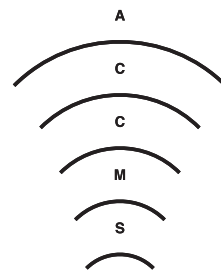


京都大学学術情報メディアセンター

Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

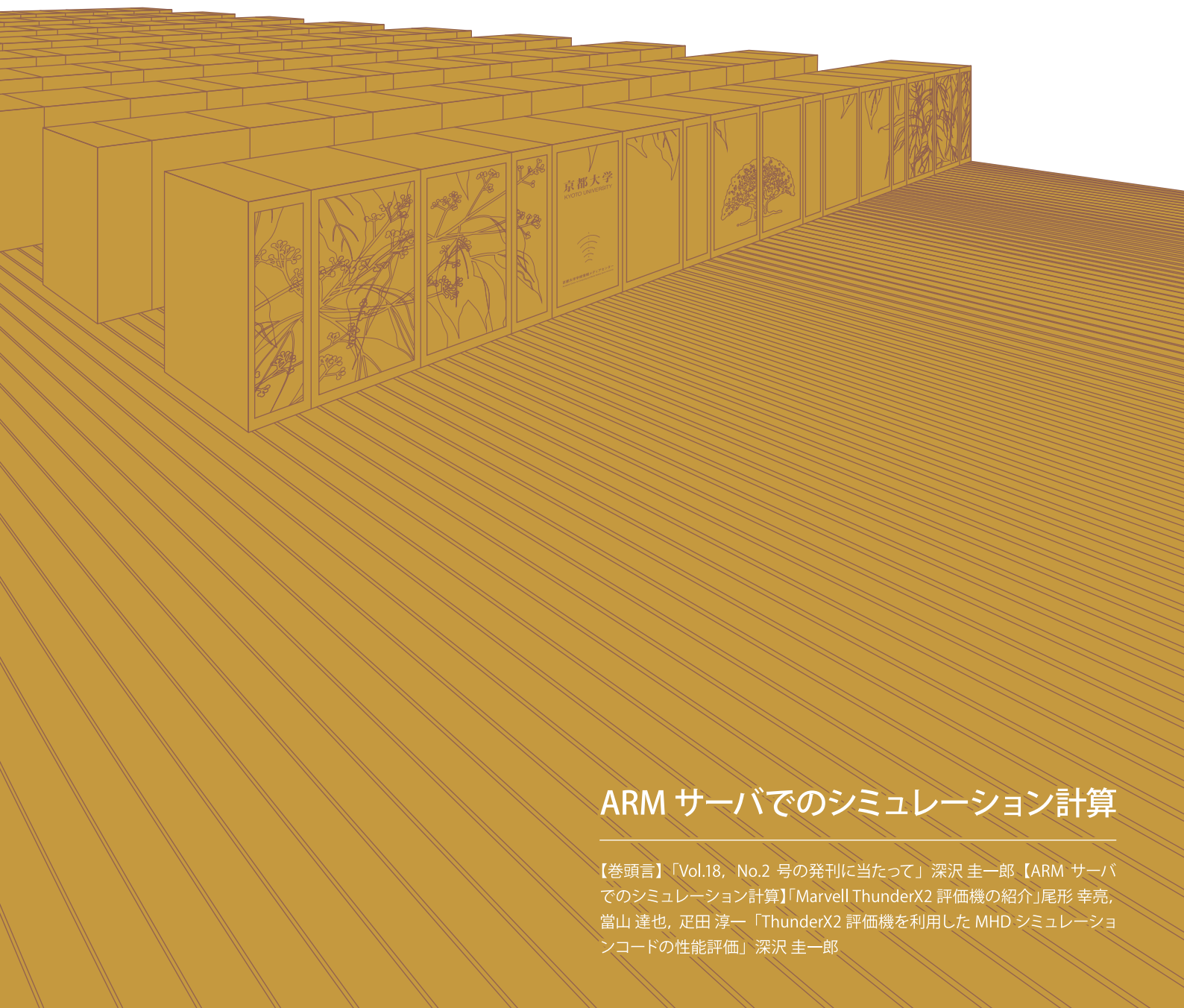


広報

全国共同利用版

Vol.18, No.2 2019

ISSN 1347-3581



ARM サーバでのシミュレーション計算

【巻頭言】「Vol.18, No.2 号の発刊に当たって」 深沢 圭一郎 【ARM サーバでのシミュレーション計算】「Marvell ThunderX2 評価機の紹介」尾形 幸亮, 當山 達也, 疋田 淳一 「ThunderX2 評価機を利用した MHD シミュレーションコードの性能評価」 深沢 圭一郎

巻頭言

Vol. 18, No.2 号の発刊に当たって
京都大学学術情報メディアセンター
深沢 圭一郎

2019年8月に京コンピュータが7年間にわたる運用を終えました。この間に機械学習が発展し、GPU搭載スーパーコンピュータ（スパコン）のこれまで以上に広がるなど大きな変化がありました。そのような大きな変化の中、京コンピュータの後継機である富岳では、これまでHPCの分野では利用されていなかったARMアーキテクチャを採用し、CPUにも大きな変化をもたらしています。このARMアーキテクチャのCPUですが、京コンピュータの後継機とは別にCavium（現Marvell）という会社も独自に開発を行い、製品を出しています。2020年1月現在では、ThunderX2というARMアーキテクチャのCPUが利用可能です。京都大学学術情報メディアセンターでは、このThunderX2を搭載したHPE製のサーバを4ノードと小規模ですが、次期スパコンシステムの更新に向けた評価機として導入しました。これまでにARMアーキテクチャのCPUを利用したスパコンのような大規模な計算機システムは日本には無く、その計算性能やどのアプリケーションが動作するのかなど調査をしています。

本号では「ARMサーバでのシミュレーション計算」という特集を組み、導入されたARMサーバの構成を紹介し、電磁流体（MHD）コードを利用した性能評価結果を報告しています。サーバの構成にあるように、1ノード当たり32コアのThunderX2を搭載しており、当センターで運用しているシステムB（Laurel2）のBroadwell Xeonよりもノード当たりのコア数が多くなっています。一方で、システムA（Camphor2）のメニーコアCPUであるXeon Phiと同程度のノード当たりコア数です。一方、ThunderX2では128bit SIMD演算までの対応となっているため、同時演算数が少なく、理論性能は高くありません。メモリでは、チャンネル数がThunderX2搭載サーバはノード当たり12あり、メモリバンドはXeonより高くなっています。このような状況のため、計算性能は実際にサーバを使ってみないと分かりません。評価で利用したMHDコードは流体コードで、シンプルな直交格子と差分法を利用しています。そのため似たようなコードを利用されている方には性能の想像が付きやすいと思います。また、他の計算機との性能比較もありますので、相対的に性能を推定することにも役立つと思います。

今後当センターではスパコンの更新準備に入っていく、様々な計算機やアプリケーションの評価を行っていきます。利用者みなさまからご意見をいただけるように広報誌などを通じて、できる限り情報を公開していきます。今後ともご利用、ご支援のほど、よろしくお願いいたします。

Marvell ThunderX2 評価機の紹介

尾形 幸亮 當山 達也 疋田 淳一

京都大学 企画・情報部

1 はじめに

学術情報メディアセンターでは、HPC 向け ARM プロセッサである Marvell ThunderX2 を搭載した HPE Apollo 70 サーバを ARM プロセッサの評価機として用意し、性能及び機能面での評価を行っています。本稿では、サーバのハードウェア、ネットワーク、およびソフトウェア構成を紹介します。

2 サーバ構成

調達した評価機のハードウェア構成、ネットワーク構成、およびソフトウェア構成を以下で紹介いたします。

2.1 ハードウェア構成

評価機は、演算サーバとして HPE Apollo 70^[1] を 4 ノード、ストレージとして Dell PowerEdge R740xd^[2] を 1 ノードで構成しています。ノード間を接続するスイッチは Mellanox SB7790 InfiniBand Switch^[3] であり、InfiniBand EDR により接続しています。サーバの外観は図 1 の通りです。

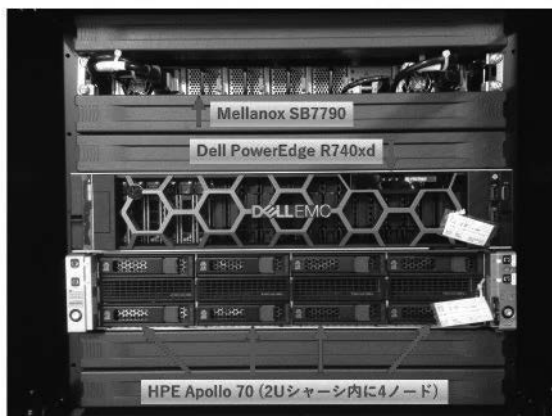


図 1 サーバの外観

HPE Apollo 70 サーバの 1 ノードあたりのハードウェア構成を表 1 に示します。

表 1 HPE Apollo 70 ハードウェア構成

CPU	Cavium ThunderX2 CN9980-2200 ^[4] (2.2GHz/32-core) 2 基
メモリ	DDR4-2666 128GB (8GB x 16 チャンネル)
ノード間 ネットワーク	InfiniBand EDR x4 100Gbps
ローカル ディスク	SATA3, 4TB 2 基, RAID1

CPU として、Cavium 社 (現 Marvell 社) の ARM ベースの HPC プロセッサである ThunderX2 CN9980-2200 を 2 基搭載しています。

メモリは、DDR4-2666 を合計で 128GB 搭載しています。ThunderX2 CN9980-2200 は 1 基あたりメモリ 8 チャンネルまで対応しており、1 ノードで 16 チャンネルまで対応可能であるため、メモリ帯域幅を最大化するために 8GB のメモリモジュールを 16 枚搭載しています。これにより、メモリ帯域幅は 340 GByte/sec を達成しています。

ノード間ネットワークとして、InfiniBand EDR x4 に対応しており、ノード間で 100Gbps の通信が可能です。

また、HPE Apollo 70 サーバから参照するストレージの共有領域として、Dell PowerEdge R740xd サーバを導入しています。ディスク実効容量は約 7TB で、HPE Apollo 70 サーバとは InfiniBand EDR x4 により 100Gbps で接続しています。

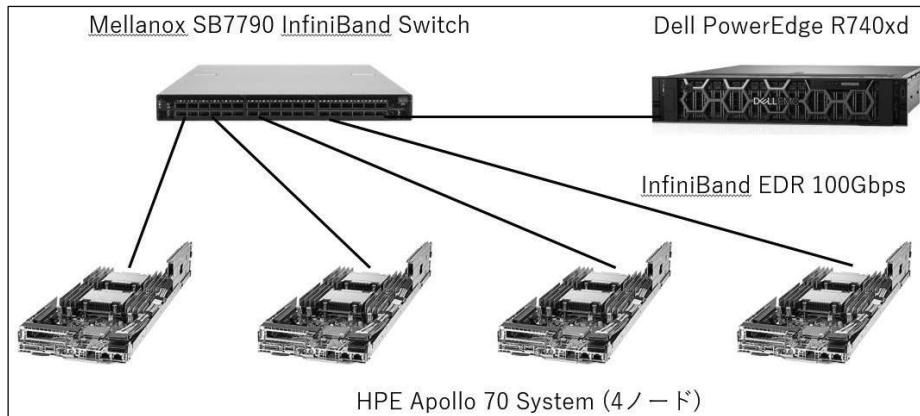


図 2 ネットワーク構成

2.2 ネットワーク構成

評価機のネットワーク構成は、図 2 の通りです。Apollo 70 および PowerEdge R740xd の各ノードが、Mellanox SB7790 InfiniBand Switch に接続されており、ノンブロッキング通信が可能な構成です。

Apollo 70 の内 1 台をログインノードとし、1Gbe Ethernet ポートを学内ネットワークに接続することでインターネットと接続しています。

2.3 ソフトウェア構成

Apollo 70 のソフトウェア構成は、表 2 の通りです。コンパイラとして、Arm HPC Compiler 19.1 を導入しています。Arm HPC Compiler は、Arm 社が Arm CPU 向けに高速化を図った Clang ベースのコンパイラです。また、同様に高速化を図った BLAS および LAPACK の実装である ArmPL (Arm Performance Libraries) ライブラリを備えます。

MPI は、HPE 社の HPE MPI を導入しております。HPE MPI は、HPE 社が MPICH をベースにチューニングを行い、高速化を図った製品です。

表 2 ソフトウェア構成

OS	RedHat Enterprise Linux 7.6
コンパイラ	Arm HPC Compiler 19.1 GCC 8.2.0
MPI	HPE Performance Software MPI 1.3

3 おわりに

本稿では、HPE Apollo 70 サーバのハードウェア、

ネットワーク、およびソフトウェア構成を紹介しました。現在はセンター関係者で評価を行っていますが、ご自身のプログラムでも評価してみたい場合はお問い合わせをお願いします。

参考文献

- [1] Hewlett Packard Enterprise、
『HPE Apollo 70 System』、
<https://buy.hpe.com/us/en/servers/apollo-systems/apollo-70-system/apollo-70-system/hpe-apollo-70-system/p/1010742472> (参照 2019-12-01)
- [2] Dell、『PowerEdge R740xd』、
<https://www.dell.com/ja-jp/work/shop/productdetailstxn/poweredge-r740xd>
(参照 2019-12-01)
- [3] Mellanox、『SB7700 InfiniBand Switch』、
https://jp.mellanox.com/page/products_dyn?product_family=192&mtag=sb7700_sb7790
(参照 2019-12-01)
- [4] Marvell、『ThunderX2 Arm-based Processors』、
<https://www.marvell.com/server-processors/thunderx2-arm-processors/>
(参照 2019-12-01)

ThunderX2 評価機を利用した MHD シミュレーションコードの性能評価

深沢 圭一郎

京都大学 学術情報メディアセンター

1 はじめに

モバイル系で主に利用されている ARM プロセッサは、その主な用途のため、計算性能を制限することで消費電力を下げているため、HPC のような高性能計算には利用されてきませんでした。このような中で Cavium (現 Marvell) は、計算性能を高めたサーバ向け ARM プロセッサ ThunderX2 をリリースしています[1]。ThunderX2 は、近年の HPC 向けサーバにもいくつか採用されており、また、HPC 向け SIMD 拡張版 ARM プロセッサが次世代スーパーコンピュータ富岳に採用されていることから、今後 HPC 分野での ARM プロセッサ採用が広がる可能性があります。しかしながら、ThunderX2 は 128bit 幅の SIMD 演算までしか行えないため、現在の Xeon や Xeon Phi に比べて理論性能が劣り、基本的ベンチマークでは、それほど高い性能を発揮していません[2]。計算機システムの理論性能はカタログスペックから分かりますが、実際に自分のアプリケーションをその計算機で動かした場合にどのような性能になるのかは予測は困難です。

本稿では、これまでに様々なスーパーコンピュータで性能評価を行ってきた電磁流体 (MHD) シミュレーションコード[3]を用いた ThunderX2 の性能評価結果の紹介をします[4]。MHD シミュレーションは通常の流体シミュレーションに電磁場の効果を考慮したシミュレーションのため、本性能評価の結果は流体系のアプリケーションに広く応用でき、また、これまでに評価してきた計算機システムの性能と比較することで、現実的な計算性能を見積もることが可能と思います。

2 ThunderX2 評価機

本性能評価で利用する ThunderX2 搭載計算機シ

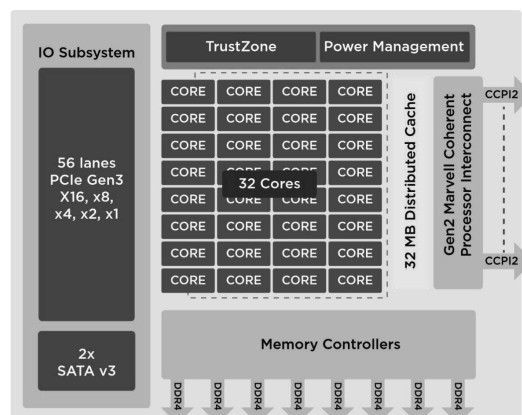


図 1 ThunderX2 の構造[1]

ステムは、次世代のスーパーコンピュータの評価を目的として、2019年に試験的に京都大学学術情報メディアセンターに導入された評価機です。ここでは、性能に関する部分だけを紹介します。詳細な構成は、前稿の「Marvell ThunderX2 評価機の紹介」をご覧ください。この計算機システムは図 1 に示されるような ARM プロセッサである ThunderX2 (2.2 GHz、32 コア、L2 キャッシュ 256 KB/コア、L3 キャッシュ 32 MB/CPU) を搭載し、1 ノード当たり 2 CPU、64 コア (理論演算性能 1,124 GFlops)、128GB メモリ (バンド幅 341.2 GB/s) となります。

ThunderX2 は、同時演算数が 32 である Skylake (SKL) Xeon (Gold 以上) や京都大学のスーパーコンピュータの 1 つである Camphor 2 に搭載されている Xeon Phi KNL と異なり、同時演算数は 8 となっているため、理論演算性能がそれらに比べ低くなっています。一方で、CPU 当たりのメモリチャンネルは 8 と Xeon より多いため、メモリバンド幅は高くなっています。そのため、メモリバンド幅と理論演算性能の比である B/F 値が 0.30 と Xeon 搭載計算機システムに比べて高い値となっています。

3 MHD シミュレーションコード

本評価で利用した MHD シミュレーションコードは、惑星磁気圏を解くために利用されています。太陽系では、太陽から太陽風と呼ばれるプラズマの風が常時吹き出しており、太陽系全体にそのプラズマが充満しています。この太陽風が惑星の固有磁場と相互作用することで、惑星磁場が変形し、磁気圏と呼ばれる領域が形成されます。磁気圏では、磁気嵐など様々な現象が起きており、その領域だけでなく、地上にも様々な形で影響を及ぼしています。このような現象は宇宙天気と呼ばれ、古くから研究が行われてきています。

このような宇宙プラズマ現象の中、グローバルなプラズマ構造である惑星磁気圏をシミュレーションする場合には、MHD 方程式が使用されています。MHD 方程式は以下のような形をしています。

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\nabla \cdot (\mathbf{v}\rho) \\ \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} &= -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \mathbf{J} \times \mathbf{B} \\ \frac{\partial p}{\partial t} &= -(\mathbf{v} \cdot \nabla) p - \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} \\ \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B})\end{aligned}\quad (1)$$

上から、連続の式、運動方程式、圧力変化の式（エネルギーの式）、最後が磁場の誘導方程式となります。簡単に言えば、電磁場を考慮した流体力学方程式です。詳しい説明は参考文献を参照してください[5]。

この MHD 方程式を解く数値計算法としては、Modified Leap Frog (MLF) 法[3, 6]という数値計算法を利用し、Fortran により実装しています。本評価での並列化には MPI のみを使用しています。並列化手法としては 3 次元空間を分割する領域分割法を用いています。領域分割には、1 次元、2 次元、3 次元分割が考えられ、本評価ではこれらすべての評価を行いました。

一般的に B/F 値の低いスカラ CPU で性能を出すためには、メモリアクセスを減らすためにキャッシュメモリの有効活用が重要となります。キャッシュメモリには、メモリアクセス時に、そのアクセス先周辺の数 KB のデータが格納されます。キャッシュメモリの量や、一度にキャッシュメモリに格納さ

れるデータ量は CPU アーキテクチャ毎に変わるため、最高のパフォーマンスを出すにはそれぞれの調整が必要となります。MHD シミュレーションでは、解くべき物理変数が、プラズマ密度、速度 3 成分、圧力、磁場 3 成分の計 8 変数となります。そのため、通常は配列を $f(x, y, z, m)$ と定義し、 $m = 8$ (物理変数) としています。数値計算時に同じ場所の物理変数を何度も使うことになるため、一般に Fortran では、 $f(m, x, y, z)$ と定義することによりキャッシュヒット率が上がることがわかっています[6]。しかしながら、近年の Xeon 系 CPU のように SIMD 幅向上に伴いベクトル化が性能向上にとって重要な機構であるため、更に配列を $f(x, m, y, z)$ と $f(x, y, m, z)$ と定義した場合の性能評価も行っています。

4 計算性能評価

ThunderX2 評価機では、コンパイラとして Arm HPC Compiler 19.1.0 を利用し、MPI は HPEMPI 2.19 を利用しました。計算サイズは基本的にはプロセス当たり、64MB (100³グリッド) となり、Weak scaling の評価を行っています。計測は 5 回行い、その平均値を取りました。Arm HPC Compiler では、Fortran を利用し、コンパイル (オプション含む) には下記を利用しています。

```
mpif90 -f90=armflang -Ofast -mcpu=native
```

オプションの詳細は Arm Allinea Studio[8]のマニュアルをご参照ください。

図 2 に ThunderX2 計算機システムを利用して、3 種類 (1 次元、2 次元、3 次元) の領域分割を行った MHD コードの評価結果を示します。前述のように、プロセス当たりの計算量がどの領域分割においても $(x, y, z) = (100, 100, 100)$ となるように設定し、ここでは主に領域分割による性能の違いを見ています。

1 次元領域分割と 2 次元領域分割の結果はそこまで差がありませんが、並列数が上がると性能差が見えてきており、256 プロセスを利用した場合、1 次元領域分割で 700 GFlops (実行効率 15.5%)、2 次元領域分割で 684 GFlops (同 15.2%) となっています。一方で 3 次元領域分割では、CPU コアをすべて使わずコア当たりのメモリバンド幅が高い状態の 8 プロセスにおいても、1、2 次元領域分割に比

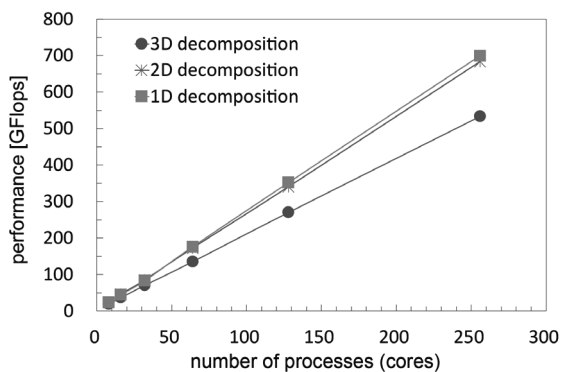


図 2 3種類の領域分割によるMHDコードの性能

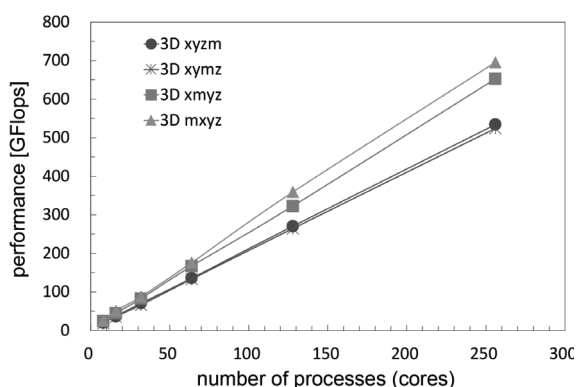


図 3 配列並びが異なる場合のMHDコードの性能

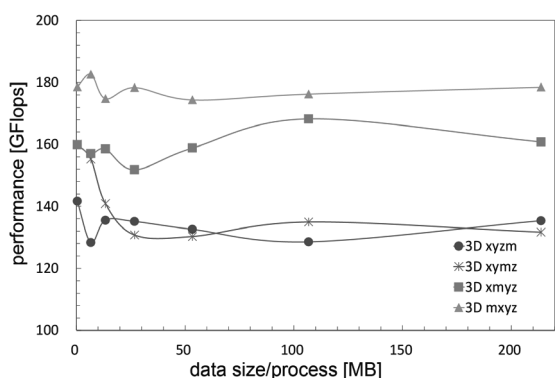


図 4 異なる配列データサイズにおけるMHDコードの性能

べ 2.7%も実行効率が低くなっており (14.0%)、並列数が上がるにつれて、計算性能にも大きな差が現れています。256プロセス利用で、534 GFlopsであり、約 150 GFlops の性能差が現れています。

次に、配列の並びによる MHD コードの性能変化を評価しました。図 3 に 3 次元領域分割において、前述のように配列の並びが異なる 4 つの場合に MHD コードがどのような性能を示したかを載せて

います。図中の 3D xyzm は、図 2 の 3 次元領域分割の結果と同じであり、xyzm は配列の並びを表しています (これは $f(x, y, z, m)$ を意味します)。大まかに見ると、性能が良いものと悪いもので二つに分かれています。3D xmyz と xmyz の性能が高く、3D xyzm と xymz の性能が低くなっています。256 プロセス利用で、最大性能は 695 GFlops (実行効率 15.4%) であり、最小性能は 524 GFlops (同 11.6%) と大きな差となっています。性能が高い場合は、物理変数を示す m が最内に近く、いわゆる AoS (Array of Structure) 形式であり、これまでの研究結果によりキャッシュヒット率が高い配列構造です [7]。

一方で低い性能を示した配列は、コード内の主な計算ループが xyz の三重ループであり、Fortran 配列は最内からメモリアクセスをすることから、ベクトル長が長い構造をしていると考えられます。ThunderX2 は近年の Xeon 系 CPU や富岳で利用される ARM 系 CPU と比べ、SIMD 計算の bit 幅が少なく、この配列構造では性能が低くなる可能性があると考えられます。

最後に、計算に利用する配列のサイズによる ThunderX2 の性能を評価しました。これまでの結果からキャッシュヒット率が高い場合の性能が高いことが示唆されています。そこで配列のサイズを計算で利用するすべての配列がキャッシュメモリに載るようなサイズまで小さくしていくことで、計算性能がどのように変化するかを調べました。図 4 では、64 プロセス (1 ノード) 利用時にプロセス当たりの総配列利用サイズを 0.4~213 MB (28~13、632 MB/ノード) と変化させた場合の配列構造が異なる MHD コードの性能を示しています。図中の 3D xyzm は図 3 の場合と同じです。ThunderX2 の L3 キャッシュサイズは 32 MB/CPU であり、最小の配列サイズでは L3 のサイズを下回っています。

計算サイズによって大きく性能が変化した配列構造は 3D xymz であり、最もサイズが小さい (L3 にオンキャッシュサイズ) では、3D xmyz と同じ性能となっています。3D xymz は図 3 の異なる配列構造の性能では最も性能が低い構造でしたが、同じく 2 番目に性能が高かった 3D xmyz の性能と同等になっています。最も配列サイズが小さい場合、z 方向には 10 要素あり、それを除いた場合の配列サイズを計算すると 43 KB となり (xmyz と xymz 分のサイズ)、L2 キャッシュ (256 KB/core) に載るため、こ

表 1 様々な計算機システムにおける性能の傾向[7, 9, 10]

	Core/CPU	Rmax [TFlops]	Rpeak [TFlops]	Rmax /CPU [GFlops]	Efficiency [%]	Suitable domain decomposition	CPU architecture
SX-ACE	1024/256	29.20	65.50	114.0	45	3D xyzm	Vector
K	262144/32768	914.12	4194.30	27.9	22	3D mxyz	SPARC64 VIIIfx
FX100	16384/512	91.49	576.72	178.7	17	3D xyzm	SPARC64 XIfx
XC30	448/32	1.37	16.49	42.8	8	2D xyzm	Xeon (Haswell)
XC40	1088/16	4.32	48.86	273.3	9	3D xyzm	Xeon Phi KNL
Xeon Phi 5120	60/1	0.08	1.00	84.0	8	3D xyzm	Xeon Phi KNC
Tesla K20X	896/1	0.15	1.31	153.3	12	3D xyzm	Kepler
ITO-A	72000/4000	470.10	6912.00	117.5	7	1D xyzm	Xeon (Skylake)
ThunderX2	256/8	0.70	4.50	86.9	16	3D mxyz	Arm v8

の二つの配列構造は結果的に同じ性能を示していると考えられます。

一方で、3D xyzm の構造はサイズが小さい場合でもそれほど性能に変化がなく、最小の場合に少し性能向上が見られる程度でした（実行効率で 0.6 % の向上）。L3 にはオンキャッシュですが、キャッシュヒットに関連する m の要素が L2 にはすべて載らないため、3D xymz のように性能の向上が見られないと考えられます。同様に 3D mxyz も性能向上が見えませんでした。これは、3D xyzm とは逆に初めから m の部分が L2 キャッシュに載りやすいことで性能向上が行われており、L3 オンキャッシュになっても性能が変わらないためと考えられます。このように L3 オンキャッシュサイズまで配列サイズを変化させた結果、ThunderX2 では L3 ではなく、L2 を意識した最適化の効果があると考えられます。

5 他計算機システムとの比較

今回評価をした ThunderX2 評価機での MHD コードの性能を他の計算機システムでの MHD コードの性能と比較することで、ThunderX2 の相対的な性能や各計算機の実性能を理解することに繋がります。表 1 に、これまで MHD コードの性能を計測したいくつかの計算機システムの評価結果と ThunderX2 評価機の測定結果を掲載しています [7, 9, 10]。今回の性能評価では 3 次元領域分割において、4 種類の配列構造を利用しましたが、ITO-A の

評価以外はいわゆる SoA (xyzm) と AoS (mxyz) を利用した測定しかしていません。また、CPU (GPU、コプロセッサ) 自体の性能を比較しやすいように、CPU 当たりの性能 (Rmax/CPU) を表に加えています。

ThunderX2 では、3 次元領域分割で、配列構造を AoS 形式とした場合が最も良い性能となりました。評価機には 4 ノード (8 CPUs) しか無く、計算機全体の性能は低いため、CPU 当たりの性能を他の計算機システムと比較してみます。CPU 当たりの実行性能では、Xeon Phi KNC と同程度となっており、SKL Xeon である ITO-A より、35 % 程度性能が低くなっています。一方で ThunderX2 はコア数の多さもあり、Haswell Xeon より倍以上性能が高くなっています。ThunderX2 では通常 1 ノード 2 ソケットのため、2 ソケットでの性能を考えると、SX-ACE より 50 % 程度性能が高く、FX100 と同程度のノード性能となっていることがわかります。実行効率を見ると、FX100 と同程度であり、近年の 512bit 幅 SIMD 搭載機 (Xeon Phi KNL、SKL Xeon) と比べて高い実行効率となっています。

今回の MHD コードの性能を他のアプリケーションの結果と比較するため、ThunderX2 におけるミニアプリの性能評価[11]と比べてみました。この性能評価では、HPCI[12]でまとめられたミニアプリケーション群を利用して、ThunderX2 の性能評価と SKL Xeon との性能比較をしています。実行環境がアプリにより様々であり、ハイブリッド並列実行も

多いため、絶対的な比較はできませんが、計算性能 (Rmax) は SKL Xeon が高く、実行効率は ThunderX2 が高いという点では一致しているようです。性能は、アプリケーションにより異なりますが、MHD コードと近い非定常非圧縮性熱流体シミュレーションでは、SKL Xeon が 43~57 % 計算性能が高い結果となっています。これらの評価結果より少し大きな性能差となっていますが、ThunderX2 はおおよそ SKL Xeon の 50~65 % の性能となることが想像されます。

6 まとめ

本稿では、京都大学に試験的に導入された ThunderX2 評価機を利用した宇宙プラズマを解く MHD シミュレーションコードの性能測定結果を紹介しました。領域分割では、コードの構成上可能であれば、1 次元または 2 次元領域分割を利用することで性能向上が見込まれ、キャッシュでは、L3 ではなく、L2 キャッシュを効率的に利用することで、計算性能が向上することが分かりました。

また、今回の評価結果を、これまでに性能評価した計算機システムと比較したところ、ThunderX2 単体 (1CPU) の性能は、SKL Xeon の 70 % 程度、FX100 の 50% 程度、SX-ACE の 75% 程度の性能となっていました。1 ノード (2 CPUs) での考えると、FX100 と同等、SX-ACE の 1.5 倍の計算性能となります。ThunderX2 は SIMD 幅が最新の Xeon などと比べて低くなっていますが、実行効率が比較的高いため、理論性能の差よりも、実計算性能の差は小さくなっています。

ThunderX2 に比べ、富岳で採用される ARM 系 CPU である A64FX では、SIMD 幅も大きく (512bit)、メモリバンド幅も高いため、今回の評価結果と一概には比べられません。今後の ARM 系 CPU の HPC への適用により、高い計算性能が期待できるかもしれません。

参考文献

- [1] Marvell ThunderX2 (<https://www.marvell.com/server-processors/>)
- [2] Geosciences and Climate on Marvell ThunderX2 (White paper), Server Processor

- Business Unit Marvell, 2019.
- [3] Ogino, T, R. J. Walker, M. Ashour-Abdalla, "A global magnetohydrodynamic simulation of the magnetopause when the interplanetary magnetic field is northward", IEEE Trans. Plasma Sci. vol. 20, 1992, 817-828.
- [4] 深沢 圭一郎、惑星磁気圏 MHD シミュレーションコードによる ThunderX2 ARM プロセッサの性能評価、情報処理学会研究報告、2019-HPC-172(1)、1-6、2019.
- [5] F. F. Chen, 1974. Introduction to Plasma Physics. Plenum Press, NY.
- [6] Fukazawa, K., T. Ogino, and R. J. Walker (2012), "A Magnetohydrodynamic Simulation Study of Kronian Field-Aligned Currents and Aurora", J. Geophys. Res., 117, A02214, doi:10.1029/2011JA016945.
- [7] Fukazawa, K., T. Nanri and T. Umeda, "Performance Measurements of MHD Simulation for Planetary Magnetosphere on Peta-Scale Computer FX10", Parallel Computing: Accelerating Computational Science and Engineering (CSE), Advances in Parallel Computing 25, pp.387-394, IOS Press, 2014. (DOI: 10.3233/978-1-61499-381-0-387)
- [8] Arm Allinea Studio Web site (<https://developer.arm.com/tools-and-software/server-and-hpc/arm-architecture-tools/arm-allinea-studio>).
- [9] Fukazawa, K., T. Soga, T. Umeda, T. Namri, Performance Evaluation and Optimization of MagnetoHydroDynamic Simulation for Planetary Magnetosphere with Xeon Phi KNL, Parallel Computing is Everywhere: Accelerating Computational Science and Engineering (CSE), Advances in Parallel Computing, 178 - 187, DOI:10.3233/978-1-61499-843-3-178, 2018.
- [10] 深沢圭一郎、南里豪志、本田宏明、スーパーコンピュータシステム ITO における MHD シミュレーションコードの計算性能・消費電力評価、情報処理学会研究報告、2018-HPC-166(4)、1-6、2018.
- [11] 辻 美和子、Jean-christophe Weill、Jean-

philippe Nomine、佐藤 三久、ThunderX2
Arm プロセッサにおける Fiber ミニアプリス
イートの性能評価、情報処理学会研究報告、
2019-HPC-171(4)、1-8、2019.

[12] <http://www.hpci-office.jp/>

システム A 運転状況 (2019 年 4 月 ~ 2019 年 9 月)

1) 保守作業に伴うサービス休止およびシステムダウン障害発生状況

保守作業に伴うサービス休止

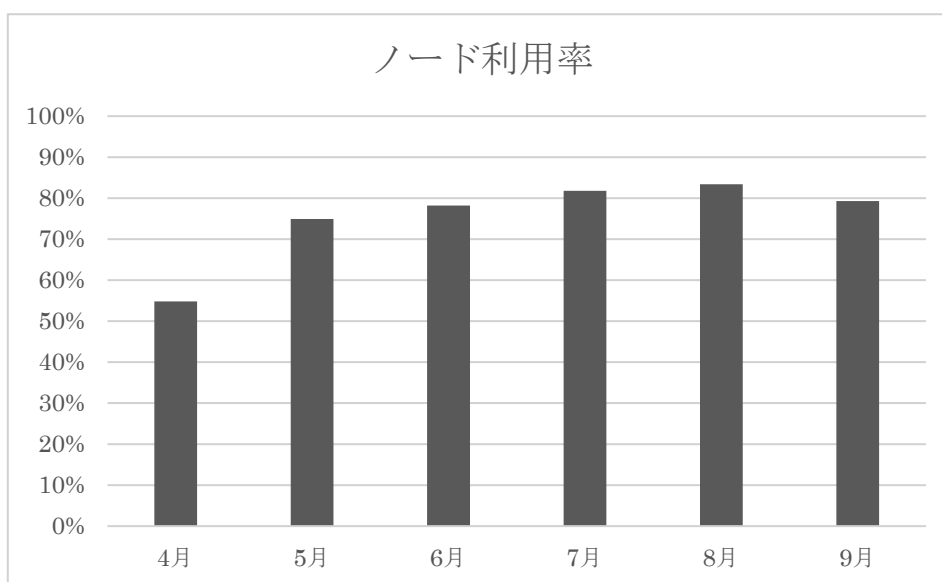
保守開始日時	サービス再開日時	保守時間[h]
2019/04/01 0:00	2019/04/04 9:00	81.00
2019/06/04 9:00	2019/06/04 15:00	6.00
2019/08/06 9:00	2019/08/06 14:30	5.50

システムダウン障害発生状況

障害発生日時	サービス再開日時	ダウン時間[h]
2019/06/30 0:30	2019/07/01 0:30	24.00

2) サービス状況

	サービス時間[h]	ジョブ					
		処理件数	経過時間[h]	占有時間[h]	CPU時間[h]	平均稼動ノード数	ノード利用率
4月	639.0	24,461	88,776	45,083,955	39,715,990	1,655.9	54.8 %
5月	744.0	44,329	140,905	66,193,466	61,577,210	1,798.5	74.9 %
6月	690.5	46,352	178,404	72,880,199	59,576,419	1,798.1	78.2 %
7月	743.5	68,261	290,584	69,068,483	56,751,241	1,797.2	81.8 %
8月	738.5	69,321	351,701	72,019,836	55,433,211	1,796.6	83.4 %
9月	720.0	41,006	217,011	70,617,606	58,239,897	1,799.8	79.3 %
計	4269.5	293,730	1,267,381	395,863,545	331,293,968	1,774.4	75.4 %



- 占有時間 = 合計(経過時間×占有コア数)
- 平均稼動ノード数 = 電源 ON 状態のノード数の月平均 (10 分間隔のサンプリングデータより算出)
- ノード利用率 = 稼動ノードに対するジョブが実行されているノードの割合

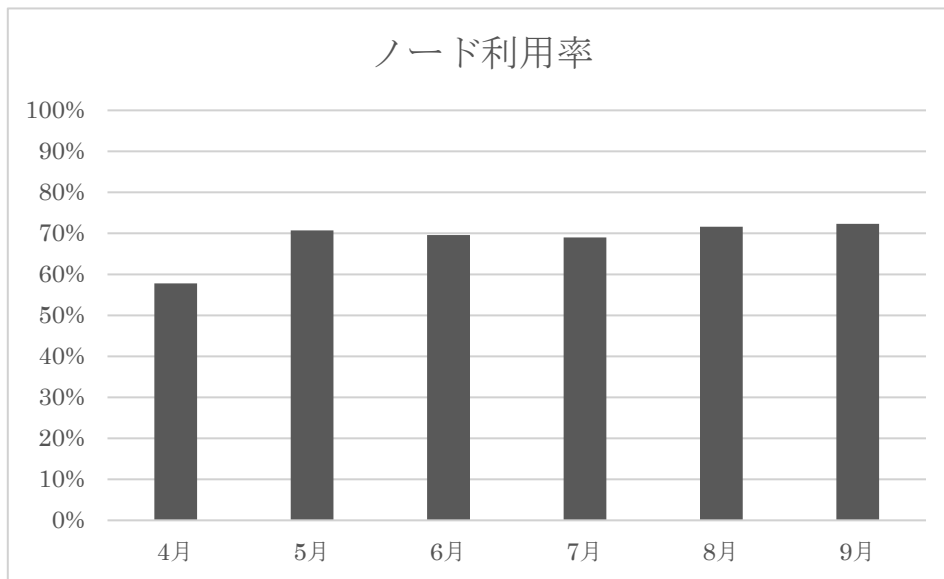
システム B 運転状況 (2019 年 4 月 ~ 2019 年 9 月)

1) 保守作業に伴うサービス休止およびシステムダウン障害発生状況

保守作業に伴うサービス休止			システムダウン障害発生状況		
保守開始日時	サービス再開日時	保守時間[h]	障害発生日時	サービス再開日時	ダウン時間[h]
2019/04/01 0:00	2019/04/04 9:00	81.00	2019/06/30 0:30	2019/07/01 0:30	24.00
2019/06/04 9:00	2019/06/04 15:00	6.00			
2019/08/06 9:00	2019/08/06 14:30	5.50			

2) サービス状況

	サービス時間[h]	ジョブ					
		処理件数	経過時間[h]	占有時間[h]	CPU時間[h]	平均稼動ノード数	ノード利用率
4月	639.0	55,705	478,121	10,958,544	8,221,690	773.2	57.8 %
5月	744.0	75,770	615,081	14,260,444	10,791,730	807.9	70.7 %
6月	690.5	146,261	514,116	13,289,562	9,961,608	780.8	69.6 %
7月	743.5	173,176	584,712	13,091,625	10,980,761	807.9	69.0 %
8月	738.5	266,877	679,479	14,634,606	11,917,091	807.5	71.6 %
9月	720.0	175,203	584,003	14,350,318	11,459,462	807.9	72.3 %
計	4269.5	892,992	3,455,512	80,585,099	63,332,342	797.5	68.5 %



- 占有時間 = 合計(経過時間×占有コア数)
- 平均稼動ノード数 = 電源 ON 状態のノード数の月平均 (10 分間隔のサンプリングデータより算出)
- ノード利用率 = 稼動ノードに対するジョブが実行されているノードの割合

システムC 運転状況 (2019年4月～2019年9月)

1) 保守作業に伴うサービス休止およびシステムダウン障害発生状況

保守作業に伴うサービス休止

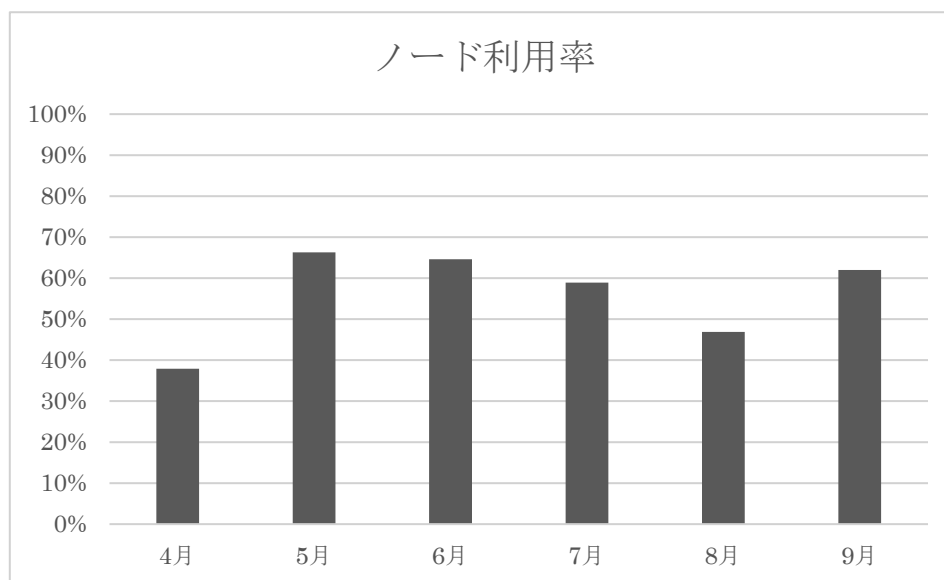
保守開始日時	サービス再開日時	保守時間[h]
2019/04/01 0:00	2019/04/04 9:00	81.00
2019/06/04 9:00	2019/06/04 15:00	6.00
2019/08/06 9:00	2019/08/06 14:30	5.50

システムダウン障害発生状況

障害発生日時	サービス再開日時	ダウン時間[h]
2019/06/30 0:30	2019/07/01 0:30	24.00

2) サービス状況

	サービス時間[h]	バッチ					
		処理件数	経過時間[h]	占有時間[h]	CPU時間[h]	平均稼動ノード数	ノード利用率
4月	639.0	10,494	37,466	209,931	155,850	15.1	37.9 %
5月	744.0	2,982	51,392	463,612	362,074	15.6	66.3 %
6月	690.5	5,242	67,872	366,660	313,270	15.8	64.6 %
7月	743.5	5,652	45,051	296,967	251,967	15.9	58.9 %
8月	738.5	2,745	54,165	344,011	238,850	16.0	46.9 %
9月	720.0	7,006	37,642	393,137	265,036	16.0	62.0 %
計	4269.5	34,121	293,588	2,074,318	1,587,047	15.7	56.1 %



- 占有時間 = 合計(経過時間×占有コア数)
- 平均稼動ノード数 = 電源 ON 状態のノード数の月平均 (10 分間隔のサンプリングデータより算出)
- ノード利用率 = 稼動ノードに対するジョブが実行されているノードの割合

センター利用による研究成果

—平成 30 年度計算機利用結果報告書から—

【1501 生活科学一般】

1. A. K. Sharma, W. M. C. Sameera, Y. Takeda, S. Minakata : A computational study on the mechanism and origin of the regioselectivity and stereospecificity in Pd/SIPr-catalyzed ring-opening cross-coupling of 2-arylaziridines with aryl-boronic acids : ACS Catal., 2019

【2103 マイクロ・ナノデバイス】

2. 山口 謙祐、ムルガナタン マノハラン、水田 博、田部 道晴、モラル ダニエル : 第一原理計算を用いた外部電場による Si ナノ構造上の不純物への影響 : 第 66 回応用物理学会春季学術講演会要旨, 2019

【4104 基礎解析学】

3. Kengo NAKAI, Yoshitaka SAIKI : Machine-learning inference of fluid variables from data using reservoir computing : Phys. Rev. E, Vol.98, No.2, pp.023111 - 023116, 2018

【4305 原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ】

4. Jun Tokimoto, Shunji Tsuchiya, and Tetsuro Nikuni : Excitation of Higgs Mode in Superfluid Fermi Gas in BCS-BEC Crossover : Journal of Physical Society of Japan, Vol.88, No.023601, 2019

【4306 生物物理・化学物理】

5. Ryuma Sato, Hirotaka Kitoh-Nishioka, Koji Ando, Takahisa Yamato : Electron Transfer Pathways of Cyclobutane Pyrimidine Dimer Photolyase Revisited : The Journal of Physical Chemistry B, Vol.122, No.27, pp.6912 - 6921, 2018

【4403 超高層物理学】

6. Kazem Ardaneh, Yang Luo, Isaac Shlosman, Kentaro Nagamine, John H Wise, Mitchell C Begelman : Direct collapse to

supermassive black hole seeds with radiation transfer: cosmological haloes : Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.479, No.Issue 2, pp.2277 - 2293, 2018

7. Yang Luo Kazem Ardaneh Isaac Shlosman Kentaro Nagamine John H Wise Mitchell C Begelman : Direct Collapse to Supermassive Black Hole Seeds with Radiative Transfer: Isolated Halos : Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.476, No.Issue 3, pp.3523 - 3539, 2018

【4601 物理化学】

8. Sandeep K. Reddy, Raphael Thiriaux, Bethany A. Wellen Rudd, Lu Lin, Tehseen Adel, Tatsuya Joutsuka, Franz M. Geiger, Heather C. Allen, Akihiro Morita, and Francesco Paesani : Bulk Contributions Modulate the Sum-Frequency Generation Spectra of Interfacial Water on Model Sea-Spray Aerosols : Chem, Vol.4, No.7, pp.1629 - 1644, 2018
9. Tatsuya Joutsuka and Akihiro Morita : Electrolyte and Temperature Effects on Third-Order Susceptibility in Sum Frequency Generation Spectroscopy of Aqueous Salt Solutions : J. Phys. Chem. C, Vol.122, No.21, pp.11407 - 11413, 2018

【4801 機能材料・デバイス】

10. Miho Itoi, Atsushi Okazawa, Jun-ichi Yamaura, Sachiko Maki, Tokutaro Komatsu, Isabelle Maurin, Epiphane Codjovi, Kamel Boukheddaden, and Norimichi Kojima : Structural Insight into Order-Disorder Transition and Charge-Transfer Phase Transition in an Iron Mixed-Valence Complex (n-C₃H₇)₄N[Fe^{II}Fe^{III}(dto)₃] with a Two-Dimensional Honeycomb Network : Inorganic

Chemistry, Vol.57, No.21, pp.13728 - 13738, 2018

【4902 薄膜・表面界面物性】

11. 政岡 壮太・土屋 明宏・薩摩 篤・沢邊 恭一：
ディーゼル酸化触媒表面上での飽和および不飽和炭化水素による被毒作用に関する研究：第122回触媒討論会予稿, 2018

【4905 工学基礎】

12. Shugo Yasuda : Synchronized molecular-dynamics simulation of the thermal lubrication of an entangled polymeric liquid : *Polymers*, Vol.11, pp.131-, 2019
13. Shugo Yasuda and Ryo Ookawa : Solidification of a simple liquid near wall in high-speed shear flows : *Journal of Physics: Conference Series*, Vol.1136, pp.012027 - , 2018
14. Benoit Perthame and Shugo Yasuda : Stiff-response-induced instability for chemotactic bacteria and flux-limited Keller-Segel equation : *Nonlinearity*, Vol.31, pp.4065 - 4089, 2018
15. Vincent Calvez, Benoit Perthame, and Shugo Yasuda : Traveling wave and aggregation in a flux-limited Keller-Segel equation : *Kinetic and related models*, Vol.11, pp.891 - 909, 2018
16. Shugo Yasuda : Synchronized Molecular-Dynamics Simulation of the Thermal Lubrication of an Entangled Polymeric Liquid : *Polymers*, Vol.11, No.1, pp.131 -, 2019

【5001 機械材料・材料力学】

17. Yuta Naito, Shimpei Matsuda, Masaaki Nishikawa, Naoki Matsuda, Masaki Hojo : Multi-Scale Evaluation for Effect of Reinforcements on Viscoelasticity of Shape-Memory Polymer Composites : *Proc. ASC 33rd Annual Technical Conference & 18th US-Japan Conference on Composite Materials*, 2018
18. 山本慧：有限要素法による薄層化 CFRP 擬似等方積層板における曲げの検討：第56回飛行機シンポジウム 講演論文集, 2018
19. 西川雅章, 後藤聡, 北條正樹, 松田直樹：マイクロボンド法を用いた炭素繊維へのエポキシ樹脂の接着・硬化過程のその場観察と樹脂硬化収縮

率の測定：材料, Vol.67, No.4, pp.416 - 423, 2018

【5004 流体工学】

20. Yong Hu, Ryoichi Kurose : Partially premixed flamelet in LES of acetone spray flames : *Proceedings of the Combustion Institute*, 2018
21. Yu Haruki, Abhishek L. Pillai, Tomoaki Kitano, Ryoichi Kurose : Numerical Investigation of Flame Propagation in Fuel Droplet Arrays : *Atomization and Sprays*, Vol.28, No.4, pp.357 - 388, 2018
22. Abhishek L. Pillai, Ryoichi Kurose : Combustion noise analysis of a turbulent spray flame using a hybrid DNS/APE-RF approach : *Combustion and Flame*, Vol.200, pp.168 - 191, 2019
23. Abhishek L. Pillai, Ryoichi Kurose : Numerical investigation of combustion noise in an open turbulent spray flame : *Applied Acoustics*, Vol.133, pp.16 - 27, 2018
24. Charles Turquand d' Auzay, Umair Ahmed, Abhishek L. Pillai, Nilanjan Chakraborty, Ryoichi Kurose : Statistics of progress variable and mixture fraction gradients in an open turbulent jet spray flame : *Fuel*, Vol.247, pp.198 - 208, 2019
25. 横嶋 哲, 菅野 雅也：壁の透過性が壁乱流の抵抗特性に及ぼす影響：第32回数値流体力学シンポジウム, pp.D04-3, 2018
26. 横嶋 哲, 菅野 雅也：透過性を有する平行平板間乱流の直接数値シミュレーション：第73回土木学会 年次学術講演会, pp.II-148, 2018
27. 横嶋 哲, 菅野 雅也：壁の透過性がチャンネル乱流に及ぼす影響：第21回応用力学シンポジウム, pp.C000087, 2018
28. S. Yokojima, M. Kanno : Effects of wall permeability on wall-bounded turbulent flows : *Three Days National Workshop on Understanding Modelling of Turbulent Flows and its Progress (UMTFP 2019)*, pp.C000087, 2019
29. S. Yokojima, M. Kanno : The relationship between the wall permeability and the flow resistance in a wall-bounded turbulent flow :

5th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN 2019), pp.C000087, 2019

【5204 水工水理学】

30. 永野浩大, 鳥生大祐, 牛島省 : コロケート格子有限体積法によるマクスウェル流体構成則の計算法 : 土木学会第 21 回応用力学シンポジウム講演概要集, No.C000081, 2018
31. 長野 智絵・津守 博通・稲村 友彦・佐野 肇・小林 健一郎・佐山 敬洋・寶 馨 : 損害保険のための日本全域洪水リスク評価モデルの開発 (2) : リスク評価モデルの構築と適用例 : 自然災害科学, Vol.37, No.2, pp.191 - 203, 2018
32. 柳 博文, 鳥生 大祐, 牛島 省 : 多相場モデルを用いた礫群輸送の 3 次元並列計算 : 計算工学講演会論文集, Vol.23, No.B-10-04, 2018
33. 永野 浩大, 鳥生 大祐, 牛島 省 : 非圧縮性粘弾性流体の圧力解法 : 計算工学講演会論文集, Vol.23, No.B-10-05, 2018
34. 柳 博文, 鳥生 大祐, 牛島 省 : 相平均モデルを用いた鉛直噴流による礫群輸送の数値解析 : 第 31 回数値流体力学シンポジウム, No.C01-03, 2018
35. Kosei Sakakibara, Daisuke Toriu, Satoru Ushijima : Implicit Eulerian method for transportation of multiple deformable objects : JSST2018 Proceedings, pp.274 - 277, 2018
36. Hirofumi Yanagi, Daisuke Toriu, Satoru Ushijima : 3D parallel computation for transportation of gravel particles due to downward water jets : JSST2018 Proceedings, pp.278 - 281, 2018
37. Daisuke Toriu, Satoru Ushijima : Fully explicit computational method for compressible natural convection using reduction technique of pressure propagation : JSST2018 Proceedings, pp.305 - 308, 2018
38. Satoru Ushijima, Wei Liu, Hiroki Tanaka, Daisuke Toriu : Computational Method for Compressible Fluids with Pressure-Poisson Equations : JSST2018 Proceedings, pp.77 - 80, 2018
39. Satoru Ushijima, Hiroki Tanaka, Wei Liu, Daisuke Toriu : Applicability of Pressure-

Velocity Correction Algorithm (C-HSMAC method) to Incompressible Fluids with Passive Scalar Convection : JSST2018 Proceedings, pp.83 - 86, 2018

40. Daisuke Toriu, Satoru Ushijima : Computations of non-isothermal compressible gas flows around moving solid object : CMFF'18 Proceedings, 2018
41. Satoru Ushijima, Daisuke Toriu, Hirofumi Yanagi : Multiphase Model to Predict Many Gravel Particles Transported by Free-Surface Flows : CMFF'18 Proceedings, 2018

【5401 金属物性】

42. N. Tsunoda, Y. Kumagai, A. Takahashi, and F. Oba : Electrically benign defect behavior in zinc tin nitride revealed from first principles : Phys. Rev. Applied, Vol.10, pp.011001-1 - 011001-6, 2018
43. Y. Hinuma, Y. Kumagai, I. Tanaka, and F. Oba : Effects of composition, crystal structure, and surface orientation on band alignment of divalent metal oxides: A first-principles study : Phys. Rev. Mater., Vol.2, pp.124603-1 - 124603-20, 2018
44. Y. Mochizuki, Y. Kumagai, H. Akamatsu, and F. Oba : Polar metallic behavior of strained antiperovskites ACNi₃ (A = Mg, Zn, and Cd) from first principles : Phys. Rev. Mater., Vol.2, No., pp.125004-1 - 125004-10, 2018
45. Y. Mochizuki, H. Akamatsu, Y. Kumagai, and F. Oba : Strain-engineered Peierls instability in layered perovskite La₃Ni₂O₇ from first principles : Phys. Rev. Mater., Vol.2, pp.125001-1 - 125001-7, 2018
46. N. Tsunoda, Y. Kumagai, M. Araki, and F. Oba : One-dimensionally extended oxygen vacancy states in perovskite oxides : Phys. Rev. B, Vol.99, pp.060103(R)-1 - 060103(R)-5, 2019
47. K. Matsuzaki, K. Harada, Y. Kumagai, S. Koshiya, K. Kimoto, S. Ueda, M. Sasase, A. Maeda, T. Susaki, M. Kitano, F. Oba, and H. Hosono : High - mobility p - type and n - type copper nitride semiconductors by direct nitriding synthesis and in silico doping design :

- Adv. Mater., Vol.30, No.31, pp.1801968-1 - 1801968-8, 2018
- 【5402 無機材料・物性】
48. Yoyo Hinuma, Yu Kumagai, Isao Tanaka and Fumiyasu Oba : Effects of composition, crystal structure, and surface orientation on band alignment of divalent metal oxides: A first-principles study : Physical Review Materials, Vol.2, pp.124603 - , 2018
49. Yoyo Hinuma, Takashi Toyao, Takashi Kamachi, Zen Maeno, Satoru Takakusagi, Shinya Furukawa, Ichigaku Takigawa, and Ken-ichi Shimizu : Density Functional Theory Calculations of Oxygen-Vacancy Formation and Subsequent Molecular Adsorption on Oxide Surfaces : J. Phys. Chem. C, Vol.122, pp.29435 - 29444, 2018
- 【5403 複合材料・物性】
50. 岩田晋弥, 植原弘明, 関井康雄, 木谷亮太, 高田達雄 : 計算機シミュレーションによる紫外線吸収剤および架橋剤分解残渣の電気トリートメント抑制効果の検討 : 放電研究, Vol.61, No.3, pp.25 - 30, 2018
51. S. Iwata, H. Uehara, Y. Sekii, T. Takada : Behavior of water molecules between molecular layers of by-products of dicumyl peroxide or surfactants in an external electric field: Computational insight : Computational Materials Science, Vol.163, pp.134 - 140, 2019
- 【5501 化工物性・移動操作・単位操作】
52. Takuya Yamamoto, Aire Suzuki, Sergey V. Komarov, Yasuo Ishiwata : Investigation of impeller design and flow structures in mechanical stirring of molten aluminum : Journal of Materials Processing Technology, Vol.261, pp.164 - 172, 2018
53. T. Yamamoto, Y. Fang, S. V. Komarov : Mechanism of small bubble breakup in an unbaffled stirred vessel : Chemical Engineering Science, Vol.197, pp.26 - 36, 2019
54. 山本卓也, Komarov Sergey : アルミニウム溶湯機械攪拌における自由表面変形の基礎メカニズム解明 : 軽金属学会第 134 回春季大会 講演概要集, pp.94 - , 2018
55. 山本卓也, 方毓, Komarov Sergey : 攪拌時表面渦形成と気泡巻き込みに対するその場観察を数値シミュレーション : 化学工学会第 50 回秋季大会 講演概要集, pp.FF215 - , 2018
56. 山本卓也, Komarov Sergey : アルミニウム溶湯の機械攪拌における偏心に対する自由表面変形の影響 : 軽金属学会第 135 回秋期大会 講演概要集, pp.124 - , 2018
57. T. Yamamoto, Y. Fang, S. V. Komarov : Surface vortex formation and free surface deformation in an unbaffled vessel stirred by on-axis and eccentric impellers : Chemical Engineering Journal, Vol.367, pp.25 - 36, 2019
58. 山本卓也, コマロフセルゲイ : アルミニウム溶湯中機械攪拌操作時の移動現象に対する数値シミュレーション : 軽金属, Vol.38, No.12, pp.677 - 684, 2018
59. Takashi Horiuchi, Lei Wang, Takuya Yamamoto, Atsushi Sekimoto, Yasunori Okano, Toru Ujihara, and Sadik Dost : Numerical investigation of optimal crystal growth furnace design in the RF-Heating TSSG process : 9th International Workshop on Modeling in Crystal Growth, pp.Session 5, 2018
60. 堀内 鷹之, 関本 敦, 岡野 泰則, 宇治原 徹 : 随伴感度解析を用いた TSSG 法 SiC 結晶成長におけるるつぼ内熱対流の最適化 : 化学工学会第 50 回秋季大会, pp.DB208, 2018
61. 堀内 鷹之, 関本 敦, 岡野 泰則, 宇治原 徹 : TSSG 法 SiC 結晶成長におけるるつぼ温度分布最適化に向けた逆解析 : 第 47 回結晶成長国内会議, pp.01p-P32, 2018
- 【5601 航空宇宙工学】
62. Kengo Nakamura, Yuichi Nakagawa, Hiroyuki Koizumi, and Yoshinori Takao : Numerical Analysis of a Miniature Microwave-discharge Ion Thruster Using Water as the Propellant : Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.61, No.4, pp.152 - 159, 2019
63. Kazuma Emoto, Yoshinori Takao, and Hitoshi Kuninaka : A Preliminary Study on Radiation Shielding Using Martian Magnetic Anomalies : Biological Sciences in Space,

- Vol.32, pp.1-5, 2018
64. Kazuki Takase, Kazunori Takahashi, and Yoshinori Takao : Numerical Investigation of Neutral-Injection Effect on an Electrodeless Plasma Thruster : Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, Vol.16, No.2, pp.105 - 109, 2018
 65. Kazuma Emoto, Toshiyuki Tsuchiya, and Yoshinori Takao : Numerical Investigation of Steady and Transient Ion Beam Extraction Mechanisms for Electrospray Thrusters : Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, Vol.16, No.2, pp.110 - 115, 2018
 66. Kazuki Takase, Kazunori Takahashi, and Yoshinori Takao : Effects of neutral distribution and external magnetic field on plasma momentum in electrodeless plasma thrusters : Physics of Plasmas, Vol.25, No.2, pp.023507 - , 2018
 67. Kenta Hiramoto, Yuichi Nakagawa, Hiroyuki Koizumi, and Yoshinori Takao : Effects of $E \times B$ drift on electron transport across the magnetic field in a miniature microwave discharge neutralizer : Physics of Plasmas, Vol.24, No.6, pp.064504 - , 2018
 68. Kenta Hiramoto and Yoshinori Takao : Investigation of Ion Beam Extraction Mechanism for Higher Thrust Density of Ion Thrusters : Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, Vol.14, No.ists30, pp.Pb_57 - Pb_62, 2016
 69. Kaito Nakagawa and Yoshinori Takao : Optimization of Plasma Production with Impedance Analysis for a Micro RF Ion Thruster : Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, Vol.14, No.ists30, pp.Pb_63 - Pb_68, 2016
 70. Yoshinori Takao, Hiroyuki Koizumi, Yusuke Kasagi, and Kimiya Komurasaki : Investigation of Electron Extraction from a Microwave Discharge Neutralizer for a Miniature Ion Propulsion System : Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan, Vol.14, No.ists30, pp.Pb_41 - Pb_46, 2016
 71. Yoshinori Takao, Kenta Hiramoto, Yuichi Nakagawa, Yusuke Kasagi, Hiroyuki Koizumi and Kimiya Komurasaki : Electron extraction mechanisms of a micro-ECR neutralizer : Japanese Journal of Applied Physics, Vol.55, No.7S2, pp.07LD09 - , 2016
 72. Yoshinori Takao and Kazunori Takahashi : Numerical validation of axial plasma momentum lost to a lateral wall induced by neutral depletion : Physics of Plasmas, Vol.22, No.11, pp.113509 - , 2015
 73. Yoshinori Takao, Hiroyuki Koizumi, Kimiya Komurasaki, Koji Eriguchi, and Kouichi Ono : Three-dimensional particle-in-cell simulation of a miniature plasma source for a microwave discharge ion thruster : Plasma Sources Science and Technology, Vol.23, No.6, pp.064004 - , 2014

別表1 スーパーコンピュータシステム

コース	タイプ	セット	利用負担額	提供サービス					
				システム	バッチ	システム資源	経過時間 (時間)	ストレージ (TB)	無料 利用者数
エントリ	-	基本	12,600 円/年	B	共有	最大1ノード相当((36コア、128GBメモリ)×1)	1	0.2	-
パーソナル	タイプA	基本	100,000 円/年	A	共有	最大4ノード相当((68コア、16+96GBメモリ)×4)	168	3.0	-
	タイプB	基本	100,000 円/年	B	共有	最大4ノード相当((36コア、128GBメモリ)×4)		3.0	
	タイプC	基本	100,000 円/年	C	共有	最大1ノード相当((72コア、3072GBメモリ)×1)		3.0	
	タイプA1	最小 追加単位	200,000 円/年 100,000 円/年	A	優先	4ノード((68コア、16+96GBメモリ)×4)		24.0	
タイプA2	最小 追加単位	240,000 円/年 60,000 円/年	2ノード((68コア、16+96GBメモリ)×2)			12.0	4		
	タイプA3	最小 追加単位	600,000 円/年 300,000 円/年			8ノード((68コア、16+96GBメモリ)×8)	28.8	16	
タイプB1		最小 追加単位	210,000 円/年 105,000 円/年			B	優先	2ノード((68コア、16+96GBメモリ)×2)	7.2
	タイプB2	最小 追加単位	252,000 円/年 63,000 円/年	2ノード((36コア、128GBメモリ)×2)	48.0			16	
タイプB3		最小 追加単位	630,000 円/年 315,000 円/年	C	占有	8ノード((68コア、16+96GBメモリ)×8)	24.0	8	
	タイプC1	最小 追加単位	130,000 円/年 130,000 円/年			4ノード((36コア、128GBメモリ)×4)	24.0	8	
タイプC2		最小 追加単位	156,000 円/年 78,000 円/年	C	優先	1ノード((72コア、3072GBメモリ)×1)	24.0	8	
	タイプB1	最小 追加単位	210,000 円/年 105,000 円/年			B	標準優先	1ノード((72コア、3072GBメモリ)×1)	28.8
タイプB2		最小 追加単位	252,000 円/年 63,000 円/年	C	標準優先			2ノード((72コア、3072GBメモリ)×2)	14.4
	タイプB3	最小 追加単位	630,000 円/年 315,000 円/年			C	占有	1ノード((72コア、3072GBメモリ)×1)	24.0
大規模ジョブ		タイプA	最小 追加単位	20,000 円/週(7日) 10,000 円/週(7日)	A			占有	8ノード((68コア、16+96GBメモリ)×8)
	タイプB		最小 追加単位	21,000 円/週(7日) 10,500 円/週(7日)		B	占有		4ノード((68コア、16+96GBメモリ)×4)
		タイプC	最小 追加単位	13,000 円/週(7日) 6,500 円/週(7日)	C			占有	2ノード((72コア、3072GBメモリ)×2)
	タイプA1		最小 追加単位	200,000 円/年 100,000 円/年		A	優先		4ノード((36コア、128GBメモリ)×4)
		タイプA2	最小 追加単位	240,000 円/年 60,000 円/年	B			優先	2ノード((36コア、128GBメモリ)×2)
	タイプA3		最小 追加単位	600,000 円/年 300,000 円/年		C	占有		8ノード((36コア、128GBメモリ)×8)
タイプB1		最小 追加単位	210,000 円/年 105,000 円/年	C	占有			4ノード((36コア、128GBメモリ)×4)	
	タイプB2	最小 追加単位	252,000 円/年 63,000 円/年			C	占有	1ノード((72コア、3072GBメモリ)×1)	
タイプB3		最小 追加単位	630,000 円/年 315,000 円/年	C	占有			1ノード((72コア、3072GBメモリ)×1)	
	専用クラスタ	-	最小 追加単位			630,000 円/年 315,000 円/年	B	-	8ノード((36コア、128GBメモリ)×8)
追加単位			315,000 円/年	4ノード((36コア、128GBメモリ)×4)	-	24.0			8
ストレージ容量追加			10,000 円/年	ストレージ容量10TBの追加につき					
ライセンスサービス			20,000 円/年	可視化ソフト(AVS,ENVI/IDL)およびブリポストアウェアの1ライセンスにつき					

備考

- 利用負担額は、年度単位で算定している。また、総額表示である。パーソナルコース、グループコース又は専用クラスタコースを、年度途中から利用を開始する場合及び年度途中で利用を終了する場合の利用負担額は、上記表中の利用負担額を12で除した後、利用月数を乗じて算出するものとし、100円未満に端数が出た場合は、10円単位を四捨五入するものとする。
なお、月途中から利用を開始する場合及び月途中で利用を終了する場合は、それぞれ1月の利用とする。
- 大型計算機システムの全ての利用者は、上記表のサービスの他、次のサービスを受けることができる。
 - 大判プリンタサービス
 - その他、大型計算機システムが提供するサービス、機器の利用
- 上記表の大規模ジョブコース、ストレージ容量追加、ライセンスサービスの申請には、スーパーコンピュータシステムの利用者であることが必要である。
- 「共有」：当該カテゴリのユーザ間で一定の計算資源を共有するベストエフォートのスケジューリングを行う。
「標準優先」：定常稼働状況において記載値(以上)の計算資源が確保されるように優先スケジューリングを行う。
また、稼働状況によらず記載値の1/4の計算資源が確保されることを保証する。
「優先」：定常稼働状況において記載値(以上)の計算資源が確保されるように優先スケジューリングを行う。
また、稼働状況によらず記載値の1/2の計算資源が確保されることを保証する。
「占有」：稼働状況によらず記載値の計算資源が確保されることを保証する。
- ストレージ容量はバックアップ領域(最大で総容量の1/2)を含む。
- グループコース及び専用クラスタコースの利用者番号は利用者あたり年額5,000円を負担することで追加できる。
- 機関・部局定額制度
他機関又は学内における部局(『国立大学法人京都大学の組織に関する規程』第3章第2節から第11節で定める組織をいう。)の組織が、その組織単位でグループコースサービスを利用申請する場合の利用負担額は、別表1に規定する1.5倍の額とする。なお、利用負担額が年額150万円未満の場合は100人、年額150万円を超える場合は、150万円毎に100人までの利用者を認める。ストレージは、1.5倍の容量とする。
- スパコン連携サービス
学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータシステムと密な連携により、学内における部局の組織が計算サーバ等を設置する場合、下記の負担額を支払うものとする。

冷却方式	利用負担額	利用負担額算定単位
水冷	9,800 円/月	水冷冷却方式の計算サーバ等の定格電力 1kWにつき
空冷	11,500 円/月	空冷冷却方式の計算サーバ等の定格電力 1kWにつき

別表2 汎用コンピュータシステム

区 分	利用負担額	単 位
仮想サーバホスティングサービス	36,000円/年	1仮想サーバにつき

備考

1. 利用負担額は、総額表示である。
2. 上記表の仮想サーバホスティングサービスを利用するには、スーパーコンピュータシステムの利用者であること。
3. 1仮想サーバに割当てるシステム資源は、CPU:2コア、メモリ:4GB、ディスク:100GBである。
4. 仮想サーバホスティングサービスにおいて、下記の負担額を支払うことによりCPU、メモリ、ディスクを増量することができる。

区 分	利用負担額	単 位
CPU増量	3,000円/年	2コアにつき(最大8コアまで)
メモリ増量	3,000円/年	4GBにつき(最大64GBまで)
ディスク増量	6,000円/年	100GBにつき(最大1,000GBまで)

5. 利用負担額は、当該年度(4月から翌年3月まで)の利用に対して年額として算定するが、年度途中から利用を開始する場合には月数に応じて減額する。

別表3 スーパーコンピュータシステム

システム	システム資源	経過時間 (時間)	ストレージ (TB)	無料 利用者数	利用負担額
A	8ノード(68コア、16+96GBメモリ)×8)	336	28.8	16	960,000 円/年
	12ノード(68コア、16+96GBメモリ)×12)	336	43.2	24	1,440,000 円/年
	16ノード(68コア、16+96GBメモリ)×16)	336	57.6	32	1,920,000 円/年
B	8ノード(36コア、128GBメモリ)×8)	336	28.8	16	1,008,000 円/年
	12ノード(36コア、128GBメモリ)×12)	336	43.2	24	1,512,000 円/年
	16ノード(36コア、128GBメモリ)×16)	336	57.6	32	2,016,000 円/年
C	2ノード(72コア、3072GBメモリ)×2)	336	28.8	16	624,000 円/年
	3ノード(72コア、3072GBメモリ)×3)	336	43.2	24	936,000 円/年
	4ノード(72コア、3072GBメモリ)×4)	336	57.6	32	1,248,000 円/年

備考

1. 利用負担額は、年度単位で算定している。また、総額表示である。パーソナルコース、グループコース又は専用クラスターコース
年度途中から利用を開始する場合及び年度途中で利用を終了する場合の利用負担額は、上記表中の利用負担額を12で除し
利用月数を乗じて算出するものとし、100円未満に端数が出た場合は、10円単位を四捨五入するものとする。
なお、月途中から利用を開始する場合及び月途中で利用を終了する場合は、それぞれ1月の利用とする。
2. ストレージ容量はバックアップ領域(最大で総容量の1/2)を含む。

— サービス利用のための資料一覧 —

1. スーパーコンピュータシステム・ホスト一覧

- システム A : camphor.kudpc.kyoto-u.ac.jp
- システム B・C : laurel.kudpc.kyoto-u.ac.jp
 - システム B (SAS 利用時) : sas.kudpc.kyoto-u.ac.jp

※ ホストへの接続は SSH(Secure SHell) 鍵認証のみ、パスワード認証は不可

2. 問い合わせ先 & リンク集

- 情報環境機構のホームページ
<http://www.iimc.kyoto-u.ac.jp/>
- 学術情報メディアセンターのホームページ
<http://www.media.kyoto-u.ac.jp/>
- スーパーコンピュータシステムに関する問い合わせ先
 - 利用申請などに関する問い合わせ先
【情報環境支援センター】
E-mail : zenkoku-kyo@media.kyoto-u.ac.jp / Tel : 075-753-7424
URL: <http://www.iimc.kyoto-u.ac.jp/ja/services/comp/>
 - システムの利用など技術的な問い合わせ先
【スーパーコンピューティング掛】
E-mail : consult@kudpc.kyoto-u.ac.jp / Tel : 075-753-7426
URL: <http://www.iimc.kyoto-u.ac.jp/ja/services/comp/contact.html>

京都大学学術情報メディアセンター全国共同利用版広報 Vol. 18, No. 2

2020年2月17日発行

編集者 京都大学学術情報メディアセンター
全国共同利用版広報編集委員会
発行者 〒606-8501 京都市左京区吉田本町
京都大学学術情報メディアセンター
Academic Center for Computing and Media Studies
Kyoto University
Tel. 075-753-7414
<http://www.media.kyoto-u.ac.jp/>
印刷所 〒616-8102 京都市右京区太秦森ヶ東町21-10
株式会社エヌジーピー

広報編集委員会

深沢 圭一郎 (部会長)
平石 拓 (副部会長)
水谷 幸弘
尾形 幸亮
熊谷 真由美

表紙デザイン：中山 豊
(中山商店)

目次

【巻頭言】

Vol.18, No.2号の発刊に当たって 深沢 圭一郎 1

【ARM プロセッサの性能評価】

Marvell ThunderX2 評価機の紹介 尾形 幸亮, 當山 達也, 疋田 淳一 2

ThunderX2 評価機を利用した MHD シミュレーションコードの性能評価 深沢 圭一郎 4

【サービスの記録・報告】

スーパーコンピュータシステムの稼働状況 10

センター利用による研究成果(平成30年度) 13

【資料】

大型計算機システム利用負担金 別表 18

サービス利用のための資料一覧 21

【編集後記】

編集後記、奥付 22