

5X-1 CPUとアセンブラ授業のためのシミュレータ WCASLの評価

渡辺 博芳

荒井 正之

武井 恵雄

帝京大学理工学部

1. はじめに

COMET/CASLは、初等アセンブラプログラミングの学習に多く用いられているが、中央処理装置(CPU)の動作を理解するための教材としても有用である。我々は、COMET/CASLを教材として、初等アセンブラプログラミングの習得とCPUの理解を目的とした“CPUとAssembler”演習授業を行っている。この演習授業のために開発したシミュレータWCASL [1]は、CASLプログラミングの学習を目的としたCASLシミュレーションと、CPU動作理解を目的としたCOMETシミュレーションの2つのシミュレーションモードを持つ。

本稿では、シミュレータWCASLの概要と、CPU理解における本シミュレータの効果の実験的評価について述べる。特に、(1)CASLシミュレーションにおいてレジスタやメモリの初期値を0以外の値にすることの有効性、(2)CPU動作理解におけるCOMETシミュレーション(COMETのビジュアルなシミュレーション)の有効性を実験によって明らかにした。

2. WCASLの概要

(1) 2モードシミュレータ：我々の演習授業での教材としてのCOMET/CASLシミュレータは、(a)CASLプログラムの動作理解を目的としたシミュレーションと、(b)CPUの動作理解を目的としたシミュレーションが行える必要がある。既存のほとんどのCASLシミュレータが(a)のみを対象としているのに対して、WCASLは(a)と(b)の2つのモードでのシミュレーションが行えることが特徴である。

(2) システム構成：COMET/CASLシミュレーションを行うためには、おおまかに、プログラム編集機能、アセンブル機能、シミュレーション機能の3つの機能が必要である。そこで、WCASLはこれら3つの機能から構成し、シミュレーション機能におけるビューを2種類用意することで、2モードのシミュレ-

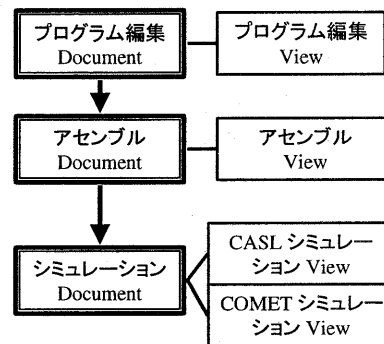


図1: システムを構成するドキュメントとビュー

ーションを可能とする。つまり、モデル(ドキュメント)とビューを図1のように構成する。

(3) CASLシミュレーション：CASLシミュレーションにおいては、レジスタ類、データを示すラベルの番地と内容、スタックの状態、実行中の命令を示すためのプログラムリストを表示する。それによって、1つの命令を実行すると、レジスタやメモリの内容がどのように変化するかが確認可能となる。

(4) COMETシミュレーション：COMETシミュレーションにおいては、初学者が理解するのに適切と思われる抽象化レベルで、COMETの構成を図示する。WCASLのCOMETシミュレーションで提示される図の一部を図2に示す。この図の上で、1命令の取出し-実行サイクルよりも細かいステップで、各構成要素の状態やデータの流れを表示する。

(5) 付加機能：WCASLは、付加機能として、(a)シミュレーションステップの設定、(b)レジスタ・メモリの初期値設定、(c)実行プログラムをロードする先頭番地の設定、(d)間隔時間を設定した自動実行などを持つ。

3. レジスタ・メモリの初期値設定の評価

1999年度に行った2つのクラスに対する授業の中で、一方はレジスタやメモリを「0で初期化」をデフォルトとし、一方のクラスは「-1で初期化」をデフォルトとして演習を行った。仮に前者をA組、後者をB

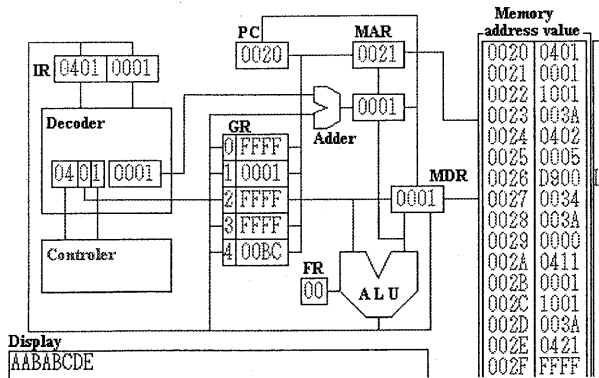


図 2: COMET シミュレーションのビュー

組とする。A組の履修者数は79人、B組は73人であった。以下の2問は2つのクラスで共通に出題した。

- ・P1 2つの符号付整数データのうち、大きい方を選択する問題
- ・P2 N個のデータの合計を求める問題

これらの問題に対して学生が提出したプログラムのうち、我々が開発したプログラム評価支援システム [2] のサブシステムである動作の評価機能で不合格となったプログラムについて、誤りの原因を調査した。その結果を表1に示す。

表1 初期化が原因である誤りの割合の比較。

	A組(0)		B組(-1)	
	P1	P2	P1	P2
(a) 初期化が原因	8	135	0	13
(b) 全体	62	201	59	57
(a)/(b) (%)	13	67	0	23

表1によれば、P1, P2, いずれの場合も「-1で初期化」をデフォルトとしたB組の方が、正しく動作しないプログラム全体に対する初期化が原因となる誤りの割合は低くなっている。レジスタやメモリ領域を0以外の値で初期化した場合、初期値を設定しないプログラムを実行すると、正しく動作しないことを学生自身が簡単に認識できるためと思われる。

4. COMET シミュレーションの評価

(1) 実験方法： WCASLの特徴であるCOMETの詳細なシミュレーション機能の有効性を確認するために、2000年度に行った授業で「CPUの動作の理解」をテーマとした実習時間を利用して、実験を行った。実験対象となったクラスの履修者は83人であった。

(i) 全員に15分の事前テストを行い、その採点結果の成績順に交互に2つのグループに分ける。

(ii) 一方のグループは、教員のパソコンの画面を学生側に一斉転送し、WCASLを用いて動作の説明を行った後、学生自身がWCASLのCOMETシミュレータを用いて実習する。これをAグループとする。

(iii) もう一方のグループは、通常の教室で、OHPを使って教員がCPUの動作原理を説明した後、紙に書かれたCPUの構成図の上で動作をトレースする実習を行う。これをBグループとする。Aグループ、Bグループとも説明時間を40分、実習時間を30分とした。

(iv) 全員に20分の事後テストを行い、Aグループ(42人)とBグループ(41人)で採点結果を比較する。

テストにおいて、CPUの構成要素に関する問題群を問題群I、CPUの動作に関する問題群を問題群IIと呼び、配点はこれら2つの問題群で1/2ずつとした。

表2 事前テストと事後テストの結果。

	事前テスト	事後テスト		
		問題群I	問題群II	合計
A 平均点	37.0	30.8	43.2	74.0
(分散)	(473.8)	(191.5)	(51.1)	(312.4)
B 平均点	37.4	31.2	38.4	69.6
(分散)	(430.6)	(131.0)	(210.1)	(471.9)
平均の差(A-B)	-0.4	-0.4	+4.8	+4.4

(2) 実験結果： 2つのグループについて、事前テストと事後テストを100点満点で採点した結果を表2に示す。(問題群IとIIはそれぞれ50点満点。)事前テストの結果でグループ分けを行ったので、事前テストの平均点と分散はほぼ同等である。

表2より、事後テストの問題群Iに関しては2つのグループで平均点はほとんど同じであった。つまり、CPUを構成する要素に関する問題では差がない。一方、事後テストの問題群IIに関しては、シミュレータで実習を行ったAグループの方が4.8点高い。これは、等分散と仮定して、有意水準 $\alpha=0.05$ で母平均の差の検定をしても有意である。ただし、有意水準 $\alpha=0.05$ で母分散の比の検定を行うと、等分散であるという仮説は成り立たない。Aグループの方が、平均点が高く、分散が小さいということから、問題群II(CPUの動作に関する問題)では、シミュレータを使用したグループの方が明らかに高い得点を獲得したといえる。

5. おわりに

COMET/CASLの2モードシミュレータWCASLについて述べた。特に、CPUの構成図を用いてビジュアルに動作を提示するシミュレータは、CPU動作理解に有効であることを実証した。

今後、CASL IIの仕様に対応したWCASLを開発する予定である。

参考文献

- [1] 渡辺博芳：WCASL, CASL & COMET Simulator for Windows, <http://www.ics.teikyo-u.ac.jp/wcasl/>.
- [2] 渡辺博芳, 荒井正之, 武井恵雄：事例に基づく初等アセンブラプログラミング評価支援システム, 情報論, Vol.42, No.1, 2001.