

# マイクロ操作に基づいてコンピュータの計算の 仕組みに関する実習を行った学習者の意識<sup>†</sup>

石川 賢\*・川島 芳昭\*  
宇都宮大学教育学部\*

**概要** これまで、マイクロ操作に基づいてコンピュータの計算の仕組みやプログラミングの導入教育を実施してきた。このマイクロ操作に基づいた学習指導の効果を向上させるため、教育用のシミュレーション型ソフトウェア教材 MOCS や MOCSEI を開発した。本報告では、これらの教材を用いた実習の後に学習者を対象とした意識調査を実施し、その結果から、マイクロ操作に基づいたコンピュータの計算の仕組みやプログラミングの実習を支援する上で有用であった機能について概括して述べる。

**キーワード:** マイクロ操作, シミュレータ, 教材, 実習, 支援機能, 意識, 教育工学

## 1. まえがき

本研究での学習指導の特徴は、コンピュータの計算の仕組みを言葉による抽象的な解説だけではなく、マイクロ操作に基づいた実習を通して習得させるところにある<sup>1)~6)</sup>。マイクロ操作とは、レジスタに格納されているデータに施す操作である。具体的には、学習者にシミュレータ上に設けたゲートを手動で開閉操作させ、操作に伴って起こるコンピュータ内のデータの流れを観察させた。これにより、コンピュータの計算の仕組みやプログラムの仕組みを具体的に学習させた。対象は中学校の生徒から大学学部学生とした。

この実習指導を効果的に支援するため、教育用のコンピュータシミュレータとしての機能に、学習・指導支援機能を付加したシミュレーション型のソフトウェア教材（以下、教材と言う）MOCS<sup>3)</sup>を開発した。さらに、このMOCSの機能を包含し、プログラミングの導入教育に通常使われている高水準言語（BASIC）の基本的な文とマイクロ操作との対応に関する学習指導を支援することを目的とした教材MOCSEI<sup>5)</sup>を開発した。開発したMOCSEI（MOCSの機能を含む）の構成を図1に示す。また、写真1にMOCSEI

の表示画面の一例を示す。

教材は、シミュレータ部と学習・指導支援部から構成した。シミュレータ部は、次のような水準での実習を支援する諸機能から構成した。

- ・マイクロ操作の水準：マイクロ操作に基づいた手動によるゲートの開閉操作や、簡単なマイクロプログラムの編集・自動実行を支援する機能
- ・低水準言語の水準：機械語やアセンブリ言語のプログラムの編集・実行を支援する機能
- ・高水準言語の水準：基本的な BASIC のプログラムの編集・実行を支援する機能（MOCSEI の機能）

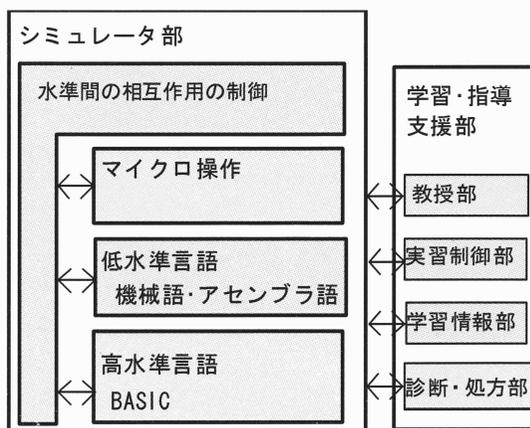


図1 教材の構成の概要

<sup>†</sup> Ken ISHIKAWA\* and Yoshiaki KAWASHIMA\*\* : Attitude Survey Results on the Learners who Received Practical Training of the Computer Calculation Mechanisms based on Micro-Operations.

\* Faculty of Education, Utsunomiya University

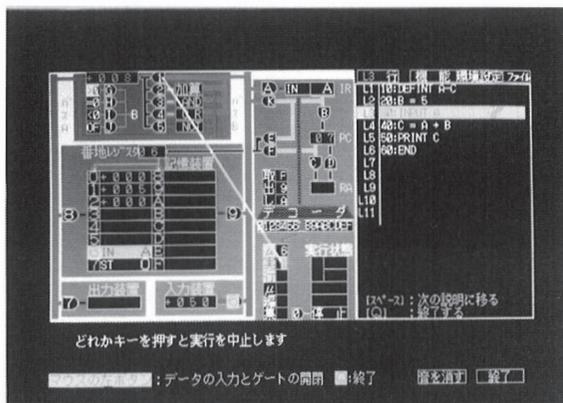


写真1 コンピュータシミュレータの表示画面の例

・水準間の相互作用の制御：高水準言語のプログラムの文や、機械語・アセンブリ言語のプログラムの命令を、マイクロ操作の列として実行するための制御を行う。実行は、ステップ実行や低速・高速による実行を学習者が任意に選択し、試行錯誤による実習を支援する。

図1に示した学習・指導支援部は、次のような部から構成した。

- ・教授部：コンピュータの機能についての解説や実習への導入を行う。
- ・学習情報部：ハイパーテキストの機能を用いて各部にテキストや画像の学習情報を提供する。
- ・実習制御部：実習課題の提示や実習の手順の制御など、教師の指導を補助する。
- ・診断処方部：教材を用いた実習時に起こるマイクロ操作の誤りや、プログラムのエラーなどの原因の診断と処方を、プロダクションシステムを用いて提供する。

これらの機能を持つ教材を用いた実習を通じて、学習者が学習内容を把握する上で重要であった支援機能を明らかにするため、指導後に意識調査を行った。本報告では、これまでの検証授業から得られた結果をまとめて示す。

## 2. 教材についての意識調査の結果

### 2.1 調査の方法と集計結果

まず、教材をマイクロ操作や低水準言語の水準での実習に用いた対象者 225 名について、シミュレータ部や学習・指導支援部の基本的な機能、及び学習に適した教具や学習指導の方法などの観点で、37 の

質問事項についての意識調査を実施した結果について述べる。本報告の対象者（以後、全体という）の内訳は、大学学部・専門学校（学部群という）の学生 121 名、高等学校（情報技術科。以後、高校群という）の生徒 39 名、中学校の生徒（以後、中学群という）65 名である。

全体の集計結果を、表1のシミュレータ部に関する意識調査（質問 1～13）の結果、表2の学習・指導支援機能に関する意識調査（質問 14～27）、及び表3の学習指導の方法に関する意識調査（質問 28～37）に示す。表1～表3の各欄は、質問番号、質問事項、回答の割合（%）、および平均値を示している。回答の割合は、質問事項に対する5段階（大変良い：5、やや良い：4、普通：3、やや悪い：2、大変悪い：1）の選択式の回答数の割合（%）を示している。また、各回答の傾向を概括的に比較するため、平均値の欄には各回答について5～1の重み付けをし、平均を算出した値を示した。

図1から図3には、表1から表3に対応した各回答の平均値（◆印）、並びに平均値の内訳を学部（■）、高校（○印）、中学（×印）の別に示した。

以下に、集計結果を観別に考察する。

### 2.2 シミュレータ部について

表1のシミュレータ部に関する意識調査の結果の右上端に示したように、質問1から13の平均値は3.8であった。これを敷居値として、実習を支援する上で有用であったシミュレータ部に含まれる支援機能は、次のように概括できる。

表1と図1から、質問1, 2, 13の回答は敷居値より高い平均値を得ている。質問1と2は、シミュレータへのデータの入力や、マイクロ操作を具体的に実行するためのゲートの開閉操作に関する回答である。これらからは、学習者自身がゲートの開閉を行うことでデータの転送を行えたことが、学習者にとって有用であったことが分かる。また、質問13のマイクロ操作モードや自動実行モードにより段階的に学習できたことについても高い平均値を得ている。これは、コンピュータの命令が逐次実行される状況を、マイクロ操作の水準で具体的に把握できたことによる効果と言える。

従って、シミュレータ部ではマイクロ操作を具体的に支援する機能や、計算の仕組みをマイクロ操作に基づいて段階的に把握させることを支援する機能が、学習者にとって有用であったと言える。

### 2.3 学習・指導支援部について

表2の学習・指導支援部に関する意識調査の結果に示したように、質問14から27の平均値は3.8であった。これを敷居値として、実習を支援する上で有用であった支援機能は、次のように概括できる。

表2と図2から、質問20, 21, 25, 26の回答は敷居値より高い平均値を得ている。質問20と21は、実習制御部におけるマイクロ操作についての問題の提示や、操作の正誤判定が提示される機能に関する回答である。さらに、学習者が作成したプログラムについて、実行中に誤りがある場所を指摘する機能についても高い平均値を得た。質問25と26は、診断・処方部において、実習制御部から指摘されたゲート操作が誤った場所を指摘する機能についての回答である。さらに、その誤りの理由を質問応答形式で診断（プロダクションシステムを適用）し、学習者に提示する機能に関するものである。

従って、個別学習形式での実習を支援する教材には、演習問題を提示して実習の流れを制御するだけではなく、実習中に起こるゲート操作やプログラムの誤りを指摘し、その理由や対処方法を詳しく診断処方機能が求められていることが分かった。

### 2.4 学習指導の方法について

表3の学習・指導支援部に関する意識調査の結果に示したように、質問28から37の平均値は3.4であった。これを敷居値として、実習を支援する上で有用であった支援機能は、次のように概括できる。

表3と図3から、質問31, 32, 25, 26, 27の回答は敷居値よりも高い平均値を得ている。質問31, 32についての適した教具に関する回答では、マイクロ操作に基づく学習指導を実施するには黒板やOHPだけでは不十分であることが分かる。そして、ソフトウェアによる教育用コンピュータシミュレータMOCSを用いることや、ハードウェアによるボード型の教育用コンピュータEDCOM<sup>1),2)</sup>を併用して学習することが望まれている。これは、ディスプレイ上の仮想のコンピュータシミュレータであるMOCSだけでは、具体的なコンピュータの機能に関するイメージが少ない初学者にとって、計算の仕組みを十分に把握することが困難な学習者がいたものと考えられる。一方、具体的なボード型のコンピュータシミュレータであるEDCOM上で、手動によるマイクロ操作（ゲートの開閉操作）を実行した場合は、計算の仕組みを実感として把握できたことにより、両者を併用した学習が望まれたものと言える。

表1. シミュレータ部に関する意識調査の結果（全体集計）

観点	番号	質問事項	回答の割合 (%)					質問1 ~13の 平均値 3.8
			大変 良い:5	やや 良い:4	普通 :3	やや 悪い:2	大変 悪い:1	
シミュレー タ部	1	マウスを使ってデータを容易に入力できる	39.3	37.5	15.6	7.1	0.4	4.1
	2	ゲートの開閉が容易である	41.1	33.5	21.4	3.1	0.9	4.1
	3	データ転送の実感がある	34.1	26.0	31.4	7.6	0.9	3.8
	4	データの流れの表示が適している	25.7	40.5	27.0	5.9	0.9	3.8
	5	マイクロ操作モードでのデータ転送が理解できた	18.7	34.8	36.6	8.0	1.8	3.6
	6	コンピュータの内部の状況を観察し易い	29.9	31.7	29.0	8.9	0.4	3.8
	7	実験の結果の確認がし易い	15.2	27.2	42.4	11.6	3.6	3.4
	8	自分のプログラムを作成し易い	18.0	29.7	36.0	13.5	2.7	3.5
	9	自分のプログラムを入力し易い	30.9	31.4	26.9	10.3	0.4	3.8
	10	プログラムの実行の過程が分かり易い	16.5	33.0	40.2	8.9	1.3	3.5
	11	現実のコンピュータの特徴をよく模擬している	28.1	33.9	30.3	7.2	0.4	3.8
	12	自動実行モードでのプログラムの作成・実行と理解が理解できた	21.4	37.1	33.0	8.0	0.4	3.7
	13	マイクロ操作モードと自動実行モードに分けて段階的に学習できることが良い	33.5	36.6	26.7	2.7	0.5	4.0

(平均の欄は、回答に5から1の重み付けをした場合の平均値を示す。)

図1. 群別の平均値

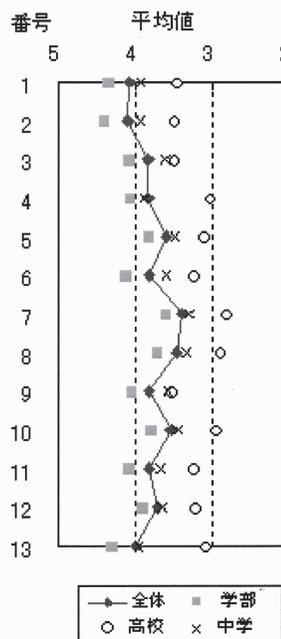


表2. 学習・指導支援部に関する意識調査 (全体集計)

観点	番号	質問事項	回答の割合 (%)					質問 14 ~18の 平均値 3.8
			大変 良い:5	やや 良い:4	普通 :3	やや 悪い:2	大変 悪い:1	
教授部	14	学習の順序・配置が良い	22.4	35.4	37.2	4.0	0.9	3.7
	15	説明文が適している	17.0	32.3	42.6	7.2	0.9	3.6
	16	絵や写真の表示が適している	28.3	30.9	31.4	9.0	0.4	3.8
実習制御部	17	プログラムの作成と実行が、分かりやすい	16.5	41.5	32.1	9.4	0.4	3.6
	18	練習問題の内容が適している	21.6	39.2	33.3	5.4	0.5	3.8
	19	自分に合わせて学習問題を選べる ことがよい	29.3	36.5	29.7	4.1	0.5	3.9
	20	正答や誤答の判定が表示される ことがよい	35.0	37.7	22.3	5.0	0.0	4.0
	21	自分の作成したプログラムの誤っ た所を教えてくれることがよい	38.9	33.9	21.3	5.4	0.5	4.1
学習情報部	22	ウィンドウによる説明の表示がよ い	20.4	31.2	39.4	7.7	1.4	3.6
	23	ウィンドウによる写真の表示がよ い	19.7	30.0	41.2	8.1	0.9	3.6
	24	ウィンドウでより詳しい説明が得 られることがよい	25.3	32.6	36.6	5.0	0.5	3.8
診断・処方部	25	自分のゲートの操作が誤った所を 教えてくれることがよい	40.7	37.1	17.2	4.5	0.5	4.1
	26	まちがえたときに、その理由を質 問応答をしながら詳しく教えてく れることがよい	36.9	32.4	23.0	6.3	1.4	4.0
	27	まちがえたときに、その理由を説 明する文章が適している	17.5	36.3	33.2	11.7	1.3	3.6

図2. 群別の平均値

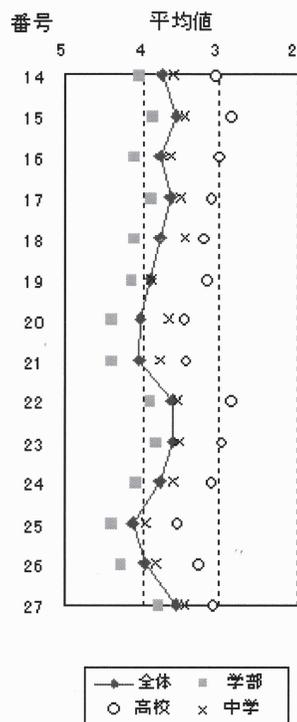
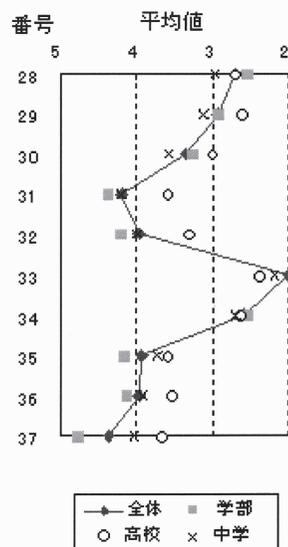


表3. 学習指導の方法に関する意識調査 (全体集計)

観点	番号	質問事項	回答の割合 (%)					質問 28 ~37の 平均値 3.4
			大変 良い:5	やや 良い:4	普通 :3	やや 悪い:2	大変 悪い:1	
適した教具について	28	黒板を使った学習	5.9	10.0	47.3	20.9	15.9	2.7
	29	OHPを使った学習	6.7	22.4	36.7	25.7	8.6	2.9
	30	ボード型のシミュレータ EDCOM を 使った学習	11.3	30.0	44.6	10.7	3.4	3.4
	31	コンピュータシミュレータ MOCS を 使った学習	40.7	41.2	14.9	2.3	0.9	4.2
	32	EDCOMとMOCSを併用した学習	36.4	28.8	30.8	3.0	1.0	4.0
学習の方法について	33	先生の説明を聞くのみ	0.9	5.9	21.2	37.4	34.7	2.0
	34	先生のシミュレータを使った説明 を聞くのみ	3.2	14.0	33.9	38.0	10.9	2.6
	35	先生の説明とともに、シミュレー タを自分で操作しながら学習する	27.5	42.3	27.0	2.7	0.5	3.9
	36	実習制御部による説明とともに、 シミュレータを自分で操作して学 習する	26.6	46.4	23.9	3.1	0.0	4.0
	37	先生の説明や実習制御部による説 明とともに、シミュレータを自分 で操作して学習する	56.5	26.0	14.8	2.2	0.4	4.4

図3. 群別の平均値



また、質問 25, 26, 27 の学習の方法に関する回答では、指導者の講話を聞くことや実習制御部からの情報提示だけではなく、学習者自身がシミュレータの操作を行い、その結果が正しいことを確かめることができる支援機能が望まれていることが分かった。

従って、学習指導の方法の観点では、ソフトウェアによるシミュレータだけではなくハードウェアによるシミュレータを併用した適切な実習の環境が望まれることが分かった。さらに、教師の説明だけではなく、学習者自身が操作でき、学習者の試行錯誤を支援する機能が望まれていると言える。

### 3. 計算の仕組みの理解に関する意識調査の結果

マイクロ操作に基づいた実習指導の効果をさらに詳しく検討した。このため、学習者がどのような活動を行ったときに、コンピュータの計算の仕組みが分かったと思ったかについての意識を調査した。調査では、「あなたは、どのような説明を聞いているとき、あるいは実習をしているときに、コンピュータの計算のしくみが分かったような気になりましたか。」の質問について、「\_\_\_\_\_をしているときに

\_\_\_\_\_が分かった」の形式で、\_\_\_\_\_の部分に自由記述による回答を求めた（複数回答可）。

本報告では、高水準言語(BASIC)、マイクロ操作、低水準言語の一連の学習を終了した学部学生 157 名の回答を集計した結果を示す。対象者から得られた回答 149 件を概括的に整理した結果を図 4 に示す。また、表 4 に、自由記述による回答の内容を概括的に整理した結果を示す。

#### 3.1 マイクロ操作による実習の効果

図 4 によると、回答の約半数 (48%) が「マイクロ操作、ゲートを実際に操作、データの流れを確認したとき」に類別できた。さらに、「実習制御部で、学習者自身がマイクロ操作を行って正解を確認したとき」(23%) や、「機械語とマイクロ操作の対応表で確認したとき」(1%) を合わせると、72%もの回答がマイクロ操作に関する何らかの活動を行っている過程でコンピュータの計算の仕組みが分かったとの回答であった。

従って、本研究で提案した「マイクロ操作」に基づいた実習が、学習者の意識からも実習の支援に有効であったことが裏付けられたと言える。

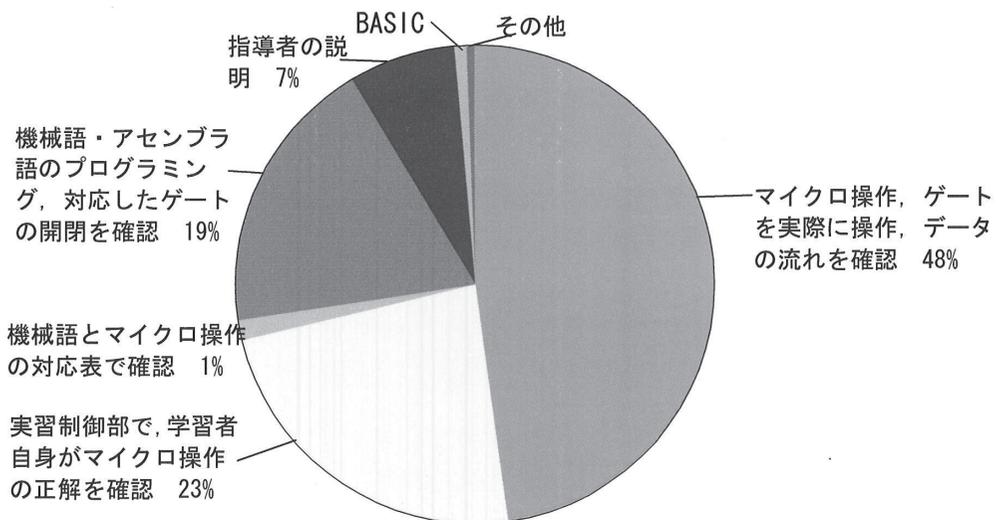


図 4. 「どのようなとき計算の仕組みが分かったか」に関する集計結果

表4 自由記述回答の内容の概要

分類	…をしているときに	…が分かった	度数					
ゲート操作・シミュレーション・自分で操作 (小計 71)	ゲートの操作をしているとき	データの流れ, または情報の流れ, データの転送, 計算(加減残)のしくみ	17	それぞれでのモードで実行しているとき	正しく実行されることを確認できたとき	5		
	ゲートを実際に一つ一つ開いていって実感できたとき	計算できたとき (補数による減算方法など)	6	機械語・アセンブリ語のプログラミング, 命令に応じたゲートの開閉を確認(小計 28)	アセンブリ言語の学習のとき	2		
	操作をしてデータの流れを追跡したとき	計算のしくみが分かった	4	機械語を実行したとき	無回答	2		
	シミュレーションによる学習, 演算をしているとき	データの流れ	4	BASIC のプログラムを組んで実行しているとき	データの流れ	3		
	実習をしているとき。マウスを使っているとき	ゲートの操作を	5	プログラムを読んでいるとき	簡単な計算でもプログラムで解かれること	1		
	ゲートの操作を繰り返しやれるとき	計算のしくみ (順番にゲートを開くしていくこと)	2	CAL モードで, プログラムを作成しているとき	減算のプログラムを理解した	3		
	説明を聞いているときでなく, 自分でシミュレータを操作しているとき	思った通りの反応をしてくれた	5	自分でプログラムを作成し, 自動の低速モードで正しく実行される過程を確認するとき	計算のしくみが分かった	13		
	自分でシミュレータを操作しているとき	操作の手順, 計算のしくみ	8	自動実行モードで, 命令に対応したゲートの開閉が表示されたとき	データの流れや, データ転送の仕組み	3		
	自分で(ゲートの開閉)操作をしているとき	計算の流れ (道すじ), 計算のしくみ	12	制御装置の学習をしているとき	計算のしくみ	1		
	記憶装置を操作したときや, 記憶装置へのデータの入力や出力のとき	パソコンでは分からなかった, 番地の概念が「なるほどこうだったのか」と実感できた	5	BASIC(小計 1)	BASIC の学習をしたとき	加減法, 繰り返し	1	
	ボード型のシミュレータ(EDCOM)を使ったとき	記憶や加算の仕組み	3	機械語・アセンブリ語の対応表(小計 2)	マイクロ操作のゲートの開閉と, アセンブラ命令, 2進数の機械語間の対応表を見たとき	計算のしくみが	2	
	CAL モード・自分で正解を確認(小計 35)	CAL モードの学習時にマイクロ操作をしているとき	予想した自分のゲート操作の正解を確認できたとき	22	教師の説明+シミュレータや黒板(小計 11)	先生に尋ねて, 誤りを指摘されたとき	機械のしくみ	2
		繰り返し実行をしているとき	自分の考えで実行して正解となったとき		先生のボード型シミュレータ(EDCOM)を用いた説明を聞いたとき	先生のボード型シミュレータ(EDCOM)を用いた説明を聞いたとき	無回答	5
CAL モードの学習をしているとき		データの流れ, ゲートの操作	5	先生が資料に載っていない説明をしてくれたとき	先生が資料に載っていない説明をしてくれたとき	無回答	1	
CAL モードで誤りを指摘されたとき		再挑戦で正解となった	3	先生がOHPで説明しているとき	先生がOHPで説明しているとき	無回答	2	
その他(小計 1)				黒板で説明をしているとき	ゲートの開閉	1		
				なんとなく分かった気がする	無回答	1		

### 3.2 マイクロ操作による確認の効果

回答の23%が、「実習制御部で、自分でマイクロ操作を行って正解を確認したとき」に類別できた。従って、学習者は自身で行った操作が正答であることを確認できたときに、理解したとの意識を持ったことが分かる。

従って、このことからシミュレーションの環境を提供するだけでなく、実習課題に対して学習者が行う操作の正誤判定や誤り部分を指摘するなどの支援機能が、学習者が理解したとの意識を持つために有効であったことが分かる。

### 3.3 プログラムに対応したゲートの開閉表示の効果

回答の19%が「機械語・アセンブラ語のプログラミング、およびそれに対応したゲートの開閉を確認したとき」に類別できた。機械語・アセンブラ語によるプログラミング時に理解したとの意識を持った学習者の割合は、マイクロ操作による実習時と比較すると約4分の1と少ないことが分かる。また、「指導者の説明」時に理解したとの意識を持った者は7%であり、さらに少ない。

## 4. むすび

マイクロ操作に基づいたコンピュータの計算の仕組みやプログラミングの実習を支援する上で有用であった諸支援機能について、学習者を対象とした意識調査の回答から考察した。その結果は、次のように概括できた。

- ・シミュレータ部ではマイクロ操作を具体的に支援する機能や、計算の仕組みをマイクロ操作に基づいて段階的に把握させることを支援する機能が、学習者にとって有用であったことが分かった。

- ・個別学習形式での実習を支援する教材には、演習問題を提示して実習の流れを制御する機能だけではなく、実習中に起こるゲート操作やプログラムの誤りを指摘し、その理由や対処方法を詳しく診断処方機能が求められていることが分かった。

- ・学習指導の方法の観点では、ソフトウェアによるシミュレータだけではなく、ハードウェアによるシミュレータを併用して実感を伴う実習の環境が求められている。さらに、教師の説明だけではなく、学習者自身が操作し、学習者の試行錯誤を支援する機能が望まれていることが分かった。

- ・学習者がどのような活動を行った時に、コンピュータの計算の仕組みが分かったと思ったかについて

の意識を調査した結果、72%がマイクロ操作を行っている過程でコンピュータの計算の仕組みが分かったとの回答が得られた。また、シミュレーションの環境を提供するだけでなく、実習課題に対して学習者が行う操作の正誤判定や誤り部分を指摘するなどの支援機能が、学習者が理解したとの意識を持つために有用であったことが分かった。

以上から、本研究で提案した「マイクロ操作」に基づいた実習が、学習者の意識の観点からも有用であったことが裏付けられた。

## 謝辞

本研究に助言を頂きました東京工業大学名誉教授清水康敬先生に感謝いたします。また、本研究の検証授業にご協力いただいた皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Ken Ishikawa and Nobuo Baba: "Computer Science Education Based on Micro-Operations," *Computers in Education*, WCCE/85, IFIP (1985).
- 2) 石川 賢: "マイクロ操作に基づいたコンピュータ教育システムとその評価", *電子情報通信学会論文誌(A)*, **J71-A**, 11(1988).
- 3) 石川 賢, 山口光夫: "マイクロ操作に基づいた計算機シミュレータの開発", *電子情報通信学会論文誌(A)*, **J75-A**, 2 (1992).
- 4) 石川 賢: "マイクロ操作に基づいたプログラミング教育の評価", *電子情報通信学会論文誌(A)* **J77-A**, 5 (1994).
- 5) 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**, 3 (1998).
- 6) 石川 賢, 川島芳昭: "マイクロ操作に基づいたシミュレーション型教材を利用した学習者の意識", *日本産業技術教育学会情報分科会講演論文集*, 18 (2003).

