

計算機アーキテクチャの教育用プログラムシステム

福 田 基*, 水 島 章 次*, 中 村 嘉 平**

A Program System for Education of Computer Architecture

Motoi FUKUDA, Akitsugu MIZUSHIMA, Kahei NAKAMURA

1. はじめに

本学に入学してくる学生のコンピュータに対する知識は、その在籍した高校における情報処理教育の実施度合によってかなりの差がある。

この知識の差をできるだけ縮めてから一斉授業を行う方がよいということには議論の余地がないであろう。このことは、なにも入学直後だけでなく、入門的教育課程から基礎的教育課程さらには専門的教育課程へ移るときにも同じことがいえる。

この知識の差を縮めるためには、むしろ学生自身の努力を待たなければならないが、その努力を側面からサポートする必要がある、このためには何んらかのツールが必要である。

また、情報化社会の進展に伴ない、情報処理関連学科以外の学生でコンピュータに興味を持つ学生が増えている。授業科目とは別に自分自身でコンピュータを学ぶ学生も少なくない。

このような観点から、われわれは各種の教育用支援ツールの研究開発を行っており、その一環として、コンピュータのしくみの理解を支援するプログラムシステムを開発したので報告す

る。

このプログラムシステムは仮想のコンピュータを本学の大型計算機 (FACOM M-360AP) 上にシミュレートしたものであり、その内部のふるまいをTSS端末機の画面上に動的に表示する。また、キーボードからレジスタや記憶装置の内容を操作することができるため、現在のコンピュータの本質であるストアードプログラム方式と逐次制御について、視覚的、体験的に習得できることを期待している。

2. システムの概要

ここでは、アーキテクチャ教育の必要性、学習に使用する計算機のモデル、およびそのモデルのTSS環境下での実現について述べる。

2.1 アーキテクチャ教育の必要性

学校における情報処理教育は、計算機を中心とした教育にウェイトをおくか、計算機は情報機器の一つと見なし、情報処理の問題解決のための教育にウェイトをおくかの二つがある。前者は、COBOL, FORTRAN, BASICなどの高級言語による計算機操作の教育などが中心であり、後者は、コンピュータリテラシー、システム感覚など情報化社会の一員としての素養の教育である¹⁾。

*情報処理センター (Computer Center)

**経営情報学科-情報科学 (Department of Business Administration and Information Science - Information Science)

大学における情報処理教育は、専門学科を除けば、先に述べた後者のような教育内容を優先すべきであるとの意見をよく聞くが、われわれは、情報化社会を推進する中心的な機器である計算機の基本的なしくみをまず習得することが必要であり、その基礎に立脚して、広く教育が行われることも必要であると考えている。

本学においては、とくに情報工学のみ専攻する学科はないが、電子工学科、経営情報学科のようにかなりそれに近い学科がある。また、機械工学科や電気工学科のようにマイクロコンピュータを制御に使用する機会の多い分野がある。

このように、全学生に対してコンピュータの内部構造にまで立ち入った教育を行う必要はないがこれら分野を専攻する学生に対しては計算機の内部構造の知識が習得できる環境が必要である。

計算機の基本的なしくみすなわちストアードプログラム方式を教育するには、単に高級言語によるプログラミングだけでは十分ではなく、アセンブリ言語などによって実行する様子を見せると理解に役立つ。

2.2 計算機モデル

このシステムはプログラム入門程度の知識を持ち、計算機の内部構造に興味を持つ学生や卒業研究時にマイクロコンピュータを使用する学生を対象とした自習システムである。そのためこのシステムで使用する計算機モデルは次のような条件を満足する必要がある^{(2)~(4)}。

(1) シンプルな計算機モデル

学生が理解しやすい計算機である必要があるため、構造の単純な計算機でなければならない。大型計算機システムをそのまま使用したのでは、複雑なアーキテクチャまで理解しなければならないため、初心者には把握しきれない。

また、特殊なアーキテクチャの計算機では学生が別の計算機を使用するときスムーズに理解できず、ギャップに苦しむであろう。

(2) 有用性のある計算機モデル

学生がこの計算機を理解したことで、今日広く使用されている計算機の理解が容易に行える必要があると考える。計算機がシンプルであっても現実性のないものであれば学生は興味を示さない。この自習システムで計算機を使用したことが実践で役立てば学生の意気込みが違ってくる。計算機に興味のない者まで使用するだろう。

(3) 教育用仮想計算機の選定

われわれは(1)、(2)の条件を満足する計算機としてCOMETと呼ばれる仮想計算機を選んだ。COMETとは通産省が行っている情報処理技術者試験に出題される仮想計算機である。試験用に考案されたため、シンプルなアーキテクチャであり、実在するマイクロプロセッサに近い仮想計算機である。

また、COMETのアセンブラ言語としてCASLがある。われわれの仮想計算機においてもこれを採用することにした。

学生にとって受験対策に役立ち、意欲もわくものと思われる。

2.3 システム設計の基本方針

ここでは、前に述べた仮想計算機を大型計算機上で実現するための基本方針を述べる。

(1) TSS環境下での実現

仮想計算機を動作させるための方法として実際の装置と同じようにスイッチ操作を行う必要がある。また、実際の計算機の内部状態がパイロットランプで表示されるように仮想計算機においても何んらかの方法でこれらを実現する必要がある。

このためには、仮想計算機の時々刻々の変化に学生が介入する必要があるのでTSSの対話管理機能を使用するのが適当であろう。

(2) 仮想コンソール

計算機のコンソールには、制御を指示する各種のスイッチおよびキーボードと内部の状態を表示するパネルがある。

このシステムでは、これらの機能をTSS端末機のキーボードとディスプレイ装置で実

現する。

(3) HELP機能

このシステムは、学生の自発的な学習を前提としているため、授業を担当する教師の支援については考慮していない。

事前に、システムの使用法や仮想計算機の操作法、そして、計算機内部のしくみについての解説は行われないので、この理解を支援する機能（HELP機能）が必要である。

計算機システム上にインプリメントしてあり、TSS の下で動作する。学生は日本語端末で学習を進めていく。仮想計算機の操作についてはレジスタのランプ表示を判読し、それにもとづいて各スイッチを操作する。これにより初期の計算機のパネルを操作するように学習できる。

システム構成は図-1に示したように学習管理と仮想計算機シミュレータ、アセンブラの3種のモジュールから成り、各モジュールは次のような機能を持っている。

3. システムの構造

このシステムは本学情報処理センターの大型

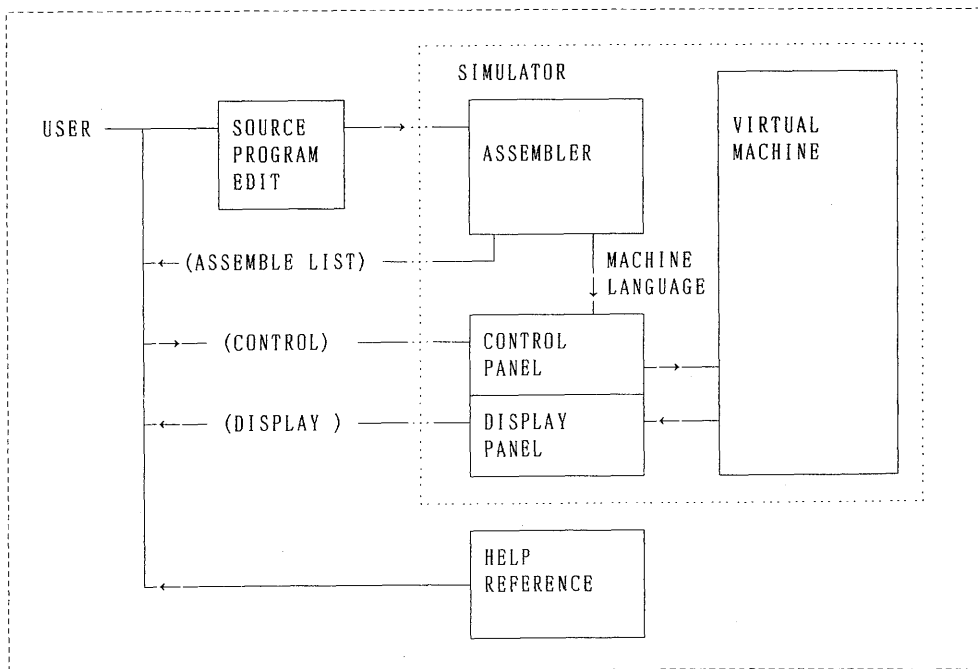


図-1 システム概念図

3.1 学習管理モジュール

学習管理モジュールはシステム全体を統轄し次のような機能を持つ。

- ①環境設定
- ②使用するライブラリの連結
- ③学習の進行に従って必要なモジュールの

呼出し

④メニューの進行

3.2 仮想計算機シミュレータ

シミュレータは2.2の(3)で述べたハードウェアACOMETの仕様に忠実に従った。シミュレータは操作パネルにより操作を行い、仮想計算

機部分とパネルコントロール部分により構成されている。

パネルコントロール部分は仮想計算機の入出力インタフェースであり、アセンブルした機械語もここからメモリ上にロードする。

また、仮想計算機が動作できないことを表示するために警報ランプを追加し、任意に警報音を発生させるための機能として ALARM 命令を機械語として追加した。

3.3 アセンブラ

アセンブラは学習管理モジュールのエディタで作成したプログラムを機械語に翻訳し、仮想計算機のメモリ上へ展開する。同時に端末装置の画面にアセンブルリストとして格納アドレス、機械語、ラベルテーブルを表示する。

アセンブルはCASLの仕様に忠実に従った。

アセンブルした機械語をどこにロードするかは COMET の仕様ではオペレーティングシステムが決定することになっているが、このシステムでは学生自身に設定させるようにした。その理由は、計算機の構造を教えるのにオペレーティングシステムは不要であり、このシステムでは学生自身が操作を行った方が理解の助けとなると考えている。

4. システムの使用法

4.1 システムの初期状態

学習システムの進行は端末装置画面の日本語メニューに答えるだけである。学生は図-2に示したように希望する機能の番号と各パラメータの値を設定するだけで使用できる。

計算機アーキテクチャ教育システム

つぎの項目の希望する内容を番号で選んで下さい。

番号 0

1. アセンブラプログラムの作成、編集
2. 仮想計算機の実行
3. HELP 機能
9. 終了

図-2 初期メニュー

メニューの構成は図-3のようである。

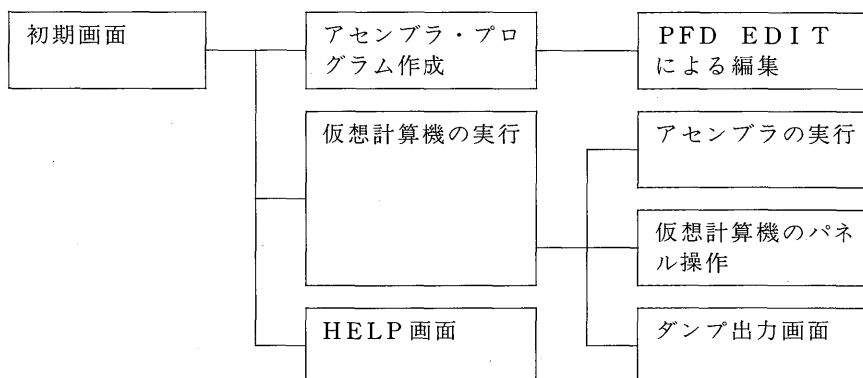


図-3 メニュー構成図

4.2 仮想計算機の使用法

うに、端末装置の画面の上部に表示パネル、下部に操作パネルをもっている。

仮想計算機のコンソールは図-4に示したよ

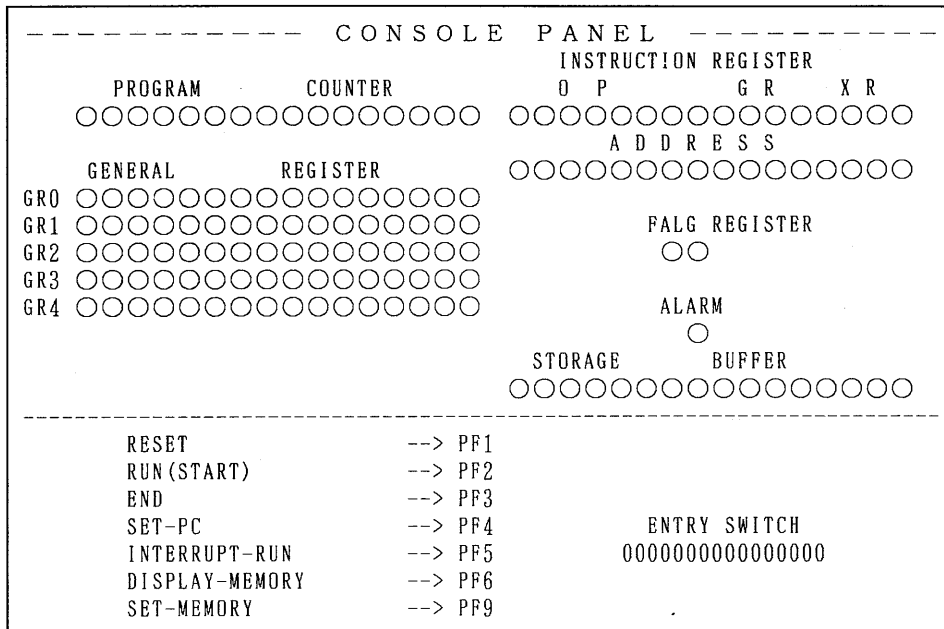


図-4 仮想コンソール

(1) 表示パネル（画面の上半分）

仮想計算機の内部状態は表示パネルに表示される。

各レジスタの表示は次のように表現されている。○, ●はランプの状態を表し, ●が“ON”○が“OFF”で2進数の1と0に対応す

る。ALARM ランプは計算機が動作不能の時点燈する。STORAGE BUFFERはメモリの値を表示する時用いる。

(2) 操作パネル（画面の下半分）

仮想計算機シミュレータを操作するにはプログラムファンクションキーを用いる(表-1)。

名 前	PFキー	機 能
RESET	PF 1	アラームを解除する。
RUN(START)	PF 2	現在のPCから命令を実行する。
END	PF 3	パネル操作を終了する。
SET-PC	PF 4	ENTRY SWITCH の値をPCにセットする。
INTERRUPT-RUN	PF 5	現在のPCから1命令実行する。
DISPLAY-MEMORY	PF 6	PCの示すメモリの値をSTORAGE BUFFERに表示する。PCは+1される。
SET-MEMORY	PF 9	ENTRY SWITCH の値をPCの示すメモリにセットする。PCは+1される。

表-1 操作機能

このことは、実際の計算機の操作スイッチとよく似させている。エントリスイッチはメモリまたはプログラムカウンタを変更する値を設定するためにある。キーボードの“1”と“0”でセットし、ONまたはOFFのトルグスイッチに対応させている。

(3) 入出力画面

入出力命令を実行すると図-5のように表示され、そこで入出力を行う。入力する値はキーボードで設定する。出力はこのフィールド内に表示される。

	入力	
	出力	

図-5 コンソール入出力画面

(4) 機械語のプログラミング学習

このシステムでは、機械語による実習の標準として、次のような課題を用意している。

- ・メモリへの書込み
- ・メモリの内容表示
- ・一命令実行
- ・メモリ内のデータの入れ換え
- ・和と差の計算
- ・積と商の計算

学生自身がニーモニックコードから機械語に変換を行い、操作パネルよりプログラムを格納して実行させる。

これらの実習より仮想計算機の操作を体験

し、各レジスタ、プログラムカウンタの振舞いを目で追うことにより命令を実行していくとはどういうことなのかを認識させる。

4.3 アセンブラによる使用法

アセンブラによる使用では、あらかじめ、学習管理モジュールのエディタを使用してソースプログラムを作成して置く。

ソースプログラムの作成はTSSの編集機能であるPFD EDIT (図-6)を使用しているため、学生は使い慣れているのであらたに覚える必要はない。

```

EDIT --- V999000.CASL.CASL(MULTIPLE)--01.21-----表示欄 001 072
コマンド ==>                                     移動量 ==>HALF
***** ***** データの先頭 *****V10L10*****
000100 MULTI START
000200      LEA GR1,3
000300      LEA GR2,2
000400      ST  GR1,WRK
000500      LEA GR3,0
000600 LOOP  ADD GR3,WRK
000700      LEA GR2,-1,GR2
000800      JNZ LOOP
000900      ALARM
001000 WRK   DC   0
001100      END
***** ***** データの末尾 *****

```

図-6 PFD-EDIT画面

アセンブラを実行させると図-7のように画面上にアSEMBルリストが表示させる。

ASSEMBLER ENTERED		V1.1
LOC	OBJECT CODE	SOURCE CARD
0000		MULTI START
0000	1210 0003	LEA GR1,3
0002	1220 0002	LEA GR2,2
0004	1110 0010	ST GR1,WRK
0006	1230 0000	LEA GR3,0
0008	2030 0010	LOOP ADD GR3,WRK
000A	1222 FFFF	LEA GR2,-1,GR2
000C	6200 0008	JNZ LOOP
000E	FF00 0000	ALARM
0010	0000	WRK DC 0
0011		END
LABEL TABLE		
	MULTI	0000
	LOOP	0008
	WRK	0010
ASSEMBLER STATISTICAL INFORMATION		
ERROR COUNT = 00000		PROGRAM SIZE = 00017 WORDS
LABEL TABLE		
	MULTI	0000
ASSEMBLER END		

図-7 アSEMBルリスト

アSEMBルしたあとの実行は、すべて仮想計算機を動作させて結果を得る。

このシステムでは、アSEMBラによる実習として、次のような課題を用意している。

・サブルーチン構造

サブルーチンを用いた制御の動き、パラメータの引き渡しを学習する。

・リカーシブ呼出し（階乗の計算）

スタックポインタを用いて、階乗の計算を行い、プッシュダウンスタック構造を学習する。

・入出力命令を用いたプログラム

数値文字列を入力し、数値データに変換し和差積商を求め、結果を文字列に変換して出力する。

これらの実習によりアSEMBラプログラミングの基本的技法の習得をめざす。

5. 今後の課題

このシステムでは、学生がどのように学習を進めていくかはテキストにより行っているが、次に改良するときにはCAIのコースウェアを取り込んでいき、より使い易いシステムに変更するつもりである。このほか、次に示した機能の追加を検討している。

- ①学習者の理解度を把握するためのロギングデータの収集
- ②日本語端末のみ動作可能であるため、他端末で利用できるように変更する。

6. おわりに

計算機システムが使い易くなりブラックボックス化が進んで行く中で、計算機のしくみを学習するのが困難になっている。しかし、情報処理の分野においては、まだまだ必要である。

実際、通産省の情報処理技術者試験においてもこれらの知識の検定が行われている。

このような状況において、われわれは、計算機のしくみの理解を支援するシステムを開発したのである。

このシステムは、現在、本学情報処理センターの大型計算機上にインプリメントしてあり、一部の学生によって試用中である。

この試用の経験を活かし、システムの再整備を行ってから学内一般に公開する予定である。

このシステムにより、計算機に興味を持つ学生が今までより、計算機を理解しやすくなり、向学心の芽が育っていくことを期待する次第である。

〔 参 考 文 献 〕

- (1) 石桁正士：情報処理教育の現状と動向 朝日CAIシンポジウム'86 PP.119-121 (1986)
- (2) 阿草清滋，他：TSSの下でのアセンブリ言語および計算機構造の教育援助システム 情報処理学会論文誌 PP.482-490, vol. 21, No. 6 (1980)
- (3) 小谷善行，他：情報工学系学科における実験・演習の一設計例 情報処理学会論文誌 PP. 402-410 vol. 22, No. 5 (1981)
- (4) 清水敬子，他：情報工学科学科の計算機初期教育における EDSAC の活用の試みと効果 情報処理学会論文誌 PP. 281-292, vol. 24, No. 3 (1983)