

システム設計教育手法に関する研究

澤田 直
Sunao SAWADA

九州産業大学 情報科学部 知能情報学科
Faculty of Information Science, Kyushu Sangyo University
sawada@is.kyusan-u.ac.jp, <http://www.is.kyusan-u.ac.jp/~sawada/>

1. はじめに

PCの低価格化やインターネットの普及、携帯電話の普及などに伴い、コンピュータが身近なものになってきている。また、様々な電化製品にコンピュータが組み込まれるようになったため、知らない間にコンピュータを利用して生活するようになってきている。これだけ身近にコンピュータが普及してきたということは、そのシステムを構築する技術者が大量に必要となる。

システムを構築するためにはハードウェアとソフトウェアの両面に対する深い知識が必要となる。しかし、現在のコンピュータのハードウェアとしての動作はオペレーティングシステムに隠されていることがほとんどであり、一般の利用者には実感しにくいブラックボックスになってしまっている。澤田研究室では、研究室のテーマとしてシステム設計教育の改善を掲げており、よりよい教育のための教材開発やカリキュラム開発を行っている。

これまでの研究は、主に以下の通りに大別できる。

- 実機の制御を基にした実験教材およびカリキュラムの研究
- ロボット教材を利用したプログラミング教育に関する研究
- FPGAを搭載したロボット教材およびカリキュラムの研究
- PICタイマーを用いた組み込みソフトウェア教育カリキュラムの研究
- FPGAとプロセッサを組み合わせたシステム設計教育に関する研究

本稿ではそれぞれの研究について具体的な研究内容について述べる。

2. 実機の制御を基にした実験教材およびカリキュラムの研究

情報システムを構築するためには計算機のハードウェアとソフトウェアの両面の知識が必要となる。オペレーティングシステムやユーザインタフェースの進歩によって、利用者はハードウェア的な動作を意識することなく計算機を操作できるようになり、計算機が一般に普及する要因にもなっている。しかし一方では、計算機の仕組

みや動作原理が実感しにくくなってしまい、ハードウェアの面では学びにくい環境になっているともいえる。

従来の初学者向けのハードウェア教育においては、数学的なブール代数を学び、論理関数を学んだ後に具体的な論理回路に触れるという形態をとっているものがほとんどである。また、初学者向けのハードウェア実験においては論理素子を組み合わせることで論理回路を作成し、発光ダイオードなどを点灯させることで論理回路の信号を確認させるものがほとんどであり、実際の機械がその信号でどのように制御されているかということまで実感させているものはほとんどない。そのため、具体的に論理回路がどのように世の中で用いられているかということが分からないまま課程を終える学生も少なくない。

本研究では、学生の設計した制御回路を接続すると本物のシステムのように動作する、実機の制御を基にした実験教材およびカリキュラムの開発を行っている。

2.1 自動販売機演習機の開発

論理回路の教科書で順序回路の例としてよく扱われるものに自動販売機制御回路がある。そのため、学生実験で自動販売機制御回路を標準ロジックICで設計、製作させることが多いが、LEDの点灯による動作確認のみでは、それまでに回路の設計体験のほとんどない学生にとっては自分が設計した回路の動作がよく分からず、実感がわきにくい場合が少なくない。

本研究ではこれに対し、学生の設計した制御回路を接続すると本物の自動販売機のように動作する自動販売機演習機 [1] を開発し、情報科学部2年次の情報回路実験において実際に活用している。図1に自動販売機演習機を示す。自動販売機演習機は自動販売機と電子錠の機能を持っている。

自動販売機演習機は平成15年度から情報回路実験の中で活用されており、実験テーマ「自動販売機制御回路の設計・製作」と「電子錠制御回路の設計・製作」の際に、学生が設計・製作した制御回路を接続して動作の確認を行っている。受講者に対するアンケートの結果によると、毎年ほとんどの学生が制御回路の動作の検証に「実際に動く機械」を用いる方が分かりやすいとの回答をしている。

また、本学部の学生実験室に設置している本物の自動販売機を教材化する試みも行ったが、まだ実現するには

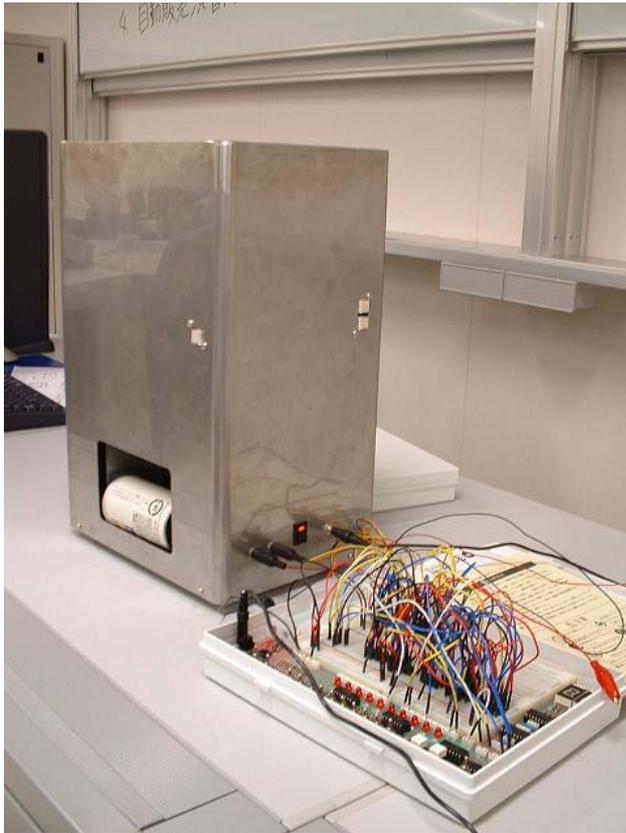


図1 自動販売機演習機

至っていない。

2・2 ハードウェア間通信の概念を理解させるための信号機を題材とした実験課題の研究

システムの構築には複数のモジュール間の通信と同期の考え方が不可欠になる。情報回路実験ではほとんどの学生は「電子錠制御回路の設計・製作」というテーマまでは理解できるが、「Kernel プロセッサ設計」というテーマになると急に難しくなったと感じる学生が多くなる。その原因として、電子錠制御回路までは1つの順序回路だけで構成されるものだったが、Kernel プロセッサ設計になると複数の順序回路で構成され、それらがお互いの状態を確認しながら動作するところがそれまでの実験と大きく異なり、学生が理解しにくくなるのではないかという点が考えられる。また、CPU やメモリの動作の概念がよく分からないまま、同時にハードウェア間通信の概念を学習しなければならないため、余計に理解できずに戸惑う学生が多いのではないかと考えられる。

本研究では、Kernel プロセッサの前段階でまず学生にハードウェア間通信の概念と必要性を理解させるための新しい実験課題を考え、そのための教材の開発並びに、ハードウェア実験のカリキュラムの開発を目的とした。新しい実験の課題として、自動販売機制御回路や電子錠制御回路のように学生が直感的に分かるものを選ぶことに

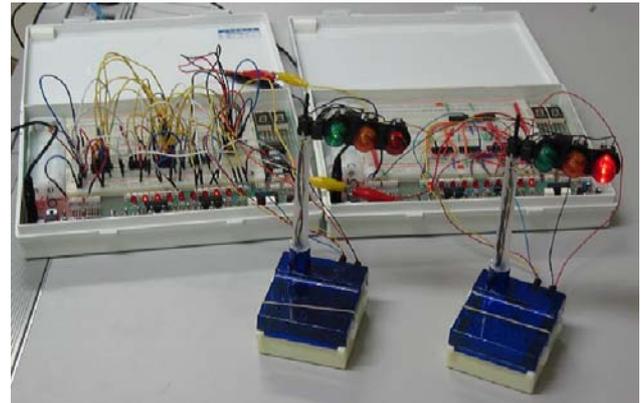


図2 信号機制御回路の実験

し、交差点にある2つの信号機を考えることにした。複数の順序回路で通信を行いながら動作する信号機制御回路を考えることにより、通信と同期の概念を学生に理解させる。図2に信号機を題材とした実験の様子を示す。

この実験課題では「交差点の直交する2つの信号機が同時に青になったら交通事故が起こる」という学生にとって身近で直感的に仕様を理解しやすいものを題材に選び、その実現には「お互いに相手の様子を見ていないと安全に動作できない」ことから、通信の必要性を理解させるのが目的である。そのために以下の仕様を与える。

- 相手の信号が赤でないときは相手が赤になるまで赤のままとどまる。
- 相手の信号が赤になった次のクロックから青 黄 赤と状態が変化する
- 相手の信号が 青 黄 赤と変化したら次は自分が赤 青 黄 赤と変化しなければならない
- 青には3クロック、黄には1クロックとどまる

この仕様に基づいて別のクロックで動作する2つの順序回路を設計し、それらの赤の情報をお互いに交換することで信号機を実現する。その際、青と黄を出力する時間は自分の回路で制御するのに対し、赤の時間は相手の回路のタイミングに合わせて決定されるところが自動販売機制御回路等の順序回路とは異なる点である。

この「信号機制御回路の設計・製作の実験」は平成17年度の卒業研究で検討し、平成18年度から情報回路実験で実施されており、本稿執筆の時点で1学年実施した状況である。受講者に対するアンケートの結果によると、「信号機制御回路の実験を通じて速度の違う回路同士が通信を行いながら動作することが分かりましたか」という設問に対し8割程度の学生が「実際に信号機が動作するのを見てよく分かりました」等の肯定的な意見を述べている。

3. ロボット教材を利用したプログラミング教育に関する研究

現在、社会経済全体における情報技術利用の拡大及び産業全体に占めるソフトウェアやサービスによる付加価値の増大に伴い、情報技術者の不足が問題視され始めている。日本が高度情報化社会として持続し、発展していくためには、情報技術者の人材育成問題について検討すべきである。その問題の原因には、若年者の科学技術離れ、理科離れが挙げられる。

本研究では、若年者の科学技術離れの解消を目的として、プログラミングの経験のない初学者を対象として、ロボット教材を利用したプログラミング教育に関する研究を行ってきた。検討した課題としては迷路、あみだくじといった、少し論理的な思考力を要するものを検討している。この結果に関しては情報科学部1年次の情報科学基礎演習Ⅰ、情報科学基礎演習Ⅱの中で活用されている。

4. FPGA を搭載したロボット教材並びにカリキュラムの研究

組込みシステム技術者育成のための教育にロボット教材を用いる例が多数報告されている。これは動機づけやシステムの動作をロボットという分かりやすい形で確認するといった面では優れているが、現在市販されているロボット教材ではソフトウェアの開発の経験しかできないため、ハードウェアソフトウェア協調設計やプロセッサを自分で選定してシステムを構築するという経験ができないという欠点がある。

本研究ではこれに対し、制御基板にFPGAを搭載したロボット教材の開発とそれを活用したカリキュラムの開発を行っている [2]。FPGA (Field Programmable Gate Array) は再構成可能なデバイスであり、利用者が自由にハードウェアの設計を行うことができるため、ハードウェアとソフトウェアを同時に設計したり、ハードウェアのみで制御させたりできるようになる。図3に本研究室で試作したFPGAロボットの外観を示す。

FPGAロボットを用いると以下のような実験を行うことができるようになる。

- ハードウェアのみによる制御の実験
- あらかじめ設計されたプロセッサを用いたソフトウェアによる制御の実験
- 自分で設計したプロセッサを用いた制御の実験
- プロセッサの周辺回路をカスタマイズしたシステムによる制御の実験

これらを効果的に行うため、クロック周波数を可変にすることを考えている。例えば同じロボットを用いてライントレースを行う場合にプロセッサにプログラムを与えてソフトウェアで制御させる場合と、プロセッサを用いずに順序回路のみで制御させる場合を考える。その際に

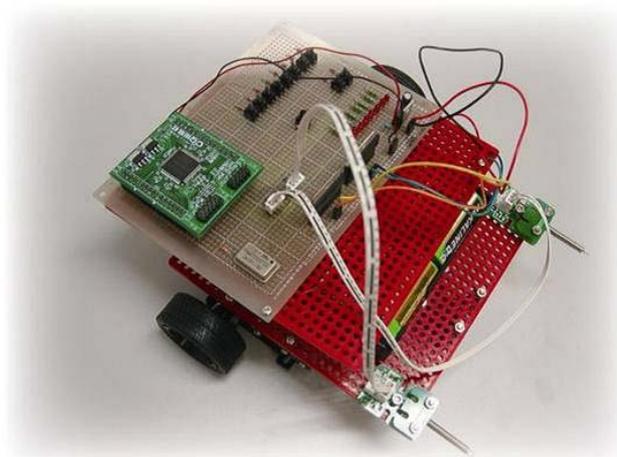


図3 試作 FPGA ロボット

クロック周波数を数十ヘルツ程度に、十分に低下させて動作させると、ソフトウェアによる制御の場合には少し進んでは停止し、という動作を繰り返すのに対し、ハードウェアによる制御の場合にはソフトウェアによる制御よりはるかに高速に動作することが目で見て分かると考えられる。また、内部状態をLEDで確認するといった、内部状態の可視化も可能となり、この事は教材として利用するといった点においては重要なことだと考えられる。

FPGAロボットに関する研究としては以下のような検討を行っている。

- 可変クロックを実現するための機構に関する検討
- 可変クロックにしても実時間を把握できるようにするための外部タイマに関する検討
- センサ類とモータ駆動に関する検討
- あらかじめ設計データとして用意しておくプロセッサに関する検討
- ライントレースをハードウェア制御・ソフトウェア制御の両方で設計させるカリキュラムの検討
- FPGAロボットの制御基板の試作に関する検討

5. PIC タイマーを用いた組込みソフトウェア教育カリキュラムの開発

組込みソフトウェア設計がPC上で動作するアプリケーションソフトウェア設計より困難な要因としては、設計者が周辺回路まで把握しなければならないことや、リアルタイム制御を考えながらプログラムをしなければならない点などが挙げられる。現在の組込みソフトウェア開発の現場では、C言語等の高級言語を用いてリアルタイムOS上でシステム開発を行うことが主流となっている。これは、生産性を高めるために、より抽象化した設計を行うためである。しかし、初学者にとってはプロセッサの動きがオペレーティングシステムにより隠され、ブラックボックスとなっているため、周辺回路の動作や信号の

タイミングなどの理解が困難になり、高品質なシステムを開発できる技術者の育成を困難にしている一因となっている。これらの問題点を解決するためには、マイコンによって機器を制御するソフトウェア開発を行わせ、その仕組みを理解させることが有効であると考えられる。また、その際に機械語に近いアセンブラ言語を用いて、オペレーティングシステムが担当すべき部分まで自分で設計することによって、よりプロセッサの動きを実感でき、高品質なシステム開発を行うことのできる技術者の育成につながるのではないかと考えられる。

本研究では、PIC タイマーというPIC マイコンを用いた多機能タイマーを教材とし、アセンブラ言語を使用して組込みソフトウェア教育を行うためのカリキュラムの開発を行っている。図4にPIC タイマーの外観を示す。



図4 PIC タイマー

カリキュラムとしては、一般的な電子工作として組込みシステムに興味を持たせるために構成されたものと、組込み技術者の導入教育として活用するために割り込み処理の理解を中心に構成されたものを検討し、それぞれについて演習課題の検討を行っている。

6. FPGA とプロセッサを組み合わせたシステム設計教育に関する研究

急速な技術革新が進む現代、日常生活の身の回りで多くの組込みソフトウェアが動いている。組込みシステムは技術が進歩し日々市場が拡大する分野であるにも関わらず、人材育成が困難であり人材不足が深刻化している。組込みシステム技術者が不足している中、技術の急速な

進歩により製品のブラックボックス化が進み、システムの全体を見渡してハードウェアとソフトウェアの両方の知識をもって設計できる人材の育成が課題になっている。この問題を解決するには、自分が作る製品の仕様を正確に理解し、機能を実現する上での問題を適切に切り分け、より高品質なシステムを構築することができる人材の育成が必要不可欠である。また、育成の対象となる学習者は、それぞれ違った状況・技術力であることが考えられるため、全くのゼロから学ぶ初学者向けや他分野が専門の技術者向けなど、学習者の段階や状況に応じた課題を設定することも必要である。本研究ではFPGA とプロセッサを組み合わせることでシステム全体として設計できる技術者育成のためのカリキュラムの開発を行う。特に、学習者に要求仕様を正しく理解させやすい課題の設定に重点を置き、技術者としての基盤となるスキルを構築できるカリキュラムと課題を検討する。

現在、H8 マイコンとFPGA を搭載した三菱電機マイコン機器ソフトウェア株式会社製のボード PowerMedusa MU200-EK[3] をベースに、FPGA とプロセッサを組み合わせるとどのような演習課題が考えられるか、どのように設計させるかなどの検討を行っている。

7. ま と め

本稿では、本研究室でこれまでに取り組んできた主な研究の紹介を行った。技術が進歩して様々な製品がスイッチ一つで動くようになっても、その製品を開発して正しく動作させるのは人間である以上、優秀な人材の育成は避けて通ることのできない重要な課題である。その上で大切なことは「変えることのできない本質的な部分」と「時代に合わせて変えていかなくてはならない部分」の両方を正しく見極めることである。時代の最先端を歩んでいる学生達と共に研究を進めていくことで、常に時代に合った教育手法を提案し続けていきたいと切に願うものである。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [1] 澤田 直, “実機の制御を基にした論理回路実験教材の開発,” 2004年電子情報通信学会総合大会, D-15-16, p.171, 2004年3月.
- [2] 増永愛子, 澤田直, “組込みシステム設計教育のためのFPGAを搭載したロボット教材,” 第68回情報処理学会全国大会, 3A-5, 2006年3月.
- [3] <http://www.mms.co.jp/powermedusa/ek.html>