

電子交換機の信頼性設計

Riability Design Features of Electronic Switching System

The D10 Electronic Switching System is a stored program controlled switching system for large capacity telephone offices designed to meet diversifying demands of the public communication field. Also, it is designed so that its maintenance plan is compatible with that for existing exchange systems. The target of reliability was set as follows: system down time should not exceed one hour in twenty years and mishandled calls should not exceed 0.02 percent. In this article is described the outline of reliability design applied to its hardware and software to attain this target. Field data collected from the five telephone offices indicate that the reliability design adopted has been successful.

城水元次郎* Motozirô Shiromizu
 丹野武宣** Takenobu Tanno
 徳永迪夫*** Michio Tokunaga
 石井悦男*** Etsuo Ishii
 河野善弥**** Zenga Kôno
 道家浩太郎*** Kôtarô Dôke
 川波 充*** Mitsuru Kawanami

1 緒 言

現在実用期に入ったD10形電子交換機は高度の信頼性を保ちながら稼動しており、その成果は世に注目されているところである。しかしながら、開発に着手した昭和39年においては、従来慣習的に40年とされていた電話交換機の寿命に対し、共通制御部分の電子化による蓄積プログラム方式が、高い信頼性のもとで目的とする融通性と経済性を発揮し得るかどうかが、当時の電子部品、電子装置の状況から危ぶむ気持ちが存在していたのは事実である。本稿はこれらの課題に対し、日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所を中心に、日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社および日立製作所の共同研究により解決してきたD10形電子交換機の信頼性設計に関する概要と、商用5局の運用実績について述べる。

2 電子交換機の概要

2.1 交換機における信頼性設計の推移

交換機の歴史に沿って概括してみると次のようになる。

- (1) 手動交換機では取扱者により常時監視され、障害波及範囲もきわめて狭く、信頼性の確保にさほどの問題はなかった。
- (2) ステップバイステップ交換機では、障害の波及範囲は障害装置を含む接続経路に限定され、信頼性の追求は個々の装置部品の動作安定度の向上に主眼がおかれた。
- (3) クロスバ交換機では共通制御方式が採用され、交換動作を制御部に集中して複雑な交換機能と経済化を実現した。共通制御部の障害はシステムダウンとなるので冗長構成がとられ、同時に主要構成部品であるワイヤスプリングリレー、クロスバスイッチの高信頼化に努力が集中された。
- (4) D10形電子交換機では、共通制御部分を電子化し高速化することにより蓄積プログラム制御として機能を集中化し、融通性の増大と経済化を実現した。したがって、高度の信頼性設計技術が必要となった。すなわち、電子部品の高信頼化、適正な機能単位分割と冗長構成などによるハードウェアのシステム構成技術とともに、蓄積プログラム方式の特徴を利用し、障害検出処理、予備装置への切換再開処理、障害装置の自動診断の保守機能を内蔵したプログラムによりシステムを制御することで目的を達成した。

2.2 システムの概要

D10形電子交換機システム構成は、図1に示すとおりである。交換動作に必要なプログラムおよびデータ類は原則としてPMおよびTMに記憶され、使用頻度が低く量が多いプログラムおよびデータがDRに格納されている。CCはこれらのプログラムやデータを用いて所定の論理動作を行ない、交換処理に必要な指令をSPAB経由でSRDに送出する。SRDでは指令の内容に応じて所定の通話路装置を駆動し接続動作を進める。加入者線および中継回線の状態はLSCNまたはTSCNからSPWB経由でCCへ通知される。また交換機の各装置の動作状態は常時MSCN経由でCCへ集められ、監視されている。運用保守に当たって必要な情報は、TYP、PTRおよびMTなどの入出力機器を介して授受が行なわれる。

3 信頼度目標とシステム構成

3.1 システムの信頼度目標

交換機のサービス性より次のように目標が設定された。

- (1) 不稼動率として30分以上のシステムダウンは20年間で1回以下とする。
- (2) 呼の誤処理率を 2×10^{-4} 以下とする。

3.2 信頼度計算と部品要求信頼度の設定

(1) 冗長構成による目標不稼動率の達成

電子交換機の不稼動率はほぼ中央処理系で決定される。そこで、D10形の中央処理系では図2に示すような冗長構成をとっている。つまり、中央制御装置、磁気ドラム（現用装置各1個）および一時記憶装置（現用装置N個）に対しそれぞれ1個の予備装置を設けている。

一方、通話路系は、電磁部品を主体として構成される通話路スイッチ、トランク（通話路部）および電子部品を主体とする各種駆動装置類（制御部）に大別される。通話路部の信頼度は低い障害の影響が個別的で、通話路の形成時に導通試験を行ない、異常時には通話路の形成の再試行により信頼性を確保しているため、システム全体の不稼動率にはほとんど影響がない。制御部では一時記憶装置と同様に、装置種別ごとに予備装置を設けN+1予備方式をとっている。

予備装置を設けた場合の信頼度を計算する。1個の装置の

*日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所交換研究部調査役

**日本電信電話公社技術局調査部門調査役

*** 日立製作所戸塚工場 **** 日立製作所戸塚工場 工学博士

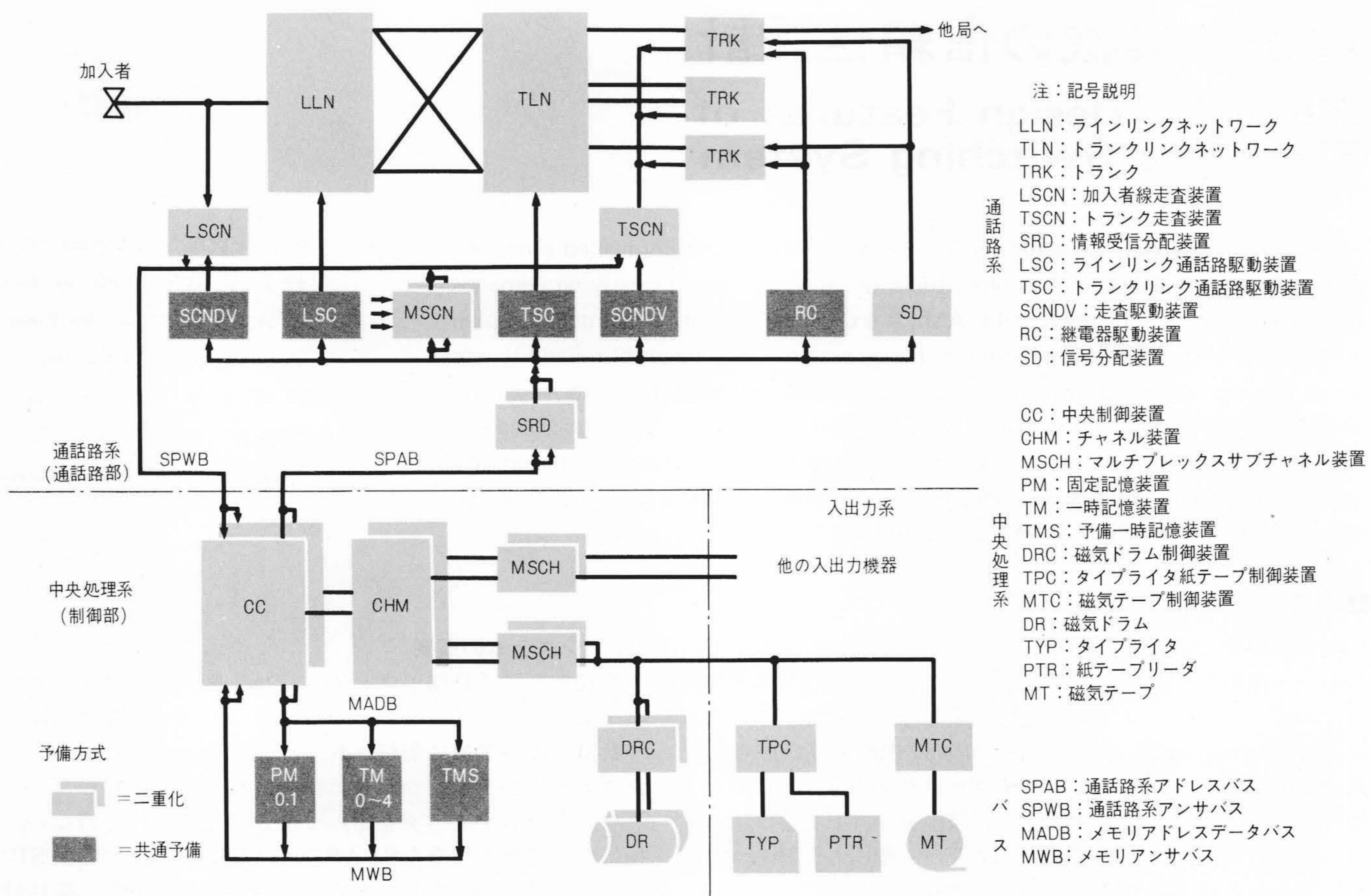


図1 D10形電子交換機のシステム構成 D10形電子交換機の種類とサブシステムのつながりを示している。

Fig. 1 System Configuration of D10 Electronic Switching System

故障率を λ (単位：1/時間)、平均修復時間を h (単位：時間)とすると、1個、 N 個の装置の不稼働率はそれぞれ $\lambda h (= \rho)$ 、 $N\lambda h$ となる。 N 個の現用装置に対して1個の予備装置を設けた場合のシステムダウンとなる確率 Pd は次式となる。

$$Pd \approx_{N+1} C_2 \rho^2, (\rho \ll 1) \dots\dots\dots(1)$$

このときの1回のダウンタイムの平均は $h/2$ となる。

期間 T におけるダウンタイムの合計を Td 、30分以上のダウンタイムの合計を Tdd とすると、(1)式より

$$Td = Pd \cdot T \dots\dots\dots(2)$$

$$Tdd = Td \cdot (1 + 1/h) e^{-1/h} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、個々のダウンタイムは平均値 $h/2$ の指数分布とする。

(2) 平均障害件数

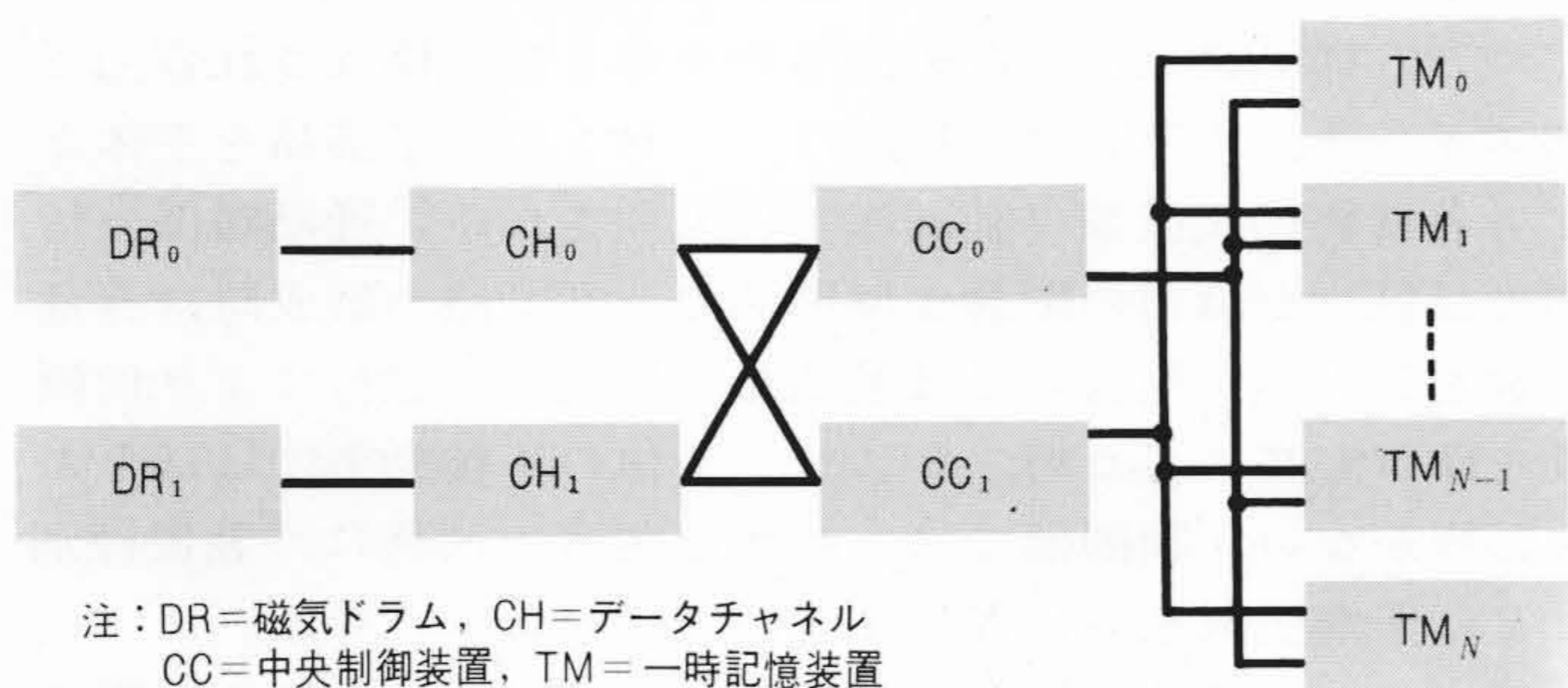


図2 中央処理系の冗長構成 CCとドラムは二重化、一時記憶装置は $N+1$ 方式の冗長構成をとっている。

Fig. 2 Redundancy Configuration of ESS Central Processor

表1 装置の環境条件 電子部品に対する最悪条件は55°Cである。

Table 1 Enviromental Conditions for Equipments

項目	条件	
	標準	最悪
周囲温度	18~30°C	10~40°C
周囲湿度	50~60%	30~80%
架内温度上昇	15°C以下	
機械室内温度差	10°C以下	

2件/週程度を目標とすると、システム全体の総故障率を約1,100万fit以下とする必要がある。

(3) 環境条件および実装基準の設定

全国の局条件を調査した結果、室温0~50°C、湿度30~90%の値を得たが、この条件で部品性能を保証すると価格増が大きいので空調機の設定を決定し、表1に示す条件とした。一方、架内温度上昇を15°Cとし、これを満足する実装基準(放熱設計、電子パッケージの消費電力制限)を設定した。

(4) システムの機器寿命

機器部品の陳腐化による保守費などの上昇を考慮して機器寿命は22年を目標として決定した。

(5) 部品要求信頼度の設定

以上の各項の条件に基づき、経済性と製造技術とを勘案した結果、電子交換機の各使用部品の故障率を表2のように配

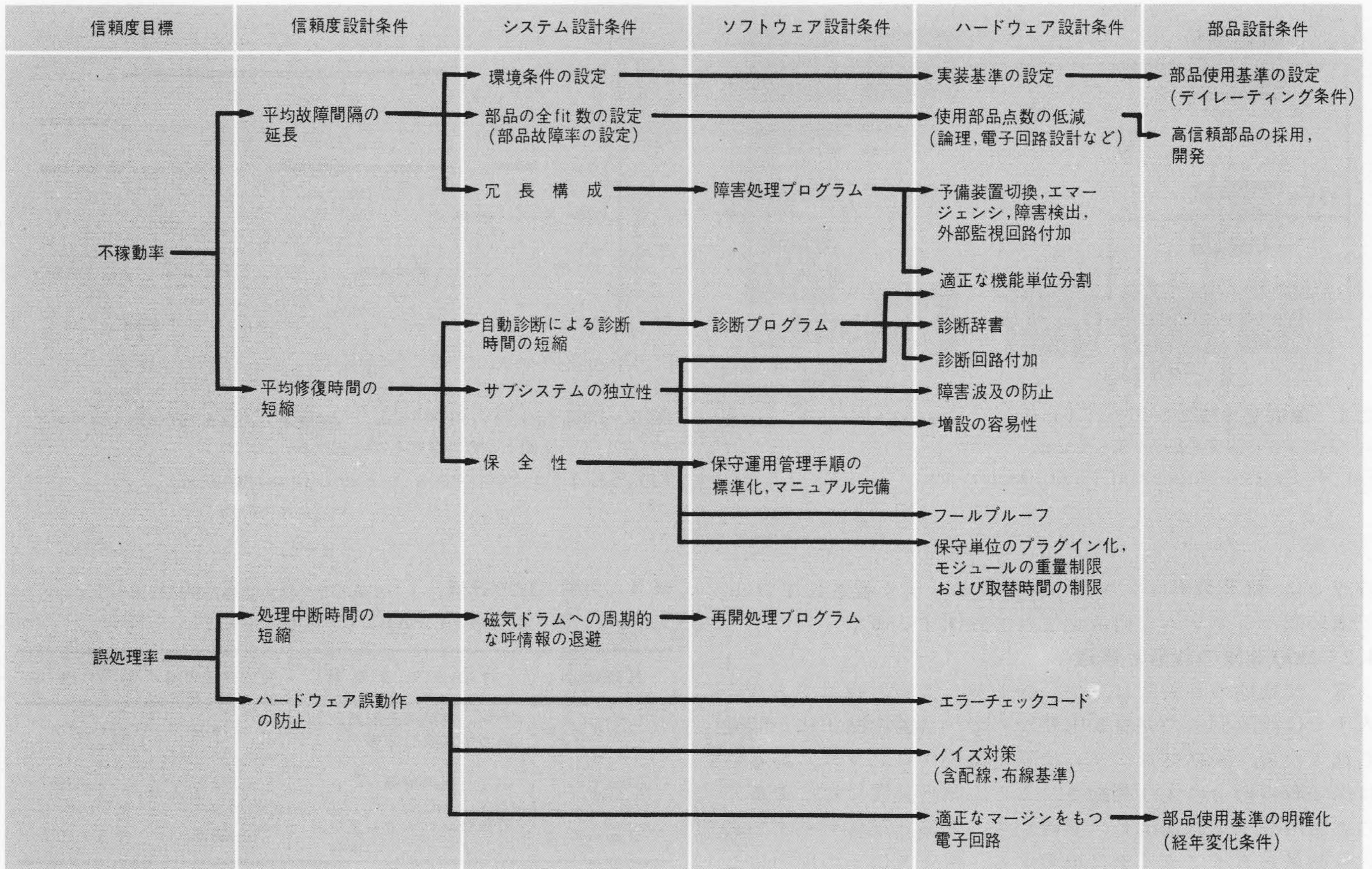


図3 信頼度目標と各種設計条件の関連 信頼度目標を展開して、信頼度向上のためにどのような要因を考慮したか示している。

Fig. 3 Derivation of Design Considerations to Attain the Reliability Objectives

分した。

3.3 信頼度設計と各種設計条件の関連

前記信頼度目標を達成するためにとられた手段および検討事項を各設計レベルに展開し、これを総括的に図示すると図3のようになる。なお、具体的な設計作業の進行に当たって、

表2 部品の要求信頼度とその実績 実績は商用5局の値(48年3月まで)を、*印は、故障数1を仮定して算出した値を示す。

Table 2 Reliability Requirement of System Design and Field Data

部 品 名	要求故障率 (fit)	使用 個 数 (5局合計)	故障数	実働故障率 (fit)
トランジスタ	25	72,400	2	4.6
ダイオード	5	286,300	0	0.6
抵 抗	2	479,600	"	* 0.3
論 理 IC	150	160,200	"	* 1.0
混 成 IC	"	10,400	"	* 15.3
コンデンサ	5	127,600	1	1.3
パルストランス	10	68,700	2	4.6
遅 延 線	50	2,200	1	74.5
クロスバスイッチ	-	25,600	9	-
D.F継電器	-	78,100	4	-
リード継電器	-	45,100	1	-
水銀継電器	-	1,200	0	-

各設計レベルの細部項目ごとに検討会を設け、綿密な設計審査(デザインレビュー)を実施したことは、信頼度の向上に貢献するところが大きであった。

4 連続運転確保のための仕組み

電子交換機の高信頼性を確保するためには、前述の冗長構成に加えて、装置の障害(修復可能なものを障害、不可能なものを故障と呼ぶ。)発生時に次のような機能が必要である。

- (1) 予備装置への急速な切換えによる処理の続行
- (2) 障害装置の短時間修復

障害発生から回復までの過程を図4、5に示し説明する。

4.1 障害の検出から予備装置切換えまでの過程

交換機は常時、呼処理プログラムにより呼の処理を行なっている①。障害発生時には、ハードウェアあるいはソフトウェアによって検出され、呼処理が中断される。優先度の高い障害処理プログラムに制御が移ると、まず障害情報を分析し障害装置を識別し②、予備装置が選択されて新しい接続が構成される③。引き続き通話路スイッチの状態と一時記憶装置の内容を正常状態に設定した後、中断していた呼処理を再開する④。

中央処理系装置が障害でプログラムの実行できない場合は、中央制御装置内のエマージェンシ回路が自動的に起動され、ハードウェアによって中央処理系装置の接続と磁気ドラムからのプログラムロードが行なわれた後、再開処理が実行される⑤。

再開処理を経てシステムは一応呼処理に復帰するが、この

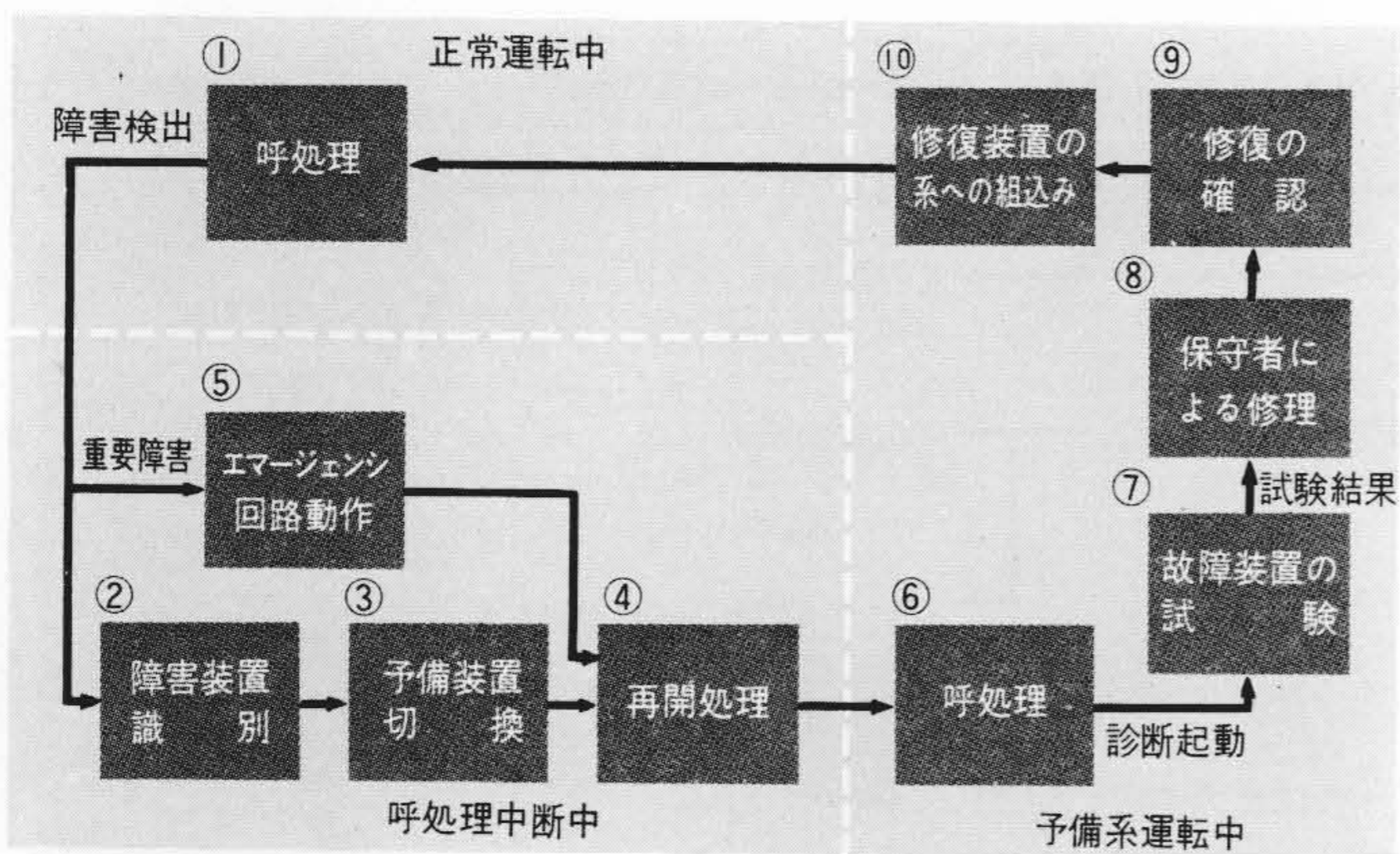


図4 障害発生時のシステムの動作 障害が発生したとき、システムがどのように回復するかを示している。

Fig. 4 System Actions in Fault Occurrence

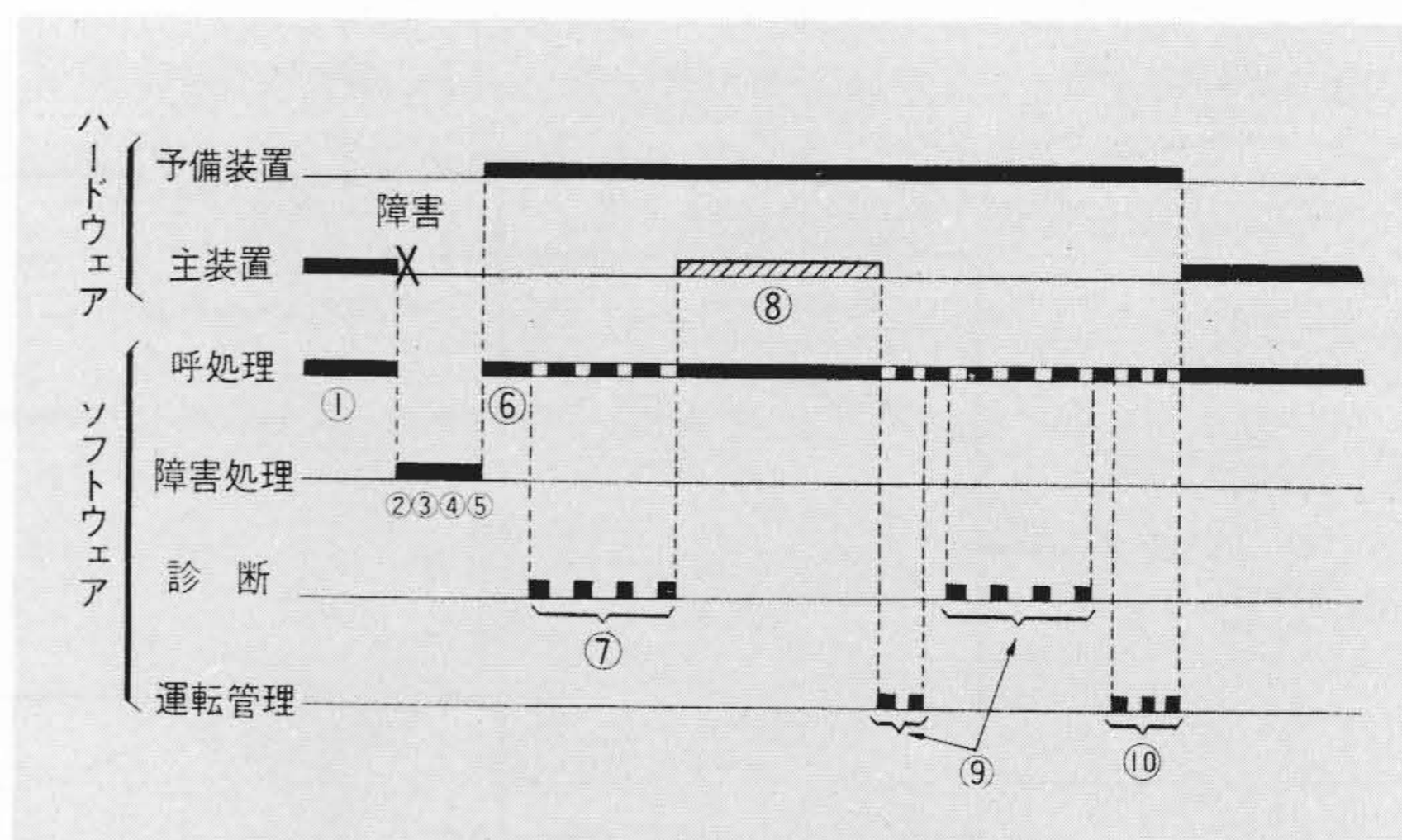


図5 障害発生時の処理経過 障害から回復までの過程を時系列的に示している。丸囲みの数字は図4に対応する。

Fig. 5 Time Sequences in Fault Occurrence

時点では、障害装置はシステムの構成から切り離されており、予備装置がシステムに組み込まれて動作する⑥。

4.2 故障装置の診断と修理

電子交換機の各装置は、部品数が多く機能も複雑であり、人手では故障個所の発見が困難なので、自動診断手法が開発されている。診断プログラムは障害処理プログラム、あるいは保守者の指令により起動されると、該当装置に対して多くの試験用データを送出し、装置からの応答と正常データとの比較結果をタイプライタに出力する。保守者はその出力によって故障情報を得る⑦。一方、試験結果から装置の故障個所を索引するための「診断辞書」が作成されており、保守者はその辞書を参照して故障個所を発見し、パッケージを取り替えて、修理を行なう⑧。修理の終わった装置は、再び診断プログラムによって修復の確認が行なわれて⑨、保守者の指令によって再度システムに組み込まれ正常運転の状態に復帰する⑩。

5 ソフトウェアによる信頼性設計

5.1 障害識別処理

障害の検出から識別までの過程では次の点に配慮した。

(1) 間欠障害による無効処理の除去

障害検出によるプログラム起動回数をいったん計数しておき、一定回数以上の連続起動があって初めて識別処理に移る。これにより間欠障害に基づくむだな処理を排除している。

(2) 障害識別単位の大きさ

識別単位は、対応する予備装置が確定できる程度が望ましい。中央処理系、通話路系は装置単位に、入出力系ではサブチャンネル単位に識別されている。

(3) ハードウェアによるバックアップ

中央処理系装置の障害時には、障害識別用タイマや外部監視回路で検出して、エマージェンシ回路を起動し、ハードウェアによって障害識別と系の再構成を行なう。これはソフトウェア自身の機能が失われた場合の歯止めになっている。

5.2 再開処理

呼処理中断時間のうちの大部分は、再開処理で占められるが、次に示すような3種類の再開処理がある。

(1) フェイズ0再開

予備装置に切換直後に呼処理の中断点から再開し、中継時間は最も短く、通常数10ms以下である。中断時にダイヤル中の加入者は、誤処理となる可能性がある。

表3 再開処理の評価 再開処理の発生間隔と誤処理率を示す。

Table 3 Evaluation of Restart Processes

再開種別	対象となる障害	平均発生間隔	誤処理率
フェイズ0	PM, 通話路系装置, 入出力系装置の障害	6日	1×10^{-5}
フェイズ1	CC, TMの障害	12日	5×10^{-5}
フェイズ2	開局時, システムダウン時, フェイズ1の多発	> 20年	$< 3 \times 10^{-6}$

(2) フェイズ1再開

中央処理系装置の障害であっても、通話中の加入者には影響のない再開方法で、正常時には一定周期5秒で、呼に関する一時記憶装置の情報を磁気ドラムに退避し、障害時にこの退避情報によって一時記憶装置の内容を再現し、通話路スイッチも設定して呼処理を再開する方法である。したがって、情報退避時点で通話中の加入者はそのまま通話が可能である。通路話スイッチの初期設定を要する加入者は、ダイヤル中、呼出し中の加入者に限られるので、再開処理時間は通常約20秒程度である。

(3) フェイズ2再開

一時記憶装置の内容および通話路スイッチをすべて初期状態に設定するため、中断時間は最長で約2.5分である。サービス中の加入者はすべて切断されるが、フェイズ2再開が起動される確率はきわめて低いので、誤処理率への影響は無視できる。

表3は上記再開処理の誤処理率を示すものである。これによれば、目標値 2×10^{-4} は達成されている。

5.3 診断プログラム

診断プログラムはシステムの平均修復時間(MTTR)の短縮を目的とするものであり、その性能目標値を、

(1) 適中率=80%

(2) 分解能(障害指摘可能な最小のパッケージ数の範囲)=平均5枚, 最大10枚

(3) 診断対象=すべての各共通装置に設定して作成した。

(1)式~(3)式より中央処理系の信頼度を計算した結果、表4に示す値が得られ、目標値は達成されていることがわかる。

なお、これらの高信頼性確保のために準備された障害処理プログラムと診断プログラムは、電子交換プログラム約200k

表4 中央処理系装置の信頼度 中央処理系の信頼度は十分目標値に入っている。

Table 4 Reliability of the Central Processor System

装置	故障率 (10 ³ fit)			20年当たりのダウンタイム(時間)	
	A	B	C	全合計	30分以上/回の合計
CC	724	25	199	0.25	0.20
TM	243	75	72	"	"
MSCH+DR	645	53	179	0.21	0.17
合計				0.71	0.57

注：A=診断プログラム，診断辞書によって指摘できる障害，h=0.5時間
 B=診断プログラムの対象外の障害，h=1時間
 C=診断プログラム，診断辞書によって適中しない障害，h=4時間
 h=平均修復時間

語に対してその約1/3を占めている。また診断辞書の規模は、約4,000項目、1,500ページに及んでいる。

6 電子回路設計および電子部品の信頼性設計

電子交換機の装置における最も重要な取替単位は、電子回路パッケージである。これに対する総合の信頼性設計の対象は、(1)電子部品、(2)プリント基板、(3)電子回路の3項目にあり、信頼性設計と故障要因との間には次のような密接な相関がある。

すなわち、保守調整時における電子回路パッケージの入出力端子の開放短絡による電子回路の故障防止、故障の波及防止などの可避的故障は、電子回路を搭載割付けの検討試作段階で確実にゼロとすることができる。一方、不可避的故障であ



る偶発または劣化故障は経済性とのかねあいで、許容故障率の範囲でそれぞれの信頼性設計が行なわれている。以下、不可避的故障に対してアプローチした手法を概説する。

6.1 電子回路設計のアプローチ

電子回路設計の信頼性設計に当たっては、偶発故障率をさらに小さくするため部品をディレーティングして使用した。このため、電子部品ごとに表5に示すような回路設計基準値λ_cを定めて運用した。一方、部品の劣化故障に対しては、初期特性、温度保証値および経年変化値を明確にし、これらを配分した電子回路設計を実施した。図6はその関係を図示したもので、特性値のばらつきを含む温度保証値と設計値の差Δ₁、Δ₂が設計余裕度で経年変化によって消費される。またa、b点を越えた部品が多数重なった場合は、電子回路パッケージの動作に劣化故障が生ずる。

以上、述べた偶発故障と劣化故障の和が電子回路パッケージの総合故障であり、この両者の配分は、システムの信頼度目標値と規模によって異なる。電子交換機のように、長期にわたる高信頼性が要求され、かつ使用部品数が多く偶発故障率の総和が大きい場合には、設計余裕度の検討を十分行ない、劣化故障を小さくする方針をとった。

表5 部品の許容故障率 部品の要求信頼度に対する保証条件を示す。

Table 5 Allowable Failures of Electronic Parts

部品名称 (代表例)	許容故障率 (fit) λ _i	回路設計基準故障率 λ _c		保証故障率 λ _g		確認故障率 λ _e	
		ストレス	故障率(fit)	条件	故障率(fit)	条件	故障率(fit)
トランジスタ (2SC913)	25	P _c /P _{c0} =0.13 0.33 0.53 0.53以上	6 48 125 1,000	T _j =40°C	25	T _j =295°C (V _{ceB} =15V I _c =28mA)	1×10 ⁴ 6×10 ³
ダイオード (1S2134)	5	I/I ₀ =0.2 0.4 0.6 0.6以上	1 3 12 125	I/I ₀ =0.25	5	(T _j =150°C V _R =25V)	8×10 ³
IC (HD2326A)	150	$\frac{T_j-25}{T_{jmax}-25}=1/30$	10~100	T _j =60°C	3,000	T _j =150°C T _j =175°C T _j =200°C	3.75×10 ⁴ 6.2×10 ⁴ 9.3×10 ⁴
抵抗 (RD形)	2	P/P ₀ =0.5	2.4	P/P ₀ =1	1,000	(T _a =70°C P/P ₀ =1.15) (T _a =70°C P/P ₀ =2)	1×10 ⁴ 1.6×10 ⁴
コンデンサ (タンタル固体電解)	5	V/V ₀ =0.5	5.5	V/V ₀ =1	"	(T _a =85°C V/V ₀ =1.16) (T _a =85°C V/V ₀ =1.4)	5×10 ³ 1×10 ⁴

注：T_i, T_{jmax}=接合温度 T_a=周囲温度 P_c, P, I, V=使用の電力, 電流, 電圧 P_{c0}, P₀, I₀, V₀=定格の電力, 電流, 電圧

表6 タンタル固体電解コンデンサの全許容差の配分 電子回路の設計に必要な許容差の配分例を示す。

Table 6 Balance of Tolerances for Tantalum Electrolytic Capacitors

部品名称	初期許容差 A	温度変化 B	経年変化 C	A + B + C	全許容差	試験データ		
						温度係数	経年変化	T = 85°C 定格電圧印加
コンデンサ (タンタル固体 電解コンデンサ)	±20%	+4.55% -1.35	+2.0% -21.0	+26.6% -42.3	+30% -50	100~1,300 ppm/°C	+0.1 %/10 ⁴ h -1.9	

表7 基板の接続の許容故障率 スルーホールめっき接続は10⁶点/局もあり、許容故障率は厳しい。

Table 7 Allowable Failures of Printed Circuit Boards

項番	項目	許容故障率	備考
1	接続穴	1.0	平均 30穴/パッケージ
2	端子穴	0.5	平均 150穴/パッケージ
3	コネクタ端子	1.0	56端子/パッケージ
4	ジャンパ線	"	使用数量は極小

注：故障率単位 fit

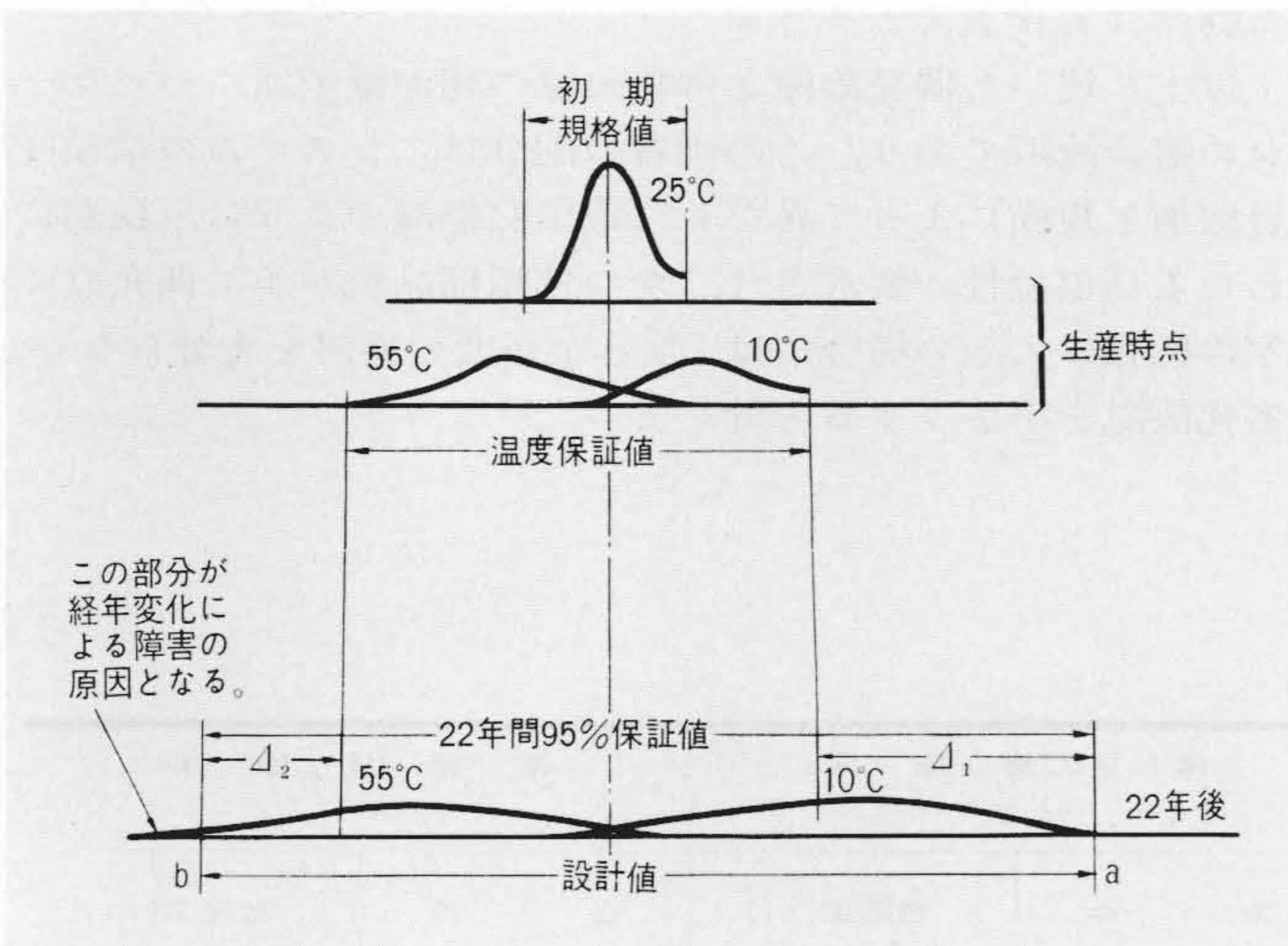


図6 部品特性の規格値、保証値および設計値の関係 電子回路設計時に部品の初期値、温度特性および経年変化をどのように考えたかを示す。
Fig. 6 Relations between Initial Specifications, Guaranteed Specifications and Circuit Design Values

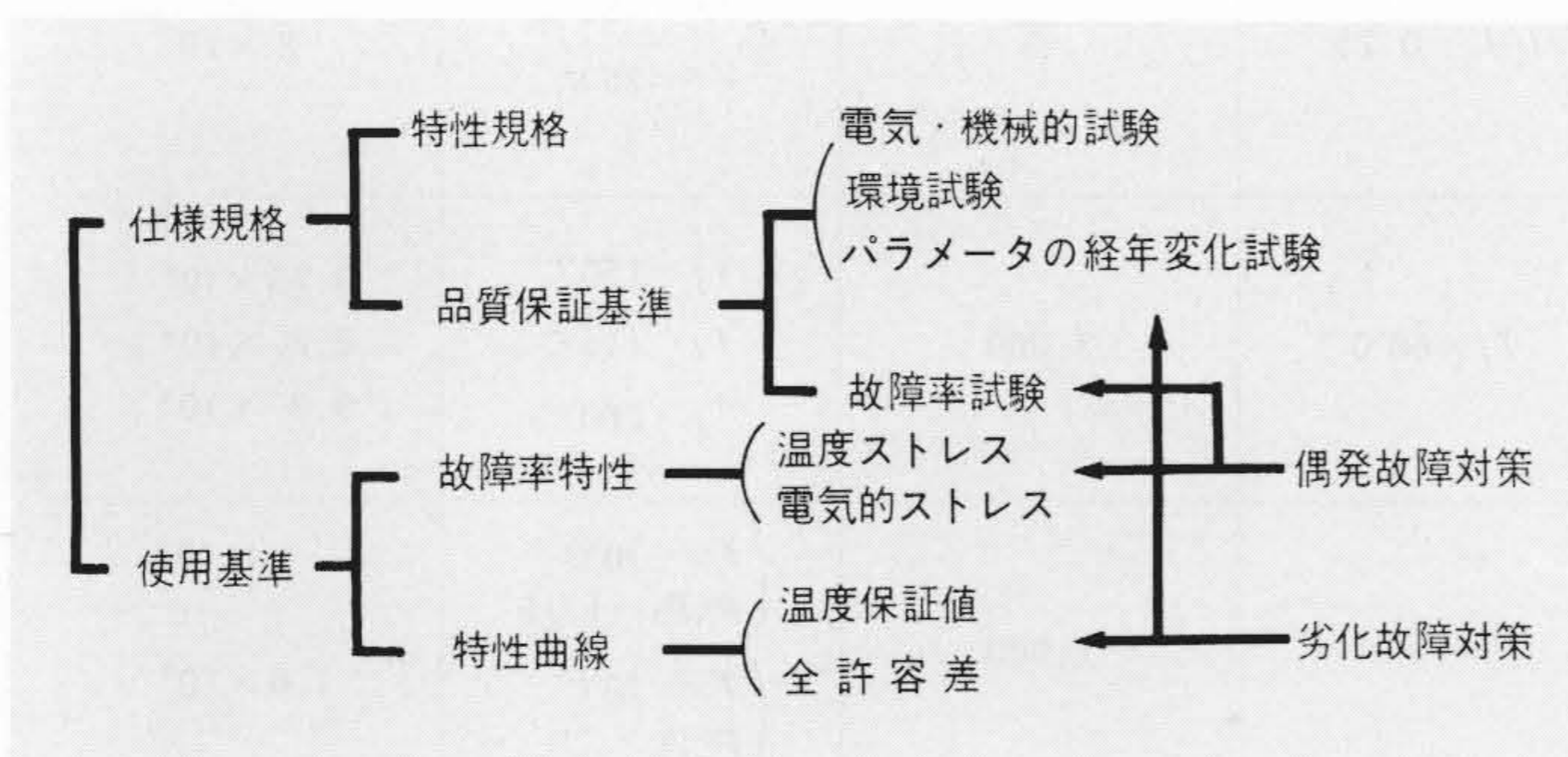


図7 部品資料 電子部品の設計には各種の評価試験が必要なことを示している。

Fig. 7 Documents for Electronic Parts

6.2 電子部品設計のアプローチ

電子部品の許容故障率λ_iを確保するために、次の3段階を

踏んだ。

(1) 第1段階 (実績の調査)

使用予定部品の実績面における品質、劣化モードの調査を電子計算機、伝送装置、既存の交換機の電子部品にわたって実施した。

(2) 第2段階 (電子部品の選定および改良、開発)

トランジスタ、IC (集積回路) など半導体部品は信頼性、特性面から新規開発を、コンデンサや抵抗器については信頼性向上の改良を行なった。

(3) 第3段階 (品質の確認)

電子部品の偶発故障、劣化故障の把握のために、数千時間の寿命試験を実施し、温度的、電気的ストレスによる加速評価を実施した。

これらの着実な実施により、図7に示す部品技術資料および表5の保証故障率λ_g、確認故障率λ_eを確立した。それぞれの故障率の間には、ディレーティング率kd、加速率ksとすると、λ_c=kdλ_gおよびλ_g=ksλ_eの関係がある。

部品特性値の許容差配分の具体例として、タンタル固体電解コンデンサの容量値の配分方法は表6に示すとおりである。

6.3 基板と部品実装のアプローチ

プリント基板についても同様に、各種の基板材料の選択、試作、信頼度評価をくり返した。基板の信頼性設計のアプローチを大別すると、(1)プリント配線基準の作成による、部品実装および径路設計の標準化、(2)スルーホールめっき接続の信頼性の確保である。

(1)は電子部品の取付け、配線基準の確立により可避的故障を除去し、正しい接続工法がとれるようにした。(2)は6.2と同様な手法で、表7に示す基板の接続の許容故障率を定めて信頼度評価を行なった。

7 運用実績

7.1 目標と実績

昭和48年6月末までの再開処理の発生状況を示したのが図8である。フェイズ1再開処理は交換機の誤処理率に関連するが、このデータでは約6×10⁻⁵となり、このほか選択信号受信誤りも含めても2×10⁻⁴以下の目標は十分達成していると想定される。なおこの過半数の原因はプログラム誤りであり、プログラムの安定とともにさらに向上するものと思われる。フェイズ2再開処理は3回発生しており、20年間に換算するとシステムダウン時間は約0.4時間となり、30分以上の事故は1回の発生もなく目標を十分満足しているものと判断できる。

7.2 ハードウェアの障害

部品の故障発生状況は図9に示すとおりである。全体の信頼度に影響の多い電子部品は32%を占めている。また商用5局の使用部品数と実働故障率は表2に示すとおりであり、要求値に対し十分満足すべき状態である。

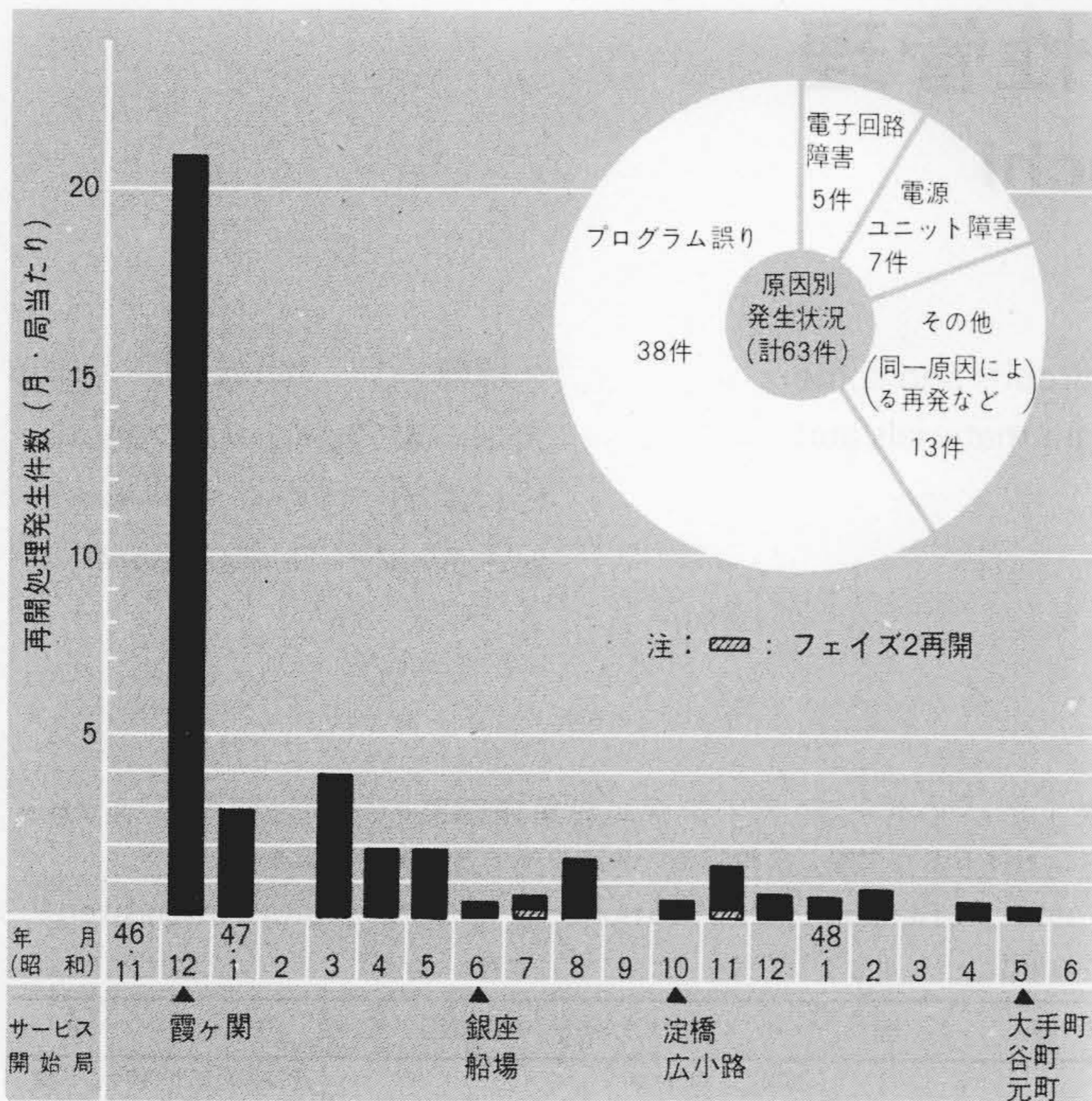


図8 再開処理発生状況 商用5局の設置時期と再開処理の発生状況の経過を示す。

Fig. 8 Field Data of Restart Process Frequency

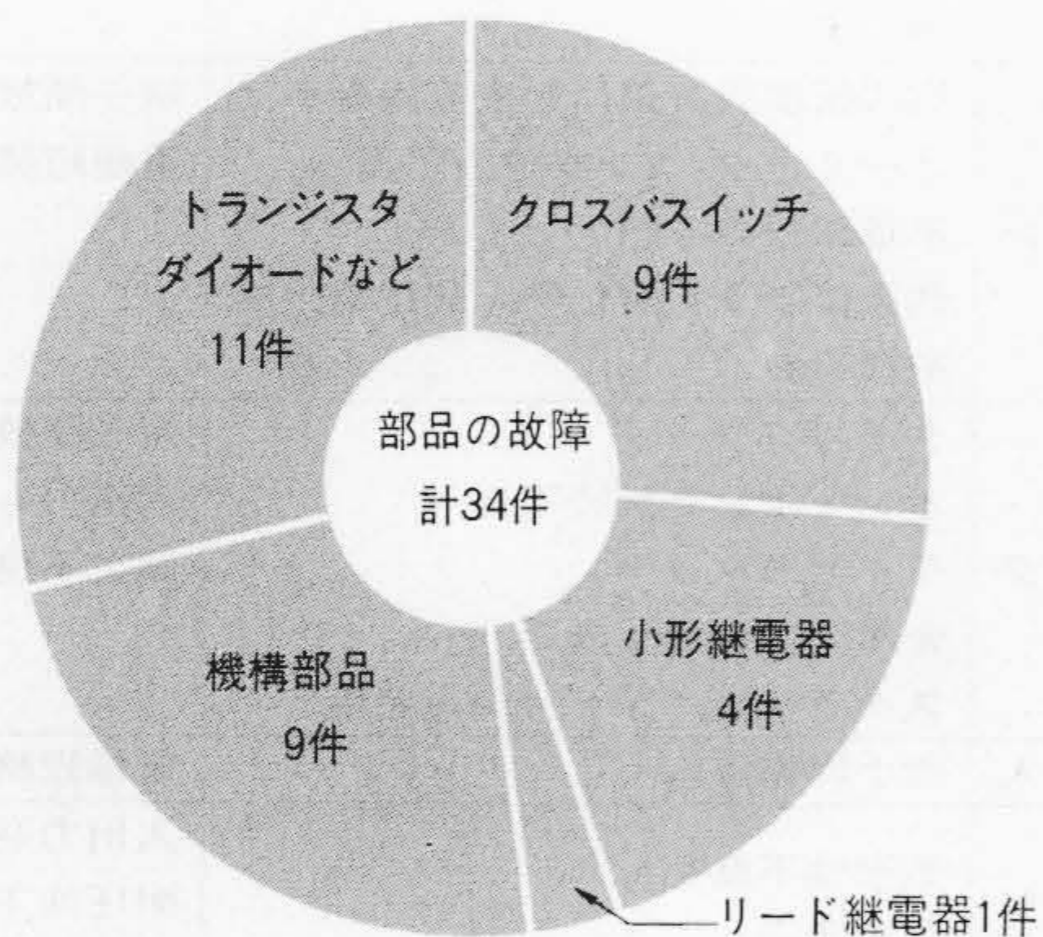


図9 部品の故障内訳 48年3月までに生じた部品の故障内訳を示す。

Fig. 9 Component Failure

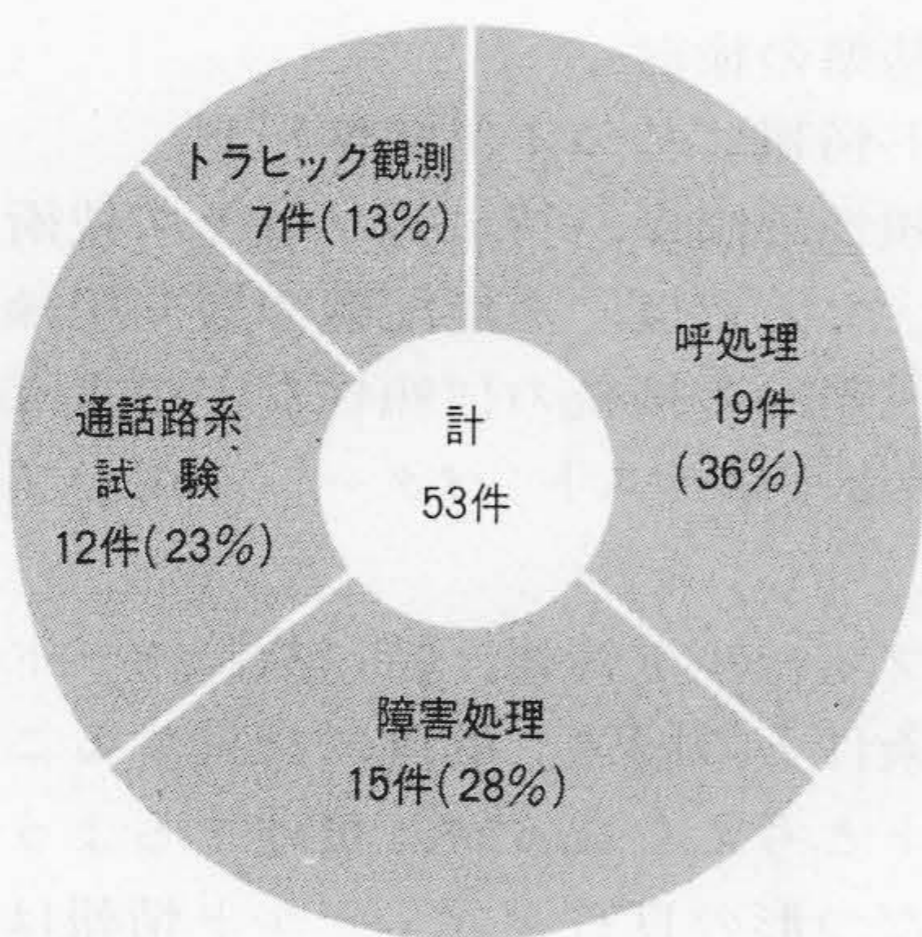


図10 サービス開始後のプログラム修正状況 47年6月より48年3月までのプログラムの修正の割合を示す。

Fig. 10 Software Bugs

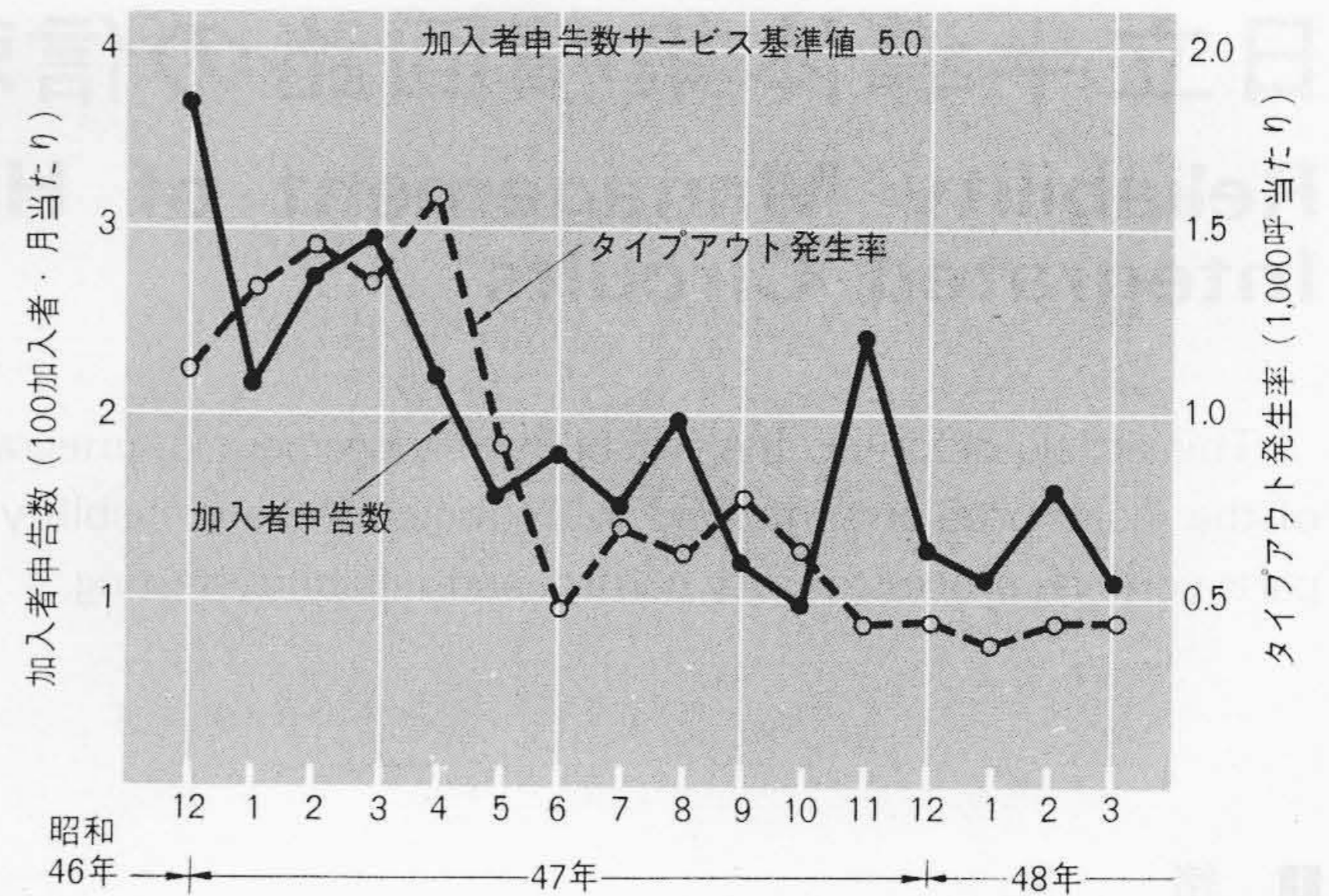


図11 加入者申告数とタイプアウト発生率 サービスに関連する項目とその発生状況を示す。

Fig. 11 Subscriber's Claim-Rate and Rate of Troubles Typed Out

7.3 ソフトウェアの障害

プログラムの修正件数とその内訳を示すと図10のようになる。大半が障害処理あるいは保守試験機能に関するもので、この種のバグは実際の運用まで発見の困難なものである。

7.4 サービス状況

交換機のサービス状況を測る尺度として用いられている障害の加入者申告数とタイプアウト率(局のタイプライタに出力される障害情報の発生率)の状況は図11に示すとおりである。加入者申告数はクロスバ交換機の平均申告数よりは多めであるが、内容的にも電子交換機の障害に起因するものはほとんどなく、加入者線、加入者宅内装置の障害によるものである。

D10形交換機では、新たにタイプアウト発生率を記録してシステムの品質維持に資している。商用試験局の初期においては若干大きな値を示したが、最近では減少している。しかもタイプアウト対象は、クロスバ交換機の障害記録パンチよりも広範囲であるにもかかわらず、その基準値 1×10^{-3} に対して十分低い値となっている。

8 結 言

D10形電子交換機の開発、実用化過程において実施した信頼性設計の概要と商用試験の実績について述べた。高度に発達した情報社会を有機的に結びつける総合通信網のかなめとして期待されるこの電子交換機がハードウェア、ソフトウェアにより融通性、経済性を達成しているだけでなく、信頼性の面でも十分にその役割を果たしていることが実証された。

終わりに臨みご指導、ご協力を賜った日本電信電話公社の関係各位および電子交換機共同研究各社の方々に厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- (1) 山内：総合報告-電子交換機の実用化，信学誌 54, 664~682 (昭46-5)
- (2) 城水，本間：電子交換機の信頼性設計，日佛信頼性シンポジウム資料J-2 (昭46-9)
- (3) DEX-21号電子交換機特集号：通研実報 20, No.3 (昭46-3)
- (4) 丹野，石井，高村：D10形自動交換機の商用実績，施設 22, 87~98 (昭48-11)
- (5) 渡辺孝正：稼働実績から学ぶもの (昭45-11)
- (6) D10形電子交換機特集号：日立評論 54, 985~1028 (昭47-11)