

# 知識工学の電力・鉄鋼システムへの応用

## Application of Knowledge Engineering to Electric Power System and Iron-and-Steel System

専門の運転員の判断に任されてきた大規模システムの診断や運用・制御にも、自動化の可能性がでてきた。知識工学を応用したシステム、すなわち取り扱う問題に関する専門家の知識やノウハウを、上手に活用するエキスパートシステムに期待がかけられている。

日立製作所は、いち早くこの技術の将来性に注目し、電力や鉄鋼システムなどの大規模システムの運用・制御への応用を検討してきたが、その結果、計算機を用いた運用・制御の分野での革新的技術となりうることを確信するに至った。本稿ではこの技術について、応用という観点から見た必然性、具体的応用に際しての課題について述べる。更に、運転員用ガイダンスシステムの応用例として、電力システムでの故障区間判別システム、リアルタイム制御への応用例として、鉄鋼プラントでの加熱炉制御システムについて説明する。

川上潤三\* Junzō Kawakami

谷藤真也\*\* Shinya Tanifuji

### 1 緒 言

人工知能の研究の中から、米国スタンフォード大学教授ファイゲンバウムらによって提唱された知識工学は、新しい計算機利用の道を開くものとして期待されている。知識工学の特徴は、断片的な知識やノウハウを積極的に利用する点にあり、専門の運転員の判断に頼らざるを得ない業務が多く残っている大規模システムの運用・制御を、計算機の利用によってより高度化する際の有力な武器となりうるものである。知識工学は、フィードバック制御から始まって、最適化制御、適応制御、学習制御と進んできた制御技術の次の革新的技術となりうるものである。従来の制御技術が、固定したアルゴリズムと数値計算にその基盤を置いていたのに比べ、この新しい技術は、記号処理と推論に基盤を置き、より柔軟に運転員の思考を計算機で実現しようとする。このため、扱う対象が複雑すぎ、あるいは非定形すぎて従来の技術の枠組みでは扱いきれなかった問題も処理できると期待されている。

日立製作所はこのような認識に立ち、知識工学を大規模システムの運用・制御に利用することを検討してきた。本稿ではこれらの検討結果を基に、知識工学応用の必然性と可能性、効果と課題などを述べ、電力や鉄鋼システムでの応用例の一部に触れる。

なお知識工学の応用内容は、その実現時期や技術レベルによって大きく異なっており、それらが混同されて話を分かりにくくしている面がある。ここでは比較的近い将来実現可能なものに限定して説明を進める。

### 2 大規模システムの運用・制御と知識工学応用

#### 2.1 知識工学応用による効果

電力や鉄鋼のような大規模システムの運用・制御は、定常状態ではほとんど人手を借りることなく行なえる段階にきている。しかし、このような自動化の進んだシステムでも、要所要所には人間(運転員)の高度な判断に依存する部分が残されている。例えば、運用・制御計画の策定、機器や装

置の診断、起動・停止操作や事故時の緊急操作などである。事故発生時の運転員の行動を考えると、各種警報や計器の読みを参考に、長年の経験で得た知識やノウハウを駆使して、迅速・的確に状況を把握して事故の波及を防ぎ、復旧を図るための対策を考えると同時に、下位の制御機構に指令を発して自動化装置の制御モードを切り換え、自ら直接制御操作を行なう。

このように運転員の判断にゆだねられている業務の多くは、問題の構造が不明確で、あるいは変更・追加事項が多過ぎ、事前にその枠組みを決定することが困難なために、まとまったアルゴリズムに表現しにくいものである。

知識工学を応用したシステム、特にエキスパートシステムとは、エキスパート(専門家、例えば熟練した運転員)が問題解決の際に用いる知識やノウハウを計算機に与え、その知識やノウハウを上手に組み合わせて問題を解決しようとするシステムである。知識工学では、知識とその知識をどのように用いるか(推論という。)を、各々分離独立させた枠組みで取り扱う点に最大の特徴がある。従来の方法でも、専門家の知識やノウハウが使われていないわけではないが、知識やノウハウとそれらを用いてどのように結論を導くかが同じ枠組みの中で扱われていた点に違いがある。したがって、従来手法では用いる知識やノウハウ、情報を整理し、全体の処理手順を確定してからでないとソフトウェア開発が始められなかった。これに対して、知識工学を応用したシステムでは、用いる知識やノウハウ、更には処理手順を事前に確定する必要はない。この特色は、運転員の判断に頼っている業務の計算機化の課題に対する一つの解決策となっている。

このような知識工学を大規模システムの運用・制御や診断などに応用することで、次のような効果が期待できる。

(1) システムやプラントの物理構造に基づく知識以外に、熟練運転員のノウハウを活用した高度な判断や操作が実現できる。

\* 日立製作所日立研究所 工学博士    \*\* 日立製作所日立研究所



(2) 知識がその処理と切り離され、独立した表現形式で記述されるので、追加・修正が容易である。したがって、シミュレーションや実運用の結果のフィードバックも容易で、絶えず機能向上が期待できる。

(3) 知識を入力することがプログラム開発を意味するので、ソフトウェアの開発工数が低減される。またユーザーによる追加・修正も可能となる。

(4) 推論の過程を運転員に提示することができるので、個別の知識やノウハウのもつ意味、更には発生している現象に対する運転員の理解を助けることができ、運転員の判断をより確実なものとする事ができる。

## 2.2 知識工学応用の現状

具体的応用を進めるには、知識やノウハウをどのように表現し、その表現形式を計算機の中でどのように処理し結論を導くかを決めなければならない。運転員は、(1) 生じた現象を見て判断を下し、(2) 対策を決定し、(3) 実行する、という一連の行動を繰り返していると考えられる。プロダクションシステムという概念は、このような運転員の行動を計算機上に実現するための基本的な枠組みを与えている。

図1にプロダクションシステムの原理を示す。プロダクションメモリにはif/then形式で表現された知識(運用・制御ルール)が蓄えられている。if/then形式とは次に示すように、if部にそのルールの適用条件を、then部に実施内容を具体的に記述したものである。

if 母線の電圧が許容値以下で、かつその母線に未投入調相容量があるなら、then その調相容量を一単位投入する。

ワーキングメモリには対象システムの状態が蓄えられている。プロダクションインタプリタは運用・制御ルールのif部と対象の状態を比較照合し、適用可能なルールの一つを選択して指令を出す。適用可能なものが複数あるときは、なんらかの方法でそのうちの一つを選択する。この選択法には、あらかじめ優先順位を与えたり、選択法を別のルールで記述するなどの方法がある。この選択法は、結果の良しあしを直接左右するので重要である。

このプロダクションシステムを使って、日立製作所は、製鉄所の精製ヤードの制御<sup>1)</sup>や加熱炉制御<sup>2)</sup>、上水場の異常診断ガイダンス、変電所の開閉器操作ガイダンス<sup>3)</sup>などを開発している。原理的なプロダクションシステムを現在の逐次処理形の計算機で扱う場合、ルールの数が多くなるとルールの照合などに時間がかかり過ぎ実用上問題となる。先の応用例ではこの問題を克服するため、ルールをグループに分割し推論に

必要な情報だけをワーキングメモリから抽出したり、ルールを階層化するなどの工夫を行なっている。このような処理速度を高める工夫は、現状の計算機を用いている限りどうしても必要となる。また現実の運用・制御の問題では、数値計算などアルゴリズムで表現するほうが有利な部分も多いので、ノウハウ的なルールはif/then形式で、アルゴリズムで書き下ろすことができる部分は、手続きプログラムや数値計算プログラムで扱い、両者を上手に融合する工夫もされている。更に、ルールの表現に日本語も扱え、運転員に分かりやすくする工夫を行なっているものもある。

プロダクションシステムとは別に、システムの物理構造から導かれるロジックや運転員の知識を1階述語論理で表現し、計算機言語Prologのもつ導出原理<sup>4)</sup>を用いた推論により結論を演えき的に導こうとする試みもある。このほうがプロダクションシステムによる推論より深い推論が可能となる。日立製作所はこの導出原理を用いて、電気回路の故障診断や電力系統の故障区間の判別<sup>5),6)</sup>などを行なうシステムを検討している。

## 2.3 応用システム開発に際しての課題

知識工学を応用したシステムを開発する際、前節で述べたように、まず知識をどのように表現するか、それを用いてどのように推論するかを決めなければならないのはもちろんであるが、これ以外に次のような課題を解決しなくてはならない<sup>7)</sup>。

### (1) 知識獲得及び表現

専門家の頭の中に漠然とある断片的知識やノウハウを、いかに効率良く獲得しかつ整理し、システム内で表現するか。

### (2) 知識の整合性の確認

インプリメントした知識に誤りがなく、相互に矛盾していないことをいかに確認するか。

### (3) あいまい知識の活用

必ずしも完全ではなく、更に常には真とは限らないような知識をどのように利用すればよいか。

知識工学は、その名前の示すとおり知識を有効に利用しようとするものであるから、開発されたシステムの有効性はひとえに用意された知識の良しあしに依存するので課題(1)は重要である。現在のところ、課題(1)のシステムマティックな解決策は存在せず、熟練運転員と知識工学の専門家がチームを組み、試行錯誤を繰り返すのが唯一の方法と言える。幸い知識工学の枠組みは、はじめに用いる情報や知識を固定しておく必要はなく、修正・変更が容易で試行錯誤に向いている。

知識と推論を分離した結果2.1節で述べたような長所が生じたわけであるが、逆にこの分離により、個々の知識がどのように使われ、推論がどのように進むかが見えにくくなり課題(2)が生じてくる。例えば得られた結論が異常であるが、何が悪いのか分かりにくいことなどである。この課題にはシステムマティックな対策は存在せず、人間による判断に頼らざるを得ない。例えば、知識の相互関係を分かりやすく整理表示する、多数の問題を解き、推論の道すじと使われた知識を表示するなどして、知識を与えた専門家に検討してもらうなどの必要がある。

課題(3)は、専門家の知識の中にはあいまいなものがあり、しかもこのあいまいな知識が問題解決に有効な場合が多いことに由来している。例えば、成り立つ条件がはっきりしない知識を、専門家は直感的に利用して推論の効率を上げている。異常診断で、すべての情報を使ってすべての可能性を考えたりせず、一部の情報から発生箇所を絞り、その後に詳細に点

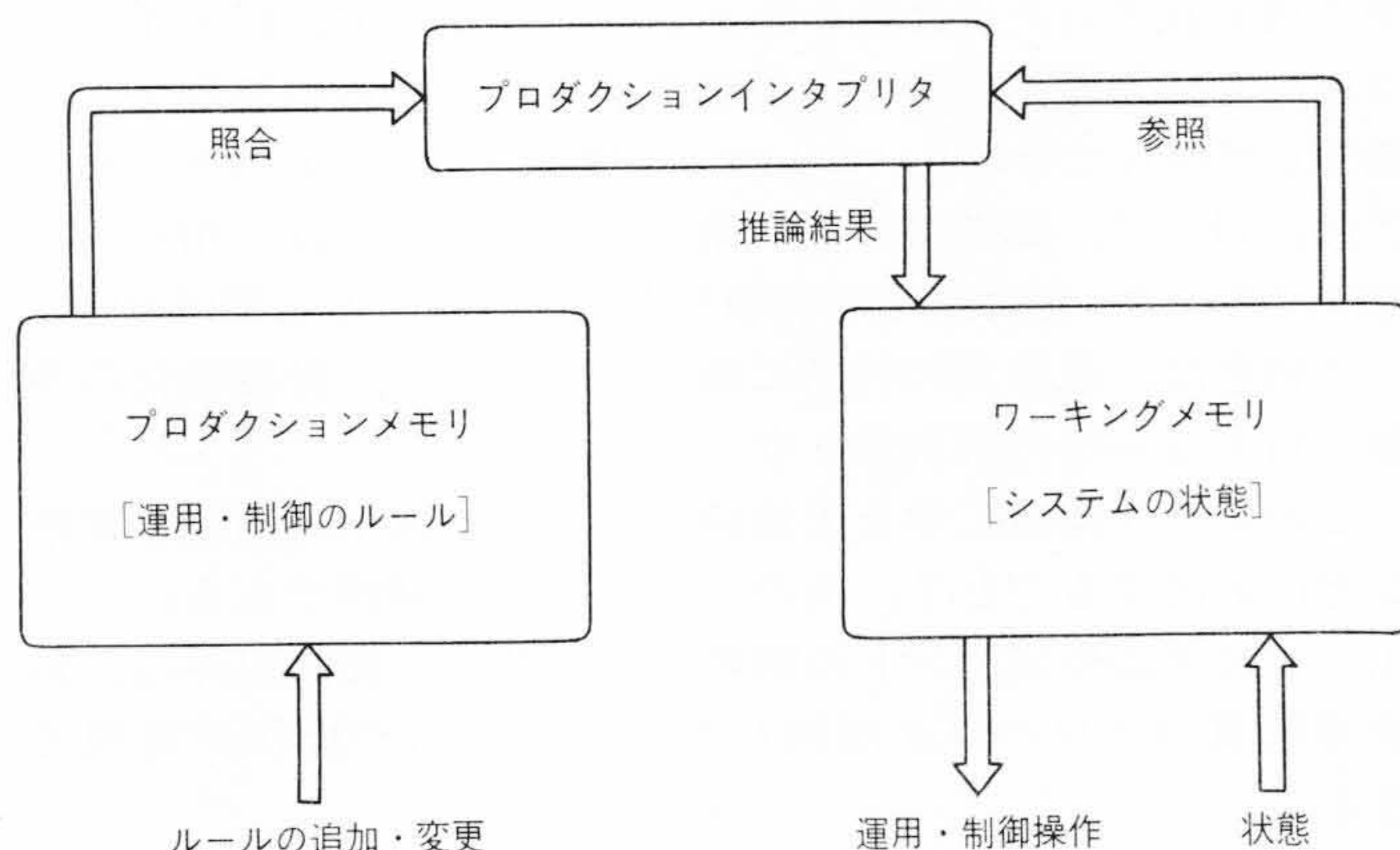


図1 プロダクションシステムの構成 プロダクションインタプリタは、プロダクションメモリ内のルール中の一つを選択し、制御を決定し指令を出す。



検して具体的箇所を見つける方法などがこれに相当する。このあいまい性を推論に取り込むには、与える個々の知識や規則に確信度や確率を与え、推論の過程で導かれる命題にも確信度や確率を逐次計算して与えるなどの方法が考えられるが、まだ確定した方法があるわけではない。

上記の知識工学固有の課題以外に、実地に応用するには計算機ハードウェアと記述用語を決める必要があるが、紙面の都合もありここでは省略する。

以上のように知識工学の応用は方法論的にも解決しなくてはならない点も多く、処理速度もまだ十分ではないので、当面の応用は、処理速度が比較的遅くてもよいもので、運転員にとって便利で使いやすくメリットの大きいものから始められるものと思われる。すなわち、計画業務のようなオフライン業務、診断やガイダンスのような運転員支援システムなどである。

### 3 電力システムの運用・制御への応用

各種自動化装置により、定常状態ではほぼ自動運転可能と言われている電力システムも、運用計画立案、開閉操作、保守・点検などの業務をはじめ、事故時の緊急操作や復旧操作など、問題の枠組みが明確でない多くの業務が人間(専門家や運転員)の判断によって行なわれている。このような人間が行なっている業務の一部に、知識工学を応用しようとする試みが内外で進められている。試みの多くは、2.2節で述べたようにガイダンスシステムや、計画業務、設計業務を目的としたものが多い。すなわち、開閉器操作手順の作成<sup>3)</sup>、系統監視<sup>8)</sup>、事故状況の把握・認識<sup>5),6)</sup>、発電計画<sup>9)</sup>、変電所のレイアウトなどの例がある。

以下では給電所運転員支援システムの一例として、系統事故発生時の故障区間判別への応用について説明する。

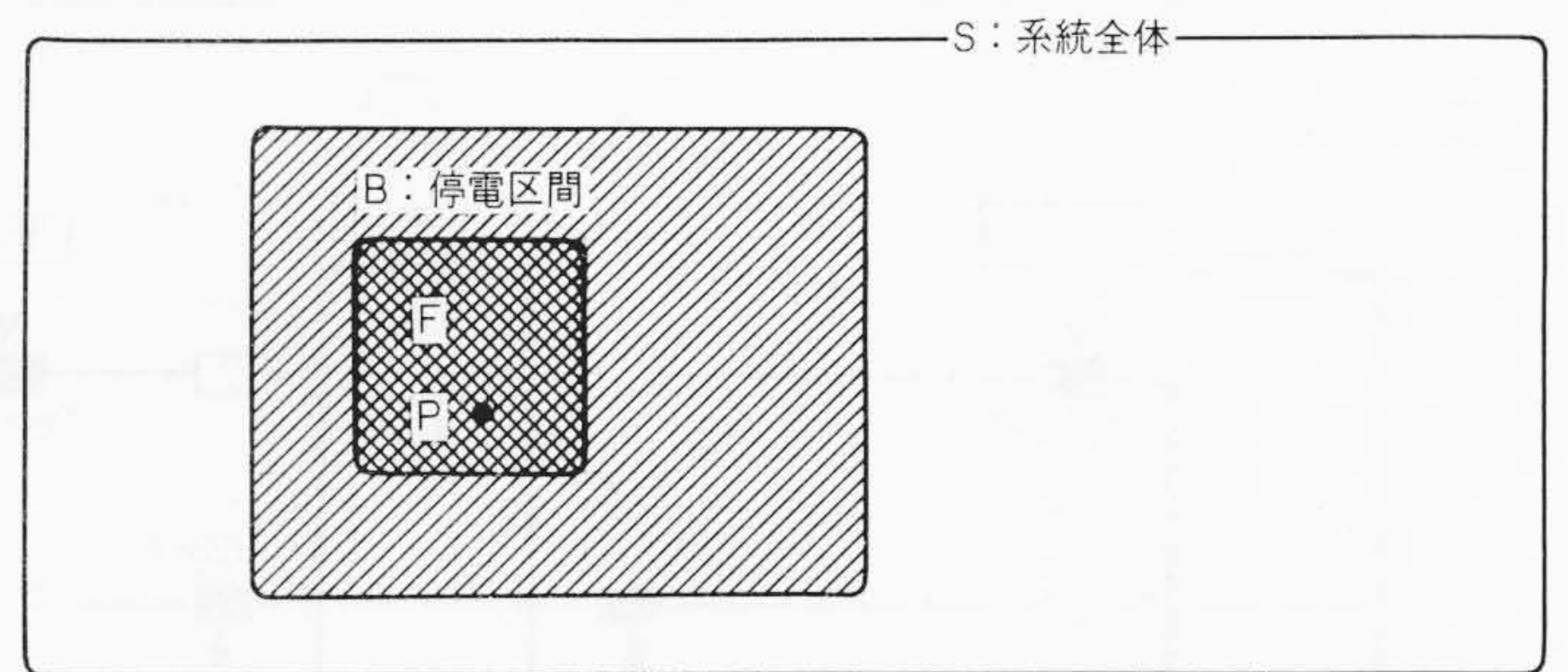
#### 3.1 故障発生区間判別エキスパートシステムの目的

電力系統に事故が発生すると、系統内各所に設置された保護リレーがこれを検出し、適当な遮断器に信号を発し開放させることで、事故部分を健全部分から切り離し、事故波及を防いでいる。この保護リレーや遮断器は細心の注意をもって設計製作され、常時保守・点検されているが、どのようなシステムにもあるように、まれには正しく動作しないことがある。このため幾重にもバックアップ保護されているが、バックアップ保護で事故部分が分離される場合には、健全部分の一部も一緒に分離され、最小限の停電では済まなくなる場合がある。

給電所の運転員は保護装置による切り離しの後、多数の保護リレーや遮断器の動作状況から事故の状況を判断し、復旧方針を立て、具体的復旧を行なって供給支障を小さくするよう努力する。図2はこの関係を示すものである。系統Sの一点Pに発生した事故を健全部分から切り離すため、部分Bが遮断器で分離され停電している。運転員には事故発生点Pは未知であるが、Pを含む最小部分Fが分かれば、Fだけの停電で事故が切り離されBの大部分の停電は解除できる。本システムの目的は、通常給電所に伝送されている保護リレーと遮断器の動作情報から、最小部分Fを判別することである。

#### 3.2 システムの概要及び特長

図3にシステムの概略を示す。一般に専門家がシステムの異常原因を外面的症状から診断する場合、情報を大ざっぱに分類・整理し、ある程度よく症状と一致する異常原因を仮定し、これで症状が完全に説明できるか吟味する。説明がつかない場合は、仮定(仮説)を作り直し吟味を繰り返す。本シス



注:略語説明 F(切り離すべき最小限部分), P(事故発生点)

図2 停電区間、故障区間、事故点の関係 事故が発生し、保護リレーの働きで事故部分が健全部分から切り離され、停電が広範囲Bに及ぶとき、切り離すべき最小限の部分Fを判別するのが目的である。

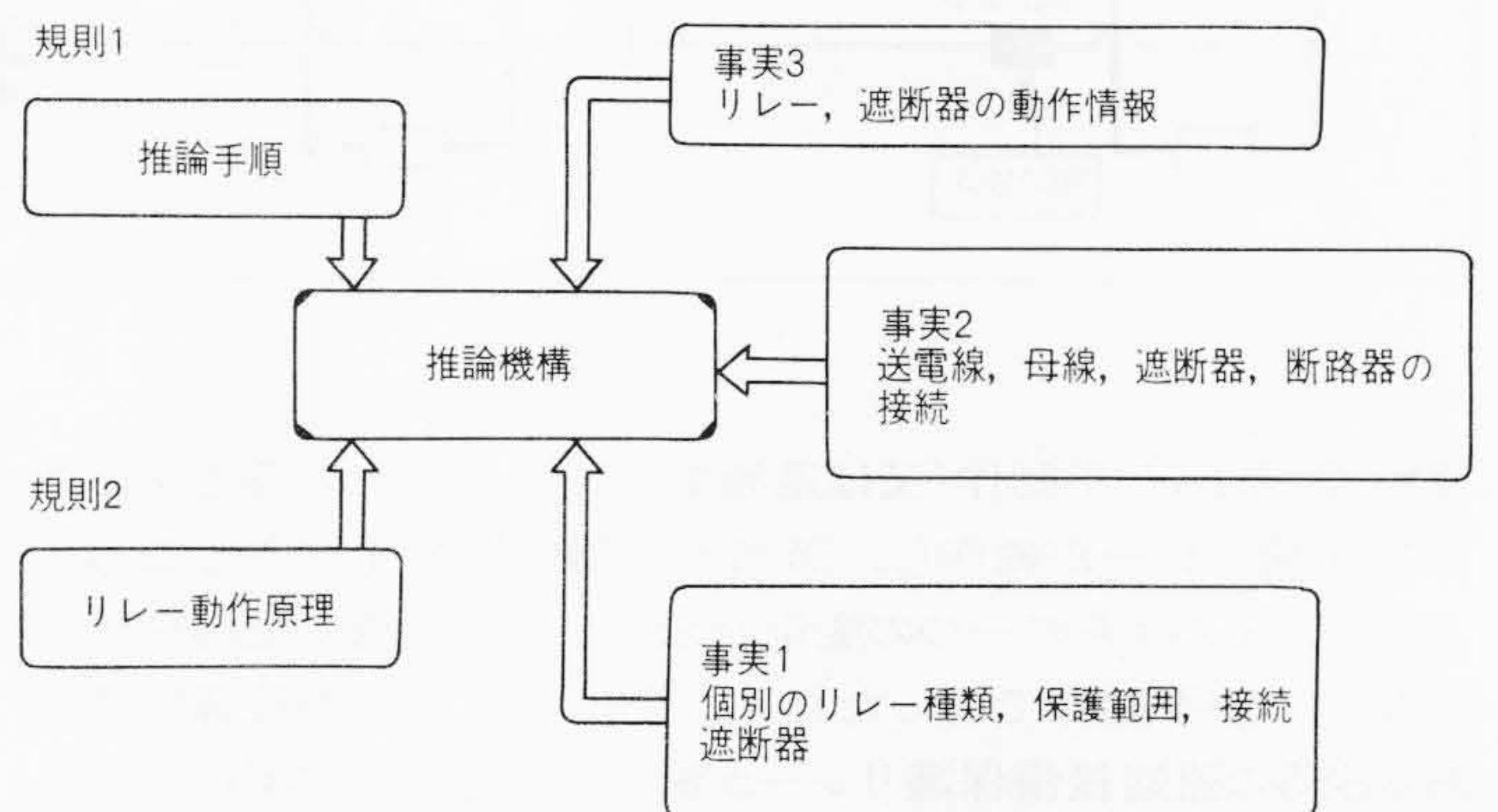


図3 故障区間判別エキスパートシステムの概略 規則1を用いて事故に関する仮説を作り、規則2、事実1～3を用いて検定し、最も状況をよく説明する仮説を選ぶ。

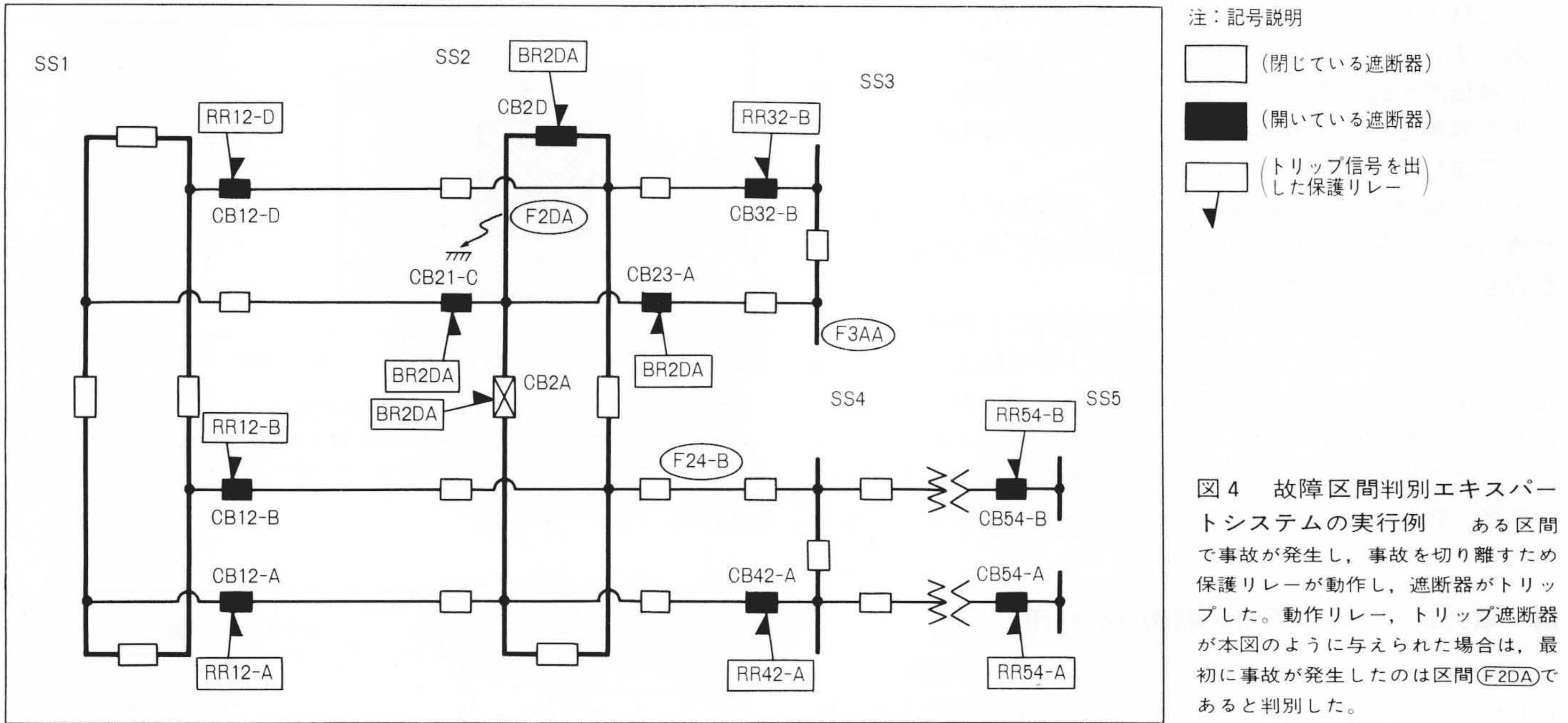
テムの推論方式もまさにこの専門家の行なう方法に従っており、規則1には、この推論の進め方と仮説の作り方が記述されている。具体的には、最初は最も単純で発生頻度の高い、すべてが正しく動作し、事故発生も1箇所という仮説が作成され、矛盾の有無が検定される。矛盾がある場合は別の仮説が作成される。この仮説の作成はしらみつぶしに行なわれるのではなく、専門家の行なうように、できるだけ単純で頻度が高く、特徴的な状況をよく説明するものに限定し、推定時間の短縮を図っている。

規則2には、リレー種類ごとの動作原理を規則化したものが蓄えられている(したがって、規則数は扱うリレーの種類数になる)。事実1～3には個別リレーごとの設置箇所、種類、信号を出す相手遮断器、送電線、母線、遮断器、断路器の接続、及びリレーや遮断器の動作情報が蓄えられている。規則2と事実1～3を用いて、仮説の矛盾の有無が検定される。

普通機械的な診断では、計測装置や保護装置自身の異常や複数事故の発生まで扱うのは困難であるが、本システムではリレーや遮断器の不動作や誤動作、更には多重事故も扱える。また推論手順の規則化により、個別系統の特殊性を考慮して推論を効率化している。更に、リレー動作原理を規則で一般的に記述し(例えば送電線主保護リレーとはどのような場合に動作するかなど)、個別リレーや系統構成などの事実と分離した結果、リレー種類の追加、対象系統の変更などが容易に行なえるようになっている。

図4に実行例を示す。幾つかの仮説が立てられ、区間(F2DA)に事故が発生し、母線保護リレーBR2DAは正常に動作したが、





遮断器CB2Aが不動作(又は遮断失敗)し、このため各送電線の遠端後備リレーが動作し、該当遮断器を開放すべきところであるが、そのうちの一つの変電所SS4の(F24-B)側の遠端後備保護リレーが不動作であったため、更に第2段階の後備保護であるSS5の遠端後備保護リレーが働き、当該遮断器CB54-B、CB54-Aを開放したとの仮説が最もありうるもの(異常動作の数が少ない。)として採択された。

4 鉄鋼システムへの応用

鉄鋼システムの自動化、計算機利用は高度なレベルに達しているが、いまでもプラント状態の急変やシステム立上げのような場面では、オペレータの指示が重要な役割を果たしているし、設備の保全や計画のようにエンジニア(専門家)の能力に頼っている部門も残されている。オペレータの役割や専門家の能力をもつシステムを実現することは、従来のプログラムをベースにしたシステムでは実現困難であったが、最近幾つか試みられている知識工学はそのような理想に一步近づく手段として注目される。例えば、鋼材ヤードでは物流管理のノウハウを取り込んだ運用システムが開発され、知識工学の有用性が確認されている<sup>1)</sup>。

今後機器の診断、設計、生産管理といった自動化の遅れている部門はもちろん、計算機化が進んでいる部門でも、マンマシン性を改善したり機能拡張性に富んだシステムを構築する道具として幅広く知識工学の技術が使用されていくと考えられる。ここでは後者の例として、知識工学を用いた加熱炉燃焼制御システムを紹介する。

4.1 知識工学適用のねらい

加熱炉燃焼制御システムでは、安定な操業を実現する上で経験的に得られた知識(ノウハウ)が重要な役割を果たしている。したがって、操業方法を変更する場合や、新種の材料を制御対象に加えるような場合には、それらに対応するノウハウをシステムにうまく組み込むことが必要になる。しかし、従来のようにシステムの機能をプログラムとして表現している場合には、それを後から修正したり拡張するには多大の労力を必要とする。

知識工学はこのようなノウハウ的な知識を比較的簡単にシ

ステムに取り込む手法を提供するが、知識工学を制御に適用する場合には、(1)制御向きの知識表現、(2)制御の応答性や信頼性の確保、(3)制御と知識処理の機能構成といった通常の知識工学の適用対象にはみられない問題を解決する必要がある。

4.2 加熱炉操業ノウハウ

加熱炉は複数の炉帯から構成されており、各帯の炉温を制御することにより、炉内の材料を加熱する(図5)。加熱炉制御システムは材料の種類によって異なる制御目標を実現するために様々なノウハウを使っている。例えば低炭素鋼では、通常次のような形でノウハウを用いている。

- (1) 最適抽出温度として通常平均温度が用いられるが、材料の品質や圧延トラブル低減のためには、抽出時の均熱度(表面温度と内部温度の差)やスキッドとの接触部の温度といった他の温度ファクタも合わせて考慮する必要がある。操業状況を過去の経験と比較し、制御で評価すべき因子を決定する。
- (2) 平均温度や均熱度などの最適値は、材料の成分構成や寸法、最終製品の品質仕様などによって微妙に異なる。通常、その値は過去の操業経験に基づいて決めている。
- (3) 炉内の熱現象を完全にモデル化することは困難であるた

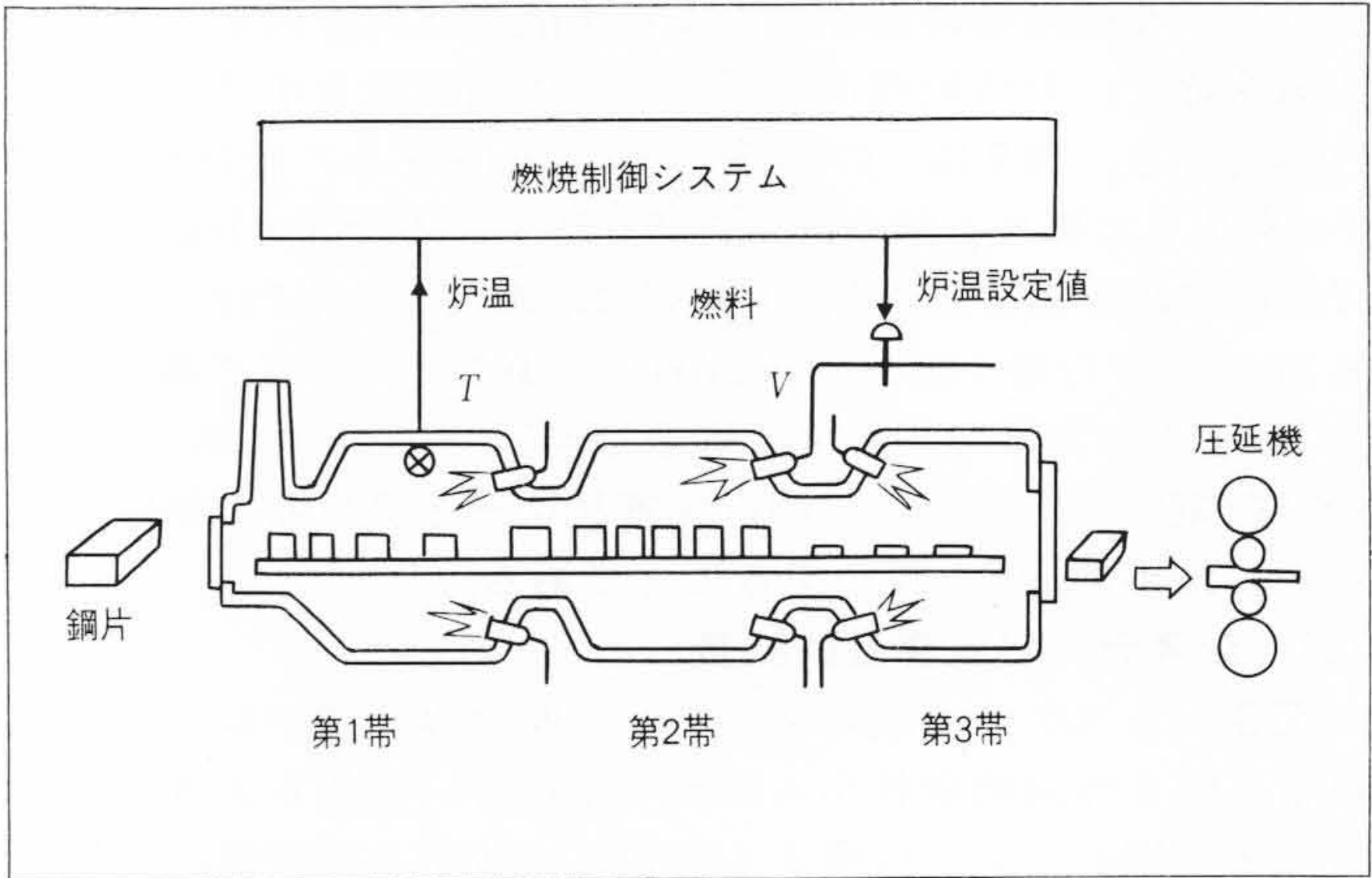


図5 加熱炉プロセスの概要 炉内では寸法、種類、加熱仕様の異なる多数の材料を同時に加熱している。



評価関数  
 $J = \sum_i V_i \cdot \Delta \tau_i \rightarrow \text{最小}$   
 制約式  
 $\theta^L \leq \theta \leq \theta^U$  (抽出平均温度条件)  
 $\Delta \theta^L \leq \Delta \theta \leq \Delta \theta^U$  (抽出均熱条件)  
 $T_i^L \leq T_i \leq T_i^U$  (炉温制約)  
 $V_i^L \leq V_i \leq V_i^U$  (燃料流量条件)  
 ここに  $i$ : 炉帯番号,  $U$ : 上限値,  $L$ : 下限値,  $T$ : 炉温,  
 $V$ : 燃料流量,  $\Delta \tau$ :  $i$  帯滞留時間,  $\theta$ : 鋼片温度

図6 低炭素鋼の昇温曲線計算用の数式モデル 操業ノウハウが明確になれば、それを数式モデルとして表現することができる。

め、機器の安全を見込んで炉温や燃料流量を制御する必要がある。安全率は負荷の変動率や絶対値で異なるが、それを理論的に決めるのは難しく、経験的なデータに頼らざるをえない等々。

従来の加熱炉制御でも、操業ノウハウをなんらかの形でシステムに組み込んでいる。日立製作所の以前に開発した方式では、ノウハウを評価関数や制約式としてモデル化し(例: 図6)、その数式モデルを満足する材料昇温曲線を計算して、制御に用いるという形でノウハウを生かしている。この方式は材料の種類や製品仕様に応じて、数式の組み合わせや数式中のパラメータを変えるロジックをもっているので、種類の異なる材料の制約式や評価関数を同じ枠組みの中で扱うことができる。しかし、現実には数式モデルの変更や追加に応じて昇温曲線計算部のプログラムの大改造が必要になる。

#### 4.3 知識表現

評価関数や制約式の選択条件及びそれらの上下限值に関する条件を表わすノウハウは、図7に示すように、IF~THEN~の形に整理できるので、知識工学の枠組み(プロダクションルール)で扱うことができる。ルールはプログラムから独立したデータとして扱われ、追加や修正が簡単に行なえる。

一方、新種の材料を制御対象に加える場合や操業方針を大幅に変更した場合には、制約式や評価関数自体の追加や修正が必要になる。しかもその追加、修正が、ルールと同程度の簡単さで実現できることが望ましい。本システムでは制約条件や評価関数を知識の一部として表現する機能を用意し、システム機能の拡張を支援している。図8に示したように、ルールの中に未定義の数式名を記述すると、システムはその数式の定義を要求してくる。

#### 4.4 新加熱炉制御システム

図9に示したように新システムは制御系と知識処理系の2

もし、  
 1 \$and\$  
 1 (\$same\$ 鋼片 所属炉帯 第2/3帯)  
 2 (\$same\$ 前材 LP解 有)  
 3 (\$same\$ 前材 所属炉帯 第4帯)  
 ならば  
 (第4帯 基準炉温 (\$val\$ 前材 第4ゾーン最適炉温))

図7 ルール形の知識 上のIF~THEN~形のルールは、「現在第2帯もしくは第3帯に所属している鋼片は、第4帯では抽出側鋼片(前材)の最適炉温に近い炉温で加熱されると考えてよい。」というノウハウを表わしている。

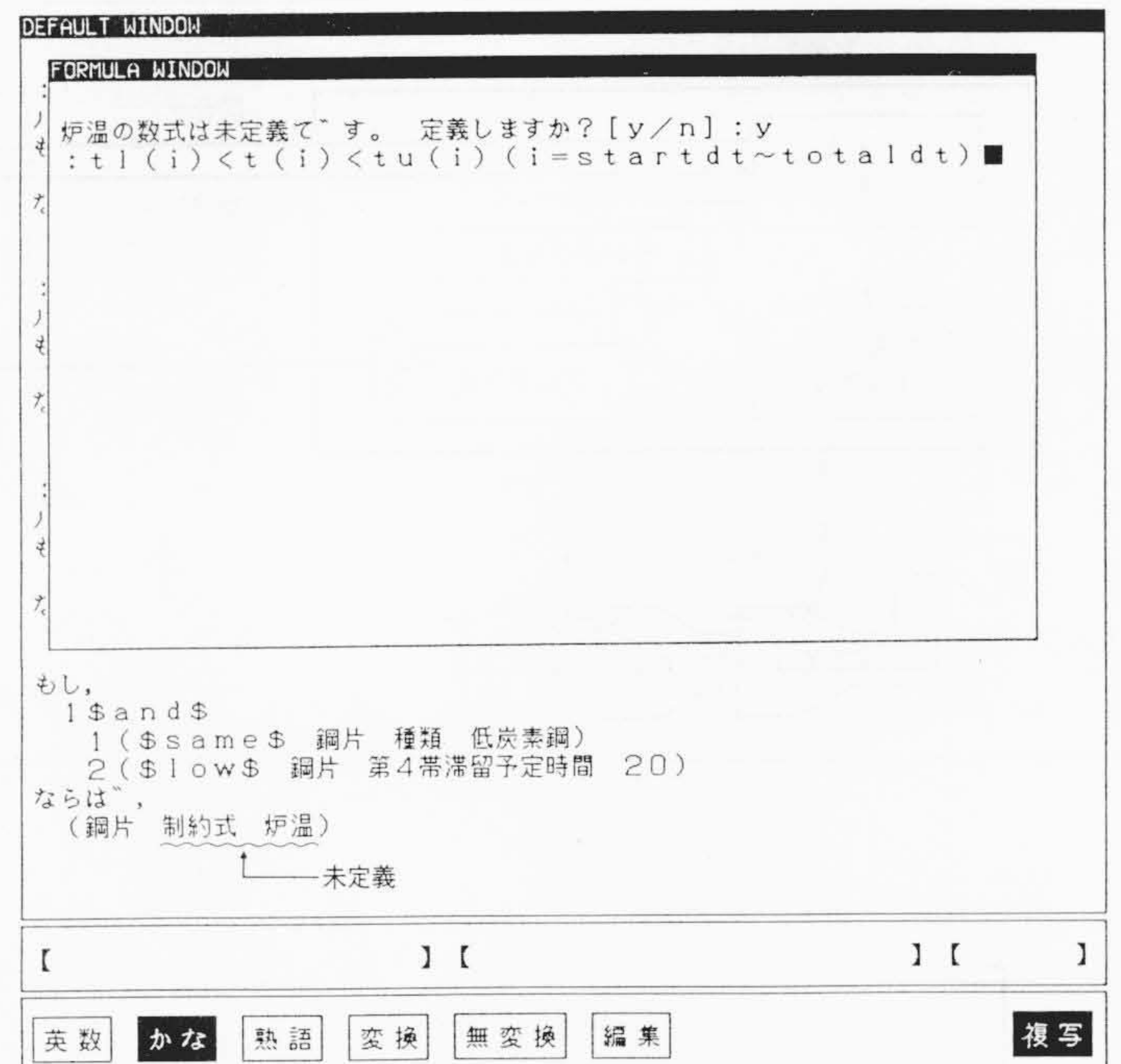


図8 ルールと数式の定義 操業ノウハウの中には、ルールと数式の組み合わせで表現したほうが分りやすいものがある。

台の計算機によって構成される。知識処理系は対話形式で知識ベースの構築(ルールや制約式、評価関数の定義)を支援する機能と、ルールを用いて推論を実行する機能をもっている。定義された各数式は数式コンパイラによって実行プログラム(中間言語形式)に変換され、制御系に送られ記憶される。このプログラムが実行されるとLP計算に必要な係数行列やベクトルの要素が決まる。

オンライン制御中に操業状態が変化して昇温曲線の更新が必要になると、制御系は知識処理系に対し問合せを発する。知識処理系は、知識ベース中のルールと制御系から送られてくるデータ(材料の種類、寸法、炉内温度など)を用いて推論を行なう。この推論によって昇温曲線計算に用いる評価関数、制約式が選択され、上下限值が決定される。推論結果は制御系に送り返される。

制御系には中間言語を解釈して実行するインタプリタが用意されており、選択された数式に対応するプログラムを実行する。この処理結果をLP計算モジュールに適用することにより、鋼材の昇温曲線が決まる。

本システムでは制御系と知識処理系を分散構成しているが、そのねらいは次の点にある。

- (1) ある材料の昇温曲線を制御系で計算している間に、知識処理系で次の材料に関する推論処理を実行して知識処理のオーバーヘッドを低減する(高速化)。
- (2) 万一、推論処理が無限ループに入って知識処理からの応答が返ってこない場合、制御系はタイマでそれを検出して簡単な補助機能により昇温曲線を計算し、ループからの脱出指令を知識処理系に指示する(信頼性向上)。

現在、実用化を目指した実機試験を行なっているが、これまでに次のような結果が得られている。

- (1) 一つの鋼種の操業ノウハウは数十個(低炭素鋼では約60個)のルールと、5~10個の数式によって表現できる。
- (2) 知識処理系の支援機能のもとで、1鋼種のルール、数式



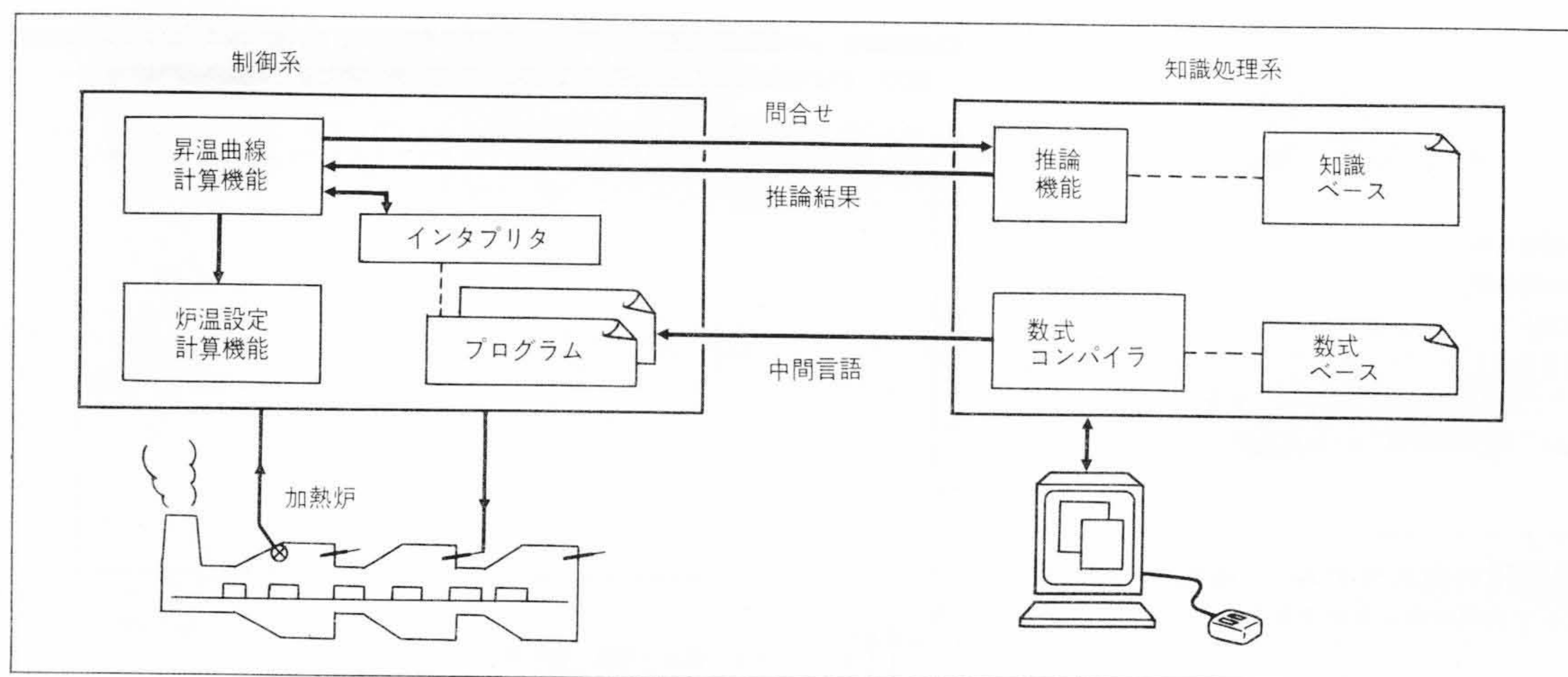


図9 知識工学を用いた新制御システム 知識処理系は、制御系から制御方針の問合せがあったとき、推論によって方針を決定する。

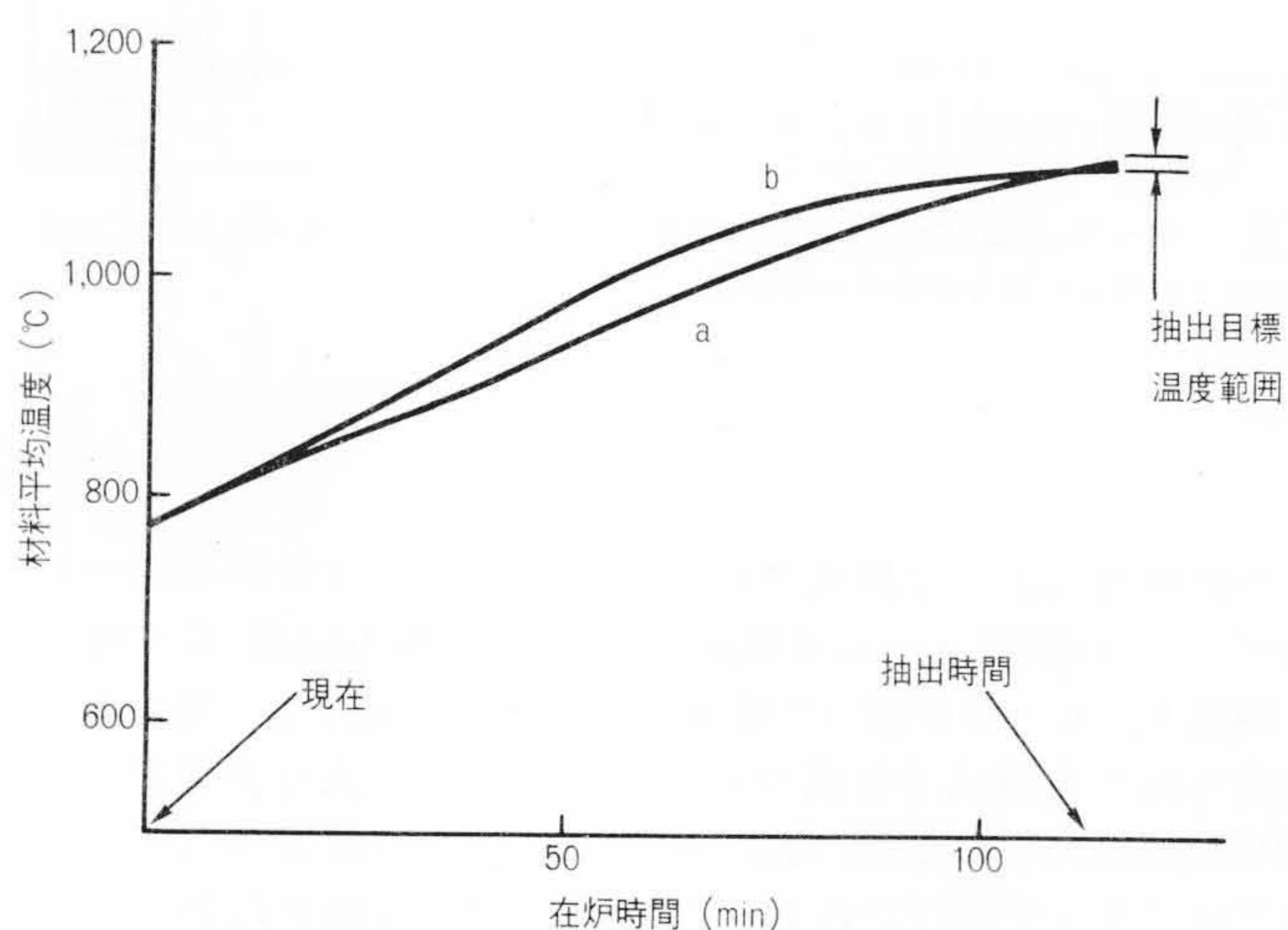


図10 知識変更が昇温曲線計算結果に及ぼす影響 均熱条件に関するノウハウを適用しない場合(a)と適用した場合(b)とでは、材料の昇温方法が異なってくる。

を1～2時間で定義できる（従来のプログラミング方式では少なくとも1箇月以上必要）。

(3) 知識処理をオンライン制御に組み込んだ場合、推論に要する時間は材料1本当たり2～4秒かかるが、推論処理と昇温曲線計算の平行処理機能により、制御性能に対する影響をほとんど無視できる程度に抑えることができる。

(4) 知識の一部を修正することにより、昇温曲線の計算結果が変化すること、言い換えると知識を変更することにより、制御機能を変更できることを確認した。図10中のaは表1の均熱度に関する制約式を適用しなかった場合の、bは適用した場合の結果を示すもので、後者のほうが均熱度を確保するために、早い段階に目標温度に近づくパターンとなっていることが分かる。

#### 4.5 今後の課題

ここで例として取り上げた加熱炉は比較的時定数の長いプロセスではあるが、制御システムの中に知識工学の手法を組み込むことができること、システムの機能を簡単に修正できることが確認できた。このようなシステムが今後普及するかどうかは、現場のオペレータでも気軽に使えるような操作性の良いマンマシン機能を実現できるかどうかにかかっている。

## 5 結 言

自動化の進んだ大規模システムの運用・制御の中にも、人間の判断や意思決定を必要とする業務は多い。知識工学の特徴は、断片的な知識やノウハウを積極的に利用して効果的に問題解決を図ろうとする点にあり、日立製作所はユーザーの指導を得ながら応用展開を図っている。現在はまだ実験・実証の段階にあるが、今後の計算機ハードウェア技術の進歩とあいまって、運用・制御の革新的技術に成長するものと確信している。

なお本稿4章で述べた加熱炉燃焼制御システムは、現在実証試験中であり、川崎製鉄株式会社千葉製鉄所設備技術部の北尾齊治課長ほか関係各位に対し感謝の意を表わす次第である。

## 参考文献

- 1) 都島, 外: ルール型制御方式の実プロセス制御への適用第23回計測制御学会講演会予稿集, I-1-2, p.273～274(1984)
- 2) S.Tanifuji: New Method Introducing Operation Know-How into Large Scale Production System, 3rd IFAC/IFORS Symposium, Warsaw(1983)
- 3) 福井, 外: 変電所母線事故時の復旧手順の自動生成, 昭和60年電気学会全国大会予稿集, 1075(1985)
- 4) M.R. Genesereth: Diagnosis Using Hierarchical Design Models, Proc. of AAAI, p.278～283(1982)
- 5) 福井, 外: 知識工学的手法を用いた系統故障区間の判定法, 電気学会電力技術研究会資料, PE-84-103(1984)
- 6) 福井, 外: 状況に依存する知識に基づく電力系統故障区間の判定法, 同上 PE-85-102(1985)
- 7) 長尾, 外: コンピュートロール, No.10, 特集 知識情報処理, コロナ社(1985)  
知識工学について最新の情報がよくまとめられている。
- 8) Y.H.Pao, et al.: Artificial Intelligence and the Control of Electric Power Systems, Proc. of 9th World Congress of IFAC(1984)
- 9) 天野, 外: 発電計画用エキスパートシステム, 電気学会東京支部大会予稿集, 127(1985)
- 10) 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—製鉄所のビレット精整ライン制御への適用, 計測制御学会論文集, 21-15(1985)
- 11) S.Tanifuji, et al.: Combustion Control System of a Furnace for Hot Bloom, Reprint of IFAC/IFIP Symposium on Real Time Digital Control Application, Guadalajara, Mexico(1983)