

1990 年 11 月発刊

Vol. 10 No. 3

特集：AI/CAI

巻頭言

特集「AI/CAI」の発刊によせて早川公正 1

論 文

AI 実用化への道荒瀬正彦 3

空調ダクト図面寸法線自動配置システム

..... 太田 寛, 林 達雄, 湊谷慎司, 堀端孝俊 21

河川橋梁の上下部工形式選定エキスパートシステム

.....西土隆幸, 橋本和博 36

中部電力における変電所停電操作支援エキスパート

システム——ATMS による系統の状態表現

.....鈴木常彦, 工藤隆司 51

ニューラル・ネットワークの株式売買

判断システムへの応用.....浦上浩一 63

ユニシスの企業内 CAI システムの現状と動向萩原忠雄 72

東京ガスにおける企業内教育への CAI 導入事例小山和夫 84

LEARN UP エグゼキュータの仕組みと発展的応用

.....出石 修, 栗城章郎, 大熊誠也 93

知識処理技術を用いた運転員教育システム.....吉村誠一 109

UNI * ICS：学習者主導型多機能教育システムの開発

.....中新俊夫, 澤田嘉信 119

ソフトウェア開発方法論の教育と支援方法.....大野浩史 139

知的な学習システム

——開かれた学習環境をめざして.....山田繁夫 150

新製品紹介162

図書紹介177

掲載論文梗概表 2, 3

AIはエキスパートシステムを中心に実用化段階に入り、ファジィ理論、ニューラルネットワーク等、新しいAI技術の応用も始まっている。荒瀬正彦は、AI実用化への道の中で、AI実用化の現状を技術面と利用面から概観し、その問題点と課題を明らかにするとともに、AI技術の普及を推進する観点から、アプリケーションシステム開発を支援する新しい環境の実現を提案している。

設計図面に寸法線を記入する業務は、図面設計者の経験と判断に委ねられ、自動化が遅れてきた分野の一つである。太田寛らは、空調ダクト図面寸法線自動配置システムの中で、これらの経験と判断を知識ベース化し、空調ダクト施工図面に自動的に寸法線を配置するシステムをKEE™/KS-301™上で開発したことを報告するとともに、知識ベース・システムの手法が寸法線の配置に有効であることを示している。

橋梁の設計・製作にかかわるシステムは多数開発されているが、橋梁の全体構造を計画する上下部工形式選定に関しては、熟練設計者の豊富な経験や知識を必要としている。西土隆幸と橋本和博の河川橋梁の上下部工形式選定エキスパートシステムは、熟練設計者の経験則をシステムに採り入れ、エキスパートシステムの技術を応用して構築した川田工業(株)橋梁形式選定システム開発の紹介である。

変電所では変電設備の点検・改良等を行う場合、指令操作票を作成し、複数の専門家による事前チェックにより停電区域を誤りなく確保している。このチェックは高度の専門知識とともに、かなりのマンパワーと時間を要している。鈴木常彦と工藤隆司の中部電力における変電所停電操作支援エキスパートシステム——ATMSによる系統の状態表現は、このような現状を改善するために開発された、電圧・電流伝播等の表現にATMSを用いた変電所停電操作支援エキスパートシステムの概要と、ATMSを中心とした知識表現、およびシステムの今後の展開について述べている。

この数年ニューロ・コンピューティングの研究が盛んになり、さまざまな応用例が発表されている。浦上浩一は、ニューラル・ネットワークの株式売買判断システムへの応用の中で、デモンストレーション用に作成した「株式売買判断システム」の開発経験に基づき、ニューラル・ネットワーク技術の株式売買判断への適用の意義、手法、適用時の問題点等について述べている。

若年層労働力不足と大量採用傾向の持続、その結果としての新入社員の平均レベルの低下、旧人労働力の再教育・再訓練の必要性の増大等、社員教育は企業生き残り策の根幹である。これらの問題を解決するための有力なシーズと見られているのが、CAIや遠隔教育である。萩原忠雄は、ユニシスの企業内CAIシステムの現状と動向の中で、当社のCAIを中心に据え、CAIシステムの変遷を概括しながら、最近の動きにも触れている。

東京ガスでは、業務上必要とする知識・技能が従前に比べ質・量ともに飛躍的に増大している。こうした情勢の変化に対応するため教育訓練センタを設立し、OJTの補完/基礎的な知識・技能の体系的修得のための集合教育を行っている。その教育カリキュラムに5年前CAIを始めて導入した。小山和夫は、東京ガスにおける企業内教育へのCAI導入事例の中で、CAIシステムの開発経緯、運用状況、評価等について報告している。

最新の「LEARN UP」CAIシステムでは、コースウェアの異機種間での互換性を保証している。しかも今後への継承性、さらに発展的に応用できることも考え、階層関係のある独立した部品に分けて作成している。コースウェアを実行、制御するエグゼキュータについても、同様の考慮をして設計を行っている。出石修らは、LEARN UPエグゼキュータの仕組みと発展的应用の中で、このエグゼキュータ実現のために講じた仕組みを述べるとともに、この仕組みを利用することによってどのようなことが可能になるかについて考察を行っている。

特集「AI/CAI」の発刊によせて

早 川 公 正

本号は、AI および CAI の特集号である。1956 年のいわゆるダートマス会議でその緒についたといわれる AI 研究は、さまざまな障害にあいながらも着実にその成果を上げている。その代表とされているのがエキスパートシステムである。専門家の持つ問題解決のノウハウをコンピュータ上に蓄積し、それを用いて専門家の問題解決や非専門家の問題解決支援を行うプログラムを言う。

1960 年代後半に開発された有機化合物の三次元的な構造を決定する DENDRAL や、1970 年代前半の感染症診断システムである MYCIN 等が有名である。これらは通常第一世代のエキスパートシステムと呼ばれ、エキスパートシステムの有効性を検証することを目的としたシステムであった。その後のマイクロ・エレクトロニクスや、AI の基礎技術である知識工学などの発展にともない、1980 年代には実用を目的とした第二世代のエキスパートシステムの開発が行われてきた。わが国においても、数千におよぶシステムが開発もしくは開発途上にあると言われている。さらにここ数年、ファジィ推論やニューラル・ネットワークを利用した AI の開発事例も報告されており、まだ課題はあるものの、確実に技術が進歩していることもまた事実である。

本号の AI 特集では、エキスパートシステムの開発事例を中心とし、ニューラル・ネットワークの応用例も紹介している。

コンピュータを利用した教授—学習システムを CAI (Computer Aided Instruction) と呼ぶ。学習者の能力に応じた個別学習環境の実現手段としてコンピュータの利用が始まったのは 1950 年代に遡る。わが国でも 1960 年代前半には小規模ながら CAI の導入が行われた。当初汎用機を利用していた CAI はその後のマイクロ・エレクトロニクスの発達によって、汎用機ばかりではなく、パーソナル・コンピュータ、エンジニアリング・ワークステーション、マルチメディアの活用、コンピュータ・ネットワークの利用等、多様である。教材もチュートリアル・モード、ドリル&プラクティス・モード、シミュレーション・モード等多くの形態がある。さらに近年の AI 研究の成果を利用した知的 CAI の研究・開発も活発に行われている。

本号の CAI 特集では、パーソナル・コンピュータによる CAI の企業内教育適用事例、また当社のパーソナル・コンピュータを利用した CAI システム「LEARN UP」のエグゼキュータ、4GL を中心としてお客様の教育に利用しているネットワーク型 CAI「UNI * IOS」、特殊なコンピュータを利用した大規模プラントの運転員訓練システム、システム設計教育への

CAI の応用等、多様な側面から CAI の考察を試みた。

事例を掲載するに当たって、中部電力株式会社様、日立プラント建設株式会社様、川田工業株式会社様、財団法人電力中央研究所様、東京ガス株式会社様には本特集号の主旨にご賛同いただき、論文執筆を快諾いただいた。紙面を借りて感謝申し上げたい。多くの方々のご協力によって成った本号が、いくらかでも皆様方の参考になれば幸いである。

(システム技術本部 本部長)

「ユニシス CAROL コースウェア」

平成 2 年度情報化月間で 優秀情報処理システム賞 受賞

このたび、通産省等 8 省庁が主催する情報化月間推進会議（議長 影山衛司）において、当社の「情報処理技術者育成用コースウェア（IPA CAROL）」が「優秀情報処理システム賞」を受賞しました。

情報化月間推進会議は、わが国の情報化促進に貢献のあった個人および企業・団体を、毎年 10 月に行われる情報化月間記念式典で表彰しております。

「IPA CAROL」は、現在慢性的に不足している情報処理技術者を育成するための CAI コースウェアであり、(財)日本情報処理開発協会・中央情報教育研究所（略称：CAIT）が「情報処理技術者育成用標準カリキュラム」を策定し、情報処理振興事業協会（略称：IPA）が中心となって開発・普及しております。そのコースウェアの総称を CAROL (Computer Aided Revolution On Learning) といい、昭和 61 年から開始された CAROL プロジェクトに、当社は開発企業の一員として当初より参画しております。

現在、当社が開発・販売しているコースウェアは、基礎ファミリー 6 編と専門ファミリー 2 編があります。

基礎ファミリー：プログラム流れ図の作成編/ファイル編/COBOL 編/アセンブラ編/
C 言語編/BASIC 編

専門ファミリー：プロジェクト管理編/意思決定支援システム編

また、当社では、この CAROL コースウェアを補完するものとして、

基礎ファミリー：情報処理一般と関連知識編/ハードウェア編/ソフトウェア編/
FORTRAN 編

も同時に販売しております。これらは全体で標準学習時間 268 時間の規模を持っており、全国の情報処理専門学校、大学、企業等、約 850 機関で活用されています。

今回受賞対象となった「IPA CAROL コースウェア」は、次のような特徴を持っています。

1. パソコンと音声装置を連動させ、視覚と同時に聴覚に訴える独自の音声同期方式を採用しており、学習者一人一人のペースに合わせて基礎的な知識を習得できる効果的な CAI システムです。
2. 言語系のコースウェアにおいては、コースウェアの中でプログラムを実行できるシミュレーション機能が提供されており、難解なプログラミング言語も容易に習得できるようになっています。
3. 情報処理専門家向けのコースウェアの入門版として、広くビジネスマンや一般学生が学習できる「コンピュータ活用シリーズ」のような種々のコースウェアもあります。

AI 実用化への道

Toward Practical Applications of Artificial Intelligence

荒瀬 正彦

要約 AIはエキスパートシステムを中心に実用化段階に入り、応用例も多く発表されている。ファジィ理論、ニューラルネットワーク等、新しいAI技術の応用も始まっている。当初スタンドアロン型システムでの試行から始まったAIは、従来型の情報処理技術との結合により実用化が一段と進展した。これまでシステム化されていなかった業務領域への適用という形でその地位を獲得したAIは、いま開発環境、ユーザインタフェース、従来システムとの結合技術の整備を求められている。

日本ユニシスはAIツールの強化、充実を図るとともに、従来システムとの結合技術を提供してきた。またグラフィカルユーザインタフェース、オブジェクト指向等の新しい流れを取り込んだ開発支援環境の提供により、AIの適用領域がさらに広がっていくと考える。

Abstract With an expert system as its core, artificial intelligence has entered a stage of practical use, and numbers of practical AI applications are seen here and there. What is more, new AI technologies such as the fuzzy theory and neural networking are also beginning to be found in the form of useful applications. Artificial intelligence, which at first started with a stand-alone experimental system, has advanced a step forward into practical use through its linkage with conventional data processing approaches. Current requirements for AI, which has established its own position by making inroads into application areas where computer systems had difficulty finding their own uses, include availability of advanced technologies for systems development environments, user interfaces and its integration with conventional systems.

In addition to its continued efforts to release enhanced AI tools, Nihon Unisys has been offering advanced systems integration techniques and services. The author is confident that the Nihon Unisys total systems development support environment into which incorporated are new technological approaches such as graphical user interfaces and object-oriented paradigms will help further extension of AI application areas.

1. はじめに

数多くの試行の繰り返しにより培われてきたAI(Artificial Intelligence)技術もエキスパートシステムの実績を足がかりとして漸く実用段階に入ってきた。AIに対する過度の期待は鎮静化し、AIを特殊なものとしみなすのではなく、新しい問題解決の手法の一つとしてAIを位置付けようとする意識が広がってきている。

AIは、システム化の必要性が指摘されながらこれまでの手法では対応できなかった問題に対する解決の手法と手段を提供している。当初、スタンドアロン型のAI専用機から始まったAIシステムは、その実用化が進むに従い、従来の情報処理システムとのデータ交換による結合、あるいはシステムそのものの部分的AI化等、従来技術とAI技術との協調が進展し、汎用のメインフレーム、ワークステーション(WS)、パーソナルコンピュータ(PC)での稼働を要求されるようになってきた。

本稿では、AI 実用化の現状を技術面と利用面から概観し、その問題点と課題を明らかにするとともに、当社の提供する AI ツールと技法、第四代言語との協調の効果を示す。さらに、AI 技術の普及を推進する観点から、アプリケーションシステムの開発を支援する新しい環境を示す。

2. AI 実用化の現状

2.1 AI 技術

現在の実用的な AI システムを支える主要な三つの応用技術について、その概要を述べる。

2.1.1 エキスパートシステム

業務専門家の知識やノウハウをコンピュータにのせ、専門家の思考過程を模倣することができるシステムであり、AI 応用技術の中では真っ先に実用化された。エキスパートシステム(ES)は、知識を一定の形式(フレーム、プロダクションルール等)のもとで構造化し蓄積した知識ベースと、その知識ベースを用いて問題解決の推論を行うプログラムである推論エンジンの二つの要素から構成される。従来の手続き型プログラムと異なり、ES は専門知識を格納する知識ベースとこれを利用する推論エンジンとを構造的に明確に分離していることが最大の特徴である。

これにより、事実や判断基準のような断片的な専門家の知識を自然にかつ効率よく表現し、複雑な条件の組み合わせからの判断を容易にするとともに、知識の追加・変更等の保守も容易に行うことができるといった利点を得られる。

2.1.2 ファジィ理論

ファジィ理論とは、人間が日常使う言葉に含まれるあいまいさ、あるいは人間が言葉を主観的に解釈する時に表される不確かな部分を数理的に扱う理論である。言葉の意味に相当するメンバーシップ関数によって、ある集合に属する度合いを 0 から 1 の連続的な数値で表す。ファジィ理論を応用したシステムはこれまで運転制御、プロセス制御等の制御分野で実用例が多かった。しかし最近では、ファジィ理論が ES の中に取り入れられ、ファジィ推論として診断や意思決定等の分野でも利用されている。

ファジィ推論の利点としては、数字で表現するのが困難な専門家の知識をルール化できる、予期しない例外的な状況にも対応できる、ルールを本質的なものだけに絞って計算負荷を軽減できる、等が挙げられる。

表 1 にファジィ理論の応用分野を掲げる。

表 1 ファジィ理論の応用分野
Table 1 Applications of fuzzy system

分 野	適 用 業 務
制 御	地下鉄自動運転、自動車自動制御、ダム水門自動制御、 原子炉運転制御、ロケット姿勢制御
診 断	故障診断、医療診断
意思決定	証券投資、融資審査、橋梁選定
パターン認識	音声認識、画像認識
その他	文献検索

2.1.3 ニューラルネットワーク

脳の構造とメカニズムを手本とし、人間の持つパターン認識、連想、学習といった能力をコンピュータ上に実現するのがニューラルネットワーク（ニューロコンピュータとも呼ばれる）である。すなわち、脳では数多くの神経細胞（ニューロン）が結合し神経回路網（ニューラルネットワーク）を構成しているように、ニューロンに相当する多数の処理ユニットを接続してネットワークを構成し、処理ユニット間で信号をやりとりし並列的に情報を処理していく仕組みである。

また処理ユニット間の結合の強さを自動調整することによって、人間と同じような学習機能を実現できる。他の AI 技術が論理的、分析的な思考を行うのに対し、ニューラルネットワークは直感的、統合的な思考を行うことができる。文字認識、画像認識等のパターン認識の他、最近では株価や為替の予測、およびポートフォリオの最適化という組み合わせ問題にも応用されている。

表 2 にニューラルネットワークの応用分野を掲げる。

表 2 ニューラルネットワークの応用分野
Table 2 Applications of neural network

分 野	適 用 業 務
パターン認識	文字認識、音声認識、画像認識
診 断	融資審査、クレジット入会審査、債券格付け、株式売買判断
予 測	天気予報、株価予測、為替予測、売上予測
制 御	プロセス制御
最 適 化	ポートフォリオ最適化

2.2 AI 利 用 動 向

数年前まで AI 技術は、医療診断や原子力等の特殊分野、および製造業等の制御、故障診断の分野で多く活用されてきた。しかし、今日では AI 技術を取り入れたシステムの開発や導入は、金融業を中心にしたビジネス分野においても注目されており、オフィスで利用されるビジネス・エキスパートシステムの開発が活発になっている。問題のタイプも当初からの診断・選択型の問題に加え、最近は設計・計画型の問題の割合が増えつつある。

表 3 に日本国内における AI 適用業務例を掲げる。

2.2.1 金 融 業

自由化、証券化、国際化を背景に、銀行・証券・保険等金融業においては、業務専門家の知識やノウハウを有効に活用することをねらいに、AI を積極的に利用しているという動きが大手金融機関を中心に強く、この傾向は中小の金融機関に波及しつつある。

AI の適用業務としては、店舗窓口での投資相談、税務相談、年金相談等の顧客相談サービスの他、審査・査定等社内の専門業務の ES 化事例も増えつつある。また最近では、ファジィやニューラルネットワークといった先端技術を応用して株式や債券のデューリングを支援する等、高度な判断業務も開発テーマとしてあがってきている^[3]。システムの形態としては、従来のスタンドアロン型のシステムよりも、既存システムと AI システムとの統合化の傾向が強まっている。とりわけ金融業界においては、既存の

表3 日本国内におけるAI適用業務例

Table 3 AI applications in Japan

資金運用相談	株式売買判断	生産計画
年金相談	株式ポートフォリオ作成	工程計画
住宅ローン相談	債券テクニカル分析	船積み計画
相続相談	債券格付け	原料配合計画
事業承継相談	保険医務査定	圧延命令編成
外貨両替相談	保険給付金査定	商品仕入販売計画
土地利用相談	工場火災リスク分析	金型設計
融資判断	防災報告書作成	橋梁設計
財務診断	機械故障診断	山留壁選定
私募債引受け判断	設備異常診断	工法選定
起債提案書作成	コンクリートひび割れ診断	材料選定
新商品開発	品質診断	機器配置設計
英文テレックス解説	事故判定復旧ガイド	契約書作成
店舗レイアウト設計	プラント運転監視	法規コンサルテーション
営業店予算査定	高炉操業管理	変電所停電操作
株式銘柄選定	シールド機制御	時間割編成
株式銘柄診断	運行ダイヤ編成	構造解析用データ作成
株価予測	運転計画	通信ネットワーク障害診断
金利予測	輸送最適化	バッチ業務運用管理
債券利回り予測	梱包作業計画	

データベースへのアクセスの必要性、および店舗でのシステム利用というデリバリの面から、業務システムとの結合を図ることが必須になっている¹⁴⁾。したがって、ホストコンピュータや店舗に置かれたWSやPCでのシステム稼働という形態がほとんどである。

今後は、株式や債券の売買判断、クレジットの与信、テレックス電文の解説等において、リアルタイム処理と大量データの一括処理が実用面での技術的課題になると考えられる。

2.2.2 製造業

製造業では、早くからAIに取り組んだ大手建設、鉄鋼分野において、まず診断、コンサルテーションのシステムで成果をあげた。これらの企業はその後積極的にシステム開発を続け、さらに中堅企業にもAIが波及し多くの実用システムが稼働している。機械、自動車、装置産業の分野では、当初から故障診断システムが数多く手掛けられてきたが、近年は設計・計画型問題の比重が高まっている。この産業における生産性を左右する設計、スケジューリング等の業務は、変更、例外、飛込み、特急処理が避けられず、従来の数学的手法では解決が困難であり、コンピュータ化されないまま熟練専門家に頼っている業務が多く残っている。しかし、実用的なAIの登場する中で、設計支援(標準設計案の作成、技術情報のタイムリーな提供等)、スケジューリング(生産計画、配送計画、資源の適正配置等)の分野へのAI適用例が増えてきている。

製造業のAIの特徴としては、他社より優位に立とうとするために各社ごとに異なる個別システムであること、および大手企業では自社単独でAIを開発することがあげられる。今後は、製造業に普及しているCAD/CAMシステムとAIの結合(たとえば、室内レイアウトをAIで設計し、その結果をCADに渡し表示・修正する。またはCAD用のデータをAIに渡し形状認識する等)、あるいはAIをCIM(Computer Inte-

grated Manufacturing) の一環として位置付けることにより、製造業での AI の普及が図られると考える。

2.2.3 流通業

流通業では、大手スーパー、コンビニエンスストアにおいて、売上増加をねらった需要予測、商品配置、配送計画等の AI 化が図られているが、全体的に見ると実用システムは多くなく、取り組みも活発ではない。

2.2.4 社会公共分野

この分野では、電力業界が早くから AI に取り組んでいる。当初、AI 専用マシンと高機能の AI ツールを利用した研究業務として手掛け、発電、送電、変電、配電の基幹業務を対象にした先進的で困難なテーマに積極的に取り組んできたが、真の実用システムは少なかった。しかし、現在はこれらの研究成果を汎用の WS や PC 上に実現し、現場への展開を図っており、実用化の段階に入ってきている。

航空、鉄道、バス等では大手各社がダイヤ編成や乗務員配置スケジューリングの AI システムを実用化している。

2.2.5 コンピュータ関連分野

ソフトウェア開発の生産性向上については、AI も含めさまざまな方向からアプローチがなされている。AI についていえば、問題とそれを取り巻く環境の多様性に起因し、考慮すべき情報が多くまた複雑なため、システム化の対象範囲をかなり限定することによって成果をあげている現状である。事例として、FORTRAN プログラムを COBOL に変換するソフトウェアがある。

コンピュータ運用の分野においては、AI 普及の比較的初期の段階から適用が進んでいたこともあり、すでに実用的なシステムが多い。事例としては、通信ネットワークの障害診断や設計、およびコンピュータの運行監視や運転計画作成、端末機器構成管理等がある。これらの分野は今後は統合的な運用管理システムの一部として汎用化されていくと考えられる。当社は、コンピュータシステムの障害診断や運転計画支援等の機能は、統合運用システム (IOF: Integrated Operation Facility) の共通基盤であると考え、そのサブシステムとして障害診断、スケジュール最適化、ファイル配置最適化等に AI 技術を応用した IOF/ES の開発を計画している。

2.3 AI システムの構築

従来の情報処理システムは主として、大容量のデータを高速に処理することを目的としてきた。このため、対象業務をいったん数学的モデルに置き換え、その上で高速に解を求めるアルゴリズムを適用しプログラミングを行う。この方式は、大量のデータの中から特定のデータを見つけたり、定式化された数値計算を行う等の定型的な業務に適している。

AI システムは、モデル化やアルゴリズムの適用が困難な業務分野に向いている。いくつかの錯綜した条件のもとでの判断や、例外処理が多い部分のシステム化に有効である。

産業界でのデータ処理の道具としてのコンピュータ利用の他に、米国の大学/研究所では、人間の脳の働きをコンピュータ上で模倣する研究が続けられていた。その中からデータだけでなく人間の持つ知識そのものを扱うことが、モデル化やアルゴリズム

の適用が困難なテーマに対し、有効であることが示された。また、研究用のハードウェア/ソフトウェアをベースにした AI 商品 (LISP マシン, AI ツール等) が提供され、米国、欧州、日本の研究機関を中心に導入されていった。こうして AI は、従来の情報処理技術がカバーしていなかった領域に有効な手法であるとの研究部門からの提案に、産業界が実用システム作成で応える形で普及し始めた。

新しい技術であるため、または「人工知能」という名前が災いしたのか、AI が普及し始めた当初、AI システムの構築は従来型のシステム構築とはかなり異質で難解なものにとらえられることが多かった。

数年前までは、AI 専用マシンという特殊なハードウェアを使用し、LISP や PROLOG という言語を習得する必要がある、また知識獲得、プロトタイピングという従来型システムとは異なるアプローチをとらなければならないと考えられていた。さらに、AI システムを構築する技術者をナレッジエンジニア (KE) と呼び、その重要性がかなり意識されていた時期もあった。

しかしながら、実用的な AI システム構築の経験が蓄積されるにつれて、従来の SE でもシステム設計を行うために業務分析やインタビューをしており、これは知識獲得作業と比較し方法としてはそれほど異なるところはないことが明らかになってきた。AI システム構築に使用されるプログラミング言語も、最近では C 言語の割合が急増しており、知識表現の形式や推論機構についての理解があれば、システム設計やプログラミングにおいても特別に高度なスキルは要求されない。すなわち、AI システムと KE は、従来型システムと SE の延長線上にあると考えられるようになってきた。

開発されたシステムの有効性もさることながら、開発方法論について言えば、次の二点に AI 普及の成果があったと考える。すなわち、成長するシステム作りというプロトタイピング手法を広めたこと、そして従来のデータ構造とアルゴリズムという観点でとらえられていた情報処理技術に、知識ベースと推論エンジンという新しい観点を加えたことである。この両者により、コンピュータ化の面で従来あまり手のつけられていなかった問題へのアプローチが可能となった。

このような構築技法の相違については、たとえば ES 構築手順として体系化、標準化が現在進められつつある。

図 1 に ES の構築手順の概略を示す。

2.4 AI 実用化の問題点

AI 普及の問題点として適用分野の選択と AI 化の範囲の決定がむずかしいことが挙げられる。とくに初めて AI を導入しようとするユーザにとっては、AI の有効性は聞かされてはいるが、自社内の未コンピュータ化の業務を見渡して、その中から AI 化に適した業務を見つけ出すことは決して容易ではない。AI によってシステム化された人間の知的活動をコスト対効果という観点で定量的に測定するのは困難である。そのため本格的に AI に取り組むのを躊躇している企業も少なくない。

AI システム構築における問題点としては、開発環境が不十分であること、ユーザインタフェースの構築が大変であること、既存システムとの結合がとりにくいこと、等がユーザから指摘されている他、開発工数の見積りや性能上の見通しの立て方が非常に困難であり、それらを定量的に評価する方法が確立されていないこと、および成長

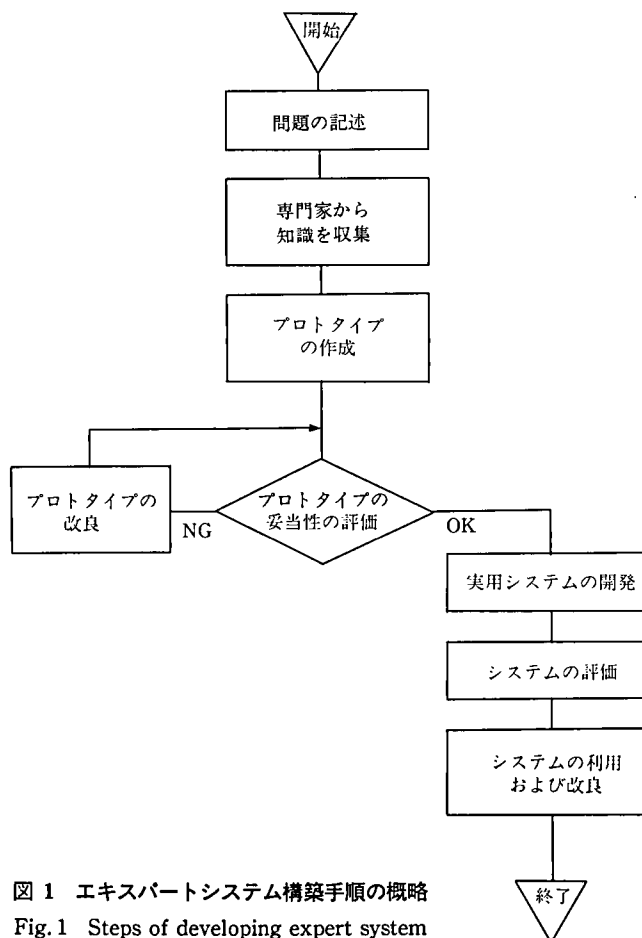


図 1 エキスパートシステム構築手順の概略

Fig. 1 Steps of developing expert system

するシステムのためシステムの妥当性の検証と評価が困難なことが挙げられている。

これらの問題点の中から、本稿ではユーザ要求に重点を置いて、開発環境、ユーザインタフェース、既存システムとの結合という点に焦点を絞り検討する。

3. 既存システムとの統合化

3.1 スタンドアロン型システムの限界

当初、AIの利用は実験・評価を目的にしたスタンドアロン型のシステムから始まった。単独のシステムでは、必要なデータはすべて人手によって入力しなければならず、既存のデータベースにアクセスすることもできない。また、システムからのアウトプットを他のシステムで利用したくても、すべて人手を介入しなければならず、既存のソフトウェアと連動した処理も困難である。さらに、遠隔地の端末からAIシステムを利用しようとしても、既存のネットワークに組み込まれていない限り不可能である。AIシステムをより高度化し、その実用化を目指そうとした場合、スタンドアロン型のシステムではこのような大きな限界があった。

3.2 統合化の形態

AIシステムの真の実用化を考えた場合、既存の業務システムやデータベースとの結

合を図ることは必須である。また今後は、業務の効率化、処理機能の高度化あるいはマンマシン・インタフェースの向上を目的に従来型システムの一部に必要に応じて AI 処理が組み込まれていくものと考えられる。このようなシステムの統合化を実現するに際して考慮すべきポイントが二つある。

第 1 は、全体システムの中で従来型のデータ処理と AI を利用した処理の二つのサ

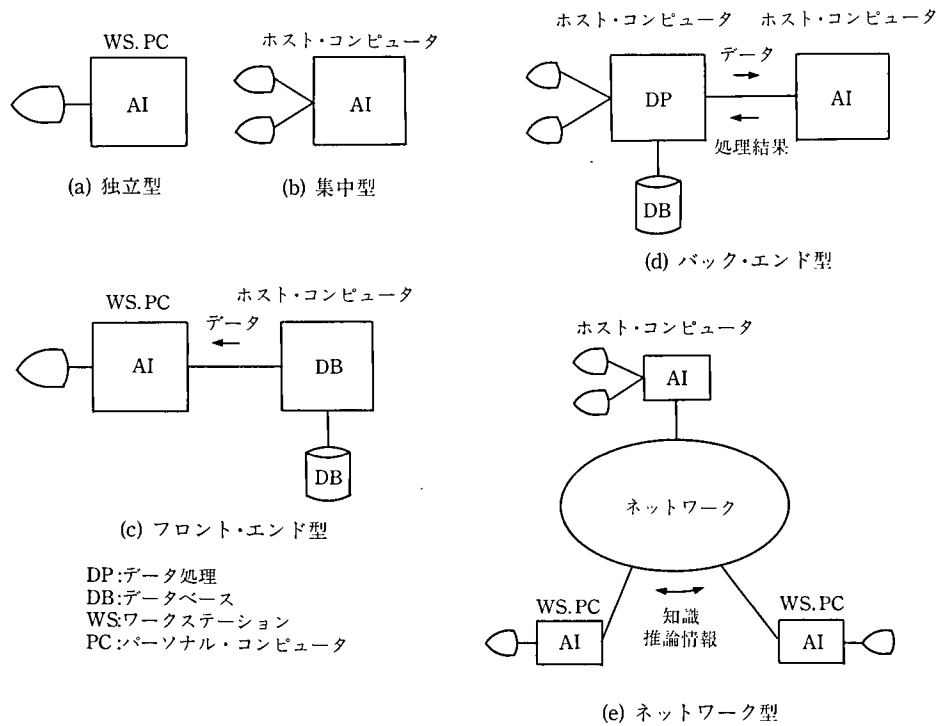


図 2 AI システムの統合化形態

Fig. 2 Integration form of AI application system

表 4 AI システムの形態と特徴

Table 4 Form and feature of AI application system

タイプ	形態	特徴
独立型	ワークステーションまたはパーソナル・コンピュータ上のスタンドアロン・システム	・中小規模のシステム ・シングルユーザ
集中型	ホスト・コンピュータ上のシステム（遠隔地の端末から利用）	・ホストのデータベースの利用 ・既存ソフトウェア資産の利用 ・マルチユーザ
フロント・エンド型	ワークステーションまたはパーソナル・コンピュータの後ろにホスト・コンピュータを置く（フロント側に AI 処理機能を実現）	・知的なマンマシン・インタフェースの構築 ・ホストのデータベースの利用 ・中小規模のシステム ・シングルユーザ
バック・エンド型	ホスト・コンピュータの後ろに AI 処理用のコンピュータを置く（バック側に AI 処理機能を実現）	・AI 処理機能の分離・特化 ・ホストのデータベースの利用 ・マルチユーザ
ネットワーク型	ネットワーク結合によるシステムおよびデータの相互利用	・大規模な AI ネットワーク ・複数システムの協調

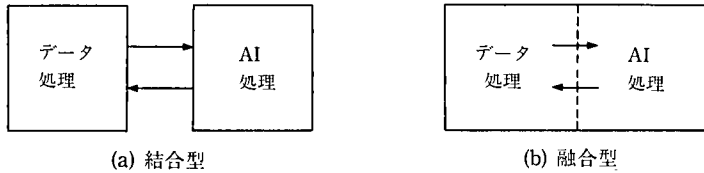


図 3 AI システムの基本構造

Fig. 3 Program structure of AI application system

ブシステムを、ハードウェア構成上どのように位置付けるかである。

図 2 および表 4 に AI システム構成形態とその特徴を示す。五つの形態のいずれを選択するかは、システムの利用目的、利用者、アプリケーションの規模・性格および拡張性等を総合的に考慮して決めなければならない。

第 2 のポイントは、AI システムをどのようなプログラム構造とするかであり、図 3 のように二つの形態が考えられる。一つは、データ処理と AI 処理の両サブシステムを別々の実行用プログラムとし、両者の間で制御とデータをやりとりするといういわば結合型である。他方は、一つの実行用プログラムの中でデータ処理と AI 処理が互いを呼び出し合うという融合型である。システム設計に当たっては、コンピュータを利用したデータ処理と AI 処理、そして人間の介入が必要な処理の三者について、それぞれの役割、分担を明確に定義することが大切なことは言うまでもない。

3.3 AI システム構築支援ツール

AI システムを構築する場合、その生産性を高める上で AI システム構築支援ツール (AI ツール) を利用することが大変効果的である。最近の AI ツールには、前述したような統合化を実現するための機能を備えたものも出現している^[2]。当社では次に紹介するような AI ツールを提供し、それらの要請に応えている。

3.3.1 KES II (Knowledge Engineering System II)*

1) 機能と特徴……

① 目的別の推論機構

KES II には、次に述べる二つの推論機構が用意されており、問題の性質によって適切な推論機構を選択することができる。

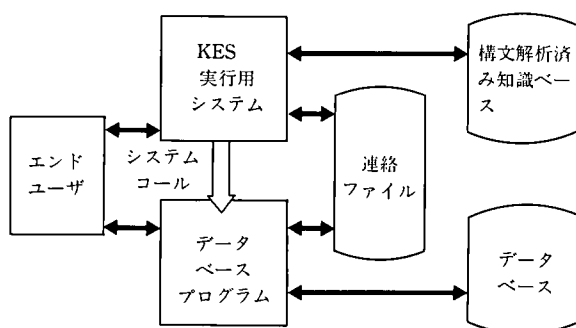
- ・ KES II PS……プロダクションルール (IF～THEN ルール) による範囲の広い汎用推論機構である。
- ・ KES II HT……仮説の生成とそれに続く検証を通して推論を行う。

② 既存システムとの結合機能

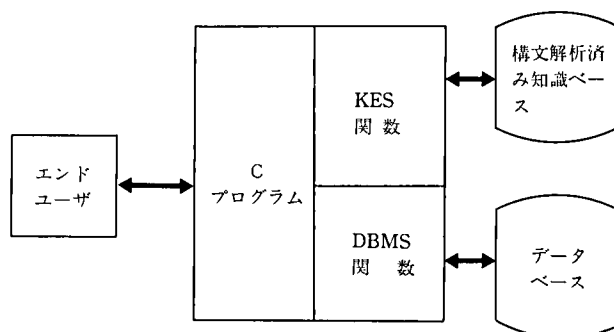
既存のデータ処理と知識処理との結合機能を提供する。すなわち、KES II によって作成した ES から他のアプリケーションプログラムを呼び出したり、逆にアプリケーションプログラムから KES II ES に対して情報を要求することができる。KES II と他のプログラムとを結合する場合に二つの方法がある。

- ・ 外部呼び出し (EXTERNAL) 機能を使って他プログラムを呼び出す。
- ・ KES II ES を他のプログラムの中に埋め込む。

* KES, および Knowledge Engineering System は、software A&E 社の商標である。



(a) EXTERNAL機能の利用



(b) KESII エキスパートシステムの埋め込み

図 4 KESII と他プログラムとの結合

Fig. 4 Connection of KES II with application program

図 4 に KES II と他のプログラムとの結合方法を示す。

③ さまざまなハードウェア上で稼働

パーソナル・ワークステーション PW² ファミリー, クラスタ型ワークステーション NW² およびラップトップ・ワークステーション J-3100 GT から, UNIX* ベースの分散部門プロセッサ U 5000/6000 シリーズ, さらにメインフレームのシリーズ 2200/1100, A シリーズまで, 広範なハードウェア上で稼働する。したがって, 分散型の ES 構築が容易に実現できる。

④ 実行環境の分離独立

知識ベースの開発環境とシステムの実行環境を分離しているため, 低コストでの分散利用が可能である。

- 2) 適用領域……KES II PS は, 問題領域の知識がすでに IF~THEN ルールの形式をしているか, 容易にその形式に変換可能な問題に適している。KES II HT は, 症状から原因となる障害を求める診断型の問題解決に適している。応用システムとしては, 金融商品選択システムや機械仕様決定支援システム等がある。

3.3.2 GNOSIS-II

1) 機能と特徴……

* UNIX は, AT&T ベル研究所が開発し AT&T がライセンスしている。

① 知識表現と推論機構

GNOSIS-IIは、フレームとプロダクションルールという二つの知識表現形式を取り扱う。フレームはワーキングメモリと呼ばれるメモリ空間に保持される。プロダクションルールは、条件部、結論部、実行部から構成される。推論エンジンは、ワーキングメモリを対象に、プロダクションルールにしたがって前向き推論を実行する。他に、状況の変化を監視するデーモン機能を持つ。

② 外部手続き

算術計算のように、ある結果や結論を得るために行う一連の手続き的な知識を実現するために用意されている機能である。使用者が既存のプログラミング言語で作成した副プログラムをプロダクションルールに組み込むことにより利用できる。

③ メタ知識の表現

関連する複数のプロダクションルールをまとめて一つのルールモジュールとして定義することができる。複数個定義したルールモジュールの適用を、使用者プログラムまたはプロダクションルールで制御することにより、メタ知識を用いた推論が実現できる。また、ルールモジュール間の交信を支援するメッセージボード機能を持つ。

④ 他言語とのインタフェース

GNOSIS-IIは、COBOL または FORTRAN で書かれた使用者プログラムからサブルーチン呼び出し形式で利用できる埋め込み型のツールである。これにより既存のソフトウェア資産を有効に活用することができる。

図5にGNOSIS-IIを利用したESの構成を示す。

⑤ メインフレームで稼働

GNOSIS-IIはOS 1100上で稼働する。したがって対象となる機種はUNISYS シリーズ 1100 および 2200 であり、とくに AI システムを構築するための専用ハードウェアを導入する必要はない。

- 2) 適用領域……推論方式として前向きに推論を採用しているため、設計・計画型の問題解決に適している。具体的な応用例としては、金融機関における資金運用相談や計算機室の機器配置がある。

3.3.3 KEE(Knowledge Engineering Environment)*

1) 機能と特徴-----

① ハイブリッド型 AI ツール

KEEは、フレーム型知識表現とルール型知識表現を統合したハイブリッド型ツールである。これらをもとに前向き推論と後ろ向き推論の両方が自由に使用できる融通性に富んだ推論機能を持つ。

② 多重仮説世界機構と ATMS(Assumption-based Truth Maintenance System)

KEE ワールド* によって、複数の仮説世界(ワールド)での並行推論や時

* KEE, Knowledge Engineering Environment, KEE ワールド (KEE world) は、IntelliCorp 社の登録商標である。

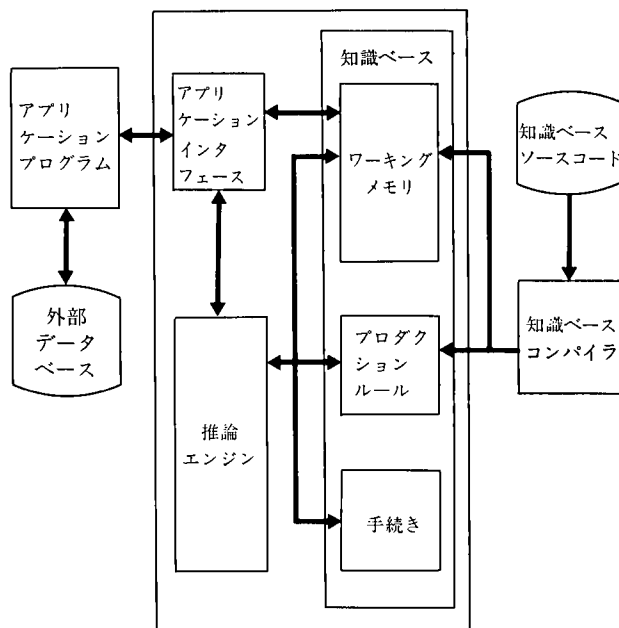


図5 Gnosis-IIを利用したエキスパートシステムの構成

Fig.5 Structure of application system using Gnosis-II

系列的な推論が可能になり，プランニング，スケジューリング，シミュレーションに有効である。また，ワールドの中で知識ベースの論理的ー貫性を保つ機能として ATMS を備えている。

③ オブジェクト指向プログラミング

ユーザ独自の処理を記述するために，オブジェクト指向プログラミング機能が利用できる。

④ ビジュアルなマンマシン・インタフェース

利用者の使いやすさを高めるためにアイコンやメニューの他，次のようなインタフェースが提供されている。

- ・知識ベースと対話するために用意された TellAndAsk* 言語
- ・アクティブ・イメージ* 機能によるメータやグラフ等のビジュアルな表現
- ・画面上に図形を容易に作成できる KEE ピクチャ*

⑤ KS-300 で稼働

KEE は AI 専用ワークステーション KS-300 シリーズ上で稼働する。KEE と KS-300 とを組み合わせると，AI システムの効率的な構築・実行環境が実現できる。

図6に KEE の基本構造を示す。

- 2) 適用領域……KEE では，前向き推論，後ろ向き推論の両方とも可能であるため，選択・診断問題と設計・計画問題のいずれにも適用することができる。応用シス

* TellAndAsk, アクティブ・イメージ(Active Image), KEE ピクチャ(KEE picture)は, IntelliCorp 社の登録商標である。

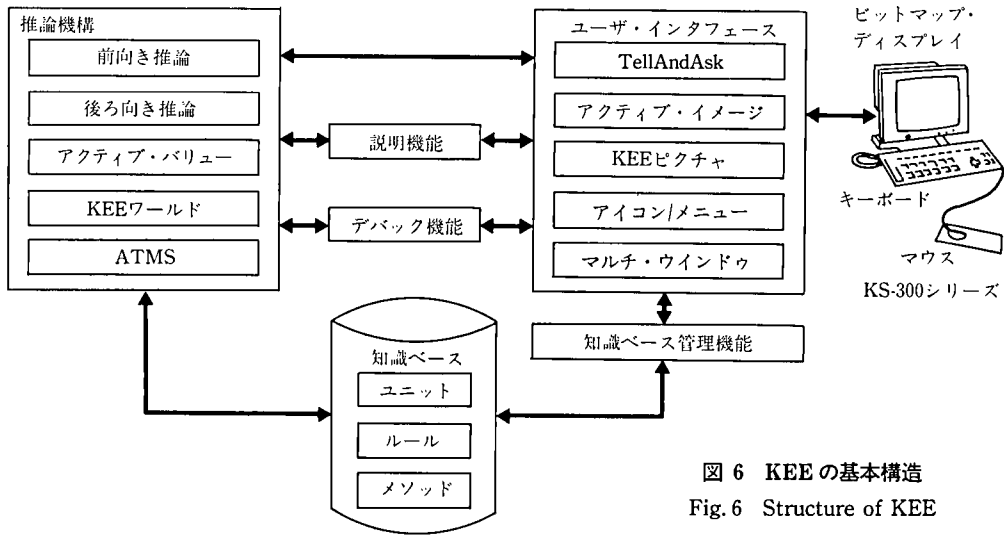


図 6 KEE の基本構造
Fig. 6 Structure of KEE

テムとしては、グラフィック・インタフェースを活かしたコンピュータネットワーク障害診断システムや変電所停電操作支援システム等がある。

4. MAPPER と AI の結合 (AI-MAPPER)

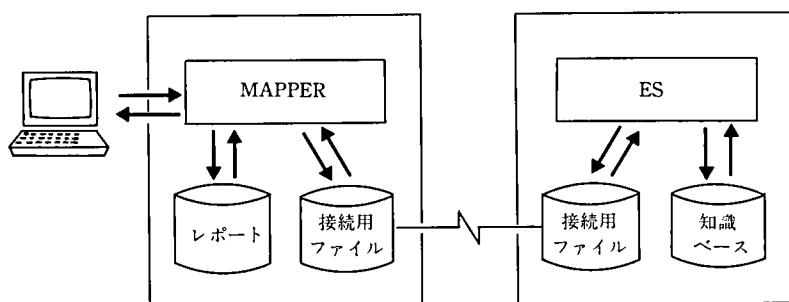
AI がビジネスの分野に浸透するにつれて、その構築を強力に支援する技術およびソフトウェアが求められている。実用化された AI システムを見ると、システム全体のうち AI 処理が必要とされる部分は 2～3 割程度であり、残りはデータの入力や処理結果の出力、および計算等のデータ処理で占められている。

当社が提唱する AI-MAPPER は、この点に着目し、AI 模索期のように AI システムを単独に構築するのではなく、現在あるシステムとの統合化によって、誰でもが必要に応じて手軽に AI を活用できるようにしたものである。第四代言語 MAPPER と AI を結合させることにより、AI システムの開発負担を軽減するとともに、その適用分野を大幅に広げることが可能になった。

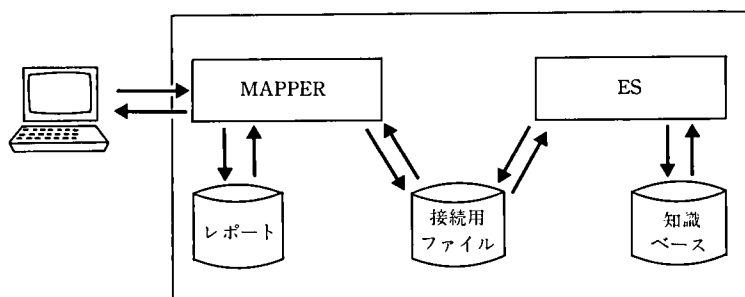
4.1 結合の方法

AI-MAPPER における MAPPER と AI の結合方法には、次の三つがある (図 7)。

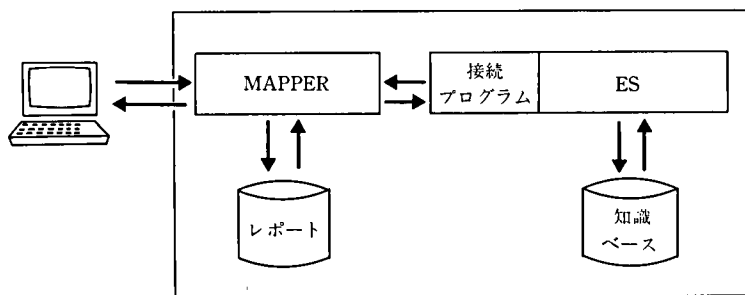
- 1) 通信回線接続……MAPPER と AI システムが別々のハードウェア上に存在する場合に、ファイル転送またはトランザクション転送により情報の交換を行う。主として AI システムが AI 専用マシンのような MAPPER の稼働しないハードウェア上に存在する場合に使われる。
- 2) ファイル接続……ファイルを介して情報を交換する。MAPPER と AI システムは同一のハードウェア上に存在する。ファイルからのデータ読み取り、ファイルへの推論結果書き込みはすべて AI システムが自分で行う。
- 3) 直接接続……MAPPER ランと AI システムとの間で直接的に制御をやりとりする。データの交換は、2) と同様にファイルを介して行う。ただし、受け取ったデータを知識ベースに設定したり、知識ベース中の推論結果を MAPPER に渡したりは接続プログラムが行う。



(a) 通信回線接続



(b) ファイル接続



(c) 直接接続

図 7 MAPPER とエキスパート・システムの結合

Fig.7 Connection of MAPPER with expert system

4.2 AI-MAPPER の事例

次に、AI-MAPPER を取り入れたいくつかの事例についてその概要を示す。

- 1) 収納設備設計支援システム^[6]……収納設備メーカーのショールームにおいて、顧客の居間、台所、寝室等の収納プランを作成する AI システムである。顧客が記入したアンケートをもとに 1100/90 上の MAPPER ランにて顧客の持ち物の容量を計算するとともに適正な収納高さ、収納方式、使用頻度等の属性を付加する。AI 専用ワークステーション KS-300 上の AI システムはその情報をもとに、商品の候補選定、収納シミュレーションを行い、収納プランを設備図面、収納状況をリストとして出力する。1100/90 と KS-300 は通信回線によって接続されている。

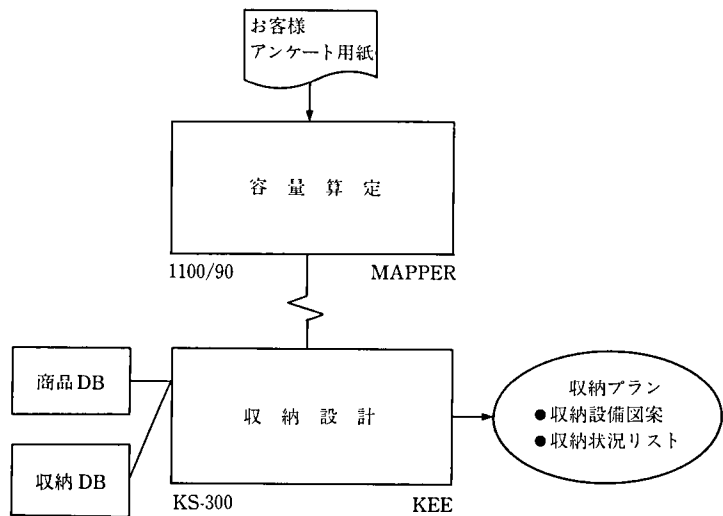


図 8 収納設備設計支援システム
Fig. 8 Closet selection support system

また AI システムは KEE を用いて作成されている (図 8)。

- 2) 資金運用相談システム……金融機関のファイナンシャル・アドバイザーの業務知識を知識ベース化し、専門家に代わって個人顧客向けの最適な金融商品の組み合わせ運用プランを作成する。

MAPPER ランは、利用者インタフェースとして顧客属性や運用条件の入力受け付けや、プラン表の画面表示、印書の機能を受け持つ。また、MAPPER レポートに商品情報を保持し、データベースとしての役割を持つ。AI システムは、入力データをもとに運用プランを作成したり、利息計算、利回りシミュレーション等を行う。システムはすべて 2200/400 上に置かれ、数十台の端末が接続されている。AI 部分は GNOSIS-II を用いて構築されている (図 9)。

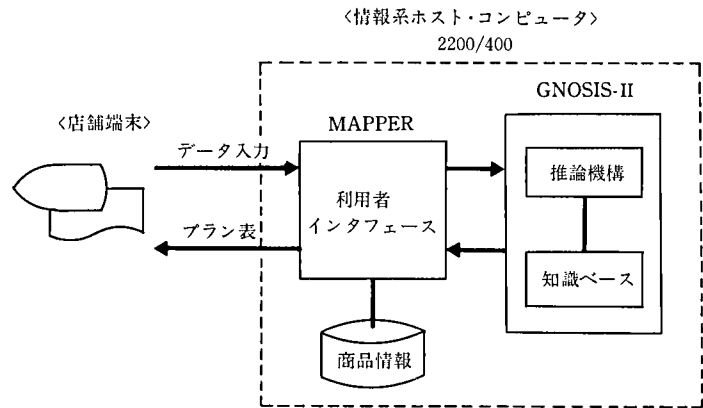


図 9 資金運用相談システム
Fig. 9 Investment planning advisory system

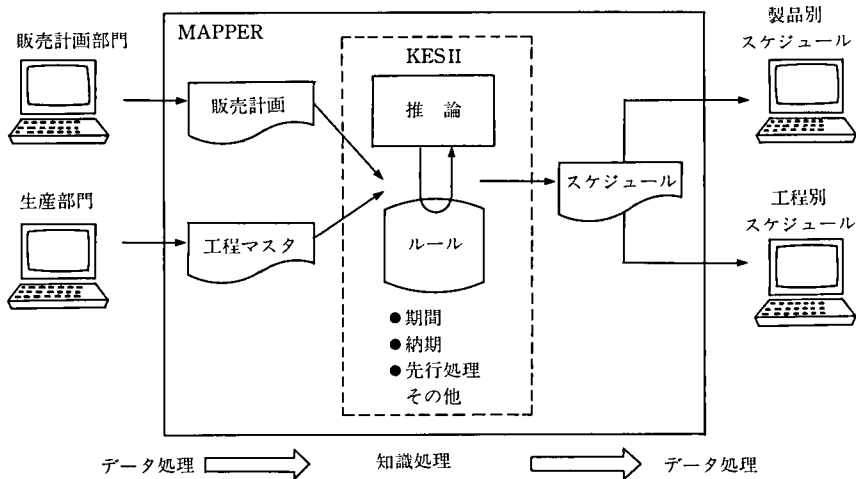


図 10 化粧品ショップフロア・スケジューリング・システム

Fig. 10 Cosmetic shop-floor scheduling system

- 3) 化粧品のショップフロア・スケジューリング・システム^[5]……化粧品の販売計画や製造条件を考慮し、設定したルールに従い、生産工程を割り当てる。システムは U 6000 上に置かれ、AI 部分は KES II を用いて作られている (図 10)。

4.3 KSA (Knowledge Systems Access)

AI から外部データベースを直接アクセスできることもシステム統合化を容易に実現するために必要な条件である。KSA は、データベースと知識ベースを結合するソフトウェアである。KSA は、さまざまなデータベース管理システムと知識システムとの統合化を目標にしているが、その第一弾として、U 6000 上の MAPPER C と KES II とを対象にした接続ソフトウェアのリリースを予定している。これは 4.1 節で述べた直接接続の実現を提供するもので、エンドユーザから見ればあたかも MAPPER に推論機能が付加されたように見える。

MAPPER レポートの各フィールドと KES II 知識ベース内のクラス属性 (事実型の知識を表す) との対応を KSA スキーマに定義しておけば、MAPPER のデータをクラスの属性値として推論に直接利用したり、あるいは推論の結果を MAPPER レポートに反映することができるようになっている。図 11 に KSA の概略を示す。

5. 実用システム開発のための支援環境

情報処理分野の応用技術の中でオブジェクト指向プログラミング、オブジェクト指向データベース、ウィンドウシステムによるグラフィカル・ユーザ・インタフェース (GUI)、ハイパーテキスト等が、その有効性を認められ一定の地位を確立してきた。このような状況のもとで、当社は AI 実用化の拡大に向けて、従来システムと AI システムとの結合をさらに深めるために、これらの新しい応用技術を適用した開発支援環境を提供する (図 12)。

この開発支援環境は、ユーザアプリケーションと、それを構築するためのデータベ

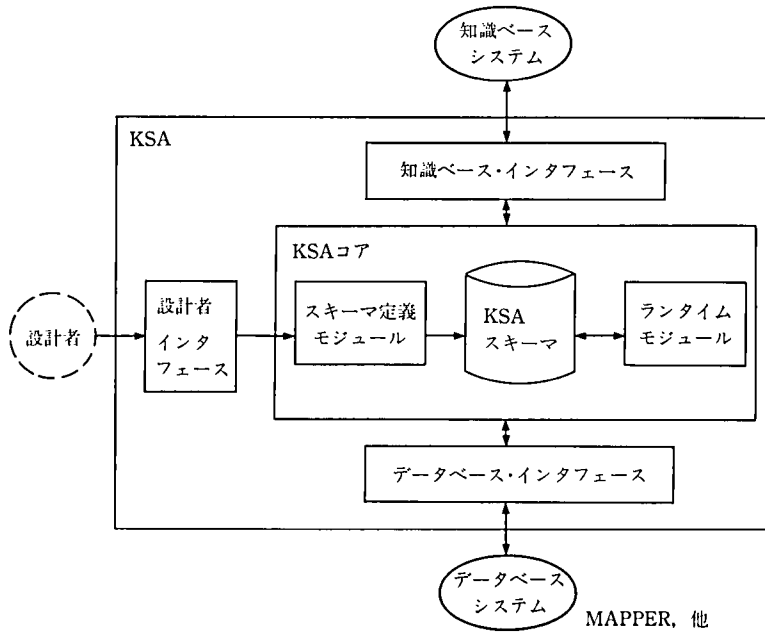


図 11 KSA の概略
Fig.11 Outline of KSA

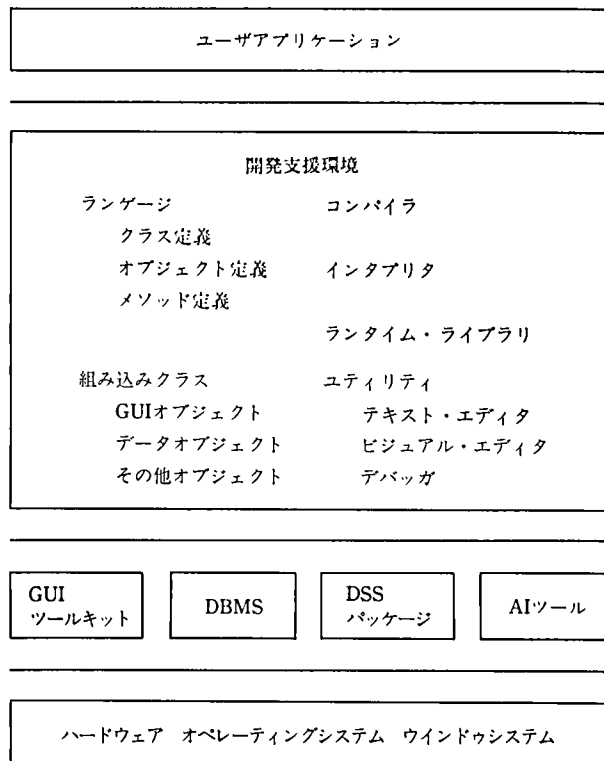


図 12 開発支援環境
Fig.12 Development support environment

ース、データコミュニケーション、および AI ツール等のパッケージソフトウェア群との間に位置し、オブジェクト指向型の開発・実行環境を実現するものである。

この開発支援環境のもとでは、オブジェクト指向に基づくシステムの部品化をはかっているため、カスタマイズと再利用を手軽に行うことができ、小規模なシステムから大規模かつ能力の高いシステムへと段階的に発展させることができる。また、既存のデータベースやツールとの協調により、従来のソフトウェア資産を組み込んだハイブリッド型システムを容易に構築できる。

6. お わ り に

AI の普及のペースは当初の予想を下回っていると言われている。これは数年前に見られた表面的な AI ブームが、実用化の段階に達してその本質を求める方向に収束してきた結果と見ることができる。AI 単独システムという段階から脱却し、既存システムとの統合という枠組みの中で AI 実用化が進展している。

今後 AI は、情報処理技術の一つの構成要素として普遍化する中で、その真価を発揮していくであろう。このような状況の下で、当社はマーケットのニーズに応える AI プロダクトとサービスを今後ともタイムリーに提供していく。また、本稿で述べたような新しく出現してくる有用な応用技術を積極的に採用した、実用的 AI システム構築のための開発支援環境を具体化し AI 普及の基盤を築いていく。

-
- 参考文献 [1] ICOT-JIPDEC AI センター編：“人工知能の技術と利用——AI 白書”，(財)日本情報処理開発協会，1989。
- [2] 日経 BP 社，“変貌を遂げた AI ツールが，90 年代システム開発を変革する”，日経 AI 別冊 1990 冬号，pp. 26～53。
- [3] 大浦勇三，保科剛，“意思決定支援システムにおけるエキスパート・システムの活用”，ユニシス技報，第 21 号，1989，pp. 82～99。
- [4] 中田純一，“エキスパート・システムと金融業務への応用”，ユニシス技報，第 21 号，1989，pp. 137～152。
- [5] 保科剛，川上峰子，“MAPPER とエキスパート・システムの連動”，ユニシス技報，第 26 号，1990，pp. 42～52。
- [6] 井利昭夫，他，“エキスパートシステムによる収納設計支援システムの開発”，ユニシス研究会，1989 年入選論文集，1989，pp. 37～50。

執筆者紹介 荒瀬 正彦 (Masahiko Arase)

昭和 41 年東京理科大学理学部 応用物理学科卒業。43 年日本ユニシス(株)入社。主に、金融関連ユーザのシステム開発，SE サービスに従事。その後，統合オンライン・ソフトウェア等のソフトウェア開発に従事。現在，システム技術本部 副本部長。



空調ダクト図面寸法線自動配置システム

An Approach to the Semiautomatic Arrangement of Dimension Lines for Air-Conditioning Ducts with the Rule-based System

太田 覚, 林 達雄, 湊谷慎司, 堀端孝俊

要 約 設計図面に寸法線を記入する業務は、図面設計者の経験と判断に委ねられ自動化が遅れてきた分野の一つである。これらの経験と判断を知識ベース化し、空調ダクト施工図面に自動的に寸法線を配置するシステムを KEE™/KS-301™ 上で開発した。

本システムの入力は、ダクトと躯体を表す形状データ、および必要な寸法線の種類、位置を与える寸法データからなる。形状データや配置の済んだ寸法線は、図面情報を管理するメッシュ・データテーブルに登録され、図面上に新たに寸法線を配置する際に障害物として認識される。寸法線は、集団寸法線と独立寸法線に分類され、それぞれが配置規則に従ってレベルをそろえて配置される。

本システムでは、寸法線以外に、サイズレベル、番号類、角度等、施工図面に現れるほとんどの記号類も配置対象にしている。さらに、互いに交わる寸法線や、文字と重なる寸法線類には切断処理が施され、図面の視認性を高めている。配置に失敗した寸法線類は画面上で容易に識別でき、図面設計者が簡単に修正できる。

Abstract Dimensioning tasks on a drawing have been entrusted to the skill of a designer and left behind from the automation up to now. We introduce an approach to semiautomatic dimensioning system by utilizing knowledges and experiences of those designers.

Our system requires both the KEIJO-DATA which represent the shape of ducts or building structures and the SUNPO-DATA which express the dimension lines or the drawing symbols. The KEIJO-DATA and already arranged SUNPO-DATA are registered to a mesh-data table and are recognized as obstacles when the subsequent items are going to be arranged. A new concept in grouping the dimension lines are introduced, namely, "group sunpo" and "free sunpo". The lines within those groups are arranged and adjusted according to respective arrangement rules.

When the arrangements are finished, some crossing lines are cut at the crossing points. This treatment much contributes to increase the legibility of the drawing surface. The arranged result is displayed on the UNIDRAFT™ system. Unsuitably arranged lines and symbols are easily recognized and can be corrected or modified with help of the system.

1. は じ め に

ダクト図面に、寸法線や寸法文字を整然と配置していく設計作業には、集中力だけでなく、美的要素も必要とされる。したがって、多くの寸法線を配置する作業は必然的に長時間化し、今日まで図面の生産性向上を妨げてきた大きな要因となっている。寸法線の配置は、ダクト設計図面ごとに異なり、図面に依存しない規則性を見出し配置規則を一般化することは容易なことではない。

本稿は、知識ベース・システムの手法を用いて空調ダクトの施工図面に寸法線を自動的に配置していくシステムについて報告する。本システムの開発目標は、次の三点

に要約できる。第1の目標は、設計作業にかかる労働時間の短縮である。比較的经验を積んだ設計者でも、1枚の図面を仕上げるのに4日以上かかっているが、これを半分の時間で処理することが要請されている。第2の目標は、設計作業中に発生する人為的ミスや、設計者の経験や個性による仕上りの違いを排除することである。1枚の図面には、数百の寸法線や文字、記号類を配置するが、それらの配置忘れがしばしば発生している。目標の最後は、知識ベース・システムの手法が寸法線の配置に有効であることを示すことである。この手法では、ルールの追加や削除あるいは修正が容易であり、柔軟性のあるシステムを比較的短時間で構築することが可能である。この性質は、本業務の要求に合致しているものと期待される。

類似の試みや方法論については、すでにいくつかの報告はあるが^{[1]~[4]}、同趣旨の実用例の報告は見当たらない。ダクト形状データは、ホスト・コンピュータに蓄積された3次元データベースから抽出し、寸法データは、あらかじめ決められた形式に従って作成される。これらのデータ生成プログラムは本システムには含まれない。本システムは、ダクトと寸法線のデータをファイルから読み込み、配置結果をファイルへ出力する。この出力ファイルは、UNIDRAFT™ (設計製図用 CAD アプリケーション) へ送られ、配置結果を画面に表示する。配置結果の修正は UNIDRAFT の機能を使って行うことができる。本システムの概略図を図1に示す。

第2章では、図面データの表現について述べ、第3章では KEE* 知識ベースの構築、および具体的な配置方法について議論する。第4章で配置結果を検討し、第5章で本稿のまとめを行う。

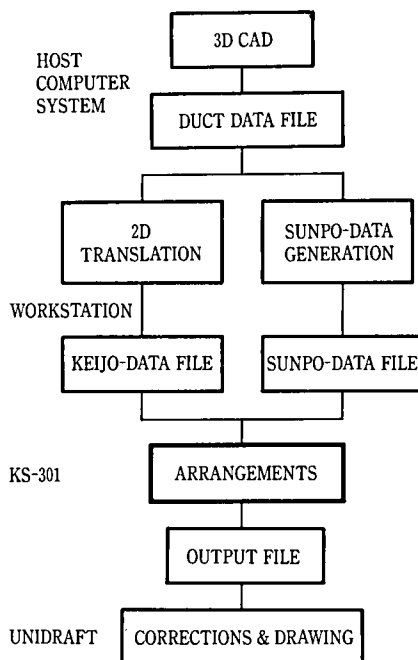


図1 システム概略図

Fig.1 The schematic of the total system

* KEE: 米国 IntelliCorp 社の登録商標である。

2. 図面データの表現

2.1 形状データと寸法データ

本システムの入力は、ダクトの形状と躯体の構造を表現する形状データと、寸法線、寸法文字あるいは図面記号を表現する寸法データである。

形状データは、ホスト・コンピュータ上に蓄積されているダクトの3次元CADデータベースから必要データを抽出し、変換プログラムを通して2次元表現にしたものを使用する。文献^[3]では、化学プラントのパイプにラベルを付けるシステムについて議論しているが、パイプの投影図は本システム同様、CADパッケージからの出力を利用している。

図2は形状データが表すダクト形状および躯体の一部である。

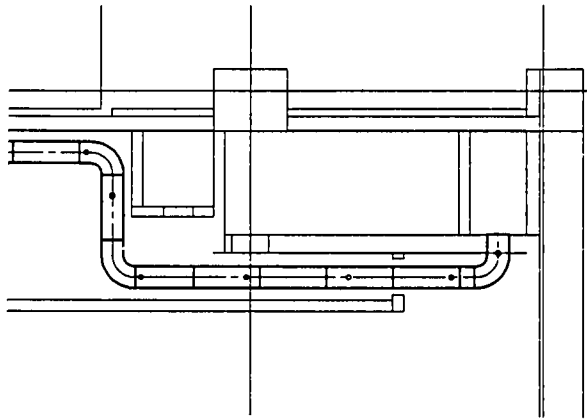


図2 形状データが記述するダクト形状と躯体

Fig. 2 An example of the duct forms and the building structures expressed by the KEIJO-DATA

寸法データは、ダクト形状ごとに寸法線や記号類の必要な箇所が決められ、寸法データ生成プログラムがそれを決められたデータ形式へ変換することによって得られる。寸法データには、寸法線データ、サイズレベルデータ、番号データ、矢視図データ、角度データ等がある。

本稿では、前者2種類のデータ配置に焦点を当てて議論する。

以下に、一例として寸法線データの形式を示す。

寸法線データ：〈IDENTIFIER〉 〈強制指定位置〉 〈種類〉
 〈向き〉 〈寸法値〉 〈寸法線設定対象〉

2.2 データテーブル

入力されたデータは、基本形状テーブルとメッシュ・データテーブルへ登録される。基本形状テーブルは、形状データおよび寸法データから構成され、前者は以下のような情報を持っている。

形状データ

用途 : 躯体, 通り芯, ダクト, 文字等

形状種類：線分，円，円弧，文字列等

切断情報：切断開始位置，切断終了位置

形状情報：座標値，角度等

寸法データは，第3章で述べるように KEE のユニット（知識表現単位でフレームとも呼ばれる）で表現され，それらは基本形状テーブルへ登録される。

寸法線の自動配置では，新たに配置される寸法線は，すでに図面上に存在している対象物を考慮しながら配置していく必要がある。また，配置が確定すればそれらを新しい対象物として図面上に登録しなければならない。このような「図面の活性化」は，文献^[9]でその必要性は説かれているものの実現されていない。しかし，これは空調ダクトの施工図のような込み入った図面の処理には欠くことのできない要請である。

本システムでは，メッシュ・データテーブルを導入することで，図面上の障害物の認識を可能にしている。メッシュ・データテーブルは，一辺 400 ミリメートル（以下，長さはすべて原寸を表し，図面上のサイズではない）のセルの集合体で，施工図面上のあらゆるデータを登録できる。各セルには，基本形状テーブルに登録されている図形データが記録されている。寸法線は，配置されるたびに寸法ユニットの情報をもとに，基本形状テーブルおよびメッシュ・データテーブルへ登録される。障害物チェックおよび第4章でふれる交線切断処理は，これらのテーブルを参照しながら効率的に実行される。

3. 配 置

3.1 配置手続き

3.1.1 集団寸法線と独立寸法線

実際の寸法線配置作業は，図面上の障害物を回避しながら進めていくため，第1章でも述べたように配置規則の一般的アルゴリズムを見つけ出すことは容易ではない。しかしながら，図面設計者の配置過程を詳細に観察していると，図面上で寸法線の配置可能領域を探索する際，いくつかの寸法線の配置をまとめて考慮しているように思える場合がよくある。そのことにより，寸法線のレベル合わせが容易に実現され，図面全体のバランスがよくなり，視認性の高い美しい図面が描けているように推察できる。このような配置過程を実現するために，本システムでは集団寸法線と独立寸法線という概念を導入した。

集団寸法線は，ダクトの片側にまとめて配置される寸法線群で，あらかじめ用意された領域内に整然と並べられる。独立寸法線は，ダクトに垂直な寸法線や領域内に収まらない寸法線で，一本づつ独立に配置される。図3で，陰影表示された部分は集団寸法線を配置する領域を表し，その内部に配置された寸法線が集団寸法線，領域外に配置された寸法線が独立寸法線である。

3.1.2 セグメント・テーブル

連結したダクト列はラインと呼ばれ，一枚の図面は複数のラインから構成される。寸法データはすべてダクトに対して配置されるので，ラインをあらかじめいくつかのグループに分割しておけば，寸法データを系統的に処理することができる。本システムでは，分割された各要素をセグメントと呼ぶことにする。各セグメントは，断面積

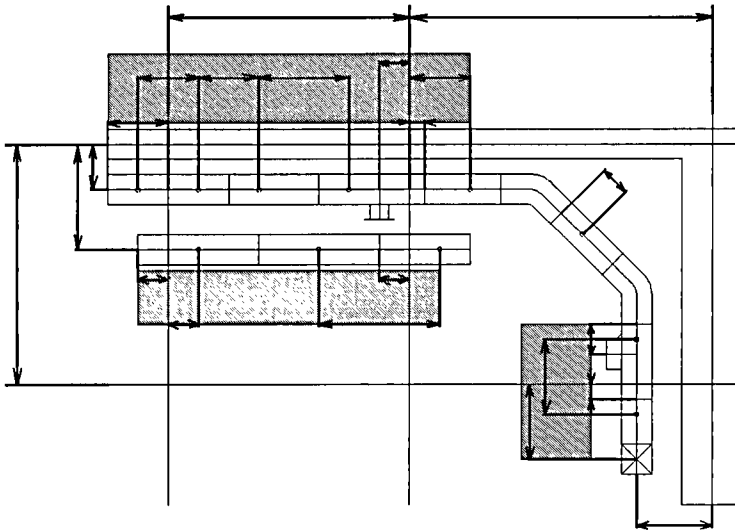


図 3 集団寸法線と独立寸法線

Fig.3 Group sunpo and free sunpo

が一定の直線ダクト列からなり、寸法データはすべてこのセグメント単位でセグメント・テーブルに管理されている。管理されている情報は、集団寸法線ユニット名、独立寸法線ユニット名、集団寸法線領域情報、寸法線数等である。

3.1.3 寸法線の表現

寸法線には以下の4種類がある。

- 1) ピース寸法線
- 2) サポート寸法線
- 3) 据え付け寸法線
- 4) 通り芯間寸法線

これらの寸法線は、ダクトに近い順に上記の順番で配置され、通り芯間寸法線がダクトから最も遠い位置に配置される。

寸法データ（寸法線データ、サイズレベル・データ、番号データ、矢視図データ、角度データ等）は、すべてKEEのユニットで表現される。図4は寸法データ・ユニットの階層構造表現を示す。

また、以下に寸法線データ・ユニットが備えている主なスロットを示す。

- ・ライン番号
- ・セグメント番号
- ・セグメント・テーブル
- ・基本形状テーブル・インデックス
- ・寸法線種類
- ・方向
- ・寸法文字
- ・寸法文字位置

- ・強制指定位置
- ・寸法補助線始点
- ・矢印端点位置
- ・隣接ユニット
- ・確定サイド
- ・確定寸法線座標
- ・確定寸法補助線座標
- ・探索失敗

これらのスロットは、寸法線データの種類ごとに異なり、それぞれ対応するクラス・ユニットから必要なスロットを継承する。

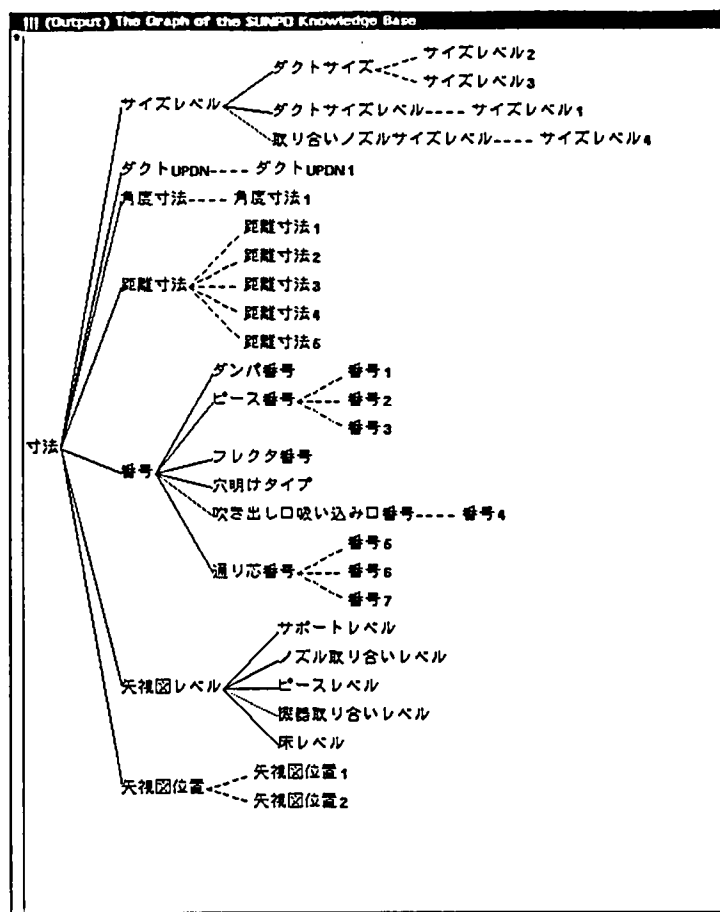


図 4 寸法データ・ユニットの階層構造表現の一部

Fig. 4 The hierarchy representation of the SUNPO-DATA units

3.1.4 集団寸法線領域

集団寸法線を配置するための領域（以下、単に領域と呼ぶ場合は、この集団寸法線領域を指す）は、セグメントの両側に定義する。領域は、延長領域と短縮領域の2種類あり、集団寸法線配置のための最適領域探索は、延長領域から開始する。領域の大

きさは、そのセグメントに属する集団寸法線を、決められた間隔をおいて整然と配置するために必要な最小領域として定義される。延長領域による探索の結果、適当な場所が見つからなかった場合には短縮領域が導入される。延長領域では、領域内の両端に位置する寸法線がダクト等の障害物を踏んで失敗となる場合が比較的多いので、これらを除いて定義される短縮領域で再探索を行う。このとき、除外された寸法線は独立寸法線として単独配置される。

領域は、KEEのユニットで表現され、セグメント・テーブルに登録される。領域ユニットが備えている主なスロットを以下に示す。

- ・ライン番号
- ・セグメント番号
- ・セグメント・サイド
- ・延長領域サイズ
- ・短縮領域サイズ
- ・領域分離距離
- ・障害物密度
- ・領域適合度
- ・領域最適度
- ・領域多重度
- ・重なり面積
- ・重なり領域名
- ・領域モード
- ・領域設定失敗
- ・採否

3.1.5 基準レベル線

寸法線を配置する際、それらのレベル（ダクトからの距離）を線種ごとに可能な限りそろえるため、基準レベル線を導入する。基準レベル線は、ピース寸法線、サポート寸法線および据え付け寸法線ごとに独立に導入する。最初に寸法線を配置したとき、その位置に基準レベル線を一本登録する。次に同種の寸法線をその隣りに配置するときは、この登録基準レベル線に可能な限りそろえて配置する。障害物が存在したり、隣接寸法線位置が遠く離れていて登録基準レベル線に一致して配置することができない場合には、寸法線を置いた位置に、新たに基準レベル線を登録する。このようにして、新しく寸法線を配置する時は、できるだけ登録基準レベル線に合わせて配置していくようにする。

寸法線は集団寸法線から配置していくので、基準レベル線も集団寸法線の配置結果から登録されていく。独立寸法線では、新たに必要になった基準レベル線が順次登録されていく。

3.2 配置判定基準

図面設計者の知識や経験をルールで表現するために、寸法線配置の際の諸規則や約束事を扱いやすい形式に変換しておく必要がある。ここでは、領域設定のための採否基準、独立寸法線配置のための判断基準について述べる。

3.2.1 領域採否基準

[領域適合度]

セグメントごとに設定された領域には適合度を設ける。適合度は、以下の6段階に分類される。

- 6 延長領域内に障害物がまったくない。
- 5 短縮領域内に障害物がまったくない。
- 4 延長領域内に躯体データがある。
- 3 短縮領域内に躯体データがある。
- 2 ダクトデータを横切った。
- 1 短縮(延長)領域内にダクト・データがある。

[領域最適値]

適合度だけで最適領域を決定することはできない。本システムでは、さらに障害物密度という量を導入し、最適領域決定の際の判断材料の一つにしている。適合度と障害物密度から以下のような領域最適値を計算し、この値で領域優先度を決定している。

$$\text{領域最適値} = \text{適合度} \times 100 + (100 - \text{障害物密度}(\%))$$

3.2.2 独立寸法線配置基準

独立寸法線の配置は、その配置予定位置の寸法線適合度と寸法線の優先度から判断して決める。

[寸法線適合度]

独立寸法線配置の際の適合度は、以下のように決める。

- 3 寸法線上、寸法文字領域内あるいはサポート文字(寸法補助線に付けられた注釈文字)領域内に障害物がない。
- 2 寸法線上、寸法文字領域内あるいはサポート文字領域内に躯体、または寸法補助線がある。
- 1 寸法線上、寸法文字領域内あるいはサポート文字領域内にダクト、他の文字、または寸法線がある。あるいは寸法線、躯体外形線または通り芯が重なっている。

[寸法補助線適合度]

独立寸法線の寸法補助線を配置する際の適合度は、以下のように決める。

- 3 寸法補助線上に障害物がない。
- 2 寸法補助線上に躯体がある。
- 1 寸法補助線上にダクトがある。

[寸法線優先度]

独立寸法線の配置予定位置の優先度は、ダクト外形線からの分離距離と、同レベルにある配置済み隣接同種寸法線までの距離から判断して決める。判定基準は、以下のように定める(番号が小さいほど優先度が高い)。

- 1 ダクト外形線に一番近く、寸法線両側 3000 mm 以内に配置済み同種寸法線が存在する。
- 2 1 以外で、寸法線両側 3000 mm 以内に配置済み同種寸法線が存在する。

- 3 1, 2 に当てはまらないが基準レベル線上
- 4 基準レベル線以外

[寸法線最適値]

独立寸法線配置決定のための寸法線最適値は、上に述べた寸法線適合度、寸法補助線適合度および寸法線優先度を考慮して決める。表 1 に、本システムで採用した寸法線最適値判定テーブルの一部を示す。

表 1 寸法線最適値判定テーブル(部分)

Table 1 A part of a table which is used to decide the suitability of the dimension lines

寸法線 最適値	寸法線 優先度	寸法線 適合度	寸法補助線 適合度
36	1	3	3
35	2	3	3
34	3	3	3
30	3	3	2
29	4	3	2
28	1	2	3
27	2	2	3
15	2	2	1
14	3	2	1
13	4	2	1
12	1	1	3
11	1	1	2
10	1	1	1
9	2	1	3

←配置決定下限

←配置失敗上限

3.3 領域競合解消

3.1.3 項で述べたように、領域は集団寸法線が定義されているセグメントの両側に設定される。図 5 は、すべての領域を設定し終わった状態を示す。

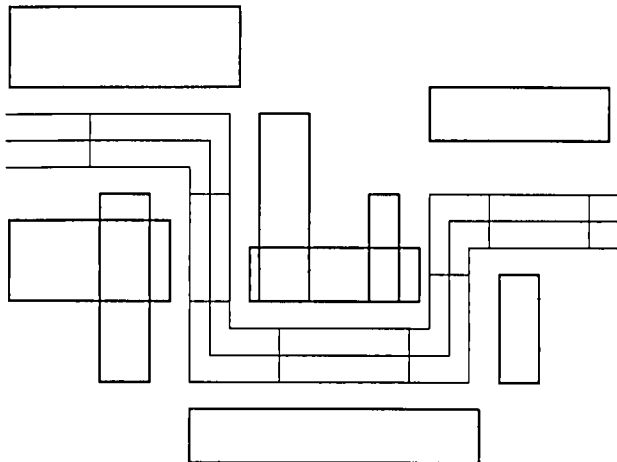


図 5 セグメントの両側に集団寸法線領域を設定し終わった状態

Fig. 5 The state just after all the regions have been arranged against both sides of the segments

図から判るように、いくつかの領域（延長領域または短縮領域）は互いに重なり合っている。これらの重なりをできるだけ解消するようにセグメントの一方の側の領域を採用し他方を捨てる必要がある。本システムでは競合解消ルールを起動してその処理を行っている。以下に、そのルールの一例を示す。

IF

領域適合度=6

領域多重度=0

セグメント・サイド=上または左

THEN

登録 : 領域ユニット・採否スロット”採用”

再計算: 領域多重度, 重なり面積比

登録 : メッシュ・データテーブル, セグメント・テーブル”領域”

3.4 サイズレベルの配置

すべての寸法線の配置終了後、図 6 に示すようなサイズレベルの配置を行う。

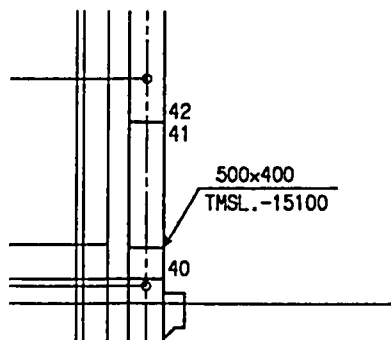


図 6 サイズレベル

Fig. 6 An example of the sizelevel

サイズレベルは、すでに配置された寸法線やダクト、躯体等の間隙を縫って最適な場所を探索するため、本システムの中で最も処理時間を必要とする部分である。

3.4.1 配置領域

配置領域の探索優先度は、図 7 に示すようなダクト周辺に定義した矩形領域内の障害物密度から決定される。

サイズレベル配置位置の探索は、障害物密度が低い方の側から始める。たとえば縦方向セグメントで右側優先の場合には、探索順序は次のようになる。

右上 R → 右下 R → 右上 L → 右下 L → 左上 L → 左下 L → 左上 R → 左下 R

ここで、R あるいは L とは、引き出し線の終端位置に対し、サイズレベル文字が右側にくるか左側にくるかを示す。たとえば「右下 L」とは、図 8 のようなタイプを指す。

しかし、上の例で示した検索順序では、たとえば右下領域の障害物密度が右上のそれより低い場合、実際の設計者の検索順序に合わなくなる。そこでそのような場合には、優先度を以下のように変更して探索を行う。

右下 R → 右上 R → 右下 L → 右上 L → 左上 L → 左下 L → 左上 R → 左下 R

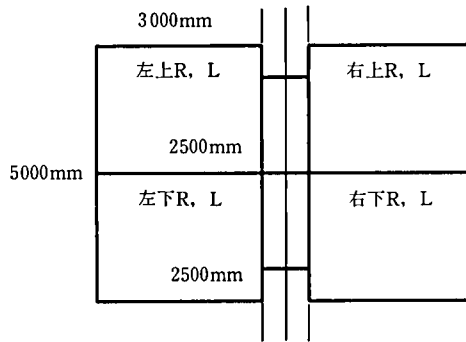


図 7 配置優先度決定のための矩形領域（縦方向ダクトの場合）

Fig.7 The square areas used to decide the priorities for the sizelevel arrangements (a case for a vertical duct)

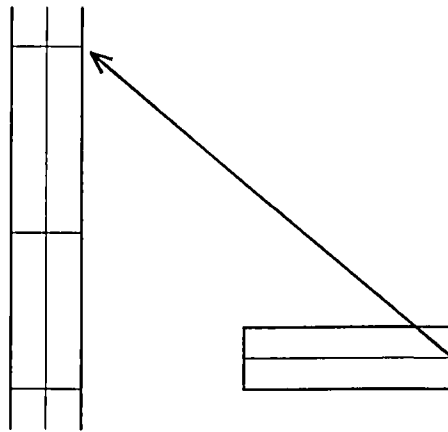


図 8 サイズレベル配置のための引き出しタイプ、「右下L」

Fig.8 A type of a leading line for the sizelevel arrangement.

Indicated example shows the type 'Right-Down-L'

3.4.2 配 置 規 則

サイズレベルは、以下のような制限を満たす最適な場所に配置する。

引き出し線長さ=1000～5000 mm

引き出し線角度=30°, 45°, 60°

サイズレベルの配置処理は、主にルールで記述し、システムの柔軟性の維持に配慮した。ルールでは、領域優先度の確定、領域候補リストの作成、配置領域の選択、引き出し線角度変更、探索成功判定および探索失敗判定の処理を行った。以下に、ルールの一例として、引き出し線角度変更ルールの一部を示す。

IF

探索領域 =探索領域リストの最後の要素

引き出し線長さ=5000 mm

引き出し線角度=60°

セグメント方向=横

OR 引き出し線障害物=有り

サイズレベル文字収納箱障害物＝有り

THEN

引き出し線角度＝45°

最高優先度領域の設定

最後のサイズレベル領域候補まで探索しても、条件に合う配置位置が見つからなかった場合は、探索履歴の中で最も適合度の高かった位置を採用する。このサイズレベルは、最終配置結果表示では失敗表示される（第4章参照）。

4. 結果の検討

実際の形状データと寸法データを使った最終配置結果を図9、図10に示す。図には、寸法線、サイズレベル以外に、本稿では議論しなかった、番号類、角度寸法、ダクトUPDN、穴開けタイプ等の記号類も配置されている。これらの記号類も、本システムの配置対象になっており、障害物チェック等、図面情報を認識しながら配置されている。

配置結果は、集団寸法線領域の探索範囲を規定する最大分離距離、およびどこまでの範囲の隣接寸法線をレベル合わせの対象とするかによって微妙に変わってくる。全体の配置結果は、最初に配置する集団寸法線の配置結果によって大きく影響を受けるので、本システムでは、領域探索および競合解消の結果が成否のカギを握っている。

配置の結果、寸法線や寸法補助線あるいは引き出し線が互いに交差したり、これらの線分が寸法文字を横切ったり、さらにはダクト外形線や躯体の一部と交わってしまうことがしばしば発生する。これらの問題は、交線の一方を切断することで解消している。切断対象には、あらかじめ優先度が設定されており、その値およびメッシュ・データテーブルと基本形状テーブルを参照しながら切断処理が行われる。

配置に失敗した寸法データは、他の成功した寸法データとは異なる色調で表示されるので容易に認識できる。これらの寸法データは、UNIDRAFTの機能を使って簡単に修正できる。本システムでは、配置失敗は平均して全寸法データの1割以内におさまっている。また、配置に失敗していなくても図面設計者の判断で結果の修正や変更は可能である。すべての処理が終わったデータは、ファイルへ出力され本システムの動作は完了する。このファイルは、UNIDRAFTへ転送され画面表示される。そこで必要な修正作業を受け、最終的にプロック出力された施工図面が完成する。平均処理時間は、設計目標値内におさまっている。

5. おわりに

本システムでは、図面状況を常に認識しながら配置していくことにより、図面設計者による配置結果に比較的近い結果が得られた。配置処理は、できるだけルールの形式で行い、システム全体の柔軟性の確保にも留意した。今後は、より多くの実データによる処理結果を蓄積し、配置ルールの調整や詳細化を実施していく必要がある。さらに将来は、KS-301画面上での図面修正機能等が実現できれば、生産性のより一層の向上が期待できる。

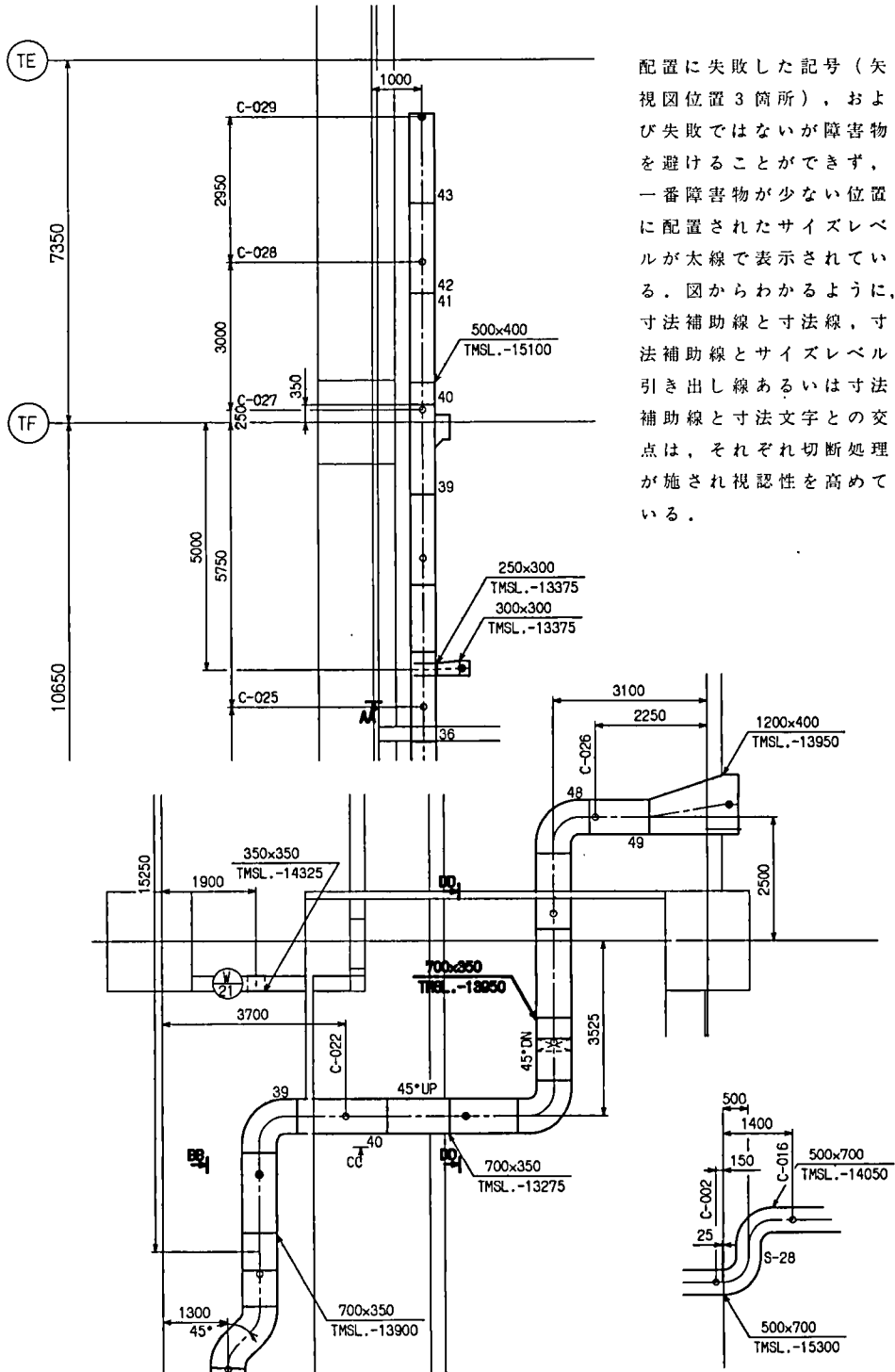


図 9 実際の形状データと寸法データを使った最終配置結果（部分）

Fig. 9 The final arrangement results with utilizing some actual data

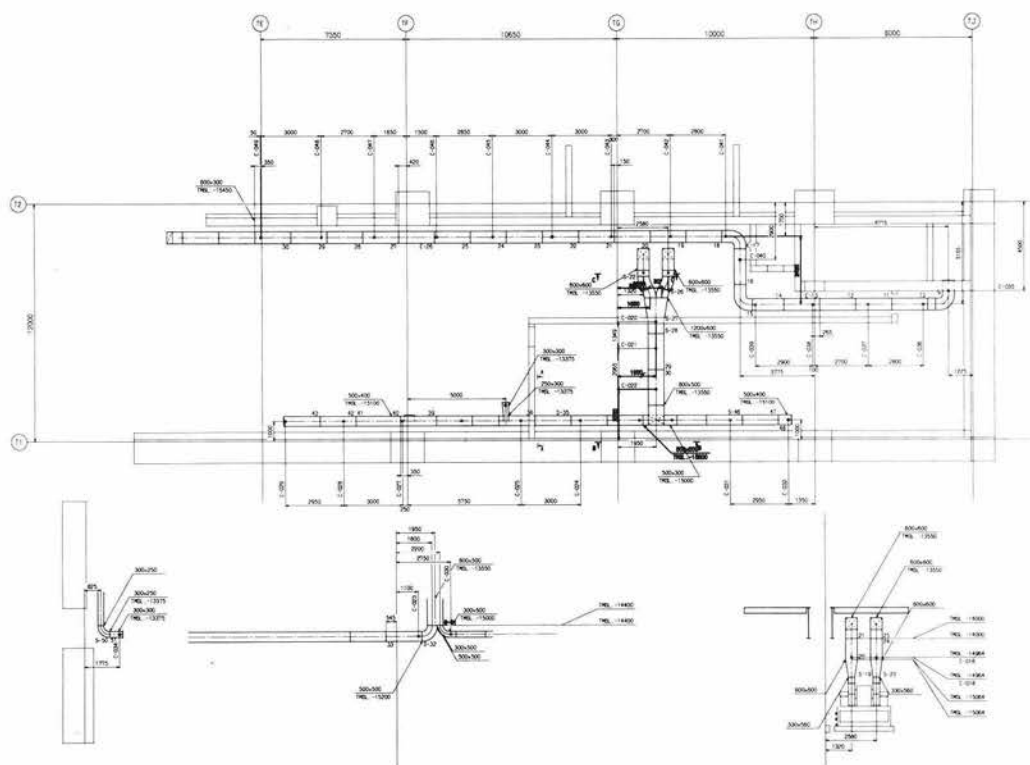


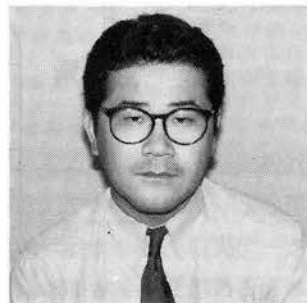
図 10 実際の形状データと寸法データを使った最終配置結果 (全体)

Fig. 10 The final arrangement results with utilizing some actual data

- 参考文献 [1] E. J. DeJesus and J. P. Callan, Proceedings of The Artificial Intelligence Applications, (The Engineering of Knowledge-Based Systems) Ed. by C. R. Weisbin, Florida 1985, P. 258.
- [2] A. H. Bond and S. Z. Ahmed, Rule-based automatic dimensioning, Proceedings of Westex-87 1987, p. 128.
- [3] B. J. Vivier, M. K. Simmons and S. An. Masline, An AI Approach to Engineering Drawing Annotation, Proceedings of The First International Conference on Industrial & Engineering Applications on Artificial Intelligence & Expert Systems, Tennessee 1988, p. 447.
- [4] N. Chiba, K. Onoguchi and T. Nishizeki, Drawing Plane graphs nicely, Acta Informatica, vol. 22, 1985, p. 187.

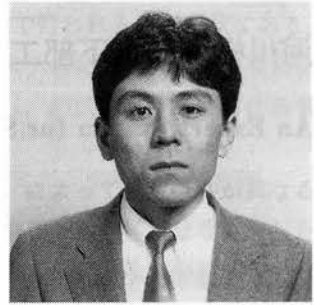
執筆者紹介 太田 寛 (Satoru Ohta)

昭和 58 年福井大学工学部機械工学科卒業。同年日立プラント建設(株)入社。原子力発電所空調設備設計支援システム開発に従事、現在に至る。



林 達 雄 (Tatsuo Hayashi)

昭和 62 年明星大学工学部機械工学科卒業。同年エイチ・ピー・シー・エンジニアリング(株)入社。原子力発電所換気空調設備設計に従事、現在に至る。



湊 谷 慎 司 (Shinji Minatoya)

平成元年国立木更津工業高等専門学校 電子制御工学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。知識システム部配属、現在に至る。



堀 端 孝 俊 (Takatoshi Horibata)

昭和 56 年東京都立大学理学研究科博士課程修了。東京大学原子核研究所研究員等を経て、60 年 10 月日本ユニシス(株)入社。知識システム部配属、現在に至る。



河川橋梁の上下部工形式選定エキスパートシステム

An Expert System for Selecting River Bridge Structure Types

西 土 隆 幸, 橋 本 和 博

要 約 橋梁の全体構造を計画する「上下部工形式選定」は、橋梁の計画から設計、製作、運搬、架設に至る一連の工程において、最上流に位置する重要な工程である。形式選定において、構造的、経済的、美観的に満足 of いく結果を得るためには、熟練設計者の豊富な経験や知識が必要である。これらの経験や知識は永年の実務を通して習得され、数値化が困難なものも数多く含まれている。また、選定結果の妥当性、工費の算定精度、選定作業の期間も設計者の熟練度によって大きく影響される。

このため、熟練設計者が体得した総合的な知識を他の設計者が有効に活用することができれば、選定作業の大幅な省力化と正確さが期待できる。この観点から、川田工業(株)では、エキスパートシステムの技術を応用して「上下部工形式選定(基本設計)」システムを構築し、実用化に向けて改良を加えてきた。

なお、このシステムはワークステーション KS-303 上で開発した。開発用ツールおよび言語としては、KEETMと LISP を用い、構造計算を行うためホストコンピュータと回線で接続した。

Abstract In a series of bridge construction processes including planning, designing, manufacturing, transportation and erection, 'a type selection for a bridge superstructure and substructure' which designs the whole bridge structure is a very important process regarded as being positioned in the uppermost stream. A type selection which provides satisfaction in terms of structure, economy and spectacle calls for the rich experience and excellent expertise of veteran designers, which can be accumulated only after their long-time involvement in actual construction works. And not a little of such experience and advanced know-how has difficulty being put in numerical expressions. In addition, the skillfulness of designers also has a great effect on the validity of selected types, accuracy of construction cost estimates and the time required for selection.

The possible effective use by other designers of the comprehensive knowledge acquired by expert designers could bring about a large amount of manpower saving and greater accuracy in structure type selection. From an aspect like this, the authors have built a system for 'selecting superstructure and substructure types' (for basic bridge designing) using expert systems technology and added repeated enhancements for its more practical use.

Developed on the workstation KS-303 with KEETM and LISP used as a development tool and language, the system is linked online with a host computer for structural computing.

1. は じ め に

橋梁の設計、製作におけるコンピュータの利用は、構造計算を中心とした数値処理や、CAD (Computer Aided Design) を利用した設計システム等がその主体であり、より効率的なシステムが多数開発されている。

しかし、橋梁の全体構造を計画する形式選定に関しては、設計者の経験や判断が重

要な要素となるため、そのほとんどが熟練設計者の手作業で行われるのが現状である。

本システムは熟練設計者の経験則（Heuristics）をシステムに取り入れ、さらに従来のコンピュータ資産である構造計算システムとも連携し、形式選定作業における省力化を目的として開発した。

形式選定においては、架設地点（山岳・都市・河川等）によって選定条件が異なるため、すべての架設地点に適用できるシステムを構築することは容易ではない。したがって、今回は架設地点を河川に限定してシステムを構築したが、他の架設地点にも適用できるようにシステムに拡張性を持たせている。

また、熟練設計者が習得した経験や知識のうち、「美観」や「直感」等知識ベースとして構築することが困難なものも多く、また制約条件を満足する多数の設計案の中からどの案を採用するかについては、技術的要素以外の要素も加味して最終的には人間の判断に委ねられる。したがって、本システムは最適な全体構造を自動的に選定するものではなく、設計者とシステムが対話をしながら、設計者の選定作業を支援するものとして位置付けられる。

なお、図1に橋梁の構成と基本的な名称（基本用語）を示す。

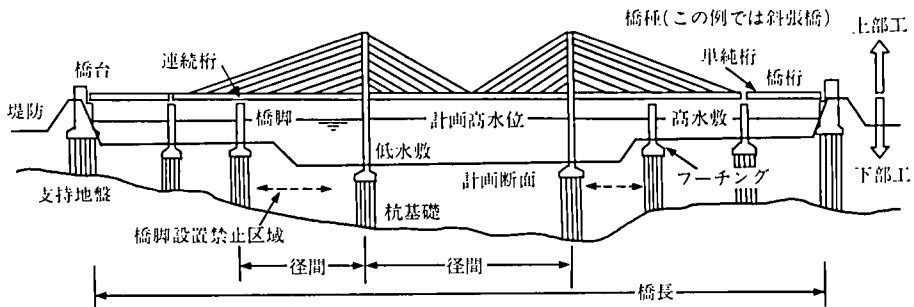


図1 橋梁の構成と名称

Fig.1 Elements of bridge structure and their names

2. 形式選定システム

2.1 システムの概要

本システムは、河川橋梁（橋長 400 m，最大径間数 14 径間まで）を対象に開発した。

システムの処理概要を図2，図3に示す。まず上部工の形式選定（径間割，橋種の組み合わせ）が行われた後，上部工の工費が算定される。その後，反力や構造形式に基づいて下部工（橋台・橋脚・基礎工・杭）の形式選定が行われ，下部工の工費が算定される。最後に選定された各形式について評価が行われる。

2.2 上部工の形式選定

2.2.1 設計条件の入力

地質調査，現地調査等から得られたデータを整理して，基本的な架橋条件および上部工の設計を行うための条件（橋長・川幅・橋梁幅員・地形断面形状・計画高水位等）を入力する。

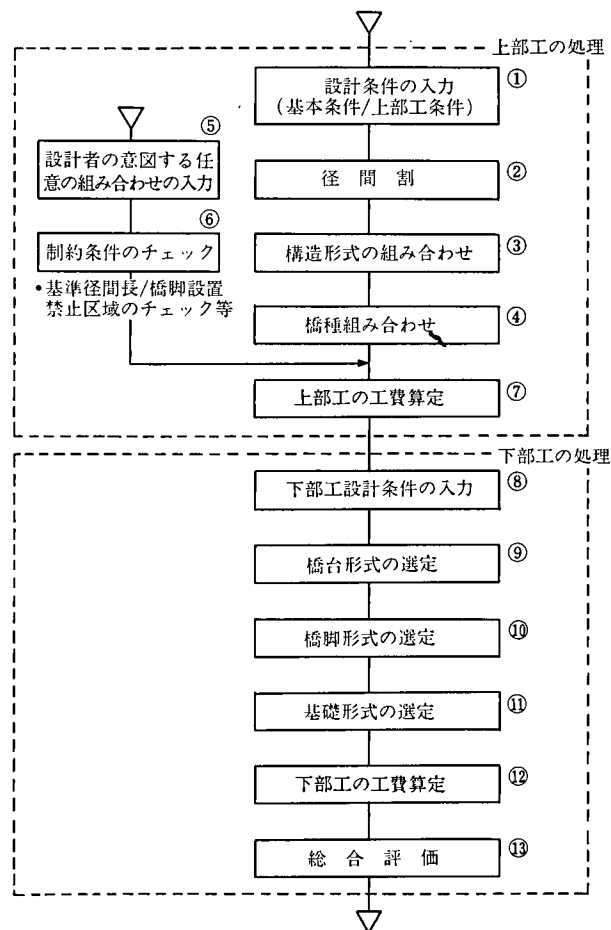
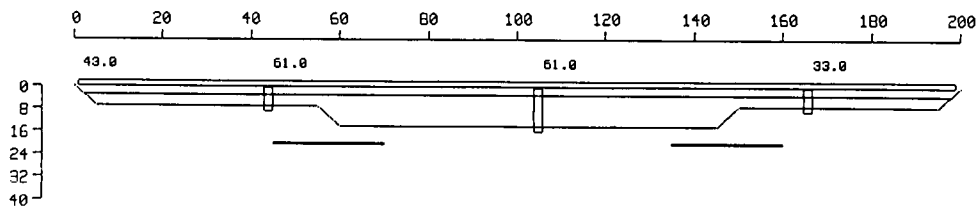


図 2 形式選定処理の流れ
Fig. 2 Process flow for type selection



この例では橋長全体を4径間に分割している。
図の下部に引いた2本の線は、橋脚設置禁止区域を示している。

図 3 径間割の例 (印書出力の一部)
Fig. 3 An example of span arrangement

2.2.2 径 間 割

径間割は、橋脚の設置位置を決めるものであり、橋梁の基本構造を決定するための重要な要素である。径間割は、河川管理施設等構造令（以降、「河川構造令」と呼ぶ）に則って行われ、橋脚設置禁止区域の判定、基準径間長の決定、5m緩和の規定、高水敷の特例等が適用される。

径間割を自動的に行う方法の開発に当たって、まず議論されたのは熟練設計者がどのような思考過程を経て、これらの作業を行っているのかということであった。

思考過程が明らかになれば、それをシステムとして実現することも不可能ではないと考えていたが、実際には困難な作業であることがわかった。

すなわち、熟練設計者は経験を積み重ねて径間割に関する大量のパターンを頭の中に蓄積し、設計対象としている橋に類似のパターンを当てはめて、自然に径間割を思い描くことができる。このとき、パターンを分析してその特徴を抽出したり、その特徴と結果を結び付ける規則等は必ずしも必要としていない。

つまり、コンピュータの表現を借りると、高度な判断を要求される熟練設計者の知識は、頭の中で十分に「コンパイル」されているのである。このような「コンパイルされた知識」を相手としたとき、過去の径間割に関する膨大なデータベースを構築し、十分な時間をかけて熟練設計者の意見を聞いた上で規則を抽出できたとしても、現在の技術水準では、コンパイルされた知識に近づくことは極めて困難であると思われる。

したがって本システムでは、次善の策として次のような方法を用いた。

- ① まず、河川構造令を満足する大量の組み合わせを機械的に生成する。
- ② 組み合わせを生成する過程で、非現実的あるいは好ましくないと思われる組み合わせを削除する。

径間割は、最小径間数1から最大径間数 N （基準径間長以上で、基準径間長に最も近い等径間割となる径間数）までの N 通りについて行うことができる。しかし、本システムでは過去の径間割に関する実績および経済性を考慮して、 N 、 $N-1$ 、 $N-2$ の3通りの径間数について径間割を実施した。

橋脚設置禁止区域に橋脚が位置している場合には、河川構造令で定められた規定や特例を考慮しながら、橋脚の移動/増減を行って制約条件を満足する径間割をすべて求める（図3）。

径間割が決まった後、個々の径間割ごとに、単純桁/連続桁の組み合わせを求める。組み合わせの数は径間数の増加に伴って非常に多くなるため、熟練設計者の経験をもとに、実務上よく用いられる組み合わせを径間数ごとにシステムへ登録し、現実に対応した組み合わせを求めるようにしている。

2.2.3 橋種の組み合わせ

径間割および構造形式の組み合わせが求まると、各々の組み合わせに対して構造物の物理的特性や、システムに組み込んだ熟練設計者の経験をもとに橋種を組み合わせる。橋種の組み合わせにおいても、景観性（形の美しさ、周囲の自然との調和）等がより重要な要素となるため機械的な処理は一層困難となる。

橋種は、橋種ごとにフレームを作成し、その橋種の属性（適用径間長・種別等）は各フレームのスロットの中に格納している。

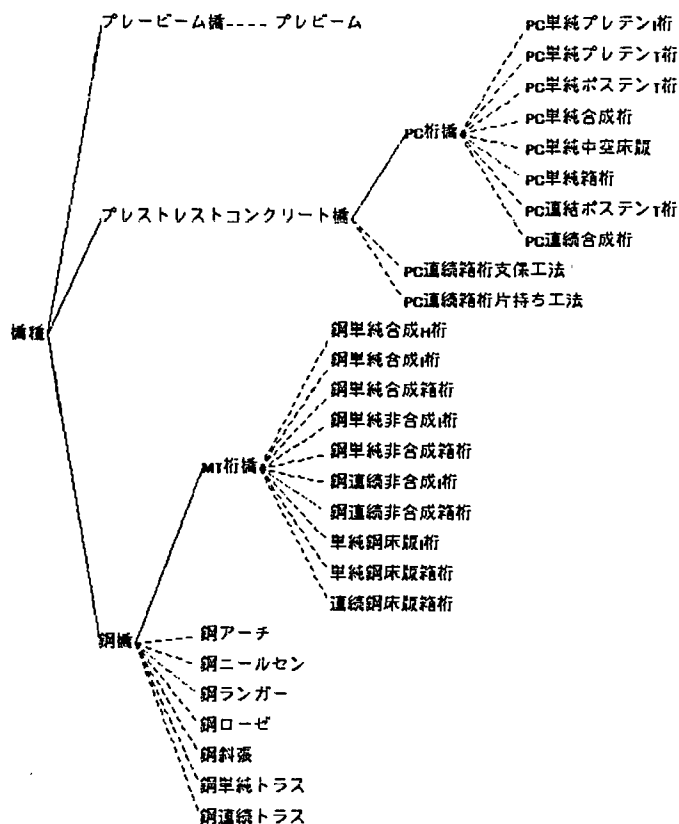


図 4 橋種フレームの階層構造

Fig. 4 Hierarchical structure of bridge type frames

橋種フレームの階層構造を図 4 に、橋種フレームの内容を図 5 に示す。

橋種の組み合わせを生成する時に適用した規則の例を次に示す。

1) 構造特性からの制約

- 異なる種別（鋼橋・PC 橋・プレベーム橋）は混在できない。
- 橋種が桁橋であるとき、異なる橋種の組み合わせはできない。
- PC 連続箱桁とそれ以外の橋種の組み合わせはできない。

2) 熟練設計者の経験則

- 単純桁のとき、ある位置の橋種の適用径間長がその右側の橋種にも適用できるのであれば、それらの橋種は同じものを組み合わせる。
- 120 m 以上の径間長で、2 径間または 3 径間連続となる場合は、鋼斜張橋を適用する。
- 鋼橋箱桁の径間長 > 鋼橋 I 桁の径間長とする。

以上のような規則を適用することで、一つの径間割に対して組み合わせの数を約 30 通りまで絞り込むことができた。

しかし実務上からは、可能な限り 10 通り以下とすることが望まれていたため、これ以上の絞り込みについては組み合わせを画面上に図形で表示し、設計者の判断を仰ぐ

III (Output) The List of the 鋼アーチ Unit in the BRIDGE3 Knowledge Base				
Slot	Value	Inheritance	Value Class	From Unit
○ 橋種番号	(1)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	橋種
○ 橋種名	(鋼アーチ)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 桁高	(0)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼橋
○ 桁剛性	(4)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 現場塗装費	((50 2.6) (60 2.6) (70 2.6) (80 2.6) ...))	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 構造形式	(単純桁)	OVERWRITE.VALUES	((ONE.OF 連続桁 単 純桁))	橋種
○ 構造種別	(MT)	OVERWRITE.VALUES	((ONE.OF MT PC RC)橋種)	
○ 鋼重幅員 12M	((0 0 2.064 213.8))	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 鋼重幅員 8M	((0 0 2.064 213.8))	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 最小適用径間長	(50)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 最大適用径間長	(110)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 山間部架設 (可能)		OVERWRITE.VALUES	((ONE.OF 可能 不可 能))	橋種
○ 山間部景観得点	(0)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	橋種
○ 山間部施工性得点	(0)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	橋種
○ 斜角架設 (可能)		OVERWRITE.VALUES	((ONE.OF 可能 不可 能))	橋種
○ 床版塗装費	((50 9) (60 9) (70 8) (80 8) ...))	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 製作費	((50 72) (60 71) (70 70) (80 69) ...))	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 走行時視界	(2.33)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ
○ 塗装工費	(7)	OVERWRITE.VALUES	Unknown	鋼アーチ

図 5 橋種フレームの内容 (鋼アーチ橋の例)

Fig.5 Details of a bridge type frame

ようにしている。これは、これ以上コンピュータ内部で機械的に処理すると、必要とされる組み合わせまで自動的に削除してしまう危険性があるためである。

図 6 の例では低水敷が 2 径間連続となっており、橋種として「鋼連続トラス」が用いられている。側径間 (左右の橋台に近い径間) は単純桁となっており、橋種は「鋼単純非合成 I 桁」である。なお支承*条件はこの図に表示していない。

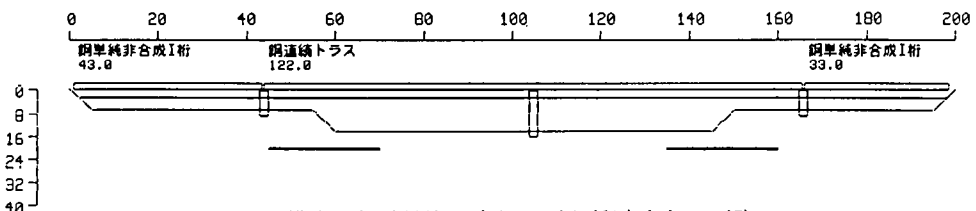


図 6 構造形式と橋種組み合わせの例 (印書出力の一部)

Fig.6 A sample combination of structure and bridge types

* 支承：上部工・下部工の接点であり、上部工から下部工へ荷重を伝達する。固定支承と可動支承がある。

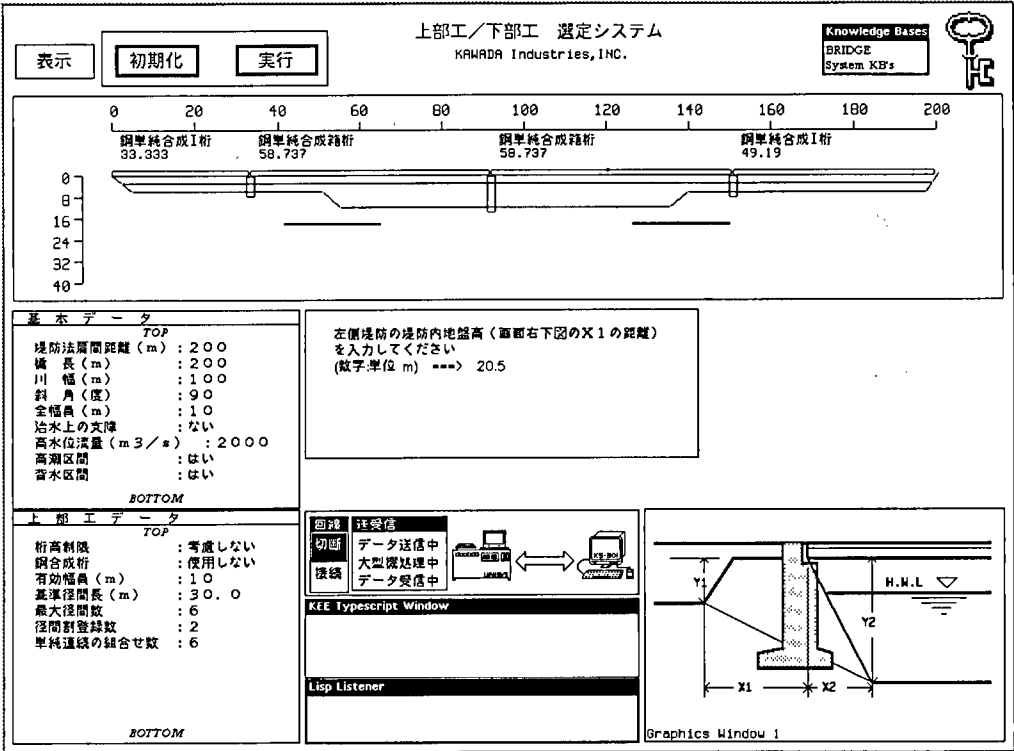


図 7 橋台の形状入力画面

Fig. 7 A data input screen for an abutment shape

2.3 下部工の形式選定

2.3.1 設計条件の入力

下部工の設計を行うための条件（支持地盤の形状・中間層の地質・施工深度・地下水の状態等）を入力した後、橋台の形状に関するデータを入力する（図 7）。

次に、橋台・橋脚設置位置における橋台・橋脚の高さを計算し、表 1、表 2 を適用して橋台・橋脚の形式を決定する。

さらに、正確な工費を求めるため、後述する方法を用いて大型計算機で構造計算を行い、その寸法、体積、杭本数等を求めた。

表 1 橋台形式と経済的高さ
Table 1 Abutment type and economical height

橋台形式	経済的高さ
重力式橋台	～4 m
逆T式橋台	4～12 m
扶壁式橋台	12 m～

表 2 橋脚形式と経済的高さ
Table 2 Pier type and economical height

橋脚形式	経済的高さ
壁式橋脚	～8 m
逆T式橋脚	8～15 m
柱式橋脚	15 m～

2.3.2 基礎形式（杭形式）の選定

杭の選定に当たって考慮しなければならない要素に、中間層の地質・堅さ、支持地盤の凹凸、地下水の湧水量、鉛直荷重等がある。これらの要素は土質に関するもの、

環境に関するもの等、設計者の経験や勘に依存し、定性的な判断を要求されるものが多い。

これらの要素を判断する方法として、従来は CF (Certainty Factor: 確信度係数) を用いて推論を行ったり、要素ごと・杭ごとにあらかじめ評価点を与えておき、これらの合計値（あるいは平均値）によって杭を選択する方法等が採用されてきた。

しかし、CF を用いる方法はこれまで多くの有益な結果が得られてきたが、合成によって求められた CF 値が実務上の確信の度合とかなり異なったものとなり得ること、また推論方法が必ずしも論理的な整合性を持っているわけではない等の問題点がある。

一方、評価点によって判断する方法は、本来定量化することが困難な要素まで定量化しなければならないため、知識の微妙な曖昧さを切り捨てなければならず、結果として実務上の判断と食い違う結論が出される可能性が大きい。

また上記以外の方法として確率論を適用してみることも考えられる。これは同じ現象が繰り返して起こる場合に、その頻度によってバラツキの曖昧さを表すものである。しかし、本節で考えているような言葉に起因する曖昧さはバラツキによるものではなく、言葉の意味によるものであるため、確率の考え方では表現が困難である。

そこで本システムでは、熟練設計者が永年の経験を通して蓄積した曖昧さを含む知識を無理なく表現するためにファジィ理論を採り入れた。

選定対象となる杭基礎（以下、杭と呼ぶ）には、図 8 に示すものがある。

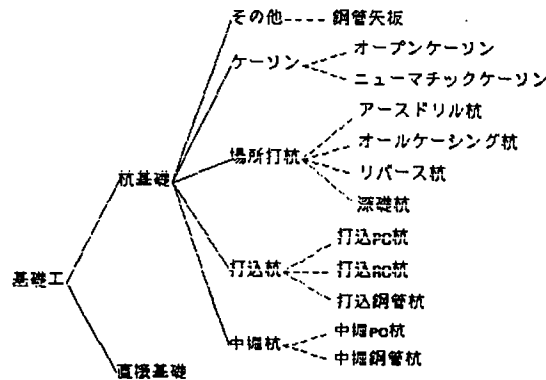


図 8 直接基礎および杭基礎

Fig. 8 Foundation types adopted for the system

これらの杭の中から、前述した土質や環境に関する判断要素を考慮し、可能性の高い杭を 3 種類選択する。3 種類を選択するようにしたのは、これらの杭に関するデータを大型計算機に送り、構造計算を行って最適な杭を選択する候補とするためである。杭の選定は、以下のように行った。

- 1) 選定要素のファジィ表現……まず、曖昧さを含んだ選定要素を、ファジィ集合（曖昧集合）で表現する。ファジィ集合 (A) は、台集合 (X) の部分集合であり、 X の要素 x が A に含まれる程度を与えることによって定義する。

A は次のようなメンバシップ関数 μ_A によって特性づけられる集合である。

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$$

台集合が有限であれば、ファジィ集合 A は

$$\begin{aligned} A &= \sum \mu A(X_i)/X_i \\ &= \mu A(X_1)/X_1 + \mu A(X_2)/X_2 + \cdots + \mu A(X_n)/X_n \end{aligned}$$

と表現できる。

例として判断項目の一つである「中間層の堅さ」を考えてみる。

中間層とは、地表面と支持地盤との間の地層のことである。地層の堅さ N (値が大きいほど堅い) で表すと、たとえば図9のように地表面から支持地盤へ向かって、その堅さは連続的に変化する。

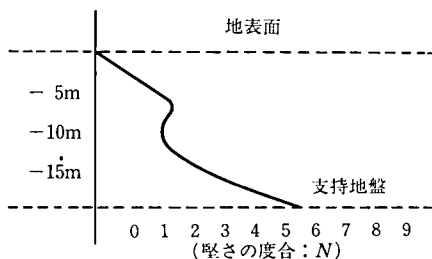


図9 深さによる地層の堅さの変化

Fig. 9 A changing curve of layer hardness by depth

次に、地層の堅さを判断する表現として、「軟弱」、「普通」、「堅い」を考える。このとき、堅さの度合を表す集合を $N = \{0, 1, 2, 3, \dots, 30\}$ とし、「軟弱」というファジィ集合 A を次のように表現する。

$$\begin{aligned} A &= \sum \mu A(n_i)/n_i \quad n \in N \\ &= 0.5/0 + 0.65/1 + 0.83/2 + 1/3 + 1/4 + 1/5 + 0.7/6 + 0.55/7 \cdots \end{aligned}$$

同様に、「普通」や「堅い」というファジィ集合を定義できる。これらのファジィ集合を図示すると、図10のようになる。

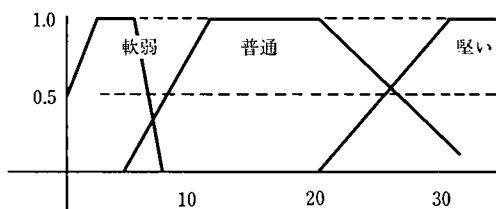


図10 地層の堅さのファジィ表現

Fig. 10 Fuzzy representations for layer hardness

- 2) 選定要素と杭のファジィ関係……次に、ファジィ集合で表現された選定要素と、それに対応する杭ごとの選定可能性（ファジィ関係）を求める。

このためには、たとえば「軟弱」という選定要素に対応する杭ごとの選定可能性をファジィ集合で表現すればよいのであるが、現実には、「軟弱」という「幅」を持った選定要素に対して、直接、杭の選定可能性を導き出すのは容易ではなかった。

したがって、ここでは次の方法によって選定可能性を求めた。まず、地層の堅

表3 地層の堅さと杭のファジイ関係
Table 3 Fuzzy relations between layer
hardness and piles

N	杭 A	杭 B	杭 C	……
0	0	0.4	0	…
1	0	0.8	0	…
2	0.2	1.0	0	…
3	0.4	0.7	0.1	…
4	0.7	0.3	0.2	…
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

さの度合に応じた杭ごとの選定可能性を求めた（これも一つのファジイ関係である）。堅さを表す度合の集合を N とし、杭の集合を Y とすると、 N と Y との間のファジイ関係 R は、

$$\text{直積 } N * Y = \{(n, y) | n \in N, y \in Y\}$$

におけるファジイ集合であり、次のメンバシップ関数によって特性付けられるものである（表3）。

$$\mu R : N * Y \rightarrow [0, 1]$$

ファジイ関係に、「軟弱」と表現したファジイ集合を合成すると、「軟弱」に対応する杭ごとの選定可能性を求めることができる。

すなわち、ファジイ関係を R とし、「軟弱」のファジイ集合を A とすると、杭ごとの選定可能性 B （「軟弱に対応する杭」のファジイ集合）は、次のようにして求められる。

$$B = A \circ R \quad (\text{ファジイ関係方程式})$$

。はファジイ推論合成規則と呼ばれるもので、種々の演算が用意されているが、ここでは最もよく使われている Max-Min 演算を用いた。

3) ファジイ推論……以上で、選定要素とそれに対応する杭ごとの選定可能性をファジイ集合で表現した。

これを言葉で言い替えると次のようになる。

もし、地層の堅さが「軟弱」ならば、杭の選定可能性は「軟弱に対応する杭」である。

これを、 $A \Rightarrow B$ と表現する（ A と B もファジイ集合である）。

次に、「軟弱」に近いが若干意味の異なる「かなり軟弱」というファジイ集合に対する杭ごとの選定可能性を求めることを考える。

すなわち、「かなり軟弱」というファジイ集合を、 A' とすると、

$$\text{規則： } A \Rightarrow B$$

$$\text{事実： } A'$$

$$\text{結論： } B'$$

となる結論 B' を求めるものである。

ここで、 A 、 A' および B 、 B' はおのおの台集合 N 、 Y におけるファジイ集合である。

これは、ファジイ関係方程式で表現すると

$$B' = A' \circ (A \Rightarrow B)$$

となる。

$A \Rightarrow B$ をファジィ関係に変換する方法にも種々のものがあるが、ここでは、Mamdani の方法 $a \rightarrow b = a \wedge b$ を採用した。($\wedge$ は Min, $\vee$ は Max を表す)

上記の方程式をメンバシップ関数で表現すると、次のようになる。

$$\begin{aligned}\mu B'(y) &= \bigvee_n \{ \mu A'(n) \wedge \mu A \Rightarrow B(n, y) \} \\ &= \bigvee_n \{ \mu A'(n) \wedge [\mu A(n) \rightarrow \mu B(y)] \} \\ &= \bigvee_n \{ \mu A'(n) \wedge [\mu A(n) \wedge \mu B(y)] \} \\ &= \bigvee_n \{ \mu A'(n) \wedge \mu A(n) \} \wedge \mu B(y)\end{aligned}$$

上式の下線部分は、 A と A' の適合度を表しており、結論 B' は、この適合度と B との Min をとることによって求めることができる。

これを図示すると、図 11 のようになる。

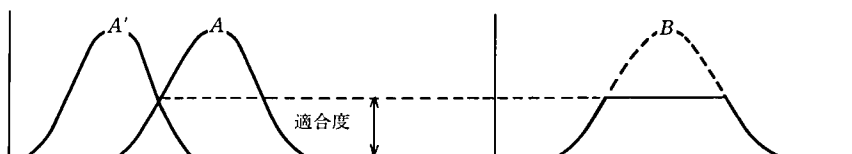


図 11 規則と事実からの推論結果

Fig. 11 A result inferred from the rules and fact

いま、地層の堅さに関する規則を

$$A1 \Rightarrow B1 \quad (\text{「軟弱」ならば、「軟弱に対応する杭」})$$

$$A2 \Rightarrow B2 \quad (\text{「強い」ならば、「強いに対応する杭」})$$

とすると、これらに対して、事実 A' (たとえば、「かなり軟弱」) を適用した時の結論 B' は、

$$\begin{aligned}B' &= A' \circ (A1 \Rightarrow B1) \cup \\ &\quad A' \circ (A2 \Rightarrow B2)\end{aligned}$$

として求められる。

以上の方法で、要素ごとに杭が選定される可能性を求め、最後に重みづけを考慮して杭ごとの平均点を求め、平均点の高いものから三つを選定している。

平均点を求めているのは、要素と杭の間には関連性はあるが、要素相互間にはとくに関連性が認められないためである。

2.4 橋脚の構造計算

橋脚は計画条件 (筐体寸法、杭本数、杭形式等) によって工費が大幅に異なり、これによって全体の工費が左右される。

したがって、形式が決まった後、橋脚およびそれを支える杭の構造を正確に求める必要がある。このため、すでに大型機 (UNISYS 2200 シリーズ) の上で開発されていた構造計算システムを用いて計算を行い、正確な構造を求めることによって、最も経

済的な橋脚の構造と杭形式を得られるようにした。

一つの橋脚の構造計算は、脚の断面計算の外に安定計算も行うため、大型機内部で約3分を必要とする。

大型機への入力データには、計算に必要なデータの他に、橋脚形式や杭形式を送り、杭径を2種類(600 mm, 800 mm)あるいは3種類(1000 mm, 1200 mm, 1500 mm)に変化させて計算する(図12, 13)。

MT600T-UT1						
A	1.0	3.0	0.2	0.2	2.5	
B	3.0	0.4	0.1	1.0	0.5	
B	9.0	0.5	0.0	1.5	0.0	
B	3.896	2.0	8.0	3.0	0.0	0.0
B	2.0	0.0	1.5	0.0	1.0	2.0
C	2.0	2.0	4.0	2.0		
C	5.0	6.0				
C	0.0	-0.4	0.0	0.4		
C	0.0	-0.4	0.0	0.4		
C	7.396	9.396	7.396	9.396		
C	188.75	0.0	37.75	532.0	212.8	105.4

図12 大型機への送信データ(一部)

Fig.12 Data sent to the host computer

§ 1 杭の設計

1-1 杭配置

1) 杭本数と杭間隔

* 橋軸方向

杭列数 NR = 3

間隔 (.750 + 1.500 + 1.500 + .750)

* 橋軸直角方向

各列の杭本数 NC = 5

* 杭総本数

N = 15

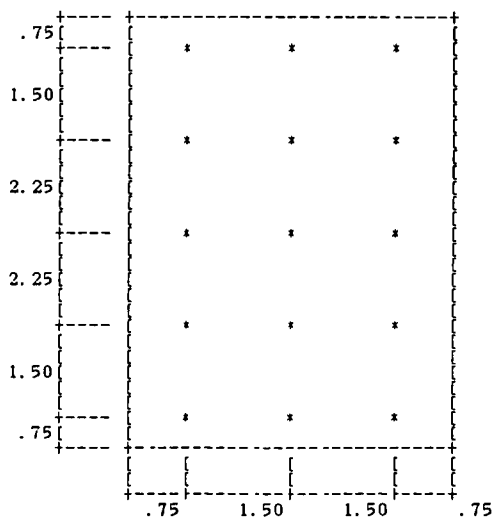


図13 大型機での計算結果(一部)

Fig.13 A result of computing by the host computer for pile designing

3. システムの評価

ここでは、本システムを実際に架設された橋梁に適用し、その妥当性と実用性について評価すると共に、今後の課題についても考察を行う。

適用例として選択した既設橋は、橋長 307.6 m、左右の高水敷を持つ河川橋であり、この橋に本システムを適用して橋梁の基本構造や工費について検証を行った。

検証は、設計者の手によって作成された比較設計案（以降「比較設計案」と呼ぶ）14 案と、本システムの出力結果である設計案（以降「出力設計案」と呼ぶ）30 案とについて比較検討を行った。

図 14 に、出力設計案（印書出力）の一例を示す。

径間数	2	3	2					
径間長	60.8	181	65.2					
橋 種	鋼連続非合成 I 桁	鋼連続非合成箱桁	鋼連続非合成 I 桁					
橋台橋脚	橋台 A1	橋脚 P1	橋脚 P2	橋脚 P3	橋脚 P4	橋脚 P5	橋脚 P6	橋台 A2
橋 台	橋台左 (A1) : 形式=控え式橋台 高さ (m) = 15.7 基礎形式=リバース杭1200 杭長 (m) = 3.5 橋台右 (A2) : 形式=控え式橋台 高さ (m) = 15.8 基礎形式=リバース杭1200 杭長 (m) = 3.5							
橋 脚	* 形 式 高さ (m) 基礎形式 杭長 (m) P1 逆丁式橋脚 8.2 リバース杭1200 9.0 P2 逆丁式橋脚 9.2 リバース杭1200 8.0 P3 逆丁式橋脚 13.0 リバース杭1200 4.5 P4 逆丁式橋脚 13.0 リバース杭1200 4.5 P5 逆丁式橋脚 8.2 リバース杭1200 9.0 P6 逆丁式橋脚 8.2 リバース杭1200 9.0							
総合評価	: 経済性 第2位 : 保守性 塗装の塗替えが必要 : 走行性 優れている							
工 費	上部工/下部工工費合計 (万円) 89856 (上部工小計: 62853 下部工小計: 27003)							
【工費内訳 (単位: 万円)】								
上部工	:	製作費	輸送架設費	橋面工費	現場塗装費	[小 計] (塗装工費 3107)		
左高水敷		5393	1244	2182	301	9120		
低水敷		32736	4122	6142	773	43773		
右高水敷		5983	1340	2301	336	9960		
下部工	:	本体工費	掘削/仮設費	杭基礎工費	[小 計]			
橋台左 (A1)		1912	2929	1330	6171			
橋台右 (A2)		1937	2941	1345	6223			
橋脚 (P1)		1406	253	260	1919			
橋脚 (P2)		973	391	181	1545			
橋脚 (P3)		1598	537	181	2316			
橋脚 (P4)		4513	537	485	5535			
橋脚 (P5)		891	253	181	1325			
橋脚 (P6)		1443	253	273	1969			
径間数	2	3			2			
径間長	60.8	181			65.2			
橋 種	鋼連続非合成 I 桁	鋼連続非合成箱桁			鋼連続非合成 I 桁			

図 14 出力設計案の例 (印書出力)

Fig. 14 A sample design output

この例では比較設計案とほぼ同等の結果を得ており、左右の高水敷は 2 径間連続で橋種には「鋼連続非合成 I 桁」が用いられている。低水敷は 3 径間連続で橋種には「鋼連続非合成箱桁」が用いられている。

また工費合計は、出力設計案では 89856 万円、比較設計案では 86000 万円で、ほぼ妥当な値が得られている。

出力設計案を比較設計案と比較して評価した場合、以下のことが考察される。

- ・比較設計案と同一の径間割は得られなかったが、ほぼ等しい径間割は得られた。

これは、禁止区域から橋脚を移動する場合、出力設計案では禁止区域の境界線上に移動するようにしているが、比較設計案では美観等も考慮して、移動する位置を微妙に変化させているためである。

- ・工費については自動的に設計を行ったものについては、ほぼ妥当な値が得られた。

今後の課題としては、次のようなものが残されている。

- ・今回のシステムを実際の設計業務に使用し、設計者の意見を聞きながらさらに改良を加えていきたい。
- とくに、橋種の組み合わせではまだ不必要と思われるものが見受けられるため、実務を通してこのような組み合わせを削除するルールを追加したい。
- ・設計案の総合評価（今回のシステムは、経済性・走行性・保守性のみ）に、施工性・景観性も加えて、より広い視点からの評価を加えたい。
- ・上部工の選定と下部工の選定は相互に関連しているため、適切なフィードバック機構を組み込んで、より実務に即した結果を得られるシステムとしたい。

4. お わ り に

本システムの主要な課題は、熟練設計者が持っている経験則すなわち教科書や文献で公表されている知識だけではなく、経験を通して体得し記号や数式で表現しにくい知識に対しても、どのようにすれば機械の中で取り扱えるのかということであった。

このため、プロダクションルール、フレーム、ファジィ理論等の知識工学の成果を応用し、さらに従来から蓄積されてきたソフトウェア資産の助けも借りてシステムを構築した。

システム構築に当たって、熟練設計者の思考過程のうち言葉で表現することが可能なものについては、できる限りシステムの中へ組み込むように努力した。システムの中に組み込んだ知識の中で、データを処理する部分についてはある程度満足する結果を得られるものが構築できたが、いわゆる「経験則」については、その「雛型」ができたと考えるのが妥当であろう。

この「雛型」は固定的なものではなく、評価を繰り返しながら知識の内容を充実し洗練させていく必要がある。その意味では、このシステムは完成したものではなく、「成長するシステム」であると言える。

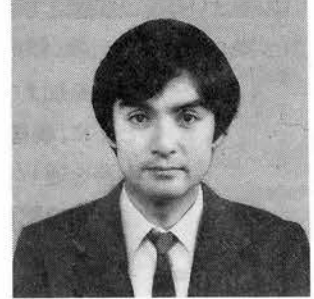
-
- 参考文献 [1] 白石成人, 古田均, 中島裕之, 山本信哉, “橋梁計画設計のためのエキスパートシステム構築に関する基礎的研究”, 土木学会構造工学論文集 Vol. 34 A, 1988.
- [2] 白石成人, 古田均, 吉住先司, “構造設計へのファジィ意思決定理論の応用に関する基礎的研究”, 土木学会構造工学論文集 Vol. 33 A, 1987.
- [3] 松井幹雄, “変断面桁橋の美観について”, 川田技報 Vol. 6/JAN., 1987.
- [4] 北沢, 松田 “地盤の液状化判定エキスパートシステム”, 人工知能学会全国大会論文集, 1988.
- [5] 三上市蔵, 松井繁之, 田中成典, 新内康芳, “道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷要因推定のためのルールとフレームによる知識ベースエキスパートシステム”, 土木学会構造工学論文集, Vol. 34, 1988.
- [6] 白石成人, 古田均, 馬野元秀, 川上光一郎, “RC 床版の耐用性評価システムに関する

基礎的研究”，土木学会論文集第 386 号/ I -8, 1987.

- [7] 西土隆幸，前田研一，野村国勝，“河川橋梁の上下部工形式選定のためのエキスパートシステム構築に関する一考察”，土木学会構造工学論文集，Vol. 35 A, 1989.
- [8] 河川管理施設等構造令研究会編，“解説・河川管理施設等構造令”，日本河川協会，1979.
- [9] 日本橋梁建設協会，“デザインデータブック”，1987.
- [10] 日本鋼構造協会編，“鋼橋計画マニュアル”，1985.
- [11] プレストレストコンクリート建設業協会，“PC 道路橋概算工事費”，1988.

執筆者紹介 西 土 隆 幸 (Takayuki Nishido)

昭和 57 年広島大学大学院工学研究科（構造工学専攻）修了。同年川田工業（株）に入社。南備讃瀬戸大橋ハンガー引き込み管理システムの開発等，主として鋼橋の設計，製作および架設におけるコンピュータを使った省力化の研究開発に従事。現在，技術本部中央研究室に所属。土木学会会員。



橋 本 和 博 (Kazuhiro Hashimoto)

昭和 44 年大阪工業大学電子工学科卒業。同年日本ユニシス（株）に入社。製造工業担当 SE，知識システム部を経て，現在，技術情報サービス部に所属。



中部電力における変電所停電操作支援エキスパートシステム ——ATMS による系統の状態表現

An Expert System for Verifying Switching Sequences

at an Electric Power Substation of the Chubu Electric Power Co., Inc.

——Representation by ATMS of the State of an Electric Power System

鈴木 常 彦, 工 藤 隆 司

要 約 変電所では、変電設備の点検や設備改良等の作業を行う場合、安全に作業が行えるように停電区域を誤りなく確保しなくてはならない。このため停電作業に先立って、その手順を記した指令操作票を作成し、複数の専門家があらかじめチェックを行っている。この作業には変電所の設備に関する多くの専門知識が要求され、かなりのマンパワーが割かれている。

筆者らは停電作業の信頼性を上げるため、AI 手法を用いて指令操作票の作成と検証を支援する変電所停電操作支援エキスパートシステムを開発した。本システムは、変電設備に対する停電操作を検証するための模擬変電設備である。検証の方法としてオブジェクト指向プログラミング手法を用い、変電所の高圧回路およびその保護リレー回路のシミュレーションを行っている。とくに電圧や電流の伝播等の系統状態の表現に ATMS (an Assumption-based Truth Maintenance System) を用いたが、その記述の明快さと論理的整合性の保証が、システム構築に有効であることを確認した。また、CAI システムとしても高い効果が期待できる。

Abstract When facilities are checked up or renovated at an electric power substation, it is inevitable to do so in an error-free way without ever losing track of non-charged areas. That is why, prior to actual power cut-off operation, the sequence of operational procedures is step up for advance reviews by more than one. Doing this work requires a large quantity of expertise and know-how regarding substation facilities, and takes not a little amount of man-power.

With a view to gaining higher reliability of power cut-off operation, the authors have developed, through the help of AI technology, an expert system with which to establish and verify the procedures for switching sequences. The system, intended to support an effective power cut-off operation, serves as providing pseudo-substation facilities, thus making it possible to verify the operation through simulations. The object-oriented programming method is employed as a way to verify the results of simulations for a substation's high-voltage circuits and protective relay circuits which consist of different varieties of switches and make complex behavior. An Assumption-based Truth Maintenance System (ATMS) is in use for representing the state of an electric power system in terms of voltage and electric current propagation.

It has been confirmed that the exactness of its descriptions and its assured logical compatibility are instrumental in creating the system. In addition, the system is also expected to provide high availability as a CAI system. This paper describes the functions of the system and the method by which it has been built.

1. はじめに

各変電所では、変電設備の点検や改良・拡充工事が日々行われ、それに伴って安全な作業を行うための停電区域が設定されている。この停電区域を確保する作業の手順に間違いがあった場合、広域にわたる停電を引き起こすおそれがある。このため変電所での操作を監督、指示する部門である電力所では、停電作業に先立って、その手順を記した指令操作票を作成し、複数の専門家によりあらかじめチェックを行っている。この作業には、変電所の設備に関する多くの専門知識が要求されるとともに人手による作業のため、かなりのマンパワーと時間を要している。

今回開発した変電所停電操作支援エキスパートシステム^{[2]~[4]}は、このような現状を改善するため、AI手法を用いて指令操作票の作成と検証の支援をすることにより、作業の効率と信頼性の向上を目的とするシステムである。

これまでにしても変電所の操作に関するシステムはいくつか存在する^{[5]~[7]}が、これらは制御所（複数の変電所を遠隔操作するセンタ）のためのシステムであり、しかも遠隔操作が可能な高圧回路の機器しか扱っていない。われわれが必要としているのは、指令操作票に記述され電力所員が現地で操作する、保護リレー回路を含むすべての装置を対象とするシステムである。このため本システムでは、多種多様な機器の動作を次のように表現した。各種の変電設備や操作はオブジェクト指向プログラミングの枠組みを用いて表現し、電力系統の電圧の加圧範囲の決定や故障時の異常電流の伝播等の表現には、ATMS (an Assumption-based Truth Maintenance System)^[1]を用いた。ATMSは、命題論理を基礎とするシステムであり、命題間の依存関係を表現できる。この性質を用いて電力系統の電圧や電流等の系統状態を表現すると、各種開閉器の操作に基づく電力系統の状態変化を自動的に矛盾なく扱うことができる。また命題間の依存関係は宣言的に記述すればよく、アルゴリズムによる記述に比べ、知識の保守が容易となる。指令操作票の解釈、実行はプロダクションルールを用いた。

今回開発したシステムは、岡崎変電所をモデルとしたプロトタイプシステムであり、同変電所にてフィールドテストを実施中である。

本システムは、信頼性の高い指令操作票の効率的な作成とともに、変電所の新人専門教育システムにおけるCAIシステムとしての利用でも高い効果を期待できる。

本稿では、ATMSによる系統の状態表現を用いた変電所停電操作支援エキスパートシステムの概要と、ATMSを中心とした知識表現、およびシステムの今後の展開について述べる。

2. 変電所停電操作支援エキスパートシステム

変電所停電操作支援エキスパートシステムは、中部電力の変電所において日々行われている変電設備に対する停電操作をシミュレートするための模擬変電設備であり、日本ユニシスのAIワークステーションKS-303上にKEE*（レベル3）を用いて構築した。

本システムでは、画面上の模擬操作盤上でマウスにより直接各機器を操作し、開閉器の操作を行うことで電圧や電流を伝播させたりすることができる。もし間違った操

* KEE: 米国IntelliCorp社の登録商標である。

作をすると故障を発生させる。また、一連の操作を記述する指令操作票を作成することができ、これを入力としたシミュレーションが行える。そして、このシミュレーションの過程で指令操作票の手順に誤りがあれば、実際に故障をシミュレートし、手順のどこが悪かったのかをアドバイスする。このような機能により、実際の変電設備に対する誤操作を未然に防いだり、故障の発生を模擬変電設備上で経験することができる。

本システムは、①模擬操作盤サブシステム、②指令操作票作成サブシステム、③シミュレーション・コンサルテーションサブシステムの三つのサブシステムからなる。

1) 模擬操作盤サブシステム……模擬操作盤を表現したサブシステムであり、モデルとして中部電力の岡崎変電所を用いている。模擬操作盤には、変電所の系統が単線結線図として表現されている。主機器として、変圧器、しゃ断器、断路器、接地変圧器等の機器が実現されている。しゃ断器や断路器等の開閉器は、マウスから開閉操作が可能である。内部的には、各種のシーケンス（保護方式）も組み込まれており、故障発生時に最初に働くべき保護である主保護と、主保護が働かなかった際の後備保護の関係も実現されている。図1は模擬操作盤の例である。

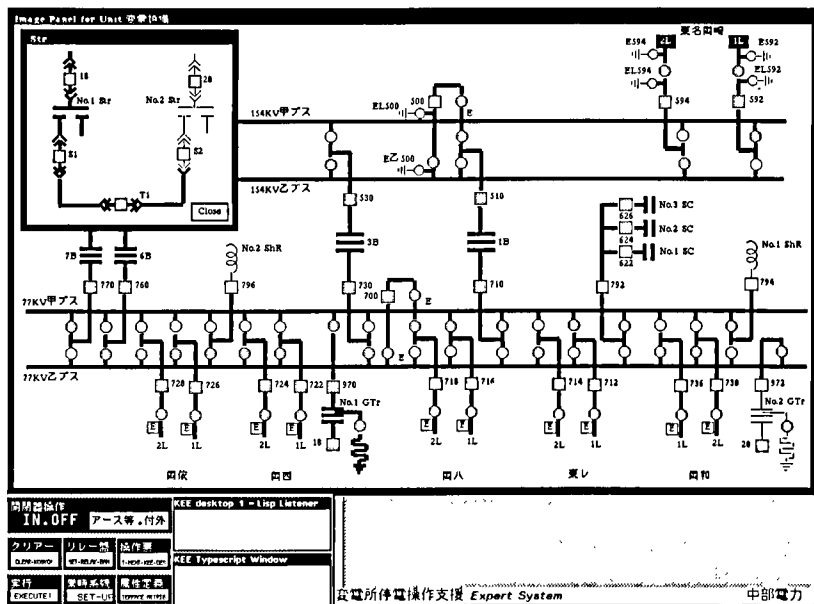


圖 1 模擬操作盤

Fig. 1 Skeleton of substation

2) 指令操作票作成サブシステム……エンドユーザである変電所の指令操作員が指令操作票を簡単に作成・修正ができることを目的とした指令操作票作成のためのインテリジェントな専用エディタである。このエディタで作成する指令操作票は、行ごとには設備構成に矛盾した操作は記述できないようになっている。何行にもわたる操作の意味を検証するのはシミュレータが行う。このエディタで作成した指令操作票は、シミュレータで連続的に実行可能である。図2は指令操作票エディタの例である。

順 序	所名	操作機器名	開閉器番号	操作	注意事項
地 指 指	指 令	操 作			
		（ 間ハ1L 停止 ）			
		受継事項			
		停電範囲	間ハ1L	甲716,乙716,CE716,L716 off E716 付	
		操禁設定	間ハ1L	上記全部	
1	間略	現場機種ロック	(K)甲716	付	-*-
2	//	//	(K)乙716	付	-*-
3	//	//	(K)乙716	付	-*-
4	//	//	(K)E716	付	-*-
5	//	間ハ1L	EG	E716	エアロック
6	//	//	LS	L716 CB閉	検電
		作業引継			
		確認事項			
		停電範囲	機器開閉状態	ロック状況	給電アース
7	間略	間ハ1L	LS	L716 CB閉	(E)1 付
	-*-	-*-			-*-
		（ 間ハ1L 復旧 ）			
1	間略	間ハ1L	LS	L716 CB閉	(E)1 外
		作業終了引継			
		確認事項			
		停電範囲	機器開閉状態	ロック状況	給電アース
2	間略	現場機種ロック	(K)甲716	外	-*-
3	//	//	(K)乙716	外	-*-
4	//	//	(K)乙716	外	-*-
		***** 操作票 *****			
		***** コンサルテーション *****			

KEE Typescript Wind editor2-desktop - Lisp Listener
SendMessage
value: NIL
形式3 パネル
形式1 変数
形式2 変数
形式3 変数
形式4 変数
形式5 変数
形式6 変数
形式7 変数
形式8 変数
形式9 変数
形式10 変数
形式11 変数
形式12 変数
形式13 変数
形式14 変数
形式15 変数
形式16 変数
形式17 変数
形式18 変数
形式19 変数
形式20 変数
形式21 変数
形式22 変数
形式23 変数
形式24 変数
形式25 変数
形式26 変数
形式27 変数
形式28 変数
形式29 変数
形式30 変数
形式31 変数
形式32 変数
形式33 変数
形式34 変数
形式35 変数
形式36 変数
形式37 変数
形式38 変数
形式39 変数
形式40 変数
形式41 変数
形式42 変数
形式43 変数
形式44 変数
形式45 変数
形式46 変数
形式47 変数
形式48 変数
形式49 変数
形式50 変数
形式51 変数
形式52 変数
形式53 変数
形式54 変数
形式55 変数
形式56 変数
形式57 変数
形式58 変数
形式59 変数
形式60 変数
形式61 変数
形式62 変数
形式63 変数
形式64 変数
形式65 変数
形式66 変数
形式67 変数
形式68 変数
形式69 変数
形式70 変数
形式71 変数
形式72 変数
形式73 変数
形式74 変数
形式75 変数
形式76 変数
形式77 変数
形式78 変数
形式79 変数
形式80 変数
形式81 変数
形式82 変数
形式83 変数
形式84 変数
形式85 変数
形式86 変数
形式87 変数
形式88 変数
形式89 変数
形式90 変数
形式91 変数
形式92 変数
形式93 変数
形式94 変数
形式95 変数
形式96 変数
形式97 変数
形式98 変数
形式99 変数
形式100 変数
形式101 変数
形式102 変数
形式103 変数
形式104 変数
形式105 変数
形式106 変数
形式107 変数
形式108 変数
形式109 変数
形式110 変数
形式111 変数
形式112 変数
形式113 変数
形式114 変数
形式115 変数
形式116 変数
形式117 変数
形式118 変数
形式119 変数
形式120 変数
形式121 変数
形式122 変数
形式123 変数
形式124 変数
形式125 変数
形式126 変数
形式127 変数
形式128 変数
形式129 変数
形式130 変数
形式131 変数
形式132 変数
形式133 変数
形式134 変数
形式135 変数
形式136 変数
形式137 変数
形式138 変数
形式139 変数
形式140 変数
形式141 変数
形式142 変数
形式143 変数
形式144 変数
形式145 変数
形式146 変数
形式147 変数
形式148 変数
形式149 変数
形式150 変数
形式151 変数
形式152 変数
形式153 変数
形式154 変数
形式155 変数
形式156 変数
形式157 変数
形式158 変数
形式159 変数
形式160 変数
形式161 変数
形式162 変数
形式163 変数
形式164 変数
形式165 変数
形式166 変数
形式167 変数
形式168 変数
形式169 変数
形式170 変数
形式171 変数
形式172 変数
形式173 変数
形式174 変数
形式175 変数
形式176 変数
形式177 変数
形式178 変数
形式179 変数
形式180 変数
形式181 変数
形式182 変数
形式183 変数
形式184 変数
形式185 変数
形式186 変数
形式187 変数
形式188 変数
形式189 変数
形式190 変数
形式191 変数
形式192 変数
形式193 変数
形式194 変数
形式195 変数
形式196 変数
形式197 変数
形式198 変数
形式199 変数
形式200 変数
形式201 変数
形式202 変数
形式203 変数
形式204 変数
形式205 変数
形式206 変数
形式207 変数
形式208 変数
形式209 変数
形式210 変数
形式211 変数
形式212 変数
形式213 変数
形式214 変数
形式215 変数
形式216 変数
形式217 変数
形式218 変数
形式219 変数
形式220 変数
形式221 変数
形式222 変数
形式223 変数
形式224 変数
形式225 変数
形式226 変数
形式227 変数
形式228 変数
形式229 変数
形式230 変数
形式231 変数
形式232 変数
形式233 変数
形式234 変数
形式235 変数
形式236 変数
形式237 変数
形式238 変数
形式239 変数
形式240 変数
形式241 変数
形式242 変数
形式243 変数
形式244 変数
形式245 変数
形式246 変数
形式247 変数
形式248 変数
形式249 変数
形式250 変数
形式251 変数
形式252 変数
形式253 変数
形式254 変数
形式255 変数
形式256 変数
形式257 変数
形式258 変数
形式259 変数
形式260 変数
形式261 変数
形式262 変数
形式263 変数
形式264 変数
形式265 変数
形式266 変数
形式267 変数
形式268 変数
形式269 変数
形式270 変数
形式271 変数
形式272 変数
形式273 変数
形式274 変数
形式275 変数
形式276 変数
形式277 変数
形式278 変数
形式279 変数
形式280 変数
形式281 変数
形式282 変数
形式283 変数
形式284 変数
形式285 変数
形式286 変数
形式287 変数
形式288 変数
形式289 変数
形式290 変数
形式291 変数
形式292 変数
形式293 変数
形式294 変数
形式295 変数
形式296 変数
形式297 変数
形式298 変数
形式299 変数
形式300 変数
形式301 変数
形式302 変数
形式303 変数
形式304 変数
形式305 変数
形式306 変数
形式307 変数
形式308 変数
形式309 変数
形式310 変数
形式311 変数
形式312 変数
形式313 変数
形式314 変数
形式315 変数
形式316 変数
形式317 変数
形式318 変数
形式319 変数
形式320 変数
形式321 変数
形式322 変数
形式323 変数
形式324 変数
形式325 変数
形式326 変数
形式327 変数
形式328 変数
形式329 変数
形式330 変数
形式331 変数
形式332 変数
形式333 変数
形式334 変数
形式335 変数
形式336 変数
形式337 変数
形式338 変数
形式339 変数
形式340 変数
形式341 変数
形式342 変数
形式343 変数
形式344 変数
形式345 変数
形式346 変数
形式347 変数
形式348 変数
形式349 変数
形式350 変数
形式351 変数
形式352 変数
形式353 変数
形式354 変数
形式355 変数
形式356 変数
形式357 変数
形式358 変数
形式359 変数
形式360 変数
形式361 変数
形式362 変数
形式363 変数
形式364 変数
形式365 変数
形式366 変数
形式367 変数
形式368 変数
形式369 変数
形式370 変数
形式371 変数
形式372 変数
形式373 変数
形式374 変数
形式375 変数
形式376 変数
形式377 変数
形式378 変数
形式379 変数
形式380 変数
形式381 変数
形式382 変数
形式383 変数
形式384 変数
形式385 変数
形式386 変数
形式387 変数
形式388 変数
形式389 変数
形式390 変数
形式391 変数
形式392 変数
形式393 変数
形式394 変数
形式395 変数
形式396 変数
形式397 変数
形式398 変数
形式399 変数
形式400 変数
形式401 変数
形式402 変数
形式403 変数
形式404 変数
形式405 変数
形式406 変数
形式407 変数
形式408 変数
形式409 変数
形式410 変数
形式411 変数
形式412 変数
形式413 変数
形式414 変数
形式415 変数
形式416 変数
形式417 変数
形式418 変数
形式419 変数
形式420 変数
形式421 変数
形式422 変数
形式423 変数
形式424 変数
形式425 変数
形式426 変数
形式427 変数
形式428 変数
形式429 変数
形式430 変数
形式431 変数
形式432 変数
形式433 変数
形式434 変数
形式435 変数
形式436 変数
形式437 変数
形式438 変数
形式439 変数
形式440 変数
形式441 変数
形式442 変数
形式443 変数
形式444 変数
形式445 変数
形式446 変数
形式447 変数
形式448 変数
形式449 変数
形式450 変数
形式451 変数
形式452 変数
形式453 変数
形式454 変数
形式455 変数
形式456 変数
形式457 変数
形式458 変数
形式459 変数
形式460 変数
形式461 変数
形式462 変数
形式463 変数
形式464 変数
形式465 変数
形式466 変数
形式467 変数
形式468 変数
形式469 変数
形式470 変数
形式471 変数
形式472 変数
形式473 変数
形式474 変数
形式475 変数
形式476 変数
形式477 変数
形式478 変数
形式479 変数
形式480 変数
形式481 変数
形式482 変数
形式483 変数
形式484 変数
形式485 変数
形式486 変数
形式487 変数
形式488 変数
形式489 変数
形式490 変数
形式491 変数
形式492 変数
形式493 変数
形式494 変数
形式495 変数
形式496 変数
形式497 変数
形式498 変数
形式499 変数
形式500 変数
形式501 変数
形式502 変数
形式503 変数
形式504 変数
形式505 変数
形式506 変数
形式507 変数
形式508 変数
形式509 変数
形式510 変数
形式511 変数
形式512 変数
形式513 変数
形式514 変数
形式515 変数
形式516 変数
形式517 変数
形式518 変数
形式519 変数
形式520 変数
形式521 変数
形式522 変数
形式523 変数
形式524 変数
形式525 変数
形式526 変数
形式527 変数
形式528 変数
形式529 変数
形式530 変数
形式531 変数
形式532 変数
形式533 変数
形式534 変数
形式535 変数
形式536 変数
形式537 変数
形式538 変数
形式539 変数
形式540 変数
形式541 変数
形式542 変数
形式543 変数
形式544 変数
形式545 変数
形式546 変数
形式547 変数
形式548 変数
形式549 変数
形式550 変数
形式551 変数
形式552 変数
形式553 変数
形式554 変数
形式555 変数
形式556 変数
形式557 変数
形式558 変数
形式559 変数
形式560 変数
形式561 変数
形式562 変数
形式563 変数
形式564 変数
形式565 変数
形式566 変数
形式567 変数
形式568 変数
形式569 変数
形式570 変数
形式571 変数
形式572 変数
形式573 変数
形式574 変数
形式575 変数
形式576 変数
形式577 変数
形式578 変数
形式579 変数
形式580 変数
形式581 変数
形式582 変数
形式583 変数
形式584 変数
形式585 変数
形式586 変数
形式587 変数
形式588 変数
形式589 変数
形式590 変数
形式591 変数
形式592 変数
形式593 変数
形式594 変数
形式595 変数
形式596 変数
形式597 変数
形式598 変数
形式599 変数
形式600 変数
形式601 変数
形式602 変数
形式603 変数
形式604 変数
形式605 変数
形式606 変数
形式607 変数
形式608 変数
形式609 変数
形式610 変数
形式611 変数
形式612 変数
形式613 変数
形式614 変数
形式615 変数
形式616 変数
形式617 変数
形式618 変数
形式619 変数
形式620 変数
形式621 変数
形式622 変数
形式623 変数
形式624 変数
形式625 変数
形式626 変数
形式627 変数
形式628 変数
形式629 変数
形式630 変数
形式631 変数
形式632 変数
形式633 変数
形式634 変数
形式635 変数
形式636 変数
形式637 変数
形式638 変数
形式639 変数
形式640 変数
形式641 変数
形式642 変数
形式643 変数
形式644 変数
形式645 変数
形式646 変数
形式647 変数
形式648 変数
形式649 変数
形式650 変数
形式651 変数
形式652 変数
形式653 変数
形式654 変数
形式655 変数
形式656 変数
形式657 変数
形式658 変数
形式659 変数
形式660 変数
形式661 変数
形式662 変数
形式663 変数
形式664 変数
形式665 変数
形式666 変数
形式667 変数
形式668 変数
形式669 変数
形式670 変数
形式671 変数
形式672 変数
形式673 変数
形式674 変数
形式675 変数
形式676 変数
形式677 変数
形式678 変数
形式679 変数
形式680 変数
形式681 変数
形式682 変数
形式683 変数
形式684 変数
形式685 変数
形式686 変数
形式687 変数
形式688 変数
形式689 変数
形式690 変数
形式691 変数
形式692 変数
形式693 変数
形式694 変数
形式695 変数
形式696 変数
形式697 変数
形式698 変数
形式699 変数
形式700 変数
形式701 変数
形式702 変数
形式703 変数
形式704 変数
形式705 変数
形式706 変数
形式707 変数
形式708 変数
形式709 変数
形式710 変数
形式711 変数
形式712 変数
形式713 変数
形式714 変数
形式715 変数
形式716 変数
形式717 変数
形式718 変数
形式719 変数
形式720 変数
形式721 変数
形式722 変数
形式723 変数
形式724 変数
形式725 変数
形式726 変数
形式727 変数
形式728 変数
形式729 変数
形式730 変数
形式731 変数
形式732 変数
形式733 変数
形式734 変数
形式735 変数
形式736 変数
形式737 変数
形式738 変数
形式739 変数
形式740 変数
形式741 変数
形式742 変数
形式743 変数
形式744 変数
形式745 変数
形式746 変数
形式747 変数
形式748 変数
形式749 変数
形式750 変数
形式751 変数
形式752 変数
形式753 変数
形式754 変数
形式755 変数
形式756 変数
形式757 変数
形式758 変数
形式759 変数
形式760 変数
形式761 変数
形式762 変数
形式763 変数
形式764 変数
形式765 変数
形式766 変数
形式767 変数
形式768 変数
形式769 変数
形式770 変数
形式771 変数
形式772 変数
形式773 変数
形式774 変数
形式775 変数
形式776 変数
形式777 変数
形式778 変数
形式779 変数
形式780 変数
形式781 変数
形式782 変数
形式783 変数
形式784 変数
形式785 変数
形式786 変数
形式787 変数
形式788 変数
形式789 変数
形式790 変数
形式791 変数
形式792 変数
形式793 変数
形式794 変数
形式795 変数
形式796 変数
形式797 変数
形式798 変数
形式799 変数
形式800 変数
形式801 変数
形式802 変数
形式803 変数
形式804 変数
形式805 変数
形式806 変数
形式807 変数
形式808 変数
形式809 変数
形式810 変数
形式811 変数
形式812 変数
形式813 変数
形式814 変数
形式815 変数
形式816 変数
形式817 変数
形式818 変数
形式819 変数
形式820 変数
形式821 変数
形式822 変数
形式823 変数
形式824 変数
形式825 変数
形式826 変数
形式827 変数
形式828 変数
形式829 変数
形式830 変数
形式831 変数
形式832 変数
形式833 変数
形式834 変数
形式835 変数
形式836 変数
形式837 変数
形式838 変数
形式839 変数
形式840 変数
形式841 変数
形式842 変数
形式843 変数
形式844 変数
形式845 変数
形式846 変数
形式847 変数
形式848 変数
形式849 変数
形式850 変数
形式851 変数
形式852 変数
形式853 変数
形式854 変数
形式855 変数
形式856 変数
形式857 変数
形式858 変数
形式859 変数
形式860 変数
形式861 変数
形式862 変数
形式863 変数
形式864 変数
形式865 変数
形式866 変数
形式867 変数
形式868 変数
形式869 変数
形式870 変数
形式871 変数
形式872 変数
形式873 変数
形式874 変数
形式875 変数
形式876 変数
形式877 変数
形式878 変数
形式879 変数
形式880 変数
形式881 変数
形式882 変数
形式883 変数
形式884 変数
形式885 変数
形式886 変数
形式887 変数
形式888 変数
形式889 変数
形式890 変数
形式891 変数
形式892 変数
形式893 変数
形式894 変数
形式895 変数
形式896 変数
形式897 変数
形式898 変数
形式899 変数
形式900 変数
形式901 変数
形式902 変数
形式903 変数
形式904 変数
形式905 変数
形式906 変数
形式907 変数
形式908 変数
形式909 変数
形式910 変数
形式911 変数
形式912 変数
形式913 変数
形式914 変数
形式915 変数
形式916 変数
形式917 変数
形式918 変数
形式919 変数
形式920 変数
形式921 変数
形式922 変数
形式923 変数
形式924 変数
形式925 変数
形式926 変数
形式927 変数
形式928 変数
形式929 変数
形式930 変数
形式931 変数
形式932 変数
形式933 変数
形式934 変数
形式935 変数
形式936 変数
形式937 変数
形式938 変数
形式939 変数
形式940 変数
形式941 変数
形式942 変数
形式943 変数
形式944 変数
形式945 変数
形式946 変数
形式947 変数
形式948 変数
形式949 変数
形式950 変数
形式951 変数
形式952 変数
形式953 変数
形式954 変数
形式955 変数
形式956 変数
形式957 変数
形式958 変数
形式959 変数
形式960 変数
形式961 変数
形式962 変数
形式963 変数
形式964 変数
形式965 変数
形式966 変数
形式967 変数
形式968 変数
形式969 変数
形式970 変数
形式971 変数
形式972 変数
形式973 変数
形式974 変数
形式975 変数
形式976 変数
形式977 変数
形式978 変数
形式979 変数
形式980 変数
形式981 変数
形式982 変数
形式983 変数
形式984 変数
形式985 変数
形式986 変数
形式987 変数
形式988 変数
形式989 変数
形式990 変数
形式991 変数
形式992 変数
形式993 変数
形式994 変数
形式995 変数
形式996 変数
形式997 変数
形式998 変数
形式999 変数
形式1000 変数

図 2 指令操作票エディタ

Fig.2 Command table editor for substation

3) シミュレーション・コンサルテーションサブシステム……作成した指令操作票は、指令操作票を解釈・実行するプロダクションルールを用いて連続的に実行を行ったり、マウスから直接機器を操作することでシミュレーションを行い指令操作の正当性を検証できる。指令操作に誤りがあった際にはコンサルテーションを行い、故障を発生させるような操作に対しては、実際に故障発生をシミュレートする。

3. 知識表現

本システムの構築には、KEEを用いた。KEEはフレームを基本とした知識表現を用いており、プロダクションルール、ワールド（多重世界機構）、ATMS等による知識表現ができる。

3.1 フレームによる変電設備の表現

KEEではフレームのことをユニットと呼ぶ。ユニットは対象を表現するのに用いる。各対象には属性が記述できスロットで表現する。

図3は、「CB 592」というしゃ断器のユニット表現であり、属性として「電圧」の他に、開閉状態を表す「状態」等が定義されている。

保護リレーは、線路や母線を監視するデーモン（ユニットの一種）として実現しており、地絡事故や短絡事故の際に自動的に動作させることができる。

図4は、変電所において使用される変電設備のユニットのグラフ表現である。

グラフの階層関係は、概念の抽象－具体的の関係を表現しており、左のユニットが抽象度が高く、右へ行くほど具体的な概念となる。抽象的な概念はクラスといい、最も

右側にある CB 592 等のユニットは、実体を表現しておりインスタンスという。フレームに階層関係があると、属性を継承させることができる。たとえば、変電設備ユニットに定義した属性は CB 592 まで継承される。ここでは、変電設備ユニットに各変電設備の加圧状態を表す「電圧」というスロットを定義し、各変電設備へ継承させており各インスタンスのレベルで個々の属性値が定義される。

III The CB592 Unit in 変電所ES Knowledge Base	
Unit: CB592 in knowledge base 変電所ES Created by RYU on 8-16-88 13:13:12 Modified by CEP31 on 9-25-90 15:57:33 Member On エアロック設定機器 in エアロックKB, CB154L, 母線保護CB154-WITHOUT-TRANS関係 n 保護対象表現KB, 線路保護CB in 保護対象表	
Own slot: DC from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: (ONE.OF IN OFF) Avunits: DC-監視-DEAMON in 保護対象 Comment: "協作用電源" Values: IN	Own slot: ブス側 from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: 回線 Values: 東名 1LC
Own slot: L側 from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: 回線 Values: 東名 1LB	Own slot: 故障除去! from 変電設備 Inheritance: METHOD ValueClass: METHOD Values: 故障除去!
Own slot: アース from 変電設備 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: (ONE.OF 付 外) Comment: "Values: UNKNOWN, nil, 外 外, Other ==> アース.付" Values: UNKNOWN	Own slot: 故障電流 from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES Values: UNKNOWN
Own slot: アースポイント from 変電設備 Inheritance: OVERRIDE.VALUES Values: UNKNOWN	Own slot: 状態 from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: (ONE.OF IN OFF) Avunits: CB592-IMAGE Values: IN
Own slot: エア from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: (ONE.OF ロック 活かし) Avunits: エアロック監視-DEAMON in B Values: 活かし	Own slot: 接続設備 from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: 変電設備 Values: 東名 1LB, 東名 1LC
	Own slot: 電圧 from CB592 Inheritance: OVERRIDE.VALUES ValueClass: (ONE.OF あり) Values: あり

図 3 「CB592」のユニット表現

Fig. 3 Unit representation of CB592

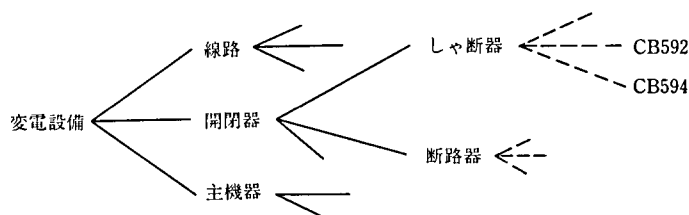


図 4 変電設備のユニットのグラフ

Fig. 4 Unit graph of substation facilities

変電設備をユニットとして表現することで、計算機上に現実の変電設備のモデルが現実に近い形で表現でき、結果としてでき上がるシステムはわかりやすくなる。

これらの、ユニット、ATMS、プロダクションルール等を用いて知識表現したものを総称して知識ベースと呼ぶ。

3.2 ATMS による知識表現

3.2.1 非単調論理

古典論理等の通常の論理で、論理的帰結として導くことのできる結論の集合は公理(知識)の追加に対して単調であり、新しい知識の追加によって結論が増えることはあっても減ることは決してない。しかし、人間の世界においては、あることを仮定として思考(推論)を進めていくと、新しい知識によって仮定が成立しなくなることがある。人間は、その時点でこの仮定を前提として真と思っていた事柄を覆すこと(すなわち翻意)がある。このように、公理(知識)の増加に対して結論の増加が単調でないような論理体系を非単調論理^{[8][9]}という。

非単調論理を実現するために開発された代表的なシステムに ATMS がある。

3.2.2 ATMS

ATMS は、「仮説に基づく真実の管理機構」という。ATMS は命題論理を基礎としたシステムであり、知識ベース上での命題の真偽を自動的に取り扱う。命題間の関係は、命題のホーン節を宣言することでその依存関係を定義できる。その宣言文を justification という。各命題は node で表現され、各 node はその命題が信じられているかどうかを保存するための環境、すなわち仮説の集合と、その node を結論部とする justification、およびその node を前提部に持つ justification を保持している。環境が空でない限りその命題は信じられており、それを belief と呼ぶ。任意の命題は、仮説により belief となり、ATMS は、justification を用いて他の belief を導き出す。もし、ある仮説が真でなくなる(すなわち翻意)と、その仮説を前提として belief となっていた命題群はその知識ベースでは信じられなくなる。

本システムでは、電力系統の電圧の加圧範囲の決定や故障時の電流の伝播、母線間のブリッジ条件の判定等に ATMS を用いた。

3.2.3 ATMS による電圧の表現

変電所は他の変電所から電力の供給を受け、その電力を降圧または昇圧して他の変電所へ渡す。この際に他の変電所との電力をやりとりする線路があり、その一つを例に説明する。東名 1L という線路は、東名古屋変電所から岡崎変電所へ電力を供給している線路であり、この線路の電圧の伝播を ATMS を用いると以下のように表現できる。

東名 1L は、図 5 に示す機器から構成される。

断路器とはスイッチであり、人間系で意図して開閉操作を行うもので、人間系以外で勝手に回路を切ることはできない。しゃ断器とはブレーカであり、人間系で意図して開閉操作を行うことの他に、過大な電流が流れるといった異常事態の発生した際に、保護回路によって自動的にしゃ断(回路を切り離す)することができる。これらの機器の関係において、次のような宣言を行っている。

(宣言 (L 592 電圧 あり)) :- (L 592 状態 IN) (東名 1LA 電圧 あり))

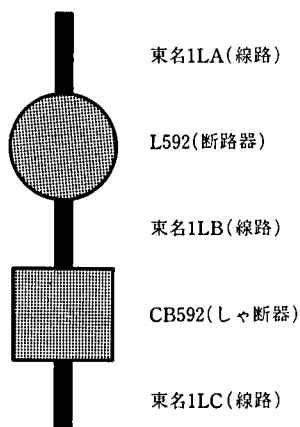


図 5 東名 1L (東名古屋 1 号線路)

Fig. 5 Electric facilities for TOMEI 1L

この記述は命題論理のホーン節の定義であり、宣言の「:-」の右辺は前提部を、左辺は結論部を意味する。したがってこの宣言は、「もし L 592 の状態が IN で、かつ東名 1 LA に電圧があり、ならば L 592 の電圧がありを信じる」ことを宣言している。この宣言により、前提部が成立した時点で結論部が ATMS により自動的に真となり、前提部が成立しなくなると、結論部も自動的に成立しなくなる。一般的なプロダクションルールシステムでは、強制的に推論の指示をしないうり何も行わないし、推論の結果が通常副作用として残るが、ATMS は常に前提部が成立しているかどうかを監視しており、システム全体としての状態の変更を無矛盾、かつ自動的に行い副作用もない。

L 592 の電圧の伝播以外に、東名 1 LB, CB 592, 東名 1 LC も同様に定義する。なお、東名 1 L の「A」「B」「C」は、線路の部分を区別するために便宜的に付けたものである。

(宣言 (東名 1 LB 電圧 あり) :- (L 592 電圧 あり))

(宣言 (CB 592 電圧 あり) :- (CB 592 状態 IN) (東名 1 LB 電圧 あり))

(宣言 (東名 1 LC 電圧 あり) :- (CB 592 電圧 あり))

これらの宣言により、東名 1 L の上方から下方に向かう電圧の伝播の宣言ができたことになる。

ATMS の宣言の特徴は、各機器に隣り合った機器同士の関係だけに着目して、電圧の伝播のための宣言をしておけばよいということである。すなわち、宣言する順番等には気にせずに宣言できる。このようにアルゴリズムに依らず、宣言的に記述した知識を宣言的知識と呼ぶ。宣言的知識の利点は、知識の記述の際に宣言する順番を気にする必要がない点であり、知識の保守という点で優れている。

上記に示した宣言は、上方にある機器から下方にある機器に向かって電圧の伝播を宣言している。下方の機器から上方の機器に向かって逆に宣言すれば、電圧の逆伝(逆に向かう伝播)を宣言できる。

同様な定義を、接続関係にある機器間で宣言することで、電圧の供給や逆伝が容易に表現できる。

図 6 は CB 592 への電圧の伝播を図示している。

このグラフは「真」になっている命題同士の関係を表現したもので、「FROM.BACKGROUND.ONLY」から直接つながった命題が、仮説（すなわち事実）により「真」となっている命題であり、justificationにより上位に向かって新たに「真」となった命題が導出されていることを示している。

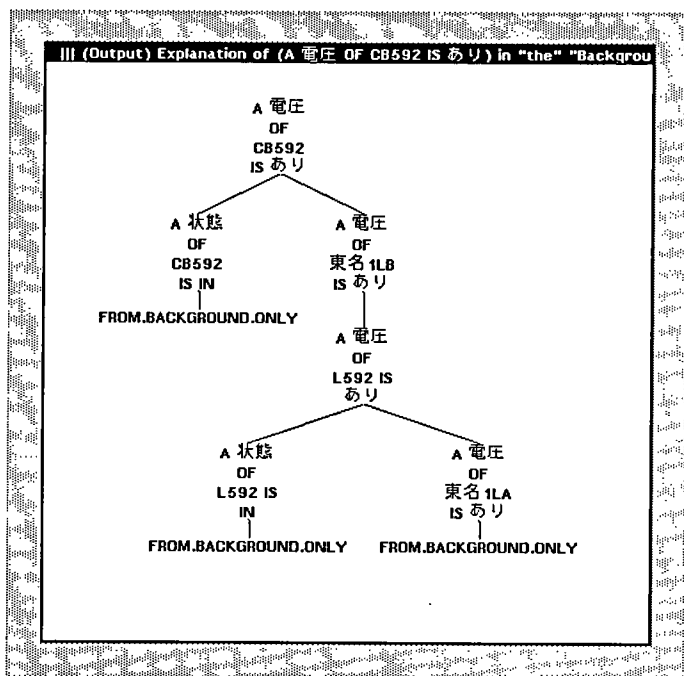


図 6 CB592 への電圧の伝播

Fig. 6 Propagation of voltage to CB592

3.2.4 系統故障時の故障電流の表現

次の宣言は、岡西 2 L (岡崎変電所から西尾変電所への第 2 線路) の故障電流の伝播を宣言している。

(宣言 (L 724 故障電流 あり) :- (L 724 電圧 あり)
 (岡西 2 LA 故障電流 あり))
 (宣言 (岡西 2 LB 故障電流 あり) :- (L 724 故障電流 あり))
 (宣言 (CB 724 故障電流 あり) :- (CB 724 電圧 あり)
 (岡西 2 LB 故障電流 あり))

線路や母線を監視しているデーモンは地絡や短絡を発見した際には、その地点に故障電流「あり」を事実として付け加える。ATMS は、この事実を仮説として定義した宣言をもとに、つぎつぎに故障電流を伝播させていく。

例として岡西 2 LA に地絡故障が発生したとする。岡西 2 LA を監視しているデーモンは、岡西 2 LA に事実として故障電流「あり」を与える。この故障電流を「仮説」として ATMS が故障電流を系統に伝播させていく。図 7 は岡西 2 LA から故障電流が伝播していく様子を表している。

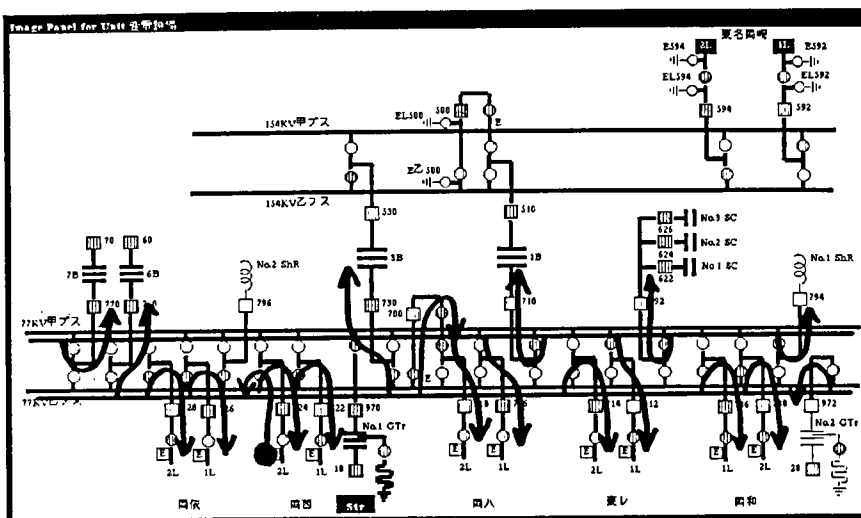


Fig. 7 Propagation paths of abnormal-current from Oka-nishi-2LA

故障電流の伝播を ATMS のグラフで表現すれば図 8 のようになる。

このグラフに示されたとおり、岡西 2 L を監視しているデーモンにより、岡西 2 LA に故障電流「あり」が付加され、ATMS の宣言により、岡西 2 LA の故障電流「あり」を仮説として故障電流が伝播していく。

この場合、岡西盤の主保護（主である保護方式）により CB 724 がしゃ断すれば、CB 724 の状態が「IN」を条件に成立していた CB 724 の電圧「あり」が成立しなくなり、CB 724 の電圧「あり」から上方に向かうグラフ（太線から上方に向かうグラフ）が消失する。すなわち、故障電流が CB 724 の先の系列である岡西 2 LB から母線側（変電所の中心に位置する線）に向かって上位では消失する。もし岡西盤の主保護がロックされていて、主保護により CB 724 がしゃ断できなければ、後備保護（主保護が働かなかった際の予備の保護方式）として 77 kV の母線保護が働き、CB 724 をしゃ断させる。仮りに CB 724 がしゃ断しなくても、CB 724 に電圧を供給しているしゃ断器をしゃ断させることで故障点を分離できる。

このように、変電所は多重保護回路によって保護されているのである。

図 9 は、電圧のかかっている岡西 2 LC に間違ってアースを付けてしまい(ラケットのような形をしたのがアースである)、岡西 2 LC に地絡故障が発生し、主保護である 77 kV 母線保護により故障点が分離された様子である。線の細くなった部分が電圧のなくなった部分を示している。

4. 今後の展開

- 1) 実用化に向けて……本システムは岡崎変電所がモデルになっている。現在は本システムの汎用化研究を進めているが、このシステムを各変電所で利用できるようにするためには、次の点を解決していく必要がある。

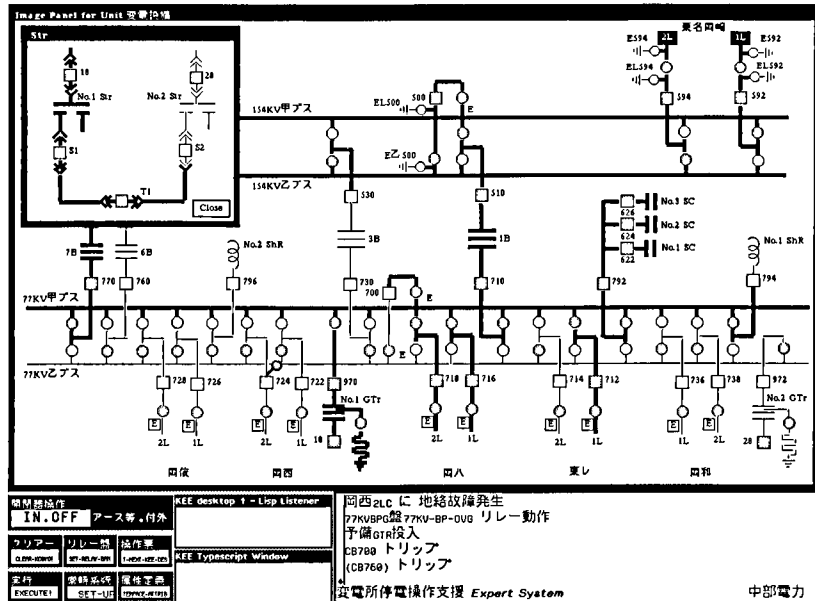


図 9 77 kV 母線保護が働いた図

Fig.9 Simulation at accident

結線図を描いたり、リレー方式の入力が容易にできる必要がある。

- 2) CAI (Computer Assisted Instruction) としての利用……本システムは、実務を支援することを当初の目的としたシステムであるが、机上で変電所を模擬操作でき、その良否のコンサルテーションを得られるため、CAI システムとして見ても高い教育効果が期待できる。今後、中部電力の新入社員教育等に役立てていく計画である。

5. お わ り に

シミュレータのような複雑なソフトウェアの開発に、エキスパートシステムを利用することで、高い生産効率を得られることがわかった。とくに、電力系統の状態のように、各事象間に依存関係のあるものの表現に ATMS が利用でき、その記述の明快さと論理的整合性の保証がシステム構築や保守に非常に有効であることがわかった。

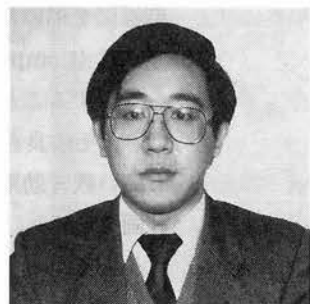
現在、プロトタイプシステムを岡崎電力所に設置し、フィールドテストを実施中である。システムの機能としては満足な評価が得られており、今後、知識ベースの汎用化研究を平成 3 年 7 月までに行い、実用化への評価を行う予定である。

本研究の機会を与えて下さった中部電力(株)高度情報化推進本部システム開発部の田中庸平次長、汎用化研究の機会を与えて下さった同社電力技術研究所情報制御研究室の井上紀宏室長、志澤通正主査をはじめとする関係諸氏、本研究で知識提供やフィールドテストに貴重な時間を割いて下さった矢田四郎氏をはじめとする岡崎電力所変電保守課の諸氏、汎用化研究で知識提供に協力して下さい下さった四日市電力所発変電保守課の鈴木三郎氏、伊藤誠氏、その他関係諸氏に心から感謝の意を表したい。

- 参考文献 [1] J. de Kleer, "An Assumption-based Truth Maintenance System", Artificial Intelligence, Vol. 28, No. 2, 1986, March, pp. 127~162.
- [2] 鈴木常彦, 矢田四郎, 田中庸平, 志澤通正, 工藤隆司, 三宅孝子, 「変電所停電操作支援エキスパートシステム—その(1)—」, 電気学会, 平成元年度全国大会論文集, 1989, pp. 8-115~8-116.
- [3] 鈴木常彦, 田中庸平, 矢田四郎, 志澤通正, 工藤隆司, 塩崎慎治, 伊神克典, 「変電所停電操作支援エキスパート・システム—ATMSによる系統の状態表現—」, 情報処理学会, 第39回全国大会論文集, 1989, pp. 223~224.
- [4] T. Suzuki, M. Shizawa, R. Kudo, "An Expert System for Verification of Switching Sequences at Electric Power Substation. —Simulation of Electric Power System by OOPS—", Proceedings of the Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence '90 (PRICAI '90), 1990, pp. 128~133.
- [5] T. Abe, H. Goto, T. Mizutori, N. Matsuki, "An expert system for generating switching sequences at substation", International Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications 1988, pp. 326~331.
- [6] J. J. Koronen, "An object-oriented representation of a power system and the use of it in real-time operations", International Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications 1988, pp. 309~314.
- [7] S. Osaka, Y. Kono, R. Fujisawa, A. Yamanishi, "Development of the expert system for operation planning of power system", International Workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications 1988, pp. 545~550.
- [8] 中島秀之, 「論理に基づく知識の表現」, 情報処理, Vol. 26, No. 12, 1985, pp. 1512~1519.
- [9] 松本裕治, 佐藤 健, 「非単調論理と常識論理」, 情報処理, Vol. 30, No. 6, 1989, pp. 674~683.

執筆者紹介 鈴木常彦 (Tsunehiko Suzuki)

昭和37年生。60年電気通信大学 電気通信学部応用電子工学科卒業。同年中部電力(株)入社。電力所勤務を経て、62年より技術開発本部研究所情報制御研究室に所属。主にCAD, AI関係のシステム開発研究に従事。



工藤隆司 (Ryuji Kudo)

昭和29年生。55年中央大学経済学部卒業。同年日本ユニシス(株)入社。社内システム教育インストラクタを経た後、59年通産省工業技術院 電子技術総合研究所へ国内留学。61年米国 Unisys にて人工知能のトレーニングを受け、KEEの認定インストラクタとなる。現在、知識システム部に所属し、エキスパートシステムの研究開発業務に従事。情報処理学会会員。



ニューラル・ネットワークの株式売買判断システムへの応用

An Application of Neural Network Technology to a Stock Trading Decision System

浦 上 浩 一

要 約 この数年ニューロ・コンピューティングの研究が盛んになり、さまざまな応用例が発表されている。

ニューラル・ネットワークの最大の特徴である学習機能は、ルールベースの AI システムの「固定的知識であるため状況の変化に追従しにくい」という問題にも柔軟に対応できる。この特徴は、株式の売買判断のシステム化には有効である。システム化の際には、入力項目、教師信号の与え方、ニューラル・ネットワークをどのように組み合わせるか等、検討項目はある。しかし、ルールベースの AI システムに比べて知識獲得の作業を削減することができる。

既存のシステム化技術にルールベースの AI 技術、そしてこのニューラル・ネットワークの技術を取り入れることにより、これまでシステム化がむずかしかった問題に対してもシステム化が進んでいくものと思われる。

Abstract Studies in neuro-computing have become more and more active in recent years, and its applications to various fields have also been reported.

The learning capability which is the greatest feature of neural network technology can give flexible solutions to the problem incidental to a rule-based AI system ; that is, it has difficulty in keeping up with environmental changes because of its fixed knowledge. This advantage is effective for creation of a decision-making system for stock trading. The development of a neural network system requires a careful selection of appropriate input data, and also needs full attention to how to give a teacher's signals and how to build a neural network in terms of its structure. The fact, however, is that the volume of work for acquiring knowledge is smaller than when we create a rule-based AI system.

A new combination of rule-based AI technology and the neural network technology as reported in this paper with existing systems methodologies would allow computers to make inroads into the areas where it has been difficult for computers to find themselves working.

1. は じ め に

この数年、脳の情報処理の仕組みを模倣しようとするニューロ・コンピューティングの研究が一段と盛んになり、音声認識、画像処理、文字認識をはじめとして数々の応用例が発表されている。金融分野でも、株価予測や債券の利回り予測等、従来のルールによる推論をベースとした AI システムでは、あまり試みられなかった分野で実験システムの発表が目につくようになってきた。

本稿では、ニューラル・ネットワークについて簡単に説明し、デモンストレーション用に作成した「株式売買判断システム」の開発経験に基づき、ニューラル・ネットワーク技術の株式売買判断への適用の意義、手法、適用時の問題点等について述べる。

2. ニューラル・ネットワーク

2.1 ニューロンの数理モデル

ニューロンは多入力出力の情報処理素子で、結合した他のニューロンからの入力信号 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ の重み $(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 付き多数決によって、自分の行動(out)を決定すると言われている(式(2-1), (2-2))。つまりニューロンの数理モデルは図1のようになる。

$$y = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (2-1)$$

x_i : i 番目のニューロンからの出力

w_i : i 番目のニューロンの重み

$$\text{out} = f(y) \quad (2-2)$$

f : 伝達関数

伝達関数 f には、シグモイド関数 ($f(x) = 1 / \{1 / (1 + \exp(-x))\}$) が用いられることが多い。

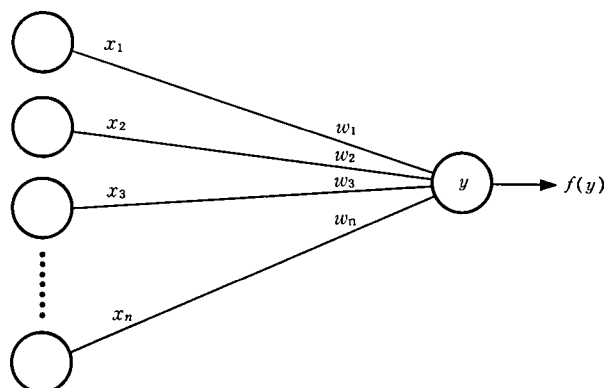


図 1 ニューロンの数理モデル

Fig. 1 Neuron model

2.2 ニューラル・ネットワーク

ニューラル・ネットワークはニューロンが多数結合したモデルで、結合形態は多階層型のものや単層全結合型のもの等が考えられている(図2)。

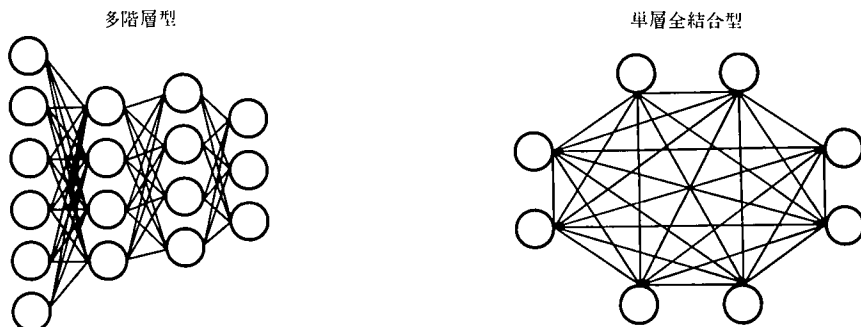


図 2 ニューラル・ネットワークの例

Fig.2 Examples of neural network

2.3 ニューラル・ネットワークの学習

入力層、中間層、出力層の3層からなるニューラル・ネットワークについて説明する(図3)。

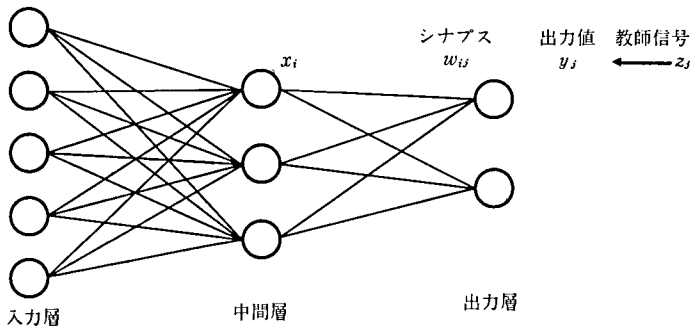


図3 3層からなるニューラル・ネットワークの学習モデル

Fig. 3 Learning model of three layers neural network

入力層に与えられた信号は、中間層、出力層へと順に前述の式(2-1)、(2-2)に基づいて伝わっていく。最終的に出力層のニューロンから出力された信号(y_j)が、このニューラル・ネットワークの出力になる。つぎに、 y_j と教師信号(z_j)との誤差量($(y_j - z_j)^2$)に基づいて出力層、中間層の順に w_{ij} が自動的に調整される。

通常、複数(株式売買判断システムでは数百個)の入力データと教師信号の組み合わせを与えて学習し、学習を繰返すことによって一つのニューラル・ネットワークで複数の入力に対して正しい(教師信号に近い値)出力ができるようになる。ニューラル・ネットワークにおける学習とはこの w の調整のことである。 w の調整のアルゴリズムにはいろいろな方法が考えられているが、一般によく使われているものにバックプロパゲーション・アルゴリズムがある。このアルゴリズムの内容については、数多くの関連書に掲載されているので本稿ではとくに触れない。

2.4 ニューラル・ネットワーク・シミュレータ

これまで説明したニューラル・ネットワークの動き(実行、学習等)をシミュレートするソフトウェアをニューラル・ネットワーク・シミュレータと呼んでいる。当社のパーソナル・ワークステーションPW²ファミリで動くNST(Neural network Simulating Toolkit)を試作した。

NSTは次の二つのツールからなっている。

- 1) NST エンベディングツール……ユーザのCプログラムから、バックプロパゲーション型のニューラル・ネットワークを実行、学習するための関数群である。
- 2) NST コマンドインタプリタツール……会話形式でシミュレータの機能を実行することができる。

図4に、NST コマンドインタプリタの表示例を示す。

NSTの実行スピードは、PW²500E(80386(20MHz)+80387)で学習時14 Kcps(connections per second)、高速演算ボードを付加すると数十倍に達する。

```

*****
NST (Neural network Simulating Toolkit) Command Interpreter

Copyright (c) 1990 by 日本ユニシス (株) . All rights reserved.
*****

ENTERキーを押してください
*** ニューラル・ネット処理選択メニュー ***

1: ニューラル・ネットの定義
2: シナプスのロード
3: シナプスのセーブ
4: パラメータ変更
5: シナプスの初期化
6: 実行
7: 学習
99: 終了

パラメータの定義
モーメントの値を入力してください。 -----> 0.7
 $\beta$  値を入力してください。 -----> 0.5
シナプス最大値を入力してください。 -----> 0.5
バイアス値を入力してください。 -----> 0.5
学習回数を入力してください。 -----> 1000
学習データ件数を入力してください。 -----> 4
学習データ・ファイル名を入力してください。 -----> input.dat
教師信号データ・ファイル名を入力してください。 -----> answer.dat
コメントを入力してください。 -----> xorのテスト

OK? 学習 (シナプスの調整)

学習データ・ファイル : input.dat
教師信号データ・ファイル: answer.dat

誤差合計値を毎回出力しますか? -----> (Y/N) n
第 1 件目第 1 番目の入力データ = 1.00 n
第 1 件目第 2 番目の入力データ = 1.00
第 2 件目第 1 番目の入力データ = 0.00
第 2 件目第 2 番目の入力データ = 1.00
第 3 件目第 1 番目の入力データ = 1.00
第 3 件目第 2 番目の入力データ = 0.00
第 4 件目第 1 番目の入力データ = 0.00
第 4 件目第 2 番目の入力データ = 0.00
第 1 件目第 1 番目の教師信号 = 0.00
第 2 件目第 1 番目の教師信号 = 1.00
第 3 件目第 1 番目の教師信号 = 1.00
第 4 件目第 1 番目の教師信号 = 0.00
第 1 番目の出力値 = 0.5881
第 2 番目の出力値 = 0.5893
第 3 番目の出力値 = 0.5908
第 4 番目の出力値 = 0.6106
誤差合計値 = 2.0186

```

図 4 NST コマンドインタープリタの表示例

Fig. 4 Display examples of NST command interpreter

3. 株式売買判断へのニューラル・ネットワークの適用

3.1 株式売買判断とニューラル・ネットワーク適用の意義

株式売買判断とは、対象銘柄の株価や出来高の最近の動き、為替、金利等の外部要因等に加え、直感、ひらめき等を考慮してその銘柄は現在売りの状況にあるのか、買いの状況にあるのかを判断することである。

専門家(ディーラ)は、その株が為替や金利にどのように反応するのか、また株価変動の癖等を過去のディーリングの経験から体得している。

株式運用戦略の例として、逆張り(株価が上昇し始めたら売り、下降し始めたら買う)と順張り(逆張りの逆)の戦略があるが、どちらが良いかは相場の変化によって変わっ

てくると言われている。ある期間で順張りのパフォーマンスが良いと順張り戦略をとるディーラーが増え、逆に逆張り戦略のパフォーマンスが良くなってくる。このサイクルは繰り返され絶えず変化していく。そのため固定的なルールだけでは対応できなくなってくる。

ルールによる推論をベースとした AI システムでは、以上のような知識を専門家から聞き出し(知識獲得)システム化することにより、これまで銘柄診断システムのようなシステムがいくつか作られてきた。しかし、知識獲得のむずかしさ、固定的知識であるため状況の変化に追従できない等の問題点がいくつか指摘されてきた。

ニューラル・ネットワークの最大の特徴として学習機能があげられる。適当な構成(入力信号、出力信号、教師信号の与え方等)を決定できれば、ルールベースの AI システム開発の際のボトルネックとなっていた知識獲得作業を大幅に削減することができる。またニューラル・ネットワークを相場の変化に対応させて学習させ、その時の相場に適したニューラル・ネットワークを構築できれば、状況の変化の問題にも対応できる。

3. 2 売買シグナル・ニューラル・ネットワークの構築

銘柄の株価の分析結果を入力信号とし、入力信号のパターンに対する 5 日後の株価の変動率を出力信号とした。つまり、現在の分析結果の入力に対して、5 日後の株価の変動率を出力するニューラル・ネットワークである(図 5)。次に入力信号の数と項目であるが、これはルールベースの AI システムと同様に専門家から調査することになるが、項目の因果関係を調べる必要はないので従来の知識獲得に比べると負担はわずかである。とは言え、株価の分析結果以外に(為替、債券利回り、原油価格、短期・長期金利等)どこまで入力対象にするかは、むずかしい問題である。デモシステムでは、サイコロジカル・ライン、オシレータ、RSI、コボック指標、高安平均カイリ率等のテクニカル分析指標を 8 項目使用している。

教師信号の与え方は、日々の分析結果に対する専門家の実際の判断結果を与える方法もあるが、銘柄数(1000 銘柄以上)、学習期間(たとえば 600 営業日)から考えると判断回数は 60 万回にも及ぶことになる。この回数の判断を均一な基準で行うことは不可能であろう。このシステムでは、判定する日から 5 日先までの変動幅から教師信号(ど

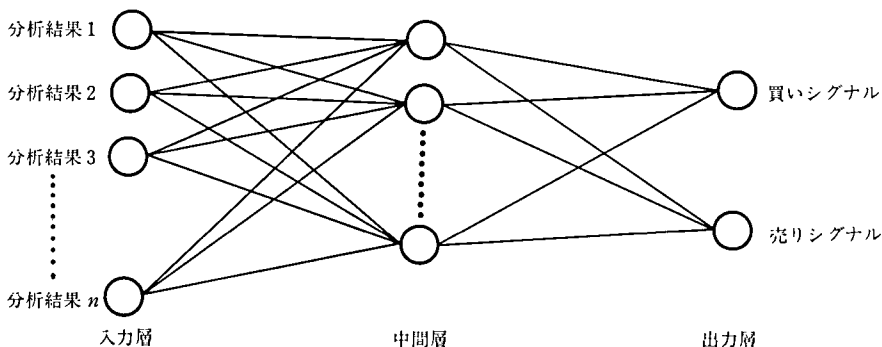


図 5 売買シグナル・ニューラル・ネットワーク

Fig. 5 Buying and selling signal neural network

のくらい上下しそうなのか)を次のように作成した。

当日の株価を x_0 , 5 日先までの株価を順に x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 とすると,

最大上昇率 $= \max(x_0, x_1, x_2, \dots, x_5) / x_0 - 1$,

最大下降率 $= -(\min(x_0, x_1, x_2, \dots, x_5) / x_0 - 1)$,

買いシグナル(変動率) $= \min(1, \text{最大上昇率} / \text{基準値})$,

売りシグナル(変動率) $= \min(1, \text{最大下降率} / \text{基準値})$

基準値は, 計算されたシグナルが 0 ~ 1 に正規化するように, 個別銘柄であれば 0.1 ~ 0.2, 日経 225 平均であれば 0.03 前後というように対象の変動幅によって変える必要がある。

3.3 学習方法

学習期間を 1987 年 5 月 2 日 ~ 1989 年 3 月 30 日, シミュレーション期間を 1989 年 4 月 3 日 ~ 1990 年 6 月 13 日に設定した。学習対象期間別に A(全期間), B(1987 年 5 月 2 日 ~ 1988 年 1 月 30 日のブラックマンデー経験期間), C(1988 年 2 月 1 日 ~ 1989 年 3 月 30 日のブラックマンデー後の上昇相場期間)型の 3 タイプの学習を行ったニューラル・ネットワークを三つ作成した。この各々のニューラル・ネットワークに対してシミュレーション対象期間を期間 1 (1989 年 4 月 3 日 ~ 1989 年 12 月 29 日の上昇相場期間), 期間 2 (1990 年 1 月 4 日 ~ 1990 年 3 月 30 日の下降相場期間), 期間 3 (1989 年 4 月 3 日 ~ 1990 年 6 月 13 日の全期間)の 3 タイプに分けてシミュレーションを行った。

シミュレーションはニューラル・ネットワークからの出力である売買シグナルや売却時の利益率から利食い売り, 利食い買いを考慮し, 売買量を決定し, 日々売買シミュレーションを行った。利回りの算出方法は, 税金, 手数料等は控除せず年平均利回り換算で示した。表 1 はパフォーマンスの比較を示したもので, 表中の株価変化率は, 対象期間の株価の変化率を年平均利回り換算で示した。

表 1 学習タイプ別, シミュレーション期間別の年平均利回り

Table 1 Return table

シミュレーション 学習 対象期間	上昇相場期間 1989/4/3~1989/12/29 (期間 1)	下降相場期間 1990/1/4~1990/3/30 (期間 2)	全 期 間 1989/4/3~1990/6/13 (期間 3)
A 型 1987/5/2~1989/3/30	32.0	-110.5	7.0
B 型 1987/5/2~1988/1/30	22.1	-6.1*	26.6
C 型 1988/2/1~1989/3/30	38.4*	-133.2	0.0
株価変化率	26.4	-108.1	-1.1

単位 (%)

図 6 に学習対象期間の株価の推移を, 図 7 にシミュレーション期間の株価の推移を示した。全期間を学習させた A 型を使う場合より, 期間 1 では C 型, 期間 2 では B 型のニューラル・ネットワーク(表中の*付き)を使用したほうが良いパフォーマンスを示すことがわかる。つまり, C 型は期間 1 の上昇相場に, B 型は期間 2 の下降相場に類似した過去の期間で学習したためである。

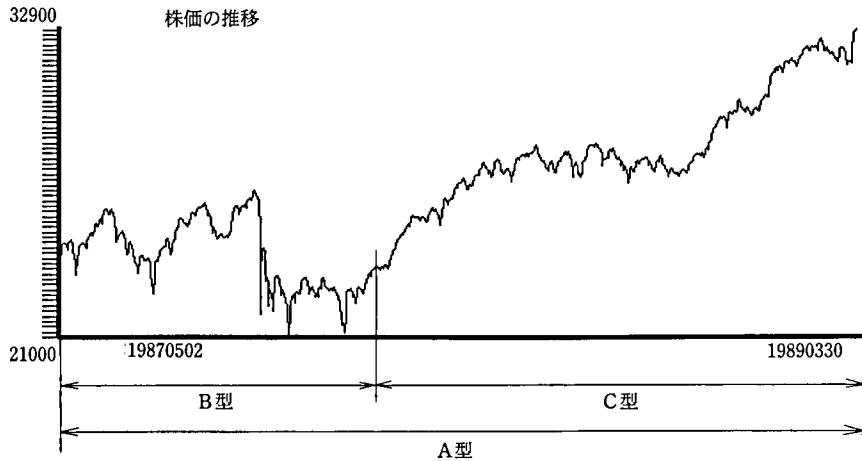


図 6 学習対象期間の株価の推移
Fig. 6 Stock price in learning period

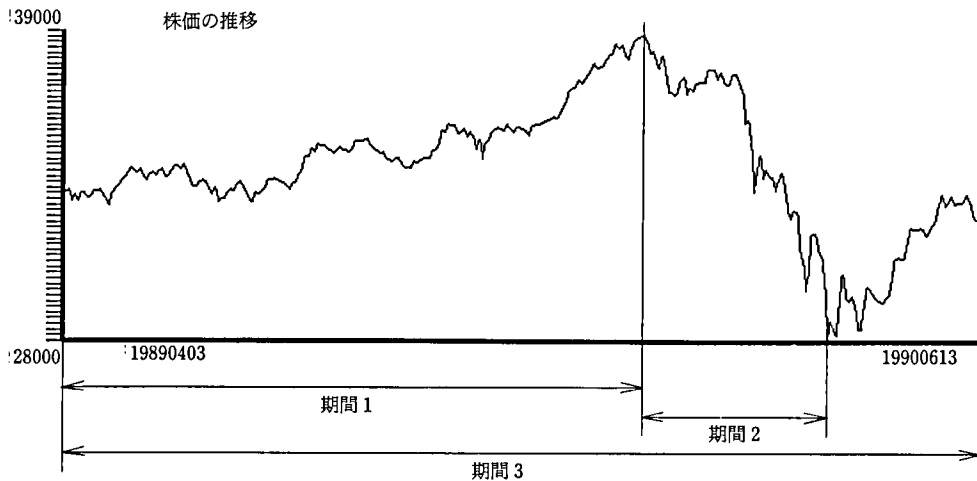


図 7 シミュレーション対象期間の株価の推移
Fig. 7 Stock price in simulation period

このように人為的に学習期間を区切り、実運用の場合にはその局面に類似したニューラル・ネットワークを用いれば最適な判断ができそうである。しかしシステム運用を考えた場合、このように人為的操作が頻繁に必要で、その判断自体がむずかしい場合、この方法は実用的であるとは言えない。

この考えをシステム化する案として、「時系列分割学習モデル」を次に示す。

図 8 のように、学習対象期間の一部を学習したサブニューラル・ネットワークを複数作成する。それぞれのサブニューラル・ネットワークは、徐々に学習対象期間をずらして学習させる。そして、隣接するサブネットワーク同士は学習期間を一部重複している。次に、サブニューラル・ネットワークの出力を入力とする最終評価ニューラル・ネットワークを作成する。このネットワークは、学習を繰り返すことによって現

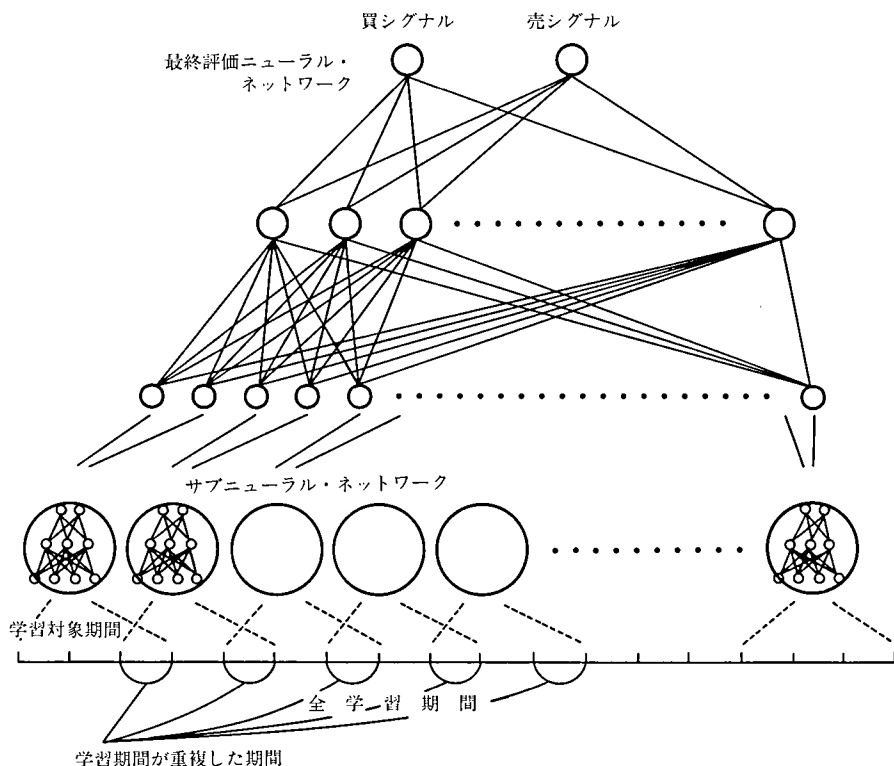


図 8 時系列分割学習モデル

Fig.8 Time series division learning model

在の局面が過去のどの局面に類似しているか、またはまったくその逆であるか等を認識できるようになる。またこのモデルの利点として、1ニューラル・ネットワーク当たりの学習件数を少なく設定できるため学習回数も減らすことができる(学習件数が n 倍になると、学習回数は n 倍以上必要になる)ことがあげられる。日々の運用を考えると新しく学習が必要なものは、最終評価ニューラル・ネットワークと最新のサブニューラル・ネットワークのみであるため、システム全体の学習時間は大幅に削減することができる。

3.4 株式売買判断のシステム構成例

株式売買判断システムの構成例を図9に示し、構成要素の説明を以下に記す。

- 1) 学習モジュール……学習には高速な演算処理能力を必要とする。これを安価に実現するには、ユニシス PW²500E に高速演算プロセッサを付加する方法がある。バッチ処理によって、実行モジュールで使用する学習済みニューラル・ネットワークを作成する。
- 2) 実行モジュール……学習済みのニューラル・ネットワークを用い、各ディーラが売買シグナルを基に自分のポジション、その他の諸条件に基づき最終的な売買量を決定するためのシステムである。したがって、ルールベースの AI 技術が必要となる場合は KES II 等の AI ツールの利用も有効である。

学習自体も個別に行う場合は、1)+2)の環境をそれぞれ持つことになる。

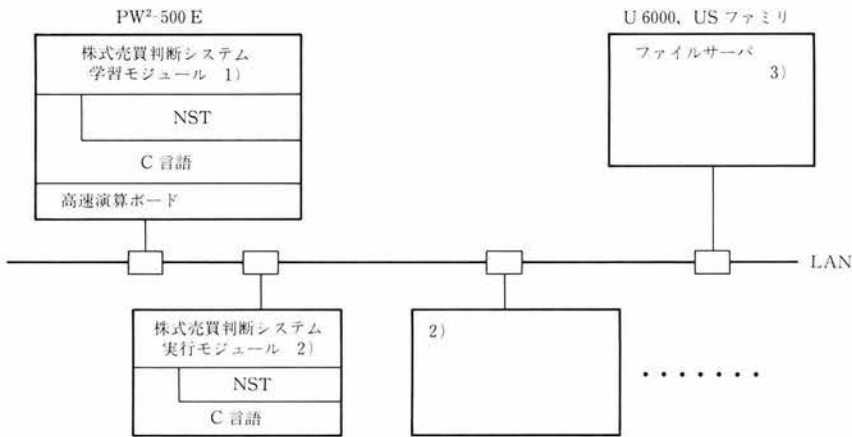


図 9 株式売買判断システムの構成例

Fig. 9 Stock trading decision system example

3) ファイルサーバ……株価や学習済みのニューラル・ネットワークの共通ファイルを管理するための高速で、大容量のファイルサーバである。

4. お わ り に

株式売買判断システムに対するニューラル・ネットワーク技術適用の意義は十分に確認できた。本稿で紹介した適用手法は株式の個別銘柄だけではなく、日経 225 平均、日経平均先物、債券先物等に応用できると思われる。

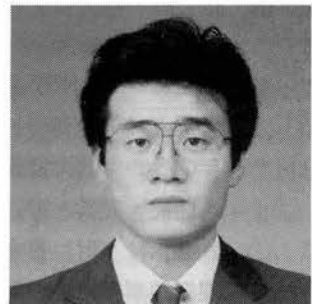
現在、証券関係数社と共同でニューラル・ネットワーク技術を用いた株式等のトレーディング・システムの研究、評価を行っている。

ニューラル・ネットワークに代表される AI の新技術はルールベースの従来の AI 技術にとって変わるものではなく、互いに補完し合うものである。既存のシステム化技術にルールベースの AI 技術、そしてこのニューラル・ネットワークの技術を取り入れることにより、これまでシステム化がむずかかった問題に対してもシステム化がますます進んでいくものと思われる。

- 参考文献 [1] 甘利俊一, 神経回路網の数理, 産業図書。
 [2] 津村英文, 平川東亜, 証券分析用語辞典, 日本証券アナリスト協会。
 [3] SYSTEMS 1989. 11, ニューラル・ネットワーク, ファジー推論を用いた「株式売買判断システム」, 日本ユニシス。

執筆者紹介 浦上 浩一 (Kouichi Uragami)

1984 年九州大学経済学部 経済工学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。外国為替管理システムの客先導入および保守業務に従事。現在、システム技術本部 知識システム部応用システム 1 課に所属、金融ユーザに対する KE サービスを担当。



ユニシスの企業内 CAI システムの現状と動向

The Present and Future of the Nihon Unisys-developed In-house CAI System

萩原 忠雄

要 約 若年層労働力不足とこれに相反する大量採用傾向の持続, その結果として引き起こされる新入社員の平均レベルの低下。一方, 知識や経験の急激な陳腐化と, 変化に対応させるための旧人労働力の大量かつ定常的な再教育・再訓練の必要性増大, さらに勤務地は全国はおろか外国にまで広がり, 場所と時間を超越した教育手段の必要性。現在はこのような状況下にあり, 今や社員教育は企業生き残り策の根幹であり, 企業内教育も抜本の変革を迫られている。

これらの問題を解決するための一つの有力なシーズと見られているのが, 教育分野にコンピュータや通信を活用した CAI や遠隔教育である。教育効率の向上による教育時間の短縮, 教育担当者の増員抑制, 教育レベルの維持・向上, 教育を場所と時間という制約から解放, これらを模索する企業の需要に刺激されて育ってきたのが, 本稿にその現状と動向について記述したマルチメディア CAI である。

Abstract Problems now facing us include a shortage of young labor, a continued reverse trend of mass hiring and a resultant lowered level of new hires' ability; a quick obsolescing of knowledge and experience; growing needs for a wide spectrum of constant re-educational/re-training programs aimed for older employees as a means to help them keep up with such changes; furthermore, the necessity of an educational means which transcends workplace and time as a result of the extension of working sites to foreign countries, to say nothing of all the parts in Japan. Such being the situation we are currently in, employee training has been regarded as a foremost pursuit for business survival, and accordingly a drastic change has been called for in the in-house employee training and education scene.

What has appeared as a tool to provide one of the most powerful solutions to the issue like this is what is called CAI and Distance Education, that is, a combined application of both computers and communications in the area of education. Multi-media CAI technology, as described in this paper, is a product which has resulted from strong requirements out of the businesses who are trying to find out ways to cut down on periods of employee training and the number of trainers through improved efficiency and to maintain/upgrade their educational quality as well as to set their employee education free from the restrictions of place and time.

1. はじめに

CAI (Computer Assisted Instruction) という言葉が世間一般に通用しだしたのは, 通産省が CAROL 計画を発表した 86 年頃からではないだろうか。ちなみに, CAROL 計画とは情報処理技術者の供給不足を解消するための一つの手段として, 86 年から 90 年の 5 か年間で情報処理技術者育成用コースウェア, すなわち CAROL コースウェアを開発・整備・普及しようとするもので, 今年度が最終年度に当たっている。カリキュラムは (財) 日本情報処理開発協会の中央情報教育研究所が策定し, 開発は情報処理振興事業協会が民間企業に委託して行い, 当社もこの開発に参加している。

CAI は長い間、教育関係の研究者等、特定な人以外にはあまり知られていなかったが、その歴史は古く米国では 30 年以上前に遡ると言われている。60 年代に入って日本でも CAI の研究が開始されたが、コンピュータの発達との関係もあり、実用的な CAI システムが世に出るにはさらに 10 年を必要とした。

当社の CAI の歴史は古く、まさに日本における CAI の歴史の一つの断面図とも言える。当社の CAI への組織的取り組みは、69 年に設立した日本ユニバック総合研究所の中に教育工学研究室を編成した時に始まる。汎用コンピュータを利用した CAI の実用化、音声同期式コースウェアの開発、多くのマルチメディア CAI システムの開発、幾種類ものパソコンでコースウェアを共通に使えるコースウェアの多機種展開政策等、当社の CAI は多くの場面で先駆者の役割を果たしてきたと思う。本稿は当社の CAI を中心に据え、現在までの CAI システムの変遷を概括しながら、最近の動きにも触れている。

日本の企業が CAI にどのくらい関心を持ち、実際にどのような分野でどのくらい使っているか等については、(社)日本能率協会が定期的に調査・発表している「企業内教育における CAI の現状と将来調査報告書」を参照願いたい^[1]。

蛇足ながら、CAI の本家である米国では現在 CAI という言葉はあまり使われていない。教育にコンピュータを利用することの総称と解釈される場合もあり、レポートを書くのにワープロを使えばこれも CAI であるというので、CAI を見せて欲しいと言ったらパソコンでワープロ・ソフトを使っているところに連れて行かれた、等という笑話のようなことも現実起こっている。日本で使われている CAI という言葉に最も近い、米国で使われている一般的な言葉は CBT (Computer Based Training) である。

2. 現在までの CAI システムの変遷

2.1 初期の実用 CAI システム

60 年代後半には、「プログラム学習」と呼ばれる自習形式の学習書の普及が始まり、教授法の観点から初期の CAI システムに大きな影響を与えた。当社が汎用コンピュータを使って開発したこの範疇の CAI システムは COPI と名付けられた。

2.2 音声同期式コースウェアの開発

初期の CAI は、コンピュータ画面で学習するため、どうしても文字情報が多く、本で学習する以上の効果をどのようにして付与するかに腐心した時期でもあった。すでに M. Brouner の論文^[2]では、図 1 に示したように聴覚と視覚を同期させた学習の有効性が指摘されていたが、当時はコンピュータで制御できる音声装置がなく、結局は自主開発する以外に方法がなかった。

このため 81 年に開発したのが、コンピュータの RS 232 C インタフェースを使って制御できるテープレコーダで、「ランナップ音声装置」と命名した。この発明は、「コンピュータと音声および/または映像記録再生装置との間の同期制御装置」として当社の特許となっている。これを機会に当社のコースウェアは音声同期をポリシーとし、現在に至っている。この頃パソコンで漢字が扱えるようになったこともあり、CAI 用コンピュータはパソコンが中心となり、音声同期式を全面採用したと相俟って、

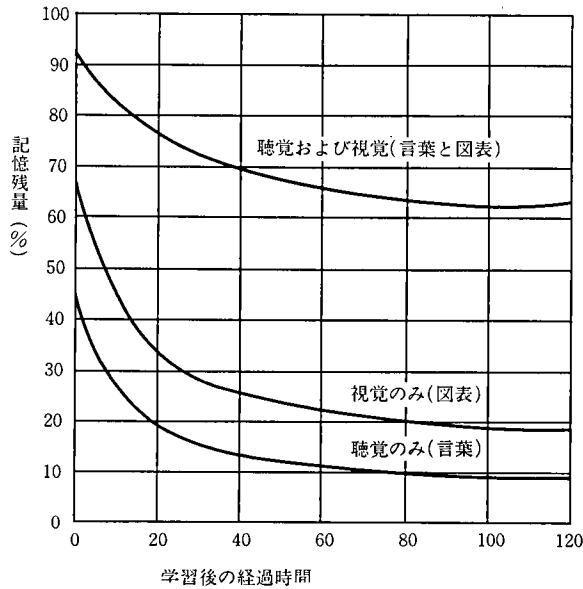


図1 学習後の経過時間と記憶残量の関係^[2]
Fig. 1 The relationship between the passage of time after learning and the remainder of memory

当社の CAI は新しい段階に入った。

音声同期式コースウェアの主な利点としては、前述した圧倒的な記憶残量の差の他に、画面は画像情報が中心となり解説が音声で聞けるため、学習時間が短縮される、目の疲労度が軽減される、BGM が学習を一層楽しいものにしてくれる、等があげられる。

2.3 音声装置の推移

音声同期式コースウェアの開発はこのようにして開始され、利用者の評価を獲得したが、慣れてくるにつれてテープレコーダの特性上、前に学習した箇所に戻るとき巻戻しに時間がかかる、またこれは一般の学習者には関係ないが音声の編集には熟練を必要とする等の問題も目についてきた。

前者の問題を解決する手段として、84年にはRS 232C経由でパソコンから制御できるCD (Compact Disk)を開発し、85年から出荷を開始した。これが現在「CD ランナップ音声装置」、または「CDmini 音声装置」と呼んでいる装置である。CD 1枚に70数分の音声記録でき、ランダム・アクセスできるため応答も速いという長所を持つが、費用の関係上そう簡単に内容を改訂できないという制約もある。このためコースウェアはFD (Floppy Disk)に、音声解説はCDにというのが、現在採用している標準的な形である。

87年には、FDとCDに入れているコースウェアと音声の双方をCD-ROMに入れて使用するシステムを開発したが、まだCD-ROMのインタフェースやファイル構造が世界的に標準化されていない、費用の観点から内容の改訂を頻繁に行えない等の理由から商品化は中止した。

同じ頃、ユーザ自身が音声テープを作ることができるカセットテープの利便性と、

カセットテープよりアクセスが速いという CD の特性の両方を兼ね備えた中間的な存在として DAT (Digital Audio Tape) の CAI への利用が浮上してきた。当時の DAT にはコンピュータで制御することが考慮されていなかったためパソコンへの接続やリカバリ処理プログラムで苦労したが、87 年に開発し、88 年から出荷を開始した。しかしながら、DAT は音楽の著作権問題とのからみから世間への普及にブレーキがかかり、価格も高いままとなったため、残念ながら思ったような普及には結びつかなかった。著作権問題が決着し、コンピュータで制御できる標準化されたインタフェースを持った DAT が出現すれば、普及により価格の大幅な低下も期待でき、将来的には再度 DAT の採用が検討される時期がくることも考えられる。

本節の冒頭で述べたもう一つの問題である音声編集作業は、88 年にカセットデッキを 2 台持った「ランナップ W 音声装置」を開発し、89 年から出荷開始したことにより解決し、今ではパソコンを使って簡単に音声の編集ができるようになっている。

カセットテープに吹き込んだナレーションをランナップ W 音声装置で編集し、CD にプレスして、CDmini 音声装置で聞くというのが現在のユニ시스 CAI の標準的なやり方である。

最近音声は通常の HD (Hard Disk) に入れたシステムも出現してきている。入力も簡単なら編集や出力も簡単であり、こうした特徴は大きな利点であるが、1 時間分の音声記録するには 600 メガバイトのディスク容量が必要であり、特殊目的以外ではコストが大きなマイナス要因となっている。(ただし用途によっては、音質を犠牲にして圧縮すれば、1 時間分の音声を 15 メガバイトに記録することもできる)。また LAN (Local Area Network) システム等で何種類かのコースウェアをホストのディスクに入れて置き、音声もコースウェアと一緒に必要な都度パソコンにダウンロードして使用する場合を考えると、音声は情報量が多いためギガバイト単位のディスク容量を必要とし、回線スピードも相応のものを施設することが必要となる。しかしながら、大容量化と小型化・低価格化が進めば、HD もますます重要なメディアとなってこよう。

2.4 マルチメディア CAI の開発と普及

CAI のマルチメディア化は、米国よりも日本の、とくに日本の大企業の需要が先導した感強い。当社のスタンドアロン型 CAI の基本システムは図 2 のようになっており、これ自体一つのマルチメディア・システムであるが、次にこれ以外の特徴的ないくつかのマルチメディア・システムについて振り返ってみる。

個々のマルチメディア CAI システムに触れる前に、日米の企業内教育への取り組みの差について少し触れてみる。企業によって実状は違いますが、大ざっぱに言えば日本企業の方が社員教育に金をかけているし、教育のために割く勤務時間数も多いと思える。これは必要な技能を持った要員を必要に応じて雇う米国と、終身雇用が前提で一旦採用した要員は定年まで教育しながら使いきる日本との相違に根ざしているのではないだろうか。CAI を採用しているいくつかの米国企業を視察した筆者の経験でも、勤務時間外の自分の時間でのみ CAI の使用を認めたり、コースウェアの入ったディスクを渡して自宅のパソコンで新商品を勉強させたりするケースに出会っている。

CAI を導入しようとするとき、日本では市場に流通していて、しかも企業で使えるようなコースウェアは種類も少なく、まだまだ値段も高い。そのため本格的に CAI を

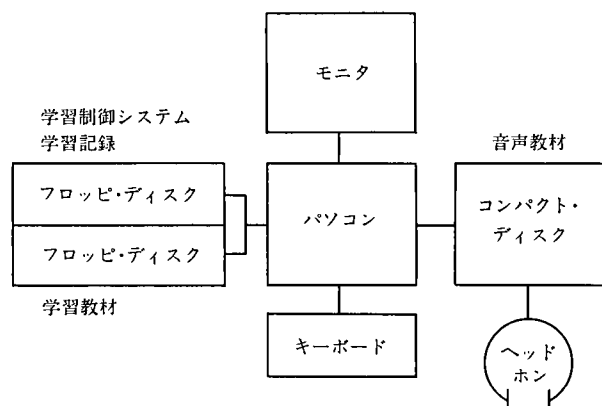


図 2 日本ユニシスのスタンドアロン型基本 CAI システム

Fig. 2 Nihon Unisys's standalone type basic CAI system

導入しようと思えば資金もかかるし、自社の実状に合ったコースウェアを手に入れようとするれば、自社開発するか、新たなコースウェア開発を社外に委託するしかない。

このような状況から、日本の CAI の本格的導入は大企業に始まり、また大企業はその長い歴史から多くの教育資産を持っているため、この教育資産を活かすために、結果としてマルチメディア化が促進されたと言う見方もできる。

以下、システム構成を中心に記述するので、個々の企業が何を目的として CAI システムを導入し、どのような分野の教育に利用しているか等については、当社の「CAI レポート」^[3]を参照願いたい。

2.4.1 スライド・プロジェクタ (85 年)

教育資産として多くのスライドを持ち、新たに購入する機器の情報もスライドで提供されている企業にとっては、スライドがパソコンで制御でき、CAI システムと結合した一つの表示情報として利用できれば、自学自習をずっと容易にかつ効果的に進めることができることになる。このため、85 年にスライド・プロジェクタを接続したマルチメディア CAI システムを開発した。

2.4.2 スチルビデオ (85 年)

パソコンに接続でき、しかも簡便に静止画を作成・再生できる機器が市場に出てきたため、85 年には図 3 のような静止画を活用したマルチメディア CAI システムを開発した。静止画は通常のカメラと同じ方法で撮影でき、2 インチのビデオ・フロッピーディスクに 50 枚の画像を記録することができる。写真、イラスト等、良く変更の発生する画像は静止画として別管理することにより、簡単にかつタイムリにコースウェアの内容を更新することができる。図 3 ではモニターを 2 台接続しているが、マルチスキャン・モニターを使用すれば 1 台で済ませることもできる。どちらを選ぶかは、コースウェアの内容によって決められる。学習者から CAI システムへの働きかけは、キーボード、マウス、タッチパネル等によって行うことができるが、何を使うかの選択は、コースウェアの内容、学習者の特性等のほかに個人の好み問題にも影響される。

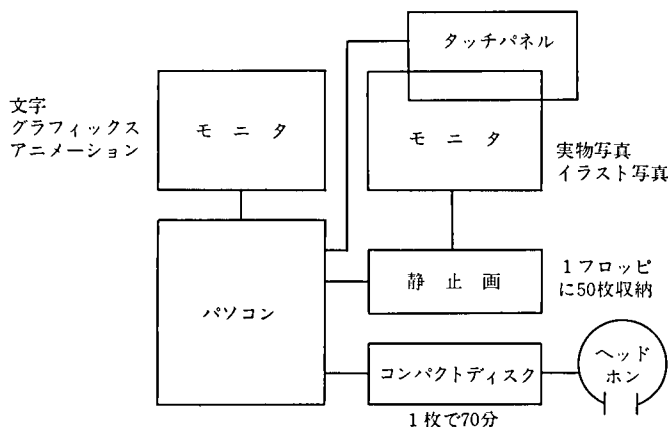


図 3 静止画を活用したマルチメディア CAI システム

Fig. 3 Multimedia CAI system with still video

2.4.3 ビデオテープ・レコーダ (86 年)

86 年には、VTR (Video Tape Recorder) をパソコンに接続した CAI システムを開発した。ビデオテープによる学習は時間的制約がない、繰り返し見られることを除けばテレビによる学習と同じである。現在ではビデオテープは素人でも比較的簡単に作れるし、動画の良さを活用した学習ができる等の特徴を持っている。反面、居眠りしていてもテープは先に進み、コンピュータで学習者の理解度を判断することができない等の弱点もある。これを解決したのが VTR をパソコンの管理下に入れ、区切り区切りで理解度を確認しながら学習を進めることのできるマルチメディア CAI システムである。

2.4.4 光動画ディスク・プレーヤ (86 年)

ビデオテープはカセットテープと同じく直線的に学習を進めるには良いが、ランダムに画像を取り出して学習するには、巻戻し時間が苦になるという制約を持っている。そこで 86 年には、CAI システムで動画をランダムに取り扱えるようにするため、光動画ディスク・プレーヤを接続した。このユニットは、動画なら 13 分 20 秒、静止画なら 24,000 枚記録できる。ビデオディスクの作成が比較的簡単に行える機器も発売されており、また追記機能も持っている。

2.4.5 ビデオディスク・プレーヤ (88 年)

もっと長い時間の動画をランダムで取り扱いたいという要望があり、88 年にはビデオディスク・プレーヤを接続したマルチメディア CAI システムを開発した。その構成図が図 4 である。ビデオディスクは両面使用でき、片面で動画なら 30 分、静止画なら 54,000 枚記録できる。静止画を使用する場合、ビデオディスクでは音声が出せないのので、音声解説には CD が使用される。

このように CAI システムのマルチメディア化は、企業に現実の強い需要があること、手を加えれば CAI システムで活用できる機器が市場にあること、それらを総合して需要を満たす CAI システムを開発する力を持ったシステム・インテグレータ企業があること等が相俟ってここまで促進されてきたと言える。さらに、一度達成されたレ

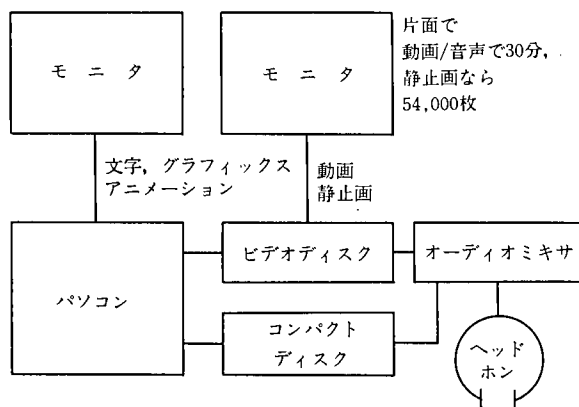


図 4 ビデオディスクを使用したマルチメディア CAI システム

Fig. 4 Multimedia CAI system with video disk

ベルは当たり前のこととされ、ユーザはより高度のシステムを求め、メーカはそれを実現するためにさらに研究を重ねることによって、より優れた CAI システムが次々と世に出てきているのが現実である。

3. 最近の CAI システムの動向

3.1 CAI システムを支える基本ソフトウェア

CAI システムの基本となるソフトウェアには次の三つがあり、これらがコースウェアの作成、学習、学習結果の管理等を支えている。

3.1.1 教材作成システム

コースウェアは、事務システムを開発するのと同じように、プログラミングすることによっても開発できる。現に米国ではプログラムとして開発された数多くのコースウェアが売られている。シミュレーション型のコースウェア等では部分的にプログラミングすることも必要となるが、通常のコースウェアは現在では多くの場合、教材作成システム（オーサリング・システム）だけを使って開発されるようになってきている。教材作成システムを使用すれば、最も普及しているチュートリアル型やドリル型のコースウェア開発では、プログラミング知識はまったく必要としない。またプログラミングするより教材作成システムを使った方が生産性ははるかに高い。

当社の場合、アニメーション機能、マルチメディア接続機能等を持った LAS (ラス, Learn up Authoring System) という高機能な教材作成システムを使ってコースウェアの開発を行っている。ここで開発されたコースウェアは機種に依存しないデータファイル形式になっている。

3.1.2 学習制御システム

教材作成システム LAS で開発されたコースウェアを走らせ、学習記録を取るソフトウェアが学習制御システム（エグゼキュータ）である。当社のエグゼキュータは、LEX (レックス, Learn up Executor) と命名されている。LEX にはスタンドアロン用と、ネットワーク用があり、データファイル形式のコースウェアの内容を解釈しな

がら実行する機能を持っている。LEX は機種に依存するため多くの部分は共通だが、代表的な機種ごとに用意されている。

3.1.3 運用管理システム

運用管理システムの機能は、大きく学習者管理と成績処理の二つに分かれている。学習者管理としては、学習者情報の登録、学習環境の設定、学習記録の削除・収集・印書等を行う。成績処理としては、学習時に学習制御システム LEX によって蓄積された学習記録の分析・作表等を行う。当社の運用管理システムは LMI (エルミ, Learn up computer Managed Instruction) と呼ばれている。

3.2 コースウェアの多機種展開

現在 CAI で使われている機種の中心は、オペレーティング・システムは MS-DOS*, 画面の解像度は 640×480 または 400 ドットである。といっても、機種が異なれば同じコースウェアがそのまま走るわけではない。パソコンの機種を統一しているユーザ企業は少なく、幾種類もの機種が混在しているのが普通である。たとえ本社で機種を統一しても支店は別の機種を使っているとか、同じ機種名に統一しても新旧のモデルが混在しており、同じプログラムがすべての機種でそのまま走るわけではないというような問題である。

このような状態では、苦勞してコースウェアを開発しても使用機種が特定されてしまい不経済この上ない。コースウェアの機種移植作業は結構大変で、多くの時間と費用を必要とする。一つのコースウェアを多くの機種に展開しようと思えば、新しいコースウェアを開発したり、現行のコースウェアを改訂したりするたびごとにこの移植作業が発生することになる。

このような問題を解決するため、MS-DOS を使っている代表的な多くの機種の上で、LAS で開発したコースウェアがそのまま走る環境を開発したのが、当社の多機種展開政策である。

これは原理的には図 5 に示したように、グラフィック命令等の機種別非互換部分を「グラフィック・ドライバ」として機種別に開発し、他のソフトウェアはこのドライバを経由しながら走るような構造にしたものである。したがってグラフィック・ドライバさえ開発すれば、どの機種も多機種展開に仲間入りすることができる。

3.3 ネットワーク CAI

コースウェアを汎用コンピュータで一括管理し、日本中に散在している学習者が、必要に応じて端末機を使ってコースウェアを受信し、学習結果の記録を逆にホスト機である汎用コンピュータに送信するようにすれば、コースウェアの改訂や学習の進捗状況・理解度管理等を容易に一元化することができる。このようなシステムは、通常のビジネス・アプリケーションと同様に容易に開発することができる。ネットワーク CAI の特徴は、むしろ教室内ネットワークにある。

教室内のネットワークとしては、通常図 6 に示したような 10 Mbps 程度のスピードを持つバス型 LAN や、スター型 LAN を用いる。

コースウェアは教室内ホスト機のファイルサーバに保存され、生徒の学習進度に応じて生徒機にダウンロードされる。学習記録は逆に随時ホスト機にアップロードされ、

* MS-DOS : 米国 Microsoft 社の登録商標である。

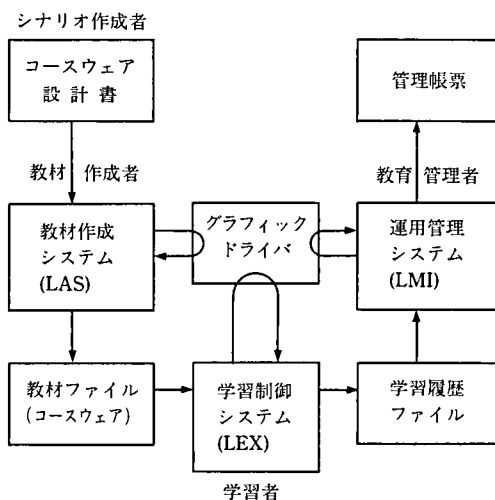


図 5 多機種展開の原理

Fig. 5 The method to keep the courseware compatibility between many types of personal computer

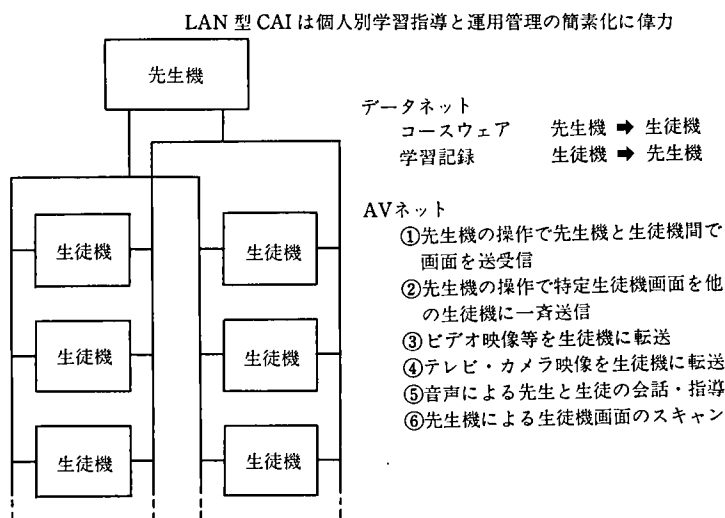


図 6 LAN 型ネットワーク CAI

Fig. 6 Data and audio visual network CAI

成績管理その他の分析が行われる。コースウェア用の音声解説情報は、情報量が多く回線負荷が大きくなるため、現在は各生徒機に音声装置を接続して使用している。先生機は LAN に直結したパソコンでも、ホスト機の端末機でもよい。ネットワーク CAI の身近な効果として、運用管理の簡素化があげられる。フロッピー・ディスクの管理から解放されるのは大きい。

教室ホストには、ミニコンクラスの UNIX*機を使用している。これは LAN システムの能力向上のみならず、生徒機をホスト機の端末として言語実習に使ったり、さらに UNIX 機をパススルーして、より上位の汎用コンピュータに接続して端末機として

* UNIX : AT & T ベル研究所で開発され、AT & T がライセンスしている。

使用することも可能にしてくれる。

ネットワーク CAI の教室システムのもう一つの大きな特徴は、コースウェアや学習記録を送受信するデータ・ネットワークのほかに、オプションとして音声や画像を送受信するために AV ネットワークを併設できることにある。AV ネットワークを通して、先生と生徒の間で会話による指導や画面の送受信ができるほか、先生機から生徒機へのビデオ映像やテレビカメラ映像の送信、ある生徒機画面の他の生徒機への一斉送信等もでき、先生は居ながらにして全生徒をきめ細かく指導することができる。

3.4 インタラクティブ・ビデオ

日本の CAI にも、動画を中心とした米国で言うところの IV (Interactive Video) システムが出現してきている。これはビデオテープによる学習が出発点になっている。ビデオテープは前進のみで学習形態に柔軟性がないため、ビデオディスクに記録し、随時必要な部分の動画・静止画を画面に映し出し、会話型で学習を進められるようにしたのが IV である。

ビデオディスクは動画の場合は音声同期するが、静止画の時は無声となるので、解説が必要な時は CD 等の音声装置を別に接続することになる。このように IV もマルチメディア化の方向にあり、これらの様子をまとめたのが図 7 である。

CAI には、出発点の異なる CBT と IV の二つの流れがあり統合の方向にある。

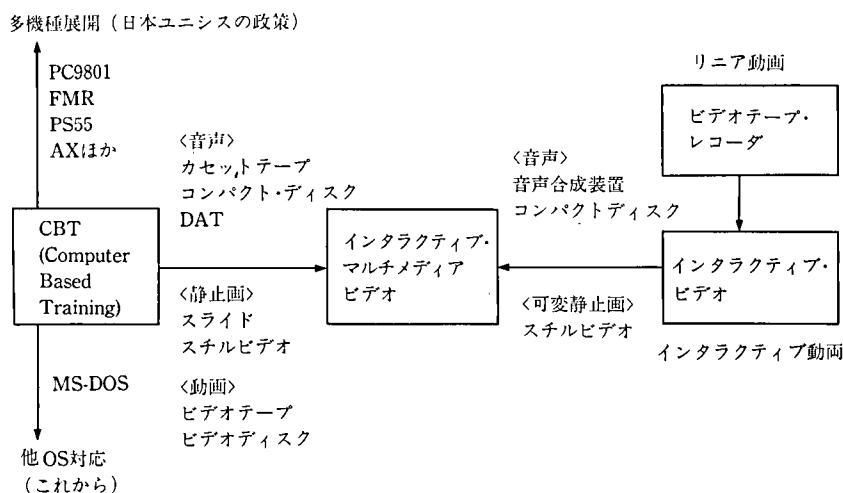


図 7 CBT と IV の進んでいる方向

Fig. 7 The trend of CBT and Interactive Video

CBT にビデオディスクを接続したマルチメディア CAI と IV の一番の相違点は、CBT をベースに必要な部分に動画を利用したシステムと、最初から学習内容が動画中心に考えられているシステムとの差である。システム構成的には同一化の方向にあり、とりあえず行き着くところは、インタラクティブ・マルチメディア・ビデオである。

図 8 に示したように、IV の適用業務は教育とは限らないが、IV 機器がもっと安くなれば、IV の一般化によりセールスマン教育や管理者教育のような、CBT では比較的取り組みにくかった分野へも CAI 化の波がもっと押し寄せることになる。IV のコー

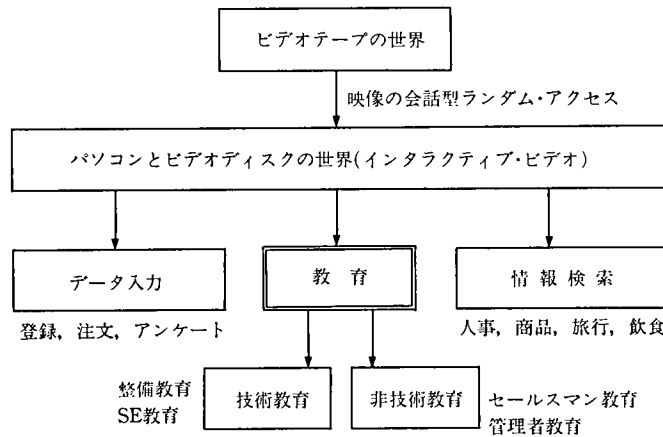


図 8 IV が開く非技術教育の世界

Fig. 8 The IV is useful for the training of non-technical and managerial area

スウェア開発費用は、ビデオ撮影費等に大きく左右され、まさにピンからキリまである。

4. お わ り に

本稿では、教育の立場からの視点にはあまり触れず、教育機材としての CAI の面からの記述を中心とした。またできるだけ話を具体的なものにするために、当社の経験を中心に記述した。

今まで述べてきたことのほかに、近々ますます普及するであろう動きを二つほど紹介する。

- 1) 現在の日本の CAI は、普及型パソコンを使ったチュートリアル型やドリル型が中心だが、機器の保守や複雑な機器の操作員教育等を支援するために、機器の動きをシミュレートするタイプのコースウェアが世に出てきている。これらは一般に高解像度の画面グラフィック・モニタ、大容量のメモリやディスク、高速処理能力等を持った高価なシステムで、特定目的のために開発され、もちろん多種展開等の対象にはならないシステムである。
- 2) スタンドアロン型やネットワーク型の CAI を第一目的としたシステムとは別に、通常のコンピュータに CAI 機能を持たせ、その機種種のソフトウェアの使用法をその機種自体を使って学べるようにすると言う動きが活発化してきている。これは端末を使って学習するコースウェア自体が、端末機のみならず本体のそのソフトウェアの中にも入り込み、教育を受けながら同時に実習も行えるようにしたシステムである。当社では以前から第四世代言語の入門教育用等にこの種のコースウェアを開発し活用している。

現在の CAI には、まだ数え切れないほどの課題があるが、そのうち身近な二つを次に記述する。

- 1) 一つは浮きこぼれ対策である。CAI がとくに落ちこぼれの減少や学習時間の短縮に効果があることが報告されているが、集団学習における浮きこぼれ対策につ

いては、開発コストの問題もあり、余った時間を練習問題の解答に当てさせる等のほかなかなか有効な対処法が見つかっていない。

また音声解説について言えば、理解できなければ繰り返し聞くことができるが、理解が速いから早口で話して進行を速めてくれと言われても、解説のスピードを相手に合わせて変えることはできない。

- 2) もう一つはコースウェアの流通促進や再利用と著作権の問題である。コースウェアの開発コストを考えると、コースウェアの流通は促進されなければならない。流通のためには機種互換性が一つの問題であり、当社の多機種展開はこのための政策であるが、このほかに著作権の保護問題がある。コースウェアを流通させ、必要に応じてコースウェアの手直しまで認めるようにすれば、比較的安く満足のいくコースウェアを手に入れることができるが、有効な著作権保護手段が見つからない、新しいルール作りが必要な分野である。

次々と CAI で活用できる新製品が出現し、それらを活用した CAI システムを開発して導入すると、すぐ次のレベルのシステムが要求されると言うように、高度な CAI への需要と新システムの開発競争が続いている。人間教師の一部を代替する CAI のレベルを脱皮し、CAI の方が優れている教育、強いては CAI だからできる教育を目指して、現在の CAI は急激に進歩している。

またメディアも新 CDI (Compact Disk Interactive) や DVI (Digital Video Interactive) が数年の内には徐々に普及し、いろいろなマルチメディア機器の機能を一体化したハイパーメディアが、あちこちの教育現場で活用される日も身近に迫ってきている。

-
- 参考文献 [1] 企業内教育における CAI の現状と将来調査報告書 (社)日本能率協会, 最新の調査結果は 1989 年 11 月刊行。
 [2] M. A. Brouner, IEEE Trans. EMS 1964.
 [3] ユニシス CAI レポート例
 ①東京ガス(株), トレーニングセンタ
 ②東京ガス(株), 生産教育訓練センタ
 ③富士写真フイルム(株), 技術研修センタ
 ④日本航空(株), 整備訓練部
 ⑤富士ゼロックス(株), 能力開発センタ
 ⑥東京電力(株), 福島第一原子力発電所
 ⑦東京電力(株), 柏崎刈羽原子力発電所
 ⑧花王高等専修学校

執筆者紹介 萩原 忠雄 (Tadao Hagiwara)

昭和 36 年東京教育大学理学部数学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。客先システムの受託開発、社内/客先 SE 教育、対米国ユニシスのソフトウェア・リエゾン担当等を経て、昭和 47 年 2 月より当社の経営情報システム構築を担当。58 年 7 月から 5 年間、日本ユニシス情報システム(株)システム担当取締役。平成元年 4 月以降 CAI 事業を担当し、現在教育システム事業部長、技術士(情報処理部門)、米国のマルチメディア・アプリケーション研究団体 IICS の東京支部長、著書「情報システム部門のマネジメント」(昭和 58 年、共立出版)。



東京ガスにおける企業内教育への CAI 導入事例

An Application of CAI to In-house Training Programs at Tokyo Gas Co., Ltd.

小 山 和 夫

要 約 都市ガス事業の効率的な経営と安全性確保のため、教育訓練の重要性は従来にも増して高まっている。これまで実務教育は、各職場において OJT によって行うのが一般的な形態であったが、ガス原料の転換とそれに伴う製造設備の更新、そして近年の技術革新、コンピュータリゼーションの急速な進展とともに、業務に必要とされる知識・技能が従前に比べ質・量ともに飛躍的に増大してきたため、何らかの対応を迫られている。

東京ガスでは、こうした情勢の変化に対応するため教育訓練センタを設立し、OJT を補完し、基礎的な知識・技能を体系的に修得させるための集合教育を行っており、その教育カリキュラムに CAI を導入している。

開発した CAI システムは、パソコンとカセットデッキおよび TV フォトシステムを組み合わせてることにより、パソコンの説明画面の他に、音声や写真等も教材として活用できるようにしたものである。こうした CAI システムの導入により、①理解度向上、②学習意欲向上、③省力化、④学習内容の質的向上、等の効果が得られている。

Abstract The efficient operation of urban gas-supplying business and assured safety have made the importance of employee training and education much greater than before. Practical training was most commonly conducted through OJT (on-the-job training) programs at each workplace. However, new approaches are now becoming necessary because the knowledge and skills required for job performance have been expanding remarkably and unprecedentedly in both quality and variety.

In response to such environmental changes, Tokyo Gas Co., Ltd. has set up its own Employee Training Center where group training programs are given so trainees can learn and acquire basic knowledge and skills in systematic ways that help supplement on-the-job training procedures. The new adoption of a real-time process simulator and CAI (computer-assisted instruction) is the core of what the new training curriculums are built on.

The newly developed CAI system, consisting of a personal computer, a cassette tape player and a still video display, is so created as to make human voice, photos and explanatory PC screens usable as teaching materials. The effects brought about by this CAI system include ① learners' improved comprehension, ② employees' improved desire to learn, ③ reduced work force and ④ increased quality level of what to learn.

1. は じ め に

文明開花のあかりガス灯が日本で初めて灯されたのは明治 5 年、横浜でのことである。そして明治 18 年、東京ガスが誕生した。当時の顧客数は 343 件、都市ガスは主に照明用として使われた。それから一世紀余、顧客数は 720 万件にも達し、都市ガスの用途も現在では、家庭のコンロや湯沸器・暖冷房機器用から、店舗やオフィス・ビルの空調、業務用、さらに工業用、地域冷暖房用へと広がり、その需要も急速に増加している。

一方、激動する経済社会の中での企業経営において、社員教育はますます重要性を増し、企業戦略の大きな柱として定着している。そして企業内教育にコンピュータを利用する事例が次第に増加しつつある。東京ガスでは、5年前にCAIを初めて導入して以来、その効果が認められ着実に規模を拡大してきている。そこで本稿では、企業内教育へのCAI導入事例として、開発経緯、運用状況、評価等について報告する。

2. 生産教育訓練センタ

CAI導入の背景となる生産教育訓練センタについて概要を紹介する。都市ガスはLNG(液化天然ガス)、LPG(液化石油ガス)、ナフサ、石炭等の原料をさまざまなプロセスでガス化して製造される。ガス化された原料は精製、混合等によって品質調整された後、ガス導管を通じてお客様まで届けられる。こうしたガスの製造を担っているのが、生産部門であり、快適な都市生活を支えるべく工場は昼夜操業を続けている。

生産部門においては、従来、実務教育は各職場においてOJTによって行うのが一般的な形態であった。しかし、ガス原料の石炭から石油そしてLNGへの転換、それに伴うガス製造設備の更新、そして近年の技術革新、コンピュータリゼーションの急速な進展とともに、生産業務に必要とされる知識・技能は従前に比べ質・量ともに飛躍的に増大している。

こうした情勢の変化に対応するため、OJTを補完し、基礎的な知識・技能を体系的に修得するための集合教育の場として、生産教育訓練センタが昭和57年に開設された(写真1)。



写真1 生産教育訓練センタ

Photo. 1 Training center of Production Dept.

このセンタには、教育用設備として、現在三つの訓練棟(延面積約1700m²)があり、これらに講義用教室、実習室、CAI教室、シミュレータ室、計算機室等を配置し、屋外には訓練用の実プラントも備えている。スタッフは8人、年間数千人日の教育を実施している。

そして主要な設備の一つとして、都市ガス製造プラントの運転訓練、とくに実プラントすなわちOJTでは困難な非正常時の対応訓練を効率よく安全に実施できる「汎用型訓練用プロセスシミュレータ」を開発し、昭和59年2月より運用に供している。

このシミュレータはスーパーミニコンと分散型制御システム、パソコン、レーザディスク等を組み合わせた当社独自の新型のシステムである（写真2）。



写真 2 訓練用プロセスシミュレータ

Photo. 2 Training process simulator

実務中の教育カリキュラムの一例を表1に示す。実務教育センターの企業内教育の性格上、座学に偏らない体験的な学習を重視している。教育の形態としては、講義中心の座学、実習、およびプラント運転訓練（ミニプラント、シミュレータを使用）の3種がこれまでの方式である。

一方、教育訓練の効果を高める方法の一つとして、各自の能力や個性に応じた個別学習があり、これを支援するシステムとして、最近CAIシステムが注目を集めているが、当訓練センターでは昭和60年度より、そのカリキュラムにCAIを導入している。

3. CAIシステム開発の背景と目的

企業内で集合教育を講義形式で行う場合、当訓練センターでの実績から、次のような問題点が指摘されている。

- 1) 職場の違いや経験の差から、知識技能において受講者間のバラツキが大きい。
- 2) 理解の速さには基本的に個人差があり、一斉授業ではついていけない者も出る。
- 3) 年齢差に基づく心理的な要因が学習効果に与える影響も無視できない。
- 4) 職務の関係から訓練日数には制約があり、個別のきめ細かな指導には限界がある。
- 5) 企業内での優れたインストラクタの継続的な養成と、ローテーションにも制約がある。

このような講義形式の教育の問題点を解決する方策の一つとして、CAIは比較的古くから注目されていたが、システムの性能面、コスト面に難点があり、最近まで本格的な普及には至っていない。しかし、近年のパーソナルコンピュータの普及と高性能、低価格化はCAI導入の機運を高めつつある。

CAIには一般的に次の効果が期待される。

- 1) 受講者のレベルに対応した個別学習による家庭教師効果
- 2) インストラクタの省力化、重点集中指導が可能

表1 教育カリキュラム例

Table 1 Sample of training curriculum

	コース名	日数	内 容
必須	計測基礎コース	3	センサ技術(原理, 構造, 取扱い等)
		2	調節弁, 燃焼安全装置の原理, 構造, 取扱い
		5	自動制御の基礎/理論と実習*
専門コース	製造コース	6	訓練用熱量調整装置による運転操作および異常処理訓練 ① 品質管理について ② シーケンスフローシートの理解 ③ 自動制御の実際の理解 ④ 危険予知訓練と安全作業の行い方 ⑤ アナログ調節計による運転 ⑥ コンピュータによる DDC 運転
		4	シミュレータによる運転操作および異常処理訓練 ① 熱量調整プラント ② LNG 気化装置(ORV, SMV) ③ LPG 気化装置 ④ ボイラ(水管式) ⑤ SNG 改質装置
	機械コース	6	非破壊検査コース 非破壊検査の理論と実習
		6	動静機器コース 圧縮機の理論と分解整備 溶接技術の理論と実習ほか
		6	設備診断技術コース ミニプラントによる故障解析と性能分析
	電気コース	5	施工保全技能コース ケーブル工事の知識と実技訓練 配電盤工事と定期点検実技訓練ほか
		5	設備診断コース 各種絶縁診断, 地絡事故調査ほか
	計測コース	5	自動制御コース* 自動制御理論と実習 計算機システム概要と保守
		5	プロセス計装コース* プロセス計装の考え方 計装工事の施行管理技術と実習
		5	シーケンスコース* シーケンス設計と製作実習 統計の基礎, 計量管理

*: CAI 導入コース

3) 講義形式では困難なシミュレーション等が可能
 4) 個人別の学習達成度をより速く正確に把握し, タイムリで適切な指導が可能
 5) コンピュータは学習者に平等に応答を求めるため, 能動的参加型の学習が可能
 こうした現状認識を踏まえ, CAI の導入を検討するに当たり, その位置付けと開発方針を次の五点においた。

- 1) 講義科目を補完する。
- 2) 受講者が多く, 効果の期待できる基礎的な科目を優先的に CAI 化する。
- 3) 従来の講義では, 困難なシミュレーション等をできるだけ多く取り入れ CAI の長所を活かす。
- 4) 音声と画像(静止画)を取り入れ, 学習効果の一層の向上を図る。
- 5) 各職場への分散設置によって, 自習, 予習, 復習等に役立てることも考慮する。
 こうすることにより, 訓練センタでは実習を重点にし, 限られた時間をより有効に活用できる。

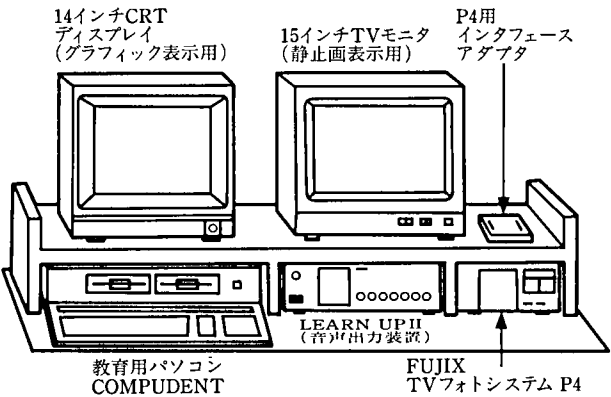
4. CAI システムのハードウェア導入経過

CAI システムの検討は、関係各所のメンバからなるワーキンググループによって進められた。主要なコンピュータメーカのハードウェア、ソフトウェアの調査を始め、既導入ユーザの実状調査等を経て採用機種を決定した。

主要な選定ポイントは次の六点である。

- 1) パソコンの利用で経済的なシステムが構築できること
- 2) 音声機構付きで目と耳から学べること
- 3) 画像（静止画）を表示できること
- 4) コースウェアの作成が簡単で、とくに修正が容易にできること
- 5) シミュレーション等の機能が容易に組み込めること
- 6) コースウェア開発のノウハウ、実績が豊富なこと

採用した機器は、日本ユニシス(株)の LEARN UP システムと富士写真フィルム(株)の TV フォトシステムを組み合わせた構成である。図 1、図 2、写真 3 にハードウェアとソフトウェアの構成を示す。このシステムは、選定ポイントをほぼ満たすものであるが、3)の画像表示機能は標準ではサポートされておらず、パソコンと TV フォトシステムとの間のインタフェースは新規に開発した。



機 器	概 略 仕 様
CAI制御装置	教育用パソコンCOMPUDENT CPUi8086 MEMORY 256キロバイト FDD640キロバイト×2
音声出力装置	カセットデッキLEARN UP II パソコンとの同期による音声出力
静止画再生装置	TVフォトシステム パソコンとの同期による静止画再生
グラフィック表示装置	14インチカラー-CRT 640×400ドット パソコン教材表示
静止画表示装置	15インチカラー-TVモニタ 静止画表示

図 1 CAI ハードウェア構成

Fig.1 Hardware configuration of CAI

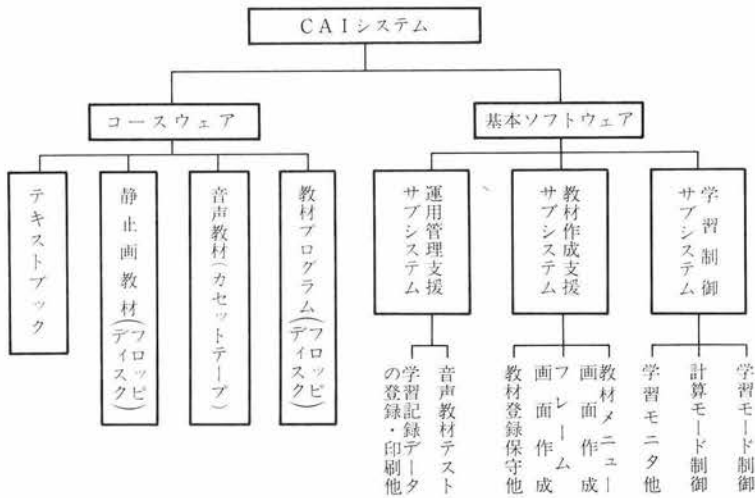


図2 CAIソフトウェア構成

Fig.2 Software configuration of CAI



写真3 CAI教室

Photo. 3 CAI class

当システムの使用法はできるだけ簡単にした。学習者は教材を選択し、ヘッドホンからの音声とパソコン画面、TV フォト画面を通じて学習を進める。シミュレーション等がある場合には、指示に従ってキーボードを操作する。問題が出たらそれに答える。60点以上で次に進む。60点未満の場合は、復習を行い理解を確認した後、次に進む。必要に応じてヒント要求、中断等ができる。

5. オリジナルコースウェアの開発

CAIの成否はコースウェア（教材）の良否にかかっている。講義で使用するテキストの単なるコピーでは、CAIの特徴を十分に活用したことはない。とくに、留意した点は次の三点である。

- 1) 一方的な説明に終始せず学習者の応答を求める。このために教材はできるだけ小さな節に分割し、各節ごとに説明の後で問題を出す。あるいはシミュレーショ

ン等で主体的な参加を求める。

- 2) テキストや黒板では表現しにくい動的な表現を積極的に取り入れ、理解を助けるとともに飽きないようにする。
- 3) 最初から完璧なものを望まず、運用後の評価を踏まえて改訂を行い、完成度を高めていく。

これまでに開発したオリジナルコースウェア例を表2に示す。

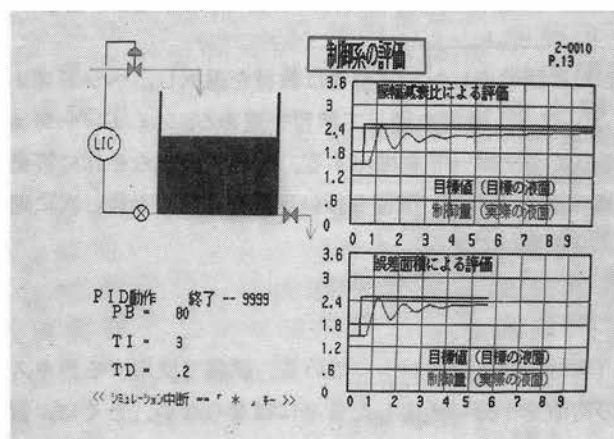
表2 オリジナルコースウェア

Table 2 Original courseware

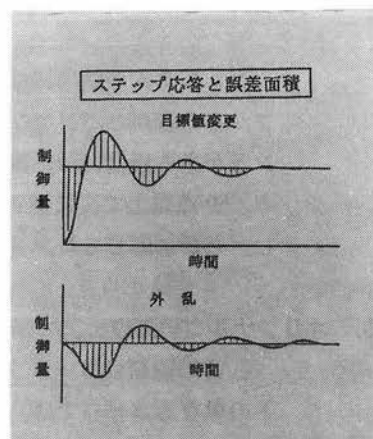
コースウェア名	章	内 容
1 無接点シーケンス制御の基礎	1	トランジスタの原理から IC ロジック回路の理解まで
2 自動制御の基礎	7	自動制御の入門から制御動作の理解、最適調整
3 プロセス計装(工事編)	4	プロセス計装工事の概要とチェックポイントの理解
4 電気の基礎(理論編)	8	オームの法則から交流の理解まで
5 電気の基礎(実務編)	4	電気設備の工事、保全実務
6 吸収冷凍機入門	6	吸収冷凍機の理論、構造、制御

今後さらに充実させていく考えである。各々の教材は、開発期間約6か月、ワーキンググループのメンバーが通常業務の傍ら、シナリオの作成(パソコン画面、ナレーション、静止画の設計等)から完成品のチェックまでを行った。このうちプログラミングと音声の録音は外注した。パソコン画面と静止画の1例を写真4に示す。これは、「自動制御の基礎」の1画面で、学習者が制御パラメタを任意に設定し、シミュレーションによってその特性を確認するものである。

コースウェアの開発の経験から学んだことの一つは、CAI教材の作成が多分に創造的な仕事であり、コツやセンスといった要素がある程度必要とされること、かつ比較



(a) パソコン画面



(b) 静止画

写真4 コースウェア例(自動制御の基礎)

Photo. 4 Sample courseware (Automatic control)

的多くの労力を要することである。したがって、あまり完全主義で教材作成に臨むと(たとえば膨大な数の誤答ケースを考慮し、それぞれに別の説明画面を提供すること等)、工数がかかりすぎ現実的でなくなる恐れがある。そこで教材の使用目的や使用対象等を明確に定め、適切なメンバによる十分な仕様検討が必要である。すでに述べたように、当訓練センタでは、CAI を講義の補完として位置付けており、教材作成上あまり煩雑になるシナリオは避け、ある程度インストラクタの補助を期待している。

6. CAI システムの運用結果と評価

CAI 導入後約 3 年間の運用の結果、期待通りの効果を確認することができ、その後の CAI 化推進の見通しが得られた。主要な成果は次の 10 点にまとめられる。

- 1) 理解度向上……各自納得できるまでじっくりと繰り返し学習できるため、理解度が向上し学習効果のバラツキが減少した。実際、コース終了時のテストで不合格点をとる者がいなくなった。
- 2) 学習意欲向上……講義と違い、時間配分等に制約がないため各自に合ったペースで学習できる。そのため、インストラクタは進捗の遅い人を重点的に指導できる。休憩時間も忘れて熱中する受講者が多く見られる。
- 3) 省力化……理解度向上の効果が実習科目の能率化にもつながっており、インストラクタの省力化、訓練全体の効率アップをもたらしている。
- 4) 質的向上……講義と比較して内容に深みが増している(シミュレーション等の導入効果)。
- 5) 人格尊重……恥や照れ等に関係なく学習できるため、当初の予想に反し、中高年層の教育に好結果をもたらしている。
- 6) 新学習形態……受講者同士の教え合い、話し合いが活発に行われ、インストラクタは必要に応じ助言するという、通常の講義では見られない好ましい学習形態も見られるようになった。
- 7) 個別指導……学習の経過が客観的に把握できコンサルティングがやりやすくなった。
- 8) ニューメディア効果……音声と静止画の使用は、当初の狙い通り表現を豊かにし、理解度向上に役立ったため、受講者の間で非常に好評である。
- 9) 達成感……講義と比較してより能動的な学習ができるため、受講者に「達成感」を与えている。
- 10) 自学自習……オープン使用希望者もかなりおり、将来的には各職場に分散配置し、OJT の一環として自習、予習、復習等に運用できる見通しがついた(これについては現在実現している)。

これらの成果を踏まえ、現在、コースウェアのなお一層の充実をめざすとともに、教材作成システムや運用方法の見直し、新しいメディアの活用の検討等を行いつつ、より優れた CAI へと改善すべき努力を続けている。

7. お わ り に

企業内教育の充実・効率化をねらいとして CAI を導入し、実践を通してその有用性

を確認した。CAI の効果をさらに確実なものとするためには、その長所と限界を見極め、CAI に適する内容を選択してコースウェアを開発していくことが重要であろう。また、今後検討すべき課題として以下の諸点がある。

- 1) 異機種間でのソフトの互換性の確保
- 2) マルチメディア対応
- 3) ネットワーク技術との融合
- 4) AI 技術の応用
- 5) コースウェアの開発・保守の一層の合理化
- 6) コースウェアの流通体制の確立

われわれは今後もより優れたオリジナル教材の開発を通して、CAI の発展と普及に微力ながら尽力していきたいと考えている。

-
- 参考文献 [1] CAI ハンドブック, (株)フジ・テクノシステム, 1989 年, 12 月, pp. 1160~1169.
 [2] 小山和夫, 中村努, 「企業内教育訓練におけるコンピュータの利用」, 燃料協会誌, 第 69 巻, 第 6 号, 1990 年 6 月, pp. 467~477.
 [3] 小山和夫, 「CAI システムのユーザ利用状況」, 事務と経営, 1988 年, 11 月, pp. 10~12.
 [4] 小山和夫, 柳沢亨, 伊藤健, 「東京ガスにおける CAI の実践とその評価」, 教育工学関連学協会連合会第 2 回全国大会, 1988 年, 10 月, pp. 101~102.
 [5] 柳沢亨, 小山和夫, 伊藤健, 「企業内教育における CAI の実践とその評価」, 日本教育情報学会, 1987 年, 8 月.
 [6] 伊藤健, 小山和夫, 柳沢亨, 「東京ガス工務教育訓練センタにおける CAI の実践」, 日本教育情報学会, 第 2 巻, 第 3 号, 1987 年, 1 月, pp. 72~77.

執筆者紹介 小山 和 夫 (Kazuo Koyama)

昭和 48 年東京大学理学部物理学科卒業。同年東京ガス(株)入社。システム開発, 技術開発に従事。CAI システムの開発の他, 訓練用シミュレータの開発, 構造解析, 保安耐震問題, 熱流体問題, CAD, AI 等に取り組む。現在, 同社生産技術センタ課長, 技術士(情報処理), システム監査技術者, 特種情報処理技術者, オンライン情報処理技術者。



LEARN UP エグゼキュータの仕組みと発展的応用

The Mechanism of the Executer for the 'LEARN UP' CAI System and its Extending Application

出 石 修, 栗 城 章 郎, 大 熊 誠 也

要 約 最新の「LEARN UP」CAI システムでは、そこで制作されたコースウェアの異機種間での互換性を保証している。しかも互換性のみならず、今後への継承性、さらに発展的に応用できることをも考え、コースウェアを階層関係のある独立した部品に分けて作成するようにしている。

したがって、コースウェアを実行・制御するエグゼキュータについても、教材部品の新たな利用形態をあらかじめ考慮して設計を行った。

本稿では、このエグゼキュータ実現のために講じた仕組みを述べるとともに、今後この仕組みを利用することによって、どのようなことが可能となるか、いくつかの例を取り上げ、考察してみた。

Abstract The latest version of the 'LEARN UP' CAI system guarantees compatibility of the courseware produced by it among different types of MS-DOS personal computers. In consideration of exchangeability, continuity to successors and future expanded applicability, the courseware is so created as to be dividable as independent segments so that it can provide connectivity on a layer-to-layer basis.

Accordingly, the Executer which runs and controls courseware is also designed to meet the possible new use of its segmental parts.

This paper discusses the mechanism built for creation of this type of Executer and takes up a couple of examples in an attempt to show what possibilities are yet to be realized in the future through the use of the mechanism.

1. は じ め に

日本ユニシスでは、現時点での主流 OS (MS-DOS* Ver. 3.10 以上) 搭載のパーソナル・コンピュータ (以下パソコン) 間でのコースウェアの互換性と、主流 OS が変わっても既存コースウェアがそのまま利用できる、新たな利用形態にも教材部品**のレベルで流用できるといった、継承性を第一義にとらえ、1987 年 4 月新 LEARN UP システムの開発に着手した。(従来のものは、新システムと区別するため、「LEARN UP A 版」と称している。そのオーサリングシステムでは、コースウェアを BASIC プログラムとして生成していたことから、パソコン間での互換性はまったくといってよいほど無かった。)

残念ながら、1988 年 2 月に完成発表した「LEARN UP B 版」¹⁾ (以下 B 版) では、諸般の事情により当初の目的を達成することはできず、遅れること 2 年の 1990 年 2 月

* MS-DOS: 米国 Microsoft 社の登録商標。16 ビットパソコンの主流 OS。

** 教材部品: コースウェアを構成する個々のソフトウェア部品 (要素) のこと。コースウェアを部品に分けて制作することにより、複数人による作業分担を可能にする、部品の共通利用化を図れる、修正を関係する部品に絞れる、といった生産性の面でのメリットを生む。部品化のポイントは部品間の階層関係と独立性にある。

に完成発表した「LEARN UP C版」(以下C版)で初めて、市販のMS-DOSパソコンの大半でコースウェアを相互利用できるシステムを実現化した。(なお、B版で作られたコースウェアは、C版でそのまま使用できるよう上位互換となっている。)

このC版では、異機種間でコースウェアを利用し合えるだけでなく、オーサリングシステムを使って、その内容も自由に改造して利用することができるようになっている^[2]。さらに重要なことは、パソコンが異なっても、オーサリングシステム(C版ではLAS: Learn up Authoring System, 以下LAS)での制作から、エグゼキュタ(C版ではLEX: Learn up EXecuter, 以下LEX)を使った実施、CMIシステム(C版ではLMI: Learn up Managed Instruction)による評価までが同一操作環境下で行えることである。

以上のようにC版は、互換性の面では十分に考えられたシステムになっている。

本稿では、もう一つの継承性について、LASで制作した教材部品の新たな利用形態の面からとらえてみることにした。

現時点でのLASで作ることのできるコースウェアは、別個に制作した教材部品に固定的なリンクを張ることで作られているプログラム学習型の個別指導用教材である。しかし、リンクの付け方いかんによっては、さまざまな利用形態が可能になることをあらかじめ想定して(独立した情報単位として教材部品を作れるように)LASを設計した。

この教材部品は学習のための教授単位であり、学習者に提示する単位情報である。したがって、利用形態が変わってもこの基本は変わらない。このため、今後予想される利用形態に共通して用いることが可能な学習制御プログラム:LEXを考案する必要が生じた。

第2章で、その仕組みを述べるとともに、第3章では、この仕組みを利用してどのようなことが可能になるか、われわれの意向も含めて考察してみた。

なお、LEXそのものの機能概要については文献^[3]を参照されたい。

2. エグゼキュタの仕組み

2.1 開発の背景

「はじめに」でも背景を述べたが、この仕組みを考える直接の動機となったのは、以下に述べる——LASでのコースウェア制作の生産性向上策の一環としての——教材部品を検証するための手段であった^[2]。

学習を進める上での基本単位をフレームファイルと呼んでいるが、これは教授情報を実装している他の部品——文字、グラフィックス、音声同期データ等からなる画面ファイル、学習者との応答に関するデータからなる応答ファイル、シミュレータ等プログラム言語で作られた補助プログラムファイル、等——を呼び出すための指示データを学習者に提示する順に並べたものである。(フレームファイルもまた部品の一つである。)

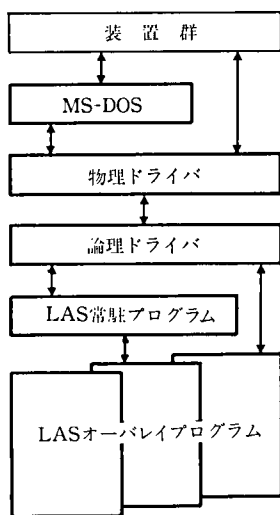
呼び出される個々の部品は、その制作過程で検証できる方法を講じたが、フレームファイルは、前述したように、学習を進める上での基本単位つまり教授・学習過程における基本単位であるため、その処理を行うに当たっては本来LEXの持っている機

能を利用するのが望ましい。そして、LEX の機能をそのまま利用できれば——学習時そのまゝの環境下でテストできることになるので——音声の他、スチルビデオ、ビデオテープ、ビデオディスク等のマルチメディアを用いたテストが可能となるだけでなく学習記録も採取できることから、教授情報の提示の仕方、学習者の操作の容易性、学習所要時間の配分等、制作時に個々のフレームファイルのレベルで、その内容の妥当性を分析できることになる。(以上のようにフレームファイルのレベルで検査できる——その場で手直しすることもできる——ため、すべての部品を揃えてからでなければ検査できない場合と較べると、手直しが生じた時の影響が少なくすむ。)

ただし、LEX と同じコードを LAS に組み込むことは保守等を考えると好ましくない。そこで、LAS から直接 LEX を呼び出せる仕組みが必要になった。

2.2 実 現 方 法

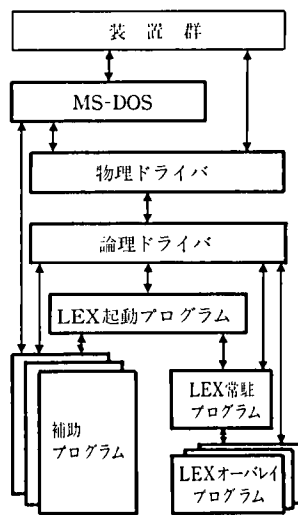
LAS, LEX それぞれ単独での実行時のソフトウェア構造は図 1, 図 2 のようになっている。



(矢印は制御の流れを表す)

図 1 LAS 実行時のソフトウェア構造

Fig.1 Software structure of LAS



(矢印は制御の流れを表す)

図 2 LEX 実行時のソフトウェア構造

Fig.2 Software structure of LEX

物理ドライバや論理ドライバは、オブジェクト指向的な考え方をもとに実現したもので、パソコンの機種ごとに異なる部分や接続する装置の違い等を物理ドライバに持たせることで情報を隠蔽し、ユーザプログラムからの装置への命令は論理ドライバに対して行われる。したがって、装置が変わっても、変更箇所は物理ドライバの関係する部分だけに限定され、ユーザプログラムは影響を受けずにすむ。(このドライバを設けたことが、LEARN UP システムの多機種への移植を容易なものにしている。)

LAS は、メニュー処理等を行う常駐プログラムと、メニューで選ばれ実際に部品処理を行うオーバーレイプログラムから構成されている。

一方、LEX は、フレームファイルの中から補助プログラム——LAS では制作するこ

とができないため、プログラム言語で独自に作られる——の呼び出しを可能にするために LEX と補助プログラムの切り替えが必要であり、そのために LEX 起動プログラムを用意し、LEX を子タスクとして起動している。LEX が補助プログラムを起動したい時は、補助プログラム起動要求を論理ドライバの指定領域にセットし自身を終了させる。その際、自動的に LEX 起動プログラムに制御が戻るので、LEX 起動プログラムは論理ドライバの領域を見て該当の補助プログラムを起動する。補助プログラムが終了すると、やはり LEX 起動プログラムに制御が戻る——自動的と指示による方法があるが——ので、今度は LEX を起動する。LEX は、中断時の情報をディスク上に書き込んであるので、この情報をもとに中断地点までの復帰処理——学習者は、自動的に中断箇所からの学習が可能になる——を行う。

そして、今回目的としたところの、LAS のオーバレイプログラムの一つであるフレームファイルテスト用プログラム（「コースウェアのテスト」プログラムという。以下「コースウェアのテスト」）から LEX を呼び出すようにした時のソフトウェア構造は図 3 のようになる。

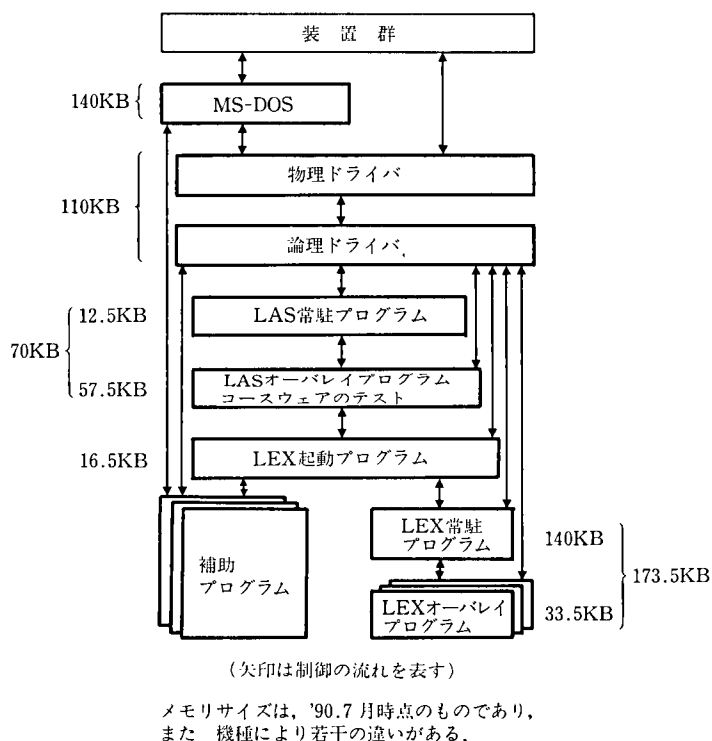


図 3 LAS から LEX を実行する時のソフトウェア構造

Fig. 3 Software structure using LEX under LAS

LAS の「コースウェアのテスト」から LEX 起動プログラムが子タスクとして起動され、さらに LEX 起動プログラムから LEX が子タスクとして起動される。その際、テスト対象フレームファイルの ID が渡される。

LEX でのフレームファイル処理は、そのフレームファイルに次のフレームファイル

へのリンクがある場合は、自動的に次のフレームファイルも処理される。フレームファイルの処理を中断する「メニューキー」が押されるか、フレームファイルのリンクが途切れるまで処理は繰り返される。

フレームファイルの処理が終了した時点で LEX は自らを終了させ、LEX 起動プログラムに戻る。さらに LEX 起動プログラムも自らを終了させ、LAS の「コースウェアのテスト」に戻る。そこで次にテストしたいフレームファイルを指定することが可能となる。

なお、図 3 のソフトウェア構造を MS-DOS のアドレス空間である 640 キロバイト以内で実現する必要があった。

以下に、実現するに当たって講じた手段を具体的に述べる。

- 1) LEX 起動パラメータの設定……図 1, 図 2 いずれもドライバがメモリにロードされているが LAS の場合はドライバが最初に、次に LAS がロードされるようになっている。LEX も同様にすると図 3 のケースでは、同じドライバが重ねてロードされてしまうことになる。したがって、LEX が起動されたとき、学習用として起動されたか(学習モード)、LAS からテスト用として起動されたか(テストモード)、でドライバロード可否の判断が必要になる。

このため、LEX として最初に呼び出される LEX 起動プログラムに対して、起動パラメータを渡すようにした。

この他、前述した補助プログラムの終了後、LEX 起動プログラムが LEX を起動する際、初期起動と区別するための起動パラメータ（再学習モード）も一つ用意する必要があった。

起動パラメータとモードとの関係をまとめると表 1 のようになる。

表 1 起動パラメータの種類
Table 1 Description of parameter to LEX

起動パラメータ	モード
- I	学習モード
- P	再学習モード
- T	テストモード

なお、LAS から LEX が起動され、さらに LEX から補助プログラムが起動された時の LEX 再起動は、「lex-t-p」として、二つのパラメータが渡される。

- 2) LEX 機能別モジュールを呼び出すための機能コードの設定……LAS から呼び出される LEX の機能は、全体の一部であり、かつ LEX からの呼び出し順序とも異なっている。

このため、各機能呼び出す方式を固定化せずに、必要に応じてオーバレイモジュールとして呼び出せるように LEX の機能別モジュール化を行い、各モジュールに対してそれを指示するための機能コードを割り当てた（表 2）。

実際には、表 2 の機能コードとしてのかたまりがオーバレイモジュールであり、詳細コードを併せて指示することでその中の必要な機能だけを使うようにしている。

表 2 LEX 機能別モジュールと機能コード

Table 2 Code for using LEX functional module

機能コード 詳細コード	INIT_FUNC (初期化)	PRIPARE_FUNC (学習準備)	LEARN_FUNC (学習中)	END_FUNC (終了)
0	初期化	タイトル表示	初期化	通常終了
1		学習者登録	セグメント選択	中断
2		日付/時刻設定	セグメント開始	補助プログラム自動起動
3		自動学習チェック	フレーム実行	補助プログラム PF 起動
4		コース選択	セグメント終了	コース切替え
5		モジュール選択		
6		学習準備確認		
7		ユーザ外字ロード		
8				
9				異常終了

- 3) インタラプトベクタの設定……フレームファイルのテストを行う場合、LAS の「コースウェアのテスト」から LEX 起動プログラムが子タスクとして起動され、さらに LEX 起動プログラムから LEX が子タスクとして起動される。2) に述べた LEX の機能別モジュールを必要に応じて呼び出すとき、子タスクを次々と終了させて一旦 LAS に戻してから、再び次に必要な LEX 機能別モジュールを起動させるべく上記を繰り返すのではロード時間の無駄が生じる。

これを避けるために、子タスクとして呼び出された LEX から LAS 「コースウェアのテスト」へ直接制御を戻せる仕組みを考えた。

インテル社の 86 系 (8086, 80186, 80286, 80386) の CPU では、インタラプトベクタと呼ばれる割り込み用のアドレステーブルが絶対番地 0000₍₁₆₎～03 FF₍₁₆₎ に割り当てられている。一つのアドレスは、セグメントとオフセットの 4 バイトで表され、全体で 256 個指定できるようになっている。それぞれのアドレスは、下位アドレスから順にベクタ番号の 0～255 番と呼ばれている (図 4)。

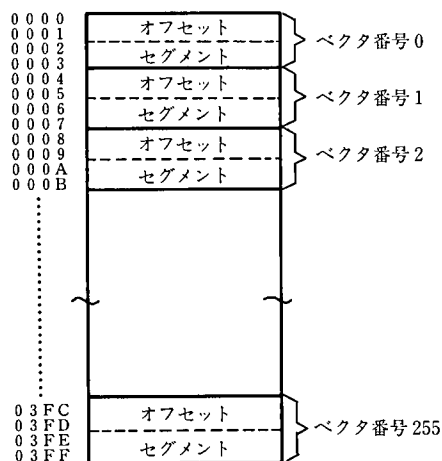


図 4 8086 系インタラプトベクタテーブル

Fig. 4 Interrupt vector table of 8086 series

このインタラプトベクタは、通常は MS-DOS が回線割り込みやキーボード割り込みを処理するために使用するが、ユーザプログラムでも使用できるようになっている。その場合、アセンブラの INT 命令を使って該当ベクタ番号を指定する。INT 命令が実行されるとベクタ番号に指定されているアドレスのルーチンへ制御が移り、そのルーチンで必要な処理を行った後、IRET 命令を実行することで INT 命令の次に制御が戻る。

この機能を利用して、図 5 に示すような LEX と LAS との直接のやりとりを実現している。

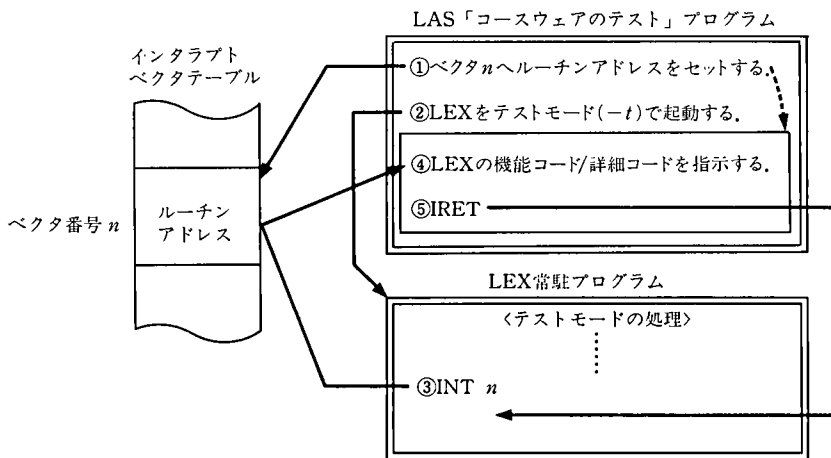


図 5 LEX から LAS を直接呼び出す仕組み

Fig. 5 Mechanics of direct access to LAS from LEX

3. エグゼキュタ、その発展的応用への考察

現在、「コースウェアのテスト」をそのままプレゼンテーションツールとして用いることが行われている。フレームファイルの中から文字、グラフィックスの他にアニメーションや補助プログラム——補助プログラムへはデータの引き渡しが可能であり、そのデータを使ってのグラフ表示等もできる——さらには音声、画像、映像等呼び出し用いることができるため、必要な部品（フレームファイル自身を含む）を説明の進行に合わせてあらかじめ配列しておくことにより、効果的な提示用教材とすることが可能となる。

しかし、ここではさらに一步踏み込んで、エグゼキュタの今後の応用について考えてみることにする。

3.1 アプリケーションソフトウェアの教育支援

現在、企業における OA 化の教育にかかる費用は、OA 化全体から見て 40 %にも上るといわれている。そして、その原因のほとんどが、ユーザインタフェースの不統一からくるアプリケーションソフトウェア（以下 AP ソフト）の習得のしづらさにあるとしている。そのため、費用を低減するには、習得しやすくかつ統一されたユーザインタフェースとして、直接的・直感的操作を可能とするためのメタファを利用したグ

ラフィカル・ユーザ・インタフェース（以下 GUI）が必要であるとしている^[4]。

しかしながら、操作環境の標準化という意味での必要性は確かに認められるものの、AP ソフトがすべて日常的な経験をもとに操作できる——メタファとして表すことのできる——ものとは限らない。とくに、業務用パッケージソフトウェアはその色彩が強い。

波多野ら^[5]は、AP ソフト教育用としてパソコン 2 台を直列に接続し、バックエンドに AP ソフト、フロントエンドに操作支援用のソフトをそれぞれ配すことで学習者の操作をフロントエンド側で介入し、操作を誤っている場合にはその旨の KR*を返し、正しい時はハードウェアとしてのキーボードエミュレータを介してバックエンドの AP ソフトに操作内容をそのまま送る、といったシステムを研究・開発している。

われわれは、2 章で述べた仕組みを用いて——上記のようなハードウェアによるエミュレータを使用することなく——AP ソフトを教育支援するシステムの実現化を二つのケースで考察してみた。（その際、AP ソフトには一切手を加えないことを前提とした。したがって、AP ソフトが独自のヘルプ機能を持っていたとしても、それを用いないで済む方法を考えて。）

3.1.1 オフィスコンピュータ用アプリケーションソフトウェアの教育支援

オフィスコンピュータ（以下オフコン）は、パソコンとともに OA の中核をなしている。オフコンの AP ソフトを教育する場合、問題となるのは次のものである。まず、CRT はキャラクタベースのため、グラフィックスを用いた画面を教授用に使えないことである。このことは図解等、絵図を用いた説明に限界があることを示している。次に、RS-232 C**やセントロニクス***といったパソコンなら標準で備えているインタフェースを持っていないことである。したがって、音声や他のメディアの併用ができないことになる。

そこで、パソコンの持つ特徴を活かして、オフコンにパソコンを端末として接続し、パソコンを介してオフコン上の AP ソフトの教育を支援するシステムが考えられる。

以下にこの形態で試みた考察を述べる。

オフコン側に AP ソフトを、パソコン側にはエグゼキュータを、それぞれ配した際のパソコン側のソフトウェア構造は、図 3 の LAS の部分をオフコン端末エミュレータ（ただし、通常のエミュレータに以下のことを可能にするための修正を施したもの）に置き替えたものになる（図 6）。

エミュレータでは、学習者によるキーボード操作をすべて把握する必要がある。これは、学習者の操作により AP ソフトのどの場面に進んでいるかを管理する必要があるからであり、このことにより、ヘルプ要求がどの場面でなされても操作を援助する

* KR (Knowledge of Result)：設問に対する学習者の応答内容を解析し、フィードバックとして返す適切なメッセージをいう。学習意欲の高揚につながる称賛や励ましといった情動的 KR と、考え違いを指摘したり、忘れていたことの想起を促したりする知的な KR とがある。学習者に KR を即座に返すことが、学習上効果があると証明されている。

** RS-232 C：CCITT（国際電信電話諮問委員会）の勧告により EIA（米国電子工業会）が定めた規格であり、モデムとパソコン等データ通信端末装置とのビットシリアルインタフェースをいう。LEARN UP システムでは、音声装置やビデオテープ装置、ビデオディスク装置等を RS-232 C に接続し、使用している。

*** セントロニクス：米国のセントロニクス社が定めたパソコンとプリンタとの 8 ビットパラレルインタフェースをいう。現在、大半のパソコンでこのインタフェースが使われており、事実上プリンタインタフェースの標準となっている。LEARN UP システムでは、プリンタの他、ステルビデオ装置を接続し、使用している。

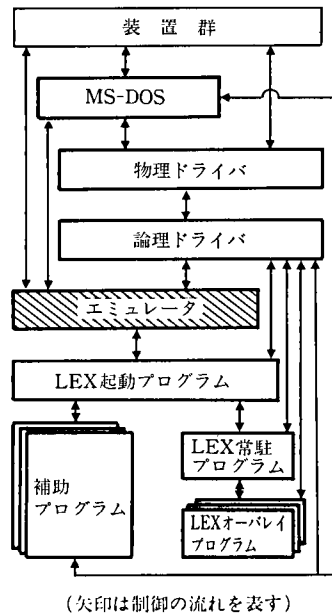


図 6 オフコン端末として LEX を実行する時のソフトウェア構造

Fig. 6 Software structure using LEX under the terminal of office computer

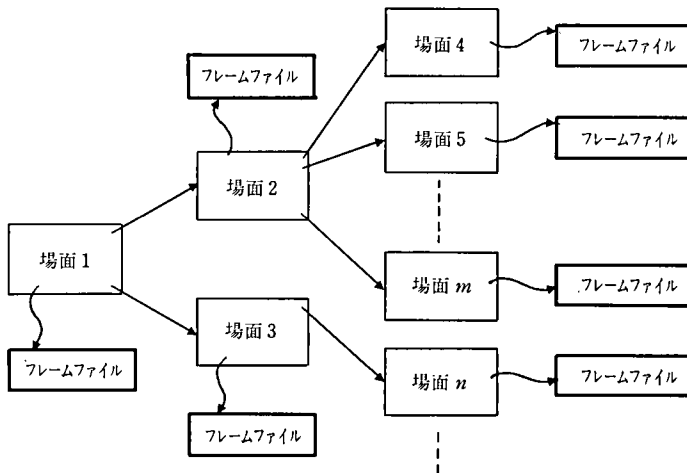


図 7 アプリケーションソフトの各場面とフレームファイルとの対応関係

Fig. 7 Frame files as HELP information to each spots of application software

ための適切な情報 (フレームファイル) を提示することが可能になる (図 7)。

なお、フレームファイルの数は、1 モジュール (LEARN UP システムでの学習の基本単位。プログラムのモジュールと区別するため以下教材モジュール) では最大 100 個であるが、教材モジュールを変えることで——1 コースには教材モジュールを最大 10 個含めることができるので——最大 1000 個使用可能となり、さらにコースを変えることにより——コース記号は、英字で始まる英数 3 文字からなるため、 $26 \times 36 \times 36 = 33696$ 通りのコースが可能となるので——理論上は 33696000 個までのフレームファ

イルを使用できることになる。

また、APソフトの場面推移の操作がメニュー選択でなされるのか、コマンド入力でなされるのか、あるいは自動的に——その場面での指示が終わった時点で——なされるのか、さまざまなケースが考えられるが、これらのリンク関係をテーブルとして持たせ、現在の場面をポインタで管理することにより、当該場面でのヘルプキーによる操作支援だけでなく、当該場面で受付可能なコマンドのチェックも行うことができるようになり、不正コマンドに対してはKRでその旨を指摘することが可能となる。

ここでは、テーブルの構造や内容については割愛し、学習者の操作をMS-DOSからエミュレータが横取りし、それがヘルプ指示であった時にLEXを起動する仕組みについて示すことにする(図8)。

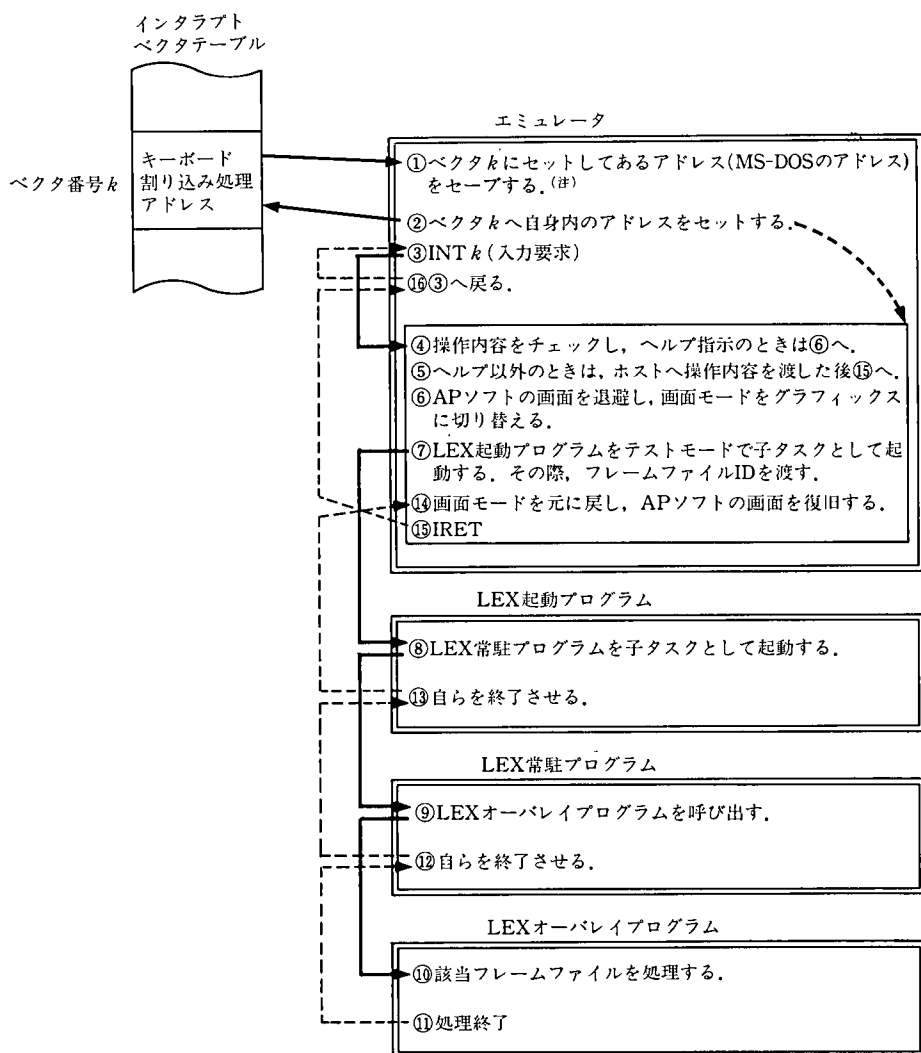


図8 エミュレータでのキーボード割り込み処理

Fig. 8 Process of keyboard interrupt under the terminal emulator

エミュレータは、本来の端末エミュレータとしてのコードだけでもかなりの容量を占めるのに、さらに操作内容を調べる部分が付け加わると図6の構造では640キロバイト以内に収まらなくなることが考えられる。(図3の各プログラムのメモリサイズから見ても、補助プログラムのサイズがキーになる。補助プログラムは、300キロバイトまでのものを使用できることになるが、このようなものを使用すると、エミュレータは70キロバイトしか使用できなくなる。しかし、補助プログラムがLEX——常駐とオーバーレイ——以下であるならば、200キロバイトまで使用できる。)

収まらない場合は、LEX 常駐部分の一部と LEX オーバーレイプログラムの EMS* 化、さらに補助プログラムについても常駐部分とオーバーレイ部分に分けて、オーバーレイ部分の EMS 化が必要になる。

EMS 化は、拡張メモリが存在すれば EMS の処理が行われ、存在しなければメインメモリが使用される。したがって、現時点で EMS 化対応をしたとしても現行システムに影響を与えることはない。

3.1.2 パーソナルコンピュータ用アプリケーションソフトウェアの教育支援

次に、パソコン上に AP ソフトをロードするケースを考察してみる。その際のソフトウェア構造は、図3の LAS の部分を操作管理プログラムと AP ソフトに置き替えたものになる(図9)。

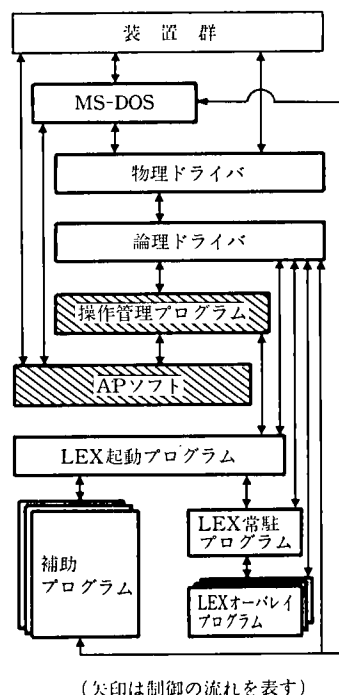


図9 APソフトとLEXが併存する時のソフトウェア構造

Fig. 9 Software structure using LEX and Application software

* EMS (Expanded Memory Specification) : MS-DOS の拡張メモリ仕様。640 キロバイトに収まらないようなプログラムのために、拡張メモリを使用できるようにしたものが EMS である。米国の Lotus Development, Intel, Microsoft の 3 社が仕様を策定したことから、LIM/EMS とも呼ばれる。

操作管理プログラムは、3.1.1項のエミュレータのうちの、学習者の操作を管理する部分と同様の機能を持つものであるが、学習者の操作をAPソフトから横取りするあたりの仕組みが、図8とは違っている(図10)。

操作管理プログラムとAPソフトを合わせて200キロバイト以内——3.1.1項で述べたように、補助プログラムのメモリサイズいかんにより、もっと少なくなる——に収めるのは、最近のAPソフトの高機能化によるメモリ容量の増大を考えると、図9の構造をとるのは大変きびしいと言わざるを得ない。

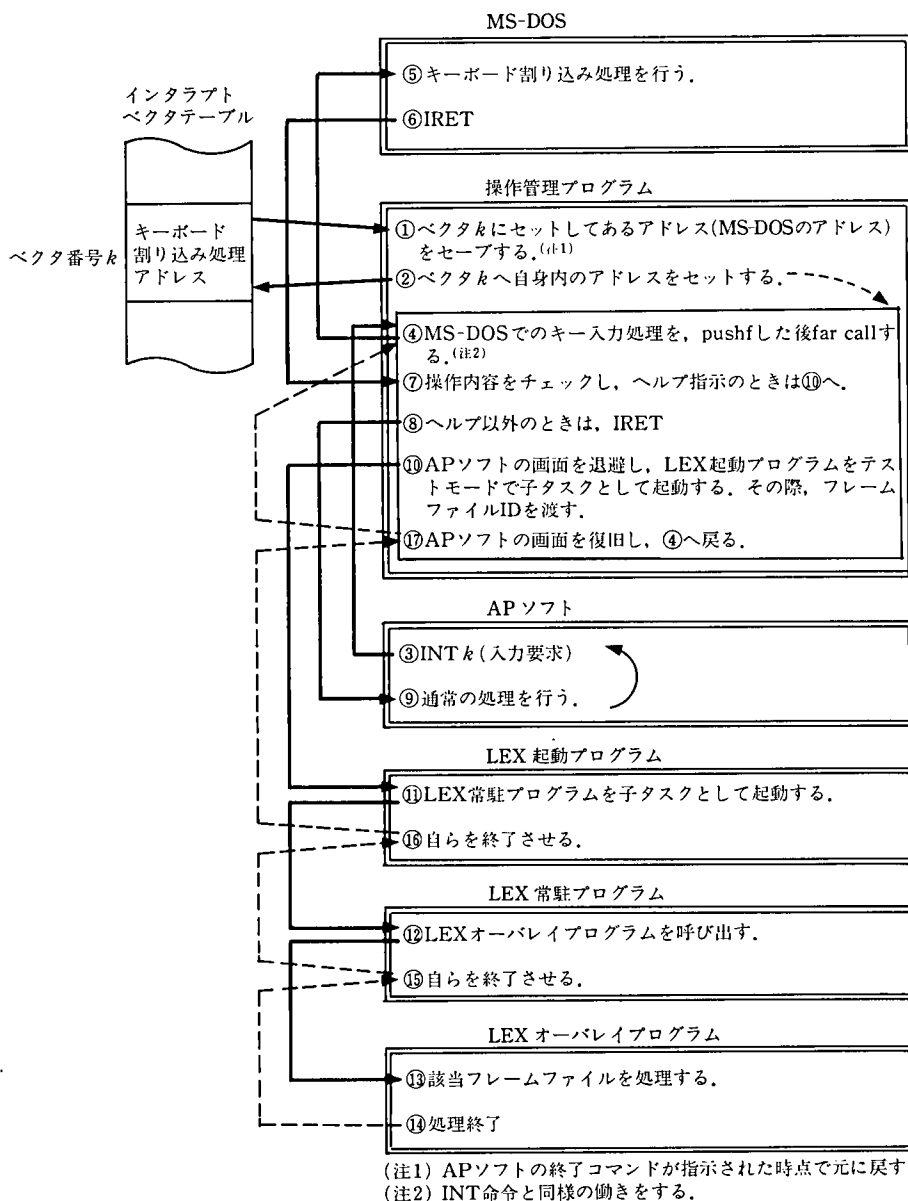


図 10 操作管理プログラムでのキーボード割り込み処理

Fig. 10 Process of keyboard interrupt under the operation-control-program for Application software

また、3.1.1項に述べた LEX と補助プログラムの EMS 化を行ったとしても、300 キロバイト弱ほどしか提供できないため、このケースでは、むしろ AP ソフトの EMS 化が必要になる。このことは、本稿の目的とする AP ソフトを手直しすることなく仕組みを利用するという方針に反することになるが、将来 LEARN UP システムが OS/2*——MS-DOS との親和性を考えると LEARN UP システムの次期 OS となる公算が大である——に移行した時は、メモリの制約はなくなり、方針にそって実現することが可能になる。(なお、現状でも上記条件に合った形で EMS 化対応されている AP ソフトの場合は、上述した仕組みがそのまま利用できることになるが、条件に合わないものについては、そのための修正が若干ながらも必要になる。)

3.2 検索問い合わせ型 CAI

ハイパーメディアと呼ばれるものは、テキストの他、グラフィックス、音声、アニメーション、さらに画像や映像等、さまざまなメディアを含んだ情報単位を構造化したものであり、学習者自身の要求により教材内を自由に検索・探訪できるようになっている。その中の一つ、米国 Brown 大学の Intermedia の場合、これをブラウザ(必要なもの、興味あるものを手繰って拾い読みすること)として用いた学生に、批判的な思考力にかなりの向上が見られたということである^[6]。

昨今隆盛を究めている、認知心理学をパラダイムとする学習理論は、学習者が主体的かつ積極的に対象に働きかけて、対象からのフィードバックをもとに、自己の知識構造を変えることが学習であるとするものである^[7]。

この意味において、Intermedia のような検索問い合わせ型 CAI は、今後の一つの方向性を示すものといえよう。

LEARN UP システムにおけるフレームファイルは、前述したように、情報単位としては Intermedia と同様に、さまざまなメディアを含んでいる。Intermedia との違いは、情報単位間のリンクの張り方にある。Intermedia が、自由にリンクを張り巡らせることができ、しかもユーザグループごとに独立なネットワークを作ることができるのに対して、現在の LEARN UP システムでは、前述したように、固定的なリンク——前もって計画した教授・学習過程にそって、教材モジュールは、それを構成するセグメントという単位を直列に最大 10 個までつなげ、個々のセグメントではフレームファイルをあらかじめ想定した学習者の理解状態に応じて配列・リンクする、といった具合に学習者にとっては自由度を抑えられた形で作られる——しか張ることができないようになっている。

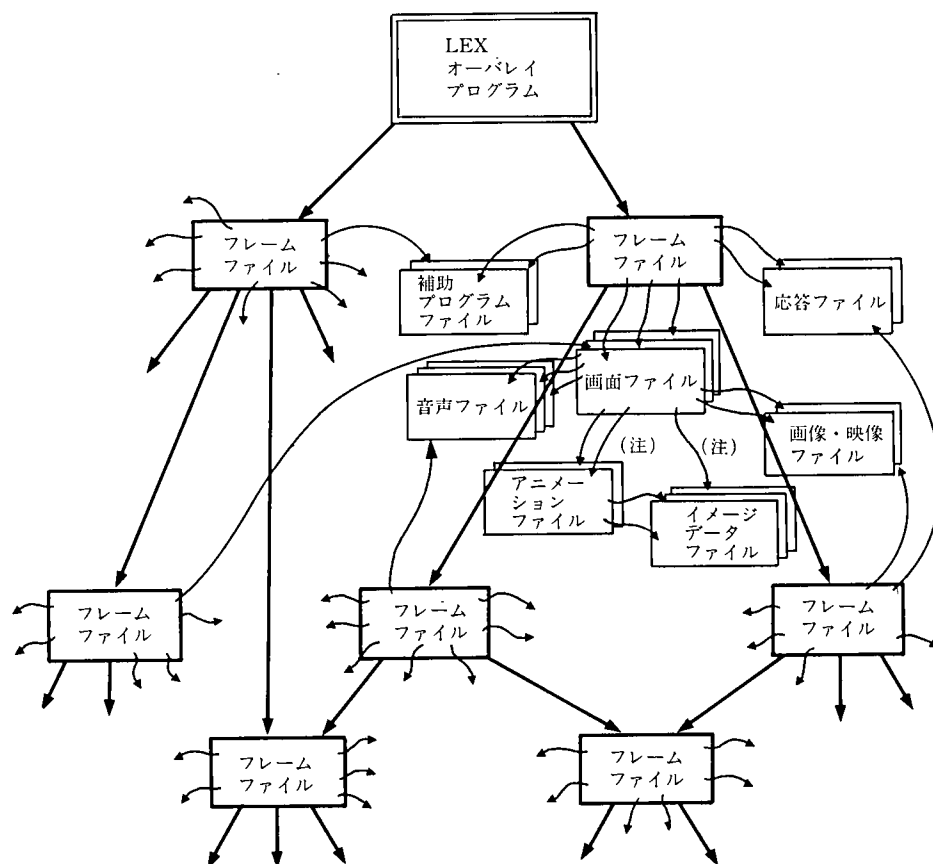
しかしながら、個々のフレームファイル自体がリンク情報を持っているのではなく、別の部品(フレーム制御ファイルという)が持っている。(このため、3.1 節で述べたようなことも可能になる。)したがって、リンクをもっと自由に張り巡らせることを定義できる部品をユーザグループごとに用意することで、Intermedia と同等のことが行えるようになる。また、このようにすることで、従来のプログラム学習型の CAI もそのまま利用できることになる。

以上のような、プログラム学習型と検索問い合わせ型とを併用できる CAI システムは他でも試行されるようになってきている^[8]。

* OS/2: 米国 Microsoft 社の登録商標。32 ビットパソコンの主流 OS になるといわれている。

LEARN UP システムは、ドライバの考え方だけでなく、図3に示したLASからLEXを呼び出す仕組み、さらにLEXが該当のフレームファイル呼び出し、フレームファイルからさらに画面ファイルや応答ファイル、必要によっては補助プログラム等呼び出し実行する仕組み等、それぞれをオブジェクトとするオブジェクト指向的な考えに基づいて作られている。したがって、フレームファイル間のリンクの他、画面ファイル等、フレームファイルから呼び出される部品のリンクの付け替えが行われても——追加や削除によるリンクの付け替えによっても——システムに影響を及ぼすことはない(図11)。

なお、伊藤^[6]も指摘しているように、検索問い合わせ型CAIで問題となるのは、リンク間の階層関係が学習者にとって不明瞭であると、学習者が検索過程で迷子になってしまうことである。これを避ける方法として、フレームファイルの内容を概念の内包や外延の関係*をもとに決定し、それぞれの関係をもとにそれぞれの間にネットワ



(注) アニメーションファイル、イメージデータファイルは、現在は、画面ファイルに含まれている。

図 11 部品間のリンク関係

Fig. 11 Each relation of courseware parts

* 概念の内包や外延の関係：哺乳類を例にとると、その内包は、肺で呼吸し、温血・胎生といった哺乳類の持つ属性であり、外延はその属性が適用される事物の範囲を示す。人・猿・犬・鯨等がこれに当たる。内包と外延は、概念間の帰属関係や従属関係といった階層関係を捉える上で必要な考え方である。

ークを張ることと、3.1節で述べたヘルプ機能——現在位置を教えたり、前に戻ったり、他に移る操作方法を教える——を備えることが要求されよう。

4. お わ り に

教育が、先人達の貴重な文化遺産を継承することにあるとするならば、手間をかけ、創意工夫を凝らしたコースウェアも極めて大切な文化遺産といえる。それゆえ、CAIシステムは、一貫した思想のもとに発展・継承されるべきものでなければならない。そのために、今後の方向性をも鑑みて今回のシステムを設計した。われわれの目指すところの発展・継承性は、この一貫性のもとになされることであり、このことがユーザに対する真のサービスにつながるものと確信している。考察したそれぞれの利用形態については、一つ一つ実現化していきたいと思っている。

なお、3.2節で述べた形態をさらに発展させたテレラーニングシステム(遠隔教育システム)については、CMIシステムとの連動、評価関数の導入、さらに、知識処理、推論、ファジィ(あいまい)理論といったAI技術の応用等、まだまだ検討すべき材料が山積しており、今後われわれの取り組むべき課題である。

また、操作性の面でも、主流になりつつあるGUIを積極的に取り入れ、APソフトにおけるユーザインタフェース統一化の潮流に乗る必要があり、こちらの方は、ただちに取り組まねばならない課題であろう。

-
- 参考文献 [1] 出石 修, “CAI システム LEARN UP におけるオーサリングの特徴と今後の課題”, ユニシス技報, Vol. 8, No. 1, 1988.
- [2] 出石 修, 大熊誠也, “LEARN UP 最新オーサリングシステムの特徴”, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 89, No. 229, ET 89-77, 1989.
- [3] 栗城章郎, 出石 修, “LEARN UP 最新エグゼキュータの特徴”, CAI 学会研究報告, Vol. 89, No. 4, 1989.
- [4] 「マルチメディア時代のユーザ・インタフェース」, 日経コンピュータ, 別冊ソフトウェア, 1989. 7.
- [5] 波多野和彦, 前迫孝憲, 坂元 昂, “アプリケーションソフトウェア教育支援システムの研究・開発(3)”, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 90, No. 20, ET 90-26, 1990.
- [6] 伊藤紘二, “第4章 教育訓練のタイプとCAIの学習形態 第4節 情報検索問合せ型”, 「CAIハンドブック」, フジ・テクノシステム, 第1刷, 1989. 12, pp. 271~276.
- [7] 菅井勝雄, “第1章 学習理論と教授理論 第1節 学習理論”, 「CAIハンドブック」, フジ・テクノシステム, 第1刷, 1989. 12, pp. 80~87.
- [8] 藤崎雅行, 佐藤幸治, 細井 正, 矢島正樹, “環境型CAIのオーサリング機能”, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 89, No. 229, ET 89-80, 1989.

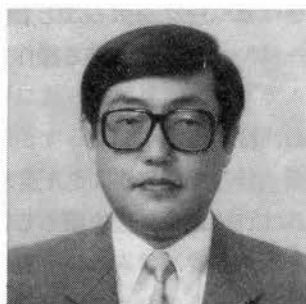
執筆者紹介 出石 修 (Osamu Izuishi)

昭和46年東京理科大学工学部経営工学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。56年よりLEARN UPシステムの開発に従事し、現在に至る。教育システム事業部企画部に所属。CAI学会会員。日本教育工学会会員。



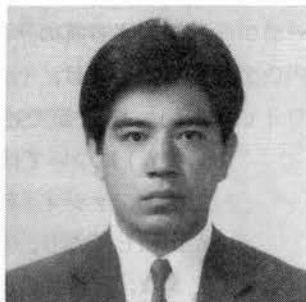
栗 城 章 郎 (Akio Kuriki)

昭和50年東京理科大学工学部経営工学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。58年より LEARN UP システムの開発に従事し、現在に至る。教育システム事業部開発部に所属。CAI学会会員。日本教育工学会会員。



大 熊 誠 也 (Seiya Okuma)

昭和56年武蔵工業大学工学部経営工学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。63年より LEARN UP システムの開発に従事し、現在に至る。教育システム事業部企画部に所属。情報処理学会会員。



知識処理技術を用いた運転員教育システム

An Operator Educational System Using Knowledge Processing Techniques

吉 村 誠 一

要 約 原子力発電所でトラブルが発生した場合、運転員はプラントに対する的確な状況判断と適切な対応操作が求められる。そのため、従来から運転訓練センタ等でフルスコープシミュレータを用いた教育訓練が繰り返し行われてきた。最近はこのに加え、発電所内でも日常的に教育を行おうという機運が高まりつつある。

電力中央研究所は、昭和 58 年から計算機を用いた運転員教育システムの研究・開発を行ってきた。しかし、最近では運転員の理解度に合った教材の呈示等、より質の高い教育が求められている。このように高度な教育を実現するため、62 年度からは知識処理技術を用いた運転員教育システムの研究・開発に取り組んでいる。

このシステムは運転員の理解度に合った教材を呈示する知識処理専用計算機、プラント設備図等を表示するエンジニアリングワークステーション、音声解説を行うパーソナル計算機で構成した。また、教材は事象を原因と結果のつながりで表現することにより、運転員がどの部分を知らないかを明確化し、効率的な学習を可能とした。

本稿では知識処理技術を用いた運転員教育システムの概要と、このシステムを用いて実施した試験使用の結果について述べる。

Abstract In case of trouble occurring in a nuclear power plant, the operators are required to make a proper judgement of the plant operational situation and to take corrective measures back into normal operation. That is why training programs have been repeatedly given to N-power plant operators using full-scale simulators at the Operation Training Center. In addition, there are rising moves recently to give them daily on-site training in the plant itself.

Since 1983, the Central Research Institute of the Electric Power Industry (CRIEPI) has been working on the development and research of a computer-assisted on-site operator educational system. However, current requirements include higher-quality education that calls for educational materials optimally adaptable to the levels of trainees' different comprehension.

Aiming for such a high-level education, CRIEPI's R & D efforts have been focused on an operator educational system using knowledge processing techniques since 1987.

The system is made up of a dedicated knowledge processing computer which interactively provides teaching materials most suited to trainees' achievement levels, an engineering workstation to display graphics such as plant facilities and a personal computer to give voice explanations. The educational materials in use are so designed as to represent patterns in terms of cause-and-effect relationship, thus making effective learning possible by clarifying where trainee operators fail to have a full understanding.

This report outlines the operator education system based on knowledge processing techniques and also describes the results of its trial use.

1. は じ め に

日本の原子力発電所における設備利用率は、昭和 57 年以来、70%台の高水準を維持している。このことは、通常運転時には異常や事故に遭遇する機会がほとんどないことを意味しており、運転員は訓練センタ等でシミュレータを利用した教育訓練を繰り返し行うことで、このような事態に対する対応操作能力の維持・向上を図っている。

このような対応操作を理解するためには、異常時のプラント過渡応答に関する物理的な知識を把握しておくことが重要である。そのため、当研究所は 58 年以来、発電所内で日常的にそのプラント固有の特性等を教育することを目的として、小型計算機を用いた運転員教育システムの研究・開発を進めてきた^[1]。

一方、ここ 5, 6 年の計算機利用技術の進歩はめざましいものがあり、知識処理技術、センサ技術等を利用した各種エキスパートシステムが実用化を目指して研究・開発の段階にある。このような技術革新の流れの中で、当所は 62 年、表 1 に示すように、知識処理技術を用いた運転員教育システムの開発に着手した^{[2]~[6]}。

本システムは、

- 1) 異常事象を原因と結果のつながりで表現し、それらを階層化する等、教材構築上の工夫を加えていること、

表 1 研究経過

Table 1 Research development

	昭和62年度	昭和63年度	平成元年度	平成2年度
プロトタイプの開発	(1)全体構想 (2)教材の構築方式 (3)BWR プラント用 2 事象の教材作成*1 に着手	(1)引き続き BWR プラント用 2 事象の教材作成	(1)PWR プラント用教材**2 の作成 (2)対話機能の強化 (より密接な質問応答処理)	(1)手動操作教材の作成

* 1 : 「再循環ポンプ 1 台トリップ」, 「給水喪失」

* 2 : 「蒸気発生器主給水喪失」, 「1 次冷却材流量喪失」

2) 次にどの因果の組を教えるかという論理判断部分にプロダクションルールを用いていること、
 等のため、従来の CAI システムに比べ、運転員の理解度に合ったきめ細かい教育が可能である。

本稿では平成元年度までに開発した運転員教育システムのハードウェア構成、教材構築方法、本システムを用いた学習方法、および発電所運転員による試験使用結果について述べる。

2. システムの概要

2.1 ハードウェア構成

本システムは図 1 に示すように、知識処理専用計算機、過渡応答表示装置、音声入出力装置で構成される。

知識処理専用計算機はこのシステムの中核となる計算機(LISP マシン)であり、運転員の理解度を判定し、それに合った教材を呈示する。運転員は通常、この計算機と対話(質問の呈示とそれに対する回答等)しながら学習を進める。知識処理専用計算機はイーサネット*, RS-232 C で過渡応答表示装置ならびに音声入出力装置と接続されている。これらの装置には学習の進展に合わせ、「グラフを表示せよ」、「音声を出せよ」等のコマンドが送られ、各装置上にはコマンドに対応した情報が出力される。これにより、文字(知識処理専用計算機)、設備図(過渡応答表示装置)、音声(音声入出力装置)が一体となった効果的な教育を行う。

過渡応答表示装置は、知識処理専用計算機での解説に合わせて設備図や簡易過渡解析コードで計算した過渡応答図を表示するための計算機(エンジニアリングワークステーション: EWS)である。知識処理専用計算機から表示コマンドがくると、EWS はその内容を解釈してファイルの中から該当するデータを読み出し、グラフィックコン

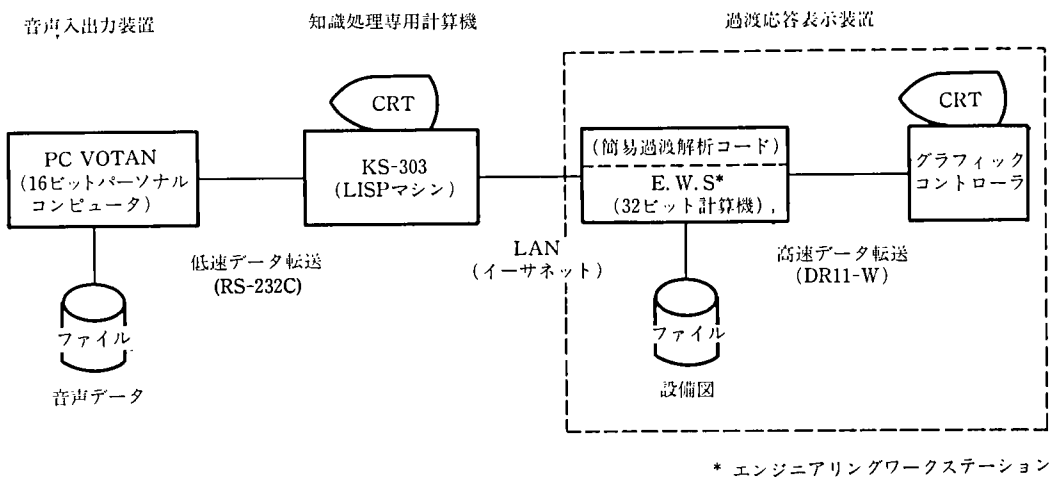


図1 運転員教育システムのハードウェア構成

Fig. 1 Hardware composition of the system

イーサネット (Ethernet): 米国 Xerox 社の登録商標である。

トローラ(図面の位置や大きさ等を決めると共に、図面情報を蓄えるバッファとなる)を経由して、20 インチカラー CRT に表示する。

音声入出力装置はパーソナル計算機とスピーカから構成され、音声は文ごとにコード化されてパーソナル計算機のハードディスク上に格納される。運転員がある解説画面を選択すると、音声入出力装置はその内容を解釈し、解説画面に対応する音声を出力する。知識処理専用計算機上に表示される解説文は、この音声解説を要約したものとなっている。なお、音声入出力装置と呼んでいるのは、本装置が一部簡単な音声入力機能を持っているからである。たとえば、学習開始時に話者特定でID 番号を入力したり、質問呈示時に音声でアイコンの機能を果たす(「グラフ」と入力するとグラフが表示され、「つぎ」と入力すると次の質問が呈示される、等)ことができる。

2.2 教材の構築

本システムは現在までに BWR プラント用教材として、①再循環ポンプ1台トリップと②給水喪失を、また PWR プラント用教材として、③1次冷却材流量喪失と④蒸気発生器主給水喪失を、それぞれ用意している。ここでは蒸気発生器主給水喪失を例に、本システムで採用した教材構築方法について述べる。

2.2.1 因果関係への展開

蒸気発生器主給水喪失は、原子炉出力運転中に蒸気発生器2次側への主給水が停止して、保有水量が減少し、蒸気発生器の除熱能力が低下することにより、1次冷却材温度および圧力が上昇する事象である。教材は過渡応答発生後のプラント挙動を「原因」と「結果」のつながりで表現することにした。この場合は主給水ポンプ全台トリップ(A)からプラントが高温停止状態に整定する(Q)まで、17の因果で事象全体を表現した。結果を図2に示す。

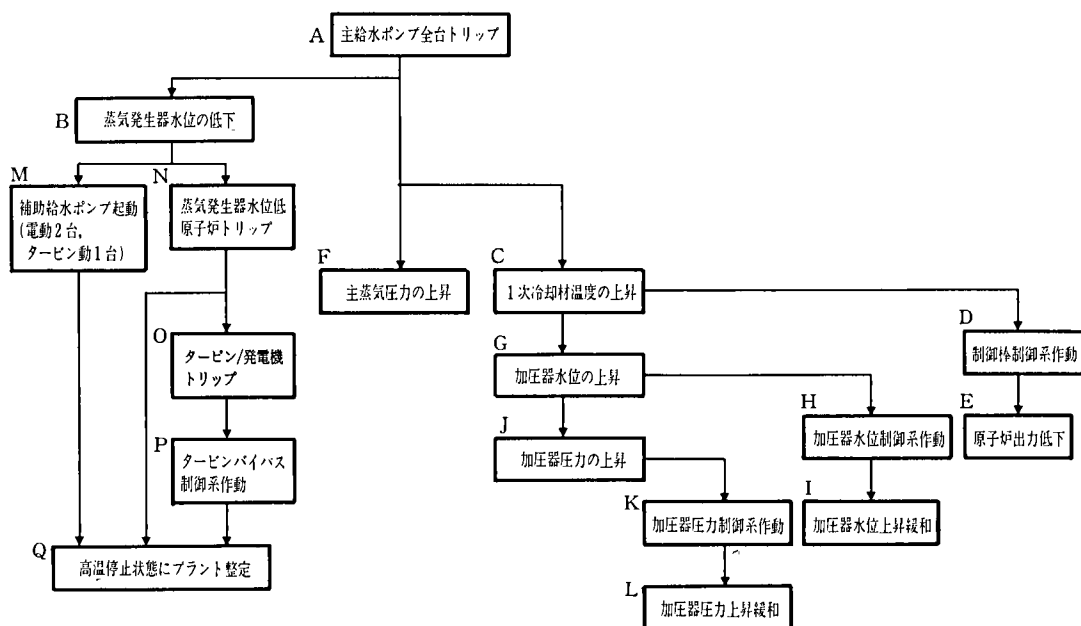


図2 蒸気発生器主給水喪失の因果関係

Fig. 2 Cause-and-effect relationship of "Loss of feedwater to SG"

因果のつながりに展開するに当たっては次のような点に留意した。すなわち、本システムは過渡応答発生後、プラント内部に発生する挙動の物理的な背景を運転員の理解度に応じて解説することを主目的としているので、因果の中になるべく物理的な要素を取り込むようにした。この事象の場合は蒸気発生器を介した過渡応答であるので、主に注目する機器、パラメタは2次系になるが、1次系でも冷却材の温度と量ならびにそれらの変化に伴う各制御系の動きに注目した。このように、事象を因果で表現したのは、その事象の中で運転員がどの部分を知らないかを明確にしやすく、その部分だけを解説することにより効率的な学習が可能になるからである。

2.2.2 教育単位による階層化

本システムのソフトウェア構成を図3に示す。

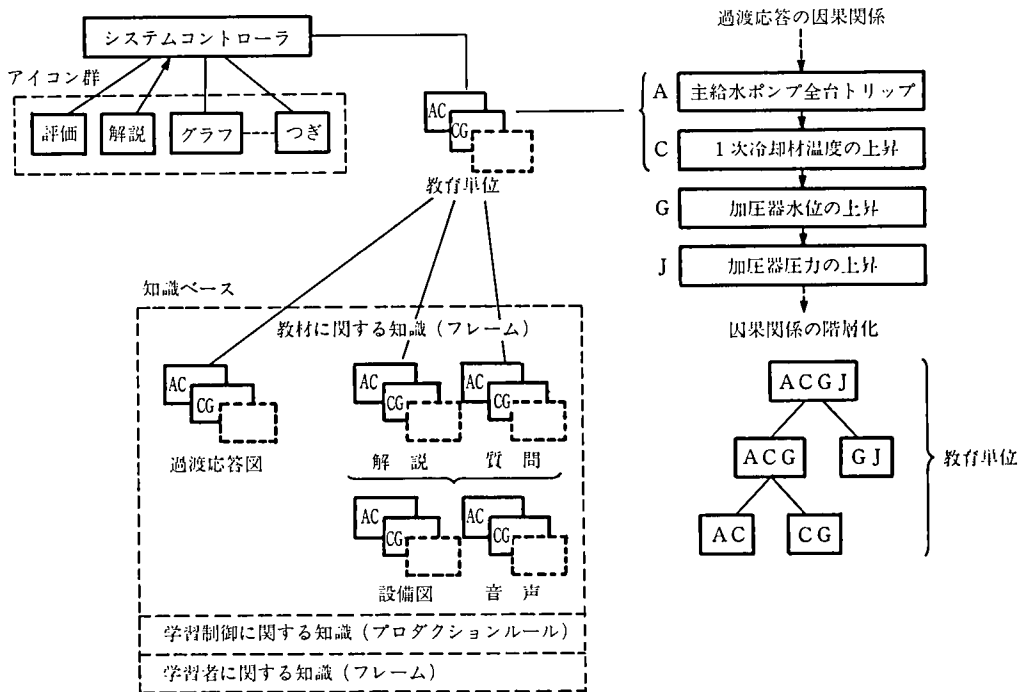


図3 運転員教育システムのソフトウェア構成

Fig. 3 Software composition of the system

図中右上の因果関係は図2の一部(A, C, G, J)を取り出したものである。このような因果のつながりを図中右下のように教育単位を用いて階層化した。ここでACGJ, ACG, GJ, …等, 因果のつながりを表す階層構造の構成要素の一つ一つを教育単位と呼ぶ。このように階層化した教育単位で教材を構築したのは、各教育単位間の接続関係を計算機上に明示しやすく、このため、次項で述べる学習制御(たとえば、AC, CGを教えてからACGを教える等)が容易になるからである。

図4に蒸気発生器主給水喪失の階層構造全体を示す。一番上位にあるのは蒸気発生器主給水喪失の事象全体(因果のつながりのすべて)であり、これが運転員の最終的な理解目標になる。その下にあるのが因果のつながりを分割した教育単位であり、順次より小さい教育単位にブレイクダウンされる。

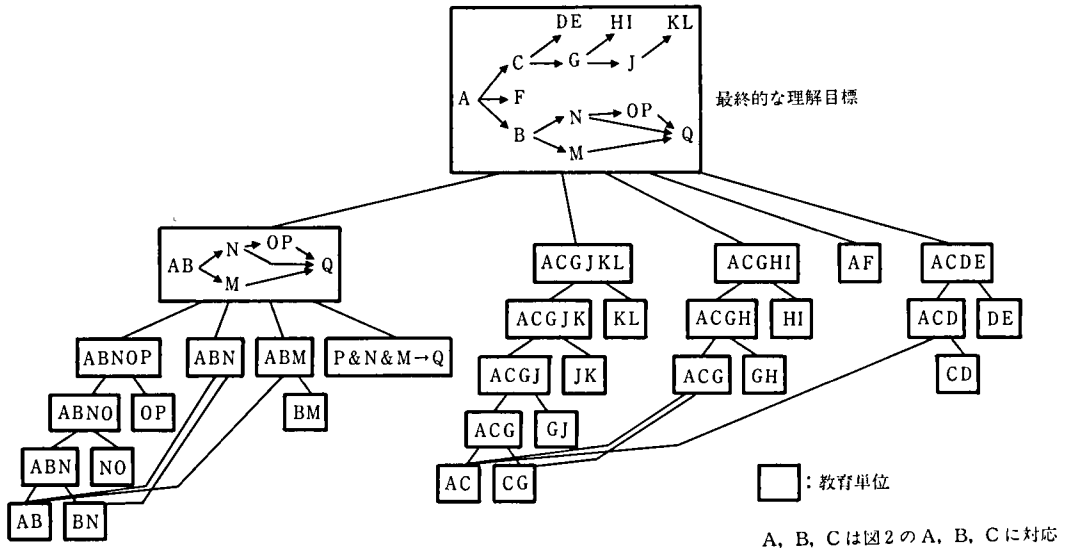


図4 蒸気発生器主給水喪失の階層構造

Fig. 4 Hierarchical structure of "Loss of feedwater to SG"

なお、一番小さな教育単位(たとえば、AB, BN, BM等)の下には、その教育単位を理解するために必要な常識とも言うべき前提知識を配した(煩雑さを避けるため、図上では省略した)。もし、その教育単位を理解できない場合には、この前提知識を呈示して因果をよりやさしく解説することができる。

2.2.3 知識ベース

解説、質問等の教材は教育単位に関係づけられて、アイコン群により管理される。アイコンは実際に学習を進めるため、知識処理専用計算機上に設けたインタフェースであり、たとえば「評価」をマウスでクリックすると回答結果が評価され、「解説」をクリックすると解説画面が呈示される。

知識ベースの内容は知識処理専用ツール KEE*を用いて記述しており、教材に関する知識(解説、質問等)と学習者に関する知識(名前、年齢、運転員のレベル等)は対象を順次具体的に記述するフレームで表現している。

学習制御に関する知識は学習者が現在、階層構造の中のどの教育単位を学習しているか、また、ある教育単位の学習が終了した時点で、次にどの教育単位の教材を呈示すべきか、を今までの学習履歴(どこまで学習したか)等に照らして判断するための知識であり、これらはプロダクションルールで表現している。

2.3 学習の進め方

本システムでは図5に示すように、「事前評価」、「解説」、「個別到達度評価」、「全体到達度評価」の順に学習が進む。各ステップの内容は次の通りである。

* KEE: Intellicorp 社の登録商標である。

2.3.1 事前評価

このシステムでは基本的に自分が知らない所だけを学習する。そこで、ある教材全体(過渡応答の因果関係全体)の中でどの部分を理解していないかを事前に評価し、運転員の理解度に合った学習(知らない部分の学習)を実現するのがこのステップの目的である。

事前評価の実施手順は次の通りである。

- 1) 階層構造の中でまだ達成されていない最下位の教育単位を選択する。
- 2) 選択された教育単位に対する質問を行うことにより理解度の事前評価を行う。

ここで、質問に正しく答えることができた場合は、その教育単位を理解しているものとみなし、順次その上にある未達成の教育単位に対し、質問を続ける。もしすべての教育単位を理解している場合には、全体の因果関係を理解しているか否かの到達度評価に進む。質問に正しく答えることができなかった場合はその教育単位を理解していないものとみなし、全教育単位の評価終了後、システムは順次理解していない教育単位に関する教材を呈示する。

2.3.2 解説

事前評価で正解できなかった教育単位に対し、解説教材(図5のA教材)を呈示する。知識処理専用計算機には主に文字情報が出力され、過渡応答表示装置には関係する設備図等が出力される。また、音声入出力装置からは文字情報、設備図等と同期して音声出力される。このとき、運転員は「用語」アイコンにより、解説文中のわからない用語を調べたり、「グラフ」アイコンにより、簡易過渡解析コードを動かし、関係するプラントパラメタの挙動を見ることができる。

2.3.3 個別到達度評価

解説が終了するとその都度、事前評価で用いたのと同じ質問を用いて到達度評価を行い、その教育単位を運転員が理解したかどうかチェックする。このとき、間違っただ回数に応じて呈示内容に工夫を加えている。その内容は以下の通りである。

- 1) なるべく自分で考えて学習するため、1回目はヒントだけを呈示する。
- 2) 2回目の場合は2.3.2項で呈示した教材(図5のA教材)よりもやさしい教材(同図のB教材)を呈示して、わからない部分をやさしく解説する。
- 3) 実際には考えにくい、3回間違っただ場合は正解を呈示してその教育単位を理解したものとみなす。

2.3.4 全体到達度評価

事前評価で自分が知らない教育単位を抽出し、その教育単位についてだけ学習するのが本システムの基本姿勢であることは前に述べた。しかし、呈示された質問に偶然正解することも考えられるので、知識の最終確認の意味も含め、解説がすべて終了した段階で因果の流れ全体を質問する。ここでは、運転員の質問に対する理解状態を表す学習者モデルとして、生成的バグーモデルを開発し採用した。生成的バグーモデルを用いた全体到達度評価の方法は次の通りである。

- 1) ある事象が発生したとき、因果の各パラメタがどのように変化するかをシステムが質問し(たとえば「主給水ポンプ全台トリップによって1次冷却材温度はどうなりますか?」)、運転員が回答する(たとえば、「上昇」を選択)。

6) システムは、教材の中に知識として持っているルールと生成されたルールを比較して最終的に間違えた部分を運転員に知らせる。このとき、運転員は必要に応じてヒント情報を見ることができる。

7) 間違えた部分を修正し、すべての質問に正解した段階でその事象に対する学習を終了する。

上記プロセスの中で 1)～3) が生成的バグーモデル部分である。このように、生成的バグーモデルでは、質問に対する運転員の回答を用いてシステムが順次質問を生成し、その回答が質問に対する運転員の理解状態を表すものとする。これにより、因果関係のどの部分をどのように間違えたか、それがケアレスミスによるものか、現象を間違えて理解しているからなのか、に対する手掛かりを得ることができ、システムはそれぞれの場合に対応したメッセージを出すことができる。

このように、生成的バグーモデルを用いれば、間違いに対するより綿密な学習処方が可能になるだけでなく、システムが運転員の回答に基づいて次の質問を生成するため、運転員に自分の間違いを早く気付かせる効果もある。

3. システムの試験使用

本システムは研究開発に着手して以来、常に実用化を念頭に置いて開発を進めてきた。この間、平成元年 2 月には BWR プラント用教材を用いてシステムを試験使用し、教材の構築方法、学習の進め方等システムの基本的な枠組みに対する有効性ならびに教材内容の妥当性を確認した。ここでは平成 2 年 2 月、PWR プラント用教材を用いて実施した試験使用結果を簡単に紹介する。

試験使用では原子力プラントの運転経験が数年の人から 20 年近いベテランまで、10 名の運転員に本システムを実際に使用してもらい、その印象をアンケート等により調査した。なお、教材は「蒸気発生器主給水喪失」を用いた。

1) システムの有効性……事象の因果関係の理解しやすさ、事前評価の有効性については 10 名中 7～8 名が「理解しやすい」、「有効である」と答えており、本システムで採用した教材構築方法ならびに教育の進め方に対する有効性が示された。

2) 教材内容と表示画面の有効性……蒸気発生器主給水喪失は 17 の因果に展開して教材を構築しているが、その程度については粗いとする意見が多かった(10 名中 7 名)。また、記述内容では一般的に使用されている略語はそのまま使用すべきである等の意見があった。画面上の情報量や文字の見やすさについてはおおむね妥当とする意見が過半数を占めた。

以上の結果から、教育システムとしての基本的な有効性は昨年に引き続き、PWR プラント用教材でも確認できた。また教材内容については因果の粗さが指摘されたが、これは BWR プラント用教材の試験使用結果に基づき、事前評価の際に呈示される質問の数を減らし、1 教材当たりの学習時間を 1 時間程度に抑えようという方針から出たものである。したがって、システムの使用性の面から妥当なものと考えている。

4. お わ り に

発電所運転員によるシステム試験使用の結果、教材内容に一部、適切さを欠く表現

等が見られたものの、総合的にはおおむね実用に供せる見通しを得た。現在、試験使用等での指摘事項を参考に一部システムの修正を行っている。また、平成2年末を目途に、現実に即したプラント運転に対する教育が可能となるよう、非常時操作手順書ベースの対応操作の背景を解説する教材を作成中である。これにより本システムを完成させ、発電所への導入に努めたいと考えている。

最後に、本システムを開発するに当たり、当所ヒューマンファクタ研究センタならびに日本ユニシス(株)の関係各位に多大なる御協力を頂いたことに感謝の意を表したい。

-
- 参考文献 [1] 吉村誠一, “オンサイト教育訓練用プラント状態表示システムの開発”, 研究報告, (財)電力中央研究所, T 86010, 1986.
- [2] 吉村誠一, “高度能力開発システムの開発(その1)”, 研究報告, (財)電力中央研究所, S 87001, 1988.
- [3] 吉村誠一, “高度能力開発システムの開発(その2)”, 研究報告, (財)電力中央研究所, S 88003, 1989.
- [4] 吉村誠一, “運転員教育システムの開発(その3)”, 研究報告, (財)電力中央研究所, S 89001, 1990.
- [5] S. Yoshimura, “An Advanced Educational System for Nuclear Power Plant Operators”, The Proceedings of International Conference on the Physics of Reactors: Operation, Design and Computation, Vol.4, Apr. 1990, P.V48~54.
- [6] 吉村誠一, “知識処理技術を用いた運転員教育システムの開発”, 日本原子力学会, Vol. 32, No.9, 1990, 「掲載予定」.

執筆者紹介 吉村 誠一 (Seiichi Yoshimura)

昭和26年生。51年北海道大学工学部 精密工学科 修士課程修了。同年電力中央研究所入所。原子力発電所補修作業、主に超音波による除洗作業ならびに探傷作業の自動化・遠隔操作化に従事。57年 OECD ハルデン原子炉プロジェクトに出張、1年半マルチレベルフローモデリング(認知心理的なプラント診断支援手法)に基づくプラント診断支援システムの研究に従事。その後、プラント診断と CAI システムの研究開発を経て、62年から ICAI システムの研究開発に従事。現在、電力中央研究所 ヒューマンファクタ研究センタ主任研究員。日本原子力学会会員、計測自動制御学会会員。



UNI * ICS ; 学習者主導型多機能教育システムの開発

The Development of UNI * ICS(Unisys Intelligent Campus/Career-development System)——A Learner-oriented Multi-functional Education System

中 新 俊 夫, 澤 田 嘉 信

要 約 日本ユニシス教育センタでは、LEARN UP や MAPPER-CBE 等に続く新 CAI システムの開発を行っている。

その狙いは次の二点である。

- 1) CAI の大きな流れである「教授主導型のシステムから学習者主導型のシステム」を実現し、より学習効果の高い個別学習環境を創ること
- 2) 教育サービスの地域格差をなくすため、全国教育センタを結合した統合システムのもとの遠隔教育サービスの提供を実現すること

この観点から、過去いくつかのユーザ向け教育システムの構築やプロトタイプ的な実験等を介して、新システムとしての基本的な考え方や持つべき機能等をまとめ、それを「UNI * ICS」と名付けた。

本稿では、UNI * ICS が採用している階層型機能分散アーキテクチャや学習者主導を実現するための機能等について紹介し、この考えのもとで開発された全国教育センタのオフィス・スクール統合システム、UNI * IOS (UNISYS Intelligent Office School) の利用実績を介して UNI * ICS を評価する。

なお、ICS は今後も新たなネットワーク環境や知的 CAI 等の先進技術を取り入れ、拡張していく計画である。さらに、教育センタと同様の客先教育環境においても利用できる汎用性のあるシステムの実現を目指す。

Abstract The development of a new CAI system is now under way at the Nihon Unisys Education Center in Tokyo as a successor to the LEARN-UP and MAPPER-CBE systems.

This effort has two objectives:

- 1) To create an individual learning environment which provides higher efficiency of learning by newly offering a learner-oriented system rather than a teacher-oriented system, which has been the mainstream of CAI systems.
- 2) To make it possible to provide remote education services under an integrated network linking up all eight Nihon Unisys Education Centers throughout Japan so that there may be no regional gaps in quality and frequency.

In an attempt to achieve those goals, the authors have framed fundamental concepts and assembled the functions required by the new system as a result of the repeated creation of several user education of systems and of experiments with prototypes in the past for the integration of the findings and results into the new CAI system called UNI * ICS.

This paper describes UNI * ICS's hierarchical function-distributed architecture and other functionality ensuring learner-orientedness, and also evaluates the new system, based on the actual data gained through the use of UNI * IOS (Unisys Intelligent Office School) developed under such concepts, which is an integrated office school system for the nationwide Nihon Unisys Education Centers.

The future UNI * ICS plan includes its further expansion to meet new network requirements and its incorporation of leading-edge intelligent CAI technology as well as its further growth as a system flexible enough to be widely accepted by customer educational facilities like Nihon Unisys' ones.

1. はじめに

当社における全国8か所の教育センタでは、ユーザ企業（顧客）を対象に情報処理教育（教育サービス）を実施している。教育サービスの形態には、セミナー型の一斉授業方式とCAIに代表される個別学習方式がある。教育センタにおける個別学習システムへの取り組みは、1977年のスタディ・ホール開催に始まる。PIマニュアル（Programmed Instruction マニュアル：プログラム学習法で書かれた自習書）やビデオ教材等を活用し、教育ニーズの多様化や教育本来の個性化への対応が図られた。

1980年に始まった第2次CAIブーム*を受けて、従来からのCAI研究成果をLEARN UP（スタンド・アロン型CAI、以下L/Uと略す）¹⁾、MAPPER-CBE（ホスト制御型CAI、以下M-CBEと略す）**、S-8 CBE（クラスタ型CAI）***として実現させ、まったく新たな個別学習環境であるオフィス・スクールが誕生した。教育センタ内の教室の壁を取り払ったオープン・スペース環境²⁾でフリー・スケジュール形式の運用を行うことにより、受講者は時間の制限を受けることなく各自が自分の方法で自由に個別学習をすることが可能となった。1982年オフィス・スクール開所以来、受講者は年間2000～3000人の利用を数えている。

こうした実践を介してCAIの効果が確認されるにつれ、支社・支店での顧客サービスにも対応し、地域格差を是正する遠隔教育システムが要求されるに至った（図1）。

教育センタで誕生したLEARN UPシステムは、当社におけるマイクロ・プロダクト商品計画に取り上げられ、1982年「LEARN UP」として販売が開始された。結果、多くの顧客を得てさまざまな教育分野での利用が進み、一斉授業制御や遠隔教育等の

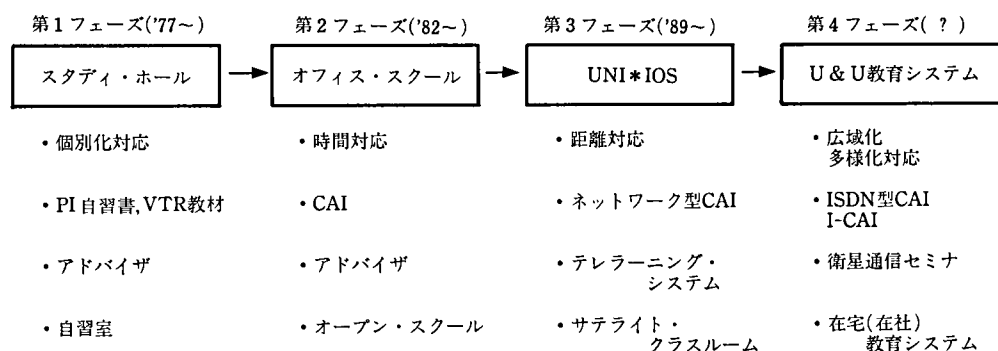


図1 日本ユニシスにおける教育システムの変遷

Fig.1 History of Nihon Unisys customer training

* 1965年（昭和40年）前後、米国を中心に第1次CAIブーム。第2次は1980年前後に始まるパソコン・ブームを受けてのCAIブーム。

** MAPPERでつくられたMAPPER教育用CAI。L/U用のハードウェア（音声制御）を使用。

*** S-8教育用に作られたCAI。ワークステーションに音声制御のインタフェースがなかったため、画面に光センサをはりつけた独特の方法を甲いている。

新たな利用形態・利用環境に対応する教育システムが求められるようになってきた。

これらの二つの観点から、1985 年以来、筆者らは「UNI * ICS」という新教育システムの開発を開始した (図 2)。

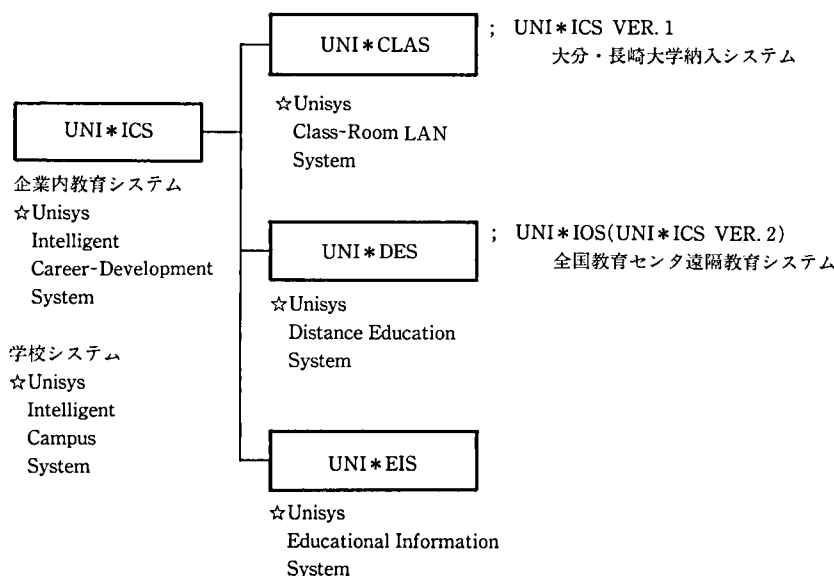


図 2 UNI * ICS の構成と関連開発システム

Fig. 2 UNI * ICS software configuration and related systems

UNI * ICS の基本思想やその機能は、事前の十分な設計期間をもって作成されたものではなく、多くの部分的プロトタイプングや関連業務による試行錯誤の繰り返しの結果として、その概念が形成されたものである。

UNI * ICS の位置付けを知る上でもその経過を表 1 で時系列的に紹介する。

本稿では、まず現状の CAI 技術とその課題について触れ、教育センタにおける研究・開発の経過を経てまとめた UNI * ICS についてその基本的な考え方や主要機能

表 1 UNI * ICS 関連システムの開発とその経過
Table 1 Progress of UNI * ICS system development

1985～1986	JUST-PC による在宅教育の実験 ^[5] MISCO 在宅教育事業化研究会に参加し、パソコン・ネットワーク (JUST-PC) による遠隔教育実験システムを開発し試行する。
1986～1987	テレラーニング・システム (T/L) による遠隔教育の試行 日本能率協会が主催するテレラーニング・システム共同開発プロジェクトに参加し、描画と音声による遠隔教育を試行
1987～1988	ネットワーク型総合 CAI システム (UNI * ICS) VER. 1 の開発 ^[4] 一斉授業型 CAI (UNI * CLAS; クラスルーム LAN システム) を中心に UNI * ICS の原形となった総合 CAI システムを大分・長崎両大学へ納入
1988	ISDN 型 CAI のプロトタイプング NTT INS ネット 64 をベースに T/L および CAI を統合した ISDN 型 CAI を実験・試行
1988～1990	全国教育センタをサテライト教室とする遠隔教育システム (UNI * IOS) の開発 ^[5] U-net および T/L による全国支社・支店のオフィス・スクールを結んだ遠隔教育システムを開発し、客先教育を開始

について説明し、1990年4月よりサービスを開始したUNI＊IOSでの実践結果を踏まえてUNI＊ICSを評価する。

なお、UNI＊ICSは今後も新機能の拡張を含め、関連システム上で具現化することを計画しており、そのことにも言及した。

2. CAIの技術動向と当社のアプローチ

2.1 CAIの技術動向とその課題

CAIの技術領域の捉え方はさまざまであるが、以下の四つの観点からその動向や課題をとらえることができる。

- 1) 教授－学習理論とCAI実現方式……人間の学習に関する研究は、1970年を境界として行動主義系の学習理論（連合説）から認知系の理論（認知説）へと大きく変化した。このことはCAIを実現する理論的な枠組（実現方式）に大きな影響を与えた^{[6][7]}。連合説を背景とした「刺激－反応－強化」図式にもとづく枠組は、刺激側である教師が主導権を取り、学習者に反応（行動）を形成していくという教え込み中心の教授－学習理論であり、伝統的CAIと呼ばれるAFO－CAIがこの考え方による代表的な実現方式と言える。

一方、認知説「同化－調節－均衡化」図式の枠組では、学習者が自ら学ぶ環境をいかに実現するか（同化）、あるいはそういった環境の中で教える側がいかに支援するか（調節）、といった学習者主導型もしくは主導権混在型の実現方式が要求される。これらは最近のAI研究の応用分野としても位置付けられ、知的CAI(I-CAI)の研究として盛んである^{[8]～[10]}。

CAIの実現方式とその発展過程は、上記の学習理論の変化とも合わせ、システムが持つ知的保有度の有無による技術動向としても見ることができる^[11]。

- 2) 認知水準とCAI学習様式……教育の対象とする内容領域のカリキュラム展開は、認知水準に分解され、学習目標（目標行動）として表現される^[12]。CAIにおいては、目標とする認知水準に適合する学習様式（コースウェア展開法）が存在すると考えられる（図3）^[13]。

また、学習様式はCAI実現方式とも関連して、連合説が背景のAFO型CAIで

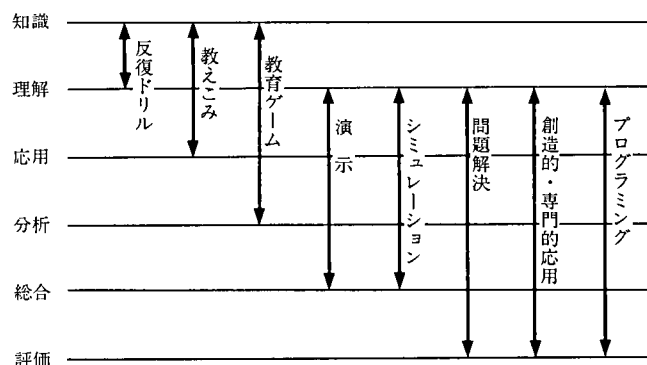


図3 学習様式と認知レベル^[13]

Fig.3 CAI learning style and cognitive level

はコンピュータ制御の教え込み型の CAI となり、演習実習様式(Drill & Practice)や個別教授様式(Tutorial)分野でその成果を発揮する。これに比して、認知系の I-CAI では、学習者が中心の制御方式となり、教え込むより自ら学ぶ型の CAI であり、問題解決様式(Problem Solving)、情報検索型様式(Inquiry & Answer)、コンサルタント/コーチ様式(Consultant & Coach)、ゲーム&シミュレーション様式(Game & Simulation)等の分野で成果を上げることが期待される(図4)^[14]。

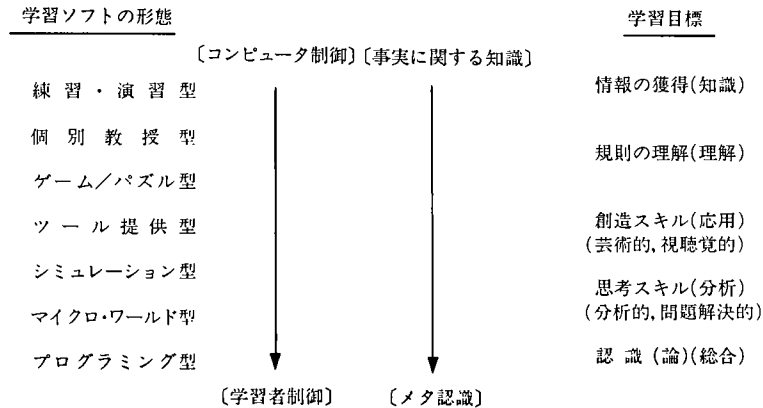


図4 学習ソフトのタイプと学習目標^[14]

Fig. 4 Software type and learning skills

また、これらのさまざまな学習様式を実現する教材設計や教材開発技術(Authoring System)も CAI 発展の大きな課題といえる^{[15], [16]}。

- 3) メディア技術と学習者インタフェース……CAI における学習者インタフェースの研究は、最終的に自然言語処理技術の成果を待たねばならない。一方、画像情報を中心とした各種メディア技術の進歩はめざましく、ビデオ・ディスク等、多量/多様な教育情報を扱う CAI の入出力機器として十分実用レベルにあり、対象とする教育分野(内容領域)の適合性を含め、マルチ・メディア型 CAI が実現できる環境にある(表2)。
- 4) データ・コミュニケーション(DC)技術と CAI 利用形態……PLATO に代表されるホスト制御型 CAI とパソコン等によるスタンドアロン型 CAI について、両形態の是非、長短に関する議論が従来より盛んに行われている^[7]。企業における OA 化アプローチの形によく似ているが、要はシステム形態が先に存在するのではなく、解決すべき教育課題(実施すべき教育対象や内容あるいは需要量等)に対して、利用すべきシステム構成や実現方式が決定されるべきと考える。

とくに CAI において、DC 技術の利用は必須となりつつある。その一つは、スタンドアロン型 CAI の量的拡大に対する運用面および CMI 面からのネットワーク化である。たとえば、30 台のスタンドアロン型 CAI を利用した授業をスムーズに運用する解決手段としての DC 技術の利用は必須と捉えられるようなケースである。

表2 マルチメディア CAI の主な装置
Table 2 Equipments for Multimedia-CAI system

主な装置	種 類	入出力装置		
		入 力	出 力	入出(補助)
キーボード(鍵盤)	キーボード(QWERTY型, Dvorak型, ABC型, アイウエオ型…) ファンクション・キー, カーソル移動キー……	○		
ポインティング装置	画面直接制御(ライトペン, タッチ・スクリーン) 画面間接制御(マウス, トラックボール, ジョイスティック タブレット)	○		
音 声 装 置	ヘッドセット(スピーカ, イヤホン, マイク) オーディオテープ・レコーダ 音声認識装置(離散単語認識, 連続音声認識) 音声合成, 音声蓄積交換			○
音 声 / 画 像 装 置	テレビ画像/ビデオテープ・レコーダ コンパクトディスク/ビデオディスク(レーザ方式, VHD方式) スライド/フィルム(動画, 静止画) イメージ・スキャナ DTP(電子出版関連機器)			○
デ ィ ス プ レ イ	モノクロ(ラスタ・スキャン, ストローク・キャラクタ, ストレージ管, プラズマ・パネル, 液晶等) カラー(PGR シャドー・マスク, 電子ビーム等)		○	
プ リ ン タ	ドット・マトリックス, インク・ジェット, 熱転写等 ライン・プリンタ, レーザ・プリンタ等 カラー・プリンタ, プロッタ, 写真プリンタ等		○	
他	シミュレータ, 反応計測装置等			○

二つ目は、遠隔教育への対応である。CAI は伝統的教室システムにおける一斉授業形態から個別学習形態への教育形態を変革させると同時に、DC 技術の利用により距離や時間を越えて(いつでも、何処でも)量的課題に応じる教育環境をも作り出すことができる。

2.2 当社教育センタにおけるアプローチ

前述の四つの技術動向を組み合わせた展開図は、図5の通りである。

当社教育センタでは、L/U や M-CBE に続く新教育システムの開発アプローチとして、技術動向の展開図をレーダーチャート的に捉え、歪みのない拡がりの大きなシステム作りを基本的な考えとしている。

3. UNI * ICS の基本概念とその機能

3.1 UNI * ICS の基本思想

1981年、M-CBE や L/U に続く新教育システムの開発を開始した。当時、臨時教育審議会における「生涯学習の基盤整備」の項で、高度情報化社会にふさわしい教育環境として、学習基盤の中核となるインテリジェント・スクール構想が提案されている^[17]。

教育環境のインテリジェント化とは、従来からの伝統的な教室を「骨格と筋肉」か

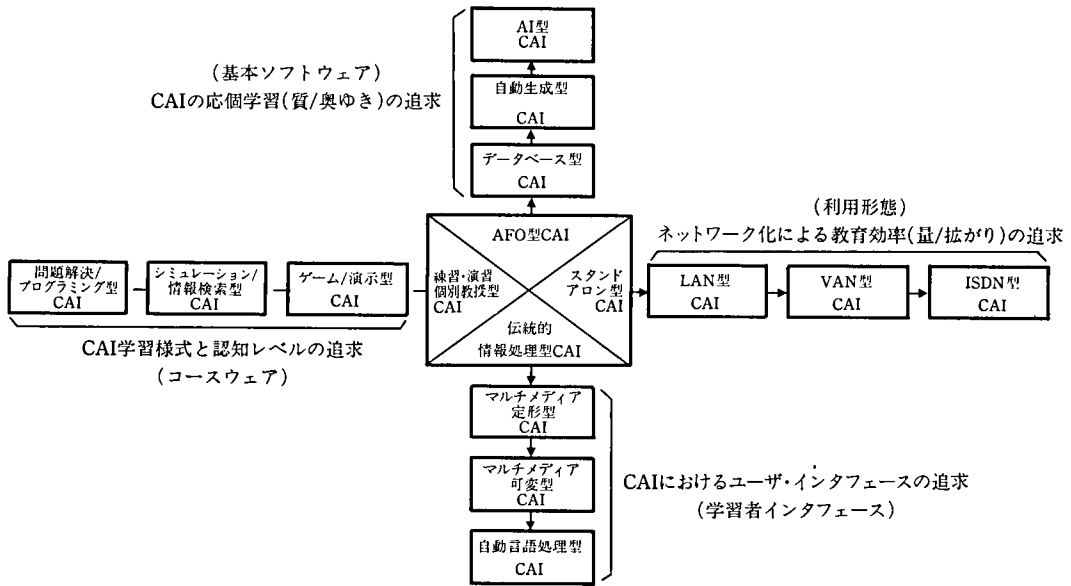


図 5 CAI の技術動向とユニシスのアプローチ

Fig. 5 Trend of CAI technology and approach at Nihon Unisys

らなるとするならば、この環境に「頭脳と神経」を埋め込むことであるとし、言い換えて高度情報技術（ハイテク）と人間性重視（ハイタッチ）の学習環境を作ることだとしている。

こうした次代のニーズを基本理念として受け止め、これからの教育システムが具備すべき要件を次のように捉えた。

- 1) 開かれたネットワーク教育システム……従来からの伝統的な教室システムと共存を図り、一斉授業形態の中での在宅学習やサテライト教室等の遠隔教育を実現し、かつ教育情報の流通が可能な開かれた教育システムである。具体的には、次の三つの基本型システムからなる総合ネットワーク・システムが描かれた(図6)。

① クラスルーム LAN システム(CLAS)

一斉授業形態を補完する個別学習やグループ学習のため、学習ステーションおよび教授ステーションを LAN で結び、教授—学習者間、学習者相互のコミュニケーションを可能にする学習システムである。

② ディスタンス・エデュケーション・システム(DES)^[18]

ディスタンス・エデュケーションとは、教授者と離れた環境において学習者が自ら計画し、実行する自立学習形態をいう。

来るべく ISDN 社会を前提に、在宅学習、サテライト教室等からなる地域ぐるみや企業の広域分散環境に適合する遠隔教育システムである。

③ 教育情報流通システム(EIS)

企業における人事情報システムや各種データベース・システムとの結合、学校における図書館システムや国内外学術情報システムとの交流等の教育情報のネットワーク・システムである。

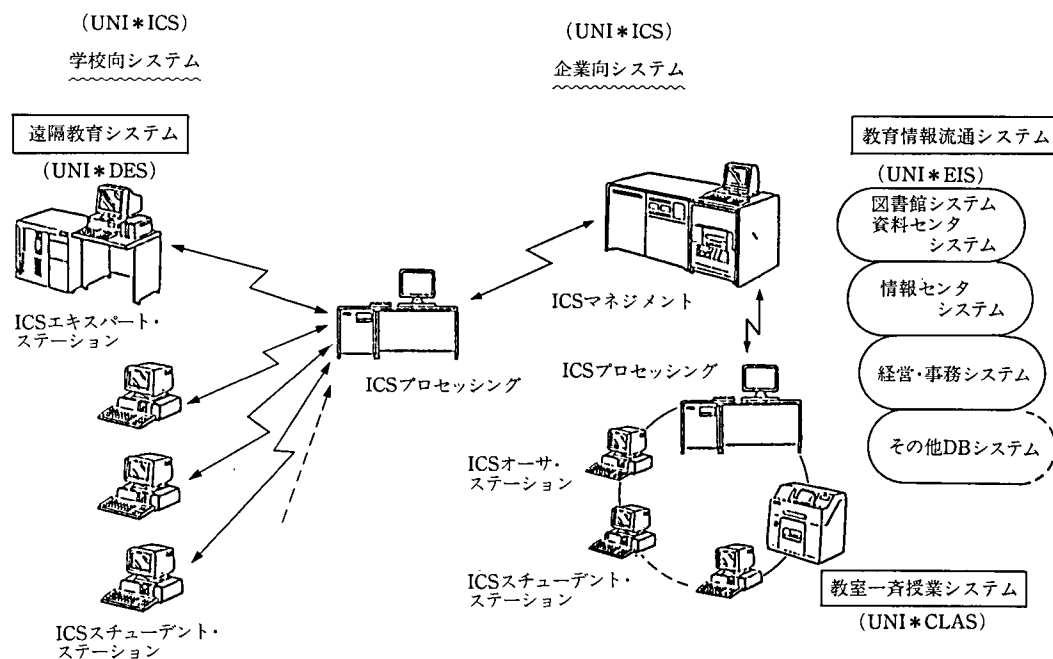


図 6 UNI * ICS の基本構成

Fig. 6 UNI * ICS standard configuration

ネットワーク化による教育システムは、単に教育情報の伝達ということではなく、距離や時間を越えて、異なる文化・知識を相互に供給・研鑽し合う新しい形態の教育環境を作る。

- 2) 「教えるより学ぶ」実践的 CAI システム……CAI が脚光を浴び、その可能性に期待が寄せられる^[19] 大きな理由の一つは、従来のメディアと異なり、教授—学習者間の双方向性が可能な点である。教育における双方向性の意味は、教授—学習理論の項で述べたごとく、教える側からの一方的な情報提供（教材提示）ではなく、対話を前提として学習者の学習状況に応じた教授—学習過程をダイナミックに展開することにある。

① 主導権混在型教育システム

教授—学習過程のダイナミックな展開とは、「教える」より「学ぶ」を重視した学習者主導もしくは主導権混在型システムを意味し、学習者の前提行動や学習状況を診断・評価し、学習状況に応じて支援を行う CMI 機能の充実したシステムである。

② 多機能学習ステーション・システム

多機能ワークステーションの概念と同様に、学習者の自由な学習形態を認める学習ステーションは、多様な学習様式を制御する諸々の CAI 機能を持つシステムである。

これらの実現は、AI 技術を応用した知的 CAI の研究成果に待たれるが、それ以前に現状の DB/DC 技術を中心とした実践的な情報処理技術を駆使することによって理想システムに一步近づいたシステムが実現可能と考えた。

- 3) パーソナル・コンピューティング&ラーニング環境……企業内教育, 学校教育を問わず, 教育に携わる人達が各々自らの立場で課題解決を図り必要な学習を行うためには, エンドユーザ・コンピューティングの概念と同様の教育環境が要求される。

パーソナル・コンピューティング&ラーニング・システムとは, 教育経営・事務管理業務を遂行する教務者, 教育研究・開発業務に携わる教授者および教育実践を行う教授・学習者等, 利用者各々が独立した立場で自由にシステムを利用できるようにデータベースで結合されたトータル・システムである。

教育環境におけるコンピュータ利用の現状は, 教育事務処理利用 (教育経営・事務システム) と教育現場利用 (CAI/CMI) の各々が別システムであるケースが多く, 一般企業の情報処理システムに比して未成熟とって過言ではない。その意味でトータル・システムのアプローチが待望されていると言える。

以上の三つの基本思想をもとに UNI * ICS の概念が次の通りまとめられた。

3.2 三階層機能分散アーキテクチャ

UNI * ICS は前述の基本思想を実現するシステムとして, 階層型の機能分散システムの考え方を導入し, 次の三階層からなるシステムとして定義した。

- ・ICS ワークステーション・システム (ICS-WS)
- ・ICS プロセッシング・システム (ICS-PS)
- ・ICS マネジメント・システム (ICS-MS)

階層型機能分散の考え方導入の要点は次の通りである。

- 1) 既存教育システムの資産継承・包含への対応……L/U や M-CBE 等の従来からの教育システムをそのまま利用可能な形で包含し, 新機能との組み合わせによって, より学習効果の期待できる学習環境となる教育システムであるためには, 次に示す条件が必要である。
 - ・L/U はスタンドアロン型 CAI であることから学習ステーションが独立した学習システム (ICS-WS) として位置付ける。
 - ・M-CBE はホスト制御 CAI システムであることから, 学習ステーション (ICS-WS) とその上位システム (ICS-PS) として位置付ける。
- 2) 運用・管理業務をも含めたトータル・システムへの対応……教育経営・事務システムと各種ネットワークからなる CAI/CMI システムとの統合およびネットワーク教育システムの基本形である CLAS, DES, EIS の統合化を前提としたシステムでは, 各々が独立した業務として処理されながら, トータル・データベースのもとで管理されるシステムである。したがって, 各種関連システムとのインタフェース機能とデータベースを中核とした管理機能を持つシステムを最上位システム (ICS-MS) として捉える。
- 3) 教育情報の多量・多様化と高速処理への対応……学習者の自由な学習形態を認めるシステムにおいては, 教材情報等の多量な処理, 多様な管理の課題があり, 一斉授業型の同時多人数のアクセスとも絡み, システム構成上のポイントとなる。このため, 業務・形態ごとの処理能力の分散化や必要に応じた処理能力の統合化を前提としたチーム・コンピューティング^[20] 的な概念を持つシステムとすること

が必要である。

学習ステーション(ICS-WS)でL/U形態の学習を進めながら、時にはシミュレーション等の高速処理・多量記憶が要求される場合、そのバックエンド・プロセッサとなる上位システム(ICS-PS)で処理される。あるいは別領域教材を参照したい場合に最上位(ICS-MS)の教材データベースの支援を受ける等の機能を持つシステムとして各々を位置付ける。

- 4) CAIの次世代技術への対応……知的CAIを始め、新技術の導入とこれによる機能向上は長期的に継続発展を担うUNI＊ICSには最も重要な事項である。このため、オープン・システム概念からなる階層型機能分散のシステムを採用した。

以上の観点から三階層機能分散のシステム概念が確立された。このことは、さらにシステム構築時における開発の容易性、構成の柔軟性あるいは活用時の全体の効率化、信頼性の確保または保守性等のメリットとして捉えることができる。

各階層の概要は次の通りである(図7)。

- 1) ICS-WS……ICS-WSには学習環境を提供するステューデント・ステーション(S/S)と教授活動を支援するオーサ・ステーション(A/S)の2タイプがある。

S/Sの基本的な考え方は、学習者自ら学習目標、前提行動等により、さまざまな学習様式(機能)を選択し、学習ができることである。A/Sの機能は、直接の教授活動を支援する機能とS/Sの学習環境を構築する機能(教材作成支援機能や運用環境設定機能等)の二つの領域からなる。

S/SやA/Sはそれ自体が高機能マイクロ・コンピュータであるため、選択された機能が処理能力範囲内であれば単独処理されるが、処理能力を越える場合には

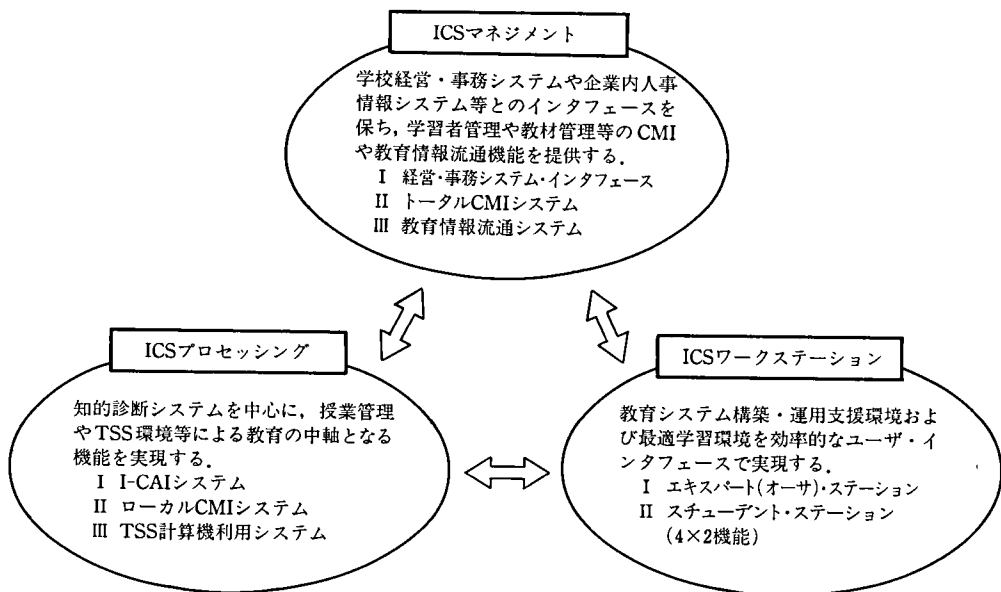


図7 三階層機能分散アーキテクチャ

Fig.7 Three level hierarchy and distributed architecture

PS や MS に支援される形態がとられる。

- 2) ICS-PS……ICS-PS は S/S や A/S(ICS-WS)の機能を支援する BEP(Back End Processor)の役割と ICS-MS の FEP(Front End Processor)の役割を担う。

学習者の診断・処方機能, 課題解決型学習の実習・演習機能, 授業管理・学習管理等の教授支援機能(Local-CMI)等 ICS-WS のみでは処理できない多量・高速処理機能が対象となる。

将来オープン・システムやチーム・コンピューティングの概念^[20]に基づくソフトウェア群が出現したとき, PS 相互間のネットワーク化が拡張領域となる。

- 3) ICS-MS……ICS-MS は, ICS におけるすべてのデータベースの管理と他のシステムとのインタフェースの役割を担う。

教材管理, ファシリティ管理, 学籍管理, 履歴管理等, 教育リソースの運用管理(Center-CMI)等がデータベースを中心に運用される。人事情報システムや他の教育システムとのネットワークを前提とした総合システム化は, UNI * ICS の概念に基づき個々の具体的教育システムごとに個別対応の形で ICS-MS の領域で構築される。

3.3 学習者主導型多機能学習環境

S/S において, 学習形態を自由に選択し学習を進める様式(機能)を S モードと呼ぶ。S モードには四つの学習様式が準備されている(表 3)。

表 3 ICS-WS(4×2)機能
Table 3 ICS-WS 4×2 functions

オーサ(エキスパート)・ステーションの機能		スチューデント・ステーションの機能	
学習管理支援様式 (Aモード1)	①学習実行機能(Sモード1～4のすべて) ②学習モニタ機能 ③学習状況管理機能 ④評価情報の登録機能	単体型個別学習様式 (Sモード1)	①教材の供給機能 ②CAI 実行機能 ③学習記録収集機能 ④学習状況分析機能
教育情報管理支援様式 (Aモード2)	①受講申込み受付処理機能 ②業前業後処理機能 ③各種統計作成機能	TSS型課題評価学習様式 (Sモード2)	①実習課題等(教材)の供給機能 ②実習環境の自動設定機能 ③実習評価支援機能 ④HELP機能
教育データベース構築支援様式 (Aモード3)	①教材関連DB保守機能 ②学習環境関連DB保守機能 ③システム運用関連DB保守機能	ITS型診断処方学習様式 (Sモード3)	①確認テスト, 実力テスト, ドリル型テスト ②テスト問題の供給機能 ③回答解析機能 ④評価機能
教材作成支援様式 (Aモード3)	①AFO-CAI オーサリング・システム ②知的CAI 構築支援システム	IR型コミュニケーション学習様式(Sモード4)	①辞書検索機能(システム/ユーザ辞書) ②電子掲示板/電子メール機能 ③報告書作成機能 ④アドバイザー呼出し機能

- 1) 単体型個別学習様式(Sモード.1)……ICS は三階層機能分散アーキテクチャで示される通り, ネットワーク型システムのもとで, 必要に応じ各階層のコンピュータ・ファシリティが利用され, 要求に合った学習環境を作り出すことを原則としている。このモードにおいては学習の事前準備が終了するとネットワークが

ら自動的に切り離しが行われ、S/S 単独の学習システム (L/U 型学習) となる。学習はスタンドアロン型 CAI と同様の学習環境で進められるが、進行状況や新たな機能選択等により、上位システムとの接続・切断が自動的に行われる。

該モードにおける機能概要は次の通りである。

- ・学習準備情報の自動配給
- ・教材の自動配給
- ・L/U 型学習 (この時はオフライン)
- ・学習経過・結果の自動収集
- ・各自の学習状況表示
- ・学習結果 (成績) の分析・表示等

- 2) TSS 型課題解決学習様式 (S モード. 2) ……この様式は、ネットワーク化されたシステムのすべての資源を必要に応じて自由に使いながら進める学習様式である。学習者は、課題に関してプログラムを組み、実行、結果の確認といった典型的な情報処理教育や事前に準備されたマイクロ・ワールド* 環境の中で課題解決型の学習を行うことができる。また事前に準備された既存のプログラムによる模擬体験やホスト制御型 CAI による個別学習等、各種の学習形態を選択できる。

このモードにおける機能概要は次の通りである。

① 情報処理教育の演習/実習**

- 実習問題配給
- 実習実績収集
- 実験実績状況表示
 - ・実績記録 (ステップ記録, トライ回数)
 - ・実績進捗情報
 - ・実習評価

② TSS 環境の提供**

- ゲーム&シミュレーション型学習環境の提供
- マイクロ・ワールド型学習環境の提供

③ ホスト制御型 CAI (M-CBE 等)

- 3) ITS 型診断処方学習様式 (S モード. 3) ……学習者に教授された教材知識や、学習者自らが習得・獲得した知識に関する状況 (理解度) を捉えることは、学習者が最適な学習を展開するための仮説を構築する必須要件である。これにより、学習者の概念の欠如や規則的誤り、効果的でない方略を認識し、指摘することが可能になる。

多くの実用的な AFO 型 CAI においては、系列化された問題の正誤または累積得点により、学習者の習得状況を量的に評価している。

一方、知的 CAI (ICAI, ITS) においては、学習者の獲得している技能・概念を知識として表現する質的な評価の実現を目指している^[9]。

S モード. 3 は、将来的には汎用 ITS を目指すものであるが、その前提として、第 1 フェーズにおいて、テスト・アイテム・バンクによる診断機能および副次的

* マイクロ・ワールド (MICRO-WORLD) : 学習目標領域に関し、自由に試行錯誤ができるよう設定された学習環境。

** 各階層のリソースを利用する環境 (たとえば、デマンド, MAPPER, UNIX, ワークステーション) ごとに設定される。

になるがドリル訓練様式の学習環境を持たせる。

主な機能は次の通りである。

- ① 各種テスト問題の提示
 - 模擬型/ドリル型
 - 画面表示/印書表示
 - ② テスト結果の表示, 診断
 - ③ 評価・統計情報の収集・蓄積とその提供
- 4) IR 型コミュニケーション学習様式 (S モード . 4) ……CAI による個別学習は、しばしばシステムの閉じられた枠の中での一方的な学習になりがちである。人間的側面を阻害するものと捉えられることが多い。こういった見方に対し、この様式では、人間と人間、システムと人間のコミュニケーションを前提とした学習環境を提供する。

すなわち、教授—学習者間、学習者相互の意見交換、情報交換等の学習支援機能や、他システムとの教育情報の流通機能等を介して、新たなネットワーク型の開かれた学習形態が提供される。

準備される主な機能は次の通りである。

- ① 情報検索による学習 (支援)
 - システム辞書
 - ユーザ辞書
- ② 情報交換による学習 (支援)
 - 電子メール
 - 電子掲示板
- ③ 対外接続による学習
 - 対外教育データベース・システム (検索)
 - 対外教育流通システム (交換)

3.4 診断処方を重視した教授環境

教育における教授側の役割は、学習者個々の状況に応じて個別処方 (指導) を行うことにあると言える。ICAI, ITS 等は、これらの教授機能をシステムの中に包含しようとするものである。ICS は、将来的に S モード . 3 を汎用 ITS として実現しようとするものであるが、当面は教授者 (人間) とシステム (機械) は一体となった教授機能による教授環境を提供するシステムと言える。

A/S では、教授活動を支援する様式を A モードと呼ぶ。A モードにも四つの機能群が準備されている (表 3)。

- 1) 学習管理支援様式 (A モード . 1) ……このモードは、学習中・授業中の教授活動そのものを支援する機能が提供される (リアルタイム処理)。現在学習中の学習者状況、各個人の学習経過 (時間・成績等) 等をモニタすることができると同時に、学習者と同様の S モードの実行が可能である。
 - ① 学習実行機能 (S モード . 1 ~ 4 のすべて)
 - ② 学習監視機能 (状況モニタ)
 - ③ 学習状況 (経過時間、学習記録・成績) 管理機能

④ 評価情報の登録機能

- 2) 学習・授業情報管理支援様式 (A モード. 2) ……学習および授業の実施に当たり、事前に必要なシステム準備機能および業後に行うべき作業機能等が提供される (バッチ処理)。

① 授業準備/学習準備機能

- 受講申込み受付け、受講者登録等
- 授業環境の設定

② 授業前後処理機能

- 教材・学習情報の配給(DOWN LOAD)
- 最終学習情報の保存(UP LOAD)

③ 各種統計データ作成・管理機能

- 各種教育研究/統計データの加工
- 各種教育情報管理

- 3) 教育データベース構築支援様式 (A モード. 3) ……ICS は ICS-MS のもとですべての教育情報が管理されるデータベース・アプローチのシステムである。ICS で教育システムを構築するためには、まず教育データベースの作成が必要であり、毎日の運用においても教育データベースの保守を前提としたパーソナル・コンピューティング&ラーニング環境を作ることになる。

A モード. 3 は、これらの各種データベース構築・保守支援機能を提供するものである。

① 教材関連データベース構築・保守機能

② 学習 (授業) 環境関連データベース構築・保守機能

③ システム運用管理関連データベース構築・保守機能

- 4) 教材作成支援 (オーサリング・システム) 様式 (A モード. 4) ……ICS-S/S は、S モードにて述べた通り、さまざまな学習様式での学習が可能な多機能学習ステーションである。この S/S が持つ多機能に応えるためには、さまざまな学習様式を実現するコースウェア開発の支援ツールが要求される。

このモードでは、S モード. 1 対応のオーサリング・システムとして L/U オーサリング・システム^[15]をそのまま採用し、S モード. 2～4 については、今後の ICS を実現する開発環境の中でツールとして汎用化を図り、位置付けしていく計画である。

4. UNI * IOS による実践

4.1 全国教育センタを結ぶ UNI * IOS

全国 8 か所の教育センタを結ぶ教育システムが 1990 年 4 月よりその運用を開始した。このシステムは、表 1 および図 2 で示される通り、UNI * ICS の遠隔教育システム部分 (UNI * DES) を実現したものである (図 8)。

教育センタで行われる教育サービスのうち、個別学習形態の教育はオフィス・スクールで行われている。支社・支店の教育センタにもオフィス・スクールを設立することは望ましいが、人的資源や運用をも含め難点が多く、支店での実施が行われてい

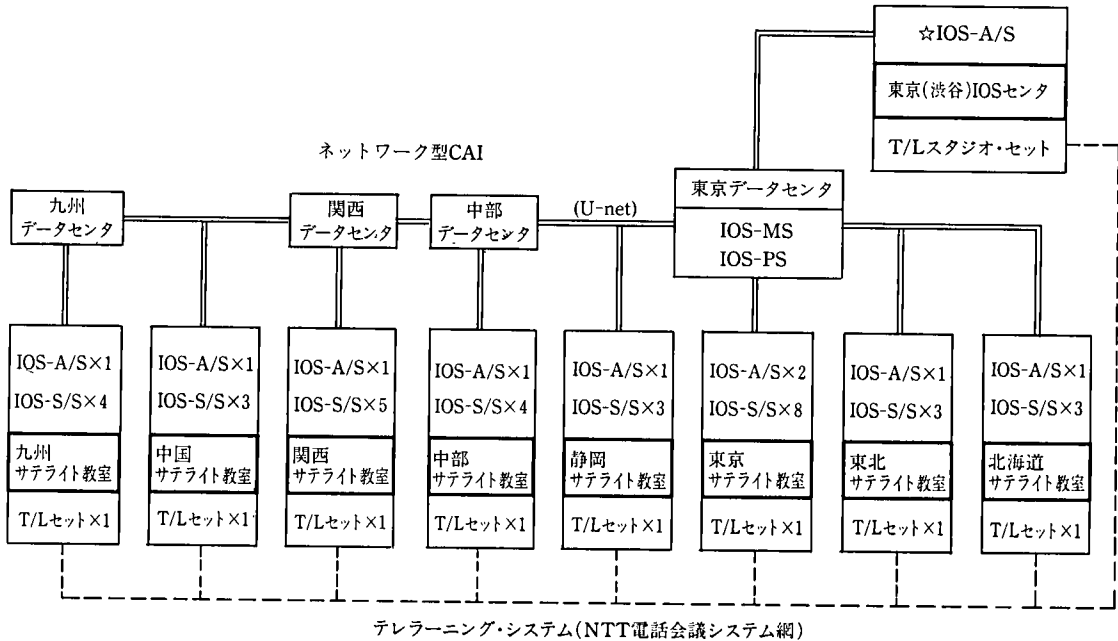


図 8 UNI * IOS システム構成図(1990.10.1 現在)

Fig. 8 UNI * IOS system distribution

かった。今回の全国を結ぶ教育システムは、このオフィス・スクールを統合するものであり、UNI * IOS (UNISYS Intelligent Office School) と名付けられた。

UNI * IOS は、基本的には UNI * ICS の考え方にに基づき、遠隔教育(UNI * DES)を実現するものであるが、CAI による遠隔地での無人化 (インストラクタレス化)には、多くの技術的課題が存在するため、表 1 で紹介した T/L システムを併用導入した。

学習者は、U-net(ユニシス VAN)で結合されたネットワーク型 CAI により、自分のペースで学習を進めながら、内容や運用面でアドバイザーの支援を受けたい時に T/L システムを利用する方法が基本動作である。

システムの構成および基本機能は表 4 の通りである。

4.2 UNI * IOS の評価

1990 年 4 月から運用を開始した UNI * IOS について、開発および実践経過を振り返りながら評価し、新たな UNI * ICS 開発のステップとしたい。

- 1) 実現方式を中心とした技術的評価……UNI * IOS の開発は、表 1 で示されるいくつかの実験システムや各機能レベル (サブシステム) のプロトタイプ開発等を介して段階的に進められてきた。この中で、とくにポイントとなる技術的課題とその評価を簡単に紹介する。

① 開発システムの基本的ソフトウェア/開発言語

教育システムは、その扱う対象領域や対象者によって要求される機能に特徴があり、汎用システムですべて対応できるとは考えられずオーダーメイドやパッケージのカスタマイズによる構築が原則となる。このことから ICS-MS シス

表4 UNI・IOS システム構成および基本機能
Table 4 UNI・IOS configurations and related basic functions

シ ス テ ム 構 成	構 成	概 要
	IOS センタ	東京教育センタ内に設置 オーサ・ステーション: 3 台(ユニシス PW ²) センタ用テレラーニング・システム: 2 セット
	IOS クラスルーム	全国 8 か所に設置(東京, 大阪, 名古屋, 札幌, 仙台, 静岡, 広島, 福岡) スチューデント・ステーション: 各 8 ~ 32 台(ユニシス PW ²) テレラーニング・システム: 各 1 セット
	IOS ホストコンピュータ	東京データセンタ内に設置 汎用大型コンピュータ(ユニシス 2200)
	IOS ネットワーク	ユニシス VAN システム U-net(ネットワーク型 CAI システム用) 公衆回線(テレラーニング・システム用)

U N I ・ I O S の 機 能 仕 様	学習者のための機能	
	機 能 様 式	機 能
	スタンドアロン型個別学習様式	教材の供給, CAI 実施, 学習記録収集, 学習状況分析
	TSS 型課題解決様式	実習課題等(教材)の供給, 実習環境の自動設定, 実習評価支援, HELP
	診断処方学習様式	確認テスト・実力テスト・ドリル型テスト, テスト問題供給, 回答解析, 評価
	情報検索型コミュニケーション学習様式	辞書検索, 電子掲示板/電子メール, 報告書作成, アドバイザ呼び出し
	先生・指導者のための機能	
	機 能 様 式	機 能
	学習監視様式	学習実行(学習者用機能のすべて), 学習モニタ, 学習状況管理, 評価情報の登録
	教育情報管理支援様式	受講申込受付, 業前業後処理, 各種統計表作成
	データベース構築支援様式	教材データベース保守, 学習環境データベース保守, システム運用データベース保守
	CAI/I-CAI システム構築支援様式	AFO-CAI オーサリング, 知的 CAI 構築支援

テムは 4 GL の MAPPER を採用し, 開発の生産性あるいは保守性・拡張性を狙いとした。とくに利用の主体となる教授(教師)活動のエンドユーザ・コンピューティングの環境がその中でも重要と思われる。ICS-PS は汎用 OS の UNIX* を採用し, UNIX 環境のもとでの開かれた教育研究・開発・管理業務あるいは演習・実習の学習を行うことが基本的な考えであったが, UNI * IOS では, ICS-MS と PS のハードウェア上での階層化はできず, MAPPER システムのもとで同居する形態をとった。

ICS-WS は, 大分・長崎両大学へ納入した UNI * ICS VER.1 (C 言語を開発言語として S/S, A/S 環境を実現) をそのまま継承・導入した。

② コミュニケーション関連技術

ディスタンス・エデュケーション・システムは, 原則として不特定多数の遠隔地の人達が各自の学習目標のもとに自由に参加可能な教育システムである。このためには, それらの教育に必要な多くの情報(文字情報や画像情報)が正確に高速で交換される必要がある。

* UNIX: AT & T ベル研究所が開発し, AT & T がライセンスしている。

いくつかの先行開発システムにおいて、NAPLPS 方式による情報伝送の標準化や JUST-PC 手順による在宅教育実験^[3]を行ってきたが、今回の IOS では当社内教育システムということもあり、採用するに至らなかった。

ただし、U-net の利用により全国教育センタ間のネットワーク化を実現したが、この件について課題は皆無といってよく、高く評価できる。

③ ユーザ・インタフェース関連技術

今後の教育システムの開発においては学習者インタフェースへの取り組みが重要なポイントになると思われるが、IOS は情報処理教育用システムであると同時に、当社のプロダクトの環境そのものを扱う分野でもあり、この領域での技術的価値は見られない。

- 2) 学習効果の評価……図 9 は M-CBE と UNI * IOS の学習効果をパターン化したグラフである。サービスとしての評価点はクリアしているが、M-CBE に比してその評価は低いところがある。コースウェアの比較領域が一致しているわけではないため単純に比較ができないが、図 9 から明らかな通り、必ずしも UNI * IOS を評価できない状況にある。その要因は次の通りである。

まず第 1 に、M-CBE がアドバイザー付きシステムであるのに比して、アドバイザーレスの遠隔教育システムであることが挙げられる。T/L システムがアドバイザーの役割をカバーするものとして位置付けされているが、このシステムの利便性にも一因があると思われる。

第 2 の要因は、学習者主導型システムにおけるコンピュータ制御のあり方と多機能 S/S への教材（コースウェア）の適正配置の課題である。

学習者が主導権を持つシステムの背景には、それを支援する教授（コンピュータ）制御システムが存在しなければならない。さらに自由に多様な学習形態を選択するシステムには、多くの羅生門的アプローチからなる教材群が整備されていなければならない。

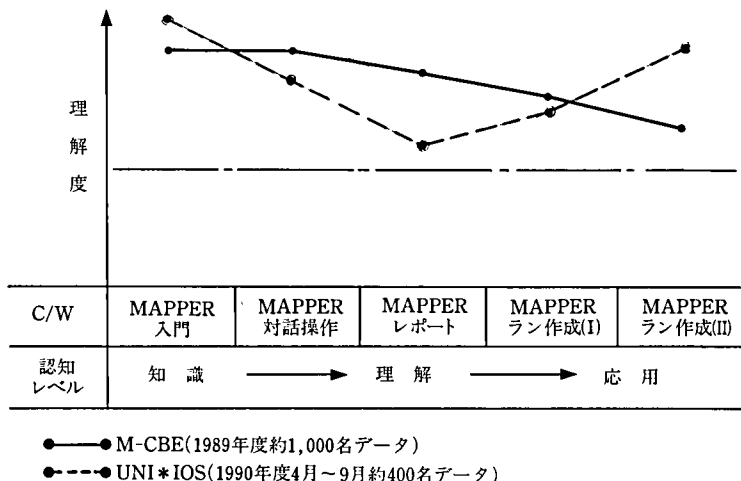


図 9 M-CBE と UNI * IOS 学習効果比較

Fig. 9 Comparison of M-CBE vs UNI * IOS on effectiveness of learning

一方、学習効果がコースの難易度（学習目標の認知レベル）に比例して低下するとされているフレーム型 CAI の分野において、応用動作を伴うレベルの学習で評価の伸びを示している。これは UNI * IOS が持つ四つの様式による学習が可能であることを示している。しかし、すべての認知レベルにおいて UNI * IOS の学習効果が M-CBE と同等、もしくはそれ以上の評価結果を得るためには、低下要因を解決するための機能拡張あるいはトライアウトが必要であり、現在そのための改善に取り組んでいる。

- 3) 運用・活用の評価……UNI * IOS の狙いは教育サービスの地域格差を是正するための遠隔教育の実現である。インストラクタレスのサテライト教室による約 6 か間の運用を行い、約 400 名の受講を得て、まずまずの効果を得ていると捉えている。
- 4) 経済性の評価……表 5 は、今回の IOS 開発における MAPPER 教育分野に要した費用対効果分析の一例である。今後 4 年間の利用を前提に人間教師システムと比較したものであるが、十分採算性のとれるシステムと評価している。

表 5 UNI・IOS 導入に伴う費用対効果分析表
Table 5 Analysis of implementation cost vs effects

教室一斉授業(教師)の場合の費用	UNI・IOS 導入に伴う費用
当社 1 人 1 日当たり教育費の例	(1) CAI システム購入費用
①直接原価 (教材、案内、資料他) 10千円	コンピュータ・システム (H/W & S/W)
②間接原価(1)(インストラクタ人件費) 10千円	……………20,000千円×1 セット=20,000千円
③間接原価(2)(会場、器材、管理費他) 10千円	教授・学習端末 (H/W & S/W)
1 人日当たり受講費用 計30千円	……………1,000千円×40 セット=40,000千円
	ネットワーク・システム
	……………(全国 7 か所専用回線)=100,800千円
	CAI ソフトウェア
	……………2,000千円×1 セット=2,000千円
	(2) CAI コースウェア購入/開発費用
	市販コースウェア
	自社開発コースウェア(内工、外注費他)
	……………500千円×64人/月=32,000千円
	(3) CAI 運用・管理費用
	運用費用(ファシリティ、運用人件費等)
	……………(教師における間接原価②に相当)
	保守費用(教材およびシステム保守等)
	……………(教師における間接原価②に相当)
	(U-net 全国 7 教育センタ 4 年間回線使用料
	約300千円×12か月×4年×7セント≒100,800千円)

IOS 導入による効果の採算分岐点 (4 年間の利用を仮定した場合)
IOS にかかる費用=194,800千円……………一斉授業の①+②に相当
一斉授業に相当する費用で運営するために必要な受講日数は
1 端末当たりの年間受講日数=194,800千円÷(20千円×40端末×4年)
≒61(日)……………採算分岐点
(教育センタにおける年間需要は、3,600日)

5. お わ り に

教育センタでは、L/U 以来、個別学習システムとして CAI の開発にかなりの力を注いできた。自習用教材やビデオ教材等をもっと充実すべきとの要求がないわけではない。それよりも「コンピュータ教育にコンピュータを利用することの必然性」「企業が導入したシステムでその利用方法を学ぶことの利便性」、あるいはまた「コンピュータ総合メーカ（日本ユニシス）でコンピュータ教育を担当する者として、CAI を利用することの義務感」等、CAI 研究・開発にこれ以上の環境はないとの考えに他ならない。

UNI * ICS の当初の課題は、実在する CAI システムには、DB/DC 等の企業内情報システムの構築で利用されている関連技術が十分に活用されているとはいいがたく、まずそれらの技術の導入が第一歩であった。UNI * IOS でようやくその第一歩が終了したと考えている。次の新たな命題は、システムとしての知的保有度の向上である。具体的には ICS-S/S における S モード・3 (ITS 型診断処方学習様式) への取り組みである。

CAI における到達度診断システム研究については当レポートでは触れなかったが、UNI * ICS と並行していくつかのプロトタイプやユーザとの共同開発が進められてきた。これらの成果をベースに学習者の前提行動や学習状況を適宜に診断し、新たな学習プログラムで処方を行う制御方式を導入することである。

また図 1 で示した通り ISDN 型 CAI や衛星通信利用の教育システムとの統合は、その後に続く ICS 開発の命題でもあり、かつ現在の技術動向から見て早期の実現も可能と思われる。

Intelligent ばかりとは言え、知的と名付けた UNI * ICS は、まだ緒についたばかりと言える。「CAI の可能性」への期待を含め、今後も ICS の開発を続ける計画である。

-
- 参考文献 [1] 細井 正, 中新俊夫, 岡田 豊, パソコン CAI 「LEARN UP」による OA 教育の実践, 電子通信学会, (ET83-10)1984.
- [2] オープン・スクールの実践特集; NAFE Vol. 14 No. 65, (財)21 世紀教育の会編, 1984.
- [3] 杉村 豊, 中新俊夫, 澤田嘉信他, パソコン通信による在宅教育実験報告書, MISCO 在宅教育事業化研究会, 1987.
- [4] ICS 使用ガイド, 日本ユニシス教育センタ, 1988.
- [5] 中新, 遠隔教育システムにおける学習機能について, CAI 学会北海道支部設立記念研究会, 1988.
- [6] 菅井勝雄, CAI ハンドブック II. 第 1 節 学習理論, フジ・テクノシステム, 1989.
- [7] 菅井勝雄, CAI 研究の可能性と今後の課題, 日本教育工学雑誌 7, P. 174, 1983.
- [8] 人工知能ハンドブック IX. 応用指向の人工知能研究, 教育, A. Baw/E. A. Feigenbaum 編, 田中幸吉/淵一博監訳, 1988.
- [9] 木村捨雄, AI 型 CAI システムと学校教育レベルへの展開, 日本計画研究所セミナー資料, 1985.
- [10] D. スリーマン, J. S. ブラウン編 山本米雄, 岡本敏雄監訳, 他訳, 人工知能と知的 CAI システム, 講談社サイエンティフィク 1987.
- [11] 樋川和伸, CAI の技術動向, CSK 技術通信 1986. Vol. 3. 1, No. 11.
- [12] B. S. プルーム, J. T. ヘスティングス, G. F. マドゥス著, 梶田敬一, 渋谷恵一, 藤田恵璽訳, 教育評価法ハンドブック, 第一法規 1973.
- [13] 坂元 昂, コンピュータは教育をどう変えていくか, CAI 学会誌 Vol. 5 No. 2. 1987.
- [14] W. Harvey, Designing Educational Software for tomorrow, SRI International, 1985.

- [15] 出石 修, CAI システム LEARN UP におけるオーサリングの特徴と今後の課題, ユニシス技報, 第 17 号 (Vol 8, No. 1) 1988.
- [16] 沼野一男, 授業の設計入門-ソフトウェアの教授工学, 国土社, 1975.
- [17] 生涯学習の基盤整備, 臨時教育審議会, 1987.
- [18] マルチ・メディア時代における遠隔教育, 日本通信教育学会, 第 35 研究協議会, 通信教育研究集録 (35) 1987.
- [19] CAI 調査結果にみる動向, JMA 調査要約, 1986.
- [20] 分散処理の新しいスタイル, チーム・コンピューティング登場, 日経コンピュータ 5. 21, 1990.

執筆者紹介 中 新 俊 夫 (Toshio Nakashin)

昭和 39 年富山大学理学部数学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。主に社内教育および顧客教育分野に従事。現在カスタマーリレーション本部 企画開発部に所属。CAI 学会会員, 日本教育情報学会会員。



澤 田 嘉 信 (Yoshinobu Sawada)

昭和 45 年関西学院大学理学部物理科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。社内教育および顧客教育を担当。近年は主に教育分野のシステム開発に従事。現在カスタマーリレーション本部 企画開発部 教育システム開発課に所属。



ソフトウェア開発方法論の教育と支援方法

Instruction in Software Development Methodology and its Supporting Method

大 野 浩 史

要 約 ソフトウェアの開発が手工業生産から自動化へ向けて大きく変化しようとする現在、ソフトウェア開発者に対する教育はそのカリキュラムにソフトウェア工学の理論や成果を取り入れる必要がある。その一つにソフトウェア開発方法論の教育があるが、その効果的な教育の方法については従来より手順の説明と演習が行われるといった程度でよく考えられていない。本稿では、ソフトウェア開発の方法論の教育について教育過程を定め、それを支援する方法について述べる。

教育過程では演習により方法論の訓練が行われる。演習過程は説明、作業、評価の三つからなるが、説明に例を多用すること、効率よく作業を行うこと、作業結果について評価を繰り返し行うことが方法論理解の向上につながると考えられる。そこで、それぞれに対応する支援の枠組みを設定した。また、筆者の提案した要求分析過程におけるデータフロー図作成法の教育を例にして具体的な教育過程を示し、それに対する具体的な支援方法や支援システムについて紹介した。

最後に、演習評価実験を紹介し、この過程（説明—作業—評価）による演習の実施の有効性について述べた。

Abstract Today, when software development is beginning to shift drastically from manual production to automated creation, training and education programs for software developers now need to include software engineering theories and their results in the curriculums. One of them is software development methodology, and its effective educational way has only been considered to such a degree that there are simply procedural explanations and exercises at most. This paper based on such an aspect of consideration determines the educational process of instruction in software development methodology and discusses the way to support it.

The educational process provides the training of the methodology through exercises; the exercise process comprises three different elements: explanation, working and evaluation. The use of as many examples as possible for explanation, effective performance in working and the repeated evaluation of the outcome are considered to help learners improve their comprehension of software development methodology. Then the author has built the framework supporting each of the three components mentioned above.

In addition, taking as an example the education of the author-proposed method to make dataflow diagrams in the process of analyzing software requirements, this paper refers to a specific process of instruction as well as its related supporting method and system. Also described at the end are the experimental evaluation of exercises and high productivity brought about by the execution of exercises by means of this process (explanation—working—evaluation).

1. は じ め に

従来よりソフトウェアの開発は、ソフトウェア作成者個人の技量にまかされ手工業

的に行われることが多く、そのために生産性が低く、またソフトウェア開発技術の標準化を進めることが困難であった。しかしながら、ソフトウェア危機が叫ばれる現状にあつて、従来の考え方でソフトウェア開発者を育成することはもはやできなくなつつある。この状況を打破するのに、ソフトウェア開発に対して科学的にアプローチするソフトウェア工学があり、今後のソフトウェア開発者はソフトウェア工学の理論や成果を学び、開発業務の中に取り入れていくことが不可欠である。とくにCASEといったソフトウェアの作業環境が導入されつつある現在、ソフトウェア開発法に関する教育は今後重要な役割を果たすと考えられる。

このような方法論の教育に対する支援は、フレーム型、ドリル & プラクティス型、シミュレーション型等の伝統的 CAI では十分に対応できない。なぜなら、方法論のような全体につながりのある内容を教育するには支援方法もまた、より体系的な構成を持たねばならず、しかも各場面に対応した経験的な知識を必要とするからである。また CAI 研究者の間でも最近では CAI を教材、さらに広く解釈して教育環境の一つとして捉える試みが盛んである^[1]。

本稿では、CAI を広義に解釈し、ソフトウェア開発方法論の教育の概要とその支援方法について述べる。なお説明のため、研究員、および寄付講座の教官として席を置いた大阪大学基礎工学部情報工学科において一部協力させていただき実施したプログラミングに関する講義および演習を例に用いた。

2. ソフトウェア開発方法論の教育

2.1 ソフトウェア開発方法論

本稿で述べるソフトウェア開発の方法論とは、あるソフトウェアの開発過程に対して開発方法の考え方と作業手順、作業手順ごとの生産物を明示したものを言い、最近注目されているジャクソン法^{[2][3]}、構造化分析法^[4]や、当社の NUPS 法^[5]、概念データベース設計法^[6]等を指す。

2.2 方法論教育の考慮すべき点

教育は一般に手順や考え方の説明や課題による演習が行われるが、従来から教育効果のはっきりした方法がない。ただ、筆者の経験から、次のような点に気をつけることが教育効果の向上のために有効であると思われる。

- 1) 方法論の基本的な考え方と全体の流れを体系的に説明すること。
- 2) 作業手順の説明では基本的な手順を説明するだけでなく、できるだけ多くの例を用いて作業結果の評価方法も説明すること。
- 3) 説明のみならず、必ず実際に課題を与えて作業させること。
- 4) 作業結果に対する評価を繰り返し行うこと。

2.3 方法論の教育過程

方法論の教育過程を図 1 (a) に示す。最初に方法論の概要（考え方、手順）を説明し次に演習課題を説明した後、手順ごとに演習を行う。演習を行うのは演習による適用経験がなければ方法論を実際に適用できる能力が身につかないとの仮説に基づく。次に図 1 (b) に演習過程を示す。演習は説明、作業、評価の順に行われる。また、評価の結果に応じて説明や作業の繰り返しを行う。以下それぞれの詳細を述べる。

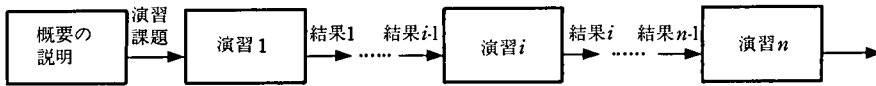


図 1(a) 教育過程

Fig. 1(a) Process of education

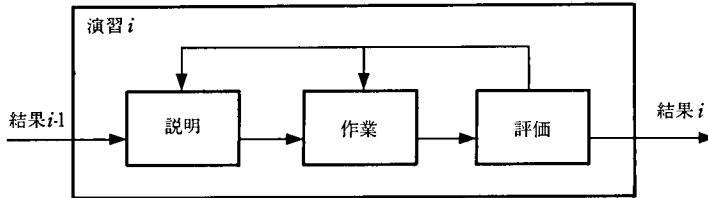


図 1(b) 演習過程

Fig. 1(b) Process of exercise

2.3.1 説明

説明では、演習で行う作業の作業手順のみならず作業結果に対する評価方法についても説明する。説明は一般的説明に加えて例を用いて行う。例には正答例と誤答例があり、正答例は主に作業手順の理解のために、また誤答例は作業結果の評価方法の理解のために用いる。

2.3.2 作業

演習課題に対して作業手順を適用する。また演習間に順序があり、演習結果が次の演習の課題として利用される。

2.3.3 評価

評価方法に従い作業結果の評価を行う。一般に、詳細な作業手順は明確なアルゴリズムではなく経験的な知識を規則の形で表したもののしか示せないことが多い。そのため、作業結果がすべて求めたいものとは限らない。評価の目的は、求めたい生産物以外の作業結果を取り除くこと、および説明、作業へのフィードバックを指示することにある。

3. 方法論教育支援

3.1 教育支援の目標

演習による教育は方法論について一通りの知識や技術を教育、訓練することができるが、講師と学習者にかなりの労力と時間を強いるという欠点を持つ。また、教育が終わっても学習者はすぐに方法論を使えず、ソフトウェアの開発現場における継続的な指導(OJT)も必要である。これは演習期間中の適用経験が少ないことによる。これらの問題を改善するために、演習による教育支援の目標として次の三つを設定する。

- 1) より多くの適用例を学習者に与える。
- 2) 教育効果の小さい作業の負荷を減らす。
- 3) 演習中の疑問をできるだけ早い時点で解消し、学習者の理解のロスを防ぐ。

3.2 教育支援の方法

3.1節で述べた目標を実現するには、異なったいくつかの教育支援方法が必要であ

る。演習過程に基づいた4種類の支援について説明する。

3.2.1 説明支援

演習中に必要な情報の提供として、各演習の手順や概念の説明を行う。説明支援の枠組みを図2に示す。学習者は教材知識を対話インタフェースを用いて利用することができる。従来の伝統的CAI（フレーム型CAI）による対応が考えられる。

3.2.2 作業支援

演習過程で行う作業を支援し、作業効率の向上を目指す。作業支援の枠組みを図3に示す。学習者は作業支援ツールを用いて作業し、与えられた作業課題から作業結果を得る。たとえば、演習結果の作成のための専用図形エディタやワープロが対応する支援ツールとなる。

3.2.3 評価支援

作業結果を評価し、学習者に対して誤りの指摘やヒントの提供を行う。図4に評価支援の枠組みを示す。作業結果の評価方法を規則の形で蓄積し、指導方略（学習者への教授方法）として活用する。学習者の作業結果を教材知識とみなせば、広義の知的CAIとしてとらえることができる。

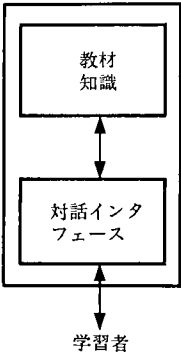


図2 説明支援の枠組み

Fig. 2 Framework of explanation assist

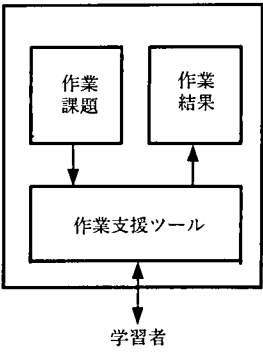


図3 作業支援の枠組み

Fig. 3 Framework of working assist

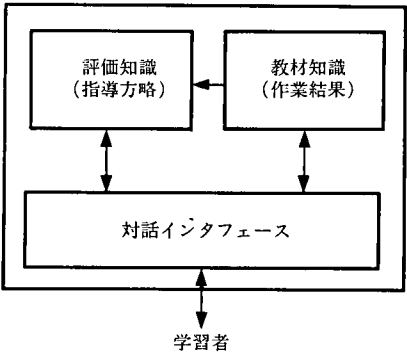


図4 評価支援の枠組み

Fig. 4 Framework of evaluation assist

3.2.4 複 合 支 援

上記三つの支援方法を支援の目標の観点から捉えると、適用例の提供には説明支援が効率的であり、作業負担軽減には作業支援が、学習者の理解のロス防止には評価支援が効果的であると思われる。それらは単に個々の支援方法が独立して存在するだけでなく、必要に応じて複合化して体系立てられた形で存在する。本稿で述べない各種のCAIもそのうちの一つの部品として捉え、組み合わせて使う必要がある。

4. 方法論教育の具体例

方法論には各種設計法等が存在するが、ここでは要求分析法として用いられるデータフロー図作成方法の教育過程と、その支援方法について具体的に述べる。

4.1 教 育 過 程

データフロー図は、記述に用いられる記号も少なく記法も簡潔であるが、初心者にとってこの図を書くのは容易ではない。そこで、筆者は以前より日本語の要求仕様からデータフロー図を作成するための方法を提案している^{[7][8]}。

ここではそれに基づいて作成した演習過程について述べる。演習過程は、1) 単文の抽出、2) 関係の抽出、3) 関係の整理、4) データフロー図の構成要素の抽出、5) データフロー図の構成の五つの演習から構成される。それぞれの演習について概略を述べる。説明のため、次に示す電報解析問題^[9]を演習課題の例として用いる。

電報の流れを処理するプログラムを求めたい。この流れはある装置上の文字、数字、空白記号の系列として表され、あらかじめ定められた大きさの区分でバッファ領域に転送される。電報内の各語は空白記号の系列で区切られ、各電報は ZZZZ という語で区切られる。電報の流れは空電報（語が存在しない電報）が現れると終了する。各電報は課金される語数と長すぎる語の有無が調べられる。ZZZZ および STOP の語は課金されず、13 字以上の語は長すぎると見なされる。これらの処理の結果は各電報に課金される語数と長すぎる語の発生を示すメッセージとが添えられて、見やすい形のリスティングとして表示される。

1) 演習 1（単文の抽出）

学習者は演習課題から文意を表す単文の抽出作業を行う。ここでは以下の三つの例文を演習結果として示し、演習 2～5 の説明に用いる。

例文 1：「語は字の繰り返しから構成される」

例文 2：「語は記号の繰り返しから構成される」

例文 3：「電報内の語数を数える」

2) 演習 2（関係の抽出）

データフロー図を作成するための関係 Rnn, Rnv を抽出する。Rnn, Rnv の定義を次に示す。ここで各 X_i , Q_i , R_i , Y , P はすべて名詞句とする。

Rnn（関係名, $(X_1, \dots, X_n), Y$ ）,

Rnv（動詞名, $P, (Q_1, \dots, Q_n), (R_1, \dots, R_n)$ ）

Rnn において関係名（6 種類）は $X_1 \dots X_n$ と Y との関係を表す。また Rnv において動詞は操作, P は操作の対象, Q_i は操作の入力, R_i は操作の出力を表す。

単文からの関係抽出は、主としてその単文に含まれる動詞に注目して行い、動詞が関係動詞の場合には関係 Rnn を、操作動詞の場合には関係 Rnv を抽出する。例文 1~3 から抽出される関係の例を次に示す。

Rnn 1 (is-iter-of, (語), 字)

Rnn 2 (is-iter-of, (語), 記号)

Rnv 1 (数える, 電報内の語数, (), (電報内の語数))

3) 演習 3 (関係の整理)

収集した関係について、矛盾や冗長な記述がないかどうかをチェックする。たとえば、ここでは学習者が語の構成の関係 Rnn 2 が誤りであると判断し、関係 Rnn 2 を削除するとする。

4) 演習 4 (データフロー図の構成要素の抽出)

抽出した関係からデータフロー図の構成要素となる操作 O を抽出する。操作 O の定義を次に示す。ここで、 X_i , Y_i は入力、出力のデータフローを表す。

O (プロセス名, ($X_1, \dots, X_n$), ($Y_1, \dots, Y_n$))

なお、関係 Rnn に対してはその関係に応じて、あらかじめ決められた動詞を用いてプロセス名を定め、Rnv に対しては操作とその対象から操作名を定める。

先に示した二つの関係 Rnn 1, Rnv 1 に対して定義される操作を次に示す。ここで、関係 is-iter-of に対応して「作成する」、「取り出す」が動詞として与えられる。

O 1 (語を作成する, (字), (語))

O 2 (字を取り出す, (語), (字))

O 3 (電報内の語数を数える, (), (電報内の語数))

5) 演習 5 (データフロー図の構成)

抽出したこれらの操作を合成することにより、求めるデータフロー図を得る。合成に当たっては、必要な操作を人間の判断で抽出し、関連する操作同士を接続する。例文 1, 2 の場合、操作 O 1, O 3 を必要であると判断する。引き続き、O 1 と O 3 を接続して、図 5 に示すデータフロー図を得る。

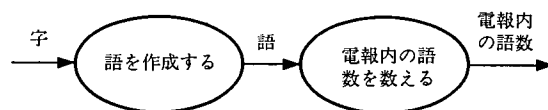


図 5 データフロー図の例

Fig. 5 Example of dataflow diagram

4.2 システムによる教育支援例

以下、演習過程に基づいた教育支援の例を紹介する。

- 1) 説明支援例……演習 2 における支援の例を図 6 に示す。演習 2 での抽出するべき関係について、説明を受けたい関係の選択画面を表示している。学習者は、番号を選択することにより知りたい関係についての詳細を知ることができる。
- 2) 作業支援例……演習 4 に対する支援を例に説明する。与えられた関係 Rnn 1, Rnv 1 からは、操作作成規則を用いて操作 O 1, O 2, O 3 を自動生成することが可能である。

演習 2 の説明：

単文から抽出する関係には次のようなものがあります。

- (1) are-parts-of
- (2) is-iter-of
- (3) are-kinds-of
- (4) is-bkind-of
- (5) is-equal-to
- (6) is-value-of

詳細を知りたい関係の番号を入力してください

図 6 演習 2 における説明支援例

Fig. 6 Example of explanation assist in exercise 2

- 3) 評価支援例……演習 1 における支援を例に説明する。演習 1 では、学習者が仕様書から単文を抽出するが、一般的規則だけではうまく単文を抽出できないため、専門家による修正が都度必要である。そこで、自然言語インタフェースと単文作成の専門知識のルール化を組み合わせたシステムを用いる。学習者が単文を入力することにより、システムが入力単文の解釈を行い直接誤りを指摘する。また、必要に応じて単文の言い換えのヒントを与える。具体的なシステムの動きを図 7 に示す。

c: 単文を入力して下さい。
 > 電報を処理する
 c: “処理する”は出力対象が不明のため不適切です。
 c: もっと具体的に出力がわかる動詞を使って言い替えて下さい。
 > 電報内の語数を数える。
 c: “電報内の語数を数える”を単文ファイルに登録します。

c: 単文を入力して下さい。
 > 字は語の構成要素である。
 c: 3 通りの意味に解釈できます。番号を選びなさい。
 (1) 語は字とそれ以外のいくつかの構成要素から構成される。
 (2) 語は字の繰り返しから構成される。
 (3) どちらでもない
 > 2.
 c: “語は字の繰り返しから構成される”を単文ファイルに登録します。

図 7 演習 1 における評価支援例

Fig. 7 Example of evaluation assist in exercise 1

- 4) 複合支援例……上記 3 種類の支援が組み合わさった場合の支援について、演習 3 に対する支援を例に説明する。抽出された関係は、テキスト行として記述されるが、学習者にとっては非常に見にくく理解しづらい。そこで、問い合わせに応じて評価した関係を見やすい図形に自動変換するツールを用意。図 8 (a) にその例を示す。これにより自らの誤りを発見しやすくなる。ヒントを与えるという意味で評価支援の道具として捉えることができる。

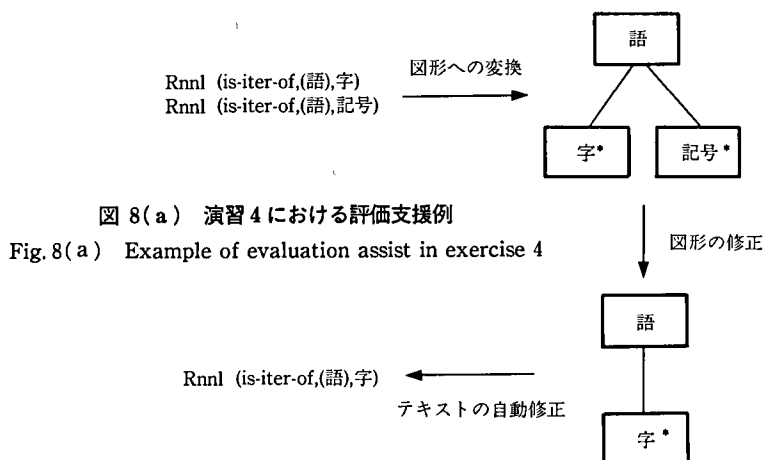


図 8(a) 演習 4 における評価支援例

Fig. 8(a) Example of evaluation assist in exercise 4

図 8(b) 演習 4 における作業支援例
 Fig. 8(b) Example of work assist in exercise 4

また、これに関連して関係の追加、修正が必要となる。図 8(b) にその例を示す。図形の修正、削除に応じてテキストで表現された関係の自動修正を行うことで学習者の作業負担の軽減に役立つ。

5. 演習評価実験

本章では、演習による方法論教育の有効性を評価するために行った演習評価実験について述べる。

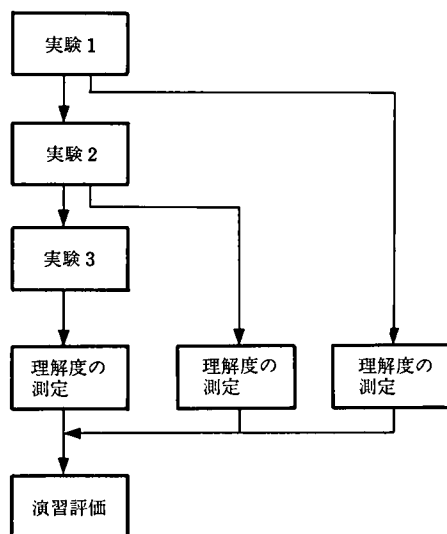


図 9 演習評価実験の概要

Fig. 9 Overview of exercise evaluation experiment

5.1 演習評価実験の枠組み

演習評価実験として、次のような3回の演習を同じ学生30名に対して連続して行った。実験の概要を図9に示す。与えられた課題はすべて事務処理の問題である。

実験1：方法論を何も教えないでプログラムを作成する。

実験2：方法論（複合設計法^[10]）の手順の説明のみを教えてからプログラムを作成する。

実験3：方法論の初期ステップにおいて、手順の説明に加えて作業結果の評価方法を多くの例を用いて説明してからプログラムを作成する。

演習の終了後、それぞれの学習者の理解度を測定し、比較することで方法論の演習方法の評価を行った。ただし、学習者の理解度を直接測れないのでここでは次節で述べるプログラマ性能で代用した。

5.2 プログラマ性能

プログラマ性能 (programmer performance) とは、プログラムをソフトウェアを生産する一つの機械（装置）とみなした上で、誤りのない設計、コーディングおよびデバッグをいかに効率よく行いうるかの尺度でソフトウェア開発におけるプログラマの能力を表すものである。ここで「性能の高いプログラマほどフォールトをソフトウェア中に作り込まず、仮りにフォールトを作り込んだとしても短い期間でそれを取り除くことができる」と仮定すると、プログラマ性能の評価尺度を次式(5-1)のように定めることができる^[11]。ここで、 T_e はプログラマがソフトウェアに作り込んだエラーの寿命、 p は問題のむずかしさ、 f は正規化関数を表す。

$$SI = \left(\frac{\sum T_e}{f(p)} \right)^{-1} \quad (5-1)$$

なお、比較的小規模なプログラム開発においては、正規化関数 $f(p)$ は最終プログラムサイズ L の2乗で近似することができる。

評価尺度 SI は大学におけるいくつかの学生実験や、当社の新人研修のプログラム開発演習において適用され、その妥当性や有効性が確認されている^{[11][12]}。

5.3 実験結果

図10に実験結果を示す。縦軸がプログラマ性能の値であり、横軸の3点が、左から順に実験1、実験2、実験3の演習を表す。学習者の理解度（プログラマ性能値）の向上は、方法論の教育がプログラム作成に有効であったことを示すと考えられる。またこの結果から、学習者（14名）を次の3グループに分類することが可能である。

（グループ1） 実験1の値が高く、実験2、3ともに値が向上する。

（グループ2） 実験1の値が低く（10以下）、実験2はあまり値の変化が見られないが実験3で値が向上する。

（グループ3） 実験1の値が低く（10以下）、実験2、3もあまり値の変化が見られない。

以上のことを次のように解釈する。

「学習者には、手順のみを示すだけで方法論を理解することができる人（グループ1に対応）と、手順と評価方法を例示によって説明すると方法論を理解できる人（グループ2）と、何を説明しても理解できなかった人（グループ3）とがいる。」

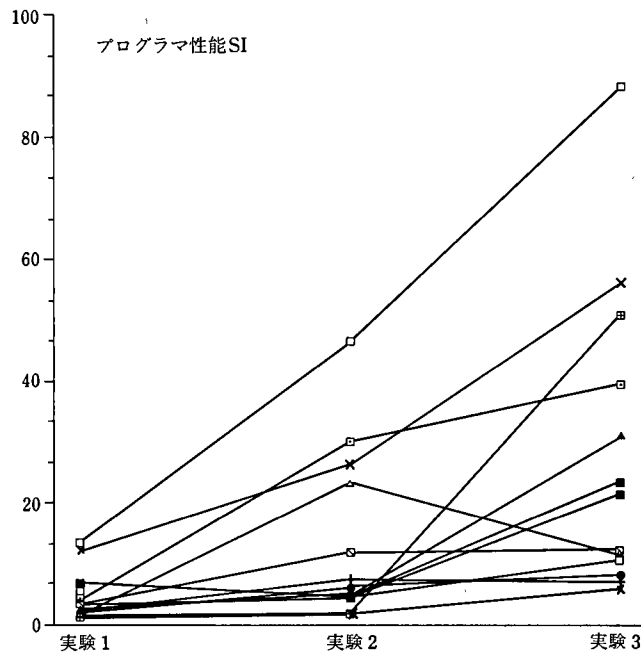


図 10 実験結果

Fig.10 Result of experiment

この解釈によれば、演習過程の枠組み（説明、作業、評価）と例示による説明方法が学習者の理解度向上に対して有効であるという仮説が成り立つ。

6. お わ り に

ソフトウェア開発方法論の教育とそれに基づく各種の支援方法について述べ、その適用を紹介した。また、とくに方法論の演習の異なる実施方法による教育効果の違いについて最後に示した。現在、適用に示した要求分析法教育のための支援システムのプロトタイプ作成を終了し、実用化を検討している。また、各支援方法の学習者の理解向上に対する効果や影響度をシステムの使用に基づいて研究することを今後の課題としたい。

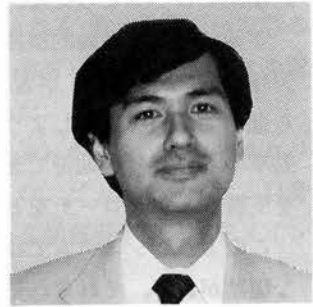
本稿の作成に当たり、多大のご指導、ご協力を頂いた大阪大学の鳥居宏次教授、松本健一助手に深く感謝の意を表したい。

-
- 参考文献 [1] 大槻説平, 山本米雄, “知的 CAI のパラダイムと実現環境”, 情報処理, Vol. 29, No. 11, 1988.
- [2] M. A. Jackson, “Principle of program Design”, Academic Press, 1975 (鳥居宏次 翻訳, 構造化プログラム設計の原理”, 日本コンピュータ協会, 1980).
- [3] M. A. Jackson, “System Development”, Prentice-Hall International, 1983 (大野 俊郎, 山崎利治 共訳, “システム開発/JSD 法”, 共立出版, 1989).
- [4] T. DeMarco, “Structured Analysis and System Specification”, Prentice-Hall, 1978 (高梨智弘, 黒田純一郎 監訳, “構造化分析とシステム仕様”, 日経マグロウヒル社,

- 1986).
- [5] 日本ユニシス教育部編, “NUPS 法による業務システム設計演習”, 日本ユニシス, 1983.
 - [6] 日本ユニシス教育部編, “概念データベース設計演習”, 日本ユニシス, 1985.
 - [7] 大野浩史, 菊野 亨, 鳥居宏次, “抽象化に基づく文章理解モデルのソフトウェア設計法への適用”, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会資料, 88-SE-62, 1988.
 - [8] 大野浩史, 菊野 亨, 鳥居宏次, “プログラム設計のための構造表現モデルの提案と複合設計への適用”, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会資料, 89-SE-65, 1989.
 - [9] 鳥居宏次, 杉藤芳雄, 真野芳久, 二木厚吉, “プログラム作成技術の現状に関する調査報告(1)”, 電子技術総合研究所調査報告, 1975.
 - [10] G. J. Myers, “Reliable Software through Composite Design”, Mason/Charter Publishers, 1975, (久保美沙, 國友義久 共訳, “高信頼性ソフトウェア”, 近代科学社). An experiment in structured programming”, BIT, Vol. 12, No. 1, pp. 38~53, 1972.
 - [11] 松本健一, 井上克郎, 菊野 亨, 鳥居宏次, “エラー寿命に基づくプログラマ性能の実験的評価—大学環境におけるプログラム開発—”, 電子情報通信学会論文誌 D, J 71-D, 10, pp. 1959~1965, 1988.
 - [12] 松本健一, 楠本真二, 菊野 亨, 鳥居宏次, “プログラム開発におけるチーム性能のモデルに基づく実験的評価—プログラマ性能モデルの拡張—”, 情報処理学会論文誌(投稿中).

執筆者紹介 大野 浩 史 (Koji Ohno)

昭和53年大阪大学経済学部 経営学科卒業. 同年日本ユニシス(株)入社. 教育部にて客先教育に従事. 62年4月大阪大学基礎工学部情報工学科受託研究員, 平成2年4月同大学同学部同学科知能情報処理システム寄付講座教員を経て, 現在システム企画本部技術監査室所属. 情報処理学会会員.



知的な学習システム

——開かれた学習環境をめざして

An Intelligent Learning System

——Aiming to Build an Open-ended Learning Environment

山 田 繁 夫

要 約 従来より、コンピュータを教育に利用する試みは数多くなされ、知的教示システムへと発展してきた。しかし、それらはいずれも、いかにしてシステムが知的に教えられるかという観点から研究/作成されており、学習者の学習プロセスに注目したものは少なかった。

Greeno らは、学習システムの〈知性〉を別の観点、たとえば問題解決能力等に見られる知的機能によってとらえた。筆者もこの思想を受けて、その具体的な実現例を設計した。

学習に関する理論的根拠は、VanLehn の impasse (後にも先にも進めない状況) による学習理論^[9]を拡張した。学習者は、自分自身の中に問題が発生した時や、好奇心を抱いた時に自ら進んで知識を吸収しようと試みる。この時に、学習者に必要な知識を体験させてあげれば、効率のよい学習が期待できる。このようなシステムを実現するために、自由探索による学習を支援するアプローチをとった。

このようなシステムでは、広範囲の知識を取り扱うことになる。また、知識にはさまざまな種類があり、それぞれに対して異なった表現形式や提示手段を用意しなければならない。広範囲のドメイン (対象領域) 知識を統一的に扱うために、オブジェクト指向プログラミングの手法を用いてドメイン知識をメタレベルで表現した。

〈知的な学習システム〉におけるコンピュータシステムの位置づけは、学習システムの単なる一構成要素であり、他の構成要素である先生や同僚とともに知性を分担する。

本稿で述べるコンピュータシステムは、この一つの実現形である。

Abstract There have been many attempts conducted to use computer systems for educational purposes, developing into intelligent tutoring systems (ITS). They, however, have been studied and created with greater emphasis placed on how systems can serve learners intelligently, and we have seen very few system for which learners' learning process is fully thought of. Greeno is noted for having viewed the 'intelligence' of a learning system in a different way and considered it to be an intelligent function as seen in the ability to solve problems. Under the guidance of this concept, the author has designed a practical implementation.

Theoretical learning motives help extend VanLehn's impasse-oriented learning theory (VanLehn's 1988 paper); that is, learners will often try to obtain necessary knowledge, of their own free will, when they find themselves faced with problems to solve and when curiosity or the desire to learn arises in themselves. Letting a learner experience his or her required knowledge at that time would lead to efficient learning. Then, the approach toward such a system is focused on the supporting of learning by free exploration of knowledge bases.

A system like this needs to be capable of dealing with a wide range of knowledge. In addition, knowledge differs from type to type, thus calling for different representation forms and ways of

presenting to learners depending on types of knowledge. To allow a wide range of domain knowledge to be handled in a unified manner, it is represented on the meta level by use of the object-oriented programming method.

A computer system in an 'intelligent learning system' is simply positioned as one of the components of a learning system and shares knowledge with others such as teachers and co-learners. The computer system described in here is one of the implemented systems.

1. はじめに

ある人が「雨はどうして降るのだろうか?」という質問を投げかけてきたとする。われわれは、どのような戦略で、どのような方法によってその質問に答えるのだろうか。さらに、その問いに答えるコンピュータシステムを構築することは可能なのか。

従来から教育にコンピュータを利用する試み (CAI: computer-assisted instruction) がなされてきた。そして近年, CAI に人工知能の技術を適用した ITS (intelligent tutoring system) と呼ばれる個別指導システムが数多く作成され, 学習者の理解をモデル化する研究や, (ベテラン教師のような柔軟な対応がとれる) 教示技術の研究等の貴重な研究材料となってきた。しかし, それらの多くは〈教育〉することに重きを置き, 学習者の〈学習〉プロセスに注目したものは少なかった。

一方では, 自由探索による学習パラダイム (実現システム) がいくつか提唱され, その有用性が注目されている。そのようなシステムでは, コンピュータシステム自身が特定ドメイン (対象領域) の問題解決能力を持ち, それを学習者が使ってドメインのふるまいや原理等を体験し, 学習する。

Greeno らは, システムの〈知性〉を, 人とコンピュータ等を含めたトータルなシステムの知的な機能 (たとえば問題解決能力等) によってとらえるべきだと提唱した^[4]。すなわち, 人の力だけで解決できる問題と, コンピュータの力だけで解決できる問題の両極端が考えられるが, 人とコンピュータを統合したトータルなシステム (系: system) ならば, それぞれがバラバラな時の知性を単に加え合わせたものより大きくなるというものである。以下では, 〈システム〉という言葉をもそのような系に対して用いることとし, 〈コンピュータシステム〉と区別して用いる。

本稿では, Greeno らによって提唱され, 筆者がめざす〈知的な学習システム〉の一つの実現形について論ずる。それは, 学習システムを, 教材/ライブラリ/実験装置/教師/学習者/コンピュータ等の全体を含めたシステムとして取り扱う。そのようなシステムでは, 「いかにコンピュータが知性を分担し共有できるか」という立場からコンピュータシステムを考える。

本章では, さらに最近の ITS や, 学習のプロセスに関する研究についてレビューし, 基本的な概念を導入する。2 章では, 筆者のアプローチを具体的に述べ, 3 章で, 関連する他のシステムや〈先生の知性〉, 協調学習への応用について考察する。

1.1 Well-formed Curriculum (知的 CAI の登場まで)

AFO (ad hoc frame oriented) CAI のアプローチでは, 一つの領域知識を教えるために, あらかじめカリキュラムを設計しておき, それをフレーム (frame) と呼ばれる教授学習単位に記述しておく。このような教育における教材は, しばしばコースウ

ウェア(courseware)と呼ばれている。そして学習者は、カリキュラムに従ってフレームを〈見たり聞いたりする〉ことによって学習する。コースウェアの作成時にあらかじめ学習者の反応を枚挙しなければならないという問題は、教育システムを設計する上で大きな制約となる。

近年、知的CAI(ICA: intelligent computer-assisted instruction)が提唱され、現在も研究がなされている。それらは、知的なコンピュータが、学習者にどのようにして教えることができるのかという点に注目している。ITSに代表される“well formed curriculum”というカテゴリーのICAシステムでは、教育の個別化をテーマにしている。たとえば、文献^[8]で竹内らが提唱する〈高度に個別化された教示システム〉では、学習者の理解状況、知識内容等に従って教材の内容、教授パラダイム、対話方法等を決定し、その時点において、学習者に最もふさわしいと考えられる学習環境を設定する。たとえば異なった学習者が同じ質問をしても、システムは異なった反応をするし、さらに同一の学習者の同一の質問に対しても、その状況によって異なった反応をする。

このような学習環境を実現するためには、学習者の反応をもとに学習者の理解状況をモデル化して、そのモデルを使って教授戦略/戦術を決定しなければならない。学習者の理解状況をモデル化したものを学習者モデルと呼ぶ。それを構築する過程では、学習者の理解状況をどのように定式化して、どのような方法で判定するのかが決定されている必要がある。これは、教示すべき内容領域の知識表現方法に大きく依存する。

1.2 学習に関する理論

一般的に、人や動物が新たな知識を獲得するプロセスを学習と呼んでいる。学習に関する基礎的な概念はメンタル・モデル(mental model)である。本節では、筆者の学習システムで学習理論の基礎としているVanLehnの学習理論をレビューする。

本稿で用いるメンタル・モデルという言葉は、認知科学者が用いるそれより広い意味で用いる。メンタル・モデルとは、われわれが頭の中に持っている〈知識〉であり、世界観を構成する要素である。それは、われわれが何か知的な活動をする時に——たとえば、自転車に乗る時や方程式を解く時等——その行動をガイドするために使われる。学習のプロセスにおいては、この〈使う〉ということが重要である。このモデルは、生活体験(他の人からの教え、自己矛盾に陥った、問題が解決できなかった等)を通じて限りなく更新されていく。

〈学習〉は、メンタル・モデルの更新プロセスであると考えることができる。そして、学習に関する研究の中心的な課題は次の二つの疑問に代表される。

- 1) われわれは、どのようにメンタル・モデルを拡張するのか。
- 2) どのような方法によって、学習のプロセスを支援できるのか。

VanLehnはimpasse(後にも先にも進めない状況)が学習の中心的な役割をなすことを提唱し、手続き的な知識(スキル)を学習するプロセスのメタレベルのアーキテクチャを考え出した^[9]。学習者は問題にぶつかってimpasseに陥ると、次の二つの(いずれかの)方法による解決を試みる。

- 1) 以前にうまくいった方法を使って、自分自身がすでに持っている解法を修正する。

2) 他に助けを求める。

これにより impasse の解決に成功すれば、次の同じような状況に備えて、そのメタプロセスを抽象化して、メンタル・モデルを拡張する。効果的な助けを求め/受け取ることによってモデルを拡張した場合には、その impasse が学習のソースとなる。一方、他から助けを得られずに（たとえばテスト問題を解いている時等）既得解法を修正することによってモデルを拡張した場合には、誤った知識（たとえば過度の一般化等）を生成する傾向がある。

VanLehn らは、このアーキテクチャをわが国では初等教育の課程で取り扱う縦書きの引き算に適用し、その妥当性を検証した。そして、彼は現在同じアーキテクチャを初級物理学を学ぶ学習者へ適用し、成果を得ており、その汎用性が証明された。

学習に関する理論を研究することは、正しい学習者モデルを設計するための基礎となるだけでなく、ドメインにおける効率のよい教授戦略を見つけるためにも重要である。

2. 筆者のアプローチ

学習システムにおいて、学習者は積極的に〈学習すること〉に参加すべきである。それは、疑問を持ち、それについて考え、仮説をたてて、それを実験等で検証し、考察することによって自ら作り出した疑問の解を見い出すことである。それによって、学習者は自らメンタル・モデルを拡張するためのレディネス（受け入れる状態）を作り出す。

筆者は、VanLehn らの学習理論が手続き的な知識（スキル）のみならず、宣言的な知識を含んだより広範囲の知識を獲得する場合にも適用可能と考える。この場合、VanLehn のいう impasse は、解決できない問題にぶつかった時のみならず、学習者が好奇心を抱いた時にも発生する。「 $\times \times$ はなぜだろう」あるいは、「 $\times \times$ はなぜ $\times \times$ ではないのか」、「 $\times \times$ はどんなふうになっているんだろう」といった素朴な疑問を自ら持つことが impasse として働くと考える。VanLehn の理論より、その impasse がきっかけとなり学習行動を誘発する。

学習者に素朴な疑問による impasse が生じて外部に解を求めた時に、それを見い出すための探索環境を提供してあげる。知識を探索する行為を支援するコンピュータシステムは、〈知的な学習システム〉の中で知識源となり、考えるための道具となることができる。

たとえば、冒頭でとりあげた雨についての質問「雨はどうして降ののだろうか」において、われわれはその質問のみからは以下に示すように、学習者の質問の意図を正確に把握することはできない。

- 1) 水蒸気が上空で結露して水滴となり……地上に降り注ぐ過程を質問している、
 - 2) 万有引力について質問している、
 - 3) 天気予報がはずれて、単に頭にきているだけ、
- 等、いろいろ考えられる、

しかし、筆者らの自由探索による学習システムでは、ここでその質問の意図を周到に分析したり、同定する必要はない。最初の質問は、学習者自身が作り出した探索の

きっかけであり、学習者は自分が満たされるまで探索を続けるからである。システムには、あらかじめ決められた〈正しい探索のしかた〉等はない。

とりあえず、その質問に対しては、学習者を雨が降っているシーンへ連れていく。そしてたとえば、雨を歌った詩や、雨の降っている風景等を示してあげる。さらにその中に探索のための手がかりを上手に埋め込んでおく。すると学習者は、そこからさまざまなものを連想して、次のキーワードを発見して、次の質問を出すだろう。

この過程で大切なことは、学習者に、この環境とのコミュニケーションを通じて自分自身のメンタル・モデル（たとえば学習者の持っている知識）を〈使わせる〉ことである。これによって、学習者は単なる知識の受け手ではなく、能動的にふるまうことができるようになる。

3. ドメイン知識の表現方法

一般的に、ドメインは、さまざまな種類の知識から構成されている。たとえば、いくつかの対象物に対する知識や、一般的な法則、ドメインに固有の制約条件等がある。これらの異なる種類の知識を単一の形式で取り扱うことはできないし、過度に一般化された表現形式は役に立たない。

文献^[6]で示す通り、伊藤らは、学習者が問題を解いて学習する過程を支援する知識探索環境（CAFEKS: computer assisted free exploration of knowledge structure）を設計する時に、対象知識の表現にオブジェクト指向プログラミング（OOP）の技法を用いた。筆者も、OOPの持つ柔軟さ（たとえば、継承性、特殊化・抽象化によるモデリング等）に注目し、それによる知識表現を試みた。

3.1 メタレベルの知識表現

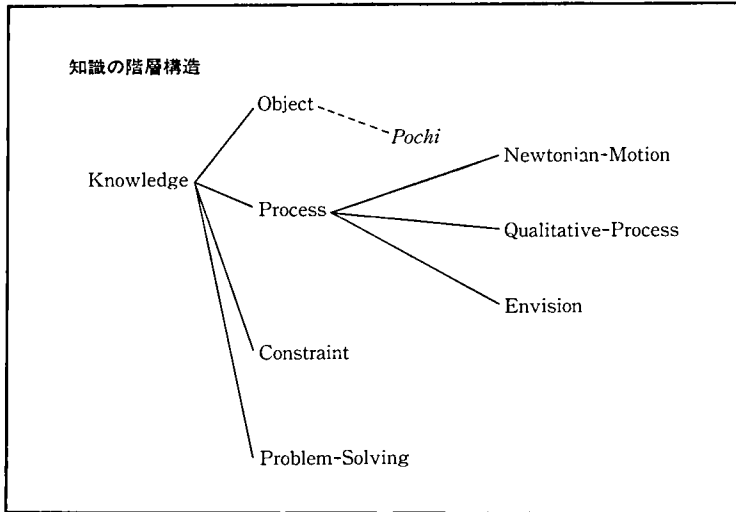
たとえば、〈雨が降る〉というドメインは、次のような異なる種類の知識から構成されている。〈雨〉は対象物に関する知識であり、〈雨粒が落下する〉はニュートン運動の法則の知識であり、〈地表の水が蒸発する〉は物質の状態変化の知識である。

ドメイン知識は、メタレベルの知識を使って表現する。対象領域の知識をクラス化して個々の知識の断片を対応するクラスのインスタンスとして扱う。たとえば、〈雨〉は対象物を表現する Object class のインスタンスであり、〈雨粒が落下する〉は物理的なプロセスを表現する Process class の特殊型である Newtonian-Motion class のインスタンスである。

すべてのインスタンスは、知識を表現する Knowledge class の（間接的な）インスタンスであり、次頁の図に示すように知識のクラスは階層構造をなしている。他のクラスとしては、問題解決の知識（スキル）である Problem-Solving class、エネルギー保存則等の制約に関する知識である Constraint class、等が考えられる。

3.2 知識を伝達する手続き

それぞれの知識オブジェクトに、自身を探索させるためのメソッド（手続き）を持たせる。筆者のシステムでは、学習者が自発的にドメインを探索し、体験することによって学習するので、知識は間接的に（探索行為の副作用によって）伝達される。たとえば、対象に関する知識 Object class のインスタンス〈ボチ〉の場合、〈ボチ〉が写っているビデオを見たり〈母/父親〉といったボチの属性を検索する方法が考えられる。



これらの伝達メソッドは、学習者が〈ポチ〉を探索する時に道具として使われる。

伝達や他のメソッドのほとんどはクラスに対して定義する。これは、同じクラスに属するオブジェクトが同じように〈ふるまう〉ことによる（抽象化, abstraction）。しかし、特定のインスタンスが特異なふるまいをすることもありうる。この場合には、その特異な部分だけをそのインスタンスに対して再定義する（特殊化, refinement）。

4.1節で、各クラスの具体的な知識伝達メソッドについて述べる。

4. 学習システムのインタフェース

本章では探索による学習のインタフェースについて述べる。これは、次の二つの部分に分けて考える。

- 1) 知識を伝達するためのインタフェース……「学習者に〈知識〉をどのような方法で〈見せる〉のか」に代表される問題
- 2) 探索を支援するためのインタフェース……「探索のための手がかりをどのように埋め込むのか」に代表される問題

4.1 知識を伝達するためのインタフェース

学習者に伝達すべき知識にはさまざまな種類があり、それぞれのクラスごとにそれにふさわしい伝達方法（インタフェース）があるはずである。すなわち、知識のクラスが異なれば、異なったインタフェースを用いる必要がある。本節では、典型的なクラスについてその伝達方法を述べる。

4.1.1 Object class（対象物に関する知識）

- 1) 対象を見せる方法……最も単純な方法は、その対象物を見せることである。たとえば、対象を写したビデオや写真、コンピュータ・グラフィックス、簡単なイラスト等を見せてあげる。この方法は、AFO-CAIが〈教える〉ために用いる方法と基本的に同じであるが、その内容が説明調ではなく、あくまでも体験調であることが大切である。とくに、コンピュータ・グラフィックス（CG）やインタラク

ティブ・ビデオ (IV) は、学習者自身がそこに描かれた対象をインタラクティブに疑似操作できるので、対象に関するメンタル・モデルを構築しやすい。

- 2) シンボリックな表現による提示法……Minskyによれば、われわれは対象を、属性とその属性値のペアの集まりとして認識している^[7]。対象を一つの枠（フレーム）として考えると、それぞれの属性は、その枠の引き出し（スロット）として考えられ、引き出しの中身（スロット値）が属性値となる。通常、スロット値は、他のフレームである。学習者に、対象のフレーム表現そのものを操作させることによって、ドメインの対象に関する記述や対象間の関係を伝達する方法が考えられる。

このような2項関係は、同時に意味ネットワークとして表現できる。意味ネットワークによる知識表現法は、複数の対象間の関係を表現する手法としてよく用いられる。意味ネットワークでは、ネットワークのノードは対象物を、アークは属性を表す。一般に、意味ネットワークは複雑に絡み合うので、その構造全体を提示しても理解できないことが多い。

そこで、注目している対象から出発して、インクリメンタルに表示グラフを成長させる方法を用いる。すなわち、表示されているノードをマウス・クリックすると、その対象の属性メニューが表示されるので、そこから興味のあるものを選択する。これにより、その属性値である他の対象が表示グラフに属性名と共に追加される。意味ネットワークのグラフ表現を学習者が見て操作することによってその対象に隣接する他の対象へ興味を移すことが可能になる。

4.1.2 Process class (物理的な現象に関する知識)

雨が降る過程等の物理的な現象を理解するためには、実験等を通じてその現象を科学の目で体験することが重要である。そして自分の立てた仮説が正しいことを検証し、あるいは間違っているところを探し出し考察させる。これは、われわれが自然科学を学ぶためのごく一般的な方法である。

このような学習法を実現するために、ドメインを適切なレベルでシミュレーションできる Micro World を学習者に提供し、その世界の中で自由な体験をさせる方法を用いる。このとき、シミュレーション・システムが現在起きている現象を説明できれば、学習者が現象を理解するために役立つ。

定性推論はこの種の目的に適している。Process class を特殊化して Qualitative-Process class と Envision class を定義する。それぞれは、K. D. Forbus が提唱する Qualitative Process Theory^[3]と、de Kleer らが提唱する ENVISION^[2]に対応する。ENVISION は、電子回路や機械系等の構成要素の結合状態が変化しないような系に対して有効であり、系の構成要素に注目して系全体のふるまいを予測する。一方、Qualitative Process theory は、系が変化する過程(process)に注目して系をモデル化する。たとえば、〈蒸発〉した水が〈結露する〉ようなモデルが作れる。いずれの手法においても、定性推論は単にシミュレーションを実行するだけではなく、そのふるまいを、ある種の因果性 (causality) によって説明することができる。

4.1.3 Constraint class (制約)

たとえば、エネルギー保存則等の物理現象はさまざまな制約条件によって拘束されている。このクラスの知識は先の Process class に帰着可能と考えているが、定量的に取り扱うことが可能な知識をこのクラスで取り扱う。

4.1.4 Problem-Solving class (問題解決過程)

学習者が、たとえば微分方程式を解いていて行き詰まった時に、何らかの助言を与えることができれば、学習者はそれを解決することによって学習できる。問題解決のスキルは、学習者の持っている問題を、学習者と一緒に（協力し合って）解決することのみにより伝えることができる。基本的には、伊藤らの手法によって、この種のコンピュータ・システムを構築可能であると考えているが、筆者はその具体的な手法を未だ見出ししていない。

4.2 探索を支援するためのインタフェース

あるクラスの知識インスタンスから、任意のクラスの他の知識インスタンスへと探索の触手を延ばしながら、学習者が必要な知識を必要なだけ吸収できるようなインタフェースを実現したい。学習者は、一度に一つだけの知識インスタンスと対話するので、その伝達インタフェースの中に、他のインスタンスへの探索の手がかりを埋め込んでおく。一方、キーワードからも知識インスタンスを検索できるようにする。これは、探索のコンテキストを変える時や、探索の初期のきっかけを作る時に使用する。

4.2.1 具体的な探索のイメージ例

探索のシナリオの例を示す。ここでは、先の降雨の例を用いることにする。

- 1) 学習者は、まず〈雨〉というキーワードから Object Class のインスタンスを検索する。その伝達メソッドによって雨の降っているシーンを写したビデオが提示される。
- 2) 次に、その中に埋め込まれた〈降雨〉というキーワードを見つけ、そこから Process class のインスタンス〈雨の降る仕組み〉へと探索を進める。このオブジェクトの伝達メソッドは、シミュレーションによる実験である。〈地上の空気が暖められて上昇し、断熱膨張によって結露して、……再び地上に降りて、雨となる〉という一連のプロセスをシンボル・レベルのシミュレーション（定性推論）により実験させる。

4.2.2 探索インタフェースの設計

このような〈ガイドされない〉自由探索にとくに要求されることは、学習者が学習システムの仕組みを理解すること、すなわち学習者がシステムに対するメンタル・モデルを構築すること、である。この目的に「学習システムの操作法」等のマニュアルのたぐいを読ませることは好ましくない。よいインタフェースを提供すれば、使いながら次第にその仕組みを理解していくことが期待できる。このためのガイドラインを以下に示す。

- 1) メタフォアの利用……われわれがよく知っているものを使ってインタフェースを設計する。たとえば、電子メールの操作のために郵便システムの仕組みを利用する等である（メタフォア）。筆者の学習システムでは、学習者は知識ベースの空間の中に置かれ、用意された道具 (tool) を使って、自分に必要な知識を探し求め

る。この探索シナリオを小宇宙を探索するというメタフォア上に展開する。学習者が使う道具としては、たとえば、海図に相当する知識ベース・マップ、知識オブジェクトと対話するためのブラウザ（インスペクタ）等がある。

- 2) 操作の可逆性の保証……よく知られたものには UNDO and/or REDO 機能がある。これは操作をキャンセルしたり、キャンセルをキャンセルすることを可能にする機能である。この機能により学習者の試行錯誤による試みを助けることができる。しかし試行錯誤による探索を支援するためにはそれだけでは不十分である。一般に試行錯誤の過程は、ネットワーク構造となる。そのノードは探索の状態であり、アークは探索手続きである。学習者のとった探索のコンテキストは、ネットワークの構造で学習システムに保持しておき、そのグラフ表現の一つのブラウザに表示しておく。学習者はある探索状態に戻るために、そこに示されたコンテキスト・ネットワークをマウスで直接に指示する。これによって、探索の任意のスナップショット間を移動することができるようになる。
- 3) オンライン・ヘルプ……Lisp マシンにある suggestion menu は、とくに初心者には有効である。それは操作の各局面で、その時点で利用できる機能を画面の一部にメニューとして表示しておくものである。メニュー項目は、文字による表現の他に、道具としてのグラフィカル・シンボル（アイコン）によって表現する。学習者は、操作に慣れるに従って、文字表現よりもアイコンを通じて自分のしたいことを認識するようになる。

5. 考 察

5.1 〈知的な学習システム〉における先生の知性

学習者が、自分の力だけで獲得可能な知識は限られている。学習者が持っていない新しい概念は、他から意図的に導入されない限り、正しい概念を自ら構築できる可能性は少ない。したがって、自由探索だけの学習環境のみで完全な学習システムを構築することはできない。自由な学習環境の中にも、何らかの教育の意図（教授戦略）が必要である。ITS の学習者モデルと教授戦略に関する研究が進めば、この部分をコンピュータシステムが代行できる可能性がある。しかし、この部分の研究を限りなく推し進めることは、ITS そのものを研究することに他ならない。これは筆者がめざす方向とは異なる。筆者は、この部分を人間の先生が担うべきだと考える。

筆者らの学習システムでは、人間の先生もシステム構成要素であり、先生もその知性を提供する。先生の知性の一つは、学習者が新たな概念の存在に気づくことができるように、探索のテーマを設定することである。

5.2 協調学習 (colaborative learning) への適用

学校等の集合教育における重要な学習要素として、他の同僚の意見を聞いたり、意見を交わすことによる学習（協調学習：colaborative learning）がある。〈知的な学習システム〉の中には、（当然ながら）学習者がいる。そして、システムの中の学習者は一人だけである、という制約を設ける必要性はない。

ここに、複数の学習者が、ある一つのテーマにそって、知識ベースを探索する学習形態が考えられる。このとき、学習システムの中のコンピュータの役割は、学習者が

テーマについて考え、論議し合うための道具であり自分の仮説の正しさを検証するための実験装置である。

同僚の出すさまざまな意見は、(たとえそれが誤りであったとしても)自分のメンタル・モデルとの違いを見出し、自分の考えを客観的にとらえ整理するために重要である。立場をかえれば、自分の意見が、他の学習者が学習することを助けている。このことは、学習者が学習システムの知性の一端を担っていることに他ならない。

先生は、適切なテーマを与えることができる。また、探索の方向が袋小路に向かないようにガイドする。実験や観察の視点をレクチャーしたり、結果の説明を補うかもしれない。これらもまた、先生の提供する知性の一つである。

5.3 関連するトピックス

1) Hypertext……Apple社のHyperCardに代表されるHypertext^[1]では、種々の情報をカード等の形で保存し、それらをいくつかのリンクで結び、関連する情報を巡ることができる。しかし、カード間のリンクに意味を持たせることができない点がこの種のシステムを構築する上で不利となる。

2) AFO-CAI……優れた教科書をAFO-CAIでシステム化すれば、オリジナルの教科書よりも学習効果があがると考えることは誤りである。教科書等の書物であれば、索引やクロス・リファレンス等を利用して、好きなところを学べるし、知っているところを飛ばすことができる。

AFO-CAIでは、教材を作成した人が(一方的に)考えた手順に従って学習することを要求され、学習者は単なる知識の受け手となってしまう。学習とは、疑問を持ち、それについて考え、仮説をたて、それを実験等で検証し、考察することであり、単に知識を受け取ることではない。この立場から言えば、AFO-CAIには知的な学習を期待できない。

しかし、われわれには、反復トレーニングによる学習が重要な役割を果たす領域がある。たとえば、算術における暗算、言語の習得、自転車の運転スキー等のスキルの獲得等がそれに当たる。これらはいずれも、われわれ人間が実時間内に解決しなければならない知的行動の一つである。このようなスキルを修得するために、AFO-CAIの手法が使える。

3) ITS……完全にガイドされた教示によってのみ学習可能な領域がある。たとえば、学習者にとって新しい概念を導入するためには、探索による学習よりも教示による学習が適している。この場合には、その概念を導入すべきタイミングと手段を慎重に選ぶ必要がある。しかし、すべての学習者のふるまいを説明できる学習者モデルを設計することは容易ではない。ドメインにおける学習者モデルが、よく研究され、教示戦略が確立されている領域に限られる。

4) KBrows……文献^[5]によれば、石田が提唱する知識ベースを用いたドキュメント・ブラウザ(KBrows: a knowledge-based documentation browser)は、意味ネットワークで表現された知識ベースを検索する手法として興味深い。KBrowsの手法では、キーワードをノードとする意味ネットワークで表現されたドメイン知識を、その探索メソッドを記述したプロダクション・ルールによってシステム自らが探索し、関連するノードを収集する。

筆者のシステムでは、対象に関する知識を意味ネットワークによって表現しているので、この手法が応用できる。しかし、さまざまなドメインを対象とした汎用的な探索メソッドを定義することは困難である。なぜならば、意味ネットワークのアークの〈意味〉は、すべてのドメインに共通のもの(たとえば, is_a, part_of)の他に、ドメイン固有の言葉で定義されるものも存在するからである。したがって、探索メソッドは、ドメインごとに用意する必要があるだろう。

6. お わ り に

学習者は、自分が必要としている時にだけ学習する。したがって、学習者に何かを〈教えたい〉ならば、学習者をそれが必要となる環境の中に置く必要がある。そして、学習者自身から、その〈何か〉を捜し求めるようにしむける。この役割を担うのは、従来、人間の先生であった。そして将来も、先生は〈知的な学習システム〉の中でこの重要な役割を担うことになるだろう。〈知的な学習システム〉ではコンピュータは学習システムの一要素にすぎず、その特性を活かす役割を担うべきである。

本稿で述べたコンピュータシステムは、この提案の一つの実現形にすぎない。他の形態としては、たとえば、実験環境のシミュレーション、問題解決を支援するシステム(コンピュータ・アシスタント)、多数の学習者が時間と空間の制約を越えて、一つのテーマについて討議することを支援するシステム等が考えられる。

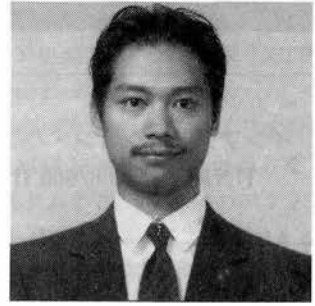
〈知的な学習システム〉は、その概要設計をほぼ終わり、現在そのプロトタイプの作成を開始したところである。この種の研究は、その適用と評価のフィードバックが重要であり、それが完了した時点で次の報告をしたい、

なお、本稿の作成に当たり、貴重な助言をいただいた査読者の方々に感謝の意を表したい。

-
- 参考文献 [1] J. Conklin, Hypertext, An Introduction and Survey. IEEE Computer, 1987, pp. 17~41.
- [2] J. deKleer, J. S. Brown, A Qualitative Physics Based on Confluence. Artificial Intelligence, 24, 1984, pp. 7~84.
- [3] K. D. Forbus, Qualitative Process Theory. Artificial Intelligence, 24, 1984, pp. 85~168.
- [4] J. G. Greeno, Productive Learning Environments, Proc. International Conference on ARCE, 1990, pp. 1~11.
- [5] T. Ishida, A Knowledge-based Documentation Browser, Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, Vol. 3 No. 4, 1988, pp. 503~510.
- [6] K. Itoh, M. Itami, A Computer-Assisted Knowledge Exploration Environment for Learning by Problem Solving. Proc. International Conference on ARCE, 1980, pp. 117~121.
- [7] M. Minsky, A framework for representing knowledge, In P. Winston (Eds.), The psychology of computer vision, New York: McGraw-Hill, 1975, pp. 211~277.
- [8] A. Takeuchi, S. Otsuki, Intelligent Tutoring System, Coordinating Mixed Initiative with Strategic Dialogue by Soft Scenario, The Transaction of The IEICE, Vol. E73, No. 3 March, 1990, pp. 308~314.
- [9] K. VanLehn, Toward a Theory of Impasse-Driven Learning, In H. Mandl, A. Lesgold (Eds.), Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems, 1988, New York: Springer-Verlag, pp. 19~41.

執筆者紹介 山田 繁夫 (Shigeo Yamada)

1983年青山学院大学工学部化学科卒業。同年日本ユニシス(株)入社。知的教育システムの開発に従事。現在、教育システム事業部に所属。JSAI 会員、IEEE 準会員。



インフォメーション・ハブを実現する UNISYS 2200/600 IIシリーズ

90年代の戦略的企業ネットワーク情報システムに求められるさまざまな要件を包括的に満たした情報中枢機構（インフォメーション・ハブ Information HUB：データ、処理およびネットワークが大規模に集中する所）を実現するための超大型汎用コンピュータ「UNISYS 2200/600 IIシリーズ」（5機種）を発表した。

新シリーズは、シリーズ 2200 の最上位機種である 2200/600 シリーズの強化モデルで、トランザクション処理能力を平均 15 % 向上させると同時に、次世代機種のために開発した高性能バス・アーキテクチャを持つ入出力処理装置、メモリ機構、電源装置、新しいインテリジェント・コンソールおよびキャビネット設計等のハードウェアを先取り採用している。また、入出力装置に CMOS VLSI

を全面に採用し、50/60 Hz 電源を採用してモータ・オルタネータを不要にする等、大幅な省電力化と発生熱量の削減を図っている。

90年代に向けてアプリケーションの分散とデータの集中の2極化の動きが進展しており、メインフレームシステムに期待される役割は、高度に展開された企業ネットワーク情報システムの情報中枢機構として、大規模トランザクション処理、大規模データベース処理、大規模バッチ/デマンド処理および大規模ネットワークを管理する機能となってきた。また、経営環境の変化や要求に柔軟に対応しながら、全体としての骨組みを常に安定させる『柔構造システム』が重要である。

そのためには、システム開発期間の短縮や業務拡大に応じた能力拡張、企業環境の変化への迅速な対応等、以下の八つの主要な機能を一層充実していく必要がある。

ユニシスは、このコンセプトの基に今後メインフレームを開発・提供していく（図1）。

1) 大規模トランザクション処理

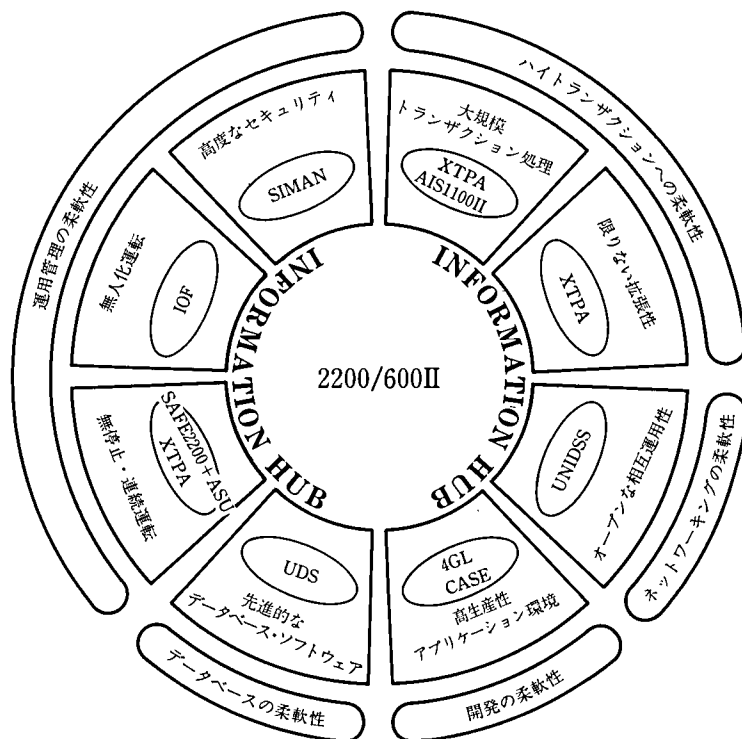


図1 インフォメーション・ハブ・コンセプトとプロダクト関連図

- 2) 限らない拡張性
- 3) オープンな相互運用性
- 4) 高生産性アプリケーション環境
- 5) 先進的なデータベース・ソフトウェア
- 6) 無停止・連続運転
- 7) 無人化運転
- 8) 高度なセキュリティ

これらを実現するために 2200/600 II シリーズは「インフォメーション・ハブ」として、次のような機能を提供する。

- 1) 大規模トランザクション処理……2200/600 II シリーズでは統合オンライン支援システム「AIS 1100 II (Advanced Information System for UNISYS series 1100 II)」と、拡張トランザクション処理アーキテクチャ「XTPA (eXtended Transaction Processing Architecture)」を提供する。AIS 1100 II は、トランザクション処理システムのライフサイクルのすべてを支援するインフラストラクチャ・ソフトウェアである。また XTPA は、2200/600 II シリーズを最大 4 システムまで接続し、ハードウェアによる高速レコードロック制御機構によって超高速のデータベース・シェアリングを行わせ、トランザクション処理性能を飛躍的に高めるシステム・アーキテクチャである(図 2)。

- 2) 限らない拡張性……ユニシス独自の拡張トランザクション処理アーキテクチャ「XTPA」を用いることによって、
 - ① エントリ・システムの 2200/611 II 1 台から、最上位機種 2200/644 II 4 台からなる XTPA システムまで、約 12 倍のパフォーマンス・レンジをカバーすることができる。
 - ② XTPA を構成する各ホストはレコードロックというごく限られた部分で連携しているだけであり、その他は完全に独立性が保たれている。このため、一つのホストだけを念頭に入れて開発できると同時に、XTPA への移行も極めて容易に行える。
 - ③ 既存のシリーズ 2200/1100 のソフトウェア、ユーザ・アプリケーション、データ、ネットワークおよび周辺機器等をそのまま利用できると同時に、従来の 1100/90 シリーズや 2200/600 シリーズと混在した XTPA も可能である。
- 3) オープンな相互運用性……分散処理ネットワーク・システム構築支援ソフトウェアとして「UNIDSS (UNified-Distributed Systems Services)」を提供する。ユニシス・ホスト同士はもとより、他メーカ・ホスト、さらには UNIX*システムやワークステーション、PC との間でオープンな相互運用を実現し、端末

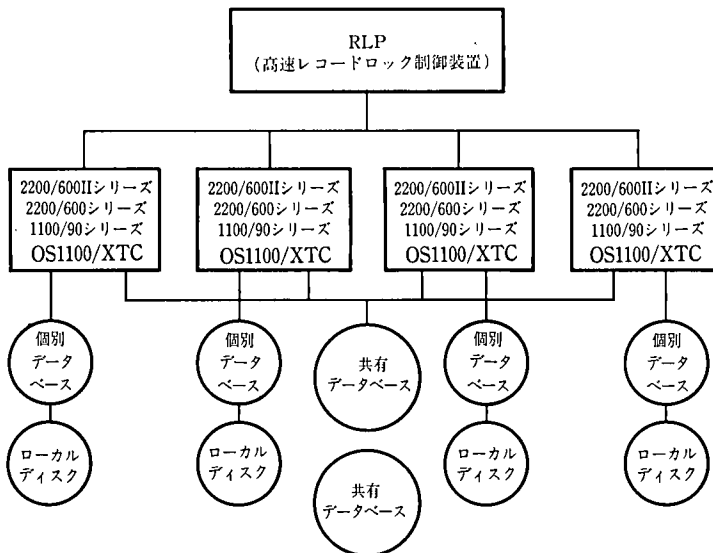


図2 XTPAの構成

* UNIX: AT&T ベル研究所が開発し、AT&T がライセンスしている。

やファイルの共用、複数コンピュータ間での連携処理等、分散処理環境におけるコスト削減や、各機種の特徴を活かしたトータル・システムの構築が可能である。

ユニシス標準の DCA, BNA V2 はもとより, SNA*や国際標準の OSI, イーサネット** LAN 等にも対応しているのので, マルチベンダ環境での大規模トランザクション処理システムを容易に構築できる。

- 4) 高生産性アプリケーション環境……アプリケーションの分析・設計・生成に必要な時間を大きく削減するレポジトリ・ベースの「4GL」および「CASE ツール」を提供する。

4GL は, 日本および世界で第一の実績を誇る MAPPER と LINC が使用でき, LINC のデータを MAPPER で処理する等, 両 4GL の持ち味を活かした統合システムの構築が可能である。

また, COBOL によるシステム開発を支援する CASE ツールとして「TSX 1100 II (Total Support eXecutive system for UNISYS series 1100 II)」を提供する。TSX 1100 II は, ユニシスのシステム開発コンセプト「RSDM (Reliable System/Software Development Method)」にもとづいて構築された開発支援ツールで, システム開発の環境構築と各工程での支援を行う。

これによって, 従来人手に頼っていたシステムの開発・保守, さらに管理や統制といった工程までをできるだけコンピュータに任せ, また各工程間の情報を共有する開発支援データベースの管理・利用により, 生産性の向上を計っている。

- 5) 先進的なデータベース・ソフトウェア……アプリケーション・システムはもとより開発支援ツール等も, 今やデータベースを中心に構築される時代になってきているが, 処理目的に応じてデータのとらえ方や記憶構造, 操作言語等の異なるさまざまなタイプのデータベースを使い分けているのが実状である。2200/600 II シリーズではネットワーク構造, リレーショナル, 階層構造の三つのデータベース・モデルを使用できる統合データベース

管理システム「UDS (Universal Data System)」を提供している。

これによって, 異なるデータベースを一元管理し, 統一化された方法でそれらにアクセスできる環境を実現している。一つのプログラムでどのデータベース・モデルにも同時にアクセスできるため, 異なるデータベース・モデルのデータベースを使用しているアプリケーション, あるいは部門の情報も簡単に利用できる。

- 6) 無停止・連続運転……障害対応支援プログラム「SAFE 1100/2200 (System for Automated Fail-safe Environment)」と, コンピュータ・システム自動切替え装置「ASU (Automatic Switching Unit)」を用いたホット・スタンバイ・システム, さらに拡張トランザクション処理アーキテクチャ「XTPA」によるハイ・レジリアンシィ・システムが構築できる。XTPA を構成している複数ホストのどれかに障害が発生すると, そのホストは自動的に切り離され, 処理中のトランザクションはレコード単位で RLP (Record Lock Processor) によりロックされる。リカバリ処理が終了するとそのロックが解除され, 他のホストからも使えるようになり, 以降の処理は正常なホスト間で何事もなかったかのように継続される。
- 7) 無人化運転……コンピュータの分散化や 24 時間運転の拡大に伴ってシステムの運用管理はますます複雑・高度化してきている。2200/600 II シリーズでは, エキスパート・システムやオブジェクト指向操作等の最新技術の導入を目指した新しい統合運用システム「IOF (Integrated Operation Facility)」を提供する。IOF は, より徹底した自動運転支援, 集中監視制御, ワークフロー制御, 統合リソース管理等を推進する新しいファシリティ体系である(図 3)。

これによって, 巨大化・多様化・分散化が進むコンピュータ・システムに対する運用管理を, シングル・ホスト・システムのみならずマルチ・ホスト・システムまで含めて, より統合的にかつ高度に自動化・省力化できる。

- 8) 高度なセキュリティ……許される範囲内での自由なコンピュータ利用を認めながら, 不

* SNA: IBM 社の登録商標である。

** イーサネット (Ethernet): Xerox 社の登録商標である。

法性や危険性に対して厳しいチェックとガードを行い、柔軟かさと厳しさを適切にミックスしたセキュリティ環境を実現すると共に、一方でシステム資源監視も一括して行える新しい統合システム「SIMAN (SItE MANAge-

ment complex)」を提供する。

これにより、OS、データベース・システム、MAPPER システム等の機密保護機能に、システム資源監視機能を統合した高度なセキュリティ機能を実現する。

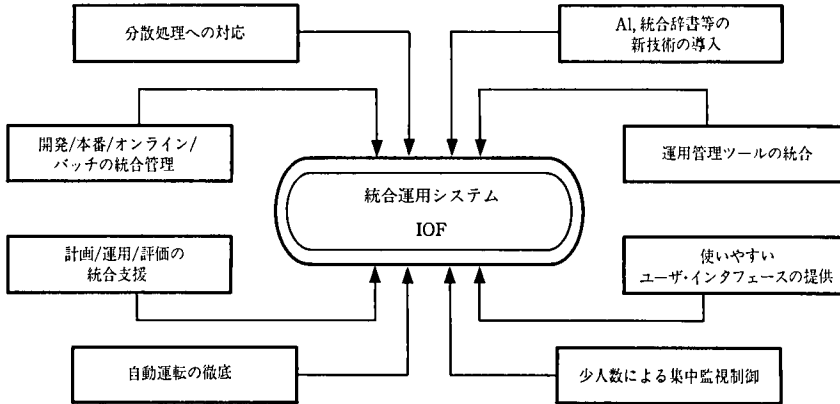


図3 統合運用システムの狙い

新しいアーキテクチャを採用した UNISYS A16 シリーズ

日本ユニシスは、新しい A シリーズアーキテクチャ“E モード・ガンマ”（後述）を採用した A シリーズの大型機「A 16 シリーズ」を発表した。

ユニシスは 90 年代に求められるインフォメーション・ネットワークに対応するため、インフォメーション・ネットワークの中核としてメインフレームの果たすべき新しい役割をインフォメーション・ハブ (Information HUB) として定義した。インフォメーション・ハブとなるためには、前述した 8 機能 (P. 162~P. 163 参照) を具備しなければならない。A 16 シリーズはこれら 8 機能を携え、インフォメーション・ハブを実現する中核機として誕生した。

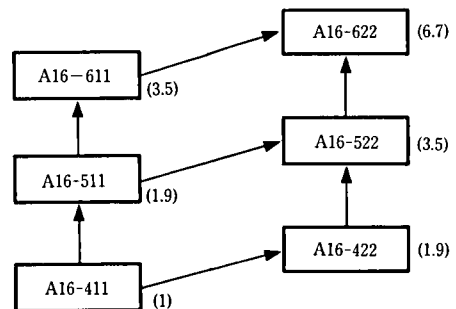
1. A16 シリーズの構成モデルと A シリーズ内の位置づけ

A 16 シリーズは、図 1 のようにシングル・プロセッサ・システムの A 16-411, A 16-511, A 16-611 の 3 モデルと、デュアル・プロセッサ・システムの A 16-422, A 16-522, A 16-622 の 3 モデル、計

6 モデルから構成される。

A 16 シリーズは最下位モデルの A 16-411 の性能を 1 とした場合、最上位モデルの A 16-622 は 6.7 倍の性能となる。それぞれのモデルは、図 1 の矢印のように設置場所でのフィールド・アップグレードが可能である。

また、A シリーズ大型機での A 16 シリーズの位置づけは図 2 のようになり、これまでの A 12 シリーズから A 17 シリーズのデュアル・プロセッサ・システムを上回る広範囲の性能レンジをカバーする大きな拡張性を持ったシリーズとなって



シングル・プロセッサ・システム デュアル・プロセッサ・システム
→ フィールド・アップグレード・パス
() 内の数字は A16-411 の性能を 1 とした相対性能比

図1 A16 シリーズの構成モデルとアップグレード・パス

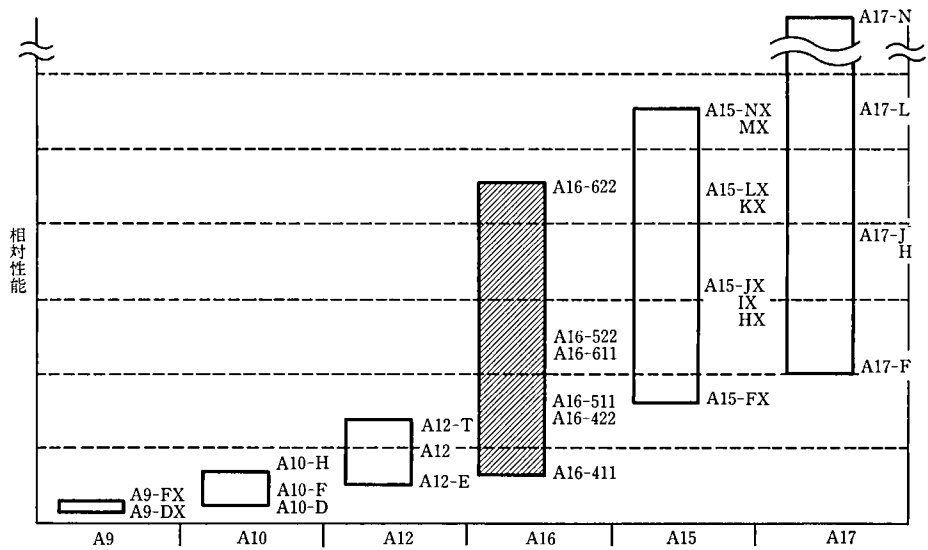


図2 Aシリーズ大型機における位置付け

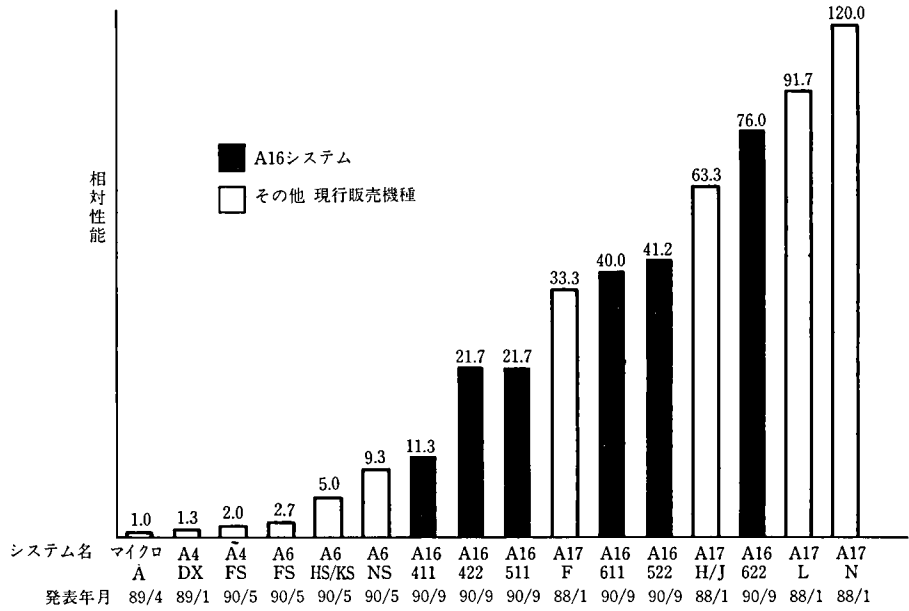


図3 A16シリーズの位置付け

いる。さらに今後発表が予定されている次期超大型機へのフィールド・アップグレードも可能となり、これまでにない拡張性を秘めたシリーズといえる。A 16 シリーズは、これまでの A 10 および A 12 シリーズの後継機として、そして次期超大型機への先駆けとして位置づけられる。

さらに、A 16 シリーズの A シリーズ全体の中での位置づけとしては図 3 のようになっており、デスクトップ・メインフレームのマイクロ A から A 17-N まで単一アーキテクチャで 120 倍の性能

レンジをカバーしている A シリーズの大型機として位置づけられる。

2. A16 シリーズの特徴

A シリーズのアーキテクチャは図 4 のように E モード・アルファ、ベータ、ガンマと発展してきた。今回の A 16 シリーズでは E モード・ガンマと呼ばれる新しいアーキテクチャが採用されている。

E モード・ガンマの狙いは、大規模アプリケーション

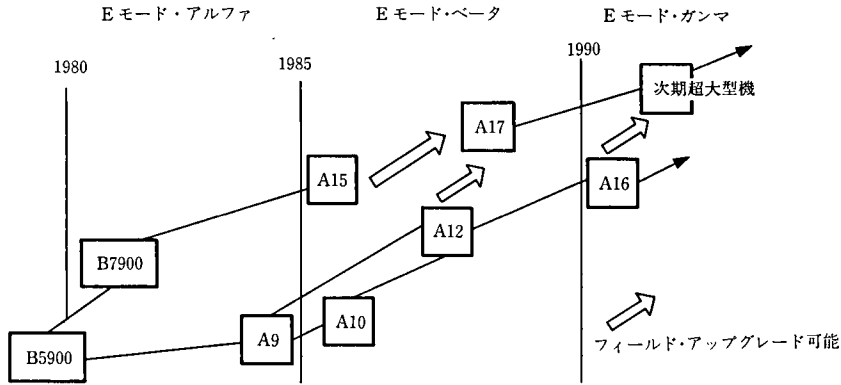


図4 メインフレームの歴史

ョンや大規模トランザクション処理に対応するためのもので、Eモード・ベータで実現した ASD(実セグメント記述子)方式による 24 ギガバイトのアドレス空間の拡張に対して、さらに改善と拡張を行っている。

また、今後ますます活用されるシミュレーション等のビジネス・サイエンスの大規模アプリケーションに対応するため、ベクトル演算機構（A 16 シリーズでは標準で装備されている）に対する命令セットを追加している。これらの拡張は A シリーズの単一アーキテクチャによるユーザ・メリットを損なわないように工夫されており、A 10-E 等、Eモード・ベータのモデルで開発されたプログラムについても何ら問題なく A 16 シリーズ上で実行させることができる。

A シリーズでは、Eモード・アルファからベータの移行時にも、ユーザ・プログラムのコンパクション等の作業を一切必要とすることなく、アドレス空間の 6 メガバイトから 24 ギガバイトへの拡張に成功しており、これまでのユーザ資産保護の実績は A シリーズの卓越したアーキテクチャの成果としてユーザから高く評価されている。

A 16 シリーズは多くの特徴を持っているが、ここではその中から代表的なものを紹介する。

2.1 大幅な性能の向上

A 16 シリーズは A シリーズ大型機のこれまでのモデルに対し、次のように大幅な処理性能の向上を実現している。さらに、単一プロセッサの性能では、A 16-611 がこれまでの最高速モデルである A 17-F の 1.2 倍と、A シリーズで最高速のプロセッサとなっている。

A 16-411：A 9-F(1 cpu)の 2.8 倍の性能向上
 A 16-511：A 12-E(1 cpu)の 2.3 倍の性能向上
 A 16-611：A 15-F(1 cpu)の 1.4 倍の性能向上
 しかも、これらの性能向上は設置面積わずか 0.94 平方メートルのキャビネットの中（中央処理装置：幅 118 cm，奥行き 79 cm，高さ 175 cm）で実現した。この大きさは A 16-411 から A 16-622 まですべて同一のシングル・キャビネットである。これまでのデュアル・プロセッサ・システムである A 15-JX と A 16-622 を比較すると、設置面積、消費電力、発熱量でおよそ 4 分の 1 となっている。

もちろん、これらの高性能は、A シリーズの単一アーキテクチャによりオブジェクト・コード・レベルでの互換性が保証されているため、これまでの A シリーズで蓄積した資産をいささかも損なうことなく A 16 シリーズに移行することが可能である。

2.2 高信頼性システムの提供

A 16 シリーズは極めて信頼性の高いシステムとなっている。A 16 シリーズで採用した高信頼性を支える主要な機能について以下に紹介する。

- 1) 中央処理機構における信頼性の向上……これまでの A シリーズの大型機(A 12/A 15)では、中央処理機構(CPM)は 23 枚のボードから構成されていた。A 16 では最先端の半導体技術による 12400 ゲートの超集積度 LSI (ECL)等を用いることにより、部品点数の大幅削減を計り、中央処理機構を 1 枚のボードで実現した。
- 2) 入出力処理機構/主記憶における信頼性の向上……中央処理機構と同様に、入出力処理

機構(IOM)や主記憶についても大幅な部品点数の削減が計られ、たとえば入出力処理機構の場合、A 15では32枚、A 12では26枚のボードが使用されていた。これをA 16ではわずか1枚のボードに凝縮させた。また、主記憶装置のメモリ・ボードについても、1メガビット DRAM と DIMM (デュアル・インライン・メモリ・モジュール：メモリ・チップを3次元的に実装する技術)を採用することにより48メガバイト/枚と高集積化を計っている。

- 3) 冗長化設計……A 16シリーズでは、このような部品点数の大幅削減による信頼性向上のみでなく、システムに冗長化技術を導入することにより、システムの信頼性を大幅に向上させている。

たとえば、システム全体を制御するシステム・コンソールでは、システム制御専用ワーク・ステーションを用いたシステム・コンソール・プロセッサ (SCP) を採用し、しかもシステム・コンソール・プロセッサを二重化することにより、冗長化構成を組むことを可能にしている。このためどちらかのシステム・コンソール・プロセッサに障害が発生しても、そのまま処理を継続させることができる。

また、電源装置についても、耐障害用電源供給装置を標準装備しており、電源装置に何らかの障害が発生し各モジュールに電源を供給できなくなっても、耐障害用電源供給装置から電源が供給されるためシステムの停止となることはない。この他、さまざまな冗長化技術が採用されている。参考としてA 16シリーズのシステム・ブロック・ダイヤグラムを図5に示す。

- 4) ホットスタンバイ・システムの提供……A 16シリーズでは、図6のホットスタンバイ・システムが提供される。ホットスタンバイ・システムは二重化されたホスト (中央処理装置、ネットワークおよび磁気ディスク・システム) のもとで、本番系と待機系とにシステムを分けシステムを構築する。

A 16シリーズのデュアル・プロセッサ・システムでは、このホットスタンバイ・システムを容易に構築できる。また、A 16のシング

ル・プロセッサ・システムにおいても、既設置のA 12システムやA 17システムと共にホットスタンバイ・システムを構成することが可能である。

2.3 トランザクション処理能力の向上

A 16シリーズでは、A 17シリーズの大量トランザクションを効率よく処理するための入出力処理機構 RMM (資源管理モジュール) の設計思想を採用している。これは、オペレーティング・システムが行っていた仕事を大幅にハードウェアにオフロードをし、効率化を図るものである。

たとえば、タスクの管理はTCU (タスク管理モジュール) と呼ばれる専用プロセッサでハードウェア化し、オペレーティング・システムは単にタスクの管理をTCUに指示するだけでよい。

この他にもオペレーティング・システムの仕事大幅にハードウェア化されており、このためオペレーティング・システムの負荷が大幅に削減され、大規模なトランザクション処理にも余裕を持って対応することが可能となっている。A 16シリーズでは、A 17シリーズの19枚のRMMボードをわずか1枚のボードに凝縮している。

さらに、すでに多くのユーザの方々に利用いただいているミラーディスクやメモリディスク、ディスクキャッシュ等のパフォーマンス・オプションを使用することにより、大規模トランザクション処理効率をさらに高めることができる。

2.4 システム開発生産性の向上

大規模化、複雑化するアプリケーション・システムの開発はこれからのインフォメーション・ハブ構築の最大の課題となる。A 16シリーズでは、LINC II と MAPPER は、インフォメーション・ハブ構築の力強い味方となる。

なお、第3世代言語についても「InterPro」と呼ばれる高生産性ソフトウェア群を提供しており、セマンティック・データベースの世界を実現するInfoExecと併せて、図7のように統合システム開発環境を提供している。

2.5 先進的データベース・システムの提供

実世界の情報構造とデータの検索構造に最も差異 (セマンティック・ギャップ) が少なく、これからのデータベースとして注目されているセマンティック・データベースを世界で初めて商用化した統合情報管理システム「InfoExec」が提供されている。

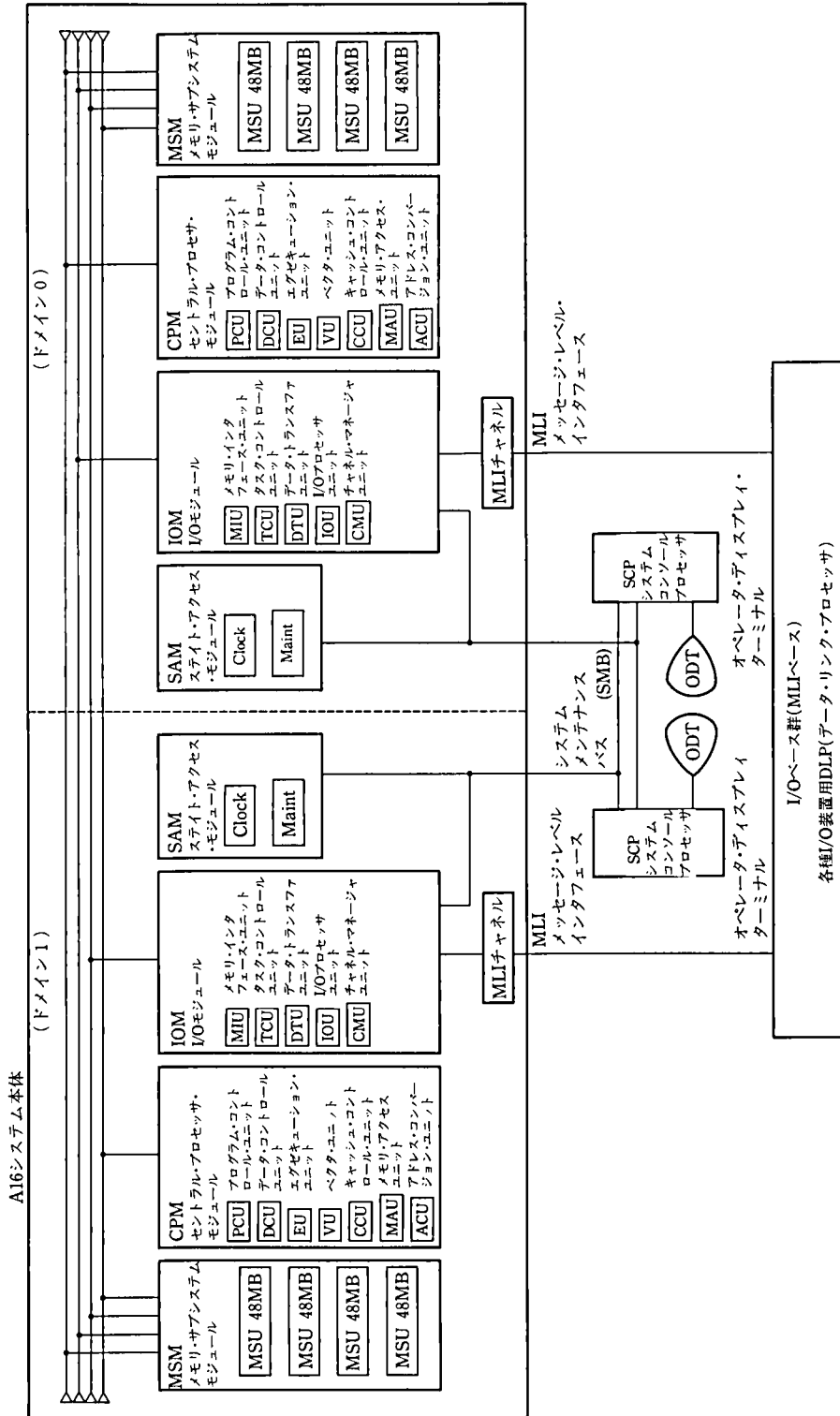


図5 A16 システム・ブロック・ダイヤグラム

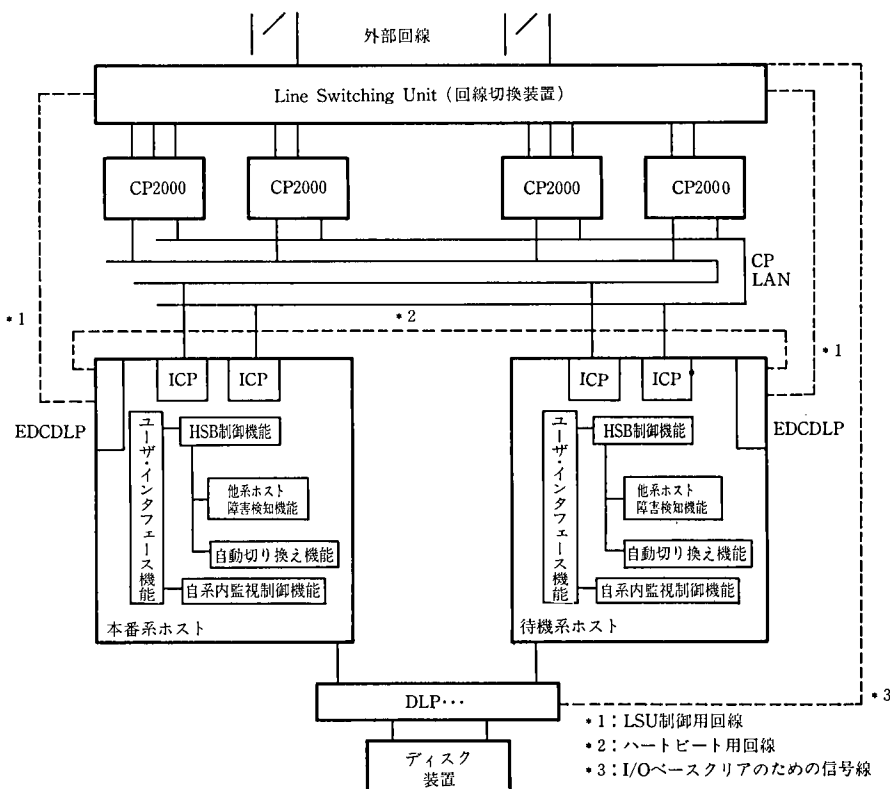


図6 ホットスタンバイ・システムのシステム構成図

また、Aシリーズのユーザの方々から高い評価をいただいている「DMS II」データベース管理システムについても、同一データベースを使用する大規模アプリケーション環境において、一つのプログラムにトランザクション障害が発生しても他のプログラムのトランザクション処理にまったく影響を与えないようにする、“2相ロック”機能の提供等、さらにより良いデータベース管理システムを目指して絶え間ない努力を続けている。

2.6 容易なネットワーク構築の実現

容易なネットワーク構築を実現する「BNA V2」が提供されている。BNA V2はネットワーク上に分散して配置されたあらゆる資源をユーザが仮想的に単一システムとして利用できるネットワークOSと呼べるほどの先進性を持ったプロダクトである。また、大規模なネットワークの集中管理を行うためにネットワーク管理システム「NCF」が提供されている。

2.7 運用管理・セキュリティ管理機能の提供

システムの運用管理については、週次または月

次の運用スケジュール表に従い、システムの自動運転を行う自動運転装置SCJ IIが提供されている(図8)。SCJ IIは単にホスト・システムの電源の投入・切断を行うだけでなく、外部入出力機構が準備されており、設備および設置環境の異常(温度・湿度・火災・地震等)に対しホスト・システムへの通知はもとより、外部出力(電話・防災盤・監視設備等)への通知を可能としている。

また、システムのセキュリティについては、統合セキュリティ管理システム「InfoGuard」が提供されている。InfoGuardには、安全保護管理者(セキュリティ・アドミニストレータ)を支援するさまざまな機能が用意されており、米国のNCSC(National Computer Security Center)より一般ビジネス環境において、最高の安全保護レベルとして認定された。これは、従来のセキュリティ・パッケージとしてではなく、オペレーティング・システム、データベース管理システム等を含む統合セキュリティ・システムとして認定された最初のセキュリティ・プロダクトである。

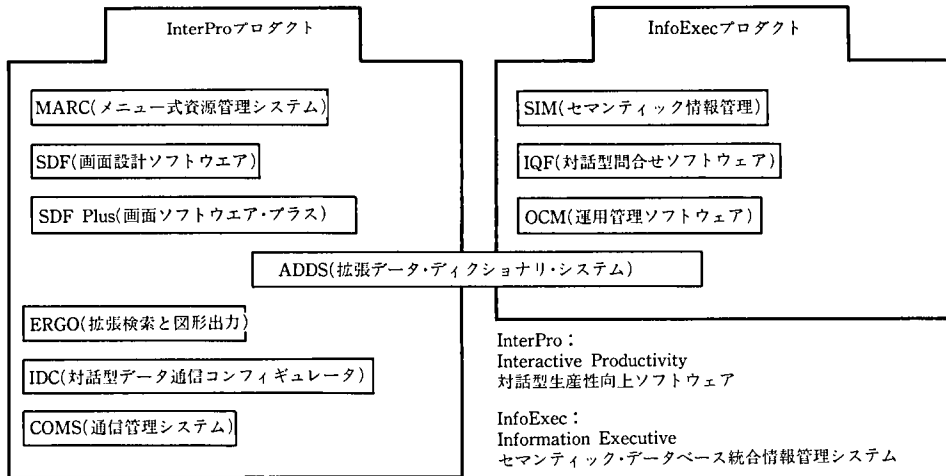


図7 InterPro と InfoExec による統合システム開発環境

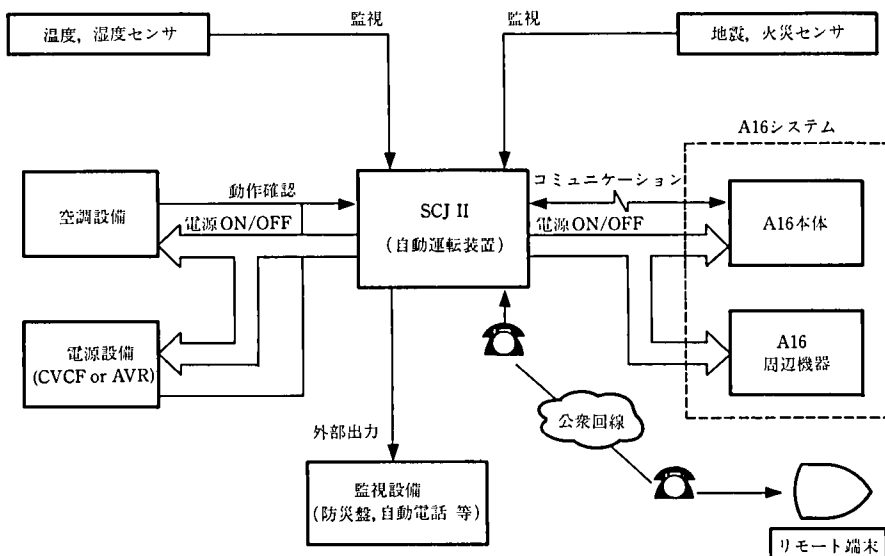


図8 自動運転装置 SCJ II

ユニシス・ネットワーク型 CAI 総合教室管理システム CLASS5000/6000 の概要

1. ユニシス CAI システムの現況

ユニシス CAI システム (LEARN UP システム) の大きな特徴は、音声同期式のコースウェア (学習教材) であり、CAI 市場において効果的な学習システムを提供してきた。

CAI システムには、学習を支援するシステムと

して教材作成システムと学習制御システムおよび運用管理システムがあるが、89 年度これらのシステムを一新し大幅に機能拡張した。

LAS (ラス : 教材作成システム)

LEX (レックス : 学習制御システム)

LMI (エルミ : 運用管理システム)

を発表した(図1)。

CAI システムは、従来パソコンのスタンドアロン・ユースが主流であった。したがって、パソコンごとに異なったロード・モジュールが必要となり、そのため機種移植作業に多大な工数を要し、特定機種でのみ使用可能なコースウェアが大半と

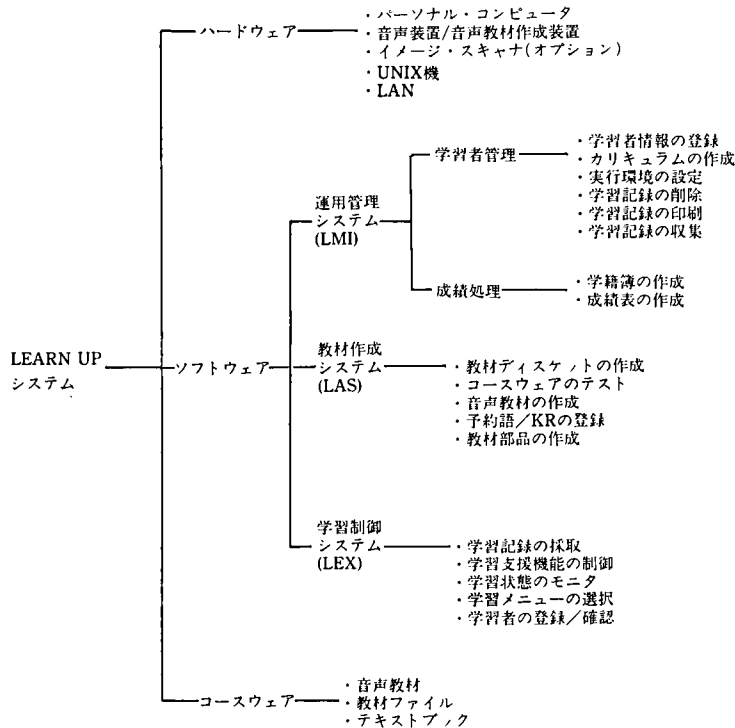


図1 LEARN UP システム構成図

というのが通例であった。

当社が89年度より開始した「多機種展開」は、機種ごとに異なるCPUの要素をグラフィック・ドライバ(LEARN UPドライバ:Ldrive)として分離・独立させ、機種に依存しない共通部分についての共用化を図った。

その結果、機種移植作業が大幅に効率向上し、また使用者にとっては、一つのディスケットに記録されたコースウェアをLdriveの開発されている複数機種で使用できるようになった。

現在、ユニシスPW²ファミリーを初めとして9機種に対しLdriveが開発されており、随時対応機種を増加している。

2. CAIにおけるネットワークの活用

CAIシステムにおけるネットワークの活用方法として大きく二つの形態がある。

一つはデータネット・システムであり、もう一つはAVネット・システムである。CLASS 5000/6000はデータネット・システムの一つである。

AVネット・システムは、音声(Audio)と画像(Visual)を制御するネットワークシステムで、機能概略は以下の通りである。

- 1) 一斉送信……先生機の画面を全生徒機へ一斉に送信する。
- 2) 個別送信……個々またはグループ化した生徒機へ先生機の画面を送信する。
- 3) モニタ……任意の生徒機の画面を先生機でモニタリングできる。
- 4) 自動検索……モニタリングを自動的に各生徒に対し、連続的に実行できる。
- 5) モデル送信……ある生徒機の画面を先生機と他の生徒機へ送信できる。
- 6) 音声送受信……上記画面の転送と共に、ヘッドセットを用いて音声による会話ができる。

当社では【AV-NET】として、CLASS 5000/6000とは別に販売している。

3. CLASS5000/6000の概要

CLASS5000/6000はデータネット・システムであり、取り扱うデータは「教材データ」と「学習者管理データ」である。一つの教室で生徒が使う「教材」を一括管理し、生徒(学習者)の情報と、学習することにより発生する各種の学習履歴情報とを収集・管理する。

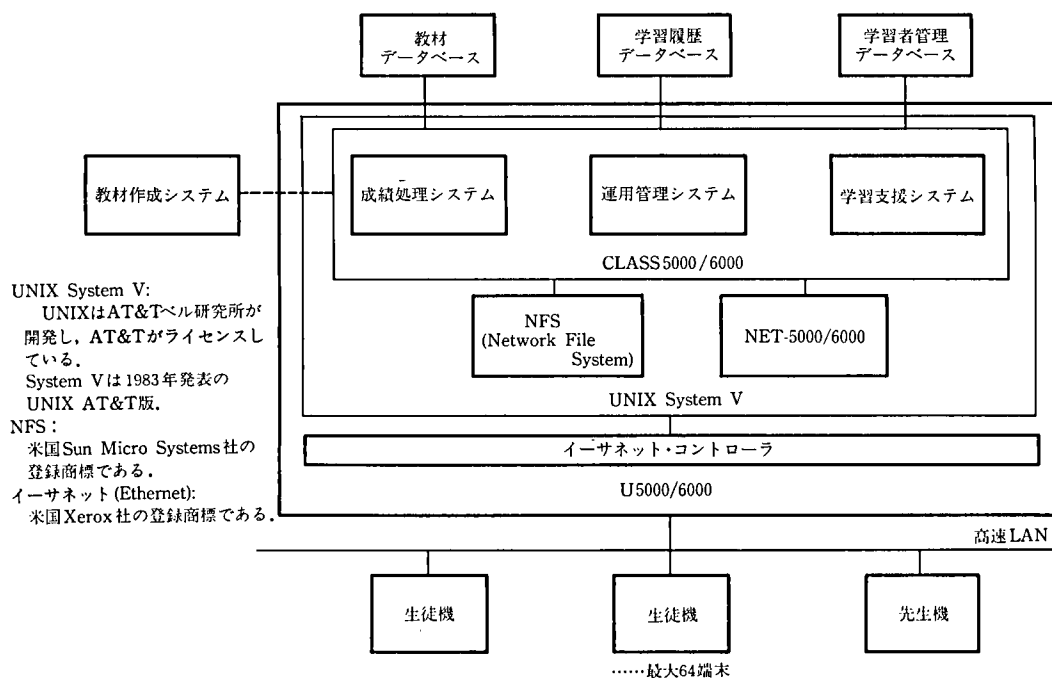


図2 CLASS 5000/6000 システム構成図

すなわち、トータル的に教室内の情報を管理する目的で開発されたのが「総合教室管理システム CLASS5000/6000」である。

このうち、CLASS 5000 は、ホストシステム(サーバ機)が UNISYS オープン・システム U 5000/85 のシステムで、89 年度よりすでに本番稼働中である。

CLASS 6000 は、同じく U 6000 シリーズをホストとするシステムであり、モデル 31, 51, 55 に適用可能である。CLASS 6000 は 90 年 10 月 1 日より出荷を開始した。ホストシステムと端末機(先生機・生徒機)は、10 Mbps イーサネット*LAN で結合され、端末機として現在 PW²/AX (AX シリーズか AX オプション付き) が適用されているが、適用機種は今後随時拡張していく予定である。

LAN に接続可能な端末機台数は、以下に示すようにホストシステムごとに異なる。

- ・端末機の最大接続台数

U 5000/85……64 倍
U 6000/31……16 台
U 6000/51……32 台
U 6000/55……64 台

4. CLASS5000/6000 の構成

CLASS 5000/6000 (以下 CLASS と略す) を構成する機器とソフトウェアの概略(図2)は以下の通りである。

1) ホストシステム (サーバ機)

- ① 基本構成: メモリ 8 メガバイト
固定ディスク装置 2 ドライブ
コンソール (PW²または J 3100)
イーサネット・コントローラ
ページ・プリンタ

② ソフトウェア:

UNIX System V**
NET 5000 または 6000
NFS 5000 または 6000

2) LAN イーサネット LAN

3) 学習者端末 (生徒機)

① 適用機器:

PW²シリーズ 500/16 AX

* イーサネット (Ethernet): 米国 Xerox 社の登録商標である。

** UNIX System V: UNIX は AT&T ベル研究所が開発し、AT&T がライセンスしている。System V は 1983 年発表の UNIX AT&T 版である。

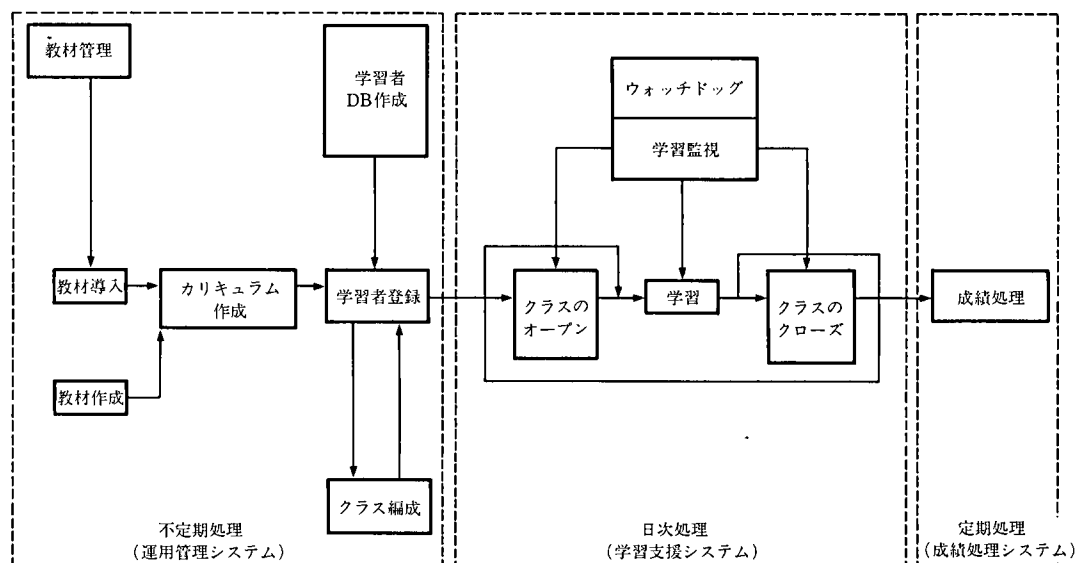


図3 CLASS システムの流れ

PW²シリーズ 300 AX

② 基本構成：

メモリ 1メガバイトより大

LAN インタフェースボード

音声装置 CDmini

③ ソフトウェア：

学習制御システム LEX

NET-PC

MS-DOS*用 NFS**

4) 教室運営管理者端末 (先生機)

① オプション機器であり、U 5000/6000 コンソールで代替可能である。

② 適用機器/基本構成/ソフトウェアは学習者端末と同じである。

5. CLASS のソフトウェア

CLASS のソフトウェアは、必須システムである基本システムとオプションの成績処理システムから構成される(図3)。

1) 基本システム……基本システムは、運用管理システムと学習支援システムから構成される。運用管理システムは学習の事前準備として、①教材の登録・更新やカリキュラムの編成、②学習者の属性(氏名・所属等)の登録・更新を行うシステムである。学習支援システ

ムは、学習開始から終了までの間、学習者の支援を行うシステムである。

① 運用管理システムの機能概略

クラス管理：生徒名簿 DB の登録・更新

学習者管理：生徒の学習登録・更新

カリキュラム管理：個別カリキュラムの編成

マスタ管理：人名 DB、所属 DB の管理

教材管理：学習用教材の登録・更新

教材転送：LAS(教材作成システム)で作成した教材をサーバへ転送

② 学習支援システムの機能概略

クラス・オープン：一斉授業の起動

学習モニタ：学習状況の監視

クラス・クローズ：学習の終了

CLASS で設定できる学習形態は、

オープン・クラス：学習者が個別に自由学習

クローズド・クラス：教室全体で一斉学習の2形態があり、クラス編成を長期にわたりスケジュール化することも可能で、柔軟な運用を図ることができる。

2) 成績処理システム……成績処理システムは、学習中に記録した学習履歴を収集・分析し成績統計諸表を作成するシステムである。

収集する学習履歴情報

・学習時間記録

・学習経過記録

* MS-DOS：米国 Microsoft 社の登録商標である。

** NFS：米国 Sun Micro System 社の登録商標である。

- ・学習応答記録
- ・ドリル記録
- 作表する標準成績表 (8 種 23 帳表)
 - ・学習時間記録明細表
 - ・学習経過記録明細表 (6 種類)
 - ・学習応答記録明細表 (2 種類)
 - ・ドリル記録明細表 (2 種類)
 - ・学習実績一覧 (6 種類)
 - ・成績分布表 (3 種類)
 - ・ファンクションキー入力状況表
 - ・S-P 表 (2 種類)

6. CLASS の特徴と利点

- 1) 教材管理の省力化, 省スペース化……通常, 1 コースウェアは 10 枚程度のディスクett から構成される。1 教室 40 端末で 10 教材程度のコースウェアを所有するものとする, 1 教室で 4,000 枚のディスクett 管理が必要になる。CLASS の教材 DB として管理すると大幅な省スペース化が図れると共に, 学習者が任意にかつ速やかに学習したいコースウェアを自分の画面上に呼び出せる。

この時のファイルアクセスは, 高速 UNIX 高速 LAN の上で業界標準の NFS (ネットワーク・ファイルシステム) を用いたパソコン-UNIX 間のリアルタイム・アクセスのため, 負荷分散が行われレスポンスが速い。

- 2) 最大 64 端末接続の高速 LAN を容易に構築……教室の規模に合わせて最適な機種が選べるように小型機から大型機までホスト・システムを準備している。また, LAN は 10 Mbps のイーサネット LAN を採用。UNIX の特性を活かした効率的ネットワークシステムが構築できる。

また, 運用面では MS-DOS や UNIX の専門知識を必要としないメニュー選択方式を全面採用し, 先生や生徒 (学習者) の負担を軽減している。

さらに, システム・インストール作業の簡素化を図るために, インストレーション・キットの提供, 運用開始後の保守契約により, リモート・メンテナンス・サービス (RMS) が受けられるなど, 安心してシステムの準備, 運用ができる体制が整っている。

- 3) ユニシス CAI システムの資産をそのまま

活用……ユニシス CAI システム「LEARN UP」は, 冒頭でも述べたように特色ある効果的なシステムを提供し続けているが, コースウェアでも情報処理技術者育成用や OA 実習用等, 幅広く多様な商品を販売している (表 1)。

表 1 ユニシス・コースウェアの体系

「情報処理技術者育成シリーズ」 CAROL コースウェアを中心として, 情報処理の基礎編から モノクロ・コースウェアも, 90 年度内に出荷予定
「やさしい情報処理」ファミリー ('90 年秋より発売) 情報処理のあらましをわかりやすく解説。 企業内新人教育に最適な入門編である。
「使ってみようコンピュータ」ファミリー ワープロや表計算の代表ソフトウェアである「一太郎」や「ロータス」ができる。
「コンピュータ・はじめの一步」ファミリー コンピュータのイロハを学習指導要領を参考に解説する。
CAROL: CAROL (Computer Aided Revolution On Learning) は, 情報処理振興事業協会 (IPA) の委託に基づき開発 したものである。

また, LAS (教材作成システム) を使うことにより, イメージやアニメーションを取り込んだり, VTR 等のマルチメディアを組み込んだコースウェアを容易に使うことができる。CLASS では, これらのコースウェアをそのまま使用でき, コースウェアを自作し活用することも容易である。

ユニシスのコースウェアはすべて音声同期式であるが, 90 年 8 月に出荷開始した「音声装置 CDmini」はパソコンからのコントロールによりコンパクトディスクから音声を供給する装置であり, PW²に限らずユニシスのコースウェアが稼働するどのパソコンにも接続可能である。

- 4) AV-NET と連結させた複合ネットワーク CAI システム……前述の AV-NET と CLASS を連結させることにより, データ・音声・画像を一括して取り扱うことができ, CAI に必要な情報がすべて先生と学習者, 学習者と学習者の間でやり取りが行えるので, 学習効果がさらに向上する (図 4)。
- 5) UNIX 機を十分に活用可能……ユニシス UNIX の特色である MAPPER 等の第 4 世代言語を使用して, 学習情報を他のシステムと連動させることも可能であり, 提供されている各種の通信ネットワーク・通信プロトコ

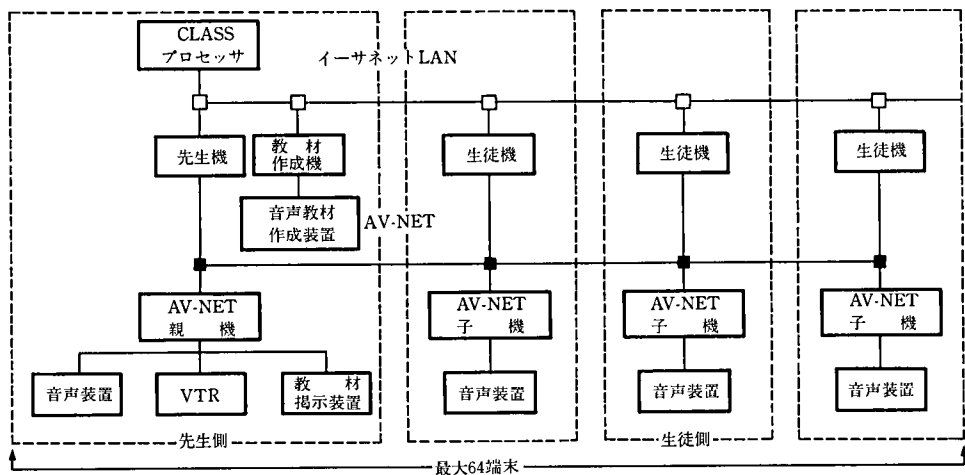


図4 AV-NETとの連結

ルを活用することにより、大型機で稼働する上位の基幹システムとの結合や、他のCLASSと連結した教室間ネットワークの構築が展開できる。

7. CLASSの今後の展開

ネットワーク型CAIシステムは今後更なる発

展の可能性を持ち、ユーザの方々からのニーズも多様化していくものと思われる。この状況に対応して、学習端末機の機種拡大、UNIX上位機種への対応、成績処理帳表のグラフ化等、より使いやすいソリューションとしてのブラッシュアップ等を課題として取り組んでいく予定である。

麻生英樹 著

ニューラルネットワーク情報処理
——コネクショニズム入門,
あるいは柔らかな記号に向けて——

産業図書, A 5 判, 198 pp.,
1988, 2,200 円

人間の脳の構造をヒントとして、神経回路網状のネットワークによる情報処理のメカニズムを探る試みは、大脳生理学・解剖学・心理学・認知心理学・情報工学・非線形システムの数理理論等、さまざまな領域での研究が交差する場として、一つの主要な情報処理研究の流れを作ってきた。

現在、さかんに世の中で宣伝されているニューラルネットワークは、そのような情報処理研究の中の成果の一つだと言える。

その歴史は意外と古く 1940 年代にまで遡ることができる。しかし、脚光を浴びようになったのは 1980 年代に最適化問題で有効なモデルが発見されてからのことである。

本書では、ニューラルネットワークの学際的な性格から理解しづらかったメカニズムについて体系的に記述されている。I 部と II 部に分かれており、I 部ではニューラルネットワーク情報処理について、そのメカニズムを含めた体系的な紹介がなされている。II 部では、コネクショニズムについて分散情報処理と柔らかな記号という観点から著者の考えが述べられている。

以下に本書の構成とその簡単な説明を示す。

第 I 部 『ニューラルネットワーク情報処理』は 4 章からなる。

1 章 『計算メカニズム』は、ネットワークの計算メカニズムについて述べている。パーセプトロン以降の歴史的経緯等も紹介しながら、代表的なネットワークのメカニズムについて、その性質が説明されている。

2 章 『学習メカニズム』は、ニューラルネットワークの重要な特徴である学習メカニズムについて代表的ないくつかの例について述べられている。どのようにすれば学習できるのかという疑問に対して、この章は一つの答えを与えてくれる。

3 章 『ネットワークメカニズムの応用』では、

ニューラルネットワークの応用例について、NET-TALK からホップフィールドやボルツマン・マシンを使った最適化問題への応用までが述べられている。現実にはどのような応用がなされているかについて記述されている。

4 章 『ハードウェアとシミュレータ』は、いくつかのハードウェアやソフトウェアのニューラルネットワークシミュレータについての説明がされている。

第 II 部『思想的付録：分散的情報表現による情報処理』は 5 章と 6 章からなり、著者のコネクショニズムについての想いが述べられている。コネクショニズム、PDP (Parallel Distributed Processing)、ニューラルネットワーク、超並列ときさまざまな用語が使われている。その意味するところは、ほとんど同じであるが、興味を持つ分野の違いによって使い分けられている。

たとえば、認知科学の分野に近い人の中ではコネクショニズムと言う言葉が使われ、並列計算機のアーキテクチャに興味を持つ人の中では超並列と言う言葉が使われている。ニューラルネットワークと言う言葉も、また神経回路網のモデルに興味を持つ人の間で使われている。

著者は、認知科学の立場からこの分野への想いを述べている。情報の表現および記号というやや大きなカテゴリから、この分野への考察を行っている。

近年のニューラルネットワークそれにファジィ理論等のフィーバは、情報処理理論が新しい発展期を迎えている証拠だと言える。一時の流行という側面も否定できないが、従来とは違った観点からの情報処理を行っているのも確かである。われわれ情報処理に携わる者にとって、情報処理理論の発展はすなわち大きな戦力を意味するものである。

今後、発展の予想されるこの分野への注視は継続して行うべきである。

そのような意味からも本書は、まだ黎明期にあるニューラルネットワークについて、そのメカニズムを含めて具体的に知りたい方にとっては一読に値する入門書である。

(システム技術本部 知識システム部 石本公男)

山梨正明, (補稿) 岩田純一 著

比喩と理解

東京大学出版会, 認知科学選書 17,
A 5 判, 204 pp., 1,800 円

本書の内容を紹介する前に「比喩と理解」というタイトルを手がかりに, 比喩にかかわる問題を最初に少し整理しておきたい。

「比喩と理解」というタイトルだけを見ると, 二つの観点が思い浮かぶ。一つは「比喩による理解」, もう一つは「比喩の理解」である。

他人に何か新しい概念を理解させようとするとき, 適切なたとえ話が大きな役割を果たすことがある。もちろん正確な定義を示すことや具体例を挙げることも重要である。しかしながら, 最初に適切なたとえ話や類似の既知の概念との比較を与えることによって, より効果的に理解させることができる, ということは誰でも体験的に知っていることだろう。では, たとえ話や類似の既知の概念との比較——言い替えれば「比喩」「比較」「類推」はどのようなメカニズムで人間の理解に働きかけるのだろうか。このような, 比喩によっていかに未知の概念を獲得していくのかという観点を「比喩による理解」の観点としよう。

ところで, 「男はオオカミである」という表現を人はどう解釈するだろうか。ふつう, この表現を無意味だとも思わないし, 狼男を想像したりもせず, 「男は恐い」等の意味の比喩表現だと解釈する。人はある表現をどうやって比喩だと認知し, 話者の意図する意味を汲み取るのか。この比喩表現の解釈の仕組みについての観点を「比喩の理解」の観点としよう。

差し当たって思いつくままに二つの観点を挙げてみた。今たまたま二つの観定の例として, あらかじめ比喩を与えられて理解・解釈する例を挙げた。しかし人はあらかじめ比喩を与えられなくても, 何かの概念や状況(外部世界)を理解・表現しようとするとき, 自ら比喩を創造し, 創造した比喩によって理解・表現しようとする。比喩にはこうした創造的な側面があることも見逃せない。

さらに, 比喩を論じる前に論じる対象を明確にしておかなくてはならない。前述の「比喩による理解」という観点には, 比較や類推等の認知プロ

セスが含まれる。これは従来の言語学・修辞学で扱う比喩の範囲には収まり切らない。この点については多少順序が前後するが, 本書の補稿で使われている「比喩ル」という言葉を先に紹介しておきたい。

「比喩を生み出すことの根底にあるのは, 異質なモノ・コト同士を写像的に重ね合わせてみる能力であるように思われる。この重ね合わせ的な認識(比喩的思考)のあり方を「比喩ル」と名づけよう」

つまり, 比喩を生み出す根底にあるものにまでさかのぼって「比喩ル」という言葉で呼び, 比喩をめぐる議論の対象にしようということである。

本書は, 「比喩(ル)による理解」や「比喩の理解」に興味を持つ人にお勧めしたい本である。本書は山梨氏による6章の本稿と岩田氏による補稿からなっている(本書は認知科学選書の17冊目だが, この選書はどれも主著者とは別の著者による補稿が付いているので, 主著者と補稿著者の意見の相違を見て, 二人の間に交わされた論争を想像しながら読むという楽しみ方ができる)。

1章(序章)では, 山梨氏の本稿における比喩に対するアプローチが明らかにされている。それは, 「言語学の分野からの比喩の研究を主眼」とした「言語事実の体系的一般化を中心とする記述的なアプローチ」である。したがって, 本稿においてはあまり認知プロセスや心理学には踏み込まず——つまり「比喩ル」というほどには領域を広げず——, 「比喩の理解」を中心に記述を進めている。それでは, 順次各章の内容を紹介する。

2章「類似性の認識: 隠喩と直喩」では隠喩と直喩を取り上げ, さらにそれらを分類しつつ比喩の認定と解釈の仕組みを記述している(「君の瞳はまるで宝石のようだ」というのが直喩で, 「君の瞳は宝石だ」が隠喩である)。この章を読むと, 比喩は既成の言語のルールに違反することから生まれるのがわかる。「男はオオカミである」という表現は, 「男」が人間であるのに対し「オオカミ」は人間ではない, というようにそれぞれの名詞の中核概念が食い違う(これを選択制限の違反という)。この食い違いによって, この文は比喩と見られ, 名詞の指示対象の顕現特性(オオカミ=猛猛...etc)によって意味解釈が行われる。「あの人は哲学者だ」という比喩は前述の意味での食い違いはないが, 発話機能あるいは文脈上の食い違いで比喩表現の

解釈が成り立つ。

3章「慣用化と比喩：意味の原型と転義」では、「ほとんど死喩に近い慣用的な比喩の諸相」が描かれている。たとえば、「収入が上がった」という表現がある。これが比喩だとはあまり思えないが、「収入が増えた」と言い直してみると「多い-少ない」を「上-下」の方位に見立てていたことがわかる。この章ではこの手の死喩を方位性、存在、構造等の見立てや共感覚と関連して論じ、イデオムや疑音語・疑態語まで範囲を広げて見ている。共感覚と比喩の例を紹介しておこう。共感覚の比喩とは「ある感覚が、他の感覚の表現に使われている」ような表現のことである。「やわらかな味」という表現は触覚が味覚の表現に使われている。興味深いのは、「くさい味」等の表現が不可能であるように、感覚表現の修飾関係には、触覚、味覚、臭覚、視覚、聴覚の順に方向性があり、これが五感の発生順序と一致するという点である。この点については補稿でも論じられている。

4章「記号化と現実：換喩と堤喩」では、記号論的に特徴づけられる比喩すなわち換喩と¹⁾堤喩をとりあげている。換喩とは「鍋を食べる」、「黒帯」、「ベンは武よりも強し」、(囲碁観戦中の)「白は苦しい」等であり、容器と中身/主と従/主体と手段/主体と近接物、等の間で起こる言い替えの比喩である。一方、堤喩は部分と全体、あるいは類と種の関係で特徴づけられる。白髪が老人を意味したり、花がサクラを意味するような例である。これらがシニフィアン(たとえば「鍋」とシニフィエ(たとえば「鍋料理」)の関係において論じられ、さらに意味的・語用論的含意に基づく推論との関連が記述されている。

さて、ここまでは幅広い比喩の例を用いての言語学的な記述である。「比喩による理解」の観点は

5章「比喩と認知のプロセス」で取り上げられている。著者はここで視点、感情移入、擬人化、共感等、比喩の理解が起こる場面を検討し、そして科学におけるモデル(電気回路を水流にたとえるモデル等)やメンタル・モデルの関連において認知のプロセスに迫ろうとしている。

科学のモデルには、「未知の対象に対する既知の対象からの関係と構造のマッピングが見られる。」電気回路(未知の対象)が水流モデルに対応づけられ、電圧→水圧、電池→貯水槽/ポンプ...等のマッピングがされている。このように、未知と既知

の対象を特徴づける顕現特性の関係や構造に関するマッピングを通して、未知の対象に対する理解が得られる。

比喩に使われるモデルは、科学のモデルほどには厳密とは限らない。しかし、たとえば「最も失敗する可能性の少ない存在でさえも、時として失敗することがある」という一般的な真理を、「猿」や「弘法」や「ホメロス」というモデルによって表現するように、文化的な背景に基づいたモデル化のプロセスが見られる。著者は、比喩のモデルはメンタル・モデル(「ある対象に際し、頭の中に構成される認知的な構成物」)の一種であるとしている。

そして、

「私たちが外部世界を理解していく際には、その対象に何らかの具体的なモデルを当てはめてみて、その対象のさまざまな側面をイメージ化していく。また、このようなモデルの適用は、理解の対象を抽象のレベルから具象のレベルへおろし、実感的な解釈への道を開いていく」

として、この比喩という観点での認知のメカニズムの問題を「認知科学の中心的な研究課題の一つである」と位置づけている。

補稿「「比喩ル」の心」で、岩田氏はさらに「比喩ル」というより広い観点から、興味深いいくつかの話題を提供してくれている。まず、新生児を使った、非連続音には破線が、連続音には連続線がよりよく対応する等の実験から、共感覚のような「比喩ル」心の生得性に言及し、幼児の象徴遊びや見立て行為、擬人化等の背景に「比喩ル」の心の働きを指摘する等、発達の観点から「比喩ル」を論じている。さらに、「比喩ル」が、わかる・わからせるという欲求に根差していると同時に、発見や問題解決にも使われているとして「比喩ル」の創造的な役割にまで議論を進めている。また、「比喩ル」がレトリックとして、他人を引き込む役割を持つという動機付けの観点での指摘も見逃せない。

いずれにせよ、「比喩と理解」というテーマでの研究はまだ端緒についたばかりのようである。しかし、6章(終章)でも触れられているように今後、言語/心理/コンピュータ・サイエンス等の研究に比喩という観点が新鮮な切り口を与えてくれそうである。すなわち、比喩の慣用化は言葉の意味の

生成や転義について、比喩の理解のプロセスは認知システムとしての心のメカニズムについて、そして比喩の理解プロセスの発見的な推論や判断は非モジュール的な情報処理のプロセスについて、新しい見方を提供してくれるだろう。また、逆に比喩（ル）の認知科学的なアプローチでの研究も進んでいきそうである。

CAIの特集号ということで教育に興味を持つ人にも「比喩（ル）による理解」の観点から教授＝学習過程を見直すきっかけを与えてくれる本として、是非お勧めする。

（カスタマーリレーション本部

システム教育2部 右近 豊）

原子力発電所でトラブルが発生した場合、運転員はプラントに対する的確な状況判断と適切な対応操作が求められる。電力中央研究所では昭和58年から計算機を用いた運転員教育システムの研究・開発を行ってきたが、最近では運転員の理解度に合った教材の呈示等、より質の高い教育が求められている。吉村誠一の知識処理技術を用いた運転員教育システムは、62年度から研究・開発に取り組んでいる知識処理技術を用いた運転員教育システムの概要と試験使用の結果を述べている。

日本ユニシス教育センタでは、LEARN UPやMAPPER-CBE等にくつ新CAIシステムの開発を行っている。その狙いは、学習者主導型システムの実現と、遠隔教育サービス提供の実現である。中新俊夫と澤田嘉信は、UNI * ICS ; 学習者主導型多機能教育システムの開発の中で、UNI * ICSが採用している階層型機能分散アーキテクチャ、学習者主導を実現するための機能等について紹介するとともに、同様の考えのもとで開発されたオフィススクール統合システムUNI * IOSの利用実績を介してUNI * ICSを評価している。

ソフトウェアの開発が自動化へ向けて変化しようとする現在、ソフトウェア開発者に対する教育はそのカリキュラムにソフトウェア工学の理論や成果を採り入れる必要がある。その一つにソフトウェア開発方法論があるが、その効果的教育方法についてはよく考えられていない。大野浩史のソフトウェア開発方法論の教育と支援方法は、ソフトウェア開発方法論の教育について教育過程を定め、それを支援する方法について述べている。

従来より、コンピュータを教育に利用する試みは数多くなされ、知的教示システムへと発展してきた。しかし、それらはいかにしてシステムが知的に教えられのかという観点から研究・作成されており学習者の教育プロセスに注目したものは少なかった。山田繁夫は、知的な学習システム——開かれた学習環境をめざしての中で、Greenoらによって提唱された〈知的な学習システム〉の一つの実現形について論じている。

技報編集委員会

委員長 柳生孝昭

副委員長 早川公正、米口 肇

委員 飯塚伊三雄、今津俊雄、岩佐宏一、
岩澤慶次、岡田 寿、鎌田 稔、
河西正弘、久保田俊雄、栗山啓司
内藤 聰、永田利地、野本雄一、
馬場正存、深堀年弘、古谷雄一、
森 宏、渡辺 寛、朝倉文敏

編集制作担当

研究開発部 駒崎洋介、丹野敬子

経営企画部 熊谷 貴

Editorial Board

T. Yagiu (Chairman)

K. Hayakawa (Vice Chairman)

H. Yoneguchi (Vice Chairman)

I. Iizuka, T. Imazu, K. Iwasa,

K. Iwasawa, H. Okada, M. Kamata,

M. Kasai, T. Kubota, K. Kuriyama,

S. Naito, T. Nagata, Y. Nomoto,

M. Baba, T. Fukabori, Y. Furuya,

H. Mori, H. Watanabe, F. Asakura

Editorial Staff

Y. Komazaki, K. Tanno

(Research and Development)

T. Kumagai

(Corporate Planning)

ISSN 0914-9996

技 報

UNISYS TECHNOLOGY REVIEW

Vol. 10 No. 3 (No. 27)

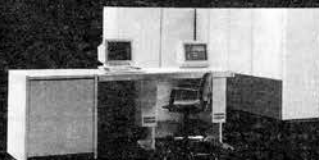
発 行 日	平成2年11月30日
編 集 人	柳 生 孝 昭
発 行 人	富 田 和 夫
発 行 所	日本ユニシス株式会社 東京都港区赤坂2-17-51 〒107 TEL(03)585-4111 (大代表)
印 刷 所	三美印刷株式会社

禁無断複製転載

© Nihon Unisys, Ltd. 1990

UNISYS

核になる、力。



90年代の情報中枢に求められる機能を先取りして、いま新登場。

オープン・ネットワークへ、SIS(戦略情報システム)へ。ますます規模の拡大と処理の高度化が求められる、基幹情報システム。ビジネス環境の多様化に柔軟に対応し、あらゆるデータを統合的に処理できる情報中枢機構の充実こそ、90年代の大きな課題といえます。そこで日本ユニシスから、超大型汎用コンピュータUNISYS 2200/600Ⅱシリーズが誕生。いちだんと強化された処理性能をはじめ、数々の特長を備えて90年代のビジネス・ステージへデビューします。ソフト化、グローバル化などがさらに加速する90年代。ユニシスの2200/600Ⅱシリーズは、メインフレームに対する新しい展望のもと、かつてない革新的なアプローチでこれからの重要課題を着実に解決します。

- 拡張トランザクション処理アーキテクチャ「XTPA」により同一システム内で最大12倍の性能拡張が可能。
- 「XTPA」により最大4システムまで接続、高速レコード・ロック制御機構によってあらゆる規模のトランザクション処理に対応。
- プロセッサ、メモリー、入出力機構へ最新のVLSI技術を全面採用。
- 50/60ヘルツ新電源システム、高性能空冷システム、高密度実装技術の採用により、消費電力・発生熱量とも大幅に削減。
- ユニシスの第四世代言語「MAPPER」と「LINC」をさらに強化、アプリケーション開発の効率化を促進。

超大型汎用 コンピュータ UNISYS 2200/600Ⅱシリーズ誕生

日本ユニシス株式会社 本社 東京都港区赤坂2-17-51 〒107 電話03-585-4111(大代表)