

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	マイクロ操作に基づいたコンピュータ・プログラミングの教育に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	石川賢
Author(English)	
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第3306号, 授与年月日:1999年3月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第3306号, Conferred date:1999/3/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

マイクロ操作に基づいた  
コンピュータ・プログラミングの教育に関する研究

1998年12月

石川 賢

## 本研究の概要

本論文は、「マイクロ操作に基づいたコンピュータ・プログラミングの教育に関する研究」と題し、以下の6章から構成されている。

第1章「緒論」では、本研究におけるマイクロ操作とは、「レジスタに格納されている情報に施す操作」と定義すると述べている。そして、コンピュータの計算の仕組みやプログラミングに関する学習指導をする際に、マイクロ操作に基づいた学習をさせた場合の効果を実証することが本論文の目的であると述べている。

第2章「マイクロ操作に基づいた教育用コンピュータの開発」では、マイクロ操作に基づいた教育を実施するための教育用コンピュータ（EDCOMと命名）の開発について述べている。一斉指導を前提としたEDCOMは、マイクロ操作による演算を実行できるパネル型のコンピュータで、コンピュータの5要素（演算、記憶、入力、出力、制御）と、要素間のデータ転送を行うバスや、マイクロ操作を実行するためのゲートから構成されている。また、EDCOMのマイクロ操作モードでは、学習者が手動でボード上の20種類のゲートを開閉操作するなどのマイクロ操作を行うことができ、レジスタ間でのデータ転送や演算を実行できる。自動実行モードでは、任意に定義した16種類の機械語の命令を用いたプログラムを自動的に実行できると述べている。

次に、EDCOMを用いた実験授業を実施し、それを用いない授業との比較を行っている。その結果、EDCOMを用いたマイクロ操作による実習指導は、低水準言語（機械語やアセンブラ語）によるプログラミングに関する学習効果を向上させることを明らかにしている。

第3章「マイクロ操作に基づいたコンピュータシミュレータの開発」では、実習の支援を目的としたコンピュータシミュレータ（MOC Sと命名）の開発について述べている。ソフトウェアによるMOC Sは、シミュレータ部、教授部、実習制御部、学習情報部、診断・処方部から構成されている。シミュレータ部には、マイクロ操作および低水

準言語のプログラムの実行，マイクロプログラミング等のモードがある。教授部と実習制御部には，系統的な学習情報の提示や，実習操作の正誤判定を行う教師主導の個別指導を支援する機能がある。学習情報部や診断・処方部には，ハイパーテキストやプロダクションシステムの機能を用いた学習者主体の個別学習を支援する機能を設けている。

また，大学学部学生を対象にMOCSを用いた授業を実施した結果，MOCSのシミュレータ部に個別指導を支援する機能を併用して実習させた学習者群，ならびにEDCOMを併用した学習者群の学習効果が高くなることを示している。そして，MOCSとEDCOMを併用した実習方法を学習者が望んでいることを，意識調査の結果から明らかにしている。

第4章「マイクロ操作に基づいたプログラミング教育の評価」では，EDCOMとMOCSを教育実践で使用し，マイクロ操作および低水準言語によるプログラミングの教育を実施した結果について述べている。そして，学習の効果を，(a)中学生/高校生/大学学部学生の学齢別，(b)マイクロ操作/低水準言語の水準別，(c)シミュレータの個別指導/個別学習の支援機能別に評価している。その結果，マイクロ操作による実習指導を行うことは，中学生から大学学部学生のいずれの学習者群についても高い学習効果が得られることを示している。また，海外の学習者向けの学習指導システムを作成し，アジア地域の学生に適用した結果から，マイクロ操作による実習指導が外国人に対しても有効であることを明らかにしている。

第5章「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」では，高水準言語である BASIC とマイクロ操作間の関連の学習指導を支援するためのコンピュータシミュレータ(MOCSEIと命名)を開発し，それを用いた教育の効果について述べている。このMOCSEIは，マイクロ操作および低水準言語による実習の支援に加えて，高水準言語の文の教授と，各水準でのプログラミングの実習を支援するシステムである。

そして，高水準言語 BASIC の文と低水準言語の命令およびコンピュータの動作との関連についての実習指導を実施した結果，MOCSEIを用いて個別学習を行った群の学習効果の方が，OHPを用いて一斉指導した群より高いことを示している。

第6章「結論」では，第2章から第5章までに得られた結論を総括している。

# 目 次

第 1 章 緒論	1
1.1 はじめに	1
1.1.1 本研究の背景	1
1.1.2 本研究に関連した学校教育カリキュラム	2
1.2 用語の説明	6
1.2.1 具体的操作	6
1.2.2 ソフトウェアとハードウェア間の階層関係	7
1.2.3 学習指導の方策	8
1.3 マイクロ操作とは	9
1.3.1 マイクロ操作の定義	9
1.3.2 機械語命令とマイクロ操作の関連	10
1.4 本研究の目的	14
1.5 本研究に関連する先行研究	16
1.5.1 コンピュータ・プログラミングに関する先行研究	16
1.5.2 コンピュータ・プログラミングの学習指導法の先行研究	19
1.5.3 学習指導の支援のための教具の先行研究	20
1.6 本研究の概要	23
1.7 結論	25
第 2 章 マイクロ操作に基づいた教育用コンピュータの開発	27
2.1 マイクロ操作に基づいた実習の支援	27
2.1.1 基本構想	29
2.1.2 コンピュータの具体モデル	30
2.2 E D C O M の構成	32
2.3 ハ - ドウェア構成	32
2.3.1 表示パネル	32
2.3.2 バスとゲ - ト	36
2.3.3 演算装置	37

2.3.4	記憶装置	37
2.3.5	入力・出力装置	37
2.3.6	制御装置	37
2.3.7	命令型式	38
2.4	E D C O Mを用いたコンピュータ教育システム	39
2.4.1	コンピュータの構成とデータ転送に関する指導	39
2.4.2	機械語・アセンブラ語によるプログラミングとその実行	41
2.5	マイクロ操作の水準での学習の効果	42
2.5.1	評価の条件と結果	42
2.5.2	マイクロ操作の水準での学習の効果	45
2.5.3	E D C O Mによる実習の効果	47
2.5.4	学習者の学齢による効果	47
2.6	まとめ	48
第3章	マイクロ操作に基づいたコンピュータシミュレータの開発	49
3.1	実習支援の方針	49
3.2	基本構想	51
3.2.1	学習指導の目標と方法	51
3.2.2	シミュレーションの支援機能	52
3.2.3	個別指導の支援機能	52
3.2.4	個別学習の支援機能	52
3.3	システムの構成	53
3.3.1	シミュレータ部	53
3.3.2	教授部	56
3.3.3	実習制御部	57
3.3.4	学習情報部	59
3.3.5	診断・処方部	59
3.4	マイクロ操作に関する解答文の正誤判定方法の検討	63
3.4.1	目的	63
3.4.2	正誤判定の過程	64
3.4.3	正誤判定の基礎実験	66
3.4.4	マイクロ操作に関する正誤判定の方法の概要	70
3.4.5	マイクロ操作に関するキーワードの選出について	70
3.4.6	マイクロ操作に関するキーワードの有無による正誤判定	73
3.4.7	マイクロ操作に関するキーワードの順序による正誤判定	75

3.4.8 判定方法のまとめ	78
3.5 評価	80
3.5.1 実験条件と評価問題	80
3.5.2 M O C Sの概括的な効果	83
3.5.3 シミュレータ部の効果	83
3.5.4 個別指導に関する機能の効果	84
3.5.5 個別学習に関する機能の効果	84
3.5.6 M O C SとE D C O Mの併用の効果	84
3.5.7 意識調査の結果	85
3.6 まとめ	90
第4章 マイクロ操作に基づいたプログラミング教育の評価	91
4.1 評価の方針	91
4.2 学習指導システム	93
4.2.1 目標	93
4.2.2 内容と方法	93
4.3 実験・評価の方法	94
4.3.1 対象	94
4.3.2 実験方法	95
4.3.3 評価	96
4.4 実習の水準と学習の効果	100
4.4.1 学齢に適した実習の水準	100
4.4.2 テクニシャン教育における学習の効果	101
4.5 中学生段階での実習の効果	104
4.5.1 必修群と選択群の学習の効果	104
4.5.2 M O C Sの支援機能の効果	106
4.6 発生するエラーとM O C Sの効果	109
4.6.1 発生するエラーの割合	109
4.6.2 発生するエラーと実習経過時間	111
4.7 まとめ	113
第5章 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	114
5.1 高水準言語とマイクロ操作間の関連の指導	114
5.2 言語水準間の関連の学習指導	116

---

5.2.1 目標	116
5.2.2 内容与方法	116
5.3 シミュレータの構成	119
5.3.1 シミュレータ部	119
5.3.2 学習・指導支援部	121
5.3.3 シミュレータの規模	123
5.4 評価方法	125
5.4.1 実験の方法	125
5.4.2 評価の観点	126
5.5 実験結果と考察	128
5.5.1 高水準と低水準言語の命令	128
5.5.2 低水準言語とマイクロ操作	130
5.5.3 高水準言語のプログラム	131
5.5.4 評価のまとめ	131
5.6 意識調査	131
5.6.1 目的与方法	132
5.6.2 結果と考察	133
5.7 まとめ	134
第6章 結論	135
6.1 本論文で得られた結果の概要	135
6.2 今後の課題	137
謝 辞	138
本研究に関する報告	139
参考文献	151

# 第1章 緒論

## 1.1 はじめに

### 1.1.1 本研究の背景

社会の諸分野で情報化が進展しており，情報化社会と言われるにふさわしい社会を迎えている<sup>[1]</sup>。

「産業構造審議会情報産業部会情報化人材対策小委員会」は，情報化のための人材育成の現状と問題点を分析して育成の方向性を探り，昭和 62 年 4 月に提言<sup>[2]</sup>を出している。それによると，情報化の進展によりソフトウェアの需要が増大するため，技術者の不足に対処することが重要であることを指摘している。そのため，大学や専修学校における教育体勢の拡充や，ハードウェア及びソフトウェアの整備，カリキュラムの開発をはじめとしたソフトウェア技術者の育成方策を示している。また，初等中等教育の段階からのコンピュータリテラシーの養成を図る必要があり，そのための良質な教育用のソフトウェアの開発・流通や，操作しやすい安価なハードウェアの供給などが必要なことを提言している。

そこで，これら技術者教育や初等中等教育を効果的に実施するため，そのカリキュラムや学習指導システムの開発が不可欠となる。さらに，その効果を明確にすることが重要である。

### 1.1.2 本研究に関連した学校教育カリキュラム

本研究は，コンピュータに関する学習指導や，プログラミング（コンピュータ言語やプログラム）の学習指導を取り上げ，それを教育工学的な手法を用いて支援するための学習指導システムの開発に関する研究である。

そこで，まず，大学における計算機システムや計算機ハードウェアに関する導入教育，初等中等教育における情報教育のカリキュラムから，本研究に関連が深い教科の内容を以下に例示する。

#### （1）大学学部教育

米国の ACM (Association for Computing Machinery) や IEEE-CS (Institute of Electrical and Electronics Engineers - Computer Society) では，大学等における情報科学教育のためのカリキュラム委員会を作り，1968 年からカリキュラム'68，'78，'88，'91<sup>[3]</sup>等の提案を行ってきた。

また，我が国では情報処理学会の「大学等における情報処理教育検討委員会」が，15 の授業科目からなる IPSJ CS (Information Processing Society of Japan, Computer Science) カリキュラム J90 を提唱している<sup>[4],[5]</sup>。このうち，専門学科で教えるべき最小限のカリキュラムとして以下の7科目をあげ，情報系専門学科の学生はそのカリキュラムに対応する内容をすべて履修すべきであるとしている。

- JCS1 プログラミング序論
- JCS2 プログラムの設計と実現
- JCS3 計算機システム序論
- JCS4 計算機ハードウェア基礎
- JCS5 情報構造とアルゴリズム解析
- JCS6 オペレーティングとアーキテクチャI
- JCS7 プログラミング言語の構造

このうち，以下に示す JCS3 と JCS4 の内容は，本研究との関連が深い計算の仕組みやアーキテクチャの教育に関するものである。

#### JCS3 計算機システム序論

授業の目的は次の通りである。

計算機システムの基本概念を機械語のレベルで習得させること。

計算機アーキテクチャの基本概念を習得させること。

そのため、以下の指導が必要である。

- (a) フォンノイマン計算機の仕組み(CPUアーキテクチャ)を教えること。
- (b) コード、アドレス、数の表現などの基本的概念を教えること。
- (c) アセンブラ語<sup>[17]</sup>によるプログラミングを教えること。サブルーチン、コルーチン、再入可能ルーチン等の概念を教えること。
- (d) 割り込みの概念、および各種の入出力装置とCPUとの関係について教えること。
- (e) アセンブラ語と高水準言語との対応づけを教えること。

#### JCS4 計算機ハードウェアの基礎

授業の目的は、次の通りである。

計算機の主要な構成要素の構成要素の構造や仕組みなど、ハードウェアの基本概念を習得させること。

新しいアーキテクチャに基づく計算機を設計したり実現したりすることができるように、ハードウェアレベルでのアルゴリズムの考え方を習得させること。

そのため、以下の指導が必要である。

- (a) ゲート、マイクロプログラム、機械語、アセンブラ語、オペレーティングシステム、マクロ、高水準言語の各レベルにおけるアーキテクチャの概念を教えること。
- (b) 順序機械の表現・簡約化・状態割当・実現・テスト、非同期順序機械を教えること。
- (c) 集積回路(IC, VLSI, ULSIなど)のモデル、ゲートレベルでの計算複雑度の概念を教えること。

このようにJCS3, JCS4はコンピュータの計算の仕組みをゲートや、マイクロプログラムの水準、機械語・アセンブラ語等の水準で学習させる内容となっており、プログラミング言語の水準間の対応関係を念頭に置いた実験・演習を支援する教材と学習指導システムが不可欠であることを示している。

#### (2) 初等中等教育

初等中等教育においても、情報化に適切に対応するため「情報活用能力」の育成を図ることが重要視されている。情報活用能力の具体的な内容については、文部省が平成2年7月に作成した「情報教育に関する手引」に、次の4つの内容として整理されている<sup>[6]</sup>。

情報化社会の特質、情報化の社会や人間に対する影響の理解

情報の重要性の認識、情報に対する責任感

情報科学の基礎及び情報手段（特にコンピュータ）の特徴の理解，基本的な操作能力の習得

本研究で取り上げたコンピュータに関する学習指導やプログラミングの学習指導は， の情報科学の基礎及び情報手段の特性の理解に包含される。

現行指導要領のもとで，上記 に関する学習指導が各学校段階の種々の教科で行われている。

中学校では，技術・家庭科の選択領域として「情報基礎」が設置されている。さらに，社会科，数学科，理科，保健体育科の各教科で関連する内容を示したり，コンピュータを効果的に活用することが示されている。

「情報基礎」領域において上記 の学習指導は，次のように取り扱われている。

(1)コンピュータの仕組みについて

コンピュータの各部の機能とそれらの関連やシステムについて知らせるとともに，それらの装置を働かせて情報を処理するためのソフトウェアの必要性や機能について扱う。

コンピュータシステムの基本的な構成と各部の機能を知ること。

ソフトウェアの機能を知ること。

(2)コンピュータの基本操作と簡単なプログラムの作成について

コンピュータの基本的な操作方法を知り，プログラムの必要性を知らせ，簡単なプログラムの作成方法について学ぶ。

コンピュータの基本操作ができること。

プログラムの機能を知り，簡単なプログラムの作成ができること。

高等学校の普通教育においては，数学科，理科，家庭科等に上記 のコンピュータ等に関する学習指導が取り入れられている。また，高等学校の職業に関する教科においては，情報処理や情報技術をはじめとした情報に関する教科が実施されている。

「工業」に関する科目から関連の深い教科を例示すると，「電子情報技術」や「ハードウェア技術」などの教科で，次のように取り扱われ<sup>[7]</sup>ている。

電子情報技術：

情報技術に関する知識と技術を習得させ，実際に活用する能力と態度を育てることを目標とする。その内容は，次の通りである。

## デジタル技術

論理回路，フリップフロップ，カウンタ，レジスタ，演算回路

## コンピュータの構成と機能

情報の表現，構成，記憶装置，処理装置，周辺装置

## プログラミング

プログラミングと言語，プログラミング

## コンピュータの利用とネットワークシステム

オペレーティングシステム，情報処理形態，ネットワーク

## ハードウェア技術：

コンピュータのハードウェアに関する知識と技術を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てることを目標とする。その内容は、次の通りである。

## ハードウェア技術

半導体と電子回路，論理回路と各種レジスタ，データ表現，中央処理装置，周辺装置，命令の構成

## 通信技術

データ通信の方法と機器，通信路線と機能，ネットワーク技術

## 制御技術

制御の概要，数値制御

## 保守技術

コンピュータシステムの保守に関する基礎的な技術

また，平成9年10月3日には，文部省「情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議」の第1次報告において，今後の初等中等教育段階における情報教育で育成すべき情報活用能力を以下のように焦点化し，系統的，体系的な情報教育の目標とすることが提案されている<sup>[8]</sup>。

- (1) 情報活用の実践力：課題や目的に応じて情報手段を適切に活用することを含めて，必要な情報を主体的に収集・判断・表現・処理・創造し，受け手の状況などを踏まえて発信・伝達できる能力
- (2) 情報の科学的な理解：情報活用の基礎となる情報手段の特性の理解と，情報を適切に扱ったり，自らの情報活用を評価・改善するための基礎的な理論や方法の理解
- (3) 情報社会に参画する態度：社会生活の中で情報や情報技術が果たしている

役割や及ぼしている影響を理解し、情報モラルの必要性や情報に対する責任について考え、望ましい情報社会の創造に参画しようとする態度

次期学習指導要領のための改訂では、上記の(2)「情報の科学的な理解」の範囲として、発達段階を考慮しながら、以下の内容を扱うこと<sup>[8]</sup>になっている。

- ・伝えたい情報を、伝えたい相手の状況などを踏まえて、より効果的に伝えるための文字、音声、画像などのマルチメディアの表現法や、数式、図、表、アルゴリズム（手順）などの事象間の関係を表すための情報の表現法
- ・文字、数値、画像などのデータを効果的、効率的、かつ、高精度で処理・加工するための情報処理の方法
- ・実験・観察、調査などのデータを正しく収集し分析するための統計的見方・考え方や、そのために必要となるモデル化の方法
- ・将来の結果予想や、与える条件を変えることによってどのように結果が変化するかを知るために有効となるシミュレーション手法
- ・情報を的確かつ効果的に伝えたり、誤った情報の判断を未然に防ぐ上で役立つ、人間の感覚・知覚や記憶、思考などの認知的特性
- ・家電製品などに広く使われている計測・制御技術やインターネットなどの身近な情報技術の仕組み
- ・情報の伝達や処理、記録などに活用される代表的な情報手段の機能の分類や、長所短所、類似点・相違点、活用に適した場面と適さない場面など、情報手段を活用する上で必要な情報手段の特徴

これらの内、情報技術の仕組みや、情報手段を活用する上で必要な情報手段の特徴は、本研究に関連する内容となっている。

## 1.2 用語の説明

本研究は、コンピュータに関する学習指導やプログラミングの学習指導を、マイクロ操作に基づいて考究している。このマイクロ操作について、心理学の“操作”と、コンピュータのファームウェアの“マイクロ操作”の観点で用語を説明する。

### 1.2.1 具体的操作

ピアジェ(Piaget, J)の発達段階区分によると、子どもの思考はいくつかの段階を経て発達するとされている<sup>[9],[10],[11]</sup>。その中で、操作に関しては次のような段

階がある。ここでの操作とは、“論理的構造をもった思考活動”のことである。

a．具体的操作段階：子どもが具体的に理解できる範囲のものに関しては，論理的な操作によって思考したり推論したりすることができる段階である。この段階では，分類操作や順序づけ操作を具体的な事物に即して行うことができる。

b．形式的操作段階：この段階では，操作を実際に具体的にやってみなければわからない，というのではなくて，言語や記号などのシンボル体系の上での操作によって，推論したり，仮説演繹的に思考を進めることができる。

これらの各段階は，連続性を持っており，新たな段階の思考は，常にその前の段階を前提として成立する。従って，aの具体物による操作（具体的操作）が基礎にあって，やがてbの抽象的・言語的レベルでの操作（形式的操作）が可能になる。

これを，初心者を対象としたプログラミングの実習指導に援用し，導入時に具体的な事物を用いた操作による実習を行い，その上でプログラミング言語の指導を行うことで，学習の効果を向上することが期待できると考えた。

### 1.2.2 ソフトウェアとハードウェア間の階層関係

ソフトウェアとハードウェア間の階層関係<sup>[12]</sup>を概括的に示すと表 1-1 のようになる。応用ソフトウェアや言語処理ソフトウェアなどはソフトウェアに，コンピュータを構成するデジタル回路や論理回路，ゲートなどはハードウェアに分類される。また，マイクロプログラムは，ソフトウェアとハードウェアとの中間的な性質を持つものであり，ファームウェアと呼ばれている。マイクロ操作は，ファームウェアの水準での用語であり，後述 1.3 で詳述する。

言語処理ソフトウェアにおいて，一般に特定のコンピュータの構造に依存しないプログラミング言語を高水準（高級）言語と呼び，依存するものを低水準言語と呼んでいる。高水準言語には，Pascal や BASCI をはじめとし，多くの言語がある。低水準言語には，機械語やアセンブラ語がある。

表 1-1 ソフトウェアとハードウェア間の階層関係

分類	学習内容	本研究で開発
ソフトウェア	応用ソフトウェア 言語処理ソフトウェア 高水準言語 Pascal, BASIC... 低水準言語 アセンブラ語, 機械語	
ファームウェア	マイクロプログラム マイクロ操作	教育用コンピュータ EDCOM コンピュータシミュレータ MOCS コンピュータシミュレータ MOCSEI
ハードウェア	論理回路, ゲート 半導体素子等 ...	

### 1.2.3 学習指導の方策

コンピュータ・プログラミングの学習指導では，一般に Pascal や BASIC 等の高水準言語による実習や，機械語・アセンブラ語等の低水準言語による実習<sup>[13]</sup>が行われている。高水準言語は，プログラムの汎用性や構造化，読み易さなどの諸々の利点がある。そこで，プログラミングの導入指導用の言語として広く利用されている。また，低水準言語は，計算機システムの基本概念を指導するための言語として利用されている。

これらの高水準言語や低水準言語は，本質的には命令の機能を記号として表した人工言語である。一般に，高水準言語の命令文は，より多機能となる。また，文法の解説を中心とした実習指導では，コンピュータ内の具体的なデータの流れ

は暗箱として扱われる傾向がある。さらに、言語の文法やコマンドの使い方などの操作方法の教育が主となってしまうとの欠点が指摘されている<sup>[5]</sup>。従って、初心者の理解を十分には得られないといった問題がある。

そこで本研究では、1.2.1 に述べた具体的操作に基づいた実習を実現する方策として、1.2.2 に示したソフトウェアとハードウェアの境界であるファームウェアの水準での実習指導法を考究した。これは、低水準言語の命令の機能が、コンピュータの構成要素間のデータ転送や演算を制御するものであることに着目し、ハードウェアのゲートの直接制御（これをマイクロ操作<sup>[14], [15]</sup>と呼ぶ）によって学習させるものである。具体的には、学習者にコンピュータのシミュレータ上に設けたゲートを手動で開閉操作させ、操作に伴って起るコンピュータ内のデータの流れを観察させ、計算のしくみを具体的に学習させる方策をとるものである。

## 1.3 マイクロ操作とは

### 1.3.1 マイクロ操作の定義

本研究におけるマイクロ操作とは、「レジスタに格納されている情報に施す操作」<sup>[15]</sup>である。

プログラム記憶方式のコンピュータの基本的な動作原理は、フォンノイマン(von Neuman)によって発明され、機械語命令(machine language instruction)の取り出しと、その実行の繰り返しによって処理が進められる。従って、機械語命令によってプログラムを作成し、これをコンピュータが実行するという形がもっとも基本的な使用形態<sup>[16]</sup>である。

図 1-1 に、命令の取り出しと実行の概要を示す。コンピュータは基本的に演算、記憶、入力、出力、制御の五つの装置から構成されている。記憶装置の機械語命令は逐次取り出され、制御装置のデコーダで解読されて各装置を制御するための信号が作り出される。この制御信号でゲートを開閉することによって、レジスタ間のデータの転送や演算が行われ、機械語命令が実行される。本研究におけるマ

イクロ操作は，具体的にはこのゲートを開閉する操作である。

### 1.3.2 機械語命令とマイクロ操作の関連

制御信号を生成して各装置を制御する方法には，大別して結線論理方式とマイクロプログラム制御方式がある。結線論理方式は，制御信号を各装置に出力する回路を論理回路で構成している。

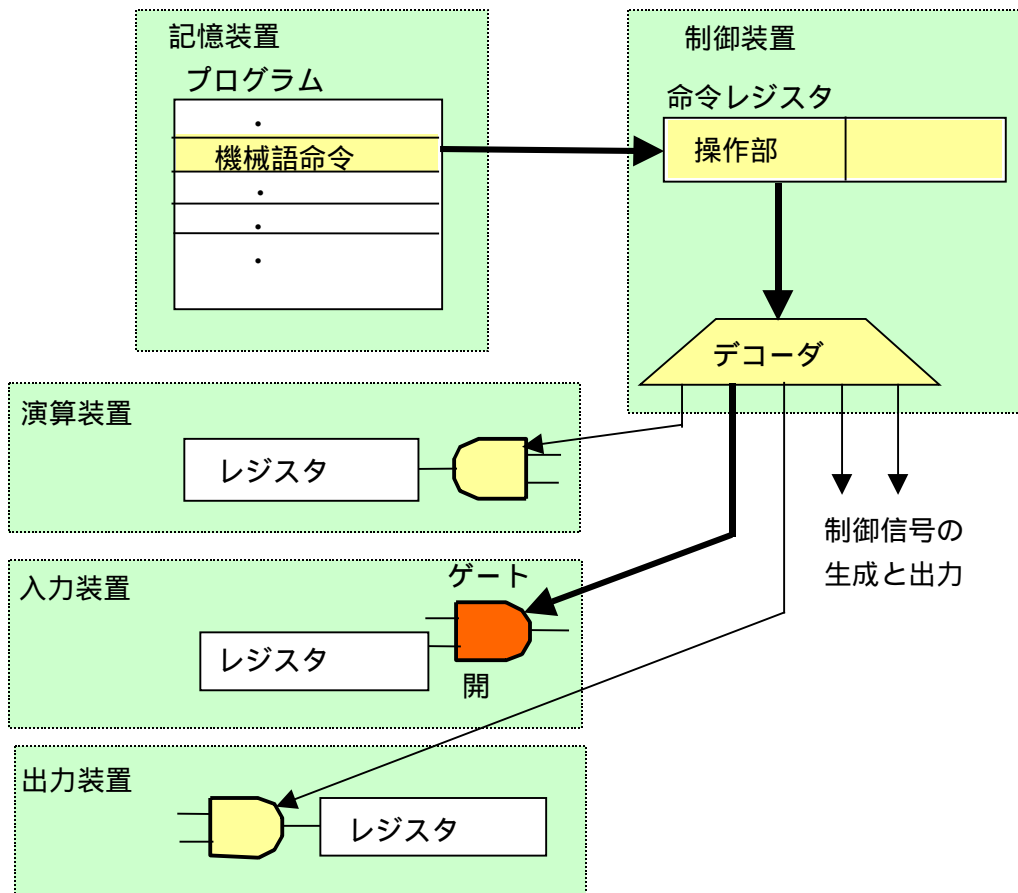


図 1-1 命令の取り出しと実行の概要

一方、マイクロプログラム制御方式は、その論理回路の一部をプログラムの形で置き換えており、これをマイクロプログラムと呼んでいる。従って、マイクロプログラム制御方式は、マイクロプログラムを書き換えることで命令の機能の変更や新たな命令の定義ができる柔軟性がある。

図 1-2 は、マイクロプログラム制御方式における機械語プログラム、マイクロプログラム、マイクロ操作の関連を示している。

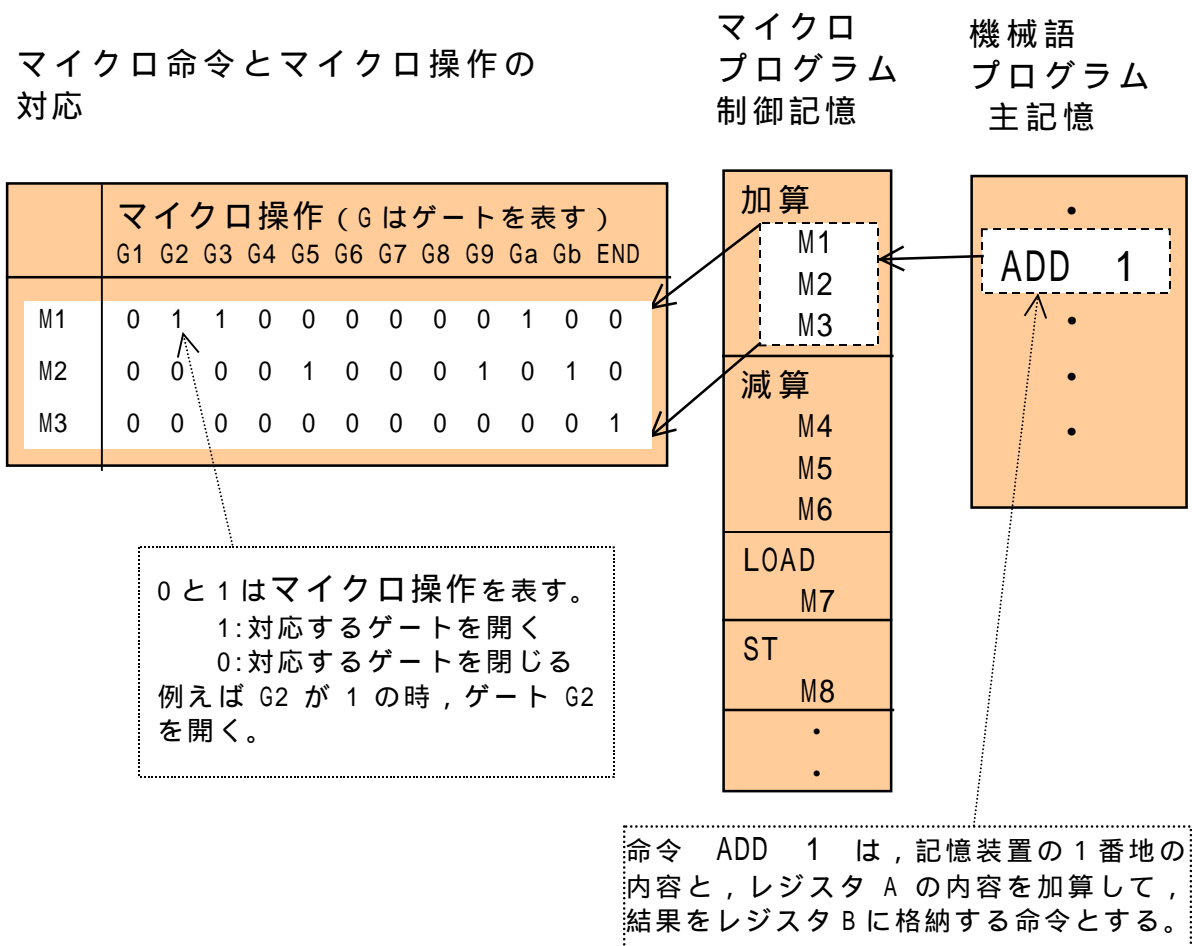


図 1-2 機械語プログラムと、マイクロプログラム、マイクロ操作の関連

図 1-2 に例示した機械語プログラムの中の命令

“ ADD 1 ”

を実行すると、マイクロプログラム中のマイクロ命令

“ M1 ”, “ M2 ”, “ M3 ”

が起動される。さらに、その内マイクロ命令 “ M1 ” の実行にはマイクロ操作

“ G2 ”, “ G3 ”, “ Ga ”

が実行され、対応するゲートが開かれる。

このようにマイクロプログラムは、コンピュータの命令を細分化した基本動作命令の集まりである。そして、その基本動作を指示する命令をマイクロ命令という。マイクロ操作は、具体的にはマイクロ命令を実行するためのゲートの開閉操作を行うことである。

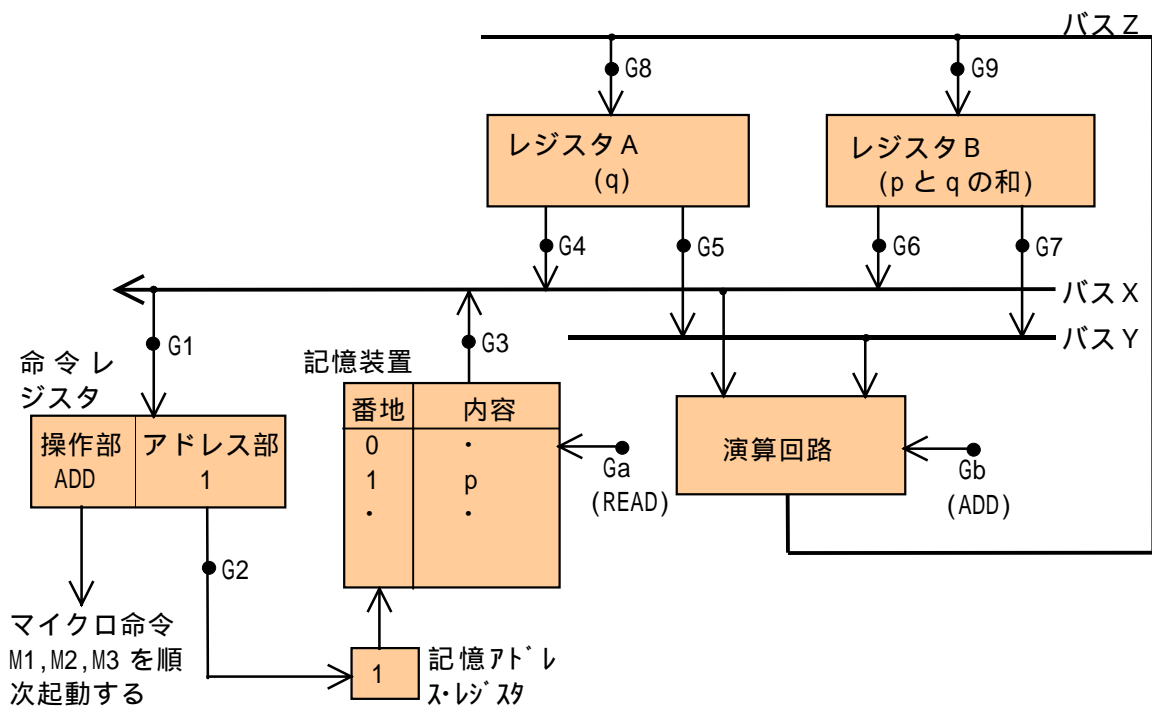


図 1-3 データフローの例

図 1-3 は、図 1-2 のマイクロ操作を実行するためのデータフローの例を示す。図 1-2 と図 1-3 を対応付けて、マイクロ操作についてさらに具体的に説明する<sup>[14]</sup>と、次のようになる。

図 1-2 示した機械語命令

“ ADD 1 ”

は、図 1-3 に示す記憶装置の 1 番地の内容と、レジスタ A の内容を加算し、結果をレジスタ B に格納する機能を持つ命令であるものとする。

この命令の実行には、次の操作がなされる。

“ ADD 1 ” はまず、命令レジスタ(図 1-3 左側)に読み出される。

次に、命令の操作部 “ ADD ” によって、マイクロ命令 “ M1 ”, “ M2 ”, “ M3 ” が逐次実行される (図 1-2 のマイクロ命令を参照)。

(1) マイクロ命令 “ M1 ” の実行

- a . マイクロ操作 G2 : ゲート G2 を開き、命令レジスタのアドレス部の内容 1 を記憶アドレス・レジスタに移す。
- b . マイクロ操作 Ga : ゲート Ga を開き、記憶装置の 1 番地の内容 p を読み出す(READ)。
- c . マイクロ操作 G3 : ゲート G3 を開き、記憶装置から読み出したデータ p をバス X に送り出す。

(2) マイクロ命令 “ M2 ” の実行

- d . マイクロ操作 G5 : ゲート G5 を開き、レジスタ A の内容 (q) を、バス Y に送り出す。
- e . マイクロ操作 Gb : ゲート Gb を開き、演算回路に加算(ADD)を指示する。
- f . マイクロ操作 G9 : ゲート G9 を開き、バス Z に送り出された演算の結果 (p と q の和) を、レジスタ B に格納する。

(3) マイクロ命令 “ M3 ” の実行

- g . マイクロ命令の実行を終了する。

これで加算命令 “ ADD 1 ” の実行のための操作は完了する。従って、機械語命令は、上記の a から f のマイクロ操作によって実行されると言える。

前述のように，制御装置はこのマイクロ操作を制御する信号を逐次発生する。従来から使われてきた結線論理方式のコンピュータの制御回路では，時間的に逐次この制御信号を出力するように論理回路を構成している。しかし，その設計や構成は煩雑である。

そこで，図 1-2 のマイクロ命令の欄に示したように，同時に発生される制御信号によって行われるいくつかのマイクロ操作の組をマイクロ命令として定義する。そこで，コンピュータの命令は，このマイクロ命令の系列で表すことができる<sup>[14]</sup>。このマイクロプログラムを制御記憶装置に予め格納しておき，機械語命令に対応したマイクロ命令を順次読み出して，それによって指示されるマイクロ操作を行うことにより，機械語命令を実行することができる。

このマイクロ操作は，結線論理方式にもマイクロプログラム制御方式にも共通の操作である。そこで，マイクロ操作はコンピュータの計算の仕組みを把握する上で基本となる概念であると考え，本研究に適用した。

このマイクロ操作に基づいた実習を前提として，プログラミングに関する学習指導の効果の向上を図る指導方策をとることにした。

## 1.4 本研究の目的

本研究は，プログラミングに関する初心者を対象としてコンピュータの計算の仕組みや低水準言語によるプログラミング，および高水準言語の文との関連に関する学習指導をする際に，マイクロ操作に基づいた学習をさせた場合の効果を実証することが目的である。

本研究は，次のような内容に概括できる。

- ・マイクロ操作に基づいたコンピュータ・プログラミング教育システムの作成
- ・ハードウェアによる教育用コンピュータの製作
- ・ソフトウェアによる教育用コンピュータシミュレータの制作
- ・低水準言語とマイクロ操作による教育の効果測定
- ・高水準言語と低水準言語やマイクロ操作間の関連の教育

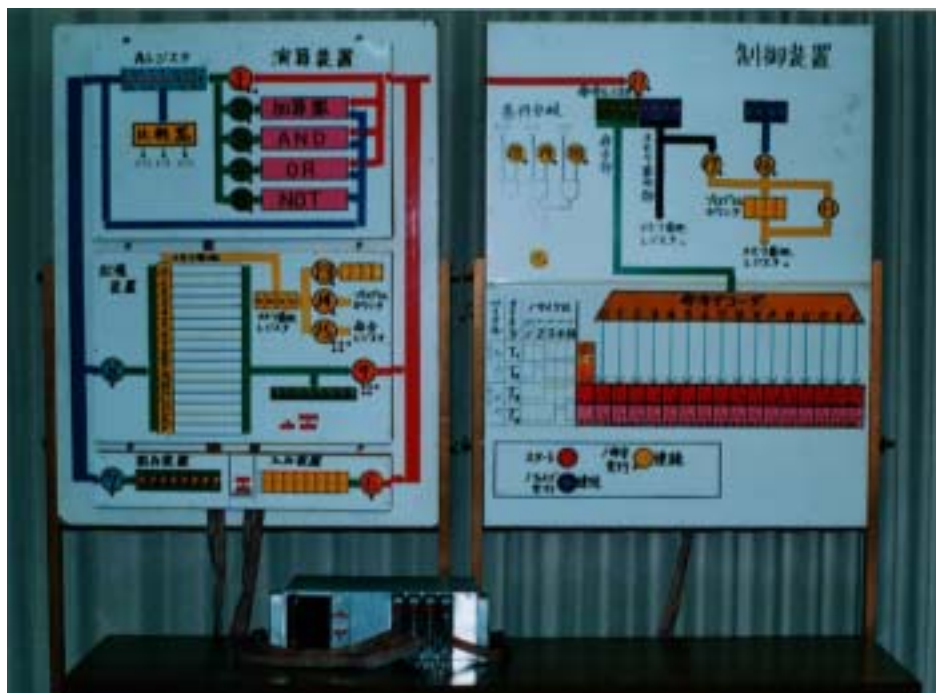


写真 1-1 教育用コンピュータの外観

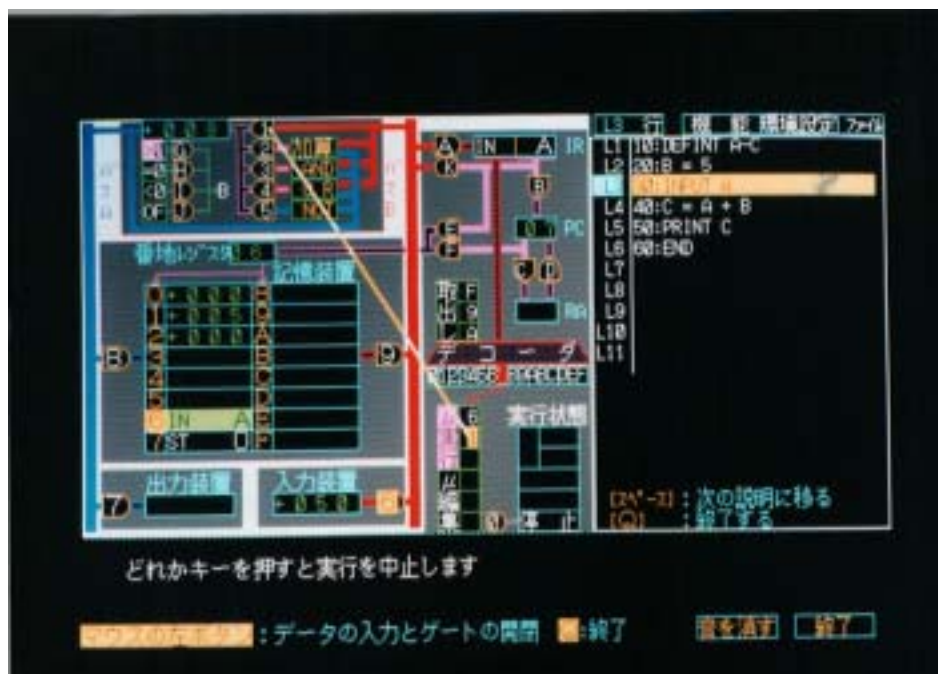


写真 1-2 コンピュータシミュレータの表示画面の一例

本研究では、低水準言語の命令や、高水準言語 BASIC の基本的な命令文の機能を、マイクロ操作に基づいて学習させた。この教育の効果を向上するために、ハードウェアによる教育用コンピュータ EDCOM(EDucational COMputer)や、ソフトウェアによるコンピュータシミュレータ MOCS(Micro-Operable Computer Simulator)、および MOCSEI(Micro-Operable Computer Simulator with Elementary high level language Instructions)を開発した。表 1-1 に、これらの本研究で開発した教材と学習内容との関連を示す。そして、それらを使用した学習指導を実施した結果から、システムの評価を行った。

写真 1-1 と写真 1-2 に、開発した教育用コンピュータ EDCOM の外観とコンピュータシミュレータ MOCSEI の表示画面の例を示す。

## 1.5 本研究に関連する先行研究

### 1.5.1 コンピュータ・プログラミングに関する先行研究

プログラミング言語は、手続き型言語、関数型言語、論理型言語に大別される。手続きの概念は、計算を逐次的に行っていく操作全体を抽象化したものであり、現行のコンピュータの構成原理とも親和性が良い。手続き型言語はいわゆるフォンノイマン型計算機の命令の列を組み立てる作業を容易にするために考えられたプログラミング言語である<sup>[17]</sup>。Pascal や BASIC をはじめとして初心者の教育にも広く利用されている<sup>[13]</sup>。

計算のモデルの議論のために、コンピュータから基本的な機能を抽出した抽象機械が考えられてきた。最も単純な抽象機械にはチューリング機械(Turing machine)がある。しかしチューリング機械の基本操作は非常に原始的であり、手続き型言語の実行の機構を直感的に把握するための計算モデルとしては適当でない<sup>[17]</sup>。このほか、計算モデルとしてより適した抽象機械にランダムアクセス記憶と入出力用のテープを備えた RAM(random access machine)がある。RAM は、手続き型プログラムの効率を論ずるのに用いられている<sup>[17]</sup>。

次に、本研究に関連がある先行研究について述べる。

#### (1) Transaction の水準での学習指導

関連する先行研究として、Mayer による Transaction の水準での学習指導がある。初心者を対象にしたコンピュータ・プログラミングに関する教育において、プログラムを理解するには、ガラス箱の内部を観察するように、一つの命令ごとに内部で起こる変化を追跡することが理解を助けること、及びその変化を記述するには、高水準言語の一文を実行するためのいくつかの処理 (Transaction) の段階が適当であることを報告している<sup>[28]</sup>。

BASIC のような高水準言語を学習するために必要な知識として、伝統的には命令文 (Read, Print, If, Let など) の定義や文法、及び命令を組み合わせたプログラムの例を提示し、それを入力、実行することなどが教えられてきた。

この知識を初心者に効果的に習得させるために、Mayer は BASIC によるプログラミングのための知識を Machine, Transaction, Prestatement, Statement, Chunk, Program の水準に大別している。

Transaction は、命令文の構成要素であり、次の3つの部分から構成される。

- a. operation : 動作を指定する部分 (例: MOVE)
- b. object : 動作の対象となる数やプログラムを指定する部分。
- c. location : object の位置を指定する部分 (例: メモリ, スタック)

Transaction は、ある命令文が実行される時にコンピュータ内で起っている変化を初心者に説明する方法や、新しい技術用語を学習者にとって親しみのある operation, object, location に結び付ける方法を提供する。さらに、この水準での学習は、ハードウェアや操作に関する前提を必要としない利点がある。

以上に基づいて、紙上の計算機的具体モデル (Activator と呼ばれる) を用いた実験がなされた。Activator は 50x75 cm のボード上にコンピュータの4つの機能を示す下記のような具体物を配置したものである。

- 1) 入力窓 (Input Window): データを入力するためのカードと封筒。
- 2) 出力パッド (Output Pad): 1行に一つのメッセージを書くことができ

る用紙と鉛筆。

3) 記憶板 (Memory Scoreboard): 8つのセルを持つ数値記憶用の黒板。

4) プログラム表と指示矢 (Program List & Pointer Arrow): プログラム表は P 1, P 2 等のマークを記入した 10x15 cm のカードを縦に並べたものである。紙製の指示矢は、実行中のカードを指し示す。

学部学生を対象として、以上のモデルを用いて transaction の集合として BASIC の命令を説明した文書を与えた群と、同じ内容の説明を transaction の説明を行わずに命令の文法的な規則を中心とした文書を与えた群を比較した。この結果、簡単なプログラミングではなく創造的なプログラミングを要求される時や、プログラムの動作の解釈、長いループを持つプログラムを記述する時に、モデルを用いた群は規則を教えられた群よりも良い結果を得た。また、モデルは特に能力の低い学生の助けとなったことが報告されている。

この学習に用いるモデルは、具体的なコンピュータには対応していない。また、この学習はボード上に配置した具体物で模擬的に行われるところが本研究と異なる。

表 1-2 に、本研究に関連した Mayer の研究と、本研究の関係を示す。

表 1-2 関連する従来の研究と本論との関係

水準	トランザクションに基づく	マイクロ操作に基づく
低水準言語	-	石川による研究 [40], [41], [42], [43]
高水準言語 (BASIC)	Mayer による研究 <sup>[27]</sup>	石川による研究 <sup>[44]</sup>

## (2) プログラムの理解について

プログラムの理解は、プログラムの意味論的な知識と、統語論的な知識の両者を使ってなされる<sup>[18],[19]</sup>とされる。

前者の意味論的な知識は、一般的なプログラミング技法の知識である。上位から下位へ(A)問題解決法、(B)アルゴリズム、(C)基本データ処理、(D)基本データ操作のように階層化される。さらに、この下位にプログラム言語の命令文に対応する知識がある。

一方、後者の統語論的な知識は、プログラム言語に関する知識である。これは、(イ)基本的なプログラム文と、(ロ)個別のプログラム言語の知識に階層化される。

プログラムの理解に関する研究には、プログラムのアルゴリズムをグラフとして表し、初心者のプログラムのデバッグを行ったり<sup>[20]</sup>、論理チェックを行う<sup>[21]</sup>ためのモデルが提案されている。また、プログラミングの過程のプロトコル・データを収集・分析し、アルゴリズムの水準でプログラミングの手法やバグの種類<sup>[22]</sup>の分析を行った研究<sup>[22]</sup>がある。

また、プログラミングの意味論的な知識の階層構造の有無についての研究がある<sup>[23]</sup>。この研究では、プログラミングの知識を(a)問題解決法、(b)アルゴリズム、(c)プログラムの命令や構成の3水準に分けている。その結果、三つの水準の知識の理解は階層的であり、発展的になされること、および上位の知識の理解には下位の知識が必要なことを示している。従って、(c)のプログラムの命令や構成を理解することは、プログラミングの知識を修得する上での基礎となる知識であると考えられる。

本研究は、(c)のプログラムの命令や構成の水準での学習指導を、効果的に行う方策について考究したものである。

### 1.5.2 コンピュータ・プログラミングの学習指導法の先行研究

プログラミングの学習指導の方法についての研究には、プログラミング技法の指導を、下位からアプローチする研究と、上位からアプローチする研究とがある。

下位からのアプローチでは、デジタルIC、マイクプログラム、低水準言語などの水準での学習指導(例えば,[24],[25],[26])が行われている。また、高水準言語の命令文をトランザクションと呼ばれる要素に分解して、コンピュータ内でのデータの流れや変化を説明することによって、初心者の学習効果を向上させた報告がある[27],[28]。

ところで、情報工学専攻の学生のコンピュータに関する教育では、計算機の原理と計算機の仕組みを最も基礎的な、機械に近いレベルで理解させることが重要であるとの指摘[12]がある。これは、下位からのアプローチの重要性を示している。

一方、後者の上位からのアプローチでは、BASICによる学習についてのメンタルモデル(例えば,[29],[30],[31])やFORTRAの学習指導をCAIを用いて行った場合の効果について[32]などの研究が行われている。

言語水準間の関連に関する研究では、アセンブラ語とLOGOを並列に学習させることによって、学習の効果を向上させた報告[33]がある。

本研究では、下位の基本データ操作や基本データ処理の知識を、ハードウェアとソフトウェアの境界であるマイクロ操作に基づいて習得させる方策をとっている。また、その学習の効果を実験授業の結果から検証している。

### 1.5.3 学習指導の支援のための教具の先行研究

#### (1) 先行オーガナイザ

学習者が事前に有効な予備知識を持っていないとき、学習内容を予め概括して提示しておくための先行オーガナイザ(advanced organizer)[34]の提案がある。これは、技術情報や親しみのない概念の学習、低い能力の学習者や未経験の学習者に対して効果があるとされている[28]。

本研究では、この先行オーガナイザとして、かつ、マイクロ操作による実習を具体的に支援するための教具として、教育用コンピュータEDCOMを製作した。これを実験授業に用いて評価した。

## (2) 教具の開発

プログラミングの学習指導用の教具として、コンピュータシミュレータやC A Iの開発研究が行われている。このシミュレータには、主にハードウェアによるものとソフトウェアによるものがあり<sup>[35]</sup>、それぞれ長所、短所がある<sup>[12]</sup>。

ハードウェアによるシミュレータでは、論理回路や機械語レベルでのコンピュータシミュレータ<sup>[36]</sup>や、マイクロプログラムの水準でのシミュレータ<sup>[37]</sup>、低水準言語の水準のシミュレータ<sup>[38]</sup>の開発などがある。

ソフトウェアによるものでは、個別教授、練習・演習、シミュレーションなどの種々の形式のC A Iが開発されてきた。これには、マイクロプログラムとデータの流れの関連<sup>[25]</sup>や、機械語のプログラムとマイクロプログラムの関連<sup>[39]</sup>、デジタル IC の水準での機械語のプログラムとレジスタやゲートとの関連<sup>[24]</sup>、特定のコンピュータの仕組みを機械語やアセンブラ語で実習させるためのシミュレータ<sup>[26]</sup>、言語処理系を内蔵したC A I<sup>[12]</sup>の開発などがある。

これらは、いずれも本質的には命令の機能を抽象化したプログラム言語による実習を支援する教具の研究である。また、言語処理ソフトウェアの教育が広範な分野を含んでいるにもかかわらず、これまで行われてきたC A Iの大部分は、言語そのものを学習するためのものであるとの指摘<sup>[12]</sup>もある。

本研究では、マイクロ操作の水準での実習を提案し、これを実現するためのハードウェアによる教育用コンピュータとして、E D C O Mを開発している。また、E D C O Mのシミュレータとしての機能に加えて、学習・指導の諸支援機能を付加したソフトウェアによるシミュレータM O C S やM O C S E Iを開発し、これらを用いてマイクロ操作に基づいた実習指導の効果を検証している。

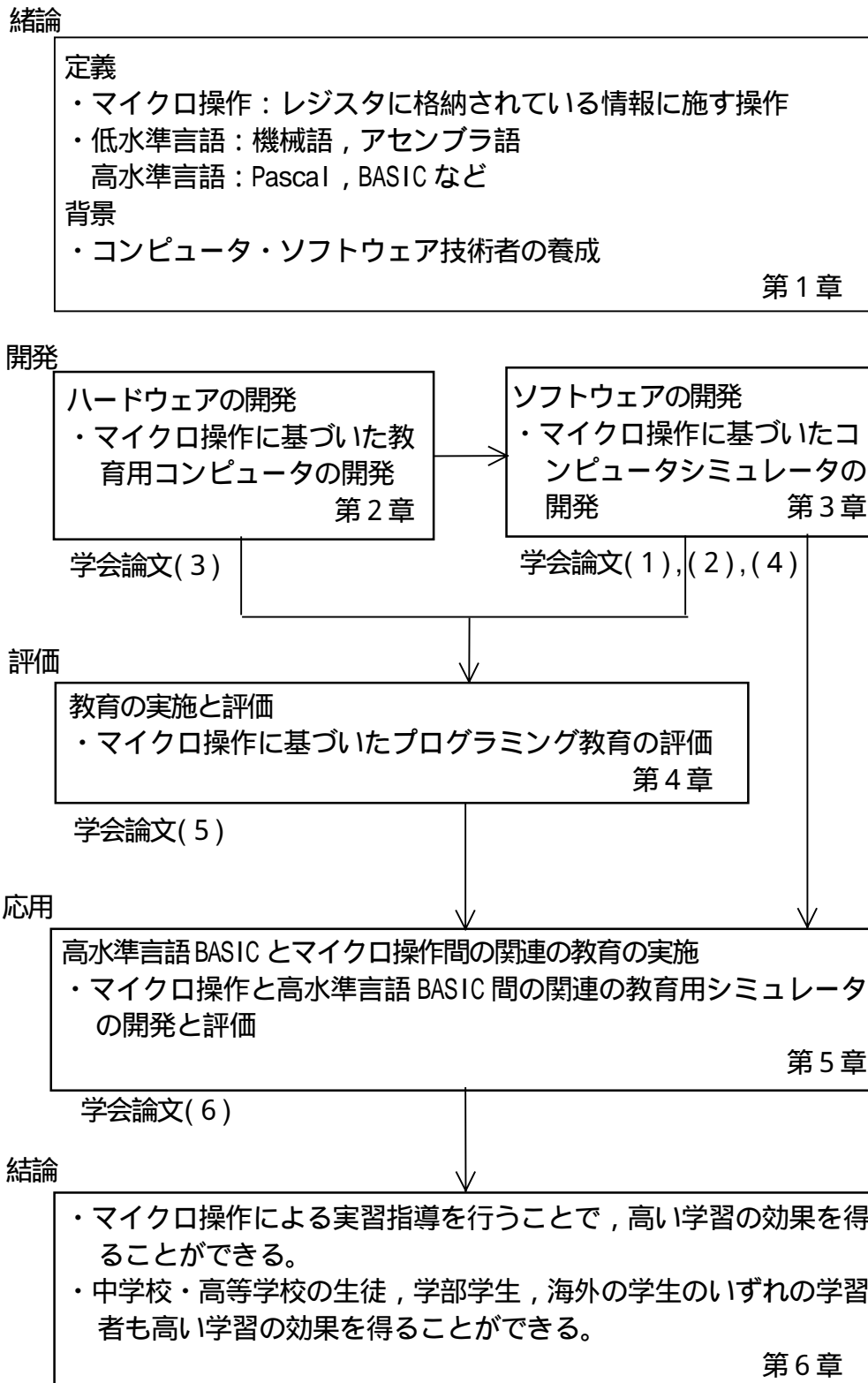


図 1-4 本研究の構成

## 1.6 本研究の概要

本研究は、マイクロ操作に基づいたコンピュータ・プログラミングの教育に関する研究であり、本論文は6章から構成されている。その構成を図1-4に示す。

第1章「緒論」では、本研究におけるマイクロ操作とは、「レジスタに格納されている情報に施す操作」と定義すると述べている。そして、コンピュータの計算の仕組みやプログラミングに関する学習指導をする際に、マイクロ操作に基づいた学習をさせた場合の効果を実証することが本論文の目的であると述べている。

第2章「マイクロ操作に基づいた教育用コンピュータの開発」では、マイクロ操作に基づいた教育を実施するための教育用コンピュータ（EDCOMと命名）の開発<sup>[40],[41]</sup>について述べている。一斉指導を前提としたEDCOMは、マイクロ操作による演算を実行できるパネル型のコンピュータで、コンピュータの5要素（演算、記憶、入力、出力、制御）と、要素間のデータ転送を行うバスや、マイクロ操作を実行するためのゲートから構成されている。また、EDCOMのマイクロ操作モードでは、学習者が手動でボード上の20種類のゲートを開閉操作するなどのマイクロ操作を行うことができ、レジスタ間でのデータ転送や演算を実行できる。自動実行モードでは、任意に定義した16種類の機械語の命令を用いたプログラムを自動的に実行できると述べている。

次に、EDCOMを用いた実験授業を実施し、それをを用いない授業との比較を行っている。その結果、EDCOMを用いたマイクロ操作による実習指導は、低水準言語（機械語やアセンブラ語）によるプログラミングに関する学習効果を向上させることを明らかにしている。

第3章「マイクロ操作に基づいたコンピュータシミュレータの開発」では、実習の支援を目的としたコンピュータシミュレータ（MOC Sと命名）の開発<sup>[42]</sup>につい

て述べている。ソフトウェアによるMOC Sは、シミュレータ部、教授部、実習制御部、学習情報部、診断・処方部から構成されている。シミュレータ部には、マイクロ操作および低水準言語のプログラムの実行、マイクロプログラミング等のモードがある。教授部と実習制御部には、系統的な学習情報の提示や、実習操作の正誤判定を行う教師主導の個別指導を支援する機能がある。学習情報部や診断・処方部には、ハイパーテキストやプロダクションシステムの機能を用いた学習者主体の個別学習を支援する機能を設けている。

また、大学学部学生を対象にMOC Sを用いた授業を実施した結果、MOC Sのシミュレータ部に個別指導を支援する機能を併用して実習させた学習者群、ならびにEDCOMを併用した学習者群の学習効果が高くなることを示している。そして、MOC SとEDCOMを併用した実習方法を学習者が望んでいることを、意識調査の結果から明らかにしている。

第4章「マイクロ操作に基づいたプログラミング教育の評価」では、EDCOMとMOC Sを教育実践で使用し、マイクロ操作および低水準言語によるプログラミングの教育を実施した結果<sup>[43]</sup>について述べている。そして、学習の効果を、(a)中学生/高校生/大学学部学生の学齢別、(b)マイクロ操作/低水準言語の水準別、(c)シミュレータの個別指導/個別学習の支援機能別に評価している。その結果、マイクロ操作による実習指導を行うことは、中学生から大学学部学生のいずれの学習者群についても高い学習効果が得られることを示している。また、海外の学習者向けの学習指導システムを作成し、アジア地域の学生に適用した結果から、マイクロ操作による実習指導が外国人に対しても有効であることを明らかにしている。

第5章「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」では、高水準言語である BASIC とマイクロ操作間の関連の学習指導を支援するためのコンピュータシミュレータ(MOCSEIと命名)を開発し、それを用いた教育の効果<sup>[44]</sup>について述べている。このMOCSEIは、マイクロ操作および低水準言語による実習の支援に加えて、高水準言語の文の教授と、各水準でのプログ

ラミングの実習を支援するシステムである。

そして、高水準言語 BASIC の文と低水準言語の命令およびコンピュータの動作との関連についての実習指導を実施した結果、MOCSEI を用いて個別学習を行った群の学習効果の方が、OHP を用いて一斉指導した群より高いことを示している。

第6章「結論」では、第2章から第5章までに得られた結論を総括している。

## 1.7 結論

本研究では、マイクロ操作によるコンピュータ・プログラミングの実習指導を行うことで、高い学習効果が得られることを明らかにした。

### (1) ハードウェアの開発

マイクロ操作を実行できるハードウェアによる教育用コンピュータ EDCOM を製作し、それを用いた学習指導を実施した。その結果、マイクロ操作の水準で実習指導を行うことが、機械語・アセンブラ語のプログラミングの学習効果を高めることを明らかにした。

### (2) ソフトウェアの開発

マイクロ操作を実行できるソフトウェアによるコンピュータシミュレータ MOC S を制作し、それを用いた学習指導を実施した。その結果、シミュレータとしての機能に個別指導を支援する機能を付加することで、学習効果を高めることができることを明らかにした。

### (3) 教育の実施と評価

中学生、高校生、学部学生を対象とした教育を実施した。その結果から、マイクロ操作の水準でのデータの転送や加算の問題では70%以上の正答率が得られることや、アジア地域のテクニシャン教育関係者と学生を対象にした場合にも、マイクロ操作や低水準言語のいずれの問題についても80%以上の高い正答率が得られることを明らかにした。

#### (4) 高水準言語(BASIC)とマイクロ操作間の関連の教育の実施

学校教育で導入教育に使われている高水準言語(BASIC)の文の機能と、マイクロ操作との関連を実習させるため、ソフトウェアによるコンピュータシミュレータMOCSEIを制作し、それをを用いた学習指導を実施した。その結果、シミュレータを用いた個別学習の方が、OHPを用いた一斉学習より高い学習効果が得られることを明らかにした。

本研究の成果は、一部、中学校の情報基礎領域の授業や高等学校、大学学部のコンピュータに関する授業の導入教育に取り入れられている。また、制作したソフトウェア教材は、コンピュータシミュレータのソフトウェアパッケージ<sup>[45]</sup>として出版され、学校教育で活用されている。

## 第2章 マイクロ操作に基づいた教育用コンピュータの開発

初心者を対象として、コンピュータの仕組みやプログラミングの学習指導を効果的に行うことは重要である。そこで、マイクロ操作に基づいた教育用コンピュータを開発した。そして、この教育用コンピュータをEDCOMと名付けた。

本章では、まず、EDCOMの構成を述べる。さらに、EDCOMを用いたプログラミングの導入に関する学習指導システムや、中学校の生徒、専門学校の学生、大学の学部学生を対象として実施した実験授業について述べる。

実験授業の結果から、マイクロ操作に基づいた実習の効果やEDCOMによる学習の効果を検証した。その結果、マイクロ操作によりEDCOMを用いた実習指導を行うことが、機械語・アセンブラ語によるプログラミングの問題の正答率を高めるとの結果を得た。

### 2.1 マイクロ操作に基づいた実習の支援

本研究は、第1章で述べたように、マイクロ操作に基づいた実習を行うことによりコンピュータ・プログラミングの学習指導を改善するところに特徴がある。

マイクロ操作は、レジスタや記憶装置とバスの間に行ったゲートを開閉することで実行できる。具体的には、学習者がゲートを手動で開閉できるようにすることで、コンピュータ内のデータの流れを制御できる。従って、マイクロ操作により、具体的な事物を用いた計算の仕組みの実習指導を実現できる。

しかし、学習者がゲートを直接手動で開閉できる教育用コンピュータは、これ

まで開発されていなかった。

ところで、コンピュータを理解させるための教具とそれを用いた教育システムが従来から開発されている<sup>[46]</sup>。マイクロプログラムの水準での教育に関しては、学部学生を対象としてマイクロプログラミングの学習を目的にした実験装置を設計試作し、所期の学習効果が得られたことが報告されている<sup>[37]</sup>。また、マイクロプログラム方式のLSIの応用方法の修得を目的にした学習教材も開発されている<sup>[47]</sup>。

しかし、それらにはなお考慮すべき次の諸点がある。

- a .コンピュータ内のデータの流れや制御の状態をパネル上に表示する教具では、主にレジスタやカウンタ間のデータ転送の状態を表示するため、コンピュータを構成する5要素間のデータ転送とその制御の観点での学習には不向きである。
- b . 1チップCPUを主体にした個別学習用の訓練盤では、機械語命令の水準での実行が主体であり、コンピュータ内部のデータの変化は依然として暗箱とされている。従って、構成要素間のデータ転送の様子を具体的に認識しにくい。さらに、システムを構成する素子や回路構成部品などのハードウェアに対する予備知識を必要とする。
- c . 文字表示装置によるTSS端末を用いたコンピュータによるシミュレーションでは、データの流れの実感を学習者に持たせることは難しい。

本研究では、主に中学校以上の初心者を対象として、プログラミングの学習への導入を容易にするための教育システムの作成を目的にしている。そこで、学習者はコンピュータを構成するハードウェアについての予備知識を十分備えていない、すなわち、ハードウェアの内部の変化を把握するための詳細な動作機構の学習に立ち入ることは難しいという前提に立ち、しかも、プログラムを構成する命令の機能を具体的に把握させる必要があると考えた。

この必要を充足するため、マイクロ操作に基づいて命令の機能とコンピュータ内でのデータの流れや制御との関連をあらかじめ指導し、その後にプログラミングの指導に移る方法をとることにした。

次に、以上のような指導を効果的に行う教具として、実験的に製作した教育用コンピュータEDCOMの基本構想について述べる。写真1-1に、EDCOMの外観を示した。

### 2.1.1 基本構想

コンピュータの命令の機能は、コンピュータを構成する5要素間のデータ転送を制御するものであることに着目し、命令の機能を一連のマイクロ操作の列として具体的に説明しようとするのが本研究のねらいである。

このため、次のような学習指導の支援を条件に教育用コンピュータを考案した。

#### (1)データ転送レベルでの命令の機能の実習指導

命令の機能を、コンピュータの5要素間のデータ転送とその制御として具体的に把握させる。これにより、

a . データの転送源、演算操作、転送先と命令との関連を把握させる。

b . ハードウェアについての予備知識を期待できない中学生程度の学習者でも、プログラムとコンピュータの動作の関連を概括的具体的に把握させる。

#### (2)操作による実習指導

学習者自身の操作を通じて、一つの命令を実現するための一連のデータ転送をシミュレートさせる。これにより、

a . 制御装置が時間的に順序付けて自動的に実行しているゲートの開閉操作を、学習者が具体物を操作することによって認識させる。

b . 学習者の学習速度に合わせた実習を行う。

#### (3)言語水準間の関連の提示

機械語・アセンブラ語の命令の機能を、マイクロ操作の列として提示する。

図2-2に、高水準言語の命令や機械語・アセンブラ語の命令と、マイクロ操作との対応を示す。

例えば、高水準言語(BASIC)のINPUT文は、アセンブラ語ではIN(データを入力)やST(データを記憶装置へ格納)命令に対応する。

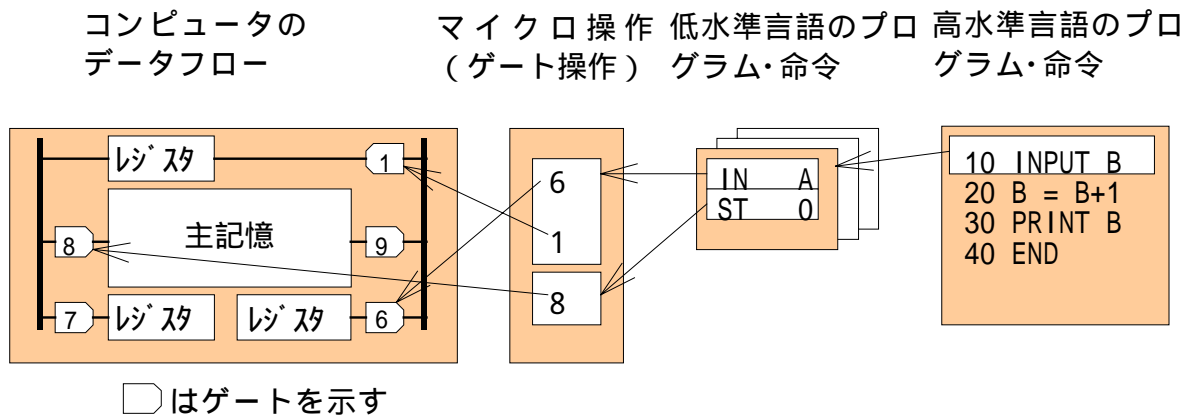


図 2-2 マイクロ操作と高水準言語の命令の関連

この内，IN命令は，ゲート6番を開くとともにゲート1を開くマイクロ操作で実現できる。

これにより，

- a．より上位の記号言語の命令を，マイクロ操作の列として具体的に把握させる。
- b．機械語・アセンブラ語の命令の実行とともに起こるゲートの開閉の状況や各要素内のレジスタの内容を，逐次観察させる。

### 2.1.2 コンピュータの具体モデル

以上から，次のような教育用コンピュータのモデルを考案した。

- a．コンピュータ内のデータの変化や制御の状況を観察できる硝子箱方式のコンピュータのモデルとする。
- b．コンピュータが具備する入力，出力，記憶，演算，及び制御の5要素を独立に表示し，分離可能な構成にする。これは，従来のこの種のモデルが，5要素という観点ではなく，レジスタを中心とした構成を表示していることと異なる。

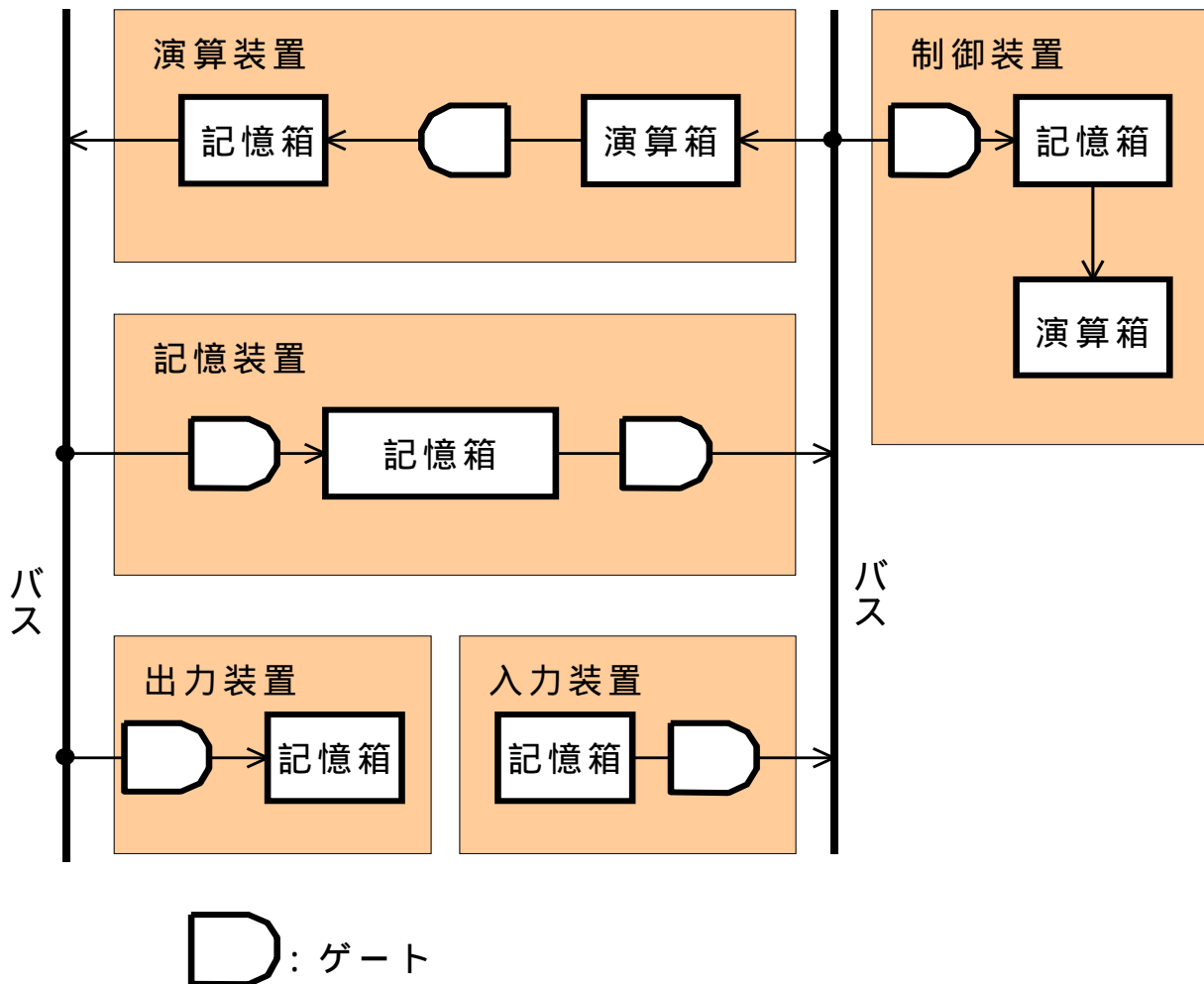


図 2-3 教育用コンピュータのモデル

c. 各要素は、記憶箱、演算箱、及びゲート等の機能でモデル化し、それらをバスで結合する。これによって、要素の持つべき基本的な機能を単純化し、かつ学習者が既に知っている親しみ易い機能としてモデル化する。

このことは、

記憶箱：レジスタや記憶セルのように、入力したデータを保持し、それと

同じデ - タを何度でも取り出せる機能を持つ。

演算箱：加算，AND，OR，NOT等の演算器のように，入力したデ - タに演算を施して出力する機能を持つ。

ゲ - ト：記憶箱や演算箱のデ - タの出し入れを制御する機能を持つ。

バス：要素間でのデ - タの転送を行う機能を持つ。

に対応するものである。

図 2-3 に，モデルの基本構成を示す。

## 2.2 EDCOMの構成

以上の設計方針に基づいたEDCOMの構成を図2-4に示す。また，各ゲートの機能を，表2-1に示す。

## 2.3 ハ - ドウェア構成

### 2.3.1 表示パネル

EDCOMの各要素を表示するパネルは，図2-4に示すように a .デ - タフロ - 部と， b .制御部の 2 枚のパネルで構成した。

デ - タフロ - 部は，それぞれ独立した入力，出力，記憶及び演算の各装置に対応したサブパネルで構成した。これらは，デ - タ転送のためのバス A および B に接続した。

一方，制御部は制御装置に対応するパネルで構成し，命令コ - ドを記憶装置から入力するため，バス B に接続した。

各パネル上のレジスタ内のデ - タは，ランプの点灯により 8 又は 4 ビットで表示した。さらに，ゲ - トの開閉の状況もランプの点滅で表示し，ゲートの制御の状況を把握できるようにした。

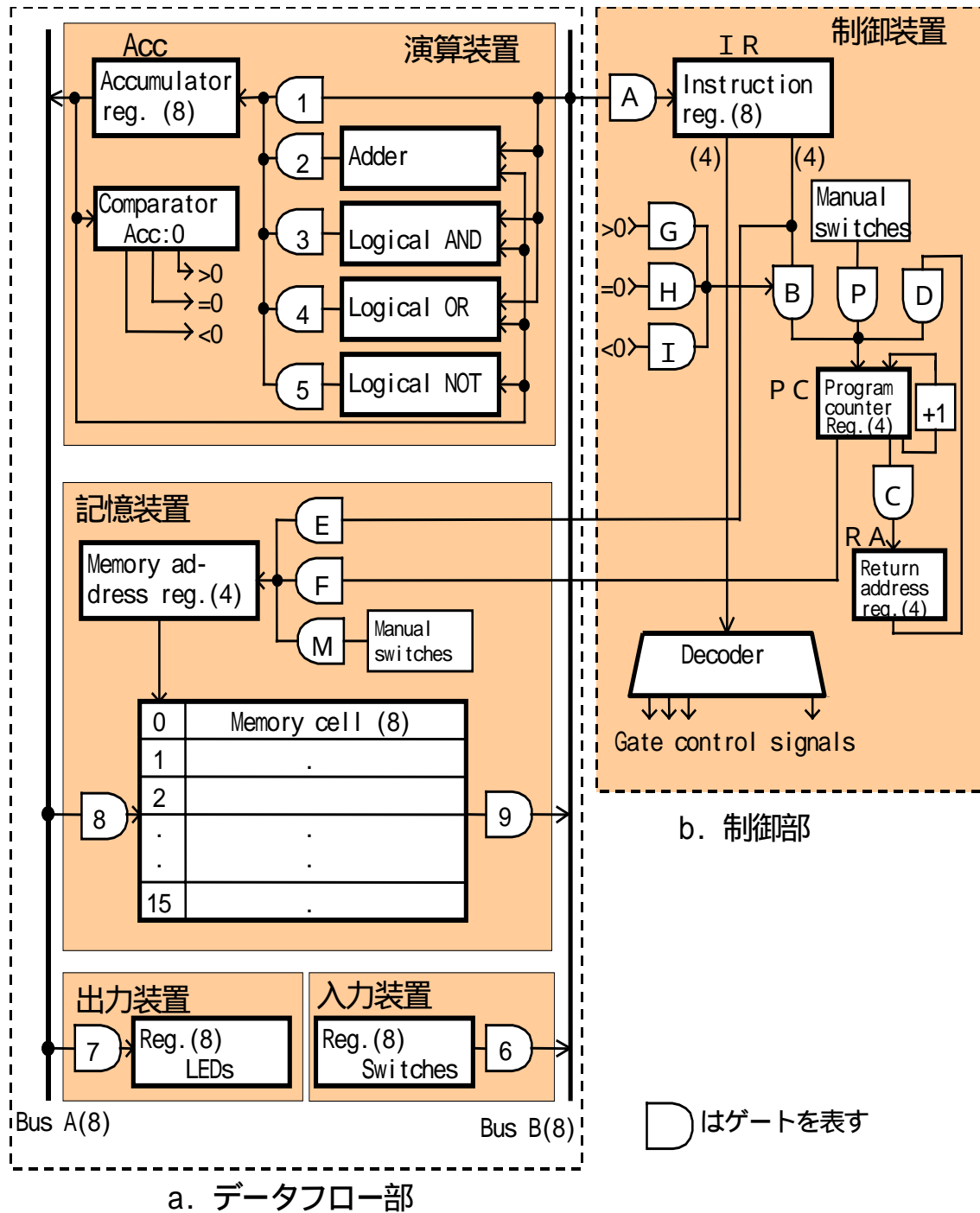


図2-4 EDCOMの構成

表 2-1 EDCOMのゲートの機能

ゲート	ゲートを開いたときに起こるデータの転送
1	バスBに出されているデータを, Aレジスタ(Accumulator reg.)に入れる. (バスB)      Aレジスタ
2	Aレジスタのデータと, バスBに出されているデータを加算した結果を, Aレジスタに入れる. (Aレジスタ) + (バスB)      Aレジスタ
3	Aレジスタのデータと, バスBに出されているデータのAND演算の結果を, Aレジスタに入れる. (Aレジスタ) AND (バスB)      Aレジスタ
4	Aレジスタのデータと, バスBに出されているデータのOR演算の結果を, Aレジスタに入れる. (Aレジスタ) OR (バスB)      Aレジスタ
5	AレジスタのデータのNOT演算の結果を, Aレジスタに入れる. NOT(Aレジスタ)      Aレジスタ
6	入力装置の内容をバスBに出す.
7	Aレジスタの内容を出力装置に入れる.
8	Aレジスタの内容を記憶装置の番地レジスタで指定したセルに入れる.
9	記憶装置の番地レジスタで指定したセルの内容をバスBに出す.
A	バスBの内容を制御装置の命令レジスタ(IR)に入れる.
B	命令レジスタ(IR)の下位4ビットを, プログラムカウンタ(PC)に入れる. 分岐命令に用いる.
C	プログラムカウンタ(PC)の内容を復帰番地レジスタ(RA)に入れる. サブルーチンに分岐するためのスタックとして用いる.
D	復帰番地レジスタ(RA)の内容をプログラムカウンタ(PC)に入れる. サブルーチンから復帰するときに用いる.
E	命令レジスタ(IR)の下位4ビットの内容を記憶装置の番地レジスタに入れる. 命令語の番地指定部で記憶装置のセルを指定するために用いる.
F	プログラムカウンタ(PC)の内容を記憶装置の番地レジスタに入れる. 命令の取り出し番地の指定を行うときに用いる.
G	Aレジスタの内容が正数のとき, ゲートGを開くとゲートBが開かれる. 条件分岐の命令に用いる.
H	Aレジスタの内容が0のとき, ゲートHを開くとゲートBが開かれる. 条件分岐の命令に用いる.
I	Aレジスタの内容が負数のとき, ゲートIを開くとゲートBが開かれる. 条件分岐の命令に用いる.
M	マニュアルスイッチの設定値を記憶装置の番地レジスタに入れる.
P	マニュアルスイッチの設定値をプログラムカウンタ(PC)に入れる.

表 2-2 EDCOMの機械語の命令,ゲートの操作手順,  
及びアセンブラ語の命令の対応

機械語の形式 8 7 6 5 4 3 2 1	ゲートの 操作手順	アセンブラ語の命令の表記 ( ) 内に命令の意味を示す
0 0 0 1 x x x x	E 9 1	LOAD X ( [記憶装置のX番地] Aレジスタ )
0 0 1 0 x x x x	E 8	ST X ( [Aレジスタ] 記憶装置 )
0 0 1 1 x x x x	E 9 2	ADD X ( [Aレジスタ] + [記憶装置] Aレジスタ )
0 1 0 0 x x x x	E 9 3	AND X ( [Aレジスタ] AND [記憶装置] Aレジスタ )
0 1 0 1 x x x x	E 9 4	OR X ( [Aレジスタ] OR [記憶装置] Aレジスタ )
0 1 1 0 0 0 0 0	5	NOT 0 ( [Aレジスタ]の否定 Aレジスタ )
0 1 1 1 0 0 0 0	6 1	IN 0 ( [入力装置] Aレジスタ )
1 0 0 0 0 0 0 0	7	OUT 0 ( [Aレジスタ] 出力装置 )
1 0 0 1 x x x x	B	JUMP X ( 無条件に指定番地に分岐 )
1 0 1 0 x x x x	H	IF 0 J X ( [Aレジスタ]が0なら指定番地に分岐 )
1 0 1 1 x x x x	G	IF + J X ( [Aレジスタ]が正なら指定番地に分岐 )
1 1 0 0 x x x x	I	IF - J X ( [Aレジスタ]が負なら指定番地に分岐 )
1 1 0 1 x x x x	C B	SUB X ( 指定番地のワルチンに分岐 )
1 1 1 0 0 0 0 0	D	RET 0 (ワルチンから戻る)
1 1 1 1 x x x x		USER 0 (学習者の演習用)
0 0 0 0 0 0 0 0	0	HALT 0 (停止する)

大文字の X, Y, Z は 16 進数を表し, 小文字の x, y, z は 2 進数を表す。

x x x x, X: 演算のためのデータが入っている記憶装置の番地, または  
分岐命令の分岐先の番地を指定する。

### 2.3.2 バスとゲート

バスは、1) 演算装置から記憶、出力装置へのデータ転送のためのバスA、2) 入力、記憶装置から演算、制御装置へのデータや命令の転送のためのバスB、及び3) 制御装置から記憶装置の記憶番地レジスタへのバスの3種を設けた。

以上のように用途別にバスを設けて、初心者がマイクロ操作モードでデータ転送を行う際に、バス上でデータの衝突を起こさないように配慮した。

各要素の出入口に設けたゲートは、マイクロ操作モードと自動実行モードを実現するため、図2-5に示す構成にした。これは、マイクロ操作モードでは、ゲート制御用のスイッチを設けて手動操作でゲートを開閉できるようにしたものである。一方、自動実行モードでは、制御装置の命令デコーダからの制御信号を学習者が任意のゲートの制御信号接続用コネクタに接続して、ゲートを自動開閉できる構造にした。

EDCOMの各ゲートの機能を、表2-1に示す。

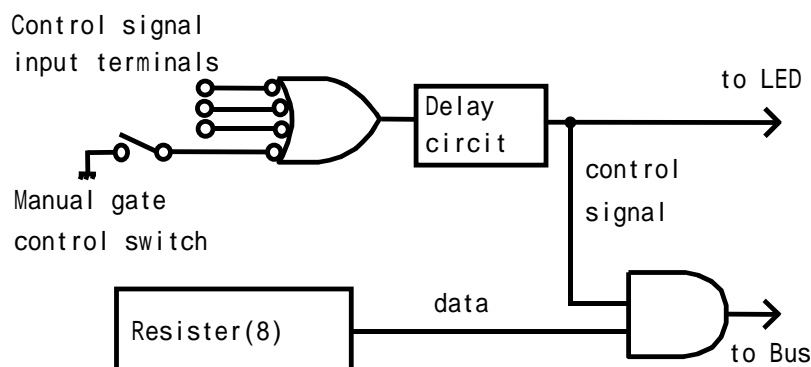


図 2-5 ゲートの構成

以上のような機能を持つゲ - トの回路では，ゲ - ト制御用のスイッチのチャタリングによる誤動作，及び制御装置のデコーダから約7 mの距離を単線状態で送られてくる制御信号へのノイズ混入による誤動作の発生がみられた。このため，前者についてはチャタリング防止のための遅延回路を，後者についてはデコ - ダを制御装置の表示パネル内に置いて配線の距離を短くする等の改善をほどこし，安定した動作が得られるようにした。

### 2.3.3 演算装置

演算装置のサブパネルは，記憶箱と演算箱で構成した。記憶箱としては，8ビットのアクュームレータレジスタ（Aレジスタ，Acc）を設けた。演算箱としては，加算器，論理積，論理和，否定，比較器を設けた。比較器はAレジスタの内容と0との比較を行ない，結果は制御装置に送られて条件分岐命令が実行された際の分岐条件の信号として用いられる。

これらの演算箱は，目標として設定した基本的な論理演算，及び四則演算を実行するための必要最低限の構成とした。

### 2.3.4 記憶装置

記憶装置のサブパネルは，記憶箱に相当する1語8ビットで16語のメモリセルと，その番地を指定するメモリ番地レジスタから構成した。

### 2.3.5 入力・出力装置

記憶箱に相当する入力・出力装置は，基本的なデ - タ表現であるビット単位でのデ - タの入出力機能を持たせ，それぞれ8ビットのトグルスイッチ，及び表示ランプで構成した。

### 2.3.6 制御装置

制御装置は，記憶箱の機能を持つ命令レジスタ，記憶箱と演算箱の機能を持つ

プログラムカウンタ，及び演算箱の機能を持つ命令デコーダから構成した。

自動実行モードでは，記憶装置から取り出された命令に従って命令デコーダからゲート制御用の信号が出される。一方，マイクロ操作モードでは，当然のことながら命令デコーダからの信号を出さない休止状態となる。

EDCOMは，任意のゲートを手動，又は命令デコーダからの信号で直接制御できるようにしたことで，マイクロプログラム制御方式のコンピュータの教具としても柔軟に対応することができる。すなわち，記憶要素を制御記憶と考え，そこから取り出したマイクロ命令を制御装置で解釈した制御信号によって，任意のゲートを直接制御できる。

### 2.3.7 命令型式

自動実行モードでは，前述のようにデコーダの制御信号を任意のゲートへコネクタを用いて結線して機械語を定義できる。

表 2-3 基本的な論理演算，四則演算のプログラムの所要記憶容量

演算	内容	所要記憶容量(バイト)		
		命令	データ	合計
論理和	a b c	4	3	7
論理積	a b c	4	3	7
否定	not a c	4	2	6
加算	d + e f	4	3	7
減算	d - e f	6	4	10
乗算	d * g f	11	5	16
除算	g / h f	12	4	16

a, b, c : 8ビットのデータ

d, e, f : -128以上, +127以下の整数データ

g, h : 0以上, +127以下の整数データ

ただし, hはAレジスタにあるものとする。

このため、EDCOMは定まった機械語命令を持たないが、表2-2に転送、演算、分岐等の16種類の基本的な命令を定義した例を示す。命令は、4ビットの命令部と4ビットのオペランド部から構成した。これらの命令は、基本的な論理演算や四則演算のプログラミングを指導するための最小限必要な命令から用意した。

表2-3は、表2-2で定義した機械語を用いて作成した基本的な論理演算、及び四則演算のプログラムの所要記憶容量を示す。所要記憶容量は、いずれも16バイト以内である。

## 2.4 EDCOMを用いたコンピュータ教育システム

コンピュータの構成や機能の理解、及び簡単なプログラムの作成を学習目標として、中学校3年次の選択教科としての技術・家庭（通年30時間、毎週1時間）の受講生徒を対象に、表2-4の内容の学習指導を試行した。

さらに、専門学校（衛生福祉大学校）の学生、及び、大学の工学部の学生を対象に、表2-4の指導項目1に対応する学習指導を試行した。指導項目1のうち、c及びdについての指導内容の概要を以下に示す。

### 2.4.1 コンピュータの構成とデータ転送に関する指導

(1) コンピュータを構成する5要素とその機能を指導する。各要素は記憶箱や演算箱に例えられる機能で構成されること、それらの箱の中のデータはゲートを開閉することでバスを經由して他の箱に転送できることを指導する。

(2) マイクロ操作モードで要素間のデータ転送、加算器を用いた加算、及び2の補数を用いた減算を行うためのゲート開閉手順を指導する。この際、図2-4に示したEDCOMのデータフロー部を使用し、学習者がゲートを実際に開閉してデータ転送や演算ができることを確認する。これは、以下のような手順で具体的に指導する。

表2-4 コンピュータ教育の指導内容(中学校3年次生に試行)

指導項目	指導時間	EDCOM 利用
1. コンピュータの概要	小計 6	
a. 生活とコンピュータ	(1)	
b. データと情報, その表現	(1)	
c. コンピュータの構成と機能	(2)	
d. 機械語・アセンブラ語 によるプログラミング	(2)	
2. 論理回路を用いた回路	小計 7	
a. 論理演算と論理回路	(2)	
b. おもちゃの設計と製作	(5)	
3. プログラムの作成と利用	小計 17	
a. アルゴリズムと流れ図	(9)	
b. 高水準言語の文と機械語の関連		
c. 操作(既成のソフトウェアの利用)		
d. 四則演算		
e. ソーティング	(4)	
f. 外部機器の制御	(4)	
合計	(注)30	

(注) 学習内容の定着が不十分な者に対する指導時間を確保するため  
5時間のゆとりを見込んだ。

図2-6は、入力装置から入力したデータと記憶装置の1番地のデータを加算し、結果を出力装置のレジスタに出力するためのマイクロ操作と低水準言語のプログラムの概念的な関係を示している。図2-4との対応のもとにこれを説明すると、まず、ゲート[6]に続いてゲート[1]を開くことで入力装置のデータをAレジスタに転送する。記憶装置の1番地のデータは、手動スイッチ(Manual Switches)に1をセットしておき、ゲートMを開くことでメモリ番地レジスタ(Memory address reg.)に番地を指定し、続いてゲート[9]を開く。

問題： (入力装置) + (1番地) 出力装置  
           2                  3                  5

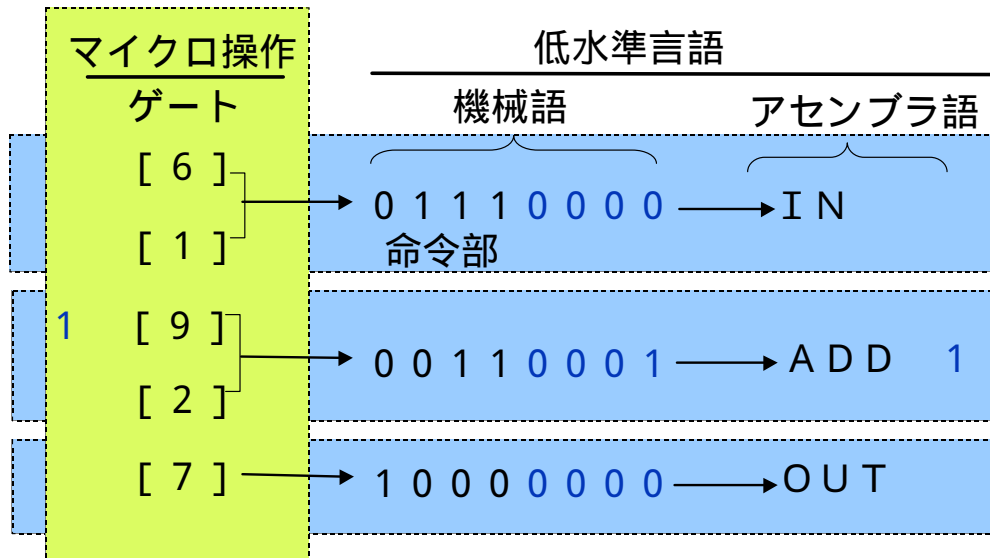


図 2-6 マイクロ操作と高水準言語の命令間の関連

これらの操作で、加算器に被加算値と加算値が入力される。続いて、ゲート[ 2 ]を開くことで加算結果がAレジスタに格納される。次にゲート[ 7 ]を開くことで、Aレジスタの内容はバスBを經由して出力装置のレジスタに格納される。

#### 2.4.2 機械語・アセンブラ語によるプログラミングとその実行

(1) 学習者が手動で行っていたマイクロ操作を、コンピュータ自身に行わせるため、EDCOMを自動実行モードで使用する。このため、あらかじめ定義しておいた機械語・アセンブラ語(表2-2)の機能を実現できるように制御装置の命令デコーダ(decoder)とデタフロー部の各ゲートとを接続する。これは、以下のような手順で指導する。

図2-6に示したマイクロ操作の列は、いくつかのグループに分けることができる。

例えば, [ 6 ] [ 1 ], 1 番地 [ 9 ] [ 2 ], [ 7 ] である。低水準言語では, それぞれ, 入力装置の内容の A レジスタへの転送(01110000, I N), A レジスタとメモリの内容との加算(00110001, A D D 1), A レジスタの内容の出力装置への転送(10000000, O U T)に対応する。そこで, これらのマイクロ操作のまとまりを機械語として定義することで, 機械語の成立ちを指導する。逆に, 機械語の機能を先に定義し, その機能を実現するためのマイクロ操作の列を作り上げることも, 制御信号を任意のゲートに接続できる E D C O M では可能になる。

( 2 ) ゲートの開閉手順との対応を考慮しつつデータ転送, 加算, 減算の機械語・アセンブラ語によるプログラムを作成し, E D C O M 上で実行する。

高水準言語のプログラムとの関連については, 図2-6に示したほど単純なものではないが, 機械語・アセンブラ語の複数ステップの命令が高水準言語の一文として表現されていることを解説する。

## 2.5 マイクロ操作の水準での学習の効果

E D C O M を用いたコンピュータに関する教育の試行を, 中学校の生徒, 専門学校及び学部学生の延べ307名を対象に実施した。その結果から, マイクロ操作の水準での学習の機械語・アセンブラ語によるプログラミングへの効果, E D C O M を教具として使用した実習の効果, 学習者の学齢による効果の差異について考察する。

### 2.5.1 評価の条件と結果

表2-5に, 評価の条件と被験者について示す。

表2-6に, 使用した評価問題を示す。本試行では, マイクロ操作の水準での学習の効果に要因を限定する目的で, データ転送, 加算, 及び減算の基礎的な問題を評価問題とした。

問題 1 から 3 は, 表2-4の指導項目 1 - c のコンピュータの構成と機能の学習を終了して 1 週間を経過した時点で, マイクロ操作によるデータの転送, 加算, 減

算を行うためのゲ - トの開閉手順を評価した問題である。問題 1 では、デ - タの転送源と転送先の関係、及び A レジスタの一時記憶機能についての理解を評価する。問題 2 では、記憶装置の機能の理解と、演算器としての加算器の選択、及び、A レジスタの累算機能の理解を評価する。問 3 は、加算器と否定を用いて 2 の補数による減算を行うことで、演算器を組み合わせた演算方法の理解を評価する。

問題 4、及び 5 は、表 2-4 の指導項目 1 - d を終了後 1 週間を経過した時点で、問題 2 及び 3 に対応した機械語・アセンブラ語によるプログラミングの理解について評価した問題である。

表 2-7、2-8、及び 2-9 に、各実験における回答の正誤の度数とその割合、及び群間に差が無いことを仮説とした  $\chi^2$  による検定 ( 5 % の有意水準、自由度 1、 $\chi^2 = 3.84$  ) の結果を示す。

なお、学習指導前に問 1 から 5 に示した評価問題を実施した結果、A、B、C、及び D 群についてはいずれの問題についても正答者はなかった。一方、E 群の正答率は、問 1 は 17.9% ( 15/84 )、問 2 は 2.4% ( 2/84 )、問 3 は 0%、問 4 は 21.6% ( 16/74 )、及び問 5 は 13.5% ( 10/74 ) であった。

表 2-5 評価の条件と被験者

実験群名		A 群	B 群	C 群	D 群	E 群
マイクロ操作による学習		有り	無し	有り	有り	有り
E D C O M の利用		有り	無し	無し	有り	有り
被 験 者	学校種別	衛生福祉大学校			中学校	工学部
	学年 (学齢)	2 年生 ( 1 4 )			3 年生 ( 9 )	2 年生 ( 1 4 )
	延べ人数	5 7	3 8	4 0	8 8	8 4

表 2-6 マイクロ操作，機械語・アセンブラ語によるプログラミングの評価問題

問題・項目	問題
1．マイクロ操作（転送）	入力装置から出力装置へデータを送るためのゲートの開閉手順を書け。
2．マイクロ操作（加算）	記憶装置の2番地の内容と入力装置のデータを加えて，出力装置へ送るためのゲートの開閉手順を書け。
3．マイクロ操作（減算）	記憶装置の2番地の内容を，入力装置のデータから減算して出力装置に表示するためのゲートの開閉手順を書け。ただし，4番地の内容は1とする。
4．機械語・アセンブラ語（加算）	記憶装置の0番地の内容と入力装置の内容を加算し，結果を出力装置に出力する機械語またはアセンブラ語のプログラムを書け。
5．機械語・アセンブラ語（減算）	記憶装置の0番地の内容から入力装置の内容を減算して，結果を出力装置に出力する機械語またはアセンブラ語のプログラムを書け。ただし，2番地の内容は1とする。

表 2-7 マイクロ操作による指導の効果

問題	正誤	B群		有意差	C群		<sup>2</sup> の値
4．機械語・アセンブラ語(加算)	正答	33	86.8 %	なし	34	85.0 %	0.05
	誤答	5	13.2 %		6	15.0 %	
	合計	38			40		
5．機械語・アセンブラ語(減算)	正答	17	44.7 %	なし	25	62.5 %	2.47
	誤答	21	55.3 %		15	37.5 %	
	合計	38			40		

### 2.5.2 マイクロ操作の水準での学習の効果

まず、マイクロ操作の水準での学習を行わなかったB群と、EDCOMは用いないもののマイクロ操作の水準での学習を行ったC群とを比較する。

B群は、まず、OHPでコンピュータの構成や機能を説明した。その後、マイクロ操作の水準での学習は行わずに、機械語・アセンブラ語の命令コードの意味を説明し、四則演算のプログラミングを合計4時間学習させた群である。

C群は、表2-4の1の指導内容を、OHPでEDCOMの概念図(図2-4)を提示しながら、データの流れやゲートの制御については口頭で説明して2時間学習させた。続いて機械語・アセンブラ語のプログラミングを2時間学習させた。

その結果、表2-7に示すように、問題4の機械語・アセンブラ語による加算の正答率ではB、C群は86.5%及び85.0%( $\chi^2 = 0.05$ )とほぼ同様であった。一方、問題5の減算の正答率では、B群は44.7%、C群は62.5%( $\chi^2 = 2.47$ )であったが、5%の有意水準では差が認められなかった。

C群の問題5に関する誤答15件(37.5%)の原因は、2の補数作成時の誤りが4件、メモリの番地指定の誤り2件、1つのレジスタに2つの値を格納しようとした誤り4件、無答が5件であった。さらに、B群の問題5に関する誤答21件(55.3%)の原因は、2の補数作成時の誤りが6件、メモリの番地の指定の誤りが3件、加算命令のオペランドとして定数の1を使用しようとしたものが1件、無答が11件であった。

そこで、B群で問題5が誤答であった者に、理解が困難な理由を質問した。その回答を大別すると、記憶装置の番地とその内容の関連、命令とデータの流れとの関連、命令を組み合わせる順序の理解ができないなどになる。これらのことから機械語・アセンブラ語の命令とデータの流れとの関連が十分把握されていないことに誤答の原因があると考えられる。さらに、問題4では命令を言葉として組み合わせて回答することができたが、問題5では減算の意味が理解できていなかったためプログラムを想起できなかったとの回答もみられた。

表 2-8 EDCOMを使用した効果

問題	正誤	A 群	有意差	C 群	<sup>2</sup> の値
1. マイクロ操作 (転送)	正答	55: 96.5 %	なし	37: 92.5 %	0.77
	誤答	2: 3.5 %		3: 7.5 %	
	合計	57:		40:	
2. マイクロ操作 (加算)	正答	55: 96.5 %	なし	36: 90.0 %	1.71
	誤答	2: 3.5 %		4: 10.0 %	
	合計	57:		40:	
3. マイクロ操作 (減算)	正答	52: 91.2 %	>>	27: 67.5 %	8.76
	誤答	5: 8.8 %		13: 32.5 %	
	合計	57:		40:	
4. 機械語・アセンブラ語 (加算)	正答	55: 96.5 %	>	34: 85.0 %	4.10
	誤答	2: 3.5 %		6: 15.0 %	
	合計	57:		40:	
5. 機械語・アセンブラ語 (減算)	正答	49: 86.0 %	>>	25: 62.5 %	7.15
	誤答	8: 14.0 %		15: 37.5 %	
	合計	57:		40:	

有意差の欄で, >> は 1%水準で有意差あり, > は 5%水準で有意差ありを示す。

表 2-9 学齢による効果の差

問題	正誤	D 群	有意差	E 群	<sup>2</sup> の値
1. マイクロ操作 (転送)	正答	81: 97.6 %	なし	79: 94.0 %	1.30
	誤答	2: 2.4 %		5: 6.0 %	
	合計	83:		84:	
2. マイクロ操作 (加算)	正答	73: 88.0 %	なし	71: 84.5 %	0.41
	誤答	10: 12.0 %		13: 15.5 %	
	合計	83:		84:	
3. マイクロ操作 (減算)	正答	36: 43.4 %	<<	68: 81.0 %	25.10
	誤答	47: 56.6 %		16: 19.0 %	
	合計	83:		84:	
4. 機械語・アセンブラ語 (加算)	正答	69: 78.4 %	なし	65: 87.8 %	2.50
	誤答	19: 21.6 %		9: 12.2 %	
	合計	88:		74:	
5. 機械語・アセンブラ語 (減算)	正答	43: 48.9 %	<<	64: 86.5 %	25.37
	誤答	45: 51.1 %		10: 13.5 %	
	合計	88:		74:	

有意差の欄で, << は 1%水準で有意差ありを示す。

### 2.5.3 EDCOMによる実習の効果

マイクロ操作の水準での学習時に、EDCOMを使用して実習を行ったA群と、EDCOMを使用しなかったC群について学習の効果を比較すると次のようになる。

表2-8に示すように、問3、4、5では、A群の方がC群よりも5%の水準で優位( $t^2=8.76, 4.10, 7.15$ )であった。しかし、問題1と2では、両群とも90%以上の高い正答率を得たため、有意差はみられなかった。

2.6.2に示した問題5に関するC群の誤答の原因の中には、1つのレジスタに二つの値を格納しようとした誤りが含まれている。この誤りは、EDCOMを使用して実習を行ったA群にはみられない誤りであった。さらに、A群の問題5の回答の中には、まずゲート開閉の手順を書き、それを基に機械語・アセンブラ語によるプログラムを書いた回答がみられた。これは、機械語・アセンブラ語の命令を言葉として機械的に組み合わせて使用しているのではなく、その命令とデータ転送との関連を理解して使用していることがうかがえる。すなわち、初心者には煩雑な否定と加算を組み合わせた2の補数による減算の操作とその手順が、EDCOMを用いた実習で鮮明になったものと考えられる。

従って、EDCOMを用いたマイクロ操作による実習に効果があると言える。

### 2.5.4 学習者の学齢による効果

EDCOMを用いたマイクロ操作の水準での実習の効果を、中学3年次の生徒で構成したD群と、大学工学部の2年次学生で構成したE群について比較する。

表2-9に示すように、データの転送や加算の比較的簡単な問題1、2では、D群でもE群とほぼ同等の学習の効果が得られた。しかし、問3および問5の減算の問題については、D群はE群より有意に低い( $t^2=25.0, 25.3$ )正答率となった。

その理由は、減算手順を設定した時間内に理解できた生徒が少なかったことにあると推察する。現行の文部省学習指導要領では、中学校段階で論理演算につい

での指導項目がないため、時間内にその指導を補充する必要があった。このため、減算については、機械的な手順の解説と、代表の生徒によるEDCOMを用いた操作を演示するにとどまり、個々の生徒が有意味な学習を行うには至らなかった。

このため、中学校段階では2の補数による減算の問題を指導するには、より多くの時間をかける必要があると考える。しかし、その時間が確保できない場合、減算についての学習は削除しても、データの転送や加算の学習を通じて機械語・アセンブラ語のプログラミングを理解させることは可能であると考えられる。

一方、E群では、事前テストにおいて問4の正答率が21.6%であり、学習課題をより高くする必要があった。しかし、学習指導後の学生の感想からは、コンピュータのデータの流れやその制御を実感として理解できたとの感想が最も多く得られた。

## 2.6 まとめ

マイクロ操作の水準でのコンピュータのデータの流れや制御機構の学習を支援する目的で、教育用コンピュータEDCOMを製作した。さらに、延べ307名の被検者に対してEDCOMを用いた授業を実施し、実習指導の効果を検証した。

その結果、次のような結果が得られた。

(1) EDCOMを使用してマイクロ操作による実習を行った群の正答率は、EDCOMを使用しなかった群よりも優位なことが分かった。それは、機械語・アセンブラ語による加算や減算の比較的煩雑な問題で顕著であった。

(2) マイクロ操作によるデータの転送や加算、及び機械語・アセンブラ語による加算のような基本的な問題では、中学校3年次の生徒でも工学部の2年次学生と同程度の正答率が得られることが分かった。

以上の点で、EDCOMを用いたマイクロ操作の水準での実習指導に効果があると言える。

## 第3章 マイクロ操作に基づいたコンピュータシミュレータの開発

マイクロ操作の水準でのコンピュータ内のデータの流れの制御，および低水準言語によるプログラミングの実習を支援するため，ソフトウェアによるコンピュータシミュレータを開発した。そして，MOC Sと名付けた。

MOC Sは，既に製作した教育用コンピュータEDCOMとほぼ同様のコンピュータとしての機能を，シミュレータ部で提供する。さらに，教師の個別指導および学習者の個別学習を支援する機能がある。個別指導を支援する機能として，教授部および実習制御部がある。また，個別学習を支援する機能としては，学習情報部や診断・処方部を設けている。

MOC Sの全部または一部とEDCOMを組み合わせ，プログラミングの学習指導を行い，それぞれの学習の効果を比較した。この結果，MOC Sのシミュレータ部に加えて，個別指導を支援するの機能を併用して実習した群，およびEDCOMを併用して実習した群は，減算のプログラミングの問題をはじめ，他の問題についても高い学習効果が得られることが明らかになった。

### 3.1 実習支援の方針

初心者を対象にしたコンピュータ・プログラミングに関する学習指導では，命令の実行によって起こるコンピュータ内のデータの流れやデータの変化，および計算のしくみなどを理解してプログラムを作成する学習指導が重要となる。

この学習指導の支援のため，2章で述べたようにEDCOMを用いて実験授業

を行った結果、マイクロ操作の水準での実習指導を行うことが、機械語・アセンブラ語によるプログラミングの問題に対する正答率を高めるとの結果を得た。この結果に対し、さらに学習指導の効果を向上するためには、シミュレータの機能の改善とともに、系統的な学習情報の提示や実習の流れの強い制御などの個別指導を支援する機能、および学習情報の柔軟な検索や誤答の診断・処方などの個別学習の支援機能などを強化することが望まれた<sup>[48],[49]</sup>。このため、ソフトウェアによるシミュレータを検討した。

ソフトウェアによるシミュレータの研究には、機械語レベルのプログラミング教育用のシミュレータの開発<sup>[26]</sup>や、デジタルICレベルでコンピュータの動作を理解させるためのシミュレータの開発<sup>[24]</sup>などがある。また、シミュレータ上でマイクロプログラムを作成させ、コンピュータの動作を学習させる報告もある<sup>[25],[39]</sup>。しかし、これらはいずれもコンピュータ内のデータの表示や命令の実行過程の追跡など、シミュレータとしての機能に重点をおいて作成されたソフトウェアである。このため要望されている上述の個別学習・指導の支援についての機能の強化はなされていない。

一方、学習者の疑問に柔軟に答えるために、文章中のキーワードを次々にたどる機能を持つハイパーテキスト<sup>[50]</sup>の研究や、学習上の誤りを検出する機能を持つプロダクションシステム<sup>[51]</sup>の研究がある。これらは個別学習を支援する機能としての有効性が期待できる。

このような背景から、シミュレータとしての機能に重点を置いたソフトウェアに対して、本研究ではシミュレータとしての機能に個別指導と、個別学習を支援する機能を付加したソフトウェアが、マイクロ操作に基づくプログラミングの学習の効果を向上させるとの仮説を設定し、この構想に基づいたソフトウェアMOC Sを開発した。

本章では、まずMOC Sの基本構想と構成や機能を述べる。次に、MOC Sの機能の全部または一部を使用した実験授業、およびEDCOMを併用した実験授業を行った結果から、MOC Sの効果を定量的、定性的に評価した結果を述べる。

表 3-1 学習の内容の概要

学習項目	修得内容	指導時間
1. コンピュータの構成としくみの概要	a. コンピュータの構成と機能5要素（入力,出力,記憶,演算,制御）の機能 コンピュータとの対応,バス,ゲート b. コンピュータ内のデータの流れ,データの入力,ゲートの制御,データの転送,加算の操作への導入	4
2. マイクロ操作による簡単なデータの演算	a. データの表現と入力,2進数,10進数,16進数,文字コード b. マイクロ操作に基づいた演算,データの転送,加算,補数,減算等のマイクロ操作	
3. 機械語・アセンブラ語のプログラミング	a. 機械語・アセンブラ語の機能命令,マイクロ操作との対応,機械語・アセンブラ語,プログラム b. プログラムの作成 データ転送,加算,減算,命令の実行	
4. 命令の構成	a. 制御機構のしくみ 命令の取り出し,解読,実行,マイクロ操作 b. マイクロプログラムの作成	1

## 3.2 基本構想

### 3.2.1 学習指導の目標と方法

学習指導の目標は、初心者が低水準言語を用いてデータの転送、加算、減算などの簡単なプログラムを作成できることとする。

本システムでは、第2章で述べたように、コンピュータの命令の機能が構成要素間のデータ転送を制御するものであることに着目し、命令の機能をゲートの直接制御（マイクロ操作<sup>[14]</sup>）を念頭にあらかじめ学習させ、この学習を前提としてプログラミングに関する学習指導の効果の向上を図る指導方法をとる。

表3-1に、以上を達成するための学習項目を示す。項目4については、情報工学系の学部学生の導入指導に用いることを前提としている。

### 3.2.2 シミュレーションの支援機能

本シミュレータでは、マイクロ操作や機械語・アセンブラ語のプログラム及びマイクロプログラムの作成・実行を支援するための実習環境を提供する。さらに、シミュレーションの途中経過や実行結果を、初心者にも容易に把握させるための静的・動的な表示方法を工夫する。

本システムではこれら対処する機能をシミュレータ部で提供する。

### 3.2.3 個別指導の支援機能

次のような教師主導型の個別指導を支援する機能を提供する。

a．異なるレディネスや学習進度を持つ初心者に対して、実習に先だってコンピュータに関する基礎的な学習情報を系統的に提示する機能。

b．限られた時間内で学習目標を達成させるため、実習課題の提示、実習の状況の監視、実習結果の判定など、実習の流れの強い制御を伴う指導を支援する機能。

本システムではこれらを a に対しては教授部で、b に対しては実習制御部で提供する。

### 3.2.4 個別学習の支援機能

次のような学習者主体の個別学習を支援する機能を提供する。

a．学習者が疑問を持ったとき、主体的に学習情報を検索できる機能。

b．実習時に、学習者の誤操作によるエラーに対して、適切な助言を与える機能。

本システムでは、これらを a に対して学習情報部で、b に対して診断・処方部で提供する。

### 3.3 システムの構成

図 3-1 にMOCSの構成とEDCOMとの関連を示す。

#### 3.3.1 シミュレータ部

シミュレータ部はマイクロ操作，自動実行，マイクロプログラミングモードからなる。

##### (1) マイクロ操作モード

コンピュータの各要素（装置）とバス間に設けたゲートを，手動で開閉操作できるモードである。ゲートを開くことで，データのある記憶箱から次の記憶箱へ転送していくことができる。このモードでは，データの転送，四則演算などを実行できる。図3-2に，MOCSのデータフロー部を示す。

例えば，入力装置内の記憶箱のデータは，ゲートを

6      1      7

の順で開くマイクロ操作により，出力装置に転送できる。

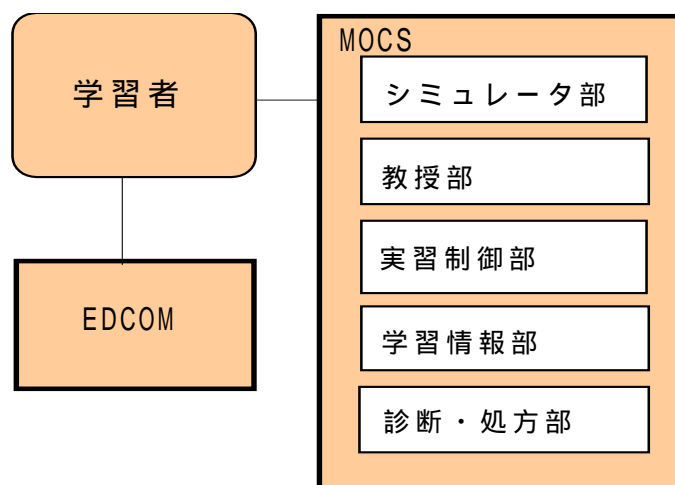


図 3-1 MOCSの構成とEDCOMとの関連

(2) 自動実行モード

機械語・アセンブラ語のプログラムを自動実行し、実行の過程を表示するモードである。表3-2に、MOCSの命令形式と各命令を実現するためのゲートの開閉手順との対応を示す。これらの命令の機能は、表2-2のハードウェアによるコンピュータシミュレータEDCOMで定義した命令の機能と共通化し、両者を併用した実習を円滑に行えるように配慮した。

(3) マイクロプログラミングモード

表3-2に定義した各命令の機能を実現するためのマイクロ操作(ゲートの開閉手順の欄)を、学習者が再定義できるモードである。

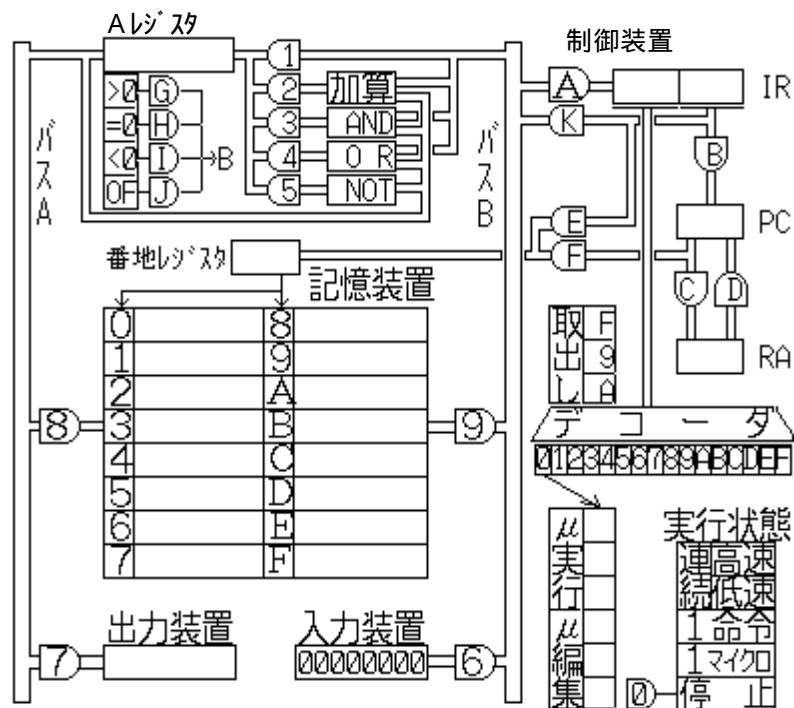


図3-2 MOCSのシミュレータ部のデータフロー

表 3-2 機械語の命令とゲート開閉,及びアセンブラ語の命令の対応

機械語の形式 (8bits)	ゲートの 開閉手順	アセンブラ語での表記	
0 0 0 1 x x x x	E 9 1	LOAD	X
0 0 1 0 x x x x	E 8	STORE	X
0 0 1 1 x x x x	E 9 2	ADD	X
0 1 0 0 x x x x	E 9 3	AND	X
0 1 0 1 x x x x	E 9 4	OR	X
0 1 1 0 0 0 0 0	5	NOT	0
0 1 1 1 0 0 0 0	6 1	IN	0
1 0 0 0 0 0 0 0	7	OUT	0
1 0 0 1 y y y y	B	JUMP	Y
1 0 1 0 y y y y	H	IF Acc = 0	Y
1 0 1 1 y y y y	G	IF Acc > 0	Y
1 1 0 0 y y y y	I	IF Acc < 0	Y
1 1 0 1 y y y y	C B	GOSUB	Y
1 1 1 0 0 0 0 0	D	RETURN	0
1 1 1 1 x x x x	未定義	USER	X
0 0 0 0 0 0 0 0	0	HALT	0

$x x x x_2$ ,  $y y y y_2$ ,  $X_{16}$ ,  $Y_{16}$  は, 記憶装置の番地を示す。  
Acc は A レジスタを示す。

以上の3つのモードにおいて, ソフトウェアによるMOC Sで可能となった, 学習者とのインタフェイスの改善の要点を以下に示す。

(a) 表示について

- ・データの転送源, 転送先を明確に表現するため, バス上のデータの流れを動的に表示する。
- ・問題の解決に適したデータの表現や, 記憶箱の内容のデータ/命令の区別を

容易にするため、各記憶箱ごとに内容を2進法、10進法、16進法、文字、アセンブラ語等の中から選択して表示できる。

(b) 入力・操作について

- ・データの入力操作を容易にするため、記憶箱のデータもオーバーラップウィンドウ上で入力・修正する。
- ・マイクロ操作モードでは、ゲートの開閉操作に実感を持たせるため、各ゲートは画面上のゲートの位置をマウスで指定することによって開く。

(c) プログラム作成について

- ・自動実行モードでは、機械語とアセンブラ語の対応の把握を容易にするため、記憶箱の内容を機械語(2進法)とアセンブラ語の記号表現で相互に切り換えることができる。
- ・マイクロプログラミングモードでは、命令の機能を実現するために開くべきゲートの位置を、マウスを用いて順次指定していく方法をとる。これにより、編集作業を容易にする。

(d) 実行について

- ・各記憶箱のデータに未定義/定義、データ/命令を区別するためのタグを付加し、未定義の記憶箱からの読み出しや、命令ではないデータの命令としての実行に警告を出す。
- ・実行時には、制御装置のデコーダから被制御ゲートへ制御信号が出されていることを示す線を表示する。これにより、機械語の命令とその命令で開かれるゲートの対応の追跡を容易にする。

### 3.3.2 教授部

教授部は、解説モードと実習導入モードからなる。

解説モードでは、コンピュータに関して初心者の学習段階を念頭に置き、コンピュータの5要素に着目した構成や計算のしくみを系統的に説明する。説明内容は学習情報部から提供されるテキストと画像を、オーバーラップウィンドウ形式

で提示する。テキスト中のキーワードについてさらに学習情報部に問い合わせることができる。画像として、コンピュータの構成要素や機器の各部の写真を提示し、初心者理解を助ける。

実習導入モードでは、シミュレータ部による学習への導入のため、データ入力や転送・加算の演算のための基本的なマイクロ操作の方法を紹介し、演習させる。

### 3.3.3 実習制御部

実習制御部は、教師が行う実習指導を補助する機能を持つ。

#### (1) 学習課題の提示と基本操作の指示

実習制御部は、まず、マイクロ操作やプログラムの作成に関するデータ転送、加算、または減算等の基礎的な実習課題を提示する。学習者が選択した問題に応じて、演算の対象となるデータを生成してシミュレータ部のレジスタや記憶装置にセットする。一方、学習者は作成したプログラムを、実習制御部から出される指示に従って記憶装置にセットし、実行に備える（自動実行モード時）。

#### (2) 相互作用の監視

実習制御部は、学習者が実行する操作を監視し、事後の評価に備えて記録する（マイクロ操作モード時）。なお、実行中のエラーについては、診断・処方部が対処する。

#### (3) 実行結果の評価

実行過程と実行結果の2つの観点で評価し、学習者に提示する。

##### a. 実行過程の評価

実行したマイクロ操作の手順や、プログラムを構成する命令の内容と順序が最適であるかを評価する。具体的には、最適なマイクロ操作（またはプログラム）と学習者の実行した操作（またはプログラム）とを比較し、一致していないところがあれば、その場所を指摘する。

このためのマイクロ操作の正誤判定処理については、後述3.4で詳述する。

##### b. 実行結果の評価

レジスタやメモリに実行結果として期待される値が格納されたかを評価する。  
 以上により、学習者は実行結果の正誤について即時フィードバックを得ることができる。また、最適な結果を得るまで個別に試行を繰り返すことができる。

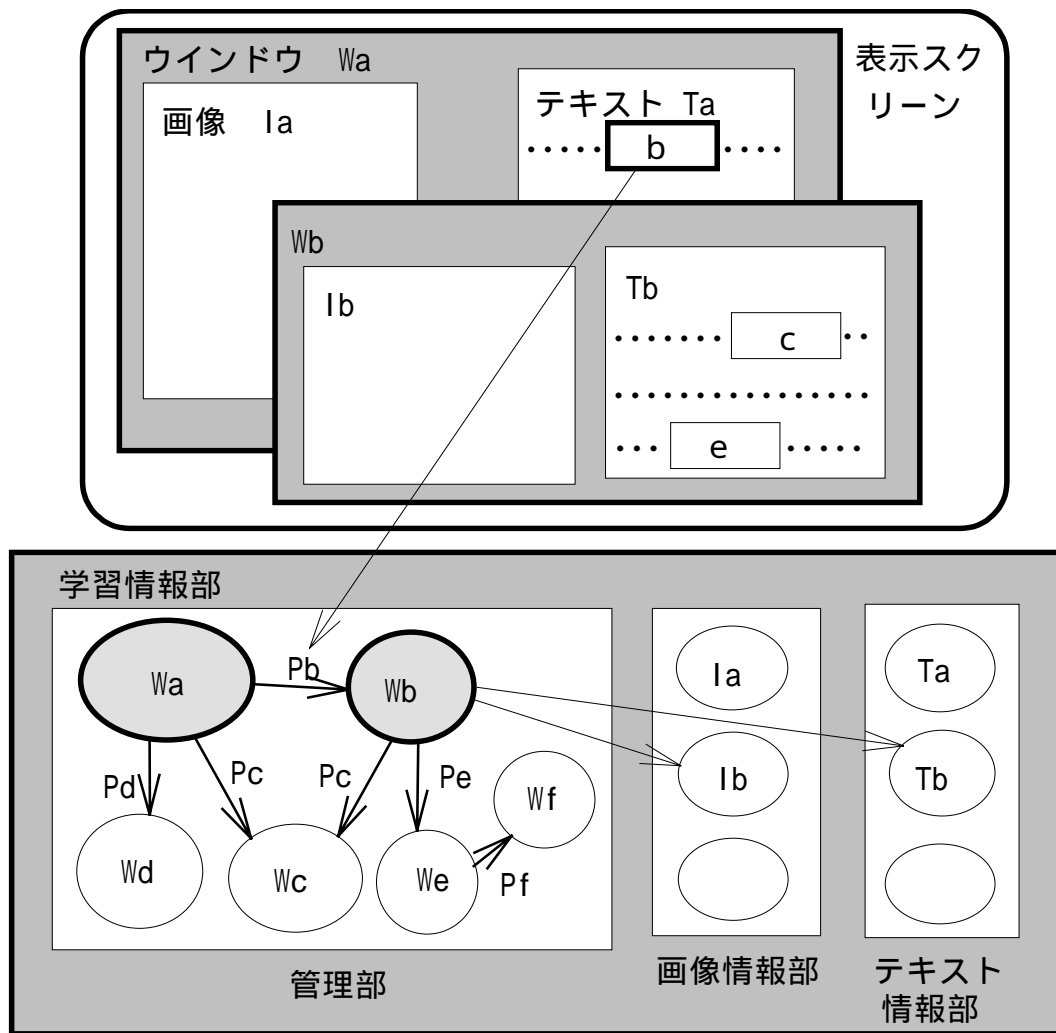


図 3-3 スクリーン上のウィンドウと学習情報部の関連

### 3.3.4 学習情報部

学習情報部は、ハイパーテキスト<sup>[50]</sup>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。さらに、学習情報中の疑問点に柔軟に答える。具体的には、以下のような機能により学習者の主体的な学習活動に対処した。

a. 提示した学習情報の中のキーワードについて、さらに説明を必要とする学習者には、より詳細な情報を検索し提示する。

b. オーバーラップウィンドウを用いて複数の学習情報を表示し、学習情報間の参照を容易にする。

以上のような基本的な機能に加えて、

c. 文章とともに画像情報を提示する。

d. 学習者がどのレベルの学習情報を見ているかを知らせる。また、あるキーワードについての参照を1つ先へたどったり1つもどる基本機能に加えて、参照を開始した状態へ直接もどる機能を付加する。

図3-3に学習情報部と表示ウィンドウの関連を示す。ウィンドウWa上でテキストTa中のキーワードbに関するより詳細な情報は、ポインタPbをたどってウィンドウWbにより表示される。この際、Wa上の環境は、スタックに退避される。さらに、関連する学習情報をWe、Wfとたどっていくことができる。

### 3.3.5 診断・処方部

表3-3に、EDCOMおよび本ソフトウェアの使用中に起こった主なエラーの原因と、診断・処方部がない場合に学習者に与えていた従来のエラーメッセージを示す。

これらの原因には、

そのマイクロ操作や命令の機能を知らない。

そのマイクロ操作や命令の機能を誤解している。および

誤りを知りながら意図的にその操作をした等がある。

表 3-3 マイクロ操作モードでの主なエラーの原因とメッセージの例

主なエラーの原因	従来のエラーメッセージ
a. 入力レジスタが未定義の状態です。ゲート6を開こうとした。	入力レジスタにデータがありません。
b. バスB上にデータがないときにゲート1~4を開こうとした	バスBにデータが出されていません。
c. 指定されたメモリが未定義時にゲート9を開こうとした	指定されたメモリにデータがありません。
d. メモリの番地を指定せずにゲート9を開こうとした。	メモリの番地が指定されていません。
e. Aレジスタが未定義の時にゲート7または8を開こうとした。	バスAにデータがありません。
f. ゲート9が開かれているときにゲート6を開こうとした。	バスBにデータを2つ出しました。
g. ゲート6が開かれているときにゲート9を開こうとした。	バスBにデータを2つ出しました。

これらの内でも、`gate6` については、表 3-3 のエラーメッセージの欄に示す表層的な助言では、初心者の理解を十分に助けることは難しい。エラーの背景となっている知識の不足や、誤解の原因を診断し、正しい理解に導く必要がある。そこで、本システムではプロダクションシステム<sup>[51]</sup>の機能を適用したエラーの診断・処方機能により、以上の課題に対処した。

図3-4に学習者、シミュレータ部、および診断・処方部の関連を示す。本システムでは、あらかじめエラーの種類ごとに規則集合 (`#1, #2, …, #n`) を用意しておく。表3-4に規則集合の一例を示す。

規則は、

`if (条件部) then (実行部)`

の形式をとる。G 6 や G 9 などは，ゲート 6 や 9 を開いたときに発生したエラーに適用できることを示す。

一方，学習者が行うゲートの開閉操作は，作業領域に逐次記録されていく。シミュレータ部でエラーが発生すると，診断・処方部はエラーの種類に対応する規則集合（#m）を取り出す。さらに作業領域に記録されている最近のゲートの開閉操作を参照して適用できる規則を選択し，質問・応答形式で誤操作の原因の診断とその処方を行う。

規則は，条件部がすべて成り立つ規則，条件部が一部成り立つ規則，質問開始時に使用できる規則の順に実行される。図3-5に，表3-3の f によるエラーに対して，表3-4の規則集合を適用した診断・処方の例を示す。

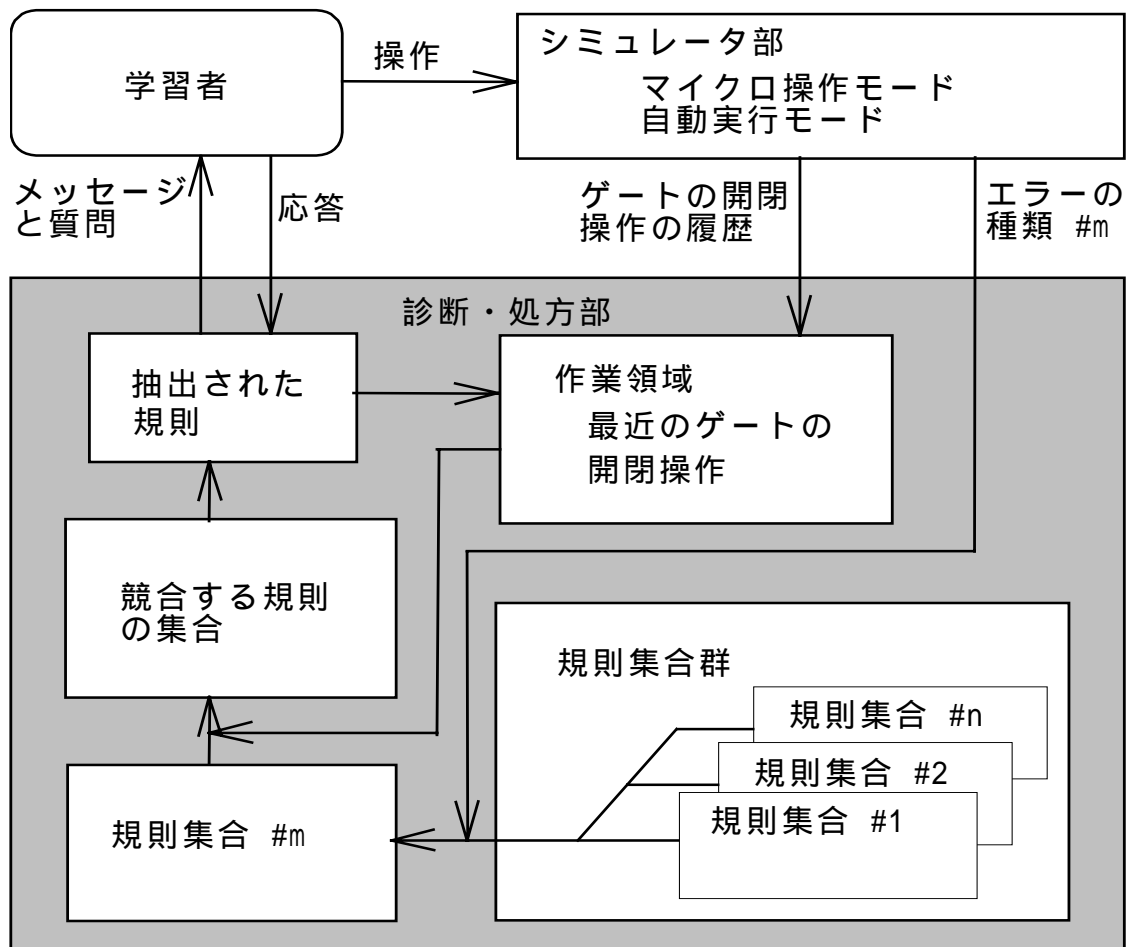


図 3-4 診断・処方部とシミュレータ部の関連

表 3-4 プロダクションルールの例

番号	規 則
1	if (G6 and データを記憶装置からではなく入力装置からバスBに出すように変更したのか?) then (データを入力装置からバスBに出すように変更します。)
2	if (G9 and データを入力装置からではなく記憶装置からバスBに出すように変更したのか?) then (データを記憶装置からバスBに出すように変更します。)
3	if (バスBに入力装置と記憶装置のデータを同時に送ろうとしたのか?) then (バスBに二つのデータを同時に送ることはできません。)
4	if (入力装置と記憶装置のデータを加算しようとしたのか?) then (入力装置と記憶装置のデータを、バスB上で加算しようとしたのですね。)
5	if (不用意にゲートを操作してしまったのか?) then (もう一度ゲート [ 9 ] を開いてください。)
6	if (ゲートの操作方法が分からないのか?) then (操作方法がよく分からないのですね。)
7	if (入力装置と記憶装置のデータを、バスB上で加算しようとしたのですね。 and データの加算の方法が分からないのか?) then (データの加算は、まずAレジスタに一方のデータを入れておきます。次にもう一方のデータをバスBに出し、加算器のゲート [ 2 ] を開きます。)
8	if (操作方法がよく分からないのですね。) then (教授部の説明モードの、1 . コンピュータのしくみを参照してください。)

```

System : データを記憶装置からではなく、入力装置
        からバスBに出すように変更したのか?
Learner : n o
System : バスBに入力装置のデータと記憶装置のデ
        ータを同時に送ろうとしたのか?
Learner : n o
System : 入力装置と記憶装置のデータを加算しよう
        としたのか?
Learner : y e s
System : 入力装置と記憶装置のデータをバスB上で
        加算しようとしたのですね。
System : データの加算の方法がわからないのか?
Learner : y e s
System : データの加算は、まず、Aレジスタに一方
        のデータをいれておきます。次に、もう一
        方のデータをバスBに出し、加算器のゲ
        ート [ 2 ] を開きます。

```

図 3-5 プロダクションシステムと学習者との質疑応答の例

## 3.4 マイクロ操作に関する解答文の正誤判定方法の検討

### 3.4.1 目的

本シミュレータの開発にあたって、マイクロ操作の手順に関する学習者の解答の正誤判定を行う必要があった。解答を、多岐選択式や二者択一式で解答させると、回答者が用意された正答文から正答を連想したり、解答者の自由な表現をさまたげることがある。そこで、自由記述式の解答方法について検討した。

一方、開発した学習指導システムの効果を検証するためには、中学校や高等学校で実験授業を行う必要があった。このため、これらの学校に一般に導入されているパーソナルコンピュータシステム上で、処理を実現することを前提にした。

これまで、漢字仮名混じり日本文の構文解析や意味・文脈の解釈に関する多くの研究が行われてきた<sup>[16]</sup>。これらの処理をコンピュータで行うには、人工知能の技法をはじめとする種々の解析アルゴリズムや、辞書データ、統計データ等が必要であるとされている。しかし、パーソナルコンピュータシステムを用いて自由記述解答文の正誤判定を行わせるには、処理のために要する負荷が大きくなり、本来の学習指導の流れを滞らせることが予想できた。このため、実用的な処理の方策が望まれた。

そこでここでは、問題や回答の方法を限定した場合には、キーワードの有無や、順序を加味したコンピュータによる正誤判定処理でも、教師による判定処理と高い一致が得られるとの仮説を設定し、その検証を行った。

このようなキーワードに着目した研究では、記述式答案の中の単語を取り出し、それらを階層構造化した樹形図を作成して、個々の学習者の解答を分析する試みがなされた報告がある<sup>[52]</sup>。小型のコンピュータを用いた自由記述回答文の判定では、解答文中のキーワードの有無とその関連によって正誤判定の処理をすることで、教師の判定結果との一致率を向上したことが報告されている<sup>[53],[54],[55],[56]</sup>。

### 3.4.2 正誤判定の過程

図 3-6 に、自由記述解答文の正誤判定の過程について示す。

まず、解答者からの正答文を予想し、その中からキーワードと思われる単語を抜き出し、それらの関連を式（判定式と呼ぶ）に表す。この式に従って自由記述解答文の正誤判定の処理を行う。解答者が解答文を入力すると、コンピュータは記憶している正答式中の単語が解答文中に含まれているか否かを判定し、次に正答式にそって演算を実行する。そして、判定結果を表示する。

これらの処理過程について以下に例をあげて説明する。

「蛍光灯の安定器の働きについて2つのべよ。（1つにつきカナ25文字以内）」という問題に対する正答文を予想する。次に文中のキーワードを抜き出す。

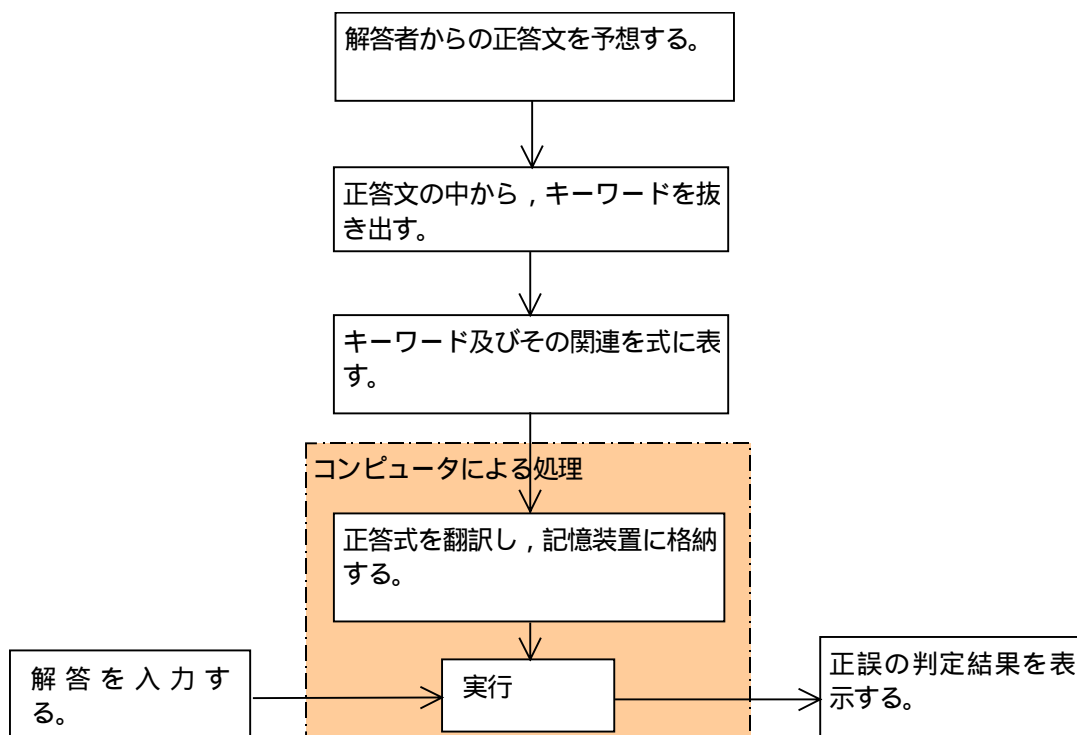


図 3-6 解答文の正誤判定の過程

これらの関連をまとめると図 3-7 のようになる。図 3-7 で、 と をつなく線は AND を示し、 - , - - , - の組み合わせのいずれか 1 つが解答文中にあれば正解とする。また、 の中の単語が複数個のとき、その内いずれか 1 つが在れば(OR)その を正解とする。

そこで、AND を”&”，OR を”|”で表して、図 3-7 の電圧に関する正答を判定式 c で表すと、次のように表現できる。

$C = \text{デンアツ} \ \& \ (\text{オオキ} \ | \ \text{タカ} \ | \ \text{コウ} \ | \ (\text{アンテイ} \ | \ \text{チョウセツ} \ | \ \text{イッテイ})) \ \& \ (\text{ケイコウ} \ | \ \text{ハウデン}) \dots\dots\dots(1)$

C には、判定結果が格納される。

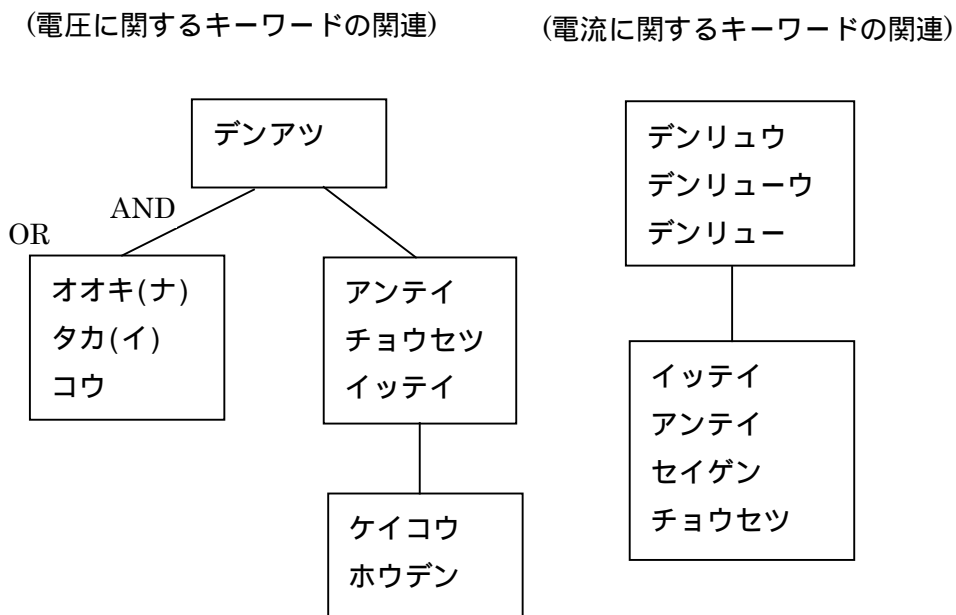


図 3-7 蛍光灯の安定器の働きについてのキーワードの関連

式(1)を、あらかじめコンピュータに入力しておき、正誤判定が可能な状態に処理しておく。コンピュータは、解答文が入力されると、式(1)中のキーワードが含まれているか否かを判定する。含まれている場合は”1”、含まれていない場合は”0”として式(1)を書きかえる。解答文が「ケイコウトウ ニ カカル デンアツ ヲ アンテイサセル」の場合、式(1)は、次のようになる。

$$C = 1 \ \& \ ( 0 \ | \ 0 \ | \ 0 \ | \ ( 1 \ | \ 0 \ | \ 0 ) \ \& \ ( 1 \ | \ 0 ) \dots\dots\dots(2)$$

コンピュータは、式(2)を、”&”をAND,”|”をORとし、算術式<sup>[57]</sup>として計算する。この場合、計算結果が1となるので、この解答文は”正答”と判定し、結果を表示する。計算結果が0の時は”誤答”と判定する。また、解答文中に”ナイ”や”ナク”という否定形の表記があった場合は、”判定不能”と判定し、出題者に判定をゆだねることにした。

### 3.4.3 正誤判定の基礎実験

#### (1) 実験方法

栃木県内の小中学校の児童・生徒を対象にして、5種類の問題に対する解答20,347文を得た。

これらについて、出題者による正誤判定基準に関する説明を受けた教師が、手作業で解答文の正誤を判定した。判定処理の手続きを図3-8に示す。他方、出題者が作成した判定式に従って、コンピュータにより解答文の正誤を判定させた。この両者の判定結果を比較し、一致しない解答文について出題者が再度、どちらの判定が正しいかを調べた。

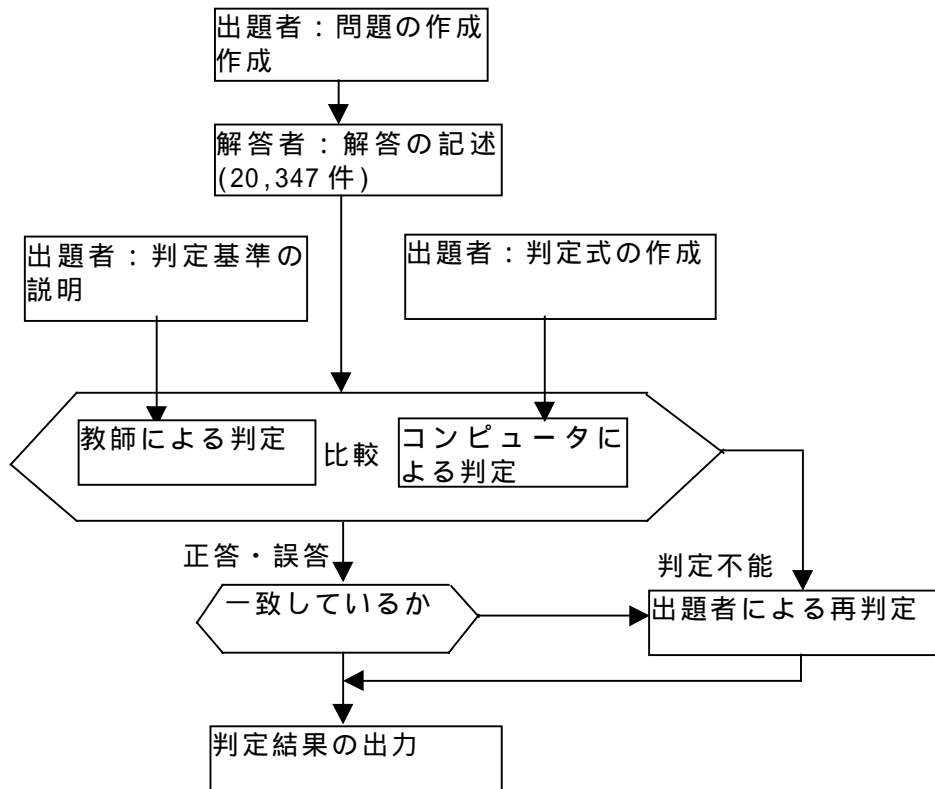


図 3-8 判定処理の手続き

## (2) 実験結果

この結果，表 3-5 に示すような判定結果を得た。表 3-5 には，問題文，解答文の数，教師による手作業とコンピュータによる判定の結果を示す。

表 3-6 は，教師とコンピュータの正答と誤答の判定結果が一致した場合と一致しなかった場合の度数と割合を示している。これは，表 3-5 を教師とコンピュータの判定結果の一致・不一致の観点で再整理したものである。

表 3-5 自由記述解答文の判定結果

問題	問題文：	教師による判定			
1	問題文： 乾電池 1 個で豆電球をとすよりも，乾電池 2 個を直列につないで豆電球をとす方が明るいのはなぜですか。	解答文数：	5720		
			正答	誤答	判定不能
	コンピュータでの判定式による判定	正答	2993 52.3%	260 4.5%	277 4.8%
		誤答	297 5.2%	1745 30.5%	61 1.1%
		判定不能	22 0.4%	63 1.1%	2 0.0%
2	問題文： 鉄は空気中の酸素と水分のはたらきで，さびてしまいます。鉄をさびさせないためには，どうすればよいですか。	解答文数：	5720		
			正答	誤答	判定不能
	コンピュータでの判定式による判定	正答	2532 44.3%	104 1.8%	104 1.8%
		誤答	30 0.5%	1163 20.3%	20 0.3%
		判定不能	218 3.8%	1511 26.4%	38 0.7%
3	問題文： 蛍光灯が点灯する瞬間には，安定器はどのような働きをしますか。	解答文数：	4090		
			正答	誤答	判定不能
	コンピュータでの判定式による判定	正答	1698 41.5%	149 3.6%	29 0.7%
		誤答	46 1.1%	1602 39.2%	17 0.4%
		判定不能	201 4.9%	338 8.3%	10 0.2%
4	問題文： 蛍光灯の点灯中には，安定器はどのような働きをしますか。	解答文数：	4090		
			正答	誤答	判定不能
	コンピュータでの判定式による判定	正答	1870 45.7%	132 3.2%	38 0.9%
		誤答	182 4.4%	994 24.3%	84 2.1%
		判定不能	388 9.5%	353 8.6%	49 1.2%
5	問題文： サイクル機関の働きについて，その行程名を順序よく 4 つ書きなさい。	解答文数：	727		
			正答	誤答	判定不能
	コンピュータでの判定式による判定	正答	155 21.3%	13 1.8%	0 0.0%
		誤答	19 2.6%	536 73.7%	1 0.1%
		判定不能	0 0.0%	3 0.4%	0 0.0%

表 3-6 正答と誤答の判定結果の一致と不一致

問題	対象とした解答文の総数	判定結果が一致 (教師：判定式)				判定結果が不一致 (教師：判定式)				不一致の原因	
		正答： 正答	誤答： 誤答	小計	割合	正答：誤 答	誤答： 正答	小計	割合	教師の判 定が誤り	判定式の判 定が誤り
1	5720	2993	1745	4738	82.8%	297	260	557	9.7%	5.2%	4.5%
2	5720	2532	1163	3695	64.6%	30	104	134	2.3%	0.8%	1.6%
3	4090	1698	1602	3300	80.7%	46	149	195	4.8%	1.7%	3.0%
4	4090	1870	994	2864	70.0%	182	132	314	7.7%	5.4%	2.3%
5	727	155	536	691	95.0%	19	13	32	4.4%	3.7%	0.7%

表 3-6 の不一致の原因の欄は，正答・誤答の判定結果が一致しなかった解答文について，出題者が再度判定を行った結果である。表 3-6 によると，判定式を用いたコンピュータによる判定の誤りに原因があるものは，問題 1 の 4.5% を最高に，3.0% から 0.7% と少ない。また，教師の判定にも 5.4% から 0.8% の誤りがあったことが分かった。

#### (2) 不一致の原因

判定が不一致となった原因について考察すると，判定式の設定の不備や，出題方法の不備による不一致に概括できた。

判定式の設定の不備による不一致では，判定式中のキーワードが不備な場合，キーワードは満足しているものの文章の意味が不適当な場合，キーワードと同じ文字列が文中に存在する場合などが見られた。

一方，出題方法の不備によるものには，解答に多様なキーワードが用いられた場合(問題 1)，否定形の発問をしたため否定形の解答文が多くなった場合(問題 2)が見られた。また，キーワードの有無だけではなくその出現順序を問う問題(問題

5)では、不一致となった原因のほとんどは出現順序に誤りがあったものを見落とした教師による判定に原因があった(3.7%)のものであり、判定式によるものはわずか(0.7%)であることが分かった。

従って、開閉するゲートとその順序を具体的に問うような場合に、この手法を効果的に適用できる見通しを得た。

#### 3.4.4 マイクロ操作に関する正誤判定の方法の概要

前述の基礎的な研究に基づいて、教師とコンピュータによる正誤判定結果の一致の割合を向上するため、さらに次の2つの方法について検討した。これらをマイクロ操作に関する回答の正誤判定に適用し、適用した結果を比較検討した<sup>[58]</sup>。

- a. キーワードの有無と、キーワード間の関連を評価する論理式を用いた正誤判定方法(ここでは、キーワードの有無による正誤判定と呼ぶ)
- b. 上述のaに、さらにキーワードの出現順序を加味した正誤判定方法(ここでは、キーワードの順序による正誤判定と呼ぶ)

これらの判定方法を、表 3-7 に示したコンピュータの構成に関する問題の自由記述解答文や、マイクロ操作の手順についての解答の正誤判定に適用した。問題 1 は、コンピュータの構成や構成要素について、カナ文字で 25 文字以内で回答するものである。問題 2, 3, 4 は、データの転送や演算の手順について、マイクロ操作の手順を回答するものである。

#### 3.4.5 マイクロ操作に関するキーワードの選出について

問題 1 の解答文の正誤判定に用いるキーワードは、a) 教師が、学習指導の経験上得た単語、b) 教科書、実習に使用した学習ノートやソフトウェアに含まれる単語、c) 既の実施した学習者の自由記述解答文に出現した単語等から選出した。選出したキーワードを表 3-8 の問題 1 のキーワードの欄に示す。

問題 2, 3, 4 のマイクロ操作に関するキーワードについては、開発した MOCS の、マイクロ操作の水準でのゲート操作の手順を解答にするものである。

表 3-7 問題

番号	問題
1	コンピュータを構成する5つの装置(要素)の名前
2	入力装置のデータを出力装置に送るマイクロ操作の手順
3	記憶装置の2番地のデータを入力装置のデータを加えて,出力装置に送るマイクロ操作の手順
4	記憶装置の1番地のデータから,記憶装置の2番地のデータを減算し,出力装置に送るマイクロ操作の手順

表 3-8 キーワードと判定式(キーワードの有無による判定)

問題	キーワードと判定式	
1	キーワード	$K_1: \text{ユウリョク}, K_2: \text{ユウリョク}, K_3: \text{ユウリョク}, K_4: \text{シツリョク}, K_5: \text{シツリョク},$ $K_6: \text{シュツリョク}, K_7: \text{キカ}, K_8: \text{インサン}, K_9: \text{インサン}, K_{10}: \text{セイヤ}, K_{11}: \text{セイヤ}$
	判定式	$C_1 = (K_1 K_2 K_3) \& (K_4 K_5 K_6) \& (K_7) \& (K_8 K_9) \& (K_{10} K_{11})$
2	キーワード	$K_1: G_6G_1, K_2: G_7$
	判定式	$C_2 = (K_1) \& (K_2)$
3	キーワード	$K_1: M_2G_9G_1, K_2: G_9G_1, K_3: G_6G_1, K_4: M_2G_9G_2, K_5: G_9G_2, K_6: G_6G_2,$ $K_7: G_7$
	判定式	$C_3 = (K_1 K_2 K_3) \& (K_4 K_5 K_6) \& (K_7)$
4	キーワード	$K_1: M_2G_9G_1, K_2: G_9G_1, K_3: G_5, K_4: M_1G_9G_2, K_5: M_3G_9G_2, K_6: G_9G_2,$ $K_7: M_3G_9G_2, K_8: M_1G_9G_2, K_9: G_9G_2, K_{10}: G_7$
	判定式	$C_4 = (K_1 K_2) \& (K_3) \& (K_4 K_5 K_6) \& (K_7 K_8 K_9) \& (K_{10})$

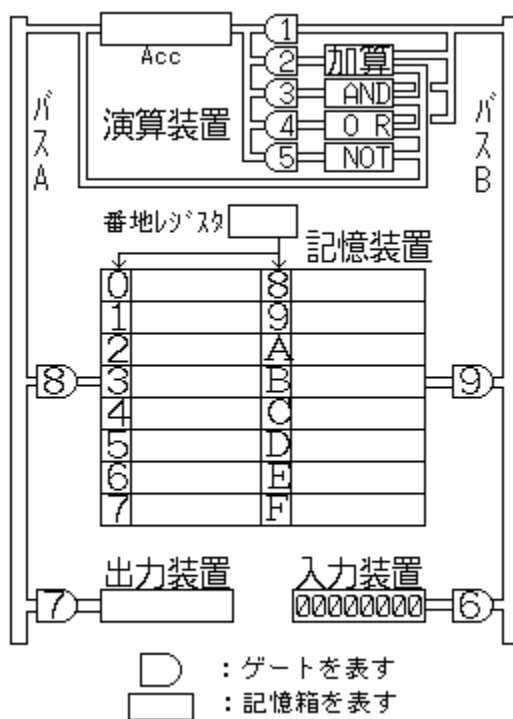


図 3-9 MOC S のデータフロー部

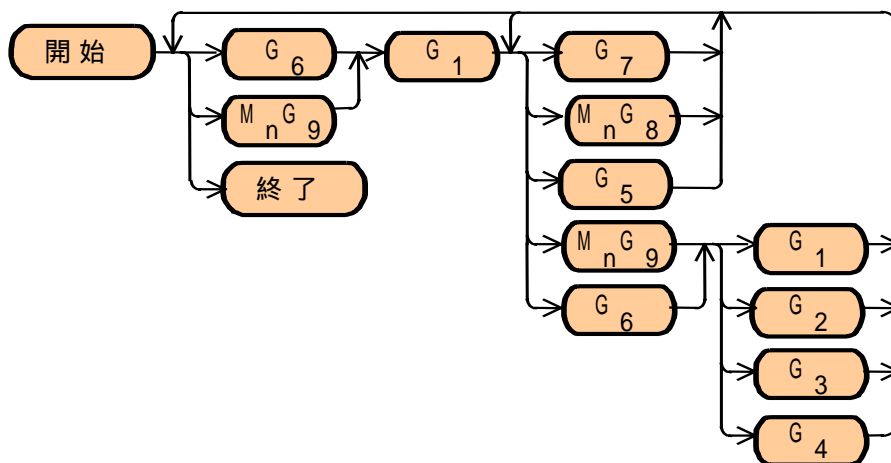


図 3-10 MOC S のデータフローの文法ダイアグラム

図 3-9 に、MOC S のデータフロー部を示す。図 3-9 で、ゲートを表す記号内の番号をゲート番号と呼び、それらを開くこと（マイクロ操作）を  $G_n$  で表す。例えば、入力装置から出力装置へのデータ転送は、 $G_6, G_1, G_7$  の順にゲートを開くことで実現できる。これを、 $G_6G_1G_7$  と表記する。また、記憶装置の  $n$  番地を指定することを  $M_n$  で表す。

図 3-10 は、図 3-9 に示した MOC S のデータフロー上で行える文法的に正しいゲート操作の手順を、文法ダイアグラム風に表示したものである。

従って、問題 2, 3, 4 のデータの転送、加算、減算の正しいゲート操作は、図 3-10 に示した経路のいずれかをたどることになる。このため、キーワードは、順次にゲート操作が必要な操作をグループ化して定義した。例えば、問題 2 では、 $G_6$  と  $G_1$  をグループ化し、キーワード  $K_1$  を  $G_6G_1$  とした。

### 3.4.6 マイクロ操作に関するキーワードの有無による正誤判定

#### (1) 判定式

表 3-8 の判定式の欄には、表 3-7 に示した各問題に対する判定式  $C$  を示す。判定式  $C_n$  は、選出したキーワードの有無を示す  $K_n$ 、および論理和" $|$ "と論理積" $\&$ "の演算子からなる論理式である。

#### (2) 判定結果と考察

表 3-9 に、問題 1 から 4 についてそれぞれ 537 件（合計 2,148 件）の解答を判定した結果と一致・不一致の割合を示す。なお、学習者の解答が空白の場合は、誤答として処理した。

問題 1 については、2 件(0.4%)のみが教師と判定式による判定が不一致であった。これらは、解答中の「セイソウ好」や「シツツリヨク好」を、教師がいずれも正答と判定したものである。これらはコンピュータでの判定式による判定が正しい。

従って、複数の単語の羅列の形式をとる自由記述解答文については、キーワードの有無による判定で、ほぼ 100%の一致率を得ることができると言える。

表 3-9 キーワードの有無による判定結果

問題	対象とした解答文の総数	一致 / 不一致	一致		不一致	
		教師による判定 判定式による判定	正 正	誤 誤	正 誤	誤 正
1	537	度数	433	102	2	0
		割合 (%)	80.6	19	0.4	0
		一致・不一致の割合 (%)	99.6		0.4	
2	537	度数	530	7	0	0
		割合 (%)	98.7	1.3	0	0
		一致・不一致の割合 (%)	100.0		0.0	
3	537	度数	503	22	0	12
		割合 (%)	93.7	4.1	0	2.2
		一致・不一致の割合 (%)	97.8		2.2	
4	537	度数	427	71	0	39
		割合 (%)	79.5	13.2	0	7.3
		一致・不一致の割合 (%)	92.7		7.3	

一方，問題2のように，キーワードの出現順序を考慮した判定が必要と考えられる場合も，キーワードの重複がない場合は，100%の一致率が得られると言える。

しかし，問題3については12件(2.2%)，問題4については39件(7.3%)の不一致が見られた。これらはいずれも，教師は誤答とし，判定式は正答と判定したものである。これらは，キーワードの有無による判定では，正答と判定される条件を満たしている。しかし，意味的な誤りや，不必要なマイクロ操作を含んでいるため，教師が誤答と判定したものである。

問題3（入力装置の内容と記憶装置の2番地の内容を加算するマイクロ操作の手順）について，不一致となった12件の原因の内訳を以下に示す。

- ・不必要なゲート操作を含んでいるもの(8件)

例：G<sub>6</sub>G<sub>1</sub>G<sub>8</sub>M<sub>2</sub>G<sub>9</sub>G<sub>2</sub>G<sub>7</sub>... G<sub>8</sub>が不要である

- ・操作が重複しているもの(2件)

例:  $G_9G_1M_2G_9G_2G_7\dots\dots$  記憶装置の内容同志の加算となっている

- ・意味的な誤りがあるもの(2件)

例:  $G_6G_2G_9G_1G_7\dots\dots$   $G_2$  と  $G_1$  の位置が入れ替わっている

これらの短所への対処のため,次に示すキーワードの順序による正誤判定を検討した。

### 3.4.7 マイクロ操作に関するキーワードの順序による正誤判定

#### (1) 判定式

前述のキーワードの有無による判定で,不一致となる解答を正しく判定するには,以下のような改善を加える必要がある。

- a. 解答文中のキーワードの出現順序を判定条件に加えること。
- b. 解答文中にある不必要なキーワードを検出すること。

すなわち,問題2,3,4に対する判定式は,図3-10に示した文法ダイアグラム上で,文法的・意味的に正しい順序の操作であり,かつ最短の経路をたどることを条件に加えた正答式とする必要がある。

そこで,キーワードの出現順序を判定するため,判定式に新たに演算子" "を加えた。これは,判定式の右辺を左側から逐次評価し," "の左側までの論理演算の結果が1となった場合,その右側の論理演算に進むものとする。右辺の終端まで演算を繰り返し,結果が1であれば"正答",0であれば"誤答"とする。

表3-10に," "演算子を加えた判定式を示す。具体的には,表3-8に示した問題2,3,4の判定式において,"&"演算子の代わりに" "演算子を使ったものである。

#### (2) 判定方法

キーワードの有無の検出や,キーワードの有無により  $K_n \rightarrow 0$  や 1 を代入する手続きは,キーワードの有無による正誤判定と同様である。

キーワードの順序による正誤判定では,正答式の評価手続きを次のように行う。

表 3-10 キーワードと判定式 (キーワードの順序による正誤判定)

問題	キーワードと判定式	
2	キーワード	$K_1 : G_6G_1, K_2 : G_7$
	判定式	$C_2 = (K_1) (K_2)$
3	キーワード	$K_1 : M_2G_9G_1, K_2 : G_9G_1, K_3 : G_6G_1, K_4 : M_2G_9G_2, K_5 : G_9G_2, K_6 : G_6G_2, K_7 : G_7$
	判定式	$C_3 = (K_1 K_2 K_3) (K_4 K_5 K_6) (K_7)$
4	キーワード	$K_1 : M_2G_9G_1, K_2 : G_9G_1, K_3 : G_5, K_4 : M_1G_9G_2, K_5 : M_3G_9G_2, K_6 : G_9G_2, K_7 : M_3G_9G_2, K_8 : M_1G_9G_2, K_9 : G_9G_2, K_{10} : G_7$
	判定式	$C_4 = (K_1 K_2) (K_3) (K_5 K_6 K_7) (K_8 K_9 K_{10}) \& (K_{11})$

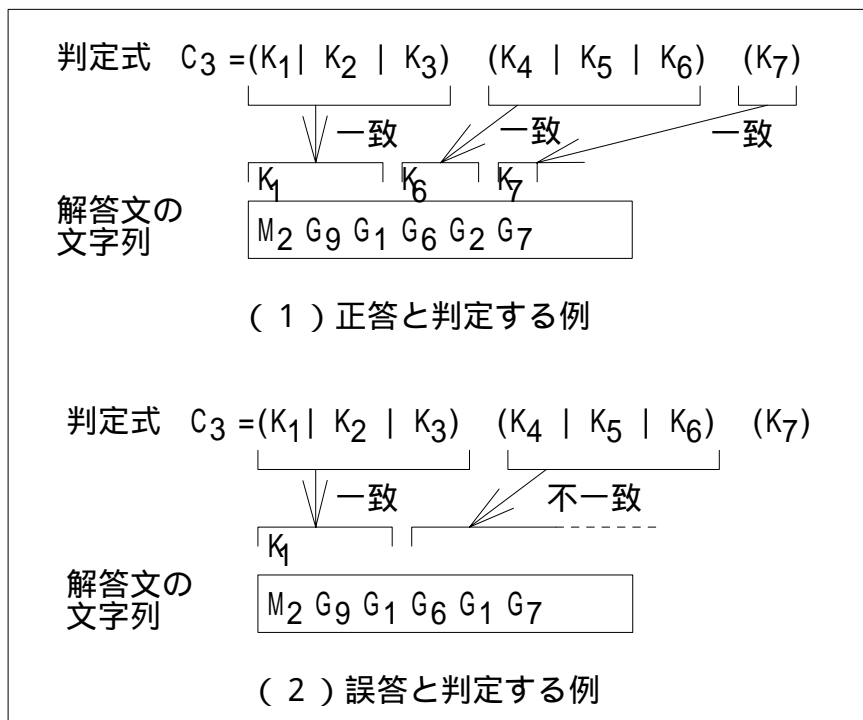


図 3-11 キーワードの順序による判定方法

表 3-11 キーワードの順序による正誤判定結果

問題	対象とした 解答文の総 数	一致 / 不一致	一致		不一致	
		教師の判定	正	誤	正	誤
		判定式による判定	正	誤	誤	正
2	537	度数	530	7	0	0
		割合 (%)	98.7	1.3	0	0
		一致・不一致の割合 (%)	100.0		0.0	
3	537	度数	503	32	0	2
		割合 (%)	93.7	6.0	0	0.4
		一致・不一致の割合 (%)	99.6		0.4	
4	537	度数	427	110	0	0
		割合 (%)	79.5	13.2	0	0
		一致・不一致の割合 (%)	100.0		0.0	

正答式の右辺で、( )内のキーワードを1ブロックとして、その有無を順番に評価する。

図 3-11 に、問題 3 の正答式：

$$C_3 = (K_1|K_2|K_3) (K_4|K_5|K_6) (K_7)$$

の評価手続きの例を示す。

図 3-11 の ( 1 ) は、正答と判定する場合を示す。まず、最初のキーワードブロック内の  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  のいずれかが解答文の先頭の  $M_2$  から始まる文字列と一致するかを検査する。キーワード  $K_1$  と一致した場合、次の  $K_4$ 、 $K_5$ 、 $K_6$  のいずれかが  $G_6$  から始まる文字列と一致するかを検査する。 $K_6$  と一致したとすれば、最後に  $K_7$  が残りの文字列と一致するかを検査して、一致すれば  $C_3$  を“正答”とする。一方、図 3-11 の ( 2 ) に示すように、いずれかのブロックについて不一致があった場合、それ以後の文字列がどうあれ“誤答”とする。

### ( 3 ) 判定結果と考察

表 3-11 に、問題 2、3、4 について、それぞれ 537 件の解答を判定した結果を示す。表 3-11 に示すように、いずれの問題についても、キーワードの有無によ

る判定に比べて改善が見られる。特に，問題2，4については100%の一致率が得られた。しかしながら，問題3については，2件(0.4%)の不一致が見られた。

問題3の2件(0.4%)の不一致については，判定式では正答と判定され，教師は誤答と判定したものである。その原因は，次に示すように，記憶装置の内容同志の加算を行っているためであった。

$$G_9 \ G_1 \ M_2 \ G_9 \ G_2 \ G_7$$
$$G_9 \ G_1 \ G_9 \ G_2 \ G_7$$

これは，キーワードとして，正答となる完全なマイクロ操作の列を予め用意し，解答文と完全に一致することを判定することにより解決できる。しかし，それは最長一致法に他ならない。最長一致法による判定では，正答となる全てのマイクロ操作の組み合わせを，予めデータベースとして用意しておく必要がある。これは，前述の条件に合致したものではなく，また現実的でない。

従って，キーワードの順序による判定では，若干の不一致は見られるものの，ほぼ100%の一致率が得られると言える。設定した条件の下での判定方法としては，十分実用できるものと判断する。

このほか，キーワードの順序による判定の利点としては，マイクロ操作の水準での実習において，マイクロ操作の途中で，順序の誤りや冗長な操作を指摘できる利点がある。

### 3.4.8 判定方法のまとめ

キーワードの有無とキーワードの順序による判定方法について，実際に自由記述解答の判定を試行した。この結果，それぞれ，ほぼ100%の一致率が得られた。従って，当初の予想は実証されたものとする。

キーワードの順序による判定については，既にシミュレーション型ソフトウェアMOC Sに組み入れ，実際にマイクロ操作の手順の正誤判定に利用している。これまで，判定上の支障の報告はない。

言うまでもなく，これらの方法は完全な判定方法ではない。しかし，教育現場に設置されているコンピュータの利用を前提とした場合，これらの簡単な判定方法でも，高い一致率が得られることが実証されたと言える。

### 3.5 評価

表3-1に示した学習項目1,2および3についてMOCSとEDCOMを用いた授業を,臨床検査技師養成系大学校,および教育学部学生の延べ253名を対象に試行した。この結果から,学習内容の理解と意識の観点で,MOCSの効果,およびEDCOMを併用した効果を考察する。なお,MOCSの効果については,シミュレータ部を用いた効果,教授部と実習制御部を用いた個別指導の効果,そして学習情報部と診断・処方部を用いた個別学習の効果の観点でそれぞれ考察する。

表 3-12 実験群と実験条件

実験群	ハードウェアによる教育用コンピュータ EDCOM	ソフトウェアによるコンピュータシミュレータ MOCS		
		シミュレータ部	指導支援	学習支援
			教授部, 実習制御部	学習情報部, 診断・処方部
Q				
R				
S				
T				
U				
V				

#### 3.5.1 実験条件と評価問題

表3-12に,実験群QからVと,実験条件の組み合わせの対応(印)を示す。

表 3-13 マイクロ操作，機械語・アセンブラ語による  
プログラミングの評価問題

問題・項目	問 題
1．マイクロ操作（転送）	入力装置から出力装置へデータを送るためのゲートの開閉手順を書け。
2．マイクロ操作（加算）	記憶装置の2番地の内容と入力装置のデータを加えて，出力装置へ送るためのゲートの開閉手順を書け。
3．マイクロ操作（減算）	記憶装置の1番地の内容から2番地の内容を減算して，結果を出力装置に送るためのゲートの開閉手順を書け。ただし，3番地の内容は1とする。
4．機械語・アセンブラ語（加算）	記憶装置の2番地の内容と入力装置の内容を加算し，結果を出力装置に出力する機械語またはアセンブラ語のプログラムを書け。
5．機械語・アセンブラ語（減算）	記憶装置の1番地の内容から2番地の内容を減算して，結果を出力装置に送る機械語またはアセンブラ語のプログラムを書け。ただし，3番地の内容は1とする。

表3-13に，使用した評価問題を示す。理解の観点での評価は，マイクロ操作の水準での学習の効果に要因を限定する目的で，データ転送，加算，および減算の基礎的な問題を評価問題とした。

なお，学習前に実施した表3-13と同一の事前テストで正答であったものは，集計から除外した。

表3-14に，学習項目の1，2，3を学習して1週間後に実施した評価問題に対する正答率と，各群間での $\chi^2$ の値を示す。表3-14中の下線は，5%の有意水準（自由度1， $\chi^2 = 3.84$ ）で差が認められた組み合わせであることを示す。

表 3-14 問題別の正答率と  $\chi^2$  の値

問題	群	結果		$\chi^2$ の値				
		正/誤	割合 %	Q	R	S	T	U
1. マイクロ操作 (データ転送)	Q	55/ 2	96.5					
	R	37/ 2	94.9	0.15				
	S	41/ 0	100.0	1.47	2.16			
	T	75/ 2	97.4	0.09	0.50	1.08		
	U	20/ 0	100.0	0.72	1.01	0*	0.53	
	V	19/ 0	100.0	0.68	1.01	0*	0.50	0*
2. マイクロ操作 (加算)	Q	55/ 2	96.5					
	R	37/ 2	94.9	0.15				
	S	40/ 1	97.6	0.09	0.40			
	T	75/ 2	97.4	0.09	0.50	0.00		
	U	20/ 0	100.0	0.72	1.01	0.50	0.53	
	V	19/ 0	100.0	0.68	1.01	0.47	0.50	0*
3. マイクロ操作 (減算)	Q	52/ 5	91.2					
	R	32/ 7	82.1	1.78				
	S	41/ 0	100.0	3.79	<u>8.06</u>			
	T	74/ 3	96.1	1.39	<u>6.49</u>	1.64		
	U	20/ 0	100.0	1.88	<u>3.88</u>	0*	0.80	
	V	19/ 0	100.0	1.79	<u>3.88</u>	0*	0.76	0*
4. 機械語・アセ ンブラ語 (加算)	Q	55/ 2	96.5					
	R	39/ 0	100.0	1.40				
	S	39/ 2	95.1	0.11	1.95			
	T	73/ 4	94.8	0.22	2.10	0.01		
	U	18/ 2	90.0	1.27	0*	0.58	0.63	
	V	19/ 0	100.0	0.68	0*	1.43	1.03	2.00
5. 機械語・アセ ンブラ語 (減算)	Q	49/ 8	86.0					
	R	32/ 7	82.1	0.27				
	S	34/ 7	82.9	0.17	0.01			
	T	73/ 4	94.8	3.14	<u>4.91</u>	<u>4.47</u>		
	U	18/ 2	90.0	0.21	1.73	0.53	0.63	
	V	18/ 1	94.7	1.05	1.73	1.57	0.00	0.31

下線を付加した数字は5%の有意水準で差があることを示す。

0\*は、0による除算となることを示す。

### 3.5.2 M O C S の概括的な効果

表3-14から分かるように、マイクロ操作に関する問題では、問題3の減算においてM O C Sのシミュレータ部のみを用いたR群よりも、M O C Sの個別指導や個別学習を支援する諸機能を併用したS、T、U、V群が優位であった(表3-14中央の下線部分を参照)。一方、問題1や2では、いずれの群も94.9%以上の高い正答率を得たため、有意な差は見られなかった。

また、機械語・アセンブラ語によるプログラミングについては、減算の問題5において、個別指導の支援機能とともにE D C O Mを併用したT群は、E D C O Mを併用しなかったR群やS群よりも優位であった(表3-14下部の下線部分を参照)。

これは、減算の問題3や5では、データ転送や加算に比べて煩雑なデータの転送や、加算・否定などの演算を組み合わせた補数の演算操作が必要とされたためと考えられる。そこで、シミュレータ部のみを使った実習よりも、M O C Sの個別指導を支援する諸機能の利用や、具体的な先行オーガナイザであるE D C O Mを併用により、実習指導の効果が向上したものと考えられる。

以下に、これらの差異の原因を、個々の機能別に考察する。

### 3.5.3 シミュレータ部の効果

ハードウェアによる教育用コンピュータE D C O Mのみによる一斉学習と、ソフトウェアによるM O C Sのシミュレータ部のみによる個別学習の効果を検討するため、Q群とR群を比較する。

その結果、いずれの問題についても両群間には有意差は認められなかった。すなわち、M O C Sのシミュレータ部のみを用いた学習でも、ボード型のE D C O Mを用いた学習と同等の効果が得られたといえる。しかし、加算のプログラミングである問題4については、R群の正答率は100%を得ている。これは、M O C Sを使って個別に実習ができたことや、データの流れの視覚的な観察の効果により、

命令の機能を具体的に把握できたことで、結果として全員から正答を得ることができたものとする。

#### 3.5.4 個別指導に関する機能の効果

系統的な学習情報の提示や実習の流れの制御を、教師から一斉に受けて実習を行ったR群と、MOC Sの教授部および実習制御部による実習を行ったS群とを比較する。

その結果、比較的煩雑な補数を用いた減算のマイクロ操作に関する問題3において、両者に有意差が認められ、S群が優位であった。問題3についてR群で誤答となった回答(7件)の内訳は、補数の作成の誤り(3件)、Aレジスタに同時に2つの値を入れた誤り(1件)、無答(3件)であった。これらの回答からは、減算のためのデータの操作方法が十分理解されていないことがうかがえる。一方、S群については、実習制御部による実習の流れの個別的な制御のもとに試行を繰り返せたことや、実行過程および実行結果に対して誤りがある部分を即時に指摘する機能の効果により、正答率が向上したものとする。

#### 3.5.5 個別学習に関する機能の効果

学習情報部による情報提示や、診断・処方部によるエラーに対する助言などの個別学習の支援機能を受けたU群、V群と、それらを受けなかったS群、T群とを比較(U対S、V対T)する。

その結果、これらの群間にはいずれの問題についても有意差は認められなかった。しかしながら、U群やV群では全問について90%から100%の高い正答率を得ている。このことから、有意差は見られないものの、個別学習の支援機能は有効であったものとする。

#### 3.5.6 MOC SとEDCOMの併用の効果

ソフトウェアによるMOC Sのみを用いたS群やU群と、EDCOMを併用し

たT群やV群を比較（S対T，U対V）する。

その結果，機械語・アセンブラ語による減算についての問題5において，S群とT群間に有意差が認められ，T群が優位であった。T群ではEDCOMを用いて，具体的にゲートの開閉操作を行い，減算のための補数を作成する実習を先行させた。このため，より具体的なデータの流れとデータの変化を念頭に置いてプログラムを作成できたと考える。この点で，先行オーガナイザとしてのEDCOMの併用により，学習の効果を向上できたと考える。

### 3.5.7 意識調査の結果

MOC Sの個々の機能や学習指導方法の評価のため，学習者の意識を調査した。表3-15，表3-16，表3-17に，V群，およびV群と同様の学習を終了した学習者（60名）を対象とした調査結果を示す。

調査は，MOC Sの各部ごと，および教具，学習の方法の観点で，「大変良い」，「やや良い」，「普通」，「やや悪い」，および「大変悪い」の5段階の尺度で回答を求めた。その回答の割合を，学習者の評価の欄に示した。また，平均の欄には，上記の「大変良い」から「大変悪い」に，それぞれ5から1の重み付けをし，各質問項目ごとの平均値を示した。質問項目1から37の全体の平均を上回っている（4.1以上）欄に網掛け表示をした。

これらをもとに，以下の（1）から（3）で，学習者の意識を考察した。

#### （1）シミュレータ部に関する意識

表3-15に，シミュレータ部に関する意識の集計結果を示す。

まず，質問項目1から4および11で平均が4.1以上となっている。これらからは，学習者がマイクロ操作をゲートを開閉することで具体的に行え，その結果，データ転送を実感を持って行えたことが良かったとの意識を持ったことが分かる。

質問項目6と9からは，学習者が行ったマイクロ操作やプログラムの実行結果を，データの流れの表示や命令の実行過程の表示によって確認できたことが良かったとの意識を持ったことが分かる。

表 3-15 シミュレータ部に関する意識調査の結果

分類	質問項目	学習者の評価 (%)					平均
		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	50	35	10	5	0	4.3
	2 ゲートの開閉が容易である	47	40	13	0	0	4.3
	3 データ転送の実感がある	45	28	23	3	0	4.1
	4 データの流れの表示が適して いる	48	35	15	2	0	4.3
	5 コンピュータの内部の状況を 観察し易い	33	38	25	3	0	4.0
	6 実験の結果の確認がし易い	50	32	15	3	0	4.3
	7 自分のプログラムを作成し易 い	25	35	37	3	0	3.8
	8 自分のプログラムを入力し易 い	28	47	22	3	0	4.0
	9 プログラムの実行の過程がわ かり易い	55	32	12	2	0	4.4
	10 現実のコンピュータの特徴を よく模擬している	25	53	20	2	0	4.0
	11 マイクロ操作モードでのデー タ転送が理解できた	45	35	18	2	0	4.2
	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	28	42	25	5	0	3.9
	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 習できるのがよい	55	33	10	2	0	4.4

また、質問項目13からは、まず、マイクロ操作によりコンピュータの計算の仕組みを具体的に学習させ、その上で機械語・アセンブラ語等の言語を用いたプログラムの作成・実行に段階的に移行したことが、学習者にとって良かったと受け取られたものと推察できる。

表 3-16 学習・指導支援機能に関する意識調査の結果

分類	質問項目	学習者の評価 (%)					平均
		大変 良 い:5	やや 良 い:4	普通 :3	やや 悪 い:2	大変 悪 い:1	
指導 支援 機能	14 学習の順序・配置が良い	47	38	15	0	0	4.3
	15 説明文が適している	32	42	23	3	0	4.0
	16 絵や写真の表示が適している	60	30	8	2	0	4.5
	17 プログラムの作成と実行が，分 かりやすい	30	50	15	5	0	4.1
	18 練習問題の内容が適している	37	45	17	2	0	4.2
	19 自分に合わせて学習問題を選 べるのがよい	47	38	15	0	0	4.3
	20 正答や誤答の判定が表示され るのがよい	57	38	5	0	0	4.5
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のが よい	58	35	5	2	0	4.5	
学習 支援 機能	22 ウィンドウによる説明の表示 がよい	35	33	28	2	0	4.0
	23 ウィンドウによる写真の表示 がよい	40	35	23	2	0	4.1
	24 ウィンドウでより詳しい説明 が得られるのがよい	45	35	13	3	0	4.1
	25 自分のゲートの操作が誤った 所を教えてくれるのがよい	63	35	0	2	0	4.6
	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 えてくれるのがよい	63	30	5	2	0	4.5
	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	30	42	25	3	0	4.0

## (2) 学習・指導の支援機能についての意識

表 3-16 に，学習・指導の支援機能に関する意識の集計結果を示す。

まず，指導支援機能の内，教授部については質問項目 14，16 から，系統的な学習情報を順序よく提供され，その内容は説明文よりも，絵や写真による学習情

報の方が適しているとの意識を学習者が持っていることが分かる。また、実習課題の提示や学習者の操作を監視する実習制御の機能については、質問項目 20 や 21 への回答から、自分の行った操作や作成したプログラムの正否を判定し、誤りがある場所の指示を含めて即時フィードバックする機能が良いと受け取られていることが分かる。

一方、学習支援機能の内、質問項目 23 と 24 の学習情報の提示に関しては、学習者の疑問に応じた詳しい学習情報をハイパーテキストの機能により次々に提示することや、その内容は、写真による表示が好感されていることが分かる。また、学習者の誤操作に対して、その原因を診断し、処方を与える診断・処方部については、質問項目 25 と 26 において、それぞれ 63%もの学習者が「大変良い」と回答している。その理由は、「自分のゲートの操作が誤った所を教えてくれるのが良い」や、「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のが良い」等である。これは言うまでもなく、誤り個所の指摘や、その原因をコンピュータと学習者の相互作用のもとに診断・処方することが学習者にとっては大変重要であることが分かる。従って、シミュレータと言えども、シミュレーションの環境を提供するばかりではなく、学習・指導を支援する機能を付加することが重要であると言える。

### (3) 学習指導の方法に関する意識

表 3-17 に、学習指導の方法に関する意識調査の結果を示す。「適した教具について」は、質問項目 28 から 32 をそれぞれ比較して答えさせた。また、「学習の方法について」も、質問項目 33 から 37 をそれぞれ比較して答えさせたものである。

その結果、適した教具については、黒板や OHP を使ったり、EDCOM を単独で使用するよりも、コンピュータシミュレータ MOCS や、ボード型の EDCOM と MOCS を併用することを望んでいることが分かる。併用については、実物である EDCOM による実感と、MOCS による学習・指導の支援機能の両者を学習者が望んでいることが伺える。

表 3-17 学習指導の方法に関する意識調査の結果

分類	質問項目	学習者の評価 (%)					平均
		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	0	5	27	28	38	2.0
	29 OHP を使った学習	0	15	30	45	8	2.5
	30 ボード型のシミュレータ EDCOM を使った学習	3	35	38	15	5	3.1
	31 コンピュータシミュレータ MOCS を使った学習	53	38	7	2	0	4.4
	32 EDCOM と MOCS を併用した学習	55	25	17	2	2	4.3
学習の 方法に ついて	33 先生の説明を聞くのみ	2	0	3	43	52	1.6
	34 先生のシミュレータを使った 説明を聞くのみ	3	8	33	45	10	2.5
	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	53	20	0	0	4.1
	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	35	52	10	3	0	4.2
	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	85	12	3	0	0	4.8

28～32 と、33～37 は、それぞれを比較して答えたものである。

学習の方法については、質問項目 33 や 34 の教師主導による学習方法については、「大変悪い」や「やや悪い」と回答する傾向があり、好感されていないことが分かる。一方、質問項目 37 の「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」の回答は 85.0%もの学習者が「大変良い」としている。これらは、この種の学習指導には先生の説明を聞くとともに、自分で操作を行い、その操作が正しいことを自身で確かめることが大変重要であること示していると言える。

### 3.6 まとめ

マイクロ操作に基づいたプログラミングの学習の効果を向上するため、コンピュータシミュレータMOC Sを作成し、延べ253名の学生を対象に授業を試行した。

その結果、次のことが明らかになった。

- (1)シミュレータ部による実習の支援機能に加えて、教授部や実習制御部による個別指導を支援する機能が、マイクロ操作に基づいたプログラミングの実習の効果を高める。
- (2)具体的な先行オーガナイザであるEDCOMの併用が、実習の効果を高める。

また、意識調査の結果からも、実習のためにシミュレーションの環境を提供するだけでは不十分であり、学習の流れの制御や、学習者の誤操作に対する即時的なフィードバック等を行う個別指導の支援機能が、学習の効果を向上させることがわかった。さらに、EDCOMのような具体的な先行オーガナイザを併用して、コンピュータの構成の全体像や、計算のしくみの具体的なイメージを学習者に知らせることも学習の効果を向上させる上で重要であると言える。

## 第4章 マイクロ操作に基づいたプログラミング教育の評価

中学校や高等学校の生徒，学部の学生を対象に，マイクロ操作に基づいたプログラミングの学習指導を試行し，その効果を評価した。実験授業では，教育用コンピュータEDCOM<sup>[40],[41]</sup>，およびソフトウェアによるコンピュータシミュレータMOC S<sup>[42]</sup>を用いた。評価では，学習の効果をマイクロ操作と低水準言語の水準別，学習者の学齢別，MOC Sの学習・指導支援機能別に比較した。更に，海外の学習者向けの学習指導システムを作成し，アジア地域12カ国のテクニシャン教育関係者および学生を対象に試用し，その有効性を検証した。

この結果，マイクロ操作の水準でのデータ転送や加算の問題では，日本の中学生・高校生・学部学生のいずれを対象にした場合にも，70%以上の正答率が得られることが分かった。また，学部学生や上記のアジア地域の学習者を対象とした場合には，マイクロ操作と低水準言語の両水準の問題について，80%以上の正答率を得られることが分かった。

### 4.1 評価の方針

このマイクロ操作の水準での学習指導の効果の向上を図るため，これまで前述のEDCOM<sup>[40],[41]</sup>や，MOC S<sup>[42]</sup>等の教具や，それらを用いた学習指導システムを作成してきた。さらに，これらを用いた学習指導システムを，学部学生を対象に試行した。

これらの学部学生を対象にした実験・評価に対して，中学生や高校生を対象と

した情報処理の基礎教育へ，本学習指導システムを使用した場合の効果，および海外の学習者を対象とした場合の効果の有無を明らかにすることが課題として残されていた<sup>[59]・[60]・[61]</sup>。

この分野に関連した研究には，低水準言語によるプログラムの実行やコンピュータの動作状況の表示を行うシミュレータの開発<sup>[26],[62]</sup>がある。また，マイクロプログラムの水準では，作成したマイクロプログラムの実行とコンピュータ内での実行状況の表示を行うシミュレータの開発<sup>[25],[39]</sup>や，既存のマイクロプログラム方式のCPUのシミュレータの開発<sup>[63]</sup>などがある。さらに，機械語のプログラムとレジスタやゲート等の動作との関連を，デジタルICのレベルで理解させることを容易にするため，ゲートを制御する信号を手動で発生する機能を取り入れたシミュレータの開発<sup>[24]</sup>もなされている。しかしながら，これらの研究はいずれも，低水準言語ないしマイクロプログラムの水準のプログラムと，コンピュータの動作との関連についての学習指導を支援することを主たる目的にしたものである。また，これらは主に学部学生以上の学習者を対象とした専門教育での利用を目的としたものであり，その教育上の効果の評価も今後の課題として残されている。

これに対して本研究では，マイクロ操作の水準での学習者自身による具体的なゲートの操作活動を伴った実習の効果を，高校生や中学生を対象として評価することを主目的としている。更に，アジア地域のテクニシャン教育<sup>[64]</sup>におけるプログラミング教育にも，本システムが有効であるか否かを示すことを目的とした。

実験授業の結果から学習の効果を(a)中学生 / 高校生 / 学部学生の学齢別，(b)マイクロ操作 / 低水準言語の水準別，(c)MOC Sの個別指導 / 個別学習の支援機能別に，学習の効果を定性的，定量的に評価した。また，実習中のエラーの発生状況の分析からエラーに対するMOC Sの診断・処方部の効果等を実験結果として評価することとした。

表 4-1 学習の内容の概要

学習項目	学 習 内 容	指導時間
1. コンピュータの構成としくみの概要	a. コンピュータの構成と機能 コンピュータの構成, 5 要素の機能との対応, バス, ゲート b. コンピュータ内のデータの流れ データの入力, ゲートの制御, データの転送・加算	4
2. マイクロ操作による簡単なデータの演算	a. データの表現 2 進法, 10 進法, 16 進法, 文字 b. マイクロ操作に基づいた演算 データの転送, 加算, 補数, 減算等のマイクロ操作の実行	
3. 機械語・アセンブラ語のプログラミング	a. 機械語・アセンブラ語の命令の機能 機械語・アセンブラ語の命令とマイクロ操作の対応, プログラムの機能 b. プログラムの作成と実行 データの転送, 加算, 減算の実行	
4. 命令の構成	a. 制御機構のしくみ 命令の取り出し, 解読, 実行, マイクロ操作 b. マイクロプログラムの作成と実行	1

## 4.2 学習指導システム

### 4.2.1 目標

初心者がマイクロ操作, および低水準言語を用いてデータの転送, 加算, 減算などの基本的なプログラムを作成できることを学習指導の目標とする。

### 4.2.2 内容と方法

表 4-1 に, この目標を達成するための学習指導の内容と指導時間を示す。学習指導の手順<sup>[41]</sup>は, 表 4-1 の学習項目番号の順である。学習項目 4 については, 主に情報工学系の学部学生を対象としたものである。

マイクロ操作に基づいた実習の前提知識としては, 変数の概念と四則演算の方法を仮定している。これらは, コンピュータの具体モデルの主要要素として設定した記憶箱と演算箱<sup>[41]</sup>をそれぞれ理解するための前提知識に対応する。

表 4-2 学習者の学齢と属性

区 分		学 齢	属 性	人数	
日本	学部学生	教員養成系大学学部学生（2～4年次）および臨床検査技師養成系大学 校学生（1～3年次）	情報教育又は情報科学概論を受 講した学生	253	
	高校生	高等学校家政科の生徒（第2学年）	必修としての家庭生活の授業を 受けた学級全員	90	
	中学生	必修群	中学校の生徒（第3学年）	必修として実験授業を受けた学 級全員	259
		選択群	中学校の生徒（第3学年）	選択として情報基礎の授業を受 けた希望者	187
海外	学部学生	Institute of Technical Education, Singapore（17～19才）	電気科および機械科の学生 (SITE 学生群)	10	
	教師	アジア地域12カ国の教師	教職，管理職，教材開発担当者 を含む（アジア教師群）	12	

### 4.3 実験・評価の方法

#### 4.3.1 対象

日本の学習者として，表4-2に示した中学生・高校生・学部学生を対象とした。一方，海外では，教育関係者としてアジア地域のテクニシャン教育の専門家養成機関である在フィリピン Colombo Plan Staff College for Technician Education（CPSC）において，1992年10月に実施した研修「技術教育教材開発」に出席したBangladesh ,Fiji ,India ,Indonesia ,Iran ,Malaysia ,Nepal ,Pakistan , Philippines , Singapore , Sri Lanka , およびThailandの12カ国，12名（以後，アジア教師群という）を対象とした。このうち，6名が管理職，4名が教職，2名が教材開発の担当者であった。更に，学生としてSingaporeの Institute of Technical Educationの10名（以後SITE学生群という。17～19才）を対象とした。

表 4-3 実験群と実験条件

実験条件	教育用コンピュータ EDCOM (E)	コンピュータシミュレータ MOC S		
		シミュレータ部(S)	指導支援(T) 教授部, 実習制御部	学習支援(L) 学習情報部, 診断・処方部
E				
S				
ES				
ST				
EST				
STL				
ESTL				

#### 4.3.2 実験方法

本邦の学習者は、表4-1に示した学習項目1, 2および3を学習指導の内容とした。本研究では、表4-2に示した対象者を更に複数の群に分割して実験授業を実施した。

実験授業では、教育用コンピュータEDCOM<sup>[41]</sup>(E)を用いた一斉指導、またはパーソナルコンピュータ上でMOC S<sup>[42]</sup>のシミュレータ部(S)を用いた自習を行う。Sを用いる場合は、更にMOC Sの個別指導支援機能(T)や個別学習支援機能(L)を組み合わせ使用。TやLを用いる場合は、教師は主に実習の流れの管理にあたる。一方、TやLを用いない場合は、教師がTやLと同様の内容について、口頭または板書、OHP等を用いて一斉指導や個別に対応する。いずれの場合も、個別学習書を併用する。今回実施した実験授業の条件E, S, ES, ST, EST,

STL, ESTLの構成を表4-3に示す。

MOC Sの個別指導支援機能(T)は, 教授部と実習制御部からなる。教授部は, 表4-1の学習項目1「コンピュータの構成としくみの概要」に関する系統的な学習情報を提供する。実習制御部は, 学習項目2・3の「マイクロ操作や低水準言語によるプログラミング」の実習時に, 演習問題の提示, 操作の監視, 実行結果の正誤判定等を行う。この機能は, 授業における教師主導の指導活動を補助する。

一方, MOC Sの個別学習支援機能(L)は, 学習情報部と診断・処方部からなる。学習情報部は, 機能Tを用いた実習中に, Tが提示する情報中に疑問が生じた場合, より詳細な解説をテキストや画像で提示する。診断・処方部は, 実習中に学習者が起こしたエラーの原因の診断と, その解決のための適切な助言を与える。この機能は, 授業における学習者主体の学習活動を支援する。Lを用いる場合, 教師は補助的な指導にあたる。

前述のアジア教師群は, シミュレーション型のソフトウェアを利用した学習指導方法の研修の一つとして, 本学習指導システムを実施した。実験条件は, STLのみとした。このため, 英語版のMOC S, 利用解説書, 個別学習書等を用意した。SITE学生群についても, 実験条件はSTLとした。

### 4.3.3 評価

表4-4に評価問題を示す。なお, 学習前に実施した表4-4の評価問題と同一の事前テストで正答であったものは, 集計から予め除外した。

表4-5, 表4-6, 表4-7及び表4-8に, 高校生, 中学生(必修群), 中学生(選択群), アジア教師群, SITE学生群を対象として, 学習項目の1, 2および3を学習して約一週間後に実施した評価問題に対する正答率と, 各実験条件間での $\chi^2$ の値を示す。表中の下線は, 5%の有意水準(自由度1,  $\chi^2 = 3.84$ )で有意差が認められた組み合わせと $\chi^2$ の値を示す。

以下の章では, これらの表に基づいたグラフを作成し, 学習の効果を検討する。

表 4-4 マイクロ操作，機械語・アセンブラ語によるプログラミングの評価問題

問題・項目	問題
1．マイクロ操作（転送）	入力装置から出力装置へデータを送るためのゲートの開閉手順を書け。
2．マイクロ操作（加算）	記憶装置の2番地の内容と入力装置のデータを加えて，出力装置へ送るためのゲートの開閉手順を書け。
3．マイクロ操作（減算）	記憶装置の1番地の内容から2番地の内容を減算して，結果を出力装置に送るためのゲートの開閉手順を書け。ただし，3番地の内容は1とする。
4．機械語・アセンブラ語（加算）	記憶装置の2番地の内容と入力装置の内容を加算し，結果を出力装置に出力する機械語またはアセンブラ語のプログラムを書け。
5．機械語・アセンブラ語（減算）	記憶装置の1番地の内容から2番地の内容を減算して，結果を出力装置に送る機械語またはアセンブラ語のプログラムを書け。ただし，3番地の内容は1とする。

表 4-5 問題別の正答率と<sup>2</sup>の値（高校生）

問 題	正 答 率				<sup>2</sup> の値
	実験条件 S T		実験条件 S T L		
	正/誤 合計	割合 %	正/誤 合計	割合 %	
1．マイクロ操作（転送）	43/ 2 45	95.6	44/ 1 45	97.8	0.34
2．マイクロ操作（加算）	38/ 7 45	84.4	38/ 7 45	84.4	0.00
3．マイクロ操作（減算）	33/12 45	73.3	39/ 6 45	86.7	2.50
4．機械語・アセンブラ語（加算）	28/17 45	62.2	30/15 45	66.7	0.19
5．機械語・アセンブラ語（減算）	25/20 45	55.6	20/25 45	44.4	1.11

表 4-6 問題別の正答率と  $\chi^2$  の値 (中学生の必修群)

問 題	実験条件	結 果		$\chi^2$ の値					
		正/誤	割合 %	S	ES	ST	EST	STL	
1 . マイクロ操作 (転送)	S	32/ 3	91.4						
	ES	32/ 8	80.2	1.95					
	ST	64/10	86.5	0.55	0.82				
	EST	29/ 6	82.9	1.15	0.10	0.25			
	STL	38/ 1	97.4	1.30	<u>5.95</u>	3.48	<u>4.58</u>		
	ESTL	33/ 3	91.7	0.00	2.08	0.62	1.24	1.23	
2 . マイクロ操作 (加算)	S	30/ 5	85.7						
	ES	33/ 7	82.5	0.14					
	ST	52/22	70.3	3.04	2.05				
	EST	24/11	68.6	2.92	1.99	0.03			
	STL	34/ 5	87.2	0.03	0.34	<u>4.02</u>	3.77		
	ESTL	27/ 9	75.0	1.29	0.64	0.27	0.36	1.83	
3 . マイクロ操作 (減算)	S	18/17	51.4						
	ES	19/21	47.5	0.12					
	ST	37/37	50.0	0.02	0.06				
	EST	9/26	25.7	<u>4.88</u>	3.79	<u>5.75</u>			
	STL	29/10	74.4	<u>4.19</u>	<u>5.97</u>	<u>6.24</u>	<u>17.47</u>		
	ESTL	16/20	44.4	0.35	0.07	0.30	2.73	<u>6.98</u>	
4 . 機械語・アセ ンブラ語 (加算)	S	8/27	22.9						
	ES	7/33	17.5	0.33					
	ST	14/60	18.9	0.23	0.03				
	EST	9/26	25.7	0.08	0.75	0.66			
	STL	10/29	25.6	0.79	0.77	0.69	0.00		
	ESTL	21/15	58.3	<u>9.24</u>	<u>13.58</u>	<u>17.34</u>	<u>7.74</u>	<u>8.25</u>	
5 . 機械語・アセ ンブラ語 (減算)	S	3/32	8.6						
	ES	5/35	12.5	0.30					
	ST	5/69	6.8	0.12	1.07				
	EST	7/28	20.0	1.87	0.78	<u>4.25</u>			
	STL	9/30	23.1	2.86	1.52	<u>6.27</u>	0.10		
	ESTL	10/26	27.8	<u>4.38</u>	2.79	<u>9.09</u>	0.59	0.22	

下線を付加した数字は5%の有意水準で差があることを示す。

表 4-7 問題別の正答率と  $\chi^2$  の値 (中学生の選択群)

問 題	実験条件	結 果		$\chi^2$ の値		
		正/誤 合計	割合 %	E	S	
1 . マイクロ操作 (転送)	E	81/ 2 83	97.6			
	S	27/ 2 29	93.1	1.26		
	S T	32/ 0 32	100.0	0.78	2.28	
	E S T L	38/ 0 38	100.0	0.93	2.70	0.00
2 . マイクロ操作 (加算)	E	73/10 83	88.0			
	S	25/ 4 29	86.2	0.06		
	S T	32/ 0 32	100.0	<u>4.22</u>	<u>4.72</u>	
	E S T L	37/ 1 38	97.4	2.80	2.97	0.85
3 . マイクロ操作 (減算)	E	36/47 83	43.4			
	S	15/14 29	51.7	0.60		
	S T	25/ 7 32	78.1	<u>11.20</u>	<u>4.70</u>	
	E S T L	35/ 3 38	94.6	<u>25.53</u>	<u>14.16</u>	2.77
4 . 機械語・アセン ブラ語 (加算)	E	69/19 88	78.4			
	S	21/ 8 29	72.4	0.44		
	S T	24/ 8 32	75.0	0.16	0.05	
	E S T L	35/ 3 38	94.6	3.45	<u>4.65</u>	3.84
5 . 機械語・アセン ブラ語 (減算)	E	43/45 88	48.9			
	S	11/18 29	37.9	1.05		
	S T	20/12 32	62.5	1.75	3.67	
	E S T L	28/10 38	73.7	<u>6.65</u>	<u>8.64</u>	1.01

下線を付加した数値は5%の有意水準で差があることを示す。

表 4-8 アジア地域の教師群，SITE 学生群，および本邦の学部学生群の正答率と<sup>2</sup>の値（実験条件：STL）

問 題	対 象	結 果		<sup>2</sup> の 値	
		正/誤 合計	割合 %	アジア 教師	SITE 学生
1 .マイクロ操 作（転送）	アジア教師	10/ 0 10	100.0	0.00	0.00
	SITE 学生	10/ 0 10	100.0		
	日本の学部学生	20/ 0 20	100.0		
2 .マイクロ操 作（加算）	アジア教師	11/ 1 12	91.7	0.02	2.07
	SITE 学生	9/ 1 10	90.0		
	日本の学部学生	20/ 0 20	100.0		
3 .マイクロ操 作（減算）	アジア教師	11/ 1 12	91.7	0.63	4.29
	SITE 学生	8/ 2 10	80.0		
	日本の学部学生	20/ 0 20	100.0		
4 .機械語・ア センブラ語（加 算）	アジア教師	10/ 1 11	90.9	0.01	0.00
	SITE 学生	9/ 1 10	90.0		
	日本の学部学生	18/ 2 20	90.0		
5 .機械語・ア センブラ語（減 算）	アジア教師	11/ 1 12	91.7	0.63	0.58
	SITE 学生	8/ 2 10	80.0		
	日本の学部学生	18/ 2 20	90.0		

下線を付加した値は，5 %の有意水準で差があることを示す。

## 4.4 実習の水準と学習の効果

### 4.4.1 学齢に適した実習の水準

マイクロ操作による実習に効果が期待できる学齢を検討する。このため，実験条件 STL についての学齢別，問題別の正答率を求めた。これを図 4-1(b)に示す。

中学生（4.5 で述べる必修群）から高校生，学部学生になるに従い，正答率は

向上し、かつ問題ごとの正答率の差も少なくなっている。

(1) マイクロ操作の水準：マイクロ操作によるデータの転送、加算、減算の問題1、2、3では、中学生、高校生、学部学生のいずれについても、74.4%から100%の正答率を得ている。従って、この水準では学齢にかかわらず十分な効果が期待できると言える。

(2) 低水準言語の水準：低水準言語によるデータの加算や減算のプログラムを記述する問題4や5を、学部学生に課した場合には、いずれも90.0%以上の正答率を得ることができ、十分な効果が期待できる。

一方、高校生に課した場合の正答率は44.4%から66.7%であった。更に、中学生(必修群)では23.1%から25.6%にとどまっている。従って、高校生や中学生を対象とした場合は、現状システムでは十分な効果は期待できないと言える。この原因については、5.1で考察する。

#### 4.4.2 テクニシャン教育における学習の効果

アジア地域のテクニシャン教育におけるプログラミング教育での本システムの有効性を検証した。実験条件はSTLのみとする。

表4-8に、アジア教師群、SITE学生群、日本の学部学生群の、正答率と $t^2$ の値を示す。また、図4-1の(c)にアジア教師群とSITE学生群の正答率を相互に比較して示す。

マイクロ操作と低水準言語の両水準について、いずれの問題に対しても80%以上の正答率を得ている。しかし、SITE学生群の問題3については、本邦の学部学生に対し、有意差(有意水準5%)が見られる。問題3では10名中2名が誤答であり、その原因は補数の作成の誤りである。

従って、開発した海外の学習者向きの学習指導システムは、CPSCを中心としたアジア教師群や、SITE学生群を対象とした場合にも十分な学習効果を期待できる言える。学習指導の実施上、上記のアジア教師群に見られた特徴は、以下のよう

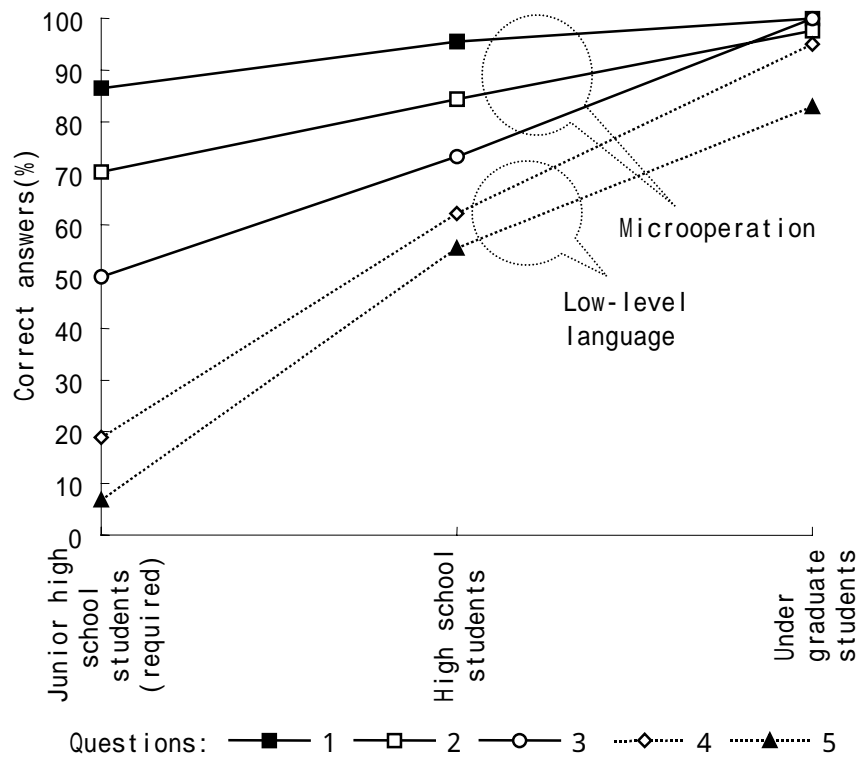


図 4-1(a) 日本の学習者の正答率(実験条件 ST)

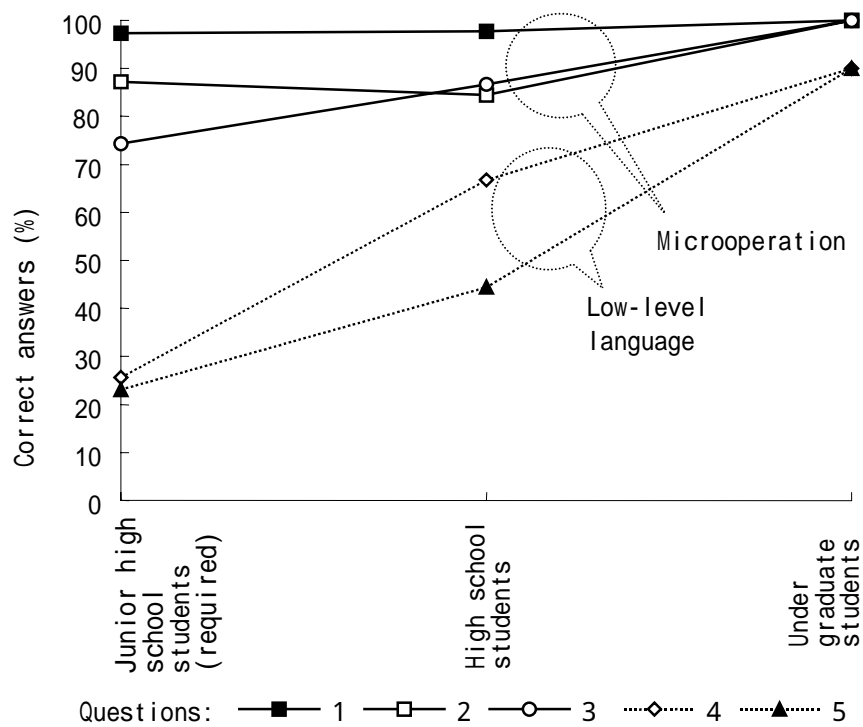


図 4-1(b) 日本の学習者の正答率(実験条件 STL)

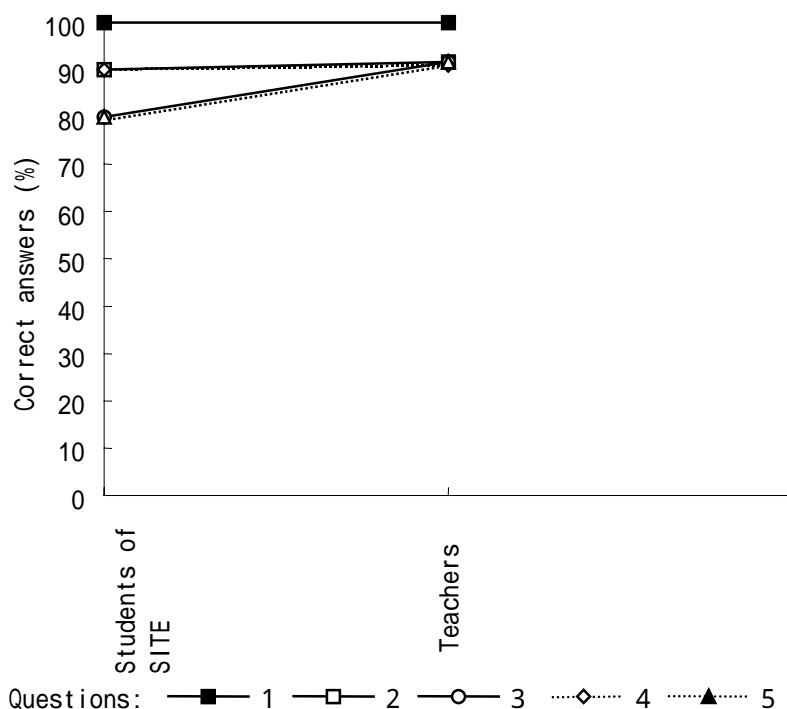


図 4-1(c) 海外の学習者の正答率(実験条件 STL)

a . 積極性：発言の量の多少を見る限り，発言量の多い積極的な学習者と，消極的な学習者に大別できる。概して英語を日常用いている者が積極的であった。

b . 能動的な学習活動：積極的な学習者の中には，授業者の指示事項以外の学習活動も行う能動的な学習者がみられた。ただし，その学習過程でM O C S中の未学習の事項に入り込み，迷子となることが多々あった。

c . 高頻度，広範囲な質問：周知と思われる事項についても質問がある。質問のレベルは多様であり，内容も広範囲にわたっていた。

d . 論理的，具体的な応答：上記のcについては，常に論理的・具体的な教師の応答を求められた。

以上に対して，授業者と現地の授業協力者は，経験上，次のような感想を持った。aについては，英語力が不十分なために発言量が少なく消極的と思われる学習者がいた。このため，さらに学習効果を改善する方策として，学習者の自国語を用いた教材開発が考えられる。bについては，迷子の状態から抜け出るために，あるキーワードについての参照を開始した状態へ直接戻る機能<sup>[42]</sup>や，メニュー画

面に直接戻る機能が有効であった。cについては、学習者からの個人的な質問や操作上のエラーが頻発したが、それらへの応答を補助するMOC Sの学習情報部や診断・処方部による個別指導の支援機能が有効であった。またdについては、計算の仕組みや命令の機能を具体的に解説する必要があったが、MOC Sを用いたマイクロ操作の水準での解説が有効に機能した。以上の結果の分析については、今後より詳細なデータの収集が必要である。

一方、SITE学生群の指導者からは、MOC Sによりコンピュータ内部の現実に即したシミュレーションの環境が提供されており、学習者の態度が積極的であり、学習上の興味を持続させることができたこと等の指摘<sup>[65]</sup>があった。

## 4.5 中学生段階での実習の効果

本章では、中学生を対象を絞り、マイクロ操作に基づいた実習の効果やMOC Sの支援機能の効果を検討する。

なお、学部学生を対象とした場合については、水準ごとの実習の効果やMOC Sの諸支援機能の効果等が既に明かにされている<sup>[42]</sup>。

### 4.5.1 必修群と選択群の学習の効果

中学校におけるプログラミングに関する教育は切これまで、生徒の自由意志で履修する授業（以下、選択群という）を中心に実施されてきた。しかし、'93年4月からは、学校ごとにどの生徒も履修する「情報基礎」が導入されている。そこで、この履修群（以下、必修群という）と選択群とでの本システムの利用上の効果の差、および必修群に適用した場合の水準別の効果と問題点を検討する。

図4-2に、実験条件STにおける必修群と選択群の正答率をグラフにして示す。

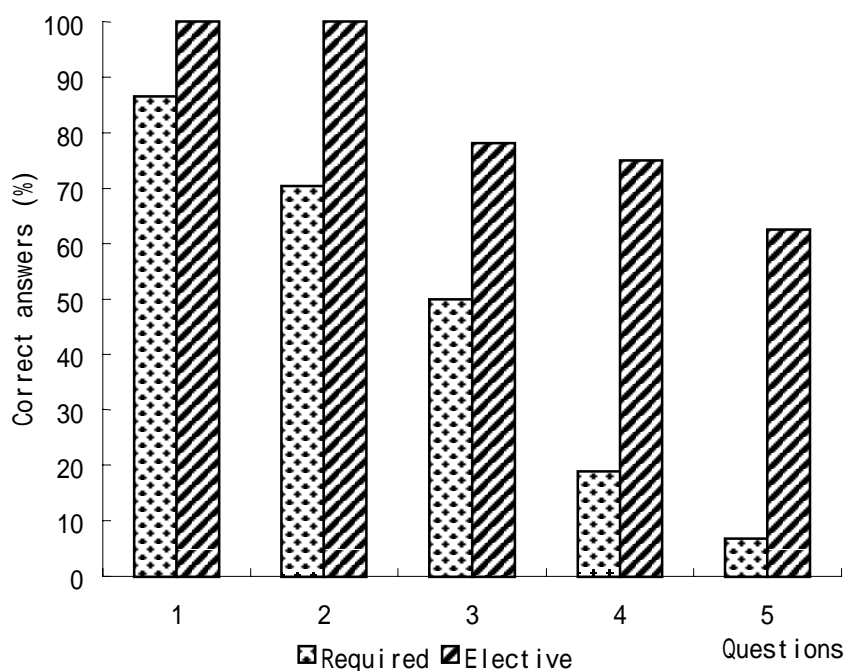


図 4-2 中学生の必修群と選択群の正答率

図4-2から、選択群の正答率はマイクロ操作の水準での問題1、2や3では78.1%以上、機械語・アセンブラ語の水準の問題4や5でも62.5%以上となっている。従って、選択群では本システムの学習支援機能(L)を除いた条件STでも十分な効果があると言える。

一方、必修群では、マイクロ操作の水準での問題1、2については十分な正答率を得ているものの、低水準言語の問題4、5では18.9%以下となっている。

両群の正答数には、いずれの問題についても有意差(有意水準5%以内)が認められた。特に、問題4、5については大きな有意差(有意水準0.1%)が認められた。

そこで、問題4、5に誤答であった必修群の回答を分析した。その回答を大別

すると、a．無答が63.6%，b．記憶装置の番地指定がなされていないかまたは誤っているものが20.3%，c．命令を組み合わせる順序の誤りが11.9%，d．低水準言語の命令とデータの流れの関連が把握できていないための誤りが4.2%であった。更に、これらの生徒に理解が困難な理由をたずねたところ、e．マイクロ操作の手順と低水準言語の命令の対応が把握できない、f．初めて学習する項目が多い割には指導時間が短いため、未理解のまま次の項目に進んでしまうことが多々ある等の困難点が指摘された。

上記のaからeを総合的に考察すると、必修群では、具体的なマイクロ操作の水準では理解できているデータの流れの操作を、低水準言語の命令として記号化し、更にそれらの命令を順序づける時点で、理解の困難を起こさせるところに問題点があると言える。

従って、必修群を対象とする場合には、マイクロ操作と低水準言語の命令の対応の指導を強化することや、指導時間を選択群よりも長く設定することが必要と言える。

#### 4.5.2 M O C S の支援機能の効果

中学生（必修群）を対象とした場合を中心に、M O C S のシミュレータ部(S)、個別指導支援機能(T)、個別学習支援機能(L)の効果を検討する。このため、実験条件S、ES、ST、EST、STL、ESTLによる学習の効果を比較する。

図4-4に、各実験条件における正答率を比較して示す。

(1) 全体としての傾向

a．マイクロ操作の水準

データの転送や加算の問題1、2については、概括的に見て使用したM O C S の機能にかかわらず70.3%以上の正答率を得ている。

一方、減算の問題3については、条件S、ES、ST、ESTLで44.4%から51.4%の正答率を得た。すなわち、約半数の学習者から正答を得ることが期待できる。しかし、条件ESTの正答率は25.7%にとどまっている。この原因について授業

者より、夏期の不快な環境条件が学習者の意欲を低下させたとの報告を得ている。すなわち、約50%の正答率しか期待できない比較的煩雑な操作を要する減算については、実験条件以外の要因が結果に大きく影響したものと考えられる。

#### b. 低水準言語の水準

加算や減算の問題4, 5についての正答率は、条件S, ES, ST, EST, STLで25%以下にとどまっている。このため、中学生(必修群)を対象にした場合は、MOC Sの諸支援機能を用いても、現状システムでは学習の効果を十分には向上することは期待できないと判断する。しかし、EDCOMとMOC Sの全機能を併用した条件ESTLの加算の問題4については、52.8%と若干の向上が見られる。

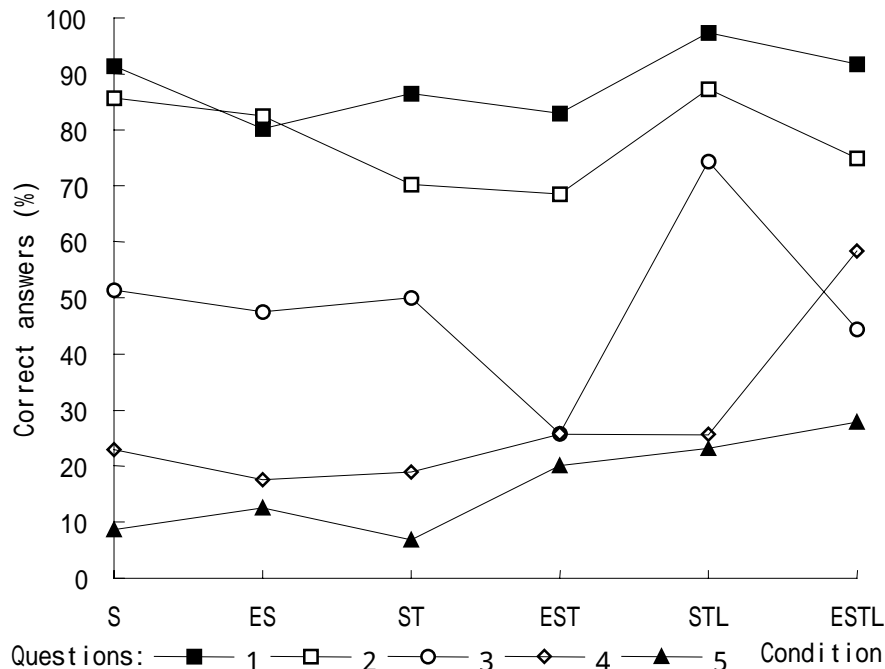


図 4-4 中学生必修群の正答率

### (2) 個別指導の支援機能の効果

MOC Sの個別指導の支援機能の効果を検討するため、それを用いた条件 ST, EST と、用いなかった条件 S, ES による正答率をそれぞれ比較する(条件 ST 対 S, EST 対 ES, ただし、条件 EST の問題3を除く)。

これらの条件間では、いずれの問題についても有意差は認められなかった(表 4-6, 図 4-4 参照)。

マイクロ操作の水準での問題 1, 2 について、有意差は見られないものの、個別指導の支援機能を用いた条件 ST の方が条件 S よりも低い正答率を得る傾向が見られる。この原因は、MOC Sの教授部や実習制御部から提示される学習情報や指示が、中学生の学習段階に適合していないため、全員の正答率を向上させるには至っていないものと考えられる。すなわち、中学生の段階では、学習者の実態を把握した教師による一斉指導の効果も大きいことを示している。

一方、学部学生を対象とした場合には、一斉指導よりはMOC Sの個別指導の支援機能を用いた実習の効果が優位である<sup>[42]</sup>ことから、現状の個別指導の支援機能は学部学生に有効であると言える。

### (3) 個別学習の支援機能の効果

MOC Sの個別学習の支援機能の効果を検討するため、それを用いた条件 STL, ESTL と、用いなかった条件 ST, EST による正答率を比較する(STL 対 ST, ESTL 対 EST)。

学習情報部や診断・処方部などによる個別学習の支援機能を用いた条件 STL が、マイクロ操作での加・減算、およびマイクロ操作と低水準言語による減算において条件 ST よりも優位であった(表 4-6, 図 4-4 参照)。

すなわち、中学生(必修群)では、補数による比較的複雑な操作が必要な減算の問題 3 や 5 において、STL の正答率が向上している。これは、5.3.2 で述べたように、中学生段階では学習指導の支援機能だけでは不十分であり、疑問点に対するより詳しい解説の提示や、エラーを起こした時の学習者の誤解の診断や、それに対する適切な処方を提示するなどの、個別学習の支援機能の効果が顕著であると言える。

一方,学部学生では,条件 ST と STL の正答率は全問について 90% から 100% であり<sup>[42]</sup>,個別指導の支援機能を用いなくても,十分な実習の効果が得られると言える。

## 4.6 発生するエラーと M O C S の効果

高水準言語や低水準言語を用いたプログラミング主体の実習では,「バスに 2 つのデータを同時に出す」や,「未定義のバスの内容をレジスタに取り込む」など,コンピュータの基本的な計算の仕組みを誤解していたり知らないために起こすエラーを学習者に体験させ,それに対して適切な指導をすることが難しかった。

一方,本システムでは,マイクロ操作の水準で実習を行うことにより,これを学習者に体験させることができる<sup>[41]</sup>。一方,エラーが発生した場合,それに対して単に警告を出すだけではなく,M O C S の診断・処方部<sup>[42]</sup>が起動され,エラーの背景となっている知識の不足や誤解の原因を診断し,学習者に適切な情報を与えて正しい理解に導く。

以下に,その診断・処方部の効果を,発生するエラーの割合や時間経過との関連から考察する。

### 4.6.1 発生するエラーの割合

図4-5に示したグラフは,中学生(必修群)を対象にした実験条件STLの実習中に発生したエラーの度数を示している。表4-9にエラーの内容を示す。1から12は,シミュレータ部から発生し,13,14は実習制御部<sup>[42]</sup>から発生するエラーである。

特にエラー2,3,6,7は初心者を対象とした実習で頻発するエラーであり,十分な対応が必要である。

表 4-9 主なエラーの種類

番号	エラーの内容
1	入力装置にデータが入れられていない。
2	バスBにデータが出されていない。
3	指定したメモリのセルにデータが入れられていない。
4	メモリの番地が指定されていない。
5	バスAにデータが出されていない。
6	記憶装置からバスBにデータが既に出されているにもかかわらず、さらに別のデータをバスBに出そうとした。
7	入力装置からバスBにデータが既に出されているにもかかわらず、さらに別のデータをバスBに出そうとした。
8	命令レジスタからバスBにデータが既に出されているにもかかわらず、さらに別のデータをバスBに出そうとした。
9	命令レジスタにデータが入れられていない。
10	プログラムカウンタにプログラムの開始番地がセットされていない。
11	復帰番地レジスタにデータが入れられていない。
12	指定したファイルがない。
13	マイクロ操作やプログラムの実行に先立って、シミュレータに実行の“開始”を指示していない。
14	プログラムの実行しかできない状態にある。

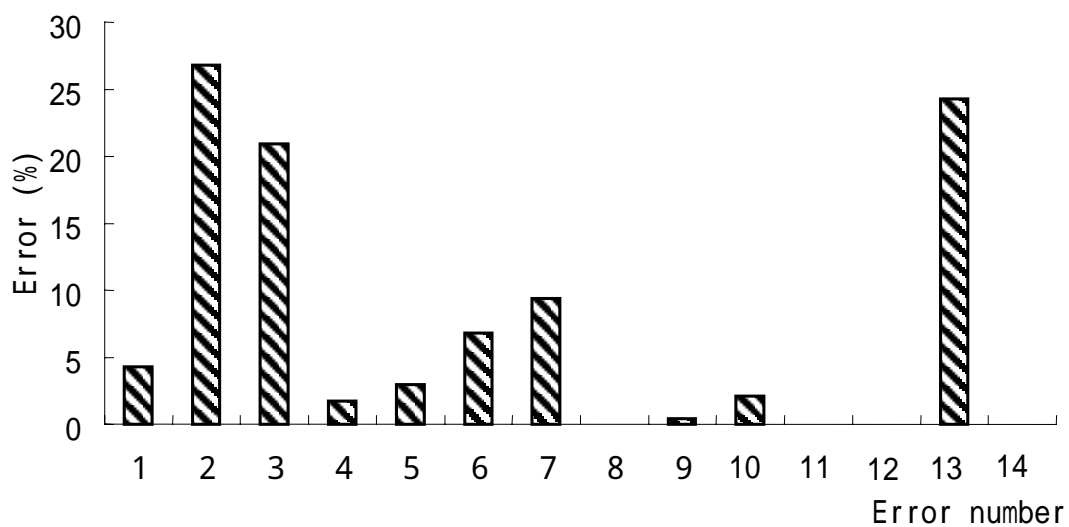


図 4-5 エラーの発生率

#### 4.6.2 発生するエラーと実習経過時間

図4-6は、実験条件STLにおいて、シミュレータ部から発生したエラー別の発生頻度を、実習開始から120分について10分間隔で示したものである。エラー2は、実習開始後30分にピーク値（23件）となり、以後の発生は比較的少なくなる。一方、エラー3については実習開始後50分を経過した時点から発生頻度が高くなり、かつ継続する傾向がある。これは、メモリをオペランドとして使用する問題に至るまでの個々の学習者の進捗が異なることによる。

以上のように、集中的に発生するエラーや、異なる進捗を持つ学習者のエラーに、一人の教師が個別に対応することは時間的にも労力的にも難しい。本システムでは、これらのエラーが発生した場合には、診断・処方部が起動され、エラーの背景となる誤解の診断とその処方が個別に提示される。これは、中学生（必修群）において、個別学習の支援機能を用いた実験条件での学習の効果が顕著であったことを裏づけている。

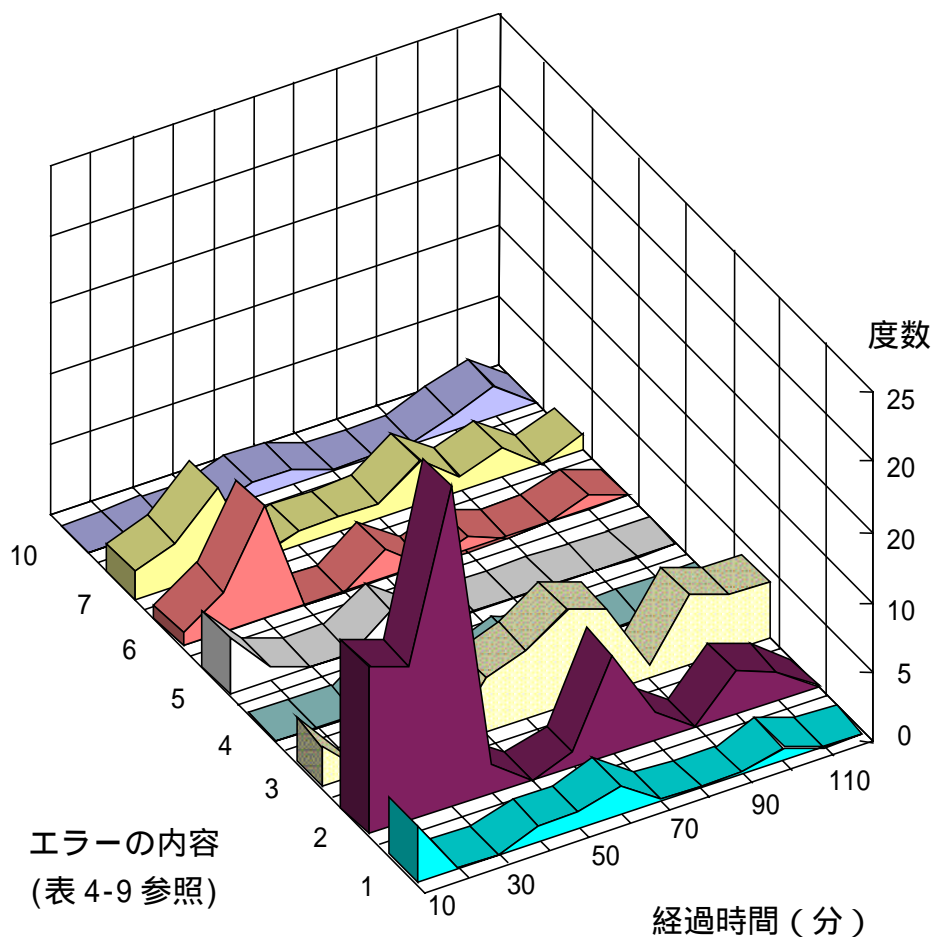


図 4-6 エラーの発生と時間経過

## 4.7 まとめ

延べ789名の本邦の生徒・学生と，アジア地域の教育関係者および学生を対象として，マイクロ操作に基づいたプログラミング教育の効果を検証した。その結果は，以下のように要約できる。

(1) 中学生，高校生，学部学生のいずれを対象にした場合も，マイクロ操作の水準でのデータの転送や加算の問題の正答率は，約70%以上の正答率が得られた。

(2) アジア地域のテクニシャン教育関係者と学生を対象にした場合は，マイクロ操作や低水準言語のいずれの問題についても80%以上の正答率が得られた。

(3) 中学生のクラス全員を対象とした(必修群)場合，マイクロ操作の水準では高い学習効果が得られた。しかし，低水準言語での加算や減算では，選択群に比べて低い正答率しか得られなかった。

以上から，マイクロ操作の水準でのプログラミングの実習指導は，本邦の中学生，高校生，学部学生，更にアジア地域のテクニシャン教育関係者と学生を対象とした場合にも効果があると言える。

## 第5章 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

初心者を対象として、高水準言語(BASIC)の文と、低水準言語(機械語・アセンブラ語)の命令及びコンピュータの動作との関連を学習させた。これをマイクロ操作に基づいて実習指導した。この実習の効果を向上するため、ソフトウェアによる教育用コンピュータシミュレータを製作した。そして、MOCSEI と名付けた。MOCSEI は、マイクロ操作や低水準言語による実習の支援に加えて、高水準言語の文の機能の教授、ならびに各水準でのプログラミングの実習を支援するものである。更に、各水準間での命令相互の関連やコンピュータの動作との関連の学習を支援している。

実習時に、作成した MOCSEI を用いて個別学習を行う群と、OHPを用いて一斉学習を行う群を設定し、授業を実施した。その結果、シミュレータを用いて個別学習を行った群の学習効果が高いことを明らかにした。また、低水準言語のプログラムの作成やマイクロ操作の記述について、累加演算のように繰り返しの処理を含む比較的煩雑な問題でシミュレータを用いた群の学習効果が高いことが分かった。

### 5.1 高水準言語とマイクロ操作間の関連の指導

前述のように、中学校や高等学校の生徒、大学学部学生の初心者を対象として、

プログラミングの導入教育を試行してきた<sup>[40], [41], [42], [43], [66], [67]</sup>。しかし、初心者の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と、マイクロ操作との対応関係についての学習指導システムの作成や検証は、まだ着手していなかった。

一方、従来のプログラミングの学習指導支援用の教具の研究では、マイクロプログラムの作成を支援するためのシミュレータの開発<sup>[63]</sup>をはじめ、種々の研究がなされている。また、機械語のプログラムとレジスタやゲートとの関連をデジタルICの水準で学習させる研究<sup>[38]</sup>もある。一方、初心者を対象としたハードウェアからソフトウェアの一貫した教育のためのコンピュータおよびシミュレータの開発<sup>[38], [68]</sup>も行われている。しかし、これらの研究では、プログラミング言語の水準間の対応関係についての学習支援機能や学習の効果については、必ずしも明確にはされていないかった。

ところで、一般に、特定のコンピュータの構造に依存しないプログラミング言語を高水準（高級）言語と呼び、依存するものを低水準言語と呼んでいる。高水準言語は、プログラムの汎用性や構造化、読み易さなどの諸々の利点がある。そこで、プログラミングへの導入教育用の言語としても広く利用されている。しかし、その文の機能は、コンピュータの構造によらない抽象的な言葉による解説がなされており、文と具体的なコンピュータの動作との関連は暗箱とされることが多い。従って、高水準言語への導入指導を受けた学習者に対して低水準言語によるプログラミングや、コンピュータの構造そのものの学習を効果的に指導するためには、この暗箱の可視化が重要であると考えた。

そこで、本研究では初心者を対象に、高水準言語の文と低水準言語の命令、マイクロ操作との相互の対応関係を指導することを目的とした学習指導システムを作成した。この学習指導の効果を高めるため、シミュレータによる学習環境を提供することにした。

高水準言語として学校教育で履修させることが多い<sup>[69]</sup>BASIC を取り上げた。そして BASIC の基本的な文と、低水準言語（機械語・アセンブラ語）のプログラムやコンピュータの動作との関連をマイクロ操作に基づいて学習させるシステムを作成した。この学習指導の効果を向上させるため、コンピュータシミュレー

タを開発し<sup>[66],[67]</sup> MOCSEI と名付けた。このシミュレータを用いて授業を行い、学習効果を評価した。評価には、本邦の中・高等学校用の教科書で、導入時に使用される頻度の高い文(代入, 入力, 出力, 条件・無条件分岐)を取り上げた。

評価の結果、高水準言語の文の機能に対応した低水準言語のプログラムを記述させる問題では、シミュレータを使用して個別学習を行った群の学習効果が OHP を使用して一斉学習を行った群に比べて優位であった。また、低水準言語のプログラムの作成やマイクロ操作の記述については、累加のように繰り返しの処理を含む比較的煩雑な問題でシミュレータを用いた群の学習効果が優位であったことが分かった。

## 5.2 言語水準間の関連の学習指導

### 5.2.1 目標

本研究において実施した授業における学習指導の目標を次に示す。

高水準言語の基本的な文の機能と、それに対応する低水準言語のプログラムの関連を説明できる。

低水準言語の命令とコンピュータの動作との関連を、マイクロ操作を用いて説明できる。

高水準言語の基本的な文を用いたプログラム(数値データの入力, 出力, 代入, 加減算, 累加)の読解および作成ができる。

これらの指導目標は、「情報科学」や「計算機工学」等の導入指導の中で、「コンピュータの構成と計算のしくみ」や、「アセンブラ語と高水準言語との対応づけ」などの指導<sup>[70]</sup>に適用することを前提に設定した。

### 5.2.2 内容と方法

この学習指導の方針は、基本的な高水準言語の文の機能を、マイクロ操作の水準でのデータの流れや制御と関連づけて把握させることにある。

表 5-1 に、学習指導の項目、内容の概要、使用した教材・教具等を示す。学習指導は(1)高水準言語(BASIC)への導入、(2)マイクロ操作、(3)低水準言語、(4)高水準言語と低水準言語およびマイクロ操作との関連(以後、水準間の関連という)の手順で実施した。

BASIC へ導入では、基本的な文の構成や文法の形式的な説明をした。そして、プログラムの入力・実行の実習をさせた。

マイクロ操作の指導では、コンピュータの構成や動作と計算の仕組みを学習させた。これを、マイクロ操作によるデータ転送、加算、減算の実習を通して学習させた。

低水準言語の指導では、機械語・アセンブラ語によるデータ転送や加算、減算のプログラミングを実習させた。累加演算については説明のみ行った。

高水準言語と水準間の関連の指導では、四則演算や累加のプログラミングを行わせた。この実習の過程で、マイクロ操作や低水準言語によるプログラムと、BASIC の基本的な文との対応を、シミュレータを用いて実習させた。

この学習指導は、実習の手引<sup>[71]</sup>に従った座学と実習による個別指導を行った。実習の手引は、前述の表 5-1 に示した学習の内容に関する系統的な解説、シミュレータの操作手順、演習問題等で構成した。座学では、学習内容の要点をシミュレータの教授部(後述)を併用して学習させた。また、実習にはシミュレータを個別に用いた。

表 5-1 学習指導の内容の概要

学習項目・形態	学 習 内 容	教材・教具	
(1) 高水準言語 への導入	高水準言語の 命令文の座学  高水準言語プ ログラムの入 力と実行の実 習	コンピュータの操作方法の説明を受ける。 BASIC の入力,出力,代入,無条件分岐,条件分岐等 の基本的な命令文について,その構成と文法の形 式的な説明を受ける。 学習ノートに示してある BASIC のプログラム例を 入力・実行する。 次のプログラムを入力・実行する。 データの転送,四則演算,条件文を含む繰返し演 算(累加)	実習の手引  実習の手 引,BASIC イ ンタ プリタ
(2) マイクロ操 作	コンピュータ の構成と仕組 の概要の座学 と実習  マイクロ操作 による演算の 座学と実習	コンピュータを構成する5要素(入力,出力,記 憶,演算,制御),バス,ゲートの機能についての 説明を受ける。 コンピュータ内のデータの流れを観察する。 データの入力,ゲートの制御,データの転送,加 算の操作を実習する。 コンピュータ内で扱われるデータの表現を知り, 実際に各装置にデータを入力する。 2進数,10進数,16進数,文字コード マイクロ操作により,次の演算を実行する。 データの転送,加算,補数による減算	実習の手 引,MOCS E1の 教授部  実習の手 引,MOCS E1の シミュレ ータ部 と学習指 導・支援 部
(3) 低水準言語	低水準言語に よるプログラ ミングの実習	マイクロ操作と低水準言語(機械語・アセンブラ 語)の命令との対応の説明を受ける。 低水準言語により,以下のプログラムを作成し, 実行する。 データの転送,加算,補数による減算,累加 (累加については解説のみ行った)	実習の手 引,MOCS E1の シミュレ ータ部
(4) 高水準言語 と水準間の 関連	高水準言語と 水準間の関連 に関する座学  高水準言語と 水準間の関連 の実習	高水準言語(BASIC)によるデータの転送,加算,減 算等の完成プログラムについて,各命令の系統的 な説明を受ける。 高水準言語の命令文と低水準言語のプログラムの 対応関係,そして低水準言語の命令とマイクロ操 作の関連の説明を受ける。 高水準言語による四則演算,条件分岐文による繰 り返しの処理を含む演算(累加)のプログラムを 作成し実行する。 高水準言語の命令文と低水準言語のプログラムの 対応関係,そして低水準言語の命令とマイクロ操 作の関連を実習する。	実習の手 引,MOCS E1の 教授部  実習の手 引,MOCS E1の シミュレ ータ部 と実習制 御部

### 5.3 シミュレータの構成

シミュレータ MOCSEI の構成を図 5-1 に示す。このシミュレータは、シミュレータ部と、それを用いた実習を支援する学習・指導支援部から構成した。シミュレータの表示画面の一例を、写真 1-2 に示した。

このシミュレータは、既に関連した MOCS<sup>[42]</sup>の機能を包含している。図 5-1 のシミュレータ部で、低水準言語とマイクロ操作の部分が既存の MOCS である。ただし、高水準言語(BASIC)の実習支援、水準間の相互作用の制御、及び水準間の関連についての実習支援の諸機能はなかった。これに対して、太線で囲い網掛けをした部分が、高水準言語の実習や水準間の関連の実習を支援するために新設した部分である。また、学習・指導支援部の網掛けをした各部について、言語水準間の関連に関する実習の支援機能を強化した。

#### 5.3.1 シミュレータ部

図 5-1 に示したシミュレータ部は、コンピュータの 5 要素を要素ごとに配置し、その間をバスやゲートで結んだ簡潔な構成とした。また、可視性の観点から、レジスタやメモリの内容、要素間のデータの流れ、ゲートの制御の状況等を動的に表示させた。

シミュレータ部を表示する画面上では、学習者が手動操作で各ゲートを開閉し、演算を行うマイクロ操作ができる。具体的には、その画面上のゲートの絵表示(図 5-2 参照)上に、マウスのポインタを合わせてクリックすることでゲートを開閉し、レジスタや演算器の間でのデータ転送を行うことができる。

次に新設した部分を中心に、概要を述べる。

##### (1) 多水準の命令の実行時の状況表示

a. 高水準言語の文：高水準言語(BASIC)の基本的な文を用いたプログラムの実行時の状況を、下記の b や c との関連とともに表示する。使用できる文は、学習指導の目標の達成に最低限必要な入力、出力、四則演算、代入、無条件分岐、条件分岐とした。

b.低水準言語の命令：機械語およびアセンブラ語のプログラムを実行する。命令セットには、データ転送、演算、分岐などの16の命令がある。これらを用いたプログラムは、自動実行モード<sup>[42]</sup>で学習者が入力や編集を行い、自動実行ができる。

c.マイクロ操作の実行：マイクロ操作の水準でのデータ転送や四則演算を実行する。シミュレータ部には、学習者が手動で開閉できる20のゲートがある。ただし、低水準言語の1つの命令を実現するためのマイクロ操作は、1から3個のゲートを開閉する単純な操作に対応する<sup>[42]</sup>。これらは、マイクロ操作モードで、学習者主導で操作できる。

## (2) 水準間の相互作用の制御部

相互作用の制御部は、上記(1)に示したa, b, cの3水準間での実行時の相互作用を制御する。これは、高水準言語の1文は、複数の低水準言語の命令で構成されている。また、低水準言語の命令の機能は、複数のマイクロ操作で実現されるという階層的なつながりを持った実行を制御するものである。

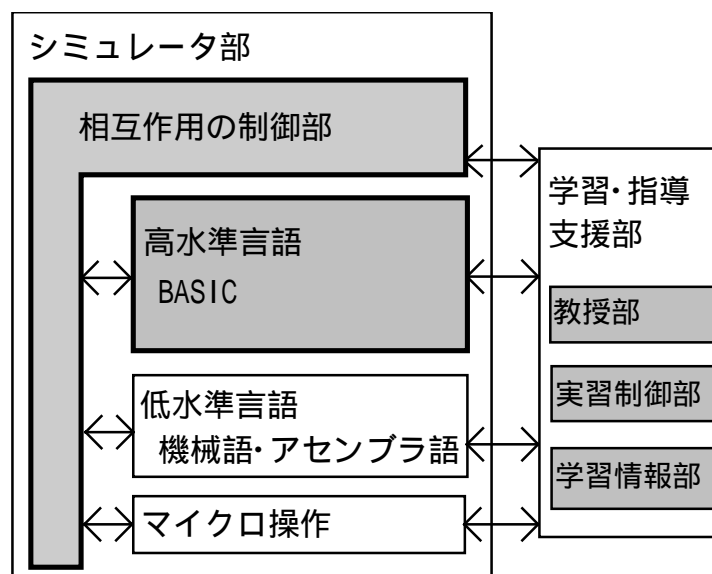


図 5-1 シミュレータの構成

### (3) 水準間の相互作用の実行例

図 5-2 は、高水準言語(BASIC)の加算のプログラムの実行過程を示す表示画面の一例である。

この画面は、高水準言語プログラムの編集部(図 5-2 の右側)、シミュレータ部のデータフロー(図 5-2 の左側)および制御装置(図 5-2 の中央部)を示している。

図 5-2 で、高水準言語プログラムの文“INPUT A”は、アセンブラ語の命令“IN”や“ST”に対応することを示している。さらに、“IN”は制御装置に送られ、解読されてゲート6と1を開くマイクロ操作が実行されることを示す。実際の表示画面を写真 1-2 に示した。

これらを実行すると、入力装置のデータ(図 5-2 中では 16)が、累算器(演算装置の Acc.)に転送される。その間のゲートの制御状態や、データの流れが動的に表示される。このように、1つの文の実行時の状況を、低水準言語の命令やマイクロ操作との対応のもとに逐次表示することでも可視性を高めている。

水準間の相互作用の制御部は、このような各水準間の命令の実行を順次制御する。また、各水準の命令やマイクロ操作の連続実行やステップ実行を制御する。

## 5.3.2 学習・指導支援部

図 5-1 の学習・指導支援部では、学習者に系統的な学習情報を提供する教授部と、実習の流れを制御する実習制御部、学習者に学習情報をテキストや画像で提示する学習情報部を強化した。

### (1)教授部

教授部は、次のような学習情報を提示する。

- a.高水準言語のプログラムの提示：転送，加算，または減算についての完成プログラムを提示する。
- b.文の解説：提示したプログラムや，それを構成する文について，系統的な解説をする。
- c.水準間の関連の解説：高水準言語の文の機能と，低水準言語の命令およびマイクロ操作との対応関係を動的に表示するとともに，それに解説を加える。

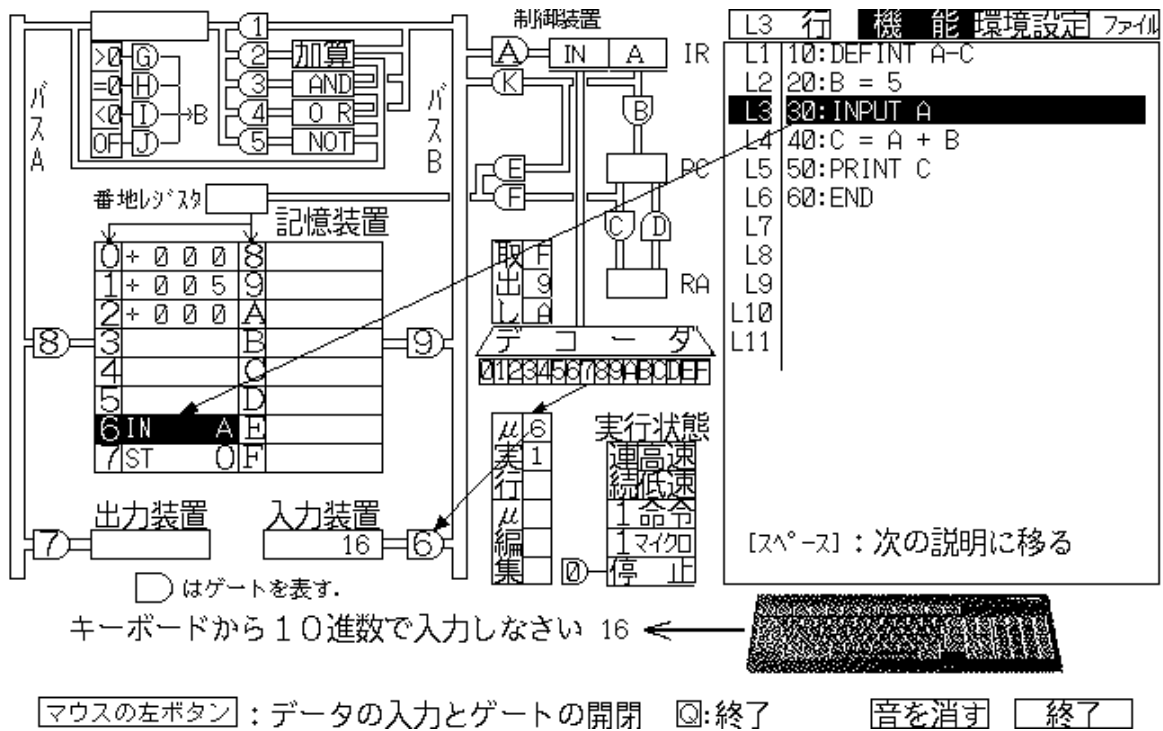


図 5-2 高水準言語の命令とマイクロ操作の関連を示すフレームの例

## (2) 実習制御部

課題の提示や、初心者がその課題を完成・実行する活動を支援する。具体的には、次のことを行う。

a. 四則演算や累加の課題について、未完成のプログラム例(例えば、図 5-2 の高水準言語プログラムの編集部の文中で、変数の A, B, C, 定数の 5, および演算子の + が欠落しているもの)を提示する。

b. 学習者が文中の未完成部分(変数, 定数や演算子)を完成する際に、未完成部分に適した変数, 定数, 演算子を選択させるための選択窓を提示し、学習者にその窓の中から適切なものを選択させる。

学習者は、作成したプログラムをシミュレータ部上で実行し、その状況を観察する。必要があれば修正を繰り返す。

## (3) 学習情報部

学習者の要求に応じて、次の a や b についてのより詳しい解説や説明図(大別して 75 項目)を提示する。

a. シミュレータ上に表示されているコンピュータの構成要素の機能と、それらの操作方法

b. 上記(1)や(2)の学習情報中の用語

### 5.3.3 シミュレータの規模

表 5-2 に、本シミュレータの教授部や実習制御部から学習者に提示される主要なフレームの数を示す。表 5-2 は、転送や四則演算, 累加等についての課題を解説・実行するときに提示される文や命令の数を示している。また、各種の解説用のフレームや、変数の値の入力用ダイアログボックス, および文や命令の実行に従って画面の表示内容が変化する度数を示す。提示されるフレームの数は A, B, C 等の変数の値や連続 / ステップ等の実行制御の違いによっても変化する。

なお、本シミュレータは MS-DOS 上で約 16,000 行の C 言語のプログラムで作成した。

表 5-2 シミュレータ部を用いた水準間の関連の解説・実習による表示画面の数

支援機能	課題	言語水準間の関連			実行・解説される文や命令の数			画面の表示内容が変化する度数		
		BASIC	機械語	マイクロ	BASICの文の数	機械語・アセンブラ語のプログラム命令数	マイクロ操作のステップ数	解説用のフレームの表示	入力用ダイアログボックスの表示	実行時のシミュレータ部の画面変化
教授部による解説時	転送				4	5	24	12	1	29
	加算				6	10	52	19	1	62
	転送,加算,減算				-	-	14	40	2	14
実習制御部による実習時	加算				6	10	52	7	20	62
	減算				6	12	62	7	22	74
	乗算				6	6A+12	34A+61	7	6A+22	40A+73
	除算				6	7B+18	38B+94	7	7B+28	45B+102
	累加				3C+8	7C+8	39C+47	3C+9	10C+21	46C+55
	転送,加算,減算				-	13	62	17	16	75
	転送,加算,減算				-	-	20	17	0	20

(注) 網掛けをした部分は、MOCSEI で新設した機能によることを示す。繰り返しの演算を行う乗算、除算、累加について、A は乗数、B は除数、C は累加の回数を示す。

## 5.4 評価方法

### 5.4.1 実験の方法

本研究では、表 5-3 に示すように、シミュレータ群と一斉学習群を設定した。シミュレータ群は、本研究で開発したシミュレータによる学習効果を評価することを目的にしている。また、従来の授業形態として一斉学習群を設定した。表 5-3 に示したように学習指導の内容や手順、指導時間を両群とも同一にして実験授業を実施し、学習効果を比較した。

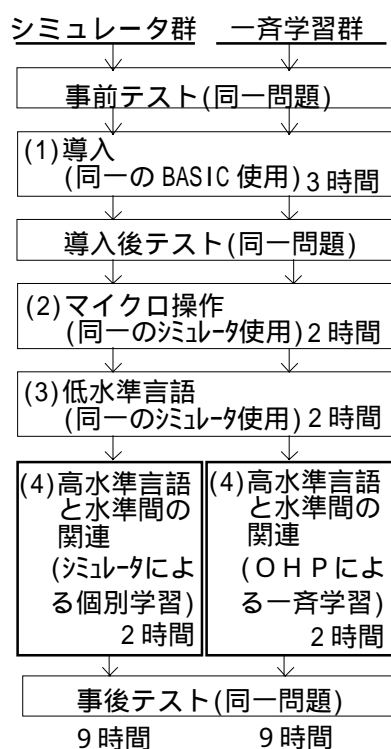
両群ともまず、表 5-3 の(1)BASIC によるプログラミングへの導入の実習を行った。その後、(2)マイクロ操作、(3)低水準言語、(4)高水準言語と水準間の関連の順で学習をさせた。授業は、両群とも同一の実習の手引<sup>[71]</sup>に従って実施した。

シミュレータ群は、(2)、(3)、(4)を通してシミュレータと実習の手引を用いて、個別に実習を行った。教師は学習の内容について積極的な解説は行わなかった。

これに対して一斉学習群では、(2)マイクロ操作と(3)低水準言語の実習ではシミュレータ群と同様にシミュレータを用いて個別に実習を行った。しかし、(4)の高水準言語と水準間の関連の実習については、主にOHPを使ったことが異なる。これは、(4)については、シミュレータで提示される情報とほぼ同じ学習情報を、教師が一斉指導の形態で実施した。例えば、図 5-2 をOHPによる静止画や板書、口頭等で提示した。学習者は、教師による提示情報や実習の手引に従って個別学習を行った。

実験対象とした初心者は、教育学部の学生、および臨床検査技師養成系大学の学生とした。ただし、これらの実験対象者は、プログラミング言語を学習した経験のないことを事前アンケートと事前テストで確認した。実験対象者は、シミュレータ群が3グループ54名であり、一斉学習群が1グループ20名であった。

表 5-3 学習指導の手順と実験群の設定



#### 5.4.2 評価の観点

評価項目，問題の内容，評価の観点を表 5-4 に示す。

まず，a.高水準言語の文の機能と低水準言語のプログラムの関連について評価した。このため，問題(1)，(2)，(3)の高水準言語(BASIC)の代入文，入力文，出力文の機能に対応する低水準言語のプログラムを記述させた。

次に，低水準言語の命令とマイクロ操作やコンピュータの動作との関連について評価した。このため，データの減算，累加演算について，b.低水準言語のプログラム(問題(4)，(5))と，対応するc.マイクロ操作の手順(問題(6)と(7))を記述させた。

表 5-4 評価内容の概要

評価項目	問題の内容	評価の観点
a. 高水準言語と低水準言語の命令間の関連	BASIC による(1)代入文,(2)入力文,(3)出力文に対応する低水準言語のプログラムを記述させる.	高水準言語の文と低水準言語のプログラムの関連の理解の有無を評価する.
b. 低水準言語のプログラム	数値データの(4)減算,(5)累加のプログラムを記述させる.	機械語・アセンブラ語の命令やプログラムの理解の有無を評価する.
c. マイクロ操作の手順	数値データの(6)減算,(7)累加の手順を記述させる.	マイクロ操作の水準での演算操作の理解の有無を評価する.
d. 高水準言語(BASIC)の文やプログラム	(8)BASIC で記述した数値の累加プログラムを読解し,計算の実行結果を記述させる.	高水準言語のプログラムの読解の可否を評価する.
	(9)BASIC で記述したプログラム中の,代入文を含む条件分岐文の機能を,データの位置や流れの観点で記述させる.	高水準言語の文の実質的な意味の理解の有無を評価する.
	(10)BASIC による,条件分岐を含む数値データの累加を行うプログラムを記述させる.	高水準言語によるプログラムの記述の可否を評価する.

( )内の数字は,問題番号を示す.

また, d. 高水準言語の文やプログラムの理解・作成について評価した。これは,問題(8),(9),(10)の,累加プログラムの読解,代入文を含む条件分岐文の機能の記述,累加のプログラムの記述によって評価した。

以上の問題を,表 5-3 に示した事前テスト,導入後テスト,事後テストとして実施した。両群とも同一の問題を使用した。

## 5.5 実験結果と考察

まず、シミュレータ群と一斉学習群の学習準備状況について調査した。事前テストについて、両群間で問題別に正答度数の差の検定を行ったところ、有意差(5%水準)は見られなかった。また、導入後テストについても同様に有意差は見られなかった。従って、両群には表 5-3 の(1)導入指導後の差はなかったと言える。

表 5-5 に、表 5-3 の(2)、(3)、(4)の指導後に実施した事後テストの正答率と、<sup>2</sup> 検定の結果を示す。この正答率は、事前テストが誤答で事後テストが正答になった、すなわち、学習効果があった者の割合を示した。

なお、低水準言語のプログラミングに対するマイクロ操作に基づいた実習の効果や、シミュレータ M O C S の効果については、既に評価<sup>[41],[42],[43]</sup>した。そこで本報告では、高水準言語の文の機能や、低水準言語の命令とコンピュータの動作との関連を、シミュレータを用いて実習させた場合の効果について評価した。

### 5.5.1 高水準と低水準言語の命令

まず、高水準言語の文の機能と、低水準言語のプログラムの関連の学習に対するシミュレータの効果を評価した(表 5-4 の a , 問題 1 , 2 , 3 による)。

その結果、表 5-5 の a に示すように、代入文、入・出力文のいずれについてもシミュレータ群の方が高い正答率を得た。特に、問題 2 と 3 の入・出力文については、それぞれ 5%及び 1%の有意水準で差が見られた。

有意差が見られた問題 2 , 3 について一斉学習群の合計 11 件の誤答を分析した。この結果、誤答の約半数の 6 件は高水準言語(BASIC)の 1 文が、低水準言語の 1 命令に対応しているとの誤解によるものであった。これは、入力または出力命令のみを記述し、メモリセルとのデータの授受の記述がなかったためである。その他は、入力や出力手順の誤りが 2 件、データの格納位置の指定の誤りが 2 件、そして無答が 1 件であった。

表 5-5 事後テストの正答率

評価項目	問題	正答率 (%)		<sup>2</sup> の値
		シミュレータ群	一斉学習群	
a . 高水準と	1 . 代入文	81.5	65.0	2.240
低水準言語の	2 . 入力文	96.3	> 80.0	5.202
命令間の関連	3 . 出力文	92.6	> > 65.0	8.780
b . 低水準言	4 . 減算	92.6	85.0	0.982
語のプログラム	5 . 累加	42.6	> > 10.0	6.930
c . マイクロ	6 . 減算	94.4	85.0	1.747
操作	7 . 累加	33.3	> 10.0	4.029
d . 高水準言語	8 . 読解と計算	90.6	80.0	1.500
の文やプロ	9 . 命令文の機能	77.8	70.0	0.480
グラム	10 . プログラムの 記述	79.6	70.0	0.765

正答率の欄で, >>は 1%水準で有意差あり, >は 5%水準で有意差ありを示す。

一斉学習群のこれらの誤答は、水準間での命令の対応関係や、コンピュータ内でのデータの流れ・位置などを具体的に把握できていないことによると考えられる。一方、シミュレータ群では表 5-5 の a に示すように、これらの誤答が一斉学習群よりも少なかった。

従って、本シミュレータによる実習は高水準言語の文の機能と低水準言語のプログラムとの関連の学習において、OHPを用いた一斉学習よりも高い学習効果が得られると言える。

### 5.5.2 低水準言語とマイクロ操作

低水準言語のプログラムやマイクロ操作の手順を記述できることに対する、シミュレータの効果を評価した(表 5-4 の b と c , 問題 4 から 7 による)。

その結果、表 5-5 の b と c に示すように、いずれについてもシミュレータ群の方が高い正答率を得た。特に累加演算の問題 5 や 7 では、それぞれ 1%及び 5%の有意水準で差が見られた。

有意差がみられた累加の問題 5 と 7 について、一斉学習群の合計 36 件の誤答を分析した。この結果、入力したデータが終了値かを検査するための条件分岐命令の位置が誤っているものが 12 件あった。また、繰り返し加算を行うための無条件分岐命令が使用されていないものが 13 件、そして無答が 11 件であった。

これらの誤答からは、レジスタ内のデータの変化と、条件分岐命令の適切な配置の関連を把握できていないことが伺える。また、プログラムの流れの制御が理解できてないこともわかる。

これに対してシミュレータ群では、命令の実行に伴って変化するレジスタの内容、条件・無条件分岐命令の実行制御の機構、高水準言語によるの累加のアルゴリズム等を、シミュレータ上で動的に観察・実行している。このため、正答率が向上したと考えられる。

従って、低水準言語のプログラムやマイクロ操作の手順の記述については、累加のように条件・無条件分岐による繰り返しの処理を含む比較的煩雑な問題で、

本シミュレータを用いた方が高い学習効果が得られると言える。

### 5.5.3 高水準言語のプログラム

高水準言語(BASIC)のプログラムの読解や作成に対するシミュレータの効果を評価した(表 5-4 の d , 問題 8 , 9 , 10 による)。

その結果, 表 5-5 の d に示すように, シミュレータ群の正答率がいずれについても一斉学習群を上回っているものの, 有意差は認められなかった。

これは, 高水準言語のプログラムの読解や作成では, 文の並びを追跡して変数の値の変化やアルゴリズムを把握する作業が中心となる。これは, コンピュータのデータフローを念頭に置かなくても作業が可能であったと考えられる。そのため, シミュレータによる効果は顕著に現れなかったものと考えられる。

従って, 高水準言語のプログラムそのものの読解や文の機能の記述およびプログラム作成については, 本シミュレータによる学習に顕著な効果は見られないと言える。

### 5.5.4 評価のまとめ

以上をまとめると, 表 5-5 に示したように, 開発したシミュレータを用いた群は, いずれの問題についても OHP を用いて一斉学習を行った群の正答率を上回っている。特に, 表 5-5 において 2 つの不等号 > > で示した項目は 1%水準で, 1 つの不等号 > は 5%水準でシミュレータを用いた群の正答率が高いことを表している。これらから, 高水準言語の文の機能と低水準言語のプログラムの関連や, 低水準言語のプログラム及びマイクロ操作の記述において, 開発したシミュレータの効果が顕著であったと言える。

## 5.6 意識調査

### 5.6.1 目的と方法

最後に、本研究で行った学習活動の全体を通じて、学習者がコンピュータやプログラミングを理解する上で重要な支援機能が何かを明らかにするため、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かについての意識を調査した。

調査では、質問「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。」について、自由記述による回答を求めた。調査対象者は、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習者 157 名である。

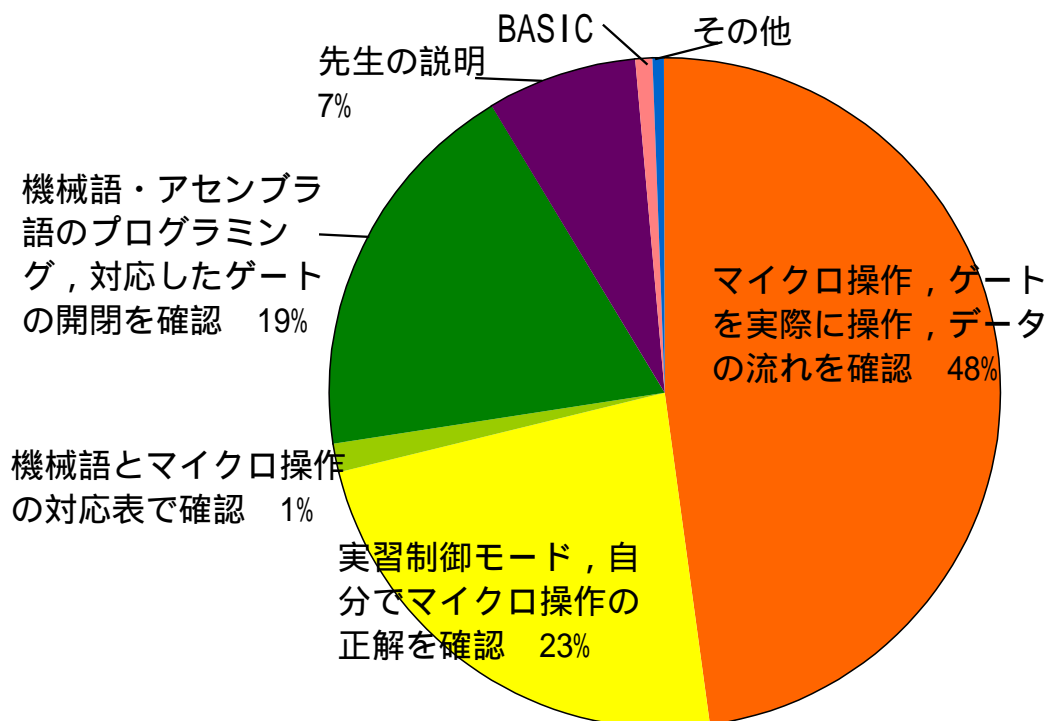


図 5-3 「どのようなとき計算の仕組みが分かったか」の集計結果

## 5.6.2 結果と考察

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 5-3 に示す。

### (1) マイクロ操作による実習の効果

図 5-3 によると、回答の約半数の 48%が「マイクロ操作，ゲートを操作，データの流れを確認したとき」に類別できた。さらに、「実習制御モードで，自分でマイクロ操作を行って正解を確認したとき」の 23%や、「機械語とマイクロ操作の対応表で確認したとき」の 1%を合わせると，72%もの学習者がマイクロ操作を行っている過程で理解したとの意識を持ったことが分かる。従って，本研究で提案した「マイクロ操作」に基づいた学習指導が，学習者の意識からも極めて有効であったと言える。

### (2) マイクロ操作の確認の効果

回答の 23%が、「実習制御モードで，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。このことから，シミュレーションの環境だけではなく，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) プログラムと対応したゲートの開閉の表示の効果

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」に分類できた。

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，マイクロ操作の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，「先生の説明」時に理解したとの意識を持った学習者は 7%であり，さらに少ない。

一方，機械語・アセンブラ語の命令と，対応するゲートの開閉の関連を表示する機能も，理解したとの意識を持たせるために有効であったことが分かる。

## 5.7 まとめ

本論では、初心者を対象に高水準言語(BASIC)の文の機能と低水準言語の命令やコンピュータの動作との関連を学習させた。この実習の効果を向上するため、教育用のコンピュータシミュレータを作成し、その効果を確認した。実験授業は、同一の内容を同一の学習時間で実施した。そして、その効果をOHPを用いた一斉学習と比較検討した。

その結果、以下の結論を得ることができた。

(1) 高水準言語の文の機能と低水準言語のプログラムの関連については、シミュレータを用いた個別学習の方がOHPを用いた一斉学習より高い学習効果が得られることが明らかになった。

(2) 低水準言語のプログラムやマイクロ操作の手順の記述については、累加のように条件・無条件分岐を含むアルゴリズムの比較的煩雑な問題で、シミュレータを用いた方が高い学習効果が得られることが分かった。

(3) 高水準言語のプログラムそのものの読解や文の機能の記述、およびプログラムの記述については、シミュレータによる学習に顕著な効果は見られなかった。

従って、初心者を対象とした実際の情報処理教育で、このシミュレータが特に上記の(1)や(2)の学習指導で有効に活用できる。

さらに本シミュレータは、ソフトウェアの各言語水準間の関連を展望することや、高水準言語への導入教育を受けた学習者に対して機械語やアセンブラ語を教える、あるいはコンピュータそのものを教える際の導入教育、さらには、コンピュータを設計しようとする者に対する導入教育などにも役立てることが期待できる。

## 第6章 結論

### 6.1 本論文で得られた結果の概要

本研究では、マイクロ操作によるコンピュータ・プログラミングの実習指導を行うことで、高い学習効果が得られることを明らかにした。これは、以下に列挙した項目から総合的に導いたものである。

#### (1) マイクロ操作による実習の効果について

マイクロ操作を実行できるハードウェアによる教育用コンピュータEDCOMを製作した。そして、EDCOMを用いてマイクロ操作によるコンピュータのデータの流れや制御機構及び機械語・アセンブラ語によるプログラミングの実習指導を行った。その結果から、次のことが分かった。

機械語・アセンブラ語による加算や減算のプログラミングの問題について、EDCOMを用いてマイクロ操作による実習を事前に行った群では、EDCOMを使用しなかった群よりも高い正答率が得られる。従って、マイクロ操作の水準で実習指導を行うことが、機械語・アセンブラ語のプログラミングの学習効果を高めると言える。

#### (2) コンピュータシミュレータによる学習指導の支援の効果について

マイクロ操作を実行できるEDCOMの機能に、個別学習や個別指導の支援機能を付加したソフトウェアによるコンピュータシミュレータMOC Sを制作し、それを用いた学習指導を実施した。その結果から次のことが分かった。

シミュレーションの環境を提供するだけでなく、系統的な学習情報の提供や、実習の流れの制御、及び学習者の誤操作に対する即時的なフィードバック等を行う個別指導の支援機能をシミュレータに付加することが、マイクロ操作によるプログラミングの学習効果を高める。

さらに、EDCOMのような具体的な先行オーガナイザを併用することで、コンピュータの構成の全体像や、計算のしくみの具体的なイメージを学習者に知らせることが学習効果を高める。

### (3) 教育の実施効果について

日本の中学校や高等学校の生徒、学部学生、及びアジア地域の教育関係者や学生を対象として、マイクロ操作に基づいたプログラミング教育を実施し、その効果を評価した。その結果から次のことが分かった。

中学生、高校生、学部学生のいずれを対象にした場合も、マイクロ操作の水準でのデータの転送や加算の問題では70%以上の正答率が得られる。一方、機械語・アセンブラ語によるプログラミングでは、中学生や高校生の正答率はマイクロ操作による正答率よりも低くなる。

アジア地域のテクニシャン教育関係者と学生を対象にした場合は、マイクロ操作や低水準言語のいずれの問題についても80%以上の高い正答率が得られる。

### (4) 高水準言語とマイクロ操作の関連の教育支援の効果について

高水準言語(BASIC)の文の機能と低水準言語の命令やコンピュータの動作との関連をマイクロ操作に基づいて実習させるため、ソフトウェアによるコンピュータシミュレータMOCSEIを制作した。その結果から以下のことが分かった。

高水準言語の文と低水準言語のプログラムの関連については、シミュレータを用いた個別学習の方がOHPを用いた一斉学習より高い学習効果が得られる。また、低水準言語の命令とマイクロ操作の手順の関連については、累加のように条件・無条件分岐を含む比較的煩雑な問題で、シミュレータを用いた方が高い学習効果が得られる。

## 6.2 今後の課題

本研究に残された課題としては、マイクロ操作に基づいた実習の効果をさらに検証する必要がある。

- ・ハードウェアとのインターフェースの教育への効果
- ・高水準言語の理解への効果
- ・ネットワーク環境での利用システムの開発と評価

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり，終始，懇切なるご指導と励ましの言葉を戴きました，東京工業大学大学院社会理工学研究科長清水康敬教授に心から厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行に当たって，終始励ましと適切なご助言を戴きました，元宇都宮大学学長馬場信雄名誉教授に厚く御礼申し上げます。さらに，本研究をまとめるに当たりご指導とご助言を戴きました，東京工業大学大学院社会理工学研究科中原凱文教授，赤堀侃司教授，牟田博光教授，中川正宣教授，西原明法教授に，厚く御礼申し上げます。

本研究の萌芽期にご助言を戴きました，宇都宮大学工学部馬場敬信教授，米国州立オレゴン大学 David Moursund 教授，Christopher Wilson 準教授に，厚く御礼申し上げます。また，海外での実験授業に協力いただいた，在フィリピン国 Colombo Plan Staff College for Technician Education の C . K . Basu 学長，シンガポール国 Institute of Technical Education の Teo Pui Sings 講師に，厚く御礼申し上げます。また，研究や実験授業にご協力を戴きました，元宇都宮大学教育学部附属教育実践研究指導センター長吉沢和夫名誉教授，真岡市立山前中学校山口光夫教諭，宇都宮大学教育学部附属教育実践研究指導センター専任川島芳昭助手に，厚く御礼申し上げます。

本研究をまとめるに当たり，理解あるご配慮を頂きました，宇都宮大学教育学部附属教育実践研究指導センター長佐藤泰彦教授および西田智事務補佐員に，厚く御礼申し上げます。

最後に，日頃より大変お世話になり，研究会での討論やすばらしい研究環境を提供して下さいました，清水・中山・西方・室田研究室の皆様方，教育工学開発センターの皆様方，そして'98年度研究生の皆様方に，厚く御礼申し上げます。

# 本研究に関する報告

## 1. 本研究に関わる学会論文 6件

- (1) 石川 賢, 馬場信雄: “自由記述解答の判定プログラム”, 日本産業技術教育学会誌, Vol.19 No.2, pp.121-123 (1977.7).
- (2) 石川 賢, 吉沢和夫, 馬場信雄: “自由記述解答文の電算機による判定に関する実験”, 日本産業技術教育学会誌, Vol.23 No.1, pp.43-48 (1981.3).
- (3) 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, Vol.J71-A No.11, pp.2063-2071 (1988.11).
- (4) 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, Vol.J75-A No.2, pp.422-430 (1992.2).
- (5) 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, Vol.J77-A No.5, pp.802-811 (1994.5).
- (6) 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 (1998.10).

## 2. 関連論文 4件

- (1) 馬場敬信, 石川 賢, 奥田健三: “2レベル・マイクロプログラム制御計算機MUNAPのアーキテクチャ”, 電子通信学会論文誌 D, Vol.J64-D No.6, pp.518-525 (1981.6).
- (2) 馬場敬信, 石川 賢, 奥田健三: “2レベル・マイクロプログラム制御計算機MUNAPの非数値処理”, 電子通信学会論文誌 D, Vol.J64-D No.6, pp.526-533 (1981.6).

- (3) Takanobu Baba, Ken Ishikawa and Kenzo Okuda: "A Two-Level Microprogrammed Multiprocessor Computer with Nonnumeric Functions", IEEE Transactions on Computers, Vol.c-31, No.12, pp.1142-1156 (1982.1).
- (4) 稲川正行, 馬場敬信, 石川 賢, 山崎勝弘, 奥田健三: "Prologの単一化における引数間の並列処理", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J70-D No.2, pp.298-306 (1987.2).

### 3. 国際会議 2件

- (1) Takanobu Baba, Ken Ishikawa, Kenzo Okuda and Hiroyuki Kobayashi: "MUNAP - A Two-Level Microprogrammed Multiprocessor Architecture for Nonnumeric Processing", Information Processing 80 (Proceedings of IFIP Congress 80), pp.169-174 (1980.1).
- (2) Ken Ishikawa and Nobuo Baba: "Computer Science Education Based on Micro-Operations", Computers in Education, WCCE/85, IFIP, pp.483-488 (1985.7).

### 4. 著書 9件

- (1) 教員養成大学・学部教官研究集会技術科教育部会 編著: "技術科教育の研究(技術科教員の養成システム(電気)を分担執筆)", 教員養成大学・学部教官研究集会技術科教育部会編著, 第一法規出版, pp.224-226 (1978.3).
- (2) 馬場信雄, 鈴木寿雄, 他 編集: "技術科教育辞典(電子計算機の項目を分担執筆)", 東京書籍, pp.397-400 (1983.6).
- (3) 技術科教育実践講座刊行会(代表 鈴木寿雄)編集: "技術科教育実践講座 第7巻 情報基礎(CPUとマイクロプロセッサおよびプログラムとプログラミング言語を分担執筆)", ニチブン, pp.220-224, pp.248-252 (1989.1).
- (4) 細谷俊夫, 奥田真丈, 他 編集代表: "新教育学大事典(教育情報および教育情報処理の項目を分担執筆)", 第一法規出版, pp.275-276, pp.278-279 (1990.6).
- (5) 西之園晴夫, 村田正男 編著: "これからの情報教育とその指導(第5章 「情報基礎」領域が新設された背景を分担執筆)", 東京書籍, pp.188-208 (1990.6).
- (6) 吉田辰雄, 他 編著: "進路指導におけるコンピュータ利用(第3章 コンピュータの機能と教育への利用を分担執筆)", 日本教育事業団出版

- 局, pp.22-41 (1990.8).
- (7) 日本産業技術教育学会情報分科会 編集: “教師のための情報技術入門 (第8章 コンピュータの構造としくみを分担執筆)”, 朝倉書店, pp.47-55 (1991.4).
  - (8) 山極 隆 編著: “新しい授業の創り方講座 第5巻 情報化への対応と授業実践の改革 (第2章第3節 中学校「情報基礎」のカリキュラム開発[1] を分担執筆)”, 第一法規出版, pp.39-51 (1991.1).
  - (9) 石田晴久, 中馬敏隆, 他 編集代表: “新しい技術・家庭(上)(文部省検定済教科書)(「情報基礎」領域を分担執筆)”, 東京書籍 (1992.1).

## 5. 紀要等 53件

- (1) Ken Ishikawa, Kazuo Yoshizawa and Nobuo Baba: “Control Circuit for Random Access VTR” 宇都宮大学教育学部紀要, Vol. 27-2, pp.63-69 (1977.1).
- (2) 石川 賢: “調査集計用汎用プログラム”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 1, pp.43-45 (1978.3).
- (3) Ken Ishikawa, Kazuo Yoshizawa and Nobuo Baba: “Improvement of the Grading Program for the Answer Described Freely”, 宇都宮大学教育学部紀要, Vol. 28-2, pp.67-72 (1978.1).
- (4) 石川 賢, 鈴木 勲, 太田 周, 田原博人: “電子計算機による入学試験成績の集計処理”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 2, pp.1-6 (1979.3).
- (5) 石川 賢: “学習の効果を個人別に判定するためのS - P表”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 2, pp.22-26 (1979.3).
- (6) 石川 賢, 馬場信雄: “和文記述用マ - クカ - ド”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 3, pp.24-30 (1980.3).
- (7) 石川 賢, 吉沢和夫, 馬場信雄: “自由記述解答文に使用されたキ - ワ - ドの出現頻度”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 3, pp.31-37 (1980.3).
- (8) 石川 賢: “英語文書清書システム - 教育工学センターにおける実現 -”, 宇都宮大学教育学部教育工学センター紀要, Vol. 5, pp.41-48 (1982.3).
- (9) 村田正男, 馬場信雄, 菊地庄作, 吉沢和夫, 斉藤健次郎, 佐藤泰彦, 石川 賢: “技術科教育における授業システムの評価について”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 6, pp.3-10 (1983.3).
- (10) 吉澤和夫, 石川 賢, 馬場信雄: “パソコン・グラフィックスによる提示用教材 直流と交流について”, 宇都宮大学教育学部紀要, Vol. 36

- No.2, pp.131-151 (1986.2).
- (11) Ken Ishikawa: “Instructional Uses of Computers in the Eugene Oregon School District, United States”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 10, pp.1-10 (1987.3).
  - (12) 石川 賢, 斎藤健次郎: “教育用ソフトウェアのライブラリーの作成 米国の教育用ソフトウェアの導入について ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 11, pp.225-234 (1988.3).
  - (13) 岩見葉子, 石川 賢, 斎藤健次郎: “衛生看護科におけるコンピュータの教育と利用に関する実態及び意識調査”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 11, pp.191-200 (1988.3).
  - (14) 斎藤健次郎, 石川 賢, 竹原義幸, 関ちとせ: “授業の設計活動の援助のための教育情報データベースシステムの作成”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 11, pp.213-223 (1988.3).
  - (15) 斎藤健次郎, 石川 賢: “教育実習事前指導についての概要と受講後のアンケート調査の報告”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 12, pp.227-234 (1989.3).
  - (16) 豊田 壽, 石川 賢, 佐藤泰彦: “簡易スイッチの試作”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 12, pp.153-159 (1989.3).
  - (17) 古口博大, 石川 賢, 吉沢和夫, 斎藤健次郎: “平仮名学習に関する幼児・精神遅滞児教育用ソフトウェアの試作とその評価”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 12, pp. 11-20 (1989.3).
  - (18) 吉沢和夫, 石川 賢, 佐藤泰彦: “コンピュータゲームに関する実態調査”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 12, pp. 21-27 (1989.3).
  - (19) 吉沢和夫, 石川 賢, 佐藤泰彦: “幼稚園へのパーソナルコンピュータ導入保育の一試行”, 宇都宮大学教育学部紀要, Vol. 40-2, pp.77-87 (1990.2).
  - (20) 石川 賢, 高山裕一, 斎藤健次郎: “欧米の教育用ソフトウェアの着想の調査と本邦の教育システムへの適用 - 児童を対象としたシミュレーション型教育用ソフトウェアの試用結果 - ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 13, pp.43-53 (1990.3).
  - (21) 増淵茂泰, 綱川 淨, 伊東明彦, 石川 賢, 高山裕一, 龍福史朗, 吉成康子, 住吉正子, 橋本和英, 南木義男, 小筆恵美子, 間宮栄二, 津野田誠一: “理科教材データベースの作成 全体構想と試作 ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 13, pp.55-62 (1990.3).
  - (22) 石川 賢, 稲垣清也, 上野耕史, 柄木田正春, 糸川和照, 櫻澤利彦, 高山裕一, 竹原義行, 塚原 保, 綱川 淨, 長岡孝之, 松本隆雄, 水内孝至, 山市 隆, 山口光夫, 吉澤和夫: “欧米の教育用ソフトウェア

- の着想の調査と本邦の教育システムへの適用 - シミュレーション型教育用ソフトウェアの着想の調査 - ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 13, pp.33-42 (1990.3).
- (23) 塚田暁美, 石川 賢, 斎藤健次郎: “シミュレーション型ソフトウェアの小学校社会科の学習指導への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 14, pp.181-192 (1991.3).
- (24) 吉田英晴, 石川 賢, 斎藤健次郎: “表計算ソフトウェアの理科授業におけるグラフ作成指導への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 14, pp. 93-103 (1991.3).
- (25) 石川 賢, 大貫義見, 高山裕一, 小森祥一, 塚田暁美, 山口光夫, 吉沢和夫: “情報の処理に関する基礎学習の改善 - 自主選択による基礎学習のためのモジュール教材の開発 - ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 14, pp. 69-82 (1991.3).
- (26) 坂本 勉, 石川 賢, 斎藤健次郎: “中学校数学科における個別指導のためのソフトウェアの開発”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 14, pp. 83-92 (1991.3).
- (27) 菊地諭美, 石川 賢, 吉沢和夫: “マルチメディアシステムの社会科地理の学習指導への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 15, pp. 83-94 (1992.3).
- (28) 田部并能之, 石川 賢, 吉沢和夫: “シミュレーション型ソフトウェアの歴史の学習指導への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 15, pp. 95-104 (1992.3).
- (29) 印南誠一, 石川 賢, 吉沢和夫: “シミュレーション型ソフトウェアの天体学習指導への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 15, pp.117-126 (1992.3).
- (30) 佐藤泰彦, 小森祥一, 石川 賢: “中学校技術・家庭科における「情報基礎」とパソコン利用に関する意識調査”, 宇都宮大学教育学部紀要, Vol. 42-2, pp.75-98 (1992.3).
- (31) 小口公正, 石川 賢, 吉沢和夫: “中学校数学科における個に応じた学習支援ソフトウェアの開発”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 15, pp.105-115 (1992.3).
- (32) 鈴木恆典, 石川 賢, 吉澤和夫: “中学校数学科の図形領域における図形処理ソフトウェアの活用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 16, pp.48-57 (1993.3).
- (33) 竹田 昇, 石川 賢, 吉澤和夫: “ハイパーテキストシステムを利用した小学校地理の学習指導”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター - 紀要, Vol. 16, pp.28-37 (1993.3).
- (34) 屋代雅彦, 石川 賢, 吉澤和夫: “情報の処理に関する基礎学習の改善 情報の形式とその処理に適したソフトウェアの選択 ”, 宇都宮大

- 学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 16, pp.38-47 (1993.3).
- (35) 五月女哲夫, 石川 賢, 吉澤和夫: “シミュレーション型ソフトウェアの小学校関数の学習指導への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 16, pp.58-68 (1993.3).
- (36) 石川 賢, 川島芳昭: “マイクロ操作に関する自由記述解答文の正誤判定方法の改善”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 17, pp.10-16 (1994.3).
- (37) 森本俊位, 石川 賢, 吉澤和夫: “シミュレーション型ソフトウェアの学習指導への適用 中学校第1学年数学の「空間図形」への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 17, pp.48-58 (1994.3).
- (38) 金谷文夫, 石川 賢, 吉澤和夫: “位置指定選択のための指示する領域の大きさの検討”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 17, pp.17-26 (1994.3).
- (39) 中山俊彦, 石川 賢, 吉澤和夫: “情報検索型ソフトウェアの学習指導への適用 小学校第5学年地理の「貿易を通しての世界との結びつき」への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 17, pp.27-37 (1994.3).
- (40) 藤平恵子, 石川 賢, 吉澤和夫: “情報検索型ソフトウェアの学習指導への適用 小学校第3学年理科の「チョウの一生」への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 17, pp.38-47 (1994.3).
- (41) 徳原孝次, 石川 賢, 吉澤和夫: “電子辞書の学習指導への適用 「同じ訓を持つ漢字」及び「漢字三字以上の熟語の成り立ち」への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 18, pp.11-20 (1995.4).
- (42) 癸生川博, 石川 賢, 吉澤和夫: “文章の行間隔と音読の容易さの検討 小学生を対象とした紙面上とディスプレイ上の文章について”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 18, pp.1-10 (1995.4).
- (43) 菊池 仁, 石川 賢, 吉澤和夫: “電子辞書の学習指導への適用 漢字の読みの検索時間と検索量及びその学習効果について”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 18, pp.21-30 (1995.4).
- (44) 田中昭三, 石川 賢, 吉澤和夫: “シミュレーション型ソフトウェアの学習指導への適用 小学校第6学年理科の「星の動き方」への適用”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 18, pp.31-40 (1995.4).

- (45) 谷田部智, 石川 賢, 木村 茂: “表計算ソフトウェアの理科実験データの考察への効果”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 19, pp.1-10 (1996.4).
- (46) 小貫浩一, 石川 賢, 木村 茂: “中学校数学科の図形領域への図形処理ソフトウェアの適用 合同のまとめへの作図ツールの適用 ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 19 pp.11-20, (1996.4).
- (47) 阿久津裕, 石川 賢, 木村 茂: “図形処理ソフトウェアの学習指導への適用 小学校社会科の地図の色塗り作業への適用 ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 19, pp.21-30 (1996.4).
- (48) 畠山正敏, 石川 賢, 木村 茂: “インターネットを用いた社会科地域教材の開発 那須町の特色ある産業と他地域との関連 ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 19, pp.31-40 (1996.4).
- (49) 伊澤和夫, 石川 賢, 川島芳昭, 木村 茂: “インターネットを利用した理科教材の作成と評価 ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 20, pp.30-39 (1997.4).
- (50) 石川 賢, 木村 茂: “学校教育の情報化に関する意識調査”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 20, pp.1-9(1997.4).
- (51) 川島芳昭, 石川 賢: “プログラム中の変数の値に関する学習指導の改善”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 20, pp.40-48 (1997.4).
- (52) 青柳政明, 石川 賢, 木村 茂: “インターネットを利用した社会科地域教材の開発”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 20, pp.10-19 (1997.4).
- (53) 青木友宏, 石川 賢, 川島芳昭, 木村 茂: “インターネットを利用した理科教材の作成と評価 ”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 20, pp.20-29 (1997.4).

## 6. 口頭発表 40 件

- (1) 吉澤和夫, 石川 賢: “電算機教育用言語について”, 日本産業技術教育学会全国大会講演論文集, 第 18 回 (1975.7).
- (2) 石川 賢, 吉澤和夫, 馬場信雄: “自由記述解答判定プログラムの改善”, 国立大学教育工学センター協議会研究発表論文集, 第 13 回 (1978.1).
- (3) Nobuo Baba, Ken Ishikawa and Ryo Hashikabe: “Investigation on the Willingness to Learn”, 国立大学教育工学センター協議会研究発表論文集, 第 14 回 (1979.2).

- (4) 石川 賢, 吉澤和夫, 馬場信雄: “自由記述判定プログラムの改善”, 日本産業技術教育学会全国大会講演論文集, 第 22 回 (1979.7).
- (5) 馬場信雄, 石川 賢: “技術教育の学習指導の問題点”, 国立大学教育工学センタ - 協議会研究発表論文集, 第 15 回 (1979.1).
- (6) 馬場敬信, 石川 賢, 奥田健三, 小林広幸: “2 レベル・マイクロプログラミング計算機MUNA P (2) - レベル間のインタラクション -”, 電子通信学会総合全国大会講演論文集, p.6-16 (1980.3).
- (7) 馬場敬信, 石川 賢, 奥田健三, 小林広幸: “2 レベル・マイクロプログラミング計算機MUNA P (1) - ア - キテクチャ -”, 電子通信学会総合全国大会講演論文集, p.6-15 (1980.3).
- (8) 馬場敬信, 石川 賢, 奥田健三: “2 レベル・マイクロプログラム制御計算機MUNA Pにおける処理の高速化”, 情報処理学会全国大会講演論文集, pp.109-110 (1980.5).
- (9) 馬場信雄, 石川 賢, 佐藤 守, 南木義男, 根本昌次, 伝法 守: “機器利用に関する教育実習事前指導プログラム”, 国立大学教育工学センター協議会研究発表論文集, 第 17 回 (1980.1).
- (10) 石川 賢, 馬場信雄: “教育評価用プログラム - 学習効果の判定のための S - P 表 -”, 全日本教育工学研究協議会研究発表論文集, 6, pp.72-79 (1980.1).
- (11) 馬場敬信, 石川 賢, 奥田健三: “2 レベルマイクロプログラム制御計算機MUNA Pにおける非数値処理について”, 電子通信学会技術研究報告, EC80-66, pp.47-57 (1981.2).
- (12) 馬場信雄, 菊地庄作, 吉沢和夫, 斎藤健次郎, 鈴木寿雄, 佐藤泰彦, 石川 賢: “技術教育におけるモジュ - ル教材の開発”, 電子通信学会技術研究報告, ET81-6, pp.15-16 (1981.1).
- (13) 馬場信雄, 石川 賢, 村田昭治, 増淵茂泰: “中学校における電算機教育”, 電子通信学会技術研究報告, ET82-6, pp.57-60 (1982.1).
- (14) 石川 賢, 馬場信雄, 村田昭治: “電算機教育用電算機 E D C O M”, 電子通信学会技術研究報告, ET82-6, pp.61-66 (1982.1).
- (15) 石川 賢, 馬場信雄: “図形入力装置による採点システムの改善”, 電子通信学会技術研究報告, ET83-1, pp.45-50 (1983.5).
- (16) 石川 賢, 馬場信雄, 村田昭治: “中学校における電算機教育の評価(1) E D C O Mによる学習の効果 ”, 電子通信学会技術研究報告, ET83-3, pp.17-22 (1983.7).
- (17) 村田正男, 馬場信雄, 菊地庄作, 吉澤和夫, 斎藤健次郎, 佐藤泰彦, 石川 賢: “授業システムの評価について”, 国立大学教育工学センター協議会研究発表論文集, 第 23 回 (1983.9).
- (18) 村田正男, 石川 賢, 馬場信雄: “教授学習過程における機器システムの最適化に関する研究(1) 多変量解析を用いた授業診断法 ”, 日

- 本産業技術教育学会年次大会講演論文集，第 27 回，p.140 (1984.7).
- (19) 石川 賢，馬場信雄，村田正男：“教授学習過程における機器システムの最適化に関する研究(2) 授業記録と分析法”，日本産業技術教育学会年次大会講演論文集，第 27 回，p.141 (1984.7).
- (20) 斎藤健次郎，石川 賢，村田正男，中村 清：“中学生の学業成績の階層別変動による分析”，電子通信学会技術研究報告，ET84-6，pp.101-102 (1984.1).
- (21) 石川 賢，馬場敬信，稲川正行，斎藤秀樹：“多重プロセッサ計算機における P r o l o g の並列処理 - ユニフィケーション並列と O R 並列について -”，情報処理学会全国大会講演論文集，第 30 回，7C-6，pp.213-214 (1985.3).
- (22) 柄木田正春，石川 賢，斎藤健次郎：“海外の教育用ソフトウェアの試用結果 - Discovery Lab. の試用 -”，日本教育工学会大会講演論文集，第 3 回，pp.127-130 (1987.1).
- (23) 石川 賢，斎藤健次郎：“米国オレゴン大学における情報科学教育担当教師の養成システム”，日本教育工学会大会講演論文集，第 3 回，pp.213-214 (1987.1).
- (24) 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について”，日本産業技術教育学会全国大会講演論文集，第 31 回 (1988.7).
- (25) 石川 賢，小野昌久：“マイクロ操作に基づいたコンピュータ教育用ソフトウェア E D C O M / C A L の構成”，教育工学関連学協会連合全国大会講演論文集，第 2 回，pp.585-586 (1988.1).
- (26) 石川 賢，小野昌久：“シミュレーション型コンピュータ教育用ソフトウェア E D C O M / C A L の構成と試用結果”，日本産業技術教育学会情報分科会研究会，第 1 回 (1989.1).
- (27) 石川 賢，山口光夫：“シミュレーション型教育用ソフトウェアの試作と評価 海外のソフトウェアの着想の調査とその適用”，日本科学教育学会年会論文集，13，PP.113-116 (1989.8).
- (28) 石川 賢，山口光夫：“シミュレーション型教育用ソフトウェアの着想の調査 - シミュレーション型ソフトウェアの開発 -”，日本教育工学会大会講演論文集，第 5 回，pp.325-326 (1989.1).
- (29) 石川 賢，稲垣清也：“中学生を対象としたマイクロ操作に基づくプログラミング教育システムの開発”，日本産業技術教育学会全国大会講演要旨集，第 33 回，p.119 (1990.7).
- (30) 石川 賢，山口光夫，宇賀神澄夫，吉沢和夫：“マイクロ操作に基づいたプログラミング教育用シミュレーション型ソフトウェアの開発と試行”，教育工学関連学協会連合全国大会講演論文集，第 3 回，pp.393-394 (1991.1).

- (31) 石川 賢, 川島芳昭, 清水康敬: “マイクロ操作と高水準言語間の関連の学習指導システムの開発 プログラミングの経験のない学生を対象とした試行 ”, 日本教育工学会大会講演論文集, 第 9 回, pp.212-213 (1993.1).
- (32) 石川 賢, 川島芳昭, 清水康敬: “マイクロ操作と高水準言語間の関連の学習指導システムの試行 マイクロ操作に基づいた実習の効果 ”, 日本産業技術教育学会情報分科会(小金井)研究発表会, pp.59-62 (1993.1).
- (33) 石川 賢: “情報教育の一試行に対する学生の意識”, 国立大学教育実践研究関連センター協議会, 第 44 回, 東京学芸大学 (1994.2).
- (34) 石川 賢, 清水康敬: “マイクロ操作に基づいた実習が高水準言語プログラムの理解に及ぼす効果”, 教育工学関連学協会連合全国大会講演論文集, 第 4 回, pp.625 - 626 (1994.1).
- (35) 石川 賢: “ハードウェアとソフトウェアの関連の理解に対するマイクロ操作の効果 入出力に関する学習指導システムの作成 ”, 日本教育工学会大会講演論文集, 第 11 回 pp.371-372 (1995.1).
- (36) 宮野守弘, 石川 賢: “学級生活に関わる情報の提示効果”, 日本教育工学会研究報告集, JET96-1, pp.25-31 (1996.1).
- (37) 石川 賢, 川島芳昭: “ハードウェアとソフトウェアの関連の学習指導教材の開発”, 日本産業技術教育学会関東支部研究発表会講演予稿集, 8, pp.27-28 (1996.9).
- (38) 川島芳昭, 石川 賢: “インターネットの経路の学習指導用シミュレータ教材の開発 - シミュレータユニットの構想 - ”, 日本産業技術教育学会関東支部大会講演要旨集, 9, pp.45-46 (1997.11).
- (39) 石川 賢, 川島芳昭: “ハードウェアとソフトウェアの関連の学習指導教材の評価”, 日本産業技術教育学会関東支部大会講演要旨集, 9, pp.47-48 (1997.11).
- (40) 川島芳昭, 石川 賢: “インターネットの経路の学習指導用シミュレーション型教材の試行 ”, 日本教育工学会大会講演論文集, 第 14 回, pp.125-126 (1998.11).

## 7. その他 24 件

- (1) 石川 賢, 吉沢和夫: “電算機教育用言語について”, 教員養成大学・学部教官研究集会技術科教育研究集録, pp.79-86 (1975.7).
- (2) 石川 賢: “成績処理総合プログラム”, 宇都宮大学教育学部 CCTV ニュース, No.3 (1976.3).
- (3) 石川 賢, 馬場信雄: “トランジスタ増幅回路の指導について”, 教員養

- 成大学・学部教官研究集会技術科教育研究集録, pp.1-4 (1977.7).
- (4) 馬場信雄, 菊地庄作, 吉沢和夫, 斎藤健次郎, 鈴木寿雄, 佐藤泰彦, 石川 賢: “技術教育の授業システムの構成に関する教育工学的研究”, 昭和55年度文部省科学研究費補助金(一般研究(C))研究成果報告書, 宇都宮大学教育学部, 全172ページ (1981.3).
  - (5) 南木義男, 佐藤 守, 根本昌次, 石川 賢, 馬場信雄: “クロス集計プログラムの操作について(操作手引き)”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 4, pp.46-54 (1981.3).
  - (6) 糸川武正, 竹田秀男, 石川賢, 馬場信雄: “学習効果を判定するためのS-P表作成プログラムの操作について(操作手引き)”, 宇都宮大学教育学部教育工学センタ - 紀要, Vol. 4, pp.55-57 (1981.3).
  - (7) 石川 賢, 馬場信雄: “リアルタイムでの授業データ収集システムの提案”, 栃木県教育工学研究会会報, 第1号 (1981.6).
  - (8) 馬場信雄, 菊地庄作, 吉沢和夫, 村田正男, 佐藤泰彦, 石川 賢: “教授・学習過程における機器システムの最適化に関する研究(第3章 授業記録と分析法を分担執筆)”, 昭和58年度文部省科学研究費補助金(一般研究(B))研究成果報告書, 宇都宮大学教育学部, pp.11-21 (1984.3).
  - (9) 石川 賢: “米国における教育の情報化の現状”, KKG ジャーナル, 開隆堂, Vol. 22 No. 4, pp.12-13 (1987.7).
  - (10) 石川 賢: “技術・家庭科におけるコンピュータの活用”, マイコンレーダ, 第一法規出版, pp.12-13 (1987.9).
  - (11) 石川 賢: “米国のコンピュータ教育の現状と展望”, 教室の窓, 新しい技術・家庭, 東京書籍, No. 121, pp.1-3 (1988.5).
  - (12) 石川 賢: “シミュレーション型教育用ソフトウェア ディスカバリーラボ”, 教育と情報, 文部省大臣官房政策課情報処理室, 第一法規出版, pp.52-59 (1988.8).
  - (13) プロジェクト担当代表者: 石川 賢: “現職教員のコンピュータ利用教育(教育情報データベースの利用, 表計算ソフトウェアの利用を分担執筆)”, 昭和63年度文部省大学教育方法改善経費研究報告書, 宇都宮大学教育学部 (1989.1).
  - (14) 東京書籍 編集: “中学校技術・家庭 情報基礎入門(第1章, 第2章を分担執筆)”, 東書教育シリーズ, 東京書籍, pp.1-7 (1989.4).
  - (15) 石川 賢: “コンピュータシミュレーション GateManager (学習指導用パッケージ)”, 東京書籍 (1989.1).
  - (16) 斎藤健次郎, 石川 賢: “教育工学センター・教育実践研究指導センターの教育・研究の動向について(協議会報告)”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センタ - 紀要, Vol. 13, pp.178-183 (1990.3).
  - (17) 石川 賢: “欧米の教育用ソフトウェアの着想の調査と本邦の教育シス

- テムへの適用の研究”，平成2年度文部省科学研究費補助金（一般研究（C））報告書，宇都宮大学教育学部，全91ページ（1991.3）。
- (18) 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のアジア地域への適用結果の概要”，平成4・5年度文部省科学研究費補助金（総合研究（A））研究会，滋賀大学，pp.1-2（1992.1）。
- (19) 石川 賢：“マイクロ操作に基づいたコンピュータ実習の手引”，平成6年度文部省科学研究費補助金（一般研究（C））資料，宇都宮大学教育学部（1995.3）。
- (20) 石川 賢，木村 茂：“教師教育用教育情報データベースシステムの開発”，平成7年度大学改革推進等経費研究報告書，宇都宮大学教育学部（1996.3）。
- (21) 木村 茂，石川 賢，他：“教員の実践的指導力の向上に係る教育方法等に関する開発研究”，平成8年度文部省開発研究報告書，宇都宮大学教育学部（1997.3）。
- (22) 石川 賢，川島芳昭，木村 茂：“マルチメディア教材開発・評価システムの導入について（報告）”，宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要，Vol. 20，pp.252-254（1997.4）。
- (23) 石川 賢：“情報化社会での教育”，下野教育，No. 688，pp.4-9（1997.4）。
- (24) 石川 賢：“ハードウェアとソフトウェアの関連の理解に対するマイクロ操作の効果の研究”，平成7～9年度科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））研究成果報告書（1998.3）。

## 参考文献

- [1] 中央教育審議会：“21世紀を展望した我が国の教育の在り方について，審議のまとめ”，文部省，p.56（1996）.
- [2] 産業構造審議会情報産業部会情報化人材対策小委員会：“2000年のソフトウェア人材（高度情報化社会を担う人材育成について）”，通商産業省機械情報産業局，コンピュータ・エージ，pp.20-21（1987）.
- [3] Allen B Tucker et. al.: “Computing Curricula 1991 – Report of the ACM/IEEE-CS Joint Curriculum Task Force”，acm PRESS（1991）.
- [4] 大学等における情報処理教育検討委員会：“大学等における情報処理教育のための調査研究報告書”，情報処理学会（1991）.
- [5] 野口正一，中森眞理雄：“大学等における情報処理教育の諸問題”，情報処理，31，No.10（1990）.
- [6] 文部省：“情報教育に関する手引”，ぎょうせい，p.18-31（1990）.
- [7] 文部省：“高等学校学習指導要領解説”，工業編，実教出版（1989）.
- [8] 情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議：“体系的な情報教育の実施に向けて”，文部省（1997）.
- [9] 岡本夏木，ピアジエ，J：“発達の理論をきずく”，村井潤一編，ミネルヴァ書房，pp.140-141（1986）.
- [10] Crain W.C.：“Theory of Development, Concepts and Applications”，小林芳郎・中島実 訳，田研出版，pp.87-124（1984）.
- [11] 和気典二，他：“心理学の基礎と応用”，福村出版，pp.120-123（1985）.
- [12] 渡邊 茂，坂元 昂：“CAIハンドブック”，フジ・テクノシステム，pp.604-636（1989）.
- [13] 金沢みどり：“情報関連学科における理系・文系別プログラミング言語教育の差異”，情報処理学会，講演論文集，44，pp.41-42（1992）.
- [14] 萩原 宏：“マイクロプログラミング”，産業図書，p.2-4（1977）.
- [15] Morris Mano：“Digital Logic and Computer Design”，奥川峻史，井上訓行 共訳：“コンピュータの論理設計”，共立出版，p.22（1983）.

- [16] 情報処理学会編：“情報処理ハンドブック”，オーム社，pp.344-348(1989).
- [17] 情報処理学会編：“情報処理ハンドブック”，オーム社，pp.833-868(1989).
- [18] Shneiderman B. and Mayer R.E.: “Syntactic/Semantic Interactions in Programming Behavior: A Model and Experimental Results”, *Inter. J. of Computer and Inf. Sciences*, **8**, 3, pp.219-238(1979).
- [19] 上野晴樹：“知的プログラミング環境”，プログラム理解を中心に，*情報処理*，**28**，10，pp.1280-1296，(1987).
- [20] Adam A. & Laurent J.P.: “LAURA, A System to Debug Student Programs, *Artificial Intelligence*, **15**, North-Holland, pp.75-122(1980).
- [21] 上野晴樹：“アルゴリズム知識に基づくプログラム理解の枠組み”，人工知能学会研究会資料，SIG-KBS-8902-4，pp.31-40 (1989).
- [22] 岡本俊雄，安田恭一郎：“C言語プログラミング過程のメンタルモデルの分析”，*日本教育工学雑誌* **16**，3，pp.119-130 (1992).
- [23] Oliver R.: “Measuring Hierarchical Levels of Programming Knowledge”, *Educational Computing Research*, **9**, 3, pp.299-312 (1993).
- [24] 土山牧夫：“教育用計算機シミュレータ”，*電子情報通信学会論文誌 A*，**J73-A**，6，pp.1150-1158 (1990-6).
- [25] Cutler M. and Eckert R.E.: “A Microprogrammed Computer Simulator”，*IEEE Transactions on Education*, **E-30**，3，pp.135-141 (1987).
- [26] 清水敬子，他：“情報工学科の計算機初期教育のための環境について”，*電子情報通信学会論文誌 A*，**J71-A**，**9**，pp.1734-1741 (1988).
- [27] Mayer R.E.: “A Psychology of Learning BASIC”，*Commun. ACM*, **22**，11，pp.589-593 (1979).
- [28] Mayer R.E.: “The Psychology of How Novices Learn Computer Programming”，*Computing Surveys*, **13**，1，pp. 121-141(1981).
- [29] Mayer R.E.: “Learning in Complex Domains: A Cognitive Analysis of Computer Programming”，*The Psychology of Learning and Motivation*, **19**, Academic Press. Inc., pp.89-130 (1985).
- [30] Schwartz S., et. al. : “A “Metacourse” for BASIC:Assessing a New Model for Enhancing Instruction”，*J. Educational Computing Research*, **5(3)** pp.263-297 (1989).
- [31] du Boulay B., et. al. : “The Black Box Inside the Glass Box: Presenting Computing Concepts to Novices”，*Int. J. Man-Machine Studies*, **14**, pp.237-249 (1981).
- [32] Francis W.P. & L.M. Ottenstein : “An Evaluation of a CAI System for Teaching Fortran”，*IEEE Transactions on Education*, **E-28**，3，pp.169-173 (1985).

- [33] Weyer S.A. and Cannara A.B. : “Children learning computer programming: experiments with languages curricula and programming devices”, Technical Report, 250, Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University, pp.1-220 (1975).
- [34] Ausubel D.P.: “The use of advanced organizers in the learning and retention of meaningful verbal material”, Journal of Educational Psychology, **51**, 5, pp. 267-272 (1960).
- [35] 木戸能史: “情報処理教育における動的教示教材の開発”, 日本教育工学雑誌, **7**, pp.77-86(1982).
- [36] 緒方興助, 他: “I C 論理回路の実際”, コロナ社, pp.1-105 (1978).
- [37] 安達垣夫, 石井郁夫, 大和淳二, 福嶋康夫: “マイクロプログラミング実験装置の試作と評価”, 電子情報通信学会技報, **ET83-7**, pp.13-16 (1983).
- [38] 長嶋孝好: “初学者を対象とした教育用計算機 MC8 の開発”, 電子情報通信学会技報, **ET92-33**, pp.35-42 (1992).
- [39] Yen R. and Kim Y. : “Development and Implementation of an Educational Simulator Software Package for a Specific Microprogramming Architecture”, IEEE Transactions on Education, **E-29**, 1 (1986).
- [40] Ishikawa K. And Baba N.: “Computer Science Education Based on Micro-Operations”, Proceedings of the WCCE/85, IFIP, pp.483-488 (July 1985).
- [41] 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, pp.2063-2071 (1988).
- [42] 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, pp.422-430 (1992).
- [43] 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, pp.802-811 (1994).
- [44] 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 に掲載予定).
- [45] 石川 賢: “ コンピュータシミュレータ GateManager ”, 東京書籍 (1989).
- [46] 例えば, 緒方興助, 安藤 弘, 柄本治利: “ I C 論理回路の実際 ”, コロナ社, pp1-105(1974).
- [47] アドバント マイコ デバ イ社: “ A m2900 学習キットマニュアル ”.
- [48] 石川 賢, 山口光夫: “シミュレーション型教育用ソフトウェアの試作と評価”, 科学教育学会年会論文集, **13**, pp.113-116 (1989).

- [49] 石川 賢, 稲垣清也: “中学生を対象としたマイクロ操作に基づくプログラミング教育システムの開発”, 日本産業技術教育学会講演論文集, 33, p119(1990).
- [50] J. Conklin: "Hypertext: An Introduction and Survey", Computer, IEEE, 20, 9, pp.17-41 (1987).
- [51] 舟本 奨: “人工知能(AI)プログラミング”, ナツメ社(1990).
- [52] 村上清貴, 古川 学, 長岡慶三, 藤田広一: “記述式答案の構造分析”, 電子通信学会技術報告, Vol.77, ET77-7 (1977).
- [53] 石川 賢, 馬場信雄: “自由記述解答の判定プログラム”, 日本産業技術教育学会誌, Vol.19, No.2 (1977).
- [54] 石川 賢, 吉澤和夫, 馬場信雄: “自由記述解答文判定プログラムの改善”, 宇都宮大学教育学部紀要, 28-2 (1978).
- [55] 石川 賢, 吉澤和夫, 馬場信雄: “自由記述解答文に使用されたキーワードの出現頻度”, 宇都宮大学教育学部教育工学センター紀要, 3, (1980).
- [56] 石川 賢, 吉澤和夫, 馬場信雄: “自由記述解答文の電算機による判定に関する実験”, 日本産業技術教育学会誌, Vol.23, No.1, 1981.
- [57] 中田育男: “コンパイラの技法”, 竹内書店新社 (1971).
- [58] 石川 賢, 川島芳昭: “マイクロ操作に関する自由記述解答文の正誤判定方法の改善”, 宇都宮大学教育学部教育実践研究指導センター紀要, Vol. 17, pp.10-16 (1994).
- [59] 石川 賢, 山口光夫: “シミュレーション型教育用ソフトウェアの試作と評価”, 日本科学教育学会年会論文集, 13, pp.113-116 (1989).
- [60] 石川 賢, 山口光夫, 宇賀神澄夫, 吉澤和夫: “マイクロ操作に基づいたプログラミング教育用シミュレーション型ソフトウェアの開発と試行”, 教育工学関連学協会連合第3回全国大会, pp. 393-394 (1991).
- [61] 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のアジア地域への適用結果の概要”, 平成4・5年度科学研究費補助金総合研究(A)04306004に関する研究会, 滋賀大学, (1992).
- [62] A.H.Nasri: “Computer Graphics in Simulating the Functioning of a Simple Computer”, Computer Science Education, 2, 161-170(1991).
- [63] Smith M.R.: “A microprogrammable microprocessor simulator and development system”, IEEE Trans. Educ., E27, pp.93-100(May 1984).
- [64] 中村 清: “技術教育協力の一方式”, 教育学研究, 51, 3, pp.70-78 (1984).
- [65] 私信, Teo Pui Sing: “著者への実験授業の結果についての私信” (1993).
- [66] 石川 賢, 川島芳明, 清水康敬: “マイクロ操作と高水準言語の関連の

- 学習指導システムの開発 ”,日本教育工学会 ,講演論文集 ,9 ,pp.212-213 (1993).
- [67] 石川 賢,清水康敬:“マイクロ操作に基づいた実習が高水準言語プログラムの理解に及ぼす効果 ”,教育工学関連学協会連合大会 ,4 ,133-4 (1994).
- [68] Devore, J. J. and Hardin, D. S. : "A Computer Design for Introducing Hardware and Software Concepts", IEEE Trans. on Educ., Vol. E-30, No.4, pp.219-226 (1987).
- [69] 金沢みどり:“アメリカの大学の情報科学専門課程におけるプログラミング言語教育 ”, 科学教育研究, Vol. 16, No. 1, pp.26-33 (1992).
- [70] 野口正一(研究代表者):“ 大学等における情報処理教育のための調査研究報告書(文部省委嘱調査) ”, 情報処理学会, pp.96-97 (1991).
- [71] 石川 賢:“ マイクロ操作に基づいたコンピュータ実習の手引 ”, 平成 6 年度文部省科学研究費補助金(一般研究(c))資料, pp.2-140 (1995).