

# GSIC年報 Annual Report 2017

---

第 16 号

---

東京工業大学 学術国際情報センター



# 2017年度 年報 目次

巻頭言	1
トピックス	3
1. 新スーパーコンピュータ Tsubame3.0 稼働開始	3
2. Green 500 List にて Tsubame3.0 が世界第1位	5
3. 東工大ファイル共有システム「T2BOX」	7
4. UNESCO-東工大 GSIC 共同シンポジウム開催 「モンゴル中等教育の質の向上をめざした情報技術の導入」	9
1. 組織・運営	11
1-1 組織図	11
1-2 教員一覧および人事異動	12
1-3 事務組織	14
1-4 各種委員会メンバー一覧	16
1-5 運営委員会開催状況	17
2. 情報基盤サービス	19
2-1 スーパーコンピュータシステム	19
2-1-1 構成	19
2-1-2 運用	23
2-1-3 実績	25
2-1-4 Tsubame におけるアプリケーション利用状況と利用分野	34
2-2 教育用電子計算機システム	36
2-2-1 構成	36
2-2-2 運用	37
2-2-3 実績	38
2-3 ネットワークシステム	41
2-3-1 有線ネットワーク (Titanet3)	41
2-3-2 無線ネットワーク (TW2)	43
2-3-3 その他のサービス	44
2-3-4 特記事項	46
2-4 情報セキュリティ	50
2-4-1 東工大 CERT 活動の概要	50
2-4-2 T2BOX ファイル共有システムの開発・運用	52
2-5 キャンパス共通認証・認可システム	53
2-5-1 構成	53

2-5-2	運用	53
2-5-3	実績	54
2-6	ソフトウェア包括契約	57
2-6-1	概要	57
2-6-2	運用	57
2-6-3	実績	59
2-7	学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の公募型共同研究	63
2-8	HPCI および TSUBAME 共同利用サービス	68
2-8-1	HPCI (革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)の運用	69
2-8-2	TSUBAME 共同利用サービス、有償の学術利用と産業利用	72
2-9	TSUBAME 公募型共同利用支援制度	75
2-9-1	TSUBAME グランドチャレンジ大規模計算制度	75
2-9-2	萌芽的研究課題支援制度	76
3.	国際協働	79
3-1	MOU に基づく国際共同研究	79
3-1-1	ドイツ・ミュンヘン工科大学, シュツツガルト大学との国際共同研究	79
3-1-2	米国オークリッジ国立研究所とスイス連邦工科大学チューリッヒ校との 大規模データ処理などに関する国際共同研究	79
3-1-3	基礎教育における情報技術を活用した教員研修の展開と対話型自己学習 教材の開発	80
3-1-4	発展途上国の世界遺産地域における持続可能な情報通信技術の応用に 関する実践研究	80
3-2	国際シンポジウム・ワークショップ	82
3-2-1	国際機関との共催シンポジウム (トピック参照)	82
3-2-2	KAUST と KAU との大規模計算情報技術に関するシンポジウム	82
3-2-3	世界遺産地域保存への情報技術導入に関するワークショップ	83
4.	イベント及びアウトリーチ活動	85
4-1	オープンキャンパス・工大祭における TSUBAME 一般公開	85
4-2	Supercomputing 2017 におけるブース出展	86
4-3	第 23 回スーパーコンピューティングコンテスト	88
4-4	TSUBAME 関連講習会	89
4-5	計算化学研究会活動	90
5.	広報活動	91
5-1	マスコミ報道等	91
5-2	TSUBAME e-Science Journal の発行 (Vol.16)	92
5-3	見学者受入状況	93

6. 予算執行状況 .....	97
7. 研究部門活動報告 .....	99
7-1 情報支援部門 .....	99
一色 剛 .....	99
友石 正彦 .....	101
西崎 真也 .....	103
松浦 知史 .....	104
北口 善明 .....	105
實本 英之 .....	107
金 勇 .....	110
7-2 先端研究部門 .....	112
青木 尊之 .....	112
松岡 聡 .....	120
山口 しのぶ .....	131
遠藤 敏夫 .....	133
横田 理央 .....	137
渡邊 寿雄 .....	141
額田 彰 .....	143
佐々木 淳 .....	146
佐藤 幸紀 .....	147
三浦 信一 .....	150
野村 哲弘 .....	152
小林 宏充 .....	155
7-3 受賞学術賞等 .....	158
8. 業務貢献 .....	159
8-1 専門委員会所属・開催状況 .....	159
8-2 講演会・セミナー・シンポジウム等企画・実施状況 .....	160
8-3 仕様策定・技術審査対応状況 .....	161
8-4 国際共同研究コーディネート・マッチング状況 .....	161



## 巻頭言

学術国際情報センター長 山田 功

早いもので、スーパーコンピュータ TSUBAME を擁する GSIC のセンター長を拝命し、3年が経過しました。この間、私たちの社会における人工知能の存在感は急速に大きくなっています。スパコンやクラウドをはじめとする高性能計算機システム上に構築された人工知能は私たち人間に代わって膨大なデータを瞬時に読み込み、「最適な分析結果」を情報抽出し、私たちに提供してくれるため、私たちは「データに基づいた意思決定」に活用することができます。「最適な分析結果」と真しやかに語られる言葉には、一見有無を言わさぬ説得力がありますが、特に「最適」という言葉は曲者で、解釈には十分な注意が必要です。人工知能の設計者が人工知能に「何をどのような評価関数で最適化させようとしたのか」によって抽出された情報の価値は大きく左右されるからです。このことから高度な最適化戦略の実現と人工知能の進化は実は表裏一体であることが御想像いただけると思います。さて、みなさんにも考えていただきたいのですが、「現代の人工知能に飛躍的進化をもたらす可能性がある画期的な最適化戦略」があるとすれば、それは一体どのようなものなのでしょうか。手がかりすら掴みにくい難題ですが、人工知能研究の未来を占うためには、避けて通れない核心的な問であるはずで、私にはそのヒントが、少なくともつい最近までは人工知能に善戦してきたボードゲームの人類代表選手達の思考モデルにあるのではないかと考えています。彼らが、計算のスピードや正確さでは AI に圧倒的に不利な状況におかれているにもかかわらず、今もなお善戦していることは驚異的です。もし、人類代表選手が持つ未知の最適化戦略の正体が解き明かされ、それを計算機上に再現するアルゴリズムが実現されるようなことになれば、人工知能はこれまでとは全く次元の違う進化を遂げるのかもしれない。最近の私は稀代の大数学者ポアンカレが創造的発見に関して書き遺した珠玉のエッセー「科学と発見(吉田洋一訳)」を久しぶりに読み返し、人類代表選手が用いているはずの「未知の最適化戦略」を妄想しています(私の妄想に興味を持っていただけましたら、ぜひ、拙文: Isao Yamada, “Do androids dream of Poincaré with hierarchical optimization,” APSIPA 10th Anniversary Magazine, Nov. 2018, を御笑覧ください)。

さて、2017年度のGSIC年報には、「新スーパーコンピュータTSUBAME3.0稼働開始」、「Green 500 ListにてTSUBAME3.0が世界第1位」、「東工大ファイル共有システム『T2BOX』」、「UNESCO-東工大GSIC共同シンポジウム開催 ---モンゴル中等教育の質の向上をめざした情報技術の導入」など、当センターの1年間の活動とその成果が生々しく纏められています。本年報を御覧いただければ、みなさまに日常的に御利用いただく情報基盤サービスがいかにより多くの教職員の努力に支えられているかを御実感いただけると思います。また、当センターの現在をみなさまに御理解いただけるものと確信しております。今後とも何卒よろしくお願い申し上げます。



## トピックス

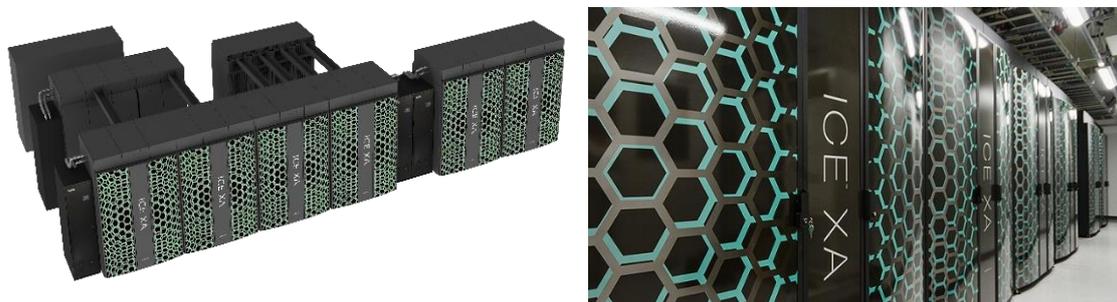
### トピック 1

#### 新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 稼働開始

東京工業大学学術国際情報センター(GSIC)は、2017年8月に新しいスーパーコンピュータ TSUBAME3.0 を稼働開始させた。これは、「みんなのスパコン」を合言葉に2006年に導入された TSUBAME1.0、2010年に導入され運用スパコン省エネ世界一を獲得した TSUBAME2.0 (2013年に TSUBAME2.5 へ更新) の後継機である。

GSIC では過年度より TSUBAME3.0 の導入に向けた準備を行ってきており、2016年9月に最終仕様書を策定、2017年1月の開札により導入業者を日本 SGI 株式会社(現 Hewlett-Packard)に決定した。その後導入作業をすすめて、同年8月に運用開始の運びとなった。

TSUBAME シリーズはその時代においてトップクラスの性能と、コモディティ技術の積極的な活用による使いやすさを備えており、学内外の研究者から産業利用ユーザなどにより活用されてきた。TSUBAME3.0 も同様の方針に基づき設計されており、特に今回は、近年重要性が増しているビッグデータ・機械学習における活用を加速するために、各種深層学習フレームワーク環境の正式提供や、一部の深層学習などで用いられる半精度演算性能の高さを備えている。



TSUBAME3.0 の全体イメージ(左)と実際のマシン室(右)

TSUBAME3.0 のシステム全体では、12 ペタフロップスの演算性能 (倍精度)、16 ペタバイトの共有ストレージ容量 (実効値) と、TSUBAME2.5 の 2.5~3 倍の性能・ストレージを提供する。さらに前述の半精度演算性能は 47 ペタフロップスに達する。計算ノードの数は 540 台であり、各計算ノードは下記のような要素からなる：

- CPU: Intel Xeon E5-2680 v4 (14 コア)×2
- メモリ: 256GiB
- GPU: NVIDIA Tesla P100 (16GiB) ×4
- SSD: Intel DC P3500 (NVMe) 2TB
- ネットワーク: Intel OmniPath 100Gbps ×4
- OS: SUSE Enterprise Linux

CPU は通常の PC などと同じ Intel のもので、幅広いソフトウェアを稼働させることがで

きる。それだけでは速度が不足する場合に、GPU による演算の加速が、特に機械学習や連続体シミュレーションなどで有効である。

全計算ノードから合計 16 ペタバイトの共有ストレージ(DDN Exascaler)にアクセス可能である。共有ストレージのみではアクセス速度が不足な場合に、一時ファイルなどを上述の計算ノードの高速 SSD に置いて加速することができる。

TSUBAME3.0 のさらなる特徴の一つとして、膨大な性能を持ちつつ省エネルギーであることが挙げられ、2017 年 6 月のスパコン省エネランキング Green500 において、世界一を獲得した（詳細は別トピックに譲る）。

TSUBAME3.0 は、2017 年 11 月に発表されたスパコン性能ランキング Top500 において、世界 13 位・国内 4 位にランクされた。なお GPU を演算に用いるシステムとしては世界 3 位・国内トップとなる。運用開始した初年度にも関わらずその稼働率は高く、特に繁忙期(12～1 月ごろ)には、混雑によりジョブの待ち時間が 1 日を超えるケースもあるほどであった。GSIC は今後も引き続き、多彩な学内外の研究者ユーザー・企業ユーザーに莫大かつ利用しやすい計算資源を継続的に提供していく。

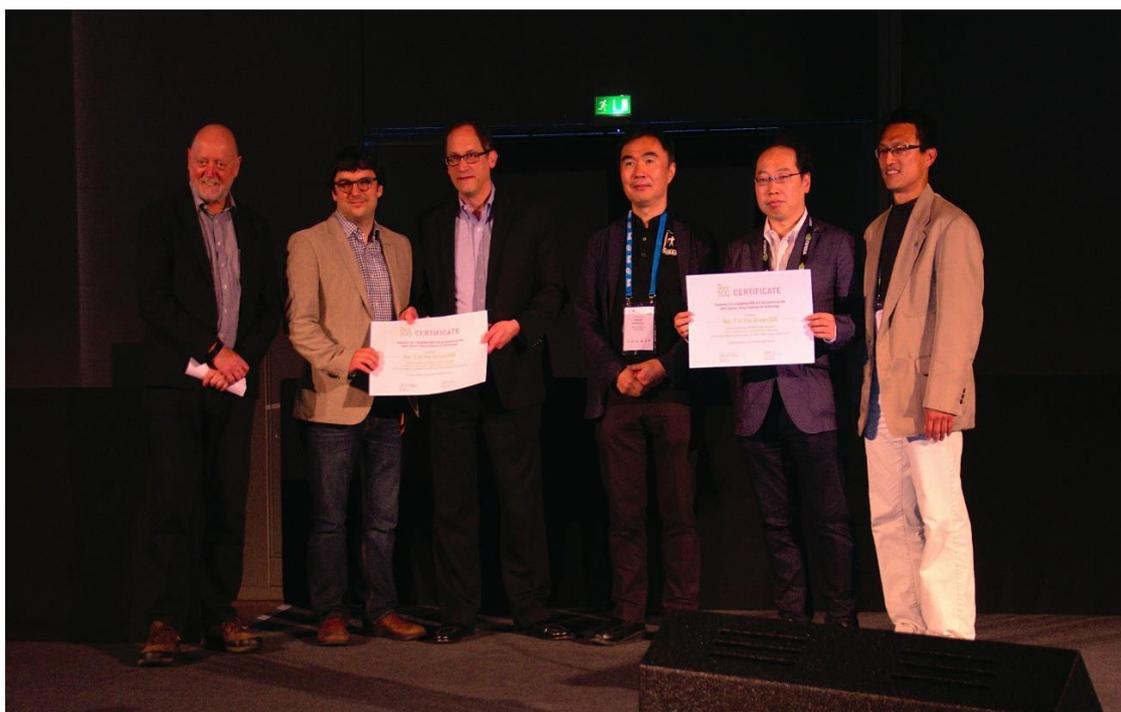
TSUBAME3.0 計算サービス web: <http://www.t3.gsic.titech.ac.jp/>

## トピック 2

### Green 500 List にて TSUBAME3.0 が世界第 1 位

スーパーコンピュータは学内外の教育および研究のための膨大な計算需要に応える基盤システムとして重要な役割を果たしている反面、その消費電力による電気料金が運用コストに大きな割合を占めている。東京工業大学のスーパーコンピュータ TSUBAME シリーズでは代々電力効率に優れた GPU を主たる計算資源として採用し、高性能な計算機を低消費電力で利用するための各分野の研究・開発を進めている。

2017 年 8 月に稼働を開始したスーパーコンピュータ TSUBAME3.0 であるが、運用に先立って行われたベンチマーク計測の結果、1 ワットあたりの性能 14.110 ギガフロップスという電力効率を達成した。2017 年 6 月に開催されたスーパーコンピュータ関連の国際会議 ISC'17 にて発表されたスパコンの省エネランキング Green 500 List で TSUBAME3.0 が世界第 1 位にランクされ、世界で最も電力効率の良いスーパーコンピュータとして表彰された。



表彰式の様子

松岡教授（右から 3） 額田彰特任准教授（右から 2）

TSUBAME3.0 の冷却には、東京工業大学 GSIC が推進してきた文部科学省「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」および「スマートコミュニティ実現のためのスパコン・クラウド情報基盤のエネルギー最適化の研究推進」などのプロジェクトの研究成果が活用されており、これらのプロジェクトによるテストベッドスパコン「TSUBAME-

KFC」は、2013年・2014年に Green 500 List 世界第1位となっている。ここで実証された高温液体冷却に関する知見などをもとに、TSUBAME3.0は冷却塔による大気への放熱を基本とする低消費電力な冷却方式を採用している。



**Green 500 List 世界第1位の賞状**

### トピック 3

## 東工大ファイル共有システム「T2BOX」

東京工業大学  
T2BOX

このボックスの有効期限: 08月27日 18:34

よくある質問 | IPアドレス: 131.112.5.21

送りたいファイルをドロップするか、「ファイルを選択」ボタンから選んでください。  
「アップロード」ボタンが押されるまでファイルは送信されません。

ここにファイルをドロップしてください。

+ ファイルを選択 × 未送信ファイル全てをクリア

ボックス名: eduroam JP 運用・技術基準

ダウンロード時におけるファイルの暗号化 ? パスワードを入力

アップロード済みファイル一覧

⊕ 全てのファイルをダウンロード

No.	ファイル名	サイズ	アップロード日時
-----	-------	-----	----------

「T2BOX」は、2016年10月より全学で運用を開始した時限的なファイル共有を実現するシステムである。大学業務では、機密性の高い情報や個人情報を学内外の組織とやり取りする機会が多いが、その際に電子メールの添付ファイルの利用が問題として大学内外で指摘されてきた。特に、メール誤送信による情報漏洩インシデントや、添付ファイルを介したマルウェア感染などの被害が社会的に深刻化する中で、メールの添付ファイルによる情報のやり取りを抑制する方策について学内で検討を重ねた結果、このT2BOXという本学独自システムの構築と運用に至っている。

T2BOXの設計に際しては、様々な制約と要望を考慮する必要があった。直接の目的である「メールの添付ファイルの利用を抑制する」ことを実現するためには、幅広いユーザーに使うことができるような使い易いシステムであることが必要であるが、同時に、ファイル共有システムとしてのセキュリティの確保や、開発・保守費用の抑制、大学組織としての継続的な運用・保守体制の確立などが求められた。実際のT2BOXの開発期間は、2015年12月～2016年3月という短期間であったにも関わらず、CERT（情報セキュリティチーム）・NAP（認証基盤システム）・NOC（ネットワークシステム）を中心としたGSIC情報支援部門の教職員と実装設計担当の業者との綿密な打合せを重ねた甲斐があり、非常に高品質で分かりやすいユーザーインターフェースによるファイル共有WEBアプリケーションとして仕上がり、運用開始後ユーザーからは大変好評を頂いている。

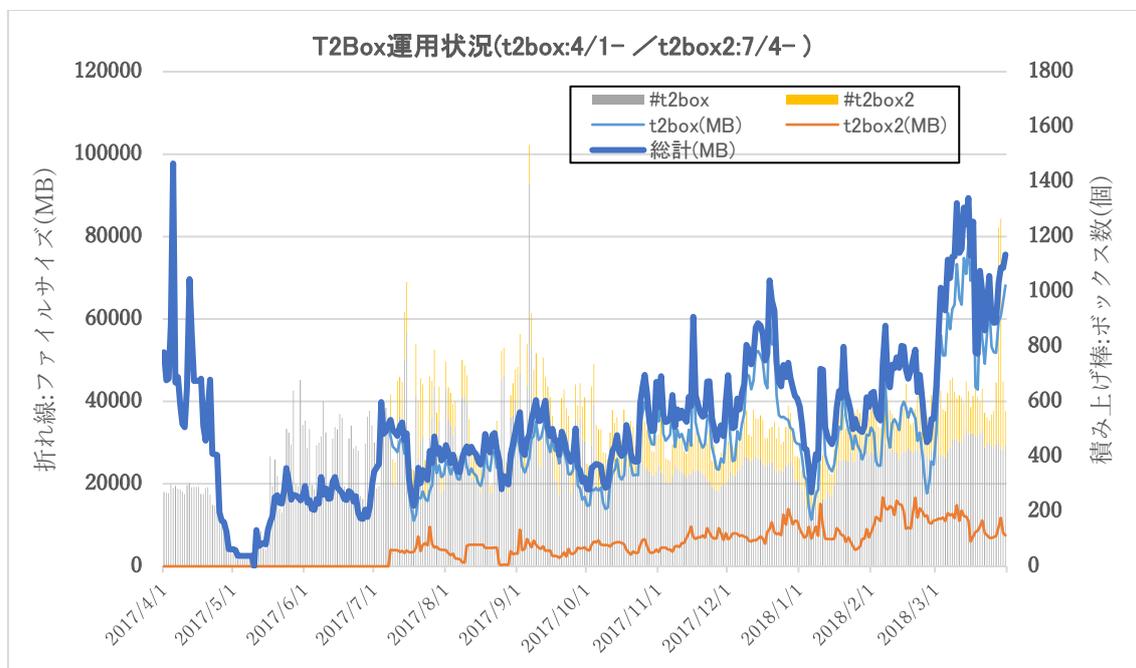
以下にT2BOXの主な特長を紹介する。

**直感的なユーザーインターフェース:** T2BOXを初めて利用する学内ユーザーやファイルを共有する学外ユーザーにも、マニュアルに頼ることなく使うことができるように、簡便で直感的な操作でファイル共有用ボックス作成とファイル共有（アップロード・ダウンロード）が実行できるインターフェースを提供している。

**セキュリティの確保:** ファイル共有ボックス自体の URL はランダムな文字列で生成されるため、第三者が予測できないよう配慮されている。また、ボックスへのアクセスを特定の IP アドレスに制限する機能や、アクセス用パスワード設定機能などを提供することでセキュリティを確保している。

**システム構成の簡略化:** ボックスの有効期限は、最長で2週間に制限されており、常設のファイル置き場として使用できない設計となっている。このことにより、情報漏洩等のリスクを低減するとともに、限られたストレージ容量での安定的な運用と、アカウント管理や複雑な認証機構を必要としない簡略化されたシステム構成での構築を可能にした。このことは、T2BOX の開発・保守費用の大幅抑制と、小規模体制でのシステム運用の面で非常に有用であった。

運用開始当初では、主に事務書類や会議資料の共有として利用されていたが、T2BOX が学内に幅広く認知されるようになると、アンケート収集や広報発信など、設計時には想定していなかった利用方法も増えてきている。現在では、常時 1000~1200 程度のボックス数が稼働している状況であり、メールの添付ファイル利用を抑制する効果は着実に現れていると考えられる。ユーザーが増えるに従い、T2BOX に様々な要望も上がってきており、定期的な T2BOX の機能アップデートを継続している。また、学内情報システムの将来的なクラウド活用の可能性を踏まえた T2BOX のクラウド運用実験も行っている。なお、T2BOX は 2017 年 7 月より 2 系統のシステムを並行運用しており、サービスの可用性向上を図っている。



## トピック 4

### UNESCO-東工大 GSIC 共同シンポジウム開催 「モンゴル中等教育の質の向上をめざした情報技術の導入」

2018年1月25日モンゴル教育文化科学省にて、モンゴル政府、ユネスコバンコク事務所、東京工業大学学術国際情報センター共催の地域シンポジウム“ICT in Education to promote quality of education in Mongolia”が開催された。シンポジウムには、ユネスコバンコク事務所の教育と情報技術の専門家、モンゴル教育大学教授を含め現地の教育専門家、全国21県とウランバートル市教育文化局代表者ら73名が参加した。モンゴル教育省上級アドバイザーGanbat氏は開会の挨拶で、教員は教育の根幹であり、教員研修の継続的な実施は教育の質の向上には必要不可欠である点を強調した。また、モンゴルではICTを活用した教員研修や教育活動が国内外の専門家との協働のもと急激に拡大しており、モンゴル全土における活発な取り組みに発展している事は画期的であると述べている。また、様々なICTを教育現場に積極的に導入することが、教員のリーダーシップとチームワークの向上につながっている点にも言及している。教育活動におけるICTの活用を通じて今後、更に国内外の教育専門家、教員、政府と高等教育機関の協力が進むことを期待すると伝えた。



Park氏は、ICTと教員の育成を持続可能な発展(Sustainable Development Goals,以下SDGs)の枠組と関連付けている。常に変化する社会において人々がICTを活用することで個々のスキル開発に取り組みことの重要性を述べている。特に、効果的なICTの活用は教育の質の向上を目指す持続可能な開発目標4に深く関わっており、具体的には、個々のスキル開発、ジェンダー間の平等、モバイルラーニングなど多様な手法開発、ICTインフラへのアクセスの促進などを通じて質の高い人材育成に繋がると説いている。アジア太平洋の国々の中でもモンゴルは様々なモバイルテクノロジーを教育活動に導入できる条件は揃っていると分析している。

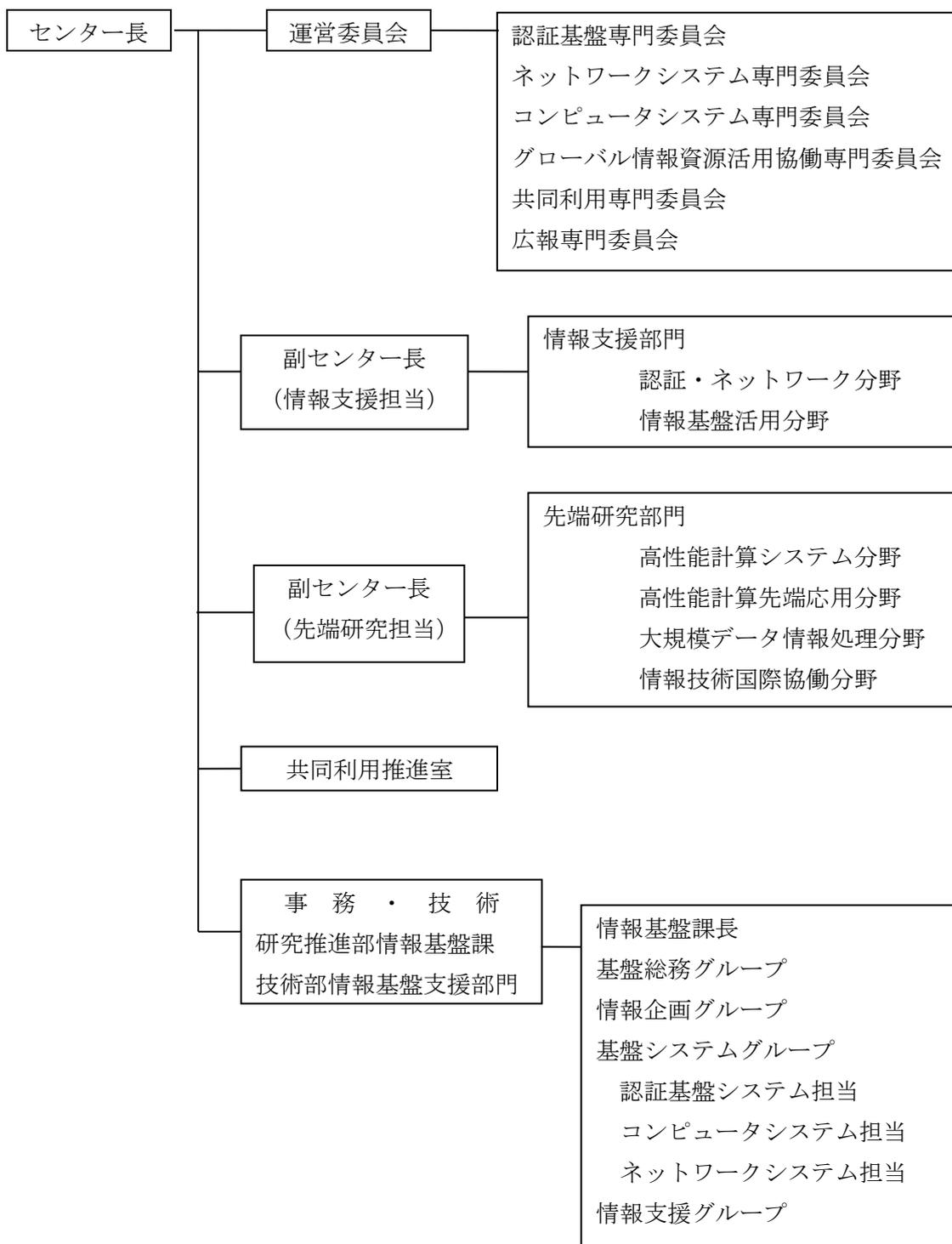
モンゴル教育大学の Tsedevsuren 教授は教員育成における ICT 導入について政策面から分析し、最新のデジタルスクールの事例、電子教科書及び教育データ管理システム (EMIS) について紹介した。教員のためのオンラインプラットフォームは、今後モンゴル政府が積極的に進めていく政策の中でも優先順位が高いとされる。デジタル化が進む現代では ICT スキルは識字教育の一環として重要視されており、分析能力や計算能力にも欠かせないスキルであると説いている。教育現場においてはリソースの更なる効果的な活用が強調された。本シンポジウムでは教育政策担当者の間での活発な議論が行われ、今後のモンゴルの教育の更なる発展に向けた重要なマイルストーンとなった。



シンポジウム参加者

# 1. 組織・運営

## 1-1 組織図



## 1-2 教員一覧および人事異動

センター長（兼）	教授	山田 功【工学院】	
副センター長（情報支援担当）（兼）	教授	西畑 伸也【情報理工学院】	～30.3.31
副センター長（先端研究担当）（兼）	教授	青木 尊之（高性能計算先端応用分野）	

### 情報支援部門（認証・ネットワーク分野/情報基盤活用分野）

教	授	一色 剛	
教	授	友石 正彦	
教	授	西崎 真也	
准	教	授	松浦 知史
准	教	授	北口 善明
助	教	實本 英之	29.5.1～
助	教	石井 将大	30.1.1～
特	任	助	教
		金 勇	

### 先端研究部門（高性能計算システム分野/高性能計算先端応用分野

#### 大規模データ情報処理分野/情報技術国際協働分野）

教	授	青木 尊之	
教	授	松岡 聡	～30.3.31
教	授	山口 しのぶ	
准	教	授	遠藤 敏夫
准	教	授	横田 理央
特	任	准	教授
		渡邊 寿雄	
特	任	准	教授
		額田 彰	
特	任	准	教授
		佐々木 淳	～29.8.31
特	任	講	師
		佐藤 幸紀	～30.3.31
特	任	助	教
		三浦 信一	
特	任	助	教
		黄 遠雄	～30.3.31
研	究	員	野村 哲弘
研	究	員	DROZD.Aleksandr
			～30.3.31
研	究	員	田邊 昇
			～30.3.31
研	究	員	幸 朋矢
研	究	員	Marlon ARCE ACUNA
研	究	員	Christian Naoto Conti
特	任	教	授
		小林 宏充	

準客員研究員	Artur Podobas Martin	29.4.1～30.3.31
準客員若手研究員	LIN Xinhua	29.4.1～30.3.31
準客員若手研究員	Adrian Perez Dieguez	29.9.1～30.3.31

共同利用推進室

室長(兼務) 教授	青木 尊之	
副室長 特任准教授	佐々木 淳	～29.8.31
特任准教授	渡邊 寿雄	
特任専門員	大川 敦史	29.9.2～
技術支援員	松本 豊	
スタッフ	板倉 有希	～30.3.31

### 1-3 事務組織

情報基盤課長 平塚 昭仁

#### 基盤総務グループ（庶務及び会計）

グループ長	遠藤 貴恵子	29.4.1～
主 査	濱本 真人	
ス タ ッ プ	板倉 有希	～30.3.31
事務支援員	金子 純子	
事務支援員	伊藤 智子	
事務支援員	木下 裕子	

#### 情報企画グループ（国立大学法人等情報化連絡協議会等の運営・連絡調整、情報セキュリティ・情報倫理に関する業務、情報学務情報部会等の運営・連絡調整業務）

グループ長	小寺 孝志	
主 任	森谷 寛	
ス タ ッ プ	福沢 秋津	29.4.1～
技術職員	森 健人	
技術専門員	神野 文男	

#### 基盤システムグループ

グループ長	小野 忍	～30.3.31
-------	------	----------

#### 認証基盤システム担当（認証基盤システムの構築・運用・管理）

主 査	井上 進	
ス タ ッ プ	昆野 長典	
技術専門員	太刀川 博之	
技術専門員	橋本 重治	
技術職員	新里 卓史	
技術職員	一瀬 光	
技術職員	伊藤 剛	
技 術 員	中井 拓人	～30.3.31

#### コンピュータシステム担当（研究・教育用計算機システムの運用管理、ソフトウェア包括契約に関する業務）

グループ長	小野 忍	～30.3.31
ス タ ッ プ	鶴見 慶	
ス タ ッ プ	梁井 善之	
技術専門員	根本 忍	
技術職員	安良岡 由規	

技術職員	藤田 和宏
技術職員	岩井 敦子

ネットワークシステム担当（学内基幹ネットワークの運用管理）

主査	増淵 長興	
スタッフ	谷口 公洋	～30.3.31
技術職員	隅水 良幸	
技術職員	大場 準也	
技術職員	岸本 幸一	
技術職員	後藤 洋子	
事務支援員	飯塚 香菜	～29.8.20
事務支援員	渋谷 優子	29.9.1～

情報支援グループ（業務システム利用等に関する総括・連絡調整・運用管理事務系ネットワークの維持管理業務）

グループ長	江尻 佳代	～29.7.31
グループ長	高橋 武	29.8.1～
スタッフ	林 宏樹	29.4.1～30.3.31
スタッフ	柴崎 将	29.4.1～
事務支援員	岩崎 敏則	

## 1-4 各種委員会メンバー一覧

所属	職名	氏名	運営委員	認証基盤	ネットワーク	CC研究	CC教育	グローバル	共同利用	広報
センター長	教授	山田 功	★	○		○			○	○
副センター長 (情報支援担当)	教授	西畑 伸也	○	○		○	○		○	★
副センター長 (先端研究担当)	教授	青木 尊之	○			○	○	○	★	○
学術国際情報センター	教授	一色 剛	○	★	○	○	○			
学術国際情報センター	教授	西崎 真也	○	○	○		★			○
学術国際情報センター	教授	松岡 聡	○		○	★	○		○	
学術国際情報センター	教授	山口 しのぶ	○					★		
学術国際情報センター	教授	友石 正彦	○	○	★	○	○			
学術国際情報センター	准教授	横田 理央	○			○		○	○	
学術国際情報センター	准教授	北口 善明	○		○					
学術国際情報センター	准教授	遠藤 敏夫	○		○	○				○
学術国際情報センター	准教授	松浦 知史	○	○	○					
理学院	教授	中本 泰史	○							
工学院	教授	木村 康治	○							
物質理工学院	准教授	北村 房男	○							
環境・社会理工学院	教授	藤村 修三	○							
情報理工学院	教授	伊東 利哉	○	○	○					
リベラルアーツ研究教育院	教授	劉 岸偉	○							
バイオ研究基盤支援総合センター	教授	櫻井 美	○	○					○	
科学技術創成研究院	教授	大場 史康	○							
科学技術創成研究院	准教授	関 宏也	○							
広報・社会連携本部	副学長	榎松 友彦	○							
教育・国際連携本部	副学長	水本 哲弥	○					○		
研究・産学連携本部	副学長	大竹 尚登	○							
キャンパスマネジメント本部	副学長	安藤 慎治	○							
附属図書館長	教授	山室 恭子	○							
附属科学技術高等学校長	教授	佐伯 元司	○							
国際教育推進機構	教授	水本 哲弥	○							
その他学長が指名する者	准教授	間嶋 政和	○				○	○	○	
事務局長	事務局長	芝田 政之	○							
学術国際情報センター	特任准教授	額田 彰				○				
学術国際情報センター	特任准教授	佐々木 淳							○	
学術国際情報センター	特任准教授	源遼 寿雄				○			○	○
学術国際情報センター	助教	眞本 英之		○		○				○
学術国際情報センター	特任助教	金 勇			○					
理学院	准教授	植草 秀裕			○		○			
理学院	教授	河合 誠之		○						
理学院	教授	青藤 晋							○	
理学院	准教授	竹内 一将				○				
理学院	助教	岡元 太郎				○				
環境・社会理工学院	准教授	山下 幸彦			○					
工学院	教授	天谷 賢治					○			
工学院	准教授	山岡 克式			○					
物質理工学院	准教授	川内 進				○			○	
工学院	教授	店橋 護							○	
環境・社会理工学院	教授	神田 学				○				
工学院	准教授	藤田 英明		○						
工学院	教授	山口 雅浩		○	○					
工学院	准教授	杉野 暢彦			○					
情報理工学院	教授	山村 雅幸			○					
環境・社会理工学院	教授	高田 潤一						○		
環境・社会理工学院	准教授	阿部 直也					○			
情報理工学院	准教授	小野 功				○				
生命理工学院	教授	伊藤 武彦			○					
生命理工学院	助教	門之園 哲哉				○				
情報理工学院	教授	秋山 泰				○				
情報理工学院	教授	横田 治夫		○						
情報理工学院	教授	徳永 健伸			○					
情報理工学院	准教授	脇田 建			○		○			
情報理工学院	准教授	首藤 一幸			○					
情報理工学院	准教授	鹿島 亮		○			○			
情報理工学院	教授	藤田 浩一				○				
情報理工学院	准教授	齋藤 卓雄					○			
情報理工学院	教授	権藤 克彦					○			
情報理工学院	教授	増原 英彦					○			
工学院	准教授	原 精一郎					○			
リベラルアーツ研究教育院研究教育院	准教授	赤間 啓之					○			
リベラルアーツ研究教育院研究教育院	教授	室田 真男			○		○			
工学院	助教	榎居 洋介			○					
工学院	教授	尾形 わかば		○	○		○			
科学技術創成研究院	教授	奥村 学			○					
科学技術創成研究院	講師	田巻 孝敬			○					
地球生命研究所	特任准教授	玄田 英典				○				
附属科学技術高等学校	副校長	仲道 嘉夫			○					
東京大学	准教授	堀 敏博							○	
国立情報学研究所	副所長	安達 淳							○	
名古屋大学	教授	片桐 孝洋							○	
筑波大学	准教授	建部 修晃							○	
電気通信大学	教授	成見 哲							○	
電気通信大学	主任研究員	高村 誠之							○	
海洋研究開発機構	HPCI応用グループリーダー	浅野 俊幸							○	
教務課	課長	青木 彰		○						
施設整備課	グループ長	村山 修			○					
情報図書館課	課長	茂出 木理子		○						
施設安全総合企画課安全企画室	室長	稲葉 千代子		○						
情報基盤課	課長	平塚 昭仁		○	○					○
★ 委員長										

## 1-5 運営委員会開催状況

### メール開催

開催日 2017年6月26日(月)

1. 審議事項
  - (1) TSUBAME3.0 利用課金(ユニット単価)について
  - (2) 準客員若手研究員の受入について
2. 報告事項
  - (1) テニユアトラック審査委員会の設置について

### メール開催

開催日 2017年7月5日(水)

1. 審議事項
  - (1) 東京工業大学学術国際情報センター計算機システム利用細則の一部改正等

### メール開催

開催日 2017年7月26日(水)

1. 審議事項
  - (1) 準客員若手研究員の受入について

### メール開催

開催日 2017年10月13日(金)

1. 審議事項
  - (1) 学術国際情報センター 情報支援部門 暗号,情報セキュリティ分野助教選考委員会設置について

### メール開催

開催日 2017年11月17日(金)

1. 審議事項
  - (1) 東京工業大学学術国際情報センター規則の改正および内規の制定について
2. 報告事項
  - (1) テニユアトラック審査委員会審査報告について
  - (2) 学術国際情報センター情報支援部門 暗号,情報セキュリティ分野助教選考委員会報告について

メール開催

開催日 2017年12月26日(火)

1. 審議事項

- (1) 学術国際情報センター 先端研究部門 高性能計算システム分野  
教授選考委員会設置について
- (2) 学術国際情報センター 先端研究部門 高性能計算システム分野  
准教授選考委員会設置について
- (3) 学術国際情報センター 先端研究部門 高性能計算システム分野  
助教選考委員会設置について

メール開催

開催日 2018年2月22日(木)

1. 審議事項

- (1) TSUBAME を利用した国際共同研究について
- (2) 東京工業大学学術国際情報センタークラウド型ビッグデータグリーン  
スーパーコンピュータ利用料の課金等に関する取扱いの改正等について

2. 報告事項

- (1) 学術国際情報センター教授の選考委員会報告について
- (2) 学術国際情報センター准教授の選考委員会報告について
- (3) 学術国際情報センター助教の選考委員会報告について

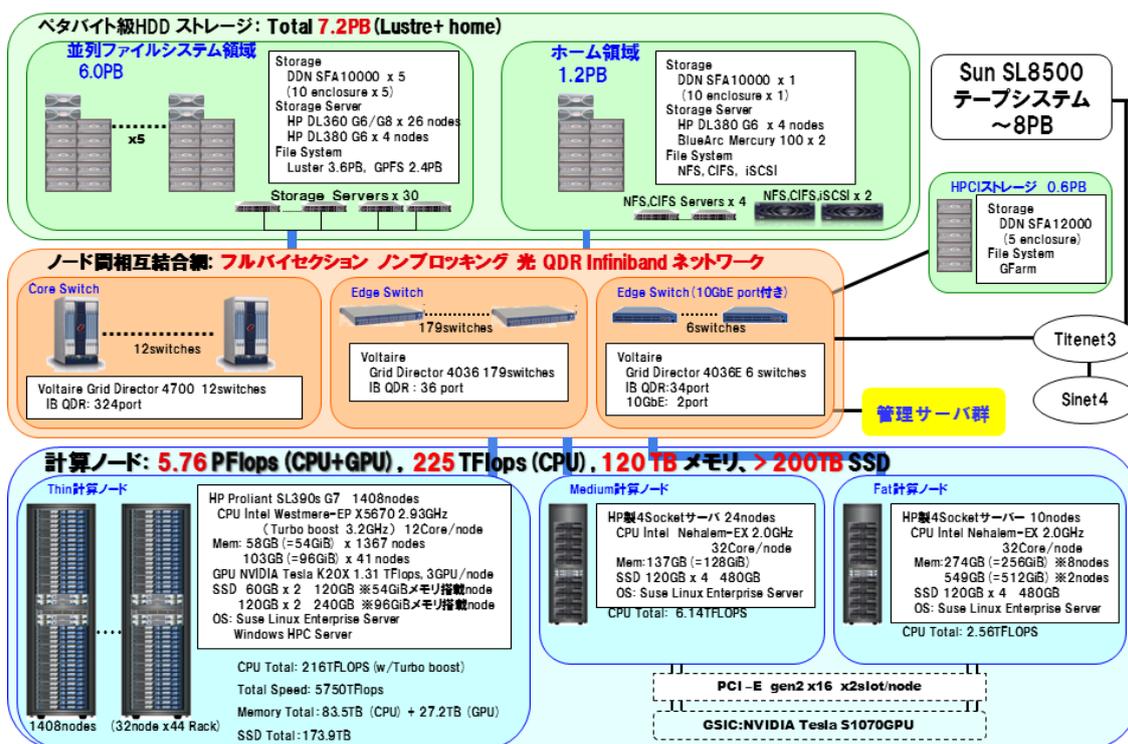
## 2. 情報基盤サービス

### 2-1 スーパーコンピュータシステム

#### 2-1-1 構成

##### ●TSUBAME2.5

### TSUBAME2.5 システム構成図



平成 22 年 11 月より TSUBAME Grid Cluster(TSUBAME1.2)に代わり「クラウド型グリーンスーパーコンピュータ」TSUBAME2.0 を導入、平成 25 年 9 月には GPU を入れ替えることで性能・電力効率を向上させた TSUBAME2.5 として運用している。

TSUBAME2.5 は NEC のシステムインテグレーション技術を中心に、Intel、HP、NVIDIA、DataDirect Networks、Voltaire 等の優れた技術を用いて構築されており、大規模並列計算機及び流体解析・構造解析・計算科学等の大規模計算処理をおこなう HP 社のサーバ群及び NVIDIA 社の GPU(総合演算性能(ピーク)5.76PFlops)、ペタバイト級 HDD ストレージ(総容量 7.13PB)で構成されている。(TSUBAME1 と比べ演算性能で約 67 倍、ディスク容量で約 7 倍の性能向上を実現)

平成 25 年 11 月に発表された Top500 のランキングで 1.19PFlops で世界第 11 位、スーパーコンピュータの省エネランキングである The Green500 では 3,068.71 MFlops/W で世界第 6 位にランキングされた。

なお、性能向上前の TSUBAME2.0 は、平成 24 年 2 月にスーパーコンピュータ界の業界紙として広く信頼を集めている HPC Wire 紙上にて TOP500、Graph500、GREEN500 の指標

を基に解析が行われ、世界をリードするトップランクのスーパーコンピュータであるとの評価を受けている。

([http://www.hpcwire.com/hpcwire/2012-02-](http://www.hpcwire.com/hpcwire/2012-02-02/number_crunching_data_crunching_and_energy_efficiency_the_hpc_hat_trick.html)

[02/number\\_crunching\\_data\\_crunching\\_and\\_energy\\_efficiency\\_the\\_hpc\\_hat\\_trick.html](http://www.hpcwire.com/hpcwire/2012-02-02/number_crunching_data_crunching_and_energy_efficiency_the_hpc_hat_trick.html))

次世代のスーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の稼動開始に伴い、TSUBAME2.5 は 2017 年 7 月をもって通常運用を終了し、その後 3 ヶ月間、移行運用を行った。

## ○演算ノード： HP ProLiant SL390s、HP ProLiant DL380 G7

### 【ハードウェア構成】

ノード数	Thin ノード	1,408
	Medium ノード	24
	Fat ノード	10
	計	1,442
プロセッサ	Thin ノード	Intel Xeon X5670(2.93GHz)×2
	Medium、Fat ノード	Intel Xeon X7550(2.0GHz)×4
プロセッサ数	2,952 CPU / 17,984 Core	
GPU	NVIDIA Tesla K20X	
GPU 数	4,224 GPU / 11,354,112 Core	
演算性能	5.76 PFlops (ピーク性能)	
主記憶容量	110.7TB	

### 【ソフトウェア構成】

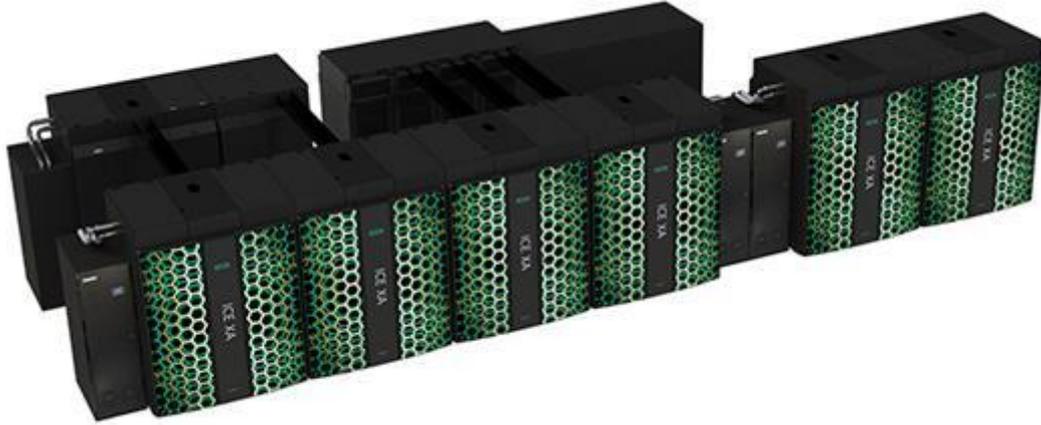
OS	Linux, Windows Server
コンパイラ等	C, C++, Fortran
ライブラリ	OpenMP, MS MPI, CUDA, CULA
アプリケーション	PGI CDK, Intel compiler, ABAQUS, MSC NASTRAN, PATRAN, ANSYS, LS-DYNA, Fluent, AVS/Express PCE, AVS/Express Developer, AMBER, Gaussian, GaussView, Linda, Materials Studio, Discovery Studio, Mathematica, Maple, MATLAB

## ○ペタバイトスケール・データアーカイブ： Sun SL8500

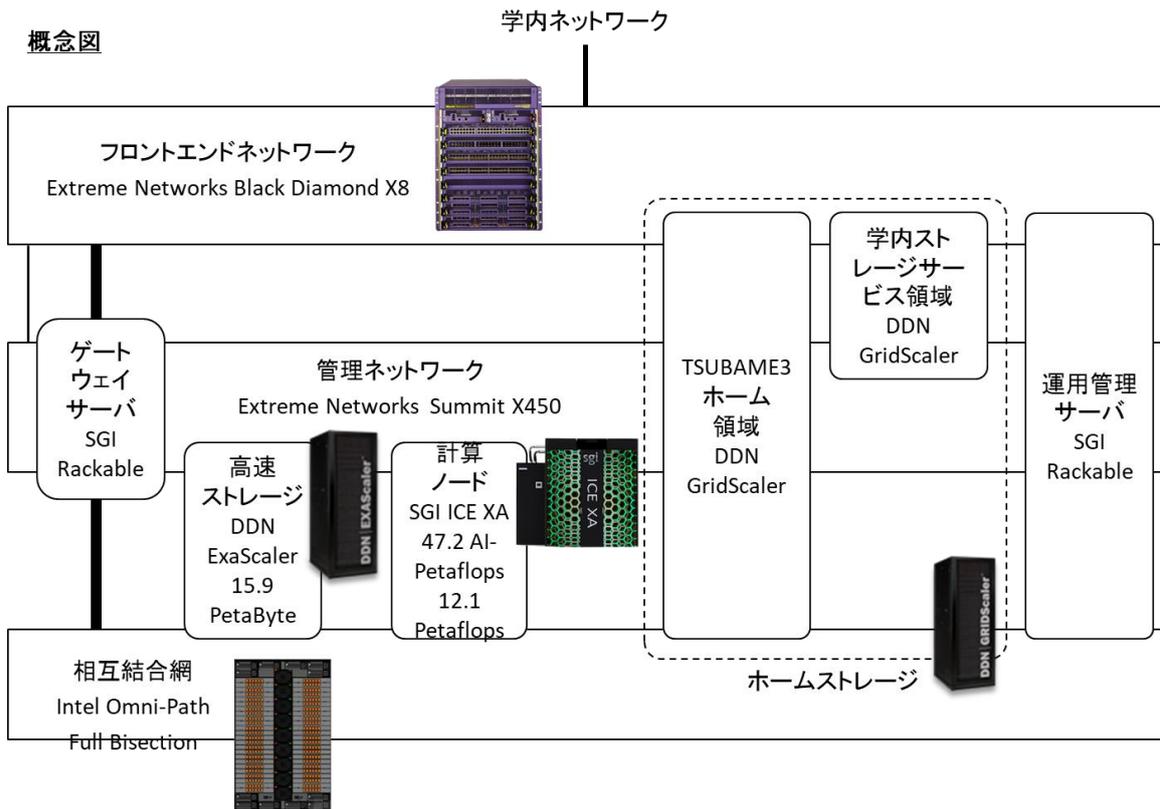
### 【ハードウェア構成】

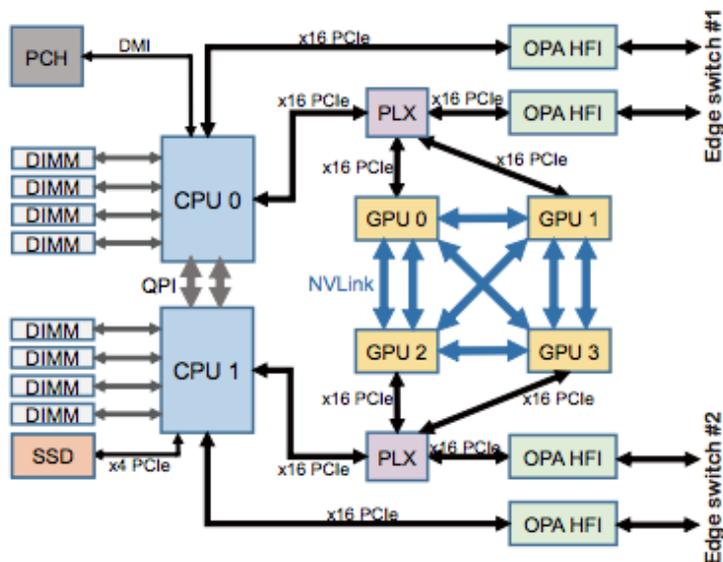
台数	2 台
総容量	4PB(非圧縮時、LTO4 テープ 5000 巻使用)

●TSUBAME3.0



概念図





TSUBAME3.0を2017年8月より稼働を開始した。TSUBAME3.0はHPE SGI ICE XAを基にカスタマイズされ、540台の計算ノードに搭載されるCPUは1,080基、GPUは2,160基となり、理論最大性能は倍精度で12.15 PFlops、半精度(以上)で47.2PFlopsになる。各計算ノードには容量2TBのNVMe対応SSDを搭載し、合計で1.08PBの容量を備え、ストレージも容量15.9PB、データ転送速度150GB/sと強化されている。

システムの冷却方式もTSUBAME2.0/2.5の間接水冷およびTSUBAME-KFCの液浸・温水冷却等で蓄積された経験により、冷却塔の使用による省電力性と、主要な熱源であるCPUとGPUのみを直接水冷、他のコンポーネントを間接水冷とすることにより高い効率を実現している。理論的な年平均PUEはTSUBAME2.0の1.28からTSUBAME3.0では1.033に改善し、TSUBAME2.0で約22%を占めた冷却電力が、3%程度へと大きく削減される見込みである。

TSUBAME3.0では、TSUBAME2.5で利用してきたVM技術に代わり、Linux cgroupを用いた資源分割を導入した。分割された各資源からはGPUおよびOmni-Path HFIに直接アクセスすることが可能であり、それぞれから利用できるデバイスを制限する機能も有するため、TSUBAME2.5よりも柔軟に資源の分割が可能となった。

TSUBAME3.0は、Green 500 Listの2017年6月版において電力1Wあたり14.110 GFlopsを記録し、運用スパコンとして日本で初めて世界1位となった。

## ○演算ノード：HPE ICE XA

### 【ハードウェア構成】

計算ノード	ICE XA 540台
インターコネクト	Intel Omni-Path

ストレージ	DDN SFA14KXE 及び EXAScaler
CPU	Intel Xeon E5-2680 V4 Processor(Broadwell-EP, 14 コア, 2.4GHz) × 2 Scket
GPU	Tesla P100 for NVLink-Optimized Servers(16GB HBM2@732GB/s, 5.3TFLOPS@FP64, 10.6TFLOPS@FP32, 21.2TFLOPS@FP16) × 4
RAM	256GiB
ローカルストレージ	Intel DC P3500 2TB (NVMe, PCI-E 3.0 x4, R2700/W1800)
ネットワーク	Intel Omni-Path 100Gb/s × 4

### 【ソフトウェア構成】

OS	SUSE Linux Enterprise Server 12 SP2
コンパイラ等	GCC, Intel Compiler, PGI Compiler
ライブラリ	Intel MPI, SGI MPI, OpenMPI, CUDA, CuDNN, NCCL 他
アプリケーション	Allinea FORGE, Mathematica, Maple, MATLAB, AVS/Express, AVS/Express PCE, ANSYS, ABAQUS, ABAQUS CAE, MSC ONE, Gaussian, GaussView, AMBER, Materials Studio, Discovery Studio, LS-DYNA, COMSOL Multiphysics, Schrodinger Small-Molecule Drug Discovery Suite

## 2-1-2 運用

### 1) 24 時間運転

計算機システムは定期点検を除き、1 日 24 時間 365 日運転している。従って、利用者はキャンパスネットワークを介し、研究室から 24 時間計算機システムを利用することができる。

### 2) ホスティングサービス

TSUBAME2.5 の一部を利用して学内向けホスティングサービスを行っており 2018 年 3 月末現在、以下の合計 52 プロジェクトが TSUBAME ホスティングを利用している。なお TSUBAME2.5 の運用終了に伴い、TSUBAME ホスティングは GSIC ホスティングと名称を変え TSUBAME とは並行して運用を始め、平成 30 年度より独立し本運用を行う予定である。

仮想ホスティングサービス(48 プロジェクト)
1. WEB サーバ代行サービス
2. HPCI 管理システム
3. Tokyo Titech OCW

4. 化学物質管理支援システム
5. 環境安全衛生教育システム
6. 総合プロジェクト支援センター
7. 研究力 DB(高度化プロジェクト)
8. フロンティア材料研究所 WEB サーバ
9. TAIST-Tokyo Tech
10. 東工大大学情報データベース
11. 電気電子工学専攻・電子物理工学専攻ホームページ
12. 生命理工学研究科 LAN 運営委員会
13. 国際開発工学専攻 web サーバ
14. 先導原子力研究所 Web システム
15. 施設運営部建物情報管理システム
16. STAR Search
17. 通時コーパスによる古代語話しことばの再現プロジェクト
18. 教務 WEB システムバックアップサーバ
19. 教務基幹システムバックアップサーバ
20. 授業評価アンケートシステム
21. 多言語対応日本語読解学習支援システムあすなろ
22. 広報センター
23. 情報基盤支援センターWeb フォーム提供サーバ
24. 東工大元素戦力拠点
25. 研究企画課グループウェア導入
26. グループウェア導入評価
27. 研究戦略推進センタースケジュール管理
28. 地球生命研究所 Web サーバ
29. 情報セキュリティ監査・危機管理専門委員会
30. 認証基盤システム担当
31. 教育システム
32. CAMPAS Asia Research Review
33. オンライン教育プロジェクト
34. 研究者情報管理システム
35. 社会人教育院講座支援システム
36. 情報活用 IR 室
37. 学びのコミュニティシステム
38. 学生の自己管理学習を支援する IR システムの構築

39. 東京工業大学リサーチリポジトリ(T2R2)
40. 2016年4月入社学生対象 東工大 就職活動アンケート調査
41. 添付ファイルを抑制する次元的なファイル共有システム
42. 『以心電心』ハピネス共創研究推進機構
43. イノベーション人材養成機構(IIDP)教育院登録データベース
44. 機械系 SolidWorks ライセンス管理
45. 融合理工学系 Web サーバ
46. 学勢調査 2016
47. 日本語教育情報管理システム
48. TokyoTech CollaboMaker

ライセンスサーバホスティング(4プロジェクト)	
アプリケーション名	プロジェクト名
1. COMSOL	COMSOL Multiphysics による連成解析・電磁応力解析
2. glide	分子シミュレーション演習におけるタンパク質・化合物ドッキング解析に基づくバーチャルスクリーニング統合ソフトウェア
3. SCRYU/Tetra	熱流体解析ソフトウェア
4. COMSOL	高圧圧電ポンプの開発における COMSOL ライセンス

### 2-1-3 実績

#### ◎H29 年度計算機利用料収入内訳(単位：円)

<b>総収入</b>		<b>176,968,000</b>
学内		55,360,000
学外	国立大学／大学共同利用機関	4,600,800
	公立大学	129,600
	私立大学	1,382,400
	他省庁	129,600
	独立行政法人	6,026,400
	民間	109,339,200

◎利用者登録状況(単位：人)

●TSUBAME2. 5

平成 29 年									平成 30 年		
4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
9973	9728	9791	9701	9571	9566	9486	-	-	-	-	-

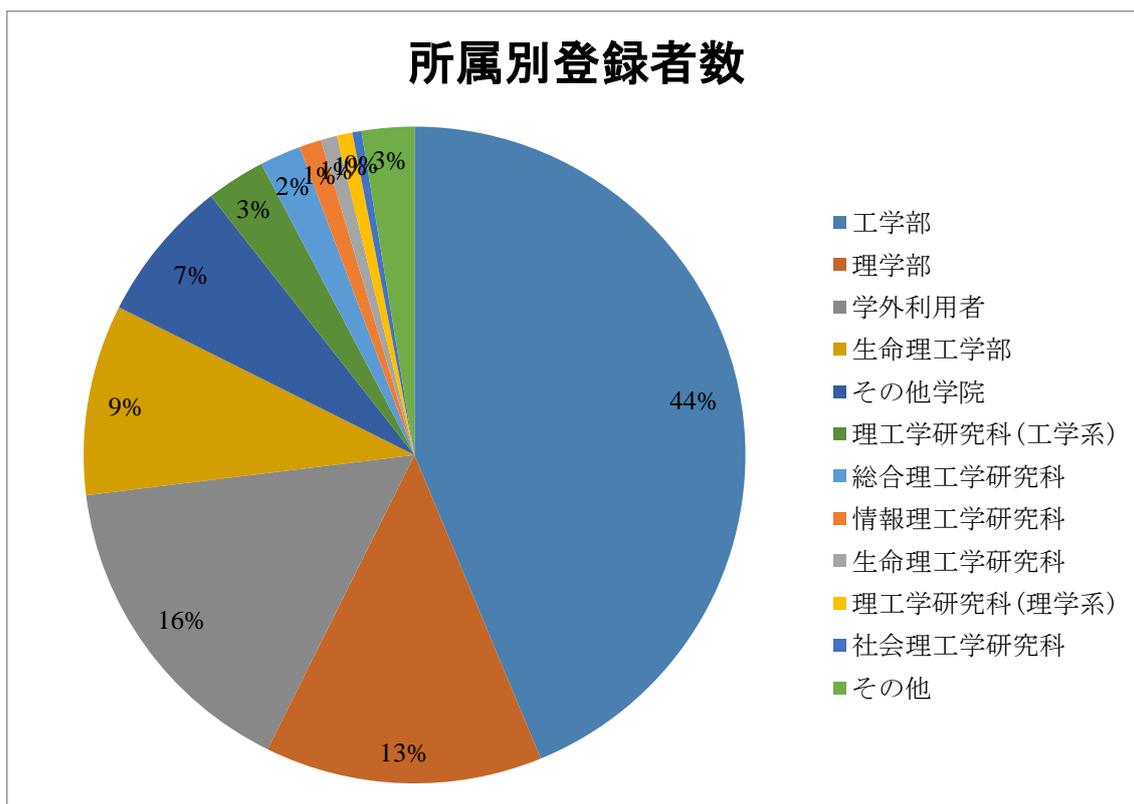
●TSUBAME3. 0

平成 29 年									平成 30 年		
4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
-	-	-	-	*	*	3531	4125	4210	4674	5022	5221

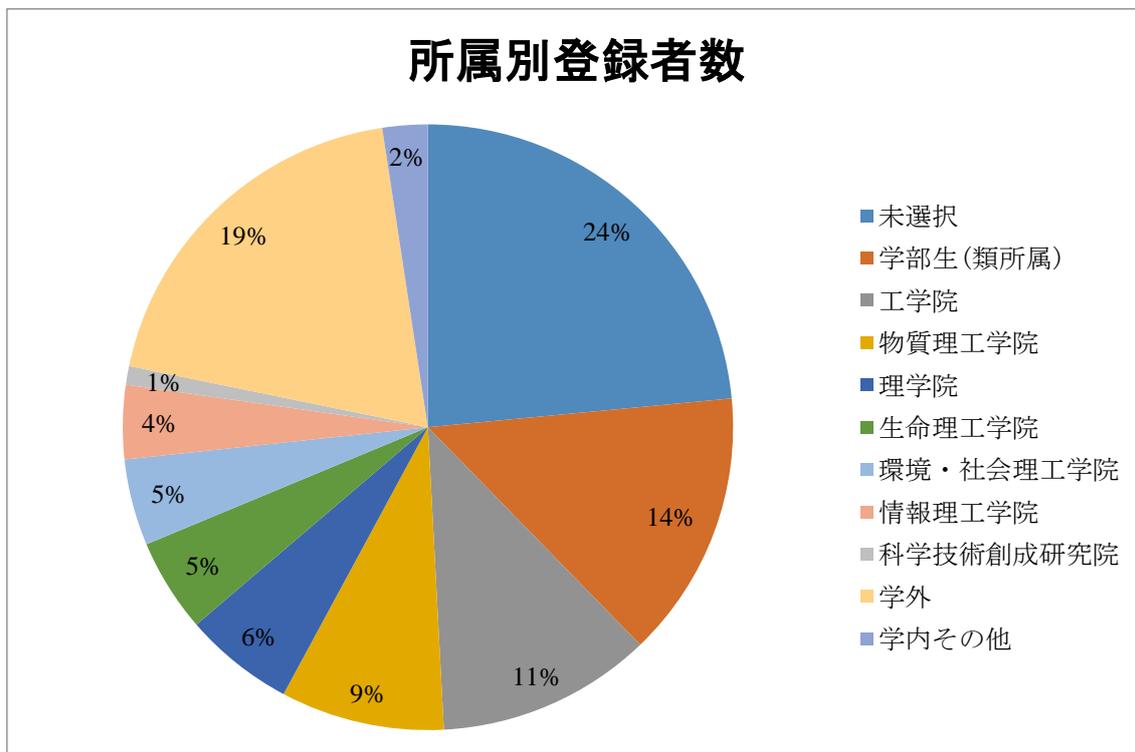
\*未集計

◎所属別登録状況

●TSUBAME2. 5



\*所属は利用者の設定当時の所属



\*システム上の所属設定が未選択のまま利用できていたため次年度に対処予定である。

◎システム利用状況

●TSUBAME2.5

		インタラクティブ	バッチキュー			予約キュー		
		ログイン数	ジョブ件数	CPU 時間(時)	GPU 割り当て数	提供ノード数	利用ノード数*1	利用グループ数
H29年	4月	602	66,713	564,368	64,327	9,500	280	7
	5月	596	104,402	1,583,341	107,909	11,780	1,062	35
	6月	599	13,1544	1,932,914	339,448	8,740	1,615	18
	7月	520	57,135	1,245,245	115,538	5,200	654	10
	8月	*	*	*	*	-	-	-
	9月	*	*	*	*	-	-	-
	10月	*	*	*	*	-	-	-
	11月	-	-	-	-	-	-	-
	12月	-	-	-	-	-	-	-
H30年	1月	-	-	-	-	-	-	-
	2月	-	-	-	-	-	-	-
	3月	-	-	-	-	-	-	-
合計		-	359,794	5,325,868	627,222	35,220	3,611	70

\* : 8,9,10月は移行運用のため未集計

●TSUBAME3.0

月	ログインノード ユニークログイン ユーザ数(人)
2017/08	381
2017/09	423
2017/10	581
2017/11	590
2017/12	686
2018/01	639
2018/02	561
2018/03	396
合計	1,113

月	f_node		h_node		q_node	
	ジョブ 件数	ノード・時間積 (hour)	ジョブ 件数	ノード・時間積 (hour)	ジョブ 件数	ノード・時間積 (hour)
2017/08	19,588	59,391.37	1,101	4,247.65	3,815	7,613.19
2017/09	23,077	117,577.95	4,855	28,946.65	5,083	26,930.31
2017/10	40,996	117,246.33	7,806	48,430.24	5,437	34,121.62
2017/11	60,713	188,371.75	51,231	32,928.73	11,607	29,169.46
2017/12	98,228	259,893.96	38,136	33,222.78	11,391	50,473.40
2018/01	59,666	250,832.70	555,368	48,889.40	44,451	72,224.36
2018/02	50,117	209,953.92	17,615	57,196.08	97,977	58,885.43
2018/03	23,743	209,909.40	11,425	63,082.58	20,245	94,439.14
合計	376,128	1,413,177.38	687,537	316,944.11	200,006	373,856.91

月	q_core		s_core		s_gpu	
	ジョブ 件数	ノード・時間積 (hour)	ジョブ件 数	ノード・時間積 (hour)	ジョブ件 数	ノード・時間積 (hour)
2017/08	1,881	5,656.29	1,028	398.34	4,732	17,607.16
2017/09	870	1,540.14	4,431	11,372.49	2,228	2,811.50
2017/10	5,083	6,043.49	1,489	4,516.40	6,626	10,860.39
2017/11	6,547	16,907.72	3,531	8,229.37	8,524	12,922.88
2017/12	4,257	6,198.34	25,180	10,640.62	2,139	5,222.23
2018/01	4,716	11,021.63	14,911	12,913.03	0	0.00
2018/02	3,593	19,443.05	5,370	1,171.35	0	0.00
2018/03	3,297	17,513.87	6,732	11,110.86	0	0.00
合計	30,244	84,324.53	62,672	60,352.46	24,249	49,424.16

\*s\_gpu は 12 月 19 日以降システム不具合によりサービス停止

◎システム障害件数

TSUBAME2.5 と TSUBAME3.0 で集計基準が異なります

●TSUBAME2.5

	平成 29 年									平成 30 年			合計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
ソフト ウェア	48	1	38	0	*	*	*	-	-	-	-	-	87
ハード ウェア	16	35	41	31	*	*	*	-	-	-	-	-	123
その他	2	2	2	2	*	*	*	-	-	-	-	-	8
月小計	66	37	81	33	*	*	*	-	-	-	-	-	217

\* : 8,9,10 月は移行運用のため未集計

●TSUBAME3.0

	平成 29 年									平成 30 年			合計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
ソフト ウェア	-	-	-	-	41	6	21	6	4	37	18	11	144
ハード ウェア	-	-	-	-	2	5	6	15	18	27	4	3	80
月小計	-	-	-	-	43	11	27	21	22	64	22	14	224

◎運用実績

●TSUBAME2.5

平成 29 年 3 月 27 日～4 月 4 日	年度末メンテナンス、TSUBAME3.0 導入準備工事による TSUBAME の停止
4 月 4 日 16:00	TSUBAME2.5 計算サービスの平成 29 年度運用開始
4 月 19 日～5 月 26 日	平成 29 年度前期 TSUBAME 講習会の開催
6 月 3 日～6 月 7 日	TSUBAME3.0 導入準備のためのシステム停止
6 月 14 日 6 月 21 日～6 月 28 日	グラウンドチャレンジ実施に伴うサービス停止(420 ノード)
7 月 1 日～	ピークシフト運用の実施
7 月 27 日	TSUBAME3.0 への移行運用の開始(大幅な縮退)
8 月 9 日 9:00～ 8 月 16 日 17:00	夏季一斉休業及び夏季法令停電に伴う TSUBAME サービス停止
10 月末	運用終了

●TSUBAME3.0

8月1日	運用開始(テスト運用)
8月10日～8月17日	夏季一斉休業及び夏季法令停電に伴うTSUBAMEサービス停止
8月31日～9月1日	正式運用に向けたメンテナンスのため一部サービス停止
9月1日	運用開始(正式運用)
10月23日～10月27日	グラウンドチャレンジによるサービス休止
3月27日～4月4日	年度末メンテナンス及びグラウンドチャレンジによる停止

◎TSUBAME 2.5 キュー構成

サービス	キュー名	用途	ノード数 コア数 スレッド数	時間 制限	メモリ制限	並列数 上限	備考
無料	インタラクティブ	デバック, ジョブ投入	20 240 480	30分	6GB	4	*9
従量	S	中規模並列	300 3,600 7,200*13	1～4日	1GB*4 (54GBまで)	7200	*14
従量	S96	54GB以上のメモリ	39 468 936	1～4日	1GB*4 (96GBまで)	936	*5
従量	L256	128GB以上のメモリ	8 256 512	1～4日	1GB*4 (256GBまで)	512	*7
従量	L512	256GB以上のメモリ	2 64 128	1～4日	1GB*4 (512GBまで)	128	*8
従量	G	GPU専用	435 1,740 3,480	1～4日	1GB*4	無制限	G側でコア指定は不可能
従量	U	ノード内並列	195/1,560/ 3120(最大)	1～4日	1GB*4	ジョブ量により可変	仮想環境
定額	V	ノード内並列	385 3,080 6,160 (最大)	1～4日	1GB*4	割当による*10	仮想環境
定額	Vw	WindowsHPC*1	40ノード *12	1～4日	1GB*4	割当による*11	仮想環境
定額	Sw	WindowsHPC*1	8ノード*12	1～4日	1GB*4	192	native
予約	H*3 X*14	大規模並列	380 4,560 9,120	スロット 時間	1GB*4	9120	予約期間はssh接続可能

1. 事前の利用準備が必要です。
2. 利用状況に応じて動的に配置されます。
3. 利用するためには事前に予約システムでスロットの予約を行う必要があります。  
(最小ノード数：16 ノード、最大スロット数：7)  
予約方法に関しては『TSUBAME2.5 利用ポータル利用の手引き』を参照して下さい。
4. 「mem」オプションで変更可能です。詳細は『TSUBAME2.5 利用の手引き』の「5.5 メモリサイズの指定」を参照して下さい。
5. S に比して 1.2 倍の課金がかかります。(使用時間に 1.2 倍の係数がかかります)
6. S に比して 2 倍の課金がかかります。(使用時間に 2 倍の係数がかかります)
7. S に比して 4 倍の課金がかかります。(使用時間に 4 倍の係数がかかります)
8. S に比して 8 倍の課金がかかります。(使用時間に 8 倍の係数がかかります)
9. 経過時間ではなく、プロセスごとの CPU 時間が最大 30 分となります。
10. 1 ユニットあたり、64CPU(64 並列または 64 本のシングルジョブ)となります。
11. 1 ユニットあたり、24CPU(24 並列または 24 本のシングルジョブ)となります。
12. 別途用意されている『TSUBAME2.5 Windows 環境利用の手引き』を参照して下さい。
13. ジョブの混雑状況に応じて割り当てが増える可能性があります。
14. S キューに投球されたジョブのうち、翌日 9 時までには終了するアレイ以外のジョブは X キューとして、H キューの予約が無いマシンに割り当てます。(X キューは通常見えません)

#### ※ノード割り当てポリシーについて

ノードのユーザへの割り当て方法によって、占有ノードと共有ノードの 2 種類に分けられます。

##### 占有ノード

各ノードは、1つのジョブによって占有されます。1つのジョブが複数のノードを使用することも可能です。S、L256、L512、S96、G、U、X キューおよび予約キューのノードが該当します。

##### 共有ノード

各ノード内で、リソースが許す範囲で不特定多数のユーザによる複数のジョブが実行されることがあります。1つのジョブが複数のノードを使用することも可能です。V キューのノードが該当します。

### ◎TSUBAME 3.0 資源タイプ構成

資源タイプ	資源タイプ名	CPU コア数	メモリ (GB)	GPU 数
F	f_node	28	240	4
H	h_node	14	120	2
Q	q_node	7	60	1
C1	s_core	1	7.5	0
C4	q_core	4	30	0
G1	s_gpu	2	15	1

- ・「使用物理 CPU コア数」、「メモリ(GB)」、「GPU 数」は、各資源タイプ 1 つあたりの使用可能な量です。
- ・同じ資源タイプを最大 72 個まで指定できます。資源タイプの組み合わせはできません。
- ・実行可能時間の最大値は 24 時間です。
- ・一人当たりの同時に実行可能なジョブ数 150 です。
- ・一人当たりの同時に実行可能な総スロット数 2016 です。  
(スロット=資源タイプ毎に設定されている物理 CPU コア数 x 利用ノード数(qstat コマンドの slots と同等))
- ・予約実行で利用できる資源タイプは f\_node,h\_node,q\_node になります。q\_core,s\_core,s\_gpu は利用できません。

## 2-1-4 TSUBAME におけるアプリケーション利用状況と利用分野

高性能計算システム分野 研究員 野村 哲弘

### TSUBAME におけるアプリケーションの利用状況

TSUBAMEには様々な有償アプリケーションおよびオープンソースのアプリケーションが導入されている。うち、2017年7月まで本運用を行っていたTSUBAME2.0において、導入された有償アプリケーションのおよびオープンソースのアプリケーションの利用状況について、2017年度（2017年4月1日～2017年7月31日、延長運用期間は含まず）に、これらのアプリケーションを使用したユニークなユーザ数、バッチキューにおいてアプリケーションが使用したノード時間の割合を示す。ただし、バッチキューにおけるノード時間とそのユーザ数の集計には、インタラクティブノードでの使用時間は含まない。TSUBAME3.0でも同様の集計を行うためのデータ収集体制が整っていなかったが、2018年4月よりデータ収集が可能となったため、2018年度以降はTSUBAME3.0のデータを報告できる見込みである。

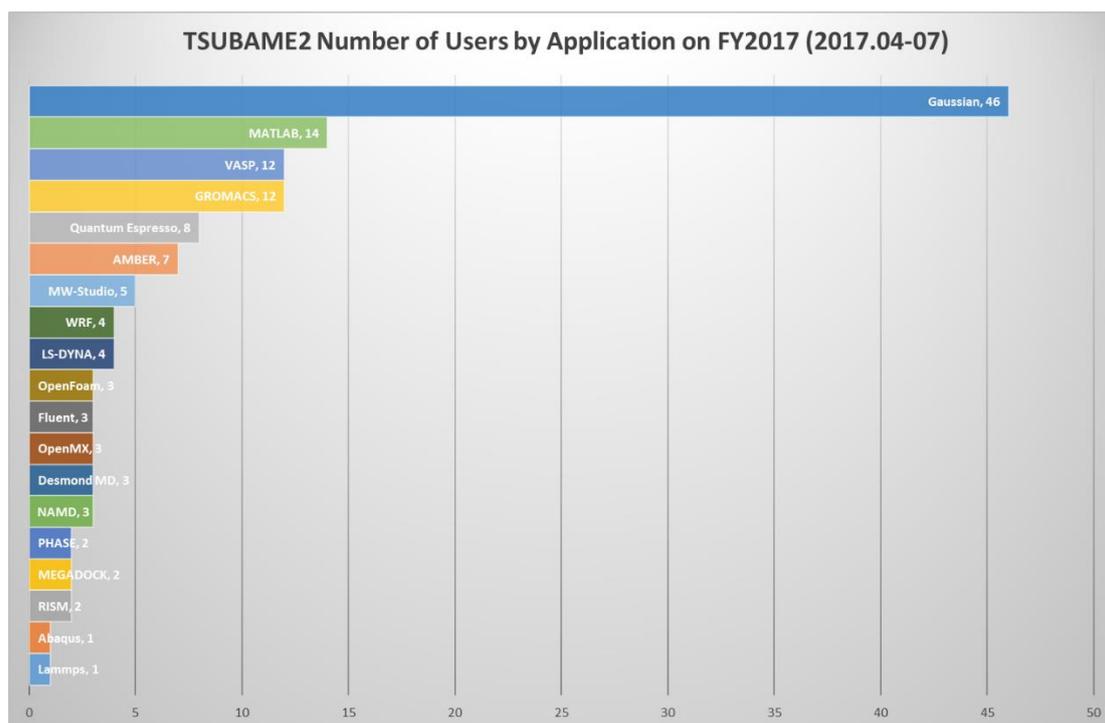


図1 アプリケーションを使用したユニークなユーザ数

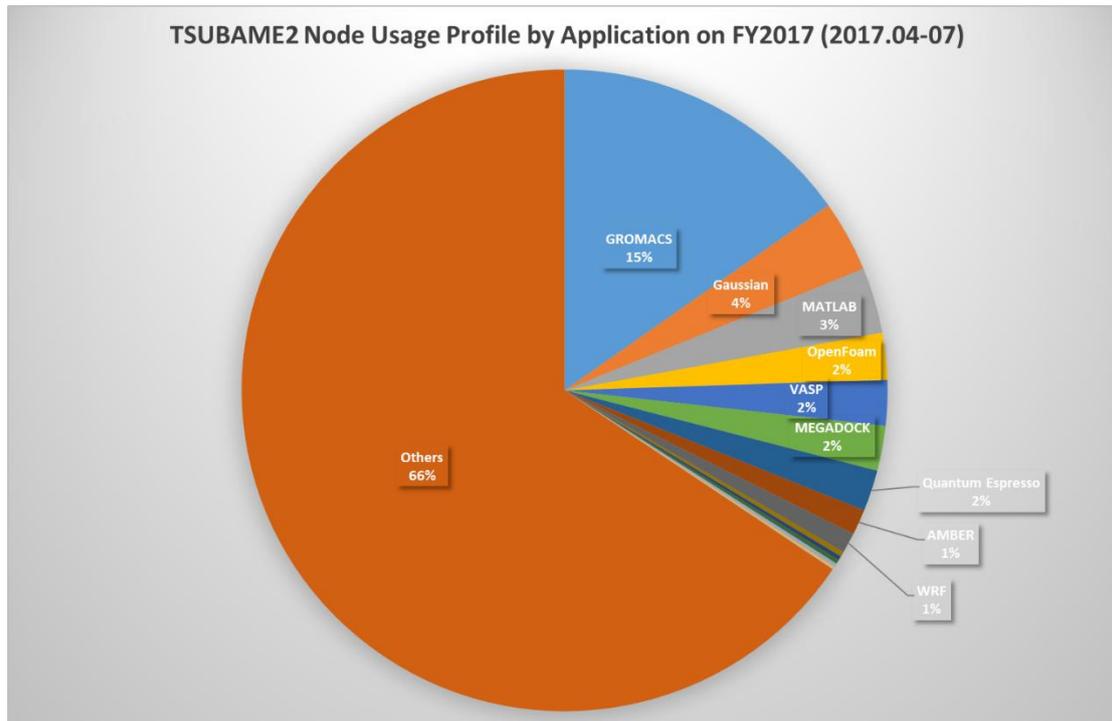


図2 アプリケーションが使用したノード時間の割合

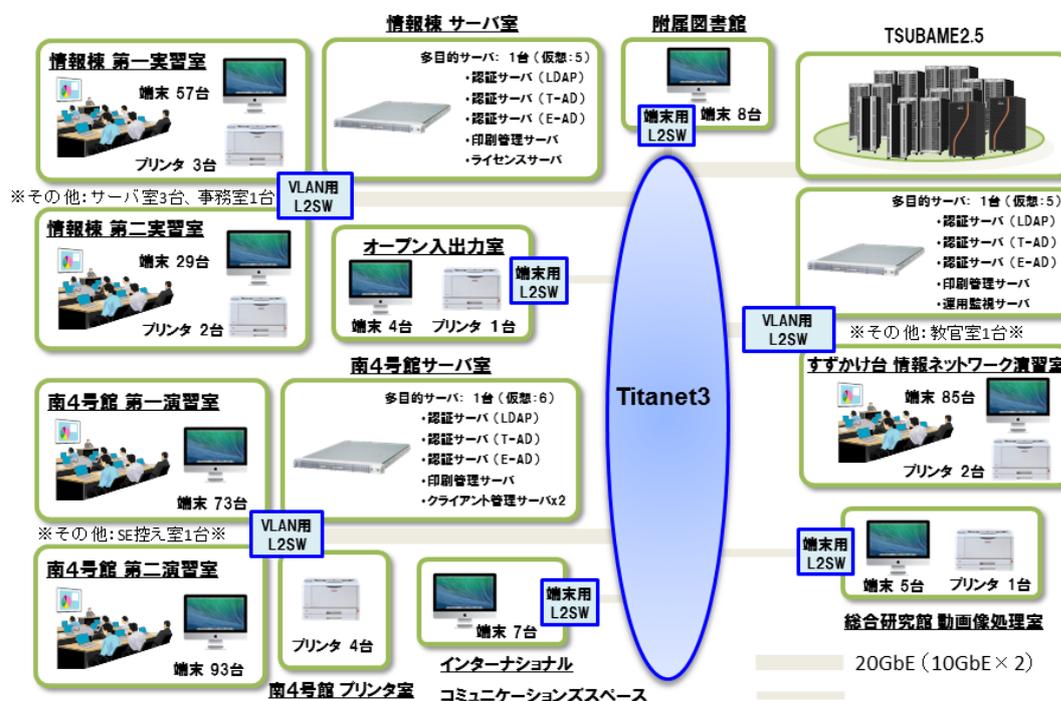
## 2-2 教育用電子計算機システム

### 2-2-1 構成

教育用支援設備は学部1年生を対象にする情報基礎科目教育と学部2年生以上を対象にする専門科目教育の内容、及び教育効率を考慮して、1クラスの学生数80人を単位に教室(演習室、実習室)は4つに分れている。

なお、教室にはそれぞれにMac OSとWindowsのデュアルブートで運用するiMac約80台とカラーレーザープリンタを設置し、以下のシステム構成図のとおりキャンパスネットに接続されている。

### 教育用電子計算機システム構成図



#### 【ハードウェア構成】

クライアント端末 (iMac)	学術国際情報センター3階実習室	86台
	大岡山南4号館情報ネットワーク演習室	166台
	すすかけ台情報ネットワーク演習室	85台
	学術国際情報センター1階オープン入出力室	4台
	すすかけ台総合研究館動画像処理室	5台
	大岡山西9号館ICS	3台
	大岡山附属図書館	8台

カラーレーザプリンタ	学術国際情報センター3階実習室	5台
	大岡山南4号館情報ネットワーク演習室	4台
	すずかけ台情報ネットワーク演習室	2台
	学術国際情報センター1階オープン入出力室	1台
	すずかけ台総合研究館動画画像処理室	1台

### 【ソフトウェア構成】

オペレーティングシステム	Mac OS X 10.10 Yosemite Windows 8.1 Pro
アプリケーション	Adobe Creative Cloud, ChemDraw Professional, Gaussian, GaussView, MATLAB, Mathematica, Microsoft Office, Spartan
プログラミング言語処理系	C, C++, Common Lisp, Eclipse, Etoys, Fortran77, Fortran90/95, Java, Pascal, Perl, Prolog, Python, Ruby, Squeak, Xcode

## 2-2-2 運用

### (1) 利用者登録

全学認証システムからのデータ提供を受けており、TSUBAME2.5 と同じアカウントで利用することができる。(事前に TSUBAME2.5 のアカウント取得が必要)

### (2) 夜間利用

平日 17:00 以降に演習室に入室する場合は IC カード(学生証)を使う。ただし、入室は次のとおり時間制限がある。

#### 1) センター3階実習室：

平成 25 年度に監視カメラを再設置したが防犯上の理由から夜間利用は行っていない。

#### 2) 大岡山情報ネットワーク演習室：

平成 25 年度に監視カメラを設置し、21 時までの夜間利用を行っている。

#### 3) すずかけ台情報ネットワーク演習室：

平成 25 年度に監視カメラを再設置したが防犯上の理由から夜間利用は行っていない。

なお、いずれも演習室(実習室)も土曜・日曜及び祭日は防犯上の理由から入室を禁止している。

### (3) 利用期限

東工大 IC カードの有効期間に準ずる。

(東工大 IC カードの有効期限が延長された場合は、自動的に延長される)

### 2-2-3 実績

#### ◎ログイン回数

##### 【大岡山】

	GSIC		南4号館		学内設置	
	第1 実習室	第2 実習室	第1 演習室	第2 演習室	図書館	ICS
H29年4月	2,378	720	3,424	4,602	974	23
5月	2,151	1,123	3,001	4,304	956	53
6月	1,748	983	2,196	3,801	900	68
7月	1,982	1,334	2,597	4,384	1,106	76
8月	466	162	399	905	349	28
9月	362	325	886	1,405	320	31
10月	1,253	1,049	2,203	4,501	949	123
11月	1,187	660	2,146	3,693	930	93
12月	1,855	2,988	1,855	2,988	735	61
H30年1月	1,152	999	1,383	2,760	674	70
2月	296	300	437	1,055	382	16
3月	143	176	106	312	139	5

##### 【すずかけ台】

	すずかけ台 演習室
H29年4月	247
5月	117
6月	263
7月	210
8月	62
9月	42
10月	79
11月	79
12月	63
H30年1月	107
2月	108
3月	75

◎授業コマ数

大岡山 学術国際情報センター(情報棟)3F 第1実習室

	授業コマ数			
	第1クォータ	第2クォータ	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	6	6	0	0
コンピュータサイエンス	0	0	1	1
その他	4	3	6	6

大岡山 学術国際情報センター(情報棟)3F 第2実習室

	授業コマ数			
	第1クォータ	第2クォータ	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	1	1	0	0
コンピュータサイエンス	0	0	0	0
その他	3	6	1	3

大岡山 南4号館 3F 情報ネットワーク演習室 第1演習室

	授業コマ数			
	第1クォータ	第2クォータ	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	6	6	0	0
コンピュータサイエンス	0	0	6	6
その他	5	6	7	10

大岡山 南4号館 3F 情報ネットワーク演習室 第2演習室

	授業コマ数			
	第1クォータ	第2クォータ	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	6	6	0	0
コンピュータサイエンス	0	0	6	6
その他	4	1	6	7

すずかけ台 情報ネットワーク演習室

	授業コマ数			
	第1クォータ	第2クォータ	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	0	0	0	0
コンピュータサイエンス	0	0	0	0
その他	0	2	0	1

※クォータ制に移行し、1つの授業を1クォータで週2回実施するものや、2クォータに渡り週1回実施するものなど利用パターンが異なるため、実施コマ数をカウントすることにした。

◎プリンタ利用状況

	印刷枚数	印刷件数	利用者数
H29年4月	23,932	4,043	980
5月	29,494	6,345	1,247
6月	27,023	7,249	1,469
7月	31,471	8,288	1,325
8月	12,775	3,444	702
9月	4,380	1,403	231
10月	21,058	7,082	1,097
11月	22,350	8,496	1,197
12月	15,470	3,975	1,042
H30年1月	19,818	4,588	1,029
2月	15,753	3,035	782
3月	7,767	980	238
合計	231,216	52,792	3,216

## 2-3 ネットワークシステム

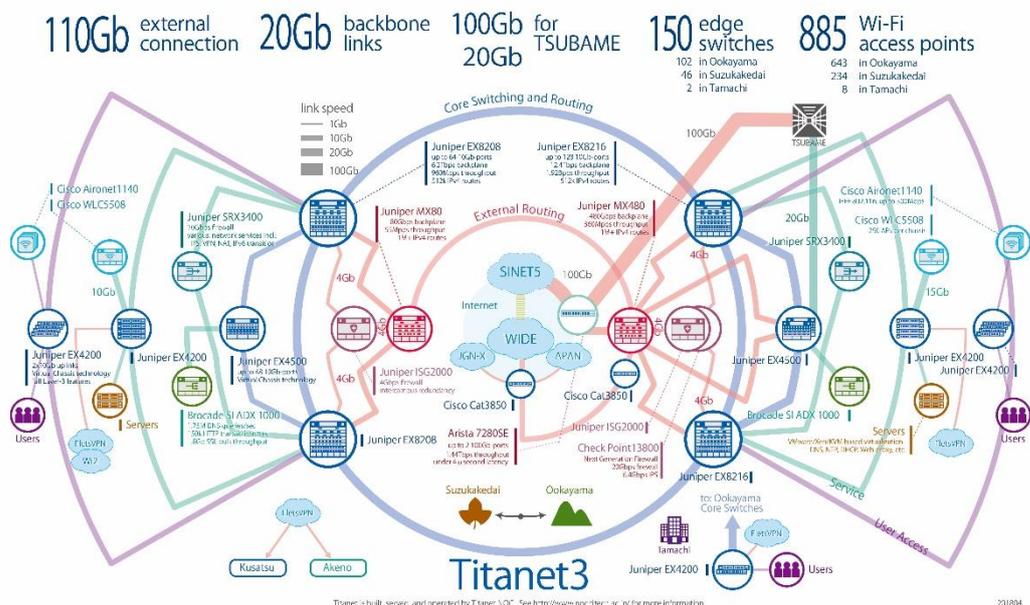
### 2-3-1 有線ネットワーク (Titanet3)

Titanet3 の運用開始から本年度末で 8 年が経過した。ネットワーク機器の平均利用/耐用年数は 5~6 年と言われており、これを大きく越えることとなったが、ほとんどの機器が安定的に稼働する運用を継続した。安定化作業については、一斉の OS 更新など大規模なメンテナンスは実施せず、小規模なメンテナンス作業を数多く行った。具体的には、多くの PoE スイッチの経年劣化による故障や停電など電源サイクル時におけるブートパーティション故障への対応などがあり、これらの件数は急速に増えてきている。迅速に対応することで大きな通信断などは発生していないが、システム全体への経年の影響は否めない状況にある。実施したメンテナンス作業についての詳細を章末に示す。

メーカー保守の終息状況についてであるが、まず、Titanet3 導入時の PoE スイッチについては昨年度終息したため、新機種による交換対応を段階的に実施している。また、建物スイッチの一部と対外接続ルータの部品についても終息済、無線用 NAT ルータ、ロードバランサ、メインコアスイッチについて近々終息の予定が発表されている。

なお、メンテナンス・雷による停電による停止時間を含めても、全スイッチ機器、サーバス用アプライアンスなどの年度期間稼働率は、99%以上を実現している。章末に稼働率表を示す。

以下に、現在の Titanet3 幹線の構成を示す。



Titanet3 の構成

年度末を中心に、各支線組織によるアクセスポイント増設が多くあり、その接続のために予備 PoE スイッチをすべて配備する状況となった。これにともない、無線ネットワークを支援する機器構成が拡大している。

昨年度 3 月から SINET5 への接続が 100 ギガとなり、WIDE,APAN 用回線 10 ギガと合わせて、本学は、国内トップクラスの高速対外接続を持つ学術機関の一つとなった。しかし、その 100 ギガ回線のトラブル時に国外への通信ができない問題が昨年度、雷による機器故障時に発覚した。WIDE,APAN 経由の国際回線が逼迫しているため、本学の大容量通信は制限がかかっていた。本年度はこれに対応するため、WIDE プロジェクト、SINET にご協力を頂き、10 ギガ回線から SINET への接続を常設とした。この接続は、一部プロジェクト回線を利用するため、プロジェクト終了までの期間ではあるが、SINET 経由での海外への接続の冗長化が実現された。現在、他の上流接続先についても検討をすすめるとともに、回線を多重化することで現有設備での、すずかけ台キャンパスへの回線引き込みについて設計をすすめている。

Titonet3 の老朽化にともない、次期キャンパスネットワークについての計画、学内への説明を随時行っている。本年度は特に他大学との比較資料などの提出を行った。また、技術的には、次期キャンパスネットワークでサービスとして本格対応を計画している IPv6 について、PI アドレスの獲得、eduroam サービスでの試験準備などを行った。今後も順次問題点を洗い出しながら、テスト実装を計画している。

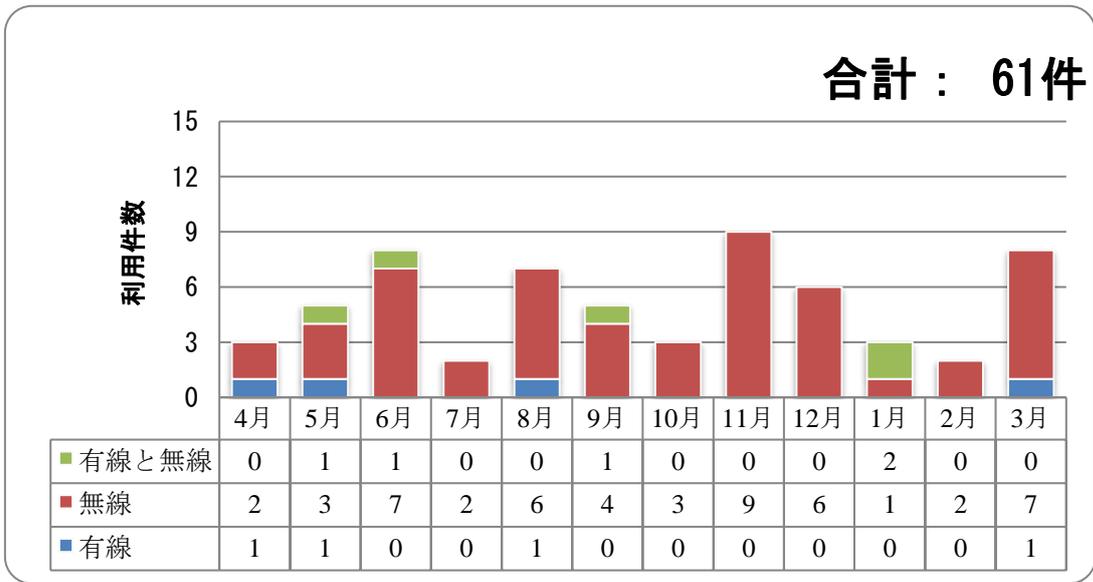
セキュリティ機器は、ファイアウォール、ファイル交換ソフトウェア検知機、WAF(ウェブアプリケーションファイアウォール)を運用し、セキュリティインシデント等に合わせ、上記機器を用いてのポート制限などの対応を行い、また、それらに合わせて学内への注意喚起を行った。ファイル交換ソフトウェアの検知サービスと検知状況については別途後述する。また、例年同様、攻撃に利用されるポートについて、特に本年度は、世界的 DDoS 攻撃に利用された memcached 利用ポートを全学遮断とし、また、最近利用が増えてきた QUIC プロトコルについては、HTTP などとともに通過させるポリシメニューとした。

機能強化すべく昨年度調達した次世代型ファイアウォールについては、一部メンテナンスを継続するとともに運用に入った。具体的には、アプリケーション、データベース、CMS の既知の脆弱性をつく通信については遮断、旧ファイアウォールで実現していた支線毎のポリシーの移行などを行った。また、ファイル交換ソフトウェアの検知の大部分も移行している。ただ、1 回のメジャーバージョンアップ、複数回のマイナーバージョンアップを行っても、安定性に難がある状態が続いているため、慎重かつ部分的な利用を行っている。

### 2-3-2 無線ネットワーク (TW2)

2010 年 3 月に更新された無線ネットワークシステムについては、特に年末から年度末にかけてアクセスポイントの追加配備が進み、年度末時点で 885 台(大岡山: 643 台、すずか



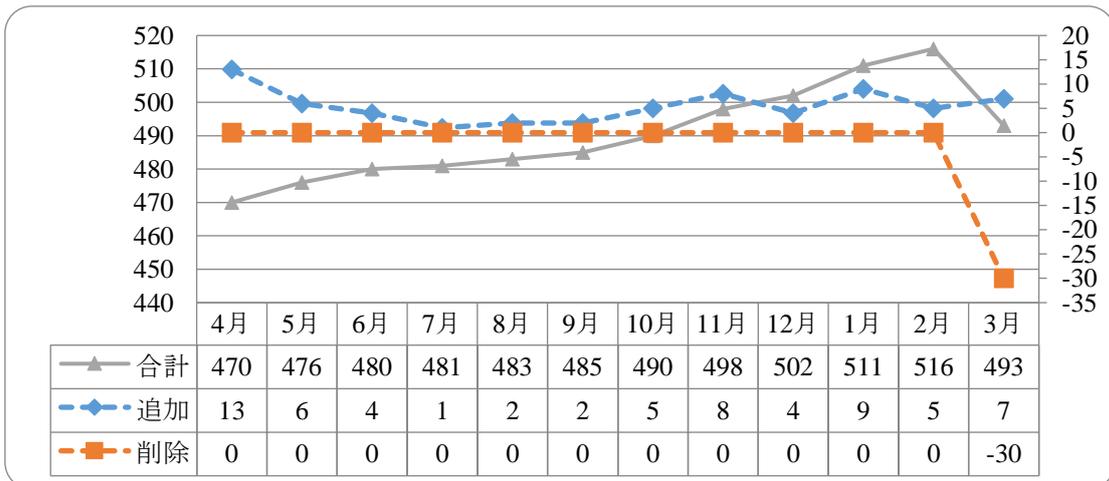


イベント用ネットワークサービス利用件数の状況

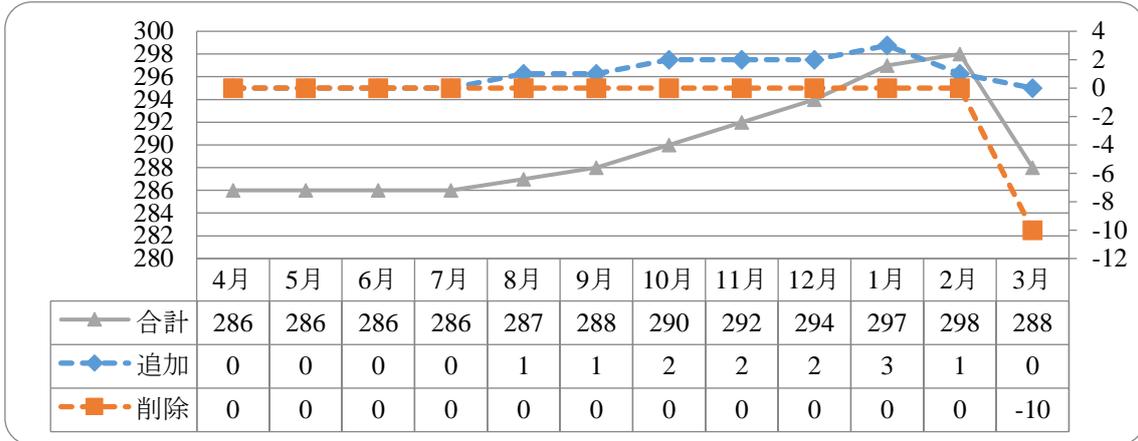
2-3-3 その他のサービス

(1) サーバ代行サービス (DNS(コンテンツ)サーバ代行サービス、WWW サーバ代行サービス)

一昨年度6月から新サーバ運用を開始し、旧サーバからの移行を進めていたWWWサーバ代行サービスは、11月30日をもって、旧サーバを停止し、無事、約450ドメインによる新サーバだけの運用に入った。昨今、Webサービスをとりまく状況は、特にセキュリティ面できびしいものがあるため、WWW代行サービスに導入されているWAFのOSバージョンアップを行い、最新の状態とした。各代行サービス利用件数の推移を以下に示す。



WWW サーバ代行サービス利用件数の状況

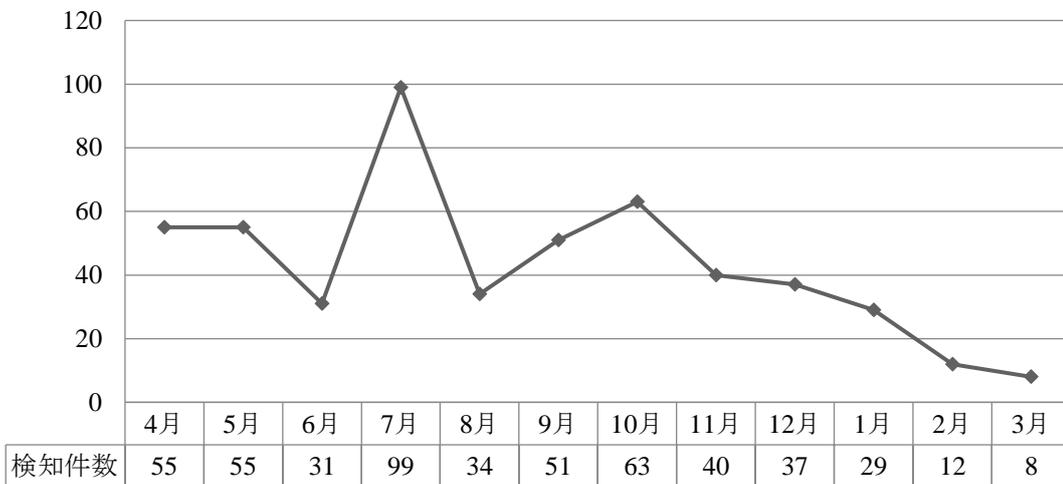


DNS サーバ代行サービス利用件数の状況

## (2) ファイル交換ソフトウェア検知サービス

著作権侵害行為の防止強化のため、学外との通信内容を機械的に判断、荷担するおそれのあるソフトウェアを検知、遮断、通知している。検知対象は、BitTorrent, Gnutella, Kazaa, Share, WinMX, Winny, eDonky, eDonkey2000, Direct Connect, Gnutella Ultrapeer, Perfect Dark、および、QQ, Kugou である。これら対象の通信ソフトウェアは、明示的にファイル共有を目的とするものだけではなく、chat や音楽共有を主目的とするものも多くなってきており、利用者が著作権侵害行為を行う可能性に気が付きにくい。また、著作権に対する考え方が違う国において、その運用や配布、サービスが展開されていることもあり、非常に多くの検知が続いている。支線等の協力も得て、サービスとは独立に、多くの場面での注意喚起も継続している。技術的には、現行の検出機と次世代ファイアウォールによる検知との比較の結果、次世代ファイアウォールを利用した検知・遮断への移行を行う方針としていたが、安定しない状態にあるため、現在も、従来機器と次世代ファイアウォールによる検知を並用してサービスしている。以下に、本年度の検知状況を示す(手動で追加遮断した件数を含む)が、次世代ファイアウォールによる検知分を合算していないため、併用運用に入った年度後半の件数が少なめに出ている。実際にはより詳細に検知されるソフトウェアも増えたため、各月、40 から 50 件の上乗せがある。

## ファイル交換ソフトウェア検知状況



ファイル交換ソフトウェア検知数の状況

### (3) その他

以下のサービスについてもハードウェア、ソフトウェアの随時更新、標準変更への対応等を実施し、継続してサービス提供を行っている。

- 東京工業大学トップドメイン titech 用名前引きサーバの運用、組織・プロジェクトのドメインの登録管理
- 支線毎に学外との通信ポリシーを設定できる（ファイアウォール/スクリーニング選択）サービス
- WWW、ftp、ストリーミング等の通信を学内外で中継するサーバ、大規模 DNS フルリゾルバ、時刻情報(NTP)提供サーバなど学内共用サーバ
- SINET5 を利用する学内プロジェクトに対する接続支援
- 上記サービス、ネットワークの 365x24 監視システムの運用

### 2-3-4 特記事項

本年度は、昨年度実施した、教育改革に伴う改編組織へのネットワークリソースの利用状況棚卸し調査の第2段として、直接改編がなかった事務組織、プロジェクトへのリソースの利用状況の棚卸し調査を開始した。この2回の調査により、利用状況のより正確な把握が可能となるとともに、支線組織において情報更新をどれくらい行っているか、行えていないかについて、知見が得られる予定である。

昨年度時点で、本年度中実施を計画していた NTP(時刻情報提供)サーバの IoT 機器への更新は、より高性能なサーバを用いた実験への参加の検討に入ったため、延期している。

セキュリティ対策として、前述したファイアウォールなどによる IP アドレス、アプリケーションによる通信制御に加え、全学名前解決サーバにおいて、悪意あるドメイン名の名前解決を停止することでも実現している。これにより、アプリケーションに依存せず、また、IP アドレスを頻繁に変更する攻撃サイトへも対応可能となっているが、公開名前解決サーバの流行など、支線・個人レベルで安全性に考慮しない対応も考えられるため、一部通信遮断と組合せて実施をしなければ、効果がうすらぐ可能性が出てきている。また、仮想通貨関連の問題も、通常の遮断だけでは、トンネルなどによる抜け道を完全に遮断することはできないため、これらへの対応も急務である。

IPv6 に関連するサービスとして、これまでは WIDE プロジェクトから払い出されるアドレスを実験的に学内利用者にサービスしてきたが、本年度は、上位プロバイダに依存しない東京工業大学が独立で利用するアドレスの獲得を行った。さらに、アドレスを管理する JPNIC が年度末に IPv6 分配基準の変更を行ったため、より大きなアドレス空間の申請を予定している。

日付	種別	機種	対応	原因／症状
4/26	建物スイッチ	EX4200-48T (FAN3)	交換	FAN が故障したため FAN モジュールのみ交換
4/28	建物スイッチ	EX3300-48T (VC2 台)	交換	ポート不足のため交換
4/28	ネットワークカメラ	Panasonic BB-ST162A	追加	総合研究館用ネットワークカメラを導入
5/1	建物スイッチ	EX4200-48T	交換	故障(落雷が原因の可能性あり)
5/31	PoE スイッチ	DGS-3100	交換	再起動複数回確認のため予防交換
7/31	シリアルコンソールサーバ	SN9116	交換	故障のため新規機購入し交換
8/8	対外スイッチ	C3850-24XS	追加	大手町回線冗長化のため追加
8/17	PoE スイッチ	DGS-3100	交換	FAN 故障
8/22	PoE スイッチ	DGS-3100	交換	FAN 故障
8/22	PoE スイッチ	DGS-3100	交換	FAN 故障
8/22	対外ルータ	MX80	追加	すずかけ台に移行
8/22	対外スイッチ	C3850-24XS	追加	大手町回線冗長化
9/1	対外スイッチ	C3560-12TD	撤去	大手町回線冗長化のため C3850 と交換

9/1	対外スイッチ	C3850-24XS	追加	大手町回線冗長化のため C3560 と交換
11/24	PoE スイッチ	DGS-3120	交換	FAN 故障
11/27	PoE スイッチ	C2960L-24PS	追加	新機器導入(AP 設定時や C2960L のテストも踏まえ)
12/20	PoE スイッチ	DGS-3100	交換	FAN 故障
1/11	対外ルータ	MX480(PEM3)	交換	PEM3(FAN)故障
1/17	サービススイッチ	EX4200-48T	交換	設定保存時にリブートし過去の設定ファイルで起動したため故障の疑い
3/7	PoE スイッチ	DGS-3100	交換	FAN 故障
3/7	PoE スイッチ	DGS-3120	新規	AP 追加のため
3/12	PoE スイッチ	DGS-3100	撤去	建物スイッチに AP を統合
3/16	建物スイッチ	EX3300-48T	交換	工事後静音スイッチ 2 台から通常スイッチへ交換
3/16	PoE スイッチ	C2960L-24PS	新規	AP 追加のため
3/20	PoE スイッチ	DGS-3120	新規	AP 追加のため
3/23	PoE スイッチ	DGS-3120	新規	AP 追加のため
3/26	PoE スイッチ	DGS-3100	交換	AP 追加のため
3/26	PoE スイッチ	C2960L-48PS	交換	FAN 故障 & AP 追加のため
3/29	PoE スイッチ	DGS-3120	交換	AP 追加のため
3/29	PoE スイッチ	DGS-3120	交換	FAN 故障
3/30	PoE スイッチ	C2960L-24PS	交換	AP 追加のため

平成 29 年度 機器交換追加履歴

ホスト名	稼働率	ホスト名	稼働率	ホスト名	稼働率	ホスト名	稼働率
100g-gsic-1.	100	green1-3.	99.99	midori6-1.	100	res-o1.	99.91
100nen-1.	100	gsic-1.	100	midori6-2.	100	res-o2.	99.98
100nen-3.	99.99	gsic-10.	100	midoriko-1.	100	res-o3.	99.99
10g-gsic-1.	100	gsic-2.	99.99	minami1-1.	100	res-s1.	100
10g-setsubi-1.	100	gsic-4.	100	minami1-2.	100	res-s2.	100
10gs3g	100	gsic-5.	100	minami2-1.	100	res-s3.	100
1shoku-1.	100	gsic-6.	100	minami2-2.	100	rjii-1.	100
1shoku-2.	100	gsickokusai-1.	99.99	minami3-1.	100	sanren2-1.	100
1shoku-4.	99.99	haieki-1.	100	minami4-1.	100	sanren2-2.	100
80nen-1.	100	higashi1-1.	100	minami5-1.	99.99	setsubi-1.	100
app	100	higashi2-1.	100	minami5-2.	99.98	setsubi-3.	100
app1	99.99	hokenkanri-1.	100	minami6-1.	100	sgw-o1.	99.99
app2	100	honkan-1.	100	minami6-2.	100	sgw-o2.	99.99
auth-o1.	100	honkan-2.	100	minami7-1.	99.99	sgw-s1.	100
auth-o2.	99.98	honkanc-1.	99.67	minami7-2.	99.98	sgw-s2.	99.99
auth-s1.	99.99	honkane-1.	99.85	minami8-1.	100	slb-o1.	99.99
auth-s2.	99.99	honkane-3.	99.99	minami8-2.	100	slb-o1 ve352.	99.99
b1-1.	99.86	honkane-4.	100	minami9-1.	100	slb-s1.	100
b1-2.	99.98	honkanko-1.	100	minamiji2-1.	99.99	soken-1.	99.85
b2-1.	99.84	honkans-1.	100	minamiji4-1.	100	sokenbekkan-1.	99.89
b2-2.	99.98	honkans-2.	100	minamiko-1.	99.99	sozo-1.	100
bak-o1.	100	honkanw-1.	100	monitor-o.	100	splunk.	99.99
border-o1.	99.99	ishikawa1-1.	100	monitor-o2.	100	suzukake-gw.	99.99
border-s1.	100	ishikawa1-2.	100	monitor-s.	100	taikukan-1.	100
bordersw-k1.	100	ishikawa2-1.	100	nishi1-1.	100	taikukan-2.	99.74
bordersw-o1.	100	ishikawa2-2.	100	nishi2-1.	100	tamachi-1.	100
bordersw-s1.	100	ishikawa3-1.	100	nishi3-1.	100	tamachi-2.	99.99
cam-o2.	99.99	ishikawa3-2.	100	nishi3-2.	99.99	tn3.	99.99
cam-s2.	99.99	ishikawa4-1.	99.99	nishi4-1.	100	toshoo-1.	100
cam-t1.	99.99	ishikawa5-1.	100	nishi5-1.	100	toshoo-2.	99.99
cc-gsic-1.	100	ishikawa6-1.	100	nishi6-1.	100	toshoo-4.	99.99
cc-soken-1.	99.82	ishikawa6-2.	100	nishi7-1.	100	toshos-1.	99.85
cert-gsic-1.	99.37	ishikawa7-1.	100	nishi8e-1.	100	toshos-2.	99.98
choele-1.	100	ishikawa7-2.	100	nishi8e-2.	100	ttf-1.	100
cicrmc	99.98	ishikawa8-1.	100	nishi8w-1.	100	ttf-2.	100
circle1-1.	99.99	ishikawa8-2.	100	nishi8w-2.	100	ttf-3.	100
circle2-1.	99.99	isotope-1.	99.85	nishi9-1.	100	ttf-4.	100
circle3-1.	100	j1-1.	99.87	nishi9-2.	99.99	ttf-5.	99.99
circle4-1.	99.99	j2-1.	99.85	nishi9-3.	99.53	tw2-gw-o.	100
circle5-1.	99.99	j2-2.	99.98	nishi9-4.	100	tw2-gw-s.	100
coe-1.	99.91	j2-3.	99.98	nishi9-5.	100	vande-1.	100
core-o1.	100	j2-4.	99.97	noc-gisc-1-b.	100	ve-301.ookayama-gw	100
core-o2.	100	j3-1.	99.82	noc-gsic-1.	99.99	ve-302.suzukake-gw	99.99
core-s1.	99.82	jimu-gsic-2.	99.99	noc-gsic-2.	100	vmw-o1.	99.99
core-s2.	100	jimu-honkan-1.	99.99	noc-gsic-3.	100	vmw-o2.	99.99
daigakukaikan-1.	99.89	jimu1-1.	100	noc-gsic-4.	100	vmw-s1.	100
daigakukaikan-2.	99.98	jimu1-2.	99.34	noc-honkan-1.	100	vpn-o.	99.99
daigakukaikan-3.	99.98	johoeno-1.	100	noc-honkan-2.	100	vpn-s.	100
db-2	100	johoeno-2.	100	noc-setsubi-1.	99.99	vpn-t.	99.99
db	100	johoens-1.	99.82	noc-setsubi-2.	99.99	waf-2.	99.89
dhcp-o1.	99.99	kenbikyo-1.	100	noc-setsubi-3.	100	waf-o1.	99.99
dhcp1	100	kita2-1.	99.99	ns-o	100	wdm-os1.	100
dhcp2	100	kitaji1-1.	100	ns-s	100	wdm-os2.	99.99
dns-o	100	kodo-1.	100	ns1	100	wdm-ot1.	99.99
dns-s	100	kodo-2.	100	ns2	100	wdm-ot2.	100
edrm-dns1.	100	koryukaikan-1.	100	ns6	100	wdm-so1.	99.99
edrm-dns2.	100	koukourmc	99.98	nsauth-o1.	99.98	wdm-so2.	99.99
edrm-nat-1.	100	kvm-o1.	99.99	ntp-o1.	99.98	wdm-to1.	99.99
edrm-nat-2.	100	kvm-o2.	99.99	ntp1	99.98	wdm-to2.	100
edrm-nat-v6.	99.99	kvm-o3.	100	ntp2	99.99	web-o1.	99.93
frontier1-1.	99.88	kvm-s1.	100	ookayama-gw.	100	web-o2.	99.05
frontier1-2.	99.98	kvm-s2.	100	opw10g-o2.	99.99	wlc-o1.	100
frontier2-1.	99.83	kvm-s3.	100	opw10g.	99.99	wlc-o1 v110.	100
frontier2-2.	100	kvmsw-o1.	100	pm-o1.	99.98	wlc-o2.	99.99
g1-1.	99.88	log-o1.	99.99	portal.titech.ac.jp	99.99	wlc-o2 v110.	100
g1-2.	99.77	log-o2.	99.95	power-t1.	99.99	wlc-o3.	99.99
g2-1.	99.88	log-o3.	100	proxy	99.99	wlc-o3 v110.	99.99
g2-2.	99.76	logger-3	99.99	prx-o1	99.98	wlc-s1.	100
g3-1.	99.85	logger	100	prx-o2	100	wlc-s1 v111.	100
g3-2.	99.98	mgmtgw-o	99.97	prx-o3	99.99	wlc-s2.	100
g4-1.	99.9	mgmtsw-t1	99.98	prx-o4	100	wlc-s2 v111.	100
g4-2.	99.98	mgmtsw-t2	99.98	prx-s1.	100	xen-o1.	99.99
g5-1.	99.89	mhd-1.	100	prx-s1	100	xen-o2.	100
genso-1.	99.81	midori1-1.	100	r1-1.	99.86		
genso-2.	100	midori1-2.	100	r1-2.	99.98		
gokuteion-1.	100	midori2-1.	100	r2-1.	99.87		
green1-1.	99.51	midori3-1.	100	r3-1.	99.87		
green1-2.	99.99	midori4-1.	100	radius-napldap.	99.98		

ネットワーク機器、アプライアンス、サーバ群の稼働率

## 2-4 情報セキュリティ

### 2-4-1 東工大 CERT 活動の概要

情報セキュリティの重要性が高まる中で 2014 年度 10 月に情報セキュリティの専門チームである東工大 CERT (Computer Emergency Response Team) が設立された。東京工業大学における研究/教育/事務活動等を促進させるため、安全な計算機環境を提供する事が CERT の役割である。セキュリティ事案発生時における緊急対応を行うほか、セキュリティ情報の収集・分析・発信、学内の脆弱性調査など事前対応に重きを置いた情報セキュリティに関わる活動を行っている。2017 年度は前述の基本的な業務の継続および改善をしながら、次世代型セキュリティ機器の検証および導入やログの解析基盤の強化など技術的に新規の取り組みにも積極的に取り組んだ。また、CISO や事務局の複数部署の課長・グループ長などを交え、組織横断的なセキュリティ訓練を行うなど、組織体制の強化にも取り組んだ。

#### 【WEB サイトの運用】

最新の情報セキュリティに関する注意喚起、情報解説を目的としたホームページ (<<http://cert.titech.ac.jp>>)を運用しており、これまでに 300 件程度の記事を掲載した。最新のセキュリティニュースの中でも大学に関係する話題を中心に選択し、平易で短い解説を付けて紹介する事で情報セキュリティに関する興味喚起を図っている。

#### 【全学向けの注意喚起】

特に危険度が高いと判断したセキュリティ情報については、全学の利用者向けに分かり易く伝えることを目的とした注意喚起のメールを配信している。月 1 件以上送信し計 12 件の通知を行った。また部局長等会議における情報セキュリティ報告等と連動させることで学内への周知効果を高めるよう努めている。

#### 【全学向けの情報セキュリティセミナー】

新採用教員および職員向けや新部局長/新評議員向けに年間合計で 4 回程度情報セキュリティセミナーを開催している。一部の学院に対してはオリエンテーション時に新入生向けに情報セキュリティのセミナーを実施し、4 月は日本語で 10 月は留学生が多いので英語でセミナーを行った。また、技術部や附属高校の講演会や研修でもセミナーを行った。加えて、事務組織には機微な情報が集約されている事も鑑み、2017 年度は事務局内の部署を個別に訪問し、コミュニケーションが取りやすいように小規模なセミナーを計 23 回実施した。

#### 【学内向け脆弱性診断】

Google や SHODAN また censys といった検索エンジンを利用する事で公開情報から脆弱性を調査した。これは不正侵入等を試みる犯罪者も利用する方法で有り、事前に脆弱性のある機器を調査し対策を講じることで不正侵入等を防止する効果が期待出来る。学内の WEB

サーバやプリンタ複合機、テレビ会議システム等に脆弱性が発見され、担当者に通知すると共に対応を行った。特に WordPress に代表される WEB コンテンツ管理システムの脆弱性を発見する事に対して効果を発揮した。また脆弱性診断ツール(Nessus)を利用した学内調査も一部行っており、サーバや WEB サイトの脆弱性の一覧をまとめ、担当者と連携しながらアップデート等の対応を行った。今年度からは ICS(Industrial Control System)など制御系のシステムにも注意し、調査および対策を行った。

### 【標的型メール攻撃に関する訓練】

メール攻撃に関するリテラシー向上を目的として、メール訓練を行った。2月と3月に訓練を行い、合計2通のメールを全学の教職員(3500名程度)に送信した。また開封した職員には教育コンテンツが表示される様にし、また事後には全員に訓練の概要、結果、標的型攻撃に関する解説を送付し、教育効果の向上に努めた。多くの反響があり、一定の教育効果が認められた。昨年から継続している事もあり、訓練に関わらず組織的にコミュニケーションを取りながら対応をとる部署が複数現れており、個人および組織としてのリテラシー向上も認められた。東工大 CERT の認知度向上にも効果があり、日頃から攻撃メールに関する情報提供を行ってくれる教職員が増加している。また、今年度はメール訓練の環境を東工大 CERT で開発、運用したことにより、訓練時期や内容の自由度を高める事が出来た。

### 【部署横断的なインシデント対応訓練】

CISO や事務局の個人情報担当および広報担当などセキュリティインシデントが発生した場合に連携を取るべき学内の関係者を広く集め、ボードゲームを利用した訓練を実施した。各人が割り当てられた役割の中で、時間を区切った上で発生した状況に対して次々と判断していくことが求められ、どこの組織に何を聞き、どのようにして結論を導くかといった事案発生時における一連の流れを擬似的に体験することが出来た。事前に関係者同士で顔合わせを行い、コミュニケーションを取る場としても有効な機会になったと思われる。

### 【次世代型セキュリティ機器の検証および導入】

昨今のサイバー攻撃は攻撃手法が高度化および多様化しており既存のファイヤウォール等だけでは攻撃の検知が非常に難しくなっている。そこで昨年度に引き続き、最新の脅威を検知する次世代型セキュリティ機器の利用実験と評価を NOC と共同で実施した。2017年度は特にサンドボックス機能や内部感染における早期発見につながる機能を重視して検証を行った。機器の評価、知見を得るとともに実験中に発見された脅威について通知および対応促進を行った。またこれらの知見を活かし、NOC と共同で次世代型セキュリティ機器に関する仕様書の作成および機器の導入を行った。次年度から本格稼働する予定である。

### **【情報セキュリティインシデントへの対応】**

学内で起きた情報セキュリティを脅かす事象に対して該当マシンをネットワークから切断する等の初動対応を行った。事案によっては該当機器のログ等の分析を通して原因究明を行い今後の対策に活用した。またインシデント報告を部局長等会議等で行い、原因や対策方法を全学に通知した。

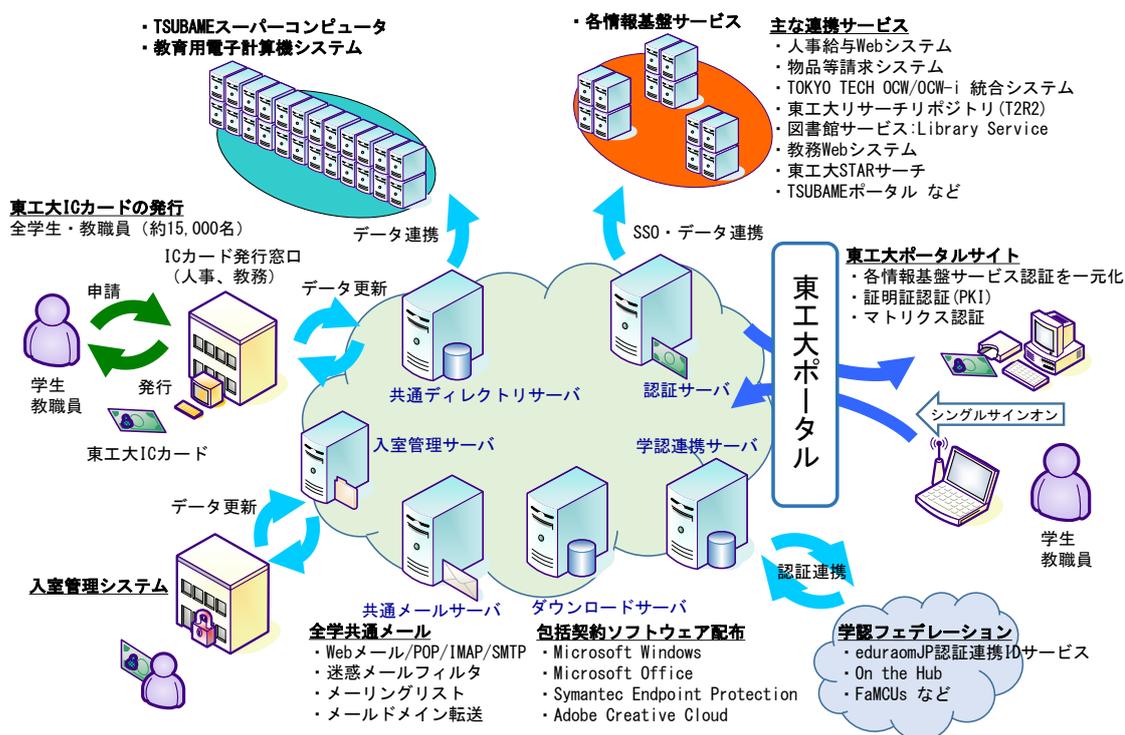
#### **2-4-2 T2BOX: ファイル共有システムの開発・運用**

多様なメール攻撃が日常的に行われており、添付ファイルを不用意にクリックしてマルウェアに感染する事例が多く報告されている。メールの添付ファイルを抑制するために、2016年度よりファイル共有システム(名称: T2BOX)をNAPやNOCと協力して運用を開始した。学内でも広く利用されており、多くの改善のための要望を受けている。昨年度に引き続き改修を行い、2018年度からはアップロードされたファイルをアンチウィルスソフトによって検知する機能を加えたことによりセキュリティ面が強化された。

## 2-5 キャンパス共通認証・認可システム

### 2-5-1 構成

本学の研究・教育・事務処理における情報サービスに対する利用者情報を統合し、かつ利便性、安全性、安定性の向上を図るため設けられた全学キャンパス共通認証・認可基盤システム及び全学共通メールシステムの概念図を図 2-5-1 に示す。本学構成員全員に対して情報基盤を利用するための全学共通のアカウントを付与するとともに、PKI（公開鍵暗号方式を利用したセキュリティ基盤）を用いた認証サーバに基づき、「東工大 IC カード」、「全学共通メールサービス」を提供している。



## 東京工業大学キャンパス共通認証・認可基盤の概要

図 2-5-1 共通認証・認可システム及び全学共通メールシステム

### 2-5-2 運用

#### (1) 東工大ポータル

学内の情報基盤サービスや各種情報サービス（以下、情報サービスという。）に対する統一的な利用の窓口として「東工大ポータル (Tokyo Tech Portal)」と呼ぶウェブページを用意している。この東工大ポータルに一度ログイン（シングルサインオン）することにより、情報基盤サービスを利用することができるようになっている。

## (2) 利用可能な情報基盤サービス

東工大ポータルから利用可能な主な情報サービスは以下のとおりである。

- ・全学共通メール（Tokyo Tech Mail ウェブメール、管理者機能など）
- ・物品等請求システム
- ・学内ネットワーク環境への接続(SSL-VPN 接続)
- ・包括契約ライセンスソフトウェアの提供
- ・東工大リサーチリポジトリ(T2R2)
- ・図書館サービス：Library Service
- ・人事給与 Web システム
- ・TOKYO TECH OCW/OCW-i 統合システム
- ・教務 Web システム
- ・東工大 STAR サーチ（STAR Search）
- ・TSUBAME ポータル
- ・学外サービスとの認証連携（学認フェデレーション）

## 2-5-3 実績

### (1) 本年度トピックス

#### 1) 英語版ポータルメニュー公開（2017年7月）

OS(ブラウザ)言語設定に応じて切替が可能なメニュー表示を開発及び公開した。

#### 2) 全学共通メールシステム更新（2017年9月）

ハードウェア保守契約が終了するためシステムの更新及び移行を実施した。また併せてセキュリティ強化と利便性を向上させた。

- ・メールアドレスと乱数を組み合わせた共通メール認証IDの導入
- ・スプールサイズの拡張 教職員 10 → 20GB、学生 4 → 8GB

#### 3) eduroamJP 認証連携 ID サービス公開（2018年2月）

学認フェデレーションの eduroamJP 認証連携 ID サービスを公開し、サービス終了予定の eduroam 仮名アカウント発行システムから移行を完了させた。

#### 4) 本年度ポータルと連携を開始した情報基盤サービス

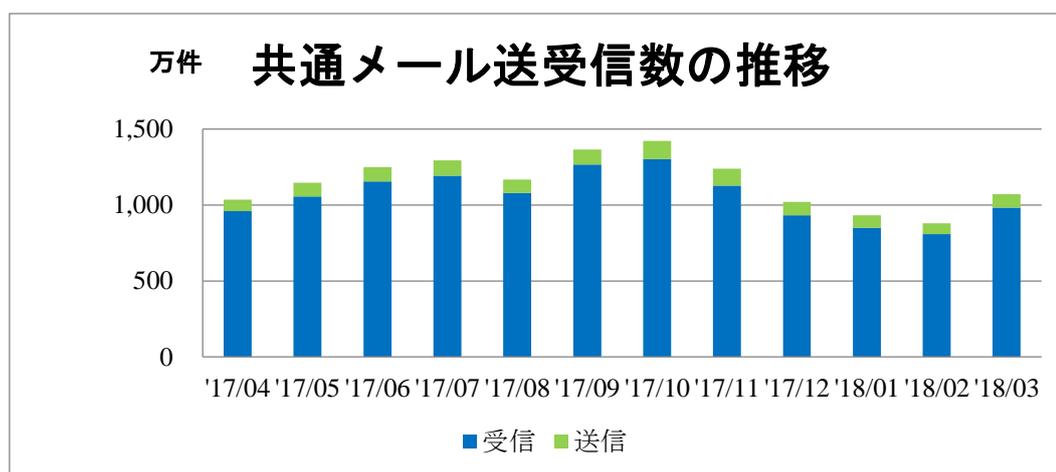
- ・TSUBAME ポータル（2017年8月）
- ・教員自己点検システム（2017年12月）
- ・図書館サービス（2018年1月）
- ・データ分析システム（2018年3月）

(2) 全学共通メールの利用状況を以下に示す。

・全学共通メールアドレス発行件数（2018年3月31日現在）

全学共通メールアカウント発行件数	14,275
(内訳) 常勤職員	1,737 (12%)
非常勤職員	1,877 (13%)
アクセスカード	365 (3%)
学士課程学生	4,758 (33%)
大学院学生（修士課程）	3,793 (27%)
大学院学生（博士後期課程）	1,423 (10%)
研究生等	332 (2%)

・全学共通メール利用状況（2017年4月1日～2018年3月31日）



(3) 東工大 IT サービスデスク

学術国際情報センターで提供する情報サービス全般の問合せの対応と東工大ポータルで利用可能な各種サービスの担当窓口へ誘導するサービスを提供している。

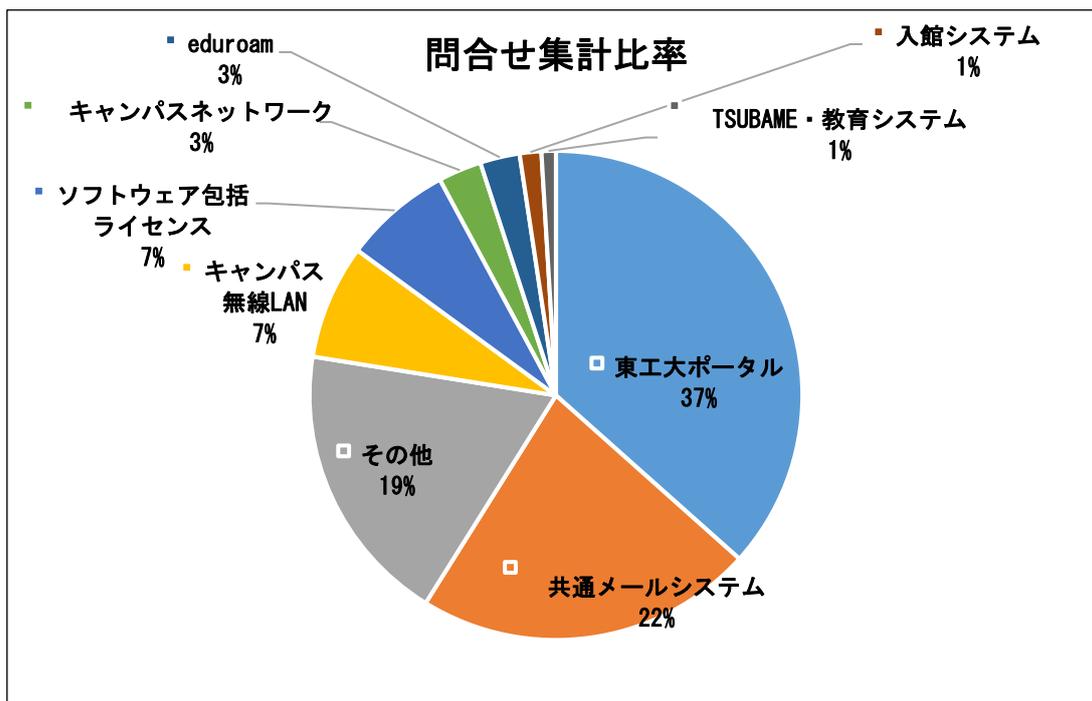
研究推進部情報基盤課基盤システムグループ

東工大 IT サービスデスク

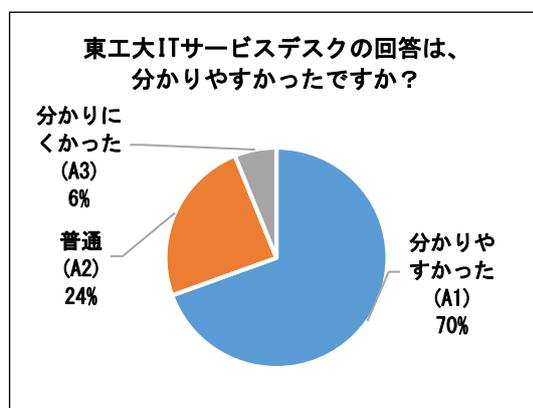
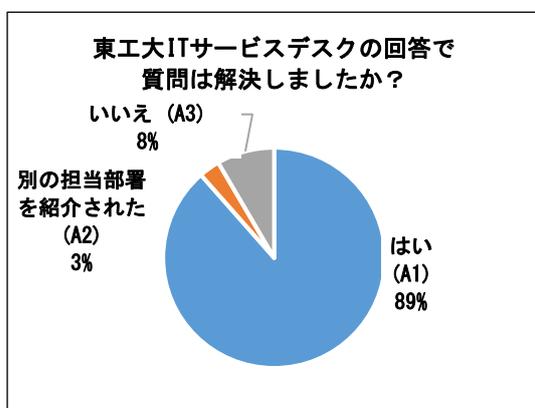
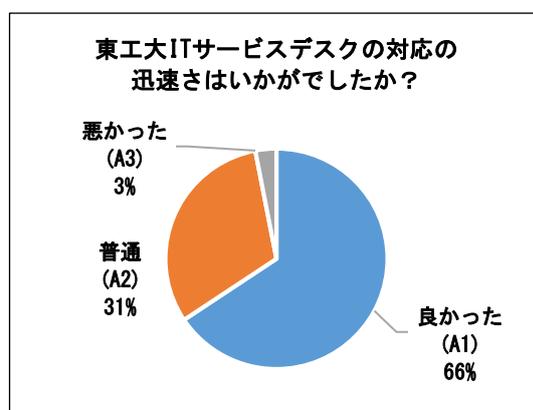
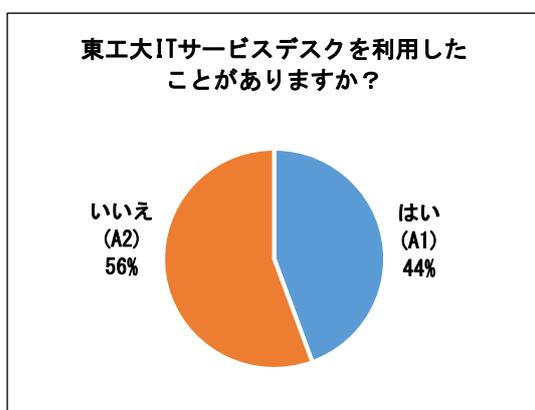
・電話：03-5734-3654 9:00～12:15、13:15～17:00（休日・祝祭日を除く）

・メール：helpdesk@gsic.titech.ac.jp

以下に、本年度 IT サービスデスクに寄せられた問い合わせの集計比率を示す。なお、グラフ中の「その他」は教務 Web システムや物品等請求システムなどの連携している情報基盤サービスに関する問い合わせや PC 端末の操作などの問い合わせが含まれる。



また、東工大 IT サービスデスクでは、毎年（例年 1 月頃）全教職員を対象にアンケートを実施し、サービスのさらなる向上と改善に努めている。以下に集計結果を示す。



## 2-6 ソフトウェア包括契約

### 2-6-1 概要

学内でも広く使われているソフトウェアの内、Microsoft Windows 及び Microsoft Office については平成 19 年 4 月から、Symantec 社製ウイルス対策ソフトウェアについては平成 21 年 4 月から、Adobe 社 Adobe Creative Cloud については平成 26 年 11 月から、MathWorks 社 MATLAB については平成 27 年 3 月から包括ライセンス契約を締結した。これは、研究室等における上記ソフトウェアの購入経費の軽減(大学全体での経費削減)、不正コピーの抑止することを目的に導入したものである。

その結果、平成 29 年度の実績で約 4 億円の経費が削減され、加えて、本学学生および教職員が Microsoft Windows 及び Microsoft Office を個人所有の PC 用に安価に購入することが可能となり、学生の学習・研究環境整備にも貢献している。

また、提供するソフトウェアに対する管理を厳密に行う手段として、全学認証システムとの連携による本人認証を行っている。

昨年度からの運用の変更点として、平成 29 年 10 月に Office 2011 for MAC の供用を終了した。

#### 【包括契約で提供されるソフトウェア】

Microsoft Office	Windows 版	Office Professional 2013 Office Professional 2016
	Mac 版	Office 2011 for MAC Office 2016 for MAC
Microsoft Windows Upgrade	Windows 10 Education Upgrade	
	Windows 8.1 Enterprise Upgrade	
	Windows 7 Enterprise Upgrade	
Symantec 社製ウイルス対策ソフトウェア	Windows, Mac, Linux 版	Endpoint Protection
Adobe	Windows, Mac 版	Adobe Creative Cloud
MathWorks	Windows, Mac, Linux 版	MATLAB

### 2-6-2 運用

#### ・ Microsoft, Symantec, Adobe 製品

##### 1) 利用資格

アクセスカード、入館カードを除く東工大 IC カード身分証を保持する学生、教職員が利用できる。

2) インストール対象となるコンピュータ

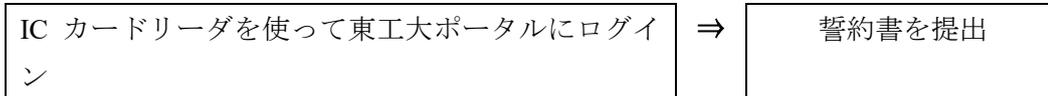
以下の条件を満たすコンピュータにインストールすることができる。

- ・ 大学の経費で購入した大学所有のコンピュータ (大学の物品及びレンタル品を含む)
- ・ 利用資格を有する者が所有する個人所有のコンピュータ (ただし、一人当たり MS Office/OS 共にいずれかのバージョン 1 つを 1 台分利用可能。Symantec 社製ウィルス対策ソフトウェアについては学内 LAN に常時接続している PC に限り 1 台分利用可能。Adobe 製品については個人所有のコンピュータでの利用は不可。)

3) 提供方法

a) 大学所有コンピュータへの提供

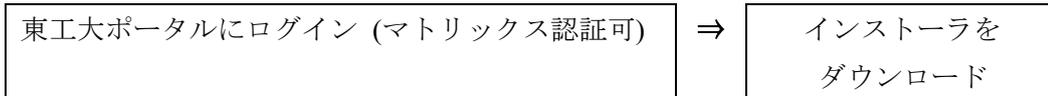
Step1 : 【教室系】常勤講師以上の方が作業 / 【事務系】筆頭グループ長が作業



Step2 : 【教室系】常勤講師以上の方が作業 / 【事務系】筆頭グループ長が作業

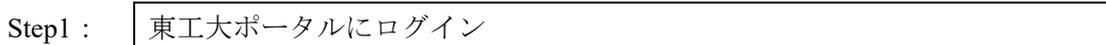


Step3 : 【教室系】教職員・非常勤職員・学生が作業 / 【事務系】常勤職員が作業

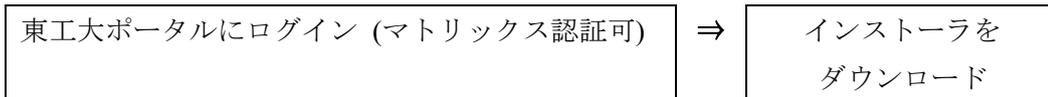


**\*パスコード取得から 24 時間以内に作業する必要有り**

b) 個人所有コンピュータへの提供 (Microsoft 社製品)



c) 個人所有コンピュータへの提供 (Symantec 社製ウィルス対策ソフトウェア)



## ・ Mathworks 製品 (MATLAB)

### 1) 利用資格

教職員：東京工業大学に勤務する教職員

学 生：東京工業大学に在籍する学部生および大学院生

### 2) インストール対象となるコンピュータ

教職員：教職員の個人の PC および大学予算で購入した研究室等の PC

学 生：学生個人の PC

### 3) 手続方法

#### ・ 教職員

1. MATLAB TAH 教職員用申請フォームに必要事項を記入して申請

2. My MathWorks にアカウントが登録されるとメールが届くので、メール中のリンクをクリックし、MathWorks License Center へログインし、登録内容の確認、仮パスワードから変更をする。(既に My MathWorks にアカウントがある場合は特に連絡はないので MathWorks License Center から確認する)

#### ・ 学生

1. My MathWorks のサイトでアカウントを作成

2. My MathWorks にアカウントが登録されると「Verify Email Address」という件名のメールが mathworks.com から届くので、メール中のリンクから Verify your email クリックし、メールアドレスを承認する。

詳しくは、<http://tsubame.gsic.titech.ac.jp/MATLAB-TAH> で確認。

## 2-6-3 実績

Microsoft Windows 10 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	145	55	57	17	37	51	58	144	38	41	38	68	749
個人 PC	270	154	123	92	66	63	83	63	81	90	77	105	1267
計	415	209	180	109	103	114	141	207	119	131	115	173	2016

Microsoft Windows 8.1 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	16	378	4	0	0	4	3	1	2	1	0	1	410
個人 PC	16	4	8	5	7	6	7	5	6	5	10	21	100
計	32	382	12	5	7	10	10	6	8	6	10	22	510

Microsoft Windows 7 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	63	22	6	10	12	25	11	16	11	11	17	12	216
個人 PC	15	8	7	7	1	0	0	0	0	0	0	0	38
計	78	30	13	17	13	25	11	16	11	11	17	12	254

Microsoft Office 2016(Windows 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	771	598	174	151	119	206	211	174	181	168	217	341	3311
個人 PC	393	194	104	101	75	75	94	80	82	88	64	113	1463
計	1164	792	278	252	194	281	305	254	263	256	281	454	4774

Microsoft Office 2013(Windows 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	85	52	21	22	9	21	22	24	16	15	6	14	307
個人 PC	36	30	28	30	14	22	23	28	28	23	22	24	308
計	121	82	49	52	23	43	45	52	44	38	28	38	615

Microsoft Office 2010 (Windows 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
個人 PC	6	6	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	21
計	6	6	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	21

Microsoft Office 2016(Mac 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	206	74	61	42	29	55	63	72	49	50	60	91	852
個人 PC	298	147	90	62	29	42	61	45	59	42	36	57	968
計	504	221	151	104	58	97	124	117	108	92	96	148	1820

Microsoft Office 2011 (Mac 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	42	17	11	11	6	12	2	-	-	-	-	-	101
個人 PC	7	5	4	6	6	6	7	7	4	2	3	7	64
計	49	22	15	17	12	18	9	7	4	2	3	7	165

Symantec Endpoint Protection (Windows 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	989	285	257	155	114	579	209	225	180	209	240	348	3790
個人 PC	230	116	66	47	57	51	69	47	46	75	44	47	895
計	1219	401	323	202	171	630	278	272	226	284	284	395	4685

Symantec Endpoint Protection for Macintosh (Mac 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	34	12	10	6	2	24	19	67	13	18	380	17	602
個人 PC	30	4	20	8	0	5	13	9	3	1	1	3	97
計	64	16	30	14	2	29	32	76	16	19	381	20	699

Symantec Endpoint Protection for Linux (Linux 版) 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
学内 PC	0	0	0	1	0	0	0	0	7	1	2	0	11

Adobe Creative Cloud 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
Win	758	304	184	154	163	168	219	213	231	346	250	309	3299
Mac	177	69	64	40	48	45	105	78	47	49	74	90	886
計	935	373	248	194	211	213	324	291	278	395	324	339	4185

MATLAB 配布数

	2017									2018			計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
教職員	201	274	113	65	72	131	109	80	51	82	50	121	1349
学生	839	841	416	322	202	221	345	374	262	209	117	178	4326
計	1040	1115	529	387	274	352	454	454	313	291	167	299	5675

## 2-7 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の公募型共同研究

副センター長 青木 尊之  
特任准教授 渡邊 寿雄  
コンピュータシステム担当 根本 忍  
共同利用推進室 松本 豊

### ネットワーク型拠点の概要

「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN)」は、東京工業大学 学術国際情報センターが、北海道大学情報基盤センター、東北大学サイバーサイエンスセンター、東京大学情報基盤センター (中核拠点)、名古屋大学情報基盤センター、京都大学学術情報メディアセンター、大阪大学サイバーメディアセンター、九州大学情報基盤研究開発センターとともに構成する「ネットワーク型」の共同利用・共同研究拠点である。平成 22 年の本拠点認定により、当センターは東京工業大学の学内共同利用施設から、個々の大学の枠を越えた全国の研究者のための共同利用・共同研究拠点となった。平成 28 年度から第 2 期が開始し、従来の一般共同研究に加えて、新たに国際共同研究、企業共同研究、萌芽型共同研究も進めている。

本ネットワーク拠点の目的は、大規模情報基盤を用いて、地球環境、エネルギー、物質材料、ゲノム情報、Web データ、学術情報、センサネットワークからの時系列データや映像データのプログラム解析、大容量ネットワーク利用技術の開発、その他情報処理一般における、これまでに解決や説明が極めて困難とされてきた、いわゆるグランドチャレンジ的な問題について、学際的な共同利用・共同研究を実施することにより、我が国の学術・研究基盤の更なる高度化と恒常的な発展に資することにある。本拠点の構成機関には多数の先導的研究者が在籍しており、これらの研究者との共同研究によって、研究テーマの一層の発展が期待できる。

### ネットワーク型拠点としての活動：公募型共同研究

ネットワーク型拠点は、過半数を構成拠点以外の委員が占める運営委員会による審議・承認の下で運営されている。また年 1 回行われる共同研究課題公募とその共同利用課題の実施は本ネットワーク型拠点で最も重要な活動であり、その事務手続きの大部分 (申請課題の受付、審査、採択結果の通知までの手続きなど) は、中核拠点であ



図 1 JHPCN の構成拠点

る東京大学 情報基盤センターにて行われている。採択後の利用開始手続きや利用サポート、施設利用負担金の経理処理については、採択課題が利用する共同利用拠点にてそれぞれ行われている。本ネットワーク型拠点活動の活性化のため、全構成拠点内外のメンバーによる運営委員会と構成拠点メンバーのワーキンググループによるヒューマンネットワークも形成されている。

表 1 JHPCN 共同研究課題公募における採択課題数の推移

	H25	H26	H27	H28	H29
採択課題	44	34	35	39	46
うち HPCI-JHPCN 課題	31	22	27	17	25
うち東工大利用課題	11	10	10	12	11
応募課題	55	53	51	47	52
採択率(%)	80.0	64.2	68.6	83.0	88.5

計算機を利用する共同研究は課題申請時に HPCI 課題申請支援システムを利用し、採択課題の一部は課題実施時にも HPCI システムの一部 (HPCI-JHPCN システム) を利用した。平成 29 年度の共同研究課題の公募は平成 28 年 11 月 15 日から平成 29 年 1 月 16 日まで行われ、共同研究課題審査委員会 (委員は非公開、各構成拠点教員とそれを上回る人数の外部委員で構成) による厳正なる審査の結果、応募 52 件中 46 件 (うち 25 件が HPCI-JHPCN システムを利用する課題、残り 21 件が JHPCN の課題) を採択した。表 1 に採択課題数や採択率の推移を示した。

#### 平成 29 年度 共同研究日程

平成 28 年 11 月 15 日 (火)	公募案内開始
12 月 15 日 (木)	課題応募受付開始
平成 29 年 1 月 10 日 (火)	課題応募受付締切 (Web 登録締切)
1 月 16 日 (月)	紙媒体の課題申込書提出期日
3 月中旬	採択結果通知
4 月 1 日 (土)	共同研究開始
7 月 12・13 日	JHPCN 第 8 回シンポジウム
平成 29 年 3 月 31 日 (土)	共同研究期間終了

#### 国際共同研究、企業共同研究、萌芽型共同研究

本ネットワーク型拠点は第一期の活動を終え、平成 28 年度より開始した第二期では新たな施策として、従来の一般共同研究課題に加えて国際共同研究、企業共同研究、そして萌芽型共同研究の課題公募を行っている。国際共同研究課題では国内の研究者のみでは解決や解明が困難な問題に取り組む研究を行い、企業共同研究課題では産業応用を重視した研究を行う。平成 29 年度公募では国際共同研究課題と企業共同研究課題としてそれぞれ 3 件と

1 件の共同研究課題が採択・実施された。

また各構成拠点で独自に募集する共同研究を、将来的な JHPCN 課題への進展を期待し、JHPCN 萌芽型共同研究として支援する制度を開始した。各センターにおける JHPCN 萌芽型共同研究制度を表 2 に示した。当センターでは平成 28 年度より TSBUAME 若手・女性利用者支援制度を新たに開始し、平成 29 年度は採択課題 8 件のうち 3 件を JHPCN 萌芽型共同研究として採択した。TSUBAME 若手・女性利用者支援制度については「2-9 TSBUAME 公募型共同利用支援制度」の章にて説明している。

表 2 平成 29 年度萌芽型共同研究課題一覧

センター	制度名
北海道大学情報基盤センター	北海道大学情報基盤センター共同研究
東北大学サイバーサイエンスセンター	東北大学サイバーサイエンスセンター共同研究
東京大学情報基盤センター	若手・女性利用者推薦制度
東京工業大学学術国際情報センター	TSUBAME 若手・女性利用者支援制度
名古屋大学情報基盤センター	名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト
京都大学学術情報メディアセンター	若手・女性研究者奨励枠
大阪大学サイバーメディアセンター	大規模計算機システム公募利用制度
九州大学情報基盤研究開発センター	九州大学 JHPCN 萌芽研究 (JHPCN-Q)

### ネットワーク型拠点としての活動：シンポジウムの主催・共催・協賛

平成 29 年度は本ネットワーク型拠点が主催する第 9 回シンポジウムが 7 月 12・13 日に品川グランドセントラルタワーにて参加者 239 名（大学 154 名、研究機関等 35 名、企業他 50 名）を集めて行われた。本シンポジウムでは、平成 28 年度に実施された共同研究課題 39 件の研究成果を口頭発表で報告するとともに、平成 29 年度に採択された課題 46 件と萌芽型共同研究課題のポスター発表があり、活発な質疑・応答が行われた。

### 構成拠点としての活動：提供する計算機資源と当センターの特色

当センターは本ネットワーク型拠点の構成拠点として、クラウド型グリーンスパコン「TSUBAME2.5」とその後継機種であるクラウド型ビックデータグリーンスパコン「TSUBAME3.0」の計算資源を提供した。平成 29 年度の公募型共同研究課題の採択課題の全 46 件は、公式 Web ページ(<http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/>)にて公開されているが、当センターの TSBAME2.5 を利用する研究課題として表 3 にまとめた 11 件（クラス A 7 件、クラス B 4 件）が採択・実施され、TSBAME2.5 換算で合計 102 口の資源提供を行った。クラス A と B のそれぞれへの内訳は、当初配分予定 96 口、30 口に対して利用実績ベースで 79 口、23 口を配分した。課題毎のより詳細な当初配分口数と利用実績口数は表 3 に示した。

本ネットワーク拠点が供出する計算資源のうち、当センターの TSUBAME2.5/3.0 は GPU 搭載スパコンであることを反映して、当センターを利用した全採択課題が何らかの形で GPU を活用した課題であった。これは本ネットワーク型拠点が持つスパコンの多様性が、公募型研究課題の多様性にも反映されていることを示している。しかしながら昨今の深層学習/人工知能の隆盛を反映して本ネットワーク拠点内にも多くの GPU 搭載スパコンが導入されており、今後は TSUBAME3.0 以外でも GPU を活用した課題が採択されていくことになるであろう。

#### **構成拠点としての活動：TSUBAME2.5 から 3.0 へのポイント移行**

TSUBAME3.0 は 8 月に稼働開始し、1 カ月間のテスト運用期間を経て、9 月から正式運用を開始した。一方で TSUBAME2.5 は 7 月末で正式運用を終え、8-10 月の 3 カ月間は移行運用として縮退しての運用を行った。JHPCN の採択課題に対しては 8 月末時点での TSUBAME2.5 での残ポイントを課金額ベースで決定した換算係数で TSUBAME3.0 へのポイント移行を行った。

#### **構成拠点としての活動：採択課題への配分口数の再配分ルール**

年度末時点での残余口数は失効する当センターの課金制度の下で、配分口数の有効活用のため、平成 27 年度より再配分ルールを定め、そのルールに従って実施している。平成 29 年度は以下に示した再配分ルールに従って各課題への配分資源を四半期毎に分け、毎月の利用実績通知や余剰資源の再配分を実施予定であった。

平成 28 年度からの変更点は、年度当初に全四半期の配分ポイントを付与し、申請手続きなしに自由に前倒し利用を可能とした点、各四半期末の残資源が 3 口未満の場合は全口数の次期四半期への繰越を認める点などである。

一方で、TSUBAME3.0 への移行時期と重なった第 2 四半期の残資源の期末調整をキャンセルしたり、TSUBAME3.0 でのポイント清算システムの数多くのバグによりポイント利用実績把握が困難なために毎月の利用実績通知が実施できなかつたりと、計画通りの実施が困難であった。

#### 平成 29 年度 計算資源の再配分ルール

1. 第 1～3 四半期末の残資源の調整 (7、10、1 月の 7 日までに実施)  
残資源の 50%を上限として次の四半期への移行を認める。ただし、残資源が 3 口未満の場合は全口数の移行を認める。また 2.前倒し配分および 3.追加配分の残資源も全口数の移行を認める。
2. 第 1～3 四半期の前倒し利用  
第 1～3 四半期に計算機資源の不足が生じた課題は、当該課題のそれ以降の割当より前倒し利用可能である。全配分口数は第 1 四半期の初めに配分し、利用申請なしに前倒し利用可能である。一方で、資源量の管理は四半期毎に行い、毎月の利用実績通知において当該四半期末に失効する資源量を通知する。

3. 第1～3 四半期の追加配分（実施条件を満たす場合、6～12月の毎月15日までに実施）
  1. 第1～3 四半期末の残資源の調整にて生じた残余口数を、各四半期の配分資源の90%以上を使い切った課題を対象に5口を上限として課題代表者からの申請により追加配分する。追加希望口数の合計が残余口数の合計を上回る場合は、追加希望口数に対するドント方式により配分する。
4. 最終配分口数の決定（12月中にヒアリングを行い、1月に実施）
 

12月15日までに年度末までの利用予定口数のヒアリングを行う。年度末までに使い切ることを条件に追加配分希望を受け付け、配分済資源の90%以上を使い切った課題から優先的に追加配分する。配分可能口数より希望口数が多い場合はドント方式により配分する。12月末までの利用実績が著しく少ない課題の利用予定口数は、原則1月当初の利用可能口数の50%を上限とする。

表3 平成29年度 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究 課題一覧

番号	所属機関 利用課題責任者	申請課題名	承認口数 利用口数
1	神戸大学 橋本博公	大規模粒子法による大型クルーズ船の浸水解析	20口 6口
2	大阪府立大学 須賀一彦	熱流動解析のための格子ボルツマン法による超大規模高速 GPU コードの開発と複雑固相界面乱流熱伝達の大規模数値解析	11口 27口
3	京都工芸繊維大学 高木知弘	分子動力学法とフェーズフィールド法の融合による粒成長の高精度解析法の構築	22口 21口
4	日本原子力研究開発機構 小野寺直幸	格子ボルツマン法によるリアルタイム物質拡散シミュレーション手法の開発	22口 11口
5	東京大学 下川辺隆史	AMR 法フレームワークの様々なアーキテクチャへ向けた発展	8口 5口
6	日本原子力研究開発機構 河村拓馬	可視化用粒子データを用いた遠隔地からの対話的 In-Situ 可視化	5口 0口
7	東京工業大学 横田理央	Hierarchical low-rank approximation methods on distributed memory and GPUs	8口 9口
8 ※1	名古屋大学 片桐孝洋	High-performance Randomized Matrix Computations for Big Data Analytics and Applications	2口 1口
9 ※1	名古屋大学 前山伸也	Optimisation of Fusion Plasma Turbulence Code toward Post-Petascale Era II	5口 1口
10 ※1	岡山大学 竹中博士	海溝型巨大地震を対象とした大規模並列地震波・津波伝播シミュレーション	8口 7口
11 ※1	防災科学技術研究所 青井 真	高精度即時予測のための GPU による大規模津波数値解析	15口 14口
		合計	126口 102口

※1 クラス B での採択

## 2-8 HPCI および TSUBAME 共同利用サービス

**副センター長** 青木 尊之  
**准教授** 遠藤 敏夫  
**特任准教授** 渡邊 寿雄  
**助教** 實本 英之  
**特任助教** 三浦 信一  
**共同利用推進室** 松本 豊  
**コンピュータシステム担当** 根本 忍

### HPCI および TSUBAME 共同利用サービスの概要

東京工業大学 学術国際情報センターが運用するTSUBAME2.5/3.0は世界トップレベルのスパコンであると共に、「みんなのスパコン」TSUBAMEとして学内のみならず、TSUBAME共同利用サービスとして様々な制度の下でその膨大な計算資源を広く提供している（表1）。JHPCN（学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点）については前章で説明したため、本章では**HPCI（2-8-1 革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラの運用）**と東京工業大学 学術国際情報センターの自主事業である**有償の学術利用と産業利用（2-8-2 TSUBAME共同利用、有償の学術利用と産業利用）**について説明する。

表 1 TSUBAME2.5/3.0 における共同利用サービス一覧

利用区分	利用者	制度	募集時期	申請先	成果公開	1口の料金 (税別) ※	
学術利用	他大学 または 研究機関 等	HPCI	年1回 10月頃	HPCI 運用事務局 (高度情報技術研究機構)	公開	無償	
		JHPCN	年1回 1月頃	JHPCN 拠点事務局 (東大情報基盤センター)	公開	無償	
		TSUBAME 共同利用 (学術)	随時募集	東京工業大学 学術国際情報センター	公開	120,000 円 100,000 円	
産業利用	民間企業	HPCI	実証利用	年1回 10月頃	HPCI 運用事務局 (高度情報技術研究機構)	公開	無償
			トライアル ・ユース	随時募集	HPCI 運用事務局 (高度情報技術研究機構)	公開	無償
		JHPCN 企業共同研究	年1回 1月頃	JHPCN 拠点事務局 (東大情報基盤センター)	公開	無償	
		TSUBAME 共同利用 (産業)	随時募集	東京工業大学 学術国際情報センター	公開 非公開	120,000 円 100,000 円 480,000 円 200,000 円	

※ 料金は上段が TSUBAME2.5、下段が TSUBAME3.0。1口は、TSUBAME2.5 では 3,000 ノード時間相当、TSUBAME3.0 では 1,000 ノード時間相当。

## 2-8-1 HPCI (革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)の運用

### HPCI における東京工業大学の役割

HPCI (革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ) は、「京コンピュータ」と全国の大学や研究機関に設置されたスパコンを高速ネットワークで結び、多様なユーザニーズに応える革新的な共用計算機環境を実現する基盤システムである。第一期 HPCI 事業 (平成 24 年 9 月～平成 29 年 3 月) が終了し、平成 29 年 4 月からは第二期が開始した。HPCI の枠組みの中で、東京工業大学 学術国際情報センターは以下の役割を負っている。

- システム構成機関としての役割
  - ・ スパコン「TSUBAME 2.5/3.0」の計算資源の提供
  - ・ 本センターの計算資源を利用する課題へのローカルアカウント発行やサポート
- プライマリセンターとしての業務
  - ・ HPCI アカウントの発行・管理、および Shibboleth IdP サーバの運用
- 最寄りセンターとしての業務
  - ・ 対面認証業務の実施

### HPCI システム共用計算資源の利用研究課題募集

HPCI システム共用計算資源の利用研究課題募集は、HPCI 運用事務局 (一般財団法人高度情報科学技術研究機構、RIST) が窓口となり年 1 回公募が行われ、採択課題は 1 年間の利用が認められる。平成 29 年度の募集開始から採択までのスケジュールを表 2 に示す。

表 2 HPCI システム共用計算資源の利用研究課題募集と採択のスケジュール

申請受付開始	平成 28 年 10 月 6 日
電子申請受付終了	平成 28 年 11 月 10 日
押印済申請書の郵送期限	平成 28 年 11 月 21 日必着
利用研究課題審査委員会による課題選定	
選定結果の公表	平成 29 年 2 月 14 日

### 課題選定の方法、選定結果の通知と利用開始手続き

申請された利用研究課題の審査は産学官の有識者から構成される利用研究課題審査委員会により実施される。採択された利用研究課題の代表者あるいは副代表者は最寄りセンターに出向き、対面による本人認証 (対面認証) を受けることで、自動的に HPCI アカウントや各利用計算機のローカルアカウントが発行される。本センターでは、対面認証業務の実施、HPCI アカウントの発行、および本センターが提供する計算資源のローカルアカウントの発行を行う。今年度までに実施した最寄りセンターおよびプライマリセンター業務実績を表 3 に示す。近年は HPCI アカウントを保持する研究者が増え、メールによる対面認証へ移行しているが、本人確認の有効期限 (5 年) 切れに伴う既存研究者の対面認証の再実施により来学しての対面認証が微増した。また、TSUBAME3.0 への移行に伴う Shibboleth IdP サーバの更新による HPCI アカウントの再発行により HPCI アカウント発行数が大幅に増えた。

表 3 東京工業大学における最寄りセンターおよびプライマリセンター業務実績

	H24	H25	H26	H27	H28	H29 ※
最寄りセンター業務（対面認証）						
対面認証申請件数（うち来学数）	16 (13)	25 (13)	21 (7)	20 (7)	23 (6)	25 (9)
対面認証のべ人数	83	46	52	53	75	54
プライマリセンター業務（各種アカウント発行）						
HPCI アカウント発行数	38	26	24	19	62	107
TSUBAME ローカルアカウント発行数	173	105	64	61	195	181/153

※ H29 の TSUBAME ローカルアカウント発行数は TSUBAME2.5/TSUBAME3.0

### 東京工業大学の計算資源を利用する採択課題とその実施

平成 29 年度は本センターでは TSUBAME2.5/3.0 の計算資源を HPCI へ提供し、定期公募として学術利用の一般課題と産業利用の実証利用課題、そして随時公募として産業利用トライアル・ユース課題の公募を行った。それぞれの公募にて TSUBAME2.5/3.0 の計算資源を利用した採択課題一覧を表 4 に示した。一般課題は採択 9 課題に対し合計 339 口、産業利用実証利用は採択 3 課題に対し合計 89 口、産業利用トライアル・ユースは採択 5 課題に対し合計 42 口を配分し、課題を実施した。

HPCI および JHPCN での課題実施に際して計算資源の過不足が生じた場合、各計算資源提供センターの裁量によって各課題間の計算資源再配分を行うことが認められている。本センターでは公平かつ自動的な計算資源の再配分を行うため、平成 27 年度より再配分ルールを定め、それに従って実施している。平成 29 年度の変更点を含めたルールの詳細については 2-7 学際大規模情報基盤共同利用・挙動研究拠点の公募型共同研究にて説明している。

### 成果報告会の開催

「第 4 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会」が平成 29 年 11 月 2 日(木)にコクヨホール (東京・品川)にて開催された。成果報告会では、午前中に 5 件の招待講演があり、午後からはポスターセッション(Session1)の後、優秀成果賞受賞課題による成果発表(Session2, 3)として 8 件の口頭発表が行われた。

表 4 平成 29 年度 TSUBAME2.5/3.0 利用の HPCI 採択課題一覧

番号	所属機関 利用課題責任者 / 申請課題名	配分口数 利用実績
<b>HPCI 採択課題(一般課題)</b>		
1	大阪府立大学工学研究科 須賀一彦 / 次世代ものづくりの基礎となる LBM による共役熱伝達現象の大規模数値シミュレーション	9 口 11 口
2	大阪大学蛋白質研究所 肥後順一 実座標空間に 2 成分仮想座標をカップルさせた蛋白質の立体構造探索法	43 口 50 口
3	兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 神谷成敏 Targeting medically important druggable protein-protein binding and conformational change by advanced simulation techniques	47 口 53 口
4	立命館大学生命科学部 笠原浩太 独自の拡張アンサンブル法によるたんぱく質天然変性領域の機能解明	39 口 53 口
5	東京理科大学理工学部 桑田祐丞 高解像度 CT スキャンデータにより構築された複雑粗面乱流の大規模直接数値解析	14 口 16 口
6	東京大学先端科学技術研究センター 山下雄史 抗原-抗体間相互作用における構造変化の効果に関する MD 計算による研究	45 口 52 口
7	東京大学大学院薬学系研究科 大和田智彦 分子シミュレーションを用いる生体内リガンドの網羅的構造化	50 口 2 口
8	筑波大学計算科学研究センター 中務孝 時間依存密度汎関数理論による原子核反応	45 口 38 口
9	京都工芸繊維大学機械工学系 高木知弘 大規模計算とデータサイエンスを活用したフェーズフィールド計算の高精度化	47 口 50 口
	小計	339 口 325 口
<b>HPCI 採択課題(産業利用実証利用)</b>		
1	武田薬品工業株式会社 遠藤聡史 / GPU 加速化アンサンブルシミュレーションを用いた低分子薬物によるタンパク質の機能性ダイナミクスの制御機構の解明	24 口 35 口
2	清水建設株式会社 技術研究所 菊池浩利 流体・粒子の大規模連成解析を用いた竜巻中飛散物による建物被害の検討	36 口 38 口
3	古河電気工業株式会社 研究開発本部 藤村幸司 第一原理計算による熱電変換材料の特性評価	29 口 16 口
	小計	89 口 89 口
<b>HPCI 採択課題(産業利用トライアル・ユース)</b>		
1	矢崎総業株式会社 佐藤孝 編組シールド線のシールド特性解析	8 口 3 口
2	マツダ株式会社 山田秀行 GPU ハイブリッド MPI 並列を活用した車載レーダ電波伝搬の FDTD 法計算性能検証	10 口 8 口
3	HEROZ 株式会社 井口圭一 13 路囲基における Value Network の作成及びその有効性の確認	4 口 3 口
4	株式会社豊田中央研究所 大脇崇史 車載応用に向けたレーダー断面積の大規模電磁界解析	10 口 7 口
5	鉄道総合技術研究所 中出孝次 複数 GPU を用いた CFD プログラムの性能評価	10 口 2 口
	小計	42 口 23 口

## 2-8-2 TSUBAME 共同利用サービス、有償の学術利用と産業利用

### TSUBAME 共同利用サービスの概要

学術国際情報センターでは、スパコン TSUBAME2.5/3.0 の計算資源を学内のみでなく、学外の利用者へも広く提供する TSUBAME 共同利用サービスを行っている。平成 27 年度に文部科学省の補助事業「先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業」が終了したため、TSUBAME 共同利用サービスは平成 28 年度からは自主事業として実施している。平成 29 年 8 月の TSUBAME3.0 稼働開始や、TSUBAME2.5 の運用停止、運用人員の減少などもあり、平成 29 年度は波乱万丈の 1 年間であった。採択課題数の推移を図 1 に示した通り、平成 29 年度の採択課題数の合計 44 件（内訳は学術利用 23 件、産業利用・成果公開 5 件、産業利用・成果非公開 16 件）であった。表 6,7 には TSUBAME 共同利用の学術利用と産業利用における採択課題一覧を示した。また TSUBAME 共同利用の認知向上と広範な利用課題公募のために広報・渉外活動を継続して行っており、平成 29 年度の実績を表 5 に示した。

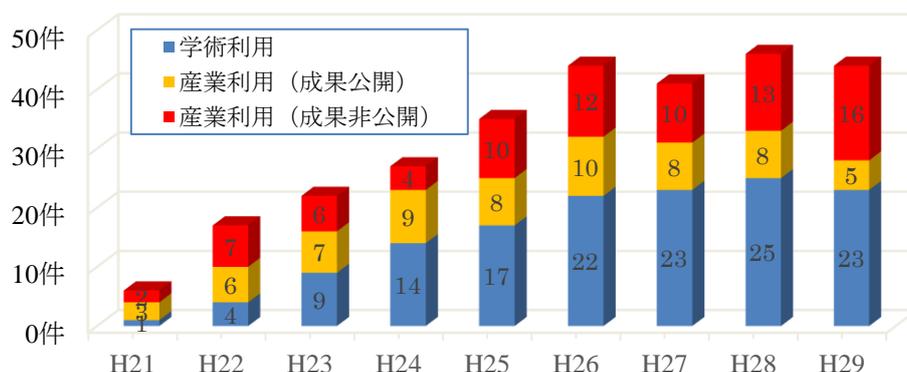


図1 TSUBAME共同利用サービスの採択課題数の推移

表 5 平成 29 年度 広報活動一覧

行事名	開催日	場所	形態	参加者
CST ユーザーグループミーティング	5月18日	コンファレンスセンター品川	出展	300名
第22回計算工学講演会	5月31日～6月2日	ソニックシティ大宮	出展	300名
日本コンピュータ化学会春季年会	6月8～9日	東京工業大学	出展	150名
TSUBAME3.0 利用説明会	8月25日	東京工業大学	主催	30名
第4回 HPCI 利用課題募集説明会	9月27日	東京工業大学	共催	15名
おおた研究・開発フェア(産学連携)	10月26～27日	大田区産業プラザ	出展	500名
HPCI 第4回成果報告会	11月2日	品川コクヨホール	出展	400名
COMSOL Conference 2017	12月8日	コンファレンスセンター品川	出展	200名
平成30年度共同利用公募説明会	2月9日	東京工業大学	主催	20名

表 6 平成 29 年度 TSUBAME 共同利用 学術利用（有償利用）採択課題一覧

	所属機関 / 申請課題名	配分口数
1	埼玉県環境科学国際センター 鈴木和将 廃棄物最終処分場における間隙内流体挙動の数値解析	1
2	東京大学空間情報科学研究センター 柴崎亮介 / 高解像度画像を使った広域の家屋及び道路の深層学習による自動判別システムの開発	3
3	成蹊大学 緑川博子 高性能計算向け分散メモリ・ストレージ統合システムの研究	9
4	大阪大学蛋白質研究所 肥後順一 蛋白質-リガンド複合体の会合・解離の速度定数を平衡論から導く	8
5	東京大学情報理工学系研究科 千葉滋 先進的ステンシル・コード技術	1
6	法政大学 情報科学部 善甫康成 LRnLA アルゴリズムを用いた物理シミュレーション	1
7	千葉工業大学 山本典史 凝集誘起発光についての理論的研究	2
8	京都大学 黒橋禎夫 知識に基づく構造的言語処理の確立と知識インフラの構築	18
9	理化学研究所計算科学研究機構 村主崇行 深層学習を利用したリアルタイム宇宙天気予報システムの開発	1
10	大阪府立大学大学院 須賀一彦 / 解析的壁関数を用いた格子ボルツマン法による高レイノルズ数乱流解析コードの開発	1
11	国立研究開発法人情報通信研究機構 山本 健詞 / 大型ホログラム記録とホログラフィックディスプレイのためのホログラム計算	3
12	国立感染症研究所感染病理部 長谷川秀樹 / 抗インフルエンザウイルス広域中和抗体のエスケープ変異株由来表面糖タンパク質の構造解析	2
13	産業技術総合研究所 RWBC-OIL 松岡聡 スマートデータセンター実現に向けたデータ解析基盤の構築	1
14	電気通信大学 菅哲朗 MEMS 構造の光学応答解析	1
15	国立研究開発法人防災科学技術研究所 藤原広行 GPGPU による長周期地震動シミュレーション	7
16	京大大学生存圏研究所 古本淳一 / 都市解像モデルへのドップララーライダー観測データ同化による局地域豪雨発生予測の精度向上	2
17	物質・材料研究機構 石川敦之 第一原理計算と反応速度論による触媒活性予測技術の確立	3
18	情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 鳥澤健太郎 HPC を利用した自然言語処理技術の研究	30
19	理化学研究所計算科学研究機構 河東田道夫 有機分子集合体の半導体特性・光応答特性の解明	1
20	東京大学・新領域創成科学研究科・メディカル情報生命専攻 木立尚孝 深層学習によるゲノム上の遺伝子発現制御情報抽出	1
21	東京大学工学系研究科機械工学専攻 塩見淳一郎 ナノ構造界面における熱輸送特性の分子シミュレーション	5
22	産業技術総合研究所 李時旭 深層学習処理基盤を用いた大規模環境計測データの解析と応用	1
23	産業技術総合研究所 RWBC-OIL 松岡聡 大規模分散深層学習の性能調査	6
	合計	108

表7 平成29年度 TSUBAME 共同利用 産業利用（有償利用）採択課題一覧

番号	課題区分	課題名	企業名
産業利用（成果公開）			
1	成果公開	自動車搭載ミリ波レーダの超大規模電磁界シミュレーション	株式会社豊田中央研究所
2	成果公開	建築環境の評価に向けた気候変動データの高度化	清水建設株式会社
3	成果公開	ワイヤレス電力伝送による漏えい電波の環境解析技術の研究開発	株式会社パナソニックシステムネットワークス開発研究所
4	成果公開	大容量データ伝送用ミリ波アンテナのレドームに関する基礎検討	スタッフ株式会社
5	成果公開	産業利用のための大規模ディープラーニング	株式会社富士通研究所
産業利用（成果非公開）			
6	成果非公開	（非公開）	株式会社豊田自動織機
7	成果非公開	（非公開）	株式会社リコー
8	成果非公開	（非公開）	古河電気工業株式会社
9	成果非公開	（非公開）	太陽ホールディングス株式会社
10	成果非公開	（非公開）	株式会社中電シーティーアイ
11	成果非公開	（非公開）	トヨタ自動車株式会社
12	成果非公開	（非公開）	株式会社クレハ
13	成果非公開	（非公開）	株式会社デンソー
14	成果非公開	（非公開）	トヨタ自動車株式会社
15	成果非公開	（非公開）	協和発酵キリン株式会社
16	成果非公開	（非公開）	株式会社リコー
17	成果非公開	（非公開）	新日鉄住金化学株式会社
18	成果非公開	（非公開）	信越化学工業株式会社
19	成果非公開	（非公開）	アルテアエンジニアリング株式会社
20	成果非公開	（非公開）	株式会社パナソニックシステムネットワークス開発研究所
21	成果非公開	（非公開）	株式会社東芝

## 2-9 TSUBAME 公募型共同利用支援制度

副センター長 青木 尊之  
特任准教授 渡邊 寿雄

### TSUBAME 公募型共同利用支援制度の概要

東京工業大学 学術国際情報センターが運用するTSUBAME2.5/3.0は世界トップレベルのスパコンであると共に、「みんなのスパコン」TSUBAMEとして学内のみならず、HPCIやJHPCNの採択課題や学術利用、産業利用にも広く計算資源を提供している。

ユーザ層の観点からも、TSUBAME2.5/3.0の占有/寡占利用による世界のトップクラスのスパコンでしか達成できない著しい成果を上げることが目的とした**TSUBAMEグランドチャレンジ大規模計算制度（2-9-1）**を実施すると同時に、「みんなのスパコン」として若手・女性利用者、そしてより若い世代である大学生、高校生、高専生の利用を支援する**萌芽的研究課題支援制度（2-9-2）**として2つの制度（**TSUBAME若手・女性利用者支援制度、TSUBAMEより若い世代の利用者支援制度**）を実施し、スパコンユーザの裾野を広げる活動を行っている。

#### 2-9-1 TSUBAME グランドチャレンジ大規模計算制度

##### 本制度の概要

TSUBAME2.5/3.0は世界トップレベルのスパコンであると共に、「みんなのスパコン」TSUBAMEとして東京工業大学の内外に対して計算機資源を提供しているため、通常運用では1研究課題で全ノードを占有利用する機会はない。そこでTSUBAME2.5/3.0のピーク性能を生かして初めて可能となるグランドチャレンジの学術分野の研究課題を広く公募し、TSUBAMEの全ノード占有利用機会を提供することで、世界のトップクラスのスパコンでしか達成できない著しい成果を上げることが目的とし、平成23年度よりTSUBAMEグランドチャレンジ大規模計算制度を設立し、春と秋の年2回で実施している。

本制度で公募するカテゴリとしては、TSUBAME2.5/3.0のピーク性能（計算速度）を目指して全ノードを利用するカテゴリAと、膨大な計算量が必要な課題のためにTSUBAME2.5/3.0の全ノードの1/3程度を一週間利用するカテゴリBの2つの区分があり、平成29年度は春期（TSUBAME2.5）にカテゴリB1件、秋期（TSUBAME3.0）にカテゴリA2件を採択・実施した。

##### 平成29年度の実施スケジュールと採択課題一覧

平成29年度のTSUBAMEグランドチャレンジ大規模計算制度は、TSUBAME3.0への移行に伴い、春期にはTSUBAME2.5、秋期にはTSUBAME3.0の計算資源を提供した。春期はカテゴリAの公募とカテゴリBの3回（4月、5月、6月実施分）の公募を行い、カテゴリB 6月実施の1件を採択/実施した。秋期はカテゴリAのみの公募を行い、2件を採択/実施した。本制度の基本スケジュールは、カテゴリA/Bともに本実施が行われる2か月前より公募を開始し、1か月前に申請締切/審査/採択決定、その後の本実施までの間に全ノードの1/3を1日占有利用相当の予備実施などの準備が行われる。平成29年度の公募スケジュールは表1に、採択

課題一覧を表2に掲載した。

表1. TSUBAMEグランドチャレンジ大規模計算制度の公募スケジュール

実施時期	カテゴリ	課題公募受付	採択課題決定	
H29 春期	4月	A & B	1月20日(金)～2月13日(月) 17:00	応募課題なし
	5月	B	3月13日(月)～4月10日(月) 17:00	応募課題なし
	6月	B	4月17日(月)～5月15日(月) 17:00	6月2日(金)
H29 秋期	10月	A	8月23日(水)～9月19日(火) 17:00	10月2日(月)

表2. TSUBAMEグランドチャレンジ大規模計算制度の採択課題一覧

実施時期	カテゴリ	所属機関 利用課題責任者	申請課題名
H29 春期	B 6月	早稲田大学 教授 中井 浩巳	バクテリオロドプシンのプロトン輸送ダイナミクスの分割統治型密度汎関数強束縛分子動力学(DC-DFTB-MD)計算
H29 秋期	A 10月	東京工業大学 准教授 横田理央	Fusion Recurrent Neural Networkを用いた核融合シミュレーションの深層学習
	A 10月	東京工業大学 准教授 横田理央	高速Flash SSDを活用したメモリ管理ライブラリによる超大規模行列演算の実現

### 予備実施におけるTSUBAME3.0の予約機能の活用

TSUBAME2.5で実施していた平成29年度春期までは、予備実施はHキュー(420ノード)を利用した一日占有利用であった。TSUBAME3.0で実施する平成29年度秋期からは、新たに実装された予約機能を活用して実施することになった。これによりユーザの都合に合わせてユーザ自身がノード予約し実行することや、通用実行での本実施の準備も可能になった。しかしながら、TSUBAME3.0への予約機能実装の遅れにより、平成29年度秋期カテゴリAでは旧来と同様に運営側によるノード予約による予備実施となった。

## 2-9-2 萌芽的研究課題支援制度

### 本制度の概要

学術国際情報センターのスパコン TSUBAME は、学内のみならず、HPCI や JHPCN の採択課題や学術利用、産業利用などの最先端の研究・開発に広く計算資源を提供している。一方でスパコン利用の裾野を広げるための萌芽的研究課題支援制度として、**TSUBAME 若手・女性利用者支援制度**と **TSUBAME より若い世代の利用者支援制度**の2つの制度を実施している。このうち TSUBAME 若手・女性利用者支援制度の採択課題の一部は、JHPCN の萌芽型共同研究課題として採択し、JHPCN の支援も受ける。それぞれの利用支援制度は、以下の応募資格と公募スケジュールにて実施した。

#### ・ TSUBAME 若手・女性利用者支援制度

応募資格：若手利用者（40歳未満、大学院生を含む）及び女性利用者（年齢は問わない）

公募スケジュール：年1回、2月に公募を行い、3月に審査結果を発表する。4月から1年間利用可能。

・ TSUBAME より若い世代の利用者支援制度

応募資格：申請書受理時に、大学学部、高等学校、高等専門学校のいずれかに在学中であり、翌月以降3ヶ月間在学予定の者。

公募スケジュール：3月、6月、9月、12月を締切とする公募を行い、速やかに審査結果を通知する。採択課題は翌月当初より最大3ヶ月間利用可能。同一内容と認められる課題の継続申請は最大3回までとする。平成29年度7月期はTSUBAME3.0への移行期間と重なるため公募を取りやめた。

平成29年度公募の採択・実施課題一覧

萌芽的研究課題支援制度のうち、TSUBAME より若い世代の利用者支援制度は3ヶ月毎に3回の公募（7月期の公募は中止）が行われ、表3に示した1件を採択・実施した。TSUBAME 若手・女性利用者支援制度の平成29年度公募は平成29年2～3月に行われ、表4に示した8課題が採択された。そのうち3課題はJHPCN 萌芽型共同研究課題として同時採択された。

表3 TSUBAME より若い世代の利用者支援制度 採択課題一覧

採択時期	所属機関 利用課題責任者 申請課題名
平成29年度 4月期	東京工業大学 3年 張葉平 (継続課題) 流体解析を用いた人力飛行機の形状の空気力学的な性能の向上

表4 平成29年度 TSUBAME 若手・女性利用者支援制度 課題一覧

番号	所属機関 利用課題責任者 申請課題名	承認 口数
1	東京大学 渡邊（尾谷）優子 合成架橋プロリンを用いたペプチドの動的構造制御	2
2 ※	東京大学 渡邊宙志 溶液中の水素イオンに対する分子動力学計算の開発と応用	3
3	東京大学 佐山美紗 膜受容体タンパク質への脂質リガンド結合経路の理論的解析	2
4 ※	筑波大学 三木洋平 銀河ハロー中を漂う中間質量ブラックホール探査	3
5 ※	筑波大学 原田隆平 カスケード型超並列シミュレーションに立脚した遷移経路探索法の開発	3
6	長崎大学 大滝大樹 分子動力学法によるアミロイド凝集様態の理論的解析	3
7	筑波大学 馬驍 / CO2 ハイドレート内における分子拡散挙動の解明に向けた分子動力学シミュレーション	3
8	日本女子大学 村岡梓 動的螺旋分子の螺旋反転過程と疎溶媒効果	2
	合計	21

※ JHPCN 萌芽型共同研究課題として同時採択



### 3. 国際協働

#### 3-1 MOUに基づく国際共同研究

##### 3-1-1 ドイツ・ミュンヘン工科大学, シュツツガルト大学との国際共同研究

先端研究部門 高性能計算先端応用分野 青木 尊之

ドイツ・ミュンヘン工科大学の Hans-Joachim Bungartz 教授のグループ、シュツツガルト大学 Miriam Mehl 教授のグループとの MOU に基づいた国際共同研究として、2018 年 3 月に東京で開催された SIAM PP18 (SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing) にて、共同で Mini-Symposium を企画した。また、Hans-Joachim Bungartz 教授のグループの博士課程の学生で、2014 年に共同研究で本学に 3 ヶ月間滞在した Christoph Riesinger が、TSUBAME を利用した大規模計算の内容の学位論文を提出し、2017 年 7 月に TV 会議にて青木が審査会に出席しミュンヘン工科大学から学位が授与された。来年度、ミュンヘン工科大学の学生が本学に 3 ヶ月間滞在して共同研究を進める計画の打ち合わせを行った。

##### 3-1-2 米国オークリッジ国立研究所とスイス連邦工科大学チューリッヒ校 との大規模データ処理などに関する国際共同研究

先端研究部門 高性能計算先端応用分野 横田理央

オークリッジ国立研究所(ORNL)は米国エネルギー省傘下で最大の国立研究所であり、Computing and Computational Sciences Directorate は、エネルギー省のスーパーコンピュータ施設の中核として世界のスーパーコンピュータの演算性能のランキングで常に上位を占めている。スイス連邦工科大学チューリッヒ校(ETHZ) は 21 名のノーベル賞受賞者を輩出している欧州トップの大学であり、Swiss National Supercomputing Centre は世界でも最もエネルギー効率の高いペタスケール・スーパーコンピュータである Piz Daint を保有する。MOU 締結後 3 つのセンターは Accelerated Data Analytics and Computing (ADAC) institute を合同で擁立し、GPU 関係で研究・開発・利用・運用で世界的実績を深めてきた。2017 年度には 7 月に米国のサンノゼで、2 月には東京（東京工業大学）で合同ワークショップを開催した。2 回のワークショップはいずれも米国、スイス、日本の 3 か国から合わせて 60 名程度が参加し、Resource Management, Emerging Technologies, Applications の 3 グループに分かれ GPU スパコンの有効活用に関して 3 方面から議論が行われた。次の写真は 2 月に東京工業大学大岡山キャンパスで開催されたワークショップで撮影されたものである。



### 3-1-3 基礎教育における情報技術を活用した教員研修の展開と対話型自己学習教材の開発

先端研究部門 国際協働分野 山口しのぶ

日本政府開発援助 UNESCO 活動補助金「基礎教育における情報技術を活用した教員研修の展開と対話型自己学習教材の開発」事業をモンゴルの中高等教育を対象に実施した。首都ウランバートル、ゴビ地域バヤンホンゴル県、西部地域ホブド県の3地域にて、情報技術(ICT)を活用した教員研修用の教材を開発し、教員研修専門家及び中学校教員を対象とした教員研修を通じて新教材の普及を目指した。更に地方学校が県中心部より遠隔地に点在する地理的状况を考慮し、教員が自己学習できる対話型ウェブ研修教材の開発に取り組んだ。教育法の改定によりモンゴルの初等中等教育分野にて ICT を活用した取り組みが積極的に導入されている状況を受け、モンゴル教育文化科学省教育政策局とモンゴル教育大学を中心に形成された16名から成る現地専門家チームと東京工業大学チームが、新たに中等教育分野で必要とされている4教科のICTを活用した教員研修用教材の開発・評価を実施した。新たに開発された4教科のICT研修教材はガイドライン書と共に全国の中学校768校に配布され、ICT研修教材セットとして全国の中学校にて活用されている。また、ユネスコバンコク事務所との共催で教育省代表者・教育専門家をモンゴルに招聘し、本事業の事例を含めた教育における情報技術の応用と普及に関するシンポジウムを開催した。(トピック記事参照)

### 3-1-4 発展途上国の世界遺産地域における持続可能な情報通信技術の応用に関する実践研究

先端研究部門 国際協働分野 山口しのぶ

ラオスルアンパバーン政府世界遺産局との連携のもと、持続可能な世界遺産開発を実現するための情報通信技術を用いた包括的かつ効果的な施策について実践研究を継続。今年

度は、地理情報システム（GIS）を活用した世界遺産中心地区全土において景観分析を実施し、2010年から2017年の時系列的变化を8つの観点から街並みの変化を可視化した。結果は、ルアンパバーン世界遺産保存局にてワークショップを開催し、現地の専門家・政府関係者が参加し、活発な意見交換が行なわれた。2000件の建造物を含む時系列分析は、UNESCO世界遺産センターも注目しており、UNESCO本部にて分析結果を発表する予定。また、国際開発学会での発表も予定されている。

### 3-2 国際シンポジウム・ワークショップ

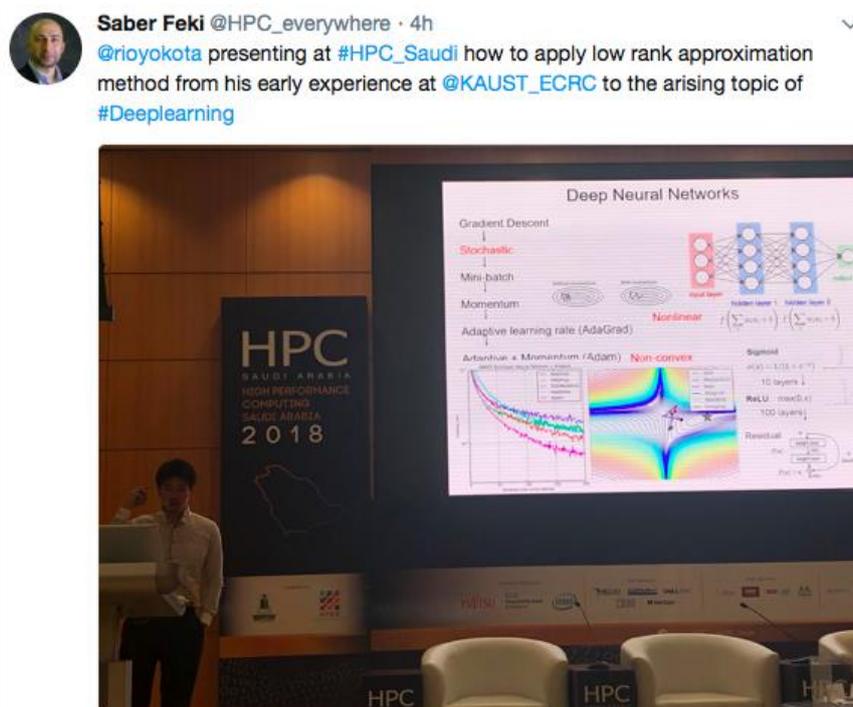
#### 3-2-1 国際機関との共催シンポジウム（トピック参照）

先端研究部門 国際協働分野 山口しのぶ

#### 3-2-2 KAUST と KAU との大規模計算情報技術に関するシンポジウム

先端研究部門 高性能計算先端応用分野 横田理央

東京工業大学 GSIC と部局間協定に基づく国際共同研究を行なっている King Abdullah University of Science and Technology(KAUST)の David Keyes 教授と横田准教授の主催により 2012 年 12 月にサウジアラビアで初めての HPC カンファレンスである HPC Saudi が開催された。これを機に、サウジアラビアでは隔年で HPC Saudi が開催されようになり、2018 年 3 月には Jeddah 近郊の King Abdulaziz University (KAU)で第 4 回目となる HPC Saudi 2018 が開催された。HPC 業界の第一人者が招待講演者として呼ばれ、サウジアラビアの国内外から参加者は 200 名余りにのぼった。横田准教授は KAUST、KAU と連携し HPC Saudi を 6 年間にわたり KAUST の Keyes 教授とともに運営してきた。HPC Saudi 2018 では David Keyes 教授とともに横田准教授も招待講演を行い、日本とサウジアラビアの HPC 技術に関する意見交換を行なった。HPC Saudi の他にも、GSIC と KAUST ECRC の部局間協定に基づく国際共同研究の Agreement について Keyes 教授と最終調整が行われ、正式な協定締結の署名をいただくことができた。下の写真はソーシャルメディアに投稿された横田理央准教授の講演の様子である。



### 3-2-3 世界遺産地域保存への情報技術導入に関するワークショップ

先端研究部門 国際協働分野 山口しのぶ

平成 30 年 3 月 21 日、ラオスの世界遺産地域ルアンパバーン世界遺産局にて、地理情報システム（GIS）を活用した世界遺産中心地区全土における景観分析に関するワークショップを開催した。具体的には、1995 年に世界遺産登録されたルアンパバーンの街並みを、1999 年、2010 年、2017 年のデータを用い、GIS を用いて可視化し、その時系列的変化を 8 つの観点から分析した。ルアンパバーン世界遺産局からは、遺産局長 Saveuy 氏を始め、ICT 部門、遺産管理部門、建築部門の専門家 20 名が参加し、幅広い観点からの発表および、議論が行なわれた。今年度実施した協働事業には、世界遺産地域の中心となる 19 村の 1800 件の建造物が含まれ、ルアンパバーンの世界遺産保全に関する最大の研究事業となっている。東京工業大学からの発表では、建造部物の用途、建築材料の変化、（ラオス式建造物の特徴である）屋根部分の建築材料の変化、建造物の保存状態、など過去 18 年に渡る変化が紹介され、地域的な特徴、変化に関する要因、今後の政策提案などが議論された。世界遺産局専門家からは、世界遺産登録 20 年に策定された遺産管理計画及び、25 年に向けた保存計画への ICT の活用等を中心に発表され、政策実施のための多様な ICT の活用の必要性が強調された。エビデンスに基づく景観分析は、今後の世界遺産地域保存政策策定の重要な要素となり、UNESCO パリ本部での発表も計画されている。



世界遺産局での発表



共同研究チーム



## 4. イベント及びアウトリーチ活動

### 4-1 オープンキャンパス・工大祭における TSUBAME 一般公開

当センターでは、学内行事に合わせ「スパコン TSUBAME」の一般公開をより多くの方に見学いただけるよう配慮し、下記の2コースで実施した。

- ・担当教員によるスパコン説明後にマシンルームを見学する「事前予約制コース」
- ・マシンルームのみを自由に見学できる「自由見学コース」

8月10日（木）に開催されたオープンキャンパスでは、事前予約制コースは満員御礼となり、自由見学においても536名の見学者があり大盛況となった。



また、10月7日（土）、8日（日）の2日間にわたり開催された工大祭においても、オープンキャンパス同様に2つのコースを用意し、従来のTSUBAME2.5に加え8月より運用を開始したTSUBAME3.0の見学も可能となった。

事前予約コースでは両日5回の全10回を開催し177名の参加があり、自由見学コースにおいては、1,146名もの来場があり2日間でトータル1,323名の方にTSUBAMEを紹介することができた。



昨年同様、多くの方々に興味・関心を持っていただいた事に感謝申し上げます。

## 4-2 Supercomputing 2017 におけるブース出展

先端研究部門 高性能計算システム分野 准教授 遠藤敏夫

2017年11月12日から17日まで、米国デンバーで開催された国際会議 ACM/IEEE Supercomputing 2017 (SC17)に、昨年度までに引き続き学術国際情報センターとしてブース出展を行った。本会議はスーパーコンピューティング・ビッグデータ・ネットワーク分野における世界最大の会議であり、論文発表やワークショップだけでなく、巨大な展示会場で行われる各国の研究機関・ベンダーによるブース展示も非常に注目されている。

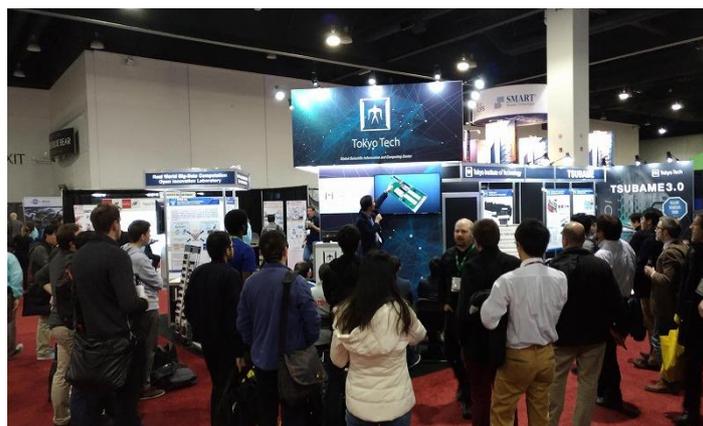
本センターのブースにおいても2008年以降毎年、主にTSUBAMEスーパーコンピュータのアプリケーションやシステムに関する研究・開発・運用に関する展示を行っており、今年度は、新スパコンTSUBAME3.0が稼働開始してから初のSC展示ということで、その性能・特徴・応用分野にフォーカスした展示を行った。なかでも、TSUBAME3.0の計算ノードのモックの展示には常に強い興味を示す来場者もいた。

SCは、6月ドイツのISCとともに、スーパーコンピュータの各種ランキングが発表されることでも知られており、TSUBAME3.0は今回、演算速度性能のランキングTop500において世界13位を、省エネランキングGreen500において世界6位となった。なお前回ISC17におけるGreen500においては世界一を達成しており、これらが評価されHPC wire Editors' Choice Award (Top Energy-Efficient HPC Achievement)をSC会期中に受賞した。

当ブースでは例年、国内外の著名な研究者による講演を開催している。今回海外からはPrinceton大学William Tang先生の「Accelerated Deep Learning Advances in HPC」、ETZ Zurich Torsten Hoefler先生の「sPIN: High-performance Streaming Processing in the Network」、Oak Ridge国立研究所Tjerk Straatsma先生の「Application Readiness Projects for the Summit Architecture」の招待講演を開催し活発な議論が行われた。さらにTSUBAME3.0に関して、松岡聡教授によるシステムのデザインの講演や、またスペシャルセッションとしてTSUBAME3.0構築に関連の特に深い企業による講演が行われ、高い注目を集めた。



ORNL Tjerk Straatsma 先生による招待講演



松岡教授による TSUBAME3.0 講演中のブース

また今回ブースでは、産業技術総合研究所と東京工業大学の共同ラボである「実社会ビッグデータ活用 オープンイノベーションラボラトリ」(RWBC-OIL)に関する展示も行った。

4日間の展示期間中には、例年の1.5倍以上となる498名の来訪者があり、GSICおよびTSUBAME3.0への注目の高さを示しているといえる。今後も、TSUBAME3.0を中心に研究開発・運用技術・国際協働分野などにおける成果を国際的にアピールし、GSICのプレゼンスを高めていきます。



ブース集合写真

#### 4-3 第23回スーパーコンピューティングコンテスト

スーパーコン実施委員長 西崎 真也

准教授 遠藤 敏夫

特任准教授 額田 彰

平成 29 年 8 月 21 日～25 日に「第 23 回スーパーコンピューティングコンテスト (SuperCon17)」を開催した。予選を勝ち抜いた 20 チーム (東日本 10 チーム、西日本 10 チーム、各チーム 2～3 名) が本選に臨んだ。

今年の本選課題は「オーディオデータを近似的に圧縮しよう」であった。

問題 (エンコード)

音を 1/44100 秒でサンプリングした PCM データ列が入力として与えられたとき、これを信号の増減を 1 ビットで表現することによりエンコードしたデータ列と増減幅を求めるプログラムを作成する。

※詳しい解説はスーパーコンホームページ (<http://www.gsic.titech.ac.jp/supercon/>) に掲載されている。

各チームが作成したプログラムを提出してもらい、事前に用意した 5 つの入力データを処理して、出力結果の近似のよさを比較して、順位を決定した。これらの入力データは実際の音源をもとにしたデータであった。表彰式の際には、近似のよい出力結果を実際に出席者に聞いてもらった。

上位 3 チームの成績は以下の通りであった。

順位	チーム名	学校名
1	solars	北九州工業高等専門学校
2	KMiBa	筑波大学附属駒場高等学校
3	WayKey	静岡県立浜松工業高等学校

1 位から 3 位までのチームにメダルと賞状が贈呈された。また優れたアルゴリズムやプログラムを作成したチームに贈られる学会奨励賞 (電気情報通信学会通信・システムソサイエティスーパーコンピューティング奨励賞、情報処理学会若手奨励賞) はチーム「solars」が受賞した。

#### 4-4 TSUBAME 関連講習会

##### 【研究用計算機システム】

##### 平成 29 年度前期講習会【大岡山地区】

1	UNIX 入門	4/19(水)
2	プログラムチューニング(シングル)	4/24(月)
3	プログラムチューニング(並列)	4/26(水)
4	ANSYS Mechanical	4/27(木)
5	Fluent	4/28(金)
6	Amber 入門	5/10(水)
7	Materials Studio	5/12(金)
8	Gaussian 入門	5/15(月)
9	Discovery Studio	5/26(金)

##### 平成 29 年度前期講習会【すずかけ台地区】

1	UNIX 入門	4/20(木)
---	---------	---------

##### 平成 29 年度後期講習会【大岡山地区】

1	UNIX 入門	10/16(月)
2	Introduction to UNIX	10/18(水)
3	GPU プログラミング	10/20(金)
4	Amber	10/30(月)
5	Gaussian / GaussView	10/31(火)
6	並列化プログラミング	11/2(木)
7	AVS	11/7(火)
8	ANSYS 流体解析	11/8(水)
9	Discovery Studio	11/9(木)
10	Materials Studio	11/14(火)
11	ANSYS 構造解析	11/16(木)
12	Schrodinger	11/20(月)
13	ANSYS 電磁界解析	11/27(月)
14	COMSOL	11/28(火)

##### 平成 29 年度後期講習会【すずかけ台地区】

1	UNIX 入門	10/17(火)
---	---------	----------

##### その他の講習会

1	MATLAB 入門セミナー	4/12(水)
2	TSUBAME3 ガイダンス	8/4(金)

#### 4-5 計算化学研究会活動

研究会主査 川内 進  
幹事 渡邊 寿雄

##### NAMDによる自由エネルギー計算のハンズオン講習会

日時：2018年3月5日 10:00~17:00

場所：東京工業大学 大岡山キャンパス 学術国際情報センター3階 第2実習室

参加人数：19名（東京工業大学6名、他大学6名、一般企業7名）

主催： 情報計算化学生物学会(CBI学会)

共催： 東京工業大学 学術国際情報センター 計算化学研究会

講師： Prof. Christophe Chipot (University of Illinois at Urbana-Champaign)

##### 講習会概要：

フリーウェアの分子動力学シミュレーションパッケージの一つであるNAMDによる自由エネルギー計算法の講義と実習を東京工業大学にて開催した。講師としてNAMDの開発にも関わっておられるProf. Chipotをお願いした。実習では東京工業大学が提供するPC環境を利用可能とし、持参PCを利用する場合は事前に必要なソフトウェアのインストールをお願いした。実習のレベルは、MD計算を実施した経験がある方を対象として、自由エネルギー計算法の講義と事前に準備された豊富な例題のうち参加者自らの興味にあったものを選んで実習を行った。実習の後は希望者によるTSUBAME3.0の見学が行われた。参加者の募集に当たっては、東京工業大学の学生に対して優先枠を設定した。

スケジュール（講義及び実習は英語で行います。）

9:30 - 10:00 受付

10:00 - 12:00 自由エネルギー計算法の講義

12:00 - 13:00 休憩

13:00 - 16:00 NAMDによる自由エネルギー計算法の実習

16:00 - 17:00 TSUBAME3.0 見学

## 5. 広報活動

### 5-1 マスコミ報道等

- ◆ 日経テクノロジーonline : 「AI スパコンの性能を 3 年半で 1000 倍に」、東工大の松岡教授 AI 性能を測るベンチマークも提案 東京工業大学 教授の松岡氏は、インテルが 2017 年 4 月 6 日に開いた「インテル AI Day」に登壇し、人工知能 (AI) やビッグデータ処理に向くスーパーコンピュータの開発状況を解説した。 【2017/4/6】
- ◆ 日経産業新聞 : 「津波の衝撃高精度予測 柱や壁ごとに詳細解析」 東工大 青木尊之教授らの研究チームは同大が持つスパコン「TSUBAME2.5」で開発。 【2017/6/6】
- ◆ 日本経済新聞 電子版 : 東工大のスパコン、省エネ世界一 19 日に発表されたスーパーコンピュータの省エネ性能を競う国際ランキング「グリーン 500」で、東京工業大学が今年 8 月に稼働する予定の「TSUBAME3.0」が世界一になった。 【2017/6/19】
- ◆ サイエンスポータル : 国内のスパコンが省エネ性能ランキング「Green500」で 1 位から 4 位までを独占 ドイツ・フランクフルト市で開かれたスーパーコンピュータ (スパコン) に関する国際会議「ISC HIGH PERFORMANCE 2017」で 19 日、2017 年 6 月期のスパコンの省エネ性能における世界ランキング「Green500」が発表。1 位は東京工業大学学術国際情報センターの「TSUBAME3.0」 【2017/6/22】
- ◆ 日本経済新聞 : スパコン「ツバメ」旋風 省エネ性能 1 位、東京工業大学で来月稼働 AI や気象研究 高い実用性 【2017/7/9】
- ◆ 日本経済新聞 電子版 : AI とスパコンで挑む新型医薬効果と低コスト両立東京工業大学、川崎に研究拠点スパコン「TSUBAME」を活用 【2017/7/9】
- ◆ マイナビニュース他 : 日本勢が 1-3 位を独占-省エネスパコンランキング「Green500」 11 月 13 日 (米国時間) エネルギー消費効率の良いスーパーコンピュータシステムのランキングである「Green500」の 2017 年 11 月版が公開された。6 位が東京工業大学の「TSUBAME3.0」(NVIDIA の Tesla P100 SXM2 を搭載) で 13.704GFLOPS。 【2017/11/14】
- ◆ 読売新聞 : 青木尊之教授「現実再現シミュレーション スパコンによるリアルワールドの流れの再現」 【2018/3/4】

## 5-2 TSUBAME e-Science Journal の発行 (Vol.16)

先端研究部門・高性能計算先端応用分野 青木 尊之

学術国際情報センターでは、スパコン TSUBAME を利用して得られた成果を広く公表するために平成 22 年から TSUBAME e-Science Journal を機関紙として刊行している。

平成 29 年 11 月 13 日に発行した Vol.16 では、TSUBAME2.5 の後継として平成 29 年 8 月より稼働開始したスパコン TSUBAME3.0 の概要、近年注目を集める深層学習に GPU スパコンを使うためのフレームワーク、創薬研究のための GPU スパコンの利用に関する記事を掲載した。

記事のタイトルと著者は以下の通りである。

No.16 (2017 年 11 月)

- ・ **HPC とビッグデータ・AI を融合するグリーン・クラウドスパコン TSUBAME3.0 の概要**  
Overview of TSUBAME3.0, Green Cloud Supercomputer for Convergence of HPC, AI and Big-Data  
松岡 聡、遠藤 敏夫、額田 彰、三浦 信一、野村 哲弘、佐藤 仁、實本 英之
- ・ **ChainerMN : スケーラブルな分散深層学習フレームワーク**  
ChainerMN: Scalable Distributed Deep Learning Framework  
秋葉拓哉、福田圭祐
- ・ **創薬研究の基盤になる化学構造創出技術と効率的 GPU コンピューティングとの連携**  
Creation of Chemical Structures Aimed for Drug Design, Facilitated by Efficient GPU Computing  
尾谷 優子、大和田 智彦

### 5-3 見学者受入状況

月	日	見学者所属	人数	うち 学外者	うち 外国人
4	3	A*STAR Singapore	2	2	2
	7	ノルウェー 大学生	74	72	72
	12	タイ大使館・外務省・国交省	10	8	1
	13	Wroclaw University of Science and Technology 学習院大学	3	3	2
	13	X 社、Google	3	3	3
	14	東洋経済新報社	1	1	
	19	株式会社デベルアップジャパン	1	1	
	20	タマサート大学	46	43	43
	26	インドネシア ガジャ・マダ大学	8	6	6
	27	HEROZ 株式会社	2	2	
	28	タイ副首相、大使館、国交省	20	18	18
5	12	済州 科学高校 (韓国)	45	45	45
	17	文科省	100	100	
	20	ホームカミングデー	159	159	
	22	情報科学系分野シンポジウム参加者	20	15	
	23	日本経済新聞社	1	1	
6	2	タマサート大学	11	11	11
	19	KAIST 学生	11	9	9
	21	細田学園高等学校	22	22	
	30	Texas Tech University (US)	17	16	15
7	5	目黒区理科部会 (目黒区立第十中学校)	12	12	
	5	産学連携推進本部	3		
	10	東京都立小山田台高等学校	47	47	

月	日	見学者所属	人数	うち 学外者	うち 外国人
7	10	SwissNationalSupercomputingCentre	1	1	1
	13	電子科技大学（中国）	35	35	35
	20	江蘇大学（中国）	29	29	29
	25	理化学研究所 革新知能統合研究センター 文部科学省 大臣官房審議官 外	8	8	
	27	社会人向け講座「先端技術とイノベーション II」受講者	24	24	
8	1	マツダ株式会社	11	11	
	2	文部科学省 文部科学審議官	4	4	
	7	愛知県立時習館高校	16	13	
	8	National Center for High-Performance Computing	1	1	1
	10	オープンキャンパス	587	587	
	25	島根大学 教育学部 数理基礎教育講座	10	8	
	29	デラサール大学	54	54	54
	29	ミャンマー連邦共和国科学技術省研究革新局	14	13	10
	29	台湾原子能研究所	2	1	1
	30	日東工器	7	7	
9	1	タイ王国・キングモンクット工科大学	22	20	20
	1	日本フォームサービス株式会社	5	5	
	8	仁済大学	3	3	3
	12	新モンゴル工科大学	13	11	11
	14	カンボジア工科大学	11	10	10
	19	横浜サイエンスフロンティア高等学校	91	87	
	21	上海交通大学	1	1	1
	27	久留米高専工業高等専門学校	45	41	
	27	アブダビ高校	16	15	15
10	5	新潟県立高田高校	11	11	
	6	TAIST-Tokyo Tech	7	6	6

月	日	見学者所属	人数	うち 学外者	うち 外国人
10	6	済美平成中等教育学校	24	24	
	7、 8	工大祭	1323	1323	
	13	タイ・カセサート大学、フィリピン・デラサール大学	11	11	11
	16	オンライン経済メディア NewsPicks	1	1	
	16	Yahoo グループ IDC フロンティア 日本ヒューレットパッカード	13	13	
	17	大埔舊墟公立學校(寶湖道) (香港)	24	24	24
	18	Y PacificTech・GRC	40	40	
	20	情報理工学院 学生	2	1	1
	20	デラサール大学	60	60	60
	24	TAIST	2	2	2
	26	日本経済新聞社 科学技術部	1	1	
	31	National Supercomputing Centre Shingapore	5	5	5
11	6	J S T、理化学研究所、筑波大学	4	4	1
	9	東京工業大学 5類	45		
	17	TSUBAME 利用講習会 参加者	1	1	
12	5	CN インターボイス	8	3	
	6	大岡山街づくり協議会	51	50	
	8	新潟大学、東京農工大学 外	10	8	
	13	マレーシア学生	7	7	
	13	マレーシア・マラヤ大学	11	10	10
	14	電気電子系 荒井・西山研究室	15		
	21	青森県立青森高等学校	40	40	
	22	National University of Singapore	6	1	1
1	9	韓国の大学教員・学生	6	5	5
	11	東京工業大学 URA	6		

月	日	見学者所属	人数	うち 学外者	うち 外国人
1	22	インド行政官	20	15	15
	25	インドネシア 大学生	20	18	18
	25	香港科技大学	4	4	
2	9	TSUBAME 利用講習会 参加者	2	2	
	22	韓国漢陽大学	5	3	3
	22	文部科学省 磯谷研究振興局長	2	2	
3	5	The Ohio State University、Argonne National Laboratory	2	2	2
	5	MD 講習会	19	12	1
	7	国立台湾科技大学 学長 外	13	12	12
	13	Barcelona Supercomputing Center	1	1	1
	14	筑波大学	6	5	
	20	モスクワ大学	20	15	15
		計 件	3474	3325	609

## 6. 予算執行状況

### 1. 平成 29 年度法人運営費決算額

研究経費	28,722 千円
教育研究支援経費 (うち電子計算機賃借料)	1,224,430 千円 (725,430 千円)
特別経費	21,427 千円
合計	1,274,579 千円

### 2. 外部資金受入状況

奨学寄附金	3 件	8,197 千円		
受託研究	6 件	73,779 千円		
受託事業	2 件	43,220 千円		
民間等との共同研究	6 件	18,588 千円		
科学研究費補助金 ※	代表	分担		
	基盤研究 S	1 件	件	41,140 千円
	基盤研究 A	件	1 件	500 千円
	基盤研究 B	件	1 件	700 千円
	基盤研究 C	5 件	1 件	4,879 千円
	若手研究 A	1 件	件	1,900 千円
	若手研究 B	1 件	1 件	2,251 千円
	挑戦的萌芽研究	1 件	件	387 千円
特別研究員奨励費	1 件	1 件	1,800 千円	
政府開発援助湯ユネスコ活動費補助金	1 件	6,000 千円		
合計	33 件	203,341 千円		

※ただし、金額は前年度からの繰越による受入額を含む



## 7. 研究部門活動報告

### 7-1 情報支援部門

#### 教授 一色 剛 (認証・ネットワーク分野)

##### 【研究の概要と成果】

##### C記述からの論理回路自動合成技術

組込み機器で必要となる複雑な信号処理を効率的に実現するためには、処理アルゴリズムとハードウェアアーキテクチャの同時最適化が重要であるが、これまでのVLSI設計技術では、アルゴリズムの記述抽象度でアーキテクチャを直接的に表現することが困難であった。本研究室では、高い抽象度のC++言語データフロー記述方式上で回路構造を定義し、直接的に論理回路を合成する新しいVLSI設計方式に取り組んでいる。本年度は、プロセッサ・バスシステム・周辺回路等の回路モジュールを含んだシステムレベル設計のための拡張を行い、RISC-Vプロセッサ・キャッシュメモリを複数搭載したシステム・オン・チップの設計を全てC++言語で記述することに成功した。

##### アプリケーション特化プロセッサ設計環境

アプリケーション特化プロセッサ(ASIP: Application-Specific Instruction-set Processor)は、汎用プロセッサの柔軟性と専用回路の処理性能・電力効率を両立する可能性を持っており、画像信号処理分野を中心に活用され始めている。本研究室では、ASIP設計全般において、アルゴリズム(アプリケーション)設計、命令セット設計・拡張、専用演算回路設計、高速シミュレーションモデル生成、専用コンパイラ生成、回路検証環境生成等をすべて網羅したASIP統合設計環境の構築に取り組んでいる。本年度は、GPS信号処理用の浮動小数点数ASIPとセンサネットワーク用超低消費電力ASIPを開発した。

##### プログラム解析によるマルウェア検知技術

現在のセキュリティ技術の大きな役割を占めるウイルス検知技術は、バイナリシグネチャ(パターンマッチング)による1次検知、仮想空間動作(サンドボックス)による2次検知などの組合せで構築されているが、近年の爆発的なマルウェア発生状況には十分なソリューションとはなっていない。本研究室では、プロセッサ・コンパイラ生成・シミュレータ生成技術の研究成果をベースに、バイナリデータから直接プログラム構造を解析し、その構造情報を活用した網羅性の高いマルウェア検知技術の構築を目指している。本年度は、マルウェア検知回避技術として暗号化(パッキング)されたSWのプログラム構造解析を可能とするために、x86プロセッサエミュレータと実行バイナリプログラム解析機能を連動することで、隠蔽されたプログラムの構造解析を可能にした。

### 【査読付き学術論文】

- 1) Farhan Shafiq, Tsuyoshi Isshiki, Dongju Li, "An Accurate and Fast Trace-aware Performance Estimation Model For Prioritized MPSoC Bus With Multiple Interfering Bus-Masters", IPSJ Trans. System LSI Design Methodology, Vol.10, pp.13-27 (2017)
- 2) Zhiqiang Hu, Dongju Li, Tsuyoshi Isshiki, Hiroaki Kunieda, "Hybrid Minutiae Descriptor for Narrow Fingerprint Verification", IEICE Trans. Information and Systems, Vol. E100.D, No.3, pp.546-555 (2017)
- 3) Zhiqiang Hu, Dongju Li, Tsuyoshi Isshiki, Hiroaki Kunieda, "Narrow Fingerprint Template Synthesis by Clustering Minutiae Descriptors", IEICE Trans. Information and Systems, Vol. E100.D, No.6, pp.1290-1302 (2017)
- 4) Shanlin Xiao, Tsuyoshi Isshiki, Dongju Li, Hiroaki Kunieda, "Design of an Application Specific Instruction Set Processor for Real-Time Object Detection Using AdaBoost Algorithm", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E100.A, No.7, pp.1384-1395 (2017)
- 5) Shanlin Xiao, Tsuyoshi Isshiki, Dongju Li, Hiroaki Kunieda, "HOG-Based Object Detection Processor Design Using ASIP Methodology", IEICE Trans. on Fundamentals, Vol.E100.A, No.12, pp.2972-2984 (2017)

### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Supawan Kumpituck, Dongju Li, Hiroaki Kunieda, Tsuyoshi Isshiki, "Fingerprint spoof detection using wavelet based local binary pattern", Graphic and Image Processing (ICGIP) (2016)
- 2) Waranrach Viriyavit, Virach Sornlertlamvanich, Waree Kongprawechnon, Panita Pongpaibool, Tsuyoshi Isshiki, "Neural network based bed posture classification enhanced by Bayesian approach", Information and Communication Technology for Embedded Systems (IC-ICTES) (2017)
- 3) Manatsawee Sanpayao, Teerasit Kasetkasem, Tsuyoshi Isshiki, Preesan Rakwatin, Thitiporn Chanwimaluang, "A super-resolution land cover mapping based on a random forest and Markov random field model", Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) (2017)

### 【招待講演】

- 1) 一色剛, "C2RTL フレームワークによる RISC-V ベース SoC モデルの論理合成とシステム検証", Design Solution Forum (Oct. 2017)
- 2) Tsuyoshi Isshiki, "C++ Object-Oriented RTL Modeling for System-Level Synthesis/Verification on the C2RTL Framework", 17<sup>th</sup> International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware (MPSoC '17) (July 2017)

## 教授 友石 正彦 (認証・ネットワーク分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 位置情報を用いたモバイルデバイスの安全性向上に関する研究

ノートPCやモバイルデバイス等、利用者とともに移動する機器をホテルや駅など公的スペースで利用したときに攻撃を受ける、また、盗難にあう等によって、その機器に保存されていた情報が流出する事件が数多く起っている。これらの被害は、持ち運ぶ情報を制限することや、シンクライアントなど情報の運搬を避けることにより軽減できるが、出発直前まで準備をする場合や、移動中にも仕事がある場合、また、ネットワークの無い環境でのプレゼンテーションに備える場合には有効ではない。本研究では、ネットワークに繋がらない状況において、システムが自動的に情報を隠したり、消去したりするための基準値として位置情報を採用することで、これらの問題を緩和するシステムの設計・実現を目的とする。本年度は、位置情報に依存してマウント状態、アクセス権限を制御するファイルシステムを多段に、また、位置情報が取れない場合について設計、実験を行った。[発表-3]

#### DNSSECの電子署名検証をリゾルバ分散により端末で高速・安全に実現する研究

インターネットにおける名前解決基盤であるDNSへの脅威が猛威をふるっている。対策としてDNSSEC(DNS Security Extensions)が提案されているが、負荷やトラフィック増加の問題があり導入が進んでない。また、対策範囲が権威サーバとリゾルバ間であり、端末までの通信が考慮されていない。本研究では、端末でのDNSSEC利用を実現することで、端末での署名検証と、検証と名前解決に利用するリゾルバの分散による安全かつ安定した名前解決の提供を目的とする。本年度は、端末でのDNSSEC署名検証機能実装についての論文のとりまとめと、パフォーマンス改善のためのマルチスレッディングの実装を行った。[論文-1][発表-4]

#### アプリケーション毎に異なるDNSリゾルバを利用させ疑わしい通信を発見する研究

悪意あるプログラム/アプリケーションが行う名前解決を効率よく発見するには、名前解決の履歴をアプリケーション毎に分離できることが効果的と考えられるが、これまでのOSを中心とする名前解決を利用するシステムはそのような構成にはなっていない。本研究では、これを実現するために、端末内にリゾルバへの通信を中継するとともにどのアプリケーションからの通信であったかを記録する機構を設計、実装を行った。[発表-2]

#### 耐侵入攻撃に強いバックアップ機構に関する研究

ランサムウェアなど、利用者がだまされて攻撃プログラムを実行する、端末への侵入を許すなどにより、端末内の情報が破壊される事件が相継いでいる。抜本的な対策として、十分なバックアップを取っておくことが望ましいが、コスト面、運用面での問題に加え

て、バックアップそのものの破壊を狙う攻撃も存在する。本研究では、バックアップ機能を利用端末から分離する方法として、サンドボックスや別ネットワークに利用者を分離するのではなく、利用者端末において、バックアップ機能のみをコンテナ化し、そのコンテナからのみ到達可能な遠隔サーバにバックアップを取る方法を提案、実装を行った。コンテナ破壊までは可能であるが、遠隔バックアップへの到達を不能にするとともに、コンテナを集中管理することで、コスト、運用面での低減を図ることが可能となった。[発表-1]

#### **【査読付き学術論文】**

- 1) Y. Jin, K. Kakoi, N. Yamai, N. Kitagawa, M. Tomoishi, "A Client Based DNSSEC Validation System with Adaptive Alert Mechanism Considering Minimal Client Timeout," IEICE Transactions on Information and System, Vol.E100-D, No.8, pp.1751-1761, August 2017. DOI: 10.1587/transinf.2016ICP0028

#### **【査読付き国際会議・国内学会発表】**

- 1) Y. Jin, M. Tomoishi, S. Matsuura and Y. Kitaguchi, "A Secure Container-based Backup Mechanism to Survive Destructive Ransomware Attacks," International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2018), Maui, Hawaii, USA, March, 2018.
- 2) Y. Jin, K. Kakoi, M. Tomoishi and N. Yamai, "Efficient detection of suspicious DNS traffic by resolver separation per application program," 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju, 2017, pp. 87-92.
- 3) Y. Jin, M. Tomoishi and S. Matsuura, "An In-depth Concealed File System with GPS Authentication Adaptable for Multiple Locations," 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 608-613.
- 4) K. Kakoi, Y. Jin, N. Yamai, N. Kitagawa and M. Tomoishi, "Cache Function Activation on a Client Based DNSSEC Validation and Alert System by Multithreading," 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 37-42.
- 5) Y. Jin, M. Tomoishi and N. Yamai, "A Secure and Lightweight IoT Device Remote Monitoring and Control Mechanism Using DNS," 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 282-283.

教授 西崎 真也 (情報基盤活用分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 非線形継続をもつ線型ラムダ計算

ラムダ計算は、入力値や計算途中の値を複製したり消去したりすることが可能であり、継続は複製や消去は不可能であり、ちょうど1回使用すること、すなわち、線型に扱うように作られている。ファーストクラス継続の機能は、継続を非線型に扱うことを可能にする機能である。ラムダ計算の双対である体系を考えた。値はちょうど1回使用することとなっているが、継続は非線形に利用することが可能、すなわち、複製や消去が可能となっている体系である。このような体系、非線形継続をもつ線型ラムダ計算に対して、線型論理への変換により意味論を与えることにより、数理論理的な考察を行った。

#### 環境計算のための二階型理論

変数名とそれに束縛された値との対応を環境と呼ぶ。環境をデータとして保存し、それを復旧する機能をファーストクラス環境と呼ぶ。ファーストクラス環境をもつラムダ計算を環境計算と呼ぶ。これまで、環境計算に対する型体系として、単純型体系やML多相型体系を研究した。本論文では、2階型体系を環境計算に与えた。2階型体系は、プログラム式に対応するラムダ項に対して、値変数によるラムダ抽象以外に、型変数によるラムダ抽象を可能としたものである。このような体系に対して主部簡約定理を示した。

### 【査読付き国際会議・学術論文誌】

- 1) Shin-ya NISHIZAKI, Linear lambda calculus with non-linear first-class continuations, Proceedings of ICSCA2017, ACM, pp 28—32, 2017.
- 2) Shin-ya NISHIZAKI, Second-order type theory for first-class environment, AIP Conference Proceedings, Vol. 1839, No 1, 2017.

## 准教授 松浦 知史 (認証・ネットワーク分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 位置情報を利用したモバイルデバイスの保護およびランサムウェア対策に関する研究

現在、計算機を使った日常業務は据え置き型のPCだけでなく、ラップトップやスマートフォンなどのモバイルデバイスが多く利用されている。多くのデータが処理、蓄積される中で情報漏洩はインパクトの大きなリスクとして認識されている。一方で個人情報の漏洩などの事件は後を絶たない。データ保護のためにシンクライアントの導入や他のデバイスを利用した2要素認証など様々な手法が提案されている。しかし既存手法の多くはインターネットアクセスを前提としており、また鍵となるパスワードやデバイスも併せて窃盗されるとモバイルデバイスに存在するデータにアクセス可能となってしまう。本研究では位置情報を利用し、ディスクのマウント状態やアクセス権を制御するファイルシステムを提案した[1]。提案した地理位置に基づくファイルシステムはデータの機密性と位置情報の組み合わせを考慮し、ユーザのコンテキストに合わせてデータへのアクセス機能を提供している。正当なユーザは追加の認証手順を意識すること無く計算機を利用できる一方で、紛失や窃盗など不正に持ち出されたデバイスに関してはアクセス制限がかかり、情報漏洩を抑制する効果が期待できる。

またこれまで大量のセキュリティ機器のログデータを扱うために拡張性を考慮した仮想化基盤を構築してきた。その中でDockerに代表されるコンテナ技術も積極的に採用しており、その知見を生かし安全なデータバック方法を提案した[2]。現在、ランサムウェアによる被害が公的機関、企業、個人と非常に広い領域を対象に多発しており、ランサムウェアに感染した場合であっても、どのようにデータを守るかが重要な課題となっている。提案するバックアップ機構ではアクセスを厳しく制限されたコンテナを通してリモートにバックアップを作成している。この事によりランサムウェア感染時においても本体の計算機からはリモートバックアップに対するアクセス手段が存在せず、バックアップデータを保護できる様になっている。

### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Yong Jin, Masahiko Tomoishi, Satoshi Matsuura, "An In-Depth Concealed File System with GPS Authentication Adaptable for Multiple Locations", 2017 IEEE 41th Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Torino, Italy, July 4-8, 2017.
- 2) Yong Jin, Masahiko Tomoishi, Satoshi Matsuura, Yoshiaki Kitaguchi, "A Secure Container-based Backup Mechanism to Survive Destructive Ransomware Attacks", IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC2018), Maui, Hawaii, USA, March 5-8, 2018.

## 准教授 北口 善明 (認証・ネットワーク分野)

### 【研究の概要と成果】

#### ユーザ視点によるネットワーク状態評価手法の研究

ネットワーク運用において、ユーザからの障害報告として「つながらない」というものがある。「つながらない」状況の問題点を突き止める場合には、ユーザ側からのネットワーク観測が有効であるが、ユーザからは得てして「つながらない」という漠然とした状況しか得られないものである。そこで、ネットワーク障害点を的確に検出するために、ユーザ側からの観測を元に状態を評価し、ネットワーク運用者が迅速に問題点を把握できる手法を提案する。本手法では、ネットワーク障害を複数のレイヤに整理し、「ネットワーク接続性記述の定義」を明確にすることで、的確にユーザ環境の情報伝達を可能にする。本年度は、我々が提案している手法をセンサデバイス上に実装し、センサデバイスによる定常的なネットワーク状態計測の評価実験を実施した[3]。

#### IPv6 導入に伴うネットワーク運用に与える影響評価に関する研究

各オペレーティングシステム (OS) のIPv6実装が進んだことで、IPv6ネットワークが提供されればクライアント端末はIPv6通信が優先となるケースが増えてきている。そこで、今後のIPv6導入を鑑み、IPv4によるネットワーク運用からの変更点や影響を精査することが重要で、この評価を進めている。本年度は、持ち込み端末等のネットワーク接続の際に利用者および端末を特定するための利用者認証を用いる場合を想定し、利用者認証に利用されるウェブ認証やMACアドレス認証、IEEE802.1X認証などに対してIPv6導入が与える影響と問題点を精査した[1]。実機を用いた動作検証実験により、IPv6固有の課題としてRA (ルータ広告) に対する対応が確認された。IPv4の場合と異なり、クライアントOSの実装によっては未認証状態でRAが到達したタイミングで一部の設定が端末側で行われることが予想され、この課題解決が必要である。

#### アドホックネットワークにおける異種プロトコル間相互接続に関する研究

プロトコルの異なるアドホックネットワークを想定し、プロトコル変換をゲートウェイで実施するネットワークモデルにおける経路最適化手法に関して研究している。本年度は、プロトコル変換を行うゲートウェイにおける処理遅延の影響を考慮し、利用する通信アプリケーションのフローに許容遅延を課した条件下における収容フロー数最大化手法に関して検討した[3][4]。提案手法の評価をシミュレーション環境で行い、総当たりで解を求める場合と比べ計算時間の圧縮ができ、一般的な既存手法と比較して収容数を増やすことができることを示した。

#### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Yong Jin, Masahiko Tomoishi, Satoshi Matsuura and Yoshiaki Kitaguchi: A Secure Container-based Backup Mechanism to Survive Destructive Ransomware Attacks, In Proc. of the 2018 Workshop on Computing, Networking and Communications (CNC2018), pp.1-6, Maui, HI, USA, March 2018.

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 宮太地, 大島浩太, 北口善明, 山岡克式: ゲートウェイ累積遅延と許容遅延を考慮したフロー収容数の最大化, 電子情報通信学会 2018 年総合大会講演論文集, Vol.2018, No.B-7-10, 2018 年 3 月
- 2) 宮太地, 大島 浩太, 北口 善明, 山岡克式: 異種アドホックネットワーク間相互接続環境における最適経路探索手法, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.460, IN2017-126, pp.219-224, 2018 年 3 月
- 3) 北口善明, 石原知洋, 高嶋健人: センサデバイスを利用したネットワーク状態計測手法の評価, 情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム 2017 論文集, pp.1348-1353, 2017 年 6 月
- 4) 近堂徹, 北口善明, 鈴木伊知郎, 小林貴之, 前野譲二: IPv6 ネットワークにおける利用者認証における一考察, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-IOT-38, No.9, pp.1-8, 2017 年 6 月

【研究の概要と成果】

運用を加味した耐故障システムの検討

耐故障システムを作成するにはプロセスの耐故障機能だけではなく、リソースマネージメントが必要不可欠である。リソースを適切に割り振るには故障がどのような要因で起きたものかを検知する必要があり、そのためには各資源から生成されるログが必要不可欠である。しかしながら故障はシステムを横断的に発生することが多く、適切な項目をログとして残し、解析する必要がある。本年度はログ項目について検討を行い発表した。また並行して、故障復旧を考えたリソースマネージメント手法についての検討も始めている。

HPC を対象とした実行支援システムに関する研究

マルチスケールアプリケーションを代表とする複数のアプリケーションを連携させる連成計算アプリケーションは、今後のエクストリームスケールな科学技術計算において利用される機会が高いと予想されるが、連携する複数のアプリケーションをネットワーク・地理的距離が離れた複数の計算拠点において効率よく利用するためのフレームワークを検討・設計した。本研究ではユーザが独自に各拠点の資源を管理できるようなユーザ専用の連携システムを構築することを主眼とし、SSH といった Well-known なサービスのみを利用する。昨年度に引き続き、ソースコードの公開とその維持を行っている。また、流体解析を行っている九州大学・帝京大学の研究者と協調して OpenFOAM への組み込みを検討した。一昨年すでにテスト組み込みは行っており、今後は本システム単体だけではなく、バーストバッファ等を用いた通信手段や、他手法の検討も含め発展させていく計画である。

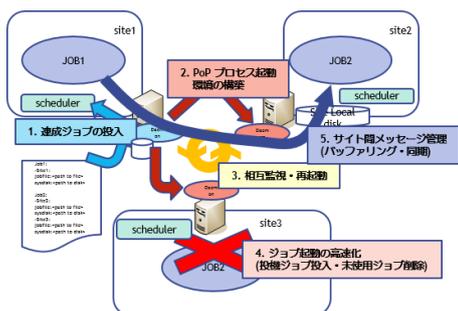


図 1. フレームワークの概要と機能

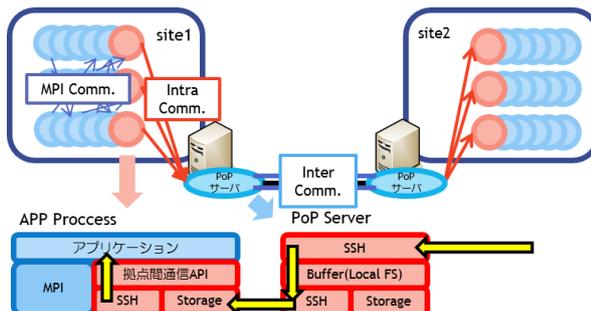


図 2. フレームワークの詳細設計

実ハードウェア故障に即した SDC の影響解析

計算規模の拡大により、アプリケーションが一見正常に終了したように見えるが、その結果は間違っているという SDC 障害が問題となっている。他の障害が明らかに現れるのに対し SDC は検知が難しいが、大規模化・省電力化からシステムの故障は今後さらに増加する

と予想され、SDC をより詳しく解析し、非常に大きなコストがかかる検知・復旧が不必要な際には行われなくする必要がある。本研究では、実ハードウェアを考慮した故障パターンを利用し、SDC のアプリケーションに対する影響を解析する。このためにハードウェア故障を再現できる故障発生器の設計・実装を行った。

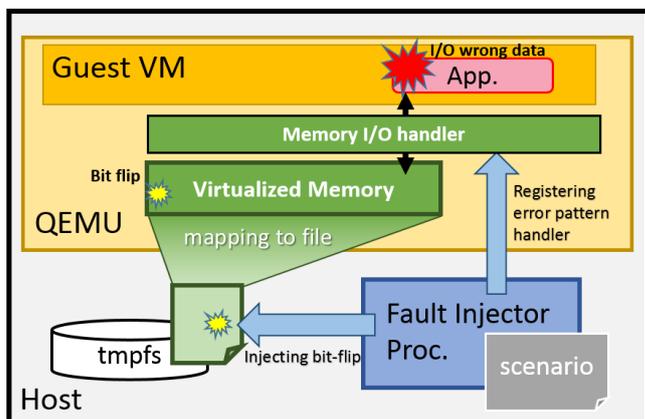


図 5. VM を利用した故障発生器

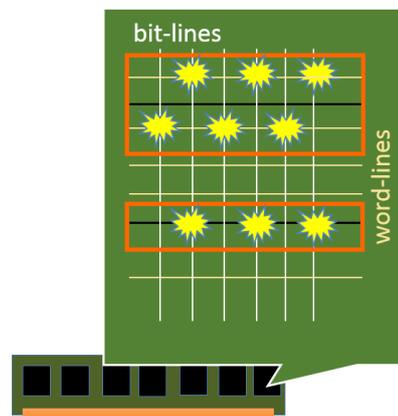


図 6. DRAM 故障パターン(上から row-hammerfault, retention fault)

昨年度よりメモリ書き込みに付随したイベントを実現するハンドラモジュールの実装を行うために、ソースコードのバイナリ変換手法を検討していたが、アスペクト的に動的変換を行うには、CPU アーキテクチャによる差異等や I/O の検出手法が問題になり難いことが判明した。このため、結果的には KVM を利用せず、QEMU のメモリ管理機構部分にソースを挿入し、シミュレーターを実現している。このため、検証実行が非常に遅く、これをサポートするための周辺ツール群を整えることで問題を軽減する予定である。

### HPC におけるクラウド利用に関する研究

インタークラウドを活用したアプリケーション中心型オーバーレイクラウドの有効性を検証するための実証実験基盤の構築・運用を行うとともに、アプリケーションに適したインタークラウドを構築・運用するための知見を得る為に、広域分散ファイルシステム環境の整備と、インタークラウド上でのデータ保存・アクセス方式に関する研究を行い、サイエンスビッグデータの効率的な保存とアクセス環境の整備を、NII、北大、九大、遺伝研と協調して行っている。本年度は、業者を交え、現実的な基盤構築を進めた。また、基盤上で実行されるアプリケーションや必要な評価について定例会を行いながら成果の共有を行っている。また、昨年度から行っていた実クラウドにおける並列計算の特質についての従来の HPC 資源との比較・検証を発展し、HPC ユーザの求めるアプリケーションと実行条件に応じて適切な資源リソースを提案する AWS(Amazon Web Service) 向けシステムの開発を行っている。

## 学内インフラにおけるクラウド利用に関する実証研究

学内システムを学内に配置するのに比して、パブリッククラウドを利用した場合にどのような違いが発生するのかを確認するため、NII が主催するクラウド利活用実証実験に参加し、メールへのファイル添付を抑制する T2BOX をクラウド展開した。これには性能問題や、展開の容易性、冗長性の検証といった技術的なもの以外に、金銭的なコストやクラウドに対するユーザの意識調査を行うという運用的なものを期待している。T2BOX はメールに準ずるセキュリティクリアランスを持つと定めているが、学外にデータを保存するクラウドがどのように利用者に影響を与えるかを調査している。実験期間の半年間で、利用セッション数は学内に配置した T2BOX の百分の一となっており、今後は利用者にアンケート調査を行うことでクラウドに対する意識や、クラウドを利用したいと思う条件（インセンティブ等）についても検討していく。

### 【査読付きポスター発表】

- 1) Shweta Salaria, Kevin Brown, Hideyuki Jitsumoto, Satoshi Matsuoka, Evaluation of HPC-Big Data Applications Using Cloud Platforms, 1st Workshop on the Integration of Extreme Scale Computing and Big Data Management and Analytics (EBDMA 2017), in conjunction with CCGrid 2017, Madrid, Spain, May, 2017(採択率:不明)

### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 小林 佑矢, 實本 英之, 野村 哲弘, 松岡 聡, メモリアクセスパターン依存故障の注入のための QEMU ベース故障注入器, 第 163 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (HPC-163), Feb, 2018
- 2) Hideyuki Jitsumoto, System log for Resilience from our experience in TSUBAME2.5, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC17). Nov 2017. (BoF Session: Characterizing Faults, Errors, and Failures in Extreme-Scale Systems)
- 3) 實本 英之, 添付ファイルを抑制する時限的なファイル共有システム, 国立大学法人等情報化連絡協議会, Oct 2017. (発表のみ)
- 4) 松岡 聡, 遠藤 敏夫, 額田 彰, 三浦 信一, 野村 哲弘, 佐藤 仁, 實本 英之, Drozd Aleksand, HPC とビッグデータ・AI を融合するグリーン・クラウドスパコン TSUBAME3.0 の概要, 第 160 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (HPC-160), SWoPP 2017, Jul, 2017
- 5) 辻 陽平, 野村 哲弘, 實本 英之, 佐藤 育郎, 松岡 聡, 動的なプロセス数操作による分散深層学習の耐故障性と性能評価, 第 160 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (HPC-160), SWoPP 2017, Jul, 2017
- 6) 小林 佑矢, 實本 英之, 野村 哲弘, 松岡 聡, メモリアクセスパターン依存故障の注入のための QEMU ベース故障注入器, 第 160 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (HPC-160), SWoPP2017, Jul, 2017

## 特任助教 金 勇 (認証・ネットワーク分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 位置情報を用いたモバイルデバイスの安全性向上に関する研究

近年、モバイルデバイス上に保存されていた個人情報や機密データが侵入や物理的に盗まれることにより流出される事件が増えている。既存手法としてデータの暗号化やシンクライアントの利用が挙げられるが、暗号化のための高い管理コストや低い利便性またインターネットに繋がらない環境などの問題があり、実運用への利用が広がってない問題がある。そこで本研究では、位置情報を活用して指定した領域内ではしかマウントできないファイルシステムを構築することで既存の問題を解決する。具体的には、インターネットに繋がらない環境においても位置情報を認証情報として利用し、指定した領域以外の場所ではモバイルデバイスが自動的にファイルシステムを隠す或いは削除する方式を提案した。

#### DNS 通信トラフィックの解析によるボットネット通信の検知手法に関する研究

近年、DNS を利用したボットネットの攻撃が増えている。DNS はインターネットサービスを利用するために基本的な名前解決機能を提供しており、ネットワーク管理者などによって通信トラフィックを遮断しにくい特徴がある。このような特徴を利用して、ボットネットではボット感染 PC とボット制御サーバとの通信に DNS プロトコルを利用し、ボット攻撃を行う傾向がある。本研究では、ボット通信に使われる可能性のある DNS 通信トラフィックを解析することでボット通信の特徴や検知手法に関する研究を行っている。具体的には、まず最近ボット通信によく使われている DNS TXT レコードの正当な利用方法を分類し、ボット通信に利用される可能性のある利用方法について分析した。次に、ボット通信では主に外部への直接問合せが良く利用される特徴に注目し、外部への直接 DNS クエリーを解析し、ボット通信の検知手法について検討した。

### 【査読付き学術論文】

- 1) H.Ichise, Y.Jin, and K.Iida, ``Analysis of DNS TXT Record Usage and Consideration ``Analysis of DNS TXT Record Usage and Consideration of Botnet Communication Detection," IEICE Transactions on Communications, vol. E101-B, no. 1, 10 pages, January 2018. DOI: 10.1587/transcom.2017ITP0009
- 2) Y.Jin, K. Kakoi, N. Yamai, N. Kitagawa, M. Tomoishi, "A Client Based DNSSEC Validation System with Adaptive Alert Mechanism Considering Minimal Client Timeout," IEICE Transactions on Information and System, Vol.E100-D, No.8, pp.1751-1761, August 2017. DOI: 10.1587/transinf.2016ICP0028

**【査読付き国際会議・国内学会発表】**

- 1) Y. Jin, M. Tomoishi, S. Matsuura and Y. Kitaguchi, "A Secure Container-based Backup Mechanism to Survive Destructive Ransomware Attacks," International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2018), Maui, Hawaii, USA, March, 2018.
- 2) Y. Jin, K. Kakoi, M. Tomoishi and N. Yamai, "Efficient detection of suspicious DNS traffic by resolver separation per application program," 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju, 2017, pp. 87-92.
- 3) Y. Jin, M. Tomoishi and S. Matsuura, "An In-depth Concealed File System with GPS Authentication Adaptable for Multiple Locations," 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 608-613.
- 4) K. Kakoi, Y. Jin, N. Yamai, N. Kitagawa and M. Tomoishi, "Cache Function Activation on a Client Based DNSSEC Validation and Alert System by Multithreading," 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 37-42.
- 5) Y. Jin, M. Tomoishi and N. Yamai, "A Secure and Lightweight IoT Device Remote Monitoring and Control Mechanism Using DNS," 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 282-283.

**【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】**

- 1) Ichise Hikaru, Yong Jin and Katsuyoshi Iida: "Design and Implementation of NS Record History Database for Detecting DNS-based Botnet Communication,"信学技報,2017年11月.(査読有)

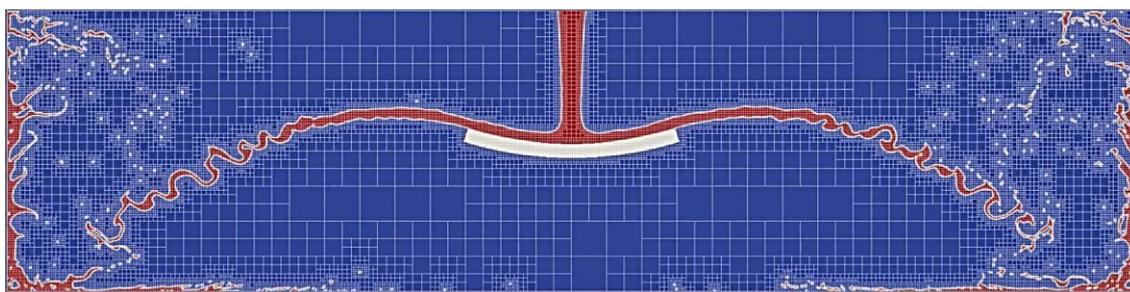
## 7-2 先端研究部門

### 教授 青木 尊之 (高性能計算先端応用分野)

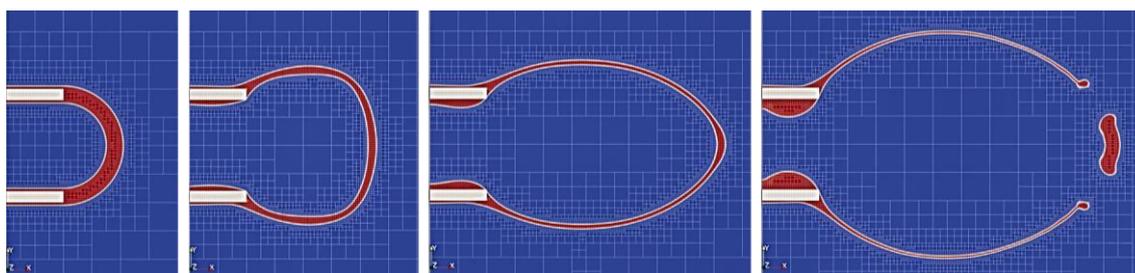
#### 【研究の概要と成果】

#### 界面に適合する AMR 法を用いた非圧縮性気液二相流計算

水と空気が入り混じるような気液二相流の計算では、気液界面に高い解像度が必要であり、計算領域全体に均一格子を適用する計算は非常に効率が悪い。気液界面は2~3格子幅で表現されることが多く、界面に適合する直交格子ベースの格子細分化である AMR (Adaptive Mesh Refinement) 法が有効である。非圧縮性の気液二相流を半陰解法で解くと大規模疎行列計算が必要となり、AMR 法のような不規則に補間処理を含んだ行列の反復計算は収束性が低下するだけでなく、毎ステップの係数行列生成も大きな計算負荷となる。そこで、弱圧縮性流体解法による気液二相流計算に AMR 法を適用した。完全陽解法であるため行列の反復計算が不要となり、隣接格子との間にレベル差がある場合も容易に補間が行える。流速および圧力は格子のノード点で定義することにより AMR 法の適用を容易にし、保存性が求められる密度 (VOF 値) だけセル・センターで定義して計算する。Octree ベース (2次元の場合は Quadtree ベース) の再帰的な格子細分化を行い、GPU 計算を前提として末端のリーフは  $8 \times 8 \times 8$  格子以上の大きなパッチを当てる。気液界面を含むリーフは最細レベルとし、界面からの距離 (レベルセット関数) に応じて細分化レベルを決めている。図は水がスプーンに当たり安定な液膜が形成され、その後に不安定になる過程の2次元計算である。また、下図にシャボン玉の膨張過程のスナップ・ショットを示す。どちらの計算も液膜の存在する領域は限られていて、計算領域の全域を均一格子で計算する場合に対して1/100以下の格子点数で計算が可能である。



液膜形成過程の2次元 AMR 二相流シミュレーション

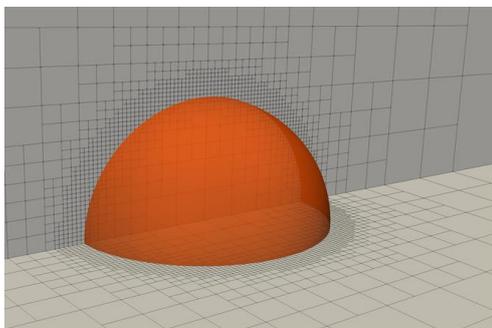


シャボン玉の膨張計算

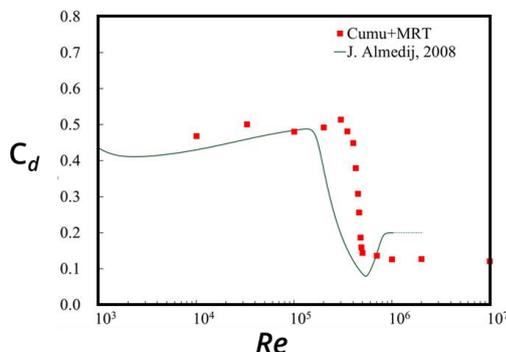
### Octree 細分化格子による LBM を用いた自転車競技の空力計算

自転車レースは複数台の自転車が相互に影響し合い、その位置取りが極めて重要となる。車両単体の空力解析を組み合わせるのではなく、集団の自転車を解析し、競技者にとって有利な条件を見出す点ためのコード開発を行った。Octree ベースの AMR 法を用いて物体壁近傍は Cumulant 型格子ボルツマン法 (LBM)、それ以外の領域は MRT (Multiple-Relaxation-Time) による大規模な LES (ラージエディ・シミュレーション) 計算コードを TSUBAME3.0 で走らせた。複数 GPU を用いるための領域分割には、ヒルベルト曲線とアコーディオン曲線を組み合わせた Forest-of-Octree 構造に基づいた空間充填曲線の等線分割法を用いた。

検証として球を過ぎる高速な流れにおけるレイノルズ数 10 万~100 万の付近で生じる急激な抗力低下 (ドラッグ・クライシス) の再現を試みた。左図のように細かい格子を物体近傍に配置し、右図のようにレイノルズ数 50 万近傍でドラッグ・クライシスを確認することができた。



球の表面近傍に最細格子の適合



レイノルズ数に対する球周りの抗力係数の変化

次に、6 人の競技選手が縦に並んだトレイン編成を対象に、自転車の集団走行の計算を TSUBAME3.0 で実施した。計算結果からは、よく知られている通り先頭の選手にかかる抗力は他の選手の 2 倍程度であり、風除けの役割を果たしている。最後尾の選手の抗力は中間の選手に比べて僅かに高く、集団の後方に発生する渦の負圧による影響を受けていることも分かる。

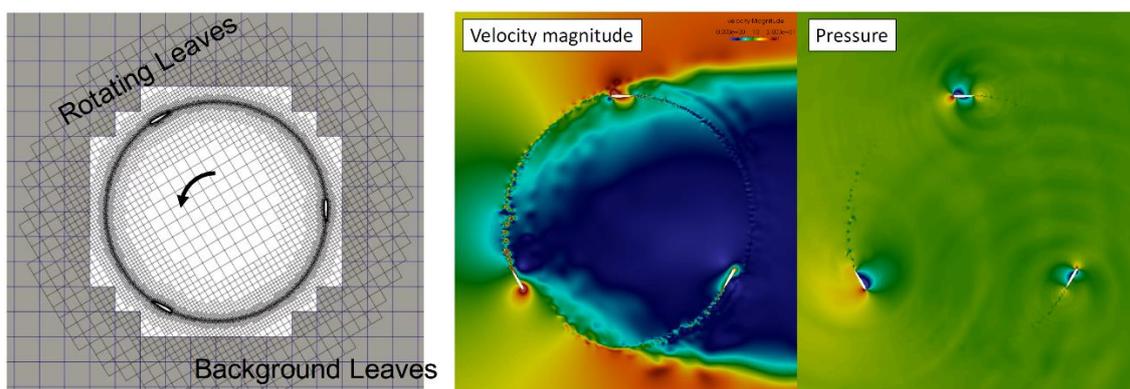


自転車 6 台直列走行時の乱れの速度プロファイル

### AMR 重合格子による垂直軸型風車の流体解析

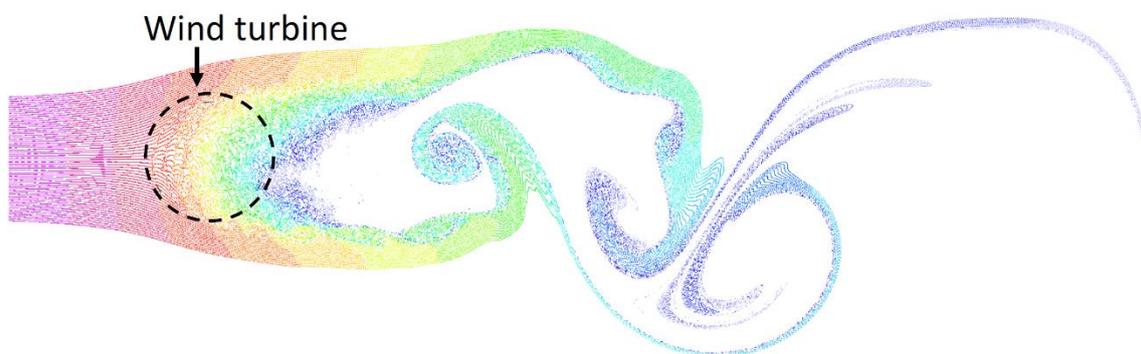
垂直軸型風車は風向によらず発電が可能であり、倒壊の恐れが殆どなく雑音も少ないなどのメリットがあるが、流体力学的に不明な点も多い。また、風車を設置したことにより風

の上流および下流の広い範囲に影響が出るため、流体解析には大きな計算領域が必要になる。直径 15m の垂直軸型風車に対し、翼表面では 1mm 格子を用い、900m×900m の計算領域を設定した。翼の回転に合わせた回転座標系を導入すれば、翼は静止して扱うことができる。風車から遠方の領域には静止座標系を配置し、両者を重合させることで空間的に連続に流体解析を行う。両計算格子とも適合細分化格子（静的 AMR 法）を用い、効率的な GPU 計算の実装を行った。非圧縮性流体近似が成り立つ範囲であるが、低マッハ数流れとして弱圧縮性流体計算手法を用いた。LES モデルとしては、コヒーレント構造スマゴリンスキー・モデルを導入している。



2つの AMR 格子の重合格子

垂直軸風車回りの流速分布と圧力分布



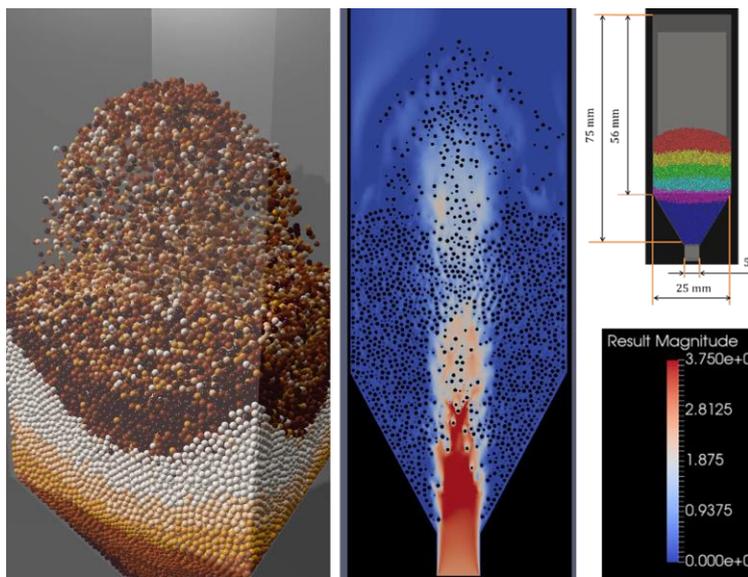
Passive Scalar 粒子による流れの可視化

NACA0012 の 3 枚翼の場合、発電性能は周速比が 4 の近傍でパワー係数  $C_p$  が 0.4 程度という結果が得られている。

### 固気噴流層の大規模シミュレーション

化学工学プラントなどで良く使われる固気混相流の流動層に対し、固体と流体の相互作用を直接計算する大規模シミュレーションを行った。固体間の相互作用計算には個別要素法、流体計算は格子ボルツマン法を用いている。下部が滑らかに絞られた矩形容器に直径が 0.5 mm の球形粒子を 81,920 個充填し、絞られた部分から空気を流入させ、噴流により粒子群を流動化させている。容器の幅は 25 mm, 流入口の幅は 5 mm とし、空気の流入速度は 1.5

m/s と設定している。固体粒子の密度は  $100 \text{ kg/m}^3$  である。格子ボルツマン法の計算には  $512 \times 512 \times 1,680$  格子を用い、TSUBAME2.5 の 48 個の GPU を用いて計算を実行した。噴流層では、高レイノルズ数の流れ場となるため、精度の高い Interpolated Bounce-back に基づく移動境界条件と LES 乱流モデルを導入している。左図は噴流層全体のスナップ・ショットで、全粒子を可視化したものである。初期配置に



固気直接相互作用に基づいた噴流シミュレーション

応じて下にある粒子ほど黒く、上にある粒子ほど白く色付けしている。噴流により初期に下の方にあった黒色の粒子が噴水のように吹き上げられているのが確認できる。右図は計算領域の中央でスライスした平面における流速分布である。空気が矩形容器の中央付近を流れ、固体粒子を拭き上げていることが分かる。

#### 【査読付き学術論文】

- 1) E. Miyoshi, T. Takaki, M. Ohno, Y. Shibuta, S. Sakane, T. Shimokawabe, T. Aoki: Ultra-large-scale phase-field simulation study of ideal grain growth, npj Computational Materials, Vol.3(2017), No.25, P 1-6, July, 2017
- 2) S. Sakane, T. Takaki, R. Rojas, M. Ohno, Y. Shibuta, T. Shimokawabe, T. Aoki: Multi-GPUs parallel computation of dendrite growth in forced convection using the phase-field-lattice Boltzmann model, Journal of Crystal Growth, Vol.474(2017), P 154-159, September, 2017
- 3) T. Takaki, R. Rojas, S. Sakane, M. Ohno, Y. Shibuta, T. Shimokawabe, T. Aoki: Phase-field-lattice Boltzmann studies for dendritic growth with natural convection, Journal of Crystal Growth, Vol.474(2017), P 146-153, September, 2017
- 4) S. Sakane, T. Takaki, M. Ohno, Y. Shibuta, T. Shimokawabe, T. Aoki: Three-dimensional morphologies of inclined equiaxed dendrites growing under forced convection by phase-field-lattice Boltzmann method, Journal of Crystal
- 5) Michel Muller, Takayuki Aoki: New High Performance GPGPU Code Transformation Framework Applied to Large Production Weather Prediction Code, ACM Transactions on Parallel Computing, February 14, 2018

- 6) 松下真太郎: 木構造に基づいた AMR 法を用いた流束項付き保存形フェーズフィールド方程式のマルチモーメント法による解法, 日本計算工学会論文集 No.20180005, 2018 年 3 月 27 日

#### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Un-Hong Wong, Takayuki Aoki, Takahiro Sugiyama: Large-scale Debris-blastwave Interaction Simulation using GPU supercomputer, COUPLED PROBLEMS 2017, Rhodes Island, Greece, June 12, 2017
- 2) Seiya Watanabe, Takayuki Aoki, Yuta Hasegawa: A large-scale LBM-DEM simulation based on direct calculation of fluid-solid interactions using multiple GPUs, COUPLED PROBLEMS 2017, Rhodes Island, Greece, June 12, 2017
- 3) Yuta Hasegawa, Takayuki Aoki: Lattice Boltzmann Simulations Coupled with Octree-based Locally-refined Mesh using Space-filling Curves, COUPLED PROBLEMS 2017, Rhodes Island, Greece, June 12, 2017
- 4) Shintaro Matsushita, Takayuki Aoki: A two-phase flow simulation based on weakly compressible flow scheme coupled with conservative phase-field method, COUPLED PROBLEMS 2017, Rhodes Island, Greece, June 12, 2017
- 5) Michel Muller: Hybrid Fortran: High Productivity GPU Porting Framework Applied to Japanese Weather Prediction Model, WACCPD 2017, Denver, USA, November 13, 2017

#### 【査読なしポスター発表】

- 1) 渡辺勢也, 青木尊之, 長谷川雄太, 松下真太郎: 自由界面流れと固体粒子の連成シミュレーション, 混相流シンポジウム 2017, 東京, 2017 年 8 月 19 日

#### 【査読なし国際会議発表】

- 1) Seiya Watanabe, Takayuki Aoki, Yuta Hasegawa: Large-Scale Simulations For Multiphase Flows By Coupled LBM-DEM Using Multiple GPUs, DSFD2017, Erlangen, Germany, July 11, 2017
- 2) Seiya Watanabe, Takayuki Aoki, Yuta Hasegawa: Large-scale Simulations for Fluid-particle Systems Using Coupled LBM-DEM on a GPU Supercomputer, PARTICLES2017, Hannover, Germany, September 27, 2017
- 3) M. Gestrich, S. Adami, T. Aoki and T. Indinger: Towards large-scale parallel GPU-accelerated SPH for FSI problems, PARTICLES2017, Hannover, Germany, September 27, 2017
- 4) Takayuki Aoki: Large-Scale Applications for Real-World Problems Solving Partial Differential Equations on Heterogeneous GPU Machines, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), Tokyo, March 7, 2018
- 5) Yuta Hasegawa, Takayuki Aoki: An Octree-Based AMR Lattice Boltzmann Method for Multi-GPU Aerodynamics Simulations, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), Tokyo, March 8, 2018

- 6) Michael Lahnert, Takayuki Aoki, Malte Brunn, Carsten Burstedde, Steffen Hirschmann, Dirk Pflüger, Miriam Mehl: Extending Existing Simulation Software Packages with Spatial Adaptivity in a Minimal-Invasive Way, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), Tokyo, March 8, 2018
- 7) Takashi Shimokawabe, Takayuki Aoki, Naoyuki Onodera: An AMR Framework for Realizing Effective High-Resolution Simulations on Multiple GPUs, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), Tokyo, March 9, 2018
- 8) Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Shinji Sakane, Takashi Shimokawabe, Takayuki Aoki: Parallel GPU Phase-Field Simulations of Dendrite Competitive Growth, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), Tokyo, March 10, 2018

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 渡辺勢也、青木尊之、長谷川雄太: 非球形粒子を含む流動層の大規模直接シミュレーション, 粉体工学会 2017 年春季研究発表会, 東京, 2017 年 5 月 16 日
- 2) 岩崎颯、青木尊之、渡辺勢也、長谷川雄太: 格子ボルツマン法を用いたイルカのフリースイミングの数値解析, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日
- 3) 高木知弘、坂根慎治、大野宗一、澁田靖、下川辺隆、青木尊之: 自然対流を伴う二元合金一方向凝固の phase-field シミュレーション, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日
- 4) 三好英輔、高木知弘、大野宗一、澁田靖、坂根慎治、下川辺隆史、青木尊之: 大規模 3D multi-phase-field 計算に基づく 2D 断面上の粒成長挙動評価, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日
- 5) 渡辺勢也、青木尊之、長谷川雄太: 流体-粒子間相互作用の直接計算に基づく非球形粒子を含む流動層シミュレーション, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 6 月 2 日
- 6) 長谷川雄太、青木尊之: 適合細分化格子を用いた格子ボルツマン法の複数 GPU による大規模計算, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 6 月 2 日
- 7) 松下真太郎、青木尊之: 複数 GPU を用いた完全陽解法による気液二相流計算, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 6 月 2 日
- 8) 下川辺隆史、青木尊之、小野寺直幸: 高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの開発, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 6 月 2 日
- 9) Un-Hong Wong, Takayuki Aoki, Akihiro Sugiyama: A Large-scale Simulation for Blastwave-debris Interaction using a GPU Supercomputer, JSCES2017, Omiya, June 2, 2017
- 10) Michael Gestrich, Stefan Adami, Takayuki Aoki, Thomas Indinger: Towards large-scale parallel GPU-accelerated SPH for FSI problems, JSCES2017, Omiya, June 2, 2017
- 11) Marlon Arce Acuna, Takayuki Aoki, Akihiro Sugiyama: Large-scale Mesh-Refined Multi-GPU Accelerated Tsunami Simulation on a Real Indian Ocean Scenario, JSCES2017, Omiya, June 2, 2017

- 12) 青木尊之: 適合細分化格子を用いた格子ボルツマン法による非球形固体粒子との直接相互作用計算に基づいた大規模混相流シミュレーション, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第9回 シンポジウム, 東京, 2017年7月14日
- 13) 渡辺勢也, 青木尊之, 長谷川雄太, 松下真太郎: 自由界面流れと固体粒子の連成シミュレーション, 混相流シンポジウム 2017, 東京, 2017年8月21日
- 14) 松下真太郎, 青木尊之: 弱圧縮性流体解析手法に基づく完全陽解法による気液二相流のGPU計算, 混相流シンポジウム 2017, 東京, 2017年8月21日
- 15) 杉原健太, 青木尊之: 重合格子法を用いた垂直軸型風車周り流れの GPU シミュレーション, 第30回 計算力学講演会, 大阪, 2017年9月17日
- 16) 渡辺勢也, 青木尊之, 長谷川雄太, 松下真太郎: Phase-field 法による界面捕獲手法を用いた自由界面流れと固体粒子の連成解析, 第30回 計算力学講演会, 大阪, 2017年9月17日
- 17) 松下真太郎, 青木尊之: 弱圧縮性近似による気液二相流の直交格子ベース陽解法, 第30回 計算力学講演会, 大阪, 2017年9月17日
- 18) 高木知弘, 大野宗一, 澁田靖, 坂根慎治, 三好英輔, 下川辺隆史, 青木尊之: 大規模 phase-field シミュレーションの現状, 第30回 計算力学講演会, 大阪, 2017年9月17日
- 19) 岩崎颯, 青木尊之, 渡辺勢也, 長谷川雄太: 格子ボルツマン法によるイルカのフリースイミングのシミュレーション, 第30回 計算力学講演会, 大阪, 2017年9月17日
- 20) 長谷川雄太, 青木尊之: 適合格子細分化法を導入した格子ボルツマン法の複数 GPU 計算による非圧縮流れの空力解, 第30回 計算力学講演会, 大阪, 2017年9月17日
- 21) 青木尊之: 大規模物理シミュレーションのレイトレーシング可視化, 「新生」第11回金沢コンピュータグラフィックス談話会, 金沢, 2017年12月9日
- 22) 黄遠雄, 青木尊之, 松下真太郎: 保存形フェースフィールド方程式による AMR 法を用いた界面移流計算の動的メモリ管理による GPU 実装, 第31回 数値流体力学シンポジウム (CFD2017), 京都, 2017年12月12日
- 23) 長谷川雄太, 青木尊之: 適合格子細分化法を導入した格子ボルツマン法による複雑形状物体周りの流れの複数 GPU 計算, 第31回 数値流体力学シンポジウム (CFD2017), 京都, 2017年12月12日
- 24) 坂根慎治, 高木知弘, 大野宗一, 澁田靖, 下川辺隆史, 青木尊之: デンドライトの成長と運動の大規模 phase-field シミュレーション, 第31回 数値流体力学シンポジウム (CFD2017), 京都, 2017年12月12日
- 25) 松下真太郎, 青木尊之: 界面に適合する AMR 法を用いた気液二相流の完全陽解法計算, 第31回 数値流体力学シンポジウム (CFD2017), 京都, 2017年12月12日
- 26) 渡辺勢也, 青木尊之, 長谷川雄太: 格子ボルツマン法を用いた浮遊物体を含む自由界面流れのシミュレーション, 第31回数値流体力学シンポジウム(CFD2017), 京都, 2017年12月13日

- 27) 青木尊之: スパコンによるリアルワールドの流れの再現, 国立大学共同利用・共同研究拠点協議会 第71回 知の拠点セミナー, 東京, 2018年2月16日

#### 【解説】

- 1) 青木尊之: GPUによる粉体・混相流の大規模シミュレーション, 化学工学 特集「大規模流動解析 on HPC」, Vol.81, No.5, 2017, P232-235, 2017年5月5日
- 2) 肖鋒, 青木尊之: 流体シミュレーションのコツ, 応用物理, Vol.86, No.10, 2017, P904-909, 2017年10月10日

#### 【招待講演】

- 1) Takayuki Aoki: Green Supercomputer TSUBAME and Large-scale Applications on Computational Fluid Dynamics, ASPIRE FORUM 2017, Singapore, July 13, 2017
- 2) 青木尊之: GPUスパコンによる粉体・混相流の大規模シミュレーション, 第1回 計算粉体力学研究会, 京都, 2017年7月25日
- 3) 青木尊之: 空間充填曲線を用いた動的負荷分散による大規模粒子法シミュレーション, フォーラム「粒子法による流体シミュレーションの並列化技術」, 福岡, 2017年8月21日
- 4) Takayuki Aoki: Large-scale Multiphase Flow Simulations on a GPU Supercomputer, The 24th National Computational Fluid Dynamics Conference, Hsinchu, Taiwan, August 31, 2017
- 5) 青木尊之: GPUスパコンによる高レイノルズ数の気液・固液二相流の大規模シミュレーション, 第12回 名工大・核融合研 共同セミナー, 名古屋, 2017年9月11日
- 6) 青木尊之: GPUスパコンによる大規模・気液二相流・流動層シミュレーション, 第9回ホットな話題の講習会, 東京, 2017年10月2日
- 7) Takayuki Aoki: Large-scale gas-liquid/gas-solid two-phase flow simulations on a GPU supercomputer, ITCPS2017, Tokyo, October 4, 2017
- 8) 青木尊之: GPUスパコンとGPU計算による格子法・粒子法の大規模アプリケーション, 核融合研数値実験炉プロジェクト全体会合, 岐阜, 2018年1月10日

## 教授 松岡 聡 (高性能計算システム分野)

### 【研究の概要と成果】

#### EBD : 次世代の年ヨッタバイト処理に向けたエクストリームビッグデータの基盤技術

将来 Zeta( $10^{21}$ )Byte/日(あるいは Yotta( $10^{24}$ )Byte/年)という、今の Google/Amazon の個々の IDC に代表される 10 万ノード級のクラウドのデータ処理能力の、最大で 10 万倍に至る処理能力を達成するための EBD(Extreme Big Data)システム基礎技術の確立を達成することを目標とし、そのためにスーパーコンピューティング技術、特にメニーコア超並列処理と広帯域低遅延ネットワーク技術・不揮発性メモリ技術・及び高性能データベース技術の要素技術、および、それらの融合に関する研究開発を進めている。本年度は、アプリケーションを担当する複数の共同研究グループとのコ・デザインによるシステムソフトウェアの開発を加速し、ビッグデータと HPC 技術の統合を実現するためのアプリケーション・システムソフトウェアの具体化を行った。

近年のスーパーコンピュータには、GPU メモリ・メインメモリ・ローカルストレージ・外部ファイルシステムといった深いメモリ階層を持つことが多く、それらをミドルウェアの補助なく効率的に利用することは困難である。他方、近年のアプリケーションで用いられるデータは拡大の一途をたどっており、GPU およびメインメモリに収まらなくなっている。他方で、TSUBAME2.5 や 3.0、ABCI など、近年の EBD 実行環境には不揮発性メモリ(NVM)がローカルストレージとして備えられている。GPU を含むアクセラレータを利用するアプリケーションでは NVM を利用する際にメモリ階層間のデータの移動を明示的に記述する必要があり、アプリケーションを NVM 対応とするためにはコードの大規模な書き換えが必要となる。そこで、GPGPU アプリケーションで一貫性を保ったままメモリ-ローカルストレージ間のデータ移動を透過的に行うためのフレームワークである

DRAGON を開発した。DRAGON では近年の NVIDIA GPU に備わっている CUDA Unified Memory のためのページフォールトの機構を活用し、NVM へのアクセスを動的に最適化することで、アプリケーション性能の向上を図っている。NVIDIA Tesla P100 および 2.4TB Micron 9100 NVMe を用いた評価実験において、HPC ベンチマークおよび機械学習アプリケーションで通常の Unified Memory のみを使った実行と比較して最大 2.3 倍の性能向上を達成した。

CUDA を用いて記述する GPU 向けアプリケーションのチューニング手法として、ストリックアレイアーキテクチャに着想を得たレジスタファイルを利用したキャッシュの高精度制御があり、旧来の HPC アプリケーションの最適化手法のひとつとして利用されてきた。我々は、深層学習アプリケーションの畳み込みカーネルの実装にこの最適化を適用し、最新の NVIDIA P100 および V100 を用いたベンチマークで、NVIDIA の NPP と比較してそれぞれ 1.9 倍、5.2 倍の高速化を達成した。

機械学習などのビッグデータアプリケーションでは、演算・通信時の浮動小数点数の精

度を変化させることによる高速化手法が頻繁に用いられているが、これを従来の HPC アプリケーションである解適合格子法(Adaptive Mesh Refinement, AMR)への適用について考察した。AMR では、対象領域の複雑度に応じて計算時の格子サイズを動的に変化させてシミュレーションを行うが、その際に浮動小数点数の精度も同時に変化させることで、局所最適に陥りやすい高解像度の領域でのみ高精度演算を行うことで、演算の削減と局所最適解の回避が両立できることを示せた。このように EBD および従来の HPC アプリケーションの最適化手法を相互に還元させあうことで、両者の共生を推し進めたい。

EBD アプリケーションのコーディングの容易化のために、OpenACC を用いた複数 GPU による並列化を可能とする自動コード変換器を実装した。OpenACC は指示文ベースで GPU を含むアクセラレータプログラミングを容易に行えるという利点があるが、複数の GPU を利用する場合には、OpenACC の枠外で GPU デバイスを意識した切り替えコードを記述する必要が出てくる。このためアプリケーションの記述性と移植性を犠牲にしなければ複数 GPU 対応ができない。この記述を自動コード変換に任せることで、記述の容易性・移植性と性能を両立させることができるようになった。

また、同様に性能のために記述性を犠牲にする傾向にあるステンシル計算アプリケーションの時間方向タイリングについて、同じく指示文ベースで行う研究を開始した。

昨年度までに GPU を対象とした疎行列・疎行列積計算の高速化を行ってきたが、今年度は Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL)と共同でそれをメニーコアプロセッサである Intel Xeon Phi に拡張し、Intel MKL と比較して大幅な高速化を達成した。また、新たに並列疑似乱数生成器 MRG8 を GPU および Intel Xeon Phi 向けに実装・高速化を行った。EBD アプリケーションでは、モンテ・カルロ法や機械学習などにおいて、複数の独立した乱数列を高速に得ることが高速化のために重要であり、またその乱数列に再現性があることが研究開発上望ましい。GPU における多数のスレッドの協調動作や Intel Xeon Phi の 512bit 幅レジスタといった各アーキテクチャの機構を最大限活用することにより、cuRAND の 3.36 倍、Intel MKL の 1.69 倍のスループットを達成した。

新たな EBD の実行環境として FPGA の活用にも取り組んでいる。OpenACC やソースコード変換器を活用してさまざまなアプリケーションカーネルの最適化を行った[6,8,9]。加えて、FPGA では従来の CPU やアクセラレータとは異なり演算器を回路合成するため、IEEE 754 形式にとらわれることなく、POSIT などの新しい浮動小数点数形式の演算も IEEE 754 と同等レベルの最適化を施した形で実装することができ、従来の演算にとらわれない新たな高速アルゴリズムを作成できる余地がある。加えて、2D/3D ステンシル計算の OpenCL を用いた FPGA 実装について、設計パラメータと合成後の回路の性能についてのモデリングを行い、全設計パターンで時間のかかる回路合成をおこなわずとも、最適な設計パラメータを選択できる機構の開発を行った。Intel Arria 10 GX 1150 において、2D で 700GFlops, 3D で 270GFlops の性能を達成した。これは GPU などの既存デバイスと同等もしくはそれを凌駕するものである。

EBD アプリケーションの一つである深層学習アプリケーションについて、さらなる高並列化を行うために、耐故障性の向上に関する研究を行った。従来の Checkpoint/Restart に頼る手法では、1 か所の故障によって計算全体が停止し、演算を巻き戻す必要が発生するために高並列・高分散環境に適合しない。そこで、ULFM と呼ばれる MPI の耐故障拡張を利用することにより、故障プロセスを MPI コミュニケータから動的に取り除くことによって全体の停止を伴わずに耐故障性を獲得することに成功した。16 ノード 128GPU を用いた実験において、提案手法では 1 ノードの減少にも関わらず、Checkpoint/Restart 方式と比較して短い時間で特定のエラー率を達成することが確認できた。

EBD をはじめとする高並列・高分散環境でのメモリ故障のふるまいについて、詳細に解析を行うには、ハードウェア構造を考慮した Row-Hammer などの故障シナリオを設計し、それを何らかの形で再現する必要があるが、実機でメモリ故障を再現することは困難である。本研究では、現実的な故障を注入し、詳細解析を行うためのプラットフォームの確立を目標とし、故障注入器 MH-QEMU を作成する。MH-QEMU は仮想マシンエミュレータ QEMU を拡張し作成する。MH-QEMU では、メモリデバイスの故障を対象とし、シングルビットフリップやメモリアクセスパターン依存故障を注入する機能と、破壊されたデータを特定する機能が実装される。さらに、MH-QEMU のオーバーヘッドを測定したところ、MFM ではオーバーヘッドが最悪でも 10% になり、MH では最良の場合でも実行時間は 77 倍となった。また、MH-QEMU による NAS Parallel Benchmarks の CG カーネルに対する耐故障性評価を行い、Row-Hammer により SDC (Silence Data Corruption) が発生しやすいメモリ領域を確認した。

EBD オブジェクトの表現モデルとして、昨年度に引き続きグラフを使用した高速処理系を設計している。今年度は、動的に変化する大規模なグラフをリアルタイムに解析するための、インクリメンタルなグラフアルゴリズムを提案し、実際の時系列データを使用して研究を行った。

ソーシャルネットワーク上の友人関係や銀行口座同士の取引関係など実社会の大規模グラフにおいては、その構造およびプロパティが時々刻々と変化する。このようなグラフにコミュニティ検出やパターンマッチングなどのグラフアルゴリズムをそのまま適用させようとする、アルゴリズムの高い計算量のためにリアルタイムな解析が非現実的となる。本研究では、より計算量の小さい近似アルゴリズムに、さらに微小時間におけるグラフの変化分が伝搬する頂点のみを再計算するインクリメンタル処理のための機能を拡張することで、グラフパターンマッチングの高速化を行った。近似計算により、存在する全てのグラフパターンが必ずしも検出できない場合があるが、再計算する頂点の範囲を強化学習によって自動的に調整する機構を追加することで、実行時間と出力結果のバランスを取り、制限時間内に検出できるパターンの数が最大になるように最適化した。

1 つの並列計算機上で複数のジョブを同時に実行する際には、ジョブ間の干渉により性能が変化することが一般に知られている。ジョブの干渉には 2 パターンあり、(1) 計算ノー

ド内の干渉、(2)ネットワーク上での干渉 に大別できる。ノード内で複数のジョブを実行する際に、直観的には各ジョブの干渉を防ぐために別々の CPU コアを割り当てることを考えるが、旧来の HPC アプリケーションおよび EBD アプリケーションを同一ノード上で CPU コアを共有する設定で実行した際の性能を測定したところ、メモリインテンシブなアプリケーションにおいて CPU コアを共有するノードパッキングが性能向上をもたらすことや、ビッグデータジョブの性能は従来の HPC ワークロードの有無に影響を受けないことなどが判明した。(図 A-1)

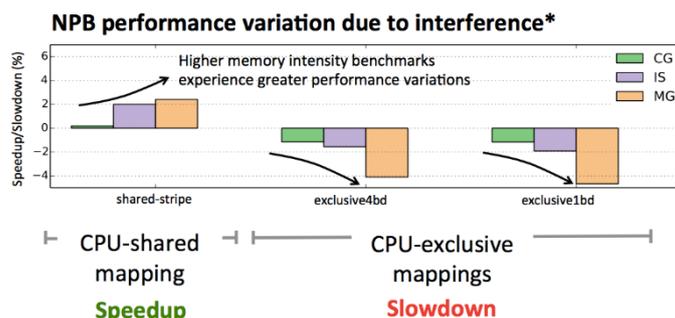


図 1. NAS Parallel Benchmarks の干渉による性能変化

ネットワークの干渉について MPI のトラフィックと並列ファイルシステムへの I/O トラフィックの干渉をシミュレータ上で確認したところ、I/O トラフィックによって MPI のトラフィックが大きく性能低下することが分かった。これらの知見をもとに、EBD アプリケーションのスパコン内でのコロケーションについてさらなる研究をすすめる予定である。

EBD アプリケーションの実行環境として、クラウド環境を用いる場合、スパコン環境と比べてネットワーク等の面で性能が劣り、かつ実行タイミングによってばらつくため、並列化したアプリケーションの性能の大幅な低下が見込まれるが、その程度に関する研究は従来のクラウド環境で旧来の HPC アプリケーションのカーネルベンチマークを行うようなものしかなく、ビッグデータアプリケーションを近年の高性能計算向けインスタンスで動かすなどの、最新のワークロードに追従できていなかった。そこで、「Big Data Ogres」と呼ばれるビッグデータアプリケーションベンチマークと、旧来の HPC アプリケーションについてスパコンおよび最新の Amazon EC2 C4 インスタンスを含むクラウド環境上で性能比較を行い、C4 インスタンスでは性能のぶれが十分に少なく、EBD アプリケーションの実行環境として十分に利用しうることを示した。

## 社会インフラ映像処理のための高速・省資源深層学習アルゴリズム基盤

安全・安心なスマート社会の実現のために、映像処理の果たす役割は大きい。例えば、高度交通システムにおけるドライブレコーダー映像や、スマートシティのためのセキュリティシステムにおける監視カメラ映像の活用が不可欠である。近年、深層学習による画像処理が従来手法を凌駕する性能を発揮し、盛んに研究されている。その研究対象は、主に比較的小さいサイズの画像における代表的な物体の同定である。一方、ドライブレコーダーや監視

カメラの映像から検出したい対象は、画面の片隅に写っている小さな物体や、遠くの人物の些細な動きである。現状の技術ではこれらを高速かつ高精度に検出することは難しい。さらに、環境変化や技術革新などの要因から、検出対象は時々刻々と変化していく。その変化に速やかに対応できる学習システムが要求されている。

深層学習のアルゴリズムを、スーパーコンピュータをはじめとする高並列環境で効率的に実行するために、学習・分類アルゴリズムの性能モデルを作成し、そのボトルネック抽出した。これらを起点に、高並列環境に向けた通信量削減および、広域での資源スケジューリングを通じたスパコン内での学習処理の全体最適化を行うことにより高並列環境における深層学習の高速化に必要なコンポーネントの開発を行った。

深層学習アルゴリズムの GPU 実装において頻出する畳み込み演算ライブラリとして、NVIDIA の cuDNN が広く用いられている。cuDNN では畳み込み演算カーネルについて、速度やメモリ要求量の特性が異なる複数の実装を内包しており、ユーザが各レイヤーの畳み込み演算を行う関数呼び出しの際に、そのレイヤーのサイズ等をもとに自動的に最適なアルゴリズムを選択するように設計されている。しかしながら、巨大なレイヤーにおける演算ではメモリが不足し、低速なアルゴリズムを選択することを強いられることになる。そこで我々は、cuDNN における各アルゴリズムの実装について、入力行列のサイズに対して実行時間および必要メモリサイズがどのように変化するかを示すモデル式を様々な入力サイズにおけるベンチマーク実行結果から推定することにより構築した。巨大な行列に対して畳み込み演算を行う際には、行列を分割して各部分に対して別のアルゴリズムを適用して処理することが可能であり、分割実行することにより全体を単一のアルゴリズムで実行するよりも、限られたメモリ容量の中で高速に畳み込み演算が実行できる。分割実行機構の実装として cuDNN の等価的なラッパーライブラリである  $\mu$ -cuDNN を開発した。 $\mu$ -cuDNN では、メモリ量制約を満たしながら最短の時間で畳み込み計算が行われるよう問題を分割しアルゴリズムを選択する。これにより、Caffe 上に実装した AlexNet で 1.63 倍、ResNet-18 で 1.21 倍の高速化を達成した。本研究の成果は 29 年度に口頭発表(成果情報収集シート(4-3)②-9))を行い、30 年度に ArXiv に投稿した。(https://arxiv.org/abs/1804.04806) また、IEEE Cluster 2018 に投稿予定である。

並列化深層学習アプリケーションにおける通信最適化において、データ転送量を削減するために低精度浮動小数点数の積極的な活用が必要である。その一方で、それによって学習後のネットワークの精度が低下することは避けねばならない。昨年度は浮動小数点数の指数部と仮数部のバランスをとりつつ、8bit で通信データを表現する方式を実装したが、今年度はそれを発展させて、学習フェーズにおける通信時の浮動小数点数の精度を動的に選択する手法 AdaPrec(図 X)を開発した。一般に学習の初期と終期において通信精度を含む最適な学習パラメータは異なってくるところ、AdaPrec では定期的に複数の異なる精度での通信アルゴリズムによる学習を  $N_{\text{SpecStep}}$  ステップ分投機的に実行し(図中 1)、その演算速度および学習コストの変化から  $N_{\text{TrainStep}}$  ステップ実行後の精度を予測(図中 2)、最良となる

アルゴリズムを選択して実行(図中 3)を繰り返すことで、学習の各フェーズにおける通信アルゴリズムを常に最適に保つ。これにより複数 GPU における CaffeNet および GoogLeNet の学習において、精度の低下なく高速なアルゴリズム選択に成功した。本研究を発展させた成果は 30 年度以降に投稿予定である。

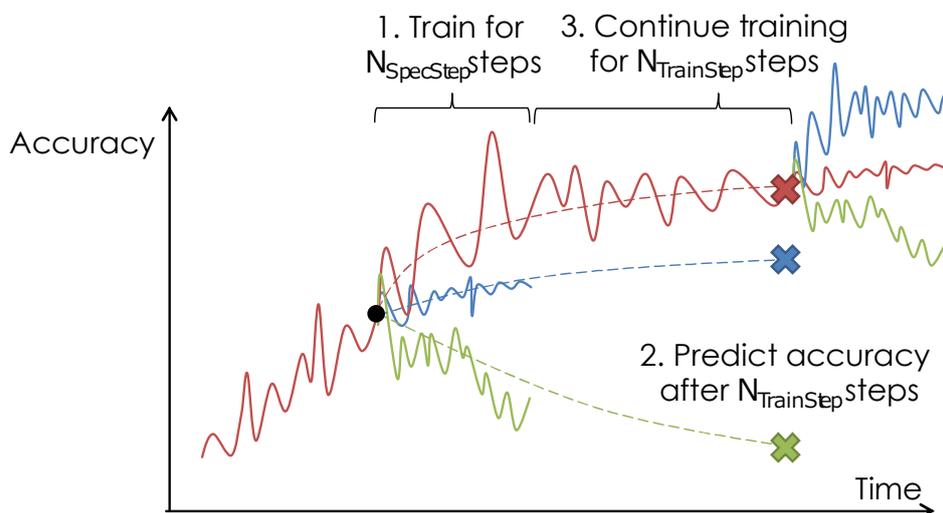


図 3: AdaPrec の動作イメージ

確率的勾配降下法(SGD)の並列化時に、各ノードにおける差分の計算と集約を非同期的に行う場合、非同期化することによる通信時間の隠蔽というメリットに対して、差分計算時に用いるパラメータが数ステップ前の古いデータとなり、収束速度を悪化させるという問題(staleness)が発生する。そこで、Nesterov Accelerated Gradient (NAG)法を、このような遅れのあるパラメータ更新に拡張し、微分計算を行う際に用いるパラメータを、計算結果を反映する時点でのパラメータに近づけることにより、パラメータ差異に起因する収束速度悪化を抑制する手法を開発した。これにより、256GPU を用いた ImageNet の学習にかかる時間を 1.9 倍高速化することができた。なお、近年では同期型の集約処理による待ち時間の損失よりも非同期型処理における先述の staleness の影響が大きいことが明らかになり、同期型の研究が世界的にも優勢となっているため、同期型処理を中心に研究を発展させる予定である。

また、機械学習のジョブスケジューリングへの応用として、TSUBAME2.5 のバッチジョブスケジューラのログを用いて、ジョブの実際の実行時間を推定する手法の開発を行った。スーパーコンピュータにおけるバッチジョブのスケジューリングでは、ユーザにそれぞれのジョブの最大実行時間をあらかじめ宣言させ、各ジョブが宣言通りの実行時間で終了することを前提にジョブの実行順を決定する。しかしながら、大抵のジョブはユーザの宣言よりも早期に終了するため、実際の実行時間をもとにオフラインで最適なスケジュールを決定する場合に比べ、実際のオンラインでのスケジュールでは並列ジョブの実行開始

に必要なノードが揃うまでの待ち時間などの無駄が発生しやすい。そこで、ジョブの属性情報および実行中の計算機の状態(プロセッサ・メモリ利用率や各種温度センサーなど)に関する情報をもとに、ジョブの実際の実行時間の予測を行い、92%の F 値でジョブが指定時間未満で終了することを予測することに成功した。[13] 本機構を応用して、機械学習のアプリケーションをスーパーコンピュータ内でより効率よく実行し、Time-to-solution を向上させることを目指す。

### **機械学習の処理高速化に関する研究**

本研究は松岡研究室と株式会社デンソーおよび株式会社デンソーアイティラボラトリの間で平成 27 年 10 月から継続的に結ばれている共同研究契約によるものである。今年度は、確率的勾配降下法の並列化実装における新たな更新則として、同期通信と非同期通信の長所を兼ね備える PP-ASGD を提案した。非同期通信によって重みの更新を行う際には勾配計算時点と通信後の適用時点でパラメータが変化する点が問題とされているが、勾配計算時点で適用時のパラメータを予測することで、非同期通信における更新頻度の良さと同期通信における勾配の正確さの両立を達成した。

### **次世代 HPC のソフト・ハードアーキテクチャと適用アプリに関する共同研究**

本研究は松岡研究室と株式会社富士通研究所の間で平成 28 年 10 月から継続的に結ばれている共同研究契約によるものである。本年度は IEEE 754 に代わる浮動小数点数形式である POSIT について、回路規模と演算精度、周波数の関係から利害得失について調査を行った。

### **産総研・東工大 実社会ビッグデータ活用オープンイノベーションラボラトリへの参画**

2017 年 2 月に、東京工業大学と産業技術総合研究所の共同研究拠点として、「産総研・東工大 実社会ビッグデータ活用オープンイノベーションラボラトリ」(RWBC-OIL)が設立された。松岡は RWBC-OIL のラボ長を務めるとともに、本拠点の研究課題のひとつである課題 1 「ビッグデータ処理オープンプラットフォームの確立」において中心的役割を果たしている。RWBC-OIL の研究者と積極的に共同研究を進めることにより、システムソフトウェア・アプリケーション・ライブラリの研究が加速させるとともに、ラボ内の他課題や産業界との協調により新たな利活用先を模索している。

### **【査読付き国際会議・国内学会発表】**

- 1) Shweta Salaria, Kevin Brown, Hideyuki Jitsumoto, Satoshi Matsuoka, "Evaluation of HPC-Big Data Applications Using Cloud Platforms", 1st Workshop on the Integration of Extreme Scale Computing and Big Data Management and Analytics (EBDMA 2017), in conjunction with CCGrid 2017, Madrid, Spain, May, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/CCGRID.2017.143> (採択率不明)

- 2) Zhigeng Xu, James Lin and Satoshi Matsuoka, "Benchmarking Sunway SW26010 Manycore Processor", The Seventh International Workshop on Accelerators and Hybrid Exascale Systems (AsHES), in conjunction with IPDPS 2017, Orlando, Florida USA, May, 2017 (採択率不明)
- 3) Kevin Brown, Tianqi Xu, Keita Iwabuchi, Kento Sato, Adam Moody, Kathryn Mohror, Nikhil Jain, Abhinav Bhatele, Martin Schulz, Roger Pearce, Maya Gokhale and Satoshi Matsuoka, "Accelerating Big Data Infrastructure and Applications (Ongoing collaboration)", The 1st US-Japan Workshop Enabling Global Collaborations in Big Data Research (ICDCS2017 workshop), Atlanta, Georgia, Jun, 2017 (採択率不明)
- 4) Jian Guo, Kun Qian, Björn Schuller, Satoshi Matsuoka, "GPU-based Training of Autoencoders for Bird Sound Data Processing", IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan 2017 (ICCE-TW 2017), Taipei, Taiwan, Jun, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCE-China.2017.7991037> (採択率不明), Best Paper Award Honorable Mention
- 5) Yusuke Nagasaka, Akira Nukada, Satoshi Matsuoka, "High-performance and Memory-saving Sparse General Matrix-Matrix Multiplication for NVIDIA Pascal GPU", The 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP-2017), Bristol, UK, Aug, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICPP.2017.19> (採択率不明)
- 6) James Lin, Zhigeng Xu, Akira Nukada, Naoya Maruyama and Satoshi Matsuoka, "Optimizations of Compute-bound Scientific Kernels on SW26010 Many-core Processor", The 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP-2017), Bristol, UK, Aug, 2017 (採択率不明)
- 7) Artur Podobas, Hamid Reza Zohouri, Naoya Maruyama, Satoshi Matsuoka, "Evaluating High-Level Design Strategies on FPGAs for High-Performance Computing", 27th International Conference on Field-Programmable Logic and Applications (FPL 2017), Ghent, Belgium, Sep, 2017 (採択率不明)
- 8) Shota Kuroda, Toshio Endo, Satoshi Matsuoka, "Applying Temporal Blocking with a Directive-based Approach", The Fourth Workshop on the LLVM Compiler Infrastructure in HPC(LLVM-HPC), in conjunction with SC17, Denver, Nov, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1145/3148173.3148190> (採択率不明)
- 9) Ikuro Sato, Ryo Fujisaki, Yosuke Oyama, Akihiro Nomura, Satoshi Matsuoka, "Asynchronous, Data-Parallel Deep Convolutional Neural Network Training with Linear Prediction Model for Parameter Transition", International Conference on Neural Information Processing 2017 (ICONIP 2017), Guangzhou, China, Nov, 2017, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70096-0\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70096-0_32) (採択率不明)
- 10) Artur Podobas, Satoshi Matsuoka, "Designing and Accelerating Spiking Neural Networks using OpenCL for FPGAs", The 2017 International Conference on Field-Programmable Technology (FPT 2017), Melbourne, Australia, Dec, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1145/3174243.3174248> (採択率不明)
- 11) Hamid Reza Zohouri, Artur Podobas, Naoya Maruyama, Satoshi Matsuoka, "Combined Spatial and Temporal Blocking for High-Performance Stencil Computation on FPGAs Using OpenCL", 26th ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays (FPGA'18), Monterey, CA, USA, Feb, 2018 (採択率不明)

- 12) Jian Guo, Akihiro Nomura, Ryan Barton, Haoyu Zhang and Satoshi Matsuoka, "Machine Learning Predictions for Underestimation of Job Execution Time on HPC System", SupercomputingAsia 2018 (SCA 2018), Sentosa, Singapore, Mar, 2018 (採択率不明)
- 13) Kazuaki Matsumura, Mitsuhisa Sato, Taisuke Boku, Artur Podobas, Satoshi Matsuoka, "MACC : An OpenACC Transpiler for Automatic Multi-GPU Use", SupercomputingAsia 2018 (SCA 2018), Sentosa, Singapore, Mar, 2018 (採択率不明)

#### 【査読付きポスター発表】(採択率)

- 1) Aleksandr Drozd and Satoshi Matsuoka, "Prototype Modular Framework for Deep Learning Performance Testing", xSIG, Tokyo, Apr, 2017 (採択率不明)
- 2) Yosuke Oyama, Akihiro Nomura, Ikuro Sato, Hiroki Nishimura, Yukimasa Tamatsu, Satoshi Matsuoka, "Predicting Probabilistic Parameters of a Large-Scale Asynchronous SGD Deep Learning System", GPU Technology Conference 2017 (GTC 2017), Silicon Valley, USA, May, 2017 (採択率不明)
- 3) Jian Guo, Kun Qian, Björn Schuller, Satoshi Matsuoka, "GPU Processing Accelerates Training Autoencoders for Bird Sounds Data", GPU Technology Conference 2017 (GTC 2017), Silicon Valley, USA, May, 2017 (採択率不明)
- 4) Yusuke Nagasaka, Akira Nukada, Satoshi Matsuoka, "Fast and Memory-saving SpGEMM Algorithm for New Pascal Generation GPU", GPU Technology Conference 2017 (GTC 2017), Silicon Valley, USA, May, 2017 (採択率不明)
- 5) Kevin Brown, Satoshi Matsuoka, "Co-locating Graph Analytics and HPC Applications", 2017 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), Hawaii, USA, Sep, 2017 (採択率不明)
- 6) Tianqi Xu, Kento Sato, Satoshi Matsuoka, "A Simulation-Based Analysis on the Configuration of the Burst Buffer", SC17, Denver, USA, Nov, 2017 (採択率不明)
- 7) Hamid Reza Zohouri, Artur Podobas, Naoya Maruyama, Satoshi Matsuoka, "OpenCL-Based High-Performance 3D Stencil Computation on FPGAs", SC17, Denver, USA, Nov, 2017 (採択率不明)
- 8) 滝澤真一郎、高野了成、松岡聡, "大規模データセンター運用最適化フレームワーク構築に向けて", ComSys 2017, 神奈川, Dec, 2017 (採択率不明)
- 9) Pak Markthub, Mehmet E. Belviranli, Seyong Lee, Jeffrey S. Vetter, Satoshi Matsuoka, "Efficiently Enlarging GPU Memory Capacity with NVM", GTC2018, San Jose, CA, USA, Mar, 2018 (採択率不明)

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) Tianqi Xu, Kento Sato, Satoshi Matsuoka, "Exploring User Level Burst Buffer on Public Cloud and HPC", Dagstuhl Seminar: Challenges and Opportunities of User-Level File Systems for HPC, Dagstuhl, Germany, May, 2017

- 2) 小林 佑矢、實本 英之、野村 哲弘、松岡 聡, "メモリアクセスパターン依存故障の注入のための QEMU ベース故障注入器", 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 3) Artur Podobas, Satoshi Matsuoka, "Accelerating Spiking Neural Networks on FPGAs using OpenCL", 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 4) 山川智史、野村哲弘、松岡聡, "メタゲノム解析アプリケーション GHOSTZ-GPU の性能モデリングおよび改善", 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 5) 辻 陽平、野村 哲弘、實本 英之、佐藤 育郎、松岡 聡, "動的なプロセス数操作による分散深層学習の耐故障性と性能評価", 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 6) 松岡 聡, 遠藤 敏夫, 額田 彰, 三浦 信一, 野村 哲弘, 佐藤 仁, 實本 英之, Drozd Aleksand, "HPC とビッグデータ・AI を融合するグリーン・クラウドスパコン TSUBAME3.0 の概要", 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 7) 小川宏高、松岡聡、佐藤仁、高野了成、滝澤真一郎、谷村勇輔、三浦信一、関口智嗣, "人工知能処理向け大規模・省電力クラウド基盤 AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI)の構想", 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 8) 藤田 和宏, 鶴見慶, 安良岡由規, 根本忍, 梁井善行, 渡邊寿雄, 野村哲弘, 三浦信一, 額田彰, 遠藤敏夫, 松岡聡, "新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の概要", 大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会 (AXIES2017), 広島, Dec, 2017
- 9) Yosuke Oyama, Tal Ben-Nun, Torsten Hoefler, Satoshi Matsuoka, "Less is More: Accelerating Deep Neural Networks with Micro-Batching", 情報処理学会 第 162 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 熊本, Dec, 2017
- 10) 小林 佑矢、實本 英之、野村 哲弘、松岡 聡, "メモリアクセスパターン依存故障の注入のための QEMU ベース故障注入器", 情報処理学会 第 163 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 愛媛, Mar, 2018
- 11) Chen Peng, Wahib Mohamed, Takizawa Shinichiro, Matsuoka Satoshi, "Pushing the Limits for 2D Convolution Computation On CUDA-enabled GPUs", 情報処理学会 第 163 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 愛媛, Mar, 2018
- 12) Yusuke Nagasaka, Aydın Buluç, Ariful Azad, Akira Nukada, Satoshi Matsuoka, "Efficient Sparse General Matrix-Matrix Multiplication Algorithms for Many-Core Processors", SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP'18), Tokyo, Japan, Mar, 2018

### 【招待講演】

- 1) Satoshi Matsuoka, "FLOPS to BYTES: Accelerating Beyond Moore's Law is Data-Oriented", PPAM2017, Lublin, Poland, Sep, 2017
- 2) Satoshi Matsuoka, "TSUBAME3/ABCI and AI", The 3rd International High Performance Computing Forum (IHPCF2017), 広州, China, Sep, 2017
- 3) Satoshi Matsuoka, "Results from Tsubame 3.0 - A 47 AI-PFLOPS System for HPC and AI Convergence", HP-CAST29, Denver, USA, Nov, 2017
- 4) Satoshi Matsuoka, "Cambrian Explosion of Computing in the Post-Moore Era", After Digital? Emerging Computing Paradigms Workshop, Collegium Helveticum, Zurich Swiss, Dec, 2017
- 5) Satoshi Matsuoka, "Being "BYTES-oriented" in HPC leads to an Open Big Data/AI Ecosystem and Further Advances into the Post-Moore Era (Keynote Talk)", 2017 IEEE International Conference on Big Data, Boston, USA, Dec, 2017
- 6) Satoshi Matsuoka, "Converging HPC and Big Data / AI in an Open Public Infrastructure: Tokyo Tech. Tsubame3 and AIST ABCI", The 19th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC2017)., Bangkok, Thailand, Dec, 2017
- 7) 松岡 聡, "HPC とビッグデータ・AI の融合インフラ -東工大 TSUBAME3 と産総研 ABCI", JEITA 技術戦略シンポジウム 2017, 電子情報技術産業協会、大手町、東京, Dec, 2017
- 8) 松岡 聡, "AI を指向したスーパーコンピュータ TSUBAME3 および ABCI と光技術への期待", 光産業技術シンポジウム, リーガロイヤルホテル東京、新宿、東京, Feb, 2018
- 9) 松岡 聡, "東工大スーパーコンピュータ『TSUBAME』シリーズの栄光と未来", 蔵前技術士会第 172 回例会・講演会, 東工大蔵前会館、大岡山、東京, Feb, 2018
- 10) Satoshi Matsuoka, "Converging HPC and Big Data / AI in Open Public Infrastructure: Tokyo Tech. Tsubame3 and AIST ABCI (Keynote Talk)", The Multidisciplinary High Performance Data Analysis for Societal Challenges" forum, Palais des Eveques, Toulouse, France, Mar, 2018
- 11) Satoshi Matsuoka, "Convergence of Big Data and AI with HPC", Supercomputing Asia 2018 (SCAsia18), Resorts World Convention Centre, Sentosa, Singapore, Mar, 2018

## 教授 山口 しのぶ (情報技術国際協働分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 基礎教育における情報技術を活用した教員研修の展開と対話型自己学習教材の開発

日本政府開発援助 UNESCO 活動補助金「基礎教育における情報技術を活用した教員研修の展開と対話型自己学習教材の開発」事業をモンゴルの中高等教育を対象に実施した。首都ウランバートル、ゴビ地域バヤンホンゴル県、西部地域ホブド県の3地域にて、情報技術(ICT)を活用した教員研修用の教材を開発し、教員研修専門家及び中学校教員を対象とした教員研修を通じて新教材の普及を目指した。更に地方学校が県中心部より遠隔地に点在する地理的状况を考慮し、教員が自己学習できる対話型ウェブ研修教材の開発に取り組んだ。教育法の改定によりモンゴルの初等中等教育分野にて ICT を活用した取り組みが積極的に導入されている状況を受け、モンゴル教育文化科学省教育政策局とモンゴル教育大学を中心に形成された16名から成る現地専門家チームと東京工業大学チームが、新たに中等教育分野で必要とされている4教科のICTを活用した教員研修用教材の開発・評価を実施した。新たに開発された4教科のICT研修教材はガイドライン書と共に全国の中学校768校に配布され、ICT研修教材セットとして全国の中学校にて活用されている。また、ユネスコバンコク事務所との共催で教育省代表者・教育専門家をモンゴルに招聘し、本事業の事例を含めた教育における情報技術の応用と普及に関するシンポジウムを開催した。

#### 発展途上国の世界遺産地域における持続可能な情報通信技術の応用に関する実践研究

ラオスルアンパバーン政府世界遺産局との連携のもと、持続可能な世界遺産開発を実現するための情報通信技術を用いた包括的かつ効果的な施策について実践研究を継続。今年度は、GISを活用した世界遺産中心地区全土において景観分析を実施し、2010年から2017年の時系列的变化を8つの観点から街並みの变化を可視化した。結果は、ルアンパバーン世界遺産保存局にてワークショップを開催し、現地の専門家・政府関係者が参加し、活発な意見交換が行なわれた。2000件の建造物を含む時系列分析は、UNESCO世界遺産センターも注目しており、UNESCO本部にて分析結果を発表する予定。また、国際開発学会での発表も予定されている。

### 【論文及び基調講演】

- 1) Li, S., Yamaguchi, S., and Takada, J., "The Influence of Interactive Learning Materials on Self-Regulated Learning and Learning Satisfaction of Primary School Teachers in Mongolia", Sustainability 2018, 10, 1093. (2018)
- 2) Yamaguchi, S., Policy Review on ICT Master Plan in Education in Bhutan, submitted to UNESCO Bangkok, pp.1-20. March, 2018

- 3) Yamaguchi, S., "Evolution of Teacher Education in Environmental Education and Contribution to Education 2030", the Analysis Paper for Science Council of Japan, pp.1-25, November, 2017.
- 4) Li, S., Yamaguchi, S., and Takada, J., Understanding factors affecting primary school teachers' use of ICT for student-centered education in Mongolia. *International Journal of Education and Development using ICT* [Online], 14(1). (2018). Available: <http://ijedict.dec.uwi.edu/viewarticle.php?id=2381>.
- 5) Yamamoto, Y., Yamaguchi, S., "Relationships between ICT implementation at school level and factors related to transformative leadership: A case of Mongolian primary school", Paper presented at 62nd Annual Conference of Comparative and International Education Society, Mexico City, Mexico, March, 2018.
- 6) Li, S., Yamaguchi, S., Takada, J., and Sukhbaatar, J., "The effects of interactive learning materials on self-regulated learning and learning outcome in the case of Mongolian primary school teachers", Paper presented at 62nd Annual Conference of Comparative and International Education Society, Mexico City, Mexico. March, 2018
- 7) Hirai, Y., Yamaguchi, S., Takada, J., "Relationship between communication channels among teachers and the diffusion of teachers' ICT use in rural Mongolian education", Paper discussed at the New Scholars Committee Workshops at 62nd Annual Conference of Comparative and International Education Society, Mexico City, Mexico. March, 2018.
- 8) Poong Y.S., Yamaguchi, S., and Takada, J., "Analyzing Mobile Learning Acceptance in the World Heritage Town of Luang Prabang, Lao PDR", In: Murphy A., Farley H., Dyson L., Jones H. (eds) *Mobile Learning in Higher Education in the Asia-Pacific Region. Education in the Asia-Pacific Region: Issues, Concerns and Prospects*, vol 40. Springer. (2017).
- 9) Leong, C., Takada, J., Hanaoka, S., and Yamaguchi, S., "Impact of Tourism Growth on the Changing Landscape of a World Heritage Site: Case of Luang Prabang, Lao PDR," *Sustainability*, vol. 9, no. 11, (2017), doi:10.3390/su9111996.
- 10) S. Yamaguchi, "Comparative Analysis on 21st Century Skills in Education in Asia and the Pacific", presented at SDG2030 Asia-Pacific Meeting on Education, UNESCO Bangkok, July, 2017.

## 准教授 遠藤 敏夫 (高性能計算システム分野)

### 【研究の概要と成果】

#### ポストペタスケール時代へ向けたソフトウェア技術および TSUBAME スパコンへのフィードバック

2012年度より、JST-CREST プロジェクト「ポストペタスケール時代のメモリ階層の深化に対応するソフトウェア技術」(代表:遠藤、2012-2018)を成蹊大の研究グループと共に推進しており、本年度は最終年度となった。本プロジェクトでは、スーパーコンピュータのポストペタ・エクサスケールの実現に向けた課題の一つとして重要性が高まっている、メモリウォール問題の深刻化への対処を主目標としている。この問題のために、今後のアーキテクチャにおけるメモリ階層が深化していくことを前提とする。このとき、ソフトウェア側から小さく高速なメモリと、大きい低速なメモリのそれぞれの長所を活用することにより、科学技術計算の大規模化・高性能化できることを研究目的としている。その解決に向けて、アーキテクチャの特性を考慮するシステムソフトウェア・応用アルゴリズムの観点から研究に取り組んでいる。

- TSUBAME などの GPU スパコン上において、並列アプリケーションからメモリ階層を透過的に利用可能なライブラリである Hybrid Hierarchical RunTime (HHRT)を継続的に開発している。GPU デバイスメモリ・ホストメモリ・高速 Flash メモリの階層間でのスワップ機能により、メモリ容量をも超えるサイズのシミュレーションを可能とする。HHRT を東京大学下川辺隆史助教・本センター青木尊之教授の研究グループに提供し、ステンシル計算フレームワークとの統合が行われた。この統合により、フレームワーク上で記述されたアプリケーションに対して、コードを変更することなく、時間ブロッキング・メモリ階層利用が可能となった。成果については IEEE Cluster 2017 にて発表された。
- 近年急速に重要度を増す深層学習において、GPU による高速計算は必須となっているが、GPU デバイスメモリ容量の制限のために、容量を超えるようなニューラルネットワーク・大バッチサイズの実現は困難である。その解決に向けて、デファクトスタンダードである cuDNN ライブラリと互換性を持つ、ooc\_cuDNN (out-of-core cuDNN)を開発した。このライブラリは、入出力テンソルがデバイスメモリ容量を超えることを許し、テンソルの適切な粒度での分割およびデバイスメモリ間へのデータ転送を自動で行う。計算カーネルとしては元 cuDNN を用いることにより高速性を担保する。このライブラリにより大規模深層学習の計算が、10~15%の速度オーバーヘッドで実現できた。成果について、国際トップ会議 IEEE BigData 2017 で発表を行った。
- 垂直(ノード内)・水平方向(ノード間)に広がるメモリ階層を、低プログラミングコストで活用可能とするために、Flash SSD 階層に対応した Partitioned global address space (PGAS)ランタイムライブラリである vGASNet の研究開発を行っている。

UPC++/GASNet をベースとし、片方向通信と階層活用を統合するプロトタイプを実装した。その実証実験が、本センターによる TSUBAME グランドチャレンジ制度(2017 年秋)に採択され、TSUBAME3.0 の多数計算ノードを用いて初期評価を行った。

- ステンシル計算における時間ブロッキングの効果は広く実証されているが、既存アプリケーションに導入するには、プログラミングおよびブロックサイズなどのパラメータチューニングが困難である。松岡聡研究室との共同により、コンパイラレベルによるプログラム変換を用いた自動化ツールについて成果を外部発表した。コンパイラツールチェーンとして標準的な LLVM および、その中のループ変換最適化パスである Polly をベースとした。Xeon および Xeon Phi 上のステンシル計算の性能向上などについて、国際ワークショップ LLVM-HPC workshop において発表した。
- 当 CREST プロジェクトなどの研究から得られた知見は、本年 8 月に稼働開始した新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の設計へフィードバックされている。アクセス速度が数百 MB/s に限定される SATA や SAS SSD では活用方法が限られるため、TSUBAME3.0 においては全ノードそれぞれに、Read 2.6GB/s, Write 1.7GB/s, 容量 2TB の NVMe 対応高速 SSD が搭載されている。ノード内結合トポロジーについても、高性能 GPU・CPU と SSD の間のデータ転送においてボトルネックが小さい形で実現されている。

#### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Noboru Tanabe and Toshio Endo. Characterizing Memory-Latency Sensitivity of Sparse Matrix Kernels. 26th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP 2018), Cambridge, March 2018.
- 2) Noboru Tanabe and Toshio Endo. Exhaustive Evaluation of Memory-Latency Sensitivity on Manycore Processors with Large Cache. 2018 2nd International Conference on High Performance Compilation, Computing and Communications (HP3C-2018), Hong Kong, March 2018.
- 3) Yuki Ito, Ryo Matsumiya, and Toshio Endo. ooc\_cuDNN: Accommodating Convolutional Neural Networks over GPU Memory Capacity. In Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData 2017), Boston, December 2017. (採択率 17.0%)
- 4) Shota Kuroda, Toshio Endo, Satoshi Matsuoka. Applying Temporal Blocking with a Directive-based Approach. In Proceedings of Fourth Workshop on the LLVM Compiler Infrastructure in HPC (LLVM-HPC), in conjunction with SC17, Article No. 8, Denver, November 13, 2017.
- 5) Takashi Shimokawabe, Toshio Endo, Naoyuki Onodera, Takayuki Aoki. A Stencil Framework to Realize Large-scale Computations Beyond Device Memory Capacity on GPU Supercomputers. In Proceedings of IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER 2017), pp. 525-529, Honolulu, September 2017.

- 6) Yukinori Sato and Toshio Endo. An Accurate Simulator of Cache-line Conflicts to Exploit the Underlying Cache Performance. In Proceedings of 23rd International European Conference on Parallel and Distributed Computing (Euro-par 2017), pp. 119-133, Santiago, Spain, August 2017.
- 7) Yukinori Sato, Tomoya Yuki and Toshio Endo. ExanaDBT: A Dynamic Compilation System for Transparent Polyhedral Optimizations at Runtime. In Proceedings of ACM International Conference on Computing Frontiers 2017, 10pages, Siena, May 2017.

#### 【査読付きポスター発表】

- 1) Yuki Ito, Ryo Matsumiya, and Toshio Endo. ooc cuDNN: A Deep Learning Library Supporting CNNs over GPU Memory capacity. International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCAsia2018) Poster Session. Tokyo, January 2018.
- 2) Ryo Matsumiya, and Toshio Endo. vGASNet: A PGAS Communication Library Supporting Out-of-Core Processing. International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCAsia2018) Poster Session. Tokyo, January 2018.
- 3) Tomoya Yuki, Yukinori Sato, and Toshio Endo. Evaluating Autotuning Heuristics for Loop Tiling. International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCAsia2018) Poster Session. Tokyo, January 2018.
- 4) Yuki Ito, Ryo Matsumiya, and Toshio Endo. ooc\_cuDNN : A Deep Learning Library Supporting CNNs over GPU Memory Capacity. ACM/IEEE International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC17), Research Poster Session. Denver, November 2017.

#### 【査読なし国際会議発表】

- 1) Toshio Endo. Realizing Extremely Large-Scale Scientific Applications Using Deep Memory Hierarchy. SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18), Tokyo, March 2018.
- 2) Toshio Endo, Hiroko Midorikawa, Yukinori Sato. Software Technology that Deals with Deeper Memory Hierarchy in Post-petascale Era. JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software (ISP2S2-2017), Tokyo, December 2017.
- 3) Toshio Endo, Satoshi Matsuoka. TSUBAME3.0: A Green, Accelerated, Big-Data Supercomputer. ATIP Workshop on International Exascale and Next-Generation Computing Programs, in conjunction with SC17. Denver, November 2017.

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 藤田 和宏, 鶴見慶, 安良岡由規, 根本忍, 梁井善行, 渡邊寿雄, 野村 哲弘, 三浦信一, 額田 彰, 遠藤敏夫, 松岡聡. 新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の概要. 2017 年度大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 年次大会, No. TC1-6. 広島, 2017 年 12 月.
- 2) 松宮 遼, 遠藤 敏夫. vGASNet: メモリ階層深化に向けたスケーラブルな低レイヤ通信ライブラリ. 並列/分散/協調処理に関するサマワークショップ (SWoPP2017), 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-160 No.7, 2017 年 7 月 26 日.

- 3) 田邊 昇, 遠藤 敏夫. Intel Xeon Phi における主記憶遅延増加の影響評価 . 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2017), 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-160 No.12, 2017年7月26日.
- 4) 松岡 聡, 遠藤 敏夫, 額田 彰, 三浦 信一, 野村 哲弘, 佐藤 仁, 實本 英之, Drozd Aleksandr. HPC とビッグデータ・AI を融合するグリーン・クラウドスパコン TSUBAME3.0 の概要 . 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2017), 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-160 No.29, 2017年7月28日.
- 5) 幸 朋矢, 佐藤 幸紀, 遠藤 敏夫. Polyhedral コンパイラを用いたタイリングパラメータ自動調整ツールのメニーコア環境での評価 . 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2017), 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-160 No.34, 2017年7月28日.
- 6) 伊藤 祐貴, 松宮 遼, 遠藤 敏夫. ooc\_cuDNN: GPU 計算機のメモリ階層を利用した大規模深層学習ライブラリの開発 . 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2017), 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-160 No.38, 2017年7月28日.
- 7) 伊藤祐貴, 松宮遼, 遠藤敏夫. メモリ階層の利用によって GPU メモリ容量を超える深層学習手法 . The 1st. cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG 2017), 東京, 2017年4月.
- 8) 伊藤祐貴, 松宮遼, 遠藤敏夫. メモリ階層の利用によって GPU メモリ容量を超える深層学習手法 . The 1st. cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG 2017), ポスターセッション, 東京, 2017年4月.
- 9) 松宮遼, 遠藤敏夫. Flash SSD を活用する PGAS フレームワークに対する協調キャッシングの導入 . The 1st. cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG 2017), ポスターセッション, 東京, 2017年4月.

【研究の概要と成果】

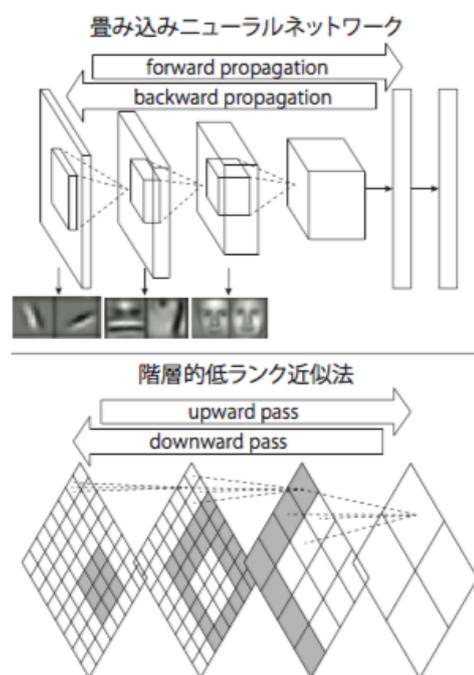
機械学習向けハードウェアとの親和性が高い連立一次方程式の解法

計算機ハードウェアの潮流はこの10年続いてきた汎用アクセラレータの流れから、機械学習向けプロセッサへと流れが変わりつつある。Intel Nervana, NVIDIA Volta, Google TPU, Fujitsu DLU, Microsoft Catapult などはこの傾向を顕著に表している。GPU がそうであったように、巨大な市場を基盤とするプロセッサ設計の潮流は一過性のものではなく、この先パソコンに搭載されるプロセッサがまた大きく変わることを意味している。このときに性能を最大限に発揮できるアルゴリズムはアクセラレータ向けに最適化されたものとは必ずしも一致しない点に本研究は着目する。

GPU の演算性能はアルゴリズムのもつ並列度、演算密度(Flop/Byte)、データの局所性に強く依存し、無駄な演算やデータの複製・並べ替えを行ってもそれらを確保することが性能を得るための定石であった。機械学習向けプロセッサへの最適化では、新たに低精度演算とテンソル積を活用する必要がある。

階層的低ランク近似法はまさに、低精度演算とテンソル積を活用できる計算科学のアルゴリズムの一つである。階層的低ランク近似法は連立一次方程式の反復解法における前処理に用いられるため低精度演算が許容される。また、階層的な多数の小さな行列の演算を行うためテンソル積と似たデータ構造を有する。類似点はそれだけでなく、上図に示すように畳み込みニューラルネットワークの forward と backward propagation は、階層的低ランク近似の upward と downward pass に階層間の順・逆方向の情報伝達であるという点で酷似している。

既存の線形代数ライブラリのアルゴリズムは近似を用いておらず、密行列積や行列分解などは  $O(N^3)$  の計算量を要する。一方、階層的低ランク近似法の場合は、近似を用いて密行列積や行列分解の計算量を  $O(N \log^2 N)$  に低減できる。機械学習向けプロセッサで低精度演算を用いて計算する場合、線形代数のアルゴリズムに厳密なものを用いるのは無駄であり、近似アルゴリズムである階層的低ランク近似法が計算科学アプリケーションの根底にある線形代数の厳密解法に置き換わることが予想される。

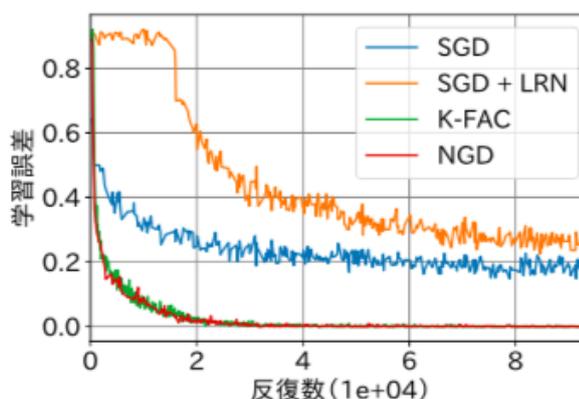


## クロネッカー因子分解による深層学習の高速化

近年、機械学習のタスクにおいて深層ニューラルネットワーク (DNN; Deep Neural Networks)が優れた認識性能を達成しており、近年ではその原理の理解から応用まで幅広く研究されている。しかしながら、最先端の画像認識精度を達成する CNN モデルに含まれる層の数やパラメータ数は大規模化する傾向にあるため、「1 回の試行」に相当する「モデルの学習」には膨大な計算時間を必要とする。このことから、深層学習においては「学習の高速化」が近年の研究面、応用面において最も重要なテーマの 1 つとなっている。

深層ニューラルネットワークモデルの学習は、与えられた訓練データ (training data) に対する「誤差」を表す関数の最小化問題に置き換えられる。最適解を反復的に探索するために、オンライン型確率的最適化手法である「ミニバッチを用いた確率的勾配降下法 (SGD; Stochastic Gradient Descent) による学習」が広く用いられている。しかし、「ミニバッチを用いた SGD による学習」では局所最適解に陥りやすいことや、プラトーと呼ばれる関数の平坦な領域に停滞してしまう現象が報告されており、最適化手法の改良が求められる。比較的層数の少ないニューラルネットワークの学習に限定すると、自然勾配法 (NGD; Natural Gradient) はこの問題を解消し、SGD と比べ大幅に少ない反復数でモデルが学習される最適化手法として知られている。大規模計算資源を活用した学習の高速化のアプローチとして、巨大なミニバッチを分割して計算を分散化させる大規模分散学習 (large scale distributed training) の研究が注目されているが、大規模分散学習においてモデルの認識精度が劣化することが報告されており、学習の大規模化を阻んでいる。一方で、NGD による大規模分散学習においては、モデルの認識精度の劣化を抑えられるということが報告されている。

本研究では、「クロネッカー因子分解を用いてフィッシャー情報行列を近似する」K-FAC 法に注目し、実際の DNN の学習における有効性を示すことを目的とする。実験では CIFAR-10 を用いた学習に 3 つの畳み込み層と 1 つ全結合層からなる CNN を用いた。右図から、K-FAC による学習は SGD による学習と比べ、反復数の面でも計算時間の面でも高速に学習が収束する上に、学習誤差、損失関数の値を大幅に低くすることが観察できる。さらに、K-FAC による学習では、反復数の意味で自然勾配法とほぼ同等の学習が行えていることがわかる。このことから、CIFAR-10 向けの ConvNet の学習において、K-FAC による学習では、近似を伴わない自然勾配法と比べ実計算時間の意味で高速に学習が収束することが言える。本実験では、LRN を用いた SGD による学習では、LRN を用いない SGD に学習と比べ、学習の収束性が悪くなっていることが観察された。



### 【査読付き学術論文】

- 1) H. Ibeid, R. Yokota, J. Pestana, D. Keyes, Fast Multipole Preconditioners for Sparse Matrices Arising from Elliptic Equations, *Computing and Visualization in Science*, pp. 1-17 (2017)  
<https://doi.org/10.1007/s00791-017-0287-5>
- 2) R. Yokota, H. Ibeid, D. Keyes, Fast Multipole Method as a Matrix-Free Hierarchical Low-Rank Approximation. *Eigenvalue Problems: Algorithms, Software and Applications in Petascale Computing*: pp. 267–286. (2017) [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-62426-6\\_17](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-62426-6_17).

### 【査読付き国際会議】

- 1) I. Yamazaki, A. Abdelfattah, A. Ida, S. Ohshima, S. Tomov, R. Yokota, J. Dongarra. Analyzing Performance of BiCGStab with Hierarchical Matrix on GPU clusters, 32nd IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium, May. 2018.
- 2) S. Ohshima, I. Yamazaki, A. Ida, R. Yokota. Optimization of Hierarchical Matrix Computation on GPU, SC Asia, Mar. 2018.
- 3) H. Naganuma, R. Yokota. Accelerating Convolutional Neural Networks Using Low Precision Arithmetic, HPC Asia, Jan. 2018.
- 4) K. Oosawa, R. Yokota. Evaluating the Compression Efficiency of the Filters in Convolutional Neural Networks, The 26th International Conference on Artificial Neural Networks, Sep. 2017.
- 5) M. AbdulJabbar, M. Al Farhan, R. Yokota, D. Keyes. Performance Evaluation of Computation and Communication Kernels of the Fast Multipole Method on Intel Manycore Architecture, 3rd International European Conference on Parallel and Distributed Computing, Aug. 2017.
- 6) K. Oosawa, A. Sekiya, H. Naganuma, Rio Yokota. Accelerating Matrix Multiplication in Deep Learning by Using Low-Rank Approximation, The 2017 International Conference on High Performance Computing & Simulation, Jul. 2017.
- 7) M. AbdulJabbar, G. Markomanolis, H. Ibeid, R. Yokota, D. Keyes. Communication Reducing Algorithms for Distributed Hierarchical N-Body Methods, 32nd International Conference, ISC High Performance, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10266, pp. 79--96, Jun. 2017.

### 【招待講演】

- 1) R. Yokota. Hierarchical Low-Rank Approximations at Extreme Scale, 32nd International Conference, ISC High Performance, Jun. 2017.
- 2) R. Yokota. Energy Conservation of Fast Multipole Methods in Classical Molecular Dynamics Simulations, 7th AICS International Symposium, Feb. 2017.
- 3) R. Yokota. Compute-Memory Tradeoff in Hierarchical Low-Rank Approximation Methods, SIAM Conference on Computational Science and Engineering, Feb. 2017.

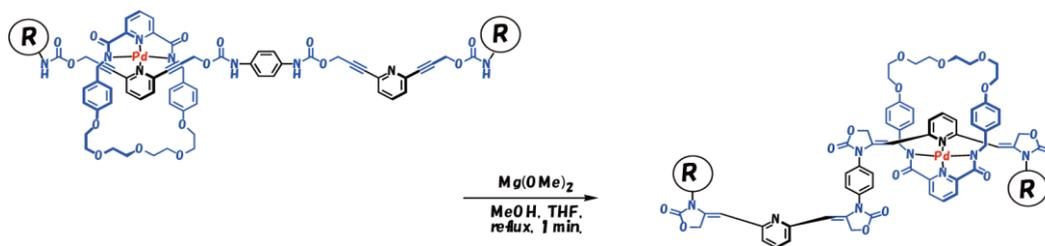
## 【国内会議】

- 1) Y. Kuwamura, K. Osawa, R. Yokota. Hyper-parameter Tuning for Approximate Natural Gradient Methods, The 80th National Convention of IPSJ, Mar. 2018.
- 2) H. Ohtomo, K. Osawa, R. Yokota. Deep Learning Using Hierarchical Low-Rank Approximation of the Fisher Information Matrix, The 80th National Convention of IPSJ, Mar. 2018.
- 3) H. Naganuma, R. Yokota. Verification of Low-precision Arithmetic for the Acceleration of Convolutional Neural Networks, GTC Japan, Dec. 2017.
- 4) K. Osawa, A. Sekiya, H. Naganuma, R. Yokota. Acceleration of Convolutional Neural Networks Using Low-Rank Tensor Decomposition, Pattern Recognition and Media Understanding, Oct. 2017.
- 5) H. Naganuma, A. Sekiya, K. Osawa, H. Otomo, Y. Kuwamura, R. Yokota. Evaluating the Performance of Deep Learning with Low Precision Arithmetic, Pattern Recognition and Media Understanding, Oct. 2017.
- 6) H. Naganuma, K. Osawa, A. Sekiya, R. Yokota. Acceleration of Compressed Models in Deep Learning Using Half Precision Arithmetic, Japan Society for Industrial and Applied Mathematics Annual Meeting, Sep. 2017.
- 7) S. Ohshima, I. Yamazaki, A. Ida, R. Yokota. Optimization of Hierarchical Matrix Computations on a Cluster of GPUs, Summer United Workshops on Parallel, Distributed and Cooperative Processing, Jul. 2017.
- 8) K. Oosawa, A. Sekiya, H. Naganuma, R. Yokota. Accelerating Convolutional Neural Networks Using Low-Rank Approximation, 22nd Conference of Japan Computational Engineering Society, Proceedings of the 22nd Conference of Japan Computational Engineering Society, May. 2017.
- 9) A. Sekiya, K. Oosawa, H. Naganuma, R. Yokota. Acceleration of Matrix Multiplication in Deep Learning Using Low-Rank Approximation, 158th Research Presentation Seminar in High Performance Computing, Mar. 2017.
- 10) Y. Motoyama, T. Endo, S. Matsuoka, R. Yokota, K. Fukuda, Using Low-Rank Approximation in Convolutional Neural Networks, 158th Research Presentation Seminar in High Performance Computing, 2017-HPC-158 No.25, Mar. 2017.

【研究の概要と成果】

大規模分子軌道計算を活用した高分子反応での高機能触媒開発

現在の高度な合成技術をもってしても高分子の完全改変・修飾は極めて困難である。しかし、緩やかな束縛系を活用する内包型反応場を活用した高分子反応では完全な高分子構造改変が達成されており、従来の高分子反応や重合反応では合成できない新高分子、有用な高機能高分子の創製が可能であることが実験により確かめられている。そのような高機能高分子のうち、環状分子の内孔を棒状分子が貫通した構造を持つロタキサンは、当初はその構造的特徴が注目されたが、近年は効率的な合成法の確立によりさまざまな応用研究がなされている。環状分子が貫通する際に触媒機能を発揮する「インターロック触媒」は、高速高効率高分子反応として非常に注目されている。例えば、ポリアリルウレタン (PAU) を、パラジウム Pd を内孔に持つマクロサイクル触媒 (PdMC) で処理すると、ポリオキサゾリジノン (POZ) が定量的に得られる。この反応は速やかに 100% 転化率に達する高分子反応には類例のないものである。



Scheme マクロサイクル触媒によるポリアリルウレタンのポリオキサゾリジノンへの転化反応

このような環状分子が貫通する際に触媒機能を発揮する「インターロック触媒」のような緩やかな束縛状態にある高分子の動的反応機構を解明するために、高分子系の大規模配座解析を用いた研究を進めている。その第一歩として、反応物 1 種と生成物 2 種のモデル化合物に対する配座解析を行った。配座解析には Conflex ver.8 を使い、閾値 20kcal/mol の貯水池モデルによる配座探索を DFT/ $\omega$ B97X-D // MMFF94S 力場にて行った。反応後には高分子鎖の自由度が減少することで、安定配座数が激減していることが分かる。今後はこれらの配座間の自由エネルギー差や活性化エネルギー

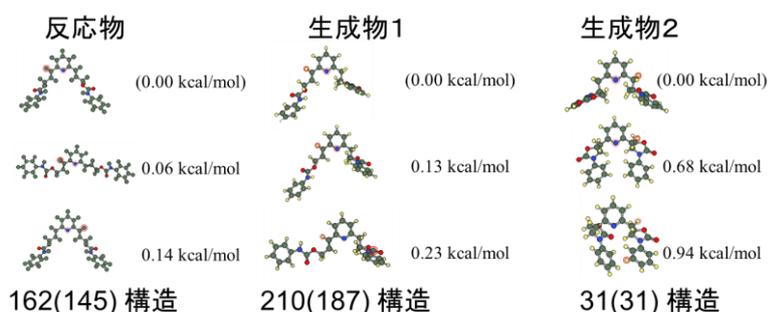


Figure 1. モデル化合物 3 種に対する配座解析、カッコ内の安定配座数は DFT/ $\omega$ B97X-D での構造最適化後の結果

ギーを求めることにより、動的反応機構の解析を進める。なお本研究は、JST CREST 研究課題「緩やかな束縛反応場を活用する高分子の連続改変系の構築と革新的機能化」(研究代表者 東京工業大学 高田十志和)の一部として行っている。

### **機械学習による化学反応の自動認識とそれを活用した QM/MM 分子動力学法の開発**

化学反応解析に必須の計算化学的手法である量子/古典混合分子動力学法(QM/MM-MD)が苦手とする溶液内 2 分子反応など系の至るところで反応が進行する可能性があるような場合にも対応可能な QM/MM-MD の新しい方法論の開発を行っている。近年の発展が著しい機械学習を用いることにより、化学反応が起きそうな領域を化学結合の組み換えが起こるごく短時間のみ量子化学計算で取り扱うことで劇的に計算コストを抑え、大規模かつ長時間のシミュレーションを可能とし、レアな化学反応の解析が可能となる。

#### **【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】**

- 1) 「新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の概要」, 藤田 和宏, 鶴見慶, 安良岡由規, 根本忍, 梁井善行, 渡邊寿雄, 野村 哲弘, 三浦信一, 額田彰, 遠藤敏夫, 松岡聡, 大学 ICT 推進協議会 2017 年度年次大会論文集, TC1-6, 2017.

## 特任准教授 額田 彰 (高性能計算システム分野)

### 【研究の概要と成果】

#### スーパーコンピュータ TSUBAME の消費電力に関する研究

スーパーコンピュータ TSUBAME は GPU の本格導入によって膨大な計算資源を提供しているが、その一方で GPU が電力効率に優れているにも関わらず電気料金が運用コストの大部分を占めている現状である。TSUBAME2.5 では前年度後半に、より積極的な節電運用として遊休状態の計算ノードを停止してさらなる消費電力削減方式を導入した。前年度は導入開始時点で既に閑散期を過ぎていたため、繁忙期での調整しかできていなかった。今年度に入り閑散期からはじまり、計算需要が少ない場合のパラメータ調整を行った。最低限起動させておく計算ノード数を引き下げ、消費電力の削減量を増加させた。比較的短時間の大規模実行用である X キューに関してはジョブ投入時に必要な数の計算ノードいなければならないため起動ノード数の下限を下げにくい、一方通常の汎用 S キューでは待機ジョブがない限り悉く計算ノードを停止させることが可能である。特に 4 月・5 月期に使用電力量を大幅に低下させることができた。TSUBAME3.0 が 8 月から稼働を開始するにあたり、TSUBAME2.5 からユーザをスムーズに移行させるため、両システムが稼働する期間が存在するが、4 月 5 月の電力量削減によりカバーすることができている。TSUBAME2.5 は 10 月末にサービスを停止し、その後は TSUBAME3.0 の単独運用が続いているが、TSUBAME2.5 が稼働していた前年度基準を下回る電気使用量となっている。

#### TSUBAME 2.5 Cloud Service Utilization

2017/04/18 12:33

##### Service List

service	assigned nodes	max nodes	running jobs	users
S	15% 47 / 298 nodes	300 nodes	60% 12 / 20 jobs	6
S96	2% 1 / 39 nodes	39 nodes	100% 1 / 1 jobs	1
G	41% 180 / 431 nodes	435 nodes	100% 44 / 44 jobs	8
V	6% 25 / 361 nodes	385 nodes	97% 41 / 42 jobs	13
U	32% 10 / 31 nodes	195 nodes	100% 10 / 10 jobs	7
L256	100% 8 / 8 nodes	8 nodes	100% 8 / 8 jobs	1
L512	0% 0 / 1 nodes	2 nodes	0% 0 / 0 jobs	0
X	1% 1 / 417 nodes	420 nodes	100% 1 / 1 jobs	1
ALL	17% 272 / 1586 nodes		92% 117 / 126 jobs	36

4 月 18 日昼の計算ノードの状況 赤色が使用中のノード 青色が停止状態のノード

TSUBAME3.0 が稼働する 8 月に先立ち、米国 Chippewa Falls に在る Hewlett Packard Enterprise 社の工場にてベンチマーク計測を行った。世界のスーパーコンピュータのランキングである Top500 List 及び Green500 List の 6 月版へのエントリーに向けて、計算性能及び電力効率の計測を、まさに製造されたばかりのシステムを用いて実施した。納入に向けて検証作業等も並行して進められていたため、ベンチマークに使用できたのは 15 本ある計算ノ

ードのラックの内4本だけであった。この規模はネットワーク構成的に有利であり、全ての計算ノード間が5ホップ以内で到達でき、ネットワーク上での通信の競合が起これにくい。そのためベンチマーク計測時の性能が安定していた。またエラーの発生も少なく、ベンチマークのパラメータ調整に専念することができた。使用できる計算ノード数が少なかった事情もあり、電力効率のランキングである Green500 List の方に注力し、計算性能だけでなく電力に影響する動作周波数の調整も行った。



6月期の Top500/Green500 用の計測で使用された計算ノード部分



日本 SGI 社（当時）と共に計測を実施

#### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Yusuke Nagasaka, Akira Nukada and Satoshi Matsuoka, "High-Performance and Memory-Saving Sparse General Matrix-Matrix Multiplication for NVIDIA Pascal GPU," In Proc. of the 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP-2017), Bristol, United Kingdom, pp. 101-110, Aug. 2017. (採択率 28.4%)
- 2) James Lin, Zhigeng Xu, Akira Nukada, Naoya Maruyama and Satoshi Matsuoka. "Optimizations of Compute-bound Scientific Kernels on SW26010 Many-core Processor", In Proc. of the 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP-2017), Bristol, United Kingdom, pp. 432-441, Aug. 2017. (採択率 28.4%)
- 3) Adrian Perez Dieguez, Margarita Amor, Doallo Ramón, Akira Nukada and Satoshi Matsuoka. "Efficient Solving of Scan Primitive on Multi-GPU Systems", In Proc. of 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), May 2018 (to appear). (採択率 24.5%)
- 4) James Lin, Minhua Wen, Delong Meng, Xin Liu, Akira Nukada and Satoshi Matsuoka. "Optimizations of Preconditioned Conjugate Gradient on TaihuLight for OpenFOAM", In Proc. of 18th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid 2018), May 2018 (to appear). (採択率 20.8%)

#### 【査読なし国際会議発表】

- 1) Akira Nukada. "Automatic FFT Kernel Generation for CUDA GPUs", In Proc. of SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), Tokyo, Mar. 2018.

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 松岡 聡, 遠藤 敏夫, 額田 彰, 三浦 信一, 野村 哲弘, 佐藤 仁, 實本 英之, Drozd Aleksandr. 「HPC とビッグデータ・AI を融合するグリーン・クラウドスパコン TSUBAME3.0 の概要」, 情報処理学会研究報告, Vol. 2017-HPC-160, No. 29, 2017 年 7 月.
- 2) 藤田 和宏, 鶴見慶, 安良岡由規, 根本忍, 梁井善行, 渡邊寿雄, 野村 哲弘, 三浦信一, 額田 彰, 遠藤敏夫, 松岡聡. 「新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の概要」, 大学 ICT 推進協議会 2017 年度年次大会, 2017 年 12 月.

特任准教授 佐々木 淳 (高性能計算システム分野)

**【事業の概要と活動内容】**

**TSUBAME 共同利用事業の推進**

スパコン TSUBAME の計算資源を学外に提供し対価を得る TSUBAME 共同利用の事業を主導的な立場で推進した。TSUBAME 共同利用の事業は、学術国際情報センターが自主事業として実施する有償利用、および HPCI (革新的ハイパフォーマンスコンピューティングインフラ) と JHPCN (学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点) への計算資源提供で構成される。

平成 29 年度は、TSUBAME3.0 の稼働開始に備え、TSUBAME3.0 の提供料金の制定と、TSUBAME2.5 から TSUBAME3.0 への円滑な移行環境の提供に尽力し、平成 29 年 8 月～10 月までの 3 か月間 TSUBAME3.0 と TSUBAME2.5 の同時運用を実現したが、期中である平成 29 年 8 月末に私事都合により退職した。

特任講師 佐藤 幸紀 (高性能計算システム分野)

### 【研究の概要と成果】

#### アプリケーション性能プロファイリング機構の高度化とチューニングへの応用

CREST ポストペタ領域の支援を受けて開発してきた実行時アプリケーション解析ツール Exana において、キャッシュライン競合検出プロファイリング機能についての高度化を実施し、ユーザーがプロファイリング結果を踏まえて経験的に判断している最適化シナリオの作成を支援、あるいは半自動・自動化する仕組みを体系化した。性能チューニングのシナリオを実際にフィードバックする際においては、スパコン向けのアプリケーション開発において一般的に行われているソースコードを起点とするリファクタリングによる性能チューニングを支援するフローを確立し、パディングによるメモリレイアウト最適化を半自動化できることを示した。また、性能チューニングによる利得を推定する性能モデリングに関しては、機械学習技術の活用を目指し、そのプロトタイプ実装を行った。加えて、これまで実装してきた Exana のプロファイリング機構は、キャッシュライン競合検出機構 (C2Sim) も含めて GitHub を通してコミュニティに向けて公開すると同時に、TSUBAME3.0 の実験的サービスのツールとして提供し全ての TSUBAME ユーザーが利用できる環境を整備した。

#### Polyhedral コンパイラを用いたメモリ階層最適化によるシステムの性能チューニング

スパコンクラスのマシンで動作するアプリケーションでの実利用にも十分対応できる実用性を備えるループ最適化技術を確立することを目標に、オープンソースのコンパイラ基盤である LLVM やその Polyhedral 最適化のパスである Polly を活用し、LLVM-IR レベルで最適化を実施し、反復的に実行バイナリコードを生成しつつ、その実行速度を観測しながら自動で最適なチューニングパラメータを探索する PATT (Polyhedral compilation based AuTo Tile size optimizer) というツールの開発を行った。本ツールはシステムのキャッシュ階層について最適なループタイルサイズのパラメータを探索することを主とし、対象となるシステムとしては、Intel の汎用 CPU に加え、メニーコア CPU である Xeon Phi にも対応する。多次元のパラメータ空間を効率的に探索するため、Hill Climbing 法をベースとする独自のタイルサイズ選択に特化した解析的手法を開発し、汎用的な Simulated Annealing や Nelder-Mead 法よりも優れていることを確認した。

#### スーパーコンピューティング技術およびビッグデータ技術に関する研究

スパコンにおける真の意味でのハードウェアとソフトウェアのコードデザインの実現に向けた一環として、科研費萌芽や若手 B の支援を受けて FPGA アクセラレータを対象とした高位最適化技術の開発を行っている。これらの研究では、FPGA アクセラレータにおけるメモリ構造の柔軟性、カスタマイズ可能性や近年進展している Polyhedral モデルによる高位最適化技術に着目し、システムの個々のメモリ階層をアプリケーションが持つメモリアクセス

における参照局所性を最大限活用するようにカスタマイズするデータ駆動型アクセラレーションの方式を確立することを目標としている。本年度は、Maxeler社のFPGAアクセラレーションのための高位合成プラットフォームの上で、Polyhedralモデルに基づくループタイリングを適応することによりFPGAアクセラレータのメモリ階層構造に適するようにデータを分割し、任意のデータサイズを入力とした場合でもFPGAアクセラレータで処理できることを実証した。加えて、近年普及が進むFPGA向け高位合成の処理系においてPolyhedral最適化を適応するために必要な拡張について詳細に検討した。

#### 【査読付き学術論文】

- 1) Muhammad Alfian Amrizal, Atsuya Uno, Yukinori Sato, Hiroyuki Takizawa, Hiroaki Kobayashi. Energy-Performance Modeling of Speculative Checkpointing for Exascale Systems. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E100-D, No.12, pp. 2749-2760, Dec. 2017.

#### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Yukinori Sato, Tomoya Yuki, and Toshio Endo. ExanaDBT: A Dynamic Compilation System for Transparent Polyhedral Optimizations at Runtime. In Proceedings of ACM International Conference on Computing Frontiers 2017 (CF'17), May 15-17, 2017, 10 pages. DOI: 10.1145/3075564.3077627 [採択率 35.5%]
- 2) Yukinori Sato and Toshio Endo. An Accurate Simulator of Cache-line Conflicts to Exploit the Underlying Cache Performance. Proceedings of the 22nd International European Conference on Parallel and Distributed Computing, Euro-Par 2017, pp. 119-133. DOI: 10.1007/978-3-319-64203-1\_9 [採択率 28.4%]

#### 【国内会議招待講演】

- 1) 佐藤幸紀. Polyhedral コンパイラを用いたタイリングパラメータの自動調整およびメモリ階層適応型のチューニングに関わるソフトウェア技術. 自動チューニング研究会 オープンアカデミックセッション, 2017年10月7日.

#### 【査読付きポスター発表】

- 1) Tomoya Yuki, Yukinori Sato, and Toshio Endo. Evaluating Autotuning Heuristics for Loop Tiling. International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia), January, 2018. 2 pages.

#### 【査読なし国際会議発表】

- 1) Yukinori Sato. "Engineering software performance of hardware accelerators using open source compilers and tools". Position talk at panel discussion. The 4th ACM SIGPLAN International Workshop on Software Engineering for Parallel Systems (SEPS 2017), Oct. 23, 2017.

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 佐藤幸紀. FPGA アクセラレータにおけるデータ参照局所性の高位最適化. HotSPA2017, IEICE-RECONF/CPSY/DC/RIS, IPSJ-ARC 合同研究会. 2017年5月23日. 登別市. 5 pages
- 2) 幸 朋矢, 佐藤幸紀, 遠藤 敏夫. Polyhedral コンパイラを用いたタイリングパラメータ自動調整ツールのメニーコア環境での評価, 並列/分散/協調処理に関するサマータクシヨツプ (SWoPP2017), 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-160, pp.1-8, Jul. 2017.
- 3) 幸 朋矢, 佐藤幸紀, 遠藤 敏夫. タイルサイズ自動調整ツールにおけるヒューリスティックの実装と比較. 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, pp.1-7, Feb. 2018.

特任助教 三浦 信一 (高性能計算システム分野)

### 【研究の概要と成果】

#### データサイエンス推進のためのスーパーコンピュータのクラウド連携に関する研究

遺伝データや天文学データ等のサイエンスビッグデータは、シーケンサや天体カメラ等の技術進歩により取得できるデータ量は飛躍的に増大している。このようなデータに加えて、近年の AI や IoT などの技術革新は、多量のデータの処理が求められており、巨大かつ多量のビッグデータをより効率的に保存・アクセスする技術が必要になっている。また、これらのビッグデータにより、その解析に要する計算量も増大しつつあり、既存のスーパーコンピュータだけでなく、より一般的なクラウドリソースなども活用したデータ処理基盤が必要とされている。

このような中、国立情報学研究所を中心として整備が進められている、次世代の学術情報ネットワーク (SINET5) と複数のクラウド基盤を連携して活用するインタークラウド技術を用い、アプリケーション中心型オーバーレイクラウド技術の有効性を検証するための実証実験基盤の構築・運用している。また、アプリケーションに適したインタークラウドを構築・運用するための知見を所得する。これに加えて、インタークラウド資源から、大容量のサイエンスビッグデータを効率的に共有する基盤の開発を行っている。

本年度は、SINET5 を用いて、国立情報学研究所、国立遺伝学研究所、北海道大学、九州大学及び東京工業大学の 5 機関に跨る、インタークラウドのテストベッドの構築を継続して進めている。本インタークラウド環境のテストベッドを拡張し、パブリッククラウドとプライベートクラウドとの相互乗り入れを実現するために、Amazon Web Service との間に SINET クラウド接続サービスを用いてネットワークにも接続し、相互の計算資源を用いた連携基盤を構築している。

このような取り組みに加えて、本年度 8 月より稼働開始したスーパーコンピュータ TSUBAME3.0 をインタークラウド資源と相互に連携可能にするシステムを設計した。システムの連携には、TSUBAME3.0 で運用予定である Docker コンテナと SINET5 100Gbps 回線に直結された環境を使用することを想定し、スーパーコンピュータとクラウドリソースのスムーズな連携基盤の構築を進めている。

#### 次世代データセンター設備の最適化に関する研究

ビッグデータ解析や AI の処理基盤として、クラウド資源の利用が進むと、クラウド資源にもより一層の計算能力が求められることとなる。しかしながら、計算能力の向上に伴い、スーパーコンピュータと同様に、クラウドシステムの高密度化を進める必要があるが、高密度化に当たっては、電力密度の向上とそれに伴う冷却能力の向上が必要になる。しかし、現状のクラウド資源を提供する多くのデータセンターは、10kW / ラックにも満たない電力密度および冷却能力であり、今後の計算能力の増強には、現状のスーパーコンピュータ並みの

50kW / ラック以上の電力密度と冷却能力を実現する必要がある。また、システムの大規模化に伴い増大する熱量を効率的に冷却しなくてはならない。このような課題を解決するために、スーパーコンピュータの開発で得られてきた知見を、クラウドデータセンターに適用する。

本年度は、本年度 8 月より稼働した TSUBAME3.0 の導入準備と稼働実績を踏まえ、データセンター設備に適用できる技術検討を行った。また、これらの検討で得られた知見をもとに、産業技術総合研究所が整備する人工知能処理向け大規模・省電力クラウド基盤（AI Bridging Cloud Infrastructure（以下 ABCI という））に対して技術適用を行った。

具体的には、TSUBAME3.0 で実現した 32 度の冷却水を用いた直接・間接水冷技術を、ABCI へ適用している。専用設計である TSUBAME と異なり、汎用サーバを利用する ABCI に比較的高温の冷却水を用いるためには、冷却設備の新たな設計が必要であった。また、冷却水の生成には、一般的なチリングユニットを用いた冷却ではなく、TSUBAME3.0 で用いられたクーリングタワーを用いる大気冷却技術を適用した。これらにより、ラック当たり 60kW 以上の電力密度と冷却能力を実現するとともに、エネルギー効率の高い冷却を両立できる見込みとなった。このような技術の適用に当たっては、サーバ本体だけでなく、データセンターの建物本体や、その様々な付帯的設備の一体的な設計が必要であり、スーパーコンピュータ TSUBAME の導入で得られた知見に基づき、これらを ABCI だけでなく、他のデータセンターなどへの技術移転を進めていく。

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 松岡聡, 遠藤敏夫, 額田彰, 三浦信一, 野村哲弘, 佐藤仁, 實本英之, Drozd Aleksandr, “HPC とビッグデータ・AI を融合するグリーン・クラウドスパコン TSUBAME3.0 の概要”, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017), 秋田県秋田市, 2017 年 7 月.
- 2) 小川宏高, 松岡聡, 佐藤仁, 高野了成, 滝澤真一朗, 谷村勇輔, 三浦信一, 関口智嗣, “人工知能処理向け大規模・省電力クラウド基盤 AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI) の構想”, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017), 秋田県秋田市, 2017 年 7 月.
- 3) 三浦信一, “TSUBAME3 を中心としたクラウド連携基盤の構築”, Cloud Week 2017@Hokkaido University, 北海道札幌市, 2017 年 9 月.
- 4) 三浦信一, “TSUBAME3.0 - AI とビッグデータ解析のためのクラウド基盤”, Japan Luster User Group (JLUG), 東京都千代田区, 2017 年 11 月.
- 5) 藤田 和宏, 鶴見慶, 安良岡由規, 根本忍, 梁井善行, 渡邊寿雄, 野村哲弘, 三浦信一, 額田彰, 遠藤敏夫, 松岡聡, “新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の概要”, 大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会 (AXIES2017), 広島県広島市, 2017 年 12 月.

研究員 野村 哲弘 (高性能計算システム分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 機械学習的手法を用いたスパコン上のアプリケーションの効率的実行に関する研究

スーパーコンピュータ上で動作するアプリケーションの性能は、アプリケーションの特性とスーパーコンピュータの特性および実行方法によって大きく変わり、所要時間を予測して効率的に実行することは難しい。そのため、アプリケーションの実行時間や電力消費をモデル化し、ターンアラウンドタイム(ジョブを投入してから実行が終了するまでの時間)や、スパコン全体の電力消費を最適化する実行計画を作成する必要がある。

本年度は、TSUBAME2.5のジョブ実行ログを対象に、ジョブの実際の実行時間について機械学習手法を用いて予測することを試みた。アプリケーション種別や各種センサーデータ(プロセッサ利用率等)をもとにした予測で92%のF値でジョブが指定された実行時間以内に終了するか否かを予測することに成功した。本手法を発展させることにより、ジョブの早期終了可能性をスケジューリングのためのヒント情報として用いる、もしくはジョブが終了しない際に実行時間を自動調整するなどの新たなスケジューラの機能を作成することが可能になると期待している。

また並行して、アプリケーションの性能プロファイリングに用いる実行トレースについて、機械学習的手法を適用して異なる実行条件のトレースをアプリケーションを実行することなしに取得する方法について、研究を開始した。

#### 機械学習の大規模並列実行効率化に関する研究

スーパーコンピュータにおけるアプリケーション実行効率の最適化は、大別してシステムレベルの大局的パラメータチューニングと、個々のアプリケーションの特性に着目したアプリケーションレベルでのアルゴリズム・実行パラメータ最適化がある。

後者の研究として、株式会社デンソーアイティラボラトリと共同で、確率的勾配降下法(SGD)の非同期並列化実装を題材に、並列化時の通信レイテンシによって発生するパラメータ伝播の遅れである「ステールネス」の問題を解消するために、Nesterov加速法を非同期のパラメータ更新に拡張し、通信遅延の分のパラメータの変分を予測することでステールネスの影響を最小化する手法を開発した。これにより、256GPUを用いたImagenNetの学習にかかる時間を1.9倍高速化することに成功した。

#### DRAM故障のアプリケーションへの影響のモデル化に関する研究

計算機の構成要素数(ノード数やメモリの枚数、プロセッサの台数など)が増えるにしたがって、計算機全体としての平均故障間隔(MTBF)は短くなっていく。そのため、計算機の規模を拡大したとしても、故障およびそこからのリカバリのコストが規模拡大による利得を上回り、性能の向上が行えなくなる上限が存在する。

一方、計算機の故障の中には、将来読みだされることがなく上書きもしくは解放されるメモリ領域の変化など、アプリケーションに実質影響を与えないものも存在する。そこで、仮想マシンを用いて計算ノードの仮想化された物理メモリに DRAM ハードウェアの挙動に即した典型的な故障を疑似的に注入し、システムクラッシュ、解の変化(Silent Data Corruption)などのアプリケーションの挙動をシミュレーションするフレームワークの開発を行った。アプリケーションの故障パターンを精緻に把握することにより、致命的な故障が発生しない限り実行を継続するなどの、従来にはなかった故障対処手法の実現が可能となる。本フレームワークを活用することで新たな耐故障アーキテクチャの開発につなげることができると期待される。

### **TSUBAME におけるジョブ・アプリケーション実行形態の可視化およびソフトウェア整備**

GSIC が 2017 年 7 月まで運用していたスーパーコンピュータ TSUBAME2.5 では、各種センサーおよびプロセッサ利用率などの指標を常時モニタリングしており、Ganglia などのインタフェースでユーザに対して公開していた。2017 年 8 月に運用開始された TSUBAME3.0 でも引き続きログデータの解析基盤を整備して、GPU 利用率などの「TSUBAME の使われ方」の「見える化」を行えるよう集計項目の検討および収集プログラムの整備を行った。TSUBAME3.0 においても来年度分より、プロセスアカウンティングログ等に基づいたアプリケーション実行形態情報を取得・開示することを計画している。

また、TSUBAME2.5 においてアプリケーション開発インフラ整備の一環として、プロファイラ、機械学習フレームワークを中心に導入に工夫が必要なソフトウェアをインストールし、実験的サービスとして公開していた。その大半はシステムソフトウェアが更新された TSUBAME3.0 においてはユーザが容易にインストール可能であり特段の整備の必要性はないが、一部プロファイラについては整備を継続するとともに、ユーザがインストールできるアプリケーションについても積極的な情報開示を行っている。

#### **【査読付き学術論文】**

- 1) 野村哲弘、鈴木惣一郎、三上和徳、丸山直也、松岡聡、「アプリケーションからみた将来の HPCI システムへの要件の抽出のためのベンチマーク」、HPCI 利用研究成果集、2017/3/15 採録、2017/3/22 公開

#### **【査読付き国際会議・国内学会発表】**

- 1) Ikuro Sato, Ryo Fujisaki, Yosuke Oyama, Akihiro Nomura, Satoshi Matsuoka, "Asynchronous, Data-Parallel Deep Convolutional Neural Network Training with Linear Prediction Model for Parameter Transition", International Conference on Neural Information Processing 2017 (ICONIP 2017), Guangzhou, China, Nov, 2017, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70096-0\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70096-0_32) (採択率不明)

- 2) Jian Guo, Akihiro Nomura, Ryan Barton, Haoyu Zhang and Satoshi Matsuoka, "Machine Learning Predictions for Underestimation of Job Execution Time on HPC System", SupercomputingAsia 2018 (SCA 2018), Sentosa, Singapore, Mar, 2018 (採択率不明)

#### 【査読付きポスター発表】

- 1) Yosuke Oyama, Akihiro Nomura, Ikuro Sato, Hiroki Nishimura, Yukimasa Tamatsu, Satoshi Matsuoka, "Predicting Probabilistic Parameters of a Large-Scale Asynchronous SGD Deep Learning System", GPU Technology Conference 2017 (GTC 2017), Silicon Valley, USA, May, 2017 (採択率不明)

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 小林 佑矢、實本 英之、野村 哲弘、松岡 聡, "メモリアクセスパターン依存故障の注入のための QEMU ベース故障注入器", 2017 年並列/分散/協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 2) 山川智史、野村哲弘、松岡聡, "メタゲノム解析アプリケーション GHOSTZ-GPU の性能モデリングおよび改善", 2017 年並列/分散/協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 3) 辻 陽平、野村 哲弘、實本 英之、佐藤 育郎、松岡 聡, "動的なプロセス数操作による分散深層学習の耐故障性と性能評価", 2017 年並列/分散/協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 4) 松岡 聡, 遠藤 敏夫, 額田 彰, 三浦 信一, 野村 哲弘, 佐藤 仁, 實本 英之, Drozd Aleksand, "HPC とビッグデータ・AI を融合するグリーン・クラウドスパコン TSUBAME3.0 の概要", 2017 年並列/分散/協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017) , 秋田, Jul, 2017
- 5) 藤田 和宏, 鶴見慶, 安良岡由規, 根本忍, 梁井善行, 渡邊寿雄, 野村哲弘, 三浦信一, 額田彰, 遠藤敏夫, 松岡聡, "新スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 の概要", 大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会 (AXIES2017), 広島, Dec, 2017
- 6) 小林 佑矢、實本 英之、野村 哲弘、松岡 聡, "メモリアクセスパターン依存故障の注入のための QEMU ベース故障注入器", 情報処理学会 第 163 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 愛媛, Mar, 2018
- 7) Akihiro Nomura, "Optimizing TSUBAME2.5 Network with Sub-Optimal Infrastructure", SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP'18), Tokyo, Japan, Mar, 2018

#### 【特許出願】

- 1) 大山洋介(30%) 佐藤育郎(25%) 西村裕紀(25%) 野村哲弘(10%) 松岡聡(10%) 「予測装置、予測方法および予測プログラム」 特願 2016-150221、2016/7/29 出願

特任教授 小林 宏充 (先端研究部門)

## 【研究の概要と成果】

### 適合格子細分化法を用いた乱流の GPU 計算

青木尊之教授と共同で複数 GPU を用いた乱流計算への適用について、継続して研究を行っている。

乱流は、流れの速度が増加すると粘性力よりも慣性力が上回ることで、無秩序でカオス的な流れとして現れる。このように予測不可能な流れを数値計算によって解明するためには、細かい多くの格子を用い、高レイノルズ数でも計算が発散せず統計的に実験と近い結果を予測する乱流モデルと組み合わせることが必要になってくる。

そこで、すべての空間の格子点を細かくするとメモリや計算時間が増大するため、物体の近くや流れが剥離するような変化の激しい領域で格子を細かくする適合格子細分化法を用いている。また乱流モデルとしては、非定常な計算にも対応ができる Large-eddy Simulation (LES) を行い、渦の周りでエネルギー輸送が行われることに注目して自作した Coherent Structure Model (CSM) を適用している。

計算手法としては、計算格子幅を自由に変化させることが利点である有限差分法や格子間隔は整数倍で細分化は可能であるが一定の格子幅とすることで計算精度を高める格子ボルツマン法を用いて検討を行っている。

球周りの流れは角柱などに比べ剥離点が自由に動くことから、非常に難しい計算の一つである。抗力が急激に変化する Drag Crisis の問題を、球の近傍に適合格子細分化法を用いて格子ボルツマン法と CSM を組み合わせた検討を行っている。また、有限差分法系のスキームで 2 次元の垂直軸風車計算を行い、適合格子細分化法と CSM を組み合わせた検討も行っている。実験と一致する結果に向けて、更なる検討を行う予定である。

### 楕円渦周りにおける LES の SGS エネルギー輸送および SGS 力の解析に基づくモデル検討

乱流中には多くの渦管構造が存在し、その断面は楕円形のバーガーズ渦で模擬されることが知られている。その渦周りにおいて、格子で解像できる量から格子では解像できない subgrid-scale (SGS) へのエネルギー輸送および SGS 力と整合するモデルを検討した。その結果、渦粘性モデルではなく、Scale-similarity モデルと呼ばれるスケール相似な項を利用することで、それらと整合する結果が得られた。さらにその項を用いた SGS モデルの検討を channel 乱流で行い、良好な結果が得られた。

### 超新星爆発に寄与する対称性の破れたニュートリノ流体の乱流計算

超新星爆発の計算がこれまで多く行われているが、2 次元計算では衝撃波を突き破る爆発が実現しているものの、3 次元計算とすると爆発が起きないという問題が知られている。2 次元では小さなスケールから大きなスケールへの逆カスケードが支配的であるが、3 次元計

算では大きなスケールから小さなスケールへの順カスケードが支配的となることが原因と考えられている。

これまで考慮されていなかった効果として、ニュートリノの右と左の対称性、つまりカイラル対称性の破れがある。超新星が自己重力で圧縮された際に高密度の左巻きのニュートリノ流体となる。この対称性の破れから、渦方向に流れを生じるカイラル渦効果や磁場方向に電流が生じるカイラル磁気効果などが理論的に予想されている。

まずは中性のニュートリノ流体について、回転を与えた一様等方性乱流の計算を行った。その結果、強い回転を与えることで、ニュートリノの密度は回転軸方向に揃った大きな渦構造となり逆カスケードが起こることがわかった。またその際に渦方向に流れが生じるカイラル渦効果も観測され、その結果流体のもつ流れと渦度の積で表されるヘリシティがニュートリノ密度に変換されて増大していくことを始めて計算によって明らかにした。逆カスケードにより局所的に大きな構造ができ、その密度が増大することから、この結果は3次元計算では爆発が起こらないという問題を解決する一つの効果と考えられる。

### 量子乱流における量子渦糸計算と Navier-Stokes 方程式の同時解法の検討

ヘリウムを極低温まで冷却すると粘性がゼロの超流体と粘性をもつ常流体が混ざった2流体としてモデル化できることが実験的にも明らかにされている。超流体中には渦の循環を1つしか持たない量子化された渦、すなわち量子渦として存在している。この渦は通常の乱流中に見られる粘性拡散をとめない様々な値の循環をもつ渦とは異なる。そのようなヘリウムが満たされた矩形ダクトの一方を熱すると常流体は高温から低温側へ移動し、運動量を保存するように超流体は低温側から高温側へ移動する熱カウンター流が実現する。この際に与える熱量を増加させると超流体の速度が増加するが、ある速度を超えると流れにくくなることが知られている。これは超流体の速度が増加したことで、量子渦が乱流化し、毛玉のような量子タングル状態になることで、常流体との間に相互摩擦力が発生したと考えられている。

これまで量子乱流の渦糸計算が一様等方な条件で行われ、実験と整合する結果が得られてきている。一方、最近のレーザー計測によって、矩形ダクト内の常流体の速度分布が可視化できるようになった。その結果、常流体の速度が遅いときは放物形の数値分布であるが、ある値を超えると壁近くが平坦化し、中央が放物形の数値分布となることが分かった。これを **tail-flattened** 流と呼んでいる。そこでは超流体が乱流化し、常流体は層流状態で実現していると考えられているが、2流体を同時に解く計算はこれまで行われていない。

そこで、相互摩擦力を介して2流体を同時に解き、超流体が量子乱流の状態になると強い相互摩擦力に起因して、常流体の速度分布が平坦化することを初めて明らかにした。超流体の速度が増すと渦糸密度が指数関数的に増大し、計算が困難になることから、今後計算の高速化について検討を行っていく必要がある。

#### 【査読付き学術論文】

- 1) Satoshi Yui, Makoto Tsubota, Hiromichi Kobayashi, “Three-dimensional coupled dynamics of two-fluid model in superfluid 4He: Deformed velocity profile of normal fluid in thermal counterflow”, Physical Review Letters, to be accepted (2018)

#### 【査読なし学術論文】

- 1) 小林宏充, 「液体金属 MHD 発電の最近の進展」, 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす, 96 巻, pp.193-198 (2017)

#### 【査読付き国際会議発表】

- 1) Hiromichi Kobayashi, “Improvement of SGS model using analysis of SGS force and SGS energy transfer”, The 10th Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP-10), Chicago, USA (2017)

#### 【査読なし国際会議発表】

- 1) Satoshi Yui, Makoto Tsubota, Hiromichi Kobayashi, “Coupled dynamics of the two-fluid in superfluid 4He: deformed velocity profiles in counterflow quantum turbulence ”, International Conference on Ultra Low Temperature Physics, ULT 2017: Frontiers of Low Temperature Physics, Heidelberg, Germany (2017)
- 2) Makoto Tsubota, Satoshi Yui, Hiromichi Kobayashi, “Fully coupled dynamics of two-fluid model in thermal counterflow: deformation of the Poiseuille normal fluid profile”, 28th International Conference on Low Temperature Physics, Gothenburg, Sweden (2017)
- 3) Makoto Tsubota, Satoshi Yui, Hiromichi Kobayashi, “Fully coupled dynamics of the two-fluid model in thermal counterflow in a square channel”, Quantum Turbulence Workshop, Tallahassee, USA (2017)

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 湯井悟志, 坪田誠, 小林宏充, 「超流動 4He における 2 流体結合ダイナミクス: 熱対向流における常流動速度場の変形」, 日本物理学会 第 73 回年次大会, 東京 (2018)
- 2) 中野義之, 小林宏充, 奥野喜裕, 「カイラル効果を考慮した超新星爆発シミュレーション」, 電気学会 新エネルギー・環境研究会, 講演要旨集 FTE-17-028, 滋賀 (2017)
- 3) 小林 宏充, 「SGS 力と SGS エネルギー輸送を考慮した SGS モデルの改善」, 流体力学会年会 2017, 東京 (2017)

### 7-3 受賞学術賞等

岩崎颯, 青木尊之, 渡辺勢也, 長谷川雄太: グラフィックスアワード 特別賞 MicroAVS 賞

日本計算工学会 第22回計算工学講演会

格子ボルツマン法を用いたイルカのフリースイミングの数値解析

(2017年6月1日)

松浦 知史: 日本ソフトウェア科学会 第21回研究論文賞(2016年度)

日本ソフトウェア科学会

(2017年9月)

長沼 大樹 (横田 (理) 研究室): 総合3位、Persistent-Neodesign 賞

Stanford's Health Hackathon Health++ 2017

(2017年10月22日)

長沼 大樹 (横田 (理) 研究室): デジタルクリエイティブ部門最優秀賞

日本万国博覧会誘致委員会

(2017年11月23日)

## 8. 業務貢献

### 8-1 専門委員会所属・開催状況

氏名	認証基盤	ネットワーク	コンピュータシステム		グローバル 資源	共同 利用	広報
			(研究系)	(教育系)			
山田 功	○		○			○	○
西畑 伸也	○	○	○	○		○	◎
青木 尊之			○	○	○	◎	○
一色 剛	◎	○	○	○			
友石 正彦	○	◎	○	○			
西崎 真也	○	○		◎			○
松岡 聡		○	◎	○	○	○	
山口しのぶ					◎		
北口 善明		○					
横田 理央			○		○	○	
遠藤 敏夫		○	○				○
松浦 知史	○	○					
實本 英之	○		○				○
渡邊 寿雄			○			○	○
額田 彰			○				
佐々木 淳						○	
金 勇		○					

専門委員会開催数 (メール審議含む)	認証基盤専門委員会	2回
	ネットワークシステム専門委員会	4回
	コンピュータシステム専門委員会	5回
	学内課金検討WG	1回
	高性能コンピュータシステム専門委員会	4回
	教育用コンピュータシステム専門委員会	1回
	T S U B A M E 課金検討WG	0回
	グローバル情報資源活用協働専門委員会	1回
	共同利用専門委員会	1回
	広報専門委員会 S C ブース展示WG	1回 1回

定期ミーティング開催数	認証基盤システム	42回
	ネットワークシステム	48回
	コンピュータシステム	39回
	T S U B A M E	49回
	教育システム	12回
	共同利用・共用促進事業	47回

## 8-2 講演会・セミナー・シンポジウム等企画・実施状況

件名	企画・実施者氏名
平成 29 年 T S U B A M E 春の講習会 (4/19~5/26/2017)	情報基盤課
平成 29 年 T S U B A M E 秋の講習会 (10/16~11/28/2017)	情報基盤課
ホームカミングデー T S U B A M E 2.5 一般公開(05/20/2017)	情報基盤課
ISC17 出展 (6/18~6/22/2017)	松岡 聡、遠藤 敏夫
第 9 J H P C N シンポジウム (7/13~7/14/2017)	青木 尊之、横田 理央
オープンキャンパス T S U B A M E 2.5 一般公開 (8/10/2017)	渡邊 寿雄、額田 彰 情報基盤課
第 23 回スーパーコンピューティングコンテスト (8/21~8/25/2017)	委員長：西崎 真也 権藤 克彦 (情報理工院) 遠藤 敏夫、額田 彰
工大祭 T S U B A M E 2.5 一般公開 (10/7,8/2017)	遠藤 敏夫、横田 理央 佐藤 幸紀、野村 哲弘 情報基盤課
SuperComputing 2017 ブース出展 (11/13~11/16/2017)	松岡 聡、青木 尊之 遠藤 敏夫、横田 理央 額田 彰、渡邊 寿雄
ADAC-5 Workshop (15-16/2/2018)	横田 理央、遠藤 敏夫 野村 哲弘
HPC Saudi 2018 (12-15/2018)	横田 理央
NAMD による自由エネルギー計算のハンズオン講習会 (3/5/2018)	渡邊 寿雄

### 8-3 仕様策定・技術審査対応状況

件名	対応教職員（★委員長）
PDF 作成及び編集、動画像編集、DTP ソフトウェア包括ライセンス 一式	(仕様策定) ★一色 剛、實本 英之 小野 忍、伊藤 剛、藤田 和宏 (技術審査) 根本 忍、新里 卓史、一瀬 光
数値解析ソフトウェア包括 ライセンス 一式	(仕様策定) ★一色 剛、小野 忍、鶴見 慶 (技術審査) 根本 忍、藤田 和宏 梁井 善行
東京工業大学キャンパス包括ソフトウェア ライセンス 一式	(仕様策定) ★一色 剛、實本 英之 小野 忍、伊藤 剛、藤田 和宏 (技術審査) 根本 忍、新里 卓史、一瀬 光
東京工業大学共通メールシステム 一式	(仕様策定) ★友石 正彦、一色 剛 松浦 知史、井上 進 (技術審査) 實本 英之、昆野 長典
不正通信に対する高度な検知および追跡機 能を備えたセキュリティシステム 一式	(仕様策定) ★松浦 知史、友石 正彦 岸本 幸一、森 健人 (技術審査) 北口 善明、金 勇、森谷 寛

### 8-4 国際共同研究コーディネート・マッチング状況

件名	対応者氏名
プリンストン大学計算理工学研究所	横田 理央
アブドゥラ国王科学技術大学(KAUST)	横田 理央
スイス連邦工科大学チューリッヒ校	横田 理央
オークリッジ国立研究所	横田 理央
ラオスルアンパバーン政府世界遺産局	山口 しのぶ



東京工業大学学術国際情報センター年報  
2017 年度  
第 16 号

---

編集 東京工業大学学術国際情報センター広報専門委員会  
発行 東京工業大学学術国際情報センター  
〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1  
電話 03-5734-2087

---