

## 知識ベース型CAI / IROSA-IIIの 汎用オーサリングの構築

IROSA-III: A Knowledge Based CAI As General Purpose Authoring System

勢藤 典彦  
Michihiko SETOH  
ランドコンピュータ  
R&D COMPUTER CO., LTD

岡本 敏雄  
Toshio OKAMOTO  
東京学芸大学  
TOKYO GAKUGEI UNIVERSITY

あらまし 知識表現モデルである意味ネットワークとプロダクションシステムの考え方をCAIに適用した汎用オーサリングシステムIROSA-IIIを作成する。

IROSA-IIIでは、意味ネットワークを利用して、限定された範囲内ではあるが、教材知識に対する会話形式の質問応答を可能にする。また、プロダクションシステムの方法で、問題回答時の学習者の理解状態を診断し、柔軟な個別指導を実現する。さらに、全体的な教授戦略の展開には、疑似的な学習者モデルを利用する機能も持つ。

キーワード CAI、知識ベース、知識工学、教材開発、意味ネットワーク、質問・応答型、プロダクションシステム、知的オーサリングシステム

### I. はじめに

一般的なフレーム型のオーサリングシステムの普及により、実用的なコースウェアの開発・供給が可能になり、CAIが利用される機会が広がってきている。しかし、それらに代表される伝統的CAIには、

- ① 学習の流れが固定的である。
- ② 学習者の誤り同定が、ごく狭い範囲に限られる。
- ③ 学習者の理解状態を動的に認識できない。
- ④ 自然な学習対話の実現が困難である。

などの問題点もある。

これらの問題点を解決するために、知的CAIの研究開発が始まり、現在、実用化のための研究が課題の一つとなっている。<sup>4) 5) 6) 10)</sup>

本研究に先立って、知識ベース型の汎用オーサリングシステムIROSA-II (Information Retrieval Oriented CAI Supporting system incorporating reAsoning)の研究開発が行われた(岡本ら1984)。IROSA-IIでは、意味ネットワーク技法を改良した知識表現モデルと、

テーブル探索による推論エンジンが、16ビットのパソコン上で実現された。これにより、限定された範囲内ではあるが、会話形式の質問応答が可能になった。

しかし、意味ネットワークでの知識記述や学習者が質問できる形式が少ないために、対話が浅いレベルでとどまることが多く、また、学習の流れは、教材作成者があらかじめ定義した通りに固定的にしか展開できない、などの課題があった。<sup>1) 2)</sup>

### II. 研究目的

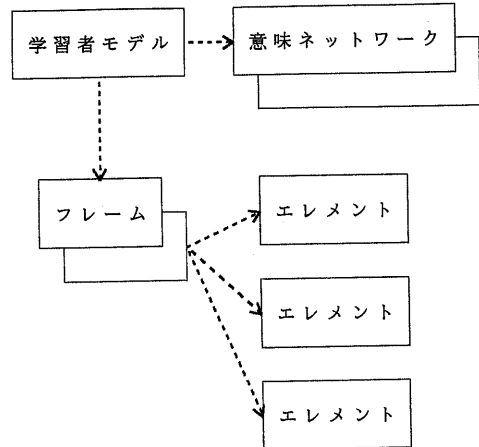
本研究開発では、IROSA-IIで実現された機能に加えて、以下の機能を実現することを大きな目的とする。

#### 1. 意味ネットワークを拡張する

- ① 文字列で記述されるプリミティブ(unit)間のリンク定義である関係子の種類を拡張

する。また、学習者からの質問形式も拡張する。これにより、学習者の質問範囲の拡大、より会話形式に近い応答文の生成などを実現する。

- ② 意味ネットワークの作成、編集を容易にするために、プリミティブと関係子を線などの図形によるグラフィカル・ユーザ・インタフェースで実現する。
- ③ プリミティブに、図形データや教材データ（フレーム）を関連づけられるようにする。これにより、教材作成時に、意味ネットワークにすでに定義されている図形データを検索して取り込むことが可能になる。また、質問応答時に、文章だけでなく具体的な図形で応答することも可能になる。



・ 1 学習者モデルが 1 教材となる

## 2. 教授戦略をより個別対応にする

- ① プロダクションシステムの方法で、問題回答時の学習者の理解状態を診断し、その理解状態に応じた治療や指導を行う。
- ② 疑似的な学習者モデル（オーバーレイ）を利用して、学習の流れを動的に展開する機能を実現する。

## Ⅲ. システム概要

### 1. 教材の構成

本システムで作成する教材の基本構成を図 1 に示す。

### 2. システムの構成

ソフトウェア体系は、図 2 に示すようなモジュール群で構成される。

- ① システム制御モジュール  
学習実行および教材作成支援のための各モジュールの制御を行う。
- ② 展開制御モジュール  
学習を実行する際、学習者モデルとシステム固有の教授戦略にもとづいて教材データの展開を行う。

図 1 教材の基本構成

- ③ 学習状態評価モジュール  
学習者モデルに示される学習者の学習状態を評価し、学習の展開に必要な情報を得る。
- ④ 教材知識探究モジュール  
学習者の応答または質問に対し、意味ネットワークを検索して推論を行い、その結果を得る。
- ⑤ 診断治療モジュール  
問題での学習者の応答をもとにして、プロダクションルールベースを検索して推論し、治療や指導などを行う。
- ⑥ 応答解析モジュール  
学習者の応答を解析し、展開制御、学習状態評価、教材知識検索を行うための情報を得る。
- ⑦ 教材データ編集モジュール  
画面表示データなどの教材データに対する作成、編集の機能を持つ。
- ⑧ 構造編集モジュール  
意味ネットワーク、学習者モデル、教材データの構成を視覚的に示し、それを直接操作して情報の作成、編集を行う機能を持つ。
- ⑨ ユーザインタフェースモジュール  
利用者に、マウスを活用した自由度の高いユーザインタフェースを提供する機能を持つ。

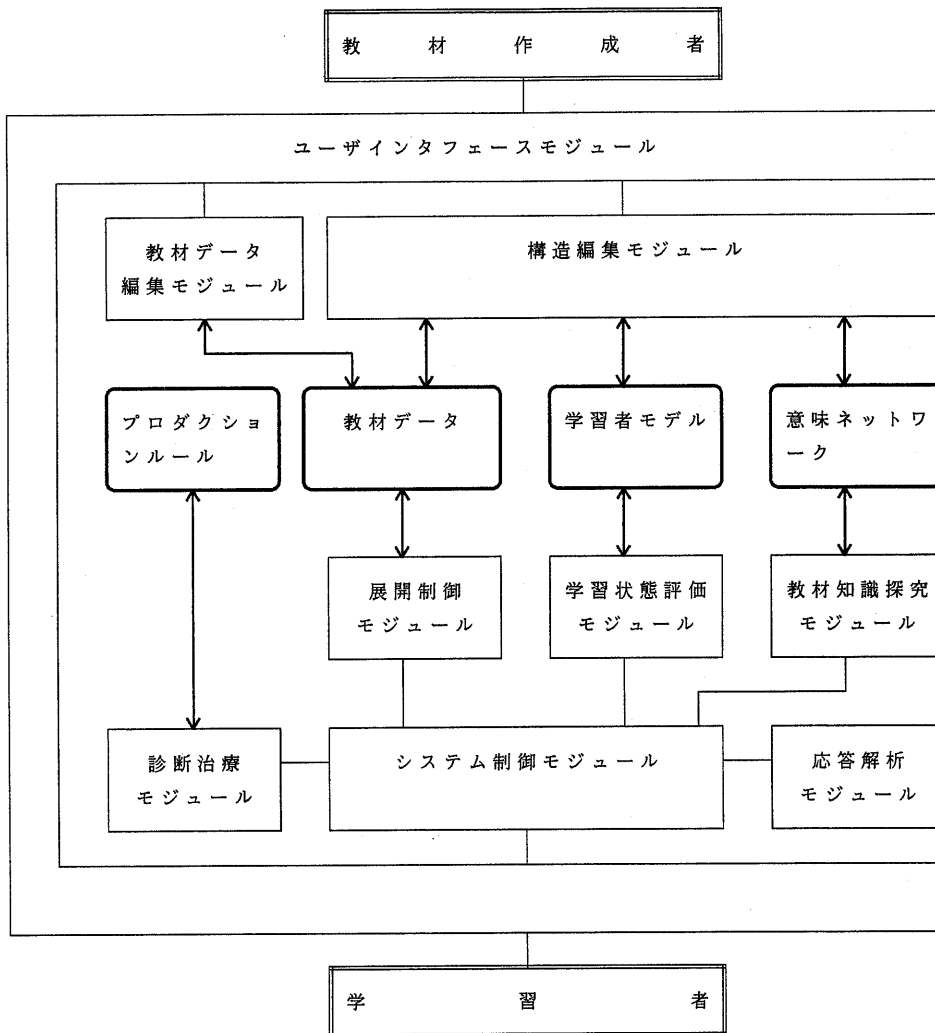


図2 ソフトウェア体系

IV. 意味ネットワークの機能

1. 推論方法

IROSA-IIでは、知識表現モデルとして、Quillian(1967)の意味ネットワークモデルを応用し、SCHOLARシステムの意味ネット述語関数を部分的に適用している。(1)(2)(9)

意味ネットワークによる推論方法は、IROSA-IIIでもまったく同じである。記述できる

関係子は16種類に拡張するが、これらは、検索アルゴリズム別に、四つの型に分類される。

- ① 属性型
- ② 同義型
- ③ 例型
- ④ 包含型

関係子の種類と型を表1に示す。

関係子	型	関係子	型
所有 (has)	属性	理由 (why)	属性
可能 (can)		例外 (exception)	
反例 (contrary)		ユーザ定義	
類似 (similar)		同等 (is equal)	同義
定義 (def)		例 (instance)	例
適用 (apply)		部分 (is part)	包含
原因 (cause)		種類 (is kind)	
方法 (how)		構成 (cons)	

表1 関係子の種類と型

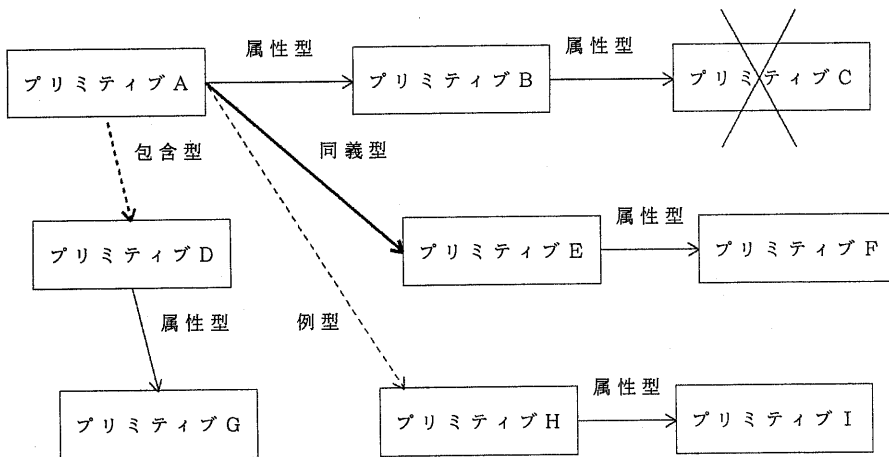


図3 関係子の型と属性継承の有無

図3でいうと、属性型の関係子でつながるプリミティブBの属性であるプリミティブCは、プリミティブAの属性とはならない。しかし、同義型の場合は、プリミティブEがプリミティブAとまったく同じ概念として扱われるので、プリミティブFはプリミティブAの属性となる。

また、例型と包含型であるプリミティブHとプリミティブDは、プリミティブAの上位概念となるので、その属性であるプリミティブIとプリミティブGは、プリミティブAに継承される。ただし、例型の場合、例型から例型への多重継承はしない。

## 2. 質問応答機能

学習者は、学習中の任意の時点で質問をすることができる。しかし、あらゆる質問に対応することは困難である。

本システムでは、質問のためのテンプレートを用意して、質問形式を限定した。基本形式は、以下の5種類である。

①  $A > C > ?$

任意の概念Aとの関係がCであるのは何ですか

②  $A > ? > B$

任意の概念AとBとの間にはどのような関係が存在しますか

③  $? A > C > B$

任意の概念AとBとの関係がCであることは正しいですか

④  $A > C > B = ? > C > ?$

任意の概念AとBとの関係と等価な関係を持つ概念XとYは何ですか

⑤  $? > C > B \text{ and } ? > F > E$

任意の概念Bとの関係がCであり、任意の概念Eとの関係がFである概念Xは何ですか

さらに、補助的な質問形式が3種類ある。

①他に何がありますか

→他の探索結果を応答する

②なぜそうなるのですか

→探索の過程を応答する

③どうしたら良いのですか

→「方法」の関係子でつながるプリミティブ

を応答する（問題実行中しか有効ではない）

システムは、以上の質問形式での質問によって、意味ネットワークを探索する。そして、その結果を、応答文テンプレートを利用して出力する。

## V. プロダクションシステムによる診断と治療

問題に対する学習者の応答に対しては、プロダクションシステムの方法で、学習者の理解状態を診断し、その理解状態に応じた指導や治療を行う。<sup>2)</sup>

推論の方法としては、学習者からの入力データをもとにして推論するので、前向き推論とする。また、競合解消の方法としては、最初にマッチしたルールを選択するファーストマッチとする。

### 1. 学習者の状態とAND/OR木

問題に対する学習者の基本状態を以下のように定義する。

①問題を理解している（理解状態）

②問題を誤解している（誤解状態）

③治療すれば理解できる（治療可能状態）

④治療しても理解できない（治療不能状態）

⑤問題に回答できる（回答可能状態）

このうち、治療不能状態をAND/OR木で詳細化したものを図4に示す。

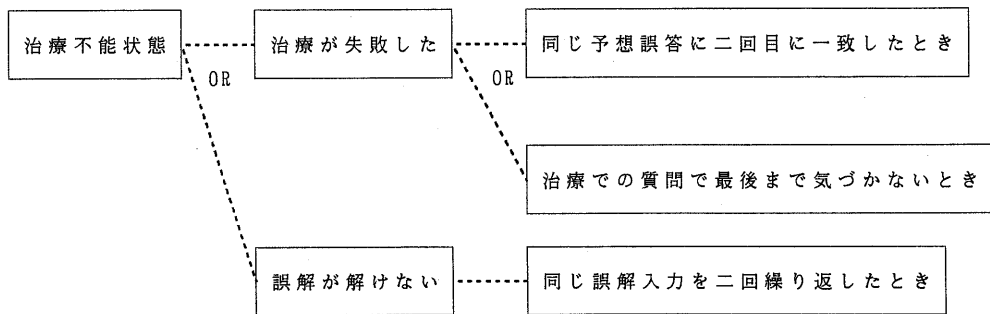


図4 治療不能状態のAND/OR木

## 2. プロダクションルールとアルゴリズム

学習者の基本状態のAND/OR木をもとにして、プロダクションルールで教授戦略を記述する。前述したように、ファーストマッチの方法をとるので、優先度の高いものから記述していく。

治療不能状態によるプロダクションルールの一部を表2に示す。

条件部と作業記憶(working memory)とのパターン・マッチで真となったルールの結論/行動部が実行される。具体的な行動には、作業記憶に対する事実の追加と、学習の制御がある。

プロダクションシステムは、問題の実行と同時に起動され、行動部に記述される学習の制御(移行する次エレメントへ)で終了する。具体的な動作については、図5に示す。

条件	結論/行動
治療不能状態	表示する 「わからないようですね。正解を確認しなさい」 表示する 正答 移行する 次エレメントへ
治療が失敗した または 誤解が解けない	追加する 治療不能状態

表2 治療不能状態によるプロダクションルール

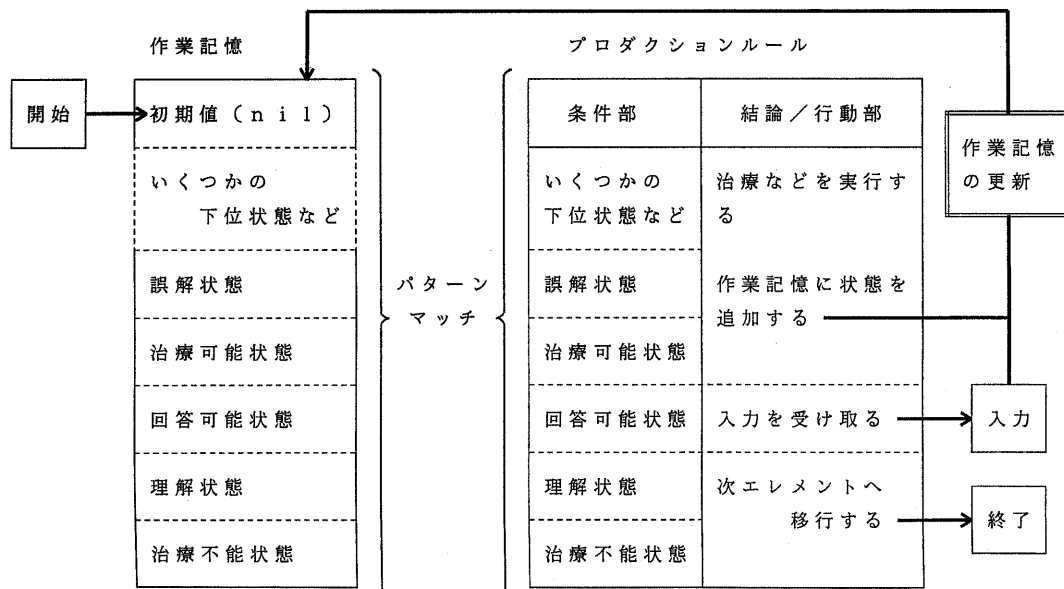


図5 プロダクションシステムの動作

なお、診断と治療の過程では、意味ネットワークも利用される。

アンサマッチングでは、学習者からの入力データと予想応答が異なっている場合でも、それらが意味ネットワーク上のプリミティブとして存在していれば、意味ネットワークを探索してマッチするかどうかを調べる。マッチングのルールは以下の二つである。

- ①入力データの同等プリミティブと予想応答の同等プリミティブを比較する。
- ②入力データと予想応答の下位属性のプリミティブを比較する。

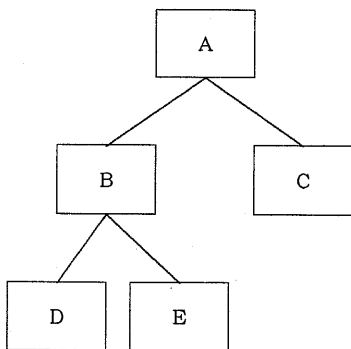
また、プロダクショナルルールの結論／行動部には、意味ネットワークを利用した指導／治療方法の記述ができる。たとえば、

表示する	予想正答の所有関係
表示する	予想正答の類似関係

といった指定が可能である。

## V. 疑似的な学習モデルによる教授戦略の展開

本システムでは、図6に示すように、学習目標を上位目標と下位目標の階層関係で表現する疑似的なオーバーレイ型の学習者モデルを実現する。<sup>7) 8)</sup>



A, B, C, D, Eは学習目標を表す

図6 学習者モデル（オーバーレイ）

これは、すべてAND条件で定義された木構造になる。この木構造さえ定義できれば、プロダクショナルルール化しなくても、システムは以下の規則で学習を展開する。

- ①現在学習している目標が達成できなければ、下位の目標に学習を移行する。もし、下位目標がなければ、同一レベルの目標に移行する。
- ②現在学習としている学習目標が達成できたら、同一レベルの目標に学習を移行する。もし、同一レベルの目標がなければ、上位の目標に学習を移行する。
- ③最上位レベルの目標を達成したときに学習は終了する。

教材作成者は、以上のシステム固有の教授戦略を認識しながら、以下の教授戦略を指定する。

- ①学習の開始点（開始する学習目標）
- ②同一レベルの学習目標の優先順位

以上の教授戦略さえ指定すれば、システムは自動的に全体的な学習の流れを展開する。

## VII. オーサリングシステムとしての意義

### 1. より個別対応のコースウェアを用意できる

従来型のオーサリングシステムでは、個別対応を考慮すればするほど、必然的にフレーム数は増加する。しかし、本システムでは、ある学習テーマに対して、一つのフレームの中で学習者が質問しながら学習を深めていく形にできる。そのため、少ないフレーム数でもより個別対応にすることが可能である。

また、フレームを用意しておかなくても、関連事項まで提示できる。（意味ネットワークに用意しておけば）

### 2. 教材作成者にも知的である

意味ネットワークは、学習者だけでなく、教材作成者も利用できる。したがって、教材作成時に、すでに作成されている意味ネットワークがあれば、それに対して質問して、知識を確認することができる。また、前述したように、意味ネットワークのデータを教材データに取り込

むこともできる。

### 3. 教材の作成だけでなく、発想／設計の段階から支援する

従来型のオーサリングシステムは、教材作成のための補助的（プログラムの代替）なツールとしての意味合いが強い。しかし、本システムでは、学習者モデル、意味ネットワークを、システム上で全体を視覚的に作成、編集でき、そのデータどおりに教材が実行される。また、教材データも、1画面1フレームというような物理的な管理ではなく、内容別に論理的に管理できる。これにより、思考をシステム上で試行錯誤しながら整理できたり、教材のプロトタイプングなどが容易になる。

## Ⅵ. 課題

最後に、本システムの今後の課題について以下に述べる。

### 1. 誤り同定の知的化

予想誤答は、教材作成者があらかじめ指定しておかなければならない。また、その予想誤答と一致した場合の治療方法も、記述しておく必要がある。

しかし、意味ネットワークと教授戦略のためのプロダクションシステムを実現するのなら、システムがそれらの役割をになうべきであろう。

### 2. 知識整合性、冗長性のチェック機能

意味ネットワークは、1教材に対して複数作成できる。（学習目標ごとに作成する場合は多いだろう）その際、意味ネットワーク相互の関連づけについては、教材作成者が責任を持つ。したがって、知識の整合性に誤りがあったり、冗長度が高くても、システムはそのまま実行する。また、教材作成者の負担も増える。

### 3. 自然言語インタフェース

前述したように、質問形式は限定されている。また、質問応答は、あらかじめ規定されているテンプレートの文章で行われる。もちろん、これだけでは学習のあらゆる場面での対話に対応することは不可能である。

相互主導型のCAIを目指すのであれば、自然言語インタフェースの実現は避けて通れない課題である。

## 参考文献

- 1) 岡本敏雄(1984) 知識ベース型CAI / IROSA-IIの研究・開発. 日本教育工学雑誌, 9, pp.43-53
- 2) 岡本(1986) "IROSA-II: A semantic net knowledge structure based CAI system development and evaluation". Educational Technology Research, Vol.9, pp.31-42
- 3) 勢藤, 岡本(1989) 意味ネットワークを利用したオーサリングシステムの研究開発. 電子情報通信学会, ET89-79, pp.63-68
- 4) 大槻説平(1986) 高度個別教育における知識情報処理 - ITSの機能とふるまい. 人工知能学会誌, Vol.1, No.2, pp.196-202
- 5) 大槻, 山本米雄(1988) 知的CAIのパラダイムと実現環境. 情報処理学会誌, Vol.29, No.11, pp.1255-1265
- 6) 池田満, 溝口理一郎ほか(1987) 知的CAIのための知識表現と帰納推論. 信学技報, COMP86-79
- 7) 溝口, 角所収(1988) 知的CAIにおける学習者モデル. 情報処理学会誌, Vol.29, No.11, pp.1275-1282
- 8) POLSON, M.C. and RICHARDSON, J.J. (eds) (1988) "INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS", Lawrence Erlbaum Associates Publishers
- 9) QUILLIAN, M.R. (1967) "Words concepts: A theory and simulation of some basic semantic capabilities.", Behav. Sci., 12(5): 410-430
- 10) WENGER, E. (1987) "ARTIFICIAL INTELLIGENCE and TUTORING SYSTEMS", Morgan Kaufmann