

# 世界のスーパーコンピュータの動向 (2014年)

野村 稔

## 概要

最近のスーパーコンピュータの動向を概観すると、「演算性能のなだらかな伸び」「電力効率改善は道半ば」「データインテンシブ処理の増大」「ペタ Flops 超の高性能スーパーコンピュータの普及」「エクサスケールへ向けた具体化の動き」「プロセッサ開発における選択肢の増加」などが見える。将来を見据え、高速演算・高速データ転送・低電力化・ポストシリコンなどに向け、商用化量子コンピュータの出現、カーボンナノチューブを用いた論理回路の試作、光インターコネクットの研究、データ移動を抑えるソフトウェア研究等の動きが出ており、その進展が目される。

今後の高性能スーパーコンピュータの実現には、ハードウェア・ソフトウェア・システム全体の総合的な改善が必要となる。そのための課題は複雑化・多様化しており、グローバル環境での競争と協調を戦略的に考えたコラボレーションがますます重要となる。その事例としての日米間の協調体制による研究開発において、世界を先導する成果の創出が期待される。

**キーワード：**スーパーコンピュータ、科学技術、性能ランキング、エクサスケール

## 1 はじめに

現在、世界的にみて、大規模な科学技術計算に用いられるスーパーコンピュータが、科学技術面、経済面で国の将来に大きな影響を及ぼすという認識が広まりつつある。そのため、世界中の国々で開発および導入競争が激化している。

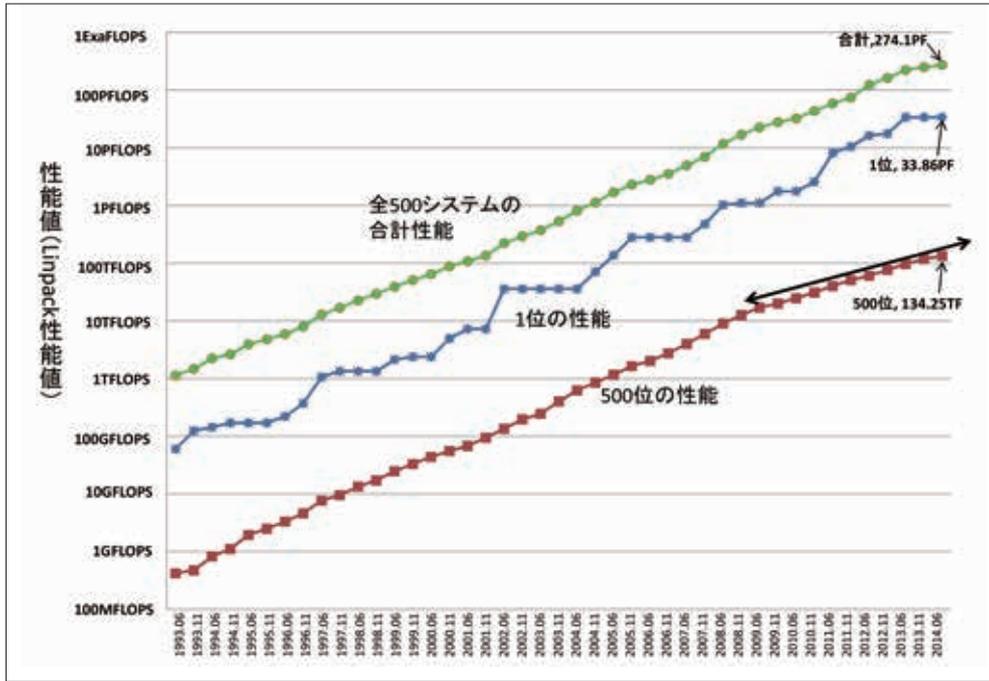
本稿では、科学技術動向 (2013年8月号)<sup>1)</sup> から現在までの変化に注目し、ランキングリストにみる世界のスーパーコンピュータの状況、グローバル化の進展状況、新しい動きなどを紹介する。

## 2 世界のスーパーコンピュータの状況

### 1) 演算性能の伸び

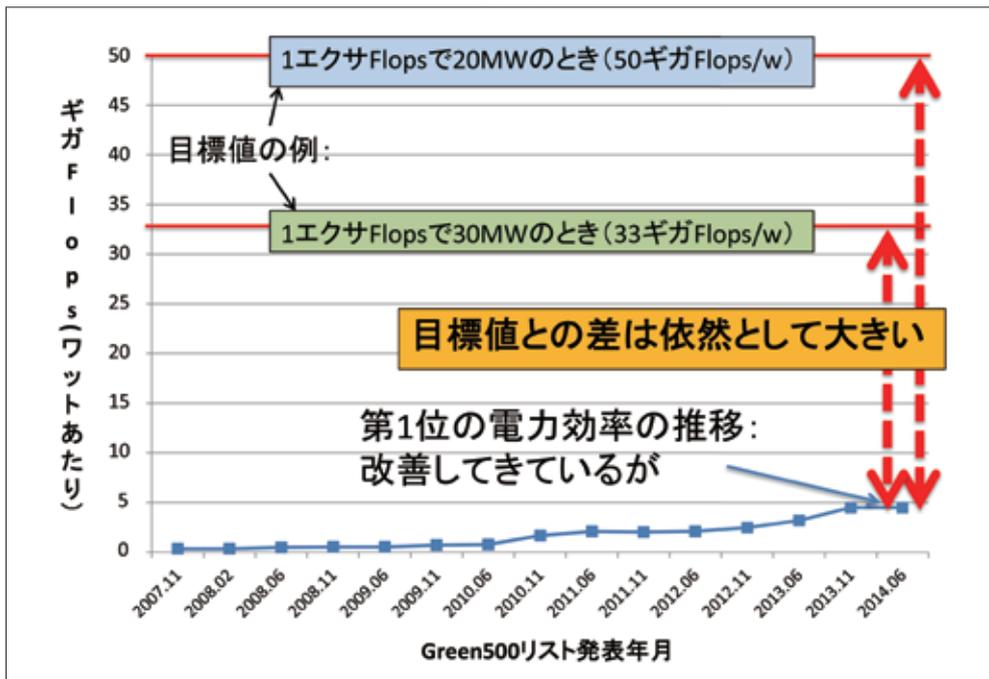
図表1に2014年6月に公表されたスーパーコンピュータの演算性能のランキングリストであるTOP500リスト<sup>2)</sup>に記載されている、全500システムの合計、第1位、500位に対するLinpack性能(実効性能)の推移を示す。1位は過去何度か性能で飛躍を遂げているがここ1年間の変化はない。最近、500位の性能、および全システムの合計性能の伸びがなだらかになっており今回もその傾向は継続している。具体的には、500位の性能の伸びの年率は、1993年から2008年までは90数%だったが、それ以降は50数%へと低下している。また、第10位までのシステムでは過去1年間に2システムが置換されたのみであり、大幅な置換が見られたそれ以前の傾向とは大きく異なっている。500位までで前回リストから置換されたシステム数も116と、1年前の178を大

図表1 Linpack 性能の推移



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 電力効率の推移



出典：参考文献3を基に科学技術動向研究センターにて作成

幅に下回っている。半導体微細化から得られる恩恵（高速化、低電力化、低コスト化）の陰りを反映してか性能の伸びに若干の停滞傾向が見えている。

## 2) 電力効率の改善

Linpack ベンチマーク実行時の性能と電力に基づいた電力効率 (Flops/w) のランキングリストである Green500<sup>3)</sup> の最新リストではトップ17位までをCPUとアクセラレータ (GPU [画像処理プロセッ

サ] やコプロセッサなど) を組合わせて構成したヘテロジニアスシステムが占めている。

図表2にGreen500での第1位の過去の電力効率の推移を示す。最新リストでは、日本のヘテロジニアスシステム (東京工業大学のTSUBAME-KFC) が4.5 GigaFlops/wと突出した値で前回同様第1位を獲得した。しかし、以前の第1位から40%改善しているこの電力効率ですら1エクサFlopsの目標値 (仮定) との間の差は大きく、電力効率改善はま

だ道半ばの状況が継続している。ハードウェアのみの改善では限界があり、ソフトウェアも合わせたシステム全体の総合的な改善が重要となる。

### 3) データインテンシブ処理の増大

Graph500 リスト<sup>4)</sup>のベンチマークはビッグデータに向けたグラフ関連処理の性能を対象としている。その背景には、今までは、高度な計算に重点が置かれた問題を解くことを目指してきたが、現在は、プロセッサ・メモリー間、プロセッサ間などでデータを転送するインターコネクト性能の高度化も求められるデータインテンシブなアプリケーションの増加がある。最新リストの掲載システム数は174で、日本の京コンピュータが第1位となった。

### 4) ハードウェアアーキテクチャの多様化

TOP500 リスト中で演算部がCPUで構成されるシステムの割合は87%で、ヘテロジニアスシステムは13%である。現状で実装されているCPUのコア数は6から8コアが支配的であるが、今後、60コア以上のメニーコアプロセッサの製品化も間近とみられ、アーキテクチャはさらに多様化しそうだ。高い演算性能・電力効率・データインテンシブ処理能力などのスーパーコンピュータをめざし様々なアーキテクチャの出現が続いている。

## 3 グローバル化の進展状況

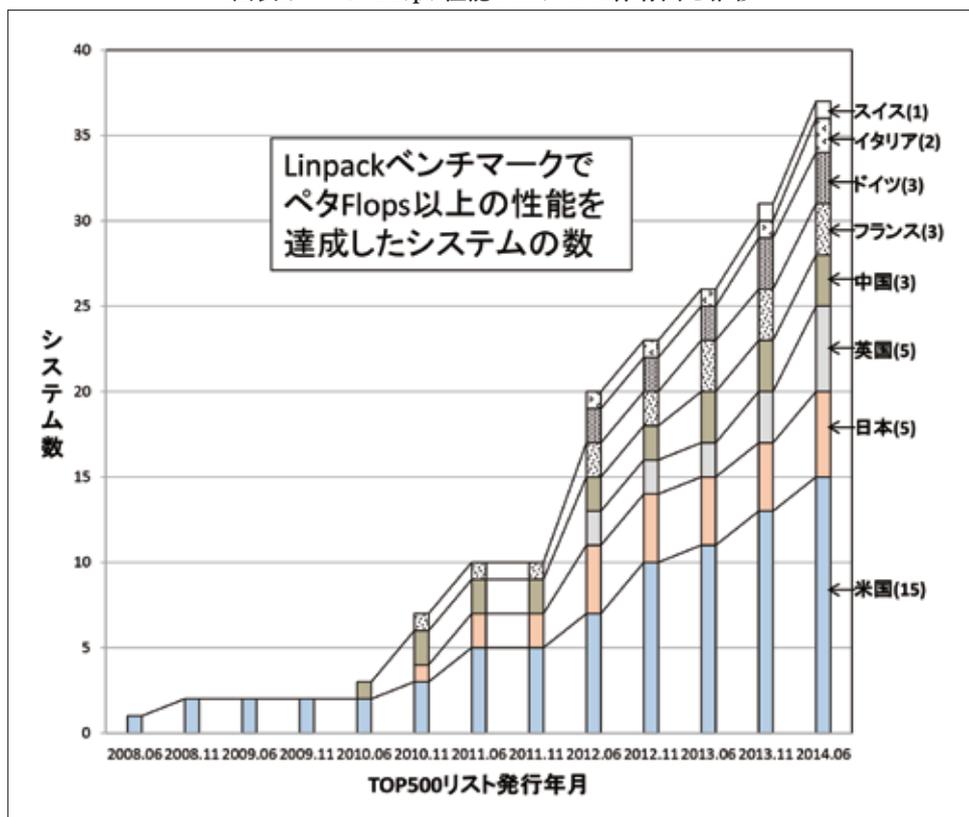
### 1) 導入国の広がり (導入のグローバル化)

最新のTOP500 リストに記載されている国々は29か国で1年前からは2か国の増加となっている。特筆できるのは、1ペタFlops (以下、PFと略す) 以上の実効性能を持つシステムを所有する国々の増加である。図表3は、それらの国々とそのシステム数の推移を示す。すでに8か国が所有しており、そのシステム数もここ3年で急激に増加している。最新リストでは合計で37システム (内、ヘテロジニアスシステムは10) となっている。

### 2) 研究開発のグローバル化

ソフトウェアやアプリケーションに関して各国間でのコラボレーションが積極的に進められている。文部科学省は2014年6月に米国DOEとの間でシステムソフトウェアの開発に関する協力取極を締結した。これにより、ハードウェア開発は各国での競争となるが、ハードウェア上で動作するアプリケーションの共通基盤となるシステムソフトウェアの研究開発で日米間が協調体制をとる。

図表3 ペタFlops性能システムの保有国と推移



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 4 新しい動き

### 4-1 次世代スーパーコンピュータに向けた動き

#### 1) 米国

米国 DOE の Advanced Scientific Computing Research (ASCR) による Exascale Computing Initiative (ECI) で提案されているエクサスケール・コンピューティング構想のタイムラインでは、ノード・プロトタイプを 2018 年度初頭、ペタスケール・プロトタイプを 2019 年度初頭、エクサスケールのプロトタイプを 2022 年度初頭に予定している<sup>5)</sup>。

そのタイムラインにはハードウェア関連の研究開発プロジェクトとして、Fast Forward と Design Forward の記載がある。Fast Forward は、2012 年 7 月から 2 年契約でプロセッサ・メモリ・ストレージ & I/O などの要素技術の研究開発へ 6,244 万ドルを投資したプロジェクトであり、2014 年 4 月には後続の Fast Forward2 の提案依頼書 (RFP) が発行されている<sup>6)</sup>。図表 4 に Design Forward と Fast Forward2 の概要を示す。なお、Design Forward の後続として、2014 年 7 月には Design Forward2 の RFP が発行されている。

その他、2015 年以降のソフトウェアテクノロジー

(プログラミング環境、OS/ランタイム、ライブラリ) の研究開発や、すでに実施中のエクサスケールのコデザインとエクストリームスケール研究プログラム (基礎技術) の記載もある<sup>5)</sup>。

また、図表 4 に 2014 年 7 月に RFP を発行した「Resilience for Extreme Scale Supercomputing Systems」の概要も合わせて示す。このプログラムは、レジリエンス (回復力、復元力、耐久力などの意) を対象としており、エクストリーム規模の並列コンピューティング環境でのシステムの安定した動作を重視している<sup>7)</sup>。

エクサスケールに至る途中に、高性能スーパーコンピュータを導入する計画も遂行中である。DOE のローレンスリバモア、アルゴンヌ、オークリッジの各国立研究所は、それぞれ世界トップレベルのスーパーコンピュータである Sequoia、Mira、Titan を所有している。現在、これら 3 研究所は、「CORAL」と命名されたスーパーコンピュータの共同調達活動を推進しており、導入時期は 2017 年から 2018 年頃と計画している<sup>8)</sup>。

#### 2) 欧州

EU のファンディングによるエクサスケール研究開発プロジェクトは、CRESTA、DEEP/DEEP-ER、Mont-Blanc/Mont-Blanc2 が進行中であり、さらに図表 5 に示す 3 プロジェクトが加わり、合計 6 プロジェクトが現在進行中である<sup>1,9)</sup>。

図表 4 DOE のエクサスケール研究開発プロジェクト (抜粋)

プロジェクト	期間とファンド	投資の対象と参加ベンダー
Design Forward	2013年秋から 2年の契約 2,540万ドル	インターコネクトアーキテクチャおよび技術、データ移動および信頼性などシステム寄りの研究開発投資。 参加は5ベンダー (AMD、Cray、IBM、Intel、NVIDIA)
Fast Forward2	2014年7月から 27か月の契約 約1億ドル	Fast Forwardの後続プロジェクト。 2020年-2023年の製品化時期を想定したノードアーキテクチャとメモリ技術への研究開発投資
Resilience に関する研究 (新規プログラム)	2015年4月から 3年の契約 年400万ドル (最大)	Resilience for Extreme Scale Supercomputing Systems エクサスケールのアプリケーションが正しくタイムリーに正確な結果を生成できることを目的とし、故障検出とカテゴリー化・故障軽減・異常検出と故障回避、の3領域にフォーカスした研究開発に投資

出典：参考文献 5、6、7 を基に科学技術動向研究センターにて編集

図表 5 新たに加わった EU のエクサスケールプロジェクト

名称	内容	構成メンバー
EPiGRAM(Exascale ProGramming Models)	エクサスケール時代のプログラミングモデルの開拓	スウェーデン、オーストリア、ドイツ、英国、米国からの6メンバー
EXA2CT(Exascale Algorithms and Advanced Computational Techniques)	数値シミュレーションアルゴリズムと計算技術開拓によるアプリケーションのスケール化	ドイツ、ベルギー、フランス、イタリア他からの10メンバー
NUMEXAS(Numerical Methods and Tools for Key Exascale Computing Challenges in Engineering and Applied Sciences)	数100万コアまでにスケラブルな次世代の数値手法の開発、実装、評価	スウェーデン、オーストリア、ドイツ、英国、米国、スペイン、ドイツ、ギリシャからの6メンバー

出典：参考文献 9 を基に科学技術動向研究センターにて編集

### 3) 中国

最新のTOP500リストでは3回連続で第1位を獲得し、システム数も米国に次ぐ第2位(76システム)を誇っている中国であるが、中国製システムは10、そのうち中国製のプロセッサを主演算部に使用したシステムは1とまだ少ない。しかし、中国は2015年に100PFシステムを開発するとし、現在、その計画を推進中である。2014年1月にIBM社がx86サーバー事業を中国のLenovo Groupに売却すると発表した。契約はまだ完結してはいないが大きな変化である。

### 4) 日本

文部科学省は、2020年までに、世界トップレベルで幅広い課題に対応できる汎用のシステムを実現し、エクサスケールを目指すとしている<sup>10)</sup>。そして理化学研究所は、前述のシステムおよびその性能を最大限に引き出すアプリケーションソフトウェアの開発に着手するため、2014年4月1日から計算科学研究機構に「エクサスケールコンピューティング開発プロジェクト」を設置している<sup>11)</sup>。

## 4-2 プロセッサ開発における 選択肢の増加

プロセッサアーキテクチャの知的財産(IP)のライセンス販売は大きなビジネスとなっており、形態にもよるがライセンス提供を受けると独自のプロセッサが開発可能となる。

英国のARM社は、組み込みデバイス領域でその存在感が高いが、最近、高性能サーバー領域向けのプロセッサアーキテクチャのIPライセンス提供を開始しており、そのIPを採用したチップを実装したスーパーコンピュータの出現も予見される。

IBM社は、2013年にOpenPOWER Foundationを設立、参加企業にはIBM社が開発したPOWERプロセッサアーキテクチャを公開する計画であり、

2014年8月現在、参画企業30、大学・研究機関12が名を連ねている<sup>12)</sup>。

プロセッサを開発する場合、独力で全てを開発する方法以外の選択肢が増加してきている。

## 5 おわりに

最近のスーパーコンピュータの動向を概観すると、「演算性能のなだらかな伸び」「電力効率改善は道半ば」「データインテンシブ処理の増大」「ペタFlops超の高性能スーパーコンピュータの普及」「エクサスケールへ向けた具体化の動き」「プロセッサ開発における選択肢の増加」などが見える。プロセッサとメモリ間の超広帯域化に向けた高速な3次元積層メモリの採用<sup>13)</sup>は、今、研究・試行レベルから具体的実装レベルへと進化しつつある。また、パッケージ内に3次元積層メモリ、プロセッサ、インタコネク、光—電気変換など、同一チップ上では実現が困難な多様なシステム構成要素を実装することでシステムの最適化を目指す技術開発も進められつつある。さらに将来を見据え、高速演算・高速データ転送・低電力化・ポストシリコンなどに向け、商用化量子コンピュータの出現、カーボンナノチューブを用いた論理回路の試作、光インターコネクの研究、データ移動を抑えるソフトウェア研究等の動きが出ており、その進展が注目される。

今後の高性能スーパーコンピュータの実現にはハードウェア・ソフトウェア・システム全体の総合的な改善が必要となる。そのための課題は複雑化・多様化しており、グローバル環境での競争と協調を戦略的に考えたコラボレーションがますます重要となる。その事例としての日米間の協調体制による研究開発において、世界を先導する成果の創出が期待される。

## 参考文献

- 1) 野村稔、「世界のスーパーコンピュータの動向」科学技術動向、No. 137、2013年8月、p11-18：  
<http://hdl.handle.net/11035/2415>
- 2) TOP500：<http://www.top500.org/>
- 3) Green500：<http://www.green500.org/>
- 4) Graph500：<http://www.graph500.org/>
- 5) William Harrod、「Office of Science Big Data and Scientific Discovery」BDEC、2014年2月26日

- 6) [https://asc.llnl.gov/fastforward/rfp/04\\_DraftSOW\\_04-03-2014.pdf](https://asc.llnl.gov/fastforward/rfp/04_DraftSOW_04-03-2014.pdf)
- 7) <http://www.grants.gov/web/grants/view-opportunity.html?oppId=260430>
- 8) CORAL Request for Proposal B604142 : <https://asc.llnl.gov/CORAL/>
- 9) 「Joint European Exascale Projects Workshop」:  
<http://www.cresta-project.eu/news-events/joint-european-exascale-projects-workshop-edinburgh-18th-19th-march-slides-and-presentations.html>
- 10) 「ポスト『京』の開発 (フラグシップ 2020 プロジェクト)」、文部科学省:  
[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/other/\\_icsFiles/afiedfile/2014/09/02/1351653\\_04.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afiedfile/2014/09/02/1351653_04.pdf) p62
- 11) <http://www.aics.riken.jp/jp/exascale/14498.html>
- 12) OpenPOWER : <http://openpowerfoundation.org/>
- 13) 野村稔、「コンピュータシステムの高性能化への動き—プロセッサと主記憶間のデータ移動に関する課題の改善—」  
科学技術動向、No. 139、2013年10月、p11-16 : <http://hdl.handle.net/11035/2436>

..... **執筆者プロフィール** .....



**野村 稔**

科学技術動向研究センター 客員研究官

企業にてコンピュータ設計用 CAD の研究開発、ハイパフォーマンス・コンピューティング領域、ユビキタス領域のビジネス開発に従事後、現職。スーパーコンピュータ、ビッグデータ、半導体技術、LSI 設計技術等の科学技術動向に興味を持つ。