).
- [4] 大倉 健, 小野 博敏, 小松 恵一, 小倉 浩: マイクロコンピュータによる制御実験, 湘北短期大学 (1989).
- [5] 湘北短期大学 電子情報学科: 組み込みシステム演習, 湘北短期大学 (1994).
- [6] 小野 博敏, 小松 恵一, 小棹 理子: 組み込みシステム演習-ITRON 入門-, 湘北短期大学 (1998).
- [7] 小田井 圭: SH2, ITRON, C 言語による組み込みシステム・プログラミング入門, 青山社 (2005).
- [8] 中西 恒夫, 野田 厚志, 北須賀 輝明, 福田 晃: 模型を使った組み込みソフトウェア設計教育試行とその評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2005, No.118 pp. 31-36 (2005).
- [9] 田中 康一郎, 林 悠平, 澤田 直, 佐藤 寿倫, 有田 五次郎: FPGA/DSP ベースシステムによる組み込みシステム設計教育, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D-I, No.6 pp. 640-648 (2004).