

## TSUBAME の Extreme な飛翔 Extreme なグリーンや Extreme なビッグデータ

松岡 聡 (SATOSHI MATSUOKA)<sup>†1</sup>

2010年11月より東京工業大学・学術国際センターが開発・運用している TSUBAME2.0 は、2013年9月より、TSUBAME2.5 (図1) にアップグレードされた。理論最高性能は倍精度演算では 2.4 ペタフロップスから 5.7 ペタフロップスへ、単精度演算性能では 4.8 ペタフロップスから 17.1 ペタフロップスへと3倍以上になり、2013年9月現在ではこの尺度では我が国最速のスパコンとなった。大幅な性能向上にもかかわらず、平均電力は1~2割程度削減され、ソフトウェアの上位互換性も保持されつつ、ベンチマークだけでなく実際のアプリでもマシン全体で2~3倍の性能向上を示しており、今後も我が国の学術スパコンの全国インフラである HPCI において、リーディングマシンの一つとして活躍することが高く期待されている。

TSUBAME2.5 により、その後継である TSUBAME3.0 は1~2年ほど実現が延びることとなった。現在、我々はその実現に向けて様々な研究開発を行っている。TSUBAME3.0 はプレエクサスパコンとして、また将来のビッグデータとスパコンの統合を実現するマシンとして、大変重要な位置づけとなる、と期待している。

研究開発の重要な項目の一つは省電力で、エクサスケールにおける 50GFlops/W に向けて、着々と研究と進歩を重ねている。その成果の一つが2013年10月に稼動を開始したスーパーコンピュータ「TSUBAME-KFC (図2)」であり、スパコンの電力性能ランキングの The Green 500 List の2013年11月版において1ワットあたり4,503.17メガフロップスという2位以下を大きく引き離す値を記録し、世界一位になった。The Green 500 List で日本のスパコンが一位になったのは初めてであり、エクサスケールの実現に向けて日米合同の技術リーダーシップを示したといえる。同時にビッグデータ処理の省エネルギー性を競うために今年から始まった The Green Graph 500 List のビッグデータ部門においても世界1位となり、省エネに関するランキングで世界初の二冠となった。また、TSUBAME2.5 も The Green 500 List において世界6位にランキングされ、TSUBAME2.0 の3倍以上の電力効率を示した。

TSUBAME-KFC は TSUBAME3.0 及びそれ以降のためのプロトタイプ・テストベッドシステムとして、JST-CREST 「Ultra Low Power HPC」の基礎的成果をさらに実用実験に発展させた「スパコン・クラウド情報基盤におけるウルト

ラグリーン化技術」プロジェクトにおいて設計・開発されたもので、スーパーコンピュータの消費電力とそれに係る冷却電力の双方の削減を目標としている。TSUBAME-KFC は計算ノードを循環する油性冷却溶媒液の中に計算機システムを浸して冷却する油浸冷却技術及び冷却塔による大気冷却の組み合わせによって非常に少ない消費電力で冷却できるように設計されている。

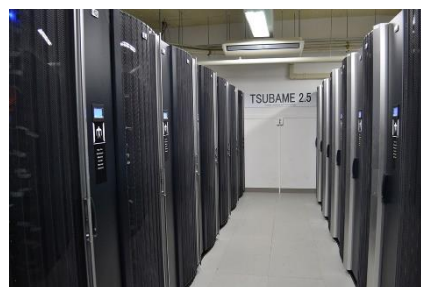


図1 TSUBAME 2.5



図2 TSUBAME-KFC

TSUBAME3.0 でもう一つ重要な新たな基軸はビッグデータに対するスパコンとビッグデータ向けクラウド・IDCインフラの統合であり、我々の新プロジェクトである JST-CREST の “Extreme Big Data” はそれに向けた基礎研究 TSUBAME3.0 でもう一つ重要な新たな基軸はビッグデータに対するスパコンとビッグデータ向けクラウド・IDCインフラの統合であり、我々の新プロジェクトである JST-CREST の “Extreme Big Data” はそれに向けた基礎研究を行っている。「ビッグデータ」の現在の実情はサイロ化された比較的小規模なデータに対する処理が中心だが、将来はオープンデータ化したサイエンス分野のようにサイロが崩壊し、更に IoT 等でデータの量と種別の爆発的な増加が起こると予想されている。そこでは一見無相関なゼータ~ヨッタバイトに至る非構造的なデータに対し高次の  $O(n \times m)$  のマッチングやグラフや種々の処理を行う必要があり、ペタ~エクサフロップスのシミュレーションとの同化を行

<sup>†1</sup> 東京工業大学・学術国際情報センター  
Global Scientific Information and Computing Center,  
Tokyo Institute of Technology

う需要もある。このような要求を我々は Extreme Big Data(EBD)と呼ぶが、EBD はシステムに今までにない莫大な計算・容量・バンド幅と同時に、性能ロスが最少でリアルタイム性のサポート、更には柔軟なシステムソフトウェアやプログラミングを要求するが、現存の IDC・クラウドのインフラ及びスパコンのインフラは不十分である。そこで、我々はそれらの技術の融合(コンバージェンス)を各システムレイヤで革新的に果たし、最終的には現在の Google, Amazon などの IDC が現在保有するデータ処理能力の 10 万倍以上である「ヨットバイト/年」の処理能力を達成する要素技術とその統合化アーキテクチャの研究開発を狙う。その鍵となる技術は、不揮発メモリと processor-in-memory 技術の高性能・安価な統合、高バンド幅メニーコアプロセッサの活用、数十万ノードに分散する高速不揮発メモリのスパコン級ネットワークからの超高速・低レーテンシアアクセスのハードと低レベルソフトウェアスタック、それらを前提した超分散の「EBD オブジェクト」と種々のソフトウェアによる管理・最適化・高信頼化と、EBD の利用シナリオに応じたセマンティックスの実現、さらにはそれらの簡便な利用を可能とする(Map-Reduce に置き換わる)プログラミングレイヤや API の実現、更にはそれらを有効に活用するためのワークフローとリアルタイム性とバッチを共存させてシステムを最適させるスケジューラ、などである。これら要素技術はそれぞれ単独で開発されるのではなく、EBD の典型的かつ社会的に有用なアプリケーショングループとのコ・デザインで統合的に実現され、かつそれらの中途成果として TSUBAME3.0 が開発される。

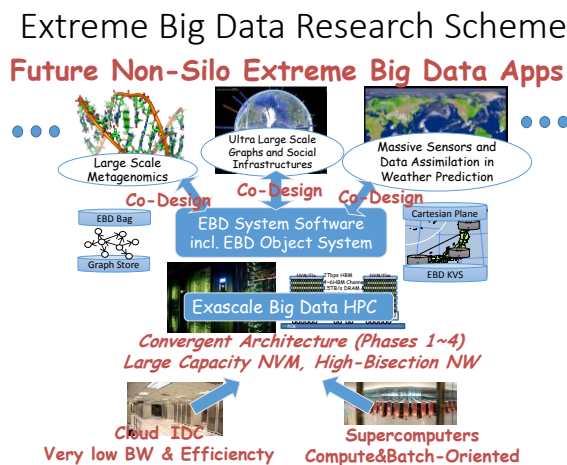


図 3 JST-CREST EBD プロジェクトの概要