

「計算・データ・学習」融合スーパーコンピュータシステム 「Wisteria/BDEC-01」の特長

富士通株式会社
コンピューティング 事業本部
計算科学事業部) 坂口 吉生

1. システムの概要

2021年5月14(金)から試験運用を開始した、「計算・データ・学習」融合スーパーコンピュータシステム「Wisteria/BDEC-01^{*1}」のシステム概要について記載します。

Odyssey は 7,680 台の計算ノード「FUJITSU Supercomputer PRIMEHPC FX1000」で構成され、総理論演算性能(倍精度浮動小数点演算性能)は 25.9 PFLOPS です。FX1000 は高性能プロセッサ(A64FX)と高速メモリを採用し、1 ノードあたり 48 コア/CPU で 3.3TFLOPS(倍精度)の理論演算性能と 1,024GB/s の高いメモリバンド幅を有しています。

Aquarius は 45 台の計算ノード「FUJITSU Server PRIMERGY GX2570 M6」で構成され、総理論演算性能(倍精度浮動小数点演算性能)は 7.2 PFLOPS です。各ノードに NVIDIA A100^{*2}を 8 枚搭載し、複数 GPU 並列実行にも対応します。各ノードは InfiniBand HDR で接続し、ノード間インターコネクト通信とファイル共有を行ないます。

ストレージ環境は、全ての計算ノードとログインノードから、FEFS(Fujitsu Exabyte File System)によりファイル共有され、高速ファイルシステムが 1PB、共有ファイルシステムが 25.8PB で構成されています。以下「図 1」に Wisteria/BDEC-01 のシステム全体の概要を記載します。

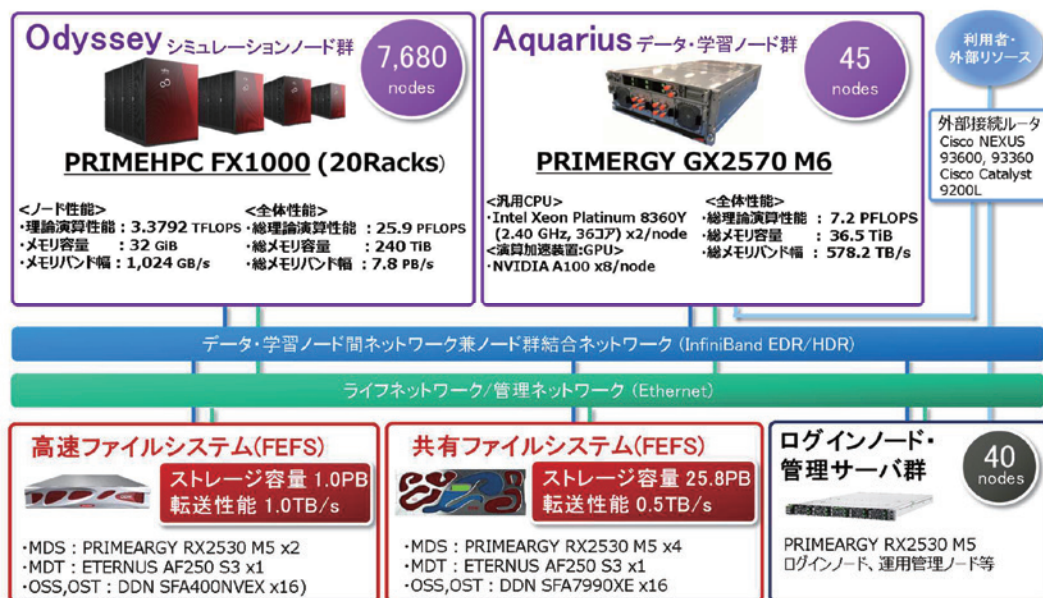


図 1 Wisteria/BDEC-01 システム概要

^{*1} <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/wisteria/service/>

^{*2} 文中に記載のシステム名、製品名等は、必ずしも商標表示(TM、®)を付記していません。

Wisteria/BDEC-01 のシミュレーションノード群の Odyssey および、データ・学習ノード群の Aquarius それぞれのシステム構成を「表 1」に記載します。

表 1 Wisteria/BDEC-01 のシステム構成

項目		Odyssey	Aquarius
機種名		FUJITSU Supercomputer PRIMEHPC FX1000	FUJITSU Server PRIMERGY GX2570 M6
冷却方式		水冷方式	
総理論演算性能		25.9 PFLOPS	7.2 PFLOPS
総ノード数		7,680	45
総メモリ容量		240 TiB	36.5 TiB
総メモリバンド幅		7.8 PB/s	578.2 TB/s
ネットワークトポロジ		6次元メッシュ/トーラス	Full-bisection Fat Tree
CPU	プロセッサ名	A64FX	Intel Xeon Platinum 8360Y
	プロセッサ数	1	2
	コア数	48	72
	アシスタントコア数	2 (計算ノード), 4 (IO 兼計算ノード)	—
	周波数	2.2 GHz	2.4 GHz
	理論演算性能	3.3792 TFLOPS	5.53 TFLOPS
	メモリ容量	32 GiB	512 GiB
	メモリバンド幅	1,024 GB/s	409.6 GB/s
GPU	プロセッサ名	-	NVIDIA A100
	SM 数(単体)		108
	メモリ容量(単体)		40 GiB
	メモリバンド幅(単体)		1,555 GB/s
	理論演算性能(単体)		19.5 TFLOPS
	搭載枚数(ノードあたり)		8
	CPU-GPU 接続		PCI Express Gen4 x 16lane (1 lane 片方向 32 GB/s)
	GPU 間接続		NVLink x 12 本 (1 本あたり片方向 25GB/s)
共有 FS	ファイルシステム	FEFS (Fujitsu Exabyte File System)	
	装置名称	DDN SFA7990XE	
	サーバ数	16	
	ストレージ容量	25.8 PB	
	転送速度	0.5 TB/s	
高速 FS	ファイルシステム	FEFS (Fujitsu Exabyte File System)	
	装置名称	DDN SFA400NVXE	
	サーバ数	16	
	ストレージ容量	1 PB	
	転送速度	1 TB/s	

2. ハードウェアの特長

2.1 FX1000

2.1.1 高性能 Arm プロセッサ「A64FX」とハード構成

A64FX は、CPU チップあたり計算コア 48 個(アシスタントコア 2 or 4 個)、入出力に HBM2 インタフェース 4 組、TofuD インタフェース、PCIe インタフェースを備えます。(表 2 参照)

A64FX を搭載する CPU メモリユニット(以降 CMU と表記)は、コールドプレートに冷水を循環させ、低温を保ち故障率を低く抑えます。BoB(Bunch of Blades)は、8 個の CMU で構成し、16 台の計算ノードとなり FX1000 システムの制御単位となります。また、3 個の BoB 構成をシェルフと呼び、8 シェルフを搭載したラックは、最大 384 ノード構成となります。(図 2 参照)

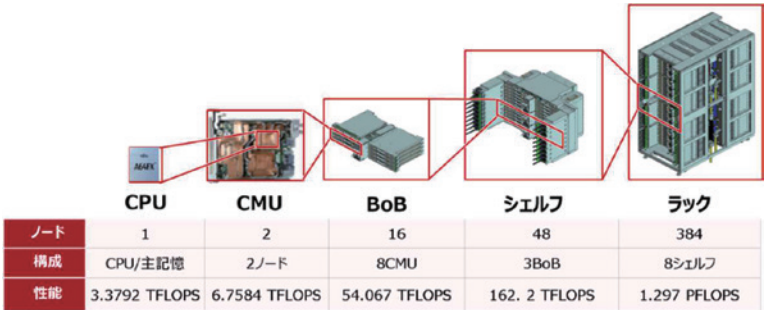


図 2 FX1000 ハードウェア階層と名称

表 2 A64FX 諸元

コア数	計算コア アシスタントコア	48 2 (計算ノード), 4 (IO 兼計算ノード)
ピーク性能		3.3792Tflops (倍精度),6.7584Tflops(単精度),13.5168Tflops(半精度)
L2 キャッシュ容量		32 MiB
メモリ容量		32 GiB
メモリ理論帯域		1,024 GB/s
インターコネクト理論帯域		68 GB/s x2 (in/out)
I/O 理論帯域		15.75 GB/s x2 (in/out)
プロセステクノロジー		7nm CMOS FinFET
トランジスタ数		約 90 億個

2.1.2 Arm 命令セットのベクトル拡張 Scalable Vector Extension

SVE は Armv8-A 命令セットにスケーラブルなベクトル演算を拡張します。SVE のデータ型は一般的な倍精度浮動小数点数、単精度浮動小数点数に加え、深層学習を加速する半精度浮動小数点数(FP16)をサポートします。

2.1.3 3 次元積層メモリ HBM2

A64FX が使用する HBM2 は 2.5 次元実装向けの 3 次元積層メモリです。HBM2 は TSV が形成されたメモリダイを最大 8 枚積層し、独立した 128 ビット幅のチャンネルを 8 つ搭載します。

HBM2 のデータ信号伝送速度は 2.0Gbps で、128 ビット幅のチャンネルあたりメモリ帯域は 32 GB/s です。1 スタックのメモリ帯域は 8 チャンネル合計で 256 GB/s です。HBM2 を 4 スタック使用する A64FX のメモリ帯域は 1,024GB/s、メモリ容量は 32 GiB となります。

2.1.4 ノード・プロセッサ構成

メニーコアプロセッサではコア、キャッシュ、メモリ間の接続方法は非常に重要な課題であり、A64FX では Core Memory Group (以降 CMG と表記) という 4 つのグループに分割する方式を採用しています。1 つの CMG は、12 個の計算コア、2 次キャッシュ、メモリコントローラ、アシスタントコア等で構成されます。4 つの CMG 間はキャッシュ一貫性が維持されており、システムソフトウェアは CMG を NUMA ノードとして扱うことができます。

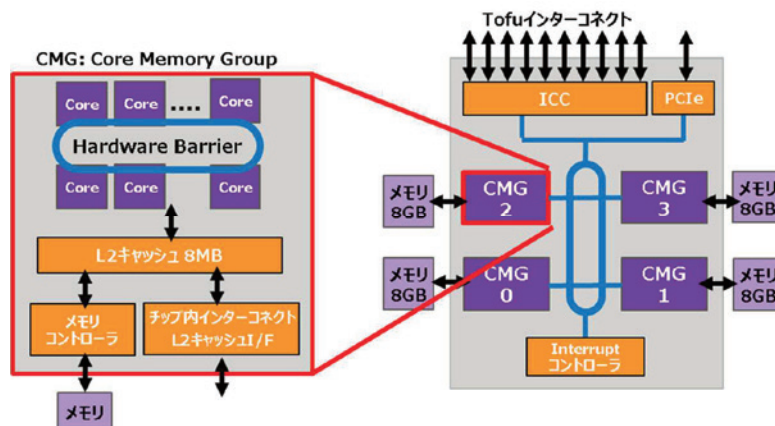


図 3 ノード・プロセッサの構成

2.1.5 Tofu インターコネクト D

TofuD は、A64FX に内蔵された、超並列システムを構築するインターコネクトです。6 次元メッシュ・トーラスのトポロジは、6 次元のうち X, Y, Z 軸はシステム構成により長さが可変で、Odyssey の場合 10, 8, 8 の形状で、残りの A, B, C 軸は長さが 2, 3, 2 に固定されています。

6 次元での相互接続のため、各ノードは 10 個の接続ポートを備えます。ユーザビューのトポロジは、1 次元/2 次元/3 次元の仮想的なトーラスです。バイセクションバンド幅は、XY 面、YZ 面、XZ 面で分割した場合の最小値となります。XY 面分割、YZ 面分割、XZ 面分割で、最小値となる XZ 面分割の場合で、 $10(X \text{ 軸}) \times 8(Z \text{ 軸}) \times 1(Y \text{ 軸メッシュ}) \times 12(\text{Tofu 単位リンク}) \times 6.8\text{GB/s} \times 2(\text{双方向}) / 1000 = 13.056 \text{ TB/s}$ となります。(図 4 参照)

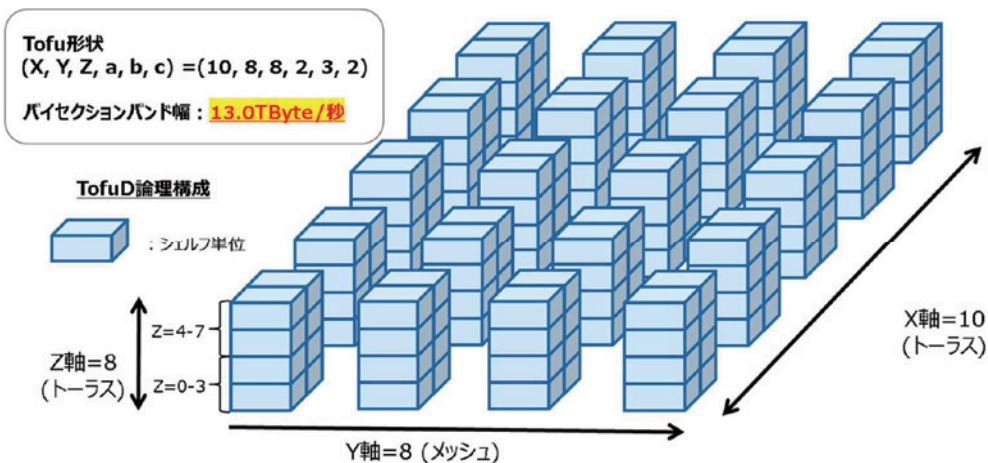


図 4 Odyssey の Tofu 形状とバイセクションバンド幅

2.2 GX2570M6

Aquarius は、8 基の GPU を搭載し、大規模な解析業務や人工知能(AI)/ディープラーニング用途に最適な 2WAY ラック型(4U)サーバ「FUJITSU Server PRIMERGY GX2570 M6」が 45 台で構成されています。GX2570 M6 は、Intel® Xeon Platinum 8360Y を 2 基、メモリ 512GiB、NVIDIA A100 を 8 基、InfiniBand HDR を 4 枚搭載した水冷方式の高密度実装サーバです。(図 5 参照)

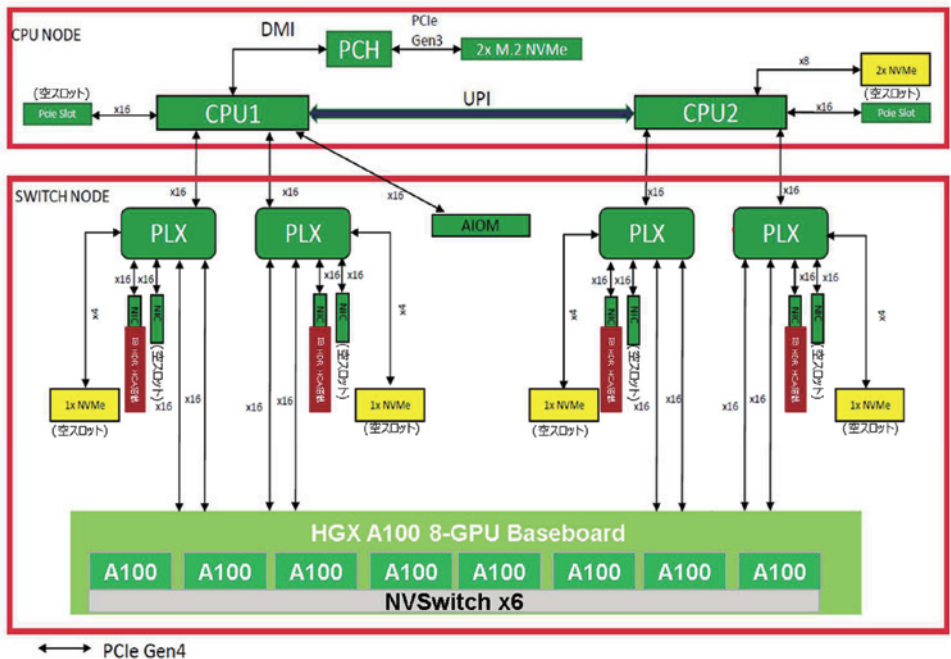


図 5 GX2570M6 のブロック図

2.3 ストレージシステム

2.3.1 共有ファイルシステムの OSS/OST

Wisteria/BDEC-01 の共有ファイルシステムは、「DDN SFA7990XE」1 台と「DDN SS9012 Enclosure」1 台で 1 セットを構成し、合計 16 セットでビルディングブロックを構成しています。

表 3 共有ファイルシステム DDN SFA7990XE

DDN SFA7990XE 1 台あたりの構成	
コントローラ	Active/Active Dual Controller
ストレージキャッシュ	16GiB (Battery-Backup) /Controller
ストレージネットワーク	2port×InfiniBand HDR100 / Controller
管理インタフェース	Mgmt x2、BMC 用 x2
搭載ドライブ	NL-SAS HDD 12TB (7.2krpm)
RAID レベル	RAID6(8D+2P) [ダブルパリティ]
有効利用容量	1.6128 PB
ストレージ転送速度	31.51GByte/秒
DDN SS9012 Enclosure 1 台あたりの構成	
シャーシ	90 Drive Slot / 4U
対応ドライブ	SSD, SAS, NL-SAS



2.3.2 高速ファイルシステムの OSS/OST

Wisteria/BDEC-01 の高速ファイルシステムは、All Flash ブロックストレージ「DDN SFA400NVXE」 16 台でビルディングブロックを構成しています。

表 4 高速ファイルシステム DDN SFA400NVXE

DDN SFA400NVXE 1 台あたりの構成	
コントローラ	Active/Active Dual Controller
ストレージキャッシュ	32GiB (Battery-Backup) /Controller
ストレージネットワーク	4port×InfiniBand HDR100 / Controller
管理インタフェース	Mgmt x2、BMC 用 x2
搭載ドライブ	NVMe SSD 3.84TB
RAID レベル	RAID6(8D+2P) (ダブルパリティ)
有効利用容量	67.5TB
ストレージ転送速度	63.0GByte/秒



3. ソフトウェアの特長

3.1 Technical Computing Suite

Wisteria/BDEC-01 のシステム運用管理やアプリケーション利用環境は、HPC ミドルウェア「FUJITSU Software Technical Computing Suite」です。Technical Computing Suite は、並列プログラム開発環境・並列処理ライブラリ、ファイルシステム環境、ジョブ運用管理機能など、高速な科学シミュレーションや AI/機械学習を効率的に実行し、システム運用を効率化するためのシステムソフトウェアです。

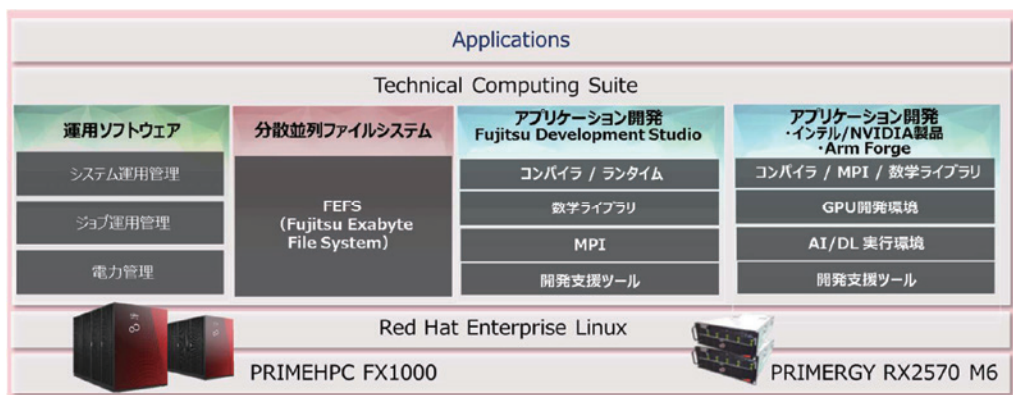


図 6 HPC ミドルウェアの構成

3.2 アプリケーション開発環境

3.2.1 Fujitsu Development Studio

FX1000 向けのアプリケーション開発環境である Fujitsu Development Studio(図 7 参照)は、性能を最大限に引き出せるように、コア、ノード内、ノード間の各階層の高速化に対応した Fortran/C/C++コンパイラ・ランタイム、数学ライブラリおよび開発支援ツールを提供します。

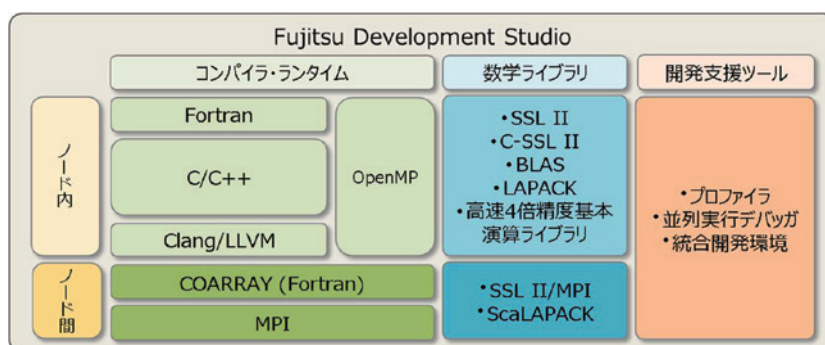


図 7 Fujitsu Development Studio の構成

表 5 サポート標準規格一覧

言語	サポート規格仕様
Fortran	ISO/IEC 1539-1:2018 (Fortran 2018 規格) の一部 ISO/IEC 1539-1:2010 (Fortran 2008 規格) ISO/IEC 1539-1:2004、JIS X 3001-1:2009 (Fortran 2003 規格) ISO/IEC 1539-1:1997、JIS X 3001-1:1998 (Fortran 95 規格) Fortran 90 規格および Fortran 77 規格
C	ISO/IEC 9899:2011 (C11 規格) ISO/IEC 9899:1999 (C99 規格) ISO/IEC 9899:1990 (C89 規格) ※GNU コンパイラの拡張仕様もサポート
C++	ISO/IEC 14882:2017 (C++17 規格) の一部 ISO/IEC 14882:2014 (C++14 規格) ISO/IEC 14882:2011 (C++11 規格) ISO/IEC 14882:2003 (C++03 規格) ※GNU コンパイラの拡張仕様もサポート
OpenMP	OpenMP API Version 5.0 の一部 OpenMP API Version 4.5
MPI	Message-Passing Interface Standard Version 3.1 および 4.0 (仮称) の一部

3.2.1.1 コア内高速化機能

Fortran/C/C++ コンパイラは、A64FX の SVE(Scalable Vector Extension)機能を活用するベクトル化機能を搭載します。SVE 活用により、IF 文や数学関数を含むような複雑なループをベクトル化でき、また回転数の少ないループを SVE のマスク付きの SIMD 命令を利用することでベクトル化し、高速に実行することができます。PRIMEHPC FX1000 のデータアクセスは、PRIMEHPC FX100 のデータアクセスに比べて 2.0～2.3 倍程度高速です。

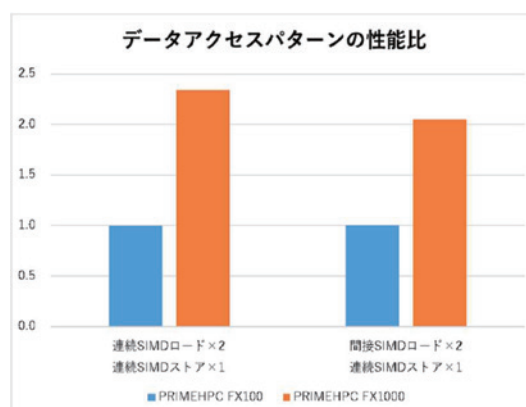


図 8 データアクセスパターンの性能比

数学関数の非分岐型インライン展開機能は、Fortran/C/C++コンパイラの三角関数、指数関数、さらに平方根と除算について、三角関数補助命令、指数関数補助命令、および逆数近似命令を活用して分岐を含まないインライン展開を実現し、ソフトウェアパイプライン化を促進します。基本的な演算や数学関数のループでは、PRIMEHPC FX1000 は、PRIMEHPC FX100 に比べて 2.3～4.2 倍の速度で処理できます。

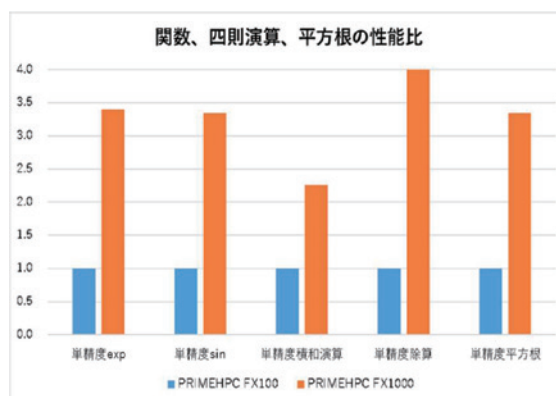


図 9 関数、四則演算、平方根の性能比

コア内の高速化機能を適用した高速数学ライブラリとして、線型代数分野で著名な BLAS、LAPACK、広い分野のアルゴリズムをサポートし幅広く利用されている富士通の数学ライブラリ SSL II、さらに 4 倍精度の値を double-double 形式で扱うことで高速化する高速 4 倍精度基本演算ライブラリが利用できます。A64FX では、BLAS の行列積ルーチンは、単精度は倍精度の 2 倍の性能、FP16 ではさらにその 2 倍の性能を実現しています。

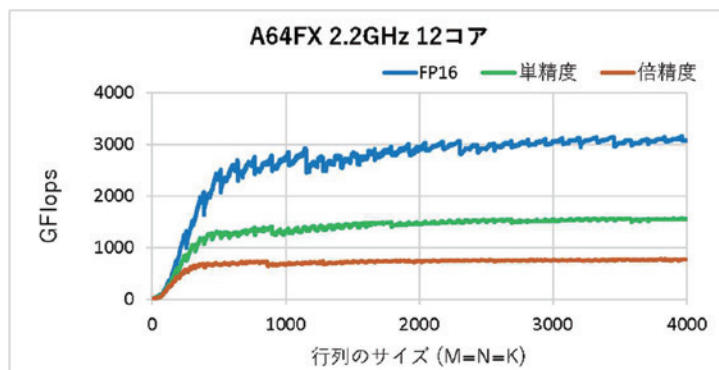


図 10 行列積の性能

3.2.1.2 ノード内並列による高速化

ノード内のメニーコアを活用するため、Fortran/C/C++コンパイラは、ループに対する自動並列化と OpenMP をサポートしています。A64FX は、スレッド並列のための高速なハードバリア機構を搭載し、高速なスレッド並列実行を実現します。A64FX は、CMG を 4 つ搭載し (図 3 参照)、それらをリングバスによって接続する NUMA アーキテクチャを採用しています。

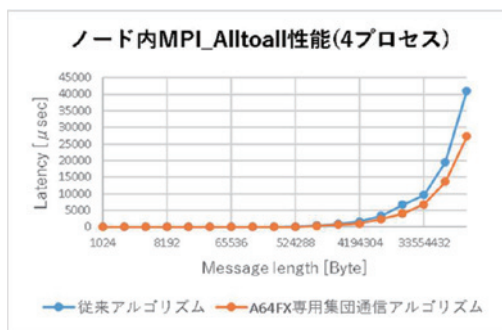


図 11 A64FX 専用 Alltoall アルゴリズムの性能

3.2.1.3 ノード間並列による高速化

PRIMEHPC FX1000 の Tofu インターコネクト D では、ネットワークインターフェース数が 6 で、6 方向同時通信が可能です。MPI はノード当たりの通信バンド幅が必要な Allgather や Bcast などの集団通信アルゴリズムを強化し、性能向上を実現しています。また MPI 並列化した高速数学ライブラリは、ScaLAPACK と SSL II/MPI が利用できます。

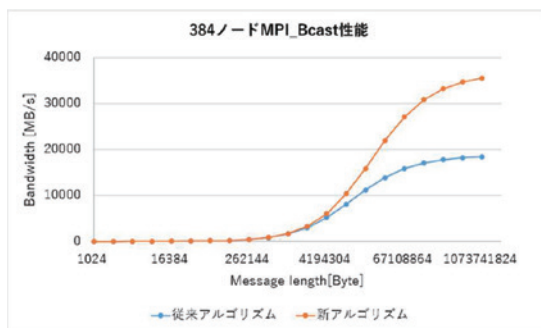


図 12 6 方向対応した集団通信アルゴリズム性能

3.2.2 Aquarius 向け開発ツール

3.2.2.1 Intel OneAPI

Intel One API は、スケーラブルなコード開発が可能な Fortran/C/C++をはじめ、AI 向け機能、MKL(数学ライブラリ)、OpenMP や MPI ライブラリの並列環境、VTune プロファイラ等をサポートしています。また、C++17 や OpenMP 5.0(一部)の最新標準規格にも対応しています。

3.2.2.2 NVIDIA HPC SDK

NVIDIA HPC ソフトウェア開発キット(SDK)は、コンパイラ、ライブラリ、各種ツールが含まれています。GPU 数学ライブラリは、Fortran/C/C++で記述された CUDA や OpenACC から呼び出すことができ、最適化されたライブラリが利用できます。その他 NCCL や GPUDirect 等のスケーラブルプログラミング、プロファイラ等が提供されます。

3.2.2.3 NVIDIA CUDA SDK

NVIDIA CUDA SDK は、GPGPU 向けの統合開発環境であり、コンパイラ、開発ツールおよびライブラリが含まれます。OpenCL 1.2 以降を利用可能であり、OpenCL 並列プログラミング環境に関するデバッグ、性能解析ツールが含まれます。

3.2.2.4 Arm Forge (Arm DDT / Arm MAP)

Arm Forge は、Fortran/C/C++および OpenMP/MPI のデバッガである Arm DDT、マルチスレッド/マルチプロセス向けの CUDA GPU に対応したプロファイラ Arm MAP が提供されます。

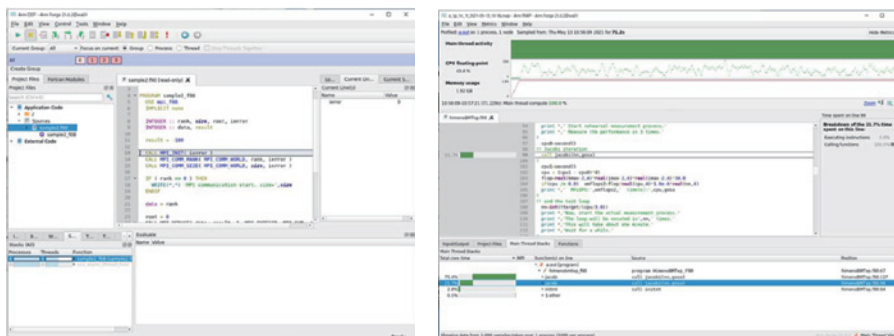


図 13 Arm DDT および Arm MAP の画面イメージ

3.3 ジョブ運用管理

3.3.1 ジョブ管理システムの特長

多数の利用者のジョブ投入、豊富なジョブバリエーションに対応し、以下に示すコンポーネントにより、大規模システムでの効率的なジョブスケジューリングを実現します。

機能名	説明
ジョブマネージャ	ジョブの受付、ACL、状態管理および実行を制御
ジョブスケジューラ	複数のジョブを効率よく実行。用途に応じたノード群の論理分割、フェアシェア機能、バックフィル等の優先度制御をサポート
ジョブ資源管理	ジョブが必要とする資源管理を行う機能。カスタム資源機能で GPU 資源数を管理しノード割り当てを適切に実施
並列実行環境	複数のノードを使う並列プログラムのプロセス制御を実施
ジョブ実行環境	ホスト Linux 環境でのジョブ実行に加え、Docker コンテナ上でのジョブ実行や Singularity コンテナをサポート。

3.3.2 Wisteria/BDEC-01 のジョブ管理

Wisteria/BDEC-01 システムでは、ジョブ管理システムによりバッチジョブおよびインタラクティブジョブの実行が制御されます。利用者はジョブ実行に必要なリソースグループ名、ノード数、経過時間などを指定し、ジョブ管理システムにジョブ実行を依頼します。依頼されたジョブはジョブ管理システムにより資源の空き状況や優先度などを元に自動で実行開始されます。Odyssey、Aquarius とともに、様々な要望に応えられるジョブ運用(表 6 参照)を実現しています。バッチジョブは、通常ジョブ、ステップジョブ(投入した複数のジョブを 1 つのまとまりとして扱い、その中で実行順序、依存関係をもつジョブ)、バルクジョブ(1 度のジョブ投入で、複数の通常ジョブを生成し実行するジョブ)の 3 種類が利用できます。

表 6 Wisteria/BDEC-01 のジョブ運用

項目	パラメタ値 / 運用機能	
ジョブスケジューリング	スケジューリングポリシー	FCFS
	バックフィル	有効
	フェアシェア	無効
ジョブ運用(一般)	プロジェクト単位で、トークンを設定し、ジョブ毎にトークン消費するジョブ運用を実現しています。 消費係数が Odyssey と Aquarius では異なります。	
専有利用	リソースグループ機能で、ノード固定による専有利用や、GPU の専有利用を実現しています。	
講習会利用	特定リソースグループのスケジューリング機能により、講習会の開催時刻に要求されたノード数の利用が可能となります。	
大規模ジョブ実行	Odyssey や Aquarius の全ノード規模を利用した HPC チャレンジ運用を実現するスケジューリング機能です。	
プリポスト運用	常時利用のほかに、利用支援ポータルから計算ノード予約が行え、指定した日時での利用が可能となります。	

3.4 並列ファイルシステム FEFS

FEFS(Fujitsu Exabyte File System)は、HPC 向けファイルシステムとして実績のあるオープンソース Lustre 2.10 をベースとした、クラスタ型の分散並列ファイルシステムです。Lustre が持つ高い並列性やスケラビリティなどの優れた性能・機能を継承しつつ、幅広いシステムに適用できるように富士通が拡張を行い、高性能と高い安定性、使いやすさを実現しています。

3.4.1 FEFS の主な仕様と機能

信頼性と性能を両立させた FEFS の機能を、表 7 に記載します。

表 7 FEFS の仕様と機能

分類	項目	仕様および機能
ファイルシステム仕様	最大ファイルシステムサイズ	8EiB
	最大ファイルサイズ	62.5PiB
	最大ファイル数	16Ti 個
	最大サブディレクトリ	10Mi 個
	最大ストライプ数	4K 個
	最大クライアント数	1Mi
高性能	トランザクション数	マルチ MDS(メタデータ負荷分散)
	I/O バンド幅	大規模 OSS 対応、LNet MultiRail、クライアントキャッシュ、サーバキャッシュ
信頼性	動的切替	MDS/OSS フェイルオーバー、ジョブ継続
	通信経路の可用性	InfiniBand のパス切替、ジョブ継続
運用性	容量制限	ユーザ・グループ Quota、Directory Quota
	アクセス権管理	POSIX 準拠の ACL
	I/O 高負荷監視・対応、性能確保	統計情報機能、ノード間 I/O 優先制御 ユーザ間フェアシェア機能

3.4.2 高いアクセス性能

FEFS は、使用する OSS 数に比例して総スループットをスケールアウトでき、ラウンドロビンやストライピングといったアクセスにより高性能を実現しています。またマルチ MDS により、システム性能のボトルネックになりがちなメタデータアクセスの負荷を分散します。

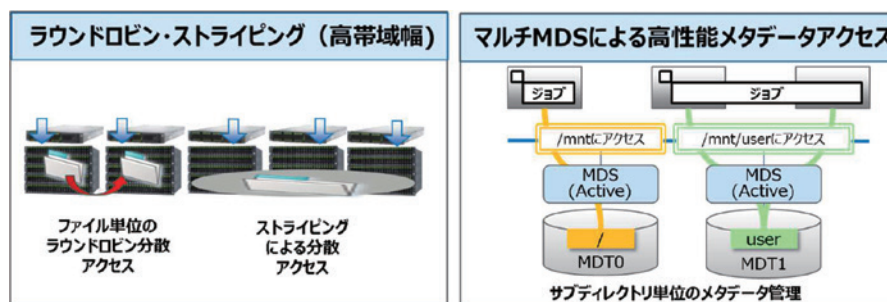


図 14 高性能処理を実現する FEFS の技術

3.4.3 共有ファイルシステムと高速ファイルシステムの MDS 構成

Wisteria/BDEC-01 の共有ファイルシステムは、マルチ MDS 機能(図 15 参照)により、ユーザ領域のメタデータアクセスを 5 つの MDT(MDT0~4)に分散し、メタデータアクセス性能のスループットを向上させています。また MDS の 4 台は、2 台ずつがペアの冗長構成となっており、問題発生時はフェイルオーバー機能により、処理継続が可能な構成となっています。

Wisteria/BDEC-01 の高速ファイルシステムも、マルチ MDS 機能(図 16 参照)により、一時領域と恒久領域のメタデータアクセスを 2 つの MDT(MDT0,MDT1)に分散しています。また、2 台の MDS により、冗長構成を実現しています。

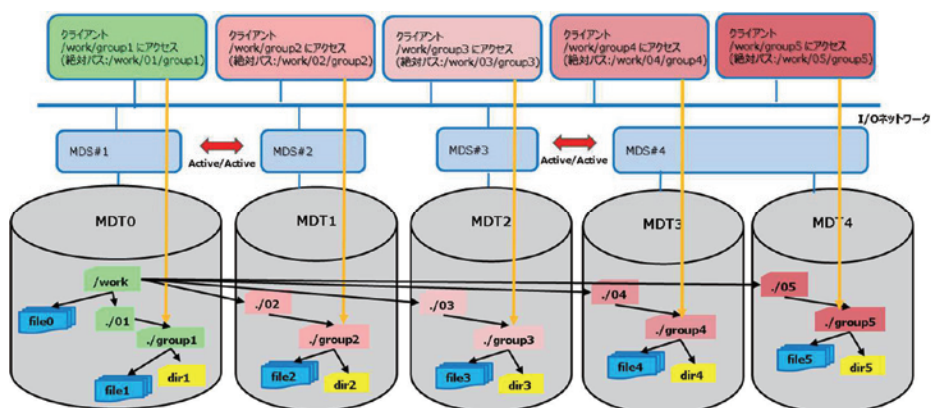


図 15 共有ファイルシステムのマルチ MDS 構成

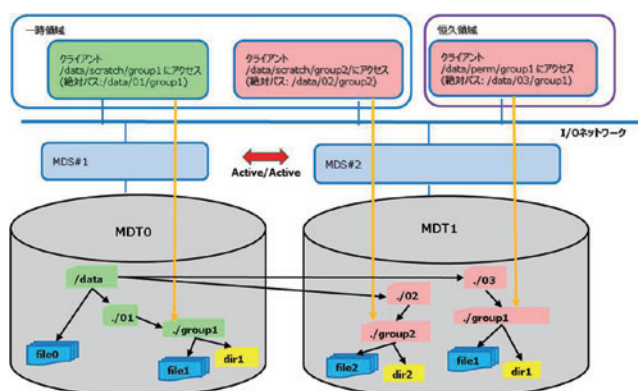


図 16 高速ファイルシステムの MDS 構成

3.4.4 FX1000 での並列アプリケーションへの外乱排除

高並列な MPI アプリケーションの性能を引き出すには、システムデーモンによる外乱を排除することが重要です。FEFS は、定期的に動作するファイルシステムデーモンの処理を削減し、実行時間への影響を抑えています。FX1000 は、48 個の計算用コアに加えて、OS 用のアシスタントコアを 2 または 4 個備えています。I/O 処理を行うシステムデーモンをアシスタントコアで動作させ、計算コアをアプリケーションに占有させることで、ジョブ実行に対する外乱を排除しています。

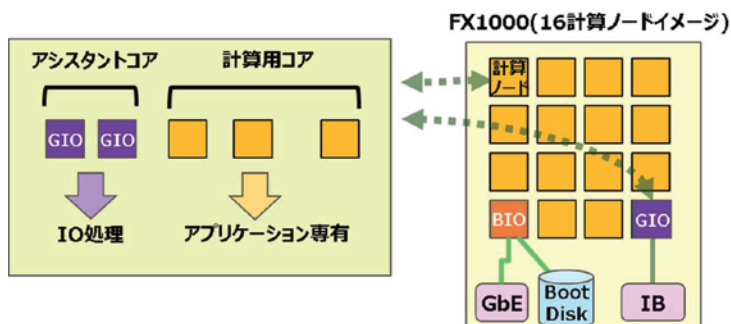


図 17 アシスタントコア活用による I/O 処理と計算処理の分離

4. 利用環境

4.1 利用イメージ

ログインノードでは、SSH によるログイン後、コマンドの対話的実行が可能であり、プログラムの作成・編集、コンパイル/リンク、プロファイラの利用、ジョブ投入・表示などを行います。高負荷な前・後処理は、プリポストノードが利用できます。また、ログインノードは、Pythonなどを Web ブラウザ上で記述し、計算ノードへのバッチジョブ投入を可能とする Jupyter Notebook 環境や、Web ブラウザからログインノードへのリモートアクセスを可能とする Apache Guacamole 環境を提供しています。利用支援ポータルは、SSH 公開鍵登録やマニュアル閲覧が行えます。

Wisteria/BDEC-01 システムでは、全ての計算ノードとログインノードで、共有/高速ファイルシステム(FEFS)を共有します。計算ノード向けのプログラムを実行する場合、バッチジョブもしくはインタラクティブジョブとしてジョブ管理システムに処理を依頼します。インタラクティブジョブは、プログラムのデバッグや会話的なアプリケーションの実行に使用します。

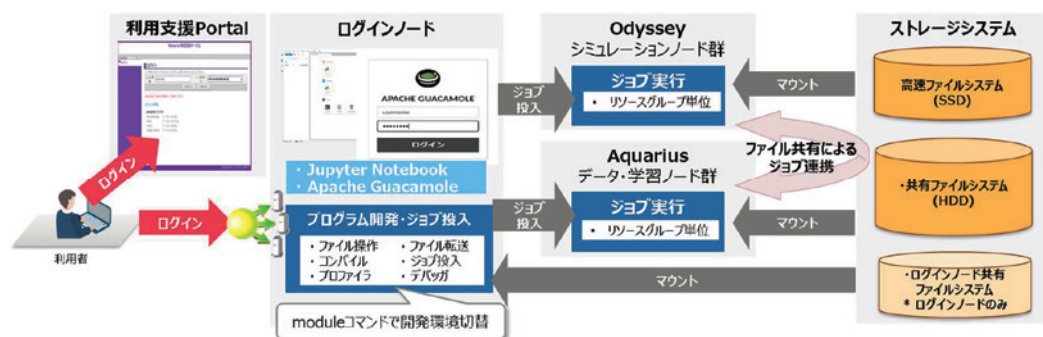


図 18 Wisteria/BDEC-01 の利用イメージ

5. 性能情報

5.1 TOP500

世界で最も高速なコンピュータシステムのランキング「TOP500」の 2021 年 6 月結果において、Odyssey および Aquarius は、以下の性能を達成しています。

	理論ピーク性能	LINPACK 性能	問題規模(Nmax)	ランキング
Odyssey	25,952.3 TFlop/s	22,121 TFlop/s	4,853,760	13 位
Aquarius	7,268.83 TFlop/s	4,425 TFlop/s	1,347,016	94 位

5.2 Green500

スーパーコンピュータの電力効率が高いランキング「Green500」の 2021 年 6 月結果において、Odyssey および Aquarius は、以下の性能を達成しています。

	LINPACK 性能	電力	電力性能	ランキング
Odyssey	22,121 TFlop/s	1,468 KW	15.069 GFlops/watts	21 位
Aquarius	4,425 TFlop/s	184 KW	24.058 GFlops/watts	10 位

5.3 HPCG

実際のアプリケーションでよく使われる、疎な係数行列から構成される連立一次方程式を解く計算手法である共役勾配法を用いたベンチマーク・プログラム「HPCG」の2021年6月結果において、Odyssey および Aquarius は、以下の性能を達成しています。

	HPCG 性能	ランキング
Odyssey	817.58 TFlop/s	9 位
Aquarius	84.71 TFlop/s	53 位

5.4 Graph500

多種多様な応用を持つグラフ解析の性能を競う「Graph500」の2021年6月ランキングで、Odyssey は以下の性能を達成しています。

	BFS 性能	ランキング
Odyssey	16,118 GTEPS	3 位

5.5 HPL-AI

AI の計算などで活用されている単精度や半精度演算器などの能力も加味した計算性能を評価する指標として、2019年11月に制定されたベンチマークで、Odyssey は以下の性能を達成しています³。

	HPL-AI 性能	ランキング
Odyssey	0.10 Eflop/s	7 位

6. 参考資料

- Wisteria/BDEC-01(Odyssey) TOP500 性能 <https://top500.org/system/179962/>
- Wisteria/BDEC-01(Aquarius) TOP500 性能 <https://top500.org/system/179963/>
- Green500 List JUNE 2021 <https://top500.org/lists/green500/list/2021/06/>
- HPCG LIST JUNE 2021 <https://top500.org/lists/hpcg/list/2021/06/>
- Graph500 <https://graph500.org/>
- HPL-AI June 2021 <https://icl.bitbucket.io/hpl-ai/results/>
- White Paper <https://www.fujitsu.com/downloads/JP/jsuper/primehpc-fx1000-hard-ja.pdf>
<https://www.fujitsu.com/downloads/JP/jsuper/primehpc-fx1000-soft-ja.pdf>
- 利用支援ポータル(アカウント必要) <https://wisteria-www.cc.u-tokyo.ac.jp>
- Wisteria/BDEC-01 システム仕様 <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/wisteria/system.php>

³ 似鳥啓吾博士(理化学研究所計算科学研究センター)により測定いただきました。詳細は、塙 敏博, 中島 研吾, 下川辺 隆史, 芝 隼人, 三木 洋平, 星野 哲也, 河合 直聡, 似鳥 啓吾, 今村 俊幸, 工藤 周平, 中尾昌広, 「計算・データ・学習」融合スーパーコンピュータシステム Wisteria/BDEC-01 の性能評価, 情報処理学会研究報告 2021-HPC-180, 2021 年 7 月において発表予定です。