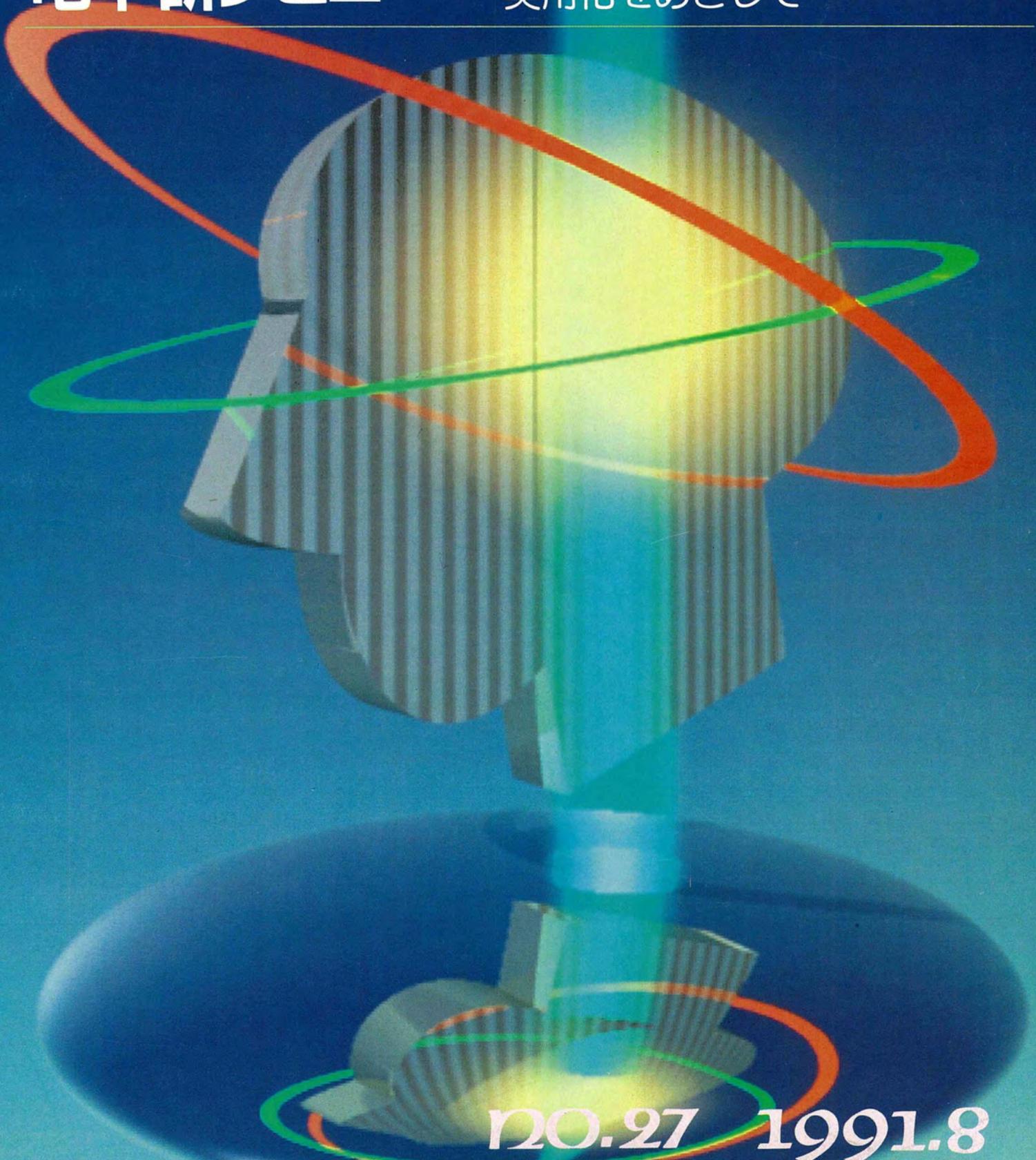


DENCHUKEN REVIEW

電中研レビュー

電気事業における人工知能の
実用化をめざして



NO.27 1991.8

電中研レビュー第27号 ● 目次
電気事業における人工知能の実用化をめざして

編集担当●経営調査室 室長代理 荒井 泰男
経済研究所 情報システム部長 鈴木 道夫

巻頭言	東京大学 工学部 教授 関根 泰次	2
はじめに	常務理事 尾出 和也	5
第1章 人工知能の動向と電気事業への応用		
1-1 ●人工知能技術の動向		9
1-2 ●電気事業のニーズと電中研の取組み		11
第2章 原子力技術への応用		
2-1 ●潜在的故障・トラブルの予知・予防を支援するエキスパートシステム		15
2-2 ●自然言語による原子力発電情報検索システム		19
2-3 ●知識工学を用いた運転員教育システム		23
2-4 ●知識ベースに基づく圧力容器の健全性評価		27
2-5 ●放射性廃棄物の地下埋設処分の総合安全評価システム		30
第3章 電力技術への応用		
3-1 ●接続水系の翌日発電計画エキスパートシステム		35
3-2 ●電力用通信網の障害箇所判定への知識工学の適用		38
3-3 ●受電設備の保護協調支援エキスパートシステム		42
3-4 ●配電用CVケーブルの劣化診断エキスパートシステム		46
3-5 ●汚損碍子のフラッシュオーバー予測システム		50
第4章 土木構造物への応用		
4-1 ●水力鋼構造物の評価診断システム		55
4-2 ●堆砂予測・排除方法の選定システム		60
4-3 ●港湾構造物の腐食劣化度判定システム		62
第5章 営業・経営への応用		
5-1 ●経済分析結果の要約システム		67
5-2 ●営業支援エキスパートシステム		70
5-3 ●業務処理ソフトウェア自動設計システム		74
第6章 人工知能を支える基盤技術の開発		
6-1 ●設備図面のコンピュータ認識		79
6-2 ●知識整理システムCONSIST		82
6-3 ●KID- α ：事例データからの信頼性の高い知識の獲得		85
おわりに	理事 経済研究所長 矢島 昭	88
関連する主な研究報告書等		89



情報・知識・知能と柔らかい方法・硬い方法



いま、世の中は情報の時代という。企業の盛衰も先頃の湾岸戦争の勝ち負けもすべて情報の取扱いの善し悪しにかかっているようにみえる。

人類の文明を支えているエネルギーの世界でもこのことは例外ではないであろう。

しかし、一口に情報といっても、その中身は20年前と今日では全く様相を異にしている。

たった十数年前までは情報というのは電子計算機のビット情報にみられるように、そこ

に“存在するかしないか”の識別を行う2値情報に過ぎなかったが、やがて単純な情報を集めて一つの“知識”(Knowledge)を表すことが行われるようになった。それまでの情報が事物の極めて簡単な側面しか表現できなかったのに対し、“知識”は複雑な事象を正確に表現することを可能にした。しかし、この知識という概念も人間の行動を記述するにはきわめて不十分であることがすぐ認識されるにいたった。人間は行動する時、その人の持つ知識をもとに判断を下すが、この判断というプロセスは知識から新しいものを生み出す極めて独特の知的活動である。知識に判断を加えたこの知的活動は“知能”(Intelligence)とよばれている。そして“知識”から“知能”に進む事によってとてつもなく広い世界が開かれるようになった。いま、われわれは“知能”の時代にいるが、知能の次の時代はどんな時代であろうか。

ところでこの知能を扱うために、従来から用いられてきた数学によって代表される

古典的自然科学的な硬い方法(rigid approach)に対して、人間らしい柔らかいヒューリスティックな方法(soft and heuristic approach)が盛んに研究され、応用されるようになった。いままでの硬い方法は、どんなに起きる確率が小さくても、それが原理的に起こり得るような事象であれば、それを探り出す鋭い刃を持っており、ある限定された領域の問題に対しては極めて効果的であるが、規模がある程度以上大きくなったり関連する要因の数が増えるととたんに切れ味が落ちるといった性質をもっている。これに対し、柔らかい方法は10万分の一、100万分の一の確率でしか起きない事象や人間の思考や経験を越えた事象に対しては不得意であるが、一方現象が相当複雑になってもあまりその処理能力は変わらないという対照的な性質をもっている。いわば、理論的厳密さを尊ぶ硬い方法は可能性(possibility)の探究にはなくてはならぬ方法であるが、複雑な世界での蓋然性(probability)の探究には柔らかい方法がすぐれている。

電力システムのように、人間の造り出した事物はかなりの部分、人間の判断や知識に基づいているから、柔らかいヒューリスティックな方法がかなり効果を発揮すると思われるが、一方人工知能に基づく方法で人間以上のことを行わせるのは(将来は可能かも知れぬが)当分はかなり難しいであろう。人間の造り出した世界にも冷厳な自然法則は生きているわけであり、人間がそれについてすべて知っていたり予知できるわけではないし、人間の予想もしなかったことがまま起きるのが現実であるから、柔らかい方法がより人間の思考方法に近く便利だからといってこれだけに頼るのは危険であろう。やはり古典的な硬い方法と、現代的な柔らかい方法を調和のとれた形で併用していくことが今後ますます必要になるとと思われる。

東京大学 工学部 教授

関 根 泰 次

電力中央研究所における「人工知能関連研究」の歩み（1982～1991）

西暦	当研究所の状況	日本と世界の状況
1982		・第五世代コンピュータ・フェーズⅠ開始
1983		
1984	・知識処理技術の動向調査 ・原子力予防保全支援システムCSPARの開発に着手（NIC）	
1985	・知識処理研究室の設立（7月） ・AIコンピュータSymbolics3670を導入	・第五世代コンピュータ・フェーズⅡ開始
1986	・ダムゲート評価システム（パイロットシステム）の開発を終了 ・知識処理研究会を開始（4月） ・機械翻訳システム実用化の検討を開始 ・水力鋼構造物評価診断システムの開発研究を受託	・日本人工知能学会が設立される
1987	・自動プログラムシステムの開発を終了・実用化の検討を開始 ・自動設計システムの開発に着手 ・知識型経営情報システムの研究に着手 ・運転員教育システムの開発に着手 ・知識処理技術の適用状況を取り纏め ・電中研EPRI・AI情報交換窓口を設置	・IEREエキスパートシステム・ワークショップが開催される（イタリア）
1988	・電気事業AI研究会を設置 ・知識整理システムCONSISTの開発に着手	・電協研座談会「電力技術へのAI応用」開催 ・AI産業応用ワークショップ（日本）が開催される ・第1回電力技術AI国際シンポジウムが開催される（スウェーデン）
1989	・電化製品相談システムCSESの開発を終了 ・図面パターン認識技術の研究を開始	・第五世代コンピュータ・フェーズⅢ開始 ・IEREエキスパートシステム・ワークショップが開催される（イタリア） ・電協研「電力技術へのAI応用研究会」が設置される ・第2回電力技術AI国際シンポジウムが開催される（アメリカ）
1990	・電化厨房相談システムの開発を終了 ・学習技術の研究を開始 ・原子力予防保全支援システムCSPARの試行運用を開始（NIC） ・第1回電中研EPRI・AIワークショップを開催（アメリカ） ・電気事業AI研究会「電気事業のES開発状況」報告書を取り纏め ・エキスパートシステム発表会を開催	・環太平洋AI国際会議が開催される（日本）
1991	・運転員教育システムの開発を終了 ・水力鋼構造物の評価診断システムの実用を開始 ・エキスパートシステムの検証評価技術研究を開始	・第3回電力技術AI国際シンポジウムが開催される（日本）

はじめに

常務理事 尾出 和也



電気事業は、業務の高度化、多角化が進むなかで、それを担う要員に対する知的な要求や熟練度が一段と高まっていく。一方技術革新のテンポの速さや、機械化・自動化の一層の進展など、職場環境の変化を背景にして、要員の確保や育成はますます難しくなっていくことが危惧されている。

この両者のギャップを埋めるためには、今後要員の教育・訓練が一層大切であり、彼等の活動を適切にサポートする方法があれば、極めて有用である。これに応えるのが人工知能（AI）であり、今後AI技術は企業にとって大いに期待される。

すでに開発が進められている発電所の運転を支援するエキスパートシステム、あるいは、運転員の教育訓練システムなどは、こうした方の先駆けであり、現在のところ、内容は未熟で小規模ではあるが、

今日の開発努力の積み重ねは、将来に備えて技術力の育成に重要な意味があるといえることができる。

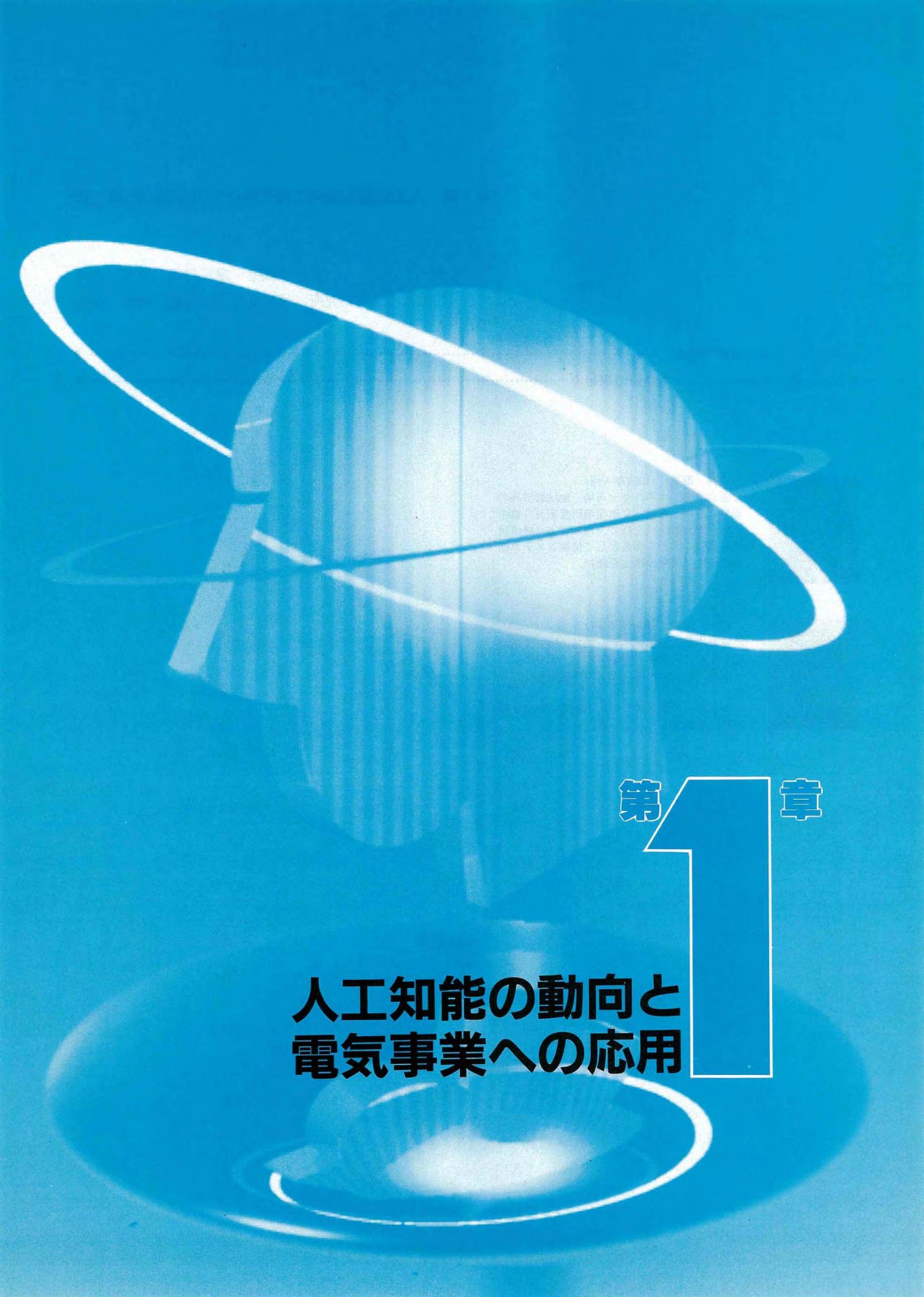
さて、AIの活用が軌道に乗った暁には、企業にどんな効用をもたらすだろうか。例えば、発電所の運転を支援するエキスパートシステムができあがると、平常時、異常時にかかわりなく、運転員が迅速かつ的確に判断でき、この結果、人間の勘違いや、緊迫した状況の下での間違いなど、いわゆるヒューマンエラーを格段に減らすことができる。さらに、将来は新しい知識を得ることによって、コンピューター自身が類推を働かせて未経験の事故なども予見するというようなことも期待できよう。

また、危険な環境下で作業を行う知能ロボット、営業所でサービスやPR活動に役立つコンサルテーション・システム、あるいは、めまぐるしく変化する経営環境を適切に把握して判断を下すための経営支援システムなどへの応用も考えられる。

このように、AI技術は企業経営のあらゆる分野でひろく活用され、単に業務の効率化だけでなく、能力の向上、業務の円滑な推進などを通じて、組織の活性化を促進できる夢多き技術であるといえることができる。それだけに、またその実現に向けて着実な努力を続けて行くことがぜひ必要であろう。

当研究所としては、電力分野での実用化をめざすと共に、それを達成する上で不可欠な基礎技術にも取り組んでいる。本特集は、こうした狙いの下に進めてきたこれまで約10年間のAI研究の成果を取り纏めたものである。その内容は未だ研究途上のものが多く、実用化技術として十分な段階に達しているとは言えないが、電気事業における今後のAIの活用にあたって参考になれば幸いである。

最後に、人間の英知というものは長い積み重ねによって育て上げられたものであり、これを一朝一夕にコンピューターに置き換えるということは、不可能なことである。AI技術は確かに素晴らしい技術ではあるが、主役はあくまでも人間であり、AIは、人間をサポートする道具であるということを忘れてはならないと思う。



第1章

人工知能の動向と
電気事業への応用

第1章 人工知能の動向と電気事業への応用 ● 目次

経営調査室 室長代理 荒井 泰男
経済研究所 情報システム部長 鈴木 道夫

1-1	人工知能技術の動向	9
1-2	電気事業のニーズと電中研の取組み	11



荒井 泰男 (1963年入所)

電力需要、エネルギー市場、地域経済等の分析に従事した後、立地環境研究室長、電中研企画部企画課長を経て、1988年より経済研究所情報システム部長として情報システム開発に関する研究の推進を総括。



鈴木 道夫 (1968年入所)

電気事業の情報システム開発に関する諸問題を中心に、ソフトウェア開発、データベース開発、システム保守などの研究を行ってきた。

現在は、電気事業での人工知能の利用技術開発に意欲をもやしている。

1-1 人工知能技術の動向

1-1-1 はじめに

高速な計算と膨大な記憶容量を誇るコンピュータも、時としてその馬鹿正直な頑固さが笑い物にされる。それは、いかに高速な計算でもその方法を自分で考えられないことや、人の顔を見分けたりできないためであった。

しかし最近、事情は変わりつつある。とても人間には及ばないが、コンピュータが自ら推論して問題を解き、人の言葉や画像が理解できるようになりつつある。このような、言わば、人間にしかできないと思われる知的な能力をコンピュータに持たせることが人工知能の狙いである。人工知能の研究はかなり昔から進められていたが、1970年代に米国で、化学物質の種類を判断したり、患者の病状を診断したりする実験システムが開発されたり、1980年代にはわが国で、人工知能による第五世代コンピュータの開発が開始されたことなどによって、産業界での人工知能利用が急速に進むようになった。

電気事業は、発電所の運転制御や電力供給システム全体にわたる監視・制御は勿論のこと、設備の計画や需要予測、さまざまな業務処理などあらゆる面にわたってコンピュータを応用した高度な情報システムを構築し、活用してきたが、近年、実用化が近づきつつある人工知能技術を利用して、新たな問題の解決や一層高度な処理の実現を目指すシステムの開発が積極的に進められている。

1-1-2 人工知能とエキスパートシステム

人工知能研究の対象や知能のレベルは時代と共に変化

してきたが、現在では概ね、「問題解決システム」、「画像認識」、「音声認識」、「自然言語理解」、「知能ロボット」の5分野に大別できる(図1-1-1)。

このうち問題解決システムは、問題を解くための思考能力を備えたシステムであり、チェスや将棋の戦略決定などを中心に研究されてきた。特に、扱う問題に固有の知識を利用すれば効率的に問題が解けることが1960年代後半に明らかにされ、この考え方に基づくシステムが次々と開発されるようになった。例えば、発電所の運転状態を監視し、その異常をいち早く見つけるシステムを作るには、まず、そのような判断のできるベテラン運転員を探し、いろいろな設備状態に対して判断の決め手となる知識を聞き出すことが先決である。こうして聞き出した知識を設備の各状態とその時の異常の有無や異常箇所とを関係付ける形に整理し、これを使って異常を判定するシステムを作ることができる。このようなシステムは専門家の知識が鍵となるので、「専門家システム」または「エキスパートシステム」と呼ばれている。

エキスパートシステムは、問題解決に必要な知識を蓄積した「知識ベース」、これを利用して判断の論理を進める「推論エンジン」、利用者からのデータの入力や判断結果の表示を分かりやすく行うための「ユーザーインタフェース」、などから構成される(図1-1-2)。

こうした構成上の特徴に加え、エキスパートシステムで扱う問題は、実際にデータを与えてシステムを動かしたときに人間や装置などがどう反応するかによって、処理がダイナミックに変るような性質をもっている。このため、プロトタイプングと呼ばれる新しい開発方法が採られることが多い(表1-1-1)。

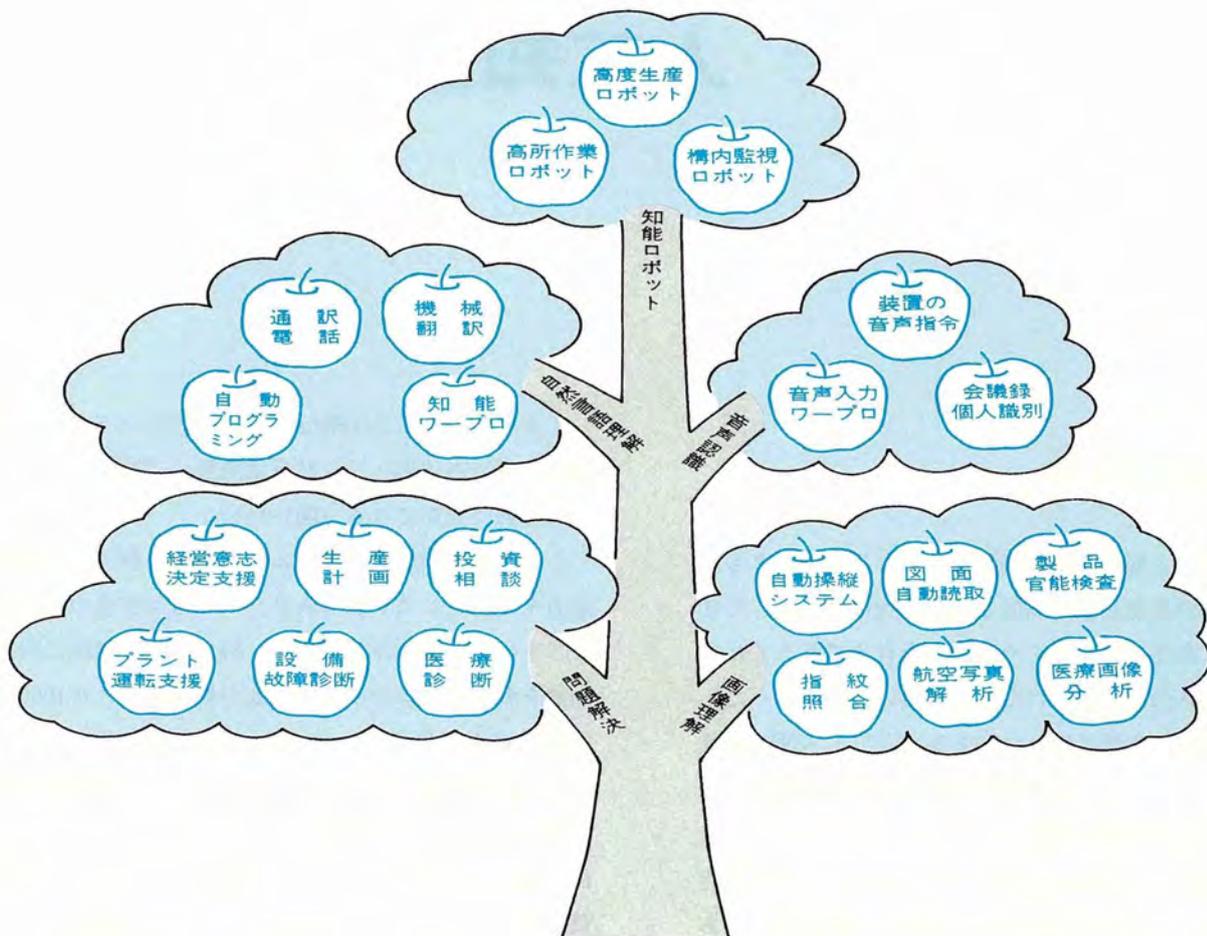


図1-1-1 人工知能の主な応用分野

表1-1-1 従来システムとエキスパートシステムの相違

比較の視点	従来のシステム	エキスパートシステム
構成形態	プログラム+データベース	推論機構+知識ベース
扱う情報	測定値など数値データ	専門家の経験知識
問題の特徴	解析やデータ処理	診断、操作、計画等の判断
開発ソフト	FORTRAN, COBOL	LISP, PROLOG, ESシェル
開発方法	順次型開発 (フェーズドアプローチ)	試行錯誤的開発 (プロトタイプング)
変更の柔軟性	柔軟性が低く硬直的	知識の追加が容易的

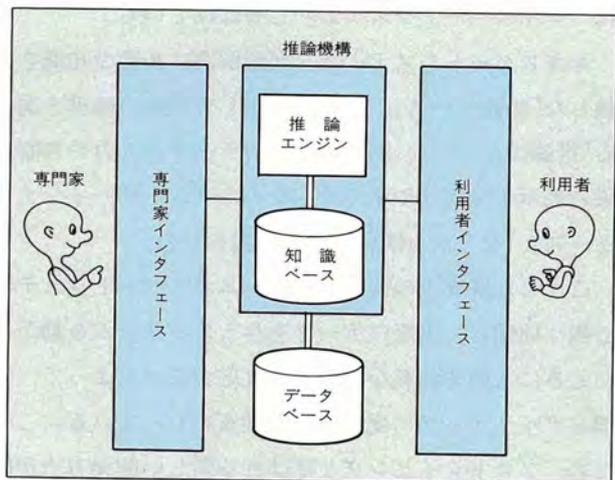


図1-1-2 エキスパートシステムの基本的な構成

1-2 電気事業のニーズと電中研の取組み

1-2-1 エキスパートシステムに対する電気事業のニーズ

電気事業のエキスパートシステム取組みの基本的な狙いは、ますます多様化する社会環境の中で、電力供給の信頼性・安全性の向上とコスト低減を図るために、特に人間サイドのさまざまな課題を克服するための先端ソフト技術の開発にあると言える。

こうした見方でニーズを整理すれば、その第一の視点は、大規模化し複雑化する設備運用管理を一層的確・安全に行うために、広範囲にわたる多くの情報を迅速かつ的確に捉えて判断する運転員をいかに支援するかである。このため、設備状態を示す個別情報を統合化した監視システムや、事故箇所の判定、原因の推定、復旧操作手順のガイダンスなどによって、運転員の負荷を軽減し、判断ミスなどが起こらないようにすることが重要となる。

第二の視点は、将来に向けての技術継承の問題である。膨大な設備の運用には、多くの経験判断が必要とされるため、現在活躍中のベテランの豊富な経験知識を取込んだエキスパートシステムにより、若手担当者の判断支援や技術の継承、あるいは新入職員に対する教育訓練の効率化がますます重要になる。

第三の視点として、社会環境の複雑化・多様化の中で電気事業を取り巻く問題もますます難解となっている。その解決に向けてコンピュータによる高度な分析が必要となるが、これまでの計算手法やモデル化の方法だけでは不十分であり、ファジーな考え方やさまざまな推論を組合せた人工知能の活用が期待されている(表1-2-1)。

表1-2-1 電気事業におけるエキスパートシステムのニーズ

大規模化・複雑化する設備運営管理の的確化	<ul style="list-style-type: none"> ・広範な設備監視情報に対する迅速・的確な判断 ・運転員の負担軽減による判断ミス・操作ミスの防止 ・機器の点検・保全技術の向上と設備寿命の延伸
ベテラン技術の継承	<ul style="list-style-type: none"> ・ベテランのノウハウ有効活用と継承 ・新人の教育訓練の効率化
多様化・不確実性への的確な対応	<ul style="list-style-type: none"> ・不的確な情報に基づく意思決定のサポート ・多様化する需要家ニーズへの対応 ・変化に強い柔軟な情報システム

1-2-2 エキスパートシステム開発の現状

当研究所では、電気事業のエキスパートシステム開発の現状と今後の方向性を明らかにするため、電力各社のメンバーによる「電気事業AI研究会」を作り、1988年7月から2カ年の検討を行った。この中で調査した開発の現状は次のとおりである。

これまでに開発されている主なシステムを業務分野別、システムの性格別に見れば、図1-2-1のとおりである。系統運用では、給電業務を援けるための運転支援型のシステム(系統監視や復旧操作ガイドなど)が多く、発電や送変電では運転支援型に加えて、機器の故障診断や運転計画・保守作業計画など診断型、計画型システムも多く

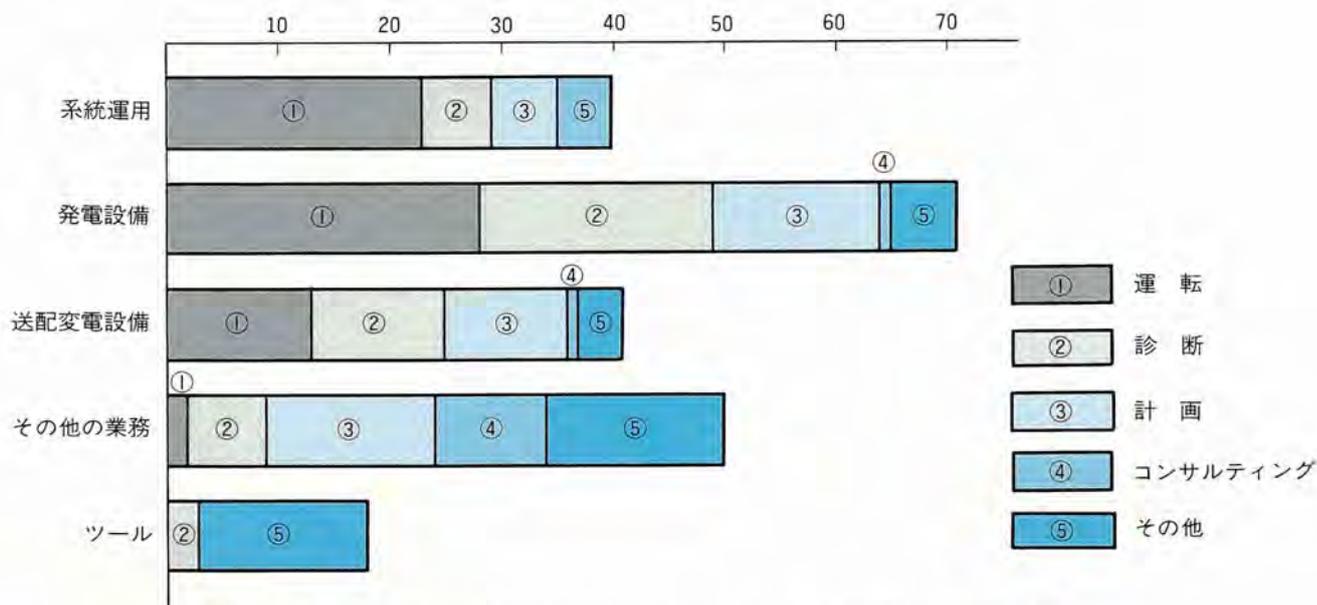


図1-2-1 電気事業におけるエキスパートシステムの開発状況 (1989年調査)

なっている。さらに業務処理では、計画型と共にコンサルテーションやその他（教育訓練システムや汎用的な検索システムなど）の比重が高くなる。

なお、開発の進捗度だけを見ると多数のシステムが開発完了となっているが、その中は研究開発用のものが多く、実用化されたシステムはまだ少ない状況にある。

1-2-3 電中研における人工知能研究の取組み

前述の調査結果からも分かるように、エキスパートシステムの実用化にはまだ多くの課題が残されている。当研究所では、これらの課題を解決するための基盤技術開発を重点的に推進すると共に、所内各研究部門の成果をより具体的に使いやすい形で電気事業に提供できるよう、研究成果のエキスパートシステム化に取り組んでいる。

(1) 基盤技術開発の現状

基盤技術開発の第一は、エキスパートシステムの要ともいえる知識ベースの開発技術である。業務に詳しい担当者から効率よく知識を集める技術や、データベースからコンピュータによって自動的に知識を作る技術などの開発を目指している。

第二の課題は、電力設備図面のコンピュータ化である。設備保守などの業務では図面を見て判断することが多く、これを支援するエキスパートシステムもコンピュータ上で同様の判断ができるようにする必要がある。このためパターン認識技術を使って、複雑で膨大な設備図面をコンピュータで自動的に読取る技術が不可欠となる。

第三の課題は、エキスパートシステムの正しさや有効性を検査し評価する技術である。今後の実用化に不可欠な技術であり、早急にその開発に取り組む計画である。

(2) 応用システムの開発

当研究所の各研究部門で進めているエキスパートシステムの応用は極めて多岐に亘っている。

原子力分野では、世界各国の原子力発電所の運転情報を基礎とした異常再発防止システムや発電所運転員の教育訓練システムなどがある。電力技術分野では、連接水系の運用計画を始めとする多数のシステムを開発している。また土木技術分野では、ダムゲートなどの鋼構造物の健全性評価や貯水池の堆砂排除法の選定などのシステムがある。さらに経営など技術以外の分野でも、経営支援システムや営業活動のためのお客さま相談システム、業務処理ソフトウェアの自動設計システムなどがある。

第 3 章

原子力技術への応用



第2章 原子力技術への応用 ● 目次

柏江研究所 原子力部 調査役 高尾 武
 安全管理研究室 担当研究員 曾根田直樹
 我孫子研究所 原燃サイクル部 処分研究室 主任研究員 河西 基
 前 原子力情報センター 課長 西山 琢也
 原子力情報センター 主任研究員 小林 博和
 ヒューマンファクター研究センター 主任研究員 吉村 誠一

2-1	潜在的故障・トラブルの予知・予防を支援するエキスパートシステム	15
2-2	自然言語による原子力発電情報検索システム	19
2-3	知識工学を用いた運転員教育システム	23
2-4	知識ベースに基づく压力容器の健全性評価	27
2-5	放射性廃棄物の地下埋設処分の総合安全評価システム	30



高尾 武 (1988年入所)
 日立造船にて長年構造材料の諸問題の研究に従事。
 1988年以来、原子力プラント寿命の総合評価システム構築の研究を立上げる。
 現在、米国EPRIにて次世代軽水炉の研究に従事。



西山 琢也 (1965年入所)
 設備診断技術を中心に、火力・原子力発電プラントへのコンピュータ技術の応用研究を行ってきた。
 1991年より、中部大学経営情報学部経営情報学科。



曾根田直樹 (1989年入所)
 軽水炉の長寿命化を目的として、压力容器の安全性や長寿命化の経済性の評価、スーパーコンピュータ向けの構造解析手法の開発、等を行っている。
 現在、非破壊検査へのAI技術の応用を検討している。



小林 博和 (1973年入所)
 入所以来、大気汚染と気象の関係について研究してきた。85年に原子力情報センターに配属されデータベースシステム開発に従事。機械と人間の哲学的関係に興味を覚えた。
 現在はまた地球環境衛星開発に関わっている。



河西 基 (1979年入所)
 ダム河川での洪水対策等の水力部門の研究から華麗に(?)原子力分野へ転換し、主として放射性廃棄物処分に係わる地下水、核種の移行挙動とその評価モデルの開発研究に携わってきた。
 現在は、日本原燃産業へ出向中であり、六ヶ所村での低レベル廃棄物埋設事業への直接参加を通じて“生きた研究”の掘り起こしに取り組んでいる。



吉村 誠一 (1976年入所)
 原子力発電所保守作業の自動化、遠隔操作化に従事。その後はプラントの異常診断システム、運転員教育システムの研究開発を行ってきた。
 現在は、ニューロ、ファジーなどを用いた運転員の認知判断過程のモデル化に取り組んでいる。

2-1 潜在的故障・トラブルの予知・ 予防を支援するエキスパートシ ステム

2-1-1 はじめに

原子力発電プラントは、設計、建設、運用の各段階において可能な範囲内で最善の安定性・信頼性対策が施されているが、それにもかかわらず故障・トラブル（以下異常事象と記す）の発生することがある。したがって、どこかのプラントで異常事象に遭遇した場合には、速やかにそれから得られた教訓を生かして、自他プラントで同種の異常事象は二度と引き起こさないように措置を施すことが肝要である。この考えは1979年のTMI-2事故以来強く認識されるようになり、INPO(米国原子力発電運転協会)のNuclear Networkや当研究所の原子力情報センターのNICS(原子力発電情報システム)などの、原子力発電所の異常事象に関する世界的ないしは全国的規模の情報交換システム(データベース通信システム)が開発され運用されるようになった。これらのシステムは原子力発電の安全性・信頼性向上に大きく寄与しているが、それだけでは沢山の情報を組み合わせれば予想できるはずの異常事象をもれなく予想することは難しく、それを可能とするシステムの開発が望まれていた。本節に述べる異常事象再発防止コンサルテーションシステム(Consultation System for Prevention of Abnormal-Event Recurrence; CSPAR)は、この問題を解決すべく、上記の情報交換システムがもたらす知見・ノウハウを知識ベースに蓄えておき、それらを万遍なく組み合わせることによって潜在的な異常事象を幅広く予測し、その予防策を提言することを目的としたエキスパートシステムである。

本システムに人工知能を利用することとしたのは、原子力発電所で遭遇する異常事象は、色々な条件が複雑にからみあった結果として生じており、その展開のプロセスは整然とした数式や論理式で表すことは一般に難しい。このようないわゆる悪構造問題の解決には、現在のところエキスパートシステムが唯一の方法と考えられるからである。また、当研究所の原子力情報センターは、国内外の原子力発電所の異常事象情報を豊富に収集・蓄積しており、このようなシステムを開発するうえで非常に恵まれた環境にあるといえる。

2-1-2 システムの概要

CSPARのシステム構成を図2-1-1に示す。

ユーザインタフェースの主な役割は、①分析・検討を行う事象内容をシーケンス図の形でグラフィック表示すること、②ユーザは機器や現象などの思いついたことをキー・インするだけで、そのほかのほとんどの操作はマウス操作で簡単に済ませられることにある。

推論機構は、知識ベースを使ってトラブル原因やその波及予測など6種類の機能を行う。図2-1-2に推論時の知識利用の様子を示す。

知識ベースの中の基本的なものはルールベースとフレームベースである。現象ベースと関係ベースは、予測や未然防止の対策立案を実行するときに柔軟な推論を効率よく行うために補助的に使用されるものであり、事例ベースには事例検索に必要な情報が蓄えられている。

知識ベースインタフェースは、知識ベースの作成時に知識データの追加・修正・削除をサポートする知識エデ

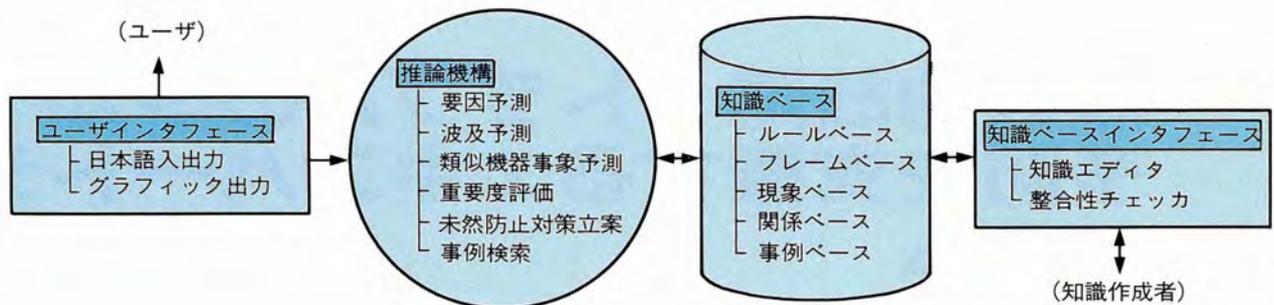


図2-1-1 CSPARのシステム構成

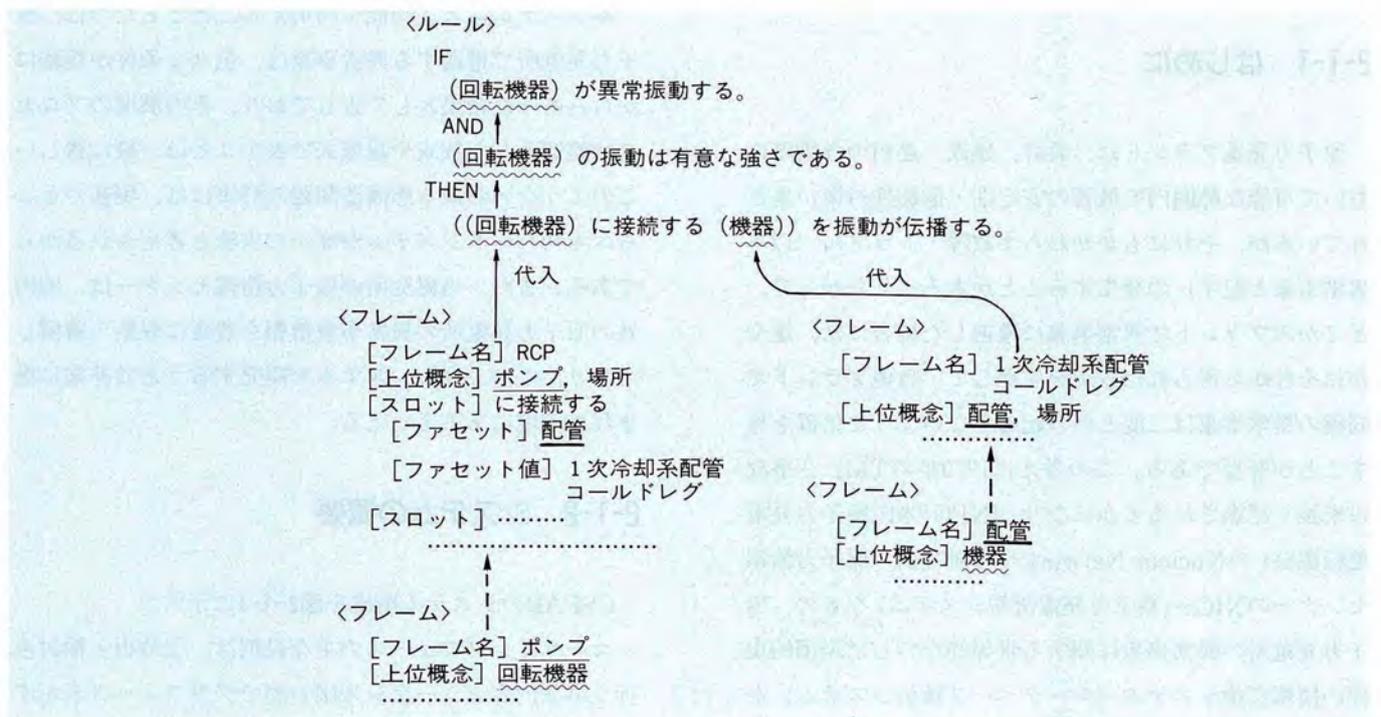


図2-1-2 予測機能の実行原理

インタと、知識データの形式的な誤りを検査する整合性チェックとからなる。

合わせ用いて、ある種の類推を行わせることができる。ここでいう類推とは、新しい異常事象情報を入手したと

2-1-3 CSPARの役立て方

CSPARの具体的な用途を表2-1-1にまとめて示す。ここに掲げた用途のうち、CSPARならではの利点が最も多く引き出せると思われるのは「新事例からの類推」であるので、以下それについて実験例を交えながら説明する。

類似機器の事象予測機能に事象の展開機能を補助的に

表2-1-1 CSPARの用途

新事例からの類推	新しい内容の異常事象事例から潜在的異常事象を類推し、予防策を立てる。
ヒューマンエラー防止	発電所で現場作業開始前に、可能性のあるヒューマンエラーを予測し、注意喚起を図る。
運転員・保守員の教育	CSPARを、時流に即応した応用的教材として提供する。
事例検索	異常事象メカニズムに関して分析・整理済みの検索情報を提供する。

きに、それをきっかけにして、将来発生するかも知れない潜在的な異常事象で事象メカニズムが部分的に似通ったものを予測することを意味している。ここでは、その実行シナリオを、すべて実際に発生した事例を引き合いに出して説明する。なお、本シナリオの実行にあたっては、一般には新事例のほかに過去の沢山の異常事象から得られた知識が用いられるが、以下の例でそれらに該当するのは「トラブルA」の一件のみである。

[シナリオ] CSPARは過去の「トラブルA」に関する知識をすでに知識ベースに持っている。この状況の下で、新しい「トラブルB」の情報が入手された。そこで早速知識作成者はその知識をCSPARの知識ベースに格納し、ユーザは「トラブルB」の内容を出発点にして、それから可能性として考えられる潜在的な異常事象を予測させる。その結果、CSPARはいくつか予測したものの一つである「トラブルX」の内容を提示する。さらにCSPARは、ユーザからの要求に従って「トラブルX」の発生未然防止の対策案を提示する。以上を要約すると図2-1-3のようになる。

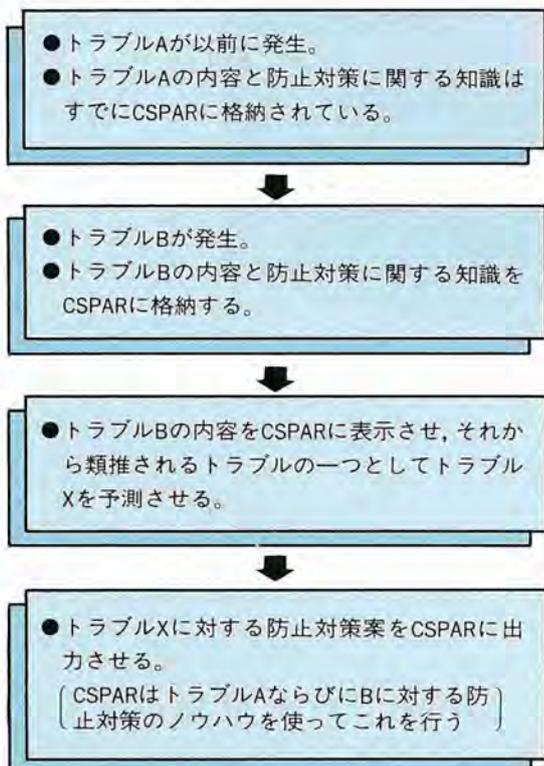


図2-1-3 「新事例からの類推」のシナリオ

図2-1-4は、上のシナリオで「トラブルA」と「トラブルB」からいかにして「トラブルX」を類推させるかを図解したものである。図におけるトラブルBならびにトラブルXの下4段のシーケンス部分を比較対照すると、互いに現象のメカニズムは同じで、現象に関与する機器等の具体的な対象物だけが置き換わっていることが分かる（例えば、「ほう酸水」が「一次冷却材」に、「コールドレグ安全注入配管逆止弁シート部」が「余熱除去系入口隔離弁シート部」に）。シーケンスXのこの部分が、トラブルBに類似機器事象予測機能を適用して得られた潜在的異常事象のうちの一つである。3つのトラブルA、B、Xはこの順に過去に実際に発生した事例であり、同図に示した実験結果は、知識データがうまく作られていれば、トラブルXが発生する以前にCSPARを使ってこの事象が予知・予防できた可能性のあることを示している。

2-1-4 ま と め

現在のCSPARはAIマシン「シンボリックスXL-400」上にLisp言語で構築しており（プログラム容量はソースコードで約25.5K行）、平成2年度中に原子力情報センター保有の国内分異常事象情報をすべて知識データ化し終え（その時点でのルール数は約6,000、フレーム数は約10,000）、平成3年度からは海外分異常事象情報の知識データ化に取りかかるとともに、原子力情報センター内で実運用を開始している。

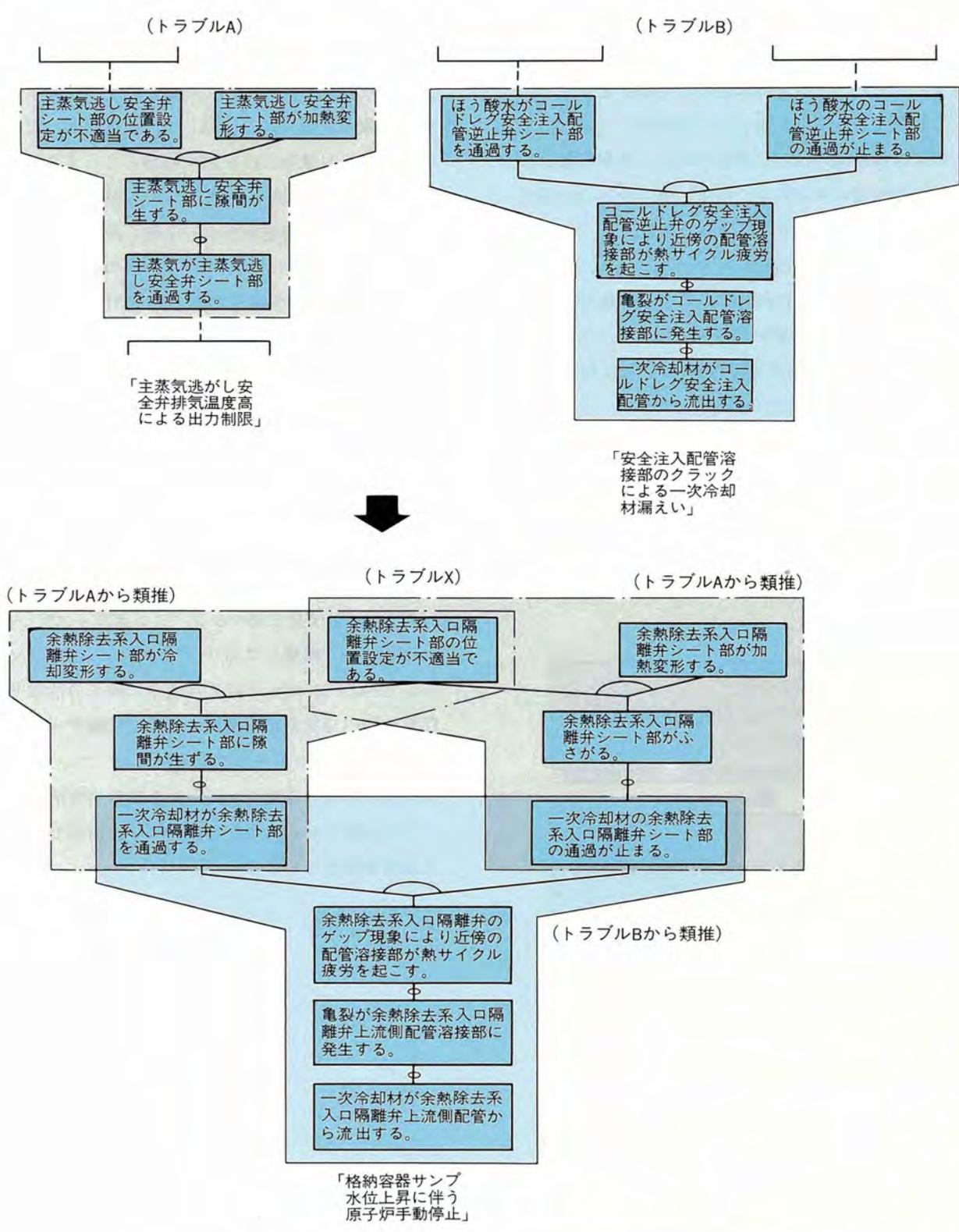


図2-1-4 トラブルA, Bの知見を使ってトラブルXを予測する

2-2 自然言語による原子力発電情報検索システム

2-2-1 NICSから新NICSへ

原子力情報センターは、内外の原子力発電情報を集積したデータベース、NICS (NIC情報交換システム) を運用している。NICSは内外の情報を集中的に管理するとともに、これを電力会社の利用者に提供するシステムとして、その初期の目的を達成することができた。しかし内外の情勢をみたとき、NICSはより一層、国内原子力発

電所の運転に役だっていかなばならない。そこで原子力情報センターは、これまでの経験をふまえて、次世代のデータベース「原子力発電情報高度活用システム (新NICS)」の開発に着手した。図2-2-1は新NICSのシステム構成図である。

自然言語による原子力発電情報検索システム (図2-2-1では新技術応用検索機能として示される) は、この新NICSの主要な部分を構成する予定である。

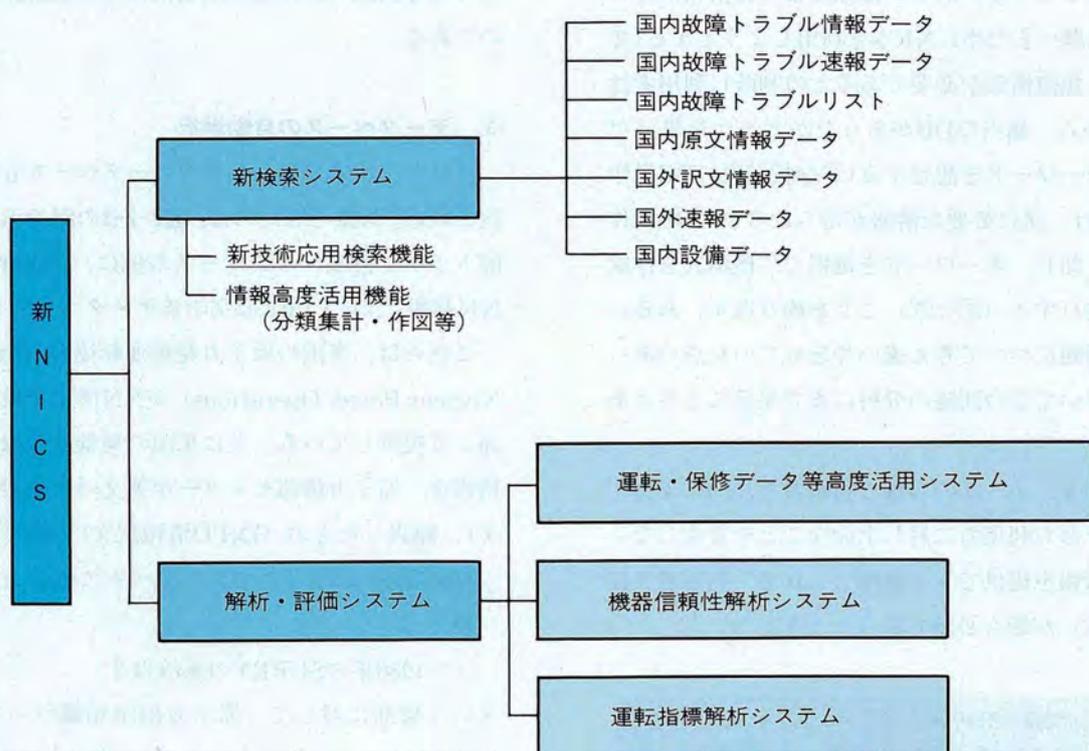


図2-2-1 新NICSのシステム構成 (平成5年度の運用開始時)

2-2-2 自然言語処理技術によるデータベース検索システム

新NICSの開発にあたり、現行NICSに対して応答が遅い、情報の取り出し方が複雑でわかりにくいなどの要望が強いことから、「利用者にとっての使いやすさ」の実現に重点を置いた。このため、検索における利用者の行動を詳細に検討し、目的とする情報に早く無駄なく到達できるための最も有効な方法をめざすこととした。

(1) 利用者とデータベースの関わり

利用者とデータベース（DBと略す）の関わりは、図2-2-2のような一連の過程として表すことができる。

この過程を、NICSのなかで最もよく利用されている、国内故障トラブル情報データベースの利用に当てはめれば次のようになる。利用者は、あるトラブルの情報を手にした時（①問題の発生）、それと同じ故障・トラブルが過去に起きたかどうか、あるいは似たような情報がほかにないか、を調べるためにNICSを利用しようとする（②問題の分析—類似情報が必要であるとの判断）。利用者は問題の分析から、適当なDBがあったかどうかを思いだし、必要なキーワードを想定する（③分析結果のDB操作手順への変換）。次に必要な情報が得られるまでDB操作を繰り返す。即ち、キーワードを選択して検索式を作成し、検索を実行する（④と⑤）ことを繰り返す。あるいは発生した問題について考え違いや忘れていた点があったことに気付いて②の問題の分析にまで戻ることさえある。

この中で、③、④、⑤の過程で利用者を知的に支援する機能、すなわち利用者に対し余分なことを要求しなくとも的確に情報を提供できる機能（これを「利用者支援機能」と呼ぶ）が最も必要であろうと考えた。

①問題→②問題の分析→
→③分析結果のDB操作手順への変換→④DBの操作→
→⑤検索結果の出力→⑥結果のとりまとめ→⑦解の提示

図2-2-2 利用者とデータベースの関わり

(2) 自然言語処理技術とリレーショナル・データベースとの結合

利用者支援機能とは、例えば「福一3号機のDGの故障について知りたい」と入力するだけで、計算機が自動的にデータベースを検索し結果を提示する機能である。これは自然言語処理技術と原子力用語知識ベースによって実現できると期待される。そこでこの方法が実用可能かどうかを検討するために、PROLOG言語を用いてプロトタイプを開発した。

プロトタイプの実行フローを図2-2-3に示す。入力された日本語はまず形態素解析されて単語に分けられる。次に単語に分節されたリストから構文・意味解析により構文木を作成し、さらにセンテンスフレームに変換することで入力文の意味を明らかにする。福一が東京電力福島第一発電所、DGがディーゼル発電機であること、などの知識は原子力用語知識ベースを参照して得られる。

構文・意味解析の後、検索式が作成される。この検索式は、標準化されたリレーショナルデータベース検索言語であるSQL（Structured Query Language）によるものである。

(3) データベースの自動選択

プロトタイプでは、必要なデータベースも自動的に選択される。対象としたのは、図2-2-3の例で示した国内故障トラブル情報データベースの他に、INPO情報訳文、NN週報、NN・LER原文の各データベースである。

これらは、米国の原子力発電運転協会（Institute of Nuclear Power Operations）がNN情報交換システムを通じて提供している、主に米国の発電所の故障トラブル情報を、原子力情報センターが英文のまま（NN・LER原文）、翻訳したもの（INPO情報訳文）、概要を示すもの（NN週報）にまとめてデータベース化したものである。例えば、

>>1980年のSURRYの事故は？

という質問に対して、原子力用語知識ベースを用いてSURRYが米国の発電所であると判断し、INPO情報訳文データベースを自動的に選択し、検索する。

また、知識ベースに日本語に対応する英単語が登録さ

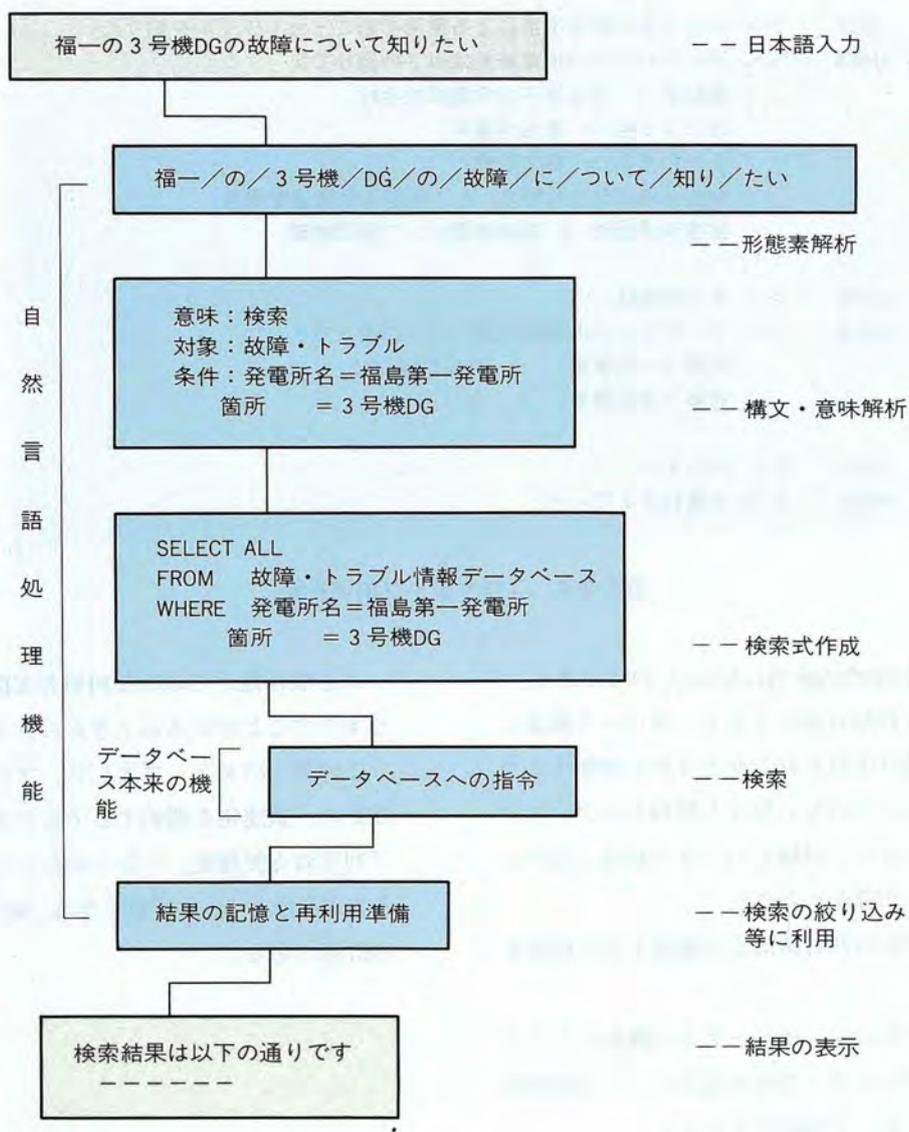


図2-2-3 自然言語処理技術によるデータベース検索の流れ

れていることを利用して、英文のデータベースを日本語で検索することができる。例えば、

>>NN・LER原文でTVAの設計不良による事故は？
という質問文に対し、「設計不良」は「DESIGN DEFICIENCY」、「DESIGN ERROR」であることを辞書からひいて、この二つの単語で検索を実行する。

(4) プロトタイプの実行と評価

プロトタイプは、通信機能を持つ一般的なワープロも

しくはパソコンから電話回線を通じて利用する。専用の端末機としなかったのは、プロトタイプがキーボードからの日本語入力を必要とすることを考慮し、利用者が普段使用しているワープロなどで手軽にかつりラックスした態度で利用できることを目指したからである。

図2-2-4はプロトタイプの実行例である。ANIKA>>という文字列に続くのがシステムからの出力であり、USER>>に続くのが利用者の入力文である。ANIKAとはプロトタイプの開発コード名（Advanced Nuclear

```

USER >> ケーブルの保守不良による東海で起こったトラブルを知りたい
ANIKA >> データベースの検索結果は以下の通りです
        会社名 = 日本原子力発電株式会社
        ユニット名 = 東海発電所
        系統設備名 = 電気設備
        被害保修電気工作物名 = 1号原子炉建屋配電盤
        被害保修箇所 = 強制循環ポンプ開閉機部

USER >> その対策は
ANIKA >> データベースの検索結果は以下の通りです
        対策（一次事象） = 教育訓練強化
        対策（波及事象） = なし

USER >> おしまい
ANIKA >> お疲れさまでした

```

図2-2-4 プロトタイプの実行例

Information and Knowledge Archives) の略である。

次に、このような自然言語によるデータベース検索システムが利用者に受け入れられるかどうかを判断するために、開発にかかわっていない原子力情報センターのメンバーに実施してもらい、評価した。その結果、次のようにその実用可能性が確かめられた。

- ・大部分の利用者が自然言語による検索方式に抵抗を感じないこと
- ・比較的に能力の低いコンピュータ上に構築したプロトタイプにも関わらず、現行NICSにくらべ検索作業全体の時間が著しく短縮できること
- ・利用者の入力する質問文は、自然言語でも無限の変化があるわけではない。そこには一定のパターンがあり、今後の開発で対応可能であること

2-2-3 データベースと利用者支援機能

わが国の原子力発電のより安全で高度な運用を将来にわたって継続する必要がある今、これまでに蓄積された運用経験・知識は世代をこえて的確に伝達されなければならない。しかし内容が充実する一方で、膨大な情報はこれを活用することがますます困難になるであろう。このとき自然言語処理機能、データの内容に関する知識ベ

ースを兼ね備えた知的な利用者支援機能は、重要な役割を果たすことができると考えられる。

この第一のステップとして、プロトタイプは平成3年度から、試運用を開始する予定である。試運用のなかで「利用者支援機能」のありかたについて検討を進める。その成果をもとに、平成5年度、新NICSの運用を開始する計画である。

2-3 知識工学を用いた運転員教育システム

2-3-1 研究の目的

原子力発電所の安全運転には、日頃、発電所内で行う運転員の教育が重要である。そのため、従来から、計算機を用いた運転員教育システム(CAIシステム)の研究開発を進めてきた。しかし、最近、運転員の能力を確実に維持・向上するという観点から、個々の運転員の理解度に合ったきめの細かい教育が求められるようになった。このような高度な教育を実現するために、知識工学を用いた運転員教育システム(ICAIシステム)を開発した。

2-3-2 システムの概要

(1) ハードウェア構成

本システムは、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(LISPマシン)は、運転員の理解度を判定し、それに合った教材を呈示する。この計算機は、イーサネットで過渡応答表示装置と、またRS-232-Cで音声入出力装置とそれぞれ接続されており、「グラフを表示せよ」、「音声を出力せよ」などのコマンドによって、各装置を制御する。

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(PCTRAN)で作成した過渡応答図を20インチのカラーCRTに表示するための計算機(EWS:UNIXマシン)である。

音声入出力装置はパーソナル計算機であり、知識処理専用計算機の解説を音声出力し、学習者の音声入力も行

う。

(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。更に、このような異常事象が発生した時取る対応操作の背景を解説する教材として、BWRプラントの⑤給水喪失時の対応操作、を作成した。ここでは蒸気発生器の主給水喪失を例に教材の構築方法を説明する。

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。結果を図2-3-1に示す。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設定する(Q)まで、17の因果で事象全体を表現した。このように、事象を因果の組で表現したのは、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易く、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。

本システムのソフトウェア構成を図2-3-2に示す。図中右上の因果関係は、図2-3-1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、…など、階層構造の構成要素の一つひとつを教育単位と呼ぶ。解説、質問など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。

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、質問など)と学習者に関する知識(名前、年齢、運転員のレベルな

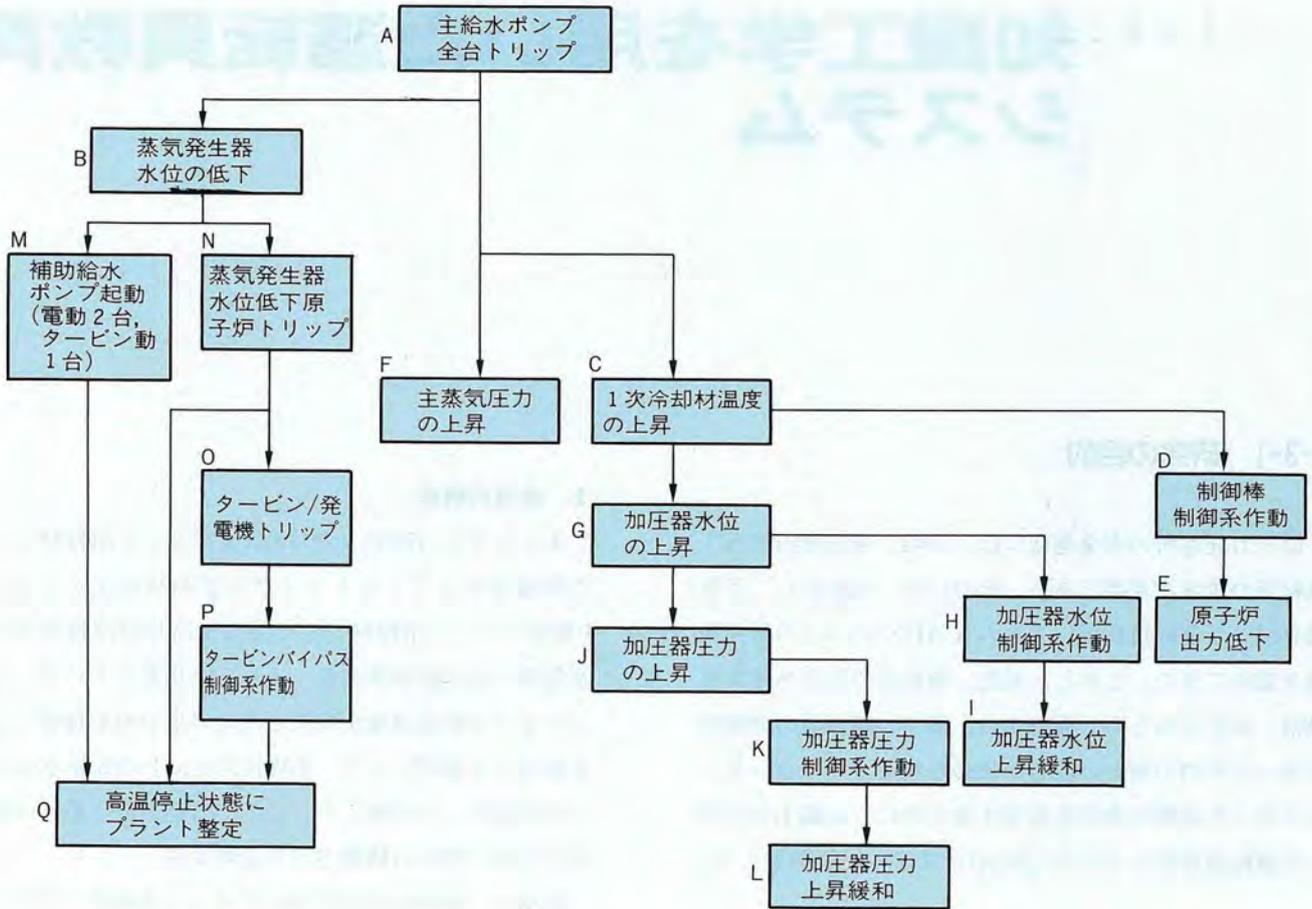


図2-3-1 蒸気発生器主給水喪失の因果関係

ど)はフレームで表現した。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中か、また、ある教育単位の次にどの教育単位の教材を呈示すべきかを、それまでの学習履歴などから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た。

(3) 学習の進め方

本システムでは図2-3-3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。

(a) 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。

(b) 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2-3-3のA教材）を呈示する。

(c) 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、その教育単位を理解したかどうかチェックする。この時、間違っ回数に応じてヒントのみを与えたり、より易しい解説教材（B教材）を呈示するなどの工夫を加えている。

(d) 全体到達度評価

事前評価で呈示された質問に偶然正解することもあると考えられるので、知識の最終確認の意味を含め、以下の手順で事象の因果の流れ全体を質問する。

① ある事象が発生した時、因果の各パラメータがど

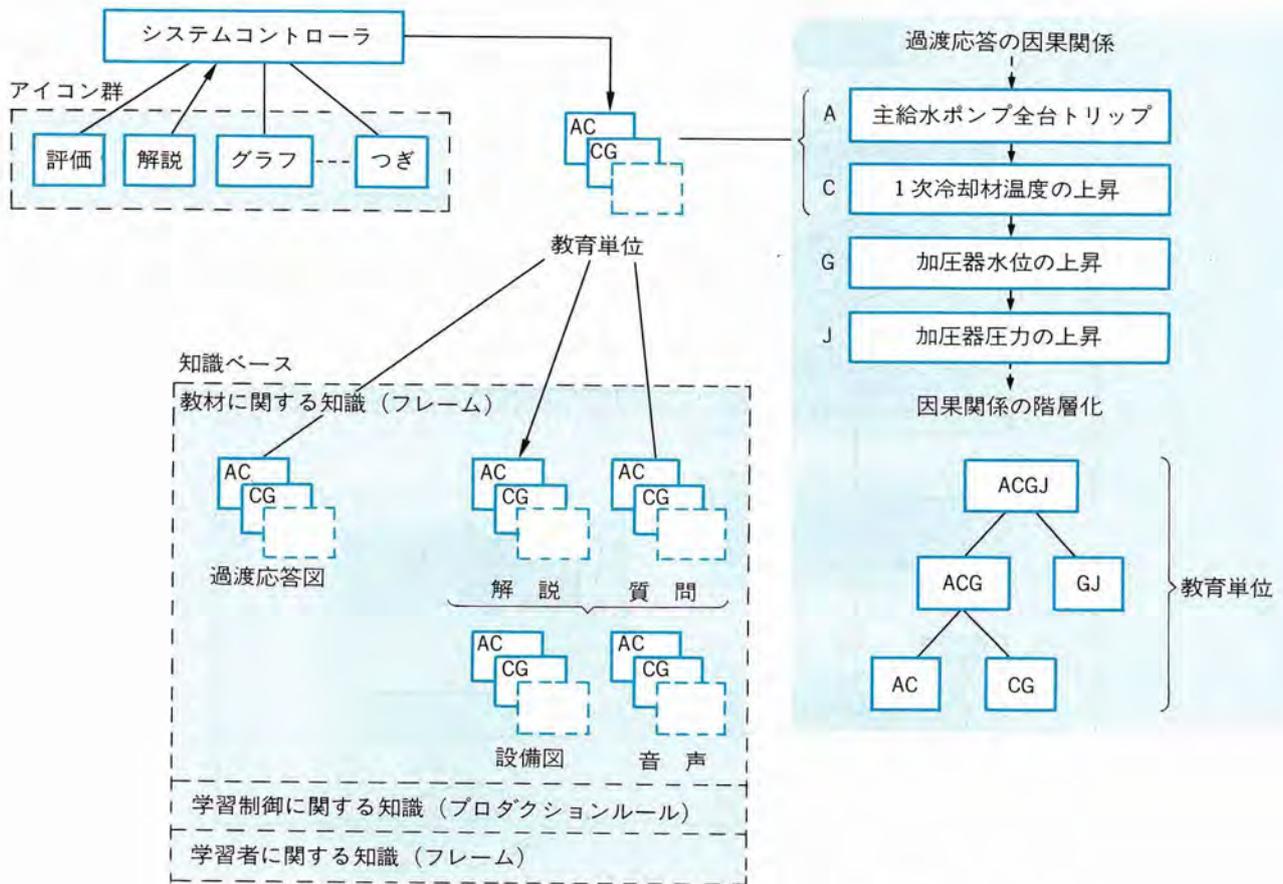


図2-3-2 運転員教育システムのソフトウェア構成

のように変化するかをシステムが質問し(例えば「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(例えば「上昇」を選択)。

- ② システムは運転員の回答を用いて次の質問(「1次冷却材温度上昇によって加圧器水位はどうなりますか」)を生成し、再び運転員が回答する(例えば「上昇」を選択)。
- ③ このような回答に基づいてシステムは順次、事象の因果を表すルール群を生成する。
上の例では、
 - ・主給水ポンプが全台トリップすると1次冷却材温度は上昇する。
 - ・1次冷却材温度が上昇すると加圧器水位は上昇する。
- ④ この過程で運転員が回答を間違えても、その回答

を受けてシステムが生成する次の質問内容から、普通その間違いに気付く。この時点で回答を訂正すると、正しいルールが生成される。

- ⑤ 総ての質問が終了し、事象の「原因」と「結果」に関する全ルールが生成された後、到達度評価を行う。
- ⑥ システムは教材の中に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。この時、運転員は必要に応じ、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、総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。

(4) システムの試験運用

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、1989年2月に

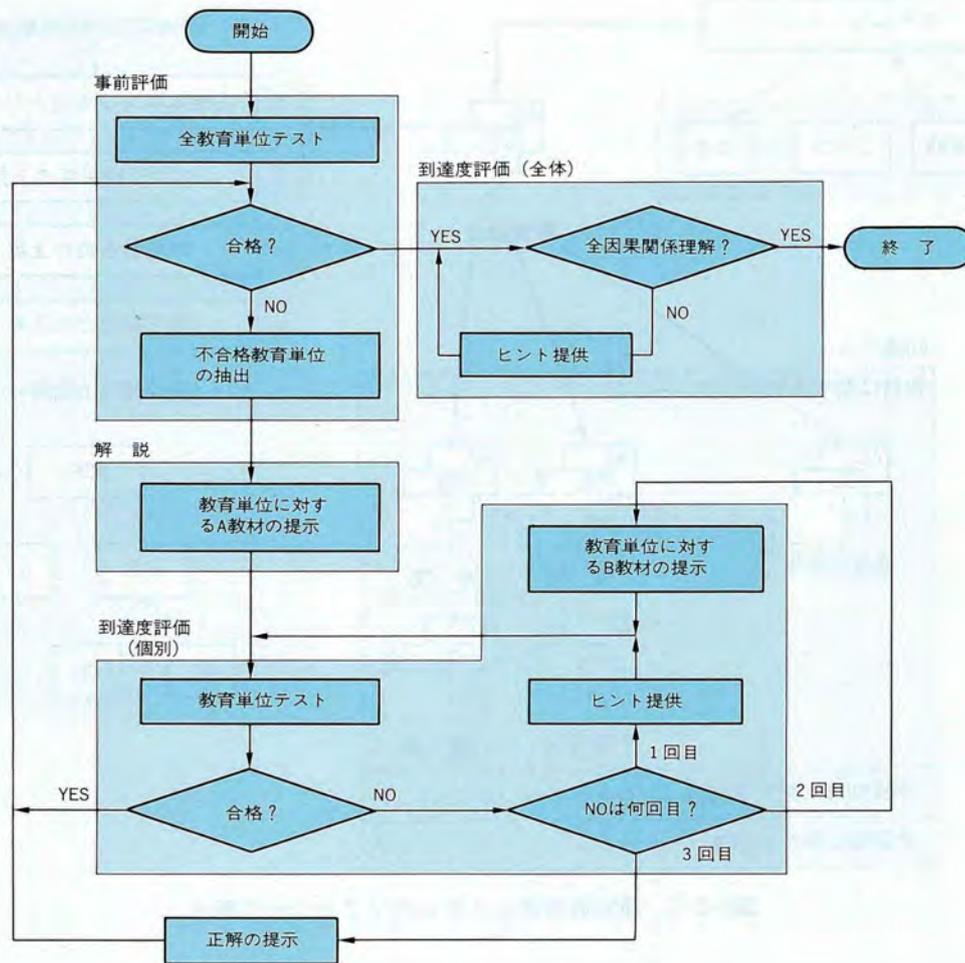


図2-3-3 学習の進め方

はBWRプラント用教材を用いて発電所運転員（20数名参加）によるシステムの試験使用を実施し、教材の構築方法、学習の進め方などシステムの基本的な枠組みに対する有効性や教材内容の妥当性を確認した。また、1990年2月には、PWRプラント用の蒸気発生器の主給水喪失を用いて同様に（運転員10名参加）試験使用を実施した。

その結果、事象の因果関係の理解のし易さ、事前評価の有効性については10名中7～8名が「理解し易い」、「有効である」と答えており、PWRプラント用教材でもシステムの基本的な枠組みに対する有効性を確認できた。教材内容については因果の粗さが指摘されたが、これは事前評価の際に呈示される質問の数を少くし、1教材当たりの学習時間を1時間程度に抑えろとの方針によるものであり、システムの使用性からは妥当なものと考えてい

る。その他、一部、適切さを欠く表現も見られたが、画面上の情報量や文字の見易さなどについては妥当とする意見が過半数を占めるなど、概ね実用に供せる見通しを得た。

2-3-3 今後の計画

今後は、電力会社での試用など本システムの実用化を目指すと共に、効果的、効率的な学習が可能な次世代CAIとして社内教育など広く原子力以外の分野にも積極的にPRしていく予定である。

2-4 知識ベースに基づく圧力容器の健全性評価

2-4-1 研究の目的

わが国の原子力プラントでは、圧力容器などの主要機器は40年間使用することを想定して設計されているが、実際には、その後もまだ十分に安全であることが予想される。当研究所では、現在稼働中の原子力プラントがあと何年間運転可能かを様々な観点から評価するための総合評価システムの開発を1988年度より行っている。

原子力プラントの寿命評価で最も重要な圧力容器の評価において、評価結果の信頼性が問題となる。ここでは、機器の健全性の評価結果の信頼性を知識ベースを用いて評価する方法について述べる。

2-4-2 知識ベースに基づく技術的評価手法の考え方

通常の構造物健全性の技術的な評価では、入力データや計算方法自体に含まれる「不確かさ」が避けられない。このため通常は、「安全裕度」が用いられ、例えば「余寿命60年」という計算結果に対して、5年の裕度を考えて「余寿命55年」などとする。ところが、裕度をいくらとすべきかには明確な根拠がないことが多く、しばしば非常に大きな安全裕度によって、機器の使用が著しく制限されることになる。

そこで、計算結果の不確かさを評価するために、図2-4-1に示す知識ベースに基づく評価手法を開発した。この手法の特徴は次のとおりである。

① 計算結果の信頼性を、定量的かつ短時間で評価で

き、これに応じた合理的な安全裕度が求められる。

- ② 様々な現象を考慮した計算法を用いることで、いくつかの現象にまたがる知識を作ることができる。
- ③ 知識の集積・改良によって、評価精度が向上する。

2-4-3 PTS問題の確率論的破壊力学を用いた技術的評価

圧力容器の評価では、運転中の原子炉に何らかの原因により冷却水が注入され、圧力容器の内面が急激に冷される苛酷な事象である加圧熱衝撃事象（PTS）に対して確率論的破壊力学（PFM）による評価が用いられる。PFMでは計算の条件や材料の性質などを確率的にばらつく値として扱い、計算結果の信頼性を例えば、「60±10年」のように範囲をつけて表わす。また誤差の原因としては、入力データの誤差だけを考えることにする。入力データの誤差によって生じる解析結果の誤差は、入力データの誤差が小さい場合は次式で近似的に表わすことができる：

(解析結果の誤差)

$$\begin{aligned} &= \sum_{\text{全入力データ}} \frac{\partial(\text{解析結果})}{\partial(\text{入力データ})} \times \partial(\text{入力データ}) \\ &= \sum_{\text{全入力データ}} (\text{感度}) \times (\text{入力データの誤差}) \end{aligned}$$

ここで「感度」とは、「入力データの変化に対する解析結果の変化量」のことである。各入力データについてあらかじめ感度解析を行い、その結果を知識ベース化して

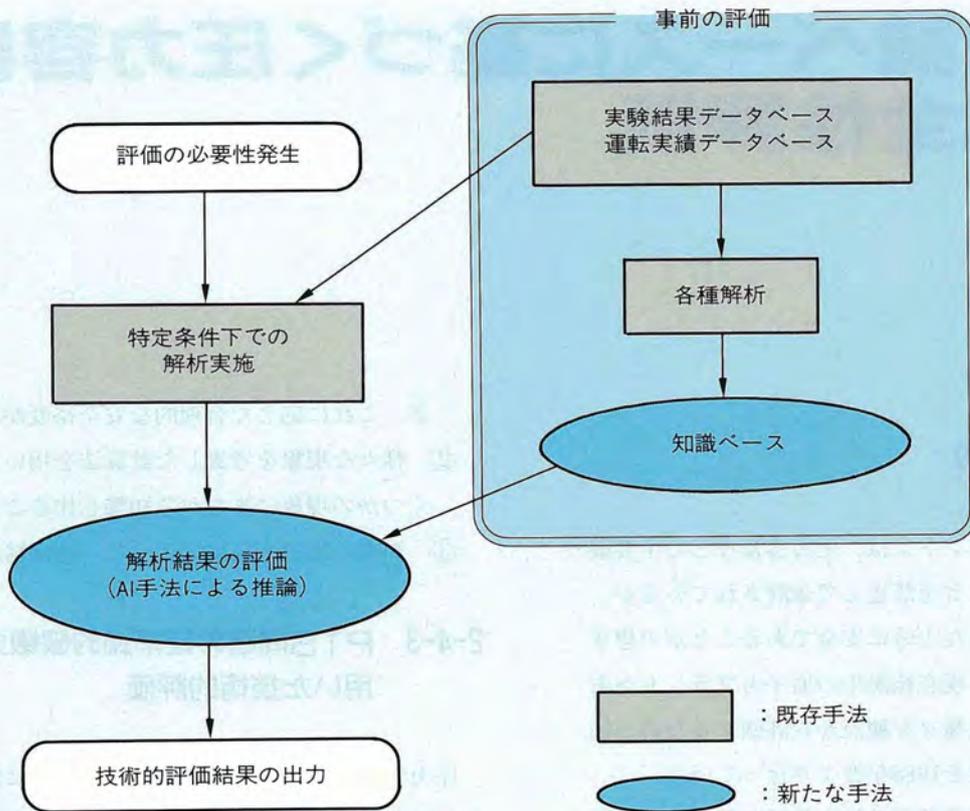


図2-4-1 知識ベースに基づく技術的評価

おけば、健全性評価にあたって各入力データの誤差から評価の信頼度が求められる。

知識の表現手法には、次の理由からファジィルールを用いた。

- ① 感度解析の結果は、感度の大小を示す定性的な知識で十分である。
- ② 知識は数値解析の結果だけとは限らず、人間の持つ定性的な知識とも整合性の良いものが望ましい。
- ③ 知識ベース化が容易であり、推論も迅速である。

ファジィルール作成の方法を、PFMの入力データである中性子照射量と、初期RT_{NDT}温度に対する破壊確率の感度を例に示せば次のようになる。

まず、通常のルール表現であれば、中性子照射量および圧力容器の銅含有量、ニッケル含有量のそれぞれの値から初期RT_{NDT}の感度を導くルールを作ることになる。しかしこの組合せは膨大な数になるため、図2-4-2に示すメンバーシップ関数によってファジィ化する。初期

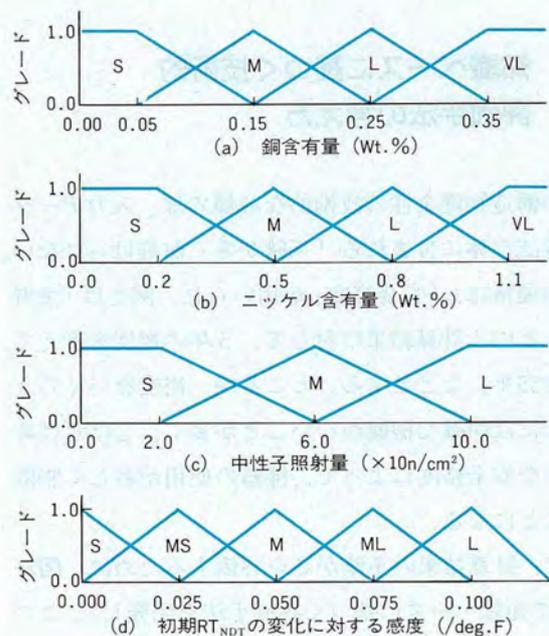


図2-4-2 メンバーシップ関数

RT_{NDT}の感度も5段階均等の関数によってファジィ化する。

このようなファジィルールが作られれば、銅、ニッケル、中性子のそれぞれの値から図2-4-2(a)~(c)によってグレードが得られ、これを図2-4-2(d)に当てはめてそれらの平均値として初期RT_{NDT}の感度が求められる（この処理は、ファジィ推論で自動的に行える）。

以上のような方法により、個々の入力データについて見積られる誤差と解析結果の感度との積を計算し、それらの和を求めることで、解析結果の信頼性の範囲が得られる。

ここでは、ファジィ理論は知識処理手法というよりは、むしろデータの内挿法として機能しているが、ファジィ理論のこのような利用法も有効であると考えられる。

2-4-4 ま と め

機器の健全性の評価結果の信頼性を評価するための方法として、知識ベースに基づく手法について述べ、原子炉圧力容器の健全性評価への実際の適用例を示した。本手法を用いることで、従来と比べてより合理的な安全裕度の評価が可能になる。

現在、知識ベース化されている解析結果はわずかであるが、今後は知識ベースの充実を図り、実用的な知識ベースの構築を進める。さらに、計算から得られる知識に加えて、経験的な知識も加えることができるように拡張する考えである。

2-5 放射性廃棄物の地下埋設処分の総合安全評価システム

2-5-1 目的

当研究所では、電気事業の当面の重要課題の一つである低レベル放射線廃棄物の埋設処分事業の推進に協力するため、貯蔵・処分技術や安全評価上で不可欠な処分サイトの地質、地盤、地下水調査あるいは安全評価に関する手法の開発およびそれらの適用を積極的に進めている。

低レベル放射性廃棄物の埋設処分に関する総合安全評価システムは、当研究所でこれまでに開発してきた各種の安全評価モデルをエンジニアリング・ワークステーションを用いて統合化したものであり、処分施設の設計や安全性の評価を合理的に実施するとともに、施設の安定操業に必要な各種情報の効率的な管理・分析・評価を支

援することを目的としている。システムは、図2-5-1に示す3つのサブシステムで構成される。

2-5-2 システムの概要

(1) 地質・水文データ管理システム (DASH)

DASHは、低レベル放射性廃棄物の地下埋設処分の分析・評価に不可欠な地質・地盤・地下水および水文に関する環境情報を一元的に管理し、種々の分析・評価に必要な情報を自由に選択・加工して提供するための情報管理システムである。図2-5-2に、DASHの全体的なデータ処理の流れを示す。その大きな特徴は、処理の形態やデータの種類に応じて用意されたプログラムを対話型イン

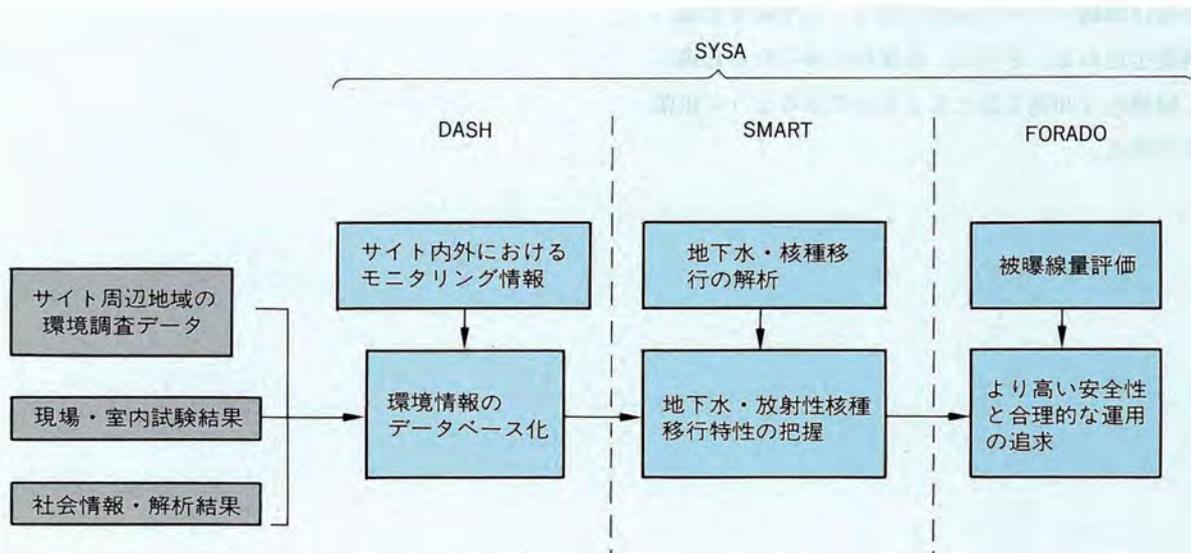


図2-5-1 地質・水分環境情報データベースと総合安全評価の概念

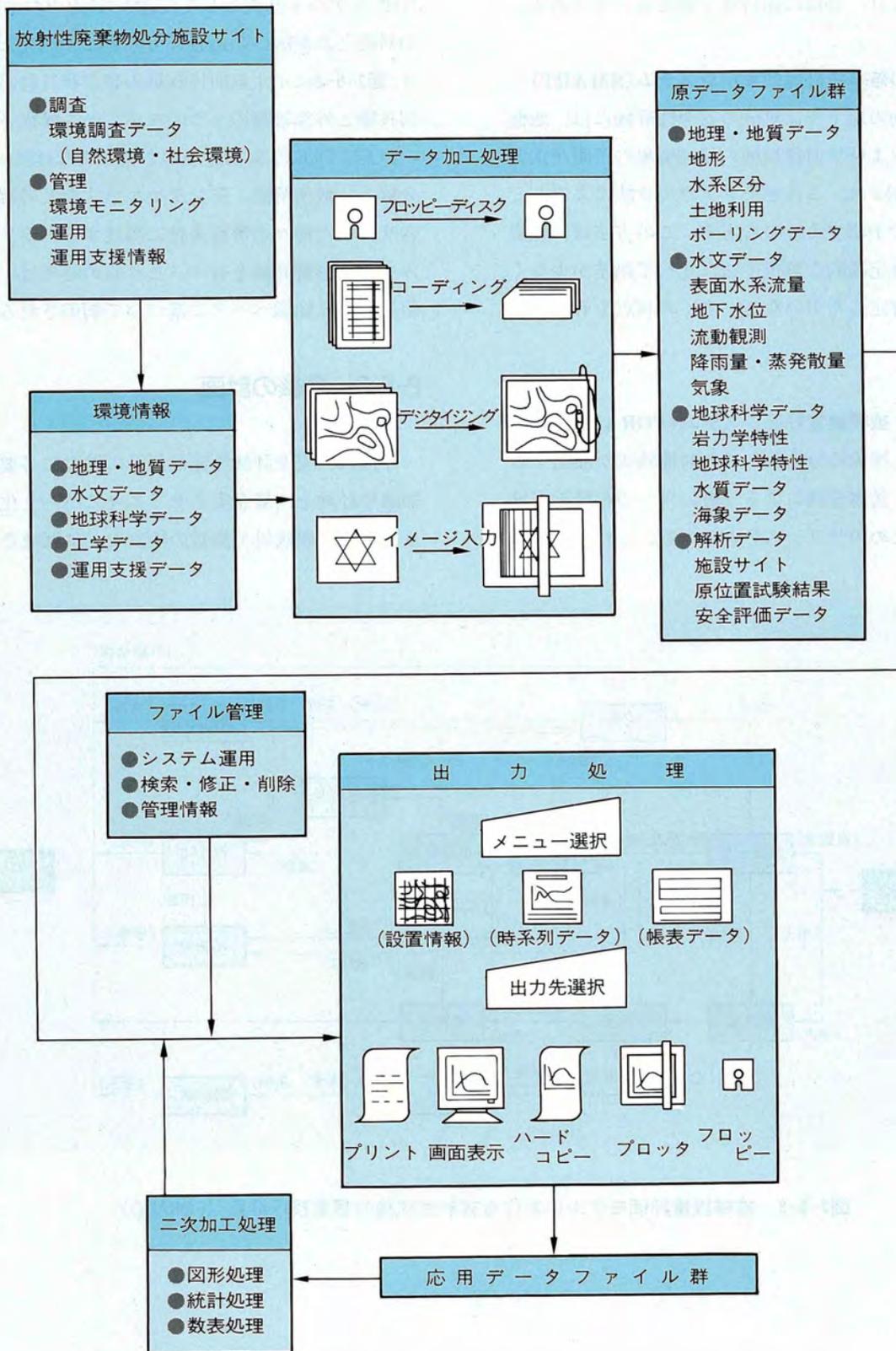


図2-5-2 地質・水分環境情報データベースシステム・DASHのデータ処理の流れ

タフェースにより、自由に組合せて使えることである。

(2) 核種移行の確率統計論的解析システム(SMART)

放射性廃棄物の地下埋設処分の安全性評価には、地盤中での地下水および放射性核種の移動現象の予測が重要である。SMARTは、これをモンテカルロ法によるシミュレーションで予測するものである。この方法は、有限要素法などの決定論的な解析手法に比べて誤差が少なく、拡散の範囲も特定しやすいなど、多くの利点を有している。

(3) 食物連鎖・被曝線量評価システム(FORADO)

FORADOは、埋設処分施設から放射性物質が漏出する場合を想定し、食物連鎖による一般公衆への影響を定量的に評価するためのサブシステムである。これは、米国

NRCモデルを基礎としてICRPのPub.2およびPub.30への対応とわが国への適合性も考慮して開発したものであり、図2-5-3に示す放射性核種の想定移行経路をもとに内部被曝と外部被曝の2つのモデルから構成されている。

FORADOは、食物連鎖のさまざまな経路に沿って、差分解析法、厳密解析法、モンテカルロ法などの解析手法を組合せ、また種々の解析条件に関連するパラメータを取込みながら影響評価を行う。これらの処理は、あらかじめ組込まれた知識ベースに基づいて制御される。

2-5-3 今後の計画

今後は、安全評価や施設設計の検討に必要な設計者の知識や経験を一層充実させてエキスパート化を進め、より合理的な埋設処分施設の検討などに反映させていく。

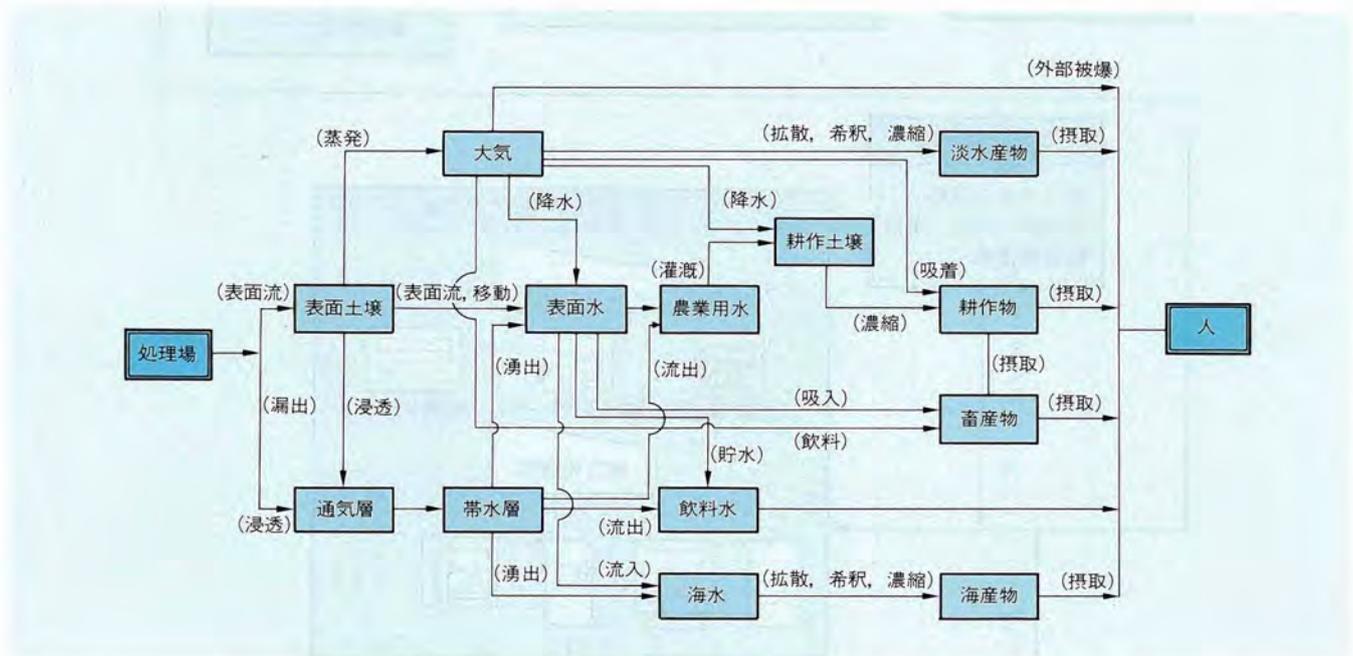


図2-5-3 被曝線量評価モデルにおける放射性核種の想定移行経路 (FORADO)



第 章

電力技術への応用

5

第3章 電力技術への応用 ● 目次

狛江研究所 電力システム部 情報制御研究室 主査研究員 芹澤 善積
 情報制御研究室 担当研究員 大場 英二
 新地中化研究室 専門役 岡本 達希
 横須賀研究所 電力部 大電流研究室 主査研究員 合田 豊
 新素材研究室 主査研究員 伊藤 秀夫
 ヒューマンファクター研究センター 課長 磯田 八郎

3-1	接続水系の翌日発電計画エキスパートシステム	35
3-2	電力用通信網の障害箇所判定への知識工学の適用	38
3-3	受電設備の保護協調支援エキスパートシステム	42
3-4	配電用CVケーブルの劣化診断エキスパートシステム	46
3-5	汚損碍子のフラッシュオーバー予測システム	50



芹澤 善積 (1980年入所)
 電力用無線通信システムに関する諸問題を中心に、通信回線の信頼性や品質評価手法、電力系統の保護・制御システムなどの研究を行ってきた。
 現在は、電力用広帯域デジタルネットワークの研究に意欲を燃やす。



合田 豊 (1979年入所)
 電力流通設備における大電流アーク現象、高速度再閉路技術、過電流保護協調などの研究に従事。



大場 英二 (1987年入所)
 電力用通信におけるネットワークの信頼度、警報処理への知識工学の適用などの研究を行ってきた。
 現在は通信網の運用管理、監視などの問題に興味を持つ。



伊藤 秀夫 (1977年入所)
 送変電設備の塩害対策ならびに、避雷器の耐雷効果に関するシミュレーション等の研究に従事してきた。
 現在は、電気事業における、パワーエレクトロニクス応用の調査・研究を行っている。



岡本 達希 (1976年入所)
 高電圧機器の絶縁材料の開発や劣化診断に関するコンピュータ計測技術の開発に従事してきた。
 現在は、電子顕微鏡や材料分析技術を駆使して、超高圧の電力ケーブルのコンパクト化の研究を行っている。



磯田 八郎 (1970年入所)
 電力系統の運用計画、制御に関するプログラムを多数開発してきた。
 現在は、日・米共同で進めている原子力発電所の保守作業時に発生するヒューマンエラーの低減化対策の開発に精力的に取り組んでいる。

3-1 接続水系の翌日発電計画 エキスパートシステム

3-1-1 研究の目的

接続水系の翌日発電計画を行うには、(1)多数の小規模な調整池への出水予想、(2)貯水池の放流日量の決定、(3)河川の運用条件の確保、(4)需給条件を満たす最適発電量の算出、が必要となる。このうち、(3)、(4)は従来からも自動化が進んでいるが、自然現象に対する予測や個々のサイト毎の条件判断などを必要とする(1)、(2)についてはこれまで計算機化が難しく、経験豊富な運用者の判断によらざるを得なかった。しかし、これら運用者は通常、気象水理の専門家ではなく、電気技術者が永年の経験や教育によって判断力を養ってきたものである。今後、こうした経験技術の継承や運用業務をスムーズに行えるようにするには(1)、(2)まで含めた計算機化が必要となるため、知識工学を適用してこの部分のエキスパートシステム化を行い、その有効性を確認することを主たる目的とした。

3-1-2 システムの概要

(1) 対象とした水系モデル

ここで対象とした接続水系は、中部電力管内の飛驒川水系の一部をモデル化したものであり、約10の調整池と14の発電所が連なったものである(図3-1-1)。このうち、最上流の朝日ダムのみは季節周期の負荷変動に対応できる十分な貯水量をもつが、他の全てのダムは1日程度の範囲での調整能力しかもたない。このため、それぞれの調整池の出水量をできるだけ的確に予測すると同時に、

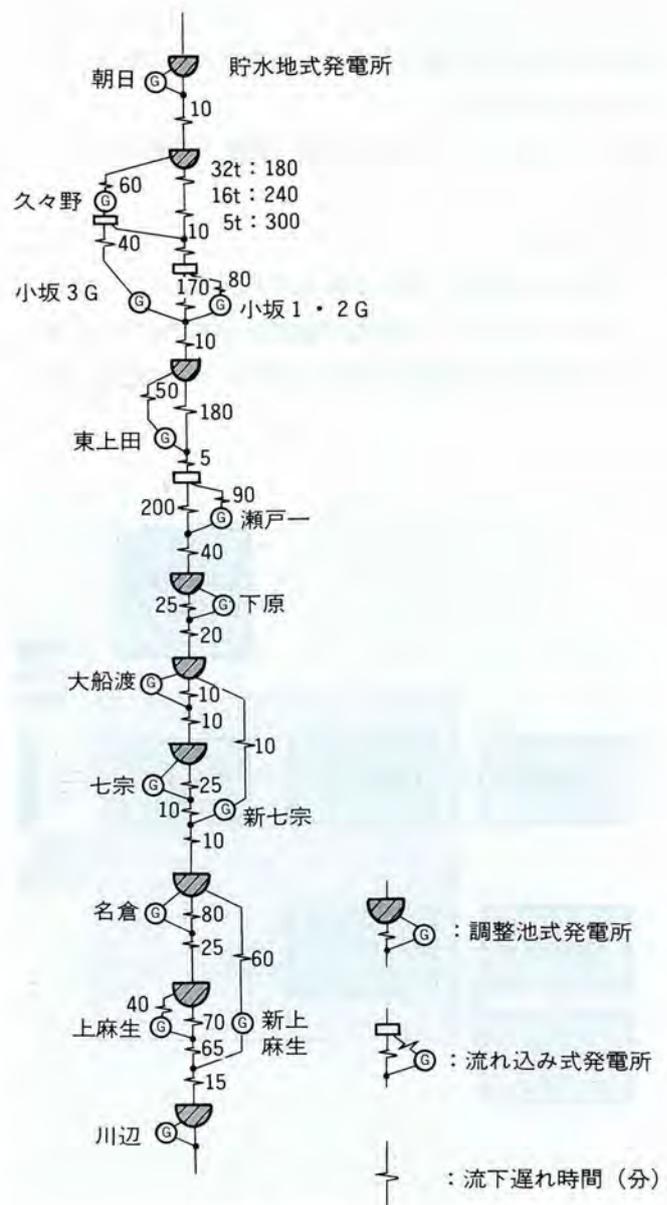


図3-1-1 飛驒川水系のモデル

発電によるダム放流量の下流への影響を総合調整することが極めて重要な課題となる。

(2) システム構成と処理の概要

本システムは、気温や雨量などの気象条件等から発電放流日量を予測するまでの推論処理部と、日量を分解して各発電所24時間分の発電スケジュールを作成する数値計算部より構成される(図3-1-2)。前者は、ルールによって処理されるエキスパートシステムであり、今回の開発の対象となった部分である。後者は、フォートランによる計算プログラムであり、すでに当所で開発したものを推論処理部との関係のために一部変更した以外は、ほぼそのまま利用した。

以下に、本システムにおける主な処理の概要について述べる。

① 出水予想

河川の出水量を予想する種々の手法のうち、一般によく用いられてきたのは流出曲線法と呼ばれるもので、当日の流量から統計的に求めた翌日のベース流量に対

し、予想降雨量に基づく翌日の流量増分を加えて予想流量とするものである。しかし現実には、同一の降雨量に対しても流域によって流量増分は異なるし、同一地点でさえその地域の保湿条件によって結果は大きく異なるところに予測の難しさがある。

これに対して運用者は、それぞれの流域における季節毎の流量統計を参考にし、さらに融雪期と無雪期の違いなどを考慮して、降雨量と出水との関係を経験的に掴んでいる。そこで本エキスパートシステムでは、各流域毎の統計的データをデータベースに持ち、運用者の経験的な判断方法をルール化して知識ベースを作った。予測にあたっては、予測対象の地点(ダム)名、今日の流量および雨量、翌日の雨量の予想値などを利用者が与える。利用者用のインタフェース画面例を図3-1-3に示す。

② ダムの放流日量の決定

最上流に位置する朝日ダムは、季節的な流量変化を調整し、年間を通じて水系全体がバランス良く運用できるようにする役割を担っており、その放流日量の決

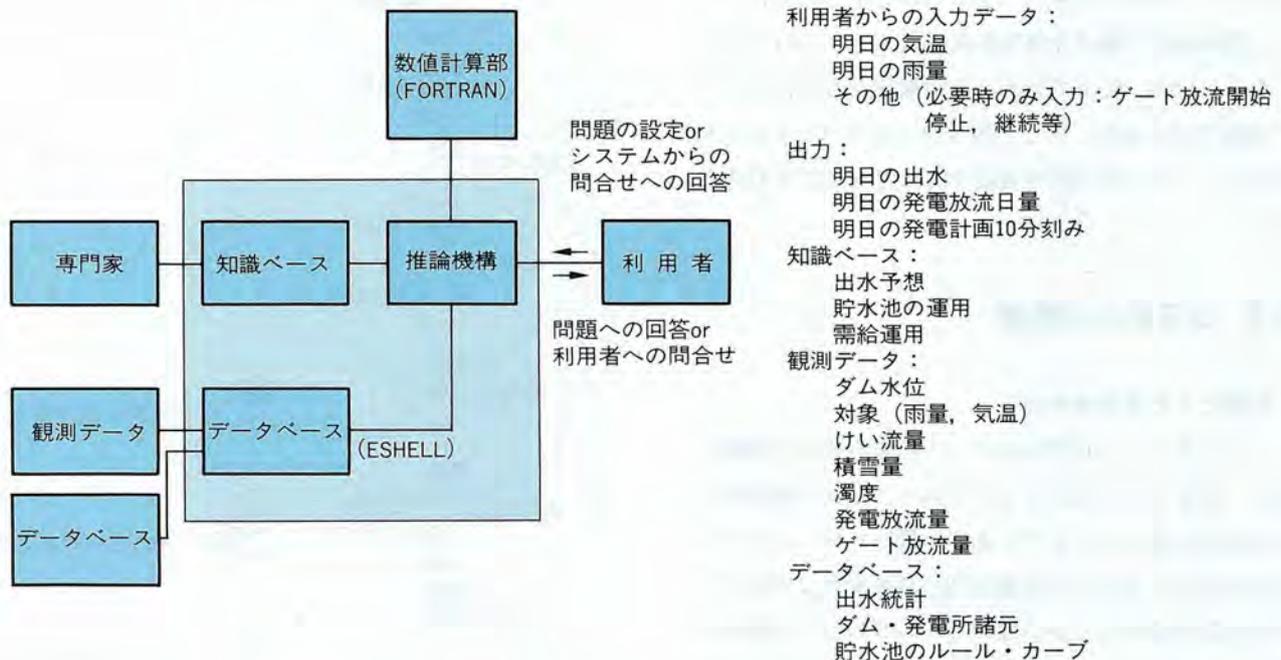


図3-1-2 翌日発電計画エキスパートシステムの構成

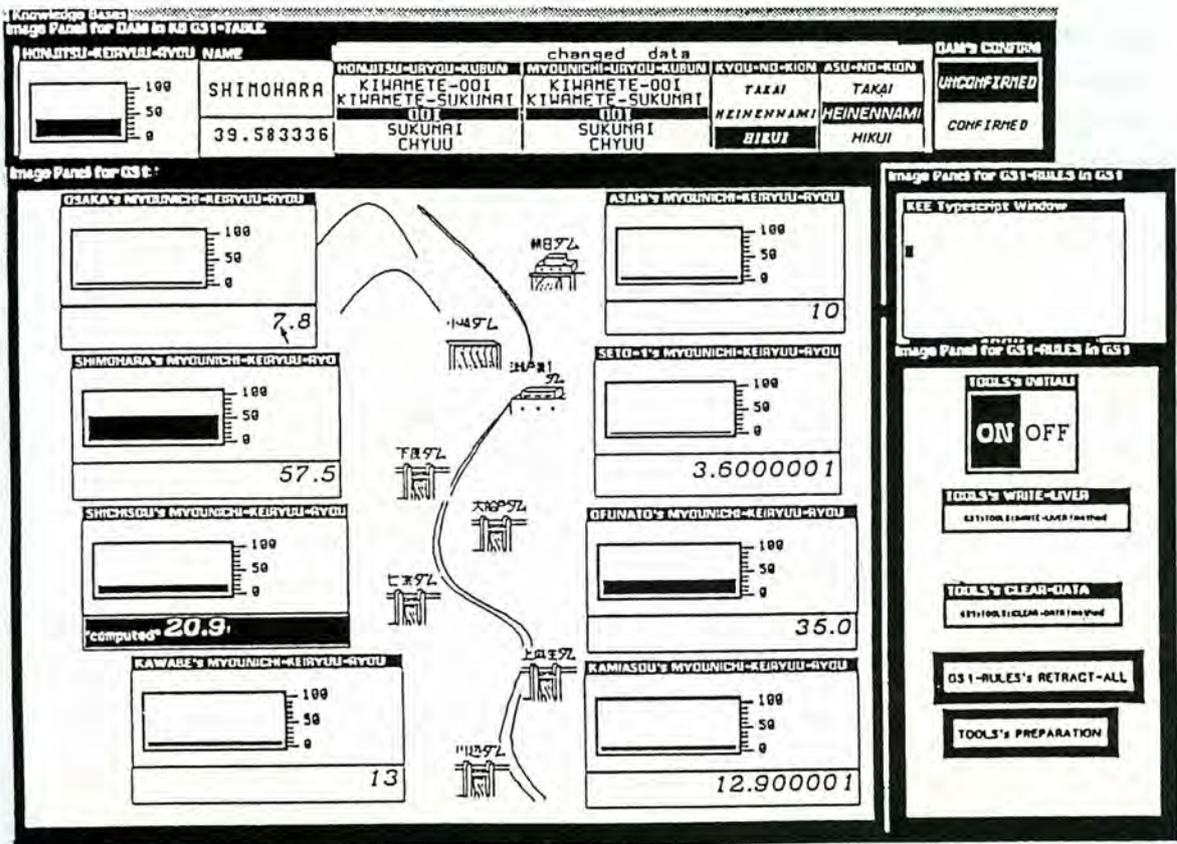


図3-1-3 利用者インタフェース画面例

定は重要である。日量は、年間を通しての貯水池運用計画（各時期の水位の最大値と最小値）があらかじめ示されており、その幅の中で最適なレベルを決定する。

これを行うために本システムでは、予想される需要に対してダム水位や流入量に基づく日量決定の専門家の判断知識をプロダクションルールで表現し、知識ベースに纏め上げた。

③ 発電計画の作成

発電計画は、日量を10分刻みの時間間隔に分解することである。ただし、ここでの大切な処理は、一般に発電コストの高い昼間帯に水力による供給比率をできるだけ高めるため、可能な限り昼間帯を盛り上げた発電スケジュールを立てることである。このため、まず日量を均等に配分した一定出力の計画を作り、その夜間帯（深夜を含む）の負荷の一部を昼間帯にシフトする。シフト量は大きいほど望ましいが、これは当然、

発電放流量の変化として隣接する上下流ダムの運用に影響を及ぼすため、水系全体の上流から下流に向かって調整を取りながら最適シフト量を決定する。なお、この部分は、フォートラン・プログラムで作成されている。

(3) 推論方法

本システムの中核をなす推論処理部の開発には、富士通社製の開発ツールESHELLを使用した。知識ベースはいわゆるプロダクション・ルールとし、各ダムの出水予測知識、朝日ダムの発電放流日量の決定知識の記述に用いている。推論機構は、適用中のルールや利用者からの入力情報を黒板と呼ばれるワーキングメモリーに保持しながら推論を進める。一方、河川の流量統計やダム・発電所の運用諸元などの情報は、フレームと呼ばれる形式に纏められ、データベースに納められている。なお、知

識ベース内の判断ルールは一般性を持たせるために、雨量やけい流量などは定性的な分類表現で（極めて少ない、少ない、多いなど）記述されている。最終的な推論結果のけい流量としては、定量的な値を求めなければならないので、各ダム地点や季節などに応じて定性表現を定量値に変えるために、変換用のテーブルもフレームによって記述されている。

以上による推論方法のあらましを、けい流量の予測を例に概念的に示したものが図3-1-4である。

3-1-3 評価と結論

本システムは、自然条件などに対する運用者の経験的な判断が必要とされる接続水系の発電計画への知識工学

のアプローチの有効性を確認することが目的であったため、システムの実用化などの計画はない。開発を通じて分かったことは、このシステムと同程度の判断知識をマニュアルの形で整備することを想定すれば、判断にあたって必要な箇所を次々と見つける手間は相当なものとなり、事実上、利用不可能と言える。その点、エキスパートシステムは、次にどんな知識を適用すべきかはコンピュータに任せることができるため、知識の量がさらに増えたとしても（処理スピードの問題を別とすれば）、利用者にとっては負担にならない。加えて、利用者インタフェース技術の進歩により、さらに使いやすいシステムの実現が期待できる。

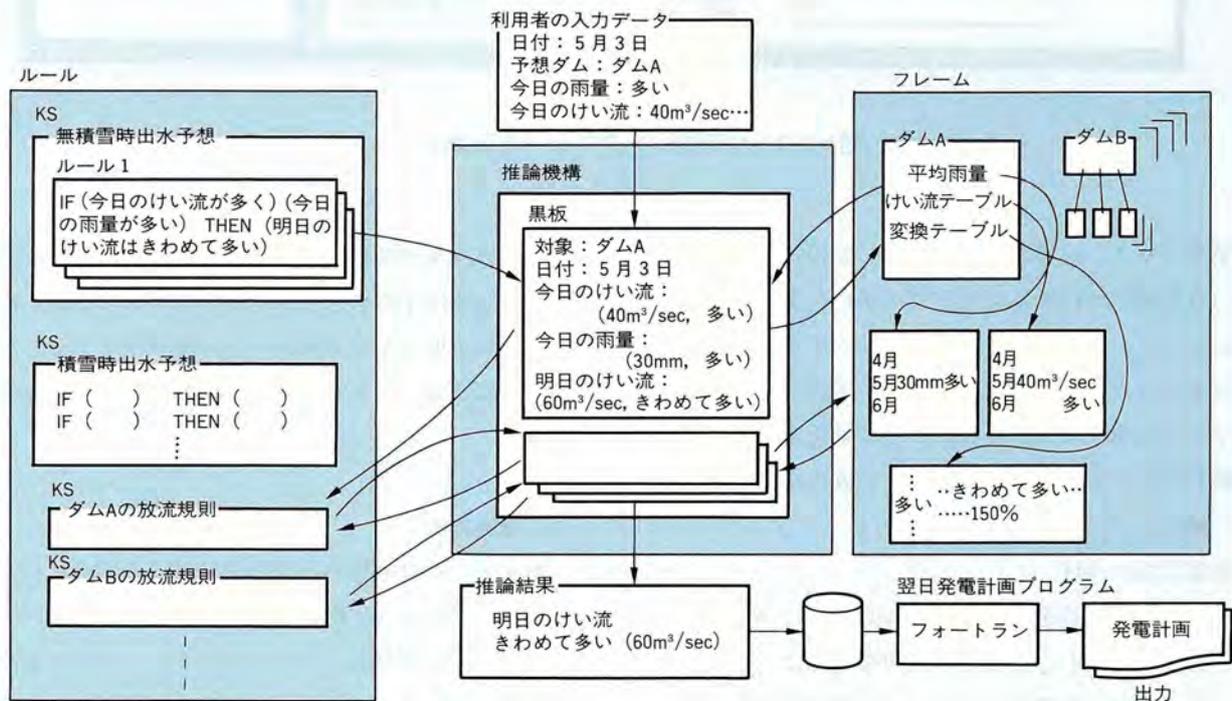


図3-1-4 推論処理のあらまし

3-2 電力用通信網の障害箇所判定への知識工学の適用

3-2-1 研究の背景

電気事業ではキャリアリレーなど電力設備保護のための通信網をはじめ、監視・制御・給電運用のデータ通信網、保安・給電用の電話網など多様な通信網を利用している。

これらの通信網は、発電所、変電所、営業所等を多重化、分岐、挿入を繰り返し相互に結ぶ、広域かつ複雑なネットワークとなっている。近年では通信網のデジタル化、光ファイバ化などによる大容量化が進展しており、今後ますますその傾向が増すものと考えられる。

このように電力用の通信網は系統の神経系ともいえる重要な役割を担っており、その運用には高い信頼性が要求される。このため障害時には、多数のアラーム情報を用いて障害の箇所やその種別を迅速かつ正確に判定することが重要な課題の一つとなっている。

3-2-2 研究の目的

(1) 障害判定上の問題点

通信網の大規模化に伴い通信網を構成する装置や監視点の数が増加し、その構成も複雑になる。装置や伝送路の障害時には直接障害を受けた装置だけでなく、その装置に接続された装置へも信号断・誤り等の影響が伝わるため、大量のアラームが発生し、障害の原因、障害箇所の判定を複雑な問題としている。

従来、通信網の障害判定には、次の方法が用いられる。

- ① 各装置間の接続関係、障害時の装置間のアラーム

の関係からあらかじめ判定テーブルを作成しておき、これをもとに判定する

- ② アラームを障害そのものにより出力されるものと、障害の影響により出力されるものに分類していく
- しかし、これらの方法は今後も増大する通信網に対し、膨大なアラームへの対応が難しいこと、データのメンテナンスが大変なこと、などの問題点がある。これを改善するために新たな障害判定法が求められている。

(2) 知識工学の利用

障害時のアラームは、装置の種類や接続状態、障害の種類に対応して一定のパターンとなる。このアラームのパターンと、障害箇所やその種別との関係はルール化して記述することができ、知識工学的手法によりこのルールを利用した障害判定が可能となる。

そのため当研究所では、

- ① 通信網構成と判定ルールとを分離することにより、メンテナンス作業を軽減する
- ② 通信網の運用者に頼らず障害判定を行うことができる障害判定方法を開発することとした。

3-2-3 研究の成果

(1) 判定ルールの作成

伝送速度が1.5Mbit/sec以上の伝送システムについて、各構成装置（受信機、送信機、伝送路など）の障害時に、障害の影響を受ける装置群から出力されるアラームのパターンを求めることにより装置単位で障害箇所、障害種別を判定するためのルールを作成した。

図3-2-1は伝送路に障害がある場合のアラーム動作の例である。障害を受けた回線につながる一連の装置から受信障害アラーム、対局警報（相手局からの情報に障害がある場合の警報）、入力異常などの警報が出力される。

アラームのパターンは装置の種別、装置間の接続状態、障害の種類により決るため、特定の通信網の構成に依存しない汎用的なルールを作成することができる。

(2) システムの開発と判定方法

障害判定のルールをエキスパートシステム構築用言語であるOPS83により記述し、障害判定システムのプロトタイプを作成した。システムは上述したルールベースを持ち、装置間の接続情報を得るために通信網の構成データを利用できるものとしている。

判定処理は次の手順で行われる（図3-2-2）。

- ① 障害時に発生するアラーム群（警報情報）に対し、アラームのパターンと装置間の接続関係が一致するルールをパターンマッチングにより検索する。

- ② 網構成データベースを用いて、①で検索されたルールが示す装置間の接続関係をチェックする。
- ③ ①と②の条件を満たすルールから、アラームを出力している装置と、故障種別とが判定結果として出力される。

(3) モデルネットワークによる機能の検証

システムの機能を検証するため、モデルネットワークを想定し、このモデルネットワークを対象に各種障害時の判定機能の検証を行った。障害時にモデルネットワーク上の装置から出力されるアラームを得るために、装置のアラーム動作を定性的に模擬するアラーム動作模擬プログラムを別途作成した。これを用いて各種障害時のアラーム動作のシミュレーションを行い、障害判定システムへの入力とした。

モデルネットワークでの各種の障害ケースや、通信網構成の一部を変更した場合について判定を行った結果、

- ① アラームが全て誤りなく収集できる場合には障害

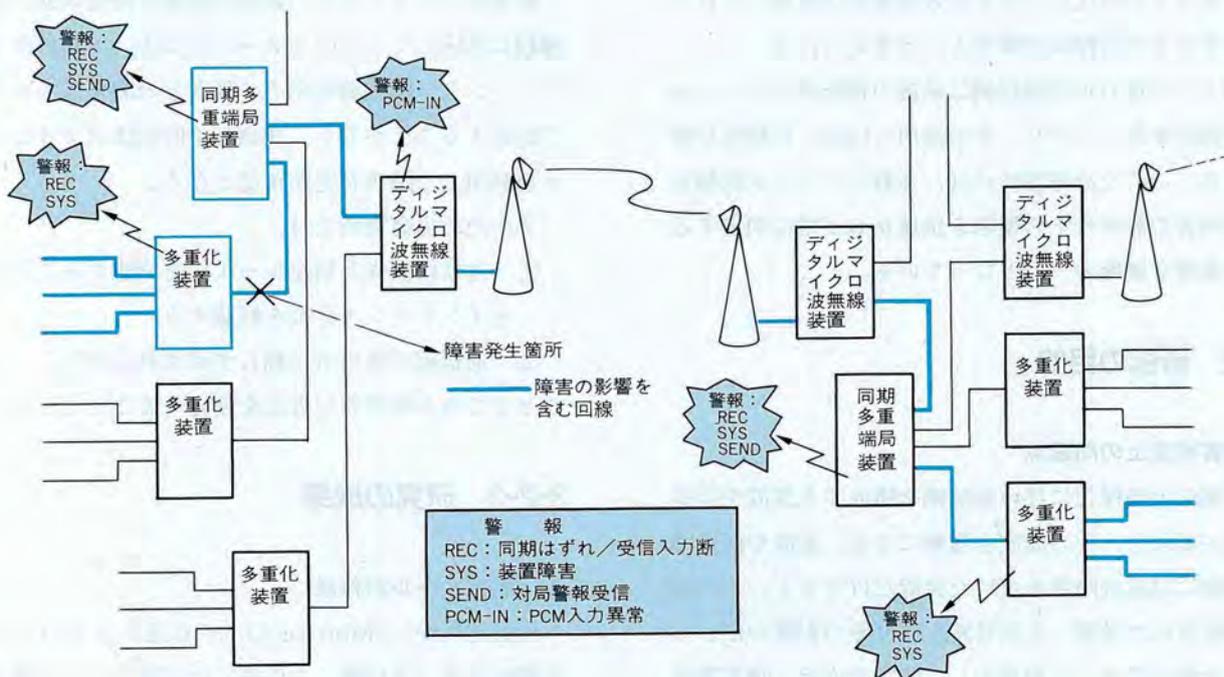


図3-2-1 アラーム動作の例

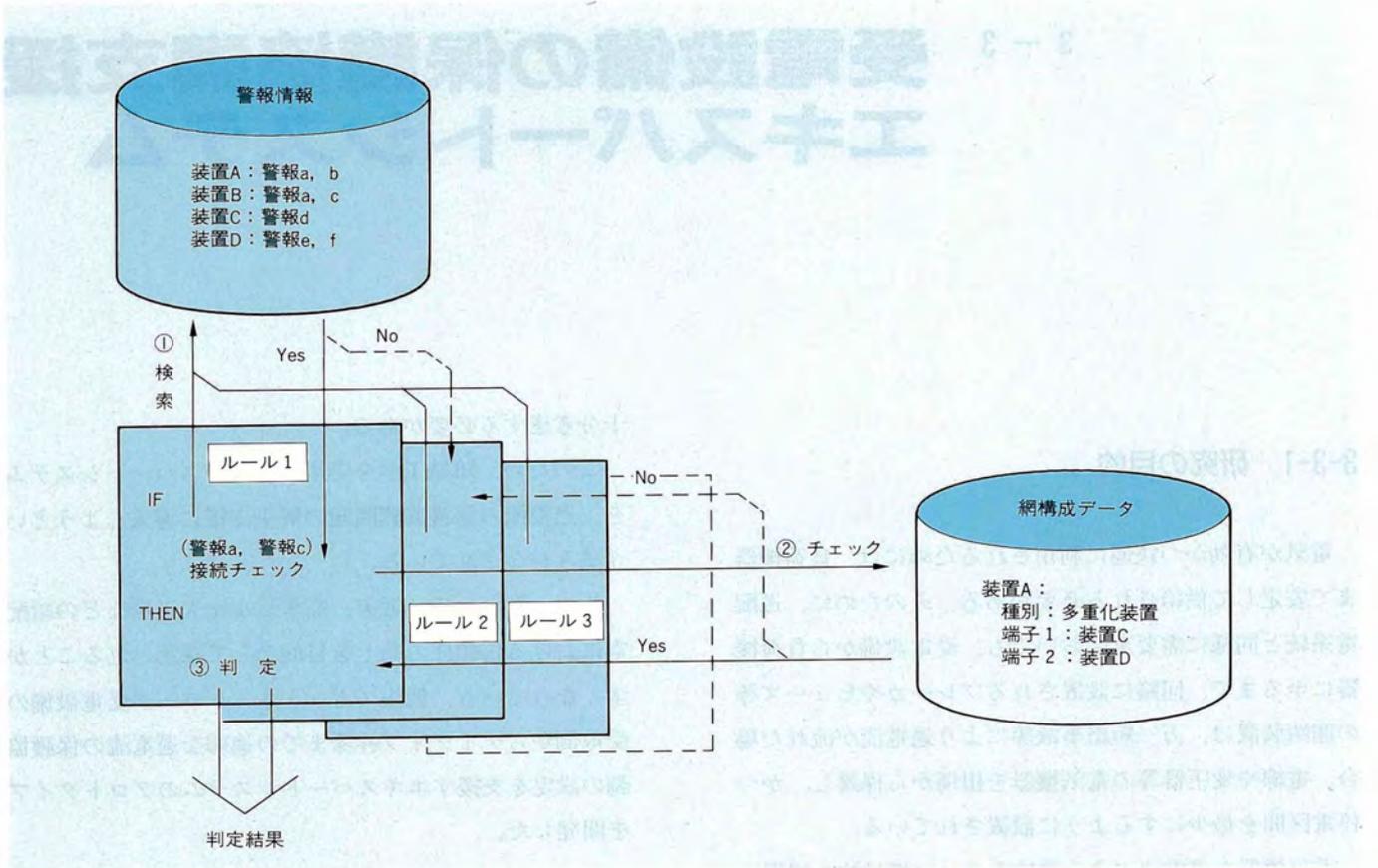


図3-2-2 障害の判定方法

箇所、障害種別を確実に判定することができる

- ② 通信網の構成が変更された場合でも、判定ルールを変更することなく障害判定ができる

ことがわかり、本手法の基本的な機能の確認ができた。

3-2-5 今後の課題

本手法を実用化するための環境条件として、通信網の構成をリアルタイムに反映する網構成データベースを構築することが重要な課題である。また、実際の通信網では装置のアラーム情報が全て正確に利用できるとは限らないので、判定精度を向上させるためには、不完全な情報から判定を行う手法も開発する必要がある。

3-3 受電設備の保護協調支援 エキスパートシステム

3-3-1 研究の目的

電気が有効かつ快適に利用されるためには、負荷機器まで安定して供給される必要がある。そのために、送配電システムと同様に需要家においても、受電設備から負荷機器に至るまで、回路に設置されるブレーカやヒューズ等の開閉装置は、万一短絡事故等により過電流が流れた場合、電線や変圧器等の電気機器を損傷から保護し、かつ停電区間を最少にするように設置されている。

電気機器を過電流による熱的あるいは機械的な損傷から保護するためには、電気機器が熱的あるいは機械的な強度限界に達する前に、開閉装置が過電流を遮断するように設定されていなければならない。また、停電区間を最少にするためには、回路に直列に設置される開閉装置のうち、事故点より電源側にあり、かつ事故点に最も近い開閉装置が最も速く動作することであり、これらの保護協調と動作協調とを総称して過電流保護協調という。

このような過電流による保護協調を検討する場合には、装置の動作特性曲線や、変圧器の短絡強度の特性等を、製造メーカーのカタログより抽出し協調図（横軸：電流、縦軸：時間、それぞれ対数目盛り）に記載し、それらの特性曲線相互の位置関係のみを保護協調がとれているかを判断する。このような過電流の保護協調に関する検討・計画は専門家の解析と判断により行われており、大規模な電力システムを検討する場合には多大な労力を必要とする。最近では、大規模な屋内配電システムが構成されるとともに、開閉装置の種類も多様化してきたため、過電流による保護協調の制約条件が高度に複雑化し、それらを

十分考慮する必要がある。

このため、知識工学を応用したエキスパートシステムを、過電流の保護協調問題の解決支援に導入しようという試みがなされている。

その一例として、近年、高層ビルや大工場などの給配電における信頼性の向上を目的として採用されることが多くなっている、低圧スポットネットワーク受電設備の受電側からテイクオフ幹線までの適切な過電流の保護協調の設定を支援するエキスパートシステムのプロトタイプを開発した。

3-3-2 対象とした受電設備の概要

スポットネットワーク受電設備の系統構成例を図3-3-1に示す。受電方式は、電力会社の変電所から引きだされたネットワーク配電線に、受電用の断路器を通してネットワーク変圧器が接続されている。そして、その変圧器群の二次側はネットワークプロテクタを通して、ネットワーク母線で並列に接続されている。このため、1回線で短絡事故が発生しても、その事故箇所のみを切り放せばその他の回線から引続き受電できるため、信頼度の高いシステムである。

このような高い供給信頼度を確保するために過電流の保護協調が複雑となり、エキスパートシステムを適用することが有用であると思われる。

3-3-3 システムの概要

(1) システムの特徴

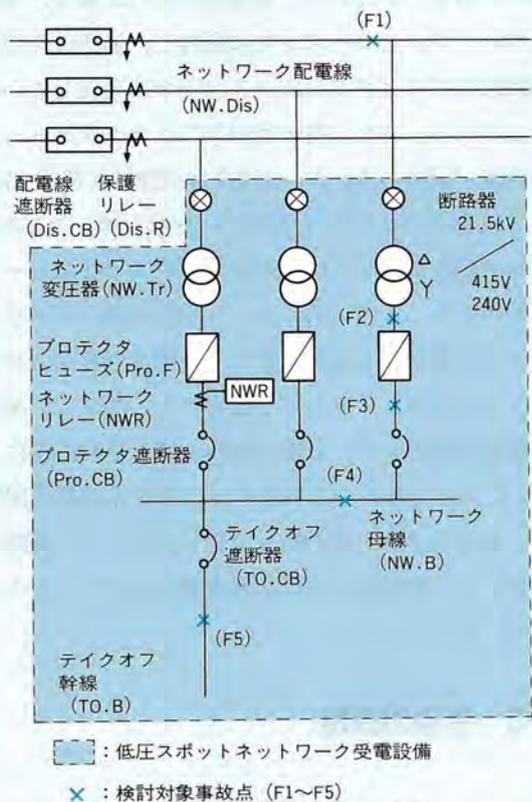


図3-3-1 系統の構成例（3回線受電の場合）

本システムは図3-3-1に示すスポットネットワーク受電設備の過電流の保護協調の状況診断と、受電設備の中でも重要なプロテクタヒューズの選定を行なうことができる。

このため、保護協調に関するマニュアルを意識することなく、機器の選定や保護協調の状況を短時間でチェックできることや、人間が手作業で行うよりも人為的ミスの減少が期待できる。

また、このシステムはパーソナルコンピュータで動作するため手軽に利用できる。

(2) システムの構成

本システムは、次の5部より構成されている。

① 初期データの入力部

短絡電流の計算に必要なデータ（例えば、受電電圧、

変圧器のインピーダンス等）をユーザが入力する部分である。入力時の操作をできるだけ簡単、かつ入力ミスを低減する様に配慮し、マウスによる選択入力を極力取り入れた。この部分の開発には、C言語を用いた。

② 数値計算部

過電流の保護協調の検討に必要な電流の計算を行う。想定する事故点毎に、①で入力されたデータをもとに短絡電流を計算する。この部分は手続き型のプログラムであり、FORTRANを用いて作成した。

③ ルールベースおよび推論エンジン部

ルールベースは、「IF 条件 THEN 結論」形のプロダクションルールを用いて作成し、前向き推論方式を採用した。この部分の開発には人工知能用の言語OPS83を用いた。

④ 推論結果の表示部

推論終了後、保護協調図をCRTに表示する。表示したヒューズ等の名称、定格事項等のプロフィールを表示する。操作性をよくするためマウスを用いた。この部分の開発には①と同じくC言語を用いた。

⑤ データベース部

ディスク上にファイルとしてヒューズ等の動作特性曲線のデータや、回路構成のデータを表形式で格納している。

(3) 過電流の保護協調に関するルール

本システムの構築に用いた過電流の保護協調に関する知識は、スポットネットワーク受電設備の装置の保護区分を事故点別に整理し、これらをもとに各装置が具備すべき性能と保護協調のために検討すべき事項を整理したものであり、主に、専門書によった。

ルールは、装置の特性曲線相互の位置関係や、動作点と特性曲線の位置関係で表した。すなわち、専門家や専門書に記載されている保護協調に関する原則、例えば

「装置Aは、機器Bを短絡電流より保護できること。」

「装置Aの動作特性曲線（動作時間—電流特性）は、機器Bの短絡強度の点より（保護協調図上で）左にあること。」

と書き換えた。

こうした表現に直すことにより、専門知識に乏しい技術者にも、保護協調の状況を判定できるようなマニュアルを作成することとなった。

3-3-4 システムの動作例

図3-3-2に本システムのデータ入力時の状況を示す。本システムでは、推論に必要な受電設備のデータ（受電電圧、変圧器のインピーダンス等6項目）を、ユーザが対話形式でキーボードもしくはマウスより入力する。特に、対象としたスポットネットワーク受電設備は回線数が2から4がほとんどであるため、その数を予め表示しておく、その中からマウスで選択するようにしている。

推論に必要なデータが入力されると、ワーキングメモリに登録され、推論が開始される。推論終了後はCRT上に協調図を出力する。協調図に表示されたヒューズや、テイクオフ遮断器などの定格事項のプロフィールは、別のウインドウに表示される。協調図の出力結果の例を図3-3-3に示す。同図は図3-3-1に示す3回線受電で、ネットワーク変圧器とプロテクタヒューズ間(F2)で短絡事故が発生した場合の開閉装置の動作特性を示している。出力例では、事故回線のプロテクタヒューズの溶断特性曲線(同図の②)が、他の健全な回線のプロテクタヒューズの許容特性曲線(同図の③)より左(短時間・小電流側)にある。すなわち、過電流が流れた場合、事故回線のプロテクタヒューズが先に動作し、過電流を遮断し、他の回線のプロテクタヒューズはその間劣化しないことを示している。また、健全回線のプロテクタヒューズの溶断特性(同図の④)が、配電線の遮断器の動作特性曲線(同図の⑤)より左(短時間・小電流側)にあるため、配電線の遮断器よりも健全回線のプロテクタヒューズが速く動作する。このため、万一、事故回線のプロテクタヒューズが過電流の遮断に失敗し、健全回線のプロテクタヒューズがバックアップし遮断したとしても、配電線の遮断器が動作せず、受電設備内の事故が配電線にまで波及しない。これらのことより、この受電設備の開閉装置は、ネットワーク変圧器とプロテクタヒューズ間の事故に対して、過電流による保護協調が取れていることを示している。

図3-3-2に本システムのデータ入力時の状況を示す。本システムでは、推論に必要な受電設備のデータ（受電電圧、変圧器のインピーダンス等6項目）を、ユーザが対話形式でキーボードもしくはマウスより入力する。特に、対象としたスポットネットワーク受電設備は回線数が2から4がほとんどであるため、その数を予め表示しておく、その中からマウスで選択するようにしている。

3-3-5 今後の課題

今後、データ入力や推論結果の説明の音声による入出力、協調図の部分的な拡大等のグラフィック表示の充実等、ユーザがよりいっそう使い易くなるようなインタフェースの充実を図ることが重要である。

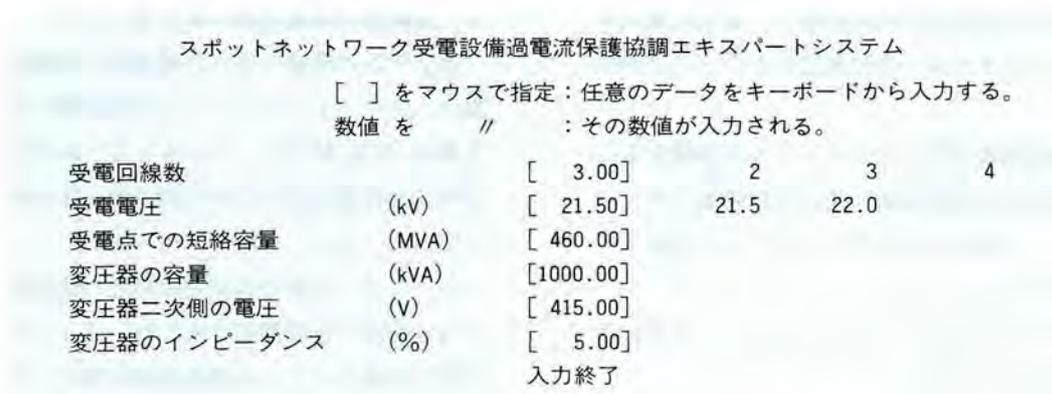
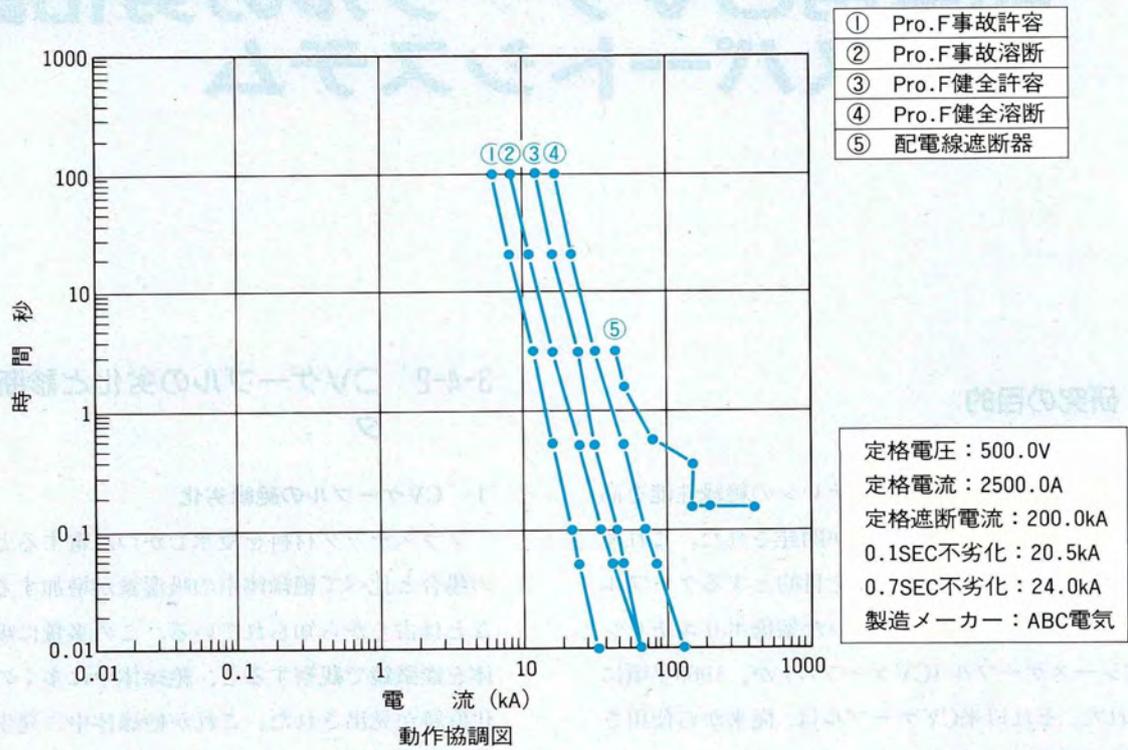


図3-3-2 初期データ入力時の状況(CRT画面)



(事故箇所：ネットワーク変圧器とプロテクタヒューズ間)

図3-3-3 協調図のCRT画面への出力例

3-4 配電用CVケーブルの劣化診断 エキスパートシステム

3-4-1 研究の目的

我が国では、1957年頃、ポリエチレンの絶縁性能を高めた化学架橋ポリエチレン絶縁体が開発された。これを絶縁体に使用し、ケーブルの保護を目的とするケーブルシースに塩化ビニル (PVC) を用いた架橋ポリエチレン絶縁PVCシースケーブル (CVケーブル) が、1960年頃に製品化された。それ以来CVケーブルは、従来から使用されている油浸絶縁ケーブルよりも敷設およびメンテナンスが容易であることから、急速に需要を伸ばした。さらに最近では、都市部における配電線と市街地の調和性が重要視されるようになり、配電線を地中に埋設することが強く要請されている。そのため地中配電線として使用されるCVケーブルの需要はますます増加している。

しかしながら過酷な環境条件下で使用されているケーブルでは絶縁性能が劣化し、やがては絶縁破壊を起こすものがある。一度、絶縁破壊が発生すると地中に埋設されているCVケーブルを張替えることは容易ではない。そのためケーブル故障事故を未然に防止することが強く望まれるようになった。その事故防止の有効な手段のひとつが絶縁劣化診断である。現在多くの絶縁劣化の診断法が開発されているが、その多くは専門家が中心になってデータを取り、判定を下す必要がある。今日の人出不足の状況で劣化診断を現場で行うためには、出来得る限り簡易で精度の高い診断手法の開発が望まれている。この要求を満たすために、当研究所では最新のコンピュータ利用技術のひとつであるエキスパートシステムを応用した劣化診断システムのプロトタイプを開発した。

3-4-2 CVケーブルの劣化と診断パラメータ

(1) CVケーブルの絶縁劣化

プラスチック材料を浸水しかつ課電すると、浸水の場合と比べて絶縁体中の吸湿量が増加する現象があることは古くから知られている。この多量に吸湿した絶縁体を顕微鏡で観察すると、絶縁体中に多くの樹脂状の劣化痕跡が見出された。これが絶縁体中に発生した樹枝状の微細な空隙の集まりであり、この空隙は水で満たされていることが判明した。そのため水でできた樹脂状の劣化すなわち水トリーと呼ばれるようになった。図3-4-1に6.6kV CVケーブルの水トリーの顕微鏡写真例を示す。写真では水トリーを観察しやすくするために架橋ポリエチレン絶縁体を染色している。

CVケーブルの水トリーの発生要因は、局部高電界とそこに供給される水である。高電界は微小なボイド、異物、突起などに電界が加わることによって生じる。配電用CVケーブルが敷設されている場所は浸水していることが多く、使用年数が長いCVケーブルでは水トリー劣化が最も大きな問題となる。

(2) 劣化診断パラメータ

CVケーブルの劣化診断パラメータのうちで最も重要なものは誘電正接と直流漏れ電流である。水トリー劣化によりケーブルの誘電正接 ($\tan\delta$) が増加する。この劣化診断パラメータは、ケーブルの平均的劣化を検出するのに優れた方法である。図3-4-2に6.6kV用CVケーブルの代表的な診断パラメータである誘電正接と絶縁破壊強



図3-4-1 6.6kV用CVケーブル中の水トリー劣化

度の関係を示す。図に示すように、絶縁破壊強度との相関が良く、蓄積されているデータの量も多い。一方、直流洩れ電流はケーブルに直流高電圧を印加して流れる電流の大きさを測定するもので、局所的劣化を検出するのに優れており、破壊値との相関が良くデータの量も比較的多い。さらに最近では活線診断に適用できるパラメータとして直流成分が注目されている。直流成分は交流電圧下において水トリーの整流作用で流れる直流電流を検出するもので、極度に劣化したケーブルの劣化診断には威力を発揮している。

(3) 誘電正接値の補正

誘電正接はケーブル全体の平均的劣化を推定することを目的としているが、ケーブル長が大きい場合には平均的劣化と局所的劣化の程度の差が大きくなり、誤った劣化診断をする可能性がある。そこで、測定された誘電正接値にケーブル長さによる補正を加える方法を検討した。

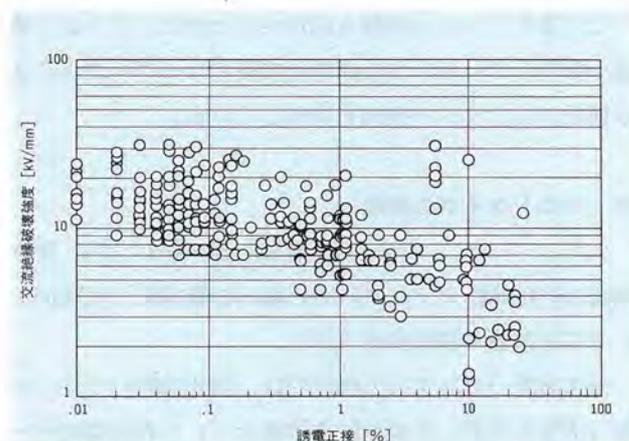


図3-4-2 6.6kV用CVケーブルにおける誘電正接と絶縁破壊強度の関係

その方法はまず、劣化した長いCVケーブルの全長における誘電正接値を測定した後に、これを細分して各々のCVケーブルの誘電正接値を測定する。次に、細分したCVケーブルの中で最大の誘電正接値が、全体の誘電正接値の何倍（補正係数）かを求める。この細分する長さを変えた場合の補正係数を求める。このデータをもとにCVケーブル長さに応じた補正係数を決め、測定値の補正を行う。一般にケーブル長さが長いほどこの補正係数が大きくなる。

3-4-3 劣化診断エキスパートシステムのプロトタイプ

(1) ファジー推論の適用

劣化診断法は種々提案されているが、実際に現場で測定可能な診断パラメータは、直流洩れ電流がほとんどであった。しかし最近では、その他のパラメータも現場で測定可能になってきたため、なるべく多くの情報を活用できる診断システムの開発が重要となる。さらに最近のコンピュータ推論技術のひとつとして注目されているファジー推論を用いれば、従来は診断の中に組込むことが難しかったケーブルの布設状況、例えばケーブルが常に水没した状態で使用されているか、かなり乾燥した状態で使用されているかなどの情報も推論の中に組込むことが可能となった。今回開発したプロトタイプではこのよ

うな定量化しづらい情報も活用するために、ファジー推論も採用している。また誘電正接値のケーブル長さによる補正にもファジー推論を利用している。

(2) プロトタイプの構成

エキスパートシステム画面構成を図3-4-3に示す。基本画面は劣化診断のデータ入力画面、診断結果の表画面そして劣化診断の説明画面である。

劣化診断のデータ入力画面では、劣化診断パラメータ値（誘電正接値、直流漏れ電流値など）と布設環境データ（診断年月日、ケーブル製造年月日、ケーブルの種類、ケーブル長さ）を入力する。なお全てのデータを入力する必要はないが、診断パラメータ値の少なくとも一つ、診断年月日、敷設年月日、絶縁体厚等の必要最小限のデータを入力しなかった場合には警告を発する。

診断結果の表示画面では、以下に示すような推論ルールを用いて絶縁破壊強度を推定し、さらに可能であれば残存寿命の推定結果も表示する。

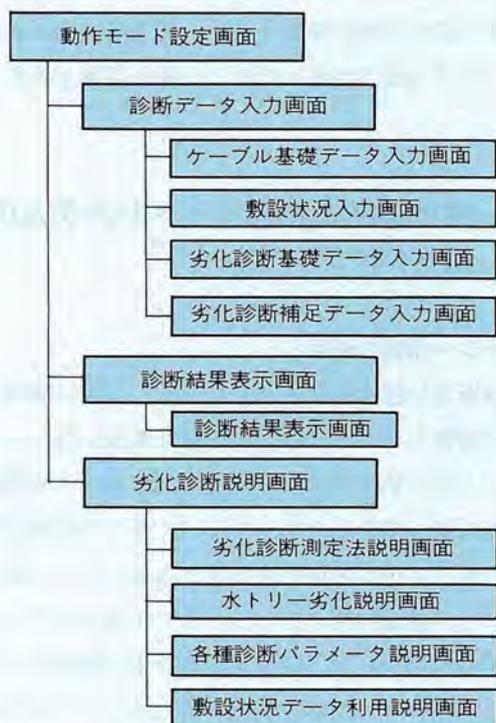


図3-4-3 配電用CVケーブル絶縁劣化診断エキスパートシステムの構成

- ・複数の診断パラメータが入力された場合は、統計データ点の多い診断パラメータを優先する。
- ・入力データのうち破壊値と直接相関のある診断パラメータ（誘電正接、直流漏れ電流値など）を優先する。
- ・ケーブルが長い場合、直流漏れ電流値を優先する。
- ・ケーブルが長い場合、誘電正接値は長さ補正を行う。
- ・破壊値と直接相関のないデータの場合相関表を用いて他の試験方法を介して推論する。

絶縁破壊強度の推定結果は確率分布として表示される。

図3-4-4に推定結果の表示例を示す。

(3) 残存寿命の推定

CVケーブルの劣化診断において最も知りたいのは、あと何年もつかである。現在のところ、この質問に断定的に答えることはできないが、確率的には余寿命の計算が可能である。その方法はふたつの関係を利用して寿命を推定するものである。ひとつは図3-4-2にある誘電正接など診断パラメータ値と絶縁破壊強度の関係であり、他のひとつは診断パラメータの経時変化特性である。まず異なる時点での診断パラメータの測定値から絶縁破壊強度を推定し、これらのデータから推定破壊強度の経時変化特性を推定する。この推定値の垂下特性から、推定絶縁破壊強度が要求絶縁破壊強度にまで低下するまでの時間を求め、現時点との差を求めればこれが残存寿命の推定値となる。ここで推定絶縁破壊強度は前述の推論を行なって推定される。(図3-4-4参照)

3-4-4 今後の課題

新しいアルゴリズム（推論ルール）をコンピュータプログラムとして実現し、CVケーブル劣化診断エキスパートシステムのプロトタイプとして完成させた。今後、電力会社等の現場の“声”を取入れたルールや診断データの追加を行うとともに、材料特性等を考慮して、より精度の高い診断が可能なシステムに改良して行く予定である。

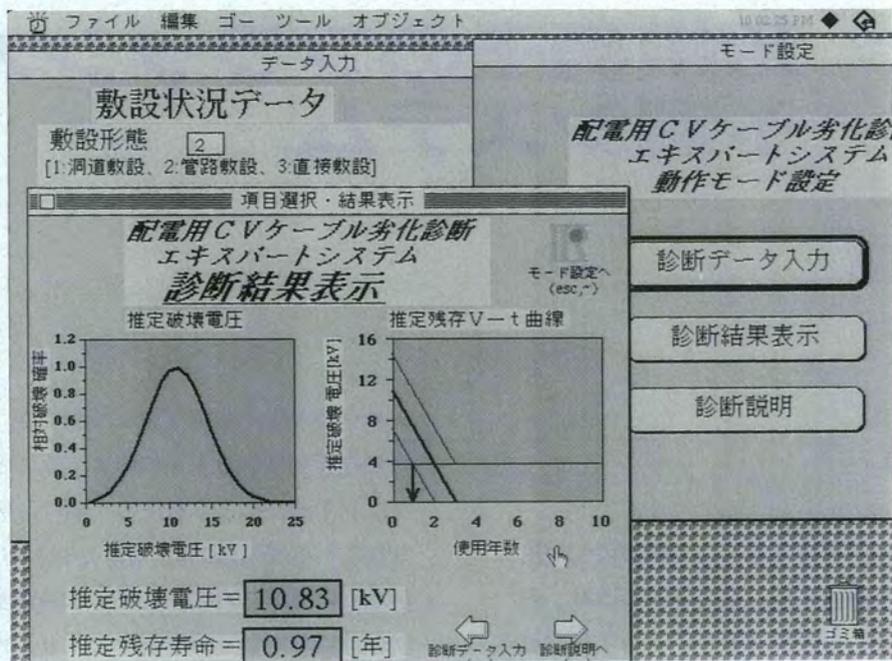


図3-4-4 絶縁破壊強度の推定結果表示例

3-5 汚損碍子のフラッシュオーバー予測システム

3-5-1 開発の背景

送変電機器や架空送電線路の絶縁には各種の碍子が用いられている。碍子の塩害対策は、電力設備の設計、運用上極めて重要な要素で、塩害によるフラッシュオーバー事故を防止するため、碍子に付着する塩分量が汚損管理値を越えないように設備の洗浄を行っている。そして、この洗浄時期の決定は、パイロット碍子の塩分付着量の実測と熟練運転員の経験に基づいた判断によってなされている。現在、電力設備の運用の自動化がすすめられており、このような熟練運転員の役割を代替できるエキスパートシステムが開発できれば大いに役立つと考えられる。そこで、当研究所で蓄積してきた塩害に関する豊富なデータに基づき、塩分を受けた碍子の汚損の進行とフラッシュオーバー発生の可能性を事前に予測するエキスパートシステムを開発することとした。

3-5-2 システムの概要

本システムは、当研究所と能登一の宮試験場での塩分の付着特性とフラッシュオーバーの実績をデータベース化し、パーソナルコンピュータ(PC-9801)で動作する。システムの主な機能は、碍子が海塩汚損された時、パイロット碍子の塩分の付着量とその時点の気象条件を基に、碍子のフラッシュオーバーの発生電圧値と塩分の付着量を定量的に予測するものである。したがって、システムを変電所等で使用した場合、パイロット碍子の塩分付着量と気象条件を入力すれば、汚損管理値に到達する時間とフラッ

シオーバの生ずる電圧値が予測でき、適切な洗浄時期の決定により事故を未然に防止することが可能である。フラッシュオーバーによる電圧の予測は、データベースに格納されている実績112例を用いているが、さらにシステム適用地点の実績を追加すれば、予測精度は向上する。また、塩分付着の増加量の予測では、上述の試験場で得られた風速の3乗則による塩分の累積を考慮しているが、付着特性の異なる地点にシステムを適用する場合でも、知識ベースの一部を修正することで対応できる。

3-5-3 知識ベースと推論手順

本システムで用いられる知識ベース（データベースを含む）の内容およびそれらを用いた推論の手順は次のとおりである。

(1) フラッシュオーバー特性に関する知識ベース

システムの主な機能であるフラッシュオーバーの電圧予測では、フラッシュオーバーが生じる電圧の基準値と、気象要因との総合評価によって予測値を決定している。今回用いた電圧の基準値は、標準懸垂碍子の自然汚損による耐電圧特性であり、塩分付着量を横軸、碍子の耐電圧値を縦軸としたフラッシュオーバー電圧曲線として知識ベースに収めている。また、標準懸垂碍子以外の場合、上記の特性曲線を、碍子の連結長の比率に換算した値を用いることができる。

(2) 気象項目に関する知識ベース

自然汚損によるフラッシュオーバー特性は、碍子表面の湿

潤状態が大きく影響する。本システムでは、碍子表面の湿润化に影響する気象要因について、過去のフラッシュオーバの実績を基に分析・統計処理を施し、システム独自のクラス設定とクラス毎のフラッシュオーバに及ぼす影響度(重み係数)を定量的に整理し、ルール化することで、フラッシュオーバの電圧予測を可能とした。評価する気象要因としては、システムの汎用性を持たせるため、特殊な計測器を必要としない気温、湿度、風向、風速、雨量、時刻の6項目である。

(3) 塩分の付着特性に関する知識ベース

一般に、急速汚損時の塩分付着量は、平均風速の3乗の時間累積と碍子の形状や測定地点で決定される係数の積で表される。この係数が一定ならば、ある時点の塩分付着量とその後の風速から、任意の時間における塩分の付着量を推定できる。そして、予測に必要な係数として、当研究所の横須賀研究所ならびに能登で得られた標準懸垂碍子の汚損特性を知識ベースに収めている。なお、本システムを別の特性を持つ地点で運用する場合、この数式を変更すれば良い。

(4) データベース

システムが正しく推論機構を動作させる上で、データベースは非常に重要である。したがって、充分吟味したデータを使用すべきである。しかし、自然条件でのフラッシュオーバの実績は極めて貴重なデータであり、今回は横須賀および能登の標準懸垂碍子のフラッシュオーバデータ112例すべてをデータベース化した。

(5) 推論手順

図3-5-1はシステムの推論手順の概要を示すもので、ユーザの入力データから各パラメータを算出し、入力する塩分量でのフラッシュオーバ電圧値と、入力する気象条件の評価係数を求める。両者の関係をもとに、推論条件でのフラッシュオーバの生ずる電圧の予測値を決定する。そして、予測値を基に縦軸を電圧、横軸を塩分の付着量とするフラッシュオーバ電圧曲線を求め、運転電圧との交点の塩分量を臨界(フラッシュオーバ発生)塩分付着量として求める。また、風速の3乗則を用いて、塩分の付着量の時間変化を予測し、汚損管理値に到達する時間を洗浄開始時間として求める。図3-5-2は、以上の手順による推

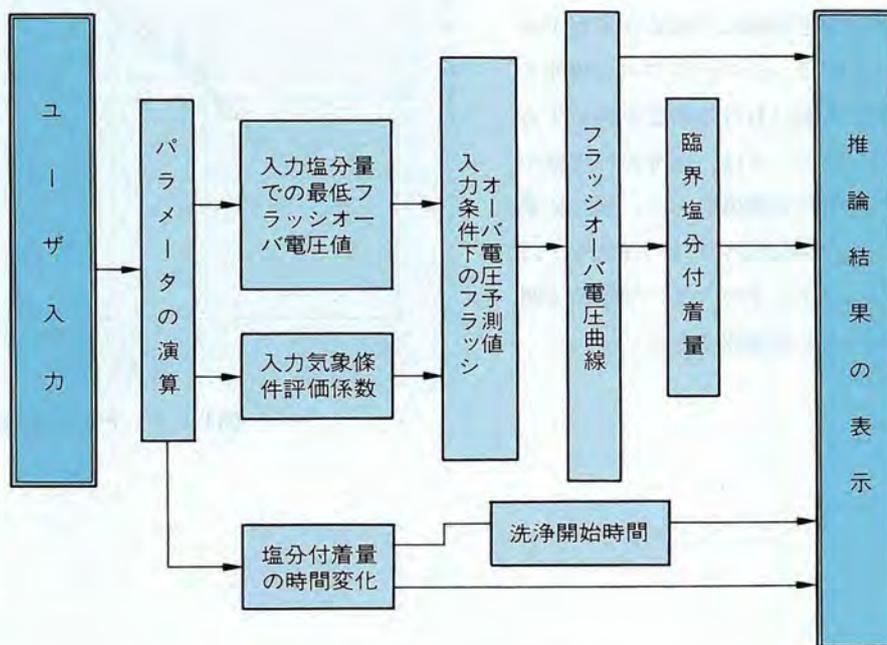
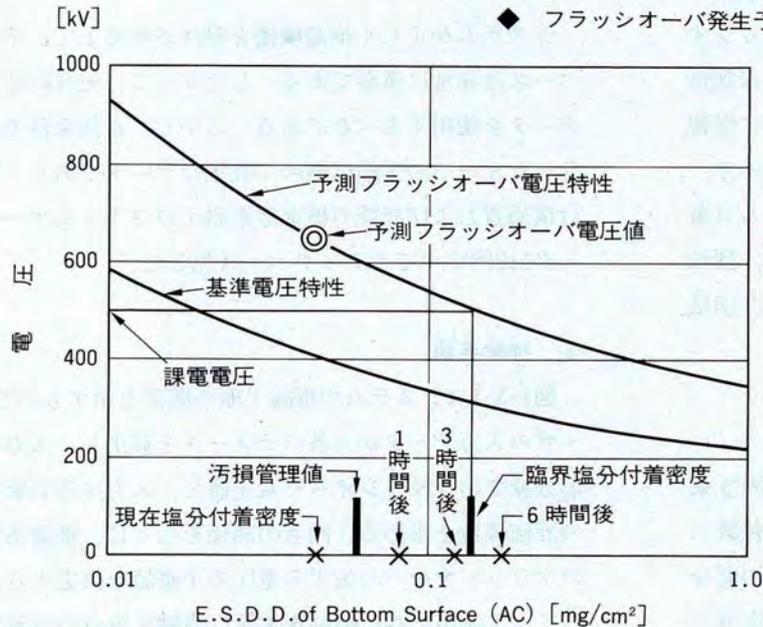


図3-5-1 システムの推論手順



検証データで入力された課電電圧及び気象条件より予測されるフラッシュオーバー時間、洗浄タイミングは以下のようになります。

課電電圧：500 [kV]
 汚損管理値：0.0600 [mg/cm²]
 臨界塩分付着量：0.1889 [mg/cm²]
 現在塩分付着量：0.0450 [mg/cm²]
 1時間後付着量：0.0821 [mg/cm²]
 3時間後付着量：0.1232 [mg/cm²]
 6時間後付着量：0.1703 [mg/cm²]
 洗浄タイミング：0時間15分後
 予測F.O時間：3時間55分後

図3-5-2 推論結果の出力例

論結果の出力画面である。

3-5-4 システムの検証

システムの検証は、実際のフィールドでフラッシュオーバーが生ずる電圧値や洗浄時期を的確に予測できるか否かを確かめることである。今回は、システムの主な機能であるフラッシュオーバーの電圧予測における精度を検証することとした。検証に使用したデータは、塩分の付着量や気象条件が明確な61例の過去の実績値である。検証結果は、図3-5-3に示すように、予測誤差の平均(50%値)は1.6%、標準偏差9.8%で、バラツキの大きい現象の予測としては極めて精度が良いことが確認できた。

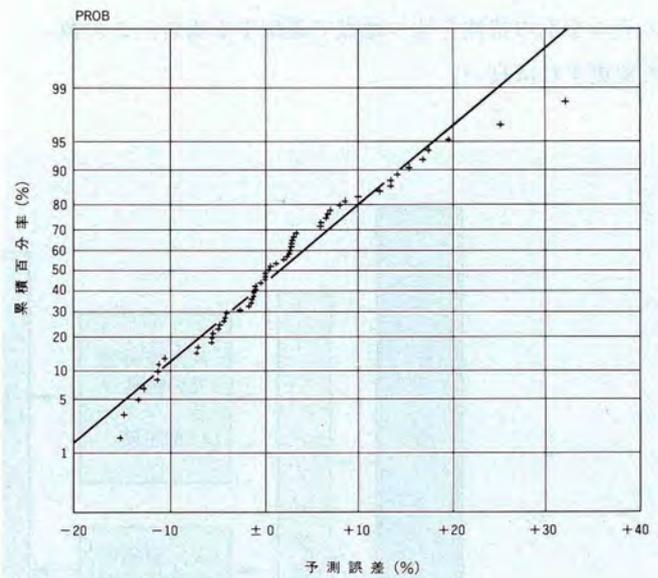


図3-5-3 予測誤差の分布

第 4 章

土木構造物への応用



第4章 土木構造物への応用 ● 目次

我孫子研究所	FBR部	座屈研究室長	中村 秀治
	座屈研究室	担当研究員	山本 広祐
立地部	土質研究室	主査研究員	工藤 康二
	水理部	主任研究員	磯部 明人
経済研究所	情報システム部	経営情報研究室	主査研究員 松井 正一
	知識処理研究室	主査研究員	篠原 靖志

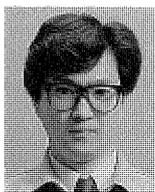
4-1	水力鋼構造物の評価診断システム	55
4-2	堆砂予測・排除方法の選定システム	60
4-3	港湾構造物の腐食劣化度判定システム	62



中村 秀治 (1971年入所)
電力構造物の構造工学、耐震工学に関連する諸問題を中心に、現場実測、室内試験、解析コードの開発、余寿命評価診断等を行ってきた。
現在は、高速増殖炉実証炉の地震時座屈設計技術指針(案)の取りまとめに努めている。



磯部 明久 (1957年入所)
水力発電所のダムの水理に関する問題として、洪水吐や減勢工の水理設計、貯水池の堆砂や排砂の研究を主に行ってきた。
現在は、貯水池排砂を含め水力発電施設の保守管理問題に取り組んでいる。



山本 広祐 (1987年入所)
FBR機器の耐震、耐座屈設計に関する諸問題を中心に、既設構造物の劣化診断などの研究を行ってきた。
現在は、人工知能を活用して非線形形の構造解析技術を高度化することに意欲を燃やしている。



松井 正一 (1981年入所)
数値計算の高速化、経営・経済分析支援システム開発、ワークステーションやLANの活用など、コンピュータの新しい利用に関する研究を広く行っている。
現在、地球環境問題の電気事業経営への影響評価モデル開発 (EPRIと共同研究) のため、1991年9月まで米国に滞在中。



工藤 康二 (1982年入所)
原子力発電所の立地拡大技術(第四紀地盤)のための地盤調査試験法、物性評価の研究を行ってきた。
現在は上記研究を継続すると共に、火力発電所等の土中埋設基礎鋼構造物の評価・診断手法の開発を行っている。



篠原 靖志 (1984年入所)
エキスパートシステム、および、その構築に関する諸問題に関する研究に従事。特に、インタビュー技術・機械学習などによる知識の整理/獲得の効率化に取り組んでいる。

4-1 水力鋼構造物の評価診断システム

4-1-1 開発の背景

水力発電所建設の最盛期から既に30年以上を経過したダムゲート、水圧鉄管、水路橋、スクリーン等の水力鋼構造物が増えてきている。これらは電力各社の保守担当者の手で、十分な検討のもとに適宜、補修され、取替えられつつあるが、近年、特に安全性診断、余寿命の予測技術がクローズアップされてきた。そこで、当研究所は過去20年以上にわたる既設の鋼構造物の調査実績を背景に、1984年度から水力鋼構造物の診断技術の体系化、AIによる自動化を目指した研究に着手した。

その後、通産省資源エネルギー庁からの受託研究『水力発電環境保安技術調査』の一部として、『鋼構造物の余寿命評価技術の実証』（1986年度～1990年度）を実施することになった。

本研究は、ダムゲート、水圧鉄管（写真4-1-1）、鋼製水路橋、スクリーンを検討対象とし、その経年変化に伴う問題点を明らかにし、現地計測、構造解析、評価・診断技術を確立し、その合理性、有用性を確認することを目的としている。具体的作業としては、1986年度の開始当初から人工知能技術の積極的活用を前提として、知識ベースの作成に不可欠な下記の関連課題を検討し、人工知能システムの構築を推進した。

- ① 我が国における既設水力鋼構造物の実態把握
 - ・ダムゲート、水圧鉄管、水路橋等の建設年代、安全性調査例、補修歴、取替え判断例等
 - ・設計、製作技術の変遷
- ② 既設水力鋼構造物の評価診断を目的とした測定技



写真4-1-1 水力鋼構造物（上からラジアルゲート、ローラーゲート、水圧鉄管）

術の検討

- ③ 既設水力鋼構造物の実態調査に基づくデータベースシステムの構築
- ④ 既設水力鋼構造物の評価診断を目的とした構造解析システムの開発
- ⑤ 既設水力鋼構造物の評価診断エキスパートシステムの構築
- ⑥ 評価診断マニュアルの作成

4-1-2 システムの概要

本システムの全体構成は図4-1-1に示す通りであり、以下の3つの部分から構成されている。診断結果は、プロット図(図4-1-2)や日本語レポート(図4-1-3)で出力される。これらの機能は、当研究所のTSS端末で利用できる他、各電力会社に設置されている端末から電話回線を通じて利用することができる。

(1) 水力鋼構造物のデータを保持するデータベースシステム

データベースには各電力会社が保有する水力鋼構造物のデータが収録されている。これらの内訳は、

- ・ダムゲート：約340地点
- ・水圧鉄管：約1140地点
- ・鋼製水路橋：約360地点
- ・スクリーン：約390地点

である。ダムゲート、水圧鉄管のデータベースは、それぞれ約500のデータ項目から構成されており、建設年代、設計情報、補修履歴などの設備概要に加え、構造解析モデルを作成するためのデータ、現地計測による各種測定データ、構造解析結果等が含まれている。水路橋、スクリーンのデータベースは、建設年代、設計情報、補修履歴などの設備概要のみからなる。

(2) 構造力学適診断に必要な解析を行うための構造解析システム

構造解析システムは、ダムゲート(ラジアルゲート、ローラーゲート)と水圧鉄管を典型的な構造形態に類別し、数10種類の数値解析モデルを内蔵した有限要素解析

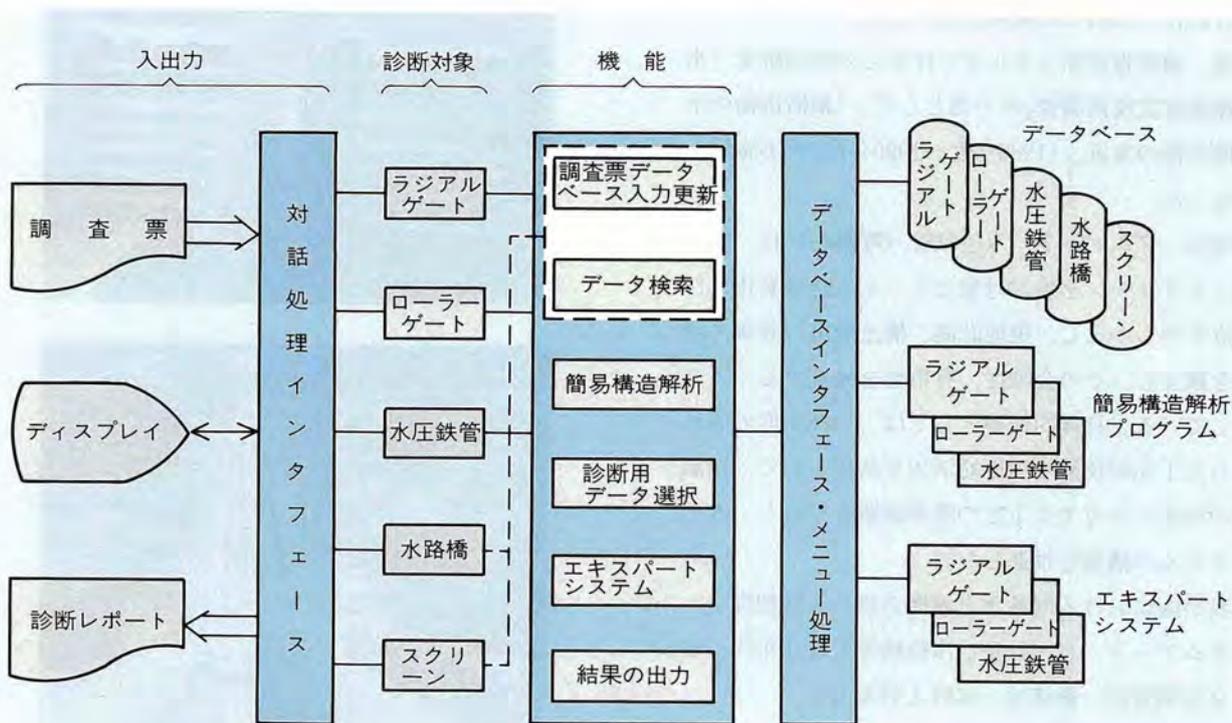
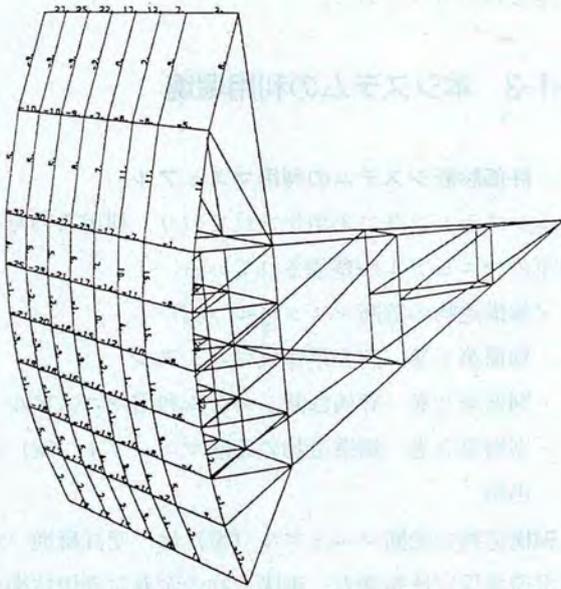
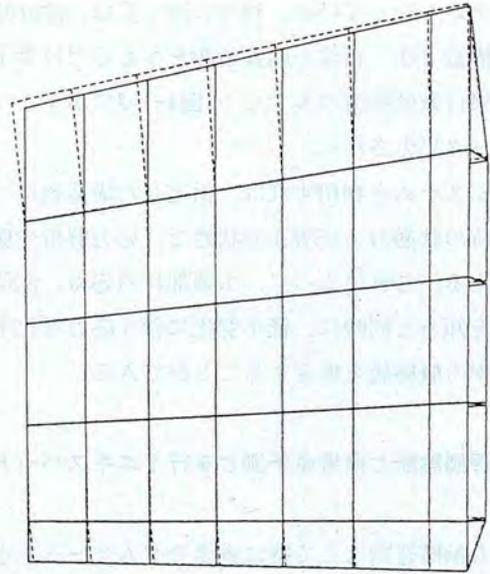


図4-1-1 評価診断システムの構成

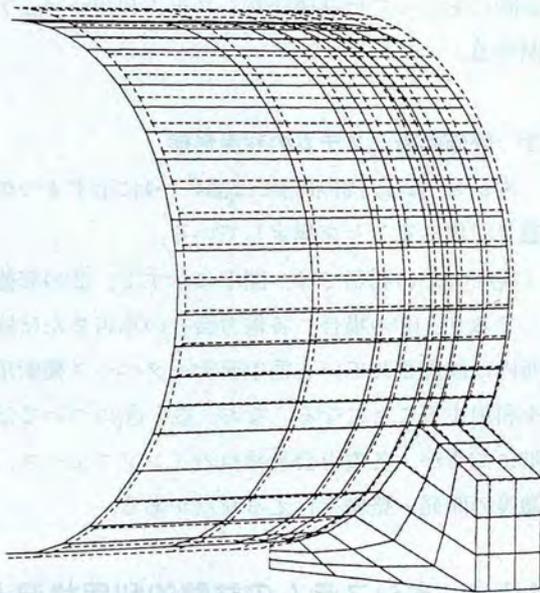


(a) ラジアルゲートの応力図



(b) ローラーゲートの振動モード図

図4-1-2 簡易構造解析結果のグラフィック出力例(1)



(c) 水圧鉄管の変形図、最大応力表示

図4-1-2 簡易構造解析結果のグラフィック出力例(2)

***** 主桁の応力値分布図 ***** 1/1 *****

許容応力値 1025.0 kg/cm²

降伏圧縮	許容圧縮	0	許容引張	降伏引張	
:	:	*	:	:	#1
:	:	:	:	:	#2
:	:	:	*	:	#3
:	:	:	:	:	#4
:	:	*	:	:	#5
:	:	:	:	:	#6
:	:	:	*	:	#7
:	:	:	:	:	#8
:	:	*	:	:	#9
:	:	:	:	:	#10
:	:	:	:	:	#11
:	:	:	*	:	#12
:	:	:	:	:	#13
:	:	:	:	:	#14
:	:	*	:	:	#15
:	:	:	:	:	#16

#1	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(解析値)
#2	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(補正値)
#3	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(解析値)
#4	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(補正値)
#5	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(解析値)
#6	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(補正値)
#7	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(解析値)
#8	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(補正値)
#9	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(解析値)
#10	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(補正値)
#11	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(解析値)
#12	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(補正値)
#13	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(解析値)
#14	(主桁上部)	中央部	上流側	波割形	力	(補正値)
#15	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(解析値)
#16	(主桁上部)	中央部	下流側	波割形	力	(補正値)

図4-1-3 評価診断結果の出力例

システムとなっている。利用に際しては、設計時の代表的な構造寸法、荷重と腐食情報を与えるだけでよい。解析結果は数値出力のみでなく、図4-1-2に示すようにグラフィック出力される。

本システムを利用すれば、指定した構造物について、設計時の状態および現在の状態で、応力解析や振動解析が行える。これによって、主要部材の応力、変位、振動状態を知ると同時に、経年変化に伴う応力変化率、変位変化率の概略値を推定することができる。

(3) 評価診断と余寿命予測とを行うエキスパートシステム

水力鋼構造物として特に重要なダムゲート、水圧鉄管については、エキスパートシステムによって精密な評価・診断が行える。本システムは、最初に、データベースシステムと構造解析システムから構造物の形態、外観状態、操作状態、環境条件等の定性的情報と、測定値、構造解析値等の定量的情報を取り込む。次に、それらのデータから対象構造物の現状を評価・診断し、余寿命評価を行う。

- ① 構造力学的診断……数値データの信頼性チェックと、製作年代に応じた許容値に対する各部材の力学的余裕度を提示する。ダムゲートが扉体全体の力学的安全性に重きを置いた診断になっているのに対して、水圧鉄管では破壊力学的強度に重きを置いた評価になっている。
- ② 経験的診断……過去の補修事例、取替え事例を参照し、当該構造物の外観状態、操作性、使用状態、経過年数等の項目に基づいて、保守の実態を反映した診断を行うものである。
- ③ 余寿命予測……ダムゲートについて、製作時から現在まで、腐食劣化が年数に比例して進行してきたとみなし、かつ、今後も同じ進行速度であるとの仮定のもとに、主要部材の数値データが許容値を越えるまでの年数を概略算定するものである。

本システムは、すべての測定値・解析値その他を、設計基準類に記された基準値に照らして評価し、判定するものであるが、人工知能技術を用いて初めて実用レベル

に達し得たものである。

4-1-3 本システムの利用環境

(1) 評価診断システムの利用マニュアル

本システムは既に実用化されており、利用者のために、以下のマニュアルが整備されている。

- ・鋼構造物の診断マニュアル（案）
- ・別冊第1巻 調査票作成マニュアル
- ・別冊第2巻 評価診断システム利用マニュアル
- ・別冊第3巻 鋼構造物の診断マニュアル（案）の適用例

鋼構造物の診断マニュアル（案）は、受託研究『水力発電環境保安技術調査—鋼構造物の余寿命評価技術の実証』の成果を集大成した技術・理論マニュアルであり、現地計測から、データ整理、構造解析、評価・構造までを体系的に提示するものである。この内、データ整理にあたっては調査票作成マニュアルを、構造解析、評価・診断にあたっては評価診断システム利用マニュアルを参照する。

(2) 評価診断システムの利用形態

本システムは、将来的には図4-1-4に示す4つの利用形態で活用することを想定している。

現在までの利用では、図中に示す①、②の形態に限定しており、②の場合、各電力会社の本店または技術研究所内に設置されている電中研データベース検索用の端末を利用することになる。なお、③、④については調査段階にあるが、各電力会社独自のインタフェース、診断知識等の開発・整備を行える利点がある。

4-1-4 本システムの試験的利用状況と今後の予定

開発の初期の段階である昭和63年度から、下記の目的で本システムの利用を試験的に行ってきた。

- ① マン・マシン・インタフェースの向上に関する具体的改善事項のあらい出しと、対策の検討。

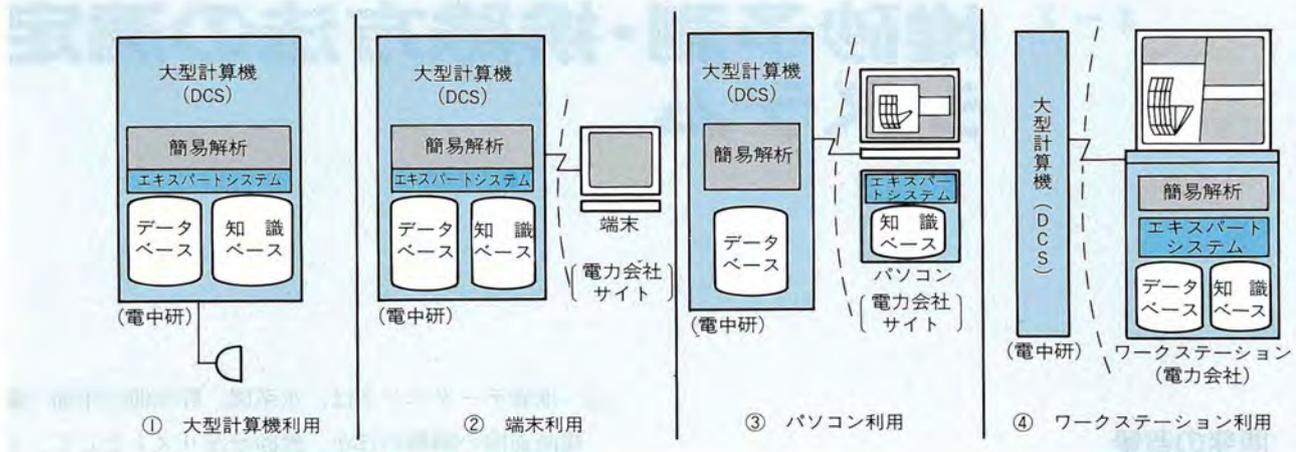


図4-1-4 評価診断システムの利用形態

- ② システム運用上の問題点のあらい出しと、対策の検討。
- ③ 数多くのテストランによる構造解析システムの機能確認。
- ④ エキスパートシステムのルールの改善。

その結果、現在までの本システムの実行件数は、

- ・1987年度……ダムゲート：15件
- ・1988年度……ダムゲート：18件、水圧鉄管：2件
- ・1989年度……ダムゲート：20件
- ・1990年度……ダムゲート：20件、水圧鉄管：30件

にのぼっている。

平成3年3月末をもって、本システムの全ての開発作業を終了し、平成3年4月からは電事連大での本格的運用に入る。電力各社からの利用形態としては、主に図4-1-4の図中に示す②の形態とし、①も可能である。なお、③、④については、電力会社がシステムを独自に改善できたり、応答が格段に良くなるなどメリットも多いので、要望が出た時点で検討したいと考えている。

4-2 堆砂予測・排除方法の選定システム

4-2-1 開発の背景

水力発電の開発は明治中期に始まり、昭和初期から活発化し、1940～1960年代に最盛期を迎えた。全国に多数のダム、貯水池、発電所等が建設され、貯留した河川水によって多くの電力を生み、エネルギー供給の一翼を担ってきたが、経年と共に流下する土砂も貯留し、堆積土砂量は増加の一途をたどっている。

貯水池の堆砂は貯水量を減少させるだけでなく、貯水池上流端では洪水水位の上昇から堤防破壊や越流による浸水被害を出し、取水口では取水障害を生じ、ダム下流では河床低下を引き起こすなど、時として社会問題化することもある。そこで、水力発電の新規開発、水利権の更新、施設の寿命延伸のためには、流入土砂の軽減、堆積土砂の排除などの堆砂対策を確立し、貯水池の堆砂にともなう種々の障害を防止する必要がある。

当研究所は、これまでいくつかの貯水池について水理模型実験等を実施し、洪水時の掃流力を利用する排砂方法や掃流砂量の研究をしてきた。堆砂予測・排除方法の選定システムはこれらの知見に基づいて、堆砂データベースとの関係のもとに堆砂予測、排除方法を提示することを目的としたものである。

4-2-2 システムの概要

堆砂予測・排除方法の選定システムの内容を大別すると、堆砂データベース、堆砂予測・排砂計画、堆砂排除方法選定の3つから構成されている(図4-2-1)。

- (1) 堆砂データベースは、水系図、貯水池の平面・縦横断面図の図類のほか、堆砂状況リストとして、ダム一般諸元、取水口敷高、排砂設備の規模、年度別の総貯水容量や有効貯水容量、年最大流量、年間総流入量等の既知データを収録したものである。
- (2) 堆砂予測・排砂計画のうち堆砂予測には、簡易予測と詳細予測がある。排砂計画は、主に洪水排砂について排砂門の規模、設置位置、洪水波形、排砂時間等を設定し、河床変動計算の手法を用いて排砂シミュレーションを行うものである。
- (3) 堆砂排除方法の選定は、貯水池予測結果によって堆砂排除の必要性ありと判断された時に、当該地点に適した堆砂排除方法を選定するものである。排砂方法の選定に先立ち、各々の排砂方法及び運搬システムに対して、排除場所、粒径、排除量などの要素とその条件について評価表を作成しているが、これには当研究所の研究成果が活かされている。

排砂方法としては、排除設備(排砂門、バツフルウォール、単管、スリット管、渦動管、サイホン管)と採取設備(ブルドーザ、スクレーバ、ショベル、ローダ、連続掘削機、固定掘削機による掘削工法、ポンプ、バケット、ディップ、グラブによる浚渫工法)を対象としている。

運搬システムには、ダンプトラック、ベルトコンベア、索道、軌道、カプセルライナー、スラリー輸送を採用するものとした。

工法選定の操作は、堆砂排除方法の選定をした後、ディスプレイ画面に表示される選択肢から適合するものを選ぶことにより実行される(図4-2-2)。また、

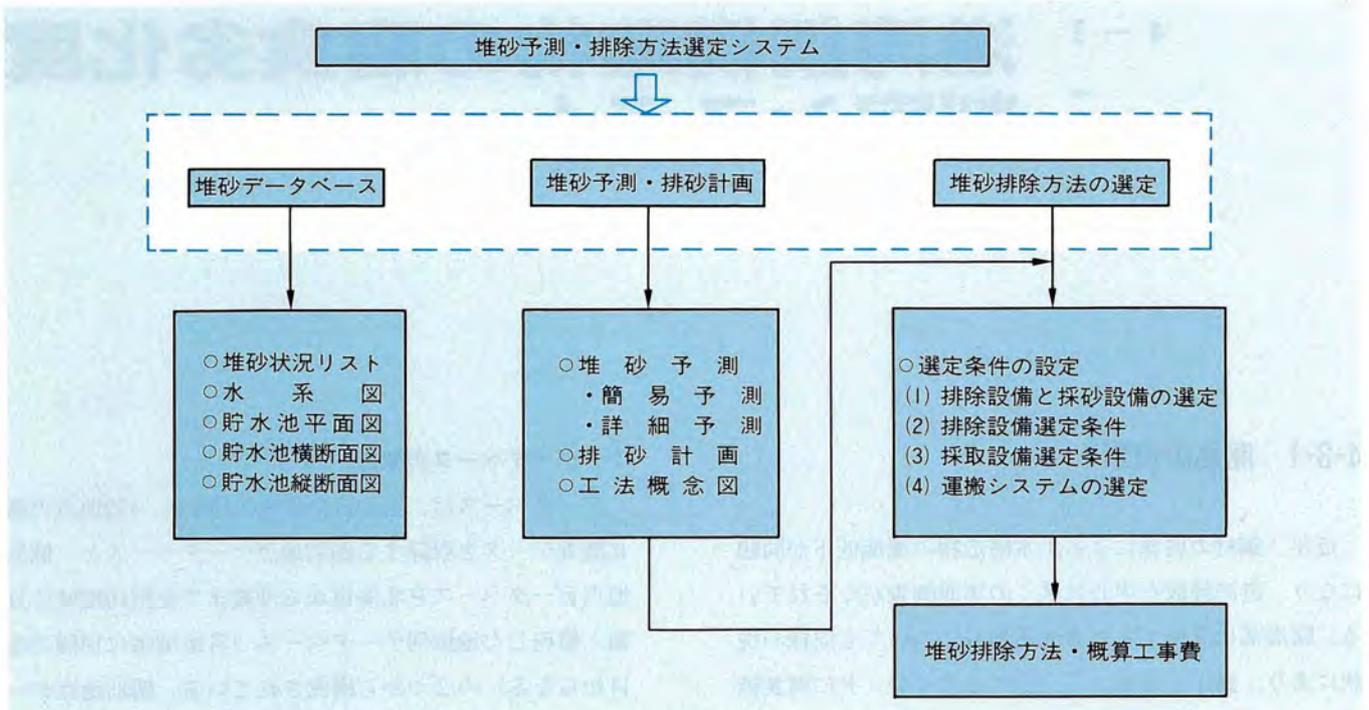


図4-2-1 堆砂予測・排除方法選定システムの概要

排除設備のシャフト落とし込み排砂門、堤体切り下げ排砂門、堤体排砂路、サイホン排砂間、バイパス排砂路、バップルウォール、スリット管、スラリー輸送システムの概算工事費は、工法と選定した規模に対して参考文献等を参考にして積算している。

4-2-3 本システムの適用と今後の予定

堆砂予測・排除方法の選定システムにより、一貫した貯水池堆砂状況の把握、および予測が可能となり、個々の地点に適した堆砂排除方法を選定できるため、具体的な保守管理計画を早くから策定することが容易になった。今後は、水力発電所の新規開発、水利権の更新、施設の寿命延伸に資することが期待できる。

なお、本システムは、4-1で述べた水力鋼構造物の評価診断システムと同様に、『水力発電環境保安技術調査』の一環として構築されたものであり、現在はワークステーション上で作動している。当研究所としては、今後の維持管理と定期的なデータ更新、および、電力会社からの利用の便を考慮して、所内の大型計算機システム上への移植を予定している。

1. 排除設備と採取設備の選定

ダム型式		排除場所(水深:m)		
<input type="checkbox"/> フィル	<input type="checkbox"/> アーチ	<input type="checkbox"/> 水面上	<input type="checkbox"/> 0~5	<input type="checkbox"/> 5~10
<input type="checkbox"/> 重力50m下	<input type="checkbox"/> 重力50m上	<input type="checkbox"/> 10~15	<input type="checkbox"/> 15~20	<input type="checkbox"/> 20以上
堆砂排除区域		排除量(m³/月)		
<input type="checkbox"/> 堤体付近	<input type="checkbox"/> 中流部	<input type="checkbox"/> 上流部	<input type="checkbox"/> 1万以下	<input type="checkbox"/> 1~3万
			<input type="checkbox"/> 3~5万	<input type="checkbox"/> 5~10万
			<input type="checkbox"/> 10~20万	<input type="checkbox"/> 20万以上
排除対象粒径 (mm)				
<input type="checkbox"/> 3以下粘土	<input type="checkbox"/> 3~10砂			
<input type="checkbox"/> 10~100砂礫	<input type="checkbox"/> 100以上礫			
入力終わり				

2. 排除設備選定条件

排除範囲(m)	バイパス排砂勾配
<input type="checkbox"/> 500以下	<input type="checkbox"/> 1:30~80
<input type="checkbox"/> 500以上	<input type="checkbox"/> 左以外
堆砂状態	排砂路長(m)
<input type="checkbox"/> 流入部数以下	<input type="checkbox"/> 500以下
<input type="checkbox"/> 流入部数以上	<input type="checkbox"/> 500以上
施工水深区分(m)	排砂路の曲がり
<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> なし
<input type="checkbox"/> 0~5	<input type="checkbox"/> あり
<input type="checkbox"/> 5~10	
<input type="checkbox"/> 10~15	
<input type="checkbox"/> 15~20	
<input type="checkbox"/> 20~30	
排砂後の水位回復	入力終わり
<input type="checkbox"/> 1~2日	
<input type="checkbox"/> 3日以上	

図4-2-2 排砂方法の選定 ディスプレイ画面図

港湾鋼構造物の腐食劣化度判定システム

4-3-1 開発の背景

近年、鋼材の腐食による土木構造物の機能低下が問題になり、港湾施設を中心に多くの実態調査がなされている。臨海部に立地する火力発電施設についても同様の現状にあり、護岸を背面から支持するタイロッドに腐食破断等の被害事例が確認されている。

そこで、厳しい腐食環境にさらされる火力発電所の港湾鋼構造物（係留施設、護岸施設等）について、腐食劣化度の定量的判定を支援する目的で腐食データベースを構築した。さらに、鋼管杭栈橋（係留施設の一つ）、鋼矢板護岸（護岸施設の一つ）を対象として、腐食データベースと連携しつつ耐荷力の算定、余寿命評価を行い、保守対策まで提示するエキスパートシステムを構築した。

4-3-2 システムの概要

本システムは、腐食データ、外観調査結果、耐荷力の算定結果をもとに、鋼管杭栈橋、鋼矢板護岸の腐食劣化度を判定するエキスパートシステムである（図4-3-1、図4-3-2）。以下に、本システムの主な機能と特長を示す。

(1) 本システムの利用環境、開発言語

本システムはパーソナルコンピュータ上で稼働するエキスパートシステムである。データベースにはパッケージソフトウェアを、耐荷力の算定（応力照査）機能にはC言語を、エキスパートシステムにはOPS83を、それぞれ使用している。

(2) データベースの概要

データベースは、全国55の港湾を対象に、432地点の腐食調査データを収録する個別地点データベースと、個別地点データベースを北海道から沖縄まで全国10地域に分類、整理した地域別データベース（各地域毎に10個の項目からなる）の2つから構成されている。個別地点データベースには、地点名、使用鋼材（鋼管杭、鋼矢板）、電気防食の有無と実施期間、潮位情報、鋼材各部の腐食データ等22項目が格納されている。

診断にあたっては腐食データが必要であるが、以下のいずれかの形で、本データベースを利用する。

- ① 個別地点データベースから、診断地点または最寄地点の腐食データを検索して利用する。
- ② 地域別データベースから、診断地域の標準的（平均的）な腐食データを検索して利用する。
- ③ 詳細な検討を行うため、地点固有の腐食調査データを新たにデータベース入力して利用する。

(3) 耐荷力の算定（応力照査）の機能

本システムの利用者は、対話形式で、診断施設の重要度、対象構造物の概要、構造諸元、作用（設計）荷重等に関する情報を入力する。

次に、腐食データベース情報に基づいて、対象構造物の飛沫部、干満部、海中部の腐食データを設定し、構造諸元に従って、腐食で減肉した杭または矢板の耐荷力算定モデル（腐食モデル）を作成する。

耐荷力の算定に関しては、個々の力学的な実態を正確に把握することが重要であるが、栈橋基礎の支持条件、

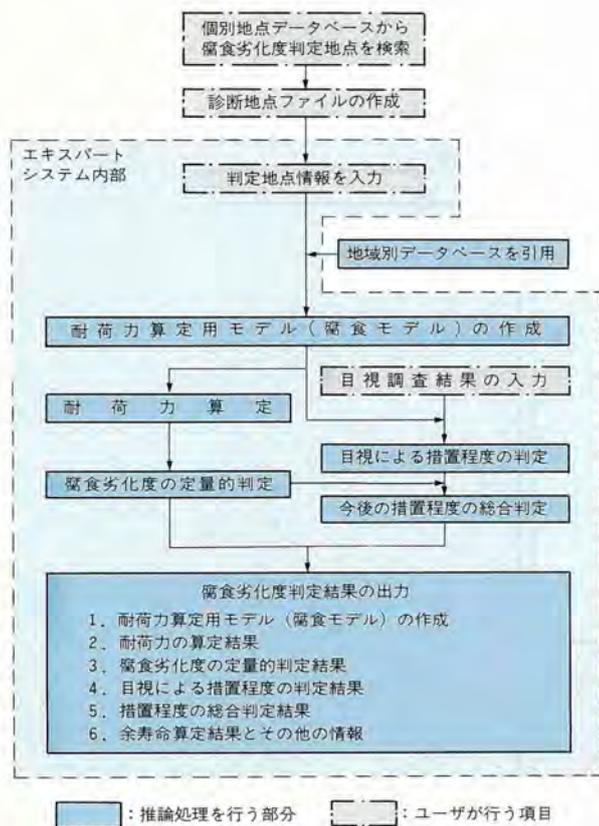


図4-3-1 腐食劣化度判定システムの全体構成と流れ

護岸背面の土圧分布等は不明確な場合が多く、統一的に評価できない要素が多い。そこで、これらに対しては最も一般的な理論を共通の基盤として用いるものとして、鋼管杭栈橋にはチャン(Chang)の弾性支持杭理論を、鋼矢板護岸に関してはランキン(Rankine)の土圧理論を算定の根拠とした。図4-3-3には、鋼矢板護岸に対する耐荷力算定フローと、曲げモーメント図の例を示した。

(4) 腐食劣化度の判定機能

腐食劣化度に関する知識ベースは6つのデシジョンテーブル(決定表)とプロダクションルールで構成され、ルールの総数は約200である。

定量的判定では、耐荷力を算定し、腐食データに基づいて現在の腐食状態を5段階評価すると同時に、以下の判定を行う。

- ・無処置でよい／重点点検する／対策を検討する／緊急措置が必要

- ・腐食量は小さいが、設計時の余裕が少ない。
- ・腐食量は大きいが、設計時の余裕が大きい。

目視判定は、通常行う目視調査の結果(4段階評価)と各施設の重要度に応じて、以下の判定を行う。

- ・無処置でよい／重点点検する／対策を検討する／緊急措置が必要

定量的判定と目視判定との対応チェック、および保守対策の提示については、以下の判定を行う。

- ・ほぼ対応している。従来通りの点検を継続。
- ・ほぼ対応しているが、若干目視判定結果の方があまいため、今後の点検には注意が必要。
- ・対応していない。設計には余裕があるが、今後の点検には注意が必要。
- ・対応していない。設計には余裕が少なく、今後の点検には十分注意が必要。

更に、平均腐食速度を利用して、余裕厚が失われるまでの年数、及び許容応力を超過するまでの年数を概略算出して余寿命評価する。

4-3-3 本システムの適用実績と今後の予定

各種判定機能を検証するため、本システムの診断用データの作成段階、推論処理段階、診断結果の出力段階を総合的にテストし、機能の確認を行った。現在までに10数のケースの試験的利用を行っている。

本システムを構築する過程で火力発電所の港湾鋼構造物の診断に対するこれまでの考え方が整理され、パソコン上に実現されたことは、AI技術の大きな効用といえる。今後は、実構造物への適用実績を上げ、耐荷力の算定及び診断機能の向上を図り、さらに発電所建屋等の鋼管基礎にまで適用範囲を拡大して行きたいと考えている。

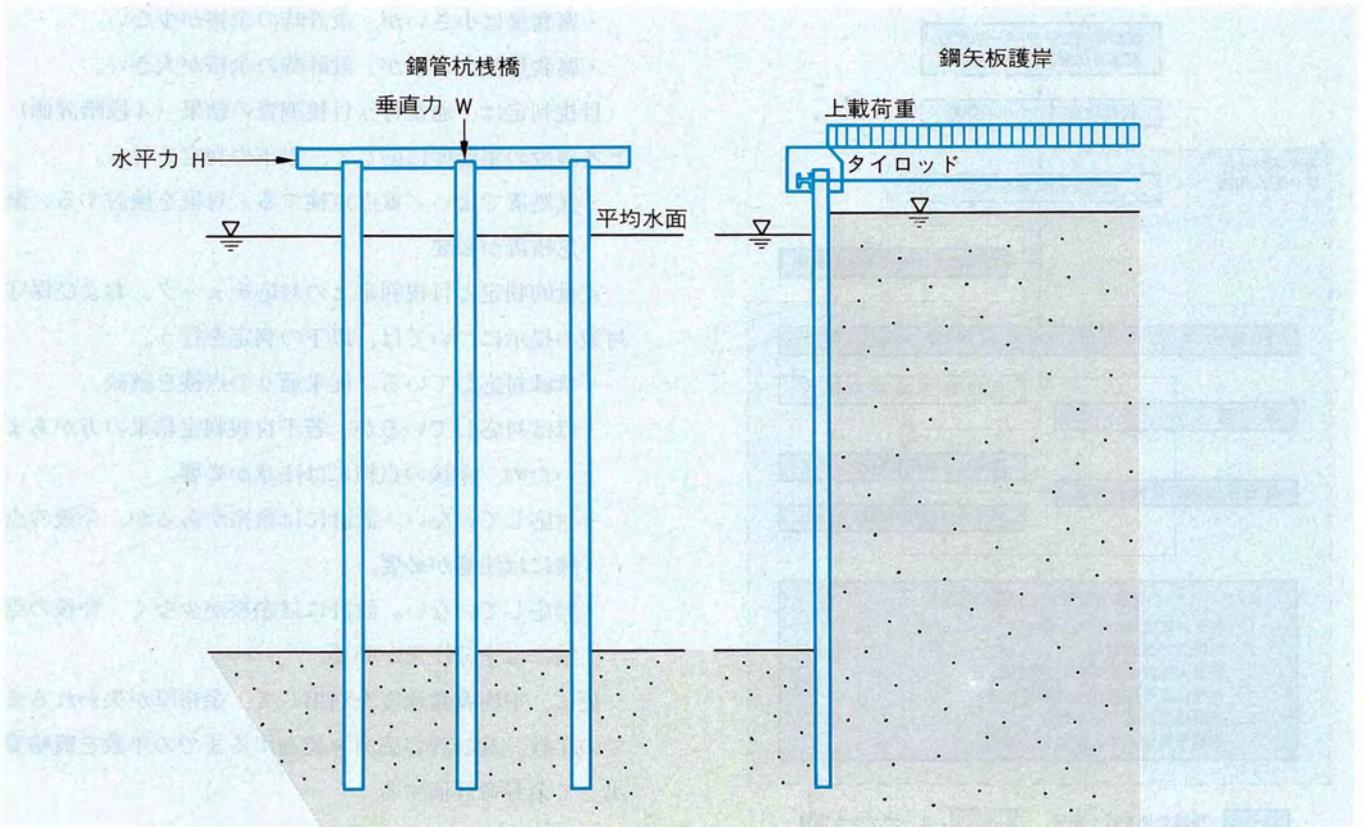


図4-3-2 診断対象構造物の概要

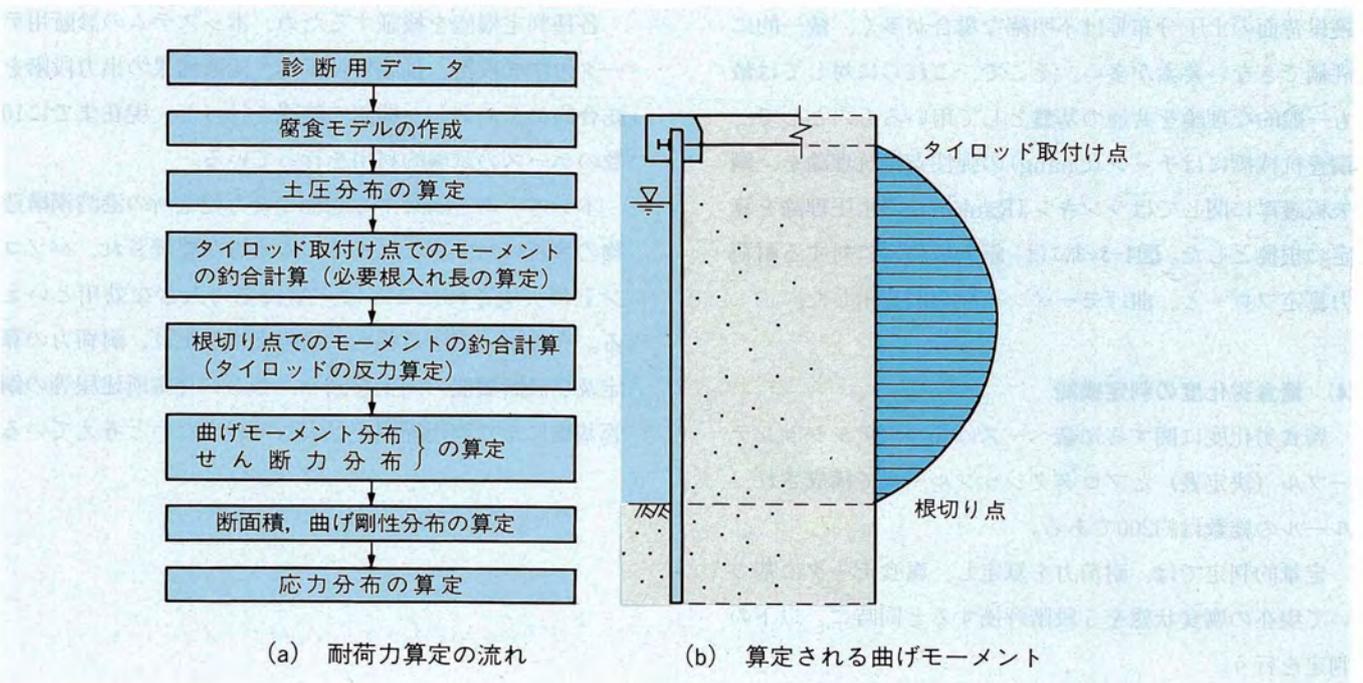


図4-3-3 鋼矢板護岸に関する耐力算定の流れと算定される曲げモーメントの一例

第 章

営業・経営への応用

5

第5章 営業・経営への応用 ● 目次

経済研究所 情報システム部 経営情報研究室長 高橋 誠
 経営情報研究室 主査研究員 松井 正一
 知識処理研究室 担当研究員 二方 厚志
 知識処理研究室 担当研究員 小野田 崇

5-1	経済分析結果の要約システム	67
5-2	営業支援エキスパートシステム	70
5-3	業務処理ソフトウェア自動設計システム	74



高橋 誠 (1971年入所)
 確率・統計モデル、最適化手法などオペレーションズ・リサーチ (OR) の電気事業の諸問題への適用を中心に、経営情報の活用方法、システム化を研究してきた。
 現在は、電気事業の戦略的な情報高度化とネットワーク構築方策を検討している。



小野田 崇 (1988年入所)
 エキスパートシステム、知識獲得、機械学習を中心とした人工知能の研究に従事。現在、ニューラルネットワークに基づく機械学習、知識獲得の基礎研究ならびにその応用に関する研究を行っている。



松井 正一 (1981年入所)
 数値計算の高速化、経営・経済分析支援システム開発、ワークステーションやLANの活用など、コンピュータの新しい利用に関する研究を広くかけている。
 現在、地球環境問題の電気事業経営への影響評価モデル開発 (EPRIと共同研究) のため、1991年9月まで米国に滞在中。



二方 厚志 (1987年入所)
 ソフトウェア自動設計システムの開発などのソフトウェア開発の効率化の研究に従事。
 今後は、ソフトウェア開発や保守、運用を支援する統合的な環境についての研究を進める。

5-1 経済分析結果の要約システム

5-1-1 開発の背景

経営判断に必要な情報を提供するために、経営者やスタッフが社内外の情報を様々な観点から分析し、有効な情報を抽出できるような「情報分析型」経営情報システムが求められているが、コンピュータを利用する情報分析では、数値で与えられる結果の解釈に専門知識を要する。また定量的な分析結果にはなんらかの解釈を加えて、直観に訴える図表や定性的な表現に変換して経営層に提供する必要もある。

当研究所では、計量経済モデルによる分析計算結果から、日本語の定性的要約文を導くシステムを開発している。このシステムは経済分析専門家の専門知識を利用して、非専門家による情報分析を支援するエキスパートシステムである。

5-1-2 システム構成

計量経済モデルは、多数の経済指標（変数）間の関係を連立方程式の形で表わしたものである。モデル分析では、コンピュータを利用して数値計算で連立方程式を解く。分析者は経済の専門知識を活用して、計算結果の大量の数値をまとめ、定性的、総合的な文章表現を作り出す。こうした分析と要約の作業過程を反映して、分析結果要約システムは、図5-1-1のような構成とした。

各構成要素の機能は以下の通りである。

○利用者インタフェース

コンピュータに不慣れな利用者に簡単に使えるよう

にするための入出力機能であり、条件設定、結果の図表化、要約文の表示などの機能を持つ。

○モデルベース

モデルベースには、与えられた条件の下で連立方程式を数値的に解くためのプログラムと、変数間の関係を表わすネットワーク（因果連鎖）を格納する。

○データベース

予測計算に必要な経済時系列データを格納する。データの表示単位、換算係数なども保持する。また、データをグラフや数表にするときの表示形式も格納する。

○知識ベース

計算結果を要約文に変換するための知識をルールとして格納する。ルールには、要約文の構造を決めるルールと計算結果を特徴付ける表現パターンがある。

○要約構造生成

モデルベース、データベース、知識ベースを参照し、予測結果から要約文に含めるべき情報とその関連を示

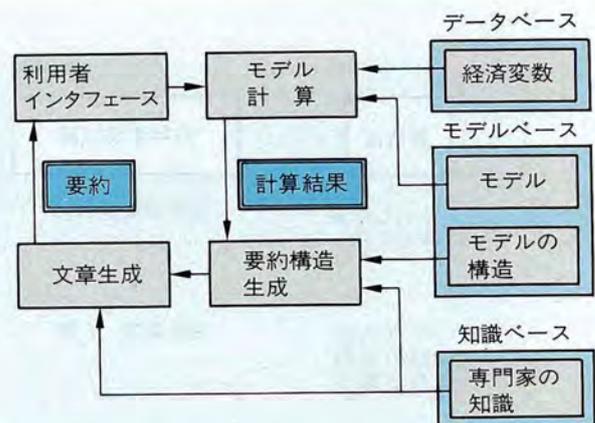


図5-1-1 要約システムの構成

す「要約構造」を生成する。推論機能を含む知識ベースシステムである。

○文章生成

要約構造から日本語文に近い形の文章を作り出す。内部知識表現を日本語文として適切な表現に変換するルールを含む知識ベースシステムである。

5-1-3 日本語要約文の生成方法

ここでは要約システムが計算結果を日本語の要約文に変換するしくみを説明する。本システムの目標は専門家の作る要約文になるべく近い文章を生成することであるから、まず専門家がどのようにして数値的な結果から要約文を作るかを調べよう。図5-1-2は専門家による予測結果の要約文の例である。

昭和63年度の日本経済
---景気の現況と電力需要---

景気は昨年夏場以降、急テンポの回復を示した。今年1-3月期には実質経済成長率は瞬間風速(前期比)で11年ぶりの2ケタの伸びを記録した。円高デフレで当初は低調だった1987年度経済も後半の急回復で、結局4.9%増と前回の景気拡大期である1984年度なみの高い伸びを達成した。

図5-1-2 専門家による要約の例

この要約の第1文、「景気は昨年夏場以降、急テンポの回復を示した。」を作り出すために、専門家はモデルによる計算結果と経験知識から、次のような定性的な判断を行ったと考えられる(図5-1-3)。

- (1) 「景気」に関する要約を報告すべきである。
- (2) 「景気」の「状態変化が大きい」ことに注目する。
- (3) 「景気」の状態変化の中でも「成長率」が大きいことが特徴である。
- (4) 成長率が変化したのは1988年の第2四半期である。
- (5) その変化の程度(成長率の変化率)は過去の動きにくらべて大きい。
- (6) 以前の状態では成長率が低かった。

こうした判断の過程を一般化し、プログラム化できれば、計算結果から要約文を自動的に生成することが可能である。すなわち、計算結果の数値に推論や演算を施して定性的な状態に対応させて要約文の構造を作り、これから文章を生成すればよい。ここで、数値と状態の対応づけや比較、解釈および文章生成を自動化するには、専門家の知識を機械処理可能な規則(ルール)として記憶しておく知識ベースと推論機能が必要である。

5-1-4 要約のためのルール

ここでは計算結果からの要約構造の生成と、要約構造から文章表現への変換に必要なルールについて述べる。

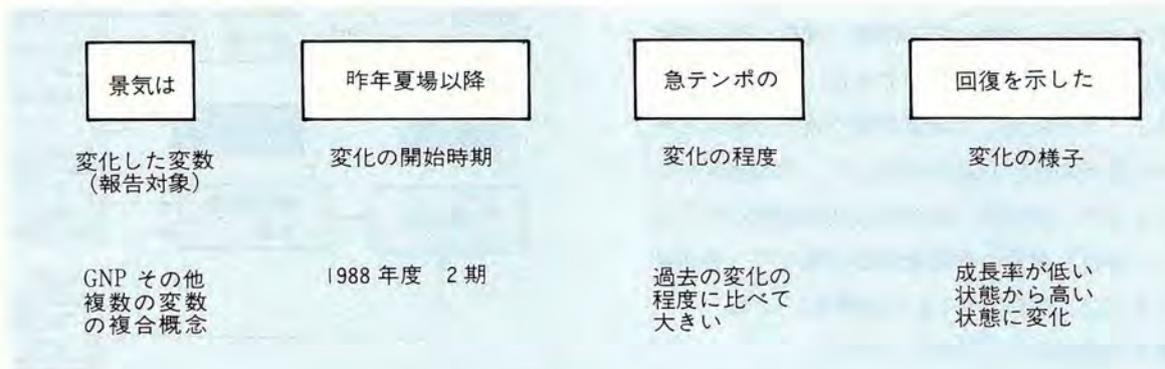


図5-1-3 要約文(第1文)の解析

(1) 注目すべき変数を示すルール(モデルに依存)

要約とは、多くの変数に関する膨大な情報を集約することであるので、注目すべき情報を選別する必要がある。例えば、「景気」という概念的な変数は常に注目すべきであり、景気が良い場合または悪い場合に、それぞれ注目すべき変数群がある、といったルールである。また、状態変化の大きい変数を選び出し、その変化の時期や変化の方向、変化の程度などを要約に含めることを決めるルールも必要である。

(2) 実変数を概念変数に変換するルール(モデルに依存)

図5-1-2の要約文にある「景気」はモデル中の変数ではなく、GNP、物価指数、生産指数、投資など、複数の変数の状態を総合した抽象的な概念である。このように量的な変数から概念変数へ変換するルールが必要である。

(3) 定量的データを定性的状態に対応させるルール(データに依存)

例えば、ある変数の伸び率が5%である、と述べるだけでなく、その変化が大きいか小さいかを判断して、「急激に(緩やかに)」などと定性的に表現するためのルールである。また、ある変数では5%の変化率でも「大きい」が、別の変数では「小さい」と判断するようなルールも必要である。

(4) 時間方向に比較するルール(一般的)

経済事象を解釈するには、過去の実績(事例)を参照し、比較することが多い。ある変数の変化率が10%のとき、過去の変化の様子によって、単に「大きい」とするか、「非常に大きい」とするかが異なってくる。このため、時間方向にデータを比較し状態に対応させるルールが必要である。

(5) モデルの構造に関する知識(モデルに依存)

ある変数の状態が変化した理由を説明するには経済学的知識が必要である。これはモデルの構造に反映されているので、連立方程式中の変数間の関係をたどって、状態変化の因果関係を説明するルールを作ることができる。

(6) 要約文生成に必要なルール

前述の諸ルールを適用して作り出される要約構造から日本語らしい文章を生成するためには、語順、いい回しなどを考慮する必要がある。例えば、「景気は回復した、1988年第2四半期から、急激に」という要素構造に対して、語順を変え、さらに「1988年第2四半期」などを「昨年夏場以降」などと言い替えれば専門家らしい文章となる。

5-1-5 今後の計画

本文では、今後の経営情報システムに求められる知識活用支援機能の例として、予測結果を日本語文に近い形で要約するシステムの考え方と具体化の方法について述べた。システムの構成要素のうちモデルベース、データベース、利用者インタフェースの一部はプログラム化を完了し、要約構造の生成、文章の生成に必要な知識ベースとプログラムを現在ワークステーション上で稼働するように開発中である。

今後は、これらを組合せてプロトタイプを構成し、専門家による試用・評価によって要約文の品質を逐次改善してゆく。これを円滑に進めるため、要約構造生成と文章生成のためのルールを、経済分析の専門家が自ら追加・変更出来るように知識のルール化、編集機能を整備してゆく予定である。

営業支援エキスパートシステム

5-2-1 営業支援エキスパートシステム開発の背景

電気事業は、多彩で便利な電気の使い方を工夫し、豊かで快適な社会生活に寄与することがますます求められている。それには消費者の様々なニーズを絶えずキャッチし、電気に関する新しい情報を消費者に分かりやすく伝えることが重要であり、営業所などでのお客様とのコミュニケーションをさらに促進することが必要となる。

そこで、当研究所では1988年度より、電気利用について営業活動を援けるエキスパートシステムの実現をめざし、次の3段階からなる研究開発を進めてきた。なお、これら一連の研究は、関西電力(株)研究開発部ならびに市場開発部の依頼のもとに同社との共同研究として進めてきたものである。

- (a) 実際に稼働するデモンストレーション用システム(以下デモシステムという)を開発し、担当者・利用者のニーズを明確にする。
- (b) 明確化された担当者・利用者のニーズに基づき、実用をめざしたシステムを開発する。
- (c) 開発・試用結果を基に、実用システムを効率的に開発・保守するための開発支援システムを実現する。

5-2-2 システム開発

(1) システムの概要

まず第1ステップとして開発したデモシステムCSES(Customer Service Expert System)は、新婚カップ

ルを対象とした電気器具の購入相談システムである。

このデモシステムの狙いは、次の4点である。

- (a) 計算機に不慣れな利用者でも手軽に使えるやさしいインタフェースをもつこと。
- (b) 利用者の目的や希望に知的に対応できること。
- (c) 絶えず新鮮な情報が提供できるよう、電力会社で簡単に変更できること。
- (d) どこでも使え、大量に設置できるよう、安価なパソコンで実現すること。

CSESのシステム構成を図5-2-1に示す。システムは、音声ボードと音楽ボードとを付加したパソコン(NEC PC9801/VX)上で稼働する。

本システムの推論機構は、前向き推論と後向き推論の両方を利用している。また、各器具の紹介情報などは、階層的にまとめておくと管理しやすいので、フレーム表現を利用している。

システムの利用者インタフェースは、ビデオテックスによるカラーグラフィックス、音声ボードによる日本語音声の説明、シンセサイザによるバックグラウンド音楽、キーパッドによる入力機能などを備えている。

(2) システムの利用イメージ

CSESは、まず電気器具店で店員が客にアドバイスする過程を模擬する。すなわち、最初に(世間話のかわりに)システムが相性診断と性格判断を行い、その過程で利用者の特性情報(予算、住居状況、性格など)を収集する。この利用者の特性情報と電気器具に関する知識を使って推論し、利用者に相応しい商品を推薦する。CSESの画面例を図5.2.2に示す。

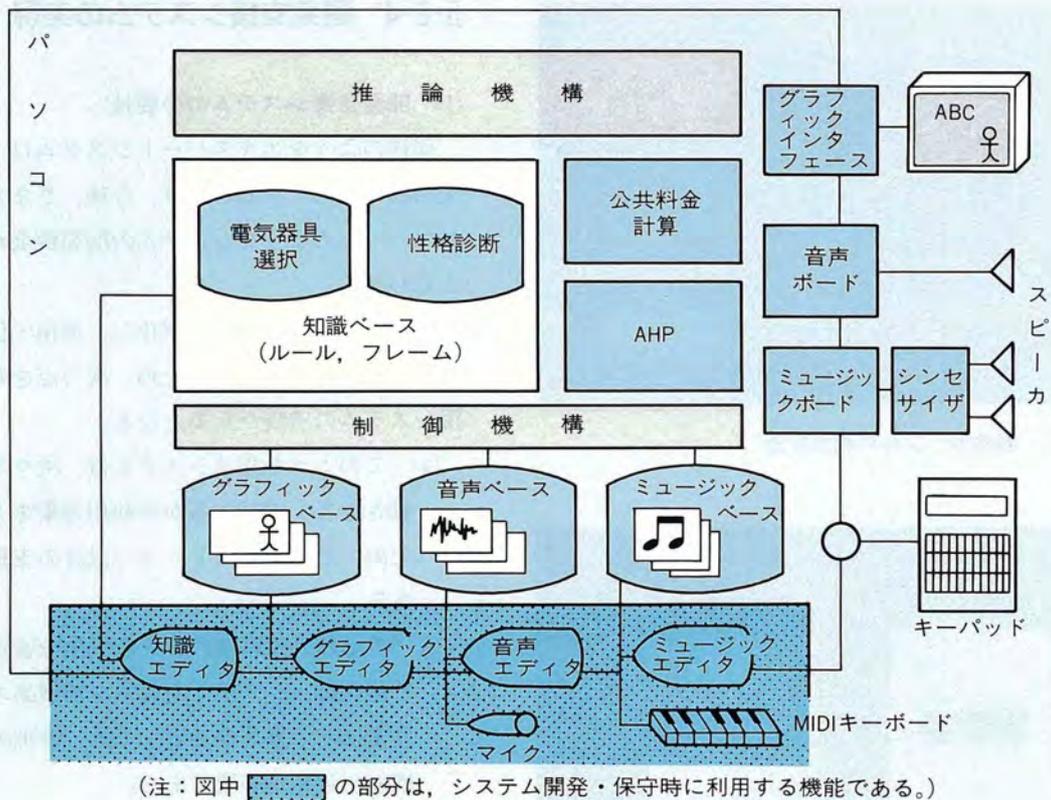


図5-2-1 CSESのシステム構成

(a) 血液型と星座に基づく相性診断

カップルの性格判断・血液型診断を行う。これは楽しさを盛り上げ客を引きつけるためばかりでなく、その過程で、間接的な質問の結果から趣味・嗜好・予算・住居状況など、電気器具選択の基本条件をみきわめるためでもある(図5-2-2(1))。

(b) 器具の提示と選択のアドバイス

システムは利用者の好みや条件に適した電気器具を見つけ、高・中・低価格の商品をグラフィック画面に表示し、その特徴・推薦の理由などを音声で説明する(図5-2-2(2))。

(c) 最終結果の提示

選択した器具の一覧表と購入金額を示す。さらに器具の性能と利用者の基本情報とから、電気・電話・水道の月間使用料も大まかに予測する(図5-2-2(3))。

5-2-3 電化厨房相談システムの開発

デモシステムCSESは、電力会社や一般の利用者に大きな関心呼び、さまざまな要望や意見が出された。そこで、第2ステップとして、実用を狙いとした「電化厨房相談システム」を開発した。

その構成はCSESとほぼ同じだが、実用目的から次の4つの機能を充実させた。

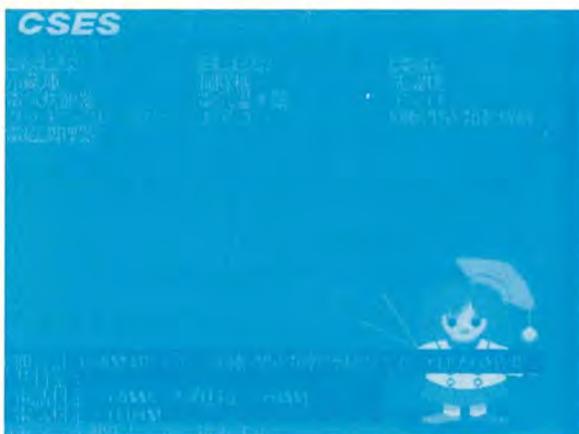
- (a) タッチパネルにより入力を簡単にした。
- (b) カラーグラフィックスに加え、機器のカラー写真画像も取り入れて実物イメージを高めた。
- (c) さまざまな厨房機器の特性や料理メニューなど、多くの専門家の意見を基に知識の充実を図った。
- (d) お客様ごとのカラーパンフレットを作り、記念として持ち帰れるようにした。



(1) 新婚カップルの相性診断



(2) 器具の提示と選択のアドバイス



(3) 最終結果の提示

図5-2-2 グラフィック画面例
(注：実際の画面は、カラーである。)

5-2-4 開発支援システムの実現

(1) 開発支援システムの必要性

前述のようなエキスパートシステムは、電気事業の営業活動に極めて有効であり、今後、さまざまなトピックについてこのようなシステムの開発機会が増大するものと思われる。

そこで、その開発を効率化し、運用・保守を一層スムーズに行えるようにするため、次の点を考慮した開発支援システムの実現が重要となる。

- (a) このような相談システムは、次々と現れる画面の動きをどう設計するかが利用効果を大きく左右するため、効果的なストーリー設計の支援機能が必要である。
- (b) 電気器具や料理に関する画像や音声などのメディア情報は、システム完成後も新製品の登場などにより常に差し替えが必要なため、管理の体系化と保守機能の強化が必要である。
- (c) パソコンでの開発は能力的に限界があり、より強力な開発環境が必要である。

(2) 開発支援システムの概要

上記の必要性に応えるため、マルチメディア・システムの開発に必要な種々の機能をもつ開発支援システムM-cube (Multi-Media Merchandizer) を開発した。その特徴は次のとおりである。

- (a) ワークステーションとパソコンを連係した開発環境
M-cubeは、ワークステーションとパソコンを連係し、システムの開発やそこで必要な情報の管理、システム変更作業などは、十分な性能をもつワークステーションを利用し、完成後はパソコンで利用できる。また、開発や変更作業の途中でも、その内容はいつでもパソコンで実行でき確認できる (図5-2-4)。

- (b) ストーリー開発を援ける機能の充実

マルチメディアを活用し、お客様向けの楽しいシステムを開発するためには、システムの動きを決めるストーリー構成、それぞれの場面に相応しいメディア表

ワークステーション

主な機能	<ul style="list-style-type: none">・シナリオ編集機能(エディタ)・メディア情報管理機能(ライブラリ)・シナリオ実行機能 (インタプリタ)・実行システム自動生成機能 (コンパイラ)
役割	<ul style="list-style-type: none">・システム開発/保守支援・情報管理機能の充実

通信機能

パソコン

主な機能	<ul style="list-style-type: none">・メディア情報入力・編集機能・メディア実行制御機能・スタンドアロン実行機能
役割	<ul style="list-style-type: none">・開発/保守時の実行機能・実運用システム

(注) 実運用システムは、通信機能をもたないパソコン単体システムとして運用する。

図5-2-4 M-cubeの機能構成

現、などが極めて重要なポイントになる。そこで、脚本家が劇などのシナリオを創作するときのように、いろいろなアイデアを組み込みながら試行錯誤によってその出来栄を見極めることができる開発環境が必要となる。このためM-cubeでは、一つひとつの場面を組み合わせて階層的にストーリーを組み立てる方法を取り、これによってストーリーの作成、変更が容易に行えるように工夫した。

さらに、メディア情報のライブラリ化、ストーリーの編集や部分実行機能などにより、ストーリーの着想

を容易にコンピュータ化でき、その様子を直ちに実行して確認することができる。

(c) 保守機能の充実

営業支援のエキスパートシステムは、極めて広い利用者層が直接使用することから、開発時には予想もしなかった機能が後から判明したり、提供する情報(例えばCSESであれば、推薦する電化製品に関する情報)を常に最新状態に維持したりするためにシステムの更新が不可欠である。M-cubeで開発したシステムは、いつでも編集可能な状態でワークステーション内に保持される。このため、運用開始後もメディア情報の差替えやストーリーの変更などが短時間ででき、実行用の新しいシステムを簡単に作ることができる。

5-2-5 今後の計画

これまでの一連の開発により、営業活動に利用するマルチメディア・エキスパートシステムの具体例と、その効率的な開発のための開発環境システムが整備できた。今後は、これらを活用して、電力会社のニーズに応じて効果的なシステムを開発し、営業活動の促進に役立てていく。

さらに将来的には、日常的な営業活動を通じて得られるさまざまな情報をもとに、営業活動のノウハウなどを見つけ出す分析手法を開発し、これを用いて営業支援に有効なエキスパートシステムの実現をめざす予定である。

5-3 業務処理ソフトウェア自動設計システム

5-3-1 研究の背景

電気事業の情報化に伴い、ソフトウェアの開発量、保守量はますます増大し、開発コストの増大、開発期間の長期化はいよいよ深刻化している。

こうした問題に対する抜本的な解決をめざし当研究所では、業務処理ソフトウェアの概念設計から検証・テストに至る開発工程全体を自動化するシステムの開発に取り組んでいる。すでに、開発工程の後半部分に当るプログラミングを自動化するシステムSPACEを開発し、製品化の段階にまで至っている。本研究では、残された前半部分の自動設計システムの開発について述べる。

5-3-2 システムの概要

(1) システムの構成

ソフトウェアの設計では、コンピュータ技術者が経理や人事など業務の担当者の考えを聞きながら、プログラム作りに必要な機能や条件を仕様書にまとめ上げる。設計の自動化は、このコンピュータ技術者の仕事を全てコンピュータ化し、業務の担当者が自らソフトウェアを設計できるようにすることである。

このためには、業務担当者の意向を正しく捉え、それをコンピュータ処理に必要な諸機能に変換する必要がある。本研究で開発した自動設計システムは、図5-3-1に示すように、①要求変換部、②対話部、③仕様生成部の3つのサブシステムと、1つのデータベース（④業務情報DB）によってこれを実現している。それぞれの働きの概

要は次の通りである。

① 要求変換部

利用者が与える処理要求を、一定の表現形式を用いてモデル化し(これを要求モデルと呼ぶ)、業務情報データベースを参照しながら詳細な情報を付加した厳密なソフトウェア仕様を作り出す。

② 対話部

利用者とのインタフェースであり、日本語による処理要求を受けて、その内容を要求変換部へ渡す。また、要求変換部が作る要求モデルを画面に図示し、利用者による確認や、曖昧さや情報不足などを解消する。

③ 仕様生成部

要求変換部が作成した詳細な仕様を基に、計算処理の実行順序や制御構造を決定し、自動プログラミングシステムSPACEに渡す情報を作成する。

④ 業務情報データベース

利用者が自動設計システムに与える極めておおまかな処理要求をソフトウェア開発に必要な詳細な情報に変換するためのさまざまな情報を蓄積したものである。業務処理に使うデータファイルに関する情報、業務処理の具体的な内容や事務処理用語などを示す情報、処理要求をモデル化するための知識などからなる。

(2) 要求獲得と仕様記述言語Fob

自動設計システムによるソフトウェアの開発は、利用者が処理の要求をシステムに告げることから始まる。これは、例えば「製品の在庫状況をレポートする」といった簡便な日本語で入力する。この入力に対して自動設計システムは、「製品」や「在庫状況」がどういったもので

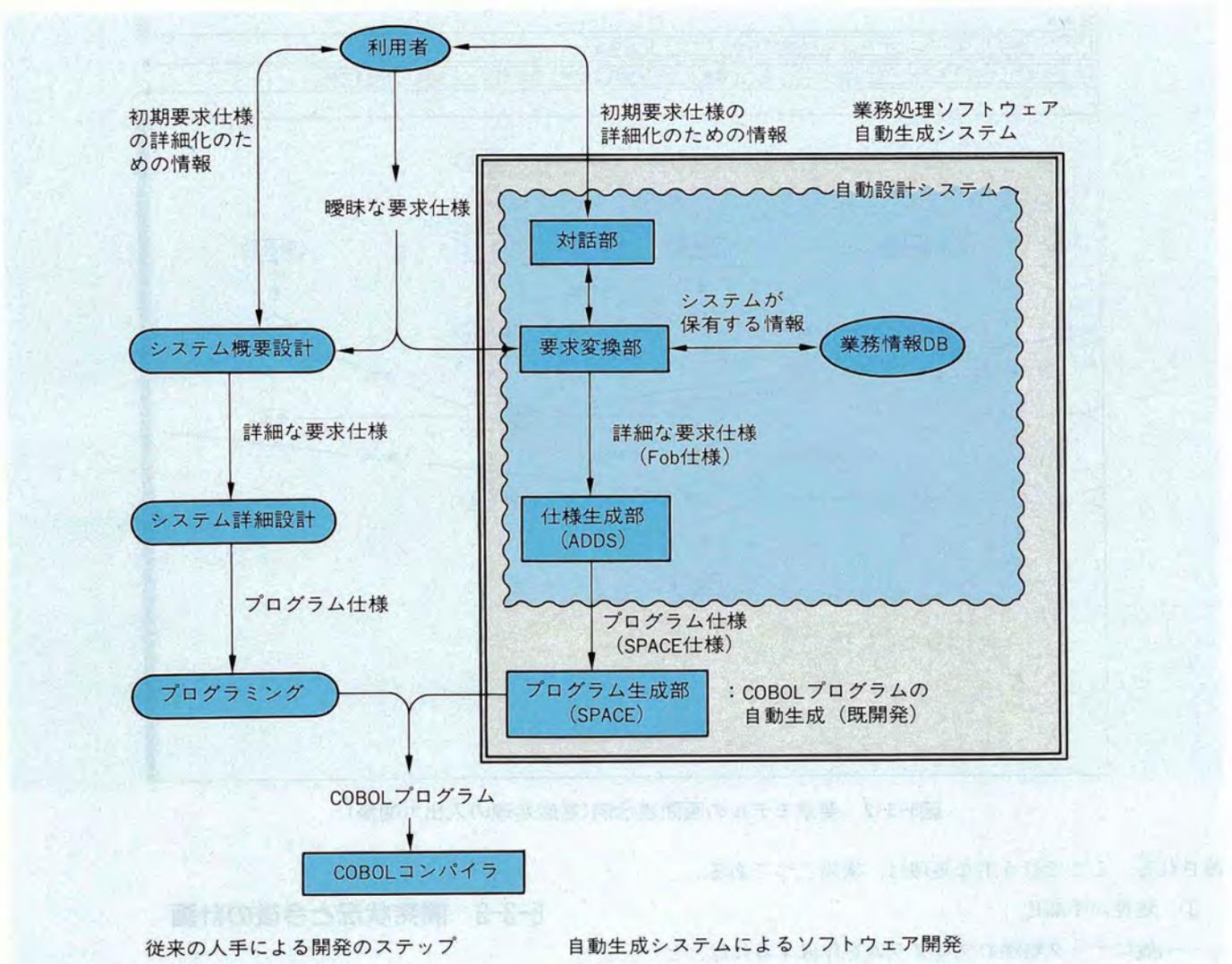


図5-3-1 ソフトウェア自動設計システムの構成

あるかを業務情報データベースによって理解する。その結果、製品は、製品番号、製品名、価格などで表され、在庫状況は在庫量で示されるが、最低在庫量や最適在庫量が必要かもしれないことなどがわかる。このように、利用者の要求内容が業務情報データベースによって把握できれば問題はないが、用いられた用語の意味が解釈できない場合や何通りもの異なる解釈ができ曖昧さがある場合などがある。その場合は、その旨を利用者に伝えて、より明確な要求を与えて貰うことになる。

自動設計システムは、このようにして解釈した結果をFob (File Operation language for Business applications) という内部的に定めた言語を使って記述する。

Fobは、業務情報データベースの中ですでに定義されているものだけを名詞や動詞に相当する語句として用い、それらの語句同士がどのような関係で結ばれているかを表現するものである。Fobによって記述された処理要求内容は、利用者への確認のために図5-3-2のように画面にも表示される。ここまでの処理が要求獲得であり、要求変換部と対話部の両サブシステムによって行われる。

(3) 仕様生成部の働き

要求獲得が完了すると、Fobで記述された要求内容が第3のサブシステムである仕様生成部ADDS (Automated Detail Design System for business applications) に

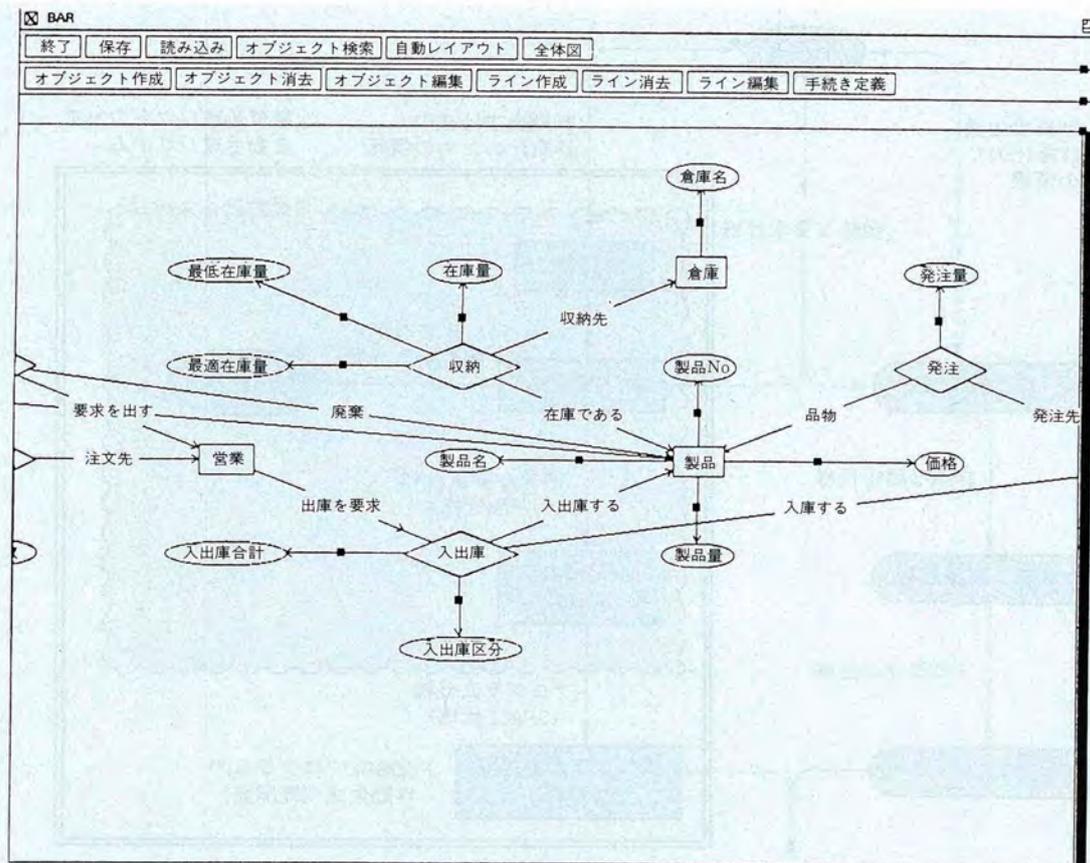


図5-3-2 要求モデルの画面表示例(在庫処理の入出力関係)

渡される。ここで行う主な処理は、次の二つである。

① 処理の手順化

一般にデータ処理のプログラムを作成するには、どんな順序でデータを処理するかを明らかにし、そのための繰返し構造を定義しなければならない。このためここで、Fobで記述された要求を基に、計算などの順序関係を調べながらデータ処理の手順を作り上げる。

② 仕様コンパイラSPACEへの情報生成

上の処理によって手順を確定した後、最後に、SPACEへ引渡すための情報に変換する。SPACEでは、それぞれ形式が決った5種類の表と2種類の図だけを用いて処理の内容を表すようになっているので、その形式に従ってそれぞれの表などを作り上げる。

5-3-3 開発状況と今後の計画

自動設計システムの3つのサブシステムの開発は、ほぼ完了した。当面する課題は、業務情報データベースの充実である。ただし、電気事業の業務全般に関する業務情報データベースを研究の中で作成することは現実的とはいえない。そこで、本研究では、特定の対象業務についてデータベースを作り、自動設計と自動プログラミングによるソフトウェア開発の有効性を検証することが今後の主要な課題である。

第 6 章

人工知能を支える
基盤技術の開発



第6章 人工知能を支える基盤技術の開発 ● 目次

経済研究所 情報システム部長 鈴木 道夫
知識処理研究室 主査研究員 篠原 靖志
知識処理研究室 担当研究員 矢澤 利弘

6-1	設備図面のコンピュータ認識	79
6-2	知識整理システムCONSIST	82
6-3	KID- α : 事例データからの信頼性の高い知識の獲得	85



鈴木 道夫 (1968年入所)

電気事業の情報システム開発に関する諸問題を中心に、ソフトウェア開発、データベース開発、システム保守などの研究を行ってきた。

現在は、電気事業での人工知能の利用技術開発に意欲を燃やしている。



篠原 靖志 (1984年入所)

エキスパートシステム、および、その構築に関する諸問題に関する研究に従事。特に、インタビュー技術・機械学習などによる知識の整理/獲得の効率化に取り組んでいる。



矢澤 利弘 (1986年入所)

知識表現、知識獲得、機械学習を中心とした人工知能の研究に従事。

現在、送配電に係わる各種設備図面のコンピュータ化ならびにその意味理解に関する研究を行っている。

6-1 設備図面のコンピュータ認識

6-1-1 研究の目的

発電所や変電所の運転業務あるいは送配電設備の建設・保全業務など、電気事業では図面を利用する業務が極めて多い。今後、設備自動化などのコンピュータ化を進めるに当り、現場の担当者が図面をもとに行っている判断をコンピュータに代替するためには、今日利用されている多種多様な図面をコンピュータ処理可能な形にデータベース化しなければならない。しかしながら後述のように、コンピュータ化するためには現在のところ多大な人手をかけなければならない、既存の多量な設備図面を

短期間にデータベース化することは極めて困難である。

そこで本研究は、人工知能技術を活用して設備図面の入力処理をできるだけ自動化するための図面の認識技術を開発し、また識別した図面情報を既存の設備管理システムや故障診断エキスパートシステムなどさまざまな目的に活用しうる形で保持するための図面情報データベースを開発することを目的として、1989年度より開始したものである。

6-1-2 研究の現状

現在は本研究の第1フェーズとして、設備図面の認識

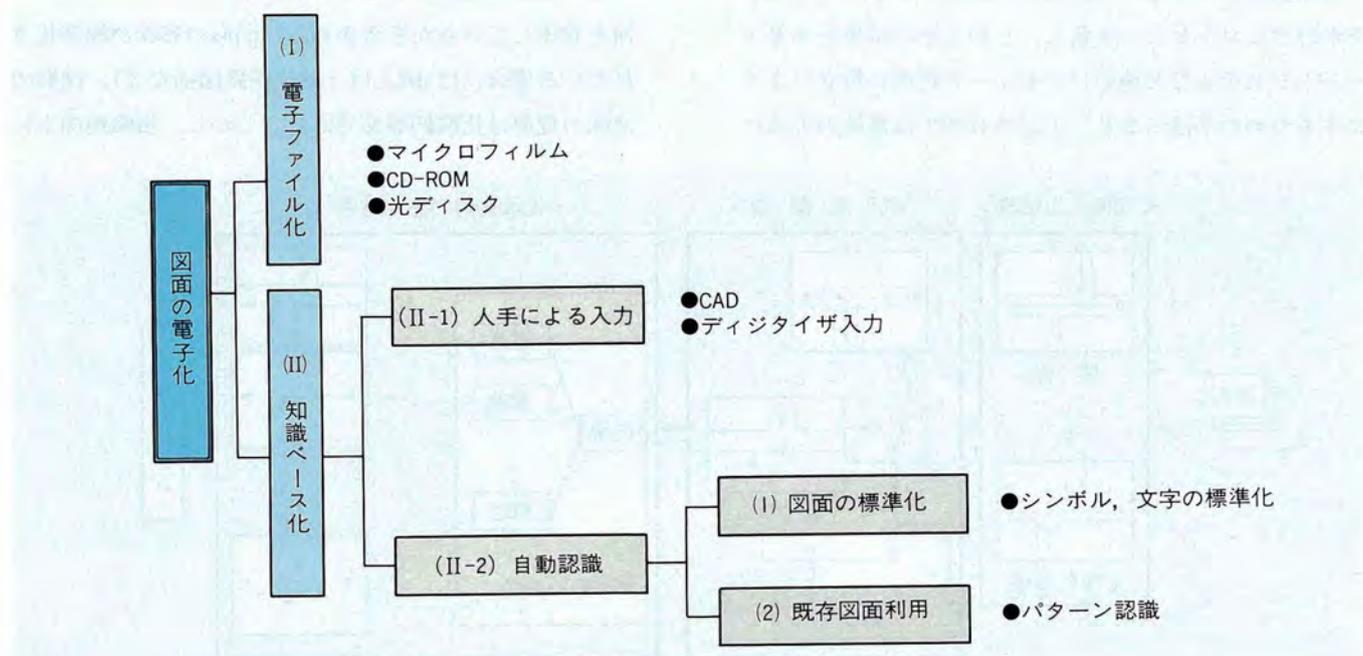


図6-1-1 図面電子化の各種方法

に有効な手法を開発することを目標としており、既存の各種手法の調査と比較検討を踏まえて、新たな認識アルゴリズムを開発中である。

(1) 各種の図面入力方法と図面理解

一般に図面をコンピュータ化するには、図6-1-1に示すように種々の方法がある。このうち [I] の範疇のものは、図面を画像としてそのまま保存するものであり、保存空間の節約、輸送・探索・複製の利便性向上など多くの利点があるが、本質的には記録媒体が変わっただけであり、内容を読取るのは従来と同じく人間の仕事である。これに対して [II] に属するものは、図面が表す内容をコンピュータに理解させることを目的としている。さらにその中の [II-1] は、まず人間が理解して、その結果をコンピュータに教え込むものであり、[II-2] は、理解の仕事そのものをコンピュータに行わせようとするものである。これにも大きく二通りがあり、コンピュータが理解しやすいように予め図面そのものを標準化しておくものと(1)、あるがままの図面を与えて理解させるものとである(2)。一般に、図面の活用にとっての利便性はこの順に高まるが、それだけ技術的な困難度も高くなる。

本研究がめざすものは、既存の図面をできるだけ人手をかけずにコンピュータ化し、しかもその結果をエキスパートシステムなど他のコンピュータ処理に役立つようにするための手法であり、上記の分類では最後の方法に

該当する。これは、人間が図面を読むのと同じようにコンピュータが図面を理解する仕組みを開発することに他ならない。

(2) 図面理解の基本的な仕組み

コンピュータに図面を理解させる（以下、単に図面理解と呼ぶ）ための処理は、図6-1-2に示すように3段階から構成される。

第1段階の画像入力処理は、ビデオカメラやスキャナなどで読取った図面の画像を線画化することである。これによって、第2段階以降の処理は多数の線分（ベクトルと呼ぶ）を対象にして行われることになる。このための手法はこれまでにさまざまなものが提案されており、また、対象とする図面の種類などとは基本的に独立して行えるため、原図面の汚れの度合いなどを考慮して最適な手法を選択すればよい。

第2段階の図形認識では、線分を纏めて、直線、多角形、円、円弧などの幾何学的な図形としての認識を行う。ただし、これらの図形が相互に分離して描かれているとは限らず、交差したり接したりしているものが多いと、単純な方法ではほとんど認識不可能になる。

第3段階の意味理解では、前段階で識別した各図形が何を意味しているかを突止める。図形の形状が標準化されている場合には（例えば、論理回路図面など）、図形の意味の理解は比較的容易である。しかし、街路地図上に

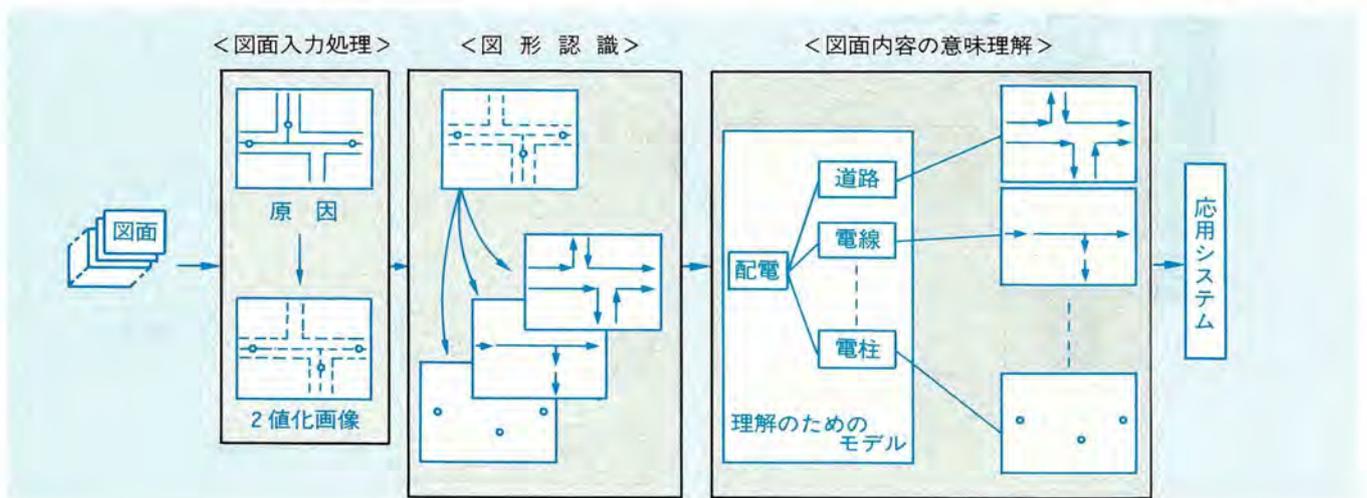


図6-1-2 図面の意味理解のための処理過程

描かれた配電線路図などでは、道路も配電線も直線にすぎず、形状だけから判断することはできない。

(3) 図面理解の新たな手法の提案

上記の3段階の処理のうち、第1段階は基本的に問題はないが、第2、第3段階の処理は技術的に高度な手法の開発を必要とする。当研究所では、最終的には配電設備図面の自動認識を想定し、それに耐え得る第2、第3段階の問題点を克服するために、次のような新たな手法を開発中である。

① 設備モデルの導入

図形認識や意味の理解における困難さは、図面の局所判断ができないことに起因するため、より大局的な観点からいくつかの図形を纏めて判断する方法が必要となる。このためには、例えば、道路に沿って描かれる配電線がどのような図形の集りで表されるかを示すものが必要となり、これらを対象設備の基本的なモデルとして用意しておくことにする。このようなモデルは、図面上に表される設備の最小構成要素のレベルから、順次上位の構成要素へと纏められ、最上位が設備図面全体に対応する階層的な構造をもつことになる。現在、意味ネットワークと呼ぶ表記手法を利用してこのモデルを記述し、これを参照しながら図形やその意味を理解する効率的なアルゴリズムを開発中である。

② ボトムアップ/トップダウン併用型認識手法

ここで、ボトムアップとは、個々の要素図形の意味が個別に分っている場合に、それらの全体が何を意味するかを見極めることであり、トップダウンとは、逆に全体として何を表すかが分っているときに、その中の個々の要素図形の意味を明らかにすることである。これら2つの認識手法を同時に利用して、つまり、一方のやり方で可能な限り認識し、それが行き詰った時にもう一方のやり方でさらに認識を進めることにより、認識力を高めることを狙いとしている。このアプローチは、例えば、われわれが英文を理解する場合に、個々の単語の意味から文章を理解したり、文脈からの理解に基づいて未知の単語の意味を類推したりするのと同じことである。

6-1-3 今後の計画

本研究は上述の通り、現在は基本的な認識手法の開発途上であるが、今年中に手法開発を終え、引き続きこれを利用した図面認識システムの開発を進める予定である。

6-2 知識整理システムCONSIST

6-2-1 研究の目的

エキスパートシステムの開発において最も困難が伴うのは、適切な知識を集め、知識ベースを構築することである。例えば運転操作手順書などにより知識ベースの原型がある場合には、スムーズな開発が期待できるが、熟練運転員など人間から知識を聞き出し、それを整理して知識ベースを構築することは極めて困難である。これは、システム開発者と専門家（熟練運転員など）とで問題に対する理解力の差があることや、専門家自身も理解していることとそれを的確に表現することとにギャップが生

れることなどの難しさが重なり合うためと考えられる。

そこで本研究では、専門家自身が自らの知識を整理することが知識ベース開発の困難を最小限にする方法であるとの考えの下に、その知識整理過程を強力に支援するために、コンピュータと対話しながら段階的に知識を纏め上げることができるシステムCONSIST（CONStruction of Information STructure）を開発した（図6-2-1）。

6-2-2 CONSISTの主要な機能

(1) 知識整理の考え方

専門家の知識整理を援けるために、知識整理とはどのようなプロセスなのかを明確にしなければならない。「整理」という言葉からは、乱雑になっている本などを一定の形に並べなおすことなどが想像されるが、知識ははじめから明確な形で記憶されているとは限らず、それらをただ並べ換えるといった概念では説明できない。むしろ、最初は部分的に分かっている事柄を出発点として、それらと関連する新たな事実や考え方を想起し、徐々に知識の全体が形成されていく、と考えるのが自然である。

従って、知識整理において最も重要なのは、それまでの整理によってどのような関連性が得られているのかを的確に把握でき、それによってさらに多くの新しい関連性が発想できることである。このようにして多数の情報の中にさまざまな関連性を見つけることが知識整理であり、この過程をコンピュータによって支援するために、CONSISTは以下の様な機能をもっている。



図6-2-1 CONSISTによる知識ベース作成のイメージ

(2) CONSISTの基本的な動き

CONSISTは、整理中の知識全体を管理するために、コンピュータの中に「概念ベース」と呼ぶものを作り上げる。これは図6-2-2に示すように、多数のさまざまな情報とそれらの間の関係を一つのネットワーク構造に纏めたものである。知識整理の過程ではさまざまな視点からの発想によって知識が追加されていくので、概念ベースは極めて複雑な構造になっていく。そこでCONSISTでは、注目したい視点を指定することによって、その視点から見た概念ベースの内容を構造グラフとして画面に表示する。利用者は、この画面を見て新たな知識を追加したり、変更したり、あるいは別の視点の画面に切り替えたりしながら知識整理を進める。勿論これによって、コンピュータの中での概念ベースが変更されていく。

CONSISTを用いた知識整理は、カードを用いて議論の整理をするKJ法に似ているが、コンピュータならではの利点は、知識の量が増えたり整理内容を大幅に変更したりしても、知識整理を容易に行えることである。

(3) 知識の自動的な検査

以上の基本的な機能に加えてCONSISTは、作り上げる知識の質を高めるために、関係に対するさまざまな検査を自動化する仕組みを備えている。これは、知識の量が

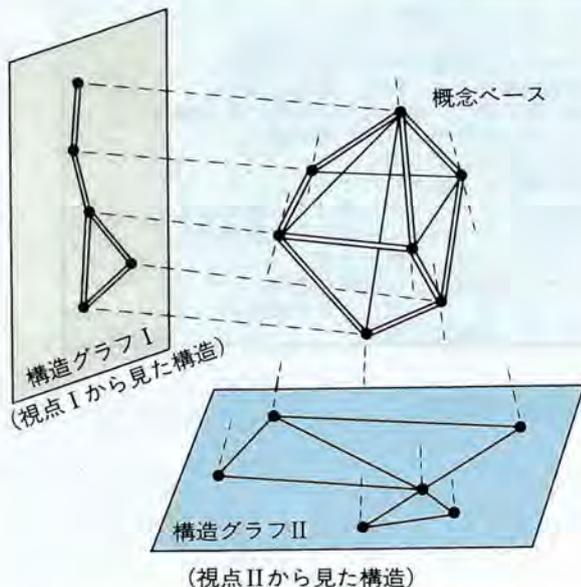


図6-2-2 概念ベースを構造グラフで表示する

増えてくると人間に見落としや勘違いが起きやすくなり、知識の矛盾、欠落、重複などが発生するため、それらを自動的に検出できるようにするためである。

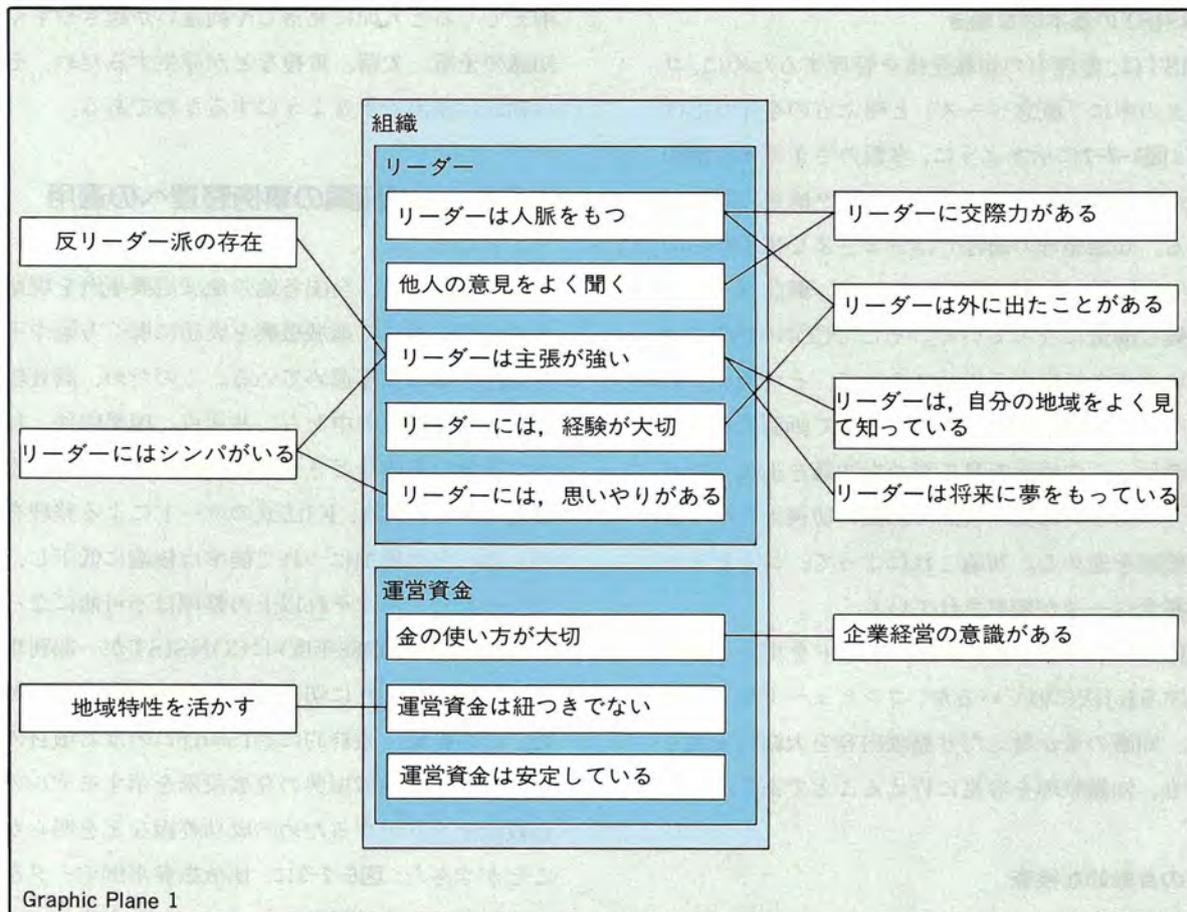
6-2-3 地域振興の事例整理への適用

当研究所では、全国各地の地域振興事例を現地調査し、その分析を通じて地域振興を成功に導く方策や手順などを抽出する研究を進めている。このため、調査結果の膨大で多様な情報の中から、共通点、因果関係、目的の達成に有効な手段などさまざまな関連性を整理することが必要になる。当初、KJ法式のカードによる整理を行ったが、カードの増加につれて能率は極端に低下し、数百枚になったところでそれ以上の整理は不可能になった。

丁度その頃(1988年度)にCONSISTが一部利用可能になったので、これに切換えて整理を継続することができた。この結果、最終的に約1500件のにほる項目の関連性が整理でき、地域振興の発展段階を示すモデルの作成や各段階をクリヤするための成功要因などを明らかにすることができた。図6-2-3に、地域振興事例データを整理中のCONSIST画面例を示す。ここでは、ある一つの視点から見たときに関連する情報だけが図示されているが、概念ベースにはさらに多数の項目が納められていることが右側の項目リストによって判る。

6-2-4 今後の計画

CONSISTは、Symbolics3670という人工知能専用コンピュータによって開発した。しかし、昨今では高性能で汎用的なワークステーション(EWS)が広く普及しており、各種エキスパートシステムもこれらを利用するのが一般化している。そこで、知識ベースもこれらによって開発することが望ましいので、CONSISTをEWSで利用できるように現在、変更を進めているところである。



Graphic Plane 1

DB ITEM LIST

<p>実行組織をメンバーが自分のものと思う。 実行組織の立場の明確化。 振興のための組織。 リーダーの交代は、引き際が大切。 後継者を世襲させている。 後継者の問題。 反リーダー派の存在。 リーダーにはシンパがいる。 複数のリーダーがいる。 リーダーはブローカーになっていないか。 リーダーの特性。 リーダーは将来に夢をもっている。 リーダーは旧家の出である。 リーダーは責任のあるポストを与えられる。 リーダーは思いやりがある。 リーダーは敵を作らない。 リーダーに交際力がある。 リーダーが社会に敵対心を持っている。</p>	<p>リーダーは主張が強い。 リーダーが独裁者である。 リーダーが自分の主張を押し通す。 リーダーは鋭い。 リーダーは引き際がうまい。 リーダーはアイディアマンである。 リーダーは問題点のを見つけ方が鋭い。 外部状態をうまく捉え、未来を読む。 同じ目で見ても、違うものを発見できる能力。 リーダーの目のつけどころが鋭い。 他人の意見をよく聞く。 専門家をよく巻き込んでいる。 地域内にアドバイスを受ける人脈がある。 地域外にアドバイスを受ける人脈がある。 リーダーには、経験が大切。 リーダーは挫折した経験がある。 リーダーは、外に出たことがある。 リーダーの前史が特別。</p>
---	---

図6-2-3 地域振興データ整理のCONSIST画面例

KID- α : 事例データからの信頼性の高い知識の獲得

6-3-1 研究の目的

エキスパートシステムの開発・実用化にあたっては、知識ベースの構築の難しさ、および、システムの信頼性の保証が重要な問題となっており、これを解決するための有効な技術の開発が待たれている。

当研究所では、熟練した専門家がいた分野については、その専門家の持つ豊富な知識を体系的に整理して効率的に知識ベースを作成することを援けるツールとして、知識整理システムCONSISTの開発を進めてきた(6-2参照)。しかし、エキスパートシステムの応用分野は、電力設備の運転など永年の経験が蓄積され、熟練した専門家が豊かな課題ばかりとは限らず、熟練した専門家がない分野への適用に対する期待も高い。例えば、電気の一般消費者に対するサービス活動の促進など電力業界としての取り組みがまだ日の浅い分野では、その活動支援に対する期待は大きいですが、担当者自身には、かならずしもまだ十分な知識が蓄積されていない。このような分野では、知識ベースの構築に必要な知識をどのように得てくるか、さらに、その信頼性をどのように確保するかが重要な問題となる。

われわれは、このような熟練した専門家のいない分野での信頼性の高い知識ベースの構築を支援するために、過去の事例データからコンピュータが自動的に知識を見つけ出す「機械学習」手法を利用した知識獲得支援ツールKID- α を開発した。

6-3-2 KID- α による知識生成の概要

(1) 知識生成と信頼性確保の基本的な考え方

経験知識とは、同じような事柄を繰り返し経験するなかで、その事柄を特徴づける特定の事象や条件が起こったときに、きっとまた同じことが起こるに違いないと考えるようになり、これが積み重なってできあがるものである。このような知識を、エキスパートシステムでは「～ならば～である」というIF-THENルールの集まりで記述する。

熟練した専門家がいた場合には、その専門家からこのようなルールを獲得してくれば良いのであるが、熟練した専門家がない場合には、どのようにしてこのような知識を獲得してくるかが問題となる。

経験知識は過去の経験中で繰り返すパターンを抽出したものであるから、もし、過去の一連の活動データが記録してあれば、そのデータを解析して、同一条件で同一の事柄が起こっているという規則性を発見すれば、知識(IF-THENルール)を自動生成することができる。これが帰納的機械学習の基本的考え方である。

更に、一連の活動データが記録されているならば、担当者がこうではないかと思っている不確かな知識や、コンピュータが帰納学習などによって得た知識がどの程度信頼のおけるものかも確かめることができる。例えば、100件の活動データ中30件がルールの条件(IF)部を満たしており、その内28件が結論(THEN)部も満たしているならばこのルールはかなり信頼性が高いルールと判断できるし、100件中たった2件しか条件部を満たすものかな

ければ、このルールは過去の経験の一定の規則性を捉えた知識というには根拠となるデータがあまりに少なく、信頼性あるルールとは考えられない。このような直観的判断を定量化した統計的信頼性係数などの指標を使うことで、各知識の信頼性を確かめることができる。

KID- α では、過去の一連の活動を記録したデータベースを基に、この帰納学習と統計的信頼性係数によるルールの信頼性の検証を融合することで、担当者の持つ不確かな知識を検証し、より信頼性の高いルールに修正したり、担当者もまだ気付いていない規則性を捉えた信頼性の高いルールを自動的に生成することができる。

(2) KID- α による信頼性の高い知識ベース生成の仕組み

前節で述べた考え方を現実の問題に適用するためには、次のような配慮が必要となる。

- ① 複合条件：ただ1つの条件の是非だけでは判別できることがらは少なく、いくつもの条件が重なり合った複合条件によって初めて判別できることが多い。
- ② 情報の多値性：記録された個々のデータは、Yes/Noや0/1などの二者択一の値ばかりとは限らず、いくつもの値や連続した値で与えられる性格のもの（年齢や住まいの広さなど）であることが多い。これらに対する判別方法を工夫する必要がある。

以上の点を踏まえ、KID- α では、極力信頼性の高い知識を獲得するために次のような方法で知識生成を行う。

まず、利用者がデータベース上の項目で結論としたい項目を指定する。例えば、契約の成否を左右する条件についての知識を得たい場合は、「契約の成否」を指定する。

これに対して、KID- α はまず、候補ルールを求める。担当者が自分の持つ（不確かな）知識を与えていれば、これが1つの候補ルールとなる。また、このような知識がない場合は、KID- α は全データを調べ、「IF(単一条件) THEN(結論)」の形で信頼性（統計的信頼性係数）が最大のルールを求めて、これを第1の候補ルールとする。

次に、この候補ルールに対して、KID- α が内蔵している「知識生成のためのルール」を適用する。このルールには条件部を厳しくしていく特殊化ルールとその逆の働

きをする一般化ルールとがある。特殊化ルールとしては、条件を付け加えて複合条件を作るものと、条件の値の範囲を狭めるものがあり、これらはいずれも該当するものを絞り込む働きをする。一般化ルールは、この逆の操作によって対象範囲を広げる。KID- α は、信頼性がもとの候補ルールより大きくなるように、これらの知識生成のためのルールを繰り返し適用して、候補ルールをより信頼性の高いルールに書き換えていく。

これ以上信頼性の高いルールを得ることができなくなれば、そこで1つの知識生成を終え、次の候補ルールを見つけて新しい知識生成に入る。ただし、得られたルールの最終的信頼性が一定水準（90%）以上でなければ、そのルールは信頼できるルールとは判断できないので、知識としては採用しない。このようにして、生成された知識の信頼性が保証される。

6-3-3 営業活動の知識抽出への適用

ビル熱源に対する営業活動の状況分析や担当者への適切なガイダンスなどが行える支援システム作りをめざし、営業活動の実績に対して本手法の適用を試みている。これは、ビルの新築に当たって、その熱源を電気にするかガスにするか、あるいは両者を共用にするかの判断が何によって決定されているかを、これまでのさまざまな営業活動の記録情報から探ろうとするものである。

このために用いた活動記録情報は、対象とする件名毎にビルの用途や延べ床面積などのビル自身の情報、発注者、設計会社、竣工予定時期など建設に関する情報、物件情報入手時期、情報入手経路、熱源種別など営業活動に関する情報など十数項目から構成されており、試行実験には80件程度を用いた。ここでのKID- α の目的は、抽出したい知識の結論部が熱源の種類にあることから、これらが電気であるもの、ガスであるもの、電気/ガス共用であるものの3クラスを判別する条件を探り出すことである。

KID- α を使った分析により、それぞれの熱源種類を判別するための知識が全体で約320ルールほど見つかった。これによれば例えば、発注者、ビル用途などが熱

源の違いに大きく関与しており、ある種の組合せでは電気を採用しているケースが多く、また、別の組合せではガスや共用のケースが多くなっていることがわかる（図6-3-1参照）。ただし、KID- α で抽出されるこれらの結果は、用いたデータ相互の間にそのような関連性が存在するというものであり、これらの条件が熱源決定の要因であるという因果関係を示しているのではない。また、KID- α が結果の判別に使用できる条件はデータベース中の項目に示された項目のみであるから、より良い判別条件があっても、データベース中に現れていないならばそのような条件を見つけることはできない。従って、このような因果性の検討や、判別に適切なデータベース項目の考案などは人間が吟味して考えるべき問題であり、ここに知識獲得におけるコンピュータの利用と人間との役割分担の重要性がある。本稿ではふれなかったが、KID- α はこのような人間の側に重点がある活動については、吟味・検討のきっかけとなる質問を発するインタビュー機能によって、担当者の思考を刺激することで、人間とコ

ンピュータが協調したよりレベルの高い知識獲得の支援を行っている。

6-3-4 今後の課題

現在、KID- α はC言語で記述され、ワークステーションやパソコンで利用できるようになっている。KID- α で生成された知識はエキスパートシステム構築用言語OPS83のルールとして書き出され、実行可能なエキスパートシステムが容易にできあがる。

今後は、利用者インタフェースの充実を図り、知識獲得用簡易ツールとして整備する予定である。

また、現在KID- α が対象とする問題は、条件に応じて対象を分類するというタイプの問題に限定されているが、設計やスケジューリングなどこれ以外のタイプの問題でもエキスパートシステムの対象となる問題が多い。これらの異なるタイプの問題についても、信頼性の高い知識の獲得、保守の問題について今後検討の必要がある。

＜営業記録データベース＞

対象ビル	用途	延床面積	発注者	設計会社	情報源	熱源種別



知識獲得システム
KID- α



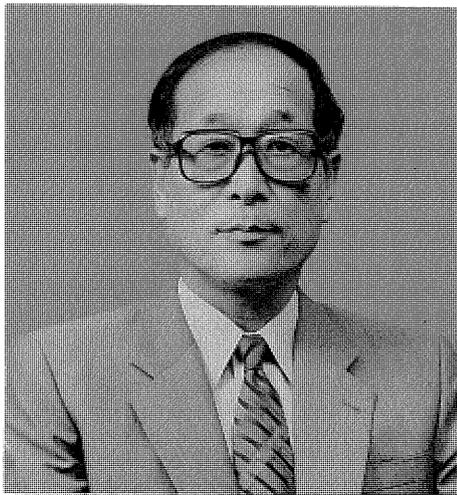
＜生成される知識の例＞

IF (用途：自社事務所)かつ(発注者：営利団体) THEN(熱源種別：電気)	確率	信頼度
IF (用途：地下街) THEN(熱源種別：共用)	75%	95%
IF (発注者：公共団体)かつ(残月：半年以内) THEN(熱源種別：ガス)	75%	95%
	100%	100%

図6-3-1 営業記録データベースからの知識生成の例

お わ り に

経済研究所長 理事 矢島 昭



当研究所が、人工知能技術の将来性に着目し、基礎調査と電気事業への応用可能性について検討を開始してから、早くも10年になる。

当初は人工知能に対する誤解や技術的困難も多かったし、私たちの研究もはじめから順調に進んだわけではなかった。しかし、幸いに電力各社ならびに関連メーカーの関係者の暖かいご支援に支えられ、徐々にではあるが電気事業におけるこの新しいソフト技術の研究に端緒を拓くことができたと思う。

いまや電気事業では、さまざまな分野で多数のエキスパートシステムが開発され、一部はすでに現場で実用に供されるまでになっている。しかし、人工知能技術の潜在的な可能性から見れば、今日の応用は僅かにその第一段階に達したにすぎない。さらに、応用が試みられている分野の広さに較べれば、実用性が確認されているのはまだ極めて狭い範囲であり、業務の中でのその役割もまだ部分的なものに限られている。

今後、さらに多くの問題の解決に向けてエキスパートシステムを始めとするさまざまな人工知能技術が活用されるであろう。当研究所も、電気事業のニーズに適した人工知能技術の開発にさらに力を入れて取り組む決意である。今後とも関係各位のご指導とご鞭撻を心からお願いする次第である。

関連する主な研究報告書等

● 1-1～1-2 ●

1. 「電力中央研究所における知識処理技術の適用と内外の動向」電中研 資料 (1987)
2. 「電力技術へのAI応用」電気協同研究 第44巻 第1号 (1988)
3. 「電気事業AI研究会報告書」電気事業AI研究会 (1990)
4. 「電気事業におけるエキスパートシステム開発の現状と今後の課題」情報処理研究 No.17 (1990)

● 2-1 ●

1. 「知識処理に基づくプラントの予防保全支援システムの開発」情報処理研究 No.13 (1985)
2. 「原子力発電所の異常事象再発防止のコンサルテーションシステムCSPARのインターフェースの開発」電中研 研究報告：Y87012 (1988)
3. 「原子力発電所における類似故障・トラブルの再発防止支援用エキスパートシステムの開発」電中研 研究報告：P89001 (1990)

● 2-2 ●

1. 「新NICSの開発ー自然言語による情報検索システムのプロトタイプの開発」電中研 研究報告：P89302 (1990)

● 2-3 ●

1. 「高度能力開発システムの開発 (その1)」電中研 研究報告：S87001 (1988)
2. 「 同 上 (その2)」電中研 研究報告：S88003 (1989)
3. 「 同 上 (その3)」電中研 研究報告：S89001 (1990)
4. 「音声入力ならびに表示画面の改良による運転員教育システムの対話機能の強化」電中研 研究報告：S89002 (1990)

● 2-4 ●

1. 「原子力プラント供用期間延伸のための総合評価システムの概念設計(第1報)ーシステムの概念と開発方針」電中研 研究報告：T88047 (1989)
2. 「 同 上 (第2報)ー中性子照射脆化材料データベースの開発」電中研 研究報告：T89013 (1989)
3. 「 同 上 (第3報)ー知識ベースに基づく技術的評価手法」電中研 研究報告：T90069 (1990)

● 2-5 ●

1. 「低レベル放射性廃棄物陸地処分の安全性評価」電中研 研究報告：385014 (1987)
2. 「確率論的手法による飽和・不飽和浸透流解析」電中研 研究報告：U87077 (1988)
3. 「確率論的手法による放射性核種地中移行解析」電中研 研究報告：U87078 (1988)
4. 「地質・水文環境情報に関する多機能型データベースシステム“DASH”の開発」電中研 研究報告：U87079 (1988)

● 3-1 ●

1. 「飛驒川水系翌日発電計画プログラムの開発」電中研 依頼報告：183504 (1983)
2. 「連接水系の翌日発電計画エキスパートシステム」電中研 研究報告：186005 (1986)

● 3-2 ●

1. 「知識工学の電力用通信網管理への適用に関する一考察」電中研 研究報告：T88088 (1989)

● 3-3 ●

1. 「低圧スポットネットワーク受電設備過電流保護協調支援エキスパートシステムの開発」電中研 研究報告：87011 (1988)

● 3-4 ●

1. 「架橋ポリエチレンケーブルの水トリー劣化とその判定法」電中研 総合報告：No.113 (1974)

● 3 - 5 ●

1. 「武山地点における各種がいしの急速汚損特性」 電中研 研究報告：683005 (1984)
2. 「武山課電暴露実験場における交流用高強度がいしの自然汚損特性」 電中研 研究報告：685001 (1985)
3. 「横須賀直流課電暴露実験場におけるがいしの汚損・フラッシュオーバー特性」 電中研 研究報告：685008 (1985)
4. 「汚損碍子フラッシュオーバー予測エキスパートシステムの開発」 電中研 研究報告：W89025 (1989)

● 4 - 1 ●

1. 「ダムゲート寿命診断におけるエキスパート・システム技術の適用と考察」 電中研 研究報告：585013 (1986)
2. 「水力鋼構造物の寿命予測手法の開発」 電中研 総合報告：U04 (1987)
3. 「水力鋼構造物評価診断システムの試験的利用について」 電力土木 No.226 (1990)

● 4 - 2 ●

1. 「貯水池堆砂防止機構に関する実験的研究」 建設省土木研究所報告94号 (1956)
2. 「貯水池堆砂の管路水力輸送方式(砂スラリー輸送)に関する試験」 電力土木 No.178 (1982)
3. 「ダム堆砂対策調査報告書」 建設省中部地方建設局天竜川総合管理事務所 (1978)
4. 「ダム貯水池堆砂除去に関する一実験」 日本国土開発(株) 技術報告 No.1 (1981)
5. 「土木工事の積算」 土木学会 (1972)
6. 「移動床および礫床流れの抵抗則に関する研究」 電中研 研究報告：382033 (1982)
7. 「調整池排砂路の水力設計の検討」 電中研 依頼報告：385528 (1986)

● 4 - 3 ●

1. 「土木鋼構造物の腐食実態調査」 電中研 調査報告：U89029 (1989)
2. 「火力発電所港湾鋼構造物の腐食劣化度判定システムの開発」 電中研 研究報告：U89053 (1990)

● 5 - 1 ●

1. 「計量経済モデルシミュレーションシステムの開発」 電中研 研究報告：Y87002 (1987)
2. 「大規模経済予測モデルのための分析支援システムの開発」 電中研 研究報告：Y87011 (1988)
3. 「知識型経営情報システムの開発—短期経済動向予測結果の要約システム」 電中研 研究報告：Y88016 (1989)

● 5 - 2 ●

1. 「電気器具購入相談システムの開発」 電中研 依頼報告：Y88502 (1989)
2. 「電気利用コンサルティングシステムの開発」 第30回プログラミングシンポジウム (1989)
3. 「マルチメディア知識ベースシステム構築支援環境 μ -cubeの開発」 電中研 依頼報告：Y89504 (1990)

● 5 - 3 ●

1. 「自動プログラミングシステムSPACEの開発」 電中研 研究報告：585011 (1986)
2. 「ソフトウェア自動設計システムの開発(1)—設計自動化方式の開発とファイル処理モデル化」 電中研 研究報告：Y87014 (1988)
3. 「ソフトウェア自動設計システムの開発(2)—詳細設計自動化システムADDSの開発」 電中研 研究報告：Y89001 (1989)

● 6 - 1 ●

1. 「設備図面入力のための図面認識技術の現状調査」 電中研 調査報告：Y89006 (1990)

● 6 - 2 ●

1. 「知識整理支援システムCONSISTの開発」 電中研 研究報告：Y86003 (1987)
2. 「知識整理支援システムCONSISTの適用と評価—地域振興調査事例の詳細分析への適用」 電中研 研究報告：Y88021 (1989)
3. 「地域振興の要件と発展段階—知識整理支援システムによる主要事例の詳細分析」 電中研 研究報告：Y88022 (1988)

本部/経済研究所

東京都千代田区大手町1-6-1 ☎(03)3201-6601 ☎100

我孫子研究所 千葉県我孫子市我孫子1646 ☎(0471)82-1181 ☎270-11

赤城試験センター 群馬県勢多郡宮城村苗ヶ島2567 ☎(0272)83-2721 ☎371-02

柏江研究所/原子力情報センター/ヒューマンファクター研究センター

東京都柏江市岩戸北2-11-1 ☎(03)3480-2111 ☎201

横須賀研究所 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 ☎(0468)56-2121 ☎240-01

UHV塩原試験場 栃木県那須郡塩原町関谷1033 ☎(0287)35-2048 ☎329-28

編集後記

電中研レビュー第27号「電気事業における人工知能の実用化をめざして」をお届けいたします。

本号では「巻頭言」を東京大学工学部教授 関根泰次様にお願いました。ご多用中にもかかわらず快くご寄稿をいただき、心からお礼を申し上げます。

当研究所が人工知能の研究に着手して以来、早くも10年になります。最近ではAIという言葉が世の中に定着し、身近な家電製品にまでファージやニューロなどの専門用語が広く使われています。しかし、AIの研究の狙いやその中身を容易に理解して頂くのは困難です。

一つには、AIが魔法の杖のように何でも可能にするようなイメージを抱かせることが、理解の妨げや誤解を生む原因となっていることは否めません。また、別の面

は、例えば発電や送電といった特定の技術ではなく、極めて広範囲な分野に利用可能であることも、わかりにくくしている大きな原因だと思います。

AIが人間の素晴らしい知能のしくみを探り、そのような思考能力を備えたコンピュータシステムの実現を夢見て研究者は情熱を燃やしていますが、現在の技術レベルはそれに比べて遙かに遠いのが現実です。

このようなAIの性格や現在の技術レベルを考え、当研究所では電気事業の様々な分野への応用を促進すること、それに共通する基盤的な課題を克服することを二つの基本的な柱として、多くの研究部門が協力しながら積極的に研究開発を進めています。

当研究所における研究開発に日頃よりご協力頂いております関係機関および皆様にこの場をお借りしてお礼申しあげるとともに、本冊子が少しでもお役に立てれることが出来れば幸いに存じます。

IR