

ハイパーメディアを用いた実習支援機能付き プログラミング教育用 CAI システムの開発

芳 賀 博 英[†] 小 嶋 弘 行[†]

ソフトウェアの需要の急速な拡大に伴い、これに対応すべくプログラマの教育の効率化が重要である。このためコンピュータを利用した教育支援システム (CAI システム) の活用が望まれている。しかし従来の CAI システムでは、利用者に主としてテキストや図形などで表現された学習教材を提示し、学習結果をテストでチェックする方式が主流であり、プログラミング教育に重要な役割を果たすプログラミング実習の支援をしているシステムはほとんどなかった。本論文ではこの問題を解決した、実習支援機能を有するマルチメディア CAI システムの実現法について述べる。本システムの教材はマルチメディアデータで表現されており、それらのマルチメディアデータがハイパー構造を持っている。そのテキストデータとして、実行可能なソースプログラムを格納してあるが、このソースプログラムを CAI システムとエキスパートシステム構築ツールが共有することにより、現在見ているソースコードあるいは学習者が変更したソースコードを学習対象言語のインタプリタが実行できるようにすることにより、実習支援機能を実現している。ルール型言語を持つエキスパートシステム構築ツールと論理型言語を具体例とした本システムのプロトタイプを UNIX ワークステーション上で実現し、本機能の有効性を確認した。

Development of the Hypermedia-Based CAI System for Programming Education with Exercise Support Facility

HIROHIDE HAGA[†] and HIROYUKI KOJIMA[†]

Rapid increase in the needs for the computer software requires the effective educational method for the novice programmers. One of the most promising educational methods is the usage of Computer Assisted Instruction (CAI) systems. The exercises have the important role in a programming education. But as conventional CAI systems don't have the exercise support facility, they don't have the enough ability for the programming education. In this paper, we propose one method for embedding the exercise support facility in a multimedia CAI system. In this CAI system, source codes of the target programming language are represented as text and stored in text files as a part of the teaching materials. These text files are shared by the CAI system and the target language interpreter. So the update operations of the source codes in a CAI system through the instruction of the teaching materials reflect the execution results of the language interpreter. Development of the prototype systems for the Expert System Building Tool and the logic programming language is also described in this paper.

1. はじめに

コンピュータの低価格化と普及により、ソフトウェアの需要が急速に拡大している。そのため、大量のプログラマが必要になってきている。この要求に応じて大量のプログラマを効率よく教育するためには、コンピュータを利用した CAI システム (Computer Assisted Instruction) の利用が望まれている。CAI システムを利用することによって大量の学習者を均質な

レベルで効率よく教育することが可能になる。

CAI システムというと、従来は学校教育における利用を目指したものが多かったが、最近では学校教育以外の場での教育に活用しようとする研究も盛んである^{1),2)}。プログラミング教育に CAI システムを適用するには、プログラミング言語の基礎となっている概念から、実際のコーディングテクニックなどまでの幅広い知識を教授しなければならない。さらに、プログラミング能力は机上の教育だけでは十分に身に付けることは難しく、ほとんどの場合プログラミング実習が不可欠である。実習においては、通常与えられた課題を実際にコーディングして実行させて結果を確認したり、サンプルプログラムを見て不足している知識をさ

[†] (株)日立製作所システム開発研究所関西システムラボラトリ

Kansai Systems Laboratory, Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

らに学習するという過程をとる場合が多い。この実習により、机上で得た知識を実際に適用する際のノウハウや、より深い理解が可能になる。

また計算機のハードウェア・ソフトウェアの急激な進歩とともに、従来は計算機によって処理をすることが難しかった各種のデータの処理が、パーソナルコンピュータ（パソコン）やワークステーション（WS）でも可能になってきた。現在、複数のメディアで表されたデータを対象とするマルチメディア処理技術が注目を集めている³⁾。このマルチメディアを活用したマルチメディア CAI システムも、近年各種の分野で試作が行われている^{4),5)}。

従来のマルチメディア CAI システムは、教授すべき知識をマルチメディアで表現することが中心になっており、教材の理解度などのチェックは、テスト等で判定するシステムがほとんどであった。しかしこれだけでは、プログラミング教育に必要な実習機能が欠けていることから、十分とはいえない。一方、学習者の作成したプログラムを診断し、学習者のバグを推定して教育を行うシステムも開発されている^{6),7)}。しかしこのようなシステムでは、プログラムの診断のための知識ベースの構造が複雑になるため、その適用範囲が限られている。またこのような診断機能を持つシステムでも、例えばそのバグ（理解の誤り）を訂正するのに、教育用教材のどこを見れば良いのか、どこにその誤りについての記述があるのかについて教えてくれる機能については十分考慮されていない。したがって利用者は、システムの出すメッセージに従って教材を自分で検索して必要な部分を探しだし、自ら学習するという方法をとっていたが、この方式では十分な教育効率を達成することは難しい。

このような情勢を踏まえて今回われわれは、プログラミング教育に不可欠な実習支援機能を持つ CAI システムの開発に着手した。具体的には近年性能が大幅に向上し、広範囲に急速に普及し始めている UNIX オペレーティングシステム^{*}を搭載したワークステーション上で、既存のハイパーテキストシステムの開発のためのツールを改造し、そのツールを用いて CAI システムを開発した。本論文で述べる CAI システムは上記の課題の解決に向けて、1) プログラミング学習に必要な実習支援機能と CAI システムの有機的な結合、2) 必要な知識が簡単に得られるようなハイパー構

造⁸⁾の支援、3) さまざまな教育教材を効果的に表現できるマルチメディア CAI システムの3点を実現した。今回開発した CAI システムでは、ケーススタディとしてルール型言語を持つエキスパートシステム構築ツール（以下 ES ツールと呼ぶ）と論理型言語をその学習対象として選択した。本論文では実習支援機能の実現方式とマルチメディア CAI 教材の開発、およびこれらの開発を通して明らかになった知見と今後の課題について述べる。以下2章は今回開発した実習支援機能の実現方式、3章は実習支援機能を活用した CAI システムの設計の基本方針と教材の構成、4章はプロトタイプの開発に用いたツールとその改造について、5章は開発したシステムから得た知見と今後の課題について述べる。

2. 実習支援機能の実現方式

CAI システムにおける実習支援機能の実現方式として、次のような方法が考えられる。

(1) 対象言語の処理系を改造し、CAI システムと密に結合する、あるいは処理系の中に CAI 機能を包含する方式

この方式ではエラー解析情報などの対象言語の処理系の持つ情報を最大限に利用できるため、きめ細かい学習支援機能が実現できる。しかし、この方式をとると、対象言語の処理系のバージョンアップのたびに CAI システムを再構築しなければならず、CAI システムの開発効率が低下する。

(2) CAI システムの中に対象言語の処理系のシミュレータを組み込む方式

この方式も(1)と同様に処理系の持つ情報を利用でき、高度な学習支援機能を実現できる。しかし対象言語のシミュレータを開発することは必ずしも容易ではない。また対象言語が増えるたびにシミュレータを開発する必要があり、開発量としても大きくなる。

本論文で述べる実習支援機能の実現方式は、上記の2つの方式の問題点を考慮して、次の方式をとることとした。

(I) マルチプロセス機能を利用して、今回対象とした ES ツール¹¹⁾および論理型言語¹⁴⁾のインタプリタと CAI システムを並列に実行し、両方のプログラムを連動する方式とする。

この方式を用いると、対象となる言語の処理系に手を加えることなく、二つのプログラムを同時に実行することができる。したがって例えば処理系がバージョ

^{*} UNIX オペレーティングシステムは、UNIX システムラボラトリーズ社が開発しライセンスしているオペレーティングシステムの名称である。

ンアップ等に変更された場合でも、最小限の改造でそれまでの CAI システムを利用できる利点がある。また対象言語のインタプリタが用意されていれば、同様の手法で他のプログラミング言語の実習支援機能を容易に実現でき、汎用性の高い方法である。

(Ⅱ) CAI ツールと対象言語の処理系の間でファイルを共有し、ファイルレベルで両プログラムを結合することにより、実習支援機能を実現する。

今回対象とした ES ツールは、特定のファイル構造を前提とし、そのファイル構造の中にソースコードをテキストファイルとして保持している。また論理型言語のインタプリタは任意のテキストファイルからソースプログラムを読み込むことができる。そこで本 CAI ツールと各言語のインタプリタの間でファイルを共有し、教材のソースプログラムの説明の部分にインタプリタが解釈実行できるテキストデータを表示し、なおかつこれらのテキストデータを学習者が直接編集できるようにする。この方式をとることにより、各インタプリタが直接実行できるソースコードを CAI システムにおける説明に用いることができ、また CAI 教材の指示によってソースコードを直接変更し実行することによって、単に教科書的な説明を読むだけの教育に比べて、より実的な知識を獲得することが可能になる。図 1 はファイルレベルでの言語処理系と CAI システムの結合の様子を示したものである。

(Ⅲ) CAI システムの中に利用者のプログラムの診断機能は組み込まず、教材の中に作成あるいは変更するプログラムの指示を盛り込み、あらかじめ考えられるバグに対処できるように、教材を構成する。

利用者のプログラムの診断機能を実現するためには複雑な知識ベースを作成しなければならない。しかしこの知識ベースの作成は容易ではなく、そのためにシステムの適用範囲を狭くしてしまう。今回開発したシステムでは、まったく自由にプログラムを作成させるのではなく、あらかじめ教材の中で作成や修正の指針を示し、利用者が作成するプログラムを限定すること

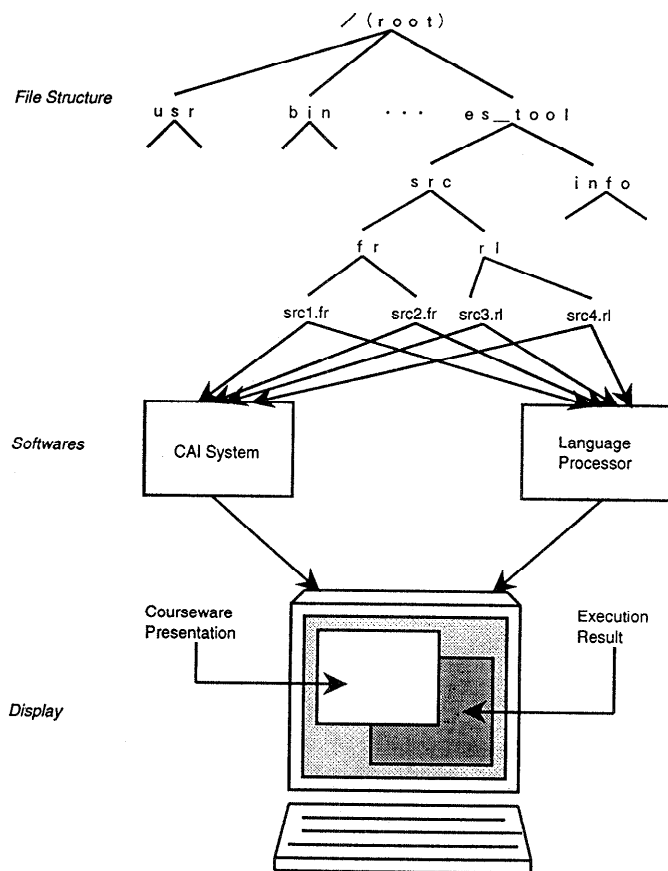


図 1 言語処理系とマルチメディア CAI システムの結合の様子
Fig. 1 Connection between the language interpreter and the multimedia CAI system.

とした。これにより、診断機能がなくとも、利用者の誤りに対する対処ができるようにすることとした。この方法では学習者のすべての誤りに対処できるわけではないが、システムが対処できないような場合には、教育に携わっている講師がこれを補うことにより、学習を進めることができる。これによって、システムの適用範囲を広げることができる。

3. 実習支援機能を持つ CAI システムの開発

本章では 2 章で述べた実習支援機能を活用したプログラミング教育用 CAI システムの開発について述べる。まず CAI システムの開発に関し、ES ツール向け、論理型言語向けそれぞれの方針を示し、次に ES ツール用、論理型言語用それぞれの教材に盛り込む内容について述べる。最後に今回開発した CAI ツールにおける教材データの表現方式について述べる。

3.1 CAI システムの開発方針

本 CAI システムの開発方針は以下のとおりである。

(1) プログラミング言語の説明においては、抽象的な説明を避け、できるだけ具体的な事例を用いることが効果的である。具体的な事例として、ES ツール用には簡単な自動車エンジンの故障診断用のエキスパートシステム（以下では ES と呼ぶ）を用いて、どのようにして知識を抽出し、どのようにプログラミングするかという過程をできるだけ具体的に学習者に提示する。また論理型言語用としては教科書などにある例題プログラムを参考にして具体例を提供する。そしてソースコードと説明の対応が簡単に理解できるように、ハイパーメディアのリンク機能により両者を関連づける。

(2) 単に文字だけで説明するのではなく、できるだけ図形や画像などを活用したマルチメディアによって教材を作成し、伝達内容に合致したより適切な情報の表現形態をとり、学習者の理解を促進する。

(3) 個々の ES ツールや論理型言語の説明だけでなく、一般的な ES や人工知能の技術についても学習できるように、関連知識の情報を教材に盛り込む。

3.2 ES ツール用の教材の内容

ES を構築するためには、通常次の手順を踏む⁹⁾。

(I) 対象とする分野のエキスパートから、ES に格納する知識を獲得する。(知識獲得フェーズ)

(II) 獲得した知識を利用する ES ツールの言語仕様で表現して、実行可能なソースコードを作成する。(知識表現フェーズ)

(III) 作成したソースコードを ES ツールを用いて実行しデバッグを行う。(テスト・デバッグフェーズ)

(IV) 知識の追加、修正等の保守作業を行い、常に ES を最新の状態に保っておく。(保守フェーズ)

このうち、今回の CAI システムで対象とするのは、上の(I)から(III)である。(I)の知識獲得フェーズについてはさまざまな研究が行われている¹⁰⁾が、現在のところ中心となる手法は、専門家へのインタビューと、ES 構築者(=プログラマ)が対象業務を実際に経験する方法の二つである。今回の CAI システムでは前者のインタビュー方式による ES 開発を対象とし、この教育システムを構築することとした。このフェーズの教育課題としては、必要な知識をいかにうまく専門家から引き出すかというインタビュー技術の修得と、専門家から得たインタビューからいかに知識を抽出するかという二つの課題がある。このうち前者

については、いまのところ教材となるほどの一般的な手法は確立していないため、今回の CAI システムでは扱わないこととした。後者については、例えばインタビューのどの部分に着目して、それを知識化するかということを実際に例で示すことによって、かなりの教育効果が見込める。そこで知識獲得フェーズの教材としてはこの部分を取り上げることとした。

(II)の知識表現フェーズでは、インタビューのなかの表現を、ES ツールの言語仕様でどのようにして変換するかということを、例を用いて説明することとした。具体的には、インタビューのどのような部分からルールやフレームが抽出されるかということ、実例で示す方法をとることとした。

(III)のテスト・デバッグフェーズでは、実際に ES ツールで実行可能なソースコードを示し、教材でいくつかの修正を示すことによって、処理がどのように変化するか、あるいはどのようなエラーメッセージが出力されるかを、実例を通して示すことにより、教育する方式をとった。

以上の方針のもとで作成した教材は以下の3つのデータから構成されている。

(1) 専門家に対して行ったインタビュー：ES 構築者が専門家から知識を獲得する時に行ったインタビュー¹¹⁾をテキスト形式で表現したものである。なおこのインタビューは、教育のための架空のものである。

(2) ソースコード：実際に ES を作成するための ES ツールのソースプログラムである。このソースコードは ES ツールで実行可能なものである。

(3) 参考情報：対象としている ES ツールの解説や、一般的な ES や AI についての情報などを提供するデータである。

3.3 論理型言語用の教材の内容

論理型言語用の教材についても、基本的な構造は ES ツール用の教材と同じ構成である。つまりある特定のトピックスを一つのワールドに対応させ、各ワールドの内部では教材の内容に従って階層構造を構成した。今回開発した論理型言語用の教材のワールドとその内容は以下のとおりである。

(1) 基本概念：論理型言語は従来の手続き型言語とはかなり異なっており、特に手続き型言語の知識があると修得しにくいといわれている。そこでできるだけ視覚的にわかりやすい表現を用いて、論理型言語特有の概念を説明する。この中にはユニフィケーション、バックトラック、カットシンボル、非決定的プログラ

ミングなどの内容が含まれている。

(2) 基本構文：ここでは論理型言語の基本的なプログラミング技法についての説明を行う。例えば再帰構文によって繰返しを実現するか、頭部のユニフィケーションによって場合分けを行うなどの基本的なプログラミング技法をここで説明する。

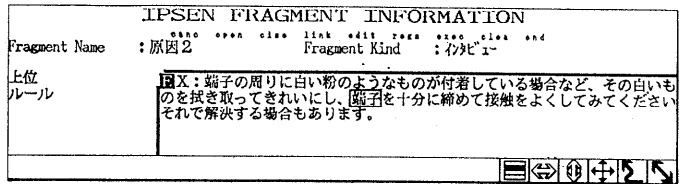
(3) プログラミング技法：ここでは論理型言語特有のプログラミング技法についての説明を行う。例えば論理型言語におけるメモリ効率の良いコーディングの仕方などをここで説明する。さらにこれらの教材の間に、関連に従ってハイパーテキストのリンクを定義し、必要な情報を効率良く学習できるようにしてある。

3.4 教材データの表現方式

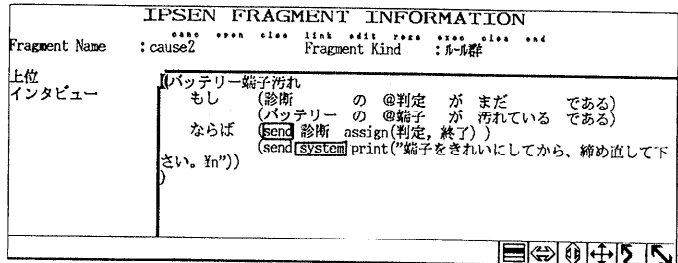
3.2節と3.3節で述べた教材データを、以下の方針で今回用いたマルチメディア表示系のデータ表現にマッピングした。

(a) 3.2節と3.3節の(1)から(3)のデータをそれぞれマルチメディア表示系のワールドに対応させる。ワールドとは、ある側面から見た同じ種類のデータの集合であり、例えば“インタビュー”あるいは“基本構文”というワールドは、インタビューデータあるいは基本構文についてのデータの集合になる。

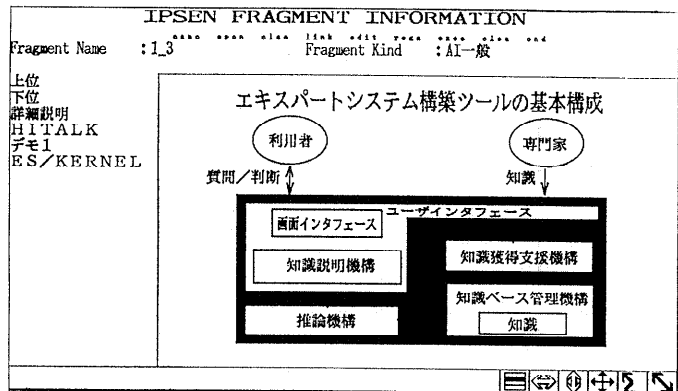
(b) 個々のワールドに属するデータを内容ごとに分割し、それぞれを各ワールドのフラグメントとする。フラグメントとはある大きさのデータのかたまりであり、カード型データベースにおける1枚のカードに相当するものである。例えばインタビューのワールドでは、ある一つのルールを決定できるインタビューとその前後のインタビューを一つのフラグメントとした。またソースコードでは個々のルールあるいは複数のルールの集まり(ルールグループ)を一つのフラグメントとし



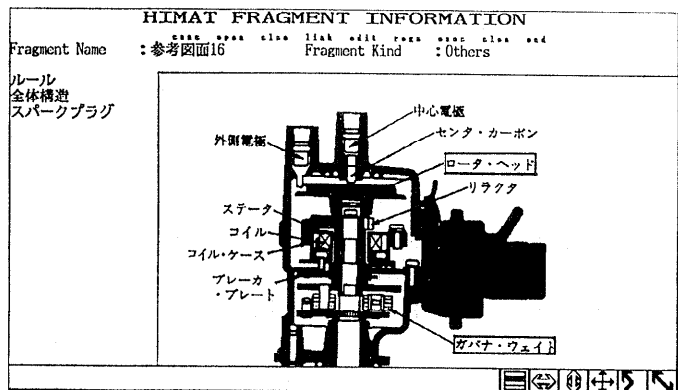
(a) インタビューの一部
(a) Part of the interview



(b) ES ツールのソースコード
(b) Part of the source code of the ES tool



(c) ES ツール解説
(c) Part of the comment on ES tool



(d) 自動車エンジンの専門知識の一部
(d) Part of the knowledge of the engine

図 2 教材データの例

Fig. 2 Some examples of the courseware data.

た。参考情報は「推論機構」とか「エキスパートシステム」などといった、一つのトピックを一つのフラグメントとした。

(c) ワールド間をまたがって各フラグメントを結ぶリンクは、それぞれのフラグメントの関連に対応して作成した。例えば、あるインタビューの一部を表すフラグメントとそのインタビューから生成されるルールのフラグメントの間には、「ルール」という名前のリンクをはる。逆にあるルールがどのようなインタビューの断片から生成されたのかを知るために、ルールからインタビューに「インタビュー」というリンクを定義する。

図 2 の (a) から (d) は、教材データの一例である。(a) はインタビュー、(b) は ES ツールのソースコード、(c) は ES ツールの解説、(d) は自動車エンジンの専門知識である。それぞれのデータの長方形で囲んだ領域は、ハイパーテキストのノードであり、ここをクリックすることにより、関連するフラグメントを聞くことができる。利用者はこの教材を用いて ES ツールの学習をする。

各フラグメントの具体的な内容の作成は次の手順で進めた。まず ES ツール用のフラグメントでは、最初にインタビュー全体から故障診断のための診断木を作成し、しかる後にこの診断木に基づいて、インタビューを分割し、同時に ES のためのルールとフレームを作成した。さらにこれとは別に参考情報のフラグメントを作成し、最後にこれらを上の (a) から (c) の方針に従って構成した。図 3 はインタビューから抽出した故障診断木、図 4 はそれに対応するルールの構成木である。また論理型言語用のフラグメントは、各種の文献などを参考にして文法的な事項を整理するとともに、これまでのわれわれの開発経験から得られた、誤りやすい事項、理解しにくい項目、

プログラミングノウハウなどをリストアップし、それらをまとめてフラグメントにした。

4. マルチメディア開発環境

今回の CAI システムは、先に発表したハイパーテキストの概念を利用したプログラミング支援システム¹²⁾のプロトタイプを拡張し、その上に CAI 用教材のデータを作成することにより開発した。本章では拡張のベースとなったプログラミング支援システムの基

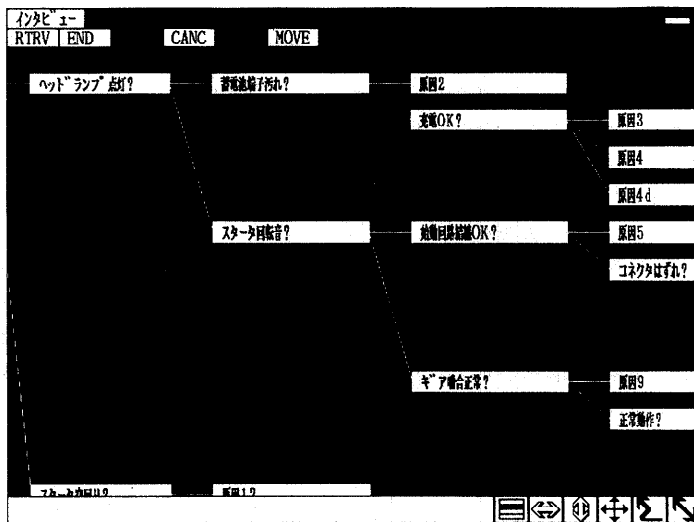


図 3 インタビューから抽出した故障診断木の一部
Fig. 3 Part of the diagnosis tree extracted from the interview.

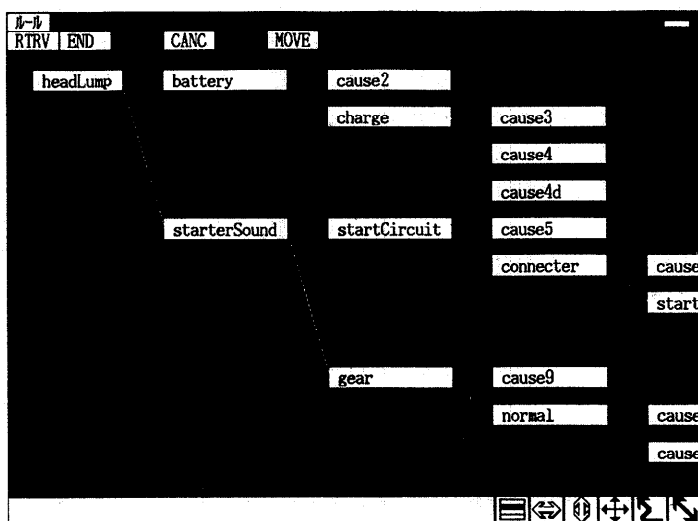


図 4 故障診断木に対応するルールの構成木の一部
Fig. 4 Part of the tree structure of the rules corresponding to the diagnosis tree.

本的なコンセプトと、このシステムの改造について述べる。

4.1 ハイパーテキスト型プログラミング支援システム

本システムはプログラムの持つ各種の情報とプログラミングノウハウを利用して、プログラムの生産性と信頼性の向上を図ることを目指したシステムである。本システムは意味ネットワークを利用してプログラムの情報やプログラミングノウハウを表現したシステムである。本システムでは個々のプログラミングのための情報や再利用可能なプログラムの断片などをリンクで結び、なおかつ同一の種類の情報をまとめることにより、関連を理解しやすい

ようにしたデータベースを持ったシステムである。本システムの基本機能をまとめると次のようになる。

(1) 個々の情報の断片をフラグメントと呼び、フラグメント相互の関連をリンクで表現する。一つのフラグメントは任意の情報の任意の大きさのかたまりである。各フラグメントは、利用者の考え方を反映した任意の情報を表現する。また各フラグメントはハイパーテキストにおけるノードとして扱える。

(2) 情報の断片の間の関連を示すためにリンクを定義することができるようにする。リンクは任意の2つのフラグメントを結ぶことができる。リンクによって結ばれたフラグメントは、リンクの意味に対応したなんらかの関係があることを示している。

(3) 複数のフラグメントの集合であるワールドという概念を導入する。あるワールドに含まれているフラグメントは、ある見方から見て同じ種類のフラグメントである。

(4) 各ノードの内容を表すテキストの任意の部分には、新たにノードを定義し、他のプログラム情報へのリンクを定義することができる。つまり各ノードのみならず、ノードの内容もハイパーテキストとして扱うことが可能である。

図5に本システムのデータベースの構造の概念図を示す。実現にあたって、フラグメントに表示するデータは、本システムに固有のデータ形式やディレクトリ構造を前提とするのではなく、任意の場所にあるテキストファイルを読み込むようにしてある。これによってオンラインマニュアルなどの他の目的で作成され

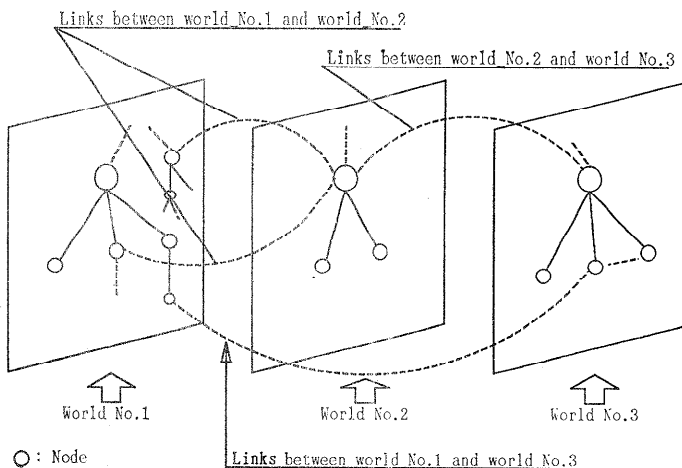


図5 データベースの構造の概念図

Fig. 5 Conceptual structure of the database.

たデータを利用してフラグメントを作成したり、言語処理系用に作成したソースプログラムを、フラグメントに表示して例題に用いたりすることができる。逆に本システムで利用した例題のソースプログラムを言語処理系に入力することもできる。本システムはUNIXワークステーション上に構築しており、C言語で約15キロステップ、PROLOGで約0.2キロステップの規模である。

4.2 マルチメディアデータを扱うための改造

本システムを3章で述べたマルチメディアCAIシステム開発に用いるために、現在のシステムに次の拡張を施した。

(1) マルチメディアデータを扱う機能：現在このシステムで扱えるデータは、UNIXのテキストファイルだけである。そこで次のデータを扱えるようにシステムを改造した。

(a) マルチメディア文書データ：今回使用したUNIXワークステーション上のマルチメディア文書処理ソフトウェアで作成したデータを扱えるようにする。このソフトウェアでは通常のテキストのほか、Draw系のグラフィックおよび白黒2値の画像データを扱うことができる。

(b) カラー画像データ：(a)のソフトウェアでは直接扱えないカラー画像を扱えるようにする。対象とする画像データはカラーキャナで読み取ったデータである。

(c) サウンドデータ：マルチメディアの1要素であるサウンドデータを扱えるようにする。対象とす

るサウンドデータとしては、バックグラウンドミュージックや効果音などの音楽データと、ナレーションのために用いる音声データである。前者のために市販の音楽 CD (Compact Disk) を、後者のために音声合成装置を接続し、操作できるようにする。

上記の機能の実現のために、(a)から(c)のそれぞれのデータを一つのフラグメントとし、従来のテキストフラグメントを加えて4種類のフラグメントを設けた。そしてライブラリ関数あるいはデバイスドライバを制御して、(a)から(c)のデータを出力できるように既存システムの表示制御部を改造した。この拡張によって、今回使用したワークステーションで扱える主なデータメディアであるテキスト、図形、画像、音声の4種類のデータメディアが扱えるようになった。

(2) 複数のフラグメントの同時オープン機能：上記の(1)によって処理可能なデータメディアを増やした結果、次のような要求が出てきた。例えば、音声データを利用したアプリケーションでは、他のデータと同時に音声を出したい、あるいは音声以外のデータに対しても、教材構成の都合上複数のデータを同時に利用者に提示したい、という要求である。そこでこの要求に応じて、複数のデータを同時に利用者に提示する機能を追加した。具体的には UNIX のマルチプロセス機能を用い、個々のフラグメントの表示を独立した一つのプロセスに担当させることにより、この機能を実現した。

(3) 任意の位置へのノードの定義：上記(1)の改造の結果扱えるようになった画像/図形データの中の任意の位置へノードを定義できるようにする。従来のシステムでは、UNIX のテキストファイルが対象であったため、定義できるハイパーテキストのノードの定義は、行・桁の単位で指定していた。しかし、画像や図形に対してはこのような方式でノードの位置を指定することはできず、任意の位置にハイパーテキストのノードを定義できる機能が必要である。そこでノードの座標データの解釈部分を改造し、この機能を実現した。

以上に述べた改造を施したシステムの上に CAI システムを開発した。この CAI システムの教材の規模は、ES ツール用の教材として、フラグメント数で約 260 個、リンクの数で約 350 本である。内訳は ES ツールおよび ES と AI の一般的な解説のためのフラグメントが約 100 個、インタビューデータと実行可能な ES ツール用ソースコードが約 120 個のフラグメン

トに分散して格納してある。また自動車故障診断の専門用語の説明のためのフラグメントが約 30 個、その他のデータが約 10 個である。リンクもほぼこれと同じ割合で分布している。また論理型言語用の教材として、約 200 個のフラグメントと約 300 本のリンクが定義してある教材を開発した。内訳は基本概念のフラグメントが約 60 個、基本構文が約 40 個、サンプルプログラムを含むプログラミングテクニックが約 80 個、その他が約 20 個である。

5. 評価

5.1 実習支援機能について

本論文で提案した実習支援機能を実現し試用を行った結果は次のようになる。

(1) 本論文での提案方法を用いることにより、学習対象の言語処理系にまったく手を加えずに実習支援機能を実現することができた。これにより本プロトタイプで採用した ES ツールと論理型言語以外の言語の学習システムへの適用の見通しを得た。

(2) 提案方式では、プログラム診断のための知識ベースではなく、教育の観点から見た教材という知識ベースですむため、大規模で複雑な知識ベースを構築する必要がない。その結果 CAI システムの開発が早期に行え、また不具合点の改善にも迅速に対処できた。

(3) ソースコードは実際に各言語のインタプリタで実行可能であるため、実際のプログラムの動きが理解しやすい。また実際に与えられたソースコードを変更して、それを実行しその結果を見ることによって、プログラミングの実践的なノウハウも身につけることができる。

以上により、本論文で提案した実習支援機能とその実現方式の有効性を確認した。

5.2 CAI 教材について

今回開発した CAI 教材の評価は以下のようにまとめられる。今回のケーススタディとして取り上げた ES ツールと論理型言語用の教材の作成と試用から得られた知見は以下のとおりである。

(1) ES ツール用教材については、具体的なインタビューデータと実際のソースコードの対応をハイパーテキストの構造で表現したことにより、個々のインタビューがどのようなルールに対応するのか、逆に個々のルールがどのようなインタビューから生成されたかなどの、実際に ES を開発する上で行われるインタ

ビューと ES 用知識獲得の擬似体験が可能になるなど、従来の紙の教科書では得ることが難しかった内容を従来の教材に比べて容易に知ることができる。

(2) ES ツール用、論理型言語用の両教材について、ソースコードの表現の中の文法的な不明点などを、ハイパーテキスト構造を用いて容易に参照することができるため、ソースコードの可読性が向上する。

(3) 教材の中で、実習支援機能を適宜利用するような指示を行い、利用者がその指示を実行することにより、従来の紙ベースの教材に比べて、より実際のプログラミングノウハウを身に付けることができる。

(4) プログラム診断機能のための複雑で大規模な知識ベースの作成が不要であるため、プログラム診断機能の能力にしばられない、柔軟な教材を作成することができる。また教材の不具合についての対処も迅速に行える。

以上から

(I) プログラミング教育においては、ハイパーテキスト機能を利用して、複雑な関係にあるソースコードや文法的な説明、プログラミングテクニックなどの各種の情報の間に適切なリンクを定義することにより、学習効率の向上が図れる。

(II) 実習支援機能と教材を統合することにより、学習対象の言語についての、より深い理解、実際の知識の習得が可能になる

などの効果を確認した。またマルチメディアを用いた教材を作成することにより、

(III) テキストだけでなく画像や音声を用い、それらを統合した教材を作成したことにより、わかりやすくまた使っていて飽きない教材にすることができるという効果を確認した。

5.3 今後の課題

今後の課題としては次のようなことが挙げられる。

(1) 今回の開発のベースとしたシステムでは、時間によって変化するアニメーションや VTR などの動的なデータを扱うことができない。このようなデータは、ツールの操作説明やプログラムの動きを表現するために必要である。

(2) 現在マルチメディア表示系と ES ツールはファイルレベルでの結合はなされているものの、基本的には全く独立したソフトウェアとして動いている。したがって例えばインタプリタの出すエラーメッセージなどを有効に利用して、利用者の間違いに則した適切な教材の提示などの機能が十分ではない。

(3) 教育の進度に応じた適切なメッセージを出すための機構がないため、ある状況に陥った場合、次にどの情報を参照すべきかということをしてあげてあらかじめ教材側で準備することが必要である。そのため、個別教育という CAI の目標が十分達成されていない。

(1)については、例えばアニメーションや VTR などのデータを扱えるように、システムが扱えるデータメディアを拡張すれば良い。しかしこの場合、従来のシステムで対象としていたテキストや静止画のように、時間的に変化しないデータの取り扱いのときには表面化しなかった問題、例えば動的データ間での同期の問題などを解決する必要がある。現在このような動的なデータを扱うことができるシステムを構築中である。

(2)については、例えば対象とした ES ツールが出力するエラーログを解析し、適切なフラグメントを利用者に提示する機能を実現すれば良い。ただし現在のハイパーテキスト処理系ではリンクの機能として、2つのフラグメントを静的に結合する機能しかないが、適切なフラグメントを利用者に提示するためには、状況に応じてリンクの結合先を変更する動的なリンク機能が必要である。

(3)については、まず利用者ごとにその利用者がたどってきた履歴を記録する機能が必要である。つまり利用者がこれまでに見たフラグメントやたどってきたリンク、各フラグメントを見ていた時間などを記録しておき、その記録に従って学習者モデル¹³⁾を構成して、そのモデルに基づいて適切なアドバイスを与えるような機能を実現すれば良い。この場合課題となるのは、どのような学習者モデルを作るのか、どのような履歴情報を記録しておけば良いのか、という点である。これらについては今後検討を進めてゆきたい。

6. ま と め

プログラミング教育に必要な実習支援機能の実現方式を提案し、ルール型言語を持つ ES ツールと論理型言語用を対象にした CAI システムを開発した。本システムは実習を支援する機能を持つと共に、テキスト、画像、図形、音声などの多様なメディアを駆使して教育を行うマルチメディア CAI システムとなっている。本論文で述べた CAI システムは

(1) 具体的な事例を用いて、ES 構築者がどのようにして知識を抽出し、どのように ES ツールのコードにするか、あるいは問題をどのようにプログラミング言語で表現するかという過程を、できるだけ具体的に

学習者に提示することができる。

(2) プログラミング言語の個々の説明の教材とソースコードとの対応が簡単に理解できるように、ハイパーメディアのリンク機能を活用している。

(3) 文字だけで説明するのではなく、図形や画像、音声などの多様なメディアを活用して、学習者の理解を促進している。

(4) 作成や修正をしたソースコードを学習対象のプログラミング言語の処理系で実際に実行できるなどの特徴を持っている。これらの機能を実現するために、マルチメディアを扱えるように既存のハイパーテキスト型プログラミング支援システムに次の拡張をほどこし、プロトタイプを開発した。

(Ⅰ) マルチメディアデータを扱う機能: UNIX のテキストファイル以外に、(a)マルチメディア文書処理ソフトウェアで作成した文書、(b)カラースキャナで読み取ったカラー画像データ、(c)バックグラウンドミュージックやナレーションなどのために用いる音声データを扱えるようにする。

(Ⅱ) 複数のフラグメントの同時オープン機能: 複数のフラグメントを同時に提示する機能の追加。

(Ⅲ) 任意の位置へのノードの定義: 任意の位置にハイパーテキストのノードを定義できる機能の追加。

このツールを用いて、ES ツール用の教材と論理型言語用の教材を開発した。ES ツール用の教材は、約 260 個の教材データが約 350 本のリンクで結合されている。論理型言語用の教材は約 200 個の教材データと約 300 本のリンクからなる。本プロトタイプシステムの開発、教材の作成、試用評価により、

(i) プログラミング教育における、ハイパーテキスト機能を利用した、ソースコードや文法的説明、プログラミングテクニックなどの各種の情報の間のリンク定義による学習効率の向上、

(ii) 実習支援機能の教材の統合による、学習対象の言語のより深い理解、実際的な知識の習得の実現、

(iii) マルチメディア教材による、わかりやすくまた学習していて飽きない教材作成の開発

などを確認した。今後は

(a) ツールの操作説明やプログラムの動きを表現するため便利な、時間によって変化するアニメーションや動画などの動的なデータの扱い、

(b) インタプリタの出すエラーメッセージなどを有効に利用して、利用者の間違いに則した適切な教材を提示する機能、

(c) 個人の教育の進度に応じた適切なメッセージを出すための機構などのより高度な CAI 機能の実現について検討を進める。

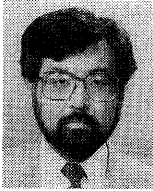
謝辞 本研究の機会を与えていただいた(株)日立製作所システム開発研究所所長堂免信義氏、本研究を進めるにあたってご指導いただいた同所第2部主任研究員増位庄一氏、プロトタイプシステムの開発ならびに教材データの作成にご協力いただいた同所山田隆亮氏、森本真由美氏、日立西部ソフトウェア(株)大野広宣氏に感謝いたします。また本論文の執筆にあたって多大なご助言をいただいたシステム開発研究所の相川博之博士に深謝いたします。

参考文献

- 1) 桜井ほか: 特集パソコン・AVの融合が促すマルチメディア維新, 日経ビジネス, 1992年2月17日号, pp. 10-24, 日経BP社(1992).
- 2) 酒井: CAIによる企業内教育, 電子情報通信学会技術研究報告, ET 91-94, Vol. 91, No. 360 (1991).
- 3) 松原ほか: 特集「出番がきたマルチメディア」, 日経バイト, 1991年1月号, pp. 202-243 (1991).
- 4) 赤堀ほか: ハイパーメディアを用いた教材開発の実際と課題, 電子情報通信学会技術研究報告, ET 91-26, Vol. 91, No. 73 (1991).
- 5) 野口ほか: IntelligentPadを用いた創造的CAIシステム, 日本ソフトウェア科学会第8回全国大会論文集, G 6-4, pp. 585-588 (1991).
- 6) 森田ほか: 言語CのCAIシステムの設計とそのプログラム実行環境の開発, 第32回プログラミングシンポジウム報告集, pp. 177-186, 情報処理学会, 東京(1991).
- 7) 菊池ほか: 初等プログラミング教育のための知的教育支援システムSTEP, 教育工学関連学会連合第3回全国大会講演論文集, J 1-4, pp. 87-88 (1991).
- 8) Conklin, J.: Hypertext: An Introduction and Survey, *IEEE Computer*, Vol. 29, No. 9, pp. 17-41 (1987).
- 9) 安信ほか: エキスパートシステム構築標準手順: ESGUIDEとその適用, 1991年度人工知能学会全国大会論文集, S 3-4, pp. 109-112 (1991).
- 10) ハート, A. (神林訳): エキスパートシステムのための知識獲得ハンドブック, p. 221, 啓学出版, 東京(1990).
- 11) 森ほか: エキスパートシステム構築技法入門, p. 167, オーム社, 東京(1990).
- 12) 芳賀ほか: 意味ネットワークによるプログラミングノウハウの表現とプログラミング支援システムへの適用, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 8, pp. 1184-1193 (1990).
- 13) 溝口ほか: 知的CAIにおける学習者モデル, 情報処理, Vol. 29, No. 11, pp. 1275-1282 (1988).
- 14) Sterling, L. et al.: *The Art Prolog*, The MIT Press, Cambridge, Mass. (1986).

(平成4年8月19日受付)

(平成5年7月8日採録)

**芳賀 博英 (正会員)**

1954 年生. 1980 年同志社大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了. 同年(株)日立製作所入社. 現在同社システム開発研究所関西システムラボラトリ主任研究員. マル

チメディア, ヒューマンインタフェース, 教育情報処理等の研究に従事. 人工知能, 論理プログラミングにも興味を持っている. IEEE-CS, 日本ソフトウェア科学会ALP (Association for Logic Programming) 各会員.

**小嶋 弘行 (正会員)**

1947 年生. 1973 年神戸大学大学院工学研究科修士課程修了. 同年(株)日立製作所入社. 同社機械研究所を経て現在同社システム開発研究所関西システムラボラトリ主任研究

員. 工学博士. マルチメディアシステム, ヒューマンインタフェース等の研究に従事. 計測自動制御学会会員.