

プロセス制御用エキスパートシステム 構築支援システム“APOS”の開発

Development of Software Package “APOS” for Plant and Process Control Expert System

近年、計算機システムの知識処理導入が盛んである。製品の多様化、ライフサイクルの短期化、市場競争の激化に加えオペレータの高齢化がエキスパートシステム構築のニーズを強いものにしている。

プロセス制御用エキスパートシステムを構築することを目的に開発された“APOS”(Advanced Plant Operation Support System)は、プロセス制御用エキスパートシステムの構築を容易にし、最適操業支援システムなどを実現する。

小山和夫* Kazuo Koyama
川口幸一** Kōichi Kawaguchi
大石聡** Satoshi Ōishi
日比野和雄*** Kazuo Hibino

1 緒 言

石油化学、都市ガス、食品、薬品などの装置産業分野では、比較的古くから計算機を用いた自動制御が行われている^{1),2)}。近年の製品寿命の短期化、製品の多様化、市場競争の激化といった環境は、制御システムに対して製品品種、生産量の変化に柔軟に対応でき、より高効率な操業が可能となることを求めている。またオペレータの高齢化、プラント操業の安定化に伴い、熟練オペレータのノウハウに頼った操業は、今後ますます困難になっていくものと予想される。

一方、最近の計算機システム技術の発達には目覚ましいものがある。HIDICシリーズ計算機を用いて、製品品種・生産量の変化に柔軟に対応でき、より高効率な生産を実現するためのソフトウェアパッケージHIDACS(Hitachi Standard Process Data Acquisition and Control System)が製品化されている³⁾。さらに知識処理応用技術は、プロセス診断、操業計画支援、最適運転制御などへの応用が実用段階を迎えている。

本論文では、このような装置産業分野のニーズにこたえるため開発されたプロセス制御用エキスパートシステム構築支援システムAPOS(Advanced Plant Operation Support System)について述べる。

2 APOS

プロセス制御用エキスパートシステム構築支援システムAPOSは、制御用計算機HIDIC V90/5シリーズ用のプロセス制御用ソフトウェアパッケージHIDACSを構成する一つのサ

ブシステムである。本章では、HIDACSの概要と、APOSの位置づけを述べたうえで、APOSの特長および機能の概要について述べる。

2.1 HIDACSの概要とAPOSの位置づけ

プロセス制御用ソフトウェアパッケージHIDACSには、SCC(Supervisory Computer Control)向けのHIDACS-Sと、バッチプロセス制御用のHIDACS-Bの2種が用意されている。APOSは、両者のサブシステムをなすものであるが、HIDACS-Sの全体構成を図1に示す。HIDACSは、プロセスデータ処理・ヒストリカルデータ処理・データベースゼネレータなどによる大規模プラントデータベース構築機能、グラフィックオペレーション・帳票サポートなどのマンマシン機能、プロセス解析モデル、汎(はん)用データベース(リレーショナルデータベース)、上位通信、DCS(Distributed Control System: デジタル計装)通信といった、SCCとして必要な機能をすべて備えた本格的なソフトウェアパッケージである。HIDACSの画面例を図2に示す。

このHIDACSで、知識処理をサポートすべく推論機構と知識ベースから構成されるサブシステムがAPOSである。

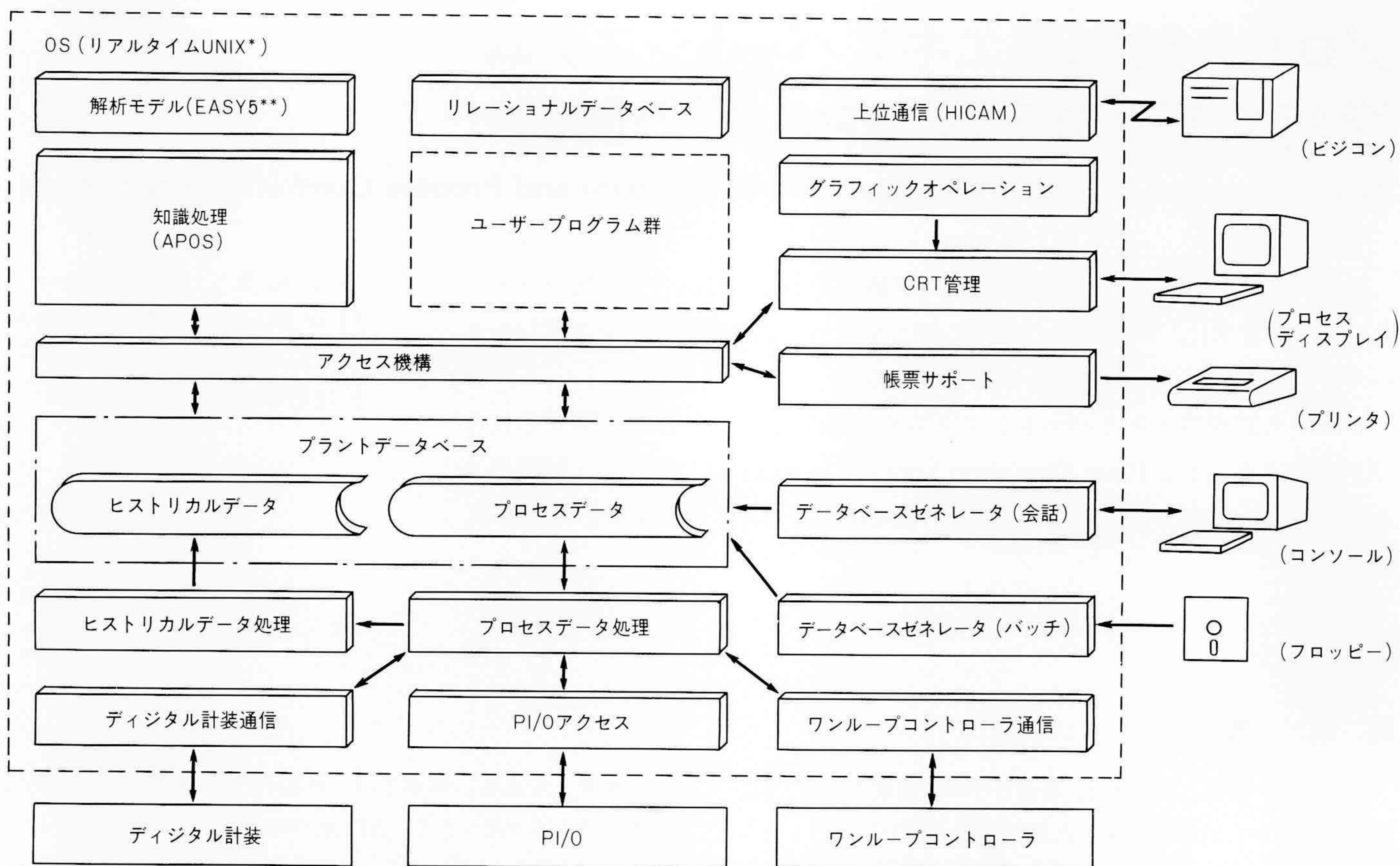
2.2 APOSの特長

前述のように、APOSはプロセス制御システムで知識処理をサポートし、エキスパートシステムを構築できるように開発した支援ツールであり、次のような特長を持っている。

(1) 実用的エキスパートシステムの実現

APOSは、本格的なプロセス制御用ソフトウェアである

* 東京ガス株式会社生産技術センター ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所機電事業本部



注：略語説明ほか HICAM (Hitachi Communication Access Method), PI/O (Process Input/Output Device)

* UNIXは米国ATT社ベル研究所で開発されたオペレーティングシステムの名称である。

** EASY5 (Engineering Analysis System5)は、米国Boeing Computer Service社が開発したツールである。

図1 HIDACS-S全体構成 プラントデータベース、マンマシン、帳票、解析モデルをサポートするHIDACS-Sで、知識処理を行うサブシステムがAPOSである。

HIDACSをベースとしている。プラントデータベース、マンマシン機能などに知識処理機能を加えたものとなっている。そのため、直接プラントを制御するシステムとして、あるいはデジタル計装(DCS)の上位(SCC)として、最適運転制御、

プラント操業支援、さらには故障診断、異常予知などのプロセス診断などを行う実用的なエキスパートシステムを実現するものである。

(2) EUREKA-IIの活用

HIDICのリアルタイム処理向け知識処理システム構築支援ツールであるEUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)をベースとしている。したがって、EUREKA-IIの特長を生かしたエキスパートシステムの構築が可能である。

(a) ハイブリッドタイプの知識表現

規則形知識をルールで、事実形知識をフレームで表現させるハイブリッドタイプの知識表現が可能である。

(b) 高速推論

推論をリアルタイムに処理できるよう、ルール数に依存しない高速推論を実現する。

(c) 前向き・後ろ向き推論

原因を調べる前向き推論だけでなく、仮説を証明する後ろ向き推論も可能なため、柔軟な推論ができる。

(d) ファジィ推論

あいまいさの概念を扱うファジィ推論ができる。

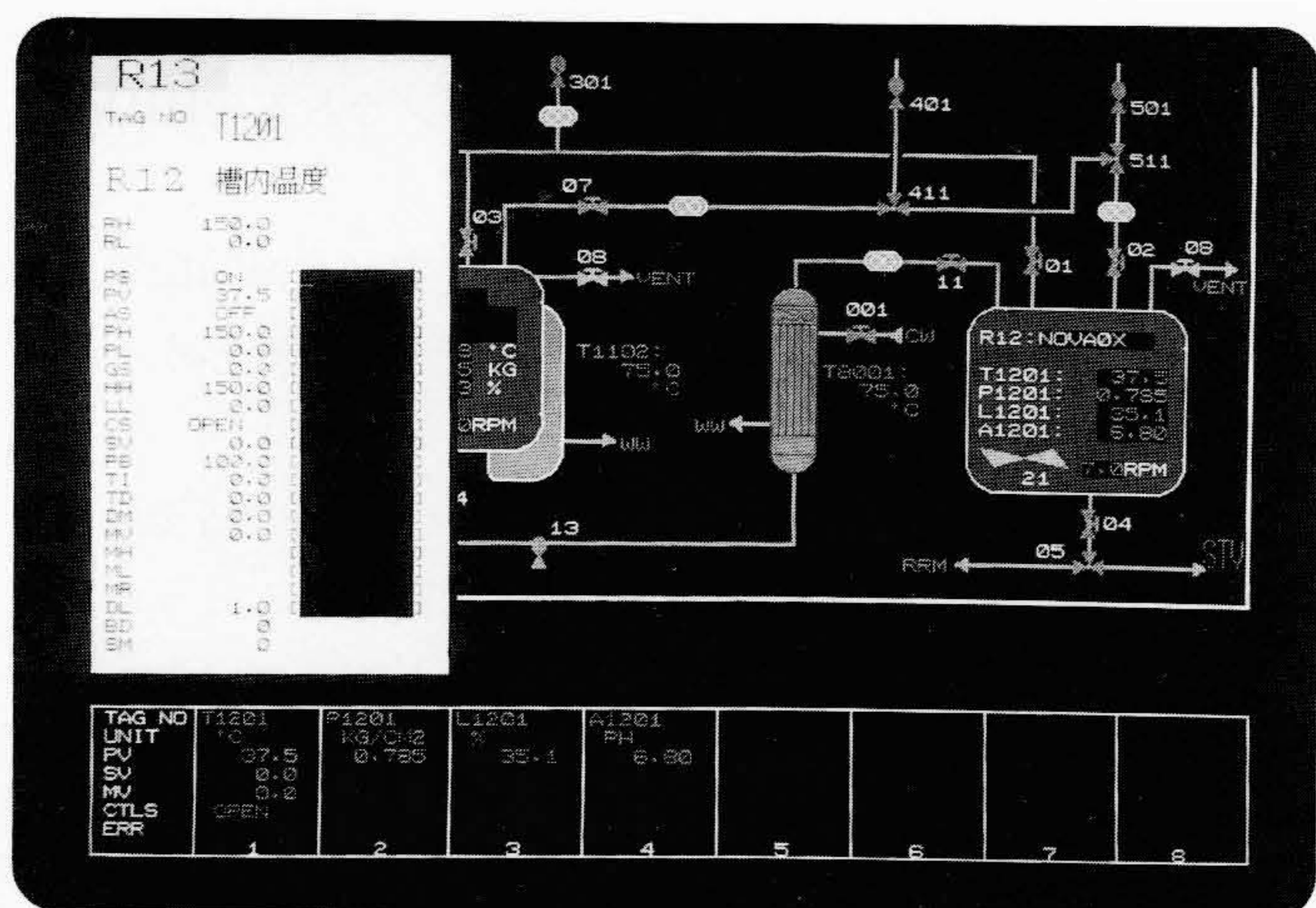


図2 HIDACS画面例 HIDACSの標準画面として、グラフィックオペレーションによってフロー画面上にタグウィンドウを呼び出した例を示す。

(3) タグNo.を用いたルール記述

プラントデータベースの参照には、直接タグNo.を用いたルール記述ができる。

(a) 各種タグデータのサポート

タグNo.によるプロセスデータ参照は、測定値だけでなく設定値、操作量をはじめ、時間、日間、月間、年間の各種算値、平均値、最大値、最小値など、あらゆるデータが参照できる。

(b) タグフレームの自動生成

ルール記述にタグNo.が現れると、APOSが自動的に対応するタグフレームを生成する。ユーザーはタグフレームの記述は不要である。

(4) オペレータ向け標準画面の完備

知識ベース構築のためのKE(Knowledge Engineer)向けマシンだけでなく、プラント運転オペレータ向けの推論経過および推論結果を説明する画面を標準機能として用意している。ユーザーは、ルールを記述するだけでよく、画面表示プログラムを作成する必要はない。

(5) 状態判定ライブラリの完備

ヒストリカルデータを用いたプロセス状態の判定には、ルール記述は必ずしも効率がよくない。むしろコンベンショナルな数式処理のほうが優れた面を持つ。そこでAPOSでは、トレンド(傾向)判定、ハンチング判定、収束・発散判定、相関などの機能を持ったライブラリを用意している。ユーザーはルール記述で、これらのライブラリを用いるだけで状態判定ができる。

(6) 事象管理による効率的推論起動

プラント操業で一つの異常が発生すると、連鎖的に異常が多発する場合が多い。プラントの事象発生に対応して推論を起動すると、連鎖的に発生する事象に対し、同一推論の複数回実行、重要事象に対する処理遅れなどのむだが発生する。APOSでは、事象に対し優先順位管理、グループ管理機能を持ち、効率よく即座に処理できるようにしている。

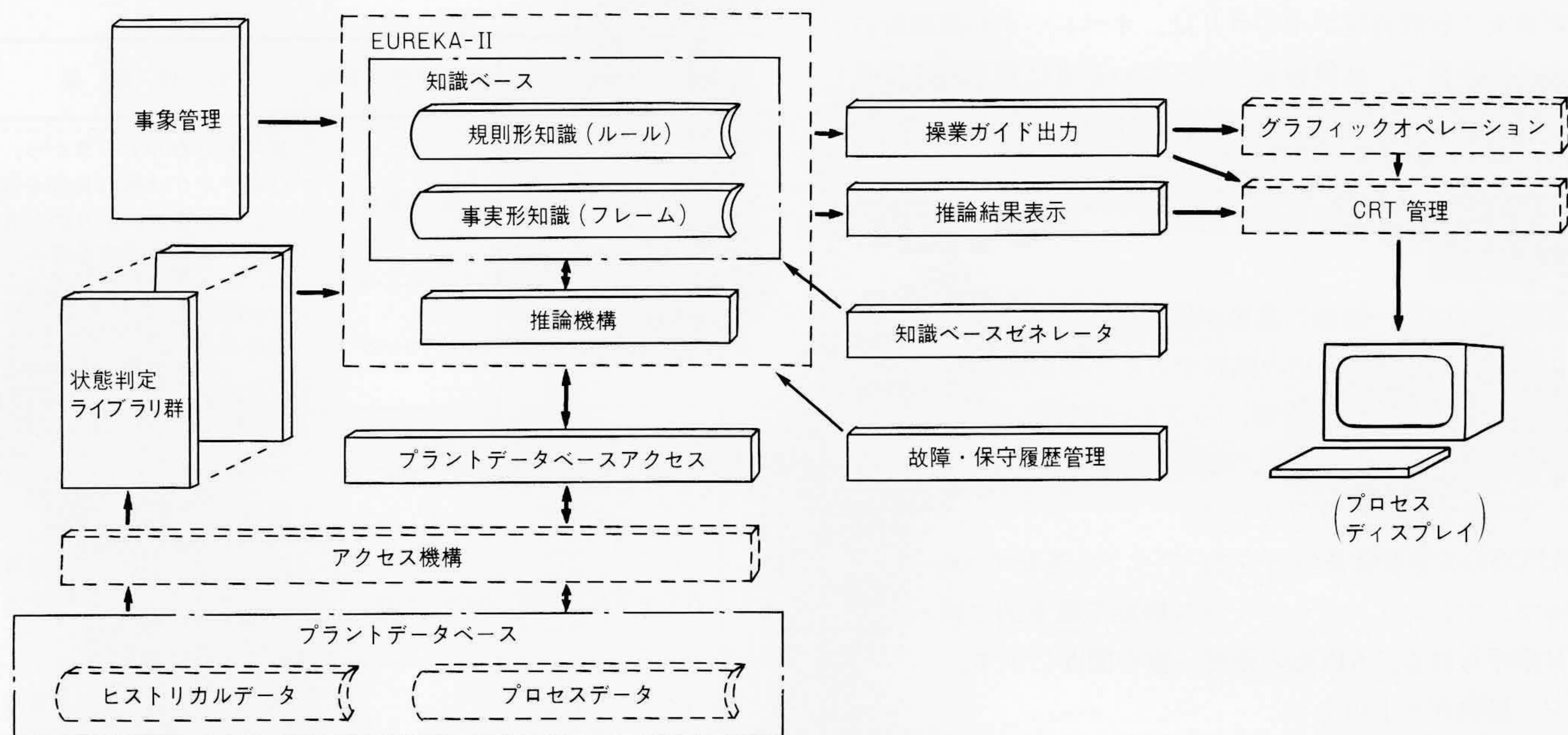
2.3 APOSの概要

APOSの機能構成図を図3に示す。以下、各機能の概要について述べる。

(1) 知識ベースゼネレータ

APOSの知識ベースゼネレータは、ルール記述でのプラントデータベースのアクセスを可能にするものである。前述のようにEUREKA-IIは、ハイブリッドな知識表現として、規則形(ルール)と事実形(フレーム)の2種による表現を可能としている。プロセス制御では、プラントの現状をフレームに、運用規則をルールに対応させると効率がよい。APOSでは、すでにHIDACS内にプラントデータベースが構築されている点に着目し、プラントデータベースをもとに、タグフレームの自動生成を行う。

具体的には、ルール記述に現われたタグNo.に関するフレームを生成し、測定値などの必要なデータは、フレームのスロット⁵⁾とし、ルール実行時プラントデータをアクセスするためのメソッド⁵⁾を割り付ける機能を持つ。この知識ベースゼネレータの機能を図4に示す。この結果、ユーザーはタグを用いたルール記述を行うだけで、プラントデータベースを参照す



注：略語説明 EUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)

図3 APOS機能構成図 APOSは、EUREKA-IIを用いたプロセス制御用エキスパートシステムが構築できるよう、事象管理、状態判定ライブラリ、知識ベースゼネレータ、推論結果表示画面などの機能を持っている。なお、図の破線のブロックはHIDACSの基本機能を示す。

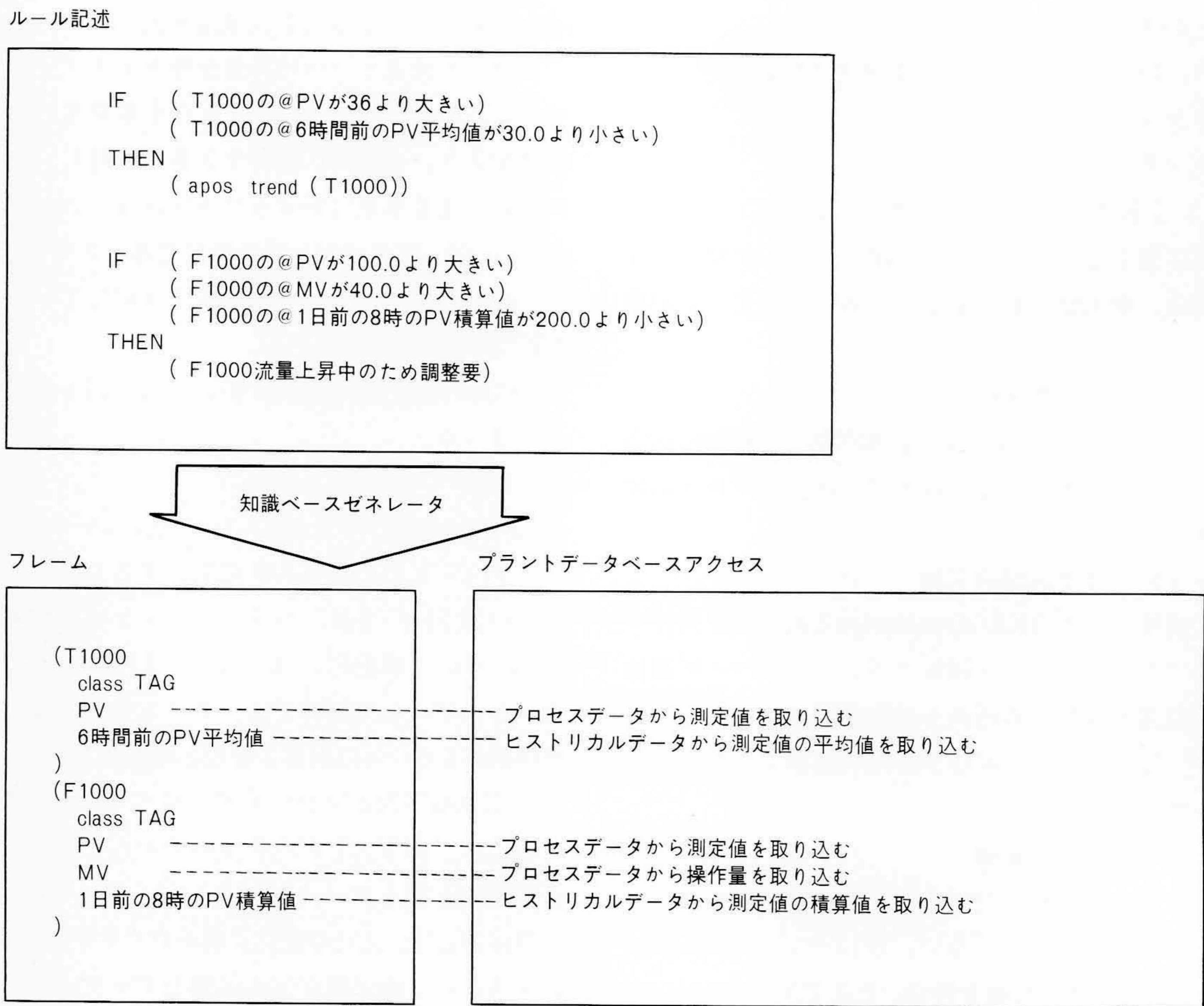


図4 知識ベースゼネレータ APOSユーザーのルール記述内容に従い、知識ベースゼネレータがルール記述に現れたタグフレームを生成し、プラントデータをアクセスできるようにしているようすを示す。

る知識の構築ができる。

(2) 状態判定ライブラリ

プロセス状態判定ライブラリは、オペレータが記録計のチャート紙を見て、状態判定を行っている点に着目して用意したライブラリ群である。すなわち、HIDACSが持つヒストリカルデータによって、プラントの状態の判定を行うものである。ライブラリの一覧を表1に示す。

(3) 事象管理

事象管理は万一複数の事象が同時に多数発生しても、効率よく推論を起動するための機能である。事象管理には(a)推論起動管理、(b)優先順位管理、(c)グループ管理、(d)タイマ管理の各機能がある。おのおのの機能概要を表2に示す。

(4) オペレータインタフェース

APOSの大きな特長の一つに、プラント運転オペレータに対するマンマシンインタフェース機能を標準的に持っている点が挙げられる。APOSの画面一覧を図5に示す。

(i) 操業ガイド出力

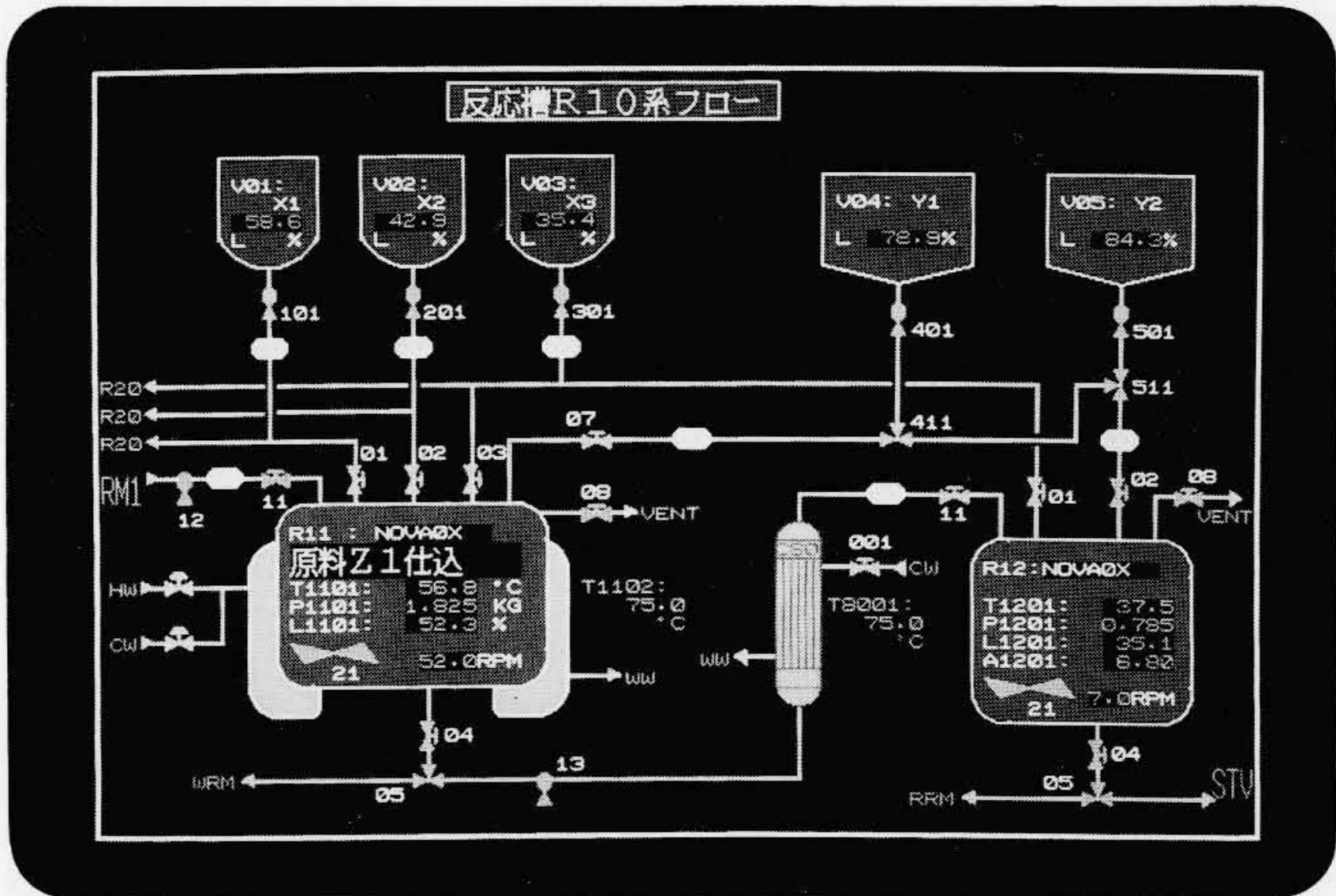
オペレータに対する操業ガイドには、グラフィック画面上でのブリンク表示と、オペレーションガイドメッセージの2種がある。ブリンク表示は推論結果に従い、該当箇

表1 状態判定ライブラリ一覧 状態判定ライブラリの完備によって、ルール記述量を大幅に削減しながら的確なプロセス状態の判定を可能にしている。

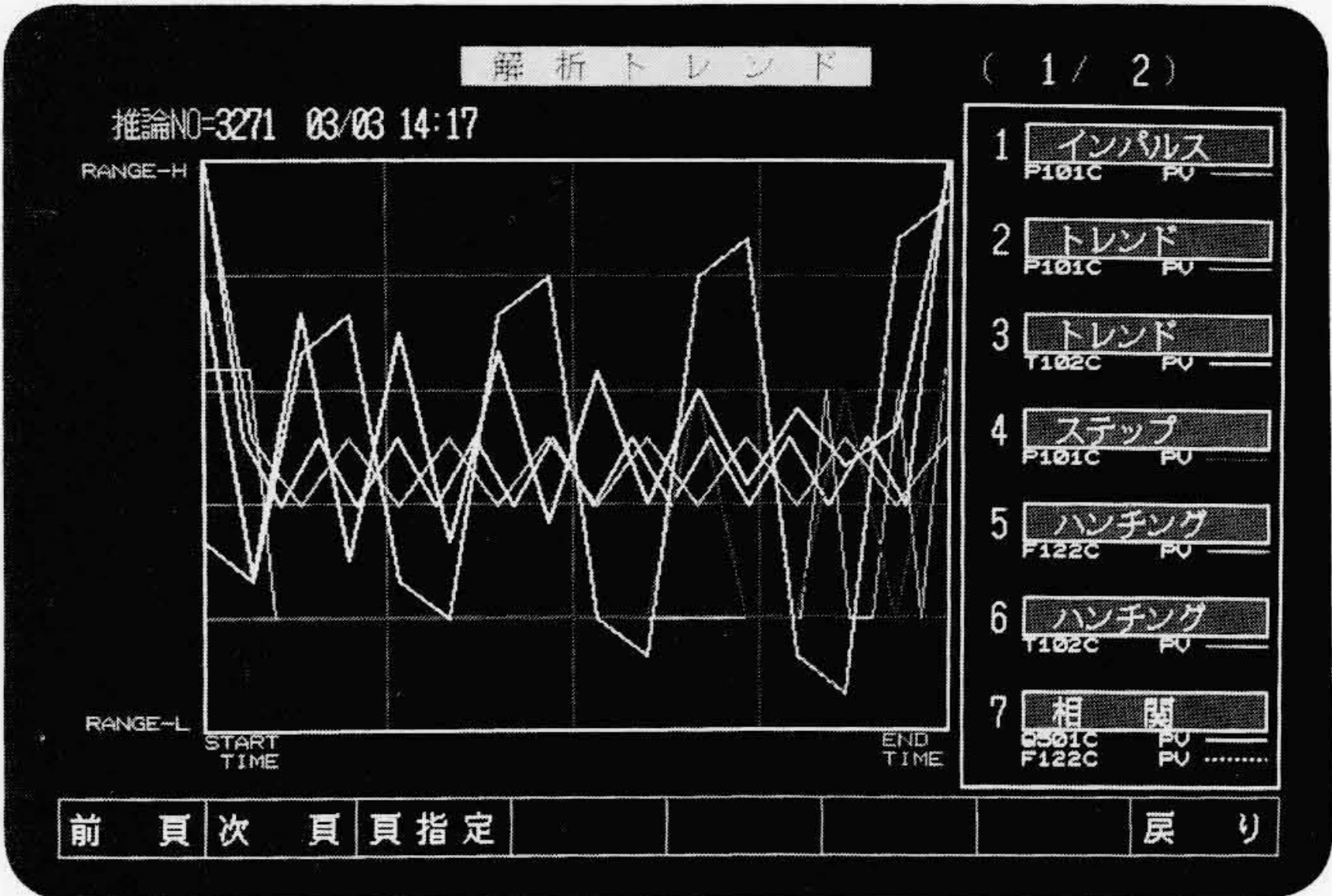
No.	機能	ライブラリ名称	処理概要
1	ハンチング判定	apos_hunting	ヒストリカルデータから、ハンチング状態の判定を行う。ハンチングありのとき収束・発散の判定も行う。
2	トレンド判定	apos_trend	一次回帰により傾き、標準偏差および予測値の算出を行う。
3	相関判定	apos_correlate	2個のタグのヒストリカルデータの間の相関係数を算出する。
4	ステップ変化判定	apos_istep	プロセスデータの急変の有無を、2段階の最小自乗法により求める。
5	インパルス状態変化判定	apos_pulse	インパルスのデータを含む全データとインパルスデータを除くデータとの比較によって、インパルス変化の有無を判定する。

表2 事象管理機能一覧 複数の事象が同時に多数発生しても、効率よく的確な推論起動を行うことができる。

No.	機 能	処 理 概 要
1	推論起動管理	プロセスの状態変化、定周期、ユーザープログラムの各要因によって、推論起動で行う。
2	優先順位管理	事象に対し、0～7の優先レベルを割り付け、優先レベルの高い事象に対する推論起動を優先させる。
3	グループ管理	類似する事象を同一グループに分類し、同一グループの推論起動を繰り返し行うことを抑止する。
4	タイマ管理	事象発生後、ただちに推論起動せず、指定された時間を経過した後に起動する。事象発生後のデータ蓄積待ちなどに有効である。



(a) フロー表示画面への操作ガイド出力



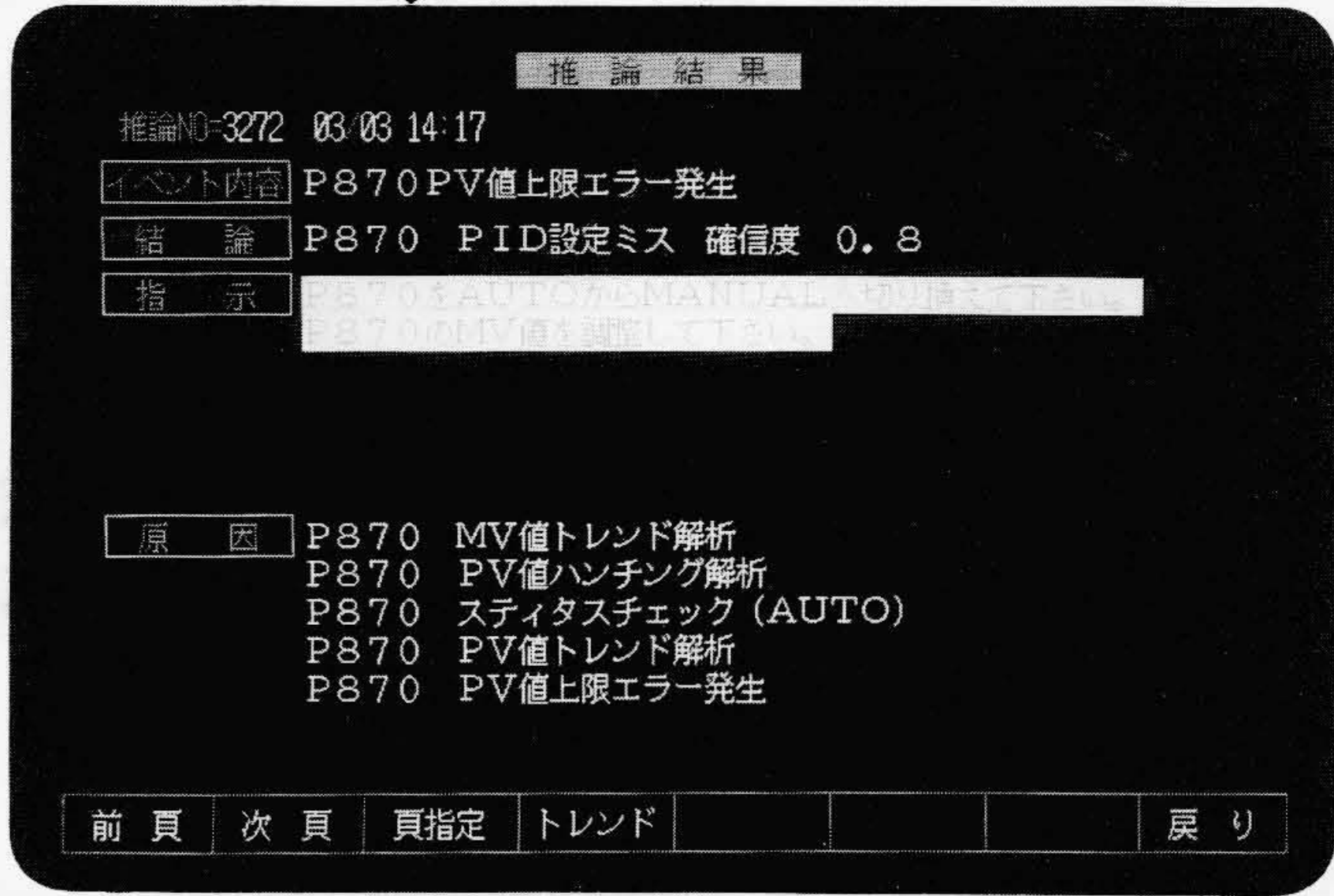
(d) 解析トレンド表示



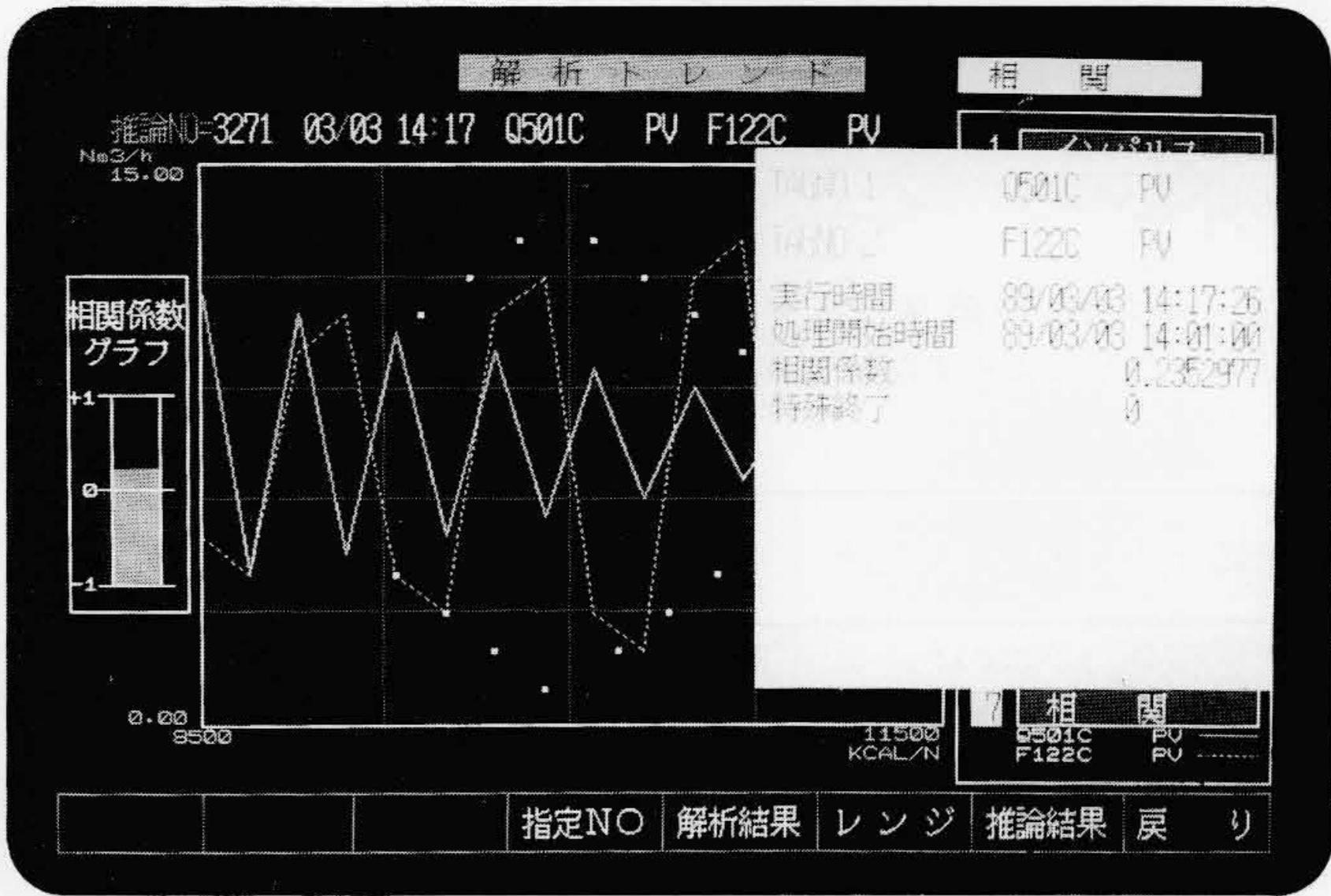
(b) 推論履歴表示画面



(e) ハンチング判定結果表示



(c) 推論結果表示画面



(f) 相関係数算出結果表示

図5 APOS標準画面 (a)操作ガイドとして、フロー画面上のブリンク、オペガイドメッセージを表示する。また推論履歴(b)ではAPOSの動作履歴を表示し、ポインティングによって推論結果(c)が表示される。推論結果画面に推定原因とともに、結論および指示が表示される。解析トレンド(d)～(f)には状態判定ライブラリの判定結果が表示される。

所に対するオペレータの注意を喚起するものである。また、オペレーションガイドメッセージは、画面上部のメッセージ速報あるいはメッセージタイプライタに、文章で操作ガイドを出力するものである。

(ii) 推論結果表示画面

APOSが用意している推論結果表示画面は、オペレータに対し操作上の指示を知らせると同時に、推論起動の要因、推論経過および結論を知らせるものである。また、状態判定ライブラリでの判定結果をトレンドグラフ状に表示する機能も持っている。

これらの操作ガイド、推論結果の表示のためには、ルール記述でAPOSが用意するメソッド⁵⁾を用いる必要がある。マンマシン用メソッドの一覧を表3に示す。

(5) 故障・保守履歴管理

APOSではプロセス診断を容易に行えるよう、機器に関するトラブル事例、修理履歴、点検作業内容を記憶し、管理する機能を持っている。故障・保守履歴管理の内容を表示・検索するための画面例を図6に示す。本機能は、プロセス診断に有効なことをはじめ、予防保全計画にも有効である。

3 システム事例

3.1 プロセス診断エキスパートシステム

APOSによってプロセス機器の故障診断、トラブル原因究明および故障予知を行うプロセス診断システムの事例を図7に示す。このシステム事例では、デジタル計装にHIDIC V90/25を上位SCCとして接続したものである。

デジタル計装との接続はHIDACSの持つDCS通信で行い、プラントデータベースを構築する。また、APOSで追加した故障・保守履歴管理機能を並用し、故障診断を行う。トラブルの原因究明および故障予知を行ううえでは、プロセス状態判定ライブラリが威力を発揮する。

3.2 バッチプロセス操作支援エキスパートシステム

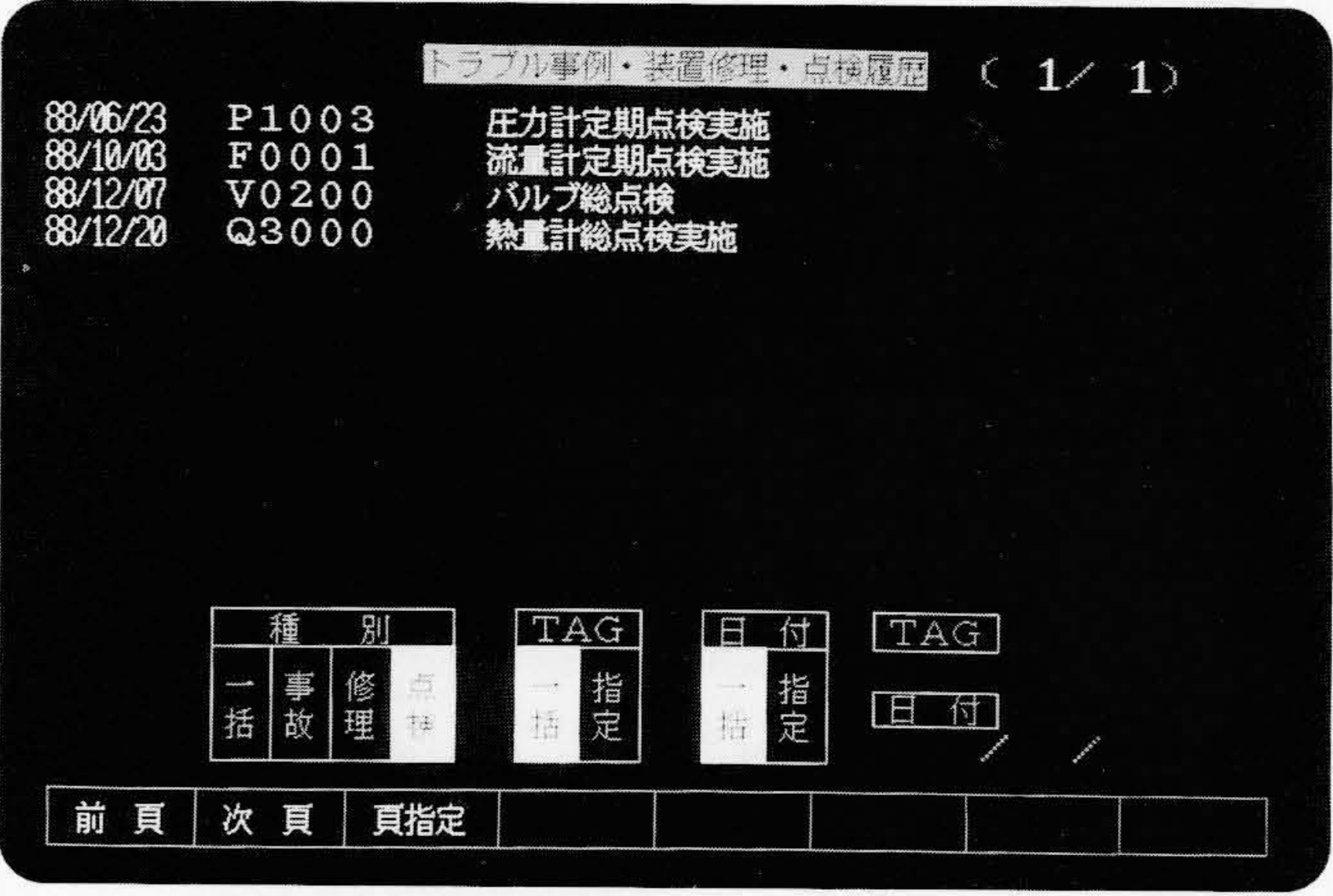
HIDACS-Bを用いたバッチプロセス制御システムの事例を

表3 マンマシン用メソッド一覧 ルール記述で、本表のメソッドを用いることによってAPOS標準画面に、オペガイド、推論結果が表示される。

機能分類	メソッド名称	処 理 概 要
操作ガイド	brinkf	フロー画面上のブリンクを要求する。
	msgreq	オペガイドメッセージを出力する。
推 論 結 果	eventmsg	推論起動要因を「イベント内容」として登録する。
	EXPLAIN	推論経過として推定される「原因」を登録する。
	result	推論結果として「結論」を登録する。
	guide	操作ガイドとして「指示」を登録する。

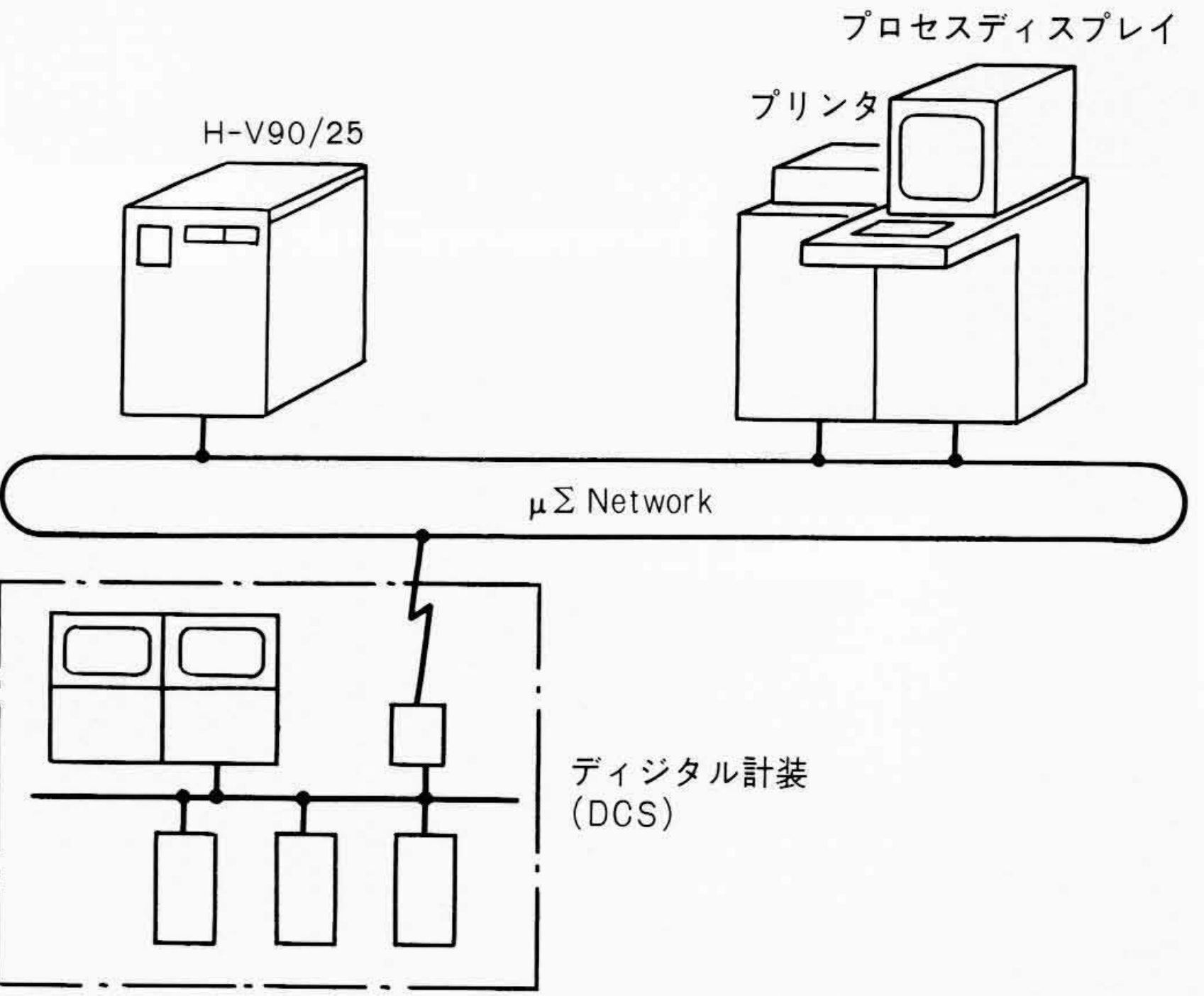


(a)



(b)

図6 故障・保守履歴管理画面 過去のトラブル事例、装置修理および点検履歴を表示する画面である。(b)は検索機能により、点検履歴だけを表示した例を示す。



注：略語説明 H-V90/25 (HIDIC V90/25)
DCS (Distributed Control System)

図7 プロセス診断システム事例 アナログ制御、シーケンス制御を行うデジタル計装の上位にH-V90/25を配し、トラブル原因究明、故障予知などのプロセス診断を行う。

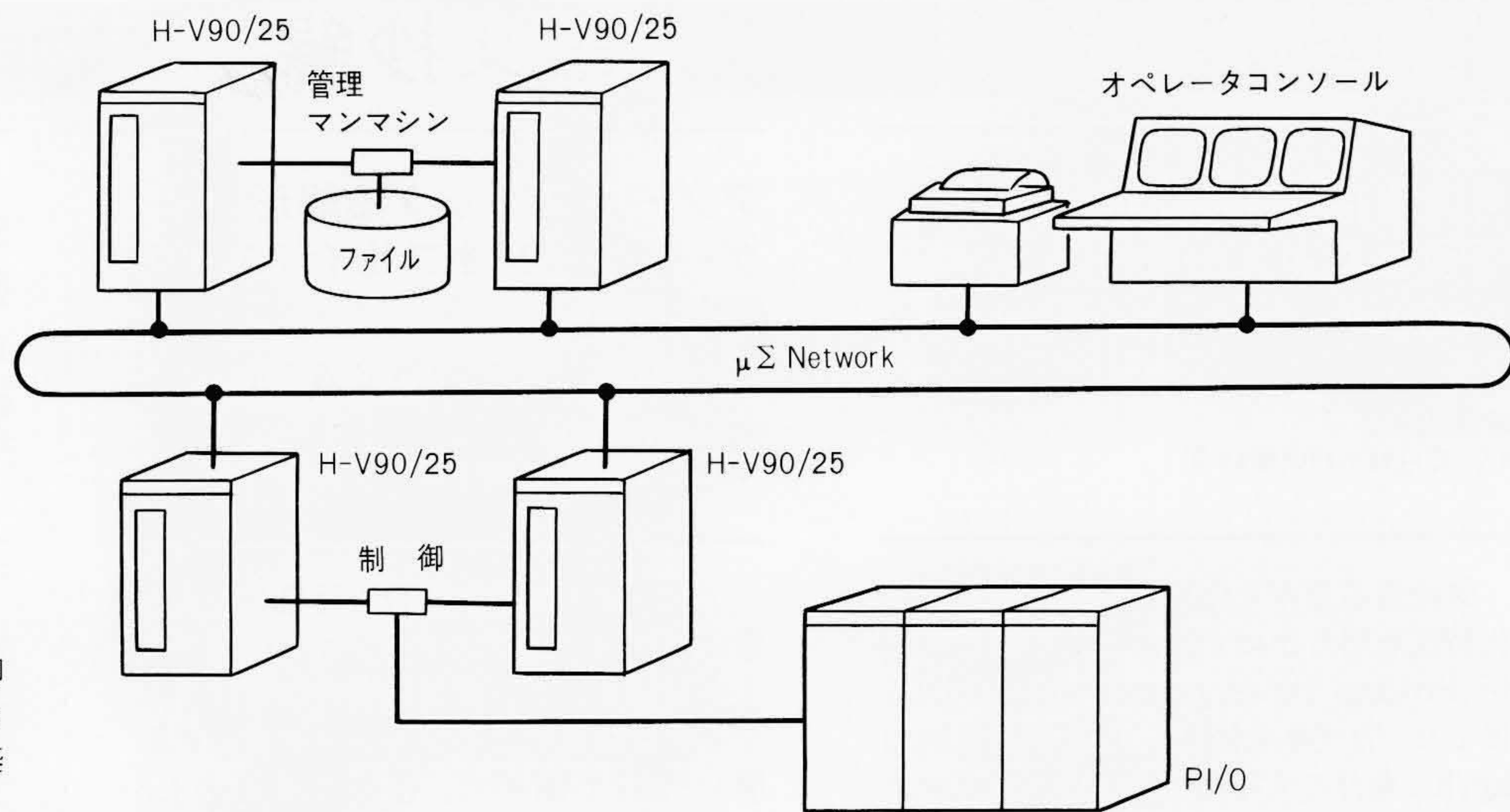


図8 バッチプロセス制御システム
HIDACS-Bを用いたバッチプロセス制御システムにAPOSを組み込み、バッチプロセス操業支援エキスパートシステムを構築する。

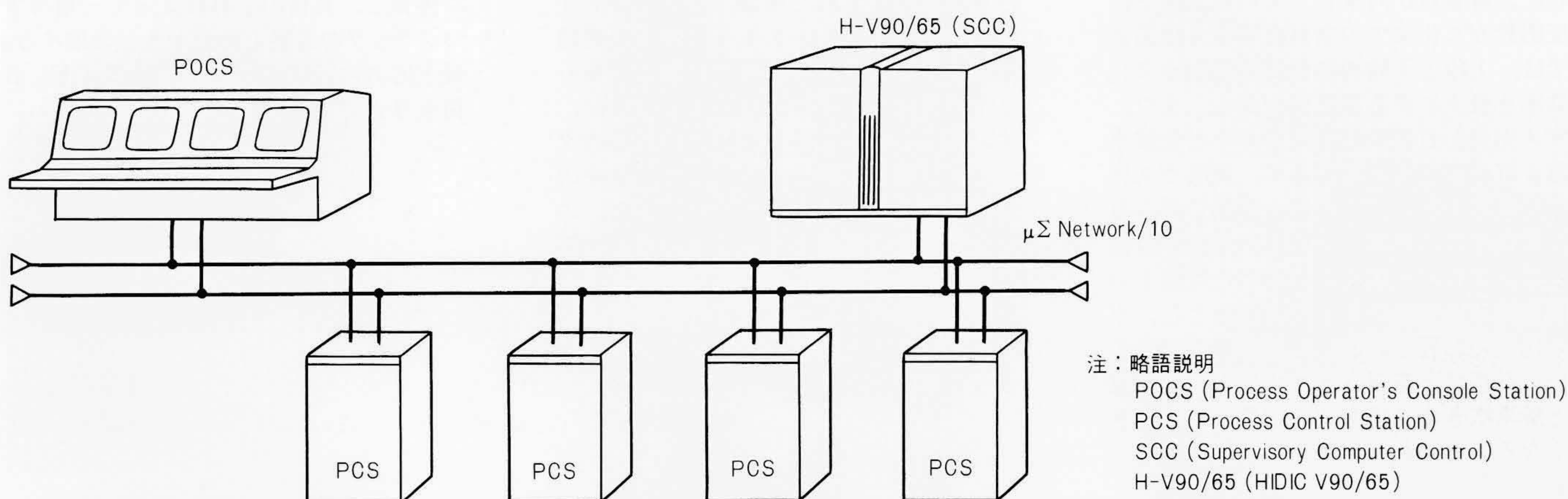


図9 EIC統合システム EIC[E(電気), I(計装), C(計算機)]統合システムによって、受注、生産計画、制御、在庫管理、出荷に至るプロセス分野向けCIMを構成する。APOSは、CIMでの最適操業支援エキスパートを構築する。

図8に示す。HIDACS-Bは、マスタシーケンスコントローラ、品種管理機能によって³⁾バッチプロセスの高度な自動運転を実現するが、さらにAPOSによってバッチプロセス操業支援エキスパートシステムを実現させる。

3.3 トータル運転制御システム

電気(E)、計装(I)、計算機(C)を統合化した日立のEIC統合システムでAPOSを適用した事例を図9に示す。本システムでは計装制御や電気制御は、統合コントローラであるPCS(Process Control Station)で行い、最適運転制御、製造計画管理、原料・製品在庫管理、出荷実績管理はH-V90/65で行う。オペレータインタフェースはすべてPOCS(Process Operator's Console Station)を通じて行い、プラントの窓の一本化を図っている。このシステムで、H-V90/65内で動作するAPOSは、最適運転制御、最適製造計画立案など、操業支援エキスパートシステムを構築する重要な役割を果たす。このトータル運転制御システムでは、受注から出荷までの一貫した計算機化(CIM: Computer Integrated Manufacturing)を比較的取り組みの遅れていたプロセス制御の分野で実現するものである。

4 結 言

本稿では、プロセス制御用エキスパートシステム構築支援システムの紹介を行った。エキスパートシステムは、知識処理技術の向上に支えられ実用段階を迎えており、今後ますます適用範囲が広がるものと思われる。プロセス制御用に開発されたAPOSは、エキスパートシステムの構築を容易にし、さらに最適操業、安定稼動に対し大きな成果を生んでいる。

参考文献

- 1) 小宮山, 外: 最近の化学プラントにおける計装制御技術, 日立評論, 57, 3, 217~222(昭50-3)
- 2) 長谷川, 外: 計測制御における電子計算機の役割, 日立評論, 58, 3, 185~189(昭51-3)
- 3) 川口, 外: 装置産業における計算機制御システム, 日立評論, 70, 5, 513~519(昭63-5)
- 4) 森, 外: 知識処理システム構築支援ツールEUREKA-II, 日立評論, 71, 8, 709~716(平1-8)
- 5) 増井, 外: エキスパートシステム構築ツールES/KERNEL, EUREKA-IIにおける知識表現と推論方式, achive, Nov. 1987, CQ出版社

気流層石炭ガス化炉における 空気吹きガス化特性

日立製作所 田中真二・小山俊太郎・外
3名

燃料協会誌
67, 3, 172～180(昭63-3)

気流層石炭ガス化炉での空気吹きガス化特性を明らかにするため、小形ガス化炉(Process Development Unit: PDU)により、圧力0.5 MPa、石炭供給量約30 kg/hの条件で太平洋炭およびエルメロ炭のガス化実験を行い、ガス化効率を評価した。著者らが対象としている1室2段反応形ガス化法での空気吹きガス化方式では、上段と下段の空気分配比にガス化効率を最大にする適正值がある。また、ガス化剤と石炭中の酸素を含めた全酸素量と石炭中の炭素量の比で、炭素ガス化率が整理できた。さらに、実験で得られた最高冷ガス効率と、石炭の元素分析値とエンタルピー収支から求めた理論上の最高冷ガス効率の比を性能指数とし、ガス化剤の影響を評価した結果、反応性の低い石炭ほど空気吹きガス化方式の指数と酵素吹きガス化方式の指数の差が大きくなることがわかった。

中国の気化器工場と研究所

日立製作所 大山宜茂

内燃機関
27, 341, 4(昭63-3)

北京自動車部品研究所は、北京自動車工場で生産している小形トラック用の気化器の設計、試作、試験を担当している。

台上エンジン試験室、シャシダイナモ、気化器試験装置、恒温室、高地補償試験装置などが完備され、1.5l、4気筒ガソリンエンジン、単筒、複筒合わせて五つの型式の気化器が取り扱われている。気化器試験装置は日立製作所製である。

北京自動車の北工場は、気化器工場から発達し、1956年以降、種々の気化器を製造し、最近1.5lエンジン搭載の小形トラックの組立も行っている。

湖北省十堰にある第二自動車工場では、6気筒のガソリンエンジンを搭載した5トントラックを生産している。

気化器工場では、気化器のほかに、機械式の燃料ポンプ、エアブリード方式の高度補正装置、減速燃料遮断装置、ブレーキ装置用のピストン、バルブ類を製造している。

アノードエミッタ短絡形 ゲートターンオフサイリスタの 電気特性

日立製作所 八尾 勉・佐藤行正

電気学会論文誌D
108, 3, 222～228(昭63-3)

アノードエミッタ接合を短絡した大容量GTOサイリスタのターンオフ性能の向上を目的として、電気的特性に及ぼすエミッタ短絡構造およびキャリア寿命の影響について調べた。種々の構造の4.5 kV、2,000A級のGTOを試作して電気特性を実験的に求めた結果、高ライフタイムのまま、アノードエミッタ接合の短絡を強くするより、短絡構造に加えてキャリアの寿命をわずかに短絡するほうが、オン電圧の増大を伴うことなくGTOのターンオフ利得の向上やターンオフ損失の低減を図れることがわかった。また、エミッタ接合の短絡とキャリアの寿命短縮を組み合わせ得られるオン電圧とターンオフ性能のトレードオフの改善理由について、2次元動作シミュレーションによって解析した。

適応形フィルタを用いた 高精度画像間位置合わせ処理 方法

日立製作所 森下孝一・横山哲夫

電子情報通信学会論文誌D
70, 9, 1819～1827(昭62-9)

医用分野で、循環器疾患の診断のために造影剤注入前後の画像間で減算を行い、血管部を抽出する血管造影法が知られている。本手法では、患者の体動による画質劣化が問題となる。本研究では、画像間の位置ずれを補正するために、テンプレートマッチングを基本とし、前処理に適応形フィルタを用いた高精度な処理方式を開発した。テンプレートマッチング法は、濃度変化が少ない領域(平坦部)では、位置合わせ精度が悪くなるという問題がある。開発方式では、前処理で血管などの輪郭を明りょう化するために、適応形フィルタを用いている。これは画像を多数の小領域に分割し、小領域内の局所統計量に応じて動的にフィルタ特性を変化させ、高い位置合わせ精度を実現するものである。実験によって、従来方式と比較して誤差が $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{7}$ になることを確認した。

SiC繊維強化Si₃N₄複合焼結体 破壊挙動のその場観察

日立製作所 坂本広志・児玉弘則

窯業協会誌
95, 9, 869～874(昭62-9)

Si₃N₄に15 vol%のSiC繊維を一方向配列した複合焼結体について、曲げ試験および繰り返し負荷試験を行い、クラックの進展挙動をその場観察した。曲げ試験では、クラック発生時にクラックは数層の繊維層を突き抜けるが、途中の繊維層で停止し、負荷の上昇によって一層分ずつクラックの進展と停止が生じ破壊する。最大応力の75%、310 MPaの繰り返し負荷を与えても、クラックは進展しない。

日立グリース潤滑ギヤモートル

日立製作所 千原幸雄

機械設計
32, 7, 48～53(昭63-5)

日立ギヤモートルは発売してから55年、グリース潤滑方式を採用してから20年になる。その間、数々の実験、研究によって低騒音、強度を徹底的に追求するとともに、グリース潤滑20年の経験と新技術の駆使により、今回、日立製作所独自の長寿命グリースシール構造(特許出願中)を開発し、信頼性を一段と向上させた。従来のグリース潤滑ギヤモートルは、使用条件にもよるが、4,000～5,000時間程度でオイルシールの交換が必要なものがあつた。これはオイルシールのシールメカニズムが、オイルとグリースでは異なることから起因するもので、今回日立製作所ではグリースの潤滑特性を利用した複列シール構造を考案し、シール性能を大幅に向上させ、従来の2倍以上のシール寿命を持ったグリース潤滑ギヤモートルを開発した。