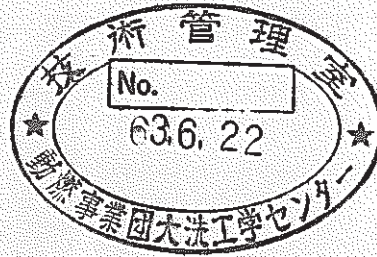


# 「常陽」運転支援システムの開発

JOYCATの開発現状



1988年1月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
	N9410 88-028
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

# 「常陽」運転支援システムの開発

## JOYCATの開発現状

森本 誠 青木 裕 大和田 敏雄  
時田 光彦 奥出 利行\* 小沢 健二  
山下 芳典

## 要 旨

「常陽」の運転支援システムは、「常陽」自体の安定運転及びそのあとのFBRプラント運転信頼性向上に寄与することを目的に開発されているものであり、そのひとつとして知識工学(AI)手法を応用した警報処理診断システムJOYCAT(JOYO Consulting & Analysing Tool)がある。

本システムは昭和61年度までに、警報処理診断を行う推論エンジンと2次主冷却系の知識ベースの作成及びその検証試験のための「常陽」運転訓練シミュレータへの接続が完了した。

昭和62年度には、実際にシミュレータによって種々の異常事象を発生させる検証試験を行い、ファーストヒットアラーム判定、ファーストオペレーション選定、シーケンスモニタリング等の支援動作が適切に機能することを確認した。

本システムの開発を通して、知識ベースの構築手法及びその検証方法また、運転支援機能の高度化を目指した改良手法等について多くの知見を得ることができた。

今後は、65年度実機適用に向けて知識ベースの拡張と診断手法の高度化を図り、シミュレータによる検証試験を繰り返し実施し、信頼性を確認していく計画である。

---

大洗工学センター実験炉部原子炉第一課

\* 検査開発株式会社

Development of JOYO operator supporting system

Current development status of JOYO consulting and analysing tool (JOYCAT)

M.Morimoto, H.Aoki, T.Owada  
M.Tokita, T.Okude\*, K.Ozawa  
and Y.Yamashita

Abstract

Operator supporting systems in JOYO have been developed for stable operation itself and credible operation of future FBR. JOYCAT which applies AI technique is one of these systems.

The inference engine for diagnosis and the knowledge base of secondary cooling system were developed, and then the verification test of JOYCAT was conducted with coupling with JOYO operator training simulator in FY1986. By generating some malfunctions in the simulator, the function (decision of first hit alarm, choosing of first operation and sequence monitoring) of JOYCAT was tested in FY1987.

Through the development works, knowledge and experience for means to construct the knowledge base, to verify function of this system and to improve the function for highly advanced system were obtained.

Considering these experiences, the knowledge base will be expanded for other plant systems and the diagnosis will be further improved. After the verification test with the simulator will be carried out repeatedly to confirm credibility. This system will be equipped JOYO by 1990.

---

Oarai Engineering Center, Experimental Reactor Division, JOYO  
Operation Section

\* Inspection and Development Co., Ltd.

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. JOYCATの概要 .....	2
2.1 JOYCATの機能 .....	2
2.2 JOYCATの構成 .....	3
3. 推論診断の手法 .....	6
3.1 推論診断手法の概念 .....	6
3.2 推論診断手法 .....	7
3.3 知識ベース .....	10
4. シミュレータによる検証試験 .....	28
4.1 検証試験方法 .....	28
4.2 検証試験例 .....	31
4.3 検証試験例の評価 .....	42
5. 現状までの問題点とその対策 .....	44
6. まとめ .....	51
7. 参考文献 .....	54

## 1. はじめに

高速実験炉「常陽」では、「常陽」自体のプラント安定運転及びそのあとのFBRプラント運転信頼性向上に寄与することを目的に「常陽」運転支援システムの開発を進めており、そのひとつとして知識工学手法(AI)を応用した警報処理診断システムJOYCAT(JOYO Consulting & Analysing Tool)がある。JOYCATは、警報及び機器状態の因果関係を納めた知識ベースを推論機構で検索することによって、異常原因判定や異常時対処法の表示及びシーケンス動作の監視等を行い、運転員のプラント異常時対応を支援する機能を有するシステムである。

本システムの開発は、昭和59年度の予備設計から始まり、昭和62年3月までに、警報処理診断を行う推論エンジンと2次主冷却系の知識ベースの作成が完了した。また、昭和62年度には「常陽」運転訓練シミュレータに接続し、実際にシミュレータによって種々の異常事象を発生させる検証試験を行い、ファーストヒットアラーム判定、ファーストヒットオペレーション選定、シーケンスモニタリング等の支援動作が適切に機能することを確認した。

本報告書は、JOYCATの機能と開発の現状について記載したものである。



## 2. JOYCATの概要

### 2.1 JOYCATの機能

プラントに異常が生じた場合、運転員は、その異常の原因及び異常推移を見極めて、適切な対応処置を取らなければならない。JOYCATは、警報あるいは、機器の状態信号を入力とし、警報レベルでの異常原因判定（ファーストヒットアラーム判定）、第一に対処すべき操作（ファーストオペレーション）の表示、シーケンス動作監視（シーケンスモニタリング）等を行い、異常時に運転員を支援するシステムである。

以下に各機能の概要を述べる。

#### (1) ファーストヒットアラーム判定機能

プラントに異常が生じた場合、早急に本質的な異常原因を突き止め、処置することが重要である。この観点から、多重警報発生に対し、警報相互間の関連をもとに、推論によって、異常の第一原因を警報レベルで判定し、CRT上に表示する。

#### (2) ファーストオペレーション選定機能

ファーストオペレーション選定機能は、異常発生時に、その異常事象に対応した最適な処置手順を集約的に表示するものである。この処置手順は、各警報毎に、その発生原因と異常の推移を含めた処置操作をブロック図化したものである。これを光ディスクファイル装置に画像情報として登録しておき、発生した異常に対し優先度判別を行い、最も優先させるべき異常時処置ブロック図を選定し、ハードコピーとして出力する。

また、光ディスクファイル装置には上記の異常時処置ブロック図の他に、シーケンス図、系統図、異常時運転マニュアル等も登録されており、運転員の要求に応じて関連する資料を容易に引き出すことができる。

#### (3) シーケンスモニタリング機能

シーケンスモニタリング機能は、プラント異常時における主要なシーケンス動作を警報あるいは、機器の状態信号により監視し、異常があった場合、CRT上に表示するものである。異常時のプラント対応においては、各機器が定められたシーケンス通りに作動したかを確認することが重要であり、専門的な運転知識を必要とするもので

ある。

## 2.2 JOYCATの構成

Fig. 2.1 及びPhoto2.1 に JOYCAT のハードウェア構成を示す。JOYCAT は、ミニコンシステム、入力装置及びマニュアル出力用の光ディスクファイル装置で構成されている。

Fig. 2.2 に JOYCAT の機能構成を示す。

以下に各部の機能概要を述べる。

### (1) 入力処理部

プラントから伝送されてくるプロセス信号を周期的に収集する。この信号収集は、2秒間に1回の周期で行いデジタル信号736点（250msec毎に8回サンプリングしたもの）とアナログ信号40点の収集を行う。

### (2) 異常判定部

入力処理部で収集された信号の異常判定を行う。この異常判定は、その信号がONで異常なのかOFFで異常なのかを記述した変数属性データベースを用いて行い、異常と判定した場合に、推論診断部を起動する。

### (3) 推論診断部

入力されたプラント信号をもとに、推論診断によって警報レベルでの異常原因判定及びシーケンスモニタリングを行う。

### (4) ガイド選定部

推論診断部の結果に基づき最も優先すべき異常時処置ブロック図を選定する。

### (5) 出力処理部

診断結果のCRT表示と異常時処置ブロック図の出力を行う。



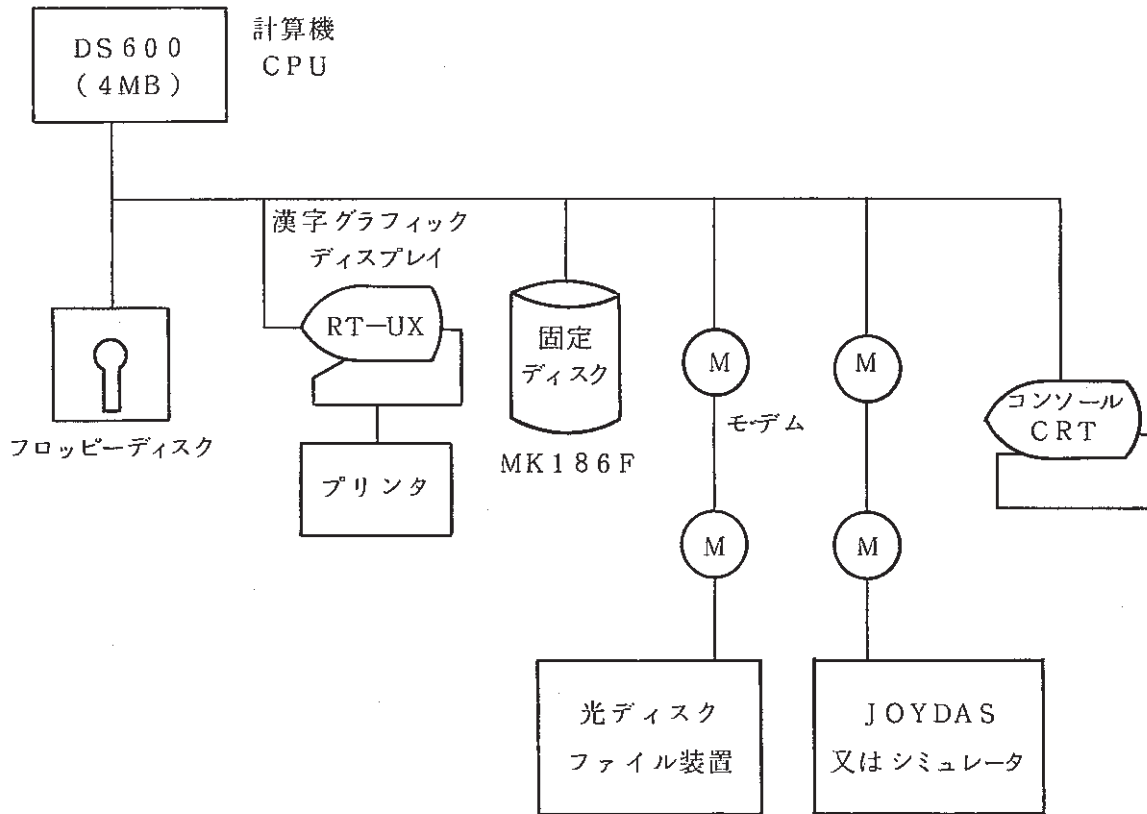


Fig. 2.1 JOYCATのハードウェア構成

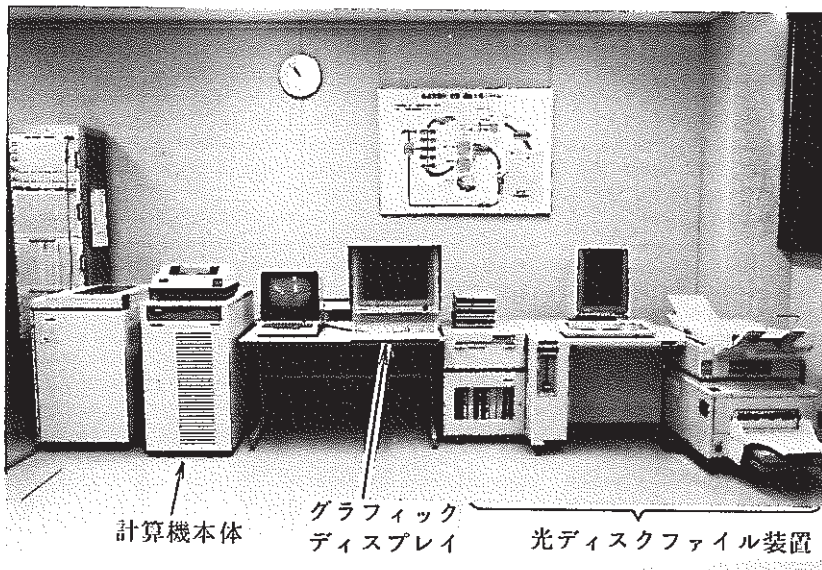


Photo2.1 JOYCATのハードウェア構成

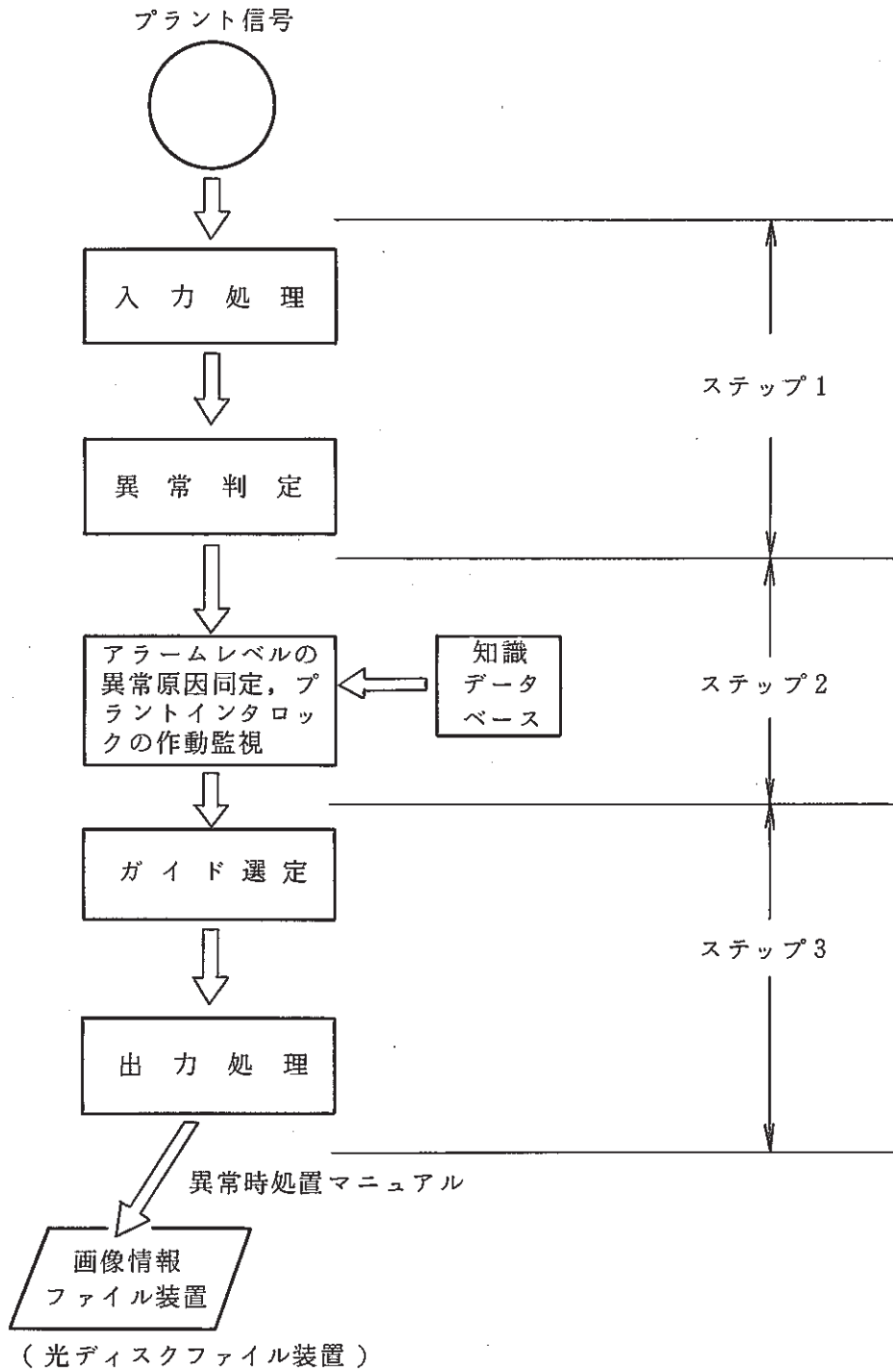


Fig. 2.2 JOYCATの機能構成

### 3. 推論診断の手法

#### 3.1 推論診断手法の概念

「常陽」における、異常時の対応操作は、異常時運転マニュアルに従って行われる。この異常時の対応操作は、異常事象の進展状況により、プラントの正常復帰操作と安全停止操作とに分けられる。通常の異常事象は、異常が発生し、異常進展要因により、その異常が拡大し原子炉安全保護系の作動に至るというケースが一般的である。この場合、安全保護系が作動するまでは、異常の原因を取り除く正常復帰操作が重要となるが、安全保護系の作動後は安全停止操作の方が最優先となる。

本システムは、知識工学(AI)手法を応用し警報や機器の状態信号の因果関係を記述した知識ベースを検索することにより、一連の警報シーケンスを作成し異常診断を行っている。

プラントに異常が生じた場合、警報は、異常事象の把握及びその対応操作を行ううえでの重要な判断要素となる。この警報が1個のみ発報した場合は、その警報に対する処置を行えば良いのであるが、緊急時に膨大な運転資料の中からその処置マニュアルを素早く探し出すことは困難である。また、複数の警報が同時に、あるいは次々と発生した場合にはどの処置マニュアルに従って操作を行うのかを素早く判定することも困難となる。

このような場合、運転員が行う診断は、次のような手順で行うものと推定される。

まず、制御盤に設置された警報窓からどの警報が作動しているかという情報を得る。次に、警報間の物理的な因果関係、インタロック、安全保護系のロジックに関する知識を駆使して、発生した警報間の関連を推論する。

そして、正常復帰が可能な段階にあると判断した場合には、原因となる警報に対するマニュアルに従って処置を行い、スクラム等の原子炉安全保護系が作動してしまえば、異常事象に適合する安全停止のマニュアルに従って必要な操作と保護系等の自動作動機器の動作チェックを行う。

これらを計算機で行わせるため、警報間の物理的な因果関係、インタロック等に関する情報を知識ベース化し、これを発生している警報信号及び機器の状態信号の情報をを用

い、推論検索によって診断を行う知識工学手法を応用した。

### 3.2 推論診断手法

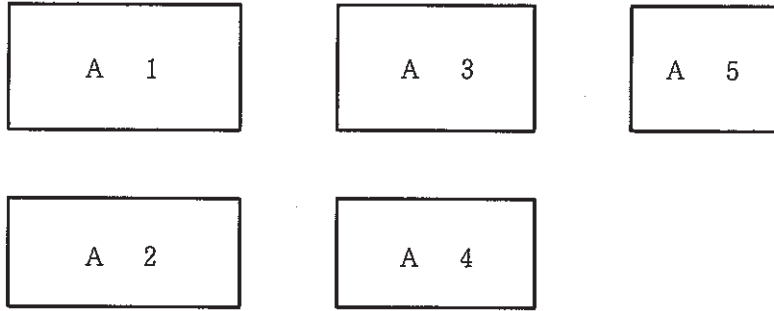
#### (I) ファーストヒットアラームの判定手法

J O Y C A Tでは、発生した警報を入力としそれらの警報間の因果関係を推論機構でつなぎあわせて一連の警報シーケンスを作りあげる。Fig. 3.1を例にその手法を以下に示す。

Fig. 3.1に示すように、A 1, A 2, A 3, A 4, A 5の警報が発生した場合、それぞれの発生条件（知識ベース）を検索することにより同図下部に示す警報シーケンスを作成することができる。この例の場合、A 4が発生し、それによりA 3が発生、A 2が発生、A 1, A 5が発生したと推論することができる。これにより、一番最初に発生した警報は、A 4であると判定することができる。つまり推論機構で発生した警報シーケンスを作成し、それを逆登ることにより（後向き推論）ファーストヒットアラームの判定を行う。

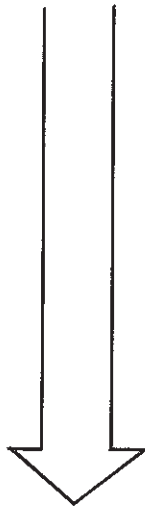
また、この警報シーケンスとつながりの無い警報が発生した場合には、別の原因による異常が発生したと判断する。

発生警報

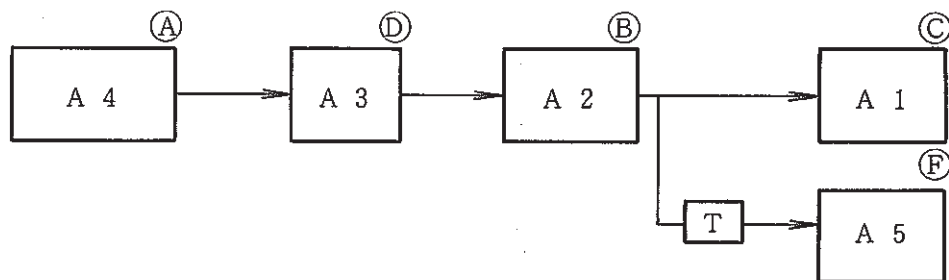


知識ベース

- A 1 : A 2 により発生
- A 2 : A 3 により発生
- A 3 : A 4 により発生
- A 5 : A 2 により T 秒後に発生



警報シーケンス



○印：警報の重要度 ( A > B > C > D > E > F )

Fig. 3.1 JOYCAT の診断手法

## (2) ファーストオペレーション選定方法

J O Y C A Tは、プラントの異常事象に対応した最も優先すべきマニュアルの出力を行う。このマニュアルは、各警報毎に、その対処法をブロック図として作成したものの(約500枚)で、この中から優先するマニュアルを選択することになる。このマニュアルの選定は、各警報や機器の状態に対し、6段階(A～F)の重要度をもうけ、これにより発生している警報の中で一番重要度の高い警報のマニュアルを選択し、ハードコピーとして出力する手法で行う。この重要度分類は、プラントの正常復帰が可能な異常事象については、原因警報の対応操作、プラントの正常復帰が困難な異常事象については、安全停止操作のマニュアルを選ぶことを目指して、以下のような分類を行った。

Aについては、原子炉安全保護系の動作不良に関するものとし、「常陽」では、非常用ディーゼル発電機の起動波滯等の警報がこれに相当する。また、原子炉安全保護系の動作不良は、シーケンスモニタでも検知されるため、警報の無いものについては、シーケンスモニタで検知された異常に対しマニュアルを出力する。

ただし、軽微なインタロックの不動作に関してはその項目のみをC R Tに表示し、マニュアルの出力は行わない。

Bについては、原子炉安全保護系の直接の作動要因警報とし、「常陽」では、主循環ポンプのトリップ等の警報がこれに相当する。ただし主送風機トリップのように直接安全保護系を作動させないが、原子炉の入口温度を上昇させ、ほぼ確実に安全保護系を作動させる警報も含めた。

Cについては、異常の原因となるもの及び原子炉安全保護系の作動状態に関するものとし、主循環ポンプの油ポンプトリップや軸封油圧低等のように異常発生時に最初に発生する可能性のある警報がこれに相当する。また、スクラム、制御棒一斉挿入のような原子炉安全保護系の作動状態を表す警報もこのランクとした。

Dについては、異常原因が進展したものとし、主循環ポンプのNa液面低低や油圧低低のように発生すると、機器のトリップ等が発生し、その原因復旧操作よりも機器のトリップ等の対処が優先する警報とした。

Eについては、単一警報及び上記以外のものとし、予熱ヒータ異常やP L計異常の

ように直接原子炉の運転継続に関係しない警報とした。

Fについては、機器の状態に関するものとし、油ポンプの運転中やダンパ閉のような警報以外の信号がこれに相当する。また、このランクについては、マニュアルの出力は、行わない。

### (3) シーケンスモニタリング手法

シーケンスモニタリングは、発生している警報に対し、次に発生する警報あるいは機器の状態を予測し遅れ時間が経過しても作動しないものを検出して表示するものである。Fig. 3.1において、A2がONとなっているのにA5がONになっていない場合、A5の警報とその遅れ時間を登録しておき、この遅れ時間が経過してもA5がONにならなかった場合、シーケンスの不動作として判定する。

このシーケンスモニタリング機能は、主にプラントの安全上重要な機器の自動起動あるいは熱衝撃緩和上停止しなければならない機器の監視を目的に設けたものであり、機器がトリップしその予備機が自動起動しなかった場合、あるいは機器のトリップ条件が成立しているのにその機器が停止しない場合等にCRTに表示されることになる。

## 3.3 知識ベース

Table3.1にJOYCATの知識ベース例を示す。

JOYCATの知識ベースは、警報や機器の状態に対し、その属性と発生条件をフレーム形式で表したものである。警報の属性には、警報の名称、優先するマニュアルを選ぶための重要度、マニュアル出力用の番号等の情報を記述している。警報の発生条件には、その発生条件毎に、遅れ時間、発生関係等の情報を記述している。この発生関係は、発生条件が安全保護系、インタロック、物理的事象かの区別を行ったもので推論機構上ではシーケンスモニタリングを行うかどうかの区別に使用している。

Table3.2に現在までに作成されている知識ベースの警報発生条件を示す。現在までに作成されている知識ベースは、フレーム数で約140(入力信号単位)、ルール数で約240(発生条件単位)である。

Fig. 3.2にこれらの知識ベースをつなぎ合わせた警報シーケンスを示す。これは表3.2をブロック図化したものである。JOYCATの推論機構でも、発生した警報について、このような警報シーケンスが作成されることになる。



Table3.1 知識ベース例

警報の属性	警報の名称	2次A主ポンプトリップ
	重要度	B (A > B > C > D > E > F)
	対応マニュアル	GUI-4258A

警報の発生条件	発生条件	時間遅れ	発生関係
警報の発生条件	2次A主ポンプ抵抗ファントリップ AND 2次A主ポンプ抵抗ファン予備機停止中	10	インタロック
	2次A主ポンプNa液面低低	0	インタロック
	2次A主ポンプ軸封油圧低低	0	インタロック
	2次A主ポンプモータ異常	—	物理的事象
	1A M/C低電圧 . . . . .	0 . . . . .	インタロック . . . . .

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(1/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号) :	時間遅れ (sec)	関 係
48	補助送風機運転中	F	399 (補助系起動指令)	: 0	インタロック
49	2次補助EMPトリップ	C	52	: 0	インタロック
			51	: 0	インタロック
			50 & ^ 41	: 5	インタロック
50	2次補助EMP冷却ファントリップ	D	なし		
51	2次補助EMPコイル温度高	D	なし		
52	2次補助EMP過負荷	D	なし		
53	補助送風機トリップ	C	49 & 399	: 2	インタロック
			55	: 0	インタロック
			54	:	物理事象
54	補助冷却器出口Na温度異常	D	53		物理事象
55	補助送風機モータ過負荷	D	なし		
56	2次補助PL計異常	E	49		物理事象
57	2次補助冷却系Na流量低	D	49	:	物理事象
			622	:	物理事象
			623 (電喪)	:	物理事象
58	2次補助冷却系制御空気圧低	E	461 (圧縮空気供給系異常)		物理事象
59	2次補助系アキムレガ圧低	D	461	:	物理事象
60	2次補助系入口バソクバ注意	F	48 & 129	: 0	インタロック
61	2次補助2S-C/Cトリップ	D	50	: 0	インタロック
			55	: 0	インタロック
			622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
62	2次補助冷却系予熱ヒータ異常	E	622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
63	2次補助系IHX出入口トリップ	E	なし		

& : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(2/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号)	時間遅れ (sec)	関 係
75	2次A主ポンプトリップ	B	622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
			81	: 0	インタロック
			79 & ^ 42 & ^ 181	: 9	インタロック
			79 & ^ 42 & ^ 185	: 9	インタロック
			79 & ^ 42 & ^ 182	: 9	インタロック
			79 & ^ 42 & ^ 186	: 9	インタロック
			148	: 0	インタロック
			83 & ^ 39	: 10	インタロック
			133	: 0	インタロック
			134	: 0	インタロック
			85	:	物理事象
76	: 0	インタロック			
76	2次A主ポンプNa軸受温度高高	D	86	:	物理事象
77	2次A主ポンプNa液面高	C	なし		
78	2次A主ポンプNa液面低	C	なし		
79	2次A主P油冷却ファントリップ	C	82 & ^ 622 & ^ 623 ( ^ 電喪)	: 0	インタロック
80	2次A主ポンプ軸封油圧低	C	^ 37 & 82	:	物理事象
81	2次A主P漏油回収タンク液面高高	D	137	:	物理事象
82	2次A主ポンプ油ポンプトリップ	C	81	: 0	インタロック
			622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
			79	: 5	インタロック
83	2次A主ポンプ抵抗ファントリップ	C	なし		
84	2次A主ポンプArガス流量低	E	なし		
85	2次A主ポンプモータ異常	C	なし		

& : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(3/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号)	時間遅れ (sec)	関 係
86	A ループ主送風機トリップ	B	622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
			93	: 0	インタロック
			89	:	物理事象
			75	: 0	インタロック
			193	: 0	インタロック
			194	: 0	インタロック
87	1 A 主冷却器出口Na温度異常	D	193	: 0	インタロック
			86	:	物理事象
88	2 A 主冷却器出口Na温度異常	D	194	: 0	インタロック
			86	:	物理事象
89	A ループ主送風機モータ異常	C	なし		
90	2次A主循環Na流量低	C	75	:	物理事象
			622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
91	A 主冷却器出口Na温度制御切替	F	75	: 0	インタロック
			252 (スクラム動作)	: 0	安全保護系
92	2次主冷却系A制御空気圧低	E	なし		
93	A 主送風機ブレーキ作動	D	622	: 12	インタロック
			623	: 12	インタロック
			75	: 12	インタロック

& : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(4/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号) :	時間遅れ (sec)	関 係
97	主冷2A・2B-C/Cトリップ	D	82	:	物理事象
			79	:	物理事象
			83	:	物理事象
			622	: 0	インクロック
			623	: 0	インクロック
			115	:	物理事象
			111	:	物理事象
			114	:	物理事象
98	2次系3C・3D-C/Cトリップ	D	622	: 0	インクロック
			623	: 0	インクロック
99	2次予熱ヒータ分電盤トリップ	D	なし		
100	主冷却器A温度制御装置異常	C	なし		
101	CV貫通部金物温度高	E	なし		
102	2次呼吸ガスヘッド圧高	D	なし		
103	2次呼吸ガスヘッド圧低	D	なし		
104	2次主冷却系Na漏洩	C	なし		
105	2次予熱ヒータ異常	E	なし		
106	2次主PL計異常	E	なし		

& : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(5 / 11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号)	時間遅れ (sec)	関 係
107	2次B主ポンプトリップ	B	622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
			113	: 0	インタロック
			111 & ^43 & ^183	: 9	インタロック
			111 & ^43 & ^187	: 9	インタロック
			111 & ^43 & ^184	: 9	インタロック
			111 & ^43 & ^188	: 9	インタロック
			167	: 0	インタロック
			115 & ^40	: 10	インタロック
			162	: 0	インタロック
			163	: 0	インタロック
			117	:	物理事象
			108	: 0	インタロック
108	2次B主ポンプNa軸受温度高高	D	118	:	物理事象
109	2次B主ポンプNa液面高	C	なし		
110	2次B主ポンプNa液面低	C	なし		
111	2次B主P油冷却ファントリップ	C	114 & ^622 & ^623 (^電喪)	: 0	インタロック
112	2次B主ポンプ軸封油圧低	C	^38 & 114	:	物理事象
113	2次B主P漏油回収タンク液面高高	D	116	:	物理事象
114	2次B主ポンプ油ポンプトリップ	C	113	: 0	インタロック
			622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
			111	: 5	インタロック
115	2次B主ポンプ抵抗ファントリップ	C	なし		
116	2次B主ポンプArガス流量低	E	なし		
117	2次B主ポンプモータ異常	C	なし		

& : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(6/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号)	時間遅れ (sec)	関 係
118	B ループ主送風機トリップ	B	622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
			125	: 0	インタロック
			121	:	物理事象
			107	: 0	インタロック
			195	: 0	インタロック
			196	: 0	インタロック
119	1 B主冷却器出口Na温度異常	D	195	: 0	インタロック
			118	:	物理事象
120	2 B主冷却器出口Na温度異常	D	196	: 0	インタロック
			118	:	物理事象
121	B ループ主送風機モータ異常	C	なし		
122	2次B主循環Na流量低	C	107	:	物理事象
			622	: 0	インタロック
			623	: 0	インタロック
123	B主冷却器出口Na温度制御切替	F	107	: 0	インタロック
			252 (スクラム動作)	: 0	安全保護系
124	2次主冷却系B制御空気圧低	E	なし		
125	B主送風機ブレーキ作動	D	622	: 12	インタロック
			623	: 12	インタロック
			107	: 12	インタロック
127	主冷却器B温度制御装置異常	C	なし		

&amp; : AND条件, ^ : NOT条件



Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(7/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号)	時間遅れ (sec)	関 係
129	補助送風機入口ベーン閉	F	399	: 0	インタロック
130	補助送風機入口ダンパ開	F	399	: 0	インタロック
131	膨張タンクNa液面高	E	なし		
132	膨張タンクNa液面低	E	なし		
133	2次A主ポンプNa液面高高	D	77	:	物理事象
134	2次A主ポンプNa液面低低	D	78	:	物理事象
137	2次A主ポンプ漏油液面高	D	なし		
148	2次A主ポンプ軸受油圧低低	D	80	:	物理事象
149	2次A主ポンプNa軸受温度低	E	なし		
150	1A主送風機入口ベーン閉	F	75	: 0	インタロック
			193	: 0	インタロック
151	1A1主冷却器入口ダンパ閉	F	193	: 0	インタロック
152	1A2主冷却器入口ダンパ閉	F	193	: 0	インタロック
153	1A主送風機入口ベーン開	F	189	: 0	インタロック
154	1A1主冷却器入口ダンパ開	F	75	: 0	インタロック
			189	: 0	インタロック
155	1A2主冷却器入口ダンパ開	F	75	: 0	インタロック
			189	: 0	インタロック
156	2A主送風機入口ベーン閉	F	75	: 0	インタロック
			194	: 0	インタロック
157	2A1主冷却器入口ダンパ閉	F	194	: 0	インタロック
158	2A2主冷却器入口ダンパ閉	F	194	: 0	インタロック
159	2A主送風機入口ベーン開	F	190	: 0	インタロック
160	2A1主冷却器入口ダンパ開	F	75	: 0	インタロック
			190	: 0	インタロック
161	2A2主冷却器入口ダンパ開	F	75	: 0	インタロック
			190	: 0	インタロック
162	2次B主ポンプNa液面高高	D	109	:	物理事象

&amp; : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(8/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号) :	時間遅れ (sec)	関 係
163	2次B主ポンプNa液面低低	D	110	:	物理事象
166	2次B主ポンプ漏油液面高	D	なし		
167	2次B主ポンプ軸受油圧低低	D	112	:	物理事象
168	2次B主ポンプNa軸受温度低	E	なし		
169	1B主送風機入口ベーン閉	F	107	: 0	インタロック
			195	: 0	インタロック
170	1B1主冷却器入口ダンパ閉	F	195	: 0	インタロック
171	1B2主冷却器入口ダンパ閉	F	195	: 0	インタロック
172	1B主送風機入口ベーン開	F	191	: 0	インタロック
173	1B1主冷却器入口ダンパ開	F	107	: 0	インタロック
			191	: 0	インタロック
174	1B2主冷却器入口ダンパ開	F	107	: 0	インタロック
			191	: 0	インタロック
175	2B主送風機入口ベーン閉	F	107	: 0	インタロック
			196	: 0	インタロック
176	2B1主冷却器入口ダンパ閉	F	196	: 0	インタロック
177	2B2主冷却器入口ダンパ閉	F	196	: 0	インタロック
178	2B主送風機入口ベーン開	F	192	: 0	インタロック
179	2B1主冷却器入口ダンパ開	F	107	: 0	インタロック
			192	: 0	インタロック
180	2B2主冷却器入口ダンパ開	F	107	: 0	インタロック
			192	: 0	インタロック
181	2次主ポンプ1A油ポンプ 運転中	F	なし		
182	2次主ポンプ2A油ポンプ 運転中	F	なし		
183	2次主ポンプ1B油ポンプ 運転中	F	なし		
184	2次主ポンプ2B油ポンプ 運転中	F	なし		
185	2次主ポンプ1A油ポンプ 入残	F	なし		
186	2次主ポンプ2A油ポンプ 入残	F	なし		

&amp; : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(9 / 11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号) :	時間遅れ (sec)	関 係
187	2次主ポンプ1B油残入残	F	なし		
188	2次主ポンプ2B油残入残	F	なし		
37	2次主ポンプA油残予備機起動	F	79 & ^ 81 & ^ 185 & ^ 186	: 5	インタロック
			79 & ^ 81 & ^ 181 & ^ 182	: 5	インタロック
			79 & ^ 81 & ^ 186 & ^ 181	: 0	インタロック
			79 & ^ 81 & ^ 182 & ^ 185		インタロック
			82 & ^ 622 & ^ 623 & ^ 185 & ^ 186	: 0	インタロック
			82 & ^ 622 & ^ 623 & ^ 181 & ^ 182	: 0	インタロック
			82 & ^ 622 & ^ 623 & ^ 186 & ^ 181	: 0	インタロック
			82 & ^ 622 & ^ 623 & ^ 182 & ^ 185	: 0	インタロック
			80 & 181 & 185	: 2	インタロック
			80 & 182 & 186	: 2	インタロック

& : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(10/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号) :	時間遅れ (sec)	関 係
38	2次主ポンプA油ポンプ予備機起動	F	111 & ^113 & ^183 & ^184	: 5	インタロック
			111 & ^113 & ^187 & ^188	: 5	インタロック
			111 & ^113 & ^184 & ^187	: 5	インタロック
			111 & ^113 & ^188 & ^183	: 5	インタロック
			114 & ^622 & ^623 & ^183 & ^184	: 0	インタロック
			114 & ^622 & ^623 & ^187 & ^188	: 0	インタロック
			114 & ^622 & ^623 & ^184 & ^187	: 0	インタロック
			114 & ^622 & ^623 & ^188 & ^183	: 0	インタロック
			112 & 183 & 187	: 2	インタロック
			112 & 184 & 188	: 2	インタロック
189	1 A主冷却器出口温度高	E	87	:	物理事象
190	2 A主冷却器出口温度高	E	88	:	物理事象
191	1 B主冷却器出口温度高	E	119	:	物理事象
192	1 B主冷却器出口温度高	E	120	:	物理事象
39	2次主ポンプA抵抗ファン予備機起動	F	83	: 5	インタロック
40	2次主ポンプB抵抗ファン予備機起動	F	115	: 5	インタロック
193	1 A主冷却器出口温度低	E	なし		
194	2 A主冷却器出口温度低	E	なし		
195	1 B主冷却器出口温度低	E	なし		

& : AND条件, ^ : NOT条件

Table3.2 警報発生条件 (知識ベース)

(11/11)

警報番号	警 報 名	重要度	警報発生条件の組合せ (警報番号)	時間遅れ (sec)	関 係
196	2 B 主冷却器出口温度低	E	なし		
197	2 次補助EMP-A 冷却ファン運転中	F	なし		
198	2 次補助EMP-B 冷却ファン運転中	F	なし		
41	2 次補助EMP冷却ファン予備機起動	F	50	: 5	インタロック
199	2 次主P-1 A 油冷却ファン運転中	F	なし		
200	2 次主P-2 A 油冷却ファン運転中	F	なし		
201	2 次主P-1 B 油冷却ファン運転中	F	なし		
202	2 次主P-2 B 油冷却ファン運転中	F	なし		
42	2 次主P-A油冷却ファン予備機起動	F	37	: 0	インタロック
43	2 次主P-B油冷却ファン予備機起動	F	38	: 0	インタロック
252	スクラム動作	F	なし		
399	1 次補助EMP自動起動	F	なし		
461	圧縮空気供給系異常	C	なし		
622	1 A-M/C 低電圧	D	なし		
623	1 B-M/C 低電圧	D	なし		

& : AND条件, ^ : NOT条件

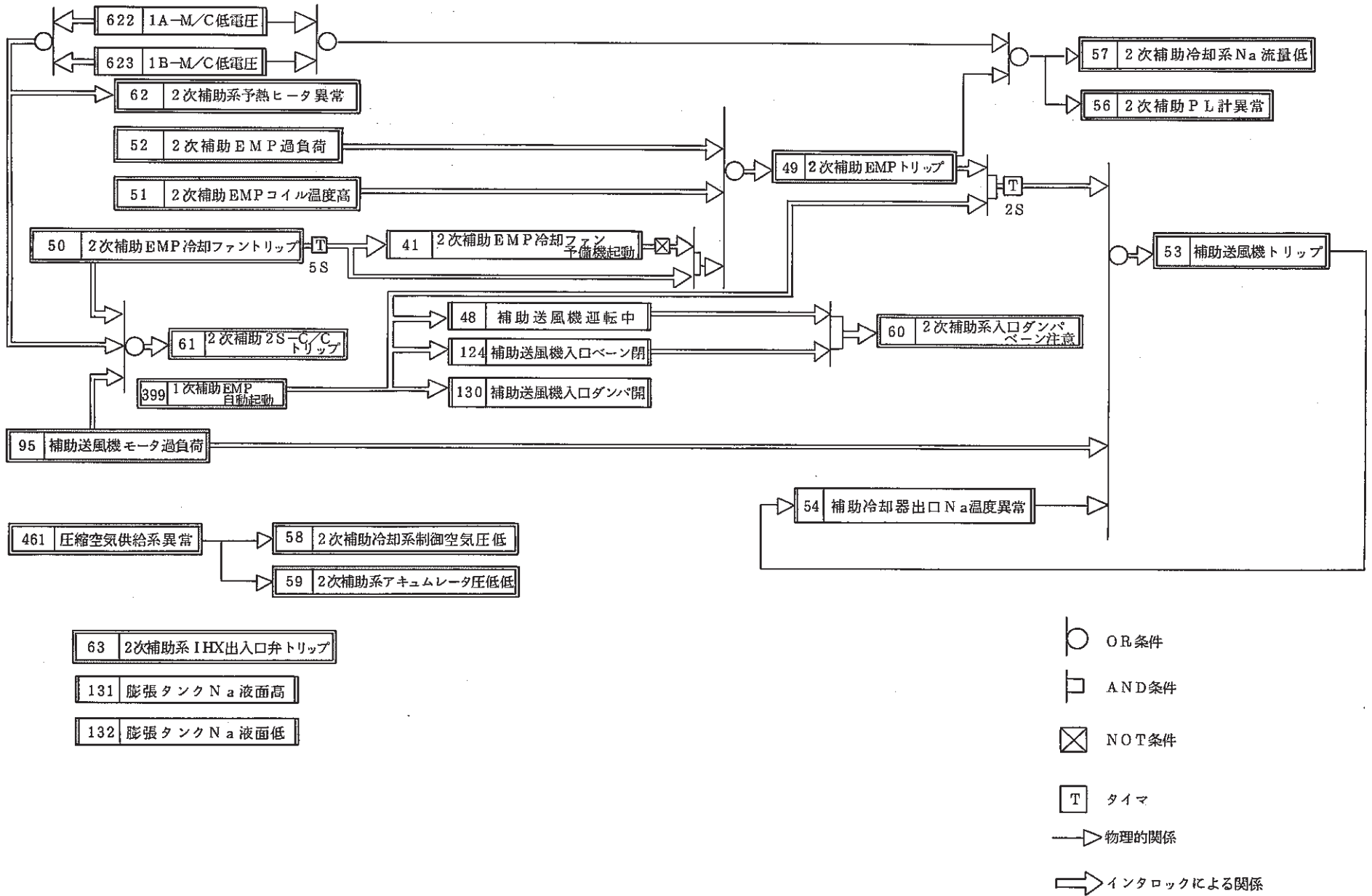


Fig. 3.2 警報シーケンス (1 / 5)

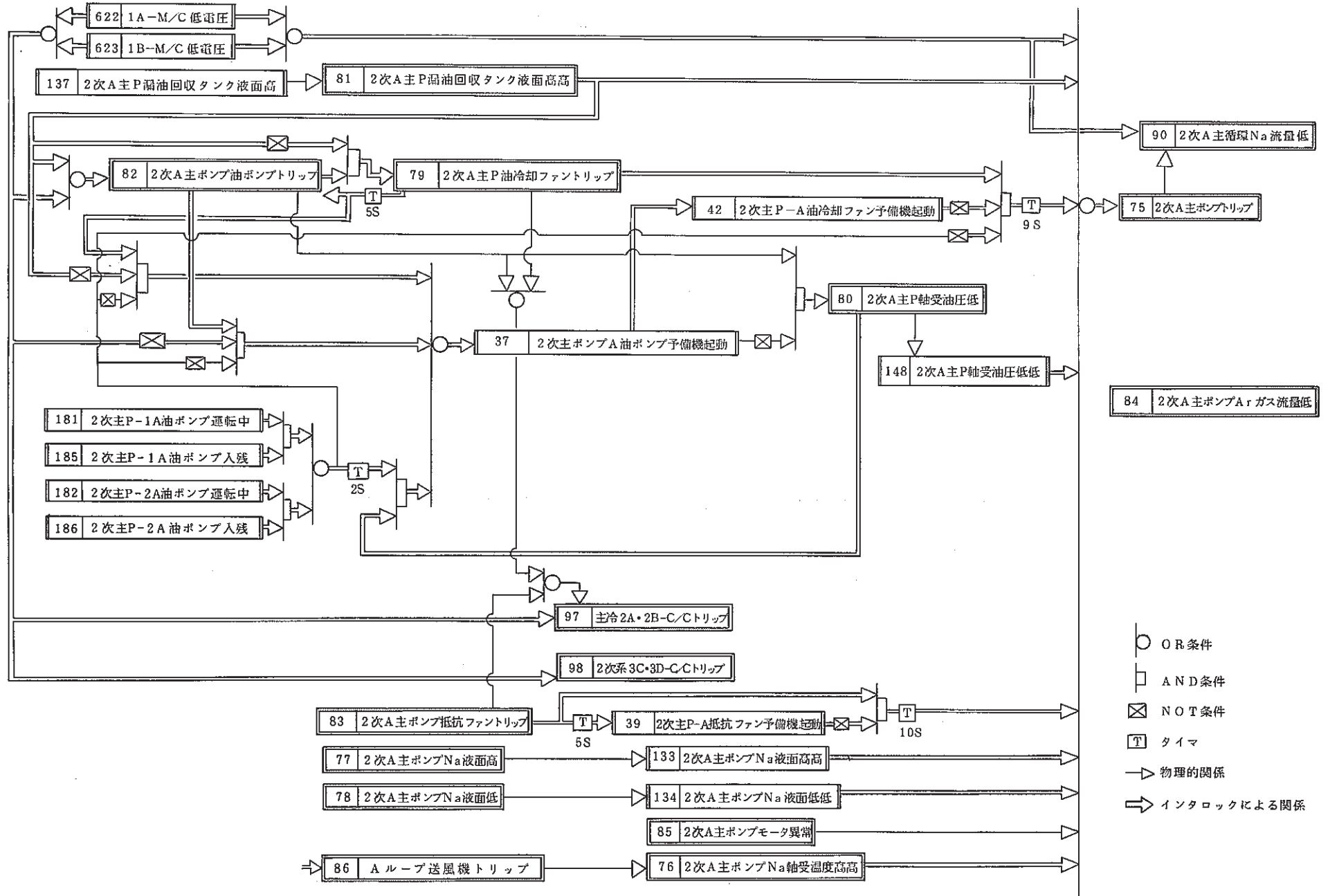


Fig. 3.2 警報シーケンス (2 / 5)



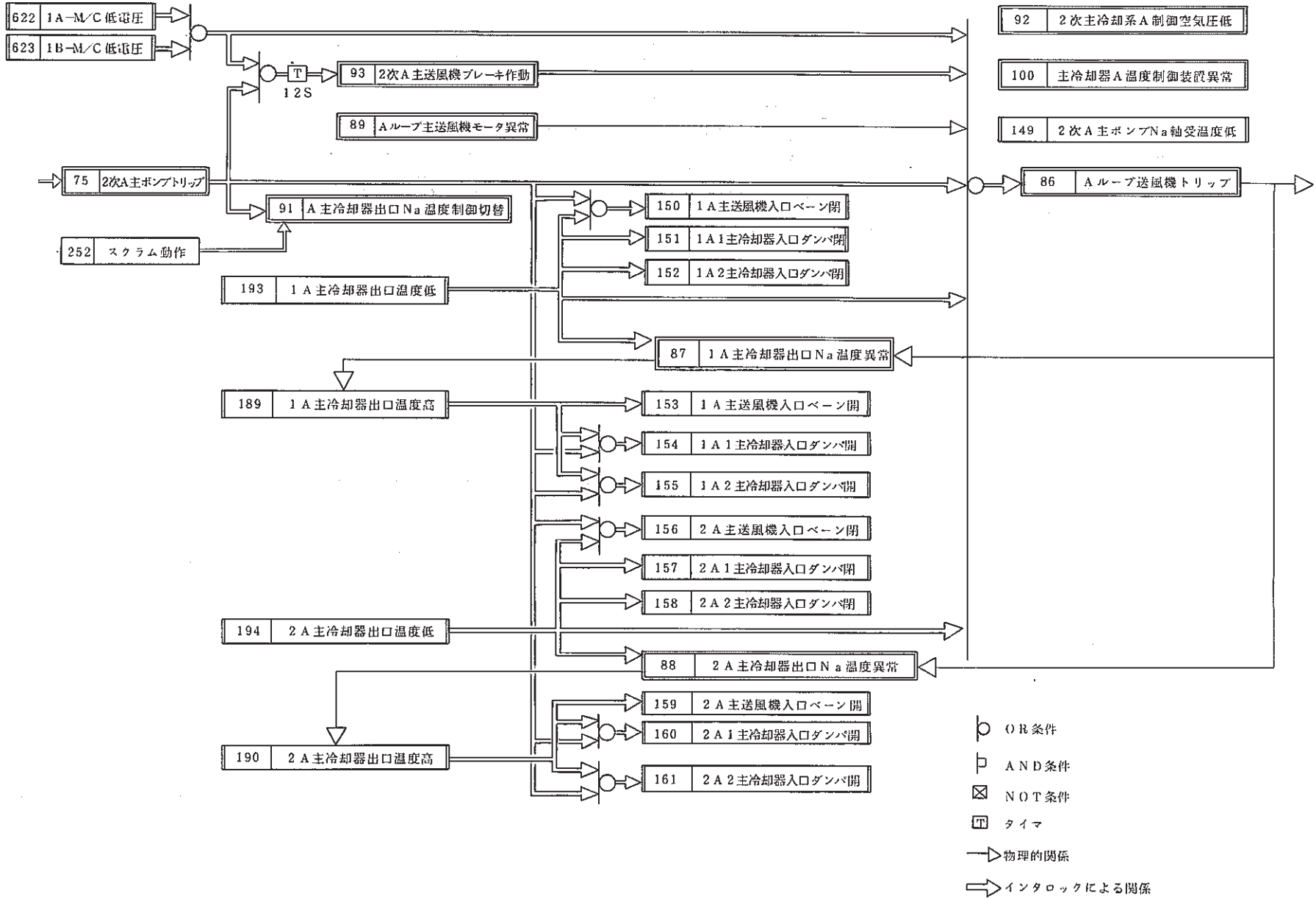


Fig. 3.2 警報シーケンス (3 / 5)

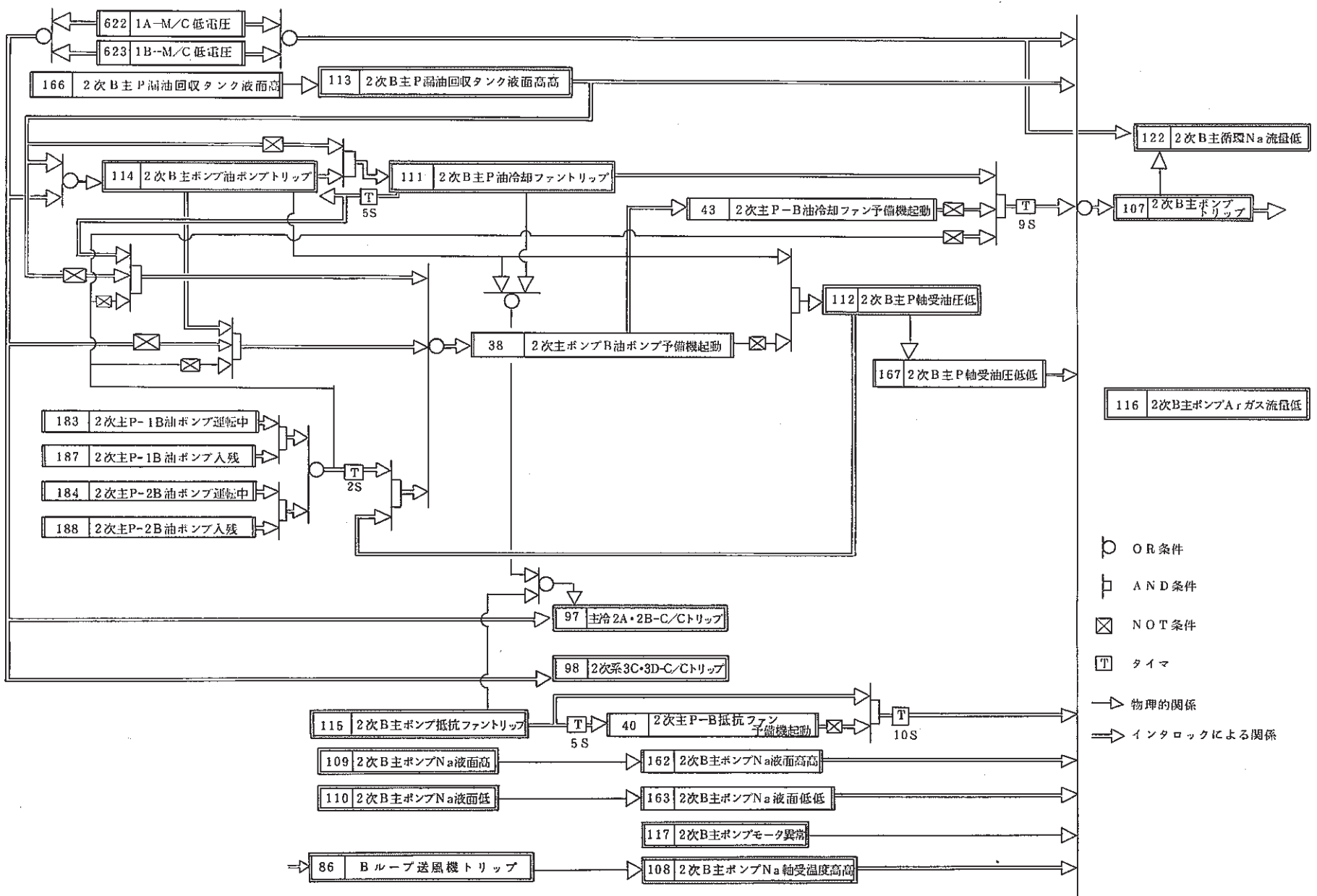


Fig. 3.2 警報シーケンス (4 / 5)

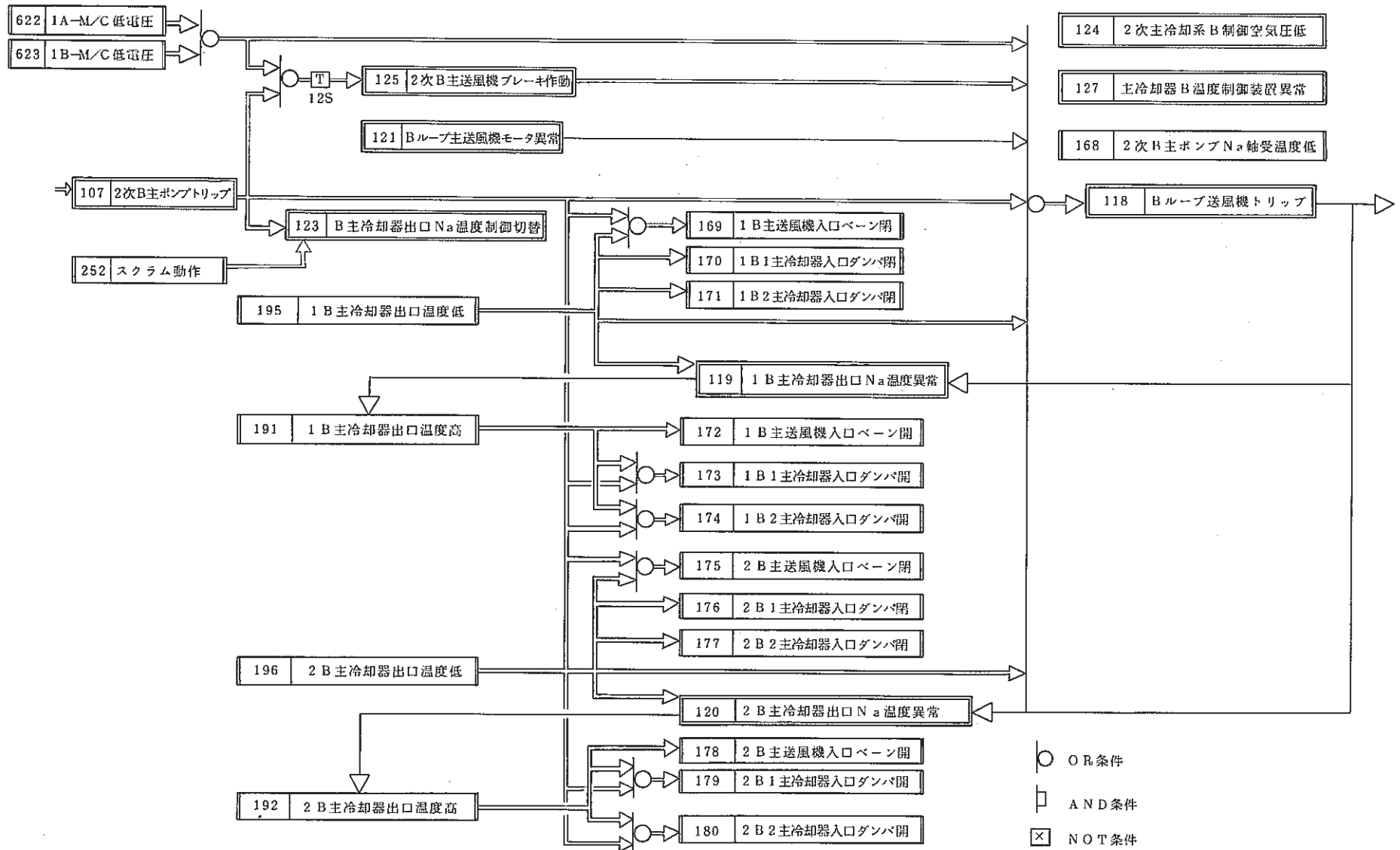


Fig. 3.2 警報シーケンス (5 / 5)

## 4. シミュレータによる検証試験

J O Y C A Tの機能であるファーストヒットアラーム判定、ファーストオペレーション選定、シーケンスモニタリング機能の妥当性を確認するため、シミュレータと接続しての検証試験を実施した。

### 4.1 検証試験方法

Fig. 4. 1 及びPhoto 4. 1 に検証試験時のシステム構成を示す。

また、Photo 4. 2, 4. 3 に診断結果の表示例と、マニュアル出力状況を示す。

検証試験に使用したシミュレータは、運転訓練用として昭和58年に設置されたもので中央制御室の主要制御盤5面を模擬しており、一部の現場操作もインストラクタコンソールから行えるフルスコープのものである。また、シミュレーションに使用しているコードは、実機で検証されたコードをベースに実時間性を図ったものである。

検証試験は、このシミュレータにて実際に異常事象を発生させ、異常状態信号をモデルを介してJ O Y C A Tへ伝送し、診断を行うという方式で実施した。

ただし、診断に使用した知識ベースは、Table 3. 2 に示した2次主冷却系を中心にしたものであり、検証試験はこの知識ベースの範囲で実施した。

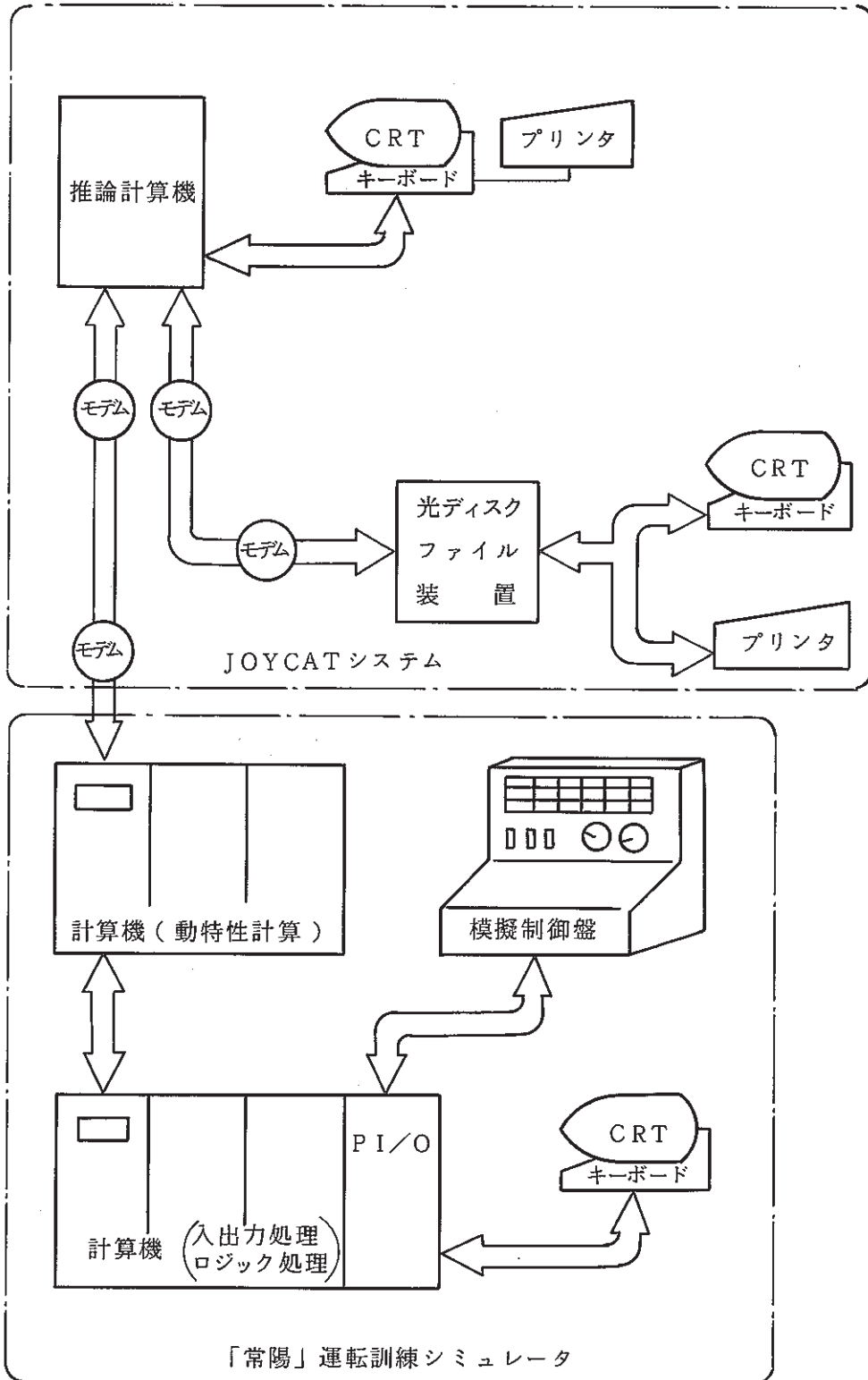


Fig. 4.1 JOYCAT検証試験時のシステム構成

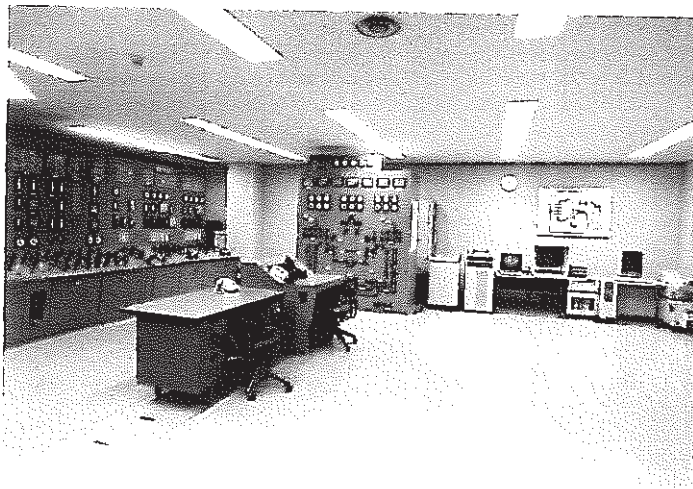


Photo4.1 検証試験時のシステム構成

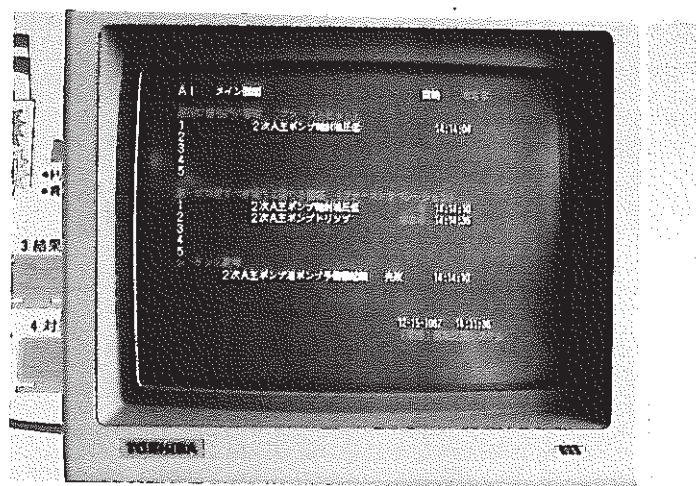


Photo4.2 診断結果の表示例

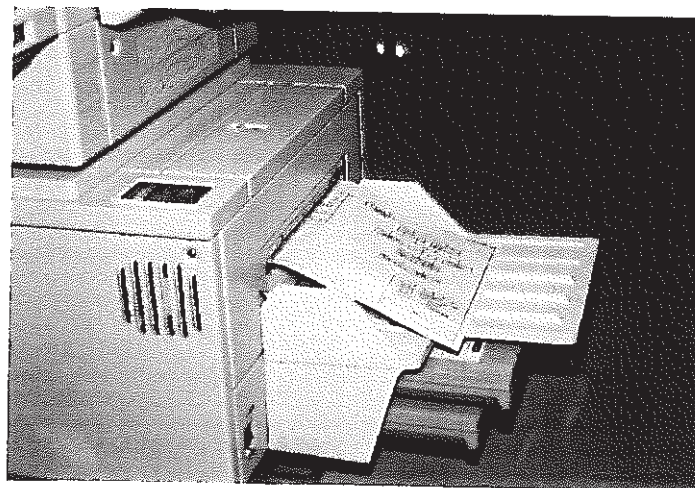


Photo4.3 マニュアル出力状況

## 4.2 検証試験例

検証試験の例として、Fig. 4.2 に示す 2 次主ポンプ油系統に異常が生じ、軸封油圧低に至った場合について JOYCAT がどのように診断したかを紹介する。

Fig. 4.3 に油圧低の警報発生直後の診断結果表示画面を示す。

ファーストヒットアラームとして 2 次 A 主ポンプ軸封油圧低、ファーストオペレーションとして 2 次 A 主ポンプ軸封油圧低、シーケンス異常として 2 次主ポンプ A 油ポンプ予備機起動失敗と表示し、図 4.4 に示す油圧低に関するマニュアルが出力された。

つまり JOYCAT では、この異常に対し原因警報は油圧低でありその対応操作が重要であると診断するとともに油ポンプの予備機が自動起動しなかったことを検出したことになる。

Fig. 4.5 に軸封油圧低による 2 次主ポンプトリップ発生後の診断結果の表示画面を示す。

ファーストオペレーションとして 2 次 A 主ポンプトリップと A ループ主送風機トリップが追加表示され、Fig. 4.6, 4.7 に示すマニュアルが出力された。また、表示画面上の\*は重要度を表しており、\*の多い方の操作を優先すべきであると表示している。

以上が診断結果として自動的に出力される内容である。

Fig. 4.8 に推論過程の画面を示す。

最初に 2 次 A 主ポンプ軸封油圧低の警報信号を取り込み、診断を開始している。この時点では、警報は 1 つしか発生していないため、ファーストヒットアラーム及びファーストオペレーションは、この 2 次主ポンプ軸封油圧低であると判定した。また、シーケンスの動作予測として、2 次主ポンプ油ポンプ予備機が 2 秒後に起動するという予測を行っているが 2 秒経過しても起動しないため、シーケンスの異常であると判定した。

(Fig. 4.8 (1/3) 参照)

次に異常事象が進展し、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 温度切替、A 主送風器ブレーキ作動、2 次 A 主ポンプ軸受油圧低の警報が発生すると、それぞれの発生条件を検索し、新しく発生した全ての警報が軸封油圧低から進展したものであると判定している。このため、ファーストヒットアラームの表示は、2 次 A 主ポンプ軸封油圧低で変化しないが、ファーストオペレーションは、重要度



の高い警報（2次A主ポンプトリップ，Aループ主送風機トリップ）が発生しているため，こちらの操作が重要であると判定している。（Fig. 4.8（2／3）参照）

次に，2次A主循環Na流量低，1A主送風機入口ベーン閉，2A主送風機入口ベーン閉の警報が発生しているがこれらについても同様にその発生条件を検索し，一連の警報であると判定している。（Fig. 4.8（3／3）参照）

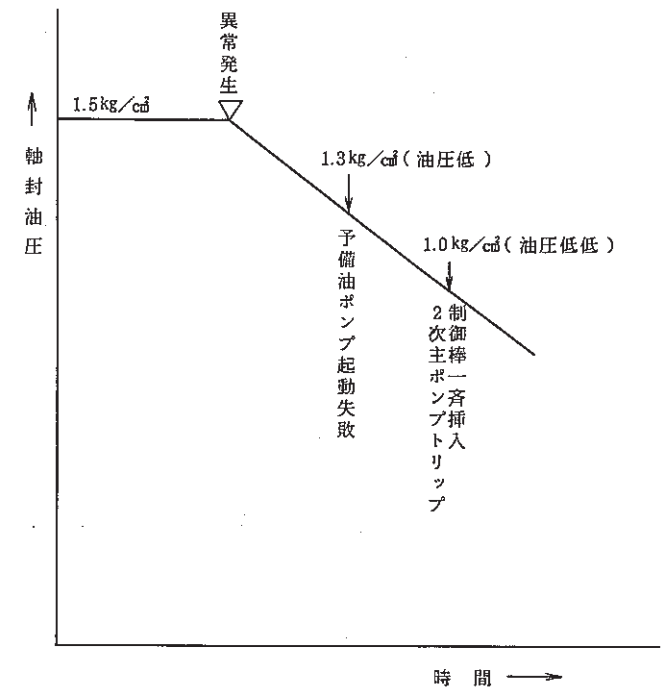
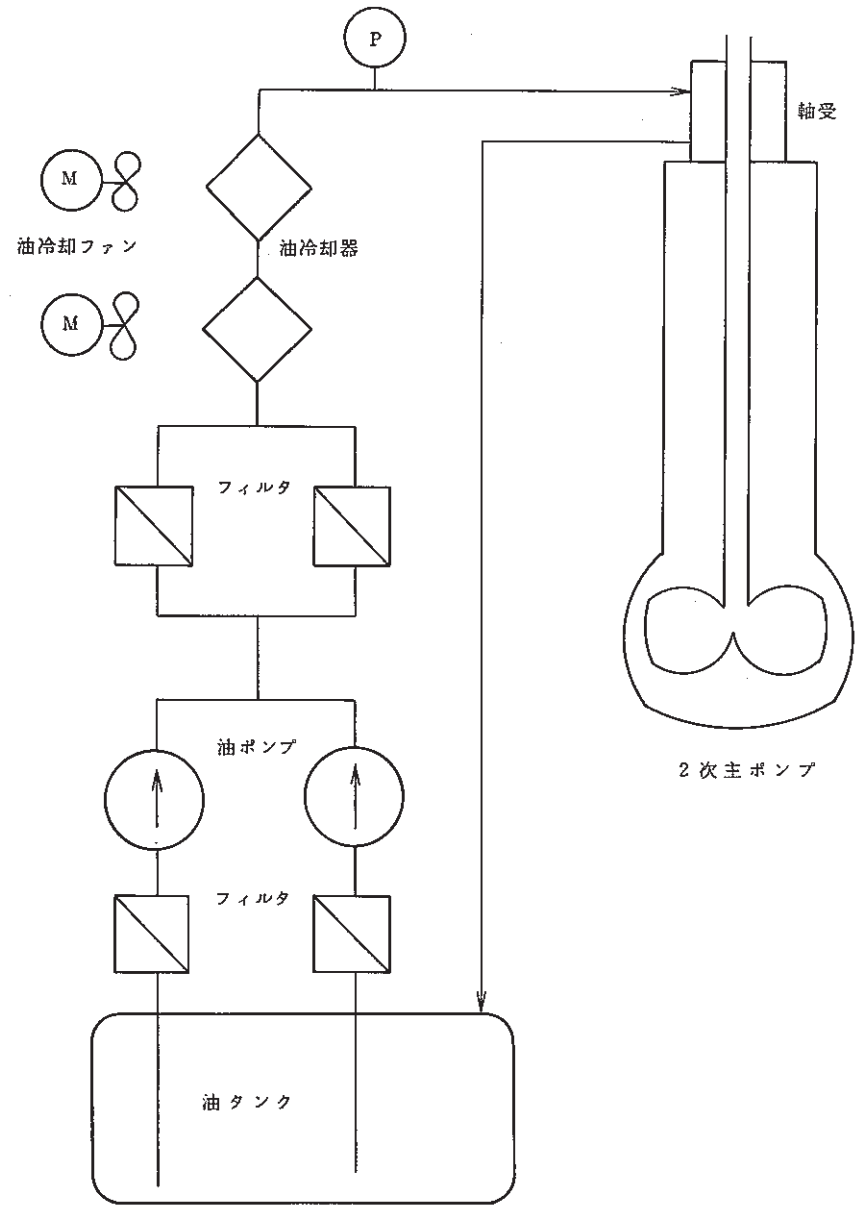


Fig. 4.2 検証試験例の異常事象



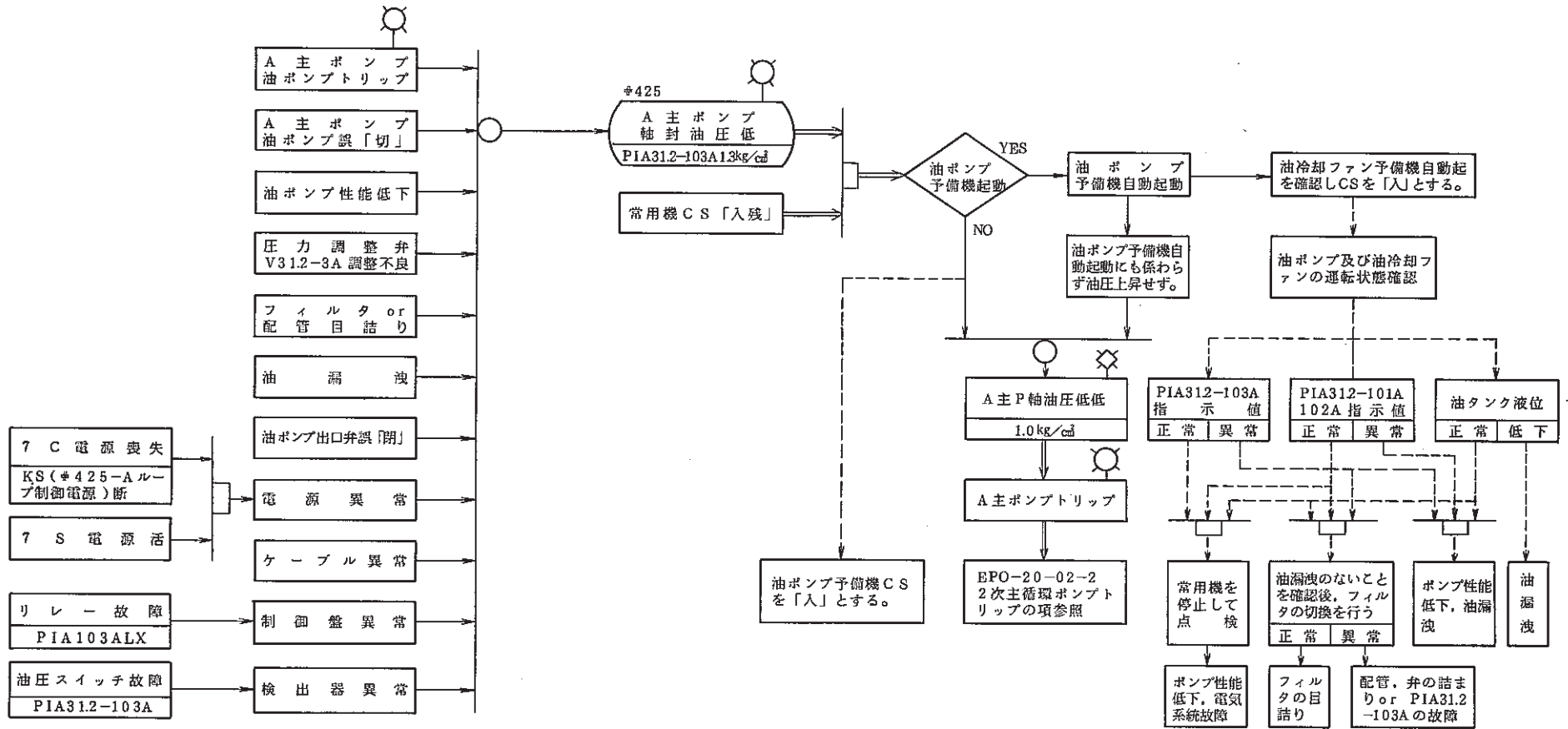


Fig. 4.4 A主ポンプ軸封油圧低に関する処置

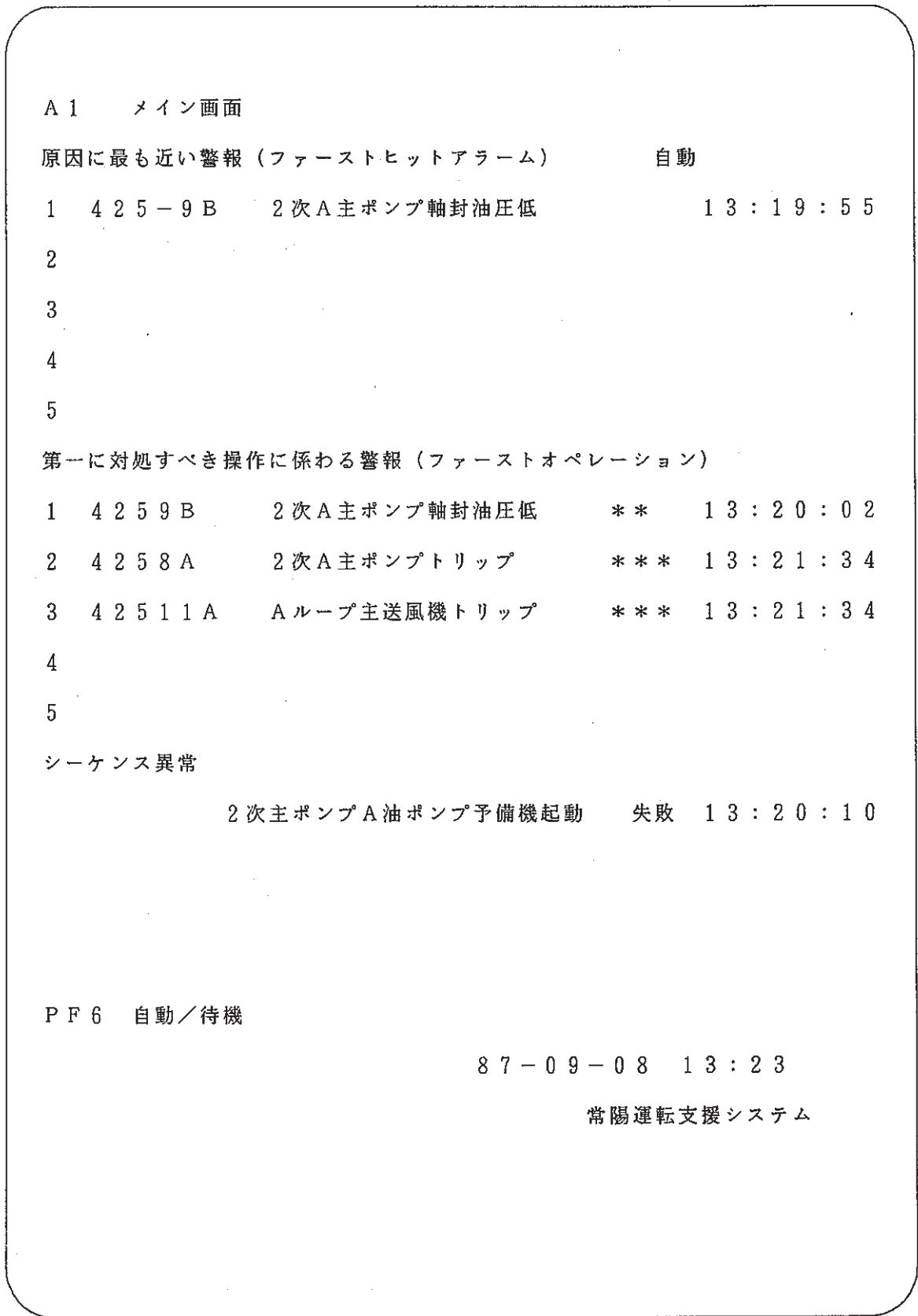


Fig. 4.5 診断結果画面 (2次主ポンプトリップ後)

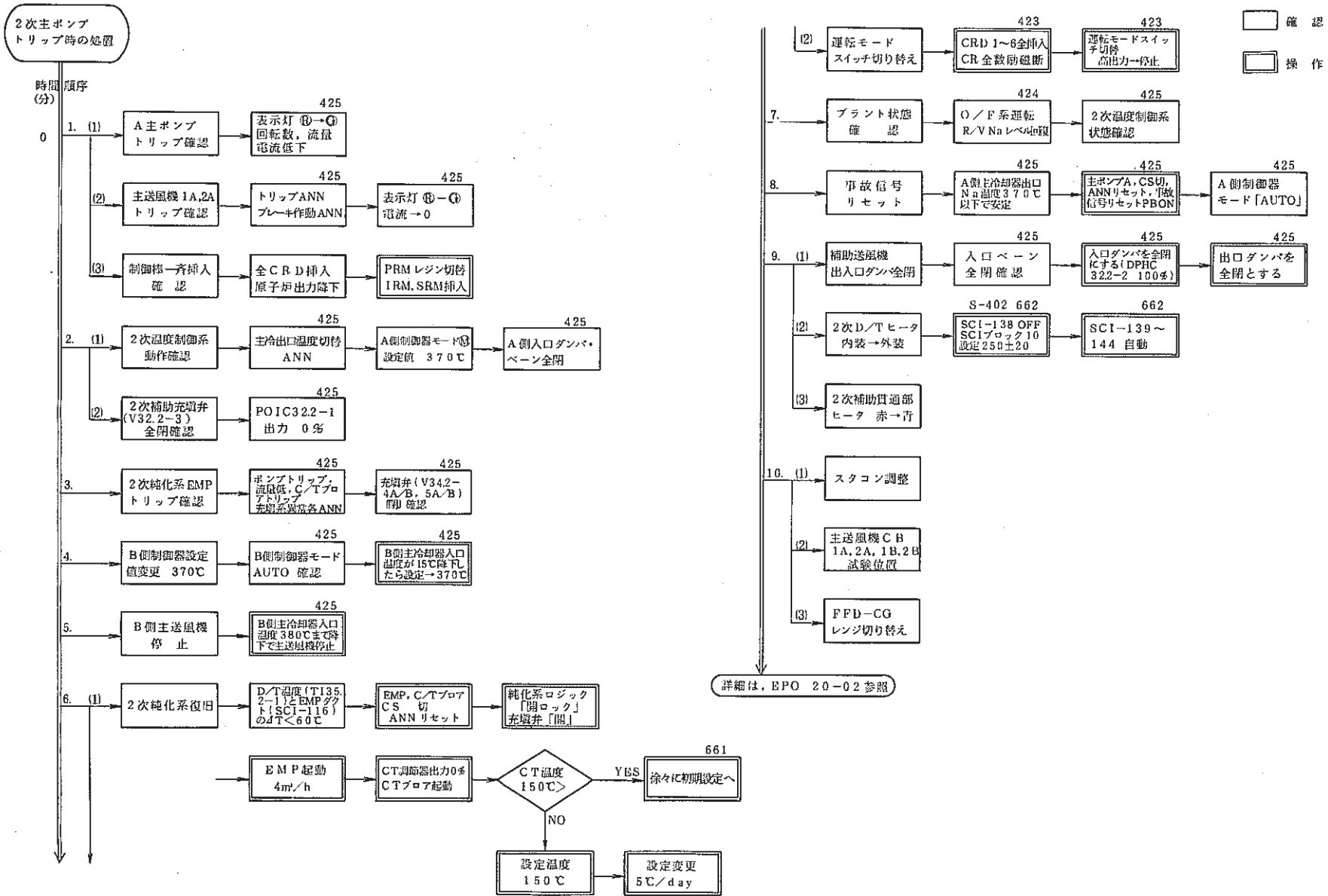


Fig. 4.6 2次主ポンプトリップ時の処置

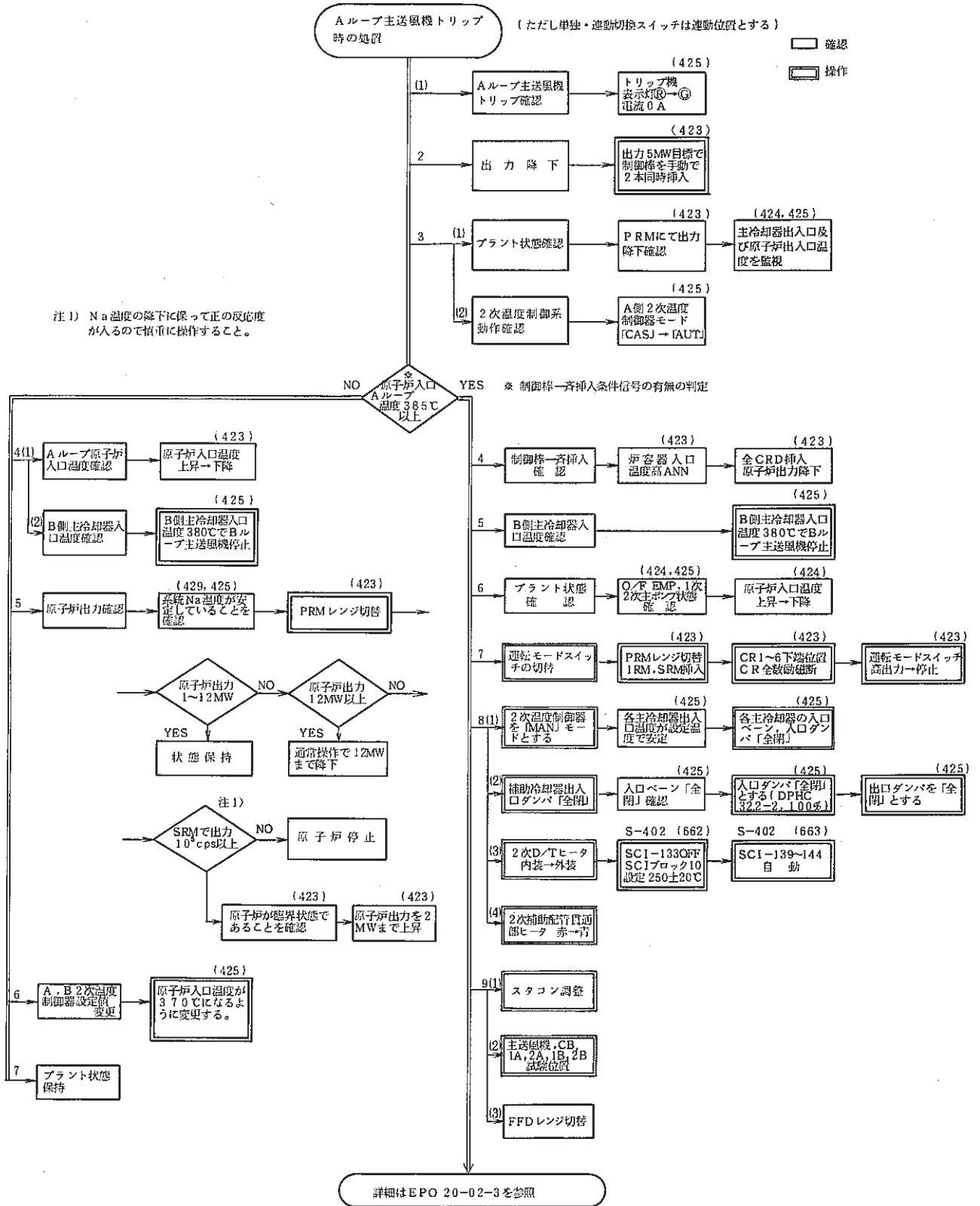


Fig. 4.7 A ループ主送風機トリップ時の処置

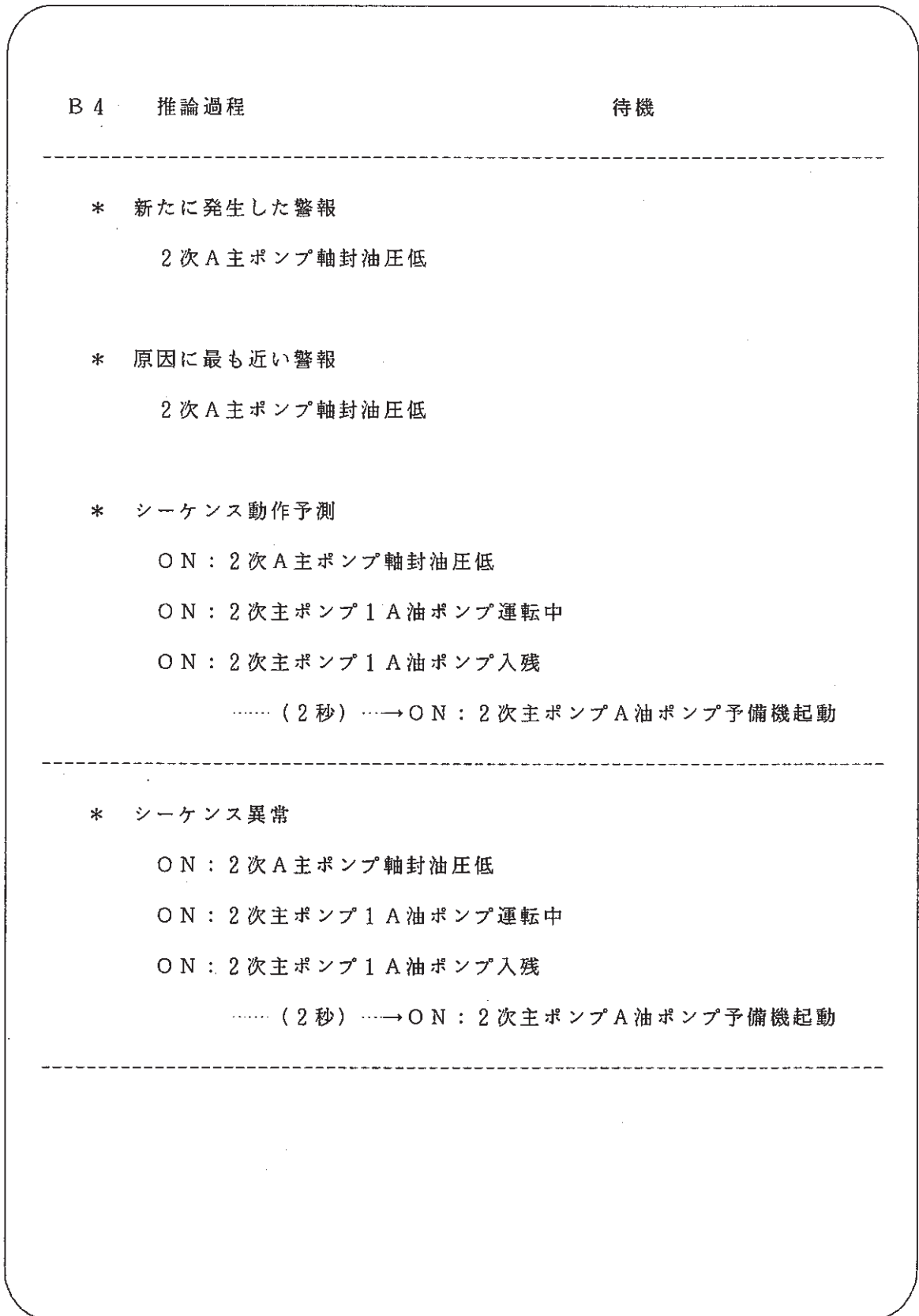


Fig. 4.8 推論過程画面 (1 / 3)



\* 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

\* 異常進展経路

- ON : 2次A主ポンプ軸受油圧低  
..... (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  
..... (0秒) → 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
- 

Fig. 4.8 推論過程画面 (2 / 3)

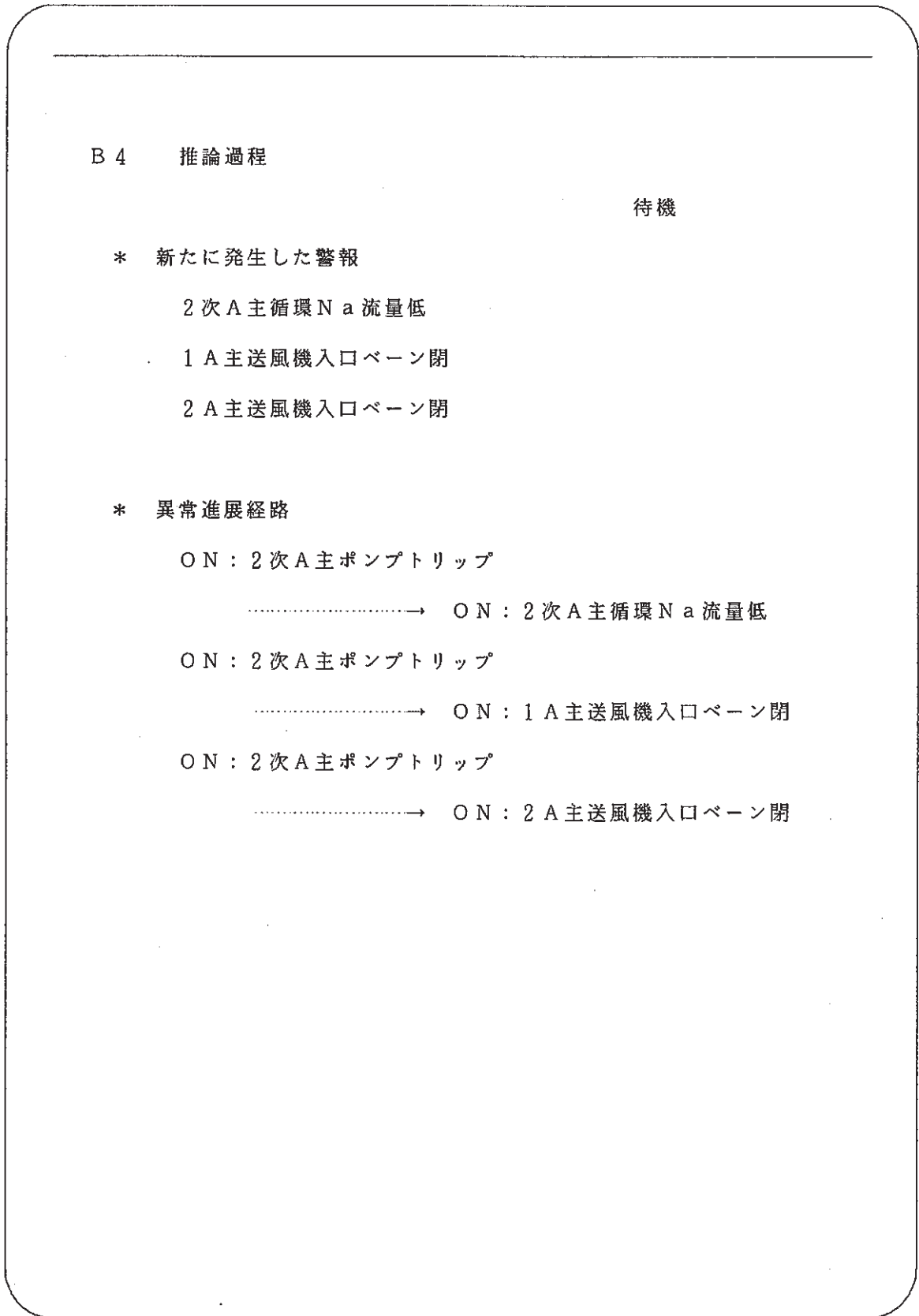


Fig. 4.8 推論過程画面 (3 / 3)

### 4.3 検証試験例の評価

Fig. 4.9 に、発生した警報をつなぎ合わせた警報シーケンスを示す。この図より、発生している全ての警報が2次A主ポンプ軸封油圧低から進展したものだということがわかる。従って、ファーストヒットアラームの判定は、適切である。ファーストオペレーションの選定については、最初油圧低の警報が発生した時点では、この油圧回復操作が重要でありこのマニュアルの出力は適切である。また、シーケンスモニタリングにより、油ポンプの予備機が起動していないことを検出しており、この時点で出力されたマニュアル対応やシーケンス不動作に対する対応操作を行えば、原子炉停止を回避することが可能である。

2次主ポンプトリップ後は、シーケンス動作によって制御棒一斉挿入となり原子炉停止の回避は、不可能なので、この時点で2次主ポンプトリップに関する安全停止操作のマニュアルが出力されたことも適切な動作である。

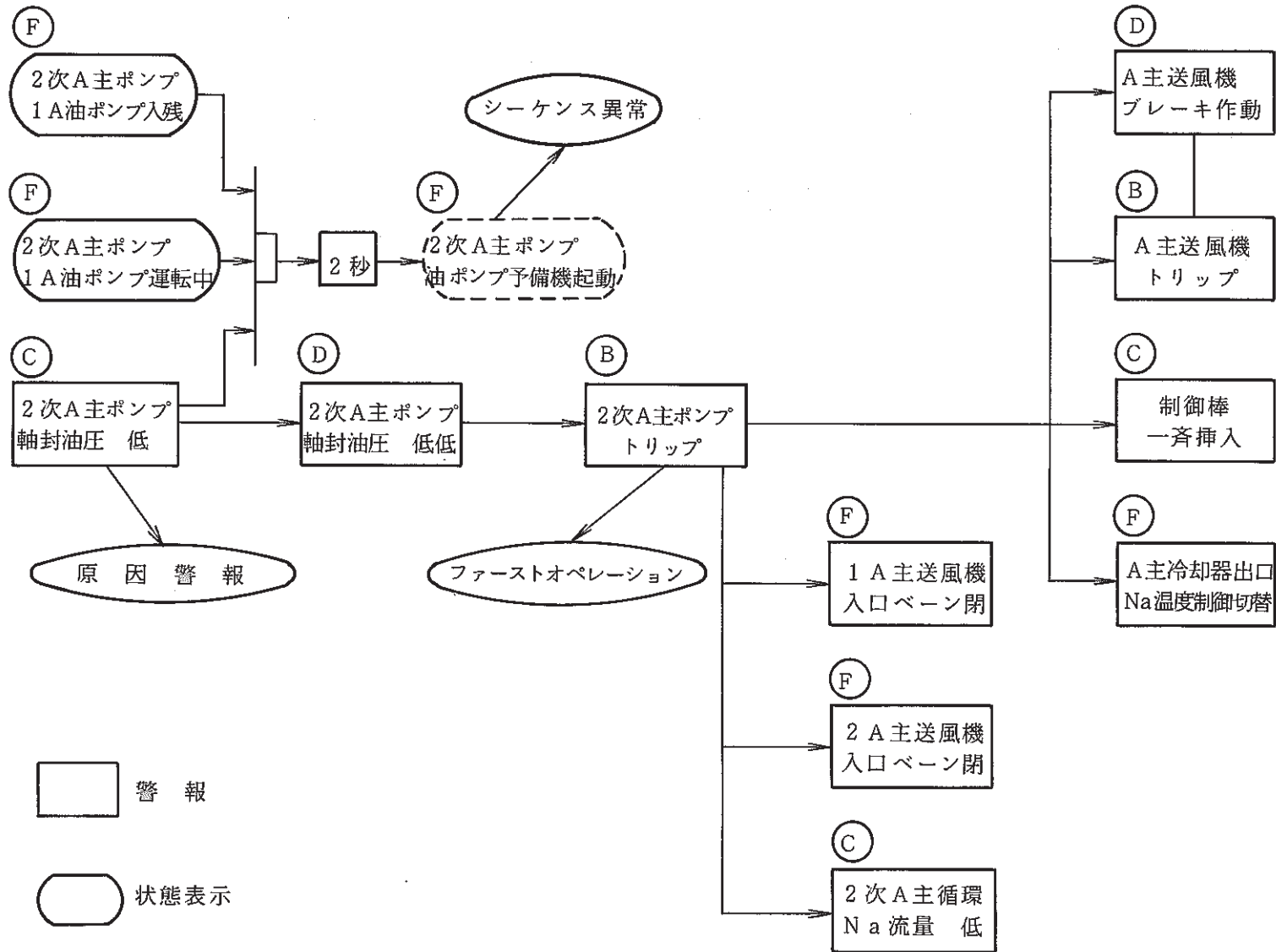


Fig. 4.9 警報シーケンス

## 5. 現状までの問題点とその対策

現状までの開発段階，及びシミュレータによる検証試験で発生した不具合事象とその対策について以下に示す。

### (1) 原因となる警報の競合状態によるファーストヒットアラームの判定不可

#### ① 事象

Fig. 5.1 に示すように，警報 A 1 と警報 A 2 があり，互いにそれぞれの発生条件になっている場合，A 1 の警報が発生すればそれにより A 2 の警報が発生する。また逆に A 2 の警報が発生すれば A 1 の警報が発生する。このように競合する警報が発生した場合，どちらが先に発生したのか判断できない。つまり，実際のプラントにおいても，液面低によりポンプがトリップするという条件とポンプがトリップすれば液面低が発生するという条件があった場合に，どちらか一方の異常が発生すれば，必ず両方の警報が発生することになる。この場合，この警報の因果関係からだけでは，どちらが先に発生したのか判定することができない。

#### ② 対策

Fig. 5.2 に発生した警報が，警報間の因果関係により閉ループを構成する警報シーケンス例を示す。

この中で，上記のようにファーストヒットアラームの判定ができないケースは 1 と 4 の場合であり 2 と 3 については，従来の方式で判定することができる。

このため，1 と 4 のように原因警報が閉ループを構成している場合には，閉ループを構成している警報を抜き出し，発生時刻によりファーストヒットアラームの判定を行うロジックを推論機構に追加することで解決する。

### (2) 処置マニュアルの複数出力

#### ① 事象

異常時に出力されるマニュアルは，各警報毎に重要度をもうけ，診断した時点で一番重要度の高い警報の処置マニュアルが出力される。この重要度のランクは 6 段階であり，異常事象によっては重要度の等しい警報が複数発生し，そのマニュアルも複数出力されるケースが発生した。（4 項の検証試験例参照）

## ② 対 策

従来の発生している警報の中で一番重要度の高い処置マニュアルを選ぶロジックに対し重要度の同じ警報が発生した場合には、警報シーケンスの上流のものを選ぶロジックを追加することで解決する。

このロジックは、異常事象が発生した場合に、原子炉安全保護系の作動に至らない段階では、原因を取り除くことが一番重要であり、原子炉安全保護系の作動により原子炉の停止に至った場合には、直接原子炉安全保護系を作動させた要因の対処を含めた安全停止操作が重要であるという観点から決定した。

## (3) シーケンスモニタリング時における下流側状態変化による誤判断

## ① 事 象

一度、シーケンスにより正常動作した機器がその後プラントの制御系により動作し、シーケンスの異常と診断されるケースが発生した。

Fig. 5.3に示すように、2次主ポンプトリップにより主送風機の入口ベーンが閉となるという知識ベースを作成した場合において、2次主ポンプトリップが発生すると、主送風機入口ベーンは、一旦、閉となるがその後、温度制御に伴い開き始める。このため、2次主ポンプがトリップしているのにベーン開の事象が発生しているとみなされシーケンスの異常として検出されるケースが発生した。この入口ベーンのシーケンス動作の監視は、2次主ポンプトリップ直後には、過冷却防止上必要であるが、その後の温度制御段階では必要ない。

## ② 対 策

初期状態のみを監視すればよい事象に対応するため一度シーケンス動作が正常に行われれば、その後は、シーケンスモニタリングを中止してしまうものと、常にシーケンスモニタリングを継続するものとに分けて処理できるように改良して対処する。

## (4) 知識ベースを単にシーケンス図だけに基づいて作成した場合の不具合

## ① 事 象

知識ベースをシーケンス図どおり作成した場合、異常事象によっては、適切なシーケンスモニタリングが行えないケースが生じた。

Fig. 5.4 に知識ベースをシーケンス図どおりに作成した例を示す。これは、「補助冷却系起動指令」が発生すれば補助冷却器入口ベーンが「閉」となり、それらのAND条件により、補助送風機が起動するというものである。

このケースにおいて、入口ベーンのリミットスイッチの不良等により補助送風機が起動しなかった場合、入口ベーン「閉」がシーケンスの異常として検出されるが、ベーンが「閉」にならなかったために、AND条件が成立しないで補助送風機が起動しないことは、シーケンスの異常として検出できない。

つまり、異常推移の中でシーケンスの不動作が発生すると、その下流にある全てが作動しなくなる。

しかし、このケースにおいて、運転監視上重要なことは、その下流にある補助送風機が起動したかどうかである。

## ② 対策

運転監視上何が重要なかを考慮して知識ベースの作成を行った。この作成例をFig. 5.5 に示す。この例であれば、入口ベーン「閉」と補助送風機の起動の両方がシーケンスモニタリングで検出されることになる。

また、予備機の起動スイッチが自動位置になっていないために予備機が起動しなかったようなケースにおいても不動作ではないがシーケンスモニタリングで検知する必要がある。

このように、知識ベースを作成する上では、何をシーケンスモニタリングするのかを考慮して作成する必要がある。

尚、これらの事象については、昭和63年2月までに改良を実施し、3月より検証試験を開始しその有効性を確認する予定である。

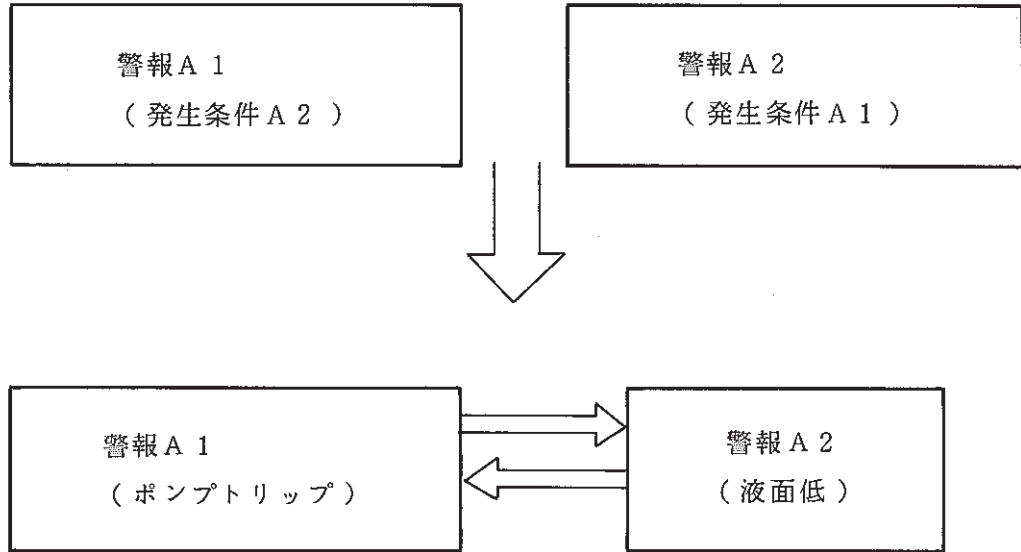
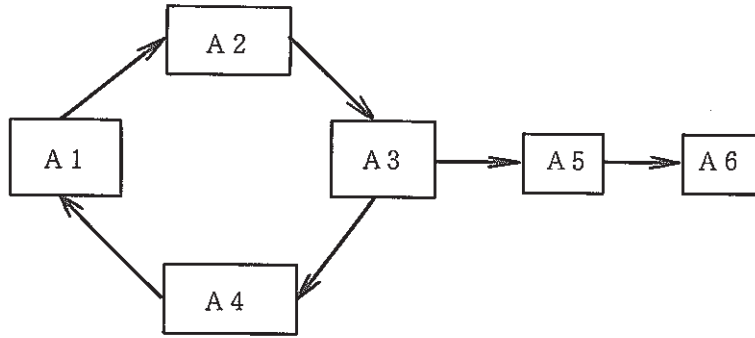


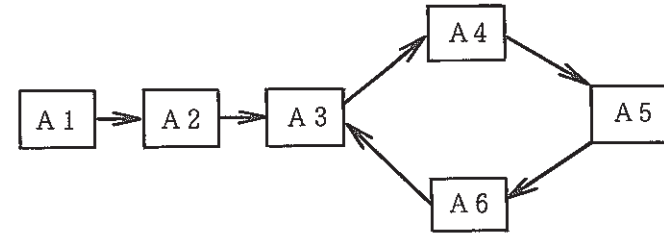
Fig. 5.1 原因警報の競合 (閉ループ)



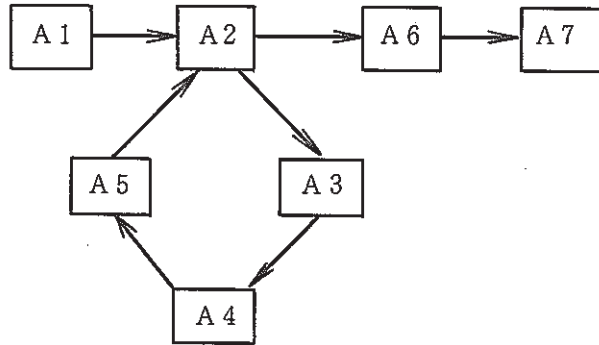
1. 最上流で閉ループを構成



3. 最下流で閉ループを構成



2. 途中で閉ループを構成



4. 全体で閉ループを構成

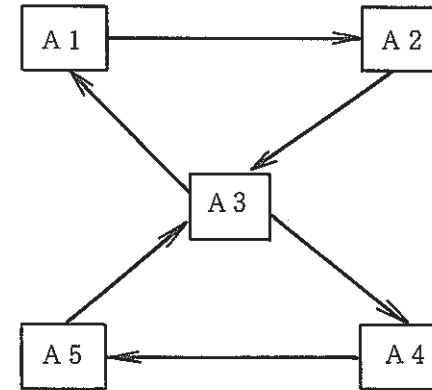


Fig. 5.2 警報シーケンスが閉ループを構成する例

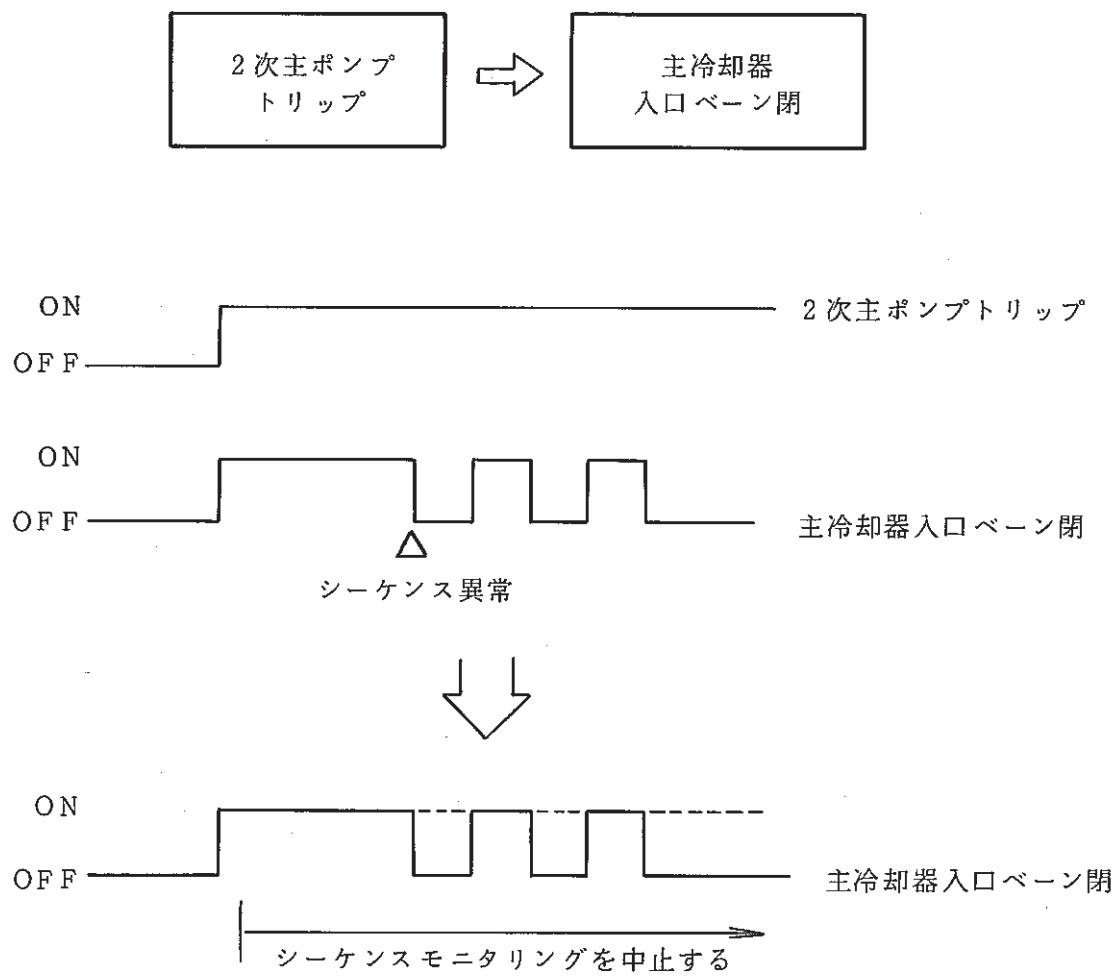


Fig. 5.3 下流側の状態変化によるシーケンスモニタリング誤判断

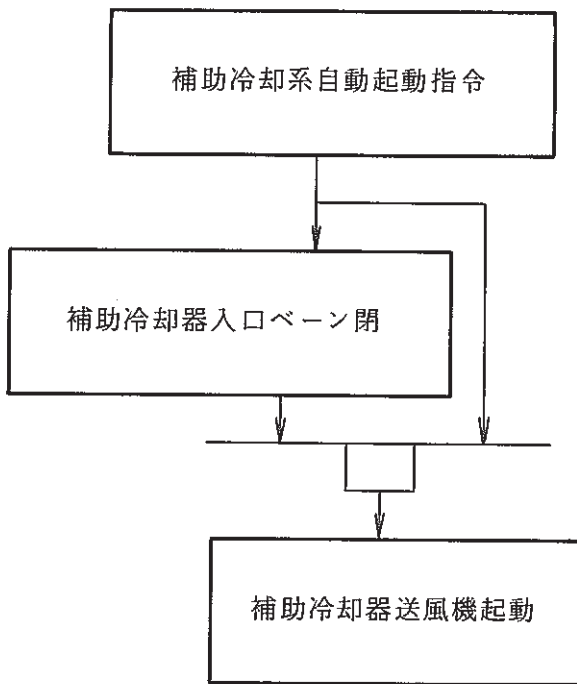


Fig. 5. 4  
シーケンス図に基づいて作成した  
知識ベース

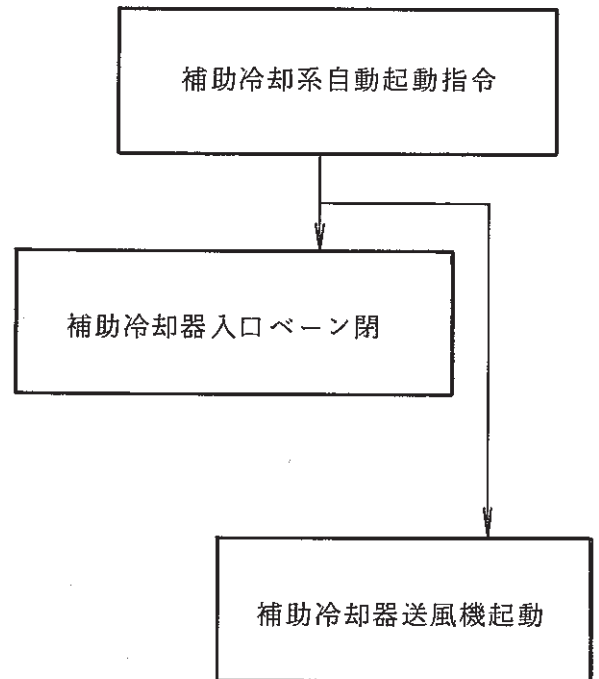


Fig. 5. 5  
JOYCAT用に作成した知識ベース

## 6. まとめ

### (1) 成 果

#### ① JOYCATの運転支援機能の確認

シミュレータによる検証試験の結果JOYCATの運転支援機能の妥当性を確認することができた。

##### (a) ファーストヒットアラーム判定機能

ファーストヒットアラーム判定機能は、多重警報発生時においても、第一原因警報の判定ができ、プラントの異常に対する早急な処置が可能となる。特にプラントの正常復旧が可能な異常事象に対しては、その原因を取り除くことが重要であり、有効な支援機能となることが確認された。

一部の異常事象に対し、原因警報の競合により、原因の判定できないケースが生じたが、警報の発生時刻による判定ロジックを追加することで対処でき、昭和62年度中に改造を実施する。

##### (b) ファーストオペレーション選定機能

異常時の対応操作は、異常事象の進展状況により異なってくるが、ファーストオペレーション選定機能により、その異常事象に対応したマニュアルを選定することができ、有効な支援機能となることが確認された。

一部の異常事象に対し複数のマニュアルを出力するケースが生じたが、警報シーケンスの上流を優先させるロジックを追加することで対処でき、昭和62年度中に改造を実施する。

##### (c) シーケンスモニタリング機能

異常発生時に機器のシーケンス動作を監視し、シーケンスの異常を検出することができた。異常時の対応において、各機器の動作監視は、非常に重要であり、このシーケンスモニタリング機能の有効性が確認された。

#### ② 知識ベース構築手法の確立

JOYCATの知識ベース構築手法として、設計資料、シーケンス図、運転経験を反映して作成した運転技術資料を知識ベース化する方式が有効であった。特に各警報

毎にその発生条件と異常事象推移を含めた処置操作をブロック図としてまとめた異常時措置マニュアルが有用であった。この措置マニュアルは、運転経験が反映されたものであるため、必然的に知識ベースへも運転経験が反映される結果となった。

知識ベースは、この異常時措置マニュアルやシーケンス図をもとに作成し、シミュレータによる検証試験により修正作業を行いつつ、構築した。

### ③ JOYCATの開発におけるシミュレータの有効性

JOYCATの開発において、「常陽」実機を忠実に模擬した運転訓練シミュレータは、非常に有効であった。特に異常時を対象とした運転支援システムの開発には、種々の異常事象を発生できるシミュレータが欠かすことのできないものである。また、知識ベースの作成時においても異常事象の推移を確認できるシミュレータは有効であった。

## (2) 今後の作業

### ① 知識ベースの拡張

これまでに作成した2次主冷却系の知識ベースに加え1次冷却系、原子炉制御系の知識ベースを作成中であり、これらの検証試験を昭和63年2月から開始する。

昭和63年度には、格納容器雰囲気調整系、電源系の知識ベースを作成し、全系の知識ベース作成作業が完了する。

### ② 実機信号入力点の追加

JOYCATを実機へ接続する場合、約600点の警報信号が必要である。現在この信号は、2次主冷却系を中心に約100点の警報信号取り込み作業が完了している。

この信号取り込み作業は、プラント運転中には、困難であるため、昭和63年度、64年度の定期点検期間を利用して行う計画である。

### ③ 診断機能の高度化

現状の推論機構では、機器の複雑な動作監視や人間が介入した後の監視に対し対応できる設計となっていない。これをカバーするため、特定の機器や異常事象に限定し、それに対応した監視診断機構をもうけ、詳細な診断を行う機能や、異常事象の推移をブロック図としてCRTに表示し監視を行う機能を追加する計画である。

④ 実機への適用

本システムは、昭和63年度に「常陽」中央制御室に仮設置し、実機による部分適用試験を行い、マン・マシーン性に関する問題点の摘出を行う予定である。その後、昭和65年度実機運用開始に向けてプラント信号の取出し作業を計画的に実施するとともに、知識ベースの拡張と診断手法の高度化を図り、シミュレータによる検証試験を繰り返し実施して信頼性を確認して行く計画である。

## 7. 参考文献

- (1) 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（受託研究）PNC ST901 85-08 1985年2月株式会社東芝
- (2) 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，瀬戸田，岡田
- (3) 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
- (4) 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」
- (5) 人工知能利用技術の現状と高速実験炉「常陽」での適用  
PNC 19430 87-006 1987年10月 玉山，杉江
- (6) 原子力学会 61年会 E 1 「常陽」運転ガイダンスシステム — システム概要 —
- (7) 原子力学会 61年会 E 2 「常陽」運転ガイダンスシステム — 知識工学手法による検証処理診断 —
- (8) 原子力学会 62年会 D 5 4 「常陽」運転支援システムの開発 — フェーズ 2 —
- (9) 原子力学会 62年秋の大会 G 2 5 「常陽」運転支援システムの開発  
その1 現状と今後の開発
- (10) 原子力学会 62年秋の大会 G 2 6 「常陽」運転支援システムの開発  
その2 知識ベースの監理
- (11) 原子力学会 62年秋の大会 G 2 7 「常陽」運転支援システムの開発  
その3 知識ベースの構築
- (12) 原子力学会 62年秋の大会 G 2 8 「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