

最近の鉄鋼計算機制御技術とその動向

Trends of the Recent Computer Control Technology for Steel Industry

鉄鋼プラントの計算制御システムは、製鉄所全体を統括制御する大形総合管理システムとして適用されるようになってきた。基本技術として、マイクロコンピュータの飛躍的な発展とメガ・ミニ級計算機によって、ますます大形化するシステムに対処して、マルチマイクロコンピュータ分散システムや大形集中多重化システム、あるいはこれらの複合システムが用いられるに至っている。一方、ソフトウェアはシステムが大規模になるに従い、その比重が急速に高まっており、この高効率生産手段がなくては、優れたシステム作りを行なうことが非常に難しくなっている。ソフトウェアの生産性、品質向上に関して種々の工学的研究、アプローチが行なわれているが、日立製作所はこの解決手段として知識工学手法を応用した画期的なルール形制御方式のオンラインシステムを開発し、ビレットミルの精整ライン自動化システムに適用し、世界で初めて実用化に成功した。このシステムはソフトウェア生産効率を飛躍的に向上させ、保守性にも優れていることを確認した。

西知正二* *Shōji Nishitomo*
堀 眞司* *Shinji Hori*
徳永裕一* *Yûichi Tokunaga*
増田崇雄** *Takao Masuda*

1 緒 言

近年、鉄鋼プラントでの計算機制御システムは、単に製鉄所内の一プラントの制御機能の高度化だけにとどまらず、製鉄所全体を統括する広域統合管理システムとして適用されるようになってきている。この広域化、大形化に伴い計算機制御システムには、従来以上に高信頼性、保守性、拡張性及びソフトウェアの高生産性が要求されている。

日立製作所でも、上記要請にこたえるため、ハードウェア、ソフトウェアを合わせたシステムとしての高信頼化、高処理化技術や、保守性、拡張性の良いマイクロコンピュータからメガ・ミニ級計算機まで広い範囲にわたり統一と協調のとれたシステムの開発や、更に、ますます大規模化しシステムコストの中で大きな部分を占めるに至ったソフトウェア生産性向上技術の開発を進めてきた。

ここでは、これらの技術の中で主にマイクロコンピュータの利用技術と、ソフトウェア生産性を画期的に向上させた知識工学応用技術の現状と動向について述べる。

2 市場ニーズの動向

鉄鋼プラントの計算機制御システムの適用分野はますます拡大されつつあるが、その根底に流れるメリットの追求は製品品質の向上、省力・省エネルギー、生産効率向上、情報管理、合理化・効率化など本質的には従来とあまり変わっていない。しかし、システムの制御範囲が広域化、大規模化し、かつ計算機システムが生産ラインに直結した重要な位置を占めるに従い、計算機システムに対する市場ニーズは大きく変わってきた。

ハードウェアとしてはマイクロコンピュータの飛躍的進歩による高機能、高性能化に伴い、増大するシステムコストの低減及び大形集中多重化システムの危険分散を図るため、更にシステムの保守性、拡張性の観点から、マイクロコンピュータ利用によるマルチマイクロコンピュータ分散化システムへの指向がますます強まってきた。

ソフトウェアに関しては、開発すべきソフト容量が危機的とも言える状態まで増大してきた上に、計算機制御システムとして稼動当初からの完全な立上げ、機能達成と、稼動後の制御方式のレベルアップに対する迅速な対応が可能なソフトウェアへの要求が強まり、保守性の良いソフトウェアの高効率生産手段に対するニーズが強くなってきた。更に信頼性のある開かれた市販の流通ソフトウェアの採用に対するニーズも生まれてきている。

3 計算機制御システムの動向

製鉄所内の各種製造プラントでは、計算機制御システムの積極的な導入が図られており、プラントの自動運転や生産管理の中核として、操業に欠くことのできない設備となってきた。

計算機制御システムの普及に伴い、計算機制御システムへのニーズも従来の単一設備の比較的単純な制御や生産管理にとどまらず、大規模化、複雑化、高級化している。

(1) 制御対象の広域化と情報量の増大

HDR(Hot Direct Roll)技術実用化による転炉からホットストリップミルに至る連続化に代表されるように、システムの制御範囲が広域化し、隣接プラント情報を含めて大量の情報を実時間で効率良く処理する計算機制御システムが求められている。

(2) 制御内容の高級化と品質保証の強化

製品の高品質、高付加価値化を目指し、より高度な制御が必要とされており、制御の中核を担う計算機制御システムに対し、より高度な制御理論の適用実用化が要請されている。圧延ラインでの形状制御のような分布定数系の制御、AGC(Automatic Gauge Control)での予測制御、加熱炉燃焼制御でのLP(リニア プログラミング)による実時間最適昇温計算などは代表的な例である。

一方、製品の高品質を保証するため、品質管理の強化が必

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所機電事業本部

要となっており、品質に関する情報収集項目の増大、収集時間間隔の細分化、情報収集後の統計的情報処理などが求められている。

これらの計算機制御システムへのニーズに対応するために、大量の情報を高速に処理するための計算機システムの処理速度の向上と、より大規模複雑化するソフトウェアを品質良く効率的に構築する技術が必要となってきた。

計算機システムの処理速度の向上については、単体の計算機として大容量記憶をもち、かつ高速なメガ・ミニ級計算機システムにより対応する方式が一般的であるが、近年急速に普及しつつあるマイクロコンピュータを有機的に結合した分散処理によるマルチマイクロコンピュータ分散システムも実用化されつつある。

3.1 メガ・ミニ級計算機システム

近年の半導体技術の進展は目覚ましく、大容量のICメモリ

や高速論理素子が計算機制御システムでも採用されるようになり、メガ・ミニ級計算機制御システムが実用化されている。メガ・ミニ級計算機制御システムは、その高速・大容量性能により大量のプラント情報と膨大な演算処理に対応しようとするものであり、日立計算機制御システムHIDIC V90/50はこのメガ・ミニ級計算機として制御専用開発され、各産業分野で幅広く利用されている。一般にメガ・ミニ級計算機システムによる大規模計算機制御システムは、電気制御系マイクロコンピュータとの複合システム構成となる。電気制御系は制御設備ごとのマイクロコンピュータ応用分散システムとなっており、高速ネットワークによりメガ・ミニ級計算機と一体となりプラントの自動運転制御を実現している。

この複合システムは、メガ・ミニ級計算機システムに複雑高度な演算処理と大容量データの処理を分担させ、電気制御系マイクロコンピュータにはセンサベースの高応答処理を実行させ、総合システムとしての性能向上を図るものである。

図1にその複合システム例を示す。

3.2 マルチマイクロコンピュータ分散システム

マイクロコンピュータの低価格化、高機能・高性能化は全産業分野に重大な影響を与えており、鉄鋼プラントでも計装品や電気制御系ではマイクロコンピュータを応用したシステムが主流となっている。

計算機制御システムの分野でも、マイクロコンピュータの優れた性能/価格比に着目し、大規模プラントを複数台のマイクロコンピュータで分散処理するマルチマイクロコンピュータ分散システムが開発され、実用化されつつある。日立製作所はマイクロコンピュータ応用計算機制御システムとして、日立16ビット汎用マイクロコンピュータHD68000を演算装置としたHIDIC V90/5システムを開発するとともに、これらのマイクロコンピュータ群を有機的に高速で接続できる高速ネットワークとしてマイクロシグマネットワークを開発した。図2にHIDIC V90/5システムの構成例を示す。

4 マイクロコンピュータ利用技術

4.1 マルチマイクロコンピュータ分散システム

マルチマイクロコンピュータ分散システムの利点は、次の5項目に集約することができる。

- (1) 大規模システムで問題となりがちな応答性低下を回避する分散並列処理が実現でき、高応答性を確保することができる。
- (2) システムの異常発生時でもその異常を局所化し、全体システムの停止を未然に防止でき、分散形システムの構築が容

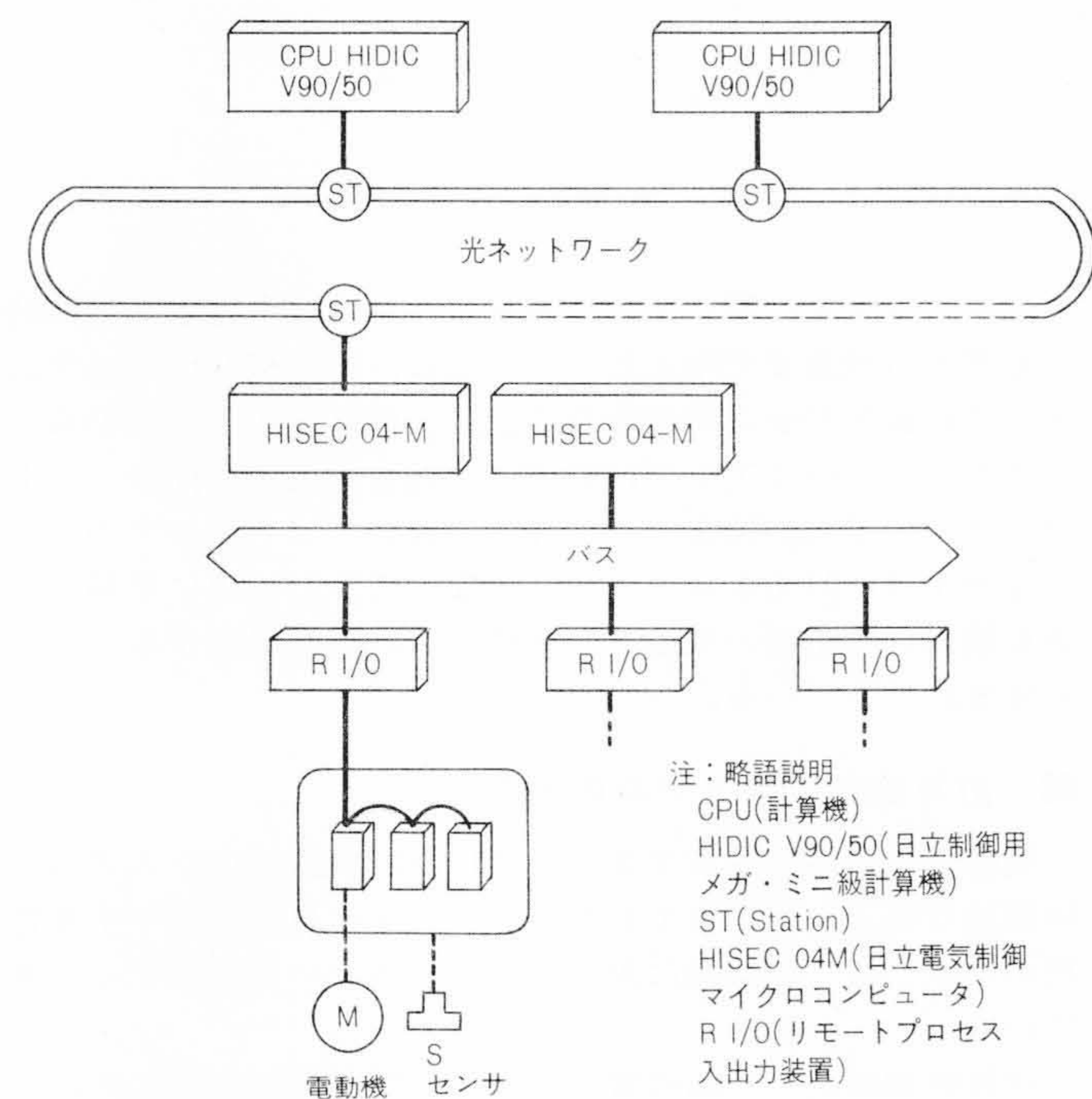


図1 鉄鋼プラントにおける複合システム例 光ネットワークを中核とした分散処理ネットワークシステムを構成し、メガ・ミニ級計算機システムに複雑高度な演算処理と大容量データの処理を分担させ、電気制御系マイクロコンピュータにはセンサベースの高応答処理を実行させ、総合システムとしての性能向上を図っている。

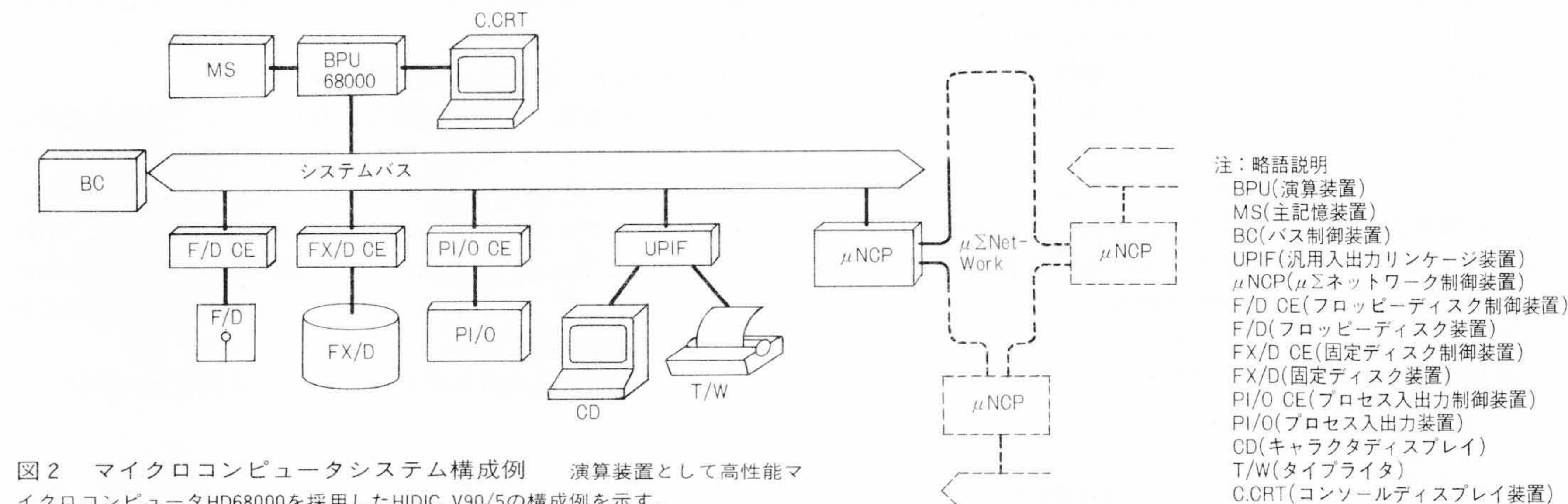


図2 マイクロコンピュータシステム構成例 演算装置として高性能マイクロコンピュータHD68000を採用したHIDIC V90/5の構成例を示す。

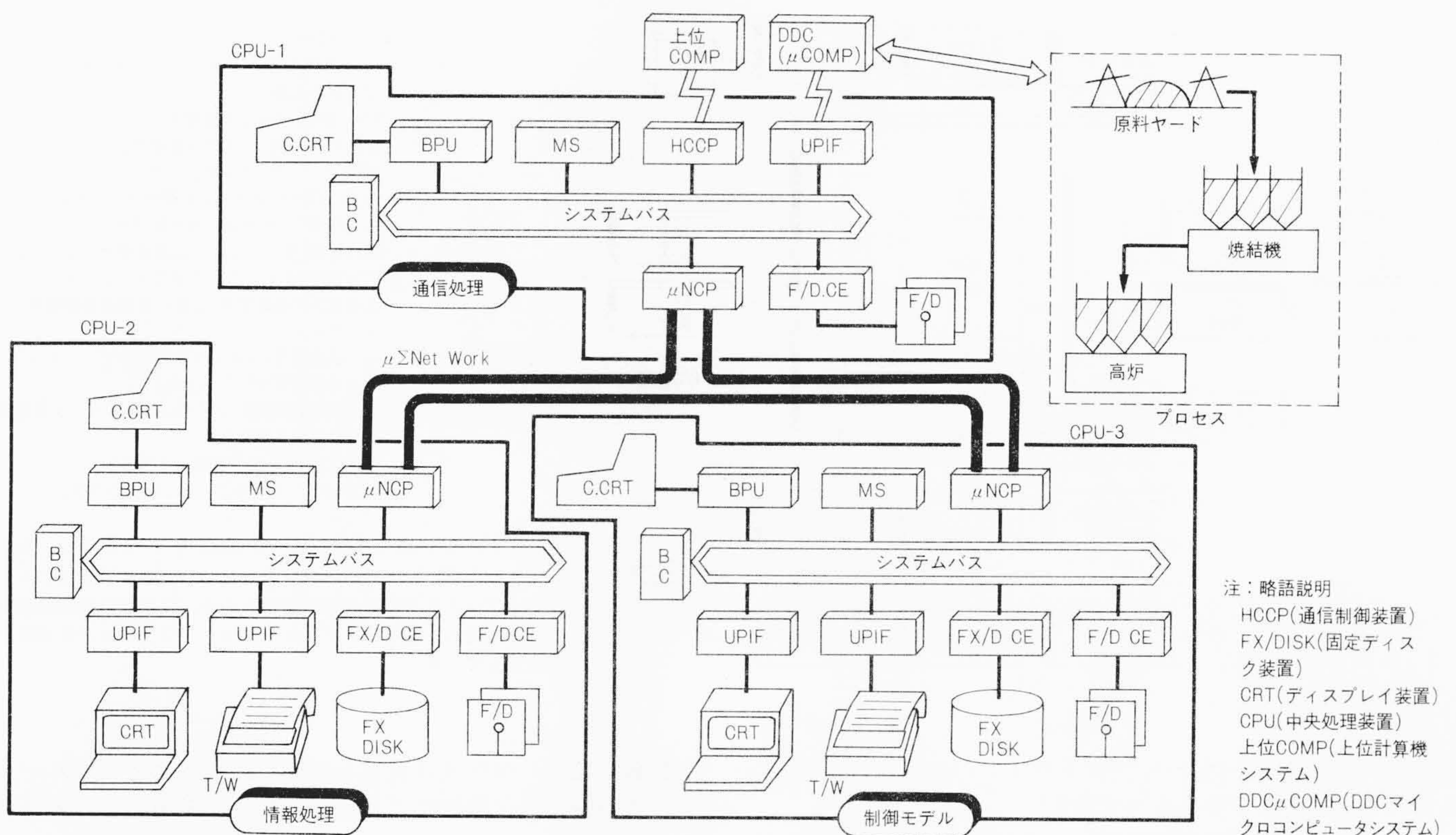


図3 マルチマイクロコンピュータ分散ネットワークシステム構成 鉄鋼計算機制御システムに適用したマルチマイクロコンピュータ分散ネットワークシステムの構成例を示すもので、通信処理専用システム、情報処理専用システム、制御モデル専用システム、と処理の分散を図っていることが分かる。

易であり高信頼性が確保できる。

- (3) システム増強時は新規にマイクロコンピュータをネットワークに追加接続することにより、既設部分への影響を最小限にとどめるので増強が容易である。
- (4) 性能/価格比の良いマイクロコンピュータの採用により大規模システムを安価に構築することができる。
- (5) 汎用マイクロコンピュータの採用により、一般流通ソフトウェアを有効活用でき、ソフトウェア生産性を向上させることができる。

4.2 マルチマイクロコンピュータ分散システム構成例

マルチマイクロコンピュータ分散システムにより構成した鉄鋼プラント計算機制御システムの例を図3に示す。

- (1) この鉄鋼プラント計算機制御システムは、危険分散の観点からマイクロコンピュータシステムHIDIC V90/5の3台で構成している。各マイクロコンピュータシステムは通信処理専用システム(CPU-1)、情報処理専用システム(CPU-2)、制御モデル専用システム(CPU-3)とし、処理の分散を図っている。
- (2) 各システム間を有機的に結合するマイクロシグマネットワークは同報通信機能を標準装備し、分散したシステム間での情報の共有を容易にしている。マイクロシグマネットワークは、障害発生時に有効となるループバック機能を装備し、光ファイバによる光伝送方式を採用した高信頼化高速ネットワークである。
- (3) マイクロコンピュータシステム内の入出力システムバスとしてIEEE796 (MULTI-BUS)を採用し、流通している市販のタイプライタや汎用高機能グラフィックCRTが接続でき、安価なシステム作りが可能である。
- (4) マイクロコンピュータシステム用標準サブシステムは、従来の計算機制御システムで培った豊富なアプリケーション

ソフトウェア支援技術を継承し、汎用OSのUNIX^{*)}ベースC言語でプログラム製作することにより汎用性をもたすとともに、豊富なUNIXの流通ソフトウェアレパトリの利用も可能としている。

図4に、マイクロコンピュータシステムの標準サブシステム構成例を示す。

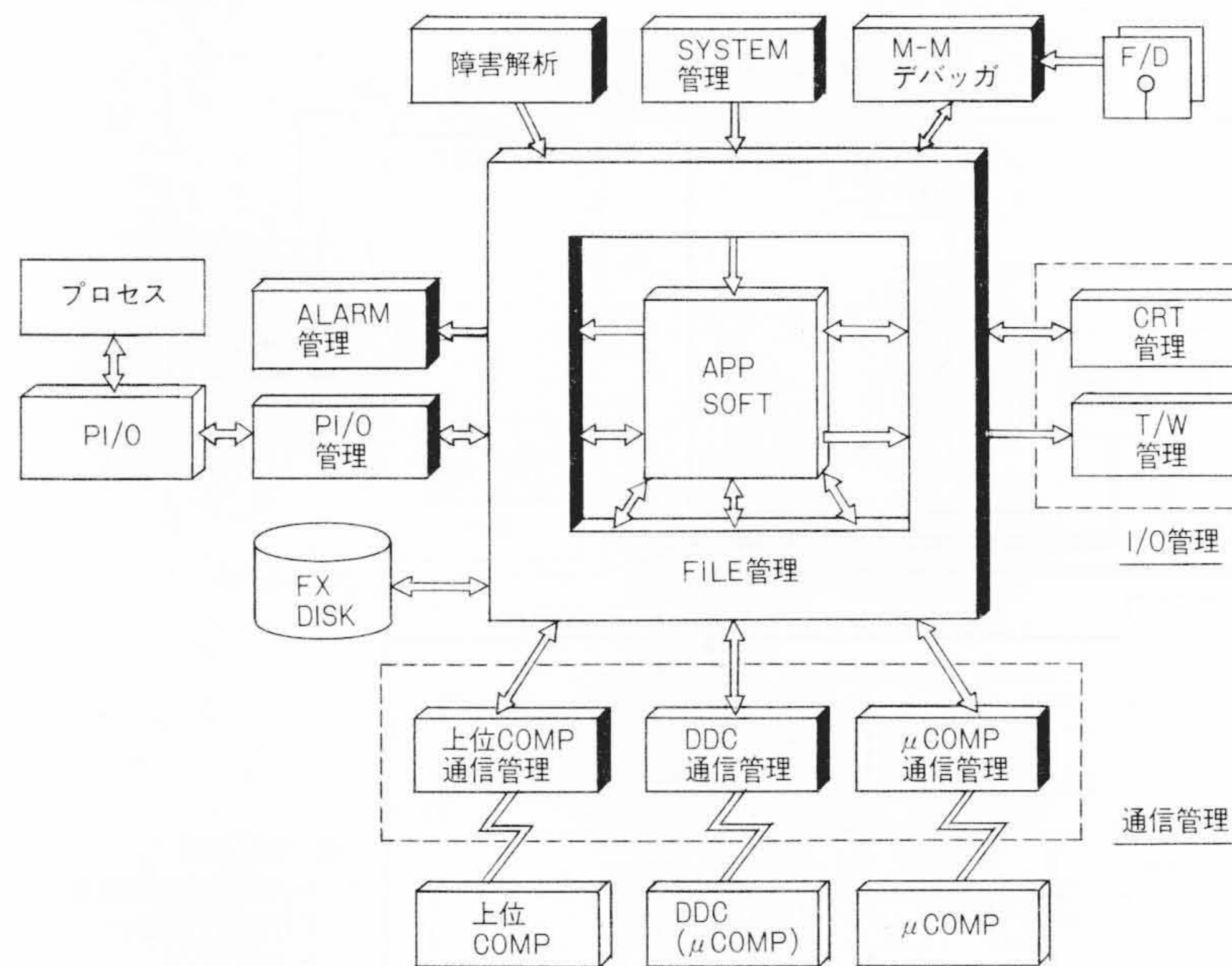
5 知識工学応用技術

近年の計算機制御システムはハードウェア技術の進展により大幅な機能向上、大容量化が実現された。しかし、ソフトウェアの面から見ると技術的進展としては、

- (1) プログラムを連続、判断分岐、繰返しの基本制御構造だけで表現する構造化プログラミング技法
 - (2) ソフトウェアの処理仕様を「入力」、「処理」及び「出力」に分け、図式的かつ階層的に記述するHIPO(Hierarchy Plus Input-Process Output)手法
 - (3) ソフトウェアに要求される機能仕様を厳密に過不足なく明確に定義するための要求定義技法
- などが挙げられるが、ソフトウェア開発保守に要するマンパワーはますます増大しているのが現状である。

このようなソフトウェアの生産性、保守性、品質向上に関して、最近注目されているアプローチとして知識工学を応用した手法がある。これはソフトウェア設計の基礎となる制御対象や、プラントに関する専門家の知識やノウハウをデータとして扱い、手続きプログラムから独立した知識データの集合(以下、知識データベースと称する。)とすることにより、運

※) UNIXは、米国ATT社の開発したオペレーティングシステムの名称である。



注：略語説明

APP SOFT(アプリケーションソフトウェアプログラム群)
 FILE管理(ファイル管理サブシステム)
 SYSTEM管理(システム管理サブシステム)
 M-Mデバugga(マンマシンデバugga)
 ALARM管理(アラーム管理サブシステム)
 PI/O管理(プロセス入出力管理サブシステム)
 CRT管理(ディスプレイ装置管理サブシステム)
 T/W管理(タイプライタ管理サブシステム)
 上位COMP通信管理(上位計算機通信管理サブシステム)
 DDC通信管理(DDCマイクロコンピュータシステム通信管理サブシステム)
 μCOMP通信管理(マイクロコンピュータ間通信管理サブシステム)
 上位COMP(上位計算機システム)
 μCOMP(マイクロコンピュータシステム)

図4 マイクロコンピュータ標準サブシステム構成
 マイクロコンピュータ用に開発したコンパクトで汎用性のある標準サブシステムの構成例を示すもので、従来の計算機制御システムで培った豊富なアプリケーションソフトウェア支援技術を継承している。

転方式の整理統合を行ない、ソフトウェアの生産性、保守性、品質向上を図ろうとするものである。

本章ではこの知識工学的アプローチにより、日立製作所が開発したルール形制御方式とその鉄鋼プラントへの適用成果について述べる。ここで言うルールとは、プラントの状況がどのような場合にどのような制御を行なうべきかを記述したものであり、ルール形制御とはルールを知識データベースとして累積し、この知識データベースとプラントの現況を比較しながら現況に合った制御を行なう方式である。

5.1 ルール形制御方式

一般的に制御対象プラントに関する知識は、

- (1) 数式、物理法則、制御アルゴリズムなど数式モデル化が容易な知識
- (2) ノウハウ、常識、体験などの数式モデル化が困難な知識に分類することができる。

上記(2)のノウハウなどは、制御対象プラントに関する専門家に属する知識であり、最適化されておらず変更も多い。また汎用的、体系的でなく、例外処理が多いため、ソフトウェアへの組込みに問題が多く、ソフトウェアの生産性や保守性を低下させる原因の一つとなっている。

ルール形制御方式は、これらの問題点を解決するために開発されたものである。

- (1) 知識をデータとして扱い、ルールとして表現する。ルールの具体的表現は“IF(条件)THEN(結論)”の形式とし、プラントの現況が(条件)と一致すれば(結論)を導き出す。
- (2) ルールをデータ化し、集中管理することにより、ルールの参照、追加、変更が容易である。
- (3) ルールベースを事前に構築しておき、実時間での制御時は現況プラントデータとルールベースを比較し、一致した条件から結論を導く操作(以下、推論と呼ぶ。)により、現況プラントに最適な制御出力を得ることができる。

図5はルール形制御方式の概念図である。プラントデータはプロセス入出力機能により現況データベースに格納される。この現況データとルールを、ルールベースコントローラと称する推論機構によって比較し、一致した条件から結論を導き出す。この得られた結論は、プロセス制御出力機能によりプラントへ出力される。

制御開始後、保守員は監視を行ない、必要に応じてルールベースの編集保守機能により、ルールの変更追加を容易に行なうことができる。

5.2 ルール形制御方式の適用例

日立製作所はこのルール形制御方式を世界で初めて川崎製鉄株式会社水島製鉄所のビレット圧延工場手入れラインの実時間制御に開発適用し多大な成果を収めた。

図6は手入れラインのレイアウトである。この手入れラインはビレットのきずを入口探傷機FD1により検出し、きずの手入れが必要なビレットと判断された場合は2台のグラインダGR3, GR4により手入れを行なう設備である。探傷機FD1で手入れ不要と判断されたビレットは搬送テーブルTBを直進し、仕分けライン入口SLに払い出される。探傷機FD1で手入れが必要と判断されたビレットは、状況に応じてグラインダGR3又はGR4のどちらかに振分けが行なわれる。搬送テーブルTBに送られたきず有りビレットは、移載機TM3により台車CA3又はCA4に移され、グラインダGR3又はGR4による手入れ後、再度移載機TM4により搬送テーブルに戻される。手入れ後のビレットは出側探傷機FD2により再チェックされ、

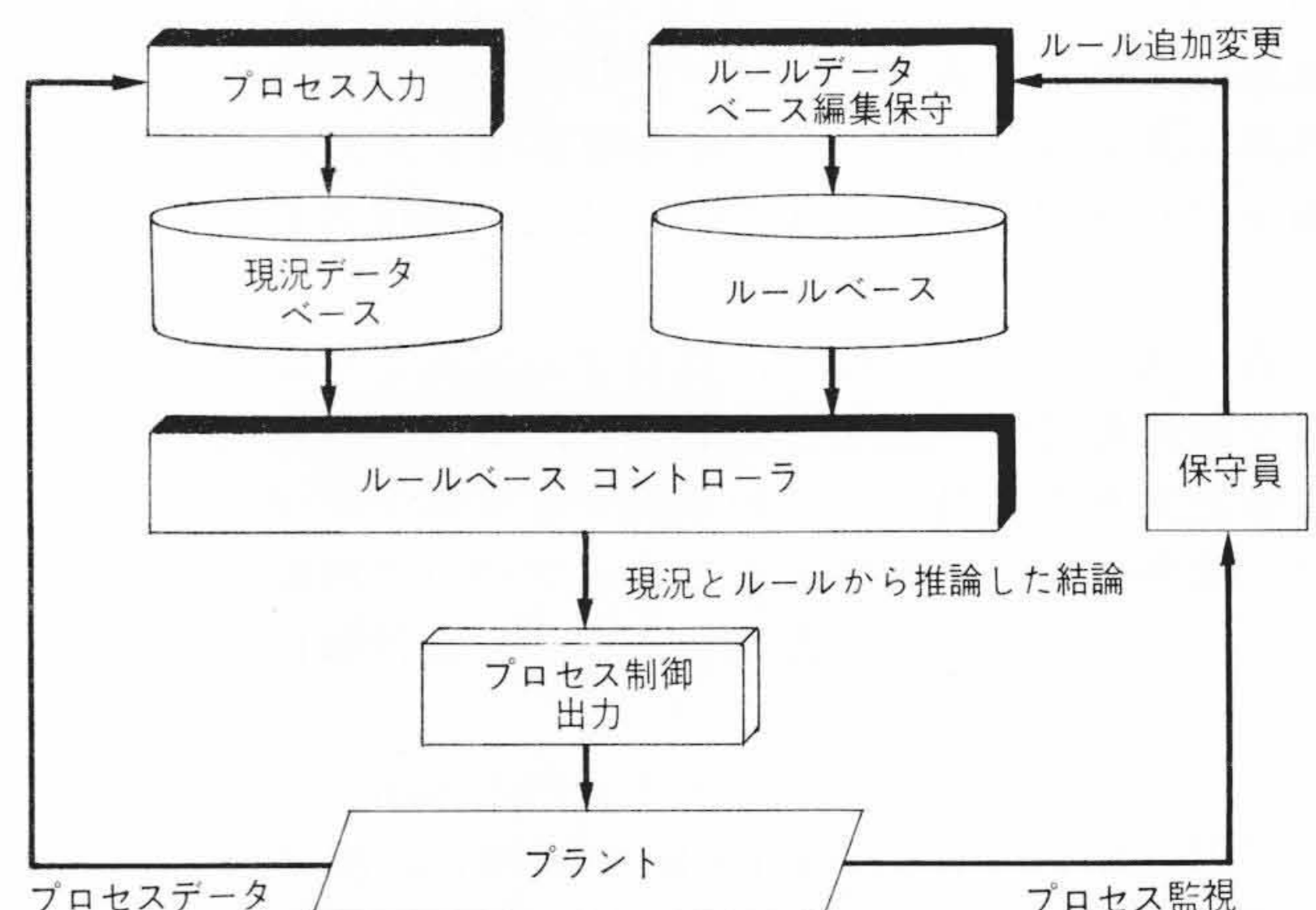


図5 ルール形制御方式の概念図
 ルール形制御は、現況データベース、ルールベース及びルールベースコントローラから構成され、ルールベースとプラントの現況を比較推論しながら、現況に合った制御を行なう方式である。

正常なものは仕分けライン入口SLへ、異常なものは再手入れFLに分岐され、グラインダGR4で再手入れされる。また、搬送テーブルTBと台車の間には仮置場CA3, CA4, AT3, AT4が設置されている。

手入れライン自動運転の要点は、グラインダ待ち時間の最小化、手入れ不要材の効率的な搬送、設備故障時の縮退運転であり、これらの自動運転処理をルールベースとして構築した。

図7に手入れラインに適用したルール形制御システムのソフトウェア構成を示す。ビレットを追跡するトラッキング機能はビレット位置をトラッキングファイルに格納し、制御決定プログラムを起動する。制御決定プログラムは手入れライン設備全体のビレットの位置情報とビレットのきずの有無や設備正常異常などの情報をトラッキングファイルと設備実績ファイルから取り出し、現況ファイルに登録する。登録後比較推論プログラムを起動し結論を待つ。

比較推論プログラムは現況ファイルと手入れライン自動運転方式をルールとして累積した自動運転ルールデータベースから推論を行ない、結論を導く。

導かれた結論は制御決定プログラムにより取り出され、制御出力機能により自動運転指令としてプラントに出力される。

図8に自動運転ルールベースに累積されたルール群とルール例を示す。

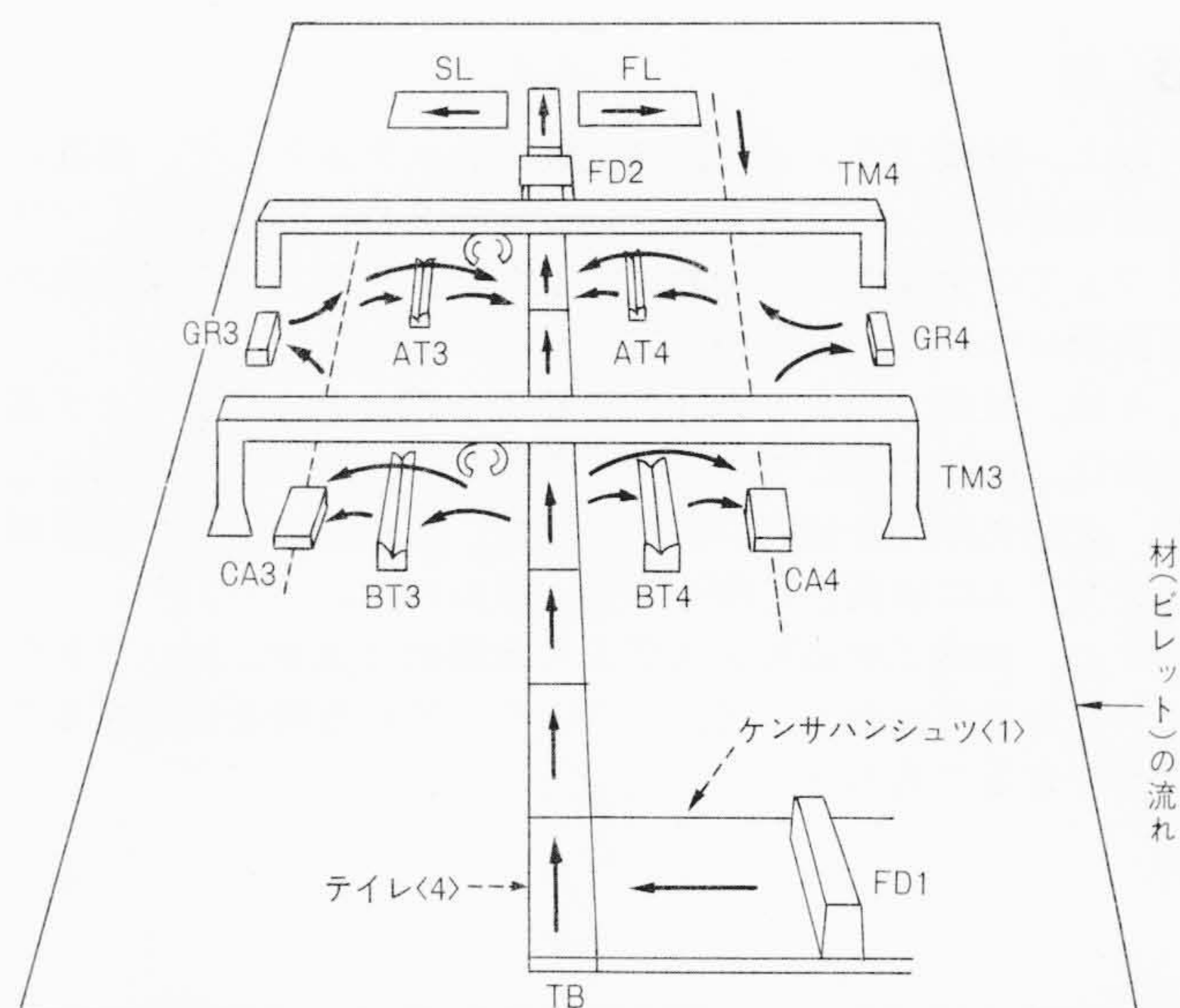
ルールはトラッキング事象発生ごとにグループ化し、事象発生時はルールベースの部分集合であるルール群だけによって推論を行なえるようにした。このルール群化及びルールのコード化により推論機構を実時間で使用した場合問題となる応答時間の短縮に成功した。図8のルール1(R1)は搬送テーブル入側にビレットがあり、きず無しの場合の直進の指令を出すルールである。

「(テイレ<4>ザイナシ)」は図6の入口探傷機から搬送テーブルTBに乗り移る場所にビレットが無いという条件を示す。同様に、「(ケンサハンシュツ<1>ザイアリ)」と「(ケンサハンシュツ<1>ノザイキズナシ)」は入口探傷機の出側にビレットがあり、かつ、きずが無い条件を示す。この場合は結論として「(ケンサハンシュツ<1>ノザイチョクシン)」の結論が導かれ直進指令が得られる。しかし、入口探傷機の出側ビレットにきずが有る場合は図8のルール2(R2)により「<FUKA>」という名称のグラインダGR3とGR4の現状負荷

を計算する別途定義されたロジックが実行され、どちらのグラインダに行くべきかが「<X>」として結論が得られる。このようにルールに最適化ロジックをも組み込むことが可能なように開発した。

ルール形制御方式のオンラインプロセス制御技術を開発し、ビレット工場の精整ライン自動運転に適用して次のような画期的な効果を取めることができた。

- (1) 自動運転のロジックがプログラムから独立したルールで表現されているため、ロジックの構築が容易であり、ソフトウェアの専門的知識を必要としないため、ソフトウェアの生産性が大幅に向上した。
- (2) 自動運転のロジックがルールとして整理されており、ロジック間の論理的矛盾チェックが容易であり、ソフトウェアの品質が向上した。
- (3) 自動運転のロジック変更追加が、ルールベース内のルール変更追加で可能となり、プログラムの変更を必要としないため、保守性が大幅に向上した。



注：略語説明 SL(仕分けライン入口), FL(再手入れ), TMI(移載機), ATi(仮置場; 手入れ後), GRi(グラインダ), CAi(台車), BTi(仮置場; 手入れ前), FDi(探傷機), TB(搬送テーブル), 添字iは機号を示す。

図6 ビレット精密手入れラインのレイアウト 日立製作所が、ルール形制御方式を世界で初めて適用したビレット圧延工場の精整ラインのレイアウト図である。

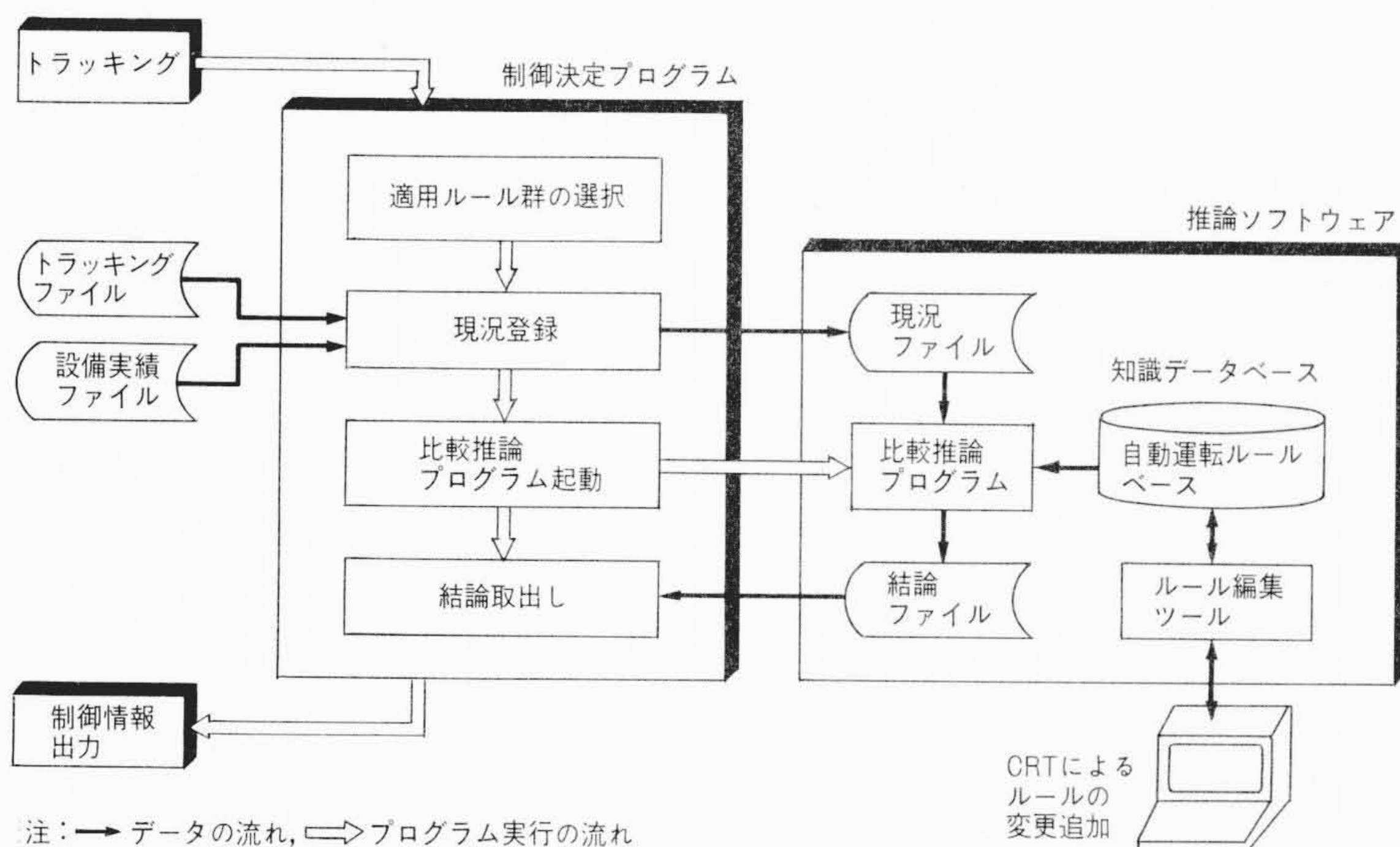


図7 ルール形制御システムのソフトウェア構成 ルール形制御システムは、推論ソフトウェアと制御決定プログラムから構成されることが分かる。

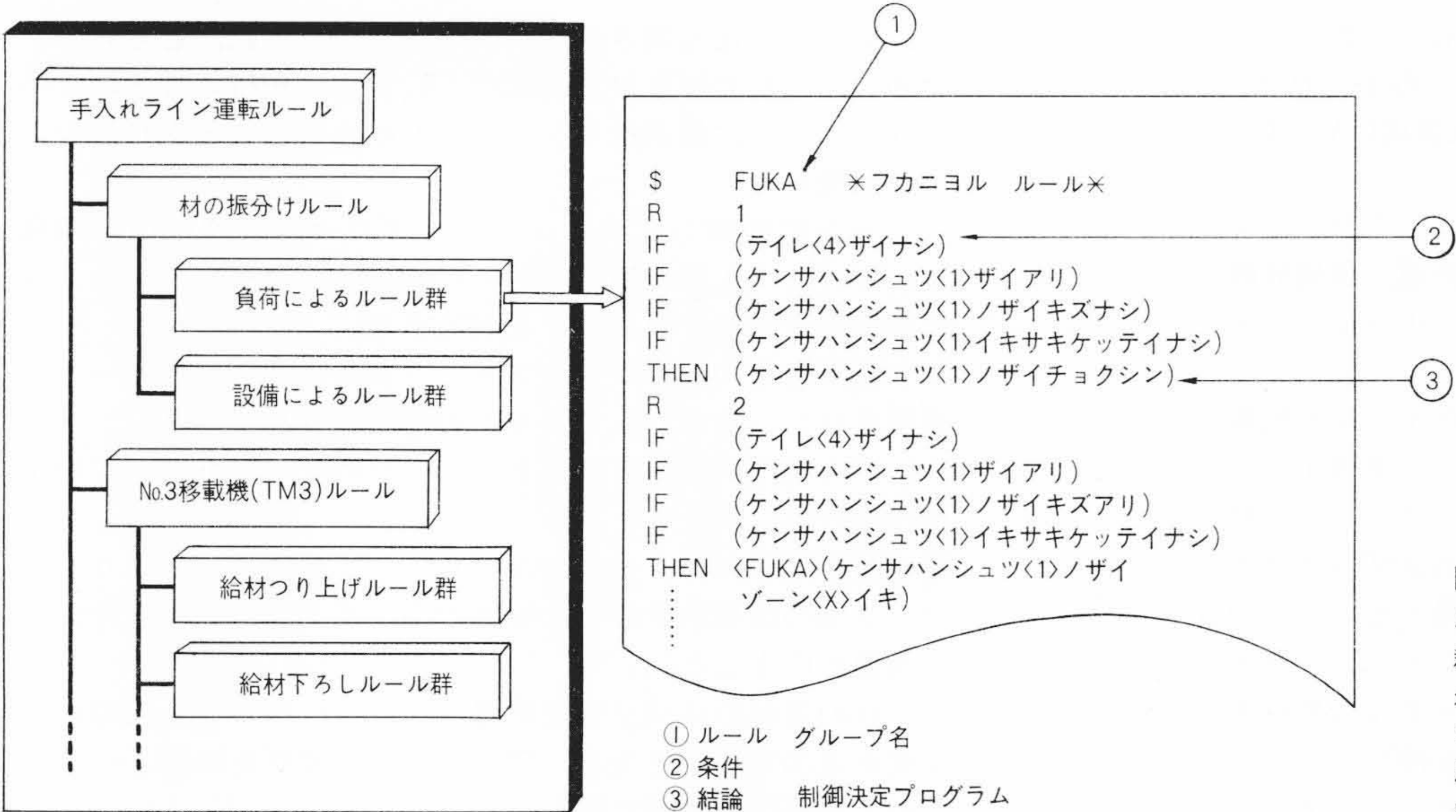


図8 手入れライン自動運転ルール群とルール例 ルールはルール群に分割されており、複数の条件と結論から成る。このルール群化及びルールのコード化により、推論機構を実時間で使用した場合問題となる応答時間の短縮に成功した。

6 結 言

以上、鉄鋼プラントの計算機制御システムとして、最近の技術革新の激しいマイクロコンピュータの利用技術と、ソフトウェアの生産性を画期的に向上させる知識工学応用技術の新技术について、若干の展望を含めて紹介した。

今後、鉄鋼プラントの計算機制御システムは、ますます高機能化、高性能化してゆくマイクロコンピュータを中核として、分散化傾向を強め、真に保守性、拡張性に優れた高信頼化システムに成長してゆくものと思われる。

また、知識工学応用システムも飛躍的に進歩し、ソフトウェアの生産性が向上して、ソフトウェアの危機を回避することができるであろう。

参考文献

- 1) 川崎製鐵株式会社：日本鉄鋼協会第87回計測部会資料No.計87-3-10, ルール形制御方式のオンラインプロセス制御への適用
- 2) N.Komoda, et al. : An Autonomous Decentralized Control System for Factory Automation, IEEE Computer, Vol.17, No.2, pp.73-83(1984, 12)
- 3) 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SICE学術講演会I-1-2(昭59-7)
- 4) 田代, 外：ルール記述に基づくシステム制御方式, 計測と制御, Vol.22, No.6, pp.786~790(昭58-9)