

# 臨界警報装置の性能検査における信頼性評価

1989年8月

動力炉・核燃料開発事業団  
東 海 事 業 所

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

## 臨界警報装置の性能検査における信頼性評価

関 昭雄\*\* 野田喜美雄\*\*\* 宮部賢次郎\*  
石田 武則\*\*\*\* 刀禰 龍夫\*

### 要 旨

再処理工場及び転換技術開発施設に設置してある臨界警報装置の性能検査（月例検査）において、検査実施中に誤操作等によりシステムの誤警報が発生しないことが重要である。また、現在性能検査時には、保安規定により核燃料物質の取り扱いを各施設において禁止されているが、施設稼働の面からは性能検査中も臨界監視機能が喪失せず、工程の運転を可能とする検討も必要である。

そこで、臨界警報装置においてその機能ブロックに従い、性能検査の各項目毎に作業中における装置の健全性（臨界監視機能の喪失及び誤警報の発生がないこと）を FTA (Fault Tree Analysis) を用いて解析し、次に FTA により得られた結果に対し、計測機器校正施設に整備した臨界警報装置検査システムを用いて、実証試験により確認した。

この結果、性能検査において誤操作等によりシステムの誤警報が生じないことが明らかとなり、装置の保全における信頼性が確認された。また同時に、臨界監視機能を停止することなく性能検査を行うことの技術的な可能性を検証することができた。

\* 安全管理部 放射線管理第一課

\*\* 現在、安全管理部

\*\*\* 現在、本社安全部

\*\*\*\* 現在、東芝府中工場

# 目 次

1. はじめに .....	1
2. 臨界警報装置の概要 .....	2
2.1 設計方針 .....	2
2.2 装置概要 .....	2
2.2.1 基本構成 .....	2
2.2.2 各部の配置 .....	5
2.2.3 装置の基本的動作と特徴 .....	5
2.3 保全性 .....	6
2.3.1 保全の分類 .....	6
2.3.2 予防保全 .....	7
2.3.3 事後保全 .....	9
3. 性能検査における装置の健全性評価方法 .....	11
3.1 FTA (Fault Tree Analysis) .....	11
3.2 臨界警報装置検査システム .....	13
4. 評価結果 .....	15
4.1 警報音発生装置の動作確認検査 .....	18
4.1.1 検査目的 .....	18
4.2 電源ランプの確認 .....	22
4.3 各電源電圧の測定 .....	22
4.3.1 検査目的 .....	22
4.4 アナログ出力の測定 .....	28
4.4.1 検査目的 .....	28
4.5 テスト回路による動作確認 .....	29
4.5.1 検査目的 .....	29
4.6 臨界警報動作確認 .....	34
4.6.1 検査目的 .....	34
4.7 回転灯断線チェック動作確認 .....	36
4.7.1 検査目的 .....	36
5. まとめ .....	38
6. 参考文献 .....	43

## 1. はじめに

東海事業所の再処理工場、転換技術開発施設、プルトニウム燃料開発室などの核燃料施設では、臨界事故の発生を防止するために種々の対策が取られているが、万が一の事故に対し、その発生をすみやかに検知し、作業者を直ちに退避させるために臨界警報装置が設置されている。

ANSI/ANS-8.3-1979<sup>1)</sup>の「臨界事故警報装置」によれば、ある一定量以上の核分裂性物質（例えば溶液状のPu-239で450g）を取扱う区域では臨界警報装置の設置について検討を行うこととしている。

東海事業所においては、再処理工場、プルトニウム転換技術開発施設、高レベル放射性物質研究施設（以後「CPF」という。）、プルトニウム燃料第三開発室及びプルトニウム燃料第一、二開発室に、それぞれ臨界警報装置が設置されており、このうち、再処理工場、プルトニウム転換技術開発施設及びプルトニウム燃料第一、二、三開発室の装置には国産の改良型臨界警報装置が設置されている。

臨界警報装置は、故障等による誤警報を防止するために信頼性が高くなければならない。改良型臨界警報装置（以後、単に「臨界警報装置」という。）は、旧装置（仏国SEIN社製）の使用経験を基に安全管理部がメーカーと協力して国産化したものであり、その設計にあたっては、旧型装置と比較し信頼性はもとより、点検や修理が容易に行える、すなわち保全性についても極めて高いものとなるように配慮した。

再処理施設（再処理工場及びプルトニウム転換技術開発施設）に設置されている臨界警報装置の性能を維持・管理するために年2回の総合検査及び毎月1回の性能検査を放射線管理第一課において実施しており、検査期間中は、施設工程のうち、特に核物質の移動を伴う工程は停止されるが、施設稼働率の向上や定期点検及び保守作業の効率的、計画的遂行に寄与するためには、検査や保守作業時間の短縮を図ると共に、性能検査においては臨界監視機能を中断することなく点検や保守を行える手法の検討が必要である。新しい臨界警報装置を開発する時点において、供用中における点検及び保守の実施は、設計条件の重要な項目の1つであり、臨界警報装置は各部にその設計思想を取り入れられている。そこで今回、臨界警報装置の性能検査時において、各項目の点検を実施中に、臨界監視機能が喪失しないこと、また点検中の誤操作等によっても、システムの誤警報が発生しないことをFTAにより確認することとした。

## 2. 臨界警報装置の概要

### 2.1 設計方針

臨界警報装置を国産化するにあたり、臨界警報装置を使用する施設の要求条件、フランスから導入した旧装置の設計思想と再処理施設での使用経験及び国内の放射線測定やエレクトロニクスに関する最新技術について検討を行い、以下に示す設計方針に基づいて製作された。

#### (1) 信 頼 性

高い信頼性と品質管理の基に設計、製作、試験、検査が行われること。

#### (2) 検出対象放射線

臨界事故時の即発 $\gamma$ 線または中性子線とし、これらの線量率が予め設定された値を超えたことを検知することとし、これを第一の機能とする。

#### (3) 臨界事故の判別条件

臨界事故の判別条件は 2 out of 3 論理を基本とし、かつ 0.5 秒以内の同時性判定を組み込む。

#### (4) 警 報

警報機能は音による方法を第一優先とし、光による方法を追加する場合もある。

#### (5) 耐 震 性

臨界警報装置の耐震性設計はクラス A とする。

#### (6) 保 全 性

(イ) 臨界警報装置は、可能なかぎり臨界監視機能を失うことなく、計画的な検査、点検が可能であること。

(ロ) 装置内各部の单一故障では、臨界監視機能を失わないこと。

(ハ) 比較的故障率が高いと計算された検出器には、アナログ出力及びテスト出力を設け、健全性の確認が行えるようにする。

#### (7) 電 源

(イ) 臨界警報装置に供給する交流電源は無停電電源とする。

(ロ) 直流電源のうち、2 out of 3 論理回路に供給する電源は独立3重系とし、他は並列2重系とする。

(ハ) 電源の喪失に対する検出機能を設ける。

### 2.2 装置概要

#### 2.2.1 基本構成

臨界警報装置の全体構成ブロック図を図 1 に示す。装置の基本構成を以下に示す。

- (イ)  $\gamma$  線または中性子線を測定し、その線量率が予め設定した値を超えたとき検出信号を発生する検出器 (S1、S2、S3)。
  - (ロ) 検出器からの検出信号を、後続の 3 台の 2 / 3 論理回路へ分配する 3 台の分配ボックス (DB)。
  - (ハ) 分配ボックスを経由して入力された検出信号に基づき、2 out of 3 の同時性を判断する 3 台の 2 / 3 論理回路 (2 / 3 (A)、2 / 3 (B)、2 / 3 (C))。
  - (ニ) 3 台の 2 / 3 論理回路からの 2 out of 3 同時性成立信号に基づき、臨界事故発生の有無を判定する補助ユニット (AUX)。
  - (ホ) 補助ユニットからの臨界事故信号に基づき、警報信号を発生する警報発生ユニット。
  - (ヘ) 警報発生ユニットからの警報信号に基づき、退避のための警報音信号を発生する警報音発生装置。
  - (ト) 各区域に設置にされ、警報音発生装置からの信号により警報音を発生するスピーカ (SP) 及び補助ユニットからの回転灯駆動信号により警報を発生する回転灯(PL)。
- 付属する機能としては、装置の機能点検を行う TEST モジュールや、装置の異常監視、自動点検が行える ISI モジュール、さらには検出器の健全性をモニタするための記録計、またはミニコンピューターがある。

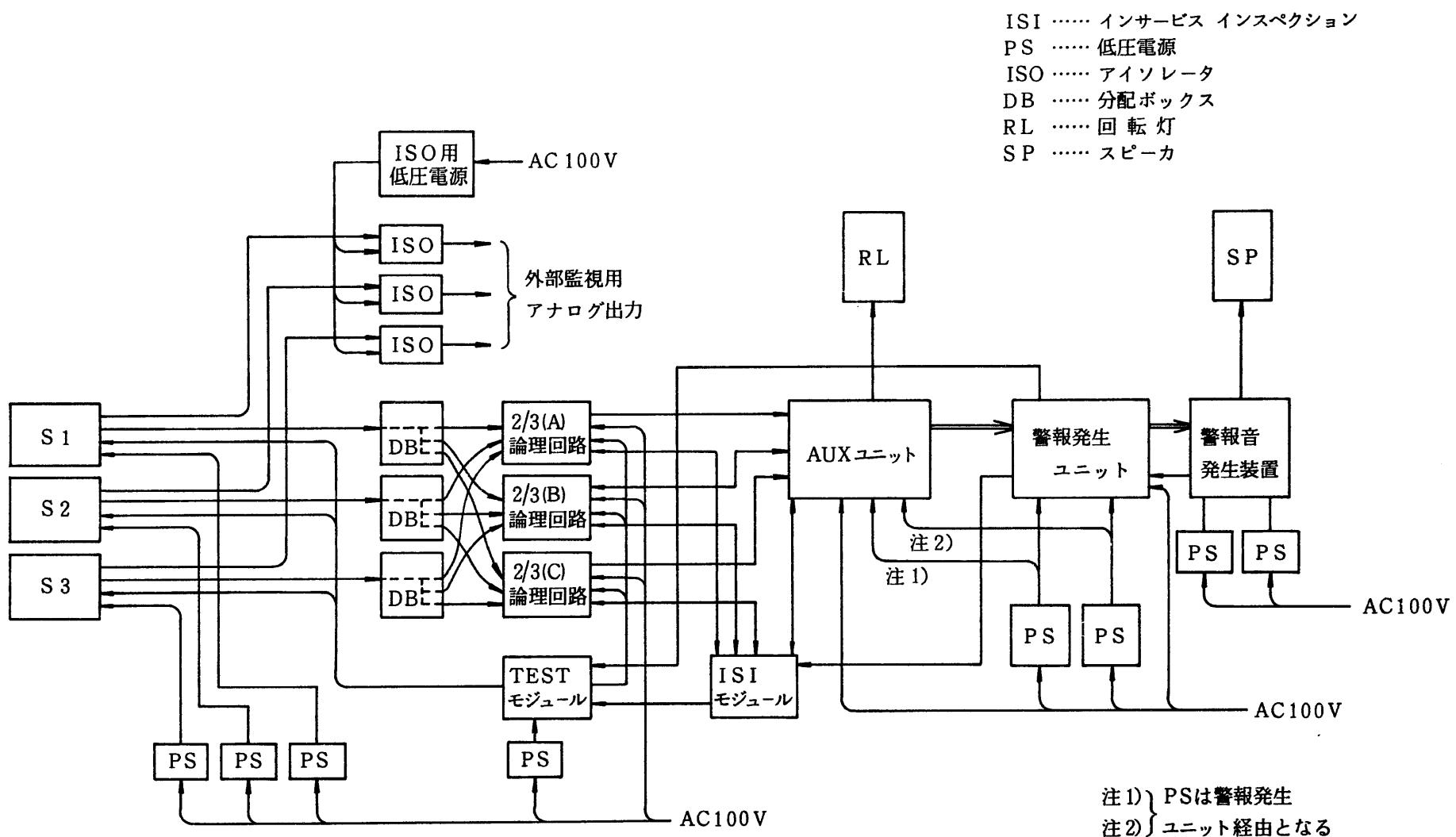


図1 全体構成プロック図

### 2.2.2 各部の配置

臨界監視を行う必要がある区域・工程ユニット 1箇所につき、3台の検出器を1組とする1つの検出部が配置される。通常  $\gamma$  線用検出器が使用されるが、 $\gamma$  線バックグラウンドの高い所、あるいは  $\gamma$  線による検出が中間にある遮蔽体等によって困難な場所には中性子線用検出器が使用される。

隣り合う各検出器は、電磁誘導ノイズや線量率の高い廃棄物等の移動による誤作動を防止するため、通常 2 m 以上の間隔において設置される。

また臨界事故発生時における退避区域全域、及び工程制御室等のその他必要な場所には、退避警報吹鳴用スピーカが設置され、かつ騒音レベルの高い区域や、臨界時に作業者の入域を防止したい入口付近には回転灯が設置されている。隣り合うスピーカ及び回転灯は、別個のリレーおよびケーブルにより駆動し、これらの故障により、ある区域に警報が出なくなることを防止している。

検出器及びスピーカ、並びに回転灯以外の各構成ユニット等は、施設の放射線管理室または工程制御室に設置され、ここで担当者による運転及び日常点検等の管理がなされている。

### 2.2.3 装置の基本的動作と特徴

$\gamma$  線または中性子線の線量率が設定値よりも超えたことを検知した検出器は分配ボックスを通じて、3台の 2 / 3 論理モジュールへ検出信号（通常 +5 V、検出信号発生時 OV となる）を送る。3台の 2 / 3 論理回路モジュールはそれぞれ 1組の検出部のうち、3台の検出器について 2 out of 3 が 0.5 秒以内に成立したか否かの判定を行い、判定成立時のみ補助ユニットへ接点信号を伝送する。一方補助ユニットでは各 3台の 2 / 3 論理回路モジュールについて再度 2 out of 3 が 1.0 秒以内に成立したか否の判定を行う。この判定が成立した時、はじめて臨界事故としての判断が下され、補助ユニットは警報ユニットへ臨界信号を送るとともに、各現場の回転灯を順次点灯させる。

警報発生ユニットにおいては臨界事故が発生したことを装置パネルのランプやブザーにより表示するとともに、補助ユニットへ回転灯の点灯信号を順次送る。また警報音発生装置へは起動信号を送る（通常 10 分間）。起動信号を受信した警報音発生装置は、それまで 50 Hz の発信音でスピーカを駆動しスピーカの健全性をモニタしていたのを、この時点で 1 kHz の発信音へ切換えスピーカを吹鳴させて退避を促す。

なお、検出器 1台のみが警報トリップ信号を発生した場合は検出器の单一故障とみなされ、警報論理上のシステムから除外され、その後は修復が完了するまで 2 out of 3 論理となる。2 / 3 論理回路モジュールについても同様である。

## 2.3 保全性

### 2.3.1 保全の分類

保全は一般的に予防保全、事後保全及び間接的保全行為としての保全担当員に対する教育・訓練に分類される。

予防保全は決まった手順により計画的に試験・調整、検査などを行い、運転中での故障発生を未然に防止するために行う保全である。間接的な保全行為である教育、訓練は、広義の意味では予防保全であるので、ここでは予防保全として扱う。

事後保全は系、機器または部品に故障が発生した後に行う保全である。

これら両者の保全は、本質的に目的が異なるのでその体制を区別して考えなければならない。保全の一般的分類を図2に示す。

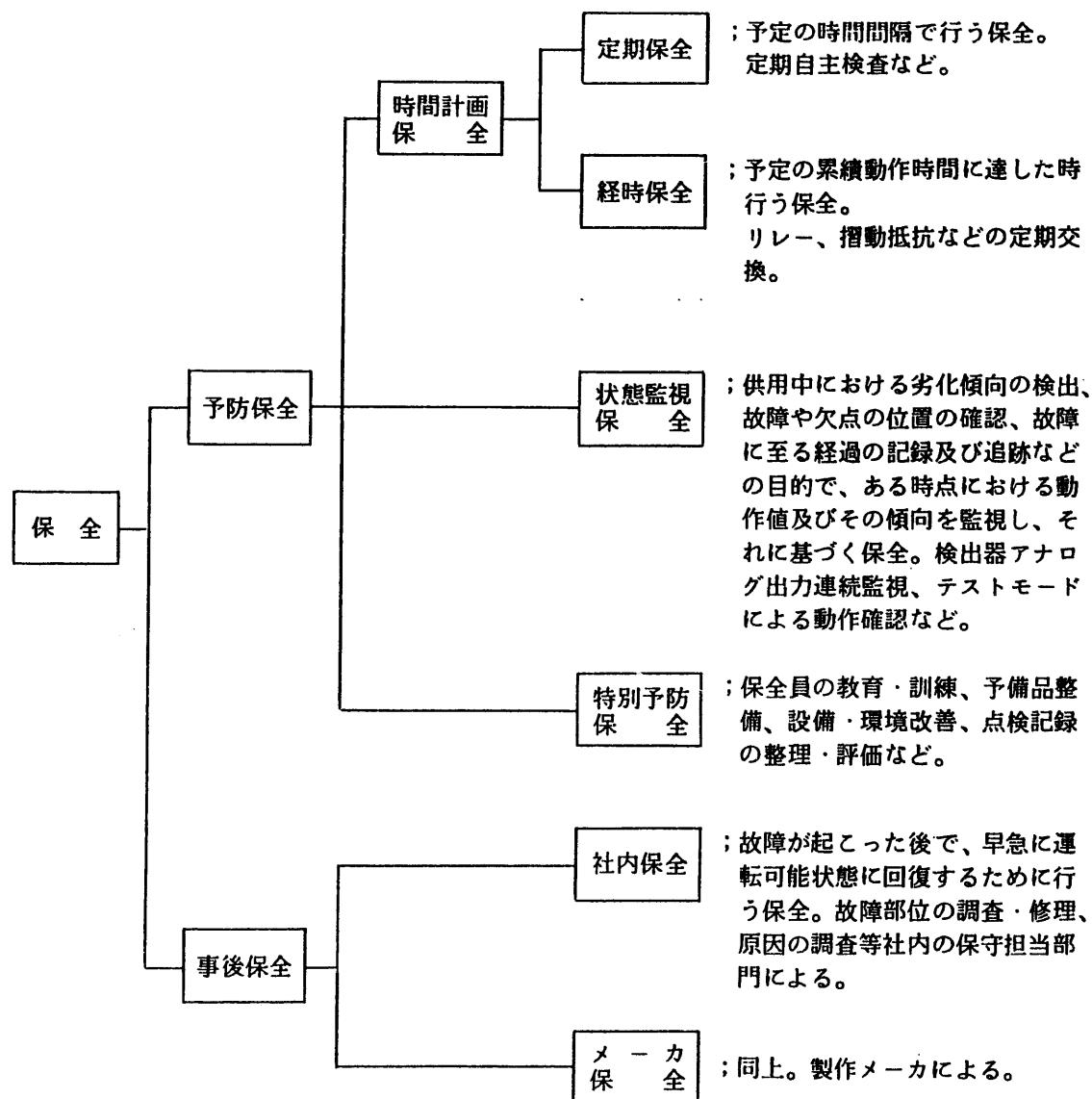


図2 保全の分類

### 2.3.2 予防保全

臨界警報装置を長期間安定して稼動させるためには、故障しにくい設計あるいは、たとえ単一的な故障が生じても装置本来の機能が維持できる設計でなければならない。

この方法として冗長化システムがあるが、これを追及しすぎるとシステムが複雑化し、コスト高となる。しかも故障率は零にならない。そこで設計段階において、目標とする故障を設定し、その装置が完成した後においては、故障の発生を未然に防止するための予防保全が実施される。

予防保全には、定期的に行う検査や点検、及びある一定の時間経過した部品は交換を行う、といった時間的に計画された保全と、装置の重要な部分の状態を記録計などで常時監視し続けていく状態監視保全とがあり、さらに保全担当員、監視員の教育や訓練も広い意味での予防保全となる。

予防保全の体系は保全に係る作業項目が多く、また事後保全に対してとられた処置や成果とも密接にかかわり複雑となる。図3に予防保全ルーチンを示す。

予防保全の中で特に重要な定期検査について、以下にその概要を示す。

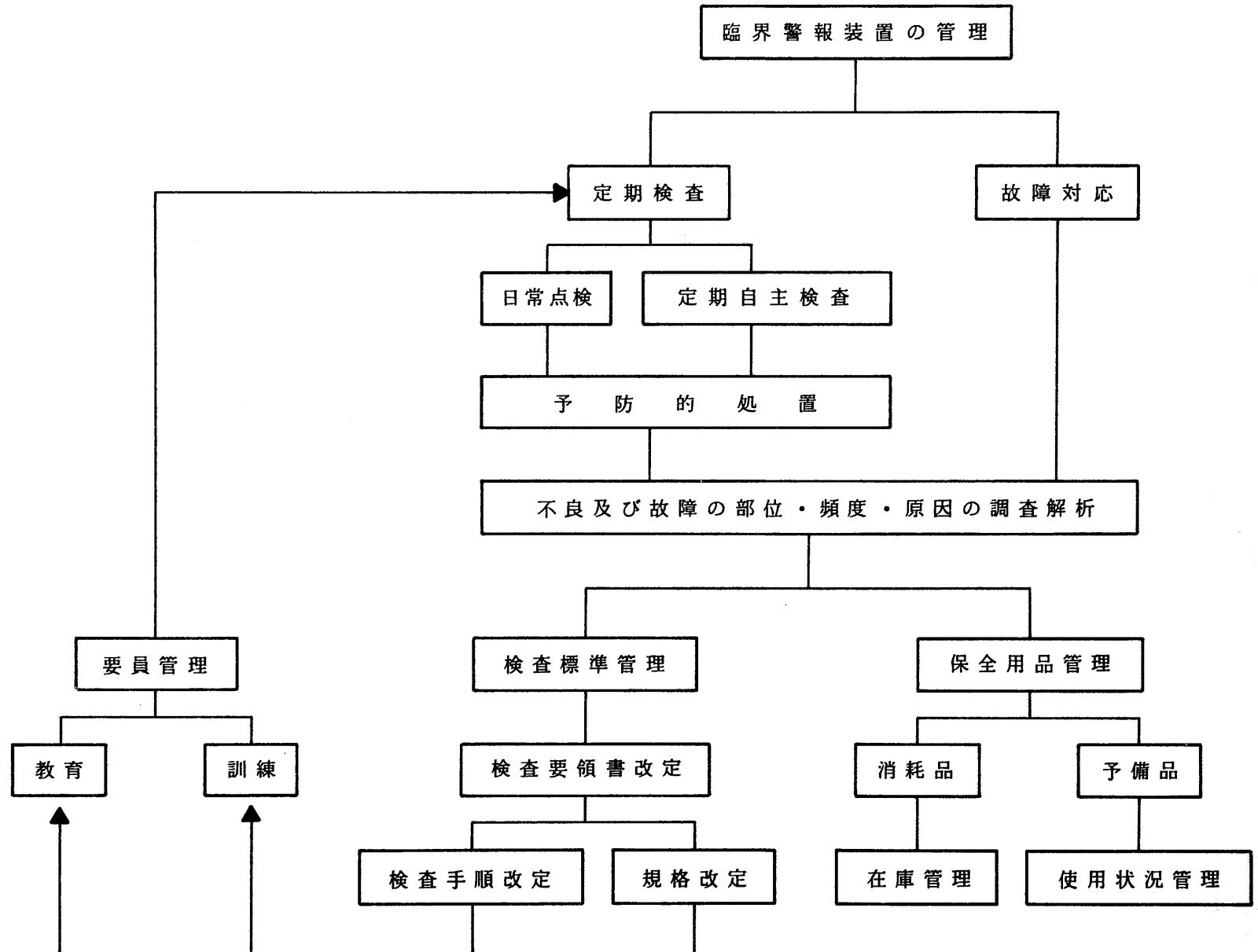


図3 予防保全ルーチン

## (1) 日常点検

臨界警報装置の監視員が行う点検であり、毎日一回以上テスト回路、または供用中自動監視点検装置を用いて装置の基本動作の点検を行い、その結果を記録する  
本点検は装置異常の早期発見に不可欠である。

## (2) 定期自主検査

臨界警報装置の保全担当員（放射線管理第一課）が行う検査であり検査頻度、検査内容から以下の3つに区分される。

## (1) 総合検査

臨界警報装置を構成する機器の動作を確認するとともに、臨界警報を吹鳴させ、系全体の総合的な動作を検査する。

(2回／年；実施、約1日間)

## (2) 回路試験

臨界警報装置を構成する各電子回路の電気的特性試験を行い、電子部品の性能を検査するとともに、放射線を用いた照射試験を行って検出器の線量率直線性を検査する。

(2回／年；総合検査の前に実施、再処理工場用3日間、その他の施設用4日間)

## (3) 性能検査

臨界警報装置を構成する各機器の警報動作を確認するとともに、スピーカライン及び回転灯については電気的な特性試験を行う。

なお、前記の総合検査、回路試験及び性能検査の実施に際しては、保安規定により核燃料物質の取り扱いが各施設において禁止されており、臨界事故が発生することはない。

## 2.3.3 事後保全

臨界警報装置に対する事後保全は以下のように考えられている。

臨界警報装置の目的を考えたとき、事後保全は速やかに適切なる判断を必要とする。

本装置は施設運転上においても重要機器となっているため、装置各部には冗長化が図られており、設計上单一故障発生によるシステムの機能喪失（臨界事故が発生したにもかかわらず警報が出ない）及び誤警報の確率は非常に小さい（システム MTBF<sup>(注)</sup> = 6 × 10<sup>6</sup> 時間）。このため発生する故障は全て単一故障と考えることができ、その発見は

## (1) 日常点検によるテスト

## (2) 供用中における故障発生時のランプまたはブザーによるアラーム

## (3) 巡回監視時の機器外観チェック

などの方法で行われる。

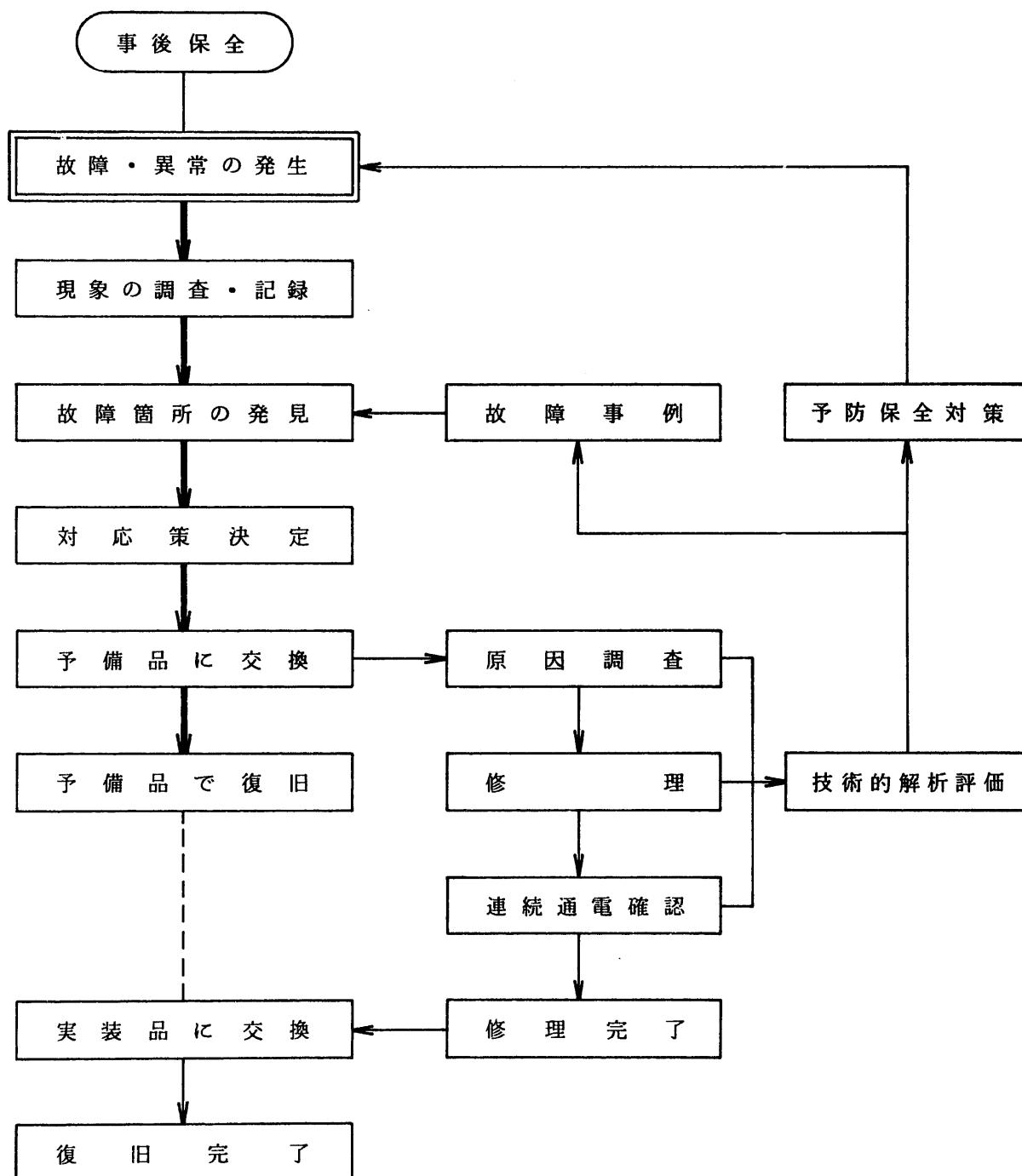
(注) MTBF：平均故障間隔

Mean Time Between Failures の略

臨界警報装置の事後保全は、故障箇所の発見後ただちに予備品と交換を行い、可能な限り速やかに復旧完了することを原則とする。このため、各機器はユニット単位になっており、全てコネクタ接続になっている。

詳細な故障原因調査は、回収した故障部品を、各種診断装置を用いて別途実施する。

事後保全ルーチンを図4に示す。



注) 太線ルーチンを優先する。

図4 臨界警報装置の事後保全ルーチン

### 3. 性能検査における装置の健全性評価方法

前章でも述べた通り、臨界警報装置は毎月1回性能検査が実施される。この性能検査の各検査項目実施中において、臨界事故が発生した場合この検知が可能であるか、また検査中において、作業者が点検用機材の使用を誤り短絡等を生じさせても、誤警報や機能喪失に至らないことなど、装置の健全性について評価することとした。

評価は2つの方法で行った。まず始めに、臨界警報装置の機能ブロック図に従い、各検査項目に係わるところの機能 FTA (Fault Tree Analysis) を作成した。次に各検査項目毎に、検査手順の確認を行った。各検査実施中における誤操作を想定し、これがシステムに与える影響を機能 FTA により解析した。

次に、臨界警報装置検査システム（本システムは再処理施設用臨界警報装置の予備品を用い、実際の装置と同様に組合せ、性能・総合検査のための検査用装置及び故障シミュレーション等を目的として製作したもの）を用い、FTA による解析結果に従い、実際に点検中における臨界監視機能を確認したり、誤操作、故障等における影響の有無について確認を行った。

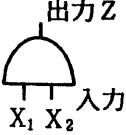
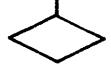
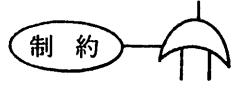
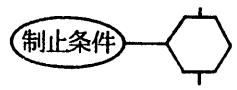
#### 3.1 FTA (Fault Tree Analysis)

FTA は 1960 年頃からアメリカにおいて開発され原子力発電関係の信頼性、安全性解析に活用されてきている。FTA はシステムや機器に生じては困る故障モードをトップ事象とし、トップ事象につながる一次要因、二次要因を分離記号で結合し、ツリー（樹木）を作成して故障解析あるいは安全性解析を行うものである。ツリー最下部の基本事象の発生確率が予測できると論理記号に従い、トップ事象の発生する確率を計算して求めることも可能である。

今回の解析では FTA を活用し性能検査中においても臨界検出が可能であるか、検査中に誤操作をしても、警報あるいは機能喪失に至らないかを検討した。

FTA を実施するうえにおいては各種の論理ゲート記号等を用いるがこれを表 1 に示す。

表1 F T Aに使用する代表的記号

種類	記号	説明
論理ゲート		ANDゲート $Z = (X_1 \cap X_2)$ 入力事象 ( $X_1, X_2$ ) が共存して、はじめて出力事象 (Z) が発生する
		ORゲート $Z = (X_1 \cup X_2)$ 入力事象の何れか1つ（あるいは1つ以上）が存在するときに出力事象が発生する
事象記号		つながっている論理ゲートであらわされる故障事象
		基本故障事象、人間ミスは点線の丸印または二重丸であらわす
		これ以上の展開が理論上可能であるが、情報不足などのためここで打切る（基本事象と同様に考える）。人間ミスは点線、または2重菱形であらわす
記号		移行記号 左側は木の他の部分からの移行を、右側は木の他の部分への移行を示す
		故障事象ではないが、通常発生すると考えられる事象、たとえば火災における空気の存在、飛行機における離陸などがこれに当る
特殊記号		排除ORゲート 特別な入力は共存できないという制約つきのORゲート
		制止ゲート 制止条件があるときのみ出力事象が発生する。この場合、特別な故障モードを示すときは橢円で、システムの寿命に関係すると思われる条件を示すときは長方形で制止条件をあらわす
		優先権付きANDゲート 入力事象の順序が必要なANDゲートで、その順序を優先権に記入する

(注) 参考文献2) から引用

### 3.2 臨界警報装置検査システム

本システムは、再処理施設に設置されている臨界警報装置の予備品で構築されている。各施設の予備品は、それぞれ実装品に不具合が生じた時、直ちに交換されるものであり施設毎に最低必要数が常備されている。

予備品に対する検査は年2回回路試験が実施され、検査終了後は通常単体で保管、管理されている。予備品を使用するときにその動作の健全性を確認するためには、再処理工場あるいはプルトニウム転換技術開発施設の臨界警報装置に実際に組み込んで機能試験を行わなければできず、保全上問題があった。特にMTBFの小さい予備品（例えば中性子検出器）等については、その健全性を連続監視する必要があった。

そこで現有予備品を組合せ、常時稼動状態で予備品の健全性が確認できる臨界警報装置検査システムを構築し、計測機器校正施設へ設置した。本システムの検出部は当計測器校正施設の照射室Bに設置されており実際に放射線を照射し、機能を確認することができ、また検出器を除くシステム本体は長時間試験室に設置されている。

このため本システムは、実際の臨界警報装置と何ら変りはなく、予備品の機能試験装置としてはもとより、実装機器の総合検査を行う検査用設備、故障原因の調査やシミュレータとして使用している他、点検技術の改善や点検担当者に対する教育・訓練等にも使用している。

臨界警報装置検査システムの構成図を図5に示す。本システムは機能FTAによる解析結果を検証するために使用した。

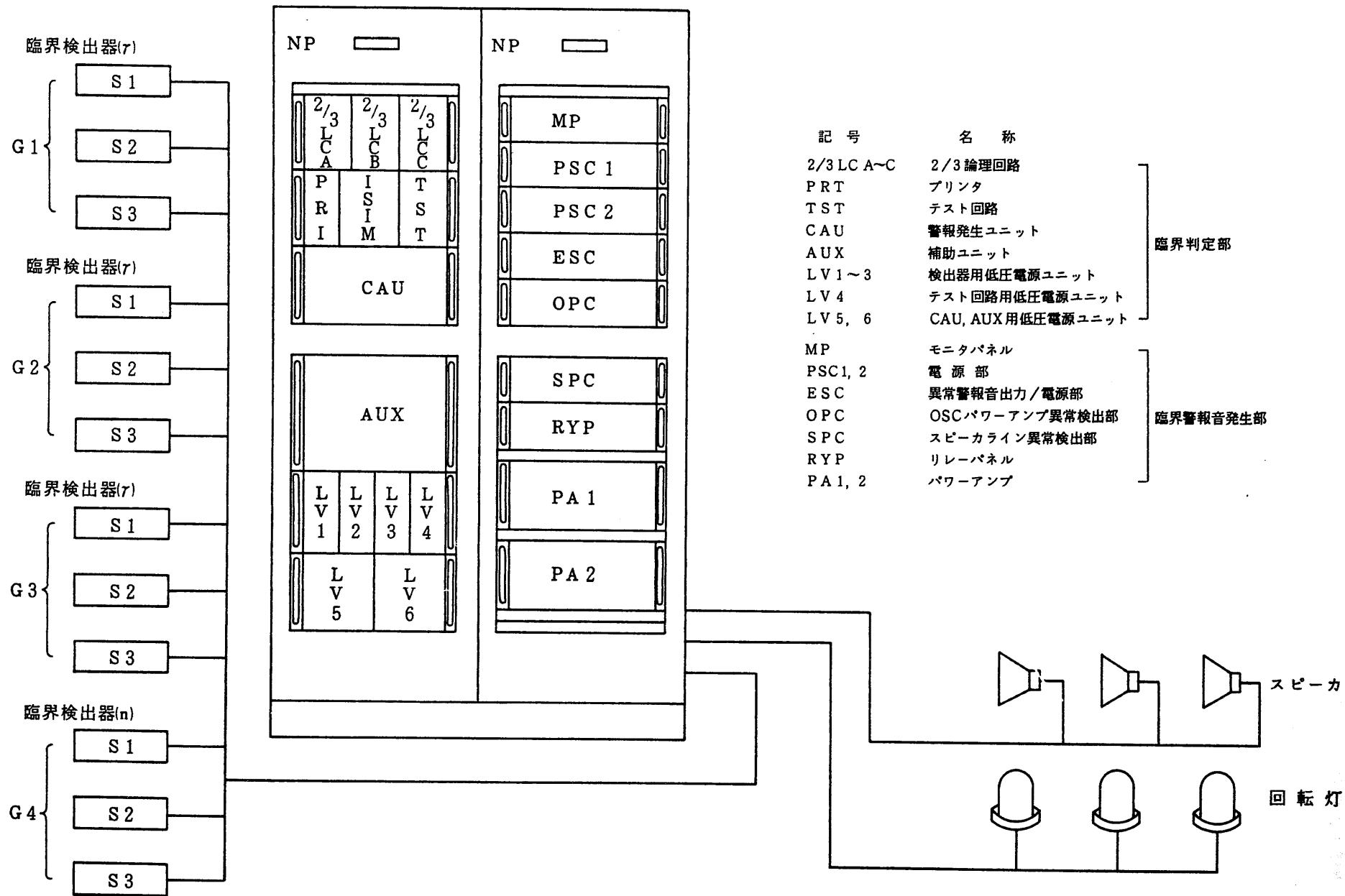


図5 臨界警報装置検査システム構成図

#### 4. 評 價 結 果

臨界警報装置の機能ブロック図に従い、臨界警報が吹鳴する条件の FTA を図 6、図 7 に示す。

図 6において、性能検査においてはトップ事象としてのスピーカ吹鳴及び回転灯の点灯についてのみ実際の駆動試験が実施されず、他の各部についてはその機能の全てが確認検査される。

以下に性能検査の項目毎に評価結果を示す。

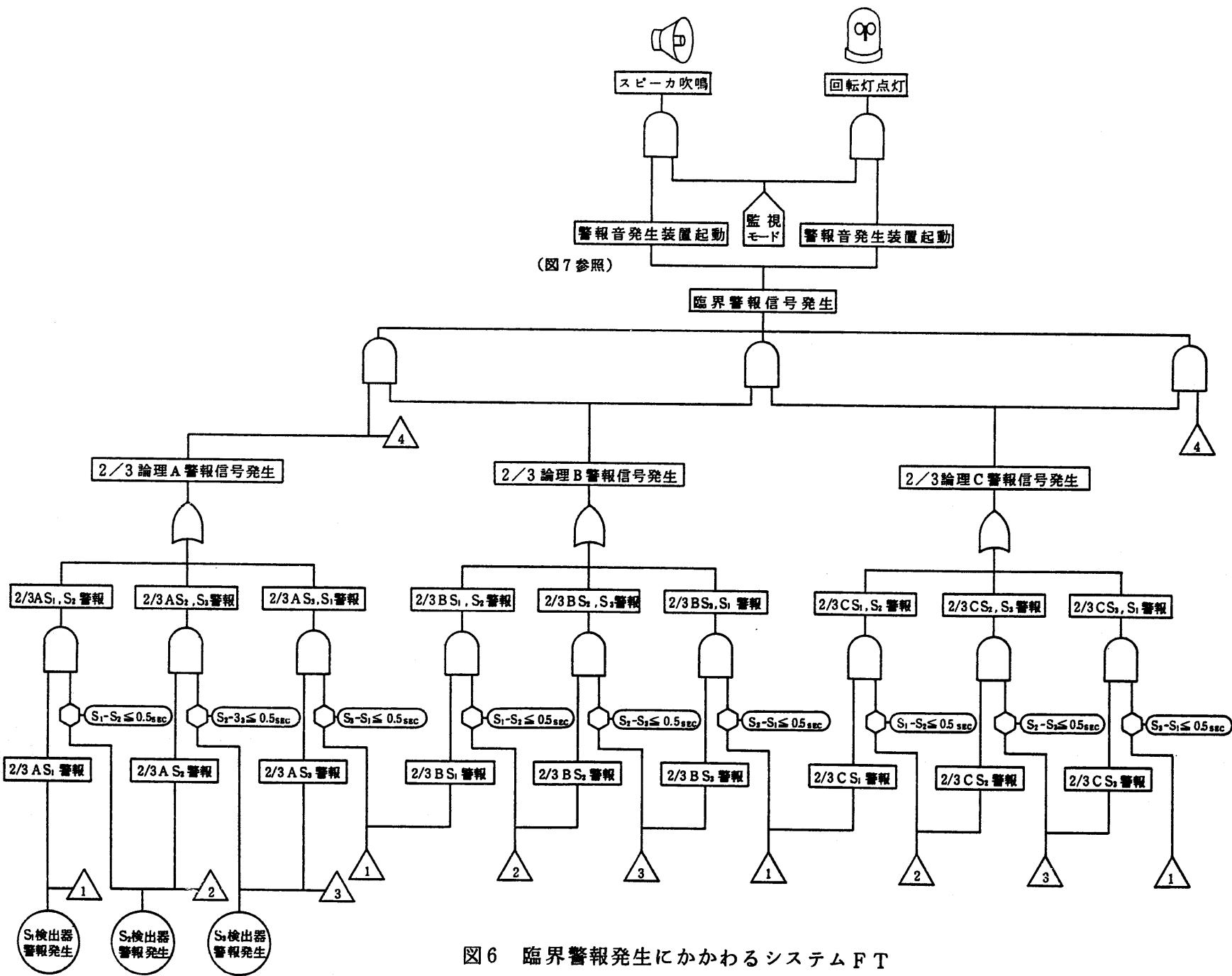


図6 臨界警報発生にかかわるシステムFT

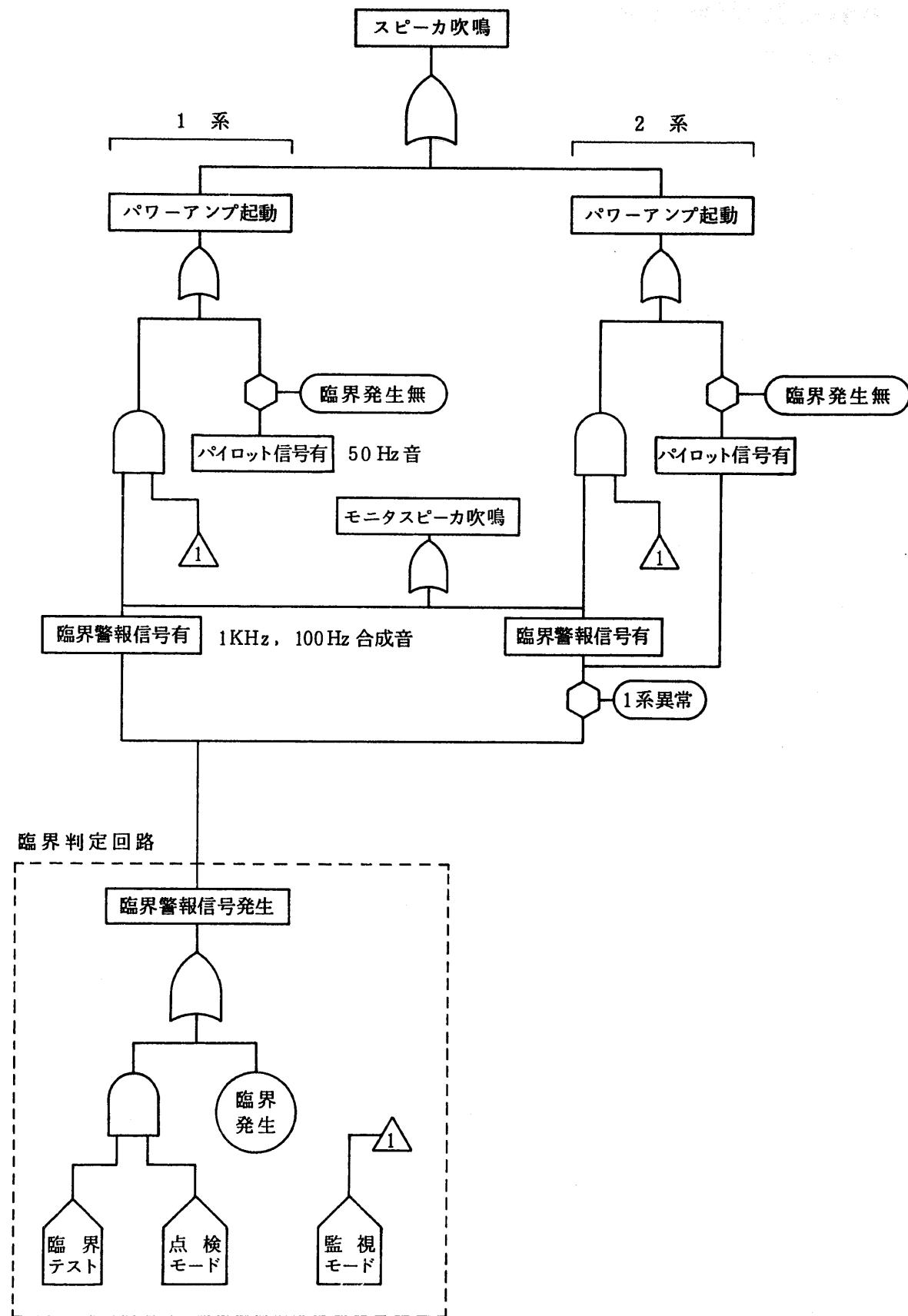


図7 警報音発生装置のシステムFT

## 4.1 警報音発生装置の動作確認検査

### 4.1.1 検査目的

警報音発生装置のうち、その基本的な部分の健全性を確認するため、スピーカ及びスピーカラインの健全性及び警報音発生装置の各部を駆動する電源部の健全性を検査する。(装置全体の機能検査は別途後述する。)

#### (1) スピーカラインのインピーダンス測定

##### (イ) 機能

スピーカラインには通常警報音発生装置から 50 Hz のパイロット信号供給され、スピーカは常時吹鳴している。ただし、周波数及び信号電圧が低いため、作業者には聞えない。

臨界事故の発生時には、このパイロット信号が 1 KHz と 100 Hz の合成音に切り換り退避警報となる。

一方、各スピーカラインは、常時各ライン毎に負荷変化がモニタされており、いずれかのラインにおいて、断線またはスピーカ故障が発生した場合、故障警報が発生するようになっている。

なお、負荷変化のモニタ回路、すなわちインピーダンス測定回路はスピーカラインに変流器を介して接続し、アイソレーションしている。

##### (ロ) 検査手順

監視モードにおいて、スピーカライン異常検出部のスピーカライン切換スイッチで測定するスピーカラインを選択し、指示計の値からインピーダンスを測定する。全てスピーカラインについて測定を行い記録する。

##### (ハ) FTA 結果

スピーカラインのインピーダンス測定に係る回路の FT 図を図 8 に示す。

同図において、スピーカライン切換及び確認部には 10 回路を切り換えることができる切換スイッチがあり、このスイッチを操作することにより、任意のスピーカラインインピーダンスを測定することができる。

スピーカライン異常検出部では、スピーカラインに流れている電流値を、変流器を介して、つまりアイソレーションしてモニタしているため、スピーカラインの異常検出部とスピーカライン切換及び確認部の故障、誤操作は臨界監視機能に対し何ら影響を与えない。

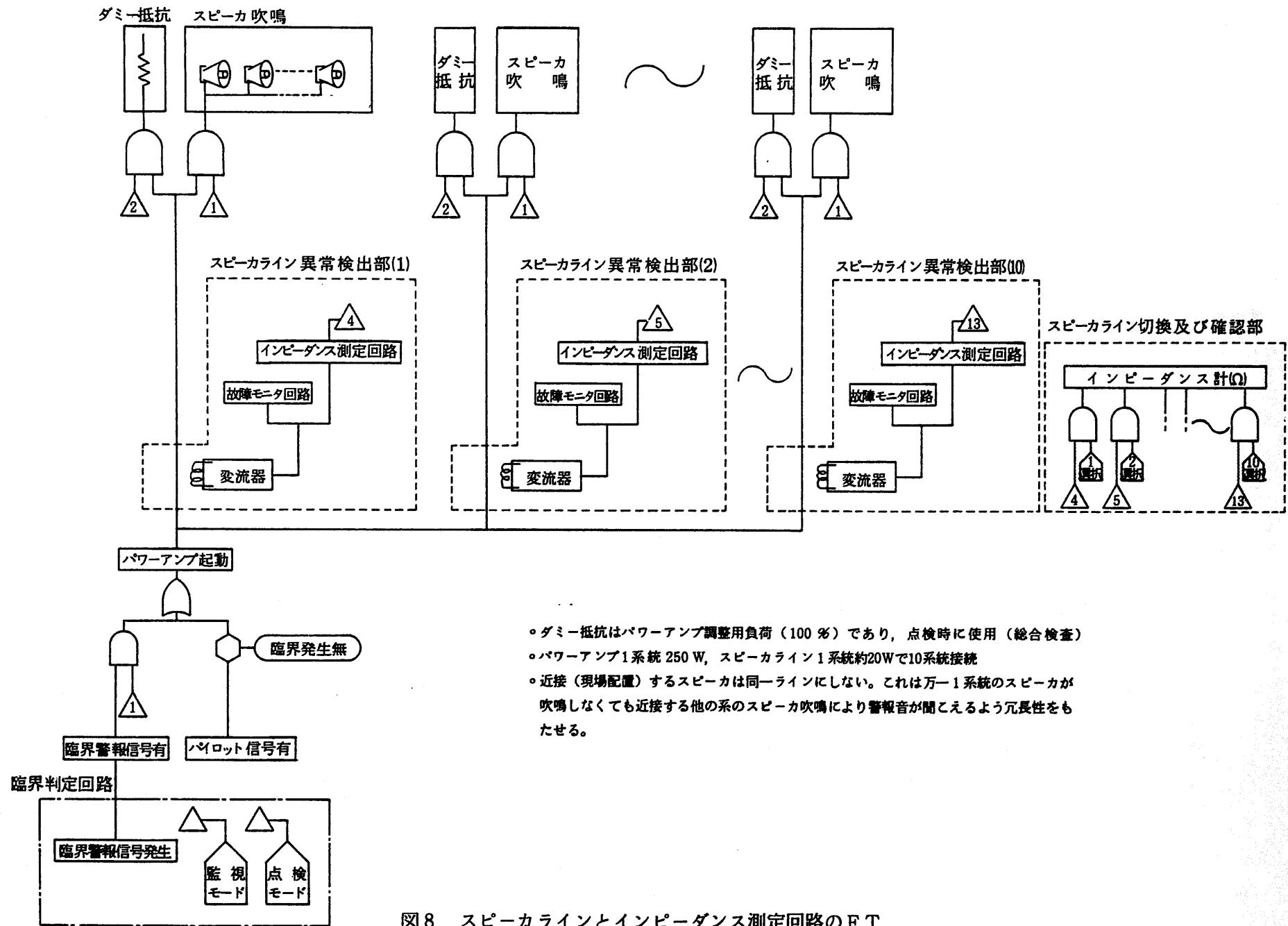


図8 スピーカーラインとインピーダンス測定回路のFT

## (2) 各部電圧及びランプの確認

## (イ) 機能

臨界警報音発生装置の低圧電源は2台で並列運転を行っており、1台に異常が発生した場合には、他の電源部(PSC)により装置を正常に動作させることができる。

各々の低圧電源はランプ及びヒューズ断表示により動作状態を確認できるが、さらに電源異常検出基板(PSA)により電圧変動を監視し、異常があった場合はランプが点灯し、異常警報音出力／電源部(ESC)のスピーカが吹鳴する。

## (ロ) 検査手順

点検モード<sup>(注)</sup>において、電源部のチェック端子にデジタル・マルチメータを接続し、電源電圧を測定する。また警報音発生装置に実装されているモジュール類全てのランプ点灯状態を目視により確認する。

## (ハ) FTA結果

電源系統FT図を図9に示す。図に示すように臨界警報音発生装置の各種電源は2台の並列運転(例えば-7V電源はPS-1A、PS-1Bで並列運転)であり、各々の電源はANDで構成されるため、2台共に故障しないかぎり、臨界警報音発生装置の機能喪失に至らない。

電圧測定時において、誤操作で電圧チェック端子部(図9破線部)を短絡(デジタル・マルチメータのテストプローブを地絡、短絡することが予想される)させても1台の電源が正常なため、同様に臨界警報音発生装置の機能喪失に至らない。ただしこの条件としては点検、検査の実施者は1組(責任者、指示者、作業者、記録者、の各1名で構成)とし、並行作業(作業者2名による同時作業)は行わないものとする。

## (注) 点検モードについて

臨界警報装置は通常監視モードで使用されるが、これは図6および図7に示すシステムFTの通り、臨界判定回路が成立したとき臨界警報信号を出力するものである。

点検モードとは、2／3論理回路等の臨界判定回路の機能を継続したまま臨界警報信号(臨界警報音、回転灯)を出力しないように制御すると共に、後述する点検機能(テスト回路等による点検)を動作させるための条件信号を供給するものである。

なお、点検モードにおいても臨界警報装置の監視機能は正常に動作しており、臨界事故発生を検知すると臨界警報装置パネルの臨界ランプが点灯、パネルのモニタスピーカが吹鳴する。

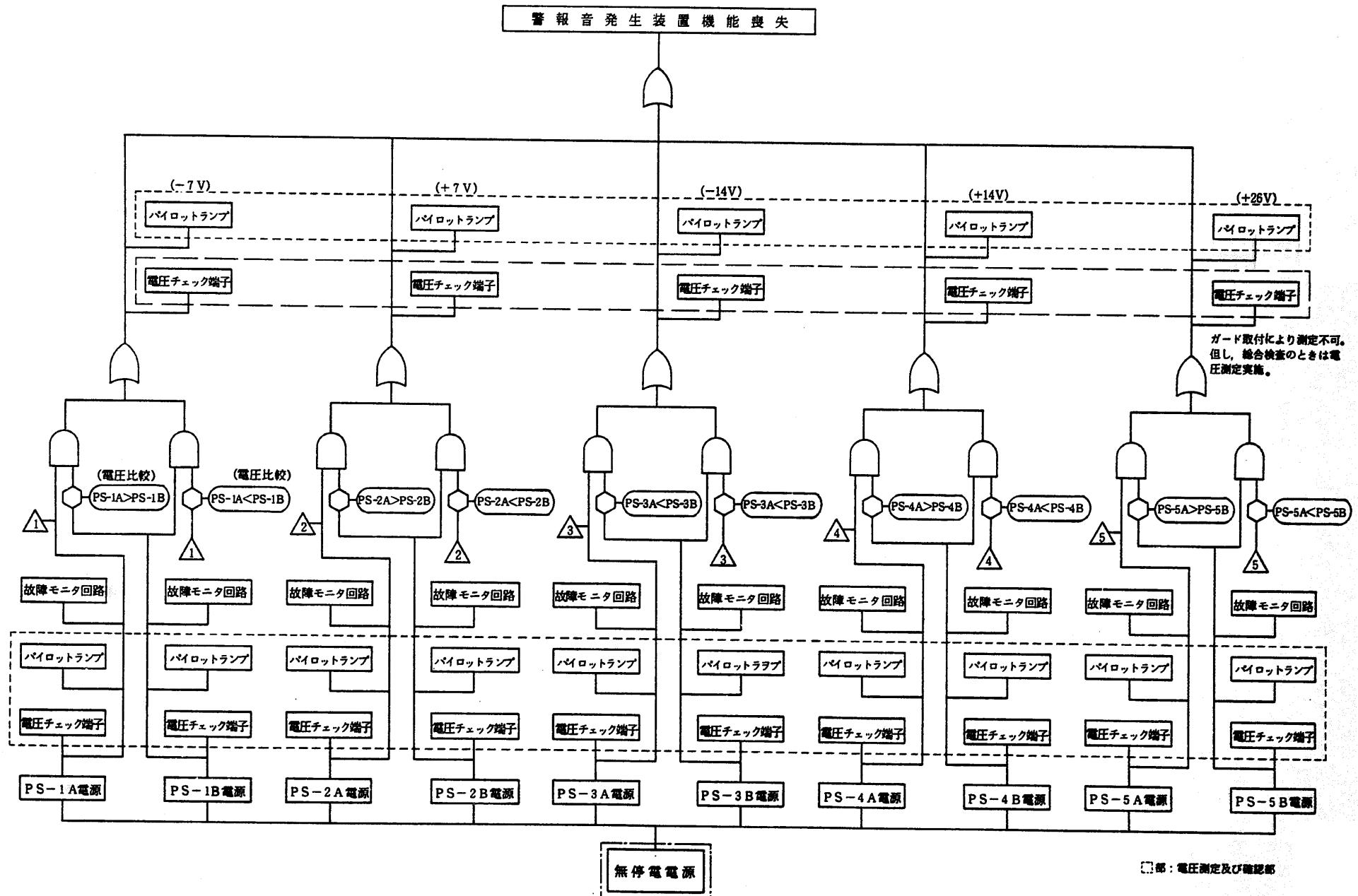


図 9 臨界警報音発生装置電源系統 F T

## 4.2 電源ランプの確認

点検モードにおいて、臨界判定部に使用している各ユニット、モジュールの電源ランプ点灯状態を目視により確認する。

電源ランプは電源状態を表示するものであり、本検査のために直接操作することはない。したがって臨界監視機能に対し何ら影響を与えない。

## 4.3 各電源電圧の測定

### 4.3.1 検査目的

臨界警報装置のうち、臨界判定部の各低圧電源及びアイソレータ用電源の健全性を検査する。

なお、アイソレータ用電源は、外部監視用システムに検出器信号を出力するアイソレータに電圧を供給するものであり、直接的には臨界判定部を構成するものでない。

#### (1) 検出器用電源の電圧測定

##### (イ) 機能

同一臨界監視場所には検出器 3 台 (G1(グループ 1)と呼ぶ) を設置し、3 台の検出器 (S1、S2、S3と呼ぶ) は各々別電源により電源を供給されている。

##### (ロ) 検査手順

点検モードにおいて、臨界検出器用各低圧電源の出力電圧を、デジタル・マルチメータにより測定する。

##### (ハ) FTA 結果

検出器用電源に係る FT 図を図10 に示す。検出器は、臨界監視場所の線量率高、高圧回路の故障、ブリーダ抵抗の断線及び点検機能によるプローブテストで警報出力を発生するが、検出器用電源の喪失によっても警報を出力する。

同一臨界監視場所 (G1) の 3 台の検出器(S1、S2、S3)はそれぞれに電源を有している。したがって、電圧測定時に誤操作で電圧チェック端子出力を短絡させても、单一警報であり、誤警報 (図 6 臨界警報発生にかかるシステム FT 参照。) は生じない。また他の 2 台の検出器で臨界監視を継続しているので、臨界監視を喪失しない。

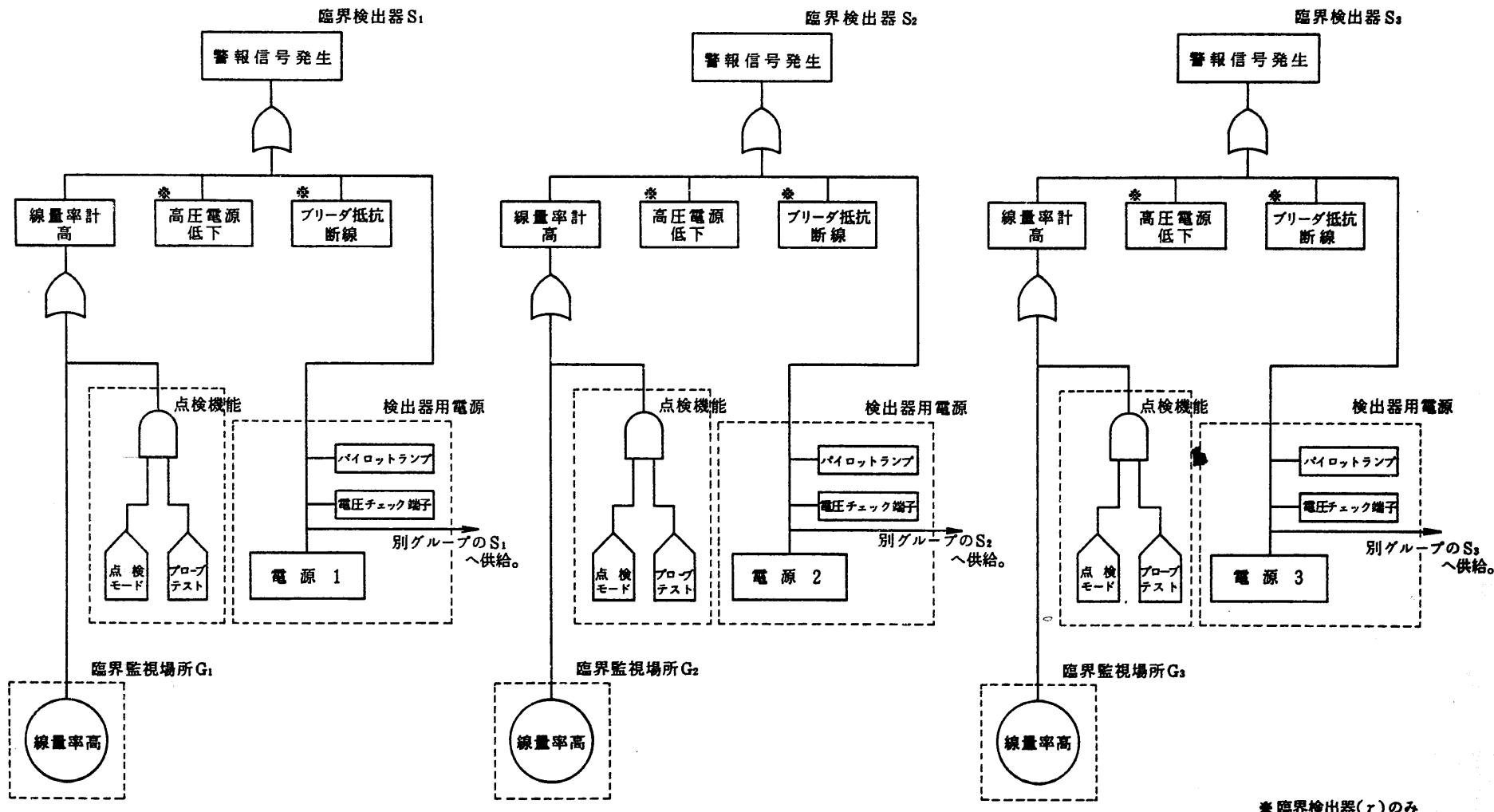


図10 検出器と検出器用電源のFT

(2) リレーユニット用電源の電圧測定

(イ) 機能

リレーユニット（警報発生ユニット及び補助ユニットの総称）の各リレー用電源であり、  
2台の並列運転である。

(ロ) 検査手順

点検モードにおいて、リレーユニット用各低圧電源の出力電圧を、デジタル・マルチメータにより測定する。

(ハ) FTA 結果

リレーユニットとリレーユニット用電源に係るFT図を図11に示す。図に示すように2台の電源はAND回路で構成されるため、電圧測定時に誤操作で電圧チェック端子を短絡させても、他方の電源が正常であるため警報信号発生に至らない。

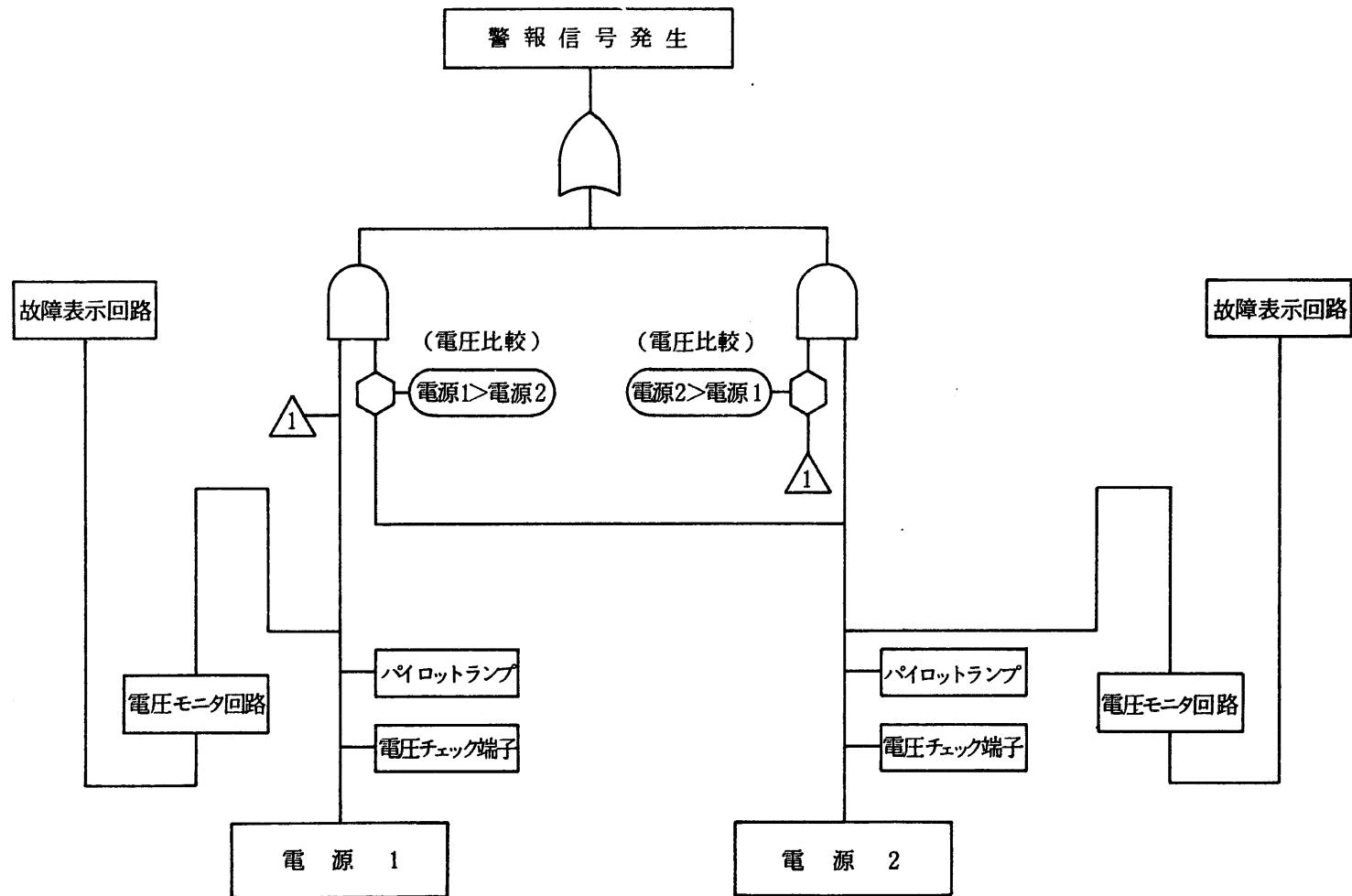


図11 リレーユニットとリレーユニット用電源のFT

(3) テスト回路用電源の電圧測定

(イ) 機能

テスト回路は臨界検出器内のテスト用リレーを駆動して検出器の健全性テスト及び2／3論理回路内のテスト用フォトカプラを駆動して2／3論理回路の健全性をテストするもので、テスト回路及びテスト回路用電源が故障しても臨界監視機能に影響を与えない。電源は1台で構成される。

(ロ) 検査手順

点検モードにおいて、テスト回路用低圧電源の出力電圧をデジタル・マルチメータにより測定する。

(ハ) FTA 結果

臨界検出器はリレーで、2／3論理回路はフォトカプラでテスト回路と電気的に絶縁してあるため、臨界監視機能に影響するFTは成立しない。

テスト回路とテスト回路用電源のFT図を図12に示す。

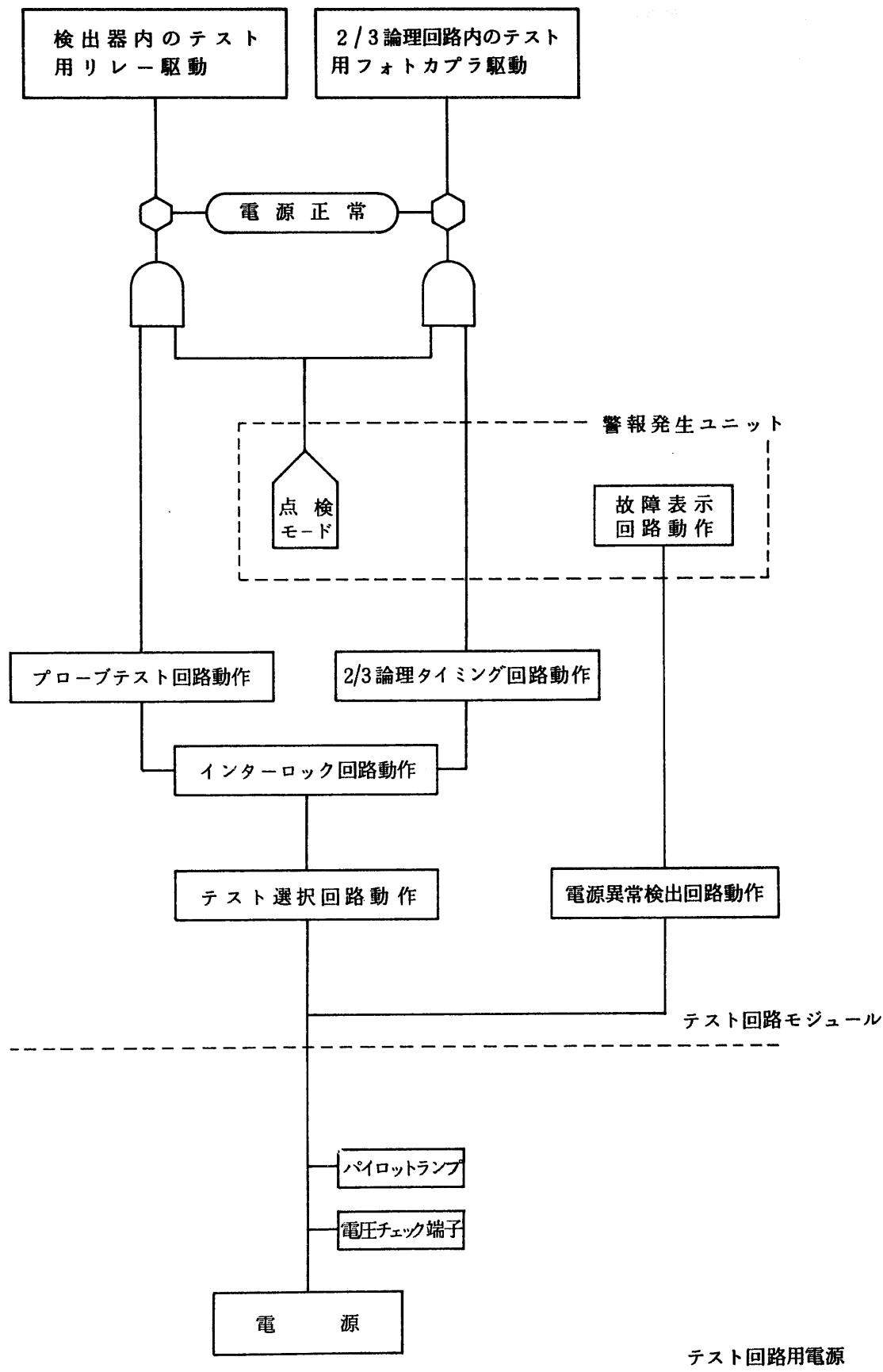


図12 テスト回路とテスト回路用電源のFT

## (4) アイソレータ用電源の電圧測定

## (i) 機能

アイソレータは臨界警報装置の検出器アナログ信号を外部監視装置へ出力するもので、外部監視装置が不具合を生じても、臨界警報装置に影響を与えないように、信号の入出力間及び電源をそれぞれ電気的に絶縁している。電源は1台で構成される。

## (ii) 検査手順

点検モードにおいて、アイソレータ背面の電源入力端子電圧を、デジタル・マルチメータにより測定する。

## (iii) FTA結果

臨界警報装置の臨界監視及び誤警報発生にかかわる、アイソレータ用電源とのFT図は成立しない。

## 4.4 アナログ出力の測定

## 4.4.1 検査目的

臨界警報システムのうち、臨界検出部の健全性を確認する。

## (1) 臨界検出器(γ)のアナログ出力測定

## (i) 機能

臨界検出器(γ)はγ線をプラスチックシンチレータの光電効果により、光に交換して検出する。シンチレータからの光は光電子増倍管で電気信号に変換され、增幅される。電気信号はさらに增幅回路で增幅される。増幅度はγ線線量率0～500 mR/hを1～5Vに対応させる値に設定してある。しかし通常は検出器の故障診断を行うために、発光ダイオードにより1.4V(50mR/h相当)の出力電圧にしてあり、このアナログ出力を監視盤の記録計で監視している。

一方、アナログ信号は検出器内部のトリップ回路で常時監視され、アナログ信号が規定値を越えた場合には、線量率高のトリップ信号が出力される。

## (ii) 検査手順

点検モードにおいて、アナログ出力記録計の指示値を目視により、読み取る。

## (iii) FTA結果

目視により指示値を読み取るだけなので、臨界監視および誤警報発生にかかわるFT図は成立しない。

## (2) 臨界検出器(n)のスペクトル測定

## (i) 機能

臨界検出器(n)は速中性子線をアクリルで減速させた熱中性子と、検出部の<sup>235</sup>Uとの反応による核分裂生成物を半導体検出器で測定する。通常はウランターゲットに含まれる

$^{234}\text{U}$  及び  $^{235}\text{U}$  等からの  $\alpha$  線を検出し、検出器の故障診断に利用している。 $\alpha$  線のエネルギーは 4 ~ 5 MeV であり、核分裂生成物のエネルギーは 60 ~ 100 MeV であるため、中性子線パルスを波高弁別回路により分離し、警報トリップ回路で線量率を監視する。線量率が規定値を越えた場合には、線量率高のトリップ信号が出力される。

#### (ロ) 検査手順

監視モードにおいて、監視盤内のチェック端子及びマルチ・チャネル・アナライザを接続し、パルス数およびスペクトルを測定する。

#### (ハ) FTA 結果

監視盤内のアナログパルスチェック端子は、検出器内のバッファアンプ及びドライバ回路を経由し、コンデンサ結合で出力されているので、本点検中にアナログ出力を降下させても（測定器の入力ケーブルを地絡、短絡することが予想される。）検出器の線量率高出力回路は誤動作することはない。よって単一警報は発生しない。

### 4.5 テスト回路による動作確認

#### 4.5.1 検査目的

臨界警報システムのうち、検出器、2 / 3 論理回路、補助ユニットの健全性を確認する。

#### (1) 検出器の動作確認

##### (イ) 機能

臨界検出器 ( $\gamma$ ) は、検出器内のシンチレータに内蔵してある、発光ダイオードを発光させることにより警報トリップを発生させる。

臨界検出器 (n) は、検出器内アンプのゲインを変えて、 $\gamma$  線を測定することにより警報トリップを発生させる。これは 1 台のテスト回路モジュールに接続された 4 系統のプローブの内、各系統より 1 台づつ選択された合計 4 台の検出器に対して同時に行う。

##### (ロ) 検査手順

点検モードにおいて、警報発生ユニットでテスト回路を選択し、テスト回路のプローブテストスイッチを押して、検出器からの警報出力により動作する 2 / 3 論理回路のランプ点灯、テスト回路のブザー吹鳴を確認する。

##### (ハ) FTA 結果

検出器単独動作テストに係る FT 図を図 13 に示す。プローブテストは臨界監視場所の異なる検出器 (G1S1, G2S1, G3S1, G4S1) 各 1 台に実施するものであり、単独フェールとなるが、プローブテスト中でない他の 2 台の検出器は臨界監視を継続しているため、臨界監視機能は喪失しない。

また、テスト回路は監視／点検スイッチとプローブテストスイッチの 2 アクションにより動作するものである。さらにプローブテスト信号出力は、9 種類のテストスイッチ相互

間にインターロックを設け、複数のスイッチを同時に押しても、最初に押されたスイッチが優先され、そのモードが解除（テストスイッチ信号出力はスイッチを押して約1.5秒間ホールドされる。またホールド時間より長く押している間だけ、そのモードを継続する。）されるまでは他のスイッチは有効とならない。したがって検出器G1～4のS1テスト中に他のスイッチを押しても、誤警報を発生する論理は成立しない。

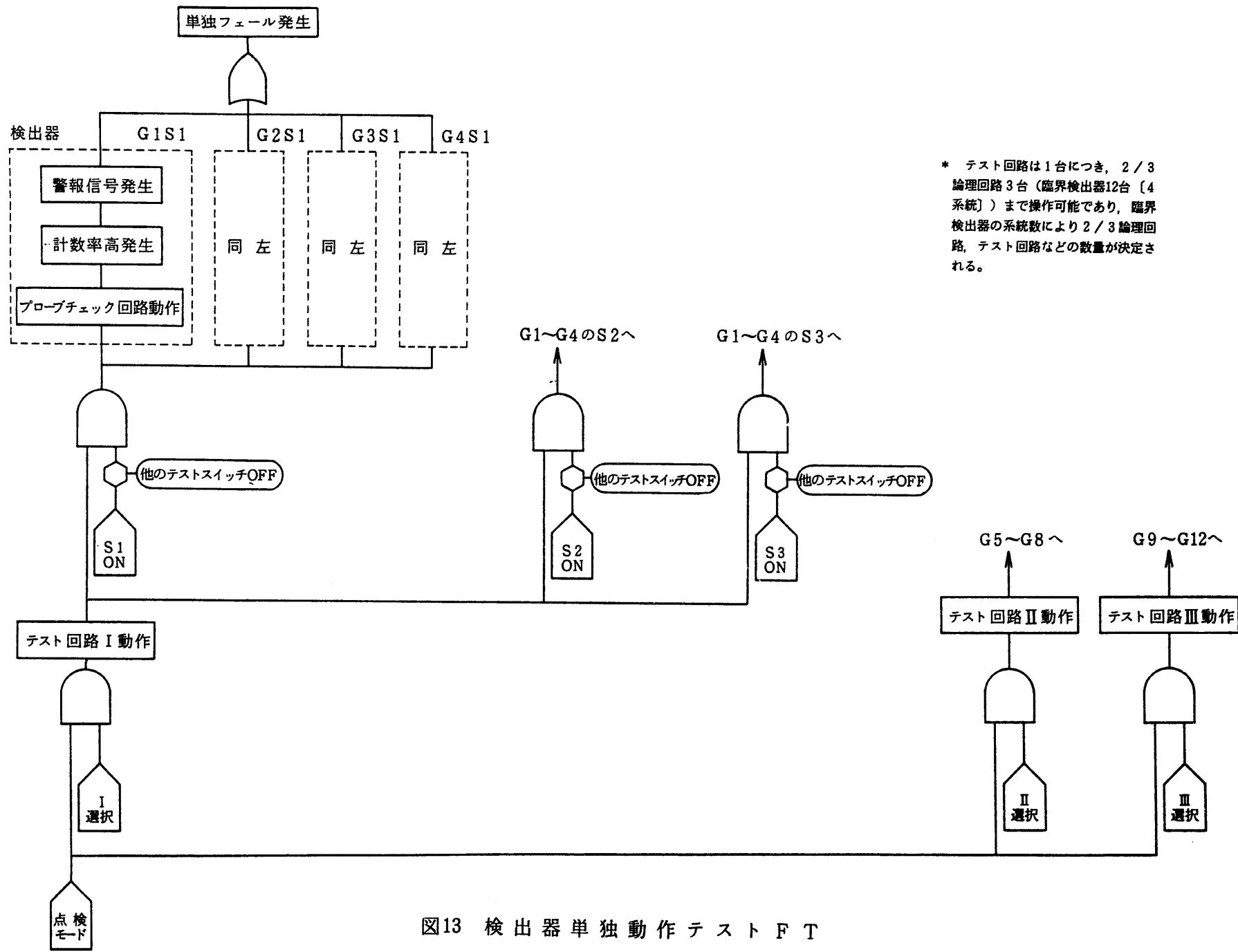


図13 検出器単独動作テストFT

(2) 2 / 3 論理回路の動作確認

(1) 機能

同時性テスト；テスト回路モジュールより 2 / 3 論理回路へロジック信号を 0.4 sec の間隔で入力させ 2 / 3 論理を動作させる。

非同時性テスト；テスト回路モジュールより 2 / 3 論理回路へロジック信号を 0.6 sec の間隔で入力させ 2 / 3 論理を動作させる。

(2) 検査手順

点検モードにおいて、警報発生ユニットでテスト回路を選択し、テスト回路で 2 / 3 論理回路を選択および 2 / 3 論理回路でテストグループを選択する。テスト回路の同時又は非同時テストスイッチを押して以下の動作を確認する。

同時性テスト；2 / 3 論理回路の該当検出器用 LED、2 / 3 出力ランプ及び補助ユニットのバイパス表示ランプ、警報発生ユニットの該当 2 / 3 論理回路動作表示ランプが点灯し、テスト回路のブザーが約 0.4 sec 間鳴り、警報発生ユニットの故障ブザーが鳴ることを確認する。

非同時性テスト；2 / 3 論理回路の該当検出器用 LED が点灯し、テスト回路モジュールのブザーが鳴ることを確認する。

(3) FTA 結果

2 / 3 論理回路動作確認 FT 図を図 14 に示す。同図において、テスト回路は監視／点検スイッチ、2 / 3 回路選択スイッチ、対応するテストスイッチの 3 アクションにより動作するものであり、さらにテストスイッチ相互間のインターロックが設けられている為に、誤警報を発生する論理は成立しない。

同時性テストにおいては、1 台の 2 / 3 論理回路が臨界出力すること、補助ユニットでは 2 / 3 論理回路の単独故障と判断し、故障した 2 / 3 論理回路は臨界警報出力の判定論理から除外（バイパス）し、他の 2 台の 2 / 3 論理回路で臨界監視（2 / 2 論理となる）を行うため臨界監視機能は喪失しない。

非同時性テストにおいては、時間的要因により臨界警報条件が成立せず、3 台の 2 / 3 論理回路が臨界監視を継続したままである。

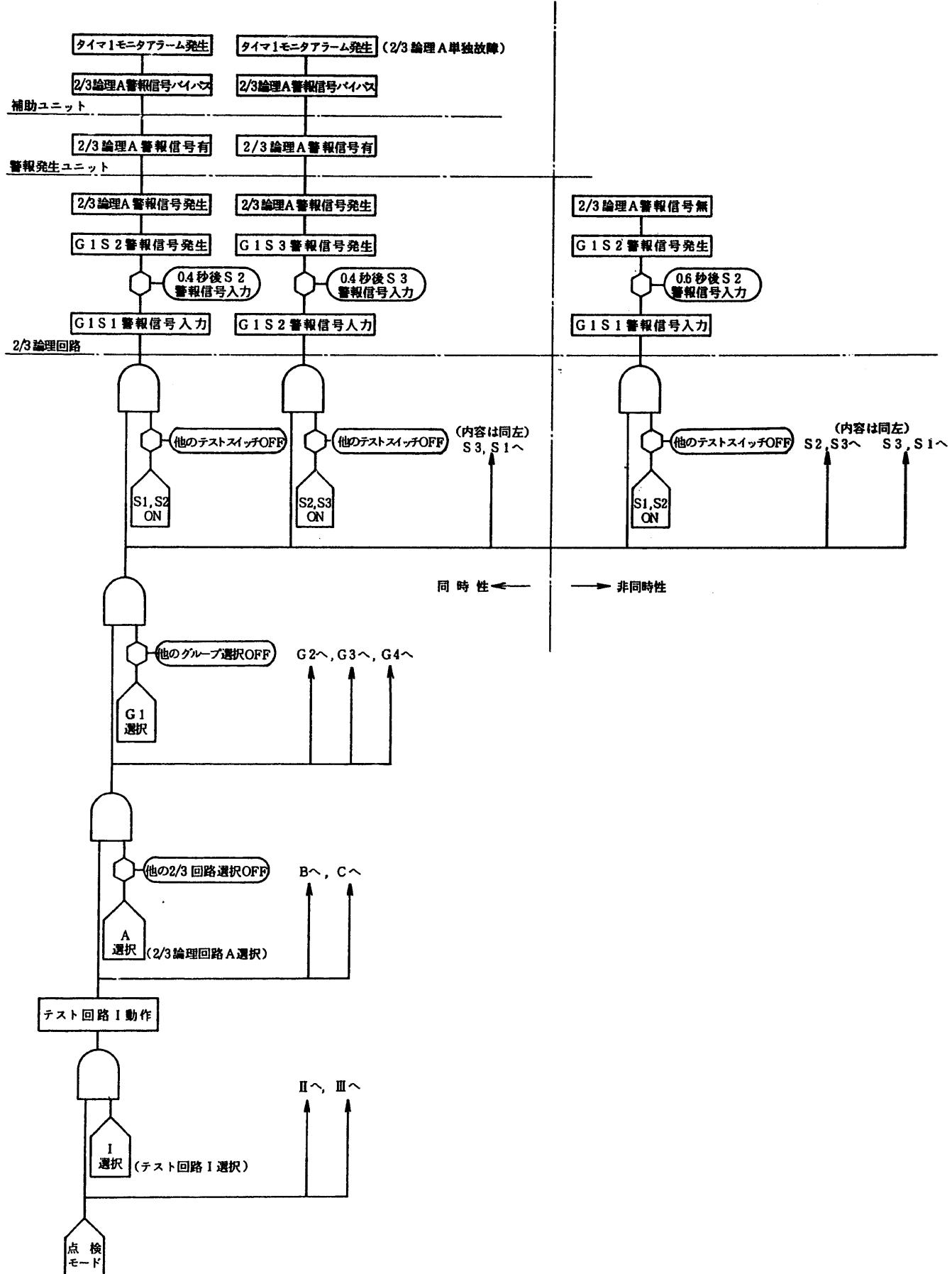


図14 2／3論理回路動作確認FT

(3) ISIM による動作確認

(イ) 機能

前項(1)、(2)項の点検操作を自動的に行う。又シーケンス動作の結果をプリントアウトする。

(ロ) 検査手順

ISIM の START スイッチを押して、前項(1)、(2)項と同じ点検を自動的に行う。

(ハ) FTA 結果

前項(1)、(2)項の点検を自動的に行うものであり、スタート条件としては点検モードで、テスト回路、2／3論理回路の各スイッチが OFF であること。よって、手動テストと自動テストが同時に進行することではなく、臨界監視機能の喪失及び誤警報の発生はない。

## 4.6 臨界警報動作確認

### 4.6.1 検査目的

臨界警報システムのうち、警報発生ユニット、補助ユニット、警報音発生装置の健全性を確認する。

(1) 臨界警報動作確認

(イ) 機能

警報発生ユニットでの臨界テスト操作により、AUX ユニットへ接点信号を入力させ、2／3 論理回路の出力を受けるリレーを強制的に断にすることにより、臨界発生と同じ状態とする。ただし点検モードで実施するため、警報音発生装置の出力はダミー抵抗に接続され、現場スピーカは吹鳴しない。また現場回転灯も起動しない。

(ロ) 検査手順

点検モードにおいて、補助ユニットの臨界テスト選択スイッチで臨界出力を選択し、警報発生ユニットの臨界テストスイッチを押して動作する警報発生ユニット、警報音発生装置のランプ、ブザーを確認する。

(ハ) FTA 結果

臨界警報動作確認に係る FT 図を図 15 に示す。臨界テストは監視／点検スイッチと臨界テストの 2 アクションにより動作し、2／3 論理回路以降の臨界警報シーケンスの健全性を確認するものである。しかし、点検モードであるため、警報発生ユニット、警報音発生装置は臨界警報状態となるが、最終出力である現場スピーカ、回転灯は点灯しない。したがって誤警報を発生することはない。また臨界検出器、2／3 論理回路等は臨界監視を継続しているので臨界監視機能を喪失しない。

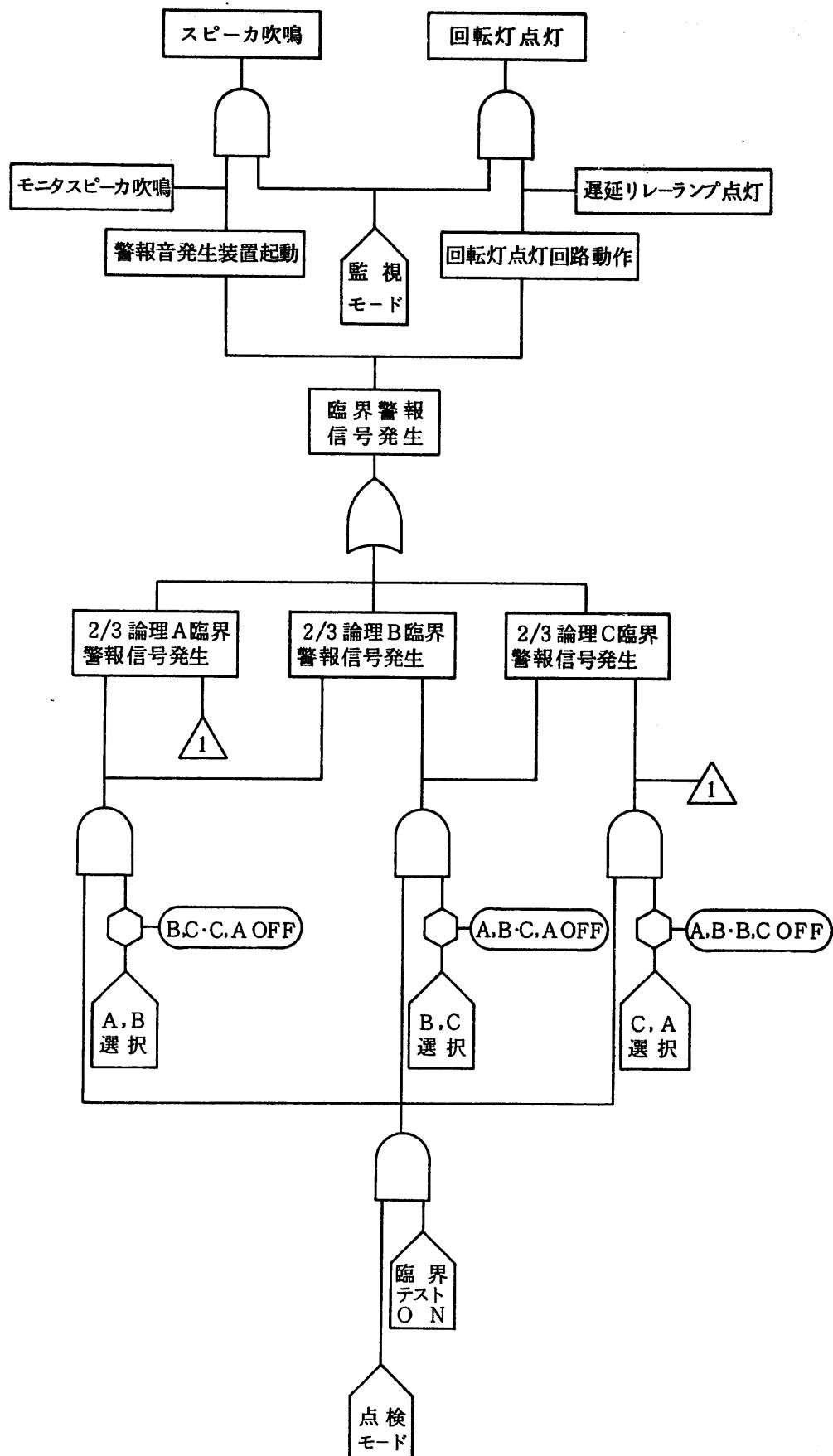


図15 臨界警報動作確認FT

## 4.7 回転灯断線チェック動作確認

### 4.7.1 検査目的

異常検出機能のち、現場に設置してある回転灯の断線チェック回路健全性を確認する。

#### (1) 回転灯断線チェック動作確認

##### (イ) 機能

回転灯断線チェック回路は常時回転灯の断線及び接続不良を監視し、異常時ランプ及びブザーで故障を知らせる。

##### (ロ) 検査手順

点検モードにおいて、盤内の回転灯断線チェックスイッチを押して、補助ユニットの回転灯断線ランプ点灯、警報発生ユニットの故障ブザーが吹鳴することを確認する。

##### (ハ) FTA 結果

回転灯断線チェック動作確認に係る FT 図を図 16 に示す。回転灯断線チェックスイッチは回転灯ラインをスイッチ ON で断線状態とし、断線チェック回路の動作を確認する。これによって誤警報を発生させることはない。また臨界監視機能の喪失はない。

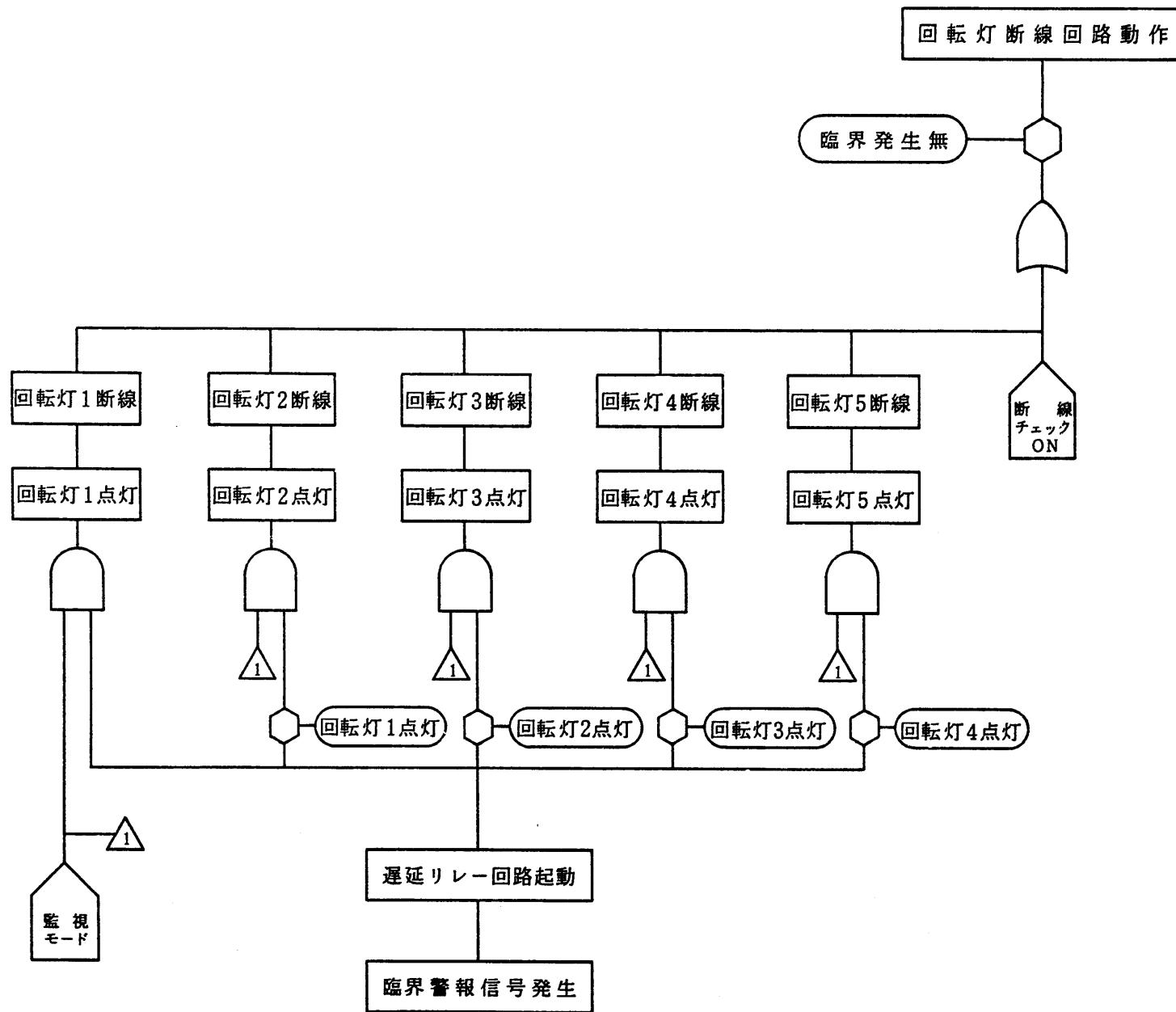


図16 臨界発生にともなう回転灯動作と断線チェック回路のFT

## 5. ま　と　め

東海事業所の再処理施設に設置してある臨界警報装置の性能検査（1ヶ月毎の月例検査）において、点検作業の項目毎に FTA 等で、保全に係る信頼性の評価を行った。この結果をまとめたものを表2に示す。

この結果、性能検査の実施中に作業員の誤操作等があっても、システムの冗長設計により誤警報が発生しないことが確認された。

また、現在性能検査の実施時には、各施設の工程において核燃料物質の取り扱いを禁止しているが、今回の評価により、システムの設計上は臨界監視機能を停止することなく、点検が可能であることが確認された。

表2 性能検査中における臨界監視機能の評価

- 39 -

性 能 檢 査		機能の健全性確保	誤 作 動 防 止	
検査項目	内 容	検査中における臨界検知	想定される誤操作	装 置 へ の 影 韶
1. 警報音発生装置の動作確認	(1) スピーカラインのインピーダンス測定 ① 常時モニタしている指示計の指示値読取	検査は、装置を“監視”状態(「監視・点検」切替スイッチが“監視”)で実施する。通常の臨界検知機能による監視。	無	
	(2) 電源電圧及びランプの確認 ① 各電源電圧をデジタルマルチメータにて測定。 ② 各種ランプ類の点灯確認	検査は装置を“点検”状態(「監視・点検」切替スイッチが“点検”)にして実施。  “監視”状態との違いは警報の最終現場出力(回転灯・スピーカ等)段が切りはなされている。但し、臨界事故の検知機能は“監視”状態と変わらない。	電圧測定において、測定器の入力ケーブルが地絡または短絡することにより電源が電圧降下をおこす。	電源は2台並列による同時運転であり、1台電圧降下してもシステムには変化はない。  また、電源は「フの字型保護回路」を内蔵しているため、短絡や過負荷が生じても故障にはつながらない。  原因解除により機能は復帰する。
2. AC電源ランプの確認	(1) 臨界警報装置のAC受電部パイルオットランプの点灯確認	よって、検査中に臨界が発生した場合は装置の警報発生ユニットで確認することができ、その後装置の切換スイッチを“点検”→“監視”へ切替えることにより、現場へ警報が出力されることとなる。  以下の検査は全て装置を“点検”状態で実施する。	無	無

表2(つづき)

性能検査		機能の健全性確保	誤作動防止	
検査項目	内容	検査中における臨界検知	想定される誤操作	装置への影響
3. 各電源電圧の確認	(1) 検出器、リレーユニット、テスト回路、アイソレータ(Pu転のみ)に供給している電源電圧をデジタルマルチメータにて測定する。	検査中に臨界が発生した場合は装置の警報発生ユニットで確認することができ、その後、装置の切換スイッチを“点検”→“監視”へ切換えることにより現場へ警報が出力されることとなる。	電圧測定において、測定器の入力ケーブルが地絡または短絡することにより電圧降下をおこす。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検出器用電源 同一監視場所の3台の検出器は、1台毎に電源を有する為1台の検出器が電圧降下により機能喪失しても他の2台で臨界を検知することができる。また本事象はパネル側の単独警報が発生し作業者へ注意をうながす。</li> <li>・リレーユニット用電源 2台並列運転であり1台電圧低下してもシステムには変化はない。</li> <li>・テスト回路用電源 テスト回路は1台の電源で作動しているが、この回路の機能は臨界検知に寄与しない。</li> <li>・アイソレータ用電源 アイソレータも1台の電源で作動しているが、この回路の機能は臨界検知に寄与しない。 また、これらの電源は、全て「フの字型保護回路」を内蔵しているため、短絡や過負荷が生じても故障にはつながらない。原因解除により機能は復帰する。</li> </ul>

表2 (つづき)

性 能 檢 査		機能の健全性確保	誤 作 動 防 止	
検査項目	内 容	検査中における臨界検知	想定される誤操作	装置への影響
4. 臨界検出の アナログ出力 を測定する。	(1) 再処理工場 ① 臨界検出器( $r$ ) デジタル・レコード表示読取	検査中に臨界が発生した場合は装置の警報発生ユニットで確認することができ、その後装置の切換スイッチを“点検”→“監視”へ切換えることにより、現場へ警報が出力されることとなる。	無	無
	② 臨界検出器( $n$ ) パルスモニタ出力をマルチ・チャンネル・アライザにより波高分析する。		波高測定において、信号ケーブルが地絡または短絡したときパルスモニタ出力がゼロになる。	パルスモニタ出力は、オープンコレクタ出力であり、出力のみゼロで故障にはつながらない。
	(2) Pu 転換施設 ① 臨界検出器( $r$ ) アイソレータ出力をデジタルマルチメータにて測定する。(アイソレータは臨界検出器( $r$ )のアナログ信号を別途放管用計算機へ伝送するために、臨界警報装置との電気的絶縁をとる装置)		電圧測定において測定器の入力ケーブルが地絡または短絡し、アイソレータ出力がゼロになる。	アイソレータ出力は保護回路を内蔵しているため、短絡しても故障にはつながらない。
5. テスト回路 による動作確認	(1) テスト回路モジュールを用いて検出器、2/3論理回路の動作テストを手動で行う。	・検出器の動作テスト中 同一監視場所 3 台のうち 1 台を順次選択し動作テストを実施するので他の 2 台により臨界検知が可能。	テストスイッチを同時に 2 ケ以上押して複合するテストに起動をかける。	テストスイッチには、相互間インターロックが設けられている。このため最初に押されたスイッチが優先され、そのテストが解

表2 (つづき)

性 能 檢 查		機能の健全性確保	誤 作 動 防 止	
検査項目	内 容	検査中における臨界検知	想定される誤操作	装 置 へ の 影 韶
	(2) 供用中自動監視点検装置を用いて検出器、2/3論理回路の動作テストを自動で行う。 ((1)、(2)は同一試験内容であり手動、自動の違いである。)	○ 2/3論理回路の動作テスト中 2/3論理回路3台のうち1台を順次選択し、動作テストを実施するので他の2台より臨界検知が可能。		除されるまで他のスイッチは効かない。 よって、故障や誤警報にはつながらない。
6. 臨界警報動作確認	「臨界テスト」スイッチを押して2/3論理回路出力に並列接続された模擬臨界警報出力を発生させ、2/3論理回路以後の装置類の動作を確認する。 但し、外部出力は発生しない。	検出器、2/3論理回路は通常の監視状態であるため、3台の2/3論理回路の動作により臨界検知が可能。	無	無
7. 回転灯断線チェック動作確認	回転灯と直列接続された「回転灯断線チェック」スイッチを押して、断線モニタ機能を確認する。	検出器2/3論理回路は通常の監視状態であるため、3台の2/3論理回路の動作により臨界検知が可能。	無	無
8. 測定モードの確認	性能検査終了とともに各スイッチの設定位置“監視”状態の確認。	これ以後装置は通常の“監視”状態となる。	無	無

## 6. 参考文献

- 1) "Criticality Accident Alarm System" ANSI/ANS-8.3-1979
- 2) 北川賢司 "FME/CA・FTA・HA の基礎と各分野への応用・実例およびデータ" (株)技研情報センター、1979
- 3) 再処理施設安全審査指針
- 4) 岸本洋一郎他 ; "改良型臨界警報装置の試作・試験結果" PNC SN841-82-53
- 5) 福田整司他 ; "改良型臨界警報装置の基本的考え方" PNC SN841-82-08
- 6) 関昭雄他 ; "臨界警報装置の検出基準の考え方" PNC ZN843-81-02
- 7) MIL-HDBK-217B,C