

HITAC 5020 による DEX-1 電子交換機の シミュレーションシステム

DEX-1 Program Simulator by HITAC 5020

道家 浩太郎* 堂 免 信 義**
Kôtarô Dôke Shingi Dômen

要 旨

DEX-1 電子交換機の交換プログラムをデバッグするために、HITAC 5020 によるプログラムシミュレーションシステムを開発した。本システムは、アセンブラ、プログラムシミュレータ、デバグルーチンから構成されているが、さらに擬似呼ジェネレータ、周辺系モデルジェネレータ、周辺シミュレータを含むことが特徴である。これにより使用者は、任意の機器構成の交換機に所望の呼びを発生させた状態で、プログラムのシミュレーションを行なうことができるために、能率のよいデバッグが期待できる。本稿は、特に交換機のシミュレーション機能に重点をおいて解説したものである。

1. 緒 言

DEX-1 電子交換機は日本電信電話公社電気通信研究所と日本電気株式会社、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4社の共同研究によって開発されたプログラム制御方式による交換機である。

電話交換機のプログラム（交換プログラム）は、電話の呼びを処理する呼処理プログラムと、障害時の処理をつかさどる障害処理プログラムに分けられるが、これらはそれぞれ数十K語にも及ぶ大きなプログラムであり、プログラムをいかに能率よく作成するかということは重要な課題であった。

また交換プログラム作成にあたって特に考慮しなくてはならない問題として次のものがあつた。

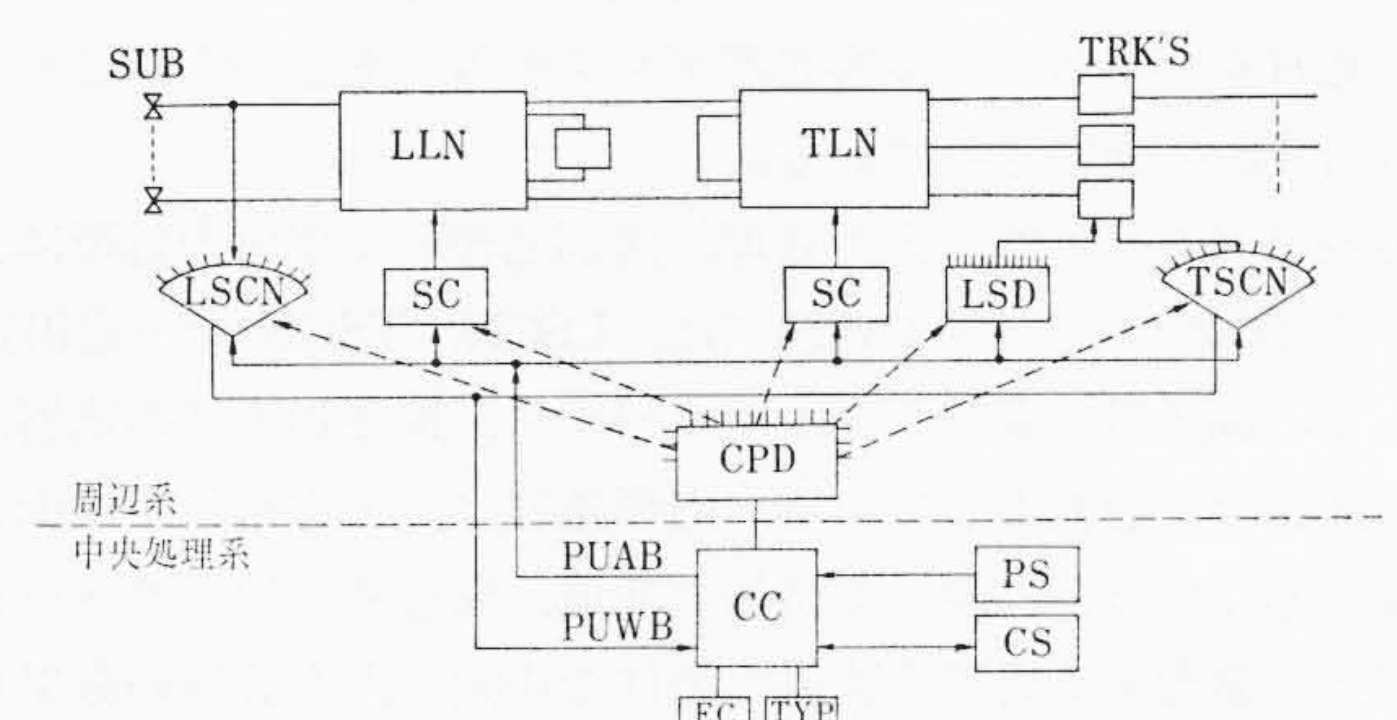
- (1) プログラムはメタルカードメモリを使った半固定記憶装置に記憶されており、いったんこれに収容されたのちには変更は容易ではない。
- (2) DEX-1 は、交換機の運用に必要な入出力用タイプライタが接続されているのみで、デバグ用の入出力機器（磁気テープ、ラインプリンタなど）がないためにデバグが困難である。
- (3) 開発期間を短縮するためにハードウェアとソフトウェアの製造を並行してすすめるので DEX-1 以外の装置でプログラムの作成デバグを行なう必要がある。

以上の諸点を考えてプログラムの作成およびデバグを汎用電子計算機 HITAC 5020 を使用して行なうことになり、DEX-1 電子交換機のシミュレーションシステムを開発した。このシステムは、プログラム作成用のアセンブラを含んでいて、アセンブルされた交換プログラムをシミュレータにかけて、DEX-1 電子交換機の動作を擬似することによってデバグを行なうものである。

システム開発は電気通信研究所ほか4社共同で行なったものであるが、本文は、特に日立が主担当であったシミュレータについて解説するものである。

2. DEX-1 電子交換機の概要

まず、シミュレーションの対象となる DEX-1 電子交換機の概要を説明する。図1はその構成概要を示したものである。



SUB	(Subscriber)	加入者
LLN	(Line Link Network)	加入者線通話路網
TLN	(Trunk Link Network)	トランク通話路網
TRK	(Trunk Circuit)	トランク装置
LSCN	(Line Scanner)	加入者線走査装置
SC	(Switch Controller)	通話路駆動装置
LSD	(Low Speed Signal Distributor)	低速信号分配装置
TSCN	(Trunk Scanner)	トランク走査装置
CPD	(Central Pulse Distributor)	高速信号分配装置
CC	(Central Controller)	中央制御装置
PS	(Program Store)	半固定記憶装置
CS	(Call Store)	一時記憶装置
PUAB	(Peripheral Unit Address Bus)	周辺装置アドレスバス
PUWB	(Peripheral Unit Answer Bus)	周辺装置アンサバス
TYP	(Typewriter)	入出力用タイプライタ
EC	(Engineering Console)	制御卓

図1 DEX-1 電子交換機の構成

2.1 装置の構成

図1に示すように、DEX-1 は周辺系装置と中央処理系装置とに分けられている。

中央処理系は、プログラムの制御をつかさどるCCを中心にして、メタルカードメモリPSとコアメモリCSから構成されている。交換プログラムはPSに記憶されており、逐次CCに読み出されて実行されるようになっているが、処理に必要な一時的情報はCSに記憶されている。またCCには入出力用タイプライタが実装されていて、制御卓ECから制御を受ける。

周辺系は、交換動作に必要な装置から形成されており、通話路網はLLNおよびTLNと呼ぶフェリッドスイッチによるネットワークで、SCによって制御されている。トランクは、機能別に各種のものがあるが磁気ラッチリレーを含んだ回路であり、LSDによって制御されている。また、トランクに接続される加入者あるいは局間中継線の状態はフェロッドを通してTSCNに表示され、CCによって読み取られるようになっている。なお加入者の状態は、LSCNに表示される。CPDは直接CCに接続されていて周辺系の各装置

* 日立製作所戸塚工場

** 日立製作所ソフトウェア工場

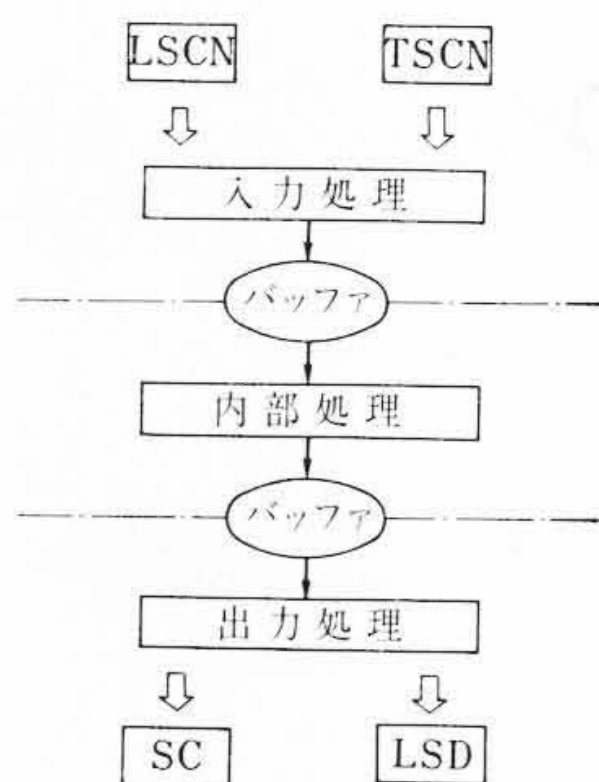


図 2 呼処理プログラムの構成概要

に対してゲートパルスを送出する機能をもっている。周辺装置に対するコマンドは CC からPUAB を通して送出され、また走査装置 LSCN, TSCN の走査結果は PUWB を通して CC に読み取られるようになっている。DEX-1 では、共通装置はすべて二重化されていて、装置障害によるシステムダウンが生じないように考慮されている。

2.2 交換プログラムの構成

交換プログラムは電話の呼びを処理する呼処理プログラムと、障害時の処理をつかさどる障害処理プログラムがあるが⁽⁸⁾、これらはいずれも PS に記憶されている。

呼処理プログラムは、入力処理、内部処理および出力処理に分かれている(図 2 参照)。入力処理では、LSCN, TSCN を一定周期で走査して、加入者の発呼、ダイヤルパルス、被呼加入者の応答、加入者の終話などを検出している。内部処理は、入力処理で検出された内容に応じて呼びに関する情報の変更、周辺系装置のイメージの書き替え、駆動する周辺系装置の動作の決定、出力情報の編集を行なう。これにはたとえば、あきトランクの選択、通話路の選択、受信数字の分析、加入者種別の識別などの機能が含まれている。出力処理では、編集された情報をコマンドとして周辺系装置に送出して通話路網、トランクを動作させ、加入者とトランクとの間の通話路を形成あるいは復旧させる。また他局に対する数字送出の機能もある。以上の各処理は、複数の呼びに対して、並行処理が行なわれている。

障害処理プログラムは、障害識別、接続パターン設定および障害診断に分かれる。障害が検出された場合には、呼処理を一時中断して障害識別プログラムに制御が移される。このプログラムで障害の生じた装置の識別が行なわれ、システムから切り離される。引き続いて接続パターン設定プログラムにより、動作可能なシステムの系を設定して呼処理に制御がもどされる。診断プログラムは、呼処理の合間に実行され、障害装置に対して検査入力を与えて、その検査結果を TYP に印字するようになっている。その結果を保守者が参照して障害箇所を発見する。

現在は上記のプログラム完成後、新サービス用プログラム、保守運用プログラムなどが開発されている。

3. シミュレーションシステム⁽¹⁾⁽²⁾

3.1 機能

システムの設計にあたって次のような方針および機能を設定した。

- (1) システムはカードおよび磁気テープをベースとして運用し、ユーザーの入力データはカードから与える。
- (2) 交換プログラム用のアセンブラを設ける。アセンブラは、ソースプログラムをいったんシミュレーション用入力の形に変換し、最終的には CC の機械語として出力できるようにする。また記号の機械語への変換だけでなく、プログラムのセグメント分割、マクロ命令の定義、擬似命令などの機能

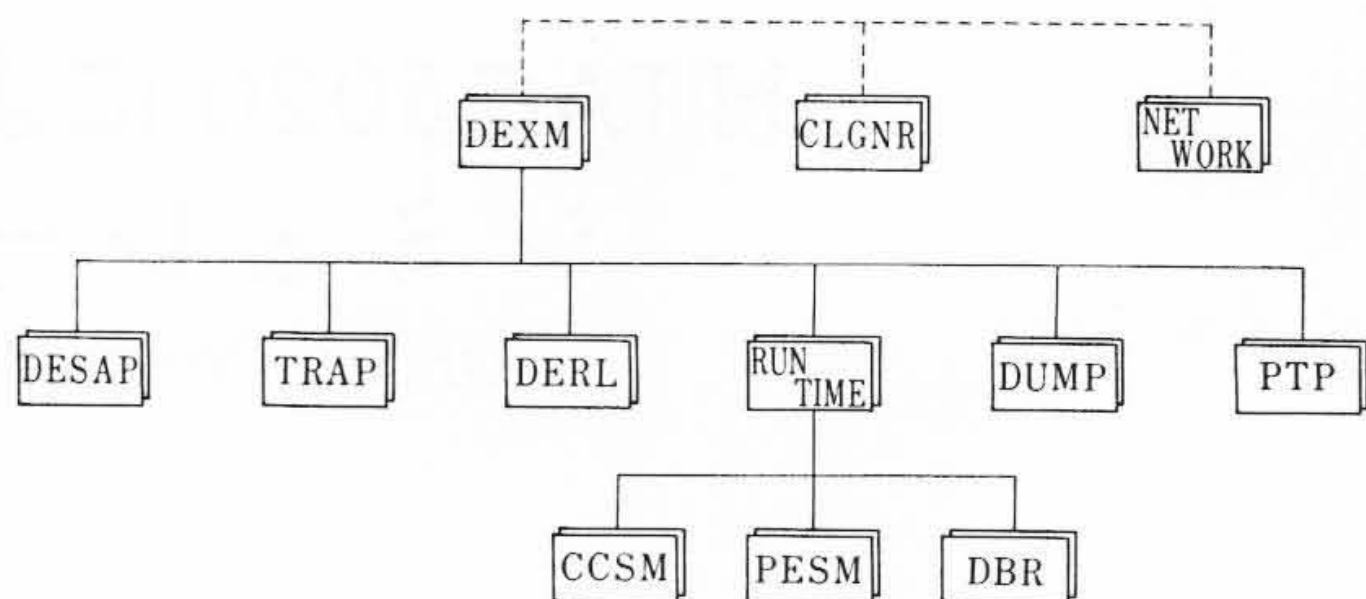


図 3 システムの構成

をもたせる。

- (3) 交換プログラムに付随する多量のデータを機械語に変換する機能をもたせる。
- (4) シミュレータは、CC の命令単位ごとに解釈ルーチンによってシミュレートする形式とする。また 2 重化された CC の動作が擬似できるようにする。
- (5) 交換機の呼びに相当する入力(擬似呼)をユーザーが作成して、シミュレータに供給できるようにする。
- (6) ユーザーが周辺系の機器構成を自由に指定してシミュレーションできるようにする。
- (7) シミュレーション時に、種々のデバッグ情報や命令に関する統計データを収集する。
- (8) 種々のソースプログラムについて、アセンブルあるいはシミュレーションが、任意の組合せで連続して実行できるようなオペレーティングシステムを設ける。

上記のうち特に(5)および(6)の機能は、交換プログラムに特有のものである。

なお使用する HITAC 5020 の機器構成は、次のとおりである。

処 理 装 置	 1 台
コ ア メ モ リ	65 kW
磁 気 テ ー プ	 6 台
磁 気 ド ラ ム	65 kW/台×8 台
ラインプリンタ	 1 台
カードリーダー	 1 台
カードパンチ	 1 台
コンソールタイプライタ	 1 台

3.2 構成⁽⁴⁾

図 3 は作成されたシステムの構成を示したものであり、全システムは HITAC 5020 のシステムモニタの制御下におかれている。

次にシステムを構成している各プログラムの機能概要を説明する。

(1) DEXM (DEX-1 Monitor)

以下に述べる(2)から(10)までのプログラムを総括し、連続ジョブを遂行するためのオペレーティングシステムで、カードによる制御命令およびタイプライタからの制御命令を処理する。

(2) DESAP (DEX-1 Symbolic Assembly Program)⁽³⁾

交換プログラム用のアセンブラであり、DESAP 言語で書かれたソースプログラムをカードから入力して、リロケートブルなオブジェクトプログラムに変換して、磁気テープに出力するプログラムである。またデバッグ用擬似命令のアセンブルを行ないデバッグテーブルを作成する。

(3) TRAP (Translation Data Assembly Program)

交換プログラムに付随した各種のデータ(加入者情報、翻訳データ、変換表など)を原票の形でカードから入力して、DESAP の出力と同じ形式のオブジェクトデータを得るプログラムである。

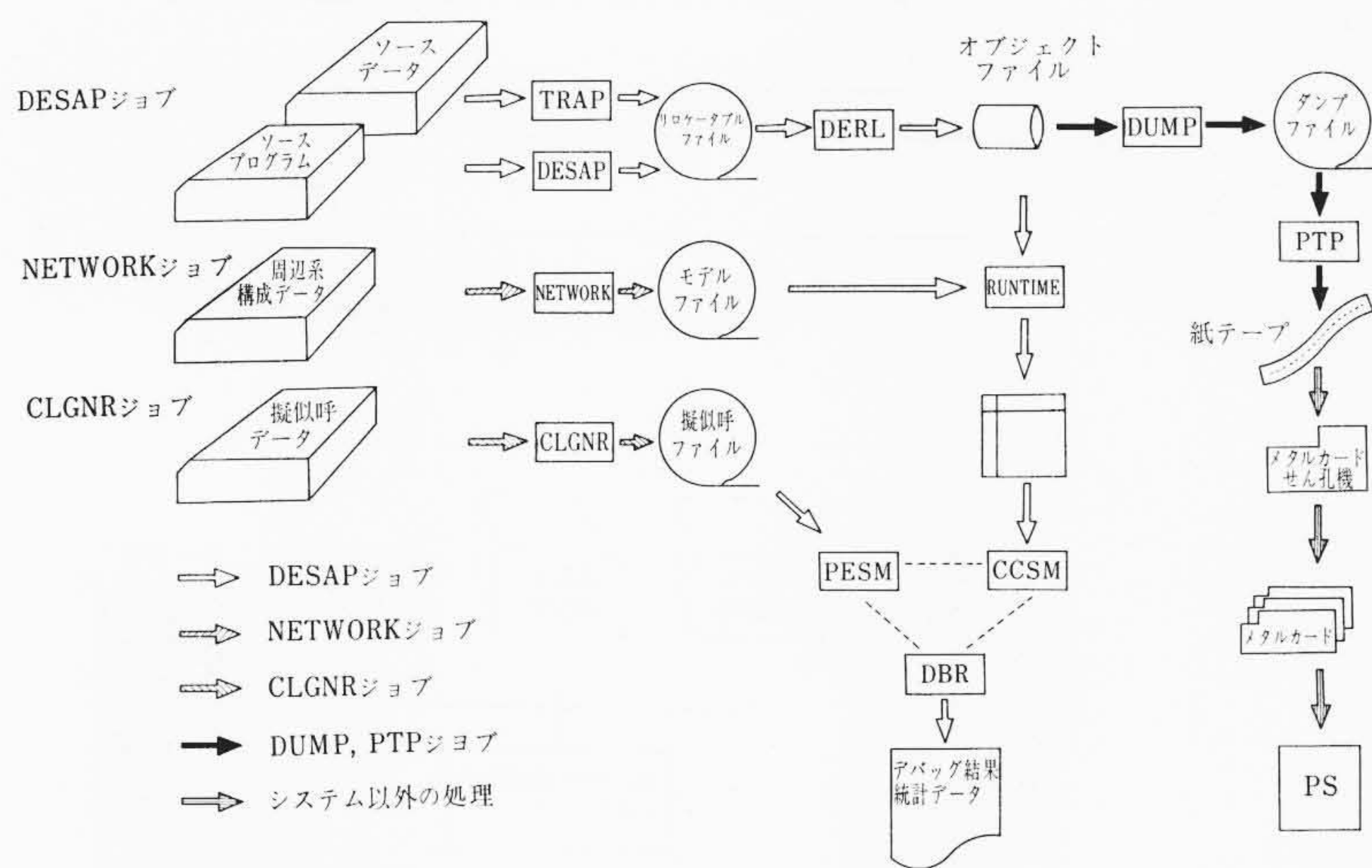


図4 システムのジョブの流れ

(4) DERL (DESAP Relocatable Loader)

DESAP および TRAP でアセンブルされたリロケートブルなプログラムを磁気テープから入力して絶対番地に変換して、磁気ドラムに格納するプログラムである。磁気ドラムはシミュレータで DEX-1 の擬似メモリ領域として使用される。

(5) RUNTIME (Run Time Monitor)

シミュレーション実行時に必要なオブジェクトプログラムまたはデータを、セグメント単位に磁気ドラムからコアメモリへロールインし、あるいは不要なセグメントをコアメモリから磁気ドラムへロールアウトするための制御プログラムであり、DEXM の一部分として作成されている。

(6) CCSM (CC Simulator)⁽⁶⁾

コアメモリにロールインされたオブジェクトプログラムについて、CC 命令をインタプリタによってシミュレーションするプログラムである。命令ごとに時間の計測、ひん度統計をとることができる。

(7) PESM (Peripheral Simulator)⁽⁷⁾

周辺系動作をシミュレートするプログラムであって、CCSM で周辺命令をデコードした場合に制御をもらう。擬似呼をシミュレーションする機能がある。

(8) DBR (Debugging Routine)

シミュレーション中 CCSM でデバッグ命令をデコードした場合に制御をもらい、デバッグテーブルの情報にしたがってトレースあるいはダンプなどを実行してラインプリンタに出力する。

(9) DUMP (Dump Routine)

磁気ドラム領域にある絶対番地表現のオブジェクトプログラムを磁気テープまたはカードにダンプするプログラムである(注)。

(10) PTP (Paper Tape Punch Routine)

DUMP で作成された磁気テープを入力として、メタルカードせん孔機入力あるいは EC 入力用の紙テープを作成するプログラムである。

(11) CLGNR (Call Generator)⁽⁵⁾

擬似呼データをカードから入力して事象発生時刻の順にソートして、磁気テープに出力するプログラムである。この磁気テープファイルは、シミュレータで読み込まれて処理される。

(12) NETWORK (Network Allocator)

周辺系装置の構成を定義したカードを入力として、周辺系の一

注：カードにダンプされたものは、別途開発された CC の論理シミュレータ (LSS 4 H) の入力として使用される。

つのモデルに対応したファイルを作成し、磁気テープに出力するプログラムである。このモデルで表わされた周辺系装置構成に対してシミュレーションが行なわれる。

上記のプログラムのうち、CLGNR と NETWORK とは、他のプログラムと独立のファイルとして作成されている。これは、HITAC 5020 の記憶容量の制限および機能がシミュレータとは独立に遂行されるためである。

3.3 ジョブの種類

シミュレーションシステムは、機能上 4 種類のジョブに分かれている。

(1) DESAP ジョブ (シミュレーションジョブ)

このジョブに関与するプログラムは、DEXM をはじめとして、DESAP, TRAP, DERL, RUNTIME, CCSM, PESM, DBR の各プログラムであり、DEXM の制御のもとに実行される。その機能は、DESAP または TRAP で記述されたソースプログラムをアセンブルし、シミュレーションを行なってデバッグ結果あるいは統計データを出力するものである。

任意の周辺系構成の条件で、擬似呼を供給しながらプログラムのシミュレーションを行なうことができる。本システムでは最も主要なジョブである。

(2) CLGNR ジョブ (擬似呼作成ジョブ)

CLGNR 単独で実行されるジョブであり、所定の形式で記述された擬似呼データを入力として、それを時間順にソートして擬似呼ファイルを作成する機能をもっている。入力形式は、ダイヤルパルス指定、電話番号指定およびパラメータによる多数呼発生の指定が可能である。このジョブは、DESAP ジョブに先だって行なわれる。

(3) NETWORK ジョブ (周辺系モデル作成ジョブ)

このジョブは、NETWORK 単独で実行される。所定の形式で記述された周辺系装置構成に関するデータを入力として、装置構成表、装置対応の作業領域をメモリ上に割付けたモデルファイルを作成する機能をもっている。このファイルは、シミュレーション時にコアメモリ上に読み出されて PESM で参照される。NETWORK ジョブは、DESAP ジョブに先だって行なわれる。

(4) DUMP および PTP ジョブ (紙テープ作成ジョブ)

DEXM の制御下で DUMP および PTP により実行されるジョブである。磁気ドラム領域にあるオブジェクトプログラムを磁気テープまたはカードに出力することおよびこの磁気テープファイルから紙テープを作成することが目的である。紙テープはメタルカードせん孔機入力用および EC コンソール入力用の 2 種類のフォーマットで作成可能である。

(1) および (4) のジョブは、任意の順序で連続して実行可能であり、(2) および (3) のジョブはそれぞれ単独で連続して実行できる。

図 4 は、システムにおける各ジョブの流れを示したものである。

3.4 制御カード

ユーザーはこのシステムに対して、ソースプログラム、ソースデータ、周辺系構成、擬似呼をいずれもカードで与えているが、これらのデータ以外にジョブの種類、順序、条件などを制御指令として与えなければならない。制御指令は、制御カードで与えられ、DEXM によって解釈される。制御カードは、その第 1 カラムが * 記号であることによってほかのデータと区別されている。

図 5 は、各ジョブについておもな制御カードの配列例を示したものである。

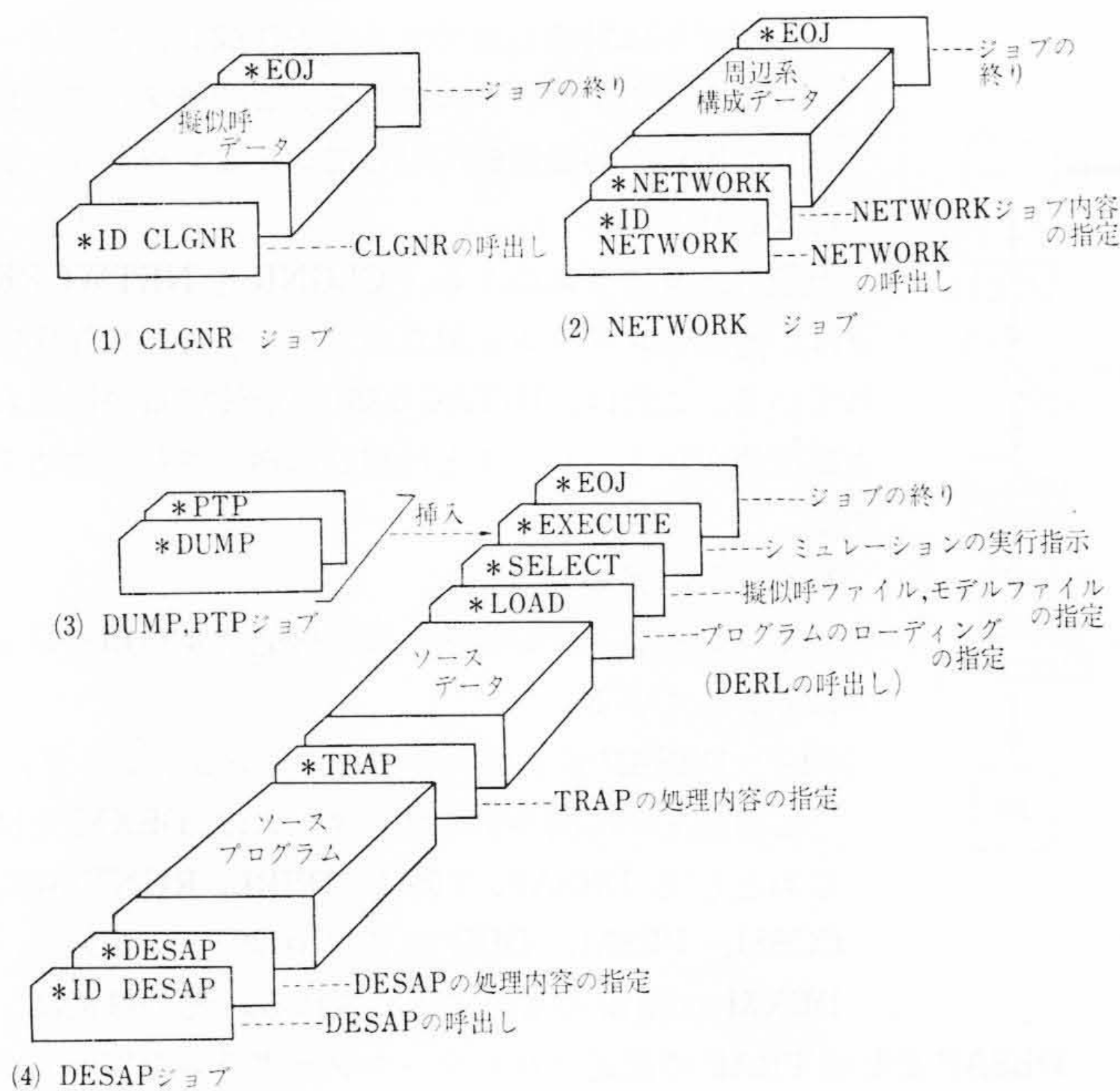


図 5 カード配列例

4. シミュレーションの概要

交換プログラムは、加入者からの呼びを処理し、周辺系装置を制御して通話を完成させるものであるから、プログラムのシミュレーションにあたっては、そのソースプログラムおよびデータだけでなく対象としている周辺系装置の構成を与え、さらに処理すべき呼びを与えてやらなければならない。呼びは CLGNR で作成し、周辺系装置の構成は NETWORK で編集することは前述のとおりであるが、本章では、呼びのシミュレーションの方法を具体的に説明する。

4.1 擬似呼の発生

呼びを交換機の入力端子で観察すると、加入者線の on, off 状態の変化として検出される。図 6 は、ある通話に対する加入者線の状態変化を表わしたものである。

したがって呼びは、加入者の機器番号 (LLN 収容端子番号) と、その加入者線の on/off 変化の時刻 (たとえば図 6 の $t_0, t_1, \dots, t_4$) を与えれば完全に決まってしまう。本システムでは、シミュレーションに先だって処理の対象とする呼び(擬似呼)について上記のデータを作成して CLGNR に所定の形式で与えなければならない。入力 は、その指定方法および種類によって 4 通りの形式が可能である。

(1) パルス指示形式 (P 形)

加入者線の on/off 状態をその変化するすべての時刻で指示するものであり、特殊なサービス呼、異常呼(たとえば 11 インパルスのダイヤル)、押しボタンダイヤル呼などきめの細かい指定が可能である。

(2) 呼別指示形式 (S 形)

加入者線について発呼時刻、ダイヤル数字、ダイヤルパルスの幅、ポーズ時間、通話時間などを与える。CLGNR では、これらのデータから on/off 状態信号をジェネレートする。(1) よりもマクロな指定形式である。

(3) 関数発生指示形式 (F 形)

呼種別の比率、呼数などを与えて、大量の擬似呼をランダムにジェネレートさせるものであり、多数呼の連続試験あるいはトラヒックデータをとるために有効である。

(4) 相対時刻形式 (R 形)

上記の三つは時刻が絶対的に与えられるものであるけれども、呼びのなかには呼びが進行した時点ではじめて時刻が決まるよう

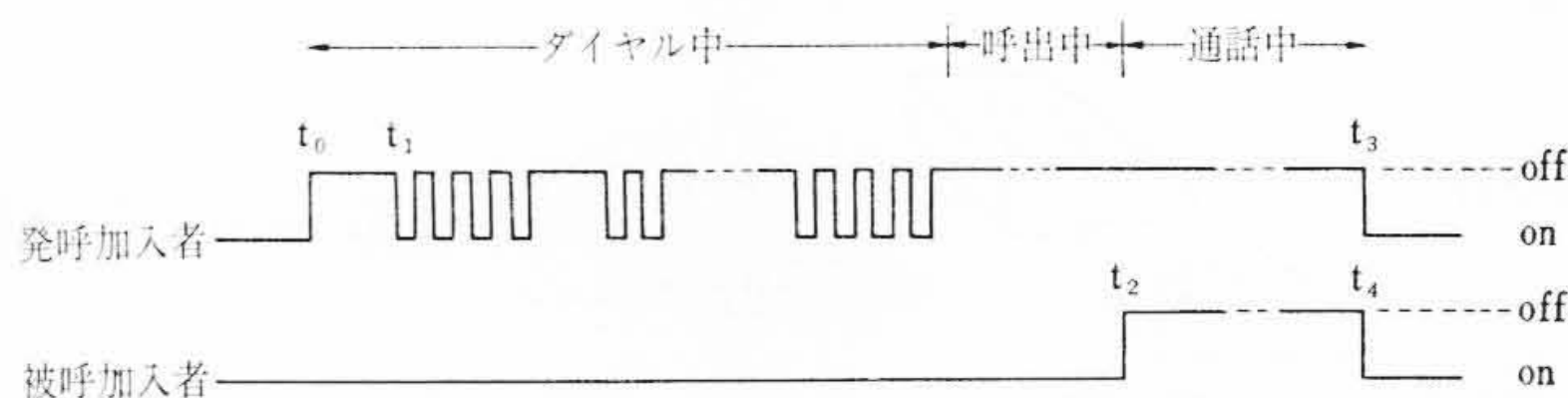


図 6 加入者線の信号波形

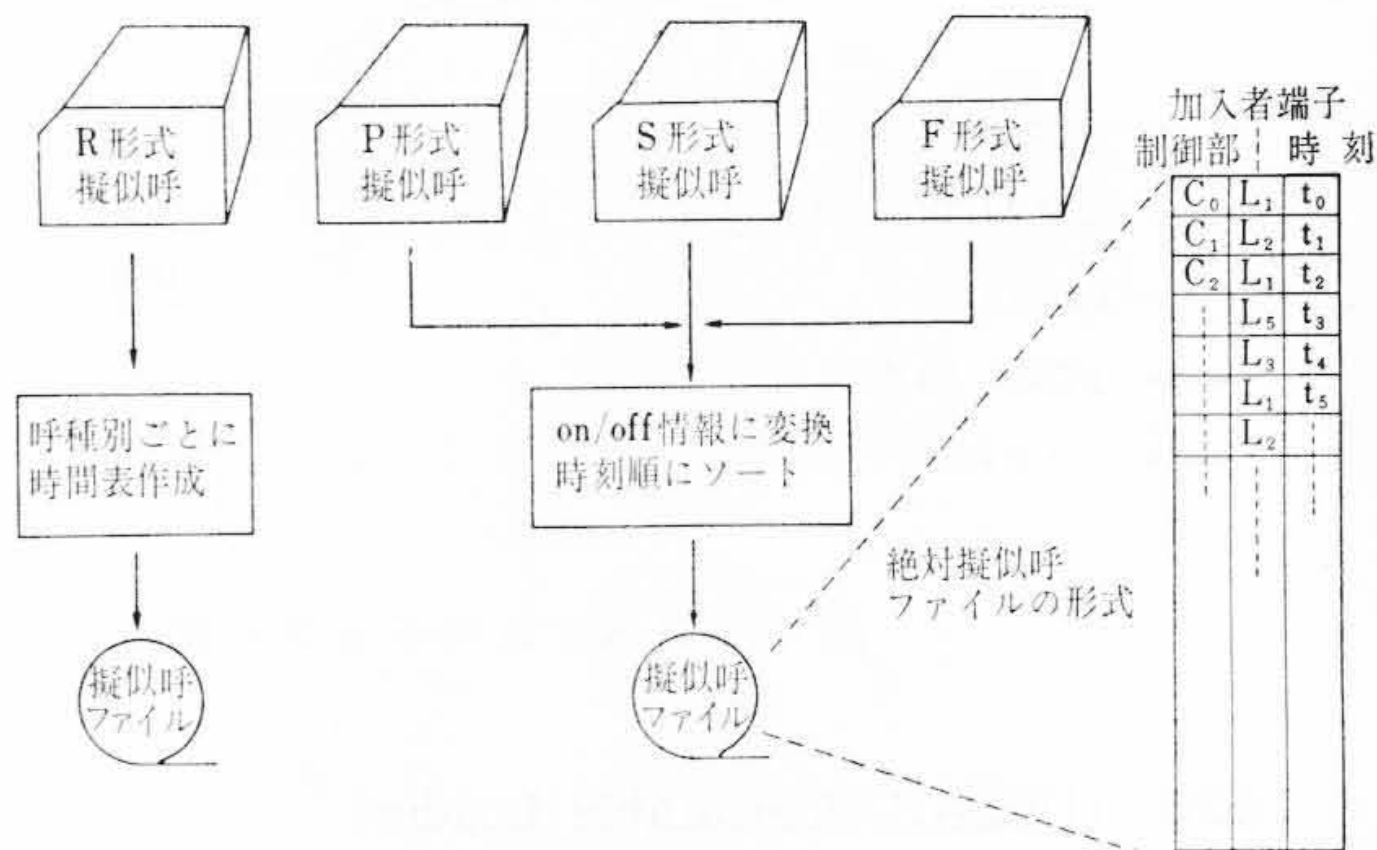


図 7 CLGNR の処理概要

な呼び、たとえば呼出信号送出後の被呼加入者応答、話中時の発呼加入者の途中放棄あるいは出接続における他局からの応答信号などがある。これらは要するに、擬似呼がプログラムで処理される過程ではじめて決まるものであって最初から絶対的に与えることができない呼びである。このような呼びに対しては、起動後の時間で相対的に時刻を指定しておく。たとえば“呼出後 10 秒で応答する”あるいは“話中音をきいて 3 秒で途中放棄”などである。

(1)～(3)の形式の擬似呼を絶対擬似呼、(4)の形式を相対擬似呼と称する。絶対擬似呼は CLGNR ですべて加入者線ごとの on/off 状態信号に変換され、さらに時刻順にソートされた後に磁気テープに擬似呼ファイルとして記録される。また相対擬似呼は、単独で処理されて別の擬似呼ファイルとして記録される。

図 7 は CLGNR の処理概要を示している。時刻は ms 単位で指定できるようになっている。

4.2 周辺系モデルの作成

交換機の規模、局条件に応じて、周辺装置は種々の構成をとる。本システムでは、シミュレーションに際して、あらかじめ周辺装置の構成(モデル)を定義しておいてそのモデルのもとで交換プログラムを実行させることができる。このモデルの記述は、所定の形式でカードにパンチされ、それを入力とする NETWORK ジョブで処理される。出力は磁気テープにモデルファイルとして記録される。モデルを定義するために 3 種類のカードがある。

(1) 装置数指定カード (Number Card)

周辺装置の種別ごとに装置数を定義するカードであり、装置として LLN, TLN, SC, LSD, LSCN, TSCN, CPD, PS, CS などについてその数を指定しなければならない。

(2) 装置仕様記述カード (Equipment Card)

周辺装置の種別ごとに、装置番号、種類、構成あるいは被制御装置との対応関係を記述するカードである。

(3) 装置内収容指定カード (Distribution Card)

TLN の端子と各 TRK との接続、TRK と TSCN との対応、TRK の実装、LSD と TRK との対応などについての指定を行なうカードである。

NETWORK では、これらのデータカードを読みこんで交換機のモデルに相当するモデルファイルを編集するが、このファイルは制御語、制御テーブル、作業テーブルおよび作業領域の四つの部分か

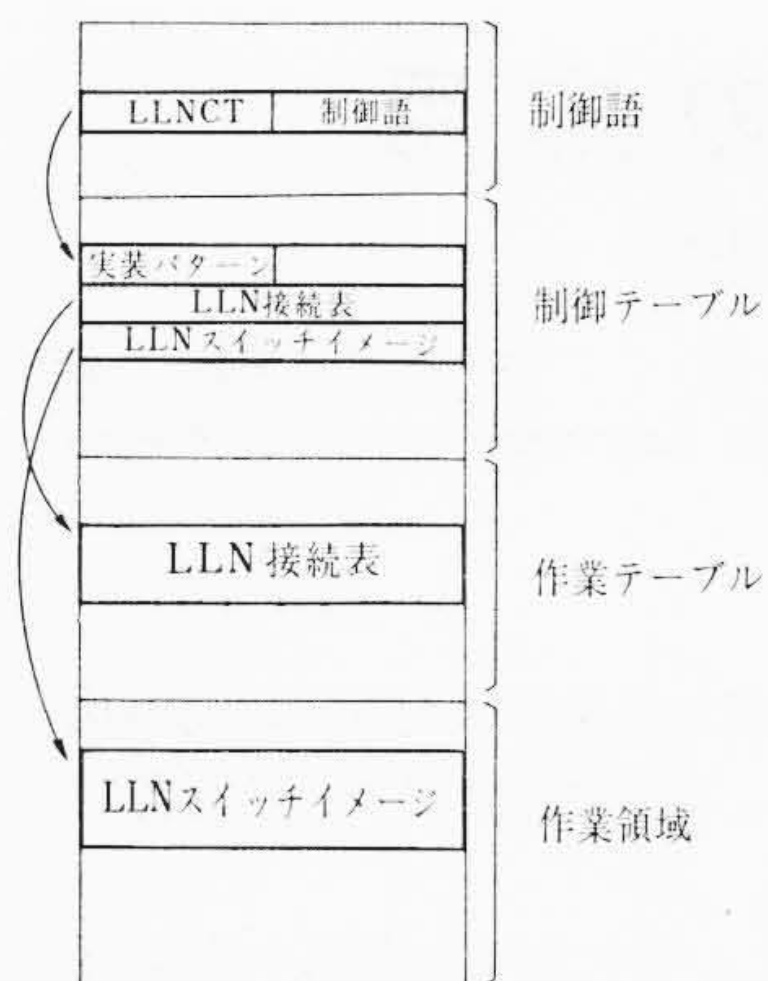


図8 モデルファイルの構成例

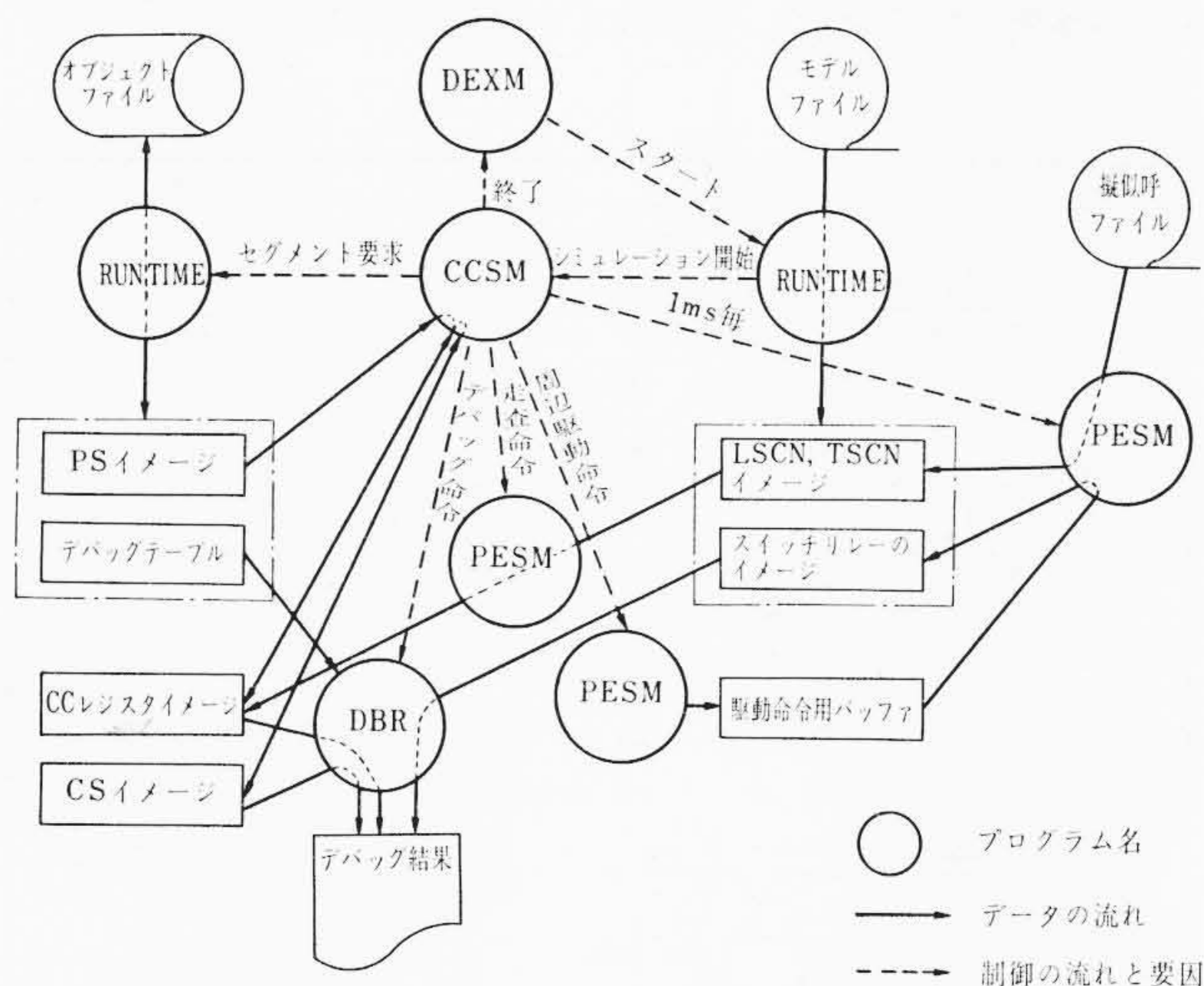


図9 シミュレーションの流れ

ら構成される。制御語、制御テーブル、作業テーブルは、それぞれ Number Card, Equipment Card, Distribution Card の情報から作成されるもので、モデルの仕様をコード化した表である。作業領域は、周辺装置のイメージをメモリ上に移したもので、LLN, TLN の通話路スイッチの開閉状態、LSCN, TSCN の各走査点の状態、TRK のラッチリレーの動作復旧状態などをメモリの各ビットに対応させている（図8参照）。

このファイルは、リロケータブルな形に編集されており、コアメモリ上の任意の場所にロードすることができる。モデルファイルはシミュレーションのとき、磁気テープからコアメモリ上に読みこまれて PESM で参照される。

4.3 シミュレーションの方法（図9参照）

シミュレーションの初めに、RUNTIME に制御が移り、指定されたモデルファイルが磁気テープからコアメモリにロードされる。つづいて最初に擬似されるプログラムセグメントが磁気ドラムからコアメモリにロールインされシミュレーションに移る。CCSM は、このプログラムを DEX-1 CC の命令形式として解釈し擬似するわけであるが、その際1命令ごとにその実行時間を DEX-1 の時間でカウントし、累積してゆく。周辺命令に出会った場合には、PESM に制御が移りシミュレーションが行なわれる。周辺命令は、制御装置（SC, LSD）を駆動する命令（周辺駆動命令）と走査装置（LSCN, TSCN）を走査する命令（走査命令）が代表的であるが、制御装置はその動作時間が 20~30 ms であり、CC の動作と並列に実行される。したがってシミュレーションでは、CCSM から引き継いだ周辺駆動命令をただちに“実行”しないで、いったんバッファメモリに記憶しておき、一定時間経過後に“実行”させるようにしている。その結果、LLN, TLN の通話路スイッチのイメージあるいはトランク

のリレーのイメージが変更をうける。また走査命令は、ただちに“実行”され LSCN あるいは TSCN のイメージを CC の所定のレジスタに取り出す処理をする。

CCSM では、DEX-1 の時計で時間を計測しているが 1 ms ごとにプログラマ的に PESM に制御を移している。PESM では、この 1 ms ごとに次のような処理を行なっている。一つはバッファメモリに記憶されている上述の周辺駆動命令があればその実行時間に達したものについての処理を行なう。もう一つは、擬似呼ファイルを磁気テープから読みこんで現在の時刻で処理すべき擬似呼の項目を処理する。その結果 LSCN や TSCN のイメージが変更される。

CCSM でデバッグ命令を検出した場合には、DBR に制御が移り、デバッグテーブルにあるパラメータに従ってダンプあるいはトレースが行なわれる。本システムでは、通常の計算機でもっているデバッグ機能に加えて、周辺系装置の状態（通話路スイッチの状態、走査装置の内容、トランクリレーの状態）をダンプさせることができる。またシミュレーション中に別のプログラムセグメントが要求された場合には、RUNTIME の制御によって不要になったプログラムセグメントをいったん磁気ドラムにロールアウトし、必要なプログラムセグメントをコアメモリにロールインしてシミュレーションが実行される。

そのほかシミュレーション中に加入者線とトランクとの間の通話路が閉成あるいは復旧したことを検出してメッセージを出力する機能、実行したプログラムの命令別ひん度統計を出力する機能などを具備している。

以上概説したような方法により交換プログラムのシミュレーションによってプログラムをデバッグし、交換機としての機能を確認することができる。

5. 結 言

DEX-1 電子交換機のプログラムを HITAC 5020 によってデバッグするために開発したシミュレーションシステムについての概要を述べた。

本システムの特長は、交換機の局条件、規模に対応した周辺系構成に対して擬似的な呼びを任意に供給しながらプログラムのデバッグが可能なことであり、そのために通常の計算機のシミュレーションシステムに加えて擬似呼ジェネレータ（CLGMR）、周辺モデルジェネレータ（NETWORK）および周辺シミュレータ（PESM）といったプログラムを含んでいる。

このシステムを使用して、DEX-1 電子交換機の呼処理プログラムおよび障害処理プログラムのデバッグが行なわれ、システムの有効性が確認された。

終わりに臨み、終始ご指導をいただいた日本電信電話公社電気通信研究所データ通信研究部岸上調査役、高島室長、基礎研究部池野室長、交換研究部伊吹室長、データ通信本部津田調査役、技術局近藤調査役をはじめ関係各位、および共同開発に従事された日本電気株式会社、沖電気工業株式会社、富士通株式会社の関係各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 津田ほか：通研研究実用化報告 15, 2525 (1966)
- (2) 高島：通研研究実用化報告 16, 2365 (1967)
- (3) 筑後ほか：DEX-1 号交換機のアセンブラ，信学大会予稿 No.846 (昭40)
- (4) 池野ほか：DEX-1 号交換機オフラインシステムプログラム，信学大会予稿 No.844 (昭40)
- (5) 筑後ほか：動的な擬似呼発生法，信学大会予稿No.845(昭40)
- (6) 堂免ほか：DEX-1 電子交換機のシミュレーション，信学大会予稿 No.843 (昭40)
- (7) 道家ほか：DEX-1 交換機の周辺シミュレーション，信学大会予稿 S11-5 (昭40)
- (8) 白須ほか：日立評論 51, 819 (昭44-9)