



## 30年後のコンピュータアーキテクチャ

富田 眞 治†

30年後のコンピュータアーキテクチャはどのようになるのであろうか？ この答えを求めてまず、30年前を振り返ってみると、アーキテクチャは IBM 360 発表前の 704 など、言語は Fortran, Algol や lisp の時代である。アーキテクチャの研究開発は IBM 360 の発表後一時停滞したが、集積回路技術に支えられ、1970年代にはワークステーション、1980年代には RISC、スーパーコンピュータの普及、専用計算機の一部実用化がなされてきた。2000年代には1億トランジスタが集積される時代となっている。一方、言語のほうはどうかという点と基本的にはあまり進歩していないのにいまさらながら驚く。汎用計算機（マイクロプロセッサを含む）、スーパーコンピュータ、汎用並列計算機、専用並列計算機について10年刻みで表にまとめ、30年後のアーキテクチャを規定している諸要因について述べてみたい。

### 1. 高級言語の変革とそのアーキテクチャに及ぼすインパクト

今日の計算機言語は逐次処理の原理と低レベルの機能を1960年代から引きずってきている。この過去からの連続性を巧みに取り入れたのが、RISCとその延長としてのスーパスカラや VLIW、スーパーコンピュータ、バス型マルチプロセッサである。RISCが成功したのは、今日の高級言語が CISC が必要なほどには、高くないからである。RISC やその後継の性能限界は明白であり、21世紀の集積回路技術の発展には対応できない。機能レベルの低い言語でのプログラム生産性は低いので、超高級言語が実用化されるにともない、CISC が復活してくるであろう。また、ユーザーの特殊ニーズに対してオーダーメイド化もチップ作成時になされよう。スーパーコンピュータはしばらくは特殊化と柔構造化を軸に展開されようが、生き残り

るかどうかは新素子による消費電力の小さなシステムの実現にかかっている。

汎用並列計算機はどうであろうか？ 現在、数十台規模のバス型マルチプロセッサがやっと普及しはじめてきたところである。これはスーパーコンピュータの場合と同様に従来のプログラミングスタイルと互換性があり、コンパイラががんばればよいわけで、ユーザは並列処理を意識する必要はない。これに対して、メッセージ交換をベースとした中大規模並列処理システムはユーザが並列処理を意識する必要がある。超並列処理にとっては、踏み越えなければならない非常に大きな障壁であるが、いったん量的に踏み越えれば加速度的に一般化するものと思われる。

### 2. 超並列アルゴリズムの台頭

超並列処理はハードウェアやアーキテクチャの問題ではなく、アルゴリズムの問題である。超並列処理では、量が増えて質が変化するような基本的な計算モデルの変更が必要である。ニューロコンピュータは計算モデルとしてはきわめてドラステックである。しかし、われわれが現在のコンピュータで解いているような複雑な論理深度の深い問題が解けるかという点とそうでない。汎用超並列処理に求められるのはニューロコンピュータほどドラステックな計算モデルの変更はないが、汎用性のあるものである。線形代数や解析によらない自然流な方式、もう少しずばらな弱い同期による方式やデータの coherence の厳密性をそれほど要求しない方式などが考案され、また、超並列処理によってしか解けないような問題の理論的証明がなされよう。

### 3. 超高速、動的トポロジ変更可能な相互結合網

現在の相互結合網はすべて1ビット/1ラインであり、配線面積が非常に大きいものとなってい

計算機アーキテクチャ研究会主査  
†九州大学

表 アーキテクチャの発展予想

	1980	1990	2000	2010	2020
汎用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アーキテクチャの見直し</li> <li>・RISCの発展</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RISCの拡張としてのスーパスカラとVLIW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高級言語の見直し</li> <li>・CISCの復活</li> <li>・チップ内マルチプロセッサ化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特殊応用、ユーザ要求の特化機能組込み</li> </ul>	
スーパーコンピュータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベクタレジスタアーキテクチャ</li> <li>・高速化</li> <li>・多重化、チェイニング、並列化</li> <li>・汎用化</li> <li>・リストベクトル</li> <li>・ベクトル化コンパイラ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特殊化</li> <li>・データベース</li> <li>・各種エンジン</li> <li>・柔軟構造化</li> <li>・柔軟なマクロ演算機構</li> <li>・小規模</li> <li>・マルチプロセッサ化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ワークステーションへの組込み</li> <li>・中規模</li> <li>・マルチプロセッサ化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新素子による高速化</li> </ul>	
汎用並列	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小規模並列</li> <li>・数十台</li> <li>・ユーザ並列性 無意識</li> <li>・バス型、共有メモリ方式</li> <li>・トスヌープキャッシュ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中規模並列</li> <li>・数百~数千台</li> <li>・ユーザ並列性 意識</li> <li>・メッセージパッシング方式</li> <li>・包含的相互結合網と可変結合網</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大規模並列</li> <li>・数千~数万台</li> <li>・高級言語の見直し</li> <li>・同左</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超並列</li> <li>・数万台~</li> <li>・アルゴリズムの抜本的改革</li> <li>・超高速光相互結合網</li> <li>・相互結合網の動的生成機構</li> </ul>	
専用並列	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パイプライン</li> <li>・SIMD</li> <li>・論理CAD, 信号処理, 画像処理, グラフィックス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グラフィックス (視線探索)</li> <li>・知識ベース</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特殊数値計算ソルバ</li> <li>・光ニューロコンピュータ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光コンピュータによる画像処理</li> </ul>	

る。超並列処理の時代には、多値論理、3次元デバイス、光などの新技術が用いられ、相互結合網が高速化され、ネットワークの形状が応用や負荷に応じて動的に変更できるようになっている（超高速ロボットによるパッチボード化など）。

4. 脳と超並列処理

脳は超並列処理の究極的目標であると捉えられている。ニューロンの数は百数十億個といわれる。巨大な数のニューロンの集合からシンボルや意識が生じるメカニズムにこそ興味がある。まずシンボルありきからはじめる現在のアプローチでは、チップを同じ数だけ集積しても多分何もでてこないであろう。生理学などとの研究協力が大規模になされようが、未解決のまま空しい段階に留まっているであろう。

5. 30年後の並列処理研究のために

いずれにせよ、30年後のアーキテクチャは並列処理を軸として展開されている。紙面の都合であまり取り上げなかったが、光との融合も実用化されていよう。並列処理のユーザトレーニング、従来プログラムの書き換え、新しい並列アルゴリズムの研究開発と商用化などを強力に進めていく必要がある。大学の大型計算センタは汎用機、スーパーコンピュータの導入と普及に関して多大な貢献をなした。並列計算機の発展普及においても計算

センタの果たす役割は非常に大きいと思われる。また、大学の研究予算、教官給与面での抜本的な改革が必要である。どちらかでも非常によければ人材は集まるが、どちらもはるかに平均以下ではどうしようもない。30年後には大学の工学部は研究機関として存在しないかもしれない。VLSI時代のはずなのに、数万ゲート、百数十ピンのチップ一つを作成するのに千数百万円かかる現状では、超並列処理研究など大学単独ではなしえない。30年後の大学の情報関連学科でのアーキテクチャ研究の存亡をかけて、いま、メーカーと大学の協力によって、基盤技術である新しい並列処理文化を構築する必要がある。これなくしては、アジア大会のように金メダルは中国ということになりかねない。



富田 真治 (正会員)

1945年生。1968年京都大学工学部電子工学科卒業。1973年同大学院博士課程修了。この間、零交さ波による音声合成の研究に従事。工学博士。同年京都大学工学部情報工学教室助手。1978年同助教授。1986年九州大学大学院総合理工学研究科教授。現在に至る。計算機アーキテクチャ、並列処理システムなどに興味を持つ。著書「並列計算機構成論」「計算機システム工学」「並列処理マシン」など。電子情報通信学会、IEEE、ACM 各会員。