

1. 流浪の時代：新しい技術が生まれる時代
2. 開拓の時代：新しい技術の種が生まれ、それを中心に急速に発明・発見が続く時代
3. 淘汰の時代：骨格のできた技術をもとに生産活動が活発になるが、同時に、企業間の競争が激化し産業界が再編される時代
4. 寡占の時代：淘汰の時代を経て選別された技術のみが支配する時代
5. 国家主導の時代：技術開発が大規模でリスクであるため国家によるある種の主導が必要である時代
6. 国際化の時代：国際協調による技術開発が必要である時代

電子式卓上計算機や航空機の発展過程などの多くの技術の分野について上記の法則が成立しているという。

この法則が正しいとすると、ソフトウェア作成技術が一般の技術と同等の過程を辿るのであろうか。辿るとすれば、今どの時代にいるのであろうか。そして将来どの時代になるのであろうか。あるいはソフトウェア作成技術は一般の技術と違って、上記のような6つの時代を順次経ていく性質のものではないのであろうか。この場合、逆説的に、上記の発展過程を経ない性質をもつ「ソフトウェア作成技術」なるものは、本当に「技術」と呼べるのだろうか。

筆者は、通常の技術と同様にソフトウェア作成技術も上記の過程を経ていくものであると信じた。そして、現在は「淘汰の時代」に入っていると信じた。プログラミング言語や作成技法に基づいている種々の数学的モデルの細かな差異について議論する時代ではなく、実際に実用規模の問題に適用してみて、本当は何が問題なのかを検討すべき時代である。

謝辞 有益なコメントをいただいた査読者に感謝する。

参考文献

- 1) 柴田治呂：技術革新の担い手は誰か—科学技術の発展法則と政策展望—，日刊工業新聞社，昭和58年。



大崎 和仁（正会員）

1952年生。1974年岩手大学工学部電子工学科卒業。1979年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。同年電子技術総合研究所（電総研）入所。1984年～1985年スイス連邦工科大学（ETH）客員研究員。現在、電総研情報アーキテクチャ部言語システム研究室主任研究官。ソフトウェア工学、特に、形式的仕様記述の現実規模の問題への適用に興味がある。電子情報通信学会、ソフトウェア科学会、IEEE、ACM 各会員。



微処理から漢処理へ

加藤 肇彦†

30年後の情報処理を、特にマイクロエレクトロニクスの発展と、そのインパクトという観点から予測してみる。現在の処理装置の機能がマイクロプロセッシングと呼ばれていることは周知のとおりであるが、これは**微処理**と訳されることがある。その根拠は**微**という文字が漢算や和算の分野で

10^{-6} を意味することにある。30年後はプロセッサの動作はピコ秒のオーダーで論じられ、ピコプロセッシングという言葉が普及している。これを漢字に当てはめれば**漢処理**（漢は 10^{-12} を表す）となる。漢とした処理ということであろうか。

半導体のピコオーダーまでの高速化と表裏一体となって、その集積度向上も続く。今までのペースで進めば30年間で素子数で100万倍、ビット幅で

マイクロコンピュータとワークステーション研究会主査
† SIGMIC 主査 (株)日立製作所 宇宙技術推進本部

64 倍に向上するはずであるが、これには $0.1\mu\text{m}$ 以下の微細加工が必要となり、電子線の波長や空気清浄化といった技術的障害が待ち受けている。そこでこれらを回避するために、光コンピュータやホログラフィのような、新しい原理が導入される。光コンピュータの今一つの特長は、伝播遅延によるクロックスキューの補正が不要なことである。超並列コンピュータ開発の阻害要因であったスキューの問題が解決し、超並列処理を活用した連続系的高速シミュレーションや、リアルタイム画像処理、音声認識、連想処理などの技術が飛躍的に発展する。

超並列化によって生じるハードウェアの余裕は冗長部品の存在を許し、各処理ユニット間のシナプティック結合による自律分散処理、ファジィ処理、自己修復、自己再組織化などを可能にする。

CPU をコアとして、ゲートアレイやスタンダードセルによる専用部、そして ROM と RAM を単一素子に集積した、ASIC が常識化している。素子の中だけで機能が閉じるために、ゲートピン比率の臨界点を超越して、さらに高集積化に拍車がかかり、ウェーハスケールインテグレーション (WSI) が実用化される。集積度とともに指数関数的に増大する欠陥に対し、冗長構成による欠陥回避技術が利用される。

ASIC を構成するためには、各機能をハードウェア部品としてではなく、回路のマスクパターンあるいはプログラムのコードを単位として検索・合成する必要がある。回路とコードのライブラリが豊富にそろっている ASIC コアが市場で主流を占めるため、各半導体メーカーはライブラリの充実に力を注ぐことになる。また、ライブラリを提供するためのデザインハウスが、事業として成立している。ネットワークを含めたデザインベースと、AI を利用した DA ツールの普及により、仕様記述言語によって入力すれば短期間でマスクが生成されて生産が開始できるようになり、設計結果の陳腐化が加速される。ASIC 化によるコピー困難化と、ライフサイクルの短縮によるコピー無意味化により、著作権侵害は少なくなる。

微細加工技術は高集積化だけでなく装置の小型化の方向にも活用され、マイクロマシニング技術と組み合わせられて蟻よりも小さなロボットが、医療や精密作業の応用分野を形成している。マイ

クロマシニング技術は、生体情報処理と直結した人工臓器にも応用され、人間の長寿命化をさらに促進する。

小型化の別の成果として、静止型ランダムアクセス媒体であるマイクロコンピュータ内蔵の半導体記憶カードが、現在の磁気ディスクや光ディスクに置き替わる。そして現在の印刷物に替わる情報の提供メディアとなり、森林資源の保護に寄与する。定期刊行物は半導体記憶カードのほかに、衛星を利用した電子通信の手段でも送達される。当学会誌の 2021 年 1 月号もカードまたは電波をメディアとして配布されているかもしれない。現在別々のカードで行われているクレジットショッピング、電話、交通機関利用などが一種類のカードで足りるようになる。さらにガス、水道、電気の料金もメータ直結の端末によって自動的にカードから引き落とされ、巡回検針が不要になる。カードはこうして現在の通貨 (currency) の代替だけでなく、それ以上の役割をもった超通貨 (supercurrency) としての性格をもつようになる。

コンピュータの小型化と量産化による価格低下は個人使用にさらに拍車をかけ、一人で何台ものコンピュータを身近に置いて使えるようになる。その結果現在の電卓や電子手帖よりさらに個人化し、ボールペンや鉛筆あるいはメモ用紙のような感覚で使える、“サブパーソナル・コンピュータ”とも呼ぶべき道具が出現している。そうなれば、身近に置いて常に使う物として外観が重視され、そのデザインがファッション化する。

このようにコンピュータが社会に広く浸透するためには、マンマシン性の向上を目指してさらに何世代かの脱皮を経験しなければならない。その時期のマイクロコンピュータやワークステーション (これらの名前に替わる新しい名称が多分普及している) の操作には、現在のような無機質のキーボードの操作に指の関節だけしか使わないプログラミング言語に替わって、音声や人間の四肢の運動のもつ情報量のすべてを使って入力する、超言語あるいは汎言語と呼ばれるものが使われている。また、マシンからの結果出力にも、人間の五感のすべてを駆使した、より親近性のある方法が普及する。入出力手段が豊富になればその中から代替を選ぶ選択肢が増え、障害をもった人たちや老人に対しても思いやりのある装置となる。

このように豊富な入出力装置を利用して人間とマシンのセマンティック・ギャップを埋めるためには、それらをサポートするソフトウェアが必要である。コンパイラにプリプロセッサやポストプロセッサの機能が包含され、人間とマシンを含めた閉ループ系による対話が可能になる。

入出力手段の豊富化は、大型コンピュータの処理能力の利用範囲をも拡大する。人体の動きを検出するデータスーツやデータグローブ、あるいはヘルメットと、高精細ディスプレイによる立体画像や触覚アクチュエータを超大形コンピュータと組み合わせた“人工現実感”の技術が、工学システムの試作評価、教育訓練、遠隔操作、娯楽などに広く実用されている。

こうしてみると、マイクロエレクトロニクスは、30年後は現在“情報処理”という言葉で扱えられる概念よりはるかに広い分野を包含していると思われる。その結果、マイクロプロセッサ応用技術のうち、機器組み込み応用、ニューメディア、通信、オーディオビジュアル、ロボティクス、金融などの分野は独立してそれぞれ別の工学分野を形成し、情報処理学会はこれらを横断する基本技術としての情報処理を総括する使命を負うことになる。

人類は平和と繁栄を享受し、学会の国際化が進んで、会員は海外会員を含めて10万人を超えている。研究会開催も海外に頻繁に場所を選び、学会委員はもちろんのこと、場合によっては会長までが海外から選出されるようになるかも知れない。

平和と繁栄の結果、国際協調が進み、現在軍事競争に向いている関心が、地球環境の保護や省エ

ネルギ、あるいは宇宙への進出のほうに向けられる。人や物資の輸送を極力少なくして、エネルギー消費や環境汚染が1万分の1以下で済む情報の移動に置きかえられ、新しいパラダイムに立脚した全世界的規模の情報インフラストラクチャが確立している。

経済成長にともなう世界的な技術水準の向上の結果、現在 NIES と呼ばれている経済群が先進国の仲間に入り、現在の発展途上国が相ついで NIES にシフトしてくる。その場合の日本は先進国のリーダーとして、世界に技術革進の指針を示す義務を負う。そのためには外国からの移入技術の延長や改良ではなく、独自の哲学に根差した文化としての**情報処理技術**を確立すべく、われわれは今から方向を模索しておかなければならない。30年は長いようで意外に短い。漠としてはいられないのである。



加藤 肇彦 (正会員)

京都大学工学部卒業。同大学院修士課程を経て、昭和45年南カリフォルニア大学大学院博士課程修了。

同年(株)日立製作所入社。中央研究所、システム開発研究所、京浜工業専門学院、横浜工場、宇宙技術推進本部に勤務。数値解析とその応用、アルゴリズム理論、演算方式、マイクロコンピュータのアーキテクチャ、システムプログラムならびに応用に関する研究、開発、教育、標準化の業務に従事。電気学会、AIAA、ACM Japan SIGAda 各会員。情報処理学会 SIGMIC 主査。航空宇宙学会委員。Ph. D. EE. 武威工業大学非常勤講師。