

解説

——日本における計算機の歴史——

パラメトロン計算機 MUSASINO-1*

高 島 堅 助**

1. はじめに

MUSASINO-1 という名称は、電気通信研究所が武蔵野の一隅にあることに因んだもので、当時の電子応用研究室長 喜安善市氏*** により命名されたものであり、1955 年より試作を開始し、1957 年 3 月に初めて計算機として動作した。

データ通信サービスを公社が実施している現在ならばとにかくとして、約 20 年前の電気通信研究所で計算機そのものの研究を行なったという事について奇異に考えられるかも知れない。このいきさつについて最初に簡単に述べて置きたい。

第 2 次世界大戦後、荒廃したわが国の電気通信システムを再建し、電気通信事業を推進・展開するために 1949 年電気通信省（1952 年日本電信電話公社へ移行）が設置された。これと同時に電気通信事業に必要な研究・実用化を担当する機関である電気通信研究所が設立された****。当時の研究所においては電話機・交換機・搬送・無線など通信設備の整備のための研究・実用化が最大の急務であった。

一方、米国においては、戦時中作られた真空管式電子計算機 ENIAC に引き続き、1950 年頃からプログラム制御方式の電子計算機が 2、3 の大学を中心に試作され、科学・技術関係の用途に一部使用される状態であった。

わが国においては、米国における電子計算機の研究状況を文献等で知り得る程度で、米国における学者の費用のかかる遊び的に見られ、わが国において、特に電気通信研究所のテーマとして採り上げることは難か

しい情勢にあった。

この様な情勢の中で、電気通信研究所で電子計算機に関連するテーマが採り上げられたのは、当時の電気通信研究所長 故吉田五郎氏、基礎研究部長 前田憲一***** 氏、伝送研究科長喜安善市氏の卓見に依るものである。すなわち、情報処理および電子計算機に関連する技術は必ず将来の通信の各分野特に電子交換などにおいて重要な役割を果たすという予測の下にこのテーマに関するグループを発足する事を決断された。この結果、1956 年通研の伝送研究科に伝送基礎グループが設置された。このグループの差し当たりの目的は電気通信の基礎となる情報理論、トラヒック理論、電子交換および電子計算機等の情報処理、および関連電子回路の研究にあった。発足後、アナログ型電子計算機、真空管フリップ・フロップカウンタを利用したレベル分布統計器などの試作を行ないながら、一方プログラム制御方式の計算機等について調査、検討を進め、将来の情報処理はディジタル型電子計算機によるべきであるとの結論を得た。特にディジタル型電子計算機の技術は将来の電子交換技術と共通の技術であり、この面で直接通信の技術に応用可能であるとの見地からも通研で強力に電子計算機の研究を進めることとしたのである。

この様な経緯を経て、1953 年から電子計算機の試作を目指して研究を開始した。研究は論理素子の検討から出発した。当時最も有望と思われたのは、ダイオード論理と磁心シフトレジスタ方式であったが、1954 年 7 月、東大の後藤英一氏によりパラメトロンが発表された時、従来の伝送系の研究実用化の経験から、この様な装置においては素子の信頼性が極めて重要であり、この素子はこの条件を満足するという判断からパラメトロンの実用化にふみ切ることにした。

筆者は 1954 年秋よりパラメトロンの実験的研究に従事した。この頃より東京大学 高橋秀俊氏、後藤英一氏、国際電々研究所、電気通信研究所はパラメトロ

* Parametron Computer MUSASINO-1 by Kensuke TAKASIMA (N. T. T. Yokosuka Electrical Communication Laboratory)

** 日本電信電話公社横浜電気通信研究所

*** 現岩崎通信機（株）常務取締役

**** 法的には当時の商工省外局として 1948 年に設置されたが、実質的な形を整えたのは翌年である。

***** 現京都産業大学

ンの材料・部品・回路および応用に関して共同研究を行ない、互に実験データ、理論的検討結果を持ち寄り、パラメトロン技術を確立した。

1954 年末には数千個のパラメトロンを使用する装置を実現する見通しを得たが、折しも室賀三郎社員*が Illinois 大学留学を終えて帰国し、計算機試作のリーダーとなった。米国において実際に Iliac I を使用して来た同社員の意見は「計算機を使用する場合にはプログラムの作成に莫大な時間を要するので、これを軽減するために Iliac I と全く同じ論理構成（ソフトウェア・コンパティブル）の計算機を作れば、膨大な量の「Iliac Library」をそのまま利用出来るので非常に有利である」とのことであった。

この提案に基づき、MUSASINO-1（以後略して M-1 と記す）の論理構成を Iliac I の命令系を包含する様に殆んど同一とし、パラメトロンを使用して試作することとした。

M-1 の設計・試作の分担は、論理設計を室賀三郎氏、2 周波方式による磁心記憶装置を山田茂春氏**パラメトロン素子およびこの励振装置、その他ハードウェア全般を筆者という分担でスタートした。

以下に筆者の担当したハードウェア関係の試作過程について述べる。パラメトロン回路、これに関する周辺諸回路はほとんど従来の例のないものであることから、すべての回路は回路設計を行ない、回路図通りにバラックセットを組立て、実験確認を経た上で回路図を製造会社に渡し、製造が完了すると筆者自身調整・試験に立会うという手順を踏んだ。装置の製造に当たっては製造期間の短縮を計るために、各種の装置を数社に分割発注し、完成した部分装置を通研に集めて組立てる方法を採用した。

すなわち、東京電気化学（株）で製造した磁心を日本電子測器（株）の山田博氏***の設計による磁心特性測定器により選別し、パラメトロンとして 288 素子を 1 つのパネルに実装したもの 20 パネルの製造を大井電気（株）に依頼した。パラメトロンを励振するための励振波発生器、調整等のための測定器を安立電気（株）の故石森豊比古氏、藤田雄五氏にお願いした。また各種測定器に関しては当時の伝送研究科福井憲一氏****の御協力を得た。パラメトロンを

励振するための電力増幅器の試作を日本電気（株）の近藤吉治氏にお願いした。装置全体を実装するための搬送用標準架、表示用ランプパネル、分電盤、その他若干の雑パネルなどを（株）高砂製作所に依頼した。また、電源装置関係は新電元工業（株）に試作を依頼した。1955 年中は殆んどこれらの部分装置の試作に費やし、1956 年春までに試作を完了した。これら部分装置全体の試作費用合計が約 1,500 万円前後であったと記憶している。

これらの部分装置を今述べた搬送用標準架に取り付け組立てる作業を 1956 年春より開始した。

あらかじめ 1 m 間を開けて十数架の高さ 2 m の標準架を二列に設置しておき、完成した部分装置を次々に組み込み、パネル間および架間布線を行なった。部分装置の試作を進める間に並列に作成された論理設計図面に従って論理布線を行なった。この布線には研究所の試作部から十数名の協力を得た。論理布線を行なっている間に励振系統の布線、調整、および 32 語（1 語 40 ビット）の試作磁心記憶装置の調整を進め、1957 年 3 月、僅か 32 語の記憶装置ではあるが、プログラム制御方式のパラメトロン計算機が初めて動作した。その後 32 語の記憶装置を以て出来る限りの数値計算に使用して来たが、1 年後の 1958 年 3 月には 256 語に記憶容量を拡張し、これによりライブラリまでも可成り使える様になり、所内一般の数値計算サービスを実施した。この間資材局よりの依頼で資料割当てに関する計算を行ない実用性が確かめられた。その後 M-1 と同じ論理構成で、通研で実用化した眼鏡形パラメ

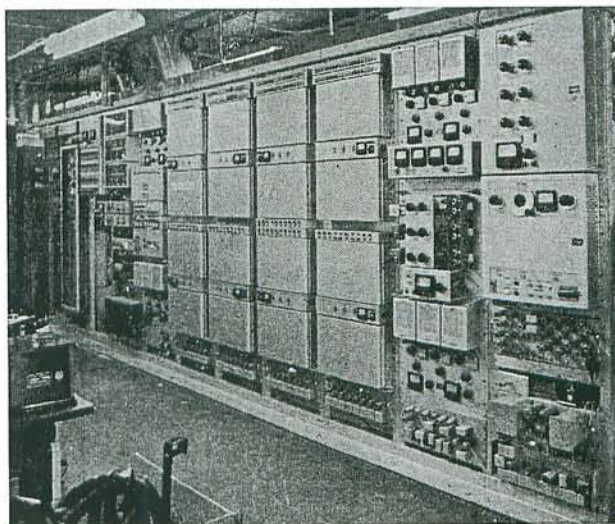


図-1 MUSASINO-1 の外観

* 現 Illinois 大学教授

** 現東洋通信機（株）取締役

*** 現富士通（株）

**** 現富士電気化学（株）取締役

トロンを使用した M-1B が富士通（株）で製造され、通研で所内サービスに使用される様になるまで、M-1 は通研における所内一般サービスを約3年間続けて来た。

2. M-1 の概要

M-1 の詳細については過去に詳しく報告されているので^{1)~3)}、ここでは簡単に述べる。

図-1（前頁参照）および図-2 に M-1 の前面および2列の架と架の間を示す。図-1 の手前の架が 2.4 MHz を3相の矩形波で変調した3つの励振波形を作る装置でその次が励振用の電力増幅器、その次の4架が4,600個のパラメトロン、次の1架が電力増幅器、制御盤等となっている。図-2 の左側は今述べた装置の裏面、右側が256語の2周波記録方式の磁心記憶装置である。図-3（次頁参照）には288個のパラメトロンを実装したパネルを示す。

表-1（次頁参照）には主要な M-1 の諸元を示す。

M-1 の1語は40ビットであり、1語の数と命令の場合の表現を図-4（次頁参照）に示す。数は符号付39ビットの小数であり、命令の場合は演算指令8ビット、番地部12ビットである（その後磁気テープ装置を追設した時、40ビットの命令を追加した）。M-1 では1つの命令の実行が終了した信号により次の命令を起動する非同同期制御方式を採用しているので、命令および数値により実行時間が異なる。表-2（P. 134 参照）にはこの命令実行サイクル数を示す。例えば変調周波数が10 kHz の場合には加減算の平均時間は $100 \mu s \times 27 = 2.7 \text{ ms}$ となる。

入力装置としては200字/秒の光学的テープ読取装置、出力装置としては10字/秒の印刷機を主として使用した。その後、ブラウン管とその自動写真撮影装置を組合わせた図形出力装置も試作し接続した。また Electro Date 社製の磁気テープ装置も接続した。しかしながらこれら図形出力装置、磁気テープ装置は種々の事情により充分に活用するまでに至らなかった。

3. 感想

M-1 そのものについては、すでに幾つかの論文で述べられているので、ここでは筆者が M-1 の試作を通じて経験した事、感じた事を2, 3述べてみたい。

3.1 ソフトウェア・コンパティビリティ、ソフトウェアグループ

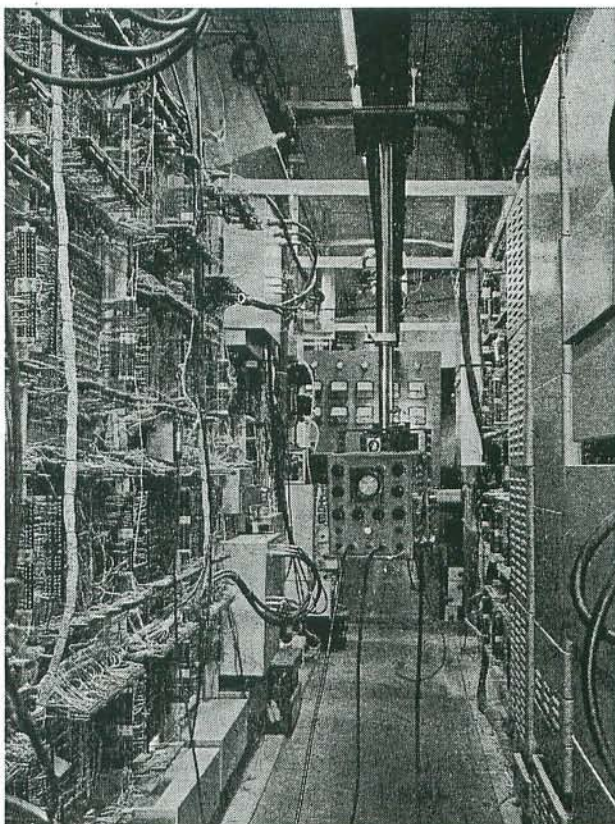


図-2 M-1 の論理布線（左）と記憶装置（右）

すでに述べた様に M-1 においては Illiac I の使用経験を持つ当時の室賀三郎氏の提言により Illiac I とソフトウェア・コンパティブルなものを作ることにした。後で考えて見るとこのことの最大の利益は設計・製造期間の短縮の点にあったのではないかと思われる。というのは、当時ある計算機を試作しようとするとその命令系をどうするかという議論が活発に行なわれ、議論に参加する人が多い程議論が長びき、また次々得られる名案を入れて行くと命令系も複雑となり、論理設計に要する労力が増大して行く恐れが多分にあったからである。当時通研において僅か数名（製造会社、試作部要員を除く）の要員で初めてのものを約2年間で完成出来た要因の1つはこの割切りであると思う。一方ソフトウェア・コンパティビリティの実現がいかに困難であるかということもつくづく思い知らされた。M-1 の命令語は Illiac I の命令語を含むように作られているということは、Illiac では命令の無効のビット、またはビットの組合わせ、が M-1 では意味を持つことである。一方、当時のプログラムは命令

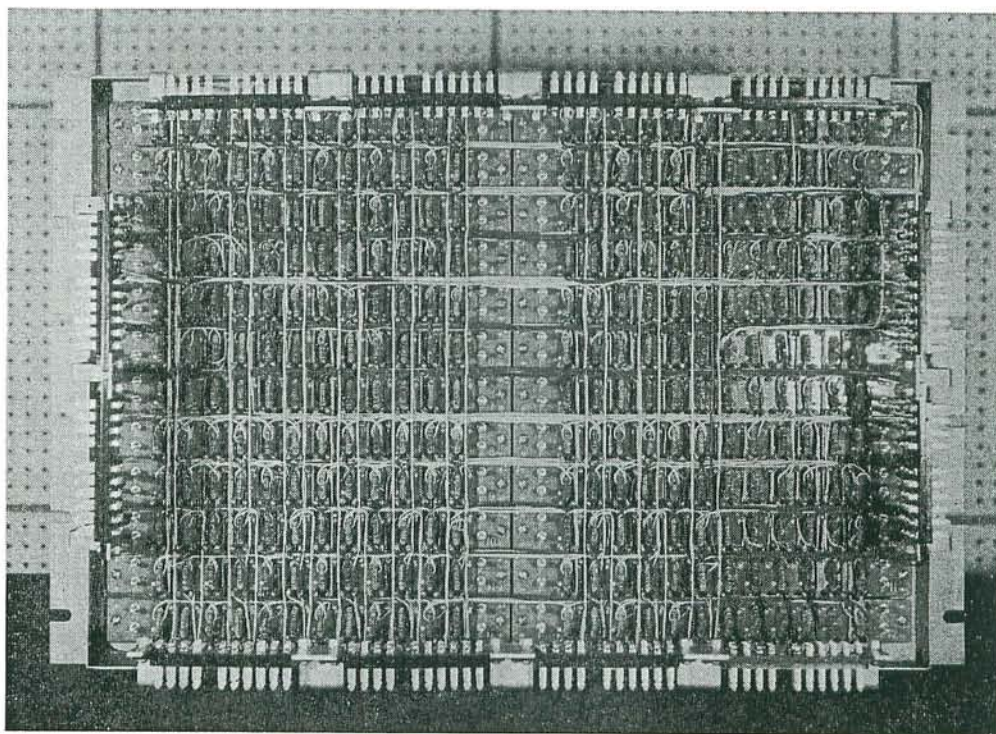


図-3 パラメトロン 288 個実装のパネル

表-1

伝送方式	並列方式
数字の表現法	40 ビット/語の2進数, 固定小数点方式
命令の形式	単一番地の命令1対
演算指令	約 130 種
主要部品	
パラメトロン	制御装置 1,600 個
	演算装置 2,800 個
	記憶装置 1,000 個
	合計 5,400 個
真空管	演算, 制御装置 280 本
	記憶装置 239 本
	合計 519 本
パラメトロン励振方式	2.4 MHz
励振周波数	6 kHz 以上約 25 kHz まで
3相繰返周波数	フリップ・フロップ方式
矩形波発生法	パラメトロン 400 個ごとに 807
	p-p 増幅器 1 個
電力供給方法	
磁心記憶装置	非矩形ヒステリシス曲線をもつ外径 2 mm のフェライト
記憶磁心	2 周波重ね合せ
書込方式	2 倍高調波発生
読取方式	パラメトロン行列
選択方式	256 語
記憶容量	和文電信用 6 単位紙テープ, パリティ・チェック付
入出力装置	光電式 (最高 200 字/秒) 又は電信用局内送信機 (12 字/秒)
入力装置	電信用局内さん孔機 (12 字/秒)
出力装置	一次側全入力 9 kVA, 定電圧出力 5 kW
所要電力	

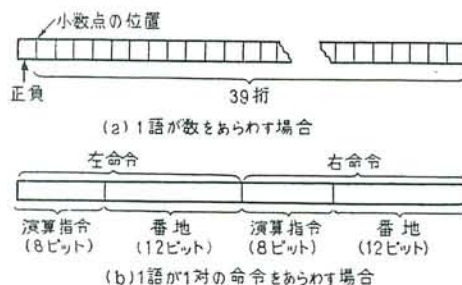


図-4

の作られた目的を意識するのみならず, 命令による計算機の振舞いをすべて意識的に活用して作られている一例えば命令のあるビットが無効である事を有効に活用するなどーので, ライブラリを実際にかけて見ると, 意外なインコンパティビリティが随所に現われて来るのである。この事のため, Illiac Library を M-1 上でデバッグし使用可能にするため, プログラムグループは可成りの苦勞をされた様である。もっとも, この事によりプログラム・グループの人々は, プログラム技術を修得するのに非常に役立ったのではないかとも思われる。当時は 20 ステップのプログラムを1ステップでも2ステップでも短くするのがプログラマ

表-2

命 令 形	変 調 サ イ ク ル			注
	最 小	最 大	平 均	
0 n, 1 n	10	77	12+n	シフト (n はシフト桁数)
2	5	10	8	無条件飛越
3	6	11	9	条件付飛越
4, N, J	9	14	12	記憶・飛越・論理
5	7	12	10	置数器・セット
6	165	880	523	除算
7	117	163	130	乗算
E0, 81			5	(1字当り) 入力
E2, 92			90	(1字当り) 出力
91	19	24	22	(n=4) 入力
K, S	16	34	21	加減算
F, L	22	40	27	

の名人芸の見せ所という雰囲気があった時代である。現在の様に OS のレジデントが 2 MB で足りないとか、仮想記憶 16 MB という様な時代から見れば神世の時代であった。

当時プログラムを担当した人を御紹介すると、室賀三郎氏を筆頭に高須達氏 (京大・数理解析研究所)、山本欣子氏 (情報処理開発センター)、戸田敏氏、新井克彦氏 (横須賀通研)、伊吹公夫氏、木村建氏 (武蔵野通研) らである。

可成りの労力が Illiac Library の整備に費されたが、私の記憶ではデモンストレーション用に山本欣子氏が π の計算プログラム、新井克彦氏が「エラトステネスのふるい」による素数の計算プログラムなどを作ったのが印象に残っている。また高須達氏は数学の定理の証明のプログラム、伊吹公夫氏が論理シミュレーションプログラムなど変わったプログラムを作っていた。

もう一度コンパティビリティの問題にもどる。恐らく日本で最初にソフトウェアコンパティビリティの問題に遭遇したのは M-1 であろう。

その後、国内の会社で外国機のシリーズの延長の上位機種としてソフトウェアコンパティビリティを持たせた設計が行なわれたが、M-1 と若干似た問題に遭遇されたのではないと思う。その後通研において実用化した DIPS-1 においては 3 社のそれぞれのハードウェアがソフトウェアコンパティビリティを保つために、可成りの努力を傾注し実現した。この際ソフトウェアに対する注意事項は、明確に規定されていない機能を絶対に使用しない事であった。

今後の問題は今の OS の一部がファームウェア化されて行けば、ファームウェアと純ソフトウェアのインタフェースで、計算機間コンパティビリティの取り易

いインタフェースが作れるかどうかという事ではないだろうか。

3.2 パラメトロンの実験

パラメトロンが発明されて以後、これを実用化すべく、パラメトロンの性質を調べるために色々実験を行なって来た。従来われわれが行なって来た実験と異なっている点は、第 1 に素子の特性が線形ではなく非線形であること、第 2 に磁心の損失が大きいため温度上昇が大きく、励振電力、発振電力に依って素子の非線形特性自体が著しく変ってしまうことの 2 つであろう。この 2 つが複雑にからみ合うために測定の結果がいろいろと変化して行き、実験を始めた当初は何が何やら分らなくなるという戸惑いの状態に陥った事がしばしばであった。また励振側から見たインピーダンスも発振前後で変化し、その変化が励振側にはね返るなどの点から非常に設計のやり難い点があった。今から考えても、もっとこの角度からこの様な実験および測定をして置けばもっと良い装置を試作出来たのではないかと残念に思うことがしばしばである。

3.3 ハードウェアの設計・製造

(1) パラメトロン磁心

当時はパラメトロンが発明された直後で、パラメトロンに適した材質を種々東京電気化学 (株) が試作し、これについて検討中であつた。このサンプルについていろいろ測定し、最も特性の良いものを発注し、2 万個を購入し、特性を測定したところ、前のサンプルの値とは可成り異なっている事が分り、これは別途活用することとし、改めて 2 万個購入し、今度は特性値がサンプル値と合ったので、10 数個のパラメトロンを組立て、励振周波数、同調容量、バイアス直流値等のパラメータを決定し、捲線、部品の手配、組立作業を開始した。ところが 3 ヶ月程経って完成したこのユニットについて試験をして見ると、発振周波数 1 MHz の予定が 1.4 MHz 位までずれていたのである。このため、同調容量を増すこと、発振周波数を 1.2 MHz に変更すること、これに付随して励振用電力増幅器の中心周波数を 2.4 MHz に上げることなどで対処して切り抜けた。これは試作を急ぐの余り磁心の特性の経年変化を徹底的に調べて置かなかったことに起因すること、本試作を通じ最も冷や汗ものであった。

(2) 捲線の方向性

パラメトロンは位相の正負により、1, 0 を表わすもので、捲線の方向、端子のつなぎ方に方向性の意識が必要である。このため製造会社の女子工員に実体図

を渡しておいたにもかかわらず、トランスに結合される入力と発振出力の位相関係が、各パラメトロンで全くランダム、半数が逆位相という結果になり、もう一度布線のやり直しとなった。従来通信機では位相の正負は殆んど問題にならないものが大部分なので、こういう結果になったと思うが、コミュニケーションの難かしさをしみじみと味わったものである。これにこりて、通研において論理布線を実施する際には、布線担当者全員にパラメトロンの原理を1日講義し、位相の重要性を充分に認識して貰った後、作業に入ったが、この時には誤りは殆んどなかった。担当者に原理まで理解して貰うことは作業の正確さを保つと同時に、士気の昂揚にもつながると確信した次第である。

(3) 真空管回路

パラメトロン計算機といえども励振、表示などで合計600本の真空管を使用している。真空管の寿命を延ばすには規格よりもはるかに下の電流電圧値で使うべきであるという事から、陽極電圧は150V、電流は規格値の半分という設計を行なった。これを守った所は極めて障害が少なかったが、高出力段になるとそうも行かず、終段出力管(UY 807 A)については一定時間ごとに全数交換を実施した。いずれにせよ真空管とは全く手が掛るものであるという事を痛切に感じた。

3.4 ハードウェアの運用と保守

M-1の一般所内サービスに当たっては朝9時から17時までオープンまたはクローズによる使用、その間30分づつ2回プログラムデバック時間、17時から翌朝9時まで無人運転、無人運転中プログラムの処理が終了または誤まりを検出したら自動的に全電源断という方式を採った。通電時間に対する使用可能時間の比は85%であった。月平均障害件数は入出力機器関係5件/月、ハンダ付け障害その他の部品劣化が月に2.5件、この中ハンダ付け障害が2/3を占めていた。入出力機器の保守は専門業者に委託したが、本体系は筆者を含めた試作を担当したものが保守を担当した。

(1) ハンダ付け障害

M-1の保守において、最も苦勞したのがハンダ付け部分の劣化による障害である。M-1では1パラメトロン当たり約5個、約2万5千個のハンダ付け点数があった。2年間のデータによるとパラメトロン部分のハンダ付け劣化が23件、その他のハンダ付け劣化が19件である。

論理布線のハンダ付け劣化で最も困る点は、徐々に劣化する点である。ある部分が劣化すると最初の月に

1～2回、次に週1、2回、1日に1回程度誤まりを生ずる。この程度の状態までは誤まりが起った時に診断しても見付からない。このため、いろいろ方法を考えた。例えば、悪いと想定される場所の架を木ハンマーで叩き、不良の場所を悪化させるとか、不良と思われる範囲の端子をハンダごてで熱し、ハンダ付けを良くするなどの方法を採った。いずれにせよ、悪性のものは原因の発見に一週間から10日位かかるものがしばしばであった。

これらのハンダ付け障害多発の原因は誤配線によるハンダ付けのやり直しが製造および論理布線の段階で非常に多かったこと、またその布線修正のハンダ付けを専門家ではなく筆者らが自分達自身で行なったことなどが大きい原因であろう。また、このハンダ付け障害が梅雨から夏の間にかけて多発した事は、湿度との関係ではなかったかと思われる。最近の計算機においてはゲート数が1桁多いにも拘わらず、この種の障害が殆んど目立たないのはIC技術、パッケージプリント配線板、バックボード多層配線板などの技術、生産管理技術の著しい進歩によるものであろう。

(2) 障害の切り分け

計算機の保守上大きい問題は障害の切り分け、すなわち、ハードによるものかソフトによるものか、記憶部によるものか、論理演算部によるものか、または入出力装置によるものかの切り分けの問題である。それぞれ担当のグループが異なる場合特に、この点を明確にする必要がある。M-1の場合にはそれぞれの装置の試験プログラムは一通り作って置いたが、難かしい障害の場合には、その都度障害探索プログラムを作りながら障害処理を行っていた感がある。また、当時の初心者プログラマはプログラムミスハード誤まりとする人(大部分の人がそうであった)が多かったが今ならさしづめOSの誤まりとでもいうのであろうか。

(3) 計算機の夜間無人運転

計算機を昼間だけしか使用しないのは勿体ないし、夜間計算機の保守のために毎夜人が残ることは研究所としては困る。これを解決するために、夜間の無人運転を考えた。最も問題になるのは障害時の処置で、障害を生じたとき、入力テープが無くなったとき、計算がすべて終了した時の信号をすべて集め、これらの場合には、継電器により自動的に全電源を遮断する様にすると共に、研究所の守衛室にアラームを設け、このアラームによって室内を検査するという事故防止策を採

った。

この夜間無人運転を利用したのは伊藤富造氏* の気体の電離モデルに関する計算で、最も長時間無人で動いたのは土曜日の12時から月曜日の朝8時まで44時間であった。現在の計算機は常にオペレータが付いていなければならない、いわば手動計算機であるが、労働時間短縮の社会的動向から、真の自動計算機の実現の必要性がひしひしと迫って来ているのではないだろうか。

4. おわりに

今から約20年位前に筆者が行なって来たM-1の試作の経過を想起し、感じたことを中心にしながら筆を進めて見た。今やM-1程度の機能は現在のミニコンで充分実現されており、また速度はミニコンの方が2桁以上速い。当時国産の計算機としてはFUJIC(本誌15, 8)しか無かった時、自分達の手で実際に動く電子計算機を完成し、使用する喜びは何物にも勝るものであった。

パラメترونそのものは速度の点で大規模高性能計算機にとっては致命的な欠点の故に一部の小形計算機を除いて殆んど使用されておらず、今の若い計算機屋の多くの人はその名前すら知らない人が多い。しかしながら日本の計算機の創生期においてパラメترونの果たした大きい役割は電子総研のMkIVトランジスタ計算機と同様に、日本の計算機研究者・技術者を多数育成した事であろう。

現在わが国が直面している計算機事業の難関という

* 現在東大宇宙航空研

立場を離れて、計算機技術の進歩、これを進める技術者の育成という立場からいうならば、個性のあるプロジェクトが新しい技術の追求を目指して数多く進められるべきであると考える。計算機の進歩は未だ始まったばかりであり、これから更に発展して行き、留まる所を知らぬであろうというのが約20年前の時代と現在を見較べた時の筆者の感想である。

5. 謝 辞

パラメترونその他計算機に関し終始御指導いただいた東京大学理学部高橋秀俊氏、後藤英一氏、M-1プロジェクトを推進され、また本文の執筆に当たって種々の御助言を賜った喜安善市氏、共にM-1の設計試作に当たられた室賀三郎氏、山田茂春氏、小柴典居氏(群馬大)、西田和郎氏(三豊製作所(株))、別所照彦氏(電電公社研本)、山田正計氏(横須賀通研)の各位に深甚なる謝意を捧げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 室賀, 高島: パラメترون計算機 M-1 の方式と論理設計について, 信学誌, 41, 11, p. 1132 (33-11)
- 2) 高島, 室賀, 西田: パラメترون計算機の電氣的構成について, 信学誌, 41, 11, p. 1141 (33-11)
- 3) 山田, 別所, 小柴: パラメترون計算機 M-1 の磁心記憶装置, 信学誌, 41, 11, p. 1149 (33-11)
- 4) 高島: パラメترون計算機 M-1 の運営状況について, 信学誌, 44, 2, p. 234 (36-2)

(昭和49年12月12日受付)