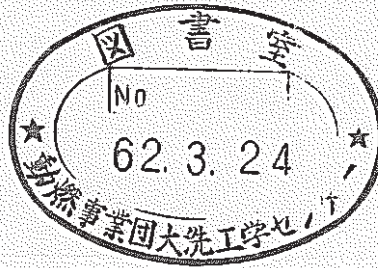


原子炉保護系ロジック盤の改造



1986年10月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T	N 9410 86-112
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

原子炉保護系ロジック盤の改造

奥田英一* 長井秋則** 八木 昭**
砂押 博**

要 旨

原子炉保護系設備ロジック盤は、昭和52年「常陽」臨界以来、その安全保護機能に要求された性能を発揮してきた。しかし、設置以来、十数年を経て、システムの老朽化は否めず、保護系の信頼性、安全性の維持向上を目的とするロジック盤改造を実施するに至った。

本報告書では、昭和60年常陽第5回定検の一環として実施した「ロジック盤改造工事」に関し、その改造に至った経緯・改造内容および成果等について報告する。

以下に改造の結果得られた主な成果を示す。

- ① 論理回路の使用IC素子は、耐ノイズ性に優れたC-MOSを採用した。又、論理回路および出力リレー回路設計には、フェイルセーフ思想の徹底を計り、原子炉保護系として、より高信頼性、安全性が実現できた。
- ② 常陽で蓄積された運転、保守経験を生かし、事故時を含む考えられるプラントの挙動を十分に考慮した設計とした結果、従来より運転操作性が改善された。
- ③ ロジック点検モードに手動点検を追加し、特定項目の診断が可能となった。又、論理回路、点検回路の異常監視機能を強化し、故障発先時に於ける補修の迅速、適確な対応が可能となり、メンテナンスビリティの向上が計れた。

* 実験炉部 高速増殖炉第一課

** 実験炉部 高速増殖炉第二課

Oct. 1986

Modification of Logic Module in the Reactor Protection System of JOYO

Since the initial criticality of Joyo was achieved in 1977, the reactor has been operated thoroughly and the reactor protection system which consists of control rods, a control rod drive system, monitoring instrumentations and logic modules has been functioned as designed.

As the time elapsed, the maintenance work was gradually expanded due to degradation of the system. A modification of the logic module was conducted to increase its reliability. This paper describes the modification and its results of the logic module which was conducted during 5th periodical inspection.

The logic module is essential for the reactor protection function, and provides scram signals on determining conditions. Reliability of the module is strongly required and function check of the module is also required on the reactor operation, for assurance of plant safety.

The results of the modification are summerized as follows,

- (1) The solid-state integrated circuits used in the logic module as the basic logic switching scheme was modified from type "HTL" into type "C-MOS" which is excellent noise proof device. And further faile-safe design was completely applied in both logic circuits and out-put mechanical relay circuits.
- (2) Reflecting the experience obtained through the operation, the operational board and circuits were modified in order to improve operability of the system. New functions were introduced as indication of first actuated signal and self-testing circuits which enable to check regardless

the operation conditions. Further step-wise checking was also introduced to diagnose integrity of individual signal train.

- (3) In order to increase maintainability, defect indication was newly provided, which displays circuit defect if any, and circuit boards were modified to access easily for checking.

目 次

1. 緒 言	1
2. 原子炉保護系ロジック盤の設備概要	2
3. ロジック盤改造の経緯	12
3.1 ロジック盤改造の目的	12
3.2 システムの老朽化	12
3.3 旧ロジック盤設計思想の考察	12
3.4 運転・保守経験により認識された改善必要箇所	13
3.4.1 運転関係	13
3.4.2 保守関係	14
4. ロジック盤改造工事	15
4.1 詳細設計, 製作過程	15
4.2 工場立合試験	15
4.3 現地据付工事・機能試験	15
5. 改造内容	18
5.1 改造範囲	18
5.2 変更改良内容	18
5.2.1 ロジック点検回路模擬信号入出力方式の変更	18
5.2.2 使用素子の変更	20
5.2.3 点検範囲の拡張	20
5.2.4 安全性向上への改良・対策	21
5.2.5 ロジック点検パネル表示機能の充実	21
5.2.6 ロジック回路監視機能の強化	23
5.2.7 ロジック点検モードに於けるロジック回路監視機能の強化	23
5.2.8 ロジック警報盤の新設	24
5.2.9 手動点検モードの新設	24
5.2.10 保守・点検時に於ける回路ユニット基板へのアクセス性の改善	25
5.2.11 回路点検用テストピンジャックの付加	25
6. 新ロジック盤	39
6.1 プリント基板機能	39
6.2 シーケンス動作説明	40
6.2.1 ブロック記号説明	40
6.2.2 実トリップロジック(2 out of 3, A and B入力時)	44

6.2.3	原子炉保護作動機能	44
6.2.4	単一チャンネル作動ロジック	45
6.2.5	点検ロジック(自動点検)	47
6.2.6	点検ロジック(手動点検)	47
6.2.7	前段バイパス	49
6.2.8	最終段バイパス	51
6.3.	ロジック盤警報	51
6.3.1	点検渋滞	53
6.3.2	点検中バイパスリレー故障	53
6.3.3	点検中事故発生	54
6.3.4	バイパス時誤作動	54
6.3.5	監視中バイパスリレー故障	55
6.3.6	誤ブロック	55
6.3.7	デコード異常	56
6.3.8	テストイネーブル異常	56
6.3.9	バイパスモード異常	57
6.3.10	アイソレーション, スクラム, 制御棒一斉挿入	57
6.3.11	プリント基板収納	58
6.3.12	点検中	58
6.3.13	バイパスリレー作動	58
7.	新ロジック盤の評価, 検討	87
7.1	機能比較	87
7.1.1	監視および表示上の比較	87
7.1.2	メンテナビリティの比較	87
7.1.3	構成上の比較	87
7.1.4	点検範囲	88
7.1.5	運転操作性の比較	88
7.2.	今後の課題および提言	89
8.	結 言	91

1. 緒 言

原子炉保護系ロジック盤は、昭和52年MK-I臨界以来、原子炉運転中のプラント異常および試験による原子炉保護動作に於て、保護系が動作すべき時に不動作であった例は一度も認められず、その期待された保護系機能は満足できるものであった。

しかし、昨今、システムの老朽化に起因する不具合および問題が生じ始めた。又、昭和58年の米国SELAM原子炉事故を機会にロジック盤を含む安全保護系の設計思想、点検思想の見直しを実施した結果、新たにいくつかの問題点が指摘された。

主な問題点として①使用論理素子の劣化が原因と考えられる点検中の誤動作（原子炉停止中の誤アイソレーションの発生）、および誤警の発報により、保護系としての信頼性が低下した。②ロジック出力リレー回路の一部に、「励磁」にて保護動作（スクラム、制御棒一斉挿入）信号を出力する継電器が存在するなど、設計上のFail Safe 思想が十分に満足していない。③論理回路、点検回路の異常検出機能および表示機能が乏しく、運転操作性、保守性に改善の余地がある事が判明した。

これらの経過を踏まえ、昭和60年常陽第5回定検の一環として原子炉保護系ロジック盤改造が実施されるに至ったものである。改造は旧ロジック盤に既存する問題点を解消すると同時に、信頼性の維持向上および点検、監視機能の充実・保守性改善への実現を目的として、高速実験炉「常陽」に於いて蓄積された、運転、保守経験を反映した設計とすることができた。

本資料は、旧ロジック盤の問題集、改造内容、新ロジック盤説明、評価等を集大成したものであり、今後の保護系ロジック盤の運転・保守のための指針とするものである。

2. 原子炉保護系ロジック盤の設備概要

(1) 機 能

原子炉プラントの異常状態を検知し、事故を防止あるいは、抑制するための安全保護動作および必要な機器の作動のために安全保護系が設けられている。

安全保護系は原子炉保護系用検出器、ロジック盤および補助継電器盤から構成されている。

ロジック盤は、原子炉保護系用検出器のトリップ信号から系統の異常の程度に応じて、スクラム、アイソレーションおよび制御棒一斉挿入の安全保護動作を判断し、制御棒励磁コイル、制御棒駆動モータおよびアイソレーション時のバルブ操作回路を制御する補助継電器盤に保護動作信号を出力する設備である。

ロジック盤は冗長系が採用され、A系統およびB系統の2面で構成されている。検出器からの信号は、各系統より1プロセス変数につきおのおの独立な1～3個のトリップ接点信号が各ロジック盤に送られて、各ロジック盤で2 out of 3, 1 out of 2または1 out of 1のロジック回路を構成する。

ロジック回路は集積回路で構成され、プリント基板に組み込み、ラックに収納してロジック盤AおよびBにそれぞれ取付けられる。またロジック盤には自動点検回路を設け、原子炉運転中にもロジック回路が正常に作動することを確認する機能を有する。

図 2.1 に原子炉保護系ブロック図を示す。

(2) 構 成

ロジック盤は閉鎖自立型を採用しており、論理回路部、継電器部および入出力端子部により構成される。

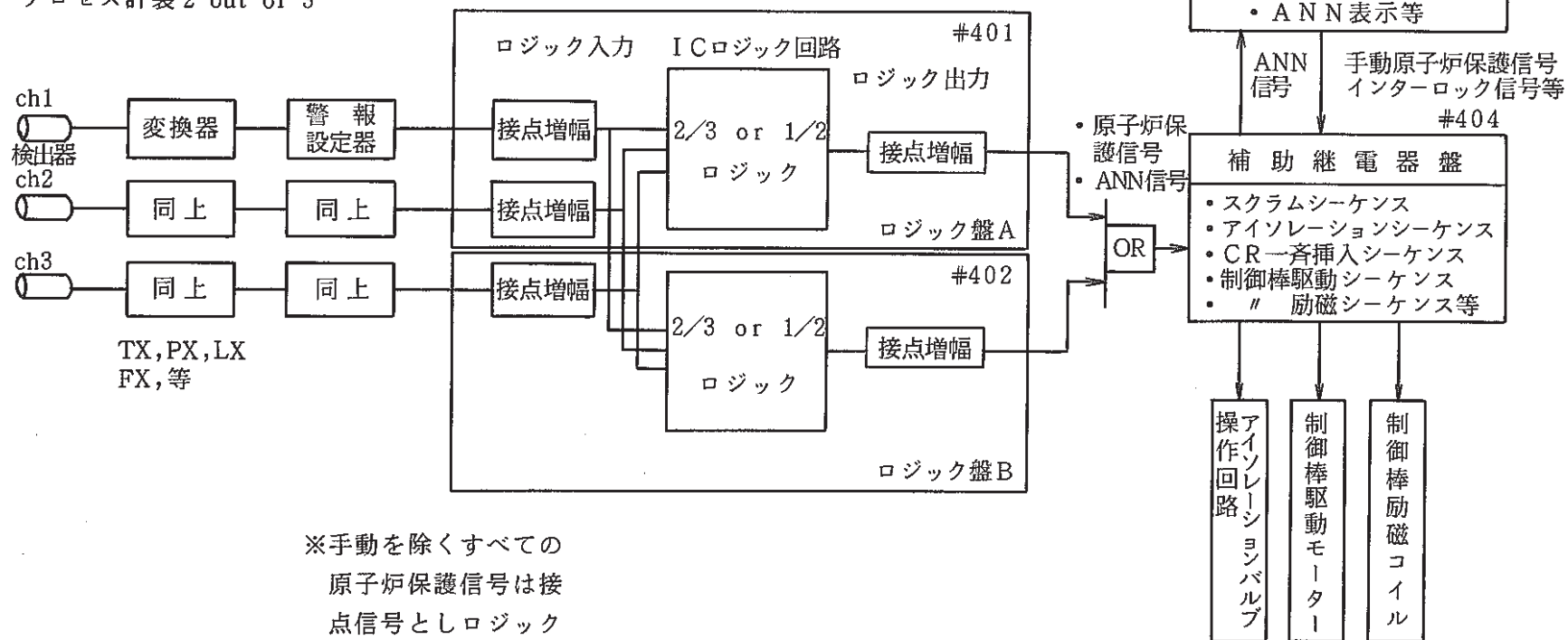
論理回路部には、集積回路で構成された2 out of 3, 1 out of 2および1 out of 1のロジック回路の他、論理回路の健全性を確認する自動点検回路がプリント基板に収納されている。

継電器部には、入出力用補助継電器が収納されており、各系統からのトリップ信号は、この補助継電器を介してロジック盤へ送られロジック回路で2 out of 3, 1 out of 2または1 out of 1の論理構成をされた後、出力用補助継電器から、スクラム、アイソレーションまたは、制御棒一斉挿入の始動信号として制御棒保持電磁石の励磁回路、制御棒駆動機構回路または格納容器隔離弁の駆動回路へ送られる。

入出力端子部では、各系統からのトリップ信号を受け入れる端子および保護信号を送り出すための端子が設けられ、盤内のケーブル処理を行っている。

表 2.1 に主要目を示す。

ロジック入力例
プロセス計装 2 out of 3



※手動を除くすべての
原子炉保護信号は接
点信号としロジック
盤に入力される。

図2.1 原子炉保護系ブロック図

表 2.1 主 要 目

1. ロジック盤 (盤番号… 401, 402)		
(1) 形 式	閉鎖自立型	
(2) 数 量	2 面	
(3) 外形寸法	約 1 8 0 0 W × 2 3 0 0 H × 6 5 0 D mm	
(4) 設置場所	原子炉付属建家 2 階中央制御室	
(5) 電 源	交流無停電 6 C	AC110V 50 Hz
	交流無停電 6 D	AC110V 50 Hz
	交流無停電 6 S	AC110V 50 Hz
	一 般 系	AC110V
2. 取 付 用 品		
(1) DC 24V 電源装置	PN-790043 (長野日本無線KK製)	3 台
(2) DC 15V 電源装置	PN-790042 (長野日本無線KK製)	2 台
(3) 補 助 継 電 器	KA-2 (TOSHIBA)	1 式
(4) 警報表示パネル		1 台 / 面
(5) 予備基板収納ユニット		1 台 / 面
(6) 点検パネル		1 台 / 面
(7) 基板収納ユニット		1 台 / 面

(3) ロジック点検回路

論理回路部には、原子炉運転中にも、ロジック盤トリップ論理回路の健全性を確認できるロジック点検回路を有する。

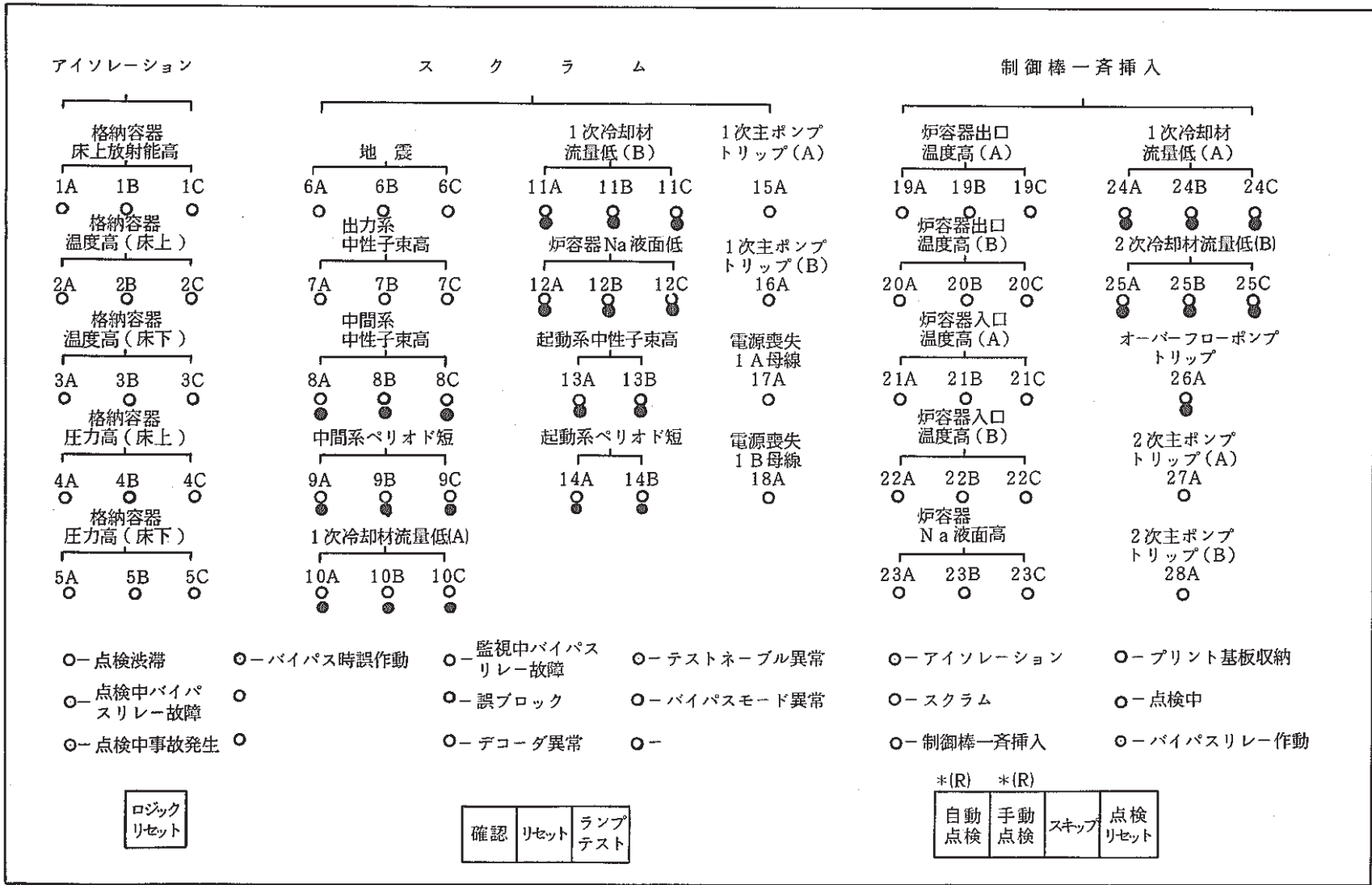
ロジック点検回路では、各保護動作項目に対応する 2 out of 3 等トリップ論理回路に、それぞれ模擬信号が入力され、その模擬信号に対応した論理回路出力信号 (リターン信号) を確認することによって回路の診断を行う点検方式をとる。

尚、点検中は、模擬信号による保護系出力を阻止する必要があるため、ロジック盤内部で実保護信号をブロックする前段バイパス機能および補助継電器盤内のスクラム等直接保護動作を実施する最終段リレーをバイパスする最終段バイパスリレーを備えている。

点検回路には、各点検項目を連続的に順次診断する「自動点検」および点検項目をスキップ操作により歩進診断する「手動点検」の 2 モードを有し、通常監視時のロジック回路点検および保守点検用メンテナンス時等に応じて使い分ける。

図 2.2 にロジック盤点検パネル模擬図に示す。

表 2.2 に点検項目を示す。



(注) ○ : 発光ダイオード (赤色)
 ● : 発光ダイオード (緑色)
 *(R) : 照光式押ボタンスイッチ (赤色)

図 2.2 ロジック盤点検パネル模擬図

表 2.2 点検項目

点検項目を表 2.2.1 から表 2.2.3 に示す。

表 2.2.1 アイソレーション

番号	項目	トリップ設定値	取合場所	ロジック	備考
1 A~1 C	格納容器内床上放射能レベル	100mR/H		2/3	
2 A~2 C	格納容器内温度高(床上)	60℃	422	2/3	
3 A~3 C	格納容器内温度高(床下)	60℃	"	2/3	
4 A~4 C	格納容器内圧力高(床上)	0.3kg/cm ² G	"	2/3	
5 A~5 C	格納容器内圧力高(床下)	0.3kg/cm ² G	"	2/3	
	* 手動アイソレーション	手動	423	1/1	423盤で行う ので点検不要

(注) *印アイソレーション項目ではあるがロジック盤では表示は行っていない。

表 2.2.2 スクラム

番号	項目	トリップ設定値	取合場所	ロジック	備考
6 A~6 C	地震	水平150gal	R-501 地震計	2/3	
7 A~7 C	出力領域中性子束高	106%	403	2/3	
8 A~8 C	中間領域中性子束高	95%(F.S)	"	2/3	
9 A~9 C	中間領域炉周期短	+5秒	"	2/3	
10A~10C	1次冷却材流量低(Aループ)	80%		2/3	
11A~11C	1次冷却材流量低(Bループ)	80%		2/3	
12A~12C	炉内ナトリウム液面低	-100mm		2/3	

13A, 13B	起動領域中性子束高	95%(F.S)	403	1/2	
14A, 14B	起動領域炉周期短	+5秒	403	1/2	
15A	1次主冷却系循環 ポンプトリップ(Aループ)	電動機トリップ		1/1	
16A	1次主冷却系循環 ポンプトリップ(Bループ)	電動機トリップ		1/1	
17A	電源喪失(1A母線)			1/1	
18A	電源喪失(1B母線)			1/1	
	* 手動スクラム		423	1/1	423盤で行う ので点検不要

(注) *印スクラム項目ではあるがロジック盤では表示は行っていない。

表 2.2.3 制御棒一斉挿入

番 号	項 目	トリップ設定値	取合場所	ロジック	備備考
19A~19C	原子炉出口冷却材温度高 (Aループ)	510℃		2/3	
20A~20C	原子炉出口冷却材温度高 (Bループ)	510℃		2/3	
21A~21C	原子炉入口冷却材温度高 (Aループ)	385℃		2/3	
22A~22C	原子炉入口冷却材温度高 (Bループ)	385℃		2/3	
23A~23C	炉内ナトリウム液面高	+200mm		2/3	
24A~24C	2次冷却材流量低(Aループ)	80%		2/3	
25A~25C	2次冷却材流量低(Bループ)	80%		2/3	
26A	1次冷却系オーバーフロー ポンプトリップ	電磁ポンプ トリップ		1/1	
27A	2次主冷却系循環ポンプ トリップ(Aループ)	電動機トリップ		1/1	
28A	2次主冷却系循環ポンプ トリップ(Bループ)	電動機トリップ		1/1	
	*手動制御棒一斉挿入	手 動		1/1	423盤で行う ので点検不要

(注) *印制御棒一斉挿入項目ではあるがロジック盤では表示は行っていない。

上記の表のうちトリップ設定値については、工事認可申請書(37)より引用したものであり、各系統側の仕様が優先する。

自動点検時のフローを簡単に示すと、

- ① 点検開始指令により前段、最終段バイパスが作動し、実保護動作出力が阻止される。
- ② 模擬信号用カウンターがイニシャルリセットされ、デコーダに第1点検項目の2 out of 3等トリップ条件を満足する模擬信号が出力される。
- ③ デコーダからの点検模擬信号は、直接、点検項目の2 out of 3等ロジック回路に入力され、論理回路の正常動作が確認されると、論理回路出力信号（点検リターン信号）がカウンターに入力される。
- ④ カウンターがリターン信号により歩進を行い、デコーダに次項目の点検模擬信号が出力される。
- ⑤ 以下同様に、全項目に対して点検が繰り返れるが、スクラム、アイソレーションおよび制御棒一斉挿入の安全保護動作に対して、それぞれ、最終項目のみにつき、ロジック回路内の前段バイパスが解除され、ロジック回路から、最終段リレーまでの診断が実施される。

図 2.3 にロジック内部回路の概略図および自動点検時に於ける模擬信号と点検リターン信号、前段バイパス、最終段バイパスの動作タイミングの略図を示す。

図 2.4 に高速実験炉「常陽」安全保護系総合系統図を示す。

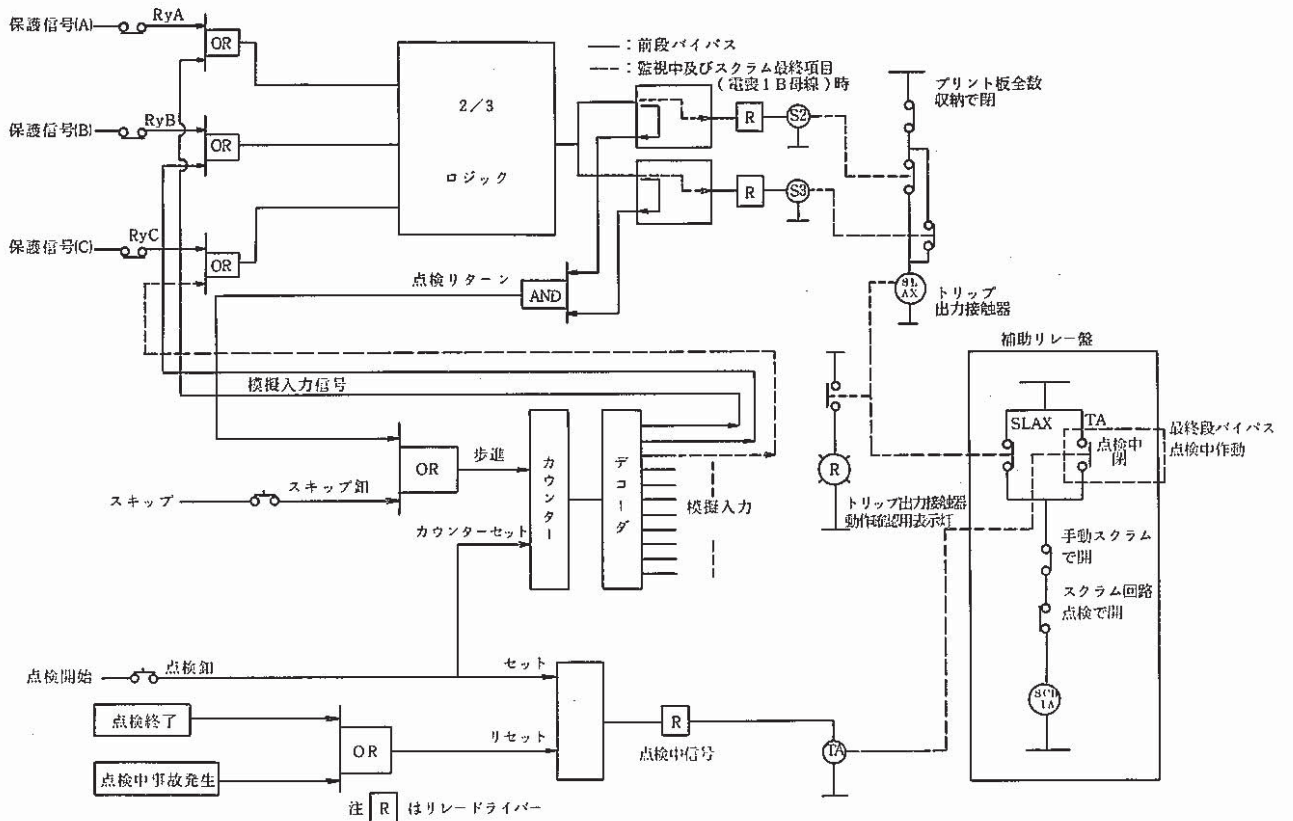
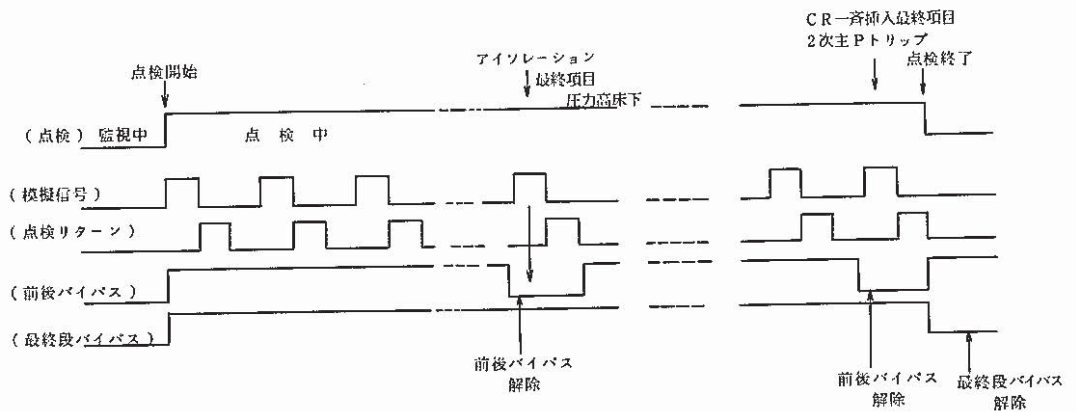
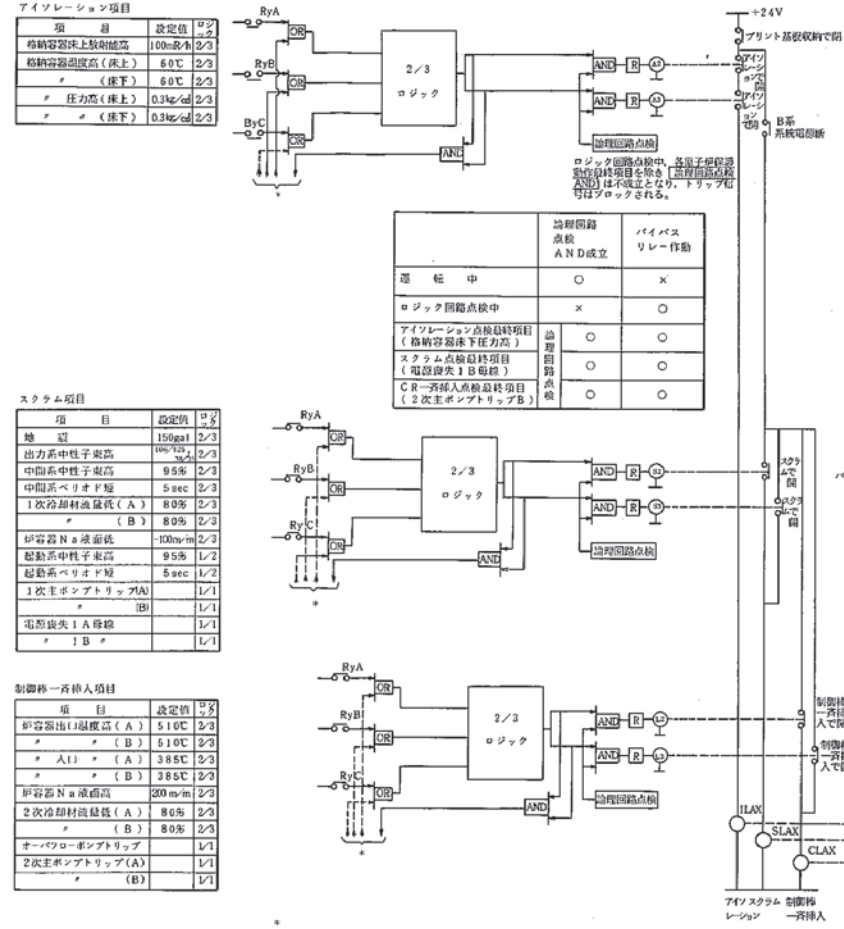
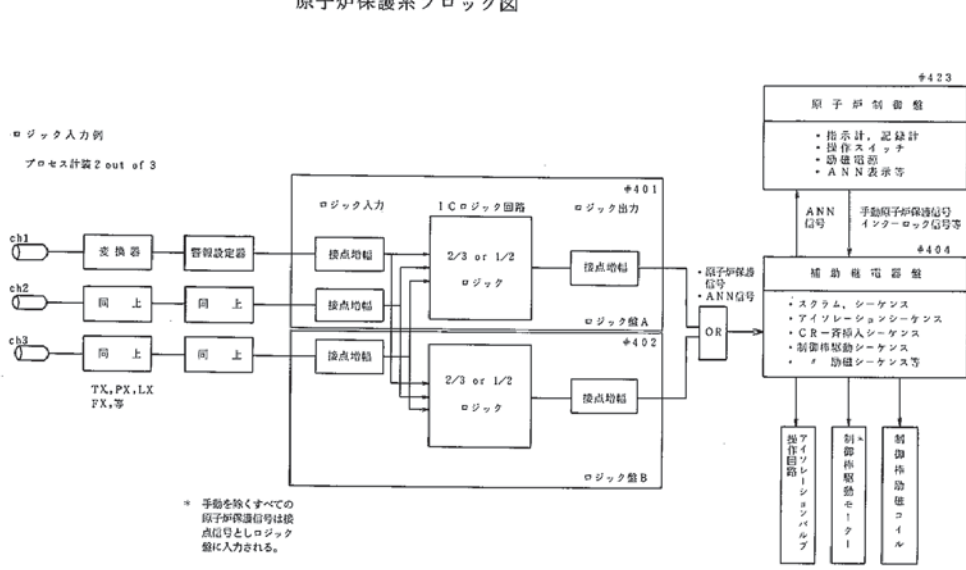


図 2.3 改造ロジック内部回路の概略図 (スクラム回路のみ抜粋)

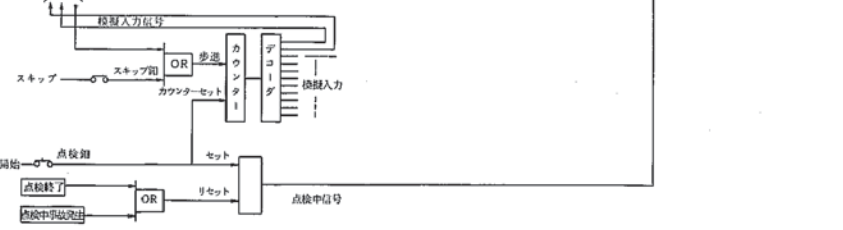
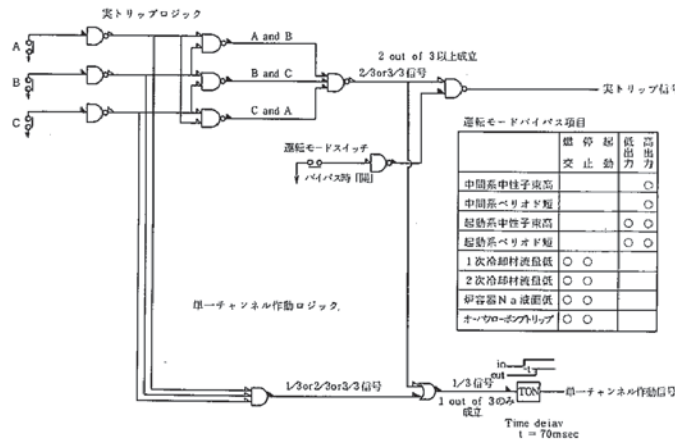


原子炉保護系信号処理図〔ロジック盤A〕

原子炉保護系ブロック図



実トリップ、単一チャンネル動作図



3. ロジック盤改造の経緯

3.1 ロジック盤改造の目的

本改造は、「常陽」に於て蓄積された運転、保護経験を基に、旧ロジック盤で認識された改善の必要箇所を明確にすることにより、原子炉保護系設備に於ける信頼性の維持向上、および点検、監視機能の充実、保守性の改善への実現を目的とするものである。

3.2 システムの老朽化

ロジック盤は、昭和48年に設置され、昭和52年の臨界以来、原子炉保護系が作動すべき時に作動しなかった例は、一度も認められず、その期待された機能は満足できるものであった。

しかし、設置以来数十年を経過し機器の信頼性、安全性を維持するための保守、補修頻度が高くなってきた。

システムの老朽化により経験した不具合例として、

- ① 論理回路 I C 素子の劣化が原因と考えられる単一ゲート故障によるロジック点検パネル上、点検項目表示 (R) 発光ダイオード) の誤点灯の発生。
- ② 点検回路 I C 素子の劣化と考えられるロジック盤自動点検時に於ける一過性の点検渋滞の発生。
- ③ ロジック盤点検時、第1点検項目 (格納容器床上放射能高: アイソレーション) で作動すべきでない時に発生したアイソレーションの実作動。

が掲げられる。尚、これらの処置については、いずれも、不具合発生の再現性に乏しく、予備基板の交換によって対処された。

又、旧ロジック盤の使用素子である HT L 型 I C は、現在製造中止となり、今後の予備品としての基板等の供給確保が困難となった。

3.3 旧ロジック盤設計思想の考察

昭和58年の米国 S E L A M 原子炉事故を機会にロジック盤を含む安全保護系の設計思想、点検思想の見直しを実施した結果、次に掲げる問題点が明らかとなった。

- ① 回路の fail Safe 思想を徹底する上で改善の余地がある。具体的な例として、
 - a) ロジック回路出力段を構成するメカニカルリレー回路の出力段に、常時「無励磁」、事故時 (スクラム、制御棒一斉挿入信号入力時)、「励磁」のリレーが存在する。
 - b) プリント基板未収納時、全ての保護動作が出力されなくなる。
 - c) ロジック盤電源は、無停電系 6 C, 6 D, 6 S で受電し、DC 15 V 電源、DC 24 V 電源装置により供給されている。ロジック盤電源故障 (電源喪失) 時、保護信号が発信される様に、設計がなされているが、万一、ロジック回路用 DC 15 V 電源のみが喪失した場合、ロ

ジック機能が不動作となる。

- d) ロジック点検回路は、その点検範囲がロジック回路および最終段リレー（SL□X, IL□X, CL□X）の前段までであり、直接保護信号を制御出力する最終段リレーの診断が実施できない。

以上、システムの老朽化対策および回路の fail Safe 思想の徹底を計る為、旧ロジック盤の改造を実施するに至った。

3.4 運転、保守経験により認識された改善必要箇所

3.4.1 運転関係

- ① ロジック回路の健全性は、ロジック点検回路により確認されるが、点検終了後、通常監視中に於けるロジック回路の健全性を保障する明確な表示機能がない。
 - a) ロジック点検パネル面の (R) 発光ダイオード表示は、点検時の点検項目表示、および保護動作時のトリップ表示を兼ねているため、(R) 発光ダイオード表示のみからは、それが実トリップ信号入力によるものなのか、あるいは、ロジック盤回路の異常によるものなのか判別がつかない。
 - b) 「点検」によって動作するバイパスリレーの復旧が点検終了時に確認できないため、当リレーの故障による保護動作不能発生の危険が潜在する。
 - c) 「点検」開始時、バイパスリレーが動作しないと誤保護動作信号が発信される可能性が存在する。（誤アイソレーションの事例）
- ② トリップ項目の表示機能は単にその表示のみであり、別項目の2つ以上のトリップ信号が連続的に入力した場合、トリップに至った直接原因となる先発信号の判別がつかない。
- ③ 「単一チャンネル作動」警報は、2 out of 3 ロジックの場合、1チャンネルの他、2チャンネルが同時に入力されても、当警報が発生する。
- ④ 「点検」、「スキップ」、「確認」釦の色、形状が同一で操作性が悪い。又、誤動作を招く恐れがある。
- ⑤ 原子炉運転モードによる保護系ロジックのバイパス項目に対し、ロジック盤の操作性に改善の余地がある。
 - a) バイパス項目の目視確認ができない。
 - b) 「起動」モード以外の原子炉モードによる「点検」時、その点検模擬信号のリターン信号がブロックされる為、「点検渋滞」警報が発生し、点検歩進が停止する。又、点検を継続するためには、「スキップ」釦の押操作が必要となる。
 - c) 「起動」モード以外の原子炉モードに於て、そのバイパス項目に該当するトリップ信号がすでに入力されている場合、「点検」開始と同時に、「点検中事故発生」警報が発生し、ロジック回路点検が実施できない。

d) 原子炉モードによりバイパスされている項目が設定値に達した場合、不要な警報を発生する。

3.4.2 保守関係

- ① ロジック点検時、「点検渋滞」による実検回路異常が発生した場合、異常をラッチ、表示する機能を有していない。よって、当警報発生時に、万一、点検渋滞判定タイマーよりも遅れてリターン信号がカウンターに帰環した場合、点検が歩進し、故障箇所の特定が困難となる。
- ② 異常特定表示機能が無いため、不具合発生時の対処としては、基板の交換以外、対応がつかない。
- ③ プリント基板・ラックの構造上、測定器による測定調査等が困難である。

4. ロジック盤改造工事

4.1 詳細設計・製作過程

新ロジック盤製作に向けて昭和58年2月～昭和60年7月にかけて、のべ43回に渡る打合せがメーカーとの間に持たれた。

特に詳細設計時に留意したこととして以下に掲げる。

- ① 単にメーカー側に改造思想を満足しうる要求を出すばかりでなく、動燃側としてもその内部回路設計にまで着手しメーカーとタイアップして、より理想的なロジック盤完成を目指した。
- ② 回路図検討段階で十分に時間を割きアートワーク以前のソフト面でバクを完全に消去する事を努めた。
- ③ 完成後の運用面での充実を計るため運転担当者の意見を積極的に導入した。

4.2 工場立合試験

昭和60年7月23～24日、東芝府中工場にて下記項目についての機能試験を実施、結果良好であった。

- ① 外観検査
- ② 耐電圧試験
- ③ シーケンス試験
 - i) 保護動作回路
 - ii) ロジック点検回路
 - iii) ロジック回路監視機能
- ④ 電源ノイズ試験
- ⑤ 電波障害試験

尚、表4.1にシーケンス試験で使用した試験項目確認シートを示す。

4.3 現地据付工事・機能試験

ロジック盤リプレース工事は昭和60年7月26日～8月9日にかけて、以下の手順により実施、予定工事期間に終了した。

① 既設盤撤去

既設盤撤去に先立ち定検中の誤アイソレーション防止対策として同入力端子のリフトおよび同盤電源(6C, 6S, 6D)の停止操作を実施した。撤去作業はロジック盤AおよびBの平行作業とした。

尚、本工事と平行して新設ロジック警報盤用電源工事を行った。

表 4.1

1. 実運転モード 試験成績表																															
1. プラント保護機能 (1 / 5)																															
⊗ : 点滅 ○ : 連灯																															
No.	信号名	模擬入力			点検パネル							最終段リレー			前段リレー			模擬警報		警報表示パネル			確認								
		1	3	2	A	B	C	アイソレ ン1	スク ラム	制 御 棒 一 斎 挿 入	アイ シ ン ヨ レ ン1	ス ク ラ ム	制 御 棒 一 斎 挿 入	アイ シ ン ヨ レ ン1	ス ク ラ ム	制 御 棒 一 斎 挿 入	警 報 出 力			単 一 チ ャ ン ネ ル 作 動											
1	格納容器床上放射能高	I11	I13																												
	〃		I13	I12																											
	〃	I11		I12																											
2	格納容器温度高(床上)	I14	I16																												
	〃		I16	I15																											
	〃	I14		I15																											
3	格納容器温度高(床下)	I17	I19																												
	〃		I19	I18																											
	〃	I17		I18																											
4	格納容器圧力高(床上)	I10	I12																												
	〃		I12	I11																											
	〃	I10		I11																											
5	格納容器圧力高(床下)	I13	I15																												
	〃		I15	I14																											
	〃	I13		I14																											
	(次ページへ続く)																														

② 新設盤取付

電源は既設のものを使用，取付作業と同時に新設のロジック警報盤設置工事および耐ノイズ対策の一環としてロジックデジタルアースと盤内保安アースの分離工事を実施した。

③ 導通確認

本作業中，改造部変更シーケンスと既設分との取合部分での修正，調整確認不足が原因となる接続ミスに遭遇しリプレース工事期間で最も時間を費すことになった。

④ 現地機能試験

機能試験は，①安全保護動作，②警報機能，③ロジック点検回路 についての実動作機能確認を実施した。

尚，運転モード設定，および模擬信号入力はロジック A，B 盤内の該当端子メイク or リフトにより行った。

5. 改造内容

5.1 改造範囲

本改造による原子炉保護系に於ける変更範囲を図 5.1 に示す。

入力側——各プロセス計装、検出器およびトリップ設定器は従来どおり、ロジック盤 A, B に接点信号として入力する。これらの入力信号については旧ロジック盤のものを流用しており変更ない。

ロジック盤 A (#401), ロジック盤 B (#402)——論理回路, ロジック点検回路については, 大巾変更改良が実施された。尚, 論理回路に於ける 2 out of 3, 1 out of 2, 1 out of 1 ロジックの基本的思想については従来のを襲用している。又ロジック盤上に各々警報盤を新設し, 監視機能を充実, 強化した。

出力側——ロジック盤からのトリップ信号は, 補助継電器盤(#404)を経由して, アイソレーション動作, 制御棒励磁コイル, CRD 駆動モータ信号が出力される。同時に, 原子炉制御盤(#423)に警報が発信される。

これらについてもロジック盤出力メカニカルリレー回路が構成される補助継電器盤の一部および新設警報表示に伴う出力を除いて変更ない。

電源——無停電系 AC110V6C, 6S, 6D より受電し DC15V, DC24V 安定化電源は各々既設のものを流用しており変更ない。

尚, ロジック盤上に新設した警報表示電源ラインを直流無停電 7 S より新たに設けた。

5.2 変更改良内容

本改造前後によるロジック盤の構造および機能比較を図 5.4 に示す。

5.2.1 ロジック点検回路模擬信号入出力方式の変更

従来ロジック盤では, ロジック点検回路の模擬信号の入力部およびそのリターン出力部にそれぞれメカニカルリレーを使用していた。その結果, 論理回路出力部は, ロジック出力リレー, 点検リターン出力リレーおよび最終段リレーの 3 段構成を成していた。

改造後は, ロジック点検回路への模擬信号は論理集積回路に直接入力する方式をとり, その点検リターン信号も最終段リレー点検除きメカニカルリレーを介さず, 点検歩進カウンターにリターンするものに変更した。

点検回路は, 最終段リレー動作確認を除き, 従来のハードウェアによる診断から, 新技術を用いた IC 素子による診断方法に変更した。

これらの変更により以下の成果が得られた。

- ① 論理回路の点検模擬入力部をメカニカルリレーと比較して, 経年変化が少ない TTL-IC 素子に変更した事により, ロジック点検回路の信頼性が向上した。
- ② 最終段動作確認を除き, 論理回路出力段の点検リターン部を集積回路の前段バイパスによ

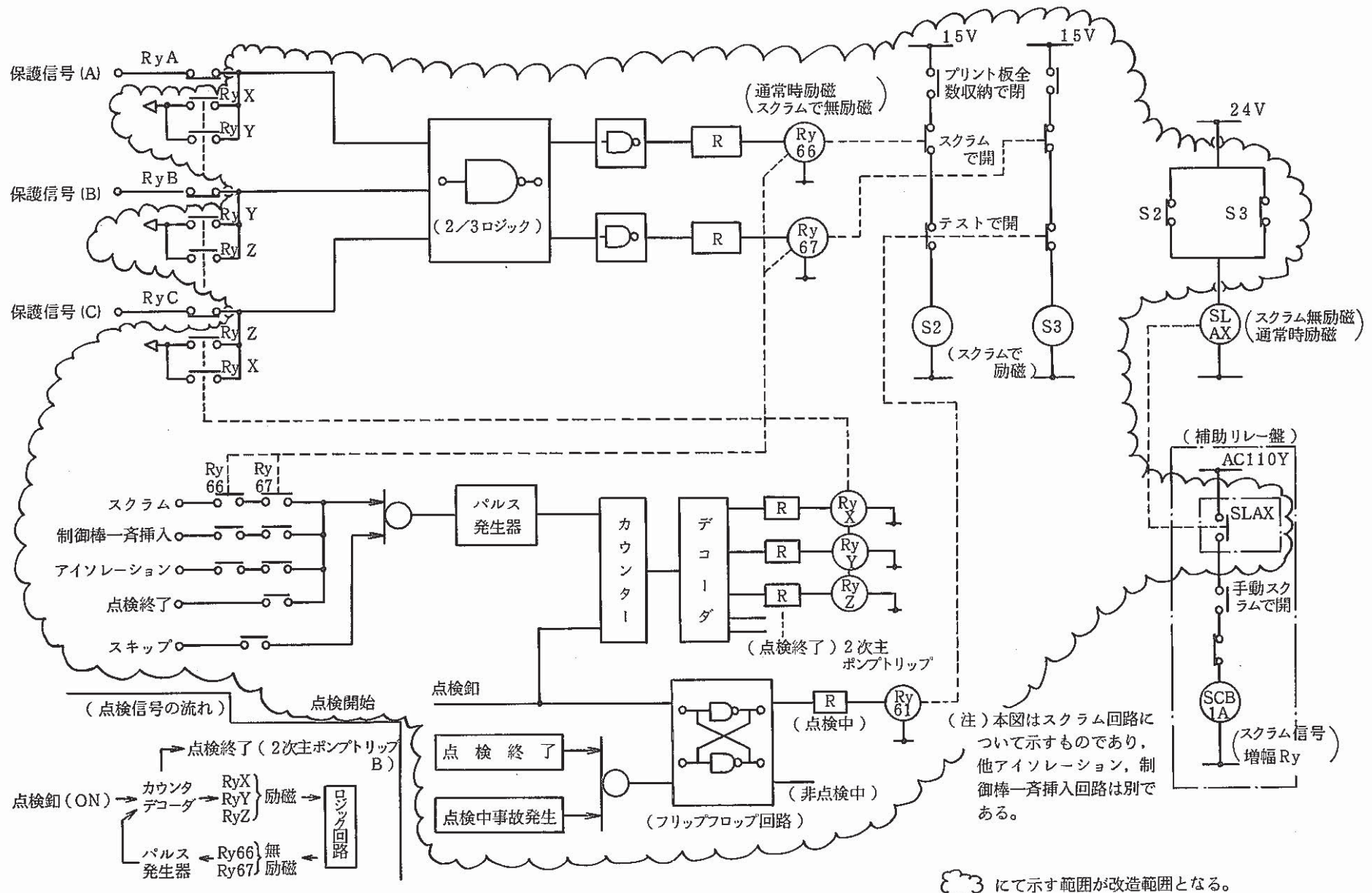


図 5.1 ロジック (A) 内部回路 (スクラム回路)

り、直接リターン信号を出力する方式に変更した結果、論理回路出力部は、従来のメカニカルリレーによる3段構成から2段構成へと1段省くことが可能となり回路の簡素化が計られた。

- ③ 従来ロジック回路点検方式では、その点検リターン出力部にメカニカルリレーを使用していたため、一回のロジック回路点検で、最終前段メカニカルリレー（RY66, RY67等）が、計68回動作した。

上記、改造の結果、点検時にはまず最初に論理回路のみ点検し、ロジック出力メカニカルリレーについては、スクラム、アイソレーションおよび制御棒一斉挿入の各保護動作項目につき、1回のみ点検するものに変更した。

その結果、論理回路出力段メカニカルリレーの動作回数が1回の点検操作について計68回から3回に減少することができた。

これら保護動作に直接関与するメカニカルリレーの不必要な動作の繰返しを回避することにより、ロジック盤使用期間中のメカニカルリレーの機能劣下を最少限にすることができ、長期的使用面からの保護系として信頼性が向上した。

5.2.2 使用素子の変更

ロジック回路のゲートIC素子を従来のHTL型からC-MOS型に変更した。C-MOS素子は低消費電力、広範囲な動作電圧、高雑音余裕度など論理素子として優れた特性を持っており、高信頼度が要求される原子炉保護系ロジック素子として適している。

C-MOS型IC素子を従来のHTL型と比較すると、

- ① 耐ノイズ面でさらにノイズマージンを高く得ることができ、又故障率の点でも低く良好である。

半導体信頼性データを表5.1に示す。

- ② TTL-IC素子の電源には、現在一般に±5V, ±10Vが使用されているが、耐ノイズ性と考慮し、スレッショールド電圧巾を大きくするため±15Vの電源を採用している。

5.2.3 点検範囲の拡張

点検範囲は、従来、ロジック回路のみであり、スクラム等の保護動作を直接実施する最終段リレー（SL \square X, IL \square X, CL \square X）については、診断を行っていなかった。

改造後は、ロジック点検時の模擬信号入力による実トリップブロックを論理回路内部の「前段バイパス」とスクラム等の保護動作を直接動作させる最終段リレーの「最終段バイパス」とに各々設け、ロジック点検の際には、各保護動作項目の最終項目についてのみ、「前段バイパス」を解除し、論理回路および、その出力部メカニカルリレー（A2, A3, L2, L3, S2, S3）、最終段リレーの動作確認が実施できるように改良した。

以上の結果、ロジック点検によって、全てのロジック回路の健全性が確認できると共に、各最終段リレーの実動作確認が行えるようになった。保護系ロジック部の入力から出力まで一環

して診断できるようになり、ロジック点検を実施することによる、ロジック盤機能の確認が完全となった。

又、最終段リレーの動作状態はロジック点検パネル面の赤色発光ダイオードによって目視確認できる。

5.2.4 安全性向上への改良, 対策

常陽に於ける運転・保守経験から、原子炉保護系の安全性、信頼性向上と結び付く改良・対策を、トリップ回路およびロジック点検回路に施した。

(1) トリップ回路

- ① スクラム回路および制御棒一斉挿入回路は安全保護動作時に、関連する全てのリレーが無励磁状態で保護信号を出力する回路構成に変更した。従来盤では、保護動作時ロジック出力段リレーの一部が励磁して保護信号を出力する箇所が存在した。ロジック盤を単体で見た場合、当該リレーのコモンモード故障による保護作動不能に陥る可能性があり fail Safe の思想を満足していなかった。(但し、実際にはロジック盤はA盤はB盤のみ重性を持たせてあるため、システムとしてその設計は許容できると考えられる。)
- ② プリント基板未収納時の保護系挙動として、従来、全保護動作の機能喪失に至ったものを、改造後は、スクラムおよび制御棒一斉挿入信号を出力するものに変更し、より安全側へと改良した。

(2) 点検回路

ロジック点検時の模擬信号による実トリップを阻止するバイパスリレーの動作とその復旧タイミングは、あらゆる観点からみてロジック点検が誤トリップを生せず安全、確実に行われるべき思想から、改造盤には以下の考慮がなされている。

- ① 点検開始指令によりバイパスリレーが作動しない場合には、直ちに、点検指令を解除し、盤の異常を報告及びロジック点検パネル面の赤色発光ダイオード表示を行う。
- ② 点検終了時は、点検最終項目での最終段リレー (SL \square X, CL \square X, IL \square X) 動作確認後、500 m sec 後に、最終段バイパスを復旧するものとし、点検終了による保護動作機能復旧等の誤トリップを防止する。

又、従来盤の点検回路では、アイソレーション項目の診断に、その点検リターン信号としてアイソレーションの出力信号のみを使用していた。

実保護動作としてのアイソレーション信号発生時には、同時にスクラム信号も発信されるため、改造後はアイソレーション信号とスクラム信号とのANDにより、その点検リターン信号とみなし、歩進カウンターに帰還するものに改めた。

5.2.5 ロジック点検パネル表示機能の充実

従来盤の表示機能としては、各保護動作項目についての赤色発光ダイオードによるトリップ項目表示の他、「プリント板収納」「点検中」の必要最少限のものであった。

改造盤では、現在までの運転経験を生かし、ロジック点検パネルに於ける通常監視状態、保護動作発生時、ロジック点検時の表示機能を強化、充実させた。

通常監視状態の表示機能として

- ① 「プリント板収納」赤色発光ダイオードの点灯を除く、他全てのロジック回路の異常を示す表示が消灯していることを確認することにより、システムのReady状態で示し、通常監視状態での保護系ロジック盤の健全性を明示するものとした。

保護動作時の情報表示機能として

- ② 2 out of 3等成立によるトリップ発生時、ロジック盤面でのトリップ原因を示す項目に対応する赤色発生ダイオードが警報と同時に点滅表示する様に変更した。
「確認」釦を押すことにより点滅から連続点灯になり表示する。
- ③ トリップ後トリップ原因以外の保護動作項目からの入力があった場合、当該赤色発光ダイオードにより後発項目を点滅表示させ、すでに作動し「確認」されている項目との区別を明確にできるようにした。
- ④ 原子炉モードSWによりバイパスされている保護動作項目については、緑色発光ダイオードによってバイパスされていることを表示した。
- ⑤ 原子炉モードSWによりバイパスされている項目が設定値に達しても赤色発光ダイオード表示のみとし警報は発生させないように変更した。尚この場合の発光ダイオードは点滅させず連続点灯とした。

表 5.2に改造前後のロジック盤動作比表を示す。

単一チャンネル作動表示機能として

- ⑥ 従来、「単一チャンネル作動」警報は、単一チャンネル以外、2 out of 3保護動作作動の場合、つまり、3チャンネル中2チャンネルが動作した場合にも、当該報が発報されていたものを、今回の改造によりトリップ項目の信号が1チャンネルのみ入力された後70 msec以内に他のいずれのチャンネルも作動しなかった時のみ当警報を発報する様に変更した。
- ⑦ 単一チャンネル作動時にも保護動作時と同様、表示項目の赤色ダイオードによる点滅表示を警報と同時に行う。

表 5.3に改造前後のロジック盤動作対比表を示す。

ロジック点検時の表示機能として

- ⑧ 誤操作防止対策として「自動点検」「手動点検」のロジック点検開始指令用点検押釦SWをイルミネイト表示式に変更した。

- ⑨ 自動点検では、各点検項目について、その点検診断後、その項目の自動リセットを実施するように変更した。その結果、従来に比べ、点検箇所が点検パネル表示により明瞭に確認できるように改良した。

尚、手動点検時には、従来どうり点検項目を歩進させる「スキップ」釦押操作によっては、リセットされないため、点検項目順に沿って赤色発光ダイオードが順次連続点灯表示されていく。

5.2.6 ロジック回路監視機能の強化

ロジック盤が健全であることを確認する目的として監視機能を備えている。

ロジック盤稼動中の監視項目を新たに追加し、監視機能を強化した。その結果、異常時、又不具合発生時に適確迅速な対処が可能となった。

監視機能が動作した場合にはロジック点検パネル上に設けた該当項目の赤色発光ダイオードが点灯すると同時にロジック盤上の新設警報表示パネルに故障表示を行う。

又、監視項目が点灯した場合は、その原因接点はラッチされ、異常原因解除の後、「ロジックリセット」釦によりリセットする。

通常監視状態に於ける、監視回路の異常を以下の項目にて表示する。

① 「監視中バイパスリレー故障」

通常監視状態でロジック出力最終段リレー（SL \square X, IL \square X, CL \square X）用バイパスリレーが動作したときに警報を発報する。最終段バイパスリレーは点検中のロジックトリップ出力を阻止するもので、監視中にこのリレーが誤動作すると保護動作しなくなる。

② 「誤ブロック」

通常監視中に事故が発生しロジックに実トリップ信号が入力されたにもかかわらず最終段リレー（SL \square X, IL \square X, CL \square X）が動作しない警報を発生する。

③ 「デコーダ異常」

ロジック点検以外の時、点検模擬信号発生用デコーダにゲート故障等が発生し、デコーダから点検信号がロジック回路に入力された時警報を発生する。

④ 「テストイネーブル異常」

ロジック点検以外の時、テストイネーブル信号が点検模擬信号発生用デコーダに入力されたとき警報を発生する。

⑤ 「バイパスモード異常」

原子炉モードSWによりバイパスされている保護動作項目（トリップ阻止がかけられている）に対しトリップ信号の入力により誤トリップ信号が発信された場合に警報を発生する。

表 5.4 に、ロジック盤の監視表示項目を示す。

5.2.7 ロジック点検モードに於けるロジック回路監視機能の強化

点検時のロジック回路監視機能として、従来盤では、点検中の事故発生及び実トリップ機能、

点検時間監視（模擬信号のリターン遅延検出）ロジックを有していたが、いずれもロジック点検パネルには原因表示されなかった。

改造後は、従来の機能の他さらに点検時の異常を検出ラッチする機能を持たせ、点検パネル上の該当項目に赤色発光ダイオードによる点灯表示を行うと共に、ロジック盤上の新設警報パネルに「点検異常」の故障表示を実施するものとした。

点検時に於ける異常検出項目について以下に示す。

① 「点検中事故発生」

ロジック点検中に事故が発生した場合、実トリップ信号が入力された事を検出し、保護信号が行われた時警報を発生する。

この時、点検は除外される。

② 「点検渋滞」

点検中に発信された点検信号に対するリターン信号（リターンパルス）がバイナリカウンタに一定時間以内（200msec）に帰還しないとき警報を発生する。

③ 「点検中バイパスリレー故障」

ロジック点検開始時に、最終段リレー（SL□X, IL□X, CL□X）用バイパスリレーが動作しない時、又点検中に誤って最終段バイパスリレーが復帰したとき、警報を発生する。

④ 「バイパス時誤作動」

点検中、前段バイパス信号が発生されている時（ロジック回路内でのトリップ出力阻止状態）最終段リレー（SL□X, IL□X, CL□X）が動作した時、警報が発生する。

表 5.4 にロジック盤の監視表示項目を示す。

5.2.8 ロジック警報盤の新設

ロジック盤の監視表示項目増設に伴い、ロジック A, B 両盤上部に、ロジック盤の異常を表示する警報盤を新設した。

図 5.2 に、ロジック警報盤の警報項目、その警報発生原因および警報表示パネル図を示す。

表 5.5 に、改造によって変更された原子炉制御盤（424 盤）の警報項目を示す。

5.2.9 手動点検モードの新設

メンテナビリティの向上を考慮し、点検モードに、「自動点検」の他、各項目を断続的にチェックする機能を持つ、「手動点検」を新たに、追加した。

手動点検による点検手順を以下に示す。

- ① 「手動点検」 P.B 押操作により点検が開始され、保護動作項目の最初のチャンネル（格納容器床上圧力高）の（A,B）に模擬信号が入力される。
- ② 同項目のロジック回路診断を行い、当項目に該当する赤色発光ダイオード表示がロジック点検パネル上に点灯する。
- ③ 「スキップ」 P.B により、次項目へと点検を継続する。

- ④ 以後、断続的に「スキップ」P.B押操作を繰り返し、最終項目の最終チャンネル(2次主ポンプトリップB)の点検を終え、監視状態にリセットされる。

手動点検モードの新設により、

- ① 各点検項目1チャンネルごとに断続的な診断が可能となり、任意のチャンネルでのトラブルシュートが容易になった。
- ② 従来の自動点検による診断では特定困難であった*一過性の故障トラブルチェックが可能となった。

*従来の自動点検では点検異常項目の点検渋滞が発生した場合に同警報が発信されるが万一一点検リターン信号が、異常判定タイマー(200msec)より遅れてバイナリカウンタに帰還すると、自動的に次項目点検に歩進され、異常箇所の特定が困難となる事象が発生した。尚、今回の改造により、点検異常時には歩進を停止するように改善した。

5.2.10 保守、点検時に於ける回路ユニット基板へのアクセス性の改善

従来、メンテナンス時の基板回路点検作業ではシンクロスコープ等測定器のプロブ端子によりチェックすることが、その構造上著しく困難であり、故障あるいは回路不具合時には、基板交換によって対処するのが現状であった。

改造に際し、現場でも可能な範囲で、異常故障箇所の特定ができる設計とするため、基板収納ラックのバックボードピンに可能な限りメンテナンス上必要な信号端子を出力した。

基板回路点検時には、基板チェック用アダプタを介することにより、測定器による故障箇所調査が実施できるように改善された。

5.2.11 回路点検用テストピンジャックの付加

ロジックが健全であることを保証するため監視回路を設けている。

これら監視回路の機能は点検モードでは確認できないため、基板の化粧銘板にテストジャックを設け、テストピンを挿入することにより、監視回路の機能を容易に確認できるようにした。テストジャックは基板を図5.3に示す。

表 5.1 半導体部品信頼性データ

MIL-HDBK-217Cによる算出値を以下に示す。

素子	故障率×10 ⁻⁶	備考
HTL素子	0.56	周囲温度 25℃ 樹脂モールドタイプ
C-MOS素子	0.50	周囲温度 25℃ 樹脂モールドタイプ
トランジスタ素子 (バイポーラ)	0.28	周囲温度 25℃, 樹脂モールドタイプ, ディレーティング30%, 小信号用(1W以下)
FET	2.2	同上
リニアIC	0.61	周囲温度 25℃, ハーメチックキャンタイプ ディレーティング30%(消費電力)

表 5.2 改造前後のロジック盤動作対比表

(i) 保護動作

	旧	改造後
通常監視中	「プリント基板収納」Ⓡ点灯	「プリント基板収納」Ⓡ点灯
2 out of 3 事故発生 〔□A, □B スクラム〕	「□A」 } 「□B」 } Ⓡ点灯 ブザー	「□A」 } 「□B」 } Ⓡフリッカー 「スクラム」 Ⓡ点灯 ブザー
「確認」釦押 (旧:警報リ セット)	ON ↓ OFF	Ⓡ連続点灯 ↓ OFF
2 out of 3 事故セカンド 信号発生 〔□B, □C 制御棒一斉挿 入〕	「□B」 } 「□C」 } Ⓡ点灯 ブザー	「□B」 } 「□C」 } Ⓡフリッカー 「制御棒一斉挿入」Ⓡ点灯 ブザー
「確認」釦押 (旧:警報リ セット)		Ⓡ連続点灯 ↓ OFF

表 5.3

(ii) 単一チャンネル作動

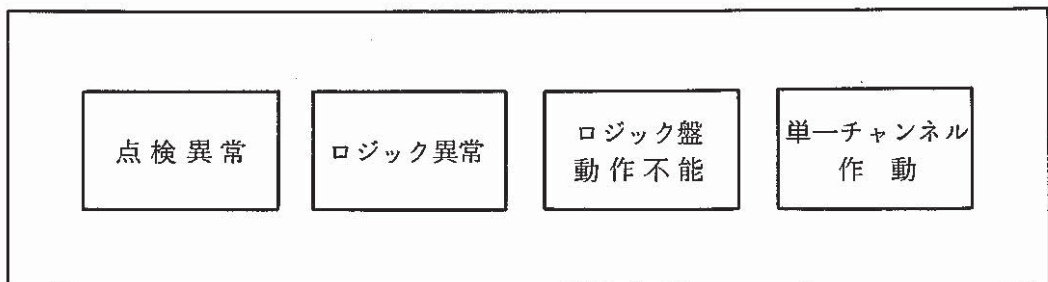
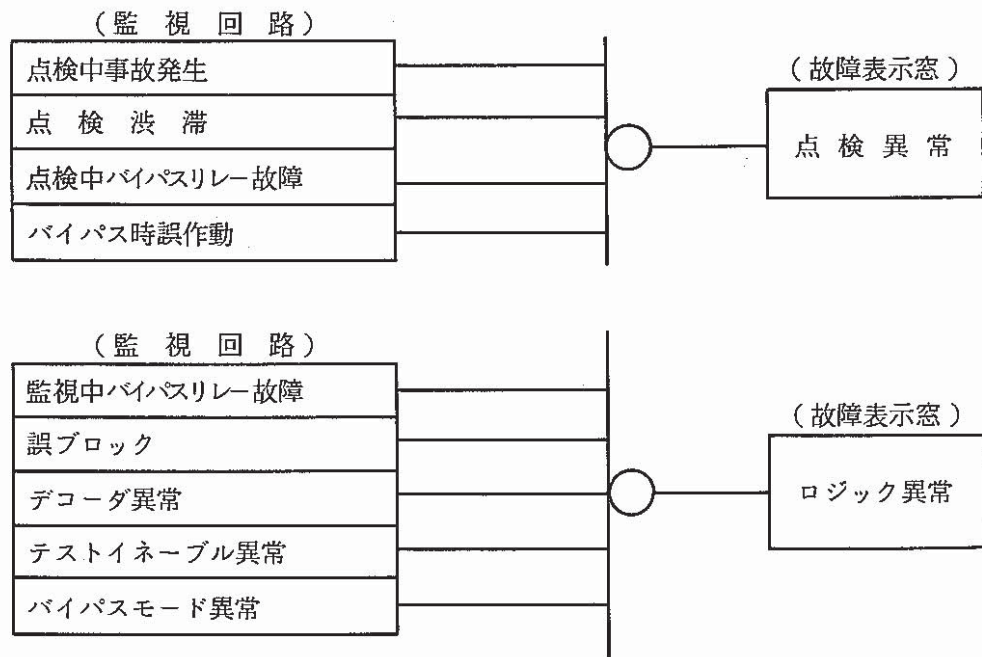
	旧	改造後
通常監視中	「プリント板収納」 $\text{\textcircled{R}}$ 点灯	「プリント板収納」 $\text{\textcircled{R}}$ 点灯
1 out of 3 単一チャンネル作動 〔□A〕	「□A」 $\text{\textcircled{R}}$ 点灯 ブザー	「□A」 $\text{\textcircled{R}}$ フリッカー 「単一チャンネル作動」ANN発報 ↓ ブザー
「確認」釦押 (旧：警報リセット)	ON ↓ OFF	$\text{\textcircled{R}}$ 連続点灯 ↓ フリッカー停止 ON ↓ OFF
1 out of 3 単一チャンネルセカンド信号発生 〔□B〕	「□B」 $\text{\textcircled{R}}$ 点灯	「□B」 $\text{\textcircled{R}}$ フリッカー 「単一チャンネル作動」ANN発報 ↓ ブザー
「確認」釦押 (旧：警報リセット)		$\text{\textcircled{R}}$ 連続点灯 ↓ フリッカー停止 ON ↓ OFF

表 5.4 ロジック盤の監視・表示項目

*1

形態	項目	新設の有無	概要	確認機能		備考
				誤動作	誤不動作	
監視機能	点検渋滞		点検回路による診断結果の表示。		○	
	点検中事故発生		点検中に、スクラム等のチャンネルが動作した事を検出する。			
	点検中バイパスリレー故障	○	点検による誤動作の防止。	○		バイパスリレーが動作しないと点検に入れない。
	バイパス時誤作動	○	点検中の誤動作の検出。	○		最終段バイパスが正常な限りスクラムはしない。
	監視中バイパスリレー故障	○	監視中の誤不動作の検出。		○	誤不動作を事前に検出できる。
	誤ブロック	○	同上		○	同上
	デコーダ異常	○	監視中の誤動作検出。	○		異常動作した後の原因表示。
	テストイネーブル異常	○	同上	○		同上
	バイパスモード異常	○	モードに対応したバイパス機能の喪失の確認。	○		同上
表示機能	アイソレーション	○	最終段リレーの動作状態の表示。	○	○	
	スクラム	○	同上	○	○	
	制御棒一斉挿入	○	同上	○	○	
	プリント基板収納		プリント基板全数収納の表示。			
	点検中		点検状態の表示。			
	バイパスリレー作動	○	最終段バイパスリレーの動作状態の表示。	○	○	

注*1：○印は、改造後の追加分を示す。



正面図

図 5.2 警報表示パネル図

表 5.5 警報項目

警報状態表示〔①原子炉制御盤（#423）②ロジック盤A系（#401），B系（#402）〕
の変更・新設箇所について警報発生原因とともに表に示す。

① 原子炉制御盤

	アドレス	従 来	変 更 後	警 報 発 生 原 因
警 報	E 8		「ロジック盤A異常」	新設のロジック盤（A系）の上部警報盤の4項目の内、いずれかが発報した場合、当該警報が発せられる。
	F 8		「ロジック盤B異常」	同上，ロジック盤（B系）
	A 9	「ロジック動作不能」	「単一ロジック不作動」	スクラム等の保護動作が発生した場合、本来ロジック盤A系，B系が同時に作動するはずであるが、万一，A系もしくはB系のいずれかが、トリップ信号を発生しなかった場合「単一ロジック不作動」ANNが発生する。 （「ロジック制作不能」ANNはロジック盤上部警報盤に変更移設された。）
	C 9	「単一チャンネル作動」		「単一チャンネル作動」ANNはロジック盤上部警報に含まれるため、当警報は削除された。 （単一チャンネル実信号が入力された場合，3423盤上には「ロジック盤A異常」「ロジック盤B異常」が同時に発報する。）
状 態 表 示 灯	C 5	「単一ロジック不作動」		状態表示灯から警報に変更された。
	D 5	「単一ロジック動作不能」		削除された。（各ロジック盤異常ANNで判断できる）

② ロジック盤

項 目	警 報 発 生 原 因	備 考
点検異常	ロジック盤の点検中（自動，手動）ロジック回路に次に掲げる異常が発生した場合発報する。 ① 点検渋滞 ② 点検中バイパスリレー故障 ③ 点検中事故発生 ④ バイパス時誤動作	→自動進歩ブロッ ク } 点検除外
ロジック異常	通常監視中，ロジック回路に次に掲げる異常が発生した場合発報する。 ① 監視中バイパスリレー故障 ② 誤ブロック ③ デコーダ異常 ④ テストイネーブル異常 ⑤ バイパスモード異常	
ロジック盤動作不能	ユニット内にプリント基板が全故収納されていないとき or DC15V喪失 or DC24V喪失に ロジック盤機能が不能となった場合ANN発報する。	→スクラム動作
単一チャンネル作動	入力3チャンネル中1チャンネル（2 out of 3 ロジック） or 入力2チャンネル中1チャンネル（1 out of 2 ロジック）のみ動作した場合ANN発報する。	

テストジャック付基板の種類と、テストジャックの取付位置を下図に示す。

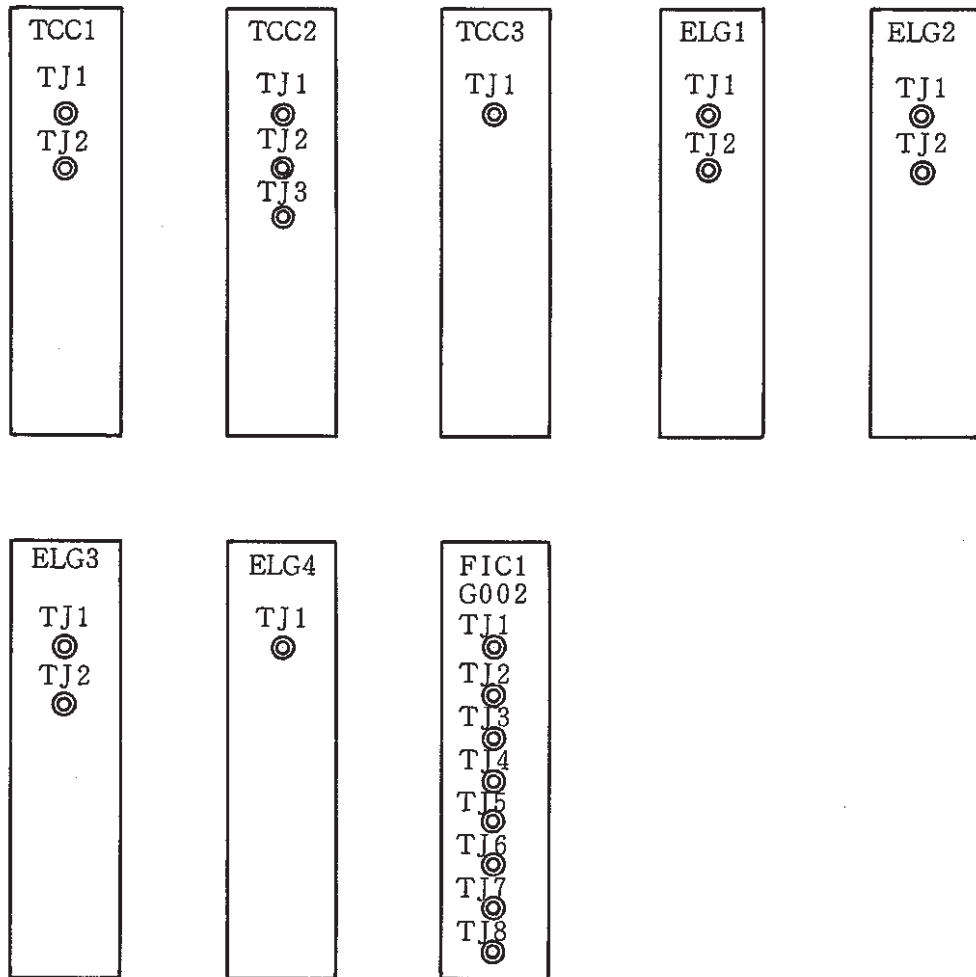


図 5.3 テストジャック付基板

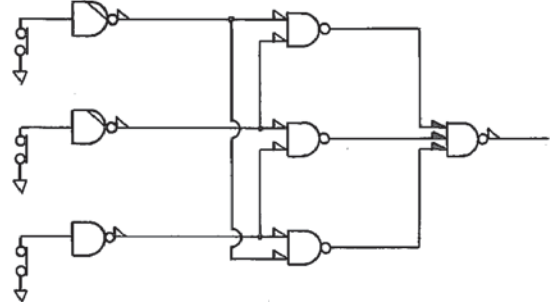
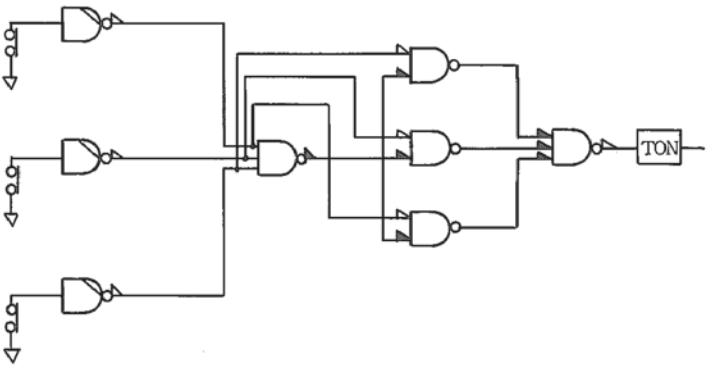
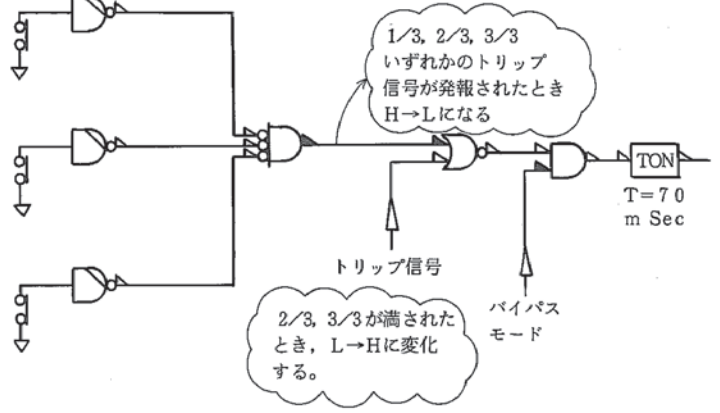
	従 来 盤	改 造 盤
TTL-IC素子	HTL型	C-MOC型
保護系ロジック (2 out of 3等)		変更なし
単一チャンネル作動ロジック	<p>2 out of 3項目の場合、単一チャンネル作動の他、2チャンネル動作時にも、当該ロジック作動。</p> 	<p>単一チャンネル作動時のみ作動</p>  <p>1/3, 2/3, 3/3 いずれかのトリップ 信号が発報されたとき H→Lになる</p> <p>トリップ信号</p> <p>2/3, 3/3が満された とき、L→Hに変化 する。</p> <p>バイパス モード</p> <p>T=70 m Sec</p>

図5.4 (1 / 6) 改造前後のロジック盤比較

	従 来 盤	改 造 盤
トリップ出力メカニカルリレー回路構成	<p>ロジック回路出力 (RY-66) から最終段RY (SLAX) まで、3段構成</p>	<p>ロジック回路出力 (S2) から最終段RY (SLAX) まで、2段構成</p>
トリップ出力メカニカルリレー回路 トリップ出力方式 (スクラム)	<p>ロジック回路出力 (RY-66) 無励磁により、S2, S3が励磁、最終段RY (SLAX) が無励磁 → スクラム。(fail Safeの思想が貫徹されていない)</p>	<p>ロジック回路出力 (S2, S3) 無励磁により、最終段RY (SLAX) が無励磁 → スクラム。(fail Safeの思想貫徹)</p>
最終段リレー励磁回路 (スクラム)	<p>プリント基板全数未収納、系統電源 (ロジック回路 15V) 喪失時保護動作不能</p>	<p>プリント基板全数未収納、系統電源喪失時保護動作作動</p>

図 5.4 (2 / 6)

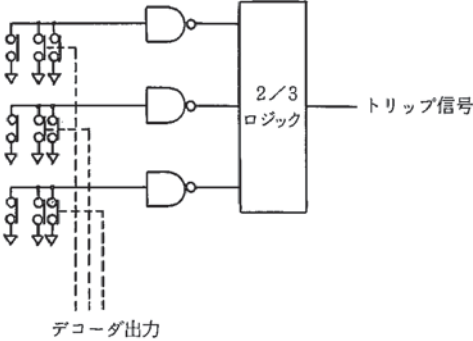
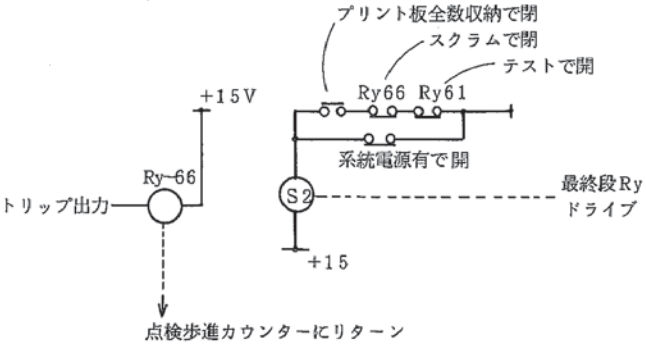
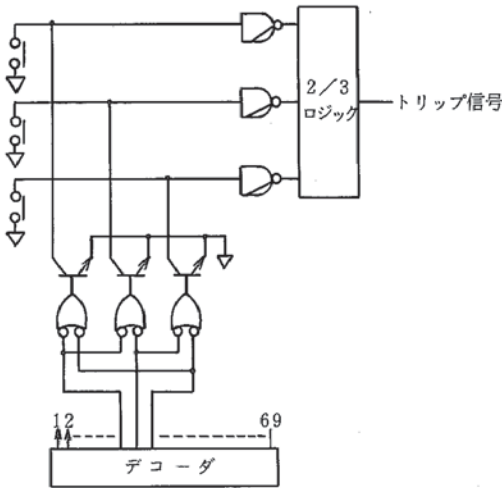
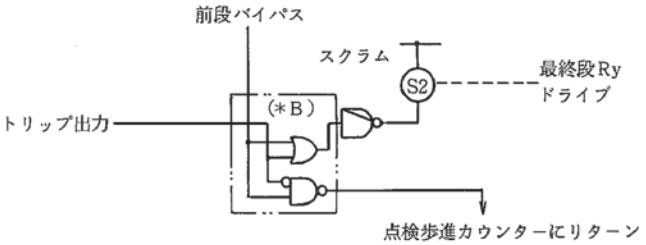
	従 来 盤	改 造 盤
ロジック点検モード	自動点検	自動点検 手動点検
ロジック点検回路模擬信号入出力方式	<p>メカニカルリレーによる入出力</p> <p><模擬信号入力回路></p>  <p><模擬信号出力回路></p> 	<p>点検歩進カウンタから論理回路に直接入力，又出力もメカニカルリレーを介さず，直接カウンタにリターン。</p> <p><模擬信号入力回路></p>  <p><模擬信号出力回路></p> 

図 5.4 (3 / 6)

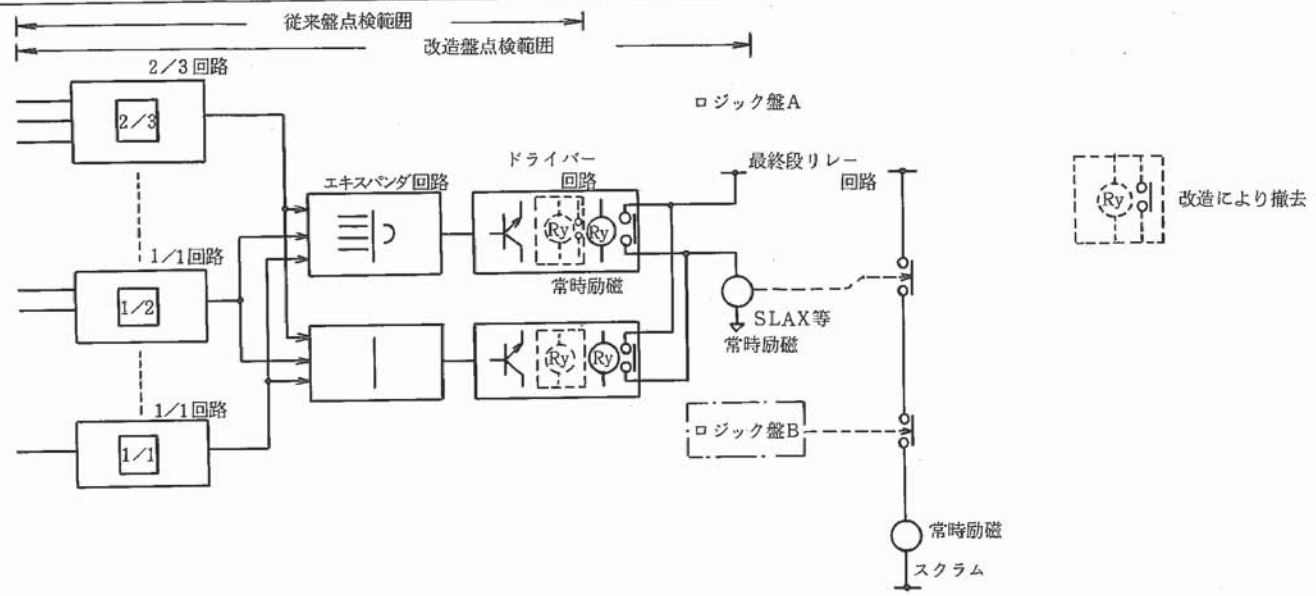
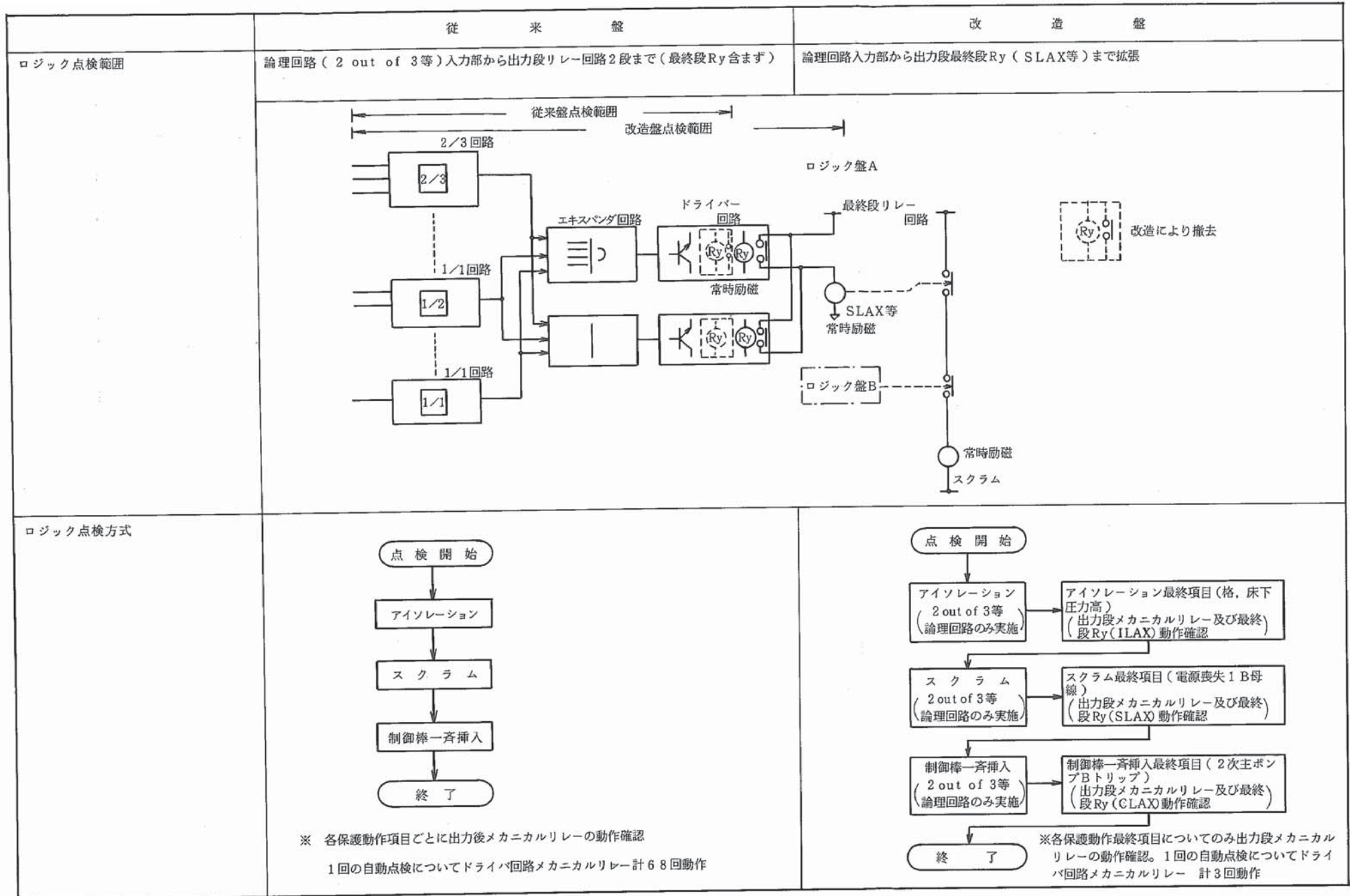


図 5.4 (4 / 6)

	従 来 盤	改 造 盤
ロジック点検パネル表示機能	① プリント板収納 (R)発光ダイオード表示	① 同 左
	② 点 検 中 (R)発光ダイオード表示	② 同 左
	③ 各保護動作項目 (R)発光ダイオード表示 計68個 ※ トリップ信号入力時, 連続点灯	③ 各保護動作項目 (R)発光ダイオード表示 計68個 ※ トリップ信号入力時, フリッカー表示「確認」により連続点灯
		④ 原子炉モードによるバイパス項目 (C)発光ダイオード表示 計26個 ※ バイパス項目については, 保護信号が入力しても警報発生阻止
		⑤ 最終段Ry動作 (R)発光ダイオード表示 a. アイソレーション (ILAX) b. スクラム (SLAX) c. 制御棒一斉挿入 (CLAX)
		⑥ バイパスリレー作動 (R)発光ダイオード表示
		⑦ 通常監視中異常 (R)発光ダイオード表示 a. 監視中バイパスリレー故障 b. 誤ブロック c. デコード異常 d. テストイネーブル異常 e. バイパスモード異常
		⑧ 点検中ロジック回路異常 (R)発光ダイオード a. 点検中事故発生 b. 点検渋滞 c. 点検中バイパスリレー故障 d. バイパス時誤操作

図 5.4 (5 / 6)

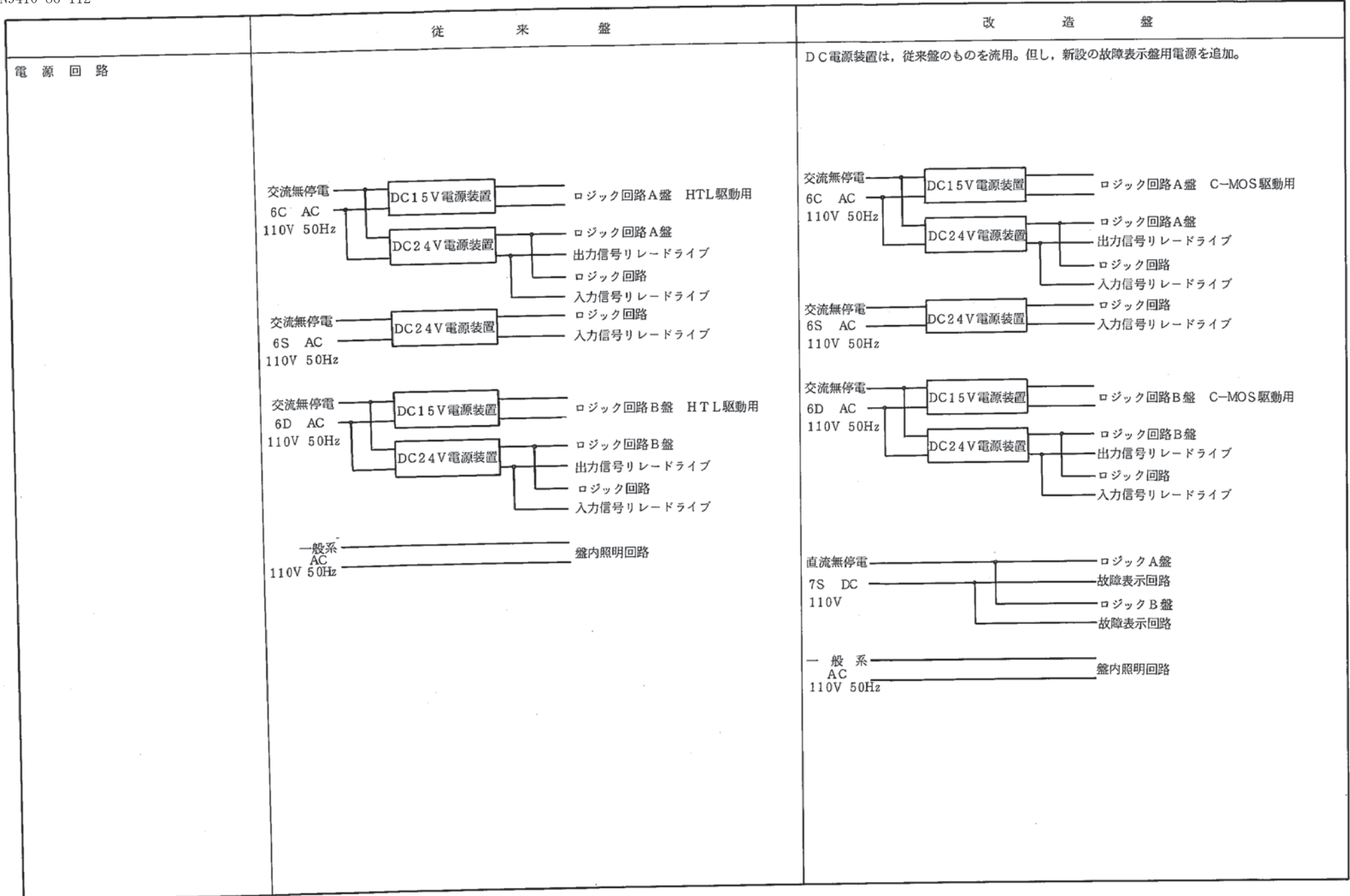


図 5.4 (6 / 6)

6. 新ロジック盤

6.1 プリント基板機能

プリント基板はロジック盤 A, B に各々 50 枚収納される。基板の種類, 機能を表に示す。

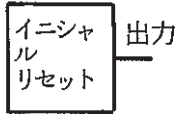
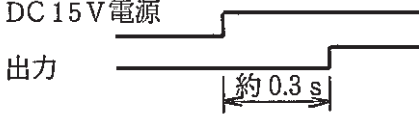


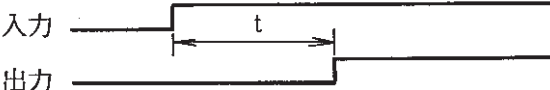
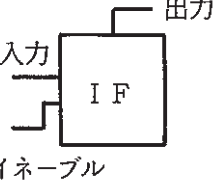
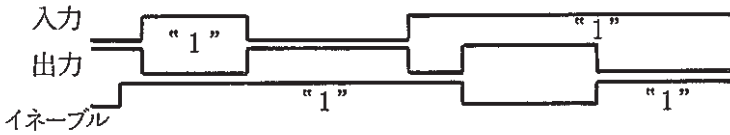

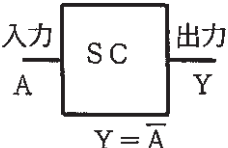
	基板コード	機 能	枚 数
1	TCC1	点検コントロール (1) 点検をコントロールする基板で点検モード(自動, 手動)の設定論理を有する。	1
2	TCC2	点検コントロール (2) 点検リターン信号の処理を有する	2
3	TCC3	点検コントロール (3) 点検歩進を担う基板で, バイナリカウンタ, デコーダおよび歩進パルスを作成する歩進コントロール論理から成る	1
4	TDC1	4 to 16 デコーダ 点検信号を 1/1, 1/2 および 2/3 論理基板に出力するデコーダ回路から成る	5
5	ELG1	1/1 ロジック×4 1 out of 1 論理を 4 回路実装した基板, トリップバイパス機能を持つ。	2
6	ELG2	1/2 ロジック×2 1 out of 2 論理を 2 回路実装した基板, トリップバイパス機能を持つ。	1
7	ELG3	2/3 ロジック×2 2 out of 3 論理を 2 回路実装した基板, トリップバイパス機能を持つ。	11
8	ELG4	1/N ロジック及びトリップロジック 1/1~2/3 論理出力の AND をとり, アイソレーション, スクラム, 制御棒一斉挿入の各信号を生成する	5
9	RDV1	リレードライバ×16 DC 24V リレードライブ回路を 16 回路実装した基板	5
10	RYC1	リレー(MY4)×6 警報表示パネル用 MY4 リレーを 6 個実装した基板	2
11	FIC1	故障表示 (1) フリップフロップを 8 回路実装した基板	11
112	FIC2	故障表示 (2) TON, SS の組合せ回路を 6 セット, 発振回路を 1 回路実装した基板	4
合 計			50

6.2 シーケンス動作説明

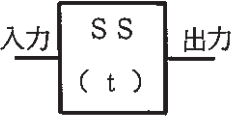

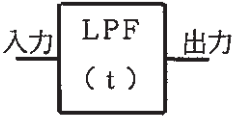
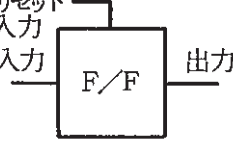
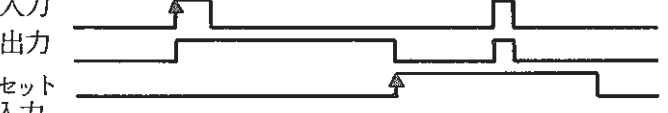
6.2.1 ブロック記号説明

ロジックシーケンスで使用するブロック記号について以下に示す。

(1 / 4)

記 号	内 容
	<p>イニシャルリセット回路であり、電源立上り後約 0.3 秒間出力を“0”に保つ。</p> 
	<p>LEDドライバ($I_F \approx 10\text{mA}$)である。電流制限用抵抗を含む。(基板側)</p>
	<p>オンディレイタイマであり、t にて遅延時間を示す。</p> 
	<p>点検信号の注入回路であり、出力はオープンコレクタである。</p>  <p>出力“ON”時はDGと導通する。尚イネーブル入力は終段トランジスタのベース回路を直接コントロールするものとする。(ディスインーブルの確実性)</p>
	<p>オープンコレクタによるPコモンのリレードライブ回路である。</p> <p>入力“1”にて出力“ON”(+24V供給), 入力“0”にて出力“OFF”である。</p>
	<p>非絶縁の接点入力回路であり、入力をGNDに接地したとき出力が“1”となる。接点“ON時” 15mA (以上) の電流を接点に流し込めること。また $T \approx 5\text{ms}$ 程度のローパスフィルタを含む。</p>








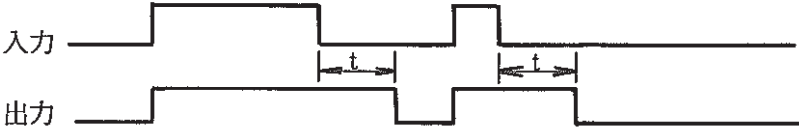
(2 / 4)

記 号	内 容
	<p>モノステーブルマルチバイブレータであり、tにてパルス巾を示す。</p> 
	<p>CRによるローパスフィルタである。tにて時定設を示す。</p>
	<p>セット優先 フリップフロップ(ラッチ)である。</p> 

(3 / 4)

記 号	内 容
<p>バイナリカウンタ</p>	<p>バイナリカウンタはCLK入力の立ち下りでカウント状態を進め、2進で出力する。 CL入力を“H”にするとCLK入力に無関係に全回路がリセットされ、全出力共(1~64)“L”になる。</p>
<p>デコーダ</p>	<p>デコーダは2進を入力して10進信号に変換する。0~15までの16本の出力のうちA~Dまでの2進の入力に対応した出力が“L”になり、それ以外の出力は全て“H”になる。 ENA1入力が“L”であり、かつENA2が“H”のとき、デコーダは動作可能となる。この条件が成立しないときは、A~Dの入力に無関係に全出力(0~15)は“H”となる。</p>

(4 / 4)

記号	内容	
	非反転型バッファ	$X = A$
	ANDゲート	$X = A \cdot B$
	ORゲート	$X = A + B$
  	インバータ	$X = \bar{A}$ $X = \overline{A \cdot B}$ $X = \overline{A + B}$
	<p>オフディレイタイマ</p> 	

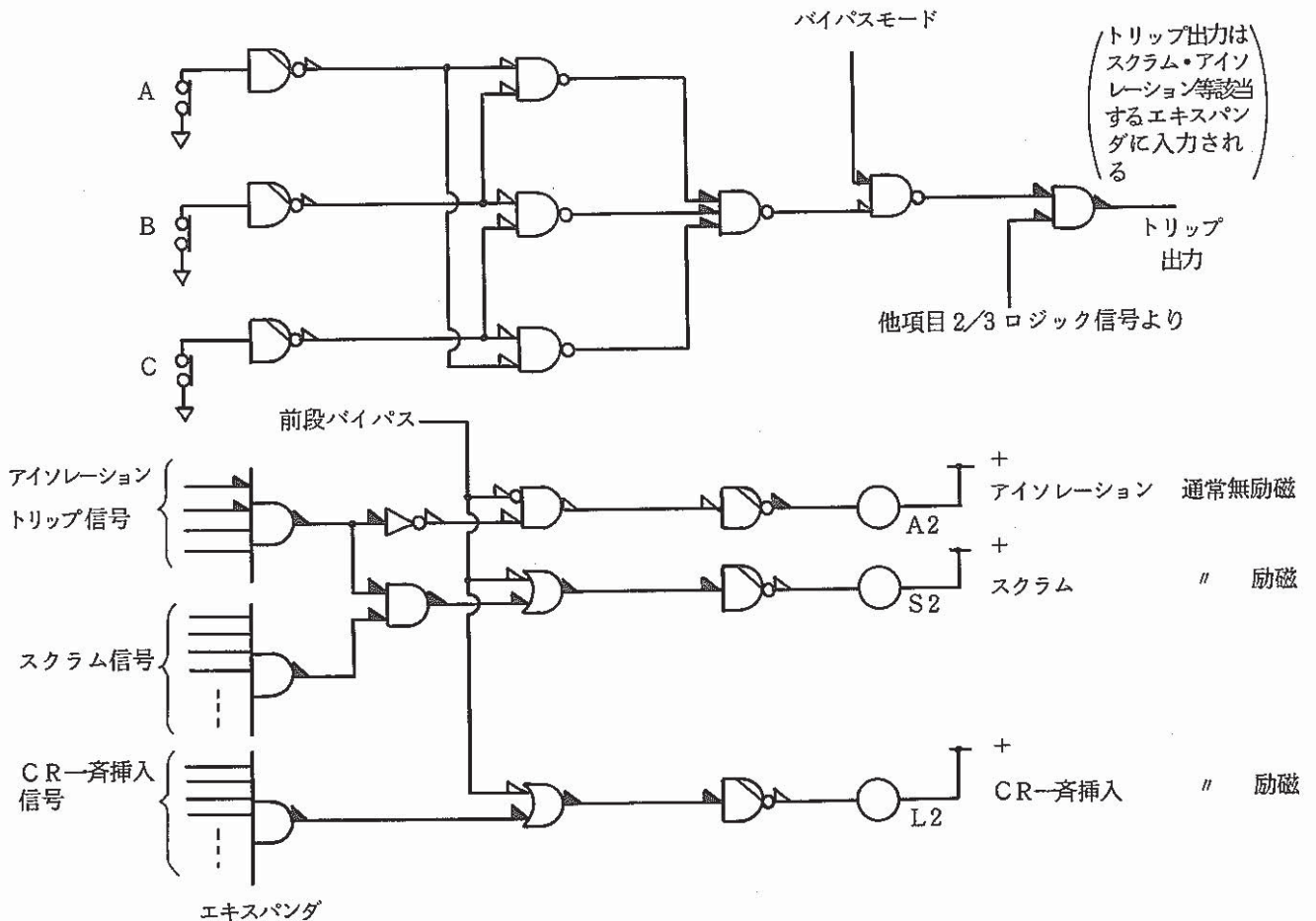
6.2.2 実トリップロジック (2 out of 3, A and B入力時)

- (1) 保護動作信号が、AおよびBに入力されると2 out of 3ロジックが成立しトリップ信号として出力される。
- (2) トリップ信号出力は運転モードに応じて、ブロックされるか、又は、実トリップ信号として出力される。
- (3) 実トリップ出力信号は、アイソレーション、スクラム、制御棒一斉挿入信号の保護信号に対応する2系統のエキスパンダに分岐され入力される。
- (4) エクスパンダからの信号はロジック出力を阻止する前段バイパス (点検時に作動) 信号が入力されていないとき、ロジック出力メカニカルリレー (A2, S2, L2), (A3, S3, L3) を駆動し、最終段リレー (ILX, SLX, CLX) をドライブして保護動作に至る。

6.2.3 原子炉保護作動機能

スクラム、アイソレーション、CR一斉挿入のトリップ動作については、2 out of 3, 1 out of 2, 1 out of 1のロジックで行われる。

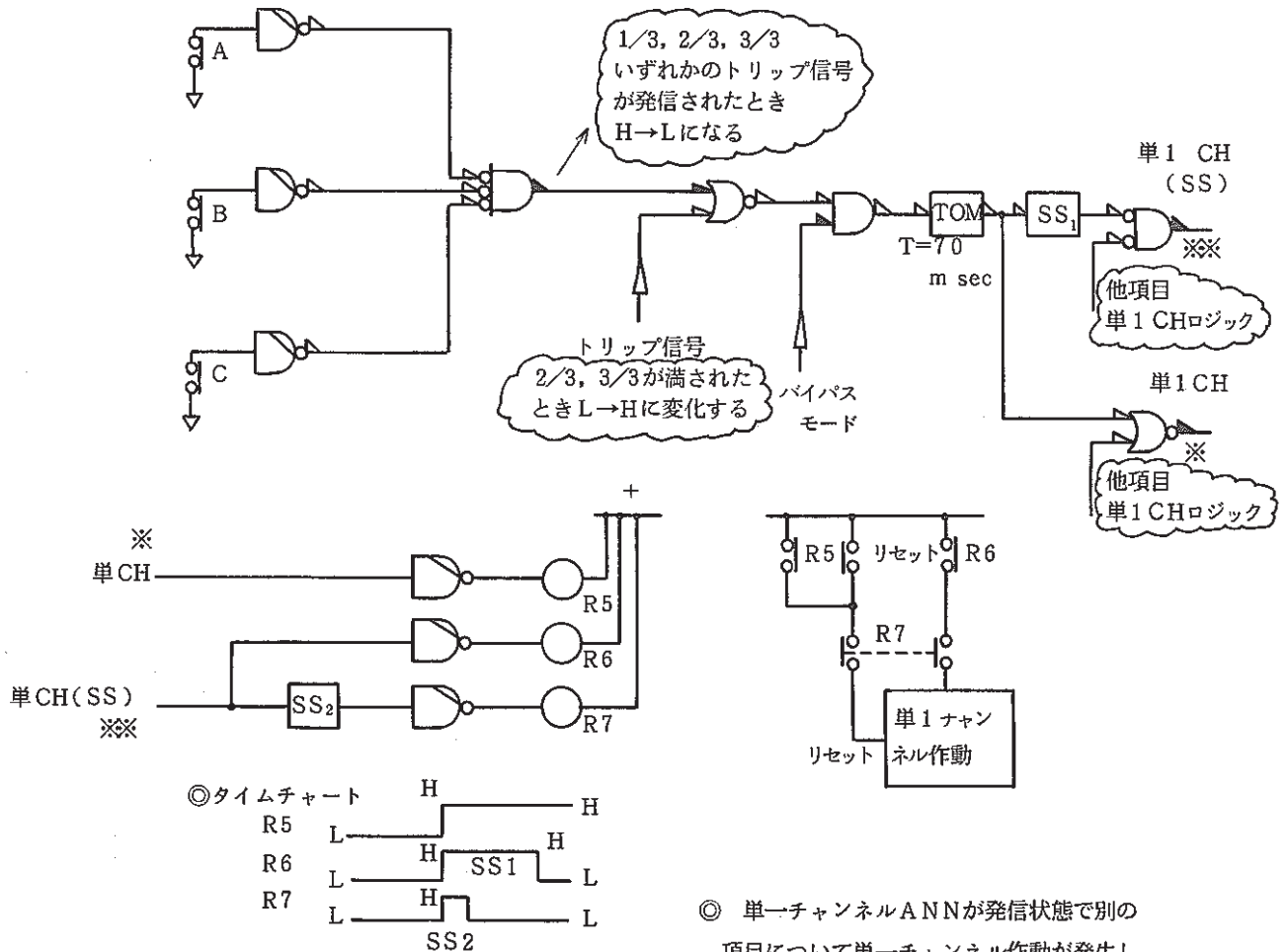
◎ 2/3ロジック



6.2.4 単一チャンネル作動ロジック

- (1) 保護動作信号がA, B, Cのいずれかに入力され、かつ、トリップ信号が出力されていない時、単一チャンネルロジック条件が満れる。
- (2) このときバイパスモード以外で、単一チャンネルロジック条件が満足されたのち、70 msec以内に他のチャンネルのいずれも保護信号が入力されない時、単一チャンネル作動信号が出力される。
- (3) 又、単一チャンネル警報が発信状態で別の項について単一チャンネル作動が発生した時警報は一旦、自動リセットされ、“単一チャンネル作動”警報が再発する。

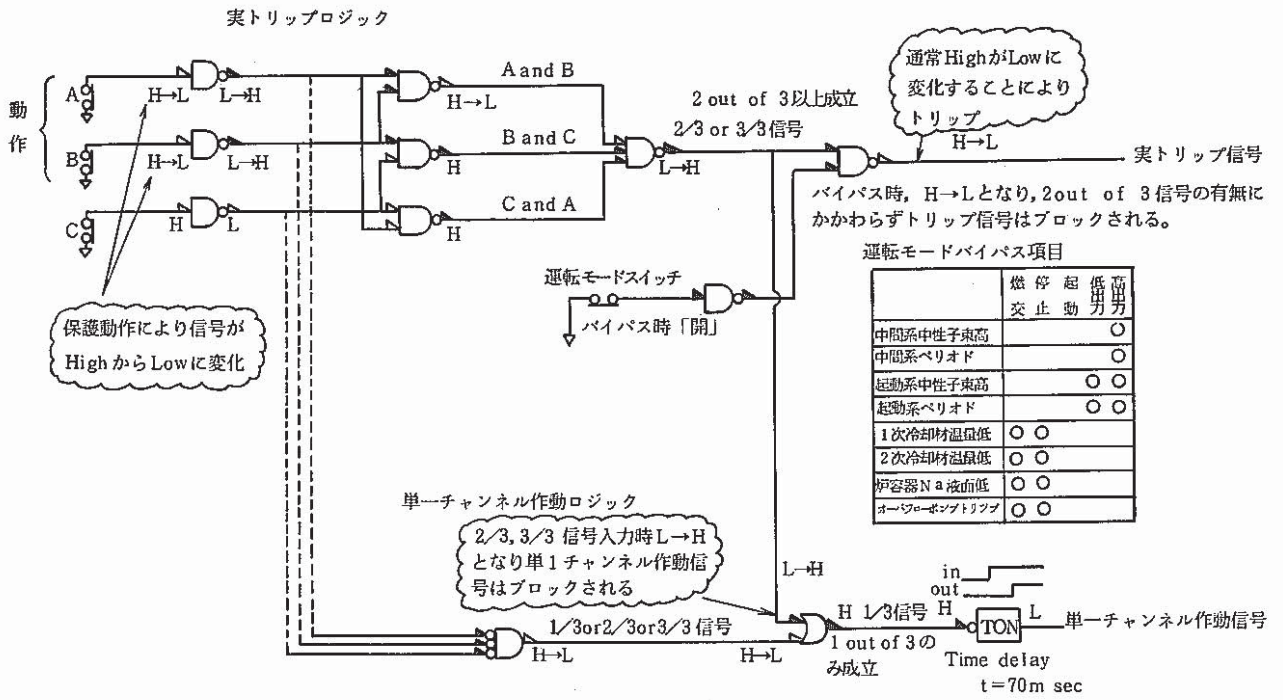
◎ 単一チャンネル作動ロジック



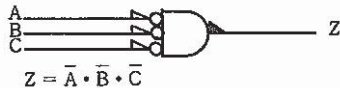
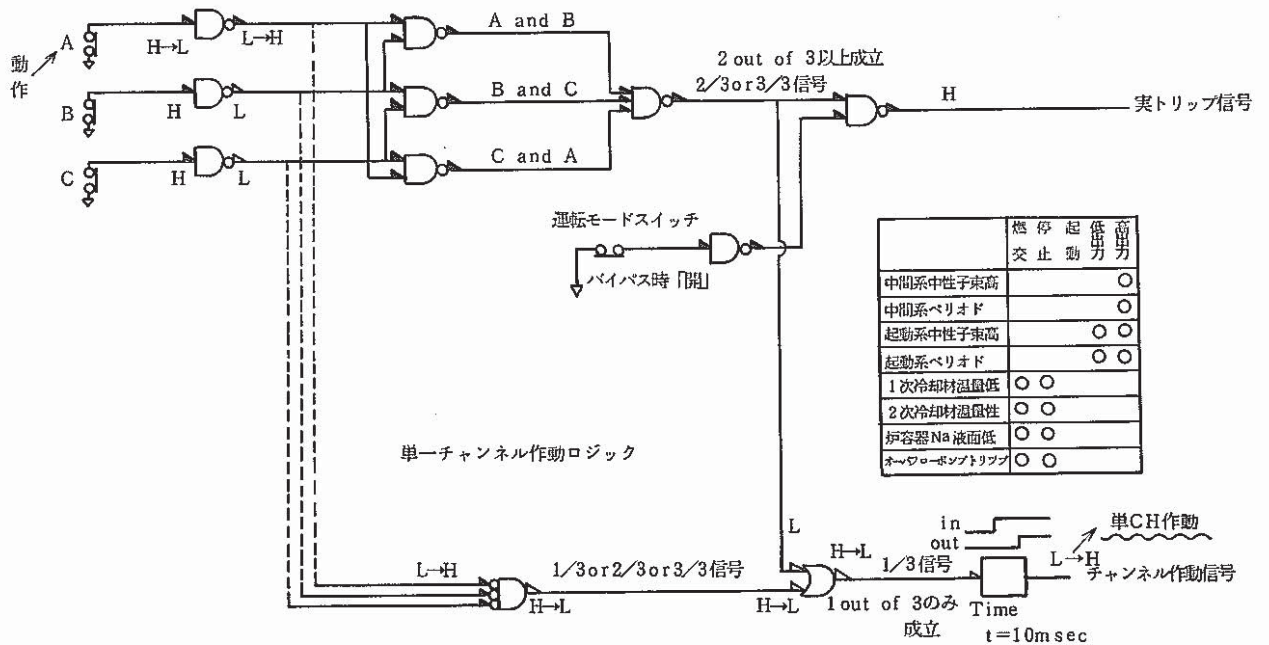
◎ 単一チャンネルANNが発信状態で別の項目について単一チャンネル作動が発生したときANNは一旦自動リセットされ、“単一チャンネル作動”ANNが再発する

実トリップ、単一チャンネル動作説明

(a) 実トリップ作動時 2 out of 3 (A and B) 入力



(b) 単CH作動時 1 out of 3 (A) 入力



A	H	H	H	L	L	L	L
B	H	H	L	L	H	H	L
C	H	L	H	L	H	L	H
Z	L	L	L	L	L	L	H

6.2.5 点検ロジック（自動点検）

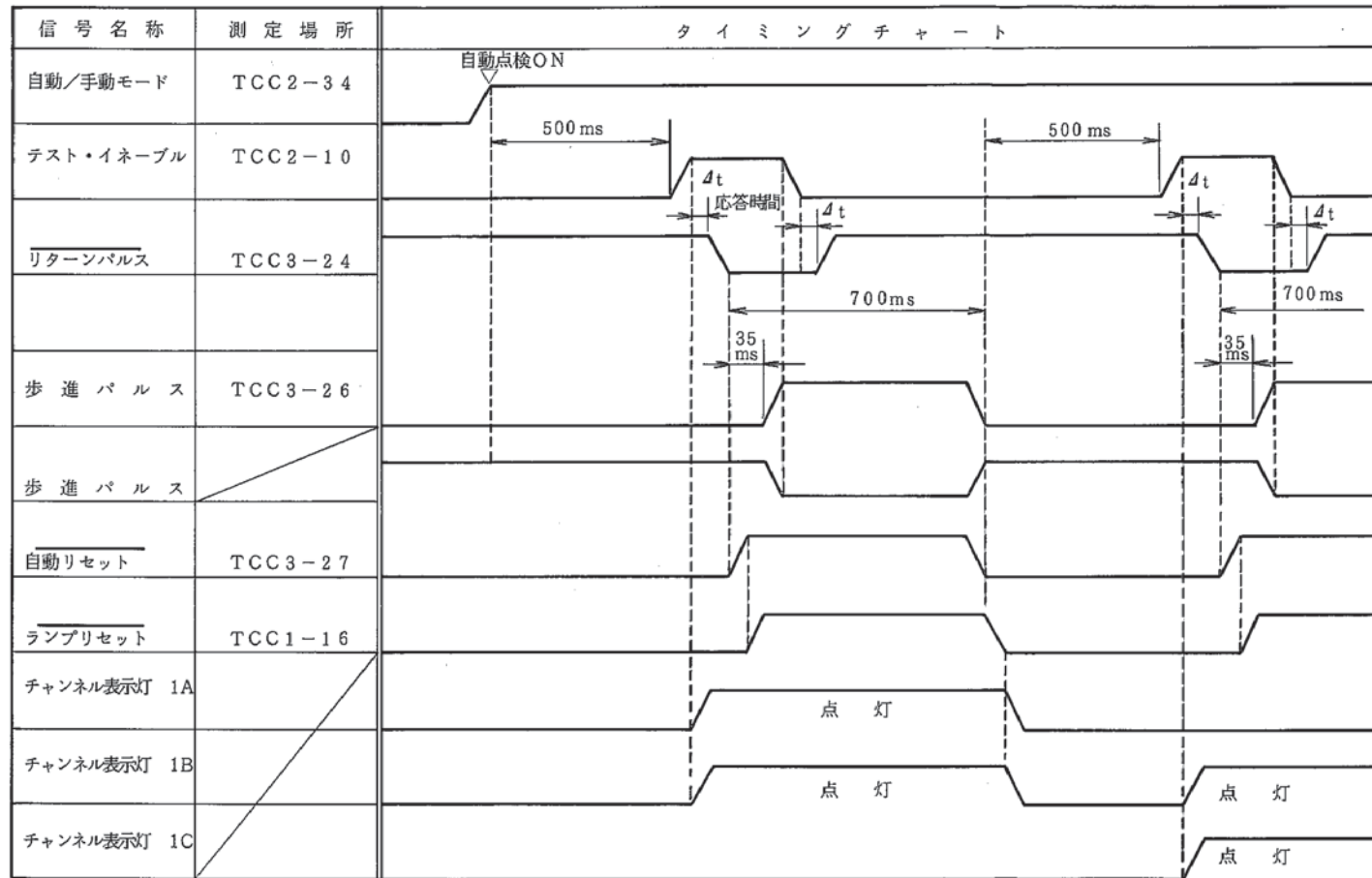
- (1) 自動点検PBスイッチをONにすると自動モード（TCC1-29）→自動/手動モード（TCC3-35）の順に信号が伝達して自動/手動モードが“H”になる。
- (2) 自動/手動モードが“H”になってから500ms遅れてテストイネーブルが“H”になる。
- (3) テストイネーブルが“H”になるとTDC1のデコーダ出力0番目が有効になり最初の点検回路に点検信号が入る。
- (4) 点検信号によりロジックが正常に動作すればトリップ出力（ELG3-9）→点検リターン（ELG4-29）→リターンパルス（TCC2-23）の順に信号が伝達しリターンパルスが“L”になる。
- (5) リターンパルスが“L”になってから35ms経過後、歩進パルスが665msの間“H”になる。一方この歩進パルスはバイナリカウンタ（TCCS）に入力し、歩進パルスの立ち下がりでカウントアップする。これによって計数が1つ進んでデコーダ（TDC1）の出力が0番目から1番目が変わる。
- (6) 歩進パルスが“H”になるとテストイネーブルが“L”になりTDC1のデコーダ出力0番目を無効にし、点検信号がクリアされる。
- (7) チャンネル表示灯（1A, 1B）はテスト、イネーブルが“H”になり点検信号が入力した時に点灯し、その状態はフリッカコントロール回路（FIC1）によりホールドされる。ホールドのリセットはランプリセットの立ち下がりにより行われて、表示灯（1A, 1B）は消灯する。
- (8) (5)項での歩進パルスの立ち下がりから500ms遅れてテストイネーブルが“H”になる。この信号によりTDC1のデコーダ出力1番目が有効になり2番目の点検回路に点検信号が入る。

以下同様な動作を繰り返して点検が進められる。

6.2.6 点検ロジック（手動点検）

- (1) 手動点検PBスイッチをONにすると手動モード（TCC1-30）→自動/手動モード（TCC3-35）の順に信号が伝達して、自動/手動モードが“H”になる。
- (2) 自動/手動モードが“H”になってから500ms遅れてテストイネーブルが“H”になる。
- (3) テストイネーブルが“H”になるとTDC1のデコーダ出力0番目が有効になり最初の点検回路に点検信号が入る。
- (4) 点検信号によりロジックが正常に動作すればトリップ出力（ELG3-9）→点検リターン（ELG4-29）→リターンパルス（TCC2-23）の順に信号が伝達しリターンパルスが“L”になる。

自動点検開始タイミングチャート

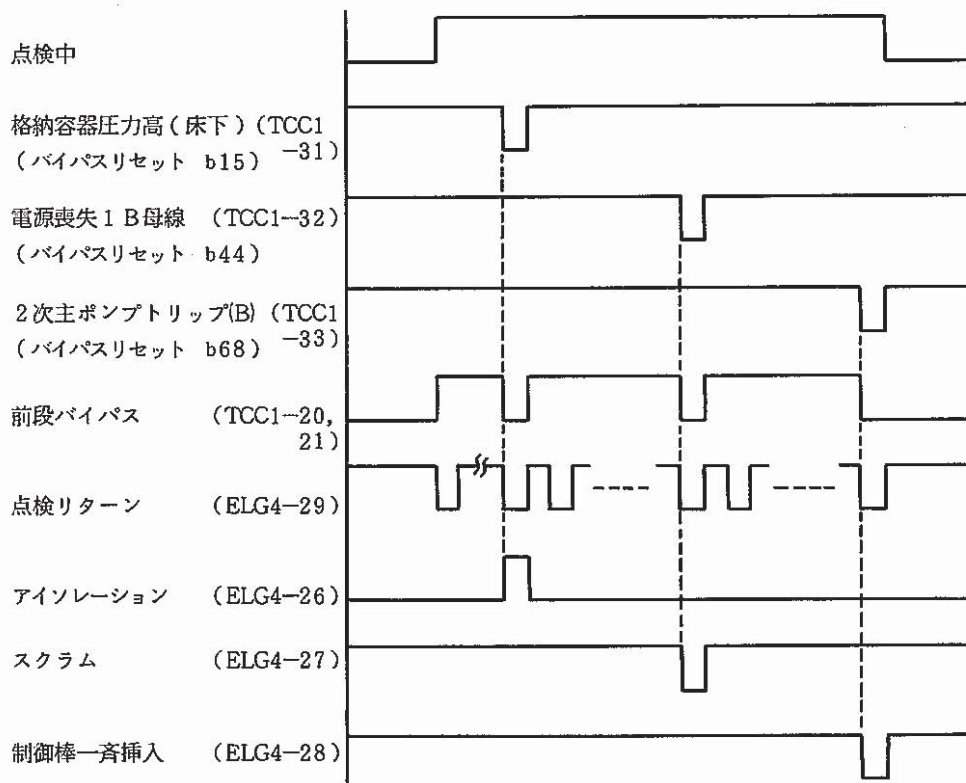


- (5) チャンネル表示灯(1A, 1B)はテストイネーブルが“H”になり、点検信号が入力した時に点灯し、その状態はフリッカコントロール回路(FIC1)によりホールドされる。
ホールドのリセットは、リセットPBスイッチをONすることにより行う。
- (6) チャンネル表示灯(1A, 1B)が点灯したのを確認してからスキップPBSをONにすると、シングルショット(SS)出力として200msのパルスが発生する。
- (7) 200msのパルスの立ち上がりから35ms経過後、歩進パルスが165msの間“H”になる。一方、この歩進パルスはバイナリカウンタ(TCC3)に入力し、歩進パルスの立ち下がりかでカウントアップする。これによって計数が1つ進んでデコーダ(TDC1)の出力が0番目から1番目が変わる。
- (8) 歩進パルスが“H”になるとテストイネーブルが“L”になりTDC1のデコーダ出力0番目を無効にし、点検信号がクリアされる。
- (9) (7)項での歩進パルスの立ち下がりから500ms遅れてテストイネーブルが“H”になる。この信号によりTDC1のデコーダ出力1番目が有効になり、2番目の点検回路に点検信号が入る。

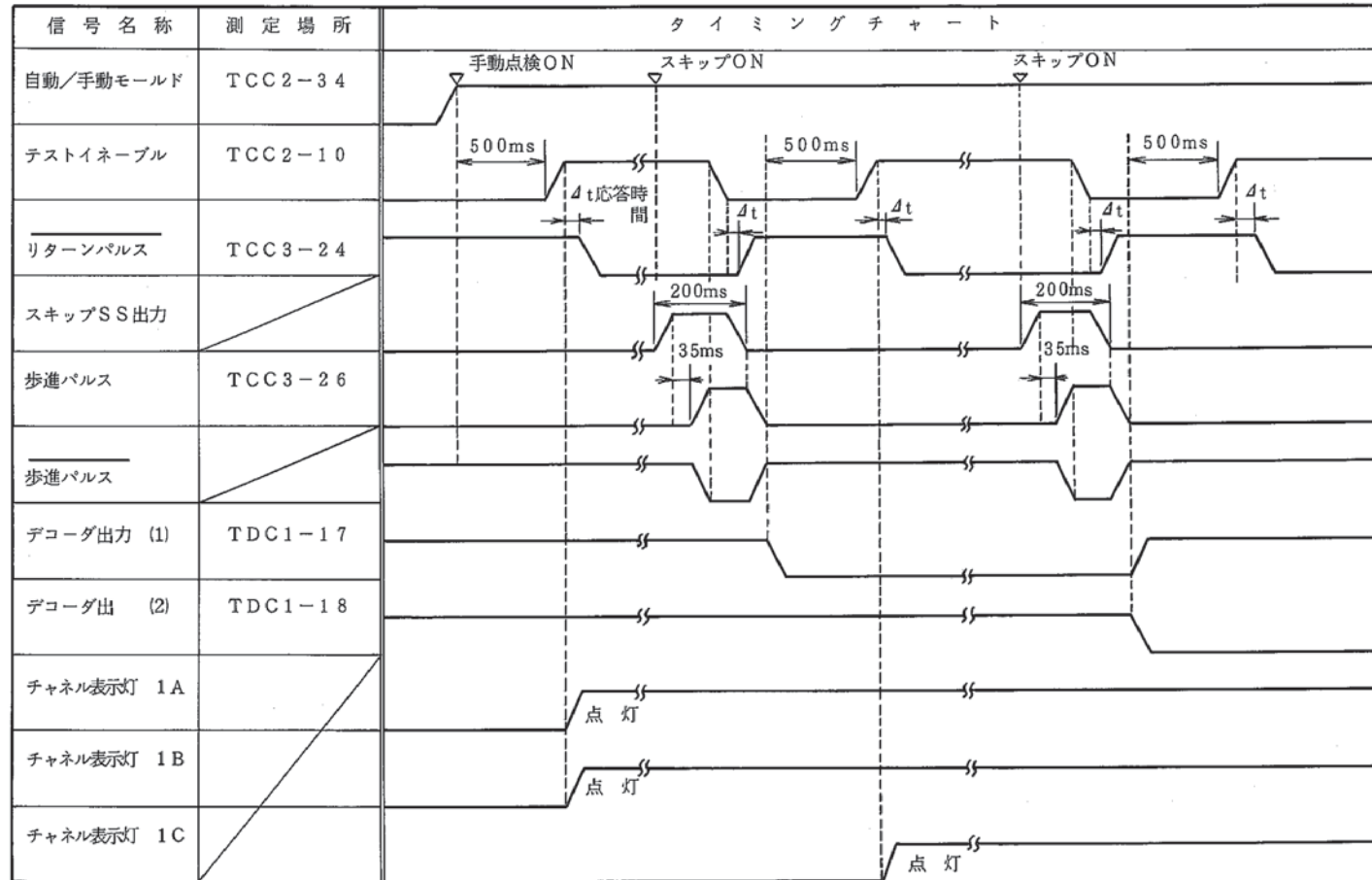
以下同様な動作を繰り返して点検が進められる。

6.2.7 前段バイパス

前段バイパスは、点検により発生するトリップ出力では、最終段リレーを動作させないようにバイパス回路を構成し、点検信号に対する応答信号として、点検リターン(ELG4)を出す機能と、点検において、各安全動作項目毎に1回だけ最終段リレーを動作させて、応答信号として出させる機能をもつ。



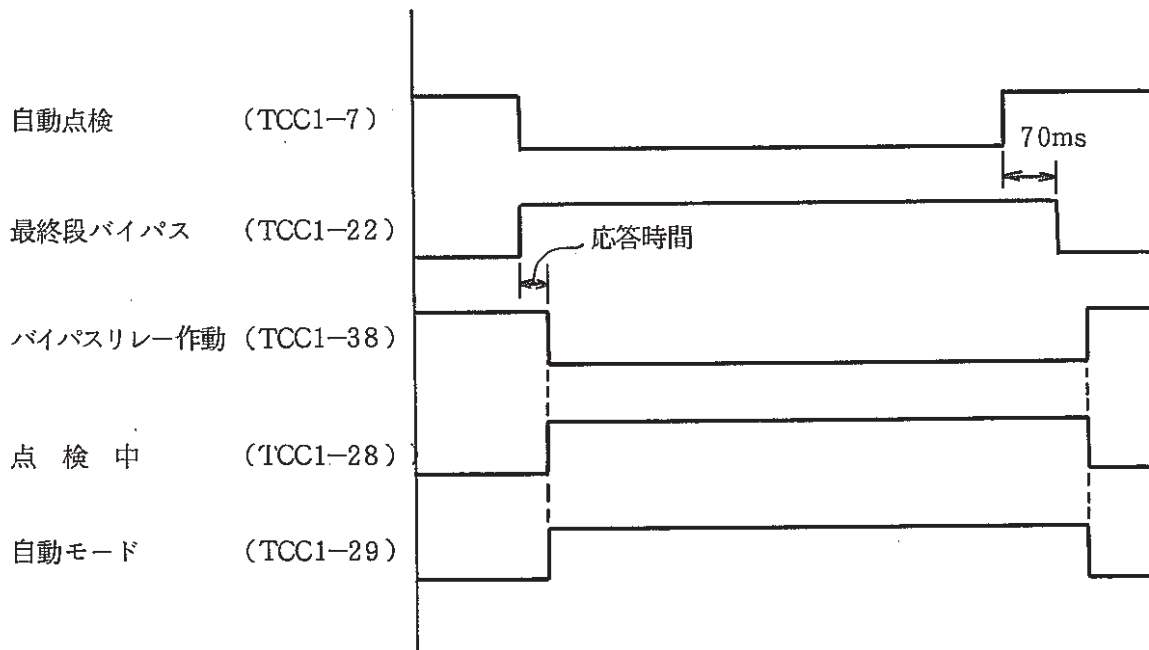
手動点検開始タイミングチャート



6.2.8 最終段バイパス

最終段バイパスは、最終段リレーの点検を可能とするため、補助リレー盤入力段リレー（SLA(B)X, CLA(B)X, ILA(B)X, ILA(B)X-1）をバイパスする機能をもつ。

点検モード（自動モード、手動モード）は最終段バイパスリレーの動作確認を得てから成立するようにロジックを構成している。



6.3 ロジック盤警報

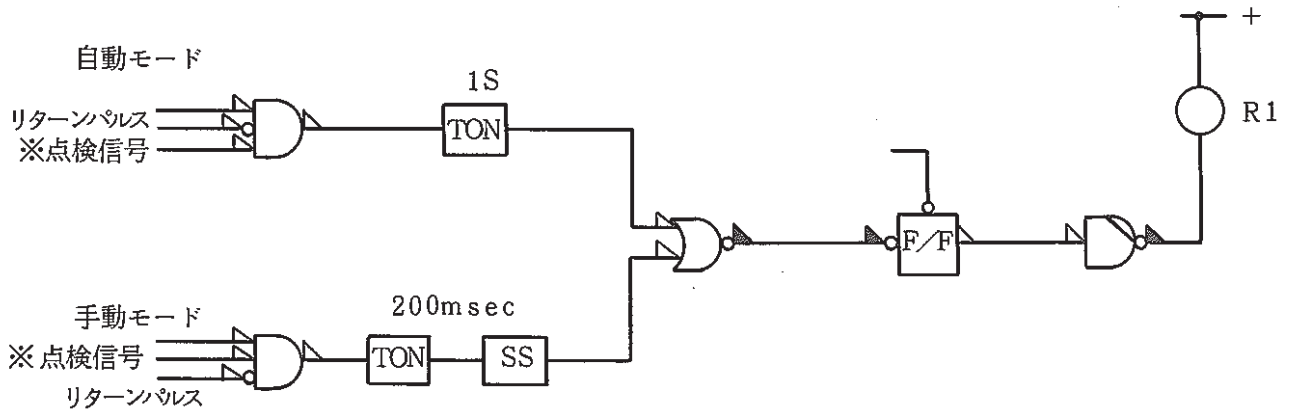
ロジック盤上部に新設された警報表示について以下の表に示す。

外観は図 5.2 のとおり

項 目	原 因 (詳細については 6.3.1 以下)	動作リレー	備 考
点 検 異 常	<ul style="list-style-type: none"> ◦点検渋滞 ◦点検中バイパスリレー故障 ◦点検中事故発生 ◦バイパス時誤動作 	<ul style="list-style-type: none"> Ⓡ1 Ⓡ2 Ⓡ3 Ⓡ4 	自動進歩ブロック } 点検除外
ロジック異常	<ul style="list-style-type: none"> ◦監視中バイパスリレー故障 ◦誤ブロック ◦デコーダ異常 ◦テストイネーブル異常 ◦バイパスモード異常 	<ul style="list-style-type: none"> Ⓡ8 Ⓡ9 Ⓡ10 Ⓡ11 Ⓡ12 	
ロジック盤動作 不能	ロジック盤A(B)の動作が不能 となった場合 (<ul style="list-style-type: none"> ◦プリント板が全数収納 されていないとき ◦DC15V, DC24 V電源喪失のとき)	L A 3 2 L B 3 2	当ANNは既設どおり 変更なし (ただし、プリント基 板未収納時はスクラ ムするように変更さ れた)
単一チャンネル 作動	6.2.4 参 照		

6.3.1 点検渋滞

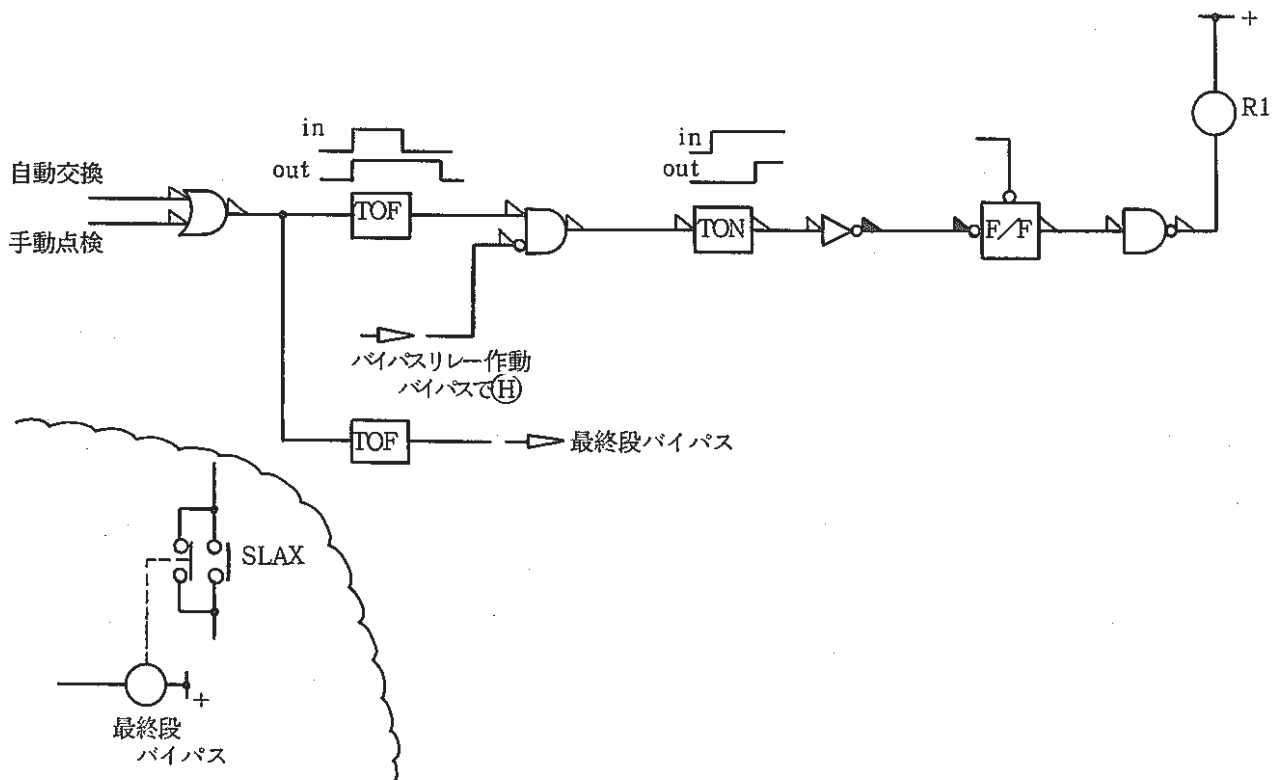
自動、手動にかかわらず、ロジック点検中に、発信された点検信号に対するリターン信号（リターンパルス、バイパスリターン、ラストライン）が一定時間内でバイナリカウンタにもどらないとき



※ 点検信号：デコーダに何らかの信号が立っているとき（点検模擬信号が出力されているとき） \textcircled{H} ハイ

6.3.2 点検中バイパスリレー故障

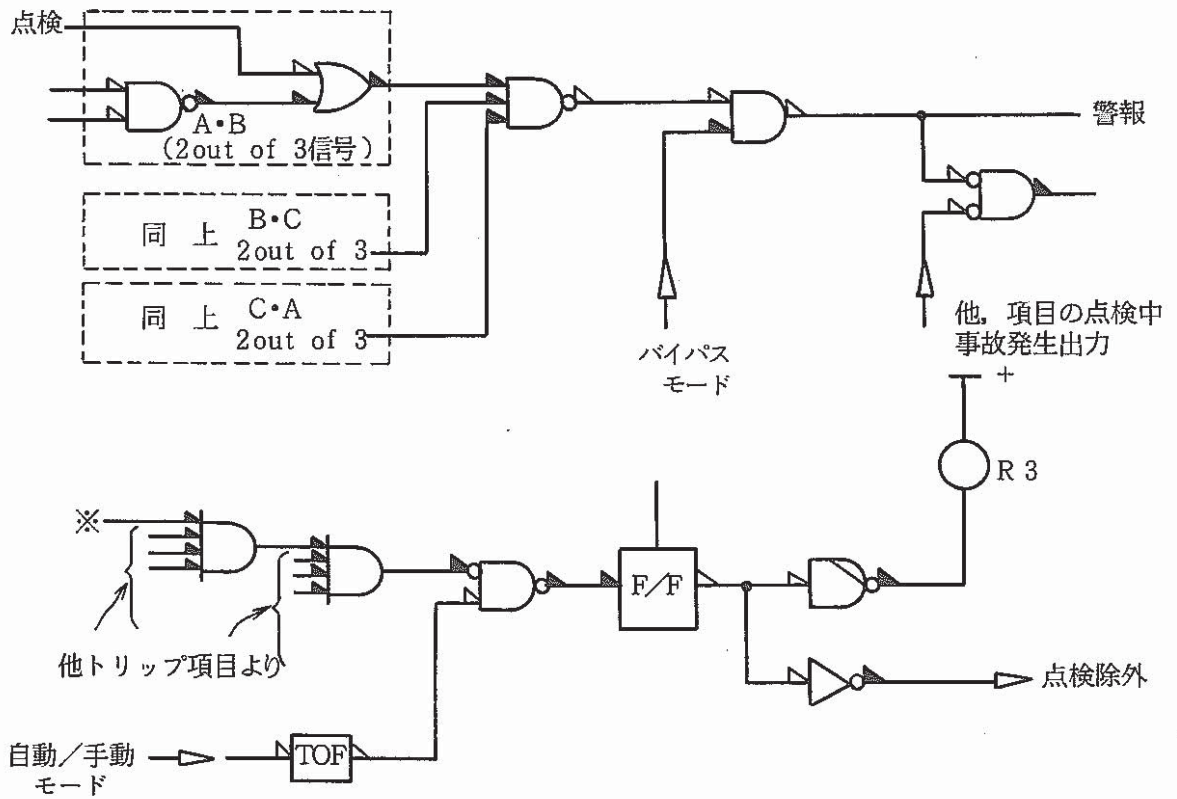
ロジック点検開始時に、最終段（SLAX, CLAX, or ILAX）用バイパスリレーが動作しないとき、又は点検中に誤ってバイパスリレーが復帰したとき、（保護動作作動）



6.3.3 点検中事故発生

ロジック点検中は実トリップ回路がブロックされているため、点検中に非点検項目に事故信号が入力された場合、実トリップ回路のブロック解除が必要となる。

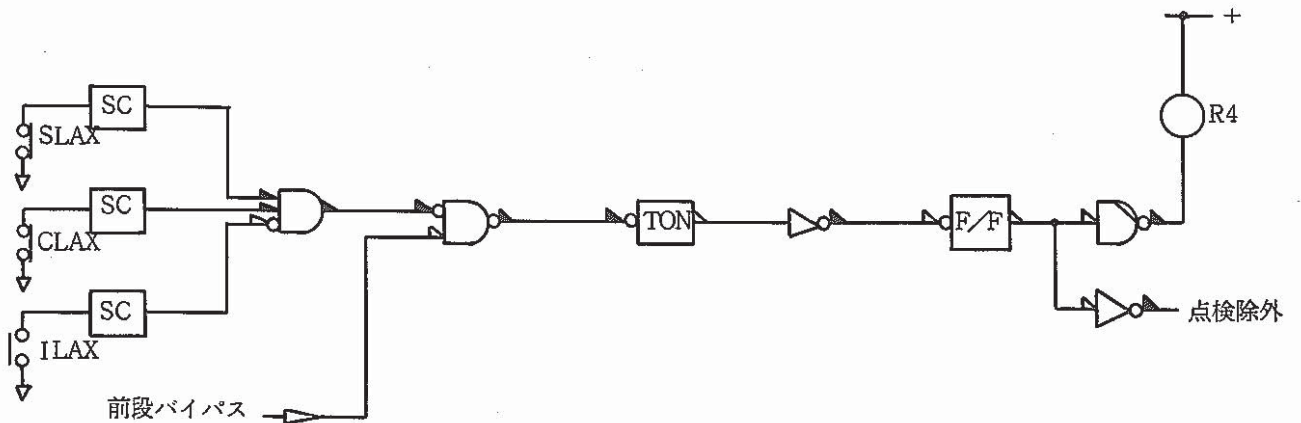
点検中、非点検項目に事故信号が入力されると以下のロジックにしたがって、点検中事故発生ANNが発報し同時に点検除外されトリップ動作が行われる。



6.3.4 バイパス時誤作動

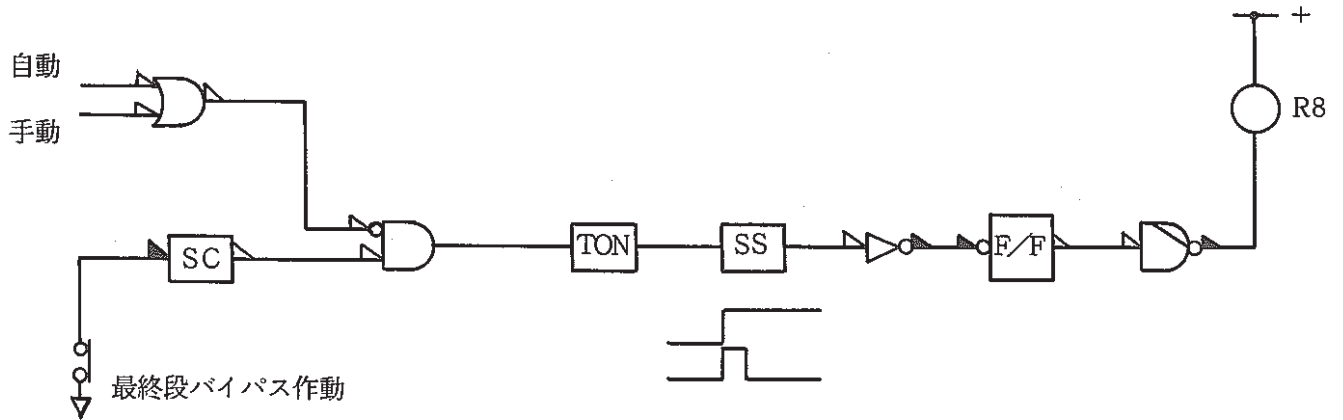
前段バイパス信号が発信されている状態でSLAX, ILAX or CLAXが動作したとき、

前段バイパスで、各トリップ信号はブロックされる



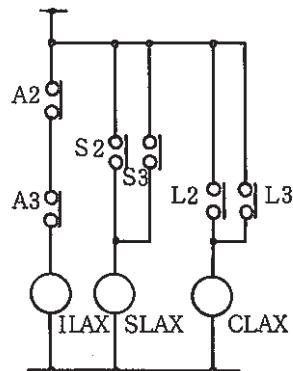
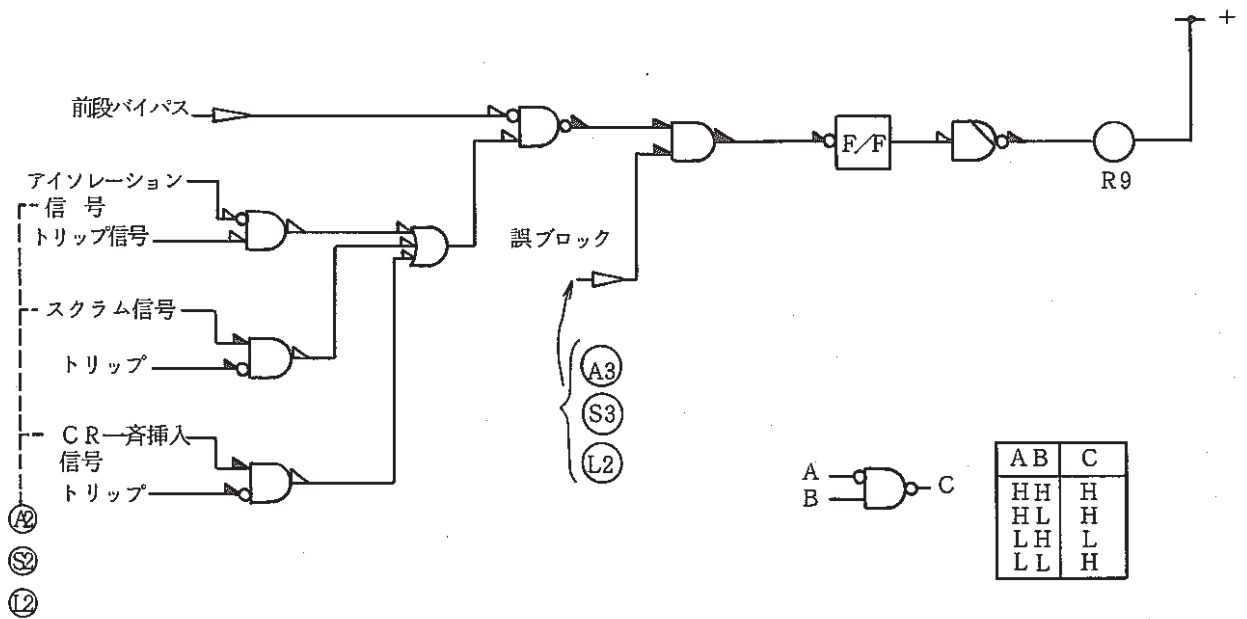
6.3.5 監視中バイパスリレー故障

通常監視中（点検中以外）最終段バイパスリレーが誤動作したとき→保護動作をしなくなる。



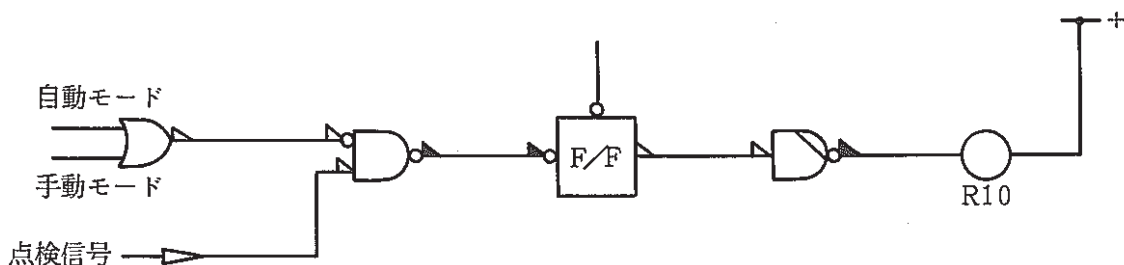
6.3.6 誤ブロック

前段バイパス信号が入力されていない（点検中以外）時，トリップ信号（2/3, 1/2etc）が発信されたにもかかわらず保護動作（スクラムCR一斉挿入，アイソレーション）を行わないとき，（誤ってブロックがかかっている）



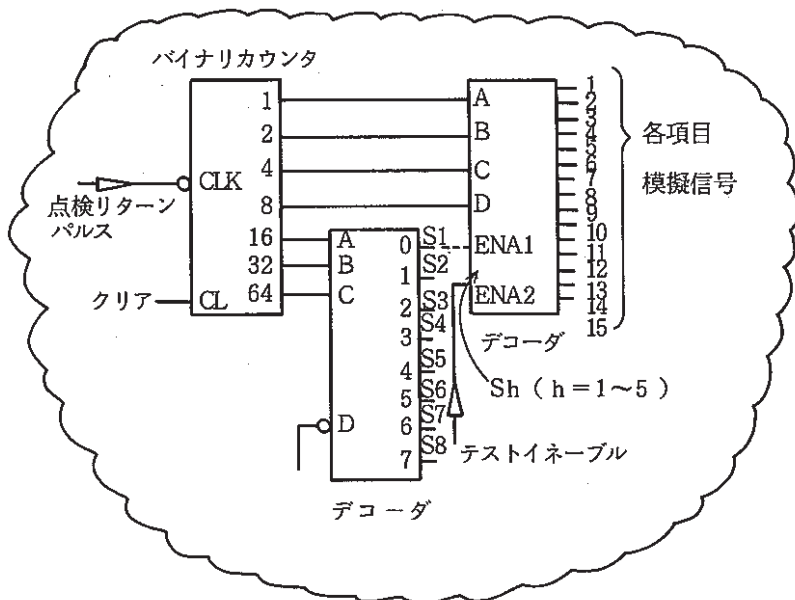
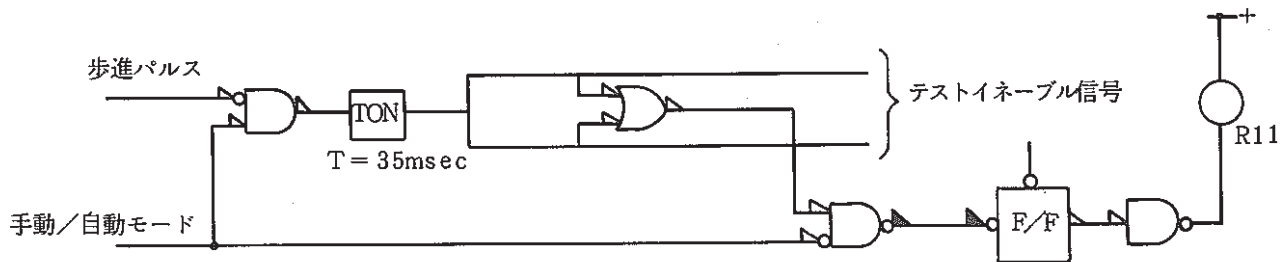
6.3.7 デコーダ異常

点検（自動／手動）以外の時、点検信号（デコーダ出力による点検模擬信号）が出力されたとき



6.3.8 テストイネーブル異常

自動／手動モード以外でテストイネーブル信号が出されたとき



◎ 点検開始信号又は、点検リターン信号によって、発生されたパルスはバイナリカウンタに入力される。バイナリカウンタでは入力されたパルス数を加算し、2進数として、出力する。

デコーダは、この2進数を10進数に変換する機能をもつ。すなわち、カウンタからの信号は、それぞれパルス数に応じた点検項目模擬信号として出力される。

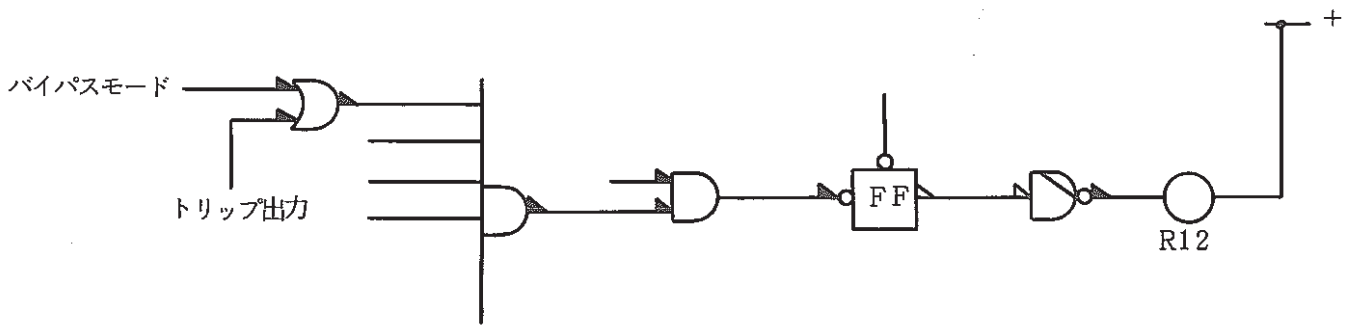
点検時、デコーダには、テストイネーブル信号が入力されることにより、この機能が動作し、カウンタからの入力信号(2進数)に応じた出力信号(10進数)が出力される。

又、点検時以外、テストイネーブル信号は入力されず誤って模擬入力が出力されないようにブロックされる。

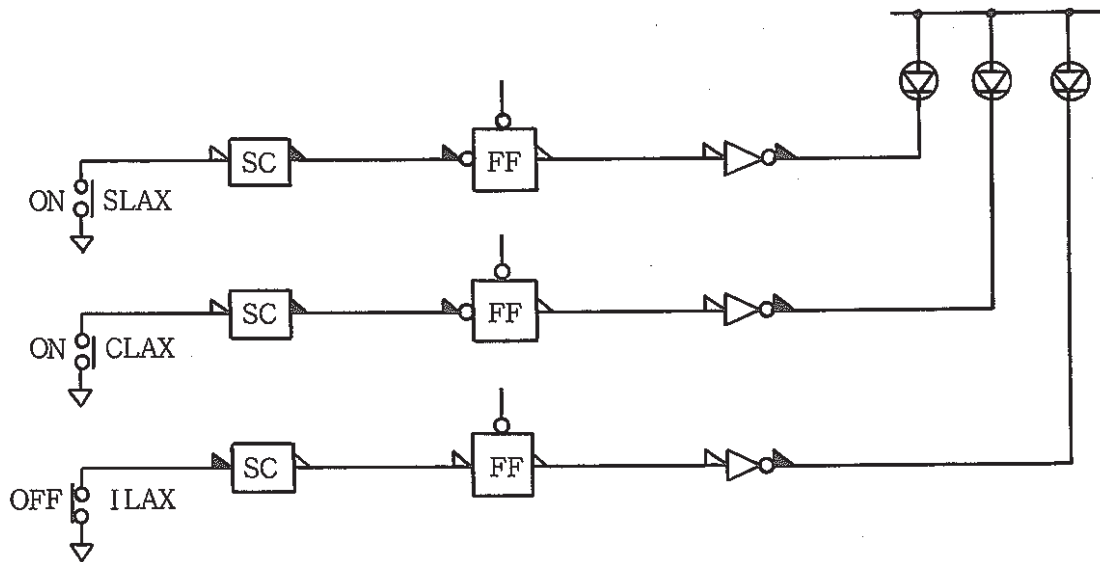
6.3.9 バイパスモード異常

バイパスモードにもかかわらずトリップ出力が出されたとき

※モードによって保護作動のバイパスが行われる項目にかぎる。

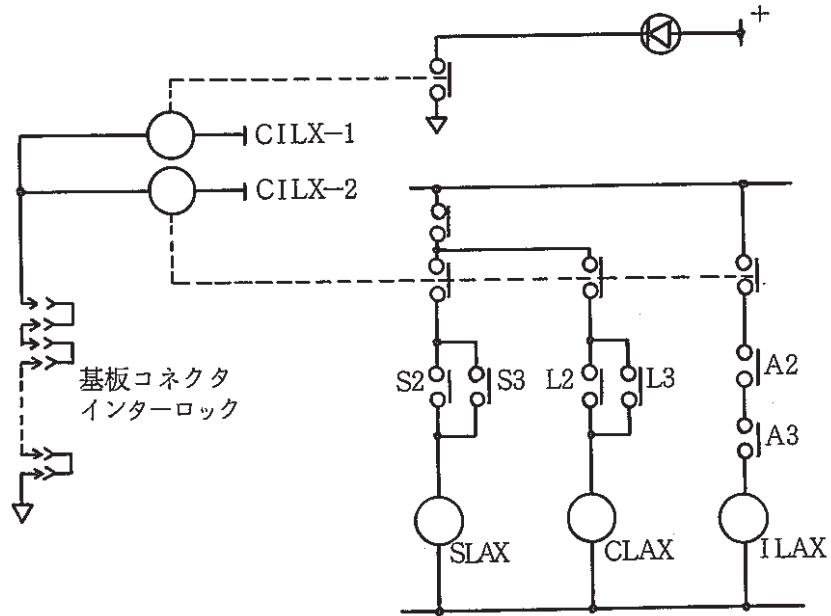


6.3.10 アイソレーション、スクラム、制御棒一斉挿入



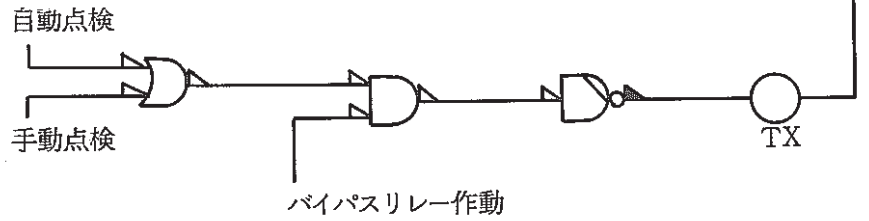
6.3.1.1 プリント基板収納

ロジックプリント基板が収納済であるとき

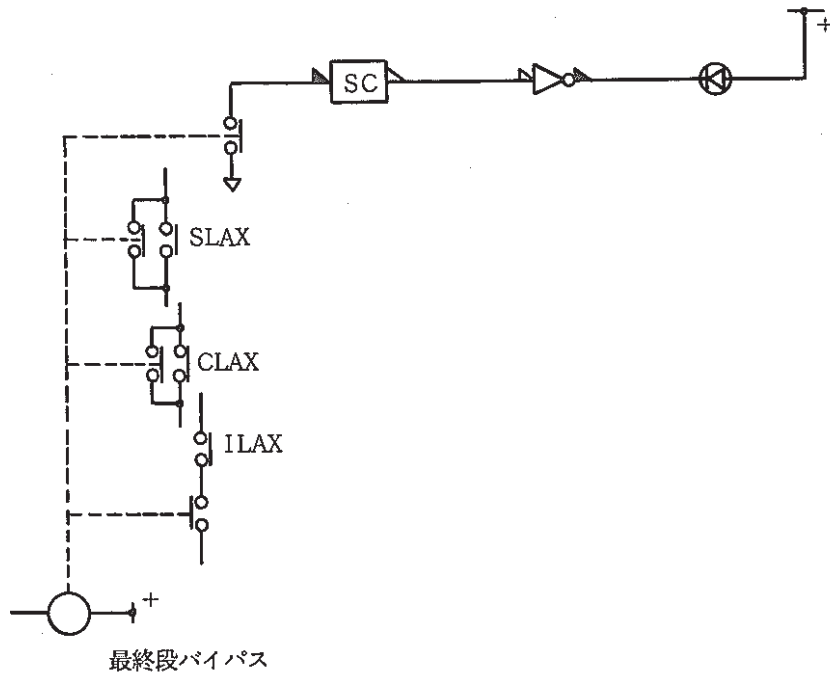


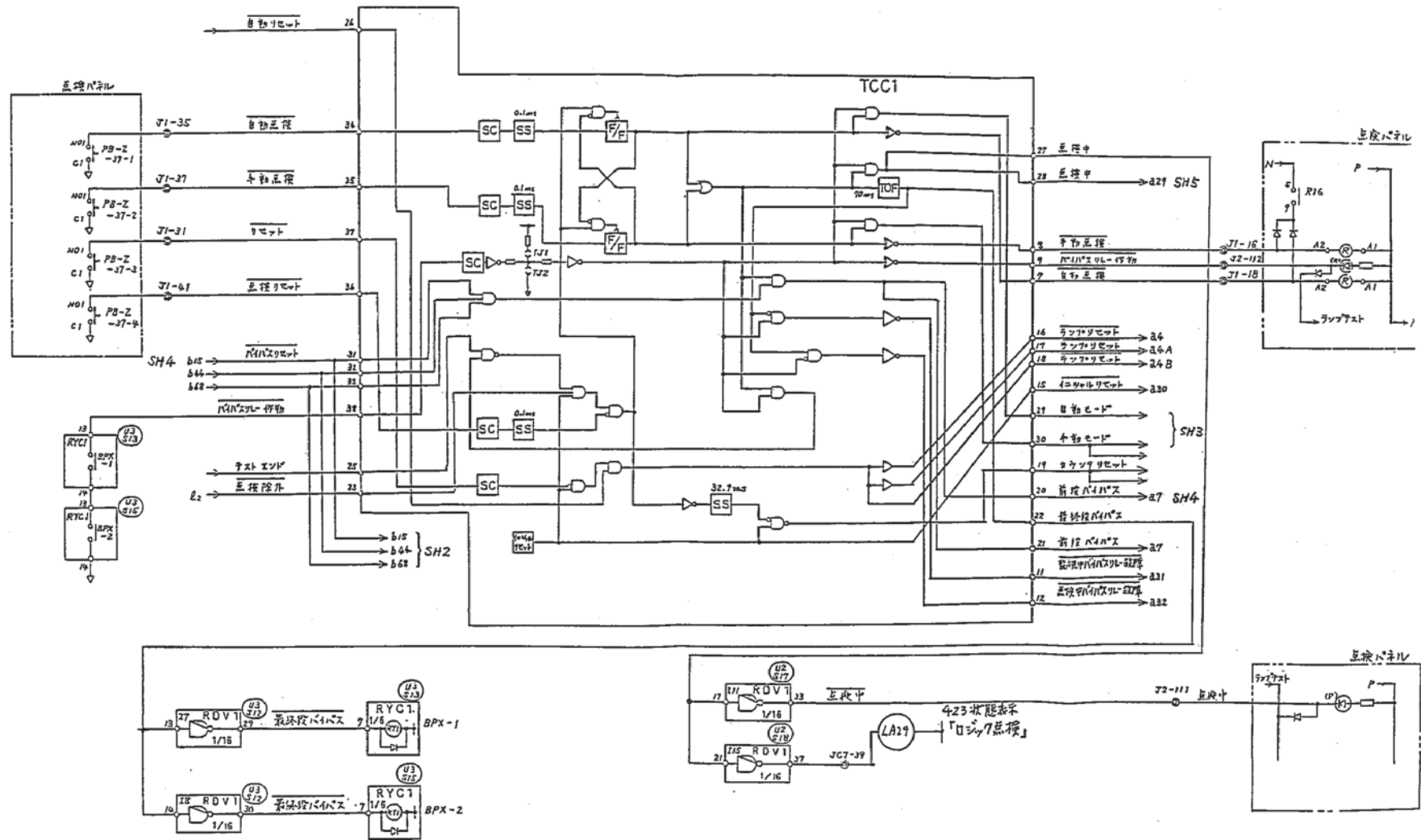
6.3.1.2 点検中

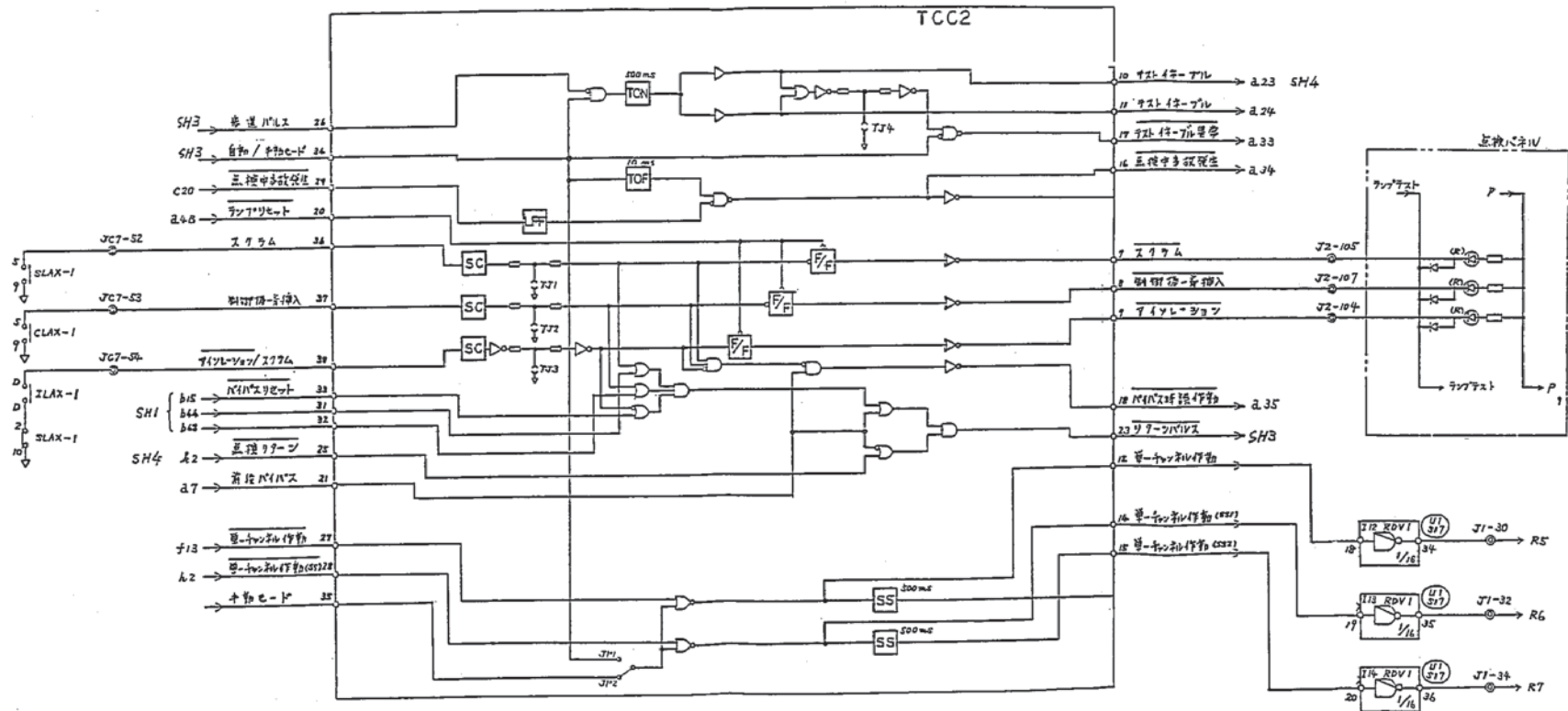
ロジック点検中点灯

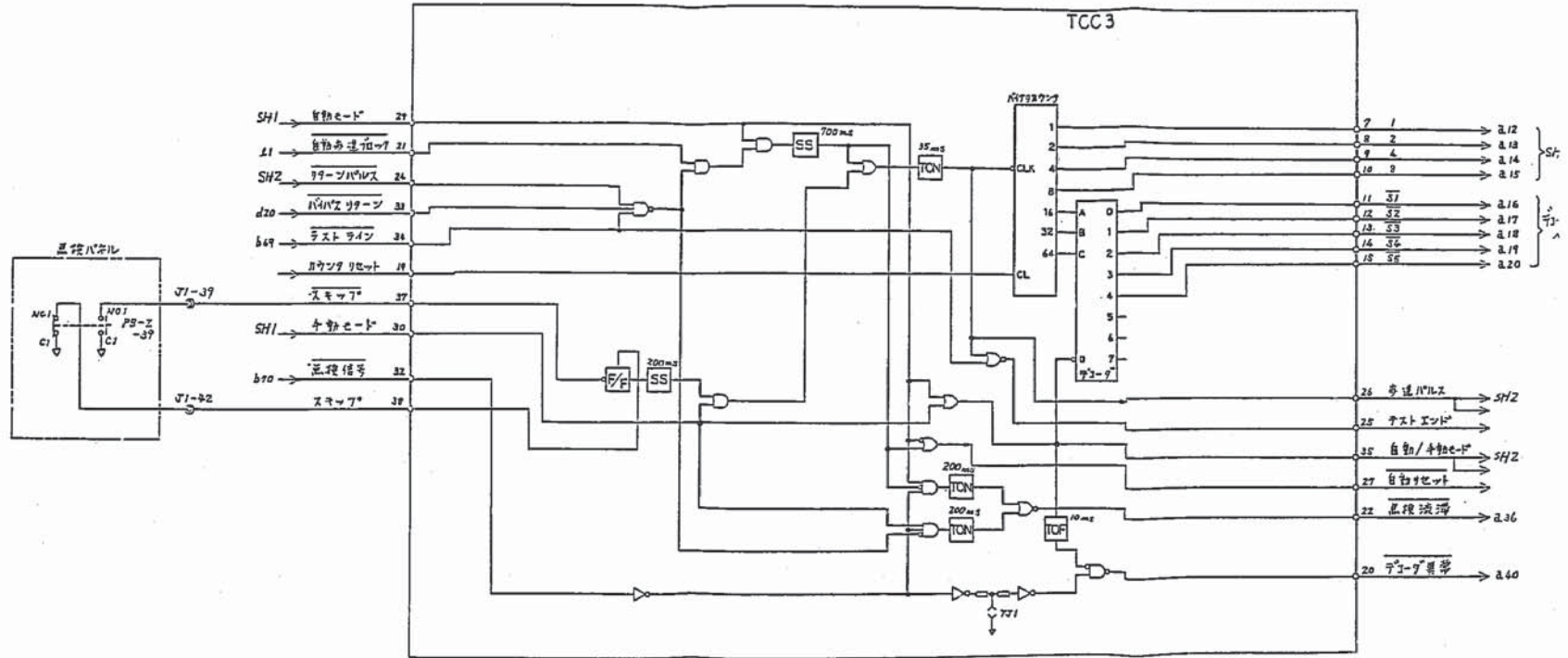


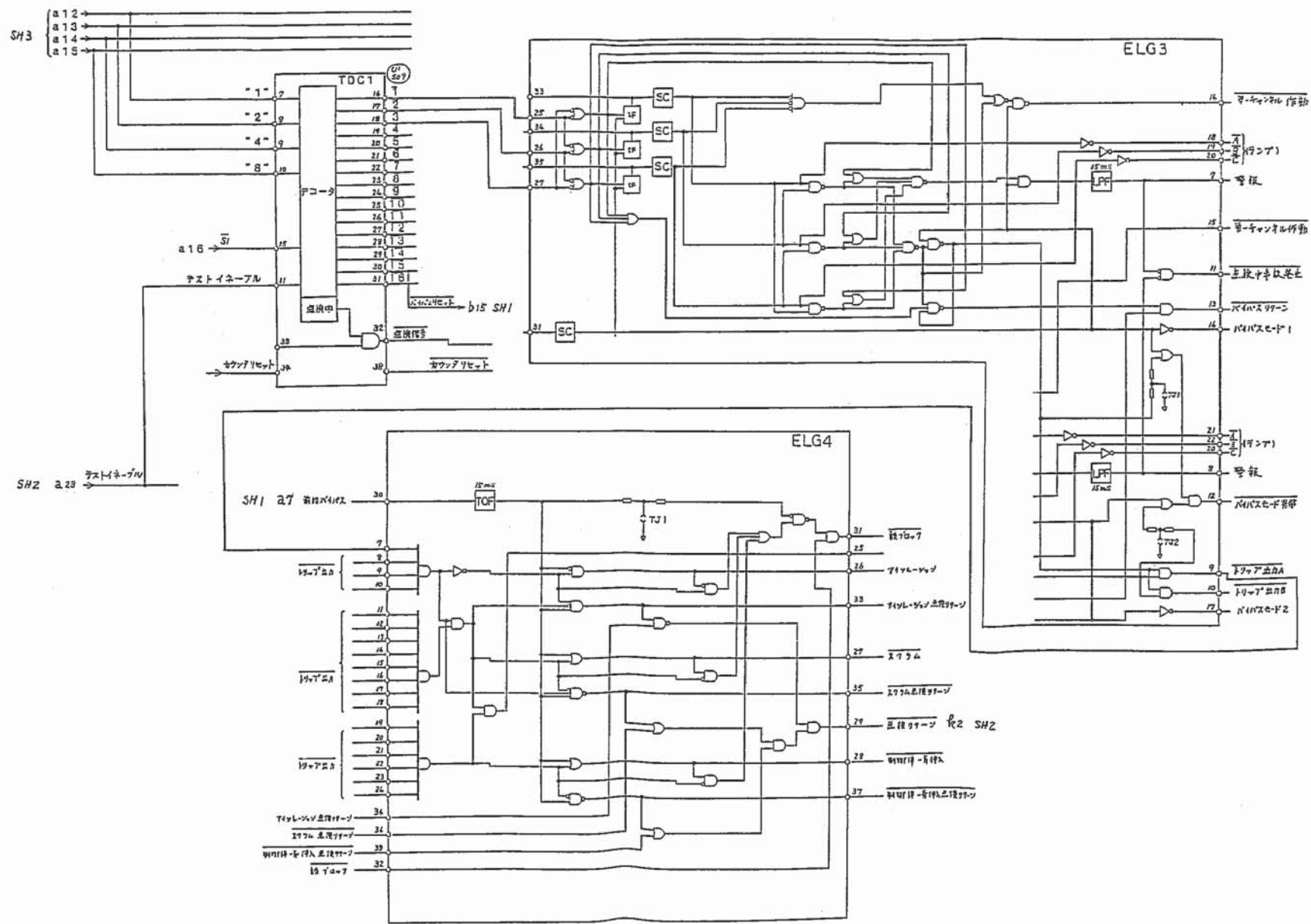
6.3.1.3 バイパスリレー作動

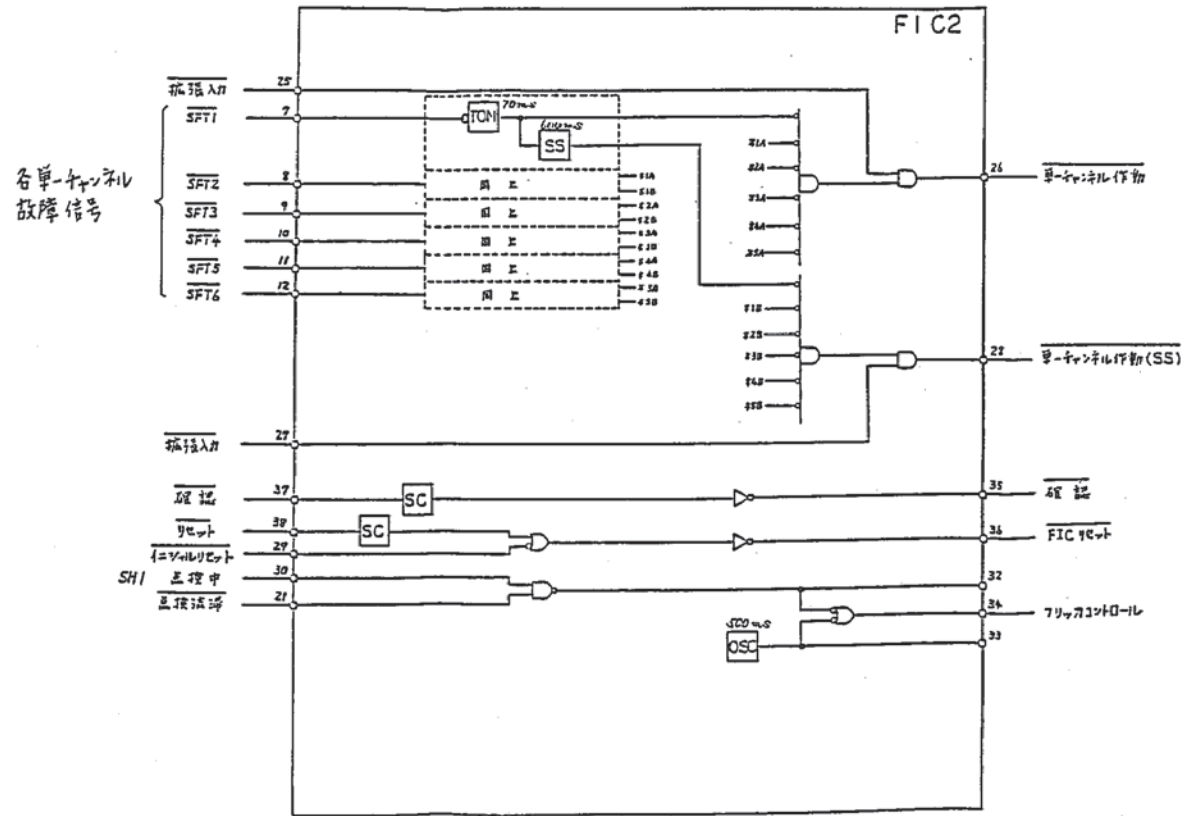


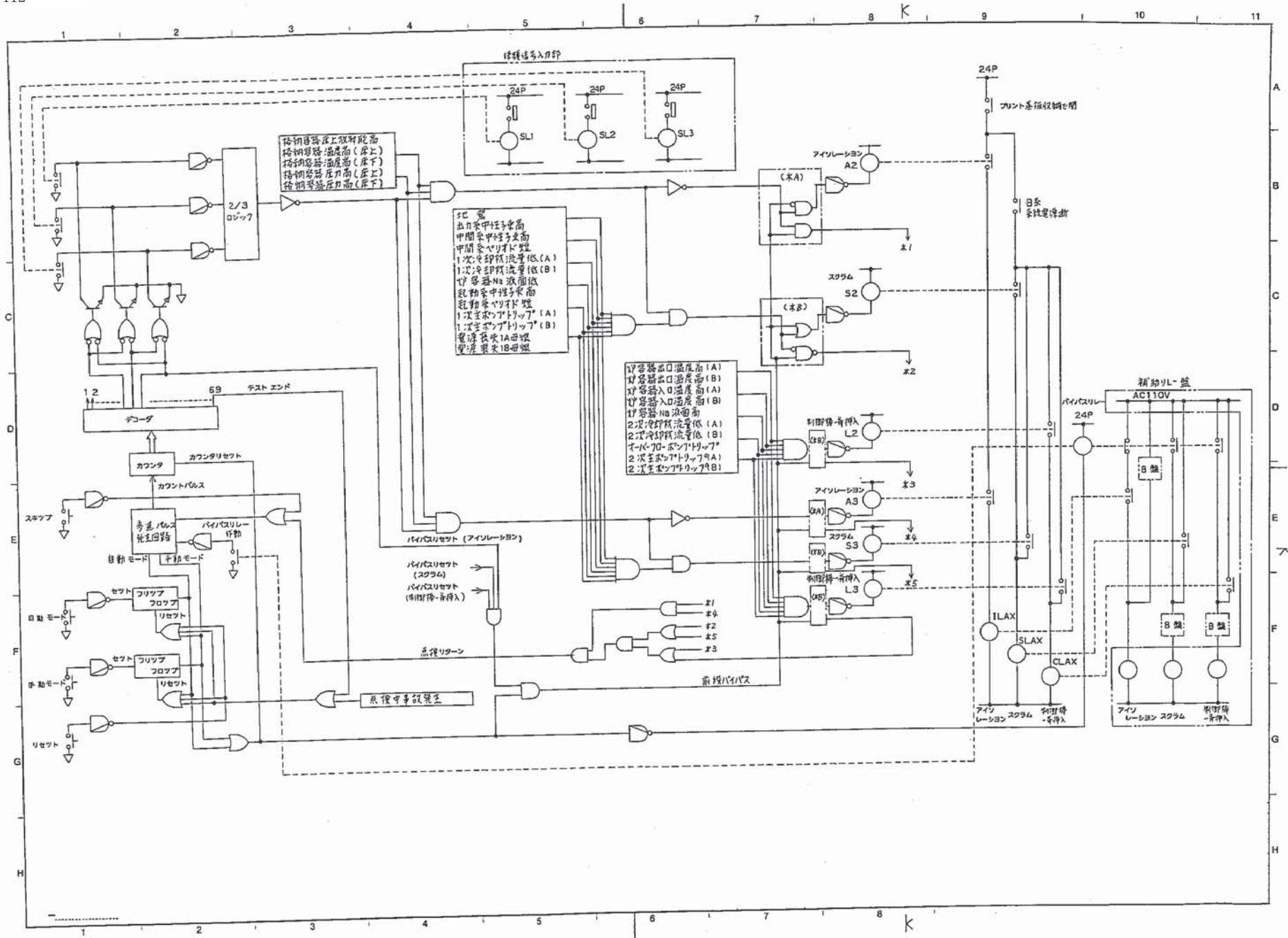


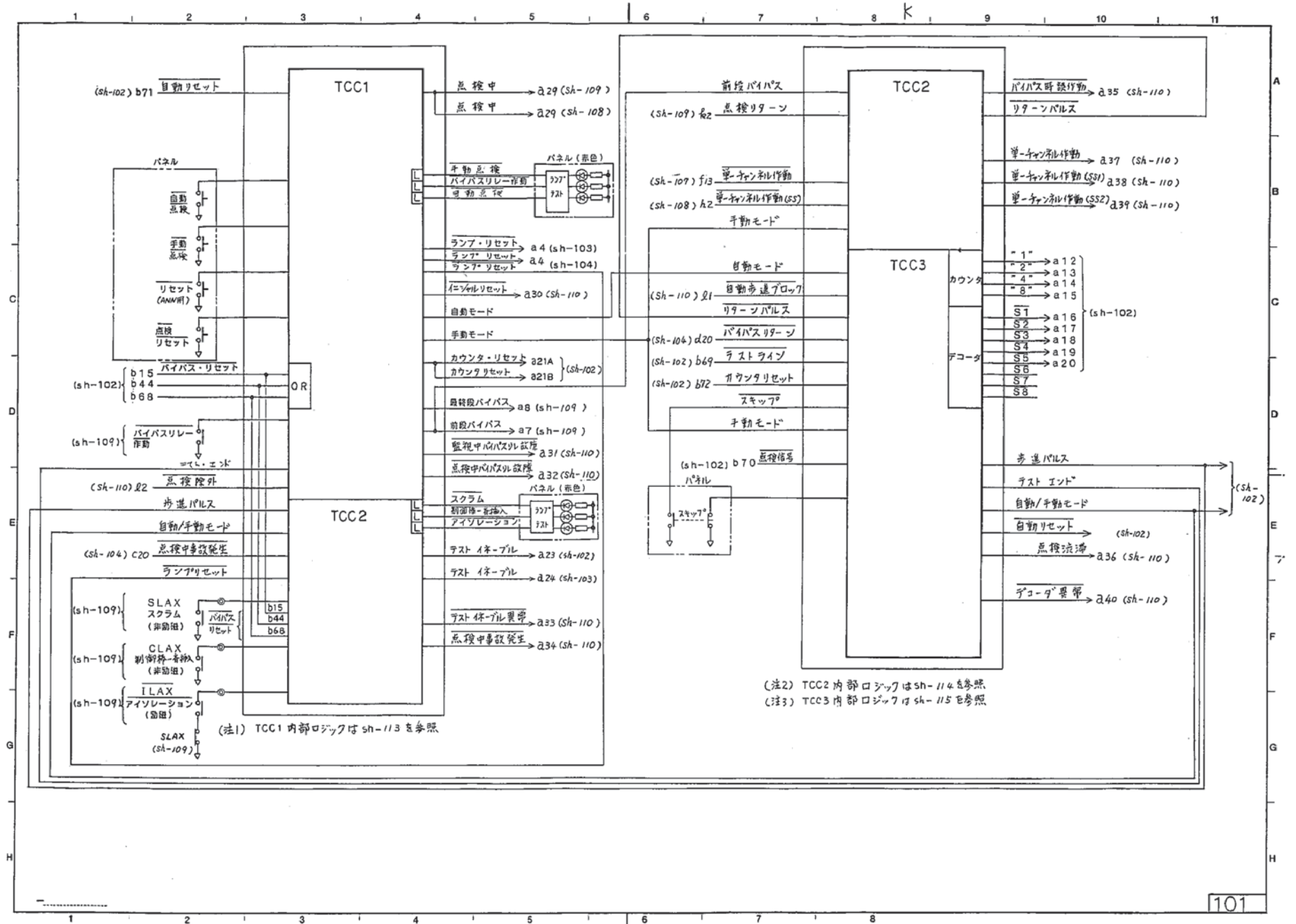


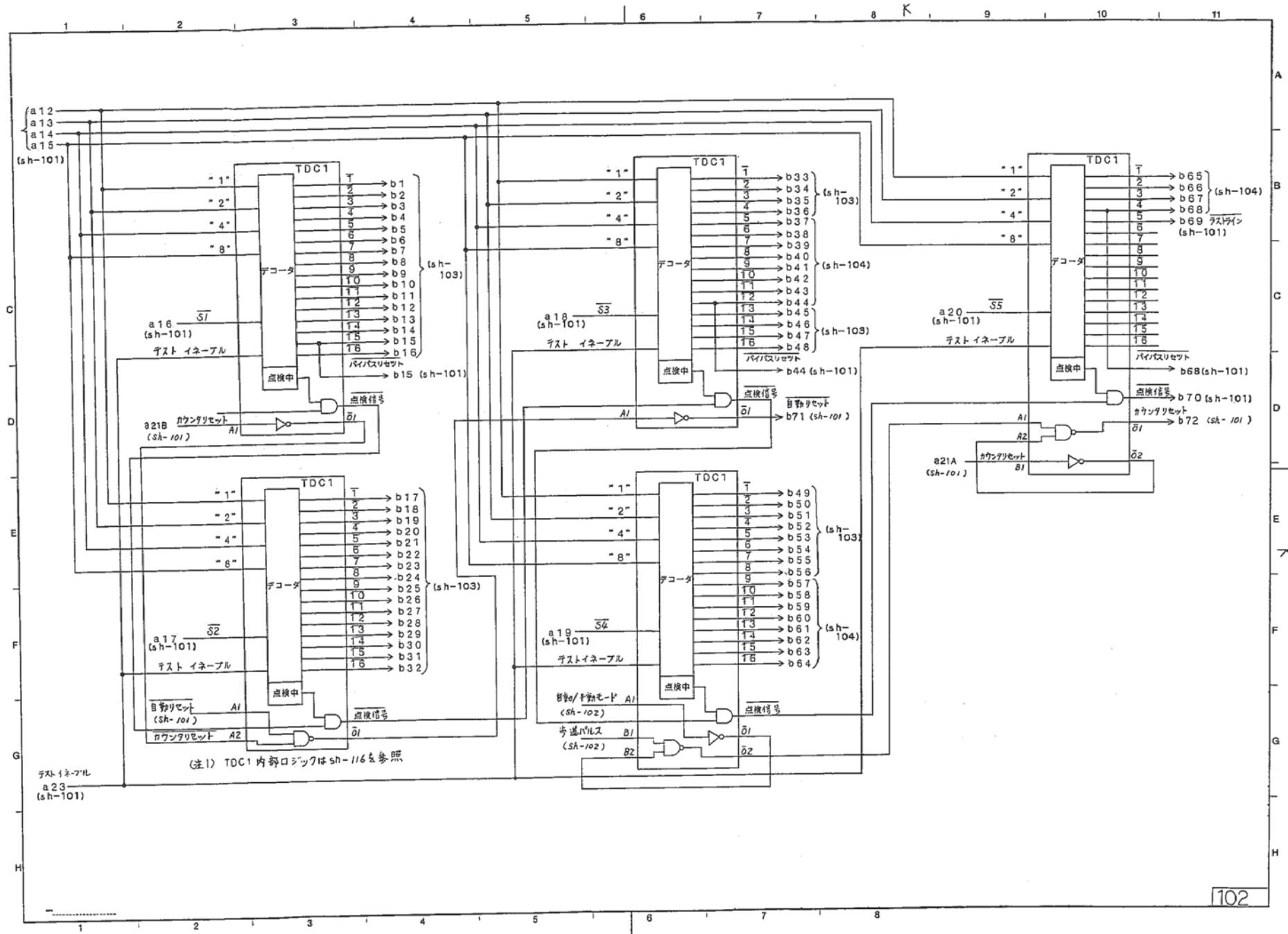


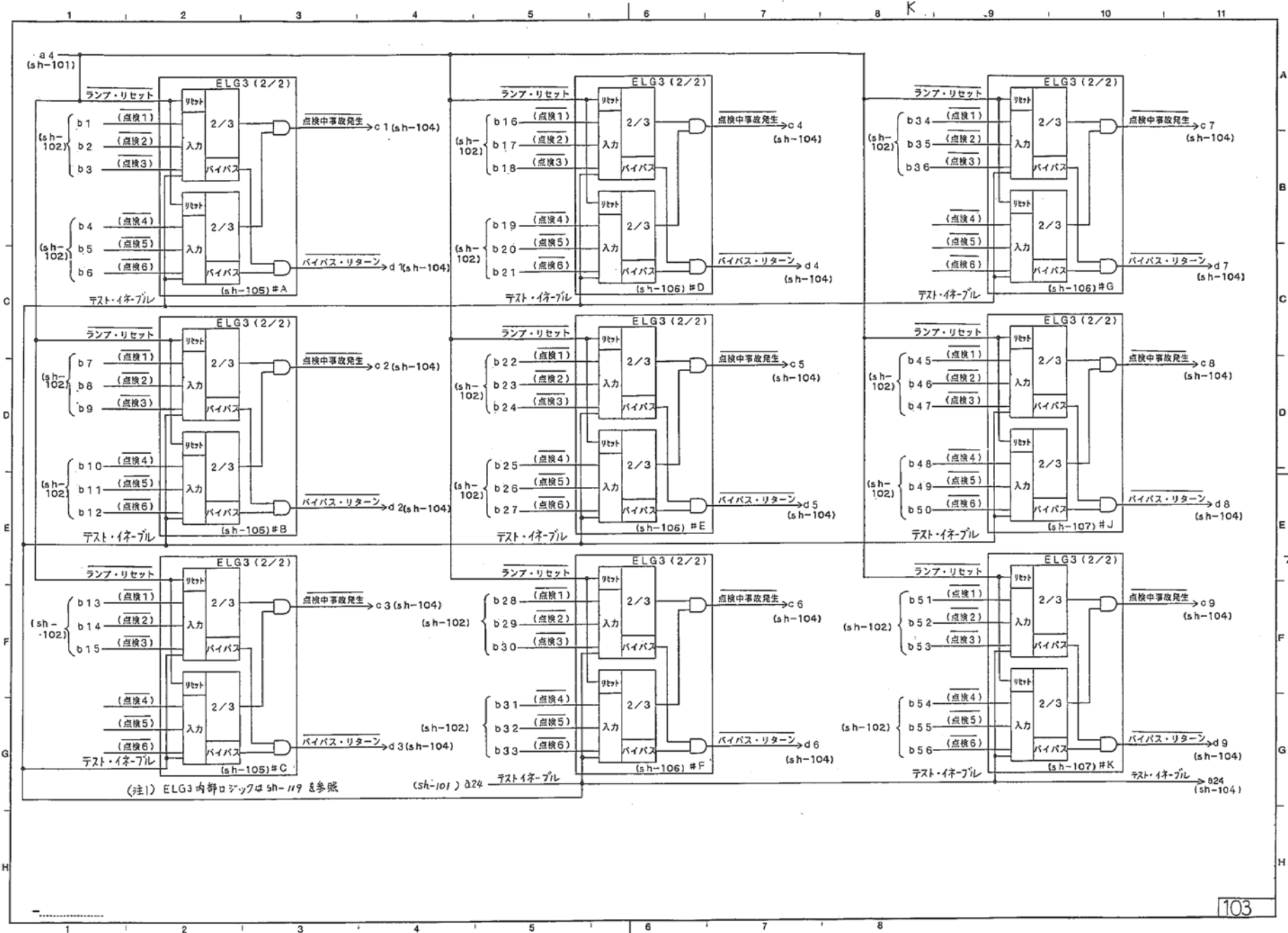


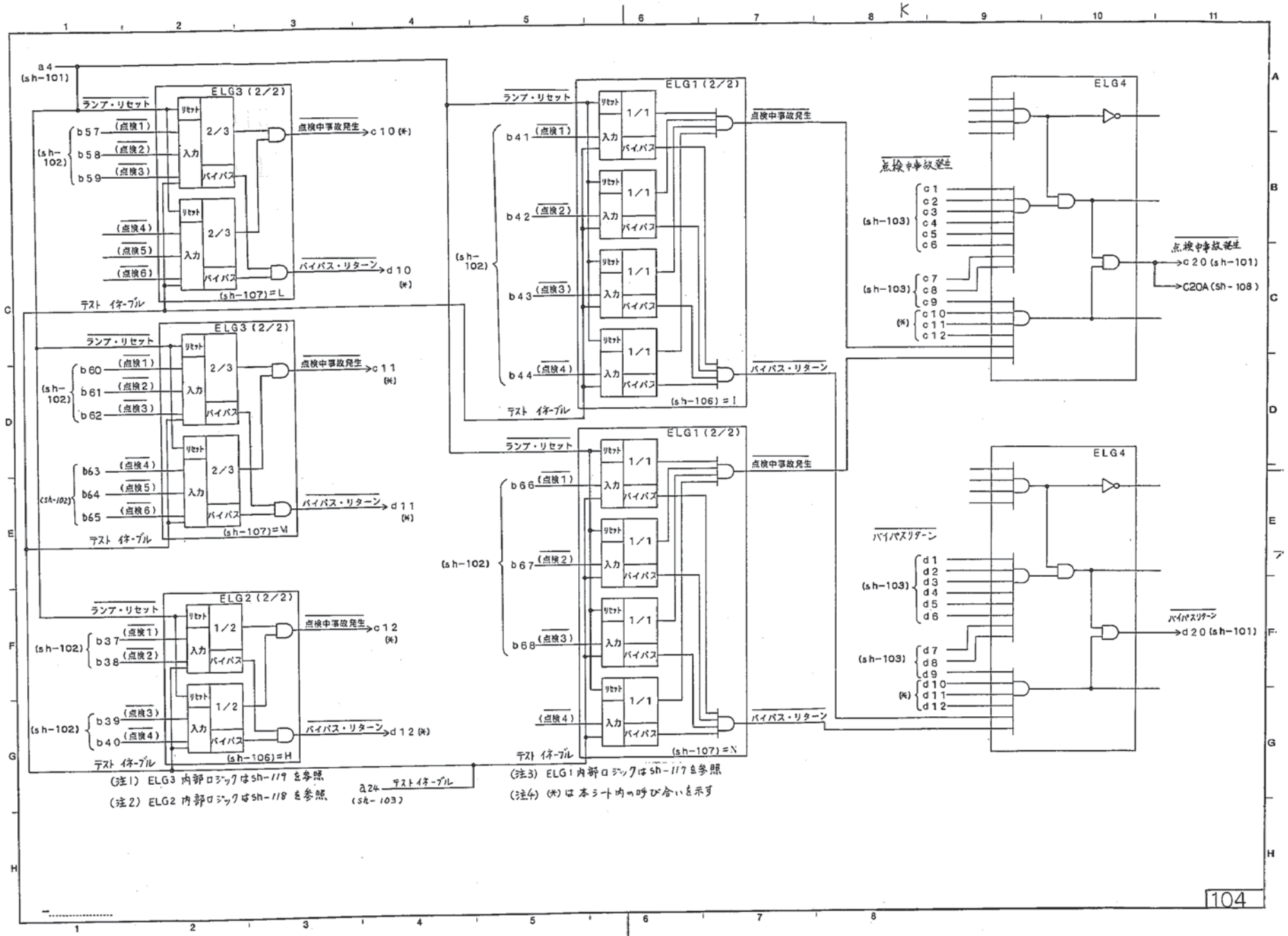








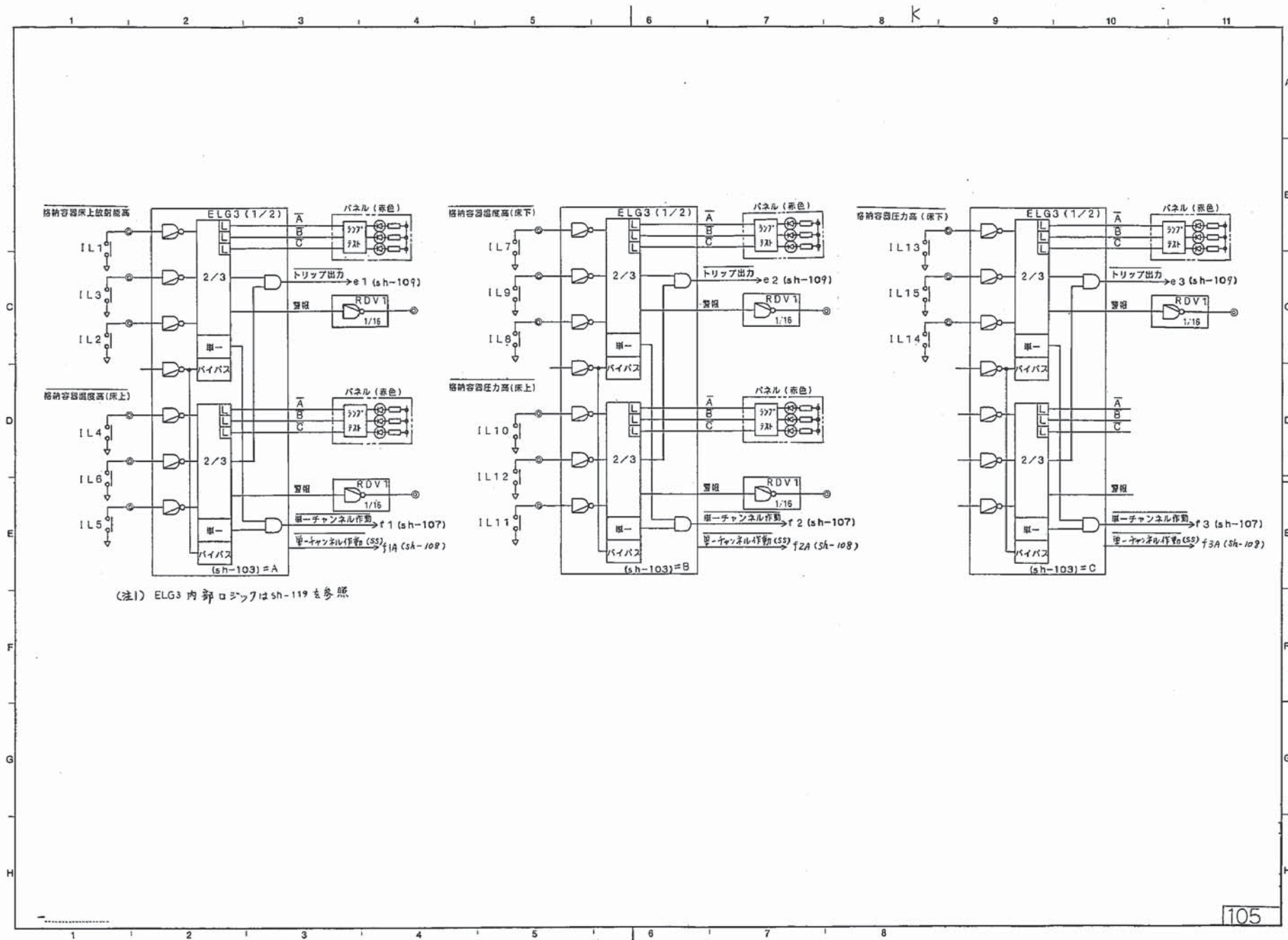


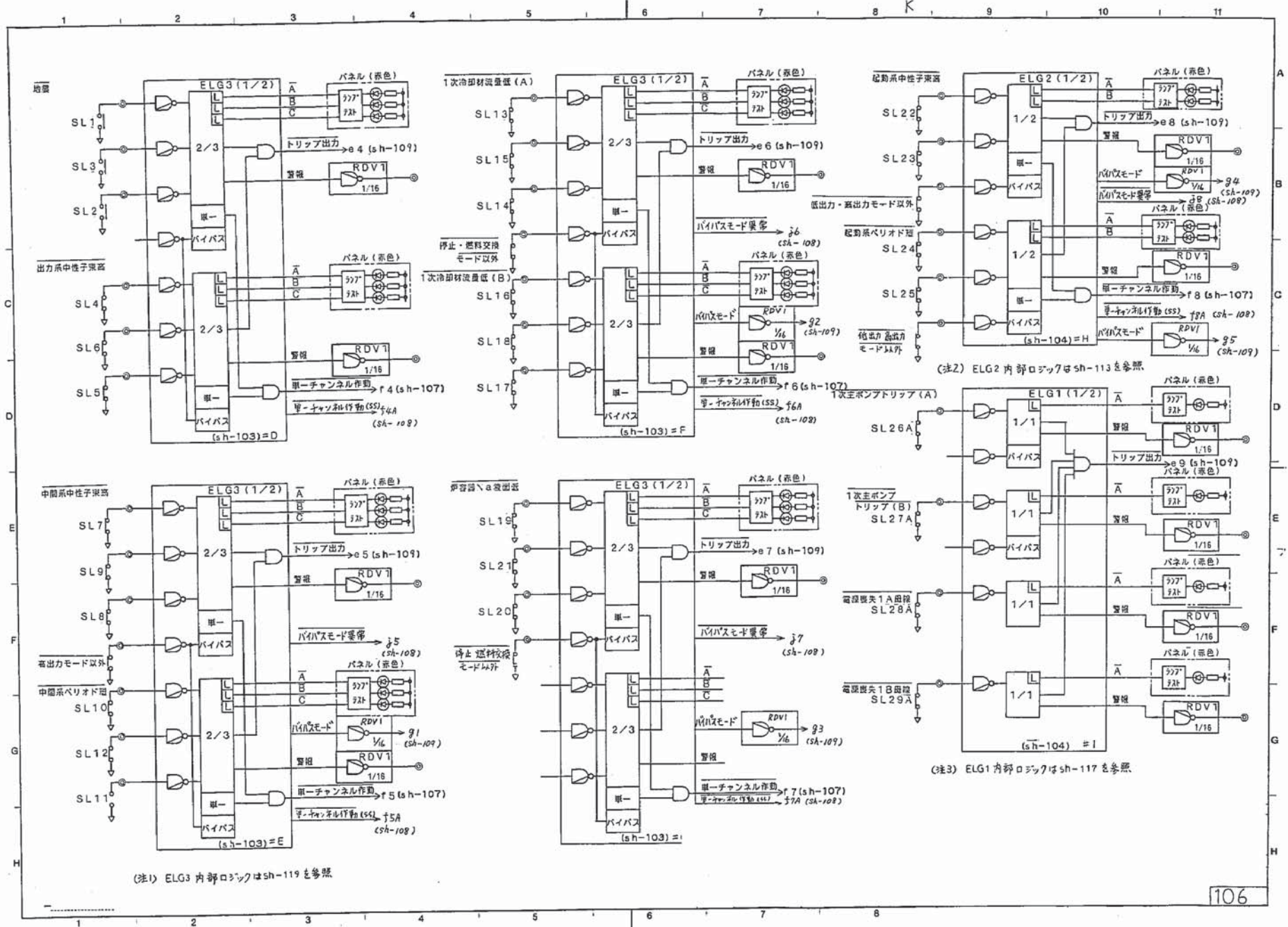


(注1) ELG3 内部ロジックはsh-119を参照
 (注2) ELG2 内部ロジックはsh-118を参照

a24 テストイネーブル (sh-103)

(注3) ELG1 内部ロジックはsh-117を参照
 (注4) (*)は本シート内への呼び出しを示す

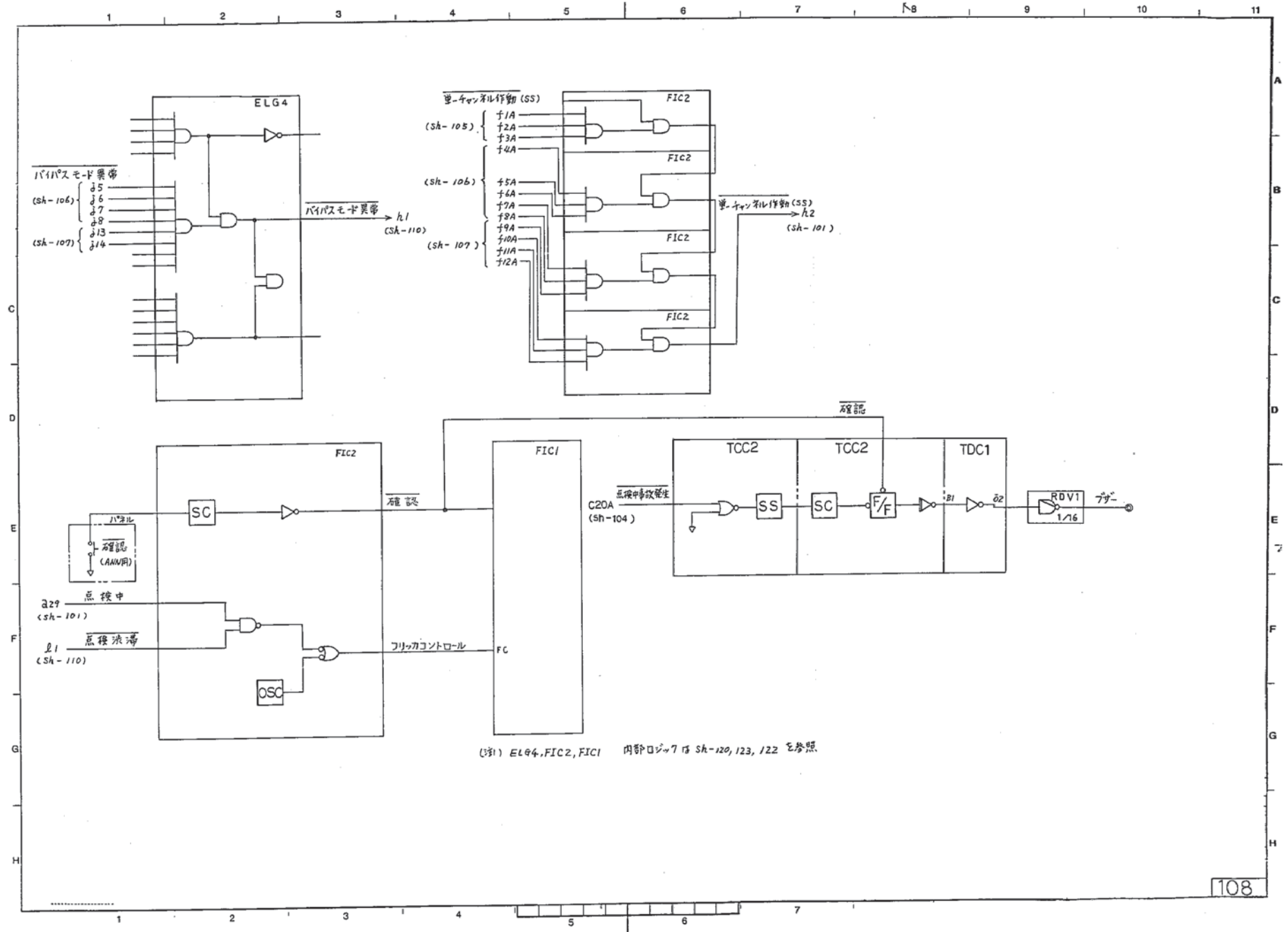


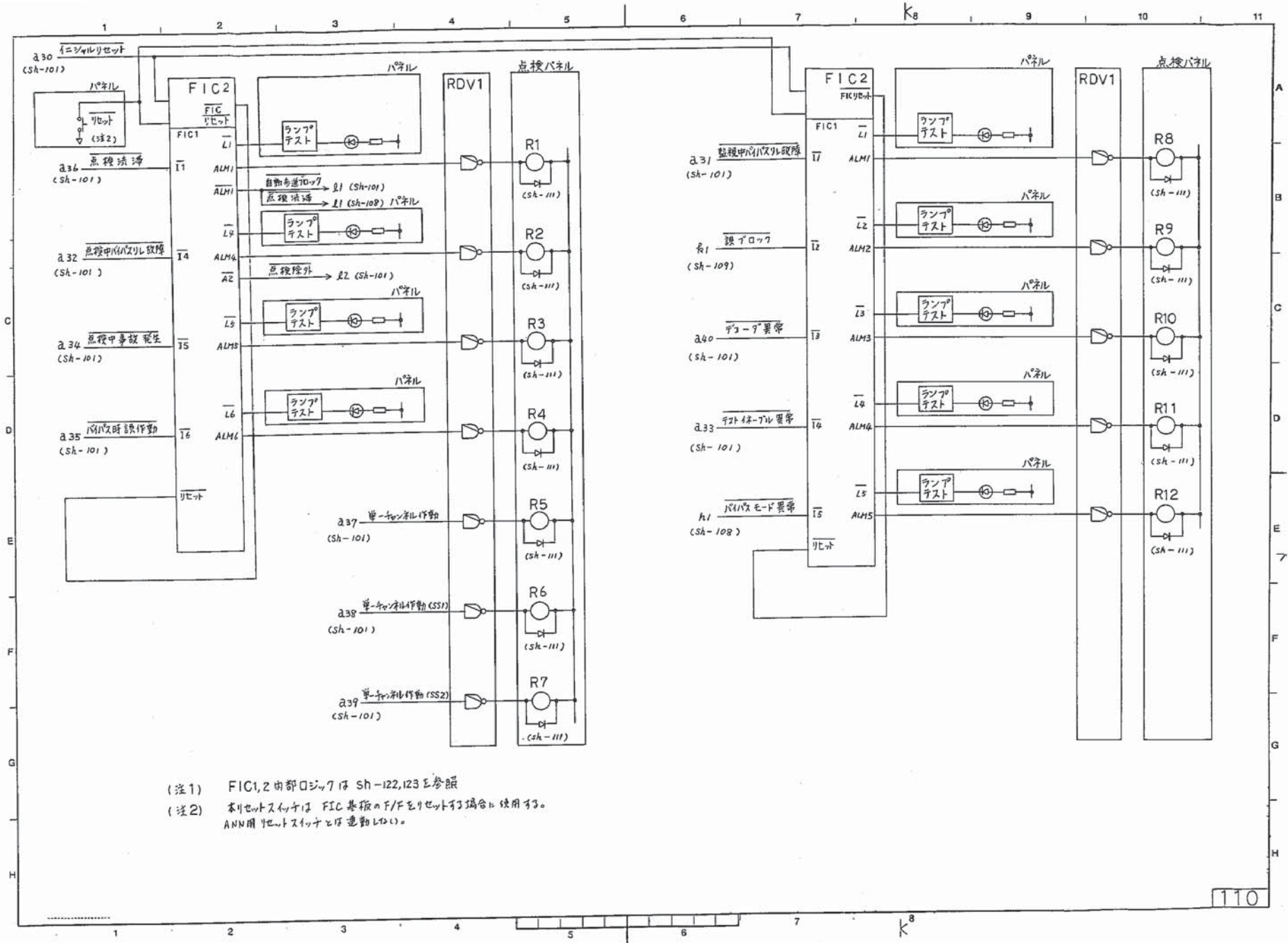


(注1) ELG3 内部ロジックはsh-119を参照

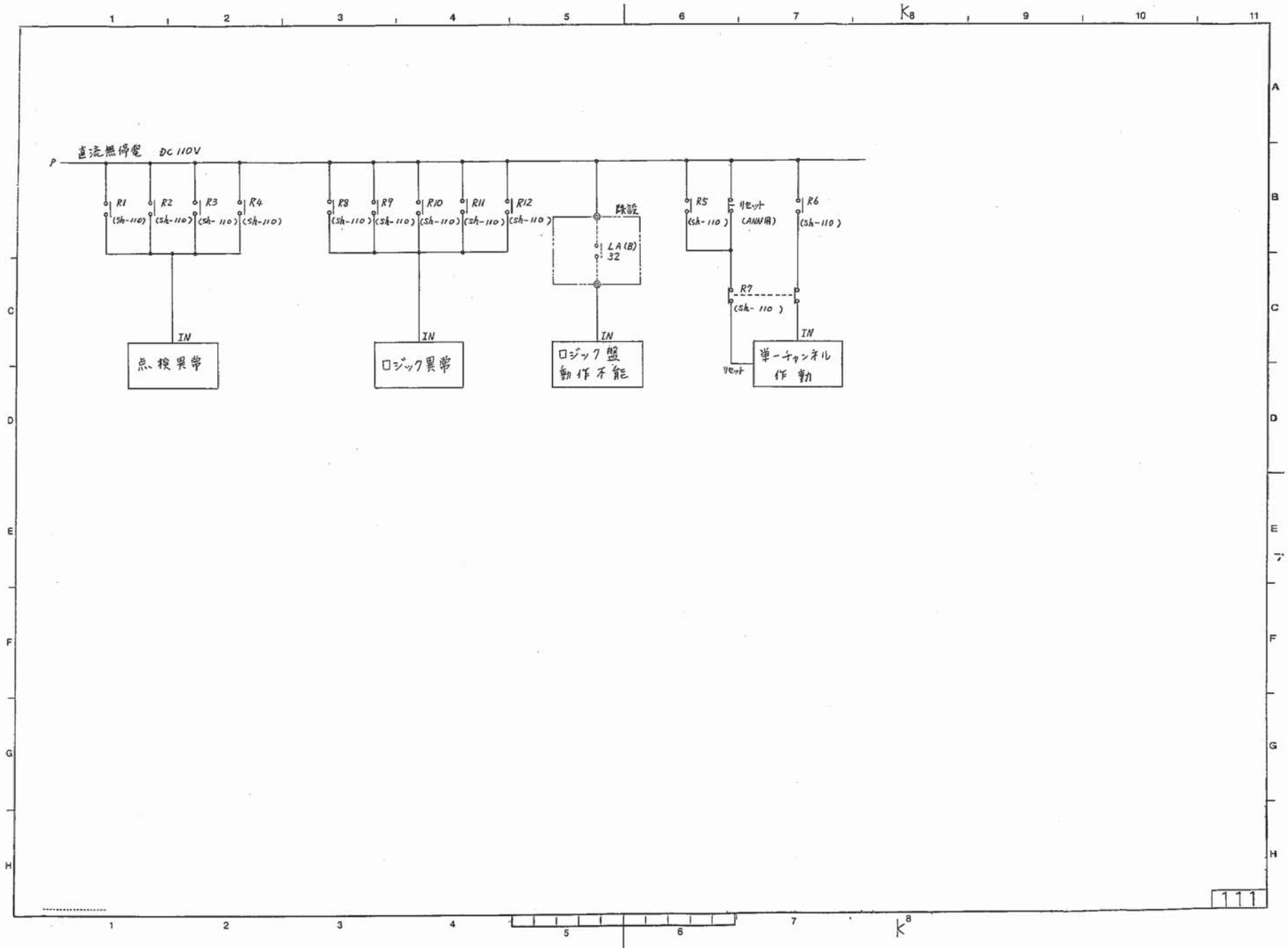
(注2) ELG2 内部ロジックはsh-113を参照

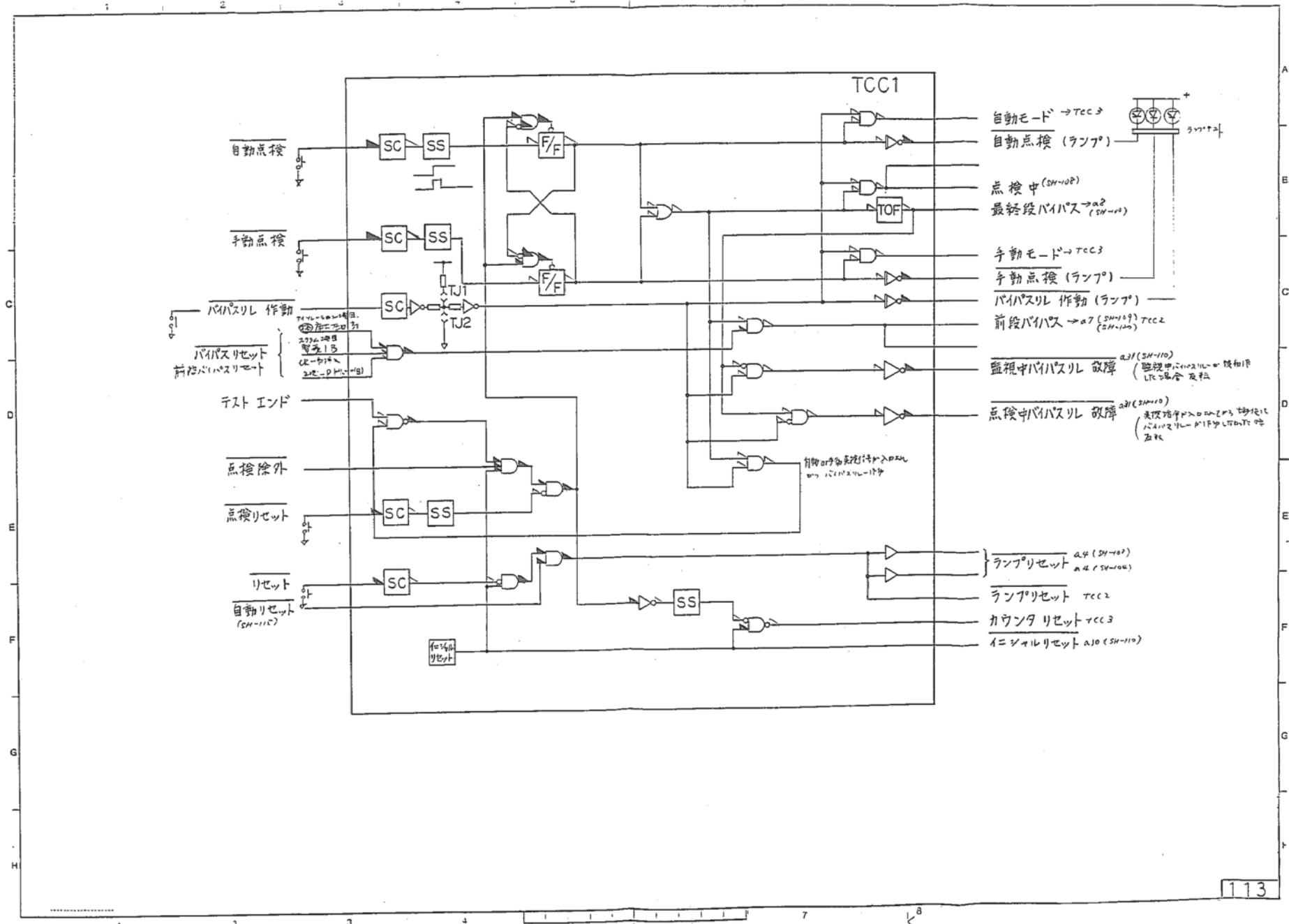
(注3) ELG1 内部ロジックはsh-117を参照

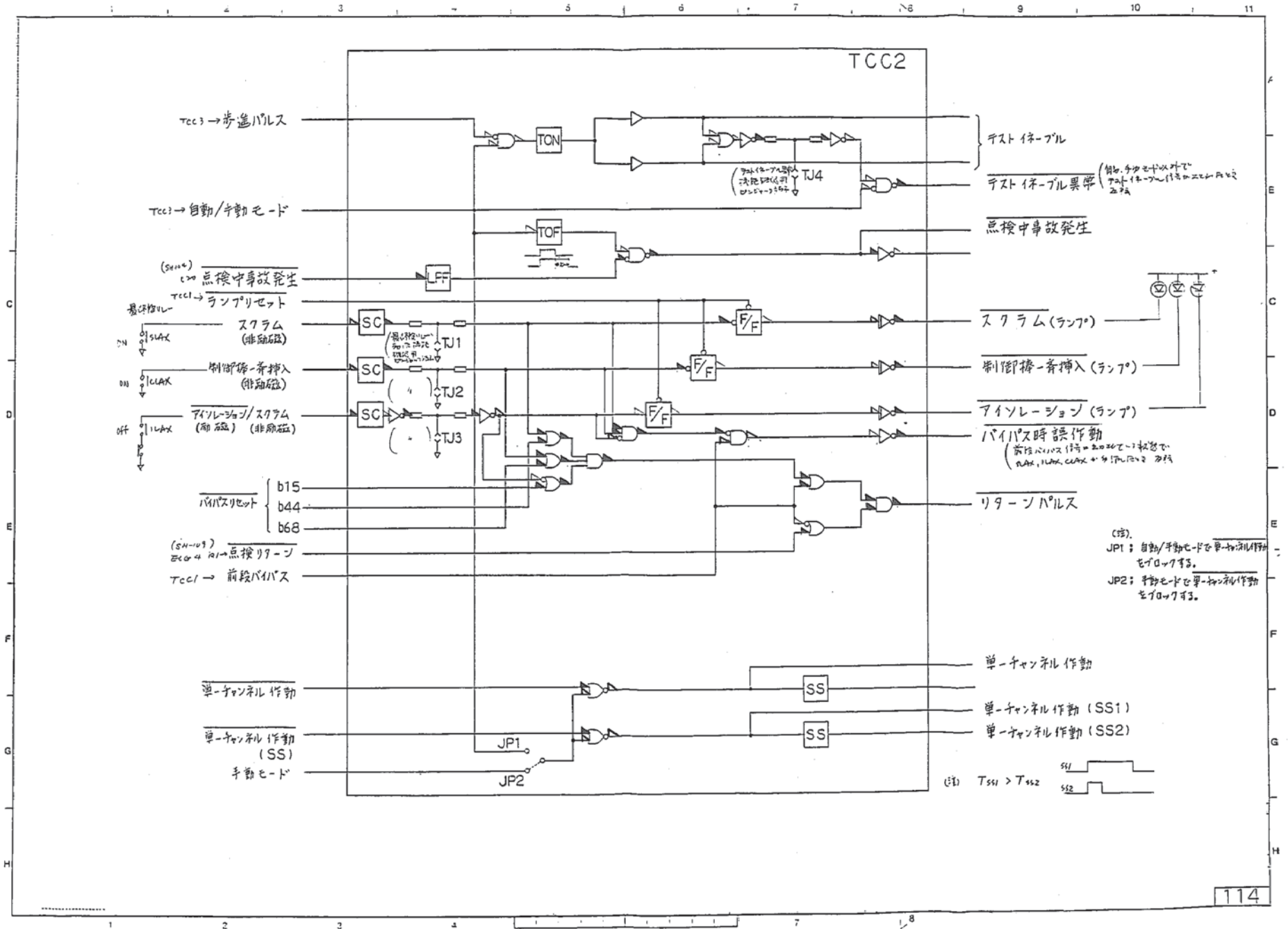


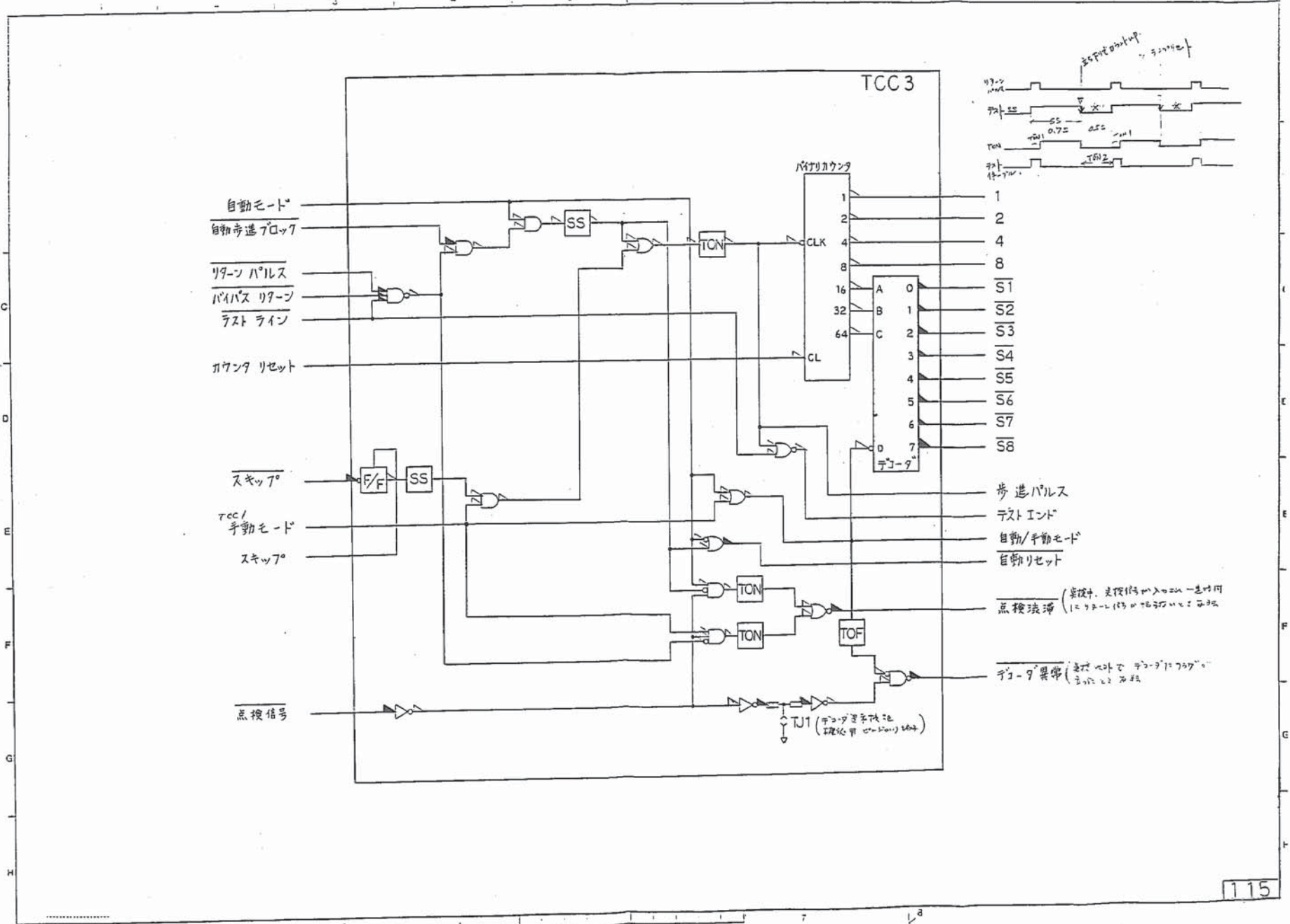


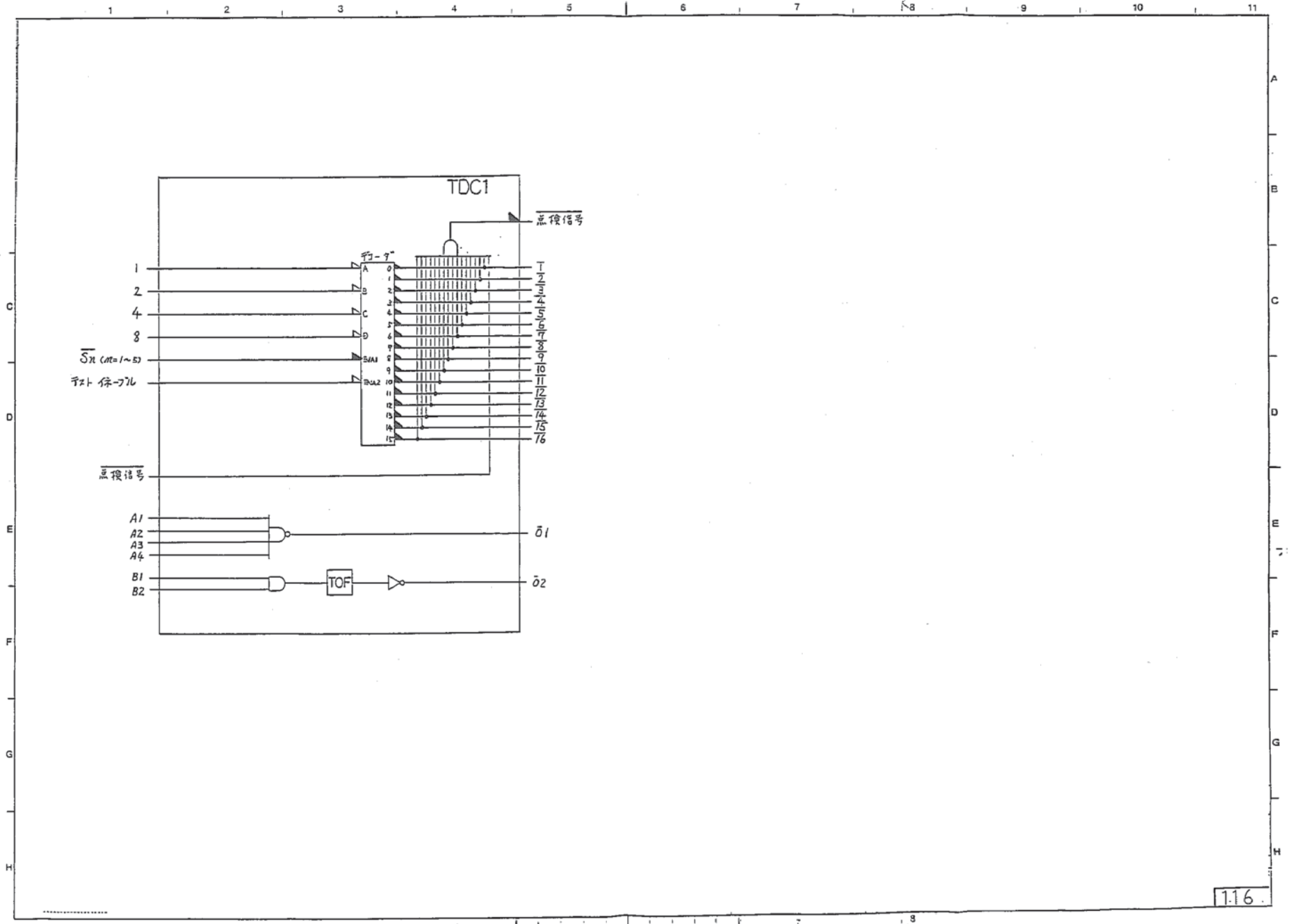
(注1) FIC1,2内部ロジックは sh-122,123 を参照
 (注2) 本リセットスイッチは FIC 基板の F/F をリセットした場合に使用す。
 ANN 用 リセットスイッチとは連動しない。



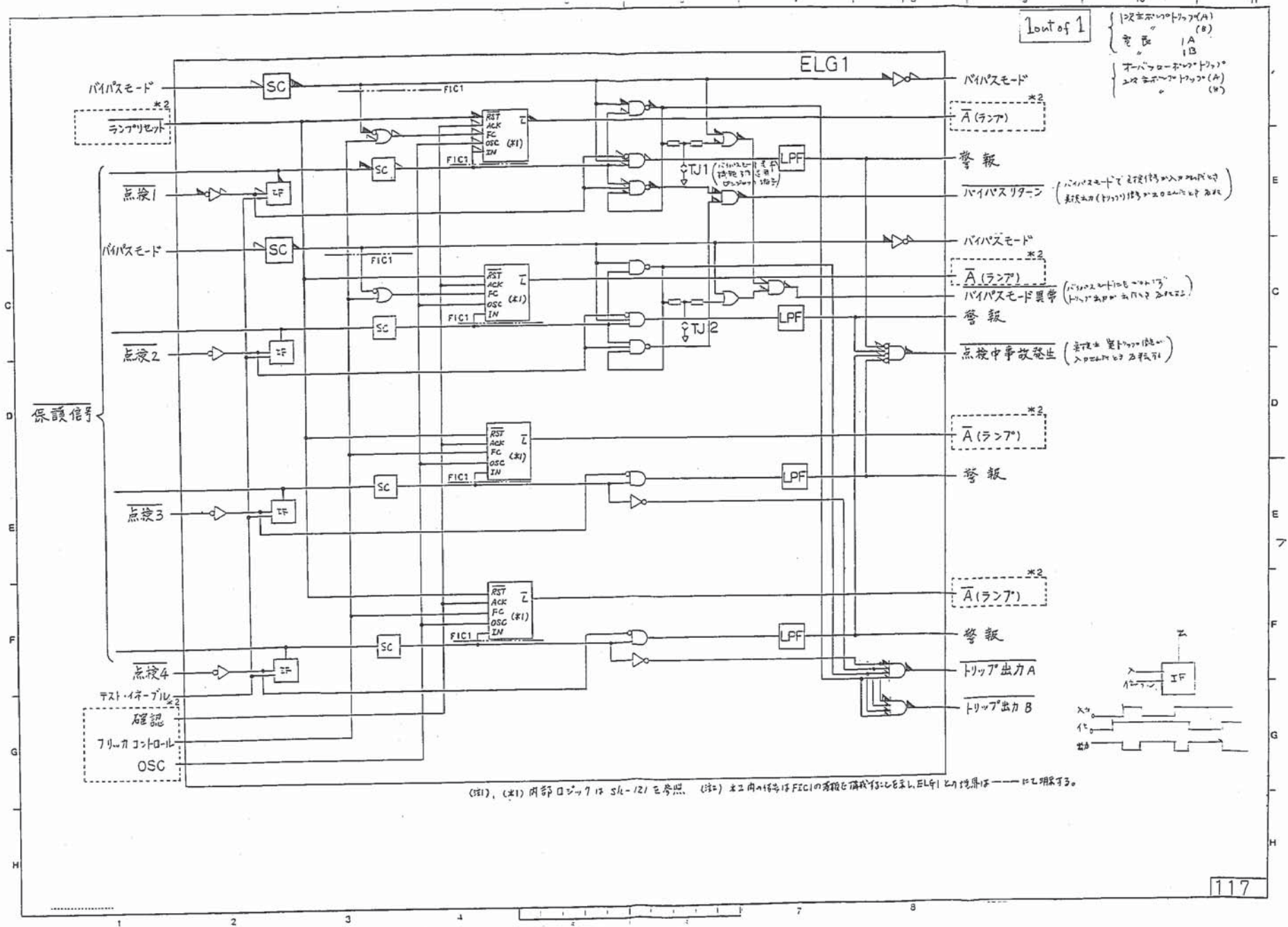


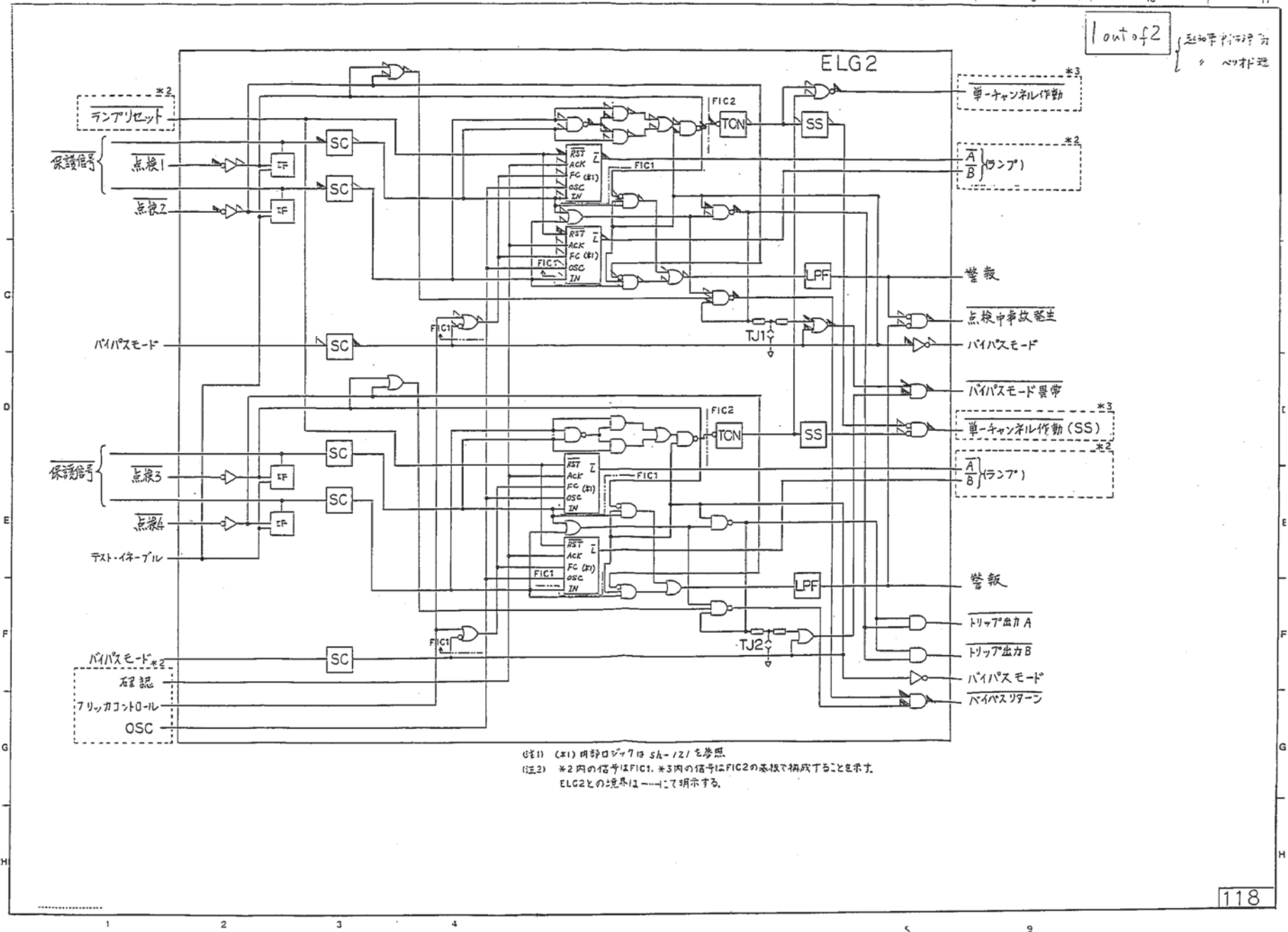




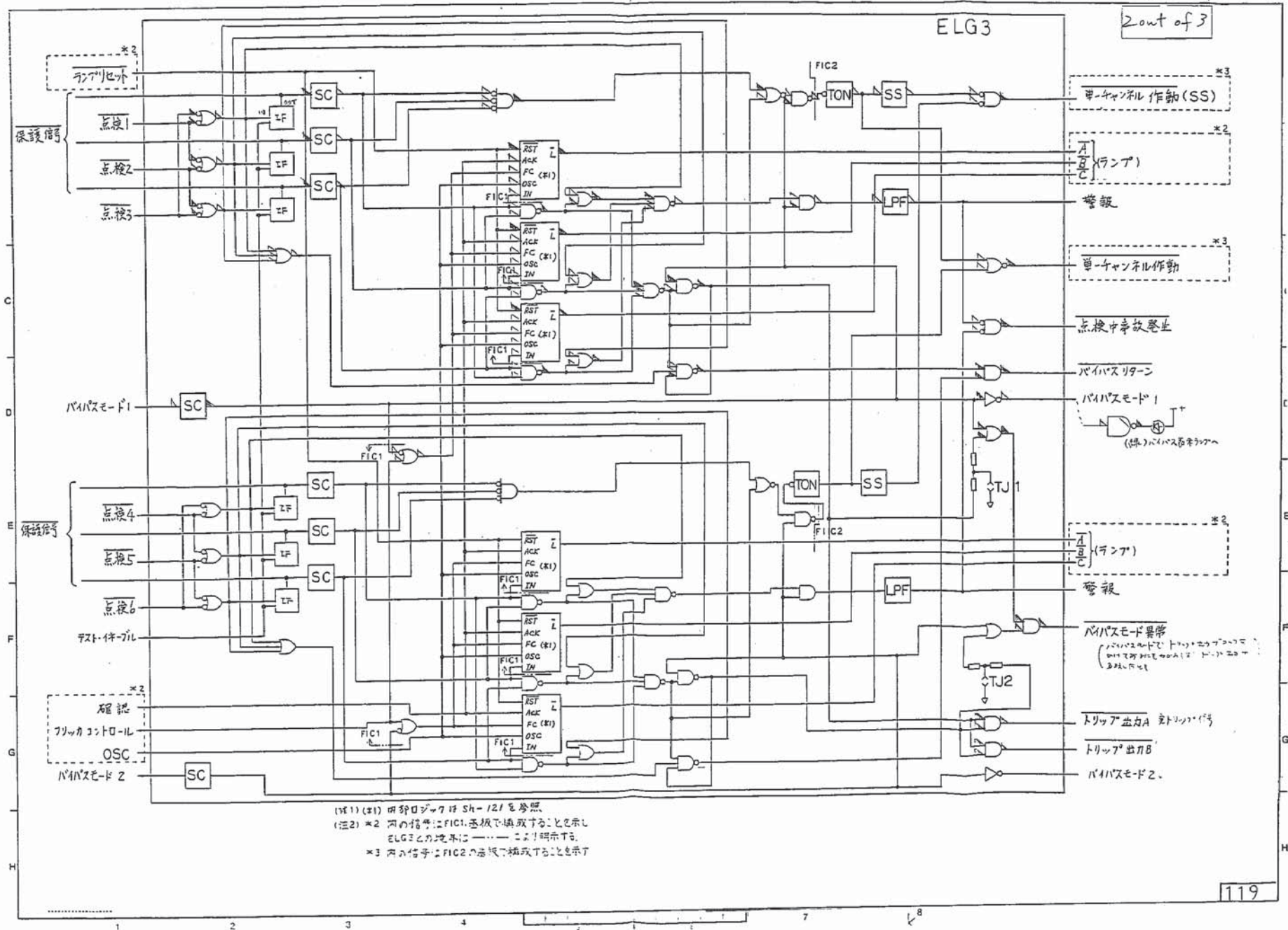


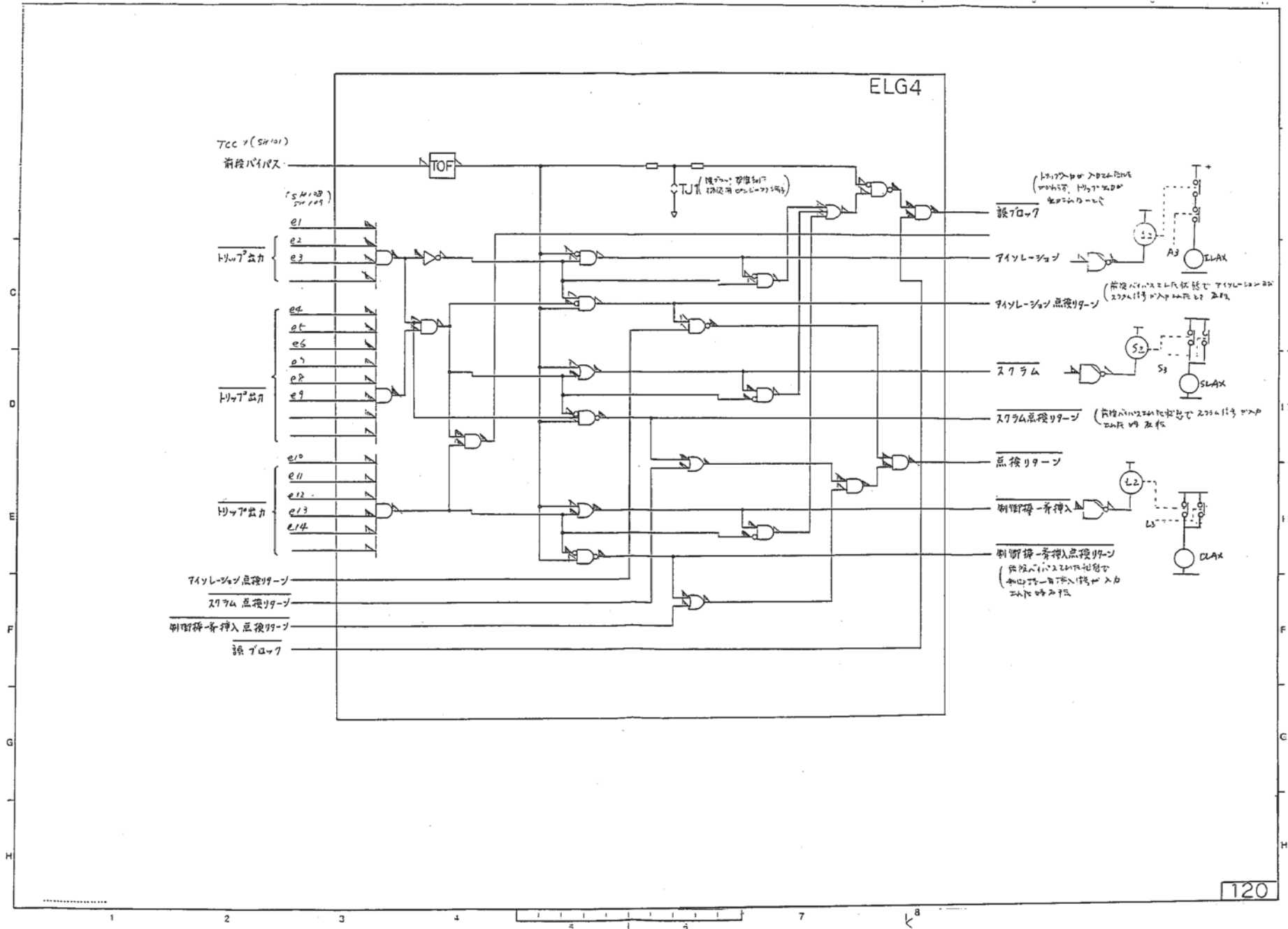
1.16

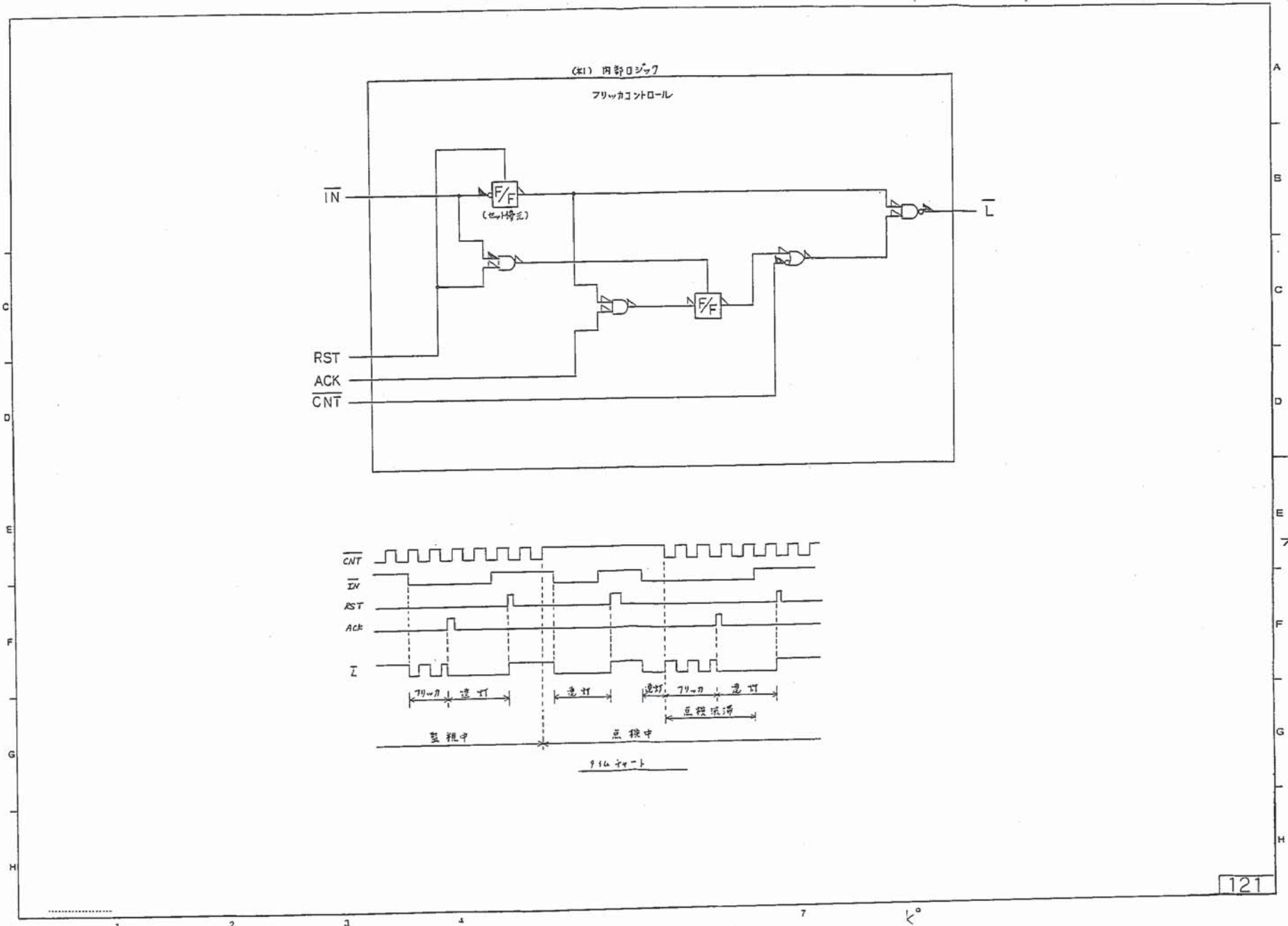


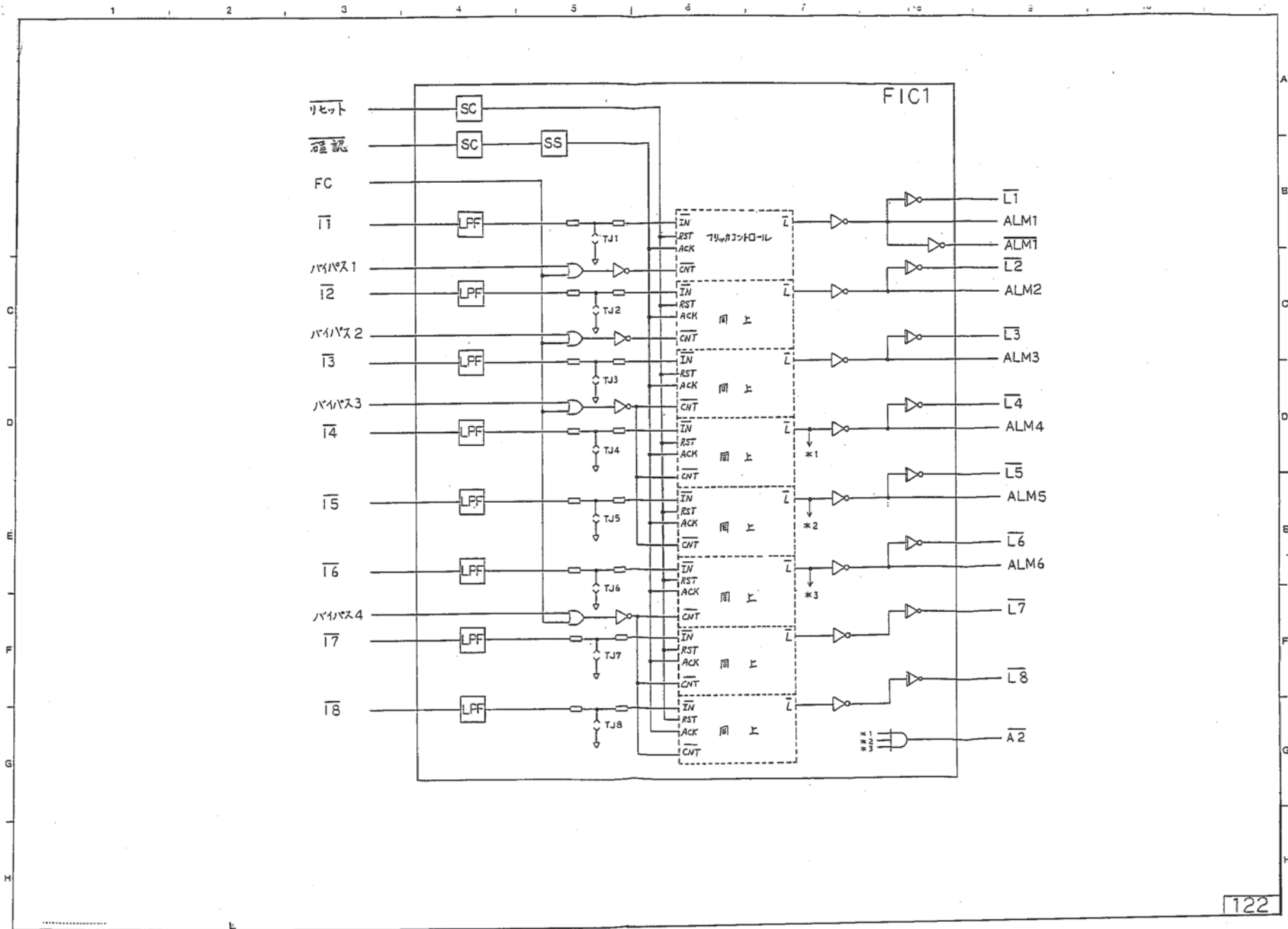


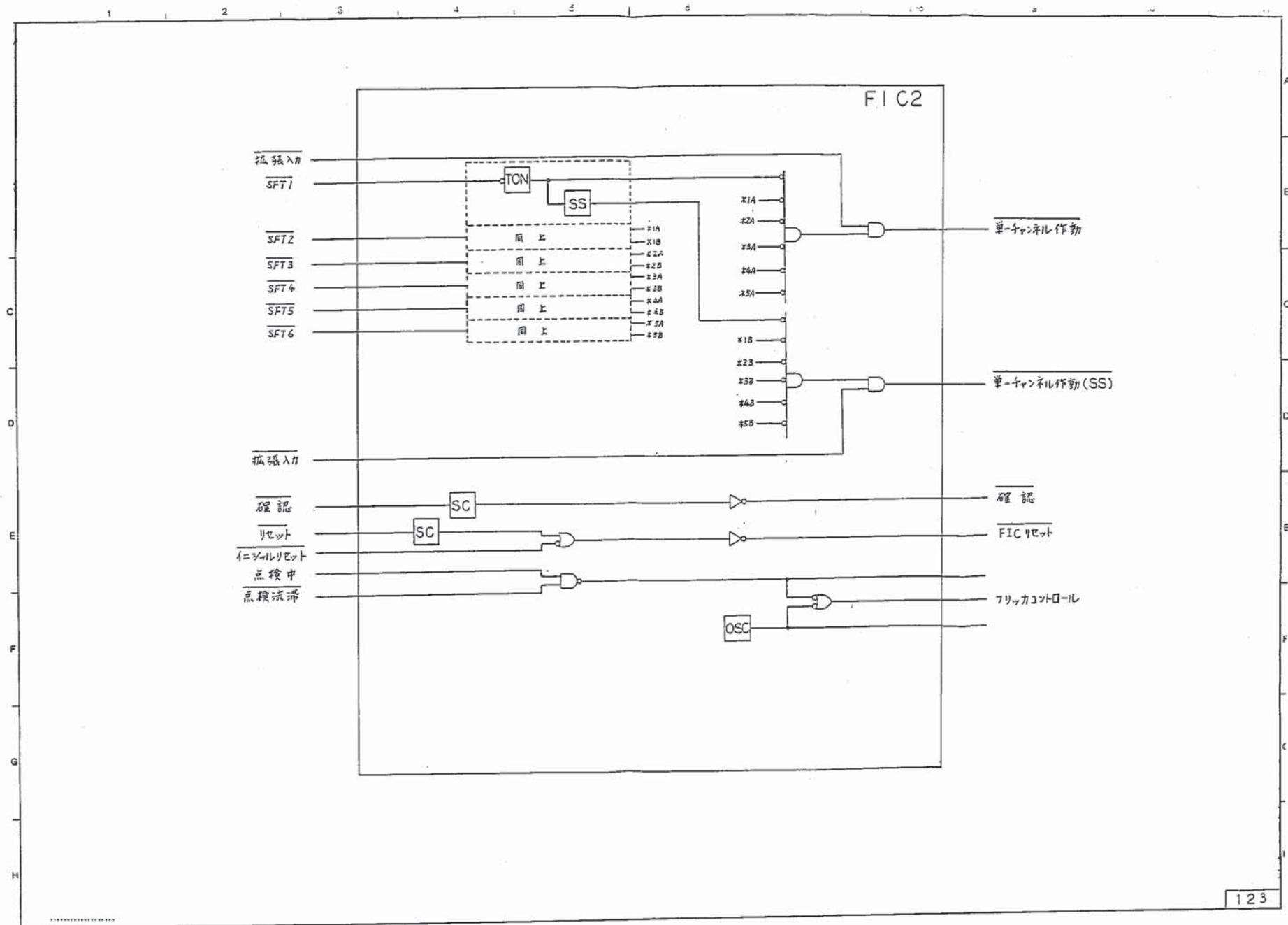
(注1) (*1) 内部ロジックは sh-121 を参照
 (注2) *2 内の信号は FIC1. *3 内の信号は FIC2 の基板で構成することを示す.
 ELG2 との境界は --- にて明示する.











7. 新ロジック盤の評価・検討

7.1 機能比較

7.1.1 監視および表示上の比較

改造により、点検中の監視機能を大巾に強化した、ロジック盤の監視・表示項目を表 5.4 に示す。

回路の点検は、旧ロジック盤同様、ロジック入力に模擬信号を入力して実回路の応答を確認する方法をとっている。このため、点検時は、ロジック回路出力および最終段リレー部を点検中バイパスする回路を付加する必要があり、このバイパス回路が誤動作・誤不動作すると、誤スクラム、スクラム不能になる可能性がある。

このために改造後は、「点検中バイパスリレー故障」「バイパス時誤作動」等により誤スクラムに至る故障の監視を行ない、また「監視中バイパスリレー故障」「誤ブロック」等によりスクラム不能状態の監視を行ない、これらの異常をロジック盤上及び原子炉制御盤上に警報表示し、さらに、ロジック盤上のランプ表示により、バイパスリレーおよび最終段リレーの動作状態を確認できる設計とし、より高信頼性を実現している。

7.1.2 メンテナビリティの比較

旧ロジック盤は、基板の健全性の確認を自動点検により特定しており、任意の場所の点検を行なうことが不可能であった。また、点検渋滞等の故障も原因接点をそのまま表示しており一過性の故障の特定が困難であった。このため、本改造では以下に掲げる点を考慮しメンテナビリティの向上を計った。

(1) 不具合特定機能の向上

点検モードに、自動以外に手動モードを設けて点検を1チャンネル毎に行なえる様にし、また点検渋滞検出もラッチして、一過性の故障も特定できる設計とした。

(2) 点検機能の向上

ロジック回路のユニット基板のバックボードピンへのアクセス性を考慮した設計とし、バックボードへ出すピンについても基板機能を確認できる様に考慮した設計とした。

また、監視回路についても、基板前面にテスト端子を用意して、ピンを端子に挿入するだけで、簡単に回路チェックができる様な設計とした。

(3) 監視回路の機能向上

表 5.4 に掲げた通り監視機能を強化し、またこれらの表示についても、原因接点をラッチして表示し、メンテナビリティを向上させた。

7.1.3 構成上の比較

旧ロジック盤は、点検リターンのために、水銀リレーを1段設けていたため、最終段リレーを含めて、ロジック回路出力段リレー回路が3段直列に配置されていたが、改造後は、点検模

擬信号ロジック出力を直接ロジック回路からリターンする構成とし、水銀リレーを省くことができた。

また、デューダからの模擬入口についても水銀リレーを介していたものを直接入力にしたため点検回路を簡素化した構成となった。

尚、原子炉保護動作を実施するロジック回路出力段メカニカルリレーはアイソレーション時を除きすべて、「無励磁」にて保護動作信号を発信する構成に変更した。

7.1.4 点検範囲

診断範囲は従来、ロジック回路のみであり、最終段リレーについては、診断を行なっていなかったが、今回の改造によって、点検時のバイパスをロジック部出力の前段バイパスと最終段リレーの最終段バイパスとに各々設けて入力から出力まで一還して診断できるものに改良した。

7.1.5 運転操作性の比較

旧ロジック盤は、実信号によるトリップ発生時の原子炉保護系としての機能は十分に満足していたが、その運転操作面からは、若干の改善の余地があった。

このため、本改造により以下に掲げる項目を考慮し現在までの運転経験を反映した操作機能の向上を計った。

(1) 実信号による保護動作時

旧ロジック盤では、ロジック監視機能に各保護動作項目の異常を示す $\text{\textcircled{R}}$ 発光ダイオードの他、点検中を示す表示のみであり、ロジック盤の異常（点検渋滞、点検中事故発生）は実トリップ表示と重ねていた。

改造により、設計上考えうる重要なトラブル項目を $\text{\textcircled{R}}$ 発光ダイオード表示機能に追加するとともに、バイパスリレー、最終段リレー動作表示項目を設け、実トリップ信号入力時をロジック盤の異常を明確に認識し、迅速な対処がとれる様に改善した。

また、各保護動作項目には、フリッカー機能を持たせ実信号入力時には、点滅表示し、「確認」P.B操作により連続点灯するように改良した。この結果、すでに作動し「確認」されている項目との区別がすみやかに行えるようになった。

(2) 原子炉モードによるバイパス項目の対応

原子炉運転モードによって保護動作がバイパスされる項目については、ロジック点検パネル上の該当項目に $\text{\textcircled{C}}$ 発光ダイオードを追加し、各運転モードによる保護系の動作状態を明確に認識できるものとした。また、バイパスされている項目が、保護動作の設定値に達しても不要な警報を阻止した。

(3) 点 検

ロジック盤は、原子炉運転中の点検が簡易にできトリップ機能が常に保障されることが要求される。

従来、起動モード以外のバイパス項目が存在する場合ロジック点検では、模擬信号による

リターン出力がバイパス項目でブロックされ、「点検渋滞」が発生し点検途中で、自動点検に経続するためにはそのつど「スキップ」P.B操作を必要とした。また、バイパス項目に設定した以上の入力がある場合、自動点検開始と同時に「点検中事故発生」も発生し、点検を実施することができなかった。

本改造により、ロジック点検回路にも、運転モードに応じたリターン信号を帰環させることにより、全ての運転モードでのロジック盤機能の健全生確認が容易に実施できるようにした。

(4) ロジック盤異常発生時

実トリップ入力時の保護項目表示の他、ロジック盤機能の異常をラッチ表示する機能を追加するとともに、ロジック警報盤をA、B各盤に設置し、監視中、点検中のロジック回路の異常時に、確実・迅速な対処がとれるように改善された。

7.2 今後の課題および提言

当改造工事は、昭和58年2月の起案から実施完了まで約2年間と長期に及んだが、この間、十分な打合せ、検討を繰り返し、現在までの常陽に於ける運転・保守経験を反映した新ロジック盤の完成に至ったものである。

しかし、原子炉保護系設備として入力部である検出器から制御棒スクラム回路、およびアイソレーション機能に至る出力動作部までシステム全般に渡り考察してみると残された課題は、皆無とは言いがたい。

本改造を終え、原子炉保護系ロジック盤として最も要求されるところの、信頼性および安全性をさらに向上させる手法として、

- ① ロジック回路の完全二重化
- ② 入力信号の完全独立化
- ③ ロジック電源の二重化

などが上げられる。

① ロジック回路の完全二重化

ロジック盤では、その信頼性を十分高める配慮から、その回路構成にエキスパンダ部での単一ゲート素子故障による誤トリップを防止する対策として、エキスパンダ2重のANDの回路構成がなされている。

しかし一方、点検回路には、デコーダの単一ゲート故障が誤トリップを招く可能性がある。単一ゲート素子故障によるトリップを防止する対策としてロジック回路の完全二重化(デコーダ出力部を含む)により対応できる。

本改造では、ロジック盤A、Bによる冗長系により十分その機能は満足できるものと判断し、ロジック回路完全二重化までの実施には至らなかった。

② 入力信号の完全独立化

安全保護系設備では、その非安全故障の確率を十分に小さく保つとともに、安全故障の確率についても稼働率に影響を与えない程度に小さくするために2 out of 3などの冗長系が用いられている。

また、それら保護系検出器はコモンモード故障を避けるため、独立性の面から異った原理の系を用いること、別個の電源の用意、分離して配置するなどの考慮がなされている。

しかし、現在、厳密には、主系統冷却材流量計などを例にとると、流量計励磁電源の喪失によるコモンモード故障から原子炉トリップに至り、入力信号系の独立性が満足できていない。

これらの完全独立性を満すために、流量計を三基に増すなどの対応法が上げられるが、現在のところ、コスト面等から実現は困難である。

③ ロジック電源の二重化

ロジック盤電源は無停電系6 C, 6 S, 6 Dから供給され、独立性が満たされている。

本改造により、無停電系電源喪失によるスクラム・制御棒一斉挿入信号が、いかなる場合にも発信するように改造された。(従来盤では、ロジック回路A系またはB系の電源装置のみ故障した場合、ロジック動作が不能になった。)

しかし原子炉保護系としては、常に原子炉状態の監視が実施できることが望しく、万一の無停電系片側喪失にもその機能喪失を、他系統からバックアップできるロジック電源の二重化が、ロジック電源設備として考えられる。

ロジック電源は、上記無停電系から安定化電源により整流され、DC 15 V, 24 Vで回路に給電されるため、C系、D系から整流した直流電源出力をたすきがけにすることにより上記条件が満足された。

ロジック電源の二重化は、次期定検時に実施される見込みである。

8. 結 言

今回の改造の結果、次の点が改善された。

① 信頼性の向上

従来盤の問題点を解決するとともに、論理素子に最新の半導体を採用するなど、原子炉保護系としてより高信頼性を実現することができた。

② ロジック盤機能の充実

現在までの運転保守経験を反映した機能として、異常信号発信時のフリッカー表示機能、原子炉モードによるバイパス項目の表示等の表示機能および通常監視状態での論理回論の異常検出機能を追加するなどロジック盤機能の充実が計れた。

③ メンテナビリティの向上

ロジック点検モードに「手動点検」を加え、特定項目の診断が可能になった。また、点検時の異常検出項目を増設し、点検表示パネルに表示することにより、回路の故障発生時に於ける保修の迅速、適確な対応が実施できるようになった。