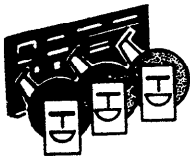


## リレー解説

## エキスパートシステムの諸事例—IX



## シミュレーションモデルをベースにした 知的教育訓練システム†

乾 昌 弘†† 宮 阪 信 次†††

### 1. 緒 言

技術の急激な発達によって、技術者の熟練した技能を向上させる必要性が高まってきた。大阪ガスでも技術者育成のための系統的、実践的なトレーニングが各所で行われている。

しかし、現状の教育方法では以下の問題点がある。

(1) 要員の少数化が進み、職場を離れての集合教育に人を派遣することやインストラクタを確保することは困難となりつつある。

(2) トレーニングのニーズが多様化しており、状況に応じたトレーニングコースを作る必要がある。

(3) 現在市場にある CAI を使っても、個人の理解度に応じた教育が難しい場合が多い。

以上の理由によりオーガス総研および大阪ガスはシミュレーションをベースにした知的教育訓練システム GTS (Generic Training System) を開発し、それをベースに電力系統切り替え訓練システム (PDTS; Power Distribution Training System) およびプロセス制御訓練システム (PCTS; Process Control Training System) を構築した<sup>1)~3)</sup>。現在、これらのシステムを使って実訓練を行っている。ここでは、システムの概要について述べる。

### 2. 操作訓練用の知的教育訓練システム

企業内では、さまざまな種類の教育訓練が行われている。したがって、これらに対する知的教育訓練システムを構築するためには、エキスパートシステムの分野で試みられているような各分野で

のドメインシェルの考え方が必要である。この考え方が知的オーサリングシステムの開発につながっていくと考えられる。以下に故障診断、保全、計画についてオペレータ用の訓練システムの考え方について述べる。

#### 2.1 故障診断および保全

USC (University of Southern California) が開発した IMTS (Intelligent Maintenance Training System)<sup>4)</sup> は、シミュレーションモデルをベースにした故障診断/保全用の知的教育訓練システムである。このシステムは、故障診断のルールを一般化した Profile というモデルをもっており、これを基にして学習者の誤りを見つけて指導する。また、インストラクタがシミュレーションモデルを構築する際にプログラミングなしにできるような汎用的なビルダが用意されている。このビルダは、グラフィックスのオブジェクトの作成からオブジェクト指向パラダイムを用いて訓練対象となるシステムの構築までできるようになっている。

学習者は、訓練時にどこが故障原因になっているかを推測し、故障だと思われるオブジェクトを健全なオブジェクトと交換して結果をみることができる。またシステムは演習課題の中で故障状態を示す場合のほかに、故障があるということを明らかにしない場合もあるし、実際に故障がない場合もある。保全については、専門家が入力した手順を教育時にプレイバックする。このシステムは、故障診断および保全教育について汎用化したものである。

また、オーガス総研でもガスコンロ用故障診断教育システムのプロトタイプを開発している<sup>5)</sup>。このシステムはユーザインタフェースに動画をふくめたハイパメディアを用い、Prolog で原因の同定や指導方略を作成している。

† Simulation Based Intelligent Tutoring System by Masahiro INUI (System Technology Dept., OGIS Research Institute Co. Ltd.) and Nobuji MIYASAKA (Fundamental Research Labs., Osaka Gas Co. Ltd.).

†† オーガス総研システム技術部

††† 大阪ガス基盤研究所

2.2 計画的な操作

プラントの操業では、異常時に故障診断をして修理するよりもむしろ最悪の場合を回避するように操作するほうが重要である。GTS の考え方は、そういうものを含む計画的な操作訓練システムの構築に応用できる。ただし、大きな枠組みでは故障診断などと同じ考え方で構築されている。シミュレーションモデルは、IMTS をはじめいくつかのシステムで汎用化の試みがなされインストラクタがいくつかの領域のモデルを構築することができるようになってきている。学習者のバグをみつけ指導するモジュールについては、新しいルールを入れやすくする方法とあらかじめ一般的なルールを入れておきオーサリングシステムを通じてより具体的なルールにする方法とがあるが、GTS では後者を用いている。

2.3 プラント操作の分類

教育システムの構築にあたって、プラント操作の性質を分類しその枠組みの中で実現する方法を考えた。スリーマイル島原発事故以来、安全工学の面から操作の性質について分析がなされているが<sup>6)</sup>、ここでは、プラント操作の専門家の知識を基に分類したものを以下に示す。

(1) 無関係

学習目標に関係のないスイッチを操作した。

(2) 冗長性

目標に関係あるスイッチを必要以上に操作した。あるいは、結果的に状態が変わらなかった。

(3) 順序性

ある条件を満たすために、ある順序に従って操作すべきである。

(4) 操作性

あるタイミングまたは、時間内に操作しなければならない。

(5) 正確さ

決められた操作量(絶対量、偏差)で操作しなければならない。

この分類を各コースごとに具体的な知識としてルールベースに構築すればよい。その他、訓練に関しては最終的にマスタしたかの評価も必要になる。このように操作の性質を分類することは、学習者の誤操作の原因を追及するときにも役立つ。

3. 教育方法の特徴

GTS システム全体の構成を図-1 に示す。以下に、PDTS を例にとり GTS の特徴を述べる。

3.1 学習者の理解度に応じた教育

学習者は、教育が始まれば予備テストを受けなければならない。この予備テストの結果を基に開始する内容を変えるようにしている。

3.2 シミュレーションと文章を用いた教育の融合

テキストを基本とした教育 (Text Based Tutor ; TBT) とシミュレーションモデルを基本とした教育 (Model Based Tutor ; MBT) とから成り立っている。このシステムは、MBT による操作訓練が主な目的であるが、その前段階で基本的な知識を TBT で教育するようにしている。また、これらの機能を利用してシステムにインストラクタのもっている専門知識、教育知識を組み込んだため、自由な時間に自習しインストラクタの手を借りずに受配設備の操作やプロセス制御をマスタすることができるようになった。

(1) テキストによる教育

教育方法には、一般的に教え込み型、モデル学習型、双方向主導型があるがここでは各機器の機能や操作の原則など基本的な知識を教え込み型で教育する。さらに文章と静止画、グラフィックスを用いてモデル学習型教育をすることによって帰納的に概念的な学習を行う。

(2) テキストとシミュレーションによる教育

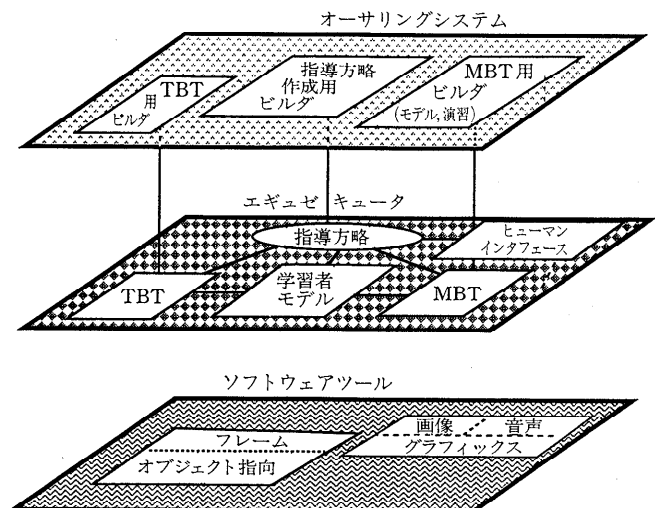


図-1 システム全体の構成

基本的な操作についてテキストを読み、シミュレーションで確認しながら学習することができる。この教育を終了すれば、操作の基本的なルールがマスターできる。

### (3) シミュレーションによる教育

各現場の受配電系統と機器を最大限に模擬したシミュレーション機能をもっているため、現実に近い訓練ができる。これも一種のモデル教育である。この場合いくつかの課題が与えられており、システムが正しい操作をしているか監視（バグディテクタ；後述）をして、適切なアドバイスを与える。

### 3.3 進捗度に応じた指導

一つのトレーニングコースは多くのレッスンから成り立っている。それぞれのレッスンでは、4つのモード（講義、テスト、補習、再テスト）に従って進捗度に応じた指導を行っている。テストは、4種類のタイプ（基本、推定、応用、総合）に分類されている。基本問題は、講義で行った内容をそのまま問返すもので、総合問題は、ある状況を与えてまちがいがいかどうかを評価させるものである。推定問題と応用問題は、その中間的なものである。補習は、まちがったテストのタイプと内容を分析して、再講義、用語説明、ヒント、詳解のうち最適なものを使用する。

### 3.4 バグディテクタ

シミュレーションモデルをベースにした教育の中では、操作の途中のミス（以下バグと称す）を見つけて教育することができる。

#### (1) 局所的なバグと履歴に依存したバグの見つけ方

局所的なバグとは、無関係なスイッチを操作したといった演習問題の課題と関係なく一回の操作で見つけられるバグであり、オブジェクト指向の考えに基づいたシミュレーションモデルの中で監視している。履歴に依存したバグとは、一連の操作の結果見つけられるバグであり、ルールでモニタしている。

PDTS では、合わせて 10 種類のバグを見つけている。（PCTS は、9 種類）

#### (2) 重度のバグと軽度のバグ

重度のバグとは、停電を起こしたり自家発電の電力が上流に流れ出すような重大なものであり、中断して指導をして後最初から操作し直す。軽度

のバグとは、後の操作に影響のないものであり、注意を促して続行する。

#### (3) 優先度

重度のバグと軽度のバグが同時に捕らえられたときは、重度のバグを優先的に指導するようにしている。

#### (4) 達成度の評価

課題が達成されたときは、どれぐらいバグを引き起こしたかによって違うメッセージが出力されるようにしている。

#### (5) ヒントとヘルプ

学習者がなぜルールを犯したか分からない場合に、ヒントまたはヘルプを出すようにしている。ヒントは限定的な内容であり、ヘルプはさらに詳しい内容の説明を行う。

### 3.5 ヒューマンインタフェース

学習者の中には、コンピュータの操作に慣れていない者もいるので、入力しやすく出力内容が理解しやすいように工夫している。入力は、原則としてマウスを用いている。出力は、X-Window を基本としてテキスト、グラフィックス、静止画像、音声合成を用いて効果的な教育を行っている。

## 4. 知的オーサリングシステムを利用した教材作成

教材や教育方法などの作成ツールにより、インストラクタ自身が内容の変更ができる。また、シミュレーションモデルは、オブジェクト指向プログラミングを採用しているため、任意の電力系統盤とその演習問題を作成することができる。

知的オーサリングシステム<sup>7)</sup>は、GTS の各モジ

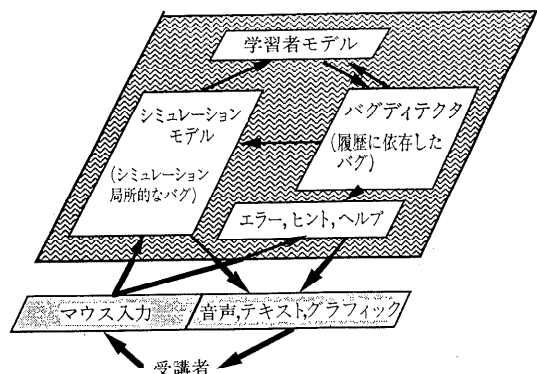


図-2 局所的なバグと履歴に依存したバグ

ール (TBT, MBT, 指導方略作成部) に対して用意されている。以下で MBT の作成支援ツールについて述べる。

### 4.1 モデルビルダ

モデルビルダは、PDTS 用のモデル作成支援システムであり、これに対する汎用的なモデルが用意されているため、容易に種々の具体的なシミュレーションモデルを作ることができる。インストラクタがグラフィックス画面上のアイコンを使って定義するのは、以下の項目である。

- (1) スイッチの種類 (電源, トランス, 遮断器など), 名前, 画面上の位置
  - (2) スイッチ間のつながり (母線など)
  - (3) 電力位相の同期を必要とするスイッチ
- その他, モデルの修正, ファイルの取り扱いなど種々の機能が, 用意されている。

### 4.2 演習作成用ビルダ

モデルビルダで作られた特定のモデルは, マウスによってシミュレーションをすることができる。演習作成用ビルダでは, レッソンの名前の指定と学習者に問題を出すときの初期状態をスイッチをいれながら定義していく。こうすれば, 演習開始時にシミュレーションモデルのオブジェクトに初期設定のメッセージが送られる。

次に初期状態から, インストラクタが最終状態に至る最適なパスをモデルを使いながらシステムに教える。システムは, 入力されたスイッチおよび手順から各演習用のバグディテクタのルールを準備する。

## 5. ハードウェア, ソフトウェア

### (1) ハードウェア

SONY 製ワークステーション NEWS, NTT 製音声合成装置 (NEWS と RS 232 C 接続)

### (2) ソフトウェア

X-Window R 11.4, C++ (UNIX 4.3 BSD)

ただし, PDTS では FranzLisp (Flavors) を使用しているが C++ に移植の予定

## 6. システムの評価

今回開発した GTS は各現場の教育に有効に使用されている。また, インストラクタはプログラムの知識なしに, テキストベースの教育だけでなく, 作成されたモデルを使いながら任意の PDTS の演習を作成できるようになった。PCTS は, まもなくオーサリングシステムが完成する予定である。なお, PDTS 受講者へのアンケートの結果, 「よく分かった」「ほぼ分かった」合わせて 99.5% に上った。

## 7. これからの研究課題

### 7.1 教育システムにおける階層構造の提案

領域知識を階層的に整理することは, 教授知識を明確にする第一段階であるだけでなく, 汎用的なオーサリングシステムを研究する場合においても役立つと思われる。

ここでは, ガニエの学習モデル<sup>9)</sup>とラスムッセンの物理モデル<sup>8)</sup>を参考にして教育すべき対象の一般的な枠組みを考える。

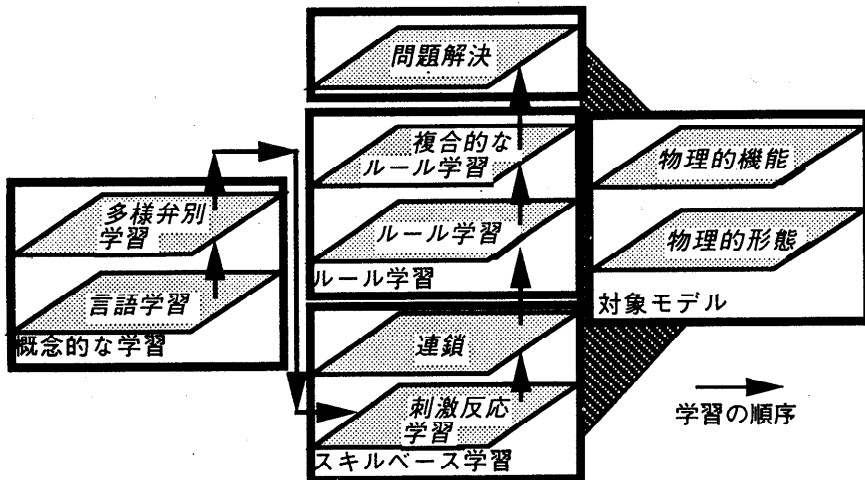


図-3 教育システムの階層構造

## 概念的な学習

## (1) 言語学習

基本的な言葉の定義, 抽象化されたシンボル, グラフィックスや画像による説明を行う。

## (2) 多様弁別学習

この階層では, 類似のグループの違いを学習する。類似の知識を比較しながら学習すれば誤解をなくし, 反意的な知識を比較しながら学習すれば理解を促進させる。

## スキルベース学習

## (1) 刺激—反応学習

結果的に対象モデルの操作で意識的な制御をとまわずに行われるもので単一のものを学習する。

(例, スイッチ選択, オンオフ, タイミング, 微小調整)

## (2) 連鎖

結果的に対象モデルの操作で意識的な制御をとまわずに行われるもので一連の動作を学習する。

(例, 一つのスイッチに関する一連の行動)

## ルール学習

## (1) ルール学習

基本ルールや制限を学習する。(基本的なルールを基本的な対象モデルに適用)

## (2) 複合的なルール学習

概念学習の基本ルールを対象モデルにあわせて複合した学習をする。(複合的なルールを基本的な対象モデルに適用)

## 問題解決

適用可能な適合的なルールを使用して問題解決方法を考える。(複合的なルールと現実的な対象モデルを使用) 通常は, 概念的な学習から問題解決までこの順序で教育が行われる。

## 対象モデル

## (1) 物理的機能

対象モデルの基本関数(ポンプやパイプなどのオブジェクトの機能や操作による状態変化を記述)

## (2) 物理的形態

対象モデルの形態(特定の仕様およびフロー図)

対象モデルは, 学習プロセスにおいて参照される階層である。

以上の階層モデルに具体的な知識やその関係を埋め込んでいく必要がある。

## 7.2 その他

(1) バグの原因までをシステムが推定しようとする場合, パータベション法(正しい知識を変形させて学習者のバグを同定する方法)がよく用いられる<sup>10)</sup>。この方法を本システムで適用しようとするれば, 上記の階層構造に故障診断などに応用されている重みつき有向グラフを用いて行うことが特に混用(他の知識をまちがって使用する)などで有効であると思われる。

(2) 現在, 大阪ガスでは大規模なシミュレータを使って LNG(液化天然ガス)基地や地域冷暖房システムの教育を行っているが, 基本的にはインストラクタが評価している。このような場合, 学習者に対する定性的および定量的な評価結果の作成が望まれている。しかし, 大規模で非定常な状況に対して評価を行うのはかなり困難である。今後このような学習者モデルの構築方法の検討も必要となる。

(3) 人工現実感やグループウェアなど他の新しい技術と融合してより効果的な学習方法を検討することも必要である。

**謝辞** 本稿の内容に関する研究開発にご協力いただいた大阪ガス生産技術センター樋口氏, オージス総研南港研究所松原氏をはじめとする開発グループの方々に感謝します。

## 参考文献

- 1) Inui, M., Miyasaka, N. et al.: Development of a Model-Based Intelligent Training System, in: Future Generation Computer 5 (Elsevier Science Publishing B. V., Holland (1989)).
- 2) Inui, M., Miyasaka, N. et al.: Development of a Model-Based Intelligent Training System, in: Advanced Research on Computers in Education (Elsevier Science Publishers B. V., Holland (1991)).
- 3) Inui, M.: Fundamental Research on Simulation Based Intelligent Tutoring Systems, in: The World Congress on Expert Systems Proceeding (USA, 1991).
- 4) Douglas, M. T., Munro, A. et al.: Representing System Behaviors and Expert Behaviors for Intelligent Tutoring, Technical Report of USC (USA, 1987).
- 5) 大槻他: ハイパーメディア知的 CAI—ビデオ対応拡張版—, 信学会技術研究報告(教育工学)(1991.5.).
- 6) 橋本著: 安全人間工学, 中央労働災害防止協会.

- 7) Iain, M. B. and Hogg, I.: Authoring System for ICAI, in: Artificial Intelligence & Instruction, pp. 323-346 (USA, 1987).
- 8) Rasmussen, J.: Information Processing and Human-Machine Interaction North-Holland (1986).
- 9) Hitt, W. D.: Two Models of Man, in: American Psychologist, Vol. 24, pp. 651-658 (USA, 1969).
- 10) 竹内, 大槻: 振動法による学習者モデル形成と教授知識について, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 11, pp. 1266-1274.

(平成4年6月4日受付)



乾 昌弘 (正会員)

1955年生. 1979年京都大学工学部精密工学科卒業. 1981年東京大学大学院修士課程修了. 同年大阪ガス入社. 1984年より2年間, アメリカテネシー州バンダービルト大学客員研究員. 現在, オージス総研システム技術部勤務(大阪ガスより出向). 著書「コンピュータ科学」(秀潤社) Vol. 2 No. 5 (共著), 「日本における知的CAIシステムの展開」(近代科学社)(共著, 発刊予定). 人工知能学会, 電子情報通信学会各会員.



宮阪 信次 (正会員)

1943年生. 1967年京都大学理学部数学科卒業. 同年大阪ガス入社. 1984年より2年間, アメリカテネシー州バンダービルト大学客員研究員. 現在, 大阪ガス基盤研究所副所長. 知識ベースシステム, 知的CAI, 画像理解, 自動プログラミングに興味を持つ. 人工知能学会, 米国AI学会, IEEEなど会員.

