

スーパーコンピュータの技術開発 － 80年代からの技術変遷と将来の技術課題－

渡辺 貞（理化学研究所）

1. はじめに

S. C r a y 賞の受賞にあたり、受賞対象となったSXシリーズ及び地球シミュレータのHWを中心とした技術変遷を振り返り、更に今後の技術課題につき展望する。

2. 黎明期

我が国のスーパーコンピュータの歴史は70年代から始まる。当時の科学技術庁航空宇宙技術研究所の計算センター長であった三好甫さん（故人）の指導で富士通が開発したベクトルコンピュータ230-75APが日本の本格的なスーパーコンピュータと言えるだろう。79年になり、三好さんから、富士通・日立・NECに対し、1GFlopsを超えるスーパーコンピュータの開発についての呼びかけがあった。当時、私が在籍していたNECではこれを機にスーパーコンピュータ開発の検討を開始した。このとき検討したシステムは、256台のプロセッサから成る並列マシンであった。しかし、このシステムは多くの技術的な問題があったので開発を断念し、ベクトル型のスーパーコンピュータに方針を転換した。82年のことであった。この結果、誕生したのが現在のNECの主力スーパーコンピュータであるSXシリーズの最初のモデル、SX-2であり、85年に出荷された。

三好さんの呼びかけに応じて、富士通・日立の各社も本格的にスーパーコンピュータの製品開発に取り組み、それぞれVPシリーズとSシリーズを83年に出荷した。

2. 80年代からの技術変遷

SXの開発にあたっては、高速実行と将来の拡張性を最優先の方針とした。そのために周波数を可能なかぎり高めることとし、それにはハードウェアは出来るだけシンプルなものとする必要があった。結果として、64ビットの汎用レジスタ128本、256Wのベクトルレジスタが40本の、現在に至るも先端的なベクトル機構付のRISCアーキテクチャとなり、周波数167MHz、ピーク性能1.3GFlopsのマシンが完成した。このSXの基本アーキテクチャは、メモリの大容量化に伴うページサイズの拡大や並列処理の為に効率良い同期機構の導入など、機能拡張を行ってきたが、地球シミュレータを経て、NECの現在の最新システムSX-8に連綿と引き継がれている。

SX-2の基本となる半導体チップには高速であるが消費電力が大きいバイポーラ型を使用したため、発熱が大きいため、直接水冷方式の冷却技術を採用した。また、今では普通に使われているセラミック基板にチップを直接搭載する高密度のマルチチップパッケージを開発した。

以来20数年、この間、非常なスピードで技術が進歩してきた。ハードウェアの進歩の多

くは半導体技術の進歩によるものである。95年には、低消費電力半導体であるCMOSを採用したSX-4を開発した。SX-4は、NECとしては初めてのマルチノードによる並列処理システムであった。02年3月に稼動を開始した地球シミュレータでは、1チップのベクトルプロセッサを開発し、大規模な単段クロスバスイッチによって640個のノード（5,120CPU）を接続することにより、超大規模並列処理システムを構築した。図1は、SX-2と04年に出荷されたSX-8のハードウェア技術を比較したものである。この間、システム性能は5万倍、最大メモリ容量は26万倍、設置面積は約1万分の1と大幅な技術進歩を遂げている。

Evolution of SX Series for 20 years

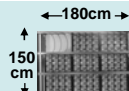

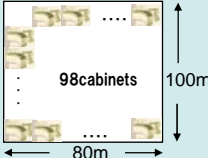
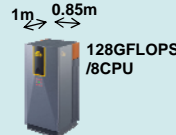
	'85(SX-2)	'04(SX-8)	(SX-8/SX-2)
CPU Performance	1.3GFLOPS	16GFLOPS	× 12
System Performance	1.3GFLOPS	65TFLOPS	× 50,000
# of CPUs	1	4,096	× 4,096
Total Memory Capacity	256MBytes	64TBytes	× 2.6 × 10 ⁵
CPU Size			× 1/6,750
#of chips per CPU	2,250chips	1chip	× 1/2,250
System Size			× 1/9,400

図1. SXシリーズにおける20年間の技術進歩（提供：NEC）

3. 今後の技術課題

図2に、80年代から現在に至るスーパーコンピュータの性能向上の推移を示した。これによると、CPU単体の性能は、いわゆるムーアの法則に従い、周波数の向上に比例して向上してきている。一方、システム性能はそれを上回って性能が向上している。これは、半導体技術の進歩により、コストをそれほど上げることなく沢山のCPUを並べることで、並列処理、によってシステム全体の性能向上を図ってきた結果である。

並列度の増大は、HW、SW両面で大きな技術課題をもたらして来ている。HW面で特に大きな問題はシステム消費電力の増大である。数千から数万個のCPUから成るシステムは、Mワットから十Mワットを超える消費電力となる。これはシステム維持費の増大となり、深刻な問題となりつつある。これを抑えるには、汎用プロセッサに効率よく演算器を付加して性能/電力を向上させること、アプリケーションに特化した専用のアクセラレータによって、性能/電力を向上させることなどが考えられている。

一方、半導体技術の進歩によって周波数を向上させることによるチップの高速化は、チップの消費電力の増大となり、冷却やシステム消費電力増大の面から限界となって来ている。そのために、チップの性能向上技術として、チップ内のマルチコア化が今後更に促進されると予想される。これは、システムから見ると、結果として更なる並列度の増大をもたらすこととなる。

History of High Performance Computers

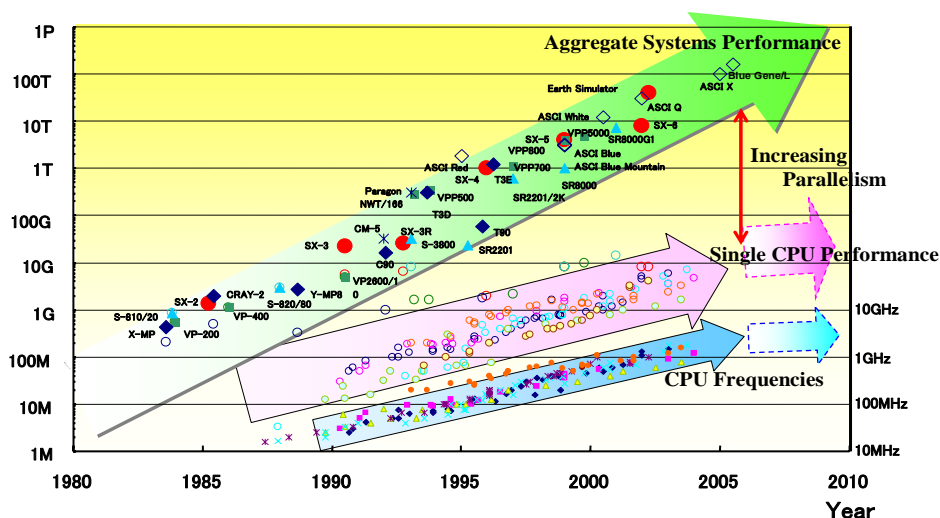


図2. スーパーコンピュータの性能向上推移 (提供: NEC)

並列度の増大は、アプリケーションから見て、大きな問題を持っている。システム全体を効率よく利用するアプリケーションを如何にして開発するか、並列化チューニングを如何に効率よく行なうかということである。アプリケーション開発者が高並列システムを前提として、スケーラブルなアプリケーションを開発することが必須である。そのためにシステム上は、並列システムとしての開発環境を整える必要がある。効率良い並列化開発言語とそのコンパイラ、並列化デバッガやチューニングツールなどが今後ますます重要となろう。

4. おわりに

HWを中心として、スーパーコンピュータの技術を概観し、今後の技術課題について述べた。ここで挙げられた技術課題は、現在進めている国家プロジェクト、次世代汎用スーパーコンピュータの開発利用プロジェクトの技術課題でもある。プロジェクト推進の中で、これらの課題を解決していきたい。