

# GSIC年報 Annual Report 2020

---

第 19 号

---

東京工業大学 学術国際情報センター



## 2020年度 年報 目次

巻頭言	1
トピックス	3
トピック1	3
トピック2	7
トピック3	10
トピック4	12
1. 組織・運営	13
1-1 組織図	13
1-2 教員一覧および人事異動	14
1-3 事務組織	15
1-4 各種委員会メンバー一覧	17
1-5 運営委員会開催状況	18
2. 情報基盤サービス	21
2-1 スーパーコンピュータシステム	21
2-1-1 構成	21
2-1-2 運用	23
2-1-3 実績	23
2-2 教育用電子計算機システム	28
2-2-1 概要	28
2-2-2 構成	28
2-2-3 運用	29
2-2-4 実績	30
2-3 ホスティングサービス	34
2-4 ネットワークシステム	36
2-4-1 有線ネットワーク (Titanet3)	36
2-4-2 無線ネットワーク (TW2)	37
2-4-3 その他のサービス	39
2-4-4 特記事項	41
2-5 情報セキュリティ	44
2-6 キャンパス共通認証・認可システム	47
2-6-1 構成	47
2-6-2 運用	47
2-6-3 実績	48

2-7	ソフトウェア包括契約	51
2-7-1	概要	51
2-7-2	運用	52
2-7-3	実績	53
2-8	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	57
2-9	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）の運用と資源提供	63
2-10	TSUBAME 共同利用サービス 有償の学術利用と産業利用	68
2-11	TSUBAME 公募型共同利用支援制度	72
2-11-1	TSUBAME グランドチャレンジ大規模計算制度	72
2-11-2	萌芽的研究課題支援制度	73
3.	国際協働研究	75
3-1	MOU に基づく国際共同研究	75
3-2	国際シンポジウム・ワークショップ	75
3-3	外部資金による国際共同研究	75
3-3-1	『スリランカにおける降雨による高速長距離土砂流動災害の早期警戒技術の開発』プロジェクト	75
3-3-2	『強烈な台風下の海面を通過しての熱・運動量輸送機構の解明とそのモデル化』プロジェクト	76
4.	イベント及びアウトリーチ活動	77
4-1	国際会議 SC20 におけるオンライン出展	77
4-2	第 26 回スーパーコンピューティングコンテスト	79
4-3	講習会	80
5.	広報活動	81
5-1	マスコミ報道等	81
5-2	見学者受入状況	83
6.	予算執行状況	85
7.	研究部門活動報告	87
7-1	情報支援部門	87
	杉野 暢彦	87
	友石 正彦	88
	西崎 真也	90
	松浦 知史	91
	北口 善明	92
	石井 将大	95
	金 勇	96

7-2	先端研究部門	99
	青木 尊之	99
	遠藤 敏夫	107
	横田 理央	110
	大西 領	119
	渡邊 寿雄	124
	Dmitry Kolomenskiy	125
	野村 哲弘	129
	小林 宏充	132
7-3	受賞学術賞等	136
8.	業務貢献	137
8-1	専門委員会所属・開催状況	137
8-2	講演会・セミナー・シンポジウム等企画・実施状況	138
8-3	仕様策定・技術審査対応状況	139



## 巻頭言

学術国際情報センター長 伊東 利哉

学術国際情報センター(GSIC)のセンター長を拝命して1年が経過致しました。振り返ると2020年度はGSICにとって大きな出来事が多数あった激動の1年でした。何年か後にこの1年間を総括すると、正に「GSICの転換点だった」と位置付けられるのではないかと思っています。

ご承知のように2020年度はコロナ対策と共にスタートしました。情報基盤支援に関連する出来事で、今年度の顕著な事項をまとめますと、以下のようになるかと思えます。

1. 混乱の中で新学期を開始するために、井村副学長をリーダーとするWGにおいて、遠隔講義の実施のための諸々の方策の策定とヘルプデスクの立ち上げには多方面から協力した。
2. 出校制限がある中で、キャンパスネットワークや東工大ポータルなどのライフラインとしての情報基盤を無停止で運用継続するためのリモート環境での運用体制を整備・強化することで、全学の教育・研究・事務処理業務全般を下支えした。
3. 在宅勤務においても業務効率を保つために、事務局仕様の専用T2BOXをゴールデン・ウィーク明けに提供し、出校制限下での事務処理環境を一定程度維持することに貢献した。

このような状況で、全学的にDX推進の必要性が実感され始め、学長・理事副学長からの要望に応えるべく、数か月間の意見交換を経た上で、全学として以下の方針をお認めいただきました。

- ▶ Zoomの包括契約を行い、潤沢な遠隔講義・会議の環境を継続
- ▶ 業務改善のための新しいコミュニケーションツールとしてSlackの全学導入
- ▶ 業務改善のための新しい情報共有ツールとしてのBoxの全学導入
- ▶ 全学的にDXを推進するための受け皿としてDX推進室の設置

また、これらのツールの安全な利用環境を実現するために、OFC情報基盤支援部門の多大な協力により新しい認証の仕組みを導入する共に、情報基盤課と密な連携を通じて、これらのツール利用のためのガイドラインを策定し、令和3年度の全学展開に向けて環境整備を進めて参りました。

一方でGSICのもう一つの大きな柱であるTSUBAMEに関しても、極めて大きな出来事がありました。現在稼働中のTSUBAME3.0は2022年夏に更新を予定しておりました。このことに関して、今年度前半から概ね半年間、学長・理事副学長とGSICの間で議論を重ねて参りました。そして、今後のTSUBAMEの在り方等に関して、年末に以下の結論に達することができました。

- ▶ TSUBAME3.0の稼働を1年延長しTSUBAME4.0を2023年夏に導入
- ▶ TSUBAME4.0はすずかけ台キャンパス(G4A棟)に設置

現在は相当に混雑している TSUBAME3.0 ですが、後継の TSUBAME4.0 では、一層の高機能と利便性の向上が提実現できるように、関連の教職員でしっかりと準備を進めていく所存です。

このようにコロナ対策に始まりコロナ対策に終わった1年でしたが、GSICの先生方、情報基盤課の職員の皆様、そしてOFC情報基盤支援部門の技術職員の皆様の献身的な協力により、何とか無事に乗り切ることができました。昨年度と同様ですが、改めて心より御礼申し上げます。

まだまだ情報サービスが十分ではない部分もあろうかと思いますが、着実にサービスレベルの向上を実現していきたいと考えております。このことが、本学の教育・研究環境と事務処理業の改善に繋がり、本学がより一層学びやすい・働きやすい場所となることを心から願ってやみません。

## トピックス

### トピック1

#### 東工大版 DX 基盤・新しいデジタル業務環境創出に向けて

副センター長 宮崎 純

教授 杉野 暢彦

教授 西崎 真也

准教授 松浦 知史

サイバーセキュリティの脅威が増す中で、本学ではセキュリティの確保と業務改善のあり方を根本的に見直し、データストレージとして Box、コミュニケーションツールとして Slack と Zoom を導入し、DX の推進に取り組んでいる。Zoom は主に教育向けという位置づけで全教員を対象とし、Box、Slack は大学運営の業務目的として教職員全員を対象としている。

現状での大きな問題点はデータの散在である。これは一つにはメール中心の文化によって引き起こされている。コミュニケーションとデータが強く結びついており、コミュニケーションを取るほどに添付ファイル等によってデータが追跡不可能な状態で拡散し続けている。本来はコミュニケーションツールであるメールソフトがデータの保管庫と化している事もメール依存を強める要因である。Emotet 等々の例を挙げるまでも無く、世界中に存在する数え切れない攻撃者と直接双方向にやり取りが可能なメールは根本的に非常に危険性の高いツールであり、マルウェア感染や情報漏えいなどのリスクが常に付きまとう。

本学ではこの状況を打破するために、コミュニケーションとデータを分離し、データを中心とした業務フローを確立する事を目指している。具体的には Box 上で業務に基づきデータを管理し、Slack/Zoom 上で業務上のコミュニケーションを行う事を推奨している。各人が個別に抱えていたデータが Box 上で集約される事により構造的に安全性が高まる事に加え、きめ細かなアクセス制御や監査機能なども充実しており、より安全な環境が期待出来る。また、これらのサービスは本学の認証基盤の利用を前提としており 2 段階認証によって認証を得た信頼性の高いメンバー同士でのコミュニケーションやデータのコラボレーションが可能となっている。メールの様に攻撃者と容易にコミュニケーション可能なツールとは違い、認証されたメンバー同士という限定された空間での安全な業務遂行が可能となり、安全性を確保しながら業務に基づくデータの共有やコミュニケーションを行う事で業務改善にも寄与すると考えている。

また、データの散在という大きな問題は個別システムの乱立に寄っても引き起こされている面もあり、メール中心の考え方と並んで大きなリスクである。システムの乱立に関してもデータを中心とした考えに則り、データの集約・整理を行いながらそのデータ基盤の上にシステムが連携する様に段階的に取り組み始めた所である。

DX 基盤の構築は本学では始まったばかりであり、現状では DX の「D」つまりデータの整理に力が置かれている状態である。まずは Slack / Box / Zoom の安定運用やユーザ支援

に注力する予定である。一方でDXの本質はデータを活用して新たな成果を得る「X」の部分にあり、東工大のビジョンや構成員が望む業務の方向性を見極めた上で、「X」の部分に重点的に取り組む計画である。以降では、本学DXの要であるSlackとBoxについて概説する。

Slackはチャットを中心にビデオ通話、簡単なワークフロー作成など様々な機能を含むクラウドサービスで、業界的にはIM（インスタントメッセージ）に分類されている。歴史的には、2000年代後半からのスマートフォンの普及に伴い、LINE、Chatworks、WeChatなど様々な無料チャットツールのサービスが開始され、若者を中心に爆発的に普及し、現在は巷のコミュニケーションがほぼこれらのツールに依存している。その後、2014年以降これらチャットツールが「ビジネス（業務）向け」のサービスを次々と開始し、企業を中心に欧米の大学などにも利用者が広がっている。2019年には、全世界でのユーザ数（アクティブユーザ）が1000万人を超えている。

Slackは、それまでの内線電話や電子メールの「安心感」・「時間を選ばない」という利点を併せ持ち、「チャット」という響きの通り「手軽さ」が業務の効率化には大きく寄与すると考える。Slackの利用者は東工大ポータルへのログイン（SSO）を経由して認証を行ったメンバーに限定され、メンバー外からも受け取れる電子メールのセキュリティ上の問題も回避できる。これまで、全学への通知は一斉配信メールによって行われてきたが、これは、全体に配送されるまでに10分～2時間程度のディレイがあるが、Slack上の全学通知であれば、一瞬にして全員に掲示することが可能である。また、検索機能も強力で、組織（ワークスペース）内のメンバー検索により、連絡先を手軽に見つけ出すことができる。メッセージ検索を使えば、キーワードが含まれている過去のメッセージ（アーカイブ含む）の内容全体を手軽に検索することも可能である。

もう一方の要であるBoxは、クラウドストレージの一つである。クラウドストレージにはBoxの他にもGoogle DriveやDropbox、Microsoft OneDriveなど多くのサービスが展開されている。これらのクラウドストレージは、以前からある程度のユーザに定常的に利用されていた。しかし、2020年春以降、COVID-19による在宅勤務が世界中で強いられて以降クラウドストレージが急速に普及するにつれ、機密性の高いデータを、在宅で安全かつ便利に利用することに多くの関心が向けられた。その中でもBoxは安全性が高く、本学でBoxが導入された大きな理由も、そのセキュリティの高さにある。これは、セキュリティが重要視される企業や中央官庁でBoxが採用されていることから窺い知ることができる。

Boxは、柔軟にセキュリティレベルを制御できる点で優れている。共有範囲として、指定した特定ユーザ限定、東工大メンバー限定、全世界公開の3種類あり、それとは別にデータ操作権限として、データの編集権限、ファイルリクエスト権限、ダウンロード権限、プレビュー権限など7種類用意されている。これらを使い分けることにより、各データに対して柔軟なセキュリティ制御を行える。一般ユーザから見ることにはできないが、一般ユーザだけでなく管理者ユーザも含めて全ての操作は監査ログとして残り、この監査ログは管理者ユー

ザであっても改竄することはできない点において、より高いセキュリティを確保している。Box 自体のセキュリティだけでなく、本学では Box 利用時において、Slack と同様東工大ポータルでの SSO 認証により利用者を東工大メンバーに限定することで、より安全性を高めている。

利便性については、特定のオペレーティングシステムに依存しないよう、ブラウザを利用して GUI ベースで容易にデータを操作できる。他のクラウドサービスと同様、Word や Excel をクラウド上で操作できる仕組みもあるが、BoxTools を利用すれば、手元の PC にファイルを自動的にダウンロードし、ネットワークの遅延に依存せずローカルファイルのように快適に操作することができる。ファイルをセーブした際にはクラウド上に自動的にファイルが書き込まれるなど、シームレスなファイル操作も提供している。ファイルのバージョン管理も、本学の現行設定では 100 バージョンまで残り、うっかり編集ミスのまま上書き保存したり、壊れたファイルを誤って上書きアップロードした際でも、過去のファイル状態にいつでも容易に回復させることが可能な点において利便性が高い。Slack には、Box と連携するためのアプリも配布されている。これを利用すると、Slack の中から Box のファイルの閲覧やダウンロードが容易となり、業務を進める上で非常に強い味方になると考える。

Slack/Box は双方ともクラウドサービスであり、データやメッセージは地理的に離れた複数のデータセンターに複製されて保存される。このため、大学内、在宅勤務、さらに国外であってもネットワークさえあれば快適に利用できる。また、万一災害が発生しても、大学内のサーバでデータやメッセージを保管するよりも十分に安全である。

本学での Slack/Box の試行は、まず 2020 年 10 月から 200 名程度で事前試行を開始した。この 200 名は、元々ある程度 ICT に精通した精鋭メンバーで、中には既に Slack を業務に使っていた方もおり、事前試行の結果として様々な有益なご意見を頂いた。この場を借りて感謝を伝えたい。2021 年 2 月からは事務職員と情報理工学院の教職員、合わせて 1800 名程度に規模を拡大した試行利用を開始した。その知見は、現在アンケートにより収集中であるが、利用はこの 2 ヶ月程度で私の想像を遥かに上回るスピードで広がっているように映る。その 1 つの裏付けとして、2 月の開始当初は、チャンネル数が 200 強程度だったところ、この 4 月中旬にはチャンネル数が 4 倍となる 850 を超えている。2021 年 5 月 12 日からは教員を含めた職員全体 3500 名程度による本格利用を開始した。

新しいツールなので、わからないこと、使い方に困る場面もあると思われる。周りに利用方法を直接聞き、DX 化推進のヘルプチャンネルを是非ご活用頂きたい。また、利用にあたっては、守って頂く必要のあるルールやポリシーが定められている。例えば、全学通知のチャンネルへの投稿方法はルールで縛られている。他にも、各業務案件については、Slack 上のメッセージやファイルとして残すのではなく、BOX など項目ごとに区分して保存して管理することが求められている。大切な点は、「書き込み（情報）がどのような区分・性質のもので、メンバーのどの範囲で共有してよいか／するべきか」を職員一人一人が意識を持つこと、このことが、DX 化推進のスタートの最初の大きな一歩と認識している。

GSIC のメンバーは最近周りから「DX 化推進で大変ですね」と声をかけられることが多くなっているが、その度に私は声を大にして「DX 化推進の主役は皆さんです。」と返している。まずは、Slack/Box というツールを上手に利用して頂き、利用者の業務がこれまでより少しずつでも円滑に進められるようになればよいと考えている。運用においてはまだまだ解決しなければならない事項も多く、利用者の皆様にもご迷惑をおかけし、お手数をおかけすることも多々あると思うが、是非、ご協力頂き、教職員全員でこの令和の大事業に取り組んでいければ幸いである。

## トピック 2

### 令和元年度の HPCI システム利用研究課題・優秀成果賞を 学術国際情報センター先端研究部門の教員が研究代表者の 2 課題が受賞

教授 青木 尊之  
准教授 横田 理央

令和元年度（平成 31 年度）に実施・完了した「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題のうち、一般利用枠 115 課題の中から 8 課題に優秀成果賞が授与された。その優秀成果賞の 8 課題のうちの 2 課題が学術国際情報センター・先端研究部門の横田理央准教授が研究代表者の課題 hp190122 と青木尊之教授が研究代表者の課題 hp190130 である。両課題ともスパコン TSUBAME3.0 を利用する研究内容で、令和 2 年 10 月 30 日に開催されたオンラインの成果報告会の後に授賞式が行われた。青木尊之教授は前年に続き 2 年連続の優秀成果賞の受賞である。

横田理央准教授が研究代表者の課題 hp190122 「超大規模並列深層学習のための革新的最適化手法の開発」では、以下のような成果が得られた。

深層学習では、膨大な教師データと大規模なニューラルネットを用いることで従来の機械学習手法に比べて高い認識精度・翻訳精度を実現できることが示されているが、そのための計算量は近年指数関数的に増加している。本研究では、分散並列環境下において二次最適化のオーバーヘッドが現在主流の一次最適化とほぼ同等にまで低減できることを示した。また、二次最適化を用いることで 1/3 程度の反復回数で同等の精度まで収束できることを示した。

分散並列深層学習のベンチマークとして最もよく用いられているのは ImageNet の ResNet-50 を用いた学習であるため、本研究ではこれを対象とした。Facebook は 512GPU で 30 分、Preferred Networks は 1024GPU で 15 分、Tencent は 2048GPU で 7 分、Google は 1024TPU で 2 分で学習を行っているが、本研究は最終的には 2048GPU で 1.9 分を達成し、これら日米中のトップ AI 企業の記録を上回ることができた。これらの企業は確率的勾配降下法(SGD)を用いて 90epoch かけて学習しているのに対して、本研究では自然勾配法を用いて 30epoch で収束させることができた。また、ステップあたりの計算時間も当初は SGD の 10 倍程度かかっていたが、Kronecker 因子分解、データ並列からモデル並列への切り替え、二次行列の計算頻度削減などを組み合わせることにより、SGD の 2 倍程度にまで低減することができた。

データに関する強スケールリングのベンチマークである ImageNet の分散並列学習において 2048GPU を用いた場合でもほぼ 100%の並列化効率を実現することができた。ただし、この事自体は問題の性質上容易なことであり、GAFA の結果でもほぼ同等の台数で同様の並列化

効率が実現できている。本研究の成果として顕著なのは、従来法の SGD では 90 epoch かかっていた学習に対し 2 次最適化を用いることで 30 epoch に低減できたことと、反復あたりのオーバーヘッドに対しクロネッカー因子分解(500x)、行列の更新頻度削減(10x)、データ並列とモデル並列のハイブリッド化(2048x)を組み合わせることで従来の 1GPU での 2 次最適化手法に比べて 10,000,000 倍の高速化を実現し、現実的な時間では厳密な計算が不可能と言われていた ImageNet 規模での 2

次最適化を実現できたことである。また、実現できただけでなく SGD と比べてほぼ同等の計算時間にまで低減できたことも、現時点で世界のどの研究グループからも追従を許していないオンリーワンの成果となっている。512GPU までの反復あたりの計算時間の内訳を図 1 に示す。2 次最適化のオーバーヘッドである inverse の計算時間が GPU 数が増えるにつれて減少していることが分かる。

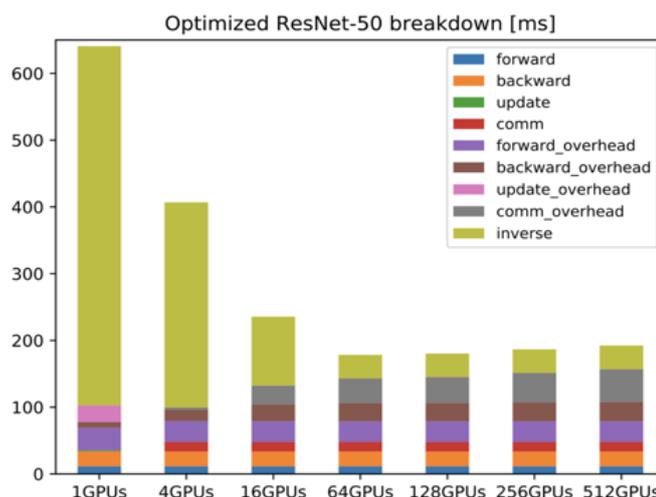


図 1 512GPU までの反復あたりの計算時間の内訳

青木尊之教授が研究代表者の課題 hp190130「多量の瓦礫・流木を含んだ豪雨災害・津波シミュレーション」では、以下のような成果が得られた。

遡上する津波や台風・豪雨による斜面災害では、多量の瓦礫や流木を伴った流れが発生し、建物などへの被害は水圧によるものよりも浮遊してきた固体との衝突の方が深刻である。多量の浮遊物（瓦礫や流木）を含んだ自由界面流れに対し、高解像度格子を用いて広範囲の大規模計算を行う。実験との比較によるコードの検証、多量の浮遊物を含んだ混相流の計算精度、浮遊物が構造物等に衝突する際にどのような衝撃が発生するのか、さらに浮遊物が特定の場所にどのように補足されるかなどを明らかにする必要がある。

安定で高精度なキュムラント型格子ボルツマン法を基に、自由表面を含んだ流体と任意形状の浮遊物体の相互作用を計算できるコードを開発した。さらに自由表面近傍及び物体近傍に高解像度格子を動的に割当てする AMR (Adaptive Mesh Refinement) 法と、空間充填曲線を用いた領域分割による動的負荷分散を導入した。これらを GPU 計算に実装することで、GPU スパコンの複数ノードを使った大規模混相流シミュレーションが可能になった。

八戸工業大学の 15 m 水槽実験では、ポールの本数を 8 本と 18 本の 2 通りに対し、模擬流木として 47 本の 2 cm×2 cm×20 cm の直方体のケミカルウッド(密度 580 kg/m<sup>3</sup>)を用い、流木捕捉について実験との比較を行った。シミュレーションと実験のスナップショットを対比したものを図 2 に示す。ポールの本数が 8 本の場合には模擬流木は全く捕捉されない

が、18 本の場合には実験もシミュレーションも半数を超える模擬流木が捕捉されている。図2では捕捉された模擬流木の配置や流れに対する角度、重なり方なども実験とシミュレーションで非常に酷似している。

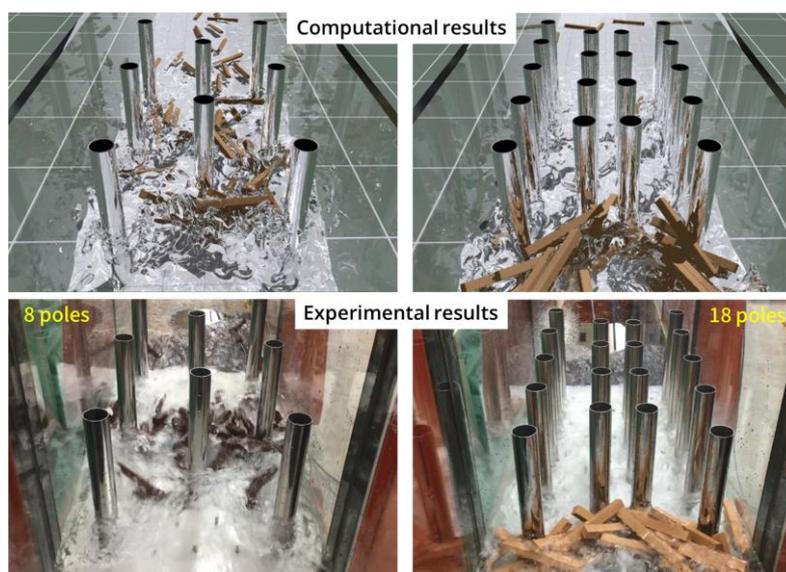


図2 15 m 水槽での流木捕捉のシミュレーション（上）と実験（下）の比較

神戸大学の70 m 水槽を使った実験とシミュレーションの比較でも、10 cm×10 cm×150 cmの木材が流される速さや角度まで良く一致する結果が得られた。さらに、流木の衝撃力は流体圧力よりも30倍以上大きいことが明らかになり、浮遊物を含んだ流れの構造物へのダメージについて重要な知見を得ることができた。

優秀成果賞の選定理由は HPCI ポータルサイトの下記ページで公開されている。

[https://www.hpci-office.jp/materials/r0210\\_houkokukai\\_souhyo.pdf](https://www.hpci-office.jp/materials/r0210_houkokukai_souhyo.pdf)

### トピック 3

#### プレスリリース：フォークボールの落ちる謎をスパコンで解明

学術国際情報センター 先端研究部門 青木 尊之  
九州大学 応用力学研究所 渡辺 勢也  
学術国際情報センター 特任教授 小林 宏充

学術国際情報センターの青木尊之教授を研究代表者とする東工大・九州大・慶應大の共同研究チームは、令和2年度に採択された HPCI システム利用研究課題「回転するハイスピード野球ボールの空力解析」において、スパコン TSUBAME3.0 を用いて野球ボールを縫い目の回転まで詳細に計算する数値流体シミュレーションを実施した。その結果、ツーシーム回転のボールでは、縫い目のある範囲の角度で「負のマグナス効果」が発生し、低速回転のツーシームであるフォークボールを落下させる大きな要因となることを初めて見出した。

フォークボールはバックスピンの回転をしているため、マグナス効果により浮き上がる軌道になるはずであるが、ほとんど浮き上がらず放物線に近い軌道を取ることが知られており、その理由は謎のままであった。

滑らかな球に対しては、実測でもシミュレーションでも特定の条件が揃ったときに「負のマグナス効果」という下向きに働く力が確認されていたが、縫い目のある野球ボールでは「発生しない」と思われてきた。また、高速度カメラによる計測では軌道や球速の変化を測定することはできるが、ボールのどの部分にどのような空力を受けるのか、さらにその時間変化までは分からなかった。

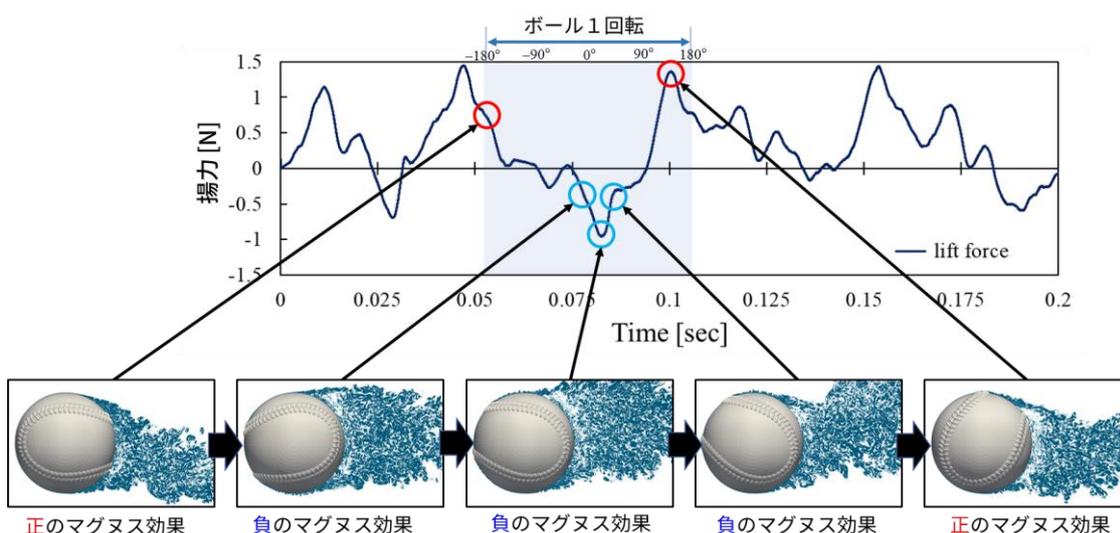


図1 ツーシーム回転のボールの縦方向に働く力

縫い目がツーシームでバックスピンの低速回転しているフォークボールに対して、スパコン TSUBAME3.0 を用いた数値流体シミュレーションを行った結果、低速回転で上向きの揚力が弱いため放物線軌道に近づくのではなく、下向きの力「負のマグナス効果」が縫い目の角度が $-30$ 度から $90$ 度の範囲で発生することにより軌道が下がることを初めて見出した（図 1）。また、同じ球速と回転数のフォーシームでは「負のマグナス効果」が発生しないことも見出した。

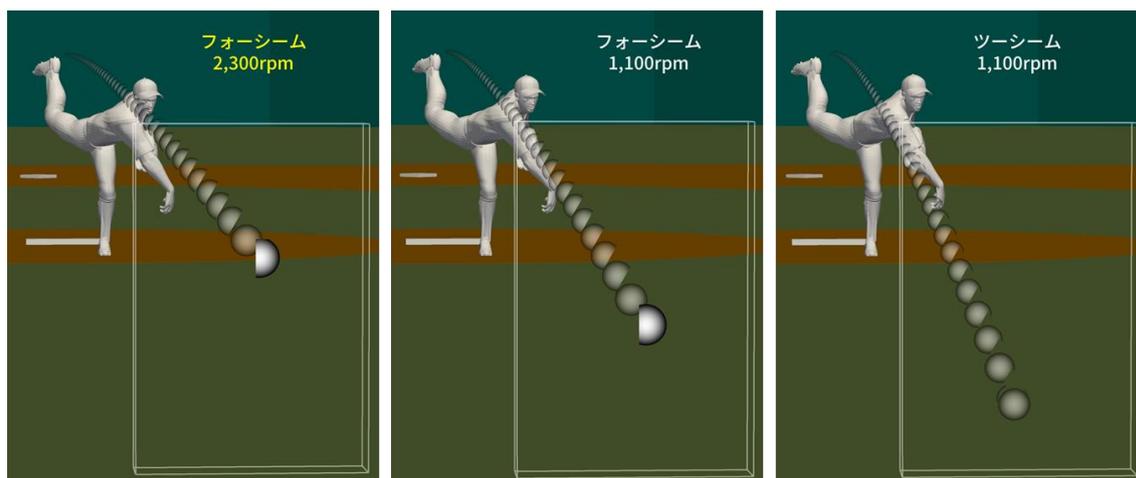


図 2 縫い目と回転数に応じたボールの軌道の違い

さらに投手がボールをリリースした直後の球速・回転速度・回転軸が分かれば、その後のボールの軌道を精度よく再現できることも分かった。球速が時速  $150\text{km}$ 、回転数が  $1,100\text{rpm}$  のツーシームとフォーシームでは、縫い目が違うだけで打者の手元でのボールの落差が  $19\text{cm}$  も異なることが明らかになった（図 2）。

福岡ソフトバンクホークスの千賀滉大投手のフォークボールは落差が非常に大きいことで有名であるが、その縫い目の回転はツーシームでなくジャイロ回転と言われている。これに対してもシミュレーションを実行した結果、 $1,100\text{rpm}$  のツーシームよりさらに軌道の落差が大きいことが分かった。

本研究成果は 2020 年 11 月に開催された「日本機械学会シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2020」にて発表された内容を基に、その後に得られた有力なデータを加え、2021 年 3 月 23 日にプレスリリースしたものである。

## トピック 4

### SuperCon2020 富岳チャレンジ

教授 西崎 真也

SuperCon2020 予選は実施したものの、日本国内における新型コロナウイルス感染症拡大状況を鑑み、SuperCon2020 本選は中止と決定した。しかし、理化学研究所計算科学研究センターを共同主催者に加え、本選出場チームにスーパーコンピュータ「富岳」におけるプログラミングを体験してもらうオンラインイベント「富岳チャレンジ」を2020年9月13日～22日の期間に実施した。

富岳チャレンジでは、SuperCon2020 予選問題に対して並列プログラミング API である OpenMP を用いたプログラミングに取り組むということを課題とした。本選出場チームのうちから16チームが参加し、富岳上でのプログラミングに取り組んだ。

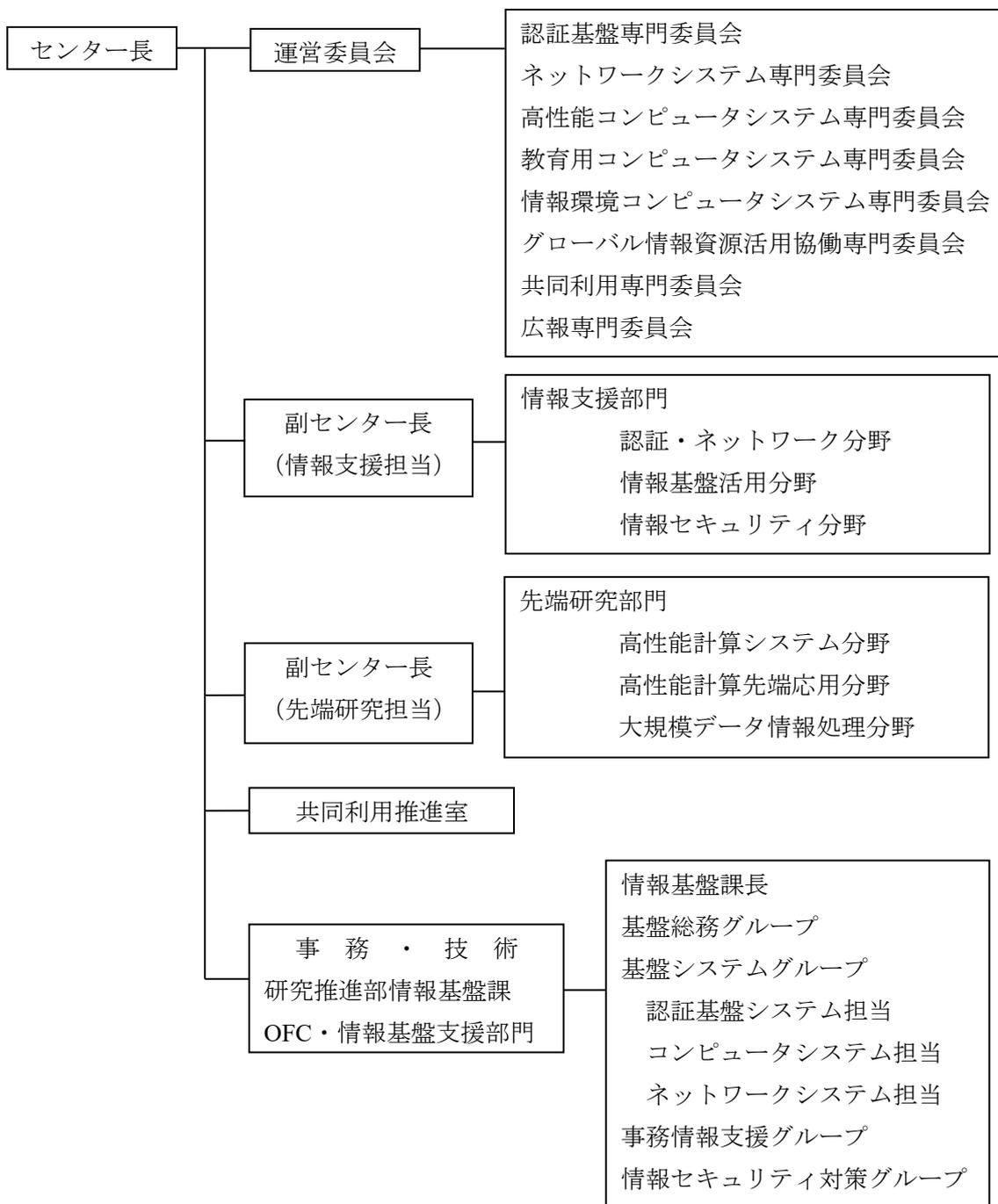
最終日9月22日(火・祝)に、閉会式が開催された。参加チームの高校生・高専生、本学・理化学研究所・大阪大学の関係者をはじめとして文部科学省、共催団体、協賛企業等からの参加者があった。本学学術国際情報センターの元教員である、理化学研究所計算科学研究センター長 松岡聡氏の挨拶、大阪大学総長 西尾章治郎氏のビデオメッセージから始まり、各参加者チームの高校生・高専生による富岳上でのプログラミングでの体験に関するプレゼンテーションが行われた。そのプレゼンテーションでは「富岳の性能を活かすプログラミングは難しかった」「大変貴重な体験だった」などの感想が寄せられた。

続いて、本学教員中村誠希氏(情報理工学院情報工学系助教)からの問題解説及び問題作成側からの講評、理化学研究所計算科学研究センター似鳥啓吾氏からの富岳活用の視点からの講評が行われた。

その後、文部科学省研究振興局局長 杉野剛氏からのビデオメッセージとともに、参加チームに対して「文部科学大臣特別賞」が授与されることが発表された。最後に、本学 益一哉学長より閉会の辞として、高校生・高専生に対して、自身の学生時代の体験をふまえた挨拶があった。

# 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	伊東 利哉【情報理工学院】	
副センター長（情報支援担当）（兼）	教授	宮崎 純【情報理工学院】	
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/情報セキュリティ分野）

教	授	杉野 暢彦	
教	授	友石 正彦	
教	授	西崎 真也	
准	教	授	北口 善明
准	教	授	松浦 知史
助	教	石井 将大	
特	任	助	教
特	任	助	教
		金 勇	
		織田 豊一	R2.11.1~

### 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）

教	授	青木 尊之	
教	授	遠藤 敏夫	
准	教	授	横田 理央
准	教	授	大西 領
特	任	准	教授
特	任	准	教授
		KOLOMENSKIY Dmitry	R2.8.1~
		(研究員：R2.4.1~R2.7.31)	
助	教	野村 哲弘	
研	究	員	杉原 健太
研	究	員	幸 朋矢
研	究	員	前澤 朋子
研	究	員	Marlon ARCE ACUNA
研	究	員	松下 真太郎
研	究	員	廣川 雄一
特	任	教	授
特	定	教	授
特	定	教	授
特	定	助	教
		小林 宏充	
		藤澤 克樹	
		中村 豊	
		三浦 信一	R2.4.1~R3.3.31
			R2.4.1~R2.7.15
			R2.7.1~R3.3.31

共同利用推進室

室長(兼務) 教 授	青木 尊之	
特任准教授	渡邊 寿雄	
特任専門員	大川 敦史	~R3.3.31
技術支援員	松本 豊	

1-3 事務組織

情報基盤課長	木村 修平	R2.4.1~
特任専門員	加覧 秀己	

基盤総務グループ (庶務及び会計)

グループ長	遠藤 貴恵子
スタッフ	丸山 諒司
事務限定職員	伊藤 智子
事務限定職員	木下 裕子

基盤システムグループ

グループ長	香月 稔
-------	------

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
主 任	昆野 長典
技術専門員	太刀川 博之
技術専門員	新里 卓史
技術職員	一瀬 光
技術職員	伊藤 剛
技術支援員	國島 理香子

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	香月 稔	
主 任	阿部 公一	
主 任	鶴見 慶	
スタッフ	梁井 善行	~R2.10.31
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	後 藤 祐 輝
技 術 専 門 員	隅 水 良 幸
技 術 専 門 員	後 藤 洋 子
技 術 職 員	大 場 準 也
技 術 職 員	岸 本 幸 一
事 務 支 援 員	渋 谷 優 子

事務情報支援グループ（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	今 村 克 也	
主 任	池 谷 圭 太	R2.7.1~
ス タ ッ フ	小 野 寺 愛	
ス タ ッ フ	駒 井 優 哉	R2.4.1~
ス タ ッ フ	石 坂 佳 樹	R2.11.1~
事 務 限 定 職 員	岩 崎 敏 則	

情報セキュリティ対策グループ

（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	
主 任	荻 原 明 子	R2.9.1~
技 術 専 門 員	神 野 文 男	
技 術 職 員	森 健 人	

# 1-4 各種委員会メンバー一覧

★委員長

所	職	氏名	運営	認証基盤	ネットワーク	高性能コフ	教育用コフ	情報環境コフ	グローバル資	共同利用	広報
センター長	教授	伊東	★	○		○	○	○		○	○
副センター長(情報支援担当)	教授	宮崎	○	○	○			○			★
副センター長(先端研究担当)	教授	青木	○			○			★	★	○
学術国際情報センター	教授	杉野	○	★	○	○	○	○			
学術国際情報センター	教授	友石	○	○	★	○	○	○			
学術国際情報センター	教授	西崎	○	○	○		★	★			○
学術国際情報センター	教授	遠藤	○		○	★			○	○	○
学術国際情報センター	准教授	北口	○		○						
学術国際情報センター	准教授	松浦	○	○	○						
学術国際情報センター	准教授	横田	○			○			○	○	
学術国際情報センター	准教授	大西	○							○	
理学院	教授	後藤	○								
工学院	教授	府川	○								
物質理工学院	准教授	古屋	○			○					
環境・社会理工学院	准教授	竹村次	○								
情報理工学院	准教授	小林隆	○								
リベラルアーツ研究教育院	講師	毛塚	○								
生命理工学院	教授	北尾	○								
科学技術創成研究院	教授	藤井	○								
科学技術創成研究院	准教授	近藤	○								
戦略的経営オフィス	副学長	森雅	○								
教育・国際連携本部	理事・副学長特別補佐	神田	○						○		
研究・産学連携本部	副学長	伊東	○								
キャンパスマネジメント本部	副学長	岡田	○								
附属図書館長	教授	山室	○								
附属科学技術高等学校長	教授	中川	○								
国際教育推進機構	副学長	井村	○								
事務局長	事務局長	藤野	○								
学術国際情報センター	助教	石井			○						
学術国際情報センター	助教	野村				○				○	
学術国際情報センター	特任准教授	渡邊				○				○	○
学術国際情報センター	特任助教	金勇			○						
理学院	教授	河合		○							
理学院	教授	齊藤								○	
理学院	准教授	植草			○						
理学院	准教授	古賀				○					
理学院	助教	岡元				○					
工学院	教授	天谷					○				
工学院	教授	店橋								○	
工学院	教授	肖鋒				○					
工学院	教授	山口		○	○						
工学院	教授	尾形		○	○		○				
工学院	教授	山岡			○						
工学院	教授	藤田		○							
工学院	准教授	原精					○				
工学院	教授	一色		○	○						
環境・社会理工学院	教授	高田							○		
環境・社会理工学院	教授	山口							○		
環境・社会理工学院	准教授	山下			○						
環境・社会理工学院	准教授	阿部					○				
情報理工学院	教授	山村			○						
情報理工学院	准教授	石田				○					
情報理工学院	教授	徳永			○						
情報理工学院	教授	篠田				○					
情報理工学院	教授	権藤					○				
情報理工学院	教授	増原					○				
情報理工学院	准教授	藤井		○							
情報理工学院	准教授	小野				○					
情報理工学院	准教授	脇田			○						
情報理工学院	准教授	首藤			○						
情報理工学院	教授	鹿島		○			○				
情報理工学院	教授	渡部					○	○			
情報理工学院	講師	土岡				○					
生命理工学院	教授	伊藤			○						
生命理工学院	准教授	山田		○							
生命理工学院	助教	門之				○					
リベラルアーツ研究教育院研究教育院	教授	室田			○		○				
リベラルアーツ研究教育院研究教育院	准教授	赤間				○	○				
情報理工学院	准教授	関嶋					○				
科学技術創成研究院	教授	奥村			○						
科学技術創成研究院	准教授	田巻			○						
地球生命研究所	准教授	玄田				○					
附属科学技術高等学校	主幹教諭	仲道			○						
東京大学	准教授	堀敏								○	
名古屋大学	教授	片桐								○	
筑波大学	教授	建部								○	
NTTメディアインテリジェンス研究	主幹研究員	高村								○	
海洋研究開発機構	センター長代理	新井								○	
教務課	課長	堤田		○							
教務課	学務ICTグループ長	小野						○			
施設整備課	主査	中尾			○						
情報図書館課	課長	茂出		○							
施設安全総合企画課安全企画室	室長	細谷									
情報基盤課	課長	木村		○							○

## 1-5 運営委員会開催状況

### ■2020年5月11日（月）メール開催

#### <審議事項>

- ・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について
- ・国立台湾大学国立科学研究センターとの部局間協定（MOU）の締結について

#### <報告事項>

- ・運営委員会及び各専門委員会の委員名簿について

### ■2020年6月15日（月）メール開催

#### <審議事項>

- ・特任教員選考委員会設置について（大規模データ情報処理分野）
- ・特任教員選考委員会設置について（認証・ネットワーク分野）
- ・部局間協定（MOU）の変更について

### ■2020年7月14日（火）メール開催

#### <審議事項>

- ・特任准教授選考結果報告について

### ■2020年9月9日（水）メール開催

#### <審議事項>

- ・東京工業大学特別研究員の称号付与について

### ■2020年9月18日（金）メール開催

#### <審議事項>

- ・特任助教選考結果報告について

■2020年11月11日（水）メール開催

<審議事項>

- ・東京工業大学特別研究員の称号付与について

■2021年2月22日（月）メール開催

<審議事項>

- ・情報支援部門 情報基盤活用分野 特任教授選考委員会設置について
- ・東京工業大学特別研究員の称号付与について

■2021年3月3日（水）メール開催

<審議事項>

- ・特任教授選考結果報告について

■2021年3月29日（月）Zoom開催

<報告事項>

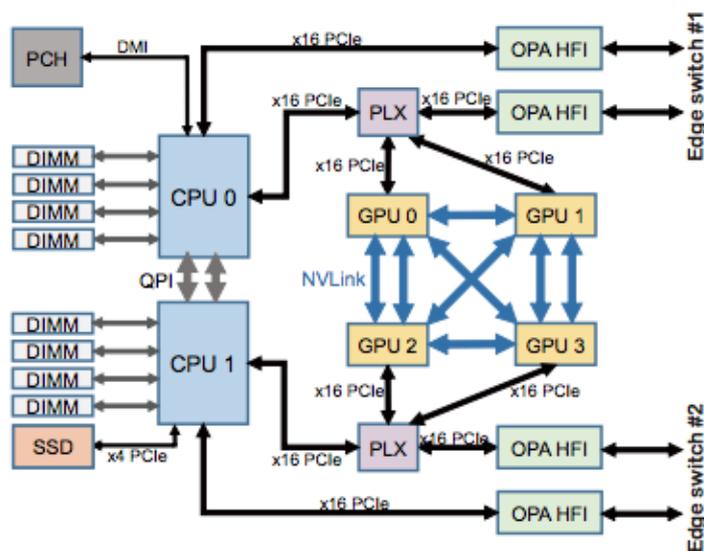
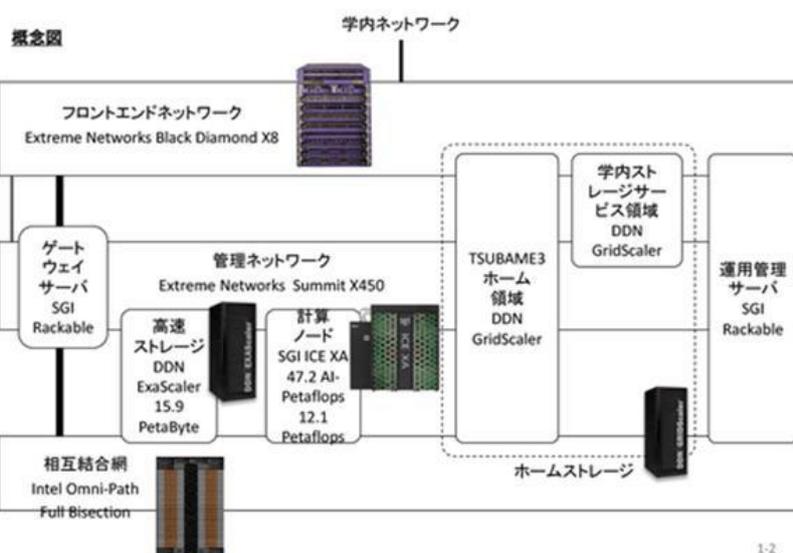
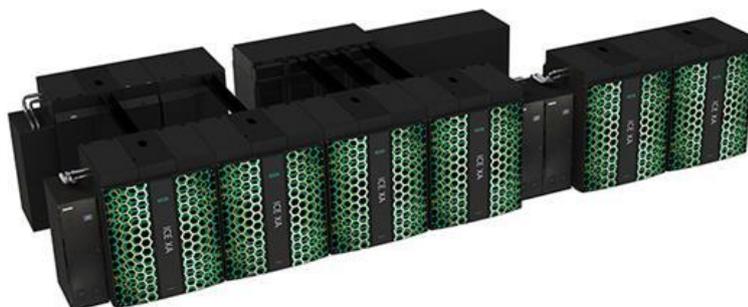
- ・学術国際情報センター先端研究部門高性能計算システム分野准教授  
選考結果報告について
- ・学術国際情報センター情報支援部門認証・ネットワーク分野准教授  
再任審査委員会設置報告について
- ・組織改編に伴う規則改正について



## 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



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 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	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 SP4
コンパイラ等	GCC, Intel Compiler, PGI Compiler, NVIDIA HPC SDK
ライブラリ	Intel MPI, SGI MPI, OpenMPI, CUDA, CuDNN, NCCL 他
アプリケーション	Arm 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

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。

### 2-1-3 実績

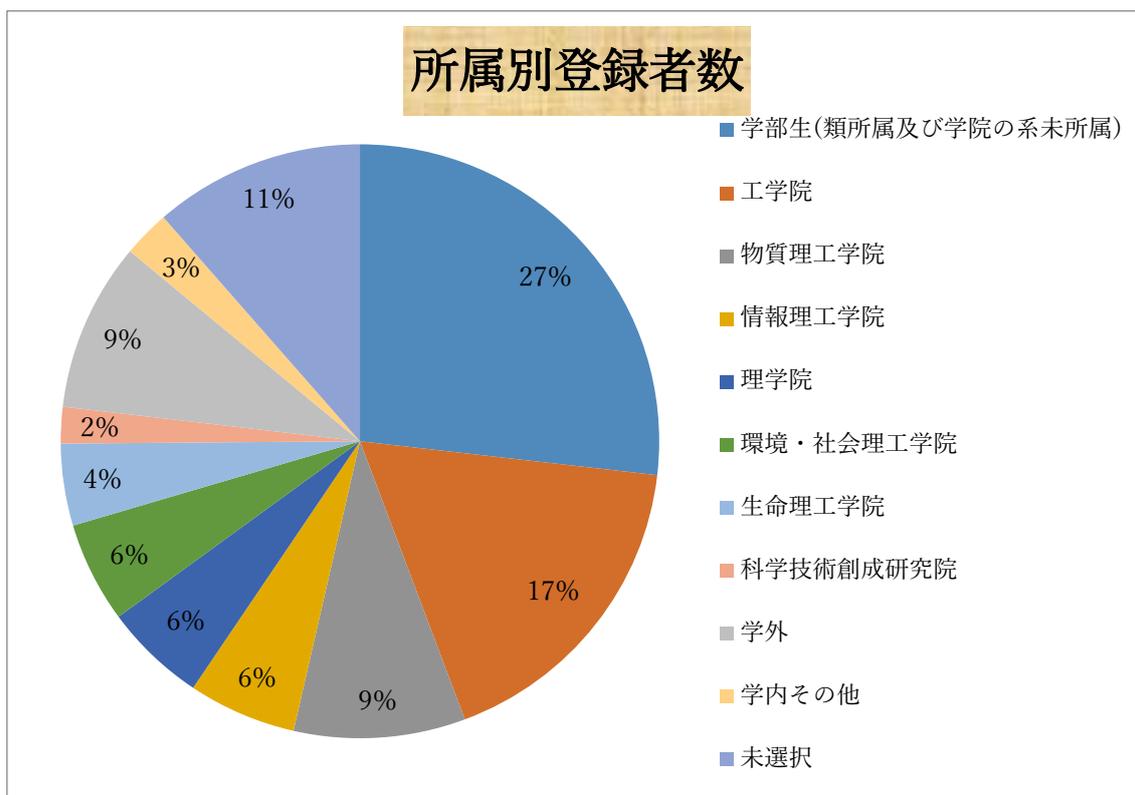
#### ◎2020 年度計算機利用料収入内訳(単位：円)

総収入		267,007,500
学内		95,105,000
学外	国立大学／大学共同利用機関	9,130,000
	公立大学	1,870,000
	私立大学	550,000
	他省庁	220,000
	独立行政法人	12,540,000
	民間	147,592,500

#### ◎利用者登録状況(単位：人)

2020 年									2021 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
6384	6283	6232	6278	6334	6385	6366	6468	6490	6523	6541	6551

◎所属別登録状況



◎システム利用状況 (ユニークユーザ数)

月	(A)ログインノード	(B)Web サービス(Jupyter Lab)	(A)か(B)の何れかを利用
2020/04	487	11	489
2020/05	730	92	760
2020/06	630	94	693
2020/07	573	24	582
2020/08	557	16	561
2020/09	586	27	595
2020/10	707	27	711
2020/11	655	18	662
2020/12	691	37	704
2021/01	642	29	658
2021/02	623	26	638
2021/03	563	11	568
合計	1,527	232	1,594

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)
2020/04	9,142	76,105	2,243	7,831	34,440	101,731
2020/05	35,049	160,497	3,725	6,771	53,193	302,154
2020/06	40,312	211,392	48,760	11,878	102,203	191,620
2020/07	81,233	256,574	23,561	15,818	115,899	155,572
2020/08	46,373	187,458	9,383	12,753	98,529	129,624
2020/09	23,056	216,259	4,931	26,131	58,218	180,335
2020/10	106,271	279,297	12,171	30,885	101,353	139,550
2020/11	45,204	271,382	10,606	22,663	18,410	140,278
2020/12	27,696	242,000	14,062	40,899	75,905	250,747
2021/01	16,166	260,798	46,580	55,267	67,245	155,095
2021/02	13,885	231,919	23,968	40,928	41,046	155,619
2021/03	46,901	244,522	6,282	30,741	86,527	119,635
合計	491,288	2,638,202	206,272	302,564	852,968	2,021,959

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)
2020/04	832	4,181	3,163	11,567	29,804	23,767
2020/05	3,445	10,891	6,989	7,235	52,722	51,114
2020/06	3,780	10,385	6,998	24,157	87,500	66,126
2020/07	8,997	17,064	17,601	9,507	50,677	55,057
2020/08	4,979	11,564	6,593	4,395	40,384	37,510
2020/09	3,930	14,728	5,262	6,185	34,513	33,263
2020/10	5,404	11,837	18,800	18,902	41,686	48,708
2020/11	7,104	8,378	22,521	21,352	23,469	56,560
2020/12	14,615	31,518	25,048	36,271	24,117	51,635
2021/01	24,173	25,520	22,287	17,706	48,967	71,310
2021/02	3,879	14,634	6,901	11,797	7,353	69,620
2021/03	5,632	15,779	19,614	14,826	25,186	55,135
合計	86,770	176,479	161,777	183,901	466,378	619,804

◎予約キュー

月	予約件数	利用グループ数 (ユニーク)	ノード・時間積 (hour)
2020/04	25	7	2,568
2020/05	25	10	7,472
2020/06	43	13	90,648
2020/07	18	10	17,964
2020/08	22	12	23,980
2020/09	55	19	129,544
2020/10	41	16	235,696
2020/11	95	28	84,660
2020/12	225	44	542,104
2021/01	238	34	381,044
2021/02	88	22	190,096
2021/03	131	29	225,944
合計	1,006	111	1,931,720

◎システム障害件数

	2020年									2021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	2	2	0	4	0	6	3	8	4	1	1	2	33
ハードウェア	4	1	4	3	4	4	2	2	6	3	5	4	42
月小計	6	3	4	7	4	10	5	10	10	4	6	6	75

◎運用実績

月日	
2020.4.7	2020年度運用開始
2020.8.11 9:00 - 8.19 17:00	全学停電のためサービス停止
2020.11.30 9:00 - 12.1 17:00	冷却系のメンテナンスによるサービス停止
2020.12.28 17:00 - 2021.1.4 9:00	年末年始のため復旧・サポート業務停止
2021.3.29 9:00	2020年度運用終了

### ◎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。

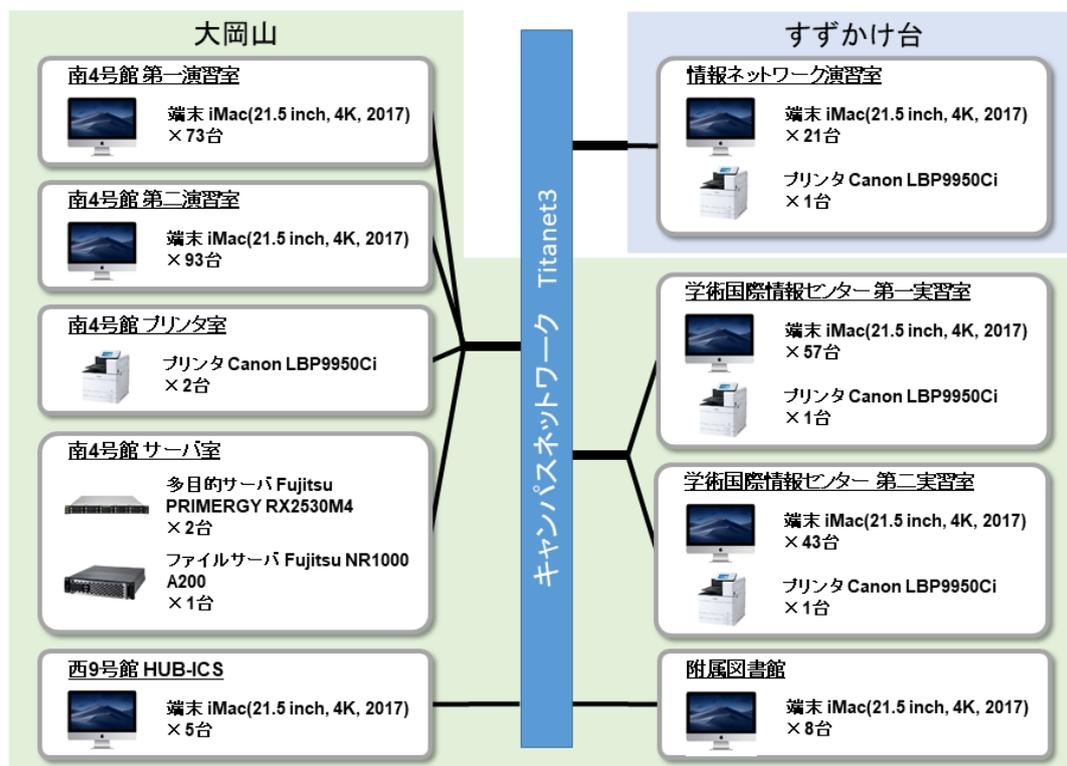
## 2-2 教育用電子計算機システム

### 2-2-1 概要

現在の教育用電子計算機システムは2019年度より運用開始した。教育用電子計算機システムは学部1年生を対象とする情報基礎科目教育(情報リテラシ・コンピュータサイエンス)と学部2年生以上を対象とする計算機を使用する専門科目教育のために利用されている。東工大ICカード(学生証)を持つ者であれば誰でも利用でき、TSUBAMEや履修システムといった学内リソースへアクセスするための端末としても利用されている。

### 2-2-2 構成

受講者数に応じた教育効率を考慮し、各教室(演習室、実習室)の収容人数は異なっている。すずかけ台演習室については学部授業の実施がなくなったため大幅に規模を縮小している。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とカラーレーザプリンタを設置し、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。



システム構成図

### 【ハードウェア構成】

クライアント端末 iMac Retina 4K, 21.5 インチ, 2017	学術国際情報センター3 階実習室	100 台
	大岡山南 4 号館情報ネットワーク演習室	166 台
	すずかけ台情報ネットワーク演習室	21 台
	大岡山西 9 号館 ICS	5 台
	大岡山附属図書館	8 台

カラーレーザープリンタ Canon LBP9950Ci	学術国際情報センター3 階実習室	2 台
	大岡山南 4 号館情報ネットワーク演習室	2 台
	すずかけ台情報ネットワーク演習室	1 台

### 【ソフトウェア構成】

オペレーティングシステム	macOS Mojave 10.14.6 Windows 10 Education
アプリケーション	Adobe Creative Cloud, ChemOffice Professional, Gaussian, GaussView, MATLAB, Mathematica, Microsoft Office, Spartan
プログラミング言語処理系	C, C++, Eclipse, Etoys, Fortran77, Fortran90/95, Java, Perl, Prolog, Python, Ruby, Squeak, Xcode

## 2-2-3 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、連動してアカウントの作成・削除を行っている。利用者は東工大ポータルから教育用電子計算機システムの認証サーバにシングルサインオンし、認証サーバ上でパスワード設定をすることで利用可能となる。

### (2) 利用時間

教室は平日 8:30 から 17:30 の間に利用することができる。授業で利用している時間については履修者以外の利用を認めないが、授業利用以外の時間については自由に利用することが可能である。

夜間利用について、17:30 以降は教室が施錠されるため、入室する場合は東工大 IC カードを使う。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、20 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、いずれも教室も土曜・日曜及び祭日は防犯上の理由から入室を禁止している。

図書館および HUB-ICS の利用時間は各施設の開館時間に準じる。

2020 年度においては COVID-19 対応のため時間割が変更になったことから、施設時間は 17:30 から 18:30 に変更された。

(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)

**2-2-4 実績**

本学の COVID-19 対応により 2020 年度はオンライン授業を主として教室での授業を大幅に制限したため、教育用電子計算機システムの利用は大幅に減少した。授業コマ数については実際に教室を利用したものを数えている。夏期授業以降に一部で教室での授業が認められたが、情報基礎科目はすべてオンライン授業となり、教室を利用しなかった。

すずかけ台演習室については入居している附属図書館の建物改修工事のため、4 月以降は閉鎖となり授業は実施されなかった。改修工事終了後の 2021 年 6 月以降に移転して再開される予定である。

	大岡山				すずかけ台 演習室	学内設置		学内 合計	ユニーク ユーザ数
	GSIC 第 1 実習室	GSIC 第 2 実習室	南 4 号館 第 1 演習室	南 4 号館 第 2 演習室		図書館	HUB-ICS		
2020 年 4 月	21	27	6	24	4	3	0	85	53
2020 年 5 月	1	1	2	1	0	22	0	27	13
2020 年 6 月	3	25	0	0	0	12	0	40	14
2020 年 7 月	3	0	0	0	0	0	0	3	3

2020年 8月	6	5	3	82	0	3	3	102	39
2020年 9月	7	0	8	93	0	1	2	111	44
2020年 10月	305	38	115	159	0	16	3	636	219
2020年 11月	156	10	57	123	0	2	0	348	155
2020年 12月	114	37	222	506	0	1	1	881	204
2021年 1月	81	2	27	98	0	3	0	211	85
2021年 2月	37	5	8	30	0	7	0	87	59
2021年 3月	3	9	4	0	0	9	0	25	15
合計	737	159	452	1,116	4	79	9	2,556	621

◎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	夏期授業	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	-	-	0	0	0
コンピュータサイエンス	-	-	0	0	0
その他	-	-	1	2	1

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	夏期授業	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	-	-	0	0	0
コンピュータサイエンス	-	-	0	0	0
その他	-	-	0	0	0

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	夏期授業	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	-	-	0	0	0
コンピュータサイエンス	-	-	0	0	0
その他	-	-	2	3	4

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	夏期授業	第3クォータ	第4クォータ
情報リテラシー	-	-	0	0	0
コンピュータサイエンス	-	-	0	0	0
その他	-	-	3	3	3

※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。  
 ※COVID-19 対応のため第1クォータおよび第2クォータの対面授業は実施されなかった。

◎プリンタ利用状況

プリンタ毎の印刷枚数(単位：枚)

月		南4号館		GSIC		すずかけ台	計	合計
		pr1	pr2	pr3	pr4	pr5		
2020年 4月	モノクロ	491	34	23	100	10	658	884
	カラー	7	134	8	73	4	226	
2020年 5月	モノクロ	0	0	0	0	0	0	0
	カラー	0	0	0	0	0	0	
2020年 6月	モノクロ	0	0	11	0	0	11	96
	カラー	0	0	85	0	0	85	
2020年 7月	モノクロ	0	0	12	0	0	12	151
	カラー	0	0	139	0	0	139	
2020年 8月	モノクロ	1	7	3	6	0	17	82
	カラー	5	0	42	18	0	65	
2020年 9月	モノクロ	19	29	2	0	0	50	143
	カラー	61	0	28	4	0	93	
2020年 10月	モノクロ	109	224	91	173	0	597	1,005
	カラー	167	79	115	47	0	40	

2020年 11月	モノクロ	93	210	76	15	0	394	736
	カラー	13	111	146	72	0	342	
2020年 12月	モノクロ	77	82	201	14	0	374	683
	カラー	8	62	159	80	0	309	
2021年 1月	モノクロ	0	11	7	0	0	18	69
	カラー	3	48	0	0	0	51	
2021年 2月	モノクロ	460	34	2	0	0	496	872
	カラー	50	326	0	0	0	376	
2021年 3月	モノクロ	0	0	3	2	0	5	8
	カラー	0	0	3	0	0	3	
合計	モノクロ	1,250	631	431	310	10	2,632	4,729
	カラー	314	760	725	294	4	2,097	

**プリンタ利用者数(単位：人)**

月	印刷ユーザ数
2020年4月	23
2020年5月	0
2020年6月	3
2020年7月	4
2020年8月	9
2020年9月	7
2020年10月	40
2020年11月	36
2020年12月	25
2021年1月	11
2021年2月	11
2021年3月	3
年間ユニーク数	147

## 2-3 ホスティングサービス

TSUBAME2.5 の運用終了に伴い、ホスティングサービスは TSUBAME から独立し GSIC ホスティングと形を変え平成 30 年度より運用を開始した。

プロジェクト名
1. WEB サーバ代行サービス
2. 高性能計算コンピュータシステム
3. TOKYO TECH OCW
4. 東工大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. 研究・産学連携本部
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. 生命理工学研究科 LAN 運営委員会
12. 国際開発工学専攻 web サーバ
13. 先導原子力研究所 Web システム
14. 施設運営部建物情報管理システム
15. STAR Search
16. 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
17. 授業評価アンケートシステム
18. 多言語対応日本語読解学習支援システムあすなる
19. 東工大元素戦力拠点
20. 研究企画課グループウェア導入
21. 地球生命研究所 Web サーバ
22. 情報セキュリティ監査・危機管理専門委員会
23. 認証基盤システム担当
24. 教育システム
25. CAMPAS Asia Research Review
26. オンライン教育プロジェクト
27. 研究者情報管理システム
28. 社会人教育院講座支援システム
29. 情報活用 IR 室
30. 東京工業大学リサーチリポジトリ (T2R2)
31. 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

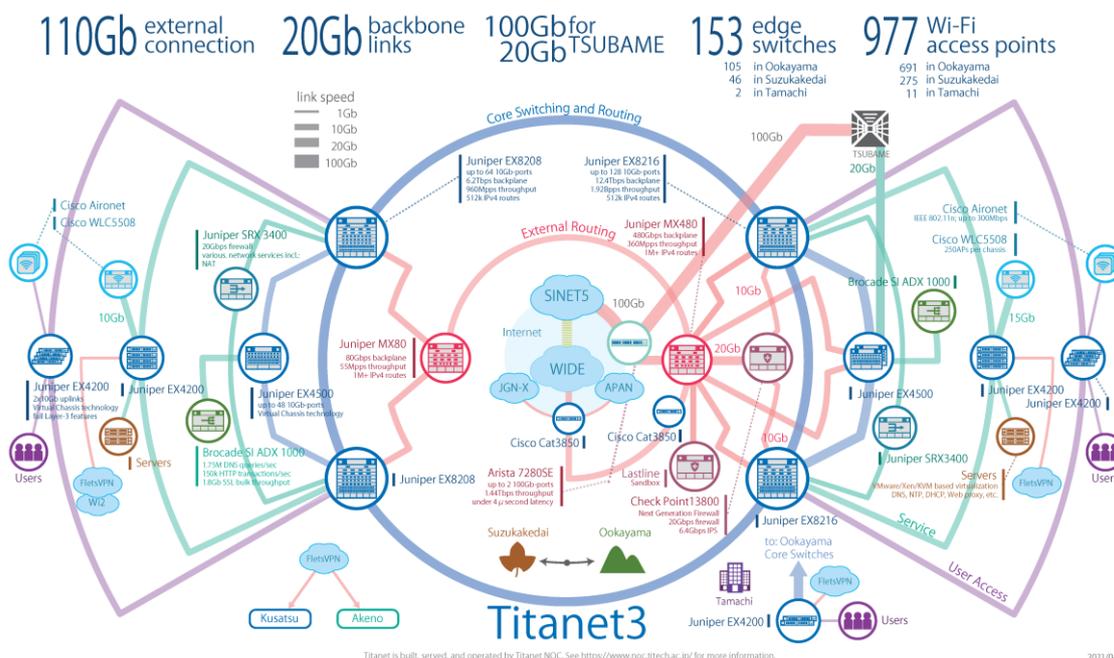
32. 『以心電心』ハピネス共創研究推進機構
33. イノベーション人材養成機構（IIDP）教育院登録データベース
34. 機械系 SolidWorks ライセンス管理
35. 融合理工学系 Web サーバ
36. 学勢調査 2016
37. 日本語教育情報管理システム
38. TokyoTech CollaboMaker
39. 中期目標・中期計画 進捗管理システム
40. T2Report
41. 広報・地域連携部門ウェブサイト管理システム
42. 研究専念日システム構築プロジェクト
43. 外部資金情報共有・配信システム「SHIORI」
44. OFC 統合システム委員会
45. 計算材料データベース
46. ライフサイエンス研究管理システム
47. DX 推進事業
48. 附属科学技術高校外部サーバ化プロジェクト
49. DX 運用管理

## 2-4 ネットワークシステム

### 2-4-1 有線ネットワーク (Titanet3)

Titanet3 の運用を開始してから本年度末で 11 年が経過した。ネットワーク機器の平均耐用年数は 6 年とされているが、日々のメンテナンス、一部機種や構成の変更により、平均耐用年数を大きく越えて安定稼働を続けている。章末に、本年度の機器稼働状況と実施メンテナンスを示す。メンテナンス・停電等による停止時間を含めても、全スイッチ機器・サービス用アプライアンス等は稼働率 99% 以上であった。メンテナンス作業は、経年劣化による部品・本体故障対応がほとんどとなった。症状としては、停電時など電源サイクル時における内蔵ディスク異常の件数が増え続けており。さらに、事前の症状やログなどなく動作しなくなる機器も出始めている。異常検知は、学内外の複数地点からのリアルタイムモニタリングで位置と原因を推定し、あらかじめ設定準備した代替機器への交換等で長期の通信断発生を防いでいる。

機器の終息状況については、システム導入時の PoE スイッチが 5 年前に終息したため、異なる機種選定をし、コールドスタンバイ/交換対応を実施している。対外接続ルータの部品、無線用 NAT ルータ、ロードバランサ、コアスイッチの終息に加え、Titanet3 で最も多く導入されている建物スイッチの販売が昨年度終了したため、保守機器のメーカーからの調達には難しい状況となった。次期キャンパスネットワーク更新までの間に必要となる可能性の高い機器・部品については、中古市場からの調達も行っている。



Titanet3の構成

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ている。100 ギガ回線は、導入年度のトラブル以降は安定しており、本年度も問題なく動作した。WIDE プロジェクト、SINET/NII にご協力頂いて準備した WIDE プロジェクト経由での SINET への冗長接続仮想回線も順調に動作している。さらに、大岡山キャンパスの電力影響を受けない形での、すずかけ台キャンパス対外線接続を実現するために、WIDE・APAN 回線を 1 芯構成に変更し、同様の措置でキャンパス間でも 1 芯調整した上で、それらファイバ同士を接続する構成を準備した。長距離になるため、減衰の対応など中心に準備を進めている。

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）を継続して運用し、適宜の通信制限等と合わせて、本年度も安全対策を継続した。次世代型ファイアウォールについては、高度な攻撃についての遮断性能や攻撃履歴の確認等については有効に機能しているが、大量の流量・パケットによる攻撃に対する動作に難があるため、その前段に旧型ファイアウォールを配置する構成を取っている。本年度は、コロナ下、遠隔授業のための通信が学内からも多くなり、通信遅延について敏感な状況になったため、授業時間帯は、検出性能よりも通信性能に優れたファイアウォールを、それ以外の時間は現行次世代型ファイアウォールによる運用を、都度切替えて実施した。

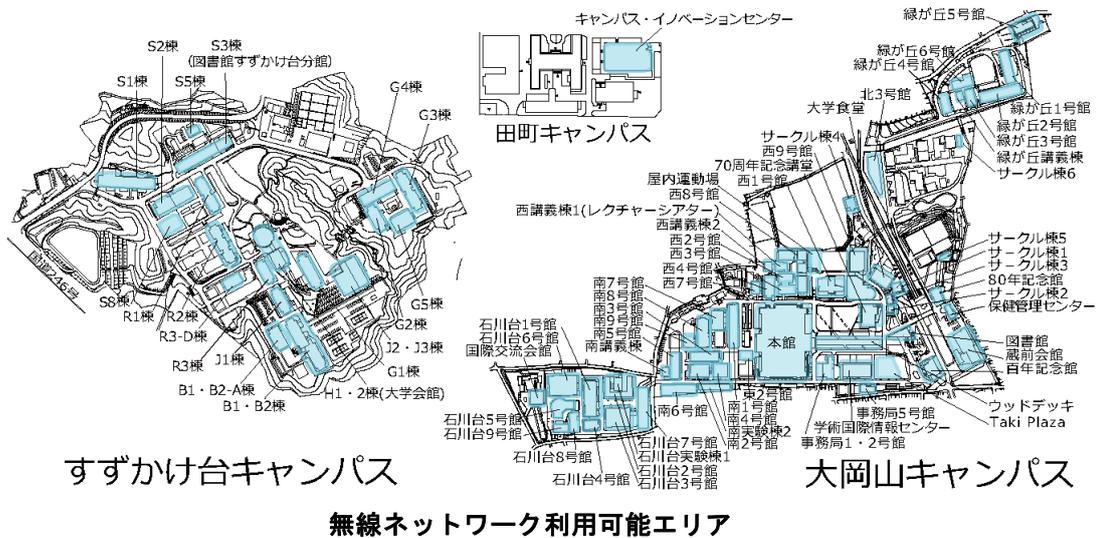
#### 2-4-2 無線ネットワーク (TW2)

2010 年 3 月に更新された無線ネットワークシステム TW2 は、昨年度末時点で 955 台（大岡山：669 台、すずかけ台：275 台、田町：11 台）の AP（アクセスポイント）が稼働していた。本年度始めからは、次年度の無線ネットワーク更新に備えて、システム導入以来続けてきた「支線 AP 導入・本センター運用制御」施策による利用可能エリア拡大策を停止した。この施策により 10 年間で AP は約 50% 増加し、冗長化構成した制御機器を冗長しない構成に変更せざるを得ないほど、大規模なサービス展開となった。

施策停止前から計画が進んでいた、本学の新たなランドマークである Hisao & Hiroko Taki Plaza (Taki Plaza)、すずかけ図書館の改装、新サークル棟等については、それぞれ特に学部学生が無線ネットワークを利用する可能生の高い場所であるため（いずれも公式オープンは次年度）、ほぼすべての予備用 AP を配備することにより、可能な限り 2 重導入とならないように、対応を行った。

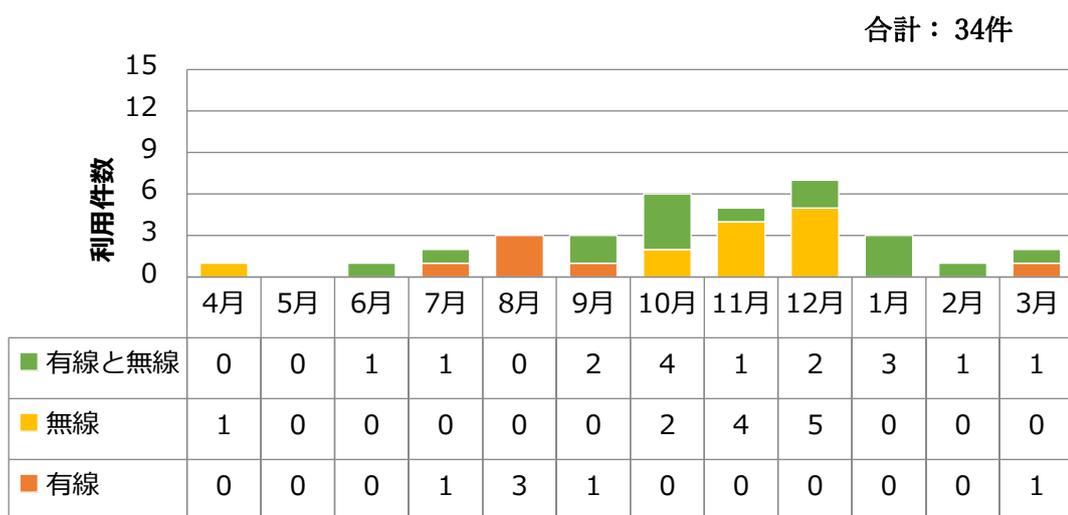
しかしながら、新たにコロナへの対応として、特に秋以降、実習・実験に来た学生がそのまま大学内で、ソーシャルディスタンスを維持しながら遠隔授業を受けるためのスペースについて、通信可能エリアの拡張（AP の増設、新設）の要請があったため、それらへの対応分、及び、予備機器の追加は中古市場から行った。

これらにより今年度末時点で稼働中の AP の台数は 977 台（大岡山：691 台、すずかけ台：275 台、田町：11 台）となっている。



TW2 上では、利用対象・利用方法が異なる複数の無線サービスが提供されている。キャンパス無線 LAN「TokyoTech」は、本学構成員を対象とし、実測値として 10000 弱のユニークユーザ（学生については全体の 80%）が日々利用している。学術系ゲスト、個人的利用、およびイベント等一時利用を対象とする、学術無線 LAN ローミング「eduroam」、商用無線 LAN「Wi2」、及び、イベントネットワーク（有線も含む）のサービスも、本システム上で提供されている。

イベントネットワークの利用は、コロナの影響により通年で大きく減少した。その他のサービスについては、昨年度末（コロナ当初）に 5 割程減少したが、それ以降は 8 割程度の利用にまで復帰した。



**イベント用ネットワークサービス利用件数の状況**

### 2-4-3 その他のサービス

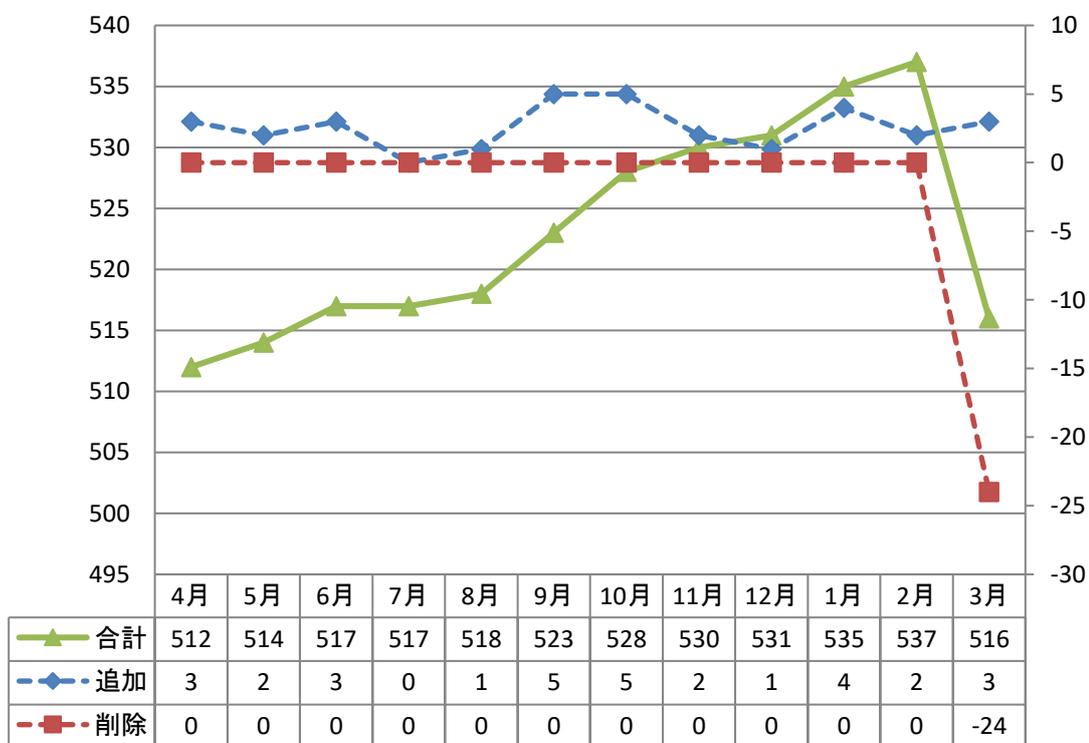
#### (1) サーバ代行サービス (DNS(コンテンツ)サーバ代行サービス、WWWサーバ代行サービス)

昨年度より、WWWサーバ代行サービスは、証明書を利用するサービスの運用に入り、本年度も多く利用されている。

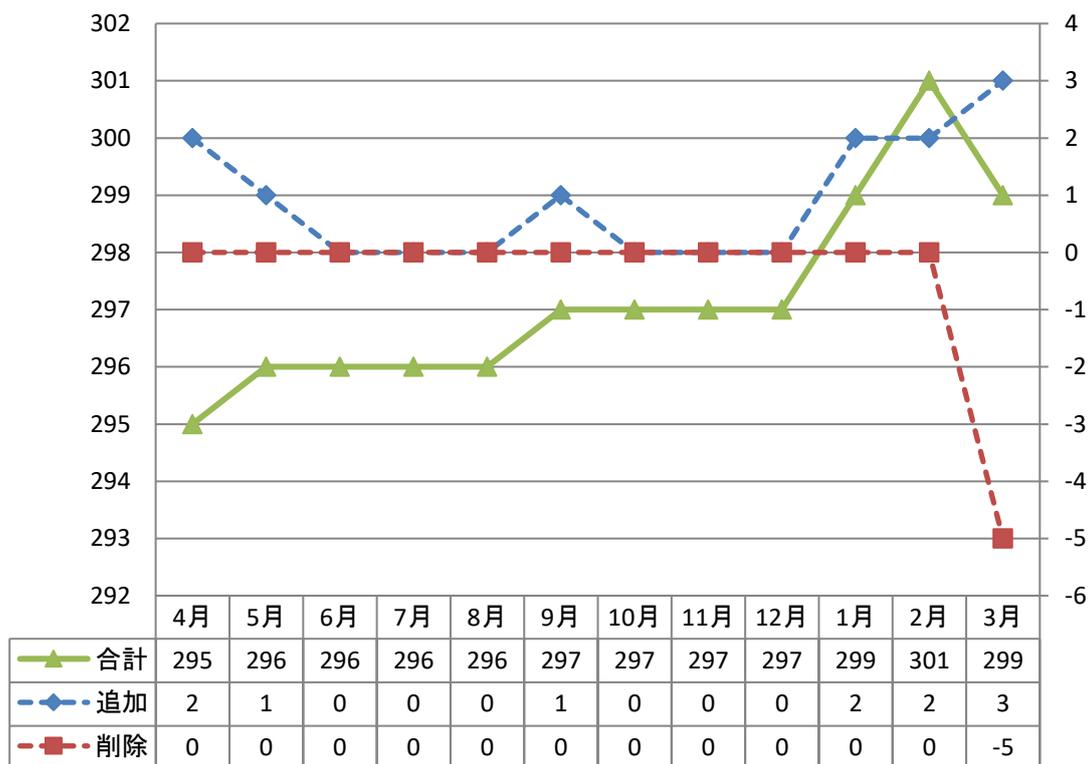
昨年度から続いていた、サーバに負荷がかかる拡張の増加や、外部からの攻撃・スキャン増加によるサーバ過負荷、サービス遅延については、OSの仮想メモリ利用のポリシー変更、別サーバの並行運用により、小康状態に入っている。

また、次期代行サービスの構成・サービス仕様の検討を本年度も続け、一部商用リバースプロキシ、WAFのPoC等も行った。

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



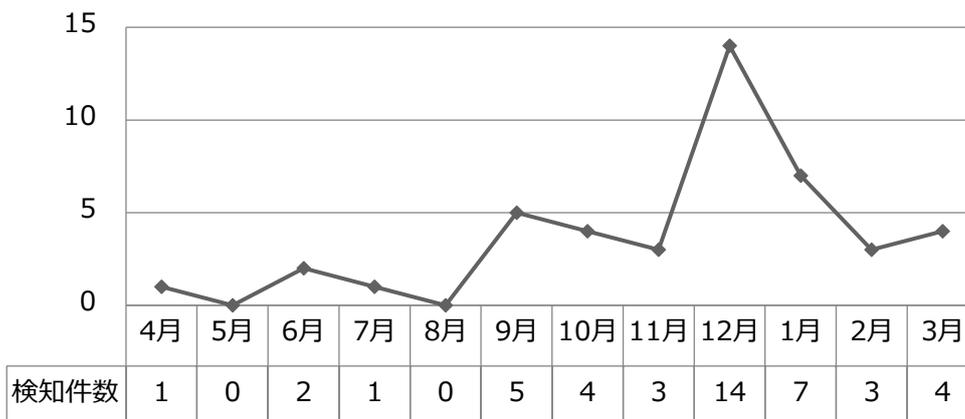
DNS サーバ代行サービス利用件数の状況

## (2) ファイル交換ソフトウェア検知サービス

著作権侵害行為等に参加してしまう状況を未然防止するために、学外との通信ソフトウェア・プロトコルを機械的に判断・検知する機器を導入し、それらを元にした遮断と通知を実施している。現在の検知対象は、BitTorrent, Gnutella, Kazaa, Share, WinMX, Winny, eDonky, eDonkey2000, Direct Connect, Gnutella Ultrappeer, Perfect Dark および QQ, Kugou 等である。ファイル交換プロトコルを利用するソフトウェアは、明示的にファイル交換・共有を目的とするものだけでなく、chat や音楽・映像の共有、ゲームソフトウェアの更新を目的とするものがあり、利用者自身では、著作権を侵害するおそれについて気が付きにくくなっている。また、著作権に対する考え方が違う国からの配布が続けて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。

次世代ファイアウォール導入後、検出機と併用することで、一部のソフトウェア、支線からの通信については、ファイアウォールによる遮断だけの対応とし、できるだけ精度が高く、かつ、各組織や利用者の負荷が少なくなるようにサービスを改善している。

以下に、本年度の TokyoTech における検知状況を示す(手動で追加遮断した件数を含む)。本年度はコロナの影響で無線 LAN の利用が少なかったため、件数も少なくなっているが、割合として減少傾向は、残念ながら見られない。



ファイル交換ソフトウェア検知数の状況

#### 2-4-4 特記事項

キャンパスネットワークの更新作業を継続している。まず調達作業について、昨年度の「対外接続部分」に続いて、「バックボーン（有線幹線部分）」の調達が年度末に終了した。「無線ネットワーク」については、仕様策定が終了し、来年度前半に調達される予定である。

「対外接続部分」の導入の状況について各機器を項目として記す：

- ・ WDM 装置については、すずかけ台・大手町にそれぞれ配備が終了。それらを用いたすずかけ台へのインターネット直接接続をテスト中。
- ・ NAT 機器については、現行ファイアウォールの遅延による、特に遠隔授業への影響を鑑み、前段・代替ファイアウォールとしての先行配備を実施、稼働中。
- ・ ビッグスイッチについては、構成および冗長化、シングルアーム時の動作確認中。
- ・ 100 ギガスイッチ、対外接続ルータについては初期設定が終了。

ビッグスイッチ、対外接続ルータについては、今年度調達された有線幹線部におけるコアルータに接続され、現行の Titanet3 と並行する形で Titanet4 のコア部分を形成する。動作安定後、Titanet3 と Titanet4 は接続され、どちらに接続されてもキャンパスネットワークのサービスが受けられる状態とした後、各建物において新エッジスイッチを予備の光ファイバを用いて現行エッジスイッチと 2 重に配備（ラックに空きがない場合交換配備）し、支線ネットワークの接続替え（不調時は接続戻し）を順次実施する計画である。

来年度配備予定の有線幹線部、特にコアルータを設置・接続するための、電源配備や配線準備、ラックパネル設置などについては、本年度中の終了を目指していたが、コロナの影響により、実地作業時間が削減され、若干遅れが生じた。

日付	種別	型番	対応	原因
2020/6/24	100ギガ対応スイッチ	DCS-7280SR2	交換	筐体初期不良(対外接続ルーター式調達)
2020/6/25	静音エッジスイッチ	AX1240	交換	UPS/バッテリー交換後起動せず
2020/6/26	エッジスイッチ	EX4200(fpc1fan2)	交換	FAN故障
2020/6/26	エッジスイッチ	EX4550(fan2,3)	交換	FAN故障(3回目)
2020/7/27	エッジスイッチ	EX3300-24T	交換	Linecardの状態から正常に起動しない原因不明の故障
2020/10/1	エッジスイッチ	2520G-8-PoE(電源アダプタ)	交換	電源が入らない
2020/10/5	WDM	NLPHPREP-ACS-CH08	追加	大手町~すずかけ台間WDM新規設置
2020/10/13	旧P2P検知	OnePrintWall	撤去	不要になったため撤去
2020/10/15	旧サービスGW	cat6500	撤去	不要になったため撤去
2020/10/20	エッジスイッチ	EX4200-48T	追加	TakiPlaza設置
2020/10/20	PoEスイッチ	DGS-3120	追加	TakiPlaza設置
2020/10/20	PoEスイッチ	DGS-3120	追加	TakiPlaza設置
2020/10/30	WDM	NLPHPREP-ACS-CH08	追加	すずかけ台~大手町間WDM新規設置
2020/12/13	エッジスイッチ	EX4200-48T	停電対応	改修工事のため停電 復電後起動せず 電源挿し直しで正常に起動
2020/12/18	エッジスイッチ	EX4200-24T	交換	故障
2021/2/12	サービススイッチ	EX4200-24T	追加	新ラックに追加
2021/2/27	エッジスイッチ	EX4200-24T	停電対応	改修工事のため停電 バックアップパーティ ションから起動のため即日修復コマンド 投入しリブート実施 正常に起動
2021/3/16	次期コアスイッチ	EX9214	追加	納品しラックマウントまで完了
2021/3/16	次期コアスイッチ	EX9214	追加	納品しラックマウントまで完了
2021/3/17	エッジスイッチ	EX4200-24T	追加	新サークル棟1設置
2021/3/17	エッジスイッチ	EX4200-24T	追加	新サークル棟3設置
2021/3/19	次期コアスイッチ	EX9208	追加	納品しラックマウントまで完了
2021/3/19	次期コアスイッチ	EX9208	追加	納品しラックマウントまで完了

## 令和2年度 機器メンテナンス履歴

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	green1-1	100	midori6-1	100	slb-o1_ve352	100
100nen-1	99.78	green1-2	100	midori6-2	100	slb-s1	100
100nen-3	99.96	green1-3	100	midoriko-1	100	soken-1	100
10g-gsic-1-b	100	gsic-1	100	minami1-1	100	sokenbekkan-1	99.08
10g-gsic-1	100	gsic-10	100	minami1-2	100	sozo-1	100
10g-setsubi-1	100	gsic-2	100	minami2-1	100	splunk	100
1shoku-1	100	gsic-4	100	minami2-2	100	t2w-dhcp1	100
1shoku-2	100	gsic-5	100	minami3-1	100	t2w-dhcp2	100
1shoku-4	100	gsic-6	100	minami4-1	100	taikukan-1	100
2200-1	100	gsickokusai-1	99.92	minami5-1	100	taikukan-2	100
80nen-1	100	haieki-1	100	minami5-2	100	taki-1	99.91
auth-o1	100	higashi1-1	100	minami6-1	100	taki-2	100
auth-o2	100	higashi2-1	100	minami6-2	99.93	taki-3	100
auth-s1	100	hokenkanri-1	100	minami7-1	100	tamachi-1	100
auth-s2	100	honkan-1	100	minami7-2	100	tamachi-2	100
b1-1	100	honkan-2	100	minami8-1	100	tn3-2	100
b1-2	100	honkanc-1	100	minami8-2	100	toshoo-1	100
b2-1	100	honkane-1	100	minami9-1	100	toshoo-2	100
b2-2	100	honkane-3	100	minamiji2-1	100	toshoo-4	100
backup-s1	100	honkane-4	99.41	minamiji4-1	100	toshos-1	100
bak-o1	100	honkanko-1	100	minamiko-1	99.74	toshos-2	99.9
bak-o2	100	honkans-1	100	monitor-o	100	ttf-1	100
border-o1	100	honkans-2	100	monitor-s	100	ttf-2	100
border-s1	100	honkanw-1	100	nishi1-1	99.72	ttf-3	100
bordersw-k1	100	idrac-kvm-s3	100	nishi2-1	100	ttf-4	100
bordersw-o1	100	idrac.bak-o1	100	nishi3-1	100	ttf-5	100
bordersw-s1	100	idrac.bak-o2	100	nishi3-2	100	tw2-gw-o	100
cam-o2	100	ishikawa1-1	100	nishi4-1	100	tw2-gw-s	100
cam-s2	100	ishikawa1-2	100	nishi5-1	100	vande-1	99.97
cam-t1	100	ishikawa2-1	100	nishi6-1	100	vmw-o1	99.69
cc-gsic-1	100	ishikawa2-2	99.91	nishi7-1	100	vmw-o2	100
cc-gsic-2	100	ishikawa3-1	100	nishi8e-1	100	vpn-o	100
cc-socket-1	100	ishikawa3-2	100	nishi8e-2	100	vpn-s	100
cert-gsic-1	100	ishikawa4-1	100	nishi8w-1	100	vpn-t	100
choele-1	100	ishikawa5-1	100	nishi8w-2	100	waf-2	100
circle1-1	100	ishikawa6-1	100	nishi9-1	100	wdm-ks1	100
circle2-1	100	ishikawa6-2	100	nishi9-2	100	wdm-os1	100
circle3-1	100	ishikawa7-1	100	nishi9-3	100	wdm-os2	100
circle4-1	100	ishikawa7-2	100	nishi9-4	100	wdm-ot1	100
circle5-1	100	ishikawa8-1	100	nishi9-5	100	wdm-ot2	100
coe-1	100	ishikawa8-2	100	noc-gsic-1	100	wdm-sk1	100
core-o1	100	isotope-1	100	noc-gsic-2	100	wdm-so1	100
core-o2	100	j1-1	100	noc-gsic-3	100	wdm-so2	100
core-s1	100	j2-1	100	noc-gsic-4	100	wdm-to1	100
core-s2	100	j2-2	100	noc-gsic-5	98.96	wdm-to2	100
daigakukaikan-1	100	j2-3	100	noc-honkan-1	100	wlc-o1	100
daigakukaikan-2	100	j2-4	100	noc-honkan-2	100	wlc-o1_v110	100
daigakukaikan-3	100	j3-1	100	noc-setsubi-1	100	wlc-o2	100
edrm-dns1	100	jimu-gsic-1	100	noc-setsubi-2	100	wlc-o2_v110	100
edrm-dns2	100	jimu1-1	99.98	noc-setsubi-3	100	wlc-o3	100
frontier1-1	100	jimu1-2	99.94	ns2	100	wlc-o3_v110	100
frontier1-2	100	johoeno-1	100	ntp-o1	100	wlc-s1	100
frontier2-1	100	johoeno-2	100	ntp0	100	wlc-s1_v111	100
frontier2-2	100	johoens-1	100	pm-o1	100	wlc-s2	100
g1-1	100	kenbikyo-1	99.18	power-t1	100	wlc-s2_v111	100
g1-2	100	kita2-1	99.76	prx-s1	100		
g2-1	100	kitaji1-1	100	prx-s2	100		
g2-2	100	kodo-1	99.85	r1-1	100		
g3-1	100	kodo-2	99.92	r1-2	100		
g3-2	100	koryukaikan-1	100	r2-1	100		
g4-1	100	kvm-o1	100	r3-1	100		
g4-2	100	kvm-o2	100	res-o1	100		
g5-1	100	kvm-o3	100	res-o2	100		
genso-1	100	kvm-s1	100	res-o3	100		
genso-2	100	kvm-s2-idrac	100	res-s1	100		
gokuteion-1	100	kvm-s2	100	res-s2	100		

ネットワーク機器、アプリケーション、サーバ群の稼働率

## 2-5 情報セキュリティ

### 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。東工大における研究／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。2020 年度は上記の基本的な業務を継続および改善しながら、複数の次世代型セキュリティ機器やその他のインテリジェンスを積極的に活用するためにログ分析基盤を一層充実させ、インシデント対応の質の向上に努めた。また、ファイアウォール機器の更新のため、複数メーカーの最新機器を延べ半年程度に渡り検証し、ネットワークシステム担当と協力しながら仕様策定から導入までを行った。加えて、本年度はコロナ渦にあるため、リモートワークなど普段とは違う業務を安全に遂行出来るようにするため、T2BOX の事務局専用サービスを急遽立ち上げ運用するなど、様々な観点から積極的なサポートを行った。

### 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の喚起を図っている。

### 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をメールで配信している。教育研究評議会等におけるセキュリティ報告等と連動させ、大量のばらまき型のメール攻撃を受けるインシデントの可能性が高まっている際に配信するなど、学内への周知効果を高めるよう努めている。また、日常的に発生するばらまき型のメール攻撃等に関しては Twitter でも情報配信を行っている。

### 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長／評議員向けに年間 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。

## 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るため、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、学内の主要な WEB サーバを中心に定期的な診断を実施し、脆弱性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。継続し 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。

## 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 年度より本学独自の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、多くの改善の要望を受けている。昨年度に引き続き改修をし、ユーザビリティの向上や安定運用に向け機能を追加した。

また、今年度はコロナ渦にあり、多くの職員がリモートワークを行わざるを得ない状況であったことから、リモートワークに対する積極的なサポートを行うために事務局からの要請を受け東工大 CERT が中心となり、事務局専用の T2BOX 環境を急遽立ち上げ、継続して運用等のサポートを行った。

## 次世代型セキュリティ機器の運用等

攻撃手法が高度化および多様化しており既存のファイア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。次世代型 FW の更新を念頭にセキュリティ機器の検証を重ね、仕様策定から導入までを行った。現在はファイアウォールおよびサンドボックス型の次世代型セキュリティ機器が稼働しており、その運用に加えてそれら機器が出力するログを十分に活用するためにログ分析基盤の強化も図っている。このログ分析基盤を安定運用させ、更に機能を強化するためデータ解析ツールの検証も併せて行った。

### **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。12月に訓練を行い、訓練メールを全学の教職員（3500名程度）に送信した。開封した職員には教育コンテンツが表示されるようにし、事後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て教育効果の向上に努めた。今回の訓練ではセキュリティのサポートを騙った典型的なメール攻撃に類するモノであり、訓練対象者に対して心理的負担をかけ、適切に対応できるかどうかという観点で訓練を実施した。非常に多くの問い合わせがあり、困ったらCERTに連絡するという事が随分と浸透してきたと考えられる。

### **セキュリティインシデントへの対応**

学内で起きたセキュリティを脅かす可能性の高い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初動対応を行った。被害を最小化するために迅速な対応はもちろんのことだが、基本的には当該組織の担当者を含め積極的にコミュニケーションを取り、現状の環境の改善や今後の対策などを整理し、リテラシー向上にも努めた。

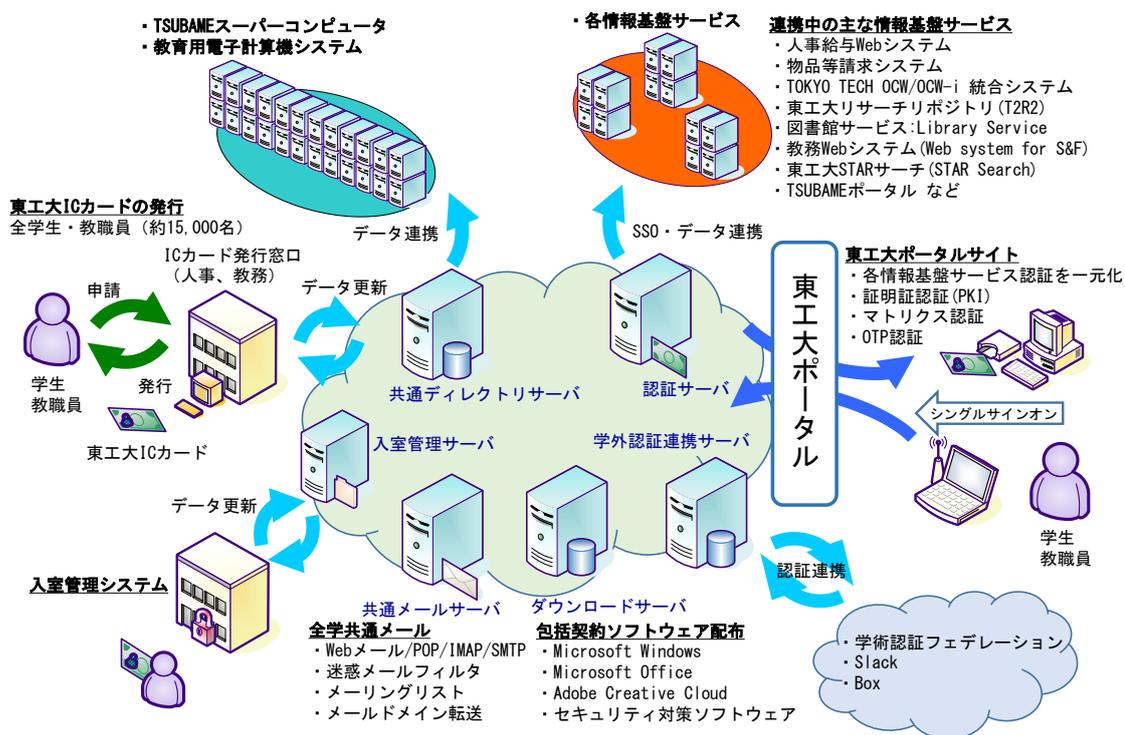
### **セキュリティ教育教材を用いた啓発活動**

東工大内で作成したガイドブックやNISCが作成している情報セキュリティ関係のハンドブックを冊子にして学内セミナー等の機会に配布している。ガイドブックは日英版に加えて中国語版も用意し、ビデオ教材も日英版を学内で共有している。また、チラシの形でも特定のトピックについてWEBやデジタルサイネージなどを併せて注意喚起を行っている。一部のコンテンツは他機関に提供するなどし、学外組織との連携も深めている。

## 2-6 キャンパス共通認証・認可システム

### 2-6-1 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以下に示す。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

### 共通認証・認可システム及び全学共通メールシステムの概念図

#### 2-6-2 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) 連携中の主な情報基盤サービス

東工大ポータルから利用可能な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）
- ・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
- ・物品等請求システム
- ・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（Web system for S&F）
- ・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）
- ・建物情報閲覧システム
- ・教員自己点検システム（FIS）
- ・データ分析システム（DAS）
- ・東工大学修ポートフォリオ（TokyoTechPortfolio）
- ・T2Report
- ・学生一般定期健康診断 予約・問診
- ・教育用電子計算機システム
- ・全学施設予約システム
- ・財務会計システム

### 2-6-3 実績

#### (1) 本年度トピックス

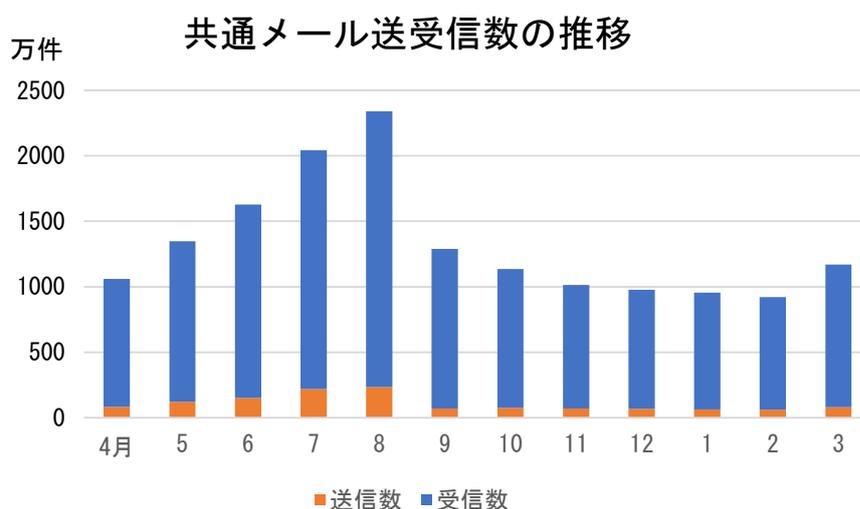
- 1) 証明書認証 macOS Big Sur 11 Intel に対応（2021 年 2 月）
- 2) 学外クラウドサービスとの認証連携（2021 年 2 月）  
Slack 及び Box と認証連携環境を構築した。
- 3) 本年度ポータルと連携を開始した情報基盤サービス  
・ T2SCHOLA（2021 年 3 月）

(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（2021年3月31日現在）

全学共通メールアカウント	14,613
(内訳) 常勤職員	1,760
非常勤職員	1,901
アクセスカード	361
学士課程学生	4,806
大学院学生（修士課程）	4,105
大学院学生（博士後期課程）	1,479
研究生等	201

・全学共通メール利用状況（2020年4月1日～2021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。

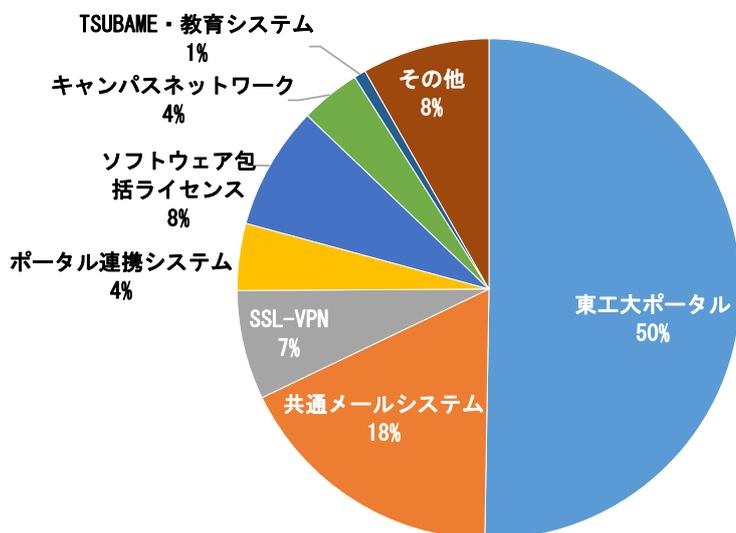
研究推進部情報基盤課基盤システムグループ

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

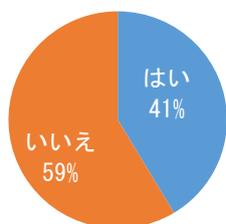
以下に、本年度 IT サービスデスクに寄せられた問い合わせの集計比率を示す。なお、グラフ中の「その他」は入館システムや eduroam などの問い合わせが含まれる。

## 問合せ別件数比率

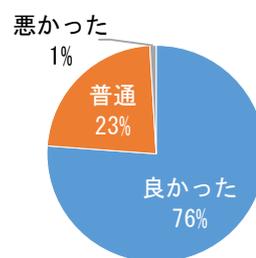


また、東工大 IT サービスデスクでは、毎年（例年 1 月頃）全教職員を対象にアンケートを実施し、サービスのさらなる向上と改善に努めている。以下に集計結果を示す。

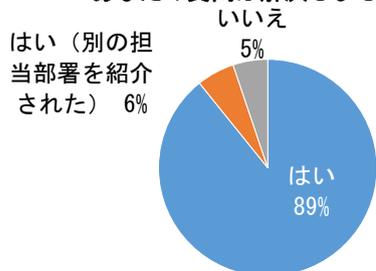
1. 東工大ITサービスデスクを利用したことがありますか？



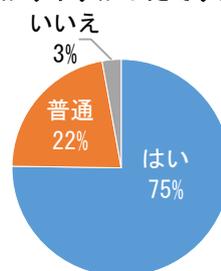
2. 東工大ITサービスデスクの対応の迅速さは、いかがでしたか？



3. 東工大ITサービスデスクの回答であなたの質問は解決しましたか？



4. 東工大ITサービスデスクの回答は分かりやすかったですか？



アンケート回答者数 670 名

## 2-7 ソフトウェア包括契約

### 2-7-1 概要

学内で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、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、セキュリティ対策ソフトウェアについては従来の Symantec 社製に代わり Sophos 社製品を令和 2 年 4 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）、不正ライセンス利用の抑止を目的に導入したものであり、その結果、令和 2 年度の実績で約 3 億円の経費が削減された。

また、本学学生および教職員向けの Microsoft 365 Apps for Enterprise(旧称 Office 365 ProPlus) のサービス開始に伴い個人所有 PC に加え、要望が多く寄せられていたタブレット端末等に導入することが可能となり、学生の学習・研究環境整備に大きく貢献している。

提供するソフトウェアの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は以下のとおりである。

- ・令和 2 年 4 月：Sophos セキュリティ対策ソフトウェアの提供を開始
- ・令和 2 年 10 月：Microsoft Office Standard 2016 for Mac の提供を停止

#### 【包括契約で提供されるソフトウェア】

Microsoft Office	Windows 版	Office Professional 2016 Office Professional 2019
	Mac 版	Office 2016 for MAC Office 2019 for MAC
Microsoft 365 Apps for Enterprise		個人所有 PC のみ
Microsoft Windows Upgrade	Windows 10 Education Upgrade	
	Windows 8.1 Enterprise Upgrade	
Sophos 社製セキュリティ対策ソフトウェア	Windows, Mac, Linux 版	Central Intercept X Advanced
Adobe	Windows, Mac 版	Adobe Creative Cloud Full package, Illustrator, Acrobat, Photoshop 各単品
MathWorks	Windows, Mac, Linux 版	MATLAB

## 2-7-2 運用

・ Microsoft 社製品, Sophos 社製品, Adobe 社製品

### 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、Sophos 社製セキュリティ対策ソフトウェアについては学内 LAN を利用する 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】常勤講師以上が作業 / 【事務系】筆頭グループ長が作業

IC カード認証により東工大ポータルにログイン	⇒	誓約書を提出
-------------------------	---	--------

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

東工大ポータルにログイン (マトリクス/OTP 認証可)	⇒	パスコード取得
---------------------------------	---	---------

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

東工大ポータルにログイン (マトリクス/OTP 認証可)	⇒	インストーラを ダウンロード
---------------------------------	---	-------------------

\*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 (Microsoft365 Apps for Enterprise (旧称 Office365ProPlus))

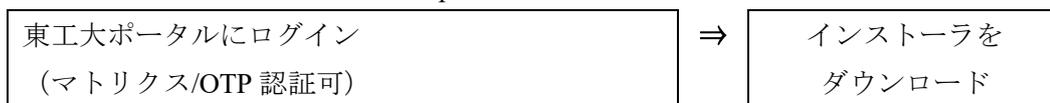
Step1 : 東工大ポータルにログイン (マトリクス/OTP 認証可)

Step2 : [Microsoft 365 アカウント] を選択し、東工大 Microsoft 365 アカウントとパスワードを入手

Step3 : <https://www.office.com/> へアクセスし、上述のアカウントとパスワードでサインイン

Step4 : 指示に従い、インストール / ライセンス認証

c) 個人所有コンピュータへの提供 (Sophos 社製セキュリティ対策ソフトウェア)



• Mathworks 社製品 (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

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「メールアドレスの認証」という件名のメールが mathworks.com から届くので、メール文中のリンクから「メールの確認」をクリックし、メールアドレスを承認する。

詳しくは、<https://www.t3.gsic.titech.ac.jp/matlab> で確認。

### 2-7-3 実績

Microsoft Windows 配布数

	2020									2021			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	
10	85	16	65	41	35	58	46	35	33	33	33	169	649
8.1	2	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	6
計	87	16	65	42	35	59	48	35	33	33	33	169	655

Microsoft Office 2019 配布数

	2020									2021			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	324	123	242	167	154	199	283	200	180	253	210	410	2745
Mac	108	23	72	104	44	56	80	54	47	41	35	163	827
計	432	146	314	271	198	255	363	254	227	294	245	573	3572

Microsoft Office 2016 配布数

	2020									2021			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	59	16	41	22	16	22	16	21	17	13	4	20	267
Mac	17	4	2	6	0	7	4	0	0	0	0	0	40
計	76	20	43	28	16	29	20	21	17	13	4	20	307

Sophos Central Intercept X Advanced (Windows 版) 配布数

	2020									2021			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	491	52	224	102	123	140	156	111	79	86	92	167	1823
個人 PC	88	16	75	33	24	38	38	19	18	17	14	25	405
計	579	68	299	135	147	178	194	130	97	103	106	192	2228

Sophos Central Intercept X Advanced (Mac 版) 配布数

	2020									2021			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	199	25	87	76	29	51	64	55	36	19	37	68	746
個人 PC	86	18	87	32	24	39	42	47	25	15	19	8	442
計	285	43	174	108	53	90	106	102	61	34	56	76	1188

Sophos Central Intercept X Advanced (Linux 版) 配布数

	2020									2021			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	0	5	0	0	0	0	0	0	1	6

Adobe Creative Cloud 配布数

	2020									2021			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	3	0	2	2	0	2	2	1	2	6	2	2	24
Mac	7	1	11	1	11	7	5	3	4	0	9	4	63
計	10	1	13	3	11	9	7	4	6	6	11	6	87

Adobe Full set 配布数

	2020									2021			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	105	30	96	68	48	76	189	196	74	97	72	134	1185
Mac	39	15	35	360	29	35	41	24	20	9	21	33	661
計	144	45	131	428	77	111	230	220	94	106	93	167	1846

Adobe Acrobat 配布数

	2020									2021			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	260	69	186	102	104	132	407	548	144	188	179	275	2594
Mac	80	25	75	63	47	41	63	53	32	28	45	71	623
計	340	94	261	165	151	173	470	601	176	216	224	346	3217

Adobe Illustrator 配布数

	2020									2021			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	72	26	82	35	44	52	103	76	60	70	48	76	744
Mac	56	5	39	22	41	30	22	27	24	22	18	25	331
計	128	31	121	57	85	82	125	103	84	92	66	101	1075

Adobe Photoshop 配布数

	2020									2021			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	71	27	72	43	33	42	85	59	46	65	44	77	664
Mac	22	7	20	14	18	12	15	15	13	5	10	11	162
計	93	34	92	57	51	54	100	74	59	70	54	88	826

Adobe SDL 配布数

	2020									2021			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	71	23	41	55	33	44	86	100	29	46	38	52	618
Mac	64	14	60	44	36	43	37	28	33	27	23	71	480
計	135	37	101	99	69	87	123	128	62	73	61	123	1098

- MATLAB 配布数

2021.03 末の登録人数：3,580 人、インストール台数：5,776 台

- Microsoft 365 Apps for Enterprise（旧称 Office 365 ProPlus）配布数

2021.03 末の登録数

Windows: 5551, Mac : 2804, Android : 177, iOS : 1461, Windows Mobile:32

## 2-8 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

### 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TSUBAME3.0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）。本章ではJHPCN（学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点）について説明し、HPCIについては2-9章にて、TSUBAME共同利用（学術／産業）については2-10章で説明する。

表 1 TSUBAME3.0 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	1Unit 料金 (税別) [1]	
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	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 [2]	100,000 円 200,000 円 300,000 円	

[1] 1Unit は 1,000 ノード時間相当。 [2] 1-30Unit までは 200,000 円、31Unit 以上は 300,000 円。

### 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年度に開始した第2期が令和3年度末で終わりを迎えるため、次期拠点認定申請を兼ねた期末評価へ向けて令和2年12月に拠点期末評価WGを立ち上げて対応を行った。

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、センサーネットワークからの時系列データや映像データの



図1 JHPCNの構成拠点

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、これまでに解決や解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。

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。令和2年度の共同研究課題の公募は令和元年12月12日から令和2年1月14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65件中52件を採択した。令和元年度までは「HPCI-

JHPCN システム利用課題」の応募課題を審査により「HPCI-JHPCN システムを利用する課題」と「JHPCN の課題」の2クラスに分けて採択していたが、令和2年度は公募プロセスの簡略化を行った結果、すべての採択課題を「HPCI-JHPCN システムを利用する課題」として採択した。令和2年度はその他に「JHPCN 独自資源のみを利用する課題」の応募課題が1課題採択されている。表2に採択課題数や採択率の推移を示した。

#### 令和2年度 共同研究日程

令和元年 12月12日 (木)	課題応募受付開始
令和2年 1月6日 (月)	課題応募受付締切 (Web 登録締切)
1月14日 (火)	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 (水)	共同研究開始
令和2年 7月9日 (木)	JHPCN 第12回シンポジウム
令和3年 3月31日 (水)	共同研究期間終了
令和3年 7月上旬	JHPCN 第13回シンポジウム

表2 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	H30	H31	R02
採択課題	44	34	35	39	46	52	58	52
うち HPCI-JHPCN 課題	31	22	27	17	25	30	36	51
うち東工大利用課題	11	10	10	12	11	16	14	8
応募課題	55	53	51	47	52	70	66	65
採択率(%)	80.0	64.2	68.6	83.0	88.5	74.3	87.9	80.0

### 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。令和2年度公募では国際共同研究課題として5件の共同研究課題が採択・実施されたが、企業共同研究課題の採択はなかった。

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3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、令和2年度は採択課題12件のうち5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「2-11 TSBUAME 公募型共同利用支援制度」の章にて説明している。

表3 令和2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

令和2年度は新型コロナウイルス感染拡大に伴い、例年は会場を2日間貸し切って行う本ネットワーク型拠点主催のシンポジウムを、7月9日の1日のみZoom・Slackを用いたオンラインで実施（参加総数：270名、事前申込人数：247名）した。シンポジウムでは、平成31年度に実施された共同研究課題58件の一部がZoomのウェビナー形式での口頭発表にて研究成果を報告した。また、平成31年度実施課題の残り課題と令和2年度採択課題52件、そして萌芽型共同研究課題によるポスター発表があり、ウェブに公開されたファイルを閲覧し、Slack上にて質疑応答が行われた。

#### ネットワーク型拠点としての活動：次期拠点認定申請を兼ねた期末評価への対応

平成28年度から開始した第2期が令和3年度で終わりを迎えるため、次期拠点認定申請を兼ねた期末評価へ対応する拠点期末評価WGを立ち上げ、12月～2月に渡って対応を行った。東工大からはWG委員として担当教員：渡邊と事務担当者：伊藤の2名が対応した。2月末に提出した評価調書は文部科学省の「共同利用・共同研究拠点及び国際共同利用・共同研究拠点に関する作業部会」によって評価が行われ、令和3年6～7月頃に期末評価と拠点認定の結果が公表される予定である。

#### 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。令和2年度の公募型共同研究課題の採択課題の全52件は、公式Webページ(<https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/>)にて公開されているが、当センターのTSUBAME3.0を利用する研究課題として表4にまとめた8件が採択・実施され、当初配分予定109口に対して利用実績ベースで99口の資源提供を行った。課題毎のより詳細な当初配分口数と利用実績口数は表4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 TSUBAME3.0 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すべての採択課題が 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：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。令和 2 年度は平成 31 年度再配分ルールをベースとし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した。また、「京」から「富岳」への移行の端境期のため「富岳」成果創出加速プログラム課題への資源配分を行ったことで平成 31 年度と同様に年度末の混雑が予想されたため、第 4 四半期は第 3 四半期末残資源の移行を行わずに当初配分口数を提供した。

#### 令和 2 年度 計算資源の再配分ルール

1. 第 1～2 四半期末の残資源の調整（7、10 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 3 四半期末の残資源の調整（1 月 20 日に実施）  
残資源の次の四半期への移行は行わず、全課題に第 4 四半期の当初配分口数を配分する。（第 4 四半期の配分資源を前倒し利用した場合は、不足分を追加することで当初口数を配分する。）
3. 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り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。
4. 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 1～2 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。

表 4 令和 2 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	京都工芸繊維大学 高木知弘 異常粒成長の大規模フェーズフィールドシミュレーション	25 口 29 口
2	東京工業大学 横田理央 Hierarchical low-rank approximation methods on distributed memory and GPUs	14 口 17 口
3	東京大学 中島研吾 高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用	1 口 2 口
4	大阪府立大学 金田昌之 二相流により熱交換される複雑構造体の熱流動解析ツールの開発ならびにその現象解明	12 口 8 口
5	日本原子力研究開発機構 長谷川雄太 汚染物質拡散解析コードにおけるアンサンブル計算およびデータ同化手法の高度化	20 口 10 口
6	日本原子力研究開発機構 小野寺直幸 Scalable Multigrid Poisson solver for AMR-based CFD applications in Nuclear Engineering	13 口 8 口
7	日本原子力研究開発機構 朝比祐一 Preparing for Exa-systems: Performance portable implementation and scalable data analysis	11 口 14 口
8	東京工業大学 岡元太郎 / 大規模地震波シミュレーションを用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域構造モデルの波形トモグラフィー	13 口 11 口
	合計	109 口 99 口

## 2-9 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）の運用と資源提供

副センター長 青木 尊之  
特任准教授 渡邊 寿雄

### HPCI の概要と東工大の役割

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、当初は「京」と、そして今後は「富岳」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、多様なユーザー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 24～28 年度）が終了し、平成 29 年 4 月からは第二期が開始した。また令和元年 8 月の「京」運用停止から令和 3 年度 3 月の「富岳」運用開始までの端境期において、第 2 階層のスパコン群である HPCI 計算資源提供機関はポスト京課題とその後継である「富岳」成果創出加速プログラム課題へ計算資源の提供を行った。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
  - ・ HPCI 連携サービス委員会、および HPCI 連携サービス運営作業部会への参加
  - ・ スパコン「TSUBAME3.0」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
  - ・ 令和元年 8 月の京コンピュータ運用停止に対して、第 2 階層のスパコン群である HPCI 計算資源提供機関としてポスト京課題へ計算資源の提供
- 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の運営とHPCI連携サービス委員会およびHPCI連携サービス運営・作業部会

第二期 HPCI では、国がその運営企画調整業務を一般財団法人高度情報科学技術研究機構（RIST）に業務委託し、その下に「HPCI 連携サービス委員会」及び「HPCI 連携サービス運営・作業部会」を設置して HPCI の運営を行っている。システム構成機関である東工大では、定期的に行われる HPCI 連携サービス委員会（4 回開催）と HPCI 連携サービス運営・作業部会（11 回開催）に以下の委員/部会員が出席し HPCI の運営に協力した。HPCI 連携サービス運営・作業部会では、会議で口頭での説明が必要な項目の事前申告や、開催日時の固定化（毎月第 4 金曜日午後）など会議進行の効率化を進めた。

HPCI 連携サービス委員会委員 遠藤敏夫

HPCI 連携サービス運営・作業部会員 野村哲弘、渡邊寿雄、根本忍、藤田和宏

## HPCIシステム共用計算資源の利用研究課題募集と課題選定

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回公募が行われる。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、採択課題は1年間の利用が認められる。令和2年度の募集開始から採択までのスケジュールを表1に示した。

表1 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

電子申請受付開始	令和2年10月6日
電子申請受付締切	令和2年11月5日17時（JST）
押印済申請書の郵送期限	令和2年11月18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	令和3年2月16日

## 採択課題の利用開始手続き：対面認証と各種アカウント発行

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業務実績を表2に、プライマリセンター業務実績を表3に示す。

表2 東工大における最寄りセンター業務実績

	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	R02
対面認証申請件数	16	25	21	20	23	25	28	25	47
来学による対面認証	13	13	7	7	6	9	7	7	6
メールによる本人確認	3	12	14	13	17	16	21	18	27
簡易遠隔本人確認(※)									12
正式遠隔本人確認(※)									2
対面認証のべ人数	83	46	52	53	75	54	88	48	98

※ 簡易遠隔本人確認は新型コロナウイルス感染拡大に伴う緊急対応であり、正式遠隔本人確認は令和3年3月23日に開始したWeb会議システムを用いた正式な手続きである。

表3 東工大におけるプライマリセンター業務実績

	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	R02
HPCIアカウント発行数	38	26	24	19	62	107	141	136	135
TSUBAME ローカルアカウント発行数	173	105	64	61	195	181(T2) 153(T3)	234	468	315

令和 2 年度は新型コロナウイルス感染拡大に伴う非常事態宣言により、本人確認に必要な職員証・学生証などの書類が受け取れず、アカウント発行が困難な事例があった。HPCI 連携サービス運営・作業部会などで協議した結果、緊急対策として簡易的な遠隔本人確認を令和 2 年 5 月より実施することで対応した。また with コロナ、after コロナを見据えて、新たに策定した Web 会議システムを用いた遠隔本人確認手順が 12 月に正式に承認され、令和 3 年 3 月 23 日から正式に開始された。

東工大としては、4 月の利用開始課題ではメールによる本人確認手続きがほとんどであったが、「富岳」の試行的利用の開始に伴い 10 月以降に来学による対面認証希望が増えたため、新型コロナウイルス感染拡大防止のために 11 月以降は原則として来学での対面認証は行わず、簡易遠隔本人確認に限り対応することにした。また年度末の 3 月 23 日に開始した正式な遠隔本人確認手続きでは、英語対応可能な最寄りセンターが当センターを含め 2 つしかなく、当センターにて集中的に対応せざるを得ない状況が発生している。

### **東工大の計算資源を利用する採択課題とその実施**

令和 2 年度は本センターでは TSUBAME3.0 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 TUSBAME3.0 の計算資源を利用した採択課題一覧を表 4~6 に示した。一般課題は採択 10 課題に対し合計 649 口、若手人材育成課題は採択 2 課題に対し合計 65 口、産業利用実証利用は採択 1 課題に対し 66 口の計算資源を提供した。今年度は、産業利用トライアル・ユースは採択が無かった。

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。令和 2 年度のルール詳細は 2-8 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 にて説明している。

### **重点的利用区分「富岳」成果創出加速プログラム課題への計算資源の提供**

令和元年 8 月に京コンピュータが運用停止に対して、第 2 階層のスパコン群である HPCI 計算資源提供機関によりポスト京課題への資源提供を行った。令和 2 年度は重点的利用区分である「富岳」成果創出加速プログラム課題に対して、昨年度と同様に計算資源の提供を行った。東工大が TSUBAME3.0 の計算資源を提供した「富岳」成果創出加速プログラム課題の一覧と、その承認口数および利用実績を表 7 に示した。2 課題に対し合計 201 口の計算資源を提供した。

### **新型コロナウイルスを含む感染症対応 HPCI 臨時公募課題一覧**

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）対策においては、「治療」「防疫」「創薬」「感染拡大に関わる分析・予測」など広範な研究が急務であり、スパコンの持つ高速な計算能力、

大規模なデータ処理能力の活用が期待されている。そこで HPCI においても、関係機関の協力のもと、関連する研究が必要とする計算資源を提供する臨時的課題募集を行った。東工大では表 8 に示した 3 課題を採択し、合計 38 口の計算資源を提供した。

### 成果報告会の開催

「第 7 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会」が令和 2 年 10 月 29～30 日にオンラインにて開催された。本報告会は「第 3 回 HPCI コンソーシアムシンポジウム ～動き出した「富岳」と活用への期待～」との同時開催となった。成果報告会の初日と 2 日目午前中にはポスターセッションを行い、2 日目午後の前半は「第 3 回 HPCI コンソーシアムシンポジウム」の基調講演 4 件、後半は優秀成果賞受賞課題による成果発表として 7 件の口頭発表が行われた。

表 4 令和 2 年度 TSUBAME3.0 利用の HPCI 一般利用(学術)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 利用実績
1	兵庫県立大学 神谷成敏 癌ワクチンペプチドと免疫関連タンパク質の結合自由エネルギー計算による親和性予測	75 口
		78 口
2	東京工業大学 横田理央 超大規模並列深層学習の自然言語処理モデルへの拡張	75 口
		85 口
3	兵庫県立大学 肥後順一 AI で効率化された MD 法による、蛋白質-リガンドの結合・解離自由エネルギー地形の算出	66 口
		64 口
4	大阪府立大学 須賀一彦 LBM による透過性複雑界面における乱流熱伝達現象の大規模数値シミュレーション	35 口
		39 口
5	東京大学 山下雄史 MD 計算による抗原-抗体相互作用の解析:ディスオーダー領域の影響	36 口
		34 口
6	東京工業大学 青木尊之 回転するハイスピード野球ボールの空力解析	73 口
		89 口
7	立命館大学 笠原浩太 蛋白質配列上の電荷分布が液-液相分離現象に及ぼす影響の検討	71 口
		78 口
8	宇宙航空研究開発機構 窪田健一 大規模並列粒子解析による水処理モジュール内流れに関する研究	28 口
		17 口
9	京都工芸繊維大学 高木知弘 フェーズフィールド法と格子ボルツマン法の大規模計算による dendrite 樹間液相流れの透過率評価	65 口
		74 口
10	新潟大学 関澤一之 Superfluid Dynamics within Time-Dependent Density Functional Theory	71 口
		91 口
	合計	595 口 649 口

表5 令和2年度 TSUBAME3.0 利用の HPCI 若手人材育成課題(学術)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 利用実績
1	大阪府立大学 桑田祐丞 高レイノルズ数多孔体壁乱流の直接数値解析によるケルビン-ヘルムホルツ不安定派効果の同定	12口 18口
2	大阪大学 山田一雄 全原子分子動力学シミュレーションを用いた二成分高分子ブレンド系の相溶性解析	43口 47口
	合計	55口 65口

表6 令和2年度 TSUBAME3.0 利用の HPCI 産業利用研究課題一覧

番号	所属機関 利用課題責任者 / 申請課題名	承認口数 利用実績
1	特定非営利活動法人バイオグリッドセンター関西 志水隆一 新薬開発を加速するインシリコ創薬基盤の構築-キナーゼタンパク質における薬剤結合解離パスウェイの予測-	65口 66口
	合計	66口 66口

表7 令和2年度 重点的利用区分「富岳」成果創出加速プログラム課題一覧

番号	所属機関 利用課題責任者 / 申請課題名	承認口数 利用実績
1	独立行政法人理化学研究所・杉田理論分子科学研究室 杉田有治 全原子・粗視化分子動力学による細胞内分子動態の解明	75口 73口
2	京都大学・医学研究科 奥野恭史 プレジジョンメディスンを加速する創薬ビッグデータ統合システムの推進	125口 128口
	合計	200口 201口

表8 令和2年度 新型コロナウイルスを含む感染症対応 HPCI 臨時公募課題一覧

番号	所属機関 利用課題責任者 / 申請課題名	承認口数 利用実績
1	自然科学研究機構 分子科学研究所 奥村久士 COVID-19 ウイルスの RNA ポリメラーゼと阻害薬候補の分子動力学シミュレーション	18口 18口
2	東京工業大学大学院情報理工学研究所 石田貴士 SARS-CoV-2 関連タンパク質の高精度立体構造モデリング	3口 3口
3	東京工業大学生命理工学院 北尾彰朗 COVID-19 エンドリボヌクレアーゼのオリゴマー化阻害剤開発	18口 17口
	合計	39口 38口

## 2-10 TSUBAME 共同利用サービス 有償の学術利用と産業利用

副センター長 青木 尊之  
特任准教授 渡邊 寿雄

### 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 TSUBAME3.0 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。採択課題数の推移を図 1 に示した通り、令和 2 年度の採択課題数は合計 53 件（内訳は学術利用 28 件、産業利用・成果公開 5 件、産業利用・成果非公開 20 件）であった。表 2~4 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いるが、令和 2 年度は新型コロナウイルス感染拡大に伴い、ほとんどの学会・イベントが中止またはオンライン開催となり、表 1 に示した通り、広報・渉外活動は限定的となった。

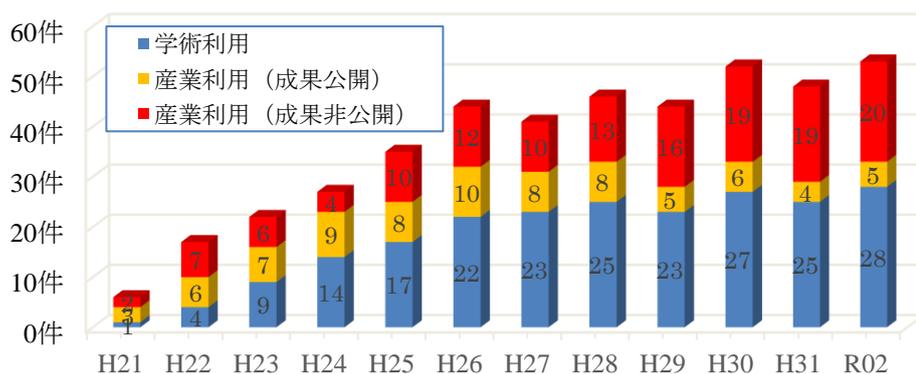


図1 TSUBAME共同利用サービスの採択課題数の推移

表 1 令和 2 年度 広報活動一覧

行事名	開催日	場所	形態	参加者
第 12 回 JHPCN 拠点シンポジウム	7 月 9 日	オンライン開催	ポスター展示	
HPCI 第 7 回成果報告会	10 月 29~30 日	オンライン開催	ポスター展示	-
令和 3 年度共同利用公募説明会	1 月 22 日	オンライン開催	主催	4 名
TSUBAME 利用講習会	随時開催、1 回	オンライン開催	主催	計 2 名
「数理科学」	2021 年 1 月号	株式会社サイエンス社	広告掲載	—

### 産業利用課題への提供資源上限量の撤廃と 30 口を超える資源の利用課金改定について

令和 2 年度の TSUBAME 共同利用 産業利用・成果非公開 の 1 課題あたり年間の提供資源上限量 30 口を撤廃し、成果非公開の課題のみ 30 口を超える口数の利用を可能とした。また、その 30 口を超える利用分の利用課金単価を 1 口 330,000 円（税込）に改定した。30 口以下の利用課金は従来どおり 220,000 円（税込）のままとした。

### 令和 3 年度の産業利用・成果非公開課題の利用課金改定について

令和 3 年度の TSUBAME 共同利用(産業利用・成果非公開)の利用料金を 1 口 330,000 円（税込）とすることを令和 2 年度早々に決定し、1 年をかけて事前周知を行った。利用料金の値上げは継続利用課題には大きな影響があり、また産業利用の申請には事前に企業内での予算確保に時間が必要であるため、十分な周知期間を確保しての実施とした。

利用課金改定の背景としては、産業利用・成果非公開ではスパコン TSUBAME を利用した企業が得られた成果を占有するため、TSUBAME のリース費と運用経費を合わせた費用から利用単価を算出することになり、令和 3 年度からは口数に関係なく利用単価を 1 口 330,000 円（税込）と改定することになった。

### 申請書の提出方法の変更および請求書発行日の集約化について

新型コロナウイルス感染拡大に伴うテレワークの普及への対策の一環として、令和 2 年度の TSUBAME 共同利用の申請方法および請求書発行日について以下の変更を行った。

#### 1. TSUBAME 共同利用の課題申請書原本の郵送の不要化について

令和元年度までは押印済み課題申請書（口数追加申請書を含む）の原本を郵送等にて送付する必要があったが、今後は押印済み申請書をスキャンした PDF 等のメール送付で代替可能とし、申請手続きの簡略化と迅速化を行った。

#### 2. 請求書発行日の集約化について

令和元年度までは請求書発行日は申請者の希望通りに設定していたが、令和 2 年度より請求書発行日を毎月 20 日に集約し、請求書発行日の選択肢を月単位とすることで、請求書発行業務の効率化を図った。支払い期日については、従来通り申請機関の支払いサイトに合わせて設定可能である。

表 2 令和 2 年度 TSUBAME 共同利用 学術利用（有償利用）採択課題一覧

課題番号	所属機関	利用課題責任者	申請課題名	購入口数
1	国立情報学研究所	コンテンツ科学研究系 山岸順一	声のアイデンティティに関する機械学習	29
2	京都工芸繊維大学	水口朋子	アミロイド形成ペプチドの安定構造に関する自由エネルギー解析	1
3	物質・材料研究機構	館山佳尚	第一原理計算による電池・触媒メカニズム解明と新物質探索	5
4	東京農工大学	岩見健太郎	メタ分子の光学応答解析	1

5	千葉大学大学院薬学研究院製剤工学研究室 東顕二郎 計算化学による固体分散体中の薬物とキャリアの相互作用の評価	2
6	電気通信大学 三輪忍 TSUBAME3.0における機械学習のI/Oと電力評価	6
7	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	2
8	成蹊大学 緑川博子 大規模ソフトウェア分散共有メモリシステムにおける高性能計算の研究	1
9	千葉工業大学工学部応用化学科 山本典史 凝集誘起発光についての理論的研究	2
10	東北大学大学院情報科学研究科 木下賢吾 分子動力学シミュレーションを用いた膜輸送タンパク質の分子機構の解明	2
11	大阪府立大学大学院工学研究科 橋本博公 損傷船体の縦曲げ最終強度と波浪中安全性評価に関する研究	13
12	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
13	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
14	電気通信大学 三輪忍 プロファイルおよびトレースのスケラビリティ予測に関する研究	5
15	広島大学大学院先進理工系科学研究科 中野浩嗣 二次制約無し二値最適化の古典計算機による高速解法	2
16	長岡工業高等専門学校 和久井直樹 ヒト血清アルブミン-薬剤複合体構造の網羅的解析	2
17	国立感染症研究所病原体ゲノム解析研究センター 横山勝 分子動力学シミュレーションによる新興再興感染症の研究	34
18	九州大学応用力学研究所 胡長洪 液体金属流れ CFD 手法の開発及び核融合研究への応用	3
19	国立研究開発法人情報通信研究機構 チャカロタイ ジェドヴィスノブ GPU クラスタを用いたミリ波帯大規模広帯域電波伝搬シミュレーション	14
20	東京大学大学院医学系研究科 石川俊平 ヒト抗体における構造多様性の網羅的解析	35
21	豊橋技術科学大学 後藤仁志 多様なデータを活用する深層学習モデルの検証	2
22	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(4)	2
23	東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻 吉留崇 革新的4次元イメージング法：生体分子構造変化の高解像度解析への挑戦	4
24	大阪府立大学工学研究科 桑田祐丞 フラクタル構造を有する粗さ面の乱流熱流動の大規模直接数値解析	4
25	大阪府立大学工学研究科 金田昌之 電気コイル隙間内に流れ込む冷却液挙動に関する大規模数値解析	11
26	新潟大学工学部工学科 櫻井篤 揺動電磁気シミュレーションを用いた光放射現象に関する研究	1
27	東京大学工学系研究科 志賀拓磨 階層性構造を有する生体有機材料の熱輸送メカニズムの解明	6
28	東京理科大学大学院理工学研究科 橋本永手 不動態皮膜の物性に関する量子化学計算	1
	小計	221

表3 令和2年度 TSUBAME 共同利用 産業利用（成果公開）採択課題一覧

課題番号	所属機関 申請課題名	購入口数
1	株式会社朝日新聞社 田森秀明 大規模記事コーパスを用いたニューラルネットワークの応用に関する研究	6
2	フォスター電機株式会社 笹島学 HPC と OpenFOAM を利用した音響機器の熱流体シミュレーション	1
3	先端素材高速開発技術研究組合 本田隆 フィラー分散ポリマー複合材料の相分離構造シミュレーション	20
4	株式会社豊田中央研究所 白井聡一 金属錯体を触媒とする CO2 還元の反応機構に関する理論的研究	2
5	マツダ株式会社技術研究所 山本雅史 車載レーダにおけるターゲット反射現象と受信特性の FDTD 法による数値解析	15
	合計	44

表4 令和2年度 TSUBAME 共同利用 産業利用（成果非公開）採択課題一覧

	所属機関（申請課題名は非公開）		所属機関（申請課題名は非公開）
1	株式会社豊田自動織機	11	トヨタ自動車株式会社
2	株式会社 MOLFEX	12	東洋合成工業株式会社
3	本州化学工業株式会社	13	日鉄ケミカル&マテリアル株式会社
4	JFE スチール株式会社	14	株式会社小松製作所
5	中外製薬株式会社	15	古河電気工業株式会社
6	株式会社リコー	16	モジュラス株式会社
7	株式会社クレハ	17	協和キリン株式会社
8	エーザイ株式会社	18	出光興産株式会社
9	ヒューマン・メタボローム・テクノロジーズ株式会社	19	デンカ株式会社
10	日本ガイシ株式会社	20	株式会社リコー

## 2-11 TSUBAME 公募型共同利用支援制度

副センター長 青木 尊之  
准教授 横田 理央  
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TSUBAME3.0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。

多様なユーザ層への利用支援のために、TSUBAME3.0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を目的とした**TSUBAME グランドチャレンジ大規模計算制度（2-11-1）**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（2-11-2）**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。

#### 2-11-1 TSUBAME グランドチャレンジ大規模計算制度

##### 本制度の概要

TSUBAME3.0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として東工大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TSUBAME3.0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を目的とした**TSUBAME グランドチャレンジ大規模計算制度**を平成23年度に開始した。春期と秋期の年2回実施してきたが、秋期の実施時期には既にTSUBAME3.0が混雑しているため、令和元年度は秋期のカテゴリAの公募を取りやめ、令和2年度はカテゴリBを含めた秋期の全実施は取りやめて、春期のみの年1回実施となった。

本制度で公募するカテゴリとしては、TSUBAME3.0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TSUBAME3.0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、令和2年度は春期にカテゴリB 1件のみを採択・実施した。

##### 令和2年度の実施スケジュールと採択課題一覧

令和2年度のTSUBAMEグランドチャレンジ大規模計算制度は、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は5月実施に1件を採択/実施した。秋期の公募は実施しなかった。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。令和2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 令和2年度 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
R02 春期	4月	1月17日(金)～2月10日(月) 17:00	3月6日(金)
	5月	3月2日(月)～4月6日(月) 17:00	4月24日(金)
	6月	4月6日(月)～5月6日(水) 17:00	5月22日(金)

表2 令和2年度 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
R02 春期	B 5月	東京大学 教授 石川俊平	ヒト抗体構造全空間の網羅的探索

## 2-11-2 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 TSUBAME3.0 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も同時採択している。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(定期公募)

**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(随時公募)

**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、翌月以降も在学予定の者。

**公募スケジュール**：4-12月の間に随時で公募を受け付け、速やかに審査結果を通知する。採択課題は採択後より当該年度末まで利用可能。同一申請グループによる継続申請は最大3回までとする。令和2年度の公募受付は12月14日(月)17時までとし、受付終了後から3月までの間は申請を受け付けない。

●平成 31 年度公募からの変更点（両制度共通）

利用報告書の提出に関して「利用終了と同時に修了・卒業を予定している場合には、利用終了前の 3 月中にお願いする」ことを公募要領に明記した。

令和2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では令和 2 年度は採択課題がなかった。TSUBAME 若手・女性利用者支援制度の令和 2 年度公募は令和 2 年 2～3 月に行われ、表 3 に示した 12 課題が採択された。そのうち 5 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 令和 2 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	T 細胞活性化の構造的なメカニズム Floris van Eerden (大阪大学)	3
2	八文字 DNA を新し機能性生体材料の分子力学シミュレーション研究 ※ Tran Phuoc Duy (東京工業大学・生命理工学院)	3
3	A 型インフルエンザウイルスのサブタイプ特異的薬剤耐性の分子機構に関する理論的研究 / MOHINI YADAV (Chiba Institute of Technology)	3
4	たんぱく質表面に隠れている薬剤結合部位の分子動力学シミュレーション 飯田慎仁(次世代天然物化学技術組合)	3
5	DNA のメチル化依存的なヌクレオソームの解離動態の解析 亀田健(広島大学大学院理学研究科)	3
6	Transfer Learning for End-to-End Multi-Instrument MIDI-to-Music Synthesis ※ Erica Cooper (国立情報学研究所)	3
7	分子動力学法による CO2 ハイ ドレート中の分子拡散係数の算出 本田 恒太(筑波大学 理工情報生命学術院)	3
8	VQ-VAE を用いた声質変換のための話者表現と音響特徴量埋め込みベクトルの探求 / Yi Zhao (国立情報学研究所)	3
9	船用酸化触媒表面における化学反応の温度影響解明のための量子化学シミュレーション / 馬 驍(海上技術安全研究所)	2
10	多クライアントによる多種モデル描画のためのスケーラブルな並列レンダリング / 奥村直仁(情報理工学院知能情報コース)	3
11	近赤外線を利用して水を酸化する色素の探索 小松勇(アストロバイオロジーセンター・国立天文台)	3
12	非天然化合物と結合タンパク質の動的挙動 尾谷優子(東京大学大学院薬学系研究科)	1
	合計	33

※ JHPCN 萌芽型共同研究課題として同時採択

### 3. 国際協働研究

#### 3-1 MOUに基づく国際共同研究

##### 世界の主要スパコンセンターとの MOU

2016年に東京工業大学 学術国際情報センター、オークリッジ国立研究所、スイス国立スパコンセンターの3者間のMOUを締結し、年2回のワークショップを持ち回りで開催してきた Accelerated Data Analytics and Computing Institute (ADAC) に新たに産業技術総合研究所、理化学研究所、東京大学、National Computational Infrastructure (オーストラリア)、Lawrence Livermore National Laboratory (アメリカ)、Argonne National Laboratory (アメリカ)、IT Center for Science (フィンランド)、Jülich Supercomputing Centre (ドイツ) の8つの組織が加わり11者間のMOUを締結した。

#### 3-2 国際シンポジウム・ワークショップ

##### 世界の主要スパコンセンターとの共催シンポジウム

MOUに基づき、これまで年2回のワークショップを持ち回りで開催してきた。2020年度には新型コロナウイルス蔓延により2回ともオンラインでの開催となった。第9回、第10回にあたるワークショップはそれぞれ1週間に渡って開催され、いずれも100名を超える参加者と約10件の講演、Applications、Performance、Portability、Resource Management の3分野のワーキンググループの打ち合わせも行われた。また、部局間協定を通じてお互いのセンターのスパコンへのアクセスを実現し、共通のノウハウの共有などを行うことができた。

#### 3-3 外部資金による国際共同研究

##### 3-3-1 『スリランカにおける降雨による高速長距離土砂流動災害の早期警戒技術の開発』プロジェクト

SATREPS (地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム) とは、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) 並びに国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) と独立行政法人国際協力機構 (JICA) が共同で実施している、日本と開発途上国の研究者が共同で行う研究プログラムである。東工大 GSIC は、気候変動に伴う豪雨の頻度増加が著しいスリランカにおける土砂災害被害軽減を目的とした SATREPS プロジェクト (代表: 国際斜面機構 小長井一男、期間: 2019-2024 年度) に参画し、特に深刻な高速長距離土砂流動の発生と流動範囲を1日前に予測することを可能にするため、山岳地の地形性乱流の影響を踏まえた降雨予測システムの開発をスリランカの研究者と共同で行っている。2020年度は、スリランカ研究者と共同でスリランカを対象とした降雨予測システムのプロトタイプを開発した。また、新型コロナウイルス蔓延によりオンライン開催となったものの、日本とスリランカの研究者が参加する全体会議2回に参加した。

### 3-3-2 『強烈な台風下の海水面を通しての熱・運動量輸送機構の解明とそのモデル化』 プロジェクト

ロシア応用物理研究所と共同で、台風など暴風下における海水面を通しての熱・運動量輸送機構を明らかにし、信頼性の高い輸送モデルを構築する科研費国際共同研究強化（B）プロジェクト（代表：兵庫県立大学 高垣直尚、期間：2019年～2023年度）に参画している。新型コロナウイルス蔓延によりお互いの訪問交流は中止となったものの、オンラインでの研究交流を行った。

## 4. イベント及びアウトリーチ活動

### 4-1 国際会議 SC20 におけるオンライン出展

先端研究部門 高性能計算システム分野 助教 野村 哲弘

先端研究部門 高性能計算システム分野 教授 遠藤 敏夫

スーパーコンピュータ及び関連分野の世界最大の国際会議 SC は毎年米国で開催されているが、今年度の SC20 については、COVID-19 の全世界的な蔓延の影響により、当初予定のジョージア州アトランタにおける対面での開催ではなく、完全オンラインでの開催となった。同会議では例年多くの講演セッション等とともに広大な展示フロアを利用した大規模な展示が行われており、関連分野の企業や世界中の研究機関が最新の製品や技術、研究成果などを発信する同会議でも重要な部分である。東工大 GSIC も 2008 年の SC08 から毎年ブースを出展し、TSUBAME シリーズの情報や研究成果などの展示を行ってきた。

今年はオンラインでの開催となったため、展示に関してもオンラインでの出展となり、昨年までと同様に TSUBAME3.0 の最新の運用状況やソフトウェア環境などに加えて、TSUBAME3.0 を利用した研究成果の事例等の特設 Web サイト上で紹介した (<https://www.gsic.titech.ac.jp/sc20>)。展示期間は 11 月 17 日から 19 日の 3 日間 (実際には 11 月 2 日に公開され、現在もアクセス可能) であり、SC 開催期間中には SC20 公式サイト上のオンラインブースに 167 件、そこからの GSIC 内特設展示ページへの遷移が 28 件あった。

[HOME](#) ▶ [TSUBAME](#) ▶ [GSIC Activities at SC20](#) ▶ [GSIC Activities at Virtual SC20](#)

### GSIC Activities at Virtual SC20

[SC20 TOP](#)

[News Release](#)

[Presentations](#)

[Booth Posters](#)

[Links](#)

#### Welcome Tokyo Tech Virtual Booth at SC20!

Tokyo Tech has started the operation of brand-new TSUBAME3.0 supercomputer, which got World No. 1 in the Green500 in June 2017. It provides the peak performance of 12PFlops with 2,160 NVIDIA Tesla P100 GPUs. Not only as a "post-peta" supercomputer, it has



been designed as a "big-data" supercomputer with 16PB shared storage and high-speed NVMe Flash SSDs, whose total performance exceeds 1PB in capacity and 1TB/s in access speed. We will demonstrate a TSUBAME3.0 compute node, in addition to R&D efforts including big-data architecture and software, ultra-green cloud system operation, advanced cooling and post-petascale applications.

[SC20: The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis](#)

Tutorials: Nov. 9 - 10, 2020

Workshops: Nov. 11 - 13, 2020

Program: Nov. 16 - 19, 2020

Exhibits: Nov. 17-19, 2020

[TSUBAME ESJ](#)

The TSUBAME e-science journal showcases many exciting ongoing projects from a wide range of disciplines. In the latest issue Vol.16 published in 13th Nov, we focus on the TSUBAME3.0 and GPU applications including Machine-Learning. The researchers have been able to achieve astounding breakthroughs and gain new insight into today's most challenging HPC problems, all made possible by the power of TSUBAME.

[PageTop](#)

### 東工大 GSIC SC20 展示特設サイト

今年は産総研・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)および高度情報科学技術研究機構(RIST、HPCI の登録施設利用促進機関)のブースからのリンクはあったものの、それ以外に来訪者を増やす施策は行うことが出来ず、例年の対面でのブース展示と違い強い目的意識を持った訪問者以外の関心を集めることが困難であった。本稿執筆時点では来年度の SC21 については対面とオンラインのハイブリッド開催になる可能性が伝えられており、今年度の反省点を踏まえつつ、開催方法に合わせたブース形態とできるよう状況を注視していきたい。

## 4-2 第26回スーパーコンピューティングコンテスト

教授 西崎 真也

スーパーコンピューティングコンテスト SuperCon 2020 は例年通り、本センターと大阪大学サイバーメディアセンターを共同主催として企画された。そして、予選課題発表を 2020 年 6 月 3 日（水）に行い、課題締め切りを 6 月 19 日（金）正午とし、実施された。この回の予選課題は、「文字列書き換え問題」という問題で離散数学に関連するアルゴリズム分野のものであった。

6 月 24 日（水）に本戦出場チームとして、東京会場に 8 チーム、大阪会場に 11 チームを選出した。しかしながら、日本国内における新型コロナウイルス感染症拡大状況を鑑み、本選は中止と決定した。

しかし、理化学研究所計算科学研究センターを共同主催者に加え、本戦出場チームにスーパーコンピュータ「富岳」におけるプログラミングを体験してもらうオンラインイベント、「富岳チャレンジ」を 2020 年 9 月 13 日～22 日の期間に実施した。富岳チャレンジについては別の章にて記述する。

#### 4-3 講習会

##### 【研究用計算機システム】

##### 2020 年度後期講習会【大岡山地区】

1	TSUBAME 利用法 入門編 (Linux 基礎)	10/12 (月)
2	TSUBAME 利用法 入門編 (Linux 基礎)	10/13 (火)
3	Introduction to TSUBAME (Linux basics)	10/14 (水)
4	TSUBAME3 利用法	10/16 (金)
5	MSC Nastran/Patran	10/19 (月)
6	GPU プログラミング	10/20 (火)
7	Gaussian / GaussView	10/21 (水)
8	並列化プログラミング	10/22 (木)
9	Mathematica	10/23 (金)
10	ABAQUS	10/27 (火)
11	COMSOL	10/28 (水)
12	Amber	10/29 (木)
13	Schrodinger	10/30 (金)
14	Materials Studio	11/4 (水)
15	Introduction to TSUBAME (Linux basics)	11/11 (水)
16	Discovery Studio	11/12 (木)
17	TSUBAME3 利用法	11/13 (金)
18	TSUBAME 利用法 入門編 (Linux 基礎)	11/16 (月)
19	Maple	11/17 (火)
20	ANSYS 電磁界解析	11/18 (水)
21	ANSYS 構造解析	11/19 (木)
22	ANSYS 流体解析	11/20 (金)
23	TSUBAME 利用法 入門編 (Linux 基礎)	12/7 (月)

※新型コロナウイルス感染症対応のため、前期の講習会は実施せず。

## 5. 広報活動

### 5-1 マスコミ報道等

- ◆ フォークボールが落ちる謎をスパコン「TSUBAME3.0」で解明  
青木 尊之 教授
  - ・ テレビ朝日「グッド! モーニング」【2021年3月24日(水)】
  - ・ 産経新聞【2021年3月24日(水)】朝刊28面
  - ・ 毎日新聞【2021年3月31日(水)】朝刊27面
  - ・ 日本経済新聞【2021年3月28日(日)】朝刊26面
  - ・ 読売新聞【2021年3月29日(月)】朝刊33面
  - ・ 東京新聞【2021年3月28日(日)】朝刊2面
  - ・ 科学新聞【2021年4月9日(金)】朝刊6面
  - ・ 朝日小学生新聞【2021年5月12日(水)】1面
  - ・ スポーツ・ナビ コラム「スパコンで解明されたフォークボールの謎」  
【2021年5月28日(金)】
  - ・ NHK ニュース【2021年3月23日(火)】
  - ・ YAHOO!ニュース【2021年3月30日(火)】
  - ・ マイナビニュース【2021年3月22日(月)】
  - ・ 日経クロステック【2021年3月23日(火)】
  - ・ ITmedia【2021年3月24日(水)】
  - ・ MONOist【2021年3月25日(木)】
  - ・ 大学ジャーナル【2021年4月2日(金)】

- ◆ 飛雄馬の変化球 実現可能に？ 浮き上がる球・・・大谷選手なら  
青木 尊之 教授

・読売新聞【2021年5月20日（木）】夕刊5面

- ◆ 東京工業大学 国際オープンイノベーションシンポジウム2021 レポート  
価値創造と課題解決に向けイノベーション創出を加速する「大学城下町」  
松浦 知史 准教授

・日経ビジネス【2021年3月22日（月）】

## 5-2 見学者受入状況

令和二年度学術国際情報センター見学者受入状況

月	日	見学者所属	人数	うち 学外者	うち 外国人
9	8	超スマート社会卓越教育院の学内外の関係	5	5	0
	14	文部科学省学術基盤整備室	1	1	0
10	8	産業技術総合研究所	5	5	0
11	27	大和証券	3	2	0
2	2	本学学生（情報理工）	25	0	0
		計 5 件	39	13	0

※本年度は新型コロナウイルス対策のため、ホームカミングデー・工大祭などのイベントはすべて開催中止となった。

※また、一部はバーチャル見学等リモートで行った。



## 6. 予算執行状況

### 1. 令和2年度法人運営費決済額

種 別	金額 (千円)
研究経費	19,642
教育研究支援経費 (うち電子計算機賃借料)	1,547,749 811,038
特別経費	155,501
合 計	1,722,892

### 2. 外部資金受入状況

種 別	件 数	金額 (千円)		
奨学寄附金	4	1,678		
受託研究	4	20,134		
受託事業	0	0		
民間等の共同研究	4	8,885		
科学研究補助金※	代表	分担		
	基盤研究 S	1	0	30,500
	基盤研究 A	1	1	8,052
	基盤研究 B	3	2	11,590
	基盤研究 C	1	0	1,230
	若手研究	1	0	531
	挑戦的萌芽研究	1	1	8,450
	国際共同研究強化(B)	1	0	500
	学術変革領域(B)	2	0	19,600
合 計	24		111,150	



## 7. 研究部門活動報告

### 7-1 情報支援部門

教授 杉野 暢彦（認証・ネットワーク分野）

#### 【研究の概要と成果】

##### 低消費電力化を指向したウェイ選択可能キャッシュの制御方式

プロセッサの全体の消費電力・エネルギーの中でキャッシュのそれは多くを占めています。最近、スタンバイ時の消費電力・エネルギーが小さい SRAM が提案されており、これを用いて構成したウェイの選択と切替が可能なウェイ選択可能キャッシュはキャッシュの消費電力・エネルギーを非常に大きく削減することが期待できます。しかしながら、その効果を高めるためには適切なウェイ需要予測とウェイ可変制御が不可欠となります。そこでまず、専用のシミュレータを作成し、C 言語ベンチマークプログラムのキャッシュアクセスの挙動を調べています。次に、メモリアクセスのアドレスの範囲を限定しやすいスタックポインタに着目し、その変化した時刻にウェイ切替を行うことで、高いヒット率を維持しつつ、消費電力・エネルギーを削減できることを確認しています。

##### GPGPU 向けコンパイラ

GPGPU 向けにアプリケーションを開発するためには、アーキテクチャと CUDA を始めとする専用言語の知識が必要になる上に、プログラマは性能を引き出すために様々に試行錯誤を繰り返すことになり、あまり容易ではありません。そこで、C 言語から CUDA へとコードを再構成するコンパイラを提案しています。提案コンパイラでは、入力コードをタスクに分割した後、各タスクの性質に応じて CPU/GPU への割り当てを行い、更に GPU アーキテクチャに合わせたチューニングを行い、実行効率を向上できます。また、自動チューニングにおいて、消費エネルギーの低減を目指すことも可能です。今年度は、C 言語プログラムから CUDA ソースコードへの自動変換時に、多面体表現を用いてコードの最適化を行う PoCC なるソフトウェアを用いたコンパイラを提案し、PoCC を用いず変換した場合との性能比較実験を行っている。

教授 友石 正彦（認証・ネットワーク分野）

### 【研究の概要と成果】

#### DNS RPZ を用いた通信制御手法に関する研究

サイバー攻撃が多様化する近年においても、その初手としてはフィッシングメールによる攻撃サイトへの誘導が非常に大きな割合を占めている。これまでの手法・機器でもこれらを検知・対策してきているが、全ての通信、もしくは、電子メールに対して検査を行うため、重点攻撃時にセキュリティ機器の負荷が上昇し、漏れや他の攻撃への検査への影響などが生じる。本研究では、この一時的な不可が全体の性能に影響を与える事態を改善するため、フィッシングメール内のサイト誘導への対応を遅らせる手法を提案し、検知機器の負荷集中を緩和することを目的とする。具体的には、フィッシングメールに含まれている URL 情報を事前にデータベースに登録し、ユーザによってクリックされたときには、そこからの通信について始めて、セキュリティ機器で厳密な検査を行うようなネットワークトラフィック分離手法を提案・実装する。本年度は、電子メールシステムにおいて、メールに含まれている URL のドメイン名をユーザが受信する前に DNS RPZ (Response Policy Zone) に登録し、その URL がクリックされた際には普段と違う通信経路に誘導するトラフィック分離手法を提案した〔国内会議-1〕。

#### ヘルスケアにおけるプライバシー保護を重視した認証付き遠隔監視・データ共有機構の構築に関する研究

近年、スマートホームなど家庭での IoT 機器利用が進んでおり、特にスマート家電やヘルスケア、遠隔医療が普及しつつある。一方、IoT ネットワーク、特に家庭におけるネットワークでのセキュリティ対策は確立されておらず、ヘルスケアや遠隔医療においてはプライバシー保護の問題が顕著となる。一方、これらをまとめて観測・検知する場合、非常に多くの IoT 機器をにアクセスし監視・制御する手法にはスケーラビリティの問題もある。本研究では、大規模分散データベースである DNS を利用し、軽量なコンテナ技術と連携することで、ヘルスケアにおけるプライバシー保護を実現する軽量かつ安全な遠隔監視・データ共有機構を提案する。本年度は、全ての IoT データを暗号化して保存し、DNS プロトコルを使ってテキストベースの IoT データを取得、DNS とコンテナ (Docker) の連携によりバイナリベースの IoT データを共有するプロトタイプシステムを構築した。

### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Y. Jin, M. Tomoishi and N. Yamai, "A Detour Strategy for Visiting Phishing URLs Based on Dynamic DNS Response Policy Zone," 2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Montreal, QC, Canada, 2020, pp.1-6, doi: 10.1109/ISNCC49221.2020.9297211.

**【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】**

- 1) 陸子健, 金勇, 山井成良, 友石正彦, “家庭向けの遠隔ヘルスケアにおける DNS を活用した監視システムの試作,” 情報処理学会インターネットと運用技術研究会研究報告, 2021-IOT-52, No.11, pp.1-6, 2021 年 3 月.

教授 西崎 真也 (情報基盤活用分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 契約による設計に基づく篩型を用いた静的コード解析

契約による設計とは、プログラムの安全性を高めるために、プログラムコードに契約を付与することができるプログラミング手法である。契約は、ソフトウェアの仕様を表すもので、前条件、後条件、不変条件の3つのグループに分類される。契約による設計の考え方は、プログラムコードの正しさを保証するもので、各手続きの呼び出し側が前条件の責任を負い、呼び出し側が後条件の責任を負うことを満足させるものである。Findler らは、型付きラムダ計算に基づいて、契約を動的に、つまり実行時に検証する形式システムを提案した。Flanagan らは、契約の静的検証と動的検証の両方が可能な形式システムを提唱している。彼らのシステムでは、契約を静的な型付け情報として表現することが可能であり、洗練された型と依存型を用いている。

本研究では、Flanagan 流の依存型と篩型を持つ型付きラムダ計算  $\lambda R$  を導入した。この型体系では、契約に関する情報を静的な型付けとして表現することが可能となっている。そして、その契約に基づく静的な解析が、契約情報に基づいた契約の詳細化とコードの最適化を可能としている。そして、SMT (Satisfiability Modulo Theory) サーバを用いて解析器を実装し、静的解析が実効的であることを、幾つかの例を用いて示した。

#### 【査読付き国際会議・学術論文誌】

- 1) Shin-ya NISHIZAKI, Static Code Analysis Using Refinement Types based on Design by Contract, Proceedings of ICSCA2020, ACM, pp 357—363, 2020.

### 【研究の概要と成果】

#### セキュリティ事案における知見の蓄積および対応の自動化に関する研究

昨年度に引き続き、インシデント対応時における知見の蓄積に関して研究を行った。事案発生時には、より良い判断を迅速に下し、組織の被害を最小化する事が重要である。そこで事案対応時に適切な意思決定をサポートし、対応時間を大幅に短縮するシステムを構築することが本研究の最終的な目的である。緊急対応時の判断ミスや遅延は組織に多大な損害を与えかねない。学術機関でも多くの情報セキュリティ事案が発生しており、教育／研究／事務活動等が著しく停滞する事件も起きている。緊急対応時の意思決定をミス無く迅速に行うためには技術担当者の知見を共有し、再利用する事が効果的である。しかし、実際の緊急対応時には組織の被害を最小化する事が第一義であり常に時間に追われながら対応を進めるために、技術者が対応した複雑な手順や高度な判断を下した理由といった知見を蓄積する余裕はほとんど存在しない。また、知見を蓄積出来た場合であっても多種多様な攻撃から過去と同様の類似性を判断し検索／再利用する事もまた困難である。

上記の問題点を解決するため、実際の事案対応の現場においてどのような粒度でまたどのポイントで情報を蓄積すると良いか、現場の負担を考慮しながら蓄積すべきデータの正規化に関する研究を行ってきた。またこの研究を基に蓄積した知見を活用するため、文書管理ソフトウェアである GitLab を応用し、事案対応フローを定めた上でその対応フローを扱うシステムを構築・運用し、実際の事案対応の現場でも活用している。蓄積した知見を一層活用するため自然言語処理や機械学習／AI の技術を応用し、セキュリティ文書群を対象とした文書分類に関する研究にも取り組んだ。ニュース記事のカテゴリ分類の様な一般的な文書分類とは違い、セキュリティ文書群は利用される用語も限定されかつ似通っているものが多い。そのため一般的な文書分類手法では精度の高い分類が難しく、より高度な手法が望まれる。そこで、トピックモデルの手法の一つで、特定の単語をシード単語として扱い分類のヒントとする *seeded guided LDA* に着目しその手法を応用する形で文書分類を試みた。提案手法により *LDA* や *labeled LDA* といった既存手法に対してより高い分類精度が得られた。提案手法を実運用で利用するためには一層の精度向上が必要であり、現在も引き続き手法の改良や機械学習や AI のモデルに利用するデータ群の選別や収集などを継続して行っている。

## 【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している。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とする。

本年度は、COVID-19の影響を受け、予定していた実証実験を十分に遂行できなかったことを受け、当初計画していた評価実験計画を変更し、密集状態をエミュレーションする環境での検討を行った。多数の無線端末をエミュレートする集積無線モジュールを Raspberry Pi 4B にて開発し、本モジュールにて 20 台分の無線クライアントをエミュレーションすることを実現した。このモジュールを用いた実環境における無線インフラの評価実験を実施し、低コストでの環境評価が行えることを示すことができた。なお、本研究成果を情報処理学会デジタルプラクティスに投稿し、採録報告を受けている。



図1 開発した集積無線モジュール

また、ネットワーク計測エージェントの展開に関して、コンテナ環境の利用に関して検討を進め、研究会にて報告した〔国内学会-4〕。

### IPv4/IPv6 デュアルスタック環境を考慮したネットワーク通信品質計測に関する研究

IPv6インターネットの展開を受け、IPv4/IPv6デュアルスタック環境の差異を評価可能なネットワーク通信品質計測が求められている。そこで、デュアルスタックネットワークの状態を継続的に数値化・可視化することを目的とし、計測手法の検討および定常的な計測を行なっている。

本年度は、デュアルスタック端末からのインターネットスピードテストを、IPv4/IPv6双方で実施可能なスピードテストサイト (iNonius Speedtest <https://inonius.net/>) を構築し運用を開始した。収集で得られた結果を解析し、特にNTT NGN網における接続形態であるPPPoE接続とIPoE接続の通信品質を比較評価し、定量的にPPPoE接続の通信劣化状態を示すことができ、その結果を報告した〔国内学会-1, 3, 9〕。

### 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。

これまでの研究成果をまとめた論文に関しては、長期の査読期間経て論文誌での採録に至らなかったことを受け研究成果の公開を優先し、オープンアクセスでの公開とした〔出版-1〕。また、位置情報を鑑みたゲートウェイ選択モデルの検討を開始し、力学モデルを用いたノード移動の推定を元を選択するアルゴリズムを用い、提案手法の有効性をシミュレーションにて評価した〔国内学会-2, 5, 11〕。

#### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Taichi Miya, Kohta Ohshima, Yoshiaki Kitaguchi and Katsunori Yamaoka: Experimental Analysis of Communication Relaying Delay in Low-Energy Ad-hoc Networks, In Proc. of the 2021 16th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC2021) - Poster, pp.1-2, Las Vegas, NV, USA, January 2021.
- 2) Hiroki Kashiwazaki, Takuro Ozaki, Hajime Shimada, Yusuke Komiya, Eisaku Sakane, Kazuhiro Mishima, Shiu Sakashita, Nariyoshi Yamai, Yoshiaki Kitaguchi and Kensuke Miyashita: Japanese Activities to bring online academic meetings against COVID-19 (How We Learned to Stop Worrying and Love the Online Meetings), In Proc. of the 2021 ACM SIGUCCS Annual Conference, pp.54-59, Virtual Event, USA, March 2021.

#### 【出版】

- 1) Taichi Miya, Kohta Ohshima, Yoshiaki Kitaguchi and Katsunori Yamaoka: Experimental Analysis of Communication Relaying Delay in Low-Energy Ad-hoc Networks, arXiv preprint, arXiv:2010.15572 [cs], October 2020.

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 北口 善明: IPv4/IPv6 同時計測可能なインターネットスピードテストサイトによるインターネット環境評価, 第 16 回地域間インタラククラウドワークショップ, September 2020.
- 2) 宮 太地, 大島 浩太, 北口 善明, 山岡 克式: 力学モデルに基づく HANETs における GW 移動制御の性能解析, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.120, No.293, IN2020-35, pp.13-18, December 2020 (電子情報通信学会 第 27 回情報ネットワーク研究賞).
- 3) 豊田 安信, 岩本 裕真, 加藤 良輔, 北口 善明, 中川 あきら, 永見 健一, 西野 大: 通信品質計測 Web サービスを活用した日本の IPv6 インターネット環境の分析と考察, 情報処理学会研究報告, Vol.2021-IOT-52, No.32, pp.1-6, March 2021.
- 4) 石原 知洋, 北口 善明, 阿部 博: SINDAN システムを利用したコンテナプラットフォームにおけるネットワーク環境の計測, 情報処理学会研究報告, Vol.2021-IOT-52, No.33, pp.1-6, March 2021.
- 5) 宮 太地, 大島 浩太, 北口 善明, 山岡 克式: HANETs における GW 自律移動制御による低遅延通信の実現, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.120, No.414, IN2020-65, pp.67-72, March 2021.

- 6) 湯田 孟, 北口 善明, 山岡 克式: MEC におけるマルチジョブ棄却率最適制御方式, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.120, No.414, IN2020-66, pp.73-78, March 2021.
- 7) 内藤 碩治, 伊藤 佑樹, 北口 善明, 山岡 克式: 受信者代弁型情報伝送プロトコルにおけるダウンリンク通信誤り訂正手法, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.120, No.414, IN2020-96, pp.250-255, March 2021.
- 8) 伊藤 佑樹, 北口 善明, 山岡 克式: 受信者代弁型情報伝送プロトコル上り 1bit 誤り耐性方式の最適設定法, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.120, No.414, IN2020-97, pp.256-261, March 2021.
- 9) 北口 善明: デュアルスタックスピードテストサイトを用いたインターネット環境評価, RICC-PIoT workshop 2021, March 2021.
- 10) 湯田 孟, 北口 善明, 山岡 克式: 待ち行列理論による MEC へのマルチジョブ収容最適閾値設定, 電子情報通信学会 2021 年総合大会講演論文集, Vol.2021, No.B-6-41, March 2021.
- 11) 宮 太地, 大島 浩太, 北口 善明, 山岡 克式: 力学モデルによる HANETs トポロジコントロールの一考察, 電子情報通信学会 2021 年総合大会講演論文集, Vol.2021, No.B-7-21, March 2021.
- 12) 内藤 碩治, 伊藤 佑樹, 北口 善明, 山岡 克式: ダウンロード通信誤りを考慮した受信者代弁型情報伝送プロトコルの情報伝送効率, 電子情報通信学会 2021 年総合大会講演論文集, Vol.2021, No.B-8-5, March 2021.

助教 石井 将大（認証・ネットワーク分野）

### 【研究の概要と成果】

#### ペアリング暗号の効率的な計算アルゴリズムの整理と新たなパラメータの提案

楕円曲線を利用したペアリングとその暗号技術は、匿名認証やブロックチェーン技術などを支え、既に実世界で活用されている。一方でペアリングの最近の安全性解析結果により、効率的なペアリング暗号のための多岐に渡るパラメータ選定とその構成法は依然不明な箇所が多く、新たな候補の曲線に対し、最適な計算アルゴリズムが見いだされていない。特に、現在では利用すべき楕円曲線やペアリングの構成法の候補が乱立し、ペアリングの安全性や効率性の詳細な整理がなされていない状態である。また、先行研究においては新規候補の曲線上のペアリング計算アルゴリズムの適切な整理が一部不十分であった。

上記の課題を解決するために、まず3次のツイストを持つ楕円曲線に対し、効率的なアルゴリズムと、ペアリング計算の高速化に寄与する新たなパラメータの表現方法を提案し、実際に拡大された効率的なパラメータ空間を探索し、これまで見つかっていなかった新たなパラメータを国内会議（コンピュータセキュリティシンポジウム 2020）で報告した〔国内会議-1〕。この結果はその他の曲線族とその上のペアリングに対しても適用が可能であり、本研究で得られた整理されたペアリングのアルゴリズムを前提とし、他の曲線族やモデルに対して効率的なパラメータの探索などの研究を引き続き遂行する。

#### 深層学習によるマルウェアの暗号化された通信の分析

昨年度に引き続き、特に暗号化された通信データを深層学習の技術を用いた分類を行い、その特性の解析を進めている。昨年度に国内会議にて報告した暗号通貨のマイニングマルウェアの通信分類に関する研究を基に、正常アプリケーションによる暗号化された通信データを利用した分類実験や、ブラウザベースの **cryptojacking** と呼ばれる不正なマイニング行為によるセキュリティの脅威については大規模なクロールによるその通信データの収集と解析を行った。また、通信の暗号化は主に TLS により行われているが、通信データの抽出位置を変化させた入力データに対し、分類器が通信の特徴をいかに活用しているか分析を行った。Autoencoder, CNN をベースとする複数の分類モデルを構築して分類実験を行った。特に 2D-CNN の精度が高く、同様のマルウェアの通信についてパケットの統計量による分類を行った先行研究に対し、F 値などの評価指標において本研究の優位性を示した。これらの成果は国際会議論文として投稿中である。

### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 石井将大 (G), 照屋唯紀, 安田貴徳: 3次ツイストを利用した効率的なペアリングアルゴリズム, コンピュータセキュリティシンポジウム (CSS) 2020 論文集, pp. 1080-1087, Oct. 2020. [CSS2020 奨励賞]

特任助教 金 勇（認証・ネットワーク分野）

### 【研究の概要と成果】

#### DNS RPZ(Response Policy Zone)を活用した不正通信の検知及び遮断に関する研究

フィッシングメールによる悪性サイトへの誘導がサイバー攻撃における初期段階の主な手段として知られている。既存手法では全ての電子メールに対して検査を行うため、セキュリティ機器の負荷上昇により、場合によっては他のネットワークトラフィックの検査ができなくなる恐れがある。本研究では、このようなフィッシングメールに含まれている URL 情報を事前にデータベースに登録し、ユーザによってクリックされた分のみセキュリティ機器で厳密な検査を行うようなネットワークトラフィック分散手法について検討する。本年度は、電子メールシステムにおいて、メールに含まれている URL のドメイン名をユーザが受信する前に DNS RPZ に登録し、その URL がクリックされた際に普段使われているネットワークと違う経路（厳密な検査を行う）に誘導するトラフィック分散手法を提案した〔国際-1〕。

また、インターネットサービスの利用において基本的に事前に行われる名前解決を介せず、感染端末による直接 IP アドレスを使った C&C サーバへの通信が観測されている。本研究では、DNS RPZ を活用して端末単位での不正通信を検知・遮断する手法についても検討する。

本年度は、端末（MacOS）上で DNS RPZ と SDN（Software Defined Network）の連携により、インターネット通信を行うアプリケーションプログラムの特定と DNS トラフィックの監視を通して、悪意にダウンロード・インストールされたマルウェアの不正通信を検知・遮断する手法を提案した。

#### DNS 通信トラフィックの監視及び解析による不正通信の検知手法に関する研究

近年、DNS トラフィックを利用した直サイバー攻撃を始め、マルウェア感染や悪性サイトへの誘導など様々なサイバー攻撃に DNS が利用されることが明らかになっている。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によって DNS トラフィックを遮断しにくい特徴がある。また、個人情報保護のために、DoT（DNS over Transport Layer Security）／DoH（DNS of HTTPS）を代表とする DNS 暗号化通信の標準化が進んでいる。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 C&C サーバとの通信に DNS プロトコルを利用してサイバー攻撃を行ったり、マルウェア感染後の活動に DNS トラフィックを利用したりする傾向がある。また、DoT／DoH の普及により DNS トラフィックが解析しにくくなることが懸念されている。本研究では、組織ネットワークにおいて、DNS 通信トラフィックを監視及び解析することで悪性通信の特徴や検知手法に関する研究を行っている〔国際-2〕〔国内-2〕〔国内-5〕。

## ヘルスケアにおけるプライバシー保護を重視した認証付き遠隔監視・データ共有機構の構築に関する研究

近年、スマートホームを始めとする IoT 環境の普及が進んでおり、スマート家電やヘルスケア、遠隔医療に関する技術が普及されつつある。それに対して、IoT ネットワークへのセキュリティ対策は遅れており、特にヘルスケアや遠隔医療においてプライバシー保護があまり考慮されていない。また、膨大な数の IoT 機器を外部から直接アクセスして監視・制御する既存の手法にはスケーラビリティの問題がある。本研究では、現状インターネット上で利用されている大規模分散データベースである DNS と軽量なコンテナ技術を連携し、ヘルスケアにおいてプライバシー保護を重視した軽量かつ安全な遠隔監視・データ共有機構を提案する。本年度は、全ての IoT データは暗号化して保存し、DNS プロトコルを使ってテキストベースの IoT データを取得、DNS とコンテナ (Docker) の連携によりバイナリベースの IoT データを共有するプロトタイプシステムを構築した。

### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Y.Jin, M.Tomoishi and N.Yamai "A Detour Strategy for Visiting Phishing URLs Based on Dynamic DNS Response PolicyZone," 2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications(ISNCC),Montreal,QC,Canada,2020,pp.1-6, doi:10.1109/ISNCC49221.2020.9297211.
- 2) Y. Iuchi, Y. Jin, H. Ichise, K. Iida and Y. Takai, "Detection and Blocking of DGA-based Bot Infected Computers by Monitoring NXDOMAIN Responses," 2020 7th IEEE International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)/2020 6th IEEE International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud (EdgeCom), New York, NY, USA, 2020, pp. 82-87, doi:10.1109/CSCloud-EdgeCom49738.2020.00023.

### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 阿久津賢宏,山井成良,金勇,“複数 DNS キャッシュサーバへ並行名前解決による DNS キャッシュポイズニング対策手法,”情報処理学会マルチメディア,分散,協調とモバイル(DICOMO2020)シンポジウム、2020年6月.
- 2) 飯田勝吉,一瀬光,金勇, “[招待講演]DNS 通信分析によるボットネット通信の検知・遮断技術の研究最前線,” 信学技報,vol.120,No.162,NS2020-41,pp.3-6,2020年9月.
- 3) 陸子健,金勇,山井成良,友石正彦,“家庭向けの遠隔ヘルスケアにおける DNS を活用した監視システムの試作,”情報処理学会インターネットと運用技術研究会研究報告,2021-IOT-52,No.11,pp.1-6,2021年3月.
- 4) 井口和哉,山井成良,金勇,“端末上 DNSSEC 検証システムにおける 2 種類のフルサービスリゾルバを併用した名前解決高速化,”情報処理学会インターネットと運用技術研究会研究報告,2021-IOT-52,No.12,pp.1-8,2021年3月.

- 5) 三橋力麻,金勇,品川高廣,飯田勝吉,高井昌彰,“機械学習による不審な DoH 通信検出システムに関する一検討,”2021 年電子情報通信学会総合大会 BS-8, 2021 年 3 月.

## 7-2 先端研究部門

教授 青木 尊之（高性能計算システム分野）

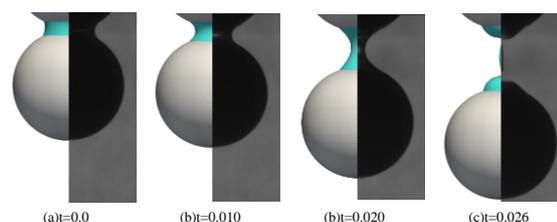
### 【研究の概要と成果】

#### 液架橋シミュレーション

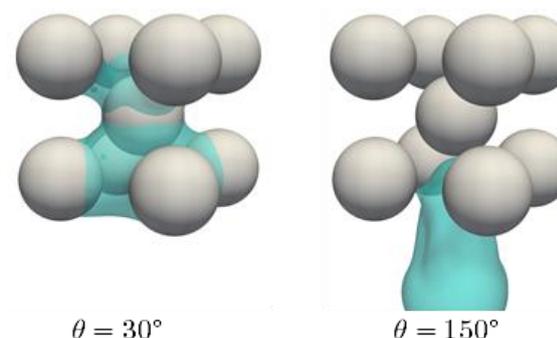
液架橋はミクロスケールにおける物体を含む気液二相流の典型的な現象であり、粉体を扱うプロセスにおいてもよく見られる。粒子に作用する液架橋力は、液量や物体の濡れ性などのパラメータにより、その挙動が大きく変化する。弱圧縮性流体計算手法と Direct Forcing Immersed Boundary Method、秩序関数分布に基づいた Capillary Force を組み合わせることで物体を含む気液二相流計算を実現し、ミクロスケールにおける液滴の落下、円柱の沈降、静的な液架橋強度など、既往研究と比較することによってその妥当性を確認した。

2つの球の間に形成された液架橋は、2つの球の距離が増大するとともに引張し、最終的に破断する。直径  $D=6.35$  mm、密度  $\rho=7800$  kg/m<sup>3</sup> の球を重力方向に上下2つ配置し、上側の球を固定して下側の球は重力により自由落下させる。2つの球の間に体積  $2.6$  mm<sup>3</sup> のシリコンオイを挿入する。球の接触角  $\theta$  を  $30^\circ$  とし、球直径当たり  $100$  格子の解像度を用いた。

右図は計算（左）と実験（右）の比較を示している。下側の球の落下に伴い液架橋が引張し、 $t=0.026$ s で液架橋の両端から破断している。各時刻における液架橋形状は、実験結果とよく一致している。



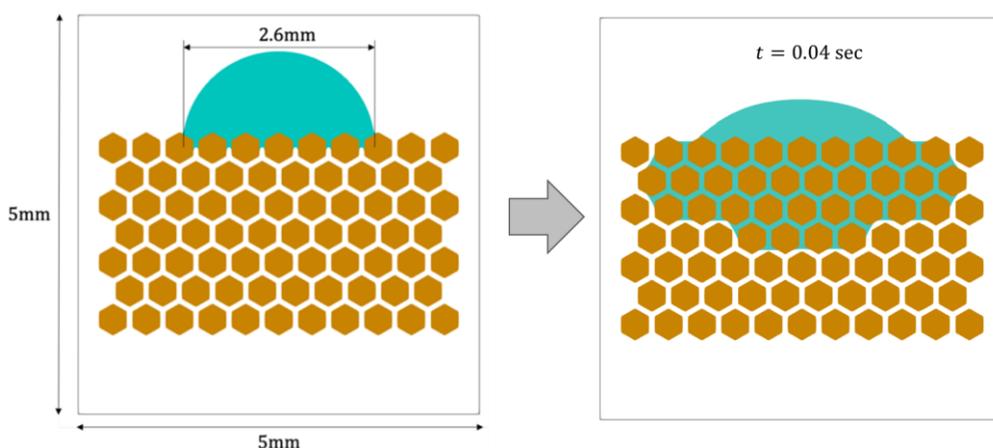
多孔質材料のような空隙が存在する物体配置における液滴の浸透の様子を再現するために、直径  $4.0$  mm の球を体心立方格子構造となるように中心間距離を  $5.0$  mm として  $9$  個配置する。直径  $6.0$  mm の液滴を落下させ、接触角を  $\theta = 30^\circ$  と  $150^\circ$  の2通りに設定して計算し、物体の濡れ性の影響を確認した。



#### Height Function による表面張力の計算

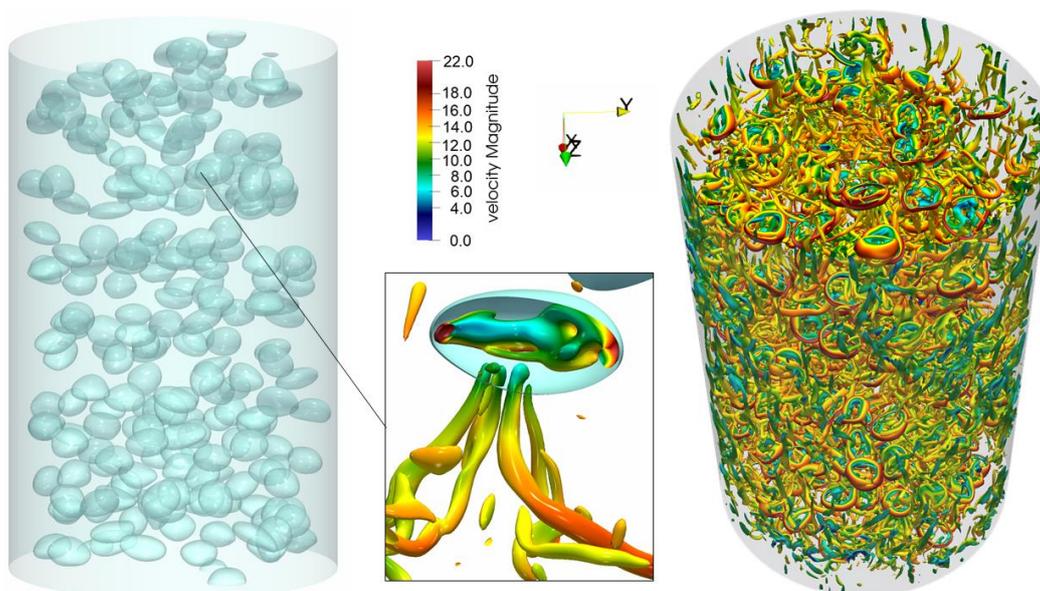
表面張力が強く影響する気液二相流のシミュレーションにおいて、spurious current の抑制は重要な課題である。曲率計算に Level Set 関数を使用した場合、界面近傍に spurious current が発生するが、Height Function を使用した場合、spurious current の絶対値が  $10$  分の  $1$  以下になり精度の向上が確認された。接触角近傍でも Height Function を使用することにより、spurious current を  $10^{-3}$  から  $10^{-5}$  倍に抑えることができた。紙へのインクの染込みなど、多孔

質材料を模擬した狭い流路へ毛管力による浸透計算を行った。5 mm×5 mm の計算領域に一辺が 0.2 mm の正六角形を  $L/3$  mm の隙間を設けて 74 個配置した。上部に直径 2.6 mm の半球状の液滴を配置し、Height Function を用いることで浸透過程を精度よく計算することができた。接触角を  $25^\circ$  とし、気液には空気および水の物性値をそれぞれ用いている。右図は染込み始めてから 0.04 秒後の結果であり、ほぼ定常状態になっている。



### パイプ内の気泡乱流シミュレーション

多数の気泡を含んだ気液二相乱流に対して、これまでは気液の密度比が小さく、低レイノルズ数で気泡が殆ど変形しない条件でしか計算されていなかったが、キュムラント型格子ボルツマン法に保存型 Allen-Cahn 方程式をカップルさせ、セルペクレ数に基づいたフィルタを導入することで、実際の水と空気の密度比、高レイノルズ数、実際の表面張力の値を用いた計算が可能になった。さらに、気泡同士の非物理的な合体を防ぐために、気泡毎に異なるフェーズを割り当てるマルチ・フェーズフィールド法を導入し、同時に Active Parameter Tracking 法を使うことでメモリの大幅な削減を達成した。

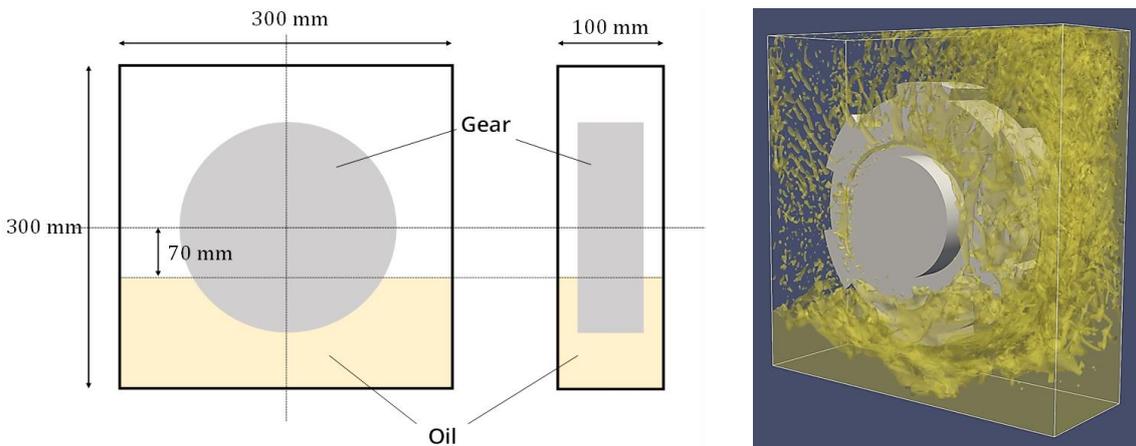


円形断面の流路に対して実験と定量的な比較を行うことのできる計算が初めて可能になり、平均流速分布、ボイド率分布など、計算と実験が良く一致する結果が得られただけでなく、実験では測定できない統計量や瞬時の流速分布、乱流諸量のプロファイルを得ることができることも明らかになった。

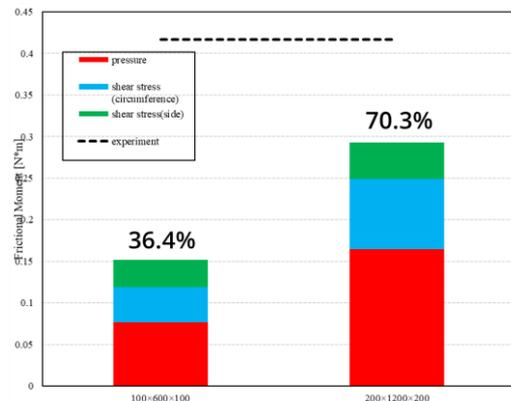
### 回転体によるオイル攪拌シミュレーション

潤滑や冷却を目的とした自動車のエンジンオイルの攪拌をはじめ、回転体による液体の攪拌は様々な工業製品において見られるが、解析の難しい現象である。激しい現象に対して運動量保存型弱圧縮性気液二相流計算手法を用いた。ギア等の軸対称性を持つ回転移動物体境界を高精度に取り扱うために回転円筒座標系を導入し、静止直交座標系との重合を行った。これにより計算領域形状の固定化を解消することが可能となった。

回転体に駆動される気液二相流シミュレーションとして、エンジンオイルの攪拌を模したギアに攪拌される流体のシミュレーションを行った。円筒容器および直方体容器について回転角速度 100 rpm から 1000 rpm における界面プロフィールを確認し実験との比較を行った。オイルが巻き上げられる高さや飛散する液滴、歯先と歯先にまたがるオイルの形状など、実験と計算でオイルの挙動がよく一致していることが確認できた。

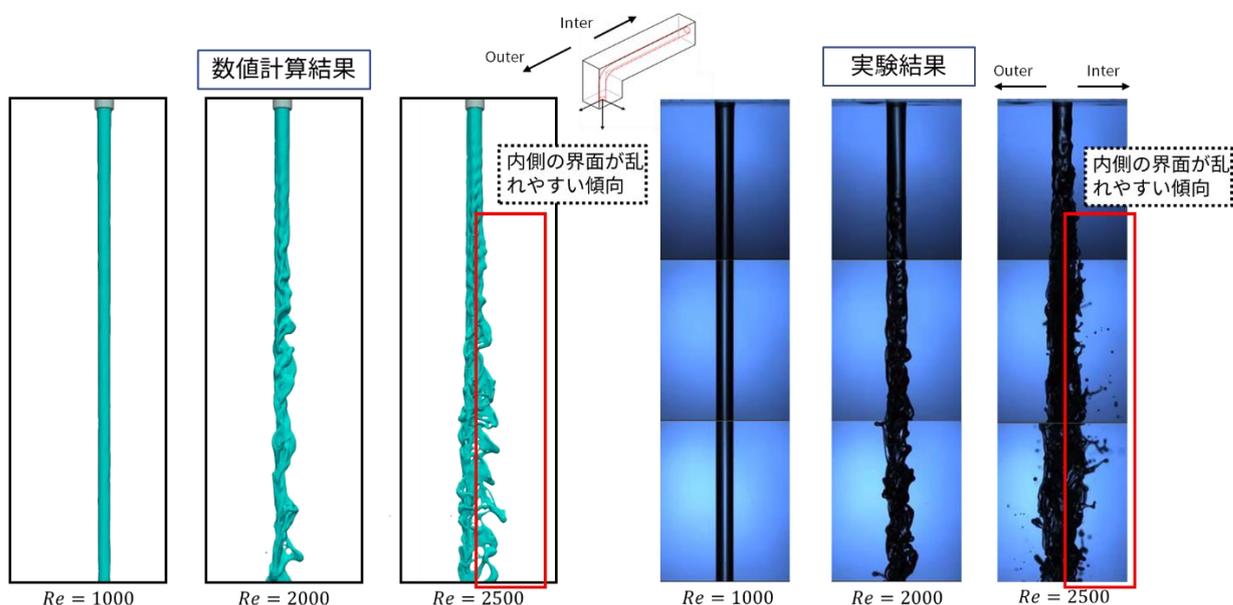


また、攪拌抵抗値について実験との比較を行い、回転数の増加に伴う攪拌抵抗値の上昇を再現することができ、低回転数時（1000rpm 以下）に関しては実験と非常によく一致した計算結果が得られた。右図のように、1000rpm 以上の高回転数では、実験結果より小さな値になったが、格子解像度を上げることで圧力に起因する攪拌抵抗と側面から受ける攪拌抵抗を精度よく評価できることが分かり、さらなる高解像度計算の必要性が分かった。



## 運動量保存型スキームによるオイルジェット・シミュレーション

曲がり管から放出されたオイルジェットは、湾曲部で二次流れが発生するために、流速（レイノルズ数  $Re$ ）が大きくなると放出されたオイルの表面が乱れ始める。液相の流速は気相よりずっと大きいため、強いせん断流れとなっている。これまでの気液二相流計算では殆どが速度ベースの解法が用いられているため、強いせん断を伴う気液界面での運動量交換を正しく計算できず、高いレイノルズ数でも界面が乱れない結果となっていた。そこで、運動量保存型弱圧縮性流体計算手法を導入し、木構造に基づいた AMR 法の GPU 計算コードを開発し、気液界面および物体近傍に高い解像度の格子を動的に割当ててことで効率的な計算を実行した。5mm の管直径  $D$  に 32 格子を割当てて解像度  $D/32$  を用い、物体境界の扱いに対しては Immersed Boundary 法、FAVOR 法、Cell Merging 法を導入して直交座標系で精度よく形状を表現している。



$Re = 1000$  では気液界面は乱れなく、 $Re = 2000$  以上では気液界面が乱れ、 $Re$  数の増加と共に乱れは大きくなるという実験結果に対し、計算が非常によく一致する結果となった。また、オイルジェットの内側面の方が大きく乱れることに対しても、実験と計算が良く一致した。計算の格子解像度を管直径に対して  $D/64$  とすると、 $Re = 2500$  では計算結果も気液界面から飛沫が出るようになり、実験とより一致する結果となった。複数 GPU を用いた計算を行うため、空間充填曲線に基づいた動的領域分割を行った。気液界面に強いせん断があるような気液二相流には、運動量保存型の計算手法を用いことが重要であることを確認することができた。



### 【査読付き学術論文】

- 1) Kai Yang, Takayuki Aoki: Weakly compressible Navier-Stokes solver based on evolving pressure projection method for two-phase flow simulations, *Journal of Computational Physics*, Volume 431, 110113, 15 Apr 2021
- 2) Yos Panagaman Sitompul, Takayuki Aoki, Tomohiro Takaki: Simulation of turbulent bubbly pipe flow with high density ratio and high reynolds number by using the lattice boltzmann method and a multi-phase field model, *International Journal of Multiphase Flow*, Volume 134, 103505, Jan 2021
- 3) Seiya Watanabe, Takayuki Aoki: Large-scale flow simulations using lattice Boltzmann method with AMR following free-surface on multiple GPUs, *Computer Physics Communications*, Volume 264, 107871, Jul 2021
- 4) Seiya Watanabe, Takayuki Aoki, Tomohiro Takaki : A domain partitioning method using a multi-phase-field model for block-based AMR applications, *Parallel Computing* Volume 97, Article 102647, Sep 2020, 1 Oct 2020
- 5) Atsushi Inagaki, Yovita Wangsaputra, Manabu Kanda, Meral Yücel, Naoyuki Onodera, and Takayuki Aoki : Inner and Outer-Layer Similarity of the Turbulence Intensity Profile over a Realistic Urban Geometry, *SOLA*, 2020, Vol. 16, 120–124, 23 Jul 2020
- 6) Shinji Sakane, Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Takayuki Aoki : Two-dimensional large-scale phase-field lattice Boltzmann simulation of polycrystalline equiaxed solidification with motion of a massive number of dendrites, *Computational Materials Science* Vol.178, 1 Jun 2020
- 7) 森口 周二, 奥山 大輝, 寺田 賢二郎, 大竹 雄, 青木 尊之: 離散要素法を用いた粒状体の流動解析に及ぼす解析パラメータの寄与率の定量化, *土木学会論文集 A2 (応用力学)* 2020 年 76 卷 2 号 p. I\_369-I\_377, 2021 年 2 月 1 日

### 【査読なしポスター発表】

- 1) 青木 尊之: 界面に適合する AMR 法を用いた非圧縮性気液二相流の完全陽解法計算と GPU 実装 –MPF 法による泡沫の計算–, 学際大規模情報基盤共同利用共同研究拠点 2020 年度シンポジウム, 2020 年 7 月 9 日
- 2) 青木 尊之: 界面に適合する AMR 法を用いた非圧縮性気液二相流の完全陽解法計算と GPU 実装 –液膜・泡沫への適用–, 学際大規模情報基盤共同利用共同研究拠点 2020 年度シンポジウム, 2020 年 7 月 9 日
- 3) 青木 尊之: 多量の瓦礫・流木を含んだ豪雨災害・津波シミュレーション, 第 7 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会, 品川, 2020 年 10 月 30 日

### 【査読なし国際会議発表】

- 1) Kai Yang, Takayuki Aoki : An Iterative Pressure Evolution Based Solver On Collocated Grid for Incompressible Two-Phase Flow, *WCCM-ECCOMAS 2020*, 11 Jan 2021

- 2) Shintaro Matsushita, Takayuki Aoki, Ritsuya Aoki, Yang Kai : A Numerical Simulation Of Two-Phase Oil-Jet Injected From A Circular Bent Nozzle With Interface-Adapted Amr Method, WCCM-ECCOMAS 2020, 11 Jan 2021
- 3) Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura, Yuichi Asahi, Yuta Hasegawa, Takashi Shimokawabe, Takayuki Aoki : Multigrid Poisson Solver for a Block-Structured Adaptive Mesh Refinement Method on CPU and GPU supercomputers, COMPSAFE2020, 10 Dec 2020
- 4) Shintaro Matsushita, Takayuki Aoki : A simulation of liquid film by using fully explicit two-phase flow solver with interface adapted AMR method, COMPSAFE2020, 10 Dec 2020
- 5) Yos Panagaman Sitompul, Takayuki Aoki : Study on Foam Formation using Cumulant Lattice Boltzmann Method with Multi-phase Field Model, COMPSAFE2020, 10 Dec 2020
- 6) Seiya Watanabe, Jun Kawahara, Takayuki Aoki : Simulations of free-surface flows including driftwoods for evaluating disaster-reduction of a tide-protection forest, COMPSAFE2020, 10 Dec 2020

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 松下 真太郎, 青木 尊之, 青木 律也, Yang Kai : AMR 法を導入した弱圧縮性気液二相流計算の動的領域分割による複数 GPU 化, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, 2020 年 12 月 21 日
- 2) 小野寺 直幸, 井戸村 泰宏, 朝比 祐一, 長谷川 雄太, 下川辺 隆史, 青木 尊之 : ブロック型適合細分化格子での Poisson 解法の GPU・CPU・ARM プロセッサに対する性能測定, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, 2020 年 12 月 21 日
- 3) 渡辺 勢也, 大橋 遼河, 青木 尊之 : 適合細分化格子を用いた Cumulant LBM による球周りの流れの高解像度計算, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, 2020 年 12 月 21 日
- 4) 青木 尊之 : 弱圧縮性計算手法による非圧縮性の混相流シミュレーション, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, 2020 年 12 月 21 日
- 5) 大橋 遼河, 渡辺 勢也, 青木 尊之 : 野球における変化球の軌道再現に向けた数値シミュレーション, スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2020, 2020 年 11 月 14 日
- 6) 大橋 遼河, 渡辺 勢也, 青木 尊之 : 回転するハイスピード野球ボールの空力特性における縫い目の影響の CFD 解析, 日本流体学会年会 2020, 2020 年 9 月 18 日
- 7) 山口 大輝, 渡辺 勢也, 青木 尊之, 田中 博人 : 実際のイルカの動きを考慮した自由遊泳の大規模数値シミュレーション, 日本流体学会年会 2020, 2020 年 9 月 18 日
- 8) 渡辺 勢也, 河原 淳, 青木 尊之, 杉原 健太, 高瀬 慎介, 森口 周二, 橋本 博公 : 流木を含む津波に対する防潮林の大規模シミュレーション, 日本流体学会年会 2020, 2020 年 9 月 18 日
- 9) 松下 真太郎, 青木 尊之, 青木 律也, Kai Yang, 中島 聖, 山本 亮, 幸徳 正信, 横畑 英明 : 曲がり管から放出されるオイルジェットの気液二相流シミュレーション, 日本流体学会年会 2020, 2020 年 9 月 18 日

- 10) 青木 律也, 青木 尊之, 松下 真太郎, Kai Yang, 中島 聖, 山本 亮, 幸徳 正信, 横畑 英明 : 矩形流路内に溜まった凝縮水のエア流入による排出の気液二相流シミュレーション, 日本流体学会年会 2020, 2020 年 9 月 18 日
- 11) 吉泉 瑛, 青木 尊之, 松下 真太郎, 渡辺 勢也, Yang Kai : 弱圧縮性流体計算手法による二粒子間液架橋の数値シミュレーション, 混相流シンポジウム 2020, 2020 年 8 月 22 日
- 12) Sitompul Yos Panagaman, Aoki Takayuki, Takaki Tomohiro : A Simulation of Turbulent Bubbly Flow in a Pipe using Cumulant Lattice Boltzmann Method, 混相流シンポジウム 2020, 22 August, 2020
- 13) 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計算手法による界面活性剤の濃度マランゴニ効果を考慮した液膜形成シミュレーション, 混相流シンポジウム 2020, 2020 年 8 月 22 日
- 14) Tada Eric, Watanabe Seiya, Yamaguchi Daiki, Aoki Takayuki : A Simulation of Violent Flag Fluttering using Cumulant LBM and Direct Forcing IBM, 第 25 回計算工学講演会, 1 June, 2020
- 15) 渡辺 勢也, 青木 尊之, 松下 真太郎, 胡 長洪, 高木 知弘 : MPF 法による動的負荷分散の気液二相流 AMR 計算への適用と性能評価, 第 25 回計算工学講演会, 2020 年 6 月 1 日
- 16) 大橋 遼河, 渡辺 勢也, 青木 尊之, 佐山 将太郎, 田中 博人 : AMR 法を用いた Cumulant-LBM による回転移動を伴う野球ボールの空力解析, 第 25 回計算工学講演会, 2020 年 6 月 1 日
- 17) 小野寺 直幸, 井戸村 泰宏, ユスフ アリ, 下川辺 隆史, 青木 尊之 : ブロック型適合細分化格子での Poisson 解法の GPU 高速化, 第 25 回計算工学講演会, 2020 年 6 月 1 日
- 18) 山口 大輝, 渡辺 勢也, 青木 尊之, 田中 博人 : AMR 法を導入したイルカの自由遊泳, 第 25 回計算工学講演会, 2020 年 6 月 1 日
- 19) 松下 真太郎, 青木 尊之 : 界面に適合する AMR 法と弱圧縮性解法による濃度差マランゴニ効果を考慮した液膜形成シミュレーション, 第 25 回計算工学講演会, 2020 年 6 月 1 日

#### 【招待講演】

- 1) 青木 尊之: HPCI システム利用研究課題 優秀成果賞・多量の瓦礫・流木を含んだ豪雨災害・津波シミュレーション, 第 7 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会, 品川, 2020 年 10 月 30 日
- 2) 青木 尊之 : 混相流と流体構造連成の革新的シミュレーション, GTC Fall 2020, 2020 年 10 月 8 日
- 3) 青木 尊之 : 弱圧縮性計算手法による非圧縮性の混相流シミュレーション, 日本流体力学会・第 34 回数値流体力学シンポジウム・特別講演, 2020 年 12 月 21 日

#### 【解説・書籍】

- 1) 青木 尊之, 松下 真太郎 : 気液二相流のマルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション, トライボロジスト Vol.65/No.11/2020 p678-p683, 2020 年 11 月 15 日

- 2) 青木 尊之：弱圧縮性計算手法による非圧縮性混相流シミュレーション，日本シミュレーション学会誌「シミュレーション」2020年9月 Vol.39 No.3 37-44, 2020年9月15日
- 3) 松下 真太郎, 青木 尊之：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, 計算工学 Vol.25 No.2 18-22, 2020年4月30日
- 4) 青木 尊之, 長谷川 雄太：自転車競技の集団走行に対する大規模空力計算, 自動車技術 Vol.74, No.4 p18-23, 2020年4月1日

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】

#### 次世代スパコンに向けたアーキテクチャ活用技術および TSUBAME スパコンへのフィードバック

当センターの TSUBAME3.0 スーパーコンピュータは、高性能シミュレーションのみならず高性能データ解析・AI 分野など学内外の幅広いユーザにより利用されている。次世代スパコンである TSUBAME4.0 は、2023 年度にすずかけ台に設置される予定であり、仕様策定委員会が 2020 年度末に立ち上がった状況である。さらなる計算資源への量的・質的な需要の高まりに応えるために、次世代や次々世代を見据えた今後のスパコン技術を進展させる必要があり、下記のような研究を進めている。

- ムーア則の限界が予測される中、次世代・次々世代の計算機アーキテクチャが、データ中心なものを含め広汎なアプリケーションにおいて大きく性能向上を継続するために、メモリ階層を中心としたアーキテクチャ探索が必要である。この問題意識のもと、NEDO プロジェクト「2028 年に性能 100 倍を達成する汎用性の高い高性能計算機アーキテクチャとシステムソフトウェアの技術の探索」にて研究を推進している。アーキテクチャ探索では一般にアーキテクチャシミュレーションが用いられるが、推定時間の長さや推定精度のトレードオフが問題となる。そこで我々はバンド幅・スループットに焦点を絞り、高速に性能推定を行うツール群を開発している。主要なツールは下記の通りである：メモリ階層構成設計ツール DATViewer、メモリトレース取得ツール、メモリ階層性能推定ツール PMNet。上記の性能推定ツール群を用い、マルチチップや異種メインメモリ構成を含む複数のアーキテクチャと、複数のマルチスレッドアプリケーションの組み合わせの実験を進めている。推定実行にかかる時間はアプリケーションの生実行時間の 100～500 倍程度となっている。これは gem5 などの詳細なシミュレータが数万倍の時間が必要であるのに比べ低コストであり、本ツール群は多数のアプリとアーキの組み合わせを探索する目的に合致していると考えられる。
- ビッグデータ解析や試行錯誤を含む深層学習処理などを、多種多様なユーザが気軽に行えるためには、TSUBAME の持つような高い演算性能を、対話的に活用できる必要がある。このために、2019 年度に TSUBAME チームおよびベンダーとの協力により、データ分析分野のデファクトスタンダードである Jupyter Lab を TSUBAME 上で容易に利用可能な改修を行い、2020 年度からサービス開始を行った〔国内学会-2〕〔ワークショップ-4〕。そのサービスをさらに改良し、統合開発環境である code-server にも新たに対応を行った。これらの運用改良は、文科省概算要求「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」の文脈にて行われている。
- 上記項目であるスーパーコンピュータの対話利用は、データ分析や深層学習分野での

ユーザの裾野を広げる一方で、計算資源の利用効率を低下させる傾向にある。この問題の解決にむけて、ジョブスケジューラを含めた計算資源管理方法において大きな改革が必要である。バッチジョブとインタラクティブジョブが同じノード・計算コア上で共存し、必要に応じてプリエンプション(走行ジョブの切り替え)が発生するようなシナリオに向けて研究開発を行っている。上述のようなスケジューリング方式においては、コア等を共有するジョブ群の性能低下が、直観的な倍率よりも悪化するケースがあることが分かった。これはジョブのメモリ・キャッシュアクセスの性質に依存することが判明し、その性能低下率をみつもるモデルとスケジューリングシステムのプロトタイプを提案した〔国際会議-1〕〔ポスター発表-2〕〔国内学会-3〕。

- スーパーコンピュータ上の大規模アプリケーションを高速化するためには、計算機間ネットワークのトポロジーおよびルーティングアルゴリズムの最適化も重要である。Deadlock-free という好ましい性質をもつルーティングアルゴリズムに対して、一部の機器故障が発生した場合に、ルーティングを低コストで修復する手法を提案し、その効果をシミュレーションにより実証した〔ポスター発表-1〕。
- 機械学習やシミュレーションのカーネルを、様々な種類のプロセッサで高性能実装するためには、通常はアーキテクチャに依存した最適化が必要である。しかし新規アルゴリズムや新規アーキテクチャへの追従が困難である問題がある。その解決に向け、アルゴリズム自身の記述とアーキテクチャ依存最適化の分離を、ドメイン特化言語 (DSL) を用いて可能とする研究を推進している。配列・行列向け DSL である Halide を用いて、ステンシル計算や畳み込み演算カーネルを容易に記述しつつ、かつ時間ブロッキングなどの効果が大きい最適化も取り込めることを実証した。このような研究を、科研基盤研究 (B)「異種アーキテクチャ並列環境におけるスケーラブルな機械学習基盤ソフトウェア技術」や産総研とのジョイントラボである産総研・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)などの文脈において推進している。

#### 【査読付き国際会議発表】

- 1) Shohei Minami, Toshio Endo and Akihiro Nomura. Measurement and Modeling of Performance of HPC Applications towards Overcommitting Scheduling Systems. 24th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP 2021), In Conjunction with IPDPS 2021, May 2021 (accepted)

#### 【査読付きポスター発表】

- 1) Ivan R. Ivanov, Jens Domke, Akihiro Nomura and Toshio Endo. Improved failover for HPC interconnects through localised routing restoration. The 3rd R-CCS International Symposium, poster session, Feb 2021.

- 2) Shohei Minami, Toshio Endo, Akihiro Nomura. Performance Modeling of HPC Applications on Overcommitted Systems. HPC Asia 2021, poster session, Jan 2021.

**【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】**

- 1) 野村 哲弘, 滝澤 真一郎, 三浦 信一, 遠藤 敏夫, 松葉 浩也. センサー情報を意識したジョブスケジューリング実現のための標準ジョブ履歴スキーマの提案 . 情報処理学会研究報告, HPC-178, No. 14, 2021 年 3 月.
- 2) 安良岡由規, 野村 哲弘, 遠藤 敏夫. 学内インフラとしてのスパコンの対話的利用による利便性向上 . 2020 年度大学 ICT 推進協議会(AXIES)年次大会, FA2-3, オンライン, 2020 年 12 月 11 日.
- 3) 南 将平, 遠藤 敏夫, 野村 哲弘. オーバーコミットスケジュール時のアプリ性能の予備評価 . 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2020), 情報処理学会研究報告, 2020-HPC-175, No. 21, 2020 年 7 月.
- 4) 野村 哲弘, 遠藤 敏夫, 三浦 信一, 朝倉 博紀, 越野 俊充, 草間 俊博. TSUBAME3 のインタラクティブ利用の利便性向上にむけた取り組み . 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2020), 情報処理学会研究報告, 2020-HPC-175, No. 23, 2020 年 7 月.

【研究の概要と成果】

超大規模並列深層学習の自然言語処理モデルへの拡張

近年、深層ニューラルネットを用いた機械学習は、画像認識・音声認識・自然言語処理などを融合した領域において目覚ましい発展を遂げている。研究代表者はこれまでに画像認識の分野で数千 GPU を用いた大規模並列深層学習を行う技術を開発しており、Google の記録を上回る性能を達成している。本研究ではその技術を自然言語処理分野で用いられる transformer に応用し大規模事前学習に適用することを目的とする。

画像認識に用いられる畳み込みニューラルネットに比べて自然言語処理に用いられる transformer はパラメータ数が多く、1 GPU のメモリに収まらない場合がある。そのため、本研究ではまず大規模な transformer のメモリ消費量を低減する手法を開発した。ただし、複雑な領域分割処理のためのコードの変更を必要とするモデル並列化は使用せず、データ並列を用いながらも並列数に反比例してパラメータのメモリ消費量を削減できる手法を用いた。これにより、最大で 140 億のパラメータを持つ BERT モデルをデータ並列を用いて学習できることを示した。また、二次最適化の利用も可能であることを示した。

自然言語学習モデルでは、BERT を始めとする注意機構を利用した事前学習モデルが広く用いられている。事前学習モデルとは、大規模のデータセットを使い言語モデルを学習し、文章分類や機械翻訳などのタスクにファインチューニング(モデルを微調整)するモデルである。事前学習モデルは、同じモデルを多種多様なタスクに適用できる利点がある。ファインチューニングは少ない計算資源を使って短時間でできる一方、事前学習には一般的に大量な計算資源と時間が必要となる。

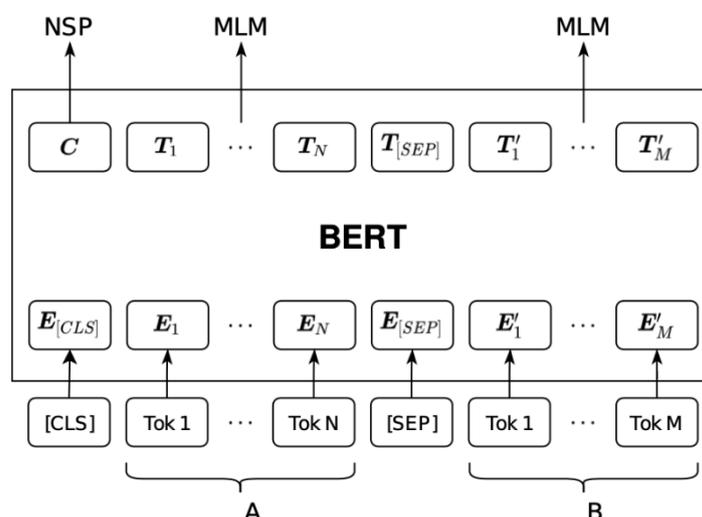


図1 BERT を用いた事前学習の様子

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) は異なるタスクでアーキテクチャが統一され、様々なタスクで高い精度が得られている。BERT のモデルとして、Transformer の Encoder 側が使われる。また、双方向性 (bidirectional) は BERT の大きな特徴である。文章は一般的に左から右への一方向で考えるため、多くの自然言語処理モデルは一方向である。一方、BERT では目標単語の左だけでなく、それより右の単語も学習に用いる。このような双方向性はファインチューニングタスクの精度を向上させることができるとされている。BERT では、Masked Language Modeling (MLM) と Next Sentence Prediction (NSP) の二つの事前学習タスクを行う。事前学習における入力と出力は図 1 に示す通りである。MLM は、入力の一部のトークンをマスクし、元のトークンを予測するタスクである。BERT では、入力の 15%をマスクし、さらにそれらのトークンを 80%の確率で MASK トークンに変換し、10%の確率でランダムなトークンに変換し、10%の確率でそのままにする。次に、マスクされたトークンに対応する出力をソフトマックス関数に通し、予測結果とする。一方、NSP は与えられた二つの文が連続かどうかを予測するタスクである。MLM だけでは、文間の関係性が学習されないため、NSP の学習も必要とされている。入力の 50%が連続の文にし、50%をランダムな二文にする。予測するには、CLS トークンに対応する出力が使われる。

ファインチューニングでは、事前学習と同じモデルを使用し、様々なタスクに対応できる。感情解析や含意関係などの識別タスクでは、出力に全結合層を加え予測を行う。タグ付けや質疑応答などのトークンレベルのタスクの学習では、出力が用いられる。事前学習には複数の GPU を使って数日かかるのに対し、ファインチューニングはより軽く、少ない計算資源で学習できる。ほとんどのファインチューニングタスクは、1GPU を用いて数時間で学習が終わる。

DNN のメモリ消費を大きく分類すると、parameter、optimizer state、activation の 3 つに分類される。Parameter と optimizer state は、使用する最適化手法と DNN によって大きさが定まるのに対し、activation はバッチサイズに比例して大きさが定まる。よって、バッチサイズを小さくすればメモリ消費を抑えることができるが、GPU の利用効率が悪化し単位時間あたりに処理できるデータ数 (スループット) に悪影響があると考えられる。図 2 に画像認識モデル ResNet のメモリ消費と自然言語認識モデル BERT のメモリ消費を示す。PyTorch における GPU メモリ消費のピークは、活性の多くを保存している逆伝播の途中で、cuDNN が作業用メモリを確保して CUDA カーネルを実行している途中になると考えられる。しかし、PyTorch の C++で記述される逆伝播中に、Python で定義されているである parameter と optimizer state を含めたメモリ消費量を算出することは難しい。そのため本実験では、順伝播後のメモリプロファイルを計測している。また、BERT の図中の seq は、DNN に与える入力シーケンスの長さに対応する。

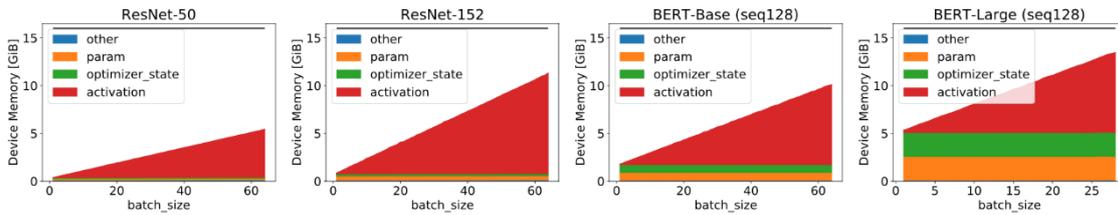


図2 バッチサイズを変えたときの ResNet と BERT のメモリ消費量の内訳

まず、parameter と optimizer state がバッチサイズの影響を受けないのに対し、activation がバッチサイズに比例して増加するため、バッチサイズが増えるとともに activation が全体に占める割合が増加する。いずれの実験でもバッチサイズが 1 のときは、activation よりも parameter と optimizer state の方がメモリ使用量として大きい。バッチサイズを減少させれば activation の大きさを parameter と optimizer state 以下に抑えることができるが、バッチサイズの減少は GPU で行うそれぞれの層の計算量を削減することに直結し、GPU の Streaming Multiprocessor を有効に活用しづらくなったり、ホストによる CUDA カーネル発行やモデルの最適化など、毎イテレーション必要な処理がボトルネックとなる可能性がある。BERT-Large (seq128) はバッチサイズ 29 で、BERT-Large (seq 512) はバッチサイズ 5 で、それぞれ GPU のデバイスメモリ不足で実行ができなくなった。

深層ニューラルネット (DNN) の分散学習は、データ並列とモデル並列の 2 つに分類できる。モデル並列には layer-wise pipeline や distributed tensor computation、graph partitioning などがある。深層学習では、演算器の利用効率を改善するため複数のサンプルをバッチ処理するミニバッチ学習が用いられる。ミニバッチ学習では、順伝播と逆伝播をバッチ処理し、得られた勾配の平均で DNN を更新する。このデータに関する並列性を活用することで、複数プロセスで高速に分散学習を行うことができる。この平均の勾配を求める演算をプロセス間で効率的に行う手法として、All-Reduce 集団通信が知られている。All-Reduce は、各々のプロセスが持つベクトルに対して要素ごとの二項演算 (ここでは加算とする) を行って、全てのプロセスがその結果を得る集団通信である。NVIDIA Collective Communication Library (NCCL) や MPI が、代表的な All-Reduce の実装を有するライブラリである。

All-Reduce は、Reduce-Scatter と AllGather という 2 つの集団通信の組み合わせと捉えることもできる。Reduce-Scatter は同様にベクトルの二項演算を計算するが、そのベクトルは共通部分がないように全てのプロセスに分散される集団通信である。AllGather は、全てのプロセスに分散されたベクトルを、全てのプロセスに集める集団通信である。よって、Reduce-Scatter のあとに、分散されたベクトルを AllGather すると、All-Reduce と同様の通信となる。All-Reduce の実装では、Reduce-Scatter と AllGather を用いて実装する例が多い。

この 2 つのアルゴリズムを利用することで、効率的に DNN のパラメータ更新を実装した例がある。この手法は、同期型データ並列学習と同様にそれぞれのプロセスがミニバッチによる平均の勾配を計算した後 Reduce-Scatter を行う。これによって、全てのプロセスによる

平均の勾配が、全てのプロセスに Scatter される。その後、パラメータ更新のため実行に時間がかかる二次最適化手法を用いるが、この更新は全てのプロセスに分散されているため All-Reduce を行ってそれぞれのプロセスがすべての更新を行う方法より高速である。さらに、それぞれのプロセスが担当する更新処理が少なくて済むことから optimizer state を削減することもできる。そして、それぞれのプロセスが更新したパラメータのサブセットを AllGather して、全パラメータの更新処理ができたことになる。

本研究では activation、parameter、optimizer state のそれぞれについて、メモリ消費をバランスよく減らす手法を提案する。これにより生まれた GPU の空きメモリ領域を活用して、実行可能なバッチサイズを大きくすることができ、スループットの改善が見込まれる。さらには、これまでバッチサイズ 1 でも実行不可能だった、パラメータだけでも GPU メモリに保存できないため、高度なモデル並列学習を必要としていた巨大なモデルの学習を可能にする。ここで用いるニューラルネットワークは、予め複数の層から構成されるレイヤーグループに分割している。このレイヤーグループを基本単位として、メモリ最適化を行っていく。本アルゴリズムでは distributing、recomputing、offloading の 3 つのメモリ最適化を用いる。Recompute によって activation を削減しパラメータ分散によって parameter と optimizer state を削減する。さらにパラメータと活性のオフロードによって、計算ノードのホストメモリに至るまで、使用可能なすべてのメモリ領域を効率的に活用できる。

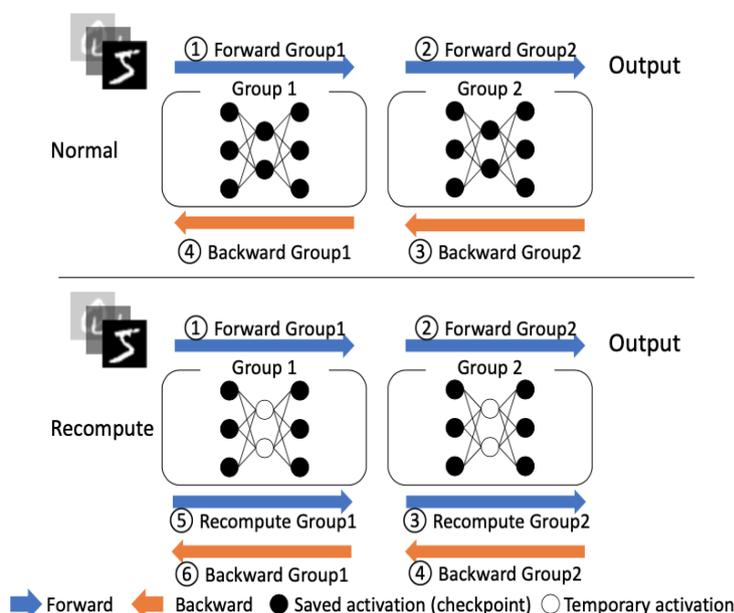


図3 再計算の概念図

図3に再計算の概要図を示す。再計算は、順伝播中に生成された activation の一部を削除することで、activation を削減する手法である。そして、逆伝播時に勾配を求めるため、保存

している一部の activation から、途中の activation を再計算する。よって計算量は増加するが、メモリ使用量を削減することができる。しかし、どのような分割が最適かは自明ではない。例えば ResNet のような skip connection を持つ DNN は、skip connection で接続された層を別グループに分割できない。さらに、巨大な DNN は順伝播の実行時間も長く、すべてを再計算するのは難しい。よって、規定のメモリ量に対して効率的な再計算範囲を探索する必要がある。本研究もこれらの手法と組み合わせると、より効率的な再計算を行える。

さらに、自然言語認識モデル BERT ではメモリ使用量が大きかった、parameter、optimizer state の削減を考える。データ並列学習は全てのプロセスが DNN のレプリカを保存し、AllReduce で集約された勾配を用いてそれぞれの DNN のレプリカを更新する。よって、重複して保存されている parameter や optimizer state はメモリの無駄である。Update 分散は、勾配の AllReduce を行う代わりに、勾配の Reduce-Scatter と更新されたパラメータの AllGather を行う手法である。それぞれのプロセスが Scatter された勾配についてのみ Update を行うため、Update 時間と optimizer state を削減することができる。Update に時間と多量のメモリを必要とする二次最適化においても、Update 分散は利用されている[1]。また、勾配の AllReduce は、Reduce-Scatter と AllGather の組み合わせで実装されており通信量は変わらない。

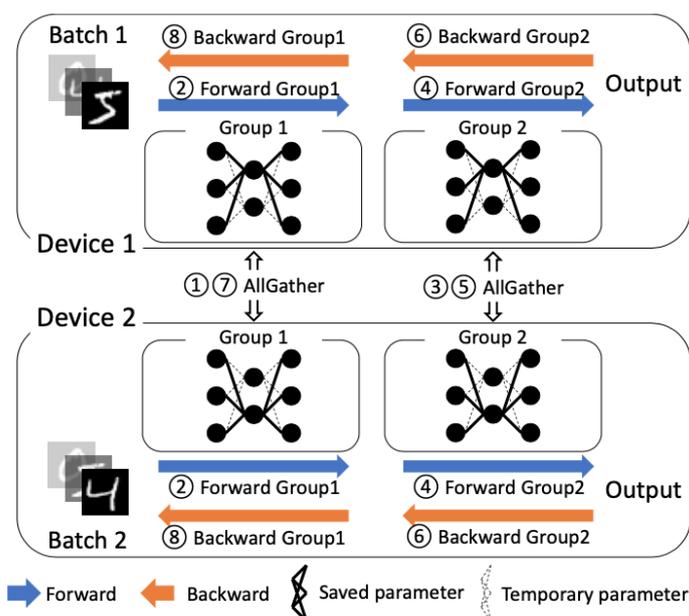


図4 パラメータ分散の概念図

図4に、パラメータ分散の概要図を示す。パラメータ分散は、モデルを複数のグループに分割し、そのグループ内のパラメータを相異なる集合にして全てのプロセスに分散させる手法である。それぞれのプロセスは、グループ内のパラメータの一部分しか持たないので、メモリを節約できる。しかし、パラメータの一部分だけではグループの順伝播や逆伝播を行

うことができない。そこで、そのグループの演算を行う前に、AllGather によってパラメータを集めて、完全なパラメータ集合を復元した後に演算を行う。このとき、一度に復元するパラメータ集合はグループ内のものだけなので、デバイスにはモデル全体を保存する領域は必要ない。

	bs=1	bs=2	bs=4	bs=8
normal	-	-	-	-
recompute-gpu	-	-	-	-
optim-gpu	-	-	-	-
param-gpu	36 GPU	48 GPU	120 GPU	-
param-cpu	28 GPU	44 GPU	92 GPU	-
paramooc-cpu	1 GPU	1 GPU	1 GPU	-

表 1 それぞれの手法で学習を行う際に必要な最小の GPU 数

表 1 に表中のバッチサイズの学習を行う際に必要な最小の GPU 数を示す。「-」は、再計算しない活性のメモリ消費が 1GPU のメモリ量を超えてしまい実行が不可能であることを示す。「normal」は再計算やパラメータ分散を行わない通常の前並列学習、「recompute-gpu」は GPU を用いて再計算を行う場合、「optim-gpu」は optimizer state を複数 GPU に分散させる場合、「param-gpu」はそれに加えて parameter も複数 GPU に分散させる場合、「paramooc-cpu」はそれに加えて CPU にオフロードする場合を表す。今回、再計算は全ての再計算を行うのではなく、attention 機構の部分のみ再計算を行っている。すなわち、BERT の intermediate と output 層については再計算を行っていない。これらの再計算も行うことで、デバイスに DNN の深さに比例する活性を保存しないようにできる。これにより、バッチサイズを増加させたり、学習に必要な GPU 数を削減することも可能である。

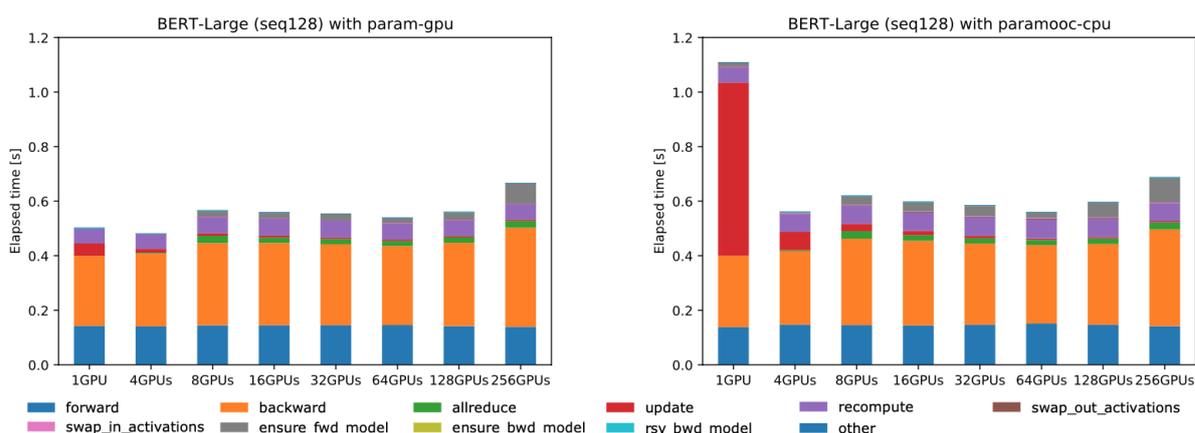


図 5 BERT-Large にパラメータ分散(左)とパラメータ分散とオフロードの両方(右)を用いたときの計算時間の弱スケーリング

図 5 に、BERT-Large (seq 128)をバッチサイズ 16 で、複数の計算ノードを用いて学習したときの各イテレーションの実行時間を示す。本研究では、開発の大部分は TSUBAME3.0 を用いて行っているが、最終的な性能測定ではできるだけ新しい計算機の数字を投稿論文に載せる目的で HPCI の計算資源としては申請していない ABCI を用いて行った。BERT-Large は batch-size 32k までバッチサイズを大きくしても、収束までに必要なエポック数は増えないことが知られている。よって、本実験で用いた 256GPU までの範囲では、ラージバッチ問題の影響はないと考えられる。1 計算ノードに 4 つの GPU を搭載しているため、4 GPU 以下の学習の場合は、通信がノード内に閉じている。そのため、NVLink の高い帯域幅と低いレイテンシの特性を活用でき、8GPU 以上と比べ実行時間が短くなっている。8 から 128 GPU において、どちらの手法も GPU 数が増えることによる 1 イテレーションあたりの実行時間の劣化は見受けられなかった。しかし、256 GPU においては実行時間の増大が確認されたが、64 ノードの実験では複数のラックを用いるため、この問題が発生したと考えられる。また、paramooc-cpu についてノード数が増えるごとにパラメータの更新に要する時間 update が短縮した。これはパラメータ分散によりそれぞれのホストが更新するパラメータの量が減ったためである。paramooc-cpu で行うホストでの更新処理は、update 処理の fuse や AVX2 化により高速化されているが、大きいメモリバンド幅を持つ GPU に比べメモリバンド幅が小さいホストを用いると、プロセス数が少ない時は更新がボトルネックとなる。paramooc-cpu について、GPU 数が 1 の場合と 4 の場合で更新処理の時間が大幅に異なるが、これは実験条件を揃えるために 1GPU あたりに使用する CPU のコア数を同じにしているためで、1GPU の更新処理には改善の余地がある。

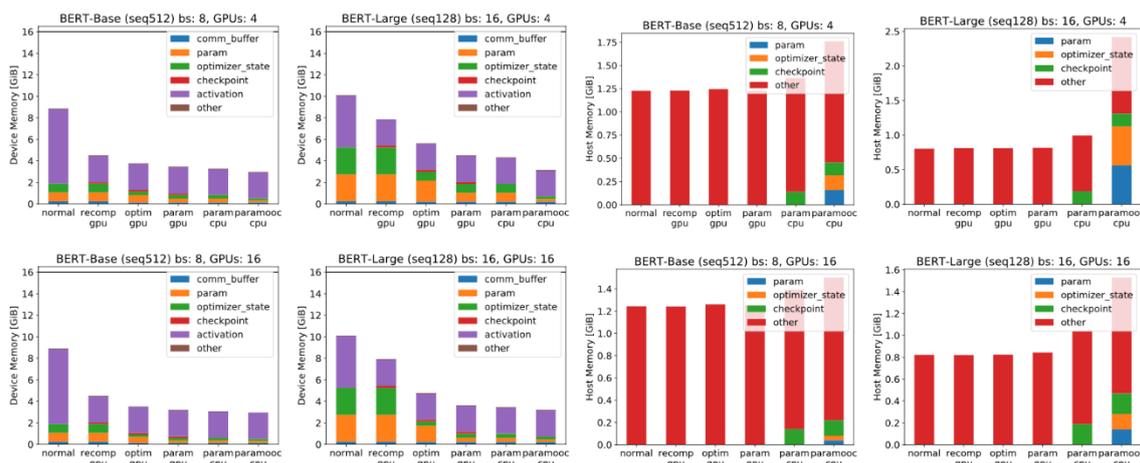


図 6 BERT-Base/Large におけるそれぞれの手法のメモリ消費量

図 6 に、表 1 に示したそれぞれの手法を導入したときの、デバイスとホストのメモリ使用量を示した。また 1 行目の図は GPU 数が 4、2 行目の図は GPU 数が 16 になっている。シーケンス長が 512 の BERT-Base と、シーケンス長が 128 の BERT-Large を用いて実験を行

った。前者はシーケンス長が後者より長いため、activation が占める割合が多く、後者はモデルが前者より大きいため、parameter と optimizer state が占める割合が多い特徴がある。いずれのモデルや GPU 数においても、メモリ最適化手法を導入するごとに消費したメモリ量が減っている。しかし、使用したモデルや GPU 数によって有効であった手法は異なる。シーケンス長が大きく activation が多い場合は、再計算が有効である。モデルが大きい場合には、parameter や optimizer state を削減できるパラメータ分散が有効である。さらに、モデルが極めて大きいか GPU 数が少ない場合 (i.e. BERT-Large 4GPUs) は、1GPU に担当させるパラメータが多いため、Out-of-Core 化が有効であることが示された。

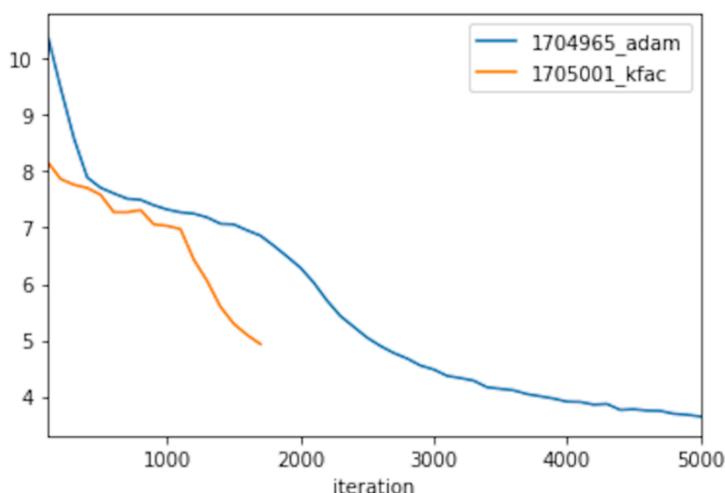


図7 二次最適化を BERT に提供した際の学習曲線

図7に二次最適化を BERT に適用した際の学習曲線を示す。BERT の学習に標準的に用いられている Adam に比べて大幅に早い収束が見受けられる。ただし、現時点では二次最適化のハイパーパラメータ探索はほとんど行われておらず、今後ハイパーパラメータを最適化することで、さらなる収束性の向上が期待できる。ただし、図7の結果はクロネッカー因子分解 (K-FAC) を用いた手法を用いており、H 行列を用いたフィッシャー情報行列の近似は現時点で十分な効果は得られていない。

本研究で開発した省メモリ技術を用いることで 140 億パラメータを持つ BERT モデルを 1GPU 上で計算できることが示された[2]。また、複数 GPU を使用したときの通信のオーバーヘッドをデータ並列のときとほぼ同等であった。これにより、複雑な実装を必要とするモデル並列を用いなくともデータ並列の際に AllReduce を Reduce-Scatter と AllGather に分けるだけで、簡単に省メモリ化が実現できることを示すことができた。また、二次最適化を初めて BERT などの transformer モデルに適用し、その場合にも Adam などと比べて収束性が向上することを示すことができた。当初の目標として掲げていた H 行列による二次最適化のさらなる高速化は今後の課題としたい。

### 【査読付き学術論文】

- 1) Kazuki Osawa, Yohei Tsuji, Yuichiro Ueno, Akira Naruse, Chuan-Sheng Foo, Rio Yokota, Scalable and Practical Natural Gradient for Large-Scale Deep Learning, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2020;PP:10.1109/TPAMI.2020.3004354.

### 【査読付き国際会議】

- 1) Ryo Karakida and Kazuki Osawa, Understanding Approximate Fisher Information for Fast Convergence of Natural Gradient Descent in Wide Neural Networks, To appear in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020), oral presentation.
- 2) Yuichiro Ueno, Kazuki Osawa, Yohei Tsuji, Akira Naruse, Rio Yokota, Rich Information is Affordable: A Systematic Performance Analysis of Second-order Optimization Using K-FAC, Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, Aug. 2020.
- 3) Sameer Deshmukh, Rio Yokota. Distributed Memory Task-Based Block Low Rank Direct Solver, ISC High Performance 2020 (Research Poster), June 2020.
- 4) Hiroyuki Ootomo, Rio Yokota, Randomized SVD on TensorCores, ISC High Performance 2020, (Research Poster), June 2020.

准教授 大西 領 (高性能計算先端応用分野)

### 【研究の概要と成果】

## Computational research of biomimetic flight in unsteady environments with the aid of machine learning

(文部科学省・学術変革領域 (B) (領域代表), 2020~2022 年度)

## Physics-Informed Super-Resolution for Real-Time Prediction of Urban Micrometeorology

シミュレーション科学とデータ科学の進展に伴い、情報と実社会が高度に融合した未来社会の実現が謳われている。ネットワークに繋がった自律システムが協調・連携することによって、社会は自律的に最適な状態を保ち続けることで、社会が人間にとってのみ安全で快適であるだけでなく、自然（環境と生態系）と調和した持続可能な状態が保たれる。

そのような未来社会では、自律飛行ドローンをはじめとする無数の自律システムは、サイバー空間内に再現された過去・現在・未来の気象と社会ネットワークの統合

情報（気象情報インフラ）に常時アクセスする。その一方で、自律制御のためのリアルタイムセンシングデータの一部は気象予測シミュレーションに同化され、気象情報インフラの信頼性担保に利用される。つまり、予測シミュレーションと無数の自律システムが協調して、気象情報インフラを構築する。ネットワークにさえつながっていれば、あらゆるシステムと機器がその気象情報インフラに容易にアクセスできることになる。そして、人々が意識せずとも、各自律システムが時々刻々と複雑に変化する気象と社会に応じて、自然との調和を保ちながら、様々な社会課題を解決するための社会サービスを提供していく。

このような未来社会を実現するうえで、人間生活に直結する微気象という概念が非常に重要となります。この微気象とは、建物や人間活動などの影響を強く受ける地表から高度100m程度までの気象のことを言います。しかし、現状においては、この微気象を対象とした予測技術も観測技術も未熟である。通常気象予測シミュレーションは、計算解像度の不十分さと物理過程の大幅な簡略化のために、都市建物や刻々と変化する人間活動の影響を考慮することができず、街区内のような生活圏の微気象を再現することはできない。また仮に計算解像度を向上させたとしても、計算コストが甚大であるために、微気象をリアルタイム

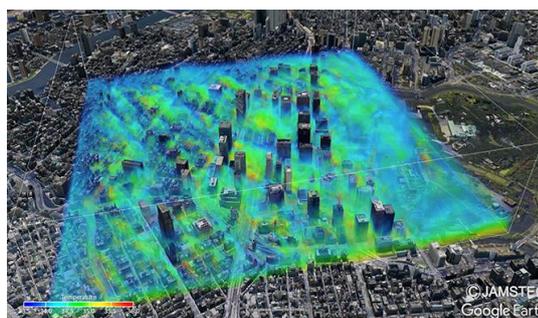


図1：自然と調和した自律制御社会

ム（即時的）に予測することはできない（予測のボトルネック）。さらに、刻々と変化する微気象やそのスケールでの人間活動を詳細に観測する手段もない（観測のボトルネック）。そこで、本年度、科研費学術変革領域（B）「微気象制御学」を新たに立ち上げ、このようなボトルネックを解消するための研究チームの組織化を行い、学術研究を開始した。その中では、予測のボトルネックを、建物や樹冠を解像し、人工排熱だけでなく3次元熱放射過程までを詳細に計算できる超高精細・微気象シミュレーションにAI技術を融合した技術を用いることで刻々と変化する社会活動への適合性とリアルタイム性を兼ね揃えた調和的予測により解決しようとしている。また、観測のボトルネックについては、協調連携する多数のドローンによる機動性と刻々と変化する環境への適応性を兼ね揃えた能動的観測により解決しようとしている。

### 物理超解像シミュレーションによる都市街区微気象のリアルタイム予測

数m解像度で建物や樹冠を解像し、それらが熱・風環境に与える影響を詳細に考慮できる建物解像・街区微気象シミュレーション法を開発してきた。この街区微気象シミュレーションは暑熱対策に活用され始めている。一方で、計算コストが甚大であり、大型スーパーコンピュータを用いても、現業予測には適用できない。そこで、街区微気象シミュレーションによる高解像度予測情報をリアルタイムに取得すること

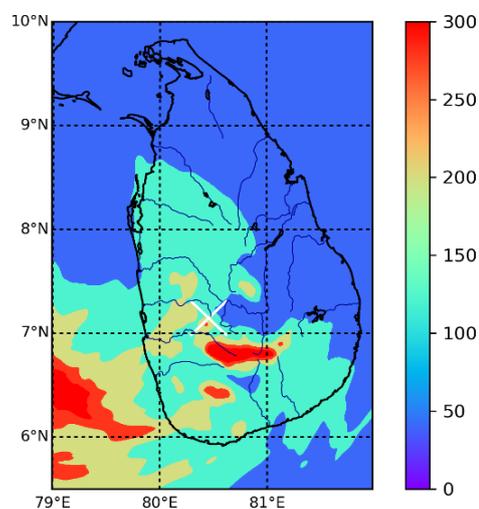


**Example of MSSG urban micro-meteorology simulation. Three-dimensional distribution of instantaneous air temperature for 13:30 JST on 11 August, 2013.**

を目指し、深層学習を用いた超解像（Super Resolution, SR）シミュレーション法を開発している（Onishi et al., 2019）。今年度は、Onishi et al. (2019)によって提案されたレベル分けの“物理考慮レベル1”に相当する物理超解像（Physics-informed SR or Physics SR）を開発し、その高い性能を明らかにした。

## スリランカにおける斜面降雨予測モデルの開発

東工大/JAMSTEC が主となって開発を進めているマルチスケール大気海洋結合モデル MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) に大気乱流の影響を考慮できる最新雲微物理パラメタリゼーション (Seifert & Onishi, 2016) を実装した。その最新雲微物理パラメタリゼーションを用いた降雨予測シミュレーションを、スリランカ Aranayake に大雨をもたらした 2016/5/15 の事例、2017/5/23 の事例に関して適用し、得られた数値予測降雨量を NBRO から提供された雨量データと比較した。その結果、大雨を再現できること、さらに大気乱流の影響を考慮することにより斜面降水量が増大されることを明らかにできた。現在、高解像度 (水平 500m 解像度) シミュレーションから得られた降雨マップを学習データとして、水平 2km 解像度の降雨予測結果を水平 500m の高解像度予測結果にアップコンバート (超解像) する超解像器の開発に取り組んでいる。これが開発されれば、スリランカの個別斜面を対象とした土砂災害のリアルタイム早期警戒情報を発出できるローカルな実装システムを構築できるようになる。



Daily cumulative rainfall results on May 17, 2016, computed using MSSG. The white cross indicates the Aranayake region of Sri Lanka.

### 【査読付き学術論文】

- 1) Dmitry Kolomenskiy, Sergei Farisenkov, Thomas Engels, Nadezhda Lapina, Pyotr Petrov, Fritz-Olaf Lehmann, Ryo Onishi, Hao Liu, Alexey Polilov, Aerodynamic performance of a bristled wing of a very small insect, *Experiments in Fluids*, 61, 194 (2020), <https://doi.org/10.1007/s00348-020-03027-0>
- 2) 大西 領, 松田景吾, 須藤仁, 服部康男, 平口博丸, 松波成行, 柳生進二郎, 篠原正, 片山英樹, マルチスケール気象シミュレーション法による飛来海塩量の高精細予測, *材料と環境*, 69(6), 169 (2020)
- 3) S. Takeuchi, S. Miyauchi, S. Yamada, A. Tazaki, L. Zhang, R. Onishi, T. Kajishima, Effect of lubrication in the non-Reynolds regime due to the non-negligible gap on the fluid permeation through a membrane, *Fluid Dynamics Research*, 53, 035501 (2021). <https://doi.org/10.1088/1873-7005/abf3b4>

### 【査読なし学術論文】

- 1) 肥留間 大輔, \*大西 領, 深湯 康二, 高橋 桂子, 数値感度実験による線状降水帯の可制御性解析、*ながれ*, 39, 324-327 (2020)

### 【査読なし国際会議発表】 international conferences

- 1) \*Dmitry Kolomenskiy, Sergey Farisenkov, Thomas Engels, Nadezhda Lapina, Pyotr Petrov, Fritz-Olaf Lehmann, Ryo Onishi, Hao Liu, Alexey Polilov: Flow Dynamics and Flight of the Smallest Featherwing Beetles, The 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020), Sendai, Miyagi (online), 28-30 October 2020

### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】 domestic conferences and workshops

- 1) 肥留間 大輔, \*大西 領, 深潟 康二, 高橋 桂子、数値感度実験による線状降水帯の可制御性解析、流体力学会年会 2020、オンライン開催、2020/9/18
- 2) 大西 領、生活社会に溶け込む"微気象"予測、第 63 回自動制御連合講演会、オンライン開催、2020/11/21
- 3) \*大西 領, 廣川雄一, Dmitry Kolomenskiy, 杉山大祐: 物理超解像シミュレーションによる都市街区微気象のリアルタイム予測、第 34 回数値流体力学シンポジウム、オンライン開催、2020 年 12 月 21 日
- 4) \*D. Kolomenskiy, S. Farisenkov, T. Engels, N. Lapina, P. Petrov, F.-O. Lehmann, R. Onishi, H. Liu, A. Polilov: Computational Fluid Dynamics Analysis of a Small Beetle, The 34th Computational Fluid Dynamics Symposium, 2020/12/21, online
- 5) \*松田景吾、小森 悟、高垣直尚、大西 領、風波気液二相流での液側乱流混合の制御に関する数値的検討、第 36 回東大生研 TSFD シンポジウム、2021/3/9
- 6) \*大西 領, 廣川雄一, Dmitry Kolomenskiy, 杉山大祐, 松田景吾: AI 技術を活用した都市街区微気象のリアルタイム予測、2021 年電子情報通信学会総合大会、オンライン開催(東京工業大学主催), 2021 年 3 月 11 日
- 7) \*柳 康太、大西 領、Dmitry Kolomenskiy、接近物体間に働く潤滑力の数値解析、第 4 回海洋地球科学シミュレーションワークショップ、オンライン開催、2021/3/23
- 8) \*平井 丈、大西 領、山岳降雨に及ぼす雲内乱流効果の数値解析、第 4 回海洋地球科学シミュレーションワークショップ、オンライン開催、2021/3/23
- 9) \*大西 領、Dmitry Kolomenskiy、スリランカにおける斜面豪雨予測システムの開発、第 4 回海洋地球科学シミュレーションワークショップ、オンライン開催、2021/3/23

### 【招待講演】 (invited talks)

- 1) \*大西 領、マイクロスケール気象に対する大規模熱流体シミュレーション、熱物資流体力学セミナー、オンライン開催、2020/9/23
- 2) \*大西 領、未来社会サービス実現のための微気象予測基盤の創生 ～ドローン技術と微気象予測技術の融合～、第 5 回千葉大学 CAIV セミナー、Webinar 開催、2020/12/11

- 3) \*大西 領、AI 融合シミュレーションによる微気象予測の実現と未来社会サービスの創出、JST-CRDS 科学技術未来戦略ワークショップ 「複雑な流れ現象の解明と統合的制御」、オンライン開催、2021/1/8
- 4) \*Ryo Onishi, Physics-informed super-resolution for real-time prediction of urban micro-meteorology, PiAI Seminar, online, 25 January, 2021

以下、補足：

**【新規外部資金獲得】**

- 文部科学省・学術変革領域研究(B)「微気象制御学」(領域代表)、2020 年度～2022 年度
  - 文部科学省・学術変革領域研究(B)「AI 融合シミュレーションによる微気象の調和的予測技術の創出」(計画班の研究代表者)、2020 年度～2022 年度
  - 文部科学省・学術変革領域研究(B)「微気象制御学創生のための戦略的連携推進」(総括班の研究代表者)、2020 年度～2022 年度
- 文部科学省・基盤研究 (B)「3次元超解像を活用した乱流熱輸送の超高速予測」(研究代表者)、2020 年度～2023 年度
- 文部科学省・挑戦的研究 (萌芽)「拡張潤滑理論による分散混相流中の非平衡輸送問題への展開」(研究分担者)、2020 年度～2022 年度
- NTT との共同研究「デジタルツインコンピューティングによる超高精細気象情報の創出活用に関する技術開発」(機関代表者)、2020 年度～2022 年度

**【今年度実施した外部資金プロジェクト研究】**

- 文部科学省・学術変革領域研究 (B)「AI 融合シミュレーションによる微気象の調和的予測技術の創出」(研究代表者)、2020 年度～2022 年度
- 文部科学省・学術変革領域研究 (B)「微気象制御学創生のための戦略的連携推進」(研究代表者)、2020 年度～2022 年度
- 文部科学省・基盤研究 (B)「3次元超解像を活用した乱流熱輸送の超高速予測」(研究代表者)、2020 年度～2023 年度
- 国立研究開発法人科学技術振興機構・国際科学技術共同研究推進事業・地球規模課題対応国際科学技術協カプログラム「スリランカにおける降雨による高速長距離土砂流動災害の早期警戒技術の開発」(研究分担者)、2019 年度～2024 年度
- 文部科学省・挑戦的研究 (萌芽)「拡張潤滑理論による分散混相流中の非平衡輸送問題への展開」(研究分担者)、2020 年度～2022 年度
- 文部科学省・国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化 (B))「強烈な台風下の海水面を通しての熱・運動量輸送機構の解明とそのモデル化」(研究分担者)、2019 年度～2023 年度
- NTT との共同研究「デジタルツインコンピューティングによる超高精細気象情報の創出活用に関する技術開発」(機関代表者)、2020 年度～2022 年度

### 【研究の概要と成果】

#### 相対論的結合クラスター法による電子 EDM の計算

基本粒子の電子双極子モーメント (EDM) は時間反転対称性を破る物理量の 1 つであるが、その値は極微小なため最新の高精度実験技術でも測定限界以下であり、時間反転対称性の破れの直接観測はいまだ行われていない。また、原子物理学における標準理論では中性子の EDM は  $10^{-30}$  [e cm]以下程度と予想されるが、もし BSM (標準理論を超えた物理) が存在する場合には中性子の EDM はより大きな値を取ると期待される。そこで超高精度電子状態理論計算により原子・分子の EDM を求めることで BSM の解明を目指している。

利用したプログラムは B.K.Sahoo 教授 (物理学研究所、インド) の the relativistic coupled-cluster program for atoms である。このプログラムは既に MPI 並列化されていたが、二電子積分計算コードが逐次コードである点、また二電子積分値と積分変換時の中間積分値の大規模配列によりメモリ不足に陥る点、そして並列化のスケラビリティが不十分な点などが原因で、非常に重い原子においては計算が困難になる。そこで昨年度より二電子積分コードの並列化とホットスポットの 3 つの計算ルーチンの OpenMP/MPI 混合並列化により省メモリ化を行い、ノード内の全ての CPU コアの有効活用を可能にした。また、二電子積分値と中間積分値の配列へのアクセスパターンの解析を行い、更なる高速化の検討を行っている。

$^{210}\text{Fr}$  原子における CP の破れは主に原子中の内部電場と電子 EDM の相互作用、及び電子-核間のスカラー-擬スカラー相互作用から生じる。the relativistic coupled-cluster program for atoms を用いた相対論的結合クラスター理論を用いることにより、これらの相互作用を取り込んで  $^{210}\text{Fr}$  の原子 EDM の理論計算を行った。その結果、これら二つの CP 非保存相互作用の増強因子を約 3%の精度で評価し、多体効果の寄与を解析した。 $^{210}\text{Fr}$  の EDM 実験の予測感度と組み合わせたこれらの 2 つの量は BSM に制約を与え、特に Higgs 二重項模型におけるボトムクォークの効果を説明するためには、その正確な値が必要であることを示した。1)

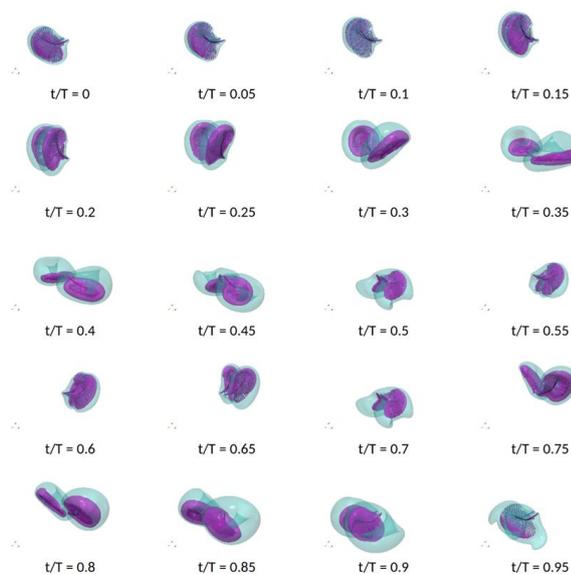
#### 【査読付き学術論文】

- 1) N. Shitara, N. Yamanaka, B. K. Sahoo, T. Watanabe, B. P. Das, “CP violating effects in  $^{210}\text{Fr}$  and prospects for new physics beyond the Standard Model”, *J. High Energy Phys.* 2021, 124 (2021).

【研究の概要と成果】

Computational research of biomimetic flight in unsteady environments with the aid of machine learning

Precise prediction of unsteady flapping aerodynamics in insect flight is of potential importance in the analysis of maneuverability and flight control. We have developed a computational fluid dynamics (CFD) data-driven aerodynamic model (CDAM), which is informed by high-fidelity CFD simulations to enable precise and fast prediction of both cycle-averaged and transient aerodynamic force, torque and power with a variety of flying motions and wing kinematics. Least square method and surrogate modelling have been employed for model parameter identification using a CFD database. With comparison to CFD test data, the CDAM is validated to be capable of accurately evaluating the



Flapping bristled wings of a very small insect. Iso-surfaces corresponding to two different constant levels of the vorticity magnitude plotted with the time interval  $\Delta t/T=0.05$ .

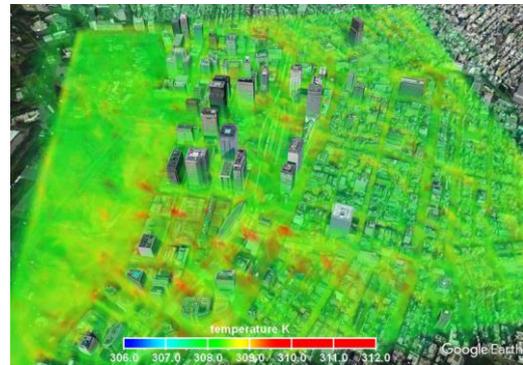
aerodynamic force, torque and power consumption of a wing-body bumblebee model in various flight velocities. A genetic optimization algorithm embedded with CDAM has been proposed to determine trimmed states for forward flight through adjusting wing kinematics. The CDAM has been applied to proportional-derivative-based longitudinal flight control of bumblebee hovering, with the control parameters optimized by Laplace transformation and root locus method, which is implemented consistently in both CDAM and CFD environments. The results have been published in (4). A similar data-driven approach using CMA-ES has been employed in the context of computational fluid-structure interaction for flexible wings, in collaboration with Aix-Marseille University (France) and University of Rostock (Germany). A mass-spring model of flexible wings has been fitted with the bending stiffness distribution from static bending experiments.

The speed of animal flight in general positively correlates with the body size. It has been shown, however, that the small featherwing beetles Ptiliidae can fly with a surprisingly high velocity for their size. We have considered one of the smallest Ptiliidae representative, *Paratuposa placentis*, that has the body length of only 370  $\mu\text{m}$ , to identify morphological and kinematic features that can explain this

remarkable flight performance. Due to the bristled shape, the mass and the moment of inertia of the wings are substantially reduced in comparison with hypothetical membranous wings. We used the high-performance computing resources, including TSUBAME 3.0, to obtain high-fidelity results for 4 different individual beetles with bristled wings and one with hypothetical membrane wings. Aerodynamic and inertial forces and torques acting on the wings, the elytra and the body have been calculated. The main challenge in these numerical simulations has been the small diameter of the bristles in comparison with the wing length: less than 0.4%. The flow at the Reynolds number of this small beetle is sensitive to the bristle diameter and the gap between them, as we found in our preparatory study (1). Therefore, the discretization grid spacing near the bristles should be about thousand times less than the wing length. In addition, because of the low Reynolds number, the external boundaries of the domain should be sufficiently far from the wings. We used the domain 12 times larger than the wing length in each direction. The new solver WABBIT provided the facility of non-uniform adaptive spatial discretization of the computational domain. Direct import of geometrical models based on micro-CT scans into WABBIT has been implemented for steady and unsteady conditions and used for the numerical simulation of *P. placentis* with moving body, wings and elytra.

### Physics-Informed Super-Resolution for Real-Time Prediction of Urban Micrometeorology

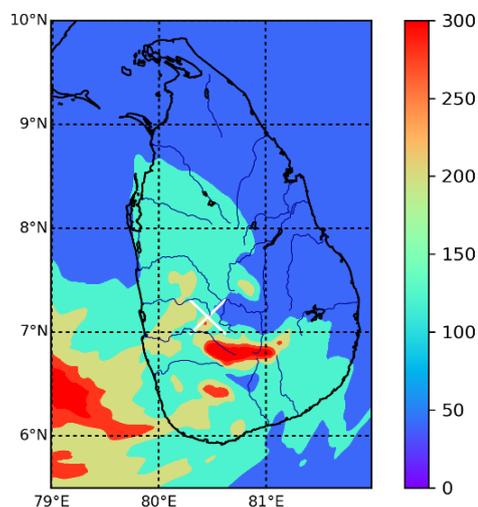
We have developed a physics-informed super-resolution (physics SR) method for mapping low-resolution (LR) results to high-resolution (HR) ones in urban micrometeorology simulations. The simulation system consists of a physics-based meteorological simulation and a physics SR method based on a deep convolutional neural network (CNN). The CNN is trained using pairs of high-resolution (HR) and low-resolution (LR) images created from meteorological simulation results for different resolutions, supplemented with time-invariant (or slowly varying) information such as the building height and the downward short-wave radiation. The CNN is designed such that it maps LR simulation images to HR ones. The proposed SR simulation system, which performs LR simulations, is expected to provide HR prediction results in much shorter operating cycles than those required for the corresponding HR simulation prediction system. It is confirmed that the CNN-based SR methods outperform conventional interpolation methods by a large margin. It is also confirmed that the CNN can learn physics and the physics SR outperforms the image SR for temperature mapping.



**Example of MSSG urban micro-meteorology simulation. Three-dimensional distribution of instantaneous air temperature for 13:30 JST on 11 August, 2013.**

## Development of Early Warning Technology for Landslide Disasters Caused by Rainfall in Sri Lanka

A novel cloud microphysical parameterization (Seifert & Onishi, 2016, *Atmospheric Chemistry and Physics* 16(19):12441-12455) that takes into account the effects of atmospheric turbulence, has been implemented in MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment), MSSG is a software package jointly developed by Tokyo Institute of Technology and JAMSTEC. Rainfall prediction simulation using that parameterization has been applied to the cases of heavy rainfall conditions on 2016/5/15 and 2017/5/23 in Aranayake, Sri Lanka. The observational data is available from NBRO, Sri Lanka. As a result, it has been found that heavy rainfall can be produced, and that slope precipitation is increased, by the effect of atmospheric turbulence. Currently, using the rainfall map obtained from a high-resolution (horizontal 500m resolution) simulation as training data, a super-resolution system is being developed. The super-resolution system will be capable of producing a horizontal 500m high-resolution prediction based on low-resolution (horizontal 2km resolution) dynamical data augmented with high-resolution static data (such as topography). This approach will enable local implementation of a rainfall prediction system that can issue real-time early warning information on landslide-related disasters targeting individual slopes in Sri Lanka.



**Daily cumulative rainfall results on May 17, 2016, computed using MSSG. The white cross indicates the Aranayake region of Sri Lanka.**

### 【査読付き学術論文】

- 1) Dmitry Kolomenskiy, Sergei Farisenkov, Thomas Engels, Nadezhda Lapina, Pyotr Petrov, Fritz-Olaf Lehmann, Ryo Onishi, Hao Liu, Alexey Polilov, Aerodynamic performance of a bristled wing of a very small insect, *Experiments in Fluids*, 61, 194 (2020), <https://doi.org/10.1007/s00348-020-03027-0>
- 2) Hung Truong, Thomas Engels, Dmitry Kolomenskiy, Kai Schneider, Influence of wing flexibility on the aerodynamic performance of a tethered flapping bumblebee, *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 10, 382 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.taml.2020.01.056>
- 3) Gen Li, Intesaaf Ashraf, Bill François, Dmitry Kolomenskiy, François Lechenault, Ramiro Godoy-Diana, Benjamin Thiria, Burst-and-coast swimmers optimize gait by adapting unique intrinsic cycle, *Communications Biology*, 4, 40 (2021), <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01521-z>

- 4) Xuefei Cai, Dmitry Kolomenskiy, Toshiyuki Nakata, Hao Liu, A CFD data-driven aerodynamic model for fast and precise prediction of flapping aerodynamics in various flight velocities, *Journal of Fluid Mechanics*, 915, A114 (2021) <https://doi.org/10.1017/jfm.2021.68>

#### 【査読なし国際会議発表】

- 1) Dmitry Kolomenskiy, Sergey Farisenkov, Thomas Engels, Nadezhda Lapina, Pyotr Petrov, Fritz-Olaf Lehmann, Ryo Onishi, Hao Liu, Alexey Polilov: Flow Dynamics and Flight of the Smallest Featherwing Beetles, The 17th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020), Sendai, Miyagi (online), 28-30 October 2020

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) D. Kolomenskiy, S. Farisenkov, T. Engels, N. Lapina, P. Petrov, F.-O. Lehmann, R. Onishi, H. Liu, A. Polilov: Computational Fluid Dynamics Analysis of a Small Beetle, The 34th Computational Fluid Dynamics Symposium, 2020/12/21, online
- 2) 大西 領, 廣川雄一, Dmitry Kolomenskiy, 杉山大祐: 物理超解像シミュレーションによる都市街区微気象のリアルタイム予測, 第34回数値流体力学シンポジウム, オンライン開催, 2020年12月21日
- 3) 大西 領, 廣川雄一, Dmitry Kolomenskiy, 杉山大祐, 松田景吾: AI技術を活用した都市街区微気象のリアルタイム予測, 2021年電子情報通信学会総合大会, オンライン開催(東京工業大学主催), 2021年3月11日

#### 【招待講演】

- 1) Dmitry Kolomenskiy, Bristled wings of small beetles • 2020.12.16 • GDR MePhy on-line workshop “Insect-inspired physics” (<https://blog.espci.fr/mephy/insect-inspired-physics-2020/>) • 参加人数 99名
- 2) Dmitry Kolomenskiy, Simulations of a tiny beetle with bristled wings using WABBIT. 2020.12.4 • 34th LBM online seminar

助教 野村 哲弘 (高性能計算システム分野)

### 【研究の概要と成果】

#### 機械学習を用いた自律型スマート HPC データセンターの実現にむけて (基盤(B)・分担)

スーパーコンピュータにおける資源スケジューリングは、限られた計算リソースをいかにして効率よく、ユーザに対して公平に分配するののかという最適化問題である。特に、TSUBAME3 におけるノードの動的分割や、契約電力等を理由とするパワーキャッピングなどの制約条件が増えるとその複雑性は爆発し、現在の人間のヒューリスティクスに基づくアルゴリズムだけで対応することの限界にぶつかる。

本研究では、スーパーコンピュータのジョブ状況や各種センサーを入力とし、電力やノード数制約を守る形でのジョブスケジュールを出力とするニューラルネットワークを構築し、TSUBAME3 等のスーパーコンピュータのジョブ履歴情報を学習させることで、このような複雑な問題に関するヒューリスティクスを自動で構築することを目指す。

今年度は、ジョブスケジューリングの機械学習を用いた自動化のために必要とされるジョブの実行ログ情報について、東工大の TSUBAME3 および産総研の ABCI で実際に取得しているセンサー情報について調査するとともに、個々のソフトウェアのログ形式に依存しない共通形式としての、標準ジョブ履歴スキーマの提案を行った。これにより、各スパコンで用いているツールにあわせた解析ワークフローを使い捨てにすることなく、標準スキーマへの変換方法を記述するだけで異なるサイトや、別世代のスパコンでも適用できるようになることが期待できる。

#### スーパーコンピュータの対話的利用法の高度化

スーパーコンピュータは、複数の計算ノードを多数のユーザで共用するという利用形態ゆえに、その利用法やソフトウェア環境が独特のものとなり、研究室やクラウド上で開発されたプログラムの持ち込みについて、前提知識という点において敷居の高いものとなってしまっている。

この問題への対応策として、特に Linux システムの初学者にとってハードルの高い、SSH および公開鍵認証方式などのスーパーコンピュータの利用に求められる前提知識をバイパスして、Web ポータル経由で TSUBAME3 計算ノード上の Jupyter Lab を使用することができるプラットフォームの開発を昨年度末に実施したが、今年度は実際にその運用を始め、本機能が単なる IPython Notebook の実行にとどまらず、簡易的なファイル転送機能、エディタ、ターミナルへの接続機能として活用可能であることが分かったため、SSH を用いたログインノードへのログインの代替としてジョブスケジューラを含めて利用できるようにするための設定変更を行ったうえで、COVID-19 禍における演習室の計算機端末の代替としてオンラインでの C 言語を用いたプログラミング演習に適用した。

また、このような Web ベースでの TSUBAME 計算ノードへの直接接続の利便性をより高

度に享受できるよう、Visual Studio code のオープンソース Web 実装である code-server およびブラウザベースの仮想デスクトップソフトウェア noVNC を導入し、単なるスパコンへの入り口としてだけでなく、SSH と並ぶ TSUBAME シリーズ利用のための標準的なワークフローの一部として活用できるレベルへの整備を進めており、これらについては 2021 年 4 月から 8 月にかけて順次運用を開始する予定である。

また、このような Web ベースでの計算ノードの対話的利用は必然的に複数ユーザ間での計算ノードの共有を行わないことには使われることのない遊休計算リソースの発生が激しく、ただでさえ混雑状況下にあるスーパーコンピュータにおける導入は望むべくもない。TSUBAME3 においては、学内ユーザ向けに計算資源のオーバーコミットを前提としたインタラクティブジョブ専用キューを提供することで本問題を回避しているが、将来的によりアグレッシブなジョブのオーバーコミットを行う際に問題となる他のジョブの影響によるジョブの性能低下について性能モデルを作成すべく、多重実行時のアプリケーション性能低下率の計測を行った。アプリケーションの組み合わせによってはジョブを別々に実行するよりも同じ CPU コア等を共有してオーバーコミット状態で実行するほうが効率が良くなることが分かり、性能劣化を高い確度で予測(98.4%のケースで性能劣化を回避)する性能モデルを得ることが出来た。

#### 【査読付き国際会議・国内学会発表】

- 1) Shohei Minami, Toshio Endo, Akihiro Nomura. “Measurement and Modeling of Performance of HPC Applications towards Overcommitting Scheduling Systems”, 24th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP 2021), May 2021 (Submitted, Notification: 3/21)

#### 【ポスター発表】

- 1) Shohei Minami, Toshio Endo, Akihiro Nomura. “Performance Modeling of HPC Applications on Overcommitted Systems”, HPC Asia 2021, poster session, Jan 2021.
- 2) Ivan R. Ivanov, Jens Domke, Akihiro Nomura and Toshio Endo. “Improved failover for HPC interconnects through localized routing restoration”, The 3rd R-CCS International Symposium, poster session, Feb 2021.

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 野村 哲弘, 遠藤 敏夫, 三浦 信一, 朝倉 博紀, 越野 俊充, 草間 俊博. TSUBAME3 のインタラクティブ利用の利便性向上にむけた取り組み. 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2020), 情報処理学会研究報告, 2020-HPC-175, No. 23, 2020 年 7 月.
- 2) 南 将平, 遠藤 敏夫, 野村 哲弘. オーバーコミットスケジュール時のアプリ性能の予備評価. 並列/分散/協調処理に関するサマーワークショップ(SWoPP2020), 情報処理学会研究報告, 2020-HPC-175, No. 21, 2020 年 7 月.

- 3) 安良岡由規, 野村 哲弘, 遠藤 敏夫. 学内インフラとしてのスパコンの対話的利用による  
利便性向上. 2020年度大学 ICT 推進協議会(AXIES)年次大会, FA2-3, オンライン, 2020年  
12月.
- 4) 野村 哲弘, 滝澤 真一郎, 三浦 信一, 遠藤 敏夫, 松葉 浩也. センサー情報を意識したジョ  
ブスケジューリング実現のための標準ジョブ履歴スキーマの提案. 情報処理学会研究報告,  
HPC-178, No. 14, 2021年3月.

特任教授 小林 宏充 (先端研究部門)

### 【研究の概要と成果】

#### 適合細分化格子ボルツマン法を用いた回転する野球ボールの 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。

球周りの流れは、ビルのような明確な角がなく、剥離点が移動するため、非常に困難な計算対象の一つである。球周りの流速を上昇させていくと、まずは層流状態からの剥離が起こるが、さらに流速を上昇させていくと抵抗が急速に減少する、ドラッグクライシスと呼ばれる現象が起こる。これを数値計算で再現するためには、層流剥離から再付着し、乱流剥離を行う現象を捉える必要があり、球の表面近くに非常に細かい格子が必要となる。この現象解明のために、適合細分化を施した格子ボルツマン法を複数 GPU にて実施し、格子を細かくすることで、ドラッグクライシスの再現に成功した。

一方、野球ボールには、縫目がある。回転する際に、縫目が 4 回現れる 4 シームと 2 回現れる 2 シームと呼ばれる、回転ボールがある。4 シームが通常のストレートである。バックスピンにより揚力が発生し、自由落下する軌跡に比べて落ちない軌跡となる。2 シームは 4 シームに比べて、落ちることもあるボールであり、その流体力学的な現象は未解明である。そこで、適合細分化ボルツマン法により、現象解明に挑んだ。4 シームでは、縫目が 90 度ずつ同じ間隔で現れ、剥離は縫い目を起点に起こることがわかった。バックスピン回転により、ボールの上側では縫い目が下流へ、下側では上流へ移動する。剥離点は上側では下流へ、下側では上流へ移動するため、上側より下側の圧力が大きくなり、揚力が発生し続ける。一方、2 シームは 180 度ごとに縫い目が現れるわけではなく、近づいた 2 本の縫い目が回転中に 1 回現れる。つまり縫い目による剥離が球の上下どちらかで起こる際に、他の側では真球のように剥離点が動く状態になる。真球において、流速に対して回転の速度が 0.2 くらいの条件では、上側では流れと回転による相対速度が小さくなり実効的なレイノルズ数が小さくなり剥離点が上流に、下側では相対速度が大きくなり実効的なレイノルズ数が大きくなり剥離点が下流へ移動する。この結果、上側の方が下側よりも圧力が多くなり、下への力、つまり負のマグヌス効果が現れる。この条件でも 4 シームでは揚力が発生し続けるのに対して、2 シームでは真球同様に、1 回転中のある角度では負のマグヌス効果もしくは揚力が小さくなり、4 シームに比べて揚力が小さいことから、落ちる球となることがわかった。

複雑物体周りの流れは、その対象の形が異なることから、系統的な調査を行うことが困難な場合が多いが、野球のボールは規格が揃っており、容易に購入できることから、実験、計算の検証用対象としても、有益であると思われる。回転角度の違いや球速と回転速度による軌跡への影響など、今後も、詳細を検討していきたい。

## 高速多重極展開法 (FMM) を用いた量子乱流における超流体と常流体のカップリング計算

横田理央准教授と共同で FMM の量子乱流計算への適用について、研究を行っている。

液体ヘリウムは、2.17 K 以下で粘性のない超流体成分と粘性をもつ常流体成分が混合した 2 流体状態にあることが知られている。そのような極低温では、超流体は量子化され、1 つの渦の循環をもつ渦糸として存在することが理論および実験的に明らかにされている。これを量子渦と呼ぶ。矩形ダクトの一端を熱すると常流体は低温側へ移動する。この時、質量を保存するように超流体は高温側へ移動する。この対向流を熱対向流と呼ぶ。熱を上昇させると対向流速度が増加し、量子渦は引き延ばされタングル状になる。これを量子乱流と呼ぶ。この量子渦と常流体は相互摩擦力を介して互いに力を及ぼし合う。

対向流の相対速度が非常に低い場合は、超流体と常流体は層流であるが、速度が上昇するにつれて、超流体のみが乱流で常流体は層流の T1 状態となり、さらに増加すると両流体が乱流となる T2 状態となる。これまで T1 状態での検討が行われてきたが、T2 状態の計算を実施する上でのボトルネックが量子渦計算の高速化であることがわかってきた。

量子渦は、有限の渦線素に分割され、ある線素への全渦糸からの影響をビオサバール則によって計算を実施するが、この計算が粒子数の 2 乗に比例する多体問題となる。そこで、大規模 GPU 高速化の実績のある横田先生の FMM を、この量子渦糸計算に適用することを検討した。その結果、1CPU に比べ 1GPU によって、100 倍近い高速化が可能になり、その粒子数依存性も約 1 乗となることがわかった。本手法を利用して、多くの渦点の計算を実施し、T2 状態の量子乱流および常流体乱流の現象解明を行っていく。

## SGS エネルギーのゼロ方程式モデルを活用した SGS モデルの検討

計算格子よりも大きな渦は直接計算し、格子では解像できないスケール (subgrid-scale : SGS) の渦はモデル化する large-eddy simulation (LES) において、さらなる安定化について検討を行った。LES では、流れの非等方性やほとんどのエネルギーが格子スケールで解像されるため、多くの SGS モデルではグリッドスケールのエネルギーへの影響のみが検討される。つまり、格子を細かくすれば、SGS エネルギーの寄与は小さくなるため、解像度の高い LES が多く実施される。一方で、非常に高いレイノルズ数や粗い格子での検討では、SGS エネルギーの割合も大きくなり、無視できない。

そこで、SGS エネルギーに関する 1 方程式を解いて SGS エネルギーを空間で求める方法がとられることが多い。しかしながら、パッシブスカラーの輸送方程式同様、非線形項を風上化したり、負値を取った場合はクリッピングしたりするなど対処が必要になる。そこで常に正值となることを保証する、SGS エネルギーの生成と散逸が釣り合う 0 方程式とすることが考えられる。しかしながら、空間のどこでもその釣り合いが成り立つわけではない。特に、壁近くでは、その釣り合いは成り立たない。そこで、その非平衡性を新たな壁関数を導入することで補正を行う試みを行った。

稲垣、安倍らが提唱している 1 方程式を用いた相似則モデル (IA モデル) を安定に導入

するモデルにおいて、非平衡壁関数を用いた 0 方程式モデルを導入することで、チャンネル乱流において、平均流速や乱流強度分布は、IA モデルと同等の性能が得られることがわかった。また、SGS エネルギーの PDF 分布は非平衡壁関数を用いることで、IA モデルよりも DNS の結果に近い分布を得られることがわかった。今後は、大きな剥離流れや翼端など、エネルギーの生成と散逸の非平衡性が高い状況での検証を実施していく。

### 回転二重円筒内 MHD 流れの検討

風力発電では、ある速度以上の風速では、翼のピッチ角を変更するなどして、トルクを制御し、定格電力とする運転がなされている。その軸部分の周りに円筒容器を用い、その中に液体金属を入れ磁場を印加することで、回転流にローレンツ力によりブレーキをかけ、トルクを制御し、定格電力を得る装置が考えられる。その装置は、風力発電に限らず電気自動車の車輪モーターなどの回転機器の制御など幅広い応用が考えられる。

この流れ場は、内円筒が回転する二重円筒内流れであり、テイラークエット流である。この 3 次元計算をまずは層流条件化で実施し、その壁による境界層の影響や渦電流による流れ場の変化について検討を実施した。今後は、実験条件であるより高速な回転流での乱流状態での検討を行い、実験との比較および理想的な装置設計に繋げていく。

#### 【査読付き学術論文】

- 1) Kazuhiro Inagaki and Hiromichi Kobayashi, "Role of various scale-similarity models in stabilized mixed subgrid-scale model", *Physics of Fluids*, Vol.32, 075108 (2020)
- 2) 佐々木亮、藤野貴康、高奈秀匡、小林宏充、「MHD 相互作用下での回転同軸二重円筒内層流の理論解析」、*電気学会論文誌B*, 141 巻, 3 号, 受理 (2021)

#### 【査読なし学術論文】

- 1) 湯井悟志、小林宏充、坪田誠、「量子乱流状態における超流動の 2 流体モデル—量子渦と熱励起成分の相互作用が引き起こす奇妙な現象」、*日本物理学会誌* Vol.76, No.1, pp. 28-33 (2020)

#### 【査読付き国際会議発表】

- 1) Hiromichi Kobayashi, Hidemasa Takana, Ryo Sasaki, Takayasu Fujino, "Study on MHD phenomena in Co-axial Energy Conversion Device", *Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020)*, Sendai, Japan, held online (2020)
- 2) Ryo Sasaki, Takayasu Fujino, Hidemasa Takana, Hiromichi Kobayashi, "Study on MHD Annular Flows Driven by Rotating Co-axial Cylinder", *Seventeenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2020)*, Sendai, Japan, held online (2020)

- 3) Hiromichi Kobayashi, Satoshi Yui, Makoto Tsubota, “Two-Way Coupled Simulation between Quantized Vortices and Normal Fluid in Superfluid  $^4\text{He}$ ”, 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2020), Kobe, Japan, held online (2020)
- 4) Satoshi Yui, Hiromichi Kobayashi, Makoto Tsubota, “Two-way coupled simulation of quantum turbulence in superfluid  $^4\text{He}$ ”, 14th World Congress in Computational Mechanics and ECCOMAS Congress (WCCM), Paris, France, held online (2021)

#### 【国内学会・ワークショップ・講演会等での発表】

- 1) 小林宏充、湯井悟志、坪田誠、「超流動  $^4\text{He}$  における常流体の速度変動」、日本物理学会 2020 年秋季大会 (2020 年)、講演要旨集、オンライン開催 (2020)
- 2) 佐々木亮、藤野貴康、高奈秀匡、小林宏充、「MHD 相互作用下での回転同軸二重円筒内層流の理論解析」、電気学会 新エネルギー・環境研究会、オンライン開催 (2020)
- 3) 小林宏充、湯井悟志、坪田誠、「2 流体結合計算による超流動  $\text{He}$  の量子乱流現象の理解に向けて」、日本機械学会 第 98 期 流体力学部門講演会、オンライン開催 (2020)
- 4) 稲垣和寛、小林宏充、「安定化混合モデルにおける SGS 乱流エネルギーの代数表現の試行」、第 34 回数値流体力学シンポジウム、オンライン開催 (2020)
- 5) 小林宏充、「電磁界応答流体によるエネルギー・環境技術の新展開に関する調査専門委員会の紹介」、電気学会 新エネルギー・環境研究会、オンライン開催 (2021)
- 6) 佐々木亮、坂本裕基、藤野貴康、高奈秀匡、小林宏充、「層流条件下での回転同軸二重円筒内 MHD 流れの三次元数値解析」、電気学会 全国大会、オンライン開催 (2021)
- 7) 湯井悟志、小林宏充、坪田誠、横田理央、「超流動  $^4\text{He}$  の熱対向流：常流体乱流が量子乱流に与える影響」、日本物理学会 第 76 回年次大会 (2021 年)、オンライン開催 (2021)

#### 【招待講演】

- 1) Hiromichi Kobayashi, “Two-way coupled dynamics in quantum turbulence of superfluid helium”, Kickoff symposium of Japanese Consortium of Theoretical and Applied Mechanics - Current status and outlook, Tokyo, Japan, held online (2020)

### 7-3 受賞学術賞等

Tada Eric、Watanabe Seiya、Yamaguchi Daiki、Aoki Takayuki :

第 25 回計算工学講演会 グラフィクスアワード優秀賞 (2020 年 6 月 1 日)

渡辺 勢也、青木 尊之、松下 真太郎、胡 長洪、高木 知弘 :

第 25 回計算工学講演会 グラフィクスアワード特別賞 (2020 年 6 月 1 日)

青木 尊之 :

令和元年度 HPCI システム利用研究課題 優秀成果賞 (2020 年 10 月 30 日)

青木 尊之、Eric Tada de Souza、渡辺勢也 :

"ベスト CFD グラフィック・アワード動画部門 最優秀賞 (2020 年 12 月 22 日)

横田 理央 :

令和元年度 HPCI システム利用研究課題 優秀成果賞 (2020 年 10 月 30 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 システム	高性能 コンピュータ	教育用 コンピュータ	情報環境 コンピュータ	グローバル 資源	共同 利用	広報
伊東 利哉	○		○	○	○		○	○
宮崎 純	○	○	○		○		○	◎
青木 尊之			○			◎	◎	○
杉野 暢彦	◎	○	○	○	○			
友石 正彦	○	◎	○	○	○			
西崎 真也	○	○		◎	◎			○
遠藤 敏夫		○	◎			○	○	○
北口 善明		○						
横田 理央			○			○	○	
大西 領							○	
松浦 知史	○	○						
渡邊 寿雄			○				○	○
石井 将大		○						
野村 哲弘			○				○	
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	5回
	ネットワークシステム専門委員会	2回
	高性能コンピュータシステム専門委員会	6回
	教育用コンピュータシステム専門委員会	1回
	情報環境コンピュータシステム専門委員会	1回
	TSUBAME 運用 WG	49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	1回
SC ブース展示 WG	4回	

定期ミーティング開催数	認証基盤システム	44回
	ネットワークシステム	47回
	コンピュータシステム	2回
	TSUBAME	49回
	教育システム	12回
	共同利用・共用促進事業	51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
2020年TSUBAME春の講習会（中止）	情報基盤課
富岳チャレンジ（9/13～9/22/2020） （第26回スーパーコンピューティングコンテスト中止）	委員長：西崎 真也 遠藤 敏夫
2020年TSUBAME秋の講習会（10/12～12/9）	情報基盤課
9th ADAC- Workshop（9/28～10/4/2019）	遠藤敏夫、野村哲弘、渡邊寿雄
SC20 オンライン出展（11/17～11/19/2020）	遠藤 敏夫、野村 哲弘
セキュリティ対策に関する学内セミナー（年度内6回）	松浦 知史

※毎年行われているホームカミングデー、オープンキャンパス、工大祭におけるTSUBAME3.0 一般公開は新型コロナウイルス対策の影響によりイベントそのものが中止となった

### 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) ★杉野 暢彦、香月 稔 伊藤 剛、藤田 和宏 (技術審査) 根本 忍、新里 卓史、一瀬 光
キャンパス包括ソフトウェアライセンス 一式	(仕様策定) ★杉野 暢彦、香月 稔 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) ★杉野 暢彦、香月 稔 鶴見 慶 (技術審査) 根本 忍、藤田 和宏 阿部 公一
セキュリティ対策ソフト包括ライセンス	(仕様策定) ★杉野 暢彦、香月 稔 伊藤 剛
東京工業大学キャンパスネットワークシス テム（無線ネットワーク部分） 一式	(仕様策定) ★北口 善明、松浦 知史、 隅水 良幸、後藤 洋子、増渕 長興 (技術審査) 友石 正彦、金 勇、岸本 幸一、 大場 準也
東京工業大学キャンパス共通認証・認可シ ステム用 IC カード	(仕様策定) ★杉野 暢彦、井上 進 (技術審査) 伊藤 剛、一瀬 光



東京工業大学学術国際情報センター年報  
2020 年度  
第 19 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

---