

専門情報処理教育のためのロボットの 製作実験とその経験

宇津宮 孝一 児玉 利忠 凍田 和美 吉田 和幸

大分大学工学部

ソフトウェアを指向する情報系学科においては、ハードウェア自身、ハードウェアとソフトウェアの境界面をどのように学生に教えるかはとりわけ難しい。ソフトウェアを作成し、計算機上である種の模擬実験をやらせるだけでは、エンジニアの卵に実際のシステム作りの楽しさや危険な側面をなかなか伝えられない。したがって、システム全体を理解させるために、実験科目の中に教育用走行ロボットの製作実験を導入した。こうした試みは、既にMITや高専においてロボットコンテストという形で実施され、大変注目を浴びている。しかしながら、一人一人の学生がその体験をし、全体のレベルが向上するという仕組みにはなっていないように思われる。そこで我々は、原則として学生一人一人に基本的なロボットを製作させ、各人の工夫したプログラムでこれを動かすという形式の実験とした。本稿では、実験の概要、選定したロボット、実験内容および実験の結果と検討などについて、我々の経験を述べる。

Experiences with Experimental Course of Basic Educational Robots

Kouichi Utsumiya Toshitada Kodama Kazuyoshi Korida Kazuyuki Yoshida

Faculty of Engineering, Oita University

700 Dannoharu, Oita 870-11, Japan

It is important to teach interfaces between hardware and software in computer software education. However, it is very difficult to give students great pleasure of designing and implementing real systems, and tell them the dangerous side of the systems. To enable every student to understand the total system of hardware and software, we introduced an experimental course of basic robot trainers into our computer science education. This paper describes this experiment, educational robots and our experiences with this course.

1. はじめに

ソフトウェアを指向する情報系学科においては、ハードウェア、ハードウェアとソフトウェアの境界面をどのように学生に教えるかはとりわけ難しい。ソフトウェアを作成し、計算機上である種の模擬実験をやらせるだけでは、エンジニアの卵に実際のシステム作りの楽しさや危険な側面をなかなか伝えられない。大分大学組織工学科では、高度情報化社会のあらゆる分野において、情報化、システム化、知能化を主導してゆける人材の養成に現在力を入れている。そのため、新しい計算環境の構築に伴い、いくつかの国立情報系学科の実験科目について調査した[1, 2]。その結果、ハードウェアとソフトウェアの総合システムを理解させるために、実験科目に教育用走行ロボットの製作実験を導入することが適当であるとの結論になった。こうした試みは、既にMITやこれに刺激されたわが国の高専が、ロボットコンテストという形で実施し、大変注目を浴びている。しかしながら、一人一人の学生がその体験をし、全体のレベルが向上するという仕組みにはなっていないように思われる。そこで我々は、原則として学生一人一人に、基本的なロボットを製作させ、各人が工夫したプログラムでこれを動かす形式の実験を昨年度開設した[3]。

本稿では、この実験の概要、選定したロボットの機能と構成、実験内容および実験の結果と検討などについて、我々の経験を述べる。

2. 実験概要

2. 1 実験の基本方針

本実験の基本方針を以下に示す。

- (1) ハード・ソフトウェアを取り扱える総合的なシステムを工学的観点から理解させる。
- (2) 実際にシステムの製作を体験させる。
- (3) 製作するシステムの理解、興味を増すために、動きや音声を取り扱える総合的なシステムを題材に選ぶ。
- (4) 実験に楽しさを取り入れる。
- (5) 情報処理教育の一環としての開かれた実験をめざす。

上記の基本方針に基づいて、教育用走行ロボットの製作実験を導入する。制御プログラムの開発には、プログラミング演習などで利用するワークステーションを使用する。

2. 2 実験の位置づけ

ハードウェアとソフトウェアの総合的システムの理解を目標にして、素子→デバイス→システムへと段階的に進めてゆく。次の3つの実験を設定している。

(1) 電子回路実験

素子と基本回路に関する実験。

(2) デジタル回路実験

マイクロコンピュータシステムの理解に必要なデジタル回路に関する実験。

(3) 計算機システム実験

教育用ロボットの製作と動作実験を通じて、コンピュータ、インタフェース、周辺機器およびそのプログラムからなるシステムを理解させる。

これらの実験と講義科目の関係を表1に示す。

表1 実験と講義科目の関連

	関連講義科目			実験科目
	1年	2年	3年	
		電子回路Ⅰ 電子回路Ⅱ		電子回路実験 (2年後)
情報論理学 情報回路論		計算機工学Ⅰ		デジタル回路 実験(3年前)
		計算機工学Ⅱ	計算機 アーキテクチャ 知的処理演習	計算機システム 実験(3年後)

2. 3 教育用ロボットとしての要件

教育用ロボットとしては、下記の要件を考慮した。

- (1) 目、手足、口、頭にあたる部分を有すること。つまり、外界の対象物を認識し、移動などの動作ができること。
- (2) 認識と動作の機能を統合し、判断しながら動作ができる。つまり、プログラムで制御できること。
- (3) 期間内に実験が終了するために、機能がそれほど複雑ではないこと。

- (4) 製作の過程で必要な項目の実験ができるように、モジュール化ができてきていること。
- (5) 全学生に経験させるために、一人1台程度の割当てができる価格であること。
- (6) 進歩の著しい情報工学において、先進的な教育実験であるために、将来の発展性が期待できること。

また、今回は一から自作してゆく時間的余裕がなかったため、とりあえず既製のロボットであるBERT (Basic Educational Robot Trainer) を選定して、部品の調達、試作、準備を行った[4.5]。センサ部は、既存のものを再検討して設計した。

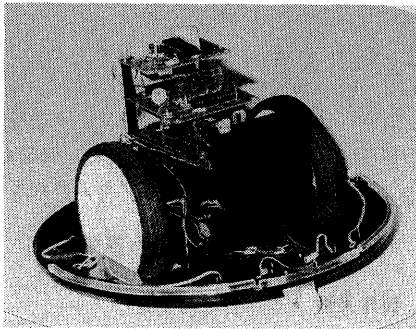


図1 ロボットの外観

3. 教育用ロボットの構成と機能

3.1 システム構成

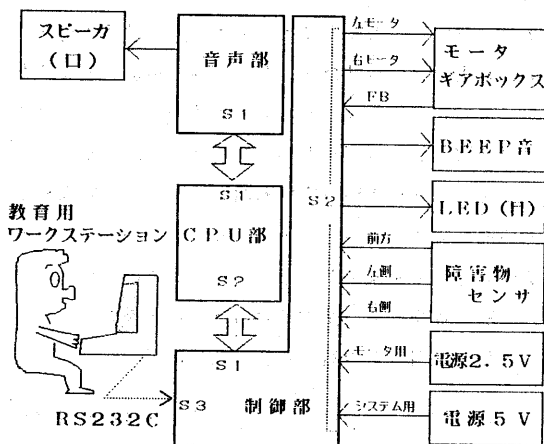


図2 システム構成

教育用ロボットの外観を図1に、システム構成を図2に示す。ロボットは左右独立の2輪走行(足)、3方向障害物検出(触覚・手)、音声合成(口)、制御用インタプリタ(頭)、および通信(耳)などの機能を備えており、通信によって教育用ワークステーションから制御プログラムを受信することにより、制御プログラムの指示に従った動作をする。動作の精度はよくないが、前進、後退、左右回転による移動と移動動作中に障害物を検出し、回避するといったロボットとしての基本的な動作がとれる。

3.2 ハードウェア

ロボットは、大別すると本体系、走行系、障害物検出系より成る。以下に各系について説明する。

(1) 本体系

ロボットのハードウェア構成を図3に示す。点線で囲まれた部分(本体系)は3枚の基板で構成しており、それぞれコンピュータ部、制御部、音声部という機能単位(モジュール)に分けている。

① コンピュータ部

コンピュータ部は、CPUに8ビットのMC6802、入出力制御にMC6821(PIA)、システムソフト格納用EPROM(4Kバイト)、プログラム・作業用SRAM(2Kバイト)から構成されている。

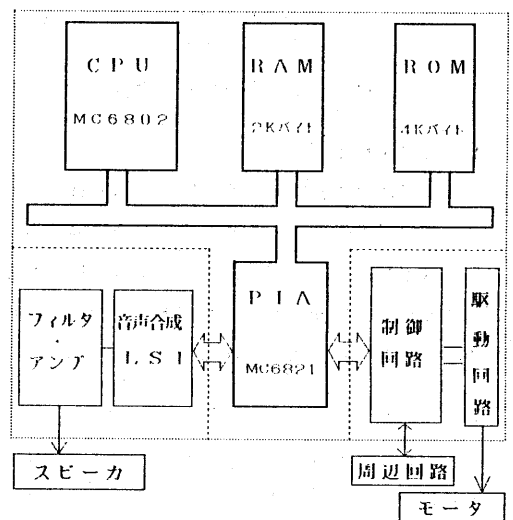


図3 ハードウェア構成

② 制御部

制御部はトランジスタによるモータ駆動回路とその制御回路から成る。制御回路には、フォトインタラプタによる回転数検出回路、マイクロスイッチによるセンサ回路、およびLED駆動回路なども含まれて構成されている。

③ 音声部

音声部は英語の音声合成用LSI (SP0256-AL2) とフィルタ回路およびアンプ回路で構成されている。

(2) 走行系

走行系は図4のようになっている。移動量をフォトインタラプタでフィードバックする。左右駆動系の一方のみから約1cm移動するごとに1パルスの信号がコンピュータ部にフィードバックされる。左右のモータとギアは一体型であり、走行速度は約20cm/sである。

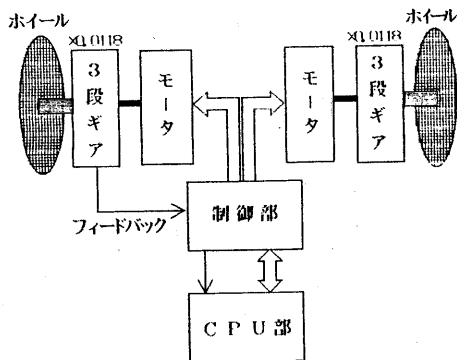


図4 走行系のブロック図

(3) 障害物検出部

3方向の障害物検出センサ (図1参照) は、それぞれ2個のマイクロスイッチとアクリル棒で構成されている。検出範囲は、前進方向に対し180度である。この情報はおもにサブルーチンの実行条件および移動動作時の例外処理に利用される。

3.3 ソフトウェア

システムソフトは、おもにコマンドインタプリタと簡単な機械語モニタで構成されている。インタプリタは19種類のコマンド、機械語モニタは3種類のコマンドから成る。プログラム例を図5に示す。

フィードバック (図4) の信号はホイールの回転に応じたパルス (約10msec) 信号で、このパルスをフィードバック処理 (カウント) することにより、移動・回転コマンドのパラメタに応じたモータ制御を行っている。また、パルスとパルスの間 (約15msec) に障害物検出をし、もし障害物があり、かつ例外処理ルーチンがあれば、例外処理要求を出してコマンドを終了する。インタプリタは各コマンドの実行開始時に例外処理要求があればコマンドXからGの例外処理 (図5参照) を実行する。

:	: プログラムの開始 (初期化)
T6D	: 発声 "スタート"
FF0 FF0 FF0	: 2.4m前進を3回
T6E	: 発声 "ストップ"
X00 C30C51C62 GFF	: 例外処理ルーチン
N00 T79R09 G00	: #7 ルーチン0 発声 "right", 右回転70°
N01 B10R10 G00	: #7 ルーチン1, 後進と右回転124°
N02 T78L06 G00	: #7 ルーチン2, 左回転47°
E	: プログラムの終了

図5 制御プログラムの例

4. 製作実験

4.1 実験方法

本実験は3年後期の計算機システム実験で行う。初めての試みであることを考慮して、2名1組 (1グループ) に1台の割合でロボットを製作させ、製作過程での動作実験は6名 (1班) で行わせることとした。進め方は、ロボット製作を機能的に4つのコマに分け、1コマを製作と実験の2テーマとして、計8テーマで製作と実験を行わせた。また、実験の目的の1つでもある楽しさを取り入れるため、実験の終了時に各グループで製作したロボットのコンテストを行った。

本実験では、実験を実験室内に限定せず、時間外でも可能な製作、ワークステーション上でのプログラムの開発などの実験形態を取り入れた。そのため、従来の実験とは違って、測定機器以外に費用を要した。

実験で使用した機器、物品を以下に示す。

- (1) 使用機器 オシロスコープ、直流電源、教育用ワークステーション、ブレッドボード (1班1式)
- (2) 貸与物品 工具、テスタ、IC類、フラットケ-

ブル, ベース, スイッチ, ギアボックス, 車輪, 電池ボックス, スピーカなど(1グループ1式), 参考資料(1人1冊), 参考図書(1班2冊)

- (3) 配付物 テキスト (1人1冊)
- (4) 消耗品 素子(IC以外), 基板, 乾電池(1グループ1式)

初年度の費用は, 工具・備品(約50万), 部品代(約80万)の合計約130万円であったが, 次年度以降は消耗品代(20万)だけで実験が可能である。

4. 2 実験体制

実験は,

- (1) 実験全体の総轄を行う実験担当教官1名,
- (2) 部品の調達, 実験指導書の作成, 技術面からの検討・企画を担当する実験担当技官1名,
- (3) 教育面からの検討・企画を担当する補助教官1名,
- (4) 実験指導や予備実験を担当する実験指導技官3名の総員6名から成る指導体制で行った。

今期の受講学生は, 51名であった。全体を, 1班6名から成る9班に分け, 1班に1名班長を置いた。1班は, 2人1組の3グループで構成される。

4. 3 実験手順と日程

実験全体は, 製作実験と製作したモジュールを使った動作・検査実験から構成される。1台のロボットを2人1組で4コマの時間(4週)で作成する。作成した各モジュールの実験については, 3組を1班として4コマの時間(4週)を充てて各班ごとに行う。

実験の日程は以下のものであった。

準備 : 実験全体, 工具, 部品の説明	1週
実験1: コンピュータ基板の製作と実験	2週
実験2: モータ制御基板の製作と実験	2週
実験3: 音声合成基板の製作と実験	2週
追加実験	1回
実験4: 周辺回路とロボット全体の作成と実験	2週
追加実験	4回
まとめ: 完成したロボットの	
評価コンテストおよびまとめ	1週
追加実験	2回

合計10週の定期実験と7回の追加実験を行った。追加実験は, 大半のグループが必要であった。予定のスケジュールでの完成は困難であった。

4. 4 実験内容

システムを中心となる3枚の基板を製作させ, その過程で各基板に対する実験をシンクロスコープやブレッドボード等を用いて行い, 以下について学ばせる。

(1) 実験1: コンピュータ基板の製作と実験

簡単な8ビットマイクロコンピュータを製作することにより,

- ① コンピュータの基本動作である命令の取り出し, 解釈・実行,
- ② アドレス空間のメモリ, I/Oへの割当て(アドレスデコード),
- ③ データの読み出し・書き込みの動作(メモリとI/Oが同じ命令)について学ぶ。

(2) 実験2: モータ制御基板の製作と実験

- ① モータの回転方向と回転数の制御,
- ② 入出力機器とインタフェース,
- ③ ボーリング手法と入出力割り込みについて学ぶ。

(3) 実験3: 音声合成基板の製作と実験

- ① 音声合成LSIの仕組み,
- ② ハンドシェイクによるデータ伝送制御,
- ③ PIAによるRS232C通信,
- ④ コンピュータとのインタフェースとその制御について学ぶ。

最終過程では, 全体を組立てて, 教育用ワークステーション上でプログラムを作成し, RS232Cを通してロボットへ送信することにより, 実際にロボットを動かしてみる。ここでは, 以下について学ばせる。

(4) 実験4: ロボット全体の製作と実験

ロボット全体を組み立て, 内蔵インテリタ言語(BERTL)を使ってプログラムすることにより, ロボットを実際に動かしてみる。

(5) まとめ: ロボット制御プログラムの開発

内蔵プログラムを理解することにより, コンピュー

タ(ロボット)の事象(イベント)に対する処理とその方式について学ぶ。ワークステーション上で、独自の障害物回避プログラムを作成し、指定された走行環境で、ロボットを動かしてみる。

5. 実験の経験と検討

5. 1 実験時の問題

実験中に起きた疑問とその解決法を書いた質問票を提出させることにより、実験中の体験を意識させ、各自の実験意欲の向上を試みた。質問票に記載された代表的な内容を以下に示す。

製作に関しては、ダイオード、トランジスタ、LEDなどの素子の向き、コンデンサの極性、基板の裏表、ICソケットの向き、抵抗、コンデンサの値の読み方、半田付けの技法についての質問が出た。このことは、実際の回路の組立、システム製作では、構成要素である素子についての知識が以前の実験で十分でなかったことを示している。

製作基板の検査や実験に関しては、結果の確認方法、テスタ、シンクロの使い方、電源の電流容量、電流制限などの質問が出た。実際の現象を理解するためには、その手法や使用する計測機器についての知識は必要であるが、煩雑な手順や高度の知識は本来の実験目的には合わない。これらの手続きの単純化は今後の課題となろう。

理論的なことに関しては、アドレス値の計算、クロックの意味、割込み機能、通信データのスタートビット、ストップビットについての質問があり、講義で習ったことと実際問題との対応に学生が戸惑いを見せた結果と考えられる。

5. 2 実験報告書の問題

実験報告書についての検討では、以下の問題点が指摘された。

- (1) タイムチャートとプログラムのサイクルの対応を示していない学生がいる。
- (2) 2値(H, L)とアナログ信号(シンクロの波形)との対応を十分理解していない学生がいる。
- (3) イントラプト、ポーリング方式の違いをうまく説明できない

(4) 伝送データ形式スタートビット、ストップビットを間違えた学生がいる

(5) プログラミングの考え方や工夫点の説明が十分でない。

(1) から(4)までは、いずれも時間的な現象に関した問題である。情報工学系の講義、プログラミング演習では、学習し難い事項が挙げられている。こうした項目を体験、理解させるのに、この種の実験は重要な役目を果たすと思われる。(5)については、本来、プログラミングは得意な分野と考えられるが、プログラミングの考え方を表す説明文書の作成は、不得手のようである。今後は、学生に対して文書作成に関する何らかの訓練が必要である。

これらの問題点を関連科目の教官にフィードバックすることにより、授業と実験のつながりを強化し、一貫した情報処理教育ができると考えられる。

5. 3 実験指導上の問題

実験中に学生と直接接した実験指導者の意見を聞くために、実験指導者が本実験を通して感じたことを話し合う機会をもった。以下は、その会議で出たおもな事項である。

- (1) 実験の前準備が不十分。テキストを読んで来ない学生がいる。
- (2) 工具等貸出をしたが、時間外に共同製作実験の場所がなく十分生かされていない。常時使用できる補助実験室が必要である。
- (3) 製作した基板をそのまま実験に使い、製作の検査と動作理解実験を同時に行ったため、学生の理解や実験進行にばらつきが出た。製作と実験の分離を検討する必要がある。
- (4) 一実験でコンピュータのハードウェア、ソフトウェア、ロボットについて全て教えるのは困難であった。
- (5) 現在の内容でも最低15回は必要であり、半期では、プログラムの開発に十分時間が確保できなかった。
- (6) 部品などの物に対する知識は今回の実験で十分理解しえた。

(7) この種の製作実験では数人の実験指導者による体制が必要である。

(8) 実験現場で実験全体を見ている役割の人がいることが必要である。

(1) の実験の前準備としては、実験指導者に余分な負荷がかからなくて、予習を義務づけるよい方法を見つける。例えば、報告書の前半分程度を予習レポートとして課すなどの方法が考えられる。

(3) の実験の進め方に対しては、今回は初めての試みであったため、製作の過程で仕組みや振舞いを学ぶというスケジュールを取ったが、基本動作の確認についてはあらかじめ動作を確認した回路で実験を行い、検査の手順を明確にする方法がよかったと思われる。しかし、(4)、(5) に挙げられているように、使用可能な実験時間には制限があり、夏休みを有効に利用するなどの工夫が必要かもしれない。

また、授業科目で使っている教科書を教職員が自由に閲覧できる場をつくり、授業で何を学生が学んでいるかが実験指導者にわかりやすくする必要もある。

5. 4 実験アンケート結果

実験の終了時に、実験で印象に残ったこと、意義深かったこと、無駄であったこと、楽しかったこと、きつかったことなどのアンケートを受講生に対して行った。

- (1) 印象に残ったことでは、半数の学生が製作したロボットが初めて動いた時のことを挙げていた。残りは、ICの誤挿入や半田付けのミスなどの失敗談を挙げていた。
- (2) 意義深かったことでは、半数近くが実際にロボットを製作したことをあげ、次いで、ロボットを動かした、信号の流れがわかったなどを挙げていた。
- (3) 無駄なことでは、実験の手順や測定器に対する非難が大多数であった。
- (4) 楽しかったことでは、作る楽しさ、完成した喜びを挙げていた。
- (5) きつかったことでは、かなり長時間にわたる原因の究明や慣れない半田付け、機器の取扱いに悩まされたことが挙げられた。

5. 5 検討課題

障害物センサ部は今回独自に試作したが、教育用ロボットそのものはBERTの仕様準拠したものであった[4]。今回の経験を活かして、必要なソフトウェア機能の強化、実験手順の見直しを行って、引続き総合的なシステムの分かる学生を養成することが大切である。

その他、次回の実験への検討事項は、以下のようまとめられる。

(1) 実験内容（ハードウェア面、ソフトウェア面）

- ①日本語音声出力の検討。センサ部分の改良。
- ②ソフトウェア面では、障害物を回避しながら目的地まで移動するプログラムの工夫を実現できる程度の基本的な機能の検討およびワークステーション上であらかじめ模擬動作が確かめられるシミュレータの作成。

(2) 実験体制、実験期間

夏休みの利用や実験項目の再検討。

(3) 実験の進め方

- ①動作理解実験を実験の始めにもってくるなどし、回路検査と動作実験の分離の検討。
- ②機械語（ソフトウェア）と信号・動作（ハードウェア）の対応を学ぶ実験の検討。

(4) その他

補助実験室や講義で使う教科書を備えた資料室の検討

6. おわりに

初めての試みということで、多くの検討課題が出たが、授業で学び難いこと（実際の信号、物の動きなど）の確認、授業と違った観点から工学的にシステムを理解する力の養成が現在の情報処理教育に必要であることが確認された。また、実際に製作したロボットが思うように動いた時の学生の感動が今後の教育の場や実社会で役立つものと思われる。一実験での時間的、体制的限界については、他の実験で取り込めそうな項目の検討、実験間のつながりの強化の検討が必要となる。また、多くの事項を理解させるという考え方ではなく、一連の情報処理教育の中で実験がもつ意義を十

分活用できるものにしてゆくことが大切である。実験・演習の観点から情報工学のカリキュラムをどうするかという論議も今後重要になってこよう [6]。

今後1, 2年間はノウハウの蓄積と経験を積み、割込み機能, センサ, 知的機能の導入により, 知的な教育用ロボットの枠組みについて検討したい。

最後に, BERTの使用に便宜を図っていただいたバンクーバコミュニティ大学のKarl Brown教授に深く感謝の意を表す。また, この実験の実現に多大な協力をいただいた組織工学科実験検討会議構成員ならびに実際に学生実験の指導にあたった実験指導技官各位へ謝意を表す。

参考文献

- [1] 林, 中川, 阿部: 計算機ハードウェア実験, 近代科学社, 1980.
- [2] 萩原: 情報工学ハードウェア実験, オーム社, 1983.
- [3] 児玉, 宇津宮, 凍田他: 専門情報処理教育のための新しい計算環境—教育用ロボットの製作実験—, 情報処理学会第39回全国大会講演論文集, No. 3Y8, 1989.
- [4] K. Brown: BERT Basic Educational Robot Trainer? ニュール, KRBCO Electronics Ltd., Vancouver (1988).
- [5] カール・ブラウン: 教育用ロボットBERTの製作, 日経バイト, No. 38~39 (1987).
- [6] 情報処理教育の改善のための委員会: 大学等における情報処理教育の改善のための調査研究, 情報処理学会コンピュータと教育研究会報告書, 1990.