U.D.C. 681.323.066:621.395.345

D20形電子交換機のプログラム

Software of D20 Electronic Switching System

道家浩太郎* Dôke Kôtarô
広島宗太郎* Hiroshima Sôtarô
山本雄介* Yamamoto Yûsuke

プログラムで制御する中・小局用電子交換機を経済的に提供するうえで重要なことは，機能の多様性を生かしながら，かつ必要とする主メモリの量を減らすことである。D20形電子交換機の交換プログラムでは，厳しく実時間性を要求される呼処理プログラムにもオーバレイ手法を適用したり，局規模に応じてプログラムのファイル構成を変えたりして，主メモリの量を減らすくふうを行なっている。

本稿は，D20形電子交換機の交換プログラムについて，上記特徴を中心にプログラムの構成と機能を述べたものである。D20形電子交換機は，昭和51年6月に，日本電信電話公社中軽井沢局でサービスを開始し，現在商用試験を行なっている。

1 緒　言

一般に共通制御形交換機では，交換容量とは関係なく必要な機器がある。例えば電子交換機における中央制御装置，メモリがそれに該当する。交換機の最終容量が小さくなればなるほど，交換機全体の価格に対して，このような機器の価格が占める割合は増えてくる。D20形電子交換機(以下，D20形と略す)では，この交換容量に関係のない固定的な価格を削減するために，種々の対策を施している。これらの対策の中でも，安価なファイル メモリを積極的に活用することにより，高価な主メモリの使用量を減らす対策は，交換プログラムの構成に大きな影響を与え，D20形の交換プログラムの特徴の一つとなっている。

D20形の交換プログラムとしては，市内交換用システムのほかに市内市外併合交換用システムを並行して開発中である。本稿では，D20形の交換プログラムの市内交換用システムでの特徴を中心に，その構成と機能及びサポート システムについて述べる。

2 D20形の交換プログラムの設計方針[1),2),5),7)]

2.1 主メモリの有効利用

蓄積プログラム制御方式による電子交換機では，ハードウェアとソフトウェアのインタフェースが同じであれば，同じサービス機能を提供するためには局規模に関係なくプログラム量は一定である。そのため，局規模が小さくなればなるほど交換機全体に対して，プログラムを格納するメモリが占める価格の比重は増える。そこでD20形の交換プログラムでは，高速ではあるが高価な主メモリ(Temporary Memory以下，TMと略す)の使用能率を向上させて，TMを節約すると同時に，低速ではあるが安価なファイル メモリ〔D20形では磁気ドラム(Magnetic Drum以下，DRと略す)を使用〕を積極的に活用する処理方式を採用し，メモリ価格の低減を図っている。以下に主な処理方式を示す。

(1) オーバレイ方式

プログラムの使用頻度に着目し，使用頻度の高いプログラムはTMに，使用頻度の低いプログラムはDRに格納し，DRのプログラムは必要の都度TM上のオーバレイ エリアに転送して実行するオーバレイ方式を採用している。この技術は既に広く用いられているものであるが，実時間性を厳しく要求される呼処理プログラムにまで適用し，TM使用量を極力低減させることをねらっている。

(2) 局規模に応じたプログラム構成

局規模に応じてTMとDRへ格納するプログラムの比率を変化させ，前述のオーバレイ方式によるTM使用量低減効果を更に効果的にするためのファイル構成法を採用している。**図1**に局規模とプログラム構成の例を示す。これらプログラム構成間の変更を，交換サービスを中断せずに実施できるプログラム ファイル入替機能も同時に用意している。

(3) 呼に固有な情報の集中化

呼の接続処理に関する情報は，タスク コントロール ブロック(Task Control Block以下，TCBと略す)と呼ぶメモリに集中格納し，発呼から切断まで呼に必要な情報を能率よく管理する。更に通話中，呼出し中などの呼の保留時間の比較

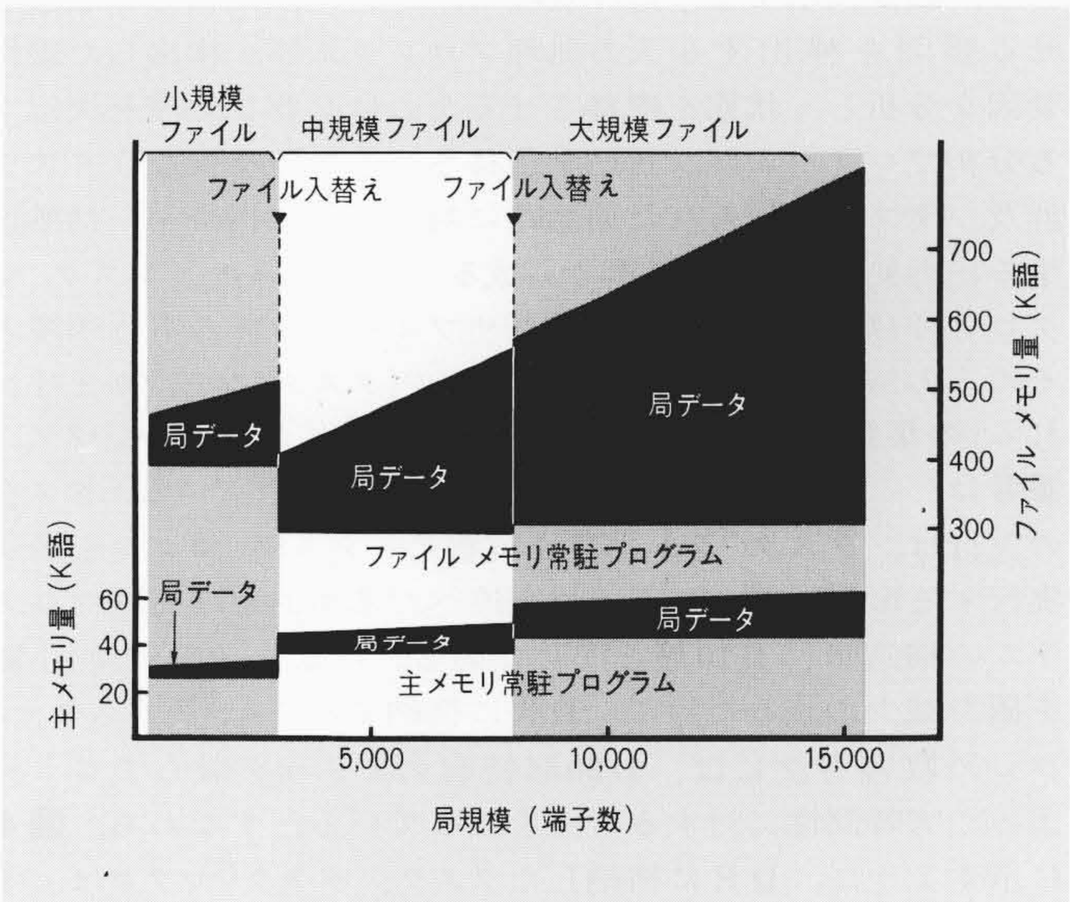


図1 局規模とプログラム ファイル構成　局規模に応じて，小規模ファイル(1,000端子～3,000端子)，中規模ファイル(3,000端子～8,000端子)及び大規模ファイル(8,000端子～16,000端子)の3種類のファイルを用意している。

* 日立製作所戸塚工場

的長い状態では，ＴＣＢをＤＲに収容し，ＴＭ使用量の低減を図っている。

(4) 予備ＴＭの有効利用

Ｄ20形では，ＴＭの障害に備えて予備ＴＭを常設している。ＴＭ障害は通常まれにしか発生しないため，この予備ＴＭにＴＭ障害時，処理を打ち切ることが可能な運用関係などの交換機能上必要でないプログラムを格納し，予備ＴＭの有効利用を図っている。

2.2 保守集中機能

保守局と現局との間を障害情報転送装置，及び遠隔制御タイプライタにより結び，保守局のタイプライタからの指令により各種保守運用機能，特に各種装置試験機能を可能にしている。

2.3 プログラムの系列化

Ｄ20形はＤ10形と同世代，同系列の交換機であり，保守の容易化を図るため，基本的なプログラム構成，タイプライタからの指令や出力メッセージのフォーマット，設計書，保守マニュアルなどのドキュメントの書式，並びに各種装置の試験手順などの保守者に対するインタフェース部分は，Ｄ10形に統一している。

3 電話呼のプログラム処理[2),4),5),7)]

3.1 電話呼の図式表現

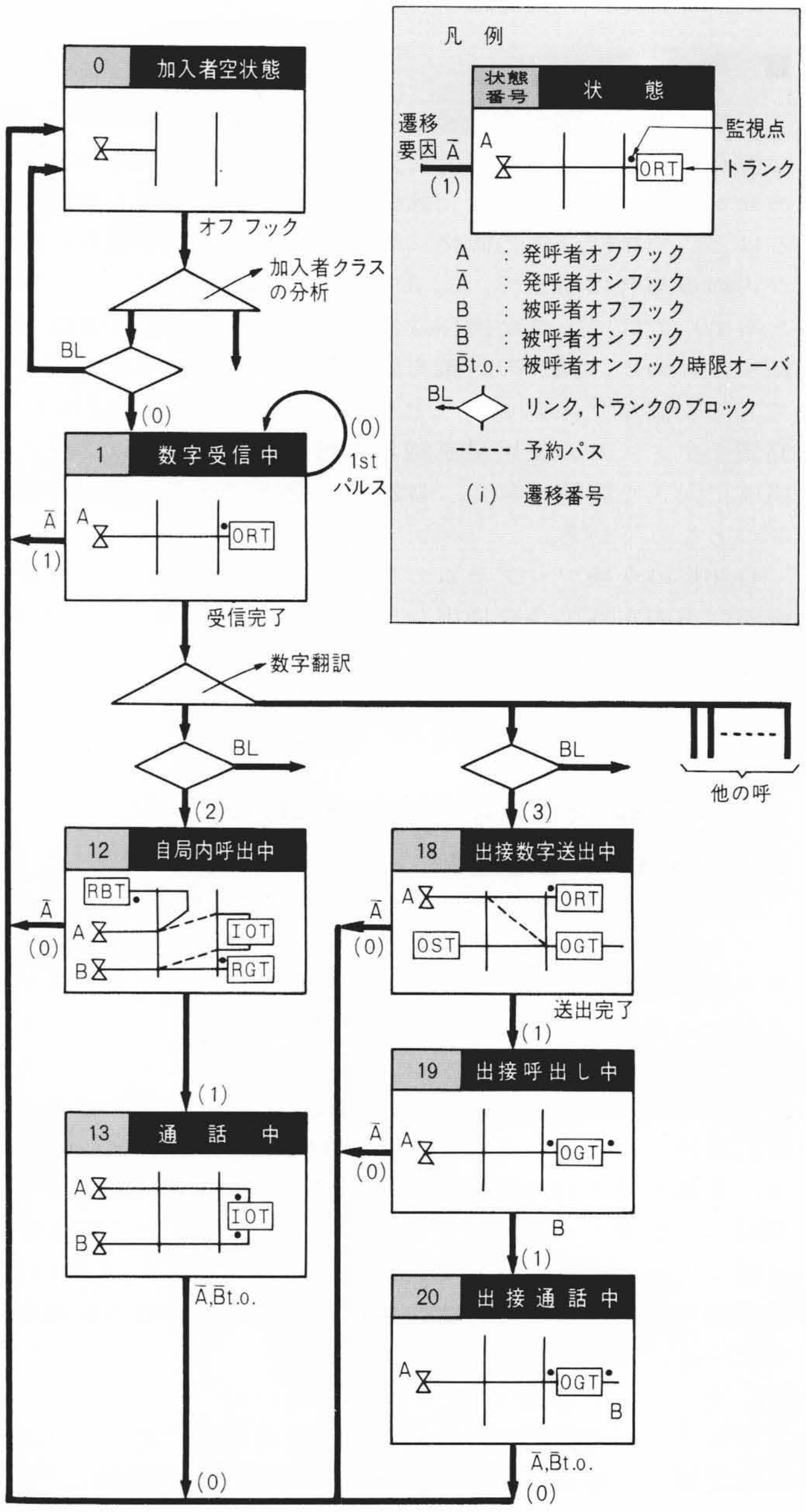
電話交換サービスには，発呼者からのダイヤルにより発呼者と被呼者との間の通話路を接続する一般のサービスから，短縮ダイヤル，コール ウェイティングのような新サービスに至るまで種々ある。これらのサービスを統一的に表現する方法として，Ｄ10形と同様に**図2**に示すような交換機器の接続替えに注目した状態遷移図と呼ばれる図式表現を用いている。

3.2 呼処理プログラムの構造

前述した状態遷移図の特徴は，単に電話交換機能を図式化しただけではなく，プログラムの内部構造もこの状態とその遷移を扱うプログラム群で構成しているところにある。すなわち，**図3**に示すように呼処理プログラムは，状態を遷移させる要因を検出する入力処理プログラム群，検出した遷移要因を分析し，状態を遷移させるために必要な処理を決定する分析プログラム群，状態を遷移させる処理を行なうタスク群及びタスクで作られた通話路に対する制御指令を一括処理する出力処理プログラム群から成る。タスク群は，タスク マクロと呼ばれる単機能化されたサブルーチン群の実行順序とその入力情報を示すデータ テーブル(タスク テーブルと呼ばれる)の集合体である。状態番号と遷移番号から成る，タスク番号は，このタスク テーブル単位に付与されている。タスクの実行は，タスク テーブルを解釈し，タスク マクロを順次実行する形で行なわれる。以上述べた基本的な呼処理プログラムの構造は，Ｄ10形と同じである。しかし，ＴＭ使用量を極力減少させるために，ＤＲに格納するタスクとタスク マクロの収容方法には，Ｄ20形特有のくふうを凝らすことによって実時間性に対する考慮を払っている。すなわち，**図4**に示すように，ＤＲに格納したタスク，タスク マクロは，その個々のプログラム規模が比較的小さいことを利用して，タスクのすぐ後にそのタスクでコールするタスク マクロを収容し，タスクとそのタスク マクロを一緒にＴＭ上のオーバレイエリアに転送させる方法を採っている。

3.3 呼に固有な情報とその収容形式

Ｄ20形でも，Ｄ10形と同様にトランク対応にトランクメモリ（Trunk Memory以下，ＴＲＭと略す）と呼ぶメモリ エリアを割り付け，トランクの選択，捕捉，解放などの制御を行なっている。Ｄ10形では，通話路の情報，加入者クラス情報，その他呼に固有な情報を，ＴＲＭに分散して収容している。Ｄ20形では，このようなＤ10形とは異なり，呼対応にＴＣＢを用意し，これに呼に固有な情報を集中収容する方式を採用している。このように呼の情報を集中収容した場合，ＴＲＭエリアは減少するがかえってＴＣＢエリアが増加し，必要メモリ量は増える。そこでＤ20形では，通話中，呼出し中などの保留時間の長い状態での呼の情報を収容するＴＣＢをＤＲに格納し，全体として必要なＴＭ量の削減を図っている。**図5**にＴＲＭとＴＣＢの構成例を示す。



注：ORT＝発信レジスタ トランク　OST＝出センダ トランク
RBT＝呼出し音 トランク　OGT＝出 トランク
IOT＝自局内 トランク
RGT＝呼出し信号 トランク

図2 電話呼の状態遷移図　本図は電話呼を図式表現したもので，状態遷移図と呼ばれる。

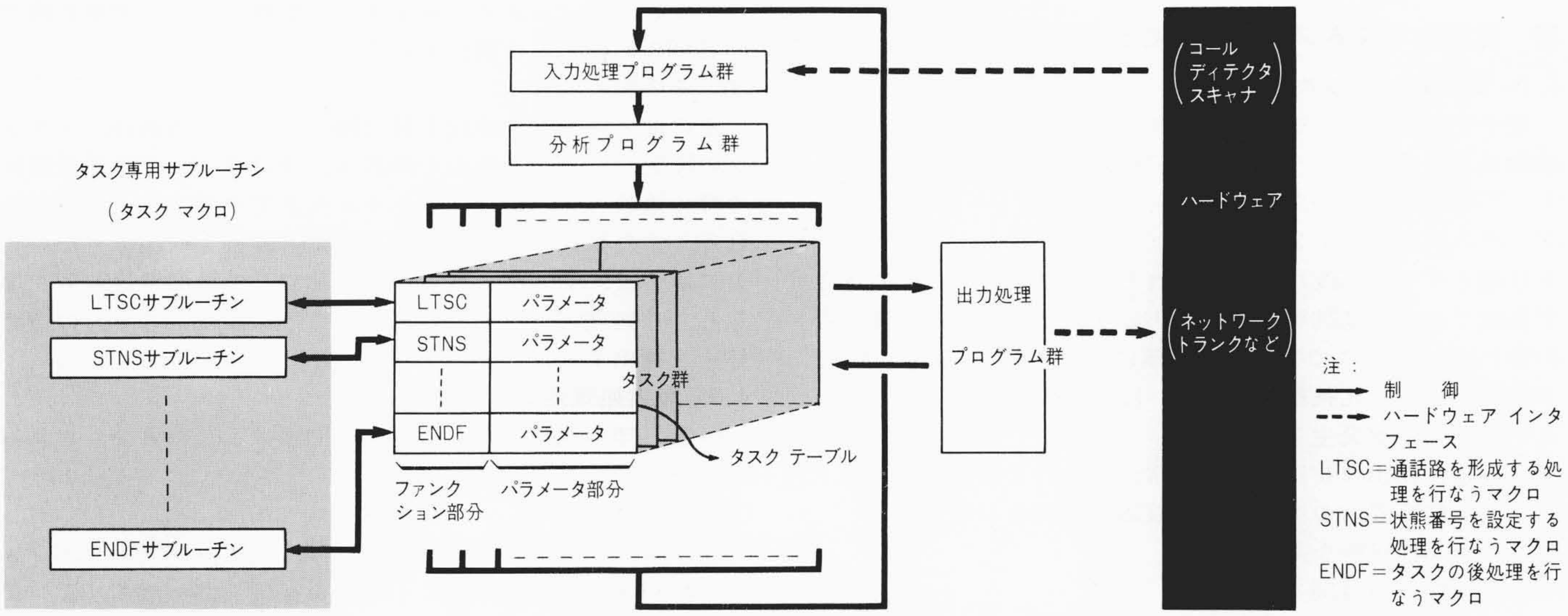


図3　呼処理プログラムの構成　呼処理プログラムの全体構成を示す。呼処理プログラムは，状態を遷移させる要因を検出する入力処理プログラム群，状態を遷移させる処理を決定する分析プログラム群，状態を遷移させる処理を行なうタスク群及び通話路装置の制御を行なう出力処理プログラム群から成る。

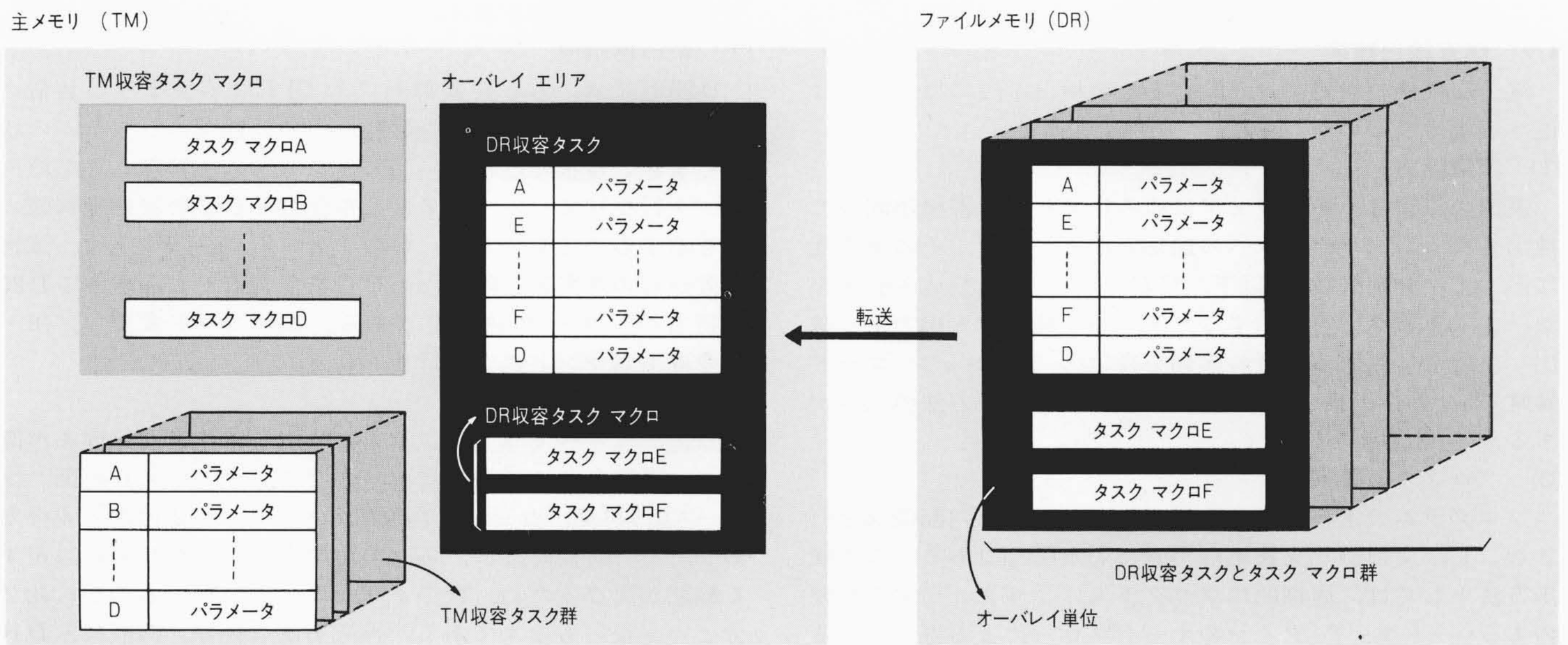


図4　タスクとタスク マクロの構成例　タスク，タスク マクロには，使用頻度からTM収容のものとDR収容のものとがあり，DR収容のものは，タスクとタスク マクロを同一オーバレイ単位の中に展開し，TMのオーバレイ エリアに転送して実行する。

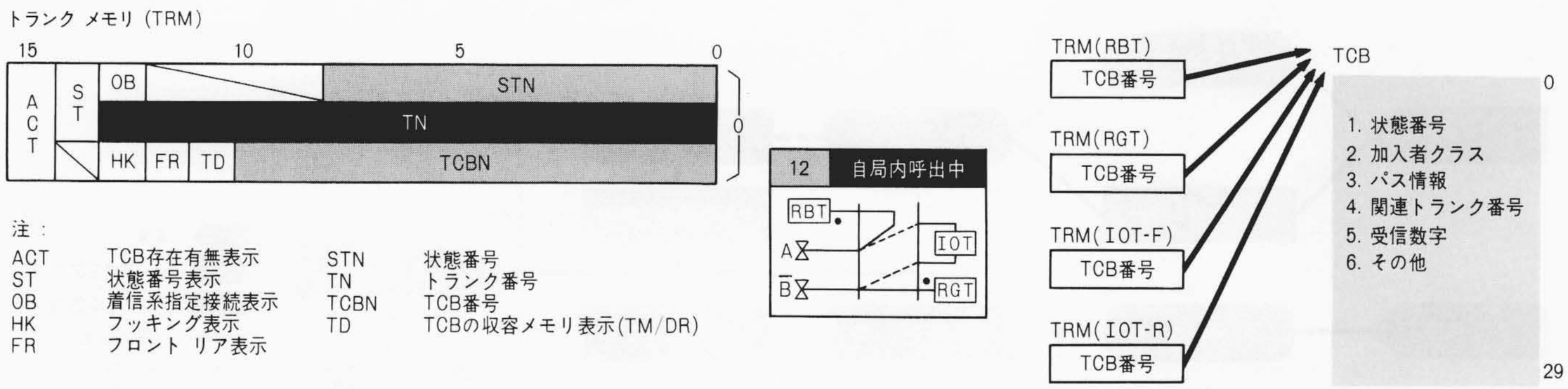


図5　トランク メモリとトランク コントロール ブロックの構成　呼情報の大部分は，トランク コントロール ブロックに集中的に記憶され，トランク メモリにはトランクの選択，閉そく，解放に必要な情報だけが収容される。トランク コントロール ブロックは，トランク メモリからリンクされ，呼の状態によりTM，あるいはDRに収容される。

4 障害に対するプログラム処理[3),4),5),7)]

4.1 障害に対する考え方

電子交換機には，長期の連続運転を維持するために，高い信頼性が要求されるが，D20形ではD10形と同様に，

(1) 不稼動率：1時間以下/20年

(2) 呼の誤処理率：2×10^{-4}以下

を目標とする。高度に集中化された共通制御方式をとる電子交換機では，共通制御装置の障害は交換処理に対して重大な影響を与える。そこで共通制御装置については，二重化や$N+1$予備方式などの冗長構成をとり，障害に備えるとともに，システムに異常が発生した場合，

(1) 異常の検出及び固定的な異常か一時的な異常かの識別

(2) 固定的な異常の場合，障害装置の識別及び切り離し

(3) 交換動作可能な系の再構成

(4) 交換処理の再開

(5) 障害装置の障害箇所探索及び修復処理

といった一連の処理を確実に遅滞なく行なう必要がある。

(1)～(4)までの緊急を要する処理に対しては，障害処理プログラムにより自動化を図り，(5)の処理に対しては，保守者の作業を容易にするため障害箇所を診断するプログラムを備えてこれに対処している。

4.2 障害検出機能

電子交換機の対処すべき障害とその検出手段には，以下に述べるようなものがある。

(1) 装置障害

装置の障害はハードウェアに組み込まれた障害検出回路で検出される。プログラムへの通知方法としては，その重要度に応じて中央制御装置(以下，CCと略称す)に割込み動作をかけて，その原因を表示する方法，通話路系や入出力系に送出した命令に対する装置の起動不良(コンディション コード異常)及び動作不良(ステータス不良)を表示する方法の三つがある。

(2) プログラム障害

プログラムの潜在バグなどにより，メモリの内部破壊を引き起こし，交換機が交換処理不能に陥る場合である。この検出方法としては，周期的にプログラムによりクリアする必要のあるハードウェア タイマのオーバフローによる方法，あるいは一定周期で走るプログラムが起動されているか否かをプログラムでチェックする無限ループ監視や，プログラム内での各種の処理矛盾を検出する方法などがある。

(3) その他の障害

その他に障害検出手段を特に持っていない通話路，トランクの障害がある。これらの障害は，呼処理プログラムで個々の呼の接続の際，動作状態をチェックすることにより行なわれる。また検出手段の異常などにより障害を検出できない場合に備えて，システムから完全に独立した外部監視装置を用意し，呼処理実行状態を監視することによりシステムの機能停止を検出する。

4.3 障害処理用プログラム

障害処理の流れを**図6**に示す。同図に示した各プログラムの処理について以下に述べる。

(1) 障害識別

本プログラムは装置障害の場合に，割込みやコンディション コード異常，ステータス不良によって制御が渡される。そして，異常発生の原因となったCCの命令を探索し，再試行する。何度かの再試行にもかかわらず正常に復さない場合は，固定障害と判定する。CC，TMなどの異常の場合は，緊急動作回路を起動し，正常な処理系の確立を図る。その他の装置の異常の場合は，罹障命令から障害装置を求め系の再構成プログラムに制御を渡す。

(2) 系の再構成

D20形では，ある装置群対応に**図7**に示すような装置の実装状態，障害状態，運転形態，その他種々のシステムの状態を考慮した状態遷移図に基づきシステムを管理し，系の再構成を行なっている。**図7**は二重化したCCの状態遷移図の例を示すものであるが，CCのシステム モードとして，障害装置からの悪影響を防ぐためCCを他装置から隔離するD20形特有のフリーズ モードがある。このモード変更は，モード変更用コマンドにより行なわれる。

(3) 再開処理

障害時はすべて本プログラムを経由して正常な処理を再開する。再開方法には障害状況に応じて，フェーズ0再開，フェーズ0.5再開，フェーズ1再開及びフェーズ2再開の4種があり，その所要時間は，各々の再開方法で初期状態に設定する範囲が異なるため，数十ミリセコンドの短いものから約2分という長いものまである。再開方法の種類，機能は，D10形とほぼ同じであるが，D20形ではプログラム用一次記憶メ

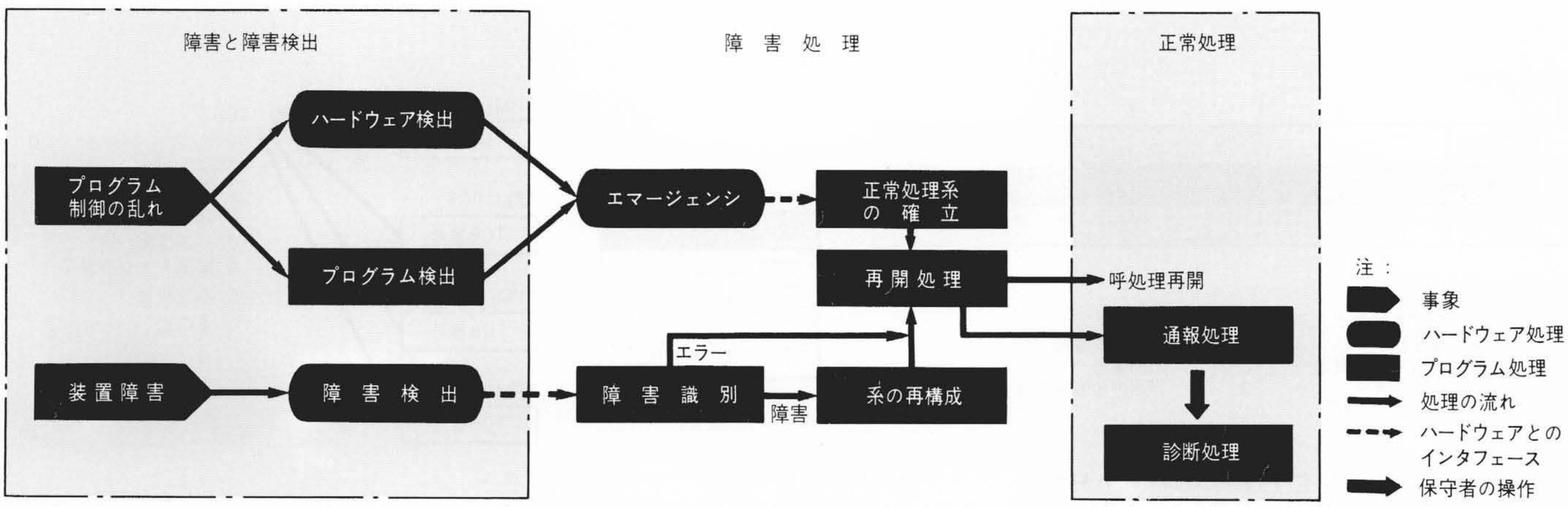
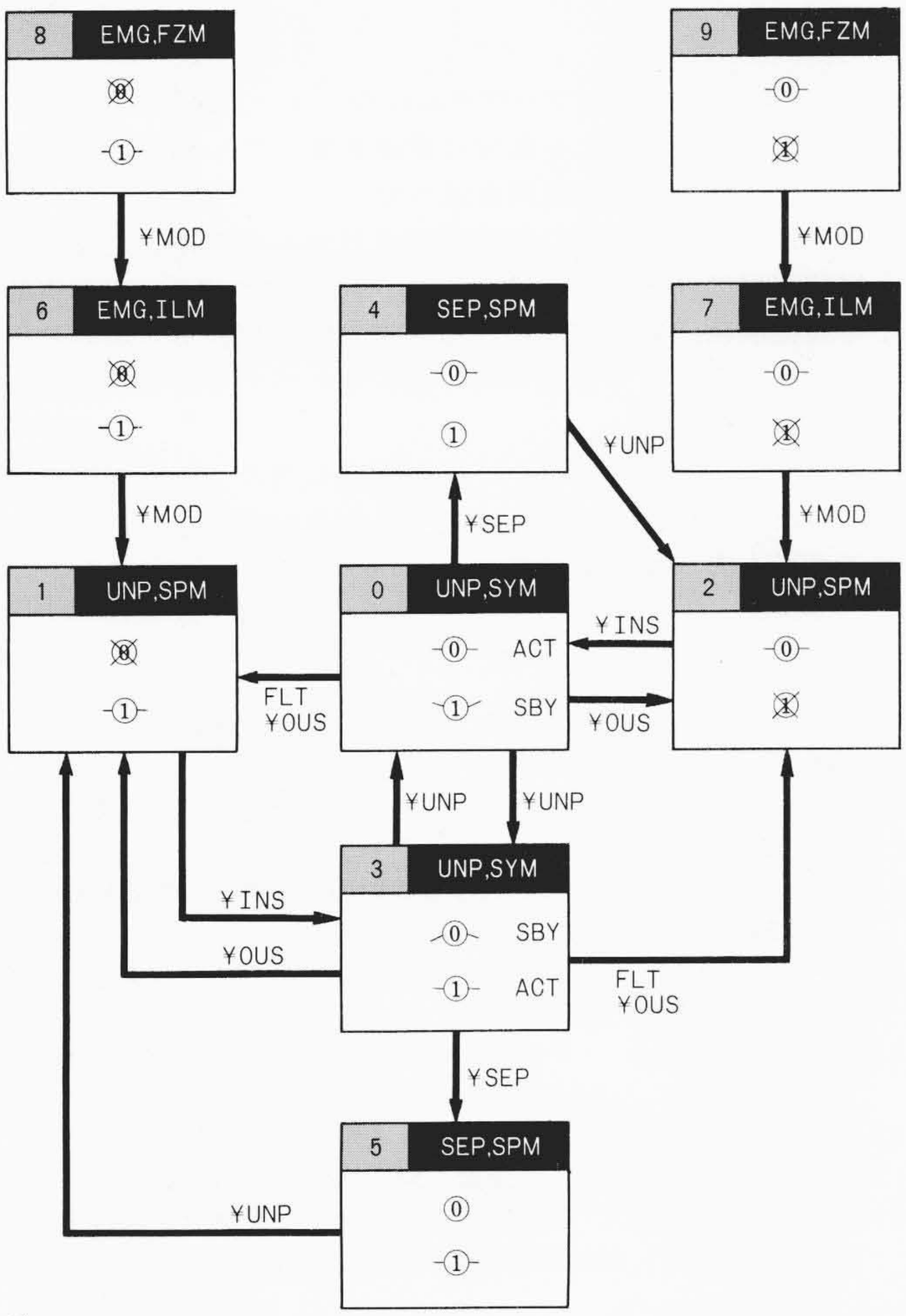


図6 障害処理の流れ　障害を検出すると障害処理プログラムに制御が渡る。障害処理プログラムは，運転可能な正常系を確立し，呼処理を再開する。この処理の間，呼処理は中断する。



注：

FLT	障害発生を示す	⓪ 0系の中央制御装置	EMG＝エマージェンシ
¥MOD	システムモード変更コマンド	① 1系の中央制御装置	FZM＝フリーズ モード
¥OUS	装置をシステムから切り離すコマンド	⊗ システムから切り離されている状態	ILM＝アイソレーション モード
¥INS	装置をシステムに組み入れるコマンド	ⓘ オフラインに割り当てられた中央制御装置	UNP＝ユニ プロセッサ
¥UNP, ¥SEP	運転モード変更コマンド	ⓘ ACT側の中央制御装置	SPM＝セパレート モード（CCの運転形態）
		ⓘ SBY側の中央制御装置	SEP＝セパレート
			SYM＝シンクロナス モード（CCの運転形態）
			ACT＝現用
			SBY＝予備

図7　装置管理用状態遷移図　本図は中央制御装置の状態遷移図を示したものである。状態は，コマンドあるいは装置障害の系変更要因により矢印の方向に遷移する。系の再構成プログラムでは，各装置対応にこのような装置管理用状態遷移図を設けて，装置の管理を行なう。

モリとしてICメモリを使用しているため，半固定記憶メモリを使用しているD10形と異なり，このメモリを初期設定するフェーズ3再開はない。

(4)　正常処理系の確立

緊急動作回路が起動されるとハードウェア動作により，CC，TM各1装置の組合せを選択し，緊急処理用プログラムをDRからTMに読み上げる。緊急処理用プログラムによりハードウェア チェックを行ない，正常であれば，交換処理に必要なTMをすべてCCに接続し，処理系の確立を行なう。ハードウェア チェックの結果，異常を検出した場合は緊急動作回路を起動し，この処理を繰り返す。

以上が障害に対するプログラムの処理概要である。このほかに交換機保守の立場から，障害状況のタイプアウトや警報送出を行なう通報処理がある。

4.4　診断プログラム

装置の障害箇所の探索及び装置修復確認の作業を簡単にして保守者の負担を減らすため，装置診断を行なう機能をプログラムで用意している。診断プログラムはタイプライタからの指令により起動され，診断終了後診断情報をタイプライタに出力する。保守者は診断情報に基づき，診断辞書を索引し，障害部分を識別する。

診断プログラムの性能として，(1)分解能は装置単位，(2)適中率は80％以上を目標としている。

5 運用のためのプログラム[4)]

加入者にサービスを提供し，局を運営していくためには以下の機能が必要である。

(1)　監視機能

交換機の動作が正常に行なわれていることを監視し，各種情報の収集を行なう。

(2)　保守機能

通話路のトランク，走査装置などの端末装置を試験する。

(3)　運用機能

加入者の要求に応じて電話機の取付け，撤去などのサービスの変更及び料金情報，トラヒック情報などの収集を行なう。

(4)　増設機能

トラヒックの増加に伴うネットワーク，トランクなどを増設する。

これらの機能は，タイプライタから投入する「コマンド」と呼ばれる動作指令により起動される運用プログラムによって実現される。これらのプログラムの大部分は，DRに格納され，オーバレイ エリアに読み出されて実行される。その際，オーバレイ エリアを長時間保留する。D20形ではこれらのプログラムが，呼処理用オーバレイ エリアを長時間保留して呼処理に悪影響を与えることを防ぐと同時に，DRからTMへプログラムを転送する能率を良くする目的で，呼処理用とは別に予備TM上にオーバレイ エリアを設けている。TM障害発生時には，予備TMオーバレイ エリアで実行するプログラムは実行不可能となるため，交換機能の一部を削除した形で交換機を運転することになる。このような場合を考慮して，交換機能上必要でないプログラムを予備TMオーバレイ エリアで実行するプログラムとして割り当て，運用上支障のないよう配慮している。

その他，D20形ではD10形で電けん操作とコマンド併用により実現していた各種トランクの試験機能をコマンドだけで実現し，タイプライタからの保守運用機能の充実を図っている。その結果，保守局のタイプライタからのコマンド指令によって，現局の保守をすることを可能にしている。

6　D20形用交換プログラムの性能

表1にD20形用交換プログラムの性能を示す。

7　サポート システム[6),7)]

交換プログラムの作成，ファイル管理などの業務のために以下に示す機能をサポート システムで用意している。

(1)　アセンブラ機能

アセンブラ言語で書かれたソース プログラムをオブジェクト モジュールに翻訳する機能

(2)　リンカー機能

オブジェクト モジュール，ロード モジュールの編集及び結合によりロード モジュールを作成する機能

表1 D20形交換プログラム諸元 D20形交換プログラムの規模，適用領域など，システムとしての主な性能を示す。

項番	項目		内容
1	システム規模（ソース ステップ）		約170Kステップ
2	適用階梯		加入者線交換（LS）
3	適用規模*	小規模ファイル	1,000端子～3,000端子
		中規模ファイル	3,000端子～8,000端子
		大規模ファイル	8,000端子～16,000端子
4	メモリ装置数**	小規模ファイル	TM3＋1***，DR1
		中規模ファイル	TM5＋1，DR1or2
		大規模ファイル	TM7＋1，DR2

注：* 加入者端子呼量：0.05アーラン
** 1TM 8K語，1DR 512K語
***予備TMを示す。

(3) ソース モジュール(以下，SMと略す)アップ デート機能

交換プログラムの機能追加，修正などによる変更をSMの修正により可能にする機能

(4) 局データ作成機能

ある限られた局データ原票の入力により自動的に局データを作成する機能

(5) オート フロー機能

SMから自動的にプログラムの設計書として使用する詳細フローチャートを作図する機能

これらの各機能は，D10形用サポート システムとの共存を配慮して作られており，D10形と同じオペレーティングシステムのもとで動作する。

8 結言

以上，D20形の交換プログラムについて，D10形と比較し，D20形の特徴と思われる部分に重点を置いて，一般的な考え方とプログラムの構成概要を述べた。

本交換プログラムは，昭和51年6月から日本電信電話公社中軽井沢局でサービスを開始した。本交換プログラムの基本的な処理構成は，現在開発中の市内市外併合交換システムに引き継がれ，今後多くの商用局に導入されていくことが期待される。

終わりに，本交換プログラムの開発に当たり，御指導をいただいた日本電信電話公社の関係各位及び関係各社に対し，深謝の意を表わす次第である。

参考文献

1) 楠，山本ほか：「DEX-A11電子交換方式」，研究実用化報告，**23**，5，767（1974）
2) 山本，吉田ほか：「DEX-A11方式の呼処理」，研究実用化報告，**23**，5，857（1974）
3) 中山，小山ほか：「DEX-A11方式の障害処理」，研究実用化報告，**23**，5，871（1974）
4) 道家，梅田ほか：「D10電子交換機の交換プログラム」，日立評論，**54**，1018（昭47-11）
5) 稲益，飯野ほか：「D20形自動交換機」，施設，**27**，9，83（昭50-9）
6) 橋本，村瀬ほか：「商用期における電子交換用プログラムのサポートシステム」，日立評論，**54**，1024（昭47-11）
7) 玉木，道家ほか：「D10電子交換機標準プログラムの開発」，日立評論，**57**，955（昭50-11）

論文抄録

実時間制御と多重処理

日立製作所 伊藤和男

電子通信学会誌 58—11，618（昭50-11）

通信システムを情報処理という観点よりとらえた場合，(1) 多数の入力源(端末)がある，(2) 入力源よりの処理要求(呼)がランダムに発生する，(3) 処理に許容される時間(応答時間)が短いなどの特徴があり，これらの条件を満たすために，高度の多重処理(multi-processing) 及び実時間制御(real time control) 技術が必要である。

通信呼の生起から復旧までの過程は，幾つかの状態(phase)に分けられ，状態の遷移は，主として端末からの信号によって引き起こされる。中央制御装置において，状態遷移に伴う処理を複数の呼に対して時分割的に行なうために，呼処理プログラムを処理単位ごとに独立した構成(task)とし，待ち行列(queue)から取り出された一つの処理要求に対応するプログラムの実行が終わると，引き続いて別の処理要求を受け付ける構成がとられる。一方，通信システムでは，外部からの処理要求に対して，極めて短い許容時間内に処理を終了し，応答する実時間性が要求される。これを実現するために，処理要求に優先度をもたせ，優先度の高い処理要求が発生すると，それまでの処理を中断して実行する割込み処理方式，あるいは，ある時間周期で監視プログラムを走らせ，処理要求を検出し実行する，のぞき込み処理方式が用いられる。

通信システムにおける多重処理と実時間制御とを実現するためのプログラム構成をモデル化すると，ハードウェア割込機構，優先レベル プログラム群，非優先レベル プログラム群及び両レベル間の引継ぎのための待行列の有機的結合で表現される。実時間性の厳しい優先レベルのプログラムは，短時間に多くの処理要求をさばかねばならないので，実時間性の厳しい必要最小限の処理だけ行なう機能にとどめ，残りの処理は非優先レベルプログラムに任せる。非優先レベル プログラムは，優先度制御方式，頻度制御方式などにより管理される。

通信システムでは，プログラム間に密接な関連があり，そのために種々の問題が発生する。優先レベル プログラム，非優先レベル プログラムで共通に参照するデータでのレベル間相互干渉の問題，多重処理を行なっているために，一つの呼から異なった処理要求がほぼ同時に発生する競合の問題，トラヒック変動による一時的な過負荷の問題などがその例である。プログラム設計では，これらの防止策が必要である。

プログラムの実行時間は，中央処理装置の速度とプログラムの実行ステップ数で決まる。通信システムでは，メモリ量の増加という代価を払っても，タスク プログラムを専用ルーチン化し処理能力を上げることもあるが，一般には両者のトレード オフの問題となる。廉価大容量メモリを使用したオーバ レイ方式も有力な武器である。

実時間システムの価格/性能はソフトウェアとハードウェアの機能配分に負うところが大であり，今後の大きな課題である。