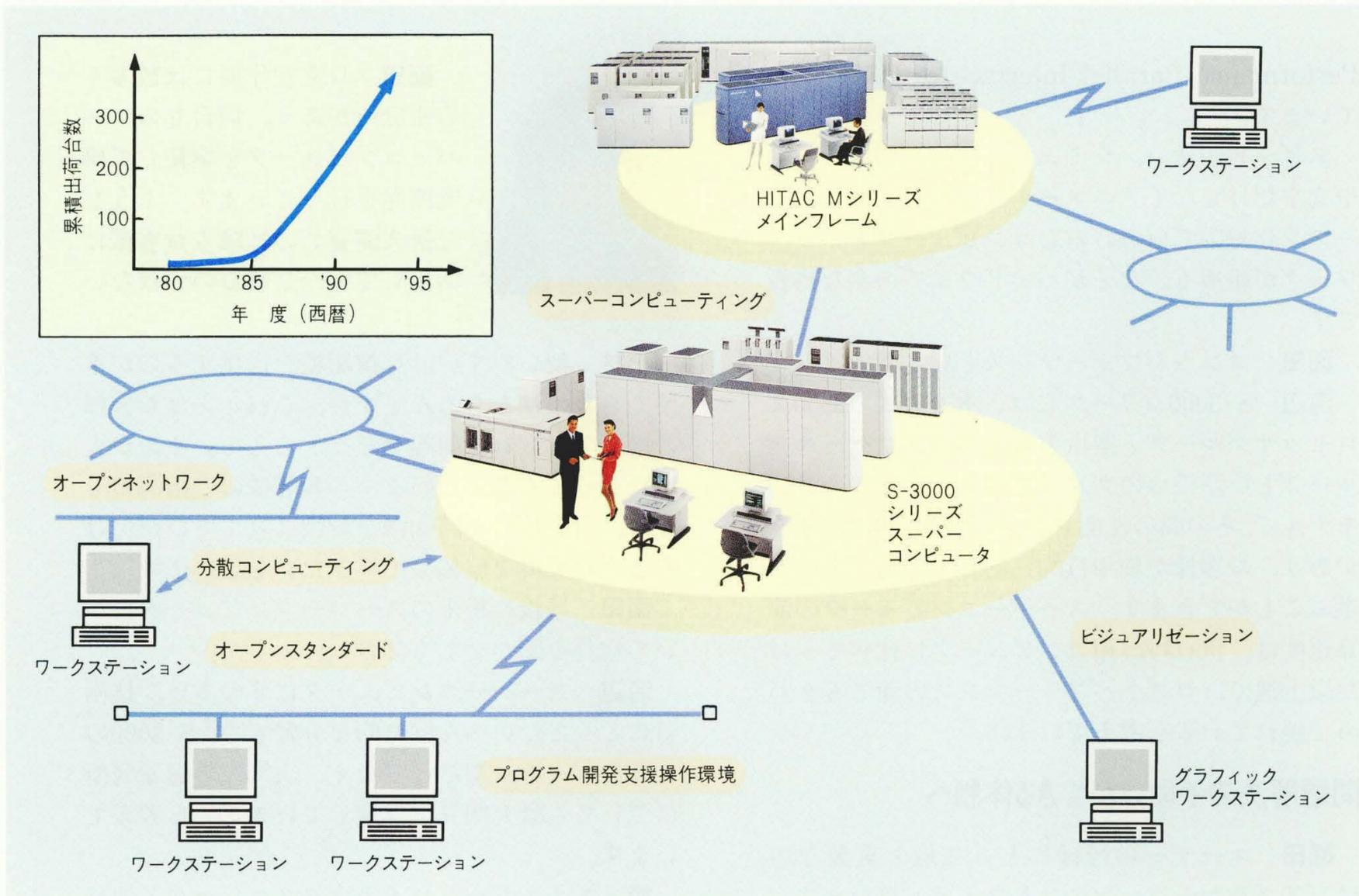


スーパーコンピュータシステムの動向

Trends of Supercomputer Systems

面田耕一郎* Kōichirō Omoda

稲上泰弘** Yasuhiro Inagami



スーパーコンピュータシステム スーパーコンピュータシステムは、コンピュータネットワークの中でのスーパーコンピューティングサーバとして、さまざまな分野へと利用が急速に拡大している。

スーパーコンピュータの利用は、公的研究機関や大学の研究活動から製造業を中心とする企業の製品開発に至るまで急速に拡大している。

スーパーコンピュータを使用することにより、数値計算だけによって大規模な解析、実験、さらには設計まで行う方式が定着しつつある。今や製品開発競争に打ち勝つための手段として、企業にとっても欠かせない存在となってきている。

半導体・実装技術の進歩と、科学技術計算に適した高速演算技術の採用によってコストパフォーマンスが高く、かつ高性能マシンが実現できたこと、またワ

ークステーションとの高速ネットワークによる接続および共通の利用環境の実現などによって使い勝手が向上できたこと、さらにはアプリケーションソフトウェアが急速に拡大していることにより、スーパーコンピュータシステムがより身近なものになっている。

日立製作所はこのような動向を踏まえ、平成4年3月にスーパーコンピュータシステム「HITAC S-3000シリーズ」を開発した。さらに使いやすく、かつコストパフォーマンスの高い超高速のスーパーコンピュータシステムの実現を目指して、製品開発を進めていく考えである。

* 日立製作所 コンピュータ事業本部 ** 日立製作所 中央研究所

1 はじめに

その時代の最高速の汎(はん)用コンピュータよりも数値計算を格段に高速処理できるコンピュータをスーパーコンピュータと言う。

「より速いスーパーコンピュータ」、「より低価格なスーパーコンピュータ」、「より使いやすいスーパーコンピュータ」の出現はユーザーの切実な願いであった。この願いが現実のものとなり、スーパーコンピュータによる数値解析への貢献はますます身近なものになりつつある。

スーパーコンピュータを使用することにより、数値計算だけによって大規模な解析、実験、さらには設計まで行う方式が定着しつつある。実際に実験装置を作る必要がなく、スーパーコンピュータ上でかなりのシミュレーションが可能であるため、(1) 製品開発期間の短縮、開発コストの軽減が可能であること、(2) 実際には目に見えないこと、わからないことを数値計算によって知ることができること、(3) 地球環境に影響を与えるような実験装置が不要なため、環境問題にも対応可能であること、など多くのメリットがあるからである。

仮想製造(バーチャルマニュファクチュアリング)、仮想試作(バーチャルプロトタイピング)ということばも登場しており、スーパーコンピュータへの期待は一段と高まっているのが現状である。

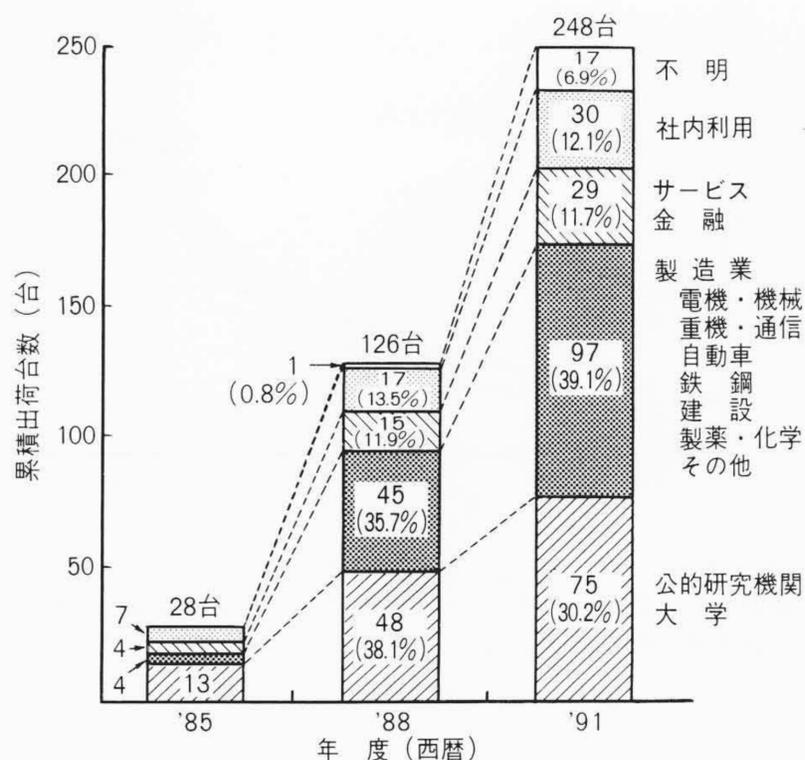
ここでは、スーパーコンピュータの最近の市場動向と高速化への発展過程、および今後の発展方向について述べる。

2 最近の市場動向

2.1 利用分野と市場規模

現在、スーパーコンピュータは、科学技術計算分野を中心にさまざまな分野で導入が進んでいる。国内での利用分野別の累積出荷台数の推移を図1に示す。

'80年代前半までは、公的研究機関や大学での研究活動での利用が主であったが、'80年代の後半以降は製造業を中心とする民間企業での利用が急速に進展してきている。導入が特に進んでいる業種は、自動車産業、建設業である。また、経済予測などの金融分野へも広がりを見せている。今後は製薬・化学分野への導入が特に進むものと思われる。今やスーパーコンピュータは、製品開発競争に打ち勝つための手段として、企業にとっても欠かせないものとなってきている。



注：日経コンピュータ('92.1.27)から推定

図1 スーパーコンピュータの利用分野別累積出荷台数推移 (国内) '80年代の後半以降、製造業を中心に民間企業での導入が急速に進んでいる。

2.2 利用拡大への取り組み

スーパーコンピュータは、公的研究機関、大学および企業のさまざまな分野に適用され、身近なものになっている。日立製作所はこのような利用拡大に対応するため、次の項目を重点に製品開発を推進しており、新シリーズのHITAC S-3000では、さらに強化・充実を図っている。

(1) コストパフォーマンスの向上

半導体や実装技術の進歩により、コストパフォーマンスが最近10年間で約7倍に向上した(図2)。

(2) 高性能マシンの開発

自然現象をきめ細かく、しかも高速にとらえる高い演算性能を持ち、実使用に耐えられる高性能マシンを開発した。また、入出力性能や他機器とのデータ転送性能などの高速化も図った。

(3) 低価格マシンの開発

ワークステーションの利用だけにとどまっていたユーザーにとって、導入しやすい低価格マシンを開発した。

(4) 高性能を引き出すプログラミング技術の向上

コンパイラによる自動ベクトル化機能、さらにはマルチプロセッサ構成に対応した自動並列化機能のサポートによって、容易に高性能を引き出すことができるようになった。

(5) オープンシステム、分散システムへの対応強化

スーパーコンピュータの超高速計算能力を、だれもが

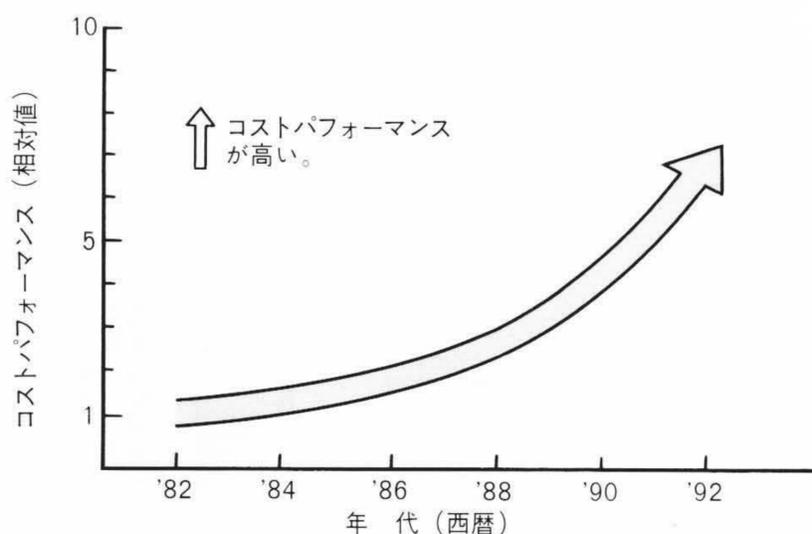


図2 スーパーコンピュータのコストパフォーマンスの推移
最近10年間でコストパフォーマンスが約7倍に向上した。特に、ここ数年間の向上が著しい。

自由に、かつどのようなコンピュータでも利用できるコンピューティング環境を目指し、

- (a) UNIXオペレーティングシステム^{*)}の採用、
- (b) 国際標準、業界標準の通信プロトコルの採用、
- (c) UNIXワークステーションとの高速のネットワーク接続、

などを実現することにより、ワークステーションからスーパーコンピュータまで共通のユーザーインタフェースで利用することが可能となった。

(6) アプリケーション・ソフトウェアの強化・充実

構造解析に加え、流体解析や分子設計などのアプリケーション・ソフトウェアが豊富になった。また、構造解析でも、静的なものから、より複雑で、時間とともに著しく変化していく動的な解析や、流体解析と組み合わせた複合解析も行えるようになり、より精度の高い数値シミュレーションが可能となった。

(7) 可視化ツールの強化・充実

スーパーコンピュータでの多量の演算結果データを動画像にして表示し、計算結果を効率よく確認できるようになった。

3 高速化への発展過程

3.1 演算高速化の課題

科学技術計算プログラムの大部分は行列どうしの演算などに見られる繰り返し処理であり、スーパーコンピュ

ータには繰り返し処理を特に高速実行する技術が組み込まれている。繰り返し処理を高速化する技術としては、ベクトル処理や並列処理などがあるが(後述)、プログラム全体にわたってこれらの技術が適用できるわけではない。プログラムの中で演算高速化技術が適用できる部分だけが高速化され、それ以外の部分は通常の汎(はん)用コンピュータで処理した場合と同じ性能である(図3)。スーパーコンピュータでは、演算性能の向上とともに、演算高速化技術が適用できる部分の拡大が課題となる。

3.2 演算性能向上の推移

スーパーコンピュータの性能は毎秒当たりの演算回数で表す。科学技術計算では浮動小数点演算が主体であるので、FLOPS[Floating Operations Per Second(フロップス):毎秒当たりの浮動小数点演算回数]を単位として用いる。最近のスーパーコンピュータは毎秒 10^9 回(10億回)のオーダーで演算を行うため、GFLOPS(giga FLOPS(ギガフロップス):毎秒10億回)を用いる場合が多い。スーパーコンピュータの性能トレンドを図4に示す。1970年代に登場して以来、スーパーコンピュータは半導体・実装技術の進歩と、科学技術計算に適した高速演算技術の採用によって性能向上が図られてきている。1970年代前半を第1期とすると、性能の視点から5期に分けられ、その間性能が数百倍向上した。

3.3 演算高速化技術

演算性能の向上は、最新の半導体・実装技術を駆使してマシンサイクルタイムを短縮するとともに、以下のような方式によって1マシンサイクルで実行可能な演算数を増加させて実現する。

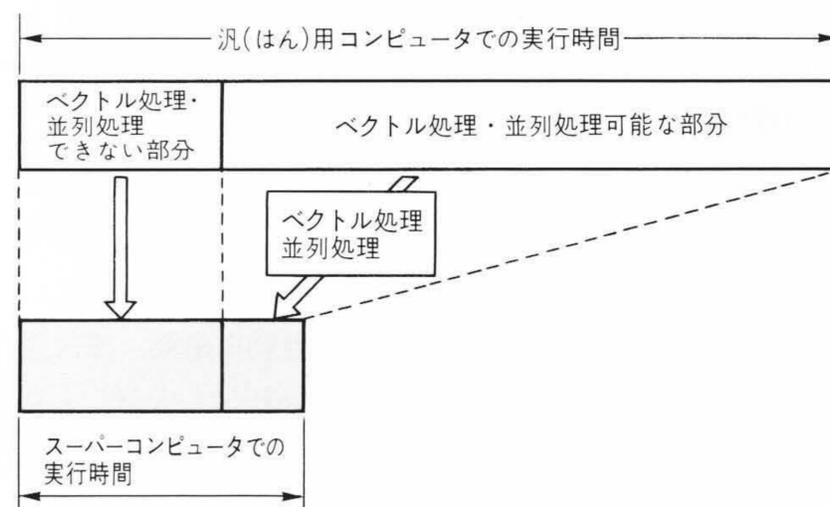
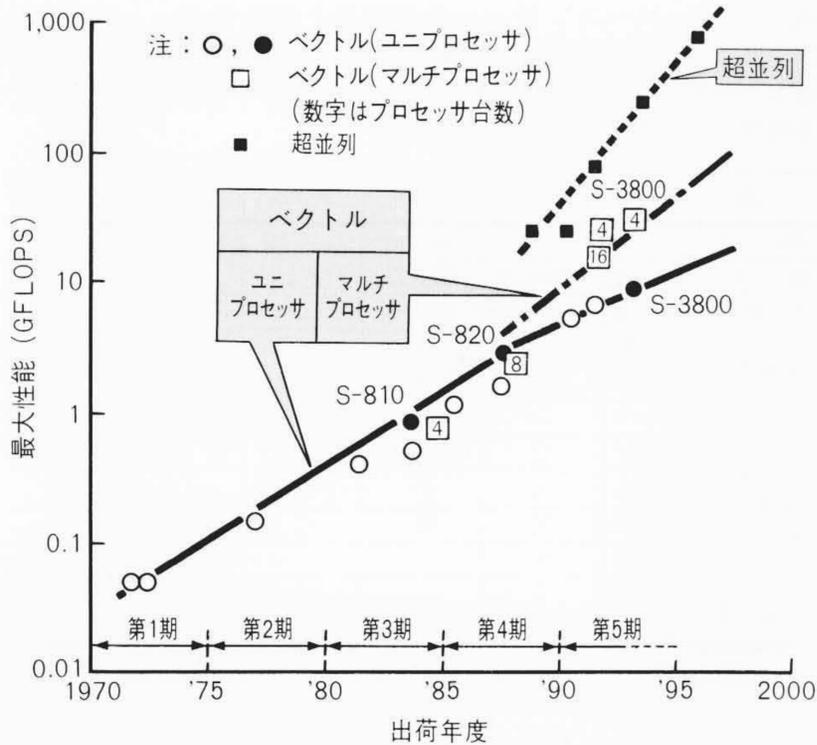


図3 スーパーコンピュータによるプログラム実行時間の短縮
ベクトル処理・並列処理される部分をできるだけ多くすること、ベクトル処理・並列処理される部分をできるだけ高速に処理すること、がスーパーコンピュータの課題である。

*) UNIXオペレーティングシステム:UNIXシステムラボラトリーズ社が開発し、ライセンスしている。



注：略語説明 GFLOPS (Giga Floating Operations Per Second ;
ギガフロップス)

図4 スーパーコンピュータの最大性能のトレンド 1970年代に登場した第1期のスーパーコンピュータ以降、最大性能は数百倍に向上している。現在は第5期にある。

(1) ベクトル処理方式

スーパーコンピュータの演算高速化技術として最初に用いられたのが、ベクトル処理方式である。スーパーコンピュータをベクトルプロセッサと呼ぶのはこのためである。ベクトル処理方式は、多数のステージから成る演算装置(ベクトル演算装置)を流れ作業的に動作させることにより、繰返し演算を高速に処理する方式である。

ベクトル処理方式では、1台のプロセッサに複数のベクトル演算装置を設け、さらに一つのベクトル演算装置で複数のデータを同時に処理するなどして、マシンサイクル当たりの演算数を増加させている。最新のスーパーコンピュータでは、1マシンサイクル当たり16演算程度の処理が可能になっている。

(2) マルチベクトルプロセッサによる並列処理

最新のベクトルプロセッサのマシンサイクルは2~3 ns(1 nsは 10^{-9} s)程度に達し、今後これまでのトレンドに沿った短縮は望めないと言われている。1台のベクトルプロセッサの演算並列度を、これ以上高めることも困難である。そこで、2台以上のベクトルプロセッサで一つのプログラムを並列処理する方式の重要性が増している。複数のプロセッサを結合する形態として、一つの主記憶を共有する共有記憶型マルチプロセッサと、個々のプロセッサが専用の主記憶を持つ分散記憶型マルチプロ

セッサがある。共有型ではデータを分割して各プロセッサに配置する必要がないため、従来のプログラミング手法との連続性が良く、使いやすい。このため、現在は共有記憶型が主流となっている。

3.4 コンパイラ技術

スーパーコンピュータが1980年代以降急速に普及したのは、演算性能の向上とともに自動ベクトル化コンパイラ技術の発展によるところが大きい。自動ベクトル化コンパイラは、プログラム中の繰返し処理部分を解析してベクトル処理可能な部分を抽出し、ベクトル命令に変換するものであり、ベクトルプロセッサを意識しないで書かれたプログラムがベクトル処理によって容易に高速化できる。また、初期のコンパイラでは、単純な繰返し演算だけが自動ベクトル化の対象であったが、内積や総和などのマクロ演算、条件付き演算や間接指標ベクトル操作などが、ベクトル命令のくふうによってベクトル処理ができるようになってきた。さらに、マルチベクトルプロセッサに対応して、プログラム中の繰返し処理部が並列処理可能かどうかを判定する自動並列化コンパイラが開発されている。自動ベクトル化・並列化の解析範囲も、サブルーチン間にまたがって行うようになってきている。なお、並列化については、自動並列化だけでは不十分であり、プログラマが並列処理可能な部分を指示する方式も併用されている。並列処理指示方式については、言語仕様の標準化によってプログラムの可搬性を向上させる活動が進められている。

3.5 入出力高速化技術

大規模計算を扱うスーパーコンピュータでは、主記憶に入りきらない大量のデータを扱うことが多く、入出力の高速化も重要である。ディスク入出力の高速化方式としては、複数のディスク装置を使用して同時にアクセスする並列入出力方式が採用されている。今後はディスクアレーなども活用されていく。ディスクの入出力を高速化するだけでなく、DRAMによって構成される大容量の半導体記憶を装備するなどして、入出力の高速化を図ってきている。拡張記憶がその例であり、ディスクの数十~数百倍の速度でアクセスでき、容量も最近では32ギガバイト程度に達している。計算途中の一時結果や、恒久的に保存する必要性の低いデータを格納することによって、きわめて大きな効果を発揮する。

スーパーコンピュータの発展と技術動向を表1に示す。

4 今後の動向

4.1 超並列スーパーコンピュータの台頭

今後のスーパーコンピュータを考えると、大規模な並列処理技術を避けて通ることはできない。数百～数千台のプロセッサを並列につないで飛躍的な性能向上を目指す超並列スーパーコンピュータは、今後のスーパーコンピューティングの重要な一角を占めていくと思われる。

超並列スーパーコンピュータの主なメリットは、プロセッサ台数に応じて幅広い性能レンジをカバーできること、一般的には汎用の高性能マイクロプロセッサを利用する場合が多く、コストパフォーマンスが高いこと、にある。一方、多数のプロセッサへプログラムをいかに分配して並列処理を効率よく実行させるか、また、プロセッサ間でのデータ転送をいかに高速に行って並列処理によるオーバヘッドを削減させるか、などの課題を乗り越える必要があるが、'90年代の後半にはTFLOPS(1,000 GFLOPS)レベルの超並列スーパーコンピュータが現実のものとなろう。

4.2 将来のスーパーコンピュータシステム

今後のスーパーコンピュータシステムは、従来のベクトル型スーパーコンピュータを中心とし、アプリケーションソフトウェアの開発および利用技術の進展とともに、超並列スーパーコンピュータが徐々に組み込まれてくると考えられる。

このとき、ベクトル型スーパーコンピュータは「汎用のスーパーコンピュータ」として、超並列スーパーコンピュータは「並列性が高く、かつ超高性能を必要とする特定アプリケーション用のスーパーコンピュータ」として利用されるであろう。さらには、両者が高速のインタフェースで結合される融合したシステムへ発展すると思われる。

そして、このようなスーパーコンピュータシステムは、

表1 スーパーコンピュータの発展と技術動向 スーパーコンピュータは、演算並列度増加などによる演算性能向上、拡張記憶などを利用した入出力性能向上により、システム全体の性能向上を目指して発展してきている。

項目	第1期	第2期	第3期	第4期	第5期	
年代	～1975	1976～1980	1981～1985	1986～1990	1991～	
最大性能	～100 MFLOPS	100～500 MFLOPS	0.5～1 GFLOPS	1～5 GFLOPS	5 GFLOPS～	
主記憶容量	～4 Mバイト	～32 Mバイト	～256 Mバイト	～1 Gバイト	32 Gバイト	
並列実行レベル	演算命令	1	2	2～4	4～8	8～16
	命令	—	2	2～4	2～4	2～8
	プロセッサ	—	—	2	4～8	4～16
ベクトル処理適用範囲	四則	○	○	○	○	○
	内積・総和	×	○	○	○	○
	条件付き演算	×	×	○	○	○
	間接指標	×	×	○	○	○
拡張記憶	容量	—	—	～3 Gバイト	～12 Gバイト	～32 Gバイト
	速度	—	—	～1 Gバイト/s	～2 Gバイト/s	～5 Gバイト/s

注：略語説明 MFLOPS(Million Floating-point Operations Per Second)
GFLOPS(Giga Floating-point Operations Per Second)

多種多様なコンピュータが接続されたネットワーク環境の下で、UNIXオペレーティングシステムを中心としてオープンシステムや分散システムへの対応がさらに強化・発展され、「ハイエンド コンピューティング サーバ」として利用されるに違いない。

5 おわりに

自然科学の探求から産業界での製品開発、さらには人類の体験することのできない創造の世界へとスーパーコンピュータの適用範囲は急速に拡大している。今後、スーパーコンピュータへの期待は一段と高まっていくであろう。

日立製作所は、不可能を可能とするさらに高性能なスーパーコンピュータシステム、およびこの超高速計算能力をだれもが自由に、どのようなコンピュータからでも利用できるスーパーコンピューティング環境の実現を目指して、これからも製品開発を進めていく考えである。

参考文献

- 堀越, 外: コンピュータアーキテクチャ技術の動向とスーパーコンピュータ, 日立評論, 65, 8, 529～534(昭58-8)
- 長島, 外: スーパーコンピュータシステムの展望, 日立評

論, 69, 12, 1097～1102(昭62-12)

- 電子情報通信学会編: スーパーコンピュータ, オーム社(1992)