

計算機シミュレータとラジコンカーを用いた 計算機の動作原理教育

木室 義彦¹⁾・松本三千人²⁾・安浦 寛人³⁾

情報技術が政治／経済／社会システムに広く組み込まれてきた現在、初等中等教育における情報技術教育が重要となってきた。すなわち、計算機の動作原理を常識として身に付けることが重要である。我々は、中学生でも簡単に操作、理解できる計算機シミュレータと、身近な玩具であるラジコンカーを利用した計算機の動作原理教育を提案している。本論文では、この教材とカリキュラムの詳細および、本教材を使用した実験授業の結果を報告する。

キーワード

計算機の動作原理教育、計算機アーキテクチャ、CPUシミュレータ、ラジオコントロールカー

1. はじめに

急速に情報化社会が進みつつある現在、社会的な常識の1つとして、情報技術の基本的な原理の理解が必要になってきている [安浦 1999]。これに関し、我々は、「コンピュータは故障でない限り、プログラムされたとおりに動作する」という計算機の動作原理を小中学生でも体験的に理解できる教材として、移動ロボットが有効であることを実験授業から明らかにしてきた [甲斐 2002]。しかし、一方、移動ロボットに搭載されたコンピュータと身の周りにあるパーソナルコンピュータ (PC) が同じしくみを持つものであることが、生徒に十分に理解されているとはいえなかった。

コンピュータのうごくしくみを知る1つの方法は、計算機シミュレータを使ってプログラミングを行うことである。教育用計算機シミュレータとしては、ED21 [三浦 2004] や VisuSim [今井 2000]、E-cas [矢原 2001]、KC2EB [新實 2001]、K-COM [葉山 2001]、GM-Web [石川 1998] など特徴的かつ優れたものが数多く開発されている。しかし、そのほとんどは、工学系の大学や高専など高等教育での利用を想定しており、中学生でも理解可能な簡単な計算機シミュレータは少ない。「道具の原理を知ってその使い方を判断する」という技術教育の基本に立ち返るならば、工学系の高等教育に限定せず、計算機工学の概念を正確に盛り込んだ計算機シミュレータを用い、初等中等教育から高等教育への連続性を考えた

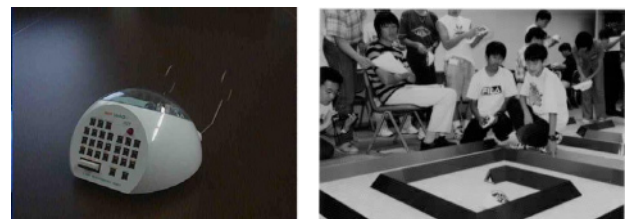
教育を行なうことは、意味のあることだと我々は考えている。

本報告では、中学生でも容易にコンピュータのしくみが理解でき、かつ、高等教育でも十分に利用できることを目的に開発した計算機シミュレータと、このシミュレータから実機である市販ラジコンカーを操作可能とする制御教具について述べる。さらに、これらを併用することで、計算機アーキテクチャに踏み込んだ高度な実験であっても、生徒の興味を引出し、効果的に学習が行なえることを実験授業の結果から示す。

2. 体験型カリキュラムと計算機シミュレータ

小中学生に限らず、初学者が計算機の動作原理を理解するためには、単なる座学ではなく、自らアルゴリズムを考え、プログラミングを行い、その動作を確認することが重要である。この体験学習を実現するための教材として、我々はWebブラウザで閲覧・実行可能なWeb/Java電子教材を開発し、この電子教材と移動ロボットを用いた実験授業を行い、その効果を確認してきた (図1)。

この実験授業では、移動ロボット実験の次のステップ



(a) 移動ロボット外観

(b) 授業風景

図1 移動ロボットを用いたプログラム実験

¹⁾ (財)九州システム情報技術研究所

²⁾ 富山県立大学

³⁾ 九州大学システム LSI 研究センター

として、ロード、ストア、演算命令のみの計算機シミュレータを用いる電卓プログラムの実験を行った。しかし、受講した生徒にとって、移動ロボットに搭載されているコンピュータと、計算機シミュレータすなわち身の周りにあるPCが同じしくみを持つものであることが、知識としては理解できても、実感が伴うものであるとはいえなかった [甲斐 2002]。

2.1 従来の教育用計算機シミュレータ

既にいくつかの優れた教育用計算機シミュレータが高等教育に用いられている。しかし、これらを初等中等教育に利用しようとする場合、いくつかの問題がある。

● 計算機モデル

VisuSimを始めとする多くの計算機シミュレータは、工学系大学や高専で使用することを前提として設計されている。このため、小中学生を含む初学者には、複雑ないし高度過ぎる計算機モデルとなっている。計算機モデルをある適度、抽象化・簡素化したものとしては、ED21のベースであるED9900やGM-Webがある。しかし、これらも利用者として高校情報科教員や文科系大学生を想定している。コンピュータの構造を任意の抽象度で表現するものとしてはE-casがあるが、対象はあくまで工学系大学生である。

● 命令セットと使用言語

大学の計算機工学レベルを対象とし、命令セットをアセンブリ言語の英文表記としているものが多い。外国語由来の命令セットは、中学生など初学者には、学習の障壁となる。ED9900、K-COM、GM-Webは、これを軽減するために、一部、カタカナ表記を採用しているが、命令セットをできるだけ直感的かつシンプルにする必要がある。

● 入出力装置

現在、コンピュータは、単に計算する機械ではなく、様々な機器を制御するコントローラとして使用されている。このため、計算機シミュレータにはキーボードやモニタ以外の入出力部を追加したものがあ。ED9900の文字コードによるキャラクタ表示やK-COMのデータビットのランプ表示と外部機器シミュレータは、これに相当する。しかし、実際に外部機器を動作させるものはない。

2.2 物理的な体験学習を実現する教育用計算機シミュレータ

計算機シミュレータは、ある特定の計算機システムまたは計算機モデルを模擬するために用いられ、実際にシミュレーションの対象となる計算機や外部機器をその場で同時に動作させることは少ない。しかし、初等中等教育において、より効果的な体験学習を実現するためには、計算機シミュレータが動作している目の前のコンピュー

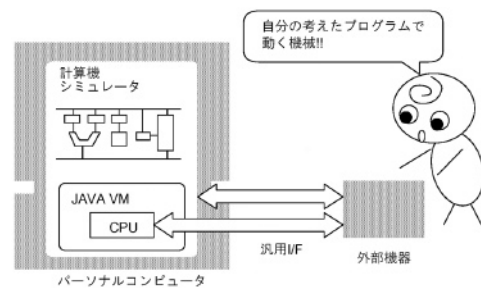


図2 計算機シミュレータと外部機器

タが直接ロボットなどの外部機器を制御し、かつその制御の様子がシミュレータをとおして直観的に理解できるものである方が望ましいと考えられる (図2)。なお、この外部機器の制御を通してコンピュータを理解するという教育方法は、計算機シミュレータではないが、高等教育でもしばしば行なわれている。KUE-CHIP2といった教育用CPUボードがこれに相当する [有川 1994]。

前述の計算機シミュレータを構成する1つの方法は、可搬性の高いJAVA言語によりシミュレータを記述することである。また、このシミュレータから外部機器を制御するために、汎用のインタフェースをJAVAのライブラリを介して使用する。この結果、JAVA VMと汎用インタフェースを持つほとんどの計算機上でシミュレータを実行させることができる。これにより、WindowsやMacOS、LinuxといったOSの違い、デスクトップPCやノートPC、組込みシステムといった外観の違いに関わらず、どの計算機も同じしくみで動作し、外部機器を制御できるということを生徒が直観的に理解できることが期待できる。

3. 計算機シミュレータの特徴—身近な対象物をPCから制御する

3.1 計算機シミュレータの基本構成

教科書等に示される計算機モデルとしては、制御、演算、記憶、入力、出力の5大装置を示すもの [矢島 1982] や演算装置の代わりにデータパスを構成要素とするもの [Patterson 1996]、5大装置のそれぞれの機能を抽象化したIPOモデル [河村 1998] など様々なものがある。これは、多層構造をなす現在のコンピュータを理解するためには、学習内容に応じた計算機モデルの選択が必要であることを示している [武井 1997]。

我々は、小中学生が「コンピュータは故障でない限りプログラムされたとおりに動作する」という計算機の動作原理をより深く理解するためには、プロセッサとメモリのしくみとはたらきが分かる簡単な計算機モデルが適当であると考えている。すなわち、(1)制御と演算に対応するプロセッサと記憶に対応するメモリの2つの要素、(2)メモリに記憶されたプログラムがプロセッサに読み

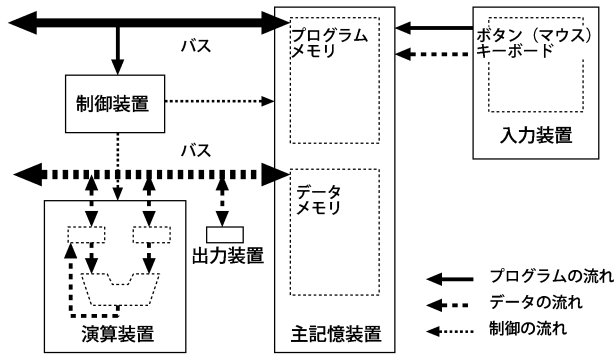


図3 計算機モデル

表1 計算機シミュレータの命令セット

命令コード		説明
1語目	2語目	
LOAD_A	DATA addr	(Mem) → A
LOAD_B	DATA addr	(Mem) → B
STORE_A	DATA addr	(A) → Mem
STORE_B	DATA addr	(B) → Mem
ADD	不用	(A) + (B) → A
SUB	不用	(A) - (B) → A
OUT	DATA addr	(Mem) → OUT
JUMP_Z	PROG addr	(Mem) → PC (if (A) = 0)
JUMP_NZ	PROG addr	(Mem) → PC (if (A) ≠ 0)

込まれ所定の動作を実行するという機能、の2つを視覚的に表示できる最下層の計算機モデルである(図3)。これは、最新の多くのコンピュータに採用されているロード/ストア・アーキテクチャ [Patterson 1992] であり、制御装置、演算装置(レジスタ、演算器)、プログラムメモリとデータメモリ、バスという非常に単純な構成となっている。この計算機モデルをそのまま視覚化したものが今回の計算機シミュレータである(図4)。

このシミュレータの命令セットは、ロード、ストア、加減算および次の3.2節で詳細を述べるアウト命令とブランチ命令の5種類9個しかない(表1)。これは、文献 [Patterson 1992] の命令セットに倣ったものであり、計算機の一通りの動作を実現しつつ、命令数を減らすことで学習者の負担を小さくしている。また、表中のLOAD、STORE命令は、シミュレータ画面内(図4)ではメモリとレジスタを模した絵記号、ADD、SUB命令は、+-の記号により表されており、英文の記述を減らすことで学習の障壁を下げています。この他、レジスタは数値が入る箱、バスはプログラムやデータの流れる道として説明している。プログラムカウンタは制御装置からプログラムメモリを指す矢印として表示されている。このように、中学校技術科程度の用語を用いても十分、計算機の構成を説明することが可能なものとなっている。

プログラムおよびデータの inputs は、シミュレータ画面

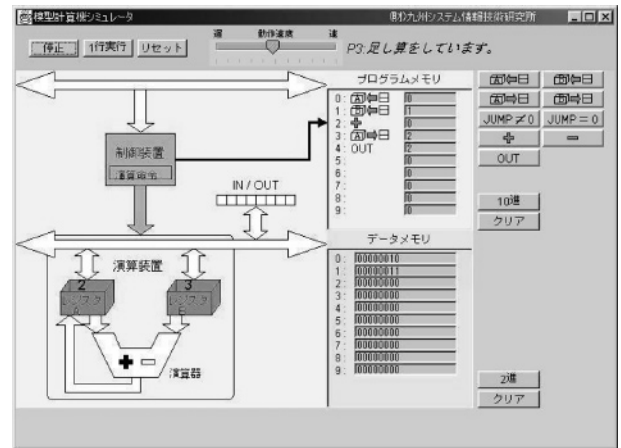
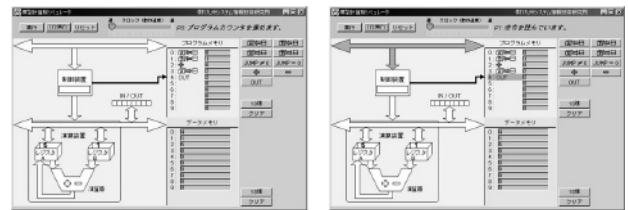
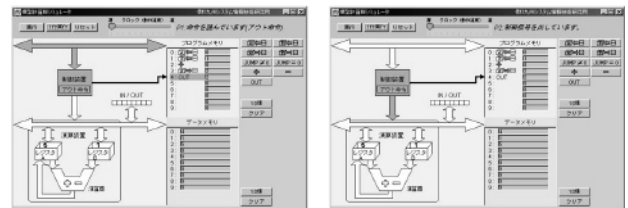


図4 計算機シミュレータ



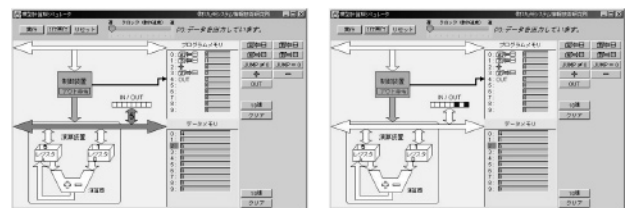
(1) プログラムカウンタを進める

(2) 命令を読み出す



(3) 命令を読み込む

(4) 制御信号を出す



(5) データを読み出す

(6) アウトバッファにセット

図5 計算機シミュレータの動作(アウト命令)

のプログラムメモリおよびデータメモリ上に直接行く。プログラムを実行すると、プログラムやデータがバスを通して制御装置やレジスタへ流れる様子や制御信号が演算装置に出力される様子がアニメーションにより表示される(図5)。1行実行ボタンは、命令とプロセッサの動きを命令単位で表示する。動作クロックは0.5[Hz]から200[Hz]程度まで、いつでも変えることができ、状況に合わせて計算機の動作を確認することができる。

3.2 計算機シミュレータと移動ロボット

今回開発した計算機シミュレータでは、移動ロボットを制御しているコンピュータのしくみを生徒が理解できるようにするために、次の2つの工夫がなされている。

- (1) PCの平行ポートを使用したアウト命令
- (2) 移動ロボットの制御命令に相当するブランチ命令

(1)は、計算を行う計算機が、実際のハードウェアも同様に制御できることを示すためのものである。通常のPCで利用できる制御信号の出力ポートとしては、平行ポートやシリアルポート、USBなどがある。ここでは、ほとんどのPCに設置され、接続される側のハードウェアに特別な装置を要しない平行ポートを利用した。一方、シミュレータ画面では、レジスタとデータメモリをつなぐデータバスの途中にIN/OUTと表記したアウトバッファ（レジスタ）を設置している（図4）。このアウトバッファは、8ビットのデータ出力を明示するために、他のレジスタとは異なり、8個の小さな箱で表示している。なお、今回、IN命令は実装していないため、センサ入力等の外部入力はない。また、(2)は、移動ロボットの繰返し命令や条件分岐命令を実現（理解）するための制御命令である。条件判断は、数値の比較として説明することとし、フラグレジスタの代わりにレジスタAの値に応じて次に実行すべきプログラムのアドレスへプログラムカウンタの矢印が移動される。

このほかに、この計算機シミュレータは、メモリ領域の横に配置されている基数切替ボタンを押下することで、データの2進数表示を行うことができるようになっている。これにより、計算機内部ではデータが1と0で記憶・処理されていることを見ることができる。しかし、このボタンを設置した主な目的は、生徒に10進数と2進数の変換を理解させることではない。このボタンの最も効果的な点は、次節で述べるラジコンカーを制御する際に、送信機のスイッチのオンオフが1と0に対応していること、計算機が1と0で動作していることを直観的に理解できることにある。

3.3 外部制御対象—ラジコンカー

常に生徒の興味を引き続ける教材として、ロボットは、小中学校の授業に非常に有用である。しかし、ロボットは非常に高価かつ身近にあるとはいえないのも現実である。これに対し、市販の安価な電動ラジコンカーを改造し、教材として用いることで、生徒の興味を引き付けると同時に、実際に物を動かす計算機の動作原理教育を行なうことを考えた。

安価な電動ラジコンカーの送信機の多くは、通常のプロポのような速度制御を行うものではなく、ボタンスイッチ式のコントローラとなっている。このボタンスイッチをトランジスタで駆動することとし、この制御信号を平行ポートから出力する。これにより、ラジコ

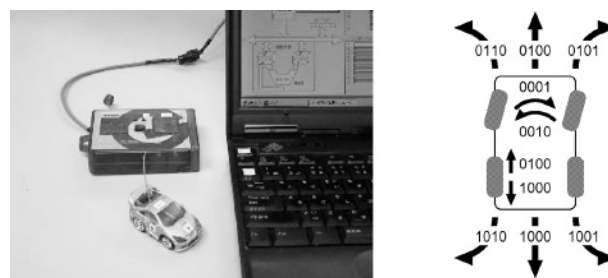
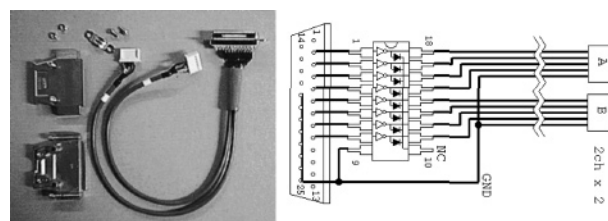


図6 ラジコンカーと制御信号



(a) ラジコン制御用ケーブル (b) 実体配線図

図7 ラジコン制御用ケーブル

ンカーの送信機の右操舵、左操舵、前進、後退の4つのボタンに平行ポートの信号4ビットを対応させて制御することができる（図6）。また、ラジコン制御用ケーブルは、平行ポートに接続するためのコネクタおよびトランジスタアレイIC、各1個から構成されており、非常に安価かつ短時間で製作することができる（図7）。

3.4 授業例：計算機シミュレータからラジコンカー制御まで

まず、計算機がどのようにして“計算”を行っているかを説明するために、生徒に、2つの数の足し算、引き算を暗算させる。この過程を考えることで、ロード命令やストア命令、算術演算命令を用いるプログラムにたどりつかせ、計算機シミュレータで動作させる。また、1を足すという簡単な計算からカウンタのプログラムを考えさせる。これにより、生徒は、複雑な計算も簡単な計算の組み合わせで実行されていること、アキュムレータの役割、ロード命令やストア命令でのアドレス指定の意味を理解することができる。

計算機によるロボット（外部機器）の制御は、メモリ上の数値データが内部レジスタではなく外部に出力されるという形で実施する。計算機にラジコン制御用ケーブルを接続し、アウト命令を列挙したプログラム（図8）を実行する。1、2、4、8と十進数で表されたデータがロード命令と同様に出力されるとラジコンカーが動き出し、生徒は目の前の計算機でもロボットを動かすことができることを知ることができる。この後、データメモリを2進数で表示し直すと、送信機のボタンスイッチと各ビットの関係に生徒自身で気付くことができる。

プログラムメモリ	データメモリ
0: OUT 0	0: 1 (00000001)
1: OUT 1	1: 2 (00000010)
2: OUT 2	2: 4 (00000100)
3: OUT 3	3: 8 (00001000)

図8 プログラム例 (ラジコン制御 (ビット単位))

プログラムメモリ	データメモリ
0: LOAD_A 0	0: 4 (00000100)
1: LOAD_B 1	1: 1 (00000001)
2: ADD	2: 5 (00000101)
3: STORE_A 2	
4: OUT 2	

図9 プログラム例 (計算とラジコン制御)

右旋回など、送信機のボタンを2つ同時に押す操作については、停止を含めた7通りの組み合わせ (図6) を生徒に考えさせ、図8と同様に列挙させることでその動作を生徒自ら確認することができる。このほか、右旋回 = 右操舵 + 前進と考え、図9のように足し算のプログラムを用いて生徒に考えさせることもできる。これにより、計算とラジコンカー制御が無関係でないことを直観的に理解することができる。ただし、この場合の演算は厳密にはOR演算でなければならない。論理演算を中学生に理解させることは容易ではないが、少なくともこの実験を行なう場合は、前進 + 後退がどのような結果 (失敗) になるかを生徒に実験させることで、この新しい演算の概念に気付かせる必要がある。

このほか、前進と後退の信号を同時に出力するといったプログラムの誤りやハードウェアに依存した問題は、実際に計算機シミュレータを動作させ、ラジコンカーがどのように動くかを観察することで、生徒に考えさせることができる。また、ブランチ命令による繰返し、条件判断の方法などを実際にプログラミングを行い、計算機のしくみと動作原理をより深いところまで説明することができる。なお、この計算機シミュレータには、各命令毎に実行時間を制御する機能はない。このため、ラジコンカーの移動距離や回転角度の大体の調整は、今のところ、計算機シミュレータのクロックスピードを変えることで実現するしかない。

4. 実験授業

開発した教材の有効性を確認するために実験授業を行った。実験は、九州大学の主催する科学実験教室の中の1テーマとして全日1日 (10:00~16:30) の授業を2回 (2001、2002) 実施した。対象は公募に応じた中学生合計23名であった。実験手順としては、これまで行っ



図10 実験授業

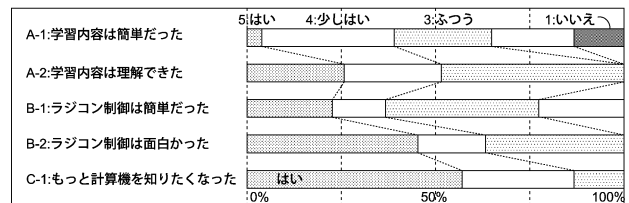


図11 実験結果 (主観アンケート集計結果)

てきた移動ロボットとシミュレータを用いた授業の後半にラジコン制御を追加する形で行った。まず、3.4節で説明したように、計算機シミュレータで2項演算とカウンタのプログラミングを行なわせ、計算機のうごくしくみを理解させた。その後、ロード命令の代りとしてアウト命令を用い、ラジコンカーの左右操舵、前進後退が、アウト命令で出力される8ビットのデータの各ビットに対応して動くことを生徒の目の前で確認した (図10)。ラジコンカーは手で動かして遊ぶものという先入観のある生徒にとって、この実験は大きな驚きであったようである。その後、生徒の興味に応じて、右旋回や8の字走行など、移動ロボットの基本命令に相当するプログラミングを行なった。

図11は、計算機シミュレータの授業後に実施した5段階評価のアンケートの集計結果である。この授業は、移動ロボットの実験の次のステップとして、より高度な内容を扱うため、「学習内容は簡単ではなかった」という感想が少なくない (図11A-1)。しかし、これに対し、「学習内容が理解できた」、「もっと計算機のことを知りたくなった」と答えた生徒の割合は大きくなっている (図11A-2、C-1)。これは、「簡単ではなかったが、自分は理解できた、もっと知りたい」と生徒に思わせるなんらかの要素がカリキュラムにあったことをうかがわせる。ラジコン制御は、簡単で面白いという感想 (図11B-1、2) は、この要素の1つになっていると思われる。

表2は、ラジコン制御の実験の有無で、生徒が感じる難易度と理解度、学習意欲が、どのように違うかを過去の実験データ (1999) と比較したものである。被験者が異なるため単純な比較はできないが、ラジコン制御実験があった方が、生徒の感じる理解度、学習意欲は高くなっている。また、個別の意見でも、「少しわからない部分もあったけど、やっていく内にわかって来た」、「今まで

表2 実験結果 (主観アンケートの比較)
5段階評価の平均 (5: はい, 3: ふつう, 1: いいえ)

CPUの中身の実験 質問項目	ラジコン制御	
	なし	あり
学習内容は簡単だった	2.39	2.96
学習内容は理解できた	2.96	3.78
もっと知りたくなった	4.13	4.43
被験者	中学生24名	中学生23名

2進数とゆうものはよく分からなかったけれども今日勉強してよく分かりました」、「計算のプログラムとラジコンのプログラムが同じものでできるのでびっくりした」、「ラジコンをさわったのが何年ぶりかだったので、ラジコンもおもしろいなアと思った」、「0001が1、0010が2とかは、少しわかったけど、前進して右にカーブするなどがむずかしかった。けど、初めの方は、わかったし、楽しかったからよかったです」など、ラジコン制御があったことによる「難しいけれど、理解できた、面白かった」というものばかりであった。これらの結果から、開発した教材は、学習体験として十分役に立つものであったといえる。

5. おわりに

計算機アーキテクチャに踏み込み、生徒の興味を引くラジコンカーの制御を行う授業を実施し、開発した教材の有用性を確認した。今回開発した計算機シミュレータは、これまでに開発されてきたほかの教育用計算機シミュレータと比較して、中学生レベルでも理解が容易な点、シミュレータから実機を制御することで見るだけでなく触って体験できる点が大きな特徴である。また、計算機アーキテクチャまで教える授業は小中学生には難し過ぎるのではとの意見もあったが、生徒の学習意欲を引き出せば、簡単なアセンブリ言語によるプログラミングやコンピュータ制御の実験も十分実施可能であることが分かった。

現在、この計算機シミュレータを用いた実験教室では、工学系の学生に実験補助を行なってもらっている。今後は、初等中等教育から高等教育への計算機教育の連続性を考え、実験補助の学生からみた計算機シミュレータの効果や大学初年度教育における利用効果を検証していきたいと考えている。なお、計算機シミュレータおよびラジコン送信機の改造方法などは、以下のURLにて公開している。

http://www.isit.or.jp/~kimuro/rcupj/kue_index.html

参考文献

[有川 1994] 有川正俊、岡田伸廣、澤田 直、木室義彦、権 五鳳、吉田紀彦、高倉弘喜：九州大学工学部電気系学

科情報工学コースにおけるKUE-CHIP2教育用ボードを用いたハードウェア実験、bit、Vol. 22、No. 2、pp.82-86 (1994)。

[葉山 2001] 葉山清輝：教育用仮想計算機システムの開発、熊本電波高専研究紀要、28号、(2001)。

[今井 2000] 今井慈郎、富田眞治、古川善吾、井面仁志、白木 渡、石川 浩、大和田昭邦：計算機システム教育のためのビジュアルシミュレータVisuSim、研究報告「コンピュータと教育」No. 059-011、(2000)。

[石川 1998] 石川 賢、清水康敬：マイクロ操作と高水準言語BASIC間の関連の教育用シミュレータの開発と評価、教育システム情報学会誌、Vol. 15、No. 3、pp.119-128 (1998)。

[甲斐 2002] 甲斐康司、木室義彦、坂口良文、安浦寛人：情報社会に生きる小中学生のための計算機の動作原理の教育、情報処理学会論文誌、Vol. 43、No. 4、pp.1121-1131 (2002)。

[河村 1998] 河村一樹：高等学校「情報」科目の教科書案 - 情報B(1)「コンピュータの構成」、情報処理学会研究報告、Vol. CE、No. 49-10、pp.65-72 (1998)。

[三浦 2004] 三浦義之、金子敬一、中川正樹：教育用計算機システムシミュレータED21の設計と評価、メディア教育研究、Vol. 1、No. 1、pp.115-122 (2004)。

[新實 2001] 新實治男：コンピュータアーキテクチャ教育のためのマルチメディア教材の研究・開発、科研費特定領域研究(A)高等教育改革に資するマルチメディアの高度利用に関する研究、<http://www.nime.ac.jp/tokutei120/05publication/01/> (2001)。

[Patterson 1992] Patterson, D.A. and Hennessy, J.L. (著)、富田眞治、村上和彰、新實治男 (訳)：コンピュータ・アーキテクチャ設計・実現・評価の定量的アプローチ、日経BP社 (1992)。

[Patterson 1996] Patterson, D.A. and Hennessy, J.L. (著)、成田光彰 (訳)：コンピュータの構成と設計、日経BP社 (1996)。

[武井 1997] 武井恵雄、丸山健夫：IT教育のためのコンピュータ・モデル、情報処理学会研究報告、Vol. CE、No. 43-3、pp.17-24 (1997)。

[矢島 1982] 矢島脩三：計算機の機能と構造、岩波書店 (1982)。

[矢原 2001] 矢原潤一、西田知博、増澤利光、松浦敏雄：目的に応じて観察レベルを変更できる計算機シミュレータ、情報処理学会第63回全国大会 (2001)。

[安浦 1999] 安浦寛人：情報技術を社会常識にするためには、情報処理、vol. 40、No. 1、pp.47-49 (1999)。



木室 義彦

昭59 九大・工・電気卒。昭61 同大学院修士課程了。昭63 九大助手。平成9年同講師。平10より現職。ロボットシステムおよびマンマシンインタフェースの研究に従事。工博。情報処理学会、計測自動制御学会、日本ロボット学会各会員。



まつもと ちと
松本三千人

昭50九工大・工・電気卒。昭52九大大学院修士課程了。同年日本電信電話公社（現NTT）入社。主に光通信システムの研究実用化に従事。平11(財)九州システム情報技術研究所研究室長。平18より現職。ヒューマンインタフェース関連の研究開発に従事。工博。IEEEシニア、情報処理学会、電気学会各会員。



やすうら ひろと
安浦 寛人

昭51京大・工・情報卒。昭53同大学院修士課程了。昭55より京大助手、同助教授を経て、平3より九大大学院教授。現在、システム情報科学研究院教授およびシステムLSI研究センター長。平7～13(財)九州システム情報技術研究所非常勤研究室長を兼務。LSIシステムの設計手法とCADの研究およびハードウェアアルゴリズムの研究に従事。電子情報通信学会、IEEE、ACMの会員。

An Educational Method of Computer Principles using a CPU simulator and a Radio-controlled Toy Car

Yoshihiko Kimuro¹⁾ · Michito Matsumoto²⁾ · Hiroto Yasuura³⁾

It is meaningful and helpful for students to know an essence of information technology for computer principles. To study the computer principles, a curriculum plays an important role at elementary school and junior high school. We have originated a new curriculum using a radio-controlled toy car and a CPU simulator and we have taught many students using them. In this paper, we described the implemented system and showed experimental results.

Keywords

computer principle, computer architecture, CPU simulator, Radio-controlled toy car

¹⁾ Institute of Systems & Information Technologies

²⁾ Toyama Prefectural University

³⁾ System LSI Research Center, Kyushu University