

## 新型スーパーコンピュータ「Cygnus」の運用を開始

### 研究成果のポイント

1. 多重複合型演算加速スーパーコンピュータ「Cygnus(シグナス)<sup>注1)</sup>」の稼働を平成31年4月1日から開始します
2. 日本国内で全国共同利用に供されるスーパーコンピュータとして初めて、GPUとFPGA<sup>注2)</sup>を混載するシステムが実現します

筑波大学計算科学研究センター(センター長:梅村雅之)は、演算加速スーパーコンピュータの新世代を切り拓く多重複合型演算加速スーパーコンピュータ「Cygnus」の稼働を平成31年4月1日から開始します。Cygnusは平成31年3月31日をもって運用を停止する同センターのメモリア型スーパーコンピュータCOMAの後継機となりますが、国内初の多重演算加速装置搭載という挑戦的なシステムアーキテクチャとなっており、様々なアプリケーションにおいて、従来の単一種類の演算加速装置ではなし得なかった高い効率と低い電力での高性能計算の実現を目指しています。

Cygnusは、各計算ノードに最大2種類計6基の高性能演算加速装置を搭載し、コンパクトながら極めて高い演算性能を実現します。ベースとなる2基の汎用CPUに加え、4基のGPU(Graphics Processing Unit)と、一部のノードにはさらに2基のFPGA(Field Programmable Gate Array)を搭載します。各ノードのGPU部の倍精度浮動小数点演算性能は28テラフロップス<sup>注3)</sup>、CPU部のそれは2テラフロップスで、合計30テラフロップスです。これに加えFPGA搭載ノードでは、それによる単精度浮動小数点演算性能20テラフロップスが加わります。全体でCPU・GPU搭載ノードが48台、CPU・GPU・FPGA搭載ノードが32台の計80台のノードからなり、倍精度浮動小数点数総演算性能(CPU部及びGPU部)は2.4ペタフロップスになります。

計算科学研究センターでは、平成30年3月まで運用していた演算加速型スーパーコンピュータHAPACSで培われたGPUによる演算加速アプリケーションをCygnusで引き続き利用可能とするだけでなく、新しく搭載されたFPGA部を加え、「演算・通信機能を統合した複合型演算加速スーパーコンピュータ」としてこれを運用し、最先端の計算科学の推進を目指します。

### 概要

今回、筑波大学計算科学研究センターが導入するCygnusは、宇宙・素粒子・生命・人工知能などの研究をけん引する最先端の複合型演算加速スーパーコンピュータです。

本システムの構成は、各計算ノードに最新型GPUを複数台搭載し、さらに最先端のFPGAをも搭載した計算ノードを持つ複合型演算加速機構です。従来以上の演算加速装置を搭載し、コンパクトながら極めて高い演算性能を実現する超並列クラスター型スーパーコンピュータで、今後のエクサスケール(テラの100万倍のスケール)までの展開を視野に入れたアプリケーション開発と計算科学による成果を目指します。

Cygnus は、GPU 搭載ノードである「Deneb ノード」と、GPU・FPGA 搭載ノードである「Albireo ノード」の 2 種類の計算ノードからなるクラスタ型スーパーコンピュータです。どちらのタイプのノードにも米インテル社製の最新 CPU を 2 基と米エヌビディア社製の最新 GPU を 4 基搭載し、Albireo ノードには、これらに加えて米インテル社製の最新 FPGA を 2 基搭載します。システムは 48 台の Deneb ノードと 32 台の Albireo ノードの合計 80 台のノードからなります。FPGA の演算性能は主に単精度浮動小数点で発揮されるため、倍精度浮動小数点ピーク演算性能は GPU と CPU によって供給され、その総性能は 2.4 ペタフロップスになります。これは従来運用していた HA-PACS システムの約 3 倍の性能に相当します。

従来より、高性能計算システム分野では、浮動小数点演算性能を高めるために GPU を用いたクラスタが注目されてきました。近年ではこれに加え、人工知能・ディープラーニング研究にも GPU が適していることが注目されています。Cygnus は、GPU による各種アプリケーションの性能向上に加え、近年注目されている FPGA を積極的に取り入れ、日本国内で全国共同利用に供されるスーパーコンピュータとして初めて、GPU と FPGA を混載するシステムが実現します。FPGA は論理回路そのものを再構成することができるチップであり、近年ではその回路規模・演算性能の向上に加え、独自の外部通信リンクを備え、異なるノードの FPGA 間をこれで接続することで、従来にない画期的な並列 FPGA 計算が可能となります。GPU の演算性能と FPGA の柔軟性及び高速通信機能を組み合わせることにより、様々なアプリケーションの性能最適化が期待されます。

#### 導入背景

近年の最先端スーパーコンピュータでは電力当たりの性能が極めて重要となっており、これを牽引する技術として GPU の積極的利用が注目されています。GPU は代表的な演算加速装置であり、特に均一で高い並列性を持つ科学技術計算に適しています。2018 年 11 月の TOP500 リストにおいて、世界第 1 位および第 2 位にランクされた米国の Summit および Sierra は、計算ノードに複数の GPU を搭載しており、さらに日本国内第 1 位の性能を持つ産業技術総合研究所の ABCI も同様のアーキテクチャを持ちます。GPU 搭載型スーパーコンピュータは従来の大規模計算科学分野に加え、人工知能研究のような新分野への応用が注目されています。

従来の GPU 中心のスーパーコンピュータは、大量の演算を単純並列処理することを得意としています。しかし、不均質な処理が存在したり計算中に並列性が縮小したりするような状況では、その性能を十分に発揮できないという場合があります。その一方で、GPU とは全く異なる手法による演算加速装置も開発されており、その中でも近年注目を浴びているのが FPGA です。FPGA は再構成可能論理回路と呼ばれており、その名の通り、チップ内の回路構成そのものを問題に適合して再構成することができます。従来の CPU や GPU のように、固定化された構成を持たないことで、問題の特性に応じた柔軟な構成を持たせることができます。これを利用するために、ハードウェアを一種のプログラムとして予め設計し、計算開始前に再構成を行なって回路を最適化させます。最先端の FPGA は高性能計算に十分適用可能な回路規模と演算性能を持つだけでなく、チップ内に超高速通信インタフェースをも内蔵しており、演算と通信の両機能を併せ持つことで、従来にない大幅な機能と性能の向上が期待されています。

筑波大学計算科学研究センターでは、GPU と FPGA が互いに相補う特性を持つことに着目し、その両者の特徴を生かしたスーパーコンピュータを開発することを決定しました。GPU と FPGA という 2 種類の演算加速装置を持つことから、多重複合型演算加速スーパーコンピュータと名付け、システム名を Cygnus としました。本格的なスーパーコンピュータに FPGA を積極的に用いるのは国内初の試みであり、世界でも類を見ないチャレンジです。同センターではこれまで、GPU を用いた演算加速型スーパーコンピュータ HA-PACS、さらにこれに FPGA を GPU 間通信機能強化のために用いた HA-PACS/TCA を開発・運用してきました。これらの経験を元に、Cygnus では FPGA をより積極的に演算と通信の両方に活用し、GPU も含めた全方位的な演算・通信加速システムを開発し、従来以上の性能を持つ新しい時代の演算加速型スーパーコンピュータの形を実現します。

## 期待される成果

Cygnus は GPU と FPGA という 2 種類の演算加速装置を駆使し、GPU の持つ単純並列かつ絶対的な演算加速性能に加え、FPGA の持つ柔軟性、さらにその独自の超高速通信機能を総合的に用いた新しい問題解決手法を提供します。宇宙物理学に代表される、複合型物理問題の解決には単純な大規模並列処理と複雑な中小規模計算の組み合わせが必要で、同時に多数の計算ノード間での低遅延通信が求められます。また、並列演算と通信を組み合わせた処理が求められる問題も数多く存在します。さらに、人工知能研究にも FPGA を用いようという試みもなされており、従来型の GPU 中心の人工知能研究の一步先を行く研究の展開が予想されます。

Cygnus は平成 31 年 3 月末に計算科学研究センターに設置され、約 1 ヶ月のテスト運用期間を経て、同年 5 月から全国共同利用プログラムとして同センターが実施する学際共同利用に供され、また文部科学省が推進する HPCI プログラムでも利用可能となる予定です。複数種類の演算加速装置が生み出す、新たな計算科学研究にご期待ください。

## Cygnus の構成とこれを支える最新テクノロジー

Cygnus は世界でも類を見ない多重複合型演算加速スーパーコンピュータであり、多くの高性能計算向け最新テクノロジーにより構築されています。システム構築は NEC 社が担当し、CPU・GPU・FPGA の各部にも最新のパーツが用いられます。さらに、多数の高性能ノード間を結合する相互結合網、全ノードから共有可能な大規模共有ファイルシステム等にも最新のテクノロジーを投入しました。

Cygnus のシステム構成諸元は以下の通りです。

項目	仕様・メーカー
理論ピーク性能	倍精度浮動小数点演算 2.4 ペタフロップス (GPU: 2.24 ペタフロップス, CPU: 1.6 ペタフロップス) FPGA 部: 単精度浮動小数点演算 0.64 ペタフロップス
総ノード数	80 (Albireo ノード 32 台, Deneb ノード 48 台)
各ノードの主記憶	CPU 部: 192 GB DDR4-2666 (255.9 GB/s) GPU 部: 32GB x 4 (3.6TB/s)
各ノードの CPU	Intel Xeon Gold (Skylake) x2 基
各ノードの GPU	NVIDIA Tesla V100 x4 基 (PCIe)
各ノードの FPGA	Nallatech 520N with Intel® Stratix® 10 FPGA x2 基, 各 FPGA に 100Gbps x 4 links の光インターコネクタを装備
共有ファイルシステム	DDN ES14KX, RAID6, Lustre, 2.5 PB
相互結合網(FPGA ネットワークとは独立)	Mellanox InfiniBand HDR100 x4, スイッチは HDR200, ノード当たり 4.8TB/s の通信性能
プログラミング言語	CPU: C, C++, Fortran, OpenMP, GPU: OpenACC, CUDA FPGA: OpenCL, Verilog HDL
システム導入業者	NEC

以下に Cygnus システムの構築コンポーネントを提供したベンダーからのコメントを掲載します。

**日本電気株式会社 AI プラットフォーム事業部長 須藤 和則**

この度、筑波大学計算科学研究センター様が最先端多重複合型計算機システムとして当社の LX シリーズを導入いただきまして、大変光栄です。

今回のシステムは、GPUとFPGAを組み合わせた、高度な演算加速機構を持つ、次世代のアクセラレータ型高性能計算機であり、当社が持つ技術力を結集して、今回の高性能計算機の実現に貢献してまいります。

**NVIDIA Vice President for Accelerated Computing, Ian Buck**

複合型演算加速スーパーコンピュータ「Cygnus」に、NVIDIA Tensor コア GPU と CUDA-X AI アクセラレーション ライブラリをご採用いただき、シミュレーションと AI の技術とを組み合わせることで、高度な科学技術を新たなステージに飛躍させ、コンピューティングの未来をより幅広いものにしていくことでしょう。

**インテル コーポレーション プログラマブル・ソリューションズ事業本部 データセンター・ソリューション・アーキテクト マイク・ストリックランド**

筑波大学の新システムでは、FPGA アクセラレーションを演算だけでなくノード間通信にも適用する革新的な手法を取り入れています。OpenCL の設計容易性を生かしつつ、インテル® Stratix® 10 FPGA 搭載カード 64 枚を 100 Gbps で 2D トーラス状に接続することで、これまでにない高性能・低遅延を実現しています。

**Mellanox Technologies, Vice President of Marketing, Gilad Shainer**

HDR InfiniBand 製品はイン・ネットワーク・コンピューティング アクセラレーションエンジンと共に、世界をリードするアプリケーション性能とスケーラビリティを実現します。我々は、日本初の HDR 採用スーパーコンピュータ“Cygnus”を筑波大学様と構築出来た事を誇りに思います。Cygnus は、学術研究や科学的発見を加速させ、大学での教育プログラムを強化することでしょう。

**株式会社データダイレクト・ネットワークス・ジャパン 代表取締役ロベルト・トリンドル**

データダイレクト・ネットワークス(以下、DDN)は、Cygnus の大容量共有ファイルサーバとして ES14KX アプライアンスを提供します。次世代アクセラレータ型高性能計算機の実現を支援できることは大変光栄でございます。DDN が持つ大容量並列ファイルシステムの実績・経験を元に、今後 Cygnus における人工知能・ディープラーニングと言った新分野の研究にも最大限の支援を行って参ります。



白鳥座をイメージした Cygnus の全景写真

### 用語解説

#### 注1) Cygnus

白鳥座(Cygnus)の左の翼のすぐ上の方向に、高い活動性を示す“Cygnus A”という銀河があります(側面パネルに画像あり)。この銀河の中心には、太陽質量の 30 億倍に達する超巨大なブラックホールがあり、銀河から2方向に高速ガス流(ジェット)が出ています。このジェットは、超巨大なブラックホールが原因となって加速されたガス流であると考えられています。スーパーコンピュータ「Cygnus(シグナス)」は、GPU と FPGA という 2 つの演算加速装置をもつ計算機システムであり、2 つの演算加速装置を Cygnus A の 2 本の加速ガス流になぞらえてこの命名となりました。白鳥が、2つの翼で加速して羽ばたくという意味合いも込められています。

#### 注2) GPU と FPGA

GPU は、もともとは画像処理用に開発された半導体チップですが、一度にたくさんの数値演算を行う大規模並列処理に適していることから、科学技術計算への実用的な適用が進んでいます。FPGA は、電子回路のパターンをプログラムできる(やわらかい)ハードウェアで、GPU のような大量演算の一括処理では効率的に処理できないような計算を高速にこなす機能を実現させ、スーパーコンピュータ全体の演算性能と電力効率を向上させるアプローチです。

#### 注3) フロップス(FLOPS)

計算機の処理性能の指標としてフロップス(FLOPS: Floating-point Operations Per Second)、すなわち 1 秒間に

実行可能な浮動小数点数演算回数(実数演算回数)が用いられます。テラフロップス(TFLOPS:Tera FLOPS) とは  $10^{12}$  フロップス(FLOPS)であり、ペタフロップス(PFLOPS:Peta FLOPS) とは  $10^{15}$  フロップス(FLOPS)となります。

#### 問合わせ先

梅村雅之(研究代表者)

筑波大学計算科学研究センター長／数理物質科学研究科教授

朴 泰祐(Cygnus 開発担当主査)

筑波大学計算科学研究センター／システム情報工学研究科教授

報道担当:

筑波大学計算科学研究センター広報室