

知識ベースを利用したCAIシステム: MASTERS

森原 一郎 和佐野 哲男 石田 亨 古屋 博行
(日本電信電話公社 横須賀電気通信研究所)

1. はじめに

近年、パーソナルコンピュータの処理能力向上、一般普及に伴い、教育分野でも本格的なコンピュータ利用(CAI:Computer Assisted Instruction)が行われつつある。しかし、予め決められた順序に従って教材の提示を行ったり、生徒の限られた反応に対してのみ応答を用意するといった画一的な教育であるため、特性や理解状態の異なる様々な生徒に対して十分な教育効果を上げることが難しい。このため、自然言語による対話や生徒の理解モデルをもとに、生徒の疑問や不理解な点を分析するといった人工知能的アプローチを取り入れて個々の生徒に対して最適な教育を行う知的教育システム(ICAI:Inteligent CAI)の研究が進められている。[1, 2]しかし、これらの研究は自然言語解析や生徒の理解モデルの一般化が難しいという問題や、大量の知識を効率よく利用することが難しいといった問題から、これまで特定の分野や機能に限定した実験が中心であった。

このような背景から、我々は、より実用的でかつ汎用的なICAIシステムの構築を目的として、知識ベースを利用したMASTERSの開発を進めている。[3, 4]

MASTERSのねらいは、質問や演習への対応を含め、個々の生徒の特性や理解状態等に合わせたきめ細かい教育を行うことによる教育効果の向上であり、これを実現するために以下のような特徴的な機能を実現している。

- (1) 教育対象知識を習得項目(アイテムと呼ぶ)の集合として表現し、これによって生徒の理解状態を把握する。そして、生徒の理解状態および学習履歴や反応の履歴をもとに、教師が持つ教育のノウハウである教育戦略を適用することにより、個々の生徒の理解状態、特性等に合わせた最適な教育を実現する。
- (2) 知識ベースを利用することにより、多種多様な知識を効率的に管理、活用し、きめ細かい教育戦略の組み込みを可能とする。
- (3) 教材のデータベース化により、様々な生徒に対応できる柔軟なコースウェアの組み立てを容易にする。

本論文では、MASTERSのシステム構成、知的教育機能の特徴、知識ベースの構成について述べる。

2. システム構成

MASTERSでは、PC(パーソナルコンピュータ)とホストコンピュータによって構成され、PCが従来のCAIシステムと同様の機能を分担し、ホストが教育の知識を豊富に持つ教師の機能を分担することにより生徒の特性等に合わせた知的教育を実現するとともに、PCとホストで並行処理を行うことにより良好な応答特性を実現している。また、各種メディアの利活用による教育効果の向上を目的として、ランダムアクセス可能なレーザディスクや固定ディスクによる音声、画像形式での教材を用いている。システム構成の概要を図1に示し、各構成要素の概要を以下に示す。

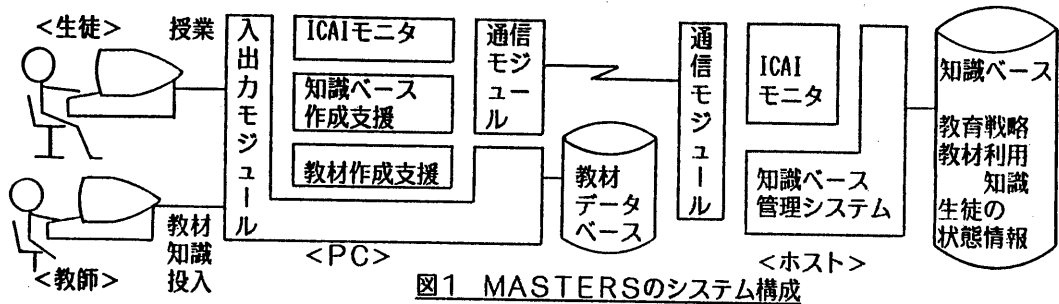


図1 MASTERSのシステム構成

(1) 入出力モジュール

生徒、教師（教材の作成や教育戦略知識の投入）とのインタフェース機能（マウスやキーボードによる入力機能、ディスプレイへの表示機能等）、レーザーディスクの制御、および、固定ディスク上の教材データベースや各種ファイルの入出力機能。

(2) ICAIモニタ

システム全体の処理の流れを制御するモジュールで、PC上とホスト上で機能の分担を行っている。

(i) PC上ICAIモニタ

従来のCAIシステムの制御部に相当するもので、ホストからの指示により教材やメッセージの表示を行ったり、生徒の様々な要求（表1）を受け付けたりする。（生徒の要求は基本的にはマウスにより受け付ける。

図2参照）また、演習問題の解答入力や質問内容の入力の制御を行う。

(ii)ホスト上ICAIモニタ

主に知識ベース管理モジュールとのインタフェース機能を提供しており、PC上のICAIモニタを通して生徒の要求を受け付け、知識ベースを利用して生徒への応答を決定する。

(3) PC/ホスト通信モジュール

PCとホスト間の通信処理を行う。

表. 1 MASTERSにおける生徒への提供コマンド一覧

コマンド名	マウスボタン	処理内容
NEXT	右	つぎの教材（シーン）を提示する。
REPLAY	右	現在提示中の教材を再度説明しなおす。（音声）
PAUSE/RESET	右	説明を中断/再開する。（音声）
BACK	右左	過去の学習経歴に沿って、シーン単位に後戻りする。メニュー選択によって、レッスン、サブレッスン、エレメントのいずれかの単位で後戻りする。
BEND	右	BACKによる後戻りの状態から学習履歴の最新のシーンに戻る。
RESTART	右	BACKによる後戻りの状態において、現在表示中のシーン以降の学習履歴をキャンセルし、新たに、システム主導の教材選択によって学習を再開する。
SKIP	右 左	現在提示中の教材をエレメント単位に飛ばして、つぎの教材を提示する。メニュー選択によって、現在提示中の教材をレッスン、サブレッスンのいずれかの単位で飛ばし、つぎの教材を提示する。
MENU	右	教材（コース、レッスン、サブレッスン）のメニューを表示し、生徒に教材を選択させる。（生徒による補助教材の選択）
RETURN	右	MENUピックアップ前の教材提示に戻る。
HINT	右	演習問題に対するヒント教材を選択し、提示する。
MORE/DETAIL	右	より詳細な解説や他の演習問題を提示する。
ANS	右	演習問題に対する正答を提示する。
DONE	右	演習問題の回答の評価を行い、その結果によって演習応答処理を行う。
Q/A	右	質問内容の問合せを行い、その生徒に適した回答を選択、表示する。
QUIT	右	メニューにより、教育の中止、一時中断やコースの変更を行う。
HELP	右	現在の画面で使用可能な全てのアイコンの説明を表示する。

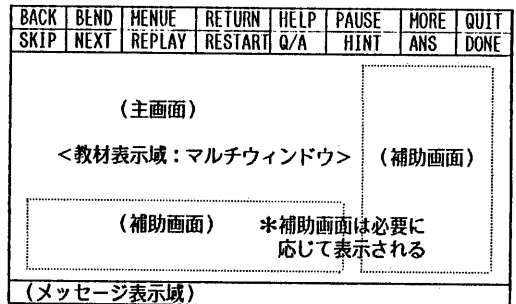


図2. MASTERSにおける教育用画面の構成

(4) 知識ベース管理システム (KBMS) [5, 6]

知識ベースの管理、入出力、推論の実行制御を行う。

(5) 知識ベース

教育戦略、教材利用知識、生徒の状態情報等、個々の生徒の特性や理解度に合わせて最適な教材や応答を選択するための知識。 知識ベースの内容については3章で詳細に述べる。

(6) 教材データベース

物理的な教材データで、画像データと音声データからなる。表示速度の向上のためPCサイトに配置する。

(7) 知識ベース作成支援モジュール

MASTERSの知識ベース作成を支援する。

(8) 教材作成支援モジュール

教材データベースの作成、編集を支援する。

3. MASTERSの知的教育機能の特徴

従来のCAIシステムでは、図3に示すように、教材と教育方法が同一であり、その教育内容も予め固定的に決められた教材提示や学習者の反応に対する単純な応答だけであった。 そのため、理解不足が生じたり、理解が進んだ生徒にとっては非常につまらないといったように十分な教育効果を上げることができなかった。 これに対して、MASTERSでは、図4に示すように、学習の過程で把握した生徒の状態（理解度、特性等）をもとに教師が持っている教育のノウハウを様々な観点から適用し、その生徒に最適な教材の提示や種々の反応への最適な応答を（たとえば、理解不足の生徒にはできるだけ易しくていねいに教え、理解の進んだ生徒には教育のスピードを速くしたり、高度な知識の教育を行うことにより、教育効果の向上を図る）各機能の特徴は以下の通りである。

(1) 生徒の状態の把握機能

知的教育機能を実現する上で、生徒の状態をどのように分析、把握するかが重要である。 MASTERSでは、生徒の状態として、以下に述べる生徒の理解状態、学習／反応履歴、特性を把握する。

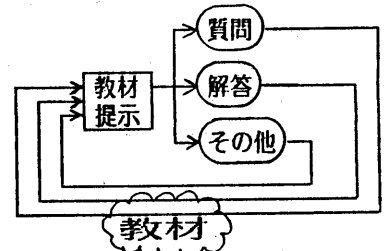
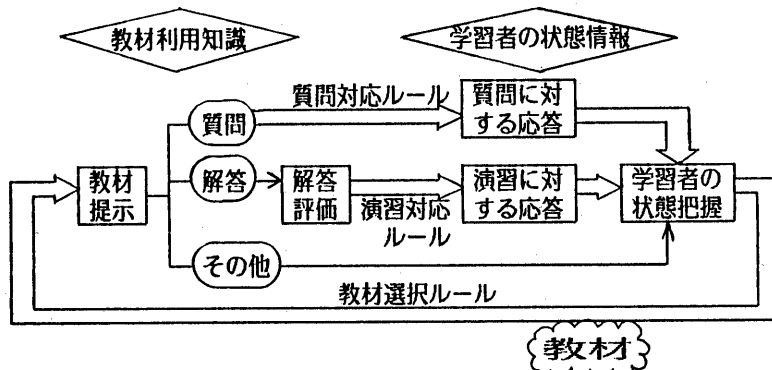


図3. 従来のCAIシステムの学習モデル



○ 生徒のアクション □ システムのアクション
 ⇒ ルール ◇ ルール実行のための知識／情報

図4. MASTERSにおける学習モデル

(i) 理解状態

MASTERSでは、個々の生徒に適した柔軟な教育を実現するために、教育対象知識を細分化したアイテムと呼ぶ知識単位を導入している。教材は、アイテムを教育するための道具であり、教育方法は、アイテムをどのようにして教育するかによって決定する。また、アイテムは教育目標の達成を評価するための基準であり、このアイテムの習得度によって生徒の理解状態を把握する。アイテムの習得度は、演習問題の解答結果の正誤をもとに判定する。各問題毎に習得可能なアイテムとの対応がとられており、つぎのような情報をもとにして対応するアイテムの習得度の判定を行う。

- ・正答が出せたか。
- ・正答が出るまでのリトライ回数。
- ・誤答があった場合の誤答の型。
- ・演習問題の出題形式（〇×、記述式等）。
- ・これまでに把握している習得度。
- ・アイテムの難易度。

これにより、何が理解できていないかを把握する。

また、個々のアイテム習得度の累計、および、(ii)で示す学習／反応履歴をもとに、生徒の理解がどの程度進んでいるかを把握する。

(ii) 学習／反応履歴

生徒が学習した各教材とアイテムに関する履歴（学習回数、学習時間等）、および、生徒の反応（要求や誤答回数等）の履歴情報である。

(iii) 特性

(ii)の学習／反応履歴をもとに基づき示す生徒の特性を把握する。

- ・じっくりと着実に進むタイプ：BACK、追加教材の要求や以前に学習した内容の質問が多く、各教材の平均学習時間が長い。
- ・様々な知識を要求するタイプ：詳細教材の要求や未学習事項の質問が多い。
- ・どんどん先に進むタイプ：SKIP要求が多く、各教材の平均学習時間が短い。
- ・標準タイプ：上記以外の平均的タイプ。

(2) 教材選択機能

(1)の生徒の状態情報をもとに生徒に提示すべき最適な教材を選択する。例えば、じっくりと着実に進むタイプで理解が進んでいない生徒には、新規に学習するアイテムが少なくやさしい教材を選択する。逆に、どんどん先に進むタイプで理解の進んでいる生徒には、例題、演習を中心に、新規に学習するアイテムが多い教材を選択する。

(3) 質問対応機能

単語（キーワード）に関する質問を受付け、生徒の状態に適した回答を提示する。機能の概要を図5に示す。

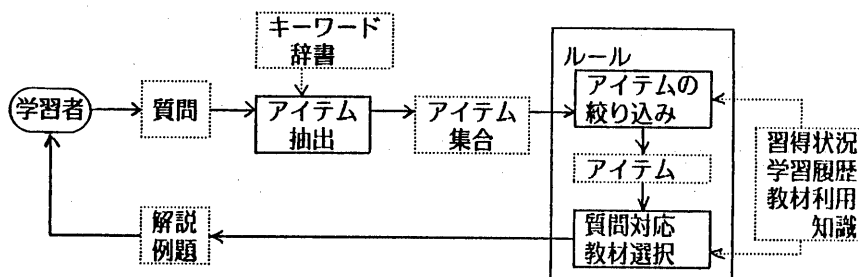


図5. 質問対応機能の概要

(i) アイテムの絞り込み

質問されたキーワードに関連するアイテムの中から、習得度をもとに回答すべきアイテムの絞り込みを行う。(キーワード辞書によりキーワードとアイテムの対応は管理されている。)

(ii) 質問対応教材の選択

(i)で絞り込まれたアイテムを教える教材の中から、生徒の特性や理解状態に適した教材を選択する。

(4) 演習対応機能

演習問題の解答の解析結果によって、生徒への応答を決定する。特に、誤答の場合には生徒がなぜ誤ったかを分析し、誤答原因、生徒の状態情報により誤答に対する最適な応答を決定する。機能の概要を図6に示す。

(i) 誤答解析

演習問題に対して用意された正答例、誤答パターン群をもとに、パターンマッチングによって正答/誤答の判定を行い、誤答の場合には、誤答種別(スペルミス、未解答、解答不足/過剰、予め用意された誤答パターン等)および誤答箇所に対応するアイテム(これも予め対応がつけられている)を抽出する。

(ii) 誤答原因の推測

誤答種別、誤答回数、誤答の履歴、および、誤答箇所に対応するアイテムの習得度/学習履歴によってつぎに示す誤答の型を抽出する。

- ・うっかり：単なるスペルミス等。
- ・忘れてしまった：誤答箇所に対応するアイテムを学習してから時間が経っていて忘れた可能性が大きい。
- ・わかっていない：誤答箇所に対応するアイテムの内容を理解できていない。

(iii) 演習対応教材の選択

正答/誤答、誤答種別、誤答の型、試行回数(解答を何回やりなおしたか)、問題の出題形式、生徒の特性、理解状態によって、その生徒に適した応答メッセージおよび教材(ヒント/解説/正答例)の選択を行う。例えば、誤答の型がうっかりの生徒には誤りを指摘するメッセージを出し、単に正答例だけをを提示する。

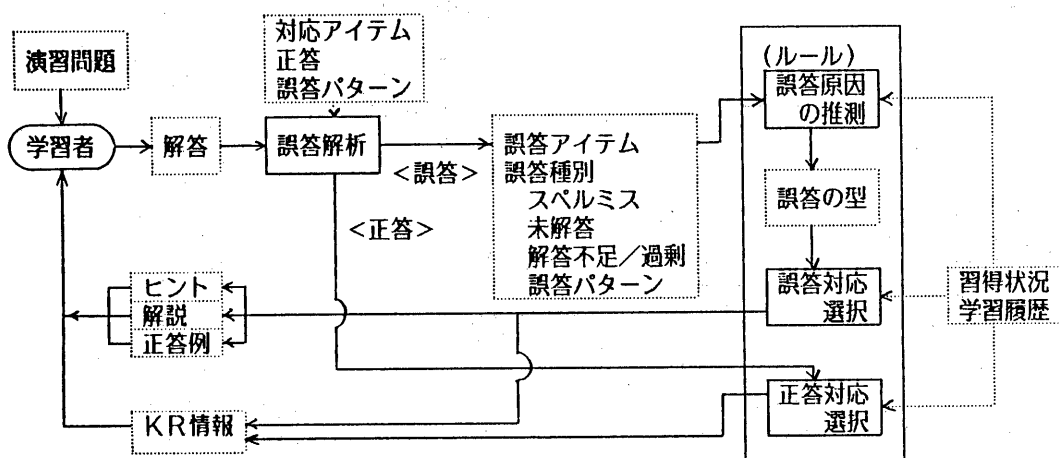
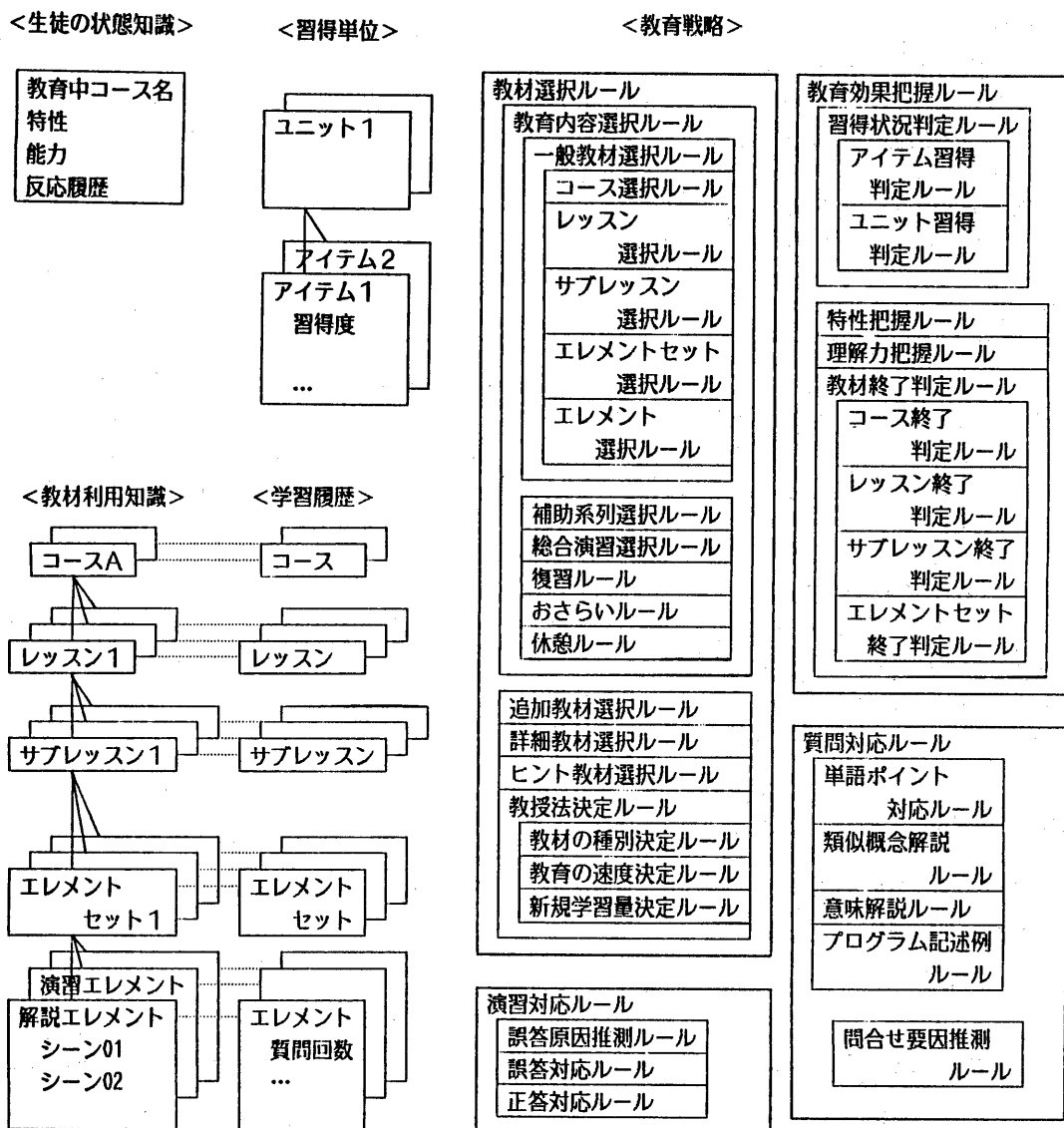


図6. 演習対応機能の概要

4. 知識ベースの構成と知識表現

これまで述べてきたように、MASTERSでは知的機能実現のために種々の膨大な知識を管理、活用する必要がある。そこで、知識ベース管理システム(KBMS) [5, 6] が提供するフレーム表現やルール表現機能を利用し、MASTERSで必要な知識を図7に示すような構成の知識ベースとして管理することにより、効率のよい知識の管理、活用を可能としている。



*KBMSでは、知識をクラス(型)とインスタンス(実体)により管理している。また、知識間の種々の関係管理も行っている。上図は、MASTERSの知識ベースにおけるインスタンスの構成およびインスタンス間の関係を示している。

図7 MASTERSにおける知識ベースの構成

(1) 教材利用知識

MASTERSでは教材をデータベース化し、これを図8に示すように階層管理することにより柔軟なコースウェアの作成を可能としている。そして、この教材階層に沿って、各教材を利用するための知識（その教材で習得を目標とするアイテムや教材を利用するための前提条件等）をフレームとして管理し、教材選択時にルールから参照する。尚、フレームの階層関係の管理は、KBMSが提供するグループ管理機能（図9）を利用している。

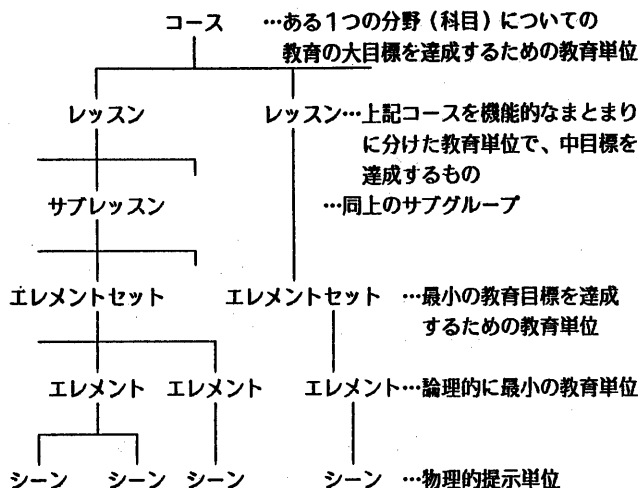


図8 教育内容の階層構造

(2) 生徒の状態情報

3章で述べた個々の生徒の状態情報をフレームとして管理する。

(i) 生徒の特性／反応履歴

生徒管理フレームとして管理する。

(ii) 生徒の理解状態（アイテムの習得度）

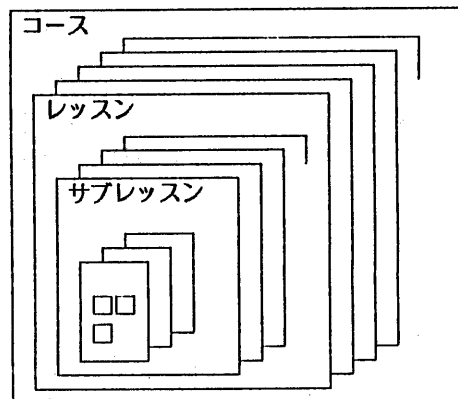
アイテム毎に1つのフレームとして管理する。また、アイテムを1つの教育目標でまとめたユニットと呼んでいるグループで管理することによって教育目標の到達度を把握する。

(iii) 教材の学習履歴

教材利用知識と同様に、教材階層に沿って学習履歴をフレームとして管理する。KBMSが提供している関係表現を利用することにより、教材利用知識との対応を容易に管理できる。

(3) 教育戦略

教育戦略はルールとして表現し、フレームの知識を利用して推論を行う。教育戦略は、機能によって大きく4つのルールセット群として管理する。また、きめ細かな戦略の記述が容易なように、機能の階層化を行い、それぞれをルールセットとして管理する。



エレメントセット エレメント
*グループ（集合）とその要素として管理する。
条件を指定して要素の検索等が可能である。

図9. 教材のグループ管理

5. まとめ

生徒の理解状態、特性等に合わせたきめ細かな教育を行うMASTERSのシステム構成、知的教育機能の特徴、知識ベースの構成について述べた。現在、プログラミング言語の教育を具体的な教材としてシステムの試作を進めている。今後は、本システムを教育効果や応答特性の観点から評価するとともに、これを土台としてより実用的なものとするためのリファイン、および、下記の課題についての充実を進める予定である。

(1) 対話機能の充実

教育において対話は非常に重要な役割を果たす。現在は、MASTERSでは、キーワードによる質問をサポートしているが、これだけでは質問の意図の絞り込みは、十分ではない。

システムと生徒がより自然な対話をしながら学習を進めるためには、自然言語による対話機能を実現する必要がある。

(2) 誤答対応機能の充実

MASTERSでは、生徒の誤りを正しい知識の欠如（アイテムの欠如）として捕えているが、これだけでは、生徒がなぜ誤解したかを捕らえるには不十分である。そこで、誤りの知識を管理し、これを個々の演習問題毎に用意された誤答パターンと対応付けるとともに、誤りの知識に対する教材を用意することによって、より一層きめ細かな誤答対応機能を実現する必要がある。

(3) シミュレーション機能の実現

学んだことをすぐに応用してみることは教育効果が大きい。特に、プログラミング言語の教育の場合には、プログラミング実習の効果は大きい。そこで、システムが用意した例題や生徒の作成したプログラムの実行シミュレーションの機能が必要である。

謝辞

本研究の機会を与えて戴いた電電公社横須賀電気通信研究所知識ベース研究室寺島室長に深謝致します。また、システムの試作にあたってご協力戴いている同研究室の各氏に深謝致します。

参考文献

- [1] Stevens, ... "Misconceptions in student's understanding", INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS, ACADEMIC PRESS PP.13-25 (1981)
- [2] Barr, A, ... "The handbook of artificial intelligence", VolII, Chap. IX, (1983)
- [3] 森原他：『教育への知識ベース適用法の検討』情報処理学会第29回全国大会, PP. 1809-1810
- [4] 森原他：『知的教育システムにおける教育ルールの内容、構成』昭和60年度信学会総合全国大会
- [5] 服部他：『プロダクションシステムのワーキングメモリ構造の高度化手法の提案』情報処理学会第29回全国大会, PP. 1247-1248
- [6] 清水他：『知識ベース管理システム(KBMS) - フレーム、ルール知識表現の融合』情報処理学会第30回全国大会, PP. 1401-1402