

# 知識処理システムとその構築支援ツール

## Software Tool for Building Knowledge Based Systems and Its Applications

制御用計算機HIDIC VシリーズやエンジニアリングワークステーションESシリーズに知識処理システムを実現するためのソフトウェアEUREKA-IIを開発した。このソフトウェアは、リアルタイム環境下での利用に適している。推論処理の高速性、知識の規模に依存しない応答性を備えている点に特徴がある。このような実用的特性が注目されて、プロセスの運転計画、監視制御、診断など制御用計算機の応用分野全般にわたって実用レベルで適用されている。熟練技術者のノウハウを計算機化することによって、高品質な制御が常に行えること、段階的に得られるプロセス操業上の知見が直ちに計算機に取り込めることなどの効果が出ている。

船橋誠壽\* *Motohisa Funabashi*  
 増位庄一\* *Shōichi Masui*  
 森 清三\*\* *Kiyomi Mori*  
 中井耕三\*\* *Kōzō Nakai*  
 鈴木正義\*\* *Masayoshi Suzuki*

### 1 緒 言

知識処理は、従来の計算機を「計算する機械」から「考える機械」へと飛躍させようとしている。従来は人間にしかできないと思われていた業務が、計算機にもできるようになった。このため、産業界だけでなくあらゆる分野で実用化が強く期待されている。

知識処理あるいはこの基礎科学である人工知能の研究開発は、米国中心でなされてきたとの認識が一般的には強い。しかし日立製作所では、早くからこの技術の重要性を認識し、1960年代に既に知能ロボットの基礎研究を行っている。更に1984年には、リアルタイム制御の分野で、世界に先駆けて知識処理を実用化する<sup>2)</sup>など、独自技術として育成してきている。

知識処理システム開発は、ともすればプロトタイプシステムどまりのことが多い。しかし、日立製作所は、長年の経験を踏まえ実用的システムの実現を意図して、リアルタイム環境下でも適用できる高速推論処理性能を備えた知識処理システム構築用ソフトウェアEUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)を開発した。このソフトウェアは、その実用的特性が着目され、プロセス運転計画、監視制御、診断など、制御用計算機の主要応用業務全般にわたって、実用的知識処理システム開発に適用されている。この結果、熟練技術者のノウハウを計算機化することによって、高品質制御が常時行えること、段階的に得られるプロセス操業上の知見が直ちに計算機化できることなどの実際効果も確認され始めている。

本論文では、知識処理の工学的意義を述べるとともに、計算機制御分野での知識処理システムの実用状況、更に、これらシステム構築の基礎となっているソフトウェアEUREKA-IIについて述べる。

### 2 知識処理技術の工学的意義

知識処理システムは、既に幾つかの具体事例が生まれ始めている。しかし、この技術に対する期待は、人間の知的活動をすべて代替できるという過大なものから、従来の計算処理となんら変わるところがないというものまで様々である。知識処理の効用を享受するためには、この技術の持っている本質的事項を冷静に認識する必要がある。

知識処理は、人間の思考過程の計算機プログラム化をねらうものである。このためには、思考過程がどんなものであるかを明らかにする必要がある。人工知能研究は、人間は数値的にものを考えているわけではなく、パターンのあるいは記号的に、ものを考えていることなどを実験心理学的に明らかにしてきた。このような思考過程の代表的なモデルとしては、三段論法である演えき(繹)的推論をモデル化したプロダクションシステムがある。更に、連想的な機能を持つ記憶をモデル化したフレームシステムもある。

プロダクションシステムとは、図1(a)に示すように、短期記憶に想起された事項が、長期記憶にある“if~then~”というルール条件部(if部)と照合され、条件部が成立していると結論部(then部)が短期記憶に新たに記載されるといったサイクルによって推論が進むというモデルである。一方、フレームシステムは、同図(b)に示すように、記憶はあるまとまり(Chunk)をもってなされており、更に、記憶へのアクセスによって種々な手続処理が自動的になされるというモデルである。

従来の計算機システム概念からすれば、ルールやフレームがこれまでのプログラムに相当する。新たに知識処理という形態をとることによって具体的にどんな効果が生じるか、制御分野での知識処理応用の代表的課題である診断、プロセス制御を事例に説明する。

\* 日立製作所システム開発研究所 \*\* 日立製作所大みか工場

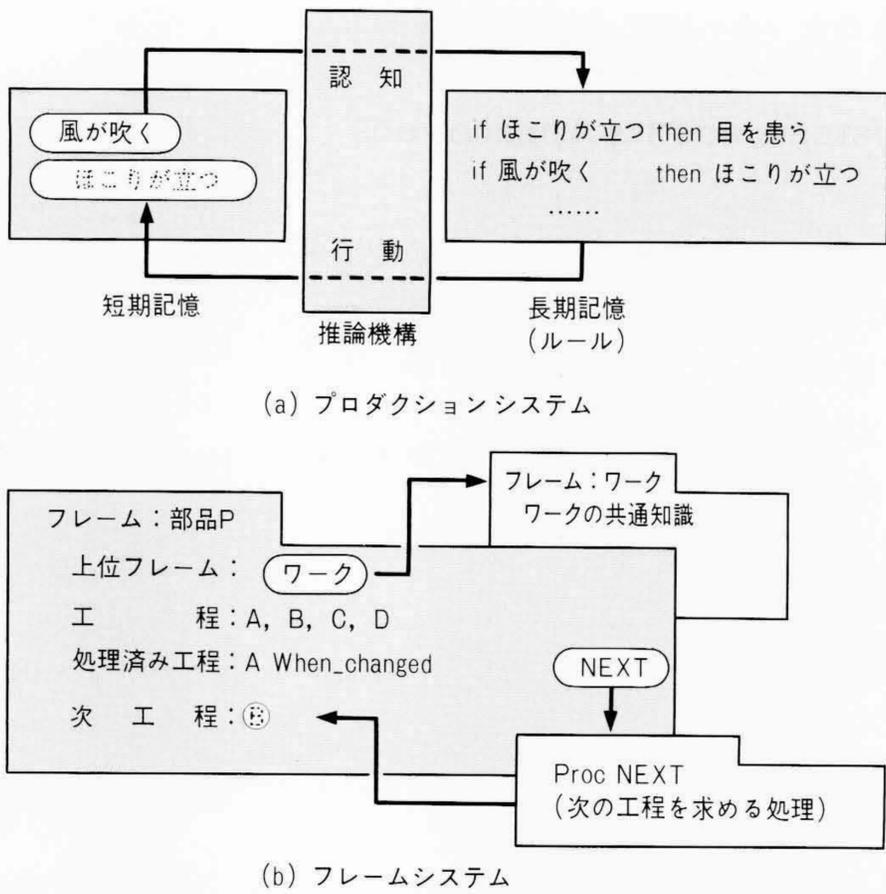
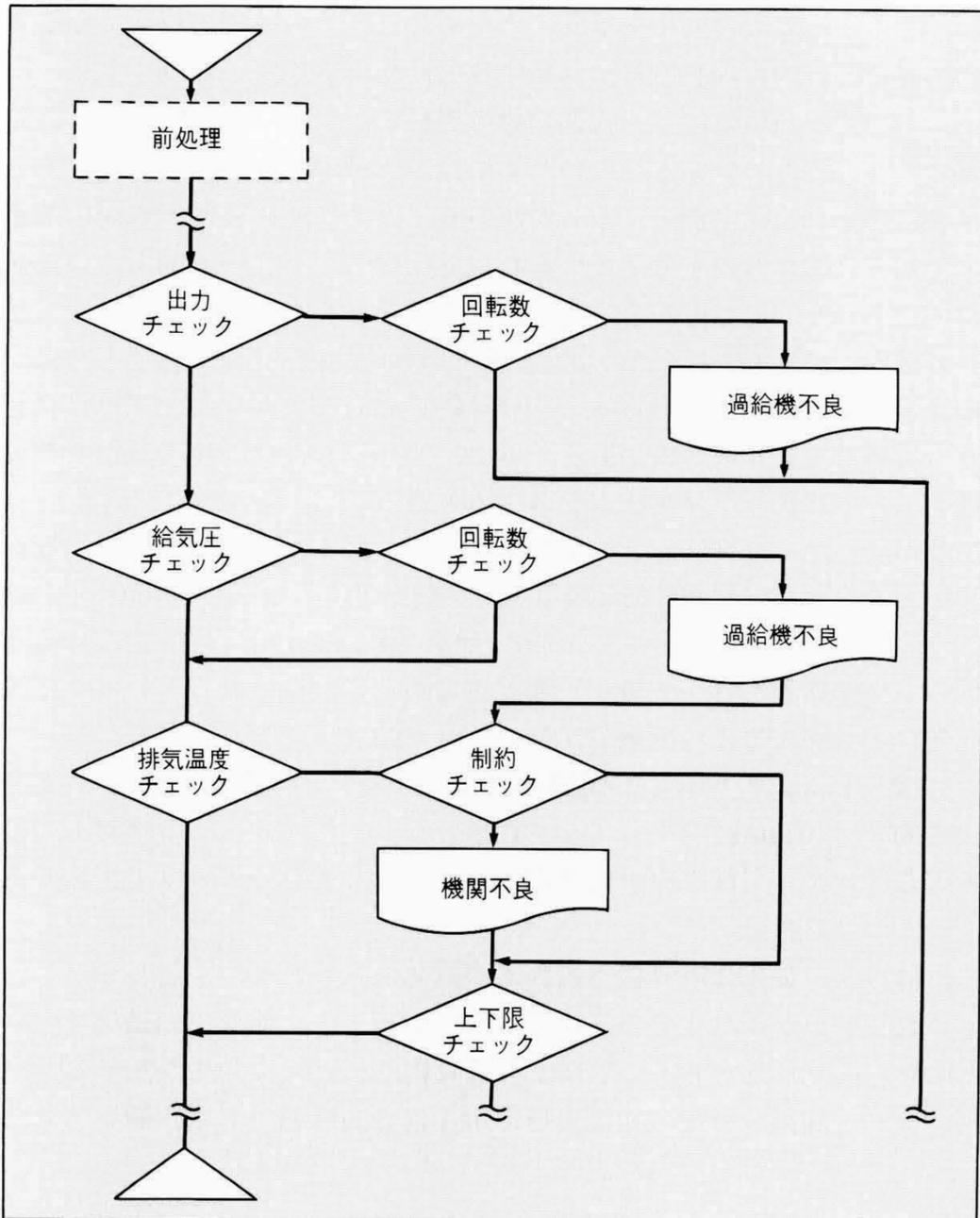


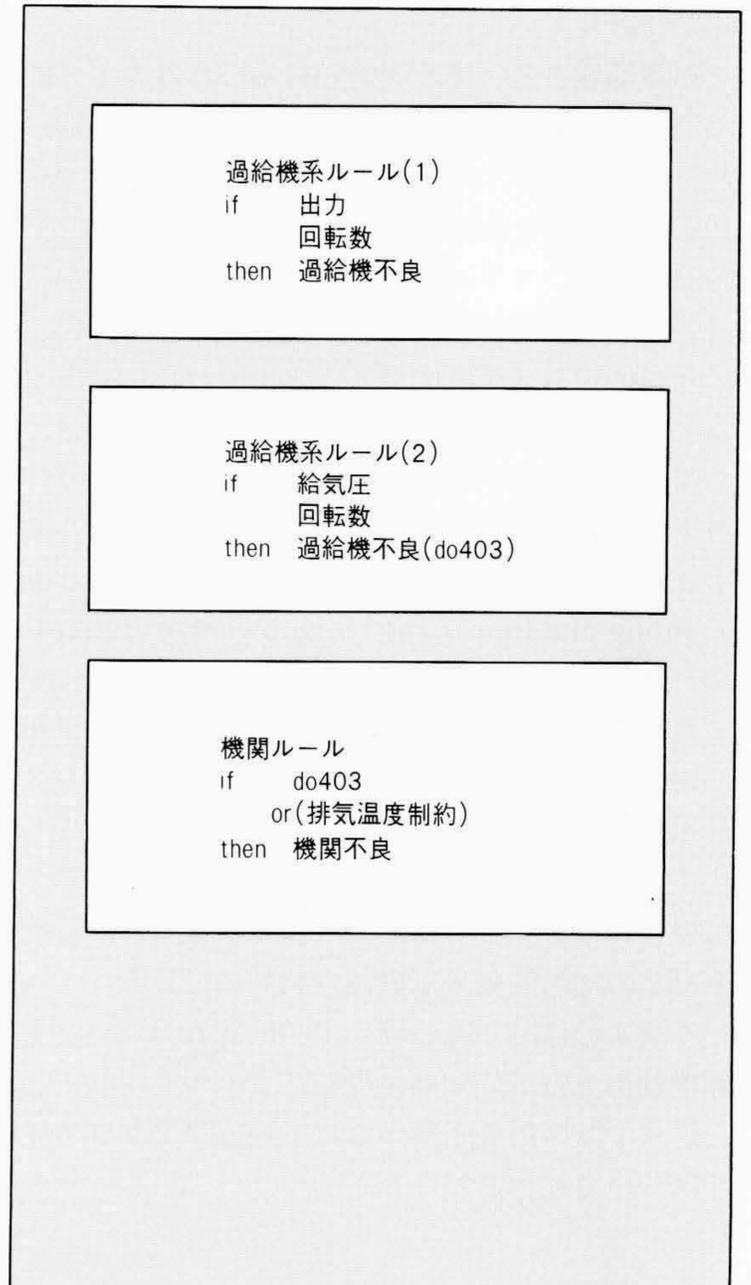
図1 思考過程の代表的モデル (a)プロダクションシステム：認知・行動のサイクルによって三段論法的推論が進む。(b)フレームシステム：データが関連性を持って記憶され、データの変更、読出しによって連想的に処理が進む。

プラント診断を実現するために、従来のプログラミング手法で診断論理を表した結果を図2(a)に模式的に示す。診断論理では、当然のことながら、条件判定部分が極めて多く、図に示すように処理の流れは複雑なものとなる。一方、知識処理での代表的形式であるルールによって、診断論理を記述すると同図(b)のようなになる。診断システムでは、綿密なシステム設計に基づいて構築したとしても、運用段階で様々な新しい知見が得られるため、これらを逐次システムに組み込んでゆくことが不可欠である。従来の同図(a)のようなプログラムでは、処理の流れが複雑なために手直しが困難で、運用段階でのシステム成長はほとんど期待できない。これに対して、同図(b)のようなルール形式でのプログラミングでは、それぞれの記述の独立性が高いため、診断論理の変更・追加が極めて容易に達成される。

熟練運転員のノウハウを計算機化する場合を考えてみよう。典型的なノウハウ構造は、後述(図5)のように、センサ情報の解釈、プロセス内部状態の推定、実行すべきアクションの選択といった一連の推論を行うものである。しかし、これらを逐次的に実行する必然性はない。むしろ、センサ情報の変化に応じて推論を進める形態、すなわちデータ駆動的処理のほうが、ノウハウ計算機化の結果の正当性を追跡する上で有



(a) 診断フロー



(b) 知識処理形プログラミングによる診断フローの記述

図2 知識処理形プログラミングの特徴 条件判定の多い処理プログラムが、知識処理形プログラミングによって簡素に表現できる。

用である。ルール記述によるプログラミングは、まさにこのようなデータ駆動的処理を実現するものである。更に、熟練運転員からのノウハウ取得は、一挙に行えるものではなく、段階的にならざるを得ない。したがって、診断の場合と同様に、プログラムの追加・変更の容易なルール記述形式は優れたプログラミングスタイルと言える。

人工知能の名の下に、現在様々な研究がなされてきている。しかし、現段階で産業界に大きなインパクトを与える点は、以上の例で述べたような新しいプログラミングスタイルの出現である。プログラミング言語は、アセンブラから数値計算のための高級言語FORTRANや事務計算処理のための高級言語COBOLへと発展してきた。これによって多大な便益を受けたと同様に、人間の持っている知識の移植のための言語として、プロダクションシステムやフレームシステムがその有用性が認識されて、その地位を得つつあるととらえることができる。知識処理では、特に、最初から完全なものをねらうのではなく、段階的に成長させてゆくことを前提としている点に大きな特徴がある。

### 3 システム応用事例

#### 3.1 知識処理の応用業務

制御用計算機の主な適用業務は、監視・制御といったプロセスに密着した業務と、計画・分析診断といった情報処理的性格の強い業務に分類される。知識処理の応用業務はこれらのほとんどの領域をカバーする。これらの具体開発事例を図3に示す。各業務での知識処理導入のねらいを以下に述べる。

##### (1) 監視

監視とは、リアルタイム環境下での異常検出、部位特定を指す。計算機による監視は、これまでも様々なプラントで試行あるいは達成されている。監視業務のプログラミングへ知識処理を導入する際の期待としては、プロセス計測値及び内部状態の間の相互関係に関する知識から、異常検出、部位特定を行うことが挙げられる。しかし、リアルタイム環境下での異常検出、部位特定は、今のところ、より直接的な論理、

すなわち図2に示したような条件判断論理の集積として構築するのが実際的である。このような場合、プログラミング手法として知識処理をとらえてみると、前章で述べたように知識処理の導入によってプログラムの記述性、成長性が格段に向上する点が利点として指摘される。

##### (2) 制御

物流・組立というような離散事象プロセスの制御と、化学反応系に代表される連続事象プロセスの制御の場合とでは、知識処理の導入動機は若干異なってくる。離散事象プロセス制御の場合は、熟練技術者のノウハウを計算機化するというよりも、条件判断の多い複雑なプログラムの柔軟性、保守性を高めることを主なねらいとする。一方、連続事象プロセス制御の場合は、プロセス現象の数式モデル化、これに基づく制御方式の開発という従来アプローチでは手間がかかるという問題の解決をねらいとする。すなわち、熟練技術者のノウハウを積極的に計算機化することによって、計算制御実現のスピードアップを図ろうとするものである。後述のように、数式モデルによる制御が困難であった高炉操業が、ノウハウの計算機化によって達成される見通しが得られた<sup>6)</sup>といった事例も報告されている。

##### (3) 計画

設備条件、製品ロットなどに関する種々の制約の中で、時間軸上に設備運用順序を並べるスケジューリングに代表される課題である。従来から、数学的組合せ問題として解決を図ろうと試みられてきたものである。しかし、数学的扱いだけでは取り扱える問題規模が小さいこと、多様な制御条件を考慮するのが困難であることなどから、計画ノウハウを計算機化することによって、数学的接近の問題点を解決しようとするものである。

##### (4) 分析・診断

製品のライフサイクルの短期化に伴って、ライン立上げの迅速化は生産活動での必ず(須)の要件になっている。製造上の各種データ、検査データから工程不具合を抽出するプロセス診断は典型的な課題である。一般に、生産・設計診断のた

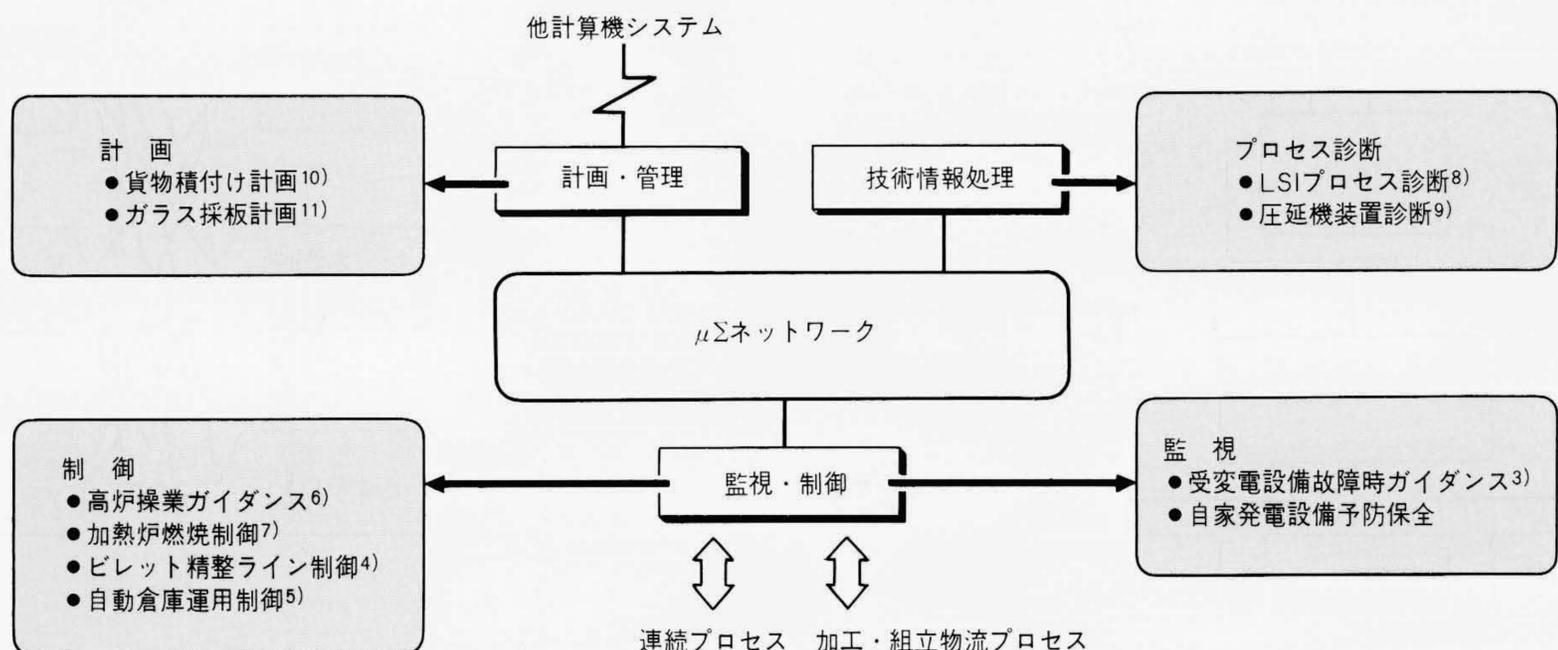


図3 制御分野における知識処理の応用業務 監視・制御、計画・分析・診断など、ほとんどあらゆる領域で知識処理が導入され始めている。

めの知識は複数の専門家の間に分散していることが多い。個々の知識を計算機化すれば、分散した知識が計算機を介して統合され、プロセス、設計の改善に早期にフィードバックすることができる。数百の工程を経て製品ができあがるLSI製造ラインで実現されたプロセス診断システム<sup>8)</sup>は、このような分散した知識の統合をねらって実現された典型的な例である。

### 3.2 監視への応用

監視業務への適用事例として、下水ポンプ所のディーゼル発電設備予防保全システムについて述べる。市街地にあるポンプ所は、特に雨水排除が重要な使命であるため、出水時に確実に機器を稼働させなければならない。本システムは、ディーゼル発電設備の運転状態から異常箇所を検出し、保全のガイダンスを行うものである。システム構成は、**図4**に示すように、制御用計算機HIDIC V90/25(以下、V90/25と略す。)の二重系、及びワークステーションCWS2050から成り、V90/25でオンライン予防保全処理を、CWS2050で予防保全知識の向上をそれぞれ行う。診断に用いるオンラインデータは、温度、圧力、液位などアナログ値約100点、及び運転・停止、弁の開閉などデジタル接点約100点である。診断システムとしては、ディーゼル機関主運動部、調速装置、燃焼装置、吸排気系など十数項目にわたり、状態値、トレンド、条件変更時の応答、作動時間などの観点から診断論理が形成された。

診断結果として、重故障、軽故障、予防措置要求などが出力される。診断論理のルール形式による記述により、運用開

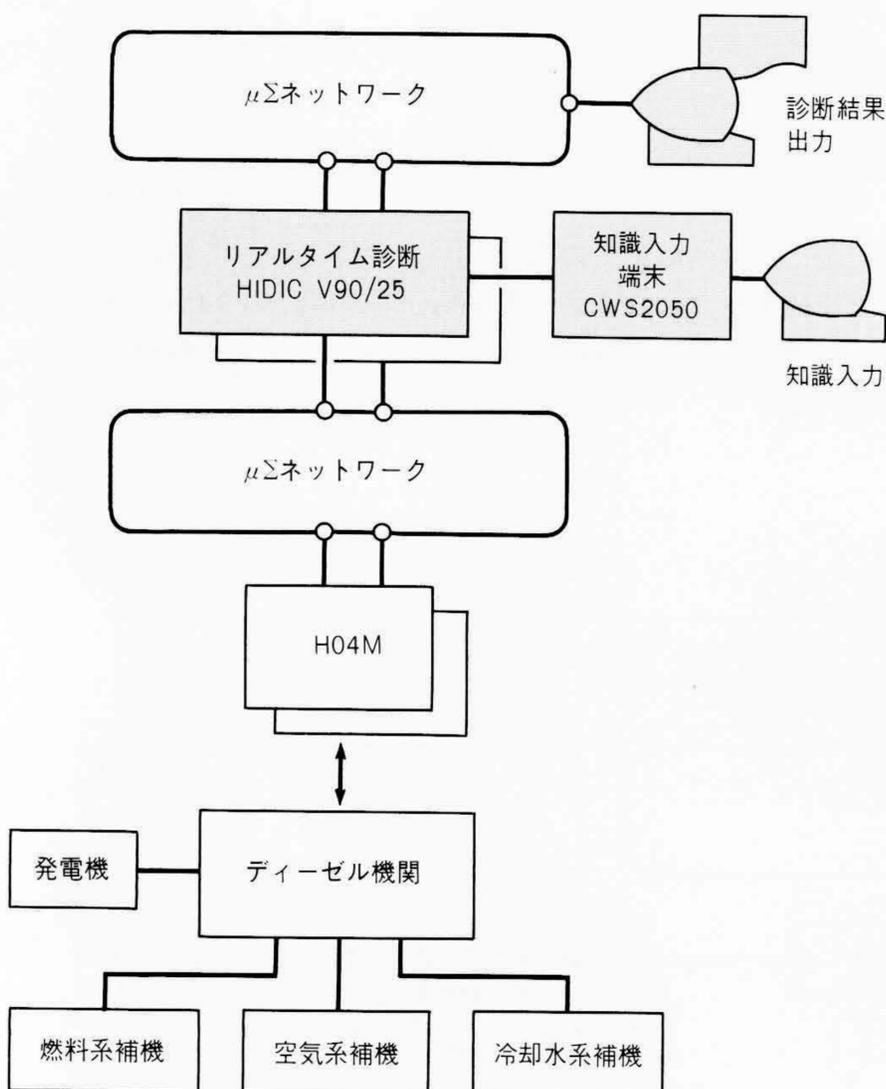


図4 自家発電設備予防保全システムの構成 ワークステーションCWS2050から入力された知識が、制御用計算機V90/25で処理され、予防保全システムとして機能する。

始後に得られる知見が即座に計算機化可能となり、今後のシステム成長が期待されている。

### 3.3 制御への応用

複雑なプロセス制御への知識処理の適用例として、高炉プロセス操業監視支援システムについて述べる<sup>9)</sup>。高炉プロセスは固体、液体、気体が混在し、現象論的にも未解明な部分の多い大規模反応プロセスである。このため、数式的な綿密なモデリングによる操業自動化あるいは支援は困難に近い。一方、優れた操業員は、高炉の状態を的確に判断して操業するノウハウを持っている。そこで、優れた操業員のノウハウを計算機化し、操業の高品位安定化を目指して知識処理が導入された。

操業上の重要課題として、高炉の不安定回避に的が絞られ、この知識枠組みが**図5**に示すように整理された。すなわち、履歴を含む検出端データ、既存モデルのアウトプット、目視データなどから、物理的意味づけを持った中間仮説を求め、次に、この中間仮説から炉の悪化傾向の種類、度合いを判定し、最後に操業アクションを決定する。推論の過程では不確実性が伴うため、HG(Heuristic Grade)と呼ばれる手法が導入された。これは、前提部の確からしさに重みづけを行い、結論部にしきい値を置いて、前提部の重みとの比較で結論部の成立可否を決める方法である。

開発した知識ベースの評価のために、過去の実操業データが知識処理システムに与えられ、実際の操業とシステム出力との比較分析が行われた。79ケースのオフラインテストの結果として、(1)実操業に比較して、知識処理システムの応答が優れているもの20ケース(25%)、(2)実操業と知識処理システムの応答が一致し、結果は良好と判断されたもの53ケース(68%)、(3)実操業が優れていると判断されたもの6ケース(7%)

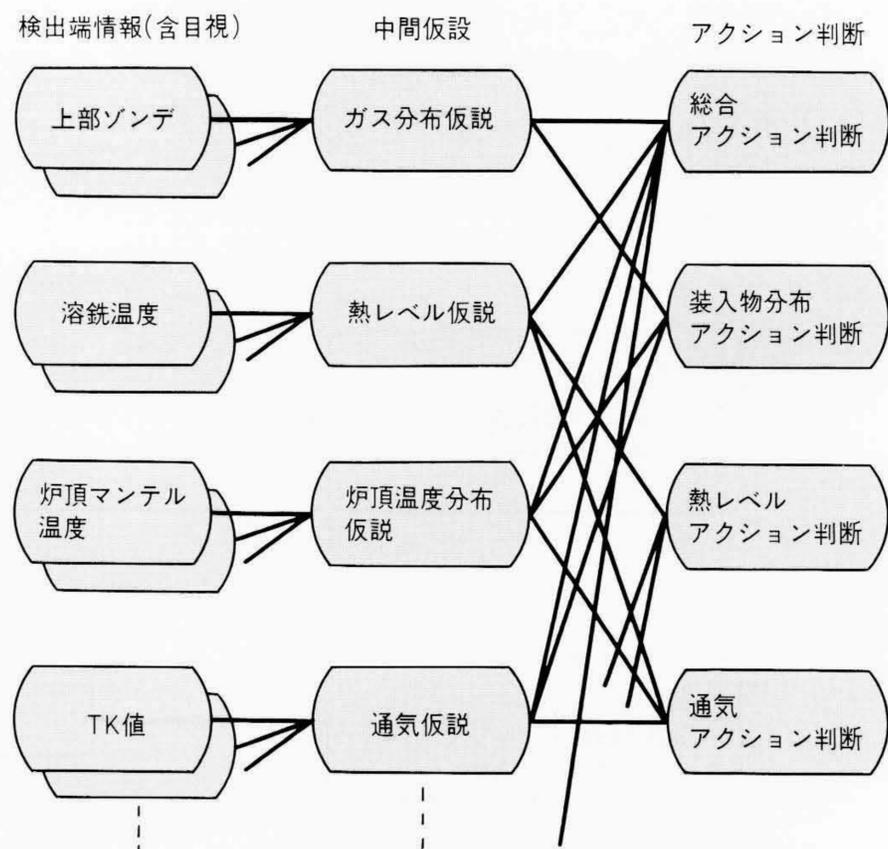


図5 高炉操業ガイダンスシステムにおける知識の構造 センサデータの解釈によるプロセス状況の仮説設定、仮定に基づく操業アクションの決定と推論が進む。

が得られた。この結果から、知識処理システムの応答が実作業よりも良いと判断されるのはその逆よりも18%多く、上記(3)についても知識の可読性が高いため、原因の解析によってこれを取り除くことが十分期待できるとしてシステムの有用性が確認された。

以上の有用性確認の下に、図6に示すようなシステムの導入が図られた。本システムは、既存のデータロギングやマイナ制御用の計算機の有効活用を図り、かつ複数の高炉に対する共通の拡張性を確保するという観点から、バックエンド形の形態となっている。

### 3.4 計画への応用

計画問題への知識処理の応用例として、多数の異なる寸法の貨物群を1個の輸送器に混載する貨物積付け計画について述べる<sup>10)</sup>。作業割当てのようなスケジューリング問題は、時間、設備群の2軸から決まる平面上への配置計画であるのに対して、貨物積付け計画は3次元空間上への配置問題であり数理アルゴリズム的手段による解決はほとんど期待できない。

ここでは、積付け計画を段階的に行うこととし、この進展状態を規定するものとして、{計画フェーズ、積付け面の特徴、未積付け貨物の特徴}が抽出され、各状態に応じてどのような形状で、どんな貨物を積み付けるべきかがルールの形式で表された。この積み付けるべき貨物の選択及び積付け形状の設定は、大規模で実際には解き得ない組合せ論的問題を、小規模な部分問題に分解することを意味している。この分解原則(ルール)の導出は、非常に試行錯誤的な要素が含まれる。この試行錯誤的な面に対応するために、知識処理が適用されたわけである。

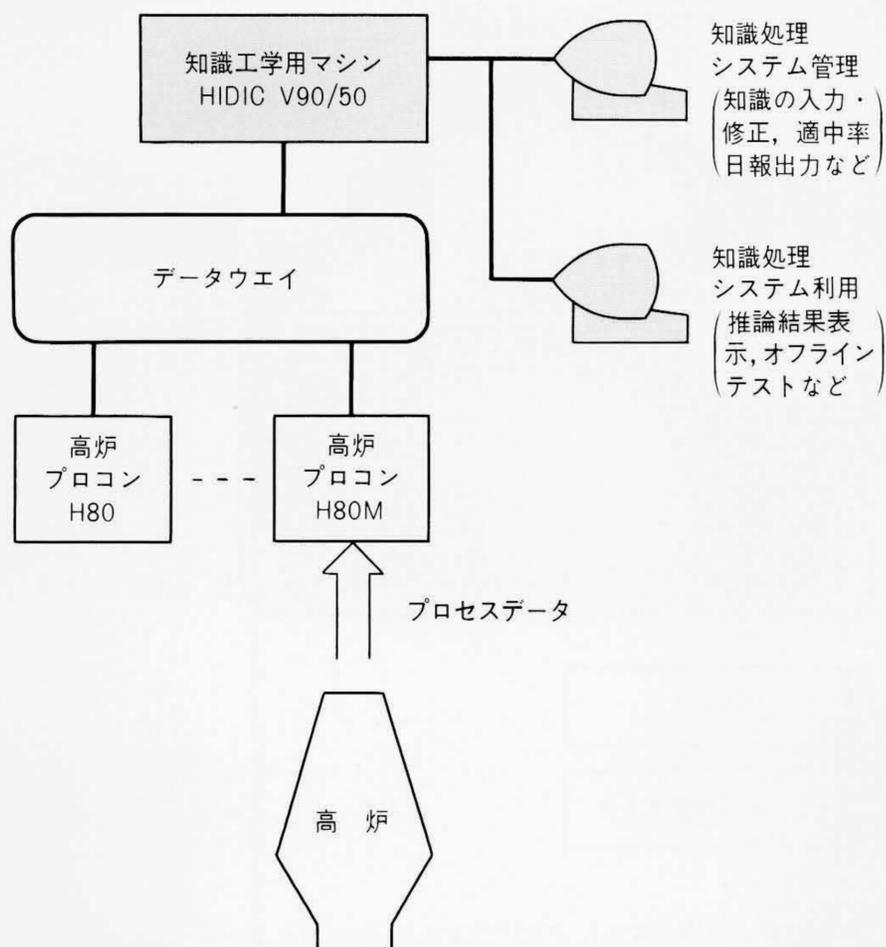


図6 高炉操業ガイダンスシステムの構成 複数の高炉への共通の拡張性を配慮して、バックエンド形の計算機で知識処理が実行される。

計画処理手順は、(1)積付け進展状態の認識、(2)認識した状態に基づく積付け方針案(積み付けるべき貨物の選択及び積付け形状)の推論、(3)推論結果に基づく小規模な組合せ問題の求解と最良方針の選択の3段階を反復実行するものである。計画手順の実用性の評価として、貨物種類が4~20種、個数30~90個という実規模レベルの問題に対して、人間による積付けとシステムによる積付けとの積載効率の比較がなされた。実験的試行(25ケース)の結果、システムが良好な計画を行ったケースは88%以上となることが確認された。積載効率の向上と同時に、計画立案時間が手作業に比べて大幅に削減されることから、システムの有用性が確認された。この確認の結果、構築されたシステム全体構成を図7に示す。同図に示すように、積付け計画はエンジニアリングワークステーションで行われ、この結果が貨物積付け制御システムへと送られる。

### 3.5 分析・診断への応用

分析・診断への応用事例として、LSI製造プロセス用診断システムについて述べる。LSI製品の微細化が急速に進んでいる。このために、各工程での作業結果の良否を直接調べることで、

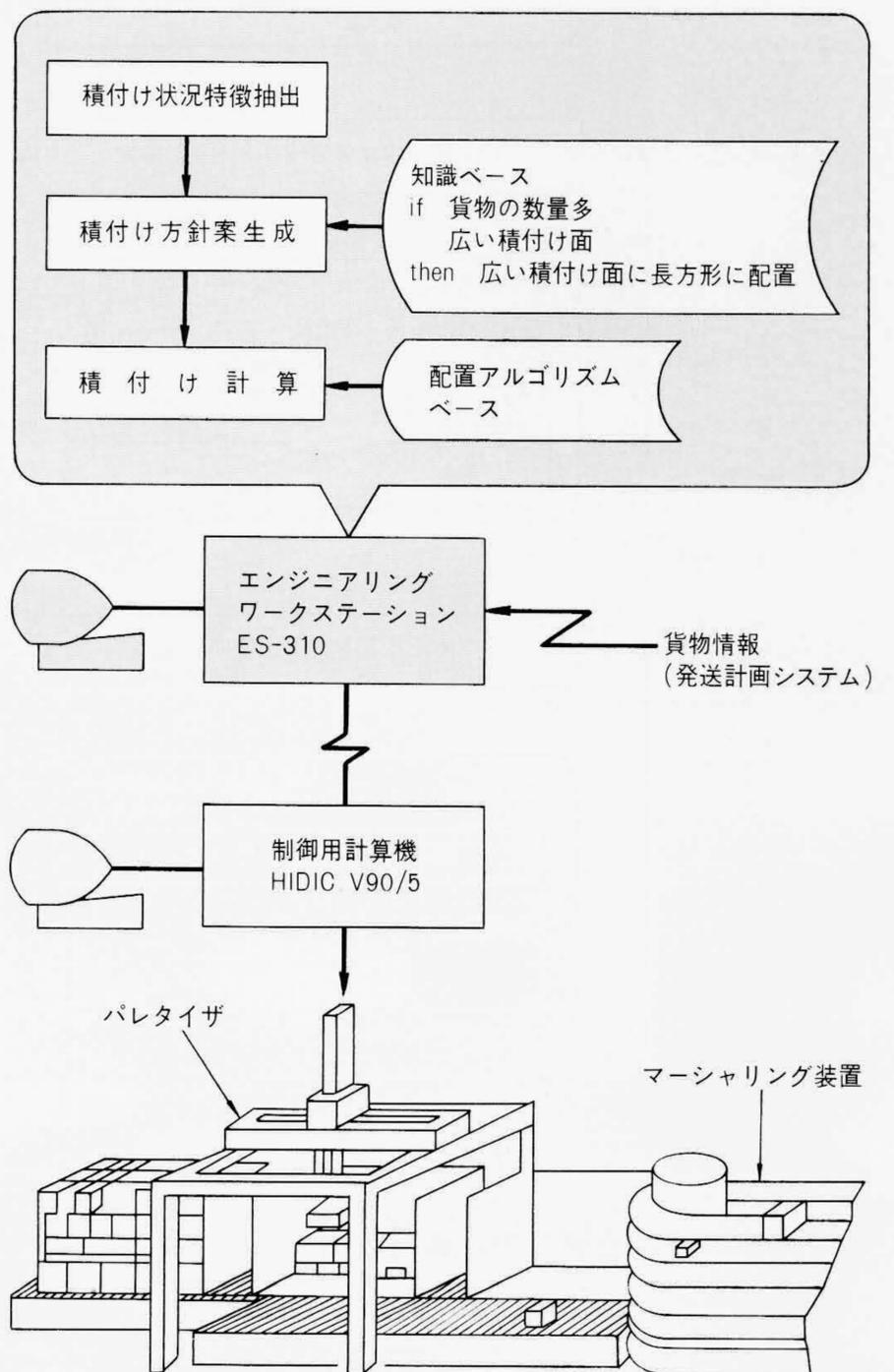


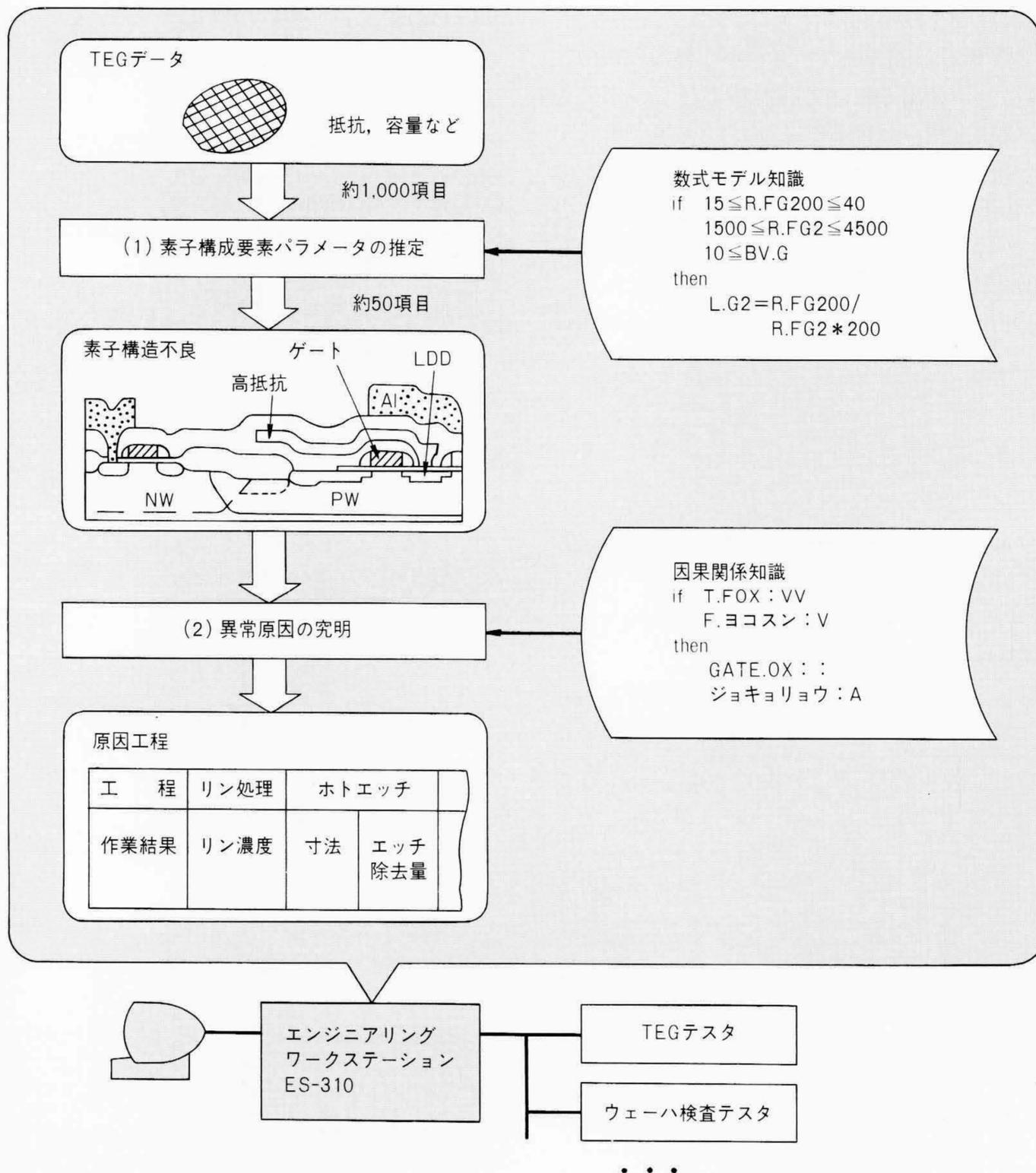
図7 貨物積付け計画への知識処理応用 積付け方針の導出に知識処理が導入された。ワークステーションで作成された積付け計画が制御用計算機によって実行される。

あるいはゲート長など素子構成要素パラメータと抵抗値など、素子特性との関係を解析することがますます困難となっている。このため、ウェーハ内に埋めこまれたTEG (Test Equipment Group: 部分試作テストパターン)による素子構造解析や、素子特性解析の重要性が増大している。一方、TEGデータの解析には、数式モデルに代表される理論的知識だけでなく、技術者の経験的知識が必要である。ところが、LSI製品の微細化に伴う製造プロセスの大規模化・複雑化は技術者の専門化を招き、迅速、的確な不良及び不良原因の抽出が困難となっている。このために、技術者間に分散している知識を統合活用することを目的に診断システムが開発された<sup>8)</sup>。

このシステムでの診断手順を図8に示す。まず、抵抗、容量など素子の電気的特性をTEGから測定する。次に、物理的あるいは統計的知見に基づいて作成した数式モデル知識によって、電気的特性からゲート長など素子構成パラメータ値を

推定する。各推定値をそれぞれの診断規格と比較し、異常の有無を判定する。素子構成パラメータ値は、多種類のプロセス制御パラメータの値によって決まる。しかし、この因果性は確定的ではない。このため、素子構成パラメータ値と各工程の製造条件との定性的関係を作り上げた。この関係は各工程の専門技術者の知識を統合して得られたものである。異常現象が抽出されると、因果関係知識から原因工程を推論し、更にこの工程が原因しているとするれば他の素子構成パラメータ値にも影響が現れているはずであるというように、原因工程を絞りこんでゆく。

このシステムは、エンジニアリングワークステーションES-310上に搭載された。更に、診断技術者の直観的な推察を助けるためにTEGデータの解析・表示プログラムが付加された。このシステムの実現により診断精度の向上、診断知見の蓄積に対するシステム追従性が確保されることとなった。



注：略語説明 LDD(Lightly Doped Drain), TEG(Test Equipment Group), NW(Nウエル), PW(Pウエル)

図8 LSIプロセス診断への知識処理応用 多数のプロセス技術者のノウハウを集約して、検査データから不良原因工程を的確に抽出する。

#### 4 知識処理システム構築用ツールEUREKA-II

知識処理システム構築用ツールとは、前章で述べたような知識処理システムを具体的に作り上げるためのソフトウェアで、人間の持つ知識をルールやフレームの形でプログラム化すると、これらを実行して推論結果を出力するものである。

ツールとしての有用性は、次の3点に集約される。

##### (1) 知識の表現・利用形態の多様性

簡単な知識から複雑な知識まで様々な要求レベルに応じた表現ができると同時に、これらを多様な形で利用できることが必ずである。更に、入力した知識が適切であるかどうかを調べるテスト、デバッグ機能も十分に備わっていなければならない。

##### (2) 推論処理速度

知識処理では、パターンマッチングを基本として処理が進行する。このため、計算機の処理負荷が必然的に増大する。実用に耐えられる応答性能が得られるかどうかは、ツールの致命的な評価ポイントである。

##### (3) 他言語処理との融和性

知識処理は、人間の思考過程の計算機化あるいは条件分岐の多い業務の計算機化に適している。システム構築で必要となる業務をすべて知識処理言語で記述するのは効率が悪い。更に、既存ソフトウェアの機能向上として、知識処理を導入する必要性も生じる。実用的なシステムを作るという上では、他言語処理との融和性が重要となってくる。

以上の観点から、EUREKA-IIの機能、特徴についてまとめると表1のようになる。

計算機に与える知識は、4種類の知識のコンポーネントの組合せによって、簡単なものから複雑なものまで幅広く記述することができる。これらのコンポーネントの中心をなすの

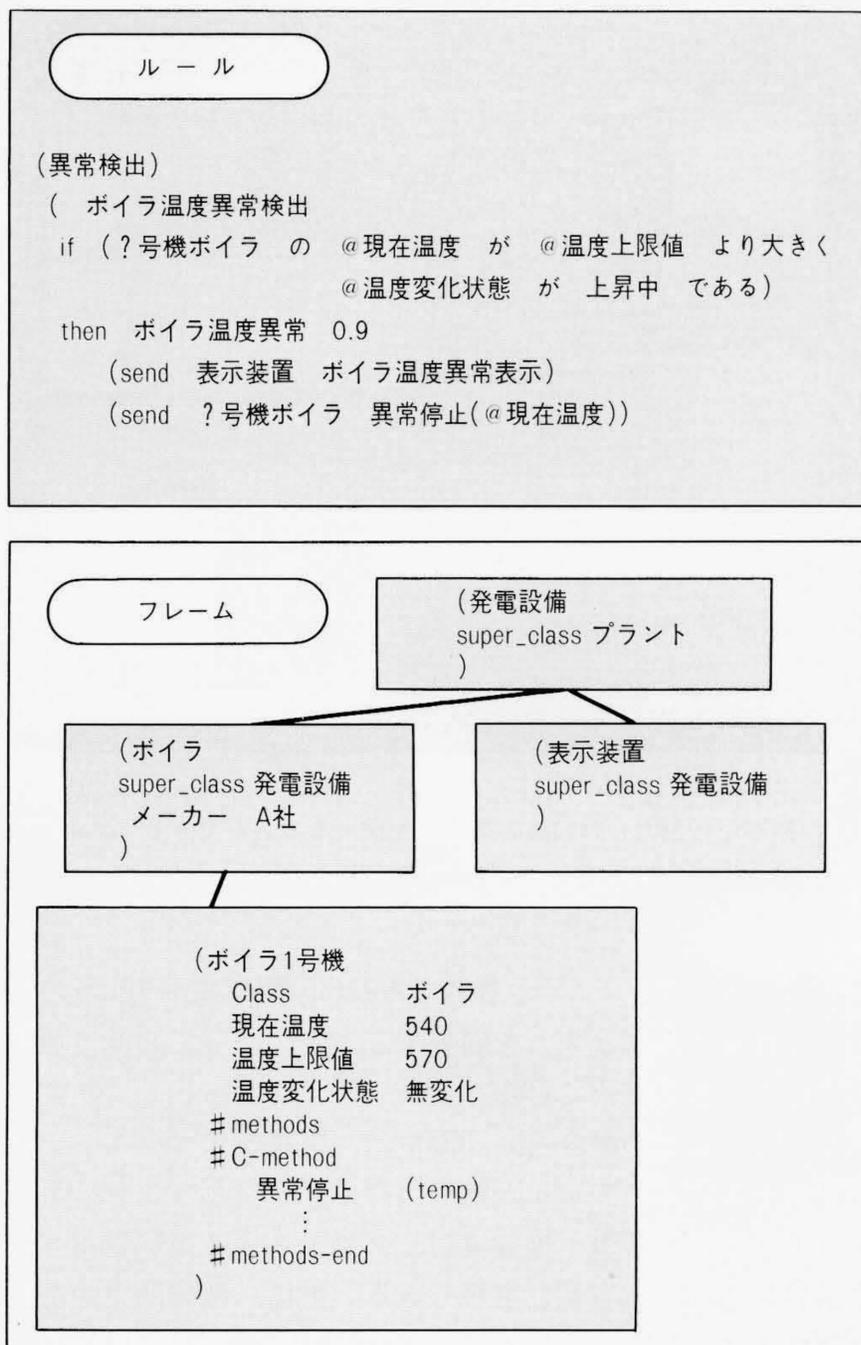


図9 EUREKA-IIにおける知識の記述例 日本語的な表現によって、様々な知識を的確に計算機に与えることができる。

表1 EUREKA-IIの機能的特徴 日本語的な知識表現で様々なノウハウを入力することができ、実用的な推論処理速度を備えている。

ツール評価視点	項目	EUREKA-IIの特徴
知識の表現・利用形態の多様性	知識の表現方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ルール、フレーム</li> <li>• プライベートメモ (推論過程での中間仮説)</li> <li>• メタルール (推論過程の制御知識)</li> <li>• 日本語的な記述</li> </ul>
	知識の利用方法 (推論法)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 前向き、後ろ向き一体形推論</li> <li>• あいまい推論 (• 日本語エディタ, デバッグ)</li> </ul>
実用性	推論処理速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高速推論</li> <li>• ルールの総数によらない応答性能</li> </ul>
他言語処理システムとの融合性		<ul style="list-style-type: none"> <li>• プロセスデータベースインタフェース</li> <li>• プロセスディスプレイインタフェース</li> <li>• 他言語のサブルーチンとしての利用</li> <li>• 他言語サブルーチンの利用</li> </ul>

は、フレームとルールで、フレームはプロセスの状態や機能を、ルールはプロセスの操業ノウハウや事実間の因果関係を表すのに用いる。ルール、フレームの記述例を図9に示す。これらの知識をつなぎ合わせて推論を進める推論エンジンは、ルールの条件部(if部)から結論部(then部)を逐次導く前向き推論や、結論部から条件部の成否を調べる後ろ向き推論の実行、フレームで記述された知識に基づく連想的処理を実行する。推論エンジンに加えて、知識デバッグを開発し図10に示すように、マルチウインドウによって、推論過程や知識の構造を多様な観点から見ることができ、入力した知識の適切さを調べることができるようになっている。

EUREKA-IIの最大の特長は、以上のような多様な知識の表現機能を備えているにもかかわらず、実用的な推論処理速度が得られる点である。推論処理で最も時間がかかるのは、ルールの条件部の成立判定である。このため、すべてのルールに対して、条件部の重複状況を調べて重複判定がないようにするとともに、判定方法の効率化を図ることによって、高速な推論が達成されると同時に、ルールの総数によらない応答特性が得られるようになった<sup>12)</sup>。高速推論の従来技法とし

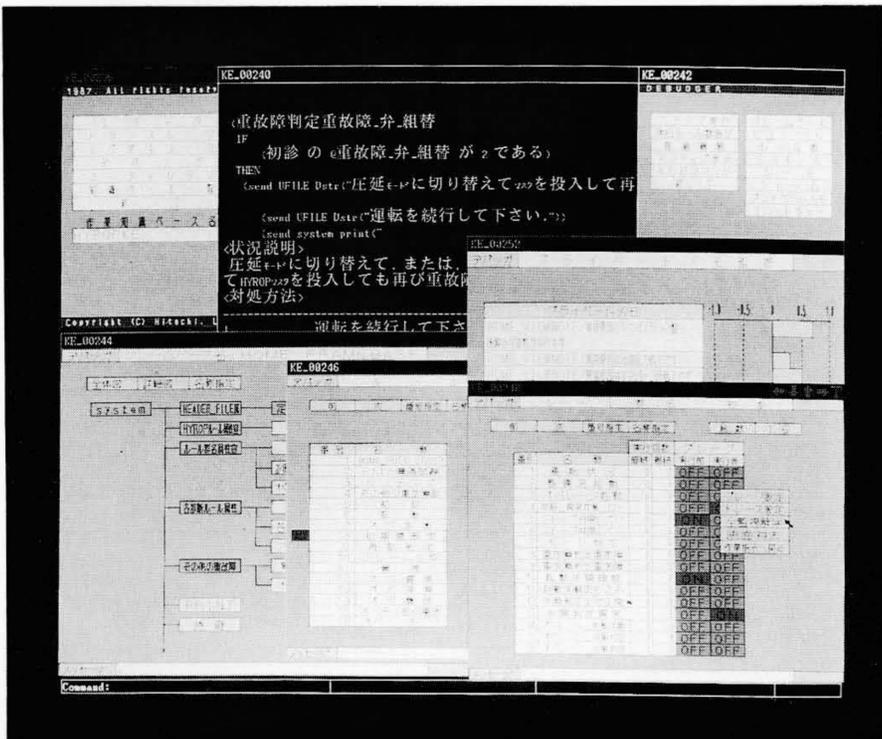


図10 EUREKA-IIのデバッガ画面例 マルチウィンドウによって、多様な観点から入力した知識の適切さを調べる事ができる。

て、Reteアルゴリズム<sup>13)</sup>が著名であるが、図11に示すように、新たな推論アルゴリズムを開発することによって知識処理の実用性を大きく高めている。

他システムとの融合という面では、プロセスデータベースとプロセスディスプレイとの入出力インタフェースを持ち、プロセス現況に基づく推論実行、プロセスディスプレイへの推論結果の表示を容易に実現できる。更に、他言語で書かれたプログラムを呼ぶことができるだけでなく、EUREKA-IIを他言語で書かれたプログラムのサブルーチンとしても利用可能であるため、大規模なシステム構築に対する対応力も備えている。

EUREKA-IIは、制御用計算機HIDIC V90シリーズ及びエンジニアリングワークステーションESシリーズに搭載され、先の図3に示すように、様々な業務分野で実績を挙げている。

## 5 結 言

知識処理は、人間の思考過程を計算機化するプログラミング技術でしかない。しかし、これまで計算機化が困難であった問題が扱えるようになること、更に、ソフトウェア人口の拡大に貢献することなどが実証され始め、極めて重要な技術となってきている。今後、あらゆる分野で実用システムの開発が進められることになろう。

このような実用化の進展に伴って、個々に作り上げてきた知識処理システムを協調して機能させる分散協調システム化が重要となってくる。これらの実現技術の研究開発を進め、生産活動の高度化に寄与すべく努力してゆきたい。

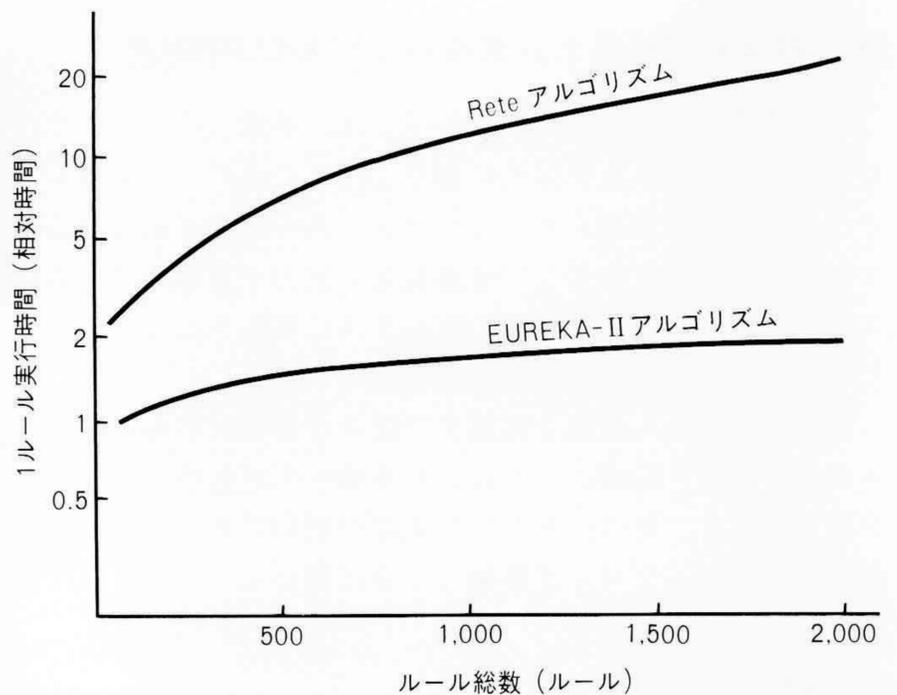


図11 EUREKA-IIの推論処理性能 入力された知識を効率よく処理できるように整理するアルゴリズムの開発によって、実用システム構築に適した推論エンジンを形成している。

## 参考文献

- 1) M. Ejiri, et al.: A Prototype Intelligent Robot that Assembles Objects from Plan Drawings, IEEE Trans. on Computers C-21 (1972)
- 2) 日経産業新聞 (昭和59年4月20日号)
- 3) 鈴木: エキスパートシステムの上下水管理制御への応用, 昭62電気学会産業応用大会
- 4) 都島, 外: 流れ作業ライン制御へのルール型制御方式の適用—製鉄所のピレット精整ライン制御への適用—計測自動制御学会論文誌, Vol.21, No.10 (1985)
- 5) 田代, 外: ルール型制御ソフトウェアシステムSCD (Station Coordinator)の開発, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.5 (1986)
- 6) 湯井, 外: 高炉プロセス操業監視支援における知識システムの適用, 計測と制御, Vol.26, No.8 (1987)
- 7) 谷藤, 外: 知識工学を用いた鉄鋼加熱炉燃焼制御, 電気学会論文誌, Vol.107-C, No.8 (1987)
- 8) 栗原, 外: 知識ベースに基づく半導体プロセス診断方式, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.5 (1986)
- 9) 中西, 外: 油圧圧下装置の故障診断エキスパートシステム, 電気学会生産設備管理産業システム情報化合同研究会 (1987-6)
- 10) 天満, 外: 知識工学技術を応用した貨物配置決定方式の提案, 電気学会論文誌, Vol.107-C, No.2 (1987)
- 11) 日経メカニカル, 1986. 12. 29 (No.235)
- 12) 田野, 外: 知識ベースシステム構築用ツールEUREKAにおける高速処理方式, 情報処理学会論文集, Vol.28, No.12 (1987)
- 13) C. L. Forgy: Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, Artif. Intell., Vol.19 (1982)