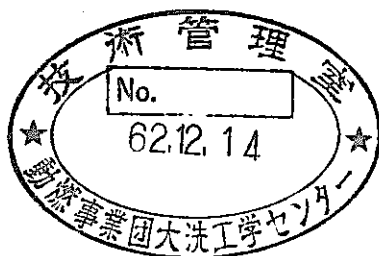


分置

人工知能利用技術の現状と高速実験炉「常陽」での適用



1987年10月

区分変更	
変更後資料番号	PNC TN9430 87-006
決裁年月日	平成13年7月31日

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター
実験炉部

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)



人工知能利用技術の現状と高速実験炉「常陽」での適用

玉山清志 杉江嘉彦

要 旨

昭和62年9月14日に原子力安全委員会打ち合わせ会議に於いて、表題に関する発表を行った。本冊子は、実験炉での計算機利用技術の紹介のため、その時使用した配布資料および口頭発表原稿を基に、質疑応答など若干の加筆・修正を行ってまとめたものである。発表準備のため、原子炉一課教育訓練グループ、同燃料取扱グループおよび原子炉二課保守技術グループの協力をいただいたが、本冊子の文責は筆者にある。

目 次

1. 概 要	1
1.1 ディスタ―バンスアナリシスシステム	1
1.2 『常陽』データ処理システム (JOYDAS)	2
1.3 人工知能技術の応用	2
2. 『常陽』運転支援システム	4
2.1 JOYCATの概要	4
2.2 JOYCATの動作例	5
2.3 JOYCATのまとめ	6
3. 『常陽』保守支援システム	8
3.1 MASCOTの概要	8
3.2 MASCOTの動作例	9
3.3 MASCOTのまとめ	10
4. 『常陽』燃料交換計画支援システム	11
4.1 JOYREPの概要	11
4.2 JOYREPの動作例	12
4.3 JOYREPのまとめ	13
5. ま と め	14
6. 質 疑 応 答	16
7. 参 考 文 献	17

-
- * JOYDAS - JOYo Data Aquisition System
 - * JOYCAT - JOYo Consulting & Analysing Tool
 - * MASCOT - Maintenance Assistant System for Component Troubles
 - * JOYREP - JOYo optimum REfueling Planning system

1. 概 要

計算機応用技術の一分野として人工知能技術の開発が各方面でなされている。そのなかで、動燃事業団の高速実験炉『常陽』でなされている人工知能に関する研究開発として、『常陽』運転支援システム（JOYDAS / JOYCAT）、『常陽』保守支援システム（MASCOT）、『常陽』燃料交換計画作成システム（JOYREP）の三つについて、筆者が昭和62年9月14日に原子力安全委員会打ち合わせ会議において発表した内容に、質疑応答など若干の加筆・修正を行ってまとめたものを以下に紹介する。

1.1 ディスタートバンスアナリシシステム

原子炉プラントでの計算機利用技術の適用はかなり前から行われているが、その中心は中央制御室での運転員に情報を提供する支援システムである。その一例として、異常の検出・原因の同定・事象の進展に添った運転操作のガイダンスを目的とした、ディスタートバンスアナリシシステム（DAS）がある。

このようなシステムは、TMI事故を契機にして活発化して、ノルウェーのハルデン研究所とドイツのGRSやアメリカのEPR Iなどで開発されたもので、プラントの様々な異常に対して、図1.1に示したように、コースコンシーケンスダイアグラムを計算機に組み込み、異常を早期に運転員に知らせる他、表面に表れた警報でなく、本当の異常の原因を検知しようとする。

図1.1の例は低圧給水系統の異常を判定し、事象の進展を見てガイダンスを行うものである。最初にプライムコースが発生すると、ダイアグラムに添って計算機は事象の進展を追跡し、運転員にたいして必要なメッセージを表示したり状況確認の要求をしたりする。

図1.1では、まず低圧給水加熱器まわりのドレインの異常かチューブブレイクがあって、8の枠で示されるように第一リミットで液面レベルのアラームが発生する。事態が進展すると、12の枠で示される第二リミットでレベルアラームが発生する。するとDASからは、13の枠にあるように、『給水加熱器A3 / ND2がもしバイパスされていなければ、すべての復水ポンプが自動的にシャットダウンします』というメッセージが出て、14の枠で給水加熱器がバイパス運転されているかを運転員に聞いてくる。もしバイパスがされていないと、16の枠で第三リミットをこえて液面レベルが上昇し、17, 18, 19の枠で復水ポンプがシャットダウンする。

このようにプラント状態の移行を計算機を用いて追うわけだが、全ての異常の一つ一つに対応して異常の進展や動作の関係について、前もってこのようなダイアグラムを用意しなければならない。したがって、非常に多くのマンパワーを投入しないと原子炉プラント全体に適用するようなDASは開発できない。

1.2 『常陽』データ処理システム

ディスターバンスアナリシスシステムなど多くの計算機応用技術は研究開発の段階だが、実際に適用されている実用レベルとしては、図 1.2 に示すような機能を持つ『常陽』データ処理システム (JOYDAS) などがある。

JOYDAS の機能としては、第一に運転支援機能としてのデータの表示機能で、熱出力や、色色な温度の温度差、積算値などを表示するほか、普通の計装系の無いような計算値も含めて関連する項目をまとめて表示することができる。また、配管系統などのグラフィック表示と温度、流量、出力などの値を同時に表示するミミック図、温度・圧力などの変化を時間を追って表示する、すなわち横軸を時間とし、縦軸をプロセス値としてグラフィック表示するトレンドグラフ、集合体の位置関係通りに集合体出口温度をまとめて表示したり、制御棒のパターンの表示するなど各種の表示機能で、運転員のサポートを行っている。

第二に異常監視機能として、単なる警報設定値によるもの、状況に応じて設定値を変える可変警報などの他、集合体出口温度の変化を一早く検知する警報や、反応度のバランスのずれを監視する機能も持つ。

第三にデータ収録機能として、スクラムした場合の事後解釈のための色々なプラントの主要パラメータの測定値を記録しているイベントリコールや、そのときの主要機器などの状態変化の記録をするトリップシーケンスなどの機能や、一般的なデータ記録である日報時報機能や磁気テープへの収録機能などがある。

1.3 人工知能技術の応用

人工知能技術のなかでもエキスパートシステムと言われるものは、これまで計算機では解析的に解きにくいとされていた、診断、設計、計画、解釈などの問題を解決するものとして各方面で開発がなされている。

エキスパートシステムの基本的な機能は図 1.3 に示すように、推論機構部分、知識ベースを中心として知識を作り溜め込む部分、人工知能を利用する部分の三つの主要な部分がある。

第一が、事実 (FACT) あるいは観測とよばれる、現場からのデータや人間が入力する部分である。第二が、設計データ・物理的な関係、また熟練技術者すなわちエキスパートのノウハウなどが蓄積される知識ベースの部分である。ここでは、プラントエンジニア以外に、人工知能技術を理解して、的確にノウハウを人工知能で使用可能なデータとして知識ベースに入力できるナレッジエンジニアを必要とする。第三が、事実と知識ベースから結果を引き出す推論機構のプログラム部分である。図 1.3 では、推論と知識ベースが一体となって利用者に対応している。『常陽』で開発している三つのシステムは、基本的には全てこのような形態をしている。

人工知能技術と従来からの原子炉プラントでの計算機利用技術のアクティビティとを比較して考えると、先ずソフトウェア的な特徴としては、一般的には手続き型主体から宣言型になったと

言える。すなわち従来はプログラム自体にプラントの内容を記述する部分があったが、人工知能では全て知識データのなかに入れることができる。また従来までは、ある事象に注目するとその関連事項は、全部記述しなければならないが、人工知能では断片的知識も入力可能である。すなわち、人工知能は設計者が考えなかったルート（シナリオ）も解析することができる。

2. 『常陽』運転支援システム

実機プラントからのデータを取り込む機能がある『常陽』データ処理システム（JOYDAS）と、新たに開発している人工知能技術を用いた、JOYCATと呼ばれるシステムとを結合させた、『常陽』運転支援システムの開発を進めている。ここでは、原子炉プラントにおいて、計算機が運転員をサポートすることによって、運転の信頼性の向上、プラントの運転稼働率の向上、ひいては経済性の向上をめざすことを目的としている。

本システムは、表 2.1 に示すように、異常時対処法表示（操作マニュアルを自動的に表示する）、異常状況の集約表示（CRT画面に運転に即した内容を集約して表示する）、シーケンスモニタ（機器の作動状態を監視する）、プラント異常の早期発見、警報の第一原因表示、プラント状態予測などの機能を持つ。

研究開発レベルでは、運転支援システムについて色々の提案や、シミュレーション試験が行われているが、すでに色々な面での経験の多い『常陽』に新たに付加するということが、運転支援システム機能は、運転員の要請や、プラントの必要性を考えた時の、優先度の高いものから選択している。そこで例えば、『常陽』ではすでに熟練運転員がいるので手取り足取り方式の運転操作ガイドは、優先度が低くなり、ここには含まれていない。表 2.1 のなかで、1, 3, 5 番の異常時対処法表示、シーケンスモニタ、第一原因表示は、人工知能技術を用いたものとなる。

『常陽』運転支援システムの簡単な概要を図 2.1 に示す。図上方が『常陽』を示していて、炉容器から左に中間熱交換器（IHX）までが一次冷却系、それより左が二次冷却系の空気冷却器で、高温のナトリウム配管をブロアすなわち主送風機で冷却する。その空気の量はベーンと言うもので調整している。そこから、運転員に注意を喚起する警報の信号や、様々な機器の動いているか止まっているかという機器状態信号、プラントモード信号、遮断器の信号、温度、圧力、流量、液面の高さといったアナログ量で示される信号などが入力される。それらの入力と知識ベースや設計時のデータに基づいて、推論・診断をし、その結果として警報の第一原因と、まず操作すべき項目の選択、機器の動作の状態の監視などの結果を表示して運転員に知らせる。それにより警報発生時などにおいての運転員の操作がより信頼性の高いものになる。

2.1 JOYCATの概要

計算機ハードウェアの全体構成図を図 2.2 に示す。2 台のプロセス計算機からなる JOYDAS でプラントからの信号をとり、図内右側の計算機で示される JOYCAT に接続し、それらが一体となって『常陽』運転支援システムを構成している。

JOYCAT システムの機能は、図 2.3 に示すように三つのステップに分かれている。

第一がプラントからの入力で、警報状態、主要機器の運転状態、主要プロセス信号を取り込み、警報の発生をきっかけにして、診断を開始する。

第二が異常の進展経路を納めた知識ベースを用いて、プロダクションルールで推論を行う。アラームレベルの異常原因の同定や、主要プラントインターロックの動作監視を行う。またプラント経験に基づく知識を用いてセンサレベルや機器レベルの異常原因の同定を行う。

第三は以上の結果を用いた出力部分で、運転員に的確な情報とガイダンスを提供する。

JOYCATにおける人工知能の用語でいうところの知識データベースは、図 2.4 に示すようにフレーム方式と呼ばれる方式で整理されている。この知識ベースは警報処理診断用で、警報番号や重要度などの警報の属性など、また警報の発生条件としての安全保護系の関係、インターロックの関係、警報や機器などの中の物理的な因果関係などが格納されている。物理的因果関係とは、例えばポンプが停止すると、そこを流れる流体の流量が低下する、あるいは、制御系の動作で動くようなものをいう。

人工知能の推論の基本的なものに、IF・THEN方式によるプロダクションルールと呼ばれるものがある。これは、警報の発生条件がIFに、警報がTHEN以下に対応し、これらのものの因果関係を推論機構でつなぎあわせ、条件を結合して一連のシーケンスをつくりあげている。

2.2 JOYCATの動作例

JOYCATの動作の簡単な例として、二次主ポンプ軸封油圧低の場合のシミュレータでの検証試験の結果を図 2.5 に示す。シーケンスでは、今まで動いている油ポンプに加えて予備の油ポンプも起動するようになっているが、ここではそれに失敗、即ち予備の油ポンプの起動を失敗した場合を例として示している。

事象が進展し油圧が減少しつづけて、低低になると、ポンプトリップ、ブレーキ作動、主送風機トリップ、スロースクラム、ベーン全閉となる。図内の、B、Fは、操作の重要度分類を示している。

JOYCATでは、多数の警報の中で一連のシーケンスの中から先頭事象に関する警報を捨いだす事ができ、またどの操作に注目すべきかとのガイダンスを表示することができる。また動作すべき時に動作しなかったりまた逆に停止しなかった機器についても表示することができる。

図 2.6 は、上の例の場合の結果がCRTに表示されているものをプリンタにハードコピー出力したものを示しており、JOYCATの三つの機能に対応して表示されていることがわかる。

まず原因に最も近い警報として、図 2.5 にもあるように多数の警報が発生するなかで、そのうちファースト・ヒットである軸封油圧低の警報一つだけを表示する。

つぎに第一に対処すべき操作に係わる警報として、今回発生した警報を重要度分類して、操作上一番重要なものを捨いだして表示する。ここでは、軸封油圧低の警報がまず発生したのでその項目が表示される。その後少しの時間をおいて、油圧低低が発生してポンプなど多くの機器がトリップしたが、その場合はポンプ停止の方が油圧低低などより操作の重要度が高いので、ポンプトリップが表示される。

つぎのシーケンス異常というのは、図2.5の例では、油圧がおちて、シーケンス通りならば、予備の油ポンプが自動的に起動するはずなのが、そうならなかったという事でシーケンス異常ということになり、表示では予備機起動が失敗と表示される。

この三つの表示の内、上から2項目の第一に対処すべき操作に係わる警報とシーケンス異常に関しては、対応する異常時処置マニュアルがプリントアウトされる。

図2.5は、例として非常に簡単になっているが、実際には二次系の中でも他の部分へ波及があるし、スクラムに続いて他の系統でも多くの警報が発生する。

また、JOYCATでは電源喪失などの大きな異常についても、知識ベースが用意されている。それらの場合にも、多くの警報が発生し、もし次に別の要因でなんらかの異常が発生した場合にも、その警報だけ取り出して、運転員に注意を喚起する。

JOYCATの推論過程をCRT画面上に表示したものを、図2.7に示す。これによりシステム管理者がJOYCATの動作を確認することができる。

図の上の欄は発生した警報を示しており、下の欄は異常の進展した経路を示している。最初のものである、二次主ポンプ軸受油圧低低が二次主ポンプトリップの警報を発生するというを示している。これらの関係は先に述べた通りフレーム形式で各警報に対してその発生条件という形で知識ベースに入っていて対応している。このように発生原因とその結果といったものをイメージとして繋いでみたのが、図2.5のようなフロー図になる。これによりシステムが、どのような繋がりで推論したかが確認できる。

したがって、原因に最も近い警報を求めるために推論する場合は、成立しているルールを上流へ上流へと遡って行って、上流が無くなった時点での警報を原因に最も近い警報とする。また、シーケンス異常ではこの反対に、下流へ下流へと見て行って、当然下流が出ている筈の処理が無い場合にシーケンス異常とする。

2.3 JOYCATのまとめ

JOYCATを用いることで、運転員は多数の警報のなかから、もとの原因すなわち警報の起因事象を知る事ができ、誤判断を防ぐとともに、異常時処置マニュアルと呼ばれるガイダンスのドキュメントを得て、プラントの状況を再確認することにより、操作の信頼性の向上を図ることができる。このようなガイダンス図面は、光ディスク装置に入っていて、JOYCATからの信号で自動的にプリントされる。

図2.8に二次主ポンプトリップの時にJOYCATより得られる操作手順を示す。一重枠には監視する項目が示されており、二重枠の中には操作する項目が示されている。

現在は、『常陽』にある運転訓練シミュレータとJOYCATとを接続しての、検証試験を実施中で、昭和63年度はじめには、まだ狭い適用範囲ながらも実際の『常陽』に接続して、適用した場合の問題点などを具体的に捨い出すことを目標としている。当初は、二次主冷却系を対象と

して、約150のフレームすなわち150の警報に関して実機適用を行う予定である。また昭和65年度には、全ての警報をカバーした約640のフレームを実機『常陽』に適用するよう開発を進めている。

3. 『常陽』保守支援システム

『常陽』には、質の高い保守作業を実施することや、保守員が異常を発見したり、パトロールデータを得たときに、異常の箇所と原因を明確に捉えて的確にかつ能率的に保守作業ができることなどを目的とした、『常陽』保守支援システムMASCOTがある。このなかには、ベテラン保守担当者のノウハウもいれられており、新人の保守員でも同じように保守作業が完了できることを目指している。

3.1 MASCOTの概要

MASCOTは、表3.1に示すように、アラームが鳴ったり、トリップ停止をするなどのプラント機器の異常に出会ったとき、機器の補修、点検作業を実施する時、機器の予防保全活動を策定する時、被曝を伴う作業を実施管理する時、または仮想的なトラブルを想定して新人保守員に試させるなどの保守要員の教育訓練などの場面に使用されることを考えている。

MASCOTの概要を図3.1に示す。まず保守作業に必要な熟練技術者の持つプラント知識や豊富な経験を知識ベース化したり、設計データや今までの定期点検の履歴データもデータベース化して、エキスパートシステムとして必要な知識を蓄える。

そして、プラントにおいて圧力が高い、あるいは温度が高いなどといった異常ではないかと思われる兆候があった時に、まず保守員がチェックしてきたパトロールデータを入力して、MASCOTの推論機構に掛け、補足質問などに対応すると、結果として異常の原因や、対策としての応急処置や影響などや、作業条件などが示され、最適な保守を行うことができる。

MASCOTでの知識ベースは、2種類に大きく分けることができる。一つは保守担当者とKE（ナレッジエンジニア）が一緒になって作成する経験に基づくデータであり、もう一つは機器固有の物理的性質に関する知識などの設計者の知識を整理したものである。

MASCOTは、これらの知識ベースを用いた推論機構を用いて、保守作業に助言を与えるようにする。

MASCOTの機能構成を図3.2に示す。本システムは計算機として、大洗工学センターの汎用大型計算機を用い、ソフトウェアとして汎用エキスパートシステム構築支援ツールESHELLを用いている。図の左側が、知識の獲得を示していて、専門家のノウハウを知識エディタを使って知識ベースのなかに取り込み、右側のCRTで、MASCOTと対話し、知識ベースを用いた推論エンジンが働いて問題点の解決を図る。

知識ベースには事故診断規則、保守運転規則、物理法則、経験則、といったルールベースと、定検・保守履歴、機器情報といったデータベースがあり、ESHELLの知識エディタを用いてそれらを整備する。

MASCOTの利用者側からでは、保守担当者が、現場から定期的に得られる点検データをCRT

からそのまま入力することにより、異常の兆候を発見する機能や、異常データを入力した時に推論に必要なデータを人工知能が尋ねてくる、いわゆる会話型で推論を進めて、異常発生時の故障原因の推定を行い、影響・対処方法の提示を行う機能を持つ。また説明および補助機能として、人工知能から出された質問の内容の説明や、どのような理由で推論がなされたかなどを詳細に内容を表示したり、ナレッジエンジニア向けに、推論過程説明などを表示する機能や、最後に推論した結果のレポート類を出力する機能などを持つ。

3.2 MASCOTの動作例

MASCOTの対象となる系統として格納容器雰囲気調整系での例を図3.3に示す。本系統は、図内右側の『常陽』原子炉格納容器の中の、主に床下雰囲気冷却するのに用いている。格納容器の外にでているのが、フロン冷媒系統で、主な機器として格納容器の外には2台のフロン冷凍機が、また格納容器の中には再循環空調機がある。

本システムは会話型で、利用者は計算機とやりとりをしながら、最終的な結果を得る。

利用者は、図3.4に示すようなMASCOTの初期画面を用いて、系統が最初どのような状況にあるかを選択する。診断の対象となるのは、発生した警報がどのようなトリップか明らかになっている場合、トリップはしていないが異常な兆候が在る場合、および取り敢えず異常が認識されていない場合を想定していて、画面の1から8まではトリップ時、9は異常事象が発生しているのが分かっているがトリップは起こっていない時、Aは異常が在るかどうかも不明な時で、この中から事象を選択して診断が開始される。現在『常陽』では、このAの機能を毎週、週間点検で使用している。

本システムの推論の過程は、まず異常事象が存在すると、原因方向の事象の仮説を立ててその仮説について検証し、また次の原因方向に仮説を立てて検証をするといった具合に結論へと導いていく。

この時、計算機が推論を進めていく上で、オペレータと会話する時の画面の例を、以下の図に示す。ここでは、質問の補足としての質問内容や、質問理由と推論過程も同時に表示されて、会話をし易くしている。

図3.5では冷媒ポンプの吐出圧力を、図3.6では再循環ファンの電流を、また図3.7では冷媒ポンプの振動を質問している。

このように、ある異常事象に対応して次々に仮説を立てては検証していく作業を行っているが、これに先立ってパトロールデータをまず入力して、全体の様子を判断し、その中から異常箇所を見つけ、補足として質問をし、その原因を調べている。

MASCOTが到達した結論の表示画面の出力例を、図3.8に示す。

MASCOTは、パトロールデータの数値をチェックすることから、異常事象は再循環空調機冷媒入口圧力低である事はすぐ分かったのだが、それをスタート点として、故障や不具合の原因

を追求するかたちで推論を進めた結果、停止側再循環空調機入口電磁弁のシートリーク、冷媒ポンプ入口弁の開度不足、およびストレーナの目詰まりの三つが原因であると判断している。図の右端の数字は、確信度を示していて、故障の原因として可能性の高いものほど、またその原因の流れにある症状が多く検証されたものほど確信度は高くなり、大きな数字を表示する。

推論結果に付随した対策や影響に関するアドバイスが出力された場合の画面の例を、図 3.9 に示す。図の例では、弁のシートリークがあると、冷媒ポンプにキャビテーションを起こし、放置すると冷媒ポンプ破損の危険性があることを表示している。

3.3 MASCOTのまとめ

このようにMASCOTでは、確実に異常の原因と考えられるものを示すので、保守作業の質が向上するとともに、人事異動などで職員の交替があった時にも、前任者の持っていたノウハウが具体的な形で残され、新しい保守担当者でも装置の異常に対して適切な保守作業ができることが期待される。

現在『常陽』では、上記の例の格納容器内雰囲気調整系フロン冷媒系が、実際に使用されているが、今後は高速炉特有のシステムとして、ナトリウムの電磁ポンプなどのシステムに拡大することを目指している。また今後は、異常が起こる前に未然に防ぐ予防保全を主体にしていくことから、例えば定期検査期間中のプラントの安全確保や作業の効率化を目指した高速炉定検工程の策定支援システムの開発などといった、確実に予防保全活動をおこなう事にも人工知能技術を応用したいと考えている。そして今後の高速炉に、具体的な形で『常陽』の経験を反映していきたいと考えている。

4. 『常陽』燃料交換計画支援システム

『常陽』での燃料取扱設備の概要を図 4.1 に示す。図左上のトラックの絵の所から新燃料を受け入れ、燃料出し入れ機によって点線のように送られ炉容器のなかに送られる。炉容器の内部での集合体の移動は、燃料交換機を用いて行われる。『常陽』の炉容器での燃料交換は、小回転プラグと大回転プラグとの二重回転プラグ方式を採用している。また、炉内の使用済燃料は、細かい点線で示されるように、まず新燃料と逆の手順で、燃料交換機で炉内を移送し、燃料出し入れ機で炉容器の外に出し、トランスファーロータあるいは回転移送機で移動し、罐詰缶の中にいれて、使用済燃料貯蔵ラックにいれる。

このように燃料取扱作業は複雑な作業で、交換手順にはどの集合体要素を選ぶかなどの組合せが色々であり、かつ作業上の様々な制限条件もある。このため最適な交換計画を作成するには専門的知識、豊富な経験、場合に応じたプラントの状態などの把握などが必要となるため、燃料交換手順は熟練者が時間を掛けて作成している。

4.1 JOYREP の概要

『常陽』では、燃料交換基本計画などを入力することによって、複雑な燃料交換手順や交換に関する種々の条件を満足する最適な燃料取扱手順や作業手順を見つけ出し、取替計画や作業工程を提示することを目的としたエキスパートシステム『常陽』燃料交換計画作成システム

JOYREP がある。現在は、燃料取り換え計画作成システムおよび工程計画作成システムの二つのサブシステムを開発中である。

JOYREP の概略機能を図 4.2 に示す。図の左上が本システムへの入力で、どの使用済燃料を炉外に取り出して、そのかわりにどの新燃料を入れるかを入力する。ただし、照射用の特殊燃料集合体の入力に関しては、別の炉心管理計算コードを用いて照射リグの照射時間や燃焼度などを計算することにより決定している。また、知識データベースとしては炉心内などにおける燃料などの装荷方法などがある。

推論するのは、炉心および炉内の貯蔵ラックにおいてどの集合体をどの順序で取り替えるかという取替計画と、燃料交換に関する燃料交換機、燃料出し入れ機、回転プラグ、案内筒などの作業手順やそれらの時間を考慮した工程表を作成する工程計画とがある。

JOYREP は、取替計画および工程計画についてのドキュメントを作成し出力する。

JOYREP の構成を図 4.3 に示す。図上方に取替計画作成モジュール、下方に工程計画作成モジュールの二つのサブシステムがある。

取替計画作成モジュールの推論のながれとしては、まず炉内状況と基本計画と取替条件を入力する。このなかで、炉内燃料の有無などが示された炉内状況や基本計画、また取替条件の一般的なもの、既にシステムが持っているようにして、特にその時点で考慮すべき内容だけ

入力する。JOYREPでは、燃料交換作業の基本動作の洗い出し、取り扱いアドレスの決定、取り扱い順序の決定のように推論を進めていき、取替計画を定める。

4.2 JOYREPの動作例

JOYREPの動作例として、燃料取替計画作成システムに関して説明する。図4.4に示すように、燃料交換は通常三段階に分けて行われている。第一に冷却用のポットに装荷されている使用済燃料を移送ポットへ移す。第二に使用済燃料を炉外に送りだし、新燃料を炉内にいれる。第三に使用済燃料を炉心から冷却用ポットに移し、新燃料をポットから炉心にうつす。

JOYREPは、これらの作業に関しての様々な考慮すべき事項を人工知能の知識データベースとして持っている。そのなかには、炉心やポットのアドレスすなわち炉心の位置によって、また燃料とか反射体とかによって装荷できる炉心構成要素と装荷できない炉心構成要素がある事、構成要素の装荷角度に範囲がある事、炉心に三体以上空きがない事、炉内ポットには、制御棒用と冷却用と移送用の三種類の区別がある事、回転プラグの回転量が最小になるように考慮する必要がある事などがある。

JOYREPの操作は、CRT画面における会話型で進められる。図4.5は、CRT初期画面のハードコピーで、取替計画の時は1番、工程計画の時は2番を選択する。

取替計画作成で、データを入力するための画面を図4.6に示す。ここでは、どのアドレスの使用済の集合体要素を炉心から取り出して、どの新しい集合体要素を炉心に入れるかを指定する。実際の運用では、これらのアドレス、要素番号を全てキー入力するのではなく、基本計画にある標準パターンが自動的に表示され、それからの変更分のみをキー入力する。

JOYREPの計算結果は、CRT画面および日本語ラインプリンタ(NLP)に出力されるが、図4.7にJOYREPのNLP出力を示す。取替計画サブシステムは三つに分かれているが、印字もそれに添ってされている。図左側の炉内燃料取扱(1)では、14回の取り扱いの操作をする事になっていて、左から順番、取り扱い、要素番号、回転量の順にプリントされている。取り扱いにあるR-6とかR-9は、炉内の貯蔵ラックの位置・アドレス番号を示している。次の要素番号は、燃料などの集合体番号、回転量は回転プラグの回転角を示していて、小回転プラグ、大回転プラグに各々対応する。回転量は、小回転プラグと大回転プラグのうち大きい方の値を示している。

図中央が燃料移送で、12回の移送作業をする事を示している。これも同様に要素番号や、ラックとしてポットの位置や、回転角が示されている。

図右側が炉内燃料取扱(2)で、ここでは炉心内部の集合体も取り扱う。取扱という項目にある3B2、5B4、および2D1などは、炉心内部の集合体の位置すなわちアドレスを示す。その他の項目は、炉内燃料取扱(1)と同様の内容が示されている。

4.3 JOYREPのまとめ

現在は、この取替計画作成システムの実証をしており、また工程計画作成システムも本年度完成を目指して作業を行っている。

今後は、燃料の核特性や熱特性を考慮して、燃焼度および燃料や被覆管の温度などから、燃料装荷アドレスなどの燃料交換基本計画なども含んだ燃料の取替計画作成システムの開発など、運転管理や炉心管理全般にわたって、より高度な計画作成システムの開発を目標としている。

5. ま と め

『常陽』での人工知能技術を利用した三つのシステムの全体的な特徴としては、「実験炉である事から、適用が容易である。」という事がある。運転支援システムを例にすると、発電している原子炉に比べて、プラントとの結合が容易であり、また実機と全く同じ動きをする運転訓練シミュレータを用いて、検証試験を十分した後で実機適用ができるという利点がある。実際の原子炉では、どこでもほとんどトラブルは起きないので、このようなシステムを導入してもほとんど検証試験はできず、シミュレータでの検証がどうしても必要となる。

また動燃事業団が研究開発機関であることから、「このような開発が他の研究開発項目と協調して行うことができる。」という事がある。例えば保守支援システムは、元々故障統計から、故障のパターンなどを蓄積していて、それらを有効利用するのに、新たに人工知能技術と組み合わせ開発したものである。その他にも、アメリカとPRAのためのデータベースを共同で蓄積作業をしていたり、故障統計などとの関連で、定期保守計画作成や、定期点検工程作成などの予防保全を目指した研究開発を行っていて、それらのデータベースを、保守支援システムの知識ベースの一部として利用するなどの事を行っている。

今後の人工知能システムの開発の方向性や課題は、1. 事実データの入手、2. 推論機構の高度化・改良、3. 知識データベースの拡大・整備、といった三つの大きな要素があると考えられる。

事実データの入手については、特に運転支援システムでのプラント信号の入力の問題がある。今後の人工知能システムは、運転員の考えている事と同じ事を推論することを目指すことから、運転員と同じプラント情報を得る必要がある。このため計算機は、非常に多くのプロセス入力装置を必要とするが、これはかなり大変な作業なので、合理化のための開発も必要になると思われる。

推論機構は、より高度な判断をより高速に行う必要があり、子力の分野のみならず各方面で研究がなされている。また、知識を蓄積する知識ベースの構造も、例えば深い知識と言ったようなものを取り入れていき、推論機構の改良に伴って、知識自体の構造の整理や、より深い知識を得るなどの作業が必要になると思われる。

知識データベースは、今後プラント全般にわたっての設計データや機器設備の特性データの他、経験データ、機器履歴データなどを蓄積する必要がある。原子力の分野特有の事項が多いことから、エキスパートとしての運転員や保守担当者の持っているノウハウを知って経験データを得る作業を今後も一層進めていく必要がある。この作業を進めるためには、推論機構などのいわゆる汎用人工知能エキスパートシステム構築ツールすなわち人工知能のプログラムを理解するとともに、対象プラントシステムを理解し設計データなども、知識データベース化できる能力を有したナレッジエンジニア(KE)を必要とする。そのため人工知能の実用化にはナレッジエンジニアの育成が必要とされるなど、設計・経験の両方の知識ベースの一層の整備が重要である。

今後、人工知能システムを開発していく上で必要な項目としては、上記のような三つの部分があ

げられるが、これらをバランスよく整備をしていく事が重要であるといえる。

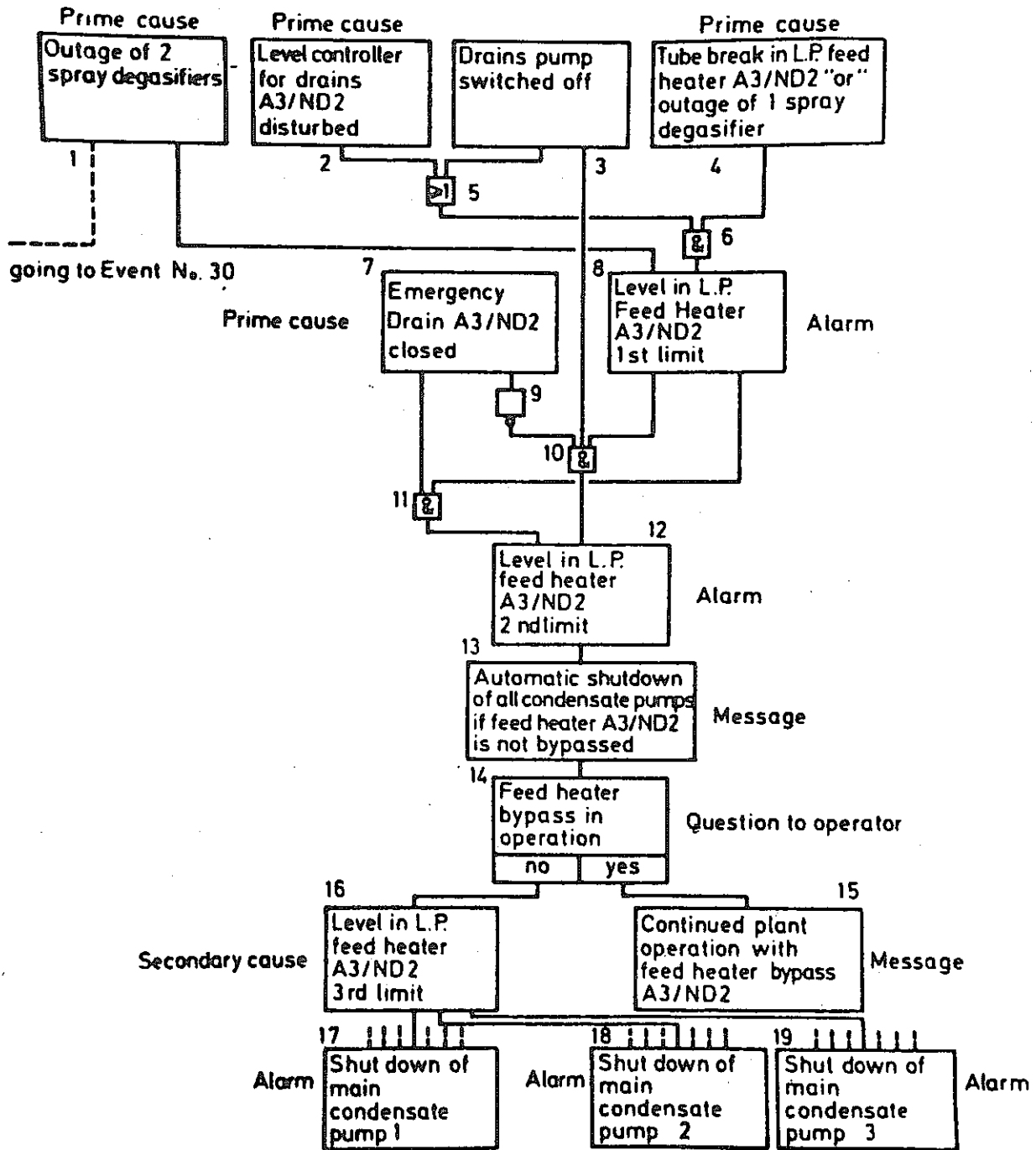
6. 質 疑 応 答

- (Q) 実際に『常陽』動いている機能はどの部分か。
- (A) 保守支援システムでは、毎週の定例パトロールのデータを、実際に入れて使っている。燃料交換計画支援システムでは、取替計画作成モジュールを実際に使った。運転支援システムでは、運転訓練シミュレータにて実証試験中である。
- (Q) 推論するのに、計算時間はどの位か。
- (A) 保守支援システム、燃料交換計画支援システムでは、共に1分以内である。運転支援システムでは、6秒毎に推論を繰り返している。
- (Q) 計算機を、どんどん買い換えていかねばならないのか。
- (A) 人工知能は、原理的に大きなデータベースを高速で探すようなものであり、ある程度性能の良い計算機が必要となるのはやむをえない。
- (Q) ナレッジエンジニアとはなにか。
- (A) 計算機の専門家とプラントの専門家との間の橋渡しをするようなエンジニアで、プラントの専門家のノウハウを、計算機に取り込めるような形に整える仕事を行う。
- (Q) このようなシステムは、かえって危険を増すことはないか。
- (A) 運転支援システムの場合は、まず運転員の支援を行い、次に運転員とAIシステムの両方でプラントの監視・判断を行う、いわゆる人とAIシステムの二重化システムとし、遠い先であるが、最後は自動化システムとなる。このように段階的に行うので問題はない。
- (Q) JOYREPで、熟練者がAIより良い計画を作るのはどういう場合か。
- (A) 燃料交換期間が何回かに分かれている場合には、それに対応したノウハウが入れてなかったのが熟練者の方が良い工程を作成した。

7. 参 考 文 献

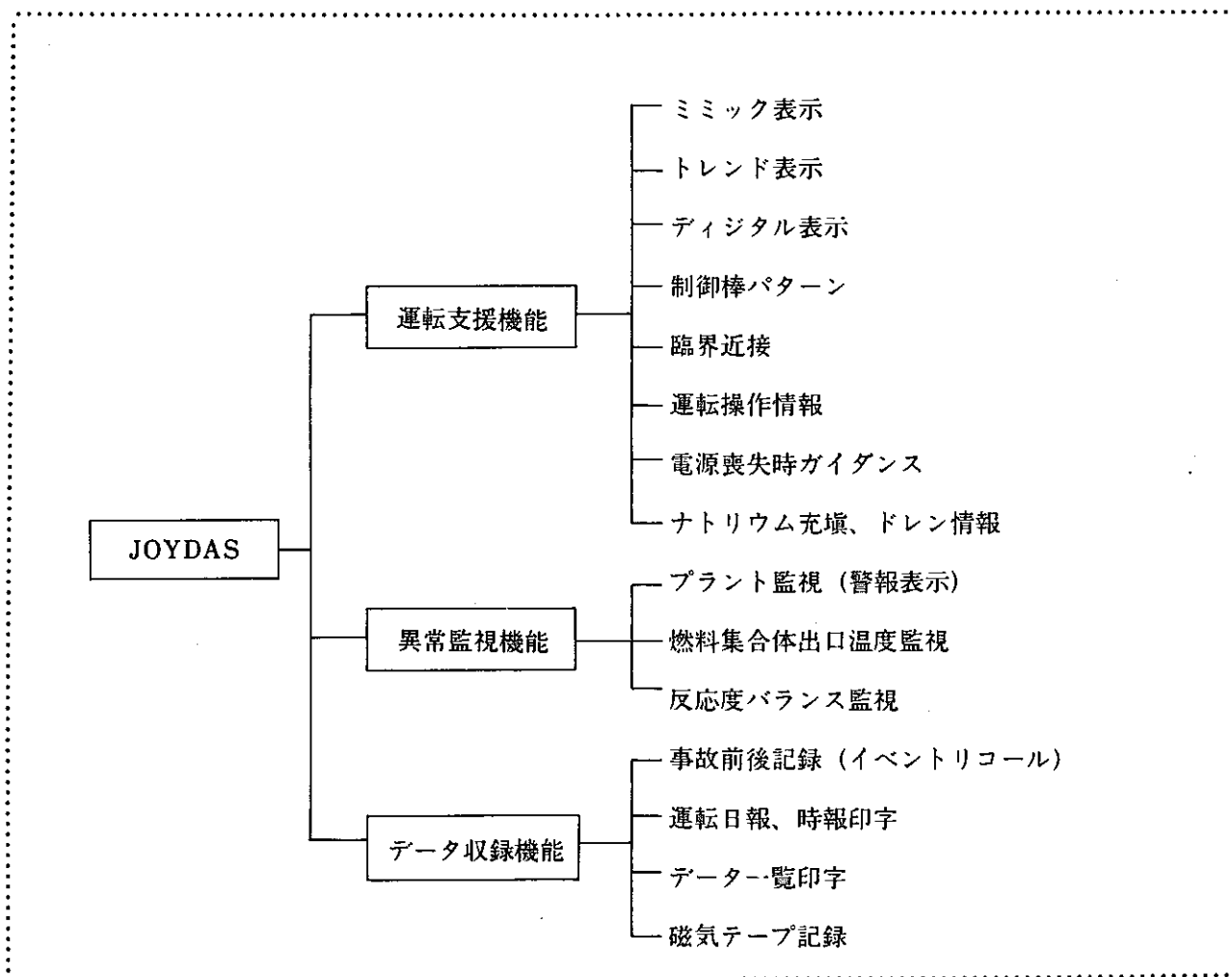
- 原子力工業 1987年(33巻4号)「動燃におけるエキスパートシステム開発の現状—核燃料サイクルの高度化に向けて—」 石堂, 茂田, 浅野, 佐藤, 青木裕, 瀬戸口啓一, 岡田
- 動燃と人工知能(AI), 核燃料サイクルの高度化に向けて 1986年7月AI展パンフレット
- 動燃と人工知能(AI), 原子力プラントのAI化をめざして 1987年7月AI展パンフレット
- PNC SJ901 85-08「シミュレータ利用による運転ガイドシステムの設計—『常陽』運転ガイドシステムの予備設計—」成果報告書 1985年2月 東芝
- 『常陽』運転支援システム試験成績表 1987年3月 東芝
- 『常陽』運転支援システム 2次冷却系知識データベース 昭和62年3月 東芝
- 『常陽』運転支援システム 2次冷却系知識データベース 取扱説明書 昭和62年3月 東芝
- 東芝レビュー 昭和62年(42巻5号)「高速炉プラント運転支援システム」 佐藤, 府川, 玉置, 青木裕
- 原子力学会 61年会 E1『常陽』運転ガイダンスシステム—システム概要—
- 原子力学会 61年会 E2『常陽』運転ガイダンスシステム—知識工学手法による警報処理診断—
- 原子力学会 62年会 D54『常陽』運転支援システムの開発—フェイズ2—
- 原子力学会 62年秋の大会 G25『常陽』運転支援システムの開発 その1 現状と今後の開発
- 原子力学会 62年秋の大会 G26『常陽』運転支援システムの開発 その2 知識ベースの管理
- 原子力学会 62年秋の大会 G27『常陽』運転支援システムの開発 その3 知識ベースの構築
- 原子力学会 62年秋の大会 G28『常陽』運転支援システムの開発 その4 警報処理手法の改良
- 『常陽』燃料交換工程計画システム概念設計書 昭和61年3月 富士通
- 『常陽』燃料交換システム取替計画作成システム 詳細設計書 昭和62年3月 富士通
- 一課メモ(62)-5006「JOYREPの概要」 昭和62年4月8日 清水克彦, 河井雅史
- 一課メモ(62)-5018「JOYREP AI展Q&A集」 昭和62年7月16日 清水克彦, 河井雅史

- LA (ラボラトリ・オートメーション)シンポジウム 昭和61年2月
- 日本能率協会 人工知能スクール(アドバンスト・コース)資料 昭和61年11月
- 原子力工業 1986年(32巻2号) 「高速実験炉『常陽』におけるFBR技術開発—その成果と今後の展望—」奈良他

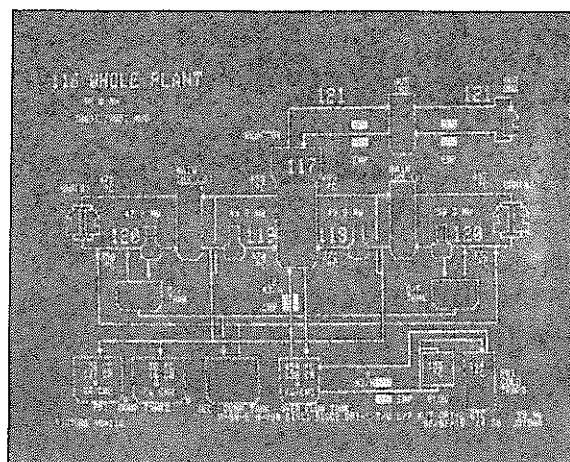


Cause-Consequence diagram for a disturbance in the low-pressure feed heater.

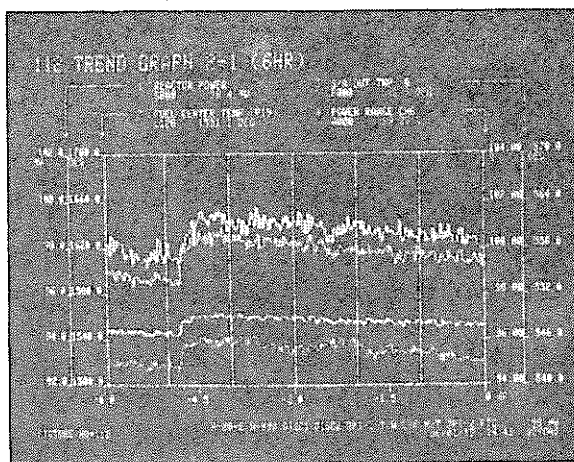
図 1.1 ディスタージョンスアナリシスシステム



JOYDASの機能概要図



ミミック表示



トレンド表示

図 1.2 『常陽』データ処理システム

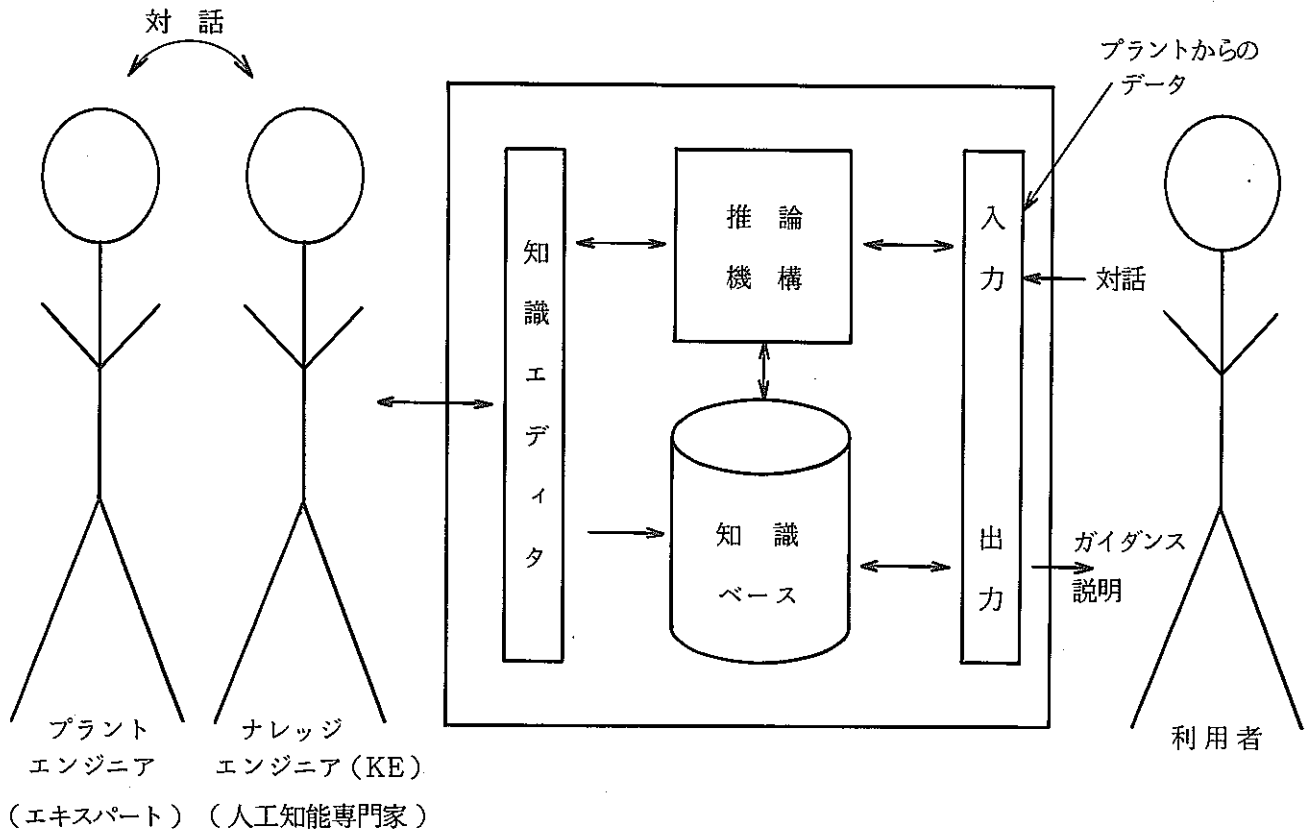


図 1.3 エキスパートシステムの基本構成

表 2.1 『常陽』運転支援システムの機能

	機 能	内 容	備 考
1	異常時対処法表示	光ディスクに貯えられた異常時処置ブロック図や操作要領をCRT（ハードコピー）に表示する。	初期操作に最も必要な処置ブロック図を表示する。 図は既に約500枚を用意している。
2	異常状況の集約表示	異常時における炉心およびプラント各部の状態をCRTまたはプリンタに集約表示する。	機器の系統毎の状況を示す系統別表示と異常時の事象毎に状況を示す事象別表示を実施する。
3	シーケンスモニタ	インターロックや自動起動が正常に作動しているかどうかを監視する。	例えば電源喪失時やポンプトリップ時などの核機器の動作を監視する。
4	プラント早期異常検知	プラント変数が予め定められた値から、または変数相互間の関係が規範モデルからずれた場合に異常を早期に検出する。	異常判定の規範は、テーブルに貯えるか、代数的なモデルによる。
5	警報の第一原因表示	一度に多くの警報が発せられた時、第一原因の異常警報を識別し表示する。	トリップシーケンスと第一原因同定を含む。
6	プラント状態予測	簡単な動的モデルに基づいて、トリップ等の発生の一時間後におけるプラントの状態を予測する。	例えばスクラム後の炉容器レベルの推移や、オーバーフロー系の温度推移などを予測する。
7	診断機能の高度化	上記1～6に加え、より高度な異常診断機能を追加する。	例えば、外乱解析手法（DAS）やより精密で広範囲な動特性モデルに基づく異常診断法を開発し運転支援システムに組み込む。

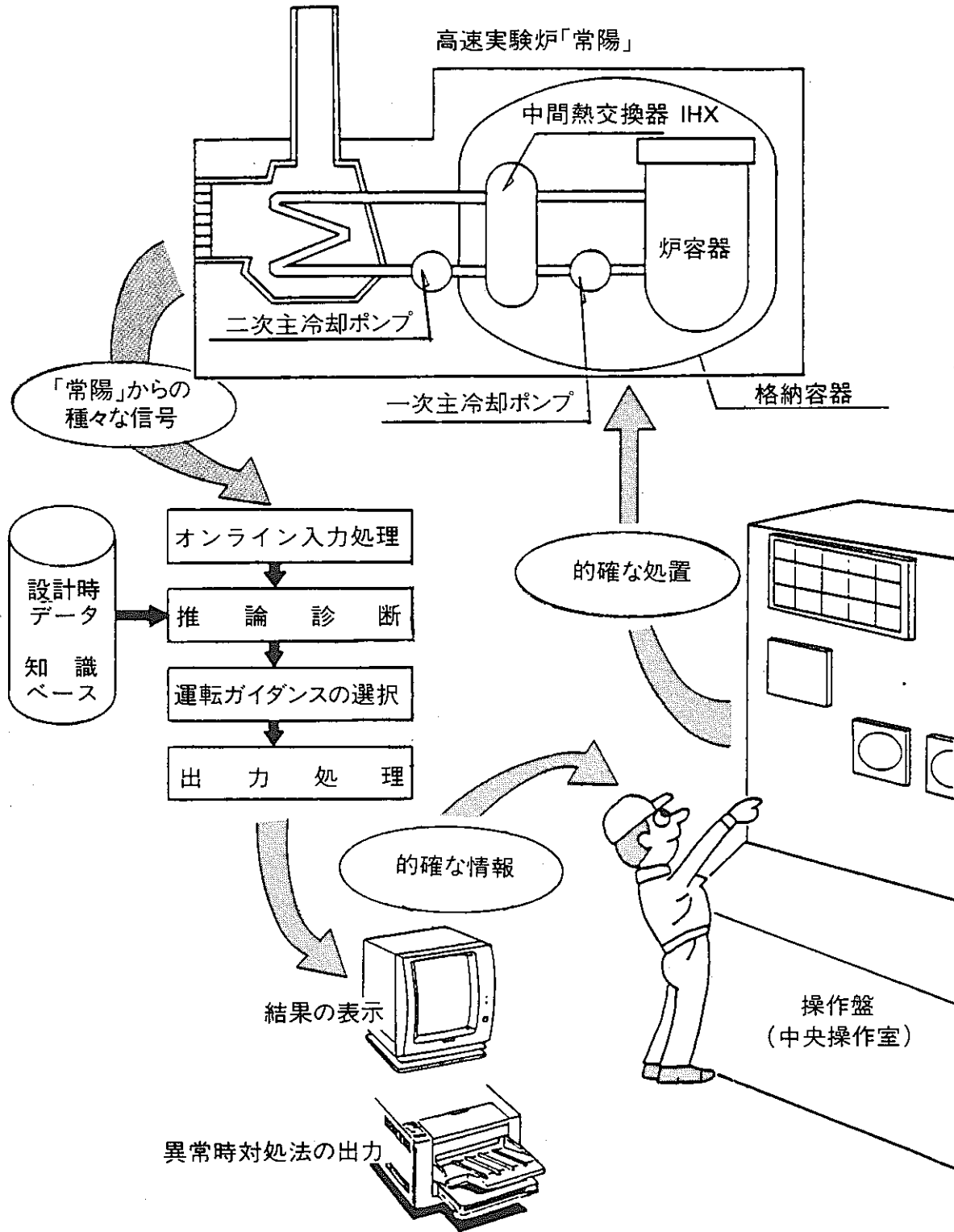


図 2.1 『常陽』運転支援システムの概要

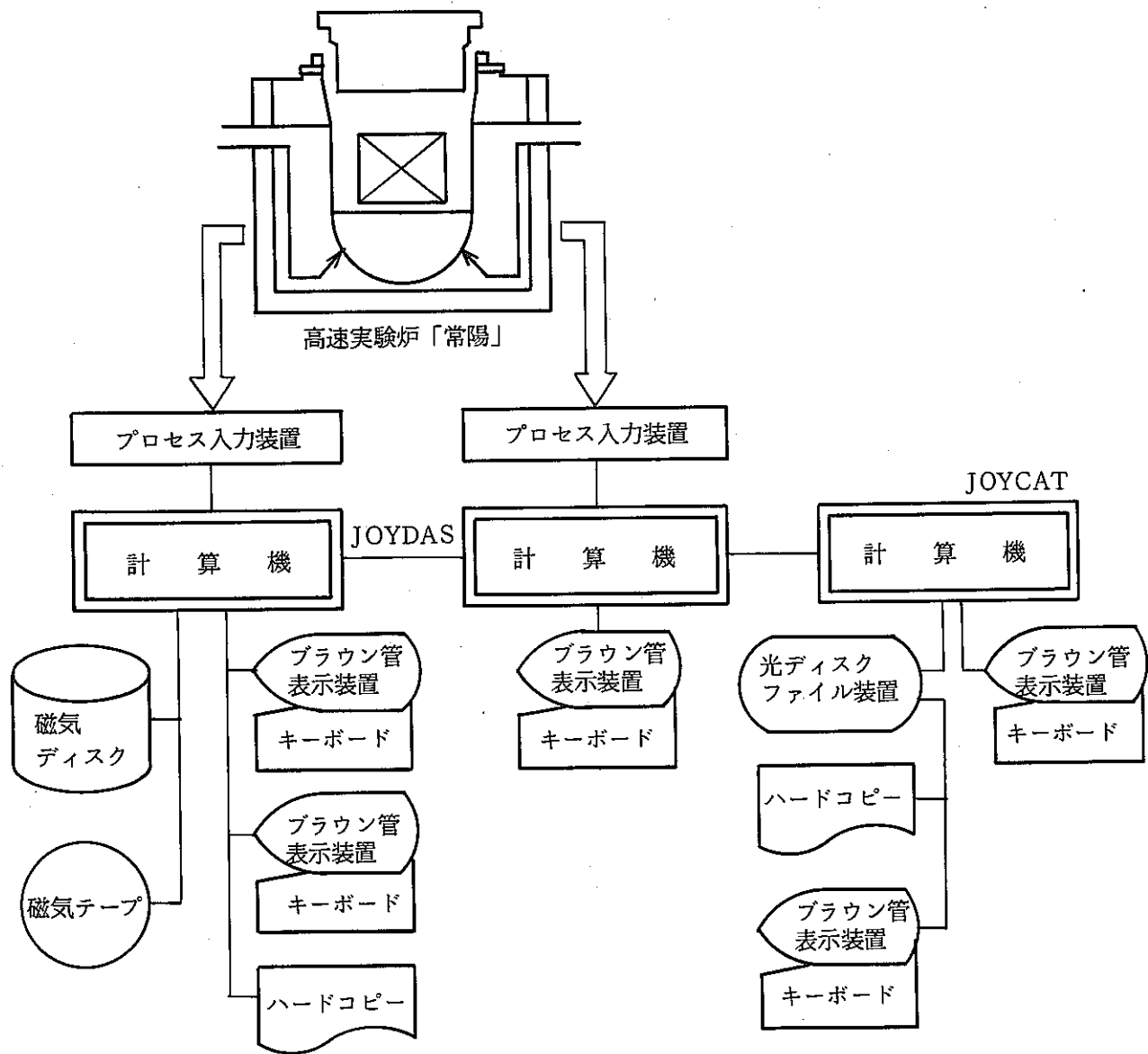


図 2.2 『常陽』運転支援システム全体構成図

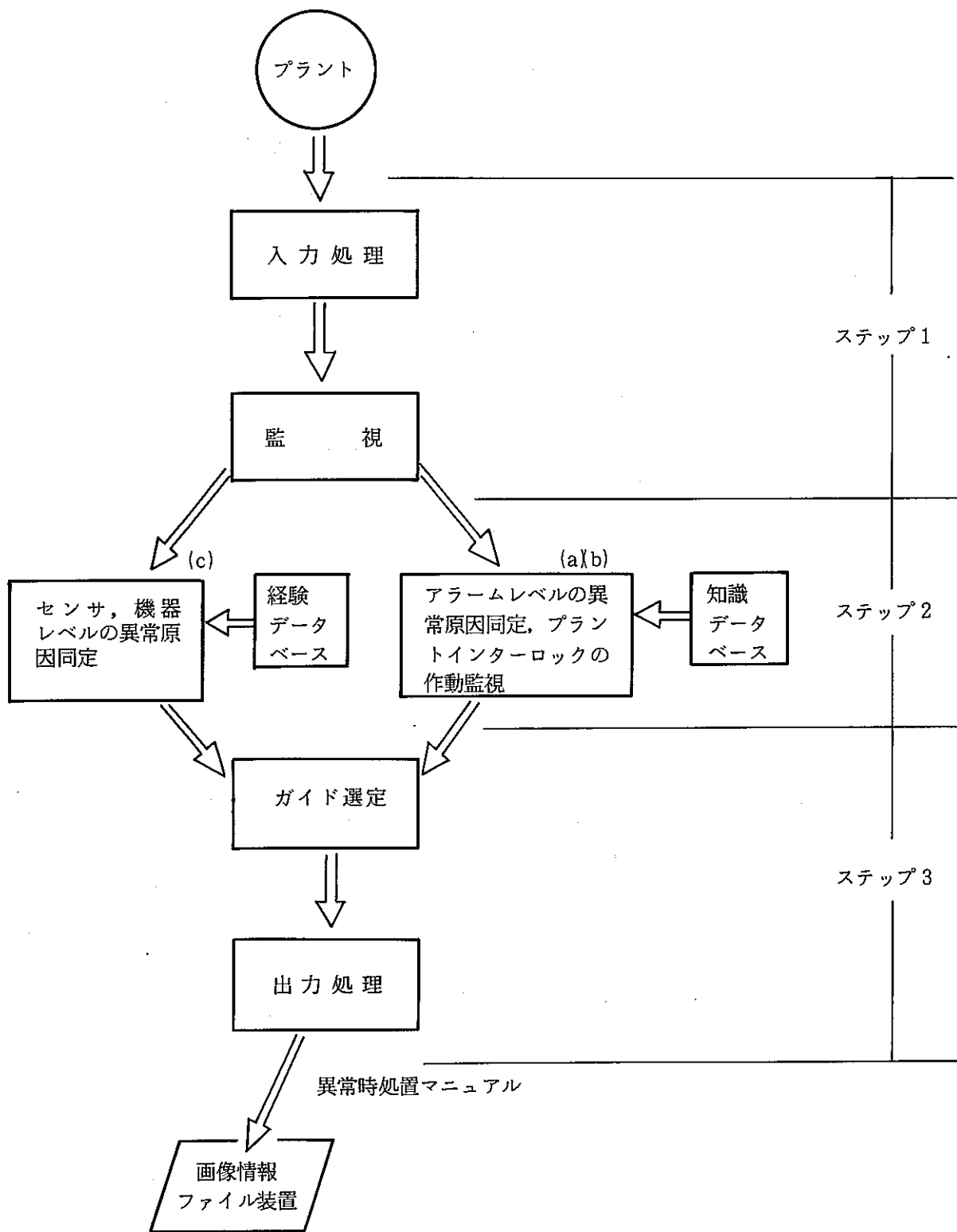


図 2.3 JOYCATシステムの機能構成

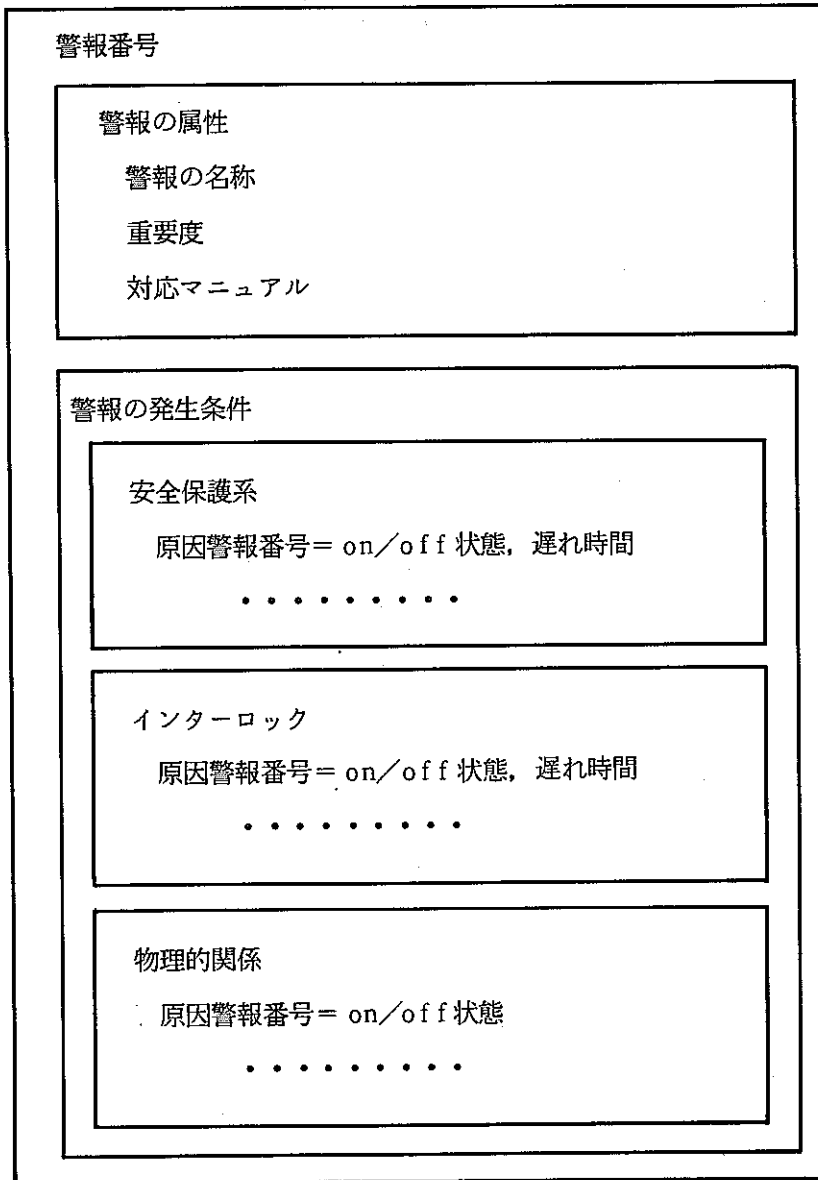


図 2.4 JOYCATの知識ベース

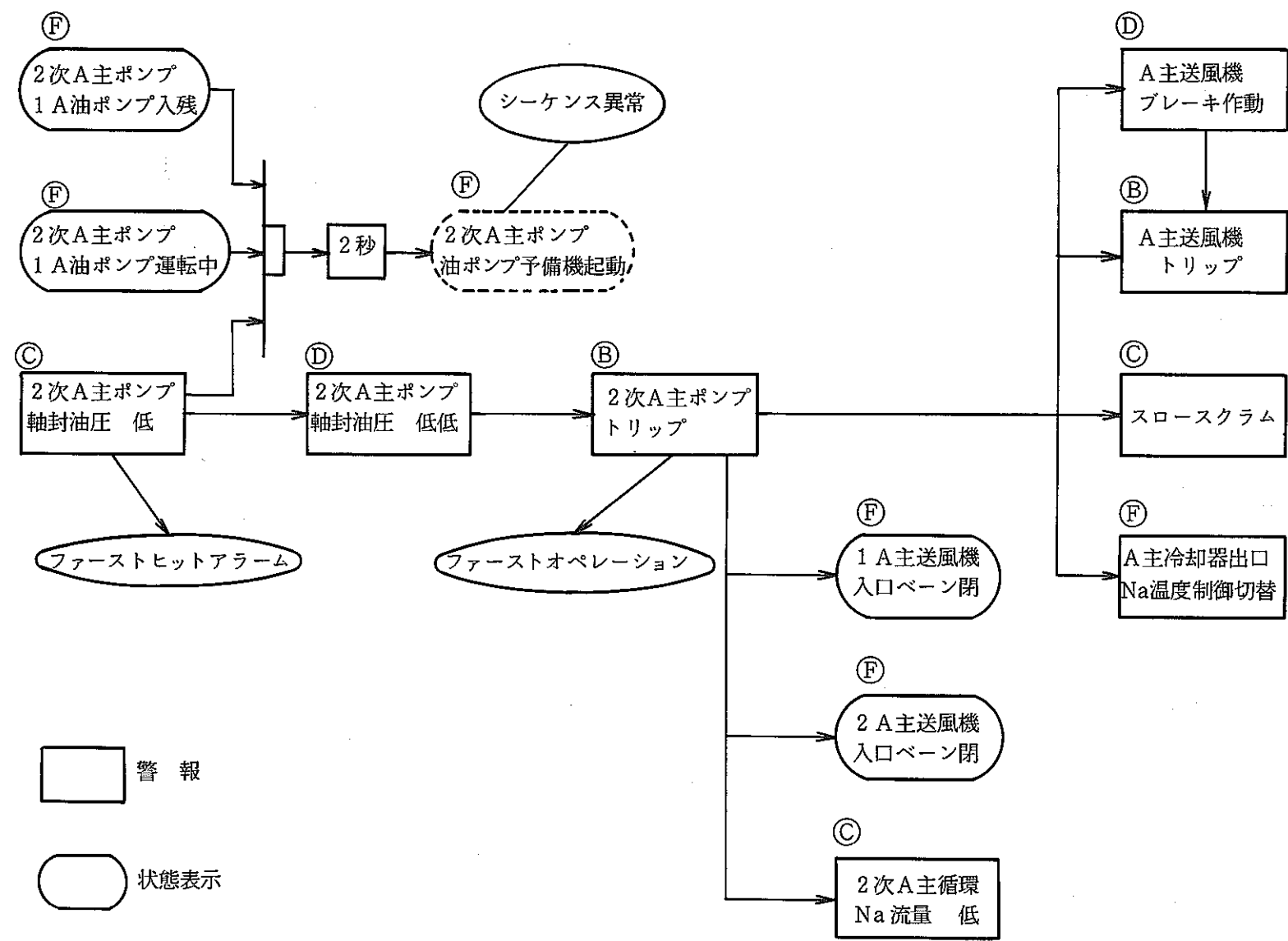


図 2.5 JOYCATの動作例 — 異常同定経路 (2次主ポンプトリップ)

A 1 メイン画面

自動

原因に最も近い警報

1 4 2 5 - 9 B 2次A主ポンプ軸封油圧低 13:19:55

2

3

4

5

第一に対処すべき操作に係わる警報

1 4 2 5 9 B 2次A主ポンプ軸封油圧低 ** 13:20:02

2 4 2 5 8 A 2次A主ポンプトリップ *** 13:21:34

3

4

5

シーケンス異常

2次主ポンプA油ポンプ予備機起動 失敗 13:20:10

P F 6 自動/待機

87-09-08 13:23
常陽運転支援システム

図 2.6 JOYCATのCRT出力結果(1)

* 新たに発生した警報

- 2次A主ポンプトリップ
- Aループ主送風機トリップ
- A主冷却器出口Na温度制御切替
- A主送風機ブレーキ作動
- 2次A主ポンプ軸受油圧低低

* 異常進展経路

- ON : 2次A主ポンプ軸受油圧低低
-- (0秒) --> ON : 2次A主ポンプトリップ

 - ON : A主送風機ブレーキ作動
-- (0秒) --> ON : Aループ主送風機トリップ

 - ON : 2次A主ポンプトリップ
-- (0秒) --> ON : Aループ主送風機トリップ

 - ON : 2次A主ポンプトリップ
-- (0秒) --> ON : A主冷却器出口Na温度制御切替

 - ON : 2次A主ポンプトリップ
.....> ON : A主送風機ブレーキ作動

 - ON : 2次A主ポンプ軸封油圧低
.....> ON : 2次A主ポンプ軸受油圧低低
-

図2.7 JOYCATのCRT出力結果(2)

2次主ポンプ
トリップ時の処置

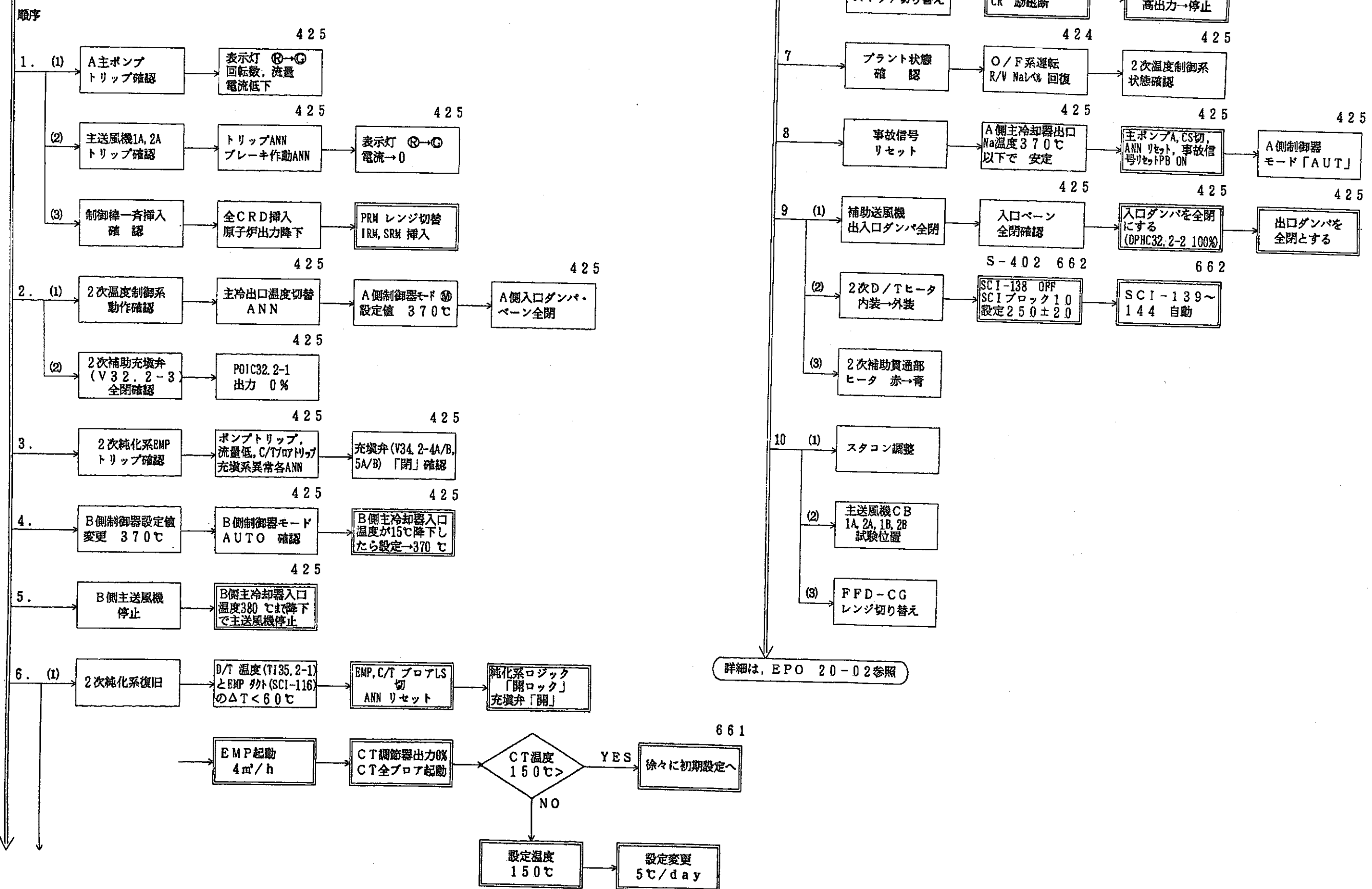


図2.8 JOYCATの操作ガイダンスの出力

表3.1 MASCOTの有効な場合

	項 目
1	機器の異常に出会ったとき
2	機器の補修，点検作業を実施するとき
3	機器の予防保全活動を実施，策定するとき
4	被曝を伴う作業を実施，管理するとき
5	保守要員の教育訓練

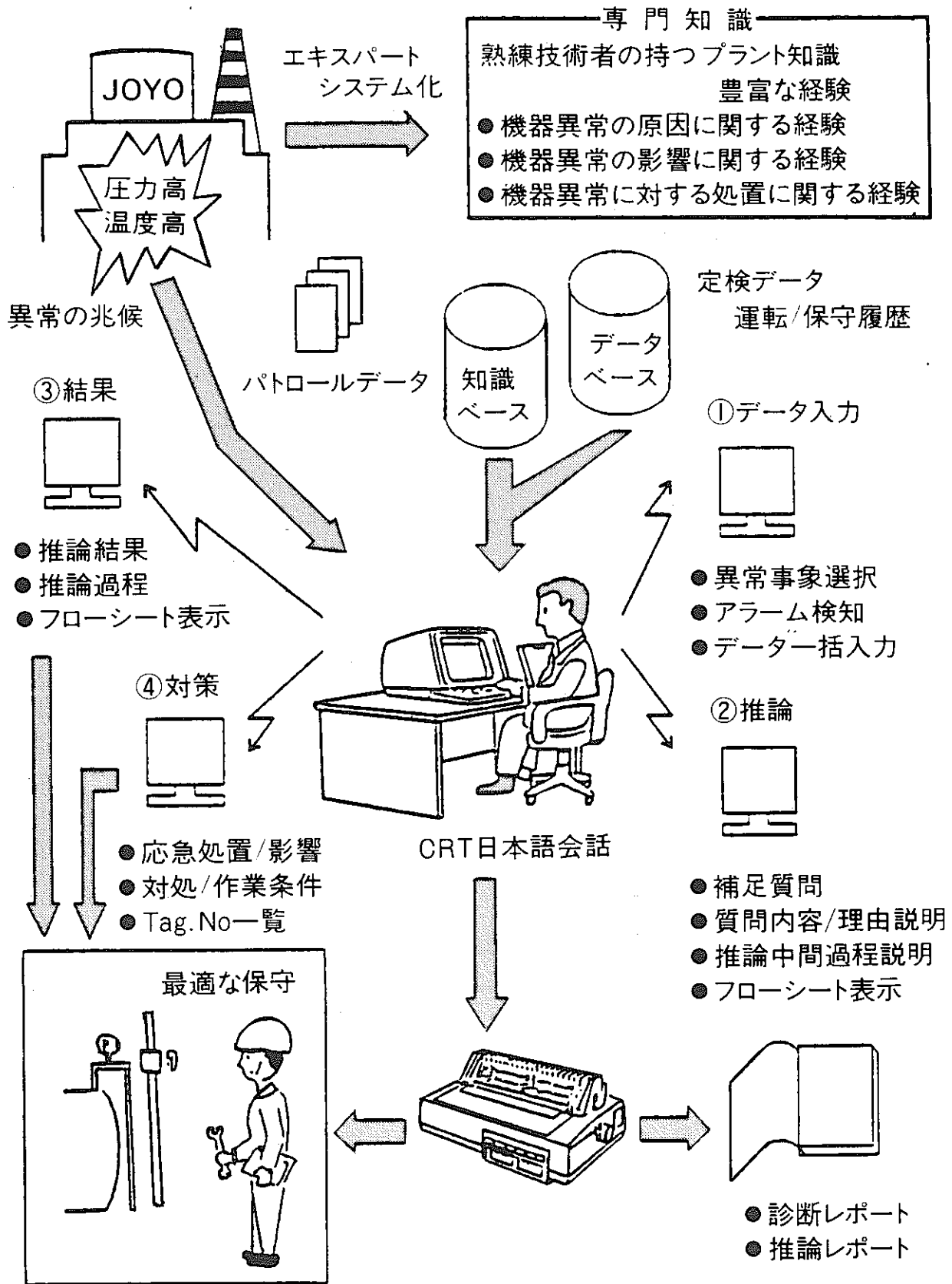


図 3.1 MASCOTの概要

システムイメージ

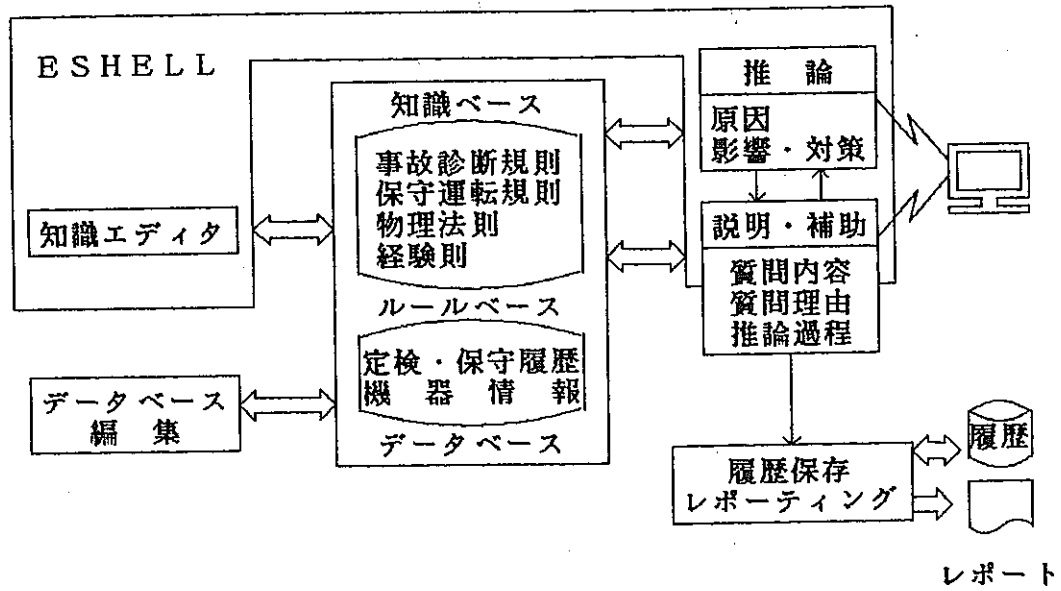


図3.2 MASOCOTの機能構成

格納容器雰囲気調整系フロン冷媒系

原子炉格納容器

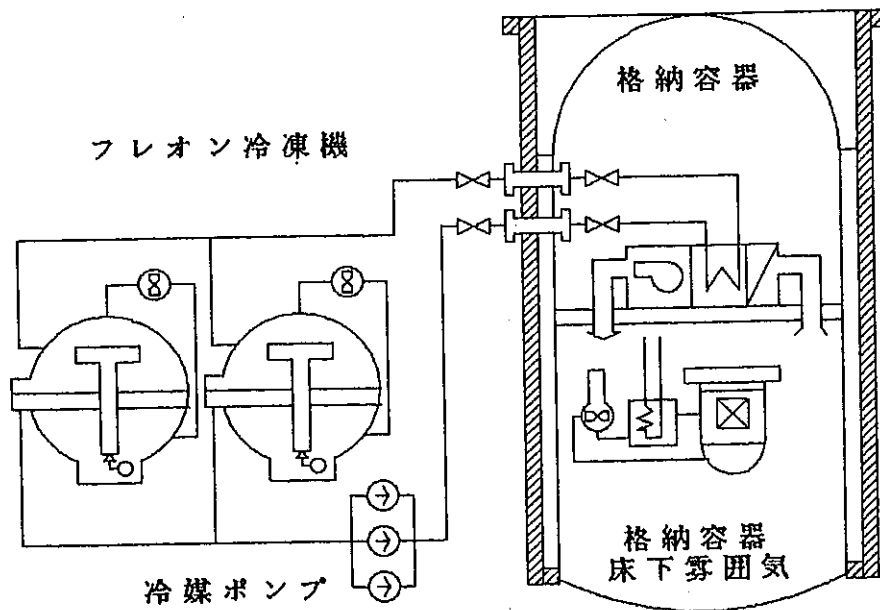


図3.3 MASOCOTの対象例

-----< F R E O N 異常診断 >-----

* 診断を行なう異常事象を選択して下さい。
 選択番号 ==> A

- | | |
|-------------|----------------------|
| 1. 高圧トリップ | 6. 過負荷トリップ (主電動機過電流) |
| 2. 過冷却トリップ | 7. 過負荷トリップ (油ポンプ過電流) |
| 3. 油異常トリップ | 8. トリップ種別不明 |
| 4. 水量減トリップ | 9. トリップ外異常 (異常事象選択) |
| 5. 液面上昇トリップ | A. トリップ外異常 (異常事象検知) |

* 運転履歴では現在運転中の機器は以下の通りです。確認して下さい。

ターボ冷凍機 ==> A (A,B)
 冷媒ポンプ ==> A (A,B,C)

<ENTER> 入力データのチェック <PF3> 終了

図3.4 MASCOTの初期画面

-----< 質問・説明画面 >-----

[質問] 冷媒ポンプ吐出圧力は? (単位: kg/cm²)

測定値 ==> 5

[質問内容] 通常運転値: 7.0 ~ 10.0 kg/cm², 測定場所: 冷媒ポンプ出口配管
 測定範囲: -760 mmHg ~ 15 kg/cm²
 Tag-NO: P184-405, 401, 403

[質問理由] 冷媒ポンプ異常の原因として、シャフトリープ、ベアリングの焼付き、インペラ内の異物混入を検証する。

[推論過程] 再循環空調機に異常が考えられ、冷媒入口圧力 (P1) が低い (1.0 kg/cm²未滿) ので、冷媒ポンプ異常、冷媒ストレーナの目詰り、または冷媒入口弁の調整不良と判断した。

<ENTER> 入力データのチェック, 推論続行
 <PF4> 推論過程説明 (利用者向け)
 <PF5> 推論過程説明 (システム管理者向け)
 <PF6> フローシート出力 <PF9> 入力データの修正 <PF12> 初期画面

図3.5 MASCOTの質問・説明画面(1)

-----< 質問・説明画面 >-----

[質問] 再循環ファン電流 (B 8 4 - 5 A , 5 C) は ? (単位 : A)

測定値 ==>

[質問内容] 通常運転値 : 5 0 ~ 5 8 A
 測定場所 : 2 C - C / C 盤 , 2 D - C / C 盤
 測定範囲 : 0 ~ 1 0 0 A

[質問理由] 再循環空調機異常の原因として, 再循環ファンの容量低下を検証する.

[推論過程]

<ENTER> 入力データのチェック, 推論続行
 <PF4> 推論過程説明 (利用者向け)
 <PF5> 推論過程説明 (システム管理者向け)
 <PF6> フローシート出力 <PF9> 入力データの修正 <PF12> 初期画面

図3.6 MASCOTの質問・説明画面(2)

-----< 質問・説明画面 >-----

[質問] 冷媒ポンプの振動は ? (単位 : μ m P - P)

測定値 ==> 35

[質問内容] 通常運転値 : 3 0 μ m P - P 以下
 測定場所 : 冷媒ポンプ軸受部

[質問理由] 冷媒ポンプ異常の原因として, 蒸発器液面低下によるガスの混入を検証する.

[推論過程] 再循環空調機に異常が考えられ, 冷媒入口圧力 (P 1) が低い (1. 0 kg / cm^2 未満) ので, 冷媒ポンプ異常, 冷媒ストレナーの目詰り, または冷媒入口弁の調整不良と判断した.

<ENTER> 入力データのチェック, 推論続行
 <PF4> 推論過程説明 (利用者向け)
 <PF5> 推論過程説明 (システム管理者向け)
 <PF6> フローシート出力 <PF9> 入力データの修正 <PF12> 初期画面

図3.7 MASCOTの質問・説明(3)

```

-----< 結論表示画面 >-----
* 異常事象 *
  再循環空調機冷媒入口圧力 (P1) <低>
* 推論結果 *
  1. 停止側再循環空調機入口電磁弁 (V84-71) のシートリーク <0.81>
  2. 冷媒ポンプ入口弁 (V84-168) の開度不足 <0.72>
  3. 再循環空調機ストレーナ (ST84-07) 目詰り, または <0.70>
     再循環空調機冷媒入口弁 (V84-70) 調整不良
* 対策・影響, 推論過程を表示する推論結果の番号,
  または 'G'/'U'/'T'/'X' を入力して下さい。
('G':フローシート出力,      'U':入力データ修正 (再推論),
 'T':初期画面,              'X':終了)
==>
  
```

図3.8 MASCOTの結論表示画面

```

-----< 対策・影響表示画面 >-----
* 異常事象 *
  再循環空調機冷媒入口圧力 (P1) <低>
* 推論結果 *
  停止側再循環空調機入口電磁弁 (V84-71) のシートリーク
* 応急処置 *
  再循環空調機を切り換えて, 電磁弁を開閉させる。開・閉しても
  直らない場合は, シートリークしている側の再循環空調機を運転
  する。
* 影  響 *
  冷媒ポンプがキャビテーションを起こし, ポンプのインペラ等が
  損傷する可能性がある。また, 「過冷却」(蒸発冷媒圧力低;
  LPS-1: -520 mmHg) でトリップに至る可能性がある。
* <ENTER>キーを押下して下さい。対処・作業条件が表示されます。
  
```

図3.9 MASCOT対策・影響表示画面

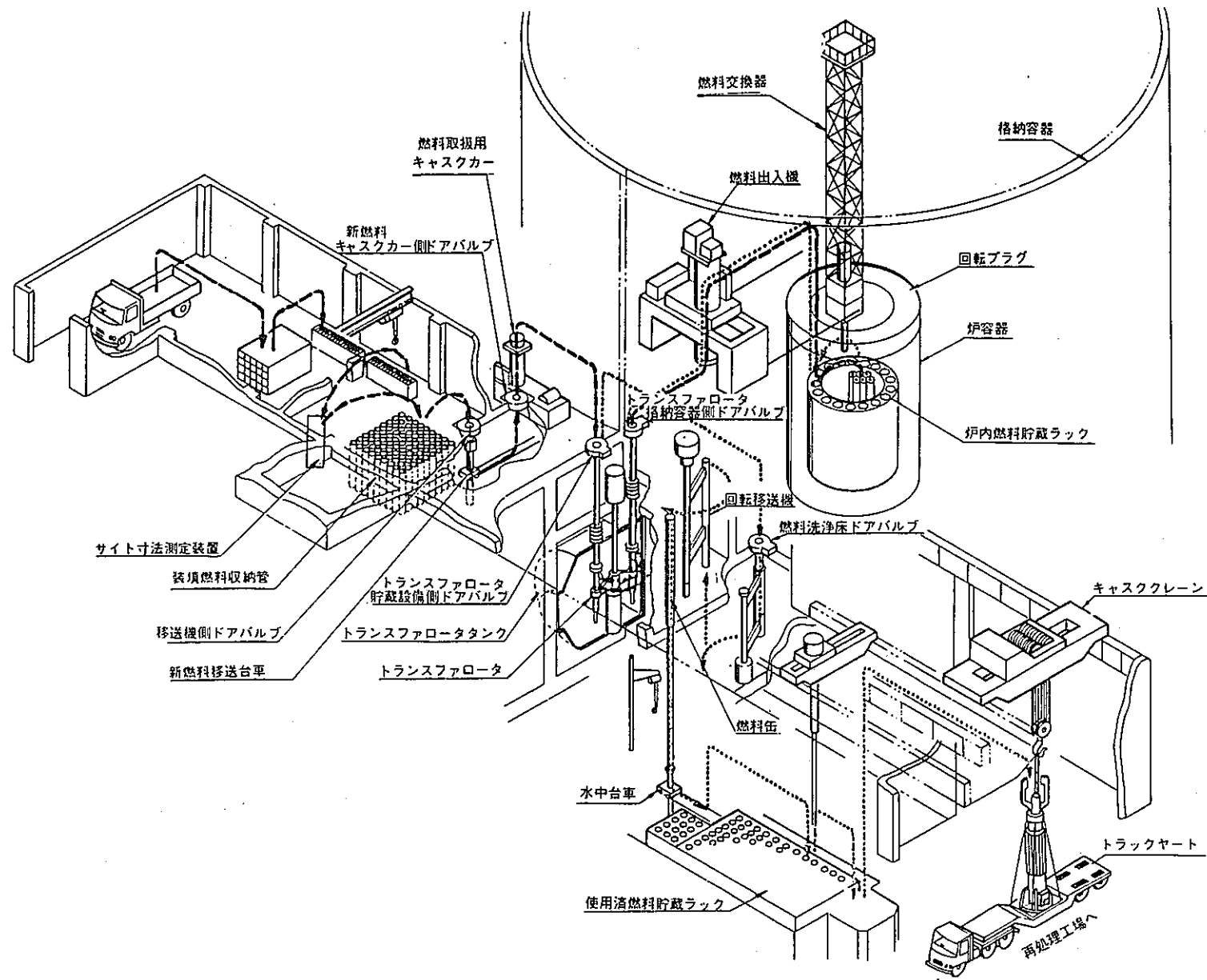


図 4.1 『常陽』燃料取扱設備の概要

高速実験炉『常陽』燃料交換計画作成システム

燃料交換計画作成システムは、原子炉の運転を続けるための燃料取替計画・工程計画の作成を支援するシステムです。

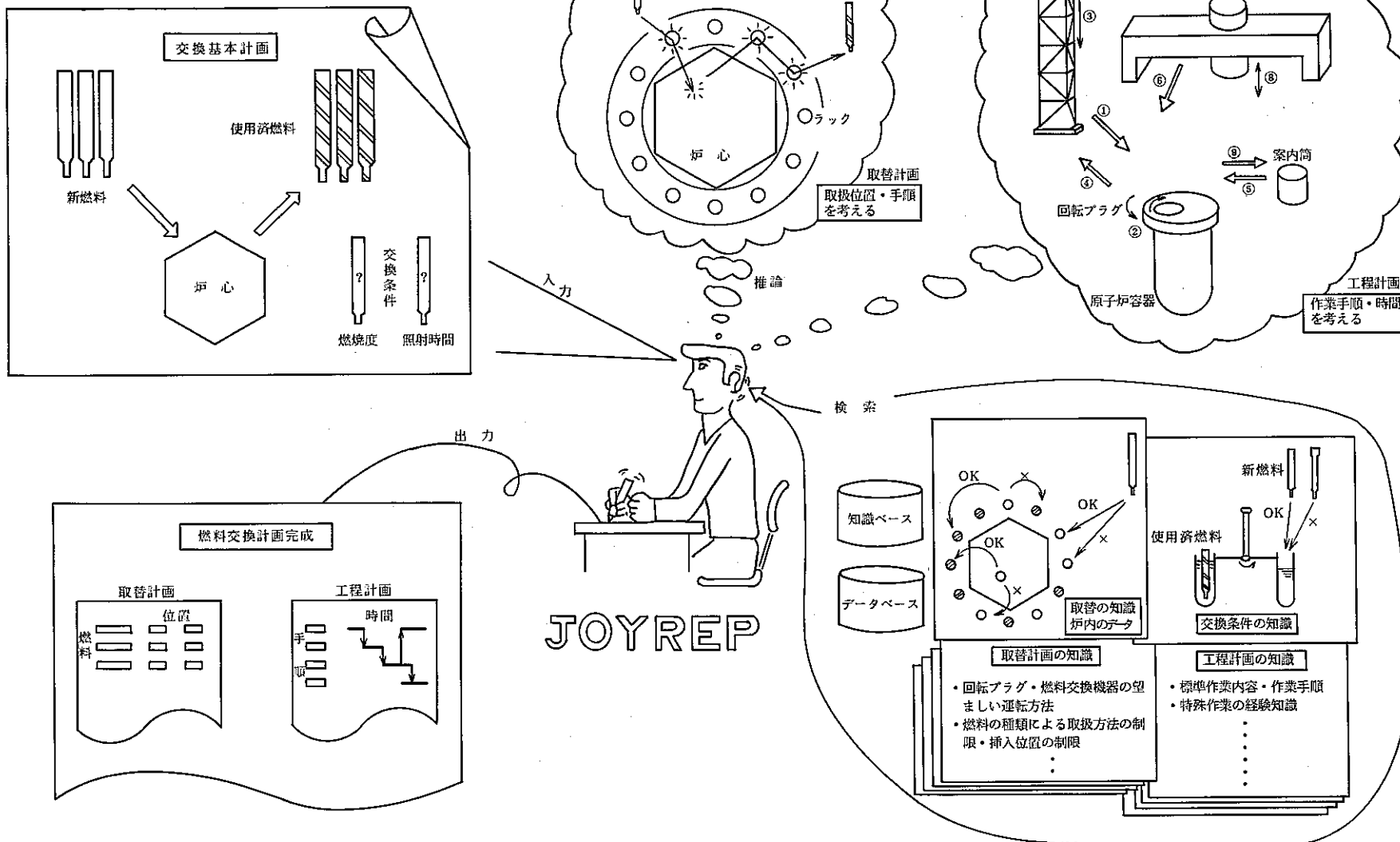


図 4.2 JOYREP の概略機能

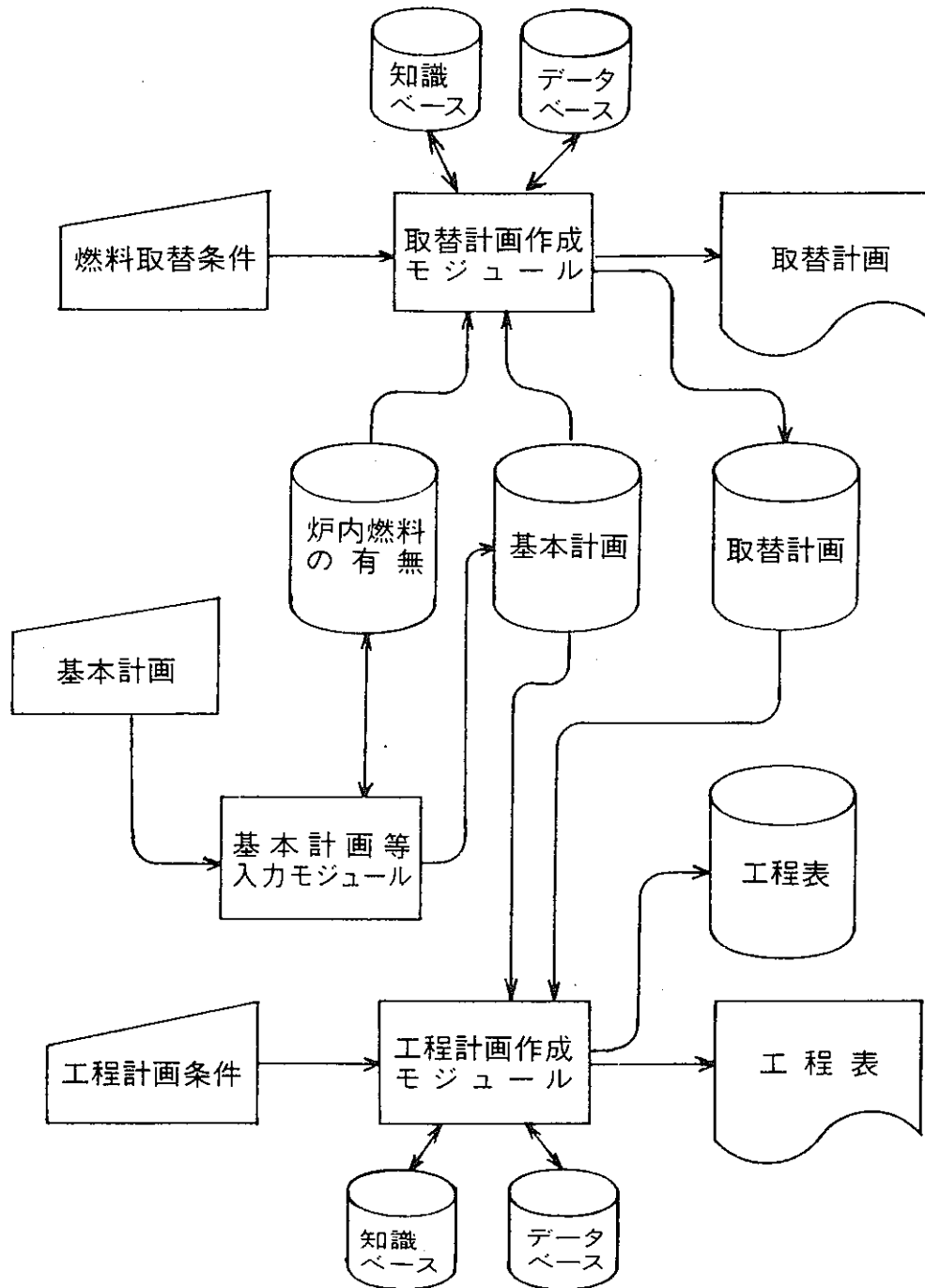
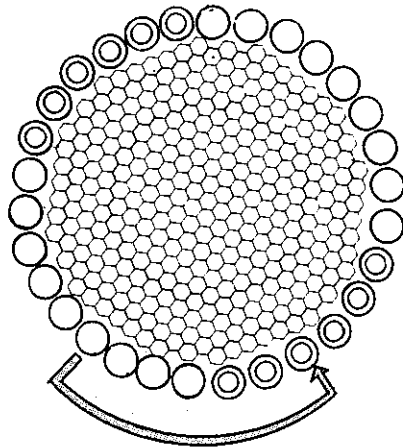


図4.3 JOYREPの構成

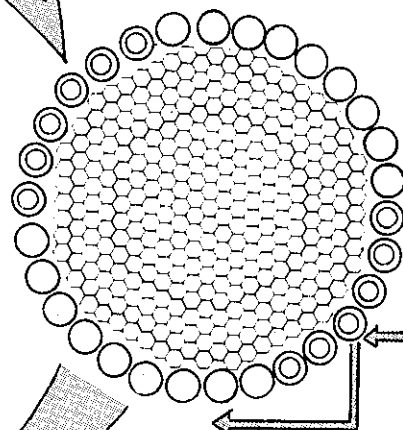
常陽燃料交換手順

炉内燃料取扱(1)
(ポット間移送)



冷却用ポットの使用済燃料を
移送用ポットへ

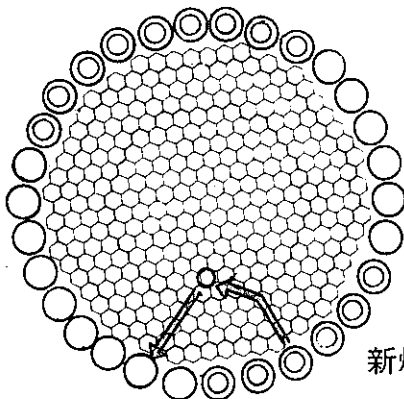
燃料移送



新燃料を
移送用ポットへ

使用済燃料を
炉外へ

炉内燃料取扱(2)
(炉心構成)



新燃料を炉心へ

炉心内の使用済燃料を
冷却用ポットへ

図 4.4 燃料交換手順

「常陽」燃料交換計画システム

本システムは高速実験炉「常陽」の燃料交換の工程計画の作成を支援するシステムと燃料交換の工程を高速実験炉「常陽」の燃料交換の工程計画の作成システムと本システムは高速実験炉「常陽」の燃料交換の工程計画の作成システムと

「常陽」燃料交換計画システム

- 1. 取替計画作成
- 2. 取替計画画面出力
- 3. 工程計画作成
- X. 終了

指示番号--->

図4.5 JOYREPの初期画面

要素番号入力画面 (1 2 1 1)

燃交番号 ; P12-FH1

この燃料交換では次の取扱があります。

- 炉心ラック → ラック = 10 体
- 炉心 → 炉外 = 2 体
- 炉ラック → 炉外 = 11 体
- 炉 → 炉内 = 11 体

何体炉心の S / F を交換しますか？ --

交換指定	アドレス	使用済要素番号	要素行先	新要素番号
1	1B1	PFD149		PFD231
	1F1	PFD150		PFD232
	2D1	PFD140		PFD233
	2F1	PFD141		PFD234
	3A2	PFC020M		PFD235
	3B2	PFD142		PFD236
	4A1	PFD113		PFD237
	4D2	PFD120		PFD147
	5B4	PFD126		PFD148
	5D3	PFD064		PFD160
	5D2	NFRI0D		NFRI1P
	R-29	MCR102		
	3B3	MCR107		MCR102
	3D3	MCR010		MCR107

P F 1 ; 上

P F 2 ; 下

(注) 交換指定欄に S を入力すると交換本数分配時に注意に選ばれる。逆に A と入力すればこの燃交期間中は交換されない。

使用済要素の行先は以下のものから選ぶ。
1=B 2=A 3=FMF 4=POOL 5=C

新要素の行先は以下のものから選ぶ。
1=CORE 2=RACK

基本計画にない炉心アドレスの燃料交換は、そのアドレスを入力する。

P F 3 ; 強制終了

P F 6 ; 変換

図 4.6 JOYREP の入力画面

炉内燃料取扱 (1)

組番	取 扱	取 扱 番 号	同位量	小同位量	大同位量	
			120.0	0.0	120.0	
1	R-6	R-9	PFD125	36.0	0.0	36.0
			24.0	0.0	24.0	
2	R-7	R-10	PFD138	36.0	0.0	36.0
			84.0	0.0	84.0	
3	R-17	R-11	PFB020M	72.0	0.0	72.0
			84.0	0.0	84.0	
4	R-18	R-12	PFD139	72.0	0.0	72.0
			84.0	0.0	84.0	
5	R-19	R-13	PFD116	72.0	0.0	72.0
			84.0	0.0	84.0	
6	R-20	R-14	PFD119	72.0	0.0	72.0
			84.0	0.0	84.0	
7	R-21	R-25	PFD118	48.0	0.0	48.0
			36.0	0.0	36.0	
8	R-22	R-26	PFD137	48.0	0.0	48.0
			72.0	0.0	72.0	
9	R-2	R-30	PFD117	24.0	0.0	24.0
			211.46	108.26	211.46	
10	5D2	R-27	NFR10D	175.46	108.26	175.46
			144.0	0.0	144.0	
11	R-15	5D2	NFR11P	108.26	108.26	31.46
			20.53	18.96	20.53	
12	3D3	R-16	MCRO10	127.22	127.22	22.93
			142.93	127.22	142.93	
13	3B3	3D3	MCR107	120.0	0.0	120.0
			178.93	127.22	178.93	
14	R-29	3B3	MCR102	298.93	127.22	298.93

燃料移送

組番	使用済燃料		新燃料		同位量
	取 扱 番 号	ラック	取 扱 番 号	ラック	
					84.0
1	PFD125	R-9	---	---	0.0
					12.0
2	PFD138	R-10	PFD148	R-10	0.0
					12.0
3	PFB020M	R-11	PFD233	R-11	0.0
					12.0
4	PFD139	R-12	PFD147	R-12	0.0
					12.0
5	PFD116	R-13	PFD160	R-13	0.0
					12.0
6	PFD119	R-14	PFD234	R-14	0.0
					132.0
7	PFD118	R-25	PFD232	R-25	0.0
					12.0
8	PFD137	R-26	PFD237	R-26	0.0
					12.0
9	NFR10D	R-27	PFD235	R-27	0.0
					36.0
10	PFD117	R-30	NFR0001	R-30	0.0
					168.0
11	MCRO10	R-16	PFD236	R-9	84.0
					0.0
12	---	---	POT	R-16	84.0

炉内燃料取扱 (2)

組番	取 扱	取 扱 番 号	同位量	小同位量	大同位量	
			164.72	127.22	164.72	
15	3B2	R-5	PFD142	127.22	127.22	32.72
			48.0	0.0	48.0	
2	R-9	3B2	PFD236	127.22	127.22	80.72
			25.84	16.72	25.84	
3	5B4	R-6	PFD126	110.5	110.5	18.88
			48.0	0.0	48.0	
4	R-10	5B4	PFD148	110.5	110.5	66.88
			71.98	22.86	71.98	
5	2D1	R-7	PFD140	133.36	133.36	41.1
			48.0	0.0	48.0	
6	R-11	2D1	PFD233	133.36	133.36	6.9
			21.61	15.42	21.61	
7	4D2	R-17	PFD120	117.94	117.94	57.29
			60.0	0.0	60.0	
8	R-12	4D2	PFD147	117.94	117.94	2.71
			13.23	7.44	13.23	
9	5D3	R-18	PFD064	110.5	110.5	56.06
			60.0	0.0	60.0	
10	R-13	5D3	PFD160	110.5	110.5	3.94
			85.16	22.86	85.16	
11	2F1	R-19	PFD141	133.36	133.36	17.1
			60.0	0.0	60.0	
12	R-14	2F1	PFD234	133.36	133.36	77.1
			9.41	9.41	4.71	
13	1F1	R-20	PFD150	142.77	142.77	0.39
			60.0	0.0	60.0	
14	R-25	1F1	PFD232	142.77	142.77	59.61
			74.35	28.7	74.35	
15	4A1	R-21	PFD113	114.07	114.07	62.74
			60.0	0.0	60.0	
16	R-26	4A1	PFD237	114.07	114.07	2.74
			13.15	13.15	12.54	
17	3A2	R-22	PFC020M	127.22	127.22	63.28
			60.0	0.0	60.0	
18	R-27	3A2	PFD235	127.22	127.22	3.28
			33.11	15.55	33.11	
19	1B1	R-2	PFD149	142.77	142.77	23.61
			24.0	0.0	24.0	
20	R-30	1B1	NFR0001	142.77	142.77	0.39

常陽燃料交換手順

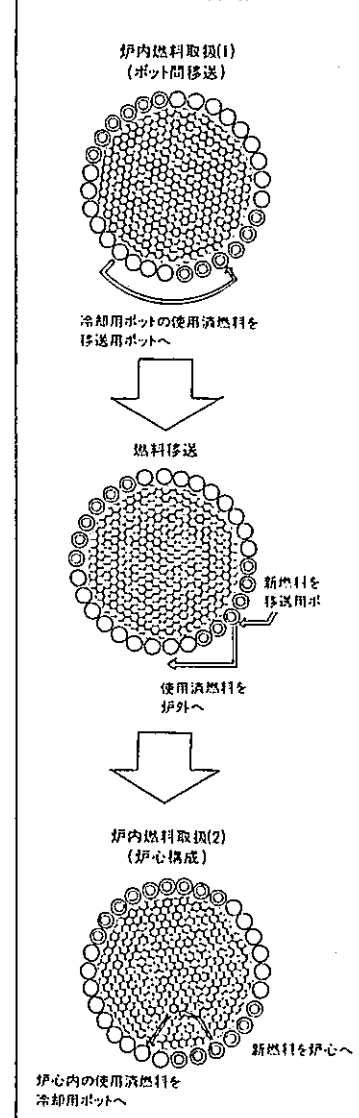


図 4.7 JOYREP の印字出力