

本資料は 2001年 6月 日付けで登録権利が
変更する。

[技術情報]

改良型臨界警報装置の試作試験結果

Design and Performance Test of the Improved
Criticality Accident Alarm System

1982年10月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

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

けに配
お、こ

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

配 布 限 定

PNC SN841-82-53

1982年10月

改良型臨界警報装置の試作・試験結果



実施責任者 岸 本 洋一郎 *

報告者 小 島 紀 二 **

野 田 喜美雄 *

金 盛 正 至 ***

古 川 博 章 *

期 間 56年5月1日～57年9月31日

目 的 改良型臨界警報装置の開発を行い、信頼性設計、試作によるデザイン・レビュー、試験方法等の技術を確立する。

要 旨

改良型臨界警報装置の開発は、昭和57年度の安全管理部の最重点開発課題である。

既設の臨界警報装置を見直し、技術上の改良項目に検討を加え、設計仕様を固めた。この設計仕様の考え方に基き、改良型臨界警報装置の設計、試作、試験を行ってきた。

本開発では、改良型臨界警報装置の各部の機能や、設計基本方針を明確にし、概念設計、詳細設計では信頼性設計に重点を置き、装置の信頼性評価を十二分に行った。また、設計を確立するために、試作によるデザイン・レビューを行なった。この結果、論理判断部分に2 out of 3 論理回路を使用し、警報系は2重化することにより、高信頼の装置とすることができた。装置の特徴は、

- (1) 単一故障が装置全体の故障へ発展しないこと
- (2) 供用中の装置の健全性確認
- (3) 供用中の装置の保全

の3点を合理的に可能な限り達成した点にある。装置全体の信頼度はMTBFで 6.3×10^6 Hとなつた。更に各種試験方法も検討を行い所期の試験結果が得られたので、それらの技術成果を報告する。

* 安全管理部放射線管理第二課

** 安全管理部

*** 安全管理部放射線管理第一課

目 次

I 序 -----	1
II 改良型臨界警報装置開発の目的 -----	3
III 臨界警報装置の機能 -----	6
1. 基本的機能 -----	6
2. 各機能の説明 -----	6
(1) 検出機能 -----	6
(2) 判別機能 -----	6
(3) 警報発生機能 -----	7
IV 設計の基本方針 -----	8
1. 信頼性 -----	8
2. 検出対象 -----	8
3. 判別条件 -----	8
4. 警 報 -----	8
5. 電 源 -----	8
6. 耐震性 -----	8
7. ディレーティング -----	8
8. モジュール化 -----	8
9. 品質管理 -----	9
10. 保全性 -----	9
V 概念設計 -----	10
1. 概 要 -----	10
2. 信頼度モデルに対する評価 -----	10
(1) 信頼度評価の基本一般事項 -----	10
① 基本用語 -----	10
② 直列系および並列系の信頼度評価 -----	11
(2) 2/3論理と2/2+冗長論理の信頼度評価 -----	12
① 2/3論理の信頼度評価 -----	12
② 2/2+冗長論理の信頼度評価 -----	12
③ 両者の比較検討 -----	13
3. 各種信頼度モデルの比較 -----	15
4. 総合評価 -----	15

5. 臨界事故の判別時間	15
VI 詳細設計	23
1. 構成	23
(1) 監視機能	23
① 検出部	23
② 判別部	23
③ 警報発生部	23
(2) 点検機能, 故障モニタ機能	23
2. 各部詳細設計	23
(1) 監視機能	23
① 検出器	23
② 分配 BOX	24
③ 2/3 論理回路	24
④ テスト回路モジュール	25
⑤ AUX ユニット	25
⑥ 警報発生ユニット	25
⑦ 警報音発生装置	26
⑧ 回転灯	26
⑨ スピーカ	26
(2) 点検機能	59
① 検出器テスト	59
② 同時性テスト	59
③ 非同時性テスト	59
④ 臨界テスト	59
⑤ 回転灯テスト	60
⑥ スピーカテスト	60
⑦ その他のテスト	60
(3) 故障モニタ機能	60
VII 信頼性評価	62
1. 開発システムと従来システムの比較	62
(1) ブロック図比較	63 ~ 64
(2) 監視モード比較	65
(3) 点検モード比較	66
2. 2/3 回路の同時性検出信頼度評価	67

(1) トリップ入力モードⅠに対する評価	67
(2) トリップ入力モードⅡに対する評価	67
3. 故障効果解析（FMECA）	70
4. 実用化システムに対する信頼性評価	76
(1) MTBF 算出条件	76
(2) MTBF 算出結果	76
5. 実用機に対する品質管理	96
VIII 保全性	103
1. 概要	103
2. 保全の分類	103
3. 事後保全	103
4. 予防保全	105
5. 定期自主点検時の予防保全	105
6. 検査要領書	111
(1) 概要	112
(2) 日常点検	112
(3) 定期自主検査	112
(4) 使用前検査、定期検査	114
IX 試験結果	116
1. γ 線検出器単体試験（RD 120）	116
(1) 高圧出力範囲	116
(2) リップル測定（H V）	117
(3) 負荷変動に対する高圧出力変動	118
(4) 直流増幅器入出力直線性	118
(5) 高圧出力電圧低下及びブリーダ抵抗断線検出	119
(6) チェック用 LED 特性	119
(7) アナログ及びトリップ応答特性	121
(8) γ 線照射特性	128
(9) 温度特性	136
(10) 振動試験	148
(11) パルス状 γ 線照射応答特性	153
(12) 高線量照射試験	155
2. 2/3論理回路（RU724）単体試験	175
(1) DC電源入出力特性	175

(2) タイマ用クロック精度 -----	175
(3) 単体機能動作テスト -----	175
(4) 入出力パルス応答性 -----	175
3. テスト回路 (RU725) 単体試験 -----	178
(1) DC 5 V リップル測定 -----	178
(2) DC 電源低下検出 (PFD) 特性 -----	178
(3) タイマ用クロック精度 -----	178
4. 低圧電源単体試験 (RU726/RU727) -----	179
(1) 電源変動 -----	179
(2) 負荷変動率 -----	179
(3) 最大出力電流 短絡電流／短絡保護特性 -----	179
(4) 出力電圧設定精度 -----	179
(5) 温度特性試験 -----	179
5. 組合せ試験 -----	184
(1) シーケンス動作テスト -----	184
(2) 応答特性 -----	184
(3) 電源瞬断テスト -----	184
(4) 耐ノイズ性テスト -----	188
(5) ウォームアップ特性 -----	188
(6) 単一故障モード試験 -----	188
(7) 温度特性 -----	188
(8) 振動試験 -----	188
(9) 加湿試験 -----	192
X まとめ -----	194
XI おわりに -----	197

I 序

東海事業所における臨界警報装置の使用実績は、昭和40年にプル燃第1開発室に設置されたのが最初であった。以後、プル燃第2開発室、再処理工場、CPFと順次導入設置されてきた。（図I-1参照）

導入当初は比較的平穏な実働経過であったが、昭和55年、56年の再処理工場における2回の誤警報やプル燃第1、第2開発室の課題等を契機に、臨界警報装置に対する国からの信頼性向上の要求が一段と強まってきた。

これは、原子力行政の高度化、核燃料加工及び再処理事業の安全性向上要求という諸般の情勢変化にも関連があったことも見逃しに出来ない背景であった。

一方、安全管理部では、臨界警報装置の重要性に鑑み、昭和56年5月より従来からの関係技術者を主体にしてワーキンググループを設置し、信頼度の高い臨界警報装置の開発に着手した。残念なことに昭和56年10月再処理工場で2度目の誤警報が発生し、このワーキンググループは、発展的に「臨界対策推進班」と呼称し、プロジェクトとして鋭意開発に取り組むことになった。

東海事業所の臨界警報装置は、米国製、仏国製、国産（旧モデル）などが用いられてきたが、これらは一長一短のあるものであった。この内、米国製のものは、プル燃第1開発室に最初に使われたが、国産（旧モデル）に更新されたため現在は使われていない。

次に仏国製は再処理工場とCPFで使われているが、今までの経験から開発課題として次の3点が挙げられる。

- ① 信頼性をより向上させた臨界警報装置の開発が急務
 - ② 臨界警報装置の動特性試験方法の確立
 - ③ 中性子検出器は仏で製造中止の為、国産化が必要
- ②、③については、安全管理部として、約10年の開発を要した。これをベースにして①に関し、昭和56年4月より注力し、開発の最終仕上げに臨んできたが、関係部課の御協力を得て、本プロジェクトも所期の目的を達成したので、茲にその技術成果を報告する。

本技術成果に基づく改良型臨界警報装置の1号機は、プルトニウム転換技術開発施設に間もなく納入される予定である。

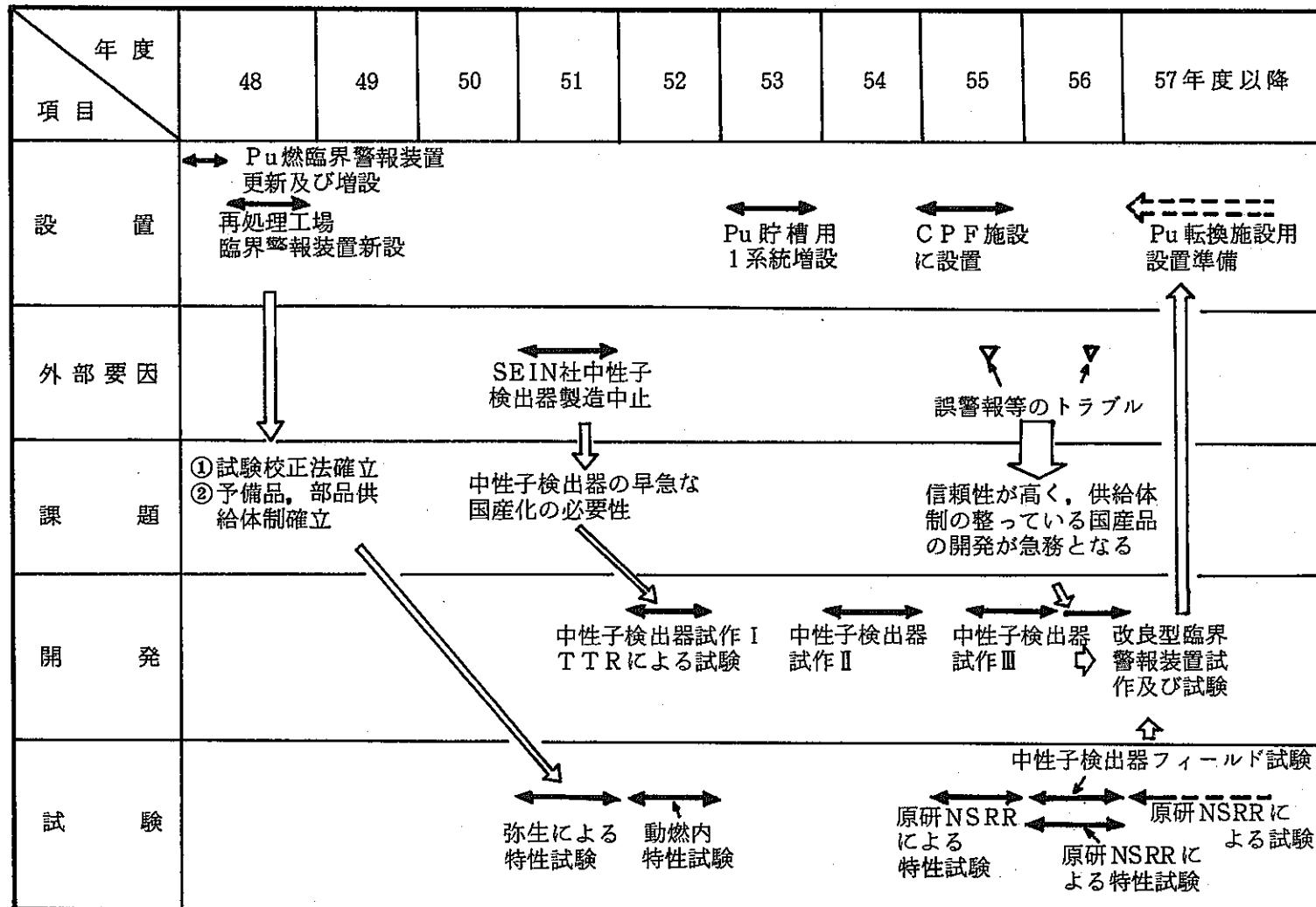


図 I - 1 臨界警報装置使用及び試験開発経緯

II 改良型臨界警報装置開発の目的

核燃料物質を取り扱う施設における臨界安全管理は、原子炉施設と比べ次のような相違がある。原子炉では臨界を制御しながらエネルギーを取り出しているのに対し、核燃料物質取扱施設では如何なる場合でも臨界が起らぬよう、質量、形状、濃度及び中性子毒等の一つまたは二つ以上の組み合せによる工学的安全対策ならびに作業運転管理により臨界安全管理を行なっている。これらの種々の対策にもかかわらず、なんらかの原因で臨界事故が発生した場合を想定し、臨界に伴なって放出される放射線を検知し、区域作業者に対し警報等により臨界事故の発生を知らせ、すみやかな退避をうながし、外部から区域への接近を防止することにより作業員等の被ばくを可能な限り低減化することを目的として臨界警報装置を設置している。（図II-1参照）

臨界の検知は、放射線計測機器およびプロセス計装機器により前駆的情報の把握に努める一方臨界事故時の作業員への影響を考え、過度の被曝防止及び人命優先の原則により、臨界事故専用の臨界警報装置をもってし、その情報を最優先とする。さらに臨界事故の確認をエリアモニタ、スタックモニタ等の放射線計測機器およびプロセス計装機器により行なう。（図II-2参照）

このように臨界警報装置に対しては重要な位置づけが与えられており、その信頼性は極要な点である。序でふれた経緯に鑑み我々は臨界警報装置の信頼性および性能の一層の向上を目的として既設臨界警報装置に替る臨界警報装置の国産化に取り組んだ。

I 原子炉

臨界を制御しながらエネルギーを取り出す。

II 核燃料施設

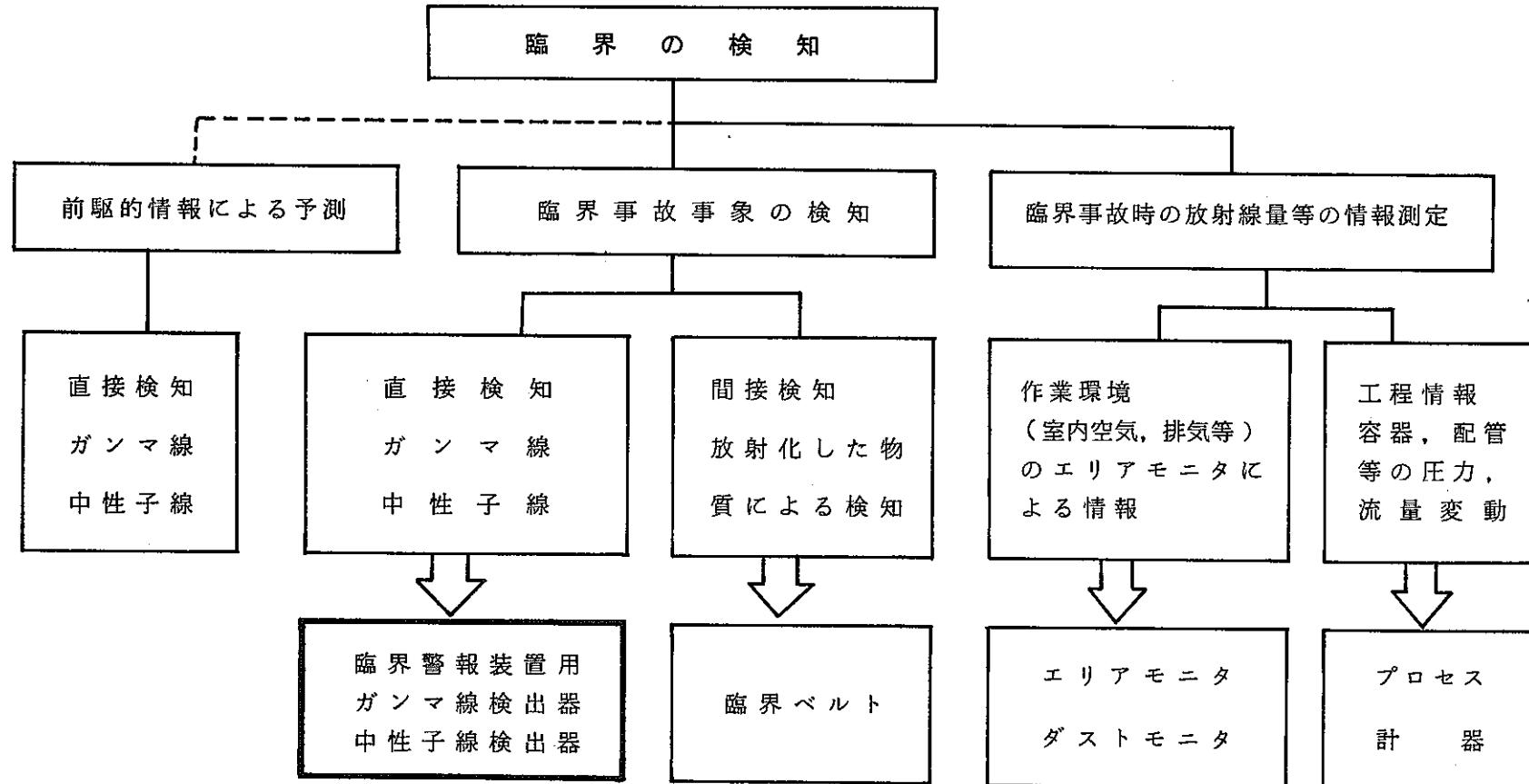
如何なる場合でも臨界が起こらないよう
質量、形状、濃度及び中性子毒
の一つまたは二つ以上の組合せで管理する。

III 安全管理の立場

それでもなおかつ臨界が起った場合に確実に検知し、
① 作業者を対象区域から緊急退避させる。
② 外部から区域への接近を防止する。

→ 臨界警報装置の設置

図II-1 臨 界 の 管 理



図Ⅱ-2 臨界の検知

III 臨界警報装置の機能

1. 基本的機能

臨界警報装置はその性質上きわめて高い信頼性を有するものでなければならない。すなわち検出すべき臨界事故の場合のみ確実に動作し、臨界事故でないのに警報を発生したり(誤警報)、逆に臨界事故であるのに動作しない(機能喪失)ということが最小でなければならない。さらに常時正常に稼動していることが要求され、一部に故障が生じても全体として警報機能が喪失することのないようになっていなければならない。

臨界警報装置の基本機能は

- ① 検出機能
- ② 判別機能
- ③ 警報発生機能

から成る。①は臨界事故に伴なって放出される放射線を検出しあらかじめ定めた設定値以上の放射線が入射した場合は検知信号を発する部分であり、②は検知信号が臨界事故として定めた条件を満足しているかどうかを判断する部分であり、③は判別機能にて臨界事故であると判断された場合、警報を発生させ、区域作業者の退避を促し、区域外関係者に区域への入域禁止を知らせる機能である。

2. 各機能の説明

(1) 検出機能

過去の臨界事故や⁽¹⁾やCRAC等の臨界事故実験⁽²⁾を通して蓄積された知識によると臨界事故の規模はある不確さをもって、最大および最小事故が決定される。事故による人および周辺への影響の大きさを考えるならば臨界事故はその規模の大小にかかわらずすべて検出されなければならない。それ故、最大規模の臨界事故の場合であっても、検出部はたとえ破損しようとも、破損する前に事故発生を知らせる信号を発しなければならない。また最小規模の臨界事故に対しても十分検出できるだけの感度をもたなければならぬ。

臨界事故として認知するための警報設定レベルは周囲のバックグラウンドノイズの影響を十分カットできるくらいに高く、かつ最小規模の臨界事故を検出できる程度に低い範囲内で任意に設定できることが好ましい。

検出対象としての放射線の種類はガンマ線あるいは中性子線である。

(2) 判別機能

これは、検出部から送られてきた信号(検知信号)があらかじめ定めた臨界事故の条件に合致するものであるかどうかの判定をする機能である。これを実行するため、臨界事故想定

領域内に n 個の検出器が用意され、そのうち m 個の検出器から臨界事故の信号が送られてきた場合のみこれを臨界事故として認知するシステムをとっている。このシステムは "m out of n" 方式と呼ばれている。さらに m 個の信号がある一定の時間間隔内に来ない限り臨界事故とみなさないようにし確実を期している場合もある。誤作動に対する信頼性を上げるためにこの "同時性" の条件を課すことが好ましい。

この "m out of n" 方式にすると n 個の検出器のうちのある 1 ないし ($m-1$) 個の検出器が故障して誤信号を発しても臨界事故とみなさない仕組みになっているし、逆に臨界事故のときは m 個よりも多くの検出部が信号を発するであろうからたとえ若干個が故障しても臨界事故の判別を行なうことができる。

以上のように臨界事故の判別には

- (i) 放射線場がある程度広範囲にわたって形成されること。
 - (ii) 放射線場が短時間以内で形成されること。
- を条件としている。

このようにして臨界事故判別機能に対する信頼性を期しているが、さらに判別部を多重化し、それぞれの電源を独立に供給するようにして信頼性を高めることが望ましい。

(3) 警報発生機能

これは、判別部で臨界事故の判定があった場合、警報を発生させて関係者に事故を知らせ退避をうながすとともに区域内への立入り禁止を知らせる機能である。警報としては可視光警報と可聴音警報があるが併用するのが好ましい。可聴音警報は周囲の雑音に対して十分聞きとれる程度に大きい音であって、かつ火災警報等他の警報音と聞き間違いの起らないような音色でなければならない。可視光警報は大きい雑音のある区域の作業員に対して事故を知らせる可聴音警報を相補する警報としての役割と、事故現場より遠くにいる作業員に対し区域への入域禁止を知らせる役割をもつ。したがって十分明るく識別可能な光でなければならない。

IV 設計の基本方針

1. 信頼性

合理的で可能な限り高い信頼性の得られる設計を行う。单一故障で誤警報や機能喪失を起してはならない。

2. 検出対象

臨界事故時の即発 r 線があらかじめ設定されたレベルを超えたことを検知することを機能の第一とする。

3. 判別条件

臨界事故の判別は

- (i) 臨界事故時の放射線場がある程度広範囲にわたって形成されること。
 - (ii) 臨界事故時の放射線場が短時間に形成されること。
- を基本として行なう。

4. 警報

警報機能は音と光の併用による警報を原則とする。

5. 電源

系に供給する交流電源は無停電電源とする。直流電源は可能な限り多重独立化し、各供給系に故障検出機能を設ける。

6. 耐震性

システムの機器は耐震クラスAの設計を行なう。

7. ディレーティング

装置の回路を設計する上では、部品・材料の内部のストレスを軽減させるディレーティング設計を明確にする。

8. モジュール化

保守性を考慮し機能ごとにモジュール化する。

9. 品質管理

高い品質管理のもとに製作・試験を行なう。また、できる限り標準化する。

10. 保全性

- (1) システムは実用上可能な限り、臨界監視機能を失うことなく、計画的な試験・点検が可能であることとする。
- (2) システムは単一の故障の発生により、臨界監視機能を失うことのないようにする。
- (3) 検出器で発した信号履歴を外部に取り出し記録できる機能を設ける。
- (4) 保全時の部品交換による影響を最小となるように設計する。

V 概 念 設 計

1. 概 要

設計の基本方針で述べた高い信頼性を得るため、判断機能を要する部分では多数決による判定を行なう。各種信頼度モデルに対し、誤警報および機能喪失に対する信頼度をそれぞれ評価し、コストパフォーマンスを考慮に入れつつ、両者のバランスのとれた論理として 2 out of 3 論理を採用した。また各機能、各部分は合理的に可能な限り多重化を行なう。全体としての装置のMTBFは 100 年以上を目安とした。

さらに臨界事故の判別時間として、誤作動、不作動、および作業者の被ばくの観点から 0.5 秒を採用した。

2. 信頼度モデルに対する評価

(1) 信頼度評価の基本一般事項

① 基本用語

② 信頼度 (reliability)

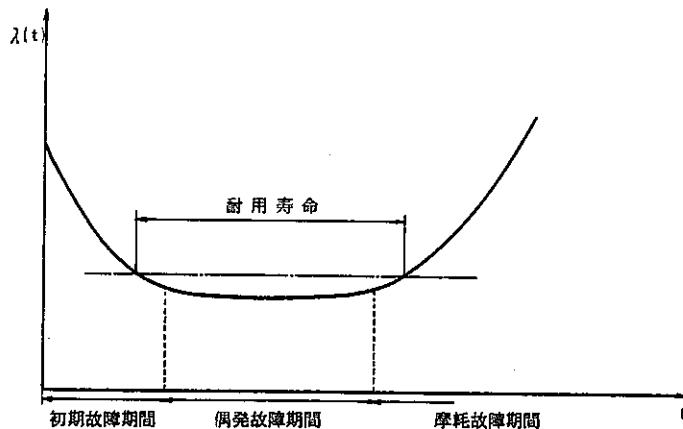
系、機器、部品などが規定の条件の下で意図する期間中規定の機能を遂行する確率。

⑤ 故障率 (failure rate)

ある時点まで動作してきた系、機器、部品などが引き続く単位期間内に故障を起す割合。信頼度関数を $R(t)$ とすると、故障率時間の関数として

$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{d R(t)}{d t}$$

によって表わされる。普通、保全を伴わない系、機器、部品などの典型的故障率 $\lambda(t)$ は次の図に示すような経時変化をたどり初期故障・偶発故障・摩耗故障の三つの期間に分けられる。



(c) 平均故障間隔 (MTBF)

修理しながら使用する系、機器、部品などの相隣る故障間の動作時間の平均値。故障間隔が指数分布に従う場合には、どの期間をとっても故障率は一定であり、MTBFは故障率の逆数になる。

(d) 保全度 (maintainability)

修理可能な系、機器、部品などが規定の条件において保全が実施されるとき、規定の時間内に保全を終了する確率。

(e) アベイラビリティ (availability)

修理可能な系、機器または部品などがある特定の瞬間に機能している確率。

(f) 冗長性 (redundancy)

規定の機能を遂行するための要素または手段を余分に付加し、その一部が故障しても全体としては故障とはならない性質。

(g) 待機冗長 (stand-by redundancy)

ある要素または手段が規定の機能を遂行している間、他の要素または手段が故障時に切り替えられる状態で待機状態にある冗長性。

(h) 並列冗長

二つ以上の要素または手段により負荷を分担して動作する冗長性。

(i) 平均修復時間 (MTTR)

事後保全に要する時間の平均値。

(j) 故障モード・影響および致命性の解析 (FMECA)

システムや機器についてそれを構成する要素に分け、各要素が故障を起すとすれば、どのような故障モードがあるかを調べ、各故障モードが発生したとき機器あるいはシステムにどのような影響を与えるかを解析する。さらに、各故障の影響についてそれが致命的なものであるかを評価し、その程度に応じて分類を行ない適切な対策をたて設計を改善すること。

(2) 直列系および並列系の信頼度評価

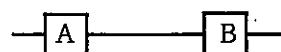
(a) 直列系

A, Bの信頼度をそれぞれ R_A , R_B 不信頼度を F_A , F_B とすると、直列系の信頼度および不信頼度はそれぞれ

$$R_s = R_A \cdot R_B$$

$$F_s = 1 - R_s$$

$$= F_A + F_B - F_A \cdot F_B$$



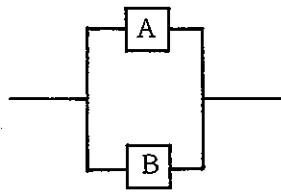
(⑤) 並列系

並列系の不信頼度および信頼度はそれぞれ

$$F_p = F_A \cdot F_B$$

$$R_p = 1 - F_p$$

$$= R_A + R_B - R_A \cdot R_B$$



(2) 2/3 論理と 2/2 + 冗長論理の信頼度

評価以下 m out of n を m/n 論理と

略す。

(①) 2/3 論理の信頼度評価

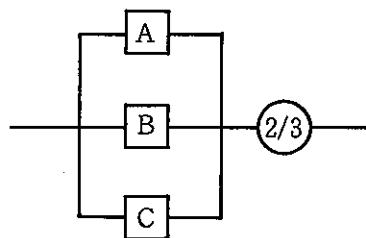
A, B, C の信頼度関数はすべて等しく $X = e^{-\lambda t}$

であるとする

$$R(t) = X^3 + 3C_2 X^2 (1-X)$$

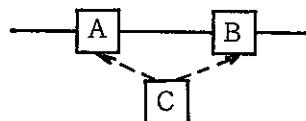
$$= 3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}$$

$$\text{よって } MTBF = \int_0^\infty R(t) dt = \frac{5}{6\lambda}$$

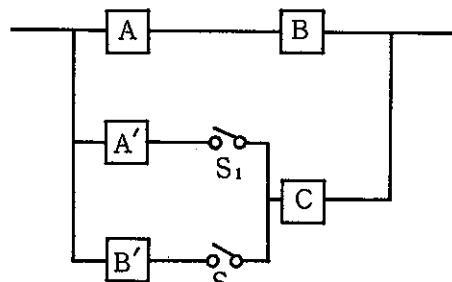


(②) 2/2 + 冗長論理の信頼度評価

2/2 + 冗長論理ブロック図



は次図と等価である。



ただし、 S_1, S_2 の信頼度は 1 とする。

本系の信頼度は A, B, C としての並列信頼度から A' B' C 系の不信頼度分を差し引いた値となる。

A B C 並列系の信頼度は

$$R_{ABC} = 1 - F_{AB} \cdot F_C$$

$$= 1 - (1 - R_A \cdot R_B) (1 - R_C)$$

$$= X + X^2 - X^3$$

A' B' C 系の不信頼度分は

$$\begin{aligned}
 F_{ABC} &= F_A F_B R_C \\
 &= (1 - R_A) (1 - R_B) R_C \\
 &= X - 2X^2 + X^3
 \end{aligned}$$

よって系の信頼度は

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_{ABC} - F_{ABC} \\
 &= 3X^2 - 2X^3 \\
 &= 3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}
 \end{aligned}$$

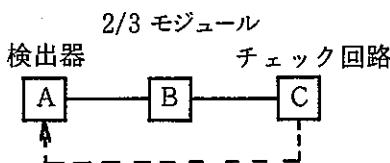
すなわち、2/3 論理と同じ結果となる。

③ 両者の比較検討

前記①、②の結果の如く、両者は信頼度の一般式による評価上は同一となる。これは、冗長系の機器Cも通電状態としている為、一般式でいう切替付の並列系となる。待機冗長系による信頼度向上は、待機系の機器を無通電状態とし、かつ待機中は故障しない事を前提として成立するものである。両者に対し、機能喪失、誤警報に対する評価を表V-1に示し、以下に本表に対する検討を加える。

ⓐ Single Failureに対する検討

- 2/3 論理は、全て満足する。
- 2/2 + 冗長論理系は表V-1, * 2に於いて正常動作を確認するチェック回路を設ければ満足する。但し、チェック回路の部品増加分の信頼度は落ちる。又実際上、連続的なチェックは不可能である。チェック方式の1例を以下に示す。



上図に於いて、Cから動作チェック用の信号をAに送り、Bの出力により監視して判別する。その際当該チャネルをバイパスするか、2/2 出力を1/1 出力とする必要がある。

ⓑ Double Failureに対する検討

① 表V-1, * 1の検討

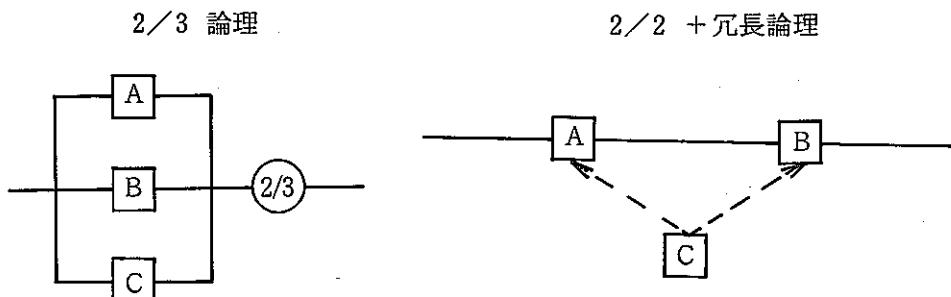
両者を比較した場合、3ヶ中2ヶと2ヶ中2ヶの相違により、2/2 + 冗長論理が有利となる。検出器故障に対しては、AL 2ヶが同時でなければ、2/3 論理に於いても0.5secの同時検出回路により、自動バイパスされる為、問題はない。又0.5sec以内で、同時に故障する確率は、非常に小さい。この0.5 secは、2/2 + 冗長論理系に於ける冗長回路切替時間に相当する。

② 表V-1, * 3の検討

④と同様、 $2/2 + \text{冗長論理}$ はチェック回路を必要とし、 $2/3$ 論理方式が有利となる。

⑤ AL出力無し方向の故障検出の検討

実際の回路上にて、チェック回路を設けて検出する方式は、チェック回路、切換回路の故障率増加と、チェック回路自身の信頼度が問題となる。実用上の管理として、例えば1日1回テストモードにし、正常状態の確認をする。これは、保全有の状態に対する最悪でもMTTR 24^h に相当し、信頼度は、大幅に改善される。但しその効果は、以下により $2/3$ 論理の場合のみとなる。



24^h 中に3ヶ中1ヶの故障は許される為
保全可能となる。

Cの切替は、1回/ 24^h の点検後A, Bどちらかに故障時切替わる為システムとして1度故障後復帰となる。(チェック回路無しの場合)

表V-1 故障モード評価

故障名	故障モード注1)	2/3論理	2/2+冗長論理	備考
誤警報	AL・1	○	○	○……正常
	AL無・1	○	○	△……条件付正常
	AL・1+AL無・1	○	○	×……異常
	AL・2	×	△	←*1
機能喪失	AL・1	○	○	←*2
	AL無・1	○	△	←*3
	AL・1+AL無・1	○	△	
	AL無・2	×	×	

注1) AL …… 故障時AL出力する方向にDOWN
AL・無…… 故障時AL出力しない方向にDOWN
1 or 2 …… 故障の度合

3. 各種信頼度モデルの比較

各種信頼度モデルに対する理論値を機能喪失、誤警報に分けて表V-2, V-3に示す。機能喪失に対する保全を考慮した信頼度を表V-4, V-5に示す。誤警報に対する保全を考慮した信頼度を表V-6, V-7に示す。

機能喪失モードについては、予備チャネルが増加するに従いMTBF値は大きくなる。又一方誤警報に対してはその逆の傾向となる。特に機能喪失に対する保全有りモードは、一段と顕著に現われている。但し、この場合は同時に2ヶ、3ヶ…と故障する確率も増加することになり、保守体制、予備品の数量等を考慮する必要がある。

4. 総合評価

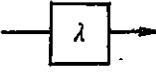
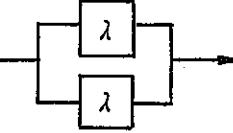
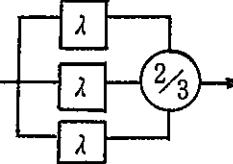
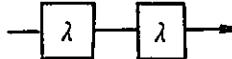
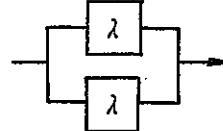
各信頼度モデルに対しその実現性をV-8で比較すると、機能喪失、誤警報共にバランスのとれる論理は、2/3論理となる。実際のシステムとして、例えば2/4, 2/5等を採用し、機能喪失に対する信頼度を上げようとした場合、検出器のみ4ヶ、5ヶとするだけでは系全体のシステム信頼度は向上しない。そこで系全体を4重・5重とする必要がある。しかし、費用と設置スペースなどの面で実用性が乏しいものになる。又誤警報に対する信頼度は冗長度を増加するに従い下がる傾向となり、機能喪失、誤警報、両者の信頼度の差が大きく得策とは言えない。実用可能なシステムとして、機能喪失、誤警報の両者を効率良く改善させる方法は、判断部分を2/3論理、それ以外の部分を並列論理すなわち多重化とすることでありコストパフォーマンスの良いものとなる。

5. 臨界事故の判別時間

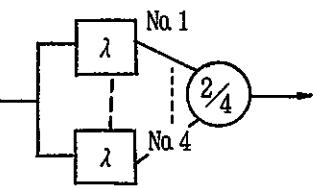
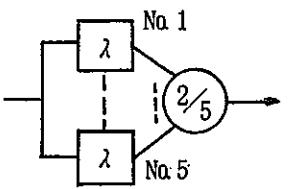
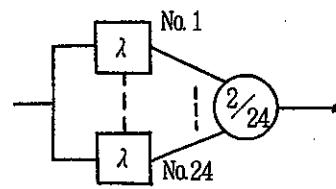
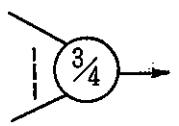
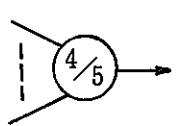
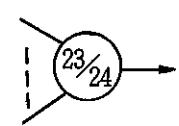
臨界を特徴づける一つの現象は短時間に高い放射線場が形成されることである。ノイズ等により単一作動が発生したとき、次の単一作動が発生するまでにクリアーアーすることにより誤作動確率を減少させ、誤作動に対する信頼性を向上させるため判別条件として同時性を課す。この判別時間を決定する上で以下の要因が上げられる。

- (1) 作業員の被ばく低減化のため判別時間はできる限り短くすることが好ましい。
- (2) ノイズによる誤作動をなくすためには、判別時間は短い方がよい。経験的には0.1秒以上あればよいことが判っている。
- (3) 不作動をなくすためには判別時間は長い方がよい。すなわち、臨界事故現場と検出器との間にある遮蔽物等により、1つの検出器で判別線量率以上を確認しても他の2つの検出器では、判別線量率に達していないことがあり得る。CRACの実験によれば、ほとんどすべてのデータは、最初の出力ピークに到るまでの時間が約0.4秒であることを示している。したがって、判別時間が0.4秒以上あれば、3つの検出器とも判別線量率以上を確認するであろう。以上の考察により、判別時間として0.5秒を採用する。

表V-2 信頼度モデル／MTBF算出式

分類		A 単系(1個)	B 並列(2個)	C $\frac{2}{3}$ 論理	D $\frac{2}{2}$ +冗長(切替)論理
機能喪失	理論	 MTBF $\frac{1}{\lambda}$	 MTBF $\frac{3}{2\lambda}$	 MTBF $\frac{5}{6\lambda}$	 MTBF $\frac{1}{2\lambda}$
	論值	同上	 MTBF $\frac{1}{2\lambda}$	同上	 MTBF $\frac{3}{2\lambda}$

表V-3 信頼度モデル／MTBF算出式(つづき)

分類		E	F	G
		$\frac{2}{4}$ 論理	$\frac{2}{5}$ 論理	$\frac{2}{24}$ 論理
機能喪失		 <p>MTBF $\frac{13}{12\lambda}$</p>	 <p>MTBF $\frac{77}{60\lambda}$</p>	 <p>MTBF $\frac{2.78}{\lambda}$</p>
論警報		 <p>MTBF $\frac{7}{12\lambda}$</p>	 <p>MTBF $\frac{9}{20\lambda}$</p>	 <p>MTBF $\frac{47}{552\lambda}$</p>

表V-4 機能喪失に対する保全を考慮した信頼性

分類	A	B	C	D	
	単系(1個)	並例(2個)	2/3論理	2/2+冗長(切替)論理	
保全有 MTBF 算出式	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{3\lambda + \mu}{2\lambda^2}$	$\frac{5\lambda + \mu}{6\lambda^2}$	$\frac{5\lambda + \mu}{6\lambda^2}$	
修理時間 25H $\mu = 4 \times 10^{-2}\text{H}$	$10^4(\text{H})$	$2.02 \times 10^6(\text{H})$	$6.75 \times 10^5(\text{H})$	<p>Ⓐ チェック回路無しの場合、自動切替不可となり、保全不可となる。 $10^4(\text{H})$</p> <p>Ⓑ チェック回路有りの場合 算出式において自動切替時間 μ に依存する。 (修理時間に相当)</p>	計算例 $\lambda = 10^{-4}/\text{H}$
(参考) 保全無	$10^4(\text{H})$	$1.5 \times 10^4(\text{H})$	$8.33 \times 10^3(\text{H})$	(チェック回路、自動切替回路の信頼度も影響する) 同上	

表V-5 機能喪失に対する保全を考慮した信頼性(つづき)

分類	E	F	G	
	$\frac{2}{4}$ 論理	$\frac{2}{5}$ 論理	$\frac{2}{24}$ 論理	
保全有 MTBF 算出式	$\frac{13\lambda^2 + 5\mu\lambda + \mu^2}{12\lambda^3}$	$\frac{77\lambda^3 + 43\mu\lambda^2 + 17\mu^2\lambda + 3\mu^3}{60\lambda^4}$	$\approx \frac{\mu^{22}}{552\lambda^{23}}$	
修理時間 $25H$ $\mu = 4 \times 10^{-2}H$	$1.35 \times 10^8 (H)$	$8.02 \times 10^{11} (H)$	$3.2 \times 10^{58} (H)$	計算例 $\lambda = 10^{-4}/H$ とする。
(参考) 保全無	$1.08 \times 10^4 (H)$	$1.28 \times 10^4 (H)$	$2.78 \times 10^4 (H)$	

表V-6 誤警報に対する保全を考慮した信頼性

分類	A	B	C	D	
	単系(1個)	並列(2個)	2/3論理	2/2+冗長(切替)論理	
保全有 MTBF 算出式	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{\lambda + \mu}{2\lambda^2}$	$\frac{5\lambda + \mu}{6\lambda^2}$	$\frac{3\lambda + \mu}{2\lambda^2}$	
修理時間 1^H $\mu = 1/H$	$10^4 (H)$	$5 \times 10^7 (H)$	$1.67 \times 10^7 (H)$	$5 \times 10^7 (H)$	計算例 $\lambda = 10^{-4}/H$ とする。
10^H $\mu = 0.1/H$	$10^4 (H)$	$5 \times 10^6 (H)$	$1.68 \times 10^6 (H)$	$5 \times 10^6 (H)$	
(参考) 保全無	$10^4 (H)$	$5 \times 10^3 (H)$	$8.33 \times 10^3 (H)$	$1.5 \times 10^4 (H)$	

表V-7 誤警報に対する保全を考慮した信頼性(つづき)

分類	E	F	G	
	$\frac{2}{4}$ 論理	$\frac{2}{5}$ 論理	$\frac{2}{24}$ 論理	
保全有 MTBF 算出式	$\frac{7\lambda + \mu}{12\lambda^2}$	$\frac{9\lambda + \mu}{20\lambda^2}$	$\frac{47\lambda + \mu}{552\lambda^2}$	
修理時間 1^H $\mu = 1/H$	$8.33 \times 10^6 (H)$	$5 \times 10^6 (H)$	$1.82 \times 10^6 (H)$	計算例 $\lambda = 10^{-4}/H$ とする。
10^H $\mu = 0.1/H$	$8.39 \times 10^5 (H)$	$5.05 \times 10^5 (H)$	$1.9 \times 10^4 (H)$	
(参考) 保全無	$5.83 \times 10^3 (H)$	$4.5 \times 10^3 (H)$	$8.51 \times 10^2 (H)$	

表V-8 実現性

分類		A	B	C	D	E	F	G
		単系(1個)	並列(2個)	2/3論理	2/2+冗長(切替)論理	2/4論理	2/5論理	2/24論理
価格 (安い順位)		①	②	③	⑤	④	⑥	⑦
設計・製作	難易度	容 易	普 通	普 通	チェック及び自動切替 回路複雑となり 非常に困難	やや困難	やや困難	ユニット実装、盤実装 上の難有り 困 難
	順位	①	②	③	⑦	④	⑤	⑥

VI 詳 細 設 計

1. 構 成

(1) 監視機能 γ 検出器 (プローブ)

① 検出部

1 系統 3 個の γ 検出器 (プローブ) を配し、各検出器は独立な電源をもつ。各検出器からの信号は、分配ボックスにより、3 個の論理回路に伝達される。

② 判別部

3 個の論理回路から成り、それぞれ独立な電源をもつ。3 個の検出器に対し、それぞれが $2/3$ 論理を実行する。

③ 警報発生部

AUX ユニットにおいて、3 個の $2/3$ 論理回路に対し $2/3$ 論理を実行したのち、警報発生ユニットにおいて警報発生を行なう。可聴音警報系と可視光警報系に対しそれぞれ独立に $2/3$ 論理を対応させる。

(2) 点検機能、故障モニタ機能

観視、点検の 2 モード方式とし、監視中は一切の点検操作を無効とし、監視時の論理構成を変えないようにする。また、点検中はランプ及びブザーにより監視機能を損なうことのないようとする。

2. 各部詳細設計

(1) 監視機能

① 検出器 (プローブ) (図 VI-1 参照)

検出器にはプラスチックシンチレータと光電子増倍管 (フォトマル) を使用し、臨界時の γ 線を測定する。

+24V の電圧が外部より供給され、高圧電源及び+15V 電源にプローブ内部にて変換する。フォトマルより得られたアノード電流を增幅し設定値を超えると $2/3$ 論理回路へトリップ出力を出す。 $2/3$ 論理回路へのトリップ信号は通常 ON、警報時 OFF のオープンコレクタ出力による。故障検知機能として以下の機能を有する。

i) 下限検出

LED をわずかに発光させることによりフルスケールの 10% 程度のアナログ出力を常に出し、アイソレータに接続された外部機器にて下限検出を行なうことを可能にする。

ii) ブリーダ抵抗の断線検出

ブリーダ抵抗値が 2 倍になった時点で検出を可能とする。

iii) HV 異常

アナログ出力の20%低下に相当するHVの低下を検出する。

iv) テスト回路からの検出器テスト

テスト回路の検出器テスト動作時にフォトマルに近接したLEDを発行させることによりトリップ信号を出力する。

v) 図VI-1(2)7線検出器回路図のリニアICA₁～A₆の説明

A₁ … +15V 安定化電源

A₂ … PMT アノード電流のアナログ増幅

A₃ … アナログ信号トリップ比較

A₄ … HV 異常／ブリーダ断線検出トリップ比較

A₅ … HV 出力の基準電圧比較及び安定化

A₆ … HV 出力の出力電圧リップル抑制

vi) 入力時定数

同回路図中のC₅, R₁₁により、構成され、従来方式を踏襲する値とし、1msecとする。

② 分配 BOX (図VI-2参照)

1 検出器からのトリップ信号を3つの2/3論理回路へ出力するための分岐を行なう。

1つのBOXは4検出器からの信号を受け、3つの2/3論理回路用に12個の信号とし、それぞれに分配する。

これはシングルフェーリアのモードを満足するために、各系統の3つの検出器を別々のBOXで分岐させる。

③ 2/3 論理回路(図VI-3参照)

分配BOXから出力されたトリップ信号をフォトカプラで受け2/3論理を実行する。

入力は4系統分で、各系統毎に0.5秒以内という条件で2/3論理を実行し、それらのORをもって臨界出力とする。また、各プロープのトリップ信号も出力する。

臨界出力、各検出器トリップ出力は共にロジックによりラッチされ、キースイッチによるアラームリセットかテスト回路からのリセット信号によりリセットされる。各検出器トリップ信号は該当LEDにより表示され、臨界出力は2/3出力ランプにより表示する。

テスト回路からの入力は検出器のトリップ信号とOR回路により入力される。このテスト回路からの信号はテスト回路の選択スイッチにより選択されている2/3論理回路のみを受け付けるようなANDロジックとなっている。また、検出器のトリップ信号が入力されるとテスト回路へブザー出力を行ない、2/3論理が成り立つとブザーストップ信号を出力する。

2/3論理回路の低圧電源の独立、テスト回路からの分離及びロジック集積回路内の素子の使い方を信号の流れに沿う方向で統一するなどで、論理回路の信頼性を高めている。

④ テスト回路モジュール(図VI-4参照)

警報発生ユニットを点検中にして、しかも選択スイッチにより選択された場合のみテスト回路が動作可能となる。

テストモードはプローブテスト、同時性(0.4 sec)テスト、非同時性(0.6 sec)テストの3種類である。

1つのスイッチを押している間に他のスイッチが押されても無効となるようロジックを構成している。0.4 sec, 0.6 secは内部のタイマーを用いてカウントし、該当出力を2/3論理回路へ出力する。この場合は、予め選択された2/3論理回路のみテスト可能となるようセレクト信号を各2/3論理回路へ出力する。

従ってテストされる2/3論理回路は常に1つだけであり、他の2つの2/3論理回路で臨界の監視ができる。

プローブテストの場合は2ヶ以上のスイッチを押しても無効であるから常にテストされるプローブは1系統あたり1台となる。従って、このテスト中も他の2台のプローブにより臨界の監視ができる。

また、2/3論理回路よりブザー信号及びブザーストップ信号を受けブザーが制御される。テスト回路の動作は、警報発生ユニットの監視／点検スイッチを点検側にたおした状態でなければすべて無効であり、テストスイッチが戻ると自動的にリセットされるので、別の操作でリセットする必要はない。

インターロックのブロック図を図VI-5に示す。

⑤ AUXユニット(図VI-6参照)

8系統に対し1台づつ設置し、9系統以上の場合はAUXユニットが複数必要となる。ここで1台目のAUXユニットは回転灯個数などプラント別の特徴に応じた非標準であるが、2台目以降のAUXユニットは同一になる。

AUXユニットは、2/3論理の実行と回転灯への出力を行なう。2/3論理回路の出力を受けるリレーが1つ動作して1 sec以内に他の2台が動作しない時、動作したリレーを自動バイパスしフェールブザーを鳴らす。

また、点検モード時、点検用のリレー全数が動作したことを確認するバック接点を警報発生ユニットへ出力する。

⑥ 警報発生ユニット(図VI-7参照)

AUXユニットからの臨界信号を入力し警報音発生装置に出力すると共に回転灯用の遅延リレーを動作させその接点をAUXユニットへ出力する。また、点検／監視モードの切換え及び臨界テスト、現場テストを行なう。この操作は全て2アクションで可能となる様な回路とする。

点検中はスピーカ及び回転灯の現場出力がOFFするような回路とする。

遅延リレーは2重化し、両回路ともパッケージとして故障時は片側づつ保守可能な設計とする。警報音発生装置のDC電源が2台とも断故障したときは、ランプ表示及びブザーにより警報を発生させる。これは警報音発生装置と相互に監視する。

⑦ 警報音発生装置(図VI-8参照)

常時スピーカに50Hzの発振音を送り、常にインピーダンスチェックを行なう。

50Hzの出力は、臨界時の100Vに対し、通常時のインピーダンスチェック時は、3V即ち約30分の1の出力である。又50Hzの周波数に対するスピーカの応答特性は、臨界時の1kHz時に對し約30dB以上減衰する。このため通常人間の耳には聽えない。

警報発生時すなわち警報発生ユニットより警報接点が入力されたとき、警報リレーが動作し、このリレーの2/3論理を実行し警報発振音をスピーカへ出力する。

ここで警報リレーの動作は警報時励磁のモードとし、そのため常時故障検知はできない。但し、リレー接点モニタ及び日常点検にて故障検知を可能にしている。

また、通常非励磁モードは、故障率も小さい。さらに、警報発生部はすべて2重化し、单一故障モードに対しては機能喪失にならないようとする。

モニタ機能としては、直流電源のレベルモニタ、警報音発振器の出力、パワー・アンプの出力、インピーダンスチェック、警報発生ユニット用電源のフェール信号の検出などを行い故障時は、臨界警報音と別の音色を持つ故障警報スピーカ及び表示ランプにて表示する。

⑧ 回転灯(RL)

常時断線チェックを行ない警報時のみ警報出力接続となる。

回転灯にAC 100Vを供給するラインと断線チェックモードから警報出力モードへ切換えるリレー駆動ラインには2/3論理が実行される。また、遅延リレー及びその接点増幅用リレーは2重化するものとし、さらに現場機器配置、コネクタ配分については、隣に設置される回転灯より2重化される思想とする。

⑨ スピーカ(SP)

常時50Hzの発信出力により、インピーダンスチェックを行う。

警報時は警報音の出力へリレー動作により切替る。

警報音の発振器、パワー・アンプは2重化されており、さらに、現場機器配置に関しては隣に設置されるスピーカにより、2重化される思想とする。

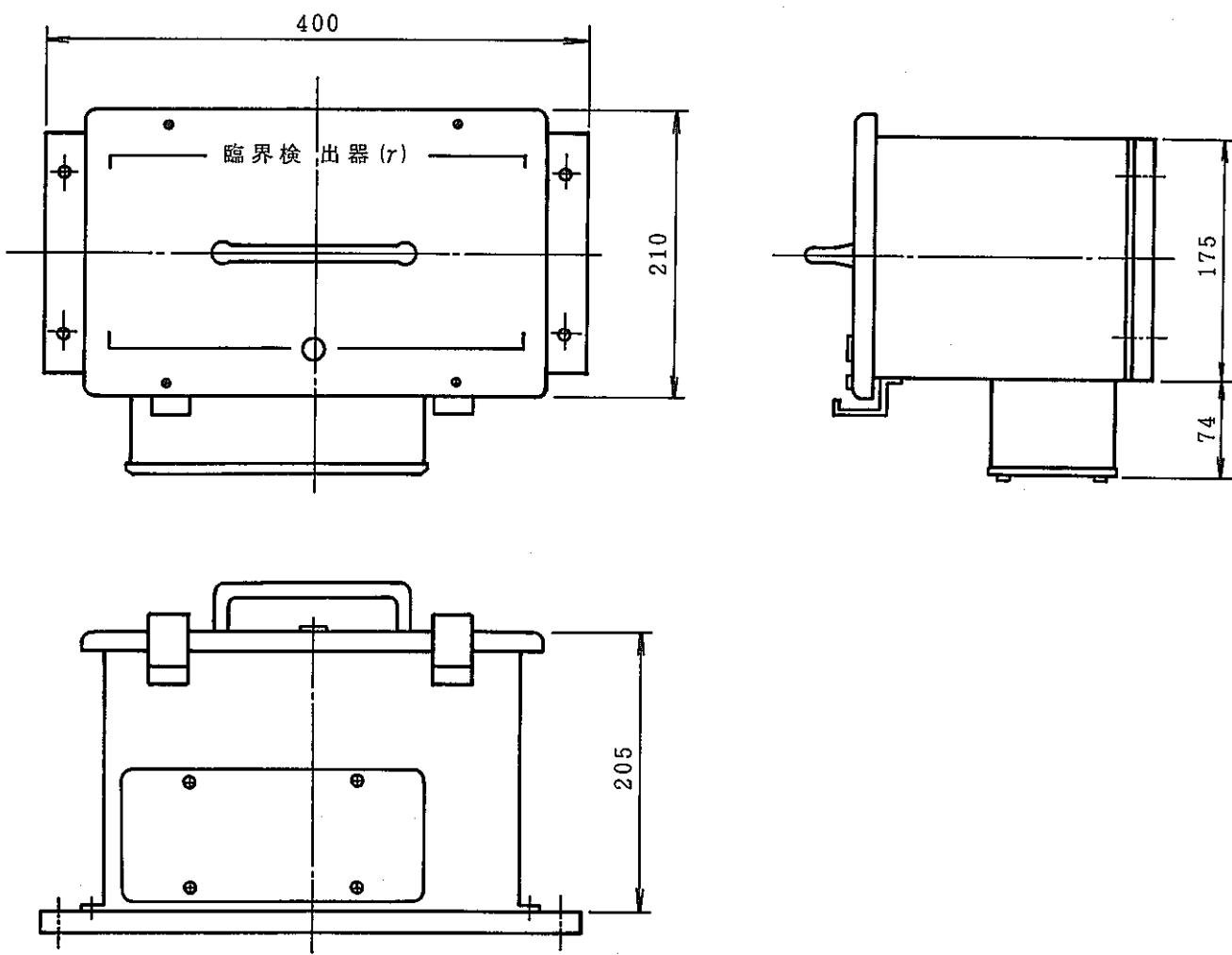
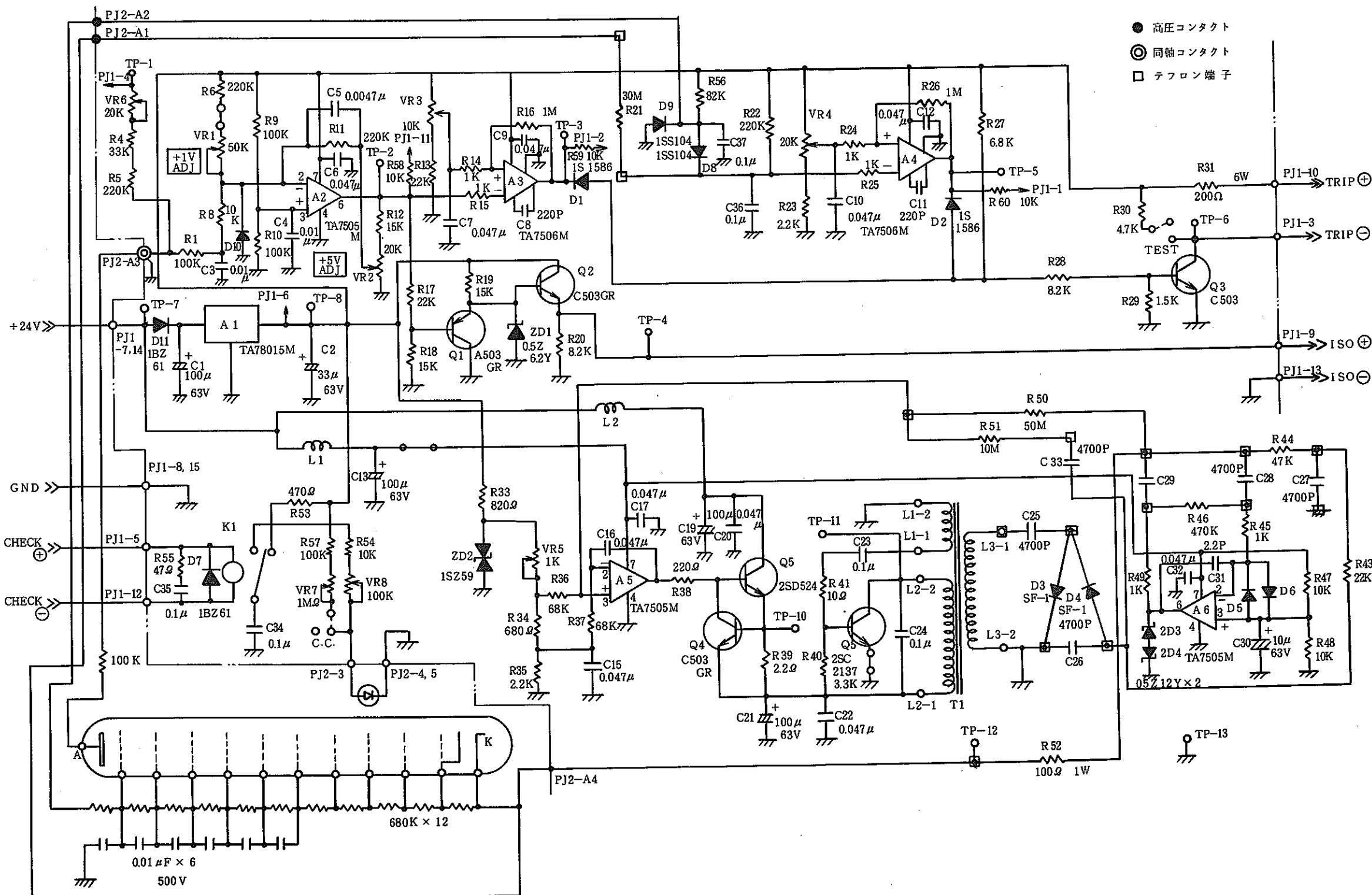
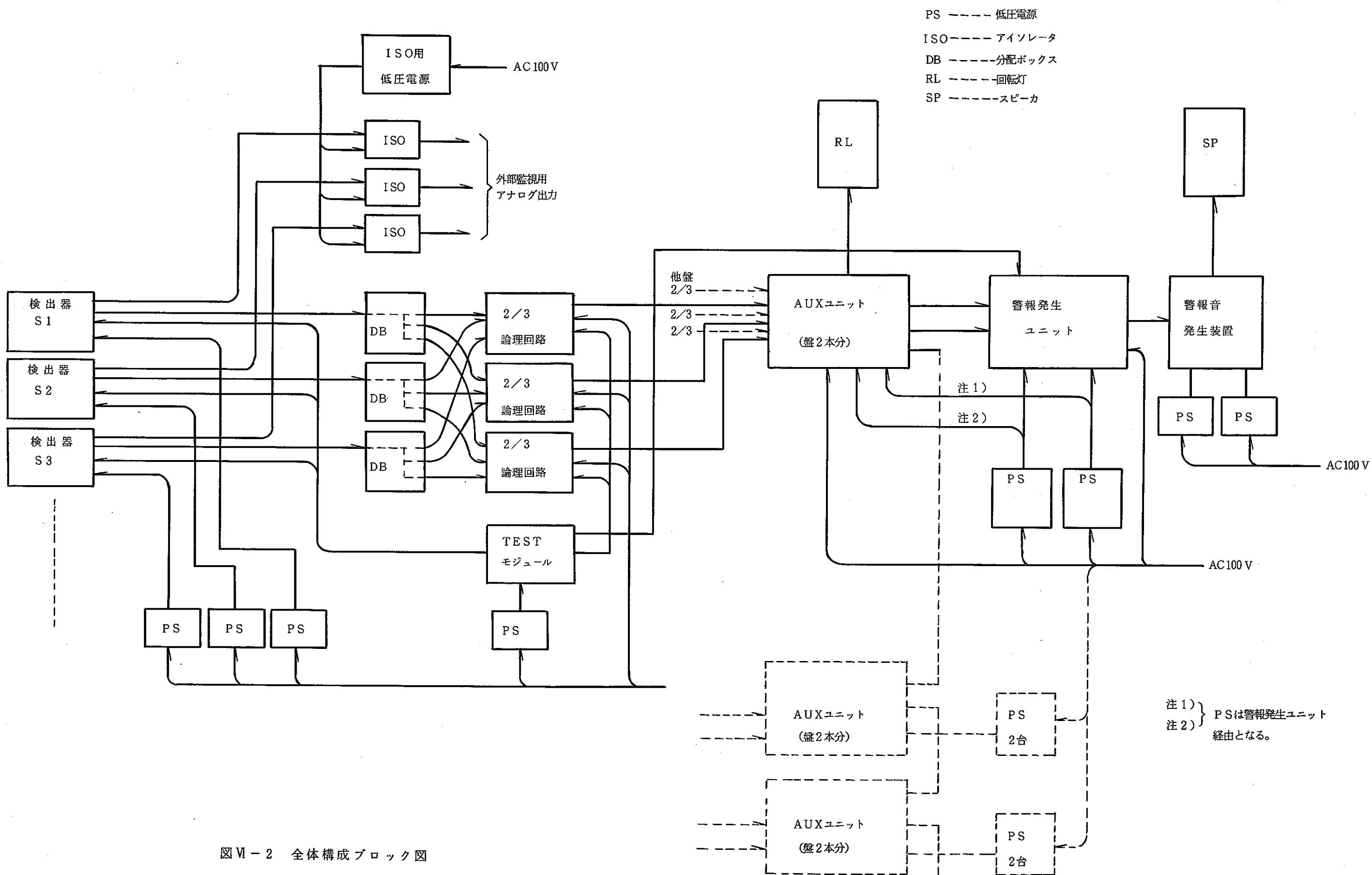


図 VI - 1 (1) r 線 検 出 器

図 VI-1(2) γ 線検出器回路図



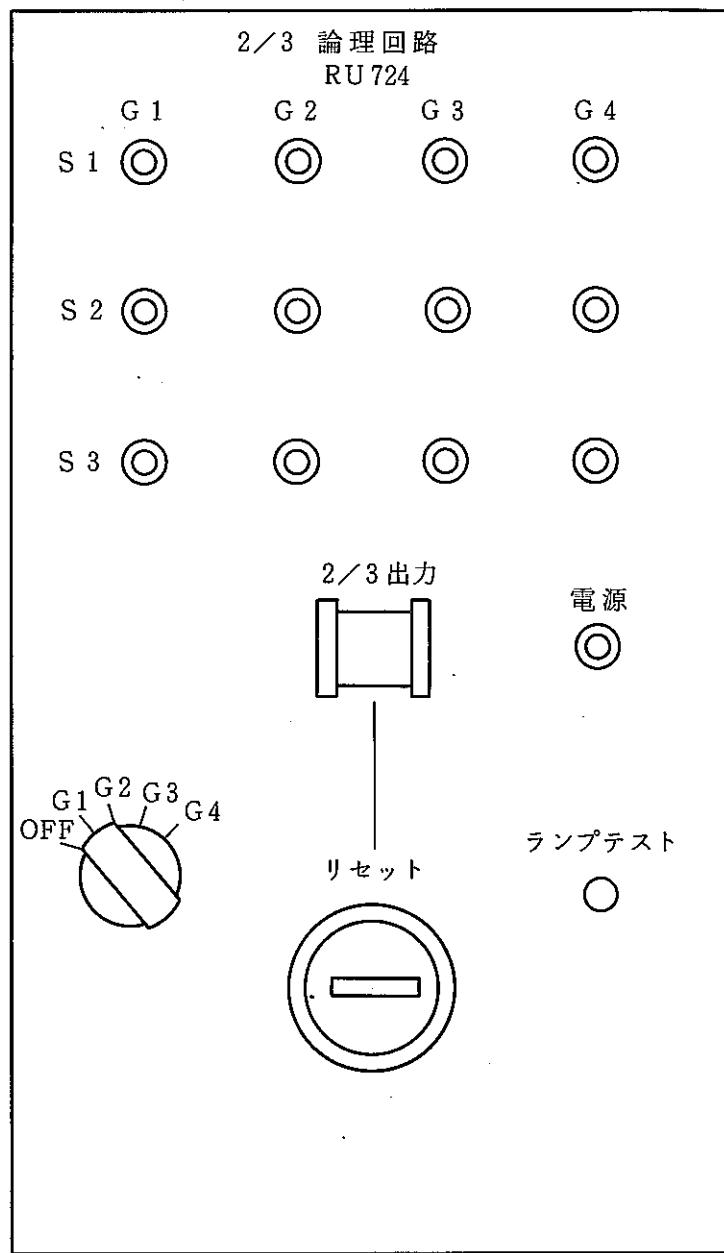
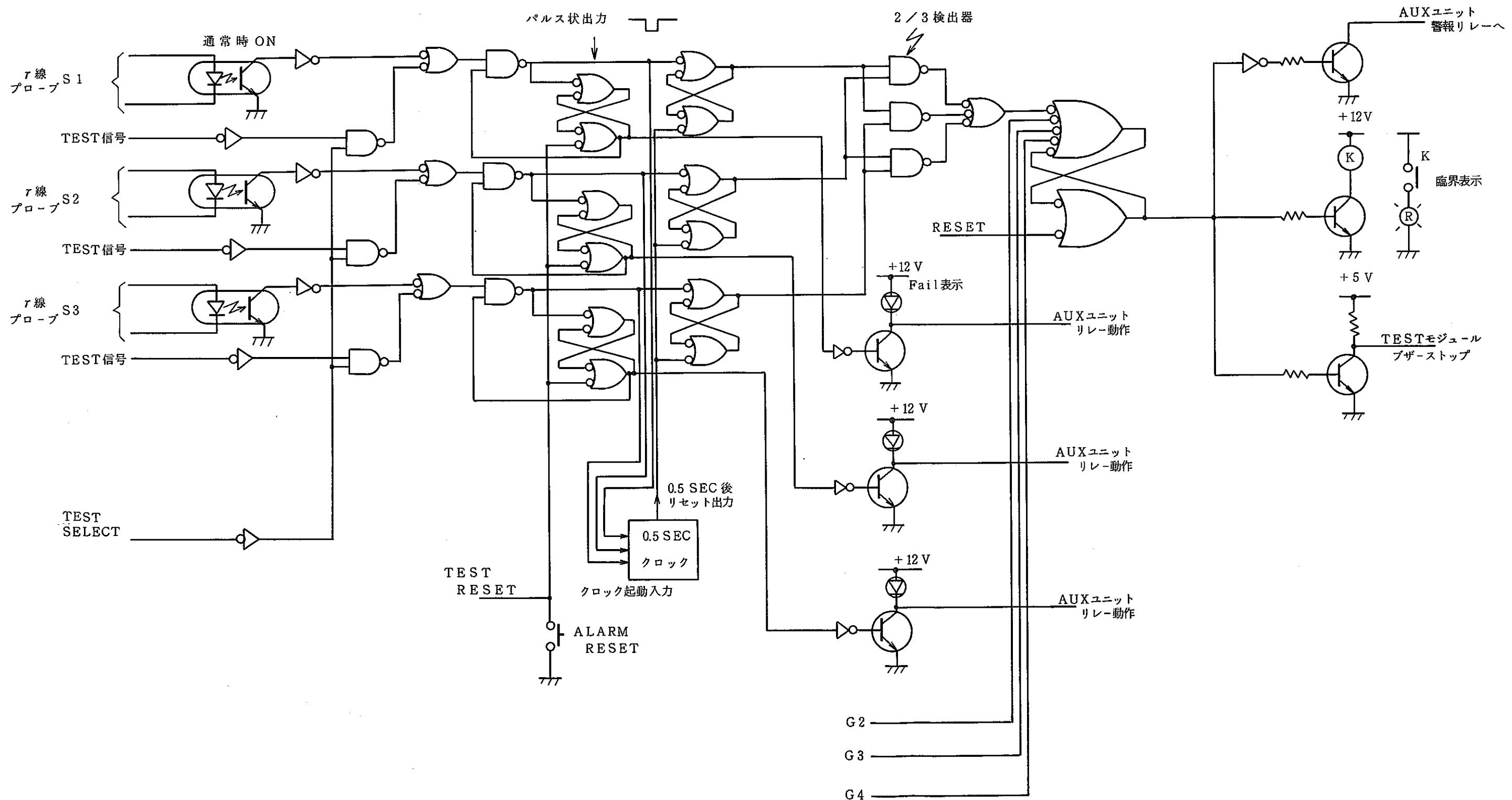


図 VI - 3 (1) 2/3 論理回路パネル図



図IV-3(2) 2 OUT OF 3論理回路

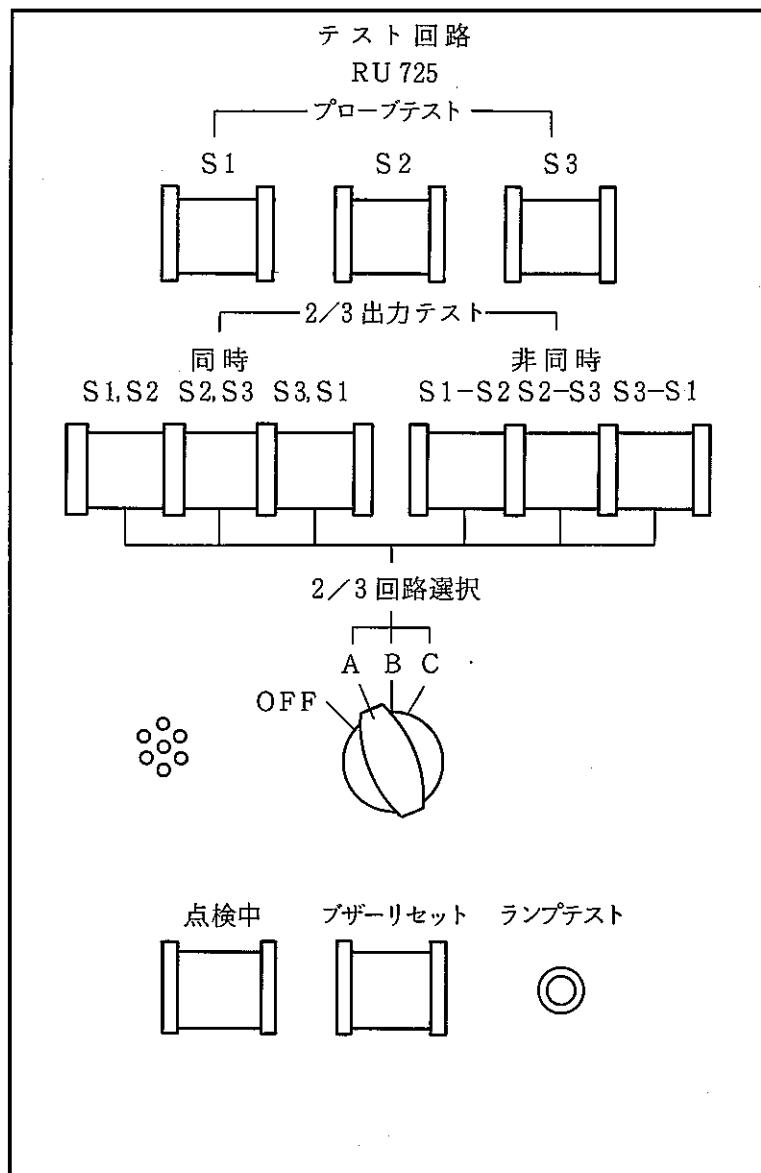


図 VI - 4 (1) テスト回路パネル図

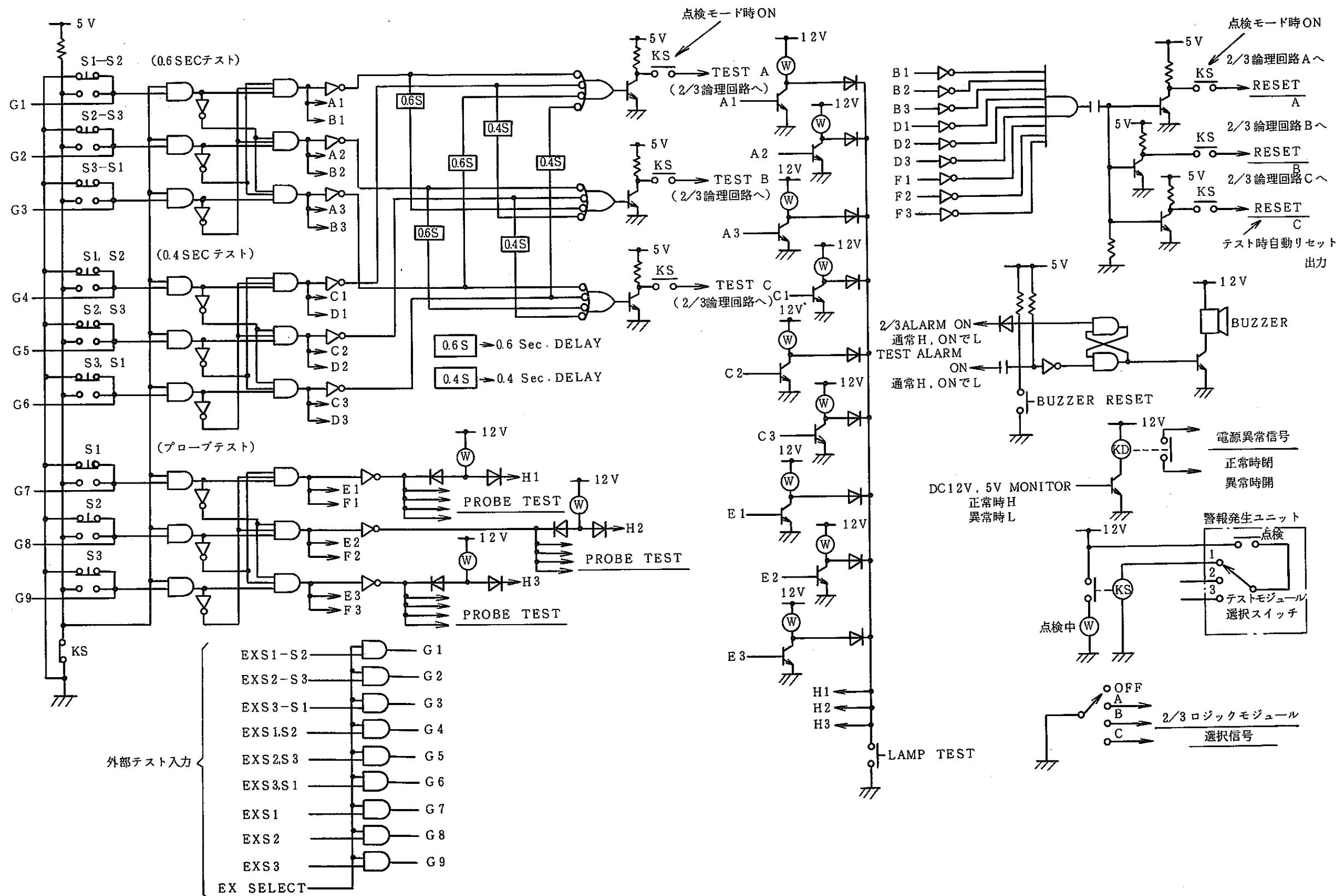
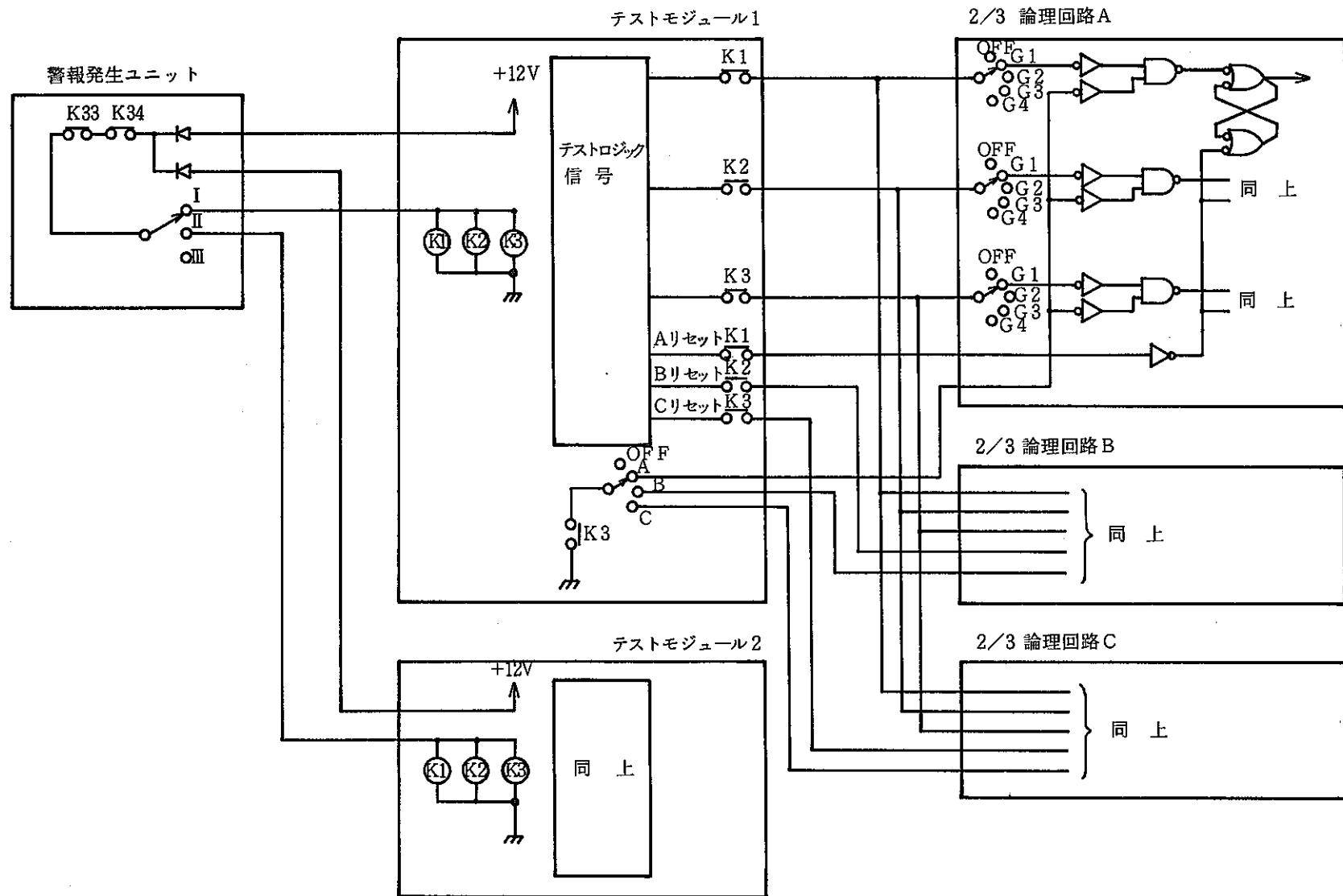
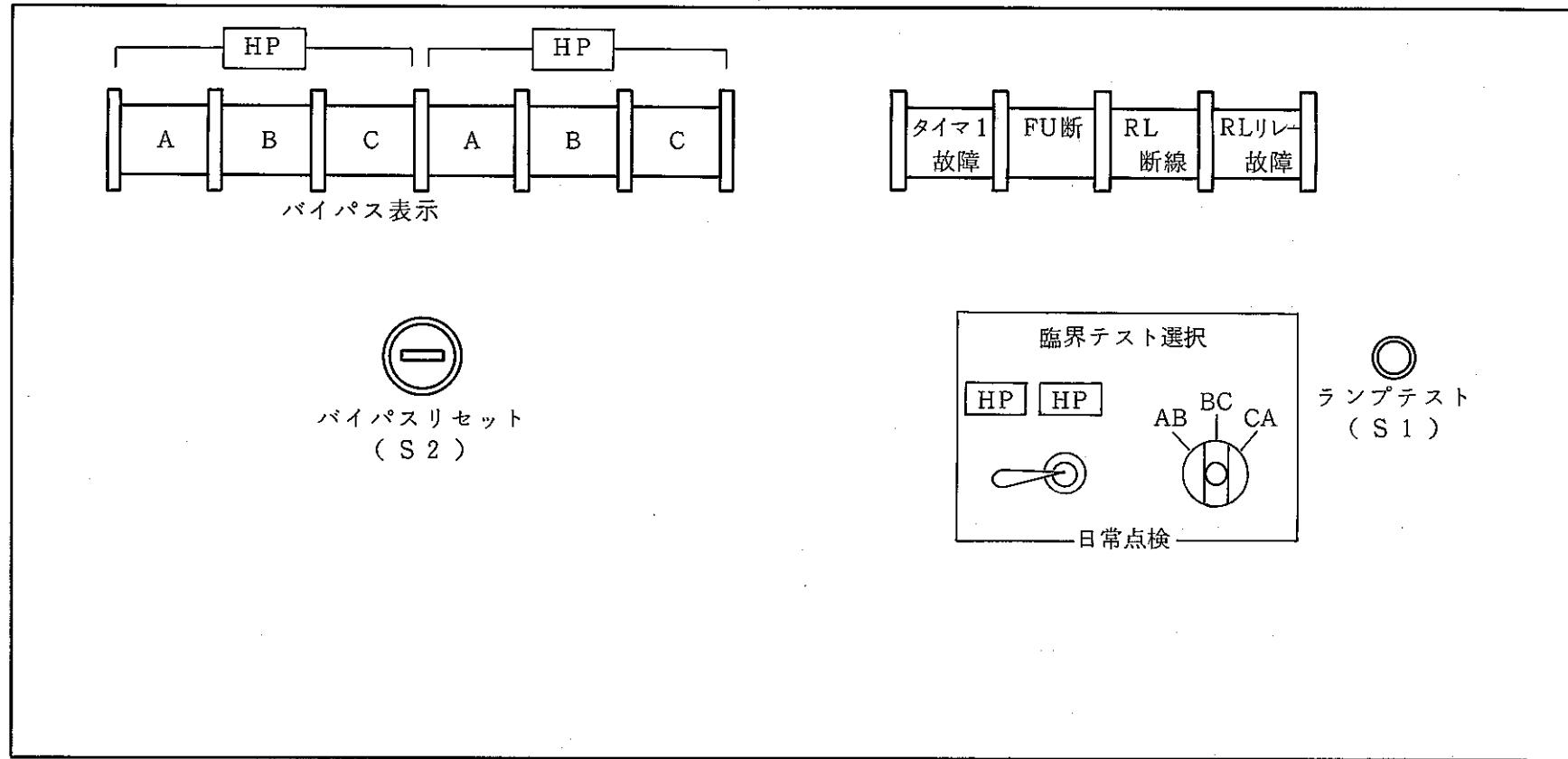


図 VI - 4(2) テスト回路



図VI-5 点検選択回路インターロック



図VI-6(1) AUXユニットパネル図

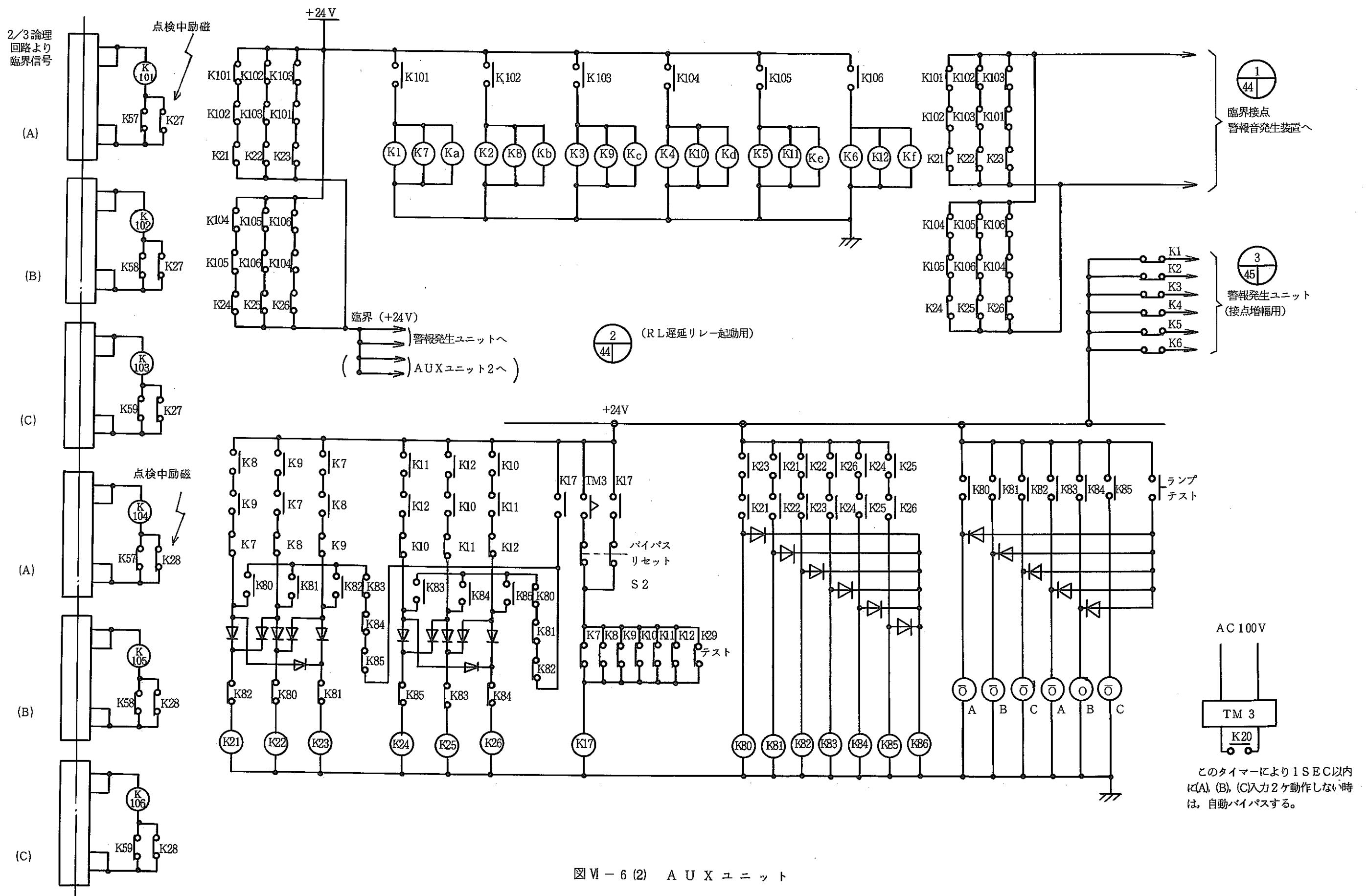
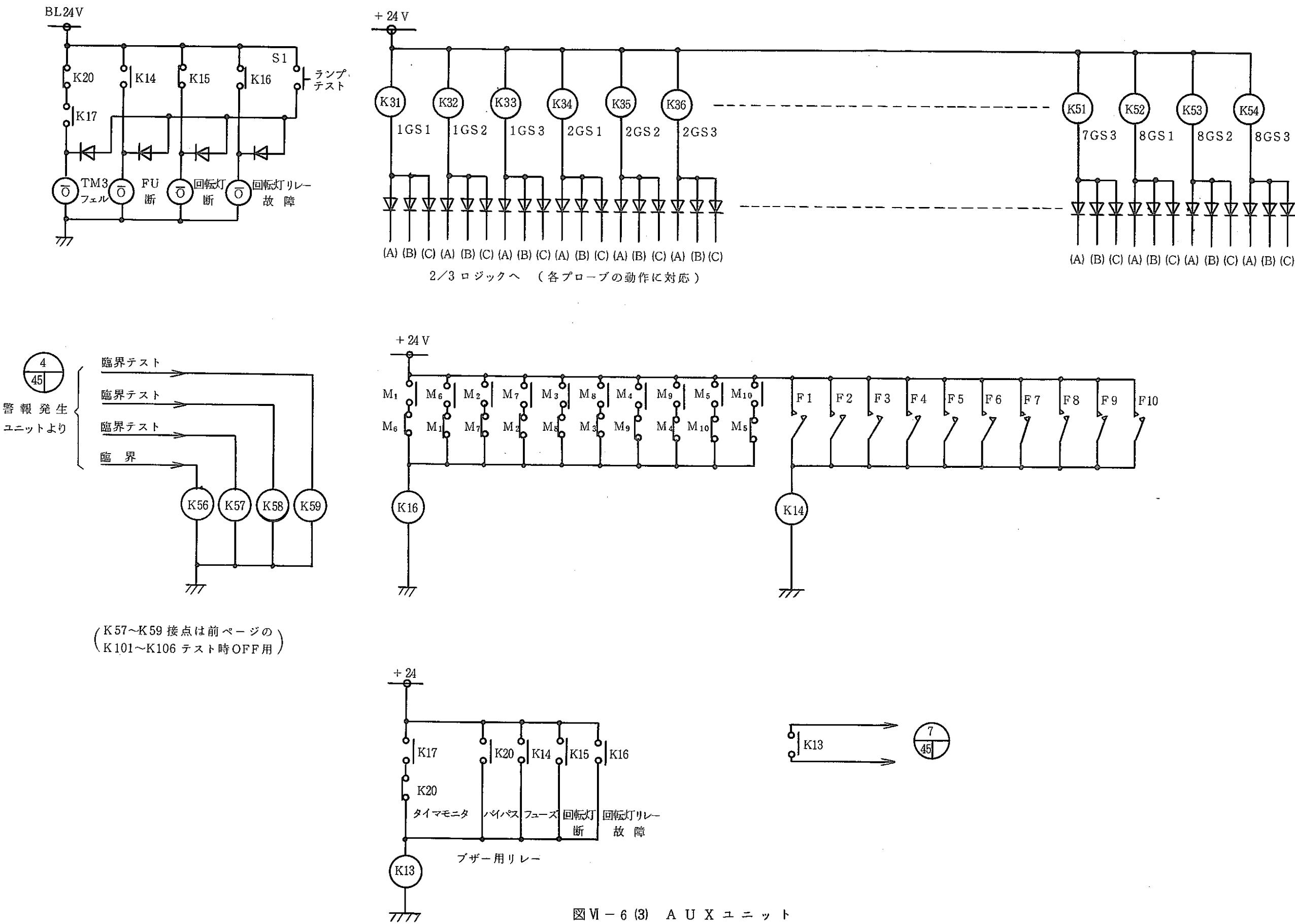
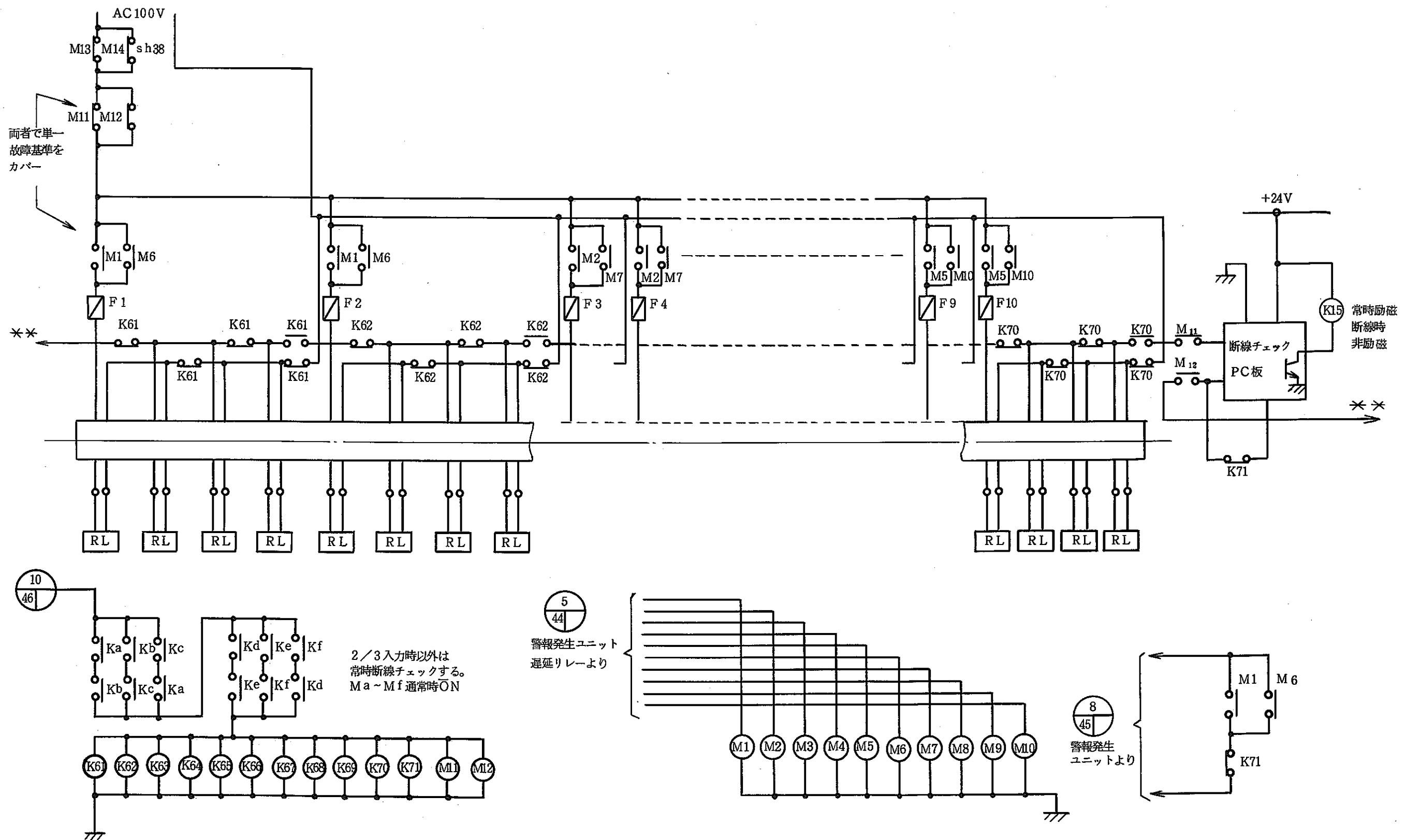
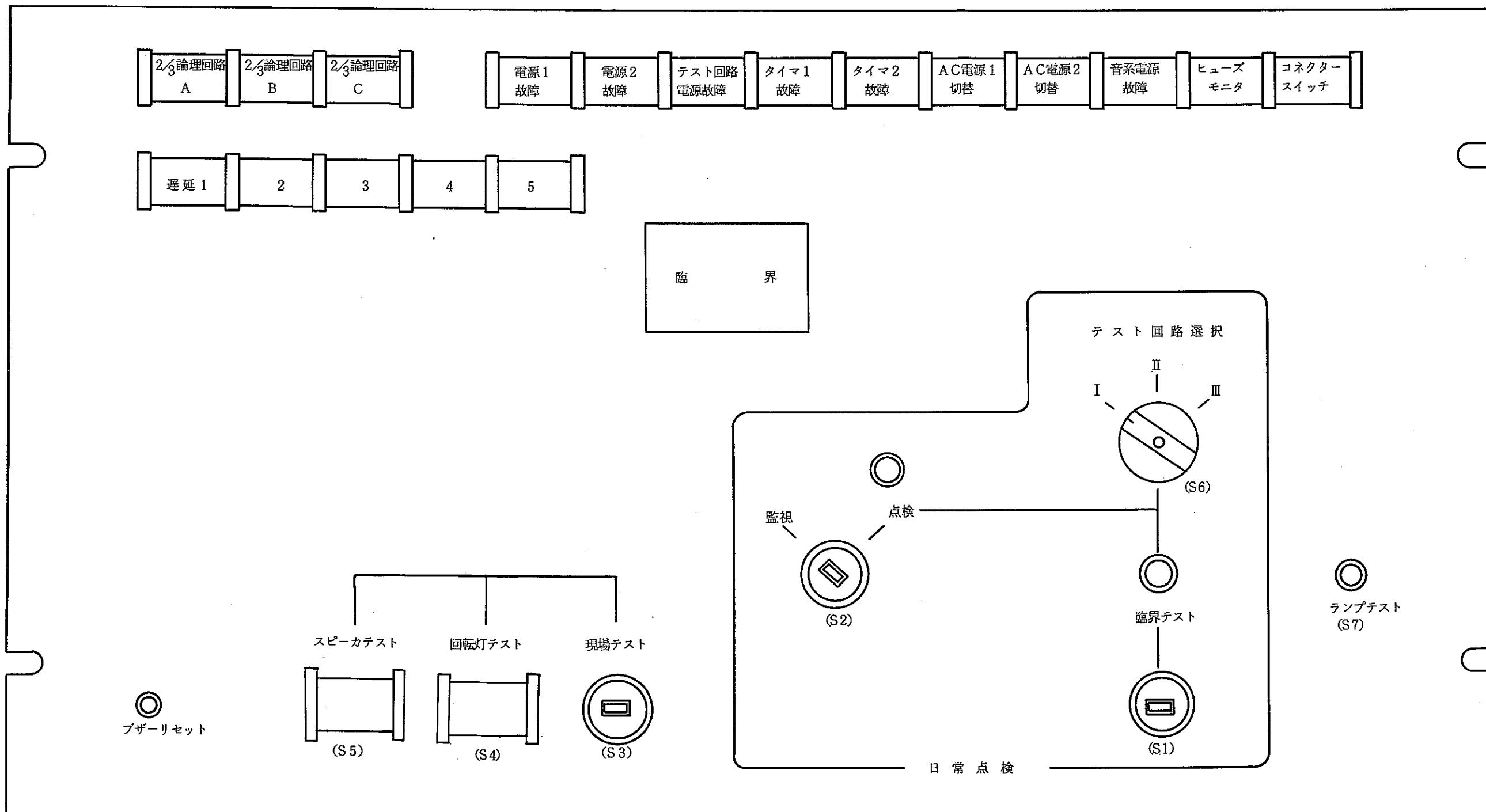


図 VI - 6 (2) A U X ユニッ

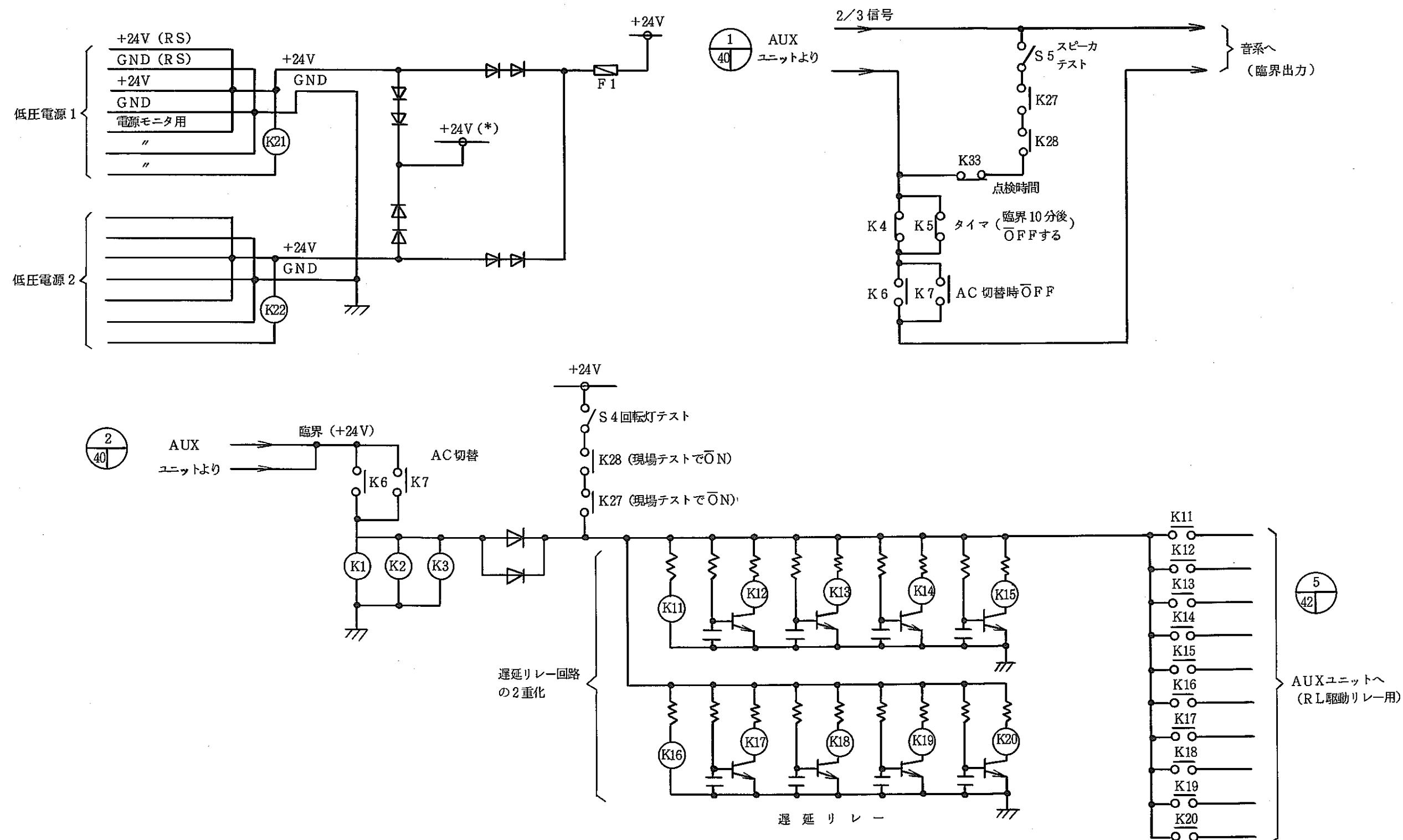




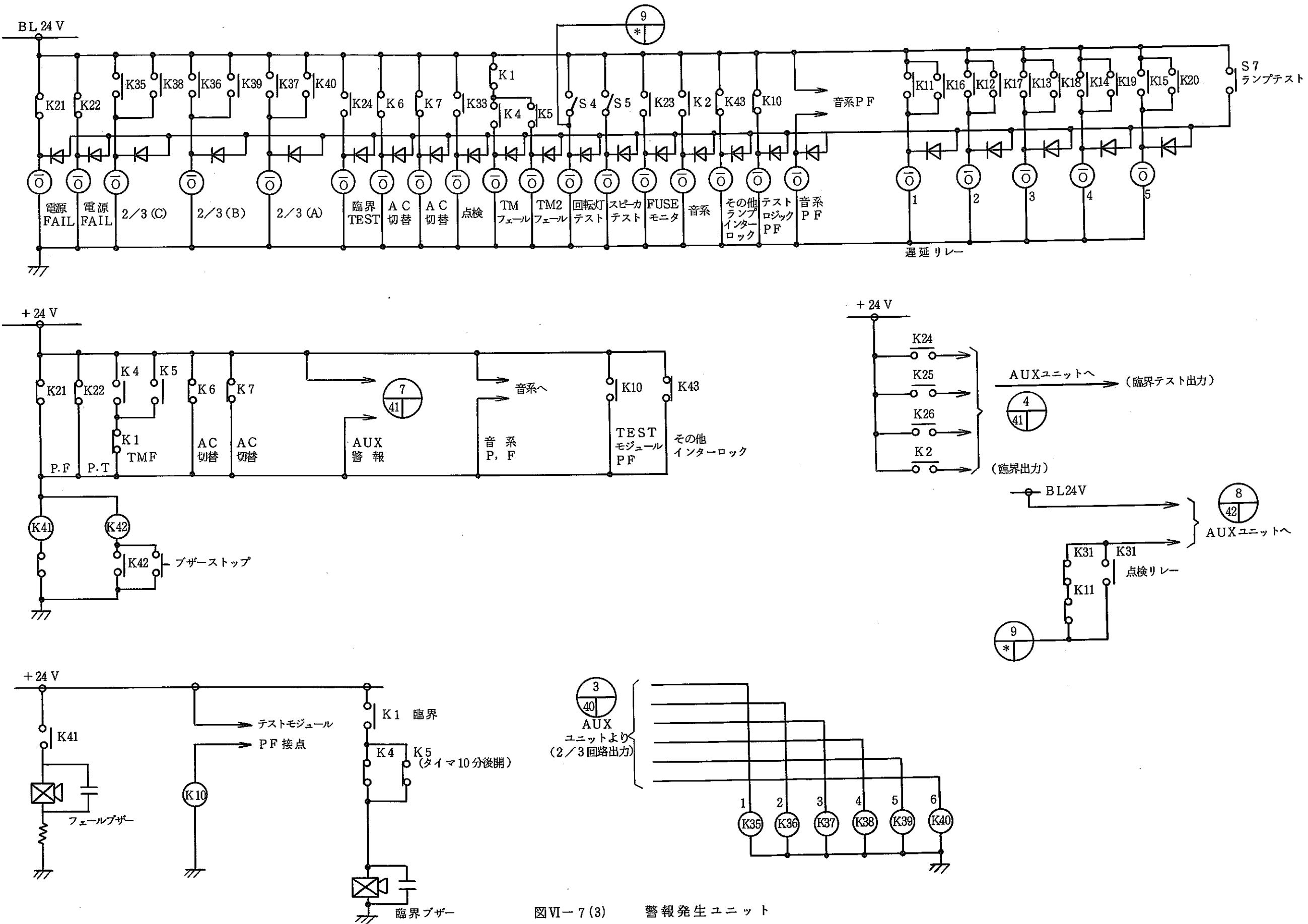
図VI-6 (4) AUX ユニット



図VI-7(1) 警報発生ユニットパネル図



図VI-7(2) 警報発生ユニット



図VI-7(3) 警報発生ユニット

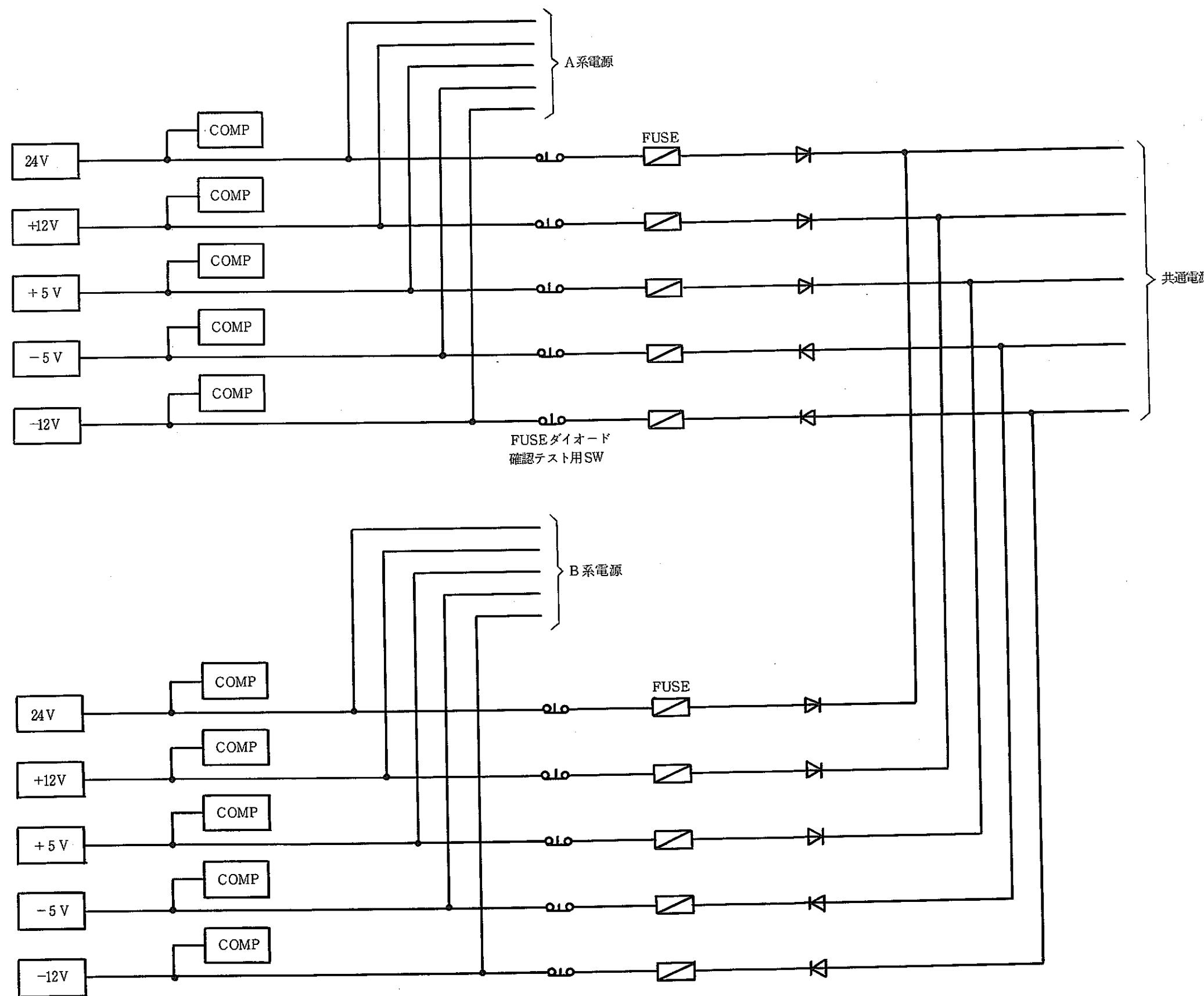


図 VI-8(1) 警報音発生装置電源回路

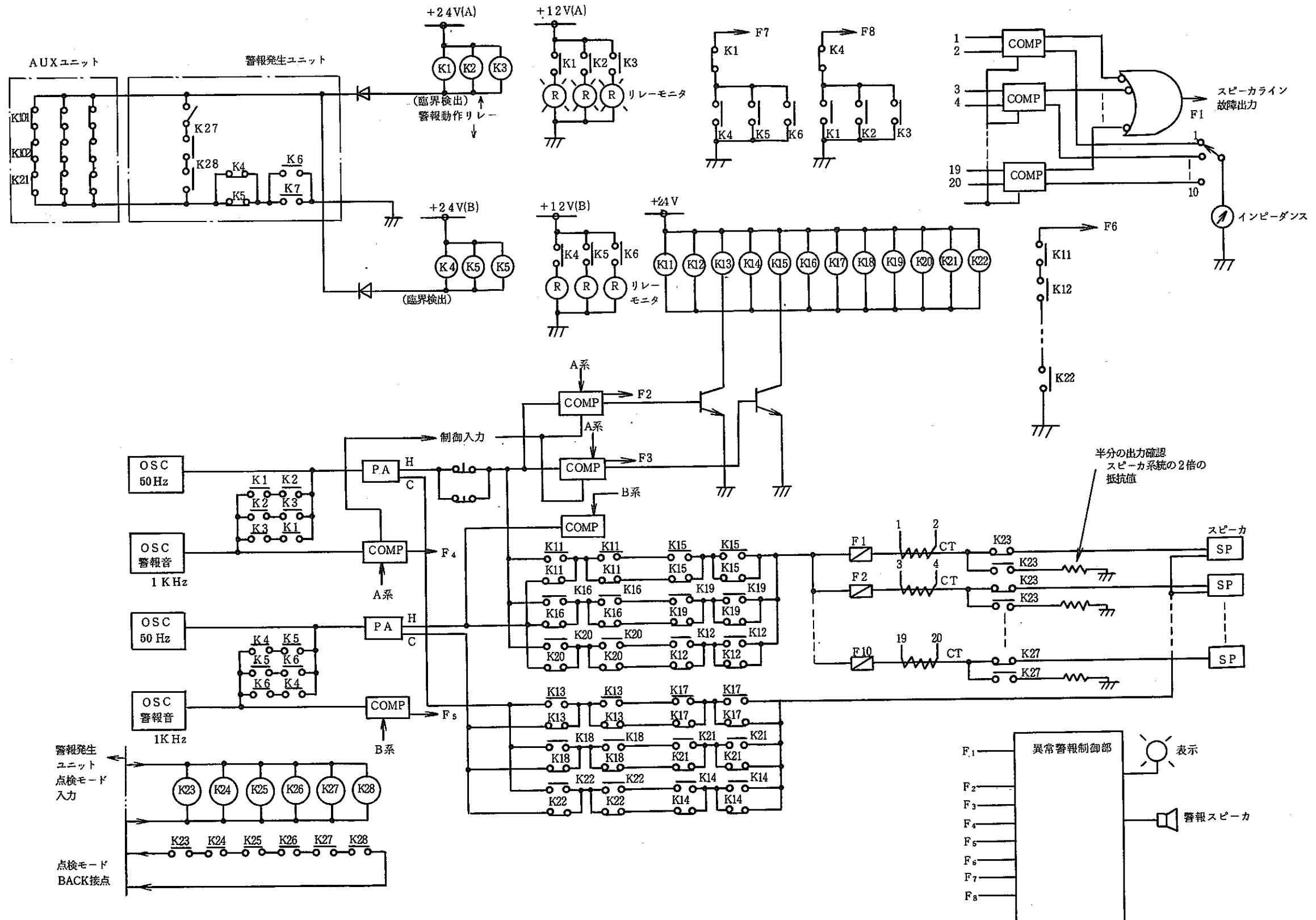


図 VI - 8 (2) 警報音発生装置本体

(2) 点検機能

点検機能には日常点検と現場点検がある。

日常点検にはテスト回路モジュールによるプローブテスト、同時性テスト、非同時性テスト及び警報発生ユニットによる臨界テストがある。

現場点検には警報発生ユニットによるスピーカテスト及び回転灯テストがある。

いずれのテストも警報発生ユニットの点検／監視スイッチを点検側にセットした場合のみ可能となり、2アクションにより動作するものとする。また、現場点検以外の点検時は回転灯、スピーカ共に動作しない。表VI-1に点検操作時確認項目を示す。

① 検出器（プローブ）テスト

検出器のフォトマールに近接した発光ダイオードを発光させることにより検出器からトリップ信号を発生させる。これは1台のテスト回路モジュールに接続された4系統の検出器の内各系統より1台づつ選択された計4台の検出器に対して同時に行なう。

このテストの結果各2/3論理回路の該当検出器用LEDが点灯し、テスト回路のブザーが鳴ることで正常性を確認する。また、このテスト中の臨界監視は警報発生ユニットの臨界ランプ及び臨界ブザーにより可能である。

② 同時性テスト（0.4 sec 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。このテストは2/3論理回路1台に対して行なうものである。

このテストの結果2/3論理回路の該当プローブ用LED、2/3出力ランプ及びAUX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で正常性を確認する。また、このテスト中の臨界監視は警報発生ユニットの臨界ランプ及び臨界ブザーにより可能である。

③ 非同時性テスト（0.6 sec 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。このテストは、2/3論理回路1台に対して行なうものである。

このテストの結果2/3論理回路の該当プローブ用LEDが点灯し、テスト回路モジュールのブザーが鳴ることで正常性を確認する。また、このテスト中の臨界監視は警報発生ユニットの臨界ランプ及び臨界ブザーにより可能である。

④ 臨界テスト

警報発生ユニットより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することにより、臨界発生と同じ状態にする。

このテストの結果警報発生ユニットの遅延リレー動作表示ランプ、臨界ランプ、警報音発生装置のリレー動作表示ランプが点灯し、警報発生ユニットの臨界ブザー、警報音発生

装置の盤内スピーカが鳴ることで正常性を確認する。また、このテスト中の臨界監視は2/3論理回路の2/3出力ランプにより可能である。

⑤ 回転灯テスト

警報発生ユニット内の遅延リレーを強制的に励磁させて回転灯を動作させる。

このテストの結果、警報発生ユニットの遅延リレー動作表示ランプが点灯し、現場回転灯が動作することで正常性を確認する。また、このテスト中の臨界監視は警報発生ユニットの臨界ランプ及び臨界ブザーにより可能である。

⑥ スピーカテスト

警報発生ユニットより警報音発生装置へ出力する接点を強制的に短絡し、臨界発生と同様の状態にする。

このテストの結果警報音発生装置のリレー動作表示ランプが点灯し臨界スピーカ及び現場スピーカが鳴ることで正常性を確認する。また、このテスト中の臨界監視は警報発生ユニットの臨界ランプ及び臨界ブザーにより可能である。

⑦ その他のテスト

・電源オフテスト

二重化電源の一方の電源を人為的に断にする。

このテストの結果一つの電源が断故障してもシステムに変動のないことを確認する。

・ランプテスト

すべてのランプにはランプテストを設ける。

(3) 故障モニタ機能

基本的には判別部、警報発生部は常時励磁のモードで使用し、故障時は自動表示されるのでフェールセーフを満足する。現場機器の制御に関しては、回転灯は遅延リレー、スピーカは警報音発生装置の警報動作リレーにおいて通常非励磁のモードとする。従って、このリレーの自動故障検知はできない。しかし、回転灯の断線チェック、スピーカのインピーダンスチェックは常時行ない、故障の検出表示はただちに行なえる。

その他、各機器は日常点検時の動作確認により故障を検知できる。

表VI-1 点検操作時確認項目

確認項目 点検種別	2/3論理回路		テスト回路	AUX ユニット	警報発生ユニット			警報音発生装置		回転灯	スピーカ	点検中の 臨界監視
	各検出器 動作表示	臨界ランプ	ブザー	バイパス 表示ランプ	遅延リレー 動作表示	臨界ランプ	臨界ブザー	リレー 動作表示	スピーカ			
検出器テスト (S ₁ , S ₂ , S ₃)	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	警報発生ユニット 臨界ランプ ^{注4)} 臨界ブザー及びMPSP
0.4 sec テスト (S ₁ , S ₂ …)	○	○	○ ^{注3)}	○	×	注1) ×	注2) ×	×	×	×	×	同上
0.6 sec テスト (S ₁ -S ₂ …)	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	同上
臨界テスト	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	2/3論理回路 2/3出力ランプ
現場テスト 回転灯	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×	警報発生ユニット 臨界ランプ 臨界ブザー
現場テスト スピーカ	×	×	×	×	×	×	×	○	○	×	○	同上

○印 … 動作する

×印 … 動作しない

注1) 警報発生ユニットの 2/3 論理回路動作ランプ点灯

注2) 故障ブザーは鳴る

注3) 約 0.4 sec 鳴る

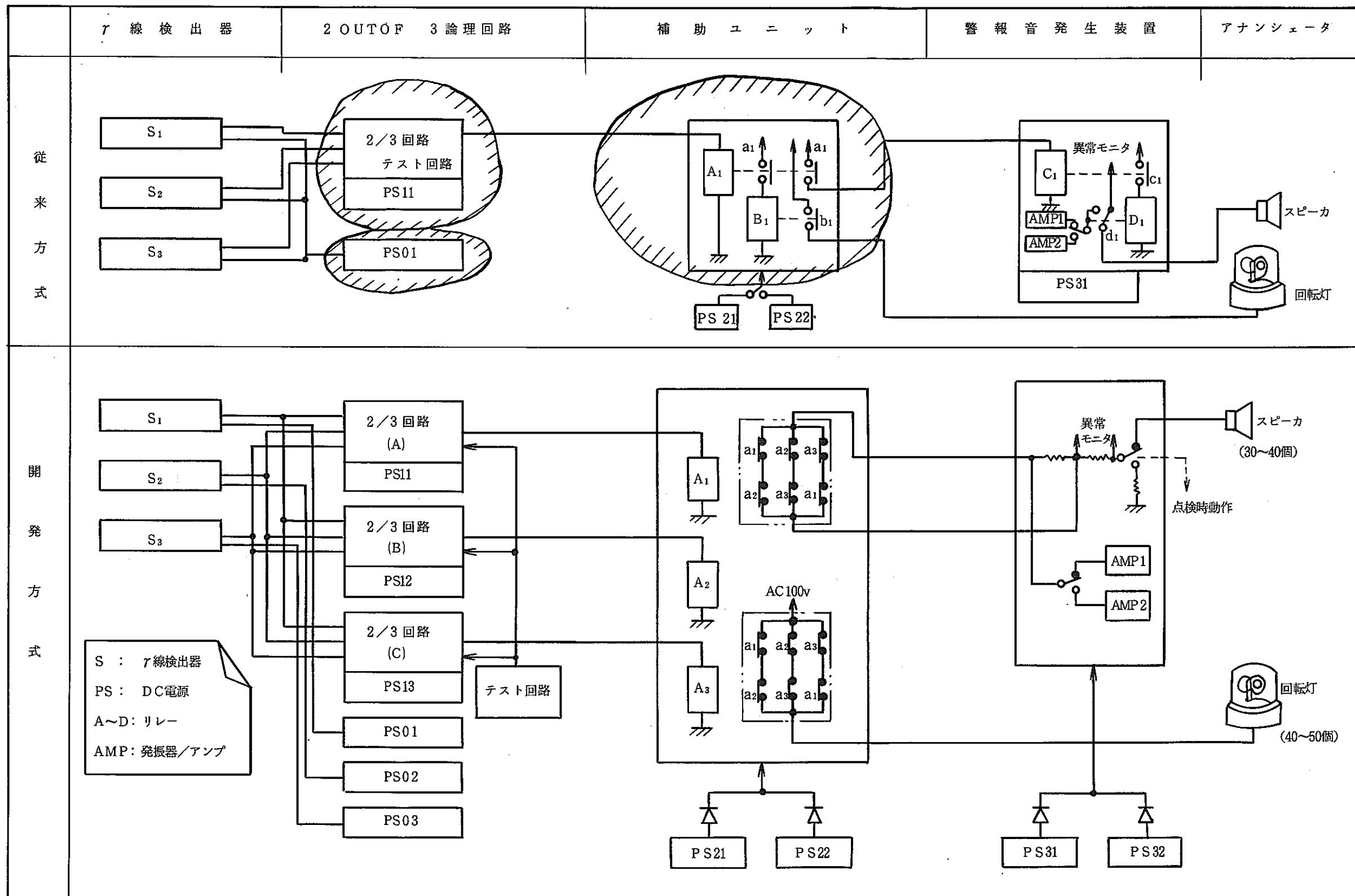
注4) MPSP … モニタパネルの警報スピーカ

VII 信頼性評価

1. 開発システムと従来システムの比較

図VII-1にブロック図の比較を行なう。上段には従来方式の臨界警報装置を示す。従来方式ではの部分が単一系であり、信頼度は全体の積となり低い値となる。

両システムに関する各ブロックごとの具体的比較を表VII-1に、点検モードについての比較を表VII-2に示す。



図VII-1 臨界警報装置基本ブロック比較図

表 VII - 1 監視モード開発／従来システム比較

項目	開発システム	従来システム
γ線検出器	1グループ3個の検出器を用い2 out of 3の監視方式を採用する。	同 左
2 out of 3論理回路 (以下論理回路という)	同一グループのγ検出器(S1, S2, S3)からの信号を3個の2 out of 3論理回路に入力することにより、論理回路故障による誤警報を防止する。 論理回路は2個の検出器の0.5秒以内の同時性を監視する。	同一グループのγ検出器(S1, S2, S3)からの信号は1個の論理回路に入力される。 同 左。
検出器用電源	検出器用電源は3個のDC電源を用いGmS ₁ , GmS ₂ , GmS ₃ に独立に供給し、電源故障による誤警報を防止する。	検出器用DC電源は全ての検出器に共通で1個である。
論理回路用電源	3個の論理回路は、3個のDC電源で独立に供給され、1個の電源故障による誤警報を防止する。	論理回路は1個の電源で供給される。
補助ユニット(AUX) 警報音発生装置用電源	各々2個の電源で、並列供給し、各々に電源モニタを設けて、1個の電源の故障検知をする。	補助ユニット(KEボックス)は2個、警報音発生装置は1個の電源で供給されている。
補助ユニット(AUX) リレー動作監視	警報動作に関するリレーを常時監視する。	監視モードでは、不可。
警報音発生装置 状態監視	発信器、アンプ、スピーカラインの異常を常時モニタする。	1回／日で実施している。

表VII-2 点検モード開発／従来システム比較

項目	開発システム	従来システム
監視／点検 キースイッチ	補助ユニット(AUX)上に1個だけ設けることより、誤操作の防止を図る。	監視／点検キースイッチは論理回路(623BJ) 警報音発生装置、毎に設けられている。
点検操作	点検の為の操作は、基本的には、2アクションにより、実施可能とし、1回のスイッチ操作で点検は出来ないものとする。	特に左記の如き思想はなし。

2. 2 / 3 論理回路の同時性検出信頼度評価

図VII-2に従来方式と開発方式の各入力モードに対する評価を示す。

従来方式…………全グループ中2ヶの入力トリップに対する0.5 sec 内同時性検出にて臨界と判断する。

開発方式…………各グループ単位、3ヶ中2ヶの入力トリップに対する0.5 sec 内同時性検出にて臨界と判断する。

図VII-3には従来方式及び開発方式のトリップ処理の概念を示す。

図VII-2のモードIは、開発方式の方が正しい判断となり、従来方式より有利となる。

一方モードIIにおいては、モードIの逆となり開発方式が不利となる。但し、本モードIIは他グループにてFailを発生し0.5 sec以内に臨界発生した場合であり、本現象が起る確率は、非常に小さい。以下にモードI, IIに対し検討を加える。

(1) トリップ入力モードIに対する評価

モードIは、0.5 sec 内にS₁, S₂等にて2ヶ同時に故障発生した場合であり、従来方式と開発方式とでは誤警報を発する確率は下記となる。

図VII-2に従来方式及び開発方式のトリップ処理方式を示す。同図から

従来方式…………1ヶの検出器入力に対し、他グループも含め8ヶの検出器入力のORとなる。

開発方式…………1ヶの検出器入力に対し、自グループ2ヶの検出器入力のORのみとなる。

即ち、開発方式の方が誤警報確率1/4となり、有利な方式と言える。

(2) トリップ入力モードIIに対する評価

モードIIは0.5 sec 内における、1グループの故障と他のグループでの実際の臨界検出が重なり、かつ臨界検出の信号が2ヶ同時に検出されず、時間差が生じた場合である。

臨界検出時に2ヶの信号が非同時となる可能性の検討

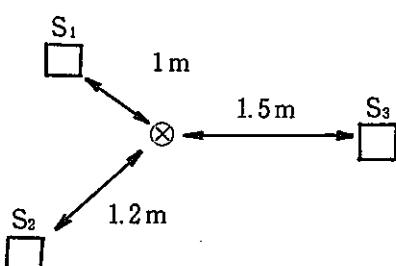
- 検出器へのτ線到達時間差

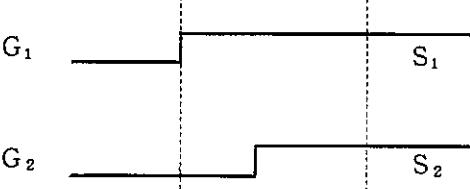
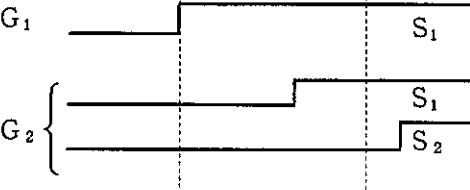
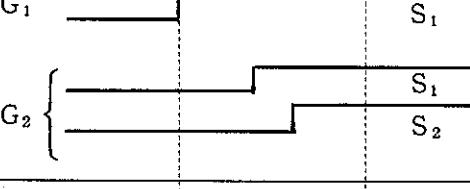
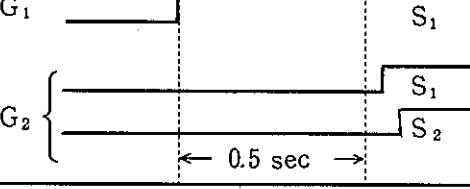
同一場所の臨界監視にて、2ヶの検出器へのτ線到達の時間差は、電磁波のスピードから考慮し、0.5 sec の時間に対し十分無視できる値である。

- 検出器応答の時間差

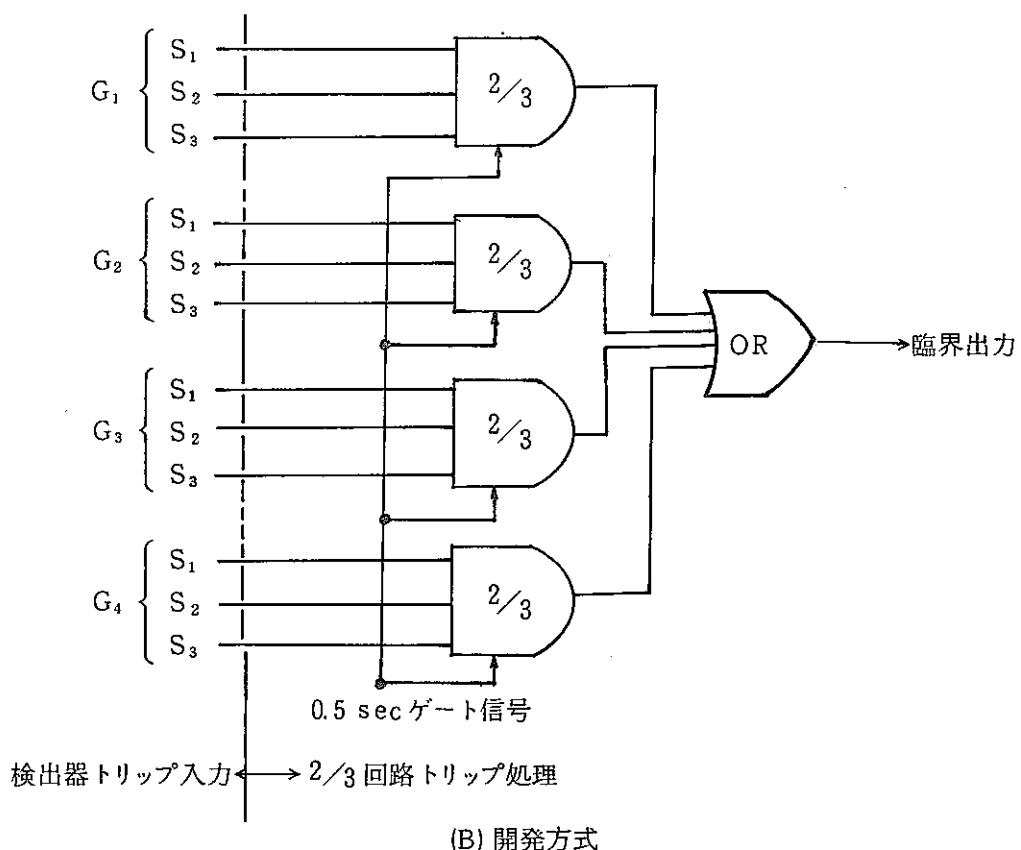
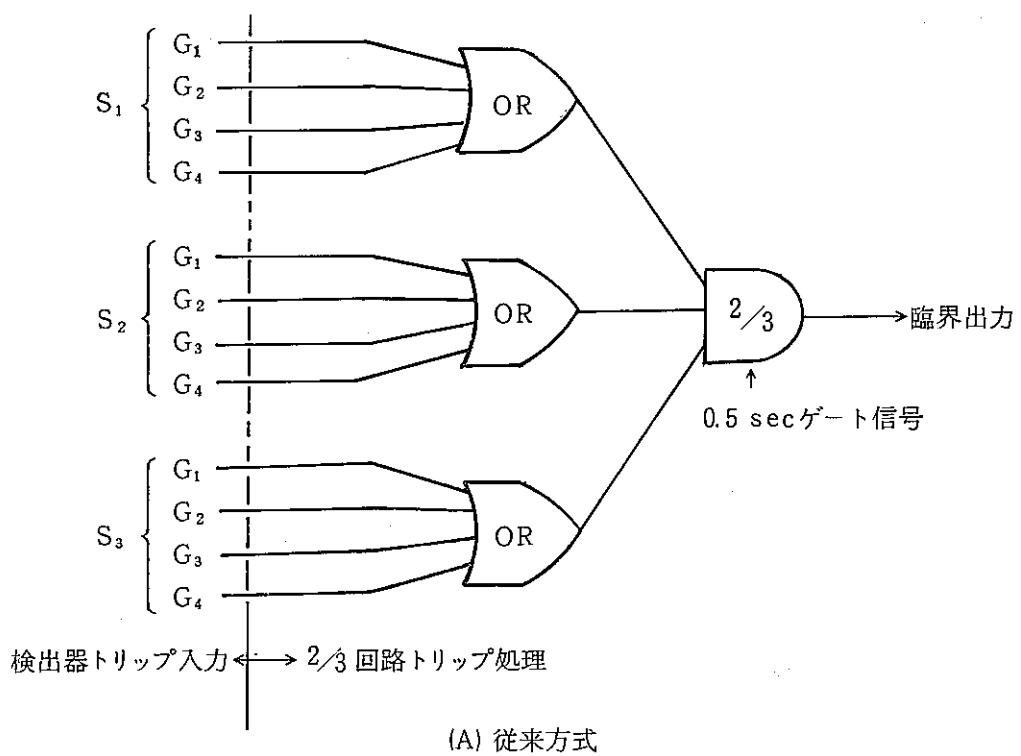
臨界検出レベルのトリップ設定点と3ヶの検出器配置による入力τ線レベルの差により3ヶ間のトリップの応答に時間差を生ずる。

〔例〕



トリップ入力モード		2/3回路のトリップ処理			備考
		従来方式	開発方式	正しい処理	
I		A L (×)	Fail (○)	Fail	1) A L 臨界と判断 2) Fail 故障と判断
II		A L (○)	Fail (×)	A L	3) () 内 ○..... 正 ×..... 錯
III		A L (○)	A L (○)	A L	
IV		A L (○)	A L (○)	A L	

図VII-2 2/3回路 0.5 sec 同時性検出評価



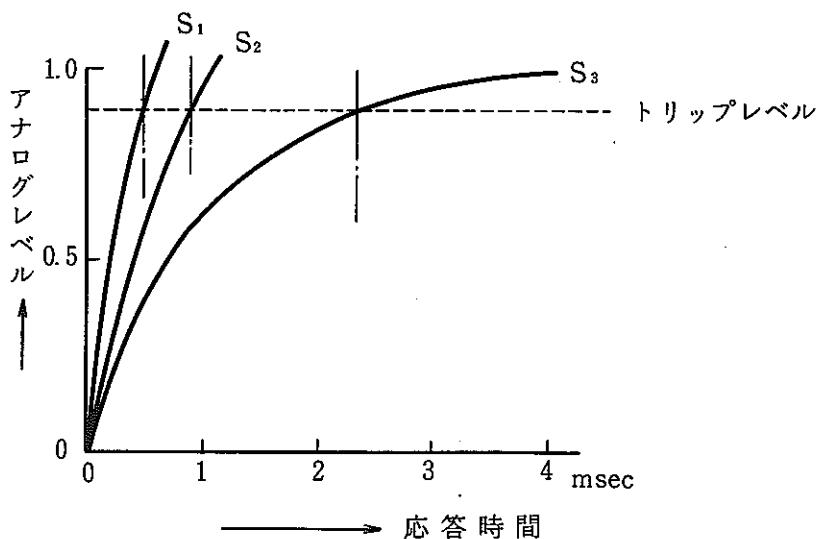
図VII-3 従来方式及び開発方式のトリップ処理

S_1 での線量率レベルを 1 とした場合

S_2 ではレベル 0.69

S_3 ではレベル 0.44 となる。

トリップレベルを S_3 に対し 90% (レベル換算 0.4) とし、検出器のアナログ検出部回路時定数 1 msec からトリップ応答時間求めると下記となる。



図VII-4 各検出器の応答

図VII-4 から、各応答時間は、

$S_1 \longrightarrow 0.51 \text{ msec}$

$S_2 \longrightarrow 0.87 \text{ msec}$

$S_3 \longrightarrow 2.3 \text{ msec}$, となり MAX 1.8 msec のトリップ応答時間差を生ずる。但し一般には、各検出器への γ 線入力レベルは同一となる様に配置する為、時間差はさらに小さい値となる。仮に応答時間差を msec として評価した場合でも、臨界、故障共にランダムに起るとして、1 msec 中に自グループ以外（他の検出器 8 ケ）で故障する確率であり、システム信頼度上の故障時の修理回復時間に比較し十分小さい値となる。

これは、システムとしての 2 重故障の確立の方が、はるかに大きい値となり無視できることを意味する。

即ち、開発方式は誤警報に対する確率を小さくした分だけ有利な方式となる。

3. F M E C A

実用化システムとして採用する開発方式の全体構成を図VI-2 に示す。この図のブロック毎に、単一故障が発生した場合の故障効果解析の結果を表VII-3 に示す。

尚各ブロックの内部回路は、詳細設計書を参照するものとする。

表VII-3 故障効果解析 (FMECA)

故障対象	故障モード	故障による効果	回復方法	備考
γ線検出器	トリップ出力モード	2/3回路フェイルランプ点灯, テスト回路ブザー吹鳴, 但し他の2ヶの検出器で臨界監視可能。	コネクタ外し, 予備と交換。	
	トリップ無モード	故障報告無し, 但し臨界監視は, 同上。	1回/日の点検にて, 故障発見可能, 予備と交換。	
検出器用 直流電源	断(S ₁ 系)	2/3回路フェイルランプS ₁ 系4ヶ点灯, テスト回路ブザー吹鳴, 但し, S ₂ , S ₃ 系にて臨界監視可能。	コネクタ外し, 予備と交換。	
分配ボックス (DB)	短絡/開モード	2/3回路の故障対象フェイルランプ点灯, ブザー吹鳴, 但し他の2ヶのDBにより, 臨界監視可能。	コネクタ外し, ハンダ付又はコネクタ交換。	
2/3論理回路	フェイルモード	2/3回路フェイルランプ及びテスト回路ブザー吹鳴。		
	臨界出力モード	AUXモニタランプ点灯, 故障ブザー吹鳴, 但し, 両モード共, 他の2/3回路2ヶにより, 臨界監視可能。	コネクタ外し予備と交換。	

表Ⅷ-3 つづき

故障対象	故障モード	故障による効果	回復方法	備考
補助ユニット (AUX)	2／3回路よりのトリップリレー非励磁モード	警報発生ユニット、ランプ点灯、故障ブザー吹鳴、但し、他の2ヶのリレーにて臨界監視可能。	プラグインリレーを予備と交換。	
	断線チェック回路 ①断線モード ②非断線モード	臨界監視とは、直接関係無し、 ①ランプ点灯、故障ブザー吹鳴 ②故障警報無し ①②共に断線チェック不能	②の場合パネル裏側SW、ONにより故障検出可能。 コネクタ外し、予備部品と交換修理。	
警報発生 ユニット (CAU)	タイマ(音出力用) 開モード	故障警報無し、臨界入力時音出力10分でOFFせず連続となる。	プラグインタイプ、予備品と交換。	
	タイマ(音出力用) 短絡モード	ランプ表示、故障ブザー吹鳴、臨界時の音出力は、他の1ヶで可能。		
	RL用遅延リレー ①開モード	①故障警報無し、但し臨界入力時は、他の遅延リレーユニットにより、RL出力可能。	コネクタ外し、予備品と交換。	
	RL用遅延リレー ②短絡モード	②ランプの点灯、故障ブザー吹鳴、但し誤警報出力防止は、他のリレーにより可能。	コネクタ外し、予備品と交換。	

表VII-3 つづき

故障対象	故障モード	故障による効果	回復方法	備考
AUX/CAU用 直流電源	電源内部で出力断 モード	ランプ点灯, 故障ブザー吹鳴, 但し, 動 作上は, 2重化用他の1ヶによりカバー される。	コネクタ外し, 予備品と交換。	
	電源外部短絡モード	①臨界出力直接制御系, 短絡時臨界出力 不可。 ②上記以外の系, 短絡時, 臨界出力は, 可能, 但し, 故障モニタ, 及び点検機 能喪失。	システム停止, AUX及びCAUユニット 予備品と交換。	但し, 本故障モード の確率は, 非常に小 さい。
警報音発生装置	臨界入力リレー 開モード	故障警報無し, 但し, 臨界時の音出力機 能は, 他のリレーで可能。	プラグインリレー予備品と交換。	
	閉モード	ランプ点灯, 故障ブザー吹鳴, 臨界時の 機能は同上。		
	発信器/パワーアンプ 出力レベル降下	ランプ点灯, 故障ブザー吹鳴但し, 臨界 時の音出力機能は, 2重化の他系で可能。	発信器の場合は, プラグインのPC板を 裏パネSW OFF後, 予備品と交換。 パワーアンプの場合は, ユニット単体予備 品と交換。	
	直流電源 電源内部で出力断 モード	ランプ点灯, 故障ブザー吹鳴, 但し, 臨 界時の出力機能は, 2重化の他系で可能。	片系の電源ユニット外し, 予備品と交換。	

表VII-3 つづき

故障対象	故障モード	故障による効果	回復方法	備考
警報音発生装置	直流電源 外部短絡モード	①分離電源系短絡時(片側)ランプ点灯、 故障ブザー吹鳴但し、臨界時の音出力 機能は、2重化の他系で可能。	片側(電源断倒)負荷のモジュール及び リレーを順次予備品と交換。	
		②2系統電源のOR出力側で短絡時 異常モニタ系、一部機能喪失但し、臨 界時の音出力機能は、片側のみ可能	OR出力系負荷のモジュール及びリレー を順次予備品と交換。	
	スピーカ出力リレー 開／閉モード	ランプ点灯、故障ブザー吹鳴但し、警報 機能は、他のリレー出力のスピーカが現 場で隣に設置されているのでカバーされ る。	プラグインリレー予備品と交換。	
回転灯 (RL)	スピーカライン異常 検出部機能喪失	①異常出力モード ランプ点灯、故障ブザー吹鳴 ②異常出力無しモード 異常警報無し。 但し、両者共、臨界音出力自身には影響 無し。	コネクタ外し、予備モジュールと交換。	
	断線	ランプ点灯、故障ブザー吹鳴但し、隣設 置のRLでカバー。	端子台外し、予備品と交換。	
	回転不良	故障警報無し、但し、同上。	RL実作動にて現場確認、後同上。	

表VII-3 つづき

故障対象	故障モード	故障による効果	回復方法	備考
スピーカ (S P)	断線／短絡	ランプ点灯、故障ブザー吹鳴、但し、隣設置のS Pでカバー。	コネクタ外し、予備品と交換。	
アイソレータ (I S O)	アナログ出力 低／高	I S O出力レベルモニタ不能となる。但し、臨界監視には関係無し。 故障検知は、I S O出力レベルモニタのトリップ検出に依存。	モジュール引抜き、予備品と交換。	
I S O用 低圧電源	出力断	同上 全チャンネルMAX12検出器分レベルモニタ不能となる。	コネクタ外し、電源ユニット単位で、予備品と交換。	
N F B	断故障 (負荷側短絡ではなくN F B自身の故障)	故障警報無し、システムダウンとなり、 臨界検出不可(本故障モードは、N F B単体の故障であり、確率は非常に小さい。 又無停電電源自身の故障と比較しても小さい値となる。)	無停電電源O F Fとし、端子台外し、予備品と交換。	N F Bを2重化するには無停電電源の2重化が必要となる。

4. 実用化システムに対する信頼性評価

図VII-4に実用化システムの信頼度モデルを示す。又図VII-5から図VII-8に各ブロック内の詳細信頼度モデル及びMTBF算出式を示す。系全体として警報機能に直接関係する部分、即ち機能喪失、誤警報に関する部分とそれ以外の異常モニタ系に分類しMTBFを算出する。

(1) MTBF算出条件

- ① 部品単位の故障率(λ)は、MIL-HBK-217B, EAELES, 及び一部類似品の推定による。
- ② 冗長系に対するシステムのMTBF算出は、個々のMTBFの逆数を λ として簡易手法にて計算する。
- ③ 保全有りのモードは、システム故障を起さない範囲で保全可能としている。又異常モニタについては、故障時に予備品と交換し保守可能とする。
- ④ SP, RLについては、設置場所の隣合う物が冗長系を有するものとする。

(2) MTBF算出結果

試作品の各ユニットに対するMTBF計算表を表VII-4から表VII-8に示す。警報発生ユニット／補助ユニット及び警報音発生装置については、図VII-6, 図VII-7の各ブロック単位での故障率を表VII-9, 表VII-10に示す。

その結果は、図VII-8のMTBF算出表に示す通りである。システムMTBFの最終結果として、実用的保全を考慮した場合の検討を加える。

故障モードとして、Fail音を発生するモードとFail音を発生しないモードの2種類となる。確率的にはICロジック等で、各50%の比率となり常時励磁モードのリレー及び電源等では、90%以上の確率でFail音発生モードとなる。

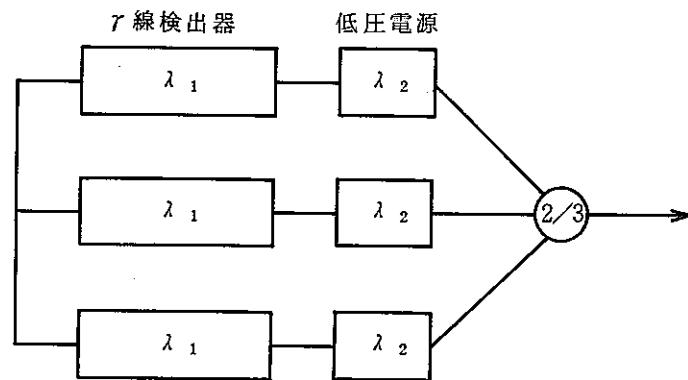
Fail音発生の場合の保全は、予備品交換を1時間以内で実施可能である。一方Fail音無しの場合は1日1回の点検時に故障発見となりその後1時間以内に予備品交換となる。即ち、Fail音発生する場合のMTTR 1時間

Fail音発生しない場合のMTTR 2.5時間

となる。各モードの発生確率を安全側に見て、半々とした場合両者の平均MTTRは、1.3時間となる。

MTTR 1.3時間に対するシステムMTBFを25°Cの条件で計算すると、 6.3×10^6 時間となり当初目標とした 3×10^6 時間を上回る好結果である。

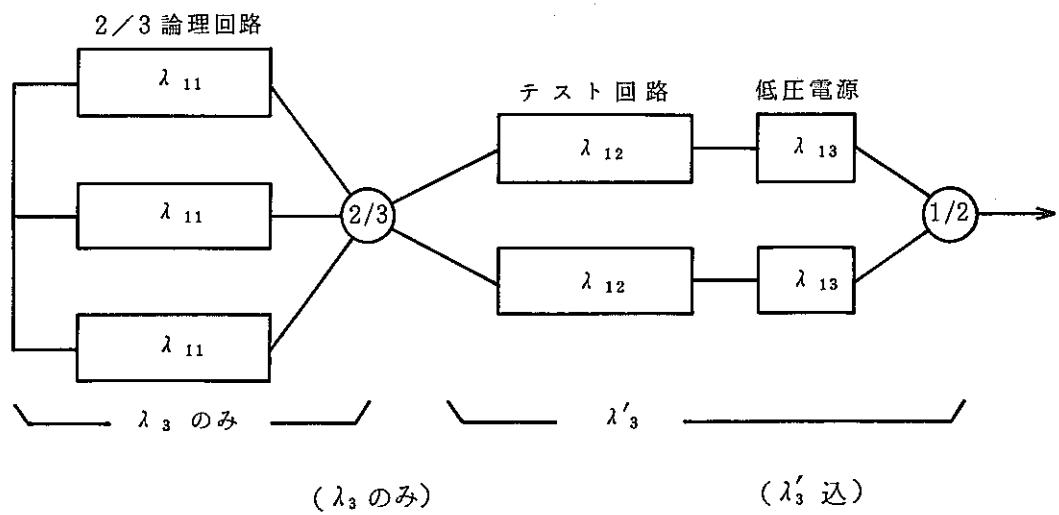
MTTRの評価上、Fail音無しのモードを2.5時間としているが、故障発見確率上は点検直前の故障から点検直後の故障まであり、その平均のMTTRは、より小さい値となる。又前記説明のFail音発生の確率50%以上の考慮もあり、実用上の保全を考慮したシステムMTBFは、さらに良い結果を期待できる。



$$\text{MTBF 算出式 保全無 } \frac{5}{6(\lambda_1 + \lambda_2)}$$

$$\text{保全有 } \frac{5(\lambda_1 + \lambda_2) + \mu}{6(\lambda_1 + \lambda_2)^2}$$

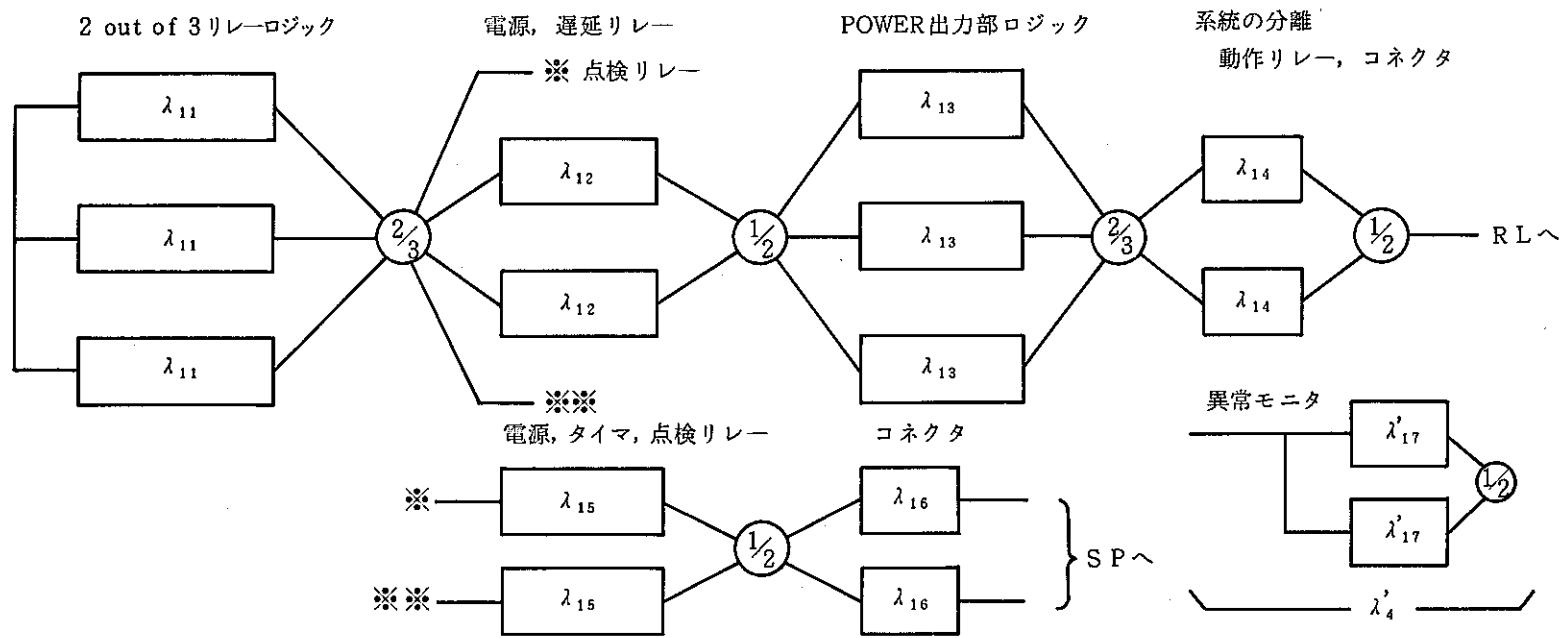
図VII-4 検出部の信頼度モデル（Ⓐ部）



$$\text{MTBF 算出式 保全無 } \frac{5}{6\lambda_{11}} \quad \left\{ \left(\frac{5}{6\lambda_{11}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2(\lambda_{12} + \lambda_{13})} \right)^{-1} \right\}^{-1}$$

$$\text{保全有 } \frac{5\lambda_{11} + 1\mu}{6\lambda_{11}^2} \quad \left[\left(\frac{5\lambda_{11} + 1\mu}{6\lambda_{11}^2} \right)^{-1} + \left\{ \frac{3(\lambda_{12} + \lambda_{13}) + \mu}{2(\lambda_{12} + \lambda_{13})^2} \right\}^{-1} \right]^{-1}$$

図VII-5 2/3 論理回路の信頼度モデル（Ⓑ 詳細）



$$\text{MTBF 算出式 保全無} \quad \left[\left(\frac{5}{6\lambda_{11}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2\lambda_{12}} \right)^{-1} + \left(\frac{5}{6\lambda_{13}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2\lambda_{14}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2\lambda'_{17}} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (\text{RL})$$

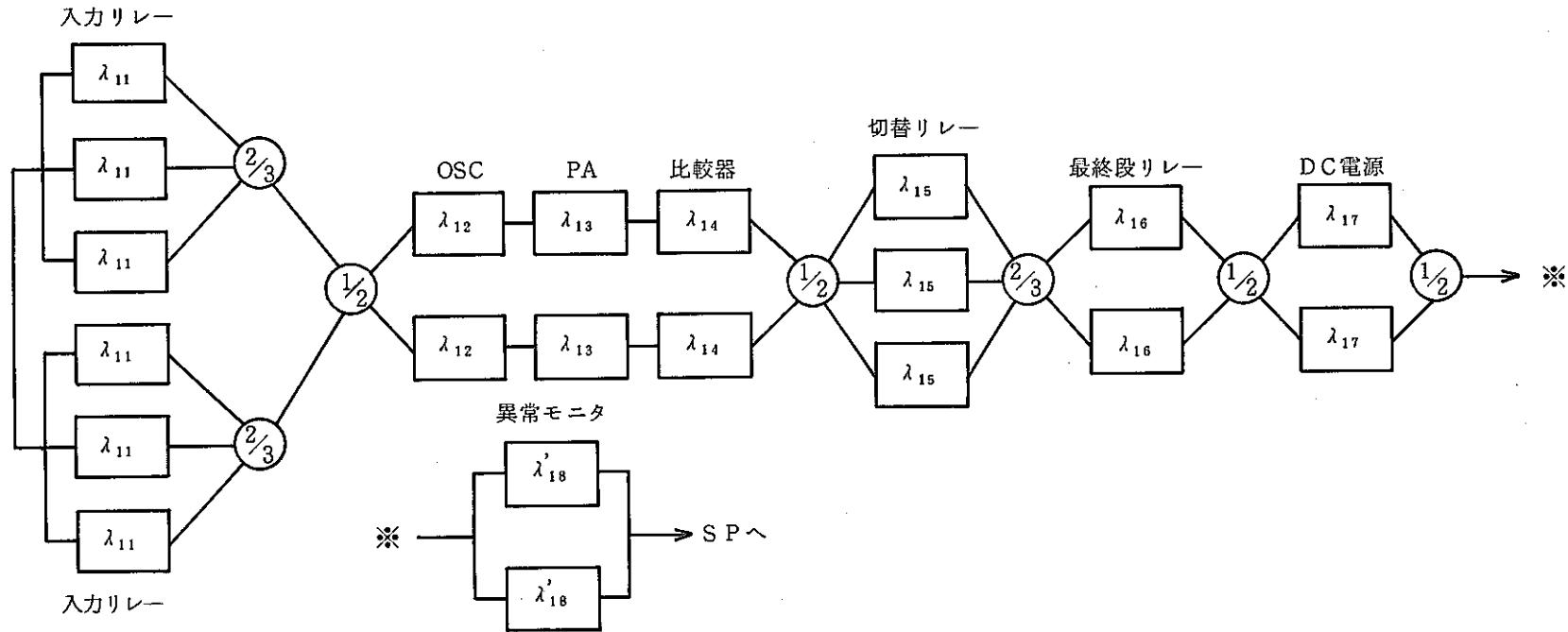
$$\left[\left(\frac{5}{6\lambda_{11}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2\lambda_{15}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2\lambda_{16}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2\lambda'_{17}} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (\text{SP})$$

$$\text{保全有} \quad \left[\left(\frac{5\lambda_{11} + \mu}{6\lambda_{11}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3\lambda_{12} + \mu}{2\lambda_{12}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{5\lambda_{13} + \mu}{6\lambda_{13}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3\lambda_{14} + \mu}{2\lambda_{14}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3\lambda'_{17} + \mu}{2\lambda'^2_{17}} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (\text{RL})$$

$$\left[\left(\frac{5\lambda_{11} + \mu}{6\lambda_{11}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3\lambda_{15} + \mu}{2\lambda_{15}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3\lambda_{16} + \mu}{2\lambda_{16}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3\lambda'_{17} + \mu}{2\lambda'^2_{17}} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (\text{SP})$$

図VII-6

警報発生/AUXユニットの信頼度モデル (◎ 詳細)



$$\text{MTBF 算出式 保全無} \quad \left[\left\{ \frac{3}{2 \left(\frac{5}{6 \lambda_{11}} \right)^{-1}} \right\}^{-1} + \left\{ \frac{3}{2 (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14})} \right\}^{-1} + \left(\frac{5}{6 \lambda_{15}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2 \lambda_{16}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2 \lambda_{17}} \right)^{-1} + \left(\frac{3}{2 \lambda'_{18}} \right)^{-1} \right]$$

注) 保全有

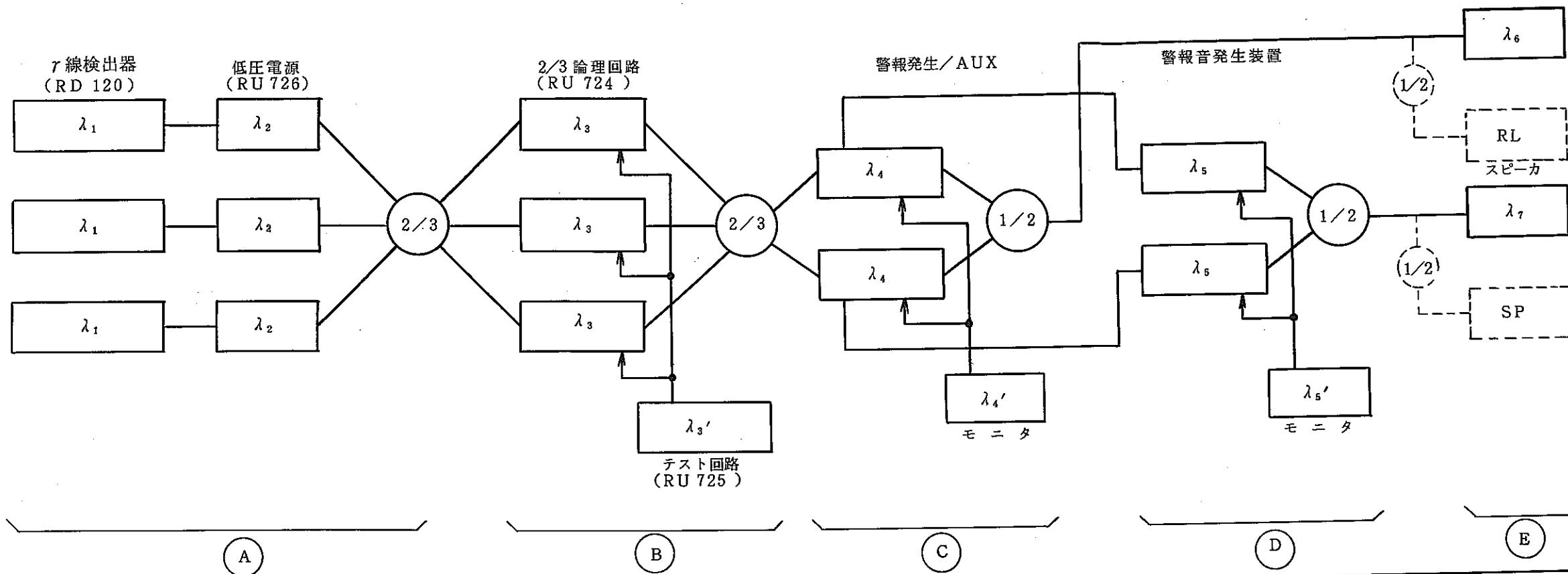
$$\lambda_{100} \cdots \left(\frac{5 \lambda_{11} + \mu}{6 \lambda_{11}^2} \right)^{-1}$$

$$\lambda_{200} \cdots (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14})$$

$$+ \left[\frac{3 \lambda_{100} + \mu}{2 \left\{ \left(\frac{5 \lambda_{11} + \mu}{6 \lambda_{11}^2} \right)^{-1} \right\}^2} \right]^{-1} + \left\{ \frac{3 \lambda_{200} + \mu}{2 (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14})^2} \right\}^{-1} + \left(\frac{5 \lambda_{15} + \mu}{6 \lambda_{15}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3 \lambda_{16} + \mu}{2 \lambda_{16}^2} \right)^{-1}$$

$$+ \left(\frac{3 \lambda_{17} + \mu}{2 \lambda_{17}^2} \right)^{-1} + \left(\frac{3 \lambda'_{18} + \mu}{2 \lambda'_{18}^2} \right)^{-1} \right]$$

図VII-7 警報音発生装置の信頼度モデル（① 詳細）



		A	B		C		D		E		システム				
			λ	λ_3 のみ	λ_3' 込	λ_4 のみ	λ_4' 込	λ_5 のみ	λ_5' 込	S P	R L	S P	R L	S P	R L
保全無	25 °C	3.91×10^4	3.00×10^4	1.62×10^4	1.14×10^5 S P 5.34×10^4 R L	2.23×10^4	1.80×10^4	1.00×10^4	3.12×10^7	1.00×10^6	8.11×10^3	1.27×10^4	4.31×10^3	7.00×10^3	
保全有	25 °C	MTTR ^(H) 1	3.67×10^8	2.10×10^8		5.16×10^9 S P 2.26×10^9 R L		2.21×10^8		2.16×10^{14}	2.22×10^{11}	8.19×10^7	1.26×10^8		
		10	3.68×10^7	2.10×10^7		5.16×10^8 S P 2.26×10^8 R L		2.21×10^7		2.16×10^{13}	2.22×10^{10}	8.20×10^6	1.26×10^7		
		13	2.83×10^7	1.62×10^7		3.95×10^8 S P 1.74×10^8 R L		1.70×10^7		1.67×10^{13}	1.71×10^{10}	6.31×10^6	9.72×10^6		
		25	1.47×10^7	8.51×10^6		2.06×10^8 S P 9.05×10^7 R L		8.86×10^6		8.64×10^{12}	8.89×10^9	3.30×10^6	5.08×10^6		
	50 °C	1	1.95×10^8	6.97×10^7		2.69×10^9 S P 1.21×10^9 R L		6.62×10^7		7.40×10^{12}	2.22×10^{11}	2.86×10^7	4.92×10^7		
		10	1.96×10^7	6.99×10^6		2.69×10^8 S P 1.00×10^8 R L		6.63×10^6		7.40×10^{11}	2.22×10^{10}	2.87×10^6	4.90×10^6		
		13	1.50×10^7	5.35×10^6		2.06×10^8 S P 9.30×10^7 R L		5.01×10^6		5.69×10^{11}	1.71×10^{10}	2.18×10^6	3.78×10^6		
		25	7.84×10^6	2.81×10^6		1.08×10^8 S P 4.84×10^7 R L		2.66×10^6		2.96×10^{11}	8.89×10^9	1.15×10^6	1.98×10^6		

図VII-8

システム信頼度モデル/M T B F算出表

表VII-4 (1/2) M T B F (M T T F) 計算表

装置名 γ 線検出器
 形名 R D 1 2 0

ブロック名	部品名(形名)	定格 デイレーティング	部品 数n	25 °C		50 °C		備考(参考資料)
				λ	nλ	λ	nλ	
1	リニア IC	—	6	0.11	0.66	0.14	0.84	
2	Tr NPN 電力用	0.2	2	0.084	0.168	0.11	0.22	
	NPN R負荷	0.1	3	0.059	0.177	0.075	0.225	
	PNP "	0.1	1	0.084	0.084	0.11	0.11	
3	D 高圧用	0.2	2	0.06	0.12	0.09	0.18	
	" リレーサージ吸収用	0.2	1	0.08	0.08	0.13	0.13	
	"	0.1	6	0.042	0.252	0.067	0.402	
4	D-ZD	0.2	4	0.14	0.56	0.17	0.68	
5	R (METAL)	0.2	48	0.004	0.192	0.005	0.24	
	" (CARBON)	0.2	5	0.04	0.2	0.05	0.25	
	" (WIND)	0.1	1	0.084	0.084	0.1	0.1	
6	VR (トリマ)	0.1	7	0.65	4.55	0.83	5.84	
7	C (アルミ)	0.4	6	0.12	0.72	0.24	1.44	
	" (フィルム)	0.1	17	0.0001	0.0017	0.0002	0.0034	
	" ()	0.4	3	0.0002	0.0006	0.0004	0.012	
	" (セラミック)	0.4	6	0.014	0.084	0.015	0.09	
	" (マイカ)	0.2	3	0.002	0.006	0.01	0.03	
8	リレー π C=3	0.1	1	0.33	0.33	0.45	0.45	
統計				$\Sigma n\lambda = 8.27$ (25°C)		$\Sigma n\lambda = 11.23$ (50°C)		

 $\lambda : [10^{-6}/H]$

表VII-4 (2/2) MTBF (MTTF) 計算表

装置名 γ 線検出器

形名 RD 120

プロック名	部品名(形名)	定格 ディレーテング	部品 数n	25°C		50°C		備考(参考資料)
				λ	$n\lambda$	λ	$n\lambda$	
9	コイル	—	2	0.048	0.096	0.26	0.52	
10	トランス	—	1	0.032	0.032	0.17	0.17	
11	ハンダ(PC板)	—	329	0.00012	0.0395	0.00012	0.0395	
12	スルーホール		329	0.00012	0.00395	0.000012	0.00395	
13	コネクタ(基板用) 15P		1	0.144	0.144	0.144	0.144	
	〃(電源用) 3P		1	0.869	0.869	1.552	1.552	
14	テストポイント		13	0.044	0.572	0.076	0.988	
15	TMハンダ		40	0.0044	0.0176	0.0044	0.0176	
16	FUSE(ホルダ込み)		1	0.14	0.14	0.14	0.14	
17	スイッチ		1	0.13	0.13	0.13	0.13	
18	フォトマル		1	5	5	5	5	
	R(METAL)	0.2	12	0.004	0.048	0.005	0.06	
	C(セラミック)	0.2	6	0.005	0.03	0.006	0.036	
	LED		1	0.2	0.2	0.2	0.2	
	TMハンダ		22	0.0044	0.0968	0.0044	0.0968	
19	クリンプ圧着		2	0.0073	0.0146	0.0073	0.0146	
20	中継コネクタ8P		1	0.101	0.101	0.175	0.175	
統計				$\Sigma n\lambda =$ (25°C)	7.53	$\Sigma n\lambda =$ (50°C)	9.29	

 $\lambda : [10^{-6}/H]$

$$MTBF (25°C) = \frac{1}{\sum n\lambda (25°C)} = \frac{1}{15.8 \times 10^{-6}} = 6.33 \times 10^{11}$$

$$MTBF (50°C) = \frac{1}{\sum n\lambda (50°C)} = \frac{1}{20.5 \times 10^{-6}} = 4.87 \times 10^{11}$$

表VII-5 (1/2) M T B F (M T T F) 計算表

装置名 + 24 V 低圧電源

形名 R U 7 2 6

ブロック名	部品名(形名)	定格 ダイレーティング	部品 数 n	25 °C		50 °C		備考(参考資料)
				λ	$n\lambda$	λ	$n\lambda$	
1	I.C. (リニア)	—	1	0.11	0.11	0.14	0.14	
2	Tr	0.2	1	0.084	0.084	0.11	0.11	
	"	0.5	3	0.10	0.30	0.16	0.48	
3	D	0.1	5	0.042	0.21	0.067	0.335	
	" (LED)		1	0.20	0.20	0.20	0.20	
4	ZD	0.2	2	0.14	0.28	0.17	0.34	
	"	0.5	1	0.21	0.21	0.27	0.27	
5	R (METAL)	0.1	5	0.0038	0.019	0.0045	0.0225	
	" (")	0.2	1	0.004	0.004	0.005	0.005	
	" (")	0.5	3	0.0058	0.0174	0.0073	0.0219	
	" (WIND)	0.5	1	0.20	0.20	0.26	0.26	
6	VR	0.1	1	0.65	0.65	0.83	0.83	
7	C (アルミ)	0.6	3	0.22	0.66	0.43	1.29	
	" (")	0.6	1	0.22	0.22	0.43	0.43	
	" (フィルム)	0.4	1	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004	
8	トランス	—	1	0.032	0.032	0.17	0.17	
9	ノイズフィルタ	—	1	0.032	0.032	0.17	0.17	
10	スイッチ	—	1	0.13	0.13	0.13	0.13	
統計				$\Sigma n\lambda = (25°C)$		$\Sigma n\lambda = (50°C)$		

 $\lambda : [10^{-6}/H]$

表VII-5 (2/2) M T B F (M T T F) 計算表

裝置名 + 24 V 低壓電源

形 名 R U 726

$$\lambda : (10^{-6}/\text{H})$$

$$MTBF \text{ (} 25^\circ C \text{)} = \frac{1}{\Sigma n \lambda (25^\circ C)} = \frac{1}{5.50 \times 10^{-6}} = 1.82 \times 10^6 \text{ h}$$

$$MTBF \text{ (} 50^\circ\text{C) } = \frac{1}{\sum n \lambda(50^\circ\text{C})} = \frac{1}{8.70 \times 10^{-6}} = 1.15 \times 10^6$$

表VII-6 (1/4) MTBF (MTTF) 計算表

装置名 2 out of 3 (A 基板)

形名 R U 7 2 4

プロック名	部品名(形名)	定格 ディレーティング	部品 数n	25°C		50°C		備考(参考資料)
				λ	$n\lambda$	λ	$n\lambda$	
1	I.C (デジタル)		18	0.050	0.90	0.20	3.6	
	(〃)		1	0.50	0.50	2.1	2.1	
	(リニア)		1	0.11	0.11	0.14	0.14	
2	Tr	0.1	15	0.059	0.885	0.075	1.13	
3	D	0.1	27	0.042	1.13	0.067	1.81	
4	R (METAL)	0.1	27	0.0038	0.1026	0.0045	0.1215	
	" (〃)	0.2	12	0.0040	0.048	0.0050	0.060	
	" (〃)	0.5	1	0.0058	0.0058	0.0073	0.0073	
	" (WIND)	0.1	1	0.084	0.084	0.10	0.10	
5	C (アルミ)	0.4	2	0.12	0.24	0.24	0.48	
	" (〃)	0.2	26	0.084	2.18	0.17	4.42	
	" (フィルム)	0.2	2	0.0001	0.0002	0.0002	0.0004	
	" (マイカ)	0.2	3	0.002	0.006	0.01	0.03	
	" (タンタル)	0.2	1	0.010	0.010	0.012	0.012	
6	リレー	0.1	1	0.288	0.288	0.39	0.39	
7	水晶		1	0.20	0.20	0.20	0.20	
8	ハンダ (PC板)		805	1.2×10^{-4}	0.0966	1.2×10^{-4}	0.0966	
9	スルーホール		805	1.2×10^{-6}	0.00966	1.2×10^{-6}	0.00966	
統計				$\Sigma n\lambda = 6.80$ (25°C)		$\Sigma n\lambda = 14.7$ (50°C)		

 $\lambda : [10^{-6}/H]$

表VII-6 (2/4) M T B F (M T T F) 計算表

装置名 2 out of 3 (B 基板)

形 名 R U 724

$$\lambda : (10^{-6}/\text{H})$$

表VII-6 (3/4) MTBF (MTTF) 計算表

装置名 2 out of 3 (筐体その他)

形名 RU 724

プロック名	部品名(形名)	定格 ディレーテング	部品 数 n	25 °C		50 °C		備考(参考資料)
				λ	n λ	λ	n λ	
1	コネクタ(基板用) 10P		1	0.113	0.113	0.195	0.195	
	" (") 16P		11	0.151	1.66	0.261	2.87	
	" (") 20P		3	0.176	0.528	0.304	0.912	
2	テストポイント		2	0.044	0.088	0.076	0.152	
3	電源ピン(基板用)		6	0.56	3.36	1.0	6.0	
4	トランジ		1	0.032	0.032	0.17	0.17	
5	ヒューズ		1	0.10	0.10	0.10	0.10	
6	ヒューズホルダー		1	0.04	0.04	0.04	0.04	
7	D	0.1	4	0.042	0.168	0.067	0.268	
	D (LED)		13	0.20	2.6	0.20	2.6	
8	R (WIND)	0.1	1	0.084	0.084	0.10	0.10	
	"	0.5	1	0.20	0.20	0.26	0.26	
9	C (アルミ)	0.6	1	0.22	0.22	0.43	0.43	
10	押しボタンスイッチ		3	0.13	0.39	0.13	0.39	
	ロータリー "	N=20	1	0.44	0.44	0.44	0.44	
11	ランプ		1	1.0	1.0	1.0	1.0	
12	コネクタ(電源用) 2P		1	0.762	0.762	1.36	1.36	
統計				$\Sigma n \lambda =$ (25°C)		$\Sigma n \lambda =$ (50°C)		

 $\lambda : [10^{-6}/H]$

表VII-6 (4/4) M T B F (M T T F) 計算表

装置名 2 out of 3 (筐体その他)

形 名 R U 724

$$\lambda : (10^{-8} \text{ } \textcircled{/} \text{ H})$$

$$MTBF \text{ (} 25^\circ\text{C} \text{) } = \frac{1}{\sum n \lambda(25^\circ\text{C})} = \frac{1}{28.2 \times 10^{-6}} = 3.55 \times 10^4 \text{ h}$$

$$MTBF \text{ } (50^\circ\text{C}) = \frac{1}{\Sigma n \lambda(25^\circ\text{C})} = \frac{1}{48.9 \times 10^{-6}} = 2.04 \times 10^4 \text{ h}$$

表VII-7 (1/3) M T B F (M T T F) 計算表

装置名 テスト回路 (A 基板)

形名 R U 725

プロック名	部品名(形名)	定格 デイレーティング	部品 数 n	25 °C		50 °C		備考(参考資料)
				λ	n λ	λ	n λ	
1	I.C (デジタル)		27	0.050	1.35	0.20	5.4	
	(")		1	0.026	0.026	0.043	0.043	
2	T r	0.2	6	0.035	0.21	0.045	0.27	
	"	0.1	3	0.0295	0.0885	0.0375	0.113	
3	D	0.1	36	0.042	1.512	0.067	2.412	
4	R (METAL)	0.1	57	0.0038	0.2166	0.0045	0.2565	
	" (")	0.5	9	0.0058	0.0522	0.0073	0.0657	
5	C (アルミ)	0.4	2	0.12	0.24	0.24	0.48	
	" (")	0.2	28	0.084	2.352	0.17	4.76	
	" (タンタル)	0.2	3	0.01	0.03	0.012	0.036	
	" (マイカ)	0.2	6	0.002	0.012	0.01	0.06	
6	ハンダ (PC板)		900	1.2×10^{-4}	0.108	1.2×10^{-4}	0.108	
8	スルーホール		900	1.2×10^{-5}	0.0108	1.2×10^{-5}	0.0108	
統計				$\Sigma n \lambda = 6.208$ (25°C)		$\Sigma n \lambda = 14.02$ (50°C)		

 $\lambda : [10^{-6} / H]$

表VII-7 (2/3) M T B F (M T T F) 計算表

装置名 テスト回路 (B 基板)

形名 R U 725

プロック名	部品名(形名)	定格 デイレーティング	部品 数n	25 °C		50 °C		備考(参考資料)
				λ	$n\lambda$	λ	$n\lambda$	
1	I.C (リニア)	-	3	0.11	0.33	0.14	0.42	
	" (デジタル)		12	0.05	0.60	0.20	2.4	
	" (")		1	0.50	0.50	2.1	2.1	
2	Tr	0.1	5	0.0295	0.148	0.0375	0.188	
3	D	0.1	12	0.042	0.54	0.067	0.804	
4	ZD	0.1	1	0.13	0.13	0.15	0.15	
5	R (METAL)	0.1	51	0.0038	0.194	0.0045	0.23	
	" (")	0.5	1	0.0058	0.0058	0.0073	0.0073	
	" (")	0.2	1	0.004	0.004	0.005	0.005	
	" (WIND)	0.5	1	0.20	0.20	0.26	0.26	
6	VR	0.1	3	0.65	1.95	0.83	2.49	
7	C (アルミ)	0.4	4	0.12	0.48	0.24	0.96	
	" (")	0.2	13	0.084	1.09	0.17	2.21	
	" (マイカ)	0.2	12	0.002	0.024	0.01	0.12	
	" (タルタル)	0.2	2	0.010	0.020	0.012	0.024	
	" (フィルム)	0.2	5	0.0001	0.0005	0.0002	0.001	
8	リレー(2回路)	0.3	1	0.261	0.261	0.36	0.36	
	" (4回路)	0.3	3	0.479	1.44	0.66	1.98	
9	ハンダ(PC板)		634	1.2×10^{-4}	0.0761	1.2×10^{-4}	0.0761	
10	スルーホール		634	1.2×10^{-6}	0.00761	1.2×10^{-6}	0.00761	
統計				$\Sigma n\lambda = 8.00$ (25°C)		$\Sigma n\lambda = 14.8$ (50°C)		

 $\lambda : [10^{-6}/H]$

表VII-7 (3/3) MTBF (MTTF) 計算表

装置名 テスト回路 (筐体等)

形名 R U 725

ブロック名	部品名(形名)	定格 ディレーティング	部品 数n	25°C		50°C		備考(参考資料)
				λ	nλ	λ	nλ	
1	コネクタ(基板用) 34P	—	2	0.277	0.554	0.478	0.956	A基板
	" (") 20P		2	0.176	0.352	0.304	0.608	"
2	電源ピン		5	0.56	2.6	1.0	5.0	"
3	コネクタ(基板用) 20P		2	0.176	0.352	0.304	0.608	B基板
4	電源ピン		5	0.56	2.6	1.0	5.0	"
5	押しボタンスイッチ		11	0.13	1.43	0.13	1.43	
	ロータリー "		1	0.41	0.41	0.41	0.41	
6	ランプ		10	1.0	10	1.0	10	
7	ブザー		1	0.20	0.20	0.20	0.20	推定
8	電源コネクタ		1	0.762	0.762	1.36	1.36	
	コネクタ(背面用) 20P		3	0.176	0.528	0.304	0.912	
	" (") 38P		1	0.309	0.309	0.534	0.534	
9	クリンプ圧着		256	0.0073	1.87	0.0073	1.87	
10	ハンダ(端子等)		73	0.0044	0.32	0.0044	0.32	
統計				$\Sigma n\lambda = 22.3$ (25°C)		$\Sigma n\lambda = 29.2$ (50°C)		

 $\lambda : [10^{-6}/H]$

$$MTBF (25°C) = \frac{1}{\Sigma n\lambda (25°C)} = \frac{1}{36.5 \times 10^{-6}} = 2.74 \times 10^4 H$$

$$MTBF (50°C) = \frac{1}{\Sigma n\lambda (50°C)} = \frac{1}{58.0 \times 10^{-6}} = 1.72 \times 10^4 H$$

表VII-8 (1/2) M T B F (M T T F) 計算表

装置名 + 12 V 低圧電源

形名 R U 727

プロック名	部品名(形名)	定格 ディレーティング	部品 数n	25 °C		50 °C		備考(参考資料)
				λ	n λ	λ	n λ	
1	I.C (リニア)	—	1	0.11	0.11	0.14	0.14	
2	Tr	0.2	1	0.084	0.084	0.11	0.11	
	"	0.5	3	0.10	0.30	0.16	0.48	
3	D	0.2	4	0.06	0.24	0.09	0.36	
	"	0.1	1	0.042	0.042	0.067	0.067	
	" (LED)	—	1	0.20	0.20	0.20	0.20	
4	ZD	0.2	2	0.14	0.28	0.17	0.34	
	"	0.1	1	0.21	0.21	0.27	0.27	
5	R (METAL)	0.1	2	0.0038	0.0076	0.0045	0.0090	
	" (")	0.2	2	0.0040	0.0080	0.005	0.010	
	" (")	0.5	4	0.0058	0.024	0.0073	0.0292	
	" (CARBON)	0.1	1	0.038	0.038	0.045	0.045	
	" (WIND)	0.5	1	0.20	0.20	0.26	0.26	
6	VR	0.1	1	0.65	0.65	0.83	0.83	
7	C (アルミ)	0.6	2	0.22	0.44	0.43	0.86	
	" (")	0.4	2	0.12	0.24	0.24	0.48	
	C (フィルム)	0.2	1	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	
8	トランス	—	1	0.032	0.032	0.17	0.17	

表VII-8 (2/2) M T B F (M T T F) 計算表

裝置名 + 12 V 低壓電源

形 名 R U 727

$$\lambda : (10^{-6}/\text{H})$$

$$MTBF \text{ } (25^\circ\text{C}) = \frac{1}{\sum n \lambda(25^\circ\text{C})} = \frac{1}{5.40 \times 10^{-3}} = 1.85 \times 10^4$$

$$MTBF \text{ } (50^\circ\text{C}) = \frac{1}{\sum n \lambda(50^\circ\text{C})} = \frac{1}{8.46 \times 10^{-6}} = 1.18 \times 10^{6\text{H}}$$

表VII-9 警報発生/AUX の故障率概算値

	λ_{11}	λ_{12}	λ_{13}	λ_{14}	λ_{15}	λ_{16}	λ'_{17}
25 °C	5.33	9.02	1.34	7.00	3.46	0.125	54.0
50 °C	7.32	13.0	1.78	8.64	5.05	0.210	66.3

表VII-10 警報音発生装置の故障率概算値

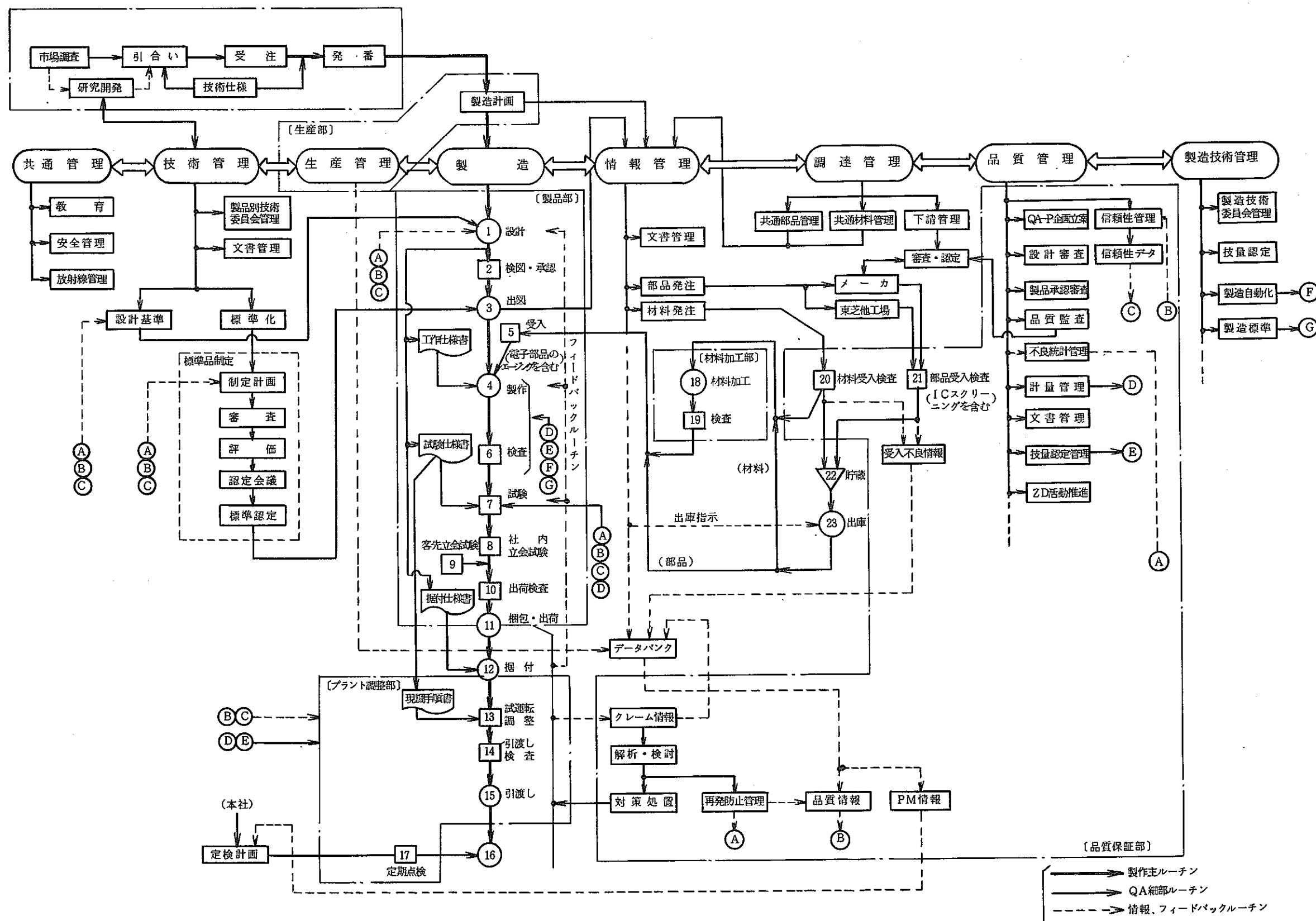
	λ_{11}	λ_{12}	λ_{13}	λ_{14}	λ_{15}	λ_{16}	λ_{17}	λ'_{18}
25 °C	0.648	6.03	4.30	14.6	0.604	24.6	32.2	66.2
50 °C	0.869	8.43	6.68	23.0	0.792	47.9	61.7	86.0

5. 実用機に対する品質管理

品質管理は信頼性評価の上でも重要なウェイトを占めている。信頼度の高い装置を完成させるためには構成部品個々の信頼度を向上させることのほかに装置を製作する時に行なわれるはんだ付、圧着、ネジ締めなどの要素作業の技能と工具の質に左右される。したがって装置を構成する部品の信頼度に加えて、これらの要素作業の信頼度評価も行った。（前節4. 実用化システムに対する信頼性評価参照）

今回の試作に際しては、前述した技術的な信頼性評価方法の他に品質管理体制にも注目した。実用機が完成するまでのメーカにおける品質保証体系を図VII-9に示す。この結果①TQC思想が反映され②デザインレビューのポイントが明らかになった。また装置の製作工程にも注目し、「構成部品の受入」から「組立」「検査、出荷」までの一連の作業工程について品質管理工程図（図VII-10及びVII-11参照）を作成し下記に示す2項目の管理体制を明確にした。

- ① 管理項目を細分化し、実施部門、管理標準、チェックポイント等を明確化
- ② 一つの管理項目が終了して次のステップへ進む場合、各実施部門がそれぞれ責任を明確にして作業が遂行されること。



図VII-9 品質保証体系図

変更記録									
④									
③									
②									
①									
No. 1									
対象：臨界警報装置									
製作工程図（手順）	工程No.	管理項目	測定装置 測定器具	実施部門	管理標準	チェックポイント (注意事項)	ロットの作り方 (ロットの大きさ)	試験検査 方式	
<p>警報音発生装置 回転灯 スピーカ</p> <p>101 受入検査</p> <p>102 固有振動数</p> <p>103 取付, 寸法</p> <p>104 線材, 配線状態</p> <p>105 組込</p> <p>106 組立, 配線, 構造</p> <p>107 外観, 構造</p> <p>108 寸法</p> <p>109 絶縁抵抗, 耐電圧</p> <p>110 接続</p> <p>111 総合システム試験</p> <p>112 エージング</p> <p>113 出荷検査</p> <p>114 出荷</p> <p>No. 2</p> <p>13 より</p> <p>ユニット</p> <p>検出器</p> <p>計装盤 (HPパネル)</p> <p>101 受入検査</p> <p>102 打振試験</p> <p>103 組立</p> <p>104 配線</p> <p>105 組込</p> <p>106 中間検査</p> <p>107 外観(構造)検査</p> <p>108 寸法検査</p> <p>109 絶縁抵抗 耐電圧試験</p> <p>110 接続</p> <p>111 総合システム試験</p> <p>112 エージング</p> <p>113 出荷検査</p> <p>114 出荷</p>	101	外観, 寸法, 材質 色見本	ノギス, スケール 色見本	受入検査担当	受入検査標準	形状, 材質, 塗装色, 溶接具合 形式, 寸法	納入ロット	全数	
		102	固有振動数	動歪測定器	品質保証課	試験検査標準	固有振動数, 打振位置 締付トルク	製作ロット	全数
		103	取付, 寸法	モンキースパナ ドライバ	製造課	作業標準	取付方向, 取付位置, 締付け	製作ロット	全数
		104	線材, 配線状態	圧着器, ストリッパー	製造課	作業標準	線材サイズ, 圧着具合, 束線具合 バンドマーク, 半田付け	製作ロット	全数
		105	組込	スパナ, ドライバ	製造課	作業標準	組込位置, 高さ, 締付け	製作ロット	全数
		106	組立, 配線, 構造	目視	製造課	作業標準	組立状態, 配線状態	製作ロット	全数
		107	外観, 構造	色見本, 目視	品質保証課	試験検査標準	塗装色, 錨標, 表示, バンドマーク 束線, 操作性	製作ロット	全数
		108	寸法	ノギス, スケール	品質保証課	試験検査標準	外形寸法, 取合い寸法	製作ロット	全数
		109	絶縁抵抗, 耐電圧	絶縁抵抗計 耐電圧試験機	品質保証課	試験検査標準	印加電圧・時間, 絶縁抵抗	製作ロット	全数
		110	接続	ドライバ	品質保証課	試験検査仕様書	端子番号, 極性	製作ロット	全数
		111	機能, 特性	デジタルボルトメータ オシロスコープ	品質保証課	試験検査標準	機能, 特性, 動作	製作ロット	全数
		112	時間, 動作状態	記録計, 電圧計	品質保証課	試験検査標準	異常の有無	製作ロット	全数
		113	外観, 重量, 品数	目視	品質保証課	試験検査標準	外観, ネジ締め	製作ロット	全数
		114	出荷	目視	生産課 輸送課	作業標準	合格証, 輸送先, 輸送方法	製作ロット	全数

図VII-10 品質管理工程図

対象：臨界警報装置（ユニット・検出器）

No. 2

変更記録		
④		
③		
②		
①		

製作工程図（手順）		工程No	管理項目	測定装置 測定器具	実施部門	管理標準	チェックポイント（注意事項）	ロットの作り方 ロットの大きさ	試験検査 方法	記録方式	備考	
		1	機構部品 電気部品 プリント基板 電子部品	外観、材質、寸法、機能 員数	ノギス、マイクロメータ スケール、治具	受入検査担当	受入検査標準 電子部品の受入検査標準	外観、寸法、材質、員数、型名、書類、機能	納入ロット	抜取	メーカ成績表 チェックシート	—
		1'	受入検査 受入検査	外観寸法、員数、機能	ノギス、拡大鏡、各種テスター、目視	受入検査担当	受入検査標準 電子部品の受入検査標準	外観、寸法、員数、型名、機能	納入ロット	抜取	検査記録	—
		2	温度、時間、電圧	熱衝撃試験器 スクリーニング 恒温槽 各種測定器	受入検査担当	受入検査標準 電子部品の受入検査標準	温度、時間、電圧、特性	納入ロット	全数	検査記録	—	—
		3	取付状態、極性、定数	ノギス、スケール、目視	製造課	作業標準	取付方向、ネジ締め、極性、取付高さ、接触	製作ロット	全数	—	—	—
		4	配線状態	目視	製造課	作業標準	半田付、線材	製作ロット	全数	—	—	—
		5	温度	温度計	製造課	半田槽取扱マニュアル	キャリア装着、後付部品	製作ロット	全数	—	—	—
		6	温度、時間	熱衝撃試験器	製造課	作業標準	温度、時間	製作ロット	全数	—	—	—
		7	配線状態、ハンダブリッジ 極性、定数	ブザー、目視	製造課	作業標準	電線サイズ、配線行先、半田付、極性、取付高さ、定数、ブリッジ	製作ロット	全数	チェックシート	—	—
		8	外形寸法、配線状態	ノギス、スケール 目視	製造課	作業標準	電線サイズ、半田付、圧着、配線行先、経路	製作ロット	全数	—	—	—
		9	配線状態	ブザー、目視	製造課	作業標準	ネジ締め、半田付、圧着、安全	製作ロット	全数	チェックシート	—	—
		10	機能検査、特性試験	デジタル電圧計 標準電圧発生器 専用治具 他	品質保証課	試験検査標準	絶縁、動作、性能、特性のバラツキ	製作ロット	全数	チェックシート 成績表	—	—
		11	温度、時間、動作状態	エージング装置	品質保証課	試験検査標準	異常監視、時間、温度	製作ロット	全数	チェックシート 成績表	—	—
		12	外観、機能、員数、データ 保管	目視	品質保証課	試験検査標準	ネジ締め、半田付、圧着、表示、外観、記録、IDSとの照合	製作ロット	全数	出荷台帳	—	—
		13	出荷	—	生産課	—	輸送客先の確認 運搬、破損等の注意	製作ロット	—	送付案内状	—	—

図VII-11 品質管理工程図

VIII 保全性

1. 概要

本保全要領は臨界警報装置が、設計、製造の段階で意図された機能を使用状態で維持させるために行なう処置、管理について記すものである。

保全体制を確立するための検討項目としては

- ① 予防保全と事後保全の体制の明確化
- ② 補修部品、予備品の充足状況
- ③ 保全基準、マニュアルなどの準備状況
- ④ 試験装置や設備の充足状況
- ⑤ 保全員の能力やモラル

などがあげられるが、計画的なダウンタイム以外は原則的に認められない臨界装置にあっては上記各項目が重要な役割をもつ。

2. 保全の分類

保全は事後保全、予防保全、及び間接的保全行為としての保全員に対する教育、訓練に分類される。

事後保全は系、機器または、部品に故障が発生したのちに行なう保全である。

予防保全はきまつた手順により計画的に試験、検査、再試験などを行ない使用中の故障発生を未然に防止するために行なう保全である。教育訓練は広義の意味での予防保全に含まれる。

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VIII-1に示す。

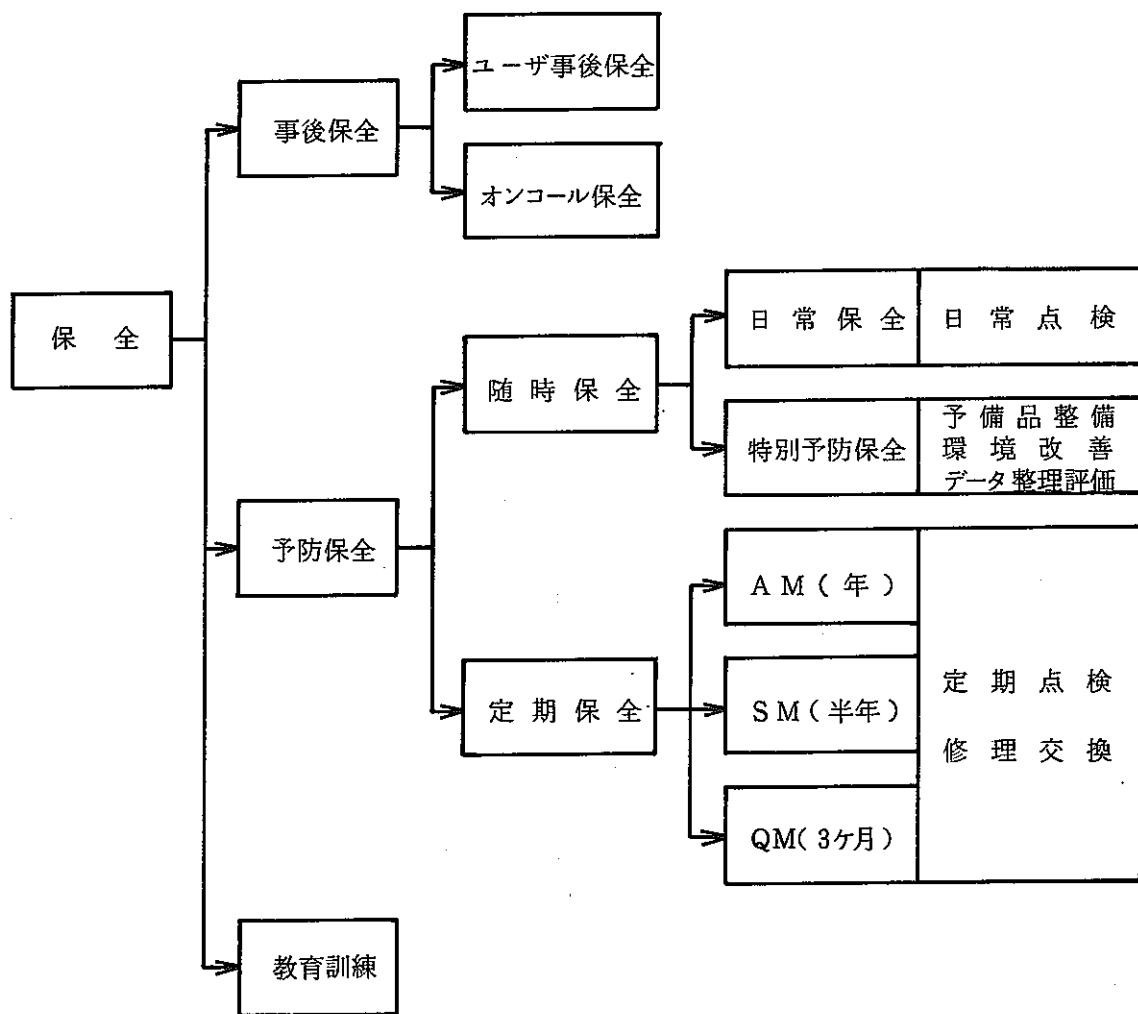
3. 事後保全

臨界警報装置の目的を考えるとき、事後保全は速やかにして適切なる判断処置が必要となるが、本装置は重要機器には冗長化が図られているので、単一故障発生による系の機能喪失はない。これを前提として故障発見は

- ① 日常点検によるテスト
- ② 使用中故障発生時ランプ又はブザーによるアラーム発生。
- ③ その他巡回監視時の機器外観チェック

などの手段で行なわれる。

故障発見個所が判明したら対応策を決定し、先ず予備品との交換を行なうものとする。その為各機器はユニット単位になっており、ユニットは全てコネクタで接続されるようになっている。



図VII-1 保全の分類

以上の通り臨界警報装置の事後保全は、故障発見後予備品との交換により、可能な限り速やかに復旧完了することを原則とする。その後詳細なる原因調査を行なうものとする。事後保全のルーチン及び臨界警報装置の推奨予備品リストを図VIII-2、及び表VIII-1に示す。

4. 予防保全

事後保全行為と系のダウンタイムを極力減らすには、予防保全体制の充実が重要になる。

予防保全は特殊保全としての保全員の教育、訓練や予備品整備、設備・環境改善や日常点検の他に注目すべきは定期自主点検である。予防保全ルーチンを図VIII-3に示す。

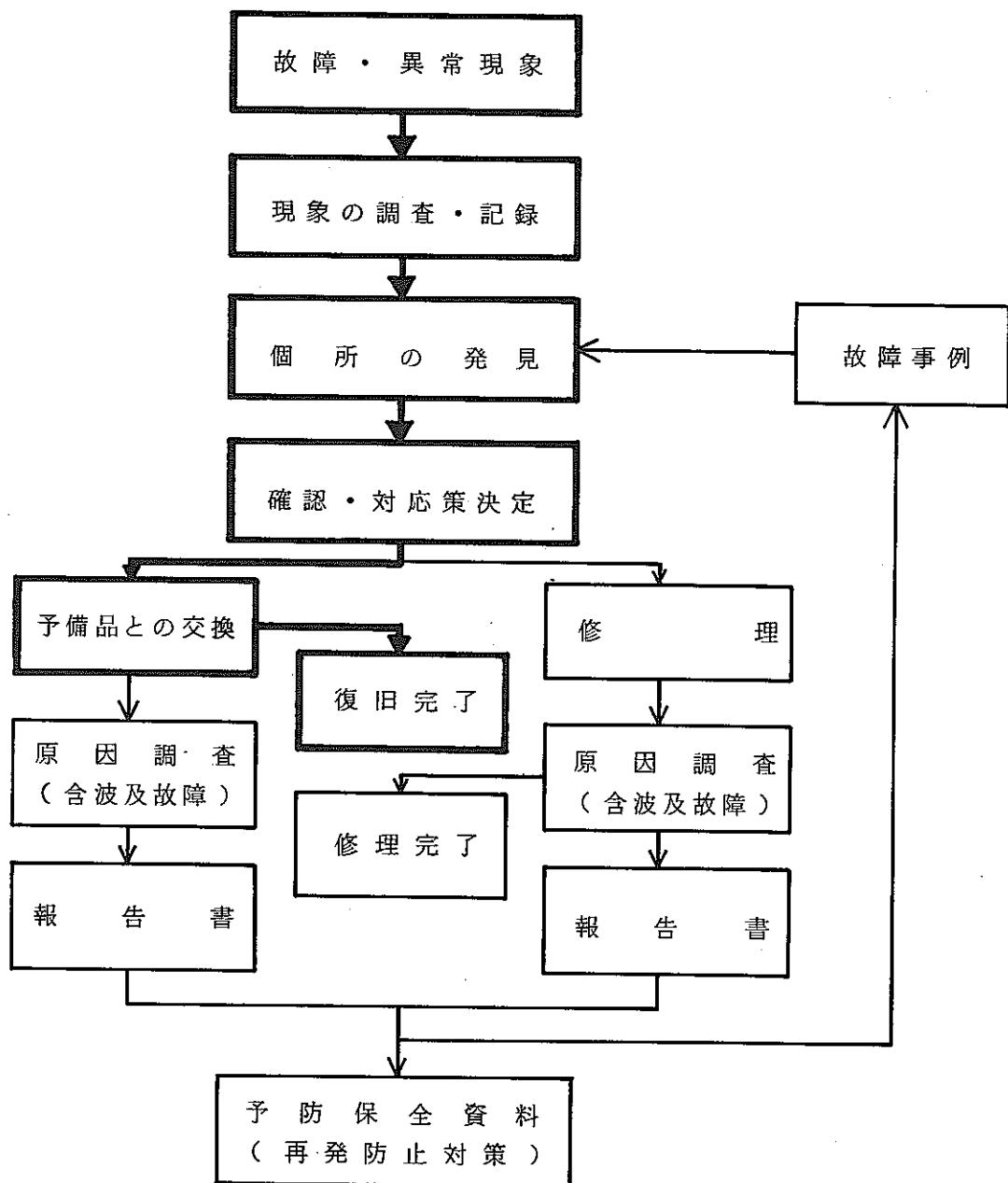
- ① 保全員の教育・訓練 :
 - 管理運営の徹底
 - 技術知識・装置の理解
 - 要素作業の習得など
- ② 予備品整備 :
 - 予算化及び購入
 - 即使用可能状態での保管管理など
- ③ 設備・環境改善 :
 - 試験器具の充足
 - 自動化試験設備などの導入
 - ドキュメンテーションの充実と管理
 - 整理・整頓など
- ④ 日常点検 :
 - チェックリストによる励行
- ⑤ 定期自主点検 :
 - 装置の計画停止による機能診断
 - 寿命部品機器の定期交換など。

5. 定期自主点検時の予防保全

定期自主点検の一般検査項目は、検査要領書、装置及び各機器の取扱説明書により行なわれるものとするが、予防保全の目的で装置の診断が必要になる。

あらかじめ定めた部品・機器の交換サイクルに従って、定期点検のとき部品・機器の交換が行なわれるものとする。

部品の故障形態とその対応の考え方を表VIII-2にまた、一般に原子力計装機器、装置の部品交換サイクルを表VIII-3に示す。



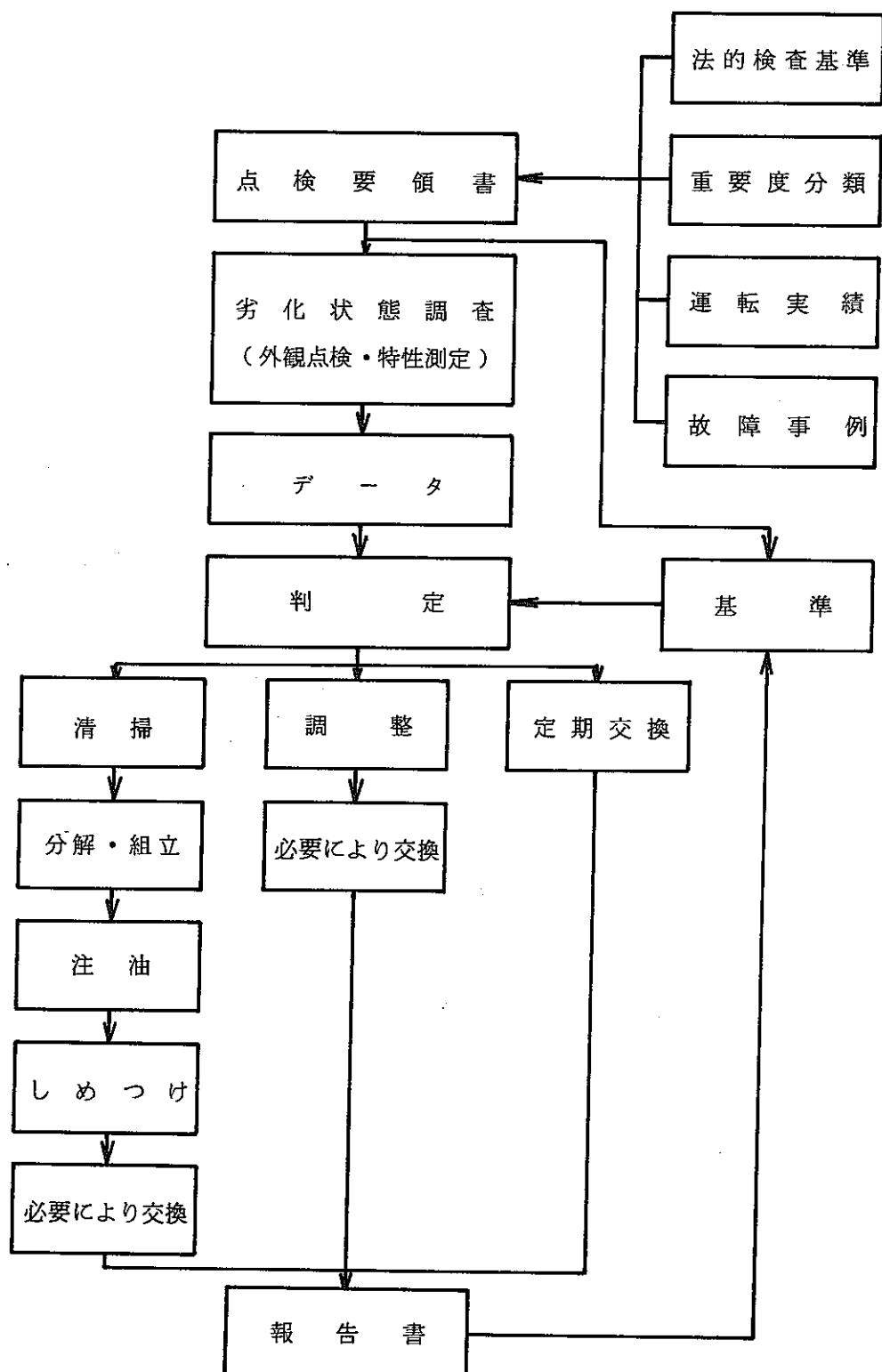
注)太枠ルーチンを最優先とする。

図VII-2 事後保全のルーチン

表VII-1 予備品表

SPARE PARTS LIST

機器名 APPARATUS		用途名 USE	客先番号 CUSTOMERS NO		6
③部分番号 NO	④品名 NAME OF PART	概略図 OUTLINE	数量 QUANTITY		備考 REMARKS
			予備 SPARE	常用 WORK	
	7線検出器	RD120	6	24	
	2/3論理回路	RU724	2	6	
	テスト回路	RU725	1	2	
	リレー3種		30	140	
	タイマ2種		2	3	
	警報ユニット		1	1	
	AUXユニット		1	1	
	アイソレータ		6	12	
	低圧電源	RU819, AUX	2	2	
	"	RU821, アイソレータ	1	1	
	"	RU726, プローブ	3	6	
	"	RU727, テストモジュール	1	2	
	警報発生装置電源部		1	2	
	異常警報音出力		1	1	
	リレーパネル		1	1	
	OSCアンプ異常検出		1	2	
	スピーカーライン異常検出		1	1	
	モニタパネル		1	1	
	パワアンプ		1	2	
	ビンコネクタボックス	3種	3	6	
	回転灯		20	40	
	スピーカ		10	52	



図VIII-3 予防保全のルーチン

表Ⅷ-2 部品の故障形態とその対応

故障の要因とその例	関連	対応	備考
偶発故障 トランジスタ GM 管 など	→	不良発見後交換	予備品の整備・充実
消耗形部品の故障 アルミ電解コンデンサ ランプなど	→	ユニット／モジュール 1式交換	予備品の整備・充実
接触形部品の故障 スライド抵抗、リレー スイッチ、コネクタなど	→	周期的に部品又はプリン ト基板単位で交換	P C 板上の部品交換は、1 ～2回が限度
製造技術によるもの ハンダ付け、ネジ締めな ど	→	修復処置	<ul style="list-style-type: none"> ◦ コネクタ、接点表面汚れ 洗浄 ◦ ON/OFF くり返しによ る接触抵抗の増加 ◦ 目視打診によるハンダ付 け、ネジ締め不良の発見 ◦ 洗浄／乾燥による絶縁回 復

表VIII-3 部品交換サイクル

機器名	構成部品	交換サイクル	備考
電子計器一般	固定抵抗器 (巻線) (金属フィルム) (炭素フィルム)	15年以上	
	コンデンサ (タンタル) (セラミックス)	15年以上	
	トランジスタ		
	IC (シリコン小信号)	15年以上	
	ダイオード (含ツエナー)		
	トランスフォーマ	15年以上	
	可変抵抗器 (サーメット形) (炭素フィルム)	15年以上	
	コンデンサー (高温用アルミ)	10年以上	貯蔵品のものにおいても5～10年毎に交換
	コンデンサ (アルミ電解)	5年以上	
	トランジスタ (電力用)	8年以上	
	可変抵抗器 (巻線)	2～8年以上	常時運動のものは2年毎に交換
	メカニカルチョッパ	4年以上	
	モータ軸受ベア リング		
	ヒューズ	2年以上	
	ランプ	1～2年以上	

6. 臨界警報装置検査要領書

目 次

- (1) 概 要
- (2) 日 常 点 檢
- (3) 定 期 自 主 檢 查
- (4) 使 用 前 檢 查 , 定 期 檢 查

(1) 概 要

本検査要領書は、臨界警報装置が正常な稼動状態にあることを判定するための検査方法について記すものである。

検査は日常点検、定期自主検査および核原料物質・核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律に定める使用前検査、定期検査などからなる。

このうち日常検査はこの装置の性格上、極力系の監視機能を損うことなく稼動状態で行なえるようシステム設計されている。

試験、検査行為は、十分に装置を理解した熟練者が細心の注意を払いなされるものであることは言うまでもない。

(2) 日常点検

日常点検は、24時間毎もしくわ3ヶ月毎に行なわれる点検で、本来の臨界監視機能を極力損うことなく実行できる。

その手段の詳細は、取扱説明書に記載されているのでここではその項目をあげる。

(2)-1 検出器（プローブ）テスト

周 期 24時間

目 的 検出器の単独作動確認

操作と検査基準 表VIII-4参照

(2)-2 2/3出力テスト（0.4秒・同時性）

周 期 24時間

目 的 論理回路の同時性確認

操作と検査基準 表VIII-4参照

(2)-3 2/3出力テスト（0.6秒・非同時性）

周 期 24時間

目 的 論理回路の非同時性確認

操作と検査基準 表VIII-4参照

(2)-4 臨界テスト

周 期 3ヶ月

目 的 AUXユニット以降の作動確認ただし現場の回転灯、スピーカは不含。

操作と検査基準 表VIII-4参照

(3) 定期自主検査

定期自主検査は、少なくとも1年に1回は行われるものとし、計画的に系を一定時間非稼動状態とし、系の健全性を確認すると共に、予防保全も兼ねて行われる検査である。

その手順と判定基準の詳細は取扱説明書に記載されているので、ここではその項目のみをあげる。

(3)-1 γ 線検出器 (RD120形)

- ① 電源電圧点検
- ② 高圧電源出力電圧点検
- ③ 前置増幅器の点検
- ④ トリップ回路の点検
- ⑤ γ 線照射試験検査

(3)-2 論理回路 (RU724形)

- ① 電源電圧点検
- ② タイマ用クロック周波数点検
- ③ 2 アウトオブ 3 動作点検
- ④ リセット動作点検
- ⑤ ランプテスト

(3)-3 テスト回路 (RU725形)

- ① 電源電圧点検
- ② タイマ用クロック周波数点検
- ③ 点検モード動作確認
- ④ 2/3 出力テスト動作確認
- ⑤ リセット動作点検
- ⑥ PFD (電源電圧異常検出部) 設定電圧点検
- ⑦ ランプテスト

(3)-4 低圧電源 (RU726形, RU727形)

- ① 出力電圧点検
- ② 短絡電流点検
- ③ 短絡保護動作点検

(3)-5 AUX ユニット

- ① 電源電圧点検
- ② 現場スピーカ吹鳴確認
- ③ 現場回転灯動作確認
- ④ ランプテスト

(3)-6 警報発生ユニット

- ① 電源電圧点検
- ② 臨界テスト動作確認

③ リセット動作点検

④ ランプテスト

(3)-7 警報音発生装置

① 電源電圧点検

② 発振器出力点検

③ アンプ出力点検

④ インピーダンス点検

⑤ PFD設定電圧点検

⑥ ランプテスト

(4) 使用前検査・定期検査

使用前検査、定期検査は施設運転開始前に官庁検査官立会の基に行われる検査で、その前段階にて必ず自主検査が行われることを前提とする。

① 検出器（プローブ）テスト

② 2/3出力テスト（0.4秒・同時性）

③ 2/3出力テスト（0.6秒・非同時性）

④ 臨界テスト

⑤ 現場スピーカ吹鳴確認

⑥ 現場回転灯動作確認

以上の操作、判定基準等は前述の内容と同様とする。

表Ⅳ-4 点検操作時確認項目

項目 確認 項目 点検 種別	検査基準										備考	
	2/3論理回路	テスト回路	AUXユニット	警報発生ユニット			警報音発生装置		回転灯	スピーカ	点検中の臨界監視	操作
各検出器動作表示	臨界ランプ	ブザー	バイパス表示ランプ	遅延リレー動作表示	臨界ランプ	臨界ブザー	リレー動作表示	スピーカ				
検出器テスト (S ₁ , S ₂ , S ₃)	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	警報発生ユニット 臨界ランプ 臨界ブザー	①監視／点検キースイッチ：点検 ②単独動作スイッチ：オン
0.4 sec テスト (S ₁ , S ₂)	○	○	○ 注3)	○	×	×	×	×	×	×	同上	①同上 ②2/3回路選択：対応スイッチオン
0.6 sec テスト (S ₁ -S ₂)	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	同上	①同上 ②2/3回路選択：対応スイッチオン
臨界 テスト	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	2/3論理回路 臨界ランプ	①同上 ②AUXユニット： キースイッチオン
現場 テスト 回転灯	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	警報発生ユニット 臨界ランプ 臨界ブザー	①AUXユニット： 現場スイッチオン ②スピーカテスト：キースイッチオン
現場 テスト スピーカ	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	同上	①同上 ②回転灯テスト： キースイッチオン

○印…… 動作する

×印…… 動作しない

注1) 警報発生ユニットの2/3論理回路動作ランプ点灯

注2) 故障ブザーは鳴る

注3) 約0.4 sec鳴る

IX 試験結果

1. γ 線検出器単体試験

(1) 高圧出力範囲

検出器に内蔵されている高電圧出力回路の出力範囲特性を調査するため、検出器入力DC電圧を定格 (+24V) に対し士2V変化させて試験した結果を表IX-1に示す。

表IX-1 高圧出力範囲

検出器 入力 DC(V)	高圧出力(V)				規格
	検出器No.1	検出器No.2	検出器No.3		
+26	-819	-810	-794.4	-850以上	
+24	-1104	-1095	-1089.2	-1050以下	

以上の結果

入力+26V時HV出力-850V以上に対し、3本の検出器にて

-819~-794V

入力+24V時HV出力-1050V以下に対し、3本の検出器にて

-1089~-1104V

といずれも規格を満し、DC入力電圧が変化しても充分な高圧可変範囲があることが分った。

(2) リップル測定 (HV)

高電圧出力回路の負荷特性のうち、無負荷及び全負荷 (PMTの無、有) 時のリップル電圧を測定した。この結果リップル規格 50mVp-p 以下に対し、3台の検出器にて

$20 \sim 32\text{mVp-p}$

が得られ全て規格を満していた。

リップル測定時の出力波形を写真1～2に示す。尚高圧印加電圧は全て -950V である。

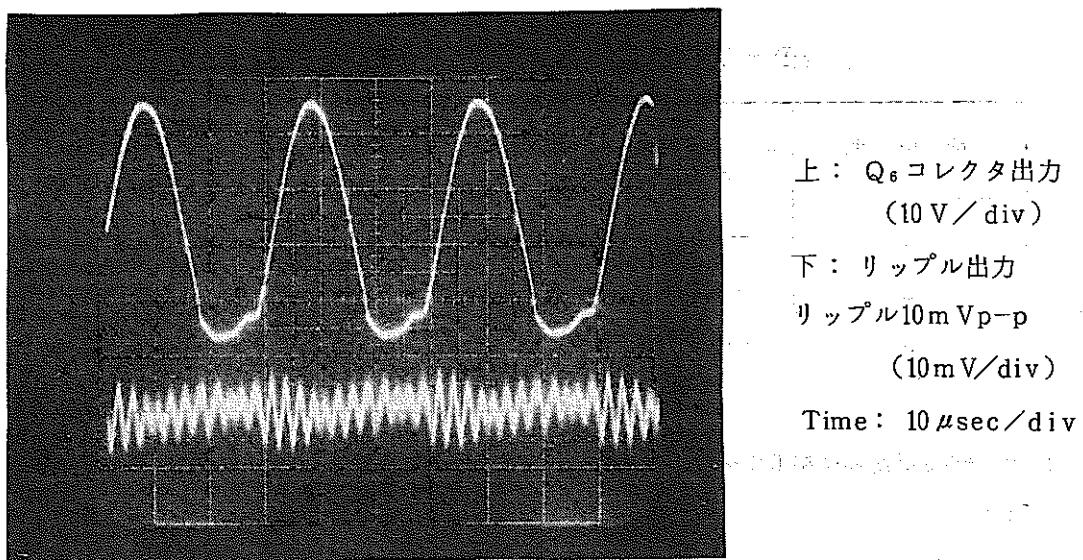


写真1 無負荷 (PMT無) 時の発振出力波形及び高圧リップル波形

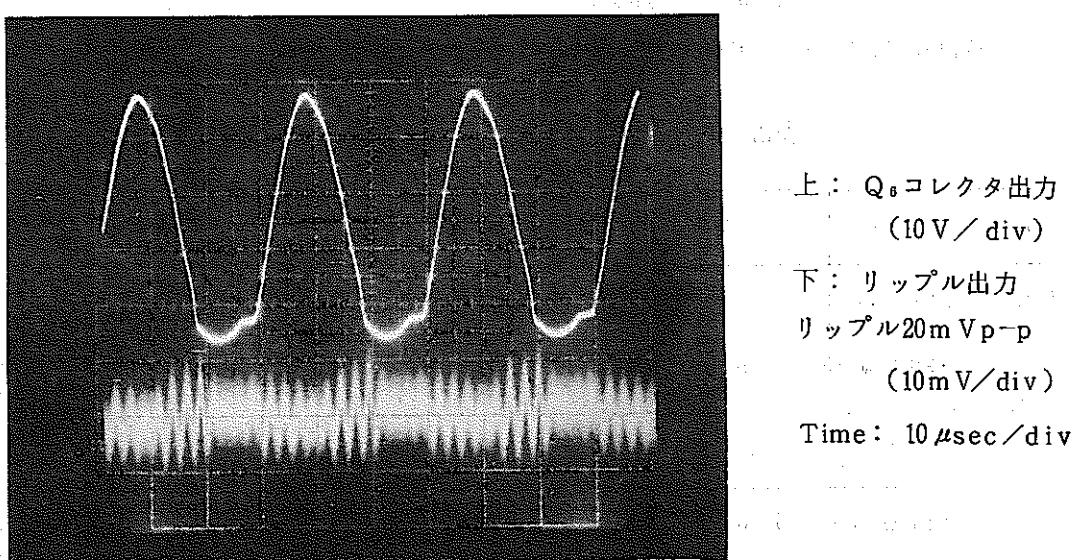


写真2 全負荷 (PMT有り) 時の発振出力波形及び高圧リップル波形

(3) 負荷変動に対する高圧出力変動

1-(2)と同じ条件にて高圧出力の負荷変動を調査した。

負荷変動は次式により求めた。

$$\text{負荷変動} = \frac{\text{無負荷時の高圧} - \text{全負荷時の高圧}}{\text{無負荷時の高圧}} \times 100\%$$

結果を表IX-2に示す。

表IX-2 高圧出力回路負荷変動特性

検出器	出力電圧		負荷変動(%)
	無負荷(V)	全負荷(V)	
1	-950.68	-950.65	0.003
2	-949.86	-949.83	0.003
3	-950.34	-950.34	0.001以下

以上の結果変動幅規格 0.2%以下に対し、3台の検出器にて 0.001~0.003 %となり全て規格を満した。

(4) 直流増幅器入出力直線性

PMT出力電流変化を外部へ取り出すための直流増幅器について出力（アナログ出力）の直線性を調査した。この結果直線性規格士 0.1 Vに対し、3本の検出器にて

-0.007~-0.02 V

となり規格を満していた。表IX-3には直線性の測定結果を示す。

表IX-3 直流増幅器入出力直線性

入力電流(μA)	0	5	10	15	20	出力偏差
出力電圧規格(V)	1	2	3	4	5	±0.1 V以内
直流増幅器出力電圧(V)	検出器No.1	1.00	1.99	2.98	3.98	4.98
	検出器No.2	1.00	1.99	2.99	3.99	4.99
	検出器No.3	1.0007	1.9930	2.9932	3.9965	5.0010

(5) 高圧出力電圧低下及びブリーダ抵抗断線検出

1) 電圧低下検出

規格、使用電圧の低下20V以内に対し、3本の検出器にて

19~20V

トリマー設定上は、ヒステリシス約5Vを考慮すれば、6V以上で設定可能である。

2) ブリーダ抵抗断線検出

規格使用電圧の50%相当の低下以内に対し、3本の検出器にて

34%~39%

となり、いずれも規格を満していた。

表IX-4には、各異常検出回路のトリップ動作電圧を示す。

表IX-4 高圧出力回路トリップ電圧測定結果

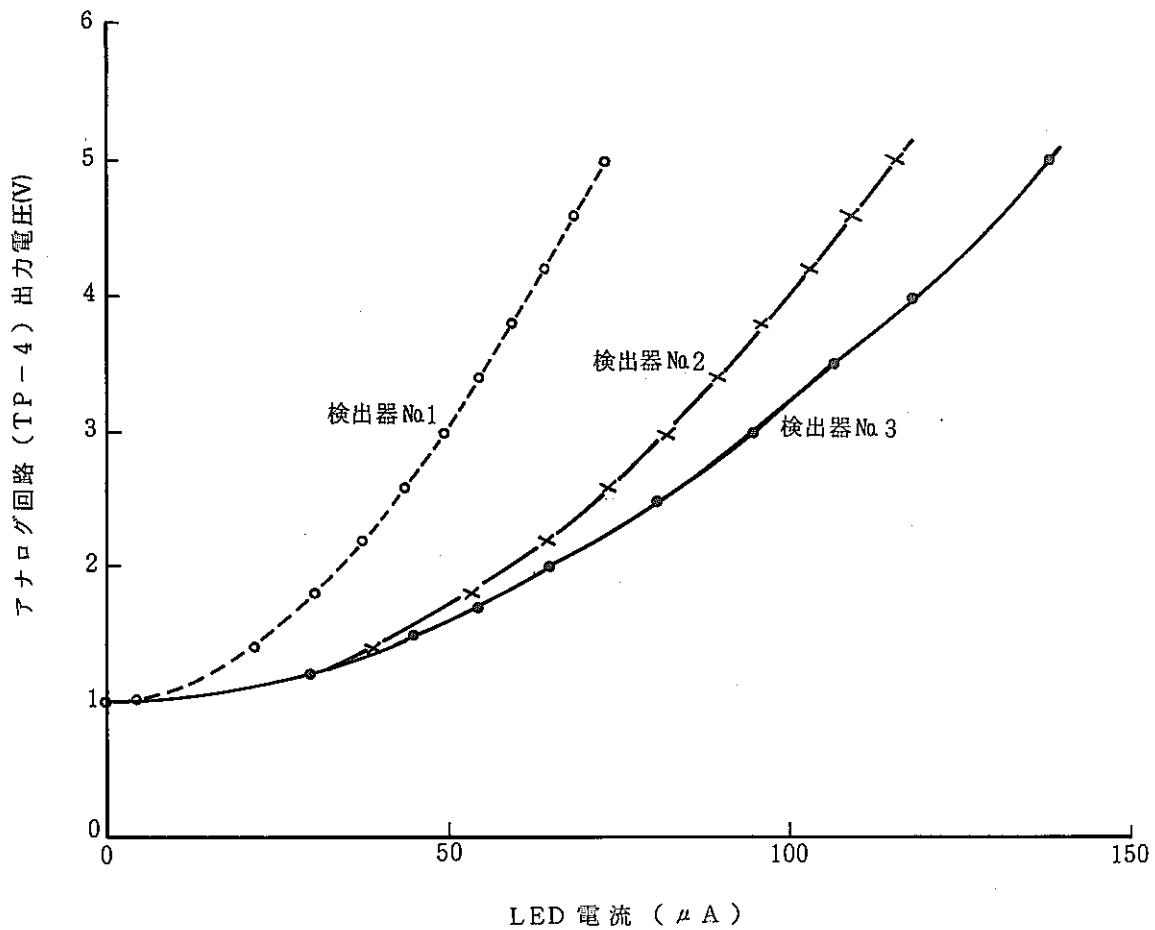
検出器		トリップ動作電圧(V)	
No.	使用電圧(V)	高電圧低下検出	ブリーダ断線検出
1	-953	-934	-619 (35%)
2	-958	-938	-631 (34%)
3	-950	-930.02	-582.06 (39%)

(6) チェック用LED特性

チェック用LEDの発光特性を調査するため、LEDに流す電流に対するアナログ出力の測定を行った。

アナログ出力を5Vとする為のLED電流は3本の検出器にて74~139μAのバラツキがあった。

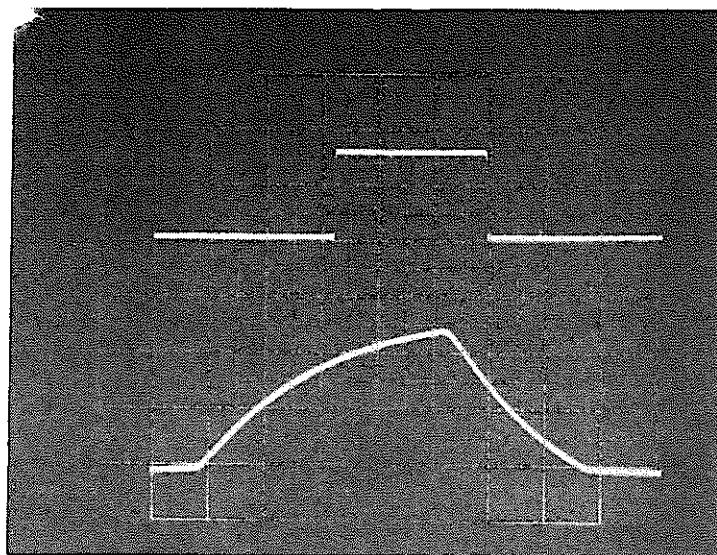
これは、LED自身の発光効率のバラツキが原因と考えられる。回路上のLED電流可変用のトリマーは、150μA迄可能であり、このバラツキを十分カバーすることは可能である。LED電流-アナログ回路出力電圧特性を図IX-1に示す。



図IX-1 チェック用 LED の電流一出力電圧特性

(7) アナログ及びトリップ応答特性

アノード電流の入力回路へ $20 \mu\text{A}$ の電流パルスを 2.6 msec 入力した時におけるトリップ及びアナログ出力の波形を写真 3 に示す。



上：トリップ出力
 10 V/div
 下：アナログ出力
 10 V/div
 0.5 msec/div

写真 3 トリップ及びアナログの出力波形
 ($20 \mu\text{A}$. 2.6 msec 入力時)

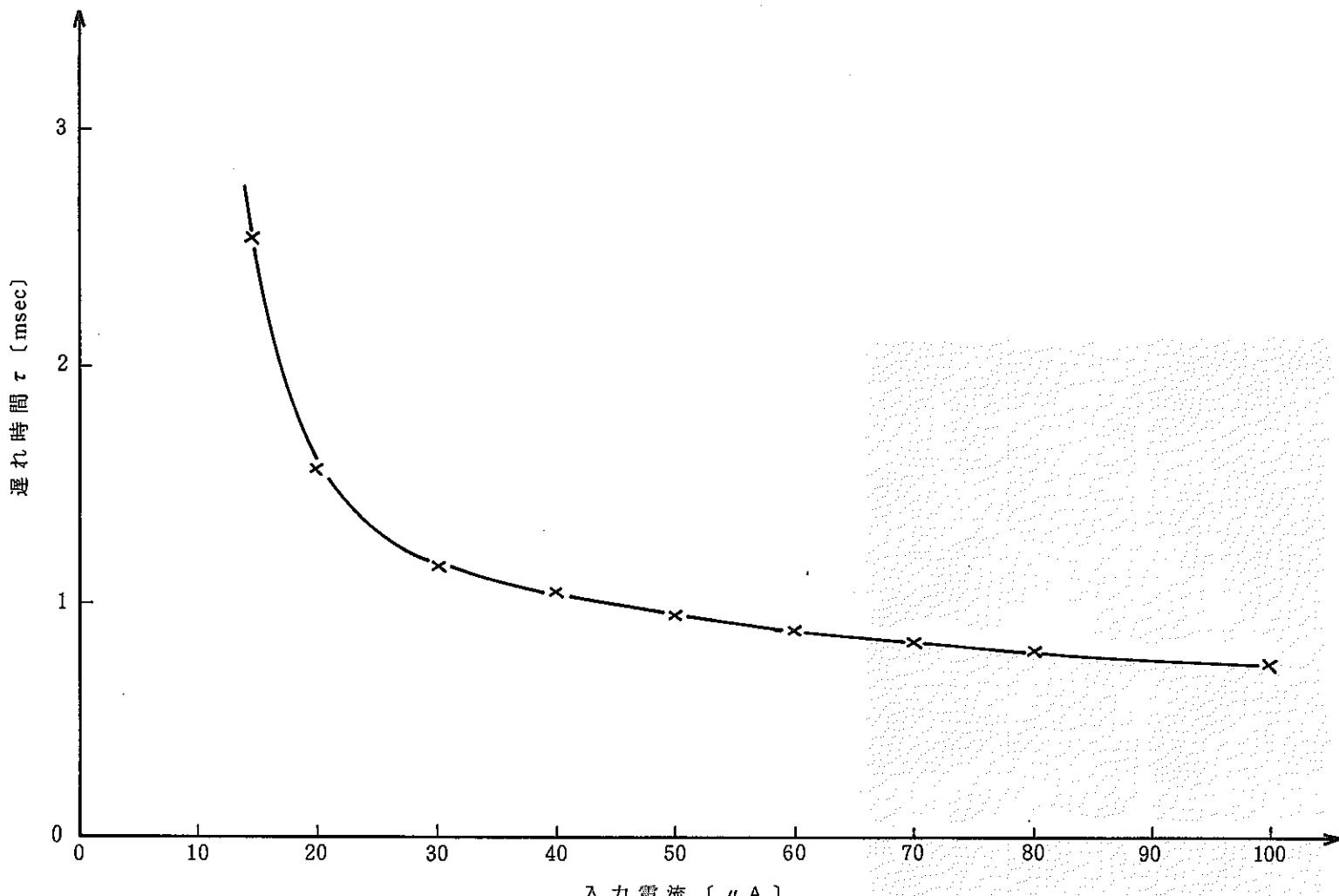
写真 3 からアナログ出力は入力から 0.4 msec 遅れて、トリップ出力は 1.6 msec 遅れて応答していることが判る。トリップ出力の幅は、 1.4 msec 。

また、アナログ出力波形からトリップ回路入力段の時定数は約 1.0 msec であることが判る。

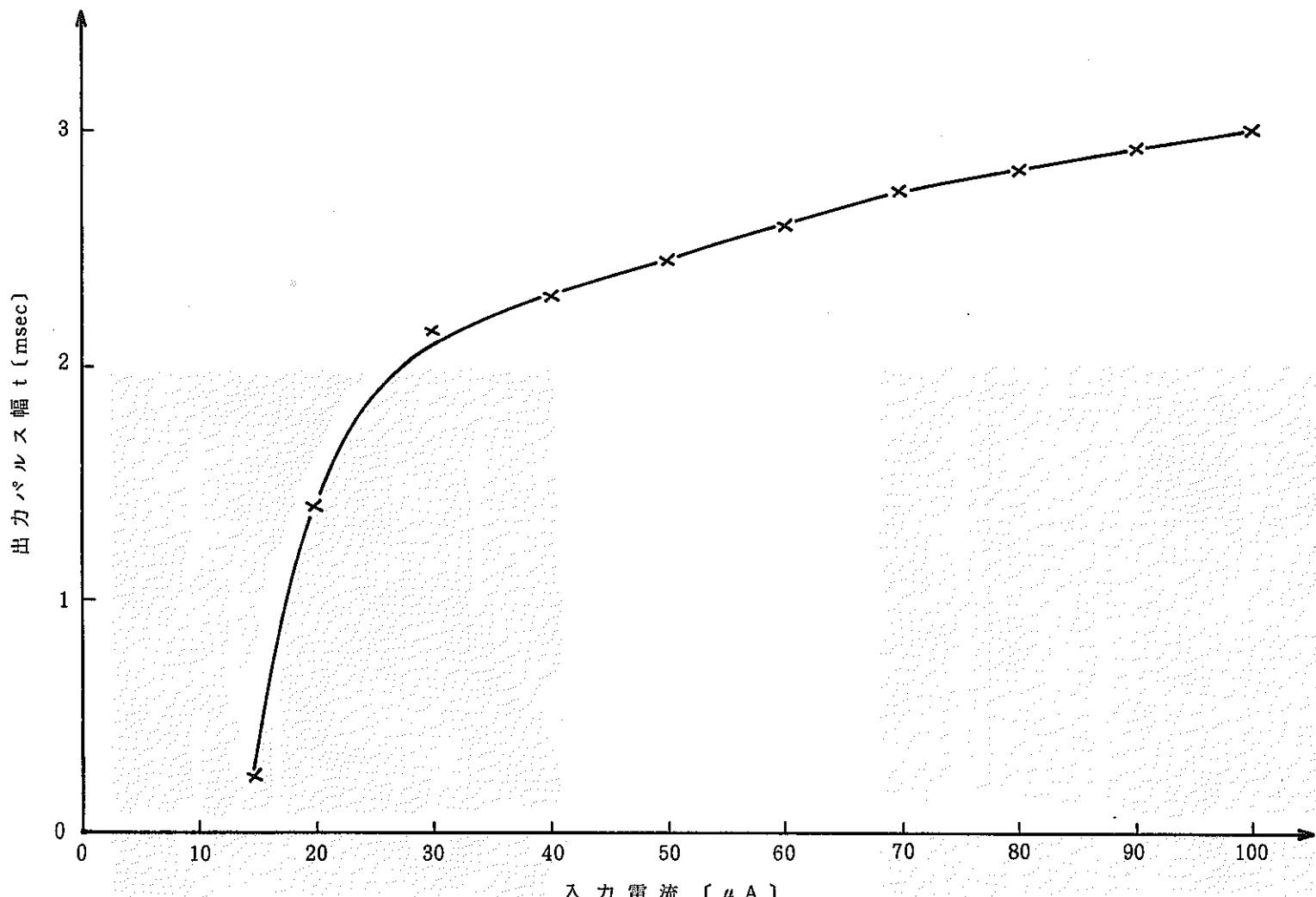
次に、入力パルスの電流が変化した時におけるトリップ出力の遅れ時間及び幅の変化すなわちトリップ応答特性の測定結果を表 5 及び図 2, 3 に示す。また、同時に得られた入力とトリップ出力の波形を写真 4, 5 に示す。

表IX-5 入力パルス電流に対するトリップ出力の遅れ時間(τ)及びパルス幅(t)

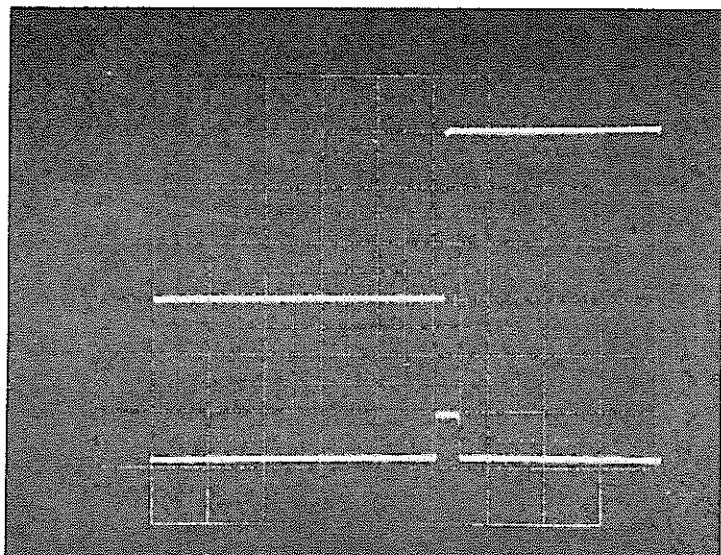
パルス電圧(V)	パルス電流 (μA)	τ (msec)	t (msec)
3.1	14.8	2.55	0.2
4.2	20	1.57	1.4
6.4	30	1.15	2.15
8.4	40	1.05	2.3
10.5	50	0.95	2.45
12.6	60	0.88	2.6
14.7	70	0.83	2.75
16.8	80	0.80	2.83
18.9	90	0.76	2.93
21.0	100	0.74	3.0



図IX-2 入力電流一トリップ出力時間遅れ特性

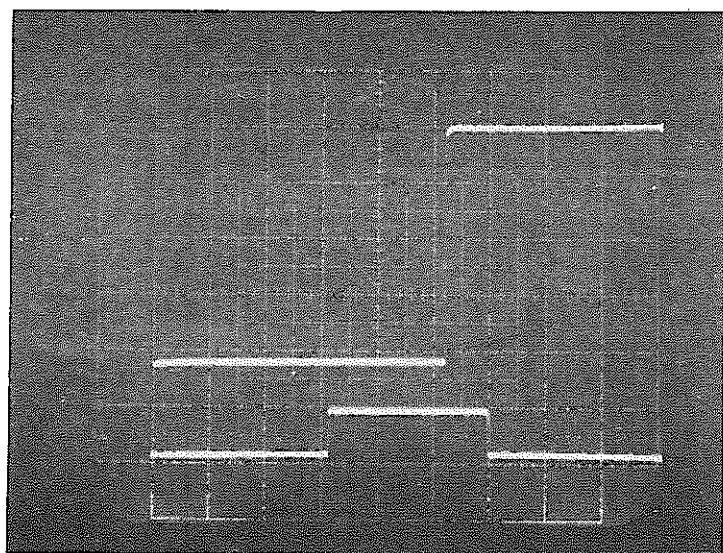


図IX-3 入力電流一トリップ出力パルス幅特性



上：入力
1 V/div
14.8 μ A相当
下：トリップ出力
20 V/div
0.5 msec/div

写真4 トリップ応答出力（14.8 μ A入力時）



上：入力
1 V/div
20 μ A相当
下：トリップ出力
20 V/div
0.5 msec/div

写真5 トリップ応答出力（20 μ A入力時）

トリップ回路を動作させるために必要な入力パルスの時間幅と入力電流値の関係を表IX-6, IX-7 及び図IX-4, IX-5に示す。

表IX-6 トリップ開始点の入力パルス幅, 波高特性(検出器No.1,

時定数1msec, 警報設定値 $200\text{mR}/\text{hr} \div 8.0\mu\text{A}$)

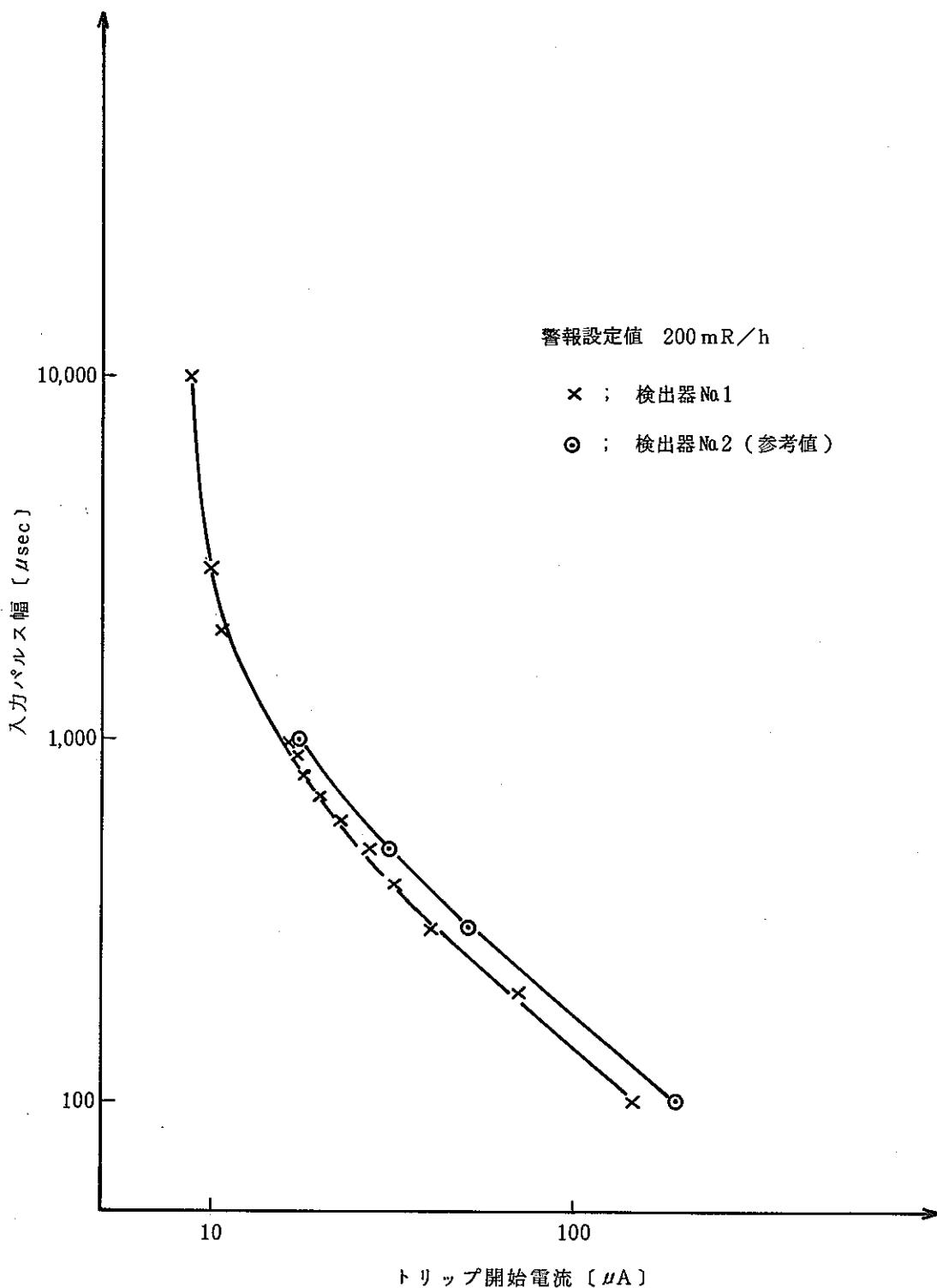
パルス幅 μsec	パルス波高 V	入力電流 μA	おくれ μsec	半値幅 μsec
50	—	—	—	—
100	31	148	320	240
200	15	71.4	400	170
300	8.4	4.0	475	135
400	6.8	3.24	550	165
500	5.8	2.76	625	190
600	4.8	2.3	710	180
700	4.2	2.0	810	165
800	3.8	1.8	900	168
900	3.7	1.76	950	250
1000	3.5	1.67	1020	252
2000	2.25	1.07	2000	220
3000	2.1	1.0	2500	730
10000	1.84	0.88	3800	6700

以上の結果100 μsec 程度の短い放射線出力パルスに対してもその線量率が警報設定値の約20倍程度あれば確実にトリップ出力の得られることがわかった。写真6には100 μsec のパルス入力に対する応答を示す。

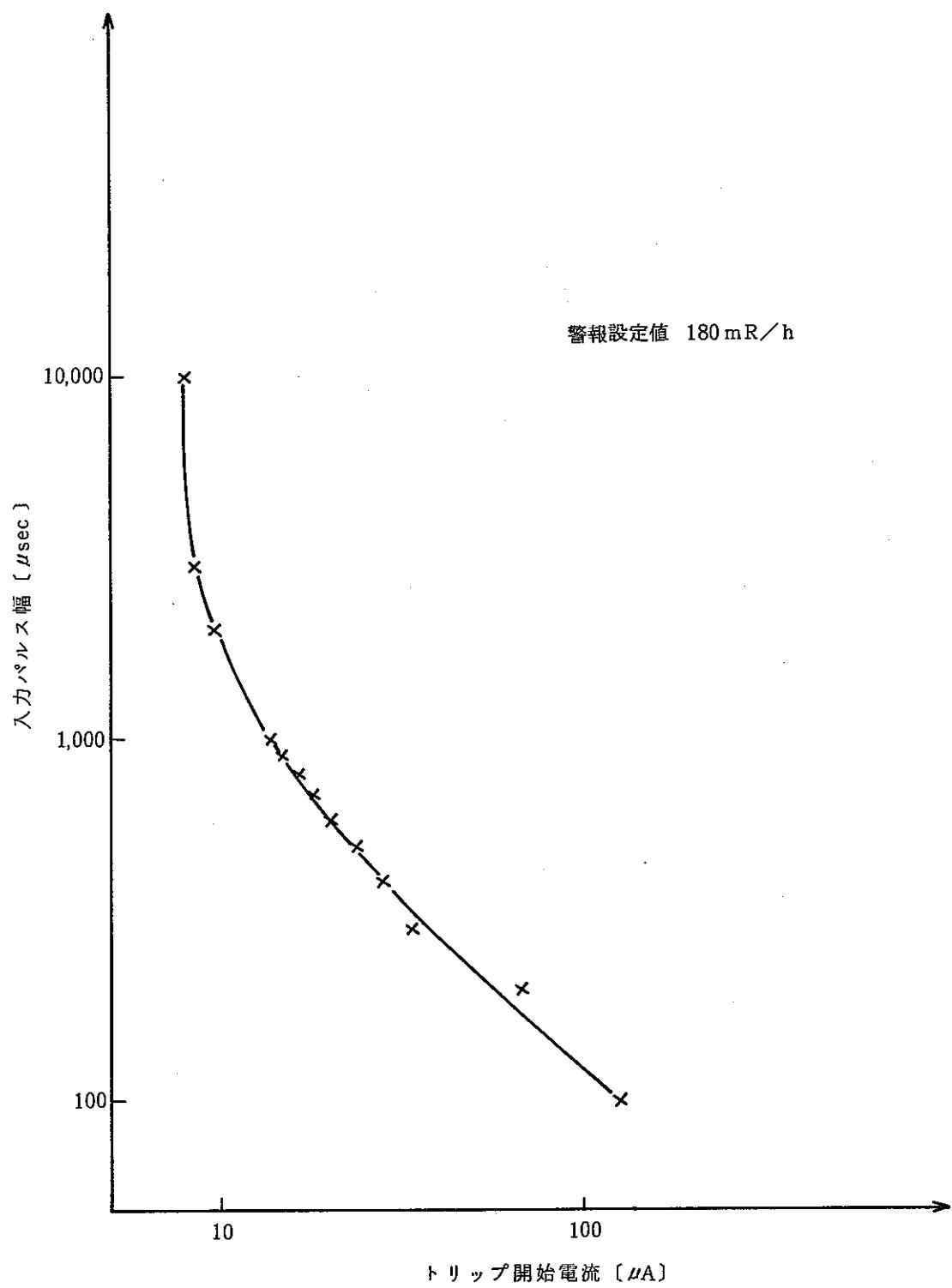
表IX-7 トリップ開始点の入力パルス幅, 波高特性(検出器No.1,

時定数1msec, 警報設定値 $180\text{mR}/\text{hr} \div 7.2\mu\text{A}$)

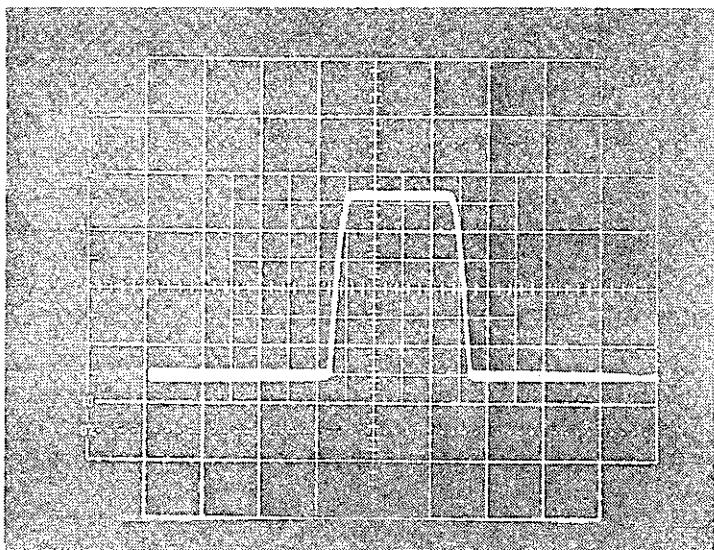
パルス幅 μsec	パルス波高 V	入力電流 μA	おくれ μsec	半値幅 μsec
50	—	—	—	—
100	2.65	12.6	330	165
200	1.45	6.9	370	270
300	0.72	3.4	480	145
400	0.60	2.86	560	155
500	0.50	2.4	630	180
600	0.43	2.05	710	180
700	0.38	1.81	800	185
800	0.35	1.67	870	220
900	0.32	1.5	980	190
1000	0.30	1.43	1050	210
2000	0.205	0.98	1900	320
3000	0.18	0.86	2400	800
10000	0.17	0.81	5000	5000



図IX-4 パルス電流応答特性



図IX-5 パルス電流応答特性



入力パルス幅 100 μ sec
入力パルス電圧 31 V
5 V / div
100 μ sec / div
トリップ出力

写真 6 トリップ応答出力

(8) γ 線照射特性1) ① γ 線照射直線性

γ 線の照射線量率に対するアナログ出力の直線性測定結果を表IX-8及び図IX-6にそれぞれ示す。この結果直線性 $\pm 5\%$ (F, S) の規格に対し、3本の検出器にて、
— 1.2 ~ — 1.4 % となった。

② HV印加電圧対 γ 線感度

印加電圧 900~950 Vにおける感度変化量を求めた。3本の検出器にて 950 V時のアナログ出力を 100 % とし、900 V時のアナログ出力低下量を % で求め HV 1 V 当りに換算すると

0.38 ~ 0.42 % / HV となった。

結果を表IX-9及び図IX-7に示す。

表IX-8 直線性(検出器 No.3)

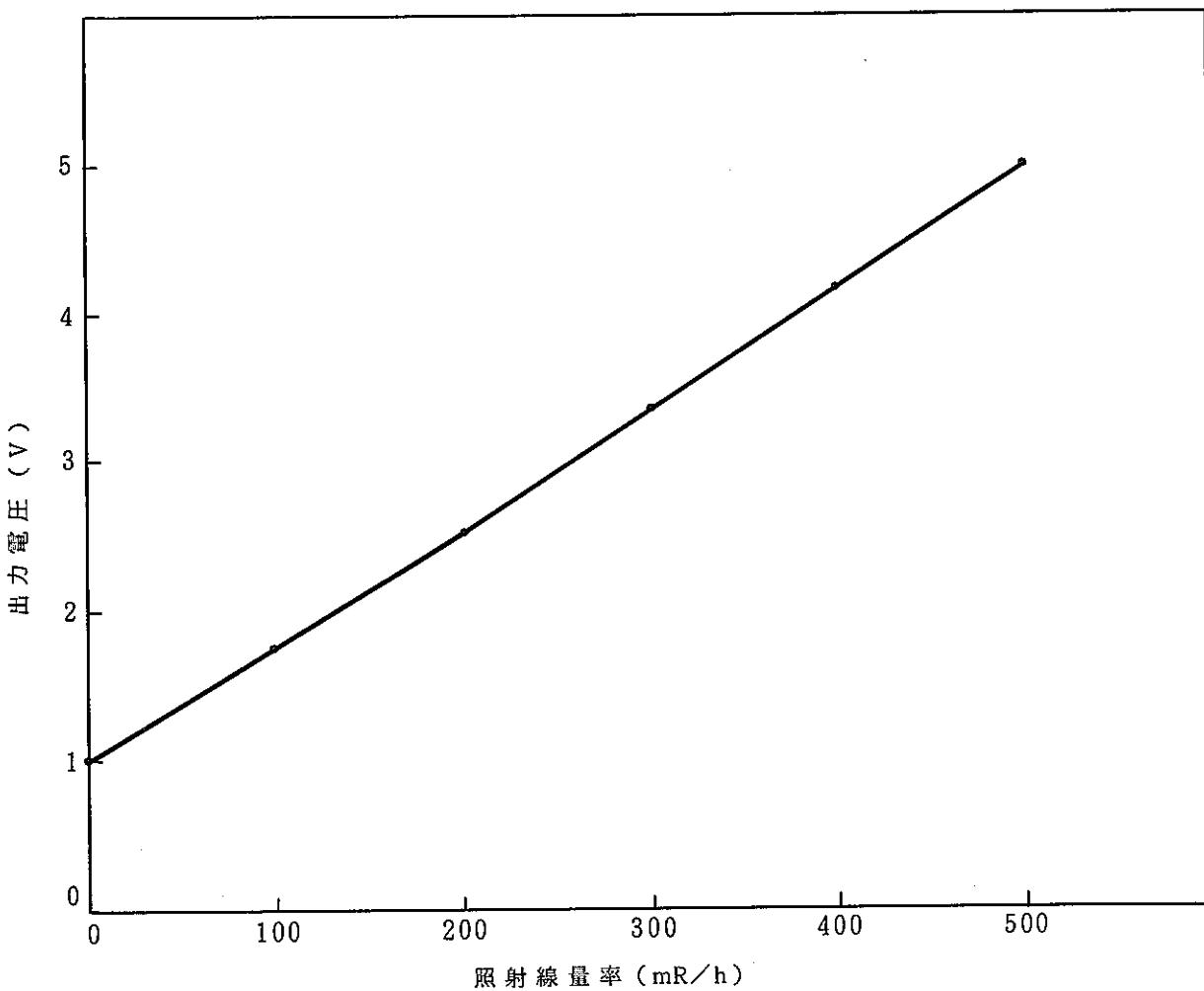
照射線量 (mR/h)	出力電圧(V)	出力偏差(V)
0	0.99	-0.01
100	1.74	-0.06
200	2.53	-0.07
300	3.33	-0.07
400	4.15	-0.05
500	5.00	0

規 格 $\pm 5\%$ / フルスケール
測定値 直線性 — 1.4 % / フルスケール

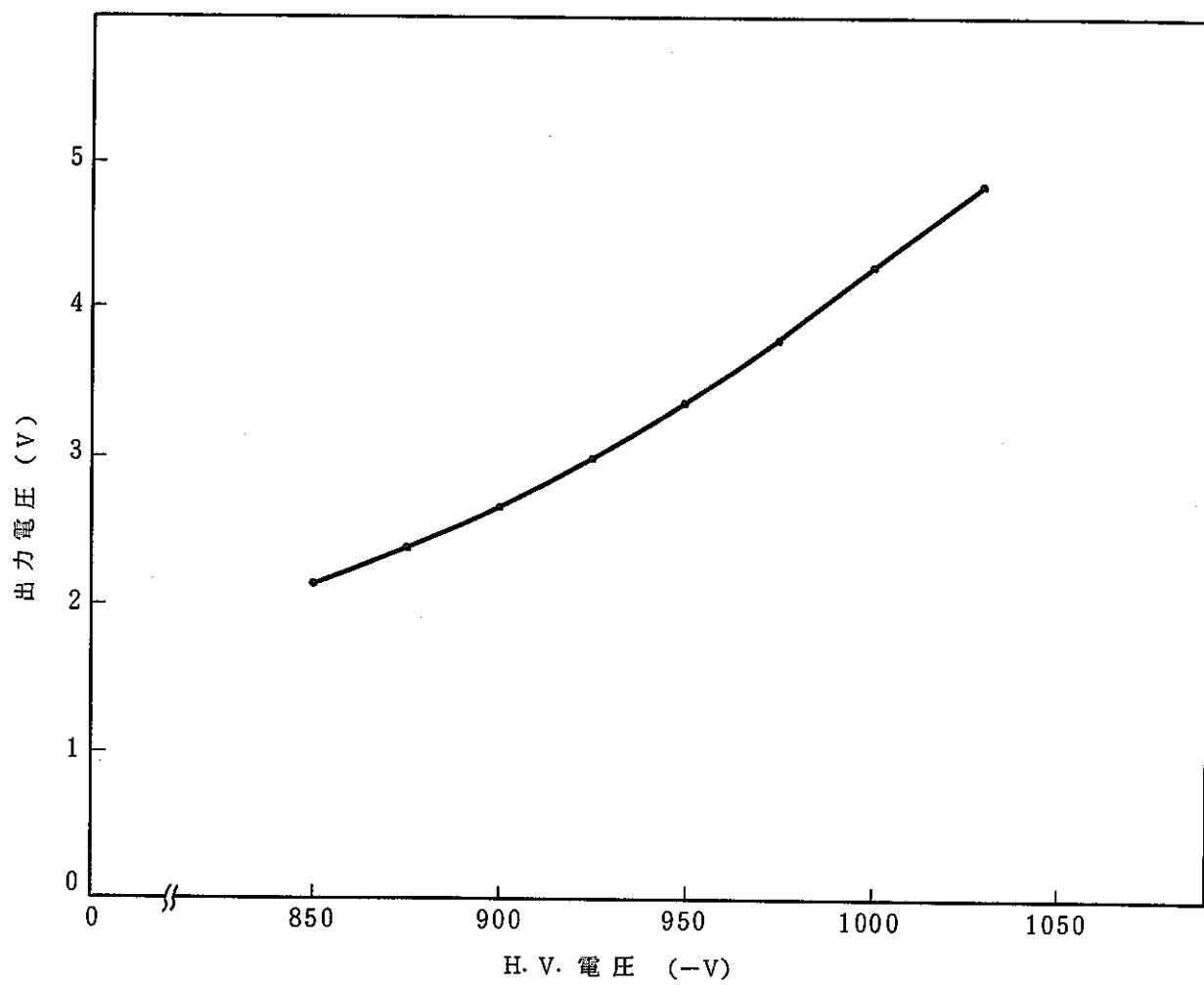
表IX-9 HV印加電圧対 γ 線感度(検出器No.3)
(H.V.=—920V, 250mR/h)

H V 電圧(V)	出力電圧(V)
850	2.13
875	2.37
900	2.65
925	2.97
950	3.35
975	3.79
1000	4.29
1025	4.85
1050	5 以上
感 度	0.42% / HV(V)

$$\text{感度} = \frac{\frac{A_{950} - A_{900}}{A_{950}}}{50\text{V}} \times 100\%$$



図IX-6 線量 - アナログ出力特性(検出器No.3)



図IX-7 HV印加電圧 - アナログ出力特性(検出器No.3)

2) 照射線量率／トリップ回数測定

照射線量率に対するトリップ回数の特性を図IX-8に示す。

図IX-8から各トリップ点レベルを中心にトリップ回数が分布していることが分る。トリップ設置点を超えた照射線量率から回数が落ちているのは、トリップ回数が多くなり、次の入力と重複する為である。トリップの頻度としては増加し、やがて連続トリップ状態となる事を示している。実際の検出器として使用する時定数は、1 msecであるが、22 μsec、10 msecについても、比較のため参考として測定した。

3本の検出器について、時定数1 msecにおけるトリップ開始点を0.1回/secとして比較すると

検出器 No. 1. 172 mR/h

検出器 No. 2. 175 mR/h

検出器 No. 3. 183 mR/h

以上となる。この値がトリップ設定点のマイナス何%になるかを求める。

検出器 No. 1. -12.2 %

検出器 No. 2. -11.6 %

検出器 No. 3. - 8.5 %

となり、時定数1 msecに対するγ線統計変動による10 secに1回のトリップは、設定点のマイナス12%附近となる。

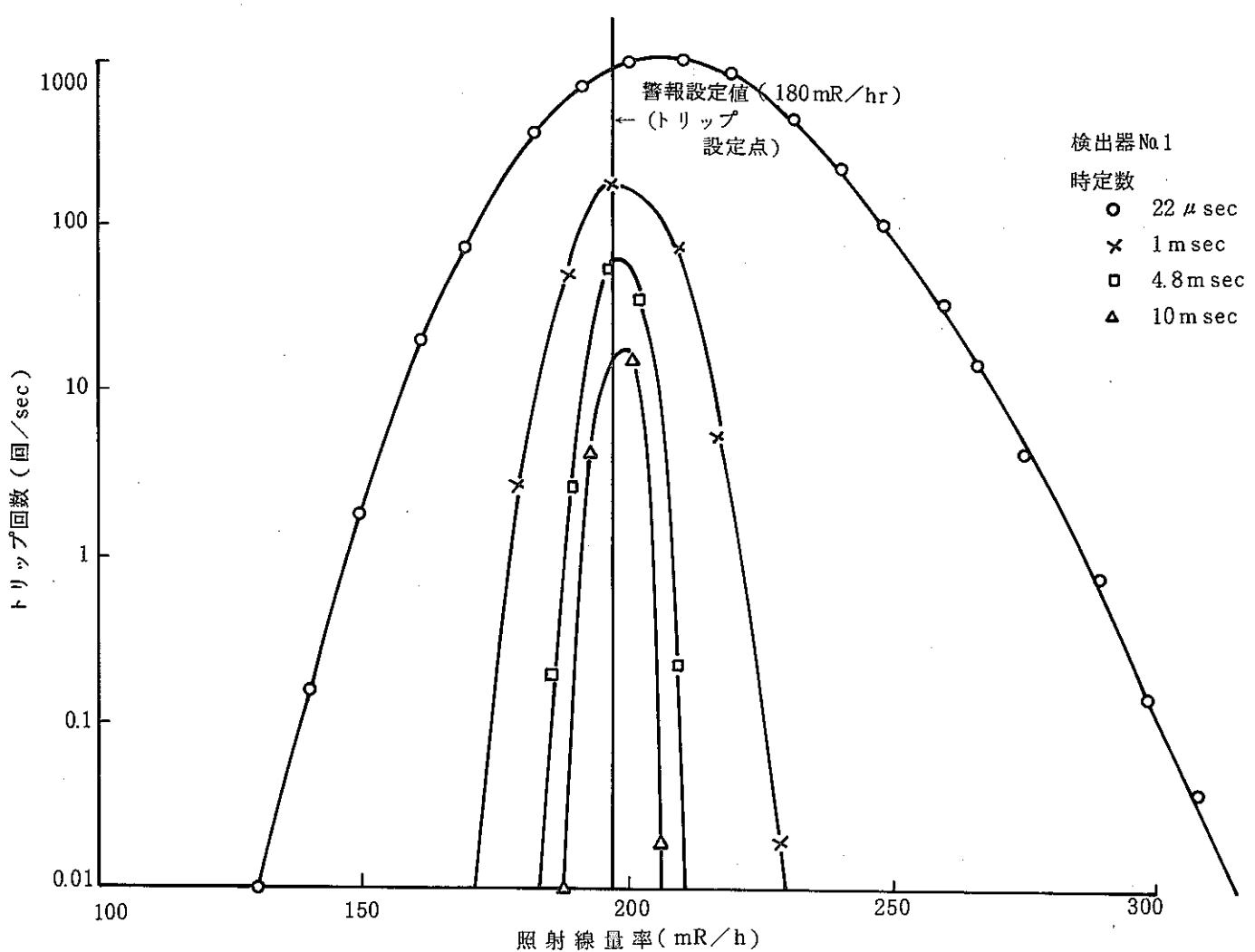
3) 照射線量率過負荷特性

① 代表例として、検出器No.3の照射線量率／アノード電流特性グラフを図IX-9に示す。

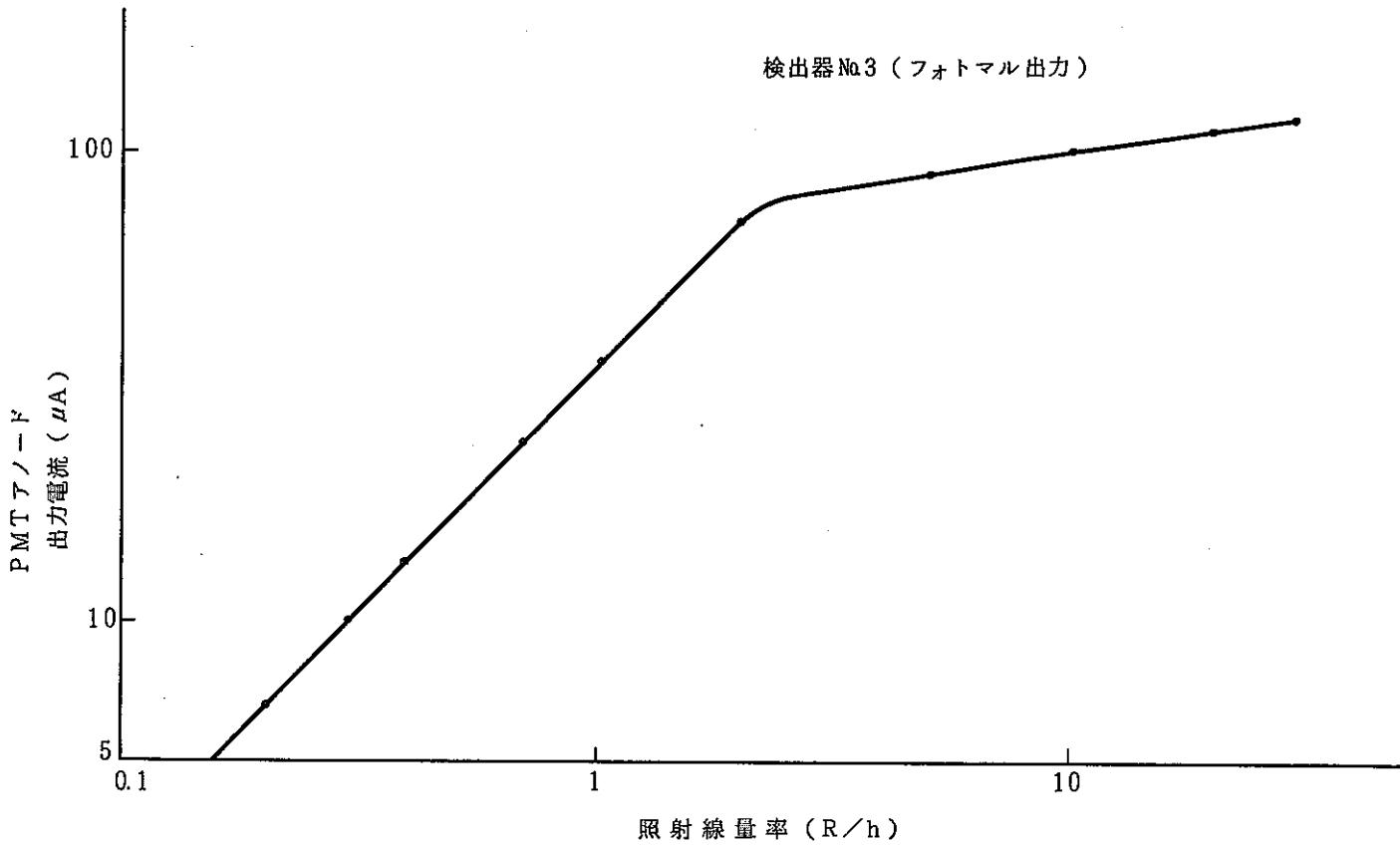
3本の検出器共に2 R/h附近で飽和特性となる。これは過大線量入力に対するPMTの自己保護効果となり、良い傾向となっている。

② アナログ出力過負荷特性

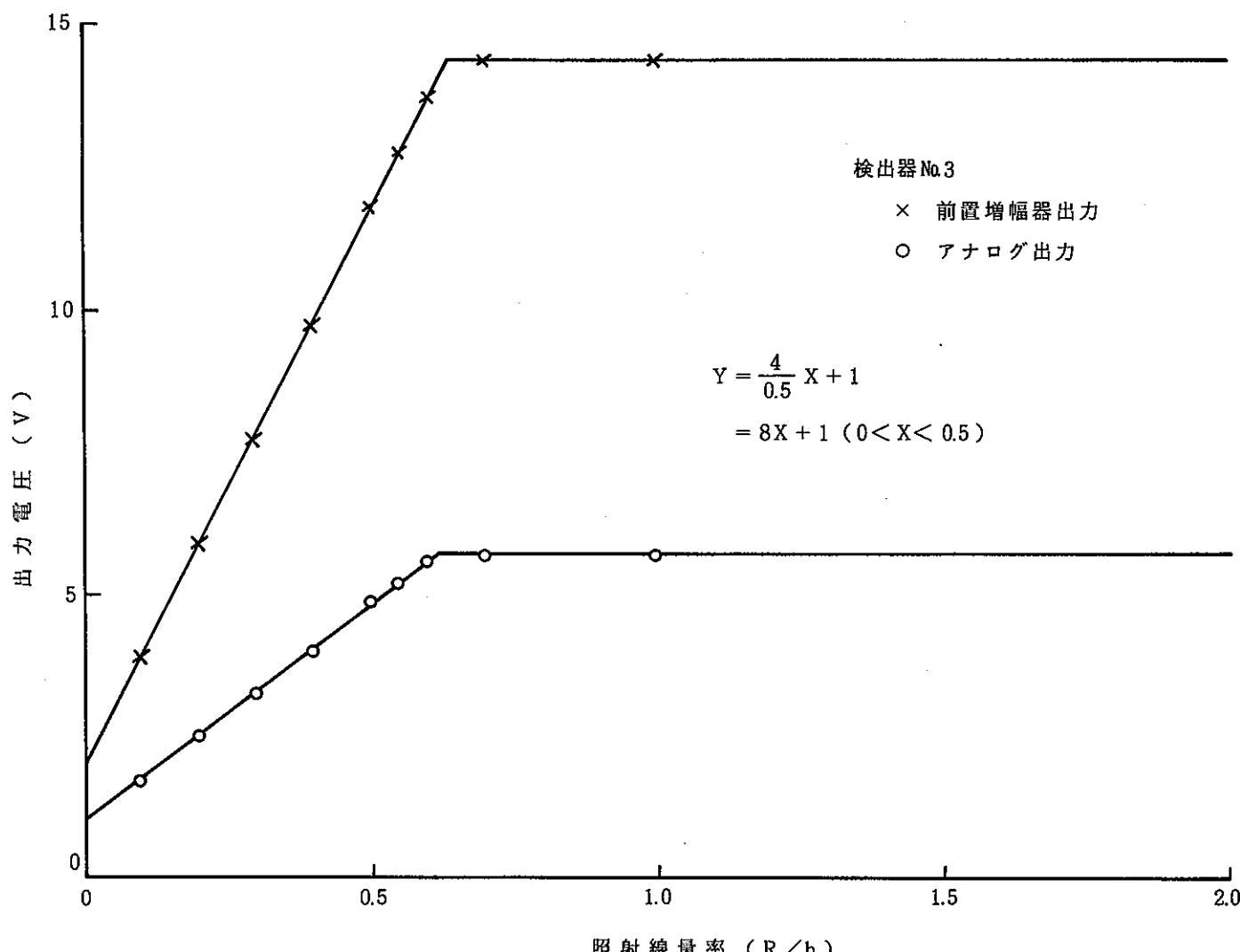
0.1~30 R/hまでの測定を実施したが、3本の検出器共に0.6 R/h(600mR/h)にて完全に飽和状態となり、30 R/hまで一定である。この値は、回路設計の思想と一致している。又逆にフルスケール500mR/hに対し600mR/hまで、即ちF.Sの20%上までの直線性を有している事になる。代表例として、検出器No.3の特性グラフを図IX-10に示す。



図IX-8 照射線量率に対するトリップ回数の変化



図IX-9 照射線量率過負荷特性



図IX-10 アナログ出力過負荷特性

(9) 温度特性

温度テストは、規格 0°C～50°Cに対し、10%のマージンを見込む -5°C～55°Cまで実施した。

1) アナログ出力特性 (^{137}Cs 使用)

温度変化直後と温度平衡後で変化量に相違が有り、ピーク変化量 ± 4.4% フルスケール / 55°Cを平衡後（約 1 h）で変化量を見ると ± 0.75% フルスケール / -5°C～55°Cである。

実際の屋内設置において -5°C～55°Cを15分程度で気温変化することは無く、1時間以上の長い時間となり、実用上は、平衡後の値と考えてさしつかえ無い。尚3本の検出器にてピークの変化量で ± 3.0～6.5% フルスケール / -5°C～55°Cに入っており、規格上の ± 10%は満足している。代表例として検出器 No.3 のデータを表IX-10及び図IX-11に示す。またアナログ出力の経時変化を図IX-12に示す。

2) HV 出力特性

3本の検出器にて ± 0.08～0.44% / -5°C～55°Cとなる。代表例として検出器 No.3 のデータを表IX-10及び図IX-13に示す。

尚、各変化量は次式により求めた

アナログ出力変化量

$$\text{変化量} = \frac{25^\circ\text{C} \text{の値の平均値} - \text{各温度の値}}{5 \text{ V}} \times 100 \quad (\% \text{ フルスケール} / -5 \sim 55^\circ\text{C})$$

HV 出力変化量

$$\text{変化量} = \frac{25^\circ\text{C} \text{の値の平均値} - \text{各温度の値}}{25^\circ\text{C} \text{の値の平均値}} \times 100 \quad (\% / -5 \sim 55^\circ\text{C})$$

表IX-10 アナログ出力特性, HV出力特性(検出器No.3)

使用線源 ^{137}Cs

温 度	経 過 時 間 (分)	ア ナ ロ グ 出 力 (V)	H. V. 出 力 (V)
$+25^{\circ}\text{C}$	0	3.03	-889.70
	30	3.03	-889.78
	60	3.03	-889.91
	90	3.02	-889.93
	120	3.02	-889.94
-5°C	0	2.87	-885.93
	30	2.93	-886.35
	60	2.96	-886.22
	90	2.96	-886.34
	120	2.96	-886.39
$+55^{\circ}\text{C}$	0	3.21	-893.60
	30	3.07	-893.35
	60	3.00	-893.29
	90	2.96	-893.24
	120	2.98	-893.27
$+25^{\circ}\text{C}$	0	2.86	-889.52
	30	2.92	-889.87
	60	2.99	-889.94
	90	2.98	-889.92
	120	2.99	-889.96
$+25^{\circ}\text{C}$ の 平 均 值		2.987	-889.847

アナログ出力温度特性変化量

結 果

ピーク変化

 $\pm 4.4\%$ フルスケール / $-5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$

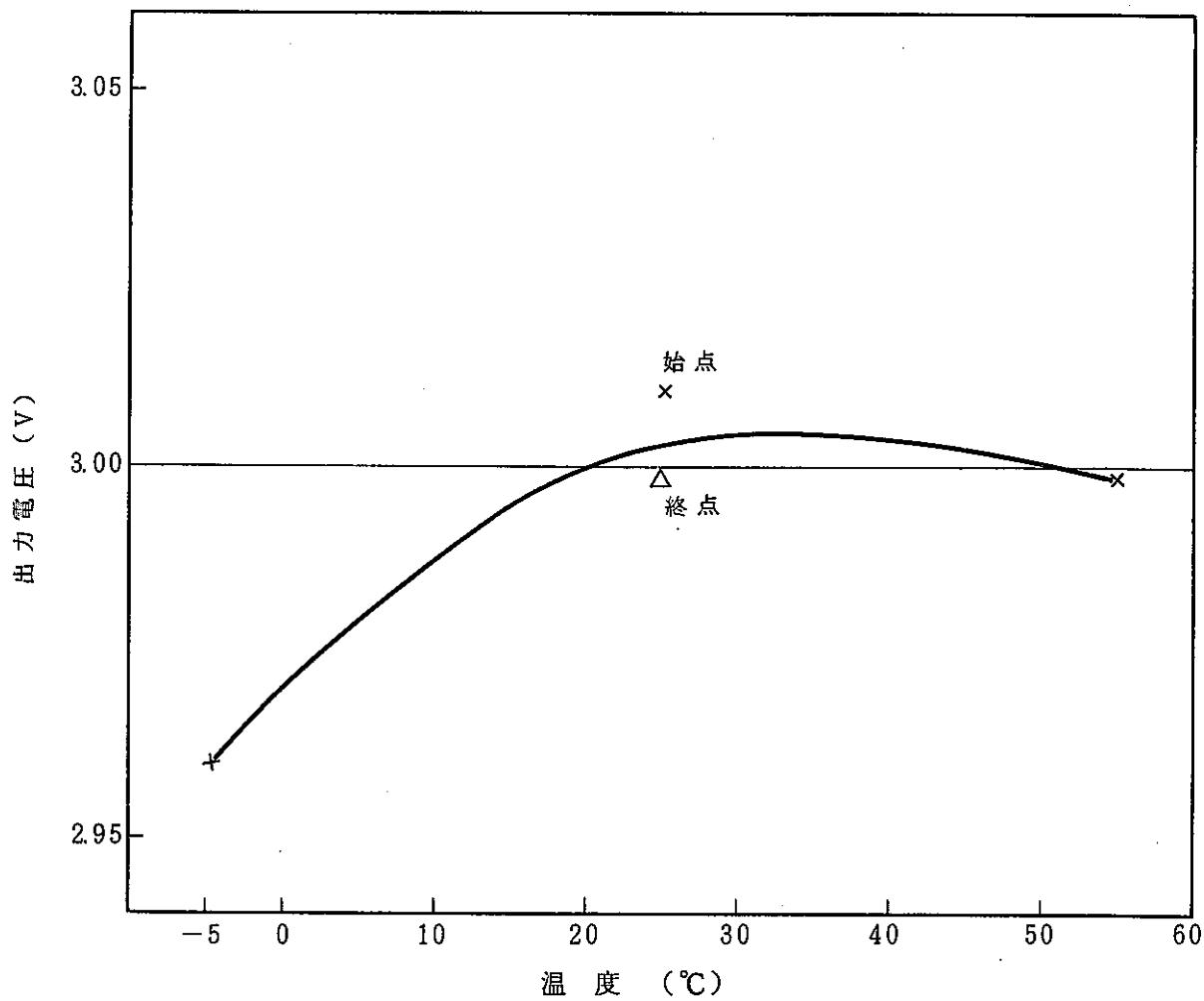
安定後

 $\pm 0.75\%$ フルスケール / $-5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$

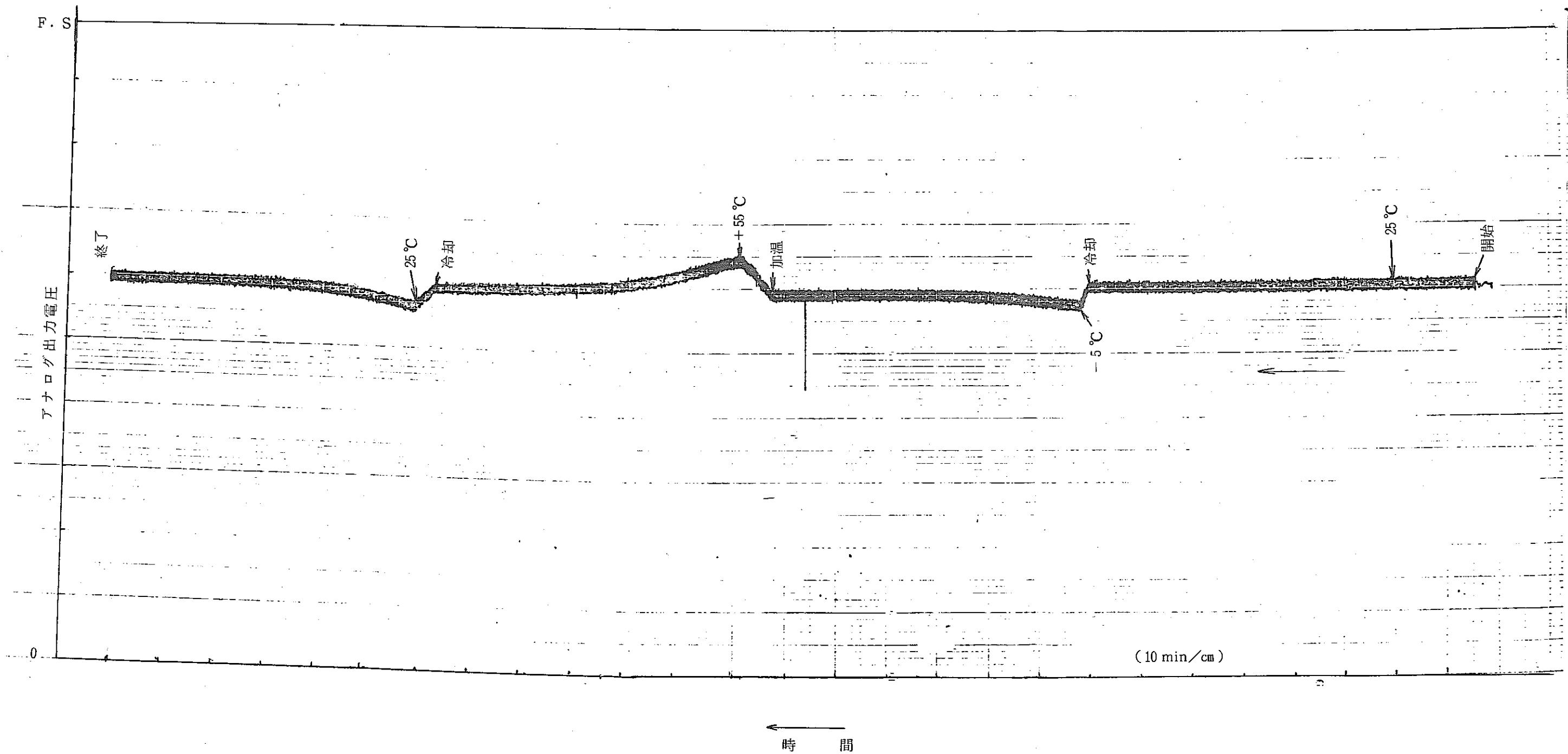
HV温度特性変化量

ピーク変化

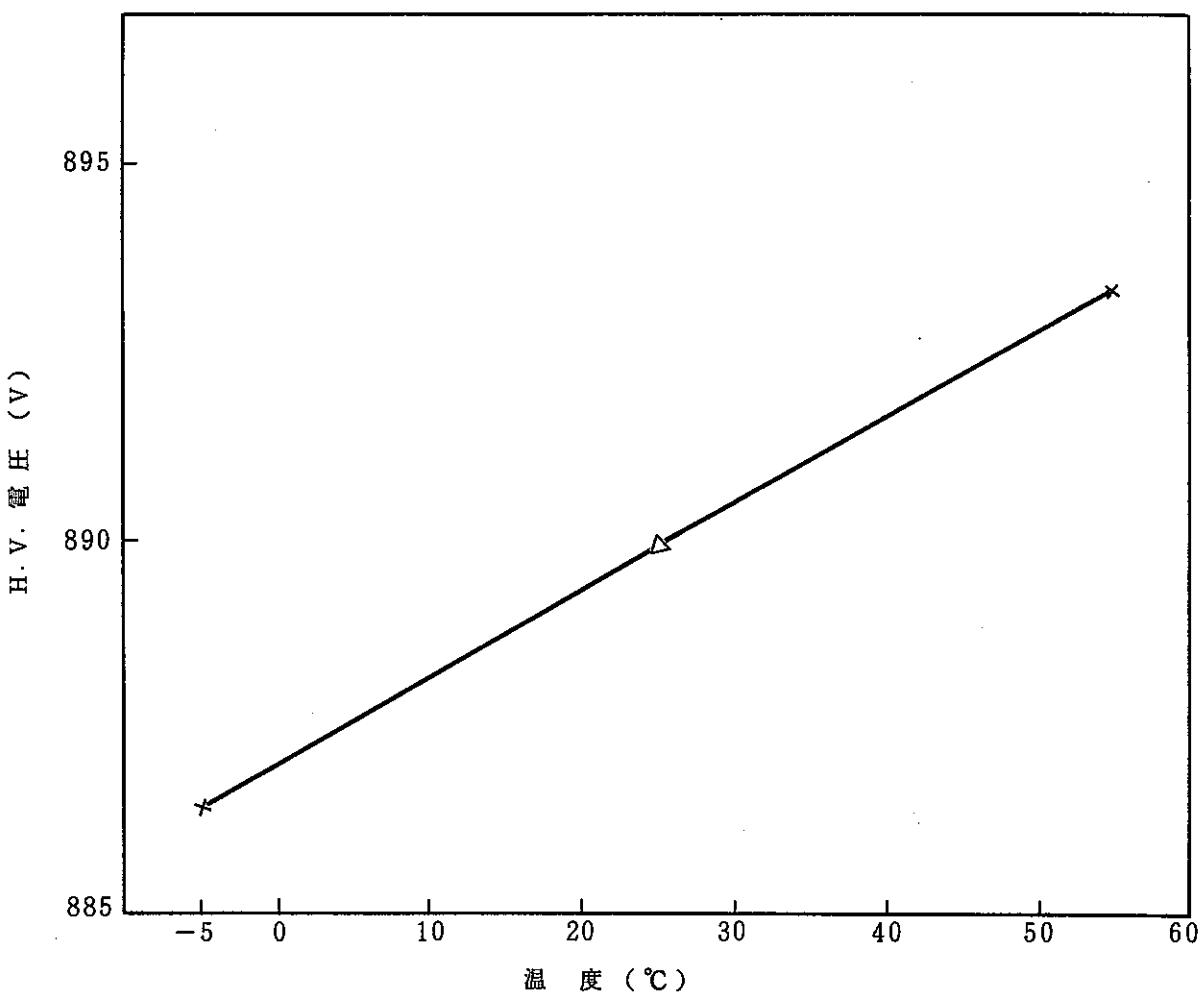
 $\pm 0.44\%$ / $-5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$



図IX-11 アナログ出力温度特性(温度安定後)(検出器No.3)



図IX-12 アナログ出力温度特性経時変化(検出器No.3)



図IX-13 HV出力温度特性(検出器No.3)

3) トリップ点特性

3本の検出器にて、 $\pm 0.47 \sim 0.95\% / -5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ となる。代表例として検出器No.3のデータを表IX-11、図IX-14に示す。

4) HV 出力低下検出特性 (PFD 点)

3本の検出器にて、 $\pm 0.29 \sim 0.58\% / -5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ となる。代表例として検出器No.3のデータを表IX-11、図IX-15に示す。

5-1) アナログ回路零点、変動特性

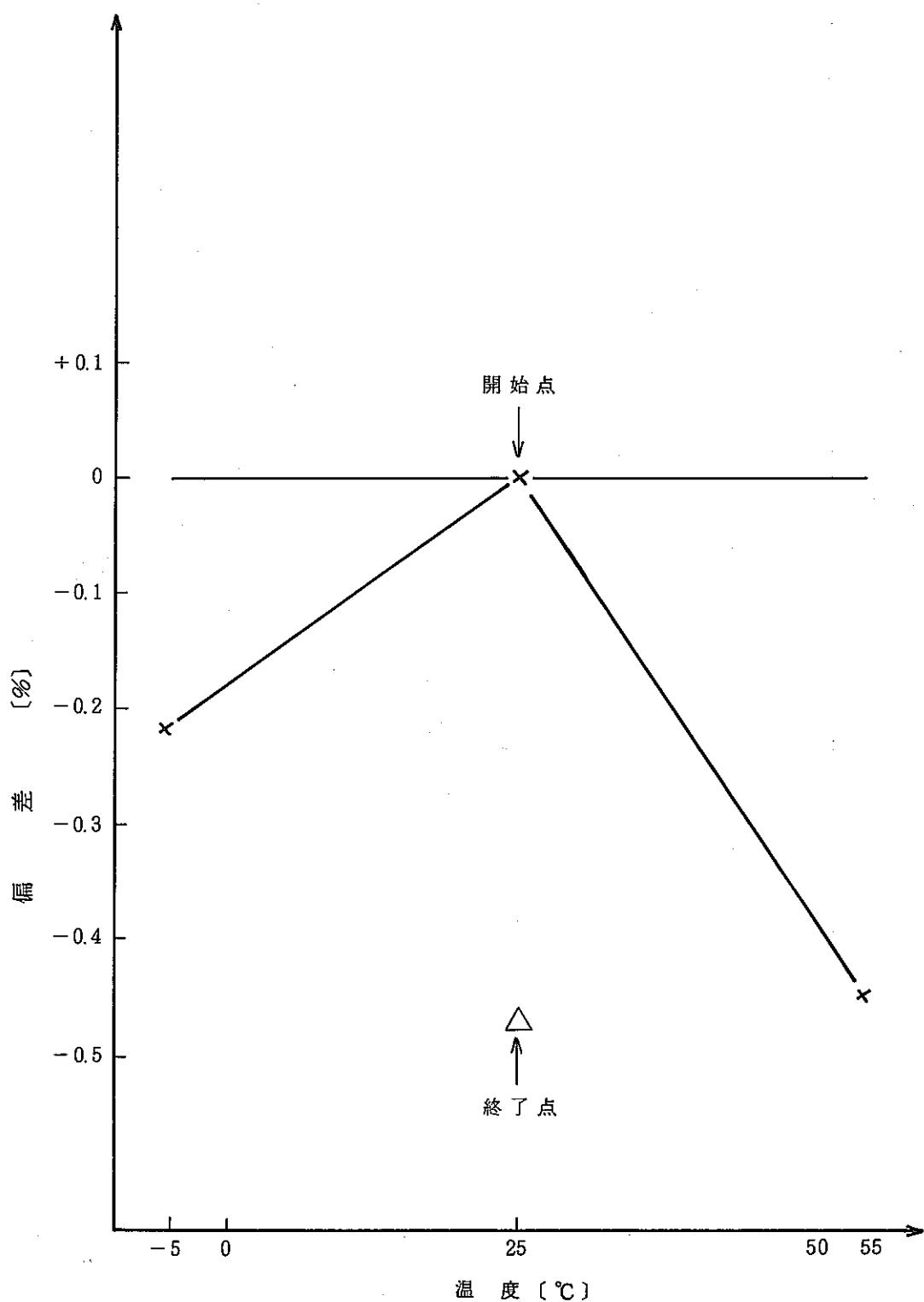
3本の検出器にて $\pm 0.4 \sim 1.3\% / -5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ となる。代表例として検出器No.3のデータを表IX-11、図IX-16に示す。

5-2) アナログ回路、フルスケール変動特性

3本の検出器にて、 $\pm 0.54 \sim 1.1\% / -5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ となる。代表例として検出器No.3のデータを表IX-11、図IX-17に示す。

表IX-11 検出器No.3のトリップ点、HV出力低下検出、
アナログ回路零点、フルスケールの温度特性

温度 (°C)	時間 (分)	トリップ点 (μA)	H P F D 点(V)	ア ナ ロ グ 回 路	
				零 点 (V)	フルスケール(V)
+25	0	7.9956	869.64	0.99846	4.9991
	15	7.9876	869.78	0.99888	5.0008
	30	7.9866	869.72	0.99880	5.0004
	45	7.9894	869.82	0.99882	5.0010
	60	7.9916	869.95	0.99935	5.0029
-5	0	7.9798	865.24	1.00050	4.9587
	15	7.9884	864.83	1.0042	4.9564
	30	7.9782	864.77	1.0033	4.9572
	45	7.9868	864.77	1.0040	4.9570
	60	7.9832	864.79	1.0037	4.9570
+55	0	7.9603	873.10	1.01036	5.0490
	15	7.9601	873.64	1.01118	5.0517
	30	7.9693	873.67	1.01132	5.0521
	45	7.9780	873.57	1.01147	5.0524
	60	7.9773	873.82	1.01144	5.0523
+25	0	7.9699	869.41	1.00100	5.0119
	15	7.9581	869.16	1.00095	5.0109
	30	7.9583	869.09	1.00122	5.0113
	45	7.9645	869.07	1.00094	5.0108
	60	7.9637	869.08	1.00120	5.0111



図IX-14 トリップ点温度特性（検出器No.3）

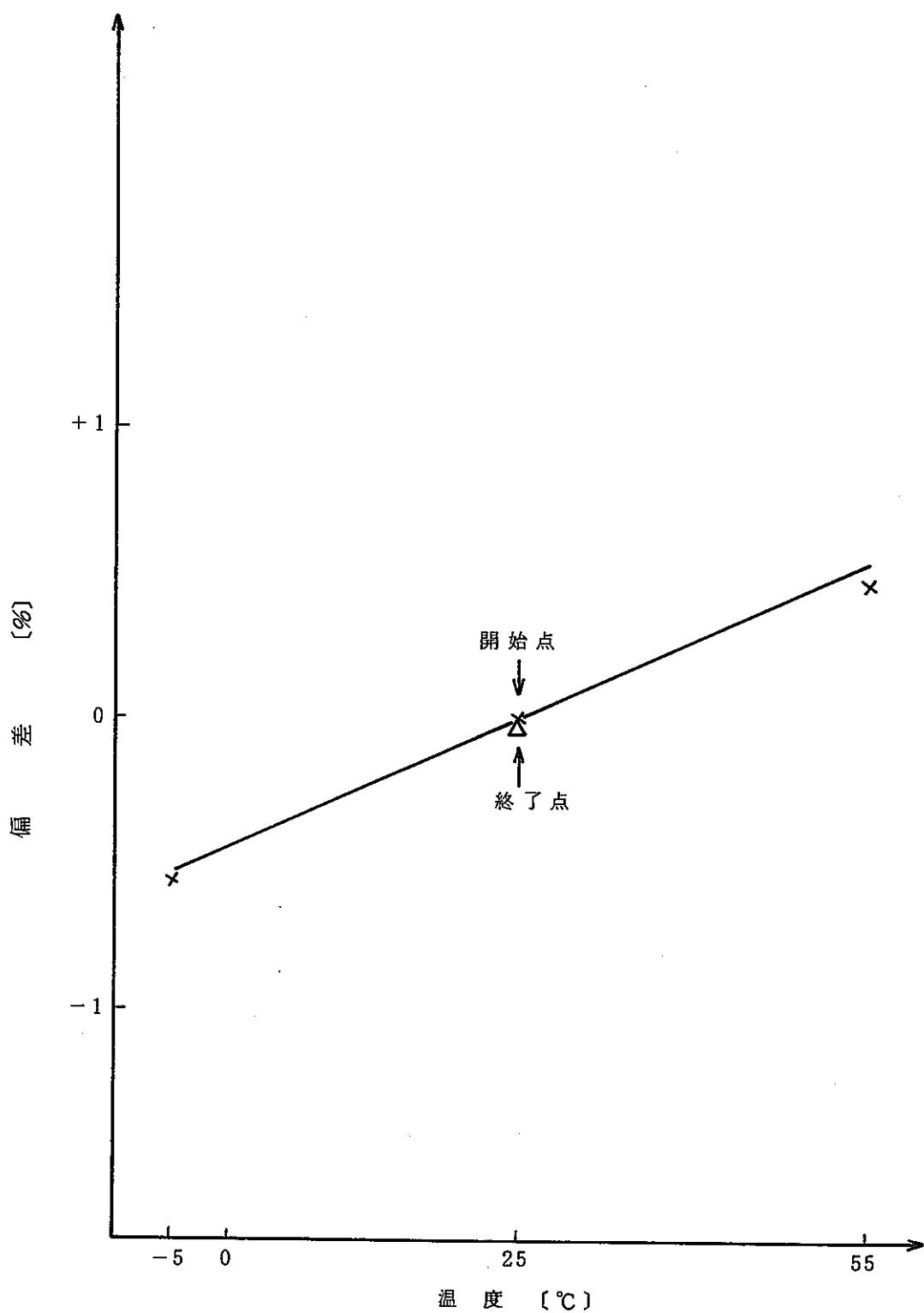


図 15 HV 出力低下検出温度特性(検出器No.3)

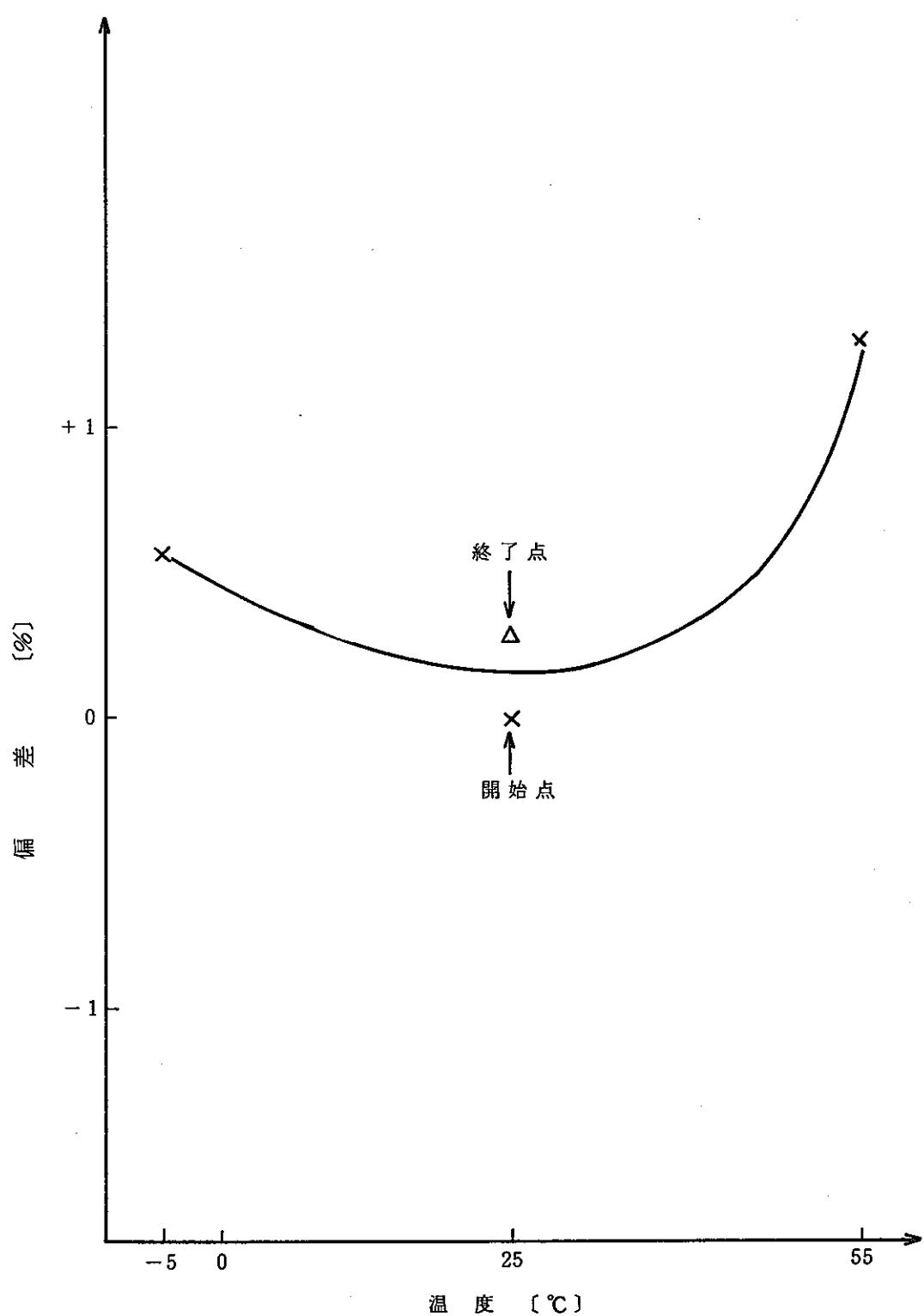


図 16 アナログ回路ゼロ点温度特性(検出器 No. 3)

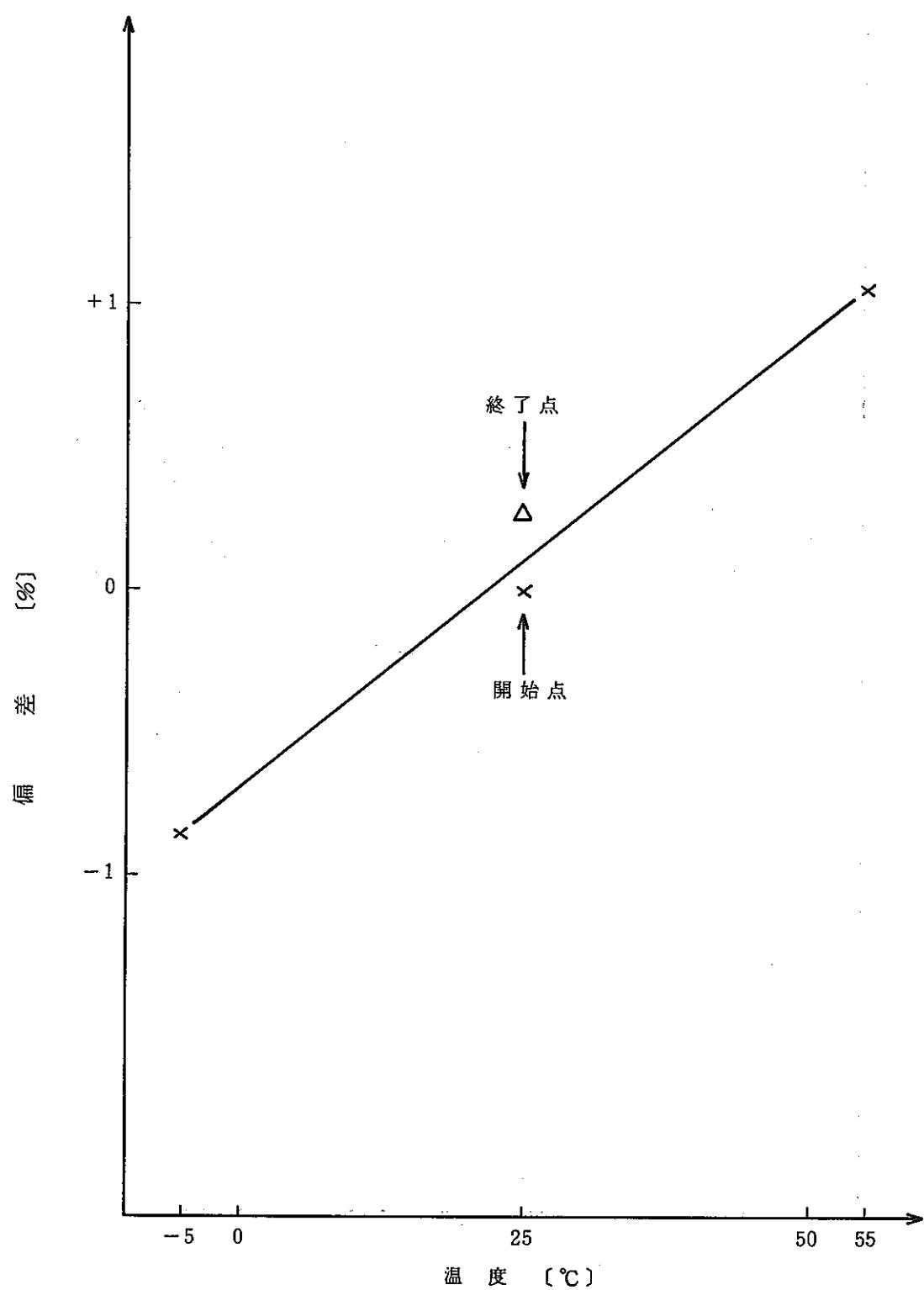


図 17 アナログ回路フルスケール温度特性(検出器 No. 3)

6) チェック用LED特性

1) 項のR I使用によるアナログ出力特性と同様に温度変化直後と温度平衡後で変動量に差を生ずる。本系も PMT を使用する為、電子回路と PMT 系間に内部到達温度の違いによる一時的アンバランスで変化量が増大するものと考えられる。前記同様、実効的には、温度安定後のデータで問題無いと考えられる。

① 直流モード出力（表IX-12参照）

ピーク変化量 $\pm 5.9\%/-5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$

温度安定後 $\pm 2.6\%/-5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$

② パルスモード

チェック時のトリップ出力発生用であり、3本の検出器で $\pm 2.5 \sim 16.7\%/-5^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ と変動しているが、全温度範囲で、LEDによるアナログ出力が 5 V フルスケールをキープ出来れば十分である。バラツキの原因としては、LED の発光効果の差と充電用コンデンサの温度特性と思われる。

代表例として検出器No.3のチェック LED 温度特性のデータを直流モード（温度安定後）とパルスモードについて試験した結果を図IX-18、図IX-19に示す。

表IX-12 アナログ出力温度特性

温度(°C)	時間(分)	アナログ出力(V)	温度(°C)	時間(分)	アナログ出力
+25	0	1.1978	+55	0	1.1277
	30	1.1982		30	1.1967
	60	1.1972		60	1.1863
	90	1.1962		90	1.1828
	120	1.1954		120	1.1813
-5	0	1.1745	+25	0	1.1677
	30	1.2091		30	1.1840
	60	1.2225		60	1.1920
	90	1.2261		90	1.1935
	120	1.2266		120	1.1936

アナログ出力温度変化

$$\text{偏 差} = \frac{\text{測定温度時のアナログ出力} - 25^{\circ}\text{C} \text{の時のアナログ出力の平均値}}{25^{\circ}\text{C} \text{の時のアナログ出力の平均値}}$$

表IX-13 チェック用 LED パルス温度特性

温 度	トリップパルス幅
+25°C	9.6 msec
-5°C	11.2 msec
+55°C	9.0 msec
+25°C	9.8 msec

また 表IX-13には各温度におけるLEDによるトリップパルス幅の測定結果を、写真7～10にはこの時のLEDとトリップ出力波形を示す。

(10) 振動試験

現場取付機器である検出器は、壁取付タイプである為、0.72 G(水平)、0.36 G(垂直)、をカバーすれば再処理施設向として満足するが、取付場所の応答倍率を考慮し、盤組込みユニット並に加速度を定め水平3 G、垂直0.36 Gで実施した。

結果は、加速中通電測定状態で異常は見られず、良好な結果であった。

また、共振周波数の測定結果は、

前後方向：共振点 48 Hz

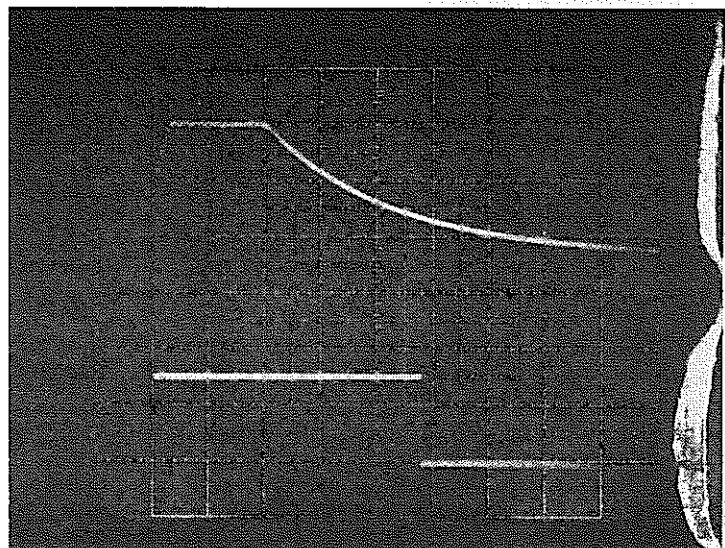
左右方向：“ 100 Hz

となり、水平および垂直方向のいずれも下記に示す①～④の規格を満足した。

振動試験規格

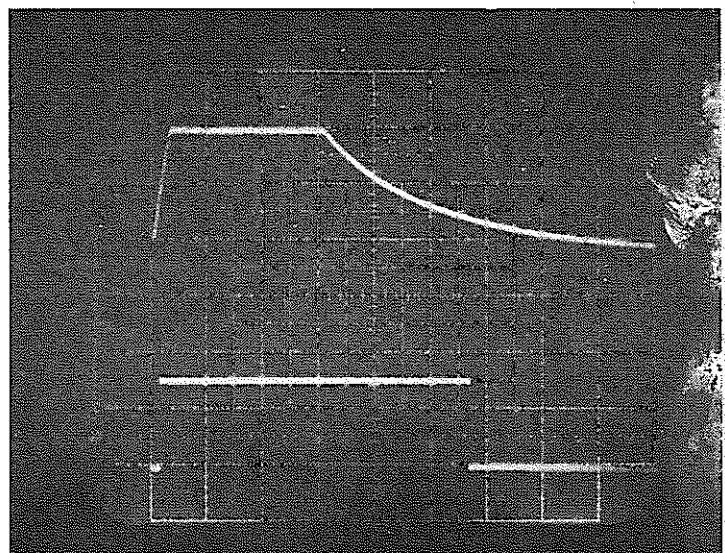
- ① 加振によるアナログ出力の変化はフルスケールの±3%以内。
- ② 加振中トリップの出力が発生しないこと。
- ③ 5～20 Hz以内に共振点が発生した場合、その周波数にて10 sec以上3 Gに耐えること。
- ④ Max 3 Gは10 Hzと20 Hzにて10 sec以上耐えること。

テスト時は30 secとする。



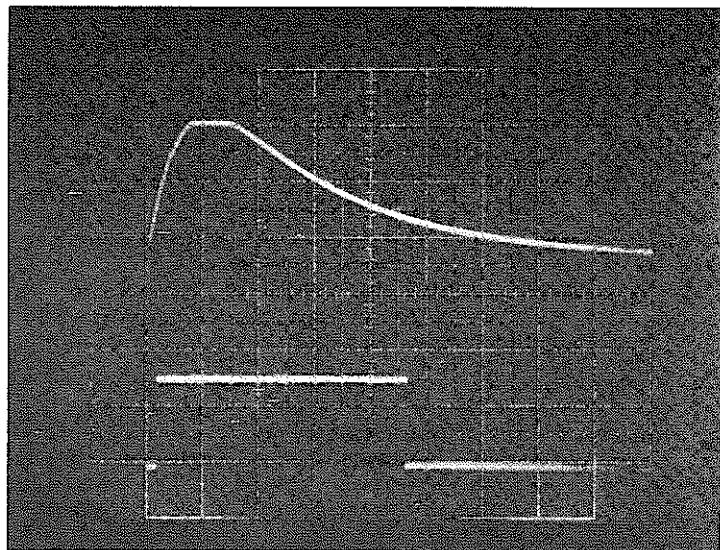
上： TP-4 (アナログ)
2 V/div
下： TP-6 (トリップ)
10 V/div
2 msec/div

写真7 チェックLEDパルス動作①
+25°C



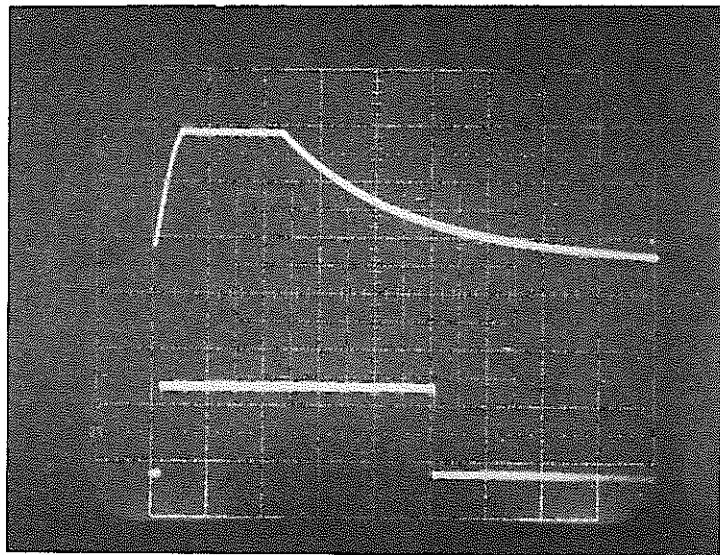
上： TP-4
2 V/div
下： TP-6
10 V/div
2 msec/div

写真8 チェックLEDパルス動作②
-5°C



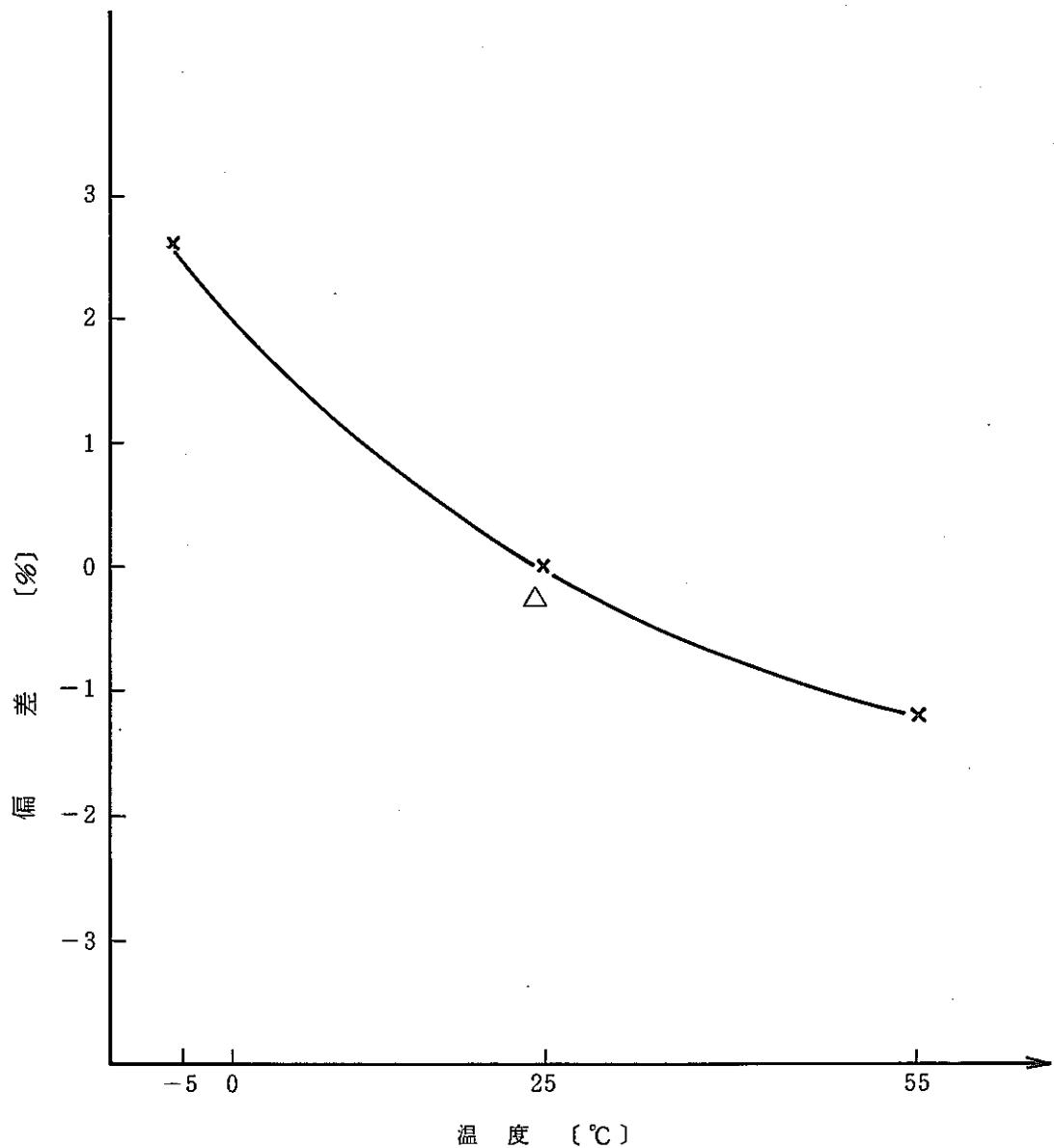
上：TP-4
2 V/div
下：TP-6
10V/div
2 msec/div

写真9 チェックLEDパルス動作③
+55°C

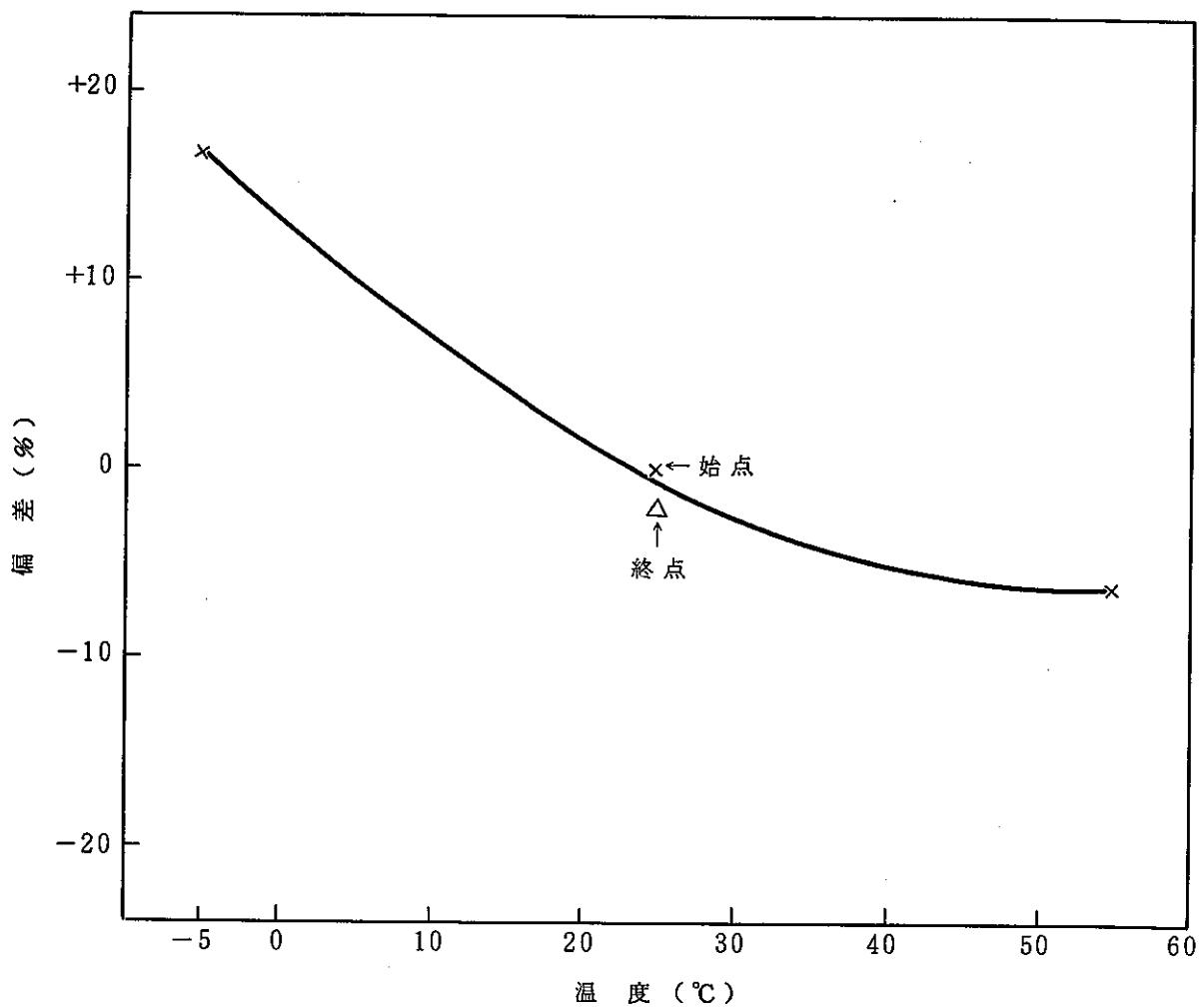


上：TP-4
2 V/div
下：TP-6
10V/div
2 msec/div

写真10 チェックLEDパルス動作④
+25°C



図IX-18 チェック用LEDによるアナログ出力温度特性(検出器No.3)
(直流モード, 温度安定後のデータ)



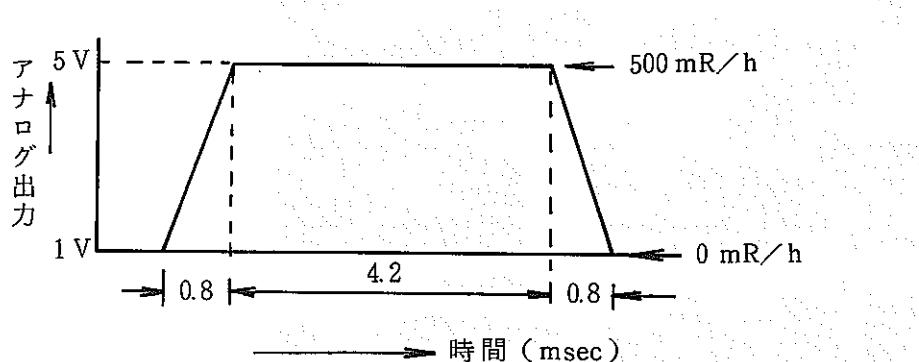
図IX-19 チェック用 LED 温度特性(パルスモード)(検出器No.3)

(1) パルス状 γ 線照射応答特性

- 1) 検出器に対し、パルス状 γ 線照射を行いアナログ系の時定数及びトリップ出力の遅れを求める。

① 入力 γ 線パルス

回転シャッターの構造より、図IX-20に示す入力波形となる。



図IX-20 回転シャッタによる入射 γ 線パルス波形 (100 rpm)

② 時定数

入力 γ 線パルス波形を1次おくれ系で近似することができる。上記①の波形より時定数 0.7 msec の1次おくれ系のステップ応答を考えると、データより得られたトータルな時定数約 1.5 msec を2次おくれ系のステップ応答と考え、検出器の時定数を求める。すなわち、検出器本来がもつ時定数と上記①の波形の近似波形がもつ時定数の合成で得られた値が 1.5 msec となる。

ゆえに、

$$1 - e^{-1.5/\tau} - e^{-1.5/0.7} = 0.63$$

より τ は約 1.1 msec となる。

すなわち、検出器の時定数は約 1.1 msec となり、回路設計上の数値 1 msec と良く一致する。

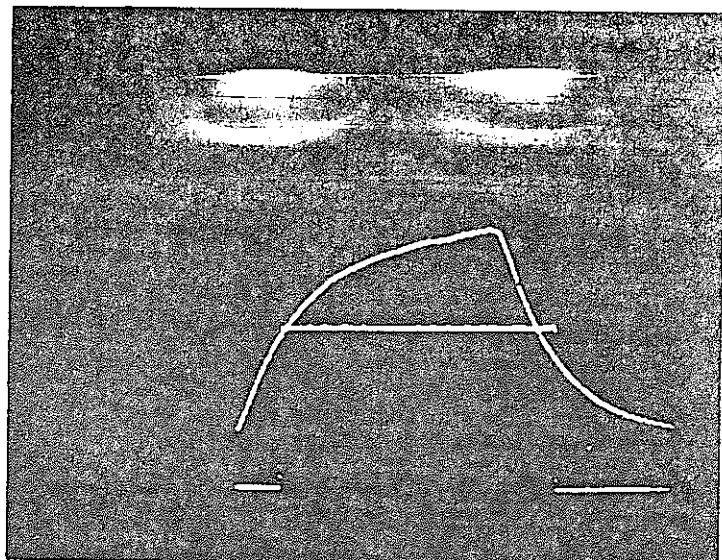
③ トリップ出力の遅れ

写真11に示す(トリップ設定点 $200 \text{ mR/hr} \div 2.6 \text{ V}$) CRT 波形より、実測遅れ時間 約 0.2 msec となる。

2) トリップ設定点とアナログ入力同等レベル附近のトリップ応答

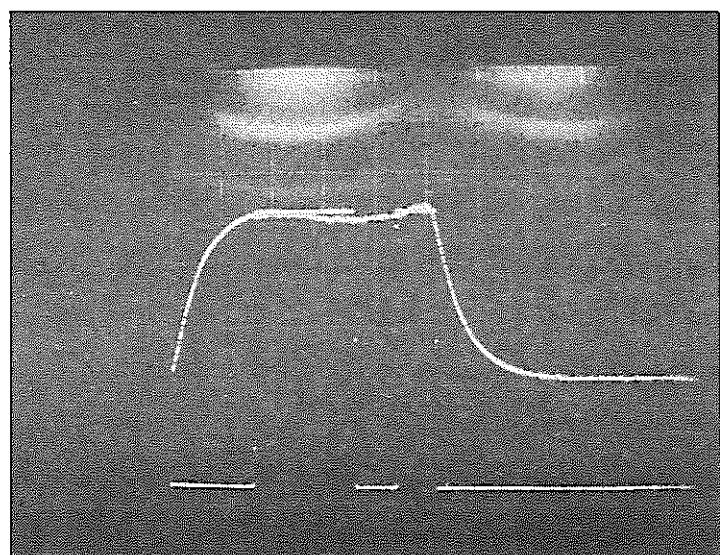
写真12に示すCRT 波形より、実測応答時間約 3.3 msec となる。

この応答は、1. (8) 2) 照射線量率/トリップ回数特性で行ったトリップ設定値と同程度の γ 線照射試験と関係がある。両者共に統計変動によるトリップ確率であるトリップ回数より、平均トリップパルス間隔を求めるとき、約 5 ~ 6 msec となりオーダ的に近い数値となる。照射 γ 線パルス幅—トリップ出力パルス幅特性は回転シャッタの回転数が 1,000



A 0.5 V/DIV
T UN-CAL
0.1 msec/DIV

X線 (200KVP, 4mA) 1000 rpm
写真11 トリップ出力遅れ状態



A 0.5 V/DIV
T UN-CAL
2 msec/DIV

X線 (200KVP, 1.8mA) 500 rpm
写真12 トリップ設定点と同レベル入力に対する応答

rpm以上上することは困難であったため得られなかった。

使用検出器はNo.1である。

(12) 高線量照射試験

1) 高線量照射試験は

日本原子力研究所高崎研究所

Co-60 照射施設第1棟

第2照射室にて実施した。

図IX-2)に棟内照射室の平面図を示す。

2) 試験結果

① 10^3 R 照射 (10^4 R/h にて照射)

各出力共に正常(図IX-22参照)

② 10^4 R 照射 (10^5 R/h にて照射)

照射中 HV 出力 1.7 V 低下、ただしアナログ出力感度上は、1.(8) 1)で求めた HV に対する感度より評価すると、1%以下であり問題無い。終了時元に戻る。他は正常。

(図IX-23 参照)

③ 10^5 R 照射 (10^6 R/h にて照射)

照射中 HV 出力が 13 V 低下、アナログ出力感度換算 5.46 % の低下となる。終了時は、開始時の 3 V 高く元に戻らず。LED によるチェック時のアナログ出力低下、ただしト リップ出力は発生する。プラスチックシンチ、LED、PMT に γ 線による着色開始で感 度が低下していると思われる。

(図IX-24 参照)

照射終了時のアナログ出力、回復時間が長くなる。

④ 10^6 R 照射 (10^6 R/h にて照射)

照射中の HV 出力は、 10^6 R 照射初期に対し 1.2 V 低下。終了時は、開始時の 12 V 高 となり、照射終了時点でも回復不可となる。

照射終了時のアナログ出力の回復に時間要す。又到達レベルは、開始時以下まで低下 する。他は③項と同様の傾向である。(図IX-25参照)

⑤ 4×10^6 R 照射 (2×10^6 R/h にて照射)

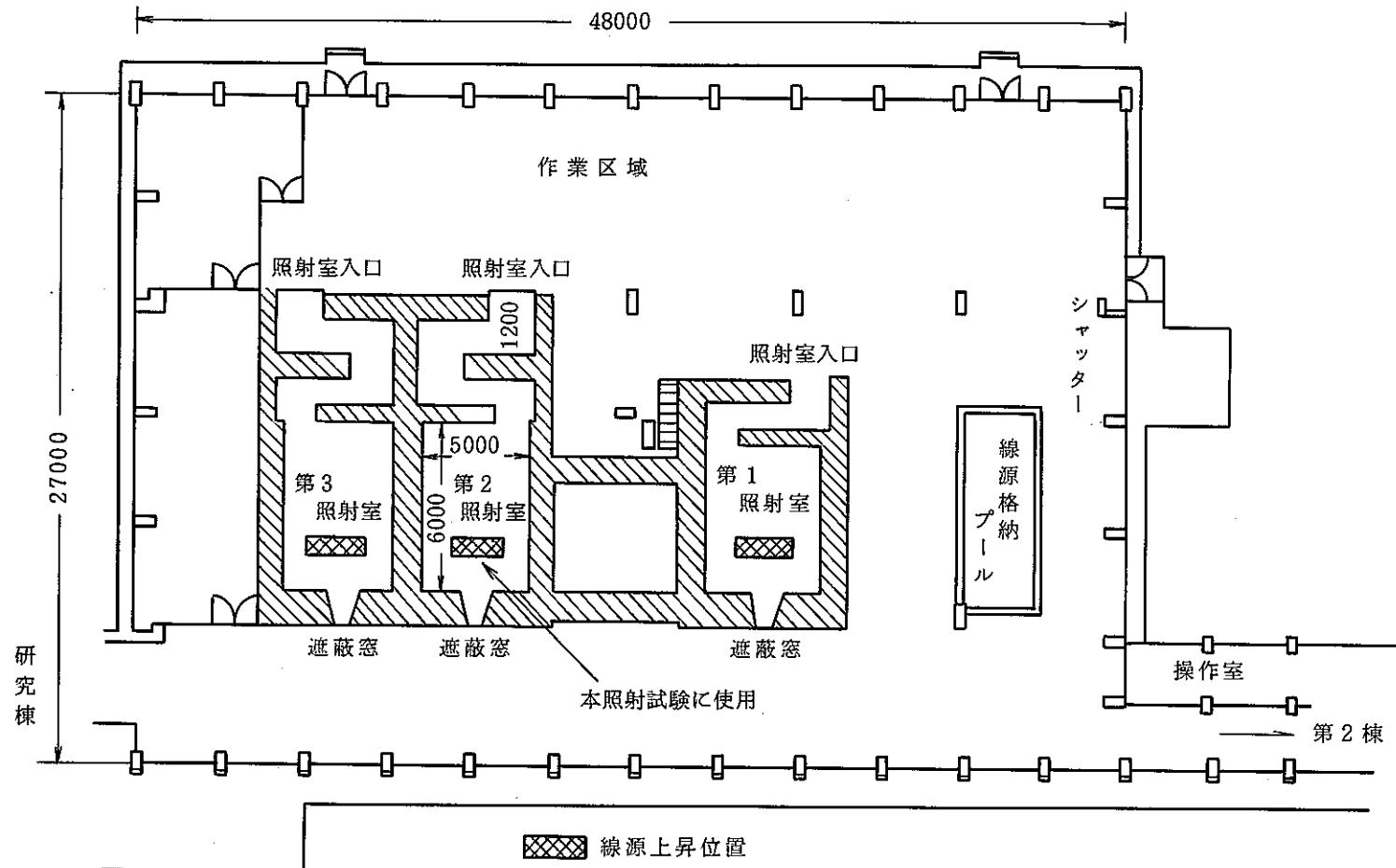
終了時チェック動作せず、他は④項と同じ傾向。(図IX-26参照)

⑥ 2.2×10^7 R 照射 (2×10^6 R/h にて 11 時間照射)

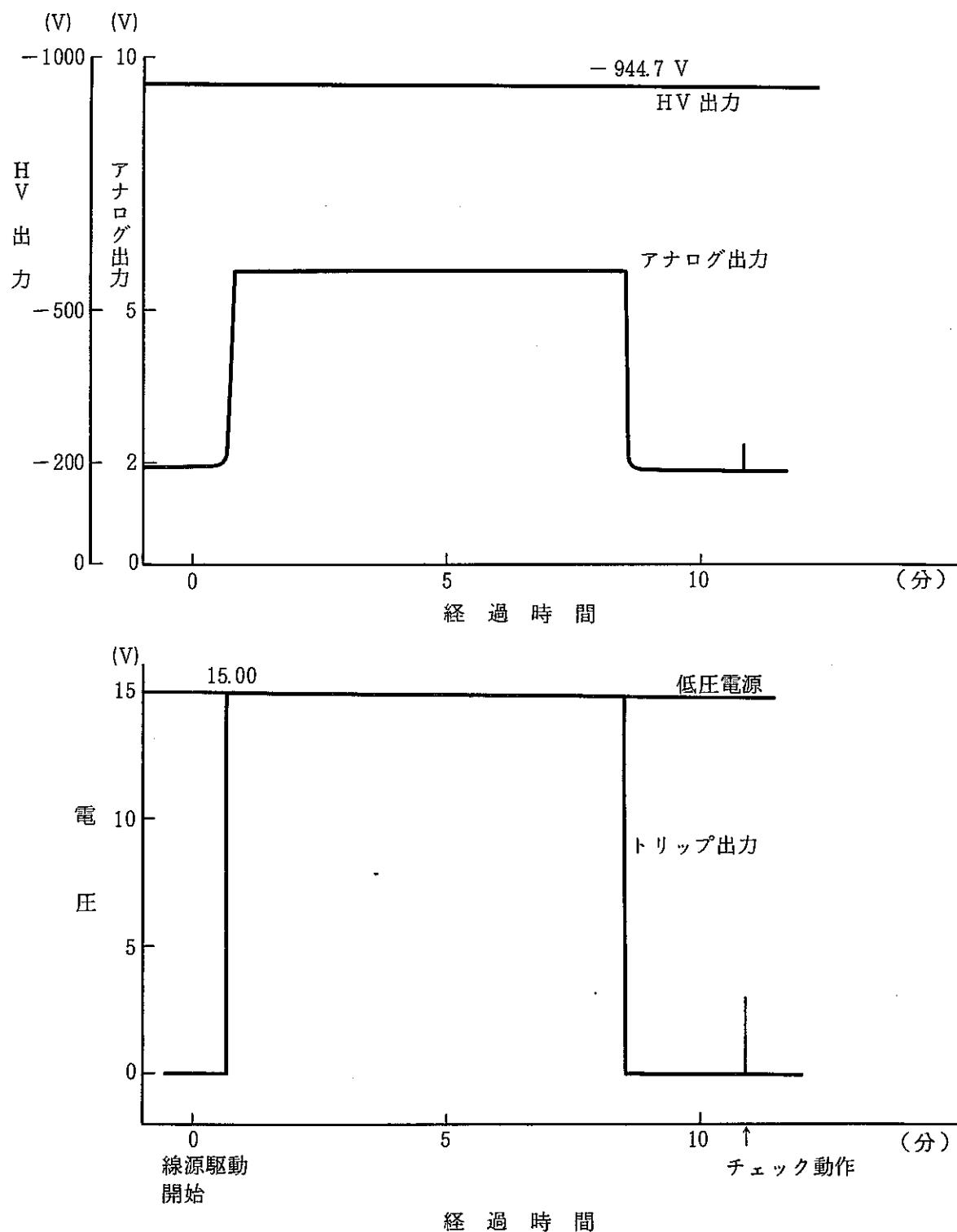
○ HV 出力

照射中……… 開始 (2.2×10^7 R の) 時の 8.4 V 低下

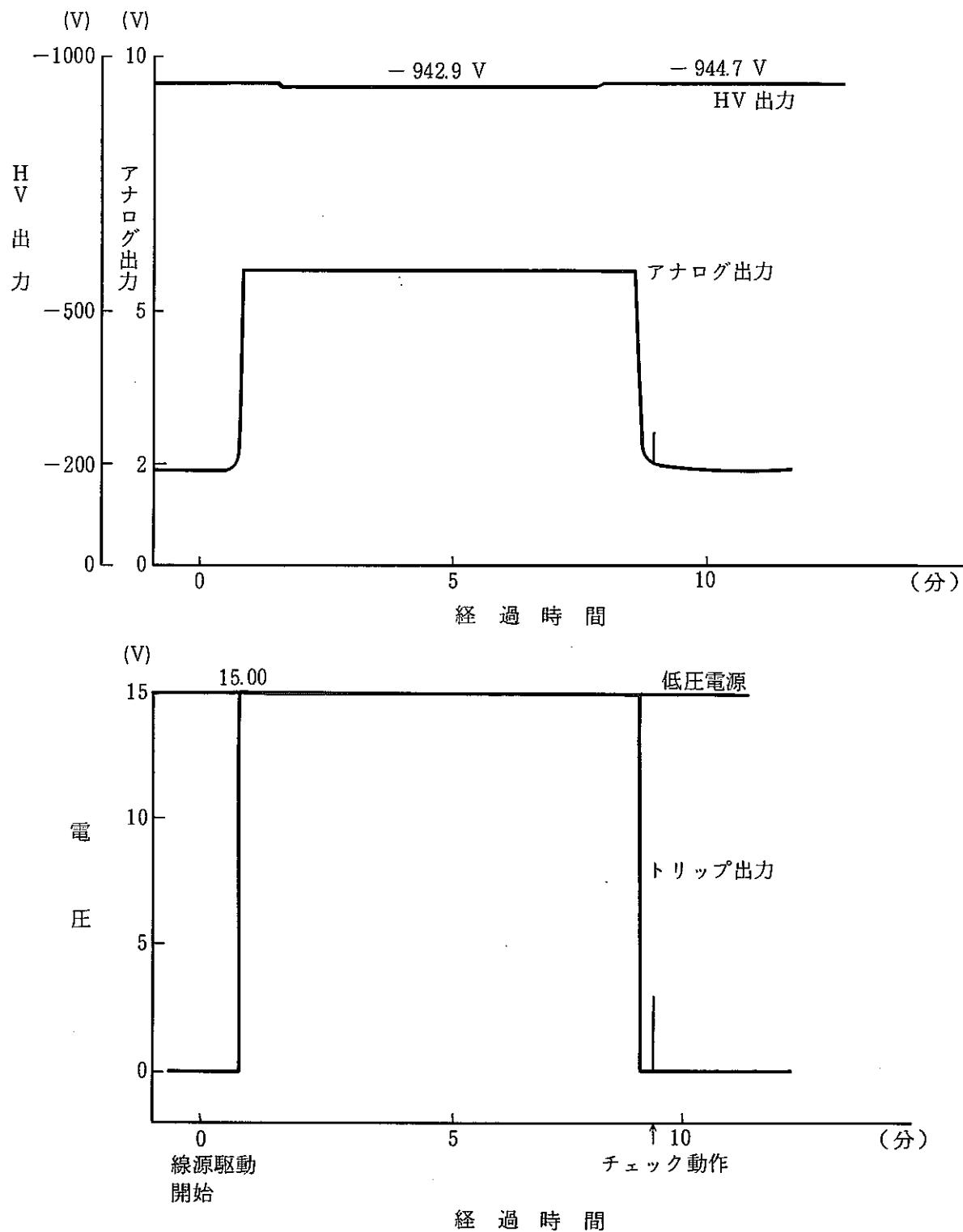
終了時……… " 1.7 "



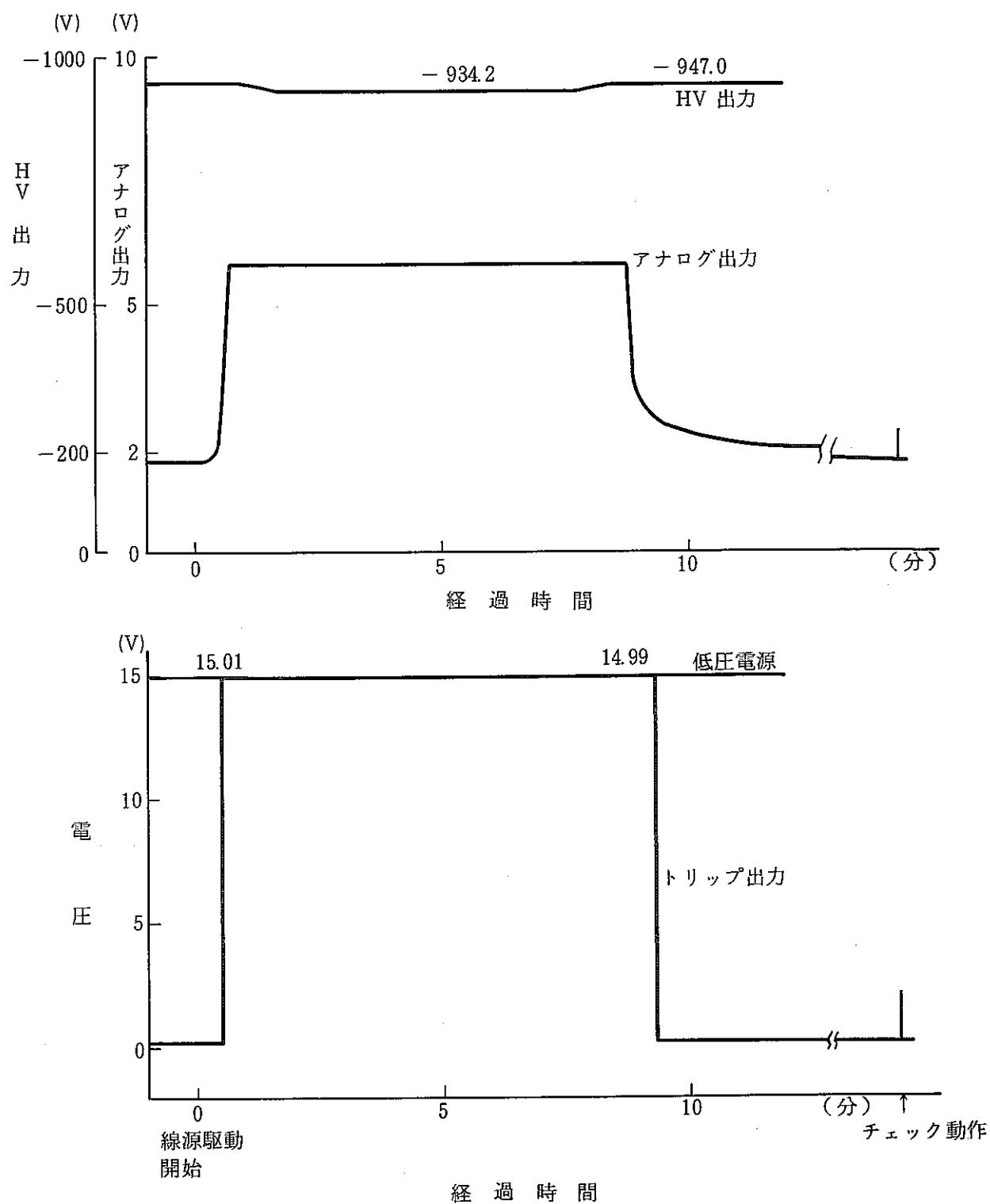
図IX-21 Co-60 照射施設第1棟略図



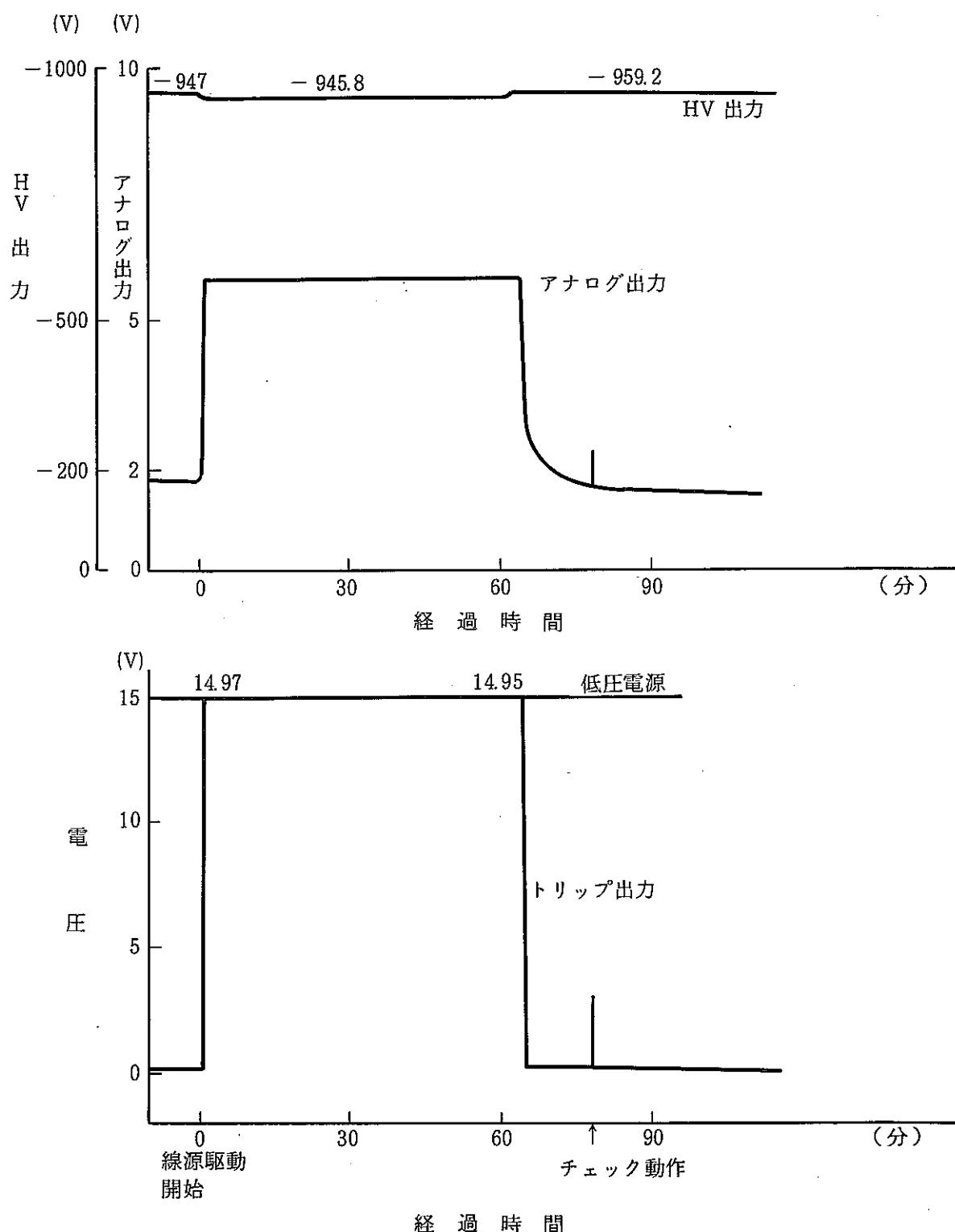
図IX-22 検出器No.1 10^3 R 照射試験 (10^{-4} R/h)



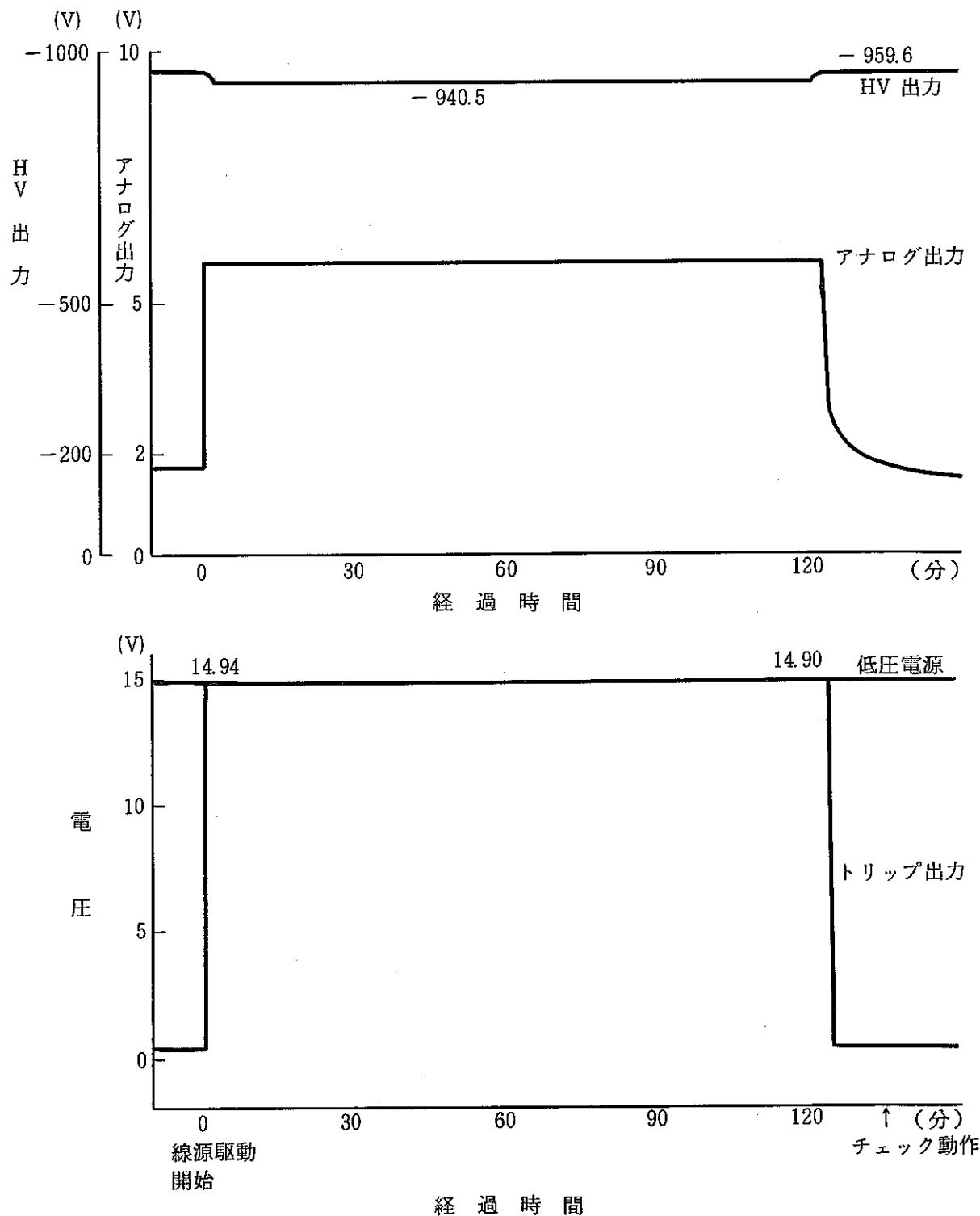
図IX-23 検出器 No.1 10^4 R 照射試験 (10^5 R/h)



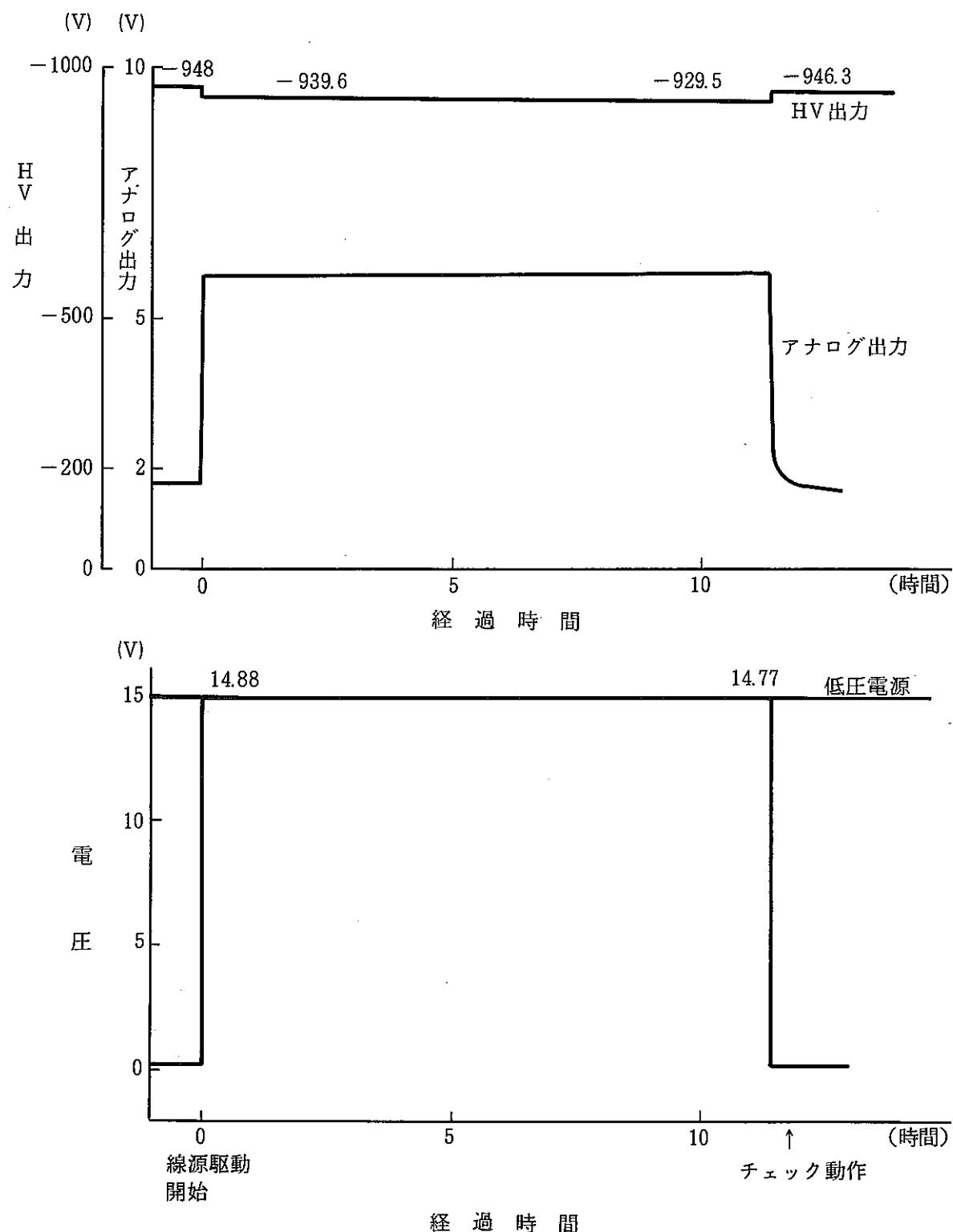
図IX-24 検出器 No.1 10^5 R 照射試験 (10^6 R/h)



図IX-25 検出器 No.1 10^6 R 照射試験 ($10^6 \text{ R}/\text{h}$)



図IX-26 検出器 No.1 4.0×10^6 R 照射試験 (2.0×10^6 R/h)



図IX-27 検出器 No 1 2.2×10^7 R 照射試験 (2.0×10^6 R/h)

○ LV 出力

開始時／終了時の差 0.11 V

チェック動作せず（図IX-27 参照）

以上がプローブ 1 のテスト結果である。

以下にプローブ 2 について結果を示す。

⑦ 10^6 R 照射 (2×10^6 R/h にて照射)

○ HV 出力

照射中………開始時の 16 V 低下

終了時………〃 値に回復

○ トリップ出力

終了時すぐ回復せず、約 15 分の傾斜で元に回復。

○ アナログ出力

終了後の回復に時間を要し、又到達レベルは、開始時以下まで低下する。

○ チェック動作

アナログ出力低下、ただしトリップは発生する。

○ LV 出力

開始時／終了時の差 0.07 V (図IX-28 参照)

図IX-29, IX-30 には本実験に使用した照射室の線源間距離に対する線量率のカーブを示す。

(3) 高線量照射後の検出器評価

1) 検出器 No.1 2.7×10^7 R 照射 (トータル)

① γ 線感度………30 R/h で出力無し

② HV 出力

電圧………照射後土 4 V のフランキ有り出力レベルは同じ。

リップル………照射前 20 mV_{p-p}

照射後 1.5 V_{p-p}

③ PMT 以外の電子回路系のアナログ直線性；零入力時 10% (フルスケール) シフト

しているが、直線性は、照射後も変わらない。（図IX-31 参照）

④ +15 V 直流電圧

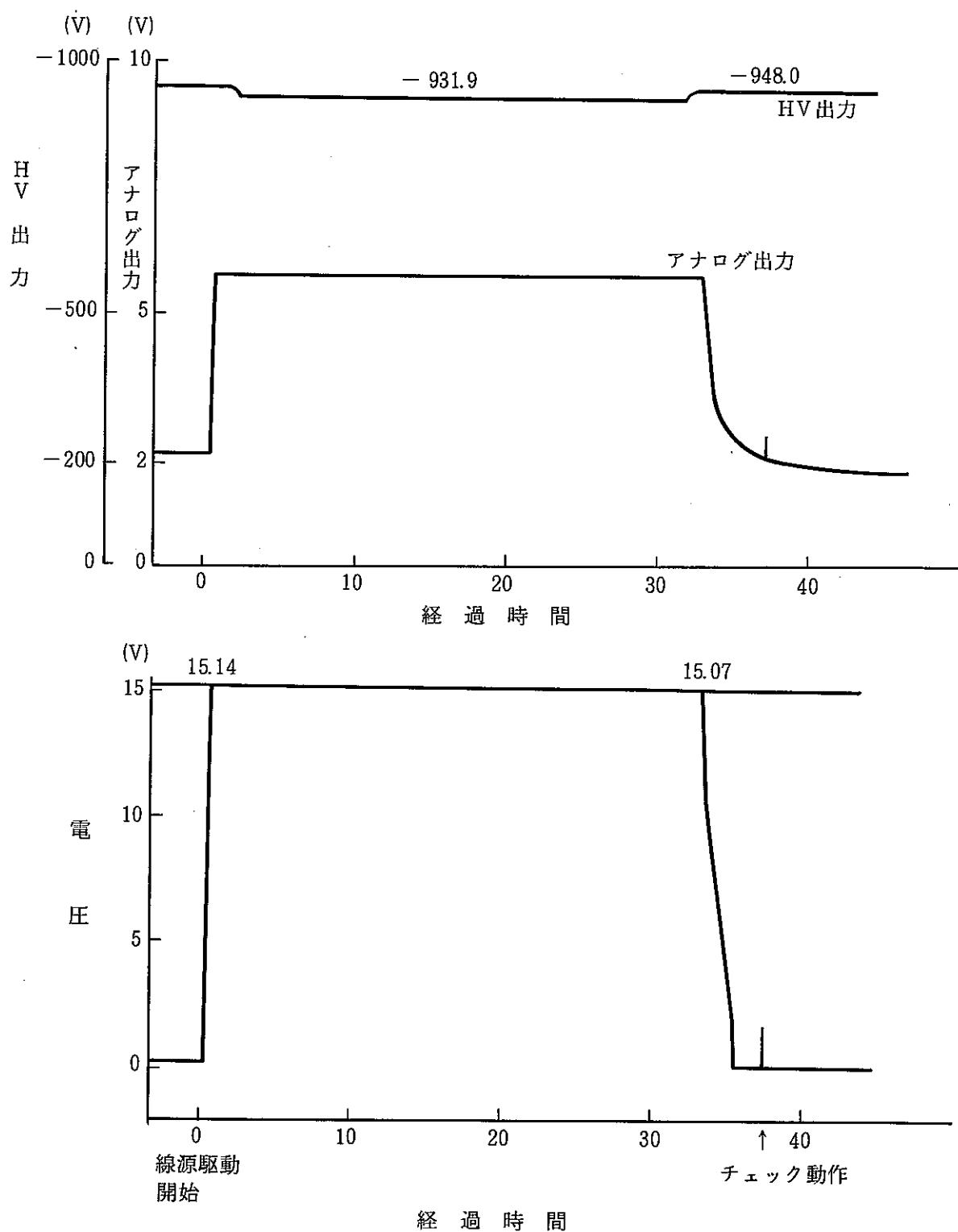
照射後 22% 低下

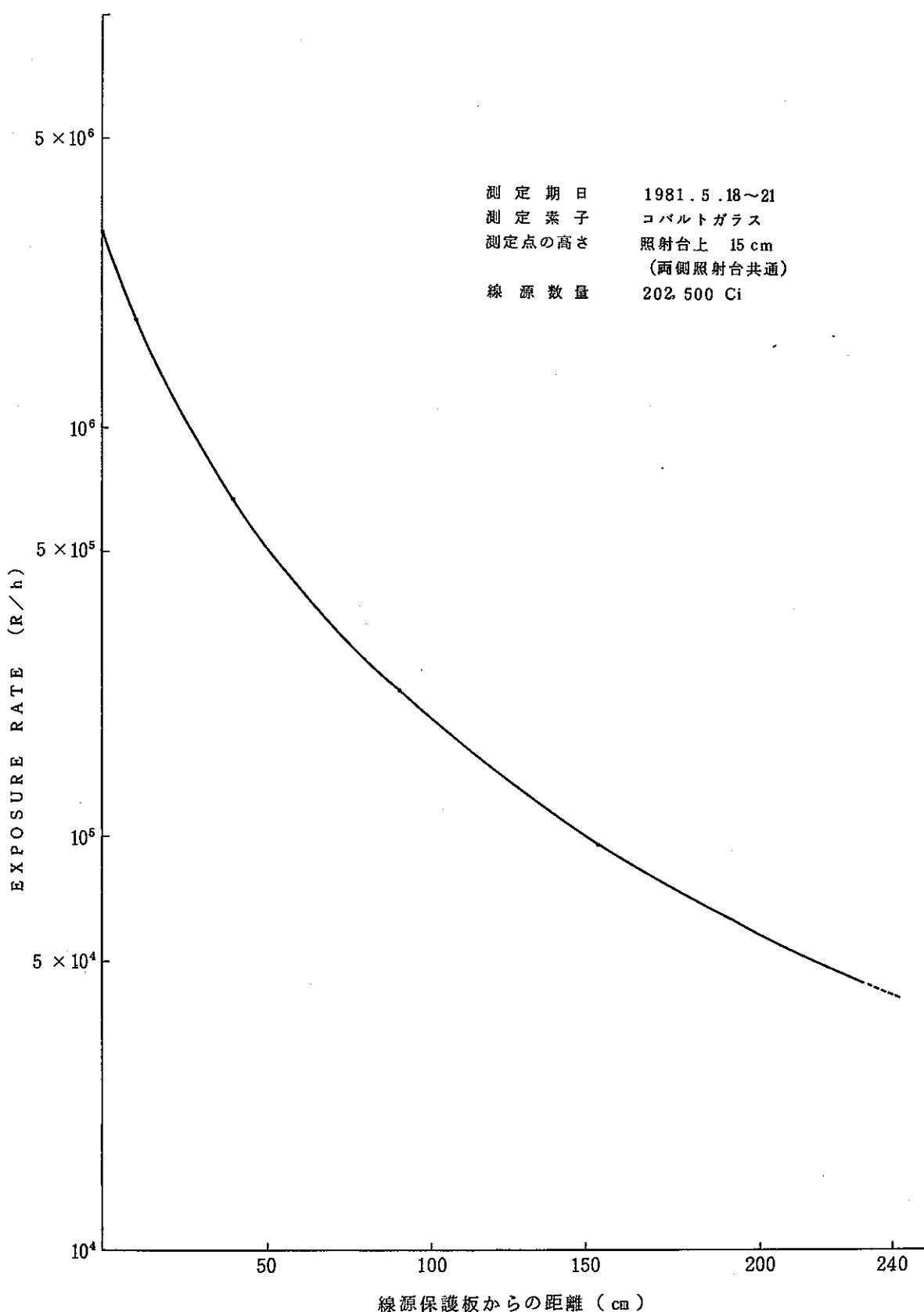
⑤ トリップ動作

トリップ点 12% 上昇しているが、トリップ動作機能は維持している。

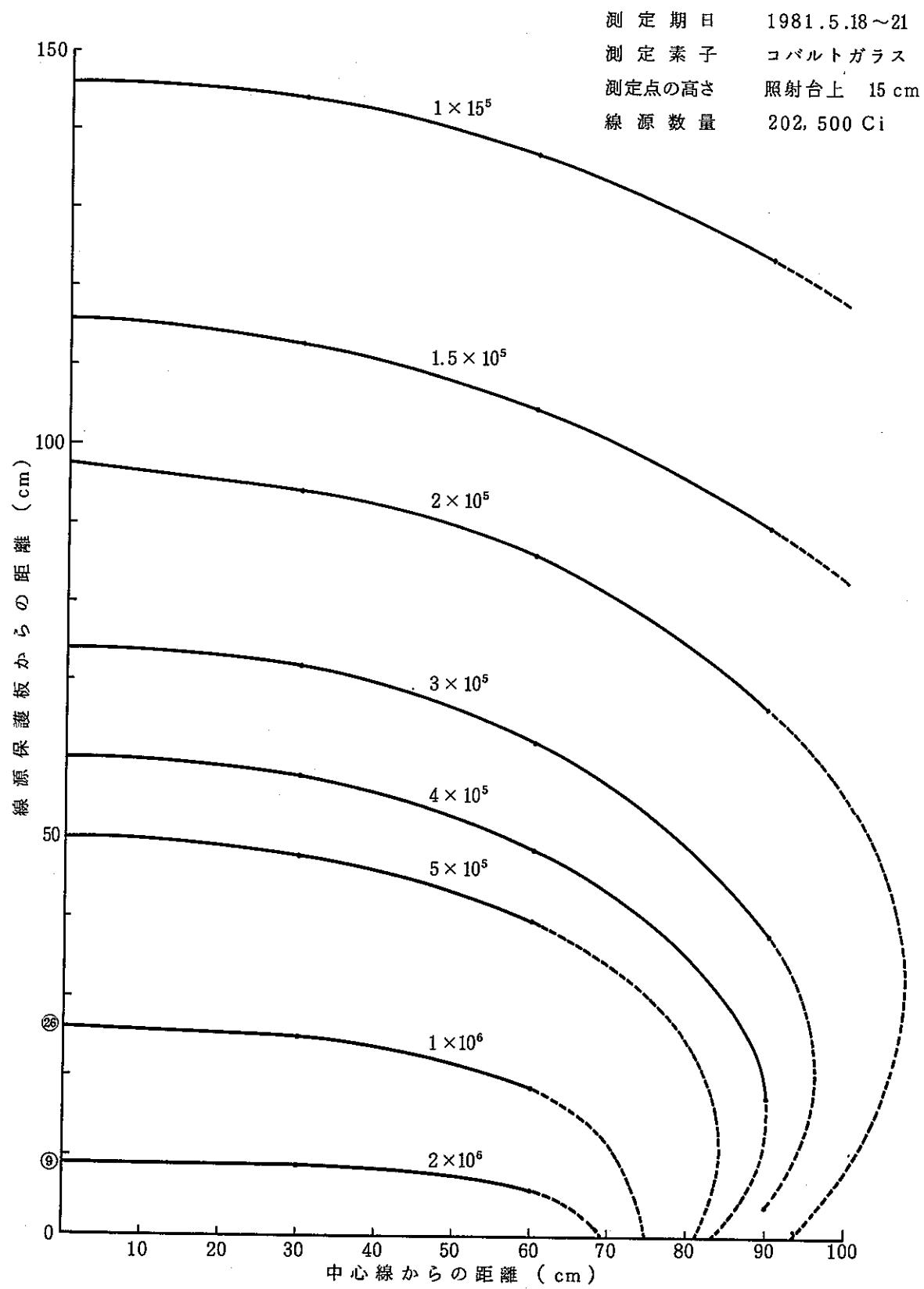
⑥ HV 電圧低下／ブリーダ抵抗断線検出

全面的に機能喪失している。

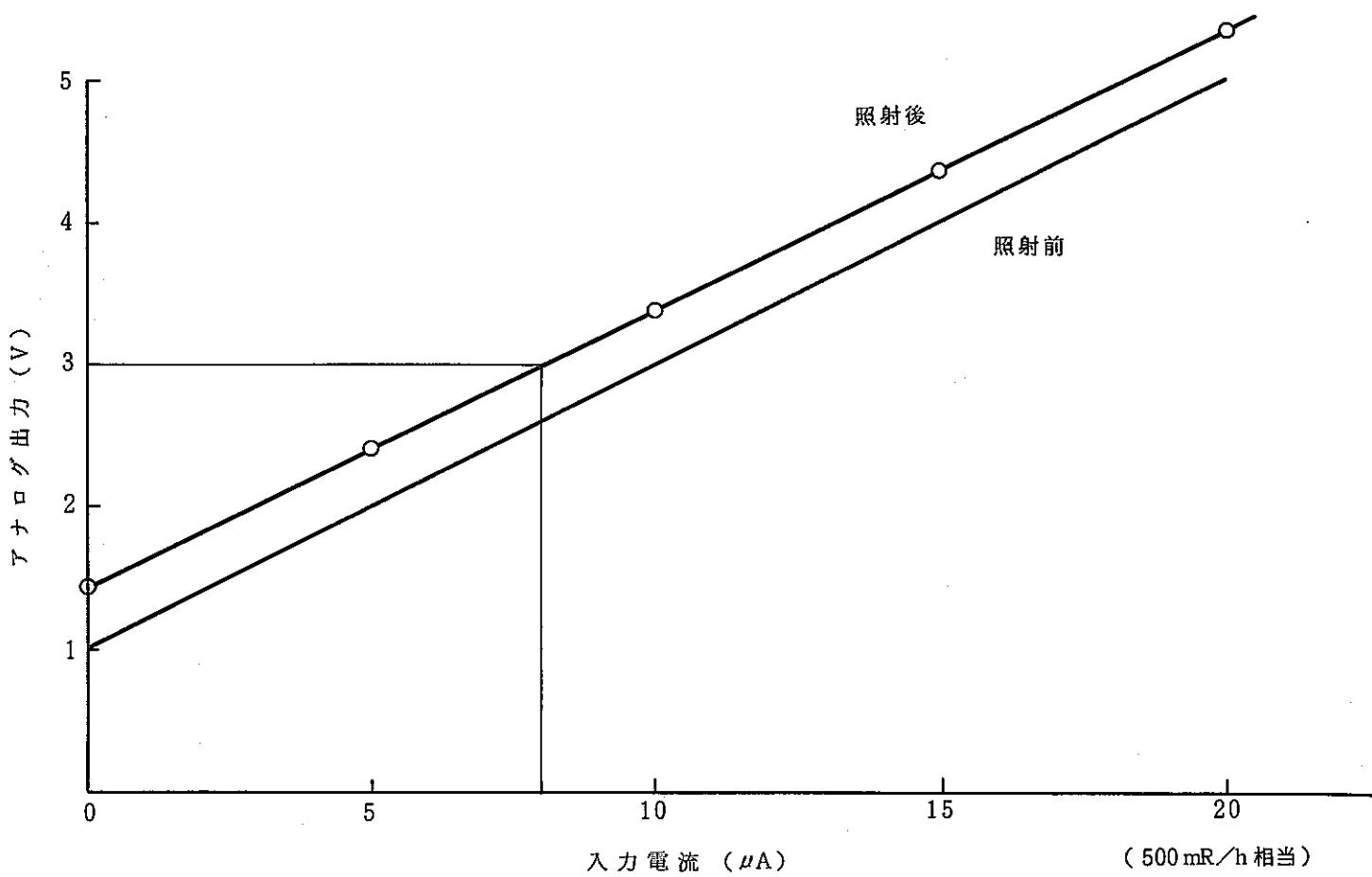
図IX-28 検出器 No.2 10^6 R 照射試験 (2.0×10^6 R/h)



図IX-29 コバルト1棟第2照射室中心線上の空間線量率分布



図IX-30 第2照射室空間線量率分布



図IX-31 検出器 No.1 照射後のアナログ出力直線性

以上により、 $2.7 \times 10^7 \text{ R}$ の照射を行うと PMT 系（プラスチック含む）は、着色等により感度劣化しており、臨界検出レベルの 200 mR/h 検出は不可能となるが、アナログアンプ及びトリップ回路は、 200 mR/h の初期設定値に対し、 250 mR/h 相当でトリップする機能を有している。尚 ⑤ 項記載のトリップ点変化量は、③ 項のシフト分による影響である。

2) プローブ 2 10^6 R 照射（トータル値）

① γ 線感度

感度劣化はしているが、照射線量に対する直線性は、変化していない。

照射前後の感度比は、照射後80%低下している。

直線性を維持している状況から γ 線による着色効果が直線的に進んできた現象と考えられる。逆に10%低下に対する線量を求めるとき、約 10^5 R となる一方検出器No.1の 10^6 R 照射時に LED チェックによるアナログレベルが50%程度減少している。これは、先に着色効果による感度劣化を線量に対し直線的評価をしたが、多少異なる様子である。いずれにせよ、 $10^4 \sim 10^5 \text{ R}$ の間に10%減の点が存在する。（図IX-32, IX-33参照）

② HV 出力

電圧………照射後出力レベル 8.6 V 上昇

“ フラツキ $\pm 1.5 \text{ V}$

“ リップル $1 \text{ V}_{\text{p-p}}$

③ PMT 以外の電子回路系、アナログ直線性

零入力時フルスケールに対し 3.2% 上昇方向にシフトしているが、直線性は照射後も変わらない。

④ +15 V 直流電圧

照射後 0.4% 低下

⑤ トリップ動作

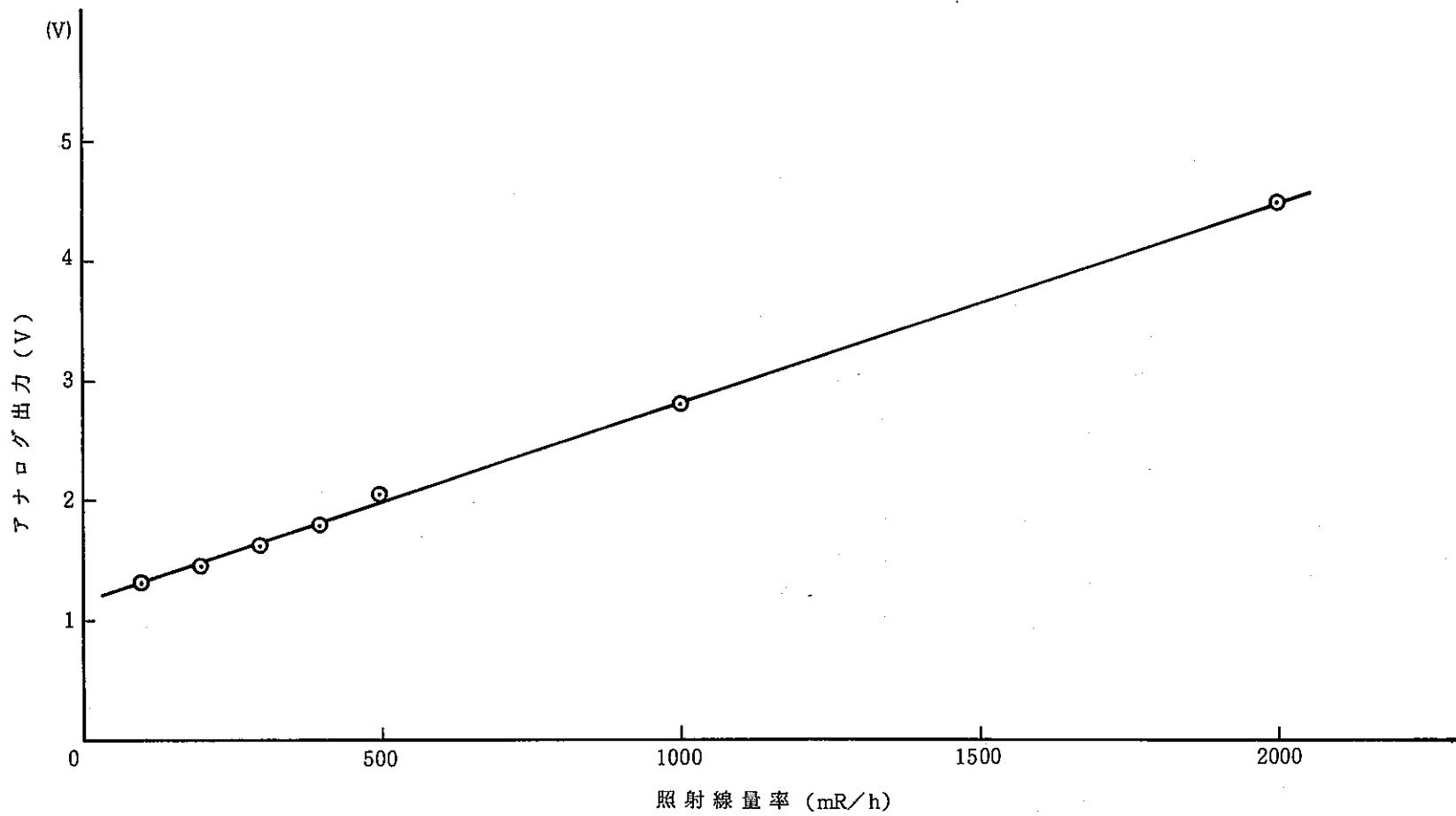
照射前に比べ 4.2% 上昇している。これは、アナログ出力 ③ 項のレベルシフトによる影響であり、トリップ点単独の変化ではない。

⑥ 電圧低下検出

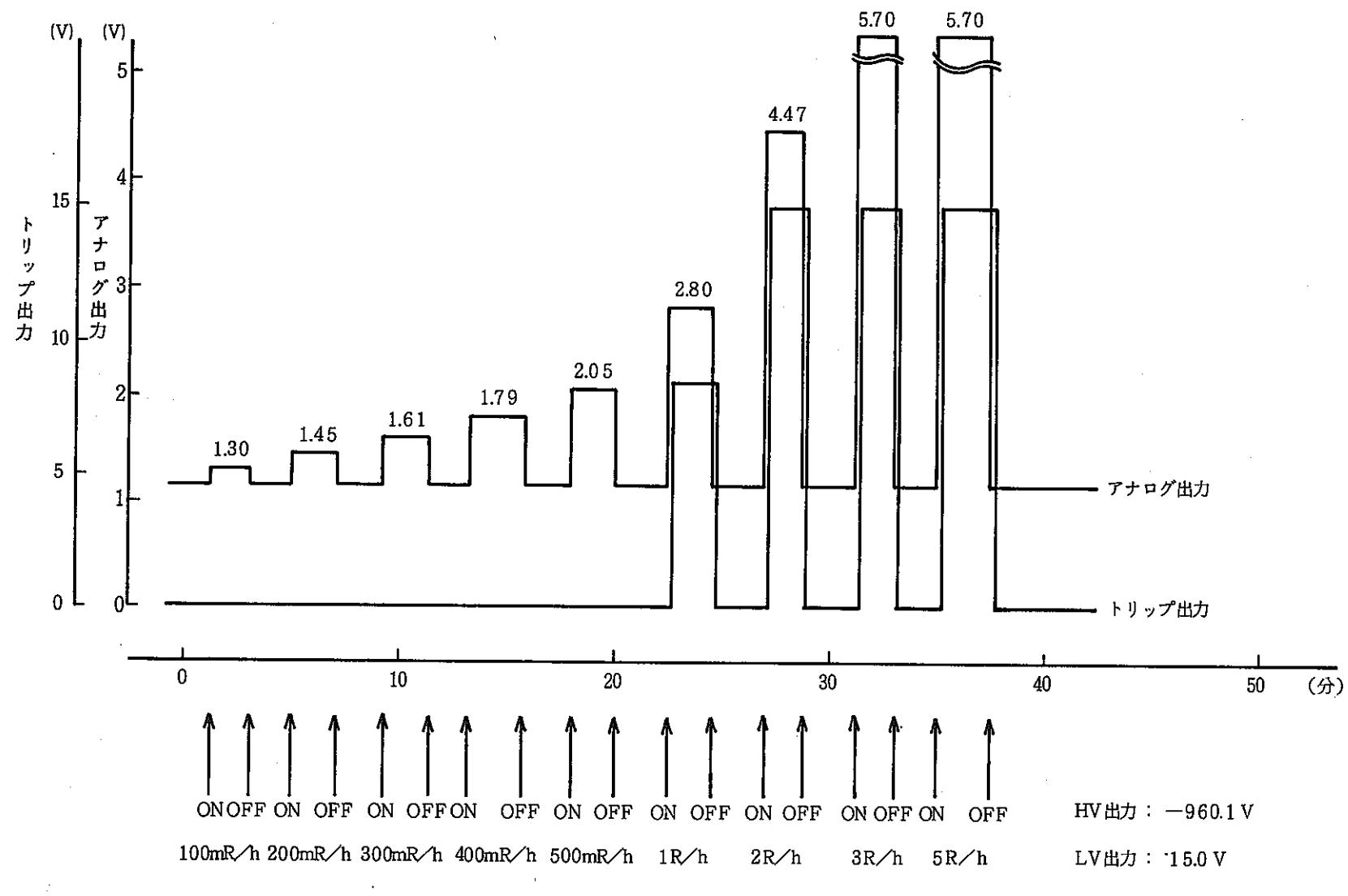
照射前の設定点 (13 V) に対し 19% 低下した点でトリップする。ただし、アナログ出力レベルに換算すると 1.6% 程度となる。

以上により、総合評価すると、検出器No.2は、 10^6 R 照射後の状態で初期トリップ設定の 5 倍の γ 線に対してトリップ機能を有している。 200 mR/h レベルに対しては、不可となる。

その他の電子回路系は、5%以内に入っている実用上のトリップ機能は十分有している。



図IX-32 検出器No.2 高線量照射後の直線性



IX-33 検出器 No.2 高線量照射後の感度試験

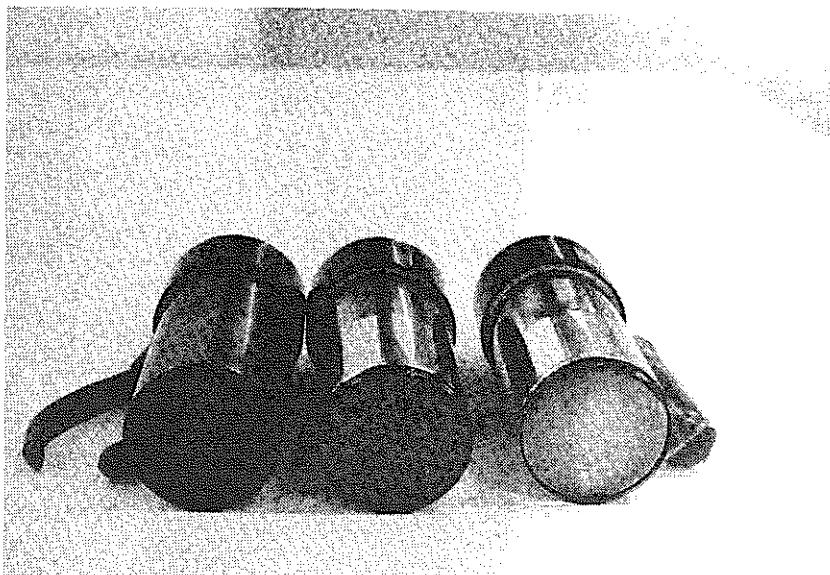
耐放射線性として、PMT，プラスチックシンチ系が弱いことがデータ上でも、又照射後の解体調査時の着色状態からも証明される。

PMT 及びプラスチックシンチの着色状態写真を写真13, 14に示す。

また、PC 板も高線量照射により着色したがその写真を写真15に示す。

写真16には検出器の照射状態を示す。





色

検出器 No. 1

濃い茶色

検出器 No. 2

薄い茶色

新 品

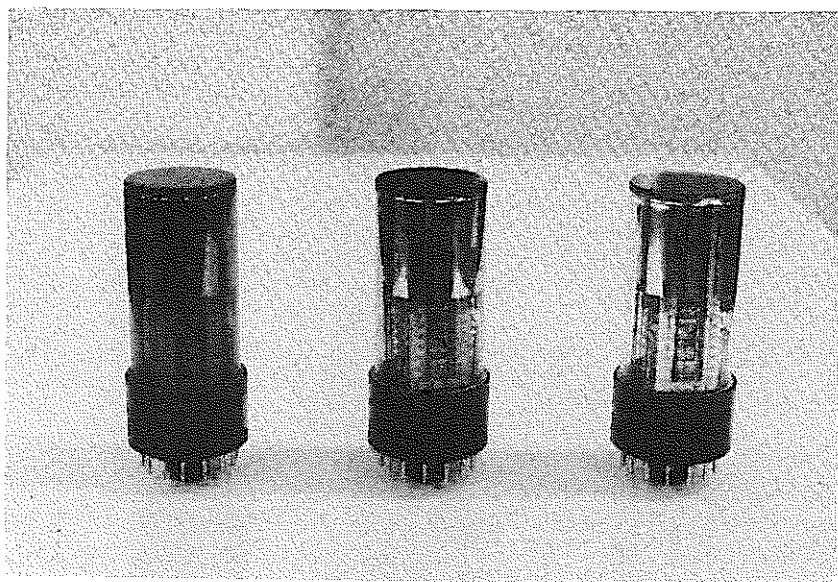
無色,透明

検出器 No.1

検出器 No. 2

新 品

フォトマル変色 (B)



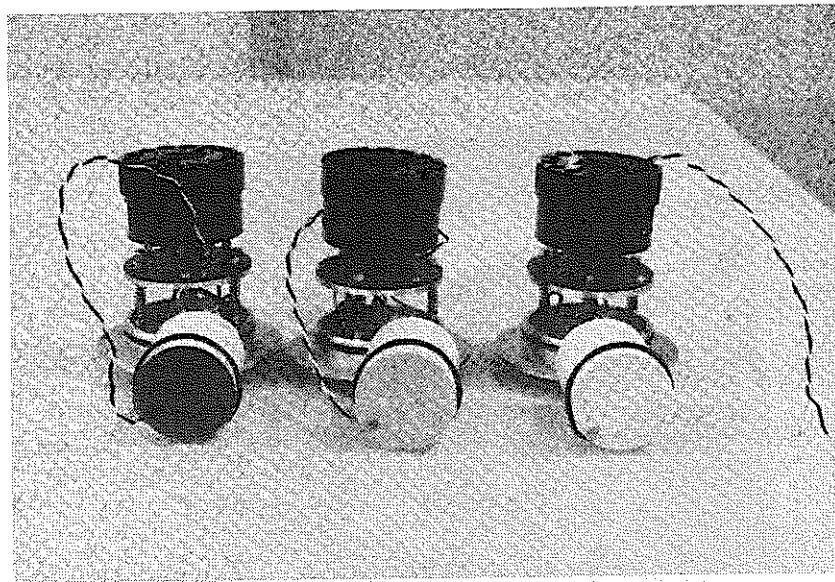
検出器 No.1

検出器 No. 2

新 品

写真13

フォトマル変色 (A)



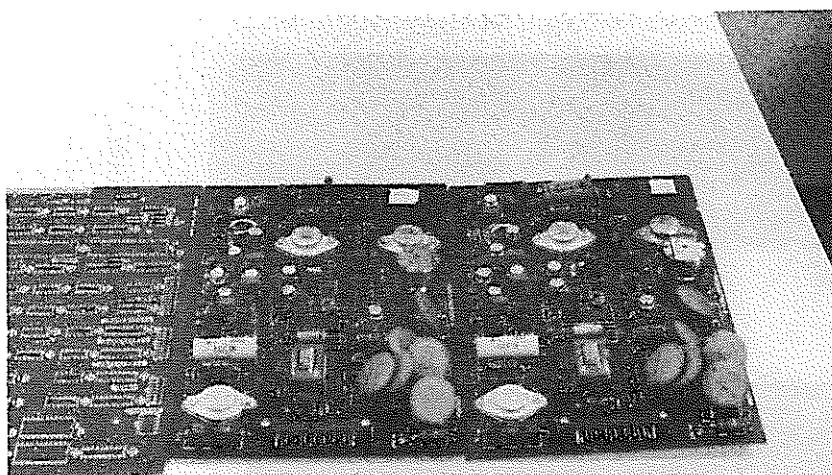
検出器No.1 検出器No.2 新品

写真14 シンチレータの変色

色

検出器No.1	濃い茶色に 変色している。
検出器No.2	黄緑色に変色 している。
新 品	無色透明

注) 検出器No.1は、シンチレータ
とフォトマル接合面に塗布さ
れたシリコンオイルがパサパ
サになっている。

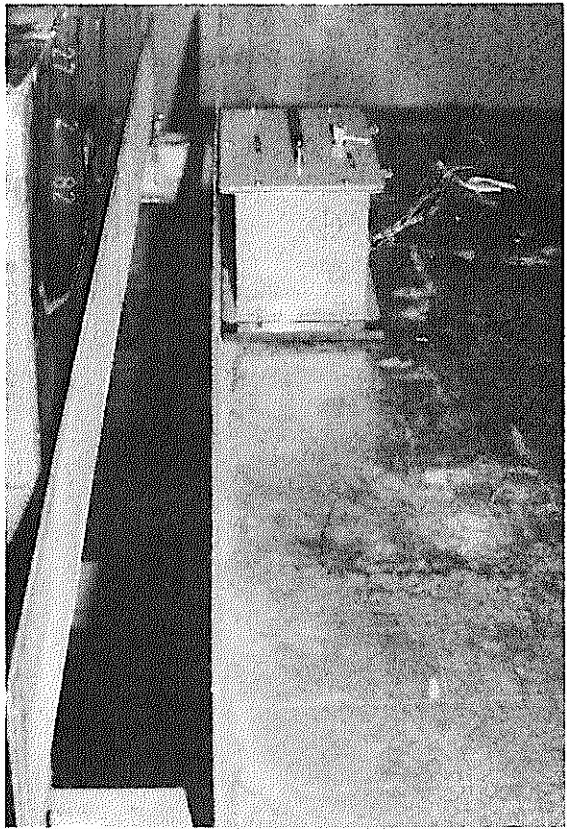


普通のPC板 検出器No.1 検出器No.2

写真15 PC板の変色

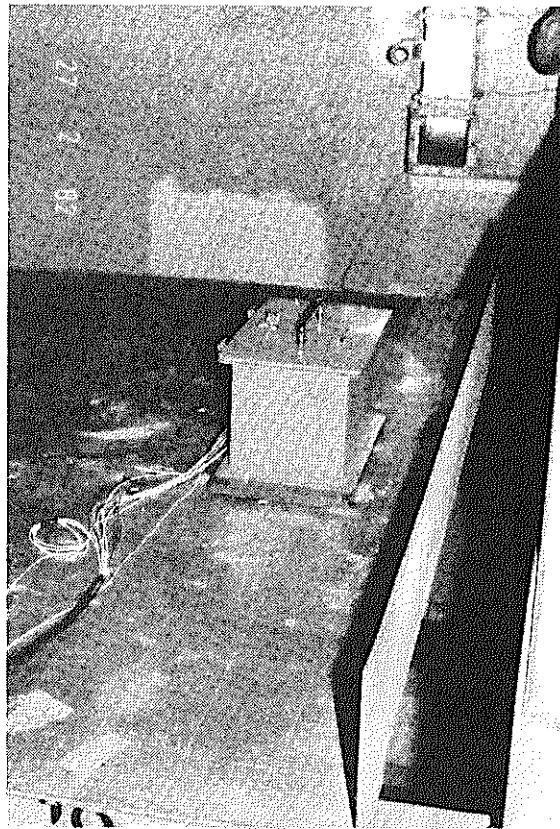
色

検出器No.1	著しく黒ずんだ グリーン
検出器No.2	やや濃くなった グリーン



$2.0 \times 10^6 \text{ R/h}$ 照射位置

(A)



10^6 R/h 照射位置

(B)

写真16 γ 線検出器照射位置

2. 2/3 論理回路 (RU 724) 単体試験

(1) DC 電源入出力特性

表IX-14 DC電源入出力特性

AC入力 [V]	DC +12 V[V]	+12Vリップル[mV _{P-P}]	DC + 5 V [V]	+5Vリップル[mV _{P-P}]
85	12.078	4	5.014	2.5
90	12.079	4	5.014	2.5
100	12.081	4	5.014	2.5
110	12.082	4	5.015	2.5
115	12.082	4	5.015	2.5
規 格	12 ± 0.2	10以下	5 ± 0.1	5以下

2 out of 3 論理回路 (RU 724) 内の DC 電源について入出力特性を調査した。この結果、AC 入力変動に対する出力の電圧、リップルの変動測定結果はいずれも規格値を満していた。結果を表IX-14に示す。

(2) タイマ用クロック精度

タイマ用クロック精度について測定した結果

規格 1MHz ± 0.1%に対し

結果 1MHz ± 0.02 以下

となり良好な結果である。

(3) 単体機能動作テスト

2/3 回路の同時性判定用時間 500 msec について精度を測定した。

規格 500 msec ± 0.5% (±2.5 msec 以内) に対し

結果 500 msec ± 0.022% 以下

となり良好な結果である。結果を表IX-15に示す。

(4) 入出力パルス応答特性

1) 入力パルス幅特性

検出器からのトリップ入力を信号としてラッチする為に必要な最小入力パルス幅の測定を行った。

測定結果 132 μsec 以下

となる。この応答特性は、耐ノイズ性、臨界検出系全体に与える警報発生スピードに関連している。

耐ノイズテストの結果より、ノイズ的には問題ない。また全体のスピード上は、500 msec の同時性と比較しても、0.03%程度であり、問題ない結果である。

2) 2/3 出力応答特性

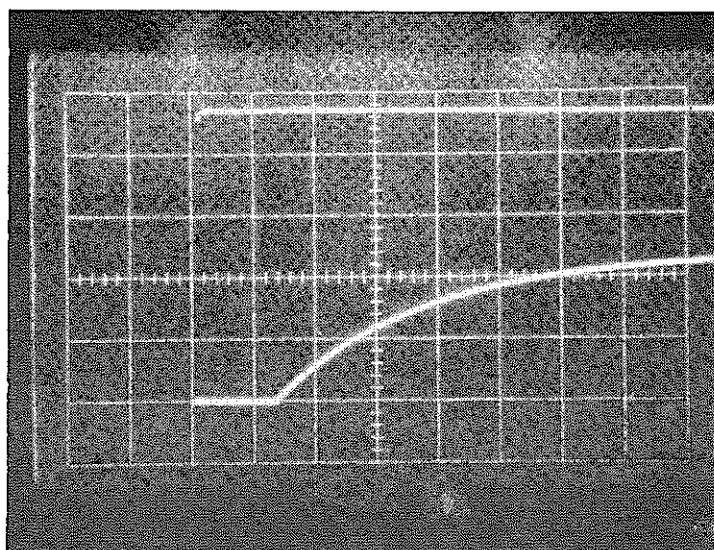
2 out of 3 の条件を満足したのち 2/3 論理回路がトリップ信号を出力するまでの時間は

測定結果 180μsec以下

となり、これは前記同様の考え方となり、500 msecの時間に対し、十分小さい値である。結果の一例を写真17に示す。

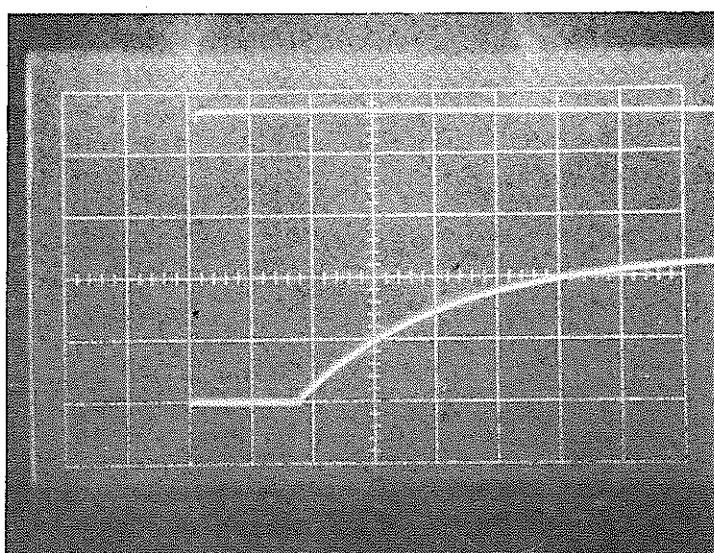
表IX-15 同時性判定用時間の誤差測定結果

グループ	シーケンス	500msecに対する応答(μsec)
G ₁	S ₁ • S ₂	- 94
	S ₂ • S ₃	- 23
	S ₃ • S ₁	- 88
	S ₂ • S ₁	- 18
	S ₃ • S ₂	- 86
	S ₁ • S ₃	- 18.5
G ₂	S ₁ • S ₂	- 3.6
	S ₂ • S ₃	- 46
	S ₃ • S ₁	- 110
	S ₂ • S ₁	- 104
	S ₃ • S ₂	- 68
	S ₁ • S ₃	+ 6.4
G ₃	S ₁ • S ₂	- 53
	S ₂ • S ₃	- 19
	S ₃ • S ₁	- 88
	S ₂ • S ₁	- 53
	S ₃ • S ₂	- 88
	S ₁ • S ₃	- 20
G ₄	S ₁ • S ₂	- 61
	S ₂ • S ₃	- 46
	S ₃ • S ₁	- 58
	S ₂ • S ₁	- 49
	S ₃ • S ₂	- 60
	S ₁ • S ₃	- 50



(A) $G_1 S_1 \cdot S_2$

上 : 入力信号
10 V/div
下 : 2/3 出力
5 V/div
0.1 msec/div



(B) $G_2 S_2 \cdot S_3$

上 : 入力信号
10 V/div
下 : 2/3 出力
5 V/div
0.1 msec/div

写真17 2/3 出力応答特性

3. テスト回路単体試験 (RU 725)

(1) DC 5 V リップル測定

規格 $3 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ 以下に対し

結果 $2.5 \text{ mV}_{\text{p-p}}$ 以下

となり良好な結果である。

(2) DC 電源低下検出 (PFD) 特性

規格 $+12 \text{ V} \rightarrow -9.0 \%$

結果 $+5 \text{ V} \rightarrow -7.0 \%$

となり良好である。

(3) タイマ用ロック精度

規格 $1 \text{ KHz} \pm 2 \%$ の規格に対し

結果 $1 \text{ KHz} \pm 0.27 \%$

となり良好な結果である。

4. 低圧電源単体試験 (RU 726/RU 727)

(1) 電源変動

AC入力 90V～110Vに対し、定格負荷時 (RU 726 - 24V 1A, RU 727 - 12V 2A)
について測定、+24V (RU 726), +12V (RU 727)共に、

規格	± 0.1% 以下 (出力電圧)	5 mV _{P-P} 以下 (リップル)
結果	± 0.004%	2 mV _{P-P}

となり、良好な結果であった。

(2) 負荷変動率

無負荷 全負荷にて測定、RU 726/727 とも

規格 ± 0.1% 以下に対し

結果は ± 0.004% 以下

となり、良好な結果であった。

(3) 最大出力電流、短絡電流／短絡保護特性

表IX-16に各特性の測定結果を示す。いずれも規格を満たしている。

また、短絡特性はフの字特性を示しており、結果を図IX-34, IX-35に示す。

表IX-16 最大出力電流、短絡電流／短絡保護特性

	R U 7 2 6			R U 7 2 7		
	出 力		短 絡 電 流	出 力		短 絡 電 流
	電 壓	電 流		電 壓	電 流	
規 格 値	24 V ± 0.5 %	1 A以上	500 mA 以下	12 V ± 0.5 %	2 A以上	500 mA 以下
測 定 値	24.01 V	1.16 A	320 mA	12.006	2.48	320 mA

(4) 出力電圧設定精度

出力電圧の測定結果を表16に示す。いずれも規格を満していた。

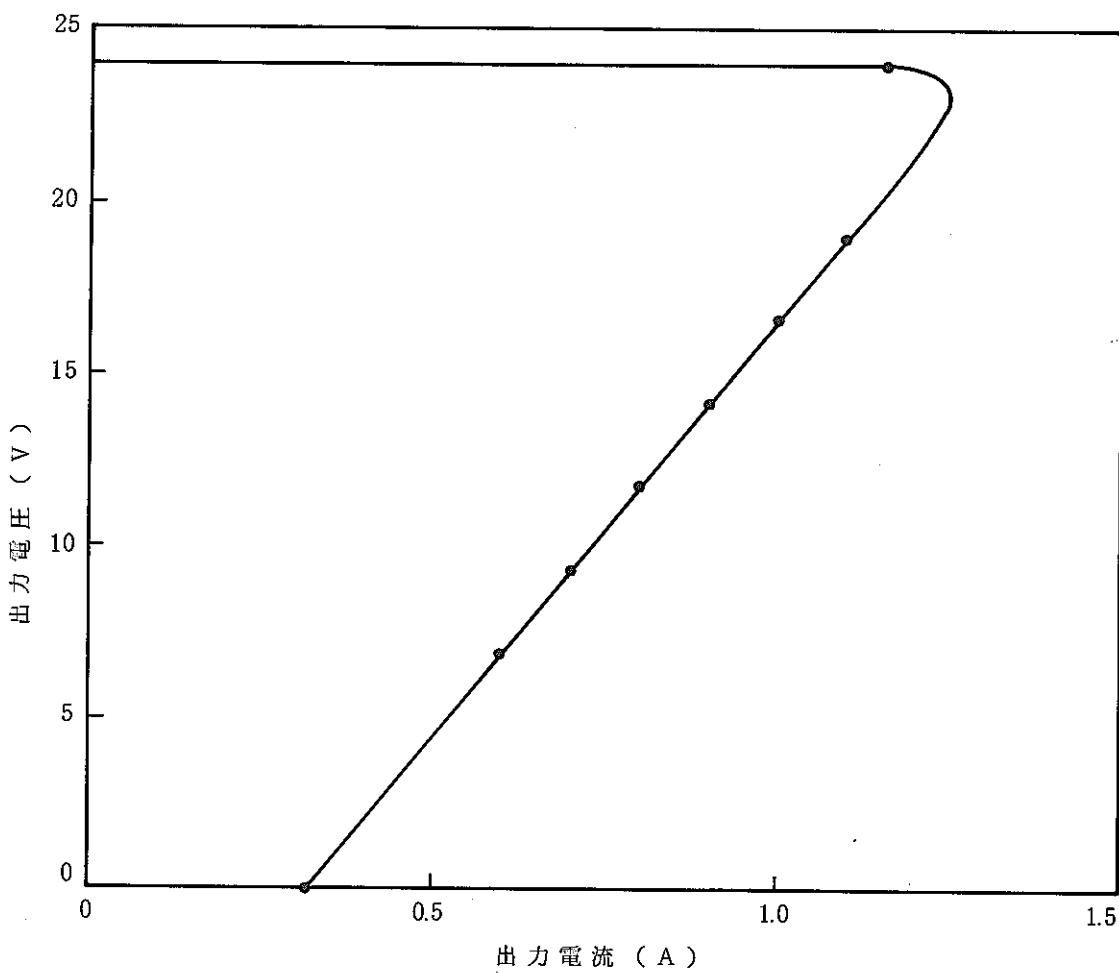
(5) 温度特性試験

温度が高くなると出力電圧は低下する傾向にあるがいずれも

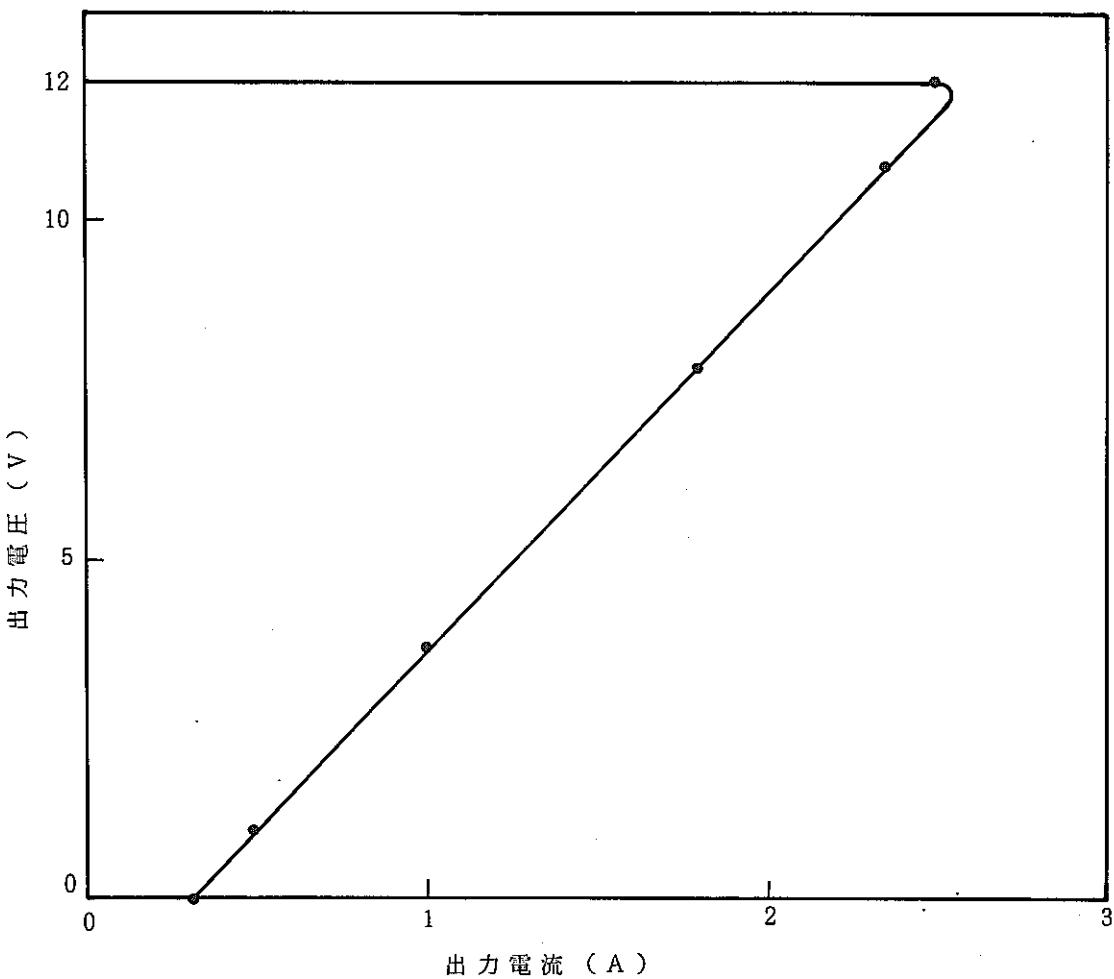
規格 0.02% / °C 対し

結果 0.0015% / °C 以下となり

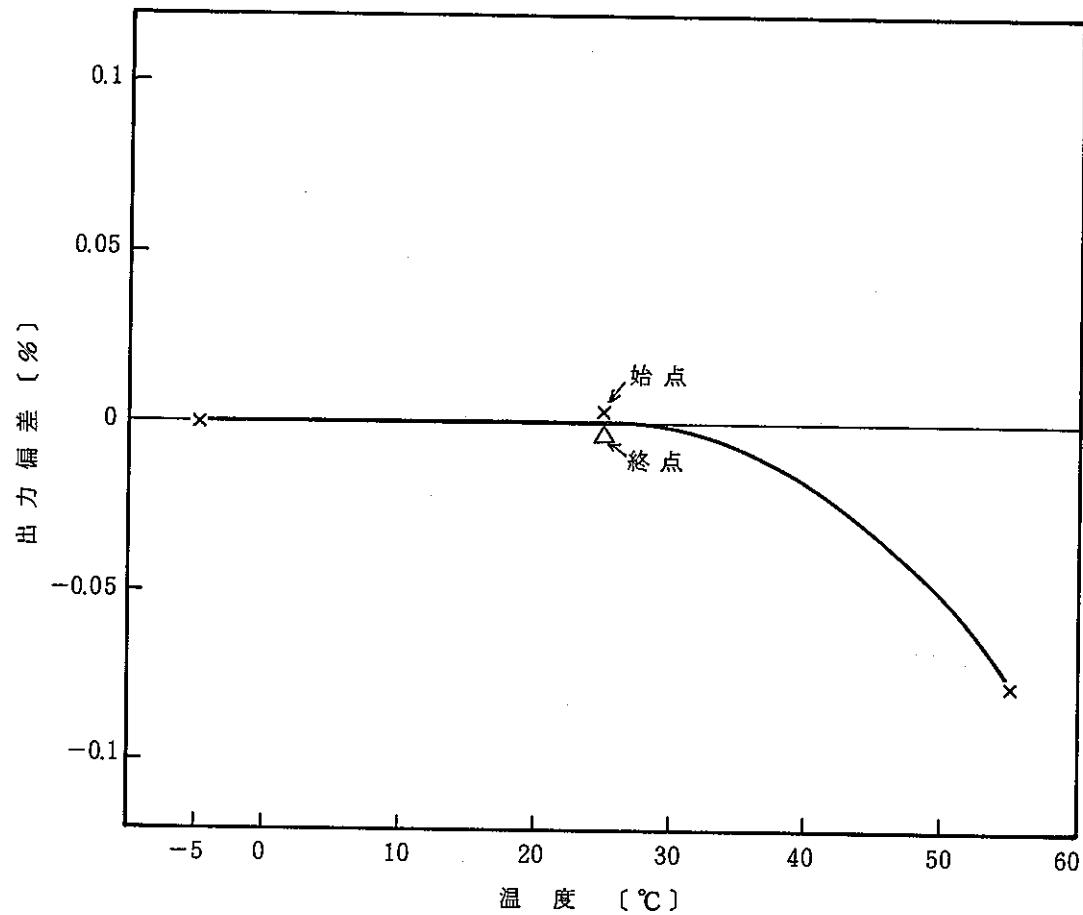
良好な結果であった。図IX-36, IX-37に温度特性の結果を示す。



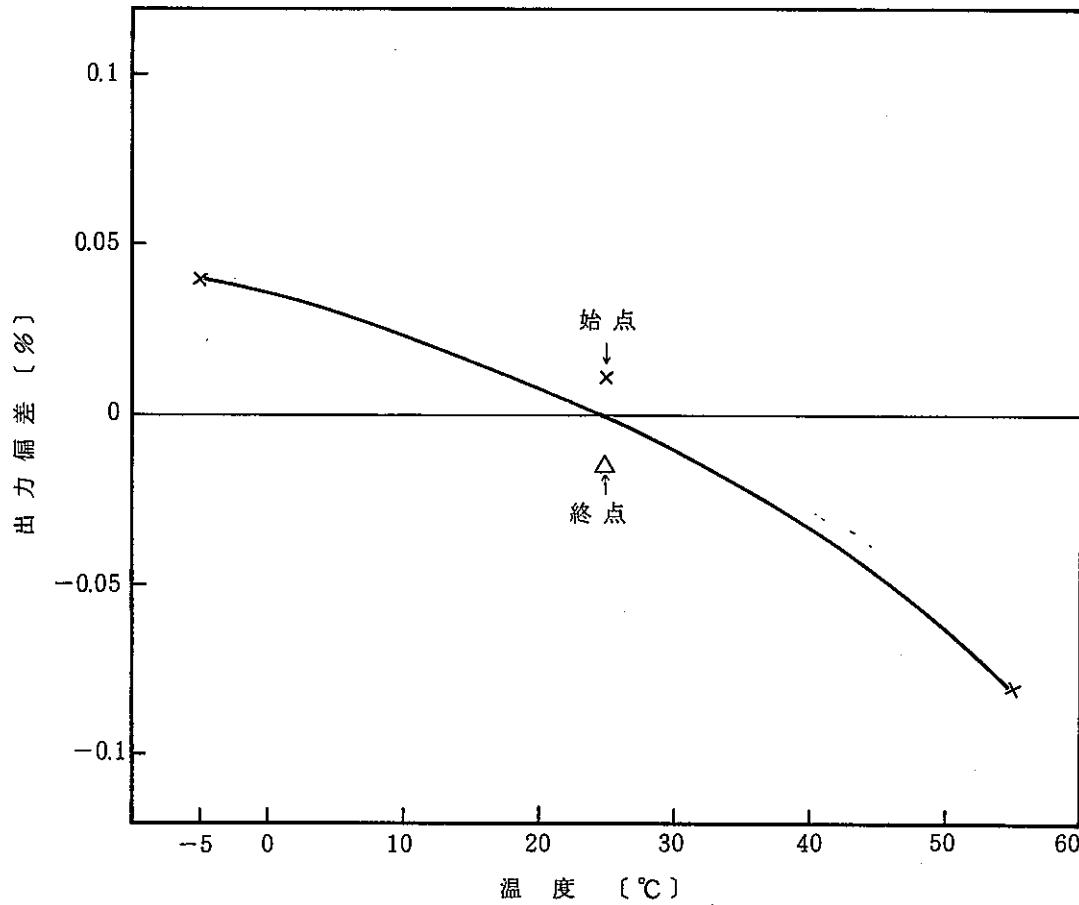
図IX-34 RU 726 出力保護特性



図IX-35 RU 727 出力保護特性



図IX-36 R U 726 温度特性



図IX-37 RU 727 温度特性

5. 組み合わせ試験

(1) シーケンス動作テスト

検出器，2/3回路，テスト回路，低圧電源を組み合わせて実施した。

各動作とも異常無く良好な結果であった。

(2) 応答特性

1) 電気パルスによる応答

2/3回路のFailureランプが点灯する為の検出器入力電流最小値を求める。

結果 $11.2 \mu\text{A}$

入力波形 2.6 msec パルス

トリップ点 $8 \mu\text{A}$ に対し， 2.6 msec のパルス幅，繰り返し 100 Hz の入力では， $11.2 \mu\text{A}$ 即ち 40% オーバーの電流が必要となる。検出器単体では測定した結果から約 $10.5 \mu\text{A}$ の入力があれば検出器はトリップするが2/3回路と組み合わせた場合若干入力電流を多く必要とする。

2) γ 線照射特性

2/3回路が検出器からの信号を受け付ける最小 γ 線レベルの実測

結果

検出器単体にてトリップするレベルと同じとなった。

3) トリップ開始点の入力パルス幅，波高特性

時定数 1 msec ，トリップレベル $8 \mu\text{A}$ の検出器において，パルス発生器を用い入力電流を模擬し，トリップを開始するパルス幅と電流の関係を求めた。(図IX-38, IX-39参照)

結果

最小パルス幅 $100 \mu\text{sec}$ にて， $148 \mu\text{A}$ でトリップ開始する。これは，トリップ点 $8 \mu\text{A}$ に対し， 18.5 倍の量となる。又，テスト結果中の最大パルス幅 10 msec では， $8.8 \mu\text{A}$ でトリップを開始する。これは，トリップ点に対し， 1.1 倍の量となる。

全体的には検出器単体の場合と2/3回路を組み合わせた場合とではトリップするのに必要な電流特性に変化はなく図IX-4と図IX-38は同じ特性を示している。

(3) 電源瞬断テスト

入力，AC 100 V 電源を瞬間停電させ，検出器アナログ信号に異常が現われ始める瞬断幅，2/3回路のFailureランプが点灯する瞬断幅を求める。

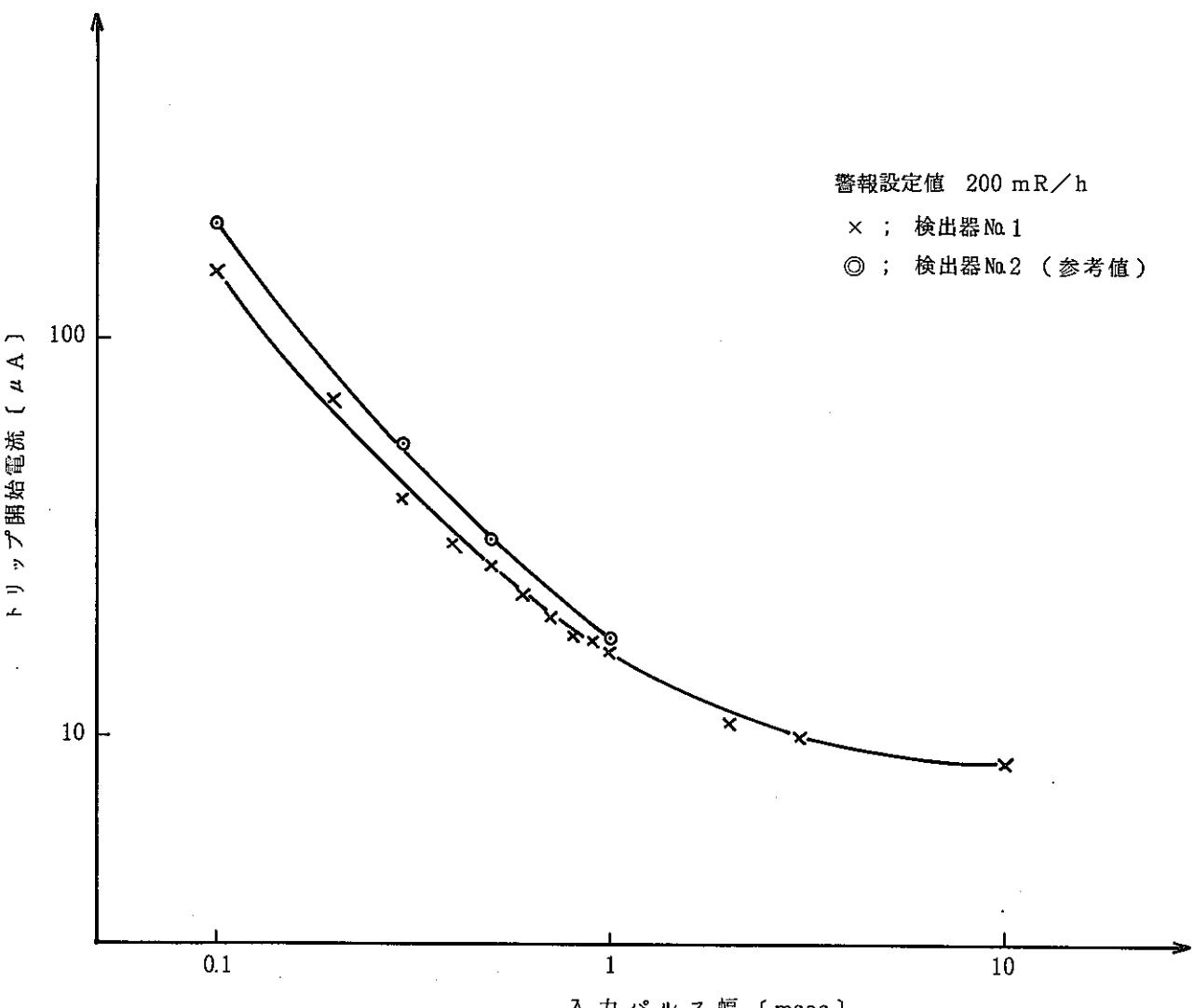
この結果

アナログ異常幅 370 msec

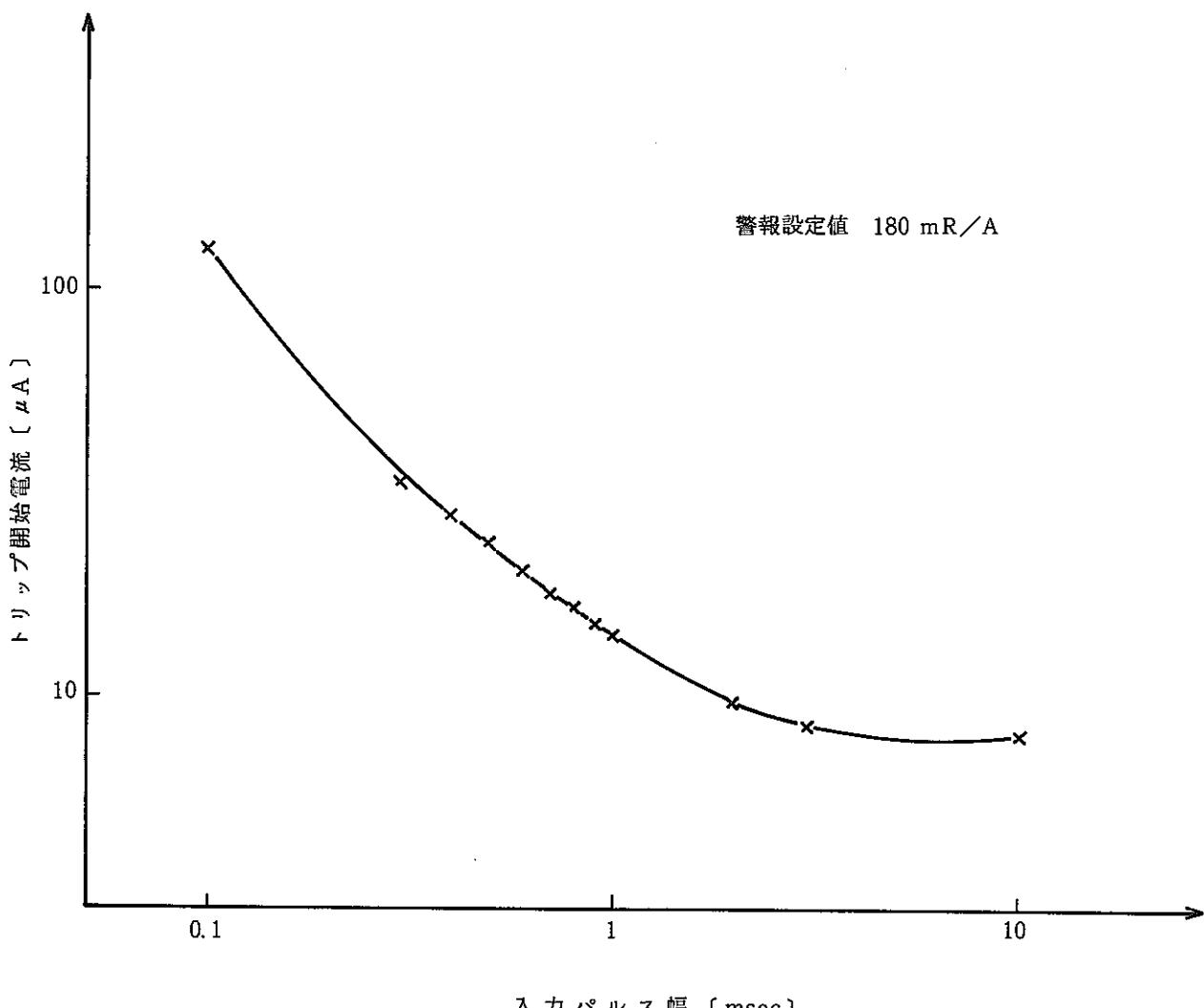
ランプ点灯幅 400 msec

となり，規格である 30 msec の瞬断に異常の無いことに対し十分余裕のある瞬断幅である。

写真18, 19にアナログ信号の異常やFailureランプの点灯するAC電源の幅を示す。



図IX-38 パルス電流応答特性



図IX-39 パルス電流応答特性

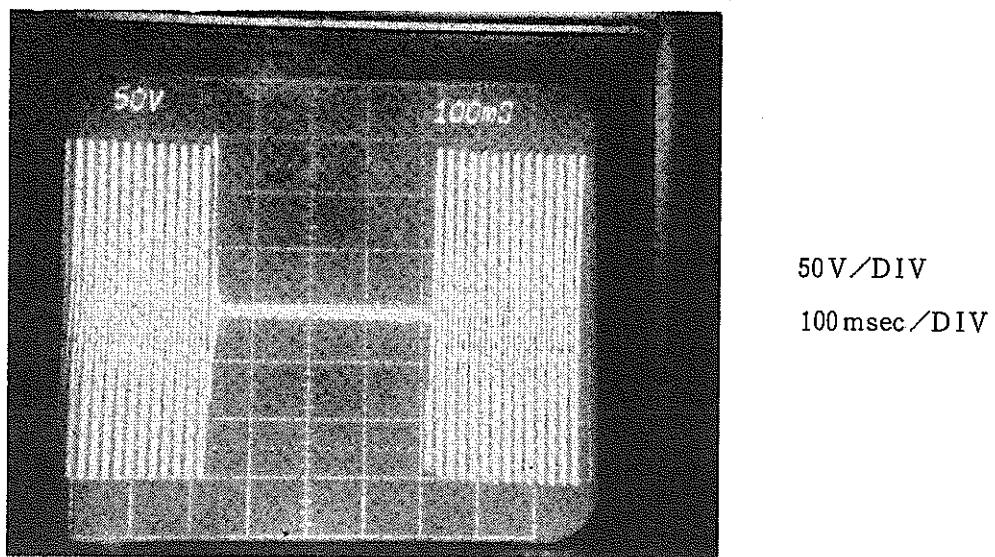


写真18 電源瞬断－370 msec(アナログ出力に異常を生ずる最小幅)

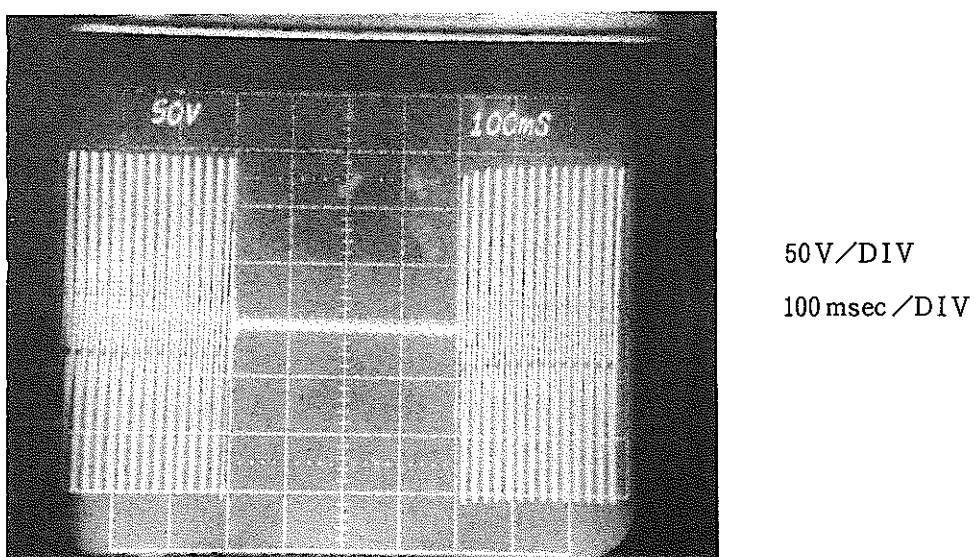


写真19 電源瞬断－400 msec(フェールランプ点灯する最小幅)

(4) 耐ノイズ性テスト

1) AC 入力耐ノイズテスト

全系統接続し、AC ラインにノイズ試験器を並列に接続して異常の無いことを確認した。

シーケンス及びアナログ出力上にも異常は無く AC 入力耐ノイズテストは良好な結果であった。

2) 無線機 (500mW) によるテスト

規格 1 m の近傍にて異常無きこと。に対し

結果は アナログ系の出力に 0.02 V 程度の変動あったが Failure ランプは点灯しなかった。

このレベルは、アナログ系士 5 % 以内の直線性に対し、0.5 % であり実用上は問題無い数値である。

又、テスト条件は、検出器ケーブルが裸の状態であり、実際の設置工事上では、コンジットを検出器ボックスへ直付する為さらに影響は小さくなる方向である。

(5) ウオームアップ特性

規格の「電源ON後 10 sec 以内でアナログ出力一定となること」に対し結果は 6 sec にて一定となり、良好な結果である。

図IX-40にウォームアップ特性の測定結果を示す。

(6) 単一故障モード試験

2/3 論理のテストとして、検出器用電源を低下させて单一故障モードの状態を発生させた。この結果、2/3 論理回路は正常に動作した。

(7) 温度特性

2/3 回路、テスト回路について実施した。クロック精度について測定した結果を図IX-41、IX-42に示す。

結果は規格 (2/3 回路士 0.2 %, テスト回路士 4 %) に対し、それぞれ士 0.003 %, 士 1.6 % と良好であった。

また、シーケンス動作についても異常無く、良好な結果であった。

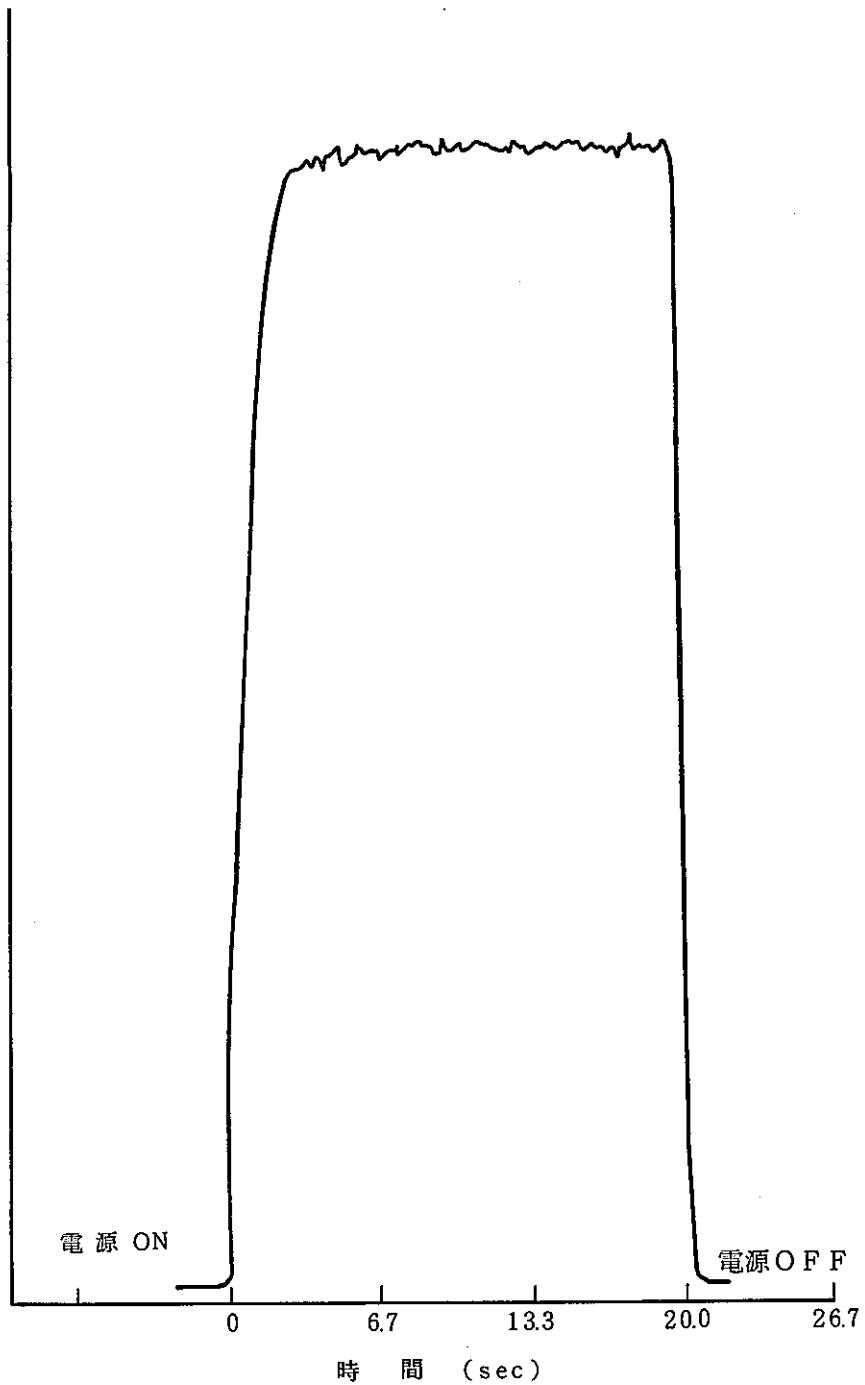
(8) 振動試験

2/3 回路、テスト回路、低圧電源 (+24 V / +12 V) について水平 3 G, 垂直 0.36 G の加振試験を実施した。

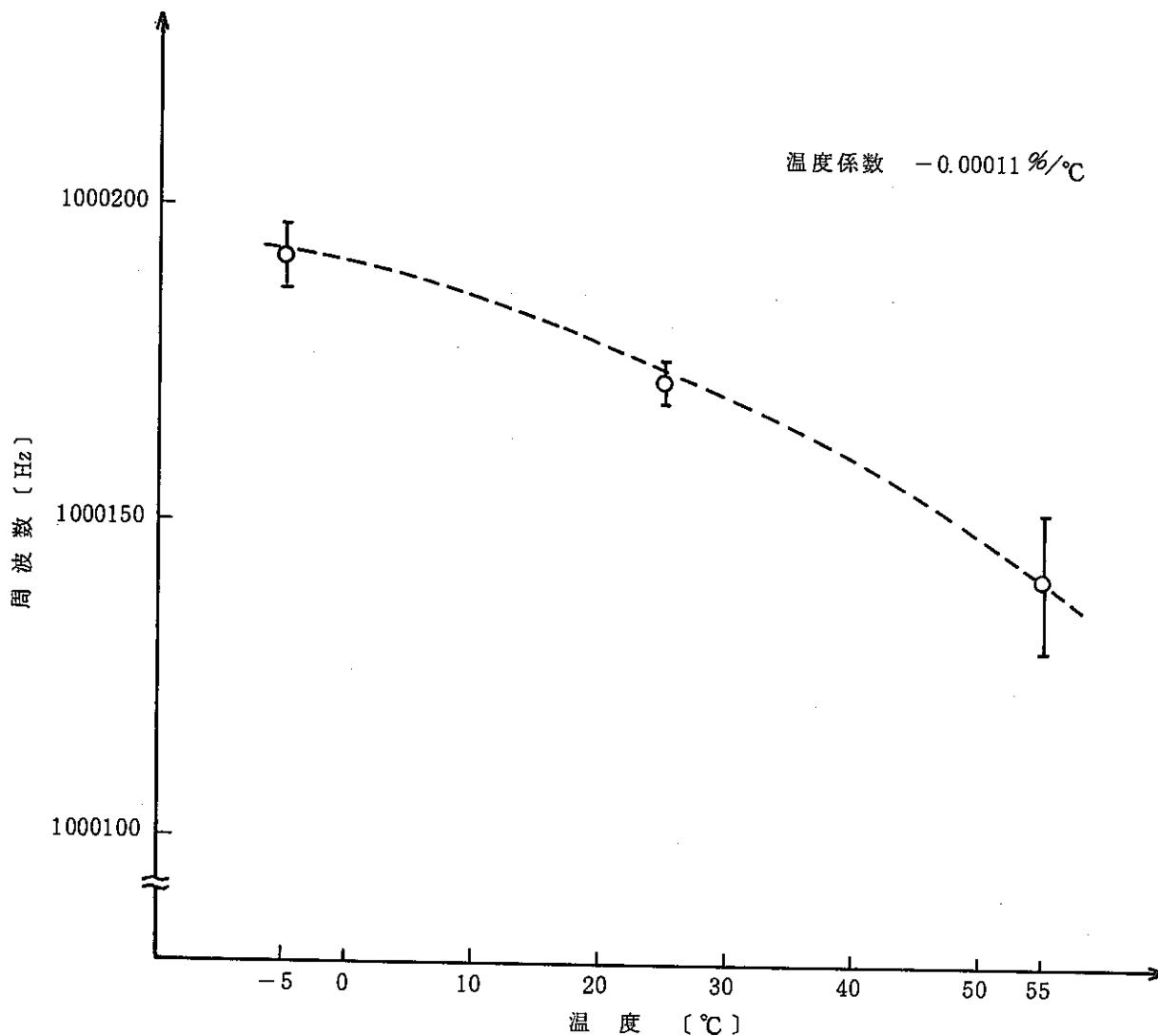
結果は異常無く良好な結果であった。

また、各モジュールの共振点を表IX-17に示す。

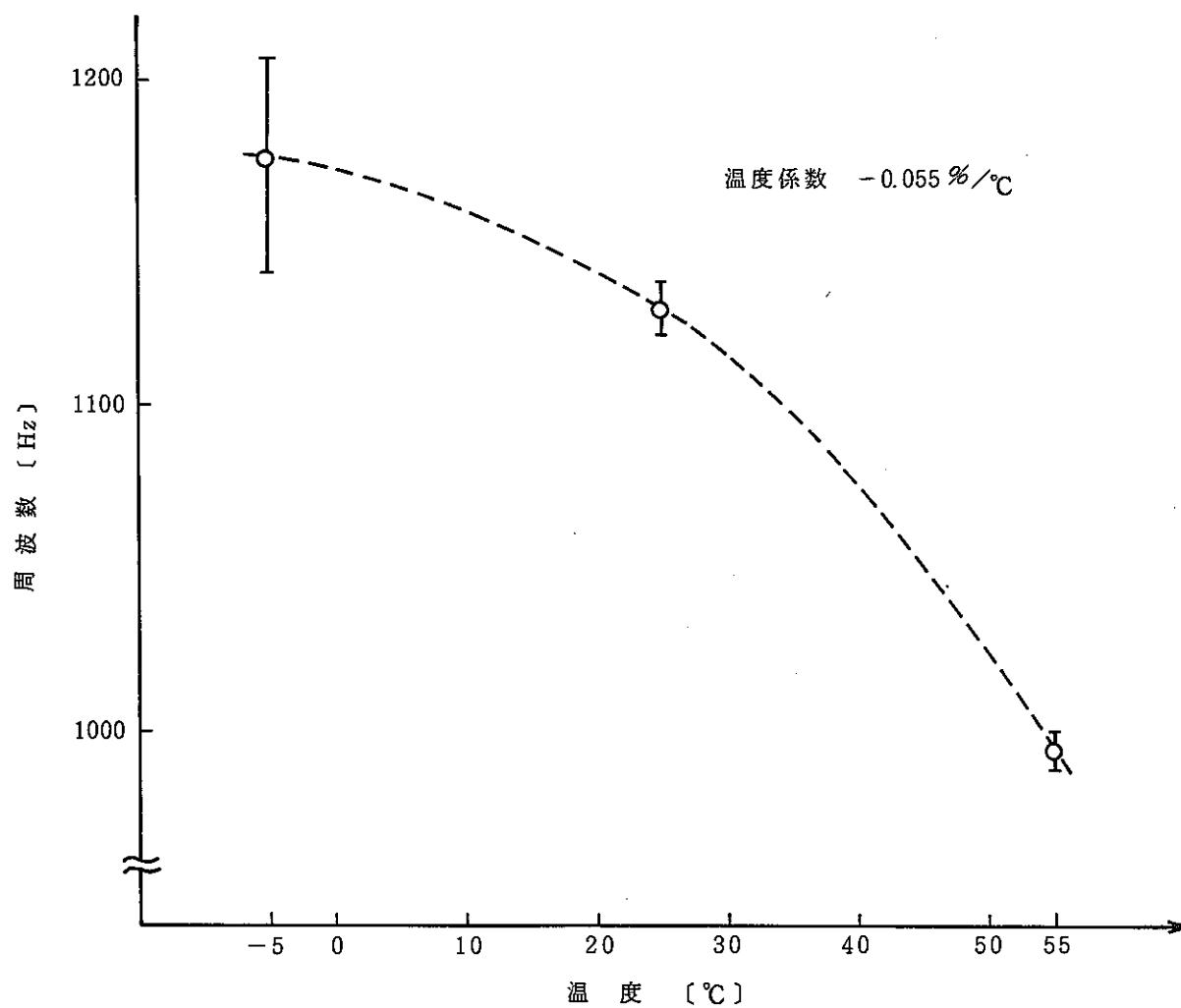
アナログ出力電圧(任意スケール)



図IX-40 ウォームアップ特性



図IX-41 RU 724 タイマ用クロック周波数安定度



図IX-42 RU 725 タイマ用クロック周波数安定度

表IX-17 振動試験結果

共 振 点	2/3論理回路	テ 斯 ト 回 路 と RU 726, RU 727 の 組 み 合 わ せ
前 後 方 向	35Hz	50Hz
左 右 方 向	80Hz	70Hz
垂 直 方 向	70Hz	-

(9) 加湿試験

検出器、2/3回路、低圧電源(+24V/+12V) テスト回路について、90%RHにて実施した。結果は、全て異常無く良好な結果である。尚結果を表IX-18に示す。表中リップルについては通常時と加湿時の参考比較値である。

表IX-18 加 湿 試 験

試験項目	常温時	90 %							常温時に対する変動(%)
		到達時	10分後	20分後	30分後	40分後	50分後	60分後	
1. クロック精度									
RU724 (1M)	1000165Hz	1000164Hz	1000162Hz	1000162Hz	1000159Hz	1000159Hz	1000155Hz	1000153Hz	0.0012 %
RU725 (1K)	1003.9Hz	1002.8Hz	1002.4Hz	1002.2Hz	1001.7Hz	1001.2Hz	1000.9Hz	999.5Hz	0.44 %
2. シーケンス動作	正 常	正 常		正 常		正 常		正 常	—
3. LV出力									
+12V	11.999V	11.998V	11.998V	11.999V	11.999V	11.999V	11.998V	11.997V	0.016 %
+24V	23.999V	23.999V	23.999V	23.998V	23.998V	23.998V	23.997V	23.997V	0.0083 %
4. LVリップル									
+12V	60m V _{P-P}	72m V _{P-P}	64m V _{P-P}	48m V _{P-P}	60m V _{P-P}	64m V _{P-P}	60m V _{P-P}	63m V _{P-P}	—
+24V	38m V _{P-P}	34m V _{P-P}	30m V _{P-P}	25m V _{P-P}	29m V _{P-P}	30m V _{P-P}	32m V _{P-P}	24m V _{P-P}	—
5. HV出力	-921.45V	-921.69V	-921.83V	-921.82V	-921.88V	-921.97V	-922.10V	-922.23V	0.085 %
6. HVリップル	38m V _{P-P}	44m V _{P-P}	30m V _{P-P}	36m V _{P-P}	38m V _{P-P}	30m V _{P-P}	36m V _{P-P}	34m V _{P-P}	—
7. アナログ出力								0.5% F. S	

※ LVの出力電圧は、前面パネルのチェック端子より測定出力を取り出した。

※ 検出器のLEDには直流増幅器の入力電流換算で $1 \mu\text{A}$ (0.2V) のバイアス電流をかけて測定。

X ま と め

改良型臨界警報装置を開発するにあたって、臨界警報装置の設置目的を明確化することを第1に行った。設置目的を明確化することにより、設置目的以外の機能を可能な限り減じ装置全体の信頼度を向上することを設計方針とした。具体的には、万一臨界事故が発生した場合に作業員を退避させ被ばくを可能な限り減じることが臨界警報装置の目的であり、それ以外の例えば線量計測等の付帯機能はもうけていない。このため、臨界警報装置の基本的な機能は、①臨界事故により放出されるガンマ線等の放射線を検出し、所定の値以上となった場合にそのことを示す信号（以下「検知信号」という。）を発生する機能、②検知信号が臨界事故によるものか判別する判別機能、③判別機能により臨界事故が発生したと判別された場合、作業員を退避させる警報を発する警報発生機能の3つである。以上の基本機能の他に、④系に供給する電源を無停電電源とすること、⑤耐震クラスAの設計を行うこと、⑥ディレーティング設計を明確にすること、⑦機能ごとにモジュール化すること、⑧高い信頼性の得られる設計を行うこと、⑨高い品質管理を行うこと、⑩保全性を可能な限り向上する、の6点を加え10項目を設計の基本方針とした。

概念設計において、設計の基本方針を軸に、系全体の論理構成を検討した。論理構成としては、①単系、②並列系、③2／3論理、④2／2+冗長論理、⑤2／4論理、⑥2／5論理、⑦2／24論理を取り上げ系全体の信頼性の検討を行った。その結果、機能喪失及び誤警報の両者の信頼度をバランス良く改善するため判別部分を2 out of 3論理とし、それ以外の部分を並列論理とする方式を採用することとした。さらに、臨界事故を判別する時間を0.5秒とした。

詳細設計で、全体の構成及び、各部の詳細設計を行った。全体の構成は監視機能と点検・モニタ機能の二つに分けられ、点検・モニタ機能は使用期間中点検の可能なように独立な構成とした。

各部の詳細設計において特徴的な点としては、

- | | |
|-----------------|---|
| 1) 検出器 | ①ガンマ線を検出し、光電子増倍管アノード電流でトリップ信号を発生、②LEDによるISI他故障検出回路を内蔵している。 |
| 2) 分配BOX | 单一故障モードを満足するよう分岐している。 |
| 3) 2／3論理回路 | ①2／3論理回路を3台モジュール化して独立させ各々の低電圧系も含め单一故障モードを満足している。②供用中の单一故障を、LED、テスト回路で把握できる。 |
| 4) テスト回路 | ①誤って点検操作を行わないようダブルアクションにより点検開始となる②点検中にも臨界監視状態が継続できるようにしている。 |
| 5) AUX、警報発生ユニット | ①重要なリレー回路に故障を知らせる異常検知回路、点検動作確認用リレー回路を設けた。 |

- | | |
|--------------|---|
| 6) 警報音発生装置 | ①超音波により常時警報音発生スピーカの健全性を確認している。 |
| 7) 回転灯, スピーカ | ①現場機器配置方法を、隣り合う機器は互いに異なるリレー接点にて起動される様にすることにより冗長化する方式とした。 |
| 8) 点 檜 機 能 | ①日常点検、現場点検により、検出器、論理回路、回転灯、スピーカの健全性が点検可能
②各機器単独の健全性の他に機器間の信号ラインの健全性についても点検可能 |

開発システムと従来システムの信頼性を比較すると従来システムでは、信頼性設計に関する統一的な思想がないのに比べ、開発システムでは、設計の基本方針に従い、統一的な信頼性設計を行ったことが特徴である。その結果、全システムを通じ、合理的な範囲内で、装置内のどの1つの部品の故障あるいは、作業員のいかなる1回の操作ミス（ヒューマンエラー）によっても装置全体の機能喪失、誤作動が発生しない装置とすることができた。ここで合理的な範囲内から除いたのは AUX ユニット以降の並列系回路における電源系に係るショートモードの故障である。このショートモード故障は現在の無停電電源システム全体を2重化することによってしか達成できないことから故障発生の可能性が、極めて少ないと考えあわせ設計に盛り込まなかった。開発システムに対して FMECA（故障モード影響解析）を行い各部の单一故障による装置全体の故障のないことを確認した。

実用化システムについては、機能喪失及び誤警報に対する MTBF（平均故障間隔）を部品レベルから積み上げ計算を行った。部品単位の故障率は原則として MIL-HBK-217 B から採用し、実際の使用条件を考慮して計算した。その結果 MTBF は 6.3×10^6 時間となり当初の目標である 3×10^6 時間を上回る好結果であった。

実際には、信頼性設計がいかに完全であっても、製作の過程における品質管理が十分でなければ良い結果は得られない。そこでメーカー内の品質保証体系を明確にし、そのチェックを行った。

信頼性管理の面から、設計時から使用状態において意図した機能を果たすように保全要領を作成した。保全要領の中では、保全を予防保全、事後保全に分類しそれぞれの内容を定めた。さらに、保全上必要な予備品リストを作成し、統一的な装置の保全が可能となるようにした。

詳細設計に基づき、システムの主要部分を試作し、単体性能試験、総合動作試験、信頼性に関する試験を行った。 γ 線検出器については、高電圧出力、直流増幅器入出力直線性を始めとする電気回路試験、故障検出回路の試験、さらに、 γ 線照射試験（動特性を含む）、耐放射線性試験を行った。その結果パルス電圧試験により、パルス幅 $100\mu\text{sec}$ から 10 msec までの入力信号によるトリップパルス出力を確認し正常動作を確認した。また、 γ 線照射試験により γ 線トリップレベルを中心にトリップ回数が分布している状態を確認し、回路時定数 1 msec の場合、 γ 線統計変動による 10 sec に1回のトリップは設定点のマイナス 12% 附近となることがわかった。耐放射線性試験では $2.7 \times 10^7\text{ R}$ までの照射を行い PMT の着色等はあるものの、高放射線下にお

いてもトリップを発生することを確認した。2/3論理回路については、内蔵低圧電源の特性を含む単体機能動作テスト、入出力パルス応答性を試験した。その結果2/3論理回路の同時性判定について規格±0.5%に対し0.022%と良好な結果を示し、さらに入出力パルス応答に関しても最少入力パルス幅132μsec以下、トリップ出力遅れ時間180μsec以下と判別に要する時間の500msecに対して十分小さい値となり2/3論理回路全体として十分に設計性能を満足する結果が得られた。テスト回路、低圧電源に対しても設計性能を満足する良好な結果が得られた。

最後に組合せ試験において、系全体のシーケンス動作を試験した結果、単体動作試験と同じ良好な結果が得られた。組合せ試験では、その他に電源瞬断テスト、耐ノイズ性テスト、ウォームアップ特性、单一故障モード試験を行い良好な結果を得た。一般的な試験として温度特性、振動試験、加湿試験を行い異常のない良好な結果を得た。

以上、改良型臨界警報装置開発の目的、基本的機能、設計の基本方針について、ならびに概念設計、詳細設計という設計段階を経て試作をした結果、及び試験の結果について記した。機能は設計段階の要求を満足する良好なものであることがわかった。装置の特徴は、

- (1) 単一故障が装置全体の故障への発展防止
- (2) 供用中の装置の健全性確認
- (3) 供用中の装置の保全

の3点を合理的に可能な限り達成した点にある。その結果、装置全体のMTBFは 6.3×10^6 Hとなった。

XI おわりに

安全管理部が臨界警報装置の開発に取り組んで以来10年に及ぶ。今回の技術成果のまとめは、この10年の技術開発の仕上げ期間に相当したと考えている。この間本社、東海の関係部課長はじめとする皆様方の良き御指導と御理解のもとに所期の成果が挙げられたこと、又、社外の原研、東芝の依託試験、技術協力、実験施設の提供などにより開発が効果的に進められたことに深く謝意を表す次第であります。

参 考 文 献

- (1) LA-3611 "A Review of Criticality Accidents", LOS ALAMOS SCIENTIFIC LABORATORY OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA
- (2) UCRL-52769 "Nuclear Criticality Experiments FROM 1943 TO 1978, AN ANNOTED BIBLIOGRAPHY"