

オブジェクト指向による高度個別型CAIの概念設計モデルについて

富士 隆* 谷川 健* 星原 健二郎* 伊藤佐智子* 小銭 正尚* 三枝 武男**
*SRL (学習情報通信システム研究所) **北海道情報大学

コンピュータを利用した学習システムは、学習者(利用者)の立場からみると「教え込み型」が中心であり、問い合わせ機能や関連した知識の学習といった点ではかならずしも十分ではない。また、開発者の立場からみてもそのデータ構造は個々の学習者の状態に適応して情報提供するといった柔軟な構造になっていない。これらの課題を解決するため、学習者の個別化対応を目指した次世代CAIの要件を分析し、オブジェクト指向分析手法を用いた高度個別型CAIの概念設計モデルとして提案する。さらに、概念設計モデルの実装化に関する基本的考え方についても示す。

Object-Oriented Conceptual Design Model of Advanced and Individualized CAI

Takashi Fuji* Takeshi Tanigawa* Kenjiro Hoshihara* Sachiko Ito*
Masahisa Kozeni* Takeo Saegusa**
*Software Research Laboratory **Hokkaido Information University

Current learning systems by utilized computer system is mainly to be led a sequence of presentations and questions from student's(end-user) point of view, and it does not have sufficient function of asking to system and learning topics with related subjects. And also, from systems development's point of view, it is not flexible data structure which is able to offer the information depending individual student's perspective. In order to solve these problems, we have analyzed requirment of next generation's CAI which will be able to adapt understanding of individual student, and we have designed the conceptual design model of advanced and individualized CAI by object-oriented software development methodology. Finally, we show the basic conception about the conceptual design model's implementation.

1. はじめに

情報システムの世界では、今、大きな潮流の変化が起きている。1つは、従来の安くて品質の良いものを大量に生産する大量生産方式から個々の顧客ニーズに合った製品やサービスを提供しようというものであり、2つは、情報処理技術の進展によるダウンサイジング、オープン化である。^[1]

コンピュータを利用した教育システムもその域外ではなく、同様な変化が起きつつある。1つは、大量生産方式から派生したと考えられるドリル型CAIのように大量に流れ作業的に間違いが起こらないように教え込む方式から、個々の学習者のニーズに応じて学習ができる方式への転換であり^[2]、2つは、情報処理技術の進展によるハイパーメディアの利用である。^[3]

高度個別型CAIでは、この2つを次世代CAIの主要な要件として位置付け、システム開発手法的アプローチ^[4]、即ち、

- ・現状システムの問題点、課題の整理
- ・新しい機能、変革すべき点の整理
- ・最新技術の取り込み、開発
- ・新システムの要件分析

(・システム化計画作成、システム設計、開発)

といった手順でオブジェクト指向分析手法を取り込みデータベース構築技術の視点から概念設計モデルの構築とその実装化を進めている。本稿では、高度個別型CAI概念設計モデルを提案し、その実装化に関する基本的考え方を示す。

2. 個別化及びデータ構造からみた現状のCAI

ここでは、現状のCAIの課題を、個々の学習者の理解度や関心度等に応じてどこまで個別化されているのか、またそれを可能とするデータ構造がどうなっているのかといった視点から把握する。

2.1 学習の流れからみた個別化の課題

(1) 伝統的CAI

CAIの学習様式は、ドリル型、チュートリアル型、シミュレーション型等に分類される^[5]。実際に製品化されたものは、例えばチュートリアル型+シミュレー

ション型のように組み合わせたもの^[6]、或いは学習者がオンライン端末から選択できるもの^[7]もあるが、基本的な学習の流れは、図1のようにあらかじめ作成者が考え用意された分岐(コースウェア)に従って学習を進めていく形態となっている。

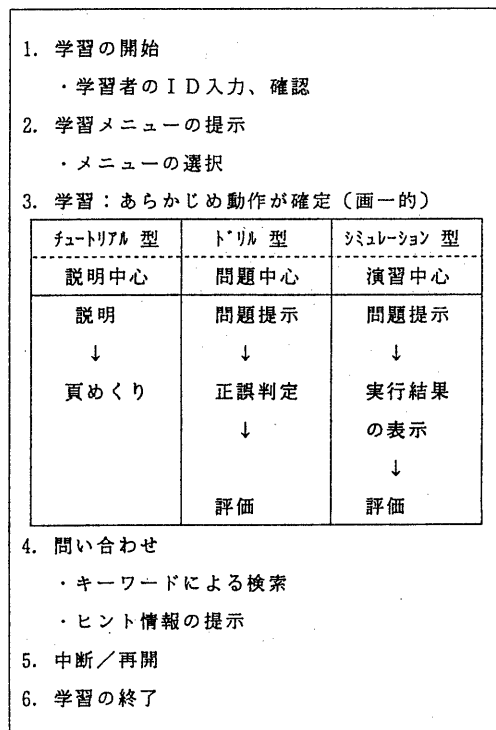


図1 伝統的CAIの学習の流れ

従って、学習者の立場からみると次のような課題が上げられる。

- ・学習者にとって学習形態が画一的である。
 - 「出来ない人」にとっては、システムの診断・治療機能が貧弱なためつまづいたところで十分な指導・アドバイスが受けられない。
 - 「出来る人」にとっては、より高度の内容や関連した学習が出来ない。
- ・教え込み型のため結果の正誤判定が中心である。
 - 何故そのような結果に到ったのかといった解決のプロセス(問題の本質)を十分に示していない。

(2) 知的CAI

知的CAIに関する研究は、盛んに行われ^[9]、次のような機能をもつものが一般的と云われている^[5]。

- ・システムが問題解決能力を有すること。
- ・学習者の理解状態を認識できる機能（構造）を有していること。
- ・適切な助言を与える機能を有すること。

しかし、実際、製品^[9]として稼働確認できるものは極めて少ないが、学習の流れは図2のようになっているものと思われる。

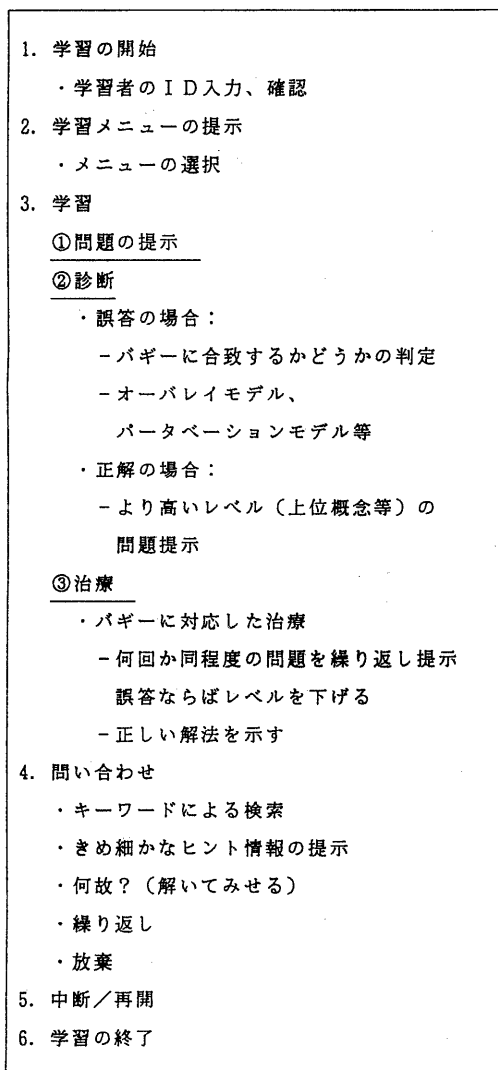


図2 知的CAIの学習の流れ

問題の提示～診断～治療といった学習のサイクルから構成され、その中で学習者からの問い合わせが可能となっている。このように基本的なシステム構成としての枠組みは揃っているが、個々の機能面からみると次のような課題が上げられる。

- ・学習者の誤りを的確に判断できない。
 - バギーの範囲のみ。
- ・学習者の真の要求がシステムに伝わらない。
 - 問い合わせ機能が不十分。
- ・名人先生の教え方が反映されていない。
 - 教授方略の仕組みが不十分。
- ・システム自身学習する機能が無い。

さらに、システムの実装化面では

・開発ロードと利用メリットのギャップが大きいといった点も今後の実用化を考えると極めてクリティカルな課題と云える。

2.2 データ構造

(1) 伝統的CAI

ファイル構成は、学習を進めるためのコースウェア管理・フレーム制御ファイル（分岐情報）、画面に提示用のデータを格納する提示情報ファイル（教材データ）、そして学習者個人の情報を格納するファイル群から構成されている^[10]。データ構造は、「フレーム」というものを基本単位に持っている。「フレーム」とは、学習を進める上で基本となる単位で、1つのフレームにより、情報提示・学習者の回答入力・回答解析・KRメッセージ表示・次フレームの指示等が行われる。

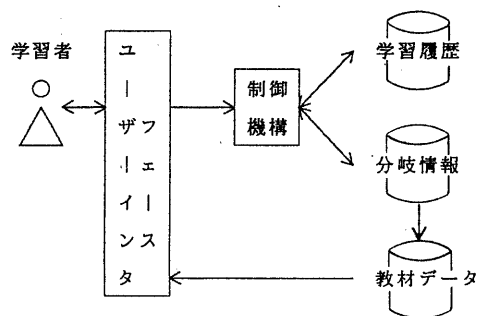


図3 伝統的CAIの構造

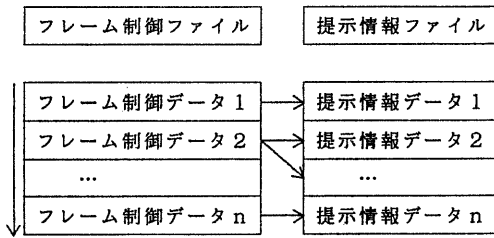


図4 伝統的CAIのデータ構造

図3は、伝統的CAIの構造を、図4は、伝統的CAIのデータ構造を示しているが、ファイル群は順次処理を前提にしたファイル管理システムであり、分岐情報とフレームが固定的なスキーマとなっているので学習者の個別化に対応できていない。

(2) 知的CAI

主なデータベースとしては、図5のように教材知識、教授方略、学習者モデル等から構成されている。知識表現の形式は、意味ネットワークやフレーム表現等の宣言的知識、述語論理等の手続き的知識、プロダクションルール、黑板モデル等の問題解決的知識等⁽⁵⁾であるが、教材知識や教授方略から自動的に誤りを診断する仕組みにはなっていない。

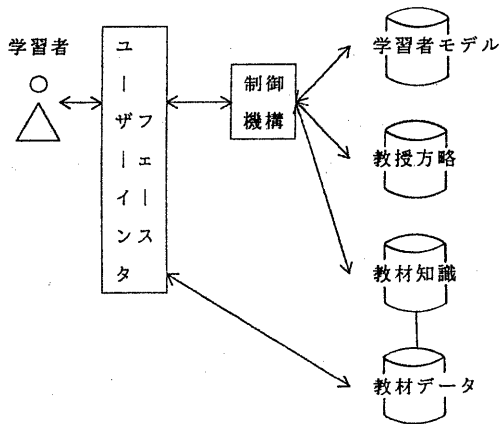


図5 知的CAIの構造

3. 次世代CAIに求められる要件

このように実用化されている伝統的CAIは、「教

え込み型」中心で学習者にとって画一的な学習しかできない。また、知的CAIも研究開発の途上であり、問題提示・診断・治療の概念はあるものの学習者の個別化という面では極めてシステムの完成度は低く、また学習ドメインに依存している。ここで、現状CAIの課題と「個別化」に必要な要件を整理し、次世代CAIとして求められる要件を上げてみたい。

・機能的には、伝統的CAIと知的CAIの統合型CAIとする。

従って、学習の流れと機能のイメージは、

- 学習の開始
- 学習者モデルの初期設定
 - 簡単な学習者のレベル、クセを把握
- 学習者のレベル、クセに応じた学習の進行
 - (説明・問題提示・診断及び治療)
 - 理解度に応じたレベルの上げ下げ、
 - 学習方法の変更、
 - 関心度に応じた関連分野の学習、
 - 集中力、積極性の低下への動機づけ等
- 学習中の問い合わせ
 - 学習項目に関する質問、
 - 教え方に対する要求

- 学習の終了
のようになる。

さらに、実現する上でのデータベース構築技術の視点からの要件は次に上げるものである。

- ・学習者の理解度(知識のレベル、深さ)や関心度に応じた情報提供を実現するため、データ構造としてオブジェクト指向を取り入れた知識・教材の最適な部品化を行う。
- ・部品化においては、マルチメディアでの情報提供と知識ベースを統合した形態とする。
- ・必要となる主要なデータベースは、次の上げるものから構成される。
 - 学習者の属性情報
 - 学習者の履歴(学習者モデル、学習履歴等)
 - 教材情報(説明、問題・解答、辞書、関連教材)
 - 教授方略(学習の流れ、個々の問題の対応、名人先生モデル)
 - 個人用学習ノート

4. 高度個別型CAIの概念設計モデル

(1) オブジェクト指向分析手法の採用

システム化の対象となる実世界をコンピュータ上に実現するには様々な手法があるが、ここでは、オブジェクト指向分析手法を採用している。その理由の1つは、システムの実装ではなく概念のモデル化に焦点があてられていることである。このことにより、実装化段階で表面化する問題をモデル化の段階でチェックでき開発の生産性、品質の向上に有効である⁽¹¹⁾。2つは、問題領域を「オブジェクトの集合」とそれらの間の「ネットワーク構造」としてモデル化するというオブジェクト指向の枠組み、即ち、

- ・部品という考え方（部分-全体構造）
- ・クラス継承のメカニズム（一般化-特殊化構造）
- ・メッセージのポリモーフィズム

等を利用することによりソフトウェアの再利用性と保守性で効果的⁽¹²⁾と云われているからである。

オブジェクト指向分析手法にも様々な手法があるが、ここでは分析から設計まで一貫した手法を備えているOMT法（Object Modeling Technique）を選択した。OMT法では、1つのシステムを記述するのに3つのモデルを用いる。即ち、

- ・オブジェクトモデル

システム内のオブジェクトの静的な構造とオブジェクト間の関係をオブジェクト図として記述

- ・動的モデル

時間とともに変化するシステムの状態を事象トレース図や状態遷移図で記述

- ・機能モデル

システム内でのデータ値の変換、即ちシステムが何を行うのかをデータフロー図で記述から構成される。各々のモデルは、開発のすべての段階で適用でき、開発が進むにしたがって実装のための詳細が追加されていく。

(2) 高度個別型CAIのオブジェクトモデル

オブジェクトモデルを作成するにあたって、まず、高度個別型CAIに求められる要件に基づき、このシステムに関連するオブジェクトクラスを抽出する。次に、そのオブジェクトクラス間の関連を見つける。関

連には、集約（部分-全体）も含まれる。さらに、各オブジェクトクラスが持つべき属性を決める。最後に、オブジェクトクラスの汎化、特化を検討する。オブジェクトクラス間に共通の構造があれば、汎化したオブジェクトクラスを定義する。

以上の手順に従って導出したオブジェクトモデルを図6に示す。

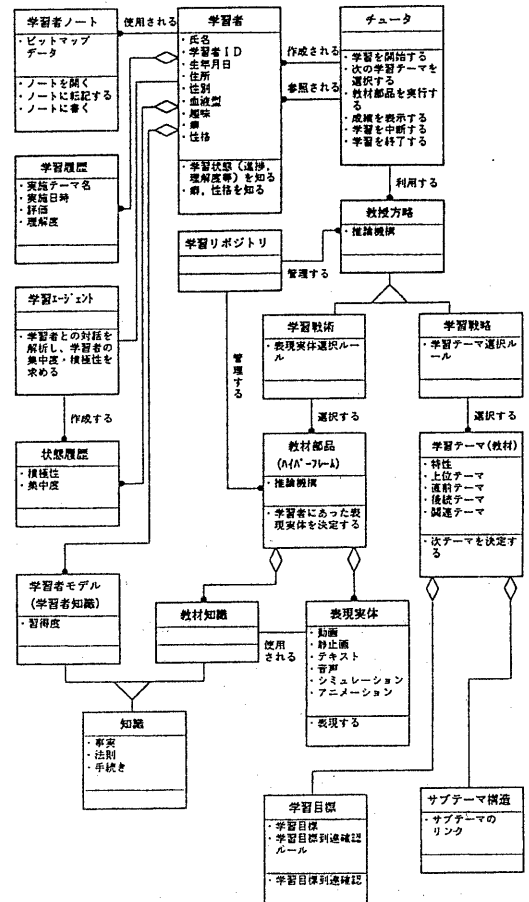


図6 オブジェクトモデル

主なオブジェクトクラスの概要を、以下に示す。

- ・学習者

学習者の属性を保有し、その配下に学習履歴、状態履歴、学習者モデル等を管理する。

- ・チュータ

教授方略を参照しながら学習者に合った学習の進行を制御する。

・学習者モデル

学習者が、教材知識をどの程度理解しているかを管理する。

・学習テーマ

学習者が選択できる学習単位であり、学習テーマどうしが、上位・下位、前提・後続の関係をもっており、ツリー構造を形成する。各学習テーマは、その学習目標と教材部品を保有する。

・教材部品

学習の単位になるもので、テキスト、マルチメディア、シミュレーション等の表現実体と、それを支える知識を保有する。

・教授方略

学習の流れを決定する法則（学習戦略）と、提示する教材部品を選択するための法則（学習戦術）がある。学習戦略に従い、学習者の理解度に応じた学習テーマを決定する。また、学習戦術に従って、学習者の特性に合わせた教材部品を選択する。

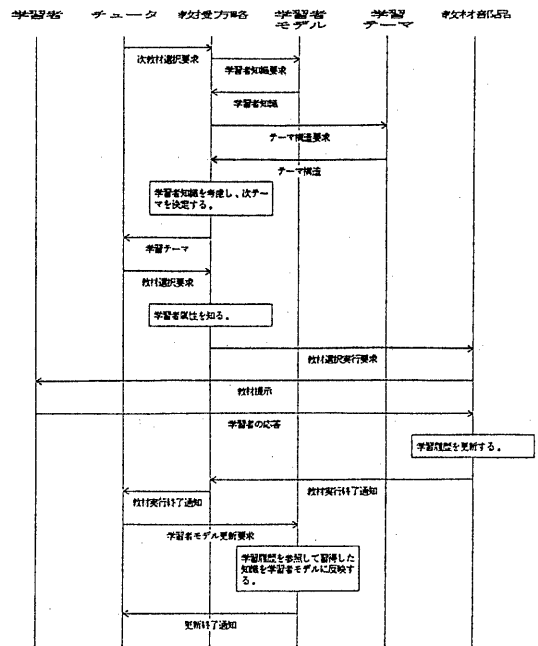


図7 イベントトレース図(例)

(3) 高度個別型CAIの動的モデル

オブジェクトモデルの妥当性を評価するためと、オブジェクトクラスのサービス(メソッド)を明確にするために各オブジェクト間の事象を抽出し、イベントトレース図を作成する。そして重要なオブジェクトモデルに着目して、事象の流れに応じた状態を定義し、オブジェクト内の状態遷移図(動的モデル)を作成する。

学習者に応じた教材の提示の部分のイベントトレース図を図7に示す。

(4) 高度個別型CAIの機能モデル

オブジェクトモデルのオブジェクトクラスや属性(データフロー)と、動的モデルの活動や動作(プロセス)を結合して、要求する機能を満足するかどうかを確認するために、データフロー図(機能モデル)を作成する。

このシステムのトップレベルの機能モデルを図8に示す。

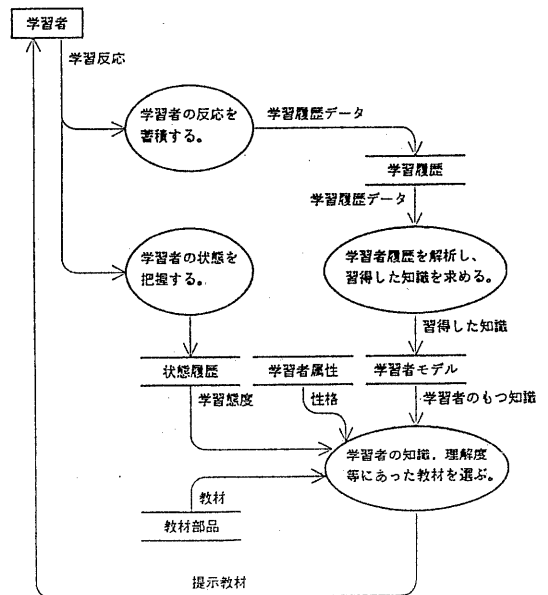


図8 機能モデル(トップレベル)

5. 概念設計モデル構築のためのデータベース技術

高度個別型CAIの概念設計モデル構築を考えると、いくつかの新しい概念・技術が必要となってくるが、ここでは、データベース構築の視点から教材及び知識の部品化について述べる。

個々の学習者の状態に適応した情報を動的に提供可能にするためのデータ構造として、ハイパーフレームという概念モデルを考えている。従来のフレームとの違いは図9に示しているが、従来のCAIのフレームは、学習の制御（フレーム制御ファイル）とフレームがシステム構築時に固定されているため個々の学習者に適応した情報を動的に生成できない。また、学習者への情報の提示方法もフレームの構造上、あらかじめ動作が決まっている学習の制御にしたがって画面に提示するだけで、学習者のレベル、好みに合った情報提供を行うといった柔軟性に欠けている。ハイパーフレームは、学習するときの教材の基本単位であり、次の機能を有している。

- ・ 再利用可能な教材部品
 - 教材、知識をオブジェクト指向分析手法により部分-全体構造、一般-特殊化構造、ポリモρφイズムにより部品化、動的な学習制御（教授方略）に適応した教材を提供
 - 教材部品をオブジェクト化することにより広域ネットワーク上での分散管理にも対応（分散オブジェクト管理）
- ・ マルチメディアでの情報提示
 - 文字、テキスト、静止画等時間軸のないデータと音声、動画等時間軸のあるデータをデジタル化、統一的に扱える形態で蓄積し、学習者に適応したメディア、例えば、文章の理解が苦手な学習者には絵やグラフを多くしてわかり易く表示するなどして情報提供
- ・ 知識表現
 - シミュレーション・プログラムや各種知識表現モデル（意味ネットワーク、述語論理、フレーム理論、プロダクションシステム等）を内蔵することにより学習者の疑似体験や個々の誤りに対する指導を提供

比較項目	従来のフレーム	ハイパーフレーム
基本単位	○	○
部品化	×	○
マルチメディア	△	○
シミュレーション	△	○
知識表現モデル	×	○
分散管理	×	○

図9 フレームとハイパーフレームの比較

図10は、ハイパーフレームの利用イメージを示したものであり、学習者の理解度や関心度に応じて教授方略が生成されると、それに適応した教材部品（ハイパーフレーム）が動的に抽出され、その学習者向けの教材として提供されることになる。

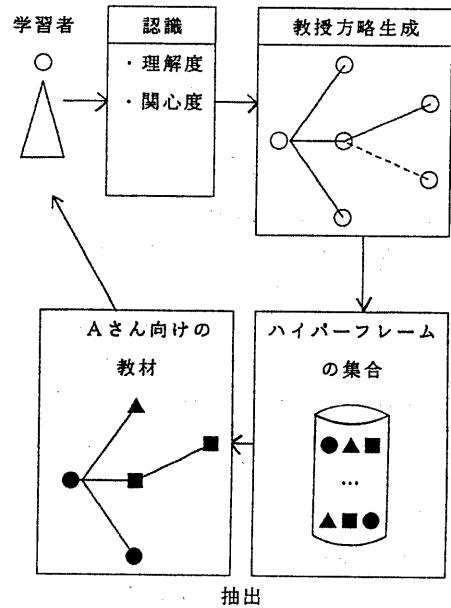


図10 ハイパーフレームの利用イメージ

このような教材部品としての機能をみすためのハイパーフレームの概念モデルは、図11のように知識の関係づけをする部分、学習のサイクルを表す部分、理解度のレベルを表す部分、マルチメディア情報の種

類を表す部分、そして知識表現対応の部分から構成される。

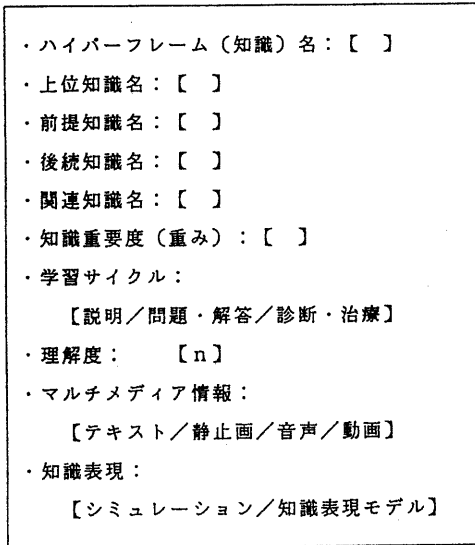


図 1 1 ハイパーフレームの概念モデル

6. 高度個別型CAIの概念設計モデルの実装化

(1) システムアーキテクチャーの枠組み

高度個別型CAI概念設計モデル実装化のプラットフォームとして何を選択すべきか。ここで関連する技術の要件は、次の3つである。

- ・マルチメディアデータの取り込み、蓄積、表示
- ・知識ベースの取り込み、蓄積、処理
- ・マルチメディアデータと知識ベースの統一的処理

1番目のマルチメディアデータの蓄積には、データの複雑さからリレーショナルDBMSでは取り扱いにくいので、オブジェクト指向DBMSを利用、マルチメディアデータの取り込みと表示に関しては、マルチメディアオーサリングツールを利用している。2番目も知識ベースに関しては、知識ベースシステム開発支援ツールを利用している。3番目は、異なるソフトウェアのインタフェースをどうとるかということであるがC言語によるアプリケーションと共通なオペレーティングシステムの選択により実現している。図12に、その枠組みを示している。

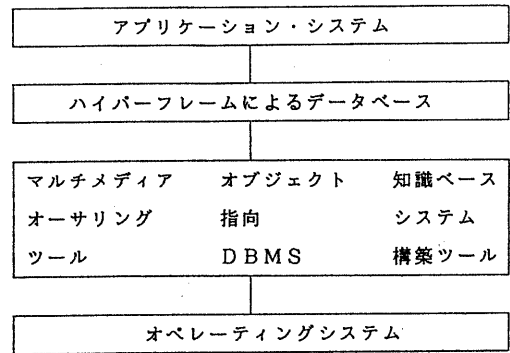


図 1 2 実装化システムの枠組み

(2) オブジェクト指向DBMSを用いた学習情報データベースの構築

今回のモデルの実装化では、オブジェクト指向DBMS (OODB) を利用しているが、次の点で効果的である。

1つは、静止画や音声といったマルチメディアデータの蓄積、検索にデータの特長性をあまり意識なく処理できることであり、2つは、オブジェクト指向分析手法 (OMT法) による概念設計モデルが極めてスムーズにデータベース化できることである。図13に、OODBの「ONTOS」によるオブジェクトモデル「学習者」の実装化の一部を示す。

```

class Student : public Object
{
private:
// 属性定義
char*   cs_name;           // 氏名
char*   cs_id;            // 学習者ID
Date*   cs_birth;        // 生年月日
Sex*    is_sex;          // 性別
Hibit*  is_hibit;        // 癖

// 関連定義
Reference ref_s_note;     // 学習者ノート
Reference ref_s_hist;     // 学習者履歴

public:
// メソッド定義 (コンストラクタ)
Student(char* the_name=DEFAULT_STUDENT_NAME):
Student(APLE):
Type ExportType():
// メソッド定義 (サービス)
void mtd_stat(char* pc_stat);           // 学習状態の取得
void mtd_hibit(Hibit* pc_hibit);      // 癖の取得

// メソッド定義 (関連)
Student* *bind_note():                // 学習者ノート
void rset_note(Student* the_note);    // 学習者ノート
Student* *bind_hist():                // 学習者履歴
void rset_hist(Student* the_hist);    // 学習者履歴

```

図 1 3 オブジェクトクラスの実装例

7. おわりに

オブジェクト指向技術が、コンピュータを利用した学習システムの開発にどれほど役に立つのか、また教材及び知識の部品化のためのハイパーフレームがどの程度学習者の個別化に有効なのか、いずれも概念設計モデルの段階では狙い通り機能しそうである。現在、概念設計モデルの実装化に関しては、前述のアーキテクチャーを利用しながら開発を進めており、その内容については次の機会に発表したい。

参考文献

- [1] 角井敦、富士隆：“アプリケーション概論”、電子開発学園、PP.43-52(1992)
- [2] 浜野保樹：“ハイパーメディアと教育革命”、アスキー出版局、PP.37-44(1990)
- [3] 中村直人、竹谷誠：“ハイパーメディアを用いた問題解決方略に基づく探索学習システム”、電子情報通信学会論文誌、VOL. J75-A NO.2、PP.164-172(1992)
- [4] Flaatten P.,McCubney D.,O'Riordan P., Burgess K.：“Foundations of Business Systems”、The Dryden Press(1989);アンタ*センコンサルティンク*東京事務所 訳、“情報システム構築ハンドブック”、HBJ出版局、PP.12-146(1990)
- [5] 岡本敏雄：“教育における情報科学”、パーソナルメディア、PP.190-244(1990)
- [6] (財)日本情報処理開発協会：“CAROL利用の効果分析調査報告書その1、その2”(1990)、(1991)
- [7] Fillman L.：“Overview of NovaNET”、University of Illinois,pp.1-4(1991)
- [8] Wenger E.：“Artificial Intelligence and Tutoring Systems”、Morgan Kaufman Publishers Inc.(1987);岡本敏雄、溝口理一郎 監訳、“知的CAIシステム”、オーム社(1990)
- [9] NTT情報通信網研究所：“知的CAI開発支援システムCAIRNEY Ver.2.0 マニュアル”(1992)
- [10] コンピュータ教育開発センター：“「学習指導用ソフトウェアの教材データ仕様の策定調査」報告書”(1989)
- [11] Bruegge B.,Blythe J.,Jackson J.,Shufelt J.：“Object-Oriented System Modeling with OMT”、OOPSLA'92 Conference Proceedings,pp.359-376(1992)
- [12] Rumbaugh J.,Blaha M.,Premerlani W.,Eddy F., Lorenzen W.：“OBJECT-ORIENTED MODELING AND DESIGN”、Prentice-Hall(1991);羽生田栄一監訳、“オブジェクト指向方法論OMT”、トッパン、PP.4-10(1992)