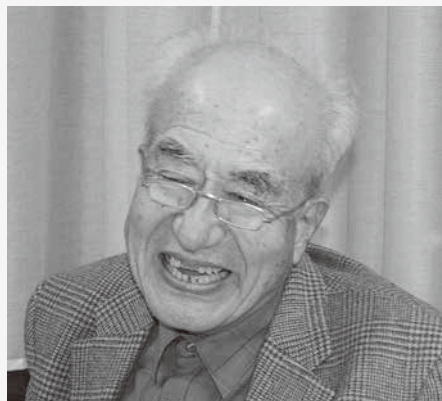


今回は、国産初の商用トランジスタコンピュータ、国産初の全 IC コンピュータを開発し、その後も最先端コンピュータ技術の開発を推進された宮城嘉男氏にお話を伺った。

オーラルヒストリー 宮城嘉男氏インタビュー[†]

インタビューア (五十音順)

旭 寛治¹ 永田宇征² 発田 弘³
山田昭彦⁴



宮城嘉男氏

1928 年 11 月 18 日 生まれ
1952 年 東北大学工学部通信工学科卒業
1952 年 日本電気 (株) 入社 伝送技術部門
に配属
1958 年 同社の電子計算機開発に従事
1962 年 東北大学より工学博士の学位取得
1968 年 同社 電子計算機開発本部装置部長
1974 年 同社 コンピュータ技術本部長
1979 年 同社 支配人・技術管理部長
1980 年 情報処理学会理事
1983 年 IEEE 東京支部役員
1984 年 日本電気エンジニアリング (株)
社長

受賞・栄誉：

1961 年 電気学会電気学術振興賞進歩賞
1978 年 梶井米寿記念賞
1992 年 東京都科学技術功労章
2000 年 IEEE Third Millennium Medal

[†] 日時：2007 年 12 月 13 日
場所：学士会館

NEC 入社当初

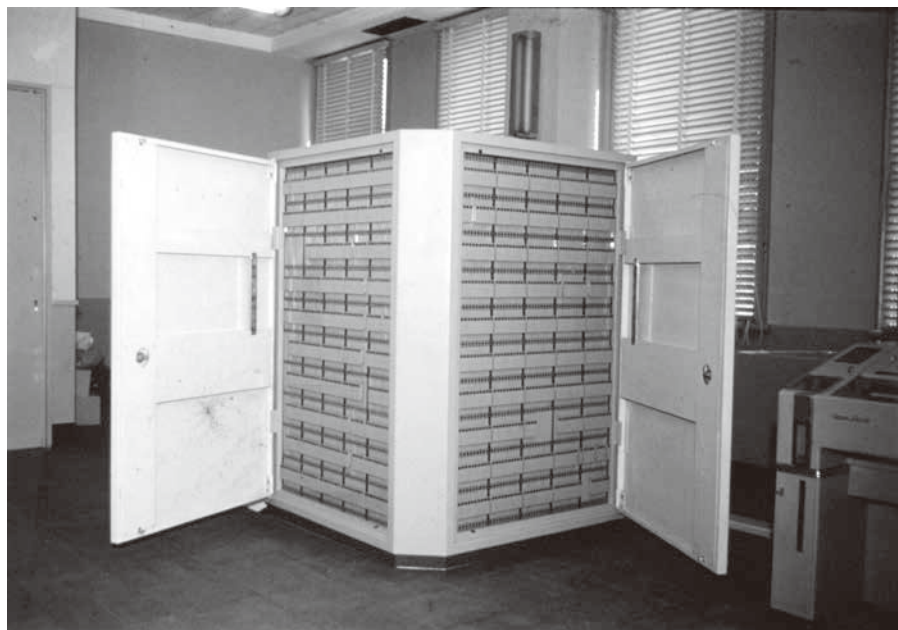
宮城^{よしお}嘉男氏は 1952 年に東北大学工学部通信工学科を卒業し、直ちに NEC に入社した。この就職は本人の希望とは無関係に東北大学の抜山平一教授と当時 NEC の玉川事業部長だった小林宏治氏 (後の NEC 社長) との話し合いで決まっていたようだ。宮城氏が 3 年生のある日、抜山教授から突然 NEC で小林宏治氏に会うように言われた。当時は戦後の復興期で企業がようやく採用を始めた当初で、就職は教授と企業トップの話し合いで決められることが多かったのである。

NEC に入ると伝送技術部門に配属された。最初に担当したのは時分割多重通信の端局装置であった。宮城氏の卒業研究は音響に関する研究で、そこで修得していたパルス技術や音声のサンプリング、変調、復調等の技術がこの時分割多重通信装置の開発に役立った。これは 1956 年まで続いたが、そのころになると「世の中がコンピュータで騒がしくなって」きた。宮城氏は当時を次のように回想する。

「コンピュータに関する情報がいろいろ入ってくるようになったんですが、今になって考えると非常に偉かったなと思うのは上司の出川雄二郎さんですね。出川さんは、僕らがいくら忙しくても宿題をバンバン出すんですよ。これ読め、あれ読め、読んで報告しろと。そういう中にな

¹ 日立製作所 ² 国立科学博物館 ³ 沖コンサルティングソリューションズ

⁴ コンピュータシステム&メディア研究所



NEAC-2201

いぶんコンピュータ関係の話があったんです。

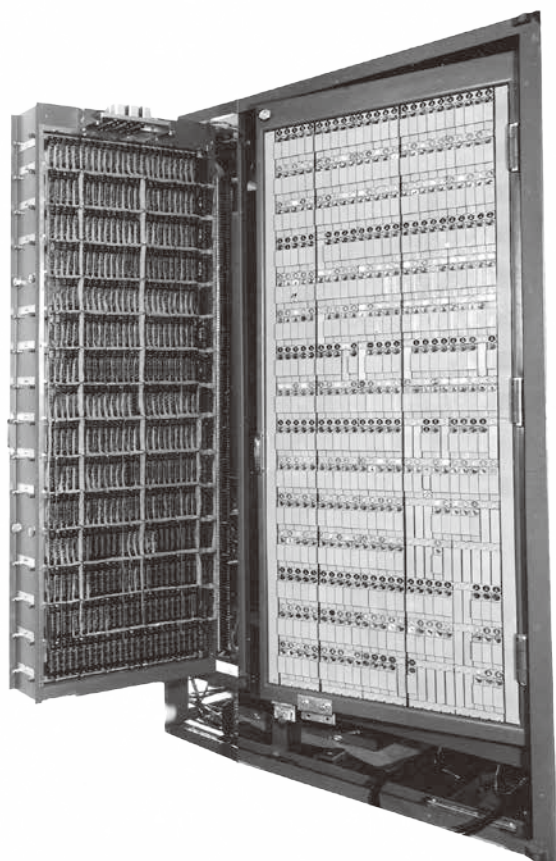
そしてトランジスタが『固体増幅器』として注目を浴びていたんです。まだ点接触型トランジスタの時代で、その伝送装置への利用について実験しました。ひどいものでした。特性がころころ変わるんです。朝でき上がったというトランジスタを持ってきて使うとうまく動作する。ところが昼飯を食べて戻ってくるともうだめなんです。だって、点接触の針が接触している部分がケースの穴から覗ける形で露出していたんですから、今から考えると無謀な話ですよ。それから1年もしないで、ゲルマニウム合金接合型という、もう1日じゅう使っていても特性が変わらないなんていうのができたので、それを使って伝送装置のトランジスタ化の研究試作がスタートしたんです。1955～56年頃でした」

1958年頃になると、トランジスタはかなり安定したものになり実用段階に入った。トランジスタは論理回路として従来継電器などで作られていた機能の構成を容易にすることから宮城氏はこの分野の装置開発に携わり、九州電力向けにデジタルテレメーターという装置を作った。これはトランジスタで論理回路を組み、シーケンシャルコントロールの技術によって多様な目的に適用できる画期的なものであった。こ

れと同時に、NTT 電気通信研究所との共同研究により、無誤字電信装置を作った。これは、誤り検出可能な符号で送信し、受信時に誤りを検出すると自動的に再送信を行うというもので、時代のニーズに合っていた。1952年ぐらいから普及が始まったPCS（Punch Card System）が1960年ごろには多くの企業で導入され、PCS同士が通信回線でつながれるようになった。また、EDP（Electronic Data Processing）やIDP（Integrated Data Processing System）という言葉が流行し、各地の端末を通信回線で中央のPCS群につないで、在庫管理などの業務を集約的に行うようになった。こういう状況下で通信の信頼性に対する要求が高まり、無誤字電信装置は大いに売れたのであった。

◆ NEAC-2201/2203 の開発

1958年、電気試験所のETL Mark IVの技術をベースとしてNECが商用コンピュータNEAC-2201を開発することになり、宮城氏が駆り出された。これが同氏がコンピュータに携わることになった最初であった。Mark IVの基本回路は単相クロック・1ビット遅延の再生増幅器でこれによるダイナミックフリップフロップが論理設計を非常に容易にしていることに宮城氏は感心した。数百個の論理素子でできるコンピュー



NEAC-2203 (写真提供：宮城嘉男氏)

タなどいつでもできると思った。実際に 2201 の論理設計は、Mark IV の論理設計を手本にしたこともあったが、何週間もかからなかった。装置は半年足らずで完成し安定して稼働した。

当時、すでに PCS で事務処理の機械化が進んでいた大手企業各社は事務処理用の国産電子計算機の出現を熱望していた。それに応えるべく 1958 年秋、本格的な事務処理を志向して NEAC-2203 の開発に着手した。2201 の機能・性能の拡張ではあったが、そこには論理回路の規模と「量産」に対し解決しなければならない課題があった。基本回路を無調整化すること、接続配線規則を定めることなどである。2201 ではトランジスタやパルストランスの特性のばらつきや装置配線の影響を基本回路個々に可変抵抗器で調整していて、この調整が装置のテストプログラム試験の段階にも持ち込まれていたのである。

宮城氏は得意としていたアナログコンピュータを使い、基本回路の動作をシミュレーションしてトランジ

スタやパルストランスの選別規格を定め、基本回路の無調整化を達成した。この動作シミュレーションでこれまでまったく無視されていたトランジスタの飽和領域の特性が重要な鍵であることを発見し、トランジスタの選別規格に加えている。その頃になると、トランジスタ技術もかなり進歩し、指定した特性のトランジスタを作れるようになってきていた。

接続配線相互に乘る誘導雑音が引き起こす誤動作は ETL 型遅延再生増幅器では出力端子に入り込む誘導雑音に比較的弱く、装置が大型になるにつれ膨大になる配線に対策が必要で、シミュレーションで評価し配線方法を規則化し配線設計と工法で解決した。こうして完成した 2203 は次々に出荷されたが、宮城氏らを悩ませたのは納入稼働後の信頼性の問題であった。

「今にしてみれば笑い話みたいなものですがけれども、『朝寝坊現象』というのがあった。夜電源を切って帰る。そして翌朝出てきて電源を入れると動かないんです。特に日曜日を中においたら月曜日の朝なんか動かないわけです。暮れに帰ってお正月に出てきた時なんていうのは、もう半日ぐらい動かない。原因は何かというと、トランジスタの中に閉じ込められた湿気がジャンクションに露結するためなんですね。それで電源を入れて温まって蒸発するまで動かないわけ。だから、トランジスタのケースの中にシリカゲルのような吸湿剤を入れるとか、いろいろな対策をやりました。

それからもう 1 つ、高橋秀俊先生が何かの講演のときに言っておられた『ロバが餓死する話』^{☆1}というのがあります。餌の草の山を 2 つ目の前に置かれると、間にいるロバはどちらを食べようか迷ったあげく、餓死するに違いない(笑)。それと同じことが同期回路で起こる。外部の入力信号を同期化する際に、1 か 0 かの境目に入り込むと、どう動作するかが分からないということで、これは同期回路が持つ宿命的な問題だということです。そういうことが 2203 の初期の段階ではあまりよく考えられていなかったもので、それが原因の障害が起きるわけですよ。1, 0 の判定の非常に難し

☆1 ロバが餓死する話：寓話「ビュリダンのロバ」より、高橋秀俊著「電子計算機の誕生」p.106, 中公新書(1972)。

いところに入り込んだ信号が原因になっているということが分かるまで、ずいぶん時間がかかったんですが、それを防止するために入り口には必ずフリップフロップを2段重ねてその確率を非常にまれにするという対策をしたんです」

2203の障害のかなりの部分がコネクタで起きた。コネクタそのものは製造段階でいろいろ吟味するが、その後プリント配線板を組み立てる際に塗った松やにが、長時間の経過のうちにコネクタのピンににじみ出してきて接触不良を起こすのであった。それまでNECが作っていた伝送装置などではコネクタを使用しておらず、技術の蓄積がなかったため、原因を突き止めるのにずいぶん時間がかかった。

2203は、1958年の秋に設計に着手して、翌年5月に電子協、8月に東京電力に納入した。これほど短期間で開発できたのは、2201で習得した技術をベースとして、新しい技術の開発はほとんど行わなかったことによる。それと同時に、トランジスタの品質が向上したことも2203の開発が順調に進んだ理由の1つである。

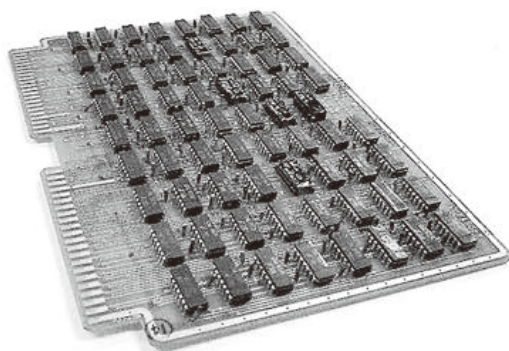
2203では初めてコアメモリを採用した。すでにコアメモリは実用段階にあったので、すべてをコアメモリにすることも可能だったが、コスト面から240語(後に800語に拡大)に抑え、メインメモリに2K語の高速磁気ドラム、バックに10K語の磁気ドラム複数台を配置する3階層の構成とした。

2203は30数台売れた。この間、事務処理に必要な磁気テープ装置、ラインプリンタ、カード読取機・穿孔機などの入出力装置の実用化を促進したことは、2203の成果ということができる。たとえば、磁気テープ装置はテンションアーム方式のものを開発したが、初めのうちはソート処理の途中で動かなくなり、何度もやり直すのが当たり前という有り様だった。改良を重ね、やがて大抵のソートはこなせるようになった。また、2203はトランジスタの初期において大規模長期のフィールドテストの役割を果たすことになった。これがトランジスタ製造技術の発展、品質の向上に大きく寄与したことは特筆されよう。

NEAC-2206 および CM-100 の開発

次にとりかかったのがNEAC-2206であった。宮城氏はじっくり腰を落ち着けて設計したかったが、「NECの役員の連中が勝手に注文をとってきちゃって、こういうのをとにかく早く作れというものだから」時間がかけられなかった。システムの目標としては、100KB/秒の磁気テープがソート処理でスタート・ストップすることなく「サーッと」動き、1万件のソートが2分半程度で終了すること、ソート処理と並行して、カード読取機やプリンタの動作が可能なのが挙げられた。そういうコンピュータでなければ事務処理には使えないということであった。論理設計に時間がかけられないため、2203で使用したETL Mark IVの基本回路を利用することにした。クロック周波数は元の200キロヘルツのままとしたが、ロジックチェーンを強化して1クロックの5マイクロ秒の間に、10進3桁の加算ができるようにした。また、出力増幅器を入れることによって、ほとんど無制限にファンアウトを取れるようにし、配線が自由にできるようにした。これによって論理設計ミスがあった場合の手直しや機能の追加が非常に容易になった。この開発はトランジスタの驚異的な進歩により可能になった。ゲルマニウム合金接合型が何とか使えた2201の時代から僅か2年でシリコンメサの時代に移ろうとしており、2206の開発はまだ試作段階にあったシリコンメサを実用化させることにより達成された。2206は1962年3月に1号機が北海道大学に納入されたのを皮切りに広範囲のユーザに使用された。

2206の開発と同時期に、NTTから料金計算装置CM-100の話が持ち込まれた。並行開発は困難だったが、苦肉の策として2206のバイプロダクトでやることになった。2206をベースにして、浮動小数点演算などを取り除く一方で、料金計算のためのテーブルlookupアップ機能を増強し、料金表を入れるための固定記憶装置としてメタルカードメモリを取り付けた。



NEAC シリーズ 2200 モデル 500 パッケージ

NEAC シリーズ 2200 モデル 500 の開発

1964～65年頃、大型計算機のパフォーマンス競争の中で論理装置の半導体集積回路（IC）化への道は明らかで、トップランナーへの挑戦としてNEACシリーズ2200モデル500の開発に取り組んだ。ICの開発に、そしてその実装・配線の設計と製造にまだまったく未開拓だった分野を切り開いて進むことは、覚悟はしていたものの筆舌に尽くせない苦難の連続であった。

使用するICにCTL（Complementary Transistor Logic）を採用した。サンプルの評価で論理機能や性能上にいくつかの改良点を織り込み問題はなかった。選択で最も重要視したのは大型計算機生産に十分な量が安定して得られるかどうかであった。ICはまだそんな時代だったのである。CTLは当時NEC半導体部門と提携関係にあったフェアチャイルドが製品化していてNECでも作るというので採用した。しかし、計算機組立が終わってもICができず、IC待ちの装置が並ぶ羽目になった。ICの設計・製造技術が未熟で良品ができないのである。半導体技術者の努力により次第に製造品質が向上したが、十分な数が得られるまでずいぶん待たされた。これによりNECのIC設計・製造技術は飛躍的に進歩した。フェアチャイルドはまったく当てにならなかった。しかし、ICそのものの以上に変えたのが、プリント配線板であった。

「プリント配線板の上には最大72個のICが並べられるんですが、その布線設計が問題でした。プリント配線板は200種類もあって、その布線設計を人手でやるというのは絶望的なんですね。それで配線パターンを自動発生させるプログラムを組み始めたんですが、なかなかうまくいかないんですよ。ICの位置をあちこち変えて試してみるんですけど、線の引き残しがたくさん出てきて、その引き残しを人間が手でやるとエラーが出る。そんな具合でこれは塗炭の苦しみだったですね。もちろん、でかいプリント配線板の上に少数のICを載せて自動発生させるのなら、さっとできちゃうんです。できるだけ詰めようとしているから難しい。そこに『配置の名人』が出てくるんですよ。回路図を眺めて、これとこれをこう配置すると引けると。そうするとサッと引けるんですね。人間の認識能力、判断能力というのはたいしたものだと感心しました。

プリント配線板は2層なんですが、それをこの精度で作るというのは、初めてだったんです。基板の表と裏の配線をつなぐのに、基板に穴を開けてメッキするんですが、メッキに断線が起きるんですよ。2層のプリント配線板は伝送装置なんかでも使っていたんですが、メッキの穴の大きさがまったく違う。論理回路の場合は針の穴のように小さいから断線が起きやすいわけです。それに穴の数が何百個もあり2桁も多い。だから作れども作れども良品ができなかった。設計段階で配線で苦労し、製造段階で歩留まりで苦労したというのが、モデル500の開発の話です」

モデル500は1966年10月に完成した。いろいろなユーザに出荷したが、長期にわたって障害が続いた。ICの製造技術に起因する問題であった。1つは製造過程で残された僅かな汚染によって、アルミの配線が黒化し断線に至るものである。これは作ってすぐに出る現象ではなく、一定の温度下で数千時間動かすうちに出てくるものであった。さらに長時間の経過後に出てきた問題にエレクトロマイグレーションがある。これはICの配線を形成しているアルミが、一定の電流密度以上になると徐々に移動して細り、断線に至るというものである。これらはその後広く知られるように



インタビューの様子

なった IC の信頼性問題だが NEC の IC 技術者が初めて経験する問題であった。障害の起こった部品を新しいものに交換するというのが、何年間かにわたって続いた。しかし、モデル 500 の経験によって IC の製造技術が確立した。プリント配線板技術も向上し、その後のモデル 700 や電子交換装置ではもう問題は起きなかった。

NEAC シリーズ 2200 モデル 700 および DIPS-1L の開発

1966 年、超大型機 NEAC シリーズ 2200 モデル 700 の第 1 次製品計画が作られ、これに必要な IC、多層プリント配線板、設計自動化システムなどの開発が開始された。個々の IC の集積度を上げ、IC の数を減らすことが配線長を短縮し高性能化に有利になる。高度の機能を集積する機能回路 IC、15 種類を作り装置を設計した。広く入手可能な標準的な IC を使用した場合に比し IC 数は半分以下になったが、かなりのリスクを冒した開発計画だった。

700 の完成は計画より 2 年半遅れた。論理仕様が 48/96 ビット語か 32/64 ビット語かで揺れ、定まらな

かったのが主な原因だった。この 2 年半の間に、パイロットモデルとも言うべきコンピュータを試作し、高速高集積度 IC はじめ、実装配線技術、設計自動化技術、検査診断技術等々、基盤技術を確立した。トップランナーとして IC、LSI 並びに装置技術を牽引したと宮城氏は自負している。

700 開発の遅れの理由が論理仕様の確定の難航であったと前述したが、それは 700 を 500 以下の上位機種と位置付けながら IBM 互換を考えるかどうかの問題で、結局 IBM 互換の付加には名案が浮かばず、ハード、ソフト、システムすべての面で過大な代償が必要になるとの理由で互換機能は見送られた。

「当初、メモリはワイヤメモリにしようと考えていたんです。要するにコンピュータの性能というのはメモリの性能で決まる。コアメモリはサイクルタイム 0.6 マイクロ秒あたりが限界なのに、ワイヤメモリにすれば 0.2 マイクロぐらい行けると考えたわけです。将来は IC メモリになるだろうということはみんな予見していたんですが、そんなに早く来るとは思っていなかった。ワイヤメモリがもう目の前にあって、これからはワイヤメモリの時代と考えていたんですね。そ

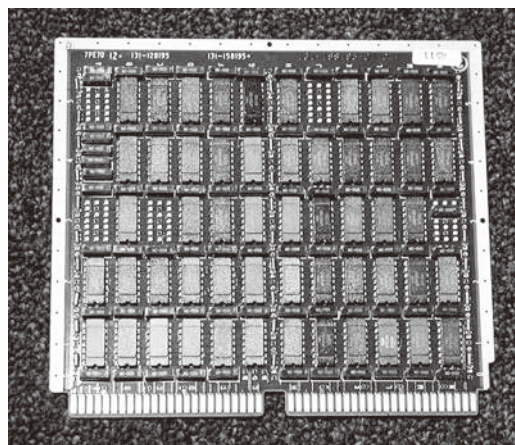
れで、通産省の大型プロジェクトなんかでもそういう絵をかいていたんです。

ところが、1968年にIBMから360/85が発表されたんですよ。これにはICのキャッシュメモリが使われていて、主メモリはそんなに速くなくてもいいということになったものだから、コアメモリの寿命が延びたんです。ワイヤメモリは線をメッキして、織物機械でサッサッと織ればそれででき上がりというので、コアメモリに比べて有利だといわれていたんですが、いざやってみると、そう簡単にはいかない。歩留まりが悪く良品ができない。原子レベルで欠陥のない表面の細線が必要で、NEC自前の技術では手に負えなかったんです。早々とワイヤメモリ計画を取り下げました。御前会議に引っ張り出されてつるし上げられました」

結局、ワイヤメモリがうまくいかなかった場合のバックアップとして開発していた0.5マイクロ秒のコアメモリが使用された。

これに先立ち、1966年に通産省の大型プロジェクト「超高速電子計算機」が始まり、NECはNMOSのLSIメモリの開発を担当した。1968年には6ナノ秒で動く144ビットメモリ素子と2KBの記憶装置の試作に成功していた。これは我が国におけるNMOSメモリの最初であった。IBM 360/85の発表によって、急遽プロジェクト計画が変更され、NMOSでサイクル時間60ナノ秒のキャッシュメモリを作ることになった。試作はうまくいき、その成果は同時期に開発が始まったNTTのDIPS-1L^{☆2}でも採用されることになった。

ところが、工場の製造ラインで量産しようとする、LSI表面のナトリウムイオン汚染防御が不完全、表面配線の断、埋め込み抵抗のリーク、エッジのリーク等、多数の問題にぶつかった。何10枚ウェハーを投入しても良品が得られず、やっと良品を選び出し装置に組み込んでもすぐ劣化するのである。NECの技術者たちは「問題解決のために苦しみに苦しみ抜いた」と



NEACシリーズ2200モデル700パッケージ

いう。しかし、ここで生まれた多くの技術がLSI製造の基礎を築いた。

宮城氏はその後NEC本社の技術管理部に移り、米国や欧州のメーカーと特許交渉に当たった。そこで分かったのは、NMOS LSIの開発で生まれた特許が「ものすごい弾」だということであった。今までロイヤリティを払っていたところから今度はもらう側になったのである。「つくづく思うのは、目標を高く置いて死ぬ思いをしないといい技術は生まれないということです。これは大きかったですね」と宮城氏は感慨深げにいう。

モデル700は、1971年の12月から翌3月にかけて東北大学大型計算機センターに搬入設置された。宮城氏は「東北大学大型計算機センター十年史」に寄稿し、次のように述べている。

「東北大学大型計算機センターの10周年に際し、このセンターと切り離すことのできない感慨としてモデル700の開発に伴う苦労が思い出されます。というのも、このモデル700の開発計画には数多くの新規技術の開発を折り込み、これらを当大型計算機センターへの設置を目標の1つにして推進したからであります。これらの新規技術の中には失敗に終わったものや、現在使われなくなったものもありますが、主要なものは現在NECが生産しているコンピュータの中に、基礎技術として生きています」

^{☆2} DIPS-1L：電電公社(現NTT)の仕様で製作された大型機DIPS-1のための試作機。NECのほか、日立、富士通も製作に参加した。

すなわち、モデル 700 の開発は、開発されたコンピュータそのものに意義があるだけでなく、これによって開発された諸技術が、その後の NEC のコンピュータ技術の礎となっていることに大きな意義があるといえることができる。

一方、DIPS-1L は、モデル 700 の開発が遅れたため、ちょうど同時期に両方を並行して開発しなければならず、宮城氏は苦境に立たされた。紆余曲折の末、電子交換技術部門とコンピュータ技術部門の混成部隊によって開発体制が編成された。この体制が軌道に乗るまでの混乱が DIPS-1L の開発を大幅に遅らせることになり、1971 年 3 月通研搬入の予定が 9 月に延期となった。コンピュータ技術部門が担当した CPU はモデル 700 の技術をそのまま使って開発したため遅れることはなかったが、電子交換技術部門が担当したチャネルやメモリが大幅な遅れを起こしたのであった。しかし一時的な混乱はあったものの、この混成部隊の編成は多くのコンピュータ技術者を育成し、その後キーとなる人材を多数輩出し、さらにコンピュータと電子交換の間で技術者や技術交流が進められるなど、その後のコンピュータ事業の発展に大きく役立っている面は高く評価されてよい。

宮城氏は、この後も継続して NEC のコンピュータ事業に携わったが、本インタビューでは比較的初期の技術開発を中心に話を伺った。最後に、同氏はこれまでの開発を振り返って次の感想を述べた。

「製品計画を考えるときに重要なのは、従来技術でやるのか、それとも新しい技術を開発してやるのか、従来技術にどの程度新しい技術を折り込むのかということでしょう。その開発の中に折り込んだ新しい技術が、次のステップでは基礎技術になる。そこではさらにその上に新しい技術を加えていく。将来何を目指す

かという一本線の目標が定まってい、適当なところに適当な新技術を折り込みながら開発をしていけば、非常にハッピーなわけですね。ところが先が見えていないと、この先に何がつながるかということが分からないから、新技術へのアタックが非常に難しいんですね。私がやってきたことの中でいえば、ワイヤメモリで培った技術なんていうのはその後何にもつながっていないわけです。つまりあれは無駄だったということになります。そういう意味でいうと、2201、2203 でコンピュータというものの基礎、トランジスタ製造技術の基礎を確立したということは、狭く見れば NEC だけでも、広く見れば日本の電子産業というものに対してきわめて先端的な役割を果たしたということだと思います。そしてそれがさらに次の段階でモデル 500 の開発、モデル 700 の開発というステップを踏みながら、LSI 化のための技術を先導することができたと思っているんです」

(編集担当：旭 寛治)

◆インタビュー紹介 (五十音順)

旭 寛治 (名誉会員) asahi@fw.ipsj.or.jp

1971 年東京大学工学部電子工学科卒業。(株)日立製作所基本ソフトウェア本部長、ストレージソリューション本部長、(株)日立テクニカルコミュニケーションズ代表取締役等を歴任。1999 年本会理事、2005 年副会長。歴史特別委員会幹事、コンピュータ博物館実行小委員会主査。本会フェロー。

永田宇征 t-nagata@kahaku.go.jp

国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 主任調査員。電機メーカーで技術企画、技術調査の業務に従事。この間、未来工学研究所において技術予測、研究評価手法の研究、研究産業協会でオーラルヒストリーを実施。2002 年国立科学博物館に採用され、技術の系統化に従事。

発田 弘 (名誉会員) hatta746@oki.com

1963 年東京大学工学部電子工学科卒業。同年日本電気(株)入社。2002 年同社退社。同年沖電気工業(株)入社。歴史特別委員会委員長。

山田昭彦 (正会員) a.yamada@computer.org

1959 年大阪大学工学部通信工学科卒業。日本電気、都立大工学部、国立科学博物館、電機大理工学部を経て、現在、国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 主任調査員。歴史特別委員会委員・オーラルヒストリー小委員会主査。本会フェロー。IEEE Life Fellow。