

FOCUS スパコンシステム運用の 10 年

西川武志^{†1}, 木下朋子^{†1}

概要：公益財団法人計算科学振興財団が運用する FOCUS スパコンシステムは 2011 年 4 月に運用を開始して 2020 年 4 月で 10 年目を迎えた。FOCUS スパコンシステムは、産業界の利用者がスーパーコンピュータ「京」へステップアップするために設計され、10 年で累計 335 法人 531 課題が利用してきた。FOCUS スパコンシステムでは並列ノード数に応じて課金単価を下げ、並列化向上の課金インセンティブを設定し、利用者の並列化向上を常に図ってきた。この 10 年間に FOCUS スパコンシステムがどのように産業界の利用者に使われてきたかを報告する。FOCUS スパコンでは月別の利用パターンやストレージの利用状況などが大学・公的研究機関のスーパーコンピュータ システムとは明確に異なる傾向があることが明らかとなった。

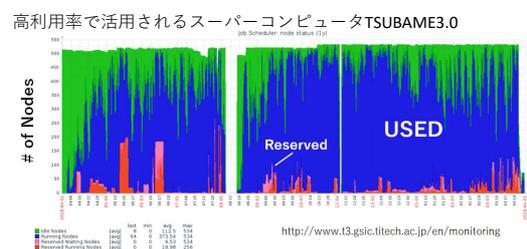
キーワード：インセンティブ設計、計算センター運用、運用統計、並列度向上

1. はじめに

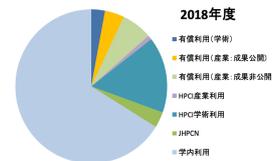
計算科学振興財団 (FOCUS) が運用する産業界向けエントリースーパーコンピュータシステム「FOCUS スパコン」は 2011 年 4 月から Intel Xeon(Westmere)を採用した A システムの共用を開始し、2014 年 1 月 Intel Xeon(IvyBridge)を採用した D,E システム、2016 年 10 月には Intel Xeon (Broadwell)を採用した F,H システム、2018 年 8 月 Intel Xeon (Skylake)を採用した V システム、2020 年 3 月には FUJITSU A64FX(Armv8.2-A SVE)を採用した X システムの共用を開始し 2020 年 4 月に 10 年目を迎える。他機関では信じられないかもしれないが Intel Xeon(Westmere)を採用した A システムは 2020 年 6 月現在も現役で共用されている。これまでの報告[1-7]では FOCUS スパコンにおける並列課金インセンティブの効果、すなわち 1 ジョブで複数のノードを確保して使うとノード課金時間単価を割り引きジョブ実行時の並列度を増加させることを図り、ある程度成功してきたことを報告してきた。一方で大学・公的研究機関等のスーパーコンピュータ設置・運用組織の年報や広報誌で公開されている利用法人数、課題数、従事者数、消費電力、ストレージの利用状況や月毎の利用変動等、スーパーコンピュータ 運用者や利用者に向けての情報には触れてこなかった。一例として、図 1 に「東京工業大学学術国際情報センター GSIC 年報 2018 年度 TSUBAME3.0 の利用状況等」[1]を引用するが、他の大学・公的研究機関等のスーパーコンピュータも年度開始の 4 月を除けば年度を通じて 7 割 (月～金 24 時間ジョブが計算資源を利用している状態) を超える非常に高い利用率であり、利用の大半を学術利用が占め、産業利用が少ないというのは、ほぼ共通している。

FOCUS スパコンの運用・利用状況は他の大学・公的研究機関等と大きく異なっており、先に述べたように導入から 10 年目を迎えた市販の汎用 CPU を採用したシステムが現役で稼働・共用されている点でも 4 年から 6 年でリース契

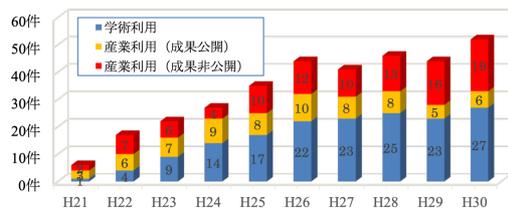
約が更新される他機関とは大きく異なっている。



p.3 図 2 TSUBAME3.0 の 2018 年度の資源利用量の推移 (年平均利用率 77%)



p.4 図 4 TSUBAME3 の利用カテゴリーの内訳



p.57 図 1 TSUBAME 共同利用サービスの採択課題数の推移

図 1 東京工業大学学術国際情報センター GSIC 年報 2018 年度 TSUBAME3.0 の利用状況等

本稿では 2011 年度から広く産業界に向けて、スーパーコンピュータ「京」/「富岳」をはじめとする HPCI を構成するスーパーコンピュータの産業利用促進・ステップアップのために運用されてきた、HPCI を構成する大学等の計算資源と比べて一桁から二桁も小さなスーパーコンピュータ、FOCUS スパコンが 10 年にわたってどのように運用され、どのように利用されてきたかを報告する。

^{†1}(公財)計算科学振興財団
Foundation for Computational Science

2. 公益財団法人計算科学振興財団 (FOCUS)

公益財団法人計算科学振興財団は (Foundation for Computational Science: FOCUS) 次世代スーパーコンピュータ (スーパーコンピュータ「京」) を活用した研究開発や産業利用を推進するとともに、広く普及啓発を行うことにより、計算科学分野の振興と産業経済の発展に寄与するため兵庫県、神戸市、神戸商工会議所が基本財産 (出捐金) 供出して 2008 年 1 月 22 日に兵庫県認可の財団法人として設立された。2008 年の設立以降、2010 年度までの 3 年間は兵庫県庁内に拠点を有し企業コンサルティングにより潜在的な HPC 利用需要を掘り起こすとともに企業のシミュレーション技術の高度化を支援し実践スクールや研究会などを通じて企業技術者の HPC 技術の習得・向上に貢献し、コミュニティ形成に向けた基盤の構築を行ってきた。当時は自前の計算資源を有しておらず九州大学の計算資源を借りて前述の実践スクール等を実施してきた。

2011 年度からは現・理化学研究所計算科学研究センターの隣に位置する計算科学センタービルの 1~2 階部分の高度計算科学研究支援センターに拠点を構え、活動のインフラとして研究室、セミナー室、実習室、展示コーナー等と産業界向けエントリースーパーコンピュータシステム「FOCUS スパコン」を備えスーパーコンピュータの産業利用を促進してきている。

2.1 FOCUS の事業概要

FOCUS の主要事業はスーパーコンピュータ「京」/「富岳」/HPCI を中核とするスーパーコンピュータの産業利用促進や研究支援、普及啓発等、計算科学分野の振興のために下記の事業を行なっている。

- ・産業利用への環境整備

「京」/「富岳」を中核に、国内の主要なスパコンをネットワークで結ぶ HPCI の運用が進む中、産業界にとって利用しやすい環境整備を図るため、HPCI コンソーシアムに参画し関係機関等と緊密に連携しつつ産業界のニーズの反映・利用の支援を実施

- ・普及・啓発活動

公的な研究機関や大学等と連携し、企業の経営者層や研究者・技術者を対象にしたセミナー等の開催や事例集の作成、展示会等への出展や高度計算科学研究支援センターの活用により産業界のスパコン利用の理解や技術向上の促進

- ・シミュレーション技術の普及による産業活性化

産業利用向けのエントリーマシン「FOCUS スパコン」を活用し、企業の研究開発、ものづくり等の個別課題に応じた技術高度化支援/コンサルティングの実施

- ・人材開発・研究活動

FOCUS スパコンの基本操作や分野別の応用、普及しつつある AI/機械学習、ビッグデータ等の講習会を実施し実践的な企業技術者育成の促進。新たなシステム運用・活用方法に関する研究成果の公表を通してスパコンの有用性実証と普及の推進

2.2 アクセスポイント神戸の運用

2012 年 9 月 28 日のスーパーコンピュータ「京」の共用開始に合わせてアクセスポイント神戸の運用を開始し、光ファイバーでスーパーコンピュータ「京」のネットワークと 10Gbps の Ethernet で LAN 接続された個室で実効 1GB/s でのデータのアップロード・ダウンロードが可能となった。2017 年 8 月からは 10Gbps x4 と経路が増設され、アクセスポイント神戸専用の「京」ログインノードの運用も開始され実効 3GB/s のデータのアップロード・ダウンロードが可能となった。

3. FOCUS スパコンシステムの運用状況

FOCUS スパコンの各システムの詳細についてはこれまでの報告[2-8]で述べているが、改めて本項でこの 10 年間に運用されたシステムについて概要を述べる。ノード数は中途導入を含んだ最終導入数、なお、C, D, E システムは 2020 年 6 月現在、既に運用を終えている。

3.1 FOCUS スパコンシステム概要

FOCUS の各システムの概要は以下のとおりである。

(1) A システム (208 ノード)

富士通 PRIMERGY BX900 S1 システム

ノード間高並列指向 (40Gbps QDR-Infiniband 接続) CPU : Xeon L5640 2.26 GHz 6 コア×2 108GFLOPS, RAM : 48GB, HDD : 500GB, 運用期間 2011 年 4 月~現在運用中

(2) B システム (2 ノード)

富士通 PRIMERGY RX600 S6 システム

プリポスト・大容量メモリ処理指向 (40Gbps QDR-Infiniband 接続) CPU : Xeon X7520 1.86 GHz 4 コア×4 119GFLOPS, RAM : 512GB, HDD : 1200GB, 運用期間 2011 年 4 月~現在運用中

(3) C システム (38 ノード)

富士通 CX1000 システム

ノード内並列実行指向 (Gigabit Ethernet 接続)

CPU : Xeon L5640 2.26 GHz 6 コア×2 108GFLOPS, RAM : 48GB, HDD : 500GB, 運用期間 2011 年 10 月~2019 年 3 月

(4) D システム (80 ノード)

CRAY CS300 システム Cray H2312WFFKR

ノード間高並列指向 (56Gbps FDR-Infiniband 接続) CPU : Xeon E5-2670 2.5 GHz 10 コア×2, 400GFLOPS, RAM : 64GB, HDD : 6,000GB, 運用期間 2014 年 1 月~2019 年 3 月

(5) E システム (48 ノード)

CRAY CS300 システム GreenBlade GB824X

大容量メモリ、高並列化・コプロセッサ利用環境 (56Gbps FDR-Infiniband 接続) CPU : Xeon E5-2670 2.5 GHz 10 コア×2 400GFLOPS, RAM : 128GB, HDD : 2,000GB, コプロセッサ Xeon Phi P5110 60 コア×4 4044GFLOPS, ノード内合計理論演算性能 4444GFLOPS, 運用期間 2014 年 1 月~2019

年 3 月

(6) G システム (4 ノード)

デバッグ環境 (10Gbps Ethernet 接続) CPU : Xeon E5-2640 2.5 GHz 6 コア×2 240GFLOPS, RAM : 64GB, HDD : 1000GB, コプロセッサ Xeon Phi P5110 60 コア×1 1011GFLOPS, ノード内合計理論演算性能 1251GFLOPS, 運用期間 2014 年 1 月～現在運用中

(7) F システム (62 ノード)

富士通 PC クラスタ PRIMERGY CX400 システム
ノード間高並列指向 (56Gbps FDR-InfiniBand 接続)
CPU : Xeon E5-2698 v4 (Broadwell) 2.2 GHz 20 コア×2 1152GFLOPS, RAM : 128GB, HDD : 6,000GB, 運用期間 2016 年 10 月～現在運用中

(8) H システム (136 ノード)

日本電気 Scalable Modular Server DX2000 システム
ノード間高並列指向 (34 ノード/3U シャーシ, シャーシ間 40Gbps Ethernet ×16 シャーシ内ノード間 10Gbps Ethernet ×2 接続) CPU : Xeon D-1541 (Broadwell) 2.1 GHz 8 コア×1 205GFLOPS, RAM : 64GB, SSD : 512GB, 運用期間 2016 年 10 月～現在運用中

(9) V システム (2 ノード)

日本電気 SX-Aurora TSUBASA A300-2 システム
ベクトルエンジン演算指向 (56Gbps FDR-Infiniband 接続)
CPU : Xeon Gold 6148 (Skylake) 2.4 GHz 20 コア×1 1,024GFLOPS, RAM : 96GB, HDD : 240GB, PCI-Express 接続
で NEC SX-Aurora TSUBASA Type 10B (周波数 1.4GHz 8 コア 2.15TFLOPS, メモリ帯域 1.22TB/s, HBM2 メモリ 48GB) をノードあたり 1 基搭載, 運用期間 2018 年 8 月～現在運用中

(10) W システム (1 ノード)

日本電気 SX-Aurora TSUBASA A300-8 システム
ベクトルエンジン高並列指向 (100Gbps EDR-Infiniband 接続) CPU : Xeon Gold 6148 (Skylake) 2.4 GHz 20 コア×2 2,048GFLOPS, RAM : 192GB, SSD : 240GB, PCI-Express 接続
で NEC SX-Aurora TSUBASA Type 10B をノードあたり 8 基搭載, 運用期間 2020 年 4 月～現在運用中

(11) X システム (8 ノード)

富士通 PRIMEHPC FX700 システム
「富岳」互換 CPU・開発環境, 「富岳」へのステップアップ指向 (8 ノード/2U シャーシ) CPU : A64FX 1.8 GHz 48 コア×1 2,765GFLOPS, RAM : 32GB, SSD : 512GB, FUJITSU Software Compiler Package, 運用期間 2020 年 3 月～現在運用中

(12) HPCI-プリポストシステム (1 ノード)

富士通 PRIMERGY RX2540 M4 システム
プリポスト・大容量メモリ処理指向, CPU : Xeon Silver 4112 (Skylake) 2.6 GHz 4 コア×2, 282GFLOPS, RAM : 1,536GB, SSD : 600GB, NVIDIA Quadro P4000 x 2 基搭載, 運用期間

2018 年 11 月～現在運用中

3.2 FOCUS スパコンシステム整備の変遷

FOCUS スパコンの各システムは, 大学情報基盤センターや公的研究機関のスーパーコンピュータシステムのように調達・更新・賃借等の恒常的な予算が存在せず, 国からの補助金で購入したシステム (A, B, D, E, HPCI プリポスト) や FOCUS 独自の予算で都度購入したシステム (C, G, F, H, V, W, X) から構成されているため, 以下のように非常に種類や調達時期が多岐にわたっている。

(1) A, B システム

【平成 21 年度独立行政法人科学技術振興機構施設整備費補助金】「地域産学官共同研究拠点整備事業」で採択された「ひょうご神戸創発(イノベーション)センター」の機器の一つとして (独)科学技術振興機構(JST)が調達し所有する機器が 2011 年度から FOCUS に無償貸与され運用開始, 2014 年 8 月に無償譲渡を受ける

(2) C, G, F, H, V, W, X システム

FOCUS 独自予算で調達

(3) D, E システム

【平成 24 年度高性能汎用計算機高度利用事業費補助金】により FOCUS が調達

4. FOCUS スパコンシステムの利用状況

図 2 に 2011 年度から 2020 年度の FOCUS スパコンの利用法人/課題数と課題あたりの従事者数の推移を表 1 に利用課題数の地域別, 規模別割合を表 2 に利用目的別割合を示す。図 3 に 2011 年度から 2020 年度の FOCUS スパコンにおけるストレージ (ホームディレクトリ:NFS /home1) の総割当容量とワークディレクトリ:LustreFS /home2, /home3) の総割当容量と課題あたり割当の推移を, 図 4 に 2011 年度から 2020 年度の FOCUS スパコンシステムの消費電力量の推移を, 図 5 から図 9 に 2011 年度から 2020 年度の月別 FOCUS スパコンの供給計算資源量 (黒線) とシステム毎の利用計算資源量の推移を示す。

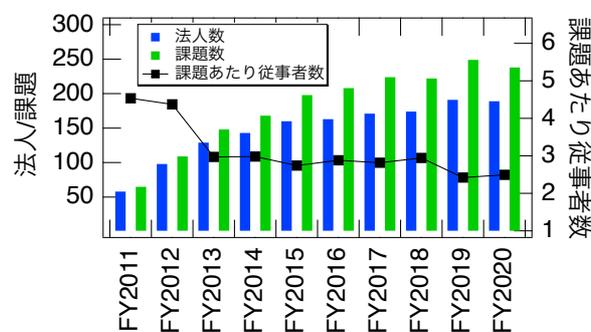


図 2 2011 年度から 2020 年度の FOCUS スパコンの利用法人/課題数と課題あたりの従事者数の推移

表1 FOCUS スパコン利用課題数の地域別、規模別割合

	FY2011	FY2012	FY2013	FY2014	FY2015
兵庫県	17%	17%	16%	21%	18%
兵庫以外の関西	19%	18%	17%	9%	16%
関西以外	64%	64%	67%	70%	66%
大企業	62%	65%	67%	60%	60%
中小企業 小規模企業者	29%	30%	30%	35%	39%
それ以外	9%	5%	3%	5%	1%
	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020
兵庫県	11%	15%	15%	16%	15%
兵庫以外の関西	16%	17%	16%	15%	16%
関西以外	67%	68%	69%	69%	69%
大企業	60%	61%	61%	60%	59%
中小企業 小規模企業者	37%	36%	35%	38%	38%
それ以外	4%	4%	4%	2%	3%

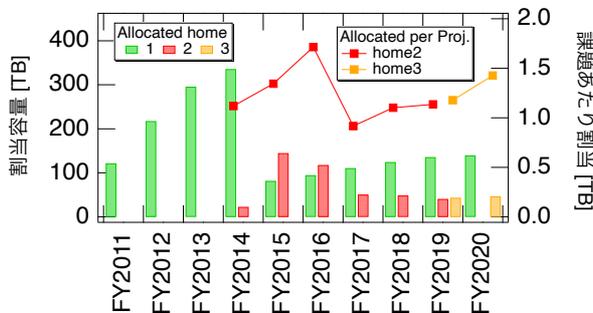


図3 2011年度から2020年度のFOCUS スパコンにおけるストレージ(ホームディレクトリ:NFS/home1)の総割当容量とワークディレクトリ:LustreFS/home2, /home3)の総割当容量と課題あたり割当の推移

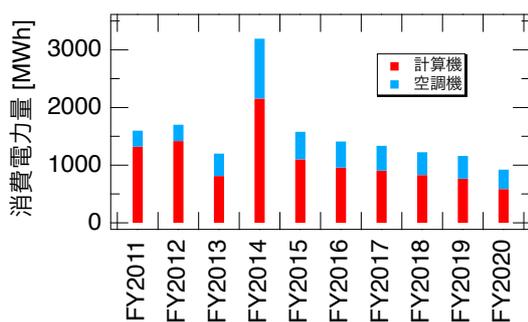


図4 2011年度から2020年度のFOCUS スパコンシステムの消費電力量の推移(計算機:赤色, 空調機:水色)

5. 考察

5.1 法人/課題数と課題あたりの従事者数

2011, 2021 年度には FOCUS 賛助会員特典として賛助金額に応じて従事者数を無償で割り当てていたが 2013 年度

から当該特典を廃止し従事者 1 人・年度あたり 1 万円(税抜)を負担することになり 4 を超えていた課題あたり従事者数が 3 を切るようになったと考えられる。

課題数の増加率が 2016 年度から 2017 年度まで鈍化していたのはピータ重視方針を取り新規開拓が比較的後回しになっていた影響であったが 2018 年度から、「富岳」も見据えて、新規開拓拡張に方針を変更した成果がすぐに現れている。

5.2 法人/課題数と課題あたりの従事者数

2011, 2012 年度には FOCUS 賛助会員特典として賛助金額に応じて従事者数を無償で割り当てていたが 2013 年度から当該特典を廃止し従事者 1 人・年度あたり 1 万円(税抜)を負担することになり 4 を超えていた課題あたり従事者数が 3 を切るようになったと考えられる。

表2 FOCUS スパコン利用課題の利用目的割合(複数回答可、割合は全回答に占めるもの)

利用目的	FY2011	FY2012	FY2013	FY2014	FY2015
HPCスタートアップ利用	30%	33%	27%	26%	26%
HPCステップアップ利用	21%	21%	29%	29%	38%
外部HPC環境を利用した新規事業のトライアル利用	13%	12%	11%	8%	10%
HPC向けの国産アプリの開発及び国産アプリの利用	13%	13%	10%	11%	8%
公的アプリケーションソフトの利用	2%	5%	5%	5%	5%
産学官連携利用	11%	10%	6%	9%	5%
企業技術者の育成利用	7%	5%	7%	7%	7%
「京」/「富岳」を中核とする研究教育拠点(COE)形成に資する利用	0%	0%	2%	2%	1%
その他	2%	1%	4%	4%	0%
利用目的	FY2016	FY2017	FY2018	FY2019	FY2020
HPCスタートアップ利用	24%	26%	31%	30%	29%
HPCステップアップ利用	37%	34%	28%	27%	26%
外部HPC環境を利用した新規事業のトライアル利用	8%	9%	10%	11%	11%
HPC向けの国産アプリの開発及び国産アプリの利用	10%	10%	9%	9%	10%
公的アプリケーションソフトの利用	6%	6%	8%	8%	9%
産学官連携利用	7%	7%	6%	6%	6%
企業技術者の育成利用	8%	7%	7%	8%	8%
「京」/「富岳」を中核とする研究教育拠点(COE)形成に資する利用	0%	1%	1%	1%	1%
その他	0%	0%	0%	0%	0%

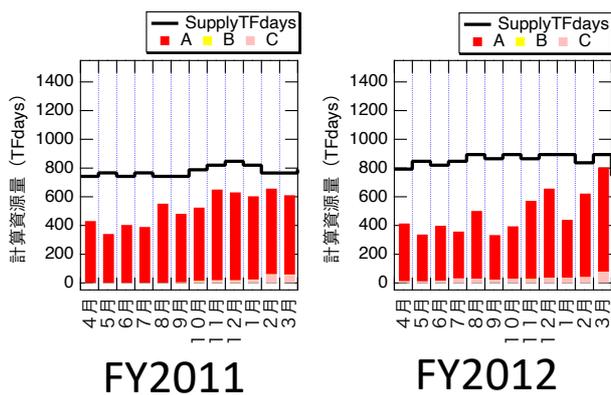


図5 2011, 2012年度の月別 FOCUS スパコンの供給計算資源量（黒線）とシステム毎の利用計算資源量の推移

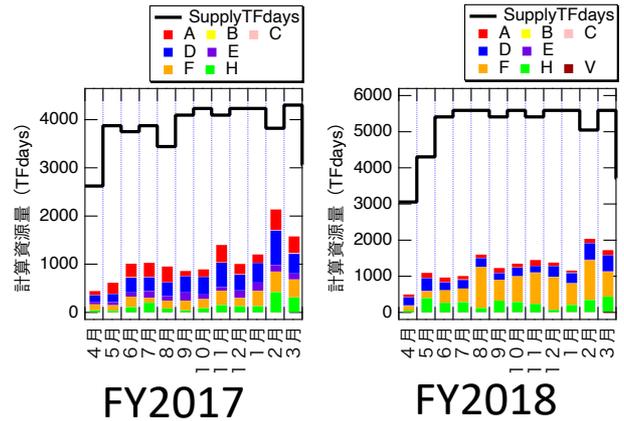


図8 2017, 2018年度の月別 FOCUS スパコンの供給計算資源量（黒線）とシステム毎の利用計算資源量の推移

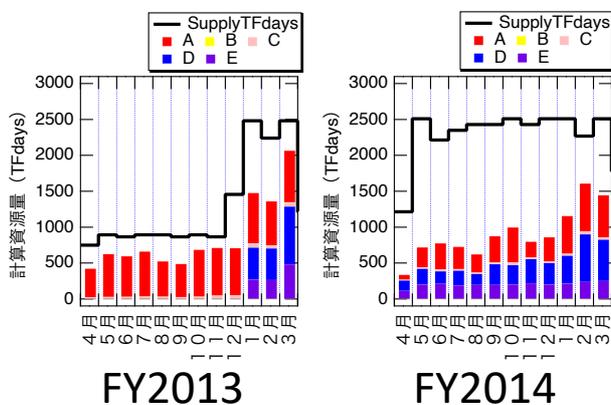


図6 2013, 2014年度の月別 FOCUS スパコンの供給計算資源量（黒線）とシステム毎の利用計算資源量の推移

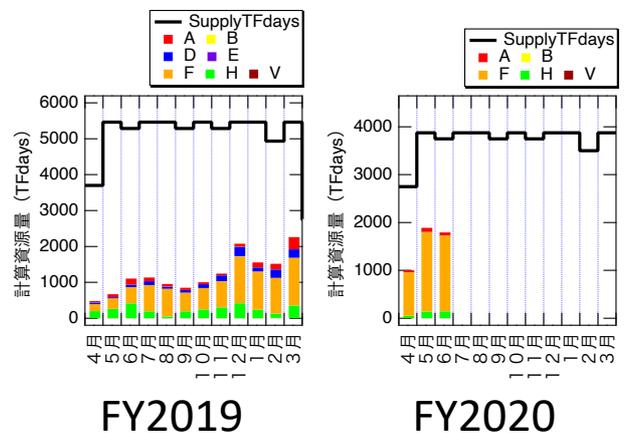


図9 2019, 2020年度の月別 FOCUS スパコンの供給計算資源量（黒線）とシステム毎の利用計算資源量の推移

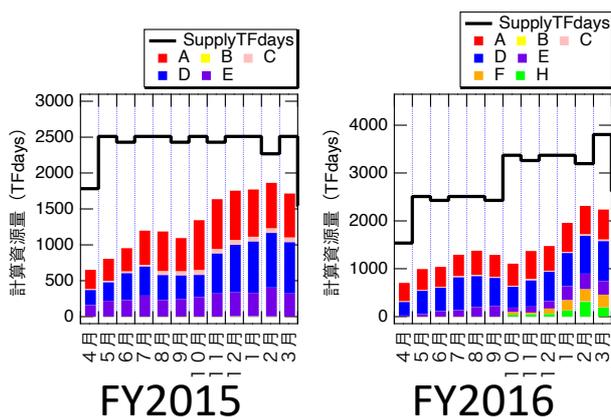


図7 2015, 2016年度の月別 FOCUS スパコンの供給計算資源量（黒線）とシステム毎の利用計算資源量の推移

課題数の増加率が2016年度から2017年度まで鈍化していたのはリピータ重視方針を取り新規開拓が比較的后回しになっていた影響であったが2018年度から新規開拓拡張に方針を変更した成果がすぐに現れている。

5.3 法人/課題数と課題あたりの従事者数

2011, 2012年度には FOCUS 賛助会員特典として賛助金額に応じて従事者数を無償で割り当てていたが2013年度から当該特典を廃止し従事者1人・年度あたり1万円（税抜）を負担することになり4を超えていた課題あたり従事者数が3を切るようになったと考えられる。

課題数の増加率が2016年度から2017年度まで鈍化していたのはリピータ重視方針を取り新規開拓が比較的后回しになっていた影響であったが2018年度から、「富岳」も見据えて、新規開拓拡張に方針を変更した成果がすぐに現れている。

5.4 地域別、規模別利用状況

兵庫県・関西の RDP（地域内総生産）は日本の GDP の16%を占めるが FOCUS スパコンの利用課題件数別では3割を占めている。 FOCUS が神戸に位置するため関西圏の企業にアプローチしやすいことや FOCUS 賛助会員の多くが関西経済連合会の会員団体であることが影響していると

考えられる。

課題の規模別では HPC・CAE の利用には中小企業には負担が重い多額の費用を要するため 6 割を大企業が占めている。一方で HPC・CAE の利用支援や受託計算を請けるベンチャー企業等が中小企業の多数を占めており、インキュベーション機能を果たしていると言える。

5.5 利用目的割合

2011,2012 年度に最多だった HPC スタートアップ利用から HPC ステップアップが最多に 2013-2017 年度は移行し利用者の並列度増大のステップアップに FOCUS スパコンが貢献したことがこの統計からも分かる。新規開拓に舵を切った 2018 年度から再び HPC スタートアップ利用の割合が最多となっている。

5.6 ストレージ利用状況

スーパーコンピュータ「京」や HPCI 産業利用課題のストレージ容量割当に比べて FOCUS スパコンのストレージ容量割当は 1/10 から 1/100 に留まる。最大の理由は容量課金単価が FOCUS スパコンが 100 倍から 1 千倍に設定しているためと考えられる。

5.7 消費電力量

2011,2012 年度は省電力 CPU モデルである L5640 を採用したので特に節電に努めなかったが、2013 年度と 2015 年度以降は節電に努めた。2014 年度は Xeon Phi を 1 ノードに 4 基搭載した E システムの導入年度であり年度を通じて Xeon Phi に通電していた。しかしあまりの利用率の低さに 2015 年度以降は 48 ノード中 4 ノードのみ 4 基の Xeon Phi に通電し残り 44 ノードは Xeon Phi 1 基のみに通電し 3 基は電源を落とした。さらに 2016 年度以降に導入されたシステムが待機時に稼働時の 1/6 まで消費電力が低下する省電力機能を持つシステムのため性能が増大しても消費電力は低下している。

5.8 システム毎の利用計算資源利用状況

2011-13 年度は利用率が年度 7 割を超え、利用者からは混雑していて使えないという苦情を受けていた。それを踏まえて利用率が半分程度に抑制し、HPC スタートアップや HPC ステップアップ用途の利用者がいつ使いに来ても計算資源に余裕があるように課金体系を変えた。また企業は年度後半・年度末に向けて予算執行をする傾向があり、下半期は上半期の 2 倍程度に利用となる傾向が 2011 年度から現在まで続いている。学会・卒業・修了シーズンに混雑する大学・公的研究機関のスーパーコンピュータと FOCUS スパコンの最も異なる利用パターンが現れるところであると思われる。

また他機関ならば更新されて引退している 7 年目の 2017 年度の A システムが 24% 利用されており、2018 年度は 16%、2019 年度は 12%、2020 年度も 4-6 月で 11% 利用されている。これは課金単価改訂によりコストパフォーマンスを新しいシステムと比べても見劣りしないように設定していること

や比較的空いているため 1 千並列ジョブが流しやすいこと等が一定の堅実な需要が存在する。要因であると考えられる。

6. まとめ

本稿では産業界向けにスーパーコンピュータ「京」「富岳」を中核とする HPCI 計算資源に向けて、スーパーコンピュータ 利用技術の獲得や並列化向上のために整備・運用されている FOCUS スパコンシステムの運用の 10 年を報告した。産業界の利用状況は学会前や卒業・修了シーズンに混雑する大学・公的研究機関のスーパーコンピュータシステムとは明確に異なる傾向が年度末に混雑し、必要最低限のストレージ利用しかしないことが明らかとなった。

謝辞 FOCUS スーパーコンピュータシステムの運用や利用者の開拓に尽力されている計算科学振興財団の同僚と利用してくださっている利用者各位に、謹んで感謝の意を表す。新型コロナウイルス感染症騒動の煽りを受け、COVID-19 とは別の疾病の十分な治療が受けられず 2020 年 4 月に早逝した FOCUS 運用グループ徳武友輔氏に哀悼の意を表す。氏は 2014 年 1 月から亡くなるまで FOCUS スパコンシステムの運用に携わり中核を担っており、本報告は氏の貢献があったからこそ成立した。

参考文献

- [1] 東京工業大学学術国際情報センター GSIC 年報 2018 年度 第 17 号
- [2] FOCUS スーパーコンピュータシステムにおける並列課金インセンティブの効果, 西川 武志, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2015-HPC-149(2),1-4 (2015-06-19).
- [3] FOCUS スーパーコンピュータシステムにおける並列課金インセンティブの効果 II, 西川 武志, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2016-HPC-157(10),1-5 (2016-12-14).
- [4] FOCUS スーパーコンピュータシステムにおける並列課金インセンティブの効果 III, 西川 武志, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2017-HPC-161(3),1-5 (2017-09-12).
- [5] FOCUS スーパーコンピュータシステムにおける並列課金インセンティブの効果 IV, 西川 武志, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2018-HPC-163(17),1-5 (2018-02-21).
- [6] FOCUS スーパーコンピュータシステムにおける並列課金インセンティブの効果 V, 西川 武志, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2018-HPC-166(1),1-4 (2018-09-20).
- [7] FOCUS スーパーコンピュータシステムにおける並列課金インセンティブの効果 VI, 西川 武志, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2019-HPC-170(23),1-4 (2019-07-17).
- [8] FOCUS スーパーコンピュータシステムにおける並列課金インセンティブの効果 VII, 西川 武志, 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), 2020-HPC-174(2),1-5 (2020-05-06).