配布先			
2902 → 2934A → 2934B 2979A → 2980 → 2975 2885B 2937A → B	カシオ科学技術計算用LSI μPD179Cのシステム解析	IEL－3465	1/25
		49－3－4	
		集積回路技術部　民生課	
		承認 [redacted] 査閲 [redacted]	作成 小口

このたび、カシオ計算機（株）特注 科学技術計算用 MOS LSI μPD179C の回路図を入手、この図面より、システム及び論理の徹底的な解析を行ないましたので報告いたします。

[1] 演算機能

(a) 置数8桁、演算結果8桁（但し負数で整数部8桁はOVF）

(b) 使用演算キー

$\boxed{+}$ $\boxed{-}$ $\boxed{\times}$ $\boxed{\div}$ $\boxed{=}$ $\boxed{AC}$ $\boxed{CE}$ $\boxed{\pi}$ $\boxed{\frac{1}{x}}$ $\boxed{\sqrt{}}$ $\boxed{\log}$ $\boxed{\ln}$ $\boxed{e^x}$ $\boxed{a^x}$ $\boxed{\sin}$ $\boxed{\cos}$ $\boxed{\tan}$ [度分秒/10進度数]

(c) 完全浮動小数点。　科学技術計算用卓電の場合、小数点は殆んど指数表示（−99〜+99）されていたが μPD179 は普及型を志向した為に、小数点の移動範囲は、−7〜+7 と狭い。移動範囲を超えたものは、常に OVF、又は UNF。

(d) $\boxed{\log}$ $\boxed{\ln}$ $\boxed{e^x}$ $\boxed{\sin}$ $\boxed{\cos}$ $\boxed{\tan}$ のキーについては、(例) A $\boxed{\times}$ B $\boxed{\log}$ $\boxed{=}$ のキー操作では "A log(B)" の演算結果は得られない。（ファンクションの記憶とデータの保存が上記キーでは不能となる為。）下2桁切捨て。

(e) 三角関数のデータは 10進度数法のものを入力する。この為に度分秒で書かれたデータを 10進度数に変換するキーを持っている。

(例)　10度20分30秒 = 10.341666

10 ▨ 20 ▨ 30 ▨ → 結果(10.341666)

(f) $\boxed{a^x}$ キーの使用法

12.3^7 をもとめたいとき　12.3 $\boxed{a^x}$ 7　とすれば結果がでる。　但し指数として小数部を持つデータを入れたとき演算不能となり OVF 表示をする。　又指数は整数1桁に限られる。

(g) $\boxed{e^x}$ キーにおいて　$X \geqq 10$　の場合はフローの簡略化の為 OVF 表示をする。

[2] 回路構成概略

(a) ROM ‥‥　512 アドレス　出力 16 ビット，　メモリ規模　8192 ビット

(b) アダー ‥‥　10進と16進の加減算の可能な一般的なシリアル、ディレイド・アダー。

(c) レジスタ ‥‥　48 ビット　6 本

通常四則演算ではこのうち 3本，$\sqrt{}$ 計算では 4本，科学技術計算として 6本全てのレジスタを使用する。

(d.) ステップ・カウンタ … μPD179 では μPD176, 178 の如くに次アドレスを直接指定するROM出力を持つ方式とは異なり、+1 可能なステップ・カウンタ 8ビット を用いて、ROMアドレスを指定させる。 1ページ 256アドレスとして2ページ分のアドレスをもっているのでページ指定のアドレスレジスタを1ビット持つ。

(e.) ジャッジ

(i) アダーで加減算を行なった結果、検出されたキャリー・ボローによって無条件に判定所をセットする。

(ii) ビットのキャリー、ボローではなく、ディジット単位のキャリー・ボローのみによって判定所をセットする。

以上2通りあり。ROM出力より"判定をせよ"という命令は全く出されない。 判定所がセットした事により次アドレス命令をNOOP扱いとし、実質的に1アドレススキップする。従がって、演算時間としては、スキップした場合も、しない場合も同一となる。

(f.) ジャンプ

(i) 無条件ジャンプ

(ii) 条件つきジャンプ

(iii) サブルーチンジャンプ

大別すると以上3通り。詳しくは、(i)について改ページをするものとしないものとがある。又、(iii)についてアドレス・スタックレジスタをジャンプの際に更新するものと、更新しないものとがある。 更新しないものについては、サブルーチン・エンド命令の次のアドレスはサブルーチン・ジャンプを行なった以前のアドレス・スタック・レジスタ内容によって指示されたものとなる。

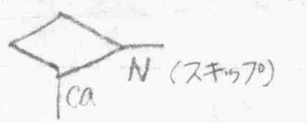
(g.) スイープ・レジスタ … 4ビットのレジスタ。特にディジットタイムの異なるデータの移送に用いる為に設けてある。

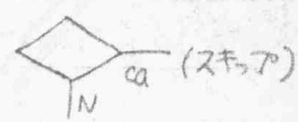
[3] ROM 出力詳細

出力ビット数は16.　B1〜B16と名称をつける.

(a.)　48ビット1本のダイナミック・シフト・レジスタには数値データの他に、正負符号データ、小数点データ、演算制御データが各ディジットタイムで区分されて格納されている。どのデータをレジスタ内から取り出してきて処理するのかを指定する為に第1表にある様に、アダーへの読込みタイミング信号を作製する。　この為に"B1""B2""B4"を専用に使い、"B3"及び他の出力を信号作製に絡ませる。

(b.)　ジャッジ（条件つきジャンプ）の際、キャリー、ボローがでたらスキップジャンプをするのか、その逆なのかを決定する為に"B3"を用いる。"B3"は読み込みタイミング信号作製にも用いる。

(例)　B3=0 

B3=1 

(c.)　加/減切換　B5=0 又は B5=1 の場合でも B11=0, B12=1 ならば加算,　上記以外のとき減算.

(d.)　レジスタ交換　演算処理を6本のレジスタ全てに行なわせる為、レジスター→アダー間にレジスタ選択ゲートを置いている。　スイープ・レジスタの制御も含めて、"B6""B7","B13""B14""B15"の5ビットを専用している。

(e.)　ジャンプ命令のとき　B1〜B8 の8ビットが次アドレスを指定する為に、ステップ・カウンタにロード・イミディエートされる。

10/16進切換　±1 等の命令については ROM出力の組合せによって作られているので画一的な説明はできない。
命令一覧を次ページに示す。

B code					ADDER RI TIME												
1	2	4	3′		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ニーモニック
				0	■												Xs
			■	1													
		■		2		■											x
		■	■	3											■	■	Xcc
	■			4											■		Xc_1
	■		■	5													
	■	■		6			■	■	■	■	■	■	■	■	■		X
	■	■	■	7													
■				8			■										X_L
■			■	9		■	■	■	■	■	■	■	■	■			X
■		■		A										■			Xm
■		■	■	B		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Xc
■	■			C												■	Xc_2
■	■		■	D													
■	■	■		E			■	■	■	■	■	■	■	■			X
■	■	■	■	F		■	■	■	■	■	■	■	■	■			xX

(注) B3=1 であっても，[X±Y→X]，[X±1→X]，X−Y，X±$B_{5\text{-}8}$ の命令実行の際には B3′=0 と等価。 B3=0 → B3′=0

又，[X→LS / x+1→X] の如くなる命令を 1ワード.サイクルタイムで同時処理する為、特に定められた上記以外のコードによって"X"タイミング信号を発生させる。

全てのジャンプ命令の場合 B1～B8 ROM出力はロードイミディエートに用いられる為常に"Xcc"タイミング信号を発生させる。

μPD179C データ セレクト タイミング 一覧表

第1表

B3	B5	B8	B9	B10	B11	B12	B16	オペレーション
		0	0	0	0	0	1	X→RS
		1	0	0	0	0	1	X→LS
			0	0	0	1	1	X→LS, $B_{5\sim8}$→X
X	0		0	0	1	0	0	X+Y→X ⑩
X	1		0	0	1	0	0	X−Y→X ⑩
X	0		0	0	1	0	1	X+Y→X
X	1		0	0	1	0	1	X−Y→X
			0	0	1	1	1	✓JPV 0ページへのジャンプ, $B_{1\sim8}$→ステップカウンタ
			0	1	0	0	0	$B_{5\sim8}$→X X内容と$B_{5\sim8}$とを重畳
X			0	1	0	1	0	X+$B_{5\sim8}$→X Judge せず.
			0	1	0	1	1	$B_{5\sim8}$→X $B_{5\sim8}$を置数
			0	1	1	0	0	X↔Y
			0	1	1	0	1	$X \underset{\searrow X}{\longrightarrow} Y$
			0	1	1	1	0	SRE 0ページへジャンプ, スタックレジスター→ステップカウンタ
X	0		1	0	0	0	0	✓ X+1→X
X	1		1	0	0	0	0	✓ X−1→X
X	0		1	0	0	0	1	✓X→LS, X+1→X
X	1		1	0	0	0	1	✓X→RS, X−1→X
X	0		1	0	1	0	0	◇X+Y◇
X	1		1	0	1	0	0	✓ ◇X−Y◇ (使用せず)
X	X		1	0	1	0	1	✓ ◇0±Y◇ (使用せず)
			1	0	1	1	0	✓ JP ページ内ジャンプ, $B_{1\sim8}$→ステップカウンタ
			1	0	1	1	1	JS ステップカウンター→スタックレジスタ 1ページへジャンプ, $B_{1\sim8}$→ステップカウンタ
X			1	1	0	1	0	◇X+$B_{5\sim8}$◇ 最上位桁あげCaによるジャンプ
X			1	1	0	1	1	◇X+$B_{5\sim8}$◇ 無条件Caによるジャンプ
			1	1	1	0	0	✓ $Y \underset{\searrow Y}{\longrightarrow} X$
			1	1	1	0	1	Key→X

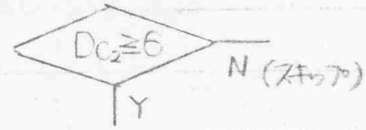
第2表 命令一覧 (1)

B6	B7	B13	B14	B15	オペレーション	
0	0	×	×	×	A → Y	
0	1	×	×	×	C → Y	第2表におけるY表記に相当する
1	0	×	×	×	E → Y	レジスタが左記の様に決定される
1	1	×	×	×	S → Y	
×	×	0	0	0	D → X	
×	×	0	0	1	E → X	
×	×	0	1	0	F → X	
×	×	0	1	1	S → X	第2表におけるX表記に相当する
×	×	1	0	0	B → X	レジスタが左記の様に決定される
×	×	1	0	1	C → X	
×	×	1	1	0	A → X	
0	0	×	×	×	X → A	
×	×	1	1	0	Ad → A	左記条件取れぬとき優選
0	1	×	×	×	X → C	
×	×	1	0	1	Ad → C	
1	0	×	×	×	X → E	
×	×	0	0	1	Ad → E	
1	1	×	×	×	X → S	
×	×	0	1	1	Ad → S	〃
×	×	0	0	0	Ad → D	〃
×	×	0	1	0	Ad → F	〃
×	×	1	0	0	Ad → B	〃

第3表　命令一覧 (2)

(f.) ジャッジの具体例

(i)

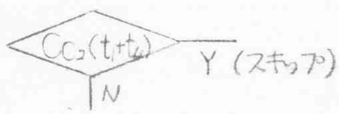


B1～B16まで　1100101011010000　とすれば良い。

第1表より　Xc_2　，第2表より　⟨$X+B_{5\sim8}$⟩　，第3表より　レジスタは　B　が選択され　桁あげキャリーについてのみのジャッジであるので　$Dc_2 \geqq 6$　となる。さらに　$B3=0$　であるので　キャリー・ノー　で　スキップ　する。

この種のジャッジは主に　ファンクション・キーの種別をジャッジしそれに対応して演算処理をする為に用いている。

(ii)



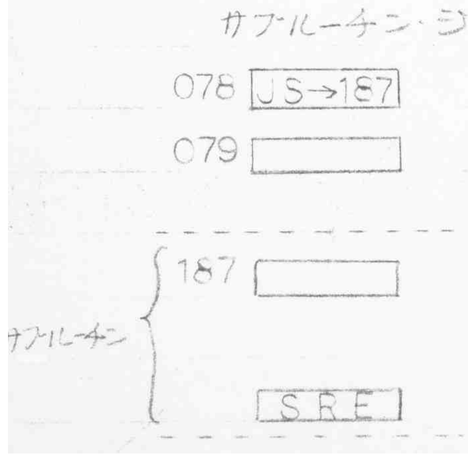
B1～B16まで　1110001111011011　とする。

第1表より　Xc_2　，第2表より　⟨$X+B_{5\sim8}$⟩　，第3表より，レジスタは　C　が選択され，　X内容（Cc_2）が　t_1，t_4　にデータがあれば　キャリーが出て　判定F/Fをセットする。　$B3=1$　であるので　キャリー・イエス　で　スキップする。

この種のジャッジは主に　ファンクションF/Fの状態をジャッジする目的に用いられる。

(g.) アドレス・ステップ　の具体例

サブルーチン・ジャンプ　の場合についてのみ述べる。



79→スタック・レジスタ　（スタック・レジスタは特別に構成されたものではなく，F_{CC}　の8ビットを流用している。　この為　サブルーチン・リンケージレベルは　1レベルしか設定できない。）

1ページ　に改ページ。　87→ステップ・カウンタにロード・インディエート。

187番地以降のサブルーチン・プログラムを実行。 SRE命令で
79→ステップ・カウンタ、 8ページに改ページ。
079番地以降を実行。
又、SRE命令の前に JS, JPV がきた場合は、サブルーチンリンケージは一レベルのみであるところから、スタックレジスタ内容は更新されてしまう為、改ページを行なう、単なるジャンプ命令として、使用される事になる。

```
              004  [JS→103 ]
              005  [       ]
              006  [JSS→103]
            - - - - - - - - - -
           { 103  [       ]
サブルーチン {
           {      [ S R E ]
            - - - - - - - - - -
```

JSS命令ではスタックレジスタとして、Fccを使わず、Sを用いる。その為 SRE命令でステップ・カウンタに送られるデータは JSS命令前の(左側では004番地)スタックレジスタ内容となり、アドレス・ステップの様子は次の様になる。

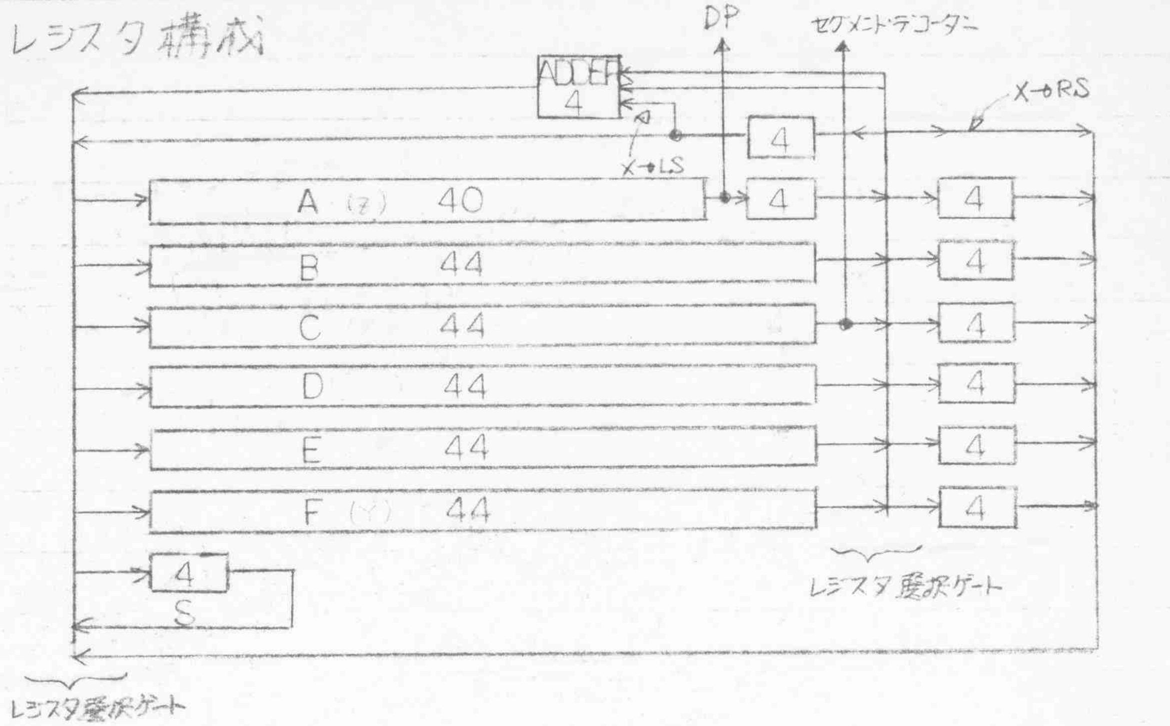
004→103・・・・・→005→006→103・・・・→005→

(参) NEC マイクロコンピュータにおけるサブルーチン・ジャンプ例

```
     LDI  nn
     XSA
     LAR  Q
 - - - - - - - - - - - -
 nn  SDS   }
     ....  } サブルーチン
     ....  }
     LDS   }
 - - - - - - - - - - - -
```

左の様に汎用性を持たせる為、より細かい基本命令に区分されている事から、μPD179c では、JS→nn という1ワード命令で済ませているオペレーションを、マイクロコンピュータでは4ワード命令となり、且つ、SRE という1ワード命令も、3ワードの命令が必要となっている。 又、マイクロ、コンピュータについても言えるが、フォートラン・プログラムの様にサブルーチンコール型でサブルーチンへのエントリー・ポイントの指定が自由にできないわけではないので、サブルーチンによるプログラム・ステップ減少は非常に効果が大きい。

(h.) レジスタ構成



X, Y, Z の 3レジスタに相当するものは　Xreg → Creg, Y → Ereg
Zreg → Areg である。

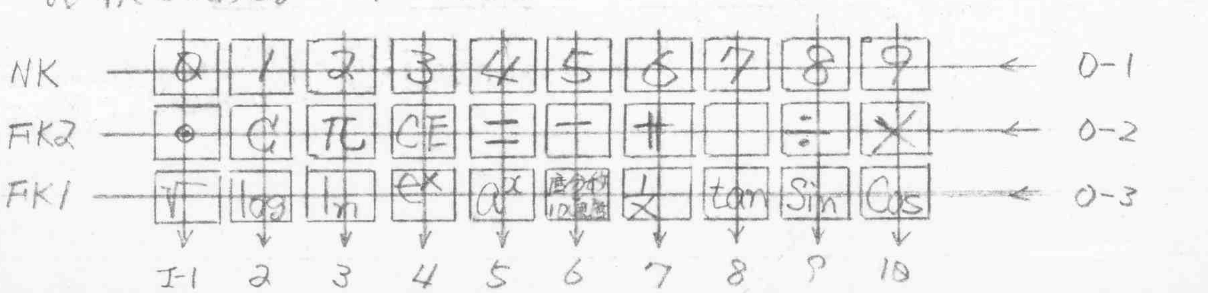
(i) 小数点表示法

一般卓電においては小数点の表示を行なう為に、アダーで小数点データを1桁毎にマイナス1しその時発生するボローを検出するのであるが μPD179 では ① レジスタの本数が多い。② キーアイドリング状態において、アダーを使用している。の2点の理由で Aレジスタ1本を、小数点表示用レジスタとして用いている。

フローチャート No.1 中央下部で、その処理を行なっている。

(j) キーの入力法

ROMのアドレス供給線から、3本の出力を取り下図の様に接続してある。キー入力ピンは10本。



キー・エンコーダーが内蔵されており、キーに応じて直列信号がつくられる。　ハードウェアとしてはキー・エンコーダー以外に大きなものは組まれていない。　メカニカル・キーの様に安価なキーの場合、キーを離したときのチャタリング（バウンシング、又はOFFチャタリング）が長時間（20msec程度と言う。）生ずる為特にデバウンス機能を持たないとキーを連続打したかの様な誤動作を起す。　μPD179ではROM方式電卓設計思想が志向する"ハードを極力減少させ、且つ、プログラム・ソフトを高能率、高級化し、ROMメモリーサイズをも減少する"という理念を実行し、キーのONチャタリング、OFFチャタリング防止をソフトで行ない、さらにチャタリング防止をも含めた、キー入力フローでのアドレス消費量はわずか15アドレスに留め、チップ面積縮少に大きな効果を得ている。

2重押し防止、ロールオーバー機能はない。　カシオ計算機は一貫した実用主義で卓電を設計しており、アクセサリー的なにおいのするもの、実用上不要であると判断したものは、全て"切る"方針である事がうかがわれる。

〔11〕 フローチャート

巻末にフローチャートを付ける。

○ ‥‥ 無条件ジャンプ　}
● ‥‥ 改ページ無条件ジャンプ　} 1アドレスを消費する。
▭ ‥‥ サブルーチン関連オペレーション

タイミング ニーモニックについては第1表参照

(a) キー・スタート・アドレスについて

0～9 のNKについては置数後同一操作を行なわせるので同一アドレスよりスタートする。　FK2も同一アドレスよりスタートし、キーコードのジャッジを4回行なう事によってキーの振分けを行なう。
FK1は同一アドレスよりスタートした後、アドレス修飾ルーチンに入り（142番地から始まるサブルーチンNo.4）各々のキー・コードによって

定められたスタート番地から再スタートさせている。

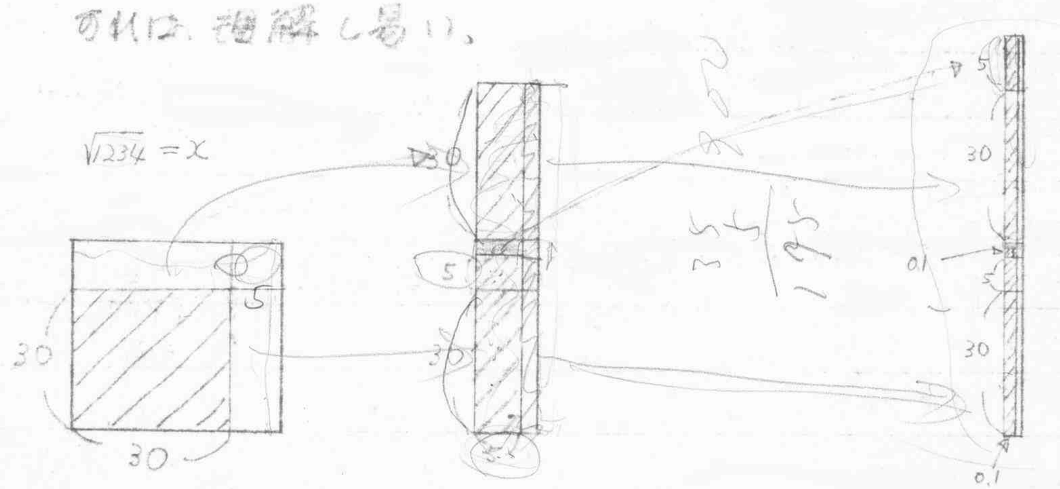
(b) 四則演算フロー

演算フローにおけるアドレス消費は、ステップカウンタ方式によって生ずる不要なジャンプ命令を除くと、実質50数アドレスである。　これは、[C+RS C+1→C] を1アドレスで実行する等基本命令が豊富で幅がある事、8桁演算の為、小数点処理が楽な事、などによるものである。　μPD178では、フローの簡略化の為に、6桁ダブルレングスという特質を生かし、巧妙なフローを組んでいたが、このμPD179では、ここで記述する程、特徴のあるフローではないように思われる。

サブルーチン・ジャンプの際のエントリー・ポイントが任意に選択できる為、四則のサブルーチンとして、科学技術計算において大いに活用される。　又常にセカンド・ファクターが定数となる様に演算開始時のCレジスタ数値は保存されている。

(c) ルート演算フロー

ルートの計算の方法については下図の様な模式図を参考にすれば、理解し易い。



$1234 - 30 \times 30 = 334$　　$334 - (30 \times 2 + 5) \times 5 = 9$　　$9 - (65 + 5 + 0.1) \times 0.1 = 1.99$

上図で横に倒れていた余りの分を縦積みする為、2倍をする(30×2　,　5×2　)操作が必要となってくる。

右の筆算例で、実際に人間の頭では
$12-1$, $12-2^2$, $12-3^2$, $12-4^2$
の計算をさせ、自然数の自乗の数のなかで 12以下であって 12に一番近いものは "3" であるとの思考を行なう。

ディジタル計算機では次の様な演算のくりかえしによって同等の内容を実行する。

```
        3  5. 1
  3   ┌1234.
  3      9
 65     334
  5     325
 701      900
   1      701
 702      199
```

（筆算の例）

$\sum_{k=1}^{n}(2k-1) = n^2$　　の等式に従がって

$12-1=11$,　$11-3=8$,　$8-5=3$,　$3-7=-4$ （ボロー発生）

1回目　　2回目　　3回目　　4回目

この為に減数となる奇数を任意の桁に発生させてやらねばならぬ。又、前ページにあるように、2倍をする操作が必要となる。純2進の演算器の場合には、2倍の操作は単にデータを1ビット左シフトさせるだけで良いのだが、一般卓電においては、置数及び表示の際の10進－2進，2進－10進の変換操作の簡略化、直接化を行なう為、2進化10進法（BCD）によって数値を表現している。この為 BCD においては同じ数を加算させる事によって実現する事になるが実際には、ルート演算についてはこの様にはせず、1回余計に引いた時点（即ちボローが発生したとき）での減数の値、上例で言えば "7" より 1 を減算する事によって可能ならしめる。

しかしながらこの様な形で演算を進めていった場合、（何回減算をしたかを記憶しているレジスタ，即ち演算結果を貯わえるレジスタ，を持っている場合を除いて）演算結果は実際の根の2倍の値となる。純2進法ならば1ビット右シフトすれば即座に ½ できるのであるが BCD の場合、5回加算して、1桁分右シフトする操作をせねばならぬ。

以上の様にやや複雑な操作が必要であるがカシオ計算機では巧妙なフローを作って簡略化を実現している。

演算結果を5倍する必要性のあるところから、
①被演算数を当初から5倍する。
②奇数の減算に際しても5倍したものを使用し、(5, 15, 25, 35 ‥‥‥) 2桁目に1を加算すれば良いという
ハードウェア上の簡略化、及び2桁目の値が減算の回数を表わし、演算結果として、そのまま使用できる、という二重性を持たせる。
という2点の特徴をもったフローを使用している。

このカシオ計算機のルート計算法は μPD174 プラス ROMの構成によって、卓電を製造していた時点において既に使用されていたが、その当時は、1を加算する桁を選定する為に、1を減算する4ビットのカウンターを内蔵していた。ところが、"ハードを極力減らす"という、ROM方式設計思想から、μPD176 (8桁ダブルレジスタ 1メモリ、このLSIのフローチャートについては IEL-3300 "μPD178のシステム解析" の付録として添付してあるので参照) 以降、このμPD179においても、4ビットのカウンターは内蔵しておらず、レジスタ操作によって、全てソフトで行なっている。この方式については、NECにおいてもμPD176発表以前に既に、プログラム開発済であって、実際にμPD277 (6桁表示12桁卓電用LSI) に採用されている。但し、演算レジスタを3本しか持っていない一般卓電においては、レジスタ操作のみでルート演算を行なわせると A×√B の様な演算が不可能となる。((17) 演算機能(d) で述べた指数関数、三角関数キーの仕様理由と同じ) この事からも、カシオ計算機の"不要なものは切る"という思想が感じられる。但し、"不要なもの"と判断する基準は電卓各社、各設計者によってまちまちであり、明確な条文として定まっているものではない事は確かである。

(d.) $\boxed{e^x}$ 演算フロー

超越関数計算については、近似計算法を用いる方法もあるが、μPD179 では、ベキ級数展開式を用いて演算を実行している。

(参) $e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \cdots\cdots$ $(-\infty < x < +\infty)$

$\ln x = 2\left(a + \frac{a^3}{3} + \frac{a^5}{5} + \cdots\cdots\right)$ $a = \frac{x-1}{x+1}$ $(0 < x < +\infty)$

$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \cdots\cdots$ $(-\infty < x < +\infty)$

$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \cdots\cdots$ $(-\infty < x < +\infty)$

$\tan x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2}{15}x^5 + \frac{17}{315}x^7 + \cdots\cdots$ $\left(-\frac{\pi}{2} < x < \frac{\pi}{2}\right)$

$\boxed{e^x}$ については、$\exp(I+d)$ のとき（I：整数、d：小数）

$10 \leqq I$ のときは OUT とし、$1 \leqq I \leqq 7$ のように整数部を持つ場合は、その値を保持し、小数部のみ展開式に従って演算を行なう。これは、整数部のあるデータを展開式に代入していくと、8桁以上の演算結果がでる可能性がある為でもあり、又、その必然性がないからでもある。展開式第10項までの計算を行なう。まとめると、

$$\exp(I+d) = \exp(I) \times \exp(d)$$
$$= (2.718282)^I \times \left(1 + d + \frac{d^2}{2!} + \frac{d^3}{3!} + \cdots\cdots \frac{d^9}{9!}\right)$$

として演算結果を求めている。

$I + d < 0$ の場合は逆数を求めるルーチンを通す。

(e.) $\boxed{\sin}$ $\boxed{\cos}$ $\boxed{\tan}$ 演算フロー

$\sin x$ を展開式第5項まで求め、その値を基に、他の関数は代数式によって計算する。

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \frac{x^9}{9!}$$

$\cos x = \sin(x - 90^\circ)$ $(\cos(x - 90^\circ) = -\sin x)$

$\tan x = \frac{\sin x}{\sqrt{|\sin^2 x - 1|}}$ $(0^\circ < x < 10^\circ)$ $\tan x = \frac{\sqrt{|\cos^2 x - 1|}}{\cos x}$ $(10^\circ \leqq x \leqq 90^\circ)$

角度は10進度数法で与えるが、まず、その角度を $0° \leq x \leq 90°$ の第1象限の角度に限定する。一般には、$0° \leq x \leq 360°$ に変換する操作をまず行なうが、フローの簡略化の為に、90° を区切り変換していく機能しか持っていない)。この為、角度が非常に大きな値(この様な場合は無いと考えて良い。)となると演算時間が非常に長くなる。これを避ける為に、与え得る角度は、$-1440° \leq x \leq 1440°$ に限り、範囲外の値については、ODF 表示をする。第1象限に変換したのち $\frac{x}{\left(\frac{180}{\pi}\right)} = \frac{x}{57.29578}$ によって10進度数 → 弧度法変換をし、展開式に従がって演算結果を求めている。

(f) $\boxed{\ln}$ $\boxed{\log}$ 演算フロー

演算精度をあげる為に、$\ln(X)$ の計算では $X = x^{32}$ とおき

$$\ln(X) = \ln(x^{32})$$
$$= 32 \ln(x)$$ とし、展開式を計算し、

$$\ln(X) = \overset{(64)}{32 \times 2} \left(a + \frac{a^3}{3} + \frac{a^5}{5} + \frac{a^7}{7} + \frac{a^9}{9} \right)$$ として、又、常用対数は、

$$\log(X) = \log(e) \times 64 (\cdots\cdots)$$
$$= 27.79485 (\cdots\cdots)$$ として求める。

(g) 演算精度について、

超越関数計算においては加減乗除のくり返しによって結果を求める為に、でき得る限り、その演算途中で、オーバー・フローやアンダー・フロー(指数小数点方式では、さほど配慮する必要はない。)を、させぬ様に数値あるいは計算法を選定する事、又、演算結果の精度を良くする工夫が必要になる。μPD179のように浮動小数点方式の場合、加減乗除全ての演算を1回行なう毎に精度が悪くなる。特に乗除計算の際、ODF、UNFせぬ様にしたとしても、小数演算結果のみの場合表示桁外の数値は、切り捨てられてしまう。又、加減算のときは、指数方式の場合も同様であるが、小数点位置合わせの際に桁落としが行なわれる。精度の点では指数小数点方式のほうが数段まさっていると言える。(μPD179は普及型科学技術計算用卓電を志向した品種である。)この為μPD179は演算結果の

下2桁を切り捨てて表示している。

演算精度をあげる為に、μPD179では、次の様な処置をしている。

(i) $\boxed{e^x}$ 展開式に直接 x の値を代入して求めても良いが整数部と小数部に分け、小数部のみを展開式で求める。

(ii) 三角関数‥‥ x のベキ乗解が多いので $0 \leqq x \leqq \frac{\pi}{2}$ に変換しオーバー・フローせぬ様にし、特に $\boxed{\tan}$ 計算では、$0 \leqq x \leqq 10°$ と $10° \leqq x \leqq 90°$ とに区分し、前者においては $\tan x \fallingdotseq \sin x$ となるところから分母の $\sin x$ を優先させ、精度良く計算し、分子の $\cos x$ は $\sin x$ から導出しても、1の近傍であるところから、精度があまり落ちないようにしている。又 後者では分母が0に近くなり演算回数の増加によって精度が極度に落ちる事を考慮し $\cos x$ を直接求めて、計算をしている。

(iii) 対数計算‥‥ 展開式の第5項までの計算によって精度良く計算する為には $a = \frac{x-1}{x+1}$ の値を"0"から離れた値にする、即ち x を1に近似させてやる必要がある。この為に、まず、x の32乗根を求めて x に代入している。

(参) 精度低下につながる演算例 (表示4桁、浮動小数点、指数小数点)

$$1111. + 0.999 = 1111.999$$
$$\fallingdotseq 1112. \quad \longrightarrow$$

小数点表示方式の如何に拘らず "1111." となる。(5/4 機能なしとする)

$$1111. \times 0.001999 =$$

浮動小数点の場合 $1111. \times 0.001 = 1.111$ として誤差が大きくでるが、指数方式では、$1.111 \times 10^3 \times 1.999 \times 10^{-3} = 2.220 \times 10^{-3}$ となって有効桁数未満を切り捨てた形で正確に答が得られる。(高級な科学技術用卓電は、1桁余分に演算結果を出し、最下桁4捨5入という機能を持っているのかもしれない。)

(h) 展開式演算ルーチン

実際に演算に用いている展開式は次の三式である。

$$e^x = \left(x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \frac{x^5}{5!} + \frac{x^6}{6!} + \frac{x^7}{7!} + \frac{x^8}{8!} + \frac{x^9}{9!}\right) + 1$$

$$\ln x = \left(a + \frac{a^3}{3} + \frac{a^5}{5} + \frac{a^7}{7} + \frac{a^9}{9}\right) \times 64$$

$$\sin x = \left(x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \frac{x^9}{9!}\right)$$

この三式の違いは、①階乗をつくるか、②奇数のみに演算を限定するか ③正負符号を1回の演算の後反転させるか の3点に集約され、ジャッジによって、この振分けができれば、上式の括弧内の演算は同一ルーチンで実行可能となる。μPD179では、32アドレスで、このルーチンを作っている。

〔5〕 まとめ

μPD179Cは、カシオ計算機が開発した、8桁浮動小数点方式科学技術計算卓電用LSIであるが、キーについては、使用頻度の高いものだけに限定し、演算、表示の簡略化の為に演算精度を落とし、一般、通常にはこの程度で充分であると思われるが、演算結果は、6桁までしか得られない等、普及型卓電を志向している。

先年カシオ計算機が6桁計算機カシオミニを発売して、安物家庭用卓電の一番乗りを宣言して大反響を巻き起こし、他の電卓メーカーもこれに追随しようと必至だが自社技術では設計できず、NECなど、LSIメーカーの標準品を使って、この場をしのごうとするメーカーばかりで、ここ当分、カシオ計算機の電卓業界におけるトップの座はゆるぎないものとなろう。 さらにμPD179Cの開発によって、科学技術卓電分野にも、実用本意の安物攻勢を仕掛けてきたわけで、カシオ計算機の高い電卓設計技術と、合理精神とによって カシオ旋風が、ますます電卓業界に吹き荒れる事は、まず間違いない。

Seven pages (page 19 to 25) of flowchart were omitted.