

エキスパートシステムの製造業への適用

Expert Systems for Manufacturing Industry

AIシステムの中でエキスパートシステムは、その揺らん(籃)期を終え今まさに実用期に入ってきている。こと製造業でも同様であり、各種のエキスパートシステムが発表及び紹介されている。しかし、発表されたシステムは単体のシステムが大半であり、製造業の統合システムであるCIMの世界との連携がとれていないのが現状である。

本論文では、OAで「システムOA」アプローチが必要であったのと同様に、エキスパートシステム(AIシステム)でも「システムAI」のアプローチが必要であり、それが取りも直さずCIMシステムに組み込まれるものであることを示した。

国枝 壽* Hisashi Kunieda

岡 敏幸* Toshiyuki Oka

杉浦 充* Mitsuru Sugiura

1 緒 言

製造業でのエキスパートシステムの適用は、AI(Artificial Intelligence)技術の進展と歩調を合わせ着実に進みつつある。米国での医療用エキスパートシステムの流れをくんだ故障診断から、高炉の燃焼制御などのプロセス制御、スケジュール制御を含む生産計画へと多岐にわたってきた。それとともに、当初の実験室的システムから実用化システムへと変容してきた。しかし、その適用には問題が多い。本稿では現状の適用状況を整理し、その対応方向をシステムの側面から展望する。

2 導入の位置づけ

2.1 とらえ方

製造業でエキスパートシステムを考える場合、「AI技術が生まれたからエキスパートシステムが発生した。」と考えると、かえって本来の位置づけがおかしくなる。

むしろ図1に示すように、エキスパートの本来の意味に立ち返り、熟練者の仕事を機械に置き換えたものと考えたほうが明確になる。このように考えると、「エキスパートシステム」は多言するまでもなく、自動制御システムやロボットそのものとも言えよう。

つまり、自動制御のフィードバックループに対し判断(処理)を膨らませてきたものである。そして、ハードロジックであったものがソフトロジックとなり、ファジー理論などに展開されるとともに、ソフトウェアそのものもデータ部分と処理部分とに分離され、更に明解になったものと言える。このデータ部分が知識ベースとなり、処理部分が推論エンジンとなったわけである。

つまり、エキスパートシステムは生産工場では決して非日常的なものではない。図2のCIM(Computer Integrated Manufacturing)の各要素で明らかのように、FMS(Flexible Manufacturing System)、FA(Factory Automation)をはじ

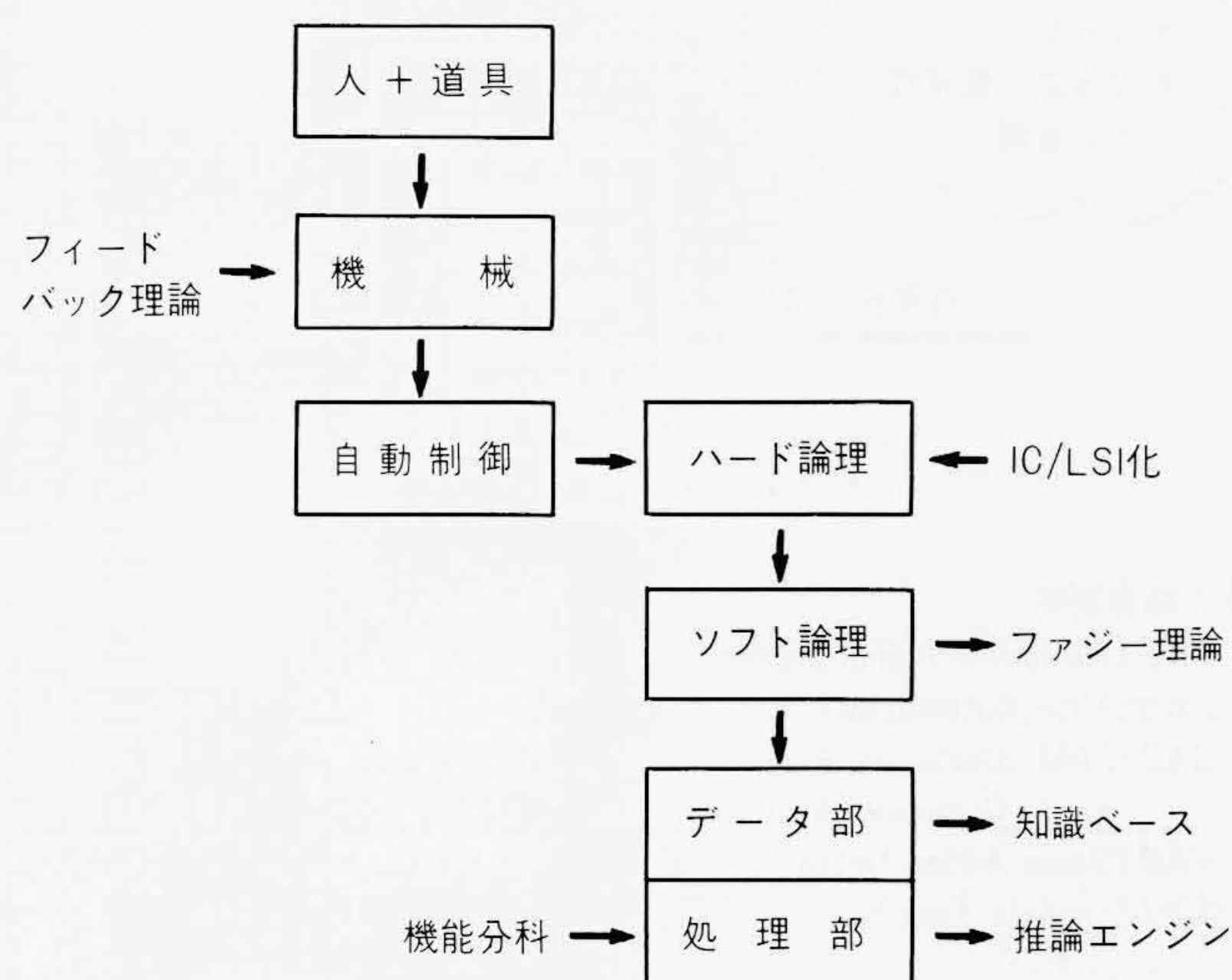


図1 製造業でのエキスパートシステムのとらえ方 自動制御の考え方を発展させると、エキスパートシステムにつながる。

めとし、いたるところにエキスパートシステムは存在している。決して分かりにくいものでも高級なものでもない。今まで取り組んできたIE(Industrial Engineering)、FMS、CIMの延長線上にあると言える。

ただし、これまでの各システムと異なるのは、かなりあいまいな判断や結論が導出可能になったことにある。

2.2 導入の流れ

エキスパートシステムの製造業への導入は、人工知能言語であるLISP(List Processor)、PROLOG(Program in Logic)を直接用いるものは別として、日立製作所のES/KERNEL(Expert System/KERNEL)、EUREKA(Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation)な

* 日立製作所大森ソフトウェア工場

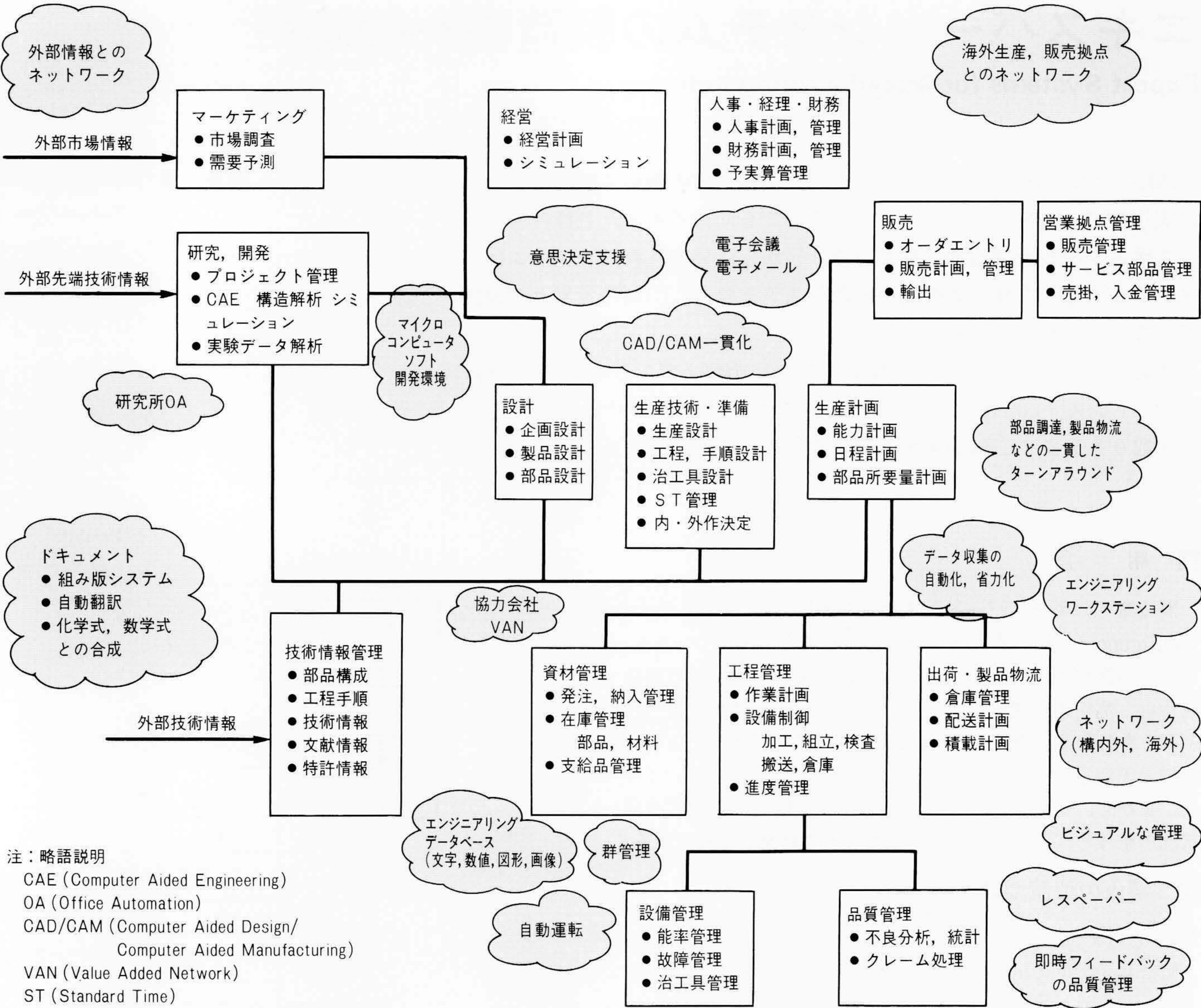


図2 CIMのサブシステム構成 薄い網目で示した部分は情報システム化対象範囲であるが、これらサブシステムを構築する要素の一つにエキスパートシステムがある。

ど、昭和50年代後半に開発の始まったエキスパート構築支援システムを利用することで始まった。これはそれまでのLISP、PROLOGと異なり、実際の利用者(各部署のエキスパート)が直接に操作できる可能性を持ってきたためである。

エキスパートシステムの開発は昭和60年ごろから、米国での医療エキスパートシステムに引きずられるように故障診断へのプロトタイプアプローチから始まった。プロトタイプであったためか、ミニコンピュータ若しくはパーソナルコンピュータで、それ単独で稼動するスタンドアロンシステムが中心であり、そのハードウェア能力からルール、知識データ量も限られたものであった。しかも、この時期のシステムとしては、各コンピュータメーカーの開発したデモンストレーション用システム若しくは各研究機関が研究用に開発したものが中心で、実用化にはほど遠かった。

この動きに刺激されたように、鉄鋼、石油化学といった装置産業で、高炉の制御、石油の配分などのプロセス制御に適

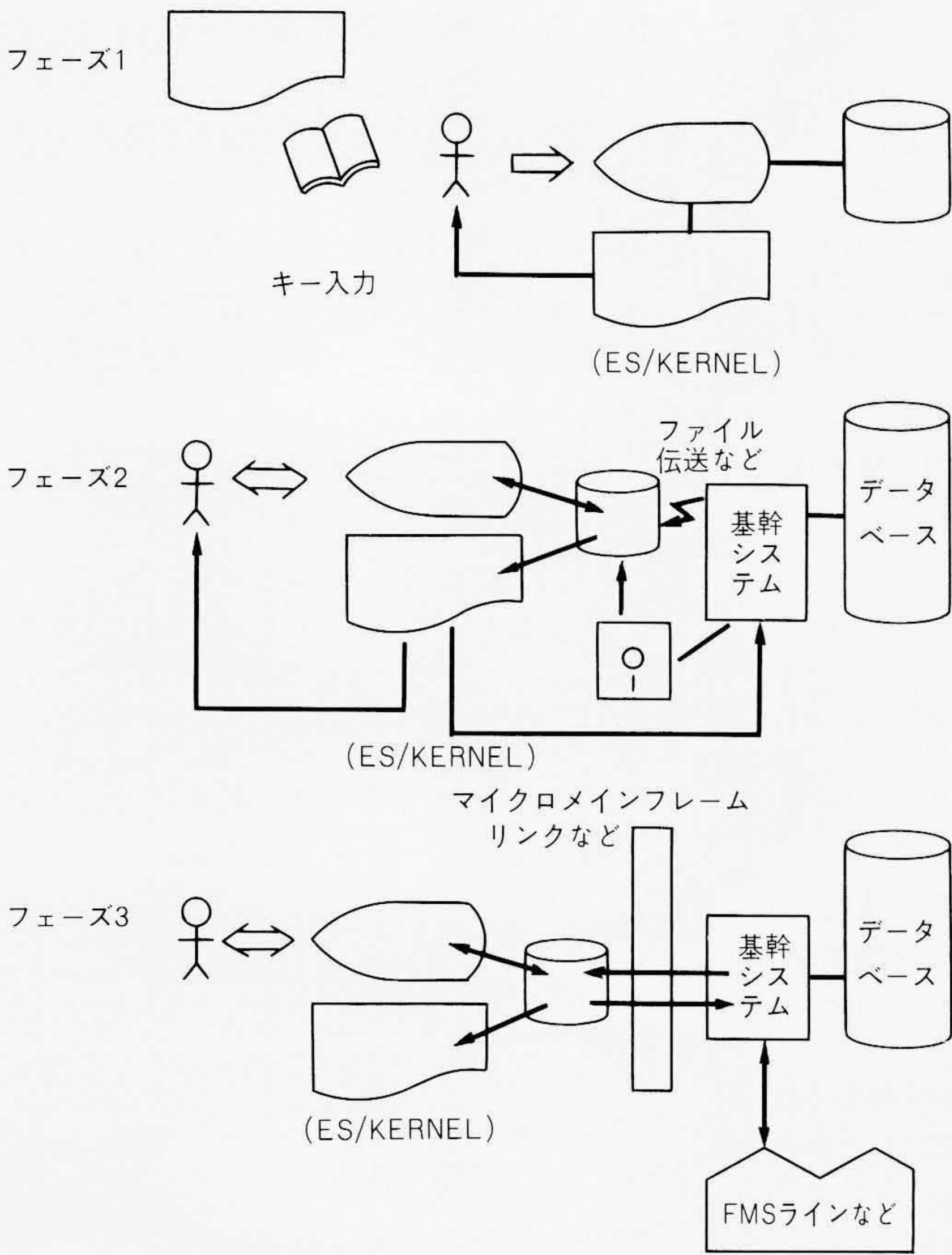
用が試みられてきた。

これらの動向を加速するものとして、昭和61年の日本人工知能学会の創設、更に基盤部分として日立製作所のワークステーション2050をはじめとする高性能ワークステーションの普及が挙げられよう。

これらを踏まえた上で、組立加工業でも昭和62年ごろから生産計画、ことに生産ラインのスケジュール決定に適用が始まり現在に至っている。生産計画では、基幹データ処理システムに集積した大量のデータを操作する必要があり、当初から形態は別として、基幹システムに接続してシステムが構成されてきている。すなわち、生産管理の一つのコンポーネントというわけである。この間のデータ連携の変化を図3に示す。

2.3 導入の効果

エキスパートシステムを導入することによって、おおむね次の効果が期待できる。



注：略語説明 ES/KERNEL (Expert System/KERNEL)
FMS (Flexible Manufacturing System)

図3 データ連携の変化 フェーズ1は単独システムを示す。データ投入はワークステーションから人手で行う。フェーズ2は基幹システムとの連携を示す。データを基幹システムから持ってくる。フェーズ3は基幹システムと連携し、ラインコントロールの切り口を設ける。基幹システムとの連携を密にし、ケースによってはラインコントロールを行う。

- (1) 専門家の実質的増加
- (2) 誤りの防止
- (3) 業務の質の均一化
- (4) 要員教育の効率向上
- (5) システム保守の迅速化
- (6) 各セクション、各レベルでの意思決定支援

これらの中で(2)と(3)は従来のEDPS (Electronic Data Processing System)でも対応してきた部分であるが、(5)とも関連し質的向上が期待できる。それに対し(1)は、従来のEDPSにはない新たな効果であり、(4)と(6)はそれの波及効果である。

3 適用の現状

3.1 類型別適用状況

現在の適用状況は表1に示すとおりであり、分野別に見ると診断、分析の分野への適用が先行し、次いで設計分野への適用が進んできている。故障診断システムと生産・工程スケジューリングシステムが多くなっている。まだ大半がスタンドアロンシステムとなっている。以下、適用内容の概略を述べる。

- (1) 診断形(故障診断など)

表1 製造業でのタイプ別適用事例 分析形と合成形に大別し、現状での発表されている事例を整理した。

類	型	事	例
分析形	診断形	コンピュータ障害対策支援システム	マイカー診断システム
		給湯器故障診断システム	ネットワーク故障診断システム
		浄水場運転管理	半導体プロセス診断
		BWRプラント保守支援	
合成形	制御形	高炉制御システム	自動倉庫制御
	コンサルテーション形	検査着眼点コンサルテーションシステム	
	解釈・予測形		
	設計・配置形	船積み積み付け図作成システム	搬送車積み付け計画支援システム
計画・スケジューリング形	計画・スケジューリング形	VLSI設計支援システム	計算機室機器レイアウトシステム
		原子力プラント配管支援システム	システム構成設計支援
計画・スケジューリング形	計画・スケジューリング形	量販品生産計画システム	成型工程スケジューリングシステム
		精密加工工業部品生産計画システム	
		車両配送計画システム	

注：略語説明 BWR (沸騰水型原子炉)

故障診断は最も先行し、エキスパートシステムのプロトタイプを成すものである。その目的は新人であっても手順に従って行えば、確実かつ均質に問題点の診断ができることにある。これまでもマニュアル化することで対処してきたことではあるが、熟練者の知識をデータベースに蓄え適宜に知識の充実を図ることで、タイムリーなマニュアル化、変更・修正の迅速化及びその実作業への適用が徹底できるようになった。その結果として、今まで従来の故障診断業務を行っていた熟練者の知識を知識ベース化することで新人に代替できるため、熟練者を新製品の故障診断に振り向けることが可能となった。対顧客サービスの質を量的に拡大するとともに、企業全体としてシステムの柔軟性を高めることができる。

- (2) 制御形(プロセス制御など)

プロセス制御では社会で高まりつつある安全性及び品質の安定などへの要求に対処するため、従来行われていた「自動制御+人手」を「自動制御+エキスパートシステム+人手」としたものである。このことで、人手に頼らざるを得なかったあいまい性を含む判断を、機械であるがために確実に制御できることになる。つまり予期しないミスの防止が可能となった。更に、高炉などの作業条件の悪い場所での労務管理上の改善も期待できる。

- (3) 設計関連形(技術管理など)

エンジニアリング関連では、CAD/CAM (Computer Aided

Design/Computer Aided Manufacturing)への設計支援, 設計情報から生産のための技術情報データベースを作るといったあいまい性を含む処理に適用ができる。また, 荷積みなどレイアウト全体のバランスを判断しながら行う作業についても応用が可能となってきた。更に, 何を, どのようにして, 進めていくか, といった設計方式, コンサルティングなどの問題も着眼点の抽出といったことで処理が可能となりつつある。

(4) 計画・スケジューリング形(生産ライン割当など)

スケジュール問題に関しては, 大量データ処理時の性能不足はあるが, 人手に依存せずに確実に処理できることから, 故障診断と同様に熟練者の有効活用という意味で生産工程の各所で適用が試みられつつある。製造業とは言いにくい, 新幹線のダイヤグラム作成などもその代表例と言えよう。

現実の適用に関しては, 現在のところプロトタイピングシステムは各種展示会での発表を含め多いが, 本格的に実用となっているシステムはあまり公表されていない。現実には数多くあるようであるが, 製造業ではノウハウを重視するユーザーが多く明確になっていない。

これは, 近年NIES(New Industrial Economies)の台頭に見いだされるように, 個々の製造技術での大きな差がなくなってきたためと考えられる。企業体力の差は「その持っている機械設備を, どのように合理的に使用するか。」といった生産ノウハウの差, すなわちエキスパートの差によるところが大きい。そのため, そのノウハウを体系化したエキスパートシステムを公表したがるのは, ある意味で当然と思われる。

また, エキスパートシステム建設のコンサルテーションを考えた場合, 例えば電気機器製造業では, コンピュータメーカー側もユーザーにとって競合者であり得る。そのノウハウの扱いは微妙な問題と言える。

エキスパートシステムは前にも述べたように, その構築の中間過程で稼働でき, 逐次, 論理・データを追加することでシステムを完成させることができる点に大きな特徴がある。プロトタイピングとして, それを特長として積極的に活用することで, 矛盾を含む意思決定となりやすい生産計画への適用が期待される。今後生産スケジューリング問題は, 製造業のエキスパートシステムの基幹になるものと期待される。工程スケジューリングの事例を図4に示す。

3.2 現状の問題点

エキスパートシステム自身今後の発展の可能性を秘めたものであるが, 現時点では解決すべき問題も多い。

(1) 費用の問題

製造業の場合, 費用が直ちに直接費に転嫁されるためコスト評価が厳しい。費用を回収できるか否かが導入のポイントである。情報そのものに大きな価値を見いだす産業とはそこが大幅に異なり, 計量できない効果は受け入れられにくい。

具体的には次の課題がある。

- (a) 工数をかけないシステムの確立
- (b) エンドユーザー主体で開発できるシステム
 - (i) エンドユーザーが直ちに理解し, 構築できるもの
 - (ii) 工程などの変更に対応できるもの

(iii) メーカーのKE(Knowledge Engineer)やSE(System Engineer)はいなくても実現できるもの

したがって, 研究開発用以外では費用対効果を明確にすることが第一歩である。

この辺の制約からも, 「小さく生んで大きく育てる。」とのことで, ワークステーション2050などの高性能ワークステーションを用いて開発・確認した上で, 大形ホスト計算機へ移植することが有効である。

(2) 機密保護とエキスパートシステムメーカーによるサポート

メーカーが関与できるレベルには限界がある。すなわち, 一般にメーカーが関与できるのはデモンストレーションからプロトタイプのレベルまでである。知識そのものに社外秘, 部門外秘が多い実用システムでは, ユーザーだけで開発する例が多い。したがって, ユーザー, メーカー双方とも専門家のノウハウが簡単に得られないケースがでてくる。

(3) 技術的問題

知識工学を用いた結果, 人間の持つ非デジタルであいまいな判断が計算機で相当程度できるようになり, システムとして効果が出てきている。しかし, 現状のエキスパートシステムではまだ次のような技術的制約がある。これらの制約を考慮した上で適用することが肝要である。

(a) 処理に時間がかかる場合がある。

与えられた知識を与えられたルールに従い逐次推論を押し進めていき答えを導き出す。そのため, 人間が一見して直ちに答えを出すものであっても, 逐次処理するためその時間が必要となる。

(b) 自分で(計算機が)知識を蓄積できない。

知識ベースに, 知識を整理することが機械的にはできない。人間の判断を交じえ人手で知識ベースを構築する必要がある。

(c) 自分で(計算機が)ルールを作り出せない。

エキスパートシステムが自らルール=推論エンジンを修正・更新する(=学習)ことは現在できない。人手で条件を整理しルールを作る必要がある。

(d) 作成ルールがまだ複雑である。

支援システムなどが整備されつつあるが, まだエンドユーザーにとっては難しい。

したがって, 現在の制約を考慮し, ある部分は今までのAI技術の進歩を享受する意味で, 各エキスパートの情報処理を支援する意思決定支援システムの一部と割り切って使用したほうが, かえって明解に適用できる場合もある。

4 今後の展開

4.1 一般的方向

他システムとデータ連携のない単独のエキスパートシステムでは, 展示会及びそれ自身の研究用は別として, 実際の業務では意味を持たない。各段階でのデータの入力という大きな問題が解決できないからである。このことはOA(Office Automation)の導入が, ファクシミリ, パーソナルコンピュータなどの単独機器の導入から始まったが, 結局データ投入

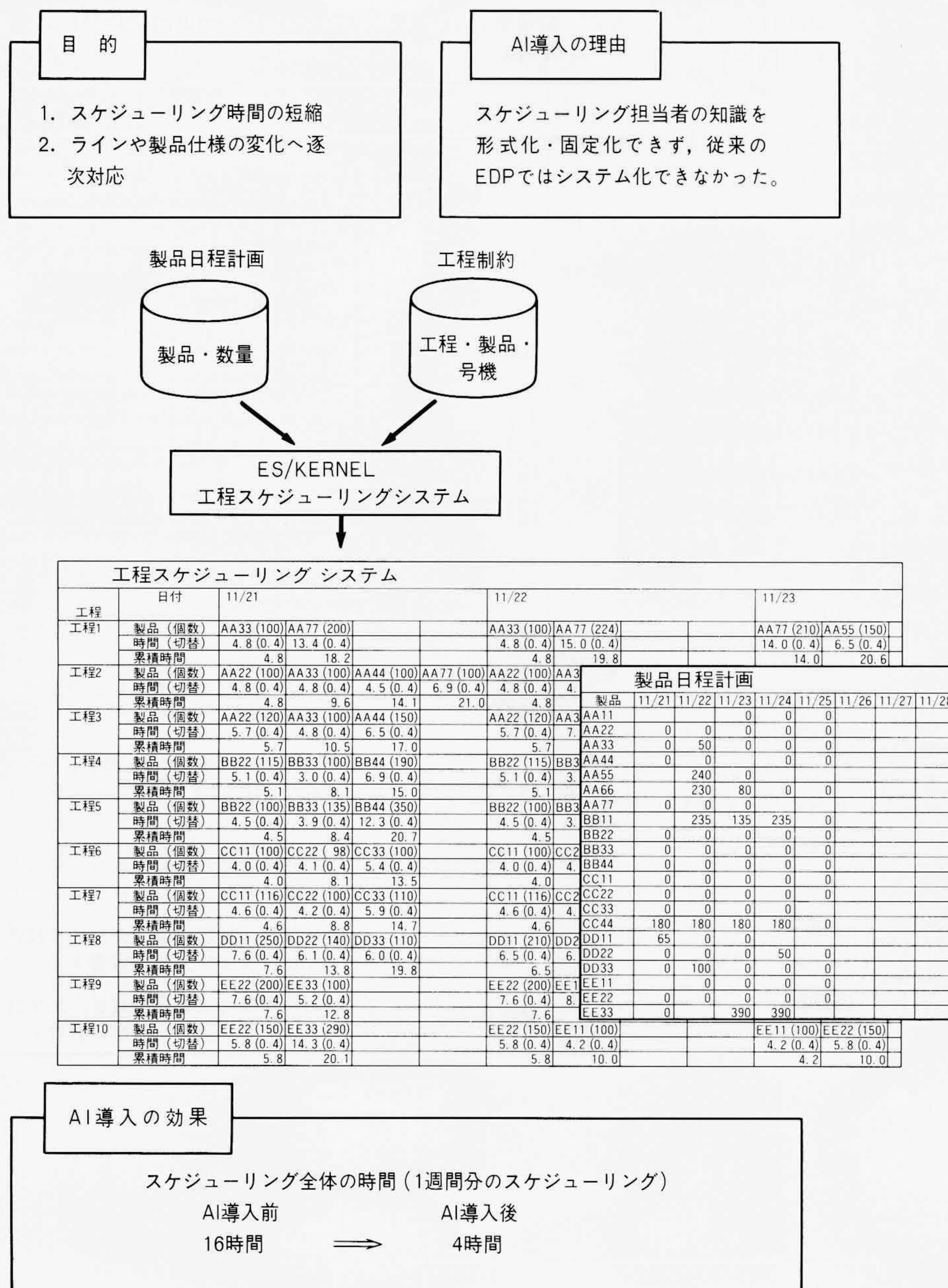


図4 工程スケジューリングシステム事例 工程スケジューリングの適用事例で、製品日程計画と工程制約を入力として、ES/KERNELでスケジューリングを行う。

の壁を突破するためデータ連携が必要となり、回線、LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network) を経由してホスト計算機システムと接続され「システムOA」となってきたことから明らかである。

また、図5に示すとおりエキスパートシステムの目指すところはシステムOAの目指すところと重なる。ワークステーションの分散化及び高機能・高性能化とあいまって、OAシステムへエキスパートシステムが入り込んできている。双方とも「ホスト(基幹情報システム)と連動し、蓄積されたデータ(データベース)を活用し、情報を加工処理する。」という意味では全く同一である。

では、OAとエキスパートシステムの違いはあるのだろうか。エキスパートシステムは、今まで人間のノウハウに依存したところを、外部に明らかにするところに意義があるものであ

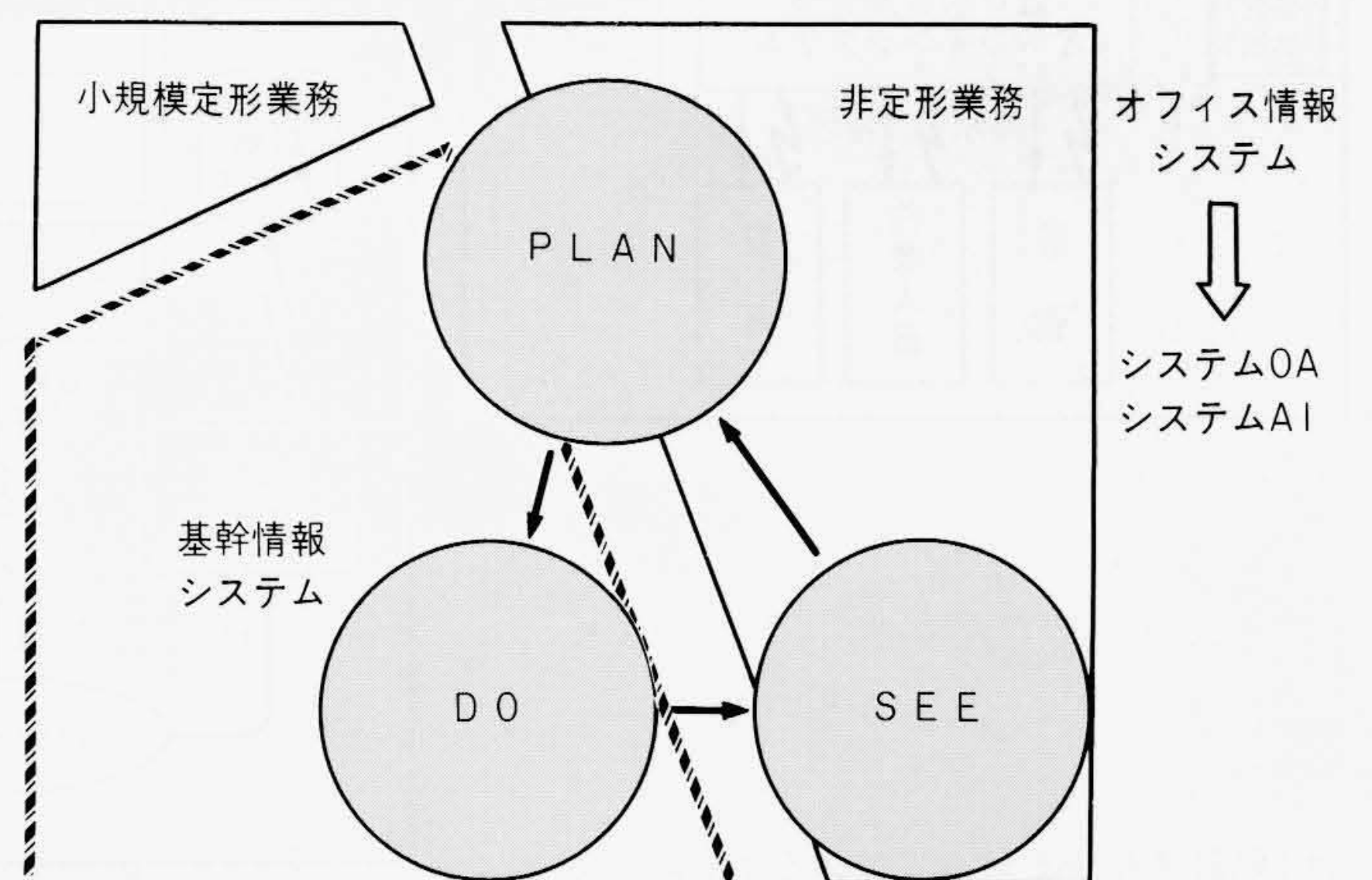


図5 システムOAとの関連 エクスパートシステムもOAと同様に、PLAN, SEEの部分の効率化をねらったものである。

る。一方、OAは事業所内のデスクワークで人間が試行錯誤、経験則などで行っていた判断などの作業、すなわち図5に示すPLAN、SEEの部分の機械化を目的としたものである。つまりシステムOAとエキスパートシステムでは、エキスパートの代替を目指すことで実現レベルで若干の差異はあるものの大差ないものと考えられる。システムOAの内にエキスパートシステムが含まれるものと考えてもよい。

したがって、エキスパートシステムに着目した場合、システムエキスパート(システムAI)ということができる。

今後エキスパートシステムが普及することによって、そのブラックボックス化が進むことが想定される。エキスパートシステム化したために、一度システム外の事象が発生すると、その担当者では対処できなくなる。コンピュータ化したエキスパートのノウハウをいかにその他の要員に理解させ、その技術レベルを維持するかが大きな課題となる。そのためには、ジェット機のフライトシミュレータのような教育エキスパートシステムの構築が要求されてくるであろう。

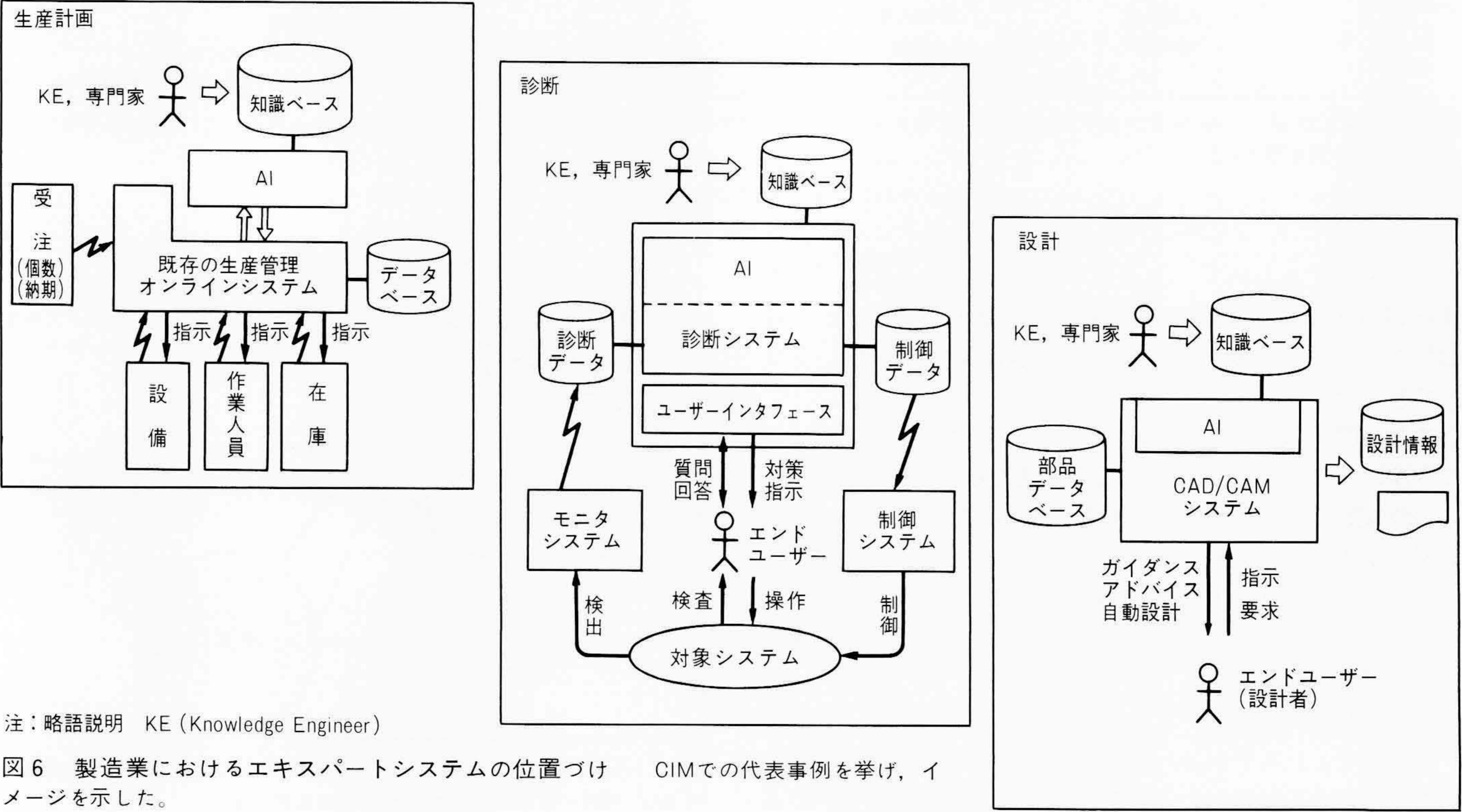
4.2 製造業での方向

製造業でも前節で述べたシステムAI(システムエキスパート)の方向は変わらない。しかし、製造業ではCIMという統合コンセプトがあり、それに統合されることになるであろう。CIMからみたエキスパートシステムの適用領域及び適用事例を、表2及び図6に示す。

「スタンドアロンから基幹システム(CIM)の一部へ」これが製造業でのエキスパートシステムの位置づけとなる。CIMの核を成す技術は以下に述べるとおりである。具体的イメージを図7に示す。

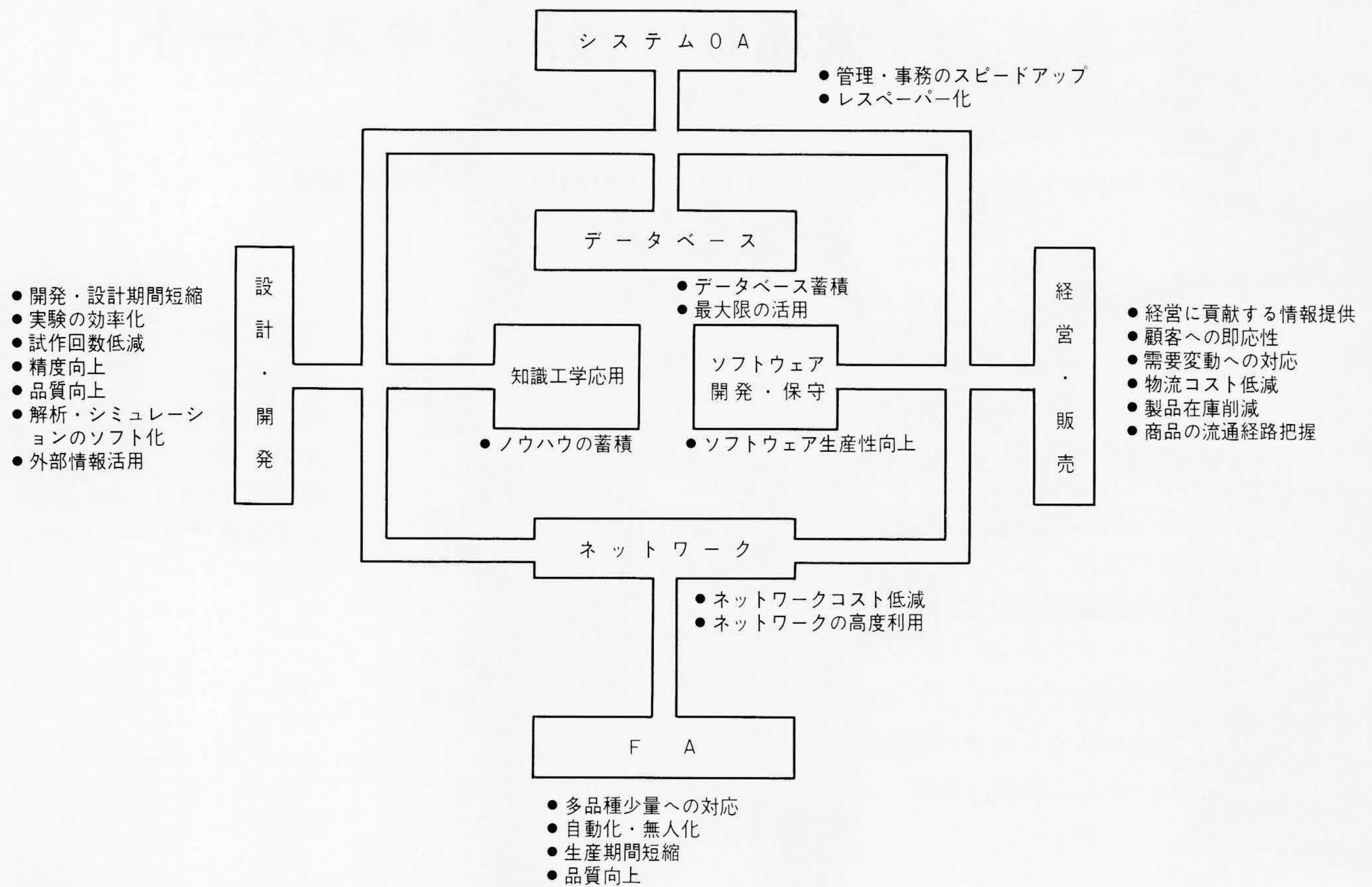
表2 製造業におけるエキスパートシステムの適用領域 製造業での適用領域を、今後考えられる部分をも含め整理した。

	システム名	具 体 例
制 御	工程管理	生産設備の稼動状況や材料・製品の状態などを入力して最適なラインを確保する。
	設備制御	高炉やタンクなどの設備を温度などの状況データを入力して、最適な状態を保ちながら稼動する。
計 画	生産計画	設備の稼動率、作業人員の職能、在庫の待ち率などを加味した生産計画を立案する。
	輸送計画	最適の経路、輸送手段、こん包方式などをとり、製品を物流基地へ運送する。
設 計	CAD/CAM	電気系回路や機械設計の支援をする。流用部品の選定を行う。
	設備レイアウト	限られたスペース内に、設備の特性や人員の流れを配慮してレイアウトする。
診 断	製品の故障診断	自動車、複写機、VTRなどの製品を診断する。
	設備の故障診断	原子炉、組立てラインなどの生産設備を診断する。
コンサルテーション	ベンダー選定	過去の取引実績(仕様、価格、納期、クレーム)、負荷状況によってベンダーを選択する。
	設計規則 各種法令 コンサルテーション	規則や法令などにのっとっているかどうか判断し、コンサルテーションする。
教 育	社員教育システム	製品開発、製造、保守のための技術をシミュレーション方式で教育する。
	顧客教育システム	製品の使用方法や仕組みを、エキスパートシステムを通じて顧客に教育する。



注：略語説明 KE (Knowledge Engineer)

図6 製造業におけるエキスパートシステムの位置づけ CIMでの代表事例を挙げ、イメージを示した。



注：略語説明 FA (Factory Automation)

図7 CIMの構成要素 製造業でのトータルシステムであるCIMの中での、エキスパートシステム・AIの位置づけを示した。

- (1) データベース
- (2) 知識工学(エキスパートシステム)
- (3) ネットワーク
- (4) ソフトウェア開発・保守

これらを取り巻くように、各アプリケーションが並ぶ。

エキスパート支援システムも発展に伴い、よりアプリケーション側に近づき、はん(汎)用的なものから特定分野向けのものが発表されてきた。製造業分野でも故障診断エキスパート用や生産スケジューリング用のものがあり、エキスパートシステムを容易に構築するための今後の方向を示すものと考えられる。

更に各工程への適用では、エキスパートシステムと従来のEDP処理の特徴に着目し、それらの特長を生かす組合せが考えられよう。すなわち、開発はエキスパートシステムのプロトタイピング機能、実行は従来のプログラム処理とし、コンバータを経由して移行する方式である。この手法で推論処理の高速化が期待でき、応答性で適用に難があるが知識の変更が多発しないといった部分に適用が可能となるであろう。

5 結 言

以上述べてきたように、エキスパートシステムはそれ単独で機能するのではなく、基幹EDPSと連携をとり、広く製造・物流の各過程で各工程のエキスパートたちの意思決定を支援するものであるとともに、広義に解釈すれば各プロセスを支える各種ロボット(肉体労働のエキスパートを支援する。)をも含むものである。それは取りも直さずCIMシステムの一要素である。

参考文献

- 1) 日立製作所：製造業のためのワークステーション2050/2020活用事例紹介セミナー，HITACマネジメントコーステキスト(昭63-3)
- 2) 日立製作所：CIMの動向(昭62-2)
- 3) 特集 知識工学とその産業分野への応用：日立評論，67，12(昭60-12)
- 4) 特集 システムOA：日立評論，69，6(昭62-6)
- 5) 石崎，外：ビジネスマンのためのAI入門，オーム社(昭63-2)