

## SENAC-1 (NEAC-1102) 開発秘話

—科学技術用計算機開発に命をかけた日々—

渡 部 和

### 数値計算—それは理論と実際を隔てる絶望的な断崖絶壁

昭和 29 年 (1954 年) の秋、日本電気 (NEC) 玉川工場では毎晩深夜まで真っ暗な工場棟の片隅で一箇所だけ電気スタンドに照らされた机がありました。そこには、当時日本では珍しかった米国製電動計算器を操作して我を忘れて数値計算に明け暮れていた若い社員がいました。それは前年 (1953 年) に NEC に入社し伝送通信技術部に配属され濾波器の設計を命ぜられた私でした。

今日のデジタル時代では濾波器と言ってもピンと来ないでしょうが、当時のアナログ通信では周波数という資源を濾波器 (フィルタ) によって必要な周波数帯域だけ切り出し、それらをあたかも煉瓦のように積み上げて多重化する周波数分割多重化技術が通信の先端技術でした。そこでは、周波数資源を無駄なく利用するために急峻な遮断特性を持つ濾波器を実現することが急務でした。

その濾波器設計を命ぜられた私は無我夢中で回路網理論の研究と濾波器設計法開発に没頭し、従来の理論をさらに発展させた新しい設計理論を着想しました。設計理論は頭脳をふり絞って数学的に考えれば道は開けましたが、その理論に忠実に従って実際に設計するには、伝達関数の決定、回路網  $S$  行列の導出、その因子分解などの膨大な高精度数値計算を次々に実行しなければなりません。それらの数値計算を実行して実際の製品を実現する事は困難を極める大問題でした。

私は電動計算器にしがみつき幾晩も徹夜で数値計算に明け暮れましたが、それは絶望的なほど困難な道でした。そのとき理論と設計の間には『数値計算』という険しい断崖絶壁が存在する事を骨の髄まで思い知らされ、眼前に切り立つこの絶壁を乗り越えなければ、どんな美しい理論を構築しても絵に画いた餅に過ぎないことを身に沁みて悟りました。優れた製品を産み出すためには、その設計の基礎となる精緻な理論を構築すること (科学) が大切であることは当然ですが、その理論を実際に適用して製品を実現すること (技術) はさらに重要です。私は理論の実用化が如何に困難であっても、その壁を乗り越えなければ科学技術に未来はないと思いつめました。

### 絶望的な絶壁を克服するには数値計算の自動化しかない

私は眼前に立ちはだかる「数値計算」という絶望的な断崖絶壁を乗り越える唯一の方法は数値計算を自動化するしかないことを悟り、命を賭けても自動計算機を開発しようと固く心に誓いました。そう決心して、あらためて昼夜兼行で実行していた数値計算を見直してみると、次の三種類の極めて単純な操作を繰り返しているに過ぎないことに気が付きました。

- ① 計算用紙に記載した数値を読み取り、電動計算機のレジスタに打ち込む。
  - ② 計算手順に従って電動計算器の加減乗除の機能ボタンのどれか一つを選択して押す。
  - ③ 電動計算器のレジスタの上に現れた数値 (答え) を読み取り、計算用紙に書き移す。
- 私は昼夜兼行でこの三つの単純な操作を何千回も繰り返していたのでした。

電動計算器を「演算装置 (加算器)」、計算用紙を「記憶装置」、そして計算手順に従って加減乗除ボタンを押している操作を「制御装置」と考えて見れば、「数値計算」とは①「記憶装置 (計算用紙)」から数値を読み取り、「演算装置 (電動計算器)」に入力し、②「制御装置 (機能ボタン)」から計算指示を与え、③「記憶装置 (計算用紙)」に出力を書

き込むことだったのです。そして、電動計算器は歯車の回転回数を数えて単純な加算を行っている加算器で、私自身はそれらの単純な操作を適切な順序（プログラム）で繰り返している制御要素（プログラム実行）に過ぎないことに気がつきました。これを自動計算機と言うなら、私には自動計算機の仕組み（アーキテクチャー）は自然に頭の中に浮かび上がり、その設計図が明瞭に見えて来ました。

その時考えた仕組み（アーキテクチャー）は自分自身が数値計算で苦闘した体験をそのままそっくり構造化したもので、演算装置と記憶装置が共通母線（Bus）で接続され、別に備えられた制御装置が計算手順に従ってそれぞれの入力と出力の門（Gate）を順序良く開閉するというもので、今日の計算機の基本構造そのものでした。また、膨大な数値計算に苦しんだ経験からその計算機は浮動小数点方式 2 進 64 ビット（指数部 8 ビット + 仮数部 56 ビット）と定め、社内設計自動化計算機として提案しました。しかし、当時どこにもない夢のような計算機構想は到底許されるものでなく誰からも支持してもらえませんでした。

そこでやむを得ず 48 ビット（指数部 8 ビット + 仮数部 40 ビット）まで縮小し、必要に応じて浮動/固定切り替えスイッチ命令によって固定小数点演算も可能としました。しかし、密かに内部構造では 48 ビット浮動小数点演算部を二組設置し、仮数部 40 ビットと指数部 8 ビットの二組の母線に接続して、必要に応じて二組の演算部を連結して仮数部 80 ビットの加算器を構成して高精度浮動小数点計算が出来るようにしました。また、80 ビットの加算器を活用して 1 回のシフト動作で乗算が出来る新形式の高速乗算器を構成しました。このとき考えた見かけは 48 ビットで内部は 48 ビット二組（仮数部 80 ビット、指数部 8 ビット二組）という構成については社内の誰にも話さない秘密でした。論理素子としては丁度その頃（1954 年）発表されたパラメトロンを用いることにしました。

この計算機開発はいくら上司に懇願しても入社二年目の（研究職でもない）設計担当者の夢が直ちに会社の公認業務になる筈はありませんでした。やむを得ず私は工場の正門前のアパートに移り、昼間は工場現場の隅で濾波器設計（本務）と回路網理論研究（非公認）、帰宅後はアパートの自室で計算機開発（非公認）に没頭する三重生活を約二年間続け、遂に 1957 年初頭にその全体設計と論理回路を完成しました。しかし、夜なべでたった一人で設計した計算機は社内では誰もその真価を理解してもらえず、相変わらず非公認のまま一向に会社公認の正規開発プロジェクトとはならず、一日も早く社内自動設計専用機を実現したい私の悲願は目に見えない分厚い壁に阻まれたまま進展しませんでした。

## 天佑神助は東北大学から

その頃東北大学では大泉充郎先生の主導の下にパラメトロンを論理素子として世界一の科学技術用計算機を創ろうという意欲的な計画が進められていました。この計画は大泉先生の熱意と努力で昭和 32 年度の文部省予算として認可され、NEC へ発注されました。東北大学が発注者で NEC が製造業者として受注する形式でしたが、実際には東北大学と NEC が共同設計し、NEC が製造を担当することになっていました。この計画が NEC 社内に知らされたとき、当時 NEC の研究所ではパラメトロン計算機の研究開発を進めていたので、当初はそれを基礎として東北大学からの開発受注を受ける方向に進んでいました。

私はその計画を知り、私が非公認で開発していた計算機を是非採用して頂くよう上司に強く懇願しました。そのとき、私が全体設計から論理回路まで略々完成した計算機が非公認から公認プロジェクトに浮上する千載一遇の好機であると思いました。幸いその願いが認められ、私の原案に基づいて東北大学の計算機プロジェクトに対応することになり、私はその論理システム、アーキテクチャーを担当することになりました。

昭和 32 年度には東北大学計算機プロジェクトが正式に決定し、大泉先生を中心とし

て学内の若手精鋭の先生方による開発チームが結成されました。論理システムは桂重俊助教授、論理・演算・制御は小野寺大助手、野口正一大学院生、電子回路は松尾正之助教授、全体システム総括は本多波雄助教授という錚々たる陣容で、早速東北大学と NEC との共同開発の会議が始められました。その席で双方からこの計算機に対する開発方針、設計基本構想の意見交換が行われ、私は昭和 29 年の秋以来非公認で進めて来た基本設計を説明しました。

すると東北大学側の論理システムを担当された桂先生も浮動小数点方式、倍長演算機構など殆ど同様な基本構想を持っておられ、双方が全く同じ想いで計算機の基本構想を固めていたことが分かったのです。桂先生は統計物理学の研究で複雑な数値計算で大変苦勞された経験があり、その経験を計算機の基本設計に生かされたのでした。桂先生と私はともに数値計算で本当に苦勞したものだけが知り得た体験を分かち合える者同士だったのです。それまで社内では数値計算用計算機開発の技術問題を誰とも相談することなく、たった一人で考えて開発して来た私にとっては初めて真に分かりあえる方と邂逅したのでした。将に「徳不孤必有隣」と強く感じました。双方の腹藏ない熱心な討議を通じて東北大学の計算機構想と私が非公認で独自開発した計算機の基本案とは合致することが確認されました。東北大学から受注した形式となったことで私の長い間の夜なべ非公認開発は晴れて会社の「正式業務」となりました。このことは私にとっては将に「天佑神助」であり、東北大学は救いの神でした。

## 火のような熱意に燃えた共同設計作業

この計算機の基本設計について合意に達した東北大学と NEC は、アーキテクチャー、命令構成及び論理回路構成について徹底的に設計検証をすることになりました。そこで、昭和 32 年の盛夏の 6 月から 8 月までの足掛け三ヶ月に亘って東北大学側からシステム・アーキテクチャーと論理回路を担当される本多先生、桂先生、小野寺さん、野口さんは日電玉川工場付近の宿屋「鈴半」に合宿され、NEC 側から私が参加し、産学の区別なく全員一丸となって世界一の科学技術用計算機の創造を合言葉として、連日連夜火の出るような熱意で綿密な共同設計作業に没頭しました。

この共同設計作業によってアーキテクチャーはより洗練され、数々の機能の改良、拡充が行われました。短いプログラム行数で複雑な計算を実行できるように命令構成に工夫を凝らし、サブルーチン呼び込み、論理演算、倍長計算、整数処理などの演算命令には他に類を見ない独特な機能が盛り込まれ、そのため命令の種類は当時の常識を超えた 230 種にもなりました。

この共同設計で桂先生は常に緻密な論理的思考で設計を検証され、私の原案の問題点を論理的に明快に解明され、さらに広い方向に発展されました。また小野寺さん、野口さんとは年齢が近いこともあり、発注者（大学）、業者（会社）の差別なく学生気分のまま口角泡を飛ばして議論しました。こうして玉川工場及び旅館「鈴半」で冷房もないひと夏を共に苦闘した共同設計は 8 月下旬に完成しました。この合宿によって完成したシステム構成を図 1 に示します。

共同設計が終わった 8 月の下旬以降には私一人で昼夜兼行でパラメトロン素子 9,600 個から成る論理回路の論理動作を一つ一つ確認しながら克明に論理回路図にまとめ、鉛筆で大型方眼紙数十枚に書き込んで製造図面を仕上げました。11 月末頃に製造図面が仕上がるや否や直ちに計算機の製造、組み立て、配線作業が始まりました。

昭和 33 年の 3 月には全ての部品の取り付け組み立てが終わり、いよいよ電源を入れ動作試験を始めようとした時、会計検査など事務手続きの都合で、昭和 33 年会計年度初日（4 月 1 日）には本体が東北大学に設置されなければならないことが確定的となり、3 月下旬に計算機はそのまま仙台に向けて出荷されました。そして私は現地調整の責任者として 4 月から東北大学に長期出張することになりました。

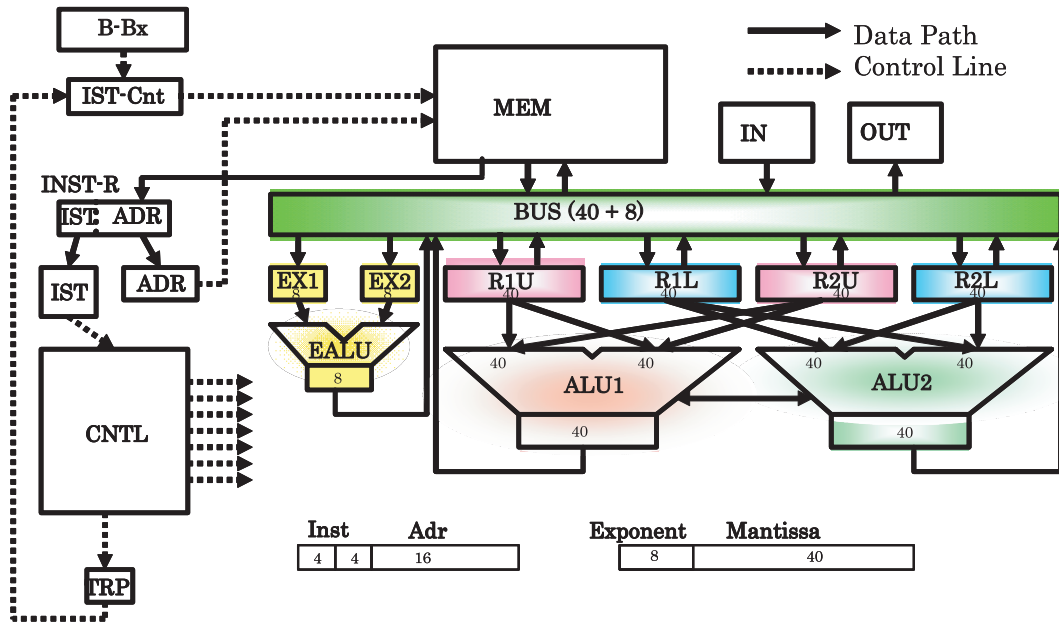


図1 共同設計した計算機の基本構成  
(二組の 48 ビット浮動小数点演算部を装備し、倍長精度計算が可能)

### 前人未到の大型計算機の調整作業、それは悪戦苦闘の修羅場

昭和 33 年 4 月に東北大学通信研究所の一室に設置された計算機では早速電源の調整作業が始まりました.ところが 9600 個のパラメトロン全てに電力が十分に供給できないという大きな問題に遭遇しました. 論理設計だけに没頭していた私は、まさか電源が不具合とは夢にも思わなかったので愕然としました.

調べてみると、2MHz 高周波電源と負荷（多数のパラメトロンを串刺しにしたリアクタンス分布定数線路）とのインピーダンス不整合と分かり、負荷となっているリアクタンス分布定数線路のリアクタンス成分を相殺する進相コンデンサを装荷することになりました. そのことは論理演算を位相差で実行するパラメトロン論理回路では全てのパラメトロンの励振位相を揃えるためにも必要な処置でした. 私は市内のラジオ屋に飛んで行ってチタン酸バリウムコンデンサー（チタコン）を山のように買い込み、パラメトロンの励振位相を一つ一つ観察しながら線路上に多数のチタコンを（リアクタンス成分相殺のための）進相コンデンサとして分布的に装荷し、全ての励振位相を揃えました. これによってやっと負荷のリアクタンス成分が消え、電源と負荷の整合がとれ高周波電力が供給されるようになりました.

電源と負荷が整合し電力が供給されるようになると、今度は 2MHz 高周波電源のパワー不足が明らかになりました. そこで電力増幅器を全部取り外しパワー増強の改造を行いました. すると今度は安定化電源が不規則な脈流を発生し計算機に誤動作を与えるという現象が発生しました. いろいろ調べて最後に分かったことは発電機のスリップリングの損傷でした. そのリングを再研磨したらやっと直りました. これらの技術問題は本来工場に通電試験を済ませておけば簡単に解決できたことで事務処理上の問題で工場出荷が早まったことが悔やまれます.

こんな障害が次々と起こり、やっと私の本来の任務である論理回路の調整を開始することが出来たのは予定より 3 ヶ月遅れて暑い盛りの 7 月半ばとなりました. 論理動作の確認調整はすべての命令を一個ずつ論理条件を変えながら実行し、制御パルスの行方をシンクロスコープで確認するという原始的な方法で行いました. 制御パルスの動作が

設計通りでない配線ミスを探検し修正したり、論理設計ミスを発見しその修正や回路の改良作業を行ったりする調整作業を連日徹夜で強行しました。私が一人で仕上げた手書き設計の論理回路には残念ながら細かいバグが潜んでおり、これらすべてを検出して修正（回路変更）する作業は気が遠くなるほど綿密で過酷な作業でしたが、工場からの支援もなく、システムと論理回路のすべてを設計した者としての責任を負って調整作業に立ち向かった悪戦苦闘の日々でした。

昭和 33 年の夏は猛暑で、計算機室にはまだ冷房もなく、毎朝大きな氷柱が部屋の中央に運び込まれましたが少しも涼しくなりません。また、磁気ドラム式記憶装置の動作も不安定で調整は苦労の連続でした。担当した NEC の同僚山本淳三氏も何度か倒れるほどでした。このとき東北大学も NEC もなく、小野寺さん野口さんもわれわれ NEC 社員も心を一つにして全員一丸となって計算機室で連日連夜徹夜作業を続けました。それを支えたのは世界一の計算機を実現して技術革新の扉を開くのだという研究者技術者魂でした。

10 月半ばには苛酷な調整作業も終わる見通しが立ち、いくつかのテスト計算が稼動し始めました。そこで東北大学として 11 月 28 日に大学、文部省の関係者を招いて完成披露式典を行うことになりました。運転公開には安全のためグラフ木探索や素数探索といったプログラム行数（ステップ数）は少ないが計算結果は見栄えがするテスト計算を選びました。ところが前夜になって動作が安定せずエラーを起こして停止する回数が増えたのです。原因は電源の安定性不良であるらしく、当日は思い切って計算機の背後のカーテンの陰に多数のバッテリーを積み上げて直流駆動で運転しました。お陰で公開運転は無事に開始しプリンタから計算結果が出力されて好評裡に終了しました。

SENAC-1 の完成公開の後、全ての命令の完全動作を確認し機器の安定化を進め無事に東北大学に引き渡した後、1 年間に及ぶ私の長期出張が終わり、仙台から引き上げたのは昭和 34 年 3 月末でした。

## 世界一の科学技術用計算機を目指した信念と情熱

東北大学の計算機開発計画が文部省で認可されたのは昭和 32 年でしたが、翌 33 年に完成に漕ぎつけたのは計算機黎明期の当時としては異例の早さでした。それが可能となったのは東北大学と NEC が世界一の科学技術用計算機を創造しようという熱い情熱で結ばれ、互いに英知を出し合い努力を惜しまなかったからでした。双方とも科学技術用計算機を完成し、理論と現実の間の障壁を克服して真の技術革新への道を開くという信念に燃えていました。その信念と情熱だけが前例を見ない大型計算機を短期間のうちに開発し稼動させるという筆舌に尽くし難い難関を克服できた原動力でした。

この経験が産学共同で技術革新を開拓する先例となり伝統となつたとなれば、半世紀昔に東北大学の先生方とともに苦闘した一人としてこの上ない喜びです。

## エピソード

その頃防衛庁技術研究所は最高性能の科学技術用計算機を設置することを計画し、当時国内で稼動または開発中の全ての計算機を調査した結果、科学技術用としては SENAC-1 (NEAC-1102) が最も優れているとの結論に達し、NEC に NEAC-1102 の後継機を発注しました。この事実は東北大学と NEC が一致協力して創り上げた SENAC-1 (NEAC-1102) は当時の世界の水準を抜く科学技術用計算機であったことを客観的に証明したものといえましょう。

その受注を受けて NEC は後継機 NEAC-1103 を防衛庁向けと社内の設計自動化用の 2 台を同時に製造し、そのうちの 1 台は 1960 年正月に社内に設置され、遂に私の悲願は成就しました。

**[参考文献]**

[1]渡部和“私の研究遍歴(その2)”信号処理学会誌 Vol.9, No.5, 2005 p363-380.

[2]渡部和“行く手を阻む絶壁と悪戦苦闘した日々ー計算機れい明の頃の秘話ー”電子情報通信学会誌 Vol.91, pp10-12, No.1, 2008

**渡部和略歴：**

1953年京都大学工学部電気工学科卒、NECに入社。  
伝送通信技術、研究所、情報処理の各部門を経て  
1991年創価大学教授、工学部長等を歴任し2005年  
同大学名誉教授。電子情報通信学会稲田賞、論文賞  
3回、著述賞、IEEE Fellow, IEEE百年賞、同3rd千年  
紀賞、同CAS-VanValkenberg賞、情処学会名誉会員、  
電子情報通信学会フェロー、工博。

