

# スーパーコンピュータ SX-8 の開発背景・開発思想

## Development Concept of Supercomputer SX-8

伊藤行雄\* 古井利幸\*\* 西川岳\*\*\*

Yukio Ito Toshiyuki Furui Takeshi Nishikawa

山元正人<sup>†</sup> 井上勝己<sup>††</sup>

Masato Yamamoto Katsumi Inoue

### 要旨

スーパーコンピュータの利用は今やあらゆる分野に及んでおり、科学技術や経済の発展を支える重要な共通基盤技術になっています。このような社会への浸透に伴い、より複雑化、高度化するアプリケーションの一方で、スーパーコンピュータにはさらに扱いやすく、容易に高性能を發揮できることが求められるようになっています。

NECはこのような要求に対応する製品として、20年余りにわたって培ってきたスーパーコンピュータ技術を結集し、世界最高速クラスのスーパーコンピュータSX-8を開発しました。

本稿では、SX-8について、開発の歴史、ユーザ動向、技術動向および開発の狙いなどを概説します。

Supercomputers are now widely used across all segments of research and industrial field, and recognized as the important common infrastructures that support the growth of science and economy. While applications continue to be more complicated and sophisticated, supercomputers are now required to be more easy-to-use and easy to bring out its high performance.

NEC developed world's fastest class "Supercomputer SX-8" as the desired product to cope with this changing social need, maximizing the accumulated know-how on supercomputer development more than 20 years.

This paper gives an outline of the development history of NEC SX series, market and technology trends, and development strategy on NEC's supercomputer SX-8.

### 1. まえがき

20世紀の初頭より、自然現象を数値計算により解明する

ことが試みられてきましたが、近年、コンピュータの飛躍的な高速化や記憶容量の増加に伴い、理論、実験に次ぐ科学技術の第三の領域として、コンピュータシミュレーションという分野が確立されました。それ以後、とどまるものない科学技術計算の高速化に対するニーズは、常にスーパーコンピュータ開発の牽引役となっていました。

今日、物質科学、原子力、気象、環境、航空宇宙といった分野の先端科学では、スーパーコンピュータによるシミュレーションが研究開発のインフラストラクチャとして不可欠のものとなっています。また、自動車の衝突解析、新素材開発、地下資源探査、機械、建築設計などの産業分野でも、流通アプリケーションの普及や可視化システムの進歩により、スーパーコンピュータの利用はより一般的なものとなっていました。さらに最近では、金融や経済のリスクシミュレーションや将来予測など、その利用範囲はますます拡大しています。

### 2. NEC SXシリーズの歴史

NECのスーパーコンピュータ開発のルーツは、1980年発表の超大型汎用コンピュータ ACOS システム 1000 に搭載した統合アレイプロセッサ IAP (Integrated Array Processor) にさかのぼります。その後NECは、このIAPの開発経験を生かして、1983年4月、SX-2、SX-1の2機種を開発・発表し、本格的にスーパーコンピュータ市場に参入しました。

SX-2は最大性能で世界で初めてギガフロップスの領域に到達する 1.3GFLOPS (Giga Floating-point Operations Per Second : 毎秒 13 億回の浮動小数点演算) を実現し、1985年の出荷と同時に、著名な各種ベンチマークプログラムで世界最高速を実証しました。

1990年4月にはSX-3を発表し、単一CPUで最大5.5GFLOPS、4台のマルチプロセッサで最大22GFLOPSと、

\* 第一コンピュータ事業本部  
1st Computers Operations Unit

\*\* HPC販売推進本部  
HPC Marketing Promotion Division

\*\*\* コンピュータ事業部  
Computers Division

† コンピュータソフトウェア事業本部  
Computers Software Operations Unit

†† 第一コンピュータソフトウェア事業部  
1st Computers Software Division

共に当時の世界最高速を達成しました。SX-3では国産初の共有メモリ型マルチプロセッサと並列処理技術を採用したほか、OSとして従来使用していた汎用コンピュータベースの「SXOS」に代えて、UNIXをスーパーコンピュータ向けに大幅に強化した64ビットの「SUPER-UX」を採用し、オープンシステム時代を先取りするとともに、流通アプリケーションソフトの充実を図りました。

1994年11月にはSX-4を発売し、最大512台のCPU構成を可能とすることにより、最大性能1TFLOPS (Tera Floating-point Operations Per Second : 每秒1兆回の浮動小数点演算) と初めてテラフロップスの扉を開きました。SX-4では、CPUテクノロジを従来のバイポーラから、高集積化・低消費電力化・低コスト化の図れるCMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) に変更し、小型化・低価格化を図るとともに最大プロセッサ台数を大幅に拡大しました。またSX-4では、冷却方式をそれまでの水冷方式から空冷方式に変更し、水冷のための特別な設備を不要とすることにより、システムの導入をさらに容易にしました。

1998年6月には、SX-4での実績をもとに、第4世代となる当時世界最高速のSX-5を発表しました。SX-5では、クロックをSX-4の2倍に高速化するとともに、CPU当たりのベクトルパイプライン数を2倍に拡大し、最大CPU性能8GFLOPS、512台のCPUで最大性能4TFLOPSを実現しました。

2001年10月には第5世代となるSX-6を発表しました。SX-6では、従来30数個のLSIで構成していたCPUをたった1個のLSIで実現し(1チップベクトルプロセッサ)，最大CPU性能8GFLOPS、1,024台のCPUで最大性能8TFLOPSを実現しました。そして、同年11月には研究室レベルで購入が可能な低価格を実現した超小型スーパーコンピュータHPCサーバSX-6iを新たに製品系列に加えています。また2002年10月には、SX-6のテクノロジをベースに最大32CPU、256Gバイトの大容量共有メモリ実現し、自動並列化との組合せにより、さらに使いやすくした、大容量共有メモリ型モデルSX-7を発表しました。

SX-6で使用されたシステム技術やテクノロジは、2002年3月に運用を開始し、その圧倒的な高性能で世界を驚かせた地球シミュレータにも生かされています。地球シミュレータは地球規模の環境変動の解明・予測を主要な目的として文部科学省(システム開発当時は科学技術庁)が推進したプロジェクトで、NECはそのハードウェアおよび基本ソフトウェア部分の基本設計と製造を担当しました。

そして2004年10月、NECはSXシリーズの第6世代となるSX-8(写真)を発表し、2004年末より出荷を開始しました。SX-8は、CPU性能で16GFLOPSの世界最高性能を達成するとともに、システムレベルでは4,096台のCPU(512ノード)により最大65TFLOPSという超高性能を達成しています。また、低消費電力設計と高密度実装技術により消費電力、設置面積を大幅に削減すると同時に、部品点数の



写真 SX-8 の外観 (モデル8A)

Photo External view of SX-8 (Model 8A)

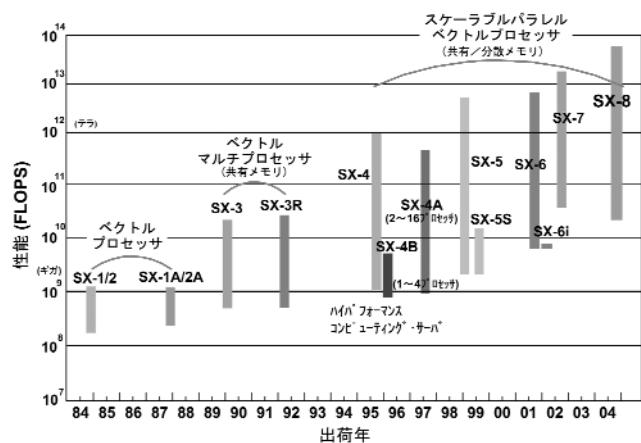


図1 SXシリーズの変遷

Fig.1 History of SX Series.

削減により信頼性を大幅に高めています。

以上のように、SXシリーズは約20年間にわたって常に最新のテクノロジを使用して革新を遂げてきました。図1にこれまで述べてきたSXシリーズ6世代の変遷を示します。

### 3. ユーザ動向と技術動向

#### 3.1 ユーザ動向

コンピュータそのものの進歩とともに、コンピュータシステムの技術も年々進歩を続けています。たとえば物質材料分野においては第一原理計算と呼ばれる、基本的には実験結果を用いずに、非経験的に量子力学の基本法則から物質の構造や性質を究明する手法が実用化されてきており、新物質創成などへの利用が期待されています。また、物理現象のほとんどは構造、流体、熱、電磁場など複数種類の現象や、ミクロスケールからマクロスケールにわたる現象の組合せによって起きますが、このような複雑な系全体をシミュレーションするためには従来の単一現象、単一スケールのシミュレーションでは不十分であり、今後は複数現象(マルチフィジックス)、複数スケール(マルチスケール)を考慮したシミュレーションが大きなテーマに

なると見られています。

スーパーコンピュータの性能向上はめざましく、2005年の現在、実際に稼働しているテラフロップスクラスのシステムは珍しいものではなくなっていますが、上記のようなアプリケーションの新しい方向性を追求していくためには、よりいっそうの性能向上が必要とされています。

性能向上に対する限りない要求の一方で、高性能なシステムをより経済的に導入したいという要求もいっそう高まっています。このため、優れたコストパフォーマンスの実現とともに、システム運用費用の中で大きな比重を占める消費電力や設置面積の削減も大きな課題となっています。

### 3.2 アーキテクチャ動向

スーパーコンピュータは、1990年代前半までは科学技術計算専用のベクトル型システムが大半を占めていました。1990年代後半になると、米国を中心に、ビジネス処理にも使用できる汎用CPUを使用し、並列処理により性能向上を図ったスカラ型システムが台頭してきます。この流れは、米国政府のHPC開発プロジェクトによる強力な支援により加速され、最近ではスカラ型システムがベクトル型システムを上回るシェアを獲得するまでになりました。

しかし、2002年に完成した地球シミュレータは、このスカラ型システムに傾いた流れに疑問を投げかけ、ベクトル型システムへの再評価を迫るものとなりました。

スカラ型システムは、基本的にビジネス用途のサーバと共にアーキテクチャであり、理論ピーク性能（メモリアクセスやその他の遅れを含まない理想的なケースの性能）は高いものの、キャッシュメモリのヒット率が低いと極端に性能が低下します。このため、スカラ型システムの実際のアプリケーションでの性能（実効性能）は、理論ピーク性能の10%程度が普通ですが、一般的にはこの理論ピーク性能がシステム性能そのものであるかのような認識が少なからずあります。こうした中で、地球シミュレータは実際の気候モデルによるシミュレーションで、理論ピーク性能の65%というきわめて高い実効性能を示し、米国のHPC関係者に大きな衝撃を与えました。この衝撃がもたらした影響は大きく、米国政府内では高実効性能のシステムを求めるユーザの声に押されて、ベクトルアーキテクチャを見直す動きや、新たな高効率のシステムを開発するプロジェクトが次々と始まっています。

SXシリーズは地球シミュレータと同じベクトル型アーキテクチャを採用しており、SX-8もそのアーキテクチャの流れを引き継いでいます。その最大の特長はCPU-メモリ間のデータ転送性能（メモリバンド幅）とノード間のデータ転送性能（インターネット性能）がスカラ型に比べて決定的に高いことです。このため、性能がキャッシュヒット率やノード間の通信量に大きく左右されるスカラ型と比べて、データ量に依存することなく、安定して高い実効性能が得られます。

### 3.3 テクノロジ動向

CPUの性能は、1965年に米国のゴードン・ムーア博士が提唱した経験則の「ムーアの法則」（LSIの集積度は約18ヵ月で2倍になる）とほぼ同様の割合で向上してきました。LSIテクノロジは、過去に何度も限界説が唱えられながらも「ムーアの法則」を守り続け、その進化のスピードはいまだ衰えてはいません。LSIテクノロジは、過去から現在に至るまで、超高性能を実現するための原動力となっており、その役割は将来にわたって続いていると思われます。一方、CPU内の処理のみが高速化されても、メインメモリとの間のデータ転送性能が改善されなければCPUはデータ待ちで遊んでしまい、その高性能を生かすことはできません。CPU-メモリ間のデータ転送性能の優劣は、多数の信号をいかに最短で接続できるかにかかっており、これを実現するための実装技術が重要な役割を果たします。

NECは、SXシリーズで常に最新のLSIテクノロジと実装技術を採用してきました。今回のSX-8の開発においても、最先端の90nm（ナノメートル）ルールの採用により、集積度と性能を大幅に向上させる一方で、消費電力の削減も行っています。

またSX-8では、SX-6でケーブルにより接続していたCPU-メモリ間の信号線を、全面的にボード内配線で実現しました。これにより、最大8台のCPUと128Gバイトのメモリを、ケーブルを使用せずに1つのコンパクトなモジュールに収容し、性能の向上と筐体のコンパクト化を実現しています。

図2に最近のSXシリーズにおけるCPUおよび筐体サイズの変遷を示します。

## 4. SX-8の開発の狙い

スーパーコンピュータに期待されるのは、ユーザが実行したいアプリケーションを超高速に実行することであり、重要なのは理論ピーク性能の高さではなく、いかに容易に高い実効性能を引き出せるかということです。SX-8では、

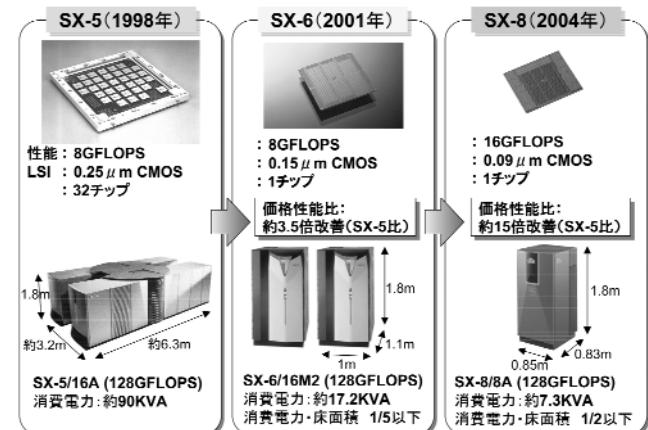


図2 CPUと筐体サイズの変遷

Fig.2 History of CPU and cabinet size.

過去に蓄積してきたSXシリーズでの実績と経験を生かし、より高い実効性能をさらに使いやすく、経済的に実現することを最重要課題と考えました。

#### 4.1 高い実効性能の追求

##### (1) プロセッサ性能の強化

マシンサイクルの高速化により各処理時間の短縮を図り、ショートベクトル性能、スカラ性能を大幅に改善しています。また、ベクトル平方根演算器を新たに追加し、数値計算で多用される平方根演算の性能を大幅に向こなしています。

##### (2) 高いメモリスループット

最近の汎用スカラプロセッサは、理論ピーク性能は高いものの、局所性の低いデータやキャッシュメモリ容量を超える大規模データをアクセスする場合はキャッシュミスが頻発し、性能が大幅に低下します。

ベクトル型プロセッサの場合は、直接メモリをアクセスするためこのような性能低下はありませんが、高い演算処理能力を最大限に發揮するためには、メモリから各演算バイオペレーティング・システムに十分なデータを供給する能力が必要となります。SX-8では、従来のSXシリーズと同様に、演算性能の向上とバランスの取れた高メモリスループットを実現し、高い実効性能を発揮することができます。

#### 4.2 使いやすさと経済性の追求

##### (1) 共有・分散メモリアーキテクチャの継承と拡充

SX-8はSX-6で高い評価を得たベクトルプロセッサによる共有・分散メモリ方式のアーキテクチャを継承し、各種並列処理形態に柔軟に対応することができます。

シングルノードシステムでは、最大128Gバイトの大容量メモリを最大8CPUで共有する共有メモリ方式を採用し、自動ベクトル化/自動並列化機能により、プログラム資産をスムーズに継承・移行することができます。また、演算性能とメモリスループット、入出力性能などのトータルバランスが優れているため、大容量共有メモリ方式の長所である使い勝手の良さを発揮したシステム構築が可能です。

マルチノードシステムはシングルノードシステムを最大512ノード(4,096CPU)まで接続し、65TFLOPSの最大ベクトル性能と、64Tバイトの大容量メモリを実現可能で、超大規模計算ニーズにも柔軟に対応できる高いスケーラビリティを備えています。

##### (2) 運用コストの削減

SX-6で採用したCMOSテクノロジをさらに強化するとともに、CPUとメモリを一体化した高密度ノードモジュールを採用することで、消費電力や設置面積などの設置条件を改善し、運用コストをさらに削減することができます。

##### (3) 上方互換性と柔軟な運用形態の維持

SXシリーズのアーキテクチャを継承することにより、オペレーティングシステムSUPER-UX(64ビットUNIX)のSX-6からの上方互換性を確保しています。これにより、従来から高い評価を得てきたSXシリーズの柔軟な運用環境をそのまま利用でき、またソフトウェア開発環境などのツ

ール類もそのまま利用することができます。

#### (4) 充実したアプリケーションソフトウェア

SXシリーズ向けに高度にチューニングされた豊富なアプリケーションソフトウェアを、そのままSX-8でも利用可能です。幅広い分野のアプリケーションソフトウェアの最新バージョンをサポートしており、SX-8の特長である高い実効性能を有効に活用することができます。

### 5. むすび

以上、SX-8の開発背景・開発思想について紹介しました。SX-8は、発表以来多数の受注をいただいている。これもSX-8の高い実効性能や使いやすさと経済性が市場に十分理解され、受け入れられた結果と考えています。

今後も先進技術を先取りし、継続してSXシリーズの強化を図っていくことにより、より高性能で使いやすいシステムをご提供し、お客様の様々なニーズにお応えしていきます。

\* UNIXは、The Open Groupの米国およびその他の国における登録商標です。

#### 筆者紹介



Yukio Ito

**伊藤 行雄** 1975年、NEC入社。現在、執行役員兼第一コンピュータ事業本部長。情報処理学会会員。



Toshiyuki Furui

**古井 利幸** 1971年、NEC入社。現在、第一コンピュータ事業本部HPC販売推進本部長。電子情報通信学会、情報処理学会各会員。



Takeshi Nishikawa

**西川 岳** 1982年、NEC入社。現在、第一コンピュータ事業本部コンピュータ事業部長。情報処理学会会員。



Masato Yamamoto

**山元 正人** 1980年、NEC入社。現在、コンピュータソフトウェア事業本部長。



Katsumi Inoue

**井上 勝己** 1979年、NEC入社。現在、コンピュータソフトウェア事業本部第一コンピュータソフトウェア事業部長。情報処理学会会員。