

## [新スーパーコンピュータ SX-9]

### 新大規模科学計算システム スーパーコンピュータ SX-9の性能評価

江川隆輔\* 大泉健治\*\* 伊藤英一\*\* 岡部公起\* 小林広明\*

\*東北大学サイバーサイエンスセンター スーパーコンピューティング研究部

\*\*東北大学情報部情報基盤課システム管理係

本稿では、2008年3月に導入した当センター大規模科学技術計算システムの主力計算機であるベクトル型スーパーコンピュータ SX-9 の概要について説明し、SX-9 シミュレータと実アプリケーションを用いた新システム SX-9 の性能評価について述べます。評価の結果、スーパーコンピュータ SX-9 システムが従来の SX-7 システムと比較して約 10 倍の高速な処理が可能である事を確認しました。

#### 1. はじめに

東北大学サイバーサイエンスセンター（旧情報シナジーセンター）では、2008年3月に大規模科学計算システムの主力計算システムであるベクトル型スーパーコンピュータ SX-7 を、最新のベクトル型スーパーコンピュータ NEC SX-9 へとリプレースしました。新システム SX-9 の導入に伴い、当センターの大規模科学計算システムは、ベクトル型スーパーコンピュータ SX-9 と SX-7C、並列コンピュータ TX7/i9610 の 3 つのシステムから構成されることとなります。当センターの大規模科学計算システムの構成を図 1 に示します。今回導入した SX-9 計算システム（図 2）は 16 ノードからなり、1 ノードあたり 1.6Tflop/s (Tflop/s:1 秒間に 1 兆回の浮動小数点演算)、システム全体では、26.2Tflop/s の高い理論性能を有しています。この新システムに従来の SX-7C、TX-7/i9610 の 640Gflop/s、1.23Tflop/s を加えて、当センターが提供する演算能力は、約 28Tflop/s に達し、ユーザの皆様の幅広いご要望に応えられる充実した計算機環境を提供します。

以下本稿では、この度導入した新システム SX-9 の概要、SX-9 の実アプリケーションを用いた性能評価、および当センターにおける SX-9 の運用について説明します。

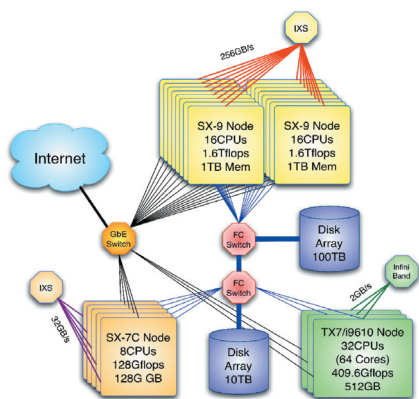


図1 新大規模科学計算システムの構成。



図2 SX-9(サイバーサイエンスセンター内)。

## 2. スーパーコンピュータ SX-9

SX-9 は世界最速の 1 チップベクトルプロセッサを搭載し、1 プロセッサあたり 102.4Gflop/s (1Gflops/s : 1 秒間に 10 億回の浮動小数点演算) の高いベクトル演算性能を実現しています。これは半導体加工技術の進歩による動作周波数の向上と大幅なベクトルパイプラインの増強によるものです。SX-9 の CPU は 65nm の CMOS 加工技術を用いて設計されており、3.2GHz という高速な周波数で動作します。また、図 3 に示すように SX-9 の CPU には 8 つのベクトルユニットが搭載されており、各ベクトルユニットの浮動小数点乗算器と浮動小数点加算器が各 2 器、スカラユニットの乗加算器も各 2 器と、SX-7 と比べて大幅な演算能力の増強が行われています。

高い単一 CPU 性能がもたらす効果を確認するために、図 4 に 100Gflop/s の CPU を 10 個有するシステム(100Gx10)、10Gflop/s の CPU を 100 個有するシステム(10Gx100)の性能と並列化効率の関係を示します。双方のシステムとも理論性能は同じ 1Tflop/s であるにも関わらず、並列化効率が 100%に満たない場合は、常に 100Gx10 システムが高い性能を示します。つまり、高い実効性能を実現するためには、高い並列化効率が必要であり、高い並列化効率を得るためにプログラマは多大なる労力を費やさなければなりません。このことから、高い単一 CPU 性能を有する SX-9 は、プログラマに与える負荷を極力抑え、高い演算能力の提供できるシステムであると言えるでしょう。

16 個の CPU が搭載される各ノードは、1 T バイトのメモリを共有する SMP(Symmetrical Multi Processing)構成をとり、1.6Tflop/s のピーク性能を持っています。各 SMP ノード間は、図 5 に示す高性能なノード間転送装置 (IXS: Interconnect Crossbar Switch) により、双方向で最大 256G バイト/秒の接続が可能となり、大規模、かつ高速な並列計算を可能にします。従来のスーパーコンピュータシステム SX-7 と新スーパーコンピュータ SX-9 の性能を表 1 に示します。この表からも明らかなように、大幅な CPU 性能の向上、高速な CPU 間の通信性能に基づき SX-9 システムは SX-7 システム に比べて、約 12.5 倍の性能向上を実現しています。次節では、東北大学情報シナジーセンターでこれまで運用されてきた実アプリケーションを用いた SX-9 の性能評価を行い、新スーパーコンピュータシステム SX-9 の有用性を検証します。

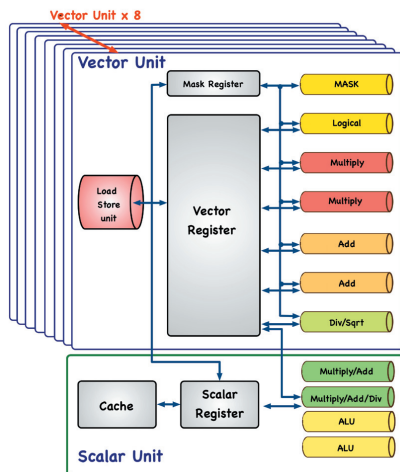


図 3 SX-9 ベクトルユニット。

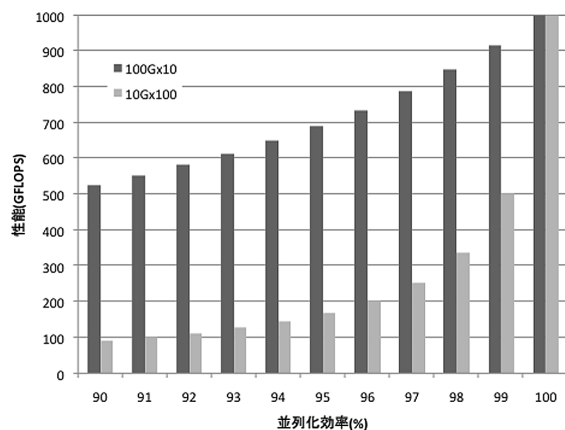


図 4 高い CPU 性能の有効性。

表 1 SX-7 と SX-9 の性能比較.

	項目	SX-7	SX-9	向上比
CPU	動作周波数	0.551GHz	3.2GHz	5.6倍
	ベクトル演算性能	8.83Gflop/s	102.4Gflop/s	11.6倍
	メモリバンド幅	64GB/s	256GB/s	4倍
SMPノード	ベクトル演算性能	282Gflop/s	1.6Tflop/s	5.8倍
	メモリ容量	256GB	1TB	4倍
	メモリバンド幅	1.13TB/s	4TB/s	3.5倍
	バンクサイズ	16K	32K	2.0倍
	ノード間通信速度	32GB/s	256GB/s	8.0倍
システム	ベクトル演算性能	2.1Tflop/s	26.2Tflop/s	12.5倍
	メモリ容量	2TB	16TB	8.0倍



図 5 IXS ユニット.

### 3. 性能評価

#### 3.1. SX-9 シングル CPU 性能

ここでは、SX-9 のシングル CPU 性能の評価について説明します. 前節では SX-9 の理論性能は、これまでの SX-7 システムと比較して大きく向上していることを述べました. しかし、計算機本来の有用性を検証するには、計算機の理論性能だけではなく、実際にアプリケーションを実行した際に得られる実効性能と併せて評価する必要があります. そこで我々は、これまで、東北大学情報シナジーセンターにおいて運用実績のある 6 つの実アプリケーションを用いて SX-9 の性能評価を行いました. また、本稿はシステム導入前に記述していることから、評価は SX-9 実機ではなく、NEC より提供されている SX-9 のシミュレータを用いて行いました.

はじめに、Intel Itanium II (開発コード: montecito) を搭載した並列計算機 AsAmAII と SX-7, SX-8, SX-8R, SX-9 の CPU 性能比較を行います. それぞれの CPU の理論性能は ItaniumII : 6.4Gflop/s, SX-7 : 8.83Gflop/s, SX-8 : 16Gflop/s, SX-8R : 35.2Gflop/s, SX-9 : 102.4Gflop/s になります. また、評価には Earthquake[1], Turbulent Flow[2], Antenna[3], Land Mine[4], Turbine[5], Plasma[6] の 6 つアプリケーションを用います. 図 6 の評価結果が示すとおり、全てのアプリケーションにおいて、ベクトル型のプロセッサが ItaniumII を凌ぐ性能を実現していることが分かります. また、SX-9 は、その理論性能値が示すとおり、既存のベクトル型スーパーコンピュータを大きく凌ぐ演算性能を有していることが、実アプリケーションを用いた評価により確認することができます.

次に、Itanium II (montecito) 1CPU と SX-9 1CPU, ItaniumII 16CPU と SX-9 1CPU との比較を行います. 図 7, 図 8 は、それぞれ ItaniumII の 1CPU と 16CPU に対する性能比を示しており、SX-9 の 1CPU は ItaniumII の 1CPU と比較して最大 221 倍、平均して約 83 倍の実効性能を示しています. ここで、Itanium II と SX-9 の理論性能はそれぞれ 6.4Gflop/s, 102.4Gflop/s と約 16 倍の性能差しかありません. しかし、今回の評価では、平均 83 倍と ItaniumII を大きく上回る実効性能を示していることから、ベクトル型のプロセッサが当センターで実行されてきた科学技術計算プログラムに対して、高い有用性を示している事が確認できます.

また、SX-9 の 1CPU (102.4Gflop/s) と同じ理論性能を持つ ItaniumII の 16CPU (6.4

x 16 = 102.4Gflop/s) と比較した場合も、図 8 に示すように最大で約 40 倍、平均で約 16 倍の実効性能を示していることがわかります。これは、図 4 で説明したように、高いシングルCPU性能を持つ計算システムが高速処理の実現に効果的に機能することを、実アプリケーションを用いた評価で確認できたと言えます。この評価において、Mine は他のアプリケーションに比べて特に高い実効性能比を示しています。これは、Mine を ItaniumII で実行した場合、キャッシュヒット率が約 70%と低く、全計算時間の内、約 90%以上をメモリアクセスが占めているためです。このようなメモリーインテンシブなプログラムでは、高いメモリーバンド幅をもつベクトル型プロセッサは、特にその有効性を発揮します。

これらの結果より、SX-9 ではユーザがこれまで SX-7 で実行してきたアプリケーションを特に変更することなく、容易に 10 倍近い速度で実行可能になることが確認できます。

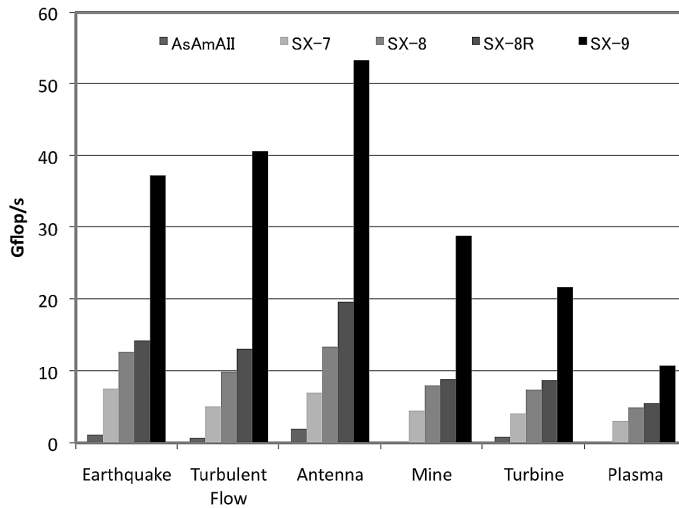


図 6 SX-9 と SX シリーズ, ItaniumII の 1CPU あたりの性能.

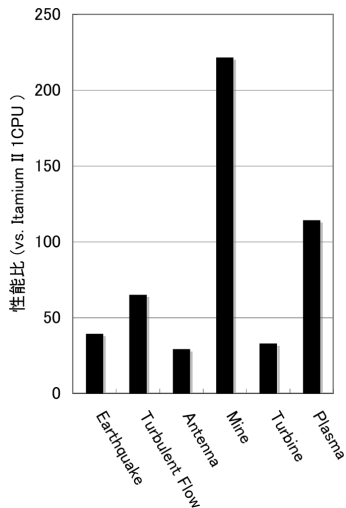


図 7 SX-9 vs. Itanium II.

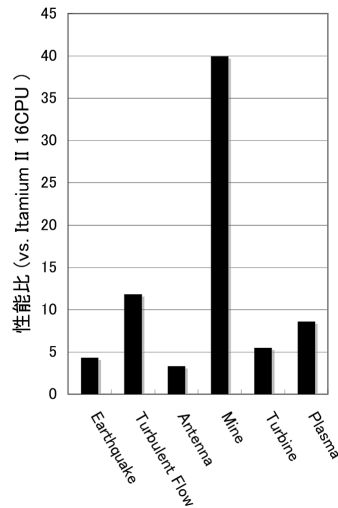


図 8 SX-9 vs. 16 Itanium II.

### 3.2. シングルノード性能

次に 16CPU からなる SX-9 のシングル SMP ノードの性能を評価します。評価には前節で用いたベンチマークのうち Antenna を用います。SX-7 は 1 ノード 32CPU で構成されているため、1CPU, 16CPU, 32CPU で実行した場合を、一方、SX-9 は 1 ノードが最大 16CPU で構成されていることから、1CPU, 8CPU, 16CPU で実行した場合の性能を評価します。図 9 は、SX-7 の 1CPU における実効性能を 1 とした場合の各 CPU 数における実行時の実効性能との比を表しています。1 ノードあたりの CPU 数が半分しかないにもかかわらず、SX-9 の 1 ノードの性能は SX-7 の 1 ノードの性能の約 5 倍、同じ CPU 数の場合は約 10 倍の性能を持つことが確認できます。また、SX-9 のシングルノード内の使用する CPU 数の増加に伴い、SX-7 よりも高い割合で実効性能が向上し、高いスケーラビリティを有していることもわかります。この結果からも、SX-9 のシングルノードでは SX-7 用に最適化されたアプリケーションを、容易に SX-9 上で高速に処理することが可能だと言えます。

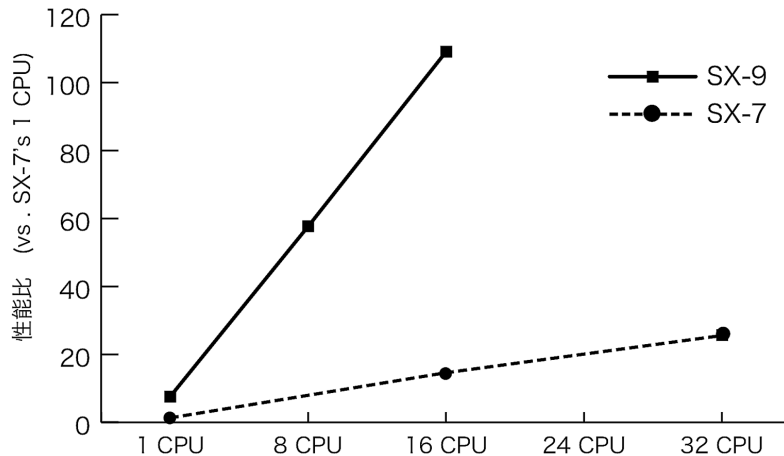


図 9 SX-7 と SX-9 のシングル SMP ノード性能.

### 3.3. CPU 間通信性能

ここでは、SX-9 の CPU 間通信性能の評価を行います。複数のノードを跨いだ高速な CPU 間通信は、複数のノードによる高い実効性能実現の為に必要不可欠です。そこで、CPU 間の通信速度を HPC Challenge ベンチマークで提供されている ping pong カーネルベンチマークを用いて評価します[7]。図 10 は横軸に代表的な大型計算システムとその CPU 数を示し、縦軸にはメモリバンド幅を示しています。SX-9 はサイバーサイエンスセンターで導入した 16 ノード、256CPU の構成です。この結果からも明らかなように SX-9 は他の大型計算システムと比較して、高速なデータ通信を実現可能なことが確認できます。SX-9 の高い CPU・ノード間通信性能は、複数ノード・CPU を用いた高速処理の実現を可能にします。

また、当センターでは 4 ノード、64CPU を用いた MPI 並列処理環境の提供を予定し

ています。4ノードのMPI実行環境では表1に示した256GB/sのバンド幅を有するIXS (Interconnect Crossbar Switch)により、約6.5Tflop/sの理論性能を持つこととなります。これは、現在我々がSX-7Cにより提供しているMPI環境よりも、10倍以上高速な環境になります。

以上、実アプリケーションを用いたSX-9の実効性能の評価により、SX-9は、高いシングルCPU性能と高速なノード間通信に基づき、従来のSX-7システムを大きく凌ぐ実効性能を持つことを示しました。

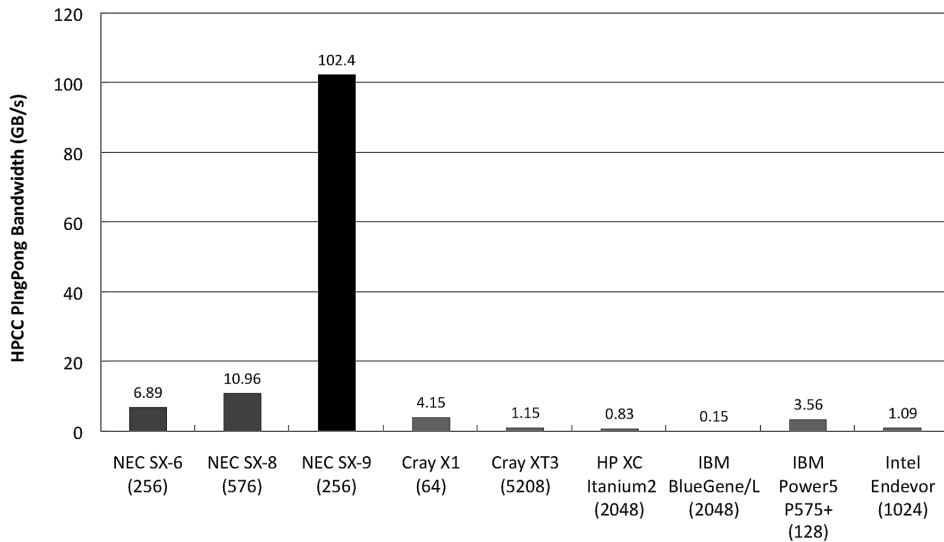


図10 SX-9通信性能.

#### 4. SX-9の運用

SX-9の一般運用は2008年4月4日の開始を予定しています。また、基本的な運用方針、および環境はSX-7と同様のものをユーザの皆様を提供することを前提に準備を進めております。プログラミング言語はFortranとC/C++への対応を準備しており、ユーザの皆様には従来通り自動ベクトル化、自動並列化機能を提供することで、既存のプログラムをそのまま新システムで実行出来る環境を提供します。

また、自動並列化機能に加えてOpenMPやMPIによる並列化プログラムの利用可能な環境、複数のjobクラスを提供することで、ユーザの皆様には効率のよいシステム利用をして頂きたいと考えております。前節でも触れましたが、将来的にはSX-9の4ノード、64CPUを用いたMPI環境を提供する予定でおります。さらに大規模なMPIプログラミング環境を必要とする場合は、別途特別に用意することも検討いたしますので、どうぞお問い合わせください。また、当センターの大規模科学技術計算を有効に活用していただくために、全てのユーザの皆様に対して平成20年4月1日～平成21年3月31日の期間、利用負担金割引制度(試行)を用意いたしております。特別な申請は一切不要です。

その他、計算機利用、利用可能環境に関しては随時大規模科学計算システムウェブ(<http://www.cc.tohoku.ac.jp>)において情報を提供しておりますので、是非ご確認ください。



ださい。また、ご不明な点、ご質問等ございましたら、お気軽にセンターまでお問い合わせ下さい。

【問い合わせ先】

- 利用相談室 sodan05@isc.tohoku.ac.jp
- システム管理係 022-795-6252

【システム利用申請】

- <http://www.cc.tohoku.ac.jp/guide/riyou.html> をご覧下さい。
- 窓口（庶務係）uketuke@isc.tohoku.ac.jp 022-795-3406

## 5. おわりに

本稿では、2008年4月に運用開始予定のスーパーコンピュータ SX-9 の概要と、SX-9 の性能評価について説明しました。これまで当センターSX-7 で実行されてきた実アプリケーションを用いた性能評価の結果、従来のアプリケーションに特に変更を加えることなく、SX-9 システムはSX-7 システムに比べて約10倍の実行性能を実現する事を示しました。2011年には総性能10Pfl0p/s(1Pfl0p/s:1秒間に1000兆回の演算)を超える次世代スーパーコンピュータの運用が予定されておりますが、次世代スーパーコンピュータ基本アーキテクチャの1つがベクトル並列型となっております。従いまして、次世代スーパーコンピュータへの応用プログラムの拡張を視野に入れながら、この高性能なSX-9 システムを皆様の研究推進の為の強力なツールとしてご活用いただければ幸いです。

## 謝辞

本稿を執筆するにあたり、多くの方々にご協力・ご支援を賜りました。東北大学の長谷川昭教授、澤谷邦男教授、佐藤源之教授、山本悟教授、笹尾泰洋助教、土屋史紀助教、東京理科大学の塚原隆裕研究員、海洋研究開発機構海洋工学センターの有吉慶介研究員には評価プログラムを提供して頂きました。また、日本電気(株)の撫佐昭裕様、NECシステムテクノロジーの曾我隆様、塩田和永様、NECソフトウェア東北の下村陽一様にはシミュレーションにおいて、多大なる協力をいただきました。皆様に心より感謝申し上げます。

## 引用文献

- [1] Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, "The key frictional parameters controlling spatial variation in the speed of postseismic slip propagation on a subduction plate boundary," *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 256, pp.136--146, (2007)
- [2] 塚原 隆裕, 岩本 薫, 河村 洋, "平行平板間乱流における流体線の直接数値シミュレーション", 東北大学情報シナジーセンター大規模科学計算システム広報 SENAC, Vol. 39, No. 1, pp. 47--58, (2006).
- [3] Takagi, Y., H. Sato, Y. Wagatsuma, K. Mizuno, and K. Sawaya, "Study of high gain and broadband antipodal fermi anetnna with corrugation," *In proceedings of 2004 International Symposium on Antennas and Propagation, Volume 1*, pp. 69--27, (2004).

- [4] Kobayashi, T., X. Feng, and M. Sato, “FDTD simulation on array antenna SAR-GPR for land mine detection,” *In Proceedings of SSR2003: 1st International Symposium on Systems and Human Science*, pp. 279–283, (2003).
- [5] 笹尾泰洋, 堀田翼, 山本悟, “タービン多段静動翼列流れの大規模並列計算を実現する数値タービンの研究,” 東北大学情報シナジーセンター大規模科学計算システム広報 SENAC, Vol. 40 No. 3, pp. 15–24, (2007).
- [6] 加藤雄人, 小野高幸, 飯島雅英, “不均質媒質中でのプラズマ波動の伝搬についての計算機実験,” 東北大学情報シナジーセンター大規模科学計算システム広報 SENAC, Vol. 37, No. 1, pp. 13–19, (2004).
- [7] HPC CHALLENGE HOME Page, <http://icl.cs.utk.edu/hpcc/index.html>.