

# 次世代スーパーコンピュータ

吉形 允晴, 小林 賢二

Mitsuharu YOSHIKATA, Kenji KOBAYASHI

## 1 はじめに

近年の科学技術の発達に問題の大規模化、複雑化が進んでいる。このような問題のシミュレーション等では膨大な計算が必要であり、高速な処理が可能な計算機が求められている。スーパーコンピュータは、複数台のコンピュータを並列につなぎ合わせることで短時間で高速な処理が可能なることから、近年ではその開発、動向に注目が集まっている。本発表では、スーパーコンピュータの歴史と現状について述べた後、次世代スーパーコンピュータである京速計算機について述べる。

## 2 スーパーコンピュータ

計算機には、一般家庭で使用されるパーソナルコンピュータや高機能で会社などの特殊な業務で使用されるワークステーションなどがある。普段我々が行うデータ管理や単純な計算は、一般的なコンピュータで十分処理できる。しかし、地球規模のシミュレーションやエンジン設計のためのシミュレーションといった大規模な問題などには、スーパーコンピュータが使用されている。スーパーコンピュータは、最先端の技術を結集した性能に優れた高水準の計算機である。最近では、複数台のコンピュータを並列に繋ぎ、性能を上げることが主流である。しかし、現状 1 秒間に 100 兆回以上の計算速度を有するコンピュータですら性能的に解決できない問題があり、より高速で精度の高い計算が求められている。

## 3 スーパーコンピュータの現状

### 3.1 スーパーコンピュータの性能

スーパーコンピュータの性能評価で有名なものに、TOP500 というサイトがある。TOP500 の評価では、Linpack ベンチマークという行列の浮動小数点演算が評価基準となっている。TOP500 では年に 2 回ランク付けが行われ、Fig. 1 はここ数年のスーパーコンピュータの首位の計算速度と今後の予測である。

Fig. 1 より現在首位のスーパーコンピュータは「BlueGene/L」というものである。「BlueGene/L」は 1 秒間に 280 兆回の計算が可能とされ、3 年以上 TOP500 の 1 位を保ち続けている。この演算性能を出すに至って、「BlueGene/L」には様々な高度な技術が搭載されている。

### 3.2 コンピュータの並列化

スーパーコンピュータが注目され始めた当初、プロセッサの性能自体がそれほど高くなく、未だ発展途上であった。しかし、次第にプロセッサ単体の性能を上げることに関界が近づき、コンピュータを複数台用いて処理速度を上げる並列計算機が注目され始めた。

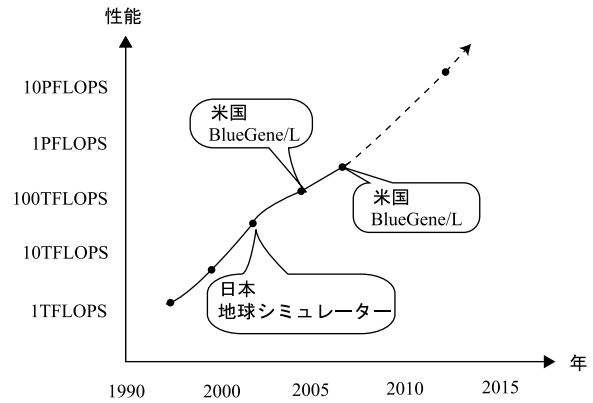


Fig.1 スーパーコンピュータ性能の遷移 (1) より参照

### 3.3 コンピュータの構成

コンピュータの種類には大きく分けてスカラー型、ベクトル型の計算機が存在する。Fig. 2 がそのイメージである。

- スカラー型  
1 命令で 1 データを処理する。逐次的に処理する計算に向く。コストパフォーマンスに優れる。
- ベクトル型  
1 命令で複数データを処理する。似たような処理を複数同時に処理することができ大規模な計算に向く。

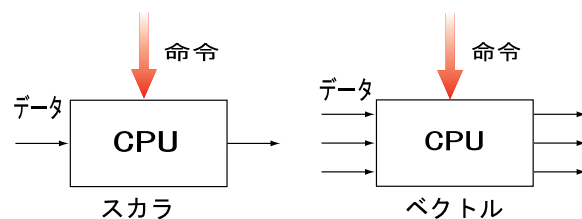


Fig.2 スカラー型とベクトル型 (2) より参照

### 3.4 並列計算機の実現課題とスカラー型

並列計算機は、複数台のコンピュータをつなぎ合わせたものであるが、単にコンピュータをつないだからといって、各コンピュータが 100% の力を出せるとは限らない。並列計算機を多数連結させその性能を引き出す上で、改善すべき点として次のようなものが挙げられる。

- プロセッサ間の通信における高速化
- 大規模な計算機による LSI 消費電力の削減
- CPU とメモリ間通信の速度の改善
- ノード間結合による実行効率の向上
- OS、アプリケーション等の開発

このような問題に対する技術の進歩により、スカラ型の構成でも並列化させた場合、ベクトル型に匹敵する演算速度を得ることができるようになった。また、TOP500の評価がスカラ型に適していることやコスト的な問題から、並列スカラ型のスーパーコンピュータが台頭してきた。スーパーコンピュータの性能は今や国家レベルの指標となっているため、信頼の高いTOP500での上位を狙う点からも、主としてスカラ型並列計算機による技術の向上は、今後しばらく加速すると見られている。

### 3.5 BlueGene/L

「BlueGene/L」はアメリカで作られ、TOP500において現在首位に立つスカラ型のスーパーコンピュータである。CPU1つ1つが低消費電力の組み込み型のPowerPC440を用いることで、全体的な消費電力や設置面積を削減している。小さなCPUのため高集積化でき、大量のCPUを使った高速化を図っていることが大きな特徴である。その構成は、1チップに2プロセッサとキャッシュメモリ、このチップ2個とメモリが1枚のカードに搭載される。このカード16個が1つのノードボードに搭載され、これが32枚収納されたキャビネットが1つの単位となり、システムはこのキャビネット64台から構成される。プロセッサの全数は131072個となり、莫大なプロセッサ数から高い性能を引き出している。Fig. 3はその集積イメージである。

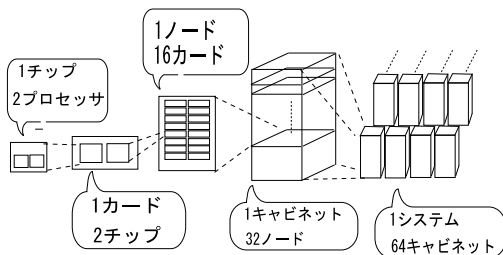


Fig.3 BlueGene/Lの構成 (4)より参照)

## 4 次世代スーパーコンピュータ

現在計画されているスーパーコンピュータには、1秒に1ペタフロップスを超える計算機の開発がいくつかあるが、その中でも日本が国を挙げて構築を計画している京速計算機について述べる。

### 4.1 京速計算機

京速計算機とは、現在日本が開発計画を進めている次世代スーパーコンピュータである。現在スーパーコンピュータの開発でアメリカに首位の座を奪われている。しかし、製品の落下衝突などのシミュレーションなど、産業におけるスーパーコンピュータの需要が上がってきたことから、スーパーコンピュータの開発は産業における競争力の鍵を握ると考えられている。そのため、スーパーコンピュータを日本独自で推進していく必要があり、スーパーコンピュータの開発において、今後競争力をトップに維持し続ける基盤となるものとして、京速計算機は考えられている。

### 4.2 京速計算機の開発計画

今回開発計画されている京速計算機では、1秒に1京回の計算速度を越えることとすることを目標としているため、今後のスーパーコンピュータ開発の基盤となるため、成熟度の高い既存の技術を組み合わせてコンピュータ開発に取り組むことが予定されている。通信速度自体を上げるため光を用いた通信技術や、低電力デバイスなどを組み込むことが考えられている。その例として以下のものが挙げられる。

- 光インターコネクション

CPUとメモリ間やノード間における通信において、CPUの処理速度に見合うだけの通信速度が確保できていない。そのため、高速かつ大容量で切替転送可能にするための光パケットスイッチなど、光対応の通信設計、コネクタの開発が進んでいる。光パケットスイッチ導入の効果として以下のようなことが考えられる。Fig. 4は光通信のイメージである。

- 波長多重技術の適用によるケーブル本数の削減
- 光のままスイッチングが可能
- 消費電力の削減が可能

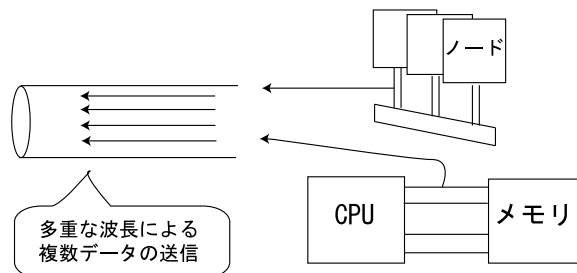


Fig.4 光の波長多重通信 (5)より参照)

- デバイスの開発

微細化に伴う高集積化・高速化によりLSIの消費電力は増大している。それに適合した設計手法、素子構造を含めた新しい低電力化手法が求められている。特に発熱や消費電力の削減において、リーク電流の問題が挙げられる。ゲート絶縁膜として高誘電率体(High-k)を用いることで、リーク電流を抑え、大量の電流を流す手法が考えられている。また、共有メモリを用いた多階層のメモリ構造などをもつ高速なデバイスの開発が進められている。Fig. 5はLSI構造のリーク電流の抑える方法である。

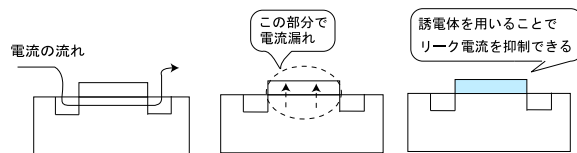


Fig.5 LSIのリーク電力抑制 (6)より参照)

こういった成熟した技術の取り組みが京速計算機以降のスーパーコンピュータの将来につながるとされている。

またこれらの技術は並列化による性能向上を基本に考えられているが、スカラ型並列計算機だけでは、現在のあらゆる問題に対応できるというわけではない。例えば、スカラ型よりベクトル型の方が実際の科学問題のシミュレーションには向いている。1つのコンピュータで全てを行うことは現在難しく、Linpack ベンチマークによる計算速度を重視した評価への疑問の声もあり、次世代のスーパーコンピュータとして考えられる京速計算機では、様々な特性の計算課題に柔軟に対応するため、ベクトル計算機、スカラ計算機、またある分野に特化した専用計算機を組み合わせる方法も考えられている。

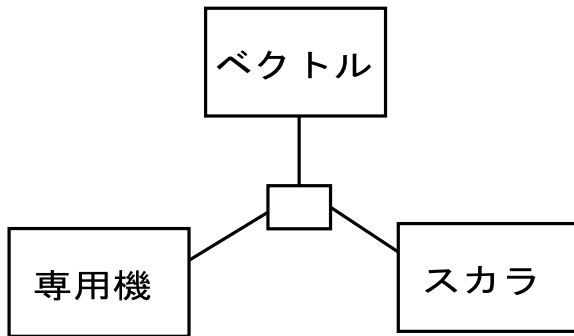


Fig.6 スーパーコンピュータの複合 (参照<sup>3)</sup>)

## 5 まとめ

スーパーコンピュータは複数台のコンピュータを並列に繋ぎ合わせることで、高速な処理を可能とする並列計算機である。現在のスーパーコンピュータの性能向上は並列化による部分が強い。また、スーパーコンピュータの評価の基準やコスト面からベクトル型よりスカラ型が最近では主流である。今後しばらくスカラ型の並列計算機が重視される時代が続くと見られている。過去、現在、未来を通して、並列化による性能の向上には、CPU やメモリなど通信の高速化や消費電力の削減、が求められている。京速計算機では主に2つの側面からのスーパーコンピュータの開発進められている。1つは既存技術の適応促進による次世代スーパーコンピュータの基盤の開発である。2つ目は、今後あらゆる分野で適用できるものが望ましいことから、汎用性の高い複合型の次世代スーパーコンピュータの実現である。京速計算機は、これら2点を柱とした高い性能を持ったスーパーコンピュータとして高い期待をかけられている。

## 6 次世代スーパーコンピュータによる展望

今やスーパーコンピュータの性能の高さは、社会・経済などにおいて国家の指標となっていると言ってもいいほどである。次世代スーパーコンピュータで実現できるものには以下のようなものが考えられる。災害分野での津波や地震による二次災害も含めた対策案の作成、医学分野における蛋白質をはじめとする、人体情報のシミュレーションの時間軽減といったことなど、今までとは異なり、処理速度の向上、より高い精度での分析が望め、ま

た今まで不可能とされてきた事物が可能になると予測されている。さらに産業分野におけるニーズも拡大すると見られ、これまで各国が次世代スーパーコンピュータに莫大な投資をしてきたが、その成果としての見返りは十分に期待できる。しかし、数十年後には高速化の物理的限界がくるとされている。今後の科学技術の発展も踏まえて、より一層の向上技術や新たな技術の開発が期待される。

## 参考文献

- 1) 「TOP500」  
<http://www.top500.org/>
- 2) 「並列クラスタ超入門」  
<http://www.is.doshisha.ac.jp/SMPP/report/1999/990910/9909-1lecture.pdf>
- 3) 「京速コンピュータへの挑戦」  
[http://www.psiproject.jp/images/dis/tadashi\\_watanabe\\_20051219.pdf](http://www.psiproject.jp/images/dis/tadashi_watanabe_20051219.pdf)
- 4) 「マイコミジャーナル」  
<http://journal.mycom.co.jp/>
- 5) 「光技術を用いた超高バンドスイッチング技術の開発」  
[http://www.psiproject.jp/images/dis/hiroshi\\_onaka\\_20051219.pdf](http://www.psiproject.jp/images/dis/hiroshi_onaka_20051219.pdf)
- 6) 「次世代ゲート絶縁膜」  
<http://mos.ec.t.kanazawa-u.ac.jp/htmls/theme/ZrO2/ZrO2.htm>