

知的情報処理システムに関する調査研究報告書

第5分冊 知識システムの事例

平成元年3月

JIPDEC

財団法人 日本情報処理開発協会
ICOT-JIPDEC AI センター



この報告書は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて昭和63年度に実施した「知的情報処理システムの導入・活用に関する調査研究」の成果の一部をまとめたものであります。

まえがき

通商産業省情報処理振興審議会は、1986年3月の答申において、1990年代を目標とする第4期「電子計算機利用高度化計画」を取りまとめましたが、この中で、従来のコンピュータ利用技術の延長線上では捉えきれない新しい概念として「知識情報処理」を取り上げています。また、情報処理振興審議会の答申から遡ること4年、1982年4月に通商産業省では、世界に先駆けて、知識情報処理機能を組み込んだ全く新しいコンセプトの「第五世代コンピュータ」の開発をスタートさせました。

欧米諸国もこの日本の第五世代コンピュータプロジェクトに刺激を受け、相次いで知識情報処理技術の研究開発をナショナル・プロジェクトとして取り上げています。

一方、産業界でも、各種の知識システムの開発、導入に積極的に取り組み始めていますが、構築方法論が確立されていないことや知識獲得の問題などがあり、知識システムの多くは、未だプロトタイプの段階に留まっています。

このような現状認識に基づき、ICOT-JIPDEC AIセンターでは、昭和61年度から「知的情報処理システム調査研究委員会」を設置し、学界、産業界で活躍している方々により、3年間にわたって活発な調査研究活動を行い、ここに、全5分冊に及ぶ研究成果を取りまとめました。

本調査の実施にあたっては、委員会の委員の方々はもとより関係省庁ほか関係各方面から御指導・御協力をいただきました。ここに謝意を表する次第であります。

平成元年3月

財団法人 日本情報処理開発協会

会 長 影 山 衛 司

「知的情報処理システムに関する調査研究」概要

わが国における知識システムの研究開発の数は、2,000を越えたとみられ、産業界のあらゆる分野への応用の裾野が広がりつつある。しかし、そのうちフィールドテストを経て、実用化の段階に達したシステムの数、多めに見積もっても、500以下とみられ、多くのシステムはプロトタイプの段階またはデモンストレーションの段階に留まっているとみられる。その理由として、いくつかの要因が考えられるが、その中で、特に、

- 1) 知識システムを構築していくことを支援する方法論が確立されていないこと、
- 2) 知識システムを試作・実装するためのツールが十分には整備されていないこと、
- 3) 知識獲得を支援する方法論やツールの研究開発が立ち遅れていること、
- 4) 知識システム技術者が不足し、育成の指針が確立されていないこと、
- 5) 開発事例を蓄積・分析し、結果を有効に利用する体制が確立されていないこと、

などが指摘されている。このような現状認識に基づき、ICOT-JIPDEC AIセンターは昭和61年9月に「知的情報処理システムに関する調査研究委員会」を設置し、つぎのようなテーマに関する調査研究活動を行ってきた。

- 1) 知識システム構築方法論を確立すること、
- 2) 知識システム構築ツールの評価体系を確立すること、
- 3) 知識獲得支援の動向調査を行い、今後あるべき支援のイメージを提案すること、
- 4) 知識システム技術者を育成するためのガイドラインを作成すること、
- 5) 知識システム開発事例の収集・分析を行い、今後の開発の資とすること、

調査研究活動の前半（昭和61年9月～昭和62年9月）では、知識システム構築方法論および知識システム構築ツールの評価に重点をおき、その研究成果は昭和62年9月の成果発表会で報告され、その詳細は「知識システム開発方法論」および「知識システム開発ツールの評価」と題する報告書にまとめられている。

調査研究活動の後半（昭和62年9月～平成元年3月）では、計画・設計型問題の構築方法論、構築ツールの性能評価、知識獲得支援の動向分析、知識システム技術者の育成方法および知識システム開発事例の分析に重点をおいて活動を展開してきた。

調査研究の成果は、以下の5分冊からなる本報告書にまとめられている。

第1分冊「計画・設計型知識システムの構築方法論」では、計画・設計型知識システムの特徴分析を行い、計画・設計型問題には探索的側面、意思決定的側面、事例利用的側面および知識獲得的側面の4つがあることを指摘、各側面に対して、問題解決的接近、仮説推論的接近、

事例ベース推論的接近および学習的接近の必要性和枠組みをまとめている。

第2分冊「知識システム構築ツールの評価」では、システム構築ツールを評価するための評価体系を整備、ツールの性能評価を行うための標準問題を作成、A I センターオープンハウスに導入されているツールに対し性能評価のテストを行い、評価結果を取りまとめるとともに、ツールの評価に関するいくつかの提言を行っている。

第3分冊「知識獲得支援」では、知識獲得支援ツールの位置づけ・分類を行い、文献調査とヒアリングに基づき、各ツールの機能と特徴を客観的にとりまとめ、知識システム開発事例における知識獲得の実際を分析、知識獲得支援のツールのあり方および知識獲得支援ツールに対する要求事項をまとめている。

第4分冊「知識システム技術者育成ガイドライン」では、知識システム技術者の役割を、知識システムの開発手順の段階に対応して、システムアナリスト、プロトタイプングアナリスト、知識プログラマ、保守・管理技術者の4つに類別した上で、修得すべき技術を人工知能技術、知識工学技術、システム技術の3つに分け、その概要をまとめている。

第5分冊「知識システムの事例」では、生体や社会などの解釈／診断問題事例、プラントや人工衛星などの制御問題事例、スケジューリング、レイアウト、L S I 設計などの計画／設計問題事例など全部で23の代表的な事例を取り上げ、比較可能な同一の枠組みで紹介し、さらに各システムにおける基本タスクと問題解決機能を明らかにしている。

以上を要するに、本報告書は知識システムの研究開発においてその解決が緊急とされる課題を重点的に取り上げ、産業界と学会で活躍している技術者・研究者からなる横断的な組織によって調査研究を行った成果である。本報告書がわが国における知識システム研究開発の一層の発展に寄与する資として役立つことを願っている。

最後に、本調査研究を取りまとめる上で、数十回におよぶ会合を通じて、終始、熱心にご協力頂いた委員の各氏ならびにこれを支えてくれた事務局の皆様に感謝の意を表する。

平成元年3月

知的情報処理システム調査研究委員会 委員長 小林 重 信

昭和63年度 知的情報処理システム調査研究委員会

委員名簿

委員長	小林 重 信	東京工業大学
幹 事	寺 野 隆 雄	(財)電力中央研究所
委 員	関 根 史 麿	花王(株) 知識情報科学研究所
"	菊 地 一 成	キヤノン(株) 情報システム研究所
"	山 崎 知 彦	(株)豊田中央研究所
"	森 啓	日本電気(株) C & C システム研究所
"	千吉良 英 毅	(株)日立製作所 システム開発研究所
"	中 島 俊 哉	富士通(株) 科学システム部
"	小 林 慎 一	(株)三菱総合研究所
"	福 島 正 俊	三菱電機(株)中央研究所
"	森 谷 正 晴	新日本製鐵(株) 君津製鐵所 設備部
"	桃 井 茂 晴	日本電信電話(株) N T T 情報通信処理研究所
"	畝 見 達 夫	長岡技術科学大学
オブザーバ	生 駒 憲 治	(財)新世代コンピュータ技術開発機構
"	渡 辺 敏	新日本製鐵(株) 君津製鐵所 設備部
事務局	平 井 吉 光	(財)日本情報処理開発協会 A I 振興センター
"	茂 呂 知 明	" "

執筆協力者

石 北 理 香	日本電気(株)
小 松 修	日本生命保険(相)
田 井 一 郎	(株)東芝
関 本 雅 之	富士電気エンジニアリング(株)
政 田 巖	コスモス石油(株)
橋 本 紘 吉	NKK(株)
加 藤 高 敏	(株)東芝
田 中 克 己	日揮(株)
荒 井 慎 也	川崎製鉄(株) 水島製鉄所
里 見 俊 弘	(株)帝人システムテクノロジー
岡 本 英 明	日本光学工業(株)
田 中 秀 雄	東京電力(株) システム研究所
吉 沢 純 一	東京電力(株) システム研究所
満 田 透	(株)日立製作所エネルギー研究所
浜 崎 良 二	沖電機工業(株) 電子デバイス事業本部

知識システムの事例・目次

1. 序論	1
2. 問題の特徴分析	3
2.1 解析型問題と合成型問題	3
2.2 解釈問題の特徴	4
2.3 診断問題の特徴	6
2.4 制御問題の特徴	7
2.5 計画問題の特徴	8
2.6 設計問題の特徴	9
3. 基本タスクと問題解決機能	11
3.1 解釈問題への接近	11
3.2 診断問題への接近	12
3.3 制御問題への接近	14
3.4 計画問題への接近	16
3.5 設計問題への接近	16
4. 解釈／診断型システム事例	19
(生体)	
4.1 肌相談エキスパート・システム	19
4.2 神経内科診断エキスパート・システム	28
(社会)	
4.3 契約査定支援エキスパート・システム	37
4.4 ダムゲートの寿命診断	48
4.5 核計装保守支援エキスパート・システム	61
4.6 自動車の故障診断システム－A T R E X－	80
4.7 油入機器の故障診断	87

5. 制御型システム事例	97
5.1 オフサイトプラントの設備管理エキスパート・システム	97
5.2 高炉操業監視支援システム	107
5.3 高炉操業支援エキスパート・システム	118
5.4 浄水場制御エキスパート・システム	131
5.5 石油精製プラントの運転支援	140
5.6 人工衛星の運用管制エキスパート・システム	151
6. 計画／設計型システム事例	167
(スケジューリング)	
6.1 鋼材出荷エキスパート・システム	167
6.2 電力系統計画・解析支援エキスパート・システム	176
6.3 ユーティリティプログラム使用法ガイドシステム	184
6.4 アパレル向け商品企画エキスパート・システム	193
6.5 形状測定自動化エキスパート・システム (TEXシステム)	210
6.6 レンズ設計エキスパート・システム	222
6.7 変電所機器レイアウトCAD	234
6.8 計算機室機械レイアウト	241
6.9 LSI配線設計システム WIREX	248
6.10 プラント配管自動ルーティングのためのエキスパート・システム	256
6.11 LSIのセル配置エキスパートシステム	263

1. 序 論

1. 序 論

わが国における知識システムの構築数は 2,000 を超えたといわれる。しかし、本当の意味で実用化の段階に達したシステムはそれほど多くはなく、多くのシステムはプロトタイプの段階に留っているとみられる。

その理由として、

- 1) 研究開発に着手してまだ間がなく、開発途上にあるものが多いこと、
- 2) マシン、言語、ツールなどプログラミング環境が整備されていないこと、
- 3) AI 研究者や知識技術者の数が不足し、教育体制も確立されていないこと、
- 4) 知識システム構築の基盤技術が未熟であること、
- 5) 知識システム構築の方法論が確立されていないこと、
- 6) 知識獲得の方法論が確立されていないこと、

などを指摘することができる。

上記の中で、特に、4)～6)の問題が重要である。

知識システムの研究開発に実際に従事している技術者にとっては、一応の機能を備えたシステム構築ツールが利用可能になったけれども、システム構築を支援する方法論がないために、試行錯誤的あるいは場当たりのシステムづくりせざるを得ないのが実態だという事実を見逃すわけにはいかない。

本委員会では、知識システム構築の方法論を確立するために、昭和61年9月より3年間に及ぶ調査研究活動を続け、昭和62年9月に開かれた成果報告会では「知識システム開発方法論」と題する調査研究報告書を提出した。その後、知識システム構築の方法論については、対象を計画・設計問題領域に焦点を絞り、調査研究活動を継続し、その成果は今回の成果報告会に提出された別冊の「計画・設計型知識システムの方法論」と題する調査研究報告書にまとめられている。

知識システムの開発事例については、多くの学会誌や商業雑誌でも紹介しているが、必ずしも体系的に取り上げているとはいえない。われわれは、方法論を確立するための調査研究活動を通じて、数多くの開発事例を取り上げ、分析を加えてきた。そのような経験に

基づいて、開発事例を統一的な視点から紹介することの必要性を感じてきた。

本報告書は、単なる事例紹介集ではなく、前半部においては事例を分析する共通の枠組みを与えるための議論を展開し、後半部において事例の紹介を行うというスタイルを採用している。

本報告書は、全6章からなる。

第1章は序論である。

第2章「知識システムの特徴分析」では、応用領域を解析型問題と合成型問題に分け、それぞれの問題の基本的な特徴を論じている。

第3章「基本タスクと問題解決機能」では、問題解決的観点から各問題への接近法を考察し、基本タスクの抽出とこれを実現するために要請される問題解決機能をまとめている。

第4章「解釈／診断型システム事例」では、生体、社会、人工物などに関する7つの解釈／診断型知識システムを事例として紹介している。

第5章「制御型システム事例」では、プラント、設備、人工衛星などに関する6つの制御型知識システムを事例として紹介している。

第6章「計画／設計型システム事例」では、スケジューリング、レイアウト、LSI設計など10の計画／設計型知識システムを事例として紹介している。

(1章担当 小林重信)

2 . 問題の特徴分析

2. 問題の特徴分析

本章では、エンジニアリング分野を対象として、問題の特徴分析を行なう。

2.1 解析型問題と合成型問題

知識システムが対象とする問題は、大別すると、解析型問題と合成型問題に分けられる。

解析型問題は、

「システムの構造とサブシステムの特性が与えられたとき、システムの特性を推測することと定義される。

一方、合成型問題は、

「システムの特性が与えられたとき、これを実現するようなシステムの構造とサブシステムの特性を決定する」

ことと定義される。

一般に、サブシステムの特性とシステムの構造が与えられたとき、システムの特性が一意に定まるのに対し、システムの特性が与えられたとき、これを実現するサブシステムの特性とシステム構造は無限に存在する。ここに合成型問題の基本的な難しさが存在する。解析型問題でも、比較的単純な分類問題や診断問題を例外として、少し複雑な問題になると、いくつかの制約条件を満たすことが要請され、組合せ的爆発の問題をどう克服するかが主要な問題とされる。

一方、合成型問題はもともと組合せ的な性質を有する。合成型問題に対するもっとも一般的な手法として、生成検査法がある。これはシステムの構造を仮に生成し、解析を行ってシステムの特性を求めその評価を行うことを繰り返して、最適なシステムを探索する方法である。この方法は解析による合成とも呼ばれる。この意味で、合成問題は解析問題を内包しているといえる。

エンジニアリング分野では、解析型問題は解釈問題、診断問題および制御問題に類別され、合成型問題は、計画問題および設計問題に類別される。

表1.1 に、解析型問題と合成問題の分類と定義を示す。

表1.1 解析型問題と合成問題の分類

解析型問題	解釈問題	計測器あるいはセンサを通して観測されたデータを分析して、システムの状態を推定し、これに物理的な意味づけを与えること。
	診断問題	システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する因果関係または対象モデルの知識を利用して、原因を同定すること。
	制御問題	システムの状態を監視していて、予め定められた計画どおりにシステムの状態が遷移するようにシステムを制御すること。
合成型問題	計画問題	与えられた目標を実現するために、利用可能な資源（人、金、もの、など）を時系列データとして組織化すること。
	設計問題	システムの入力と出力の要求仕様が与えられたときこれを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定すること。

以下の各節において、各問題の特徴分析を行なう。

2.2 解釈問題の特徴

計測の目的は、対象とするシステムが自律的または他律的に発生する連続的／離散的なデータを計測器やセンサによって検出し、これに何らかの処理を施して信号に変換するとともに、信号に含まれる特徴を抽出し、対象の理解に基づいて、その物理的な意味を解釈

することにある。この前半の部分は信号処理、後半の部分は信号理解またはデータ解釈と呼ばれる。

信号処理では、計測器やセンサから得られたアナログ信号をデジタル信号に変換すること、時系列データであるデジタル信号に対して、フィルタリング、フーリエ変換、スペクトル分析などの信号処理技術を施して、何らかの意味で正規化された信号を抽出することが主目的とされる。信号処理の結果だけから、対象に関する十分な理解が得られる場合も少なくない。しかし対象の構造および挙動が複雑になればなるほど、信号処理の結果だけからは、物理的に意味のある帰結を得ることは困難になる。

ここに、信号理解のプロセスが要請され、解釈型知識システムのニーズが存在する。たとえば、ソナーから得た音響データの解釈、人間の音声データの解釈、画像データの解釈、センサデータに基づくプロセスの診断、X線回折データの解釈などが解釈型知識システムの処理対象とされる。

解釈問題の特徴は、つぎのように要約される。

1) 時空間データの高次相関性

大規模・複雑な対象では、計測データは多次元に及び、それらが時間的にも空間的にも高次の相関を有するために、従来の信号処理の結果だけからは、物理的に意味のある帰結を得ることが困難である。

2) 不規則な雑音の混入

計測データの中に、従来のフィルタリング技術だけでは除去できない不規則な雑音が存在する場合、そのような雑音の発生源および原因を追求することにより、これを処理しなければならない。

3) 誤りの存在

データ中に誤りが存在する可能性がたねにある。したがって、誤りが存在することを前提として、推論を行い、もし矛盾が生じた場合には、後戻りして、誤りの箇所を同定して、これを訂正しなければならない。

4) 必要なデータの欠落

解釈に必要なデータが完全にそろっているのはむしろ例外的なことであり、必要なデー

タが一部欠落していることがふつうであり、そのような状況のもとでも解釈がおこなえるような頑健性が要求される。

5) 信号処理技術との接続

計測器から取得されたデータが直ちに知識処理の対象とされるのは例外であり、通常はデータの前処理において従来の信号処理技術の利用が必要である。したがって、信号処理技術と知識処理技術の間での役割分担およびその接続が要請される。

6) 対象に関するモデルの利用

解釈型知識システムでは、対象の理解に基づいての処理、すなわち、対象のシステム構造、機能および挙動に関するモデルを構築して、これを陽に利用して問題解決を行うことが基本である。

7) 感覚データの取扱い

視覚、聴覚、臭覚など人間が得意とする感覚データに基づく判断が大きなウェートを占めている問題では、これを知識処理だけで解決することは極めて困難であり、いくつかの研究課題を残している。

2.3 診断問題の特徴

診断システムの目的は、対象とするシステムに異常または故障が生じた時、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することにある。

診断問題の特徴は、つぎのように要約される。

1) 設計レベルの知識の利用

浅いモデルに基づく診断システムでは、専門家から獲得した経験的知識を利用するが、エンジニアリングシステムでは、設計レベルでの知識が利用可能である。

システムの構造と機能に関する深いモデルの利用は、未知状況への対応など、診断の完全性を保証するうえで重要である。

2) 経験的知識の利用

診断問題の専門家は、故障原因にかかわる特有な兆候や症状についての知識を経験的に獲得している。これらの知識は表層的なものに過ぎないが、一般に診断を進めるうえで有

用なものが多く、診断の効率を向上させるうえで不可欠である。

3) 経験的知識の不確実性

経験的知識は、システムの構造と機能に関する深いモデルに基づく物でないから、不確実性が伴う。経験的知識を有効に利用するためには、不確実性の存在を前提として、これを推論の側で吸収する枠組みの導入が要請される。

4) 操業データの利用

プラントや機械設備などの故障診断では、操業データを利用することにより、故障の傾向に関する知識を導出したり、故障の予知を行なうことが可能である。

5) 計測のための時間とコスト

故障の原因となる箇所を同定するためには、計測を必要とする。計測には時間とコストがかかる。計測による情報の取得と時間、コストの間にはトレードオフの関係が存在する。

6) 知識の抽象化の必要性

大規模システムでは、システムの構造と機能に関する知識をすべて表現して利用することは事実上不可能であり、したがって知識を適切な水準で抽象化することが必要になる。

7) 対話的診断の推論制御

診断システムの実用化においては、システムとユーザの間の対話性が極めて重要である。ユーザモデルに合致する推論制御を実現することが必要である。

2.4 制御問題の特徴

制御問題は、フィードバック制御、フィードフォワード制御、シーケンス制御、プロセスの監視など多岐に及ぶが、ここでは制御とは、システムの状態を監視していて、予め定められた計画どおりにシステムの状態が遷移するようにシステムを制御することと定義したうえで、特徴を分析する。

制御問題の特徴は、つぎのように要約される。

1) 時間遅れによる履歴依存性

時間遅れが大きい系では、一般にフィードバック制御が困難であり、フィードフォワード制御を必要とする。

2) 非線形性による局所性

非線形性が強い系では、現代制御理論に基づくフィードフォワード制御が困難であり、知識システムの接近が要請される。

3) 安定化の応答性

制御問題では、安定化の確保は絶対の条件であり、かつ安定化の領域にできるだけ早く移行させることが要請される。

4) 制御精度の実現

クリティカルな制御を要請される問題においては、制御精度を確保することが重要課題とされる。

5) 実プロセスとの接続

制御では、実プロセスの状態を把握し、操作を加えるために、センサやアクチュエータとの接続が不可欠である。

6) 実時間性と信頼性の確保

制御システムと実システムとが接続された系全体として、実時間性と信頼性が確保されていることが重要である。

7) 離散系における解析問題

F A に代表される離散系では、新しいシステムの設計や保守において、制御系の解析を支援する方法が要請される。

2.5 計画問題の特徴

生産工程計画、列車運行計画、電力系統運用計画など、計画問題は多数存在するが、これらは共通して、与えられた目標を達成するために、利用可能な資源を時系列化することが要請される。

計画問題の特徴は、つぎのように要約される。

1) 広い探索空間

計画問題は、基本的には組合せ問題であり、組合せ爆発の問題をどう克服するかが本質

的課題である。

2) 多様な評価属性

計画問題の評価には、時間、経済性、信頼性、安定性など多様な尺度が考慮されるのが普通である。

3) 不確実な環境予測

計画は、時間的には未来の事象を扱うのであるから、不確実性の存在は不可避である。不確実性から生じるリスクをどう回避するかは重要な課題である。

4) 部分計画間の相互作用

大規模な計画では、問題を分解して個別につくられた部分計画を全体として整合性のあるものにまとめるために、部分計画間の相互作用をどう調整するかが重要な課題とされる。

5) 既存計画の再利用

全く新しいタイプの計画でない限り、既存計画を再利用することは経済的であるが、既存計画をどう手直しすればよいかが問題とされる。

6) 費用と便益のトレードオフ

計画を作成するために要する費用とつくられた計画から期待できる便益の間にはトレードオフの関係が存在する。

7) 対話型計画作成支援の要求

評価属性の多様さおよび制約条件の複雑さを考慮すれば、人間と計算機の協力に基づく対話型計画の要求は非常に強いものがあるといえる。

2.6 設計問題の特徴

設計問題とは、システムの入力と出力の要求仕様が与えられたとき、これを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定することと定義される。

設計問題の特徴は、つぎのように要約される。

1) システム構造の解空間が広い

システム構造の決定は、計画問題と同様に、組合せ問題であり、広い解空間の探索をい

かに効率化するかが課題とされる。

2) 解析による合成が基本的

設計問題への基本的な接近法は、解析による合成の繰返しである。

3) 構成要素の最適化の必要性

構成要素を決定する問題は、一般に1つ下のクラスの合成型問題を解くことを意味するので、設計問題は多重の最適化問題とみなすことができる。

4) 検証の完全性

階層的設計では、上位レベルの仕様が下位レベルによって満たされることが保証されなければならない。そのために検証の完全性が要請される。

5) 検証の効率性

検証の完全性を追及すると、一般に検証の効率性が低下する。両者のトレードオフを考慮する必要がある。

6) 対話形式での設計支援

設計問題の難しさ、複雑さを考慮すれば、人間と計算機の協力に基づく対話型設計の要求は現実的といえる。

7) 設計段階に応じた支援

設計の段階に応じて、要請される支援の形態は著しく異なる。設計の初期段階においては発想の支援が要請されるし、最終段階ではパラメータのチューニングや最適化が要請される。

(2章担当 小林重信)

3. 基本タスクと問題解決機能

1. The first part of the document is a list of names and titles, including "The Hon. Mr. Justice" and "The Hon. Mr. Justice".

3. 基本タスクと問題解決機能

本章では、問題解決的観点から各問題への接近法を考察し、基本タスクの抽出とこれを実現するために要請される問題解決機能をまとめる。

3.1 解釈問題への接近

解釈システムの基本的なタスクは、入力されてくる連続的なアナログデータを意味のある単位でセグメントに分割し、各セグメントを記号的に特徴づけるとともに、セグメント間に依存する高次の相関関係を利用して、全体として整合性のある解釈を得ることである。

従来のデータ解析技術は統計的または確率論的立場からデータ間の相関関係を分析し、システム分析者の判断によって、意味的な解釈を行うものであった。これに対し、知識工学的接近では、対象世界に関する構成物やそれらの間の関係を知識として陽にモデル化し、知識に基づく対象モデルを利用して、データ解釈を行おうとするもので、トップダウン的な接近を可能とする点において特徴がある。

与えられたデータがノイズを含まない完全なもので、再現性の高いものであれば、ボトムアップ型の解析で十分対処できる。しかしデータの欠落やノイズの存在を前提とした場合、ボトムアップ型解析だけでは解釈において多義性の問題が生じて、組み合わせ的爆発の問題を引き起こす。ここに対象モデルを利用したトップダウン的接近が要請される。データ解析システムにおいて黑板モデルのようなアーキテクチャが要請されるのは、このような理由による。

解釈システムへの接近は、異なった視点をもつ複数の知識源が互いに情報交換しながら、全体として整合性のある解釈へと収束させるようなメカニズムをもった分散協調型推論の枠組みが基本となる。

以上の考察から、解釈問題をモデル化するうえで要請される基本タスクおよび問題解決機能はつぎのようにまとめられる。

表3.1 解釈問題における基本タスクと問題解決機能

基本タスク	問題解決機能
1. 特徴の抽出	1. 分類階層によるクラス分け
2. モデルとの不完全な照合	2. モデル検索機能
3. システム構造の同定	3. 部分構造の評価機能
4. システム状態の推定	4. 階層的生成検査法
5. あいまいさの処理	5. 不確実性推論
6. 不完全性の処理	6. 仮説推論
7. 解釈の多様性	7. 協調型推論

3.2 診断問題への接近

診断の対象が生体や環境など自然システムであるか、プラントや機械設備など人工システムであるかの違いによって接近法は基本的に異なる。

自然システムでは、物理的法則や化学的法則によって秩序よく状態が遷移するような理想的な場合を除けば、システムの挙動に関する知識は局所的なものに限られ、しかも定性的にしか知られていない場合が多い。したがって人間が経験によって獲得した表層的な因果関係知識に頼らざるを得ないのが事実である。

しかもそのような知識には不確実性が伴い、不確実な知識の取扱いが大きな問題とされる。知識の不確実性を計測することは難しい問題であり、また仮に各知識ごとに不確実性がある尺度で計測されたとしても、推論において妥当な結果を導き出すためには、不確実性のパラメータを最適化手法などを利用して調整する必要があるが生じる。特に、推論が多段に及ぶ場合、この問題は深刻であり、システム論的観点から不確実な知識の統合を図るための手法が要請される。

人工システムでは、因果関係に関する知識は、システム設計レベルでの知識から利用可能なはずである。したがって設計レベルの知識を診断のプロセスで利用可能となるように

形式化しておく必要がある。ただしシステムが大規模になると、そのような知識は膨大なものになり、理論的には利用可能であっても、事実上不可能になる。ここに対象の抽象化による階層的表現が要請される。

人工システムにおいても、オペレータの経験的な知識は有用である。経験的知識は、たとえ表層的なものであっても、推論過程が省略されるため、異常や故障が生じた箇所近傍へのアクセスについては効率的であることが期待できる。ただし、理論的根拠がないために、未知の状況に対しては無力化する恐れがある。

要するに、システム構造の知識にのみ依存して診断を行うことは、完全ではあっても非効率となりがちで、一方経験的知識にのみ依存して診断を行うことは、効率的ではあっても不完全なものになりがちである。対話性と信頼性の観点のもとに、2通りの知識の最適な組み合わせを図ることが要請される。

以上の考察から、診断問題をモデル化するうえで要請される基本タスクおよび問題解決機能はつぎのようにまとめられる。

表3.2 診断問題における基本タスクと問題解決機能

基本タスク	問題解決機能
1. 異常事象の分類階層的表現 2. システム構造の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内包 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮説推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析

3.3 制御問題への接近

制御の対象が連続システムであるか、離散システムであるかの違いによって接近法は基本的に異なる。

連続システムでは、制御理論的接近が存在するが、知識システムの接近はこれらと競合するものではない。むしろ制御理論的接近では対処できない領域をカバーするものと考えべきである。時間遅れが大きいシステムでは、フィードバック制御が困難である。そのようなシステムでは現代制御理論に基づくフィードフォワード制御が有効であるが、数学的モデルの同定が必要条件であり、モデルの同定が困難であるか非線形なシステムに対しては無効である。ここに知識工学的接近が要請される。

連続システムに対しては、ファジィ理論に基づく接近と通常の知識ベースに基づく接近がある。ファジィ制御では、状態空間をいくつかに分割し、各分割空間において代表点を選択し、この点に対する制御則をオペレーターから抽出する。代表点以外の点に対する制御則は、この点の近傍にある代表点に対する制御則をファジィ推論によって統合化したものを適用する。代表点の選択は制御の質にとってクリティカルであり、試行錯誤的側面が付随する。

システムの状態が過去の履歴に著しく依存し、適切な制御指令を決定するうえで、多段の推論を必要とする場合には、ファジィ制御的接近は困難になる。通常の知識システム制御に頼らざるを得ない。オペレーターあるいはプラントの設計者から制御に必要な経験則をどれだけ抽出できるかがポイントになる。経験則が記号化されておらず、感覚データまたは計測データに対するパターン認識をベースにしている場合、データ解釈の問題を内包することになり、制御則の構成は困難が予想される。

無駄時間が大きく、非線形なシステムであっても、システム自体がある程度の自律性をもっている場合には、大局的な制御則を施せば、あとはシステムが自動的に最適な状態に復帰できるような系では知識獲得の問題はある程度緩和されよう。高炉や生体の制御はそのような例といえる。

離散システムに対しては、従来シーケンス制御による接近がなされてきたが、制御理論を手続き的言語に変換して実行させる形態がとられてきたために、生産性、特に保守性が

大きな課題とされていた。そのためルールベース制御の導入により、生産性が著しく向上することが期待される。

F A システムは離散システムの代表例であるが、これらは一般に非同期同時進行システムすなわち事象駆動型システムとしてモデル化される。ルールベースシステムは事象駆動型システムのモデル化に対する1つの接近法であるが、並列性をモデル化するうえで自然な枠組みとはいえない。

事象駆動型システムのモデル化の手法として、近年ペトリネットが注目され、その理論的性質の解析が势力的に進められているが、実用レベルにおいてインパクトを与える程の成果を得るまでに成熟しているとはいえない。また、事象駆動型システムを自然にモデル化する枠組みとして、並列オブジェクト指向モデル注目するに値する。

制御システムは一般に厳しい実時間性を要求するために、知識を与えたままの形式で保持するのではなく、コンパイルすることが不可欠であり、また適応性をもたせるには知識の再組織化の技術が要請される。

以上の考察から、制御問題をモデル化するうえで要請される基本タスクおよび問題解決機能はつぎのようにまとめられる。

表3.3 制御問題における基本タスクと問題解決機能

基本タスク	問題解決機能
1. システム構造の表現 2. システム動特性の表現 3. 診断問題のタスクを内包 4. モデルによる状態の予測 5. 安定化操作の優先的実行 6. 安定操業下での省エネ化 7. オペレーションガイダンス	1. 状態の診断機能 2. シミュレータによる予測 3. 定性推論による予測 4. 制御則の多目的評価 5. アクションガイダンス 6. デッドロックの解析 7. インターロックの回避

3.4 計画問題への接近

計画問題は、基本的には組み合わせ問題であるところに問題の難しさがある。

計画では、組合せ的爆発の問題を回避するために、計画過程を階層化することが要請される。計画の各階層では、組み合わせ的探索問題を解くことが要請される。部分計画間の整合性を保つために、制約条件の伝播を管理する必要がある。上位レベルへの盲目的後戻りではなく、知的な後戻りを行なう必要がある。過去につくった類似の計画例を検索して、これを有効に利用するタスクが要請される。

以上の考察から、計画問題をモデル化するうえで要請される基本タスクおよび問題解決機能はつぎのようにまとめられる。

表3.4 計画問題における基本タスクと問題解決機能

基本タスク	問題解決機能
1. 計画過程の階層化	1. トップダウン精密化戦略
2. 組合せ的探索	2. 拘束最小化戦略
3. 制約条件の相互作用	3. 網羅的探索機能
4. 環境の予測	4. 仮説推論による知的探索
5. 上位レベルへの知的後戻り	5. 類推による計画事例の利用
6. 計画事例の検索と利用	6. 計画の多目的評価
7. 計画評価の多様性	7. リスク下での意思決定

3.5 設計問題への接近

設計問題では、組合せ的爆発の問題を回避するために、問題解決の基本制御ループの設計が本質的なことである。問題の分解統合および抽象化は必要不可欠なことであり、これは極めて創造的な行為であり、このプロセスを支援するような方法論の開発が望まれる。

設計問題を探索問題と考えれば、基本的接近法は生成検査法のパラダイムに求めること

ができる。この方法が首尾よく成功するのは、部分システムの評価をできるだけ高精度で行い、かつ無駄な代替案をできるだけ早期に排除できるような評価ヒューリスティクスを規定できる場合である。

目的関数および制約条件に対する要求仕様の厳しさの違いによって、接近法は大きく異なる。制約条件が緩く、実行可能領域が広く、しかも目的関数に対する最適性がそれ程要求されないシステムでは、トップダウン精密化による後戻りなしの接近でも十分通用する。しかし反対に制約条件が厳しく、実行可能解を見出すことが非常に難しい場合には、最小拘束化のような堅実な接近法を採用せざるを得ない。

以上の考察から、設計問題をモデル化するうえで要請される基本タスクおよび問題解決機能はつぎのようにまとめられる。

設計問題における基本タスクと問題解決機能

基本タスク	問題解決機能
1. 構成要素とその関連の表現 2. 設計問題の階層的表現 3. 代替案の自動生成 4. 部分システムの評価 5. 上位レベルへの知的後戻り 6. 設計事例の検索と利用 7. 並列的問題解決	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 最適化機能 4. 検証機能 5. 仮説推論による知的探索 6. 類推による設計事例の利用 7. 協調型推論

以上、解釈、診断、制御、計画、設計の各問題に対して、基本的タスク、問題解決機能および接近法を論じた。第2章および第3章の議論は、第4章以降の事例紹介を理解する上での助けとして利用して頂きたい。

(3章担当 小林重信)

4 . 解釈／診断型システム事例

4. 解釈／診断型システム事例

4. 1 肌相談エキスパート・システム

開発：花王（株）

4.1.1 システムの目的と機能

4.1.1.1 目的

現状のAI技術は高度であっても狭い範囲の知識領域しか扱えないため、消費者を対象とするサービスのような広範な知識領域を制御・管理するためには、数多くの解決すべき課題が残されている。特に、顧客と企業間の問い合わせや製品関連情報に代表されるコミュニケーションやサービスの分野については、AI技術に対する期待は大きいものの、未着手の課題となっていた。「皮膚科学専門家による「肌」と「化粧」のコンサルテーション・システム」は、皮膚科学の進歩により飛躍的に向上したスキンケア技術を対象とするエキスパート・システムである。これは、従来の化粧という考え方を改め、皮膚科学の本質にまで掘り下げて、細胞や分子レベルで扱えるようにするための、店頭ツールの開発を目的としている。

4.1.1.2 機能

本システムは店頭美容部員の顧客への対応における、皮膚科学に関する専門知識のサポート・システムとして位置づけられる。従って、次のような機能が要求される。

- (1) 化粧に関連する個別の問題に対応する皮膚科学の専門知識を提供すること
- (2) 問題が複数の領域にまたがった場合でも、顧客の質問履歴を参照することによって、矛盾のない推論が可能であること
- (3) 利用者は専任者ではなく、顧客をも含めた幅広い層を対象とするため、トレーニングやマニュアルがなくても、抵抗なく簡単に扱えるユーザインタフェースを備えていること

4.1.2 システムの構成と実現環境

本システムの構成は下図のように、知識ベースを含む推論部とユーザインタフェース部からなる。

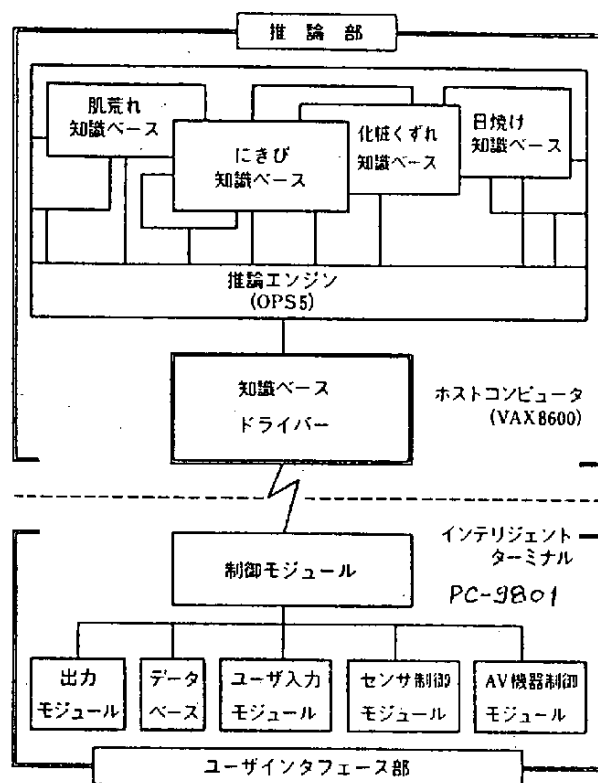


図4.1-1: お肌の相談エキスパート・システムの構成 (出典: 参考文献 1))

4.1.2.1 知識ベース

化粧の対象領域は、皮膚科学的にみて病気に属する問題から日常の生活に至る広範囲のものであるため、対象とする領域を細かく分類し、各々を単独の知識ベースとして構成している。各知識ベースのデータ表現にはルール表現を採用した。ユーザの質問が複数の領域にまたがった場合、推論の整合性を保持するために、C言語で記述した知識ベースドライバを用い、質問履歴の管理を行なった。

4.1.2.2 推論機構

前向き推論を行なう。

4.1.2.3 開発環境

(1) ハードウェア：本システムは、図4.1-1に示すように、パソコン（PC-9801）を核とするユーザインタフェース部と、そこで吸い上げられた結果をもとに、推論を行なう推論部（VAX8600）から構成されている。両者の間は公衆回線（1200BPS）を通じて接続されており、ユーザの提示する問題がVAX側に受信されると、VAX側ではその結果に基づいて推論部が働き、ユーザに対する次のアクションが決定される。決定内容は公衆回線を通じてユーザインタフェース部に送信され、ユーザに対して新たな問いかけやメッセージの表示が行なわれる。

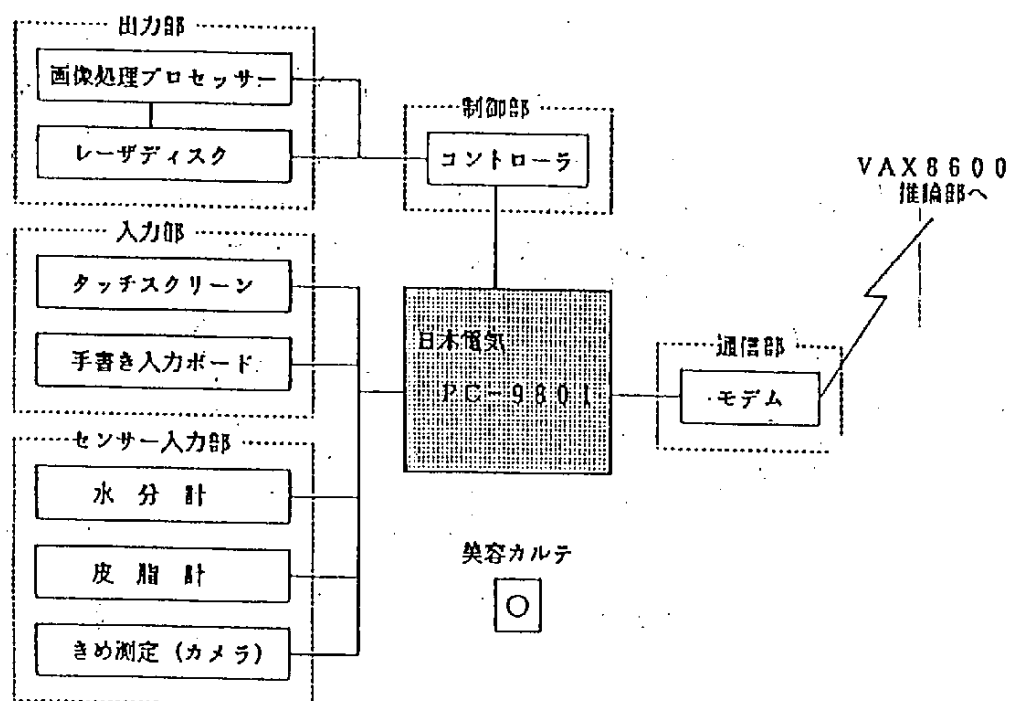


図4.1-2: ユーザインタフェース部の構成（出典：参考文献1）

ユーザインタフェース部は、図4.1-2に示すように、パソコンを核としてユーザ入力部、センサー入力部、出力部、制御部、通信部、美容カルテから構成される。

(2) 言語：C

(3) 開発ツール：OP55（この他、開発のためのデバッガー、アナライザーを独自に開発）

- (4) 開発上の利点・問題点：問題領域の知識を表現し、計算機上にインプリメントするには、開発ツールを用いた方が効率的であり、比較的拡張性にもすぐれている。しかし、市販のツールはユーザインタフェースが貧弱であり、一般消費者が利用できるレベルにはない。そこでこのシステムでは、パソコンを各種I/O デバイスのシステム・インタフェースに用いた。

4.1.3 システム開発の手順

4.1.3.1 問題の設定

本システムの対象とする問題について、以下の観点で検討した。

- (1) 記号処理を中心とした問題であること・・・○～△

数値処理ではない。

肌の診断には専門家の視覚、触覚による判断も重要。

- (2) 専門家の経験的知識が利用可能な問題であること・・・◎

社内の領域専門家、社外の皮膚科医と共同開発。

- (3) 十分なニーズのある問題であること・・・○

上記のニーズの他、販売促進用ツールとしてAIに期待するところが大きい、ニーズは必ずしも具体化されていない。

- (4) 明確な価値を生じる問題であること・・・△

システムを実用化してみないと、費用／効果分析は困難である。

- (5) 保守が容易な問題であること・・・○

利用部門における保守・拡張を目標としている。

4.1.3.2 既存技術の評価

プロトタイプの開発には、AI的手法を用いてのシステム開発を前提としていたので、この段階では特に既存技術の評価は行なっていない。実用システム開発時には、既存技術の評価を行ない、既存技術と知識システムを融合させた。

4.1.3.3 知識源の同定

このシステムの場合は、(1)皮膚科学の教科書、(2)社内の化粧・皮膚科学の専門家、(3)皮膚科医を知識源とした。肌相談のような生体（非人工的システム）を取り扱う場合は、経験に基づく浅い知識が多いことから、領域専門家は一人の方が知識がまとまりやすい。

4.1.3.4 専門家モデルの同定

本システムの開発にあたり、知識獲得に採用した方法は以下のとおりである。

(1) KEによる問題領域に関する知識の習得

まず、KEが専門家とディスカッション可能な程度に問題領域の知識を習得する。この場合の知識源としては専門家と文献である。今回の場合はもともと皮膚科学、化粧品開発の研究を、ある程度担当していた者がKEとなった。

(2) プロトタイプを作成

1)の知識に基づき、KE自身の知識の整理・体系化を行ない、専門家にエキスパート・システムを理解させるためのプロトタイプの知識ベースを作成する。

(3) 専門家による修正

プロトタイプの知識ベースを専門家と協力し修正・補充する。この時点で知識源として専門家の知識が導入される。

(4) 実用システムの構築

(3)の知識に基づき実用システムの構築を行なう。一応の完成の後、ステップ(3)に戻り、さらに専門家の知識を取り入れ、知識ベースを成長させる。

このシステムでの経験から知識獲得には、次のことが言える。

- i. 経験則への依存は必ずしも必然ではない。
- ii. インタビューは知識を獲得する唯一の方法ではない。

4.1.3.5 ユーザモデルの同定

ユーザは専門家ではなく、化粧品店頭の美容部員および顧客をも含む幅広い層を対象とするため、操作が容易なユーザインタフェースを備えている。

4.1.3.6 知識表現の選択

実用システムのユーザインタフェースを考えると、現在のAIツールの機能では不十分であるため、他言語、他システム・インタフェースに重点をおいてAIツールを評価し、OPS5を選択した。

4.1.3.7 知識の移植

専門書と文献に基づき作成したプロトタイプ知識ベースを、専門家と協力して修正・補充した。

4.1.3.8 性能の評価

テストデータを用いて、システムが妥当な答えを出すかどうかチェックした。

4.1.3.9 知識ベースの管理

化粧品開発、皮膚科学の研究を担当したことのある者がKEとなり、知識獲得を行なった。対象領域を細分化し、ルール数が数千に及ぶ知識ベースを分割してモジュール化することにより、知識ベースはそれぞれ数百のリストからなる管理可能な規模となり、広範な知識を管理することに成功した。

4.1.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
定 義	診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである			・ 本システムでは、原因の箇所の同定およびその処置を提示する
特 徴	1. 診断レベルの知識の利用 2. 経験的知識の利用 3. 経験的知識の不確実性 4. 作業データの利用 5. 計測のための時間とコスト 6. 知識の抽象化の必要性 7. 対話的診断の推論制御 8. その他	X ○ ○ ○ X X ○	X ○ ○ ○ X X ○	・ 生体を対象とするシステムでは、症状と原因の因果関係があまり明確でない ・ 本システムでは、経験的知識の占める割合が多い ・ 不確実性をうまく取り扱う方法がない ・ 症状を判断に用いている ・ 不要（余分）の質問を回避することが困難 ・ 対処法はわかるが、その原因は特定できない場合が多い

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 異常事象の分類層的表現 2. システム構成の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内蔵 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	○ X ○ ○ ○ ○ ○	X X △ X	・生体システムでは困難 ・原因が特定できないこともある ・モデル化は困難
問 題 解 決 機 能	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮説推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析	○ ○ X ○ ○ ○ ○	X X	・専門家の思考過程に近づく程、手続きによる制御の占める割合が多くなる ・本システムでは取り扱っていない ・関連はあるが、定量化が困難

4.1.5 参考文献

- 1) 美濃順亮、「AIのパフォーマンスと活用の考え方」、月間計装、工業技術社、1987年3月号。
- 2) 関根史麿、美濃順亮、「肌相談エキスパートシステムの開発手順と問題点」、AI Spectrum, Vol.1, No.2(1987)。

4. 2 神経内科診断システム

開発：鹿児島大学医学部第三内科＋日本電気㈱

4.2.1 システムの目的と機能

4.2.1.1 目的

近年、医学の急激な発展により医学をめぐる知識は質的にも量的にも急激に増加し、医学情報の氾濫をきたしており、これらの複雑多岐で膨大な情報をうまく処理し、診療のみならず医学教育・研究に役立てる必要に迫られている。さらにまた、最近の情報理論、コンピュータ技術などの情報科学の発展とともに、医学診断における医師の意思決定過程を分析することが盛んになってきている。とくに医師の診断のなかでも鑑別診断を主な対象とし、確率論的手段によってこの過程を客観化してコンピュータに自動診断させることが行なわれている。

また、人工知能の応用というべき知識工学の近年の発展により、コンピュータを使って、対象とした問題領域の専門家から獲得された専門知識を利用して推論を行ない、十分に複雑な問題を専門家と同程度の能力で解決することを目標とするエキスパート・システムの作成が可能となってきた。

そこで、われわれは内科学の専門分野の一つである神経内科学、その中でも特に診断に際し専門知識を必要とする筋肉疾患を対象として、今までのコンピュータ診断に用いられた確率論的手法とは異なり、知識工学的手法による新しい診断支援エキスパート・システムの作成を試み、医学知識のコンピュータ上への知識表現とこれを利用した診断支援を実現させた。

4.2.1.2 機能

この診断支援システムはエキスパート・システム構築ツールEXCOREを用いて作成している。このシステムでは、筋肉疾患59疾患を対象とし、診断に必要な筋肉疾患に関する基本的知識（性別、症状の進行程度、遺伝性の有無、症状の発症時期、CPK値（CPK（クレアチンフォスフォキナーゼ）は酵素の一種で、クレアチンキナーゼ（Creatine kinase）ともいわれ、骨格筋とか心筋などの中でエネルギーの生産・貯蔵に関係する反応に関与することを表す）、各部位の筋肉障害の有無）を各疾患毎にフレーム型知識として記述した。

これらの項目がシステム起動後、最初に質問され、これらの知識をもとに可能性のある疾患群が推論に絞り込まれる。

さらにこれらの疾患に対して、ルール型知識表現によって記述された知識をもとに、障害された筋肉の分布の特徴、随伴症状・合併症状・検査所見・筋電図所見・筋生検所見・その他の症候について質問し、最も確からしい疾患を推論し結果として表示する。

この診断支援システムの利用者は、質問ならびに推論された結果に対して説明機能が利用できる。すなわち、システムよりなぜその質問が出されたのか、その理由を尋ねることができる(WHY機能)。また、どのようなルール型知識の適用・評価により診断結果に至ったかという推論過程の説明ができる(HOW機能)。

4.2.2 システムの構成と実現環境

4.2.2.1 知識ベース

知識ベース作成のため、フレーム型知識表現とルール型知識表現の二つの方法で、筋肉疾患の医学知識をコンピュータへ知識表現することを試みた。

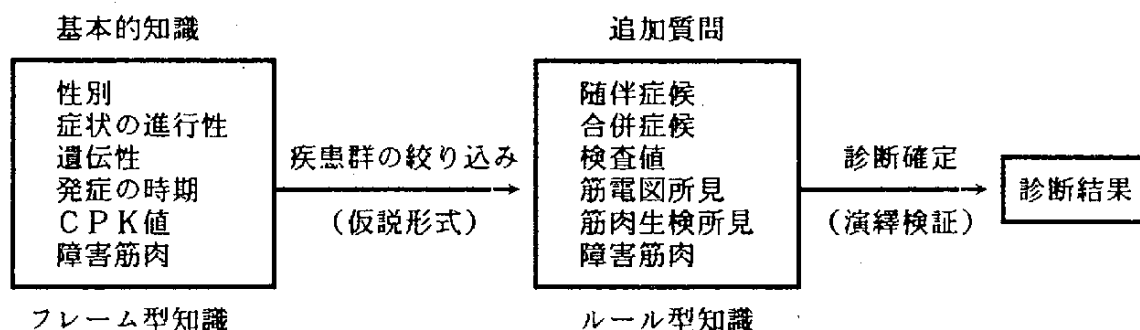
フレーム型知識は、物体や状況などの対象を一定の枠組みで表現するためのデータ構造であり、EXCOREでは、人間が現実世界で関心を持って認識する対象のうち実際に実体が存在する対象をインスタンスと呼び、同類の実体を一般化して認識される概念を表す対象をクラスと呼んでいるので、これを利用し、筋肉疾患の概念を病名クラスとし、実際の疾患をインスタンスとして宣言した。すなわち、疾患ごとに基本的な医学知識をこのインスタンスにインスタンス変数の形で記述した。

診断される患者の入力データもカルテというクラスを宣言し、患者ごとにインスタンスとしてフレーム型知識として蓄積した。その他、医療用語などの医学知識もフレーム型知識表現にて記載した。

また、ルール型知識表現とは、一つのルールを「IF条件部、THEN結論部」の形で表し、条件部が成立した場合に結論部を実行するというIF-THEN型ルールによって知識を表現するものである。すなわち、医学知識を「もし……ならば、……である」という要素のルール型知識に分解し記述した。

4.2.2.2 推論機構

診断論理としては、フレーム型知識により、最初に鑑別すべき疾患群が絞り込まれ（仮説形式）、この仮説を疾患ごとに特有なルール型知識を用い、演えき的に検証し、仮説－演えき法的推論により診断を行なう。



4.2.2.3 開発環境

プログラムは、医学知識を表現しこれを格納する知識ベースと、その知識を利用し結論を導きだす推論機構と、利用者との対話により入力と出力を行なうインタフェースの3つに分けて作成した。

- (1) ハードウェア：エンジニアリングワークステーション EWS4800
- (2) 言語：UTILISP, C
- (3) 開発ツール：エキスパート・システム構築ツール EXCORE
- (4) 開発上の利点・問題点

[利点]

- ①エキスパート・システム構築ツールの利用により、知識ベースの作成が容易に行なえる。

[問題点]

- ①利用者の使い易い実行環境とするため、UTILISP, Cにより、マルチウィンドウ、マウスの利用によるユーザインタフェースの作成を行なった。

4.2.3 システム開発の手順

4.2.3.1 問題の設定

医学の発展に伴い、医学の各分野の専門化も急速に進み、診断に各分野の最新の専門知識が必須となってきた。筋肉疾患を例にとっても、最近の研究は著しい進歩を遂げ、多くの疾患が新たに報告され、また、疾患の本体も次第に明らかにされつつある。しかしながら、それらの新しい知識がすぐさま一般の筋肉疾患の臨床診断レベルに反映されているかというと、必ずしもそうとはいえない。むしろ、筋肉疾患に関する知識があまりにも多く集積されたために、診断に高度の専門的な知識が要求され、筋肉疾患を専門としない医師にとっては、現在の知識水準を 100パーセント反映した的確な診断を行なうことが必ずしも容易ではないとしたような状況が生じつつある。

このような現状を解決する一つの方法として、筋肉疾患に関する知識をコンピュータ上に表現し、この知識を利用して専門医と同等の問題解決の能力を持つ、筋肉疾患診断支援システムの開発を試みたわけである。

4.2.3.2 既存技術の評価

従来の診断支援システムでは、診断論理としてベイズの定理や判別関数などの確率論的手法を利用していたために、診断に必要な医学知識をコンピュータで利用できるような形式の数値データなどの単純な構造に置き換える必要が生じていた。しかしこれでは十分に医学知識を表現できず、医学診断のように高度に複雑な問題の解決には適していなかった。

そこで、コンピュータにより知識そのものを処理できるようにEXCOREおよびLISPを使用し、専門的医学知識を知識ベースに直接記述・蓄積し、知識依存型のシステムを作成、知識工学的手法による診断支援システムを構築した。この知識工学的手法の応用により、医学知識そのものの表現とその利用が実現し、診断への非数値的な推論が可能となった。

すなわち、対象とした筋肉疾患に関する高度に専門的な医学知識を利用して推論を行ない、診断という複雑な問題解決を専門医と同程度の能力にて行なうことを目標とする知的プログラム（エキスパート・システム）による診断支援を目指した。

4.2.3.3 知識源の同定

精神内科学に関する専門医学書及び神経内科学に関する専門医師の経験的な知識を使用した。

4.2.3.4 専門家モデルの同定

専門医学者、専門医学書等による知識と臨床から得た経験的知識を合わせ持つものとした。

4.2.3.5 ユーザモデルの同定

神経内科専門医の筋肉疾患に関する知識やノウハウをコンピュータ化し、神経内科専門医または一般の医師に対して診断支援を行なう。

4.2.3.6 知識表現の選択

診断に際し各疾患に共通に必要である知識として、性別、症状の進行の程度、遺伝性の有無、症状の発症の時期などの比較的定型的に問診され必ず収集される項目を選んだ。これに各部位の筋肉の障害の有無、並びに筋肉疾患を疑うとほとんど測定される血清 CPK の値に関する項目を加え、これらを合わせて6項目に関する医学知識を各疾患ごとに抽出・整理し、フレーム型知識表現にて記述した。

さらに、医師は問診などの情報収集のあと具体的に疾患を思い浮かべ、この疾患を検証するために、疾患に特有な症候の有無を調べ、必要な検査を行ないこれを評価することを繰り返し、診断を確定する。しかし、ここで使われる症候や検査所見などに関する知識は、すべての疾患に対してそれが検証される必要はなく、ある疾患の確定や鑑別診断に用いられる重要な知識である。そこで、このような医学知識を「IF……THEN……」という形のルール型知識に分解し記述し蓄積した。

4.2.3.7 知識の移植

エキスパート・システム構築ツールEXCOREを利用し、専門医学書・専門医師の知識を知識ベースとして作成した。

ICON、マルチウィンドウを用いた知識移植用ツールを用いて、日本語による対話形式により知識の移植を行なった。

4.2.3.8 知識ベースの管理

エキスパート・システム構築ツールEXCOREにより、ファイル管理や世代管理を行ない、またユーザにおいても知識の追加・変更・確認が行なえるようにした。

4.2.3.9 性能の評価

いくつかの症例について、症状・検査所見等のデータを用意し、人間の専門家の判断と比較した。専門家から見てほぼ妥当な診断結果が得られた。

4.2.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	診断問題とは、システムの異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである。			・ 本システムでは、患者の症状・検査所見等により、病名を診断する
特 徴	1. 設計レベルの知識の利用 2. 経験的知識の利用 3. 経験的知識の不確実性 4. 操業データの利用 5. 計測のための時間とコスト 6. 知識の抽象化の必要性 7. 対話的診断の推論制御	X ○ ○ ○ X X ○	X ○ △ ○ X X ○	・ 設計ではないが、生理学的・病理学的メカニズムの知識の利用 ・ 専門医の経験的知識を利用 ・ 評価値として表現 ・ 患者の症状により診断している

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 異常現象の分類階層的表現 2. システム構造の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内包 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ △ △ △ ○ ○ X	・診断のための、検査の種類、項目の選択 ・生理学的・病理学的メカニズムにおよぼ深い推論が今後の課題
問 題 解 決 機 能	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮説推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ △ X X X 	・フレーム型知識により、鑑別すべき疾患群が絞り込まれる 仮説生成→目標生成 ・評価値の足しこみにより行なっている。

4.2.5 参考文献

- 1) 音瀬広章 「神経疾患の定量的診断法に関する研究；マイクロコンピュータによる確率計算を用いた神経疾患診断機の試作」 鹿大医誌、33, P.413-432., 1981
- 2) 熊本一郎 「コンピュータによる医学知識の表現とその利用に関する研究；知識工学的手法による筋肉疾患診断支援システムの作成」 鹿大医誌、39, P.35-50., 1987

4. 3 契約査定支援エキスパート・システム

開発：日本生命保険（相）

4.3.1 システムの目的と機能

4.3.1.1 目的

生命保険は多くの人がそれぞれの危険度に応じた保険料を出し合って相互に保障しあう制度であり、すべての人を同じ条件で契約することは、契約者間の公平に反することになる。そのため生命保険会社は契約締結にあたりその申し込みについて「身体上の危険」、「環境上の危険」、「道德上の危険」という三つの視点から危険評価を行なうが、本エキスパート・システムでは「身体上の危険」つまり被保険者の体格や過去および現在の病気、けがの状態、身体障害の状況などによる危険評価を対象にしている。

医師の診査による契約の場合、危険評価のための情報は被保険者の告知書や診査医の診査書などから収集される。告知書には被保険者の過去および現在の健康状態がそのままに告知され、それに関して診査医が病名や手術名、発病時期、検査時期、加療期間のほか症状や経過などを補足する。また診査書には診査医の所見および査定の参考となる事項が記入されている。

当社では契約査定業務は本店集中体制をとっており、身体上の危険については二段階の査定を行なう。一次査定はセンター・コンピュータによる査定で、体格や血圧、脈拍、検尿結果などの数値項目について査定を行なう。診査医による補足や所見などの記述式の内容については、コンピュータで自動的に査定するのがむずかしいため、二次査定として人手による査定を行なう。

査定対象件数はピーク月で約10万件にのぼっており、4名の査定専門医と約30名の事務スタッフがこれを査定している。査定対象の疾患は外科から内科、神経科などあらゆる範囲にわたっており、上級査定者育成に5～6年を要するため要員育成やコスト、ローテーションなどの面で課題となっており、査定業務のエキスパート・システムによる効率化に大きな期待がかけられていた。本システムは、このような期待に応える目的で構築された。

4.3.1.2 機能

本エキスパート・システムは、既存の EDPシステムと連携し、身体上の危険についての

二次査定を行なう。

EDP システムにおける数値査定の結果、異常があるものや告知書・診査書に記載事項があるものが二次査定対象としてリストアップされるとともにデータベース化される。査定スタッフは、これらのデータについて二次査定対象リストと診査書を見ながら、本エキスパート・システムと対話しながら査定を行なう。システムからは疾病ごとに用意された疾病の程度・治療方法・治療環境・合併症などの評価項目が適切な順序で質問されるため、利用者は必要最小限の項目入力で査定結果が得られる。

査定結果は、(1) 危険が少なく無条件で契約を引き受けるもの、(2) 危険度に応じた特別条件を付加するもの、(3) 危険が大きすぎて謝絶するものに分かれる。特別条件としては特別保険料の割増しや保険金の削減、特定部位の不担保などがある。

本エキスパート・システムでは、契約引き受けの可否を判定し、さらに超過死亡指数などの特別条件付加のための基礎データをもとめる。超過死亡指数とは統計的にみた被保険者の死亡や疾病、災害の確率を指数化したものである。

本システムの開発により、初級スタッフでもベテランと同水準の査定ができるようになり、また査定情報の見落としや評価のばらつきもなくなるなど、正確性の向上や均質化がはかれる。

4.3.2 エキスパート・システムの構成と実現環境

4.3.2.1 知識ベース

個々の知識は、フレーム表現を採用。

査定のための知識は、各疾患の危険評価のケース分けとケースごとの評価表の組み合わせから構成される。評価表は各ケースの危険度を指数化し表形式にしたもので、評価表を高速検索し指数を加減算しながら、最終的に超過死亡指数などの特別条件付加のための基礎データを求める。「糖尿病」の評価の知識は、図4.3-1 のツリー構造で表すことができる。最下位のフレームにそれぞれのケースの危険度を指数で表した詳細な評価点が記述されている。「糖尿病」の場合にはまず基礎評点を求め、これにコントロール状態、関連疾患・合併症の各項目ごとの評価点を加算し、合計の超過死亡指数を計算する。

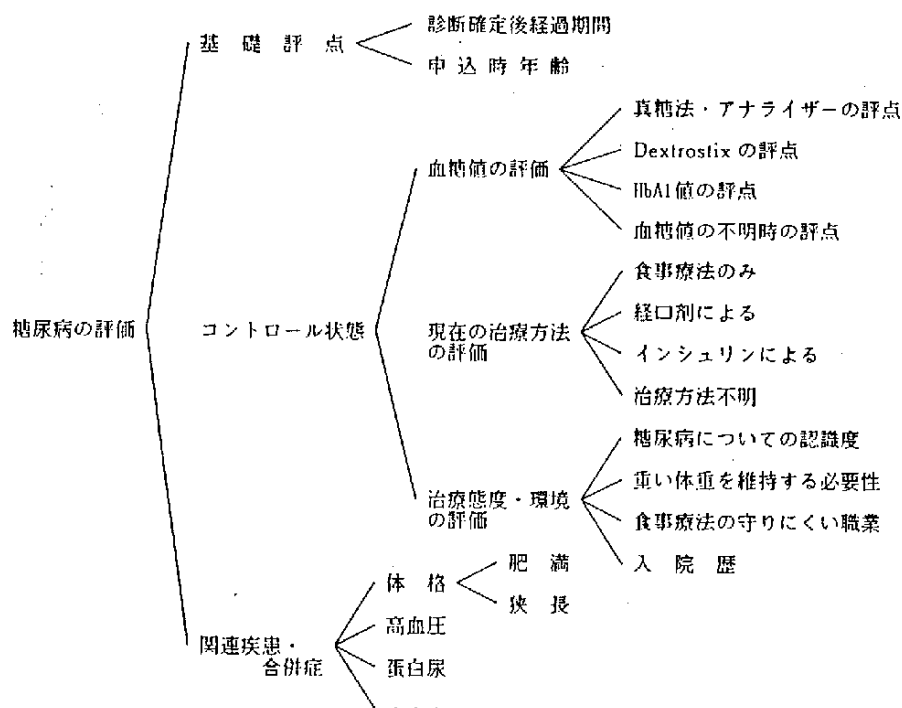


図4.3-1：糖尿病評価のための知識体系（出典：参考文献 1）

4.3.2.2 推論機構

前向き推論を行なう。

4.3.2.3 開発・運用環境

(1) ハードウェア：開発用 XEROX-1121、デリバリ用VAX8350 (24MB)（図4.3-2参照）

(2) 言語：Lisp

(3) 開発ツール：KEE

(4) 開発上の利点・問題点

エキスパート・システムの開発用に、Interlisp-DJ搭載のAIワークステーションXEROX-1121を導入している。システム開発用には、こうした大型高解像度ディスプレイとマルチウィンド、マウスなどの機能を持つAIワークステーションが威力を発揮し、高い生産性を実現した。しかし実用システムでは多数のスタッフが知識ベースを共用し、また、既存のEDPシステムとの関係も必要であり、分散コンピュータ導入によるデリバリシステムを構築した。

デリバリシステムの構成は図4.3-2のように汎用コンピュータに知識ベースを格納し複数の端末から共用する形態とし、ホストコンピュータとしてVAX 8350（主記憶容量24メガ

バイト)を導入した。端末は NEC PC9801 8台と VAXプリンタ 2台を接続している。またセンターコンピュータ (IBM 3090) とのデータ関係は DECの SNA GW (ゲートウェイ) を介して行っており、査定スタッフは IBM機から VAX機に受信した査定対象データについてローカル・オンラインの形で査定を行ない、査定結果は一括して IBM機に伝送する。

ソフトウェア構成は図4.3-3のとおりであり、デリバリ機能として KEEの TTY-HOSTを使用し、端末画面制御には FMSを使用している。データベース入出力や査定結果のプリント編集などの機能は COBOL言語により開発している。また査定業務で取り扱うデータは機密性が高いことから IDカードによる資格・権限のチェックなどのセキュリティ機能を強化している。

本システムの開発・運用環境上の問題として、以下の点があげられる。

- ①開発システムとデリバリシステムの間で、知識ベースの互換性が不十分であり、移植時に何らかの書き換えが必要となるため機動性に欠ける。
- ②デリバリシステムでは、知識処理だけでなく情報処理を行なっているが、開発マシンで LISP以外の言語がサポートされていないため、インタフェース部分の開発管理が煩雑になる (デリバリマシンでの開発を検討したが、VAX上での日本語 KEEのサポートの見通しがたっていない)。

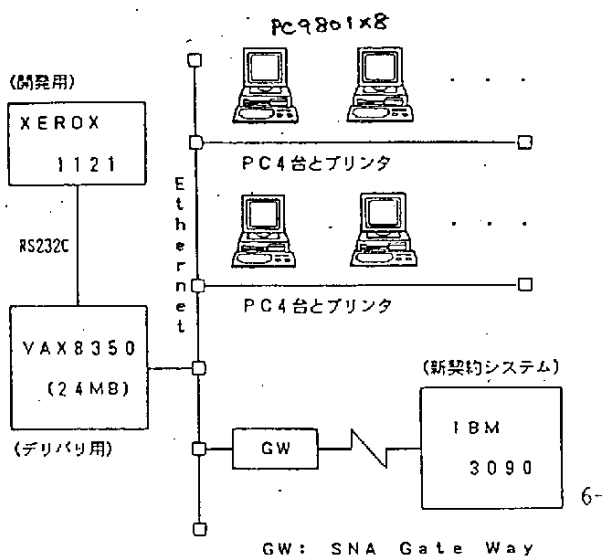


図4.3-2: システム構成

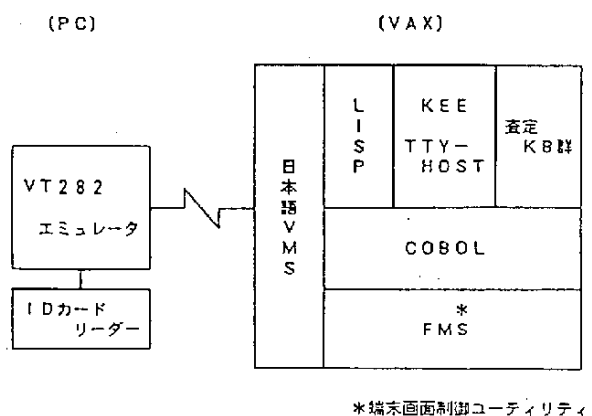


図4.3-3: ソフトウェア構成

4.3.3 システム開発の手順

4.3.3.1 問題の設定

当社では、昭和60年に行なったエキスパート・システム適用業務の調査結果に基づいて対象の選択を行なっている。本システムの対象である契約査定業務は、これまでにセンターコンピュータ上での問題解決をはかってきたが、限定的な範囲での機械化にとどまっており、エキスパート・システム構築ツールの発展によりようやく本格的なシステム化を実現した。

エキスパート・システム開発では、提起された問題をエキスパート・システムつまり知識工学的手法で解決すべきか、あるいは解決できるかを早期に見きわめることが重要である。そのためプロジェクト開始に先立ち、エキスパート・システムの適合性について事前評価を行なった。この段階では実際のAIツールを用いてプロトタイプを作成し評価していくことが有効なため、本エキスパート・システムの開発では、危険評価項目が最も多く複雑な糖尿病を取り上げて初期プロトタイプを作成し、事前評価を行なった。初期プロトタイプの規模は約100 フレームで、開発工数は1人月であった。

4.3.3.2 既存技術の評価

本エキスパート・システムは、全国オンライン適用業務である新契約締結システムのサブシステムとして位置づけられる。ただし本システムを全国オンライン環境で稼働させるには、技術面および制度面で問題があるため、業務を集中処理している本店の契約部門に分散コンピュータを導入し、いわゆるバックエンドの形態で分散処理を行なうこととした。

査定業務の一部は既存システムに組み込まれており、既存システムでは対応しきれない各疾患の査定についてエキスパート・システムで補完している。また査定結果についても、超過死亡指数を基に割増保険料を計算する機能などは、既存システムにゆだねている。

分散コンピュータ側でも、知識ベースに基づく査定処理だけをAIツールで行ない、データベース入出力や査定結果のプリント編集などは COBOL言語で開発するなど、従来技術で容易に対応できる問題は従来技術で解くという基本的考え方をとっている。

4.3.3.3 知識源の同定

査定知識の獲得は査定ノウハウの集大成である「査定標準表」に基づいている。これは、過去数十年にわたって追跡調査してきた死亡や疾病の統計と、疾病の予後つまり過去および現在の疾病が将来どういう影響を及ぼすかについて研究する保険医学の専門知識を集約

し、数年前に完成したA4判で約500 ページに及ぶ査定標準である。この査定標準表をもとに、その解釈の仕方や査定者の経験に委ねられている事項について査定医がコメントを加えながら知識ベース化を行なった。

4.3.3.4 専門家モデルの同定

査定知識は、査定を専門的に行なう査定医により、一定の医学的知識をもった事務スタッフ向けに「査定標準表」として文書化されており、これに基づいている。

本システムの知識ベースとして蓄積しているのは、糖尿病、外傷、腫瘍、胃潰瘍・十二指腸潰瘍、神経痛、視覚障害など25疾患、約 470の病名の査定ノウハウである。

4.3.3.5 ユーザモデルの同定

このシステムは初級の査定スタッフから上級者まで様々なレベルの人が使うことを想定している。初級者としては、2～3カ月間の基本的な査定知識・実務教育を受けた者を対象としている。

ユーザインタフェースは、図4.3-4のように(1)査定対象データと疾患を表す見出し部、(2)査定情報の入力部、(3)査定評価項目の質問部、(4)初心者向けの備考の4つの部分から構成している。入力形式は選択肢、数値入力、一文字入力の三形式に標準化している。

初級者向けの機能として疾患名の問い合わせ機能と例題による学習機能を持たせている。

(医務査定) 疾患：外傷

新契番号：035-17-01-0007

被保険者氏名：日生 太郎

[入力] <==項目番号

[質問] 該当の項目を選んで下さい。

- | | |
|-----------------|--------------|
| 1. 外傷性関節炎 | 11. 脊椎損傷 |
| 2. 関節および腱、腱鞘の疾患 | 12. 打撲症 |
| 3. 外傷性頸部症候群 | 13. 椎間板ヘルニア |
| 4. 感覚器の損傷 | 14. 頭部〈顔面〉損傷 |
| 5. 胸、腹部損傷 | |
| 6. 腰痛 | |
| 7. 骨折 | |
| 8. 坐骨神経痛 | |
| 9. 四肢切断、用廃 | |
| 10. 脊髄損傷 | |

[備考] いわゆるむちうち症、頸椎捻挫は3.外傷性頸部症候群で査定

図4.3-4：ユーザインタフェースの例（出典：参考文献 3）

4.3.3.6 知識表現の選択

知識源となった「査定標準表」は疾患ごとに危険評価のケース分けとそれぞれのケースの評価表の組み合わせで記述されている。評価表は主に図4.3-5のような形式で表され、表の中には約40種類の記号が用いられている。この記号化が本エキスパート・システムの知識表現の重要なポイントになっている。こうした知識表現にはフレーム表現が適しているため、AIツールとして「KEE」を使用し、あわせて評価表を効率的に検索するため、高速の前向き推論機能を開発した。

*表の形式は疾病により様々である

経 過	主契約	特約 1	特約 2	特約 3
R—1 Y	S 3	Dec	—	—
—2 Y	S 2	0	120	Dec
—3 Y	0	0	80	Dec
3 Y—	0	0	50	Dec

図4.3-5：知識表現の例（出典：参考文献 3）

4.3.3.7 知識の移植

実用システムの規模は、知識ベースが約2000ユニット、LISP関数が約200本（900ステップ）、COBOLプログラムが約60本（15000ステップ）である。

LISP関数は、(1)知識ベース保守を容易にするユーザインタフェース、(2)高速前向き推論機能のために使用している。

(1)のユーザインタフェースとしては、図4.3-5 で示した知識表現とKEEのフレーム記述の相互変換ができるようにしたため、知識移植と検証が「査定標準表」そのままのイメージで可能となり、開発効率を向上させることができた。

知識ベースへの移植に際しては、こうした知識投入のためのユーザインタフェースの開発が不可欠であろう。

4.3.3.8 知識ベースの管理

査定知識は保険医学や医事統計の進歩とともに変化しており、また新たな保険商品の開発にも影響されるため、査定知識の変更はかなり頻繁に行なわれる。そこで本システムでは知識ベースを容易に変更できるインタフェースを開発し、査定ノウハウを管理する査定

医自身に知識ベースの保守・拡充を委ねることにしている。ただし基本構造に係わる変更は情報システム部門のバックアップが不可欠であり、それぞれの部門が役割を分担しながらエキスパート・システムを成長・発展させていくことになる。

4.3.3.9 性能の評価

(1) システム構築上の評価

実用化における最大の課題はパフォーマンスの改善であり、徹底的に性能改善を行なった結果、どの疾患でも思考時間を除きほぼ一分以内に査定結果が得られるようになっている。また知識ベースの内容については、査定スタッフの協力を得て、約5000ケースのデータで正当性の検証を行ない、リリースした。

(2) 査定スタッフの評価

これまでの査定スタッフの評価はおおよそ次のとおりである。

まず利点としては、①初級スタッフでも簡単に査定ができ、また査定結果も均質である、②スタッフ育成が短期間で済み、ピーク時の応援体制も組みやすくなる、③査定結果のコーディング・レス化により、エラー解決のためのロスがなくなる、などがあげられている。また欠点としては、①ベテランにとって対話形式の入力が煩わしい、②査定標準表の知識を超えておらず査定の基礎知識が不可欠、などがあげられている。

これらの意見を総合すれば、当初の目的である初級スタッフへの査定支援システムとしてはまずまずの評価を得ているといえよう。

4.3.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである			病歴をもつ被保険者の保険期間内における死亡・疾病・災害等の危険の確率を統計データに基づく知識を利用して予測し、保険引き受けの可否と付加条件を提示するものである。
特 徴	1. 設計レベルの知識の利用 2. 経験的知識の利用 3. 経験的知識の不確実性 4. 操業データの利用 5. 計測のための時間とコスト 6. 知識の抽象化の必要性 7. 対話的診断の推論制御	X ○ ○ ○ ○ X ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	・ 医事統計・保険医学に基づく知識 ・ 危険率を指数化 ・ 告知書・診査書データの利用 ・ 保険加入申込みの前提条件 ・ 危険評価項目の質問順序の最適化

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 異常事象の分類階層的表現 2. システム構造の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内包 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	○ ○ ○ ○ X ○ ○	○ ○ △ △ ○ X	・危険評価要素をツリー構造で表現 ・疾病による構造の違い ・状態の表現（手術痕の大きさ等） にあいまい性あり ・再診査指示機能
問 題 解 決 機 能	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮説推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析	○ X ○ X X ○ ○	○ △ △ △ ○	・応答内容に基づく前向き推論 ・現状の指数加算だけでは不十分 ・問題の性質から完全性は不能 ・初級スタッフ向けには効果大

4.3.5 参考文献

- 1)小松 修 「A I 応用によるオフィスシステム革新－実用エキスパートシステム構築へのアプローチ」 IBMユーザ・シンポジウム論文集、VOL. 25, P. 341-361, '87
- 2)AIセンター編 「契約査定エキスパートシステム」 人工知能技術動向等に関する調査研究報告書・付属資料エキスパートシステム事例、昭和63年3月
- 3)小松 修 「生命保険業におけるエキスパートシステム」 保険学雑誌、VOL. 520, P. 74-92, 昭和63年3月

4. 4 ダムゲートの寿命診断 (Dam Gate Diagnosing Advisor)

開発：(財)電力中央研究所

4.4.1 システムの目的と機能

4.4.1.1 目的

日本で大規模な発電用ダムおよび関連した水路構造物が建設されはじめた昭和初期の建設記録は乏しく、ゲート、鉄管類に至っては、インチ、尺などの単位によるものも見いだされる。このような50年近くを経過した水力構造物の安全性判断、適切な維持管理および適切な取り替え時期の決定は、1つの大きな課題となっている。

古いダムゲートについては、個々のゲートの構造形式、概観状態等は、多種多様である。そのため、安全性の判断においては、静応力測定、振動測定、残存板厚測定、材料試験、各種の構造解析により、使用状態における一応の安全性確認を行なうものの、不確実な要素を残したままでの判断に頼らざるを得ない。それらは、制作施工時に生じた形状不整、初期応力、主要部材における腐食分布、頭のないようなリベットの有効度、擦動部分の摩擦係数、などさまざまである。

長年月を経た構造物の診断にあたっては、それ自体の不確実さのほかに、観察者の主観による判断の相違が問題になる。水力構造物に限らず、橋梁、タンク等多くの構造物で健全性判断を行なう場合、所定のチェックリストに従って、各項目何段階かの評価を行ない、総合得点に基づいて判断する場合が多い。しかしながら、チェックリストの各項目の選定とウェイト付けのほかに、個人の印象による記入結果の違いを最小限に抑える検討までは行なわれていないのが実状であろう。

現状における構造物の安全性判断からさらに一步踏み込んで、寿命予測と取り替え時期の決定をするためには、寿命の定義とともに経時変化の把握が新たな課題として加わる。必然的に、異なる時点でのデータが必要となり、データ取得量が飛躍的に多くなるだけでなく、データ保存、処理方法が検討されなければならない。そのため、測定および解析を簡便かつ迅速に行なうと同時に計算機によるデータ処理が不可欠になる。そこで、判定結果の客観性を高めるためにエキスパート・システムに代表される知識工学的手法の採用が望まれた。

1. 2 機能

本エキスパート・システムの機能は、以下のとおりである。

- (1) 最初に、データベース／簡易解析システムからダムゲートの状態などの定性的知識と、測定値、解析値などの定量的知識を取り込む。
- (2) 次に、それらを推論処理に適したフレーム形式に変換する。
- (3) これを、専門家の経験的知識と組み合わせて記号的な推論処理を行なう。
- (4) これにより、対象ゲートが現状のまま利用可能か、修理取り替えを必要とするかの状況判断を自動的に実施する。

4. 4. 1. 2 システムの構成と実現環境

本システムの構成を図4. 4-1に示す。

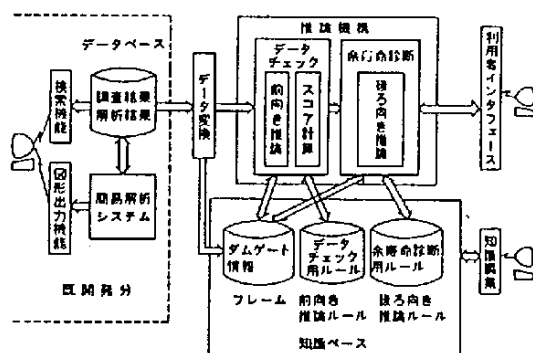


図4. 4-1: ダムゲート診断エキスパート・システムの構成（出典：参考文献 1）

4. 4. 2. 1 知識ベース

知識ベースはフレームとルール、および手続きとから構成される。

A. フレーム構造

本システムでは、対象となる個々のダムゲートの情報を推論処理しやすくするために、階層的に整理したフレーム形式で保持する。これは、物理的なゲートの構造を表す部分（STRUCTURES）と、データ項目値を表す部分（VALUES）とに大きく分けられている。各々の構造を図4. 4-2と図4. 4-3に示す。

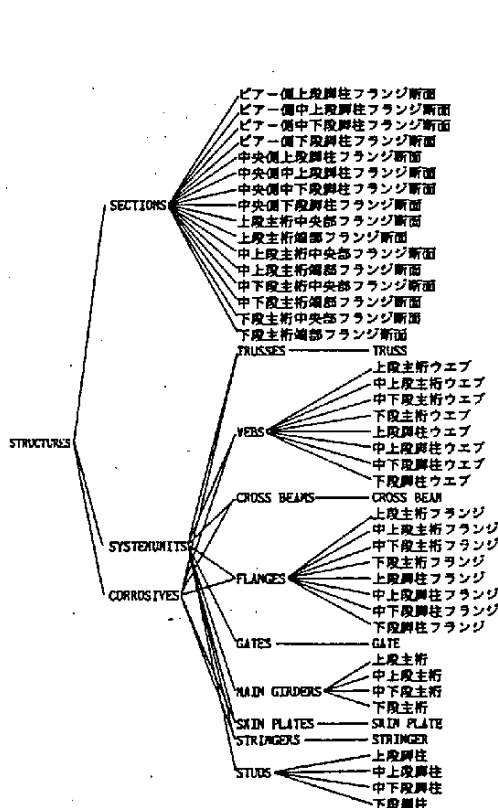


図4.4-2 : STRUCTURESのフレーム構造
(出典 : 参考文献 1))

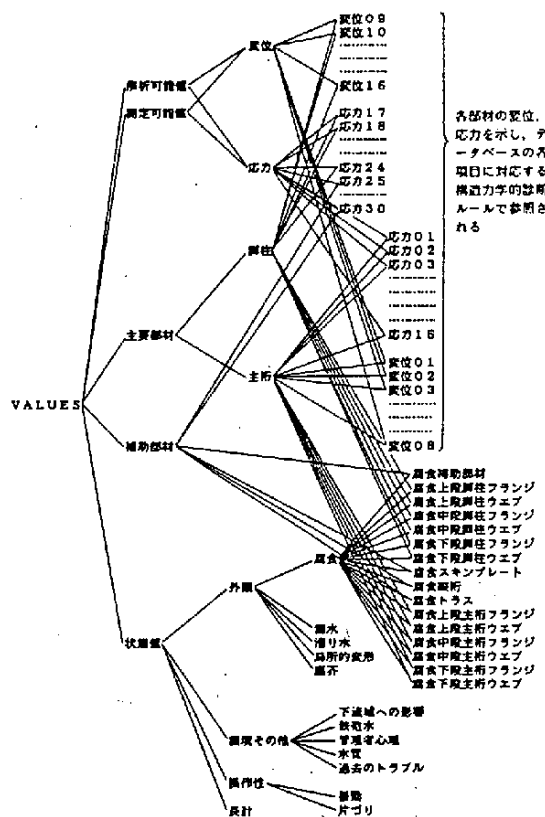


図4.4-3 : VALUESのフレーム構造
(出典 : 参考文献 1))

STRUCTURESの中心になるのはSYSTEMUNITS であり、SYSTEMUNITS クラスに属する各フレームはゲートの各構成部位 (TRUSS, WEBS, ...) を表す。フレームはある構成部位が何の部分であり、また逆に何から成るかを示すスロット (Super-SYSTEMUNITS, Sub-SYSTEMUNITS) をもっている。各スロット値は、上位概念、下位概念に対応するものである。

構成部位の中には、腐食するという性質をもつものがある。このような部位はどれも腐食率、腐食の程度などの情報をもつ。このような共通する性質に対しては、CORROSIVES というクラスを定め、このクラスに属するフレームはフランジ断面の情報をもっている。

一方、VALUESはデータベースに含まれているゲートの定量的なデータを、複数の観点からとりまとめたものであり、これに属するユニットは各データ項目に対応している。応力 (STRESS, VALUES) と変位 (DEFLECTION, VALUES) は、ともに解析可能値 (ANALYZABLE, VALUES)、測定可能値 (MEASURABLE, VALUES) の両方の性質をもち、各データ項目は主要部材

(MAIN, MEMBER, VALUES) と補助部材 (AUXILIARY, MEMBER, VALUES) に分類される。

さらに、SYSTEMUNITSクラスと VALUESクラスのフレームは互いに密接に関連している。このような2角クラスを設けることによって、ゲートの種類によって異なる構造の違いを、ルールから独立して扱えるようになり、また、各部位の値や計算方法が共通して取り扱えるようになる。

解析値が得られるデータ (ANALIZABLE, VALUESの要素) については、まずデータ入力時に、後述のSET, DEPENDENTS, RULESを起動し、ゲートの測定時の水深から、測定値の補正係数を得る。補正係数は代表的形状のゲートについて、(測定時の水深/設計水深) = 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 の条件で、簡易構造解析システムを用いて応力解析することにより求めている。

B. ルール

IF-THEN 形式で書かれたラジアルゲートに関するルールは、次の(1)～(4)の4種ルール群から成る(図4.4-4)。ローラゲートの場合もほぼ同様であるが、脚注に関する項目が削除される。

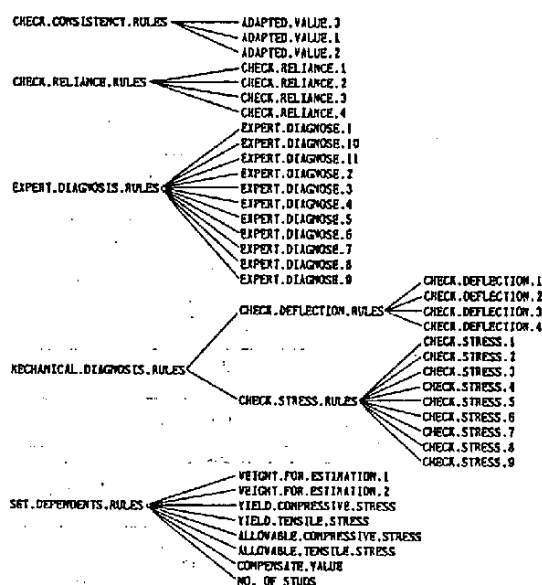


図4.4-4: ダムゲートに関するルール群 (出典: 参考文献 2))

(1) CHECK. RELIANCE. RULES,

CHECK. CONSISTENCY. RULES

解析、実測に基づく応力、変位等の数値データの信頼性を判定するルール群であり、前向きに実行する。

(2) SET. DEPENDENTS. RULES

各種の物理定数をセットするルール群である。

(3) MECHANICAL. DIAGNOSIS. RULES

構造力学的情報に従って診断を行なうルール群であり、変位と応力の2つに分けられる。後向きに実行する。

(4) EXPERT. DIAGNOSIS. RULES

経験的診断ルール群であり、後向きに実行される。外観評価、操作性評価、環境その他の評価、経過年数、について4段階評価した後、表4.4-1に示すルールに従って実行する。ただし、知識ベース中では整理統合して等価な11ルールにまとめている。

表4.4-1: EXPERT. DIAGNOSIS. RULES一覧 (出典: 参考文献 2)

外 観	操作性	環境その他	経過年数	判 定	ルール番号
良い	良い			現状のまま使用可	①
	概ね良い		40年未満	現状のまま使用可	②
	良くない		40年以上	補修が必要	③
	かなり悪い	良い 概ね良い 良くない かなり悪い		補修が必要	④
概ね良い	良い		40年未満	現状のまま使用可	⑤
	概ね良い		40年未満	現状のまま使用可	⑥
	良くない		40年以上	補修が必要	⑦
	かなり悪い		40年以上	補修が必要	⑧
良くない	良い		40年未満	取替え	⑨
	概ね良い		40年未満	取替え	⑩
	良くない		40年以上	取替え	⑪
	かなり悪い		40年以上	取替え	⑫
かなり悪い	良い	良い 概ね良い 良くない かなり悪い	40年未満	取替え	⑬
	概ね良い		40年未満	補修が必要	⑭
	良くない		40年以上	取替え	⑮
	かなり悪い		40年以上	取替え	⑯

4.4.2.2 推論機構

寿命予測の基礎となるスコア計算のための経験則を前向き推論ルールで、また、寿命診断に用いる経験則を後向き推論用ルールで表現している。

A. 推論方式

本エキスパート・システムは、当該構造物が、

- (1) 現状のまま使用可能
- (2) 補修が必要
- (3) 取替えが必要

であるかどうか判断し、ついで、現状のまま使用可能の場合、何年後に修理または取替えの必要があるかを判定して提示する。

これらの診断は、本質的にある程度のあいまいさを含むものであり、寿命判定に対する考え方に応じて複数の推論方式が可能である。本システムでは、あいまいさを処理するために、階層分析法（AHP；Analytic Hierarchy Process）に基づくスコア計算方式を導入し、後述の複数の解の提示という方式を採用した。これは次の理由によるものである。

- (1) ダムゲートのような構造物を対象とする場合、個々の推論結果はデータまで遡って明確に説明できるものでなければならない。そのためには、スコア値を陽に計算して、評価結果に各項目がどれだけ寄与しうるかを説明する方が適切である。
- (2) 本システムの下す複数の推論結果はたがいに矛盾する可能性があるが、客観的な寿命評定法が確定していない現状においては、システムの利用者に最終的判断をまかせるべきである。そのためにはシステムが結論しうるすべての解を表示するのが適切である。つまり、本システムでは、1つのダムゲートの情報に対して、表4.4-2に示す6通りの項目について診断を行ない、それぞれの結果と推論過程とを利用者に提示する。利用者は、システムの出力する複数個の結果を利用して最終的な判断を下すことになる。

表4.4-2：本システムの推論方式（出典：参考文献 1）

現状のまま使用可／補修／取替え	構造力学的特性 ・変位 ・応力 ・振動 ・座屈（ラジアルゲートのみ） 経験的判断
寿命（何年で補修／取替え）	主要部材の腐食 補助部材の腐食 主要部材の応力 主要部材の変位

表4.4-3：開発経緯のまとめ

- 1985年 4月： 既存部分 (DB, FORTRAN) 開発
- 1985年 4月： エキスパート・システム化決定
(それ以前の計画では統計的手法を使う)
- 1985年 5月： 一次案としてのルール作成
(IF-THEN+基本的な計算式)
- 1985年 6月： デモ用プログラムをM200上に作成
(デモ終了後廃棄) (第1版)
- 1985年 9月： 技術的検討
- 1985年 9月： KEEの導入
- 1985年10月： DB情報を元にダムゲートのフレーム化
ルールの追加・修正 (第2版)
- 1985年11月： ルールの追加・修正 (第3版)
システムのテスト
- 1986年 3月： 大型機上で実用システム開発 (第4版)
- 1989年 (?)： 試行中

4.4.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：Symbolics-3670 (Lispマシン) (Ver.2,3)
FACOM M-380 (大型機) (Ver.1,4)
- (2) 言語：Utilisp (Ver.1,4)、Symbolics Lisp (Ver.2,3)
- (3) 開発ツール：KEE-2 (Knowledge Engineering Environment) (Ver.2,3)
- (4) 開発上の利点・問題点：EShell (Ver.4)

第1版は、大型計算機上のLISP言語を使用して、ごく簡単なプロダクションシステムを書き、それをを用いて実現したものである。第1版の目的は、エキスパート・システム技術による寿命予測の実現可能性を確認するとともに、基本的な推論方式を定めることであった。この実現によって、基本的なルールが収集でき、寿命評価のための計算方式が明確なものとなった。

第2、3版は、Symbolics 3670 上でKEE-2を使って開発した。第2版の目的は、ダムゲート診断に適したフレーム構造を定めることであった。このフレーム構造を設計する際には、以前に開発していたデータベース用調査票の情報が有用であった。第2版では、同時にスコア計算の方式を定めたため、少数のルールでも全体をうまくコントロールできる見

通しを得た。また、デモンストレーション効果を高めるために、種々のグラフィック機能を利用している。

第3版は、第2版に基づきルールの整備・拡張、測定データ補正方法の決定、AHPによる重み決定の実現を図ったものである。第3版によって当初予定していた機能はほぼ実現できたと考えられる。実際25か所の実データについて実験を行ない、本エキスパート・システムの性能を確認した。

第2、3版では、Symbolics、KEE-2の機能の豊富さゆえに、開発期間が短縮できた。デモシステム用のグラフィック画面（第2版）も有用であった。

第4版では、知識処理用計算機で開発したシステムを再び大型計算機に移植し、データベース、構造解析の両システムと統合した。これと同時に知識の見直しと改善作業を実施した。

実用バージョンでは、既存システムとの連係と、システムの利用範囲の拡大の必要上ワークステーションレベルのハード、ツールは利用できなかった。そこで、全システムを再び大型機上で統合した。システムは全面書きなおした。

4.4.3 システム開発の手順

4.4.3.1 問題の設定

水力発電関連設備の診断手法を確立する研究（対象構造物の実態調査と調査票作成；診断目的に合致する測定技術の開発；腐食の主観的判断の定量化・客観化；データ収集とデータベース化；最適な構造解析技術の検討；安全性・寿命判断基準の作成；安全性・寿命判断手順の開発の7ステップからなる）の一環である。いくつかのテーマのうち、

- ・ 診断のノウハウが所内にあること
- ・ システム化の要請が強いこと

を条件に、DGDAの開発を決定した。

4.4.3.2 既存技術の評価

- ・ エキスパートシステムの可能性を評価する以前に、データベースの検索と統計手法の活用とを考察したが、フィージビリティが低いと判断した。
- ・ 構造解析プログラム、データベース、測定技術等をまとめる形式でエキスパート・シ

ステム化を行なった。

4.4.3.3. 知識源の同定

知識源としては、

- ・ 当所の土木専門家1名が中心であり、
- ・ 過去の基準なども知識確定に役立っている。

4.4.3.4 専門家モデルの同定

ダムゲートの構造知識、構造力学的に重要な部位の特定知識がキーポイントであった。
問題解決戦略は、個々のルール・フレームを記述・整備する過程で明確になっていった。

4.4.3.5 ユーザモデルの同定

- ・ 最終的なユーザは電力会社支店・電力所レベルの設備管理責任者を想定。
- ・ 推論・制御は、数値計算プログラムを使う関係上システム主導である。
- ・ ESの開発・管理は電中研にて行なう予定。
- ・ ユーザインタフェースの高度化は望ましいが、大型機上のシステムという制約から、テキスト中心のメニュー画面を採用している。

4.4.3.6 知識表現の選択

[ダムゲート情報] ————— フレーム

- ・ 数値計算結果
 - ・ 現場測定結果
 - ・ アンケート結果（定性情報（4段階））
 - ・ ゲート構成・設計情報
- 定量情報

[診断知識]

- ・ ルール
- ・ AHPによるウェイト

4.4.3.7 知識の移植

紙の上での知識の記述

↓

プロダクションシステム (Ver. 1) による動作確認

↓

フレーム・プロダクションシステム (Ver. 2, 3) による洗練

↓

確定した知識の書き直しと追加洗練 (Ver. 4)

問題点については4.4.2.3を参照。

4.4.3.8 知識ベースの管理

知識ベースの規模が小さいため、ドメインエキスパートによる確認・管理が可能。ただし、EShellの知識ベースは可読性が悪いので専門家はドキュメントベースで確認している。

4.4.3.9 性能の評価

システム開発中のテスト方法は、通常のデバッグと同様で、さまざまなデータを投入してはチェックするという形で実施した。最終的なシステム評価では、現在使用中のダムゲートならびに過去の取替え例、問題の生じた例など典型的な実例を使ってシステム性能を評価した。

評価結果は当所専門家のものとほぼ同程度である。また、過去のデータについては、実際の例よりややきびしい評価を下している。

4.4.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである。	○	○	典型的な診断問題である。ただし、寿命予測の面では、単純な線型外挿を行なっている。
特 徴	1. 設計レベルの知識の利用 2. 経験的知識の利用 3. 経験的知識の不確実性 4. 操業データの利用 5. 計測のための時間とコスト 6. 知識の抽象化の必要性 7. 対話的診断の推論制御	○ ○ ○ ○ ○ △ ×	○ ○ ○ △ × × ×	・ ダムゲートの構造知識 ・ ルールによる ・ AHPによる ・ アンケート情報の一部 ・ 計測には非常にコストがかかる ・ Frame/ruleで対応可

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 異常事象の分類階層的表現 2. システム構造の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内包 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	× ○ ○ × ○ ○ ○	× ○ ○ × ○ ○ ○	・ フレーム、AHPの階層 ・ ルール ・ 数値計算による
問 題 解 決 機 能	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮設推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析	○ × ○ × × ○ ×	○ × ○ × × ○ ×	・ Ver.4ではすべて前向き推論 ・ AHPとルール・フレームの組み合わせ ・ 本ES自身，診断の効率向上を目指している

4.4.5 参考文献

- 1) 中村秀治、寺野隆雄、松浦真一 「ダムゲートの寿命予測エキスパートシステム」 電力土木、NO. 207, 62, 3, P. 42-47.
- 2) 中村秀治、松浦真一、寺野隆雄、篠原靖志 「水力鋼構造物の寿命予測エキスパートシステムとその適用」 土木学会論文集、第374号／I-6 1986年10月, P. 513-521.
- 3) 中村秀治、松浦真一、松井正一、寺野隆雄 「知識工学手法に基づく水力鋼構造物の寿命予測」 土木学会論文集、第368号／I-5 1986年4月, P. 301-310.
- 4) 寺野隆雄、篠原靖志、松井正一、中村秀治、松浦真一 「ダムゲート診断エキスパート・システムとAHP」 オペレーションズ・リサーチ、1986年8月号, P. 500-504.
- 5) 「水力鋼構造物の寿命予測エキスパートシステムとその適用—ラジアルゲートに対するシステム開発とその適用—」 電力中央研究所報告 研究報告：385044 昭和61年6月, 35P.
- 6) 中村秀治、寺野隆雄 「土木構造物エキスパートシステム」 オーム社 1987年11月
- 7) T. Terano, Y. Sinohara, S. Matsui, and H. Nakamura "Dam Gate Diagnosing Advisor - An Expert System for Steel Structures. Proc. IEEE/SICE Int. Workshop on AI for Industrial Applications, PP. 129-134, 1988.

4.5 核計装系保守支援エキスパート・システム

開発：（株）東芝

4.5.1 システムの目的と機能

4.5.1.1 目的

原子力発電プラントにおいて核計装系は原子炉の出力を監視し、異常発生時に原子炉を緊急停止（スクラム）させる安全保護系の一部として重要な系統である。したがって、常にその健全性を保ち、万一異常現象が発生した場合でもただちに的確な対応処置を講じる必要がある。

核計装系は測定範囲によって中性子源領域モニター（SRM）、中間領域モニター（IRM）、出力領域モニター（PRM）の三つの系統に分かれているが、基本的には図4.5-1 に示すような構成をもっている。これらモニターの性能監視には、信号ケーブルを介して得られる電気信号に含まれるノイズなどの限られた内容のデータに基づく診断のノウハウが要求される。

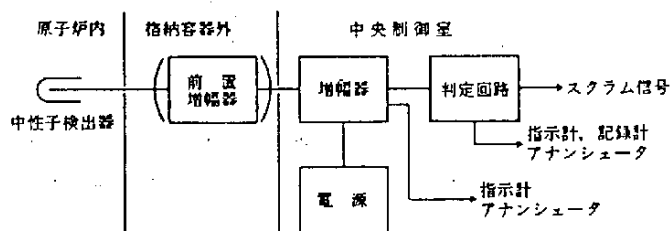


図4.5-1：核計装系の基本構成（出典：参考文献 1））

従来、核計装系の状態を診断する必要がある場合には、プラントの作業員と専門家が対象とする機器のデータに関して情報交換を行ない、専門家自身が設計、製造、研究・開発の知識に基づいて診断を実行していることが多かった。

このような専門家のノウハウを計算機上に搭載したエキスパート・システムを用いることにより、専門家の手を介さずに効率的な点検作業を可能にすることが、本システムのねらいである。

4.5.1.2 機能

機器の保守には、何らかの異常事象が発生した場合に対象機器の点検／補修を行なうものと、異常が発生する前に事前に検知して交換等を行なうものの2つの機能がある。本研究では、主として前者を対象とし、異常を起こした機器の異常原因を究明する状態診断機能と、その結果に対応して修理・交換などの対応処置を決定する対応策定機能を含むシステムを開発した。

核計装系保守支援エキスパート・システムの機能を図4.5-2に示す。

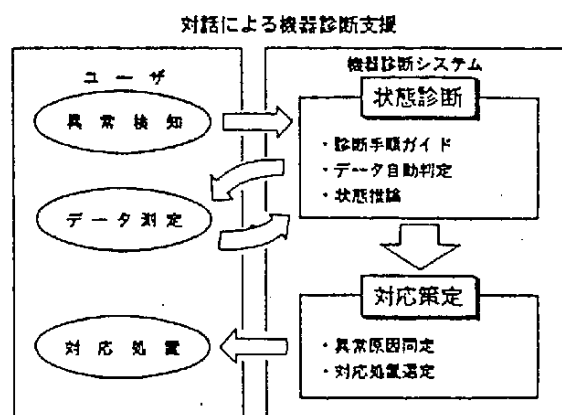


図4.5-2：システム機能（出典：参考文献 1）

本システムは対話型システム（コンサルテーションシステム）であり、ユーザとの対話によって核計装系に関するデータを取り込み、その状態診断と点検保守の作業を支援する。ユーザは核計装系に発生した何らかの異常現象を発見するとその旨をシステムに伝えて起動する。その後、ユーザがシステムからガイドされる手順に従って関連するデータを測定し、システムに入力することによって診断が進行する。

状態診断部では、核計装系各機器の状態を判定するための診断手順をガイドし、その結果得られたデータに基づいて推論を行なう。一方、対応策定部では得られたデータをもとに発生した事象の原因を同定し、その内容、程度に応じた対応処置を選定する。状態診断の実行中あるいは終了後に何らかの対応操作が必要になった場合には、その旨をガイドする機能も有している。

状態診断の際に必要なデータ、データに対する判定条件、および対応処置の判定基準は状況に応じて異なる。本システムではこれらに対して的確に対応できるだけの十分な

知識を備えている。

核計装系保守支援エキスパート・システムは、原子力発電プラントの中央制御室で発見できる異常現象に関して診断を実行することが可能である。図4.5-3 に本システムで診断の対象としている範囲を示す。SRM、IRM、LPRM（局所出力領域モニタ）のすべての系統に関して、状態表示用ランプが点灯した場合、および指示値の変動が異常になった場合に対応することができる。

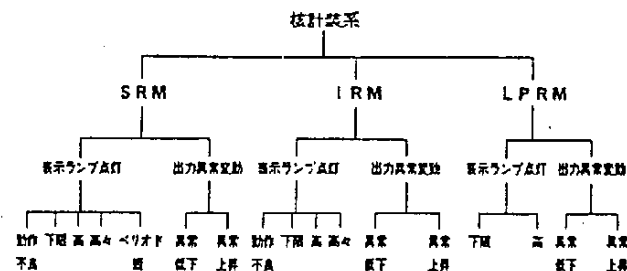


図4.5-3：診断対象範囲（出典：参考文献 2）

4.5.2 システムの構成と実現環境

本システムのシステム構成を図4.5-4 に示す。システムは核計装系の保守に関わる知識を格納した知識ベースと、これらの知識を利用し状態診断（異常原因同定）および対応策定のための推論を行なう推論機構とから構成される。

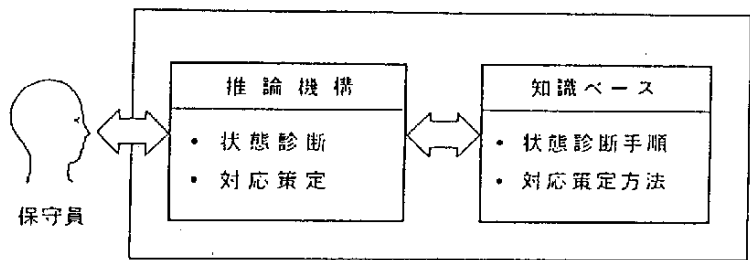


図4.5-4：システム構成

4.5.2.1 知識ベース

診断に関する知識はプロダクションルールによって表現した。図4.5-5 に示すように、診断の1対話ステップの実行に必要なルール集合をモジュール化し、さらにモジュール内で機能ごとに階層化した。各ルールは次のような機能を持つ。

(1) 診断手順ルール

各ルールモジュールの最上位に位置するルールで、各時点での原因候補の状況からモジュールの起動を判定する。

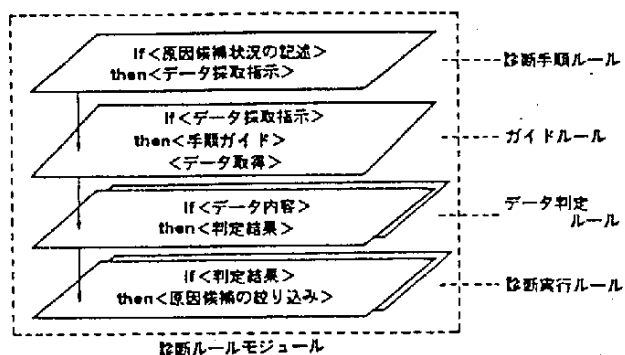


図4.5-5：知識表現形式（出典：参考文献 2）

(2) ガイドルール

ユーザとの対話を実行するルールで、データ採取指示ガイドを表示し、対応するデータを取り込む。

(3) データ判定ルール

ユーザから入力されたデータの内容を評価し、データが有する意味を判定する。

(4) 診断実行ルール

データ判定ルールによる判定結果に基づき、原因候補の絞り込みの処理を実行する。

以上は状態診断を行なうための基本的なルールである。このほか、診断を実行して原因候補を絞り込んだ結果からユーザに異常原因内容を提示する原因提示ルール、その結果に基づいて対応処置を決定して提示する対応処置選定ルール、診断機能を補助するユーザ支援機能のためのユーザ支援ルールなどが備わっている。

4.5.2.2 推論機構

状態診断サブシステムでは前向き推論を行なう。状態診断における推論方式の概念を図4.5-6に示す。

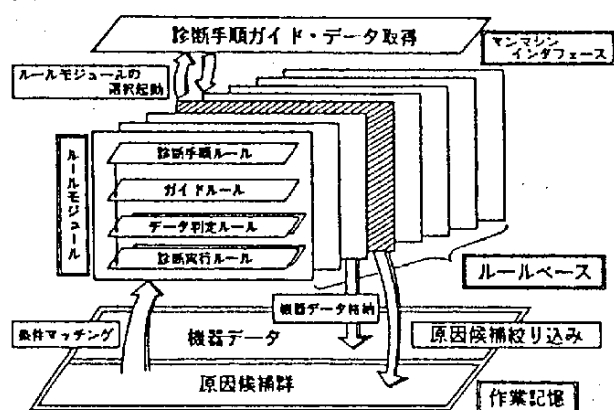


図4.5-6：推論方式の概念（出典：参考文献 2）

推論を行なう上で用いられる各部の機能は以下のとおりである。

- (1) ルールベース：ルールモジュールを多数格納した部分であり、診断に要する知識が保持される。
- (2) 作業記憶：診断を進めるうえで必要となるデータを格納する部分である。診断を進める各時点で考え得る原因候補群、および診断を進める中で得られる関連機器データが格納される。
- (3) マンマシンインタフェース：ユーザとの対話を実行する部分であり、診断手順ガイドの提示、それに対するデータの取得が行なわれる。

4.5.2.3 開発環境

本システムはマンマシンインタフェースの柔軟性、処理速度の高速性の点からエンジニアリング・ワークステーション上に構築した。

エンジニアリング・ワークステーションを用いたことにより、対話用の画面、図形表示用の画面等の複数の異なる機能を有する画面をマルチウィンドーで同一表示装置に同時に提示することができ、使いやすいマンマシンインタフェースを実現できた。処理速度の点では、画像表示部と組み合わせた場合でも十分な反応時間が得られた。

4.5.3 システム開発の手順

4.5.3.1 問題の設定

機器の状態を表す特性を

- ・電気特性：電流、電圧、抵抗値、静容量など
- ・機械特性：振動、音、温度など
- ・外観特性：色、形状など
- ・構造特性：機器構成部品およびその結合状態など

と分類した場合、機器の異常はほとんどが構造特性に関する異常ととらえることができる。構造特性に関する異常が様々な形で波及し、電気・機器・外観などの特性に徴候として表れる。構造特性を直接確認して異常原因を究明するには分解点検やシミュレーションなどの困難な作業を伴うので、通常の機器診断では、他の特性データとの因果関係に基づく診断が行なわれる。特に原子力機器の場合、炉内やプラント運転中の格納容器内の機器では得られるデータが電気特性に限られ、さらに診断が困難になる状況がある。

今回開発した核計装系保守支援システムは、このような機器の異常原因と徴候の因果関係の知識をベースにした診断システムである。

4.5.3.2 既存技術の評価

核計装系の状態診断は具体的には次のような手順によって進められる。

最初、警報・指示計・記録計などの容易に観測できるデータを確認し、ある程度まで異常原因候補の範囲を絞った後、プラントへの影響度を評価して緊急性の高い対応処置を実施する。その後、詳細なレベルに診断を進める。次の段階では電源電圧・絶縁抵抗・静電容量・接続状態などの特性データを採取し、機器仕様が満たされているかどうかチェックを行なう。このレベルでほとんどの異常原因が絞り込まれるが、それでも原因が同定できない場合にはさらにレベルを深め、核計装系の詳細特性として特性カーブなどのデータを採取し、その内容を分析して診断を進める。

このような診断の手順およびそれに基づく判断のロジックの中で前の2つのレベルまでの診断の処理を実現するにあたっては、知識ベースシステムによるのが最適であると判断した。これは、得られたデータに対して行なうべき処理とその結果に対する判断がそれほど複雑でなく、特に他のシステムの機能を利用する必要がないためと、知識ベース・シス

テムの処理の柔軟性・システム管理の容易性などの点を考慮したためである。しかし、第3のレベルの診断に際しては、カーブデータを取り扱い、機器の性能や特性劣化などのデータを統計処理する機能との結合を行なうことが必要となる。本システムでは、必要に応じてこれらの機能を実現するサブシステムと結合した診断を行なうことを可能にしている。

4.5.3.3 知識源の同定

原子力機器の正確かつ迅速な点検・保守は、プラントの稼働率、信頼性の向上に不可欠であり、その機器に関する深い経験と専門的な知識が必要となるのは言うまでもない。機器の不具合に起因する運転ロスタイムを小さくするためには、これらの専門的知識を有効に利用し、素早く対応することを可能にする必要がある。

本システムでは、核計装に関する専門家が有するこのような知識を主要な知識源とし、必要に応じて核計装系の設計仕様書や操作記録などの既存の文書やデータから得られる知識を組み合わせた知識ベースを構築している。

4.5.3.4 専門家モデルの同定

機器の状態診断における人間の思考に関しては、その時の状況や個人の経験などの条件によって様々なモードが考えられる。たとえば、異常原因の仮説をたてて実際のデータと照合し、その仮説の成否を判定する方法（目標駆動型推論方式）や、観測されるデータ群から論理的な判断を重ねて結論に至る方法（データ駆動型推論方式）などは最も基本的なモードである。ここでは、対話方式で状態診断を実施する場合の専門家の思考過程をインタビュー等の方法で分析し、その結果について結論に至る思考の効率、柔軟性などの観点から検討を加えた結果、診断の思考過程を次のようにとらえた。すなわち、徴候となる異常現象を検知することによって考え得るすべての原因候補を頭の中に想起し、関連するデータを収集するごとにそれらの候補を次第に絞り込んでいく方式で推論が実行されるものとした。このような思考過程の概念を図4.5-7に示す。

原子力発電所等において機器の状態診断を実施する際には、診断を進める手順のノウハウが効率の面に大きな影響を与える。たとえば、

- (1) 経験的に発生している可能性が高いと判断される原因候補を優先的に取り扱って集中的に確認作業を行なう。
- (2) 測定しやすいデータから順にチェックして大局的に選別した上で詳細な診断を行なう。

- (3) 観測される徴候によって異常内容を評価し、プラントへの影響を考慮してその後の目標を原因究明におくか、対応処置決定におくかを決定する。
- (4) 診断を進める場合には、データ採取に伴うプラントへの影響を考慮する必要がある。
- (5) プラント状況等によって、目標データが得られない場合に、別の手順により診断を行なう。

などのノウハウが重要なポイントとなる。したがって、これらをも反映する必要がある。

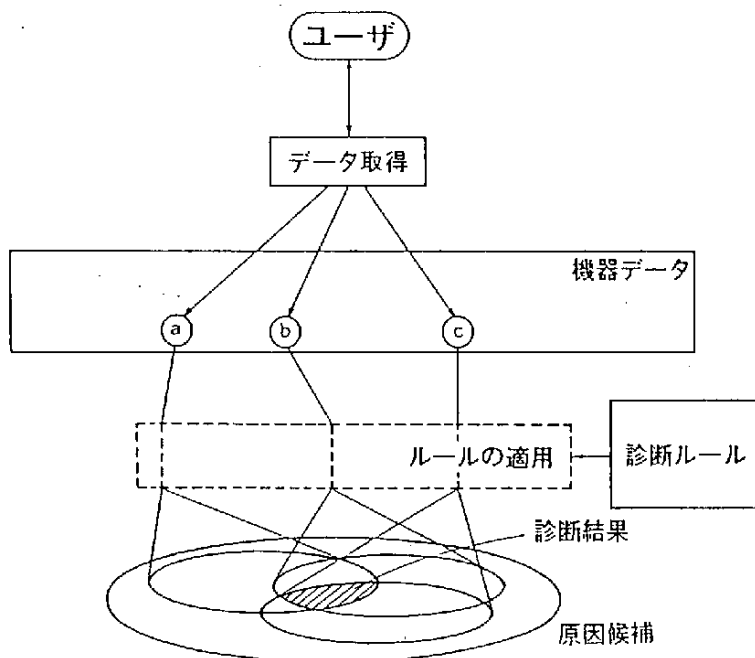


図4.5-7：診断における思考過程の概念

点検保守支援システムの開発にあたっては、専門技術者が有する機器診断に関する知識を詳細に分析し、そのノウハウを明確化して体系的に整理する必要がある。整理する場合には、異常原因とそれから派生する事象との間の因果関係だけでなく、診断の手順をも明確にする必要がある。

本研究では、専門家が有する診断の手順に関するノウハウに重点を置いて知識の獲得・体系化を行なった。このため、知識の体系化にあたっては、手順を表すツリー構造を用いた。ここでいうところのツリー構造とは、診断に必要なデータと得られたデータ内容に対する判断結果とからなる一つの分岐構造単位（システム運用時にはシステムとユーザとの間の一つの対話ステップに対応する）を、診断を進める手順に合わせて階層化して結

合したものである。ツリー構造の例を図4.5-8 に示す。本ツリー構造を用いれば、上位から下位へのリンクをたどることで診断手順が表され、ある分岐構造から下位のツリーの結合状態でそのデータによる原因候補の絞り込み方法が表されるので、本処理方式の知識体系化手法としては必要十分といえる。

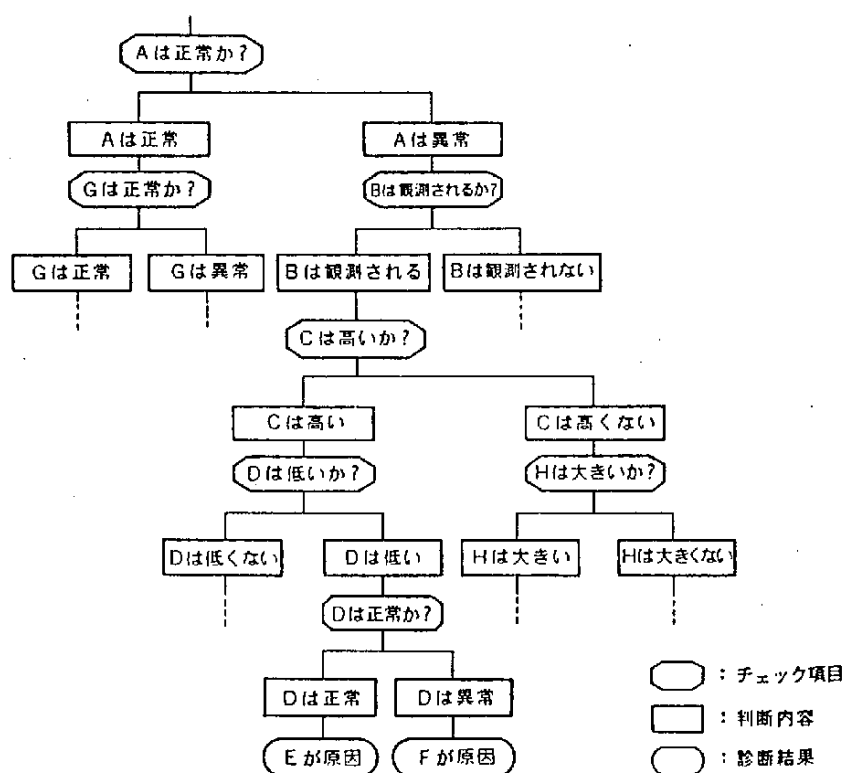


図4.5-8：診断手順を分析したツリーの例

4.5.3.5 ユーザモデルの同定

核計装系保守支援エキスパート・システムは原子力発電プラントにおける保守点検作業を支援するためのシステムである。ここでいう保守支援機能の内容を図4.5-9 に示す。従来、核計装系の状態を診断する必要がある場合には、プラントの作業員と専門家が対象とする機器のデータに関して情報交換を行ない、専門家自身が設計、製造、研究・開発の知識に基づいて診断を実行していることが多かった。本システムはこのような専門家によるプラント作業員の支援行動を代行するシステムとして開発した。

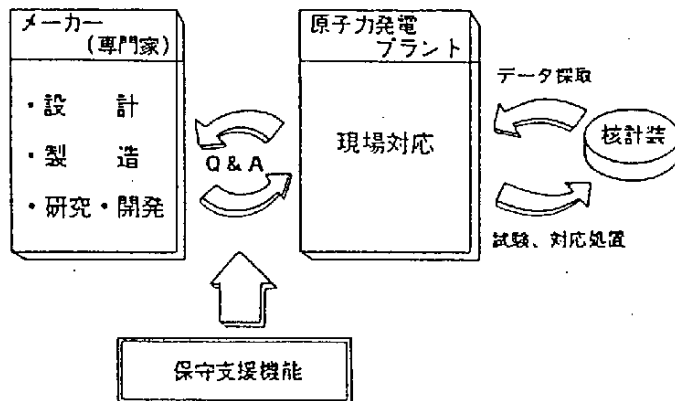


図4.5-9：保守支援の位置付け

したがって、本システムのユーザとしては、核計装に関する専門的な知識は有してはいないが診断を進めるのに必要となるプラントの基本的な知識は有している人を対象としている。システムの運用にあたってはシステム主導で推論制御が進むが、ユーザからの要求も柔軟に受け入れることが可能となっており、状況によってはユーザ主導で推論を進めることが可能になっている。ユーザは文字とグラフィック画面を用いたユーザインタフェースを介してシステムとの対話を行ない診断を実行する。ユーザによるシステムの保守も可能であるが、現実には知識ベースの内容の整合性を確保するために、ユーザによるシステムの保守は実行しないことにしている。

4.5.3.6 知識表現の選択

この概念をベースにした推論手法として新しく原因候補生成検査法を開発した。図7における機器データの採取から原因候補の絞り込みに至る処理は互いに独立しているのでこれを1つの知識片として扱い、知識表現においても知識片に対応してモジュール化して表現する知識処理手法である。原因候補生成検査法により前述の思考過程をかなり正確に模擬することができるので、機器の点検・診断の有効な手段となる。

分析した診断に関する知識はプロダクションルールによって表現した。前述したように、原因候補生成検査法では機器データを得るための1対話ステップとそれによる原因候補絞り込み処理を一つの知識モジュールとして表現できる。各モジュールの機能を実現するために、図4.5-5に示すようなルールの階層構造を用いた。

状態診断における推論方式の概念を図4.5-6に示す。

最初、ユーザは発見した異常現象を入力することによりシステムを起動する。システムはその異常現象に対して考え得るすべての原因候補を作業記憶内の原因候補群の領域に列挙する。この際、各原因候補には異常原因の可能性の高さ、関連するデータ採取のしやすさなどのノウハウに基づいてあらかじめ定めた重み付けの値を与える。図4.5-10に列挙された原因候補群の例を示す。図中の「ランク」の欄に格納された数値が重み付けの値である。

原因候補名	ランク	内 容
原因候補 1	2	電源に異常発生
原因候補 2	4	センサーに異常発生
原因候補 3	1	機器使用方法の誤まり
原因候補 4	3	回路に異常発生

図4.5-10：列挙された原因候補の例

各原因候補に与えられた重み付けの値はシステム起動時に設定され、基本的にはシステムの処理が終了するまで絶対値は変更されない。これは各重み付けの値が他との比較で参照されるためであり、処理の進行につれて相対的な順位は変化していく。ただし、後述する支援機能を要求された時には絶対値に関しても動的に変更を加える。具体的には各重み付けの値に一定の値を加えたり減じたりすることで値を変更し、最大あるいは最小の重み付けの値にする処理を行なう。

図4.5-5 に示したルールモジュールの最上位にある診断手順ルールの条件部には原因候補群の状況が重み付けの値を基にして記述されており、推論機構が作業記憶内の状況との照合を行なってマッチする条件部を有する診断手順ルールを探索する。推論機構ではその診断手順ルールを含むルールモジュールを起動し、同モジュール内の下位のルールを連続的に起動してユーザとの対話を行ない、原因候補群を絞り込んでいく。この時、ユーザから得られたデータは作業記憶内に格納し、要求に応じて参照できるようにする。

以上の手順を繰り返して状態診断を進める。一連の診断結果を実行し、その結果残った原因候補が診断結果であるので対応する異常原因の内容をユーザに提示する。また、究明された異常原因に対して取るべき対応処置を判定し、具体的な処置方法をガイドする。

本処理方式に以下に示すような特徴的機能を付加し、診断を進める中で状況に応じてユーザを支援できるようにした。これらの機能は前述の処理方式を採用したことにより容易に実現可能となったものである。

- (1) 要求したデータが得られない場合には、代替となる診断手順を適用して診断を進めることができる。また、データ不足によって最終結論が得られない場合には再度ユーザに不足データを要求するなどの、状況に応じた円滑な対話機能を有する。
- (2) 診断を進める任意の時点で可能性のある原因候補を提示し、診断の進行状況をユーザに知らせることができる。
- (3) データ要求ガイドに対する詳細な説明情報をユーザに提示することができる。

4.5.3.7 知識の移植

図4.5-8 に示すようなツリーの形で分析された診断知識について、ツリーの各分岐構造（1対話ステップ）における対話メッセージ、データ判定基準、原因候補絞り込みの方法を明らかにし、図4.5-5 に示すルールモジュールを作成していく。当初、このような作業はすべて人手によって行なっていたが、開発効率や知識管理の面からの改善を目的として、次に述べるような知識編集用の支援ツールを開発し、知識ベースの構築を行なった。このような支援ツールの機能により、知識の整合性・妥当性を確認すること、およびこれらが確保されていない場合の編集が容易に可能となった。

〔知識編集支援システム〕

エキスパート・システムにおける知識編集を支援する手段としてグラフィック画面を用いる方法に関しては、フレーム形式の知識表現のもので一部実用化され、エキスパート・システム構築用ツールの機能として標準的に備わっているものもある。しかし、ルール形式のものでは現在までのところまだ十分な機能を有するものは報告されていない。特に本システムのような対話形の状態診断システムの場合には、診断を進める手順に関する知識が重要であるため、それをも反映できるよう考慮した知識入力機能を備えることが要求される。

以下に点検保守支援システムにおけるグラフィック画面を用いた知識編集支援システム（グラフィックルールエディタ）の概要を示す。

(1) 機能

グラフィックルールエディタでは、知識ベースに格納された機器の状態診断に関する知

識を、4.5.3.4 で示したツリー構造に変換してグラフィック画面上に表示し、画面上で分岐構造単位にツリーの形状・内容を変更することが可能である。エディタでは指示された変更点に対応し、保守支援システムがそれに応じた機能を果たすよう、知識ベースの内容を変更する。

指示できる変更の内容は以下の3つである。

- ①追加：新たに得られた知見に対応して対話ステップ（ツリー上の分岐構造単位）を追加し、そのデータによって得られる診断結果を新たに付加する。
- ②削除：誤った判断を下しているような場合に、対話ステップとその対話によるデータから得られる判断結果を削除する。
- ③変更：診断を進める中で取得するデータの内容を変更するために、対話ステップの内容とそのデータに対する判断の内容を変更する。

(2) 構成

グラフィックルールエディタの機能構成を図4.5-11に示し、以下にその内容を述べる。

①画面制御機能

知識ベースに格納されたルールの内容からツリー構造の表現形式に変換してグラフィック画面上に表示し、ユーザから出された対話ステップの追加・削除・変更の指示に従ってツリーの形状を変更する。

②メッセージ入力機能

保守支援システムのマンマシンインタフェース用として、データチェック指示、診断結果、対応処置などのガイドメッセージを取得する。

③ルール修正機能

上記2つの機能の指示に応じて、ルールを新たに生成したり、既存のルールを削除あるいは一部内容の変更を行なう。

(3) 処理の概要

4.5.3.6 において述べたように本点検保守支援システムで採用した知識処理方式では、ツリーの各分岐構造単位（1対話ステップ）と複数ルールを階層化したモジュール構造とが1対1に対応している。したがって、ツリーの分岐構造の形状変更要求に対応して、ルールモジュール単位で知識ベースの内容を変更する処理を行なう。

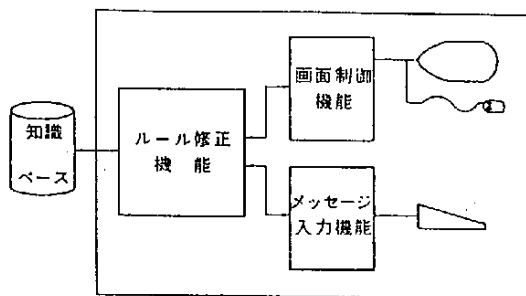


図4.5-11: グラフィックルールエディタの構成

図4.5-12にグラフィックルールエディタの処理の全体的な流れを示す。

ユーザは画面上に表示されたツリー構造のデータに対し、マウスを用いて編集するポイントおよび内容を指示する。

対話ステップの追加を指示された場合には、新たに追加された異常原因を起動時に生成する原因候補群の中に付加し、追加ステップに対応するルールモジュールを生成して知識ベースに追加する。

対話ステップの削除を指示された場合には、削除された異常原因を起動時に生成する原因候補群の中から除き、知識ベースの中から指定された対話ステップに対応するルールモジュールを探索して削除する。

対話ステップの内容変更を指示された場合には、知識ベースの中から指定された対話ステップに対応するルールモジュールを探索し、ユーザから入力されたメッセージデータによってその内容を変更する。

以上のように、本点検保守支援システムにおいてはグラフィックルールエディタを備えることにより、知識表現形式を意識することなく診断に関する知識のツリー表現のみに着目して編集を行なえる。したがって、対象機器の専門家自身が知識ベースを編集することが容易となり、システム構築の効率向上を図ることができる。

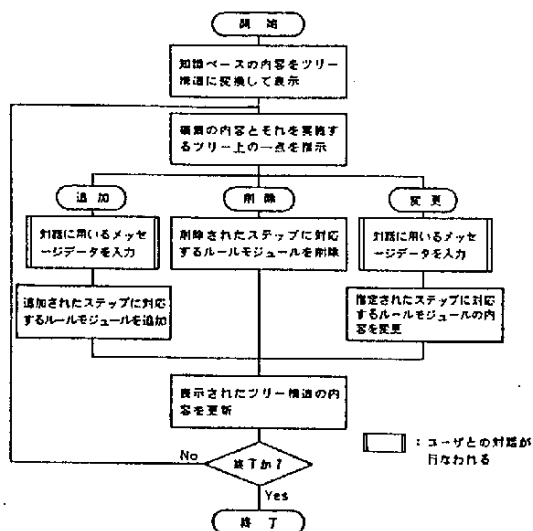


図4.5-12：グラフィックルールエディタの処理の流れ

4.5.3.8 知識ベースの管理

従来、エキスパート・システムを構築する際には、知識を有する専門家とシステムの間には仲介となる役割を有する人間（ナレッジエンジニアと呼ばれる）が介在することが多かった。ナレッジエンジニアはインタビュー等の方法によって専門家から必要な知識を抽出し、所定の内部表現に定式化した後、計算機に入力して知識ベースに格納する作業を行なう。このように、二段階の知識伝達を行なうことになるため、知識ベース構築の効率が悪いという問題があった。

本システムではこの問題を克服する手段の一つとして、知識ベースを編集する時に計算機内での知識表現形式を知らなければならないという従来の制約を除き、専門家自身が簡単に編集できるようにするための新たな知識編集支援機能を装備した。

知識編集支援システムは知識ベースに格納された知識の内容を編集する作業を支援することを目的としたシステムである。本知識編集支援システムではグラフィック画面をベースにした編集機能を有している。知識ベースの内容を画像化して画面に表示し、その画面上で画像データをハンドリングすることにより、対応する知識ベースの内容を編集することが可能となる。

したがって、本システムでは知識の整合性のチェックや整合性が確保されていない場合の知識ベースの編集などの知識ベースの管理に関しては、必ずしも従来のように計算機の専門家が行なう必要はなく、核計装の専門家自身でも可能となっている。

4.5.3.9 性能の評価

本エキスパート・システムの機能を検証するにあたっては、核計装系の社内試験などで得られた現実のデータに基づいて確認を行なった。東芝には、核計装システムの研究・開発・製作の実績からこの種のデータが大量に蓄積されている。今回はこの中からエキスパート・システムの機能を確認するのに必要かつ十分なデータとして約50種のデータを選定し、実際にシステムに入力して状態診断を行ない、その内容を評価した。

エキスパート・システムの操作は核計装系に関する非専門家が行ない、データシートに記述されたデータをガイドに沿って入力した。その結果、図4.5-3 に示した17の異常事象から診断を開始し、そのほとんどについて正しく原因が同定されることを確認した。特に、ガイドに示されたデータの一部が欠落している場合でも代替の手順を適用して正しい診断結果が得られた。また、一部の異常事象については最初の知識ベースの内容では不十分であったが、グラフィックルールエディタを用いて新たな判断を追加し、知識の補充を容易に行なうことができた。対応処置の内容および診断を進める手順については核計装系に関する複数の専門家によってその妥当性を確認できた。

以上の結果から、本核計装系点検保守支援システムは状態診断用として十分な性能を有していることが確認された。今回作成したエキスパート・システムでは、核計装系を構成する中性子検出器、前置増幅器、電子回路、電源に関する異常の発生位置、内容に関し、前述の診断レベルの最も深いところまで可能とした。本システムを利用することにより、従来は豊富な知識と経験をもつ専門技術者に大部分を頼っていた核計装の状態診断を専門でない人間でも的確かつ迅速に実施できるものと期待される。

4.5.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである			
特 徴	1. 設計レベル知識の利用 2. 経験的知識の利用 3. 経験的知識の不確実性 4. 作業データの利用 5. 計測のための時間とコスト 6. 知識の抽象化の必要性 7. 対話的診断の推論制御	○ ○ ○ ○	○ ○ ○	・原因の絞り込み、診断手順の知識の利用 ・波形データ等の過去の履歴の利用 ・柔軟な対話補助機能の実現

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 異常事象の分類階層的表現 2. システム構造の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内包 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	 ○ ○ ○	 ○ ○ ○	 ・あいまいさの処理は含まない ・経験的知識に基づく診断手順の決定
問 題 解 決 機 能	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮説推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析	 ○ ○ ○	 ○ ○ ○	 ・原因候補生成検査法に基づく推論

4.5.5 参考文献

- 1) 田井一郎、藤井 誠、伊藤敏明 「原子炉計装系保守支援エキスパートシステム」 東芝レビュー、VOL. 41, NO. 9(1986), P. 803-806.
- 2) 藤井 誠、関 英治、伊藤敏明、福本 亮、田井一郎 「核計装系状態診断エキスパートシステム」 日本機械学会講演論文集、NO. 870-1 ('87-1-30, 東京, 第16回技術講演会・産業機械における人工知能(AI)の応用) P. 45-48.
- 3) 佐々木幸雄、田井一郎、安藤泰正 「原子力発電所保守支援エキスパートシステム」 東芝レビュー、VOL. 42, NO. 5(1987), P. 375-378.

4. 6 自動車の故障診断システム－ATREX－

開発：(株)豊田中央研究所

自動車は数万点の部品からなる複雑なシステムであり、その整備点検には整備士の持つ知識や経験が重要な役割を果たしている。熟練した整備士は、経験から得られた知識を利用して効率良くしかも適切な診断を行なうことができる。このような熟練者の技能を集約し標準化することは重要な課題である。

また故障診断技術にも高度化・自動化をはかる必要性が高まりつつある。これに対応するものとしては、整備工場に設置したコンピュータを利用して計測の自動化を行なう点検診断装置や、車両に自己診断機能を持たせるオンボード診断装置などが研究開発されている。しかし現在のところ利用条件やカバーする範囲などに制約が多い。

一方、車種の多様化やエレクトロニクス部品の導入に伴い、不具合を解決するためには、診断や設計レベルでの多くの知識をタイムリイに利用できることがますます重要となっている。

知識システムの手法は、故障木解析等の方法や、従来のコンピュータ利用技術に比べ柔軟性が高く、自動車故障診断の分野に有効であることが期待されている[岸 86]。ここでは、その一例として、自動車の故障診断システムのプロトタイプATREX(Automobile Trouble-shooting EXpert system)について紹介する[Takahashi 86]。

4. 6. 1 システムの目的と機能

本システムはサービス部門において、診断についての問合せに応えることを目的として開発されている。対象が自動車であることから、多様な車種や年式に対応できることが重要である。また、運用を含めて利用部門への技術移転を可能とするため、知識ベースの保守が利用者主体で行なえる保守性の高いシステムを目指している。

本プロトタイプでは、次のような機能を実現している。

(1) 故障診断機能

(a) 不具合状況から故障原因を絞りこむための点検指示

初期情報(車種、年式、型式、故障状況、点検した部品等)を入力すると、原因を絞りこむための点検手順を指示する。

(b) 点検結果から原因を同定

点検結果(事象)から、その原因と考えられる部品あるいは部品系を推定する。

確信度の利用により、可能性のある複数の原因を扱うことができる。

(c) 故障原因の検証

ある故障が生じているとき、それがどのような現象を引き起こすかを表示することにより、推定された故障原因の妥当性を確かめることができる。特に、二種類の故障原因から引き起こされる現象の中で共通でないものを表示する機能があり、原因の切分けに有効である。

(d) 適切な修理手順のガイダンス

(2) マンマシン・インタフェース機能

(a) タッチパネルによる入力

全ての操作はタッチパネルにより行なわれるため、キーボードに不慣れなユーザでも容易に使うことができる。

(b) 動画による表示

レーザディスクを利用して、ヘルプ画面や、点検・修理ガイダンスなどを動画で表示する。

(3) 知識入力支援機能

知識整理の段階で、原因－結果を表の形でとられる部分がある。この表から知識ベースのルール形式への変換を行なう。

以下に、本プロトタイプのセッション例を示す。

(1) 故障状況を確信度を付けて入力

エンジン	故障現象
1	アイドリング回転状態
2	エンジンの始動性
3	エンスト
4	異音・騒音
5	加速不良・出力不足
6	
7	
8	

ヘルプ 終了

エンジン	故障現象
1	アイドリング回転状態
2	エンジンの始動性
3	エンスト
4	異音・騒音
5	加速不良・出力不足
6	
7	

エンスト
1 登坂時/高速走行時エンスト
2 走行中エンスト再始動可
3 ● 走行中エンスト再始動難
4 冷間発進時エンスト
5 風阻が出てエンスト
6 排気過ランブ点灯後エンスト
7

ヘルプ 確認 終了

故障現象を確信度つきで入力 ● よくある ○ ある △ たまにある
× ない

図 4. 6. 1 セッション例 1 - 故障状況入力

(2) 推論結果の表示

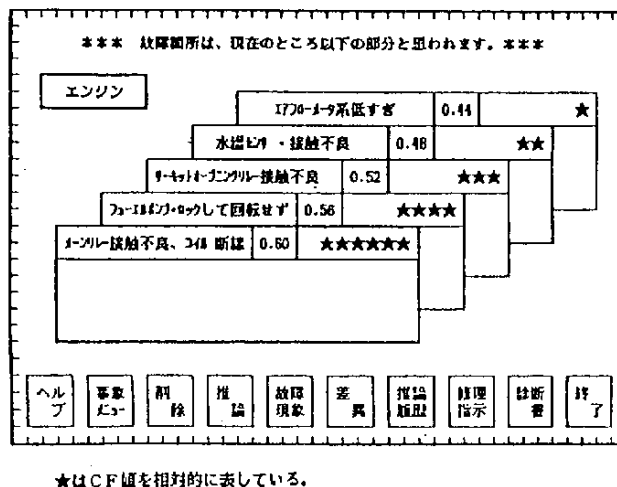


図4. 6-2 セッション例2-推論結果の表示

(3) 故障原因の検証

原因候補の中から一つを選択すると、その故障が起きた場合に引き起こされる故障現象を表示する。この時点で入力を修正追加し推論を再実行することも可能である。

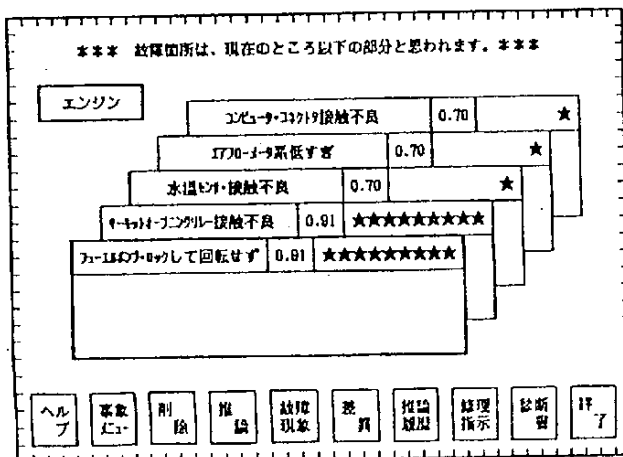
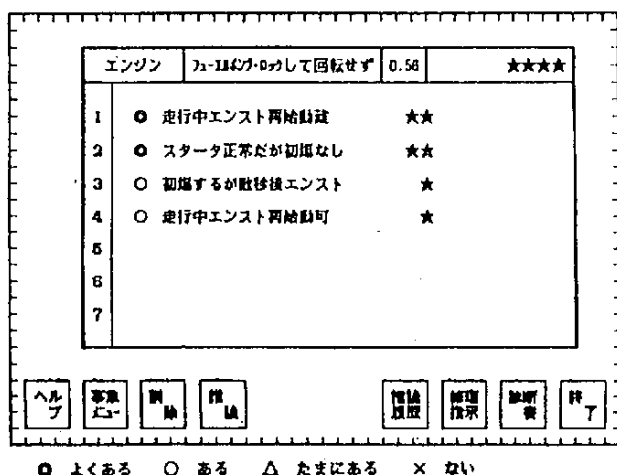


図4. 6-3 セッション例3-故障原因の検証

4. 6. 2 プロトタイプシステムの構成と実現環境

プロトタイプの構成を図4. 1-4に示す。推論を行なうホストコンピュータはA C O S-850、端末は知識ベース開発用としてP C 9800、コンサルテーション実行用としてN5200/07を使用した。動画の表示には端末から制御されたレーザディスク装置を利用している。メッセージおよび動画は、光学式タッチパネルを備えたマルチスキャ

The diagram illustrates the system architecture for fault diagnosis. It features a central processing unit (N5200/07) with PTOSIII and分散ETOS (Distributed ETOS) components. This unit is connected to a knowledge base (知識ベース) and a fault diagnosis knowledge base (故障診断知識ベース). The knowledge base is linked to the ACOS850 system, which includes modules like ACOS-6 11.1, TSS-AF, 分散ドライバ (Distributed Driver), UTILISP, EXCORE, and ATREX-II. The ACOS850 system is also connected to a PC9800 and EXTOOL. The N5200/07 unit is further connected to a Laser Disk via an LD プレイバ (LD Player) and to a 故障診断モニタTV (Fault Diagnosis Monitor TV) via RGB/Video 切替信号 (RGB/Video Switching Signal) and 光学式タッチパネル (Optical Touch Panel). The 故障診断モニタTV outputs RGB signals to a 分岐BOX (Branch Box), which also receives input from the 故障診断知識ベース. The 分岐BOX is connected to a monitor.

4. 6. 3 システム開発の手順

(1) 問題の設定

(a) 記号処理を中心とした問題であること. . . ○

(b) 専門家の経験的知識が利用可能 △

(c) 十分なニーズがある。 ○

— 83 —

(d)明確な価値を生ずる．．．．．○

診断の工数低減および品質向上をはかる。

(e)保守が容易．．．．．○

知識ベースの手法により保守性向上が期待出来る問題である。

(2) 既存技術の評価

故障木解析や従来型のプログラムでは、自動車の故障を扱うには保守性、柔軟性の点で非現実的である。専門家自身がシステムを理解できるような構成にすることが是非必要である。

(3) 知識源の同定

サービス部門の専門家の知識、整備マニュアルおよび設計的知識が利用できる。

(4) 専門家モデルの同定

専門家は経験的知識と設計レベルの知識の両方を持っている。問題解決には事象駆動推論と目標駆動推論とを組み合わせて用いている。

(5) ユーザモデルの同定

サービス部門のスタッフが利用する。推論制御はシステム主導であるが、ユーザ主導の動作も可能とする。コンサルテーション時の操作性に優れていることの他に、ユーザによる知識ベースの保守容易性が要請される。

(6) 知識表現の選択

プロトタイプではルール表現。推論制御は双方向可能。

(7) 知識の移植

知識入力支援ユーティリティを用いて知識ベースを作成。

(8) 知識ベースの管理

自動化は困難なため、当面は知識の階層化を行なうとともに、知識ベースエディタなどの支援機能の充実をはかる。

(9) 性能の評価

社内の関連部署の協力を得て、機能、性能、について評価をおこなった。機能については、①一方的にシステムから出される質問に答える方式よりも本システムのような対話的な絞りこみの方が利用しやすい、②動画による説明は理解しやすい、などの意見があった。また、性能に対しては、電子部品をはじめとする最新情報および傾向などをタイムリーに入力することによりサービス部門スタッフの補助として有効であるとの評価を得た。

今後のシステムの充実により、所期の目的である診断の標準化・高度化に役立つものと期待される。

表4. 6-1 自動車故障診断システム－A T R E X－の分析

	項 目	関実 連現 性度	コ メ ン ト
特 徴	1.設計レベルの知識の利用	○△	浅い知識にコンパイルされている
	2.経験的知識の利用	○○	
	3.経験的知識の不確実性	○△	C F 値を利用(入力にも指定可)
	4.作業データの利用	△○	
	5.計測のための時間とコスト	○△	点検手順で考慮されている
	6.知識の抽象化の必要性	○×	
	7.対話的診断の推論制御	△△	冗長な質問の抑止等
基 本 タ ス ク	1.異常現象の分類階層的表現	○○	診断システムのモデルとして自然 車種による構造の違いを表現
	2.システム構造の階層的表現	○△	
	3.解釈問題のタスクを内包 システム状態の推定	○○	症状の表現(排気の色など)にあいまい性有り 点検指示機能
	あいまいさの処理	○△	
	4.計測点の選択的決定	○△	
	5.異常原因の同定	○○	
	6.浅いモデルによる効率性	○○	
	7.深いモデルによる完全性	○×	
問 題 解 決 機 能	1.事象駆動型推論	○○	故障原因から、それが及ぼす影響を推論する
	2.目標駆動型推論	○△	
	3.不確実性推論	○△	現状はC F 値の足しこみであるが、今後D-S 理論などの適用をはかりたい
	4.仮説推論	○×	
	5.協調型推論	○△	保守性向上に重要
	6.効率性と完全性の調和	○×	
	7.費用/効果分析	○△	点検コストと絞りこみの兼ねあい

参考文献

- [岸 86] 岸 則政,自動車産業におけるAI応用-故障診断-,日本機械学会誌89-815,1189-1193(1986).
- [Takahashi 86] R. Takahashi et.al., An Artificially Intelligent Car Mechanic, FISITA XXIth Intl. Automobile Technical Congress, 865100(1986).

4. 7 油入機器の故障診断

開発：富士電機エンジニアリング（株）

4. 7. 1 システムの目的と機能

4. 7. 1. 1 目的

メンテナンス分野における設備診断は、その多くが実務的であり、規模は比較的小さいが多数の実務専門家によって実施されている。すなわち、メンテナンス分野で働く人々は全員がエキスパートであるが、全分野のエキスパートである人も存在しない。そこで、必要とする技術者が必要とするときに、その場所で必要とする知識を利用できるようなエキスパート・システムを構築し、非専門家でも手軽に利用できるようにする事によって、メンテナンス業務のコスト・パフォーマンスを向上させることが期待される。

油入機器の故障では、変圧器などの油入機器内部で絶縁破壊や局部加熱などで発熱現象が発生すると、発熱源に接触している絶縁油や絶縁紙などの絶縁材料はその熱の影響を受けて分解反応を起こし炭化水素系ガスを発生する。これらのガスの大部分は、絶縁油中に溶解するので、変圧器から採取した絶縁油中のガスを抽出し、そのガス量やガスの組成を分析することにより、変圧器内部の異常の有無やその内容・程度を推定することができる。そこで、絶縁油中に溶解したガスの量と成分を自動分析装置からオンラインで収集し、それらに基づいて変圧器を自動診断することが、本エキスパート・システムの目的である。

4. 7. 1. 2 機能

異常診断を油中ガス分析で行なうためには、対象変圧器から絶縁油を採取し、トリチェリ方式やテブラポンプ方式などにより油中に溶解しているガスを抽出する。抽出ガスの分析結果では、ガス量が油とガスの体積比率で表示され、可燃性ガス総量、その増加傾向および各成分ガス量に基づいて、要注意レベルと異常レベルを判定する。本エキスパート・システムでは、この異常の判定に加えて、その種類、場所、程度、緊急性を総合判断するために有効な以下の3種の診断を実行する機能がある。

- (1) ガスパターンによる診断：各成分ガスに対する組成比のパターンにより診断するもので、この形状からアーク放電や部分放電、または加熱の存在を推定する。
- (2) ガス組成比による診断：異常現象の内容を、特定成分ガス量の比から判断するもので、

5種類の検出ガスから3種類のガス組成比を算出し、その値をコード分類して、その組み合わせから異常の内容を推定する。これにより、加熱の程度（高・中・低）や放電のエネルギー程度（アーク放電・部分放電）を知ることが出来る。

- (3) 特定ガスによる診断：固体絶縁物が異常に加熱されると分解ガスとしてCOやCO₂ガスが発生したり、油中アークなどにより絶縁油が高温熱分解するとC₂H₂ガス等の特徴的なガスが発生する。これらの特徴的なガスの異常から、精度の高い診断を行なう。

2 システムの構成と実現環境

本システムのソフトウェア構成の概略を図4.7-1に示す。

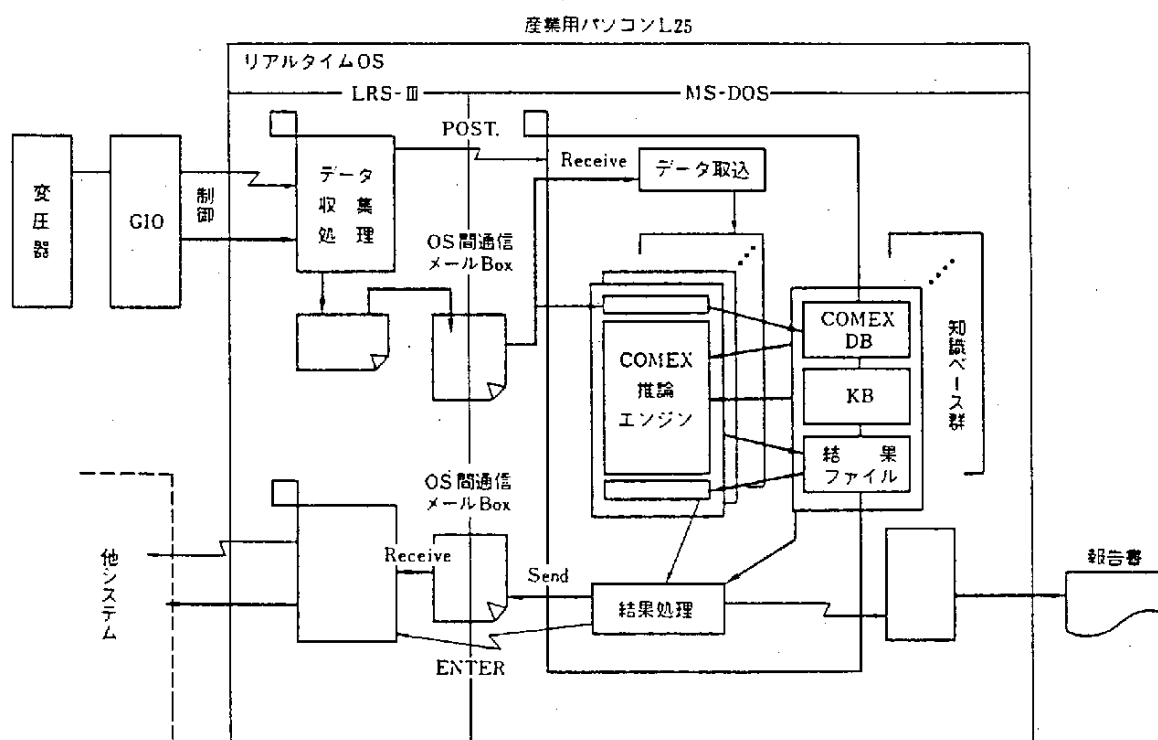


図4.7-1: AIGI0のソフトウェア環境（出典：参考文献 1）

4.7.2.1 知識ベース

知識構造のモデルを図4.7-2に示す。

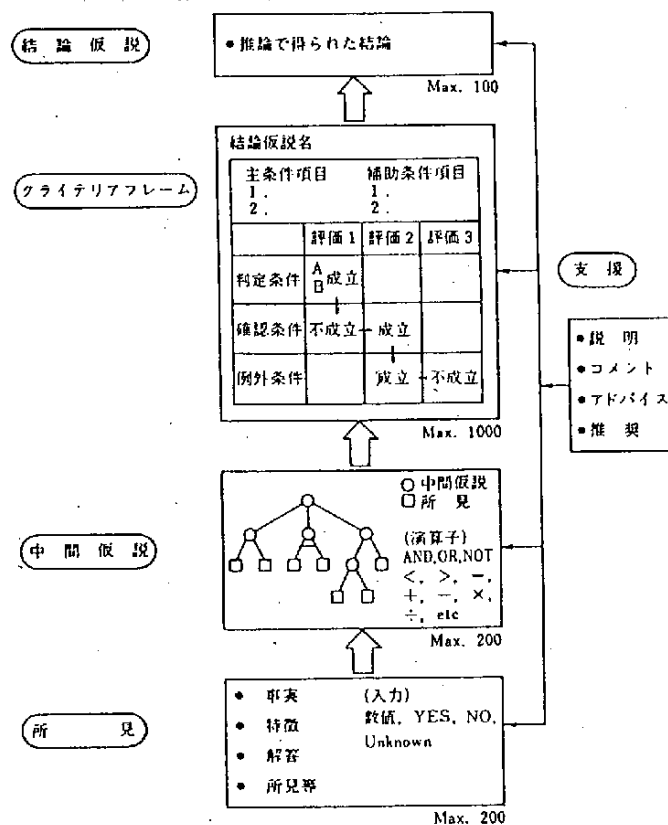


図4.7-2 : COMEXの知識構造 (出典 : 参考文献 2))

- (1) 所見 : 数値データの事実、非数値データの特徴等が記述されている。油中ガス分析の所見はその殆どが試験結果による数値所見であるが、絶縁油特性グループの中には非数値所見があり、推論実行にはこれらの項目はYes、No、またはUnknownで入力される。診断に必要な所見項目は知識モデルの構築の負担を軽くし、利用者の便宜を考慮し、図4.7-3 のように3項目のグループに分割して総計20項目の所見数とした。

所見	
Group : FG1	定格グループ
VOL	(V) 定格電圧 (kV)
MVA	(V) 定格容量 (MVA)
Group : FG2	油中ガス分析グループ
H2	(V) 水素ガス (ppm)
CH4	(V) メタンガス (ppm)
CO	(V) 一酸化炭素 (ppm)
CO2	(V) 二酸化炭素 (ppm)
C2H4	(V) エチレンガス (ppm)
C2H6	(V) エタンガス (ppm)
C2H2	(V) アセチレンガス (ppm)
TCG	(V) 可燃性ガス総量 (ppm)
TCGU	(V) 可燃性ガス総量の増加量 (ppm/Year)
Group : FG3	絶縁油の特性グループ
WOT	(V) 水分 (ppm)
BDV	(V) 絶縁破壊電圧 (kV)
VOR	(V) 体積抵抗率 ($\times 10^{12} \Omega \text{cm}$)
KOH	(V) 全酸価 (1/100 mg KOH/g)
CONT	(Y) 絶縁油に汚染有り
SUML	(Y) 絶縁油に異臭有り

図4.7-3：所見の定義事例（出典：参考文献 2））

(2) 中間仮説：AND、OR 木や演算子で表現される中間的事実で、クライテリアフレームの条件項目として用いられる。中間仮説はプロダクションルールを意図し、所見項目を、AND/OR木や演算子を用いて再定義してクライテリアフレームの条件項目とする。所見の数値データは中間仮説で演算子により再定義した上で条件項目とする。また、ガスパターンは成分ガスのパターンを比較演算子で定義したり、現象推定のためには除算演算子を用いてコード化を行ない条件項目とした。図4.7-4に定義した中間仮説132項目の事例を示す。

中間仮説	
Group : IHG1	定格グループ
VOLH	VOL > 500 (kV)
	論理式: VOL > 500.00
Group : IHG2	油中ガス分析グループ
TCGA	400 ≤ TCG < 800 (ppm)
	論理式: TCG ≥ 400.00 AND TCG < 800.00
Group : IHG3	ガスパターングループ
PH2A	H2 主導形 (A)
	論理式: H2 > CH4 AND H2 > C2H2 AND CH4 > C2H4 AND C2H2 > C2H4 AND C2H4 > C2H6

図4.7-4：中間仮説の定義事例（出典：参考文献 2））

(3) クライテリアフレーム：結論仮説のおおのについてクライテリアフレームを定義した。図4.7-5は電圧 275kV以下、容量 10MVA 以下の変圧器における油中ガスの異常判定クライテリアフレームの事例である。主条件項目 (Major Elements)と補助条件項目 (Minor Elements)は、分析ガスの異常を判定するために必要な条件項目であり、中間仮説や所見から成り立っている。この例では評価のレベル I (異常)と判断するために主条件項目の電圧275kV以下 (VOLL)、容量が10MVA以下 (MVAL)で、その他に1個の主条件項目を必要とするよう定義している。

クライテリア GASL3 : 油中ガスの判定 : $\leq 275 \text{ kV} \leq 10 \text{ MVA}$ (I : 異常 II : 要注意)		
[Major Elements]		[Minor Elements]
1. VOLL : VOL ≤ 275 (kV)		1. TCGC : $1000 \leq \text{TCG} < 2000$ (ppm)
2. MVAL : MVA ≤ 10 (MVA)		2. H2B : $400 \leq \text{H2} < 800$ (ppm)
3. TCGF : TCG ≥ 2000 (ppm)		3. CH4C : $200 \leq \text{CH4} < 400$ (ppm)
4. H2D : H2 ≥ 800 (ppm)		4. C2H6B : $150 \leq \text{C2H6} < 300$ (ppm)
5. CH4E : CH4 ≥ 400 (ppm)		5. C2H4C : $300 \leq \text{C2H4} < 600$ (ppm)
6. C2H6D : C2H6 ≥ 300 (ppm)		6. COB : $300 \leq \text{CO} < 600$ (ppm)
7. C2H4E : C2H4 ≥ 600 (ppm)		7. TCGUC : $350 \leq \text{TCGU} < 1200$ (ppm/year)
8. COD : CO ≥ 600 (ppm)		8. C2H2B : $1 \leq \text{C2H2} < 10$ (ppm)
9. C2H2A : C2H2 ≥ 10 (ppm)		
10. TCGUF : TCGUF ≥ 1200 (ppm/year)		
[判定基準]		
I	II	III
A, 3 major + 2 of 1 2 0 minor +	A, 2 major + 2 of 1 2 1 minor +	
[確認項目]		
I	II	III
A, No requirements	A, No requirements	
[除外項目]		
I	II	III
None	None	

図4.7-5：クライテリアフレームの定義事例（出典：参考文献 2）

4.7.2.2 推論機構

前向き推論を行なう。

4.7.2.3 開発環境

(1) ハードウェア：L-25（産業用パソコン）

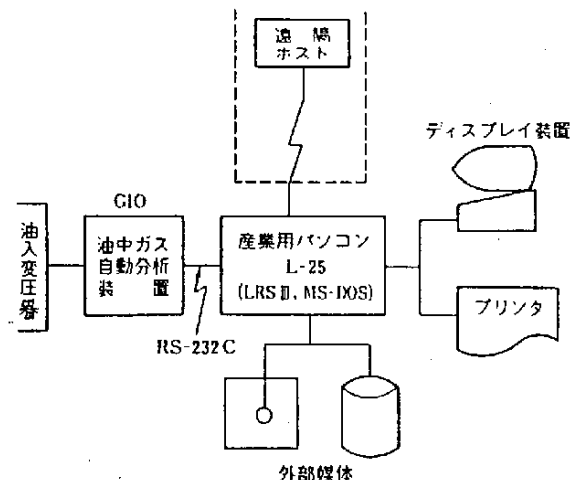


図4.7-6：全自動油中ガス分析診断システム(AIGIO)のハードウェア構成
(出典：参考文献 2))

(2) 言語：FORTRAN

(3) 開発ツール：COMEX

4.7.3 システム開発の手順

4.7.3.1 問題の設定

昨今は設備の高度化に対応する保全員の養成や、老齢化による経験豊富な保全技術者の確保が困難であり、新技術への対応と経験技術の伝承が必須となりつつある。

このような観点から、現在、専門家の判断にたよっている油中ガス分析による設備診断を取り上げた。

4.7.3.2 既存技術の評価

なし。

4.7.3.3 知識源の同定

本システムの知識は主として、電気協同研究にて報告されている「油中ガス分析による油入機器の保守管理基準」により、一部は専門家のノウハウを取り入れた。

また、絶縁油の特性に関しては、電気学会電気規格調査会、石油学会絶縁油分科会の「電気絶縁油保守管理指針」によった。

4.7.3.4 専門家モデルの同定

なし。

4.7.3.5 ユーザモデルの同定

コンピュータについての知識をほとんど持たない一般の保守担当者を想定した。

4.7.3.6 知識表現の選択

COMEXの特性を生かし、非専門家にも容易に理解できる表現形式であるクライテリアフレーム構造とし、さらに、問題をグループ化して所見、中間仮説、結論仮説の関連を明確化した。さらに結論にアドバイステキストを付加し、その対策についても推奨するようにした。

4.7.3.7 知識の移植

日本語表現による対話形式で移植を実現した。

4.7.3.8 知識ベースの管理

理解しやすい知識表現形式であり、さらに過去のデータをデータベースとして保存するので、ユーザにおいても容易に知識の追加・変更・確認が行なえる。

4.7.3.9 性能の評価

本システムの評価を行なうにあたり、知識源とした電気協同研究における事例との比較、開発者らが診断を実際に行なってきた事例との比較を実施した。

前者は、診断結果、個別の診断項目双方に関して、ほぼ同一の見解を得ることができた。

後者は、専門家の結論とも、比較的よく一致しており、実用的なシステムとして利用可能と考える。

4.7.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
定 義	診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである。			
特 徴	1. 診断レベルの知識の利用 2. 経験的知識の利用 3. 経験的知識の不確実性 4. 操業データの利用 5. 計測のための時間とコスト 6. 知識の抽象化の必要性 7. 対話型診断の推論制御 8. その他	 ○ ○ ○	 ○ △ ○	

	診 断 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 異常事象の分類層的表現 2. システム構成の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内蔵 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	○ ○ ○	△ ○ ○	・ あいまいさの処理
問 題 解 決 機 能	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮説推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析	○ ○	○ △	

4.7.5 参考文献

- 1) 伊藤欣二郎、香川崇明「COMEXによる設備診断エキスパートシステムの構築」計装 1987, Vol. 30, No. 3, p. 26-34.
- 2) 伊藤欣二郎「AIを使ったプラント機器の異常診断」電気計算 1987年, 1月号, p. 46-52.
- 3) 「油中ガス分析による油入機器の保守管理」電気協同研究 第36巻第1号
- 4) 「電気絶縁油保守管理指針」電気学会電気規格調査会、石油学会絶縁油分科会 S58-12
- 5) 上野晴樹 「知識工学入門」オーム社 1985年

5 . 制御型システム事例

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

5. 制御型システム事例

5. 1 オフサイトプラントの設備管理エキスパート・システム

開発：コスモ石油（株）＋横河電機（株）

5.1.1 システムの目的と機能

5.1.1.1 目的

近年、石油業界をとりまく状況は、原油価格の変動・製品輸入の自由化・製品の軽質油化・販売競争の激化等により一段と厳しさを加えており、製油所に対しては、安全操業の維持に加えて、より一層の効率的な生産と柔軟な対応が求められている。こうした要求に応える一つの手段として、製油所全体を統括する統合システムの構築に着手した。

石油精製プラントは、オンサイトとオフサイトに大別される。常圧蒸留装置、減圧蒸留装置、改質装置等の各種装置群がオンサイトと呼ばれるのに対し、タンカーからの原油入荷、装置への張り込み、留出油の受け入れ、半製品のブレンディング、製品タンクからの陸上出荷（ローリ出荷、タンク車出荷）、海上出荷、他社プラントへの管送出荷などの入出荷／調合設備、及び貯油設備としてのタンク群等を総称してオフサイトと呼んでいる。

製油所のオフサイトプラントでは、市場動向によってプラント設備、機器の変更、追加、削除が頻繁に行なわれる。「設備管理エキスパートシステム」は、その際の計算機システムの保守作業が、専門家ではないユーザの手によって多様なオフサイトの運用、変更を効率的に行なえることを目的として開発した機能である。

5.1.1.2 機能

オフサイトのあらゆる情報は、データベース（以下D/Bと記す）化されており、大きく、「設備管理エキスパートシステム」で扱うオフライン D/Bと、統括用コンピュータで制御に利用するオンラインD/Bとに分けられる。

(1) オンライン D/B

オンライン D/Bは、海上系／陸上系の統括用コンピュータすべてのリアルタイム処理に関与しており、制御に用いるパターンや定義テーブルなどの固定的な情報と、プロセス変数、入出荷予約／実績データ、オートラインアップ情報など刻々変化するプロ

セスの「活きた情報」とが格納されている。設備や運用の変更に伴うオンライン D/B の変更は、すべて「設備管理エキスパート・システム」のダウンロード機能により実施される。そのため、プログラムの変更やシステムの専門家からの援助を必要としないメンテナンス・フリーなD/Bである。

(2) プロセスフローD/Bジェネレータ

オフサイトのプラント計装図 (P&I) を、ほぼそのままの表現により入力 (変更) できる機能である。従来、配管網の表現は、「ノード (Node)」と呼ばれる方式であったが、今回のシステムでは、配管そのものを線素として認識している。このため、計装図を描画するイメージで入力 (変更) を行なうことができ、システムに精通しなくても保守が可能である。また、そのままの形でグラフィック・プロッターへ出力することにより、プラント計装図 (フローシート) は不要となった。

(3) ラインアップリスト・ジェネレータ

From/To/D/Bに定義されている始点から、プロセス・フローD/Bに表現されている配管網を探索し、終点までの経路 (パス) をすべて見つけ出す機能である。

(4) ダウンローダ

ダウンローダは、オフラインD/Bを変更した時の変化内容を翻訳し、オンラインD/Bの変更内容に変換し、書き込み更新を行なう機能である。

(5) 全体システムの管理 (ハレーション管理)

1箇所の変更によってD/Bの他の部分へ不整合 (矛盾) が連鎖的に伝播していくことを、「ハレーション」と呼んでいる。ハレーションによる不整合な部分が少しでも存在すると、最終的には、オンライン D/Bの合理性が崩れ、事故発生の可能性が生じるので非常に危険である。ハレーション伝播を積極的に追いかける方式でこの問題を解決した。

5.1.2 システムの構成と実現環境

本システムの構成を図5.1-1に示す。

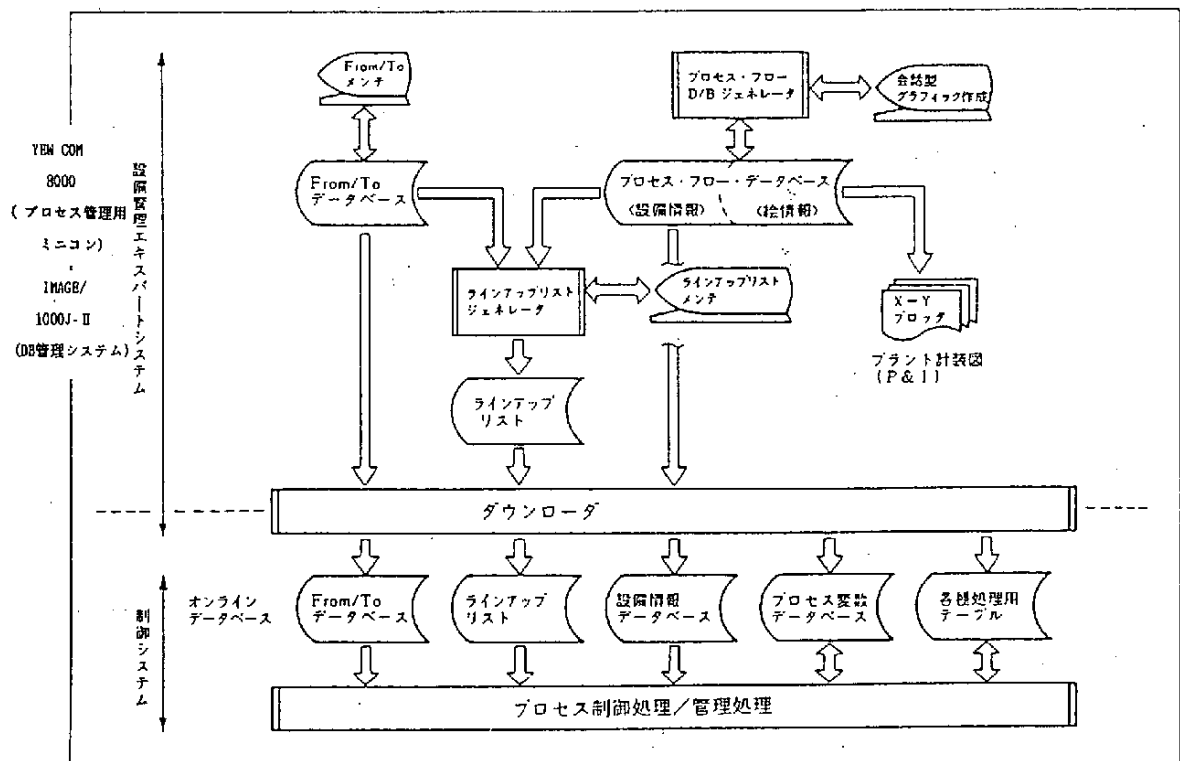


図5.1-1：「設備管理エキスパートシステム」構成図（出典：参考文献 1）

5.1.2.1 知識ベース

オフサイト・プロセスは、ある場所（始点：From）から別の場所（終点：To）へ油を移動することを主目的としている。本システムでは、油を移動しうるすべてのFrom/Toの組合せを定義し、格納したFrom/Toデータベースと、このFrom/Toデータベースに定義されている始点から終点までの「オフサイトプロセスのモデル」と「アイソレーション条件」などの規則を格納したものが、知識ベースを構成する。

5.1.2.2 推論機構

前向き推論を行う。

本システムの推論部分は、通常的人工知能技術を用いずに実現されている。推論部分はラインアップジェネレータと呼ばれ、From/ Toデータベースに定義されている始点からプロセスフロー・データベースに表現されている配管網を探索し、終点までの経路（パス）を全て見つけ出す機能を備えている。目的とする終点に到達すれば、その経路を「通油パ

ス」とし、経路上の機器を通油に使用する機器としてリストアップする。さらに、通油パス上の分岐点からアイソレーションを保つための機器を探索しリストアップする。

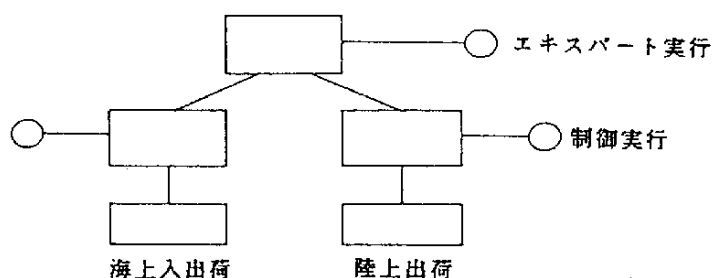
通油パスとアイソレーション条件をあわせて「ラインアップ・リスト」と呼び、これらを探索する過程を「パス展開」と呼んでいる。パス展開の探索ロジックは、始点から分岐点を記憶しながら”前向き”に進行する。探索に失敗した時は、直前の分岐点に戻って探索を続ける方式を採用している。

パス展開された結果は、グラフィック画面上のプロセス図で、実際の通油パスとアイソレーション条件を人間が確認し、適・不適の判断を下す。この判断では、使いたくないパスの削除と当エキスパートの解はややスタティックな解にかたまっているので、競合する仕事を運用するパスはアイソレーションをあまくしてやる必要がある。

1箇所の変更によって D/B他の部分へ不整合（矛盾）が連鎖的に伝播していくことを、「ハレーション」と呼んでいる。ハレーションによる不整合な部分が少しでも存在すると、最終的には、オンライン D/Bの合理性が崩れ、事故発生の可能性が生じるので非常に危険である。ハレーション伝播を積極的に追いかける方式で、この問題を解決した。

5.1.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：YENCOM8000 X 3台（プロセス管理用）。3台の役務分担は下図のとおりである。



- (2) 言語：FORTRAN

- (3) 開発ツール：データベースIMAGE/1000を使用した。他はすべて開発

5.1.3 システム開発の手順

5.1.3.1 問題の設定

当システムの規模は大きく、PROGRAMが(5~10万ステップ以上、D/Bが100MBである。

AI技術を

- ① APPLICATION SOFTの簡素化
 - ② 設備管理支援に関する知識は体系化されている部分が多いので、これを整理
 - ③ より柔軟なLINE UP (制御機能) を可能にする
- などを目的として導入。

5.1.3.2 既存技術の評価

従来の制御システムは、最終の制御 LOGICしか入っていない。制御対象プロセスとその運用をシステム化し、プロセスを知った制御システムを設計するのが当システムの原案である。このためには、図2の情報をどうシステム上に処理しきれるかを、今まで人間が行ってきた作業を詳細にトレースし、机上でシミュレーションすることから始まった。

その結果、ヒューリスティックな運用ルールも知識処理しやすいことが明確となったが、当システムのベンダーが当時そのツールを持っておらず、従来型環境下での開発となった。

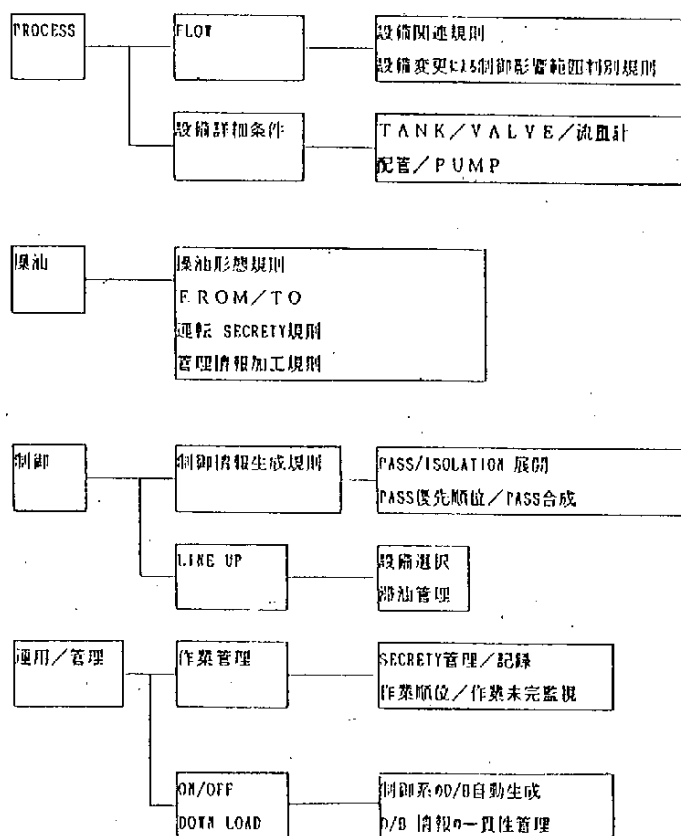


図5.1-2: オフサイト設備管理エキスパート・システム (規則/LOGICの構成)

5.1.3.3 知識源の同定

- ① オペレーション・マニュアル
- ② ベテランのオペレータ3名のプロジェクト参加により知識のエントリー、チェック、テストを行なった
- ③ オフサイト設計者の設備運用ルール

5.1.3.4 専門家モデルの同定

今回の対象分野について、十分な知識を持つのは、プラント運転およびオフサイト設備管理運用に精通しているユーザしかいなかった。

知識の範囲は、①プロセスフロー D/Bにおけるプラント情報（配管網の定義など）の入力・検証、②通油パスの検証である。

5.1.3.5 ユーザモデルの同定

ユーザはオフサイト設備運用に精通しているエキスパート・システム主導で推論を行ない、ユーザがその結果の適・不適の判断を行なう。

ユーザインタフェースとしては、生成した通油パスのグラフィック出力、推論過程の説明機能を有する。

5.1.3.6 知識表現の選択

5年前に開発に取りかかったためツールがなく、独自に FORTRAN77とHPのイメージ1000 (DBMS)を使って、フレームの生成メカニズムやフレーム情報を記述した。

フレーム情報には、プロセス・リレーション、プロセスの各ノード（ここには制御対象となるすべての情報を取り入れている）があり、これをイメージ1000 のデータベース記述言語で記述した。

5.1.3.7 知識の移植

FORTRANを使用して実現。エキスパートの協力により、生成された出力リスト(数万件)を1点ずつ机上でチェックし、ルールの正当性を検証した。

5.1.3.8 知識ベースの管理

知識ベースの管理は、オフサイト設備運用管理をしているユーザ（オフサイト設備計画担当者）が行なっている。設備の運用が変更する毎に（設備の追加／運用の変更）、プロセスフロー D/Bをユーザ I/Fを経由してメンテナンスしている。現場工事をグラフィカルに行なうイメージであり、ルールに沿った工事であるかが常にチェックされ、オペレータのセキュリティと更新による既存情報へのハレーション等が自動的に管理されている。

この後にバス展開を行なうが、バス展開機能には、バス探索過程を説明する機能を持たせ、推論ルールやプラント定義のチェックを行なえるようにした。

5.1.3.9 性能の評価

制御情報すべてをユーザが当システムにより保守を行なっている。日常発生する保守の頻度は3～5件／週であり、1件当たり5～10バス程度の制御情報が追加、修正されている。全体の作業時間は平均3時間程度である。以前のシステムであれば、ユーザとシステム担当者の共同作業であり、数倍以上の作業時間を必要とした。

以上のような使用実績から当システムの評価をまとめてみると、次のようになる。

- 1) 保守はオフサイト設備計画担当者で行なわれている。
- 2) 保守に対する省力化効果は前システムと比較して、1/3～1/4へ削減された。
- 3) 設備改造による制御情報への影響範囲がシステムで検出されるので作業のれがなくなった。
- 4) 保守の人為的まちがいが発生していない。制御情報がプロセスフロー図で確認でき、シミュレーション・テストで完全に確認されている。
- 5) プロセスフロー図と設備情報は自動的に文書化され、制御情報と完全に一貫性が保たれた状態で参照できる。
- 6) 関連する作業がシステムで管理されているので、複数部署での作業確認が容易である。

5.1.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	制御問題とは、システムの状態を監視していて、あらかじめ予定されたとおりにシステムの状態が遷移するように操作を加えることである			
特 徴	1. 時間遅れによる履歴依存性 2. 非線形性による局所性 3. 安定化の応答性 4. 制御精度の実現 5. 実プロセスとの接続 6. 実時間性と信頼性の確保 7. 離散系における解析問題	○ ○ ○ ○		

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. システム構造の表現 2. システム動特性の表現 3. 診断問題のタスクを内包 4. モデルによる状態の予測 5. 安定化操作の優先的実行 6. 安定操業下での省エネ化 7. オペレータガイダンス	○ ○ ○		
問 題 解 決 機 能	1. 状態の診断機能 2. シミュレータによる予測 3. 定性推論による予測 4. 制御則の多目的評価 5. アクションガイダンス 6. デッドロックの解析 7. インターロックの回避	○		

5.1.5 参考文献

- 1) 政田 巖、高橋公一、「オフサイトプラントの設備管理エキスパートシステム」 横河技報、VOL. 31, NO. 3(1987), P. 35-40
- 2) 武内正明、「業種別にみるFA化の課題：製油所におけるプロセス制御の統合システム化」 計装、VOL. 30, NO. 1(1987), P. 52-56

5. 2 高炉操業監視支援システム

開発：新日本製鐵（株）

制御領域での知識システムの実用的応用事例はほとんどないため、制御問題のtypicalな例ではないが、新日本製鐵㈱君津製鉄所において開発された「高炉操業監視支援システム」について紹介する。

5. 2. 1 システムの目的と機能

5. 2. 1. 1 制御対象プロセスの特徴

鉄鉱石や石炭といった原料をもとに鋼板やパイプといった製品を製造する一貫製鉄工程において、高炉プロセスは最も上工程に位置して溶鉄（溶けた鉄鉄）を生産している。この高炉プロセスは、全工程で消費するエネルギーの70～80％を消費すると共に生産量を決定しているきわめて重要なプロセスである。

「高炉」は鉄鉱石及びコークスを原料として溶鉄を得るプロセスであり、本体内容積は5000m³、出鉄量は日産10000tonにも達する。高さ約40mの炉体上部から鉄鉱石及びコークスを層状に装入し、炉体下部からは約1000℃以上の熱風が高压で送りこまれる。炉内では、これらの固体・気体及び溶融した液体が入交じり、酸化・還元が高温環境下で大規模かつ連続的に行われる。

炉の周辺に取付けられた数百の熱電対をはじめとする炉内センサの情報を連続的に収集しており、操業オペレータはこれらのセンサ情報、生産された溶鉄の状態等の目視情報及び部分的なプロセスモデルによる推定結果などを総合的に考えて炉内状況を判断し、操業上のアクションを行う。このアクションの目的は、①炉の不安定化傾向をいち早く予想し、“棚吊り”“冷え込み”といった悪い状態になることを回避する、②安定状態にある時より安い生産コストになるように燃料比を下げる、である。特に、①の不安定回避に失敗し、冷え込み状態にまで陥ると、百億円以上の生産損失になるため、日々の操業判断は非常に重要である。このアクションの種類には、炉体上部での原料分布（MAノッチまたはPWノッチによって制御可）、鉄鉱石とコークスの割合（FR：Fuel Rate）、吹込む熱風の量（風量）、等がある。

制御の対象としての高炉の特徴をまとめてみると、次のようになる。

①高炉は時定数の大きな系であり（制御周期は最短10分程度）、システムのレスポンスにそれほどリアルタイム性を要求されない。

②今回の知識システムの適用は、オペレーターに対するアクションガイドの方式をとっており、一般の閉ループ制御システムに求められるような厳密な意味での制御の信頼性・安定性の保障は要求されない。

5. 2. 1. 2 既存技術とその問題点

高炉の操業管理は、従来主に次の2つの方法で行われてきた。

①プロセスモデリングによる演繹的問題解決

②経験的操業判断基準（作業標準）のシステム化

①の例として、装入物分布推定モデル、軟化融着帯推定モデル、炉熱推定モデル等の部分的プロセスモデルが実用化され、操業オペレータの判断のための1つの情報として活用されている。しかしながら、高炉プロセスは炉内現象が極めて複雑なため、日常操業監視に使える精密なプロセスモデルの作成には限界があり、この点においてはモデルをベースとした演繹的問題解決は実現されていない。

②の例として操業判断基準をプログラム化した「操業管理システム」がいくつか実用化され、日常操業判断のばらつき軽減等の成果をあげている。一方、操業前提・方針の変更に伴った判断ロジックの変更をシステム分析者の手を経ずに操業オペレータでできるよう、より柔軟で保守性に富むシステムが要求されている。

5. 2. 1. 3 知識システム導入の狙いとシステムの全体像

高炉プロセスの監視・管理の問題に対し次の効果を期待して知識システムを導入した。

(1) 優秀な操業オペレータの知識の有効活用

操業エキスパートが持つ経験的知識を獲得し利用可能とすると共に、従来技術（プロセスの部分的モデル）の利用ノウハウも使用できるようにする。

(2) 操業前提・方針の変更等に対するシステムの柔軟性の確保

モデルを簡略化することなくロジックの可読性を確保し、従来システム分析者が対応していたロジック変更に対しても操業オペレータが自ら対応できるようにする。

(3) 操業オペレータとのコミュニケーションが良好なシステムの実現

システムから示されるガイドを操業オペレータが十分理解して判断できるようなロジックの可視化手段や対話機能をはじめとする各種マンマシーンインターフェイスを充実させる。これらを実現するシステムの全体像を図5. 2-1に示す。

このシステムは次の3つのフェーズで運用される。

①フェーズ1・・・システムの構築

高炉の操業に関する知識を操業エキスパートから抽出し「知識ベース」を作成する。

②フェーズ2・・・システムの実行

時々刻々オンラインで送られてくるセンサのデータ（プロセスコンピュータでの1次前処理情報を含む）、部分的プロセスモデルの計算結果（プロセスコンピュータ内で計算）、操業オペレータの目視情報の入力結果、及び作成済みの「知識ベース」の内容に基づいて「推論機構」が働き、操業オペレータに対しアクションの指示を行う。

③フェーズ3・・・システムの修正

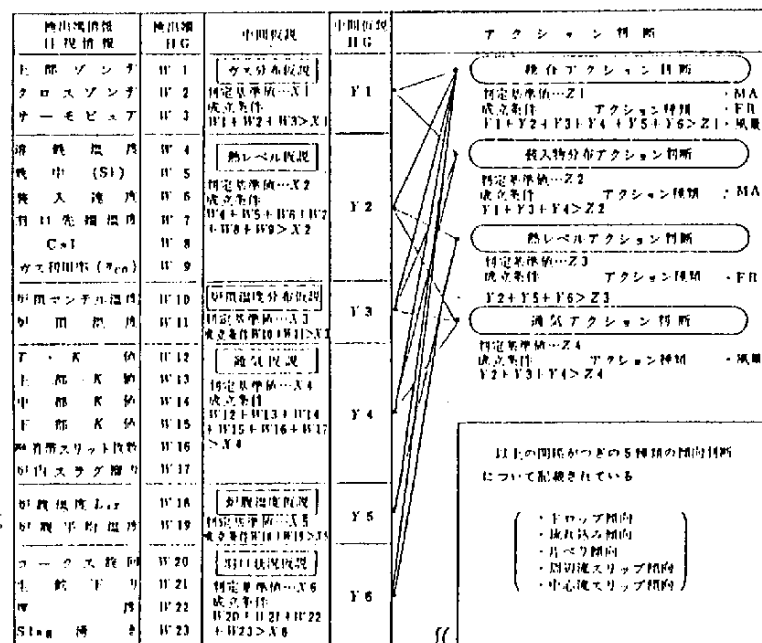
システム運用結果は逐次記録される。これに基づいてより良い操業条件を検討し、知識ベースの内容を追加・修正する。

システムは上記フェーズ2、3を繰り返すことにより精密化が図られる。

5. 2. 1. 4 操業知識の獲得とその知識表現

操業オペレータの監視・判断に関して、知識システムでサポートが必要な知識は、①日常操業の知識、②非定常操業の知識、③休風ガイドの知識、④設備トラブル対処の知識、の4つに大別される。実機システムではこれら全てについて知識ベースの作成を行ったが、ここでは①の「日常操業の知識」の一部である「炉の不安定回避の知識」の獲得とその表現について述べる。

知識の獲得は、長年の操業と解析の経験を持ち最も信頼されている操業オペレータ経験者を選任し、知識システムのとりまとめを行ういわゆるKE（ナレッジエンジニア）との徹底的なディスカッションを行うことによって行われた。高炉の炉内状況判断からコントロールアクションを決定する枠組みは、情報として手に入る検出端のデータ（履歴を含む）、既存モデルのアウトプット、目視データ等を基に、物理的意味付けをもった中間的判断（中間仮説）を行い、その中間仮説に基づいて炉の悪化傾向の種類及び度合いを判定しそれに応じたコントロールアクションを決定する。入力情報から中間仮説に至る判断、及び、中間仮説から悪化傾向の予想に至る過程には不確実性を伴うため、HG（Heuristic Grade）を考案した。このHGは前提部に重み付けを行い、結論部にしきい値をおいて、前提部の重みの和との比較で結論部の成立可否を決める方法である。



5. 2. 2 システムの構成と実現機能（君津第4高炉の実機システム“ALIS”）

前述の検討結果に基づいて設計・製作された君津第4高炉の実機システム“ALIS”（Artificial and Logical Intelligence System for blast furnace operation）についてシステム構成を図5. 2-2に示し特徴を列挙する。

- (1) 操業オペレータでも理解・作成可能なプロダクションシステム型ツールの採用。
- (2) 操業オペレータに対する推論結果説明機能の充実（適用ルールの表示、各中間仮説群におけるHGテーブルの表示、推論結果に応じた説明グラフィックス群の連動表示、等の機能）。
- (3) プロセスコンピュータ内の既存技術の最大活用を考慮したシステムリンケージ。
- (4) テスト機能の充実（現在オンライン状態にある知識とは別の知識ベースを用いて、①逐次のオンラインデータを用いたバラランによる比較検証、②過去のデータを用いた知識ベースの妥当性検証及びデバッグ）。

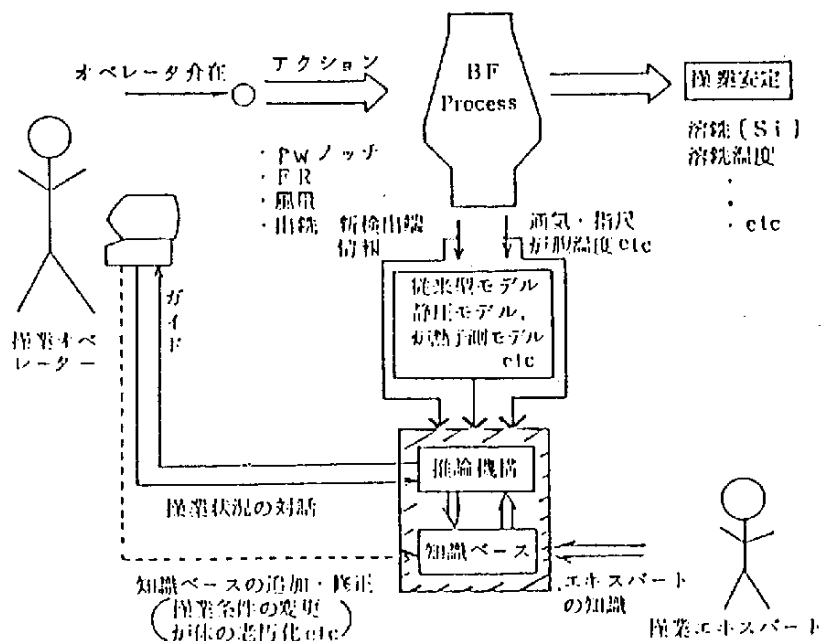


図5. 2-1 知識システムの高炉への応用イメージ

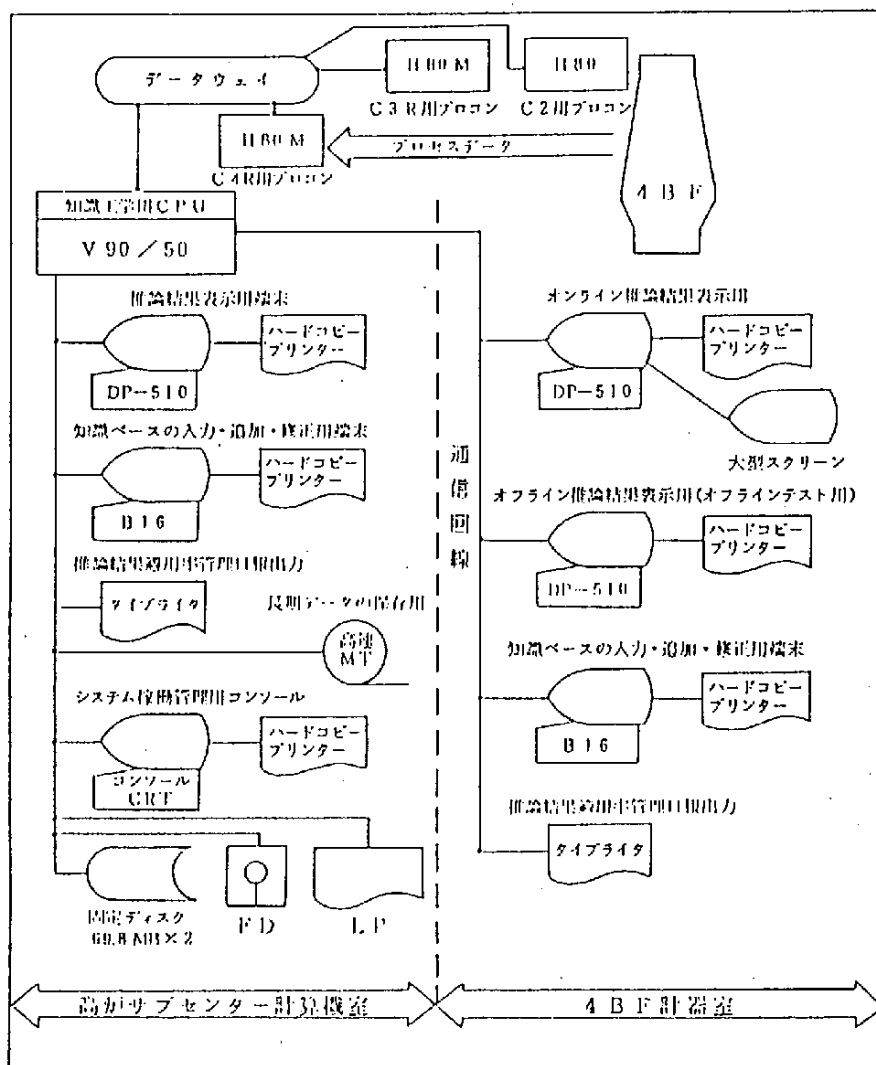


図5. 2-2 システム構成と機器配置

5. 2. 3 システム開発の手順

ここでは、制御問題のtypical な例ではないが当社が手掛けた「高炉操業監視支援システム」についてその開発手順を以下のフェーズ毎に考察したい。

(1) 対象問題の選定

(2) 知識獲得

(3) システム環境選択（AIツールの選択または構築）、プログラミング

(4) 不確実性等に関する知識表現

(5) チューニング・効果検証

5. 2. 3. 1 対象問題の選定

(1) 既存技術の適用の問題点

①プロセスモデリングの限界

高炉は固体・液体・気体の三相間で酸化・還元が高温環境下で大規模に行われる極めて複雑な反応炉である。上部から装入されるコークス・鉱石が数時間かけて炉内を降下しながら徐々に加熱され、反応変質しつつ液化あるいは気化してゆくわけであるが、この状況を十分な精度で定量化することは極めて困難である。

②経験的知識のモデリングの限界

操業における判断基準をモデル化し、「操業管理システム」としてまとめあげる手法はかなり導入され一応の成果をあげてきた。しかしながらここで扱われた判断ロジックは陽に定義されておらず、操業者に判断過程が示されない、又は、わかり易くしようとするあまりモデルの簡素化を図りすぎ十分なモデリング精度を得られていない、等の問題があった。

(2) 知識工学適用の範囲

上記のような問題点のあった高炉プロセスの監視・制御に対し、知識システムの適用を図り効果の確認を行った。本システムは一般の制御システムと比して次のような特徴を有している。

①知識工学適用の目的は主にアクションガイドシステムの実現であり、一般の制御システムに求められるような厳密な意味での制御の信頼性・安定性の保障は要求されない。

②高炉プロセスは時定数の大きな系であり（短くても10分単位）、システムのレスポンスにそれほどリアルタイム性は要求されない。

5. 2. 3. 2 知識獲得

高炉への応用の場合、領域専門家のモデリングにより知識獲得を行い、良い結果を得た。これは、次のような前提があったためであると思われる。

①高炉操業担当者の中に極めて優れた人が一人いたこと。

②知識獲得段階にこの人を専従させることができたこと。

③知識を引出す知識工学者の立場の人が高炉の操業に精通しており、円滑かつ深いインタビュー、ディスカッションを行なえたこと。

5. 2. 3. 3

システム環境の選択（A I ツールの選定または構築）、プログラミング

ツールの選定条件としては他分野と同様、①獲得した知識をスムーズに表現できること、②システムのユーザーのレベルに応じたマンマシンインタフェースが整っていること、をあげることができる。

制御分野では、プロセス側との入出力インタフェースを考慮しておかなければならない。特に既存システムが存在し、エキスパートシステムをこれに付加するような場合の実装手段には ①データウェイ取合いによるバックエンドプロセッサ型 ②既存システムへのエキスパートシステムソフト組込み型 等が考えられるが、全体システムとしてのバランスを考慮してシステム環境の選択・設計を行う。

プロトタイプレベルの場合は、これらの条件をそれほど厳密に考える必要はないが、実用化時の見直しは十分考えておく必要がある。

(1) ツールの選定

プロトタイプでのツールに対する要求は、プロセスデータの取扱いを前提とした表層表現能力が主であった。

選択した日立 EUREKA は、プロセスデータをフレーム的に表現し、規則はプロダクションルールで表現する形式をとっており、獲得した知識をコーディングするのは比較的容易であった。

(2) 既存システムとの整合の考慮

高炉にはプロセス制御用コンピュータがすでに存在しており、プロセスデータのロギングやマイナーな制御系を形成している。今回のエキスパートシステムはガイダンスシステムであるため、①既存システムへの様々な悪影響をなくすアイソレーションを施すこと、②既存システムが複数の高炉に対して共通のデータウェイで接続されており今後も複数の高炉に対する共通の拡張性を確保したいこと、等を考えて、バックエンドプロセッサ型のシステム設計とした。

(3) マンマシーンインタフェース

高炉でのシステムは最終ユーザーを操業者とし、知識のメンテナンスも彼等に解放するという思想に基づいているため、日本語表現はもとより専用知識エディタ、推論結果説明用簡易グラフィクス等を製作した。

なお、実用システムにおいては、既存システムとのデータ取合いのためのプログラム製作に要したマンパワーは大きかった。

5. 2. 3. 4 あいまいさの表現

不確実性等の表現方法については、次のような事柄を考慮しておく必要がある。

- ①各データの大きさの認識（区分）に起因する望ましくないバラツキを排除して論理が進むような構成とすること。・・・例えば「fuzzy」等を有効に活用する。
- ②場合分けの数が膨大になることを避けるため、表現の適度な一般化を行うこと。

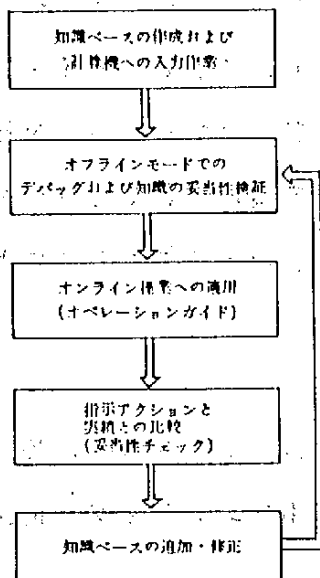
高炉の場合、「プロセスデータを表す各要素」と「高炉内での現象を表す各中間仮説」の各々に重み付けを行い、適度なグルーピング、一般化をした知識表現としている。

5. 2. 3. 5 チューニング・効果検証

制御分野へのアプローチにおける大きな問題点は目的の達成度、制御の最適性の把握が困難なケースが多く、最適化のための方法が不明という点である。現状では知識のチューニングや効果検証はシミュレーション&チェックという手段に頼らざるを得ない。シミュレーションを網羅的に行うことは事実上不可能であり、シミュレーションでの効果的検証方法が今後の課題である。

チューニングおよび効果検証では、テスト用プロセスデータを用いたシミュレーションにより判断を行った。テストに用いるデータは操業上想定される様々なパターンを十分反映したものを注意深く選んだ。ちなみにテストケースは100近い。

5. 2. 3. 6 知識ベースの運用と管理サイクル



5. 2. 4 タスクと問題解決機能のまとめ

前述の「個別問題領域における特徴・基本タスク・問題解決機能」と本項で取上げた「高炉操業監視支援システム」での関連度・実現度について、表の形式でまとめる。

制御問題のタスクと問題解決機能		高炉プロセスの操業監視支援問題との関連度及び実現度		
	制 御 問 題 一 般	関連度	実現度	コ メ ン ト
特 徴	1. 時間遅れによる履歴依存性	○	○	・時定数、時間遅れ要素大
	2. 非線形性による局所性	○	○	・非線形性大
	3. 安定化の応答性	◎	○	・グローバルな安定化をめざす
	4. 制御精度の実現	△	△	・厳密な精度は要求されない（評価難）
	5. 実プロセスとの接続	◎	◎	・既存システムとの接続・協調が重要
	6. 実時間性と信頼性の確保	△	△	・分オーダーのリアルタイム性でよい
	7. 離散系における解析問題	×	×	・特に関連なし
基 本 タ ス ク	1. システム構造の表現	○	○	・領域専門家の思考を表現
	2. システム動特性の表現	△	○	・陽には記述していない（内包している）
	3. 診断問題のタスクを内包*	△*	△	
	4. モデルによる状態の予測	○	○	・部分的プロセスモデルの利用方法も含む
	5. 安定化動作の優先的実行	◎	◎	・炉の不安定回避を優先的に実行
	6. 安定操業下での省エネ化	◎	◎	・「攻撃的操業知識」として表現
	7. オペレータガイダンス	◎	◎	・コミュニケーション手段
問 題 解 決 機 能	1. 状態の診断機能	◎	◎	・＝操業状態の判断
	2. シミュレータによる予測	○	×	・問題に適したシミュレータはない
	3. 定性推論による予測	△	×	・実施していない
	4. 制御則の多目的評価	×	×	・〃
	5. アクションガイダンス	◎	◎	・コミュニケーション手段
	6. デッドロックの解析	×	×	・実施していない
	7. インターロックの回避	×	×	・〃

凡例	関連度	実現度
◎	非常に大きい	かなり実現
○	大きい	ほぼ実現
△	やや有り	やや実現
×	全く無し	全く実施せず

	* * *	関連度	実現度	コ メ ン ト
* 診 断 問 題 の 基 本 タ ス ク	1. 異常事象の分類層的表現 2. システム構造の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内包** 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	△ ○ △** △ ○ ○ △	△ ○ △ △ ○ ○ △	
** 解 釈 問 題 の 基 本 タ ス ク	1. 特徴の抽出 2. モデルとの不完全な照合 3. システム構造の同定 4. システム状態の推定 5. あいまいさの処理 6. 不完全性の処理 7. 解釈の多様性	× △ △ △ ◎ ○ △	× △ △ △ ◎ ○ △	・重要要素。HGとして表現 ・関連あり

(参考文献)

- [湯井 87] 湯井、ほか、"高炉プロセスの操業監視支援における知識システムの適用" 計測と制御、26巻8号、712-719 (1987)
- [岩本 86] 岩本、ほか、"エキスパートシステムの高炉操業への応用" 第25回計測自動制御学会学術講演会予稿集、213-214 (1986)
- [奥野 86] 奥野、ほか、"高炉内屑頂部におけるコークス屑崩れ現象の装入物分布に及ぼす影響" 鉄と鋼、72巻7号、783-790 (1986)
- [加瀬 80] 加瀬、ほか、"融着帯形状推定モデルによる高炉操業の解析" 鉄と鋼、66巻13号、1928-1936 (1980)
- [杉山 83] 杉山、"高炉の流動・伝熱・反応解析" 第94回西山記念技術講座資料、133-172 (1983)
- [新日本製鉄 84] 新日本製鉄(株)名古屋、"高炉操業管理システム(AGOS)について" 鉄協共研第64回製鉄部会資料、鉄64-17頁 (1984)
- [岡部 79] 岡部、ほか、"GO-STOPシステムによる高炉の安定操業" 川鉄技報、11巻1号、34-43 (1979)
- [岩村 85] 岩村、"プロセス状況の分類 — 高炉炉況診断を例として —" 計測と制御、24巻11号、1025-1031 (1985)
- [資料 85] 資料、"鉄鋼業における高炉炉況診断システム" 計測と制御、24巻11号、1032-1033 (1985)
- [増位 86] 増位、ほか、"システム制御用知識処理ソフトウェアEUREKAの開発" 計測自動制御学会第2回「知識工学会」資料、(1986)
- [石塚 83] 石塚、"不確かな知識の取扱い" 計測と制御、22巻9号、774-779 (1983)
- [Barnett, J.A. 81] Barnett, J.A., "Computational Method for a Mathematical Theory of Evidence" 7-11, JCAI, 868-875 (1981)
- [Dempster, A.P. 68] Dempster, A.P., "A Generalization of Bayesian Inference" J. of Royal Statistical Society, B-30, 205-247 (1968)
- [特集 83] 特集、"あいまいを考える" 計測と制御、22巻1号、(1983)
- [諏訪 86] 諏訪、ほか、"エキスパートシステム開発事例にみる知識獲得の諸相" 計測と制御、25巻9号、801-809 (1986)
- [特集 85] 特集、知識工学、情報処理、26巻12号、(1985)
- [小林 86] 小林重信、"知識工学"、昭晃堂 (1986)

5. 3 高炉操業支援エキスパート・システム

開発：日本鋼管（株）

5.3.1 システムの目的と機能

5.3.1.1 目的

高炉は、上部からコークス、鉄鉱石を装入し、下部から高温空気を送風することにより鉄鉱石を還元して、熔融鉄を作る巨大な反応容器である。また製鉄所の最も上工程に位置し、製鉄工程以降の下工程に良質の溶鉄を安定供給することが最大の課題である。近年、省エネルギーや高炉寿命の延長などの他、コスト低減のための原材料のスペックの見直しや、製鉄所のエネルギーバランスの変化に即応した操業変更、といった多様なニーズが増加する傾向にある。

高炉においては、炉内に設置されている多数のセンサーの情報をもとに、従来から主として数式モデルを用いて種々の判定を行なう操業支援システムを構築してきた。しかしながら、炉内の反応は極めて複雑であるうえに、原料性状の変化、反応状況の変化また近年の操業条件の頻繁な変更など、つねに何等かの外乱が生じている。このため、炉内状況を数式モデルで完全に表現するのは、現状ではかなり困難であり、オペレーターを含む操業技術者の知識や経験に頼る部分が多く残っていた。

一方、このような複雑なプロセスでは、同じセンサーの挙動に対する操業技術者の判断は、人によって少しずつ異なるのが実情である。またベテラン技術者の減少傾向も、今後考えていくべき大きな問題であった。

このような背景から、以下のような点を目的として、エキスパート・システムの開発と適用を行なった。

- (1) AI 技術応用による高精度の炉況診断システムの実現。
- (2) 高炉操業技術の標準化と伝承。
- (3) システムへの頻繁な改造要求に対する柔軟な対応。

5.3.1.2 機能

本エキスパート・システムは、各種センサー情報を自動的に収集し、これらの情報と知識ベースに蓄えられた操業技術者の知識を使用して、オンライン・リアルタイムで炉況診

断を行ない、推論結果で炉熱を自動制御しオペレーターにガイダンスを与えるシステムであり、以下の2つのシステムから構成される。

- (1) 異常炉況診断システム：「吹抜け・スリップ」などの炉内の異常状況の発生を予測し、いち早くオペレーターに知らせる機能をもつ。
- (2) 炉熱制御システム：炉内の熱状態のレベルと推移を的確に把握し、さらに異常状況や過去の操業アクションを考慮しつつ、その時点でとるべきアクションをデジタル計装装置に出力する機能をもつ総合診断制御システム。

5.3.2. システムの構成と実現環境

本エキスパート・システムは、図5.3-1 に示すとおり、センサデータの収集と推論用データとするための前処理を行なう制御用コンピュータ（FACOM-S3500）、知識ベースを利用して炉況の推論を行なうAI専用プロセッサ（FACOM- α ）および推論結果から炉況の制御を行なうデジタル計装装置から構成されている。制御用コンピュータは、計測データの推論用前処理のほかに従来から開発利用されてきたデータ解析や数式モデルによる炉況解析機能を持ち、製鉄所の生産・実績管理をつかさどるビジネスコンピュータや下位の計装システムと結ばれ製鉄所のコンピュータ階層化の一部をなしている。

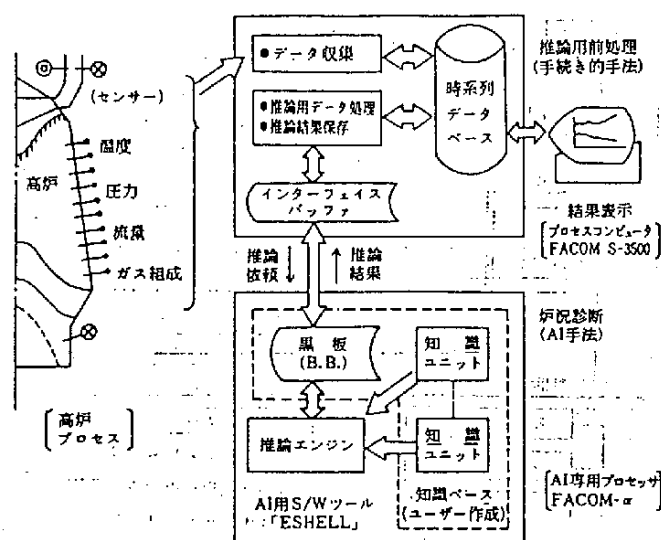


図5.3-1：エキスパート・システムの構成（出典：参考文献 4）

5.3.2.1 知識ベース

エキスパート・システムは、推論に必要な専門知識をプロダクションルール、フレーム、Lisp関数の3つの表現形式で記述している。

システムの骨格をなす経験的知識は大部分がプロダクションルールで表現され、スリップ、吹き抜けや炉熱などの個々の炉況を推論するための炉況診断知識ベースと、これらの推論結果から総合的に炉況を判定する知識ベース、および炉況制御知識ベースから構成されている。これらの知識ベースは、温度、圧力などのセンサーの属性やルールの持つ機能ごとに分割され知識源 (Knowledge Source:KS) として図2に示すような階層化構造をとっている。

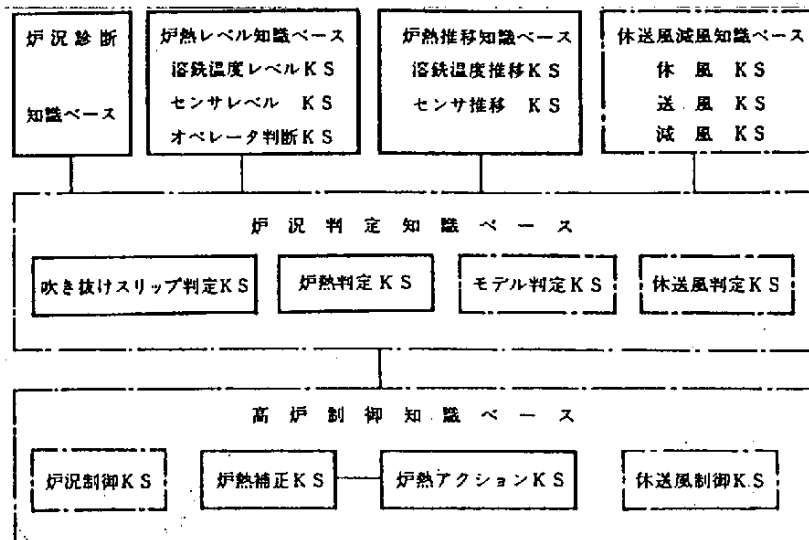


図5.3-2：知識ベースの構成（出典：参考文献 6）

フレームには推論の材料となる定数値や炉熱制御のための送風湿度、温度、コークス比およびそれらの操作量などの静的な知識が格納されている。各フレームには共通する知識が多く含まれているため、知識の継承性を利用して知識表現の効率化を図っている。

Lisp関数は、知識に含まれるあいまいさの表現となる確信度の算出や、操業アクション指示を過去にとられた操作量で補正を行なう計算などの手続き型知識を記述している。たとえば、送風温度30℃の操作に対して、羽口埋込み温度は直ちに応答するが、ガス利用率、送風圧力は約80～90分の応答の遅れがある。過去にとられた操作量による補正とは、アクションがとられてからそのアクションが有効な時間と時間的に寄与する量を過去の実績と

経験から求め、新たに発生したアクション量に補正を加えるものである。

本システムは約400のプロダクションルールと130のフレームで構成されている、しかし、実操業で核となるフレームはそれほど多くない。これはうまく表現しきれない知識が細分化したことも1つの要因となっている。

5.3.2.2. 推論機構

前向き推論を行なう。推論が開始される時点で推論のための事実データが全てそろっているデータ駆動型である。

検出端情報から炉内状況を推論するにあたって、検出端情報と炉内状況との関係は、前者が結果で後者が原因である。従って、検出端情報を出発点として前向き推論だけを用いることは、試行課程を再現するという点で忠実でない。しかし、原因と結果は、オペレータの頭の中ではっきり区別されているわけではなく、無意識の内にIFの部分とTHENの部分とを積極的に区別しようとはせず、検出端情報に近いものをIF側に、最終結論に近いものをTHEN側に記述して、前向き推論だけを採用した。これは、本来仮説的推論であるものを現在の知識工学技術の持つ演えき的な方法に置き換えたものである。これにより、ルールの検証が容易になり、調整期間の短縮に役立った。

オペレータの思考過程を忠実に再現するのに、知識をどのように表現したらよいのか、どういう推論方式を用意したらよいのかは、今後に課題として残すことになった知識獲得の難しさである。

5.3.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：A I 専用プロセッサFACOM- α

推論用前処理にはプロセスコンピュータFACOM S-3500

- (2) 言語：A I 専用プロセッサでは、Lisp

プロセスコンピュータでは、FORTRAN

- (3) 開発ツール：ESHELL

- (4) 開発上の利点・問題点：

・利点

- ①知識システム構築用の開発ツールであるESHELLは、高炉操業管理のリアルタイム・システムに独立して利用できる。

②AI専用プロセッサの利用で今までできなかったオンライン・リアルタイムの推論が可能となった（現在はコンピュータとその利用技術の向上で大きな利点ではなくなっている）。

③BBをベースにしたツールであり、時系列データを扱うシステム構築に適している。

④ソフトウェアの保守性は従来システムに比較し、著しく向上。

・問題点

①従来のFORTRAN言語による高炉プロセスモデルとの柔軟な融合が必要（特に制御の問題領域では、従来のシステム手法で実現できない部分をエキスパート・システムで補完しているにすぎないから）。

②初期製品の開発ツールであるため、ある程度のLispの知識がないと利用できない。

5.3.3 システム開発の手順

5.3.3.1 問題の設定

高炉操業において従来のモデルが操業支援にそれなりの成果をあげながらもなおオペレータの経験に頼るところが大きいのは、以下の理由によるものと考えられる。

- (1) 高炉は、固体・液体・気体の3相が共存する複雑なプロセスであり、炉内の状況を数式で記述しきれない。とりわけ、時間項を含んで記述するのはきわめて困難である。
- (2) 操業条件の変更は頻繁に行なわれるが、システムのメンテナンスがそれに追従出来ないことが多い。

一方、人間の経験的知識を有効に利用するシステム技術として知識工学の手法が脚光をあびてきている。これを応用したエキスパート・システムは、高炉操業者のような専門家の持つ高度な知識を集約して専門家の判断を支援代行するものであるが、これは、従来のシステム技術を補完する以下のような特徴を備えている、

- (1) 人間の経験的知識など、あいまいな問題も扱うことができ、システム化の対象範囲が拡大する。
- (2) プログラムの製作工程が省略でき、ソフトウェアの生産性が向上する。
- (3) 知識を断片的に扱いやすいことから、知識の追加・修正が容易であり、頻繁な操業条件の変更に対しても対応が容易である。

こうした特徴を利用することにより、従来の高炉操業支援モデルの限界を克服出来るも

のとみなし、次の点を大きな狙いとして高炉の炉熱制御へエキスパート・システムを適用することを決定した。

- (1) 高炉操業者の知識集約による、操業技術の標準化と伝承
- (2) 高精度の炉熱制御システムの実現
- (3) システムの頻繁な改造要求に対する柔軟な対応

5.3.3.2 既存技術の評価

高炉に設置された各種センサーの動きには、原料装入などの避けられない疑似周期的なノイズや、その他の外乱が重畳している。これらは時定数10～20分以下の周波数成分をもっている。これに対して高炉プロセスの炉熱の変化として意味のある動きはこれより長い時定数をもっており、高い周波数成分を除去するフィルタリング処理が必要である。オペレータはプロセスコンピュータのCRTに表示された推移図をみてこれを頭の中で行なっている。このような時系列データを扱う処理はエキスパート・システムの苦手とするところである。本システムではプロセスコンピュータにこのフィルタリング処理を受けもたせ、処理されたデータを推論用のデータとしてAI専用プロセッサへ送るという方法でこの問題を解決している。

高い周波数成分を除去する方法はいろいろあるが、最小自乗法を利用した一次式による近似や、指数平滑による方法が操業者の感覚とよく一致するため、この2つをセンサの特性に応じて使い分けている。

5.3.3.3 知識源の同定

- (1) 専門書・論文の調査：専門書や文献のもつ知識は、予備知識や高炉操業に普遍的な知識を得るためと、経験的な知識を裏打ちするためには有効であるが、エキスパート・システムに直接使用できるものは少ない。
- (2) 操作・手順書の調査：オペレータは高炉の症状（センサーデータの挙動）から炉況を判断したり、また炉況を仮定してその特有の症状の有無（特定センサーの特異挙動）から仮定を検証している。前者はセンサーデータの動きから前向き推論で炉況を判定する知識、後者は炉況とその程度が仮説として組み立てられ、豊富な経験則の中からそれに該当するセンサーデータに現れる特異な動きを見て仮説を検証する知識である。オペレータはこの両者の知識をうまく、瞬間的に組み合わせて炉況を判定し、その結果から炉

況を制御するための知識や操作マニュアルを利用して操業を行なっている。

(3) 専門家からの知識の抽出：高炉操業に用いられる経験的知識の背後には、高炉の専門家のみに使用されている常識がある。たとえば、「熔融帯」は、鉱石が軟化熔融する約1,300℃のゾーンであるとか、「棚吊り」とは炉内原料の降下が一時的に停滞している異常減少のことをいう、などである。これらの常識は、一般の常識が時勢によって変化するのは異なり、慣習化し「符号」化している。その意味で、獲得された知識は専門家にとっては専門分野での常識が前提になっていることが多く、知識が成立する為の隠れた条件を見逃さないようにすることが必要である。また、知識を集約している場合があり、実際に適用するにはいくつか分割する必要もある。さらに、専門家は知識を自己流に解釈し理想化して思っているほどデータ間の相関が高くないこともある。

5.3.3.4 専門家モデルの同定

高炉操業に用いられる経験的知識の背後には、高炉の専門家のみに使用されている常識がある。たとえば「熔融帯」は、鉱石が軟化熔融する約1,300℃のゾーンであるとか、「棚吊り」とは炉内原料の降下が一時的に停滞している異常減少のことをいう、などである。これらの常識は、一般の常識が時勢によって変化するのは異なり、慣習化し図3に示すように「符号」化している。その意味で、獲得された知識は専門家にとっては専門分野での常識が前提になっていることが多く、知識が成立する為の隠れた条件を見逃さないようにすることが必要である。また、知識を集約している場合があり、実際に適用するにはいくつか分割する必要もある。さらに、専門家は知識を自己流に解釈し理想化して思っているほどデータ間の相関が高くないこともある。

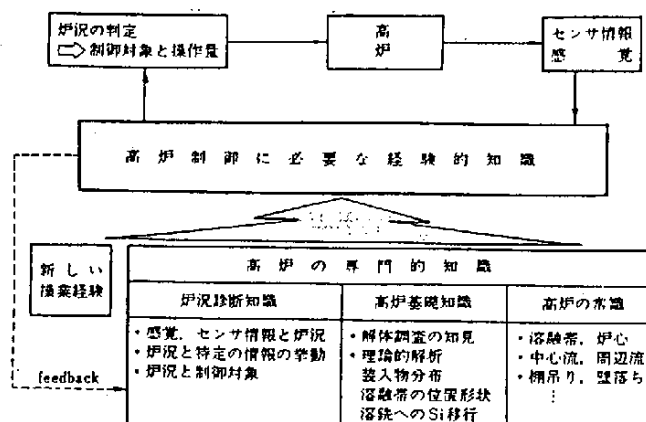


図5.3-3：高炉操業における経験的知識（出典：参考文献 6）

5.3.3.5 ユーザモデルの同定

ユーザは高炉の操業者であり、専門家モデルと同一。

5.3.3.6 知識表現の選択

システムの骨格をなす経験的知識は大部分がプロダクションルールで表現され、スリップ、吹き抜けや炉熱などの個々の炉況を推論するための炉況診断知識ベースと、これらの推論結果から総合的に炉況を判定する知識ベース、および炉況制御知識ベースから構成されている。これらの知識ベースは、温度、圧力などのセンサーの属性やルールの持つ機能ごとに分割され、知識源 (Knowledge Source:KS) として図5.3-2に示すような階層化構造をとっている。

フレームには推論の材料となる定数値や炉熱制御のための送風湿度、温度、コークス比およびそれらの操作量などの静的な知識が格納されている。各フレームには共通する知識が多く含まれているため、知識の継承性を利用して知識表現の効率化を図っている。

Lisp関数は、知識に含まれるあいまいさの表現となる確信度の算出や、操業アクション指示を過去にとられた操作量で補正を行なう計算などの手続き型知識を記述している。たとえば、送風温度30℃の操作に対して、羽口埋込み温度は直ちに応答するが、ガス利用率、送風圧力は約80～90分の応答の遅れがある。過去にとられた操作量による補正とは、アクションがとられてからそのアクションが有効な時間と時間的に寄与する量を過去の実績と経験から求め、新たに発生したアクション量に補正を加えるものである。

本システムは約400のプロダクションルールと130のフレームで構成されている、しかし、実操業で核となるフレームはそれほど多くない。これはうまく表現しきれない知識が細分化したことも1つの要因となっている。

5.3.3.7 知識の移植

経験則を主体として構成されるエキスパート・システムの課題は、知識に含まれるあいまいさをいかに表現して知識ベースを構築するかである。

複雑に干渉しあった反応が進む高炉プロセスでは、ある現象を表現するあいまいさの度合いが、推論のための計測データに含まれるあいまいさの度合いに依存しているときルールの記述が複雑になる。高炉制御システムの特徴の1つは、ファジィ集合の考え方を導入してCF値を決定していることである。高炉制御においては以下の理由で専門家の持つ経験則に

直接ファジィ制御則を適用していない。巨大な反応容器とみなせる高炉は、システムの状態が現在までの履歴に強く依存し、数式モデルとしては冶金反応的に複数に分割できるが、高炉操業を経験則で表現しようとする場合は制御則を代表させるための分割がむずかしく、また、高炉全体を1つの系としてファジィ制御則を適用するには困難なプロセスである。

たとえば、溶銑温度から炉熱レベルのCF値、すなわち高めか低めかの度合は、出銑開始からの時間とともに変動する溶銑温度に依存し、その変化の仕方もいくつかあることが経験的に知られている。このため統計的手法と経験から決定したCF値を、一般のファジィ集合の考え方に空間軸を追加して拡張し、図5.3-4のようにメンバシップ関数を用いて表現する方法をとっている。

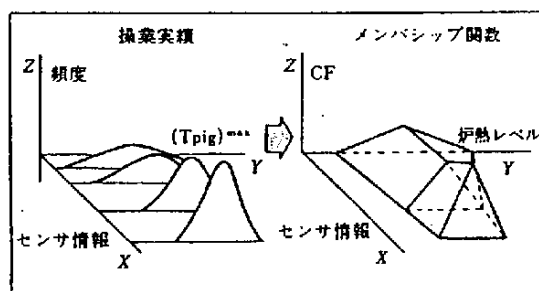


図5.3-4：あいまいさの表現（出典：参考文献 6）

あいまいさを決定する方法にファジィ集合の考え方を導入したねらいは、システムのルールの膨張を防ぐことと知識表現の単純化である。これは計測データが推論の事実データとなるエキスパート・システムには効果が大きい。プロダクションルールで表現する「IF」「THEN」はあくまでも知識を分割していくもので、精度良く推論するためには、たとえば、条件部の計測データの判定をできるだけ細分化することである。これはルールの増殖にほかならない。

5.3.3.8 知識ベースの管理

- (1) 問題領域のカバー：設備診断はカバーしていない。新しい事象に対しては無効力。
- (2) 知識間の整合性：整合性を確保するための方法はない。知識ベースの構築に注意を払い矛盾がないようにすることと、あらゆるケースを想定して事前テストを繰り返すのみ。整合性がとれないとき、推論によってカバーはできない。推論結果を制御系に出力する段階で合理チェックを行なっている。

- (3) 知識ベースの管理：操業技術者とプロセス制御技術者の両者が共同で管理。制御の領域であり、操業技術者に全面的に移管するには、種々のチェック機能が現在の知識工学の技術では不完全。

5.3.3.9 性能の評価

1987年1月から実操業に適用しているが、適用当初はオペレータの判断に比べて過敏であり、操作量を動かし過ぎであるとの意見が多く出た。

人間の行動を調節器にたとえると、一般にD動作的な感覚は苦手でI動作の感覚が支配的であるといわれている。高炉のオペレータもそうである。操作量を動かすべきと考えても、「少し様子をみよう」という意識がまずはたつき、たえられなくなる直前のところで操作量を動かすという傾向がある。調節器にたとえるとPI動作である。

一方、このシステムにはI動作の考えはない、そこで次のようなルールを付加してみた。

「同一方向の操作指示が2回連続したときに限り操作指示を実際に出力する」。

操作指示を出すべきと判断しても1回目はがまんせよ、2回目になったらはじめて操作量を動かせ、というものである。このようにしたところ、操作感覚に近くなったとの意見が強いが、評価を高めるにはもうすこし時間を必要とする。

このシステムは適用当初より95%という高い適用率を得ることができた。そして、1987年3月からは、このシステムの操作量指示による自動制御にふみきった。操作対象は送風湿分・送風温度・コークス比等数項目あるが、このうち、送風湿分と送風温度についてのみ、自動化している。

5.3.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
定 義	制御問題とは、システムの状況を監視していて、あらかじめ予定されたとおりにシステムの状態が遷移するように操作を加えることである			・ 高炉の制御では、準静的に目標状態にもっていくような操作を加えることが重要
特 徴	1. 時間遅れによる履歴依存性 2. 非線形性による局所性 3. 安定化の応答性 4. 制御精度の実現 5. 実プロセスとの接点 6. 実時間性と信頼性の確保 7. 対話型設計支援の要求	○ ○ ○ ◎ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ △ ○ △	・ 無駄時間大で、緩慢なプロセス ・ 非線形性大 ・ ある幅をもった目標値の中で実現 ・ 既存システムとの融合は極めて重要 ・ 前向き推論で全ての情報を繰り返し監視 ・ 他の項目よりも大きくない

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. システム構造の表現 2. システム動特性の表現 3. 診断問題のタスクを内包 4. モデルによる状態の予測 5. 安定化操作の優先的実行 6. 安定操業下での省エネ化 7. オペレータ・ガイダンス 8. あいまいさの処理	◎ ◎ ◎ ○ ○ ○ ○ ○	◎ ○ ◎ ○ ○ ○ ○ ○	・ 領域専門家の思考を表現 ・ 内包している ・ 内包している ・ 知識の一部として使用 ・ 炉の不安定回避を優先的 ・ 炉安定化の結果実現（操業条件である） ・ 推論結果の説明 ・ Fuzzy集合の応用
問 題 解 決 機 能	1. 状態の診断機能 2. シュミレータによる予測 3. 定性推論による予測 4. 制御則の多目的評価 5. アクションガイダンス 6. デッドロックの解析 7. インターロックの回避	○ ○ ◎ X ○ 	◎ X X X ◎ X X	・ 技術的に大きな課題 ・ 自動制御装置へ結果が直結

5.3.5 参考文献

- 1) 炭竈隆志、桜井雅昭、橋本紘吉、泉 正郎 「センサー情報を利用した高炉操業管理システム」 日本鋼管技報、No. 115 (1987-1), P. 65-72.
- 2) 柴田基博 「エキスパート・システムの高炉操業への適用」 鉄鋼の I E、Vol. 25, No. 1 (1987-1), p. 16-21.
- 3) 竹腰篤尚、橋本紘吉、青木太一 「高炉における操業支援エキスパート・システム」 化学装置、1987-7, p. 50-54.
- 4) 太巻光蔵、川畑成夫、岩本宗孝、橋本紘吉、柴田基博、脇本一政 「人工知能による高炉操業支援システム」 日本機械学会講演論文集、No. 870-1 ('87-1-30, 東京、第16回技術講演会・産業機械における人工知能 (A I) の応用 P. 41-44.
- 5) 橋本紘吉、脇本一政、柴田基博 「オンライン・リアルタイムによる高炉操業支援エキスパート・システム」 オートメーション Vol. 32, No. 1, p. 43-49.
- 6) 橋本紘吉 「高炉診断制御へのエキスパート・システムの応用」 人工知能学会誌、Vol. 3, No. 1, 1988, p. 40-45.
- 7) 竹腰篤尚、橋本紘吉、青木太一 「エキスパート・システムによる高炉炉熱制御」 システムと制御、Vol. 31, No. 7, 1987, p. 490-495.

5. 4 浄水場制御エキスパート・システム

開発：名古屋市水道局＋（株）東芝

5.4.1 システムの目的と機能

5.4.1.1 目的

浄水場ろ過池のろ過能力は、ろ過継続時間とともに低下するので、ろ過能力が設定値以下になったろ過池は洗浄し、ろ過能力を回復させる必要がある。名古屋市水道局大治浄水場プラント（一日 544,000m の給水能力）では、ろ過流量の調整で使用停止した池の洗浄と、使用しているろ過池のろ過能力の回復のための洗浄が発生する。したがって、ろ過池自動制御にあたっては、短時間での集中洗浄を回避するとともに、4系統のろ過流量を平均化し、かつ32池のろ過池を平等に使用できる池数制御が要求される。さらに薬品注入プロセス上、各ろ過系統の流入点で中塩素注入を行なっているので、系統の停止時以外は各系統のろ過流量を最低ろ過流量以上に保つよう考慮しなければならない。

ろ過池の能力を均一に保ち、かつろ過系統の管理、洗浄スケジュール管理を考慮しつつ着水流量変動に応じたるろ過池の起動／停止の制御を維持することは、熟練した操作員の専門的知識を必要とする。名古屋市水道局大治浄水場に適用した浄水場制御エキスパート・システムは、ろ過池オンライン自動制御部に知識工学を適用した。

5.4.1.2 機能

大治浄水場の水運用制御システムの構成を図5.4-1に示す。

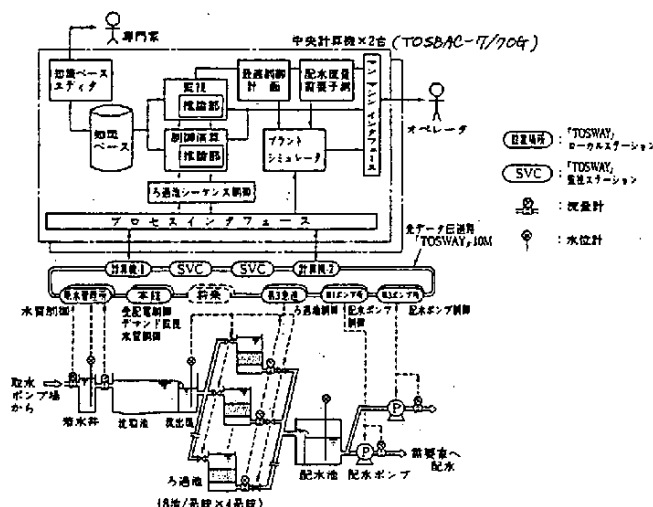


図5.4-1：水運用制御システムの構成

（出典：参考文献 1）

各々の機能は以下のとおりである。

- (1) 配水流量需要予測部：気象予報に基づいて、時間帯ごとに先24時間分の配水流量を予測する
- (2) 最適制御計画部：需要予測結果を用いて、配水池容量を有効に活用し、浄水処理負荷変動が最小となる浄水生産計画を最適計画手法を用いて作成する。
- (3) プラントシミュレータ：生産計画に従って運転を行なった場合の配水池水位推移のグラフ表示（ガイダンス表示）など、操作員の運転・判断の支援となる情報を提供する。
- (4) 監視／制御演算部：定周期で場内全体の水量運転状態を監視するとともに、ろ過池の制御目標値を決定する。
- (5) 推論部（プロダクションシステム）：監視／制御演算部に内臓されており、知識ベース内の“知識”を用いて時々刻々変化するプラント状態に応じて、監視メッセージおよび制御目標値を決定する。

5.4.2 システムの構成と実現環境

計算機システム上では、プロセスの監視制御の主体となるオンライン・リアルタイム系のプログラムが動作する。本エキスパート・システムは、リアルタイム系の計算機システム上で動作させる必要があるため、推論システムのメモリー容量を可能な限り小さくすることが求められる。さらに、エキスパート・システムは、オンライン・リアルタイム系のプログラムとリンク出来ることが要求される。このような背景から、このシステムではLISP、PROLOGなどのAI用言語を使用せず、FORTRAN、C言語でシェルを作成し、オンライン・リアルタイム系との親和性を高めた。

5.4.2.1 知識ベース

このシステムでは、制御仕様を“知識”として知識ベース内に記憶し、この知識に基づいて推論し、制御機能を実現している。知識は、IF（条件部）THEN（処理部）の形で定式化されたプロダクションルールとして記述する。また、知識をグループ化するメタ知識を使って、知識の階層化や機能単位で知識を整理することができる。

プロダクションシステムをオンライン化するにあたって、知識ベースをコンパイルし推論の高速化を図った。さらに、前述の知識のグループ化の機能を利用し、推論時に参照す

る知識を減らし高速化を実現した。

知識ベースの内容は、図5.4-2 に示すように漢字表現に近い形で出力できる。この出力は、計算機に関する特別な知識がなくても容易に理解でき、実際にプラントを動かしている制御仕様が明確に把握できる。

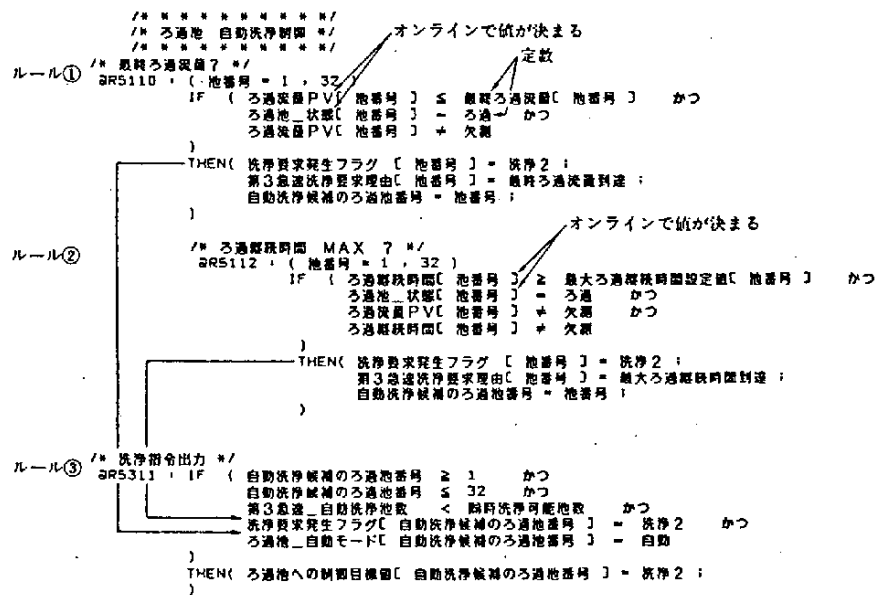


図5.4-2：知識の表現とルールの評価例（出典：参考文献 1）

5.4.2.2 推論機構

前向き推論を行なう。推論システムは、ルール群の中でオンライン情報に対応し、実行可能なルールから順次実行する。競合解消戦略が組まれている。

5.4.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：TOSBAC-7/70G（負荷分散形二重化構成）
- (2) 言語：オンライン・リアルタイム系はFORTRANとC言語
- (3) 開発ツール：オリジナルのシェル（FORTRANとCで作成）
- (4) 開発上の利点・問題点：オンライン・リアルタイムとの親和性がよい。

5.4.3 システム開発の手順

5.4.3.1 問題の設定

浄水場制御エキスパート・システムでは、知識システムを用いて大局的な制御目標値を決定し、マイナーな制御部分には従来の制御技術、例えばシーケンス制御や PID 制御を用いている。

通常、浄水場の監視制御システムでは、浄水場全体の水の動きを監視し大局的な制御目標を決定するための制御は 5 分周期程度で行ない、この制御目標に基づいて PID 制御ループ、シーケンス制御がミリ秒から数十秒の制御周期でマイナーな制御を行なっている。

5.4.3.2 既存技術の評価

高信頼性、高速応答を要求される部分（シーケンス制御等）、大規模な数値演算（プラント全体のシミュレーション等）、プロセス信号の収集およびデータベース管理部分には既存のプログラミング技術を適用した。一般に、これらの部分は標準化されたプログラムが用意されており、信頼性、高速応答性が保障されている。また、これらの部分は一度作成してしまえばプログラムロジック自体を変更することは稀である。

浄水場全体の水の動き、プラントの運転履歴に基づいて制御目標値を決定する部分に知識システムを適用した。これらの部分は、一般に、プラントの状態に応じて条件分岐するようなロジックを含んでいるばかりではなく、プラントの運転方案が変更された場合には修正、変更が必要になる部分である。

5.4.3.3 知識源の同定

プラント監視制御システムでは、設計仕様書の作成、シミュレーション装置を用いた工場内試験、現地試験および総合調整の手順でシステムが構築される。本システムにおいてもこの手順で知識源の同定を行なった。

即ち、第 1 段階では日本語で記述したシステム設計仕様書を作成し、システムが満たすべき機能として知識システムの機能を定義した。この段階で、ユーザ専門家およびメーカー技術者の間で検討を行ない、知識の抽出と整理を行なった。

第 2 段階では、知識システムが満たすべき機能をルールとして定式化し、プラントシミュレータを用いてルールの動作を検証するとともに、不足している知識を補った。

第3段階では、知識システムを用いて、実際のプラントを部分的に運転し、制御応答を実測して熟練オペレータの確認を受け、シミュレーションで不足していたルールを補足するとともに当該プラントにより良く適応するように調整した。

5.4.3.4 専門家モデルの同定

プラント運転の専門家であるオペレータを専門家モデルとした。

5.4.3.5 ユーザモデルの同定

プラント監視制御システムにおいては、ユーザはすなわち専門家である。

本システムでは、オンライン・リアルタイムで推論動作を行ない、プラントを制御しているので、推論動作中に人間系との間でインタラプティブな情報交換を行なわない。ただし、監視制御システムの構成において、オペレータの手動介入は最優先されるように構成されており、制御周期毎の推論動作起動時にこれらの条件を入力している。

5.4.3.6 知識表現の選択

ルールを知識表現の方法として選択した。

なお、プラントの専門家が計算機の専門家であるとは限らないので、図5.4-2 に示したように、ルールは漢字化して出力することとした。これによって、計算機の非専門家による監視制御システムの動作確認が容易に行なえるようになった。

5.4.3.7 知識の移植

知識表現がプラント監視制御にとって自然なものであったため知識の移植に特に問題は生じなかった。

知識の1次検証にはプラントシミュレータを用いた。

5.4.3.8 知識ベースの管理

設計仕様書に基づいて、実プラントの自動運転を行ない、機能を満足していることを確認することによって、知識ベースが対象とする問題領域をカバーしていることを確認した。

また、知識ベースの修正、変更の際には監視制御システム内に組み込まれているプラントシミュレータを用いて、修正、変更を加えた知識ベースの整合性を確認できる構成とし

5.4.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	制御問題とは、システムの状態を監視していて、あらかじめ予定されたとおりにシステムの状態が遷移するように操作を加えることである			
特 徴	1. 時間遅れによる履歴依存性 2. 非線形性による局所性 3. 安定化の応答性 4. 制御精度の実現 5. 実プロセスとの接続 6. 実時間性と信頼性の確保 7. 離散系における解析問題	○ ○ ◎ ○ ◎ ◎ ○	○ ○ ○ ○ ◎ ◎ ○	・時定数大、特性は季節変動する ・非線形性大 ・グローバルな安定化をめざす ・プラント全体の安定化に重点 ・オンライン系との親和性大 ・システム構成手法により確保

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. システム構造の表現 2. システム動特性の表現 3. 診断問題のタスクを内包 4. モデルによる状態の予測 5. 安定化操作の優先的実行 6. 安定操業下での省エネ化 7. オペレータガイダンス	○ △ △ ○ ○ ○ ○	○ ○ △ ○ ◎ ○ ◎	・ 領域専門家の思考を表現 ・ ルールに内包して表現 ・ " ・ " ・ 緊急時の操作ルールとして優先実行 ・ 流量変動の最小化により実現 ・ 制御状態を通報する
問 題 解 決 機 能	1. 状態の診断機能 2. シミュレータによる予測 3. 定性推論による予測 4. 制御則の多目的評価 5. アクションガイダンス 6. デッドロックの解析 7. インターロックの回避	○ ○ ○ X ○ X ○	○ ◎ X X △ X ○	・ 場内マスバランスの判断 ・ プラントシミュレータとして独立 ・ 実施していない ・ " ・ 制御状態を通報 ・ 実施していない ・ 回避手法をルールとして記述

5.4.5 参考文献

- 1) 垂見節義、加藤高敏、宮島康行、西山和義 「浄水場制御エキスパートシステム」 東芝レビュー、VOL. 42, NO. 5, 1987, P. 391-394.

5. 5 石油精製プラントの運転支援 (CATCH: Computer Aided operation and Trouble Checking system)

開発: 日揮 (株)

5.5.1 システムの目的と機能

1. 1 目的

プロセスプラントは早くからコンピュータの利用が進められた分野の一つで、コンピュータによりプラントの監視や制御が行なわれてきた。従来の制御システムでは、プラントのプロセスを数式等によりモデル化し、その計算結果をもってプラントを制御しようとするものであった。自動制御の普及は、異常の発生を減少させオペレータ作業を軽減させたというメリットを有する反面、若年層にとっては異常に遭遇し体験する機会が減少している。

エキスパート・システムは従来の数値処理だけでは対応しきれない問題に対し、記号処理を主体として人間の知識や経験のモデル化を可能にするものである。しかし、MYCINをはじめとする多くの先駆的なエキスパート・システムは、コンピュータと人の対話を前提にしたものが多い。しかしプラントの運転という観点に立った時、キーボードとCRTを通した1問1答形式の対話システムでは実用的とはいえない。特に、事故のような緊急時にはいちいちコンピュータに問い合わせ等している余裕はない。また故障とか異常事態というものは、その状況が時々刻々変化するものであって、問い合わせている間に異なった様相や因果関係に移行してしまい、せっかくコンピュータが診断した結果が的はずれとなってしまうこともある。従って、運転支援システムでは、コンピュータが自分でデータを収集し即時に判断を下す、つまりオンライン・リアルタイム・システムであることが要求される。

5.5.1.2 システムの効果

次に、本エキスパート・システムに何が期待されるかを箇条書にしてみる。

(1) 常時監視

当然のことながらコンピュータによる監視であるから24時間フルタイムの監視ができ、しかも、通常の計装システムと異なり、単なるアラームに留まらず異常の原因まで求め、

提示することができる。

(2) 客観的監視

プラントの異常には、爆発や火災といった危険で影響の大きい災害に発展しかねないものも含まれている。この時、人であるオペレータが常に冷静に対処できるとは限らない。この点、コンピュータによる異常診断は常に客観的に行なわれる。

(3) 知識の共有

プラントの運転には何人かのオペレータがチームを組み交代制で行なわれることが多いが、各々のオペレータの知識をエキスパート・システムにまとめることにより、それらは組織共有の知識となり、個人や各チームによる質のばらつきを最小限にすることができる。

(4) 知識の伝承

経験豊富なオペレータの知見をエキスパート・システムとしてまとめることにより、若年オペレータに正しく伝承していくことができる。

(5) 省力化

(1)から(4)のような事柄を達成することによって、オペレーションに係わる監視や判断作業からオペレータを解放し、より高度な業務へ向かわせることが可能となる。

5.5.2 システムの概要

5.5.2.1 エキスパート・シェル

本システムの作成には、シェルとしてBRAINS（東洋情報システム）を使用した。BRAINSは、基本的には大型汎用機環境で知識ベースを構築するためのものである。推論システムはLISP（大型機ではUTILISP）で書かれている。近年、LISPの処理効率、LISP専用マシンの不経済性や小型機の大幅な能力向上とあいまって、エキスパート・システムを汎用言語に変換し汎用マシンで稼働させるという考えが強くなってきているが、BRAINSでもトランスレータという機能があり、そのようなことが可能である。本システムではこの機能を利用し知識ベースの作成やデバックには大型機（FACOM-M380）を使用し、これをC言語にトランスレートし、パーソナルコンピュータ（NEC PC9800）上で運用するようになっている。

エキスパート・システムとして本システムを見ると、次のようになる。

知識の記述：Production Rule

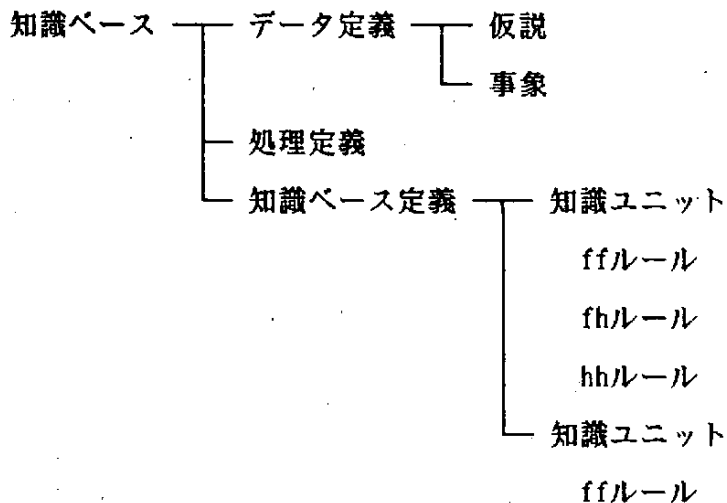
推論の方法：前向き推論、後向き推論（但し、本システムでは前向き推論のみ使用）

あいまいさの表現 : Certainty Factor

言語 (開発環境) : LISP

(運用環境) : C

BRAINSは、プロダクションルール型の知識ベース用の汎用シェルである。BRAINSにおける知識ベースは、次のような構成となっている。



仮説は推論の結果を表すもので、例えば、

「流量計 [Fnnn] 指示不良」

「加熱炉内への空気の漏れ込み」

等のようなものである。

事象は診断のベースとなる事実で、計装システムから取り込まれたプロセス値そのものや計算値、ポンプやアラーム等のステータス等である。知識ベース定義は特定の条件でのみ起動される幾つかの知識ユニットからなっている。各ユニット内のルールは「if-then」という形式で表現され、異常の有無の判断やその原因の推定に使われる。

5.5.2.2 ハードウェアシステム

本システムはプロセスデータ処理と推論処理を2台のPC9800 (NEC製) に各々分担し、両者を DMA (Direct Memory Access) により結合したもので、図5.5-1 のような構成となっている。

プロセスデータは計装システムにおけるデータウェイとそれに付属するゲートウェイを通してデータ処理マシンに送られる。データ処理マシンではプロセスデータのトレンドや変動を評価し、物質/熱収支の計算を行なう等して推論のベースとなるデータを作成する。

それらのデータは DMAを通して推論マシンに送られる。

推論結果は CRTディスプレイに表示されると共に音声合成装置に送られ、音声によりオペレータに通報される。

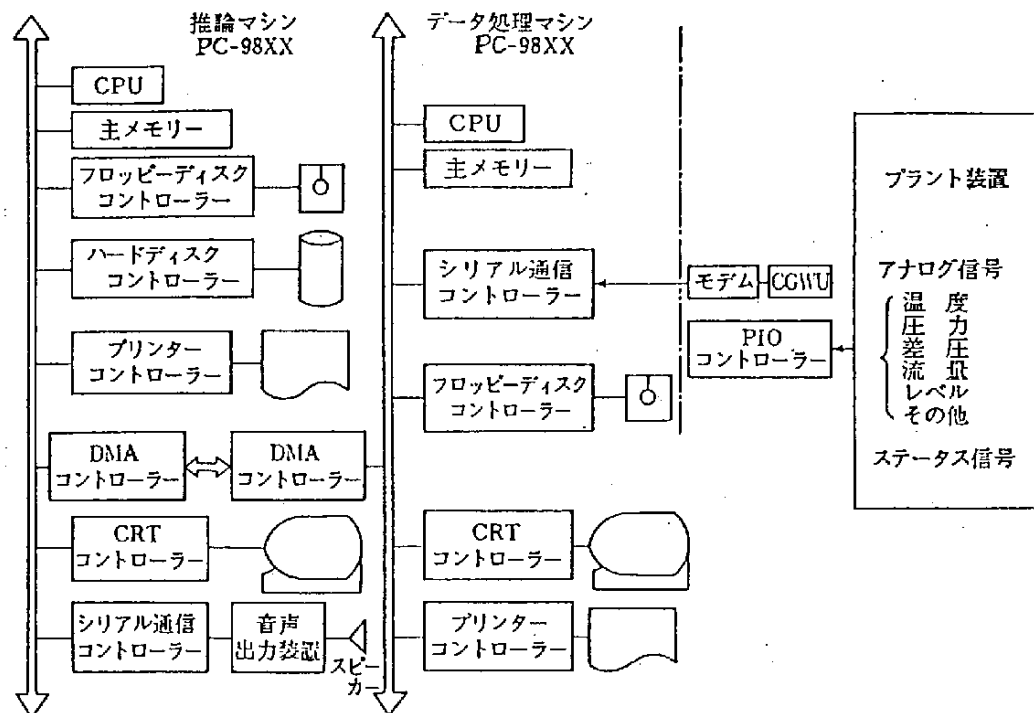


図5.5-1: ハードウェア構成

音声出力装置は NTT社製音声変換装置である。プロセス監視装置における音声通報装置は近ごろよく使われているが、それらは事前に録音した音声 ROM (Read Only Memory) に記録したものを再生する方式のものが多く、本装置は規則音声合成装置で、図5.5-2 に掲げるように JIS 6226コードの日本語文字列を受けとると、単語、文節ごとに音素とアクセントを組み合わせ、人の音声に近い発声をするようになっている。従って、発声しようとする文章を事前に録音する必要がなく、いつでも自由に任意の文章を発声させることができる。

DCS との接続においては、一般的にゲートウェイユニットが用意されている場合が多く、それを通して接続するのが最も簡便なやり方である。以下にゲートウェイユニットとのインタフェースの例をあげる。

同期方式 : 調歩式

制御方式 : TTY 手順
 透過モード : 非透過
 通信方式 : 4 線式半二重
 接続方式 : ポイント対ポイント
 通信制御符号 : ASCII (7 単位)
 通信速度 : 9,600 bps
 テキスト長 : max 480 文字
 誤り検出方式 : 垂直パリティ (Even)
 STOP ビット : 1 ビット

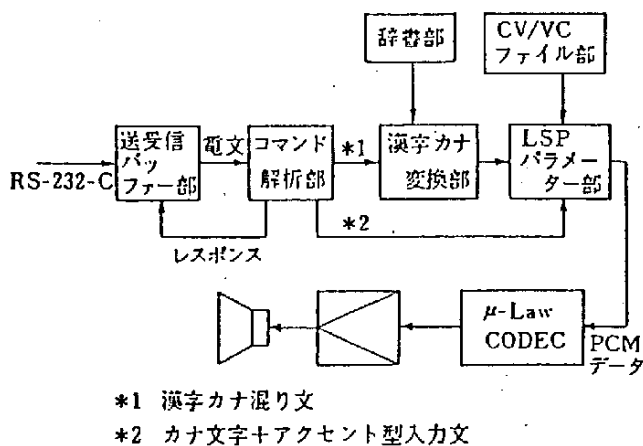


図5.5-2 : 音声合成装置の構成図

5.5.2.3 異常診断の内容

本システムが異常診断の対象とするものは次の通りである。

(1) 電源異常

各ブレーカーやディストリビュータに接続される計測器が全てダウンすることにより、これらのユニットの故障を検知しようとするものである。

(2) ポンプ、ストレーナーの異常

主に流量にかかわる設定値、測定値やバルブ開度との関係から、ポンプの能力、ストレーナーの閉塞等についてチェックするものである。

(3) バルブの異常

プロセス流体における流量や圧力にかかわる設定値、測定値、バルブ開度からバルブの

動作不良をみるものである。

(4) 蒸留塔の異常

主蒸留塔、デブタナイザー、デプロパナイザー等の蒸留塔回りの温度、圧力、流量等から物質収支計算、熱収支計算を行なう等して、バランスの異常やリフラックス比の異常等を検知しようとするものである。

(5) 加熱炉の異常

プロセス流体、燃料、排ガス等の温度、圧力、酸素濃度等の測定や炉効率の計算等から燃焼管理や炉の異常検知を行なうものである。

5.5.2.4 開発環境

(1) ハードウェア：CATCHシステムのハードウェア構成は図5.5-1の通りである。

(2) 言語：Lisp, BASIC

(3) 開発ツール：BRAINS

(4) 開発上の利点・問題点

- 〔利点〕
- ・日本語を扱うことができる
 - ・知識ユニットによってルールが構造化できる
 - ・トランスレータ機能によりC言語に変換できる
 - ・C言語版はパソコンで運用できる
 - ・入出力ファイルが公開されている

- 〔問題点〕
- ・トランスレータ版では、運用環境にてルールの変更ができない
 - ・他言語とのI/Fがファイル経由であり、高速、密結合が難しい

5.5.3 システム開発の手順

5.5.3.1 問題の設定

当社の主製品であるRefineryにおける各プロセスユニット毎に対象とするようにした。

- 〔例〕：
- ・常圧蒸留塔
 - ・流動接触分解プロセス
 - ・テールガス処理プロセス
- 等

5.5.3.2 既存技術の評価

始めに、異常診断ロジックについてルール化を前提に検討を行なった。

次に、ルールに対する入力、即ち、条件部のパラメータをプロセス入力データを前処理加工する必要がある。また、診断結果も BRAINS 自体の出力では充分とはいえず、図形出力等、より良い MMI にする必要がある。これらの部分は従来言語で作成した。

基本的にこのような異常診断においては、単に数値処理により判断できることが多いので、ルール検討段階で数値処理で充分処理できるものはルールからはずすこととした。

5.5.3.3 知識源の同定

- ・プラントのオペレータ運転マニュアルや記録
- ・計装エンジニア P&I やループ図
- ・プロセス設計エンジニア・ユニットオペレーションに係わる知識
- ・プラント全体のバランス、特性に係わる知識

5.5.3.4 専門家モデルの同定

- ・知識の範囲→前項参照
- ・ブレーンストーミング
- ・因果関係マトリックスの作成
- ・フォールトツリーアナリシス

5.5.3.5 ユーザモデルの同定

対話システムではない。

5.5.3.6 知識表現の選択

- ・対象とした知識
- ・プラントの異常に係わる知識

5.5.3.7 知識の移植

ツール：BRAINS

問題点：確信度の信頼性が明確に計測できない

5.5.3.8 知識ベースの管理

- ・プラントの部品展開が明確に行なわれていれば良い
- ・プラントの管理者

5.5.3.9 性能の評価

- ・実プラントでの運転を通してチューニングを行なう。

5.5.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	制御問題とは、システムの状態を監視していて、あらかじめ予定されたとおりにシステムの状態が遷移するように操作を加えることである			
特 徴	1. 時間遅れによる履歴依存性 2. 非線形性による局所性 3. 安定化の応答性 4. 制御精度の実現 5. 実プロセスとの接続 6. 実時間性と信頼性の確保 7. 離散系における解析問題	○ ○ ○ ○ ○		

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. システム構造の表現 2. システム動特性の表現 3. 診断問題のタスクを内包 4. モデルによる状態の予測 5. 安定化操作の優先的実行 6. 安定操業下での省エネ化 7. オペレータガイダンス 8. あいまいさの処理	 ○ ○ ○ ○		
問 題 解 決 機 能	1. 状態の診断機能 2. シミュレータによる予測 3. 定性推論による予測 4. 制御則の多目的評価 5. アクションガイダンス 6. デッドロックの解析 7. インターロックの回避	 ○ ○		

5.5.5 参考文献

- 1) 田中克己 「運転支援エキスパートシステムの化学プラントへの応用」 安全工学、VOL. 26, NO. 4 (1987), P. 221-226.
- 2) 松田繁雄、田中信貴 「エキスパートシステム構築の進め方：重質油分解装置運転支援システム」 特集：実用期へのAI開発の考え方と進め方、計装 1987, VOL. 30, NO. 3, P. 47-52.
- 3) 田中克己 「化学プラントへの運転支援エキスパートシステムの適用」 OHM '86-12, P. 51-56.

5. 6 人工衛星の運用管制エキスパート・システム

開発：三菱電機

5.6.1 システムの目的と機能

5.6.1.1 目的

宇宙分野の各種システムは、他の分野と同様に、今後ますます大規模、複雑多岐にわたるシステムへ発展していくことは必至である。これらの高信頼性を要求されるシステムを、人手により完全に管理・運営するにはおのずと限界があり、機械化の一環としてエキスパート・システム導入の必要性がクローズアップされている。

しかし、どのようなエキスパート・システムを構築すると、宇宙分野の各種システムに対して有効であるかは未知数であり、今後の研究開発の成果によるところが大であるが、現時点では、次に示す宇宙分野への応用が有効と考えられる。

- ・ 宇宙基地内の各種運用管制
- ・ フリーフライヤ／プラットフォームの運用管制
- ・ 各種宇宙実験
- ・ 人口衛星の試験、運用訓練
- ・ フライトデータ処理／評価
- ・ ミッション／システム解析
- ・ 運用管制シミュレータ
- ・ 人工衛星追跡管制
- ・ 通信制御
- ・ リモートセンシング

これらの分野に応用されたエキスパート・システムは、地上での各種専門家の負荷の軽減と判断の支援などを行なうシステムとして有効であるばかりでなく、宇宙基地内などの宇宙での限られた専門家に対する支援システムとしても大いに役立つものと期待されている。エキスパート・システムを宇宙分野へ適用するに当たっては、何が有効であるかを十分に見極めてから実用化に入ることが重要である。

しかるに、知識工学分野の本格的な研究は始まったばかりであり、現時点では理論研究だけでこの回答を得ることができず、実験研究的なアプローチが必要とされている。そこ

で、当社では、実験モデルとしてのエキスパート・システムの応用試作システムを作り、機能の確認と評価を実施し、エキスパート・システムの宇宙分野への有効性について検討した。

5.6.1.2 機能

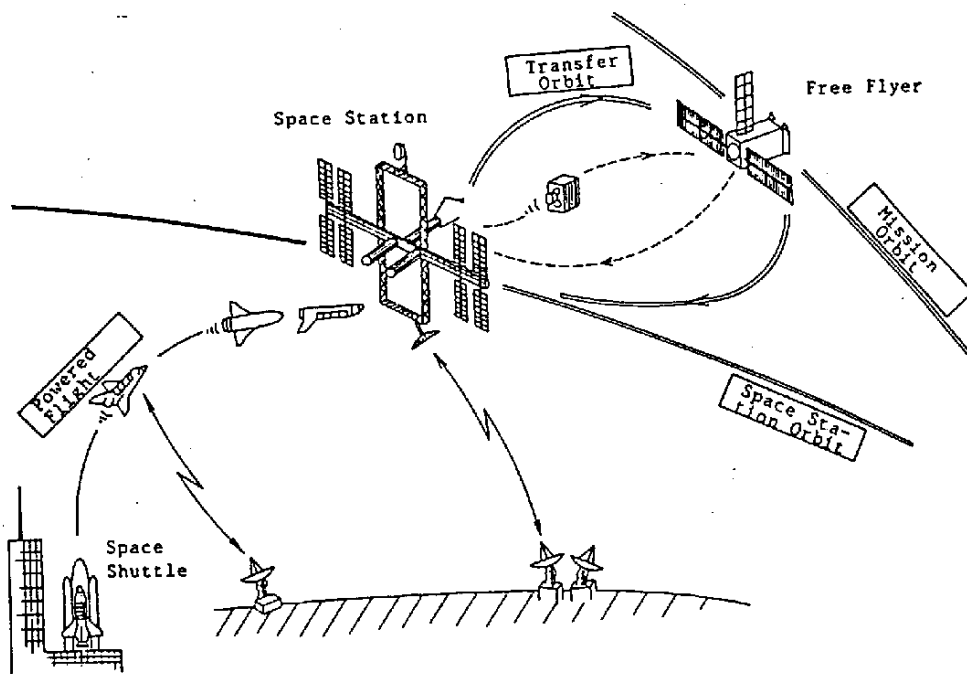


図5.6-1：宇宙ステーションの概念図

図5.6-1 に示す宇宙基地やスペースシャトルの周囲を編隊飛行して、各種観測や宇宙実験を行なうフリーフライヤ（大型人工衛星の一種）の計画がある。これら宇宙基地などからフリーフライヤを運用管制するためには次に示す各種機能が必要となる。

- ・ 軌道・姿勢決定／予測
- ・ 軌道・姿勢マヌーバ計画、実行、モニタ（ランデブー、ドッキングも含む）
- ・ ミッション機器／バス機器のハウスキーピング、チェックアウト
- ・ テレメトリ／コマンド系データ処理
- ・ ミッション機器／バス機器の運用計画、自動運用の指示とモニタ
- ・ 飛行交通管制
- ・ データ中継衛星との通信、データ伝送／受信

- ・地上局との通信、データ伝送／受信
- ・マヌーバ緊急対策、不具合診断／処置など

これらの運用管制業務を宇宙基地内の限られた専門家で対処するには、自ずと限界がある。そこで、省力化／自動化を目指して、各専門家の負荷の軽減や判断の支援を行なうエキスパート・システムが必要となる。

5.6.2 システムの構成と実現環境

宇宙基地内に設置され、フリーフライヤの運用管制を行なうエキスパート・システムを含む全体システム構成例を図5.6-2に示す。この図に示す機能を確認し評価するために、地上実験モデル（パイロットモデル）を試作した。

試作システムのハードウェア構成は、図5.6-3に示すように、従来型データ処理マシンとしての汎用スーパーミニコンピュータ《MELCOM MX/3000》とエキスパート・システム用として、推論専用の三菱AIワークステーション《MELCOM PSI》とを接続した。

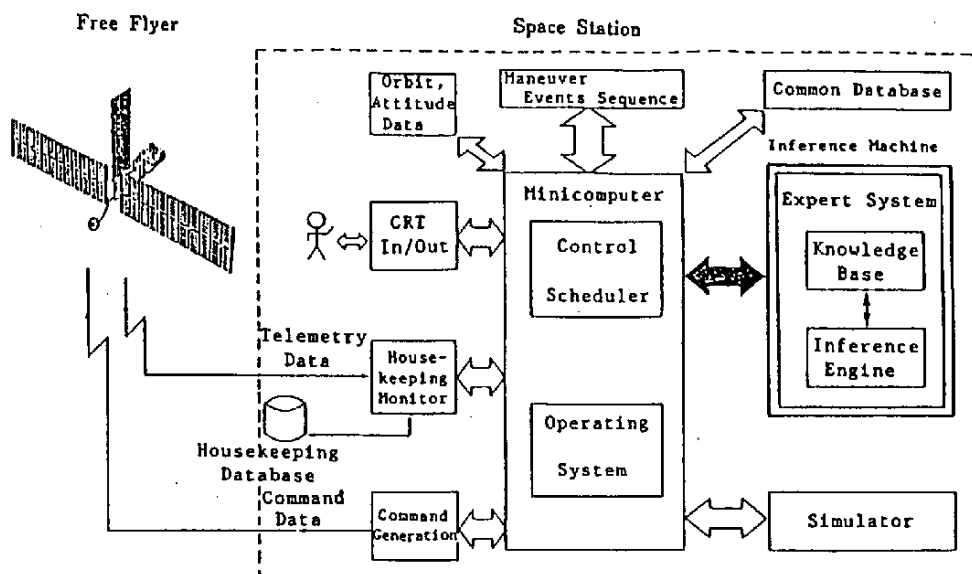


図5.6-2：宇宙ステーションとフリーフライヤ全体の構成図

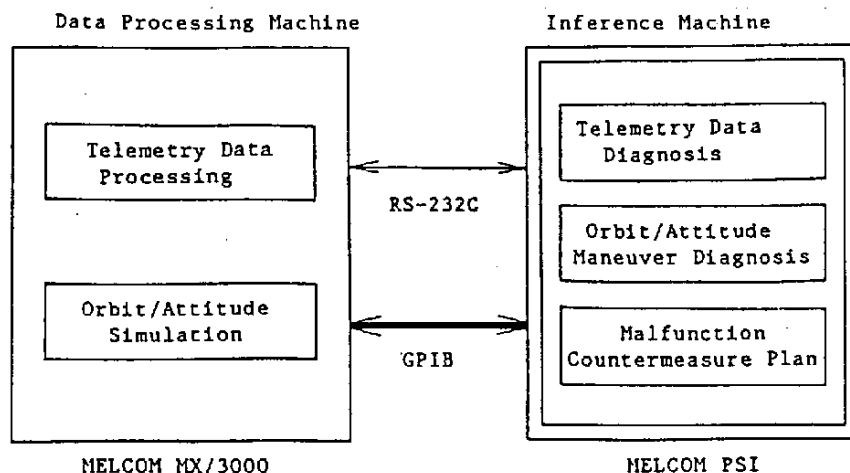


図5.6-3：プロトタイプ（パイロットモデル）

5.6.2.1 知識ベース

個々の知識は、IF-THENルールで表現されている（EXT/KERNELを使用）。

5.6.2.2 推論機構

前向き、後向き推論を行なう。

5.6.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：テスト装置 MELCOM/PSI, MX/3000
- (2) 言語：ESP
- (3) 開発ツール：EXT/KERNEL
- (4) 開発上の利点・問題点：

試作システムのハードウェア構成は、図5.6-3 に示すように、従来形データ処理マシンとしての汎用スーパーミニコンピュータ《MELCOM MX/3000》とエキスパート・システム用として、推論専用の三菱AIワークステーション《MELCOM PSI》とを接続した。このようなハイブリッド形を採用したことにこのシステムの一番の特長がある。これは宇宙分野特有の多種多量データの高速オンラインデータ処理と、高速データ診断の必要性から、このようなデータ処理マシンと推論マシンとで得意分野の処理を分けて行なう機能分担を行なった。

データ処理マシン側では主として、電気推進なども含む飛行軌道のシミュレーションと、フリーフライヤの各種テレメトリデータ処理を行なう。そして推論マシン側では、主に処理済みのテレメトリデータの診断と飛行軌道マヌーバ診断及び不具合対策立案を行なうシステムとした。

5.6.3 システム開発の手順

5.6.3.1 問題の設定

従来のシステムでは、膨大なテレメトリデータやコマンドデータなどの運用管制データの診断を人手に頼っているために、多数の衛星専門家を必要とし、かつ人手によるデータ診断のため、衛星専門家が設計時の図面や設計、試験時のデータと比較して良否の判定を行なう診断作業に要する時間も膨大となる問題点がある。従って、実際の運用時に人工衛星や宇宙ステーションで故障が発生し、緊急事態になった場合、膨大な運用管制データを早急に、もれやミスなく診断することが困難になることが予測される。

そこで、知識システムを導入して、運用管制データの診断を自動化／省力化し高速化を図る（特許出願済 S60年9月）。

5.6.3.2 既存技術の評価

従来のデータ処理装置に新たにデータ診断装置を接続し、さらに人間とこれらの装置とのインタフェースの役目をするオペレーション・コンソール装置を接続することにより、運用管制データの診断を自動化／省力化、高速化できるシステムを構築する。

従って、従来技術と競合するのではなく、得意分野の処理を分担して行ない、互いに補完的な役割を果たすようなシステム構成になっている。

5.6.3.3 知識源の同定

エキスパート・システムを構築する場合に、エキスパート・システムの知識ベースに入れるべき専門知識（ここでは、宇宙基地やフリーフライヤの運用管制に関する専門家の持っている知識）が一番注目すべき問題である。各専門家が長年の経験や学習によって得たノウハウを含む専門知識を、いかに上手に専門家から抽出し、分類整理して、知識ベースとして推論マシン上に構築していくかが重要ポイントとなる。今回の試作では、図 5.6-4

に示す「エキスパート・システム知識情報」カードに各専門家からの知識情報を記入し、分類整理して使用した。このカードにはルール記入欄が設けてあり、知識ベース中でルール化された内容と、当初の知識情報との対応が可能になるように工夫されている。

EXPERT SYSTEM 知識情報			A-1
専門家知識情報	専門家 所属	名前	入手日付
タイトル：フリーフライヤ状態モニタ(遷移軌道投入時) (1) Sun Angleが$\pm 30^\circ$以内ならば投入姿勢は正常である。 (2) $\pm 30^\circ$以外ならば緊急姿勢制御を実施して、$\pm 30^\circ$以内に入れる。(太陽電池発電能力に関係する) →緊急姿勢制御コマンドの作成、 姿勢制御シミュレーション実施、コマンドの確認 →緊急姿勢制御手順の表示			
ルール	EXPERT SYSTEM知識情報 専門家知識情報 タイトル：フリーフライヤ状態モニタ (1) Sun Angleとそのノミナル値との差が5°以内ならば正常。 (2) 5°以上ならば投入姿勢に異常が発生している可能性が高い。 →姿勢決定結果が得られるまで待ち。 入手後投入姿勢の確認を行う。		

図5.6-4：エキスパート・システム知識情報抽出例

5.6.3.4 専門家モデルの同定

図5.6-5 に示すフローに従って知識獲得を行ない、試作システムを構築した。以下に各々の説明を記す。

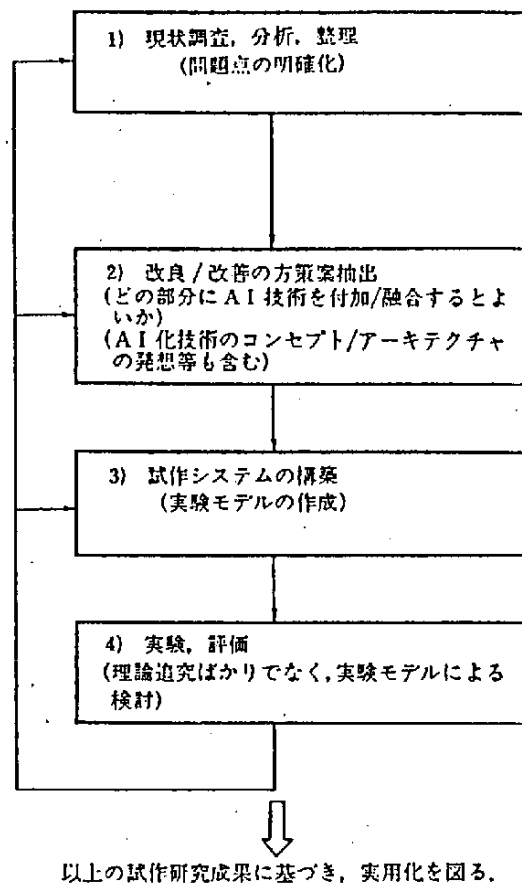


図5.6-5: 開発フロー

(1) 現状調査、分析、整理

AI技術を付加する前の現状を調査、整理し問題点を明確にしておくことが重要である。必要に応じ、設計現場の見学、調査を行ない、各部門の設計者や試験担当者と質疑応答を繰り返すとともに、専門知識やノウハウ類の収集を行なう。さらに、設計書、図面、試験規格書／手順書／成績書などの関連ドキュメント類の入手も忘れてはならない。

(2) 改良／改善の方策案の抽出

どの部分にAI技術を付加／融合させると効果的かなど、現状の問題点に基づきアイデアの抽出を行なう。現場の設計者も含めたメンバー全員によるディスカッションも有効である。AI化技術のコンセプト／アーキテクチャの構想作りなども、この段階で行なっておくことが望ましい。

(3) 試作システムの構築

実験研究的アプローチに基づき、身近にある開発環境を使いエキスパート・システムの

実験モデルを試作する。一通りシステム設計が完了すると、詳細な設計を待たず試作し、試作しながら設計を進める（ラビッド・プロトタイピング手法）

(4) 実験、評価

エキスパート・システムの開発では、理論面の追求ばかりでなく、実験モデルによる検討が必要である。フィールドデータ（現場の実データ）を使ったテストラン、評価が重要である。

以上の各手順を必要に応じて繰り返す。そして、これらの試作、評価結果に基づき、実用化を図る。

5.6.3.5 ユーザモデルの同定

衛星からのテレメトリデータより不具合診断、対策案作成および操作ガイダンスを適確に行ない、ユーザへ提示する。

図5.6-6 に示すように、テレメトリデータ処理結果や、軌道／姿勢シミュレーションの様子をミニコンのグラフィックディスプレイ上に表示し、不具合診断／推論処理過程と結果、操作ガイド内容等をAIマシンのビットマップディスプレイ上に表示する。

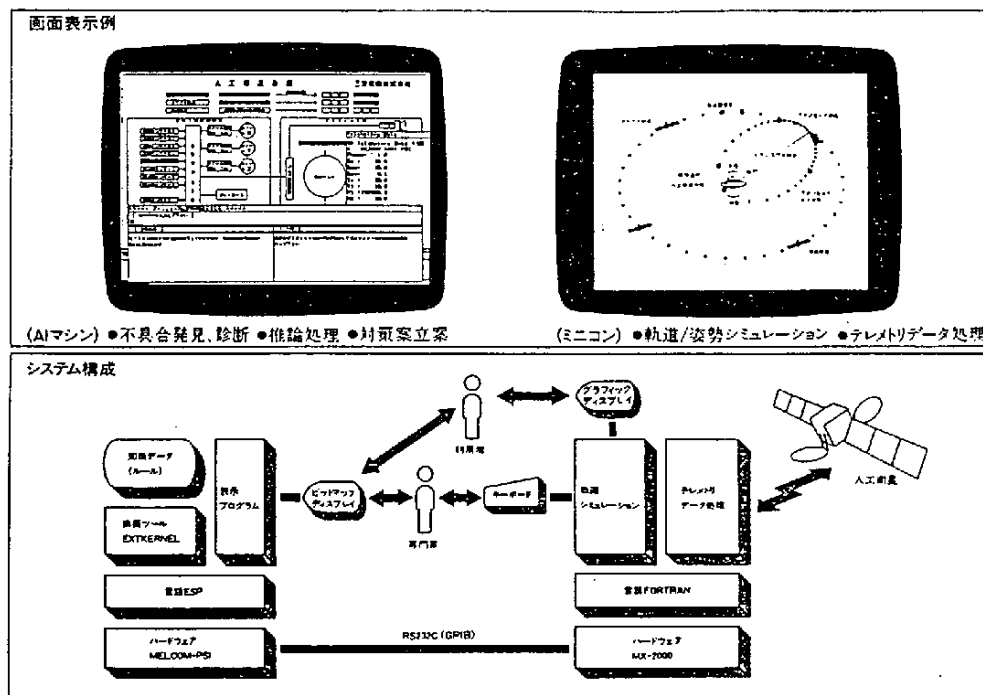


図5.6-6：画面表示例とシステム構成例

5.6.3.6 知識表現の選択

知識データベース部には、データ診断用の判定基準が規則（ルール）化されてデータベースとして入っており、この判定基準は人工衛星の設計時の設計値を基準値としている。

例えば、図5.6-7に示すように、衛星設計時の衛星内部温度範囲が15度Cから30度Cで設計されているとすると、この知識データベース部の診断用ルールの一例としては、「もし温度が15度Cから30度C以外ならば衛星内部温度は異常である」となる。

- ルール1**
(仮定部): ① タンク温度 ≤ 15 または、
② タンク温度 ≥ 30 ならば
(結論部): モニタ結果はタンク温度異常である。
- ルール2**
(仮定部): ① サンアングル ≥ 30 または
② サンアングル ≤ 30 ならば
(結論部): モニタ結果はサンアングル異常である。
- ルール3**
(仮定部): ① 姿勢マヌーバ・ステージ1のサンアングル変化がなく、そして
② 姿勢マヌーバ・ステージ1のチャンバ温度変化がなく、そして
③ 姿勢マヌーバ・ステージ1のタンク圧変化はあるならば
(結論部): 姿勢マヌーバ・ステージ1の不具合は
サミスタまたはスラスタの不具合の可能性がある。
- ルール4**
(仮定部): ① 姿勢マヌーバ・ステージ1のサンアングル変化がなく、そして
② 姿勢マヌーバ・ステージ1のチャンバ温度変化がなく、そして
③ 姿勢マヌーバ・ステージ1のタンク圧変化がないならば
(結論部): 姿勢マヌーバ・ステージ1の不具合は
スラスタが故障している。
- ルール5**
(仮定部): ① 姿勢マヌーバ・ステージ1の不具合がなく、そして
② 姿勢マヌーバ・ステージ1のチレイ・カウント変化
が必要ならば
(結論部): 姿勢マヌーバ・ステージ1の診断は
正常終了である。

図5.6-7: 知識表現例

5.6.7 知識の移植

分類整理した知識をエキスパート・システム構築用ツール「EXT KERNEL」を使い、ルールプログラムに変換して知識ベースを構築する。知識ベース中のルールプログラムは、一例を図5.6-8に示すように、プログラムの中でルール内容を直接日本語で表現することが可能である。したがって和文ワープロを使う感覚でルールプログラムの作成ができ便利である。

[システム系統図の作成]

推論マシン上で推論の実行過程や、各種診断の状況をグラフィック表示させると、専門家と推論マシンとの対話がスムーズになり便利である。この試作システムでは、フリーライヤのシステム/サブシステムの系統図を作り、推論マシン側のビットマップディスプレイ上に表示させルールプログラムと連動させて、診断過程などが系統図上に表示されるように工夫した。マルチウインドウ表示が可能であり、必要な系統図を呼び出し、不具合箇所の診断状況をグラフィック表示できるため有効である。オブジェクト指向論理形言語ESPを使ったこれらのグラフィックプログラム例を図5.6-9に示しているが、クラス単位でモジュールの定義ができ、和文表現も可能であるので、この種のシステム系統図作成及びルールプログラムとの結合も簡単にできて有利である。

```

rule 010:
  title 01.
  window 1 (W1).
  window 2 (W2).
  window 3 (W3).
  window 4 (W4).
  data (Data).
  {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000, 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1006, 1007, 1008, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030, 1031, 1032, 1033, 1034, 1035, 1036, 1037, 1038, 1039, 1040, 1041, 1042, 1043, 1044, 1045, 1046, 1047, 1048, 1049, 1050, 1051, 1052, 1053, 1054, 1055, 1056, 1057, 1058, 1059, 1060, 1061, 1062, 1063, 1064, 1065, 1066, 1067, 1068, 1069, 1070, 1071, 1072, 1073, 1074, 1075, 1076, 1077, 1078, 1079, 1080, 1081, 1082, 1083, 1084, 1085, 1086, 1087, 1088, 1089, 1090, 1091, 1092, 1093, 1094, 1095, 1096, 1097, 1098, 1099, 1100, 1101, 1102, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1109, 1110, 1111, 1112, 1113, 1114, 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120, 1121, 1122, 1123, 1124, 1125, 1126, 1127, 1128, 1129, 1130, 1131, 1132, 1133, 1134, 1135, 1136, 1137, 1138, 1139, 1140, 1141, 1142, 1143, 1144, 1145, 1146, 1147, 1148, 1149, 1150, 1151, 1152, 1153, 1154, 1155, 1156, 1157, 1158, 1159, 1160, 1161, 1162, 1163, 1164, 1165, 1166, 1167, 1168, 1169, 1170, 1171, 1172, 1173, 1174, 1175, 1176, 1177, 1178, 1179, 1180, 1181, 1182, 1183, 1184, 1185, 1186, 1187, 1188, 1189, 1190, 1191, 1192, 1193, 1194, 1195, 1196, 1197, 1198, 1199, 1200, 1201, 1202, 1203, 1204, 1205, 1206, 1207, 1208, 1209, 1210, 1211, 1212, 1213, 1214, 1215, 1216, 1217, 1218, 1219, 1220, 1221, 1222, 1223, 1224, 1225, 1226, 1227, 1228, 1229, 1230, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1236, 1237, 1238, 1239, 1240, 1241, 1242, 1243, 1244, 1245, 1246, 1247, 1248, 1249, 1250, 1251, 1252, 1253, 1254, 1255, 1256, 1257, 1258, 1259, 1260, 1261, 1262, 1263, 1264, 1265, 1266, 1267, 1268, 1269, 1270, 1271, 1272, 1273, 1274, 1275, 1276, 1277, 1278, 1279, 1280, 1281, 1282, 1283, 1284, 1285, 1286, 1287, 1288, 1289, 1290, 1291, 1292, 1293, 1294, 1295, 1296, 1297, 1298, 1299, 1300, 1301, 1302, 1303, 1304, 1305, 1306, 1307, 1308, 1309, 1310, 1311, 1312, 1313, 1314, 1315, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320, 1321, 1322, 1323, 1324, 1325, 1326, 1327, 1328, 1329, 1330, 1331, 1332, 1333, 1334, 1335, 1336, 1337, 1338, 1339, 1340, 1341, 1342, 1343, 1344, 1345, 1346, 1347, 1348, 1349, 1350, 1351, 1352, 1353, 1354, 1355, 1356, 1357, 1358, 1359, 1360, 1361, 1362, 1363, 1364, 1365, 1366, 1367, 1368, 1369, 1370, 1371, 1372, 1373, 1374, 1375, 1376, 1377, 1378, 1379, 1380, 1381, 1382, 1383, 1384, 1385, 1386, 1387, 1388, 1389, 1390, 1391, 1392, 1393, 1394, 1395, 1396, 1397, 1398, 1399, 1400, 1401, 1402, 1403, 1404, 1405, 1406, 1407, 1408, 1409, 1410, 1411, 1412, 1413, 1414, 1415, 1416, 1417, 1418, 1419, 1420, 1421, 1422, 1423, 1424, 1425, 1426, 1427, 1428, 1429, 1430, 1431, 1432, 1433, 1434, 1435, 1436, 1437, 1438, 1439, 1440, 1441, 1442, 1443, 1444, 1445, 1446, 1447, 1448, 1449, 1450, 1451, 1452, 1453, 1454, 1455, 1456, 1457, 1458, 1459, 1460, 1461, 1462, 1463, 1464, 1465, 1466, 1467, 1468, 1469, 1470, 1471, 1472, 1473, 1474, 1475, 1476, 1477, 1478, 1479, 1480, 1481, 1482, 1483, 1484, 1485, 1486, 1487, 1488, 1489, 1490, 1491, 1492, 1493, 1494, 1495, 1496, 1497, 1498, 1499, 1500, 1501, 1502, 1503, 1504, 1505, 1506, 1507, 1508, 1509, 1510, 1511, 1512, 1513, 1514, 1515, 1516, 1517, 1518, 1519, 1520, 1521, 1522, 1523, 1524, 1525, 1526, 1527, 1528, 1529, 1530, 1531, 1532, 1533, 1534, 1535, 1536, 1537, 1538, 1539, 1540, 1541, 1542, 1543, 1544, 1545, 1546, 1547, 1548, 1549, 1550, 1551, 1552, 1553, 1554, 1555, 1556, 1557, 1558, 1559, 1560, 1561, 1562, 1563, 1564, 1565, 1566, 1567, 1568, 1569, 1570, 1571, 1572, 1573, 1574, 1575, 1576, 1577, 1578, 1579, 1580, 1581, 1582, 1583, 1584, 1585, 1586, 1587, 1588, 1589, 1590, 1591, 1592, 1593, 1594, 1595, 1596, 1597, 1598, 1599, 1600, 1601, 1602, 1603, 1604, 1605, 1606, 1607, 1608, 1609, 1610, 1611, 1612, 1613, 1614, 1615, 1616, 1617, 1618, 1619, 1620, 1621, 1622, 1623, 1624, 1625, 1626, 1627, 1628, 1629, 1630, 1631, 1632, 1633, 1634, 1635, 1636, 1637, 1638, 1639, 1640, 1641, 1642, 1643, 1644, 1645, 1646, 1647, 1648, 1649, 1650, 1651, 1652, 1653, 1654, 1655, 1656, 1657, 1658, 1659, 1660, 1661, 1662, 1663, 1664, 1665, 1666, 1667, 1668, 1669, 1670, 1671, 1672, 1673, 1674, 1675, 1676, 1677, 1678, 1679, 1680, 1681, 1682, 1683, 1684, 1685, 1686, 1687, 1688, 1689, 1690, 1691, 1692, 1693, 1694, 1695, 1696, 1697, 1698, 1699, 1700, 1701, 1702, 1703, 1704, 1705, 1706, 1707, 1708, 1709, 1710, 1711, 1712, 1713, 1714, 1715, 1716, 1717, 1718, 1719, 1720, 1721, 1722, 1723, 1724, 1725, 1726, 1727, 1728, 1729, 1730, 1731, 1732, 1733, 1734, 1735, 1736, 1737, 1738, 1739, 1740, 1741, 1742, 1743, 1744, 1745, 1746, 1747, 1748, 1749, 1750, 1751, 1752, 1753, 1754, 1755, 1756, 1757, 1758, 1759, 1760, 1761, 1762, 1763, 1764, 1765, 1766, 1767, 1768, 1769, 1770, 1771, 1772, 1773, 1774, 1775, 1776, 1777, 1778, 1779, 1780, 1781, 1782, 1783, 1784, 1785, 1786, 1787, 1788, 1789, 1790, 1791, 1792, 1793, 1794, 1795, 1796, 1797, 1798, 1799, 1800, 1801, 1802, 1803, 1804, 1805, 1806, 1807, 1808, 1809, 1810, 1811, 1812, 1813, 1814, 1815, 1816, 1817, 1818, 1819, 1820, 1821, 1822, 1823, 1824, 1825, 1826, 1827, 1828, 1829, 1830, 1831, 1832, 1833, 1834, 1835, 1836, 1837, 1838, 1839, 1840, 1841, 1842, 1843, 1844, 1845, 1846, 1847, 1848, 1849, 1850, 1851, 1852, 1853, 1854, 1855, 1856, 1857, 1858, 1859, 1860, 1861, 1862, 1863, 1864, 1865, 1866, 1867, 1868, 1869, 1870, 1871, 1872, 1873, 1874, 1875, 1876, 1877, 1878, 1879, 1880, 1881, 1882, 1883, 1884, 1885, 1886, 1887, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892, 1893, 1894, 1895, 1896, 1897, 1898, 1899, 1900, 1901, 1902, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1909, 1910, 1911, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1917, 1918, 1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1924, 1925, 1926, 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1938, 1939, 1940, 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 219
```

```

class graph has
    v
    {
        tcreate [G, Wg] :=
            tcreate [Hfont, ">page>font>name"]; 16, font = Font);
            tcreate [Hfont, ">page>font>num"]; 20, font = Font();
            tcreate [Htext[12]]_window, [position (0, 0), size (1280, 1920)];

            root_label_fline [Wg, wff];
            root_vate [Wg];
            idraw_rectangle [Wg, 0, 0, 1280, 650];

M      For Titles
                idraw_string [Wg, 380, 10, "人 工 智 能", Font()];

                idraw_string [Wg, 380, 20, "王立明株式会社"];

M      For Index-Att
                idraw_rectangle [Wg, 380, 70, 280, 10];
                idraw_string [Wg, 100, 10, "索引输入部检索中", Font()];

M      For Mutation
                idraw_rectangle [Wg, 380, 160, 280, 10];
                idraw_string [Wg, 140, 160, "交叉输入部检索中"];

M      For Tank-Temp
                idraw_rectangle [Wg, 380, 190, 280, 20];
                idraw_string [Wg, 140, 190, "燃料供给部水温表示中"];

                idraw_rectangle [Wg, 170, 70, 170, 10];
                idraw_string [Wg, 130, 70, "タンク"];

                idraw_rectangle [Wg, 170, 160, 170, 10];
                idraw_string [Wg, 130, 160, "タンク"];

                idraw_rectangle [Wg, 170, 190, 170, 10];
                idraw_string [Wg, 130, 190, "タンク"];
    }
}

```

図5.6-9: グラフィックプログラム例

5.6.3.8 知識ベースの管理

試作システム開発中は知識ベースの管理まで手が回らなかったというのが実態であったが、以下に示す方針でエキスパート・システムの保守と管理の問題に対処すべく検討を重ねている。

〔保守と管理〕

エキスパート・システムの試運転が一段落し、実運用の中に組み込まれ、運用段階で十分その機能や役割を発揮するようになると、その役割を継続させるために「保守」の問題がクローズアップされてくる。

保守と言えどもエキスパート・システムの場合は、知識ベースそのものの成長、発展は引き続き行なわれる必要があり、運用上の管理も含めて重要な問題となる。

[コンフィギュレーション管理手法の導入]

コンフィギュレーション管理とは、一般に開発当初の要求仕様の設定から運用に至る間のライフサイクル全般において、システムレベルから各モジュールレベルまでの各段階での機能的及び物理的特性を明確に把握し管理する業務である。

ここでは運用段階でのコンフィギュレーション管理の考え方をエキスパート・システムの運用面に適合する場合について考える。

開発の完了したエキスパート・システムにとって、コンフィギュレーション管理上重要な要素としては、前述した知識ベースの修正、改訂の問題がある。

段階を追ってベースラインを設定し、必要な修正を合理的に行なうこともコンフィギュレーション管理の一環であり、エキスパート・システムの知識ベースの修正問題にコンフィギュレーション管理の考え方、手法が応用できることがわかる。

具体的には、知識ベースの修正に当たり、マニュアル類を含む関連ドキュメントの維持改訂問題がまず挙げられる。開発段階ならまだしも、実運用に入っているエキスパート・システムの知識ベースの修正を思いついた人が勝手に行なうことは混乱を招くのみで許されない。文書による変更管理と修正記録等が残る体制を作っておくことが重要になる。

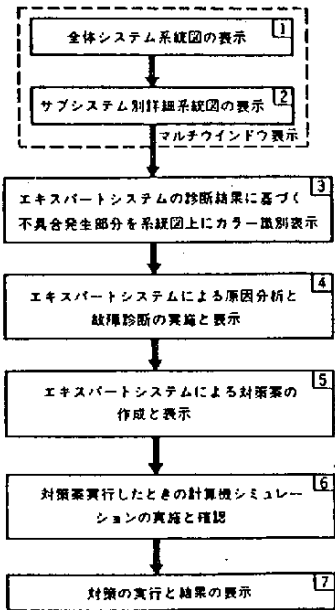
5.6.3.9 性能の評価

試作システムによるパイロットモデル実験により、以下に示す確認と評価が得られ将来への展望が開けた。

- (a) 推論マシン側の診断用知識ベースを、今後更に拡張、充実させていくことで、実用に十分耐え得るものに成長する見通しを得た。
- (b) エキスパート・システムの試作品や、デモンストレーション用のモデルを作る上では、ルール数も少なく単純であるため、推論マシン側の CPU メモリ容量や処理速度はあまり問題とならない。しかし実用化レベルでは、ルール数もけたはずれに増え、内容も多岐にわたる。更にルールプログラム形態も、プロダクションルールのみでなく、フレーム形との混在や、より人間の頭脳に近い知識表現が新しく必要となる。したがってそれらに応じて、実用化レベルでは、知識ベースに必要な CPU メモリも増大し、推論マシン側の CPU メモリは今回使用した推論マシン《MELCOM PSI》レベル (80MB) 以上が必要となり、推論処理速度も高速なものが要求される。
- (c) 実運用時での緊急自体発生時などにおいて、原因分析をして冷静なる判断が早急に要求される場合、これらのエキスパート・システムは各専門家の判断支援システムとして大いに役立つシステムに成長することが期待できる。

5.6.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	制御問題とは、システムの状態を監視していて、あらかじめ予定されたとおりにシステムの状態が遷移するように操作を加えることである			
特 徴	1. 時間遅れによる履歴依存型 2. 非線形性による局所性 3. 安定化の応答性 4. 制御精度の実現 5. 実プロセスとの接続 6. 実時間と信頼性の確保 7. 離散系における解析問題	○ ○ ○ ○ ○ ○		[試作システムの特徴] ・得意分野の処理を分担して行なう ハイブリッド型 ・多種多量データの高速オンラインデータ処理と、高速データ診断が実現可能（迅速な推論が可能） ・ソフトウェアの開発、機能改修／拡張の容易性と信頼性の向上 ・自動化、省力化の促進 ・従来型データ処理コンピュータの各種プログラム資産がそのまま有効活用できる

	制 御 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ク ス	1. システム構造の表現 2. システム動特性の表現 3. 診断問題のタスクを内包 4. モデルによる状態の予測 5. 安定化動作の優先的実行 6. 安定操作下での省エネ化 7. オペレータガイダンス	○ ○ ○ ○ ○		 <pre> graph TD 1[1 全体システム系統図の表示] --> 2[2 サブシステム別詳細系統図の表示] subgraph "マルチウインドウ表示" 1 2 end 2 --> 3[3 エキスパートシステムの診断結果に基づく 不具合発生部分を系統図上にカラー識別表示] 3 --> 4[4 エキスパートシステムによる原因分析と 故障診断の実施と表示] 4 --> 5[5 エキスパートシステムによる対策案の 作成と表示] 5 --> 6[6 対策案実行したときの計算機シミュレー ションの実施と確認] 6 --> 7[7 対策の実行と結果の表示] </pre>
問 題 解 決 機 能	1. 状態の診断機能 2. シミュレータによる予測 3. 定性推論による予測 4. 制御則の多目的評価 5. アクションガイダンス 6. デッドロックの解析 7. インターロックの回避	○ ○ ○		衛星からのテレメトリデータより不 具合診断、対策案作成および操作ガ イダンスを的確に行ないユーザへ提 示する。 テレメトリデータ処理結果や、軌道 姿勢シミュレーションの様子をミニ コンのグラフィックディスプレイ上 に表示し、不具合診断／推論処理過 程と結果操作ガイド内容等をAIマシ ンのビットマップディスプレイ上に 表示する。

5.6.5 参考文献

- 1) T. Ogino and K. Ijichi, "A feasibility study of an expert system for a space station and experiments in space", 37th Congress of the International Astronautical Federation, Innsbruck, Austria, October 4-11, 1986, Preprint.
- 2) 木下、荻野 「知識情報処理の宇宙分野への応用」、三菱電気技報、Vol. 60, No. 9, 1986
- 3) 荻野、芝、久保田、稲川、西川 「衛星設計/試験装置のAI化」、宇宙人工知能/ロボット/オートメーションシンポジウム講演集、SAIRAS87-C1, 103-106, 1987. 人工知能学会他共催.
- 4) 荻野、春井、鳥山、稲川、市川 「高信頼性設計エキスパート・システム」、日本品質管理学会誌「品質」、Vol. 18, No. 2, 1988
- 5) 荻野、市川 「エキスパート・システムの運用/評価に関する一考察」、第2回人工知能学会全国大会(1988-7)発表予定論文

6 . 計画／設計型システム事例

6.1.1.2 機能

運用形態としては、まず基幹システムである出荷システムが、出荷予定品に関するサマリーファイルを生成し、初期設定サブシステムで初期データの編集を行なう。この際、作業の進捗状況や船の動静のように、現基幹システムでは把握できない情報については計画者が端末より入力する。これらの初期データと固定的に持っている、船舶基本情報・顧客情報・積み込み能率など各種の基準情報を使ってエキスパート・システムを計画立案する。立案結果は外部ファイルに一度変換され、グラフ表示サブシステムによって CRTやグラフ帳票に表示される（図6.1-3参照）。

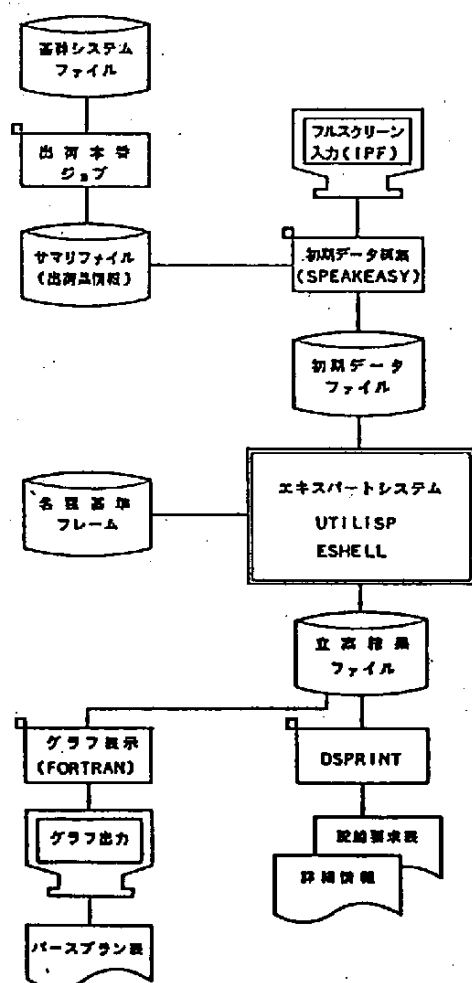


図6.1-3：運用形態

6.1.2 システムの構成と実現環境

システムの全体構成を図6.1-4に示す。知識処理の周辺を取り巻くシステムとして、初期設定をフルスクリーンの入力画面として支援するサブシステム、計画結果をグラフィック表示するためのサブシステムがある。

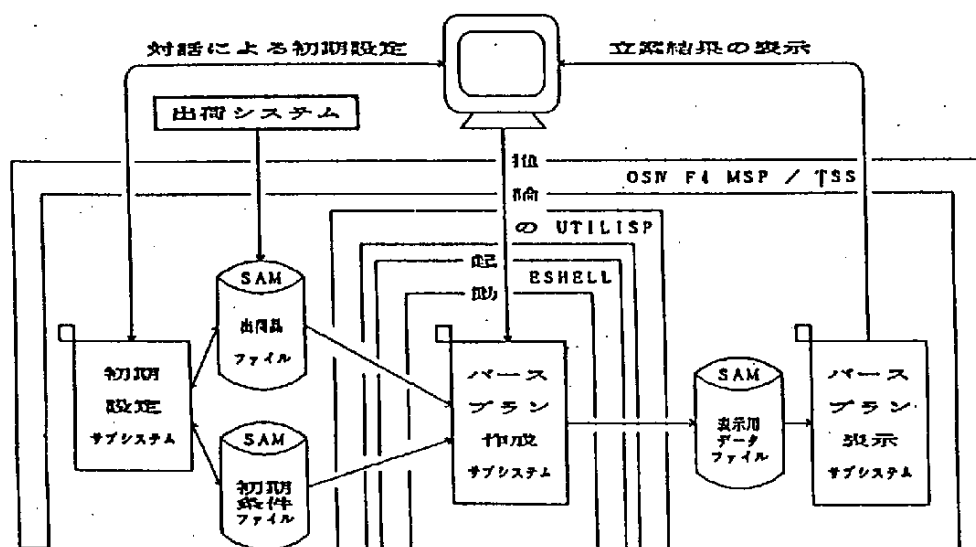


図6.1-4: システムの全体構成

6.1.2.1 問題解決プロセス

分枝限定法の考え方にならって以下のような問題解決プロセスを構成し、解空間の分割（探索木の生成）、分割問題の評価（探索木の限定）に専門家の知識・ノウハウを活用することとした。

- (1) ある時点で、船積みを行なうべき未スケジュールの船より優先順位をつけて候補船を選択する。
- (2) 優先順位の高い船について、積み込み開始時刻と終了時刻を決定する。
- (3) その船のスケジュール結果に問題がないかチェックする。
 - (3-1) 問題があれば、その船を候補から外し、まだ評価されていない他の候補を選び(2)へ戻る。
 - (3-2) 問題がなければ、時点を進め(1)へ戻る。
- (4) 全ての船がスケジュールされたら全体としての評価を行なう。さらに別のスケジュール案が必要なら、保留中の候補船まで戻って(2)から始める(バックトラック)。

(5) 複数のスケジュール案を評価の良い順に並べる。

上記各プロセスに対応する専門家の知識列を図6.1-5 に示した。

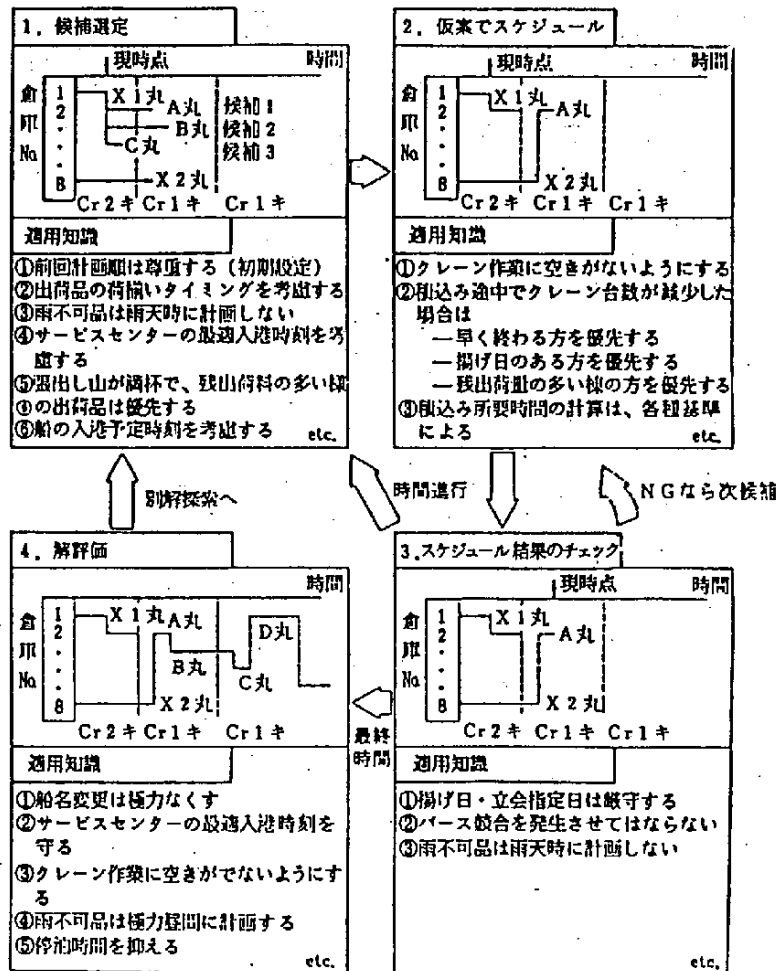


図6.1-5：問題解決プロセスと適用知識例

6.1.2.2 知識ベース

上記の基本手順に則り、知識処理システムを構成したものが図6.1-6 である。今回は富士通社製のエキスパート・システム開発支援ツールであるESHELLを使用した。ESHELLの推論制御はイベント駆動方式であり、今回のように問題を分割しながら解を探索していく問題には適したツールと言える。

先のような船の順序づけをするための手続き的な知識を「ルール」で表現しそれらを問題解決プロセスに従ってグループ化 (KS : 知識源) し、判断に必要な情報を「フレーム」

で、計画の中間結果や最終結論を中心に、周辺状況を電話で確認した結果などを「黒板」で表現した。また、全体の推論制御をメタ知識源として一般のルールと切り離した。

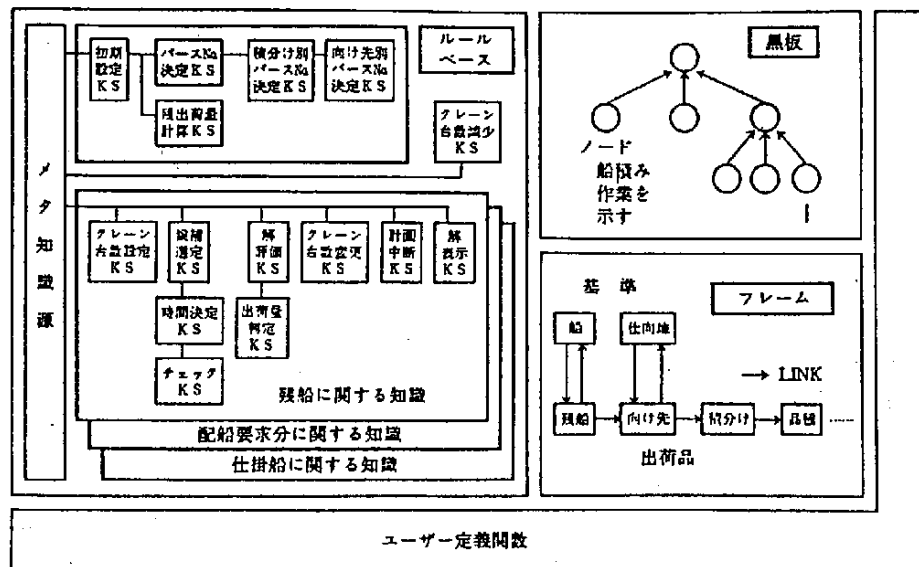


図6.1-6：知識構成図

6.1.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：FACOM M-780
- (2) 言語：UTILISP
- (3) 開発ツール：ESHELL
- (4) 開発上の利点・問題点

- ＜利点＞ ・汎用コンピュータ上に構築したため、既存システムとのデータのやりとりが比較的容易
- ・ ESHELLの「黒板」は試行錯誤プロセスを実現しやすい。
 - ・ 既存ハードウェアのため、ハード投資は不要
- ＜問題点＞ ・汎用コンピュータ上で開発したため、他の処理との資源のとりあい問題である（特にLISPは資源を食う）。

6.1.3 システム開発の手順

6.1.3.1 問題の選定

大規模な基幹システム（出荷システム第Ⅱ期）開発の設計過程で、ロジック設計が難しかったサブシステムで、比較的コンパクトな問題（専門家が2～3時間かけて作成）を選定した。

ロジック設計の難しかった理由は、

- ①制約条件や評価基準が定量表現できない。
- ②制約条件や評価基準が多数あり、互いにトレードオフの関係にある。
- ③状況が（短期的にも長期的にも）ダイナミックに変化し、画一的なアルゴリズムで表せない。

6.1.3.2 既存技術の評価

上記の理由で、既存のシステム化技法は断念した。すなわち専門家のやりかたをアルゴリズムとして表現し、手続き的プログラムにした場合、状況変化に対応（メンテナンス）困難と予想される。また、数理計画法を応用した場合、現実問題のきめ細かさを表現すると実用時間内での求解が不可能と予想される。

6.1.3.3 知識源の同定

知識源は日々計画を立案している計画担当者である。特に優秀と思われる担当者を1人選び、作業観察・インタビューから知識の抽出を行なった。

6.1.3.4 専門家モデルの同定

計画立案業務全体を対象とするが「計画対象・環境条件に関する情報収集」、「通常の制約条件では厳しすぎて解が得られない場合など、条件緩和をどうするか」といった外部との調整が必要な部分は除外した。

6.1.3.5 ユーザモデルの同定

出荷計画についてある程度の知識をもっている人を対象としたシステムであるが、推論そのものにユーザは関与せず、結果を評価するのみ。

ユーザ自身によるシステムの保守・拡張はツール・言語の理解、問題解決モデルの詳細理解が困難であり、不可能と考えている。

6.1.3.6 知識表現の選択

専門家の知識との対応の良さ、可読性の点からルール表現を中心とした。

6.1.3.7 知識の移植

ESHELLのエディターを用いてルール・フレーム・ユーザ関数などの製作を行なった。プログラミング上問題となったのは、ルールとユーザ関数の機能分担の不明確さの点であり、メンテナンス性を考慮して注意する必要がある。

6.1.3.8 知識ベースの管理

問題解決モデルのプロセスに応じてルール集合を階層分割し、整合性を人間が確認しやすくしている。

管理体制としては、システム側でメンテナンス担当者（開発担当者とは別）を決め、ユーザからの変更要求に随時対応している。

6.1.3.9 性能の評価

開発フェーズでは、日々の実データで試行を行ない専門家が評価し、不具合を調整していった。

実運用に入ってから、ユーザ（開発担当専門家以外）が最終評価を行なっている。

6.1.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	計 画 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
特 徴	1. 探索空間が非常に広い 2. 評価属性が多様である 3. 環境予測が不確実である 4. 部分問題間の相互作用 5. 既存計画の再利用 6. 費用と便益のトレードオフ 7. 対話型計画作成支援の要求	◎ ◎ ○ △ X ○ △	◎ ◎ △ △ ○ △	・非常に広い可能解空間の中から、 準最適解を見つける ・陽に表せるものと、専門家の知識 に陰に含まれるものがある ・必要な場合のみ既決定部分問題に もどる ・経験則として使われるのみ ・各制約条件の満足度、制約条件の 重み共全て費用と便益のトレード オフ関係にある

	計 画 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 計画過程の階層化 2. 組み合わせ的探索 3. 制約条件の相互作用 4. 環境の予測 5. 上位レベルへの知的後戻り 6. 計画事例の探索と利用 7. 計画評価の多様性	◎ ◎ ○ ○ ○ X ○	◎ ◎ △ ○ ○	・ 専門家の立案プロセスに合わせて階層化 ・ 階層化生成検査。許容解へ早く到達するため、候補選択知識を充実させる ・ ルールの優先順で表現 ・ 不確実さを考慮した計画知識になっている ・ 探索失敗時、その情報を基に保留ノードの効率的消込みを実施 ・ 計画案として、基準評価体系の高い順に複数案を提示。ユーザが最終選択
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 網羅的探索機能 4. 仮説推論による知的探索 5. 類推による計画事例の利用 6. 計画の多目的評価 7. リスク下での意思決定	△ △ X ◎ X ○ X	X X ◎ ○ 	・ 生成検査のプロセスの中で陰に含む ・ "

6. 2 電力系統計画・解析支援エキスパートシステム

開発：三菱電機（株）

6. 2. 1 システムの目的と機能

6. 2. 1. 1 システムの目的

電力系統は、情報化社会を支えるエネルギー基盤として、システムの高い信頼性と経済性が要求されている。この要求を満たすには、綿密な系統解析に基づく系統建設計画や設備運用計画が不可欠である。これらの計画業務を省力化し、適切な計画案を能率良く作成できる環境を構築することが本システム開発の目的である。

6. 2. 1. 2 機能

電力系統の計画には、数年～20年先の電力需要予測に基づく発電所や送変電設備の建設計画と、翌日～数年先にわたる発電機や調相設備の運用計画がある。いずれの計画においても、システム解析を通して得られる系統の安定性や信頼性、建設費用や運用費用から見た経済性などで計画の善し悪しが評価される。

例えば、運用計画では、夏のピーク時や深夜の軽負荷時などの特徴的な電力需要パターンを想定して、その時に稼働させるべき発電機とその出力、および調相容量の投入量などを上記の評価指標を考慮しながら決める。極く簡単に言えば、次の様な手順で計画を立てる。

- (1) 系統条件を無視して総発電費用が最小となる様に稼働すべき発電機と発電機出力を決める。
- (2) 上記の条件で系統内の定常的な電力潮流と母線電圧を計算し、その結果、送電線の過負荷や母線電圧の異常などがあれば、発電機出力や調相容量などを調整して異常を解消する。
- (3) 以上で得られた運用状態が、主要な系統事故に対しても過渡的に安定であるか数値シミュレーションによりチェックする。

この計画策定の過程で、系統計画者はそれぞれのステップについて

- ①検討すべき解析条件を設定し、
- ②解析結果から問題点を発見して、
- ③対策案を立て、

参考文献

- [中島 87] 中島, 集配スケジュール作成ESにおけるグラフ閉路問題の性質と解法,
第1回人工知能学会全国大会論文集, 275-278, (1987).

④結果を評価する。

という事を繰り返しながら，高い評価指標を持つ計画案を探索する．本システムでは，現在，これらの計画過程のうち，(2)の過負荷や電圧異常の解消を知識ベースシステムの支援により，自動的に実行する機能を有する．

6. 2. 2 システムの構成と実現環境

6. 2. 2. 1 ソフトウェアシステムの構成

本システムは，全体を統括するディレクタシステム，問題解決を支援する知識ベースシステム，解析プログラムのプログラムベース，そして系統データのデータベースから成る図 4.5-1の構成をしている．プログラミング言語としては，知識ベースシステムではC-Prologを利用している．他の解析プログラムおよびマンマシンインタフェースはFortran で記述している．実行時には，ディレクタシステム，知識ベースシステム，解析プログラムは各々マルチウィンド環境下の並列プロセスとして起動され，互いにメール通信を交わしながら協調して計画，解析作業を支援する．

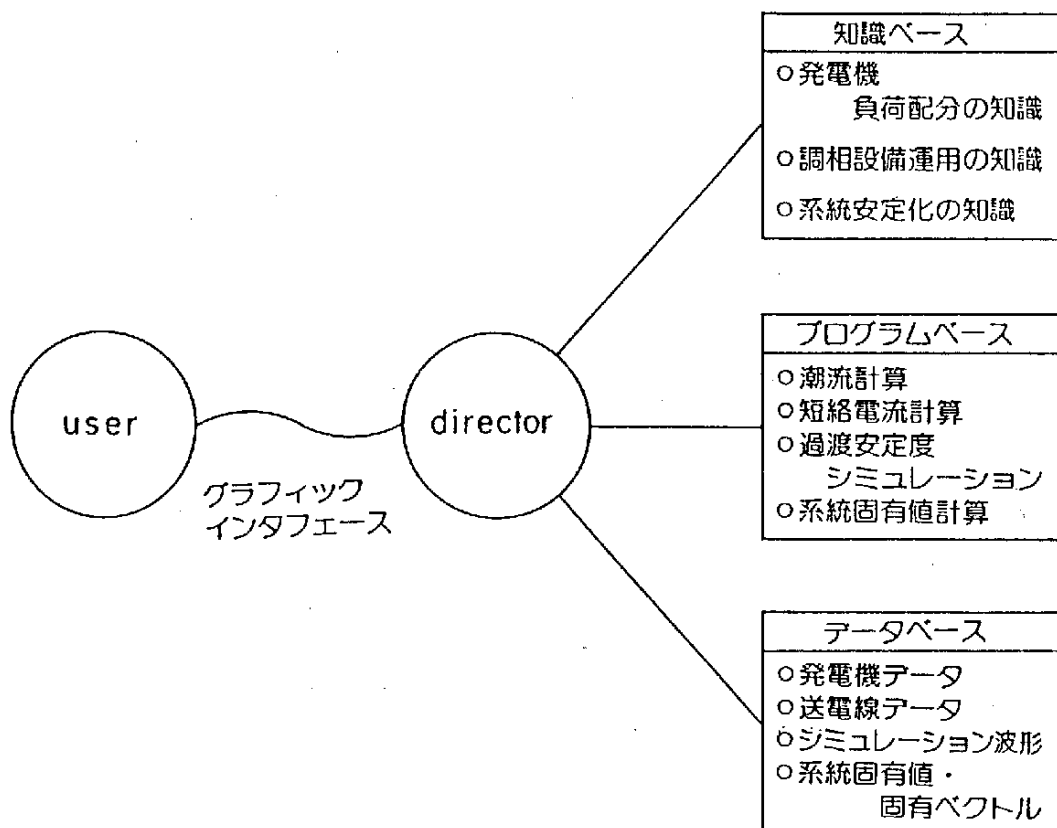


図 6.2-1 ソフトウェア構成

6. 2. 2. 2 ハードウェアシステムの構成

電力系統図やアイコンメニューを中心とするマンマシンインタフェース、Prologで記述された知識ベース、系統の定常的な電力潮流や母線電圧を計算する潮流計算プログラムおよび系統のデータベースなど主要部分はワークステーション(Apollo)上で動く。大規模計算を必要とする系統事故時の過渡安定度シミュレーションと固有値解析計算については、系統データと共にホスト計算機であるVAX11/780 に自動転送され、計算結果だけがワークステーション上に表示される。このようにワークステーションを中心として補助的にスーパーミニコンピュータをリンクした図 4.5-2のハードウェア構成をしている。

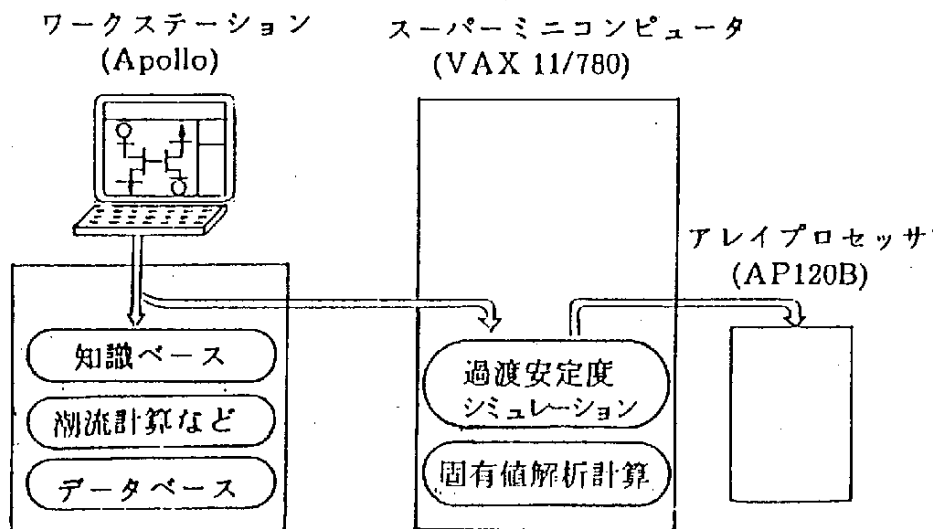


図 6.2-2 ハードウェア構成

6. 2. 2. 3 知識ベースの規模

知識ベースシステムは前述のようにPrologで記述しているが、バックトラックとボタンマッチングの機能を利用して、後向きプロダクションシステムに近い構造をとっている。知識ベースのサイズは約150ルールで、マンマシンインタフェースや解析プログラムなどのFortran 部分を含めた全システムのサイズは約5万行である。

6. 2. 3 システム開発の手順

6. 2. 3. 1 問題の設定

(1) 記号処理を中心とした問題であること

数値計算によって得られた電力潮流や母線電圧の状況を判断し、電力系統の定性的な因果関係に関する経験知識を利用して問題解決を行うものである。

(2) 専門家の経験知識が利用可能な問題であること

社内および電力会社の専門家は、日常業務としてこれらの問題解決を行っているので、この経験知識が利用できる。

(3) 十分なニーズがある問題であること

日常的な計画業務の省力化と高信頼化、および社会情勢の変化に即応した効率の良い計画立案体制の確立。

(4) 明確な価値を生じる問題であること

エンジニアリング業務の省力化、自動化。

(5) 保守が容易な問題であること

このプロトタイプシステムでは、Prologで直接コーディングしているため、必ずしも保守は容易ではないが、実用システムでは適切な知識表現言語を用いてユーザ自身による知識ベースの保守、拡張を可能にする。

6. 2. 3. 2 既存技術の評価

問題を送電線の過負荷解消と母線電圧異常の解消に限定すれば、線形計画法や非線形計画法を用いて解くことも可能であるが、その場合には計画案作成の過程がブラックボックス化してしまうため、計画案の修正や変更に際して計画者の知識を生かして柔軟に対応することが難しくなる。また、計画の評価の段階では上記の条件の他に、系統の経済性、信頼性、安定性など多様な評価基準を考慮する必要があるが、既存の手法で実現することは困難である。

6. 2. 3. 3 知識源の同定

系統計画、運用計画の実用的手法に関する教科書やマニュアル類は全く無いので、複数の専門家の経験知識を利用した。

6. 2. 3. 4 専門家モデルの同定

システム開発者自身が領域専門家でもあるので、開発者の知識を核にして、その上に他の専門家の知識を付加する形で知識ベース化した。

6. 2. 3. 5 ユーザモデルの同定

専門家のルーチンワークを支援する。

6. 2. 3. 6 知識表現の選択

既開発の対話型支援システムに知識ベースシステムを付加する形でシステムを構築したが、当初、ワークステーション(Apollo)上で動く知識処理言語が無かったので移植の容易さを考慮してC-Prologを採用した。また、知識ベースシステムがFortran でかかれた解析プログラムやマンマシンインタフェースプログラムとインタラクションする必要があるためメール通信機能を持つ様に拡張した。

ただし、実用システムではエキスパートのノウハウに基づく動的な推論が中心となることから前向きプロダクションシステムを用い、手続き的な知識は出来る限りFortran で記述して高速化している。

6. 2. 3. 7 知識の移植

ディスカッション、インタビュー、バーバルプロトコル分析などにより専門知識を抽出して知識ベース化した。

6. 2. 3. 8 知識ベースの管理

説明機能(How)を用いて推論過程を検証することにより知識ベースの管理を支援している。

6. 2. 3. 9 性能の評価

推論結果および推論過程の専門家による評価、バーバルプロトコルデータとの比較、数理計画法による解との比較などにより性能を評価している。

6. 2. 4 タスクと問題解決機能のまとめ

表 4.5-1 事例との関連表

	計 画 問 題	関 連 度	実 現 度	事 例 と の 関 連
定 義	計画問題とは、与えられた目標を達成するために利用可能な資源（人・金・もの）の割り当てを時系列として決定することである。	○		いくつかの代表的な時間断面について、複数の評価基準を満足するように制御量を配分する。時系列的なスケジューリングは含んでいない。
特 徴	1. 探索空間が非常に広い。 2. 評価属性が多様である。 3. 環境予測が不確実である。 4. 部分計画間の相互作用。 5. 既存計画の再利用。 6. 費用と便益のトレードオフ。 7. 対話型計画作成支援の要求。	○ ○ × ○ ○ ○ ○	○ △ × ○ ○ △ ○	選択枝が多く、その制御量も決める必要がある 経済性、信頼性、安定性、余裕など多数の評価属性があり、これらの重みは計画目的に応じて変わる。制約条件も状況に応じて変わり、例外もある。 いくつかの代表点について検討することにして不確実性は除いている。 系統を地域的に分割して調整を進めるが、地域の境界が曖昧であり、地域間の相互作用もある 既存計画をもとに、設定条件に応じた修正を加えて計画案を得る。 制御設備の建設費用と信頼性その他との間のトレードオフ。 全ての制約条件や評価基準をあらかじめ知識ベース化しておくことは難しく、計画者との対話が必要。

	計 画 問 題	関連度	実現度	事 例 と の 関 連
基 本 タ ス ク	1.計画過程の階層化.	○	○	相互作用の有無による部分計画の分離とグローバルな調整からローカルな調整へという階層化が経験的に行われている.
	2.組合せ的探索.	○	○	地理的距離や感度などにより探索対象を絞り込む.
	3.制約条件の相互作用	×	×	
	4.環境の予測.	×	×	別システムで予測を行い、本システムでは、ある断面についてのみ計画する.
	5.上位レベルへの知的後戻り.	○	△	ローカルな調整で済まなければ再度グローバルな調整に戻る.
	6.計画、事例の検索を利用.	○	×	知識ベースとしての支援機能は無いが、計画例はデータベースに保存されている.
	7.計画評価の多様性.	○	○	
問 題 解 決 機 能	1.トップダウン精密化戦略.	○	○	経験的に組み込まれている.
	2.拘束最小化戦略.	×	×	
	3.網羅的探索機能.	×	×	
	4.仮説推論による知的探索.	○	○	評価基準が多様であるため最適解が一意に定まらず、複数の候補を生成する.
	5.類推による計画事例の利用.	○	×	過去の事例から予め解の範囲を予測する.
	6.計画の多目的評価.	○	○	探索過程で複数の評価に効果のあるものを優先する. 基本案生成後、更に評価の高い案を探索する.
	7.リスク下での意思決定.	×	×	

6. 3 ユーティリティプログラム使用法ガイドシステム

開発：㈱三菱総合研究所

6. 3. 1 システムの目的と機能

本システムは㈱三菱総合研究所が昭和59年から60年にかけて実施したマルチクライアントプロジェクト「人工知能革命」の一環として開発したエキスパートシステムである。コンピュータシステムに付属している各種のユーティリティプログラムの使用法をユーザーにアドバイスするシステムでプロトタイプのレベルのものである。なお、本システムが用いているエキスパートシステム開発用ツールZ E U Sも同じ様にこのプロジェクトの中で開発されたものである。

(1) システムの目的

本システムの開発のねらいは大きく2つある。

- ① 専門家ではなく、マニュアルからの知識獲得
- ② 合成問題へのZ E U Sの応用

エキスパート・システムは専門家の知識を移植したコンピュータシステムである。その知識は、通常、知識エンジニアが1人または複数の専門家とのインタビューを通して引き出し、ルール化することによって得られる。しかし、これはエキスパート・システム構築の過程の中で最も困難な作業といわれている。専門家は知識エンジニアが自分のどの知識を引き出そうとしているか判らず、知識エンジニアはどう言えば専門家がシステムに合う形の知識を出してくれるかに苦勞する。本システムではエキスパート・システムへの期待を知識獲得という観点からは一段下げ、既にマニュアル化された知識から構築した知識ベースでも十分に知的で、有用なものとなり得る、ということを確認することを1つのねらいとしている。

2番目のねらいは合成問題へのZ E U Sの応用である。エキスパート・システムが解決すべき問題は一般に分析型 (Analysis) と合成型 (Synthesis) に分類できる。分析型の問題は対象 (システム) における情報の流れや因果関係を詳細に調べ (分析し)、問題点、原因、解決策などを抽出するタイプの問題である。これに対し合成型とは設計やプログラムの作成など、新たな物やシステムを作り出す問題である。

合成型の問題は、分析型に比較して通常はるかに困難で、これまでに開発されたエキスパート・システムの多くは分析型の問題を扱っている。Z E U Sもタイプとしては典型的な分析型向けのエキスパート・システム構築用ツールであるが、この事例研究ではJ C L

(ジョブ制御言語)の生成という合成型の問題を、複数レベルの分析型問題に分割し、それらの結果をアルゴリズム的知識でまとめ上げることにより解決している。

(2) システムの機能

一般に、コンピュータ・システムにはファイルの複写・転送をはじめとして多くの定形的な処理を行うためのユーティリティ・プログラム群がある。しかし、通常それらは非常に多くの種類・機能を持っており、一般のユーザが適切にそれらを使いこなすことは必ずしも容易ではない。そこで、本システムではファイルの複写に問題を限定した上で

(i) 用途にあったユーティリティプログラムの選択

(ii) 選択されたユーティリティプログラムの使用方法の提示

を行うものである。

① ユーティリティプログラムの選択

この問題は典型的な分析型(診断型)の問題と言える。すなわち、解の候補としてのユーティリティプログラムをあらかじめ定義しておき(ここではIBMの汎用大型機上に用意されているファイル複写ユーティリティプログラムIEBCOPY, IEBGENER, IEBPTPCHの3種類)、一連のユーザとの対話によってデータセットのタイプと数、入出力デバイスなどを判断し最適なユーティリティプログラムを選択するものである。

② 選択されたユーティリティプログラムの使用方法の提示

①で選択されたユーティリティプログラムの具体的な実行方法をJCL(ジョブ制御言語)としてユーザに提示するものである。

ここで扱うJCL生成の問題には次のような特徴がある。

(i) JCL生成は、コンピュータにある仕事をさせるために多くの制御ステートメント、DD文、EXEC文の組合せを作成するという意味で、合成型問題といえる。

(ii) 制御ステートメントは処理の手続きを表す手続き的なもので、その順序に意味がある。

しかし、ZEUSは典型的な分析型のシステムであり、また、その帰結ルール

(後ろ向き推論用のルール)は適用の順番にほとんど依存せず、宣言的知識の色彩が強い。従って状態を分析して、ある属性の値について推論するのは得意であるが、組合せや手続きを作り出すには必ずしも向いていない。

一般に合成型の問題は解を1つの属性の値として表現することができず、またその解も多数あるいは無限にある。そのため分析型よりはるかに難しい問題とされており、Z EUSに限らず他のエキスパートシステム、一般のコンピュータ・プログラムでもあまり取扱っていない。

とはいえ、JCLの生成は一般的な設計ほど複雑な問題ではなく、そのフォーマットはかなり限定されている。このように限定された合成問題の場合は、複数の階層からなる分析型の副問題に分割、整理することが可能である。そこで本知識ベースでは、後ろ向き推論の連鎖が作り出すツリー状の推論構造によって問題を多階層の副問題に分割し、末端における各副問題がすべて解決された後に、アルゴリズム的知識でそれらをまとめてJCLを生成する、というアプローチをとっている。

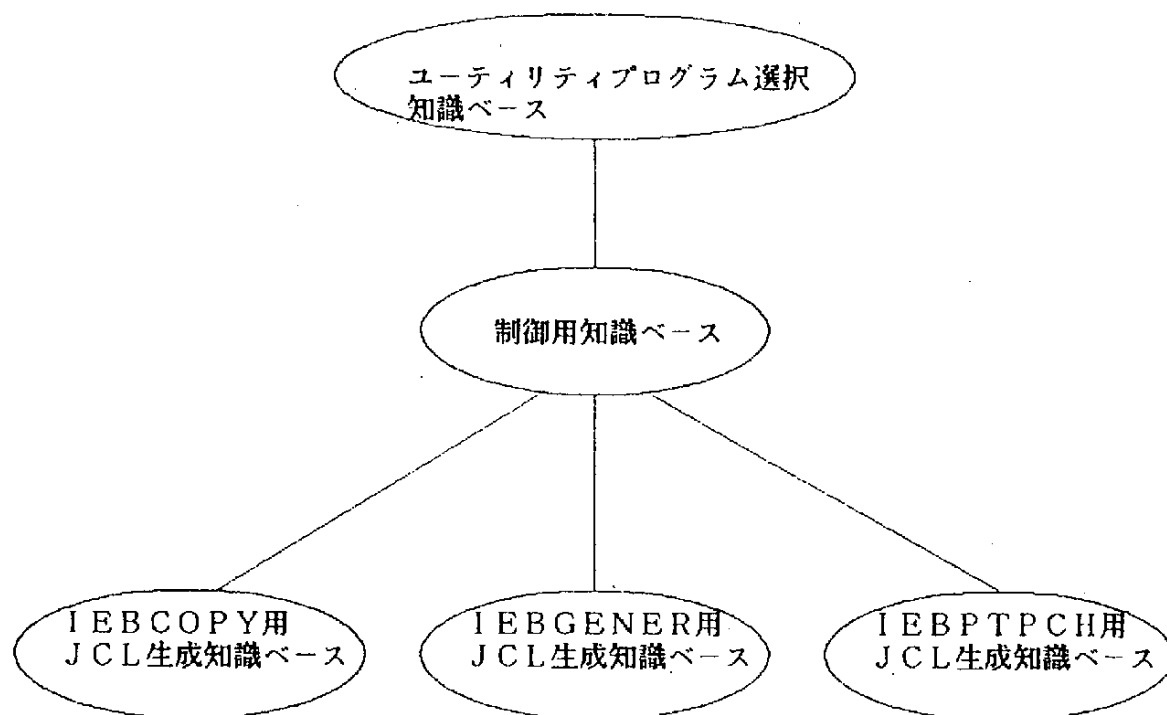
また文脈クラス樹（文脈インスタンス樹）は合成されるJCLを表現するためのモデルとして使用されている。

なお、①と②の処理はそれぞれ独立な知識ベースの中で行われるもので、実際にはそれらの知識ベースを制御するための知識ベース（制御用知識ベースと呼ぶ）が用いられている。

6. 3. 2 システムの構成と実現環境

(1) システムの構成

知識ベースの構成を以下に示す。



(2) システムの実現環境

ハードウェア	SUN-2
ソフトウェア	UNIX 4.2BSD
ツール	ZEUS

(3) システムの規模

① ユーティリティプログラム選択知識ベース

前向き推論用ルール	105個
後向き推論用ルール	0個
アルゴリズム知識	0個

② IEBCOPY用JCL生成知識ベース

前向き推論用ルール	17個
後向き推論用ルール	118個
アルゴリズム知識	8個

③ 制御用知識ベース

ルール	6個
-----	----

6. 3. 3 システム開発の手順

(1) 問題の設定

① 記号処理を中心とした問題 ○

② 専門家の経験的知識が利用可能 △

マニュアルとして既に知識が体系化されている

③ 十分なニーズがある ○

使い易いシステムとしてユーザインタフェースの向上必要

④ 明確な価値を生ずる ○

プログラム相談などの手間が省力化でき、ユーティリティプログラムの使用法の教育にもなる。

⑤ 保守が容易 ○

(2) 既存技術の評価

従来型手法では生産性悪く、保守性、拡張性にも難がある。

(3) 知識源の同定

マニュアル

(4) 専門家モデルの同定

無し

(5) ユーザモデルの同定

コンピュータシステムについて一通りの知識を持った技術者を想定

(6) 知識表現の選択

プロダクションルールによるユーティリティプログラム選択規則の表現、文脈樹による解の合成

⑦ 知識の移植

⑧ 知識ベースの管理

知識ベースの矛盾や冗長性などをツールであるZ E U Sがある程度まで指摘

⑨ 性能の評価

ユーザインタフェースへの工夫や扱える問題の範囲（すなわちユーティリティプログラムの種類）の拡張が必要

6. 3. 4 タスクと問題解決機能のまとめ

(1) ユーティリティプログラム選択知識ベース

	診 断 問 題	関連度／実現度	コ メ ン ト
定 義	診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである。		厳密な診断問題とは言えないが、診断問題を選択型問題と考えると、この範囲に入れることができる。
特 徴	1. 設計レベルの知識の利用 2. 経験的知識の利用 3. 経験的知識の不確実性 4. 操業データの利用 5. 計測のための時間とコスト 6. 知識の抽象化の必要性 7. 対話的診断の推論制御	×／× △／× ×／× ×／× ×／× ×／× ○／○	マニュアル化された知識を用いる
基 本 タ ス ク	1. 異常現象の分類階層的表現 2. システム構造の階層的表現 3. 解釈問題のタスクを内包 システム状態の推定 あいまいさの処理 4. 計測点の選択的決定 5. 異常原因の同定 6. 浅いモデルによる効率性 7. 深いモデルによる完全性	×／× ○／○ ×／× ×／× ×／× ○／○ ○／○ ×／×	目的のユーティリティプログラムを異常原因と考えることができる。 ユーティリティプログラム選択の知識を加ダクショナルとして表現
問 題 解 決 機 能	1. 事象駆動型推論 2. 目標駆動型推論 3. 不確実性推論 4. 仮説推論 5. 協調型推論 6. 効率性と完全性の調和 7. 費用／効果分析	○／○ ○／× ×／× ×／× ×／× ○／△ ○／×	目標駆動型推論でも実現できるが、用いていない。 効率はあまり意識していない プロトタイプでもあり費用／効果分析はしていない。

(2) I EBCOPY用JCL生成知識ベース

	設 計 問 題	関連度／実現度	事例との関連
特 徴	1. システム構造の解空間が大 2. 解析による合成が基本的 3. 構成要素の最適化の必要性 4. 検証の完全性および効率性 5. 対話形式での設計支援問題 6. 設計段階に応じた支援形態	△／△ ○／○ △／△ ○／△ ○／○ ○／×	プロトタイプでもあり、最適化は意識していない 解の完全性は必須であるが、効率性については3と同様意識していない。
基 本 タ ス ク	1. 構成要素とその関連の表現 2. 設計問題の階層的表現 3. 代替案の自動生成 4. 部分システムの評価 5. 上位レベルへの知的後戻り 6. 設計事例の検索と利用 7. 並列的問題解決	○／○ ○／○ △／× ○／○ △／× △／× ×／×	文脈樹として表現 文脈樹中の各文脈ごとに解を生成
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 最適化機能 4. 検証機能 5. 仮説推論による知的探索 6. 類推による設計事例の利用 7. 協調型推論	○／○ ×／× △／× ×／× ×／× ×／×	文脈インスタンス樹の生成という形をとる。

(6. 3節担当 小林)

参考文献

- 〔三菱総研 85〕 三菱総合研究所、人工知能革命フェーズ2事例研究報告書、
1985
- 〔日本アイ・ビー・エム〕 日本アイ・ビー・エム株式会社、OS/V S 2 M V Sユー
ティリティ、リリース3.7

6. 4 アパレル向け商品企画エキスパート・システム

開発：（株）帝人システムテクノロジー

6.4.1 システムの目的と機能

6.4.1.1 目的

アパレル産業においては、消費者の個性化多様化が進み、それに伴い商品のライフサイクルも短くなっている。そこで、いかに顧客のニーズを素早く的確にキャッチし、商品づくりに反映させるかという「企画」の問題が重要になりつつあり、その優劣の差が企業間格差につながっている。しかしながら、重要な企画業務は従来から特定の個人（マーチャンダイザーやデザイナー）に委ねられ、企業全体のシステムとして位置づけられていない。そのため、優秀な担当者がやめると、そのブランドが急速に落ち込む現象がみられる。それは企画に関するノウハウを蓄積し、誰でもが活用できるシステムが企業レベルで構築されていないためである。

また、企画担当者の側からすると、商品の短サイクル化により次から次へと新製品を生み出さなければならず、収集すべき情報も、素材、トレンド、ライフスタイルなど膨大なものになり、個人でこなすには限界がある。アパレルの企画業務における知識の特徴としては、(1)経験的・感性的なものが多い、(2)ALL or NOTHINGでなく、あいまい性を含む、(3)シーズン等の切り替わりによりデータの変更が発生する、が挙げられる。従って、このような問題に対するアプローチとして、エキスパート・システムの適用が求められた。

6.4.1.2 機能

本エキスパート・システムは次の3つの機能をもつ。

(1) 顧客層（ターゲット）選定

顧客をいくつかの要因によって、6つにセグメント化（細分化）——年齢、職業、居住地域、流行に対する感度、ライフスタイル、購買意識——し、この要因について顧客層の分類を行ない、対象とする顧客層のデータを基にどのセグメントに該当するかを推定し、感性マップと結び付ける。さらにユーザに対しては、文字情報・画像情報を提供し、具体的なイメージから遊離しないようにする。

(2) 商品コンセプト決定

顧客層の選定によって得られた顧客の感性を基にして、現状の市場情報や国内外のトレンド情報を追加情報とし、企画すべき商品のコンセプトを決定する。

(3) 売り筋決定

(2) で得られたいくつかの商品コンセプトの中から、ユーザが最も適するものを指定し、そのコンセプトをベースとして具体的な単品の3アイテム（服種）--ブラウス、スカート、ドレス--に展開する。さらに、価格帯の入力を基に企画すべきアイテムの詳細情報を複数提示する。

本システムの全体のフローを図6.4-1に示す。

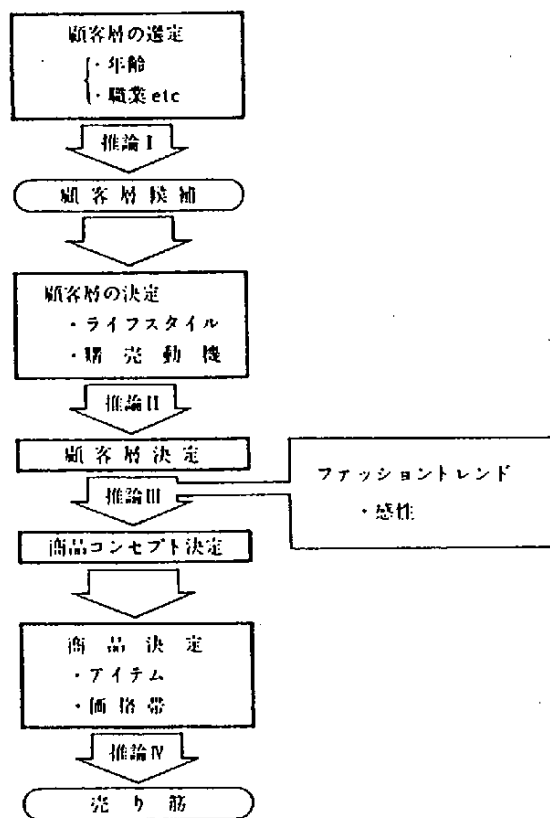


図6.4-1：システムの全体フロー（出典：参考文献 1）

6.4.2 システムの構成と実現環境

本システムの構成を図6.4-2 に示す。

商品コンセプトとアイテムの感性マップに対して、推論Ⅲと同じ手法を用い、さらに価格帯を考慮することによって売り筋を決定する。

6.4.2.1 知識ベース

知識ベースはフレームとルールから構成される。端末との通信部分と評価関数はLisp関数を使用。

A. フレーム構造

専門家が種々の判断や分析に用いる背景的知識をフレーム型として、(1)顧客のセグメント、(2)ファッショントレンド、(3)商品コンセプト、(4)アイテム（ブラウス、スカート、ワンピース）、の4個のクラスに記述する。顧客のセグメントのクラスおよびインスタンスの例を図6.4-3に示す。感性のスロットは専門家のもつ感性的な知識を表したもので、図6.4-4に示す8つの感性軸をもつレーダーチャート（感性マップ）によって記述されている。

また、画像情報、文字情報については、フレームのスロット値に、情報が格納されている外部ファイルへのポインタを与えることにより表現している。

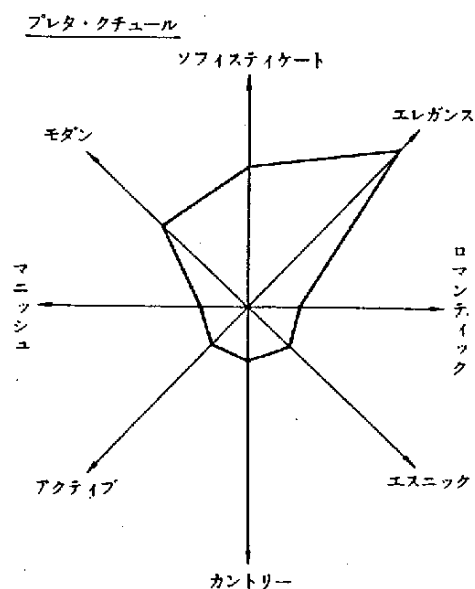
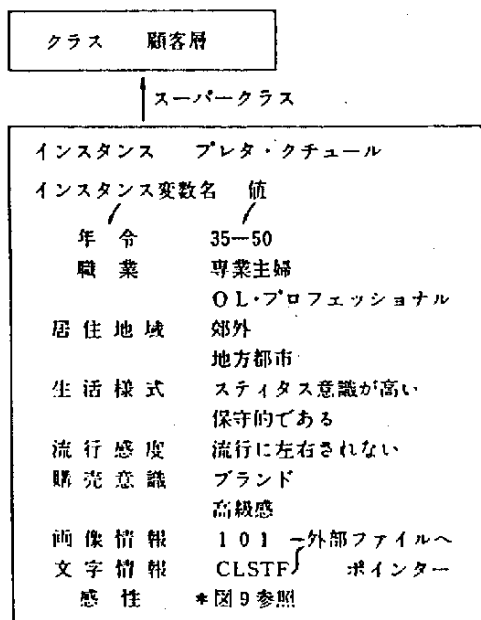


図6.4-3：フレーム構造(出典：参考文献1)) 図6.4-4：感性マップ(出典：参考文献1))

B. ルール構造

顧客の情報などを動的情報として背景的知識から結論を導く思考プロセスをルールとして記述し、図6.4-1の各推論単位にモジュール化を行ない、計7個のルールユニットによって表現する。さらに、どのルールユニットを用いるかは、メタ・ルールにより制御を行ない、ユーザへの質問も推論プロセスに必要なものだけで、不必要な質問を行なわないようにしている。

6.4.2.2 推論機構

前向き推論および後向き推論を組み合わせることで、効率的な推論を行なうとともに、専門家の用いる評価手法を取り入れた評価関数（LISP関数）を組み込むことで定性的な推論を可能にしている。

6.4.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：ACOS430、PC-9801VM4
- (2) 言語：LISP
- (3) 開発ツール：EXCORE
- (4) 開発上の利点・問題点

汎用ツールであるEXCOREを用いたことで、ルール、フレーム等のパラダイムが容易に利用でき、さらに、メタルール活用によりルールのモジュール化も図れ、簡単な評価システムの作成も容易に行なえ、開発期間の短縮化ができた。しかし、専門家の判断をモデル化し実現するためには、LISPベースで考える必要があり、十分なモデルを構築するのはむづかしいと考えられる。

アパレルの商品企画には重要な画像やグラフィックなどのビジュアルな機能、及びマウスなどのユーザインタフェースは、EXCOREがホスト系ツールであったため、提供されていなかった。従って、ホストとPCとの間で、簡単なコマンドの通信によりPC側の機能をホストから利用できるようにして、ユーザインタフェースを実現している。PC側の柔軟機能をフルに利用できる反面、かなりアプリケーションに特化しているため、かえってこの部分がシステムの拡張性を制限するような問題があると考えられる。ある程度の機能については、ツールの機能として必要であろう。

6.4.3 システム開発の手順

6.4.3.1 問題の設定

近年、アパレル産業では「企画」の問題が重要視されてきており、また、専門家（マーチャンダイザー）の扱う情報量も個人で扱える範囲を越えてきている状態である。アパレル企業は企業レベルの「企画」システムを必要としている。しかしながら、アパレル企業における「企画」は、

- ・画一的な問題解決プロセスが存在しない
- ・必要とされるものは経済的、あるいは感性的で、あいまいなものが多い
- ・個々の専門家に依存している

のような特徴を持っており、コンピュータによる支援は困難と考えられていた。一方、知識工学の研究の成果として、実用可能な種々のエキスパート・システムが開発され、以上のようなアパレルの「企画」の問題に対処する手法として有効であろうと考えられた。従て、問題設定にあたっては、知識システムの問題として対象を選んだというよりも、アパレルの商品企画支援システムの構築のために知識システムの適用を考えたと言えるであろう。ただし、アパレルの「企画」の問題は非常に多くの要素がからむため（図6.4-5）、具体的な問題としては情報や知識が得られる部分を切り出した（図6.4-5 のドットィング部分）。

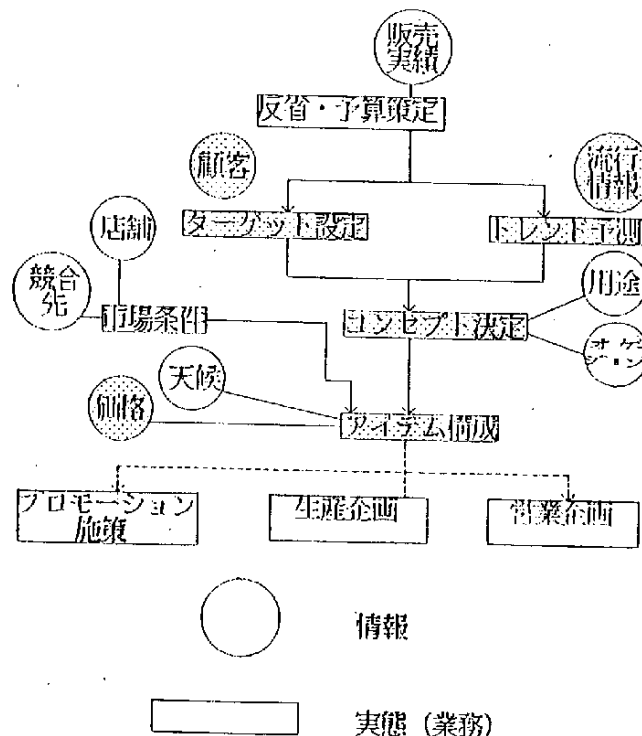


図6.4-5

6.4.3.2 既存技術の評価

アパレル企業においては、生産工程でのグレーディングやマーキングという部分については、NC 技術、CADなどの手法が適用され既にコンピュータの利用も進んでいるが、「企画」という問題に対してはその特徴から既存のシステム技術の適用は困難と考えられ、システム化されていない。

例えば、データベースによって過去の種々の情報を蓄えて検索システムによる支援を考えても、「企画」を行なう場合には何を検索するか、さらに、検索で得られた情報にどういう意味付けを行なうか、ということ自体が専門家の経験や感性に依存しているものであり、知識システムの導入が必要と考えられた。しかしながら、「企画」の問題全体（図6.4-5）から言えば、販売実績の把握のために POSや、デザインシミュレーションやカラーシミュレーションのためにCADやCGなどのシステムとの統合が必要となるであろう。

6.4.3.3 知識源の同定

アパレルの企画においては、再三述べているように画一的な問題解決プロセスが存在しない。また、利用される資料も写真もデザイン画など視覚的な情報が多く、その資料もどいうプロセスで得られたかは専門家に任されていて、文書として記録されることは少ない。従って、知識源としては、主に、専門家に依存していると言える。必要とされる知識は、顧客層、ファッション情報、商品コンセプトそして商品についての事実的な知識とそれらの知識を用いて商品企画を進めていくノウハウ的な知識である。内容は、事実的な知識としては、

(1) 顧客層

商品企画を行なう場合、市場をいくつかのクラスターに分割し、対象とする顧客が実際にその中でどのクラスターに属するかを明確にし、その上でクラスターの持つ特性に適した商品を企画していく必要がある。その際、対象とする顧客の特性とクラスターとを結び付けるためにはクラスターについての知識が必要である。それは、各クラスターを特徴づける知識であり、年齢、職業、居住地域、流行感度、ライフスタイル、購買意識、感性、解説（文学、イメージ）といった内容で構成されている（表6.4-1）。

表6.4-1

名称	年齢	職業	居住地域	ライフスタイル	流行感度	購買意識	感性							
							ファッション	エレガ	ロマンチック	エニツク	カンパリー	アクティブ	ミステリアス	セクシ
プレタ・クチュール	35～50	専業主婦 OL・ジョブホールド	郊外 地方都市	ステイタスが高い スポーティタイプが好き	ほどよく取り入れる	ブランド 高感度	4	4	1	1	1	2	2	3
スポーティ・エレガンス	36～40	専業主婦 専業主婦	郊外 全国的に分散	行動的である スポーティタイプが好き	ほどよく取り入れる	品質 ブランド	3	4	3	1	2	3	2	2
エンテンボラリー・エレガンス	25～36	専業主婦 OL・キャリア	大都市 地方都市	都会的である シンプルでモダンな感覚が好き	積極的に取り入れる	ブランド ファッション性	5	3	1	1	1	1	3	4
センシティブ・キャリア	24～28	OL・ジョブホールド OL・キャリア	大都市 地方都市	オーセンティックな感覚が好き 洗練されている	ほどよく取り入れる	品質 高級感	4	2	1	1	1	2	2	4
キャリア・トラディショナル	22～25	OL・キャリア 大学生	大都市 地方都市	オーセンティックな感覚が好き 知的である	あまり左右されない	品質 ブランド	3	2	1	1	1	3	2	3
キャリア・エレガンス	22～25	OL・キャリア OL・一般職	大都市 地方都市	社交的である 優雅な着こなしが好き	ほどよく取り入れる	品質 ファッション性	4	2	1	2	1	2	2	3
キャリア・カジュアル	18～24	OL・キャリア 専門学校生	大都市 地方都市 郊外	行動的である シンプルでモダンな感覚が好き	積極的に取り入れる	ファッション性 キャラクター性 機能性	2	2	1	2	2	4	4	2
エンテンボラリー・カジュアル	18～20	専門学校生 OL・キャリア	大都市 地方都市 郊外	冒險的なファッションが好き 個性的である	積極的に取り入れる	ファッション性 キャラクター性	1	1	3	2	4	4	3	2
クリエイティブ・キャリア	18～24	専門学校生 OL・キャリア	大都市 郊外	冒險的なファッションが好き 感性が高い	積極的に取り入れる	ブランド ファッション性	3	2	1	1	1	3	3	4
キャリア・リセ	15～20	OL・フレッシュ 大学生	大都市 地方都市 郊外	ヨーロッパアンベージュが好き 今日の良麗派	ほどよく取り入れる	価格 ファッション性	2	2	2	1	2	2	1	1
ヤング・エレガンス	17～22	大学生 OL・フレッシュ	地方都市 郊外	ステイタス意識が高い 保守的である	あまり左右されない	品質 ブランド	3	2	1	1	1	2	3	3
ポップ・カジュアル	13～18	中学生・高校生 大学生	大都市 地方都市 郊外	個性的である 時代の風潮に敏感	積極的に取り入れる	ファッション性 キャラクター性	1	1	2	1	2	3	1	3
ラブリー・カジュアル	13～18	中学生・高校生 大学生	大都市 地方都市 郊外	かわいらしさが好き 少女的である	ほどよく取り入れる	ブランド ファッション性	2	3	2	1	1	2	1	1
ヘルシー・カジュアル	12～15	中学生・高校生	全国的に分散	楽天的である スポーティタイプが好き	ほどよく取り入れる	価格 機能性	1	2	1	1	2	2	2	2

(2) ファッション情報

当然、商品企画を行なう場合、国内外のファッションの流行情報を参考にする必要がある。しかも、これらの情報はあいまいで感性的であり、漠然とした内容で例えば、「女らしい」とか「プリントがはやる」といったものが多い。

(3) 商品コンセプト

具体的に商品を企画する前に、そのベースとなるもので、素材、デザイン、カラー、などについての抽象的な情報（表6.4-2）と視覚的な情報である。

表6.4-2

	オキシゲン Oxygen	リカジュアル Recasual
テーマ	霧りガラスを通して見るような清潔さ・冷たさ。さりげない中に凝った表情、微妙なニュアンス。	従来の働き着にロマンティックな雰囲気プラス。明るくシックなカントリー・四カジュアル룩。
マテリアル	ハイテック素材、ナイロンリテン、ナツテ、トワル、オックスフォード、ボブリンなど。	綿果織り、ナツテ、ビケ、ボブリン、細かいチェックやストライプ、小柄、ストレッチ素材。
スタイリング	ナースのユニフォームや美容師のオーバーオールイメージ。ややスリムなシルエット。	パフスリーブでショート丈のブラウスやエプロンドレス。ダブリエット、J.R.
カラー	白にほんのりと色をつけたクールな感じ。プラスティック・パステル。	ブルー、ブラウン、白を基調としたシックなカラーリング。オフホワイトとの組み合わせ。
	カルト Cult	ムーブメント Movement
テーマ	50年代のピンナップガールのようにハッピーでヘルシーなイメージ。洗練された甘さ、愛らしさ。	水泳、サイクリングなどスポーツからのイメージ。歯切れのよいリズム感がポイント。
マテリアル	ギンガム、シアリッカー、ふくれ織り、ナイロン地、テリークロス、トワル等。	テント地、テリークロス、ナツテ、ストレッチ素材、バスケット、シアリッカー、トワルなど。
スタイリング	フィット&フレアーのシルエット。ブルーマーズ、ボートネック。工夫したバックスタイル。	スポーティーなベダルブッシュやジヤケット、カフタン、ラップなどのシエイブレスシルエット。
カラー	本質的にはシャープだが、柔らかに輝くスイートなカラーリング。	ジオメトリック感覚が生きる、強烈ではっきりしたカラーリング。

(4) 商品

商品コンセプトをもとに価格・服種や素材、デザイン、カラーなどより具体的な商品の情報と視覚的な情報である（図6.4-6）。

であり、ノウハウ的知識としては、

- ・対象とする顧客の情報とクラスターの情報からターゲットとなるクラスターを選定する。
- ・ターゲットとファッション情報から商品コンセプトを提案する。
- ・商品コンセプトをベースに、服種図書館価格から商品を提案する。

である。

ブレタ・クチュール

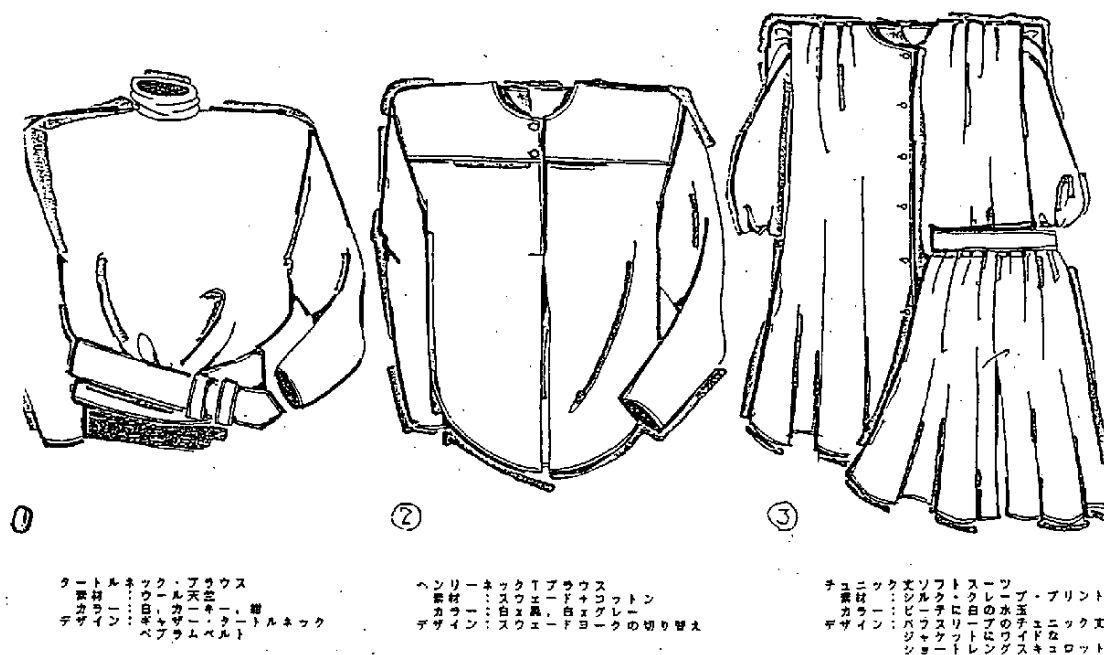


図6.4-6

6.4.3.4 専門家モデルの同定

前節で述べたように、本システムで利用する知識源は人間の専門家であり、専門家が持っている知識は大きく事実的知識とノウハウ的知識に分けられる。事実的知識について素材、カラー、デザインについての基本的なものは資料から得られるが、顧客や商品についての知識は経験によるもので専門家でないとわからない部分が多いと言える。さらに、ノ

ウハウ的な知識は「企画」を進めていく上での問題解決に利用されるもので専門家に大いに依存するものである。

アパレルの企画における専門家の問題解決戦略は次のように考えられる。専門家は長年の経験から自己の感性によって企画に必要な情報を評価する尺度（感性空間と呼ぶことにする）を有しており、外部の事象（対象となる顧客、ファッション・トレンド）をすべて感性空間に射影し、その中で一種のパターンマッチングを行ない、そこで得られたイメージを逆に商品コンセプトあるいは商品に変換している。すなわち専門家は感性という評価尺度によってすべての知識を有機的に結び付け、推論を行なっていると考えられる（図6.4-7）。

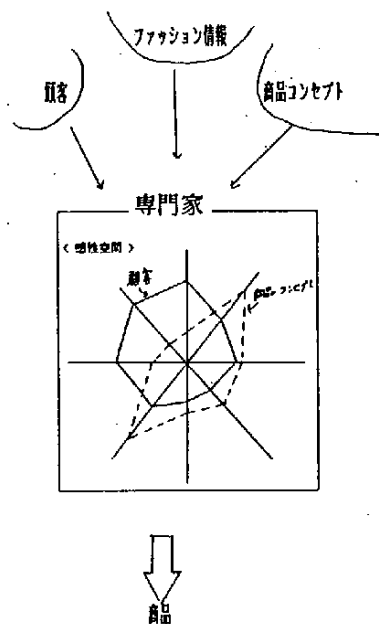


図6.4-7

6.4.3.5 ユーザモデルの同定

ユーザはある程度「企画」のプロセスを理解しているが、ひとりでは企画をこなしきれない半専門家を対象としている。つまり、ユーザは事実的な知識はある程度持っているが、自己の感性空間が未完成であるため、それらの知識を効果的に結び付けて運用ができないということが言える。従って、専門家がユーザの持っている知識を聞き出しながら、専門家の感性空間を利用することにより推論を行ない、企画を進めていく形、つまりシステム主導の形が有効であると考えられる。

また、ユーザにとっては一方的に企画が進むのではなく、図6.4-5 に沿って各ステップで、アパレルの業務であることを考慮して視覚的な情報を提示することにより実際の業務との関連性を失わないようなユーザインタフェースが必要である。ユーザによる保守・拡張という点については、現在プロトタイプの段階であり、構築ツールの機能のみに依存しており、季節ごとの知識の入れ替えなどは今後の課題である。

6.4.3.6 知識表現の選択

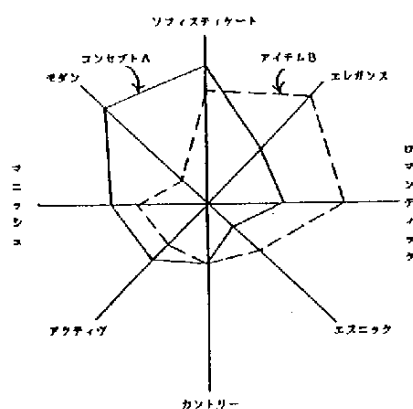
専門家の持つ事実的な知識（顧客、ファッション・トレンド、商品コンセプト、商品）は、フレームにより表現し、ノウハウ的な知識、つまり事実的な知識を利用して対象となる顧客に適した商品を企画するプロセスをルールとして表現している。さらに、問題解決の流れを考慮し、図6.4-5 に従ってルールを幾つかのユニットに分割しメタルールにより制御している。

そして、6.4.3.4で述べた専門家の感性空間については文字情報などで表現できないので、より直感的に捉えられる感性マップ（図6.4-4）を用いている。感性マップは8個の感性指標をもったレーダーチャートとして表現されている。それぞれの指標は対象を5段階評価によって得られる。

推論は基本的にはユーザーの入力する内容とフレームによって表現されている知識をルールによって照合しながら前向きに進めていく。ただし、ターゲット選定では、前向き推論によって中間仮説として幾つかの候補クラスターを選定し、その後、それらのクラスターに焦点を絞り、後向き推論により最適なクラスターを決定している。また、それ以降のステップでは、感性マップによる類似度判定を行なうことにより、次元の異なる事象から最適な商品を推論していく。

類似度判定とは、本システムが扱う次元の異なる概念（商品コンセプトと商品）が、それぞれ持っている感性を感性マップという形に表現し、その形状と面積の類似性に注目して類似度を判定するものであり（図6.4-8）、専門家の感性空間でのパターンマッチングをモデル化したものである。さらに、人間の感性は、非常に強調したい点と弱めたい点については特別な感じ方をするものであり、それをマップの各指標に対して図6.4-9 のルールを付加することにより実現している。

・マッチング（類似度判定方法）



S_c : コンセプトAのマッピングの面積

S_i : アイテムBのマッピングの面積

$$\frac{S_c \cap S_i}{S_c \cup S_i} \rightarrow \text{CF 値}$$

図6.4-8

・ルール

IF

コンセプトAの“感性” = 5

AND

アイテムBの“感性” = 1

OR

コンセプトAの“感性” = 1

AND

アイテムBの“感性” = 5

THEN

アイテムBの評価 = 0

図6.4-9

6.4.3.7 知識の移植

各知識（事実に知識、ノウハウ的知識）については専門家へインタビューを行ない、それを基にたたき台を作成し、それを再度専門家に評価してもらうことにより、知識ベースを整理していった。6.4.3.6で述べた知識表現のうちフレーム、ルール、メタルールについては汎用ツールの機能を利用した。そのためプロトタイプの工作にあたっては、知識の改廃など容易であり、機能的にも充分であった。また、工数的にも、LISPをベースにして作るよりは大幅に短縮されたと考えられる。しかし、感性マップによる評価についてツール機能ではカバーしきれないのでLISP関数によらざるをえず、実際の問題を充分表現できているとは言いがたい。そういう意味で、専門家の問題解決のモデルを記述できる機能が望まれる。

ユーザインタフェースについては、ツールの機能としては提供されていないので、本システムではPC側で実現している。つまり、ホストとPCの間で簡単なコマンドの通信によりホスト側のコントロールで、PCのグラフィック機能や画像処理装置のコントロールを行っている。ホスト側はLISP、PC側は BASICにより実現しているが、アプリケーションに特化したものとなっているため汎用性に欠け、拡張性等を考えると標準的な機能（グラフィック）についてはツールの機能として必要であろう。

6.4.3.8 知識ベースの管理

6.4.3.1 で述べているように、本システムは企画の一部分を対象としているので企画という問題領域全体をすべてカバーすることはできない。また、「企画」自体は人間の五感すべてを用いて進めてゆくものであり、対象としている部分についても現実には人間と相互に補完的に働くもので、問題領域をカバーしているとは言えない。

次に、知識の整合性および矛盾についてであるが、本システムは感性といった曖昧で人間的な知識を扱っているので、整合性や矛盾といった定義が必ずしも常識的範囲では考えられないということもあり、意味論的な整合性については今後の大きな課題である。

本システムは「企画」に対するシステム化の1つのアプローチであり、知識ベースの管理については、現状ではツールの機能に依存している。従って、管理者としては、ツールの機能と「企画」の問題をある程度理解している人間が必要である。

6.4.3.9 性能の評価

6.4.3.8 同様、システムの評価もこの場合むづかしい問題である。評価方法としては、過去の事例、もしくは別の専門家に仮想的な企画のケーススタディが考えられる。結果的には、現状では本システムは知識ベースそのものの量が少ないせいもあり、専門学校の学生程度と同等もしくはそれ以上の企画力であるという評価であった。

また効果としては、本システムにより企画した商品がヒットするかどうかという評価は困難であり、実務ベースよりも教育的効果、有能な専門家の知識の共有、企画立案の際の裏付けという点である。

6.4.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	設計問題とは、システムの入出力の要求仕様が与えられたとき、これを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定することである			「企画」という問題は、予測という側面を持った設計問題であるが、この定義から言えば、本システムは対象とする顧客とファッション・トレンドを入力要求として、カラー・素材・デザインの組合わせである商品を出力するシステムと言える。
特 徴	1. システム構造の解空間が大 2. 解析による合成が基本的 3. 構成要素の最適化の必要性 4. 検証の完全性および効率性 5. 対話形式での設計支援問題 6. 設計段階に応じた支援形態 7. 対話型設計支援の要求	○ ○ ○		本システムは、 ・より人間的な感性という曖昧な知識の処理が中心。 ・予測という点で、検証の完全性という特徴は、必ずしも成立しない。

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 構成要素とその関連性の表現 2. 設計問題の階層的表現 3. 代替案の自動生成 4. 部分システムの評価 5. 上位レベルへの知的後戻り 6. 設計事例の検索と利用 7. 並列的問題解決	○ ○ ○ ○		専門家の感性空間の表現、つまり、 タスク1が、本システムの場合、大 きなタスクであり、3及び5のタス クについては、検証の困難さから、 関連がやすい。
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 最適化機能 4. 検証機能 5. 仮説推論による知的探索 6. 類推による設計事例の利用 7. 協調型推論	○ ○		基本的には抽象（商品コンセプト） から具体（商品）という、トップ・ ダウン精密化戦略であるが、感性空 間でのマッチングは、拘束最小化戦 略の性質を内包している。

6.4.5 参考文献

- 1) 里見俊弘 「アパレル向け商品企画エキスパートシステム」 C&C SYSTEM REVIEW,
No. 5, P. 30-35., 1987
- 2) 甲斐良隆 「アパレル・マーチャンダイジングへのAIの適用」 第3回産業システムシ
ンポジウム資料, P. 17-20.

6. 5 形状測定自動化エキスパート・システム (TEXシステム)

開発：日本光学工業+日本データゼネラル

6.5.1 システムの目的と機能

6.5.1.1 目的

金型や機械部品の形状が複雑化し、その加工に対する要求精度もきわめて高いものとなってきたために、形状測定の工程の自動化を避けて通るわけにはいかなくなっている。そのような背景において、計測装置のなかで、その柔軟性が最も高いといわれている3次元測定機が注目を集めている。とくに、操作性の向上を目的として3次元測定機がCNC化されたことが、測定の自動化に大きなインパクトをもたらすようになった。

人手で行なってきた測定作業をコンピュータに置き換えたCNC3次元測定機は、その測定能率を大幅に向上させることができ、一般の測定作業に広範囲に利用されるだけでなく、自動測定ステーションとして無人工場の中に進出する可能性をも持つに至っている。

一般にCNC3次元測定機における計測作業は、あらかじめ測定物を3次元測定機の測定台上に置き、作業者が図面を見ながら、実機上で、測定箇所や測定のためのプローブパスをCNCコントローラに教示し、実際の測定動作はその教示内容通り自動で行なうという、ティーチングプレイバック方式をとることが多い。

図6.5-1のシステムは3次元測定機とは別個のコンピュータで測定作業の設定を行なう方式であり、結果が実機上の教示と同じ内容となっていることになるため、あきらかにティーチング作業を行なっていることになる。そこでこれを実機とは別個にという意味でオフラインティーチング方式と呼ぶ。

ティーチングプレイバック方式を行なう場合のティーチング作業の流れを図6.5-2に示す。この場合作業が複雑なため、(1)時間がかかる、(2)熟練者が必要、(3)測定点が不正確、(4)うっかりミスをしがちである、などの問題点がある。また実機を利用するために、長時間3次元測定機を占有することになってしまう。この時間は、測定作業を行なっているわけではなく、3次元測定機の稼働率を下げる大きな要因となる。

現実には、多品種少量生産の工場や試作職場などでは、ティーチング時間が全体の90%を越える場合が多く、測定の能率向上の重大なネックとなっている。3次元測定機とは独立に教示を行なうオフラインティーチング・システムは、3次元測定機本体がほかの測定を

行なっているときに、並行して次の測定作業のティーチングを行なうことができ、大幅な稼働率の向上を実現できる。

また、ティーチング作業そのものもディスプレイ上で行なうことができるため、大幅に簡単化され、(1)～(4)の問題点も解決できることになる。このような背景の基に本エキスパートシステムを開発した。

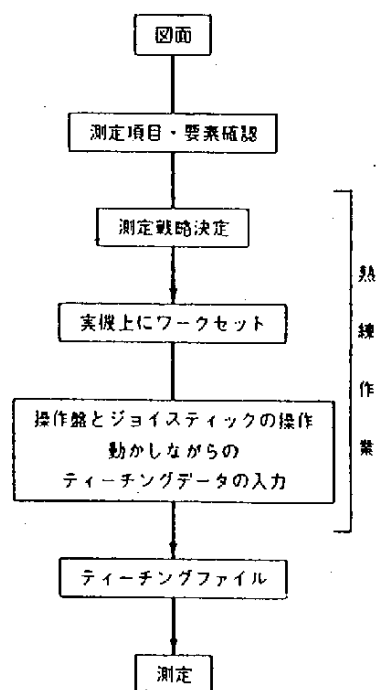
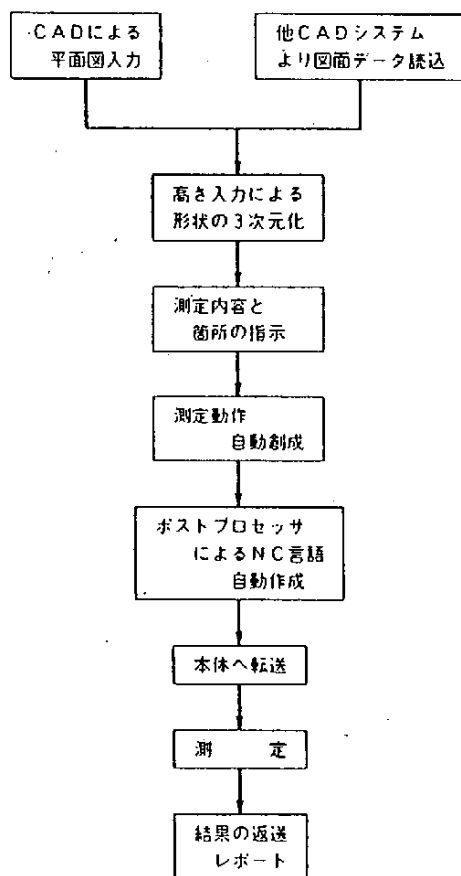


図6.5-1：3次元測定機のCATシステム 図6.5-2：従来の3次元測定機ティーチング作業
(出典：参考文献 1)) (出典：参考文献 1))

6.5.1.2 機能

このシステムは当社の CNC3次元測定機（トライステーションシリーズ）に接続され、CIMにおける測定ステーションとしての3次元測定機オフラインティーチング・システムである。このシステムの開発にあたって次の点をポイントとした。

- (a) プレイバック方式で測定をする CNC3次元測定機におけるオフラインティーチングを実現するため、本体に EWS(Engineering Work Station:エンジニアリングワークステ

ーション)と呼ばれるグラフィックディスプレイの画面上で、表示された測定物の画面を使って対話的に行なう。

- (b) CADから図面情報を受け取りCAMに結果をわたす機能を持っていること。これは CATの必須の条件である。
- (c) 測定の動作を生成するためには、測定物の3次元的な形状の認識が必要である。そこで3次元 CADの代表的手法であるソリッドモデルを使うことにするが、作業者に使いやすくするため3面図合成による自動的な3次元化を実現する。
- (d) 測定点や経過点の指定などのティーチング作業は非常に能率的になるが、精度良く測定するための測定方針の策定など、いわゆる測定戦略の決定についてはかなり専門的な知識が必要である点では、従来と変わらない。そこで、高度な自動化を実現し、素人にでも使えるようなシステムにするため、知識工学の手法を適用し、熟練者のノウハウを基にした3次元測定機のエキスパート・システムを構成する。

6.5.2 システムの構成と実現環境

本システムは図6.5-3 に示す通り、3次元測定機本体(CNCコントローラ:HP9000/310)に日本DG社のEWS(DS7500)を接続して構成される。オフラインティーチングはこのEWS上で実行され、測定作業は3次元測定機本体で行なわれる。

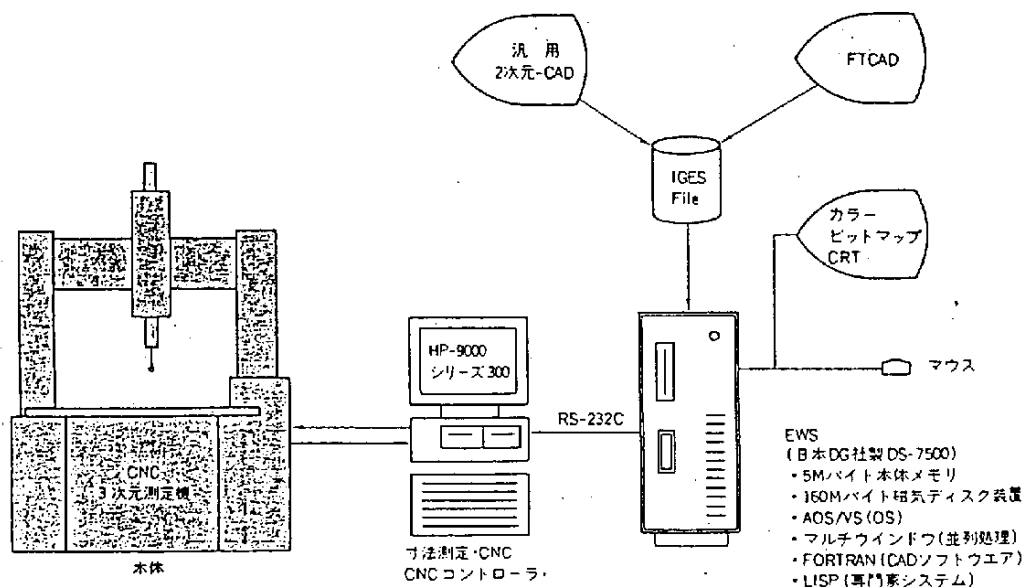


図6.5-3: 3次元測定機のオフラインティーチング・システム

(出典: 参考文献 1))

図6.5-4にその基本的処理のフローを示す。

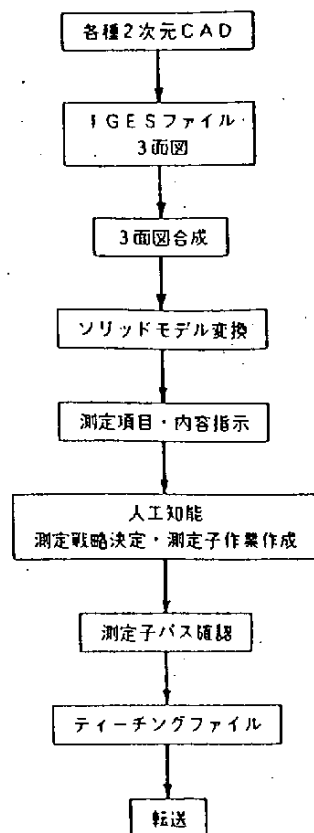


図6.5-4：人工知能によるオフラインティーチング作業（出典：参考文献 1））

まず、2次元 CADよりの3面図情報をIGESフォーマットのファイルより受け取って3面図合成ルーチンで、ワイヤフレームモデルを作る。このデータをソリッドモデル変換ルーチンで3次元形状データに変換し、ソリッドモデルファイルに格納する。

作業者が、測定内容指示ルーチンにより測定したい項目内容や公差、測定対象要素を指示すると、人工知能が形状データと指示内容に従い、測定戦略をたてて自動的に測定点を設定し、プローブの姿勢やアプローチの仕方を決定し、プローブパスを作成する。

人工知能部はフレーム表現とプロダクションルールを組み合わせたもので、設計向きといわれる前向き表現方式をとったAIツールを新しく開発することにより実現した。その後、できあがったプローブパスを、ディスプレイに表示して作業者の確認を受け、PM(Probe Motion)データとしてティーチングファイルに出力する。

測定はそのPMデータを本体に転送し実行する。

この新しいシステムの特徴は、自由曲面を除いた3次元の任意形状を対象とすること、

ソリッドモデルを使用しているが3面図の自動合成機能などのより使いやすいこと、人工知能を利用しているため自動化の程度が高く、熟練者と同等の測定が簡単に行なえる、などである。

6.5.2.1 知識ベース

知識表現はフレーム表現とプロダクションルールを組み合わせたものである。フレーム表現は扱う物を表す。クラス・フレームで抽象化した概念を表し、インスタント・フレームはクラス・フレームの具現を表す。各フレームはスロットという物の特徴を示す性質値を持つ。例えば、「人」というフレームは「身長」、「体重」、「性別」などというスロットという具合である。スロットは値の他に、手続きも埋め込むことができ、スロットに何らかのアクセスを試みた時、その手続きが起動される。これをデーモンと呼ぶ。

ルール表現はOPS5のルール表現をそのまま踏襲したもので、経験的知識「こうであれば、こうする」という物を表現する。実際、前述のフレーム内のデータパターンがルールの左辺部を満たせば、右辺部の行動形式によりフレーム内に変更を企てる。

6.5.2.2 推論機構

前向き推論を行なう。

- ・フレームの付加手続きによる推論
- ・ルールをグループ化し、推論に応じて発火できるルール・グループをコントロールしている。
- ・ファジー論理を導入し、推論結果に重み付けを行なっている。

6.5.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：EWS(DS7500)
- (2) 言語：COMMON LISP, FORTRAN 77
- (3) 開発ツール：知識表現としてフレーム、プロダクションルールを持つシェル。推論方向は前向きで、高速なマッチングが可能。名称は未定。
- (4) 開発上の利点・問題点

〔利点〕：(1) 測定に必要な対象の表現にフレームを用いたため、ルール数の大幅な圧縮が可能となり、推論時間、メモリーなどの面からも大変有利となった。(2) マ

ルチ・ウインドシステムの利用により、複数ファイルの同時EDIT、EDITと実行の同時走向が可能であり、開発の効率を向上した。

〔問題点〕：前向き推論のため、無限ループに陥りやすい。

6.5.3 システム開発の手順

6.5.3.1 問題の設定

三次元測定機（CMM）は高精度、高能率、かつ多様な被検物にフレキシブルに対応できるという大きな利点があるが、今まで意外に生かされてこなかった。というのは不慣れな人にとって、CMM を使いこなすのはかなり難しい作業だからである。

実際の測定作業を分析してみると、以下のような特徴が判明した。

- (1) 作業がアルゴリズムで決定されるような性格のものではなく、熟練した作業者の経験的知識、生産工学的知識などにより決定されている場合が多い。
- (2) 測定の性格上、生産工程の最後に位置することが一般的であり、設計、加工などのすべての結果が反映される。その結果、測定ノウハウの内にもそれらに関する生産工学用語が多く用いられている。即ち記号が処理の主体となる。
- (3) 深い穴、広い平面などのあいまいさを持った表現が多用される。
- (4) ノウハウは使うユーザによって全く異なる。穴測定一つをとってみても、大物を扱う重工メーカーと、小物の多いカメラメーカーでは全く異なったものとなる。

このようなことから、上記の問題を解決するためには従来の手続き指向のシステムより、CMM を使うためのノウハウを組み込んだエキスパート・システムにしようという発想が出てきた。注意すべき点として、測定の作業設計は設計、加工などに比べてかなり良構造な問題であるということである。一般に、設計など生産工程の上流ほど創造的作業の割合が高く、下流ほど作業的作業の割合が高くなる。さらに、CNC化されたCMMの出現により、測定作業自体が測定言語などにより記号化されるようになってきたことも有利である。

6.5.3.2 既存技術の評価

CMM の測定能率向上のため、当社はすでに形状処理にソリッドモデルを用いたオフラインテーチング・システムを開発していた。これはフォートランで書かれており、数万行にも及ぶ大規模なシステムである。TEX システムの開発にあたっては形状処理をどう扱う

かが大きな問題となった。それまでエキスパート・システムで形状処理を扱ったシステムはほとんど前例がなかった。はじめに、モデルの位相構造などもそのまま知識表現する方法も考えたが、次の点で現実的でないと分かった。

- (1) 膨大な形状データをエキスパート・システム内でもう一度作り直す必要がある。しかも同じデータを重複して持つことになる。
- (2) 形状データに関する演算（例えば、面積計算など）を多く必要とするが、これは記号処理系言語より数値処理系の言語の方があらゆる点で優れている。

そこで記号処理主体のエキスパート・システムと数値処理主体の形状処理システムを別プロセスとし、インタフェース（プロセス間通信）を介して連結する方法を開発した。この方法は記号処理、数値処理それぞれの利点を生かしているばかりではなく、それぞれのモジュラリティー保持の点からみても、エキスパート・システムで形状処理を扱う方法として、現状ではベストであると考えている。この方法により、既存の形状処理システムをそのまま使用することが可能となった。

知識システムの導入については設計型の問題であるので、前向き推論を主体に考えた。また、測定では表現すべき対象が多岐にわたっており、フレーム表現が不可欠であると考えた。これらの観点から市販のエキスパート・システム・シェルを検討したが、適当なものがなく、自主開発するに至った。

6.5.3.3 知識源の同定

- (1) 社内で三次元測定機を用いている測定作業者
→測定ノウハウ、測定機の使用方法、生産工学的知識
- (2) 三次元測定機のアペレーション・マニュアル
→測定機の使用方法
- (3) 三次元測定機的设计者／製作者
→測定機の使用方法

6.5.3.4 専門家モデルの同定

〔専門知識の範囲〕

- (1) 測定法に関する生産工学的知識
- (2) 加工法に関する生産工学的知識

- (3) 被検物の保持、セッティングに関する知識
- (4) 使用するプローブ、フィーラに関する知識
- (5) 測定のための座標系決定に関する知識
- (6) 当社CMM:トライステーション使用に関する知識
 - ・トライステーションで用いる測定要素に関する知識
 - ・測定方法に応じた測定要素／コード選択に関する知識
 - ・投影面設定、座標系変更など測定条件設定に関する知識
 - ・測定点サンプリングに関する知識
 - ・プローブ・オリエンテーション決定に関する知識
- (7) 測定結果に対する解釈／評価に関する知識

[問題解決戦略]

実際には、熟練作業者は単純な前向き推論だけでなく、必要に応じて後戻りも行なっているものと思われるが、前述したように作業的作業の割合が高く、設計などと比べその頻度は相当少ないと考えられる。こうした点を踏まえ、リーズナブルな推論時間で結果が得られるようにするため、本システムでは単純な前向き推論のみを想定している。

6.5.3.5 ユーザモデルの同定

図面に表記されたトレランスをユーザがグラフィック・ディスプレイ上で入力し終わると、エキスパート・システムは推論を開始し、その間、ユーザとは対話しない。

(1) ユーザの利用範囲

- ・上記トレランス指示
- ・推論結果のエディット機能

(2) ユーザのレベル

ベテラン、アマチュアどちらでも想定している。ベテランでも本システムの使用により測定効率は大きくアップすると考えている。

(3) ユーザへの説明

- ・指定したフレームの詳細を表示する機能
- ・フレーム間の階層関係を表示する機能
- ・指定したルール・グループ内のルールをすべて表示する機能
- ・コンフリクトセットの表示機能

・トレース機能

等、豊富に用意している。

(4) ユーザによるシステムの保守／拡張可能性

知識ベースエディタなどが無いので現状では難しい。

6.5.3.6 知識表現の選択

(1) 測定に関する対象表現：次のものは、フレームで表現した。

a)トレランス	直角度、平行度、真円度など	11クラス	}	計27クラス
b)形状要素	平面、円筒面など	7クラス		
c)測定要素	点、直線、平面など	7クラス		
d)測定環境	プローブ、投影面	2クラス		

(2) 測定ノウハウに関する表現

測定要素選択、測定点、サンプリングなどについてすべてプロダクション・ルールで表現した。計 300ルール。

6.5.3.7 知識の移植

(1) 支援ツール

マルチウィンドー（DGVIEW）およびコモンリスプのデバッグ機能程度で特別なものは特に使用していない。

(2) 言語、移植上の問題点

推論制御のために不要なルールを必要とすること。シンタックスが分かりにくいことなど。

6.5.3.8 知識ベースの管理

現在、社内でフィールドテスト中であり、知識の相反、ルール不足などの際には開発者がデータベースの更新を行なっている。

6.5.3.9 性能の評価

オペレータに簡単な指示を行なうことで熟練者と同程度の測定が可能であり、その能率は従来に比べて10～20倍に達する。

6.5.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	設計問題とは、システムに入出力の要求仕様が与えられたとき、これを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定することである			
特 徴	1. システム構造の解空間が大 2. 解析による合成が基本的 3. 構成要素の最適化必要性 4. 検証の完全性および効率性 5. 対話形式での設計支援問題 6. 設計段階に応じた支援形態	○ ○ ○ ○		・ 大規模組み合わせ問題である ・ アルゴリズムによる部分解の生成 ・ 配線経路は短い方が望ましい ・ システムの提案した方針の可否をオペレータが判断する ・ 設計の一つの段階を対象としている

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 構成要素とその関連の表現 2. 設計問題の階層的表現 3. 代替案の自動生成 4. 部分システムの評価 5. 上位レベルへの知的後戻り 6. 設計事例の検索と利用 7. 並列的問題解決	○ ○ ○		
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 最適化機能 4. 検証機能 5. 仮説推論による知的探索 6. 類推による設計事例の利用 7. 協調型推論	○ ○		

6.5.5 参考文献

- 1)河合正治 「CIM における形状測定の自動化」 応用機械工学、VOL. 1987年9月号,
P. 152-156

6. 6 レンズ設計エキスパート・システム

開発：キャノン（株）

6.6.1 システムの目的と機能

6.6.1.1 目的

レンズ設計の目的とは、与えられた要求仕様を満足しうるレンズシステムの形状を決定することである。実際の設計業務は、レンズシステムの骨組みの設計を中心とする初期設計段階、収差補正を行なうことにより性能向上を中心とする中期設計段階、および、原器合わせとゴースト・フレア等の生産設計を中心とする後期設計段階の3段階から構成される。

- (1) 初期設計段階：この段階では、要求仕様内の機能や形状寸法等の制約から、骨組構造のパラメータ値を決めることが目的であり、見落としのない設計事例の検索機能と、設計PLANや評価方法などの設計知識を使った設計業務の代行機能が求められる。
- (2) 中期設計段階：初期設計によって得られたレンズシステムに対して、要求仕様のうち、主として性能に関する制約条件に適合するような形状への設計変更を行なう詳細設計段階であり、各構成パラメータ値の決定にあたっては、収差原因、対策についてのコンサルティング機能が求められる。
- (3) 後期設計段階：生産設計の段階であり、各種の製作上の標準に適合するように、レンズシステムの軽微な設計変更をすることが目的である。設計PLANが明確で、実際の設計作業に多くの時間と繰り返しが必要とされ、かつ評価方法も単純であるような設計も多く、設計の代行機能がエキスパート・システムに求められる。

本エキスパート・システムは、専門家がCADを使って実施している初期設計段階の設計業務を代行もしくは支援することによってレンズ設計業務の省力化をめざすとともに、設計時間の短縮と設計自体の質の向上をはかることを目的としている。

6.6.1.2 機能

本エキスパート・システムはレンズ設計業務における専門家の問題解決プロセスを代替もしくは支援するものであり、設計の各段階でシステムに要求される機能は、以下のとおりである。

多くの場合、初期設計段階での設計PLANが、選ばれた過去の設計事例や要求仕様のパラメータの与え方で決定しうる比較的明示的なものであることは、すでに述べた通りである。これは、この段階の設計が、過去の設計経験から手続きの比較的良くわかっている、いわゆる類型設計が多いことによる。したがって、この類型設計の設計PLANを記述しようとするにより、専門家の代行をしようとするのが、本システムの機能である。例えば、図6.6-1の通りに、設計者がレンズシステムの仕様や骨組みのパラメータの値の変更を指示すると、システムは記述されている設計PLANや、CADの使用法、CADのエラー回復といった知識によって、新しいレンズシステムを自動的に生成する。

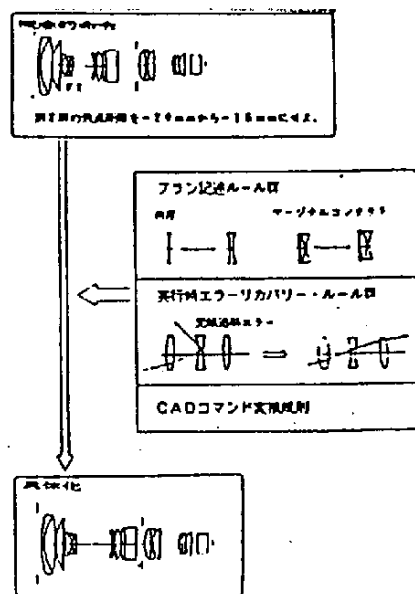


図6.6-1：エキスパートシステムの例（出典：参考文献 1）

6.6.2 システムの構成と実現環境

レンズ設計知識の中には、CADによるシミュレーションに基づく発見的な設計手法のための知識や、設計対象の評価方法についての知識も多く含まれている。従って、このような設計知識を利用していく上で、エキスパート・システムには、CADの機能も要求される。しかしながら、レンズ設計におけるCADの規模はFORTRANで30万ステップにもものぼる膨大なものであり、これを極力再利用するために、CADとの間に以下の知識を持ったインタフェースが必要とされる。

- (1) CADの様々な制約条件に関する知識。たとえば、コマンドやパラメータの順序の知識
- (2) CADとエキスパート・システム間のデータ表現の整合に関する知識
- (3) CADの実行エラーの回復の知識

この種の知識は、設計PLANの知識において意識される必要がなく、かつ実行においては必要に応じて暗黙的に使用されるべきである。このため、(1)、(2)はCADの使用法の知識として、(3)はエラー回復用の知識として、設計PLAN等とは別の知識ベースとなっている。このような機能を持った設計型エキスパート・システムの構成を図6.6-2に示す。

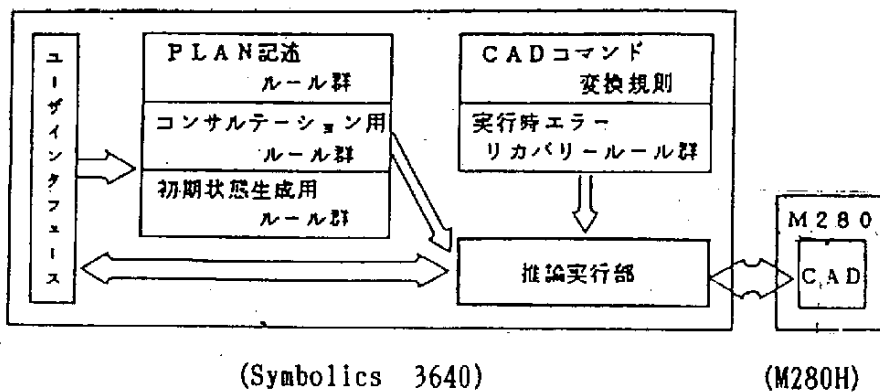


図6.6-2：設計型エキスパート・システムの構成（出典：参考文献 1）

6.6.2.1 知識ベース

設計PLAN等の設計知識の表現には、ルール表現を採用し、ルールと呼ばれるデータ構造とLisp関数で構成した。この理由は、ルール表現が、モジュール性・一様性に加え、専門家が自分の知識を説明する自然な方法と一致するという特徴をもっているからである。具体的な設計者・設計対象などによって実現方法に任意性をもつ設計知識群より構成される、機能単位ごとの設計知識の取扱いが実現されるべきである。このように専門家が設計対象を様々な概念レベルで思考するのと同様に、設計知識においても機能概念による階層性が存在する。したがって、これらの機能単位に知識をモジュール化し、この呼び出しができるようにすることで、設計知識の表現を容易にした。設計対象の表現には、フレームによるデータ表現を採用した。

- (1) 各概念レベルにおける設計対象の操作の知識。例えば、構成パラメータ・構成部品・骨組・レンズシステム等の、各レベルで削除・追加・変更等の操作の知識の記述が可

能となること。

- (2) より上位概念レベルのパラメータによる制約や継承の条件の知識。例えば、設計は、レンズシステムの仕様のパラメータから骨組パラメータ、構成パラメータへの詳細化のプロセスともみることができる。したがって、一般的に上位概念のパラメータ値は、より下位概念のパラメータ値の存在範囲を制約する。この関係の知識の記述が可能となること。

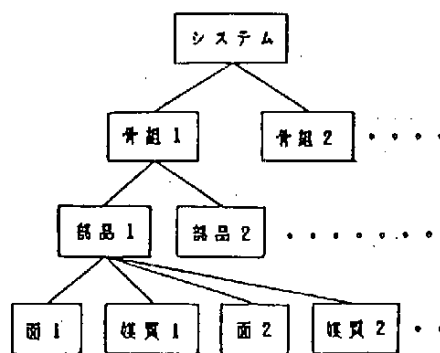


図6.6-3：設計対象の表現（出典：参考文献 1）

6.6.2.2 推論機構

前向き推論を行なう。

6.6.2.3 開発環境

(1) ハードウェア：Symbolics 3640 (Release 6)

(2) 言語：Zetalisp, FORTRAN(CAD)

(3) 開発ツール：独自ツールを開発

(4) 開発上の利点・問題点：

・独自開発ツールについて

ツールの独自開発の場合、ベンダーによるツールに比較して以下のような利点がある。

① レンズ設計の知識を表現する上で、必要な枠組みをもたせることで知識表現が容易になる。

② 無駄な機能がなく、推論がより高速化できる。

③既存CADとのインタフェース等の拡張性や自由度に富む。

・ハードウェアについて

開発段階のため効率の面から、Lispマシンを使用している。開発効率が良い反面、高価で現場での試用に問題がある。また、CADの搭載されているマシン環境と異なるため、インタフェースの開発等に負荷がかかる。

6.6.3 システム開発の手順

6.6.3.1 問題領域の設定

(1) 問題の抽出

AIを導入したいという漠然としたユーザニーズが開発の契機で、問題が当初から明確でない場合も多い。このため、その領域の全体を通した問題の抽出を行うこともある。

(2) 記号処理を中心とした問題への絞り込み

設計対象のモデル化や知識の演えきの利用が困難である問題も存在する。このようなより具体的な観点から、知識システムに適した問題に絞り込む。

(3) 十分なニーズがある問題であること

当初ユーザニーズが漠然としている場合、プロトタイピングでニーズを抽出し問題を設定することもある。

6.6.3.2 既存技術の評価

近年の多種少量生産化の傾向は、必然的に短期の設計期間で低コストかつ高性能なレンズを設計しなければならないという相矛盾する設計への要求を強くしている。一方、すでに光学設計CADの機能は技術的に高い完成度をもっており、ここ数年目立った進歩がないのが実状である。このような状況下において、光学設計の発展を支えていたのは、もっぱらハードウェアの演算速度の向上であった。

従って、将来の光学設計CADを考えると従来の数値計算処理の技術から成り立っている現状のCADシステムではその能力の限界が明らかであり、設計者の行なっているような知的活動を代替するCADシステムが切望されていた。記号処理技術に端を発したエキスパートシステムの考え方は、このような光学設計領域の要求を満たし得る可能性をもっていることから導入を決定した。

6.6.3.3 知識源の同定

従来の光学設計CADの機能上に知識システムを構築することを目指したので、CADの開発にユーザ側として従事し、CADの使用法や問題点に明るい光学専門家を主たる知識源とした。また、知識システムの構築にあたり、CADシステム内の構造を熟知しているソフトウェア技術者も不可欠であった。

6.6.3.4 専門家モデルの同定

専門家のAI知識のレベル合わせ：ある程度エキスパート・システムの仕組みを理解してもらうことで、獲得したい知識の質を均一化する。

6.6.3.5 ユーザモデルの同定

設計という領域を対象とする上では、ユーザは少なくとも光学設計に関する語彙等の基本的な知識は不可欠である。しかしながら、実際に習得まで比較的時間を要するCADの使用法等の知識は、極力知識システム側で代替することを基本とし、使用にあたってはシステム主導で入社時の光学設計教育を受けた程度の設計者でもが使えるレベルを想定した。

また、知識が極力CAD側の語彙や論理にとらわれず光学設計領域のもので表現しうるようにすることで、知識の保守・拡張は全ての中堅レベルの設計者へマシン操作・知識表現法等の集合教育を実施することで可能となるレベルを想定した。

6.6.3.6 知識表現の選択

- (1) 知識表現にとらわれない知識獲得：知識を文章により表現し、システムの詳細な機能を明確にする。
- (2) 開発、運用環境の選択：現在の環境を考え、エキスパート・システムの作られるべき環境を決定する。
- (3) 知識表現の選択
- (4) 選択した知識表現による設計：すでに文章化されている知識を、与えられた知識表現で表現するための方法を決める。

6.6.3.7 知識の移植

設計知識を表現するためのAIシェルには、

- ①設計の原理のような宣言的知識の他に、いわゆる設計ノウハウと呼ばれる設計途上の探索を効果的にするメタ的な設計知識の記述が必要とされている。
- ②探索の制御や知識の管理上の都合から、個々の設計知識は設計作業ごとに階層的な分類を行ないたい。
- ③実用的に使うためには、既存のCADとのインタフェースが必要である。

といった要求があり、知識の移植にあたっては汎用的なAIシェルではこれらが充分満たされないため、専用のAIシェルを開発した。

6.6.3.8 知識ベースの管理

専門家が知識ベースを保守出来るようにするため、エキスパート・システムの技術移転をする。

6.6.3.9 性能の評価

評価に際し、知識のチューニング作業も多い。

6.6.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
定 義	設計問題とは、システムの入出力の要求仕様が与えられたとき、これを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定することである			・設計問題によっては、要求仕様も絶対的なものではなく、設計途中で変更されうる
特 徴	1. システム構造の解空間が大 2. 解析による合成が基本的 3. 構成要素の最適化の必要性 4. 検証の完全性および効率性	○ ○ ○	○ ○ ○	・システムを定義するパラメータは多数あり、その価は連続して存在する ・解析的理論をよりどころとして設計 ・要求仕様として与えられるパラメータはシステムを規定するパラメータの倍以上存在し、非線形最適化が必要 ・コスト制約が大きいいため、システムが単純かつ高性能という相反する要求を満たす設計が必要 ・各種の性能や機能のシミュレーションが設計に不可欠なツールとして存在する

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
特 徴	5. 対話形式での設計支援問題	○	○	・ 設計者の思考法はモデル化が困難なため、設計者主導のシステムとなる
	6. 設計段階に応じた支援形態	○	○	・ 要求仕様を満たす解が必ず存在するとは限らないため、設計者の判断をあおぐ必要がある
	7. 対話型設計支援の要求	○		・ 設計段階によって、各種の標準化が進んでいる定型的設計作業と、創造性の要求される非定型的設計作業が存在する。このため、設計者の創造性を高めるための情報提供といった支援形態の相違が発生する

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 構成要素とその関連性の表現	○	○	・ 設計知識を表現するためには、設計過程で取り扱われる抽象化された設計対象モデルを表現できる必要がある。従って、構成要素の表現だけでなく抽象化された要素とそれらの間の関係も記述
	2. 設計問題の階層的表現	○	○	・ 各設計対象モデルの抽象度によって、設計知識をグループ化
	3. 代替案の自動生成	○	○	・ 同時に複数の設計知識が該当する場合、これらのルールを代替案としてバックトラック時に使用
	4. 部分システムの評価	○	○	・ 抽象化された設計対象モデルの個々の部分システムごとに評価
	5. 上位レベルへの知的後戻り	○	○	・ 下位の部分システムで要求を満足しないとき、その部分システムへの要求仕様をより上位の部分システムの知識で変更
	6. 設計事例の検索と利用	○	○	・ 設計初期の設計対象モデルを、要求仕様に最も近い過去の設計事例とするために使用
	7. 並列的問題解決	○	○	・ パラメータ決定問題のときに採用

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 度	コ メ ン ト
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 最適化機能 4. 検証機能 5. 仮説推論による知的探索 6. 類推による設計事例の利用 7. 協調型推論	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ X	・ トップダウン設計を行なうように 陽に知識をグループ化しメタ制御 を表現することによって対応 ・ 大局的な最適化は、設計知識の中 に陰に表現されている。局所的な 最適化は、仮説推論や既存CADの 非線形最適化手続きで対応 ・ 主として、既存CADのシュミレー ション機能で性能と機能を評価、 ES側で要求との差の比較と原因分 析 ・ ATMSではないが、特にパラメータ 設計等では複数の設計を並列的に 探索 ・ 過去の設計事例を積極的には探索 する機能はないが、設計事例を各 種パラメータで分類した上で利用 ・ 使用していない

6.6.5 参考文献

- 1) 菊地一成、飛井鳥正道、加藤英二、佐々木貴幸、浅野俊昭 「レンズ設計エキスパートシステム」精密工学会第3回セミナーキャンプ、エキスパートシステム構築法テキスト 昭61年6月P.43-52.
- 2) 菊地一成、飛井鳥正道、加藤英二、佐々木貴幸、浅野俊昭 「レンズ設計エキスパートシステム」知識工学と人工知能 44-4, 1986, 1, 20., P. 1-8.
- 3) 菊地一成、浅野俊昭、飛井鳥正道、加藤英二、佐々木貴幸 「レンズ設計エキスパートシステム」システムと制御、VOL. 30, NO. 12, P. 748-753, 1986.
- 4) 加藤英二、菊地一成、飛井鳥正道、浅野俊昭 「レンズ設計エキスパートシステム(その4)ルール記述によるCADの制御」情報処理学会台31回(昭和60年後期)全国大会、P. 911-912.

6. 7 変電所機器レイアウトCAD

開発：東京電力

6. 7. 1 システムの目的と機能

6. 7. 1. 1 目的

変電所のレイアウト設計業務では、変電所の仕様、建設予定地の状況、送電線方向等を条件とし、専門技術者が設計基準や設計ノウハウ等の専門知識に基づいて、機器、設備のレイアウトを決めている。本エキスパート・システムは、この専門家の問題解決プロセスを計算機により支援することを目的とする。

6. 7. 1. 2 機能

本エキスパート・システムは、変電所機器レイアウトにおける専門家の問題解決プロセスを支援するものであり、以下のような処理手順と機能が要求される。

- (1) 初期入力機能：単線結線図の入力機能
- (2) 機器サイズの自動検索機能：種類別、電圧別の機器サイズを登録してあり、単線結線図の情報より自動的に機器サイズ、作業領域サイズを検索
- (3) 機器自動配置機能：電氣的に接続した機器を隣接配置→標準的配置の自動作成
- (4) 配置修正機能：機器の位置をグラフィック端末上でマニュアル修正→非標準的配置の作成
- (5) ケーブル作成機能：GIB、CVケーブルのルートを自動的に決定
- (6) 道路作成機能：機器の搬入路の自動作成
- (7) 鉄塔配置機能：鉄塔の配置およびガントリーと鉄塔間の送電線ルート決定
- (8) レイアウト評価機能：騒音、コスト、緑化率などを自動的に計算
- (9) 土量計算プログラム用ファイル作成：既存の土量計算プログラムのフォーマットに合ったデータファイルの作成

ここで変電所の仕様にあたる単線結線図の情報は最初に処理されなければならないが、その他については設計条件さえ整っていれば、設計者が任意に実行順序を決めることができる。特に配置修正機能については、配置修正にともなう処理機能が有効に働いて、効率良く修正することが可能となっている。

6.7.2 システムの構成と実現環境

システムの主な構成要素は、知識ベース・作業領域・推論プログラムおよびグラフィックインタフェースの4つである。知識ベースには、設計知識を手続的・宣言的知識として記憶し、作業領域には、レイアウト案のデータと制御用データが記憶される。推論プログラムは、知識ベースに記憶した専門知識を利用して作業領域の中にレイアウト案を構成する。その過程は、グラフィックインタフェースを通して画面上に表示され、必要があればコマンドの形で使用者の指示が入力される。

本システムでは、知識ベースに設計知識を蓄える以外に、LISP関数によりレイアウト問題向きデータ構造を扱い、FORTRANプログラムにより土量計算等の技術計算、入出力の制御を行なっている。図6.7-1 に、本システムの構成を示す。

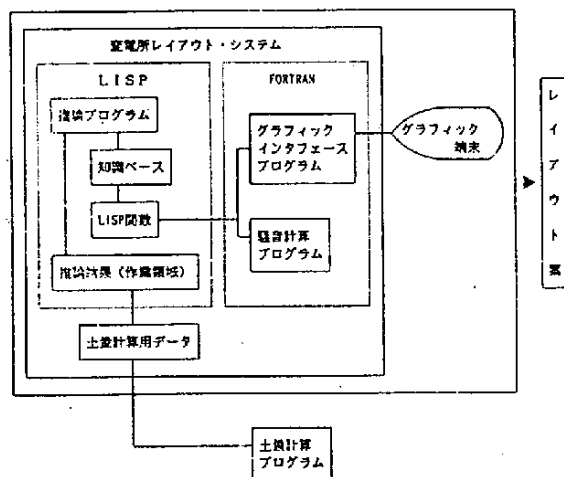


図6.7-1：システム構成図

6.7.2.1 知識ベース

知識は、いくつかのルールとそれらの仕様方法を組み合わせたモジュールとして構造化されている。

6.7.2.2 推論機構

前向き推論を行なう。

モジュールはルールにより相互に起動され、レイアウト全般に関する処理の流れもこのようなモジュールにより指定される。

6.7.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：HITAC Mシリーズ
- (2) 言語：UTILISP, FORTRAN (入出力)
- (3) 開発ツール：なし
- (4) 開発上の利点・問題点：

システム作りに着手した時、使えるしっかりした汎用ツールがなかった。また、変電所固有の要素が必要だったので、独自の推論エンジンを作った。

6.7.3 システム開発の手順

6.7.3.1 問題の設定

知識システムの各分野への適用性検討として、診断問題、設計問題等を選択した。その中の設計問題として、設計案が決定的でない概略設計にしばらくシステム化を試みた。

6.7.3.2 既存技術の評価

繰り返し作業の必要な機器のレイアウト部分と騒音計算等数値計算の部分がある。後者については計算の高速性を重視し、従来通りFORTRANを用い、前者について知識システム化を図った。

6.7.3.3 知識源の同定

変電所建設工事マニュアル

変電所設計エキスパートとのディスカッション

6.7.3.4 専門家モデルの同定

基本的な設計手順はあるが、条件によってアプローチのしかたは様々である。何度もレイアウト案の修正が繰り返される。

6.7.3.5 ユーザモデルの同定

設計手順はユーザに主導権を与える（設計条件が整っていることが前提）。

知識レベル：専門家

システムがレイアウト案を作成し、ユーザが修正・変更を加える。

機器データは拡張可能（追加修正用エディタ）。

6.7.3.6 知識表現の選択

レイアウトに関する知識：手続き型知識

機器データ・仕様に関する知識：宣言型知識

6.7.3.7 知識の移植

支援ツールなし

6.7.3.8 知識ベースの管理

レイアウトのルールについては基本的に変更しない

機器データ：ユーザが管理

6.7.3.9 性能の評価

実際に、変電所設計者にシステムを動かしてもらい意見を聞く

6.7.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	設計問題とは、システムの入出力の要求仕様が与えられたとき、これを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定することである			変電所レイアウト設計の場合、ケースバイケースで条件によって設計手順・方法が異なる。レイアウト設計は、繰り返し修正を要求される。
特 徴	1. システム構造の解空間が大 2. 解析による合成が基本的 3. 構成要素の最適化の必要性 4. 検証の安全性および効率性 5. 対話形式での設計支援問題 6. 設計段階に応じた支援形態 7. 対話型設計支援の要求	○ △ ○ X ○ ○ ○	X △ △ X ○ ○	・ 多様な条件に合った設計が必要

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 基本構成とその関連の表現 2. 設計問題の階層的表現 3. 代替案の自動生成 4. 部分システムの評価 5. 上位レベルへの知的後戻り 6. 設計事例の検索と利用 7. 並列的問題解決	○ ○ ○ ○ ○ X ○	○ ○ △ ○ ○ X X	・ 機器の干渉対策 ・ 仮説データ間の依存関係を用いる
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 最適化機能 4. 検証機能 5. 仮説推論による知的探索 6. 類推による設計事例の利用 7. 協調型推論	○ X ○ X ○ ○ ○	○ X △ X △ X X	・ 最終判断は人間による

6.7.5 参考文献

- 1) 「変電所レイアウト設計エキスパートシステム」昭和61年度A I ビジョンに関する調査研究報告書付属資料(エキスパートシステム事例) 7. 電力業界における開発事例、昭和62年3月P.34-39.
- 2) 吉田健一、小林康弘、上田至克、元田浩 「知識工学の変電所機器レイアウトCAD辺の応用」 日立評論、VOL. 67, NO. 12(1985-12), P. 45-48

6. 8 計算機室機械レイアウトCAD

開発：(株)日立製作所

6. 8. 1. システムの目的と機能

電子計算機システムのシステムエンジニアの業務の一部に、計算機システムを構成する機器の部屋内へのレイアウト作業がある。部屋の形状と配置すべき機器が与えられたとき、機器の部屋内での位置や機器相互間の位置関係などに関する制約を満足する適切なレイアウト図を作成する必要がある。適切なレイアウト図とは、数値的に与えられる条件というよりも、むしろ次のような意味的な条件を満足していることを指す。

- (1) 機器同士は重なってはならない。
- (2) 機器の保守エリアが確保されている。
- (3) 機器前面がコンソールディスプレイ側から目視できる。
- (4) 入出力機器は部屋の出入口の近くに配置し、ディスクなどは部屋の奥に配置する。
- (5) 機器前面線がそろっている。

などである。

本エキスパートシステムは、このような意味的制約をもつ配置問題の計算機による処理を目的とするものであるが、そのためには次のような機能が要求される。

- (1) 計算機に熟練した業務担当者の作業知識が備わっている。
- (2) 配置状況や問題点を認識・理解することができる。
- (3) 状況理解に基づいて適切な知識を利用し、レイアウト作業を進めることができる。
- (4) 作業知識のうちには事前に定義できないものも多いため、ユーザがシステムを利用しながら知識を拡張することが可能である。

これらの諸機能を手続き形プログラミング技術によって計算機化することは困難であったため、レイアウト作業のうち本質的な部分は従来、人手に頼らざるを得なかった。

6. 8 2 システムの構成と実現環境

本システムは、知識ベースと推論機構で構成している。知識ベースには配置候補地決定・定石などを記述したルール形知識、機器属性などを記述したフレーム形知識、制約満足状況チェックや物体移動などを実施する手続き形知識を格納している。推論機構は、機器配置状況や制約満足状況を記憶するワーキングメモリと、ルールの選択・意味解釈・実行を行なう知識選択制御機構から成っている。システムに対して部屋形状、配置機器名称及び配置状況を強制的に指定したい機器があれば、その配置情報を入力すれば残りの機器については、システムがワーキングメモリ内の状況を理解しながら適切な知識を呼び出して利用することを繰り返して自動配置を行なう。なお、一部の知識、特に機器配置ルールについては、簡単な図形入力によってルールを自動生成する機能を保有している。

知識ベース

知識の大部分はLISPのS式で記述している。

- (1) ルール形知識
 - (2) フレーム形知識
 - (3) 手続き形知識
- などから成る。

推論機構

(1) ワーキングメモリ

ワーキングメモリでも、フレームを利用している。レイアウト問題を解かせるとき、最初に部屋形状などを入力する。

レイアウト問題を解く過程では、計画状況を示すフレームが作成される。問題の解は、個々の機器に対する配置決定の連鎖で表わしている。各々の決定内容もまた、フレームとして記述されてゆく。与えられた一連の制約の満足状況評価結果なども記載される。

2) 知識の選択制御機構

ルール選択機構は、ワーキングメモリ内に記憶される配置状況を認識・理解し、その状況で次に実行すべきルールを知識ベースから選択する。ルール左辺のif部がワーキングメモリ内の状況に対して真となるものが選択の対象となる。状況判断のために、例えばCRがCDの右にあることを認識・理解するための手続き形知識が利用される。

ルールの意味解釈・実行機構は選択したルールの右辺のthen部を実行処理する。処理の多くは手続き形知識の利用を伴う。機器配置位置決定ルールの右辺の実行によって、「右、左、近く……」などの自然語的記述の意味解釈に基づく配置可能範囲の生成、配置決定、制約満足状況の分析、結果のワーキングメモリへの記入などが実施される。配置不可能な場合には、他の可能範囲の探索、既配置物のスライドなどを実施するルールが呼び出される。一つのルールの実行の結果、ワーキングメモリの内容は変化し、新しい状況に応じたルールが探索され、実行される。これによって、ダイナミックに変化する状況に応じて作業を進めるといふ、人手作業にみられる決定的過程を計算機化している。

6. 8. 3. システム開発の手順

項番	項 目	コ メ ン ト	備 考
1	問題の設定	計算機室内の適切なレイアウト図を作ること。 適切なレイアウト図とは、以下の意味的条件を満たすこと。 (イ)機器同士は重なってはならないこと。 (ロ)機器の保守エリアが確保されていること。 (ハ)機器前面がコンソールディスプレイ側から目視できること。 (ニ)入出力機器は部屋の出入口近くに配置すること。 (ホ)機器前面線がそろっていること。 ……………など	
2	既存技術の評価	これまでのレイアウト図作成。 (イ)計算機に熟練した業務担当者が実施。 部屋の形状、機器配置の優先度、将来の拡張など、エンドユーザの希望を考慮しながら、“レイアウトの定石”を適用。 結果的に従来の手続き型プログラミング技術でレイアウトCAD化は困難だった。 (ロ)CAD化への試行。 (i)レイアウト問題に記号処理を導入。 (ii)レイアウト対象の属性の記述にフレームを導入。 (iii)熟練者知識を導入 —— 無意味な解の探索を防止。	
3	知識源の同定	知識の集合。 (イ)配置候補地決定定石知識。 (ロ)機器属性。 (ハ)制約満足状況チェック、及び物体移動実行知識。 ……………など	

項番	項 目	コ メ ン ト	備 考
4	専門家モデルの同定	(1)レイアウト図作成手順（大工程）。 (イ)問題の定義。 (i)部屋の定義：形状、出入口、柱などの位置、大きさ。 (ii)配置物の定義：機器名称、数量など。 (ロ)配置物の位置の決定。 (i)配置物の位置：位置、オペレーション上の隣接関係。 (ii)配置物の方向：設置方位。 (2)配置物の位置の決定に関する作業手順。 (イ)現時点での配置状況を整理・確認し、次の作業(配置物)を決定する。 (ロ)配置候補地(範囲)を設定する。 (ハ)候補地で制約を満たす配置位置と方向を決める。 (ニ)配置不可能な場合、配置物をずらし、スペースを作り、配置を試みる。 ((イ)～(ニ)の繰り返しととらえることができる)	
5	ユーザモデルの同定	レイアウト図作成者をユーザと考えている。従って、専門家モデルと同一と考える。 (エンドユーザは計算機オペレータと考えることもできる。レイアウト作成では、これらオペレータの動作を熟知した上で、作図しているとのこと)	
6	知識表現の選択	(1)配置候補地に関する定石的知識、作業手順 プロダクション・ルール (2)配置状況や機器の属性 フレーム (3)重なり具合などのチェック、面積の計算、物体移動など プロダクション・ルール	

項番	項 目	コ メ ン ト	備 考
7	知識の移植	知識表現の枠組みに従って知識を記述し、支援ツールで蓄積。 ただし、配置に関する定石的知識をすべて事前に決定しておくことは困難。このため、エキスパートがレイアウト作成することにより、 ルールの生成と知識ベースへの追加を自動的に実行する機能を具備。	
8	知識ベースの管理	知識ベースの無矛盾性のチェック、知識の世代管理等は、エキスパートによる人手である。	
9	性能の評価	従来人手により5～8時間かかって作成されていたレイアウト図が、30分程度で作成可能。 (本ツールのレスポンスについては未評価)	

6. 8. 4. タスクと問題解決機能のまとめ

項目	設 計 問 題	関連度	実現度	コ メ ン ト
特 徴	1) システム構造の解空間が大	◎	○	解を得るための戦略知識を用いる。 一つの実現解を得るための対話を実施。
	2) 解析による合成が基本的	○	○	
	3) 構成要素の最適化の必要性			
	4) 検証の完全性および効率性	×	×	
	5) 対話形式での設計支援問題	◎	○	
	6) 設計段階に応じた支援形態	○	◎	
	7) 対話型設計支援の要求	◎	○	
基 本 タ ス ク	1) 構成要素とその関連の表現	◎	◎	解を得るための戦略知識を基本とする。 実行可能解を得るため、制約条件の強弱を考慮する必要がある。 再配置を繰り返しながら‘後戻り’を実施。
	2) 設計問題の階層的表現	◎	○	
	3) 代替案の自動生成	○	○	
	4) 部分システムの評価	○	○	
	5) 上位レベルへの知的後戻り	○	○	
	6) 設計事例の検索と利用	○	×	
	7) 並列的問題解決	○	×	
問 題 解 決 機 能	1) トップダウン精密化戦略	◎	○	「配置候補地から配置決定」を繰り返す。 解不能ケースを減少させるため、重視。 今後、強化すべきと考えられる。 今後、強化すべきと考えられる。
	2) 拘束最小化戦略	◎	○	
	3) 最適化機能	○	×	
	4) 検証機能	×	×	
	5) 仮説推論による知的探索	○	×	
	6) 類推による設計事例の利用	○	×	
	7) 協調型推論	○	×	

参考文献

- 1) 小林重信; 多目的意志決定-理論と応用-VI, システムと制御, vol131No4, pp275-285, 1987
- 2) 渡辺俊典 他; 知識工学の計算機室機器とレイアウトCADへの応用, 日立評論, vol167No12, 1985

6. 9 設計型システムの事例：LSI配線設計システム WIREX

開発：日本電気（株）

6. 9. 1 システムの目的と機能

LSIの配線設計問題とは、

- (1) 回路接続条件：論理的接続関係
- (2) 幾何学的条件：製造プロセスにより決まるもの（配線幅，コンタクトの大きさ，配線同士の間隔，コンタクト同士の間隔，配線とコンタクトとの間隔）
- (3) 電氣的条件：遅延時間，雑音

上述の3つの条件を満たしながら，チップ基盤上に回路の配線パターンを決めることである。

この問題は難しい組合せ問題（ネットワーク理論における整数型多種フロー問題）に属しており，問題の規模（結線要求数）が大きくなれば，解くアルゴリズムの計算手数（計算時間と記憶容量）は指数関数的に大きくなる。このため，実用的規模の問題（数百以上の結線要求数）に対しては，アルゴリズム（自動配線プログラム）だけを使って，完全な配線パターンを求めることはあきらめねばならない。

したがって，現在のCADシステムは，自動配線プログラムと対話型の手動配線システムの両者を備えている。まず自動配線プログラムでできるだけ配線パターンを見つける（通常は98～99%の結線率）。結線できなかった信号線に対しては，専門設計者がディスプレイ上の配線パターン図を見ながら，パターンの修正と追加の作業を繰り返して，完全な配線パターンを実現する。

自動配線に要する時間は，小規模なLSIでは数分であり，大規模なLSIでも数時間以内ですむ。しかし，対話設計に要する時間は，高機能の対話システムを使っても，自動配線時間の10倍以上の時間を必要とする。全体の設計時間を短縮しようとするれば，いかにして，対話型設計に要する時間を少なくするかが，重要になってくる。

WIREXシステムは，LSI配線用に対話設計の効率化を目的として，開発したエキ

スパートシステムである。

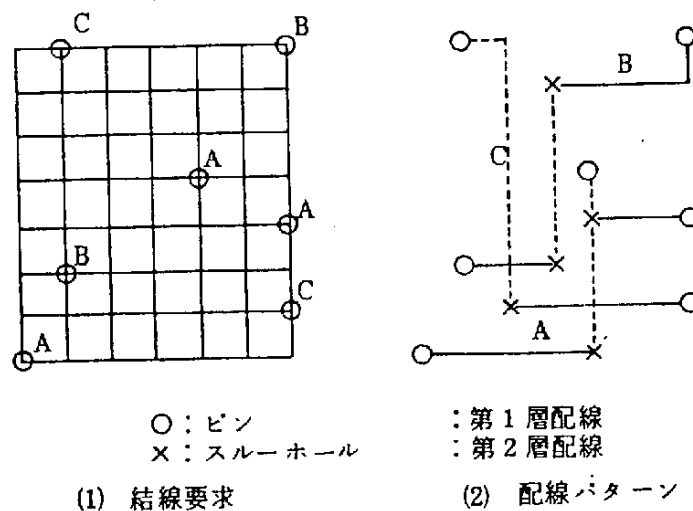


図6. 9-1 L S I 配線問題の例

本システムは以下のような機能を持っており、実際の設計作業に使用されている。

(1) 専門家のノウハウを知識ベースに蓄え、非専門家が利用できることのために、非専門家でも専門家並みの高度な設計が可能となった。

本システムは、知識ベースの中に、各局面に応じた問題解決のための戦略をルール of the form であらかじめ用意している。このため、配線状況に応じて、最も適当なルールをシステムが設計者に提案できる。設計者はシステムが提案するルール（配線戦略）の妥当性をチェックし、承認を与える、あるいは別の戦略を要求する、といったかたちで設計を進める。ディスプレイ上には、設計者が判断に必要とする情報が適切に表示されるために、非専門家でも専門家並みの高度な設計ができるようになった。

(2) ソフトウェア開発の専門家でないLSI設計者が、自分自身で設計ノウハウを知識ベースに格納できる。このためLSI設計者自身が設計対象に最適なCADシステムを容易に作り上げることが可能となった。

設計の対象となるLSIのデバイス技術(MOS, CMLなど)や構造(ゲートアレイ, ビルディング・ブロックなど), 規模(1000~10万ゲート)などは, ユーザごとに異なっている。そのような相違点に応じて, 配線設計の戦略が異なってくる。従来のCADシステムはこれに対し, あらかじめ用意した制御パラメータ変更程度しかできず, 融通のきかないかたいシステムであった。また, 従来のCADシステムに新しい機能を追加する場合には, 新しい機能のプログラムはもとより, 本体のプログラムの書換えに加え, コンパ入るとリンクという過程が常に必要であった。設計ノウハウの更新が頻繁に起こるシステムに対して, 従来のプログラミング手法を用いることは, プログラム開発と管理の面から極めて効率が悪い。

本システムでは, プログラム作成に経験のないLSI設計者でも, 設計ノウハウをルールの形で表現し, 知識ベースに加えられる。設計者は設計を進めながら, CADシステムを自分の問題に合ったものに変えられる。

6. 9. 2 システムの構成と実現環境

図6. 9-2 にハードウェア構成のブロック図を示す。ホストコンピュータは主記憶容量16Mバイト, 処理速度約4MIPSのミニコン(日本電気MS190)である。チップ基盤の配線状況は21インチのグラフィック・ディスプレイ上に表示し, ルールの説明のテキスト画面はPC9800パーソナル・コンピュータ上に表示する。

図6. 9-3 にソフトウェア構成のブロック図を示す。本システムは, 推論システム, 知識ベース, CADシステム, および, CADデータベースからなっている。知識ベースには, 配線設計過程において設計者が用いる経験則を格納してある。具体的には, 未結線端子付近の配線状況の把握, 未結線となった原因の究明, 未結線端子対の経路を発見するための操作などである。

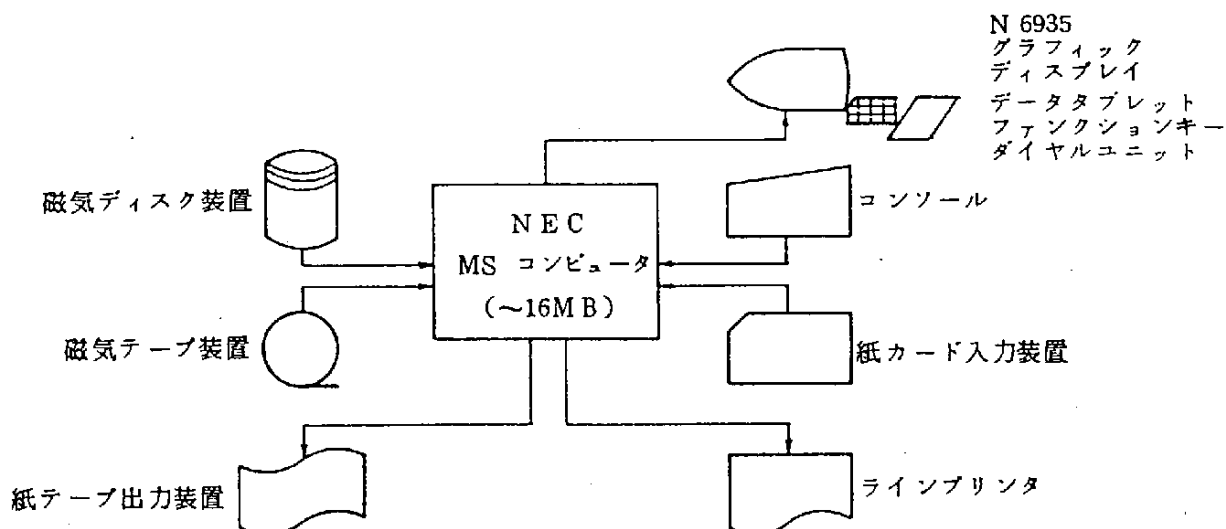


図 6. 9-2 WIREXシステムのハードウェア構成

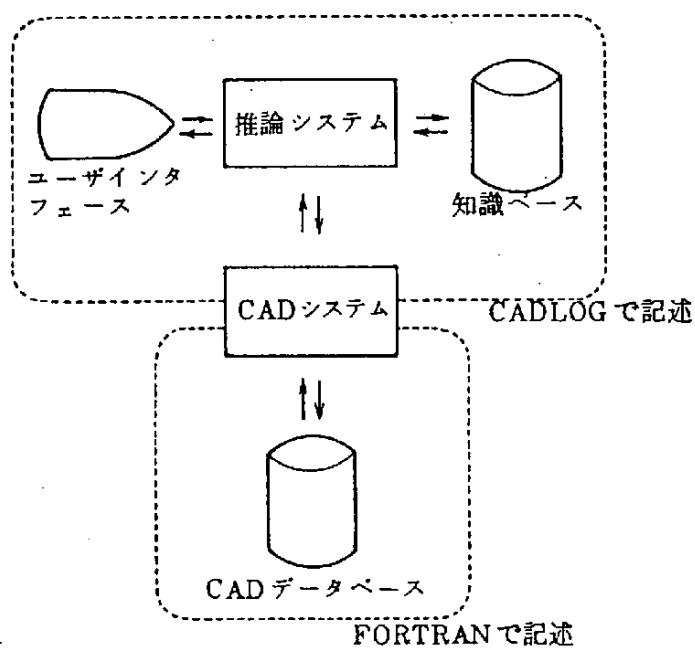


図 6. 9-3 WIREXシステムのソフトウェア構成

一方、CADデータベースは、従来のCADデータベースと同様のもので、配線設計用のデータ、たとえば、端子対を構成している端子の集合、これらの端子の座標、すでに結線した線分データなどを格納している。

CADシステムは既存のCADシステムに用いているFORTRANサブルーチン群からなる。これらのサブルーチン群はCADデータベースへアクセスするルーチン群、経路探索などの手続き処理を実行するルーチン群、およびグラフィックスを制御するルーチン群の3つに大別できる。これらのFORTRANサブルーチンは、推論システム(CADLOG)の外部ファッション述語に対応するサブルーチンとして、インタプリタに対応関係を登録してある。

推論システムは、Prologインタプリタ：CADLOGを用いている。このインタプリタは、既存のCADシステムと結合するために、PrologプログラムからFORTRANサブルーチンを呼び出す機能をもっている。

6. 9. 3 システム開発の手順

”専門家の問題解決法を分析し、整理し、表現する。”という基本方針で、下図のような流れにそって開発を進めた。

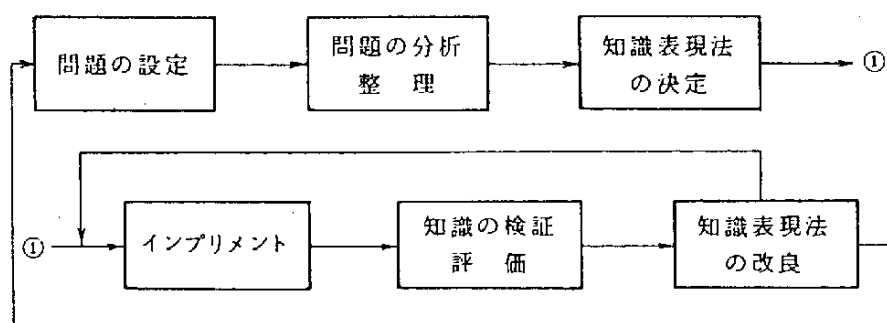


図6. 9-4 開発の流れ

開発のステップを整理すると次のようになる。

- (ステップ1) • エキスパートシステム，C A Dの専門家が実験的にいくつかのルールを作成する。
- (ステップ2) • C A Dの運用の専門家が，従来の経験をもとにして基本的に必要な，かつルールとして表現可能な問題解決の手続き的知識を作成する。
 - 同時に，状況判断の知識と情報表示のための知識をC A D専門家，エキスパートシステム専門家が作成する。
- (ステップ3) • ステップ2のルールの評価を行ない，改良，追加を行なう。
- (ステップ4) • エキスパートシステムの専門家から，システムは手が離れ，C A D運用専門家が独自に知識を入れ，システムを運用する。

6. 9. 4 タスクと問題解決機能のまとめ

	設計問題	関連性	実現性	コメント
定義	設計問題とは，システムの入出力の要求仕様が与えられたとき，これを実現するために，構成要素を組み合わせ，かつ各構成要素の内部仕様を決定することである。	○		配線設の場合，構成要素は配線であり，各配線の構造（幾何学的な経路）を決定すること。
特徴	1. システム構造の解空間が大 2. 解析による合成が基本的 3. 構成要素の最適化の必要性 4. 検証の完全性および効率性 5. 対話形式での設計支援問題 6. 設計段階に応じた支援形態 7. 対話型設計支援の要求	○ × ○ × ○ × ○	○ × △ × ○ × ○	大規模組み合わせ問題である。 アルゴリズムによる部分解の生成。 配線経路は短い方が望ましい。 システムの提案した方針の可否をオペレータが判断する。 設計の一つの段階を対象としている。

	設計問題	関連性	実現性	コメント
基本 タ ス ク	1.構成要素とその関連の表現	○	○	いかにして要素間の関連を表現するかが重要である。
	2.設計問題の階層的表現	×	×	一階層のみを対象としている。
	3.代替案の自動生成	○	○	経路の候補，操作対象の候補の生成。
	4.部分システムの評価	○	○	部分解の評価。
	5.上位レベルへの知的後戻り	×	×	
	6.設計事例の検索と利用	×	×	
	7.並列的問題解決	○	×	複数経路を同時に考慮することが必要
問 題 解 決 機 能	1.トップダウン精密化戦略	△	△	概略経路から詳細経路という意味でトップダウン
	2.拘束最小化戦略	×	×	
	3.最適化機能	○	△	最短経路発見アルゴリズムを利用
	4.検証機能	×	×	
	5.仮説推論による知的探索	×	×	
	6.類推による設計事例の利用	×	×	
	7.協調型推論	×	×	

6. 10 プラント配管自動ルーティングのためのエキスパート・システム

開発：（株）日立製作所エネルギー研究所、日立工場

6.10.1 システムの目的と機能

6.10.1.1 目的

規模の大きなプラントでは、配管の本数が千を超えたり、延べ長さが数十キロに達することも珍しくない。その配管の経路を計画するレイアウト設計は、ルーティングと呼ばれており、これは現在、計算機シミュレーションモデルやプラスチックモデルを用いた対話的な処理を主体として実施されている。

プラント配管のレイアウト設計者は、プラントの建物の構造や機器の配置等を表した幾何学的なモデルに基づいて、設計基準や設計ノウハウ等のクライテリアを反映するような配管の経路を、手作業により一本ずつ決めている。対話処理によるルーティングの難点の一つは、計画の解を求めるために手間がかかるという点にある。設計者とレイアウトのモデルとのやりとりは工数が多く、しかも処理効率の改善には限界がある。第二の難点は、対話処理により得られた解の性質が設計者の直感に依存する場合もあるため、必ずしも一定の基準のもとで系統的に決定できるとは限らない点である。

このような難点を解消していくためには、ルーティングを対話処理から自動処理に切り替える必要がある。そこで、従来のプラントCADでは取り扱うことの出来なかったクライテリアのような情報を直接計算機で扱う方法として、知識工学的手法を採用し、プラント配管自動ルーティングのためのエキスパート・システムを構築した。

6.10.1.2 機能

自動ルーティングにおける各段階の要素機能を、図6.10-1に示す。

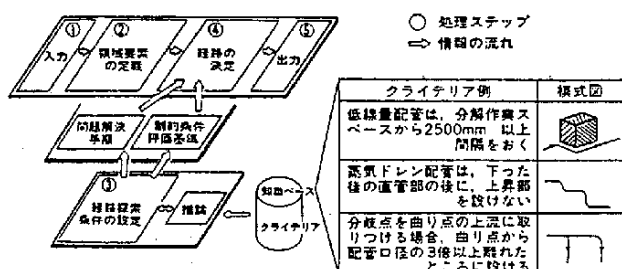


図6.10-1：自動ルーティングの基本機能とクライテリア例（出典：参考文献 1）

知識工学的手法と最適化アルゴリズムを結合することにより、プラント設計者が使う設計基準やノウハウを直接反映した最適経路を求める。そのための手順は、(1) クライテリア（設計基準、ノウハウ等）を格納した知識ベースを用いて、推論により、配管経路が満たすべき諸条件（経路探索条件）を導き出し、(2) 拡張した迷路法により、これらの条件を反映した経路を決定する。

6.10.2 システムの構成と実現環境

本システムは、データベース、知識ベース、推論プログラム、経路探索プログラムから成る。データベースには建屋構造物の配置データ、機器の配置データ、機器・配管の接続関係データなどが格納されている。知識ベースには経路探索の戦略、経路に関する仕様などを決定するための設計者の知識が格納されている。推論プログラムはデータベース、知識ベースに基づき、配管経路の探索順序、及び各経路の仕様を決定する。経路探索プログラムはこの結果に基づき、配管経路を決定する。

6.10.2.1 知識ベース

クライテリアは、if-then ルールで表現する。このクライテリアを用いて推論により経路探索条件を求め、これをフレーム表現する。さらにフレーム表現された情報を経路探索のガイドとして最適化アルゴリズムで利用する。

クライテリア：プラント設計者が配管ルーティングのために使う知識

(1) 経路探索の戦略（問題解決手順）

e. g. ルーティングの順序など

(2) 経路に関する仕様（制約条件、評価基準）

e. g. 配置禁止区域、最小間隔、経路の長さ、など

6.10.2.2 推論機構

推論プログラムは知識処理技術の動的システムの診断、設計への適用を支援するために開発したツール KRIT を用いている。このツールは使用する知識の性質に応じて、述語論理表現、フレーム表現の2種類の知識表現を取扱い、それらの表現法に応じた豊富な推論機能を実現している。本システムでは、後向き推論を行なう。

6.10.2.3 開発環境

- (1) ハードウェア：汎用計算機HITAC-M200H
- (2) 言語：LISP
- (3) 開発ツール：KRIT
- (4) 開発上の利点・問題点：述語論理表現とフレーム表現の併用が可能

6.10.1 システム開発の手順

6.10.3.1 問題の設定

(1) 高いニーズ

設計業務の効率向上、設計の質の向上に対する高いニーズが存在した。

(2) 従来技術では計算機化困難

配管仕様は設計者が持つクライテリアから決まるため、ルーティング問題の解決には、設計者の介入が必要となる。従来の数値演算を主体とした計算機利用技術では、このようなクライテリアを扱うのは困難であった。

(3) 専門家の知識利用が可能

社内のプラント設計者は、日常業務として、これらの問題解決を行なっているため、この経験的知識を利用することができる。

6.10.3.2 既存技術の評価

ルーティング手法としては、LSI の配線を対象とした迷路法、線分探索法などが存在する。LSI の場合には、反映すべき制約条件は線幅、最小間隔といった単純な幾何学的規則が主体である。これに対し、配管の場合には、設計者の持つ種々のクライテリアを反映する必要があるため、既存技術をそのまま適用することはできない。そこで、専門知識を取り扱える知識工学的手法と既存技術を効果的に組み合わせた新たな手法を開発することとした。

6.10.3.3 知識源の同定

プラント設計の場合には設計基準書が存在するが、これだけでは十分な知識を収集することができなかったため、設計者からインタビューにより獲得した経験的知識も利用した。

6.10.3.4 専門家モデルの同定

設計者がルーティングを行なう場合には、まず、どの配管を対象とするかを決定し、次にその配管経路の仕様を決定し、さらにこの仕様を満たし、かつ経路長が短くなる経路位置を決めていく。この過程で用いる経験的知識として、探索戦略、経路仕様決定に関する知識を抽出した。

6.10.3.5 ユーザモデルの同定

本システムは基本的にバッチ処理を前提としている。データベースに格納してある対象プラントのデータに基づいて、システムが自動的に配管経路を決定する。従って、ユーザは必ずしも高度の専門的知識、経験を持っていなくともよい。極言すれば、ユーザはプラント設計の専門家である必要はない。ただし、レイアウト結果を評価したり、その結果をフィードバックして知識ベースを保守する処理は、専門家が行なう必要がある。

6.10.3.6 知識表現の選択

設計者から得た知識は、IF-THEN ルールで表現した。このルールから推論により導いた探索条件は、最適化アルゴリズムで参照するためフレームで表現した。

6.10.3.7 知識の移植

インタビュー、ディスカッション、結果のフィードバックなどにより、専門知識を抽出し、知識ベースを作成した。

6.10.3.8 知識ベースの管理

本システムのルーティング結果を設計者が評価、分析することにより、知識の不足や整合性を評価する。この評価を支援する機能として、任意に指定したルールのみでルーティングを実行できる機能がある。

6.10.3.9 性能の評価

すでに設計者がルーティングを完了しているプラントの数区画を対象として、本システムをテストし、両者の結果を比較・評価した。これにより本システムの妥当性を確認した。また、従来の手法と比較すると、設計スピードが2倍になることを確認した。

6.10.4 タスクと問題解決機能のまとめ

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
定 義	設計問題とは、システムの入出力の要求仕様が与えられたとき、これを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定することである	△	△	配管ルーティングの場合、構成要素は配管経路であり、各構成要素の位置を決定する問題である。
特 徴	1. システム構造の解空間が大 2. 解析による合成が基本的 3. 構成要素の最適化の必要性 4. 検証の安全性および効率性 5. 対話形式での設計支援問題 6. 設計段階に応じた支援形態 7. 対話型設計支援の要求	○ X ○ X X X X	○ X ○ X X X X	・ 知識に基づくガイダンスにより解を探索する ・ 配管経路長を最短にする必要がある ・ 計算機による自動化を目的としている ・ 設計の一つの段階を対象としている

	設 計 問 題	関 連 性	実 現 性	コ メ ン ト
基 本 タ ス ク	1. 基本構成とその関連の表現 2. 設計問題の階層的表現 3. 代替案の自動生成 4. 部分システムの評価 5. 上位レベルへの知的後戻り 6. 設計事例の検索と利用 7. 並列的問題解決	○ ○ ○ ○ ○ X X	○ ○ ○ ○ X X X	・配管仕様に関する知識として表現する ・経路探索手順の決定と経路に対する制約条件、評価基準の決定に分かれる ・代替案の中から、評価基準に基づき最適案を選択する
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略 2. 拘束最小化戦略 3. 最適化機能 4. 検証機能 5. 仮説推論による知的探索 6. 類推による設計事例の利用 7. 協調型推論	○ X ○ ○ X X X	○ X ○ ○ X X X	・本システムの上流側概略経路を決定するシステムが存在 ・経路探索に最適化アルゴリズムを利用 ・制約条件を満たす経路を探索

6.10.5 参考文献

- 1) 小林康弘、木口高志、好永俊昭 「プラント配管自動ルーティングのためのエキスパートシステム」 エキスパートシステム構築法テキスト、精密工学会 第3回セミナーキャンプ 昭和61年6月5日6日、P. 53-60.
- 2) 増位庄一、田代勤、山田直之 「知識処理のための推論ソフトウェア」 日立評論、VOL. 67、NO. 12、P. 13-18.

6. 1 1 L S I のセル配置エキスパート・システム

開発：沖電気工業（株）

6. 1 1. 1 システムの目的と機能

6. 1 1. 1. 1 目的

VLSIの大規模化によりLSI設計作業は複雑化しつつあるにもかかわらず、多品種少量生産に伴う設計期間の短縮の要求は、ますます大きくなりつつある。さらに、LSIの潜在的ユーザであるシステム設計者の人数が現在、全世界で約30万人であるのに対し、LSI設計の専門家の人数は、僅か3,000人といわれている。

これら多数のシステム設計者からの論理回路のLSI化要求に、少数のLSI設計者で対処することは不可能であるため、従来よりCADシステムを利用して、システム設計者が直接LSIを設計できる環境を提供する努力がなされている。

しかし、これらのCADを用いたシステム設計者によるLSI設計では、設計期間は短縮できるがLSIのチップ面積は逆に大きくなってしまいう傾向にある。そのため、高集積度・高性能のLSIを必要とする場合には、LSI設計の専門家による高度の判断をCADシステムに盛り込む必要がある。しかし、従来のCADシステムでは、手続き的処理が主体であり、アルゴリズムの形に定式化されていないノウハウを盛りこむことは困難であった。

本システムは、この解決策として、LSI設計の専門家による判断作業を、その知識を利用したエキスパート・システムで実現することを目的としている。

6. 1 1. 1. 2 機能

本システムは、スタンダードセル方式LSIのポリセル型ブロックのセル（LSIの回路を構成する最小単位）配置を行なうエキスパート・システムである。

配置処理は、これまで手続き型言語により数多くの研究・開発が行なわれている。しかし、その多くは配置・配線後の総配線長の最短化を目標とするアルゴリズム中心の処理であった。即ち、信号の流れを考慮することなく配置したため、配線後のレイアウト結果において回路の集積度や配線率を低下させる原因になっていた。一方、論理回路図より経験的な知識をもとに配置する人手配置作業においては、論理的な回路構造やそれらの間の信

号の流れを考慮した配置のために、高集積度、高配線率のレイアウト結果が得られていた。

本システムでは、LSI設計者が行なう、論理回路図を入手してからセル配置に至るまでの配置作業の過程を、分析しルール化することで、配置処理を実現している。

6. 1 1. 2 システムの構成と実現環境

本エキスパート・システムは、既存のLSICADシステムとのインタフェースを可能にするため、図6. 1 1-1に示すように、CAD用データベースと対話型端末を共用している。CAD用データベースより、論理検証システムで検証済みの論理データと、ポリセル型ブロック用基本素子のレイアウトデータを入力し、配置結果を出力後、対話型端末より配線システムを起動する。

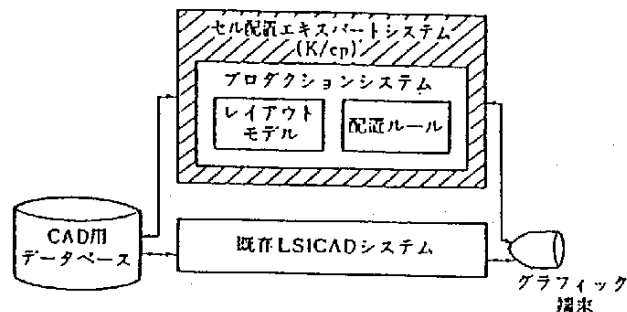


図6. 1 1-1：セル配置エキスパート・システムの構成（出典：参考文献1）

6. 1 1. 2. 1 知識ベース

本システムは、この作業形態がAIの分野で用いられているプロダクションシステムで容易に実現可能であることから、プロダクションシステム構築ツールを用いて開発を行なった。

プロダクションシステムの処理形態は、一般に図6. 1 1-2に示す通りである。

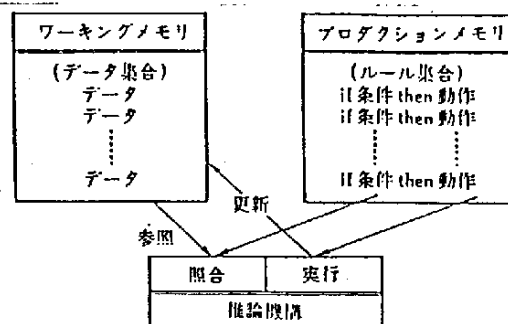


図6. 1 1-2 プロダクションシステムの処理形態（出典：参考文献1）

推論は、ワーキングメモリ内のデータと、プロダクションメモリ内の”if 条件 then 動作”形式のルールを照合して、データと一致する条件を持つルールを選択・実行し、データを更新するサイクルの繰り返しで進む仕組みになっている。推論機構は、このサイクルの実行・制御を行なっている。

プロダクションメモリ上には、セル配置に関する知識・ノウハウを if-then 形式のルールで記述した配置ルールを格納している。ワーキングメモリ上には、配置対象である論理回路（以下、配置対象ブロックと呼ぶ）と参照している基本素子に関するデータとを格納している（以下格納されたデータ全体をレイアウトモデルと呼ぶ）。推論機構は、レイアウトモデルの状態から、その場に応じた配置ルールを選択・実行し、レイアウトモデルを更新する。このため、複雑な実行手順の制御がすべて推論機構で行なわれ、複数の評価関数を同時に扱うような複雑な配置処理も、容易に実現できる。

ワーキングメモリ中には、レイアウトモデルを複数のクラスに分割して格納している。ワーキングメモリ内の分割は、ルールの記述量や実行するルールの検索・選択等の処理効率に大きな影響を与えるため、本システムでは、同一の扱いが可能なデータや同時に参照される可能性の高いデータを、クラスとしてまとめる等の工夫を行なっている。図3に、レイアウトモデルの概略構造を示す。

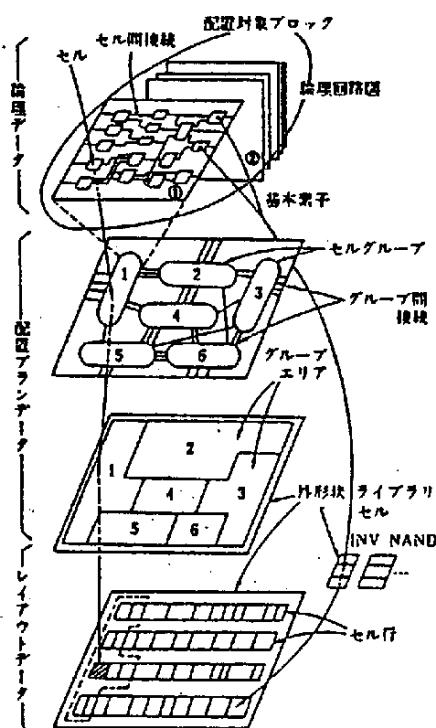


図6. 11-3 レイアウトモデルの概略構造（出典：参考文献1）

配置機構は、図6. 11-4に示すようにプロダクションメモリ上の配置ルールとワーキングメモリ上のレイアウトモデルから構成されている。

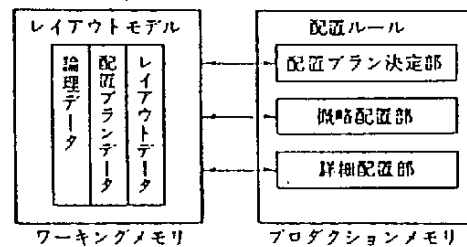


図6. 11-4 配置機構の概略構成（出典：参考文献1）

配置機構は、人手配置時の作業工程を参考に、配置プラン決定部、概略配置部、および詳細配置部に分けて構成されており、各部の機能は以下のとおりである。

- (1) 配置プラン決定部：セルのグループ化を行なうとともに、各セルグループ間の相対的な位置関係を決定する。セルのグループ化は、通常は論理回路図の1図面が1セルグループとなるように行なわれる。ただし、論理回路図に関するデータが存在しない場合には、各セル間の接続関係とその組合せのパターンや信号の流れから、機能的にまとまった単位が1セルグループとなるようにグループ化が行なわれる。セルグループ間の位置関係は、配置対象ブロックの概略端子位置、セルグループ間の接続関係の有無、接続数等により決定される。ルールの適用順序の制御により、回路全体の信号の流れに沿った位置関係となるようルール化されている。
- (2) 概略配置部：配置プラン決定部で決定されたセルグループとその相対的な位置関係から、各セルグループの配置領域であるグループエリアの形状を、グループ内の各セルの領域を確保しながら決定するルールからなっている。ルールには、他のセルグループと接続関係のないセルの領域を、矩形を基本に確保していくルールがある。これらのルールによって、接続関係の強いセルやセルグループがより近くに配置できるようなグループエリアの形状を決定している。
- (3) 詳細配置部：概略配置部で決定されたグループエリアに、当該セルグループの各セルを配置していく。ルールには、チーム化ルール、チーム配置ルール、セル配置ルールがある。チーム化ルールは、セルの配置を行なう前に、セルグループ内の各セルをチームと呼ぶ小集団にまとめるルールである。チームは、各セルの論理回路図上での位置やセル間の接続関係等を参照して、接続関係の規則性や信号の流れを抽出しながらまとめられる。チーム配置ルールは、チーム化終了後、チーム間の接続関係や信号の流れに沿っ

て、各チームを当該セルグループのグループエリアへ配置するルールである。既に配置されているチームに関しても、後から配置したチームによって信号の流れに支障をきたす場合には、その位置を移動させながら、チーム間の相対的な位置関係を決定していく。

6. 1 1. 2. 2 推論機構

前向き推論を行なう。

6. 1 1. 2. 3 開発環境

(1) ハードウェア：VAX11/785

(2) 言語：CAD用データベース及びグラフィック端末とのインタフェースはFortran言語。
その他はQPS5。

(3) 開発ツール：なし

(4) 開発上の利点・問題点：CAD用データベース及びグラフィック端末インタフェースは既存CADシステムのルーチン群を利用。

6. 1 1. 3 システム開発の手順

6. 1 1. 3. 1 問題の設定

LSIの配置問題は、配置すべきセル及びそれらの組み合わせが多いため、探索空間が非常に大きい、複雑な組み合わせ最適化問題である。また、論理設計とデバイス設計の境界で各設計サイドからの制約を受けるため、多くの設計ノウハウを必要とする。

LSIの配置問題は、その設計手法（ゲートアレイ・スタンダードセル等）により異なるが、ある程度、既存CADシステムで自動化されており、知的システムとの比較が可能である。

6. 1 1. 3. 2 既存技術の評価

従来のCADシステムは、アルゴリズム的な手法により解を一意に決定できる問題を主体に、大量データをいかに高速処理するかを追求しており、その成果は大きい。

しかし、設計作業には専門知識・設計ノウハウを必要とする問題が多く、これらを従来の手続き型言語で実現することは困難であった。

配置問題においても、これまで数多くのアルゴリズムが考案され手続き型言語により実

用化されているが、人手配置に比べるとその性能は劣る傾向にある。これは、従来のCADシステムがある評価関数に添って解を一意に探索するのに対し、人手の場合は、数多くの知識・設計ノウハウを基にその場その場の配置状況に応じて評価・設計作業が行なわれるためと思われる。

以上のことから、配置問題の解決手法として、設計者の知識・設計ノウハウを利用した知識処理の導入を検討した。

6. 1 1. 3. 3 知識源の同定

配置に関する制約項目、スタンダードセルのライブラリシート、及び設計者の知識・設計ノウハウを利用した。設計ノウハウの獲得は、プロトタイプの各段階で配置結果を評価してもらい、評価結果を盛り込む形で進めた。

6. 1 1. 3. 4 専門家モデルの同定

LSI設計者の配置作業では、回路の機能分割、信号の流れ、配線後の線長等を同時に考え配置していく場合が多いが、それをそのまま実現することはモデルを複雑化し実用レベルのシステム化を困難にする恐れがある。

そのため設計者が同時に思考する内容をそれらの意図する問題に細分化し、その上で各々の問題に対する設計者の知識・設計ノウハウを引き出し知識ベース化した。

6. 1 1. 3. 5 ユーザモデルの同定

既存のCADシステムと同様の扱いで、同一運用形態を取っている。

6. 1 1. 3. 6 知識表現の選択

通常の手配置作業では、論理回路図や基本素子のレイアウトデータを参照し、論理回路の構成や特徴、及びセルの配置状態等に応じた種々の判断（回路全体の信号や各セル間での信号流れの抽出）を行ないながら、セルを配置していく。

本システムは、この一連の作業がプロダクションシステムの推論機構に類似していることから、配置作業時の種々の判断項目をプロダクションルールを用いて表現している。また、CAD用データベース・グラフィック端末インタフェース等の手続き的処理はFortranで記述している。

6. 11. 3. 7 知識の移植

プロダクションシステムに知識を移植する場合、その移植作業の難易度は、対象モデルのモデル化の良否によるところが大きい。また、移植は容易であってもデータ量・ルール数により、その処理速度が著しく低下する場合がある。これらを回避するためには、同時に参照されるデータ量や同時に発化するルールを低減するための配置ルールとは無縁の制御用ルールを陽に記述する必要があり、知識移植の妨げになる可能性をもっている

6. 11. 3. 8 知識ベースの管理

配置問題においては、配置制約を違反しなければ知識間の整合性がとれていない場合でもある程度推論によってカバーできる。しかし、その性能は配線システムとペアで評価されるため、知識ベースは配線システムと共に管理している。

6. 11. 3. 9 性能の評価

本システムと人手による配置の性能比較を、配線結果である総配線長、および面積により行なった結果を図6. 11-5(a),(b)に示す。

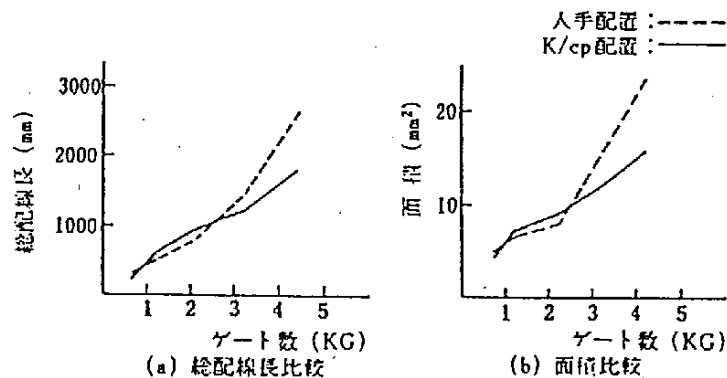


図6. 11-5 配線結果による人手との比較 (出典：参考文献1))

この図から、2KG級ブロックまでは、本システムの配置能力が人手配置に比べ若干下回っているが、その後はゲート数が増加するに従い人手を上回る傾向となっている。これは、本システムで導入した配置ルールが、LSI設計者の持つ配置ノウハウの全てを表現してはいないものの、大規模回路に対しては人手以上の配置能力を実現可能としていることを示している。

6. 1 1. 4 タスクと問題解決機能のまとめ

		関	実	
設 計 問 題		連	現	コ メ ン ト
		性	性	
定 義	設計問題とは、システムの入出力	○		配置問題の構成要素はセルであり、
	の要求仕様が与えられたとき、こ			各セルの配置座標を、それらの関係
	れを実現するために、構成要素を			より決定すること
	組み合わせ、かつ各構成要素の内			
	部仕様を決定することである			
特 徴	1. システム構造の解空間が大	○	○	・大規模な組み合わせ問題であるた
				め、構成要素をグループ化し探索
				空間を小さくする
	2. 解析による合成が基本的	○	○	
	3. 構成要素の最適化の必要性	○	△	・面積最小、配線長最短が望ましい
	4. 検証の安全性および効率性	X	X	
	5. 対話形式での設計支援問題	○	△	
	6. 設計段階に応じた支援形態	○	△	・配置問題を設計ステップ毎行なう
	7. 対話型設計支援の要求	○	X	

		関	実		
設 計 問 題		連	現	コ メ ン ト	
		性	性		
基 本 タ ス ク	1. 基本構成とその関連の表現	○	○		
	2. 設計問題の階層的表現	○	○	・ 配置問題を思考階層に分割	
	3. 代替案の自動生成	○	△	・ 回路の特徴を考慮する必要がある	
	4. 部分システムの評価	○	○		
	5. 上位レベルへの知的後戻り	○	△	・ 部分的に行なわれる	
	6. 設計事例の検索と利用	○	X		
	7. 並列的問題解決	○	X	・ 配線予測を同時に考慮する必要がある	
問 題 解 決 機 能	1. トップダウン精密化戦略	○	○	・ 配置戦略から詳細なセル配置を決定	
	2. 拘束最小化戦略	○	△		
	3. 最適化機能	○	△		
	4. 検証機能	X	X		
	5. 仮説推論による知的探索	X	X		
	6. 類推による設計事例の利用	○	X		
	7. 協調型推論	○	X		

6. 1 1. 5 参考文献

- 1) 浜崎良二、白木 昇 「スタンダードセル方式LSIのセル配置エキスパートシステム (K/cp)」 沖電気研究開発、VOL.54, NO.4(昭和62年10月), P.27-31.
- 2) 浜崎良二、山本一郎、白木 昇、安藤 宏 「スタンダードセル方式LSIのセル配置エキスパートシステム (K/cp) - 概略配置部」 情報処理学会第33回 (昭和61年後期) 全国大会講演論文集、P.2273-2274.
- 3) 山本一郎、浜崎良二、白木 昇、安藤 宏 「スタンダードセル方式LSIのセル配置エキスパートシステム (K/cp) - 詳細配置部」 情報処理学会第33回 (昭和61年後期) 全国大会講演論文集、P.2275-2276.
- 4) 白木 昇、山本一郎、浜崎良二、安藤 宏 「スタンダードセル方式LSIの配置戦略決定エキスパートシステム (K/is)」 情報処理学会第33回 (昭和61年後期) 全国大会講演論文集、P.2271-2272.
- 5) 浜崎良二、白木 昇 「スタンダードセル方式LSIのセル配置エキスパートシステム (K/cp) について」 設計自動化、VOL.32, NO.2(1986.5.20), P.1-9.
- 6) 浜崎良二、白木 昇 「スタンダードセル方式LSIのセル配置エキスパートシステム (K/cp)」 情報処理学会第32回 (昭和61年前期) 全国大会講演論文集、P.1941-1942.

— 禁無断転載 —

平成元年 3 月発行

発行所 財団法人 日本情報処理開発協会

東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号

機械振興会館内

電話 (03) 432-9390

63-A005

