

都市ガス製造プラントのオンラインリアルタイム形 運転支援エキスパートシステム

Online-Realtime Expert System for Gas Plant Operation Support

都市ガス製造プラントのトラブルや停止はガスの供給不良につながるため、その運転操業には高い信頼性と異常時の迅速かつ適切な対応が要求される。こうしたニーズを背景に、HIDIC V90/25上のEUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)とHIDACS-S (Hitachi Standard Process Data Acquisition and Control System)をベースとし、これに時系列データ解析機能や新規マンマシン機能などを付加したオンラインリアルタイム形プラント運転支援エキスパートシステムを開発した。熱量調整プラントを対象としたルール数約2,000のプロトタイプでの評価で、当初の目標である推論応答時間10秒以下などの基本性能を実証し、実用性への見通しを得た。

山崎達男* Tatsuo Yamazaki
小山和夫* Kazuo Koyama
中村賢二* Kenji Nakamura
日比野和雄** Kazuo Hibino
川口幸一*** Kôichi Kawaguchi
大石 聡*** Satoshi Ôishi

1 緒 言

東京ガス株式会社が誕生して一世紀、顧客数は690万件に達し、都市ガスの用途も現在では家庭のコンロや湯沸器・暖冷房機器用から、店舗やオフィスの空調、業務用、さらには工業用、地域冷暖房用へと広がり、その需要量も着実に伸びている。

都市ガスはLNG(液化天然ガス)、LPG(液化石油ガス)、ナフサ、石炭などの原料をさまざまなプロセスでガス化することによって製造される。ガス化された原料は精製、混合などによって品質を調整した後、ガス導管を通じてお客様まで届けられる。ガス導管ネットワークの総延長は4万kmを超え、ガス製造工場は都市生活のライフラインを支えるべく昼夜操業を続けている。都市ガス製造プラントのトラブルや停止はガスの供給不良につながるため、その運転操業には高い信頼性と異常時の迅速かつ適切な対応が要求される。

こうしたニーズに対しソフト面からこたえるため、東京ガス株式会社ではガス製造設備の運転員の業務を、AI(Artificial Intelligence)技術を利用して支援するオンラインリアルタイム形プラント運転支援エキスパートシステムを開発した。

本運転支援システムのねらいは、巨大化、複雑化するプラントの運転に際して発生する異常あるいはその兆候を、AI技術を利用して早期に予測・発見し、かつ速やかにその原因を究明し、運転員に適切な指示・助言を与えることである。本

システムをLNG基地などに適用すれば、重大故障の未然防止、誤操作の防止、異常状態からの迅速な正常復帰、設備保全や要員の効率化などの効果が期待できる。

2 都市ガス製造プラントの特質とAIへの期待

2.1 都市ガス製造プラントの特質

都市ガス製造の技術は石炭の乾留に始まり、昭和30年代の石油系原料への転換、40年代のLNGへの転換を経て現在に至っている。最近の都市ガス工場では需要の増加と技術の進歩に対応し、操業の安定性、信頼性、安全性および経済性の向上を目ざして、設備の大形化、高度計装化、自動化が進んでいる。

現在の都市ガス製造プラントの運転技術への要請を要約すれば、およそ次の3点になるであろう。

(1) 安定供給

都市ガスの供給停止は広範囲の都市生活者に重大な影響を及ぼすため、運転システムにはきわめて高い信頼性が要求される。また、トラブルに際しては迅速な復旧が不可欠である。

(2) 保安確保

可燃物を取り扱うため、特に都市近郊に立地する工場では、重大故障の未然防止は至上命題である。

(3) 品質、経済性の追求

都市ガスの用途が多様化しつつある現在では、燃焼性など

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

のより厳しい品質確保, および原価低減につながるプラントの最適稼働などが必須(す)である。

2.2 運転部門における課題

上述のような運転技術への要請にこたえ, より高い運転信頼性を目指すため, 現在運転部門にはいくつかの課題が存在する。それらを整理すれば次の5点になるであろう。

(1) トラブル時対応の経験不足対策

現在, 高度に計装化, 自動化が進んだプラントでは, 定常運転時での運転員の作業は, 監視主体になっている。このようなプラントでの運転員の重要な任務の一つは, 万一の異常時に的確に対処することである。それにもかかわらず, プラントの信頼性の向上に伴い, 非定常作業やトラブル処理の機会は減少し, 技能の向上に必要な経験が不足しがちになっている。

(2) 業務範囲の拡大, 運転知識の増大対策

大規模なプラントの運転の自動化・省力化は, 視点を変えれば, 運転員一人当たりの業務範囲の拡大, 運転知識の質の高度化や量の増大をもたらすことにもなる。したがって, 的確な運転能力を確保するためには, なんらかの配慮が必要となる。

(3) 制御システムの複雑化による誤操作防止対策

自動化が進んだプラントでも, 高度な制御を指向することによって制御システムが複雑化, ブラックボックス化していく傾向も増大し, 誤操作防止への配慮が必要である。

(4) 重大事故の未然防止対策

プラントが大規模化するほど, そのトラブルに対する他への影響度は増大するため, よりいっそうの信頼性向上が求められる。一方, 人間には推論の遅さ, 疲労, 勘違い, 見落とし, 個人差, 癖などヒューマンエラーの原因となりうる欠点があり, これらを補う対策が必要である。

(5) 運転技術の円滑な伝承対策

社会の高齢化を反映し, 一般に運転員も高齢化が進んでいる。豊富な知識と経験を持つ熟練運転員の定年退職などの増大に対して, 円滑な運転技術の伝承を行っていく必要がある。

2.3 AIへの期待

AIを運転分野, 特に運転支援システムに適用した場合の一般的期待効果として, 次の点を挙げることができる。

(1) 熟練運転員のサポート

熟練運転員よりAIのほうが優ると思われる点として, 以下が挙げられる。

- (a) 異常や故障の診断を, 運転員よりも短時間に行える可能性がある。
- (b) 結論に至るプロセスを明示してくれる。
- (c) 疲労や勘違い, 見落としなどによるエラーが減少する。
- (d) 労働時間の制約がなくなる。
- (e) 忘却がない。

- (f) 複数の専門家の知識を集め, 共有することができる。
- (g) 異動や定年などに関係なく, 知識を蓄積できる。

逆に, 欠点としては, 現状では学習能力が低いことなどがある。

(2) 非熟練者の平均的な運転技術の引き上げ

AIを非熟練者のパートナーとすることによって, 平均的な技術レベルの向上, および技術の伝承に役だてることが期待できる。

(3) 熟練者の知識とコンピュータの能力の有機的な統合

両者の長所を結合することによって, プラント運転の効率, 安全性のいっそうの向上を図ることが期待できる。

(4) 運転知識の整理

AIシステム開発過程からの波及効果として, 現在ドキュメント化されていない知識の整理ができること, 今まで気付かなかったことが明らかになることなどが期待できる。

(5) システム開発上の効果

(a) あいまいな情報の活用

AI技術を利用することによって, これまで利用が難しかった熟練運転員の経験や勘, あいまいな情報などを有効に活用できる。

(b) わかりやすいシステム

アルゴリズムが人間の考え方に近いため, なぜその結論に至ったかを運転員に教えてくれるような, わかりやすいシステムが構築できる。

(c) 運転員によるメンテナンスが可能

知識の追加, 修正が容易なシステムが構築できる。

(d) システムの開発者と運用者の融合

運転員が開発者として, みずからシステム開発を行うことが期待できる。

3 システム構成と機能

3.1 ハードウェア構成

本システムのハードウェア構成を図1に示す。CPUとして制御用計算機HIDIC V90/25(メモリ8Mバイト, ディスク132Mバイト)を, 周辺機器として工業用グラフィックディスプレイ, 漢字プリンタおよび通信制御装置を使用している。プロセスデータは, 運転システムから通信を介して常時運転支援システムに入力される。

3.2 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を図2および表1に示す。本システム全体をGAPOS(Gas Advanced Plant Operation Support System)と呼ぶ。GAPOSはエキスパートシステム構築ツールEUREKA-II¹⁾(Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)とプラント管理・制御用ソフトHIDACS-S²⁾(Hitachi Standard Process Data Acquisition and Control System)に, 新規に開発したAPOS-II³⁾

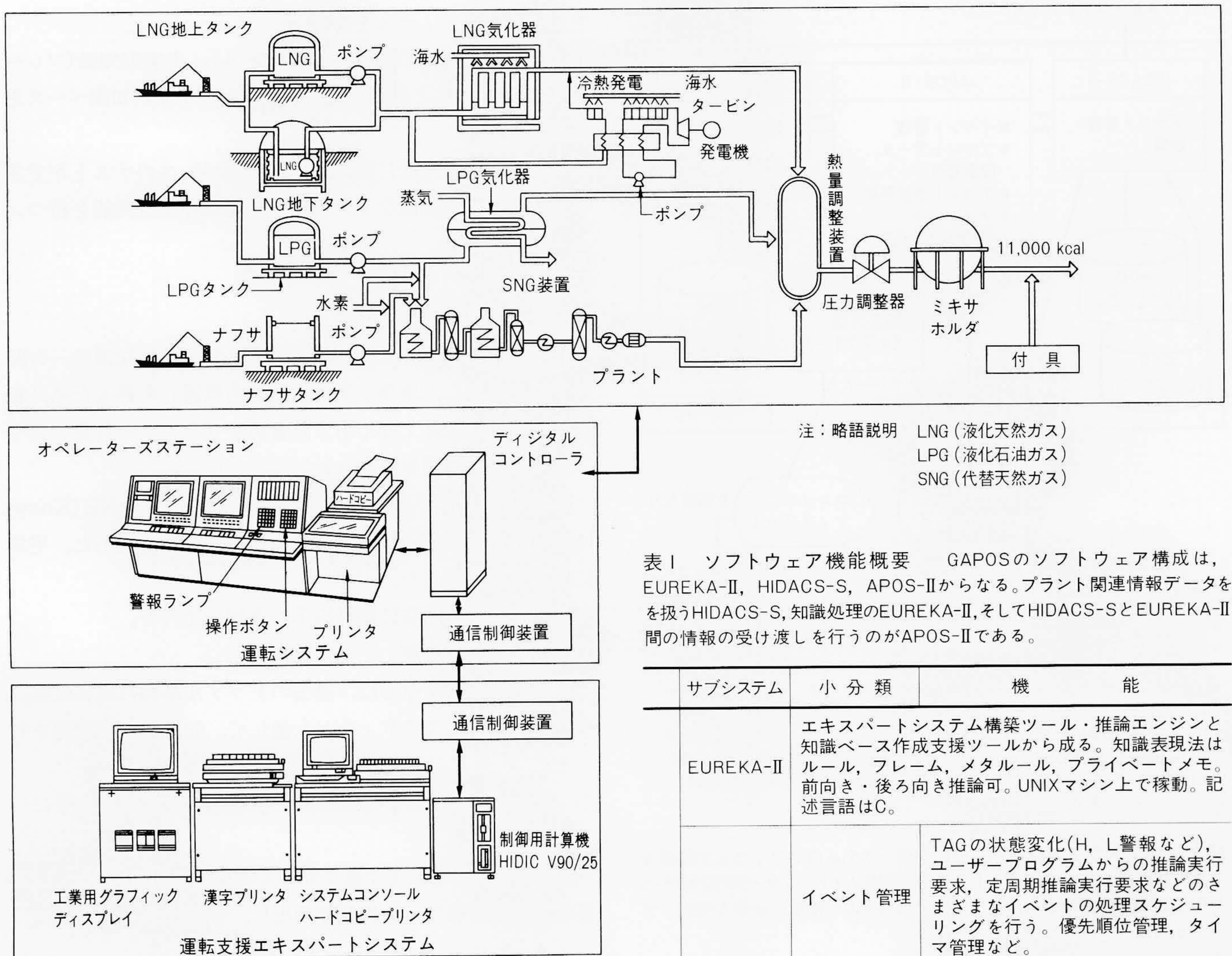


図1 ハードウェア構成 プラント概要および計算機システム構成を示す。

(Advanced Plant Operation Support System-II)を付加したものである。APOS-IIは、イベント管理機能・プラントデータ収集管理機能・プラント状態解析機能・マンマシンインタフェース機能・知識ベース構築支援機能など、運転支援システムに必要なさまざまな機能を備えている。また、EUREKA-IIは、知識表現に事実形知識をフレームとして、規則形知識をプロダクションルールとして表現でき、かつ日本語で記述できる。

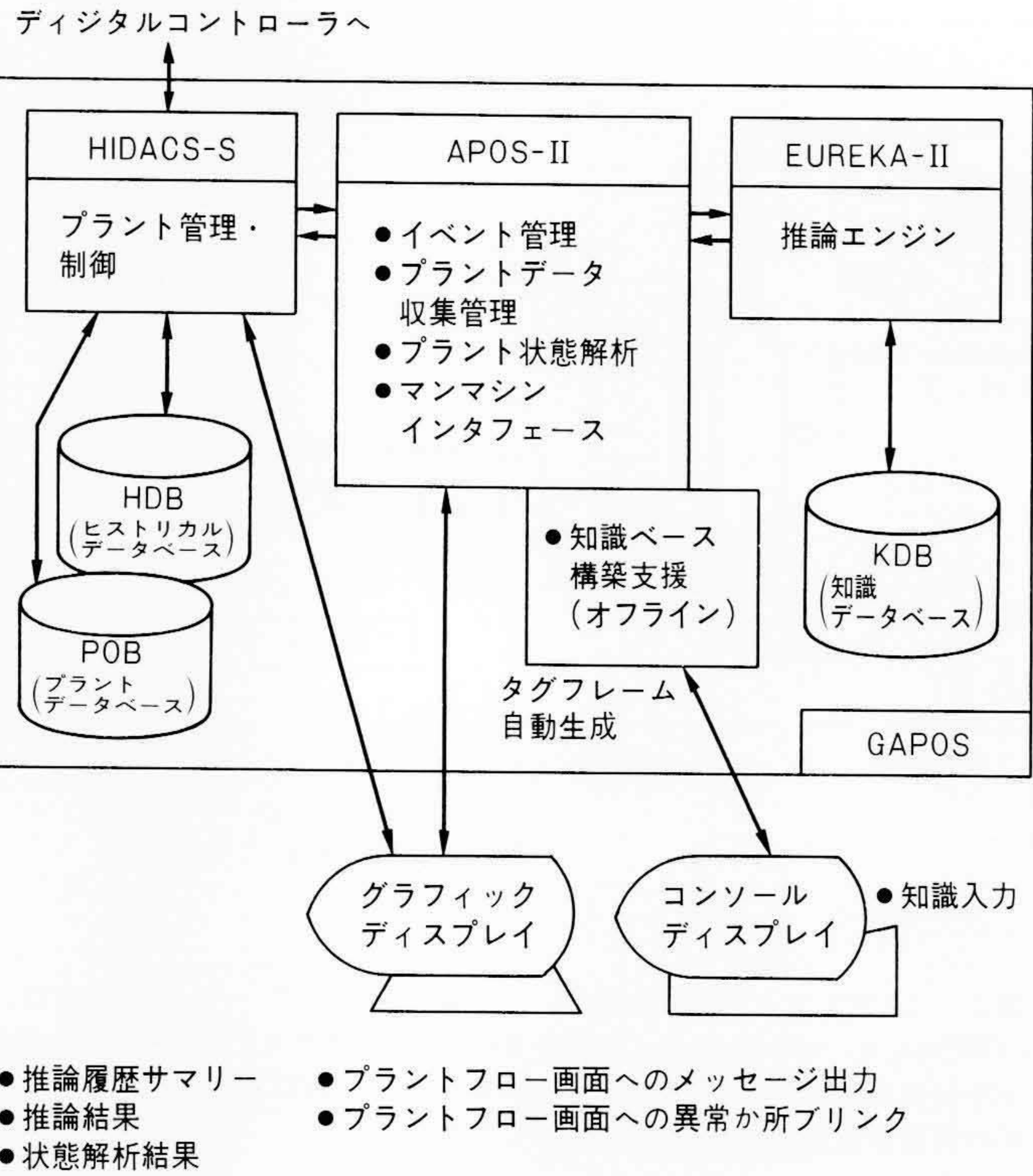
3.3 システムの機能と特徴

本システムの主な機能と特徴は次に述べるとおりである。

- (1) オンラインリアルタイム形エキスパートシステムであり、オペレータの介在なしに、常時、自動的にプロセスデータを収集、分析し診断を行う。
- (2) 回帰、相関、周波数分析など豊富な時系列データ解析ソフトや、物質収支・熱収支などの計算機能を備えており、経験知識だけでなく、設計知識も取り扱うことができる。
- (3) グラフィックディスプレイを用いた、わかりやすいマン

表1 ソフトウェア機能概要 GAPOSのソフトウェア構成は、EUREKA-II、HIDACS-S、APOS-IIからなる。プラント関連情報データを扱うHIDACS-S、知識処理のEUREKA-II、そしてHIDACS-SとEUREKA-II間の情報の受け渡しを行うのがAPOS-IIである。

サブシステム	小分類	機能
G A P O S	EUREKA-II	エキスパートシステム構築ツール・推論エンジンと知識ベース作成支援ツールから成る。知識表現法はルール、フレーム、メタルール、プライベートメモ。前向き・後ろ向き推論可。UNIXマシン上で稼動。記述言語はC。
	イベント管理	TAGの状態変化(H, L警報など)、ユーザープログラムからの推論実行要求、定周期推論実行要求などのさまざまなイベントの処理スケジュールリングを行う。優先順位管理、タイム管理など。
	プラントデータ収集管理	1. プラントデータ収集(PV, MV, SV, LV) ルールで記述されたTAG情報を収集 2. 高速ヒストリカルデータ収集(PV, MV, SV, LV) 最短周期1秒で履歴データを蓄積
	プラント状態解析	プラントの状態を解析するための時系列データ解析を主体としたプログラムパッケージ (1)回帰, (2)周波数分析, (3)相関, (4)ステップ状態変化判定, (5)パルス状態変化判定など。
	マンマシンインタフェース	運転員に情報を伝えるためのグラフィック画面 (1)推論履歴サマリー, (2)推論結果, (3)各TAGの状態解析結果, (4)プラントフロー画面へのメッセージ・異常個所ブリンク, (5)トラブル事例・修理・点検履歴など。
HIDACS-S	知識ベース構築支援	1. TAGフレーム自動生成(HIDACSに登録のTAG) 2. テストモード オンラインでのデータ入力に代わり、ディスクファイルからの模擬入力によって、知識ベースのデバッグを可能とするなど。
	プラント管理・制御用パッケージソフト	1. プロセスデータの収集、処理 2. ヒストリカルデータの収集、処理 3. マンマシンインタフェース



注：略語説明
PDB (Plant Data Base), HDB (Historical Data Base), KDB (Knowledge Data Base), GAPOS (Gas Advanced Plant Operation Support System)
EUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)

図2 ソフトウェア構成 運転支援システムのソフトウェア構成を示す。プロセスデータはプラント管理・制御用ソフトパッケージHIDACS-SのPDB, HDBに蓄積され、異常発生時にAPOSが推論に必要な情報・データを知識ベースにセットされる。

マシンインタフェースを持つ。

(4) 日本語を用いて規則型知識(ルール), 事実型知識(フレーム)を記述することが可能であり, わかりやすい知識ベースを構築できる。

(5) プラントと実際に接続せずに知識ベースのテストができるテストモード機能など, 豊富な開発保守支援機能を持つ。

4 プロトタイプの開発と評価

4.1 プロトタイプの開発

本システムの設計性能を実証するとともに, 知識ベース開発手法を確立し, 実用システム開発の見通しを得るため, 都市ガス製造の最終工程である熱量調整プラントを対象としてプロトタイプの開発を行った。

開発体制としては, 対象プラントの専門家とKE (Knowledge Engineer)から成るチームを作り, 開発を進めた。完成には約1年を要した。

- 知識ベースの開発は概略以下の手順によった。
- (1) 知識の収集整理
対象プラントを中心に, 過去のトラブル事例の資料収集, オペラビリティスタディなどを通して, 知識の収集整理を行った。
 - (2) Treeの作成 (異常発生要因から考えられる波及効果についてまとめる。)

推論のトリガとして主要プロセス状態量のHigh警報, Low警報, 偏差警報などを約60個抽出し, Treeのルートとした。

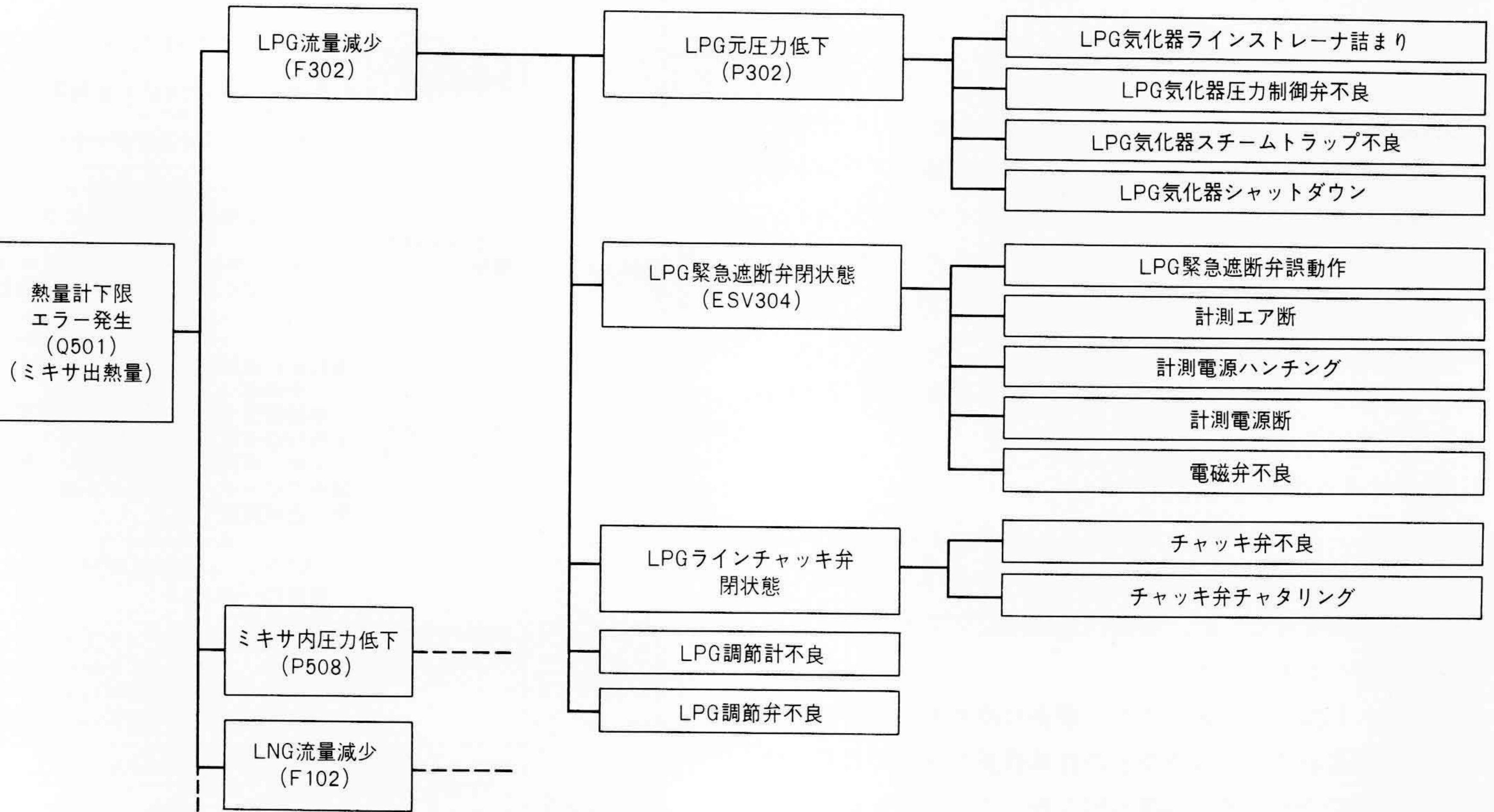


図3 Treeサンプル オペレータの知識を整理し, 因果関係を示したものであり, この内容がルールとして展開されていく。

次に、それらのおのおのについて原因と考えられる事象を階層的に整理した。サンプルを図3に示す。

(3) Sheetの作成(Treeで整理された内容の詳細化を検討する。)

Treeの各ノードで、事象の状況を詳細に分類するため、表2に示すSheetを作成した。事象の分類には必要に応じプロセス状態量の一次回帰、周波数分析、相関などの解析結果を使用した。

知識の収集整理、Treeの作成、Sheetの作成には2人×4か月程度を要しており、エキスパートシステム開発の最大のポイントと言える。

(4) ルール、フレーム、メタルールの作成・入力

TreeとSheetを基に、EUREKA-IIの文法に従って規則形知識、事実形知識、推論手順をそれぞれルール、フレーム、メタルールとして作成し、端末機から入力した。図3および表2に示したものは知識収集結果の1例であるTree、Sheetは規則形知識として扱われ、図4のようにルールとして展開される。

表2 Sheetサンプル 熱量計の下限エラーが発生した場合(事象No.39)、プロセスデータ(Q501)のトレンド傾向が下降していたら、39-01、39-02、39-03の事象に展開する。

事象No. 39		原因仮説							
事象	事象の状況	LPG流量減少		ミキサ内圧力低下		LNG流量減少			
		(F302)		(P508)		(F102)			
熱量計下限エラー発生(Q501)	確信度								
	PV値およびMV値	PV	MV	PV	MV	PV	MV		
	急上昇								
	(出力急開)								
	穏やかな上昇								
	(出力徐々開)								
	非常に穏やかな上昇								
	(長期的な全開)								
	急下降	○		○		○			
	(出力急閉)								
	穏やかな下降	○		○		○			
	(出力徐々閉)								
	非常に穏やかな下降	○		○		○			
	(長期的な全閉)								
	ハンチング(短周期)	○		○		○			
	(出力ハンチング速い)								
	ハンチング(長周期)	○		○		○			
	(出力ハンチング遅い)								
	パルス(ひげ)上向き大								
	パルス(ひげ)上向き小								
	パルス(ひげ)下向き大								
	パルス(ひげ)下向き小								
展開事象No.		39-01		39-02		39-03			

```
{S39}
(rule_S39_開始処理
  IF (Q501C の @PV が NULL でなく
      @入力エラー状態 が LE である)
    (解析状態 の @Q501CPV が 未実施 である)
  THEN
    (send apos msgreq ("alm","bz"," Q 5 0 1 __L : ミキサー出熱量下降")
      msgset1("~推論開始__Q 5 0 1 __L : ミキサー~")
      msgset2("~出熱量下降!!!!!!!!!!!!!!~")
      eventmsg("Q 5 0 1 __L : ミキサー出熱量下降")
      apos_trend("Q501C ",1,2,2,0,16,16,1,"Q501CPVT",1,1)
      apos_hunting("Q501C ",1,2,2,0,16,16,5,5,2,"Q501CPVH",1,1)
    )
    (send 状態解析 assign (Q501CPV,実施)
      assign (Q501CPVT1,実施)
      assign (Q501CPVT2,実施)
      assign (Q501CPVH1,実施)
    )
  EXPLAIN ("rule_S39_開始処理実施")
)
(rule_S39_1
  IF (状態解析 の @Q501CPVT1 が 実施 である)
    (Q501CPVT の @傾き が 0.0 より小さい)
  THEN
    event[S3901].
    event[S3902].
    event[S3903].
    (send 状態解析 assign (Q501CPVT1,済))
  EXPLAIN ("rule_S39_1実施")
)
(rule_S39_2
  IF (状態解析 の @Q501CPVT2 が 実施 である)
    (Q501CPVT の @傾き が -1.0 より小さい)
  THEN
    GOAL_[F102_13A流量伝送器電源断] 0.5.
    (send 状態解析 assign (Q501CPVT2,済))
  EXPLAIN ("rule_S39_2実施")
)
(rule_S39_3
  IF (状態解析 の @Q501CPVH1 が 実施 である)
    (Q501CPVH の @状態 が 無 でなく @状態 が NULL でない)
  THEN
    event[S3901].
    event[S3902].
    event[S3903].
    (send 状態解析 assign (Q501CPVH1,済))
  )
)
```

図4 規則形知識(ルール)のサンプル 知識整理で作成したTree, Sheetを、IF……, THEN……形式に展開する。

(5) シミュレータを使用したデバッグテスト

作成した入力データは、コンパイルによって文法エラーを除去し、実行モジュールを作成した後、知識ベースの内容のデバッグを行った。

知識ベースのデバッグテストには、東京ガス株式会社がすでに開発したプラント運転訓練用シミュレータを活用して、さまざまな異常事象を再現入力し、知識内容の妥当性を確保した。

4.2 プロトタイプの評価

完成したプロトタイプの規模は、概略表3に示すとおりである。図5～8にグラフィック画面の例を示す。

性能評価では、当初の設計目標である事象の発生から推論結果の表示までの応答時間で10秒以下を達成でき、基本的に本システムが実用性を持っていることを実証した。特に、異常予測性能では、運転システムの警報設定値よりも厳しい設

表3 プロトタイプ規模 本プロトタイプの適用環境であるハードウェア、プロセス点数、知識ベースの具体的規模を示す。

CPU	HIDIC V90/25
メモリ	8 Mバイト
DISK	132 Mバイト
入力点数(AI)	64点
通信周期	5 ~ 30 s
イベント数	~60
ルール数	~2,000
フレーム数	~1,500
ルール数/イベント	~30
推論時間/イベント	10 s以下

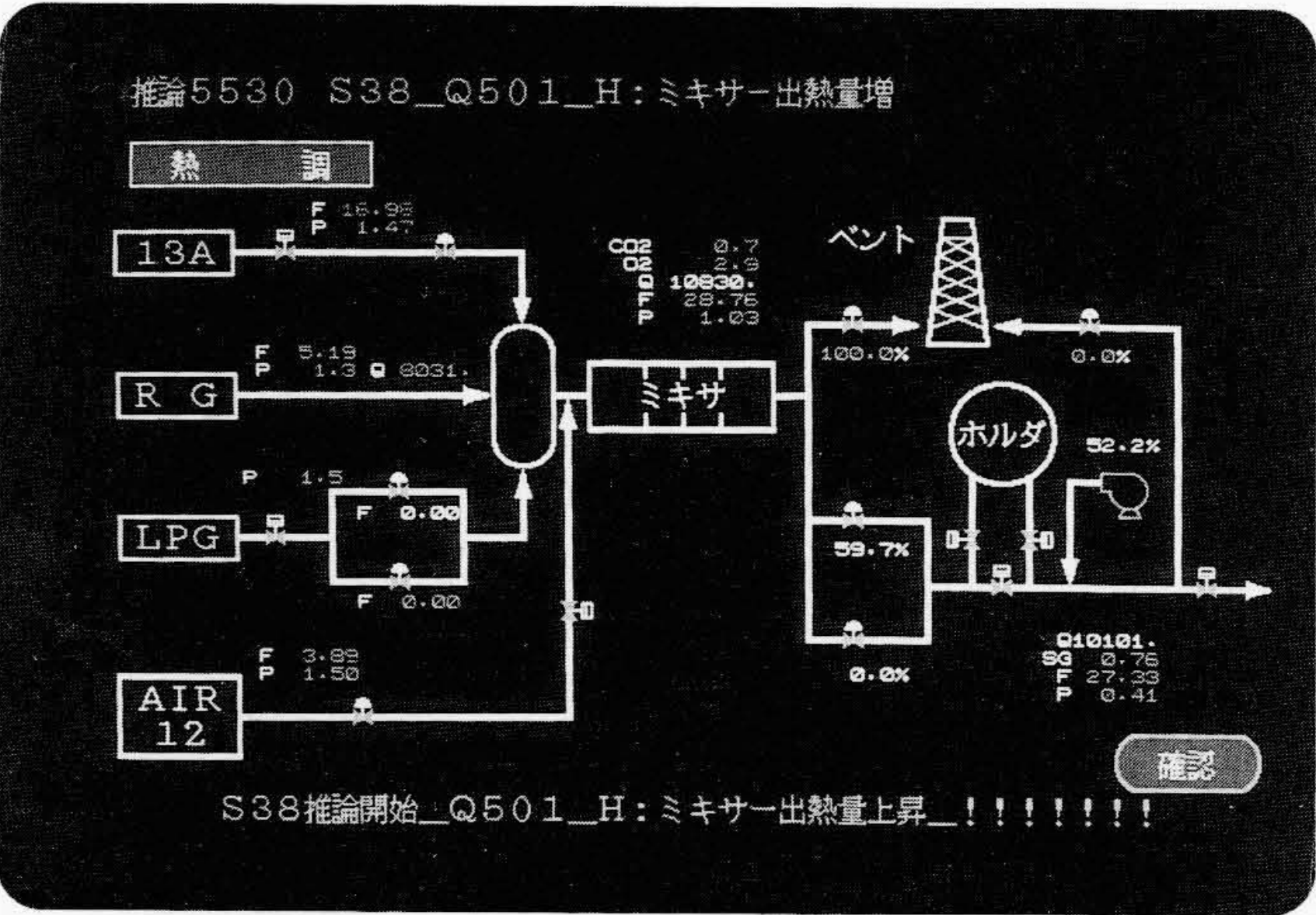


図5 プロセスフロー画面 推論が実行されると、本画面にもメッセージが出力される。



図6 推論履歴画面 推論の実行履歴を時系列に表示し、過去の経緯がわかる。

定値を使用することによって、警報発生以前に異常の推定が可能なことを確認できた。マンマシン関係では、改良すべき点も若干残されている。

現在、さらに使いやすいシステムとするため、改善を図りながら実用化開発の段階へと移行中である。

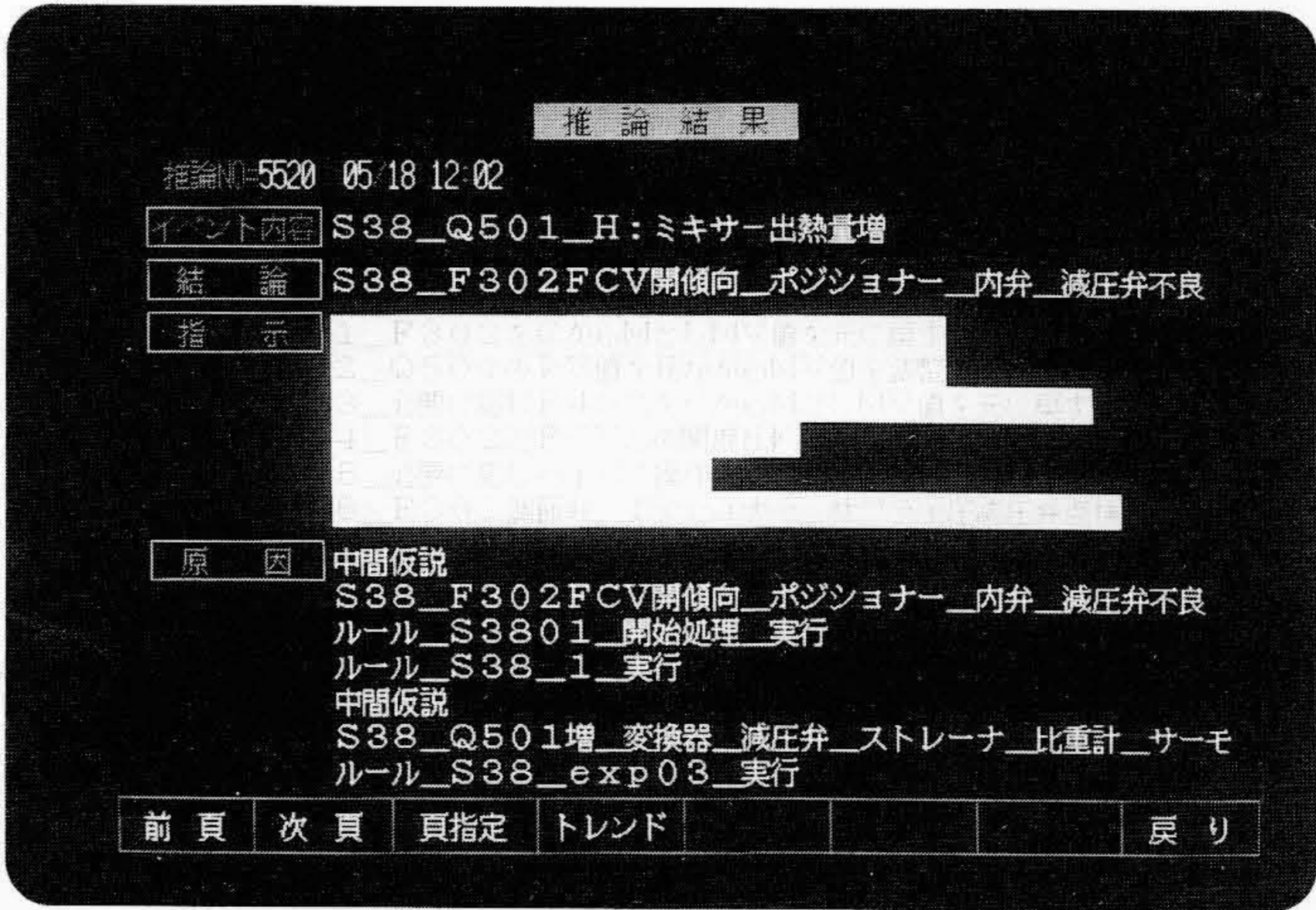


図7 推論結果画面 推論結果をオペレータに報告する。オペレータへの指示が示されている。

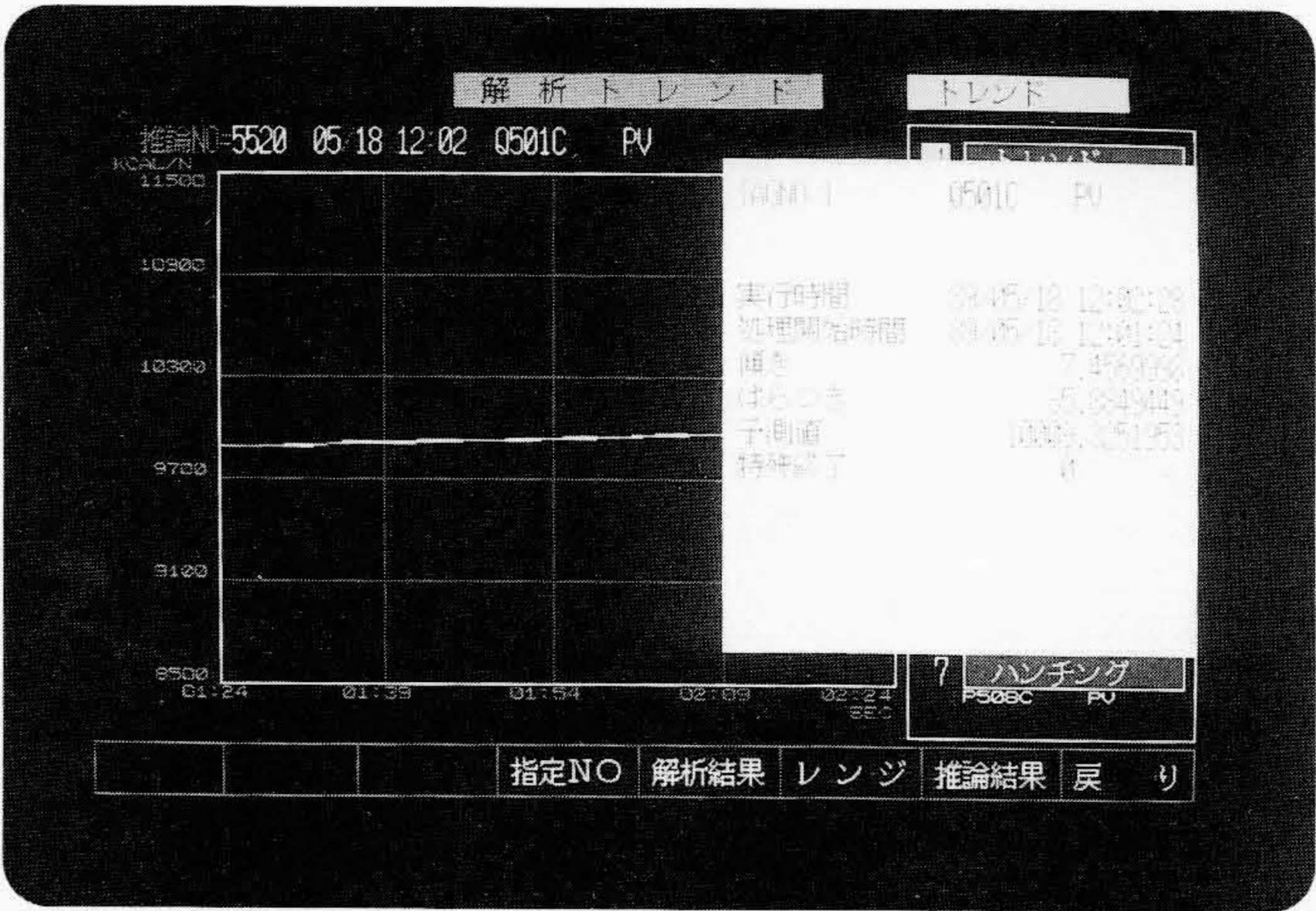


図8 状態解析結果画面 推論で用いたプラント状態解析の結果をグラフ化して表示する。

5 結 言

オンラインリアルタイム形エキスパートシステムの開発事例として、都市ガス製造プラントの運転支援システムについて紹介した。

熱量調整プラントを対象としたプロトタイプの性能評価では、今後追加改良すべき機能も若干残されてはいるが、当初の設計目標をほぼ達成でき、現在、実用化システムの開発に着手している。本事例が、今後のガス産業でのコンピュータ利用の一指針となれば幸いである。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 川口, 外: 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, 日立評論, 71, 8, 717~724(平1-8)