

全蓄積プログラム電子交換機についての一見解

A View of the Full Stored Program Electronic Switching System

中 野 富 士 雄* 江 森 五 朗*

Fujio Nakano Gorô Emori

小 野 瀬 一 志* 白 須 宏 俊*

Kazushi Onose Hirotoshi Shirasu

要 旨

全蓄積プログラム電子交換機は、機能の融通性、保守運用の合理性、大局での経済性などで在来の自動交換機になかった多くのすぐれた特長をもっている。DEX-2 電子交換機はこのタイプに属し、汎用電子計算機に類似した中央処理系と空間分割 8 段接続クロスバスイッチによる通話路系より構成されている。蓄積プログラムによる通話路系の制御は CC による徹底した時分割的集中制御であり、高度の信頼性が要求される。

1. 緒 言

自動電話交換機は、従来主としてリレー、上昇回転スイッチ、クロスバスイッチなどのいわゆる電磁部品または機構部品で構成されていた。電磁部品、機構部品には本質的に振動、摩耗、雑音などの問題があり、これをいわゆる電子部品に置換する試みは戦前から行なわれていたが、経済性、信頼性そのほかの理由で長い間実用化には至らなかった。しかるに近年半導体技術の進歩によって、ようやく実用化の見通しが得られる情勢となってきた。最近の電子交換機実用化の意義を認識するうえで重要なことは、構成部品が電子化されることのほかに、方式として蓄積プログラム方式すなわち計算機制御の形が有利とされ、情報処理機としての性格を有するようになってきたことである。本論文は本方式の概要紹介とその意義についての見解を述べたものである。なお日立製作所における最近の電子交換機の研究実用化作業は昭和 39 年より日本電信電話公社電気通信研究所、日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社との 5 社共同研究で行なわれている。

2. 蓄積プログラム電子交換機の特長

電磁系交換機の時代においても、さまざまなタイプの自動交換機が考案されかつ実用に供せられたが、電子技術が応用されるに及んではいっそう多様の方式が可能となった。これらを、制御形式、通話路形式、論理形式で分類すると次のようになる。

- | | | |
|---------------|---|-----------------|
| (1) 制 御 形 式 | { | 段 々 式 |
| | | 共 通 制 御 式 |
| (2) 通 話 路 形 式 | { | 空 間 分 割 式 |
| | | 時 分 割 式 |
| (3) 論 理 形 式 | { | 蓄 積 プ ロ グ ラ ム 式 |
| | | 布 線 論 理 式 |

実際のシステムはこれらの組合せまたはその中間的な存在として位置づけすることができる。

電磁系交換機は制御形式のみで分類されており、電子交換になって初めて制御形式と通話路形式で分類される。ついで制御に電算機思想がとり入れられると、さらに論理形式による分類が追加された。蓄積プログラム式があらわれる以前においては、すべて交換機に与えられる機能は論理回路の構成によって実現されていたが、蓄積プログラム式においては電子計算機と同様に、機能はプログラムおよびデータの形で記憶装置内にたくわえられ、処理装置が逐次これを読み出し実行する形態をとっている。この方式は在来の布線論理式に比べ右記にあげるような多くのすぐれた特長を有する。なお

* 日立製作所戸塚工場

蓄積プログラム式には全蓄積プログラムと部分蓄積プログラムとがあるが、ここでは前者についてのみ述べる。

2.1 豊富な機能の付与が可能であること

蓄積プログラム式では、制御される通話路系が ON/OFF に対応するきわめて基本的な動作を行なう素子で構成され、それらの素子の状態イメージが一時記憶装置内に記憶される。中央処理装置は通話路系の走査結果と状態イメージとをつき合わせて情報処理を行なった結果に基づいて通話路系構成素子の動作を行なう。したがって、中央処理系ではきわめて豊富な情報量に基づいた自由度の大きな交換処理が可能となる。たとえば、通話路のつなぎかえや予約も容易であり、高度な加入者サービスや合理的な保守運用手段が可能となる。

2.2 機能の変更が容易なこと

布線論理式自動交換機では、交換機の機能は布線または機構により決められ、機能を変更するには布線や部品の変更が必須である。若干の自由度を与えるためにジャンパフィールドを設けてあるが、変更しうる機能範囲は限られたものであって、その変更さえも少なからぬ作業量を要した。特に課金制度、番号計画、中継線計画などに対する変更要求が設計条件をはずれたものであると、装置に対する変更作業はぼう大となり、ある場合には実際問題として不可能となる。これは自動交換機というものが一種の情報処理装置であることから考えると、大変制約の多い不便な装置と言わざるをえない。蓄積プログラム式になると、機能変更はほとんど記憶装置に収容されているプログラムおよびデータの書き替えのみで可能となり、きわめて融通性に富むものとなる。機能の変更が容易ということは、また異なる機能の交換機に対して同一のハードウェアで満足でき、たとえば市内交換機と市外交換機に対して同一の中央処理系を用いプログラムの変更だけで対処しうることになる。

2.3 障害処理の自動化

一般に多数の電子回路を用いた装置の障害を人手によって探索するのは困難な作業である。このため制御系が布線論理の場合には、MDT が大となり、二重化してもシステム全体の信頼度を良くすることはできない。蓄積プログラム式においてはプログラム制御技術により障害装置の切りわけ、障害装置内障害位置診断などが可能となるため、MDT が短縮されシステムの信頼度が向上すると同時に、保守作業が自動化され合理化が可能となる。

2.4 運用体系の合理化

前述の付加機能には、加入者サービスのみならず交換機の運用に関するものも含まれる。課金に関しては従来の度数計方式をやめ、磁気ドラムに蓄積した課金データを定期的に磁気テープなどの媒体にとり出すことにより、以後のデータ処理とのインタフェースが合理化される。また詳細課金との親和性もよい。トラヒック測定に関

しては、従来不可能であった詳細なデータの測定が可能となり、しかも測定作業そのものが自動化される。そのほか加入者変更に伴うジャンパ替えが、タイプライタ操作で可能になる利点も大きい。

2.5 工事試験の合理化

布線論理式では本質的に工事布線、工事ジャンパが多く、その作業と試験に大きな作業量を要した。蓄積プログラム式では布線量が極度に減少するほか、試験プログラムによる自動試験が可能になるため、作業量の減少と同時に徹底した自動つづし試験の実施によって高品質の工事が可能となる。同様のことが、社内における製品試験についてもあてはまる。すなわち論理がソフトウェア化されたためのハードウェア自体の簡素化とプログラム試験によって、高品質のハードウェアを供給することが可能となる。

2.6 大局では経済的であること

電子部品は電磁部品と比較して、論理回路素子としては依然高価である。しかしその高速性を利用して多重使用を高度に行なえば経済的となりうる。一方記憶素子としては、磁気ドラム、コアメモリなどの大容量メモリのビット価格はリードリレーのような電磁記憶素子より安価である。また回路を布線で組むということは論理シーケンスあるいはデータを装置内に永久記憶することを意味し (logic in circuit)、プログラム、データを半固定記憶装置内に記憶すること (logic in memory) と機能的には等価であり、半固定記憶素子の価格いかによっては、論理素子と同様多重利用効果とあいまって経済性につながることになる。たとえばクロスバのトランスレータ、ナンバグループは半固定記憶装置に経済的に収容される。電子交換機を経済的に構成するためには、以上述べた高速素子の多重利用、大容量メモリの利用、logic in memory の思想を押し進める必要があり、これを最も洗練された形で具現化したものが蓄積プログラム方式にはかならない。以上の効果は交換機が大容量になるほど顕著であり、将来蓄積プログラム電子交換機は数千回線以上でクロスバ交換機より経済的になるものと期待される。

このように多くのすぐれた特長があるため、最近では電子交換機導入の意義は単なる構成素子の電子化ではなく蓄積プログラム方式の導入にあるとされるに至った。なおわが国では通話路形式としては、時分割式は将来の方式とされ、空間分割では現状では ON/OFF 特性のすぐれた金属接点が有利とされている。これは厳密に言えば半電子交換機であるが、世界的にもこの方向に向かっている。

3. DEX-2 電子交換機について

DEX-2 電子交換機は室内実験機 DEX-1 に引き続き現場試験用として開発されたものである。DEX-1 と同じく空間分割形全蓄積プログラム方式を採用しているが、設計にあたってはわが国独自の技術が随所に織り込まれている。製造4社により二式製造され、都内牛込局と電気通信研究所に本年2月納入据付を完了し、現在プログラムのオンラインデバッグが進行中である。なお日立製作所は通話路系制御装置、トランク、メタルカード形半固定記憶装置、磁気ドラム、高速磁気テープ、I/O 系プログラム試験装置などを製作した。前頁の方式図は DEX-2 電子交換機の構成を示したものである。

図において中央処理系装置および入出力系装置は、汎用ディジタル形電子計算機に似た構成をとっているが、通話路系制御など交換機としての特殊な機能を具備している。CC は PM に収容されたプログラムを一命令ずつ読み出して逐次実行し、PM、MD 内の半固定データおよび書き替え可能な TM 内の一時データを処理しながら、電話交換機としての情報処理作業を行なう。PM は電子交換機特有のもので、経済性とプログラム保護を目的に安価な大容量ランダムアクセスメモリ (メタルカードメモリ) を使用している。CC の命令実行時間は、PM、TM のサイクルタイム 2 μ s と CC 内 IC の遅延

表1 交換処理における各種処理装置の比較(時間は μ s)

機 能	機 種	重 み Ⓜ	DEX-2		HITAC 8500		IBM 360/60	
			実行時間	× Ⓜ	実行時間	× Ⓜ	実行時間	× Ⓜ
SUP (1 row あたり)		8	8.0	64.0	16.75	134.0	20.95	167.6
FRM または FLM		1	4.0	4.0	8.31	8.31	11.7	11.7
LOGICAL 演算		6	4.0	24.0	1.8	10.8	3.4	20.4
ARITHMETIC 演算		9	4.0	36.0	1.8	16.2	4.1	36.9
LOAD 演算		25	4.0	100.0	1.8	45.0	2.7	67.5
STORE 演算		13	4.0	52.0	1.8	23.4	2.7	35.1
SHIFT 演算		1	2.5	2.5	3.26	3.26	3.2	3.2
INDEXING 演算		6	4.0	24.0	1.6	9.6	1.4	8.4
COMPARE 演算		2	4.0	8.0	2.0	4.0	2.8	5.6
CONDITIONAL JUMP		9	3.0	27.0	2.1	18.9	4.0	36.0
UNCONDITIONAL JUMP		6	3.0	18.0	2.1	12.6	2.4	14.4
け た 指 定		14	2.5	35.0	6.84	95.76	10.7	149.8
合 計		100.0		394.5		381.83		556.6

時間約 10 ns で決定され、平均約 3.5 μ s である。命令構成は論理演算命令が多くビット演算の融通性が大きいのが特長であり、1 語は 32 ビットより成り最大アドレス長は 19 ビットである。そのほか交換制御のために必要な通話路系入出力命令、走査マクロ命令を有するほか、実時間性と信頼度確保のために時計割込、障害割込、障害識別診断用機能などが完備している点が特異なものである。DEX-2CC と各種汎用コンピュータ CPU とをギブソンミックスで評価すると、平均命令実行時間がやや遅いため必ずしも上位にない。しかしこれを交換処理に着目した重みづけ係数で評価すると表 1 のようになる。表 1 の重みづけ係数は DEX-1 プログラムのダイナミックステップ評価より仮定したものである。表 1 からわかるように SUP (通話路系走査及びアンマッチ検出マクロ) とけた指定の影響が大きい。DEX-2 CC の命令実行時間が全般的に遅いのは、高信頼度の要求から論理スピード、メモリサイクルタイムともに安全をじゅうぶんみているためであり、これをつめることによって (たとえばメモリサイクルタイム 1.5 μ s 以下)、現状の 394.5 を 280 位に向上せしめることは可能と考えられる。

DEX-2 方式が、No. 1 ESS など諸外国の方式に比べて有する独自性で最も大きなものの一つに磁気ドラムの導入がある。従来磁気ドラムは回転体であることから、信頼性を重視する交換機に本格的に採用された例は少ない。しかし最近のオンラインシステムにおける稼働実績から交換機用として使用に耐えたと判断され、かつ浮動ヘッドの開発によって 3,500 万ビットの大容量ドラムが比較的低価格で得られることになった。大容量磁気ドラムの採用によって、加入者はんやくデータ、課金データ、短縮ダイヤル用メモリ、低実時間性プログラム (診断プログラムなど) の収容、システムデータの退避などが可能となり、経済性と同時に書込可能性による機能の飛躍的増大が期待され、その貢献度はきわめて大である。

通話路系装置は LLN, TLN, TRK およびそれらの制御装置から構成される。LLN, TLN は 8×8 機械ラッチ形クロスバスイッチを主体に 8 段接続で構成され、TRK は電流保持形小形リレーによるパタン論理方式をとっている。発呼、ダイヤル、応答、切断などの状態変化は LSCN, TSCN を通して CC の走査で検出されるが、走査周期は実時間性の要求度に応じ、8 ms ないし 200 ms の間に設定されている。たとえばダイヤル情報は 10~20 pps のパルスを検出するために 8 ms 周期を必要とするが、発呼検出はある程度の遅延が許されるので 200 ms 以上となっている。CC が処理を行なった結果として LSC, TSC, SD を通してクロスバスイッチあるいはリレーを動作させる。SCN のサイクルタイムは 4 μ s, SC, SD のサイクルタイムは 12 ms である。

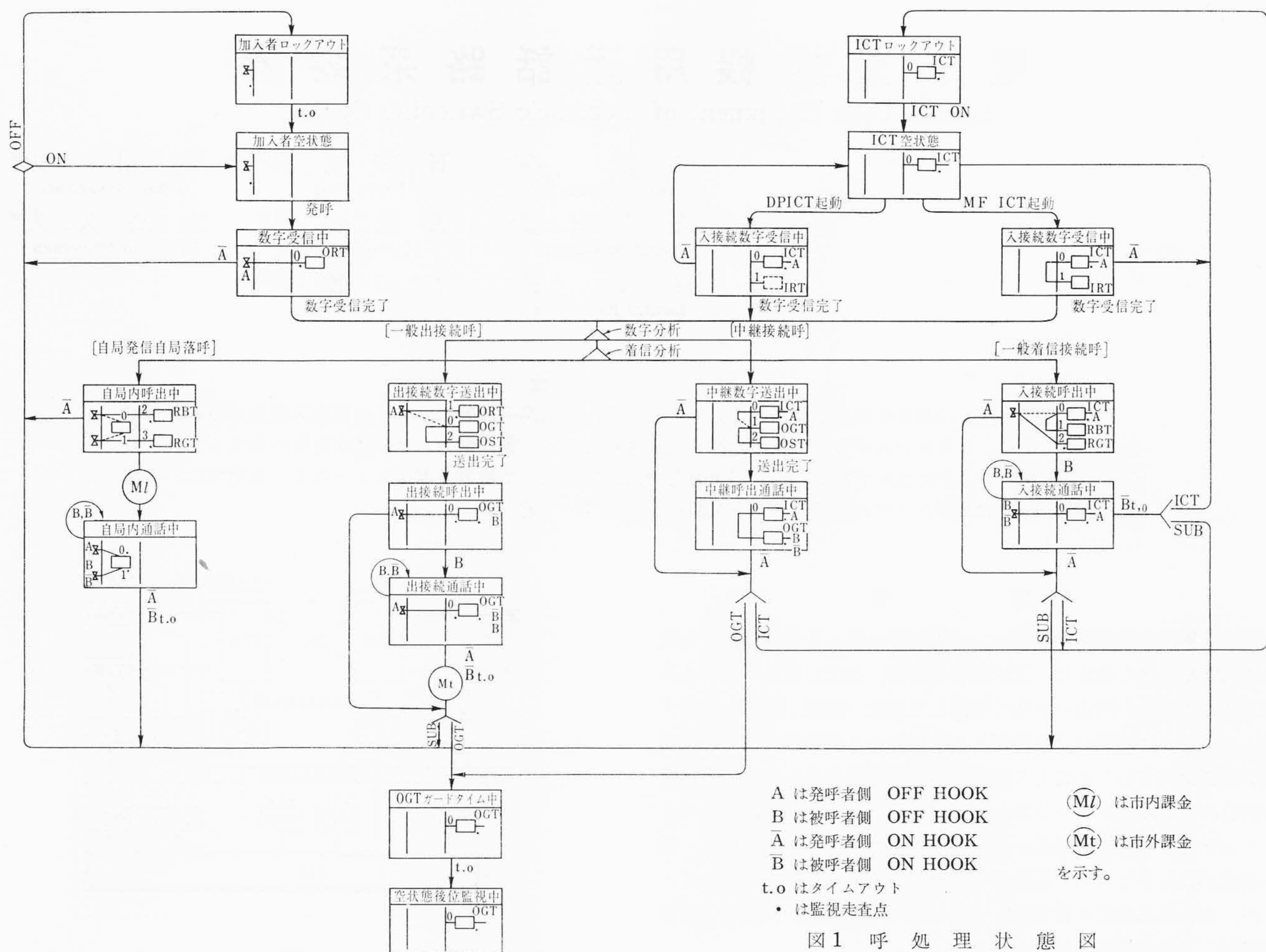


図1 呼処理状態図

4. 蓄積プログラム論理による通話路系の制御

前章で述べたように、CCは定期的に走査プログラムを流して加入者線、レジスタ、センダ、トランクなどの監視点を走査し、ラインの状態すなわち加入者電話機または相手局装置のON/OFF状態を読み取り、これをTM内の各監視点に対応した状態ビットに書き込む。このとき今回の走査結果と前回のそれとを比較して状態変化を検出する。この動作はすべて群処理により高能率に行なわれ、きわめて短時間に膨大な全通話路系装置の状態を読み取り処理要求を検出する。CCは要求発生(状態変化)のあった走査点番号とON→OFF/OFF→ON情報を知ると、走査点番号からライン端子番号、トランク番号を知り、さらに現在TM内にある該装置対応の状態情報を読み出し、要求に応じた情報処理および通話路系装置の動作指示を行なう。動作が終了するとそれに応じて状態変化を生じた関連装置の状態情報を更新しておく。図1は自局内接続、出接続、入接続における接続状態の遷移の概略を示したものである。図1において一つの箱が一つの定常状態を意味し、ラインにON/OFFの状態変化が起こると、それが通話路系装置の動作を要求するものであれば、動作完了によって次の箱に状態遷移する。接続階梯の進行はマクロ的に見れば全共通制御クロスバ交換機の場合と類似しているが、通話路系装置の動作がリレー1個の動作に至るまで完全に集中管理され一式の中央処理系で時分割的に処理されている点が本質的に異なっている。

呼処理プログラムは中央処理系の処理速度を最大限に利用するようにソフト、ハード両面の配慮がなされている。プログラムは入出力処理と内部処理に分かれており、加入者線監視走査プログラム以外の入出力処理は実時間性がきびしいので所定の走査周期を確保するため4msごとの金物によるクロック割込で起動され実行される。

実時間性のきびしくない(遅延の許される)内部処理プログラムはクロックレベルプログラムが優先的に実行した時間の余りで実行される。これはベースレベルと呼ばれる。加入者線監視走査プログラムは、新しい発呼を検出するプログラムなので、先行呼優先とトラヒックコントロールの考え方からベースレベルの中でさらに優先度を低くされている。これらのジョブ管理はすべて管理プログラムにより実行される。以上述べた金物とプログラムレベルの配分および時間割付けを適切に行なうことによって、CCの能率を100%まで利用できるよう構成となっている。DEX-2の呼処理プログラム第1版(DEX-200プログラム)によれば、最大処理能力は約30,000回線弱(0.1 erl/l)、総ステップ数は、プログラム本体と4,000回線分のデータを合わせ約140Kステップである。

電子交換機の稼働率目標は在来の電磁系交換機の実績に基づき、40年間の寿命中2時間のダウンタイムとなっている。これは稼働率99.999%に相当し非常にシビアであるが公衆通信の性格から止むを得ないものと思われる。このため二重化構成は必須であり、さらにMDTを短くするため障害識別および自動診断などの技術手段のほか、保守者派遣やとりかえ部品の短時間供給態勢を完備しておく必要がある。

5. 結 言

蓄積プログラム電子交換機はその特長を発揮して将来の自動交換機の主流になるであろう。しかし現時点においては導入の障壁となるものは依然ハードウェアの経済性とソフトウェアの開発であろう。筆者らはさらにこれらの障壁を克服するよう努力してゆきたいと願っている。終わりに臨み日ごろご指導をいただいている日本電信電話公社電気通信研究所、日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社の関係各位に深甚の謝意を表する次第である。