

— パネル討論予稿 —

## マイクロ計算機からピコ計算機へ向けて

第4代SIGMIC研究会主査 若鳥陸夫  
日本ユニシス (株)

筆者は、この30年間真空管式の計算機時代からLSI式計算機までに関与し、それと並行して、この20年間、初期の超小形計算機の頃からこの超小形計算機分野を計算機技術者として観察してきた。ここでは、一人の計算機技術者である筆者の経験した一端を紹介し、経験の延長から予想される今後の半世紀の研究への希望や展望を述べる。

## At a Transition From Micro-computers to Pico-computers

Rikuo (Rick) Wakatori  
The 4th Chairman of SIGMIC, IPSJ

Nihon Unisys, Limited  
27-51, Akasaka-2-Chome, Minato-ward, Tokyo  
107 JAPAN

This paper describes an experience on development of an application on first stage microcomputers and introduces the future "pico-computers networking" in a decade of 21 century. The "pico-computers networking" should take care both direct-input and direct-output of data, and the capability of a unit of pico-computer will be assumed such equivalent level of capability that one million of present scale of micro-computers are connected together without any inference.

For realize the "pico-computers networking", evolution of human environment may be necessary in addition to revolution of computer technology.

The paper is written for the final panel session of the SIGMIC of IPSJ in Japanese.

## 1.初めてのマイクロ計算機の応用体験

私ごとで恐縮であるが、筆者のマイクロ計算機の履歴を紹介する。筆者が初めてマイクロ計算機の仕様書を入手したのは、確か1971年であった。そのチップは、型番: Intel 8008, 基本命令語長: 8ビット, 命令種類: 約45, 記憶装置周期時間: 20マイクロ秒, データ引出し線数: 8, 記憶装置の最大住所(address)指定数: 16Kであった。データ読み書き単位数が8と小さいのは、ICの双列(dual-in-line)18ピンの形状の制約と速度を要求しない応用とを目標としたことによると推定される。その計算機チップと記憶装置との間の信号のやりとりは、計算機が記憶住所を2回に分けて送出し、1単位のデータを送受するというもので、1命令あたり最小でも3サイクル(60マイクロ秒)必要とした。記憶装置の住所が二つに時分割されて与えられることに起因して、記憶装置の外部に16ビットの住所情報の一時保持回路が必要であった。計算機と記憶装置とが分離動作する直接転送機能(DMA)を使用しない場合でも、住所の一時記憶回路(2個のMSI)の外付けが必要であった。更に、その計算機チップの時計信号(clock)は、微妙な4相の刻時信号をチップ外から与えるというものであった。時計回路部分は、入出力インピーダンスが他のTTL回路の5Kオームに比べて高いため、実装の影響を受けやすい部分でもあった。

筆者は、その仕様から計算機通信端末装置(1200bps全二重)の制御に使用できると試算し、TTLを主体にした外付け回路の印刷基板を設計・製作し、計算機チップの輸入を待機した。その部品待ちの期間に親計算機の通信手順(旧JISのbasic手順に近似)に合わせた通信手順プログラムを設計し、機械語で書いた。その計算機チップの処理能力では、1200BPS全二重通信の直接受信に余裕のない計算であって、直並列変換機能を提供する通信用LSIに一部の機能を背負わせた。

この超小形計算機の処理速度は、今から見れば低いものであったが、それでも筆者が関与したことのある大きな第一世代計算機(バンガローなみの寸法)のUnivac-IIの計算速度よりは早かった。小屋一つの寸法の機能が100mm x 200mm程度の印刷基板にのる寸法縮小率を実感したものである。

### 1.1 最初の見本チップの単価: 28万円, 今400円

計算機チップは、発注してから数か月後に航空便で入荷し、応用研究者に飛ぶように売れたらしい。筆者も代理店に懇願して計算機1チップを入手できた。余談だが、1970年代初頭の筆者の所属部門長の取り扱える伝票金額上限は20万円だったので、2チップ注文するには役員決裁という時代であった。今は、それと同じ型番の計算機チップが部品屋で単価400円位になっている。

### 1.2 本製作の頃には速度向上と価格低下

最初の試作機用チップの入手から数か月後、予備の計算機チップと本製作用に設計変更した印刷基板とが入荷する頃には、記憶装置周期時間は12.5マイクロ秒に改善され、チップ単価も約半分になった。その速度でも1200bpsの全二重方式での受信追従が不安なので、プログラムに使用している命令語の所要時間を積算して、受信して記憶装置に書き込み住所更新する循環路を、極力、短時間にする試みをしていた。またそのプログラムは、考えられるあらゆる障害から復帰する仕掛けにしていおいた。そのプログラム可能な計算機通信端末装置のプログラムは、初期設定機能だけを金物で持ち、

プログラムの主要部分は、親計算機から通信回線経由で降ろす（ダウンラインロード）方式にした。ただし、そのとき使用した通信回線制御装置は、7ビット偶数パリティビットが普通であったので、8ビットを4ビット（ニプル）づつに2分割し上下識別子を補って、親計算機から計算機端末装置に下方向転送した。その計算機端末装置は、外付けの光学機械を制御するというもので、そのプロジェクトは、親計算機の応用プログラム開発者、親計算機中の制御プログラム開発者、通信端末制御装置の機器及び制御プログラム開発者（筆者）、光学機械制御部の開発者、光学機械の開発者など3社6課から構成していた。

### 1.3 試作機は2度の人災に遭遇

そこで試作した計算機通信端末装置は、筆者の監督不足から2度の人災を受けることになった。

#### (1)仕様書の読み違いによる発火

3社6課から構成したプロジェクトは、3社間で仕様書が交換されて、開発が並行して進められた。その中で、計算機端末制御装置と光学機械制御部との電気的界面条件に仕様書の読み違いが生じて、最初の超小形計算機の周辺回路(TTL, プラスチックチップ)が電源投入直後に火災に包まれた。その原因は、仕様書で商業電源の接地側配線指定の記述”接地側を左とする”を、作業側が”接地に結線せよ”と誤解して交流の片線を直流電源の負極側と結んでしまったことによる。悪いことに、最初の立会い試験において2装置間の電位差計測時には交流電位差0であったが、その後の電源投入のときには交流電源コンセントが最初の方とは逆方向になったので、直流5V線にAC115Vを印加したことになったのである。その結果、瞬時に火災が発生し、10秒足らずで鎮火させた。

その超小形計算機の災害原因は、明快なので、2~3日間で周辺回路のICなどを交換し復旧した。ところが、この黒く変色した印刷配線板をその後の試験に再利用したことが、2度目の人災に会う遠因になった。

このような仕様書の書き方及び読み方の食い違いは、計算機プログラムの仕様書の取扱いに未だに潜在している。文字のとおりに解釈するだけでよい（100パーセント記述できている）仕様書を書く技術者の少なさ、文字のとおりに解釈できる技術者の少なさ、JIS規格書を正確に読める技術者の比率が少ないことなどは、現在でもあてはまる。筆者は、その事故以来、日本語の記述を吟味するようになった。しかし、それを吟味して読める日本人は、少ない。

#### (2)過酷な環境試験の追加

それは、勤務先での超小形計算機の初めての応用でもあったので、破壊試験に位置付けられる電圧変動試験、低温(0C)及び高温(75C)の周囲温度試験などを実施して、実用的な動作安定性を確認した。

その試作機は、他の人が案じたよりも順調に開発が進み、親計算機、計算機端末装置、光学装置などの連動試験も終了して、応用プログラム開発者に移管した頃、予備部品の印刷配線板が行方不明になったのである。その原因は、黒く焼けただれた印刷配線板を見た人達がその予備部品箱を、ごみ箱と誤解したと推定された。しばらくして、その小形計算機の印刷配線板は、消却炉の前から風雨及び直射日光に曝されて姿を現わした。ところが、その小形計算機の印刷配線板は、目視検査後、実機搭載したところ動作したのである。それは、過酷な耐久試験の追加になった。これらの耐久試験のおかげか、その超小形計算機応用装置は、その後も数年間故障せず、設計者が1回の呼び出しも受けない内に、

寿命を全うした。また、プログラム変更が親計算機で行える（クロスアセンブラ相当の）準備と充分な文書化をしておいたので、その後の応用の変更には、応用開発の担当者が対処してくれたからでもある。そのプログラム可変の超小形計算機の印刷配線板は、その他の制御装置類にもプログラムを変更して搭載された。

#### 1.4 あいまいなチップ仕様書

LSIの仕様書の記述の中で、“TTL compatible”という表現を正確に使用していない障害にも出会った。当時のTTL(トランジスタトランジスタ論理回路の略)の入出力条件は、駆動可能出力電流：16mA、駆動必要電流：2mA(10個駆動可)であった。それが真の“TTL互換”なのだが、その計算機チップの駆動電流は、1個のTTLの駆動分の2mAしか吸引しなかった(LSTTL互換でしかない)。“そういう入出力仕様書は、記述に偽りあり”というのが筆者の主張である。そのMOSFET技術で製作された計算機チップの入出力電圧はTTLのそれに近いが、TTLなどの双極トランジスタは電流モードで動作するので、電圧値ではなく電流値の互換性を表記しなくてはならないのである。筆者が小形計算機チップを入手する前に作成しておいた周辺回路は、そのLSIの駆動最大電流値の少なさに気付くまで、記憶装置から1命令たりとも取り出せなかった。

MOSFET技術者と双極トランジスタ技術者との、暗黙的な思考の差が遠因であるが、両者のトランジスタ間の界面では、電圧値と電流値の変換処理を必要とするので、当然なことながら、先方の技術者の暗黙的な知識を考慮しなければならなかったのである。いずれにしても筆者も未熟な技術者であったことは間違いがない。

LSI関係者が“xx compatible”と唱うときには、その文字列の意味を厳密に解釈してから表記されたい。例えば、FETなら標準電圧、TTLなら標準電流の機能を持たない場合は、互換性ありとは表記してはならないであろう。不注意なのは筆者だけではない。

#### 1.5 初期から現在まで

初期の小形計算機i8008の応用に端を発して、小形計算機の応用開発などで米国の技術提携先に滞在していたり、勤務先のマイコン研究会を主唱したりしてきた。私的にも、いわゆる“マイコンキチ...”であり、i8080による組み立てキット:MP80、Z80での1970年台の個人計算機(マイクロコンピュータ:TRS80)、膝上計算機のはしり:HC-40、16ビット機i8086の個人計算機(パーソナルコンピュータ:UP10 E50)、32ビット計算機i80386の個人計算機(ワークステーション:J-3100SGT)などと深くつきあってきた。これらのうち、Pascal、FortranやZ80アセンブラの動く8ビット機は計算機と通信装置との界面EIA-232-Dの試験相手機、Pascal、FortranやC言語処理系のある16ビット機は有線BBS(+81-44-988-9128,1990年版JIS漢字支援局)の24時間奉仕の専用機(有線と無線との2回路の受信待機)、Basicインタプリタ搭載のHC-40はアマチュア無線のコンテストの移動運用時の電池駆動による重複交信検査専用機など、それぞれの計算機がそれぞれの特徴に応じた現役の座を保っている。Pascal,C,C++,Prolog,PageMaker,WordPerfectなどの動作する32ビット個人計算機は、現在も筆者の計算機道の修業具の一つである。計算機間通信のプログラム試験の際には、処理速度が1けた異なる端末側を疑似する計算機が必要なときがあることも中古機を廃棄していない理由の一つにある。この他に家族に開放(取り上げられた)輪郭線書体付きの日本語文書処理装置も現用中である。これらの個人計算機の他にもマイクロ計算機の組み込まれた商品として、ゲーム向き家族計算機MSX、有線通信の変復調装置、無線通信の変復調装置、炊飯器、洗濯機、空調装置、掃除機、8mm録画再生機、CD再生装置、35mm写真機、

複写機、乗用自動車などがあり、合計で10個以上のマイクロプロセッサが家庭で動く状態にある。しかし、筆者宅の計算機数は平均的な家庭よりも少し多いかも知れないが、まだ“計算機漬けの家庭”という感じには遠い。それは、家庭での計算機支援がまだ一部でしかないし、家庭用品に組み込まれた計算機はプログラム機械でもないし、それらの計算機応用機器は単体であって連携動作する状態にはないからである。自動車の原動機制御の他は、それら計算機の障害は重大な結果には結びつかない。これらは、非線形な組合せ制御ができればよく、特にマイコンで制御しなければならないという機械ではないから、買い換え時点でマイコン組み込みと宣伝され細かい制御をプログラムされた（機能向上）商品を積極的に選択してきた結果として、集まってきたものであろう。利用者の操作を優しくする計算機応用商品は、機能の複雑の割には操作が簡単な感じではある。

## 2. 初期の超小形計算機のさまざまな評価

初期の超小形計算機の応用には、当時、つぎのような評価が寄せられた。これから、言えることは、夜明け期の技術には“目くら千人、目あき千人”という状態があり、目の利いた人が先導する必要があることを我々に教えてくれる。

### 2.1 計算機製造業者

1970年台の超小形計算機の処理能力は、1992年現在のそれに比べて極めて低く、本格的な応用にはすぐ資源が枯渇する状態であった。したがって、長期的には発展の可能性があるが、とても大形計算機を越えるという予測は一般的ではなかった。超小形計算機関係者によるそのような話は、業界内の衆人には、ほらふき、大ふろしき、などとされていた。しかし、極めて少数派ではあったが、超小形計算機を応用することを許す先見性のある技術者及び役員も居たことを記憶している。

### 2.2 計算機学会

このマイクロコンピュータとワークステーション研究会は、その頃、親である計算機アーキテクトチャから分離独立したが、学会における認知の低さの状態での当時の主査及び幹事団の努力は並大抵ではなかったと推定される。“超小形計算機はおもちゃであって、研究する人はいない。”というのが、当時の計算機学会幹部の考えではなかったかと推察する。それは、当時だけでなく、現在もその考えが進化していない人も観察される。今や、超小形計算機から超高速計算機まで、部品としての超小形計算機が用いられ、超小形計算機が機械産業の産業構造を変化させてしまったと言っても言い過ぎではあるまい。この研究会は、すべての処理を包含する研究会になってしまったので、研究部門別に細分化が必要となってきている。

## 3. 超小形計算機の変革とピコ計算機への夢

ここでは、計算機は、ミリ(10E-3)、マイクロ(10E-6)、ナノ(10E-9)、ピコ(10E-12)と3乗の単位で小形になると分類する。

ミリ計算機の時代には、10E+3までの素子を集積したICを基本としたミニ計算機が製作可能となり、これによって、新しい計算機会社群が出現し、応用面も拡大した。

マイクロ計算機時代には、10E+6までの素子を集積したLSIを基本部品にした個人計算機(卓上、膝上、掌上など)が出現した。超小形計算機製造会社が多数起こされ、応用分野が6けた以上広がった。

ナノ計算機時代に、今、入り始めている。金物の構成では、超小形計算機を10000個以上も並列にした高速計算機にその片鱗を見る。軟件（中国語、ソフトウェアと同義）では、窓(window)機構を計算機利用者と計算機との界面にした対象指向の楽園にその片鱗を見ることができる。20世紀末は、ナノ計算機時代を推移すると分類している。応用分野が9けた拡大する状態までをこの時代と分類しよう。

ピコ計算機時代には、12けた増加した資源を経済的に使えると期待する。そのピコ計算機の最終利用者は、計算機環境をときどき清掃する程度の保守を行なうだけで、自らデータの入出力をする必要がないまでに、利用者と計算機との界面が向上した計算機と定義しよう。計算機で処理すべき種々のデータは、発生源から、光ファイバなどで高速に配信され、自動的に計算機に投入され、必要な装置などを連携して自動的に制御してくれる。この環境は、現在でも短時間で多くの項目の制御を行なう宇宙ロケット打ち上げ制御など大きい計算機で組織的に行なわれている例があるが、ピコ計算機時代にはその環境水準を個人でも享受可能でありたい。

ピコ計算機時代のデータとは、おおよそ人類の手が届く過去、現在及び未来の世界のあらゆるものを対象としたい。データ表現媒体としては、古代からの図形文字、近隣国の図形文字、あらゆる記号、絵、写真、音、動き、力、時間などとし、ピコ計算機網で交換することができる世界を想定したい。これに比べて、現在のマイクロ計算機は、図書館の書庫計算機の中の古文書を家庭の通信端末装置（早い話：電話機）で見ることもできないし、育ちの異なる計算機間では絵や文字による基本表現媒体ですら情報交換が極めて困難な状態にある。その時代の利用に耐えるデータの蓄積を今から考えなければならないであろう。自己流儀のデータ形式では、広域に開放されたピコ計算機網では相手に解釈できないことは自明である。

また、現在、不完全な人間を修練して自動車などを有人運転しているが、ピコ計算機群による自動運転の方が有人運転よりも安全な時代にしたい。実際に毎時360km(毎秒100m)を越える移動速度の21世紀中期の自動車など、肉眼だけでは、視力が足りまい。有人運転の速度限界の要因の一つに、肉眼の残像時間(1/30秒)がある。現代人の肉眼の残像時間よりも早い環境変化の直接認知は（流れるだけで）困難である。人間も100世紀単位では環境適応のための生体進化があることも想像されるが、21世紀前半の人類の能力は、現代人と大差はないであろうから、これらはピコ計算機の支援制御を待っている応用である。この時代には、前世代の計算機が次世代の計算機を（人間の制御のもとで）増殖できるものでなくてはなるまい。

このように将来に希望を託すとき、計算機の金物に搭載する能力、軟件に組み込む能力及び生活環境そのものの大変革がなければ、次文明への発展性はない。今後は、単に、計算機内の技術だけでなく、毎時360Km規格の道路（高規格道路）とか外国の普通の都市並に同方位複滑走路の空港（普通規格空港）の計画などのような、長期的（100年単位）に社会基盤を進化を計画することが次の世代への贈りものではないであろうか。

以上