

電 話 計 算 シ ス テ ム*

広 田 憲 一 郎**

1. はじめに

電話計算システム (DIALS-Dendenkosha Immediate Arithmetic and Library Calculation System) は、昭和 45 年 9 月 26 日以来東京で実用に供せられている。

このシステムは、電電公社が設計工事を実施し、かつ運転保守しているデータ通信システムの一つであって、プッシュホン (押しボタン電話機) を持っている電話加入者なら誰でもセンタの中央処理装置に接続し、プッシュホンのボタン操作で計算式を入力し、音声回答を受けるよう設計されている。最大同時接続数は約 500 回線である。

計算の内容としては、利用者の作成する計算式のほか、センタに格納されたライブラリ・プログラムを呼び出して利用することもできる。料金はセンタとの接続時間 21 秒までごとに 7 円であり、電話の使用度数に合算される。

利用可能時間は日曜祭日をもふくめ、毎日午前 8 時から午後 9 時までで、現在のところ、東京都 23 区内のプッシュホン加入者 (11 月末現在で約 20,000 人) により随時ご利用いただいている。

本講演においては、まず計算の方法、種類、範囲など利用者側からみた外部仕様を説明し、つぎにシステム構成、ソフトウェアの特徴、信頼度設計など、本システムにつき設計者の立場で苦心を払った点を述べる。

2. 計算方法

2.1 文字・記号の表現

DIALS では、端末装置から数式などを入力するために必要な数字・記号・文字をプッシュホンの 12 個のボタンによって表現している。1, 2, 3, ..., 0 の値は、プッシュホンの数字ボタンに対応している。変数や基本関数などを意味する文字は、 x, F など 6 種、加減乗除などを意味する記号は 12 種であって、これらの

文字および記号は、赤ボタンと数字ボタンの組み合わせで表現するようになっている。この文字と記号は電話計算用マスクに印刷してある。図 1 にボタン配列とマスク上の文字の対応を示す。

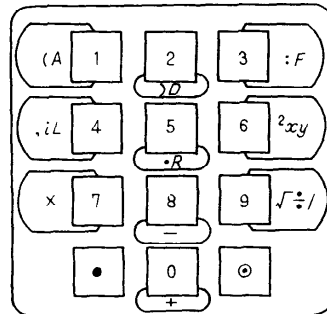


図 1 ボタン配列とマスクの文字

文字・記号は、赤ボタン●を押しつぎに文字・記号に対応する数字ボタンを押すことにより入力される。たとえば、 $\times$ は●7 で表現される。複数の文字・記号で押し方が同じものは、式の前後関係の論理によってセンタで識別される。識別条件の 1 例として●9 に対応する 3 つの記号の場合を表 1 に示す。

表 1 文字・記号識別条件の例

ボタン 操作	文字・ 記号	識 別 条 件
●9	/	計算式の最初が L でかつ直前の字が数字、 R の場合
	+	" L でなく " 数字) $?xR$ の場合
	√	計算式の最初にあるときまたは直前の字が $+ - \times \div \sqrt{}$ (: の場合

2.2 計算の種類

電話計算システムにより行なえる計算の種類は、直接計算、定義計算およびライブラリ計算の 3 種類である。それぞれの問題例を入力の方法および回答とともに表 2 に示す。

直接計算は、数値などからなる計算式を入力することにより計算を実行し回答を行なうものである。加減乗除、2 乗、平方根、べき算のほか三角関数、対数などの基本関数および円周率の値などの基本定数を用いた計算を行なうことができる。さしむき利用できる基

* 昭和 45 年 12 月 11 日 (金) 開催の第 11 回大会における特別講演

** 日本電信電話公社

表 2 電話計算問題例

	問 題	入 力 の 方 法	回 答
直接計算	$\sin \frac{\pi}{5} + \cos 35^\circ$	F11(F80+5)+F12(35)・・・◎	お答えは 1.406937 です
定義計算	$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$ の式において x が 0.5, 1, 1.5 のときの式の値を求める	y2: F1(-x ² +2)÷√(2×F80)・・・◎ D2(0.5)・・・◎ D2(1)・・・◎ D2(1.5)・・・◎	定義を終わりました お答えは 0.3520653 です お答えは 0.2419707 です お答えは 0.1295176 です
ライブラリ計算	$x^2+2x^2-4x+3=0$ の根を求める	L20(3/1, 2, -4, 3)・・・◎	お答えは -3.424077 つきは 0.7120384+i0.607577 つきは 0.7120384-i0.607577 です

本定数・基本関数は、表 3、表 4 に示すとおりである。

定義計算は、あらかじめ変数を含む計算式を入力し、情報処理装置に記憶させておき、あとから変数の値を入力することにより計算式の値を求める計算である。同一計算式について変数の値を種種指定し、繰り返し計算を行なうことができる。

ライブラリ計算は、複利計算・統計計算・数値積分などの計算実行のプログラム(ライブラリ・プログラム)を、あらかじめセンタで用意してお

表 3 基本定数の種類

種 類	基本定数名
π	F80
e	F81

表 4 基本関数の種類

種 類	基本関数名
e^x	F1(X)
$\log_{10} X$	F2(X)
$\log_e X$	F3(X)
$ X $	F5(X)
小数点 切捨て	F6(X)
小数点 4 捨 5 入	F7(X)
小数点 切上げ	F8(X)
$\sin X^\circ$	F10(X)
$\sin X^{\text{rad}}$	F11(X)
$\cos X^\circ$	F12(X)
$\cos X^{\text{rad}}$	F13(X)
$\tan X^\circ$	F14(X)
$\tan X^{\text{rad}}$	F15(X)
$\tan^{-1} X(\text{度})$	F16(X)
$\tan^{-1} X(\text{rad})$	F17(X)
$\tanh X$	F18(X)

表 5 ライブラリの種類(2)

ライブラリ名	ライブラリ内容
L20	高次代数方程式 (3 次まで)
L21	高次代数方程式 (6 次まで)
L23	連立 1 次方程式
L25	行列式の値
L26	逆 行 列
L27	固有値・固有ベクトル
L29	等 差 級 数
L30	等比級数 (有限)
L31	等比級数 (無限)
L32	関数値の計算 (等間隔)
L33	関数値の計算 (不等間隔)
L34	複素数の乗除算
L35	複素数のべき算
L36	数 値 積 分
L37	常微分方程式
L38	指 数 曲 線
L39	修正指数曲線
L40	ロジスティック曲線
L41	ゴンペルツ曲線
L100	変 動
L101	分散分析 (1 元配置)
L102	分散分析 (2 元配置)
L103	一 様 乱 数
L104	正 規 乱 数
L105	ポアソン乱数
L106	指 数 乱 数
L150	日 数 計 算
L151	単 利 計 算
L152	複 利 計 算
L153	売価、仕入原価
L350	3 角形の面積 (ヘロンの公式)
L351	3 角形の面積 (1 辺と両端角)
L352	3 角形の面積 (2 辺と夾角)
L353	3 角形の面積 (傾斜地)
L354	円 と 球

表 5 ライブラリの種類(1)

ライブラリ名	ライブラリ内容
L1	百 分 率
L2	度数表による百分率
L3	平均・分散・標準偏差
L4	度数表による平均・分散・標準偏差
L5	平方和・平方根
L6	積 和
L7	相 関 係 数
L8	相関係数 (度数分布)
L9	幾何平均、調和平均
L10	最小二乗法
L11	線 形 回 帰
L12	補 間
L13	平滑化 (等間隔)
L14	平滑化 (不等間隔)
L15	べき乗和
L16	順列・組合せ

き、利用者が使用するプログラム名とその計算に必要なパラメータを入力することによって計算を行なうものである。現在、表 5 に示すように 51 種類のライブラリを用意してあるが、逐次増加する予定である。

2.3 計算のレベル

計算はすべて即時処理で行なわれ応答時間は最大約

2秒である。使用できる数値は実数であるが、ライブラリ計算の場合は出力に虚数部を含むこともある。計算で扱う入力の数値は、特に指定しない場合は7桁以内であるが、後で述べる14桁計算の指定をすることにより14桁以内とすることもできる。ただし、ライブラリ計算は常に7桁計算である。

計算可能な数値は、0および絶対値 10^{-616} から 10^{616} の間の数値であるが、14桁計算を指定した場合は0および絶対値 10^{-605} から 10^{616} の間の数値となる。計算結果の数値は8桁目を4捨5入した7桁の固定小数点形式、14桁計算の指定をした場合は15桁目を4捨5入した14桁の固定小数点形式で出力する。しかし計算結果が 10^7 以上、14桁計算の指定をして 10^{14} 以上になった場合と浮動小数点再送を指定した場合は浮動小数点形式で出力する。なお計算結果が 5×10^{-8} 未満、14桁計算の場合 5×10^{-15} 未満となった場合は0と出力する。ただし、浮動小数点再送を指定すると浮動小数点形式で出力する。

利用しうるレジスタの個数は1接続同時に10個以内である。そのうち2個は総和を求めるための加算レジスタである。情報処理装置に記憶させる定義式の個数は、1接続同時に5個以内である。また1定義式に使用しうる変数の種類は10個以内である。

2.4 指示および出力

DIALSでは、利用者のセンタに対する処理命令、すなわちコマンドを指示と称し、つぎのいずれかの形で構成している。

●●○, ●数字○, 数字数字○
〔文字〕

表6 指示の種類

名	称	指示形式
計	算 指 示	● ● ○
1	4 桁 指 示	1 4 ○
復唱指示	全 文 字 復 唱	9 0 ○
	1 文 字 復 唱	9 1 ○
	2 文 字 復 唱	9 2 ○
	区 切 り 復 唱	9 4 ○
消去指示	全 文 字 消 去	0 0 ○
	1 文 字 消 去	0 1 ○
	2 文 字 消 去	0 2 ○
	区 切 り 消 去	0 4 ○
	加 算 レジスタ 消 去	0 8 ○
再送指示	再 浮 動 小 数 点 再 送	A ○
	区 切 り 指 示	F ○
区 継	切 続 指 示	L ○
	続 指 示	D ○

表7 センタの出力情報

種 類	内 容
回答メッセージ	計算の結果など、各指示に対応し処理を行った結果を通知する
付加メッセージ	回答メッセージを補足する (例)「7桁で計算しました」……14桁指示中で、ライブラリ計算を行なったとき付加する
エラーメッセージ	異常な入力、計算があったとき通知する (例)「算式が誤りです」 「式の……の次から誤りです」 「この計算はできません」
センタメッセージ	サービスの終了またはセンタ装置の切替えなどに通知する 「……分後に切断します」 「切断します」

表6にこれらの指示をまとめて示してある。計算指示は各種計算の実行を、復唱・消去は入力計算式などの復唱・消去を、また再送は回答のくりかえしをそれぞれ命令する。また、通常7桁の計算を特に14桁で行ないたいときには、あらかじめ14桁指示を行なう。

一方、利用者からの指示によりセンタから送る出力情報の種類は表7のとおりである。以上のほか、DIALS センタからの出力情報としてセンタ音、ビートーン、障害通知、サービス休止通知がある。

3. システム構成

3.1 ハードウェア

DIALSのシステム構成は図2に示すとおりである。情報処理装置の本体はNEAC 2200-500を原型とするJ 3050型を用いている。ただしDIALSのソフトウェアは後述のように、管理プログラムまでふくめて新たに設計した。通信制御装置および回線対応装置は、本システムのためにすべて新設計した。

センタには中央処理装置は2台あり、そのうち1台は現用機として、これに接続される周辺装置とともに電話計算サービスを行ない、ほかの1台は予備機として、通常はこれに接続される周辺装置とともに別の業務に利用している。

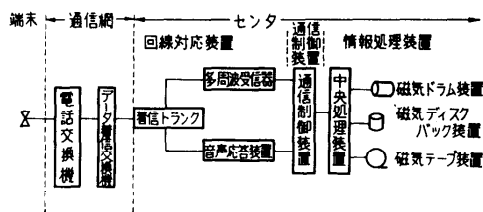


図2 システム構成

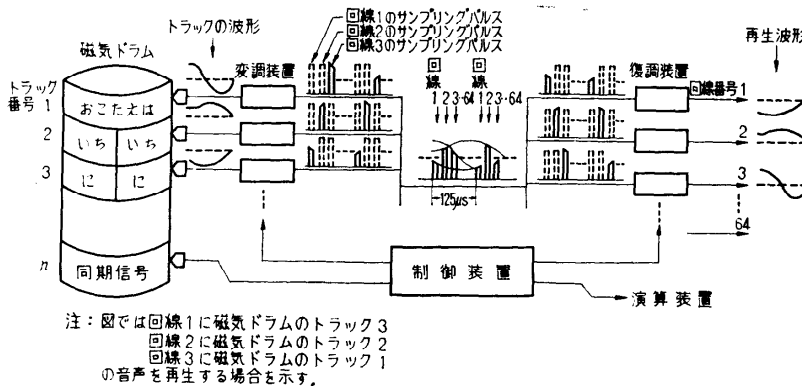


図3 単語編集方式の原理

特長のある装置として多周波受信器と音声応答装置があげられる。

多周波受信器は、プッシュホンからの信号を受信するために、高感度であるとともにその送話口からはいつてくる種々の音声、騒音などによる誤り動作を防ぐために、一定時間以上信号が継続した場合に限り、端末からの入力信号と認める機能、受信器を正しく動作させるために、最初の信号の強さによって感度を調整する機能などを持っている。

音声応答装置の方式は、磁気ドラムのトラックにそれぞれ1種類の単語を録音しておき、中央処理装置からの指令に従って磁気ドラムの1回転ごとに選択スイッチの開閉によって単語が順次送られ回答を伝える。多数回線の制御のためにパルス振幅変調方式(PAM)を用いて、スイッチの開閉を行なっている。PAMによる単語編集方式の原理を図3に示す。図3に示すように、1回線に対するPAMサンプリング周

期は8kHzである。

3.2 ソフトウェア

DIALSのソフトウェアは、電話計算サービスを提供する即時系ソフトウェアと、サービス提供に伴うセンタ業務のためのセンタバッチ系ソフトウェアから構成される。これらのソフトウェアの構成は図4に示すとおりである。このうち即時系のすべて、およびバッチ系の障害対策プログラムの一部、統計データ処理プログラムが、今回DIALSのために新しく作成された。ソフトウェアの特長については後述する。

3.3 入出力方式

DIALSの端末装置はプッシュホンであるため、センタへの入力信号はプッシュホンからのMF(2周波)信号であり、センタの出力信号は音声信号である。

データの入出力は会話形式(半2重)で行なわれ、利用者がセンタに接続したときはセンタは受信モードである。利用者が計算式に引き続いて指示を入力したことを◎信号によりセンタが検出すると計算式の処理を行ない、その回線を送信モードにして計算結果を送出する。利用者からの入力情報が指示だけのときは、その指示に応じて必要な処理を終えると、送信モードとなり所要の回答を出力する。利用者に対する出力が終了するとセンタは受信モードとなり、その旨をセン

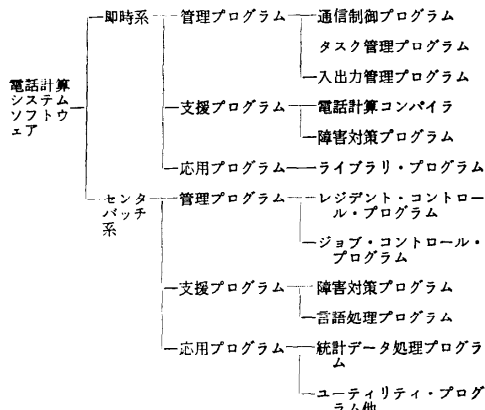


図4 ソフトウェアの構成

表8 伝送コード体系

センタのモード	区 間	コード形式
受信	プッシュホン→多周波受信器	4×3の2周波信号
	多周波受信器→中央処理装置	4ビット並列信号
送信	中央処理装置→音声応答装置	8ビット並列信号 (音声応答装置のドラムトラック指定情報)
	音声応答装置→プッシュホン	音声信号

タ音により利用者に通知する。

DIALS における伝送コード体系は表 8 のとおりである。

3.4 処理の流れ

処理の流れは図 5 に示すとおりである。

プッシュホンからセンタ番号 0100111 をダイヤルし、センタに接続すると着信トランクはセンタ音を送出し、入力可能な状態であることを利用者に知らせる。利用者が計算式を入力するとその情報は中央処理装置のライン・バッファに一時蓄積される。利用者からの指示の入力により、ライン・バッファの情報は内部コードに変換され、コミュニケーション・バッファ（磁気ドラム）に記憶され処理の順番を待つ。

処理は処理領域で行なわれるが、定義式の定義の結

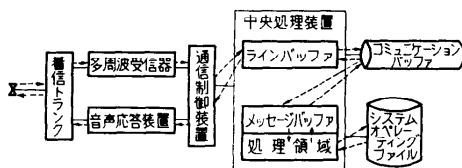


図 5 処理の流れ

果はシステム・オペレーティング・ファイル（磁気ディスク）に格納される。ライブラリ・プログラムは、同じ磁気ディスクに記憶されているため、定義式の実行およびライブラリ計算の場合は、この磁気ディスクの内容を処理領域に呼び出して計算処理を行なう。

計算結果は、音声応答装置に録音されている音声（単語）を編集して利用者に通知する。

4. ソフトウェアの特徴

4.1 設計の外部条件

DIALS のソフトウェアは、即時系のすべておよびバッチ系のいくつかのプログラムが今回新たに作成されたものである。DIALS で扱うインタラクションにはつぎのような性質がある。

- 入力の手動であるから高々 0.5～1 タッチ/秒。
- 出力は音声であって 0.75, あるいは 1.5 秒/単語。
- 計算種類からして保留時分に対する処理時間は小さい。
- 私有ファイルを有しない。

このような性質のインタラクションを多量に扱うために、DIALS 1 システムあたりの制御可能回線数は、かなり大きく取れる見とおしが得られた。

利用者の立場からは、適当なレスポンス・タイムを確保する必要がある（これはおおむね 2 秒である）、また計算種別によって差がないように考慮を払い、かつシステムのアベイラビリティをよくすることが必要と考えられた。このようなインタラクションの性質システムのねらいの両面から、DIALS のソフトウェアは既存の OS に比べ、かなり簡潔な作り方ができる見とおしを得たので、電話計算用に新規設計した。

以下、このプログラムの設計に際して意図した点を簡単に紹介する。

4.2 設計の要点

(1) レスポンス・タイム

第 1 は、適当なレスポンス・タイムを確保することである。このためにマルチプログラミング方式における各タスクの機能配分に注意を払い、割込回数を少なくし、管理プログラムがむだに動作することによる損失を避け、主要な処理は EI（外部割込）モードで走らせることとし、その時間も短く制限した。500 回線に及ぶ多数回線制御によるデータの受信漏れをなくするために、各ルーチンの切れ目では必ず CCE ポーリングルーチンを実行するように設計してある。

第 2 は計算種別によるレスポンス・タイムの差をなくすることである。このために、各タスクには時間制限（おおむね 200 ms）をもうけた。パーティションにおける処理は連続して走らせるようにした。

(2) 自動運転方式の採用

DIALS においては、障害時におけるシステムの回復動作はほとんど自動化することとし、サービス中断時間の短縮をはかった。詳しくは後の障害対策の項でふれるが、ハードウェアの二重化に対応して CPU 内部ヘルスチェック・プログラム、CPU 相互ヘルスチェック・プログラム、I/O 巡回プログラムなどにより、システムの診断を常時行なっている。障害時のシステム切替えも、強制切替・平衡切替の 2 種類を用意して、自動的に行なえるようにした。

(3) 応用プログラム

ライブラリ・プログラムとしては、サービスの性格上基礎的なものを第 1 段階として準備した。ライブラリの計算時間は原則的に 200 ms に制限を加えており、出力様式についても極力簡易化をはかっている。ライブラリ・プログラムのイニシャライザとエディタは、入力形式・出力形式の似たものごとに通なモジュールとして作成してある。

(4) 過負荷対策

DIALS はマルチプログラミング方式であるため、過負荷によりレスポンス・タイムが増大する危険性があるので、過負荷を監視するために、3水準を選定してそれに応じた処理を行なうようにしている。

このため常に数十回線をサンプリングし、そのインタラクションの CPU レスポンス・タイムの平均値を算出し、その値が第1水準を越えるとオペレータに警告を出し、第2水準を越えると自動的に CCE 1 群を閉塞する。それでも第3水準を越える場合には、オペレータに対し手動閉塞を指令する。閉塞の解除条件はレスポンス・タイムが第1水準を下回った場合である。

(5) 運転上の考慮

オペレータに対して 100 あまりのメッセージを用意した。DIALS の運転はほとんど自動化されており、オペレータの介入余地は少ないが、システムの状態は必要のつどコンソール・タイプライタに印字、あるいは監視装置に表示してオペレータに必要な措置を指示するようにしている。このほか、コンソールからのインクワイヤリによりシステムの状態をタイプアウトできる。

4.3 コントロールの流れ

基本的なコントロールの流れは、図 6 に示すとおりである。加入者がセンタに接続したとき、あるいは各種の指示を入力したとき、あるいは周辺装置に対する

入出力動作が終了したとき、あるいはプログラムの処理が終了したとき、これらの事象は外部割込 EI としてソフトウェアに知らされる。

EI の発生で、インタラプト・アナライザ (TAC) が動き、割込処理に必要な準備をしてスイッチャ (TAC) にコントロールを渡す。スイッチャは EI の種類を調べて、それぞれの割込みに該当するルーチンにコントロールを渡す。各割込処理ルーチンはその処理が終了すると、スイッチャにコントロールをもどす。スイッチャはさらに割込みがあるかどうかを調べ、割込みがなければディスパッチャ (TAC) にコントロールを渡す。ディスパッチャはスケジューラなどの各処理プログラムのうち動ける状態のものにコントロールを渡す。処理プログラムは処理を終了すると、再びスイッチャにコントロールをもどす。スイッチャはまた同じ動作をする。

EI は内部処理とは独立に発生するから、ディスパッチャからコントロールを渡されて動いている処理プログラムは、EI により中断される場合がある。この場合には、改めてディスパッチャからコントロールが渡されて処理を続行することになる。

5. 障害対策

DIALS においてはフェイルセーフの考えから、主要機器は二重化をはかり、かつ分散収容を行なっている。たとえば、中央処理装置は待機予備方式、ディス

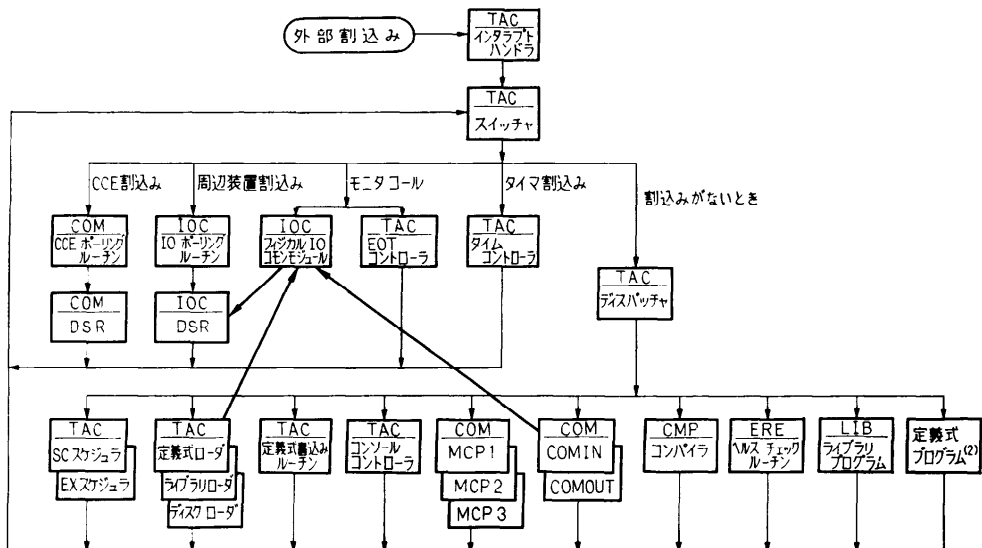


図 6 主要なコントロールの流れ

クパック装置（システム・プログラム、ライブラリ・プログラム、定義式の格納用）は二重化、ドラム装置（コミュニケーション・バッファ用）は待機予備方式、音声応答装置の制御部分は64回線ごとの分散収容であり、音声を録音してある磁気ドラムは二重化してある。

障害の検出は、ソフトウェアの項で述べたような診断プログラムによって行ない、機器の切替え、切離しを自動的に行なう。切離された機器はバッチ系中央処理装置に接続し、箇所探索プログラムを駆使して障害修理を実行する。

障害になった場合のシステムの回復手順には、システム強制切替えとシステム平衡切替え方式の2つがあり、平衡切替えのオペレータのイニシェートを除けばいずれも自動化されており、オペレータの介入なく実行されるが、手動も可能なように、作成されている。システム平衡切替えとは、利用者に切替えを予告する

ことによって呼を減少させてから、システムの切り替えを行なう方式である。

6. 結 び

電話加入者を対象とする計算システムは、アメリカにおける実験例を除けば、商用としては世界でもはじめての試みであるが、過去3箇年の設計建設工事を終えて無事運転されているのは、設計担当者として誠に喜ばしい。現在、東京では1日のインタラクション数にして2~3万回のご利用をいただいております、来る3月には大阪でも営業を開始したいと考えています。

何分にも全く新しいシステムであり、なお不十分な点も多いことをおそれる次第である。システムの改良、ライブラリの充実など特に会員各位の専門的立場からのご批判を仰いで、よりよいものにしてゆきたいので、よろしくご指導のほどお願いしたい。