

《解説》——日本における計算機の歴史——

わが国初めての電子計算機 FUJIC

岡崎 文次*

1. はじめに

FUJIC の FUJI は富士フィルムを意味している。富士フィルムで電子計算機が作られたことに、奇異の感をいだく人が少なくない。しかし、昭和27~8年ごろまでは、アメリカでも、大学や研究所が中心となって作られたものが多かった時代であるから、必要とするところで製作を企てても、特に妙というわけではなかった。まず、着手のいきさつを述べよう。

昭和9年に設立された富士フィルムでは、感光材料の製造販売が軌道に乗るや、レンズの研究を始めることになった。昭和14年、筆者は物理学科を卒業して、すぐ富士フィルムに入社し、レンズの設計を担当することになった。レンズ設計の仕事には多大の数値計算を伴う。この計算は、光線がレンズの中を進んでいく道を5~6桁の精度で追跡し、収差を求める仕事である。レンズの構成データを色々変えて計算を繰り返す。当時、これを6桁の対数表を使って、一組二人で行ない、2人で違いがないことを確認しながら進めていた。

原理は簡単であるが、量的には多大の時間と労力を要する。対数計算では、7~8面からなるレンズで、レンズの中心軸を含む平面内を二次元的に屈折して進む光線(斜光線)で1日に10本ぐらい、三次元的に進む一般的な光線(Skew ray)なら5本ぐらいしか追跡できない。従って追跡結果を見て考える設計者にとっては、結果が出るのがはなはだ待遠しい。写真レンズを新しく設計するには、光線を1,000本も2,000本も追跡しなければならない。ここに高速計算の必要性があった。

デジタル電子回路は戦争前にも、核物理の実験で粒子を数えるカウンタに使われていた。当時はサイラトロンを使ったものが多かった。筆者がこれを見たのは卒業の前年、理研の仁科研の実験室である。放電の様子がチラチラするだけで、電磁カウンタのような音

もしないのに、はるかに高速であるのに深い感銘を受けた。カウントできるなら計算もできそうだと、その時考えた。興味をもって Rev. Sci. Instr. などを調べてみたことを記憶している。

さらに数年さかのぼる。数学がむづかしいという評判の八高に学んだ。むづかしいというよりは普通の平均的な型に入っていなかったのである。そこに近藤鉦太郎、椎尾詞(Siio-Hitosi)という数学の先生がいて、講義も色々かわっていた。教科書はそっちのけで、二進法が便利だという話、数は零から数え始めるのがよいという話などを聞いた。後に二進法に全く抵抗を感じなかったのは、こうしたことも影響していたに違いない。

さて、会社のレンズの仕事は戦争と相い前後して始まった。戦争末期には軍用の航空写真レンズを作っていたせいもあって、女子の計算手は数十人に達した。終戦で仕事は一時縮小され、計算手も数名となったが、その後次第に復活の様子を示すようになった。しかし戦争中のように、計算手を集めるわけにはいかなかった。

そのとき、当時まだ薄っぺらだった科学朝日の1冊が、筆者の心をひきつけた。それに SSEC (Selective Sequence Electronic Calculator) のグラビア写真と解説記事¹⁾がのっていた。SSEC は主メモリーがリレーで、コントロールはおもに紙テープ(幅が数インチの広いもの)によって行われるようにした電子計算機で、真空管を12,500本(ENIACについて多数)、リレーを20,000個以上使った電子計算機である。前から原理の可能性を信じていたが、これで実現可能性を知った。

電子計算機を作ることになると考えたわけではないが、ここで「レンズ設計の自動的方法について」という表題でレポートを出した。その中で、よいレンズが出来るかどうかは、おもに数値計算の量によること、自動化すれば人件費の節約になることを述べた。さらに、数値計算は間違わないことだけが大切で、特別な判断力を必要としないから、まさに入手を自動化すべ

* 専修大学経営学部

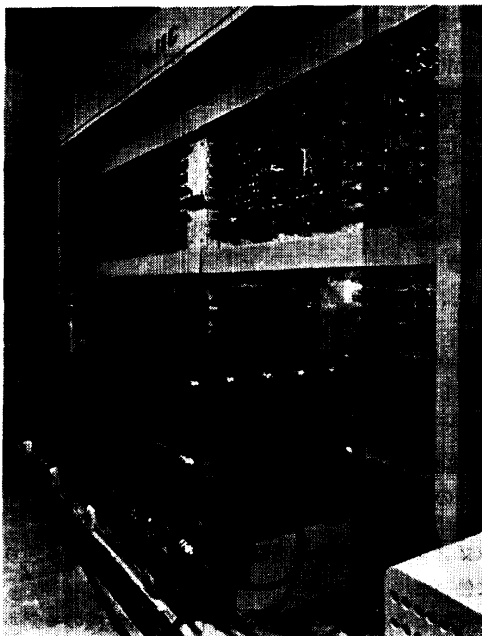


図1 FUJICの外観（手前に見えるのは水銀タンクの一端、その周囲に置いた細長い幾つもの箱は付属の変調器と受信増幅器）

き性質の作業であることを強調した。また、サイラトロンのフリップフロップの図を一つそえて、2進数1桁の取扱いが可能なことを、簡単に説明した。

レポートを出して、しばらく立つと、研究予算を出してもよいという話に戻ってきた。そこで当座の分として20万円ぐらいを要求し、そのまま予算に計上された。こうして、FUJICへの第一歩が踏み出された。昭和24年3月のことである。

2. 基礎研究

基礎的実験として何がどのように行なわれたかの経過を述べよう。会社は主体が化学工場である。筆者のいた小田原工場には、弱電の研究に役立ちそうなものは何もない。最初に予算を使ったのは、ネジ回しやペンチを買うことだった。対数計算の部屋の隅に、作業台を一つ置き、人手の方は対数計算をしていた旧制高女卒の中から一人を選んで、実験をさせることにした。この一人だけの状態は3年近く続いた。

筆者自身も回路実験やラジオ組立の経験があったわけではない。しかし、このことは別に気にしなかった。およそ研究というものは多かれ少なかれ経験のないと

ころを進んでゆくことである。前に述べたレンズ設計の仕事でも同様だった。その實際を学校で習ったのでもなければ、会社に前任者がいたわけでもない。物理をやったことで、何かを作ろうとするときに、電気的方法であろうと、光学的方法であろうと、機械的方法であろうと経験のないことを恐れない態度が身につけていたように思う。

2.1 フリップフロップ

最初にした実験は、一つのフリップフロップを作ることであった。デジタル計算機はいわば自動ソロバンである。フリップフロップはそのソロバン玉であるから、最も重要な要素である。まず戦前の文献（開戦後ののは来ていない）を集めた。その頃は trigger circuit とか scale-of-two などとよばれ、Eccles と Jordan²⁾ や Wynn-Williams³⁾ が発表した古いものを含め、10件近く集った。古いものでは、サイラトン2本が使われていたが、その後三極管におきかえたという論文や五極管1本で作るという研究もあった。

サイラトロンは1本で1ビットを保持できる可能性があることや、実物を見たことがあるなどから、最初サイラトロンで作ることを考えた。しかし、これはすぐやめた。寿命が短いことや放電管で余り速くならないこともあるが、それよりノイズで2本ともオン状態になりやすいことが分ったからである。

そこで UY 76 という三極管を使うことにした。先ず文献に出ている回路通りのものを作ったが、うまく働いたり働かなかったりする。抵抗やコンデンサをかえたり、電圧をかえたりしてためしている内に、

- 1) 真空管のカタログの特性値はあてにはならず、個々には倍から半分ぐらいの間でバラついていること。
- 2) 従って抵抗などの値は文献の回路図や、計算式で出てくる値通りにしても余り意味がないこと。
- 3) 何よりも大切なのは、回路図で左右対称の位置にある部品には、なるべくそろったものを使うようにするとよいこと。

が分った。

今でこそ、フリップフロップはICを買ってくればすむが、確実に働くものをいくつも作ることが必要であるから、この実験には、可成りの時間をかけた。コンデンサを含まないフリップフロップなら条件は緩和されるが、必要な数がふえる。少なくともすむよう、対称性のよいフリップフロップを作ることにした。そのためには真空管の特性曲線を簡単に調べることが必要

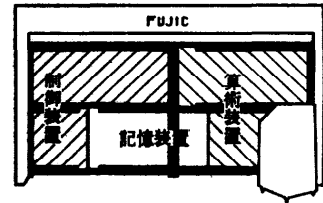
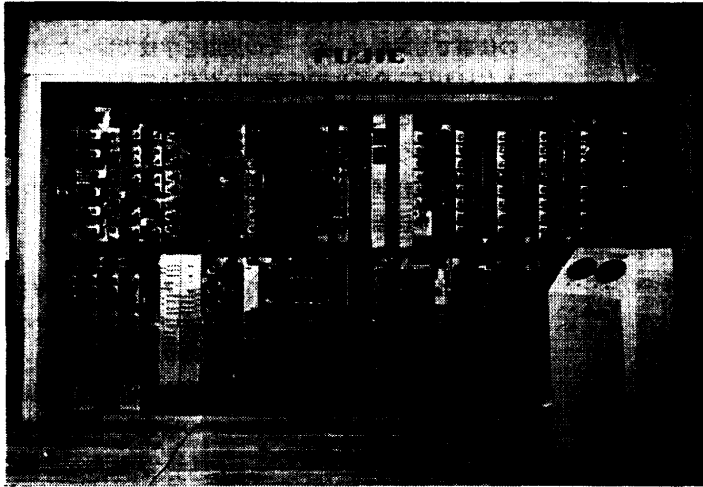


図2 FUJIC の外観 (図1の反対側)

になった。そこでブラウン管に特殊曲線を書かせる装置を手作りした。今では内外のオシロ・メーカーが出しているものである。これを使うようになってからうまく出来るようになった。

最初の一つのフリップフロップが出来たときは、ほかに何もないので、回路のあちこちに針金やネジ回しでふれると、付属のネオンランプが点滅することで動作をたしかめ、安心したものである。ところが、もう一つ作って、二つで4進カウンタにしてみると、うまくカウントしない。いろいろ調べてみると、回路にふれるときにチャタリングがおこっていることがわかった。原因が分かったのでその防止はすぐできた。もう一つフリップフロップをおいて、これを強制的にオン・オフさせ、その反転出力を4進カウンタに加えたら正常に動くようになった。実は初め1個の場合もふれるごとに必ず反転したわけではないが、その時はさわり方が悪かったのだらうと思って見のがしていたようである。

真空管3本で scale-of-three も作ってみた。3本そろった真空管の組を作ることが2本の組を作るより困難であり、ファン・アウトも少ないことが予想される。3進法の利点よりもマイナスの方が大きそうなのでやめた。作った1個は、次にのべる初めのモデルに使った。

2.2 モデルの製作

フリップフロップというソロバン玉が出来ると、次はそのソロバン玉をはじく論理回路が必要になる。いくつかの論理を二極管や三極管で組んでみると、フリ

ップフロップの時のような困難は全くなく、思う通りに働いた。

そこで2進4桁の加減乗除を行なう計算機のモデルを作ることにした。レジスタは3つ(2つは被演算数用、1つは結果用)で、各々が4個のフリップフロップからなる。他に制御用に数個のフリップフロップを使った。フリップフロップは、使っているうちに一方の真空管が切れたり悪くなると、前に述べたようにその一本をさしかえるだけではすまないで、プラグ・イン式にした。すべてのフリップフロップの表示ランプは、一ヵ所に集めて、全体の動作が一目で分るようにした。クロックは、手動キーで1パルスずつ出すもの、交流電源をもとにした25Hzのもの、発振器で作った約30kHzの3種類が出るようにした。この完成で、算術装置、制御装置を作るための基礎が一応出来た。

実験目的とは別に、モデルはデモンストレーションに非常に役立った。クロックを三つにしたのも、多少そのことを考えてである。会社の重役にPRするのも、社外からの工場見学者に見せるのにも役立った。大抵は掛け算をやって見せた。始め一動作ずつ予告説明をしてから、手動キーで1パルスずつ出して働かせ、数分間かけて掛け算を見せる。次に同じことを25Hzで動作させると、ランプがチラチラしたかと思うと半秒間で同じ結果を示して停止する。次に速い方のパルスでやって見せると、スタート・キーを押した瞬間に同じ結果が出る。“今のは1/2,000秒ですみました”という、見学者がびっくりするわけである。

このモデルは後に、ほとんど同じものをデモ専用で作直した。実験者がハンダ付けになれない頃にくしゃくしゃに配線したものであったし、長年見せているうちに余分のペーストにはこりがこびりついて見苦しくなったからである。

2.3 記憶装置

高女卒の実験者が一人でやっているだけだから、同時並行というわけにいかないの、モデルの完成で論理回路の実験から、メモリの研究に移った。当時はメモリとして水銀のディレー・ラインとブラウン管が考えられていた。

ブラウン管メモリは高速で魅力的である。しかし76のように簡単な真空管でさえ、そのバラツキで苦労したばかりである。またその時、ブラウン管で特性曲線を調べたが、ブラウン管によっては、特性曲線が二つに分れてループをえがく。原因を調べると、偏光板にチャージがたまるためであることが分った。数本を調べてみると、4つの偏光板のどれにもチャージがたまらないものがあったが、大体はどれかの偏光板にチャージがたまる。ブラウン管メモリは、螢光面でのチャージの分布で0と1を区別するものだから、自社で量産してでもいい限り、安心して使えるものを揃えることは無理だと考えて取りあげないことにした。

ディレー・ラインに決めて最初に問題にしたのはどんなクロック周期数にするかであった。論理装置の方はクロックが多少速くても遅くても、必要な部品数はそれほど変わらないが、このメモリはクロックの周期に比例した量の水銀を要する。従ってクロックが遅いと大変なことになる。手元にあるオシロは簡単なもので1MHzのパルスの波形までは分らないが、あるなしならとにかく判別できた。そこで1MHz程度を目標にした。

水銀や水晶板を手に入れて、長さ20cmぐらいの実験用ディレー・ラインを作る一方、アンプの実験を始めることにした。1MHzのパルスなら、キャリアが10MHzぐらい、バンドが3~4MHzのビデオアンプがいるだろうと考えた。当時、テレビの放送はまだ始まっていなかったが、戦前からテレビの研究をしているNHKの技術研究所なら、こんなアンプは、何でもなかろうと、そこをたずねた。木下幸次郎氏からスイープゼネレータを使って調整することを教えられた。早速簡単で安い日本コロムビアのを買入れた。これと手元のオシロで調整して、ビデオアンプがとにかく作れるようになった。

1MHzのパルスで記憶させるには、アンプの他に1MHzで動くレジスタも必要である。ここで一つの問題が起った。論理回路のフリップフロップは、数十kHzの低速で働らくもので、手元のオシロで調整できた。1MHzとなると波形が見えないので、どこをどうしてよいかわからない。その頃NHK技研にはTektronix社製のオシロが2台あった。今でこそ計算機の調整者や保守員が1台ずつかかえて仕事をしているが、当時は日本にはまだ数台しか輸入されていなかった。2台のうちの1台をときどき木下氏に貸してもらったのは有難かった。土曜日に借りて来て残業し、日曜も出勤して使い、月曜に返した。使ってみるとめくらくが目あきになった感がある。さっそく1台購入することにした。1946年に設立されたTektronix社のカタログにも、まだ7~8種しかのっていなかったが、その内では最新のプラグイン式のものを選んだ。高価なので、予算を取って入手するまでに数ヵ月をついやした。測定器の進歩が、研究に大いに貢献することを改めて痛感した。

ディレーライン・メモリには、なお、確実に働かせるのに問題があったが根本的なものでなく、いずれ解決する程度のもので考えた。少しまえ、東京工大の電気科を卒業した矢野昭君が入社した。計算機のために採用されたわけではないが、当分は計算機を手伝ってくれることになったので、メモリ関係の実験をしてもらうことにした。

3. 製作

メモリー関係の研究と並行して、全体の組み立てを始めたのは昭和27年12月である。全体的な構想はそれまでに出来ていた。目標は、人手でしていた対数計算の1,000人分以上が処理できること；途中で困難が生ずれば、100人分まで目標をさげてもよいと考えた。メモリ容量の方は、レンズ計算に必要なデータや計算機のプログラムを入れ、かつ幾分余裕を見ると、2⁸語程度が必要である。入力データは数十語である。データの一部を取り換えて繰り返し計算するにはカードで入れるのが便利であり、出力は途中の計算の量にくらべて考えれば、タイプライターで充分であろうと考えた。

3.1 方式

これらの目標に対して、具体的には次のような方式をとることにした。

- 1) 命令は3アドレス型とする。当時は機械語だけ

が考えられていた。その内で一つの算術が一つの命令に対応しまとまりがよいから、制御回路が多少は複雑になるがそうきめた。

2) 数値の1語は、固定小数点で符号に1ビット絶対値に32ビットとする。小数点より左に4ビットをおく。絶対値が10と0.1の間の数なら、逆数をとっても位取りに問題がおこらないし、レンズ計算は大部分この範囲の数値であるからである。

3) 演算、制御の論理装置には低速のクロックを使う。低速の方が消費電力も少なく、回路も簡単で作り易いからである。しかしメモリは実験中の1MHz程度とする。二つのクロック周期数は、演算に要する時間と、メモリのアクセス・タイムが同程度であれば、どちらが特に遊ぶということもないことから、きめることにした。メモリの遅延時間を約1ms、その1/32を低速クロックのサイクルとし、1本のディレーラインに32語入れることにする。

4) ディレー・ラインでは1語が33ビットの直列型とするが3ビット分の語間を安全のために加える。従って低速パルスは、高速パルスを36個数えて作る。

5) ディレー・ラインの変調は、いわゆるNRZにしてバンド幅を有効に使う。

6) 水銀の温度補償は、クロックパルスの周期数を自動的に変えることによって行ない常に一定のビット数を保持させる。

7) 演算回路は、クロックを低速とする代りに、並列方式をとる。

8) 3アドレス命令での演算では、普通には、一つの演算で求めた数値をすぐ次の演算で使う時、一度メモリにしまって、すぐ取り出すはずである。これはばかばかしい。そこで、アドレス0で、アキュムレータを指定出来るようにする。0のとき、別扱いをするためには回路を少しつけ加えねばならないが、計算はその割合以上に速くなるという理由による。

9) 入力カードで、1行に1語(1枚に12語)を入れる。

10) 出力はタイプライタで、本体と並行的に動作させる。タイプは遅いから制御回路はリレーで組む。

3.2 論理装置

一人で配線図を書き、書けたところから組み立てた。このときだけは、人手も数名がかりで配線した。別に修理部門の組立て工が1人、シャーシ板やフリップフロップのプラグインの箱をかかりきりで作った。半期の予算もこの時は200万円ぐらいであった。こうし

て論理装置の組立てが進み、半年余りで外観的には完成時に近いものとなった。昭和28年10月に初めて発表した学会講演⁴⁾ではその時の写真を回覧した。

算術装置では、オーバーフローおよび四捨五入のため、その絶対値レジスタは、両端に4ビットずつ加えて40ビットとした。

制御装置では、一つの命令をいくつかの直列の指示群に分け、次にこの各指令群を更に細かく直列の動作に分けるようにした。今の言葉でいうマイクロプログラムを2段がまえにしたような方法になっており、その各段はゲートのマトリックスから出来ている。

3.3 入力装置

こうして回路を組み立てる一方、入力用のカードリーダーを作った。これは真鍮の平板と丸棒を主材料として、すべて修理部門で加工した。人件費は研究費に計上されないシステムになっていたので、予算消費はほとんどゼロで出来た。機械の組立て図や部品図を一つ一つ書いたのは、この時が初めてである。

設計に際して一番気をつけたのは、カードを送り出す爪の材質、形、運動である。組立てたものは、一発で予定通りはたらいしたが、ベアリングまでも節約したので、しばらく使うとカードを送るローラの軸受け部分がすりへり、1mmぐらいの遊びができた。後に、磨耗に注意して、もう一度設計し、作りかえた。

全体は、30cm立方ぐらいの、小じんまりした大きさである。光電的に孔を読取るところでは、孔の位置からホトセルまで、曲げたガラス棒で光を導いた。今ならオプティカルファイバを使うところである。

カードは5mm間隔で縦方面に1秒間に2枚の割で連続的に送られるようにした。カードの一番上の行の特定位置にパンチがあると、モーターが止まり、カードの送り出しが中止される。カードは普通の80欄カードの大きさで、各行に数値または命令を一つと；それをしまったり、計算を開始したりするアドレスと；表2Bの処理方法の指定の三つがパンチされる。この指定の処理はイニシャル・プログラムやローダなしで次の行を読むまでの間に行なわれる。

もう一つの入力手段として1個のスタートボタンがある。これを押すとカードリーダーが動き始める。このボタンは場所的にはカードリーダーにつけてある。しかし、直接カードリーダーにはたらくのではなく、制御装置に入力命令と同じことをさせる働きをする。

3.4 出力装置

出力装置は、事務用の電動タイプライタとリレーと

電磁石を部品としてまとめ上げた。

出力命令はタイプするデータのアドレスと余分のアドレス部分に入れられたレイアウト指定とデータに添えてタイプする一文字の指定からなっている。タイプする間本体を遊ばせるのはもったいない。そこで、出力命令が直接することは、メモリから取り出したタイプする数値とレイアウトなどの指定をプリント用のバッファに移すことだけにした。その後はバッファの内容により一字一字タイプする。一方、並行に本体でも処理が進む。本体の処理が簡単なときは、タイプが終わらないうちに次の出力命令が出て来るが、この時はタイプが終るのを待つ。バッファは1組だけ置くことを妥協点としたからである。リレーはタイプと速さの釣合がとれる。そこで、バッファ及びタイプの制御回路はリレーで作り、タイプの台の下にしまいこんだ。

3.5 記憶装置

メモリ装置の方も製作が進んだ。水銀タンクは、断面が矩形の二つの隅を切り落したθ角形で、内部で5回超音波が反射するものを作った⁴⁾。情報チャネルが8本、温度変化補償用に1本、合計9本の超音波を一体となった水銀中に伝播させる。その道のりは145 cm、両端の水晶板は充分な指向性を持つよう、直径を10 mm 以上とした。作って一年程たつと、反射板を取付けた太いボルトがちぎれた。タンクの錆物の歪みのためと考えられた。そこで、タンクは作り直すことにした。錆物は心配なのでやめ、反射板も磨くのに手数がかかりよごれる心配もあるのでやめ、直径10 cmの鋼管にした。水銀は多量にいるが、加工が簡単であり鋼管が多少曲っても、支え方で補償出来るからである。

3.6 ハードの完成

こうして建設が進んだ昭和30年11月16日に電子通信学会の電子計算機研究専門委員会の見学会が行われた。2進10進変換の回路だけが未配線であった。そこで、2進法でデーターを入れ、16進法で結果をタイプさせて見てもらった。動くものでないと見て面白くない。そこで、前に述べたモデルの他に、カードが読まれるに従ってメモリの内容が変化していく様子を、ブラウン管面の33×32のドットでディスプレイした。文字などの形がブラウン管に上からスーッと現れるものである。当時のこととて、小型の割に高速度と、後に学会雑誌の委員会報告欄で喜安善市委員長に評された。

全部の配線と調整を終って完成したのは翌31年の

表1 FUJIC の方式と性能

取扱う数値	基数	計算機中 入出力	二進法 十進法および十六進法
	絶対値の桁数	二進法 十進法	32 桁 9 桁
算術装置	方法	同時式二進法回路（符号は別扱い）	
	計算に要する 時間	寄せ算、引き算 掛け算 割り算	0.1 ms 1.6 ms (平均) 2.1 ms
記憶装置	方法	水銀中の超音波遅延による 一路中の各ビットは逐次式	
	容量 アクセス	255 語 (1 語 33 ビット) 平均 0.5 ms	
主制御装置	方法 解読する命令	ストアド・プログラムによる 3・アドレス・コード	
入力装置	媒体	12行のパンチカード（各行に命令、数値、またはスタート指令）	
	方法 速度	1 行の各ビットを同時的に読み取る 約 25 行/s	
出力装置	プリンタ	電動タイプライタ	
	方法 速度	バッファにデータと指定を受けてから逐次タイプ 約 1 語/s	
パルスの 周期数	論理装置	約 30 kHz	
	記憶装置	約 1,080 kHz	
消費電力		約 7 kW	

3月初めであった。その少し前から、龍岡静夫君（現在 NHK 技研）がプログラムを始め、後に保守も担当することになった。

外観を図1、図2に、特長と性能を表1に、命令を表2A、表2Bに示す。技術計算では掛け算が多いので、掛け算関係の命令は四つにして、ステップ数がへるようにした。なお、オーバ・フロー検出用の命令もおいだ。

4. 成果

実用のプログラムができて、レンズの計算に使い始めたのは、それから間もなくである。対数計算との速さの比較を表3に示す。平均人手の約2,000倍である。

当時、ストアド・プログラムの計算機は、まだ1台も輸入されていなかったもので、社外からも、ときどき計算の依頼を受けた。本業ではないので無料サービスを原則としていたが、約200万円の計算料をいただいたこともある。そのいくつかは学会の講演会や雑誌にFUJICで計算した結果として発表された。雑誌に印刷されているもので分っているものを表4に示す。

こうして、およそ2年半の間、小田原で社内、社外の計算に使用された。現在本体は科学博物館にある。

表 2 A プログラムで使う命令

種類	命令記号	命 令 の 意 味
寄せ算 引き算	70 $X_x Y_y Z_z$	$([Acc]) + [X_x] + [Y_y] \rightarrow Z_z$
	60 $X_x Y_y Z_z$	$([Acc]) - [X_x] - [Y_y] \rightarrow Z_z$
	50 $X_x Y_y Z_z$	$([Acc]) + [X_x] - [Y_y] \rightarrow Z_z$
	40 $X_x Y_y Z_z$	$([Acc]) - [X_x] + [Y_y] \rightarrow Z_z$
掛け算	20 $X_x Y_y Z_z$	$([Acc]) + [X_x] \times [Y_y] \rightarrow Z_z$
	15 $X_x Y_y Z_z$	$([Acc]) - [X_x] \times [Y_y] \rightarrow Z_z$
	10 $X_x Y_y Z_z$	$[Acc] \times [X_x] \times [Y_y] \rightarrow Z_z$
	16 $X_x Y_y$	$[Acc] \times [X_x] \rightarrow Y_y$
割り算	30 $X_x Y_y Z_z$	$\frac{([Acc]) + [X_x]}{[Y_y]} \rightarrow Z_z$
移 動	19 $X_x Y_y$	$[X_x] \rightarrow Y_y$
飛越し	1L X_x	無条件: 次は X_x の命令へ
	1K $X_x Y_y Z_z$	条件付: $[X_x]$ が正なら Y_y へ, 負なら Z_z へ
	1J $X_x Y_y$	オーバー・フロー検出用: $[Acc]$ の絶対値が 16 以上なら X_x へ, 16 未満なら Y_y へ
入 内	1P	カードを読み始めよ
出 力	1M $X_x Y_y Z_z$	$[X_x]$ を十進法に直してプリントせよ
	1N $X_x Y_y Z_z$	$[X_x]$ をそのまま十六進法でプリントせよ
停 止	00	処理をやめよ

X_x, Y_y, Z_z はプログラムに使う十六進数字を示す。[X_x] はアドレス X_x の内容, [Acc] はアキュムレータの内容, 加減乗除で Z_z が 00 の時は, 結果がアキュムレータに残り, 次の命令で使われる。出力命令の Y_y, Z_z はレイアウトとデータの前にとえる 1 文字を指定する。

表 2 B カードで指示される命令

パンチ	命令の意味	用 途
X_x ① ...	...をそのまま X_x へしまえ	通常, プログラムを入れるのに使う
X_x ② ...	...を二進法に直してから, X_x へしまえ	十進法のデータを入れるのに使う
X_x ③	X_x にある命令から処理を始めよ	プログラムによる処理の開始に使う

①, ②, ③はそれぞれ一定の欄のパンチで, 各行にどれかがパンチされる。

5. その他

FUJIC の始めからのことを, ほぼ順を追って, いままで述べて来た。このあと全体に通じること, 特定のことなどについて, 二三述べよう。

表 4 FUJIC で計算した結果が雑誌に発表された研究

	著者名: 文献——表題 (または内容)
光学関係	小穴 純: 応用物理, 第 26 巻, 206~210, 昭 32——非点収差のない老眼用掛眼鏡レンズの設計 K. P. Miyake: Science of Light, Vol. 7, 9~13, 1958——(レスポンス関数関係の研究)
	久保田広: 応用物理, 第 27 巻, 608~613, 昭 33——偏光顕微鏡における回折像の研究
	久保田広, 松居吉哉: 応用物理, 第 28 巻, 520~526, 昭 34——眼鏡レンズの収差について H. Yoshinaga, B. Okazaki, S. Tatsuoka: J. O.S.A., Vol. 50, 437~445, 1960——(赤外分光系の収差の研究)
微分方程式関係	T. Murakami: J. of Meteor. Soc. of Japan, Ser. II, Vol. 36, 11~12, 1958——(気象の数値予報関係の研究)
	H. Fujisawa: J. Phys. Soc. Japan, Vol. 13, 250~260, 1958——(金属中の不純物による電場に関する研究)
	M. Kamimura, S. Koide, S. Sugano, Y. Tanabe: J. Phys. Soc. Japan, Vol. 13, 464~473, 1958——(イオンの電場に関する研究)

表 3 光線の追跡に一面当りに要する時間の比較

光線の追跡の種類	命令のカード	FUJIC での計算所要時間	対数表を使っての計算所要時間
近軸光線	3枚	約 0.04 秒	約 3 分
斜 光 線	7枚	約 0.25 秒	約 4 分
Skew ray	11枚	約 0.35 秒	約 10 分
非点収差	12枚	約 0.42 秒	約 13 分
Seidel 収差	11枚	約 0.34 秒	約 12 分

5.1 時間の節約

研究を始めてから, 完成までかなりの年月がかかった。これは本業としてやったわけではなく筆者にとって片手間仕事の形で行なわれ, 手伝う人も僅か (前半は一人, 一時は数名, 終り頃は三人位) にとどめ, 予算も少しずつしか請求しなかったためである。期限つきで命ぜられていたわけでもないで, 初めから細く長くという方針で進めた。

しかし, 僅かな人手と予算の割りには, 短期間ですんだと思う。予算が大きければ, 半分以上外注したり, 既製品で間に合わせることができ, それだけすることが少なくすむからである。時間が節約できた理由として, 次の三つをあげることができよう: —

(1) 文献が少なかったこと。

研究を始める時調べたのは, 戦前のカウンタの文献だけである。フリップフロップの実験をしているところ, 大阪工業試験所の山部敬吉氏から, 阪大の城先生を紹介していただいて, 文献が分っていたら教えていただきたいと手紙を出した。折返し 10 件ぐらいの文献を並べた一覧表を送っていただいた。すぐに, 当時日比谷にあった進駐軍の CIE 図書館で写真に写した。見ると長いものも短いものもあり, 分っていたものは全部お知らせいただいたようである。主要なものが三つぐらいあった。ENIAC の回路の論文もあったが, 十進法で真空管を多数使っているので参考にならない。一番役に立ったのは概説論文で, ディレーライン・メモリのことも紹介してあった。その後は自分で文献をさがしたが, 当時は文献の数が少なく, 終りまでに参

考にしたのは数件にすぎない。このことは読む時間、読んだために考え直したり迷ったりする時間、その結果無駄なやり直しをする時間が節約できた。

(2) 会議がなかったこと。

新しい計算機を開発するのに、普通なら上や横（または注文者）との会議を月に1回ぐらい、担当者間の打合せを週に1回ぐらいは開くはずである。ところがこんな会議は1回も開いていない。一人で考えて、一人できめただけである。予算の請求は他の研究と並べて一覧表に並べて請求するだけで全部認められる程度にとどめた。ただし、半年に一度ぐらいは4~5ページの経過報告を提出した。会議があれば、そのため準備や意見の調整に多大の時間をとられる。また、違う考えにふり回されたり、意欲をそがれることもある。

(3) 困難が予想される方法をさけたこと。

演算、制御、記憶、入力、出力何れも方法は色々考えられる。どんな方法によるかをまずきめねばならない。一方、こちらは電気も機械も素人である。細かい専門的なことは知らないが、物理的、基礎的に考えてこれなら簡単に出来そうだとか、少し研究すれば出来そうだとか、研究しても成功するかどうかあやしいとかのおよその見当はついた。とかく一つの専門家は、自分の専門で何でもしようとしたり、自分の専門を過信し、むづかしいことを考えやすい傾向がある。素人だからそんなこともなかった。目標は計算機をまとめることである。目標性能を達成するには充分そうで、なるべく容易そうな方法を選ぶことにした。途中で困難にぶつかった場合の別法も、一応は考えておいた、しかし、前に述べたように作り直した部分はあったが、困難にぶつかって大きく後戻りすることはなくてすんだ。初めの方法の選択が、その時の技術環境などからみて適切であったと思う。

5.2 特許

この仕事に関して数件の特許を会社から出願した。計算機に関する出願はまだほとんどなく全部登録された。

その中の一つ、特公昭 30-7104 として公告された「循環回路」について、少し述べよう。これはシフトレジスタをある方法で環状につないだもの*である。5個のフリップフロップを使った分りやすい適用例は、表5に示すコードで、10進1桁を保持したり、カウントしたりできるものである。これについて、昭和38

表5 循環回路で作った10進カウンタのコード

10進数字	カウンタのコードの一例				
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0
3	1	1	1	0	0
4	1	1	1	1	0
5	1	1	1	1	1
6	0	1	1	1	1
7	0	0	1	1	1
8	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	1

年秋、日本 IBM は IBM の新機種に同じ手段が使われるらしく、特許権者富士フィルムに申し入れて、実施契約を結んだ。明細書や請求範囲は真空管で書いてあるが、その権利はトランジスタに置き換えた場合にも及ぶからである。その後上記の適用例の回路は Johnson counter, twist counter, train counter などの名前で、本や雑誌に出ているのを見つけておどろいた。同じ回路を使った高速カウンタは国内の著名な計測器メーカーから発売されており、また別のメーカーが出願した全く同じものが、特公昭 44-3540 として公告されている。IR の重要性をあらためて感ずるわけである。

3, 4 に述べた、電子装置とメカ装置の間にバッファを置くことや、本体の処理と入出力の同時並行動作の方式は充分に出願の価値があったと思う。出願を見あわせたのは、ごく当り前に考えついたことであつたし、計算機が会社の本業でなかったためである。

5.3 システム工学的にみた経過

電子計算機は、電気工学、数学、機械工学などを応用したシステムといえる。あるいは境界領域の産物、新しい言葉でいえば学際的産物といえよう。FUJIC を組立てていた頃は、システム工学という言葉は聞かれなかった。言葉はなくても、大昔のピラミッドもシステム技術の成果といえるであろう。最近、筆者はシステム工学の本を幾冊か始めて読んだ。驚いたことが二つある。システム工学何々と題する本の内容がまちまちであること；もう一つはこれまでにあらましを述べて来た経過が、「システム工学の方法」⁶⁾に述べられている手順によく叶っていたことである。システムの責任者にとって一番役立つのは説得技術だという見方もある。2.2 で述べたモデルの視覚にうったえるデモンストレーションは、大きな説得力を持っていた。3.1 で箇条書にした各項目は、その時の環境条件のもとで、目標に対して最適であろうと推定してきめた妥協

* FUJIC では、フリップフロップが2個、6個からなるものが各1個制御装置で使われている。

点である。

5.4 使用真空管

細く長くというやり方であったので、真空管はいろいろなものを使っている。初めの頃設計したフリップフロップは ST 管が多い。中頃に配線した論理回路はほとんど GT 管である。一番後で組立てたメモリ関連のところは MT 管になっている。

使用総数は、二極管が約 500 本、三極管などが約 1,200 本である。

5.5 謝辞

昔話を書き終るにあたって、FUJIC の製作の機会を与えられた富士写真フイルム株式会社、文献その他の御指導をいただいた城憲三教授、好意的に完成を見まもって下さった喜安善市博士、小穴 純教授、雨宮綾夫教授にあらためて感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 安藤 馨：電子で計算する機械，科学朝日，Vol. 8, No. 8, pp. 23~25 (1948.8)
- 2) W. H. Eccles, F. W. Jordan: Radio Rev., Vol. 1, p. 134 (1919)
- 3) C. E. Wynn-Williams: Proc. Roy. Soc., Vol. A 132, pp. 295~310 (1931); 同, Vol. A136, pp. 312~324 (1932)
- 4) 岡崎文次：数式電子計算機の一方式，昭和28年電気三学会支部連大 (1953.10)
- 5) 岡崎文次：電子計算機 FUJIC とその計算例，電気通信学会雑誌，Vol. 40, No. 6, pp. 722~725 (1957)
- 6) H. Chestnut, 糸川英夫監訳：システム工学の方法，日本経営出版会 (1969)

(昭和 48 年 12 月 18 日受付)