

計測・制御用AIシステム

竹山 良雄(たけやま よしお)

矢加部 正幸(やかべ まさゆき)

原田 利博(はらだ としひろ)

① まえがき

計測・制御分野のデジタル化が進み、分散形のデジタル計装システムやスーパーミニコンピュータの導入が行われており、FA、PAなどの高度化した自動化システムへの移行やアドバンスト制御への取組みが進んでいる。

人工知能(AI)の研究過程で提唱された知識工学の最近の進歩により、知識工学を利用したAIシステムの開発が各分野において進められている。

計測・制御の分野での自動化技術やアドバンスト制御技術の向上を図るために、AIシステムの開発実用化が不可欠になっている。

本稿では、計測・制御分野のAIシステム開発の現状動向と、プロセス制御分野における適用例について紹介する。

② 計測・制御のための自動化技術の動向

プロセス制御において、分散形計装制御システムの導入が進み、従来の計測・制御システムでは実現できなかった

アドバンスト制御が実用化されるようになった。

アドバンスト制御への取組みが進む中で、知識工学を基礎としたAIシステムの開発は、知識工学の進展、知的財産の蓄積、コンピュータシステムの進歩などの技術的支援と人間性の尊重、経済・社会構造の変化などの社会的な要請、実用化システムの増加によってますます盛んになり、AIシステムの導入が多く分野で進んでいる。

計測・制御の分野においても、エンジニアリングの効率や操業の信頼性の向上、自動化・無人化の推進、ソフトウェアの開発とメンテナンスの効率向上、知的作業負担の軽減などに対して、AIシステム実用化の重要性が増している。

このようなAIシステムの導入、開発動向に対応するために、計測・制御分野の問題向きAIツールの開発、適用実績の蓄積と拡大を目的として、AIシステムの開発を推進してきた。

表1は、これまでに開発してきたAIツールの概要、特長などをまとめたものである。AIツールの詳細は③章にて述べる。各AIツールの要点は以下のとおりである。

FRUITAX (Fuzzy Rule Information Processing Tool

表1 富士電機のAIツールとその比較

AIツールの名称	概要	特長	知識表現	推論方式	周期的制御動作	適用例
FRUITAX (ファジイ制御)	ファジイ理論応用のエキスパートシステム構築ツール	確率統計によるルール構築 (経験・勘のルール化) シミュレーションによる検証機能 をサポート 確からしさ・あいまい性の度合の 表現	ファジイメンバ シップ関数形 制御ルール形	小規模 ファジイ推論	あり、 周期:数十秒	薬注、水質制御 セメント
EIXAX (数式併用形)	プロセス自動運転用エキスパートシステム構築ツール	プラント運転制御向き リアルタイム指向 FORTRANを使用	プロダクション ルール形 簡易フレーム形 数式表現モデル	小規模 前向き推論	あり 周期:数十秒~分	E/C最適運用 自家発蒸気系最 適運用
ΦNET (物流向け)	物流自動化用のAIツール	物流制御の自動化 シミュレーションによる物流計画 のチェック シミュレーションと制御の並列使 用	プロダクション ルール形 ネットワークモ デル(ペトリネ ット)	簡便 ノード・プラン チ表現にリンク したルール処理	あり 周期:秒	組立ライン制御 スラブ搬送ライ ン制御
COMELEX (診断形汎用)	診断形のエキスパート システム構築ツール	コンパクトなシステム構築 実用化が容易 (パーソナルコンピュータに搭載 可能)	クライティアフ レーム形	簡便 前向き推論 後向き推論	動作環境による	タービン異常診断 変圧器異常診断 列車運転指令支 援システム



竹山 良雄

昭和44年入社。大形コンピュータによるプロセス制御技術の研究解析とソフトウェアの開発業務に従事。現在、富士ファコム制御(株)第一システム開発部部長代理。



矢加部 正幸

昭和46年入社。大形コンピュータにおける技術計算センタ業務、ソフトウェア開発業務に従事。現在、富士ファコム制御(株)第一システム開発部課長。



原田 利博

昭和46年入社。セミベーシックソフトウェア及びソフトウェア開発支援ソフトウェアの開発を経てAI応用技術の開発に従事。現在、富士ファコム制御(株)第一ソフトウェア技術部課長。

for Advanced Control System) はファジィ推論をベースにした汎用のファジィコントロールシステムで他に例をみないシステムである。操業の自動化に適しており、装置組込みや手軽に使用できるよう、ファジィ演算の高速化、小型化のための専用ボードを開発している。

EIXAX (Effective Industrial Application Aimed Expert Shell for Advanced Control System) は、リアルタイム性を持ったプロセス制御用の AI システムで、鉄鋼、化学、水処理などのプラントの自動運転や操業の最適化が実現できる。

ΦNET (Factory Automation Intelligent Network Control System) は、FA における物流プロセスの管理に対して拡張性、柔軟性に優れた AI システムで、多品種少量生産ラインの高度な FMS やトータル FA システムの実現に適している。

COMEX (Compact Knowledge Based Expert) は、計測・制御分野に限らず、一般に、各種診断やカウンセリングに適した AI システムであり、ノウハウの整理、体系化に特長ある知識ベースを持っており、設備診断、故障診断など各種コンサルタント形診断業務に導入した例が豊富である。

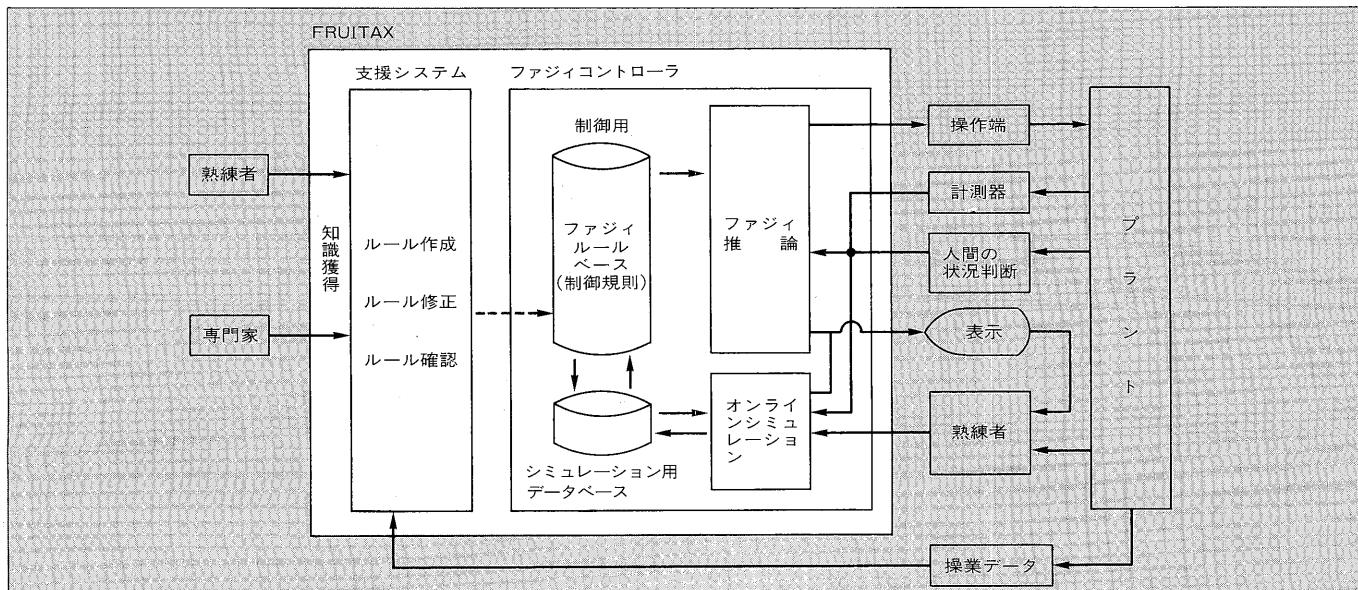
③ 計測・制御のための自動化用 AI システムと応用例

3.1 FRUITAX

プロセス制御においては、制御対象の数学モデルが作成できない分野や、数学モデルが複雑すぎて現代制御・最適制御などの最近の制御方式でもコンピュータ制御が不可能な分野も少なくない。しかし、このような分野においても、以下の理由により熟練オペレータのみに頼れない状況となってきた。

(1) 熟練オペレータの減少

図1 FRUITAX の機能と構成



(2) 自動化による高信頼性、省力化への社会的要請

今回紹介する FRUITAX は、従来制御方式が適用困難な制御分野で特に効果を發揮する制御自動化のための AI システムであり、東京工業大学との共同研究に基づき、富士電機でプロセス制御用の汎用ファジィコントロールシステムとして開発し商品化したものである。⁽¹⁾

FRUITAX は、プラントの制御を行うファジィコントローラと、ファジィコントローラで使用する制御規則などの作成・検証に利用できる支援システムから成っている。

FRUITAX の特徴を以下に挙げる。

- (1) 操業のばらつきが大きい分野に対して効果が大きく、安定性の高い運用が実現できる。
- (2) 熟練オペレータの、いわゆる「勘と経験」を制御規則として与えることにより、熟練オペレータと同じ運用が常に可能となる。
- (3) プラント状態の計測器による計測が困難な状態量（例えば、炎によるプラント状態の判断など）に対しては、人間の状況判断をキーボードから入力し、計測量とともに制御に利用することができる。
- (4) ファジィ理論に基づく推論により、多くの条件を総合的に判断した結果としての制御出力を得ることができる。
- (5) オンラインシミュレーション機能により、実プラント運用中に制御規則を変更し、その効果をディスプレイ画面により確認することができ、必要に応じて変更された規則により即座に実運用を行うこともできる。
- (6) 制御規則の適用状況や推論過程がディスプレイ画面に図表示されるので、推論状態の監視を行うことができるとともに、実運用時の制御状態をみて制御精度向上への対応が容易に行える。
- (7) 制御規則及びメンバーシップ関数が推論機構とは独立した構成をとっているので、制御規則及びメンバーシップ関数の追加、変更が容易に行える。このため、対象プラントの制御に関するノウハウを、FRUITAX を導入した部

- 署で制御規則、メンバシップ関数として入力できる。
- (8) 制御規則の作成方法としては、熟練オペレータや専門家からのヒアリングによる方法だけではなく、実運用データの統計処理による作成も可能であり、実運用状況を正確にファジィ制御に反映させることができる。
 - (9) 大形コンピュータで動く支援システムが用意されているので、ファジィ制御系の設計と検証を実運用前にシミュレーションにより行うことができる。
 - (10) マイクロコンピュータによるスタンドアロン形と、プロセス制御用コンピュータシステムへの組込形があり、適用対象の規模や用途に応じた形を選択できる。

FRUITAX の機能と構成を図 1 に示す。FRUITAX は、浄水場、下水処理場における前塩素注入制御及び活性汚泥の制御に国内で初めてファジィ制御を実用化したシステムとして利用されており、キルン制御など従来自動制御が困難であった分野へ適用され始めている。現在、ソフトウェアで行っていたファジィ演算をハードウェアで行うファジィ演算専用ボードも開発しており、今後は制御周期の短いプロセス分野に対しても、適用分野を拡大していく予定である。

3.2 EIXAX

EIXAX (アイザックス) は産業界への効果的な応用を目的とした、アドバンスト制御のためエキスパートシステム構築用ツールであり、プラント運転・制御のためのセンサベース・リアルタイムエキスパートシステム構築用ソフトウェアである。

ここでアドバンスト制御とはルールとモデルによって問題解決を図ることにより、従来自動化が困難であった分野の自動運転・制御を実現することである。

生産プロセスにおけるオペレータは、プロセスからの情

報（センサベース）と操業予定などの情報をもとにオペレータ自身の持つノウハウにより、プラントの運転を速やかに（リアルタイム）実行している。このノウハウを分析すると if-then 形のルールと、プラントの概要、性質を表す簡単なモデル（数式）をもとに、前向の推論を行っている。EIXAX はこの「過程、手続き」をコンピュータ上で実現し、かつ実現するための支援機能を持っている。

図 2 に示すように、EIXAX はプラント運転制御用のエキスパートシステム構築用ツールとして次のような特長を持つツールである。

(1) エキスパートシステムの構築と実行の完全分離

オフライン系が構築時の支援機能を分担し、オンライン系が実行を分担する。これらは同一のコンピュータ内に独立のプログラムとして存在し互いに干渉はしない。

(2) エキスパートシステム構築時の豊富な支援機能

オフライン系には次の支援機能がある。

- ・知識ベース編集機能
- ・知識ベースチェック機能
- ・知識ベース翻訳機能
- ・テスト機能
- ・学習機能
- ・説明機能
- ・シミュレーション機能

静的・動的な動作確認、信頼性確保が可能である。

(3) 実行時のリアルタイム性

オンライン系では高速実行可能な知識ベースを用いて推論機構が推論する。100ルール/秒が一つの目安である。

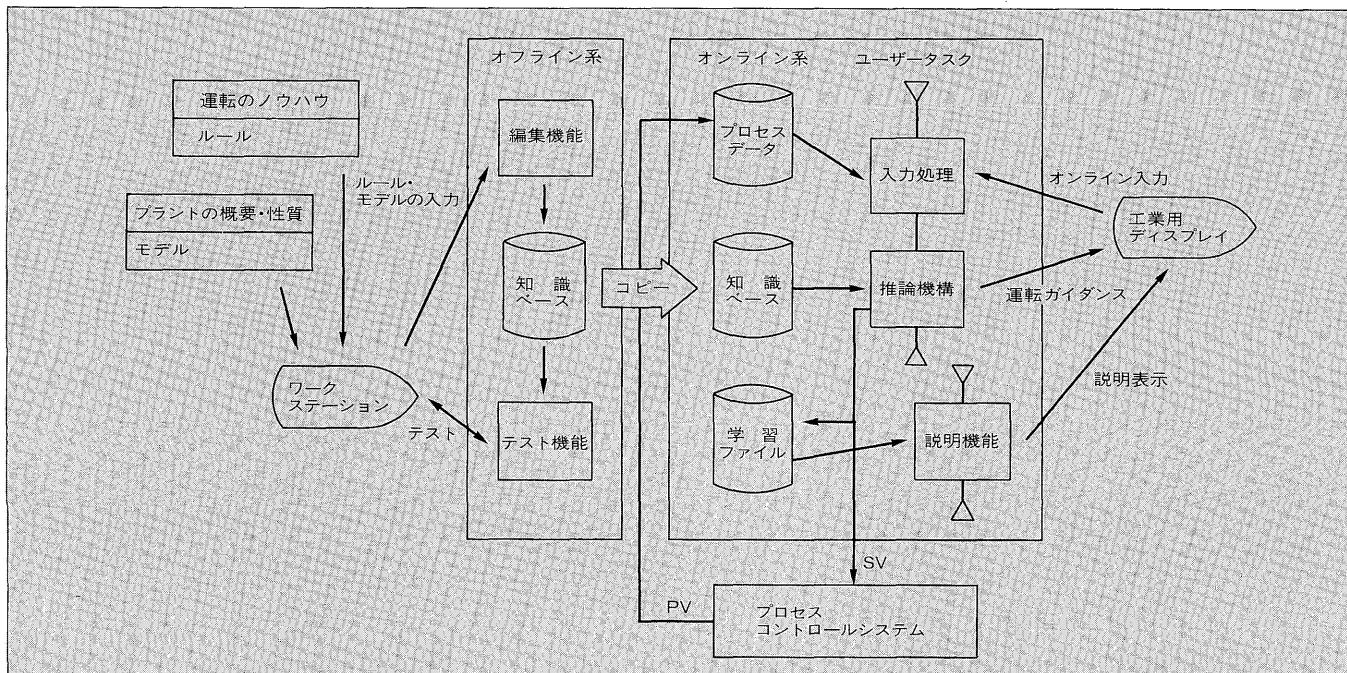
(4) センサベースシステム

オンライン系のプロセスデータベース管理システムとの整合性が十分考慮されている。

(5) 複数のエキスパートシステムの同時実行

オフライン系では複数の知識ベースを作成することが可能であり、かつオンライン系では一つの推論機構がタイムシェアリング的に複数の知識ベースの推論ができる。したがって、EIXAX 一つで複数のエキスパートシステムの開

図 2 EIXAX の機能と構成



発、実行が可能である。

(6) 既存のソフトウェア財産との整合性

EIXAX は FORTRAN 又は C で書かれており、従来のプロセス制御用のコンピュータに単なるプログラムとして導入できる。またルールからサブルーチンの呼出しができるので、既存のソフトウェア資源が十分活用できる。

(7) 日本語と数式のみによる構築の容易さ

オフライン系でのエキスパートシステムの構築はすべて日本語と数式で可能である。特殊な言語を必要としない。

(8) 富士電機のノウハウに基づく多数の問題解決パッケージの提供

富士電機で既に開発済みの多数の実績のある問題解決のパッケージを提供できるので、ルールからの関数呼出し機能を利用してエキスパートを越えるシステムを構築することができる。

提供可能なパッケージとしては、以下のとおりである。

- ・線形計画法、非線形計画法、整数計画法など
- ・カルマンフィルタ・AR モデルなどの予測パッケージ
- ・ヒューリスティックな分野別問題解決パッケージ
- ・ファジィ関数パッケージ

EIXAX を用いることにより、

(1) PA, FA 分野の実用性の高いエキスパートシステムの構築

(2) 従来自動化のされていない分野のコンピュータによる自動運転分野の拡大

が可能になる。

EIXAX の応用例として、自家用火力発電システムのタービン最適運転へ適用している。詳細は、本特集号の別稿（AI 応用タービン最適制御システム）で紹介している。

3.3 ΦNET

ΦNET は、FA 分野の物流システムにおけるエキスパートシステム構築用ツールである。

ΦNET は、物流システムの物の流れをペトリネットと呼ばれるネットワークによりモデル化し、これに制御動作の制限、動作優先などのシステムの運用方法を表現したプロダクションルールを附加した構成になっている。

このように作成された ΦNET は、ペトリネットとプロダクションシステムの両方の長所を取り入れた次のような特長を持つ。

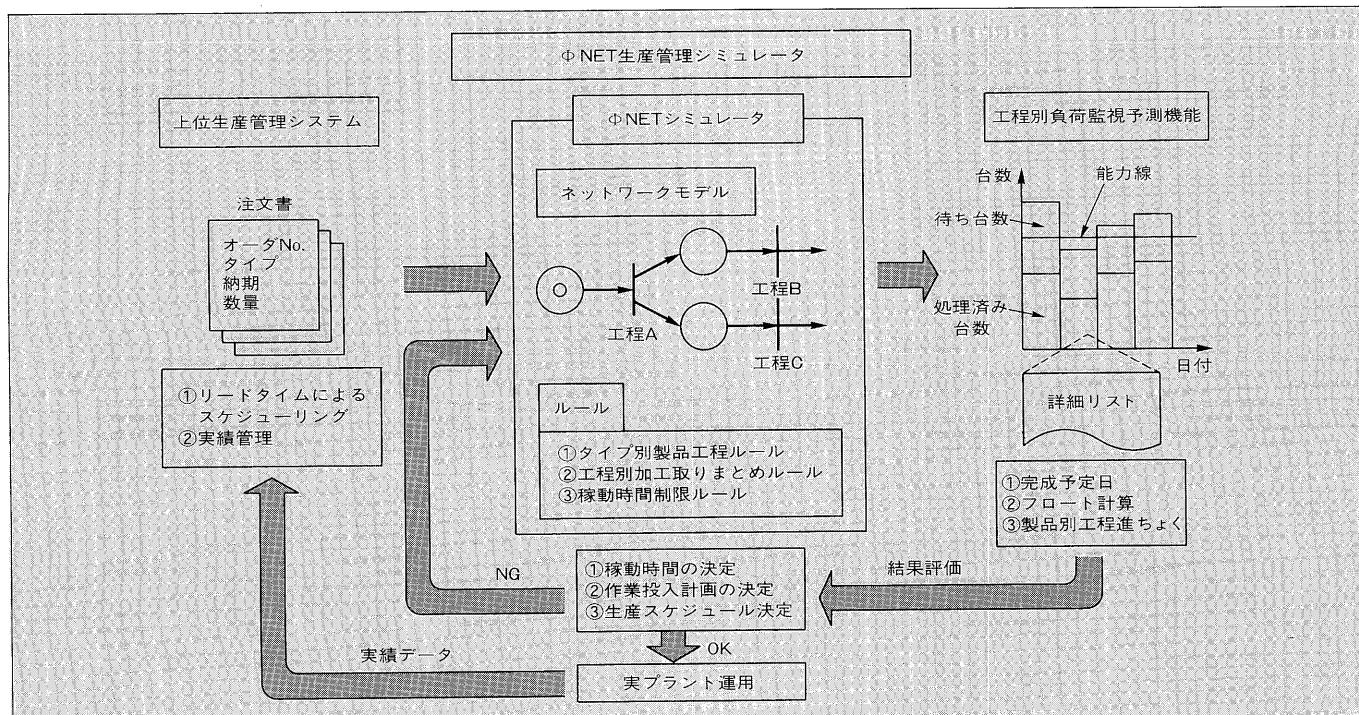
- (1) 見通しのよいモデル構造
- (2) 適用範囲の広いモデル化機能
- (3) 柔軟性、拡張性の高いシステム構造
- (4) 高速の処理スピード
- (5) 効率の良いデータ管理
- (6) 制御とシミュレーションが同一モデル

ΦNET の導入により、FA システムにおけるソフトウェアの生産性の向上と、最適な設備計画、フレキシブルな制御システムが実現される。

ΦNET の実システムにおける適用例として、図 3 に示す FC 発信器生産ラインの生産管理シミュレータについて説明する。

FC 発信器は多品種少量生産の製品であり、品種ごとに生産工程、処理方法が異なる。ΦNET シミュレータでは、各生産工程をネットワークモデルで表現し、これに品種別の工程、及び加工方法、設備稼動方法をルールで表現したシステムが作成されている。この ΦNET シミュレータに上位コンピュータシステムから送られてくる注文書のデータを入力すると、各工程別の負荷予測と製品別の工程進度

図 3 ΦNET の FC 発信器生産ラインへの適用例



よく状況が出力される。オペレータはこの計算結果を評価し、問題があるときは、稼動時間、作業投入計画、生産スケジュールの変更を行って、再度シミュレーションを行う。このような操作を繰り返して最適な生産スケジューリングを決定し実運用に使用する。

本システムの導入により、次の操業上の効果が実現されている。

- (1) 製品リードタイムの短縮
 - (2) 工程別負荷監視による効率の良い設備稼動計画の実現
 - (3) 製品別工程進ちょくの監視による納期遅れ製品の減少
- ΦNET は本システムのほか、ヤード管理システム、無人搬送車制御システムに適用が予定されている。

図4 COMEXの機能と構成

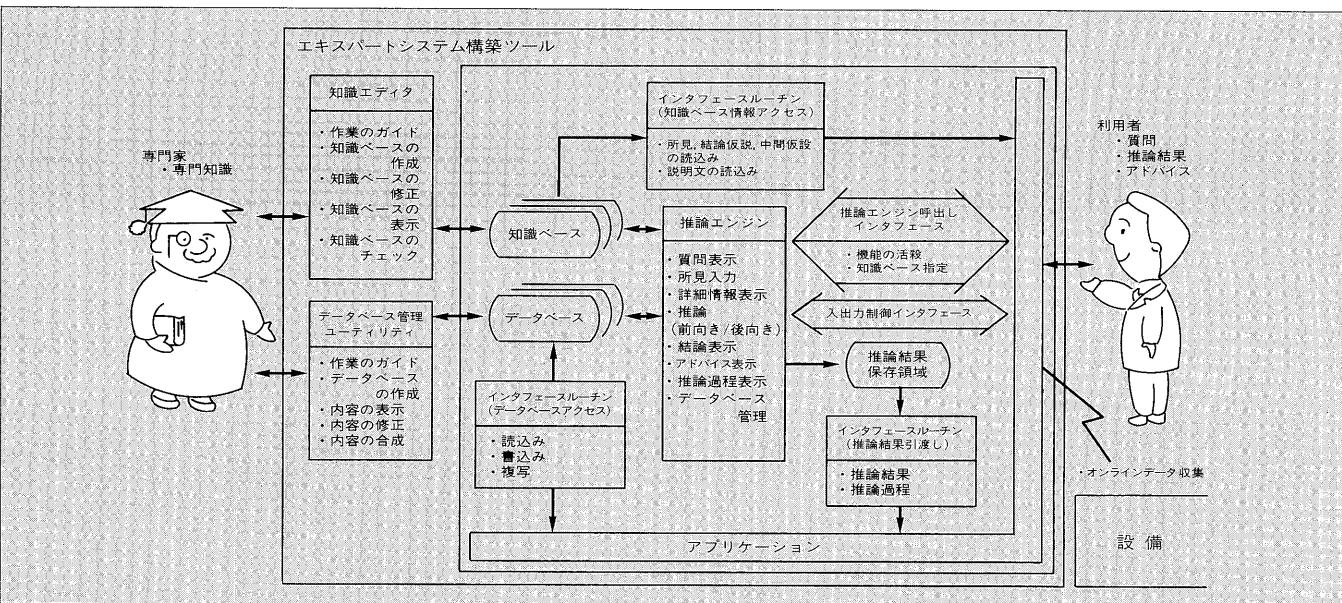


図5 故障診断システムへの応用例(L25を使用)

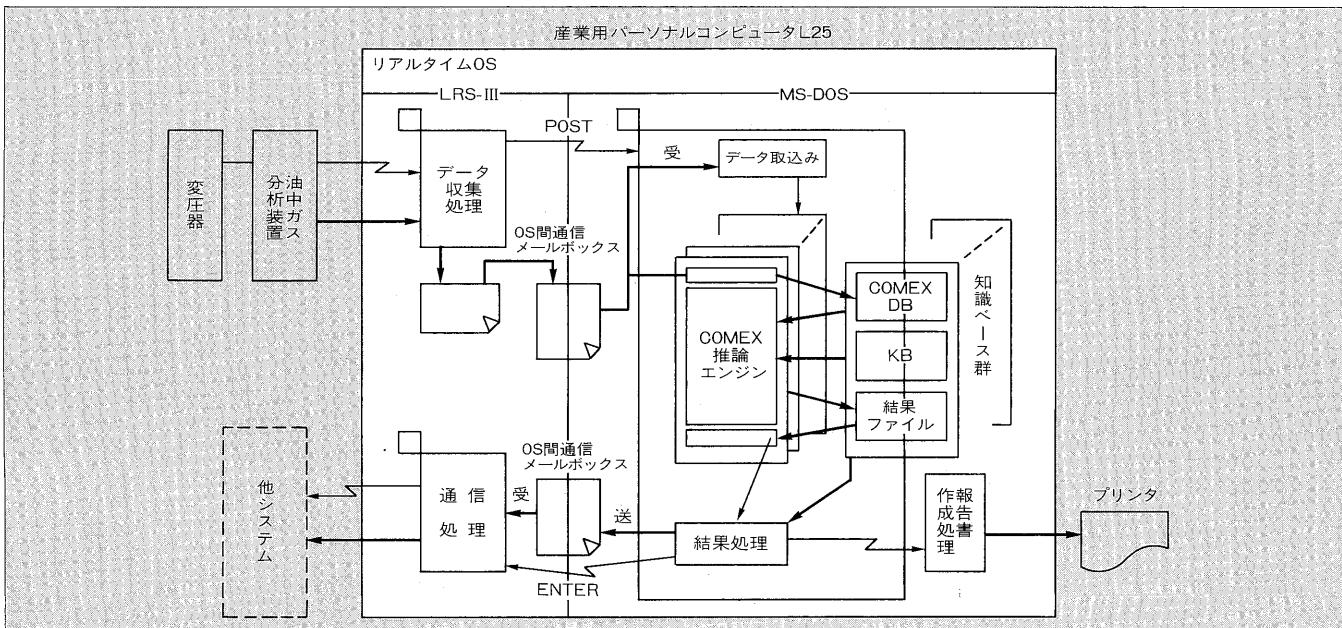


表2 COMEX応用システム社内事例一覧

No.	システム名	機能概要	備考
1	油入変圧器異常診断システム	油入変圧器の油中に融けているガスの濃度パターンを読解して異常原因を推定し、保守作業を指示する。	L25 自動入力
2	異常振動診断システム	高圧タービンが回転する時の振動特性から異常原因と箇所を推定する。	PC9801VM2 オフライン入力
3	調節計選択問合せシステム	調節計の設置環境・用途から最適な調節計を選択する。判定不能な場合、調査項目を指示する。	L25 マニュアル入力
4	PCモジュール選択システム	PCプログラマブルコントローラに要求される機能から必要なファンクションモジュールの組合せを決定する。	FM16β マニュアル入力
5	Sシリーズ設計ノウハウ検索システム	Sシリーズ上で処理系を設計する時に、注意すべき事項を検索する。	FM16β
6	ファイル分類検索システム	課へ配布されてくる資料、課から外部へ出した資料について、どこへ登録したらよいかを判定し、また、欲しい情報がどこにあるかを検索する。	FM16β

3.4 COMEX

COMEXは東京電機大学の上野教授により開発され、富士電機が応用システムの開発も含めて販売を行っているソフトウェアである。このCOMEXは、エキスパート（専門家）の問題の解決の仕方として“与えられた条件を使ってある限られた結論と成りうる候補の中から選択するかたちで結論を導き出す”選択形エキスパートシステムの構築用ソフトウェアであり、図4に機能と構成を示す。その適用分野としてはさまざまな方面に及んでおり、表2のような応用事例がある。

このCOMEXは、以下のような特長を持っており好評を得ている。

(1) 専門家自身が使える。

- ・知識表現がわかりやすい（クライテリア論理）。
- ・知識の収集や整理の仕方がガイドされる。
- ・知識ベースを作るのにAI用言語/プログラミング言語を知らないてもよい。

(2) 実用的なエキスパートシステムを構築できる。

- ・オンライン/センサベースシステムを構築できる。
- ・既存のソフトウェアから呼び出せる。
- ・大規模な問題にも対処できる。

(3) どこでも使える。

・パーソナルコンピュータから汎用コンピュータまで幅広く使える。

・知識ベースをどこででも使える。

最近のCOMEXの導入例を見ると、設備診断、作業手順ガイドシステムの構築にこのCOMEXを利用している例が急増している。富士電機が製品化している代表的なシステムの例を図5に示す。

4 あとがき

計測・制御分野における分散化、自動化の進展する中で、AIシステムを取り入れたアドバンスト制御によるプロセス制御の高度化が行われている現状を、富士電機の開発したAIシステムとその応用例について紹介した。

AI技術の発展に伴う適用分野の拡大、AIシステムのレベル向上を今後とも推進して行く予定である。

参考文献

- (1) 柳下修ほか：ファジイ理論の浄水場薬品注入率制御への応用、システムと制御、Vol. 28, No. 10, pp.597-604 (1984)
- (2) 菅野道夫ほか：汎用ファジイコントロールシステム、富士時報、Vol. 58, No.4, pp.307-404 (1985)
- (3) 上野晴樹：知識工学入門、オーム社 (1985)

最近公告になった富士出願

[特許]

公 告 番 号	名 称	発 明 者	公 告 番 号	名 称	発 明 者
特公昭62-19942	はんだ付けされる無電解ニッケルめっき面の処理方法	石井 正美 仲西 恒雄	特公昭62-21846	底吹転炉におけるガス切換方法	福本 武也 引地 幸悟 平林 泰彦 園田 德二 太田 良雄
特公昭62-20247	転炉廃ガス処理装置の炉内圧制御方法	福本 武也 寺田 隆夫	特公昭62-22095	医薬用力カプセル検査装置	三好 紀臣 川崎 哲治
特公昭62-20364	燃料噴射時期調整装置	津田喜一郎 藤並 太	特公昭62-22333	直列接続サイリスタの非常点弧検出回路	元吉 攻 小西 茂雄
特公昭62-20489	カルマン渦流量計	三好 紀臣 鶴岡 亨彦 南雲 瞳	特公昭62-22468	圧力変換器	高浜 権造
特公昭62-20520	原子炉燃料の炉内中継装置	児玉 健光 吉田 典昭	特公昭62-23045	転炉のガス圧制御装置	寺田 隆夫 関口 哲夫
特公昭62-20648	閉鎖電磁石	中村 司	特公昭62-23530	回転電機の回転子	宮島 武夫
特公昭62-20776	突極形同期機	井池 政則	特公昭62-24631	水車のガイドベーン開閉機構	中川美千男
特公昭62-20787	電動機の速度制御装置	中原 泰男 若原 邦夫	特公昭62-24711	冷凍冷蔵ショーケースの運転制御方法	梶村 亨 酒井 克広
特公昭62-21463	レジスタ制御回路	塙田 正男	特公昭62-24712	冷凍冷蔵ショーケース	梶村 亨 酒井 克広
特公昭62-21845	底吹転炉におけるガス流量切換方法	福本 武也 引地 幸悟 平林 泰彦 園田 德二 太田 良雄	特公昭62-24910	燃料電池システム	本橋 昌雄



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。