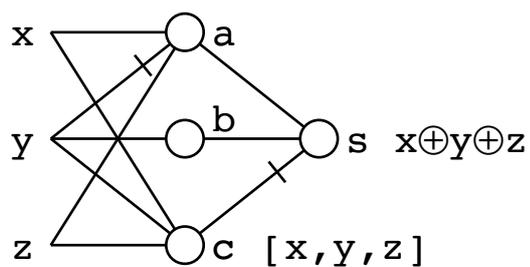


パラメトロン計算機

PC-1

1958 - 2008



パラメトロン計算機記念会

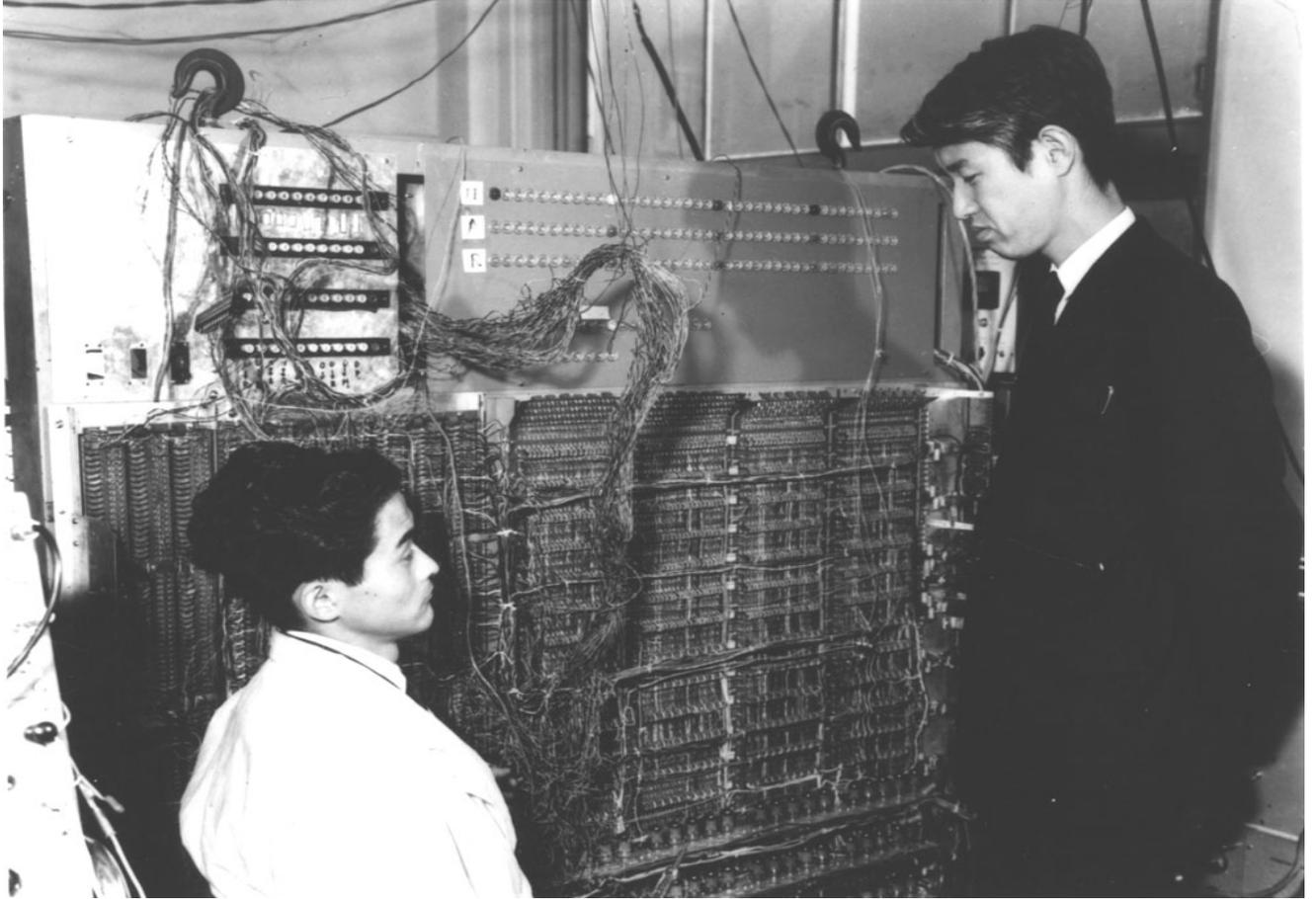
this page intentionally left blank

パラメトロン計算機 PC-1 1958 - 2008

目次

パラメトロン計算機 PC-1 完成 50 年	和田 英一	1
電子計算機講習会	有山 正孝	3
PC-1 の思い出と反省	飯島 孝夫	5
パラメトロンから江崎ダイオードへ	石田 晴久	6
PC-1, それは研究者人生の出発点	石橋 善弘	7
33 年後のソートプログラム	大駒 誠一	9
PC-1 完成後 50 周年を迎えるにあたって	上村 洸	11
PC-1 との出会い	木村 泉	12
PC-1 の思い出	清川 正男	13
パラメトロン計算機完成 50 年を祝う	朽津 耕三	15
NMR への応用	久米 潔	15
PC-1 と私	鈴木 功	16
PC-1/4 —PC-1 演算装置のパイロットマシン—	相馬 嵩	18
PC-1 による分子の基準振動計算	田隅 三生	19
パラメトロン計算機との日々	中川 圭介	20
PC-1 の誕生日 おめでとう	中川 雅子	21
PC-1 の思い出	原田 義也	22
私とパラメトロン	三浦 謙一	23
PC-1 のこと	村田 好正	24
PC-1 完成 50 周年に際しての雑感	山田 博	25
e の 1000 桁	吉川 庄一	26
PC-1 の思い出	和田 英一	27
海外からのメッセージ		28
参考 パラメトロン計算機 PC-1 —回路設計と方式設計—	和田 英一	29

PC-1 の前の高橋先生と後藤先生



(社) 情報処理学会 Web サイト「コンピュータ博物館」より転載

パラメトロン計算機 PC-1 完成 50 年

和田 英一

東京大学理学部高橋研究室でパラメトロン計算機 PC-1 が完成したのは 1958 年 3 月 26 日でした。それから 50 年が過ぎました。当時の関係者、利用者の皆様の多くがご健在で、完成 50 年記念行事において頂けるのは、嬉しい限りです。

残念なことに、この間に高橋秀俊先生 (1985 年 6 月 30 日)、後藤英一先生 (2005 年 6 月 12 日) はご逝去。また多くの多数決論理回路を案出した佐々木不可止君 (北海道大学名誉教授) も 2007 年 2 月 19 日に他界されました。利用された方で鬼籍に入られた方も少なからず。

ほぼ 10 年前、英国ではマンチェスター大学とケンブリッジ大学で、自作計算機の 50 年記念行事が開催されました。マンチェスターでは 1948 年 6 月 21 日に Small Scale Experimental Machine が運転開始; ケンブリッジでは 1949 年 5 月 6 日に EDSAC が最初の計算を行いました。それらの記念行事を知ったとき、10 年後には PC-1 も完成 50 年を祝いたいと誓い、そして遂にその日が来ました。

ケンブリッジ大学では 2 日にわたり、EDSAC99 を開催しました。我々はスポンサーもなく、半日ですが、講演会とパーティーを計画しているので、昔を偲んで頂ければ幸いです。

半日の記念行事の他に、関係者、利用者に当時の思い出を書いて頂きました。ケンブリッジ大学の Wilkes 先生、スタンフォード大学の McCarthy 先生からはメッセージを頂きました。それらをまとめたのがこの小冊子です。またパラメトロンが何であったか思い出して頂けるよう、私が情報処理学会のプログラミング・シンポジウムのために書いた、PC-1 の解説記事を参考として後に付けてあります。

高橋研究室でパラメトロン計算機を作った当時の話は、高橋先生の手記「パラメトロン計算機」[1]の「第 I 章 概説」、[2]の「電子計算機の誕生」[2]の「パラメトロンが出来るまで」、[3]の「コンピュータへの道」[3]の「パラメトロンの発明」に詳しく述べられています。すなわち東大工学部で TAC の建設が進んでいる頃、高橋研でも自前の計算機が欲しいということで、電話交換機の回転スイッチなど機械部品と真空管回路を合わせた機械電子式計算機の研究を進めていました。私が高橋研に入った頃は安田講堂の地下にあった交換室で不要になった交換機の部品が研究室に沢山転がっていました。この機械電子式計算機はコンデンサの電荷で数値を記憶します。記憶装置もコンデンサであり、電荷の漏洩による情報の変動を防ぐため、一定時間ごとにロータリスイッチで回転してくる量子化器 (quantizer) で、電圧を再生しました。

最近になって ENIAC より前に作られた、Atanasoff Berry の計算機 ABC が知られるようになりました。偶然にもこの計算機も記憶装置はコンデンサでした。ABC では量子化装置とはいわず、jogging という仕掛けであったそうです [4]。

そうこうしているうちに1954年始め頃、後藤さんがフェライトのコアで発振回路を作り、分周作用を使って記憶ができるというようなことを言い出し、その実験が発展してパラメトロンに辿り着いたということです。私が始めて高橋研を訪れた日には、2進4桁の加算器が出来ていて、そのデモを見せてもらいました。

その後パラメトロンは、日本電子測器、電電公社、国際電電の支援を受け、高橋研を中心に研究が進み、またパラメトロン論理回路と相性のよい2周波メモリーも発明され、計算機の作成まで進むこととなります。

1955年には日本電子測器のパラメトロンを使い、三つ山くずしのゲーム機が作られました。応用物理学会で展示されていたのを覚えています。その後十進計算機、じゃんけん機械などが試作され、パラメトロンさえあれば、論理回路を構成するのは簡単だということになりました。十進計算機を改良した試作加減乗算機、PC-1/4なども作られ、PC-1構築のノウハウが積み重ねられました。

PC-1の構築が始まったのは1957年の秋です。高橋研は工場のようになり、あちこちの回路の動いているのが段々と確認されてくるのは楽しみでした。

1958年3月はもう誕生間近かというので、春分の日にも全員研究室に出てきて後藤さんを先頭に、記憶装置の調整を続けました。そして26日夕方近く。...

後藤さんが「なんだか動いているみたいだ。だれかプログラムを作らないか」と言われ、私が紙テープの鑽孔機に駆けつけ、最初のプログラム、neglect erase (紙テープのコードから全鑽孔の抹消のコードを除いたテープを再生する)を作り、データテープと一緒に後藤さんに渡しました。テープはすぐイニシャルロードで読み込まれ、やがてデータテープのコピーが予想通りに進み、「やったー」という時を迎えました。

たしか翌日に電子通信学会の計算機委員会があり、そこで「PC-1が昨日動き始めた」とだれかれにとなく報告したのを覚えています。それから50年が過ぎました。

記念会メンバー 和田英一、相馬嵩、石橋善弘、中川圭介、石田晴久、三浦謙一

参考文献

- [1] 高橋秀俊編: パラメトロン計算機, 岩波書店 1968.
- [2] 高橋秀俊: 電子計算機の誕生, 中公新書 273, 中央公論社 1972.
- [3] 高橋秀俊: コンピュータへの道, 文藝春秋 1979.
- [4] Blabovest Hristov Sendov: John Atanasoff - The Electronic Prometheus, 情報処理 Vol.47, No.1, pp.1-7(2006).

電子計算機講習会

有山 正孝

私の手許に1冊の古びた講習会のテキストがある。

電子計算機——使い方と応用——

電子計算機講習会テキスト 1959年8—9月 日本物理学会

この講習会は日本物理学会が主催して1959年8月31日から9月7日にわたって開催されたもので、8月31日から9月3日までは東京大学工学部2号館大講堂で講義、9月4日から7日までは同理学部物理教室高橋研究室でPC-1を使って実習、という内容であった。プログラムは別添のとおりである。見ればその当時、コンピューターの利用に強い期待を抱いて居られた錚々たる大先生が多く講師として名を連ねておいでになる。またテキストの「まえがき」には、聴講申込みが多くて希望に応じきれなかったと書いてあることから、この講習会に対する物理学会会員の期待が極めて高かったことが判る。

そしてまた、これが私にとってPC-1との初めての出会いであった。畏友 後藤英一君がパラメロンと名付けられた素子を開発してコンピューターを作っているという話は耳にしていたが、実物に接しプログラムを書いたのはこの時が初めてである。

当時、私は工学部のいわゆる力学教室の助手という身分で、雨宮綾夫先生・村田健郎先生の下でその前年の暮に漸く稼働を始めたTACのソフトウェア開発をお手伝いしていた。今のようにハウツー本が溢れているわけではないから、唯一の手懸りはWilkes-Wheeler-GillのThe Preparation of Programs for an Electronic Digital Computerであった。最初にEDSACのinitial orderを読むという宿題を出され、3日3晩ほど睨めっこをして漸く解説し、それでプログラムを書くにはどうすればよいのかが納得できたのであった。

初夏のある日の昼休み、昼食に出ようとして列品館の玄関で出逢った雨宮先生に、「夏に物理学会が計画している計算機の講習会で僕は森口君(工学部の森口繁一教授)と二人で数値計算の話をする事になっているけれど、君も手伝ってくれないか」と、片棒担ぐ事を申し付けられた。森口先生にはTACの機械室でしばしばお目にかかっていたので、さっそく教授室に推参して役割分担の打ち合わせをさせていただき、森口先生は線形計算、雨宮・有山組は数値積分と微分方程式の解法を受け持つということになった。それから数日、捻り鉢巻でテキストの原稿を書いて雨宮先生の所に持っていったところ、「マアこれでよかろう」とOKが出たが、「君、当日話すのも頼む」ということで、結局、一人で駕籠を担ぐ結果となった。もっともこのお蔭で短期間に集中的に数値計算法の勉強をすることが出来たのは、師の恩と云うべきであろう。

そして図らずもこの講習会の直後の10月、私は理学部に配置換えになって高橋秀俊先生の助手を務めることになった。高橋先生に「計算機のことにはよく知らないのですがよろしいのでしょうか」

日本物理学会主催

「電子計算機講習会」日程表

期 日 昭和 34 年 8 月 31 日 ~ 9 月 7 日

(講義 8 月 31 日 ~ 9 月 3 日)
(実習 9 月 4 日 ~ 9 月 7 日)

会 場 講義: 東京大学工学部 2 号館大講堂
実習: 東京大学理学部 1 号館

第 1 日 (8 月 31 日)

9.00~10.20 10.40~12.00	電 子 計 算 機 概 説	東大理学部	高 橋 秀 俊
13.00~14.40	パラメτροン計算機 PC-1 の演算命令	東大理学部	後 藤 英 一
14.50~15.20	電 子 計 算 機 の 使 用 経 験	東大理学部	島 内 武 彦
15.30~16.00	幾 何 光 学 等 へ の 応 用	日本電気KK	岡 崎 文 次
16.10~17.00	結 晶 解 析 へ の 応 用	東大理学部	竹 内 慶 夫

第 2 日 (9 月 1 日)

9.00~10.20	電子計算機のための数値解析 I	東大工学部	森 口 繁 一
10.40~12.00	電子計算機のための数値解析 II	東大工学部	雨宮 綾夫, 有山 正孝
13.00~14.40	プログラムの作り方 (流れ図とその実例)	東大理学部	石 橋 善 弘
15.00~15.50	気 象 学 へ の 応 用	東大理学部	都 田 菊 郎
16.00~16.50	流 体 力 学 へ の 応 用	東大理学部	今 井 功

第 3 日 (9 月 2 日)

9.00~10.50	プログラムの作り方 (サブルーチンの使い方)	東大理学部	相 馬 嵩
11.10~12.00	プログラムの作り方 (R0 R1 によるテープの作り方)	東大理学部	中 川 圭 介
13.00~13.30	大学における電子計算機 I	東大理学部	森 野 米 三
13.30~14.00	大学における電子計算機 II	東北大通研 東北大工学部	大 桂 重 三郎 俊 一
14.10~15.00	モンテカルロ法	{東大核研 東大理学部	藤 本 陽 一 後 藤 英 一
15.10~16.00	量子力学への応用	東大理学部	小 谷 正 雄
16.10~17.00	OR および制御工学における応用	鉄道技研	穂 坂 衛

第 4 日 (9 月 3 日)

9.00~10.50	プログラムのエラーを見つける方法について	東大理学部	和 田 英 一
11.10~12.00	これからの電子計算機とプログラミング	東大理学部	高 橋 秀 俊
13.00~16.00	パネルディスカッション「電子計機の現状と将来」		
司 会	山内恭彦 (東大理)		
出席者	磯部 孝 (東大工) 穂坂 衛 (鉄 研) 高橋秀俊 (東大理)		
	森口繁一 (東大工) 小谷正雄 (東大理) 和田 弘 (電 試)		
	喜安善市 (電々公社通研) 茅野 健 (電々公社)		

第 5 日 (9 月 4 日)
第 6 日 (9 月 5 日)
第 7 日 (9 月 6 日)
第 8 日 (9 月 7 日)

実習 実習の日程の詳細については実習受講者に案内書を講習会初日にお渡しいたします。

おわび: この講習会の案内に書きました「加速器設計への応用」は講師大河千弘氏が急に渡欧されることになり、他に適当な講師が見つからなかつたのでこの講義はとりやめ、代りに「プログラムのエラーを見つける方法について一和田英一氏」を追加し、日程を多少変更いたしました。ただし大河氏に出発前テキスト原稿だけは書いていただいたので掲載いたしました。上記の予定変更により御迷惑をおかけいたし、まことに申し訳ございません。おわび申し上げます。

と申し上げたところ、先生は「皆これから始めるようなものだから気にすることはない」という意味のことを仰せられたので、ほっとした。私に課せられた主な任務は始めて物理学科の学生実験に組み込まれた PC-1 による計算機実習の世話をすることと、既に発生していた PC-1 のユーザーのお付き合いをすることであった。多くの方々とお付き合いしたが、中でも高良和武先生・中野茂君の単結晶表面における電子線反射強度の計算には、すっかり嵌り込んで一緒に仕事をする破目になった。

PC-1 の能力は単純にクロックタイムやメモリー容量だけで比較しても、今この原稿を作っているノートパソコンの 100 万分の 1 にも及ばぬものであったが、ハードもソフトも隅から隅まで見渡せて、さまざまなことが理屈で考えて判るから気持ちよく楽しいコンピューターであった。それに比べると今のコンピューターはハードもソフトも、十重二十重の壁に囲まれていて中が殆ど見えず、理屈でなくて約束事に従うほかないから釈然としないことが多い。

ともあれこうして 1961 年 9 月に電気通信大学に赴任するまでの間、私は高橋研で PC-1 と共に楽しく過ごさせていただいたが、この短い歳月がその後、私がコンピューター教育に深く関与する契機となったのである。

PC-1 の思い出と反省

飯島 孝夫

50 年前の私は化学教室の森野先生の研究室に所属する大学院生であった。気体分子の構造を知るために、電子線回折の実験を行っていた。写真乾板の黒化度として測定された回折強度を解析して、分子内の原子間距離などを求めるのである。そのために必要な数値計算を行うのに PC-1 を使わせていただいた。どんな数値計算かと云えば、例えば一次元フーリエ変換である。そのころ書いたものを引っ張り出して見ると「約 100 個の逆空間座標に対応する強度データを使って、やはり約 100 個の実空間座標に対してフーリエ積分(和)を PC-1 で計算する時間は(入出力を含めて)10 分である。もし手回しの卓上計算機でやるとすると、この計算のために特別に用意された三角関数の表があったとして 4~5 日の仕事である」という意味のことが記されている。ひとつの分子の構造を決めるには上記のようなフーリエ変換をひとつやれば済むというわけではないので、このように速く計算ができることは実に素晴らしいことで、有難いことであった。

当時を思い出して反省することは、PC-1 を使わせていただくときに私たちは、高橋研の方々に「有り難うございます」ということをほとんど言わなかったことである。私たちは何故か大きな顔をして勝手に入出入りしていた。徹夜で計算することもよくあったが、そんな時はパラメトロンのかんも知らず、電気の知識も怪しげな私たちに、大切な装置を勝手にいじらせてくれたことになる。今から思うとこれはなかなか出来ることではない。高橋研にはそういうことを可能にする底力が

あったのだろう。包容力というか懐の深さというか、そういったものに加えて装置に対する自信とでも言えばよいだろうか。それがどんなに稀有なもの、貴重なものであるかということ、当時の私はまったく認識していなかった。その事がだんだん分かってきたのは PC-1 以後にいろいろな所でいろいろと見たり聞いたり関わりあったりした結果である。

たしかに当時の私たちはもっと高橋研の方々に感謝の気持ちを表すべきであった、という反省はあるものの、そんなことを何も気にしないで、皆が大切な装置を使わせていただいた、という事実が何にも増して素晴らしいことだったと思う。

(学習院大学名誉教授)

パラメトロンから江崎ダイオードへ

石田 晴久

私がパラメトロンのことを初めて聞いたのは、1957年、物理学科3年生の時である。当時、高橋秀俊研究室では、後藤英一氏が発明したパラメトロン素子を使って、コンピュータの研究開発が進められていた。それが面白いと思って、卒業研究をすべく高橋研に弟子入りした。最初にやったのは、翌1958年の五月祭に展示するための「ジャンケン機」の製作のお手伝いである。これは、論理回路の勉強に大いに役立った。そのときのコンパで、後藤先生が「難しい問題を解くときに、人間の頭だけで考えるより、問題を解くのに役立つ機械をまず作って、それを使う方が効率的だ」といわれたので、それ以来、物理学はやめて、コンピュータを専攻することにしたのである。

さて、私が4年生になる寸前の1958年3月26日には、パラメトロン計算機PC-1が動き出した。夏になると、高橋・後藤先生と大学院生以上の先輩達は、PC-1のソフト開発のかたわら、次世代のPC-2の設計を始めた。まだ4年生でこれに加われなかった私が、のちに先輩達の話を書き、少し悔しい思いをしたのは、軽井沢の別荘（どこかは先輩に聞いてもはっきりしない）でPC-2の設計をしていたときに、後藤先生の知り合いであった正田美智子さん（現、皇后）が訪ねてこられ、先輩たちは拝顔の榮に浴したということである。そのとき、彼女は「PC-2ができれば拝見したいわ」といわれたそうだが、それは実現しなかった。

さて、4月に4年生になってからは、和田英一氏らにいろいろ教わりながら、アセンブラ語でPC-1のプログラムを書くことに専念した。私が作ったのは、計算のためのプログラムではなく、きわめて原始的な機械翻訳などの非数値計算のものだった。例えば、翌1960年4月に電気通信学会で「計算機による作曲と演奏」という発表をしたが、そんなことに興味があったのである。ちなみに、この演奏プログラムは和田氏が名人芸を発揮して、コンパクトに書かれたもので、PC-1で演奏した曲は、NHKラジオで「歌う計算機」として紹介されたりした。

その前年の1959年には私は修士1年になったが、8月31日から9月7日にかけて、日本物理学会主催で、PC-1を対象とする「電子計算機、使い方と応用」という講習会が開かれた。講師は、高橋・後藤・和田氏などの面々だったが、私には、これで行う講習のマニュアル「PC-1の使い方」を書く役目が降ってきた。これは、250ページばかりの講習会テキストの最後の16ページ分を占めたが、私にはいい記録になった。今見ると、スイッチの押し方、ランプ情報の読み方、(プログラムがパンチされている)紙テープの読み方、デバッグの仕方、練習問題のプログラム例が出ていてなつかしい。

PC-1の後継機種としては、前述のようにPC-2が計画され、その製作は富士通が引き受けることになった。そこで、高橋研には、富士通から天才といわれた(後藤先生もそうだが)池田敏雄氏らが、頻りに打ち合わせにこられた。しかし、将来的には磁心式のパラメトロンでは、高速化や小型化は望めそうもない。その頃、アメリカの学会に出られた後藤先生が、「あちらでは江崎玲於奈氏(後にノーベル賞)が発明したトンネル・ダイオードで超高速回路を作る試みが始まっている」という知らせをもたらされた。

そこで私は、後藤先生の勧めで、先生のアイデアになるGotoペア(2個のトンネル・ダイオードを組み合わせた論理回路)の実現を修士論文のテーマに選んだ。Gotoペアは一種のパラメトロンである。このとき、私は、PC-1をもつばら、「江崎ダイオード回路のシミュレーション」に使った。今度は数値計算である。これは、非常にうまくゆき、理論計算で導き出した超高速パルスが、ソニーの江崎研究室からもらってきたダイオードで組んだGotoペアで実現できた。しかし、このダイオードの泣き所は寿命が短いことで、実験はうまくいったものの結局実用的な高速回路まではゆかなかった。しかし、後藤先生からは、夜中までも実験を続けられる熱心さや執念、新しいアイデアを生み出す発想法が学べたのは、非常にありがたかった。

PC-1, それは研究者人生の出発点

石橋 善弘

PC-1の誕生日、昭和33年3月26日といえば卒業式の直前であり、私はドン・ピシャリの時期に物理学科を終了し、大学院に進学したことになる。32年4月から卒研で高橋研にはいつてパラメトロンの勉強をはじめ、秋頃からは和田さんを中心にした週1回のEDSACのプログラムの輪講に参加した。その頃は、例えばアキュムレーターといわれても全然イメージがなく、イメージのもてないものについての英文を読み内容を推測するのに精一杯で、プログラミングの面白さを感じる余裕などは全くなく、(50年前の学生語でいえば)はなはだ“消耗”する輪講であった。それでも、PC-1が誕生し、和田さんの芸術作品ともいふべきイニシャル・オーダーが定着してからは、人並みにプログラミングができるようになり、高橋研総出でのライブラリー整備の一翼を担うこと

ができた。もともと数値計算法に興味があったので、対称行列の固有値問題や連立線型方程式のプログラムをつくり、complete programとして登録した。外部の方を対象にそれらの利用法の説明会を開いた折、島内先生から「非対称行列の固有値が求まると便利ですヨ」というコメントがあり、早速、(あの頃のライブラリー・プログラムとしては珍しいと思うが)非対称行列の固有値を求めるプログラムをつくって登録した。いずれにしる、PC-1誕生から数ヶ月の間、プログラミングを中心に高橋研を覆っていたような熱気には、高橋研を離れて以来今日まで、ついぞふれたことがない。

PC-1のお守り(朝、電源を入れて、PC-1のご機嫌を伺うなど)は、相馬さん、中川さんと3人で担当した。かなり早い時期にPC-1を外部に開放したと記憶しているが、外部の方の利用時間帯に研究室に居ると、しばしば「PC-1が故障です」といつてこられることがあった。そこでついていくと、たしかにPC-1が止まっていたり、出口のないループに入ったりしていたが、ほとんどがプログラム・ミスや紙テープの穿孔ミスが原因であった。そのたびに、ユーザーに「貸し」をつくっては、笑いあったことをいまでも懐かしく思い出す。Mann irrt, Gott lehrtという成句は、後半の神様のことは別にして、前半はプログラマーの為にあるようなものであるが、他人のことはいざしらず、自分自身で犯した大小無数のプログラム・ミスと、あとで考えるとイヤになるほど簡単なミスの検出に何日もかかったという経験は、「人間はいつでも簡単に論理的間違いを犯すものであり、どんなに注意しても注意しすぎることはない」という教訓となって、私のなかで生きている(といたいところだが、それでもこれまで数多くの論理的ミスを行ってきたので、さらなる反省が必要)。

また、当時PC-1を使っていたほとんどの人が、よく「メモリーが今の倍あったらいいなア」といつていたのをおぼえている。今から見ると、なんとというささやかな願望であることよというわけであるが、いずれも少ないメモリー容量のもとでのプログラミングで、工夫に工夫を重ねた結果発せられたものであり、大容量メモリーへの願望の重みは、いまどきのものとは全く違う。計算機の神代におけるメモリー増量への願望として、記憶に残る言葉である。

PC-1について語る時、生みの親の後藤先生抜きですます事は出来ない。私は大学院修了後物性の方に移ったので、高橋研にいて生徒として後藤先生の警咳にふれていた期間は比較的短い。しかし、電子計算機の黎明期にあつて、限られた期間とはいえ、後藤英一という鬼才の近くにいて、その研究姿勢、問題解決手法、先生にしてはじめて達成できた成果などを目のあたりにし得たことは、それだけでも私にとっては貴重な財産である。もし後藤先生によるパラメトロンの発明がなかったら、あるいは発明が3、4年後だったら、私の研究者としての人生は大きく異なった、それも現実よりはかなり悪い方にふれていたような気がする。その意味で、ドン・ピシャリの時期に大学を卒業し、PC-1を通じて多くのことを学び、研究者人生をスタートできたことは後藤先生のおかげであり、とてつもない幸運であった。

最後に、欲張りかもしれないが、高橋・後藤両先生と共に、この50周年を祝いたかったと思う。と

くに後藤先生の場合、そう願っても年令的に欲張り過ぎといわれることはなかろう。

33年後のソートプログラム

大駒 誠一

『数週間の後、和田君がだいたい同じ仕様で改良した R0 の新版をつくった。これはたった六八語でありながら、その中に今日の数百～数千語を使ったアセンブラーにほぼ匹敵する上記の諸機能がすべておさめられている。とくに凝っているのが数字コードの変換の部分で、そのプログラムにあらわれているアドレスが同時にコード表になっているという、文章でいえば、かけことばに類するものをふんだんに使った、一世一代の作品というべきものである。しかもこれによって入力の手速も速くなった。おそらく、プログラム史上、前にも後にもこれほどのみごとな「文学的」作品はあらわれないであろう。』

これは、高橋秀俊先生の著書「電子計算機の誕生」(中央公論社、1972)の190ページに載っている文章である(原文は縦書き)。文中の和田君はいうまでもなく和田英一先生、R0はPC-1のイニシアル・オーダーのことである。

この本を最初に読んだとき、「かけことばに類するものをふんだんに使った文学的作品」を是非味わいたいと思った。そこで、PC-1の命令表を見ながら、このイニシアル・オーダーの解説を何度も試みたが、どうしてもよくわからない。さらに、イニシアル・オーダーに関する和田先生の講演を聞く機会もあったし、解説記事も読んだ。それでも残念ながら完全に理解するまでにはいたらなかった。どうにも「かけことばに類するものをふんだんに使った文学的作品」が見えてこないのである。

それが、高橋先生の著書を購入してから、四半世紀もたった1997年の正月になって、初めてPC-1のシミュレータを作って解説しようと思い立った。そうしたら、ソフトウェア・シミュレータは案外簡単で、作り始めて2日か3日くらいで、PC-1のプログラムが動くようになり、ついでに、トレーサーその他のデバッグ用のツールもいっぱい用意して、やおらイニシアル・オーダーの解説にとりかかった。それこそ、命令を1ステップずつ実行し、アキュムレータやプログラムがどう変わっていくかをたんねんに追跡して、ついに100%解説に成功した。まさしく、「かけことばに類するものをふんだんに使った文学的作品」であった。高橋先生のおっしゃる通り、プログラム史上、前にも後にもこれほどのみごとなプログラムが存在しないことはたしかである。

その一例を示すと、シフト命令が2個続いているところがあり、

```
r1    7    ; 右へ7ビットシフト
ll    9    ; 左へ9ビットシフト
```

は、結果的にアキュムレータを左へ2ビットシフトしているのであるが、このアドレス部の7と9がそれぞれ文字コードの7と9を指しているという具合である。したがって、単に、

11 2 ; 左へ2ビットシフト

としていないところがみそである。この他にも、和田流の巧みな仕掛けが随所に散りばめられていて、それを見抜く解読はとても楽しかった。こうして、ようやく和田文学の真髄に触れることができ、すっかり和田イニシアル・オーダーに惚れこんでしまった。

その後、自分でも少しPC-1のプログラムを書いてみたが、PC-1が廃棄された後で、PC-1を見たことも触ったこともない人間がそのプログラムを書いたというのは、筆者の他にまずいないだろう。そうして感じることであるが、PC-1の命令セットはずいぶんと洗練されている。例えば、EDSACには語の一部を書き換える命令はないが、PC-1には語のアドレス部だけを書き換える命令がある。イニシアル・オーダーではこれを5個(内1個は途中で別の命令に変わる)極めて巧妙に使っている。もし、このアドレス部書き換え命令がなければ、イニシアル・オーダーは68語では納まらず、80語にも90語にもなったのではあるまいか。

PC-1設計の際にはEDSACやILLIAC-1を十分に参考にされたと思うが、PC-1はこの両者とも違うコンピュータに仕上がった。当時、TACはEDSACの、MUSASINO-1はILLIAC-1の命令セットを取り入れたが、PC-1はそういうことをしないで本当に良かった。PC-1がもしEDSACやILLIAC-1をまねていたら、筆者が惚れた和田イニシアル・オーダーは生まれなかった。

イニシアル・オーダー以外にもPC-1のプログラム・ライブラリは数多く残されていて、それを見るにつけても、PC-1をめぐる人達がいかにPC-1を愛して育ててきたが伝わってくる。

1997年正月のシミュレータ完成直後に、箱根で2泊3日の情報処理学会プログラミング・シンポジウムがあり、その席で和田先生に、「PC-1のシミュレータを作りました、何か適当なテストプログラムはありませんか?」とおたずねした。そうしたら、「じゃあ、書いてあげよう。」ということになって、翌日「はい、これ。」と渡されたのが、図1のプログラムである。これは、30語ほどの簡単なソートのプログラムで、早速実行してみたところ、ちゃんとソートできて、一つも間違いがなかった。筆者の経験では、どんなに簡単なプログラムでもバグが一つもないなどということは到底ありえないので驚いた。また、プログラムをお願いしたときに、PC-1の命令一覧表は要りますか、とお聞きしたら、まだ全部覚えているから、要らないとのお答。

PC-1が稼動を停止したのは1964年5月とある。それから33年もたっていたのに、和田先生はまったく何も見ないで間違いのないソートのプログラムを書いてしまったのだ。33年前に稼動停止したコンピュータの命令を忘れずに覚えておいでのことに感心し、かつ、和田先生のPC-1に対する思い入れの深さには感服した次第。

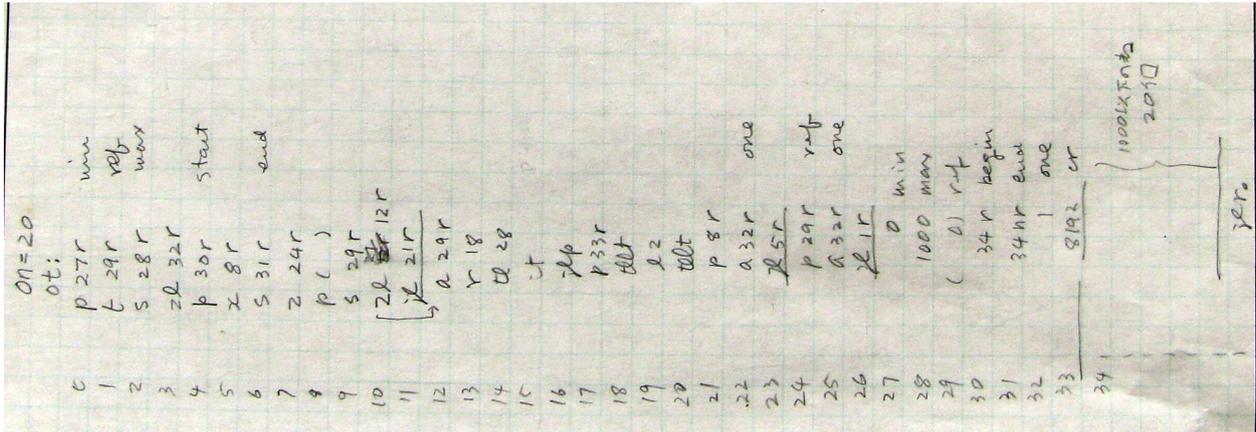


図1 和田先生が33年後に何も見ないで書いたプログラム
(慶應義塾大学名誉教授)

PC-1 完成後50周年を迎えるにあたって

上村 洸

来年(2008年)3月にパラメトロン計算機PC-1が完成して50年を迎えられる由、誠にありがとうございます。また、和田英一さんから「できれば思い出を書いてほしい」とのお招きを頂き、心から感謝しております。私の博士論文の研究テーマは、PC-1の開発に触発されたと言っても過言ではありません。私が東大大学院物理学専攻博士課程の2年になった1957年の或る日、高橋秀俊先生と後藤英一さんが私の所属した小谷正雄先生の研究室にお出でになり、私に「来年(1958年)3月にPC-1が完成するが、博士論文の研究に使ってもらえないか」とのお話がありました。その当時、小谷研では手動のタイガー計算機を使って大規模計算をしておりましたので、お話を伺って当時の日本で最高速の計算機を使用して研究ができることを知り、大変興奮したことを覚えております。

当時私は、配位子場理論を用いて固体中の遷移金属イオンのd電子の電子状態の研究を致しておりましたが、立方対称の結晶場(配位子場)中の2種類のd電子(d_{ϵ} と d_{γ})の波動関数を、並列方式のプログラムを内蔵するPC-1を用いて世界で初めて計算してみようという野心を持ち、早速定式化に取り組みました。最初は、正八面体の頂点に閉殻構造の Cl^{-} イオン(配位子と呼ぶ)をおき、中心の遷移金属イオンMのd軌道と Cl^{-} イオンの3p軌道との混成を考えた分子軌道法で、中心の遷移金属イオンMの d_{ϵ} と d_{γ} 電子の波動関数をハートリー・フォックの自己無撞着の方法で求めようという、当時としては大変壮大な博士論文の構想を組み立てました。

しかしPC-1の高速記憶装置が256ワードということで、この壮大な構想を実現するには小さかったため、交換相互作用と混成効果を取り入れることは諦め、中心の遷移金属イオンMの d_{ϵ}

と $d\gamma$ 軌道の波動関数をハートリーの方法で自己無撞着に解くように、構想を縮小しました。それでも 256 ワードの記憶装置で波動関数を如何に自己無撞着に計算するかが大問題でしたが、和田英一さんがバーチャル・メモリーと称する優れた方法を考案されたことで解くことができ、博士論文を 1959 年 1 月初めの締め切り期日までに完成することができ、和田英一さんには今でも心から感謝をしております。これも、PC-1 が読み込みに必要な最小限の機能だけを持ち、サブルーチン副プログラムを利用した優れたプログラムの作成で計算が行えるように設計されていたことが良かったように思っております。

何しろ PC-1 が完成したのは 1958 年の 3 月でしたが、具体的にユーザーがプログラムを作成して PC-1 で計算できるようになったのは、博士課程最終年の 1958 年 7 月頃でした。ただ、高橋先生を初めとする高橋研の特別な計らいで、博士論文の計算には豊富にマシンタイムを配分してください、毎晩中央線の終電近くの時間まで頑張って計算したことを覚えております。PC-1 のプログラミングは現在のシステムとは異なり、命令は機械語で、2 進法でテープを作るので、打ち込んだテープにプログラムの間違いないかをチェックする時には、如何に機械語を早く翻訳できるかの脳の働きもユーザー同士でお互いに競い合ったような楽しさもありました。

以上のように PC-1 については、最初のユーザーとして、我が国初めての万能型科学計算用の“電子”計算機を使って博士論文の研究ができるという、未踏の分野に飛び込んだ興奮と好奇心に満ちて、1958 年 7 月からの半年間の毎日を実に楽しく過ごした素晴らしい思い出が今でも鮮明に頭の中に浮かんで参ります。

最後に、PC-1 を発明されて、万能型科学計算における未踏の道を切り開かれた高橋秀俊・後藤英一両先生を初め、当時の高橋研究室の皆さんの偉業を称え、また博士論文の完成で大変お世話になりましたことに改めて感謝を申し上げて、私の PC-1 の思い出の記と致します。

(東京理科大特別顧問・東京大学名誉教授)

PC-1 との出会い

木村 泉

大学の教養課程が終って、物理学科に配属された学期に、何とかいう名前の必修の演習科目がありました。細かいことはもう覚えていませんが、たくさんの先生が替わり替わりでいらっしやっで、お話があったり、中にはちょっとした実験を体験させてくださる方もいらっしやいました。

その演習課題の一つとして、PC-1(ピーシーワン)という、手作りの、当時できて間もなかったコンピュータが登場しました。そして「何でもいいから、これを使って面白いことをしてみなさい」という趣旨の課題を与えられました。PC-1 の中心的な作者であられ、やがてその大学の教授になら

れた、後藤(英一)先輩が命令表を配布されて、そんなようなことを言われました。そのころ先輩は、先生というよりは兄貴、という感じに見えました。

そうそう、その時代、コンピュータという名前は使われてはいませんでした。PC-1も「電子計算機」と呼ばれていました。

その体験が私の進路を思い掛けない方向に向けました。その演習課題は、(実は後年、あちこちのコンピュータ科目でやたらに使われ、今では「うええ、またそれを言うのかねえ」というような反応を招きかねるものに成り下がっているようですが) その時代とその環境の中では、本物の興奮を招き寄せる強い力を持っていました。

残念ながら当時の配布物とか、ノートとか、出したりレポートなどは何一つ手元に残っていませんが、あとで提出したプログラムについて、どなたかから「あれは面白かったぞ」というお褒めをいただいたという記憶があります。あとでそう思い込んだのかも知れませんが...。そういえば、PC-1にはオープン時間というのがあって、学生でもプログラムを試す機会がありました。もし本当に「面白かったぞ」と言われたとすれば、演習の時間だけではなく、そのオープン時間のお蔭だったのではないかと思います。

いまならコンピュータぐらい、そこらにごろごろ転がっていて、そんなの当たり前じゃないか、ということになっていますが、考えてみると、その時代に駆け出しの学生がそんな体験をできたというのは、とんでもない幸運でした。それが私の進路を決めました。出会いとしか言えません。「ありがたいこと」の一語です。

PC-1の思い出

清川 正男

私の専攻は“恒星の内部構造と進化”の理論でした。天文の大学院に入って最初にすべき修士論文のテーマは“太陽は宇宙空間に広がったガスが集積して生まれたとして、現在までの太陽の進化の道筋及び、その過程でLi, Be, Bという元素がどのように消滅したのか”というものでした。永い思考の時間を経て、突然、理論の着想を得たのは1961年の正月休みでした。2月末の修士論文提出期限までにPC-1を集中的に利用させてもらって、論文を完成させました。

結論は二つ。

- (1) Li, Be, Bの元素のうち、Liは太陽の現在までの進化の過程で、その表面对流層の底で、熱核反応により消滅させられうるが、Be, Bは消滅不可能という結論で、現在の宇宙核物理学の定説を初めて予見するものでした。

- (2) 太陽が宇宙空間に広がっていたガスが集積して誕生した直後は、実は、その明るさが現在の太陽の明るさの数十倍であり、収縮が進むにつれ、表面温度はほぼ一定のまま、全体の明るさが急速に暗くなり現在の太陽の明るさと近づくという、予想外の結論。(それまでに発表された複数の論文では、太陽は誕生直後は今より暗くかつ表面温度も低く、収縮するに従い表面温度も次第に高く、全体の明るさも次第に明るくなって今の太陽に近づくというものでした。)

以上の重要な結果がPC-1を使用してえられたわけで、特に上記(2)の結論は、理科年表の“世界の天文学上の主な発明・発見と業績”の表に、2005年版から「原始星の対流平衡解の発見—1961年」として載るようになりました。ちなみに、その表に載っている日本人の宇宙物理学上の業績としては、他には小柴さんの「宇宙ニュートリノ検出(ノーベル物理学賞)」の一つだけです。

1961年の正月休み明けから、予備知識が全くなかったPC-1の使い方の勉強を急いで始めたのですが、問題は二つ。一つは(イ)メモリー容量が0.5Kと大変少ないこと。もう一つは(ロ)論文提出期限が2月末で、間に合わぬのではという時間との競争。

(イ)の点は複数のプログラムを作り、その間を手作業でつなぐという能率のよい方法を考えだしました。

(ロ)の点は、それこそムリかと思いましたが、PC-1利用者(いろいろな分野の方々)の皆さんが私の事情を察し理解してくれて、PC-1利用時間を大幅に私に譲ってくれたので大変助かりました。ですからプログラムが順調に動き始めた1月末から2月初旬など、4晩連続の徹夜(夕方5時～朝8時)マシンタイムをもらえたこともありました。徹夜の時などは高橋研の一人が必ず夜8時まで残ってくれるのですが、もう大丈夫と高橋研の人が帰ったあとにトラブルが急にふえるということもありました。計算が止まってしまうのですが、大体は(他の方法を知らないので)ボードをケットバシすると、何事もなかったように計算を再開してくれるのですが、時にはケットバシしようが何しようが、PC-1が動き出さず、朝までの時間を無為に過ごすこともありました。ともかく、高橋研の人々やPC-1利用者の方々のご好意のお陰で、なんとか2月末の修士論文提出期限に間に合ったのです。今にして思えば人生の中の一番充実した一瞬でした。その一コマ一コマを思い出しながら関って下さった上記の皆様へ深くお礼、感謝を申し上げます。その上でパラメトロンの発明者故後藤英一さんのPC-1をバックにした姿写真(2005年7月新聞に載った故後藤英一さんへの惜別の辞に添えられた写真)に向かい、尊敬と感謝の念を捧げます。

(医療法人養生院清川病院 理事長・院長)

パラメトロン計算機完成50年を祝う

朽津 耕三

PC-1 計算機が使えるようになったころ、私は東大理学部化学教室の森野米三教授の研究室に在籍していて、最初の利用者の一人となりました。その年のうちに私は留学のため渡米してしまいましたが、森野研の電子回折グループからは飯島孝夫、村田好正の両氏が中心となってプログラムを発展させてくださいました。2年あまりして帰国してからはPC-2機を縦横に使わせて頂き、長期にわたり大変お世話様になりました。この幸運を懐かしく思い出し、深く感謝しております。

1950年4月に森野研に入ったころ、気相中の自由分子の構造(原子間距離や結合角)を電子回折強度の測定によって決定する研究に参加しました。この実験の主体は、分子と衝突した電子の回折強度の散乱角依存性を写真乾板濃度の測光測定で求めて、フーリエ解析して原子間距離の動径分布を求めるという簡単な解析でした。当初は算盤やタイガー計算機という原始時代で、しばらくして文京区駕籠町にあった厚生省統計調査部に置かれていた人口動態統計用のIBM加算機が使えるようになりました。様々な周期のサイン関数を多数のカードに打ち込んでおき、計算の度に集めて加算するもので、「手計算より少しまし」という程度でしたが、慣れた頃には速くなって、他大学のいくつかの結晶学研究室から依頼を受けて解析計算のお手伝いをしたこともありました。

PC-1が使えるというお話を森野先生から伺って高橋研に出向き、まずサイン関数のサブルーチンを作る仕事に参加しました。後藤先生から直接に教えて頂いたこともありました。まもなく待望のフーリエ計算が自由に当時としては驚くほど迅速にできるようになり、目を見張る思いで構造解析にさっそく有効に使わせて頂きました。

PC-1 計算機が日本の科学技術の発展の初期に与えた強烈なインパクトに改めて思いを致し、半世紀の輝かしい節目を心からお祝い申し上げます。

(東京大学名誉教授)

NMRへの応用

久米 潔

NMR 吸収線の2次モーメントは核間の双極子相互作用の和 $\sum r^{-6}$ で表されるので、この関係を利用すると、結晶内に比較的距離の近い核の対がある場合には、その距離を十分な精度で求めることが出来る。ただし、そのためには、核間の距離 r についての上記の和を計算する必要がある。

典型的な事例は氷結晶中の水分子である。水分子中の2つの水素核は比較的距離が近く、この方法で十分な精度で距離が見積もれる。計算を実行した結果、水素原子は2つの酸素を結ぶ水素結

合線上からはやや外れた位置にあることがわかった。[K. Kume: JPSJ 15(1960) 1493.] 自由な水分子の水素—酸素—水素の結合角は四面体角よりも小さいので、この結論は自然であろう。氷のほかに2種類の水素結合結晶について、同じ方法を適用して水素の位置を見積もった。その結果、酸素—酸素の距離が比較的近くて強い水素結合では、水素は酸素—酸素の線上に乗っているが、氷のように比較的弱い場合には外れているという傾向がつかめた。

ところで、上記の双極子和の計算であるが、6乗なので収束は速いが、それでも実験誤差内に収めるためには相当に遠方までの和を取る必要がある。当時は計算尺とソロバンを使って手計算でやっていたので、本当に大変だった。

ちょうどその頃PC-1が完成して、物理教室の掲示板でテーマを公募していた。それ幸いと早速利用を申し出たのである。プログラムの作成とPC-1の操作は物理科クラスメートの和田英一君が担当してくれた。殆ど瞬間的に結果がでた。これはまさに感激的な出来事であった。後日、高橋先生にもお会いする機会があって、「シンプルであるが良い応用だ。結晶に応用する場合には結晶定数を入れ替えるだけで、同じプログラムが何回も使えるし」とのお言葉をいただいた。

その頃、物理学会で「物性研究における電子計算機の応用」と題するシンポジウムが開かれた。われわれの仕事は柿内先生が報告された。後藤英一さんも質問に立ってくださった。まだほんの初期のことだったので、他には見るべき報告がまだあまりなかったように記憶している。

論文には、高橋先生と和田君に謝辞を書かせていただいた。ここに再録しておく。Their special gratitude is given to Prof.H.Takahashi who offered them the chance of using the parametron computer PC-1, and to Mr.E.Wada for his preparing the programming tape as well as for his actual operation. [K.Kume and Y.Kakiuchi: JPSJ 15 (1960) 1277.]

PC-1 と私

鈴木 功

1958年3月と言えば、私は修士課程の学生として実験に明け暮れており、化学棟の隣の理学部1号館で、PC-1計算機が誕生した事も大分後まで知らなかった。私が当時所属した水島研究室では、かなりのメンバーが分子の基準振動計算関連のテーマで研究を進めていた。しかし、少し複雑な分子を対象とすると、3ヶ月ほどタイガー計算機をひたすら回す事になると聞いていたので、私はそちらのテーマは敬遠して、スペクトルや誘電率の測定が主体となる研究に携わっていた。幸い実験は巧く進行し、その年の晩秋には結果を2通の論文にまとめて投稿もできた。同じ頃、指導教授の水島三一郎先生からは、来年以降どうする積もりかとお話があった。進学を希望すると申し上げると、「それでは、島内君に話しておきます。それから、論文は…ああ、君はあれでいい」。これだけで、私の博士課程への進学は事実上決定という、新制大学院発足間もない「良き時代」だった。

これより少し以前、58年の夏頃、島内武彦助教授から、「物理教室の高橋秀俊先生が自分のところで完成させたPC-1を、多様な使い方をして試したい。僕にも使ってみて欲しいとの事だが、(君のテーマと直接関係はないが、)手が空いている時に少し手伝って呉れないかな」とお話があった。島内先生はその頃、PC-1のコードを書き付けた大判の用紙を4つ折りにして、何処へでも持って行かれ、時折セミナー室の片隅で、それを前に数人で討論されていた。私とそのメンバーに加わったのは、前述した晩秋の頃だったと思う。しかし、「少しお手伝いする」状態は長続きしなかった。私がプログラム作りへのめり込むのにそんなに時間はかからなかったからである。

翌59年の春、水島先生が退官され、島内研究室が発足したての時、廊下で、偶然出会った島内先生に、「当分PC-1に集中したいのですが」と申し上げたら、先生がとても嬉しそうに「それはいいな」と言われた事を、今でも印象深く記憶している。基準振動計算の心臓部に当たる行列の固有値問題のプログラムは、その頃には一応完成していたが、その他は相変わらず手計算であった。私は行列要素の自動計算を手始めに、最小自乗法等々諸ルーチンを組み込み、全体として、手計算を省き最小限の入力データだけで流れるよう色々工夫した。今では誰でも考える事であろうが、これを512(短)語の枠で実行するのは楽ではなかった。昔の色あせたノートには、データとプログラムをどうやりくりして進めるか、苦心の跡が方々に見られる。しかし、苦心はしたが、苦労とは思わなかった。高級なパズルに挑戦しているようで、むしろ楽しかった。一方、これらの計算は、あくまで、分子の基準振動研究のための計算だったから、その間、対象となる色々な毛色の変った分子を合成したりもしていた。計算と合成実験はそれぞれ大変だったが、とても興味深くやりがいを感じていた。充実した3年間だった。

PC-1の利用者はその後、理学部の中で増え続け、その内に毎金曜日の昼(?)各研究室の代表が集まり翌週の割当をする事になっていった。特に、夜中の12時間の枠は希望者が多く競争が激しかった。また、研究室内部の調整も大変で、夜中の時間帯を、終電組、深夜組、早朝組に分けて割り当てていた。また、PC-1がご機嫌の悪い時に当たることもあり、高橋研の皆さんには色々とお世話になった。特に夜間用に「素人にも試せる」ご機嫌を治す方法など教えて頂いた。計算機の脇の床に置かれた摺動抵抗、オシロスコープの輝点などが脳裏に浮かぶが、細部はさすがに覚えていない。最後に、この小文を書くにあたり、その頃発表した自分(含共著)の論文で、「数値計算にはPC-1を用いた。」という記述があるものを抜き出してみたら、8編もあった。ただ、「感謝」である。

PC-1/4 —PC-1演算装置のパイロットマシン—

相馬 嵩

昭和32(1957)年4月に私が大学院生として高橋研究室に入った時、研究室には後藤先生が大学院研究奨学生として研究を行っていた。先生は、計算機を作りたいという思いからパラメトロンを

発明したと云われる。昭和29年5月にパラメトロンの原理を発見し、その原理確認実験を行った後、高橋先生と共にパラメロンに関連する数々のアイデアを出された。それらは、3相励振、多数決演算、否定演算、定数発生、フリップフロップ、選択ゲート、計数器、高速桁上げ検出、接点信号の入力、ネオン管やブラウン管による状態表示、非定常励振、3重平衡変調器 TBM(無接点入力回路としても使用)、2周波磁心記憶、アダマール行列や誤り訂正符号に基づくポリハイブリッド変成器、ビュリダンのロバ問題の考慮、自然崩壊式初期化、修正設計、自己双対化変数、等々で、これらは全て PC-1 に生かされることになった。

当時、後藤先生は東京電気化学工業 (TDK) の協力のもとで記憶装置用フェライト磁心の開発研究を重点的に行っていた。記憶装置はプログラム内蔵型計算機にとり不可欠だが、その製作に見通しが得られたことで、先生はパラメロン計算機 PC-1 製作の具体的な計画を進めることになった。一方、論理装置としてのパラメロン回路の製作については、十進加減乗算機の試作などにより、その技術は既に確立していた。

PC-1 製作に当たり最初に取り組んだのは、PC-1 演算装置のパイロットマシン PC-1/4 を製作し、その動作を確認することだった。私は後藤先生の指導のもとに作業を進めることになった。PC-1/4 は本番の 1/4 の規模のマシンであるが、アーキテクチャーは本番のものと全く変わらない。PC-1/4 は M, R, Acc の 3 つのレジスタから成り、スイッチボードの 13 個のボタンを押すことにより、数値入力、シフト、データ交換、加減乗除算などの命令を実行することが出来る。PC-1/4 に関する私の作業が始まったのは 6 月であった。

PC-1/4 製作の目的の一つに、新しく導入する TBM を実際の回路に組み込んで試験をすることがあった。実験の結果 TBM の不具合が見つかり Acc の設計変更が必要になった。そのため、加算器の 3 本の出力を 1 本にまとめることが出来なくなり、3 本のまま次の選択ゲートに接続してよいのか心配だった。先生に訊ねると、これは擬似 3 入力で実質 1 入力となるので問題ないと云われた。更に高速桁上げ回路を調べると、一部に 3 入力のパラメロンが 7 入力となる個所が見つかった。7 入力は設計上許されない数だったが、よく調べて見ると 7 本の入力のうち 2 本は互いに打消して実質 5 入力となるので、やはり問題はなかった。しかしこの高速桁上げ回路の試験は、特別にスイッチを設けるなどして入念に行った。パラメロンの多数決演算はこのように、いろいろな工夫により予想外の働きをすることが分かりとても面白いと思った。割算回路の試験を最後に全ての回路の動作確認作業が終わったのは 7 月だった。私はこの PC-1/4 の製作と実験を行うことで、パラメロンばかりでなく計算機について数々のことを学ぶことができた。

PC-1 の製作は PC-1/4 の動作確認の後、直ぐに開始された。毎朝後藤先生が書いて来られた設計メモをもとに私はパラメロンの配置を決めるなど、実際の回路の設計を担当した。後藤先生は同時に記憶装置の設計を始めた。PC-1 の配線や組立ては日本電子測器と TDK から派遣された数人の人達が担当していた。このように PC-1 製作の作業全てが研究室で行われていたためか、研究室は後藤製作所と呼ばれることがあった。紙テープを読み込み、消去コードを除き、紙テープを複製するプログラムが動いて昭和 33 年 3 月 26 日に PC-1 が誕生した。

PC-1は誕生後順調に稼動し数多くの研究成果を上げるのに貢献した。今振り返ると、PC-1のアーキテクチャーは、この規模の並列計算機アーキテクチャーとして最適なものであったと思っている。数多くの可能性の中からそこに到達することは、パラメトロン of 全てを知り尽くした後藤先生でなければ為し得なかったことであろう。

PC-1による分子の基準振動計算

田隅 三生

‘PC-1’と言っても今では通じる人がほとんどいなくなった。大抵の人は、PCはパーソナル・コンピュータだろうが、1は何?と思うに違いない。弥生門から上がる坂の突き当たりにあった元の理学部1号館の、何故か戦後にあの部分だけが建てられたように見えた2階の部屋、玄関の真上の部屋、その中にあった図体の大きな電子計算機。ケースに入っていないので、何もかも丸見えで、表側には明滅するネオン管の付いた簡単な表示板があり、裏側には複雑な配線が一見ごちゃごちゃと付いていた。

私がPC-1を使って分子振動の計算を始めたのは、大学院修士課程に入った1959年(昭和34年)のことで、PC-1が完成してから1年ほど経ってからだった。私が所属した化学教室の研究室では、PC-1が完成した1958年の夏ごろから、分子の基準振動の計算にPC-1を利用することを始めていた。その中心は、当時まだ助教授だった島内武彦先生(故人)で、島内先生は1954年から55年にかけてアメリカに滞在し、当時最新の電子計算機を使った経験を持っておられた。

1958年の後半、島内先生はPC-1のプログラミングに凝っておられ、先輩にも好きな人達が居たので、1959年の春ごろまでには、分子振動計算のための基本的なプログラム群は一応揃っていた。分子振動計算の中核は行列の固有値問題を解くことで、PC-1では最大10次の対称行列の固有値を求めることができるようになった。それに要した時間は、正確に記憶してはいないが、1~2時間程度ではなかったかと思う。これは当時としては画期的なことで、いろいろな分子の振動スペクトルに関する研究が一気に進み、振動分光学分野で島内研究室は世界のトップランナーのグループに入れたのだ。

記憶容量が小さいので、いろいろな計算ごとにプログラムとデータを入れ直した。入出力は紙テープとテレタイプで行われたので、時間がかかった。テープ読取機が一番故障を起こし易い部分だったが、読取速度が遅いために、却って便利なきももあった。6個の孔でアルファベットと数字が表されていたが、読み取っている最中に、打ち違えたことが分かるときがあり、その手前で読取機を止めて、1字だけ直すなどという芸当ができた。Accumulatorと呼ばれていた部分のネオン管の明滅を見ていると、今どういう演算が行われているかが分かるという、のどかな昔のSFの世界だった。

当時の高橋研究室の方々には大変お世話になった。故障が起きる度に面倒を見て頂いたことに、改めて厚くお礼を申し上げたい。

パラメトロン計算機との日々

中川 圭介

PC-1 が生まれてからもう 50 年になろうとしています。このあいだに計算機は想像を超える速さで進歩してきました。その最初の約 10 年、私は高橋研究室でパラメトロン計算機 PC-1, PC-2 とともに過ごすことができました。

PC-1 を始めて見たのは 1958 年 3 月 26 日、PC-1 が動作を開始した日です。その日は高橋研究室で EDSAC の輪講がある日で、研究室についたとき、後藤さんを中心に高揚した雰囲気ではしゃいでいたのをおぼえています。

4 月に高橋研究室の正式のメンバーになるとプログラミングの毎日でした。乗算、除算、プリントなど、乗算と除算が動き出してからは本にでている数値計算のプログラムを手当たり次第つくりましたが、たくさんの“虫”も発生させ駆除に追われました。

そのころの高橋研究室のメンバー高橋先生と後藤さん、和田さん、相馬さん、石橋さん、私でしたが、小谷研の佐々木さん、宮本研の吉川さんも研究室に現れていました。そして高橋先生と後藤さんを中心に皆が自由に議論をするのを見ながら、すこし時間はかかったけれど、その雰囲気に慣れていったように感じています。また皆プログラムがうまくて、R0, e の 1000 桁、そして連立 1 次方程式、行列の固有値、偏微分方程式を解くコンプリートプログラムなど、他のメンバーがつぎつぎにプログラムを完成していったのをよく憶えています。

夏休みになると、PC-2 を設計する合宿が軽井沢でありました。論理設計もはじめての体験でしたが、加算回路、レジスターなどハードウェアの設計入門のあと、乗算と除算の回路の高速化に参加できて有益な経験でした。合宿のあと PC-1 の回路の解読を始め、コントロール回路を中心に後藤さんの回路図を 1 つ 1 つ理解していきました。言葉の説明はとくになかったけれど、回路は非常に分かりやすく、計算機の内部の理解ができたことだけでなく何か大きな影響をうけたと思っています。

このころ、PC-1 は理学部の研究に利用され始めました。夜間も公開され、1 語 18 ビット、512 語の PC-1 を使って驚くほど多様な計算が行われていましたが、PC-1 は空調のない部屋で、夏は窓を開け、冬は通常のスチーム暖房で支障なく動作し、パラメトロンの強さを示していました。それでも動作が不安定になると院生が決められた手順で作業を行って動作可能な状態に戻していました。この作業はそれなりにつらいことでしたが、作業のあと実行している計算の説明を聞けることもあり、私の世界を広くしてくれる機会であったように思っています。

PC-1の割込み機能はこのような機会に見たプログラムが刺激になって考えたものです。長い計算の実行中に前の計算結果の印刷とつぎの計算に使うデータの入力を同時に行って計算機の占有時間を1/3にするプログラムの説明を聞き、そのプログラムを簡単に作るができるようにするハードウェアとして実現したものです。

PC-2の設計はPC-1の経験をもとに始まりましたが、PC-1とくらべると、浮動小数点演算、3個のアドレス計算用のレジスターであるBレジスターが新しく追加されていることもあり、13,000個のパラメトロンを使って、できるだけ速い計算機を作りたいことを追求しました。後藤さんの考えで乗算は4進にして2倍の速度にする、除算は試算を増やして4/3倍にする、2種類のレジスターの演算を並列に実行することなど、内部の構造はPC-1とずいぶん違うものになっています。また、割込みの実装に関連して、間違いが起きても停止しないで自分で回復することも考慮して、浮動小数点表現に0と無限大を入れるなど、新しい考えが加えられています。

PC-2のハードウェアにはいくつかの問題があったけれどもそれらを約1年かけてたんねんに解決して行き、1961年8月に完成し、翌年5月23日には計算センターに移管されました。ただ、完成した日が、8月の何日であったかは記憶がなく、PC-1のような誕生日がないことだけが心残りです。

PC-1の誕生日 おめでとう

中川 雅子

昭和33年3月26日は水曜日であった。当時高橋研ではEDSACのプログラミングの勉強会が水曜日夜に行われていて、計算機なるものに興味を持ち始めた私もその勉強会に参加させて頂いていた。当日も夕方高橋研へ行ったが院生の方々は夕食のため外出されていて、部屋には後藤英一先生だけがいらした。今から思えば少し興奮されているご様子で部屋を歩き回っていられたが、「今日(PC-1が)動いたんですよ」とおっしゃった。計算機に関してはまだ幼稚園児程度の私には事の重大さがわからず、すぐにお祝いの言葉を申し上げることさえできなかったことを今でも残念に思っている。

それから1年後に高橋秀俊先生の秘書として勤める頃には、PC-1は理学部内の研究者へ夜間貸し出されて週に1回利用時間割り当て会議が行われた。利用日に徹夜で計算機を使用する予定が、たまにはPC-1が途中で動かなくなってしまい夜明けを待つ方もいらした。PC-1の復旧作業は院生の方たちが担当されていた。また高橋研の皆さんは様々なサブルーティンを作って利用者に提供してこられた。こうした中で私も門前の小僧よろしく計算機の勉強をさせていただいた。

高橋研ではPC-1を基に次機PC-2が設計されていた。PC-2には浮動小数点演算もあり科学計算の実用化を目指していた。富士通がパラメトロン計算機FACOM202として商品化して、東京大

学物性研究所とトヨタ自動車が購入することになり、私も高橋先生のご紹介で物性研の計算機室へ移った。PC-1のおかげで物性研では井上謙蔵氏の入力サブルーティンに対して出力サブルーティン等を担当することができた。計算機は6単位の部屋に設置されてメモリは8K語(24ビット/語)、磁気テープ装置やラインプリンタも備わり、当時としてはまさに大型計算機であった。[大型計算機]のゴム印を今も保管している。パラメトロン計算機は6年余にわたって物性研の科学計算に利用された。

その後時代の流れと共にレンタルの計算機5世代の運用管理に携わり、システムのログ情報を解析して運用管理に反映するなどプログラミングを大いに楽しむことができた。PC-1に始まる計算機の黎明期を経験できたことは何にも換えがたいと思っている。我々が夢中になって取り組んできたのは電子計算機、いや計算機であって、コンピュータという言葉にはいささか違和感がある。

PC-1 と TAC と

中澤 喜三郎

筆者は、PC-1とは直接的な関係はないが、ほぼ同時期に東大で開発が行われたTACの開発に携わった者として渦中であって見聞きしたことを中心に記してみたい。

TACは主として東芝が設計・製作を行った真空管式のcomputerで、東大工学部総合試験所に搬入され、これを稼働させるべく、いわゆる調整作業が行われていたが、中々稼働にいたらず、東芝の人は引き上げてしまい、村田健郎講師と院生であった筆者が細々と何が問題なのかを探っていた。1957年10月4日には朝日新聞のコラム「フィルター」欄で‘超スローモーの電子計算機’という形で採り上げられ糾弾されて、学内の幹部を始め大騒ぎになった。しかし、多額の国費を使って動かない理由も明らかにせずこのまま終わりという訳にはいかないと、村田・中澤で細々と基本的なことから探求していた。

丁度その頃、1958年3-4月頃にPC-1が動き始めたということを直に聞き、大いに勇気付けられたのを思い出す。その当時のTACの状況からして、些かの羨ましさと、しっかりせねばという対抗意識が出てきたのも事実である。

後藤英一さんからはTACのことを心から心配して、「TACはもう止めるべきだ、TACが続いているから国からはcomputerの研究費予算が出ないし、企業も中々computerの事業化に踏み切れないでいる。このままでは、日本のcomputerはおかしくなる」というような話が出たこともあった。

しかし、PC-1が動き出したことでTACの当事者も頑張らざるを得ず、1958年8月頃にはTACも基本的に何が悪かったのか、どうすれば良いのかの目鼻がついてきたので、村田さんの強い指導力でTACも全面的に作り直すことにし、設計・組み立てが始まった。

こういう事に踏み切れたのは、PC-1の稼動開始が背中を押してくれたことが大きくものを云ったと思う。その後、高橋研などからの精神的サポートもあり、作り直し決意後1年3ヶ月で1959年1月21日にはTACも動くようになった。そして1959年2月21日には、文部省・マスコミ・学内・関係者にお披露目のデモを行なった。

この間のPC-1(高橋研)とTAC(雨宮研)の関係の詳細経緯は下記文献を参照されたい。

TACはその後、(1)ブラウン管メモリの利点を活かしてRAM容量を2倍に拡大し、(2)浮動小数点命令を追加し、(3)index registerを追加するなどを行い、1962年7月まで、主として工・理・農・経の各学部ユーザーに使われた。

参考文献

- [1] 高橋秀俊:「コンピューターへの道」文芸春秋社, 1979年9月
- [2] 白井健治:「日本のコンピューター開発群像」日刊工業新聞社, 1981年5月
- [3] 情報処理学会:「日本のコンピュータの歴史」オーム社, 1985年10月
- [4] 遠藤諭:「計算機屋かく戦えり」(株)アスキー, 1996年11月

PC-1の思い出

原田 義也

私がPC-1にお世話になったのは、1960年頃である。当時理学部化学教室(赤松研究室)所属の大学院学生としてセミキノイオンの半経験的分子軌道法による電子状態の計算を行っていた。最初にプログラムの作り方を手ほどきしてくれたのは同じ化学教室(森野研究室)の同級生である飯島孝夫君(現学習院大学名誉教授)である。それまで手回しのタイガー計算機でうんざりしていた計算が瞬時にできるので感動した覚えがある。コンピューターが設置されていた部屋では、高橋研の人が「今日は××番地が不調だ」といいながら、「半田ごて」をもって、むき出しの大きい配線網のまわりを動いていたこともあった。

当時毎週1回使用時間の入札(?)があり、徹夜の時間帯の使用も許されていた。また、夕方にエラーテストの時間枠があり、使用者が次々と自作プログラムのテープ(6穴)をmechanical readerで入力していた。私のプログラムはPC-1のメモリー不足を補うため、initial loadで設定された番地の一部を使用しており、私がテストした後、もう一度initial loadをしなければならないので、他の使用者に嫌われたものである(photo-readerが故障していることが多く、mechanical readerによるinitial loadに時間がかかった)。徹夜の時間帯では数次元の永年方程式の解を求めるのに、2、30分間かかったことがあるが、タイガー計算機による計算を考えると何ほどのこともなかった。

私は1961年2月物性研究所に助手として着任し、やがてPC-2が使えるようになった。PC-2では言語としてALGOLを使用していたが、 $\sin(x)$ などの3角関数が組み込み関数になっており、PC-1のように一々サブルーチンを呼ぶ必要がなかったのです。いぶん楽になったと感じた。私はその後FORTRANマシンなども使ったが、コンピューターの基本を歴史的価値があるPC-1で学んだことを誇りにしている。

末筆ながら、当時PC-1の開発と保守に当たられた高橋研の方々に厚く御礼申し上げます。
(聖徳大学)

私とパラメトロン

三浦 謙一

私がパラメトロンという言葉を知ったのは中学生の時である。当時田無の原子核研究所に勤めていた父から、後藤英一さんというすごい天才がパラメトロンコンピュータなるものを出したというような話を聞いたのであった。その後しばらくしてある晩、帰宅した父がかばんの中から磁気コアにエナメル線を束のように数多く巻きつけた奇妙なものを取り出した。数字とか記号をびっしりと書きつけた暗号表のようなものを参照してエナメル線を巻くというのである。おかげで多少の小遣い稼ぎになったのだが、これが正に核研のパラメトロンコンピュータINS-1の2周波磁心記憶装置用のポリハイブリッドトランスであった。表というのはもちろんエナメル線を巻く方向を示した巻線コードマトリックスである。今回のPC-1の50周年の記念会の企画に際して、当時核研におられた三浦靖子さんに伺ったら、INS-1のマニュアルをお持ちであるとのことで早速コピーを送っていただいた。30ページ弱の小冊子で、「INS-1型計算機説明書(1) 1961年10月 林巖雄, 三浦功, 大塚昌雄, 佐藤之康, 柴田進吉」となっている。

そんな経緯もあって、昭和41年に私が物理学科へ進学してからは頻りに高橋後藤研に出入りをするようになったのだが、もうその頃にはPC-1はジャンクになってフレームが2階の研究室の前の廊下に放置されていた。物理学科で稼働中のPC-2は見せてはもらったが(夏は物理学科で冷房が効いていた唯一の部屋!), 実際4年生の演習で使ったのは物性研のPC-2であった。言語はALGOLIPで紙テープによる入力であったと記憶している。穴を1列全部空けるとNOPになるので修正が楽だといったことにいたく感心したものである。

進学した年の5月祭では、川合さんと久保さんが中心となってパラメトロンの基板を使った三山くずしを展示したが、そのラッピングを手伝った記憶がある。また同級の富永君と浅草まで行ってオバQの人形を2個買い、パラメトロンの原理を説明するブランコを作ったりした。後藤先生が

回転数の無段変速装置のついた古臭いモーターをどこからか捜してきて貸して下さったおかげで、回転数を順次上げていくとあるところでオバQが共振して突然漕ぎ出し、それも2個あるために0相と π 相の両方が存在することも示せて見学者への説明には非常に良いデモ器が出来上がった。その時勉強用に使った後藤先生による「非線形リアクタを利用した新回路素子パラメトロン」という論文が、私が後年非線形現象特にソリトンとかカオスに非常に興味を持つようになった源流でもあったと思っている。そのことに関しては、後藤先生に是非伺おうと思って果たせなかったことがある。パラメトロンのような非線形性の強い回路で最初からあのように発振の安定したものが得られたのか、あるいはカオス的な現象を観察しておられたのかということである。何か記録は残っているのだろうか。

(昭和43年卒)

PC-1のこと

村田 好正

研究者の出発点として、PC-1は私にとって大きな意義を持っています。PC-1が動き出した半年後の1958年10月に化学科4年の卒業研究のため森野研究室に入り、学習院大に移るまでの8年間を過しました。気体電子線回折による分子構造の決定で、与えられたテーマは SiCl_4 でした。これはD1の中村さんが CCl_4 、M2の飯島さんが GeCl_4 をテーマにして、研究はほぼ終了していて、 SiCl_4 は元素の周期表でそれらの間の分子でした。一方、分子散乱強度のフーリエ変換による動径分布関数の計算など、構造解析に必要なPC-1のプログラムは朽津さん、飯島さんがすでに完成させていましたが、私も周辺の簡単なプログラム作りのお手伝いをしました。次いで飯島さんを中心に最小二乗法による構造解析のプログラムの作成が始まりましたが、私もそれに加わりました。

M1の後期になり、卒業研究で4年生が二人来て、1台しかない回折装置では実験する余地がなくなりました。その頃、最小二乗法の観測値として実測した分子散乱強度曲線を用いるか、動径分布曲線を用いるかが問題になりました。私はCとGeに挟まれ、なんとか独自のものを出したいともがいていたので、それに取り組みました。結論だけを記しますと、フーリエ変換した動径分布関数を観測値にすると観測値間に相関が生じ、重みの行列に非対角項が現れことがわかりました。この数値解析ではPC-1を大いに利用しました。しかしこの研究は森野先生に理解していただけず、提出したレポートは放置されたままでした。幸いなことに朽津さんが帰国されて興味を持ってくださり、また日本で国際会議が開催されて、インフォーマルな集まりでこれを話す機会が与えられ、外国からの方々から高い評価が得られました。そのようなことがあつてか、レポートを提出して4~5年経てY. Morino, K. Kuchitsu, and Y. Murata, Acta Cryst. 20 (1965) 549の論文になりました。

博士課程に進学して間もなく、新しい研究のためのブレイクスルーを求めている私にとって願ってもない、新しい気体電子線回折装置の製作が持ち上がりました。そこでもぐりの大学院生を志願し、名古屋大学理学部金工室で装置作りに専念しました。この経験は学習院大に移り、表面物性の研究を始める際に大きな力となりましたが、D2も終わる頃になってこのままでは博士論文が書けないことに気がつきました。そこでPC-1で最小二乗法のプログラム開発を始めたときに疑問に思ったことを取り上げました。それは気体電子線回折の散乱強度は1次元の滑らかな連続曲線であるから、観測値の数 n は任意に取れる。一方誤差は $1/\sqrt{n}$ に比例するので、最小二乗法では誤差は求まらないということです。しかし上記の研究から考えると、連続関数の観測値は独立事象ではなく、重みの行列に非対角項を入れたならば、 n を無限大にとっても誤差は有限値になるであろう。そこで名古屋と東京の往復に使う準急電車の車中で考え、1962年に使用開始になったPC-2によるプログラムを作り、東京に戻る少ない日時を利用して計算をしました。観測値間に相関を入れた分子散乱強度の数値解析をすると予測が当たり、しかも n を変化させても誤差があまり変動しない領域が現れ、偶然にも従来解析で用いている値はその領域に含まれていました。

思い出とお礼

矢島 脩三

パラメトロン計算機PC-1完成50年おめでとうございます。その記念行事へのご案内を有難うございます。残念ながら、出席できませんが、当時の思い出とお礼を書かせてください。

パラメトロン計算機は京都にあります小生にとりましても、大変に感慨深いマシンです。当時、PC-1を見学させていただいたのを思い出します。和田先生をはじめ皆様より本当に親切に種々教えていただきました。後藤英一さんには、回路の隅々まで、教えていただきました。皆々様の天才的な閃きのアイデアの数々が実働しているのに驚嘆しました。まさに「独創の純粹結晶」がそこにありました。

小生は、1958年秋に始めてコンピュータなるものを使用しました。そのマシンは日立の最初の実機：パラメトロン計算機HIPAC 1でした。論理回路の計算をさせてもらいました。パラメトロン計算機は、真空管式マシンとトランジスタマシンの端境期を救った救世主だったと思います。恐らく、百台を超える商用機が製造され、多くの大学の第一号機として導入されました。ということで、非常に多くの方々が、小生を同じように、パラメトロンの恩恵に浴しているはずです。50周年の機会に、改めて深く感謝するしだいです。

PC-1は、論理設計でも先見性のあるマシンでした。世の中に先駆けて、「桁上げ先見加算器」など「並列アルゴリズム」を研究実用化されたのに感心したのを思い出します。これは、今は、有限オートマトンの半群で一般論となり、さらには、対数オーダーの乗算器につながっていますのも、素晴

らしいことだったと思います。加えて、少し後だったかもしれませんが、これは凄いと思ったのは、ハミングコードを用いた誤り制御をしている、「2周波メモリ」でした。後藤英一さんが、「マシンを稼働させながら、このパッケージを抜いてもどうもないのだよ」と誇らしげに、そのハードの説明を小生にしてくださったのを思い出します。磁気ICメモリの研究開発が風雲急を告げています今日、その重要さを感じます。本当に先駆的なことでした。これは、今日、RAIDなど、ディスクアレイに生かされている、稼働させながら、ディスクの交換ができるシステムに通じています。一言、楽しかった思い出も書かせてください。昔、東北、蔵王の宿で研究会があったとき、後藤英一さんと元岡達さん等とともに、蔵王の山頂までいき、そこから「蔵王のお釜の水」を味わいに冒険したのを、大変楽しく思い出します。

その後、高橋秀俊先生や後藤英一さんより何度かお手紙を頂戴したことがあり、名誉教授になられてからも、論文の別刷りを頂戴したこともあり、小生にとっては生涯、高橋研の面々は、学者の鑑というべき賢哲の先生方でした。

量子コンピュータとか磁気素子とか、シリコンの次は?が狙上にのぼっている今、パラメトロンは再び現代的意味をもって、われわれに問いかけをしているように感じます。本当に素晴らしい独創的なコンピュータの50周年記念祝賀会、おめでとうございます。

(京都大学名誉教授 関西大学総合情報学研究センター長)

PC-1 完成 50 周年に際しての雑感

山田 博

PC-1 完成 50 周年おめでとうございます。

PC-1 に触ったことのある人が今なお学会や産業界で数多くおられることは、PC-1 の功績でしょう。しかし、さすがにパラメトロンが発明された当時のことを知っている人は少なくなった。特に PC-1 のハードウェアについていじったことのある人は数えるほどしかいなくなった。高橋先生、後藤先生も既におられない。

後藤先生がパラメトロンを発明された当時、欧米でも大学や研究所がコンピュータの開発に熱中していた。問題点は開発に関する費用と機械の信頼度であった。これらのコンピュータは主として真空管が使われていたが、パラメトロンは遥かに安く造れ、信頼度も高いと予想された。

しかし、真空管より安価だといってもコンピュータを1台造るのは大学の1研究室にとっては大変なことであった。その困難を高橋・後藤先生は「どうしても自前のコンピュータが欲しい」という情熱で乗り越えられた。

高橋先生の大学時代の友人で日本電子測器(株)の社長をされていた村上氏(故人)がコンピュータの話に興味をしめされ、パラメトロンコンピュータを自分の会社で造ろうということになった。電子測器は小さな会社であったから村上社長は金繰りに苦労されたと思うが、高橋研ではお金のことはあまり考えなくてもよくなった。その内パラメトロンが学会で発表されるや、電電公社の電気通信研究所や国際電電の研究所より共同研究の申し込みがあり、パラメトロンの研究にはずみがついた。

もう一つの問題点である信頼度については、パラメトロンの主材料がフェライトであったので真空管より遥かに信頼度が高いと考えられた。素子が大丈夫としても、問題は半田付け等の手作業で行う部分である。これらの作業は大学の研究員や学生の最も不得意とする部分で、半田付けの個所の多さからみて高橋研内だけで組み立てていたら、PC-1はしょっちゅう故障ばかりしていたであろう。幸いなことにここでも電子測器の果たした役割は大きかった。単に自社の工場内での作業以外に大学の研究室に女子工員を出張させ作業してくれた。

考えてみると、PC-1のハードウェアができるまで村上社長はじめ沢山の人間に助けられてきた。またこの人達を纏めあげられた高橋・後藤先生の情熱と才能にあらためて感嘆する。また年月と共に忘れさられようとしているが、パラメトロンを陰から支えて頂いたたくさんの方々々に感謝する。

eの1000桁

吉川 庄一

パラメトロン計算機は当時としてはきわめて信頼性の高い計算機であったようである。計算素子に電子管を用いなかったので信頼性がよくなったのだろう。ハードウェアは後藤さんや相馬さんがやってくださったので、和田さんを初めとしてソフトウェアにわれわれは焦点を合わせた。入力装置はテレプリンターのみで、それに合わせて各メモリーのサイズも決っていたと思う。後には二つのメモリーをつなげてロングメモリーもできるようになった。

たまたま計算機の本に自然対数 e が1,000桁のついていたのでそれをパラメトロン計算機で計算しようと思った。プログラミングは単純なものでまずIBMが当時作ったSOAPみたいなプログラムを用いてマシンランゲージに変化して自然対数 e を級数から計算した。ご承知のようにこの級数の収束性は非常によい。最初はこの計算に30分かかったが、割り算のハードウェアの改良で最後には5分でそれを行うことができるようになった。なおこの時間の数十が使う時間だった。もっともテレプリンターが動いている間も計算機は計算していた。

当時日本では三つのグループが電子計算機をやっていたがこの計算はパラメトロンが一番速くしたと理解している。(プリンストン大学)

PC-1の思い出

和田 英一

顧て私の人生に大きく影響を与えたものは武蔵高校, 高橋秀俊先生, PC-1 といえそうである. 1953年, 物理学科に進学し, 高橋先生が高校の先輩と知ってご自宅に伺うと先生は計算機がいかに面白いかを情熱を込めて話された. 私の「松坂の一夜」であった.

大学院は高橋研に進学してパラメトロン関連の実験を始めた. パラメトロンを使った試作加減乗算機でも遊んだ. 紙テープのコピーを繰り返して計算を進める方式を考案し修士論文とした. やがて研究室の総力をあげた結果1958年3月にPC-1が完成した. 最初に動いたプログラム neglect erase のテープは私が作った. そしてEDSACの本を読みつつ期待していたプログラミング三昧の日々が現実になった. 国内に計算機は殆んどなく, なにをやっても新鮮な仕事であった. 私は主として虫取り支援のようなプログラムにハックを重ねた.

同年11月から翌59年1月までニューヨークに出張した. その間IBMの研究所にいらした蒲生秀也先生を訪ねると, こういうところに来たら自分の研究の話をするものだといわれ, 1ヶ月後にPC-1の話をさせられることになる. 何も手持ちがないので久山(現姓 赤澤)安子さんに最少限の資料を送って貰い, 渡辺慧氏に助けて頂きなんとか発表できた. その講演の謝礼で自動巻きの腕時計を買う. 50年後の今も使っている.

ニューヨークにいてもPC-1のプログラムのアイデアがあると高橋研に手紙を書いた. 高橋先生はその手紙を見て素数を法とする計算を思いついたといわれた.

藤村靖先生が滞在中のMITも訪問し, トランジスタ計算機TX-0やIBM704のモニターシステムを見学した. TX-0で見た音楽プログラムのデモを帰国後PC-1でも実現し, 楽しんで貰った. モニターシステムからメモリー保護の機構を思いつく.

出張の帰路に雪のイリノイ大学に立ち寄りILLIACが見られたのもよかった.

59年の夏は高橋先生の発案によりPC-1に割込み回路がつき, マルチプログラムの実験に没頭した. 虫取りが非常に困難なことを悟る. しかしPC-1にあったI/O命令の聖徳太子機能はこれで本来の目的に使えるようになった.

当時院生だった連中はその「たのしくばかり過ぎつつあった」日々を高橋研究室の第三期黄金時代と自讃する. 別に第一期などあったわけではない. 高橋先生も「コンピューターへの道」に「もし以上の時代を私の“パラメトロン時代”と呼ぶなら, この時代ほど私にとって張りのある時代はなかった。」と書かれている.

PC-1のプログラミングに熱中したせいで, いまでもPC-1のプログラムは書けると思う. PC-1のシミュレータも何回も書いた. 1998年夏, ドイツのPaderbornでThe International Conference

on the History of Computing があり, 私も出かけて PC-1 の話をした. 報告集は MIT Press から 2000 年に出版されている.

海外からのメッセージ

It is good to hear that you plan to celebrate the 50th anniversary of the Parametron Computer, and that a number of the original users will be present. It is sad that Prof Goto did not live to see this anniversary. His work on the parametron and the design and construction of the Parametron Computer were among the highlights of a very distinguished career.

I send you my very good wishes for the event.

Maurice Wilkes

Congratulations on the 50th anniversary of the parametron computer.

John McCarthy

パラメトロン計算機PC-1 –回路設計と方式設計–

富士通研究所
和田英一

はじめに

東大物理学教室の高橋研で自作したパラメトロン計算機PC-1のプログラムまわりについてはいろいろな機会に書いたり [1][2] 話したりしたので、今回はPC-1のハードまわりの話しがしたい。PC-1は1958年3月26日に完成、高橋研だけでなく、他の研究室にも公開して使って貰っていた [3]。1964年の5月祭で、学生がPC-1の電源を借りにきたので、電源をはずした機会に、保守、運転を中止した。高橋先生のご著書など [4][5] にも書いてあることだが、東大で作ろうとしていたTAC(Todai Automatic Computer)の計画が進んでいたころ、高橋研でも自分の計算機がほしいということで、さまざまな検討をしていた。私が高橋研に入った時分、実験室にまだ転がっていたのが機械電子式という試作機の一部で、そういうものも考えていたらしいが、1954年に当時大学院生の後藤英一さんが、パラメータ励振を利用した計算素子を考えだし、それがパラメトロンの発明になった [6]。

PC-1の概要を以下に示す。

パラメトロン計算機 PC-1 概要

論理素子: パラメトロン 4200 個 励振周波数 2.3MHz, 発振 (共振) 周波数 1.15MHz,
クロック周波数 15KHz

記憶装置: 18 ビット短語 512 語 2 周波磁気コア

演算装置: 36 ビットレジスタ 3 個 (アキュムレータ, Rレジスタ, メモリーレジスタ)

命令語長: 18 ビット 命令種類 27

演算時間: 加減算 4 τ , 乗算 26 τ (短語) 44 τ (長語), 除算 161 τ , 書き込み 8 τ ,
無条件ジャンプ 4 τ , 条件ジャンプ 8 τ

(1 τ はクロック周波数の逆数 = 67 μ 秒)

入力装置: 光電紙テープリーダー

出力装置: テレタイプ

運転開始: 1958年3月26日

運転終了: 1964年5月

回路素子パラメトロン

パラメータ励振というのは、周期 T (周波数 $f = 1/T$) の共振回路があったとき、この周期を $T/2$ (周波数 $2f$) で変化させると共振回路の発振が大きくなる現象である。周期を変化させるとは、 C と L でできた共振回路では、周期 T は $T = 2\pi\sqrt{LC}$ だから、 L か C の値を周期 $T/2$ で変化させればよい。

パラメータ励振でよく知られているのはぶらんこである。支点から重心までの長さ l の振り子の振動周期は $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ である。周期を決める要素はここでは l だから、 l の長さを、振り子が1往復するあいだに2回伸縮させればよい。ぶらんこを漕ぐ子どもは、2回立ったりしゃがんだりするのである。

ロンドンのサイエンスミュージアムに行くと、上野の科学博物館とおなじで、Foucault 振子が動いているが、これが Peppart 振子になっている。振り子の支点に仕掛けがあり、振り子が1往復する間に糸を2回上げ下げする。これで振り子はいつまでも揺れている。

さて、子どもが2回立ったりしゃがんだりしたとき、ぶらんこは前に行ってから後ろへ戻るか、後ろへ行ってから前へ戻るか、揺れ方に両方の可能性がある。いずれかのフェーズで揺れていると、子どもが漕いでいる限り、いつまでもそのフェーズで揺れ続ける。このフェーズは子どもが漕ぎ出した時の小さな揺れのフェーズで決まってしまう。Figure 1 にこの辺の事情を示す。灰色の早い振動が励振である。おなじ励振に対し、破線または1点鎖線のような共振が可能であり、どちらかのフェーズが0、もう一方のフェーズが1を表すと考える。

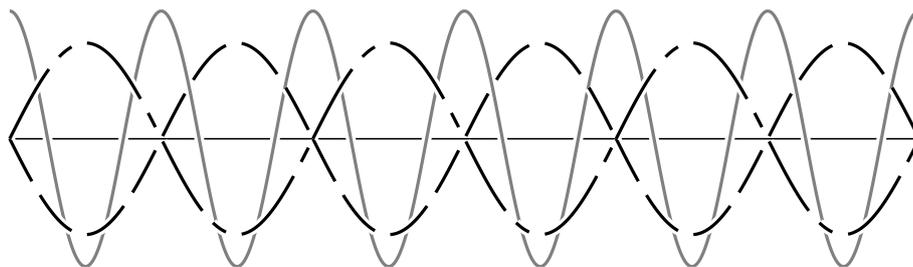


Figure 1

パラメトロン1個は Figure 2 のようなものである。中央の2個のトランスのように書いてあるのはフェライトのコアで、右側の巻線とコンデンサとで共振回路になっている。左側の巻線には直流でバイアスした高周波が流れ、フェライトの透磁率が周期的に変化し、したがってインダクタンス、共振周波数も周期的に変化し、パラメータ励振が起きる。フェ

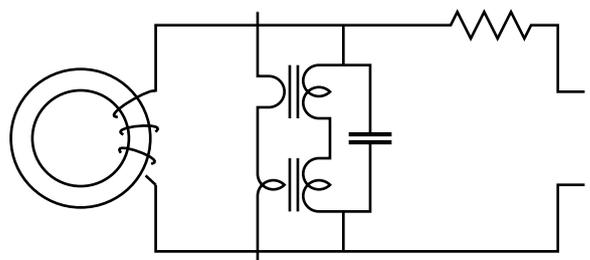


Figure 2

ライトコアが2個あって、励振線が互いに逆に巻いてあるのは、励振が共振に影響を与えないようにするためである。

図の左端にあるトランスは情報を伝達するためのものである。前述のように励振の続く限り共振のフェーズは変わらず、それでは面白いことは出来ないので、3個のパラメトロンをI相、II相、III相に分け、まずI相だけ励振する。しばらくしてから、I相の共振フェーズの情報をトランスでII相に伝え、II相のパラメトロンの共振のフェーズを制御する。II相の励振でII相が共振を始めたなら、I相の励振は止める。またしばらくしてから、II相の共振フェーズの情報をトランスでIII相に伝え、III相のパラメトロンの共振のフェーズを制御する。III相の励振でIII相が共振を始めたなら、II相の励振は止める。III相の次はI相へ伝える。その様子を Figure 3 に示す。これを3拍励振といい、励振をかけたり止めたり回数を変調周波数とかクロック周波数という。

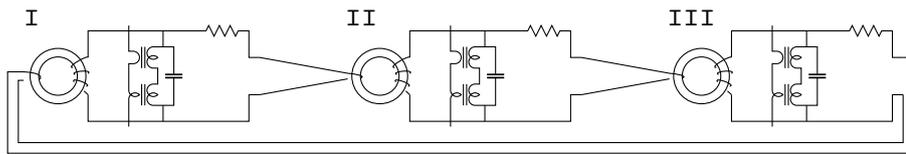


Figure 3

あるパラメトロンの入力トランスに前相の3個のパラメトロンの出力を入れると、このパラメトロンの共振フェーズは入力パラメトロンのフェーズの多数決で決まる。つまり入力が0, 0, 0または0, 0, 1なら共振は0となり、0, 1, 1または1, 1, 1なら共振は1となる。前相の出力を否定して入力したければ、トランスの通し方を反対にすればよい。Figure 4には3個のパラメトロンから入力を貰うパラメトロンが描いてあるが、一番下からは否定で貰う図になっている。

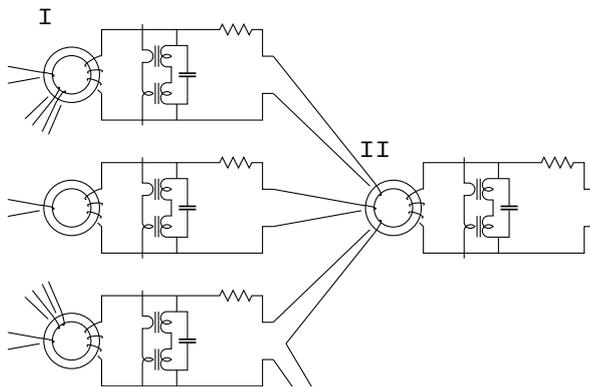


Table 1

x	y	z	$[x, y, z]$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Figure 4

多数決と否定があれば論理関数を実現するのは簡単である。3変数 x, y, z の多数決関数は $[x, y, z]$ のように書くことがある。(Table 1 参照) 通常論理式で書くと

$$[x, y, z] = (y \wedge z) \vee (z \wedge x) \vee (x \wedge y)$$

となる。3入力のうち1入力が常に0なら、残りの2入力が共に1の時のみ出力は1となるので、論理積となり、1入力が常に1なら、残りの2入力のいずれかが1の時に出力は1となるので、論理和になる。

$$x \wedge y = [x, y, 0]$$

$$x \vee y = [x, y, 1]$$

$$x \supset y = \neg x \vee y = [\bar{x}, y, 1]$$

$$x \subset y = x \vee \neg y = [x, \bar{y}, 1]$$

回路図は Figure 5 のように書く. 常に 0, 1 のような定数パラメトロンは入力として表示すると煩わしく, Figure 5 のようにパラメトロンを示す円内に, 0 なら -, 1 なら + を書くことにしている. 同図左下は $\neg x \vee y$ の回路である. 結線上の横棒は否定を示す.

2 入力の排他的論理和や 3 入力の全加算器のように, 単調でない関数は多数決 1 段ではできず, Figure 5 右のように 2 段で構成する. 全加算器について, 途中の段のパラメトロン a, b, c と最終出力 s の真理値は Table 2 の通りである. 詳しくは文献 [7][8] を参照してほしい.

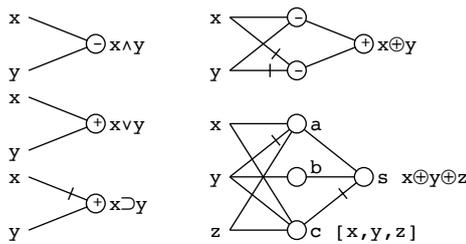


Figure 5

y	x	z	\bar{y}	c	a	b	\bar{c}	s
0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	1	1	0	1

全加算器には定数入力がない. これを自己双対関数という. つまり上の表で 0 と 1 を交換すると表を下から読むのと同じになる. もう一つの有用な自己双対なものは高速桁上げ回路であり, Figure 6 に示す.

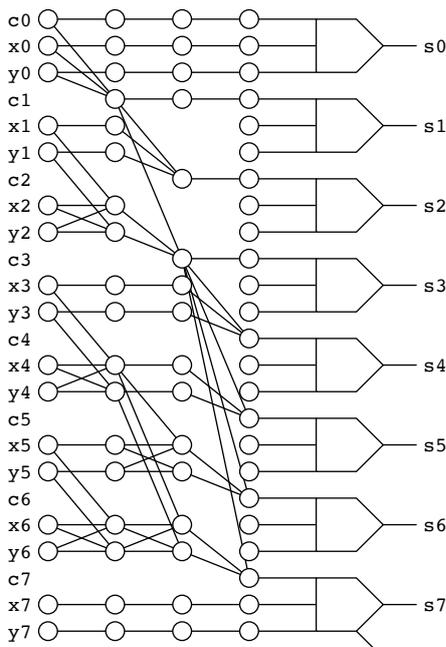


Figure 6

この図で右に縦にならんでいる 5 角形は全加算器である. 図は 8 ビットの 2 進数 x, y の各ビットを下の桁から $x_0, x_1, \dots, x_7, y_0, y_1, \dots, y_7$ として足すもので, また end around carry c_0 の入力もある. 普通には x_0, y_0, c_0 を全加算し, 部分和 s_0 と次段への繰り上がり c_1 が得られ, 次にその c_1 と x_1, y_1 を全加算し, 部分和 s_1 と c_2 が得られ, ... と続く. これでは n 桁の加算に n ステップかかる. それに対し, 高速桁上げ回路では, まず $\log_2 n$ ステップですべての桁への繰り上げを求め, しかる後に一斉に全加算するのである. c_1, c_2 はそれぞれ $[c_0, x_0, y_0], [c_1, x_1, y_1]$ で 2 ステップかかる. 次の c_3 だが, x_2, y_2 が共に 0, または共に 1 なら 0 または 1 になる. x_2, y_2 が 0, 1 または 1, 0 のときは, x_1, y_1 が共に 0, または共に 1 なら 0 または 1 になる. x_1, y_1 が 0, 1 または 1, 0 なら c_1 の 0 または 1 による. 上の方の桁も同様に考えることができる.

記憶装置

パラメトロンに比べ、あまり話題に上らないがPC-1のメモリー回路やアドレス選択回路も非常に独特なものであった。

Figure 7にコアメモリーを構成する1個のコアを示す。36ビットのメモリーレジスタが左方であり、語中の各ビットの共振フェーズの電流が横線を通る。また、上方にはアドレス選択回路があり、選択された語に相当する縦線に共振周波数 f の半分、 $f/2$ の選択電流が流れる。選択電流のないコアは対称な磁場をかけるので、コアの磁化には変化がないが、選択電流のある語は Figure 7 の下の図にあるように非対称な磁場を生じるため、コアはどちらかに磁化される。

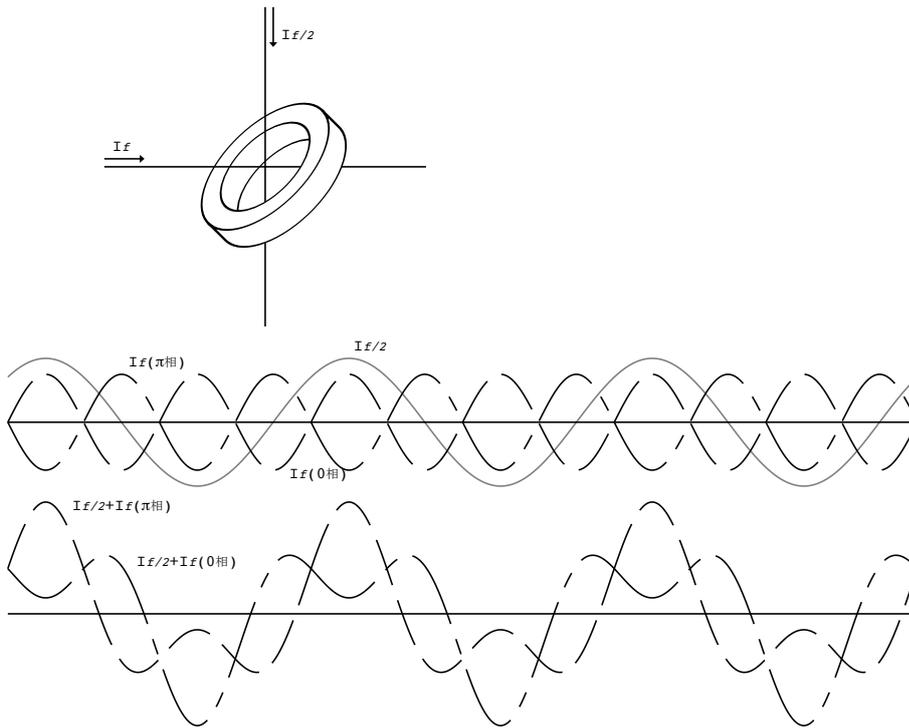


Figure 7

読み出しの原理は Figure 8 の通り。読み出したい語のコアに、選択電流を流す。ヒステリシスカーブで、磁化が逆転しない程度の電流とする。すると 0 を記憶しているコアと、1 を記憶しているコアとで、図に示すようなヒステリシスカーブを描き、しかも磁化は不変のため、非破壊読み出しができる。ヒステリシスカーブを回るために読み出し線に誘起される電圧は記憶内容により、フェーズが 0 か π の 2 次高調波 (周波数 f) を持つので、これをパラメトロン共振の種にすれば、読み出せるのである。このように f と $f/2$ を使うので 2 周波メモリーという。

アドレス選択の $f/2$ 電流は多少大きめの $f/2$ パラメトロンの発振を利用した。PC-1 のメモリーは 36 ビット長語 \times 256 語で構成してあり、 $f/2$ パラメトロンも 256 個用意した。256 個のうちか

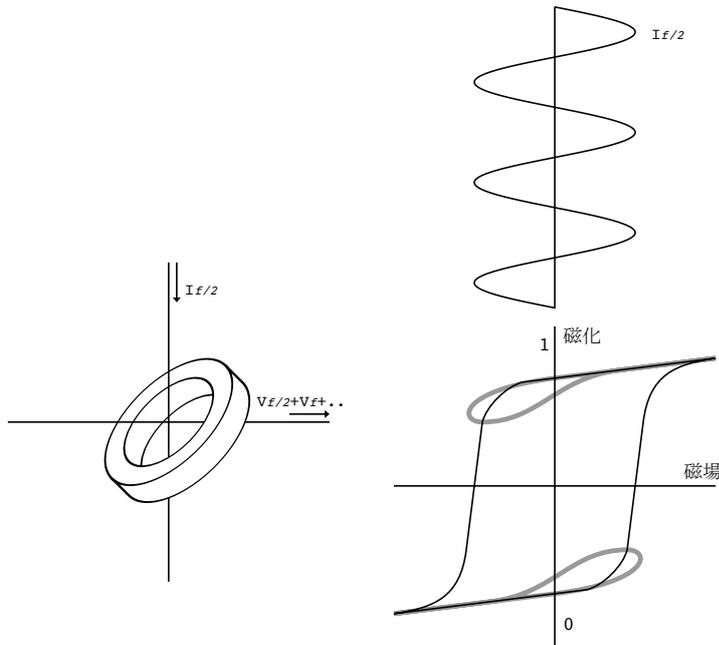


Figure 8

ら1個を選ぶには通常は8ビットの選択回路を使用するのだが、PC-1の語選択の概略は次のようになっている。

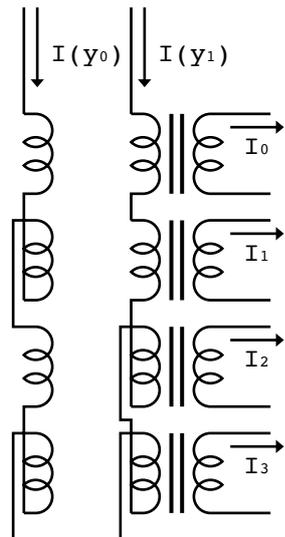


Figure 9

Table 3

駆動電流		出力電流			
$I(y_0)$	$I(y_1)$	I_0	I_1	I_2	I_3
-I	-I	-2I	0	0	+2I
+I	-I	0	-2I	+2I	0
-I	+I	0	+2I	-2I	0
+I	+I	+2I	0	0	-2I

Table 4

0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1

Figure 9のようなトランスで、 $I(y_0)$ と $I(y_1)$ にパラメトロンの共振のように、振幅、周波数は同じだが、フェーズが0相か π 相の電流が流れたとする。それを+I、-Iで表す。それに対し出力電流はTable 3のようになるであろう。パラメトロンには、目いっぱい励振をかけられた時には発振し、

励振がある程度以下だと発振しないという性質があり、選択回路用のパラメトロンを出力側で励振すると、 $\pm 2I$ のものだけ発振する。いまは $2I$ と 0 だが、入力本数が増えて J 本になると、最大励振は $J I$ なのに対し、次は $(J - 2)I$ で、識別が苦しくなる。

入力が4ビットの場合、Tabel 4のようなHammingコードを使ったとすると、最大が $7I$ に対し、次点は $\pm I$ となるので、識別は容易である。PC-1 ではこのように誤り訂正符号を利用することにし、アドレス選択信号から符号変換を経て18回線で増幅され、トランス回路で識別可能なレベルの励振電流を作って選択用パラメトロンの特定の1個を共振させている。

PC-1に見学者が来ると、高橋先生は18本の真空管の1, 2本を抜いて見せ、それでもPC-1が誤動作しないことで、このアドレス選択方式の利点を説明されていた。

PC-1の方式設計

PC-1の方式設計は原則的にはCambridge大学, Compter LaboratoryのEDSACのそれを見習った[9]。しかし、独自の哲学で設計した部分もある。最初にアドレス方式、レジスタ構成を説明する。

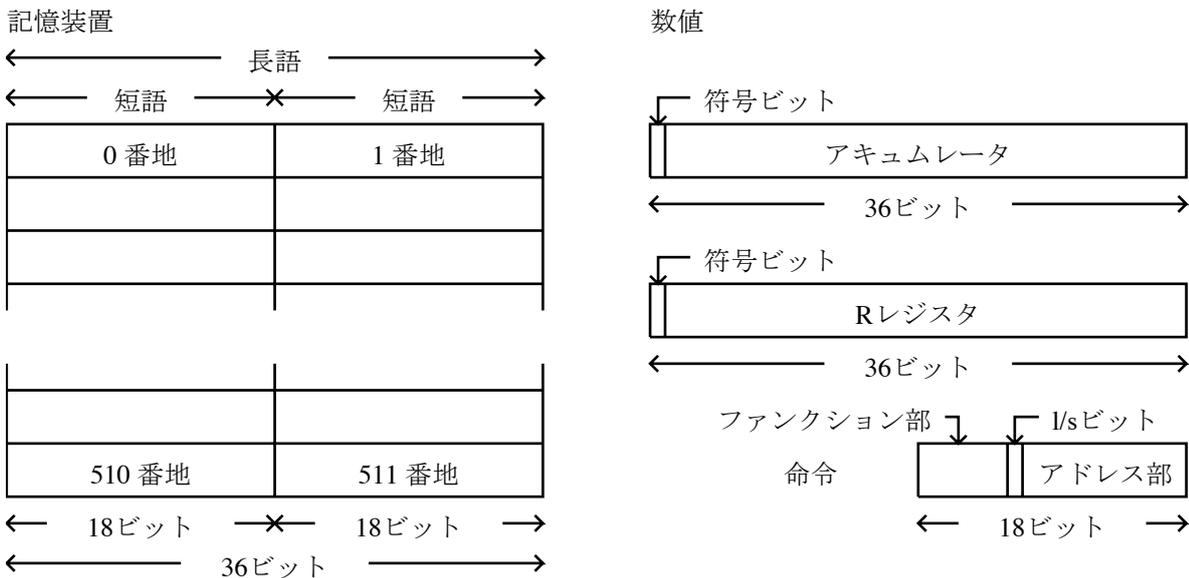


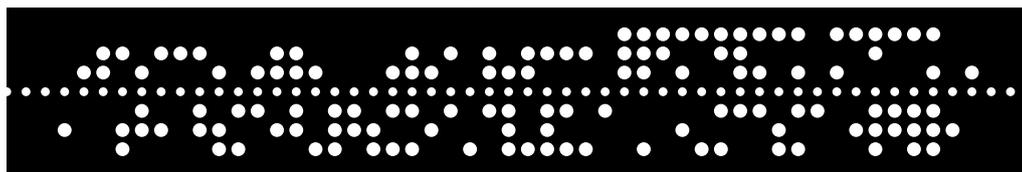
Figure 10

Figure 10の左が記憶装置で、図に示すように18ビットの短語で512語ある。EDSACと同様に $2n$ と $2n + 1$ 番地の短語は2語合わさって長語としても使える。命令語は短語だが、数値語は短語、長語のいずれでもよい。長語を指定する時は命令語のアドレスは偶数番地にする他、命令語のなかの $1/s$ ビットを1にしておく。命令によっては $1/s$ ビットは長語/短語の区別以外の目的に使うこともある。

Figure 10 の右は処理装置内のレジスタを示す。PC-1 で扱う数値は 2 の補数表示の 2 進固定小数で、左端に符号ビットがあり、そのすぐ下に小数点があると考える。演算レジスタにはアキュムレータと R レジスタがあり、加減算、ビット演算にはアキュムレータを使う。R レジスタは小数点のところにアキュムレータの最後からつなげ、小数部 70 ビットのレジスタとしてシフト、乗除算に使うことができる。図には示していないが、記憶装置から読みだした数値はメモリーレジスタに入り、アキュムレータとメモリーレジスタの演算の結果がアキュムレータに残るとというのが基本形である。短語を読み出すとメモリーレジスタの上 18 ビットに入り、下 18 ビットはクリアされる。命令は命令レジスタに読み出され、先頭から 6 ビットがファンクション部、1 ビットが 1/s ビット、11 ビットがアドレス部である。記憶装置が 512 語なので、アドレスには 2 ビット余裕があった。PC-1 では入出力に紙テープとテレタイプを利用していった。テレタイプのコードは 6 単位で、欧文 5 単位テレタイプの letter には最上位ビットに 0, figure には 1 をつけたものである。letter 側の下 5 単位は ITA no.2 と同じだが、figure 側は多少違っている。

000000 Blank	010000 e	100000 Signal	110000 2
000001 t	010001 z	100001 4	110001
000010 C.R.	010010 d	100010 -	110010
000011 o	010011 b	100011 8	110011
000100 Space	010100 s	100100	110100
000101 h	010101 y	100101	110101 5
000110 n	010110 f	100110 ,	110110
000111 m	010111 x	100111 .	110111 =
001000 L.F.	011000 a	101000 +	111000 0
001001 l	011001 w	101001	111001 1
001010 r	011010 j	101010 3	111010
001011 g	011011 F.S.	101011	111011
001100 i	011100 u	101100 7	111100 6
001101 p	011101 q	101101 9	111101
001110 c	011110 k	101110	111110
001111 v	011111 L.S.	101111 :	111111 Erase

実物大の紙テープは (本稿を A4 版で出力時) 次の通りである。



abcdefghijklmnopqrstu vwxyz 0123456789 +-=,.:

Figure 11

PC-1 では市販のテレタイプをそのまま利用した。その点では EDSAC が 10 進 2 進変換が楽なようにコードバーを切り直したり、ILLIAC で 16 進数として 4 単位しか使用しなかったのとは違ってできるだけ何もしないという発想に基づいていた。

PC-1 の命令の一覧表は次の通りである。詳細は文献 [7] の付録 命令一覧表を参照してほしい。

an aln	n, nL の内容をアキュムレータにたす。
bn bln	n, nL の内容とアキュムレータの排他的論理和をアキュムレータにおく。
cn cln	n, nL の内容とアキュムレータの論理積をアキュムレータにおく。
dn dl n	n, nL の内容でアキュムレータと R レジスタをわり、商をアキュムレータに、剰余を R レジスタにおく。
in	入力装置が停止中ならテープから 1 字読んで $a_0 \sim a_5$ にいれ $a_6 \sim a_{35}$ を 0 にする。動作中なら n ヘジャンプする。
jl n	n ヘジャンプする。
kn	アキュムレータの内容 < 0 なら n ヘジャンプする。
kl n	アキュムレータの内容 ≥ 0 なら n ヘジャンプする。
ln	$n < 1024$ ならアキュムレータを n ケタ左へシフト, $n \geq 1024$ なら $2048 - n$ ケタ右へ論理シフト。
ll n	アキュムレータと R レジスタをシフトするほか ln に同じ。
nn nl n	アキュムレータをクリアして n, nL の内容をひく。
on	出力装置が停止中なら $a_0 \sim a_5$ をテライプに出力する。動作中なら n ヘジャンプする。
pn pl n	アキュムレータをクリアして n, nL の内容をたす。
qn ql n	R レジスタの内容をアキュムレータにおき, n, nL の内容を R レジスタにおく。
rn	$n < 1024$ ならアキュムレータを n ケタ右へシフト, $n \geq 1024$ なら $2048 - n$ ケタ左へシフト。
rl n	アキュムレータと R レジスタをシフトするほか rn に同じ。
sn sl n	n, nL の内容をアキュムレータからひく。
tn tl n	アキュムレータを n, nL に書き込む。
vn vl n	アキュムレータに n, nL の内容をかけ, 結果をアキュムレータと R レジスタにおく。
wn wl n	$vn vln のほかに, はじめの R レジスタの内容を wn なら 2^{-17} 倍, w1n なら 2^{-35} 倍したものを積にたす。$
xn	アキュムレータの $a_7 \sim a_{17}$ を n のアドレス部書き込む。
zn	アキュムレータの $a_7 \sim a_{17}$ が 0 なら n ヘジャンプする。
zl n	アキュムレータの内容 = 0 なら n ヘジャンプする。

EDSAC と違う点を少し挙げておく。EDSAC ではたす命令, ひく命令の他, アキュムレータの内容をメモリーに格納してからアキュムレータをクリアする命令と格納してもクリアしない命令があった。つまりこれで一連の演算の最後という時は, 結果をしまうとともにアキュムレータを次の演算のためにクリアするのである。一方 PC-1 は, たす, ひくのほか, アキュムレータをクリアしてからたし込む(ポジティブロード)命令と, クリアしてからひき去る(ネガティブロード)命令を持っていた。その他に(クリアしない)格納命令があったから, PC-1 ではこの種の命令は都合 5 種類あったことになり, EDSAC ではそれを 4 種類ですませていた。

かけ算もまったく違う方式で, PC-1 はアキュムレータの内容にある番地の内容をかけ, それをアキュムレータ(と R レジスタ)におく方式であり, EDSAC は別にある乗算レジスタの内容とある番地の内容をかけ, それをアキュムレータにたしたりひいたりするようになっていた。EDSAC は積和をとるのに便利であれという設計である。PC-1 では積和は苦手でも, Horner の方法による多

項式の値の計算には向いていた。PC-1にはw命令があったが、これはかけ算でまず部分積をおくところをクリアして始めるのに対し、そのクリアをさぼるものである。したがって演算前にRレジスタにあった内容が、アキュムレータとメモリーの内容の積にたされるという(桁数には制限があるが)一応の積和は可能であった。

わり算はEDSACではサブルーチンを使っていた。PC-1でも1958年3月に稼働し始めた時は、かけ算、わり算はなく、サブルーチンが存在した。使いながらかけ算とわり算の回路を設計し、配線を行なった。

加減算が可能なレジスタがアキュムレータだけという演算回路では、わり算の後で、剰余はアキュムレータに残り、アキュムレータの下にシフトでつながるレジスタに商が入るとするのが標準で、ILLIACではそのレジスタに商ができるという意味でQレジスタと呼んでいたが、PC-1では、わり算の結果では商の方が重要であり、重要な方がアキュムレータに残るべきだということで、演算後に商と剰余の入れ換えを行なっている。

わり算では剰余の符号のとりかたに諸方式がある。一般的なのは剰余の符号を被除数の符号にあわせるというやつで、多くのプログラム言語でもそう規定しているようである。しかし、多倍長の被除数をわる時は、2の補数の計算機では2回目以降に剰余をわる時からは正の商が出てほしい。

Table 5

n \ d	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
15								-3, 3
14						†	†	-4, 2 -3, 2
13						†	†	-4, 1 -3, 1
12						†	†	-4, 0 -3, 0
11	3, 2							-3, 2 -2, 3
10	3, 1							-3, 1 -2, 2
9	3, 0				†	†	†	-4, 1 -3, 0 -2, 1
8	2, 2				†	†	†	-4, 0 -2, 2 -2, 0
7	2, 1 3, 1							-3, 1 -2, 1 -1, 3
6	2, 0 3, 0							-3, 0 -2, 0 -1, 2
5	1, 2 2, 1							-2, 1 -1, 2 -1, 1
4	1, 1 2, 0				†	†	†	-4, 0 -2, 0 -1, 1 -1, 0
3	1, 0 1, 1 3, 0							-3, 0 -1, 1 -1, 0 0, 3
2	0, 2 1, 0 2, 0							-2, 0 -1, 0 0, 2 0, 2
1	0, 1 0, 1 1, 0							-1, 0 0, 1 0, 1 0, 1
0	0, 0 0, 0 0, 0							0, 0 0, 0 0, 0 0, 0
-1	-1, 2 -1, 1 -1, 0							1, 0 1, 1 1, 2 1, 3
-2	-1, 1 -1, 0 -2, 0							2, 0 1, 0 1, 1 1, 2
-3	-1, 0 -2, 1 -3, 0							3, 0 2, 1 1, 0 1, 1
-4	-2, 2 -2, 0 -4, 0							* -4, 0 2, 0 2, 2 1, 0
-5	-2, 1 -3, 1							3, 1 2, 1 2, 3
-6	-2, 0 -3, 0							3, 0 2, 0 2, 2
-7	-3, 2 -4, 1							* -4, 1 3, 2 2, 1
-8	-3, 1 -4, 0							* -4, 0 3, 1 2, 0
-9	-3, 0							3, 0 3, 3
-10	-4, 2							* -4, 2 3, 2
-11	-4, 1							* -4, 1 3, 1
-12	-4, 0							* -4, 0 3, 0
-13								* -4, 3
-14								* -4, 2
-15								* -4, 1
-16								* -4, 0

それには剰余の符号は除数の符号と合わせるのが良い。しかし PC-1 では、負の除数で多倍長をわることにはそんなにないだろうと、剰余の符号が常に正となるように決めた。ここはもうひと踏ん張りし、剰余と除数の符号をあわせるべきであったとの反省がある。Table 5 に剰余と除数の符号を合わせると、商と剰余がどうなるかの概略を示した。(n は被除数, d は除数)

シフトは EDSAC の命令では判じものだが、アドレス解読の回路は簡単にできるのだから、アドレスが n なら n ビットシフトというわかりやすい方式にした。シフト命令の実行時間は固定値+n クロックなので、これを利用して時間を計ることができた。

シフトの仲間ではないが q 命令というのがあった。なぜ q かという質問にだれかが quick shift だといったので、シフトで思い出した。これはそもそもは e だの π だのの計算で多倍長わり算をやる場合に便利だというのでつけたのだが、R レジスタの活用には重要であった。

ビット演算はビット毎の論理積 (c 命令) とビット毎の排他的論理和 (b 命令) をもっていた。論理和はこの二つの命令があれば、 $a \vee b = a \wedge b \oplus a \oplus b$ ができるからいらぬという理由である。PDP-8 という命令数の少ない計算機があつて、それにはビット毎演算は論理積しかなく、排他的論理和は 2 数の和から論理積で用意した繰り上りを引いて得るというのであつたが、そこまではしなくてすんでいる。

ジャンプ命令は無条件ジャンプ、正負、零の条件ジャンプがある。EDSAC では正負の条件ジャンプだけだから、ハッカー向きだが、PC-1 ではそういう無理はしない。また、アドレス部の零ジャンプはアドレス部の書き込み命令 (x 命令) とともにループ制御に威力があつた。

入出力は EDSAC がメモリの語との出し入れなのに対し、PC-1 はアキュムレータと出し入れする。さらに i, o 命令はアドレス部が不要になったため、入出力機器の準備ができていないときには、アドレスの示す番地へジャンプする、いわゆる聖徳太子の機能がついていた。もつとも、この機能は割り込みがついてから、割り込み処理ルーチンの中で初めて実用になった。

前にあげた命令一覧表にはないが、PC-1 にはフリップフロップがあり、y 命令でセット、リセット、e 命令でフリップフロップの条件ジャンプができた。このフリップフロップは割り込み禁止用に使ったが、割り込みが生じると自動的にセットされ、割り込み処理ルーチンの出口で、プログラムでリセットした。このフリップフロップにスピーカを接続し、音楽をならしたのも楽しい思い出である。

最後に割り込みのことを述べよう。PC-1 が完成してほぼ 1 年使い、ライブラリも増えてきたころ、高橋先生が走行中のプログラムに外から制御が出来ないのは面白くない、といい出された。先述のフリップフロップは手動でもセットできたが、入出力機器その他で制御できれば便利だということであつた。そこで早速割り込み回路を設計した。当面テレタイプが受信 OK になると、割り込みが発生し、さらなる割り込みをフリップフロップで禁止し、次に実行するはずの命令の番地を 510 番地へ格納し、511 番地へ実行を移す。511 番地には割り込み処理ルーチンへのジャンプ命令がおいてある、というものであつた。さっそくサイクリックバッファを共用するかたちで、主ルーチンと割り込み処理ルーチンの強調プログラムを書き、マルチプログラミングの世界初とも思われる実験を行なった。

割り込みが出来ればトラップ(割だしとも呼んだ)へ考えは及び、メモリープロテクションのアイデアもでたが、これはアイデアだけで、PC-1への組み込みは行なわなかった[10].

おわりに

岩波情報科学辞典を眺めていたら「PC-1」の項目があり、その最後の方に「しかし、初期のわが国の計算機技術の発展にこの計算機が果たした役割は大きい。」と書いてあった。結果的にはそうかもしれないが、PC-1の関係者は新しいことを次々と試み、楽しくて仕方がないという状態であった。もう38年も前のことであるから回路設計からプログラムライブラリの整備まで、すべて自分たちの手でやらなければならない、またやれた時代であった。

PC-1の稼働をやめた1964年はIBMがSystem 360を発表している。それからしばらくは大型計算機の時代が続き、またDECの小型機も登場はしていきしたが、まだPC-1時代のように自由に楽しく使える程ではなかった。やっと最近、ワークステーションやパソコンが出回るようになって、PC-1時代の再来のような気がするが、進歩の度合はものすごく、やはり神代というべき時代だったかもしれない。

PC-1が元気だったころ、3月26日にはPC-1の誕生パーティーをやっていた。最近では5の倍数年目の3月26日にほそぼそと集まって昔話をしたりしている。

参考文献

- [1] 和田英一:「PC-1のイニシャル・オーダー R0」, bit Vol.4, No.12, pp.57-69
- [2] 情報処理学会歴史特別委員会編:「日本のコンピュータの歴史」, オーム社 1985年
- [3] 日本物理学会:「電子計算機—使い方と応用—電子計算機講習会テキスト」1959年
- [4] 高橋秀俊:「電子計算機の誕生」中公新書 273 中央公論社 1972年
- [5] 高橋秀俊:「コンピュータへの道」文芸春秋 1979年
- [6] 「後藤英一 パラメトロンから量子コンピュータまで」月刊アスキースペシャルインタビュー 2, Ascii, Vol.17, No.6(1993年6月号)
- [7] 高橋秀俊 編:「パラメトロン計算機」岩波書店 1968年
- [8] 高橋秀俊:計算機械 II, 岩波講座 現代応用数学 B.14-a.II 1958年 岩波書店
- [9] Wilkes, M.V. et al:“The Preparation of Programs for an Electronic Digital Computer”, Addison-Wesley 1951年
- [10] 和田英一:「モニタシステム」, 情報処理, Vol 3, No. 9, pp 267-277, 1962年