年報第 20 号

2018 年度

Annual Report No.20
2018

東京大学情報基盤センター

Information Technology Center
The University of Tokyo

目　　次

巻頭言 …… 1

PART1　概　況 …… 5

組　織 …… 7
組織図 …… 7
職員数 …… 7
教職員 …… 8
2018年度中の人事異動 …… 13
東京大学情報基盤センター運営員会委員名簿 …… 16
予　算 …… 17
収入・支出 …… 17
外部資金 …… 17
補助金等 …… 19
2018年度科学研究費助成事業採択状況 …… 19
2018年度受託研究費受入状況 …… 22
2018年度共同研究費受入状況 …… 23
2018年度政府系委託費受入状況 …… 24
2018年度奨学寄附金受入状況 …… 25

PART2　センター活動報告 …… 27

学際情報科学研究体 …… 29
学際情報学研究体概要 …… 31
学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 …… 32
情報セキュリティ研究体 …… 43
情報セキュリティ研究体概要 …… 45
情報セキュリティ研究体における実践的セキュリティ教育の検討 …… 46
その他 …… 49
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） …… 51
データ活用型社会創成プラットフォーム計画について …… 54

PART3　各研究部門　研究活動報告 …… 59

情報メディア教育研究部門 …… 61
情報メディア教育研究部門概要 …… 63
柴山　悦哉 …… 67
情報システムの信頼性と安全性に関する研究

田中　哲朗 ……73
ゲームプログラミングに関する研究
品川　高廣 ……76
仮想化技術とオペレーティングシステムの研究
関谷　貴之 ……83
計算機科学関連カリキュラムの分析
岡田　和也 ……90
機械学習を利用した悪性パケット分類に関する研究・次世代ICTインフラアーキテクト育成
データ科学研究部門（旧学術情報研究部門） ……95
データ科学研究部門概要 ……97
中村　覚 …… 100
デジタルアーカイブの構築と活用
ネットワーク研究部門 …… 107
ネットワーク研究部門概要 …… 109
工藤　知宏 …… 116
異種エンジン統合クラウドとポストムーア時代に向けたアーキテクチャの検討
中山　雅哉 …… 122
広域分散環境の高度基盤技術に関する研究
佐藤　周行 …… 124
検証付き言語処理系とサービス体系におけるセキュリティ保証の研究
小川　剛史 …… 128
人々の実生活を支援する情報メディア技術に関する研究
関谷　勇司 …… 138
サイバーセキュリティ対策のアシストシステム確立とソフトウェアを活かしたICTアーキテクチャに関する研究
中村　文隆 …… 147
文理融合教育における情報基礎教育教材
中村　遼 …… 149
ネットワークの高速化と運用高度化に関する研究
空閑　洋平 …… 156
ITインフラ技術者育成・DDoS緩和アーキテクチャの検討
スーパーコンピューティング研究部門 …… 159
スーパーコンピューティング研究部門概要 …… 161
中島　研吾 …… 187
ポストムーア時代に向けた超並列数値計算アルゴリズムの研究と並列プログラミング教育
塙　敏博 …… 200
Oakforest-PACSシステムにおける大規模深層学習に関する研究
下川辺　隆史 …… 209
高精細計算を実現するAMR法フレームワークに関する研究
星野　哲也 …… 217
階層型行列法のメニーコアクラスタ向け高速化の研究

三木　洋平 …… 223
宇宙物理学のためのコード開発と銀河考古学への適用
伊田　明弘 …… 231
大規模科学技術計算に向けた行列近似手法の研究 および普及活動
有間　英志 …… 240
次世代計算機の最適化
今野　雅 …… 249
オープンソースCFDコードOpenFOAMの性能評価および高速化に関する研究
学際情報科学研究体 …… 259
五十嵐　亮 …… 261
オープンソース量子格子模型シミュレーションソフトウェアの開発
情報セキュリティ研究体 …… 263
宮本　大輔 …… 265
サイバーレジリエンスに関する研究

PART4　教育・サービス活動報告 …… 275

情報メディア教育 …… 277
情報メディア教育支援サービス概要 …… 279
教育用計算機システム運用報告 …… 281
学内組織向けメールサーバ（MAILHOSTING）運用報告 …… 291
学内組織向けDNS ホスティング運用報告 …… 294
WEB PARK サービス運用報告 …… 295
遠隔講義支援サービス運用報告 …… 297
LMS 運用報告 …… 299
その他のサービス運用報告 …… 303
学術情報 …… 305
学術情報概要 …… 307
図書館関係システム運用・管理 …… 308
デジタルコンテンツサービス …… 310
学術情報リテラシー支援 …… 311
ネットワーク …… 325
ネットワーク概要 …… 327
東京大学情報ネットワークシステム（UTNET4）の運用管理 …… 330
セキュリティ対応 …… 340
東京大学情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）との連携 …… 342
学内ソフトウェアライセンス …… 345
ハウジングサービス …… 347
PKI …… 348
スーパーコンピューティング …… 351
スーパーコンピューティング概要 …… 353
スーパーコンピューティング業務 …… 356

講習会 …… 371
シンポジウム・研究会 …… 378
公募型研究プロジェクト …… 382
スーパーコンピュータの企業利用支援 …… 390
スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2018年） …… 393
その他イベント …… 396

PART5　その他 …… 399

委員会委員等 …… 401
講習会・セミナー …… 404
報道関係一覧 …… 408

巻 頭 言

東京大学情報基盤センター長　田浦　健次朗

2018 年度の東京大学情報基盤センター年報をお届けいたします。

当センターは、情報メディア教育研究部門、データ科学研究部門、ネットワーク研究部門、スーパーコンピューティング研究部門の 4 研究部門と、学際情報科学研究体、情報セキュリティ研究体という部門横断型のグループから構成される組織であり、研究・教育ならびに全学・全国への情報基盤サービスの提供をミッションとしています。特に、全国共同利用・共同研究拠点(JHPCN)を全国 8 大学の情報基盤センターとともに推進し、その中核拠点として、計算科学、計算機システムに関する多数の共同研究を実施しています。

2018 年度の大きな出来事は、「データ科学研究部門」の発足です。同部門は「学術情報研究部門」という部門を改め、2018 年 12 月に発足させたもので、これまで学術情報研究部門で実施してきたデジタル・アーカイブに関する研究や附属図書館との連携業務に加え、データ科学に関する研究を行います。また、情報セキュリティ研究体が発足しました。ネットワーク部門の教員を主なメンバーとして、大学の情報システム・ネットワークセキュリティの向上に資する研究、開発、教育を行います。スーパーコンピューティング部門では Oakbridge II という、新しい中規模のスーパーコンピュータシステムが導入され、もちろん全国で共同利用される施設として運用します。情報メディア教育研究部門が中心となって、教育用の情報基盤 ITC-LMS の更新を行いました。授業実施の際の教員負担を軽減するべく今後も改善を続けて行きます。そして、データプラットフォーム計画という、データ科学分野に対する情報基盤の提供を目指した計画を、全国の大学(特に JHPCN の構成機関)や研究機関(NII、産総研など)と協力してスタートさせています。これは基盤センターにおいては全研究部門が一丸となって取り組む計画ですが、全学的にはデータプラットフォーム推進タスクフォースという全学のタスクフォースで推進され、さらにそれを全国の大学と連携して進めていきます。

さてこの原稿は平成から令和に元号が変わったゴールデンウィーク中に書いていますが、ゴールデンウィークにどこかで旅行に、などというモチベーションが私にも家族にも存在しない我が家で、唯一行った家族サービスが都内の大型書店に子供を連れて行き好きなだけ本を買ってやることでした(もちろん自分の趣味と実益を兼ねています)。

自分で書店に足を運ぶと、何も目当てがなく出かけても、1 時間も歩き回ると、興味のある本をいくつも発見出来ます。よく言う「本との出会い」です。自分も最近は本を買うというと、誰もが使う巨大オンライン書店を閲覧・検索をして、見つかったら電子書籍版がないかをチェック、あ

ればクリックして数十秒後には入手できているという買い方が定着し、結果的に自分も街の本屋さんの売上減少にさぞ貢献してしまっていると思いますが、こと、知らなかった本との出会い、ということになるとオンライン書店は物理的な本屋の足元にも及ばないと感じます。前者は自分のネット上での閲覧や購買履歴を全部握って、「パーソナライズされたリコメンデーション」をしてくるにもかかわらず、です。減っていく街の本屋さんに対する思い入れとか、黙々とパソコンやスマホに向かってクリックを続けるよりも子供と出かけて本屋を歩き回っている方が純粋に楽しいとか、そういう副交感神経への影響的な要素を抜きにして、冷徹に「出会いの数 / かけた時間」で効率を評価しても、物理的な本屋に軍配を上げるというのが自分の感覚で、それは多くの人も同様に感じているのではないでしょうか? 本屋は万人向けに本を並べているだけなのに少し不思議な話です。

さて今回出会った本のひとつは「歴史情報学」という本で、上述したデジタルアーカイブというものの過去の経緯から今後の方向性までを様々な研究者が執筆しているもので、本センターデータ科学部門助教の中村覚氏も歴史資料のアーカイブや連携のための情報技術について一章を執筆しています。私としては、人文学研究者の視点から見たデジタルアーカイブの役割や、過去の蓄積、経緯などを遅ればせながら学ぶことが出来、データプラットフォーム構想を進める上でも参考になる本でした。

さてもうひとつ、豊田長康「科学立国の危機」という、日本の研究力の低下とその原因をデータを用いて分析した本と出会いました。日本の研究者であれば誰でも、「諸外国の人口あたりの論文数は顕著に増加しているのに日本だけが横ばい」という話や、「Times Higher Educations (THE)大学ランキング」において日本の大学の順位が落ちている、という話を聞いたことがあると思います。そのような伝聞について、記事の見出しを鵜呑みにするだけでなく、もう少しデータを見ながらどういうことなのかを理解したい、何をすればよいのか自分なりに考えたい、と思っている人は多いと思います。そんな人間の一人である自分にはこの本は非常に有益でした。一言で言えば「研究従事者数、それも、実際の研究従事時間を考慮して換算した数(例えば全業務時間の 30%を研究に当てているのであれば 0.3 人分と数える。Full Time Equivalent (FTE)と呼ばれる」と、論文数に大きな相関があり、日本は人口あたりの研究従事 FTE 数が長期的に停滞している、というものです。「人口あたりの研究従事 FTE 数」と「人口あたりの論文生産数」とがきれいに相関し、その中で日本と諸外国を比べると決して、FTE あたりの論文生産数は劣っておらず、では何が劣っているのかと言えば、人口あたりの FTE 数が劣っているというのが本書のメッセージです。詳細は、私の勝手な要約を鵜呑みにするよりも、ぜひ一度読んでいただければとおもいます。

大学に身をおく人間として、研究従事者の頭数だけでなく、実際の研究従事時間(FTE 数)が重要であるとか、人員の削減や色々な競争的な教育プログラムへの応募書類などで雑務が

増加すると、それらがただでさえ少ない研究 FTE 数を直撃して、研究 FTE 数に与える相対的なダメージは大きいものになるなど、本書のメッセージは腑に落ちるところが多いものでした。例えばある週に追加の雑用または会議が 3 時間分発生したとして、それが週 30 時間の研究時間(自由に使える時間)の中に発生する(相対的ダメージは 10%程度)のと、もともと 10 時間しかない研究時間に発生する(相対的ダメージ 30%)のとでは全く重みが違うわけです。また自身の研究というものは断片化された時間でやることは難しく、授業、会議、雑用以外の時間が 30%残っている場合に、30%のアウトプットを出すことはなかなか難しいのではないかと思います。

研究従事 FTE 数を伸ばすには研究に従事する人の数を増やすのはもちろんですが、それらをサポートする職員を増やして、研究従事者が研究に使える時間を増やすことが重要です。そのための雑用の効率化も大事です。また、削減できる仕事はなくす、無闇に仕事を発生させないということも大切です。余分な仕事の発生や転送を食い止めることができるのは大概の場合、組織の階層で上の方にいる人です(もちろん基盤センターの場合はセンター長の責任が大きい)。もちろん大学で行われるほとんどの仕事は、やらないよりはやったほうがいい仕事がほとんどなのですが、何しろ使える時間は限られている中で、「何に」使うのが最適なのかという観点を常に肝に銘じておく必要があると改めて感じる次第です。ささやかな試みとして、センター長・部門長(教授)以外の教員は、週に一日、業務がない日(断片化されない時間)をとれることにしています。また、本年報の出版形態についても、教員の時間の質向上を目的として検討を始めることとしており、来年度は少し異なる形態での成果報告となるかもしれません。

基盤センターは教員それぞれが研究でアウトプットをするとともに、全学の教員や全学・全国の研究者へ情報基盤(計算機、ネットワーク、教育用システム)を提供するとともにその新しい在り方を模索・提言・実現し続けることを使命としています。それら使命を果たすことを重要任務に据えつつ、研究時間の最適化を模索していきたいと思います。

最後になりましたが、本年報が、我々のアクティビティの紹介を通し、新たな共同利用・共同研究につながることを期待しております。皆様からのご意見やご提案をお待ちしております。最後に、本年報をまとめるにあたり、年報編集委員長の小川剛史先生をはじめとする年報編集委員の皆様に感謝申し上げます。

PART 1

概　況

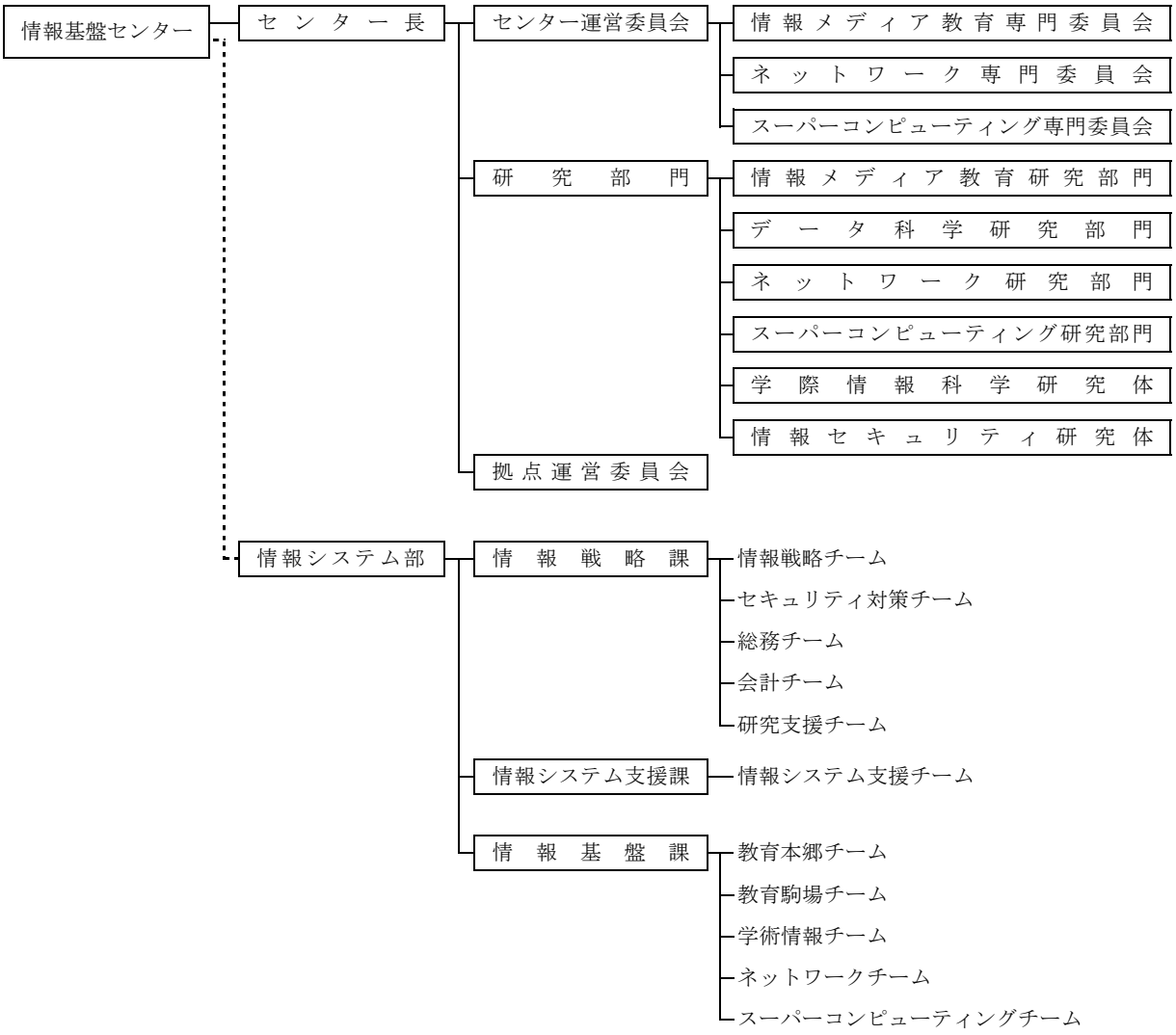
組　織

予　算

補助金等

組　織

組織図



備考：情報基盤センターに事務部門はなく、情報システム部が行っている。

職員数

情報基盤センター　　2019.3.31

	専任	兼務	特任	合計
センター長		1		1
教授	3	1		4
准教授	8	2	1	11
講師			1	1
助教	7	1	1	9
研究員		4		4
事務補佐員	4		2	6
技術補佐員	1			1
合計	23	9	5	37

情報システム部　　2019.3.31

	専任	兼務	特任	合計
事務職員	33		1	34
技術職員	22		1	23
事務補佐員	11			11
技術補佐員	2			2
派遣職員	4			4
合計	72	0	2	74

教職員

2019 年 3 月 31 日現在

情報基盤センター長　　田　浦　健次朗
（情報理工学系研究科教授）
秘書（事務補佐員）　石　野　和　世

研究部門

情報メディア教育研究部門

教　授	柴　山　悦　哉
准教授	田　中　哲　朗
准教授	品　川　高　廣
助　教	関　谷　貴　之
助　教	岡　田　和　也

データ科学研究部門

助　教	中　村　　覚
客員研究員	中　川　裕　志
客員研究員	鈴　村　豊太郎

ネットワーク研究部門

教　授	工　藤　知　宏
准教授	中　山　雅　哉
准教授	佐　藤　周　行
准教授	小　川　剛　史
准教授	関　谷　勇　司
助　教	中　村　文　隆
助　教	中　村　　遼
特任講師	空　閑　洋　平
客員研究員	馬　　雷
事務補佐員	川　崎　しのぶ
事務補佐員	伊　東　雅　美
技術補佐員	徳　山　美香子

スーパーコンピューティング研究部門

教　授	中　島　研　吾
教　授（兼務）	中　村　　宏
准教授	塙　　敏　博
准教授	下川辺　隆　史
准教授（兼務）	近　藤　正　章
助　教	星　野　哲　也

助　教	三　木　洋　平
助　教（兼務）	坂　本　龍　一
特任准教授	伊　田　明　弘
特任助教	有　間　英　志
客員研究員	今　野　　雅

学際情報科学研究体

教　授（兼務）	柴　山　悦　哉
教　授（兼務）	工　藤　知　宏
教　授（兼務）	中　島　研　吾
准教授（兼務）	品　川　高　廣
准教授（兼務）	関　谷　勇　司
准教授（兼務）	佐　藤　周　行
准教授（兼務）	塙　　敏　博
准教授（兼務）	下川辺　隆　史
助　教（兼務）	中　村　文　隆
助　教（兼務）	中　村　　遼
助　教（兼務）	星　野　哲　也
助　教（兼務）	三　木　洋　平
特任准教授（兼務）	伊　田　明　弘
特任専門職員	阿　曽　義　浩
特任専門職員	森　重　博　司
事務補佐員	相　川　幸　美

情報セキュリティ研究体

教　授（兼務）	工　藤　知　宏
教　授（兼務）	中　村　　宏
准教授（兼務）	中　山　雅　哉
准教授（兼務）	関　谷　勇　司
准教授（兼務）	佐　藤　周　行
准教授（兼務）	宮　本　大　輔
助　教（兼務）	中　村　文　隆
助　教（兼務）	岡　田　和　也

情報システム部

部　長	水　上　順　一

情報戦略課

課　長	若　林　美由紀
副課長	野　呂　清　隆
係　長	中　山　仁　史
主　任	松　本　浩　一
主　任	木　崎　信　一
特任専門員	奥　山　智　紀

情報戦略チーム

係　長	柳　川　圭　介
一般職員	三　浦　紗　江
一般職員	小　林　正　明
事務補佐員	野　崎　一　美

セキュリティ対策チーム

係　長	長谷川　　聖
係　長	岩　藤　健　弘
事務補佐員	杉　山　洋　子

総務チーム

専門職員	落　合　弘　樹
係　長	川　名　由希子
主　任	鈴　木　さゆり
事務補佐員	森　　今日子

会計チーム

専門職員	牧　　賢　二
係　長	伊　福　　晃
一般職員	本　間　千　景
一般職員	高　橋　えり子
事務補佐員	中　川　郁　美

研究支援チーム

専門職員	古　田　智　嗣
係　長	林　　崇　宏
一般職員	杉　田　七　海
事務補佐員	猪　股　由理子

情報システム支援課

課　長	石　掛　五　男
副課長	増　田　　均

情報システム支援チーム

上席係長	並　木　登美幸
係　長	阿　部　仁　志
係　長	高　中　寿　和
主　任	島　田　健　人
事務補佐員	滝　沢　未　来

情報基盤課

課　長	平　野　光　敏

教育本郷チーム

専門職員	中　村　昇　平
係　長	伊　藤　真　之
係　長	佐々木　　馨
技術職員	黒　田　裕　文
事務補佐員	竹　尾　朋　子
派遣職員	小　林　聡　子
派遣職員	成　田　早規子

教育駒場チーム

係　長	友　西　　大
一般職員	明　比　英　高
一般職員	香　田　健　二
技術職員	郡　司　　彩
事務補佐員	五　味　由美子
事務補佐員	池　谷　佳　恵
技術補佐員	加　藤　康　一

学術情報チーム

専門員	村　上　晋　司
係　長	小　松　陽　一
係　長	中　村　恭　子
係　長	前　田　　朗
主　任	清　水　郁　子
主　任	大　谷　智　哉
一般職員	中　竹　聖　也
事務補佐員	鈴　木　佐和子

ネットワークチーム

副課長	井　爪　健　雄
係　長	佐　山　純　一
係　長	坂　井　朱　美
主　任	中　山　昭　男
技術職員	駒　井　優　哉
事務補佐員	及　川　　彩
事務補佐員	伊　東　雅　美

スーパーコンピューティングチーム

副課長	宮　嵜　　洋
係　長	田　川　善　教
係　長	佐　島　浩　之
係　長	山　本　和　男
係　長	安　部　達　巳
技術職員	中　張　遼太郎
技術職員	下　條　清　史
特任専門職員	中　　誠一郎
技術補佐員	江　口　ひろみ
派遣職員	田　場　章　江
派遣職員	出　島　早　苗

２０１８年度中の人事異動

情報基盤センター

（転入・昇任・配置換等）

2018. 4. 1	田　浦　健次朗	センター長／新規
2018. 4. 1	中　村　　宏	スーパーコンピューティング研究部門教授（兼務）／情報理工学系研究科教授から
2018. 4. 1	佐　藤　周　行	ネットワーク研究部門准教授／スーパーコンピューティング研究部門准教授から
2018. 4. 1	中　　誠一郎	スーパーコンピューティング研究部門特任専門職員／再採用
2018. 4. 1	阿　曽　義　弘	学際情報科学研究体特任専門職員／再採用
2018. 4. 1	伊　東　雅　美	ネットワーク研究部門事務補佐員／スーパーコンピューティング研究部門事務補佐員から
2018. 9. 1	坂　本　龍　一	スーパーコンピューティング研究部門助教（兼務）／情報理工学系研究科助教から
2018.10. 1	工　藤　知　宏	情報セキュリティ研究体教授（兼務）／ネットワーク研究部門教授から
2018.10. 1	中　山　雅　哉	情報セキュリティ研究体准教授（兼務）／ネットワーク研究部門准教授から
2018.10. 1	関　谷　勇　司	情報セキュリティ研究体准教授（兼務）／ネットワーク研究部門准教授から
2018.10. 1	佐　藤　周　行	情報セキュリティ研究体准教授（兼務）／ネットワーク研究部門准教授から
2018.10. 1	宮　本　大　輔	情報セキュリティ研究体准教授（兼務）／情報理工学系研究科准教授から
2018.10. 1	中　村　文　隆	情報セキュリティ研究体助教（兼務）／ネットワーク研究部門助教から
2018.10. 1	岡　田　和　也	情報セキュリティ研究体助教（兼務）／情報メディア教育研究部門助教から
2018.11. 1	中　村　　宏	情報セキュリティ研究体教授（兼務）／スーパーコンピューティング研究部門教授から
2018.11. 1	空　閑　洋　平	ネットワーク研究部門特任講師／新規採用
2019. 1. 1	相　川　幸　美	学際情報科学研究体事務補佐員／新規採用

（転出・退職等）

2018. 9.30	Marc　Bruyere	ネットワーク研究部門特別研究員／受入期間満了
2018.12.31	津　田　弥　恵	学際情報科学研究体事務補佐員／退職
2019. 1.31	五十嵐　　亮	学際情報科学研究体特任講師／任期満了
2019. 2.28	須　賀　灯　希	ネットワーク研究部門技術補佐員／任期満了

2019. 2.28　小　谷　　岳　ネットワーク研究部門技術補佐員／任期満了

情報システム部

（転入・昇任・配置換等）

2018. 4. 1　若　林　美由紀　情報戦略課長／本部社会連携推進課長から
2018. 4. 1　野　呂　清　隆　情報戦略課副課長／本部産学連携推進課副課長から
2018. 4. 1　林　　崇　宏　情報戦略課研究支援チーム係長／本部学術振興課係長から
2018. 4. 1　中　村　恭　子　情報基盤課学術情報チーム係長／放送大学情報部図書情報課情報管理係係長から
2018. 4. 1　高　中　寿　和　情報システム支援課情報システム支援チーム係長／国立教育政策研究所研究企画開発部教育研究情報推進室情報支援課運用管理係長から
2018. 4. 1　島　田　健　人　情報システム支援課情報システム支援チーム一般職員／生産技術研究所経理課（連携研究支援室）執行チーム一般職員から
2018. 4. 1　三　浦　紗　江　情報戦略課情報戦略チーム一般職員／新規採用
2018. 4. 1　中　竹　聖　也　情報基盤課学術情報チーム一般職員／新規採用
2018. 4. 1　下　條　清　史　情報基盤課スーパーコンピューティングチーム技術職員／新規採用
2018. 4. 1　加　藤　愛　実　情報基盤課教育本郷チーム事務補佐員／新規採用
2018. 4. 1　江　口　ひろみ　情報基盤課スーパーコンピューティングチーム技術補佐員／新規採用
2018. 4. 1　落　合　弘　樹　情報戦略課情報戦略課総務チーム専門職員／情報戦略課セキュリティ対策チーム専門職員から
2018. 4. 1　並　木　登美幸　情報システム支援課情報システム支援チーム上席係長／情報システム支援課情報システム支援チーム係長から
2018. 4. 1　岩　藤　健　弘　情報戦略課セキュリティ対策チーム係長／情報基盤課ネットワークチーム係長から
2018. 4. 1　坂　井　朱　美　情報基盤課ネットワークチーム係長／情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長から
2018. 4. 1　安　部　達　巳　情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長／情報基盤課スーパーコンピューティングチーム主任から
2018. 4. 1　明　比　英　高　情報基盤課教育駒場チーム主任／情報基盤課教育駒場チーム技術職員から
2018. 4. 1　中　山　昭　男　情報基盤課ネットワークチーム主任／情報基盤課ネットワークチーム技術職員から
2018. 4. 1　伊　東　雅　美　情報基盤課ネットワークチーム事務補佐員／スーパーコンピューティング研究部門事務補佐員から
2018. 7. 1　竹　尾　朋　子　情報基盤課教育本郷チーム事務補佐員／新規採用
2018. 7. 1　五　味　由美子　情報基盤課教育駒場チーム事務補佐員／新規採用

2018. 7. 1	松　本　浩　一	情報戦略課主任／情報基盤課スーパーコンピューティングチーム主任から
2018. 8. 1	木　崎　信　一	情報戦略課主任／情報戦略課会計チーム主任から
2018. 9. 1	高　橋　えり子	情報戦略課会計チーム一般職員／新規採用
2018.10. 1	南　　令　恵	情報基盤課教育本郷チーム事務補佐員／新規採用
2018.11. 1	郡　司　　彩	情報基盤課教育駒場チーム技術職員／新規採用
2018.11. 1	池　谷　佳　恵	情報基盤課教育駒場チーム事務補佐員／新規採用
2018.12. 1	奥　山　智　紀	情報戦略課特任専門員／新規採用
2019. 1. 1	黒　田　裕　文	情報基盤課教育本郷チーム技術職員／新規採用

（転出・退職等）

2018. 4. 1	茅　根　　修	情報戦略課長／史料編さん所事務長へ
2018. 4. 1	松　本　康　男	情報戦略課副課長／本部　社会連携事業担当課長へ
2018. 4. 1	松　岡　喜美代	情報基盤課教育駒場チーム副課長／国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課副課長（兼）係長（NII-SOC チーム）へ
2018. 4. 1	金　子　伸　一	情報戦略課研究支援チーム係長／医科学研究所研究支援課外部資金戦略チーム一般職員（再雇用）へ
2018. 4. 1	須賀井　理　香	情報基盤課学術情報チーム係長／法学政治学研究科等附属近代日本法政史料センター明治新聞雑誌文庫係係長へ
2018. 4. 1	今　田　哲　也	情報システム支援課情報システム支援チーム係長／国立教育政策研究所研究企画開発部教育研究情報推進室情報支援課運用管理係係長へ
2018. 4. 1	廣　本　和　哉	情報システム支援課情報システム支援チーム主任／財務部契約課旅費チーム係長へ
2018. 4. 1	末　永　幸　加	情報戦略課情報戦略チーム一般職員／生産技術研究所経理課（連携研究支援室）企画チーム一般職員へ
2018. 4. 1	石　田　　唯	情報基盤課学術情報チーム一般職員／千葉大学附属図書館学術コンテンツ課学術コンテンツチーム一般職員へ
2018. 5.31	谷　口　恵　子	情報基盤課教育本郷チーム技術補佐員／退職
2018. 5.31	井　上　　滋	情報基盤課ネットワークチーム技術補佐員／退職
2018. 6.30	岩　崎　直　樹	情報基盤課教育本郷チーム係長／退職
2018. 7.31	加　藤　愛　実	情報基盤課教育本郷チーム事務補佐員／退職
2018. 9.30	有　賀　　浩	情報基盤課教育駒場チーム専門員／退職
2019. 1.31	南　　令　恵	情報基盤課教育本郷チーム事務補佐員／退職
2019. 3.31	平　野　光　敏	情報基盤課長／定年退職
2019. 3.31	増　田　　均	情報システム支援課副課長／定年退職
2019. 3.31	中　村　昇　平	情報基盤課教育本郷チーム専門職員／定年退職
2019. 3.31	滝　沢　未　来	情報システム支援課情報システム支援チーム事務補佐員／任期満了

東京大学情報基盤センター運営委員会委員名簿
任期：２０１７年4月１日～２０１９年3月３１日

２０１８年4月１日

氏　　名	所　属　・　職　名	適　　用
田浦　健次朗	情報基盤センター長	規則第3条第1号
柴　山　悦　哉	情報基盤センター・教授	規則第3条第2号
中　島　研　吾	情報基盤センター・教授	規則第3条第2号
工　藤　知　宏	情報基盤センター・教授	規則第3条第2号
太　田　勝　造	大学院法学政治学研究科・教授	規則第3条第3号
相　田　　仁	大学院工学系研究科・教授	規則第3条第3号
堀　　浩　一	大学院工学系研究科・教授	規則第3条第3号
吉　村　　忍	大学院工学系研究科・教授	規則第3条第3号
横　澤　一　彦	大学院人文社会系研究科・教授	規則第3条第3号
星　野　真　弘	大学院理学系研究科・教授	規則第3条第3号
阿　部　　誠	大学院経済学研究科・教授	規則第3条第3号
山　口　和　紀	大学院総合文化研究科・教授	規則第3条第3号
山　口　　泰	大学院総合文化研究科・教授	規則第3条第3号
森　下　真　一	大学院新領域創成科学研究科・教授	規則第3条第3号
須　田　礼　仁	大学院情報理工学系研究科・教授	規則第3条第3号
松　尾　宇　泰	大学院情報理工学系研究科・教授	規則第3条第3号
中　村　　宏	大学院情報理工学系研究科・教授	規則第3条第3号
喜連川　優	生産技術研究所・教授	規則第3条第3号
尾　上　陽　介	史料編纂所・教授	規則第3条第3号
熊　野　純　彦	附属図書館長	規則第3条第4号

オブザーバー　原　田　達　也　総長補佐（大学院情報理工学系研究科・教授）

予　算

収入・支出

2018 年度決算額

収入

区　　分	決算額（千円）
奨学寄附金収入	2,500
受託研究費等収入	424,414
自　己　収　入	444,716
計	871,630

支出

区　　分	決算額（千円）
人　　件　　費	683,819
物　　件　　費	4,853,147
計	5,536,966

外部資金

1）科学研究費助成事業（2018 年度）

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門	3	11,570
学術情報研究部門	1	200
ネットワーク研究部門	5	11,680
スーパーコンピューティング研究部門	8	15,730
学際情報科学研究体		
計	17	39,180

2）受託研究（2018 年度）

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門		
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門	2	77,854
スーパーコンピューティング研究部門	2	2,600
計	4	80,454

3)共同研究(2018 年度)

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門		
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門	6	31,465
スーパーコンピューティング研究部門	5	14,392
計	11	45,857

4)政府系委託費(2018 年度)

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門		
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門		
スーパーコンピューティング研究部門	1	298,103
計	1	298,103

5)奨学寄附金(2018 年度)

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門	3	2,500
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門		
スーパーコンピューティング研究部門		
計	3	2,500

補助金等

2018 年度　科学研究費助成事業採択状況

【情報メディア教育研究部門】

研究代表者	准教授　田中　哲朗
研究種目	基盤研究（C)【基金】
研究期間	2018～2020 年度
研究課題	連続空間ゲームにおける深層学習を利用した強化学習
受入額	1,690,000 円（2018 年度）

研究代表者	准教授　品川　高廣
研究種目	基盤研究(B)【補助金】
研究期間	2016～2020 年度
研究課題	準パススルー型仮想マシンモニタに関する研究
受入額	4,940,000 円（2018 年度）

研究代表者	助教　関谷　貴之
研究種目	基盤研究（B）【補助金】
研究期間	2017～2019 年度
研究課題	自動収集した大量のシラバス情報を用いたカリキュラムの定量的分析とその応用
受入額	4,940,000 円（2018 年度）

【学術情報研究部門】

研究分担者	助教　中村　覚 （研究代表者:附属図書館　永井　正勝　特任准教授）
研究種目	基盤研究（C)【基金】
研究期間	2018～2020 年度
研究課題	古代エジプト聖刻文字碑文の言語記述と IIIF 画像を利用した情報共有システムの開発 （役割分担：IIIF 画像を対象とした研究プラットフォームの設計・実装）
受入額	200,000 円（2018 年度）

【ネットワーク研究部門】

研究代表者	教授　工藤　知宏
研究種目	基盤研究(B)【補助金】
研究期間	2016～2018 年度
研究課題	超広帯域 I/O を想定したアーキテクチャの検討
受入額	4,940,000 円（2018 年度）

研究代表者　准教授　小川　剛史
研究種目　基盤研究(C)【基金】
研究期間　2016～2018 年度
研究課題　拡張現実感における固有感覚と前庭感覚のクロスモダリティを用いた運動知覚制御方式
受入額　1,170,000 円（2018 年度）

研究代表者　准教授　関谷　勇司
研究種目　特別研究員奨励費【補助金】外国人特別研究員
研究期間　2016～2018 年度
研究課題　モバイルトラフィックを柔軟に制御する SDN インターネットエクスチェンジの実現
受入額　500,000 円（2018 年度）

研究代表者　助教　中村　遼
研究種目　若手研究【基金】
研究期間　2018～2019 年度
研究課題　コンテナ仮想化技術におけるネットワーク高速化手法の研究
受入額　2,080,000 円(2018 年度)

研究代表者　特任講師　空閑　洋平
研究種目　若手研究【基金】
研究期間　2018～2019 年度
研究課題　コンテナ仮想化技術におけるネットワーク高速化手法の研究
受入額　1,980,761 円(2018 年度)

【スーパーコンピューティング研究部門】
研究分担者　准教授　塙　敏博
（研究代表者:筑波大学　朴　泰祐　教授）
研究種目　基盤研究（B）【補助金】
研究期間　2018～2019 年度
研究課題　再構成可能システムとＧＰＵによる複合型高性能計算プラットフォーム
(役割分担：通信・演算融合システム)
受入額　1,560,000 円(2018 年度)

研究代表者　准教授　下川辺　隆史
研究種目　基盤研究（C)【基金】
研究期間　2017～2019 年度
研究課題　新しい動的負荷分散を用いた GPU スパコン向け適合細分化格子法フレームワークの開発
受入額　1,430,000 円（2018 年度）

研究分担者　准教授　下川辺　隆史
（研究代表者:東京工業大学　青木　尊之　教授）
研究種目　基盤研究（S)【補助金】
研究期間　2017～2018 年度
研究課題　ものづくり HPC アプリケーションのエクサスケールへの進化
（役割分担：データ移動を低減するアルゴリズム開発）
受入額　260,000 円（2018 年度）

研究分担者　准教授　下川辺　隆史
（研究代表者:東京工業大学　谷津　陽一　助教）
研究種目　挑戦的萌芽研究【基金】
研究期間　2017～2018 年度
研究課題　GPU と深層学習を用いた広視野サーベイのための高精度・高速天体確認技術の開発
（役割分担：GPGPU の環境構築と画像処理高速化）
受入額　130,000 円（2018 年度）

研究代表者　特任准教授　伊田　明弘
研究種目　基盤研究（B）【補助金】
研究期間　2017～2019 年度
研究課題　H 行列法ライブラリの機能拡張と次世代スパコン向け最適化
受入額　6,240,000 円(2018 年度)

研究代表者　特任准教授　伊田　明弘
研究種目　挑戦的研究（萌芽）【基金】
研究期間　2017～2019 年度
研究課題　超大規模疎行列の全固有値計算に向けた研究
受入額　2,080,000 円（2018 年度）

研究分担者　特任准教授　伊田　明弘
（研究代表者:東京工業大学　横田　理央　准教授）
研究種目　基盤研究（B)【補助金】
研究期間　2018～2019 年度
研究課題　機械学習向けハードウェアとの親和性が高い連立一次方程式の解法
（役割分担：電磁界解析アプリとの統合、クリロフ部分空間法の低精度前処理の実装」
受入額　1,300,000 円（2018 年度）

研究代表者　特任助教　有間　英志
研究種目　若手研究【基金】
研究期間　2018～2019 年度
研究課題　高バンド幅と大容量を両立するアクセスパターン適応型ハイブリッドメインメモリ
受入額　2,730,000 円（2018 年度）

2018 年度　受託研究費受入状況

【ネットワーク研究部門】

研究代表者	教授　工藤　知宏
相手機関名	（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究期間	2016/6/24～2019/3/31
研究課題	省電力 AI エンジンと異種エンジン統合クラウドによる人工知能プラットフォーム
受入額	54,000,000 円（2018 年度）

研究代表者	准教授　関谷　勇司
相手機関名	（国研）科学技術振興機構
研究期間	2017/10/1～2020/3/31
研究課題	サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測
受入額	23,853,700 円（2018 年度）

【スーパーコンピューティング研究部門】

研究代表者	センター長　田浦　健次朗
相手機関名	（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究期間	2018/12/3～2020/2/29
研究課題	分野・組織を超えたデータ活用とサービス提供を実現する基盤の研究
受入額	2,600,000 円(2018 年度)

研究分担者	センター長　田浦　健次朗 (研究代表者：医学系研究科　宮園　浩平　教授)
相手機関名	(国研)日本医療研究開発機構
研究期間	2018/4/1～2019/3/31
研究課題	大規模ゲノム医療体制の確立と知識データベースの構築 （役割分担：大規模ゲノムデータ解析）
受入額	0 円(2018 年度)

2018 年度　共同研究費受入状況

【ネットワーク研究部門】

研究代表者　　教授　工藤　知宏
相手機関名　　（国研）産業技術総合研究所
研究期間　　2018/4/1～2020/3/31
研究課題　　サイバーフォトニックプラットフォームに関する共同研究
受入額　　0 円（2018 年度）

研究代表者　　教授　工藤　知宏
相手機関名　　日本電信電話（株）未来ねっと研究所
研究期間　　2018/10/1～2019/2/28
研究課題　　高速 IO を利用したソフトウェアパケット処理のキャンパス NW での運用に関する共同研究
受入額　　3,000,000 円（2018 年度）

研究代表者　　准教授　関谷　勇司
相手機関名　　（国研）情報通信研究機構
研究期間　　2016/8/2～2021/3/31 年度
研究課題　　プログラマブルインターネットエクスチェンジのインフラ構築技術
受入額　　0 円（2018 年度）

研究代表者　　准教授　関谷　勇司
相手機関名　　（一社）高度 IT アーキテクト育成協議会
研究期間　　2018/7/1～2020/3/31
研究課題　　高度 IT 人材育成を目的とした要素技術の検証とカリキュラム開発
受入額　　25,000,000 円（2018 年度）

研究代表者　　准教授　関谷　勇司
相手機関名　　日本電信電話（株）
研究期間　　2018/5/24～2019/3/31
研究課題　　機械学習を利用したセキュリティ対策技術の研究
受入額　　2,970,000 円（2018 年度）

研究代表者　　助教　中村　遼
相手機関名　　NTT コミュニケーションズ（株）
研究期間　　2018/8/1～2019/3/31
研究課題　　IP 経路制御技術によるサービスチェイニングの実現
受入額　　495,000 円（2018 年度）

【スーパーコンピューティング研究部門】
研究代表者　センター長　田浦　健次朗
相手機関名　（国研）理化学研究所
研究期間　2015/1/21～2020/3/31
研究課題　ポスト京のプロセッサアーキテクチャ、電力制御技術、システムソフトウェアおよび数値計算ライブラリに関する研究
受入額　12,892,000 円（2018 年度）

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　大成建設（株）
研究期間　2015/7/1～2019/3/31
研究課題　ポストペタスケールシステムを目指した二酸化炭素地中貯留シミュレーション技術の研究開発
受入額　0 円（2018 年度）

研究代表者　准教授　下川辺　隆史
相手機関名　（国研）日本原子力研究開発機構、東京工業大学
研究期間　2018/9/1～2021/3/31
研究課題　大規模流体解析のための適合細分化格子法の高度化に関する研究
受入額　0 円（2018 年度）

研究代表者　特任准教授　伊田　明弘
相手機関名　(株)富士通研究所
研究期間　2018/8/1～2019/3/31 年度
研究課題　階層化行列法のマイクロマグネティックスへの適用
受入額　1,000,000 円

研究代表者　特任准教授　伊田　明弘
相手機関名　（株）ヴァイナス
研究期間　2017/5/1～2020/3/31
研究課題　低ランク行列近似を用いた新しい反復法ソルバの開発
受入額　500,000 円（2018 年度）

2018 年度　政府系委託費受入状況

【スーパーコンピューティング研究部門】
研究代表者　センター長　田浦　健次朗
相手機関名　(一財)高度情報科学技術研究機構(文部科学省再委託)
研究期間　2018/4/1～2019/3/31
研究課題　HPCI の運営（HPCI 共用ストレージ等の運用・保守）
受入額　298,103,000 円（2018 年度）

2018 年度　奨学寄附金受入状況

【情報メディア教育研究部門】

研究代表者	准教授　品川　高廣
相手機関名	（公財）三菱財団
研究期間	2017/10/1～2018/9/30
研究課題	ビッグデータ処理のための超高速ストレージシステムの実現
受入額	500,000 円（2018 年度）

研究代表者	准教授　品川　高廣
相手機関名	（株）富士通研究所コンピューターシステム研究所
研究期間	2018/10/5～
研究課題	工学研究のため
受入額	1,000,000 円（2018 年度）

研究代表者	准教授　品川　高廣
相手機関名	（公財）栢森情報科学振興財団
研究期間	2018/11/15～2019/11/14
研究課題	仮想化環境における不揮発性メモリの最適配置
受入額	1,000,000 円（2018 年度）

PART 2

センター活動報告

学際情報科学研究体

情報セキュリティ研究体

その他

学際情報科学研究体

学際情報科学研究体概要

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点

学際情報科学研究体
概要

研究体長　柴山悦哉

学際情報科学研究体は、情報基盤センターの研究部門を横断する形で活動する組織であり、以下のようなミッションを持つ。

- 学際情報科学およびそれを支える情報基盤に関する研究
- 学際大規模情報処理に関わる人材育成のための関係教育部局と連携した教育活動
- 学際大規模情報処理に関わる学内教育・研究基盤構築
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点活動の推進
- HPCI コンソーシアムに関わる活動の推進

今年度、学際情報科学研究体に所属した教員は、次に掲げる専任の特任講師 1 名と各研究部門を本務とする 13 名の計 14 名であった。

柴山悦哉 (研究体長)	教授 (兼務; 情報メディア教育研究部門)
中島研吾 (副研究体長)	教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
工藤知宏	教授 (兼務; ネットワーク研究部門)
佐藤周行	准教授 (兼務; ネットワーク研究部門)
品川高廣	准教授 (兼務; 情報メディア教育研究部門)
下川辺隆史	准教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
関谷勇司	准教授 (兼務; ネットワーク研究部門)
塙敏博	准教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
伊田明弘	特任准教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
五十嵐亮	特任講師
中村文隆	助教 (兼務; ネットワーク研究部門)
中村遼	助教 (兼務; ネットワーク研究部門)
星野哲也	助教 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
三木洋平	助教 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)

各教員の研究成果等については、各研究部門の活動報告のページをご覧いただきたい。

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点

森重 博司　　研究支援チーム

1 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の概要

1.1 構成拠点と目的

本センターは、学校教育法施行規則（昭和二十二年文部省令第十一号）に定める共同利用・共同研究拠点として文部科学大臣の認定を受け、以下の 8 大学センターから構成される「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」の中核機関として活動を行なっている。

- 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
- 東京工業大学 学術国際情報センター
- 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

本拠点では、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を目的に、超大規模計算機資源と超大容量ストレージおよび超大容量ネットワークなどの情報基盤を集中的に連携させ、学内外の研究者による学際的な共同利用・共同研究を実施している。

1.2 共同利用・共同研究の実施概要

平成 30 年度の学際的共同研究については、過去の実績を上回る 52 件（参加研究者 385 名）の一般共同研究課題、国際共同研究課題および企業共同研究課題を実施した。このうち、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った。

研究対象は、大規模情報基盤を利用した学際的な研究を主たる対象として、超大規模数値計算系応用分野、超大規模データ処理系応用分野、超大容量ネットワーク技術分野、および超大規模情報システム関連研究分野の各研究分野について研究課題を公募し、1.3 項で述べる共同研究課題審査委員会および拠点運営委員会が厳正に審査し、採択したものに対して学際的共同研究を行った(*1)。また、これらの分野の学際的共同研究であれば、スーパーコンピュータ等を使用しない共同研究も受け入れた。さらに、審査結果に基づき、一部の課題を「HPCI-JHPCN 課題」として採択し、HPCI(*2)と共同で実施した。そのほかに、各構成拠点において公募した萌芽型共同研究について、共同研究課題審査委員会において審査・採択し、平成 31 年度以降の共同研究への発展を支援した。

学際的共同研究としては、計算科学分野と計算機科学分野の協調的相補的な研究形態などを対象とした。すなわち、計算機を利用してある分野の問題を解こうとしている研究者と計算機科学の分野でアルゴリズム、モデリング、並列処理などに関する研究を行っている研究者が協働して行う共同研究などである。なかでも、複数構成拠点の資源を活用する、あるいは異なる構成拠点に所属する複数の研究者と連携して取り組む課題を「拠点連携課題」として、また、SINET5 の L2VPN サービス

などと密に結合させ、広帯域ネットワークの利用を前提に、大量のデータ転送を伴う課題を「大規模データ・大容量ネットワーク利用課題」として、重点的に推進した。

さらに、平成 29 年度採択課題の最終研究成果報告および平成 30 年度採択課題の計画を公表する場、また、萌芽型課題のステップアップに向けたネットワーク形成の場として、参加者数 267 名のシンポジウムを 7 月に開催した。

また、文部科学省の共同利用・共同研究拠点中間評価において、総合評価として、「A:拠点としての活動は概ね順調に行われており、関連コミュニティへの貢献もあり、今後も、共同利用・共同研究拠点を通じた成果や効果が期待される。」との評価を得た。

(*1)各研究分野の研究概要は以下のとおり。

- 超大規模数値計算系応用分野: 生命科学、防災・減災、物質材料、ものづくり等の科学技術シミュレーション、および、それを支える数値解析アルゴリズム、可視化手法等
- 超大規模データ処理系応用分野: Deep Learning を用いた医用画像診断支援、大規模な強化学習技術等
- 超大容量ネットワーク技術分野: 深層機械学習によるネットワークの AI 化、大規模シミュレーションと連携した大規模可視化、財務ビッグデータ可視化と統計モデリング等
- 大規模情報システム関連研究分野: 広域分散システムにおける分散可視化やデータ転送技術等

(*2) 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。「京」と全国の大学や研究機関に設置されたスーパーコンピュータやストレージを高速ネットワーク(SINET5)で結び、多様なユーザニーズに応える革新的な共用計算環境基盤。

1.3 共同利用・共同研究の支援・推進体制

本事業の実現のために、8 大学の計算機資源、情報基盤を活用するとともに、拠点の教員・職員は学際的共同研究・萌芽型共同研究の推進、拠点運営委員会や共同研究課題審査委員会の運営に携わった。

計算機資源としては、構成拠点全体として、「京」同アーキテクチャ、ベクトル、疑似ベクトル、アカデミッククラウド、大容量共有メモリ、PC クラスタ、メニーコア、GPGPU クラスタなどの多様な資源を、安定的に提供した。また、上記の計算機資源に加えて、ストレージ、可視化システムなどの多様な資源も提供し、前述の大規模データ・大容量ネットワークを利用する研究など、広範な研究を可能とした。

また、拠点運営委員会を、拠点を構成する各大学センター長を含む内部委員とそれを上回る人数の外部委員から構成し(*3)、下記の共同研究課題審査委員会から報告された審査結果に基づく課題採択など、拠点に関する重要事項について審議した。さらに、共同研究課題審査委員会を、各構成拠点教員を含む内部委員とそれを上回る人数の外部委員から構成し(*3)、公募型共同研究課題の審査・実施等に関する審議を行い、拠点運営委員会に審査結果を報告した。

なお、共同研究で使用するスーパーコンピュータ等の計算資源の運転経費のうち一定額は、各大学の学内措置により負担した。

さらに、国立情報学研究所からは、SINET5 の L2VPN サービスの提供をうけ、「大規模データ・大容量ネットワーク利用課題」等の効果的な推進を図った。また、拠点運営委員会に、同研究所の研究者が、ネットワーク運用の立場から参加した。

(*3) 各委員会規則にて、「構成拠点の所属する大学以外の者の数は、委員総数の 2 分の 1 以上」と定めている。

2　公募型共同研究の活動

平成 30 年度の公募型共同研究の活動内容は以下のとおりである。

2.1　活動日程

国際・企業・一般共同研究課題については、以下の日程にて、研究を実施した。最終報告書については、Web ページの掲載を予定している。

平成 29 年 11 月 15 日	公募案内開始
平成 29 年 12 月 13 日	課題応募受付開始
平成 30 年 1 月 9 日	課題応募受付締切
平成 30 年 3 月 14 日	採否通知
平成 30 年 4 月 1 日	共同研究開始
平成 30 年 7 月 12、13 日	第 10 回シンポジウム
平成 31 年 3 月 31 日	共同研究終了
令和 元年 5 月 13 日	最終報告書提出

2.2　課題応募数と採択課題

国際・企業・一般共同研究課題への応募数は 70 件であった。共同研究課題審査委員会による審査を経て、拠点運営委員会にて、国際共同研究課題 3 課題、企業共同研究課題 1 課題、一般共同研究課題 48 課題の合計 52 課題（のべ 88 共同研究拠点）を採択した。参加機関数は 149 機関、参加研究者数は 385 名であった。

また萌芽型共同研究課題は 70 件を採択した。

以下に、国際・企業・一般共同研究課題、および、萌芽型共同研究課題の一覧を示す。

研究課題名の冒頭に* が付いた課題は HPCI-JHPCN 課題を表す。また、研究分野の略称は以下のとおり。

数：超大規模数値計算系応用分野、デ：超大規模データ処理系応用分野、
ネ：超大容量ネットワーク技術分野、情：超大規模情報システム関連研究分野

国際共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 （所属）	研究分野	共同研究拠点
*Hierarchical low-rank approximation methods on distributed memory and GPUs	横田理央 （東京工業大学）	数	北大、東大、東工大、京大、九大
*Innovative Multigrid Methods	中島研吾 （東京大学）	数	北大、東大、九大
*Optimisation of Fusion Plasma Turbulence Code toward Post-Petascale Era III	朝比祐一 （量子科学技術研究開発機構）	数	東工大、名大

企業共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者	研究	共同研究拠点

	（所属）	分野	
*生体高分子内・分子間における弱い相互作用の検討から触媒設計への応用	牛島知彦 （日本ゼオン株式会社）	数情	東工大

一般共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 （所属）	研究分野	共同研究拠点
*電磁流体力学乱流の高精度・高並列 LES シミュレーションコード開発研究	三浦英昭 （核融合科学研究所）	数	東大
*核融合プラズマ研究のための超並列粒子シミュレーションコード開発とその可視化	大谷寛明 （核融合科学研究所）	数	名大、京大
*エアリード楽器および音響機器における大規模音響流体解析	高橋公也 （九州工業大学）	数デ	九大
*乱流混合と内部自由度のあるマイクロ粒子巨大集団との 相互作用	後藤俊幸 （名古屋工業大学）	数	名大
*熱中症リスク評価シミュレータの開発と応用	平田晃正 （名古屋工業大学）	数	東北大
超並列宇宙プラズマ粒子シミュレーションの研究	三宅洋平 （神戸大学）	数	北大、京大
高分子材料の破壊・構造形成時の２次元散乱パターンとディープラーニング分析技術の開発	萩田克美 （防衛大学校）	情	北大、名大、阪大
中間質量ブラックホールの理解に向けた星の衝突・破壊 に関する研究	谷川衝 （東京大学）	数	東大、東工大
*高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用	中島研吾 （東京大学）	数	東大、東工大
Physiologically realistic study of subcellular calcium dynamics with nanometer resolution	中島研吾 （東京大学）	数デ	東大
High Performance Computational (HPC) Studies on Beyond the Standard Model of Particle Physics using Atoms and Molecules	DAS BHANU PRATAP （東京工業大学）	数	東工大
High-performance Randomized Matrix Computations for Big Data Analytics and Applications	片桐孝洋 （名古屋大学）	デ	東大、東工大、名大
非局所弾性理論に基づく格子欠陥力学場のアイソジオメトリック解析	垂水竜一 （大阪大学）	数	名大、阪大
Implementation of parallel sparse solver on CPU-GPU hybrid architecture	鈴木厚 （大阪大学）	数	阪大
Large scale simulation on detonation propagation in disk-shaped rotating detonation engine combustor	松尾亜紀子 （慶應義塾大学）	数	東北大
Cartesian-Based CFD/CAA Hybrid Method for Noise Prediction in Aerospace Fields	佐々木大輔 （金沢工業大学）	数	東北大、名大
*MPF 法によるトポロジー最適化を用いた負荷バランスとノード間通信低減を両立させる動的領域分割の開発	青木尊之 （東京工業大学）	数	東工大
*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	青木尊之 （東京工業大学）	数	九大
*データ同化による粒界異方性物性データベースの構築と大規模フェーズフィールド粒成長計算	高木知弘 （京都工芸繊維大学）	数	東工大
*大規模津波浸水被害推計シミュレーションのマルチプラットフォーム向け最適化手法の研究	撫佐昭裕 （東北大学）	数	東北大、阪大

*格子ボルツマン法による都市街区を対象とした物質拡散シミュレーション	小野寺直幸（日本原子力研究開発機構）	数	東工大
*高密度領域まで適用可能なモンテカルロ法の開発と有限密度２カラーQCD の相図の決定	飯田圭（高知大学）	数	京大、阪大
*時空間領域境界積分方程式法の高速解法の開発と巨大地震シミュレーションへの応用	安藤亮輔（東京大学）	数	東大
圧力発展格子ボルツマン法による大規模気液二相流 GPU コードの開発ならびに多孔体浸潤液滴シミュレーション	金田昌之（大阪府立大学）	数	東工大
*高精度・高分解能シミュレーションを用いた銀河の形成・進化史の探求	三木洋平（東京大学）	数	東大、東工大
*大規模粒子法による大型クルーズ船の浸水解析	橋本博公（神戸大学）	数	東工大
*非均質・異方性材料中を伝搬する弾性波動解析手法の開発と非破壊検査への応用	斎藤隆泰（群馬大学）	数	京大
分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS のストロングスケーラビリティ向上のための演算および通信性能最適化	安藤嘉倫（分子科学研究所）	数	東大、名大、九大
埋め込み境界法に基づく大規模混相流解析法の高度化と工学応用	高橋俊（東海大学）	数	東北大
地盤の非線形応答を考慮した地震波シミュレーション：強震動予測と震源過程解析	竹中博士（岡山大学）	数	東工大、名大
ドメインウォールフェルミオンを用いた格子ＱＣＤによる中間子質量生成機構の研究	関口宗男（国士舘大学）	数	阪大
HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム実証試験	村田健史（情報通信研究機構）	情	東北大、名大、京大、九大
大規模計算資源を援用した有翼式宇宙往還機の実用的なエアフレーム・推進統合設計	金崎雅博（首都大学東京）	数	北大、名大、九大
*格子ゲージ理論によるダークマターの研究	飯田英明（理化学研究所）	数	阪大
*端末・エッジ・クラウド連携の三位一体による「考えるネット ワーク」の研究	中尾彰宏（東京大学）	ネ	北大、東北大、東大、九大
*粒子法の基盤理論整備と大規模流体シミュレータへの展開	井元佑介（東北大学）	数	名大、九大
*高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの高度化	下川辺隆史（東京大学）	数	東大、東工大
複雑流動場における物質移行過程の解明を目指した大規模数値計算：実験計測データとの比較による数値モデルの構築	恒吉達矢（名古屋大学）	数	名大
*豪雨災害の被害予測に向けた土粒子-流体-構造の大規模連成解析の国際標準 V&V 例題の確立	浅井光輝（九州大学）	数	京大
大規模な強化学習技術の実証と応用	金子知適（東京大学）	デ	東大
*GW space-time コードの大規模な有機-金属界面への適用に向けた高効率化	柳澤将（琉球大学）	数	東北大
*堆積炭塵爆発に対する大規模連成数値解析	松尾亜紀子（慶應義塾大学）	数	東北大
*Deep Learning を用いた医用画像診断支援に関する研究	佐藤一誠（東京大学）	デ	東大

*可視化用粒子データを用いた In－Situ 可視化システムの SIMD 最適化	河村拓馬 （日本原子力研究開発機構）	ネ	東大、名大、京大
Software-Defined IT インフラストラクチャにおけるオーケストレーションに向けた資源管理システム	渡場康弘 （大阪大学）	情	阪大
*分散型プラズマアクチュエータと物体形状の統合最適設計による仮想空力形状の実現	松野隆 （鳥取大学）	数	北大、名大
Gyrokinetic simulation of divertor heat-load in magnetic fusion devices	森高外征雄 （核融合科学研究所）	数デ	東工大
財務ビッグデータの可視化と統計モデリング	地道 正行 （関西学院大学）	ネ	東大

萌芽型共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 （所属）	共同研究拠点
Multi-Scalar flamelet アプローチによる乱流燃焼シミュレーション	大島伸行 (北海道大学)	北大
アンテナ最適化技術と電波伝搬シミュレーション技術の高速化と高精度化	伊藤桂一 (秋田工業高等専門学校)	北大
環オホーツク圏の海洋鉄循環シミュレーションと次期スパコンへの移行	中村知裕 (北海道大学)	北大
最新マルチコア・メニーコア CPU 環境における行列計算プログラムの性能評価	深谷　猛 (北海道大学)	北大
学認クラウドオンデマンド構築サービスによるインタークラウド環境構築	竹房　あつ子 (国立情報学研究所)	北大
空間分割・時間分割併用型並列有限要素法による電気機器の大規模磁界解析	高橋　康人 (同志社大学)	北大
進化型最適化法と高速 CFD による高 Fidelity 空力計算に基づく汎用最適設計フレームワークの構築	金崎　雅博 (首都大学東京)	北大
リカレントニューラルネットワークによる高解像度流体解析コードの開発	松岡浩 (ＡＩコンピューティングラボ)	東北大
ベクトル型スーパーコンピュータ SX によるリアルタイム津波浸水・被害予測技術の高度化	越村俊一 (東北大学)	東北大
大規模周期構造上に置かれたアンテナの特性解析に関する基礎検討	有馬卓司 (東京農工大学)	東北大
カスケード型分子動力学シミュレーションに基づくタンパク質構造の精密化アルゴリズムの開発と応用	原田隆平 (筑波大学)	東大
深層学習による乱流燃焼モデル構築に向けた基礎解析	源勇気 (東京工業大学)	東大
Brucite のナノスケール摩擦における水平方向非一様性に関する研究	奥田花也 (東京大学)	東大
機械学習ポテンシャルを用いた金属－固体酸化物の界面構造とイオン伝導特性の大規模解析	清水康司 (東京大学)	東大

JAXA 内製 MPS 法プログラム P-Flow による大規模流体解析	宮島敬明 (理化学研究所)	東大
人物同一性を考慮した深層学習によるメディアコンテンツの変換生成	鈴木惇 (東京大学)	東大
MD 計算による血小板細胞膜蛋白とリガンド結合の立体構造および結合の力学特性の解明(loss of function 型変異体に関して)	後藤信一 (東海大学)	東大
応力テンソルを用いたクォーク間相互作用の数値解析	北澤正清 (大阪大学)	東大
溶融金属への気泡吹き込みを伴う大規模機械撹拌時の流動と微細気泡ダイナミクスの解明	山本卓也 (東北大学)	東大
日本沿岸域の高解像度潮流分布とその季節変化の解明	小平翼 (東京大学)	東大
シンクロトロン放射を取り入れた二温度磁気流体計算による 3 次元ジェット伝搬シミュレーション	大村匠 (九州大学)	東大
分子動力学計算によるアミロイド凝集様態の理論的解析	大滝大樹 (長崎大学)	東大
第一原理計算でひも解く合金が示す長周期積層欠陥構造の形成メカニズム	圓谷貴夫 (熊本大学)	東大
プラズマアクチュエータを用いた振動翼周りの流れ制御	佐藤沙耶 (豊橋技術科学大学)	東大
ADVENTURE_Magnetic による，移動体を含む回転機の大規模並列有限要素解析	杉本振一郎 (八戸工業大学)	東大
全球雲解像モデル NICAM を用いた水惑星実験による海面水温変動と熱帯の湿潤対流活動の共鳴時空間スケールの決定	末松環 (東京大学)	東大
ハイブリッドクラスタシステムにおけるタイル QR 分解のタイルサイズチューニング	高柳雅俊 (山梨大学)	東大
シェールガス資源量評価を目的としたケロジェンナノ孔隙内のメタン吸着挙動に関する分子動力学シミュレーション	曹金栄 (東京大学)	東大
シミュレーションで探る天の川銀河の運動と構造	藤井通子 (東京大学)	東大
Deep Learning を用いたタンパク質のコンタクト残基予測	福田宏幸 (東京大学)	東大
Taylor-Couette-Poiseuille 流れにおける熱伝達とトルク性能の LES 解析	藤本慶 (東京農工大学)	東大
次世代気象気候ライブラリを用いた雷の発生プロセスの解明	佐藤陽祐 (名古屋大学)	東大
Gibbsite(001)面の第一原理電子状態計算による摩擦特性の研究	奥田花也 (東京大学)	東大
AMR 法を適用したデンドライト成長シミュレーションの複数 GPU 並列化	坂根慎治 (京都工芸繊維大学)	東大
安定密度成層下での一様せん断乱流の長時間統計と壁乱流との比較	関本敦 (大阪大学)	東大

カスケード型分子動力学シミュレーションに基づくフレキシブルドッキング法の開発	原田隆平 (筑波大学)	東工大
多孔質媒体流れ解析を用いた低塩分濃度水による石油増進メカニズムの解明	蒋飛 (山口大学)	東工大
初代星形成における再結合放射の影響	田中賢 (筑波大学)	東工大
全原子分子動力学法を用いた細胞外マトリックス蛋白質の相互作用解析	飯田慎仁 (大阪大学)	東工大
バイアスポテンシャルを用いない新規な拡張アンサンブル法を用いたタンパク質相互作用の分子動力学シミュレーション	速水智教 (大阪大学)	東工大
高柔軟性，高生産性，高性能を実現する大規模メモリシステムソフトウエアの研究	緑川博子 (成蹊大学)	東工大
大規模計算機のための高次精度時空間計算手法による非定常流体シミュレーション	乙黒雄斗 (早稲田大学)	名大
粗視化分子動力学シミュレーションによる粗さをもつ固体摺動面間の潤滑油添加剤の挙動解明	張賀東 (名古屋大学)	名大
水素脆化解明に向けたマルチスケール高速計算手法の開発	劉麗君 (名古屋大学)	名大
機械撹拌操作時気泡巻き込みに対する数値解析	山本卓也 (東北大学)	京大
界面分光の分子動力学シミュレーション	城塚達也 (茨城大学)	京大
高効率有機系太陽電池の実現に向けた光機能性分子の構造と電子物性の相関解明	東野智洋 (京都大学)	京大
ウマの個体間に作用する力の解明に向けたシミュレーション	井上漱太 (京都大学)	京大
ひび割れ面の摩擦接触を考慮した損傷モデルによる鉄筋コンクリートの 3 次元破壊シミュレーション	相馬悠人 (茨城大学)	京大
N 結合型糖鎖修飾によるタンパク質の機能制御の関連性	リントゥルオト　正美 (京都府立大学)	京大
都市構造物の幾何的特徴がもたらす大気乱流の空間スケールへの影響	吉田敏哉 (京都大学)	京大
Numerical simulation of InGaSb crystal growth under micro-gravity onboard the International Space Station	Jin Xin (大阪大学)	京大
3 次元流体変数の予測	中井拳吾 (東京大学)	京大
分子動力学計算による膜貫通型ペプチドとリン脂質二重膜の相互作用ダイナミクス	最上譲二 (東北大学)	京大
日本全国の位置情報付き仮想の個票合成手法の精緻化	原田拓弥 (関西大学)	阪大
3 次元 Particle-in-cell シミュレーションによる超高強度レーザー生成プラズママイクロアンジュレータに関する研究	中村浩隆 (大阪大学)	阪大
共晶系 Sr2RuO4-Ru の 3 Kelvin 相における界面超伝導の磁場誘起カイラル転移	兼安洋乃 (兵庫県立大学)	阪大

矯正歯科治療後の三次元顔形態を予測する人工知能（AI）システムの開発	谷川千尋 (大阪大学)	阪大
リー・ヤンの零点分布から探る有限密度 QCD における相構造の研究	若山将征 (理化学研究所)	阪大
イオン液体の輸送物性における構造不均一性の役割の分子論的解明	石井良樹 (大阪大学)	阪大
沿岸域観測データを同化した広領域・高解像度計算による東京湾の流動・水質の解析	松崎義孝 (海上・港湾・航空技術研究所)	阪大
高温物質中におけるクォーク間相互作用の微視的伝達機構の解明	北澤正清 (大阪大学)	阪大
複合アニオンに起因した多軌道性と低次元性からうまれる強相関電子物性の研究	越智正之 (大阪大学)	阪大
超高強度レーザーパルスとプラズマの相互作用による時空の歪みの観測可能性	矢野将寛 (大阪大学)	阪大
多様な星形成環境における連星形成可能性	樋口公紀 (九州大学)	阪大
相対論的 Vlasov–Fokker–Planck–Maxwell 系に対する電荷・運動量・エネルギー完全保存スキームの開発と実証実験	白戸高志 (大阪大学)	阪大
全電子混合基底第一原理計算法を活用したネットワーク型エネルギー絶対値算定マテリアルズ・インフォマティクス	川添良幸 (東北大学)	九大
GPGPU を用いた格子ボルツマン法による大規模流体音数値解析	小林泰三 (帝京大学)	九大
グラディエント・フローによる量子色力学の状態方程式	鈴木博 (九州大学)	九大
GPU クラスタに適したコンパクト差分の計算アルゴリズムの開発	出川 智啓 (名古屋大学)	九大

2.3 拠点シンポジウム

平成 30 年度は、第 10 回シンポジウムを開催した。シンポジウムでは、以下の研究報告・研究紹介を行った。

・平成 29 年度採択国際・企業・一般課題の最終報告（口頭発表 46 件）
・平成 30 年度採択国際・企業・一般課題の研究紹介（ポスター発表 52 件）
・平成 29 年度採択萌芽型課題（一部）の成果報告（ポスター発表 8 件）
・平成 30 年度採択萌芽型課題（一部）の研究紹介（ポスター発表 32 件）

シンポジウムで公開された、平成 30 年度採択国際・企業・一般課題の研究紹介ポスター、平成 29 年度採択萌芽型課題の成果報告ポスター、および平成 30 年度採択萌芽型課題の研究紹介ポスターは、資料集および Web ページにて公開している。また、平成 29 年度採択国際・企業・一般課題の最終報告書を Web ページに公開している。

なお、開催後には、文教速報、文教ニュース、学内広報に開催報告の記事を掲載している。

開催日時: 平成 30 年 7 月 12 日(木)、13 日(金)
開催場所: THE GRAND HALL(品川)

参加者数： 267 名（大学 183 名、研究機関等 37 名、企業他 47 名）
案内 URL： https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/sympo/10th/

3 拠点関連委員会の活動

拠点運営委員会と共同研究課題審査委員会では、下記の活動が行われた。各々の委員会活動は、構成拠点の教員から構成されるワーキンググループによっても推進された。

3.1 拠点運営委員会

拠点運営委員会は、総数 24 名（内部委員 11 名、外部委員 13 名）の委員から構成される（平成 31 年 3 月 31 日現在）。
本委員会では、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の長の諮問に応じて、当拠点の組織や予算に関する事項、共同利用・共同研究の実施や課題に関する事項などを、以下の会議、および、メールにて、審議した。

第 26 回 平成 30 年 7 月 12 日（於：品川 THE GRAND HALL）
出席委員：14 名

第 27 回 平成 30 年 11 月 7 日（於：東北大学サイバーサイエンスセンター）
出席委員：15 名

第 28 回 平成 31 年 2 月 8 日（於：東京大学情報基盤センター）
出席委員：20 名

3.2 共同研究課題審査委員会

共同研究課題審査委員会は、総数 21 名（内部委員 9 名、外部委員 12 名）の委員から構成される（平成 31 年 3 月 31 日現在）。
本委員会では、公募した共同研究について、応募共同研究課題の審査に関する事項、共同研究課題の実施や評価に関する事項などを、以下の会議、および、メールにて、審議した。

第 20 回 平成 30 年 7 月 13 日（於：品川 THE GRAND HALL）
出席委員：16 名

第 21 回 平成 31 年 2 月 8 日（於：東京大学情報基盤センター）
出席委員：20 名

4　拠点活動に関するその他の取り組み

4.1　経費助成

国際・企業・一般課題として採択した課題に対する支援の一環として、国際会議の発表旅費、および論文掲載料に対して、「経費助成」を実施した。助成実績は、以下のとおり。

申込み件数:6 件、 採択件数:6 件（発表旅費 4 件、論文掲載料 2 件）

4.2　国際共同研究課題への旅費助成

国際共同研究課題として採択した課題について、海外の研究者との打ち合わせに対して、「旅費助成」を実施した。助成実績は、以下のとおり。

申込み件数:2 件、 採択件数:2 件

4.3　協賛・共催イベント

平成 30 年度は、以下のシンポジウムを協賛・共催した。

- SINET アイディアソン
  平成 30 年 6 月 22 日（金）（於:国立情報学研究所）
  主催:国立情報学研究所

- 東京大学計算科学アライアンス　国際シンポジウム(RECS2018)
  平成 30 年 9 月 20 日（木）～21 日（金）（於:東京大学）
  主催:東京大学計算科学アライアンス

- 第 39 回 ASE 研究会「Ode to Multigrid II」
  平成 31 年 1 月 8 日（火）（於:東京大学）
  主催:東京大学情報基盤センター

- サイバーHPC シンポジウム
  平成 31 年 3 月 8 日（金）（於:大阪大学サイバーメディアセンター）
  主催:大阪大学サイバーメディアセンター

- 第 29 回 Workshop on Sustained Simulation Performance(WSSP)
  平成 31 年 3 月 19 日（火）～3 月 20 日（水）（於:東北大学サイバーサイエンスセンター）
  主催:東北大学

そのほか、スーパーコンピュータ技術に関するトップカンファレンスである ISC 2018 および SC18 では、東京大学情報基盤センターの展示ブースにおいて本拠点のポスター掲示、パンフレットの配布等を行った。

情報セキュリティ研究体

情報セキュリティ研究体概要

情報セキュリティ研究体における実践的セキュリティ教育の検討

情報セキュリティ研究体
概要

研究体長　工藤知宏

2018 年 10 月 1 日に、東京大学のネットワークの運用によって得られた知見をもとに、実践的なサイバーセキュリティの研究活動を行うことを目的とし、情報基盤センターに情報セキュリティ研究体を設置した。研究体は、情報基盤センターでこれまで開発してきたトラフィックの異常検知技術や、サイバー脅威に対して回復性のある多層防御技術を基に、サイバー攻撃の予兆を検知しシステム運用での早期警戒に役立てる研究に取り組む。

今年度、情報セキュリティ研究体に所属したのは、以下に示すように、情報基盤センターを本務とする教員 6 名と情報理工学系研究科を本務とする教員 2 名であった。

工藤 知宏　教授 (ネットワーク研究部門)
中村 宏　　教授 (情報理工学系研究科　システム情報学専攻/情報セキュリティ教育研究センター長)
中山 雅哉　准教授 (ネットワーク研究部門)
関谷 勇司　准教授 (ネットワーク研究部門)
佐藤 周行　准教授 (ネットワーク研究部門)
宮本 大輔　准教授 (情報理工学系研究科　情報理工学教育研究センター)
中村 文隆　助教 (ネットワーク研究部門)
岡田 和也　助教 (情報メディア研究部門)

また、2019 年 2 月 1 日に、情報理工学系研究科を責任部局とする連携研究機構として、情報セキュリティ教育研究センターが設立された。情報基盤センターでは、情報セキュリティ研究体を中心に、同センターの活動に参加している。

2018 年度は、セキュリティ人材育成のための教育の方向性について議論を行った。

情報セキュリティ研究体における実践的セキュリティ教育の検討

宮本　大輔

1　セキュリティ人材育成について

1.1　セキュリティ分野

セキュリティ人材の育成にあたり、セキュリティ分野の研究領域について調査を行った。調査の対象となったのは、日本国内で行われる著名なセキュリティ学会である CSS 及び SCIS、海外の ACM CCS などの主要カンファレンスである。システムを標的としたサイバーセキュリティ分野に共通してみられるテーマは Web セキュリティ、ネットワークセキュリティ、IoT セキュリティ、スマートフォンなどのセキュリティ、機械学習（敵対的学習及び匿名化の解析も機械学習に含まれる）であった。また、自動車のセキュリティ、ブロックチェーン、ログ・侵入検知、フォレンジクス、マルウェア解析、システム脆弱性分析、プロトコル脆弱性分析、フォーマルメソッド、情報フロー制御、ユーザブルセキュリティ、暗号についても主要な研究テーマではないかと位置付けることができる。

またフランスではサイバーセキュリティの研究分野と、どの分野に人材の過不足があるのかといった調査が、Cartgraphy（地図製作）という名称で大学や研究機関において行われている。Cartgraphy では、暗号、フォーマルメソッド、セキュリティサービス、侵入・異常検知、ハードウェアセキュリティ、システムセキュリティ、ネットワークセキュリティ、データベースセキュリティ及びプライバシー、ソフトウェアセキュリティ、セキュリティ及びプライバシーに関する人的・社会的・道徳的側面、フォレンジクスが 11 種類の主なテーマとして説明されている [1]。

情報セキュリティ研究体では研究領域の区分を進めており、現状の案は表 1 の通りである。

1.2　セキュリティ人材像

情報セキュリティ研究体では、JNSA の SekBoK2019 及び SekBok2019 が参考にしている「情報学を専門とする学科対象の教育カリキュラム標準の策定及び提言（J17）」のサイバーセキュリティ分野、文部科学省の「平成 19 年度先導的 IT スペシャリスト人材育成推進プログラム」（IT Keys）、SecCap（enPiT-Security), enPiT Pro Security, 情報通信研究機構の CYDER、サイバーコロッセオ、SecHack365、情報処理推進機構の産業サイバーセキュリティ中核人材育成プログラム、CIO/CISO 向け短期研修プログラムを参考に、文系を含む学部生・大学院生及び社会人を対象とした実践的人材育成に必要な人材像・持つべき能力について議論を進めている。現状は以下の通りである。

セキュリティ技術: ハードウェア、ソフトウェア、ネットワークシステムなどのシステムを動作原理から深く理解しており、システムをセキュアに設計・開発することができ、システムの運用時にはサイバー脅威を分析し、効果的な対策を行う技術的な能力が必要である。

リスク分析: 組織のルールやポリシー設計、サプライチェーン管理を実施するためのサイバーリスク分析を行い、かつリスクの回避・受容といった施策を経営層に提案できる能力が必要である。

[1] https://www.allistene.fr/files/2018/03/VF_cartographie_2017-06-13.pdf

表 1: 研究体におけるセキュリティ研究領域の区分 (案)

研究体の区分	学会的分類	Cartgraphy
暗号	暗号 ブロックチェーン	Cryptology design
認証	認証・個人識別	Security Services
ハードウェア	ハードウェア 偽造防止技術	Security in Hardware
ソフトウェア	Web セキュリティ フォーマルメソッド	System Security Software and Applications Security Formal Verification
ネットワーク	ネットワーク分析・攻撃検知	Network Security
データ	機械学習 ブロックチェーン	Database and storage Security
インシデント対応	脆弱性分析 フォレンジック	Intrusion/anomaly detection and malware Forensic
人文科学的側面	ユーザブルセキュリティ	Human, societal and ethical aspects

マネジメント能力: 必要なリソースをサイバーセキュリティに適宜配分をするための技術と、リスク分析を理解しトップマネジメントを行う能力が必要である。

その他

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）

データ活用型社会創成プラットフォーム計画について

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)

塙 敏博　下川辺 隆史　星野 哲也　三木 洋平

研究支援チーム　　スーパーコンピューティングチーム

1 HPCI

HPCI 構築事業は、我が国の科学技術振興の中心となり、世界最高水準の成果創出と成果の社会還元を推進する研究開発基盤を整備するものである。本センターもシステム構成機関として各種システムの構成、運用体制の検討を行ってきており、2012 年 9 月 28 日より運用を開始した。本環境は、シングルサインオンを実現するユーザ認証システムと各計算機資源から利用可能な共用ストレージシステムを持ち、これらと、各システム構成機関を高速接続する学術情報ネットワーク(SINET)により、シームレスな連携環境を実現している。2016 年 4 月からは、従来の SINET4 に代わり、SINET5 による 100G bps の拠点間フルメッシュ接続に切り替わった。ストレージ機材更新を経て，2017 年 4 月からは第 2 期の運用を実施中である（5 年間の計画のうち本年度は 2 年目）。また、これまで長期間運用し老朽化したストレージシステム機材の更新を実施中である。

2 情報基盤センターから提供する資源と運用報告

東京大学情報基盤センターの資源は、本学本郷地区キャンパスと柏キャンパスに分散して配置されている。

2.1 計算資源

本年度の運用結果を以下に示す。以下について、スペック表に関しては各システムのノード単体性能である。

2.1.1 本郷地区キャンパス・Reedbush-U 計 59.2 ノード, Reedbush-H 計 0 ノード, Reedbush-L 計 0 ノード

スペック表

	Reedbush-U	Reedbush-H	Reedbush-L
ベンダ	HPE		
CPU	Intel Xeon E5-2695v4 (2.1 GHz, 36 cores)		
Memory	256 GB		
Network	InfiniBand EDR	InfiniBand FDR x 2	InfiniBand EDR x 2
GPU	なし	NVIDIA Tesla P100 x 2 (NVLink 接続)	NVIDIA Tesla P100 x 4 (NVLink 接続)

利用量

利用時間	325,572.56 ノード時間	0 ノード時間	0 ノード時間
ストレージ使用量	5,539 GB	0 GB	0 GB
採択課題数	4 件	0 件	0 件

2.1.2 柏地区キャンパス・Oakforest-PACS (JCAHPC として筑波大と共同で資源提供) 計 1600 ノード

スペック表

ベンダ	富士通
CPU	Intel Xeon Phi 7250 (1.4 GHz, 68 cores)
Memory	96 GB + 16 GB (MCDRAM)
Network	OmniPath Architecture

利用量

利用時間	12,776,602.04 ノード時間
ストレージ使用量	578,531 GB
採択課題数	13 件

2.2 ストレージ資源

前節に加え、HPCI を構成する各拠点から参照可能な大規模共用ストレージのサービスを、理化学研究所計算科学研究機構（西拠点）と共同で提供している。本センターが管理するストレージは柏キャンパス（東拠点）に配置されている。

ストレージは、東・西拠点を大規模広域ファイルシステム gfarm を用いてまとめている。gfarm は広域に存在する計算資源から効率よくファイルを共有するシステムで、必要に応じて、自動的にファイルの複製を行いながら東西の資源を統合している。これにより、各拠点からのファイル転送速度の向上や、耐故障性が実現されている。

平成 30 年度は、ネットワーク構成を変更し、SINET5 に対して 100 Gbps 直結を実現するとともに、IP アドレスとドメイン名の変更(cspp.cc.u-tokyo.ac.jp から hpci.itc.u-tokyo.ac.jp)、HPCI ストレージ構成機材の接続冗長化を実施した。また、すでに運用に供している 42.5 PB に加えて 3.1 PB のディスク増設を実施した。また、ログイン・保守用サーバの更新を実施した。

共用ストレージシステム	42.5 PB (合計：90 PB 以上、ユーザ利用 40 PB 以上)
（増設後）	45.6 PB (合計：92 PB 以上、ユーザ利用 45 PB 以上)
採択課題数	47 件
総利用量（東西）	33.429 PB、ファイル利用量 7.864 PB (四重化運用)

3 平成 31 年度の資源提供について

来年度、当センターとして、Reedbush スーパーコンピュータシステム (Reedbush-U, Reedbush-H, Reedbush-L)の資源提供をする予定である。それに加えて、平成 31 年度に導入予定の Oakbridge-CX の資源提供も 10 月から行う予定である。また、最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)として筑波大学計算科学研究センターと共同で、Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムの資源提供を引き続き実施する。

一方、共用ストレージ東拠点としては、45.0 PB の資源提供を行う予定である。また、引き続きハードディスク増設によるストレージ容量追加も計画している。

以下の表は，HPCI 課題募集におけるハードウェア資源一覧から当センター、JCAHPC、共用ストレージ東拠点が提供する資源を抜粋したものである。（共用ストレージについては東・西拠点完全二重化を実施しており、ユーザ提供容量と等価である。）

Reedbush-U	計算ノード 60 ノード(72.58 TFLOPS), ストレージ 60 TB
Reedbush-H	計算ノード 30 ノード(354.29 TFLOPS), ストレージ 120 TB
Reedbush-L	計算ノード 16 ノード(358.55 TFLOPS), ストレージ 64 TB
Oakbridge-CX	計算ノード 200 ノード
Oakforest-PACS (JCAHPC)	計算ノード 3,300 ノード(10,053 TFLOPS), ストレージ 3,300 TB ※ポスト「京」重点課題、萌芽的課題への提供分を含む
共用ストレージ	ディスクストレージ 45.0 PB

データ活用型社会創成プラットフォーム計画について

情報基盤センター長　田浦健次朗

1　概要

データ活用型社会創成プラットフォーム(以下データプラットフォーム)計画は、データ中心的な研究分野や、データ解析・データ科学的手法への期待が高い分野のための情報基盤を提供するとともに、研究分野間や産学間の連携を促進することを目指す計画である。

東京大学は、国立情報学研究所との綿密な連携の元、2018 年初頭から構想を始め、本学内の多くの部局、全国の大学との連携・協力関係を築きつつある。本学では、本部直轄の、「未来社会協創推進本部」の下に、「データプラットフォーム推進タスクフォース(座長:相原博昭 副学長)」が設置され、全学的な推進体制が敷かれている。

その中にあって情報基盤センターは、情報基盤の設計で中心的役割を果たすと共に、学内の情報系部局と、人文社会を含む非情報系の多くの部局との連携・協力の推進、全国の大学や研究所と連携した全国的な運営、研究コミュニティ作りなどの役割を果たしていく。

2　背景: データ中心科学やデータ活用を取り巻く状況

様々な研究分野で、データが研究における重要な資産となっている。

背景には、(1)データが大量に取得・利用可能になったこと、(2)大量のデータからの高次な情報抽出が、特に機械学習技術の進展により汎用的かつ高精度に行えるようになったこと、の相乗効果がある。さらに、(3)研究成果が少数の法則の発見ではなく大量のデータそのものである、という分野、(4)従来の物理法則の忠実なシミュレーション(演繹的な計算)と、大量のデータから計算結果を推論する手法の相乗効果、(5)オープンサイエンスという考え方の元、論文だけでなくデータそのものも成果として共有する考え方の浸透、などが一体となって現在の潮流が作られている。

ウェブページやソーシャルネットワークなどのテキスト・画像データが容易に利用可能になったのは二昔ほど前のことである。また、地球科学分野などで全国的、地球的規模でデータを蓄積することは古くから行われている。それらに加え、かつてはユビキタス、現在は IoT と呼ばれている、センサネットワークからの観測データが用途に応じて取得可能になったこと、主に行政データなどの公のデータが公開されるようになったことなどから、さらに様々なデータが利用可能になっている。そして、深層学習を代表としたデータ解析技術との相乗効果で、データの価値が二重に高まっている。二重という意味は、機械学習によってデータから高水準な、解釈可能な情報を得るのが容易になったということ、データが機械学習の訓練データとして使われる

ため、質の高い大量のデータが機械学習の結果を高める、ということである。また、ヒトゲノムプロジェクト、ヒューマン・ブレイン・プロジェクト、ヒト細胞アトラスなどに代表されるように、複雑な系を対象にして、少数の法則に還元されることを目指すのではなく(もとよりそれが期待できないので)、結果をデータとして蓄積・アウトプットすること自身が目標となる分野が生まれている。さらに、従来物理法則を忠実に、高性能に再現することで、より解像度が高く、より長期に渡るシミュレーションを可能にしてきた分野(分子シミュレーションや気象シミュレーションなど)で、シミュレーション結果を学習データとして計算結果を予測する手法が発展し、従来の計算科学的手法とデータ科学的手法の相乗効果が起きている。

3 計画の骨子

データ活用型社会創成プラットフォーム計画は、これらの潮流に基づき、広くは大学・研究機関、その中で情報系研究者、さらにその中で情報基盤センターのような機関が何をすべきかを考えて生まれた。本計画は以下を具体的なアクションとしている。

1 情報基盤の設計と提供
2 全国的研究コミュニティの創出
3 将来像としての、大学間が有機的に連携した産・地域との連携

3.1 情報基盤の設計と提供　大学・研究機関が連携して新しい情報基盤を作る意義

まずは情報基盤の設計と提供について述べる。情報基盤センターはこれまで、全国共同利用設備としてスーパーコンピュータの導入、運用を長年に渡って行っている。また、7 大学(北大、東北大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九大)と共に、共同利用・共同研究拠点(学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点:JHPCN)として活動し、全国の研究者(一部海外を含む)と共同研究を実施している。その共同研究実施のために、大学のスーパーコンピュータを始めとした設備を全国の研究コミュニティに提供している。

データプラットフォーム計画でも、主旨としては同様の、全国共同利用される情報基盤(固有名称は未定だが本稿ではデータプラットフォームと呼ぶ)を提供する。2020 年度内に稼働する予定である。データプラットフォーム稼働前に、同主旨のパイロットプログラムを開始することも計画している。

設備としてのデータプラットフォームは以下を特徴とする。

3.1.1 セキュア、大容量ストレージと高性能な計算基盤の提供

データ活用型研究を進めるに当たって、しばしば障壁となるのがデータのセキュリティである。セキュアなストレージと言っても広範な意味がある。外部からの侵入などに対して高いセキュリティレベルの運用が出来ているか、そのための責任の所在が明確になっているか、という

運用体制の問題; 個人情報を含むデータの取り扱い、特に民間クラウドを利用した際にデータが国境を越えることに対する懸念; ユーザ間・グループ間のストレージ・通信の隔離がOS、ファイルシステムレベルではなくより下位レイヤ(仮想マシン・コンテナなど)で行われているかという、データ隔離のレベル; データの暗号化がどのように行われているか、どのレイヤで行われているか; ストレージの物理的なセキュリティ(サーバ室への入退室管理やケージなど)が確保されているか; など多数の軸が存在する。データプラットフォームでは従来のスーパーコンピュータ運用時同様のしっかりとした体制に加え、OS・ファイルシステムよりも下のレイヤでストレージやネットワークの隔離を行うことで、プロジェクトごとに個人情報や機密性の高いデータを格納する際の懸念を払拭(軽減)できるようにする。

3.1.2 広域データ収集ネットワークと連携した情報基盤の提供

現在、国立情報学研究所(NII)で各都道府県を 100Gbps 以上の帯域で接続した学術ネットワーク SINET 5 に加え、SINET 5 に接続したモバイル網を「SINET 広域データ収集基盤」として提供している(https://www.sinet.ad.jp/wadci)。これは、各プロジェクトごとに、モバイル仮想閉域網(Mobile Virtual Private Network; Mobile VPN)を提供し、その VPN をクラウドなど計算基盤まで延伸することを可能にしたものである。データプラットフォームもこの広域データ収集ネットワークと連携し、日本全国からのデータの収集から蓄積・処理までをプロジェクトごとに閉じたセキュアな環境で行うことを可能にする。

3.1.3 「プラットフォームのためのプラットフォーム」の提供

データプラットフォームはこれまでのスーパーコンピュータとは大きく異なる分野、異なる利用形態での利用が想定される。スーパーコンピュータは主に大規模な並列計算を高性能に行うためのものである。もちろんスーパーコンピュータはデータ処理性能も優れており、大規模データ処理や深層学習にも適している。そのレベルで計算機の構成を抜本的に変える必然性はないのだが、これまでの運用方法ではサポートできない利用形態も存在する。一つの形態は「プラットフォームのプラットフォーム」、メタプラットフォームとでも言うべき利用形態である。それは、データプラットフォームの「ユーザ」とは、単にデータ処理をするための計算資源としてプラットフォームを使うにとどまらず、分野のデータレポジトリを整備しそれを分野研究者に公開する、「プラットフォーム構築」をするユーザであり得るということである。このようなユーザをサポートするには、これまでのスーパーコンピュータの設計・運用とは異なる要素を取り入れる必要がある。外部ネットワークへの接続、恒久的な資源の割当て、分野プラットフォーム構築のために柔軟にシステムソフトウェアを構成できることが必要で、それと合わせて大規模機械学習処理やデータ同化シミュレーションなどのために、高性能な計算資源と連携できる必要がある。また、分野データプラットフォームとしての利用のためにはこれまでの単年度ごとの申請よりも永続性を持った利用形態にする必要があるし、そもそも何に対して負担金を課すのかという点も検討の余地がある(貴重なデータを共有するインセンティブ

を作るためには、使用ストレージ容量での課金に再考の余地がある)。データプラットフォームは、VPN 構築や仮想化・コンテナなどの技術を組み合わせて、ユーザにカスタマイズ可能なプラットフォームを提供しつつ、運用面の検討を行ってこのような利用モデルをサポートできるようにする。

3.2 全国的研究コミュニティの創出

データプラットフォームを構築し、研究者に提供する目的は、それを通じて分野を介した共同研究や産学連携を促進することにある。前述したとおり情報基盤センターは JHPCN という全国共同利用・共同研究拠点を全国 7 大学の基盤センター等と共に運営している。共同研究の対象分野は多岐に渡っているがやはり大規模なスーパーコンピュータを用いた計算科学やその萌芽的な研究が中心である。その意義は、単に計算機を提供しているということではなく、計算科学の様々な分野の研究者が、情報学・高性能計算の研究者と、または異なる分野間で交流できることにある。シミュレーションの対象が違っても基づく物理・支配方程式が共通であったり(例: 流体)、支配方程式が違っても共通の計算手法(例: 格子法や粒子法)を使うことはしばしば生ずる上、計算手法を高性能に実装する際の知見も分野間で共通部分が大きい。スーパーコンピュータと高性能な計算手法、高性能システムの専門家を配した拠点には極めて大きな意義がある。

データ中心的な分野、データ活用が期待される分野についてもそのような研究コミュニティの創出が、目指すべきものである。その研究コミュニティのあり方は、精神はこれまで JHPCN が育んできたものと共通でありながら、カバーする範囲や分野間連携の生まれ方が、より広範で、多種多様なものになると期待する。これまで、計算手法や高性能計算のための手法を中心に生まれていた交流が、生データ、curate されたデータ、データ分析手法や機械学習で得られたモデルの共有などを通じた、より幅広いものになることを期待している。もちろんこれまでどおりのシステム・高性能計算の手法を軸とした交流も行われるだろう。特に広域ネットワーク、大規模データ処理や高性能ストレージに関する課題などが分野横断的に議論され、発展することが期待できる。それらの分野を支えるのに必要な情報学の専門性も、これまで情報基盤センターがカバーしてきた、主には計算科学分野とシステムソフトウェア分野だけではカバーしきれない広さが必要になる。したがってこれまでのような、情報基盤センターの専門家と情報系以外の分野の専門家の学際的交流というにとどまらず、機械学習、AI、データ工学分野はもちろんのこと、情報学と他分野の境界的領域の専門家など、情報系の広い分野と、情報系以外の分野専門家との交流が必要になる。

このような交流がどのようにしたら生まれ、持続的に発展するか? 色々な困難が山積しており、試行錯誤が必要であろう。対象となり得る分野が多岐にわたりすぎている上、一部の分野はそれ自体が重厚なディシプリンで、情報や計算機システムの専門性というだけで有益な協力が困難な、いわゆる(情報系の研究者から見たときの)敷居が高い分野も多く存在する。しかしながら昨今のデータ科学や AI への期待を引き合いに出すまでもなく、情報科学的手法と他

分野との協働は多くの分野から強く求められているところであり、また情報を専門とする研究者もそれを求めている。特に、情報技術やデータ科学的手法の重要性を認識しつつも、実践に移すに当たって必要な情報の専門家が近くにいない、という声も、これまでデータプラットフォーム構想について説明している中で多々聞かれるところである。様々な困難を克服した際に得られるものは大きく、また、JHPCN という共同利用・共同研究拠点が培ってきた大学間のネットワークやその運営に関する経験を生かす余地が大いにあると感じている。

3.3 将来像: 大学間が有機的に連携した産・地域との連携体制

本年報の「巻頭言」でも紹介した、豊田長康「科学立国の危機」という本には、研究成果の主たる形である論文の出版数と、GDP との相関が強いことが示されている。大学の研究はそもそも直接的に GDP への貢献を目指して行わているわけではないものも多く存在するが、それでも大学が行う知の追究・人材育成の結果が GDP へプラスに働くことは、研究に携わっている人であれば当然だと感じることであろう。今後大学にはますます、地域創生や産業への貢献、大学外の人も対象とした人材育成などを意識した活動が求められる中、データ科学や AI の専門家を多く擁する大学が果たす役割は大きい。一方で大学は財源の多様化という言葉で、運営費やポストの削減圧力に常にさらされている。もちろんその圧力は本学よりも、より規模の小さい大学において更に強く感じられている。

上述したようなデータ科学的手法、データそのもの、データ処理基盤などを通じて結びついた研究者コミュニティが、大学間で連携して、産業界・地域へ大きく開かれた窓口となることが、本プラットフォームの大きな目標である。

PART 3

各研究部門

研究活動報告

情報メディア教育研究部門

データ科学研究部門
（旧学術情報研究部門）

ネットワーク研究部門

スーパーコンピューティング研究部門

学際情報科学研究体

情報セキュリティ研究体

情報メディア教育研究部門

情報メディア研究部門概要

柴山 悦哉
情報システムの信頼性と安全性に関する研究

田中 哲朗
ゲームプログラミングに関する研究

品川 高廣
仮想化技術とオペレーティングシステムの研究

関谷 貴之
計算機科学関連カリキュラムの分析

岡田　和也
機械学習を利用した悪性パケット分類に関する研究・次世代ITインフラアーキテクト育成

情報メディア教育研究部門
概要

部門長　柴山悦哉

情報メディア教育研究部門では、今年度、教授 1 名、准教授 2 名、助教 2 名が在籍し、以下にあげるような研究を行った。

情報システムの構成や開発に関連した研究: 本研究部門が企画、設計、調達、構築、運用などに関与する教育用計算機システムなどは、我が国の教育機関が管理運用するエンドユーザ向けの情報基盤として最大級の規模と複雑度を有する。そのため、既存のノウハウだけに頼っていては、安定的かつ効率的な運用は不可能であり、研究として解決すべき課題も多い。そこで、情報基盤を開発・運用するための技術に関連した研究を行っている。今年度は次のような研究と成果発表を行った。

- 情報システムの安全目標の検討 (柴山)
- プログラム理解支援に関する研究 (柴山)
- 仮想マシンモニタによるハードウェア抽象化レイヤ (品川)
- ファイルサーバの高速なマイグレーション (品川)
- 仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーション (品川)
- 仮想マシンモニタによる DDoS 攻撃防止のためのパケットフィルタリング (品川)
- 仮想マシンモニタによる仮想マシンモニタのデバイスドライバの堅牢性検査 (品川)
- 機械学習を利用した悪性パケット分類に関する研究 (岡田)

情報メディアの使い勝手の向上と教育支援に関連した研究: 本研究部門は、教育用計算機システム、メールホスティングサービス、学習管理システム (ITC-LMS) など合計では 5 万人以上のエンドユーザを対象に情報基盤を提供している。そのため、システムのユーザビリティの向上、情報メディアに容易にアクセスするための支援、情報技術を用いた教育の支援は重要な課題であり、これに関連した研究開発も行っている。今年度は次のような研究と成果発表を行った。

- 計算機科学関連カリキュラムの分析 (関谷)

その他の研究: 今年度は、コンピュータゲームでの探索に関する次のような研究と成果発表を行った。

- 決定的なデジタルカーリングの戦略 (田中)

情報メディア教育研究部門 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Etsuya Shibayama: An Overview of Big Data Research Programs in Japan and Collaborative Activities with the US, 2018 Joint PI Meeting: NSF BIGDATA and Big Data Hubs & Spokes, 2018.

受賞関連

[受賞 1] Best Paper Award (1 out of 18 accepted papers). Masanori Misono, Masahiro Ogino, Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa. FaultVisor2: Testing Hypervisor Device Drivers against Real Hardware Failures. In Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (IEEE CloudCom 2018), Dec 2018. Acceptance Ratio: 19.8%.

著書／編集

[著書 1] 五島 正裕 (監修, 翻訳), 河野 健二 (監修, 翻訳), 南出 靖彦 (監修, 翻訳), 藤原 一毅 (翻訳), 鯉渕 道紘 (翻訳), 近藤 正章 (翻訳), 津邑 公暁 (翻訳), 塩谷 亮太 (翻訳), 吉瀬 謙二 (翻訳), 木村 啓二 (翻訳), 入江 英嗣 (翻訳), 三輪 忍 (翻訳), 千代 英一郎 (翻訳), 鈴木 貢 (翻訳), 光来 健一 (翻訳), 品川 高廣 (翻訳). コンピュータ・システム. 丸善出版, 2019 年 2 月.

査読付論文

[査読付 1] Izuru Kume, Etsuya Shibayama, Masahide Nakamura, and Naoya Nitta: Cutting Java Expressions into Lines for Detecting their Evaluation at Runtime, International Conference on Software and Services Engineering, 2019.

[査読付 2] Iori Yoneji, Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa and Kazuhiko Kato. Unified Hardware Abstraction Layer with Device Masquerade. In Proceedings of the 33rd ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2018), Apr 2018. doi:10.1145/3167132.3167250

[査読付 3] Keiichi Matsuzawa, Mitsuo Hayasaka, Takahiro Shinagawa. The Quick Migration of File Servers. In Proceedings of the 11th ACM International Systems and Storage Conference (ACM SYSTOR 2018), Jun 2018. doi:10.1145/3211890.3211894

[査読付 4] Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Live Migration in Bare-metal Clouds. IEEE Transactions on Cloud Computing, Jul 2018. doi:10.1109/TCC.2018.2848981

[査読付 5] Masanori Misono, Kaito Yoshida, Juho Hwang, Takahiro Shinagawa. Distributed Denial of Service Attack Prevention at Source Machines. In Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (IEEE DASC 2018), Aug 2018. doi:10.1109/DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTec.2018.00096

[査読付 6] Masanori Misono, Masahiro Ogino, Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa. FaultVisor2: Testing Hypervisor Device Drivers against Real Hardware Failures. In Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (IEEE CloudCom 2018), Dec 2018. Acceptance Ratio: 19.8%. Best Paper Award. doi:10.1109/CloudCom2018.2018.00048

[査読付 7] Yoshitatsu Matsuda, Takayuki Sekiya, Kazunori Yamaguchi: Curriculum Analysis of Computer Science Departments by Simplified, Supervised LDA, Journal of Information Processing (JIP), Volume 26, Jun. 2018.

[査読付 8] 阿部 博, 島 慶一, 宮本 大輔, 関谷 勇司, 石原 知洋, 岡田 和也, 中村 遼, 松浦 知史, 篠田 陽一, 「時間軸検索に最適化したスケールアウト可能な高速ログ検索エンジンの実現と評価」, 情報処理学会論文誌, 60 巻 3 号, pp.728-737, 2019 年 3 月.

その他の発表論文

[発表 1] 柴山悦哉: 情報分野の安全目標, 安全工学シンポジウム, OS-10-5, 2018.

[発表 2] 柴山悦哉: 安全目標の考え方: 情報システムの場合, エネルギーレビュー, pp. 18-19, Vol. 38, No. 7, 2018.

[発表 3] 柴山悦哉, 緒方広明, 中野裕司: OSS を活用した学習履歴の取得・保存と学習分析 (LA) への応用, 大学 ICT 推進協議会年次大会，TG1, 2018.

[発表 4] 久米出、新田直也、柴山悦哉、中村匡秀: Java デバッガによる式の監視機能の必要性と実現に関して, ウィンターワークショップ 2019・イン・福島飯坂, 2019.

[発表 5] 乾健太郎, 楠見孝, 柴山悦哉, 西田眞也, 藤村宣之, 前田香織, 松下佳代, 宮地充子: パネル討論「教育データの利活用について考える」, ラーニングアナリティクスによるエビデンスに基づく教育に関する国際シンポジウム, 2019.

[発表 6] 荻野 将拓, 味曽野 雅史, 深井 貴明, 品川 高廣．ハードウェア障害に対するハイパーバイザの対故障性検証．第 143 回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会．情報処理学会研究報告，第 2018-OS-143 巻，情報処理学会，2018 年 5 月.

[発表 7] 林 遼, 味曽野 雅史, 品川 高廣．ホストマシンの NUMA トポロジーに基づく vCPU スケジューリング．第 30 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2018)，東京，2018 年 11 月．ポスター発表.

[発表 8] 鈴木 悠希, 味曽野 雅史, 中山 智之, 品川 高廣．JIT コンパイラに対する 1 バイト定数攻撃とその防御手法．第 30 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2018)，東京，2018 年 11 月．ポスター発表.

[発表 9] 畑中 俊輝, 味曽野 雅史, 品川 高廣．DMA 機構の故障に対するデバイスドライバの耐性検証．第 30 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2018)，東京，2018 年 11 月．ポスター発表.

[発表 10] 田中哲朗: 決定的なデジタルカーリングの戦略, WCI2018 論文集 2018 , pp. 30-36, 北見, 2018 年 8 月

[発表 11] Toki Suga, Kazuya Okada, Hiroshi Esaki,“Toward Real-time Packet Classification for Preventing Malicious Traffic by Machine Learning”, 1st International Workshop on Artificial Intelligence and Machine Learning Technologies for Enhanced Network Management (AIMLEM 2019), Paris, France, February 2019.

[発表 12] Kazuya Okada, Shigeru Kashihara, Yoshihisa Kondo, Nobuo Suzuki and Hiroyuki Yokoyama, ”Device-Based Network Selection for Edge Computing,” 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 1-2. doi: 10.1109/CCNC.2019. (demo)

[発表 13] 岡田和也, 樫原　茂, 近藤良久, 鈴木信雄, 横山浩之. エッジコンピューティングを考慮した端末ベースのネットワーク選択手法の提案. 信学技報, vol. 118, no. 305, MoNA2018-23, pp. 7-12, 2018 年 11 月.

[発表 14] Kazuya Okada, Shigeru Kashihara, Nao Kawanishi, Nobuo Suzuki, Keizo Sugiyama and Youki Kadobayashi, ”GoEdge: A Scalable and Stateless Local Breakout Method”, Theory and Practice for Integrated Cloud, Fog and Edge Computing Paradigms (TOPIC 2018), July 2018. (workshop)

[発表 15] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Diasuke Miyamoto, Kazuya Okada and Tomohiro Ishihara, ”Malicious Host Detection by Imaging SYN Packets and A Neural Network”, IEEE International Symposium on Networks, Computers and Comunications (IEEE ISNCC2018), Roma, Italy, June 2018 (short paper)

[発表 16] 須賀 灯希, 岡田 和也, 江崎 浩, ”機械学習による悪性トラフィック遮断のための高速パケット分類機構の検討”, 電子情報通信学会 第 16 回ネットワークソフトウェア研究会, 2018 年 6 月.

特記事項

[特記 1] BitVisor Summit 7 開催、2018 年 11 月，https://www.bitvisor.org/summit7/

[特記 2] 特願 2019-015817 発明名称: 通信装置.

[特記 3] 特願 2018-111069 発明名称: 通信装置，パケット処理方法及びプログラム.

[特記 4] 一般社団法人 高度 IT アーキテクト育成協議会 共同研究.

[特記 5] NTT セキュアプラットフォーム研究所 共同研究.

[特記 6] InteropTokyo 2018 出展/ShowNet2018 でデモを実施.

[特記 7] 第 3 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー, 主催：東京大学情報基盤センター, 2019 年 2 月.

[特記 8] 第 2 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー, 主催：東京大学情報基盤センター, 2018 年 8 月.

情報システムの信頼性と安全性に関する研究

柴山 悦哉

1 概要

今日の我々の社会は情報技術に強く依存しており、コンピュータや情報ネットワークを構成要素とする情報システムが、社会の隅々にまで浸透している。世界中に散らばる人や資源を結びつけ、人手では到底不可能なレベルの最適化やマッチングを行うことで、様々な分野においてきわめて高い効率性や利便性を実現している。一方で、情報システムの機能・動作を規定するソフトウェアは、信頼性や安全性に問題を抱えていることが多い。このリスクが顕在化することで、様々な問題が発生しているのが現状である。世界を結ぶ自動化システムは、短時間で広範囲に悪影響を伝播する元凶ともなりうる。

情報システムのメリットを活かしつつ、信頼性・安全性の問題を抑えこむことが、今日では強く求められているが、これは容易なことではない。情報システムと社会との関わりに注目しつつ、情報システムの信頼性や安全性に関する基礎的な研究を進めることが重要である。そこで、社会の基盤を制御する情報システムの信頼性、安定性、セキュリティを向上させるための技術や情報社会の安全・安心の評価基準等に関する研究活動を以前より行っている。

今年度は、主として以下のような研究を行った。

- 情報システムの安全性、安全基準・目標に関する検討 [発表 1, 発表 2]
- プログラム理解に関する研究 [査読付 1, 発表 4]

最初の項目は、日本学術会議の総合工学委員会と機械工学委員会が合同で設置した工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会（同分科会の安全目標検討小委員会を含む）における検討の一環として行っているものである。これは、工学システムの安全目標に関する一般的な枠組みに、情報システムの安全基準・目標を組み込む試みである。プラントや交通システムに代表される工学システムの分野においては、エネルギーや化学反応の制御に失敗することで生じる物理的な問題が重要である。一方、情報システムの分野においては、人間の社会的な側面に及ぼす影響も重要である。これらの共通点と相違点を明らかにし、さらに社会受容のあり方を考えることが目標である。この成果の概要については、第 2 節で述べる。

2 番目の項目は、ソフトウェアの動作の理解を促進するための支援技術に関する研究である。そのために、ある種のデバッガを用いて、ソフトウェア実行時の挙動をプログラム開発者が理解しやすい形で提示するための研究を続けている。この成果については、第 3 節で概要を述べる。

これらの研究の他に、以下のような活動も行った。

- 学習分析 (Learning Analytics) に関する検討 [発表 3, 発表 5]
- 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 (HPCI) の利用者支援システムの二つのサブシステムの改修

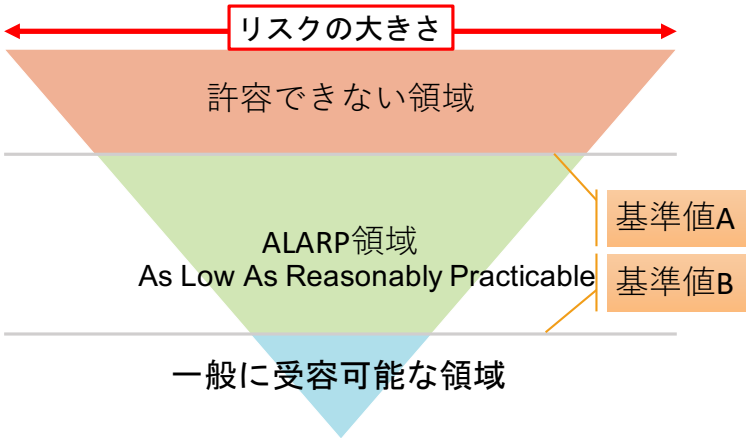


図 1: ALARP と 2 つの基準値

最初の項目は、現在業務として企画・調達・管理・運用などを担当している学習管理システム (LMS – Learning Management System) の高度化に関連したテーマである。LMS には、教材配布やレポート提出の手間を削減することで教育の省力化に寄与する「守りの IT」の側面と学習行動データを低コストで取得・蓄積して教育データ利活用を促進する「攻めの IT」の側面がある。現在のところ、一般ユーザが認識しているのは主として前者の「守りの IT」の側面であるが、将来の発展が期待されるのは、むしろ後者の「攻めの IT」の側面である。学生、教員、大学組織等のそれぞれの立場でデータ利活用を行う方法、データ利活用にあたって無視することができないプライバシー保護とそれに関連する制度設計なども含めた検討も行なっている。

2 番目の項目は、HPCI 利用者のためのヘルプデスクシステムとコンテンツマネジメントシステム (CMS) の機能強化を行ったものである。HPCI では、スーパーコンピュータやストレージが全国の複数の機関に分散して配置されており、利用者だけでなく運用担当者も全国に分散している。そのため、相互の連絡を円滑に行なうためのサポートが強く求められている。この利用者支援システムを用いることで、利用者の問い合わせや広報の窓口を一カ所にまとめ、ワンストップ化することを可能としている。この成果については、第 4 節で概要を述べる。

2　情報システムの安全目標に向けて

2.1　背景

日本学術会議では、総合工学委員会・機械工学委員会合同 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会において審議を行い、2017 年に報告「工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用」(http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170920-2.pdf) を公表している。

この 2017 年報告では、ALARP(As Low As Reasonably Practicable) の考え方を基本としており、対象となる工学システムが如何に有用でも最低限満たすべき基準値 A と無条件で許容できる基準値 B の二つの安全基準の存在を想定している (図 1)。今年度はこの 2017 年報告の基本的な考え方を、情報システムに適用する方法について事例研究等を行なった。

2.2　内容

昨年度に引き続き、プラントや機械系の工学システムと比較した情報システムの特徴付け、2.1 節で述べた ALARP 等の考え方を社会情報システムに適用する方法などについて論点整理を行った。

2017 年報告では、2014 年に改定された ISO/IEC GUIDE 51:2014 を踏襲し、安全を「許容不可能なリスクがないこと」と定義した。そこで、昨年度に引き続き、被害が及ぶ対象ごとにリスクの検討を

行なうこととし、被害が及ぶ対象の大きな分類としては、国家、社会、組織、個人を考えた。これは刑法学における法益の帰属主体の分類に組織を追加したものである。

さらに、情報空間（サイバー）、物理世界（フィジカル）、人間社会（ソーシャル）の 3 軸で、情報システムの構成について分類を行い、以下のようなタイプのシステムで想定すべきリスクや安全目標の指標について検討を行なった。今年度は、特に 3 を重視した。

1. サイバー・フィジカル・システム
2. サイバー・セントリック・システム
3. サイバー・ソーシャル・システム

1 は、物理世界のシステムを監視・制御するタイプの情報システムであり、安全目標の考え方は一般的な工学システムと類似のものとなる。2017 年報告においても「制御系の情報システムに関しては、その誤動作の影響を受けるシステムの安全目標に照らして、情報システム自体の安全目標を設定することが必要である」という形でまとめた。

2 は、 物理世界や人間社会との間接的関連があるとしても、安全目標の議論を比較的独立に行えるタイプのシステムである。情報セキュリティやディペンダビリティの伝統的な指標が有効に機能する。

3 は、人間に関する情報や人間同士の関係に関する情報を扱い、人間の社会活動を支えるような情報システムが該当する。情報技術の発達により、情報の流通がよくなりすぎたり、以前より高度な情報の流通・蓄積・解析等が可能となったりすることで、人間の諸権利が侵されたり、従来の社会的仕組みに負の影響を与えたりするケースが増えている。

個人情報やプライバシーの問題が典型的であり、利活用による利益もあれば、保護の必要性もある。便益とリスクがともに大きく、便益を得るステークホルダーとリスクにさらされるステークホルダーに分かれる場合、特に利害対立を招きやすい。このような利害対立を調停し、社会的に受容される安全目標の策定自体が研究課題となる。

今年度は、サイバー・ソーシャル・システムの社会的な作用としてのリスクを、図 1 の枠組みで捉える試みを行なった。基本的な考え方としては、基準値 A と ALARP 領域を次のように解釈することとした。

- 工学システムにおける基準値 A は、これ以上リスクが増大すると許容できなくなる基準を示している。サイバー・ソーシャル・システムにおいては、これ以上リスクが増大すると、許容できない基本権侵害に該当するレベルが対応すると考える。
- ALARP 領域は合理的な努力の範囲内でなるべくリスクを低減すべき領域である。サイバー・ソーシャル・システムにおいては、リスクやコストと便益とのトレードオフを合理的に追求すべき領域と考える。

これらを前提に、リスクが基準値 A を超えないようにするための仕組みと ALARP 領域でトレードオフを追求するための仕組を次のように考えることとした。

- 基準値 A を守るためには、基本権の侵害を防ぐ必要がある。基本権については個人差も妥協の余地も小さいことから、法制度による一律の規制が適している。
- トレードオフを追求すべき領域では、妥協の余地がより大きい。比較的緩やかな制約のもとで、最適化問題を解いていると見做すこともできる。最適化問題の解き方としては、市場原理に任せる方式、最適な制度を設計する方式などがありうる。

2.3 具体的成果

今年度は、以上のような検討の成果に関する発表を行った [発表 1, 発表 2]。

3 プログラム理解支援に関する研究

3.1 背景

プログラム理解は、人間がプログラムのデバッグやメンテナンスを行う際に、その前提として必要となるものである。プログラムの静的な構造を眺めて理解に努める方式もあれば、プログラムを実行して動的な動きを観測する方法、対話的に動作に介入してその影響を観測する方法などが存在する。静的な構造ではなく動的な挙動に注目する場合には、デバッガやトレーさなどのツールによるサポートが不可欠である。昨年度までは因果関係の連鎖の理解等を支援するツールとその基礎となるモデルに関する研究を行ってきた。今年度は、そのようなツールを作成するにあたり、Java バイトコードの実行系から、ソースコードレベルに対応付け可能な情報を抽出する方式について検討を行った。

3.2 内容

今年度は、理解プロセスを支援するツール構築の基盤技術として、Java 言語の一般的な処理系を大きく改変することなく、式レベルの実行情報を取得する方式について研究開発を行なった。

Java 言語のコンパイラでは、生成したバイトコードと元のソースコードの対応を取るために、各バイトコードの起源がソースコードのどの行かを示す情報を付加する。しかし、それ以上粒度の細かい情報は付加されていない。これは、行単位でのブレークポイントの設定やステップ実行を行う一般的なデバッガを想定したものである。そのため、行内で式がネストすると、部分式の実行を追いにくくなる。通常は、1 行に多くの式を詰め込まないコーディングスタイルにより、この問題を回避している。

しかし、式単位でのブレークポイントの設定やステップ実行について需要が存在するのは確かである。また、それが可能かどうかが、妥当なコーディングスタイルにも影響を及ぼす。そこで、一般的なコンパイラが生成する行単位の起源情報のみから、式単位の起源を推定することを試みた。

この推定問題を一般的に解くのは困難である（処理系に強く依存するヒューリスティクスを用いれば解ける可能性はある）。そこで、ソースコード S を意味的には等価な別のソースコード S' に自動的に変換してから処理を行うことで、推定精度の向上を図った。このような方法を用いると、生成された各バイトコードの起源として、S ではなく S' 内の行レベルの位置を取得できる。デバッガは、バイトコードの S' 内の行レベルの位置情報に加え S と S' の構文上の対応関係（これは自動変換時に容易に取得できる）を合わせて用いることで、S 内の位置を知ることができる。知ることができる S 内の位置の粒度は、S' への変換方式に依存する。一般的な傾向としては、改行を増やせば粒度を細かくできる。ただし、特に `bool` 値を扱う non-strict な式では、コンパイラが生成する行番号に位置ズレが生じる等の問題があるため、そのようなケースに対応した推定技術についても合わせて検討を行なった。

3.3 具体的成果

今年度は、以上のような成果について発表を行なった [査読付 1, 発表 4]。

4 HPCI の整備

4.1 背景

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 (HPCI) は、スーパーコンピュータ「京」、当センターを含む 9 大学センターなどに設置されたスーパーコンピュータ群、大容量の共用ストレージ、高速ネットワーク、可視化装置などを利用し、計算科学に基づく先端的研究開発を推進する国家事業である。

スーパーコンピュータなどの資源を提供する全国のセンター群は、HPCI が始まる前は、基本的に独立に設備の運用を行なっていた。そのため、申請や問い合わせの窓口、発行されるアカウント等がセンター毎に分かれており、また、複数センター間でデータの共有を行なう方法も整備されていなかっ

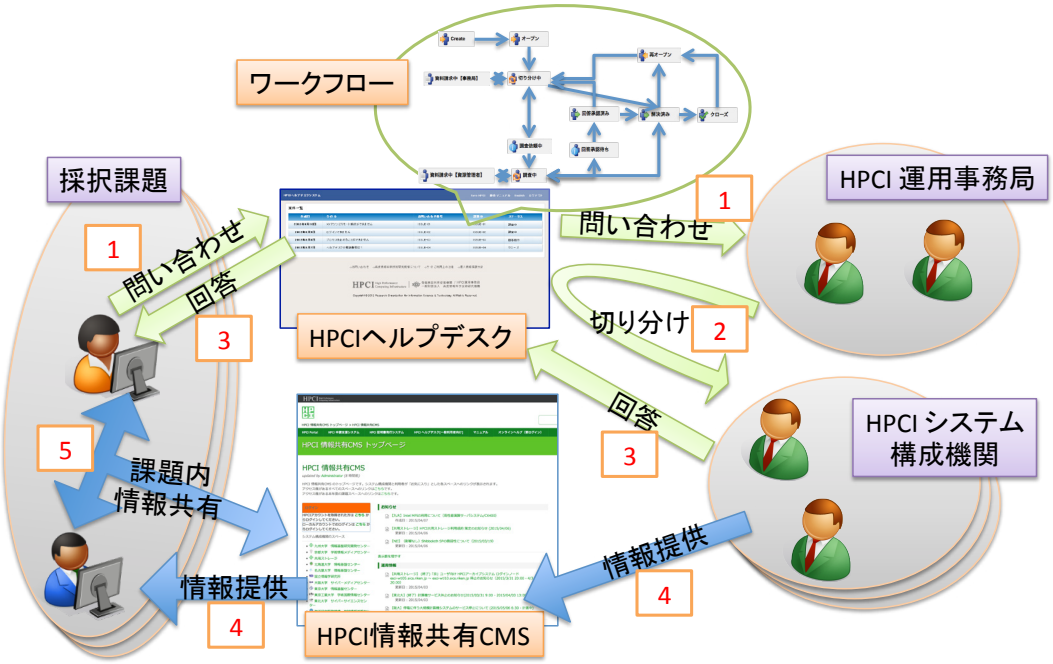


図 2: HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS

た。その結果、複数センターを利用して先端的科学研究を行なう研究者にとって、利用申請、アカウント管理、データ共有などの手間の大きさが問題となっていた。

4.2 内容

HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS の改修を（一財）高度情報科学技術研究機構の担当者とともに行なった。これらのシステムは、概ね次のような利用方法を想定したものである (図 2)。

1. HPCI の課題採択者等が、ワンストップの窓口である HPCI ヘルプデスクシステムを介して、問い合わせ等を行なう。

2. HPCI 利用者に対する窓口業務を担う HPCI 運用事務局のヘルプデスク担当者が、1 次切り分けを行い、問い合わせを適切な HPCI システム構成機関（計算資源を HPCI に提供する機関、当センターを含む）に転送する。

3. HPCI システム構成機関が問題を解決すると、回答が HPCI ヘルプデスクシステム経由で問い合わせ等を行なった HPCI 課題採択者に通知される。

4. 各 HPCI システム構成機関の担当者が、計算資源の運用や障害などに関する広報や利用者向けのドキュメントなどを作成し、情報共有 CMS に掲載する。全ての HPCI システム構成機関の広報やドキュメントが一カ所に集められ、HPCI 課題採択者等の閲覧に供される。このとき、特定の計算資源の利用者にのみアクセスを限定する等の制御が可能である。

5. HPCI の採択課題を単位とした閉じた情報共有の空間を作り、課題採択者間で Wiki や Blog のインタフェースによる情報共有を行なう。

今年度は、以下のような作業を行なった。

- HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS で利用しているアトラシアン社の JIRA 及び Confluence のバージョンアップに対応した改修作業
- HPCI ヘルプデスクシステムのエンドユーザインタフェースで用いていたアプリケーション・フレームワークのサポート終了にともなう Spring Framework への移行
- HPCI ヘルプデスクシステムの通知メールによる通知先を細かく制御する機能の実現
- Oracle JDK (Java Development Kit) の無償サポート終了にともなう Adopt OpenJDK への移行に関する技術的検討
- HPCI 情報共有 CMS にチーム・カレンダー機能を導入するアドオンの評価
- HPCI 情報共有 CMS 用の Office Excel マクロに代わるアドオンの導入検討
- GDPR 対応の検討

4.3 具体的成果

HPCI ヘルプデスクシステムについては、HPCI 利用者からの問い合わせの処理、記録、処理状況の確認などのために利用された。情報共有 CMS については、HPCI に採択された全課題のスペース、HPCI システム構成機関と提供資源のスペースなどが作成され、HPCI システム構成機関では障害やメンテナンス等の一元的なアナウンスの場としても活用されている。また、HPCI 共用ストレージの複数組織での連携運用、HPCI 連携サービス運営・作業部会などでの課題管理と情報共有などにも利用されている。

5 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Etsuya Shibayama: An Overview of Big Data Research Programs in Japan and Collaborative Activities with the US, 2018 Joint PI Meeting: NSF BIGDATA and Big Data Hubs & Spokes, 2018.

査読付論文

[査読付 1] Izuru Kume, Etsuya Shibayama, Masahide Nakamura, and Naoya Nitta: Cutting Java Expressions into Lines for Detecting their Evaluation at Runtime, International Conference on Software and Services Engineering, 2019.

その他の発表論文

[発表 1] 柴山悦哉: 情報分野の安全目標, 安全工学シンポジウム, OS-10-5, 2018.

[発表 2] 柴山悦哉: 安全目標の考え方: 情報システムの場合, エネルギーレビュー, pp. 18-19, Vol. 38, No. 7, 2018.

[発表 3] 柴山悦哉, 緒方広明, 中野裕司: OSS を活用した学習履歴の取得・保存と学習分析 (LA) への応用, 大学 ICT 推進協議会年次大会，TG1, 2018.

[発表 4] 久米出、新田直也、柴山悦哉、中村匡秀: Java デバッガによる式の監視機能の必要性と実現に関して, ウィンターワークショップ 2019・イン・福島飯坂, 2019.

[発表 5] 乾健太郎, 楠見孝, 柴山悦哉, 西田眞也, 藤村宣之, 前田香織, 松下佳代, 宮地充子: パネル討論「教育データの利活用について考える」, ラーニングアナリティクスによるエビデンスに基づく教育に関する国際シンポジウム, 2019.

ゲームプログラミングに関する研究

田中 哲朗

1 概要

近年の研究の進展により、コンピュータ将棋、コンピュータ囲碁をはじめとする多くの完全情報ゲームにおいて、人間のトップのレベルを超えるレベルのコンピュータプレイヤを作成することが可能になってきた。更に、この数年はルール以外の人間の知識を極力使わずに強化学習のみを使うだけで、多くのゲームで人間のトップレベルを大きく超えるコンピュータプレイヤを作成できることが DeepMind 社の AlphaGo Zero，AlphaZero 等のプロジェクトにより示された。将棋などの完全情報ゲームのプレイに関する研究の多くの目標は既に達成されてしまったと考えられる。

そのような状況のもとで、ここ数年は、連続空間を扱うゲームや不完全情報ゲームに関する研究をおこなっている。

2 決定的なデジタルカーリングの戦略

2.1 背景

最近のゲームプログラミングやマルコフ決定過程 (MDP) でのプランニングで用いられる MCTS(Monte Carlo Tree Search) では、空間およびアクションが、離散でかつ有限 (しかも数十から数百のオーダ) であることを仮定している。この仮定があるために、数回のアクションを適用した後でも全く同じ状態になることがあり、手の選択に必要な評価値を到達回数や平均利得等の統計データから計算できる。

しかし、連続空間で、不確定要素を持ち、同一の状態に同一のアクションを適用しても異なる状態に遷移するゲームの場合には、アクションの実行後の状態が同一になることはない。そのため、単なるモンテカルロ法は適用できるが、遷移関係の木を構成することができないためモンテカルロ木探索は適用できない。

「デジタルカーリング」を対象に研究に連続空間に対するモンテカルロ木探索のアルゴリズムの研究をおこなうための基礎研究として、投げるストーンに加わる誤差を 0 にしたゲーム (以下では「決定的なデジタルカーリング」と呼ぶ) を考える。このゲームは二人零和有限確定完全情報ゲームになり、理論的には勝敗が決定可能となる。両チームが最善をつくした時の勝敗を求めることは、カーリングのコンピュータエージェントの作成には無益だが、理論的には興味深い問題となる。

2.2 内容

デジタルカーリングシステムは、時間を 1/1000 秒ごとに区切って次のステップのストーンの速度を変化させていくという形でシミュレーションをおこなっているが、そのために、入力の変化に対する出力が不連続に変化する。この性質を避けるため、本研究では、デジタルカーリングそのものを対象とするのではなく、シミュレーションの元となる物理モデルを想定し、その物理モデルを用いる。

2.3 具体的成果

フリーガードゾーンのないルールで決定的なカーリングにおいて、第 1 エンドの後攻チームは

- 第 1-7 エンドはブランクエンドとする。
- 第 8 エンドで 1 点取る。

ことでゲームに勝つことができ、先攻チームはそれを阻止できないことを証明した。

しかし、フリーガードゾーンを採用したルールでは、2017 年シーズンまでのルール (フリーガードゾーン中の相手のストーンを打ち出して良いのでは 5 投目から) でも「第 1 エンドの後攻チームが勝つ」という予想の証明はできていない。

当初は「フリーガードゾーン中に相手のストーンがある時、フリーガードゾーン外の邪魔にならないところに移動させて、自分のストーンは出すショットが存在する」と想定していたが、数値計算の結果 1 のようにそのようなショットがデジタルカーリングで想定している物理的制約上、実現できな配置が存在することが判明した。

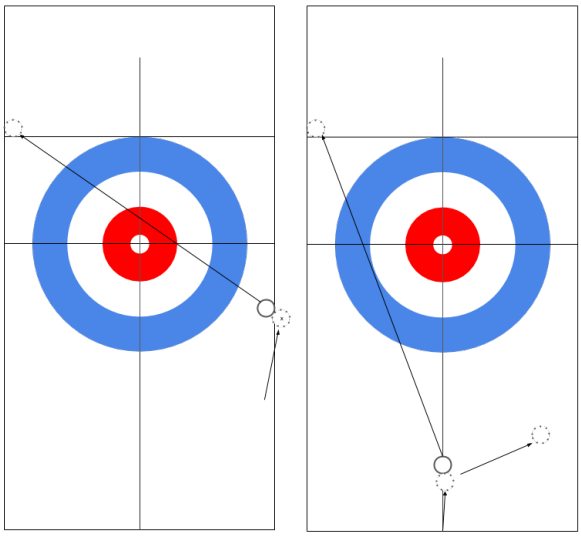


図 1: フリーガードゾーン外に移動できないパターン

一方で、「フリーガードゾーン中に相手のストーンがある時、サイドラインに寄せるショット」は存在することが証明できた。図 2 はショットに必要なストーンの初速をヒートマップにしたものである。

フリーガードゾーン中のストーンを打ち出せないうちは、サイドラインに寄せて、その後はそれに触らずに、残りのストーンを打ち出すことができれば、証明は可能なのだが、その方針での証明はできていない。

この証明に必要な補題の一つである「あるエンドで先攻チームが後攻チームに 2 点以上とらせない戦略が存在する」ことのみ証明することができた。

一方で、2018 年シーズンから採用された新しいルール (フリーガードゾーン中の相手のストーンを打ち出して良いのでは 6 投目から) においては「第 1 エンドの後攻チームが勝つ」という予想の証明はより難しくなることが予想される。

本研究の成果は会議 Workshop on Curling Informatics (WCI2018) で論文として発表した。

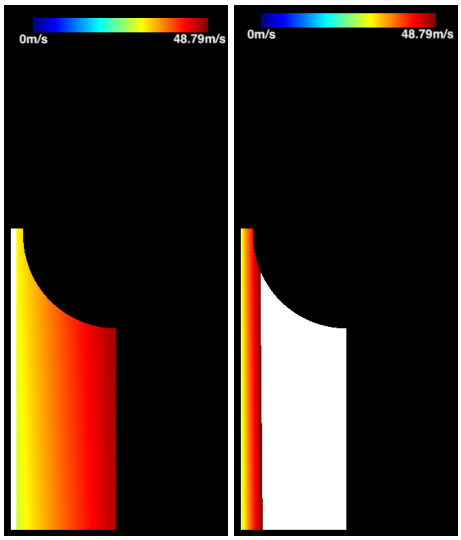


図 2: $\theta = -1.4, -1.65$ で左サイドラインに寄せるショット

3 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 田中哲朗: 決定的なデジタルカーリングの戦略, WCI2018 論文集 2018 , pp. 30-36, 北見, 2018 年 8 月

仮想化技術とオペレーティングシステムの研究

品川 高廣

1 概要

我々の研究室では、仮想化技術やオペレーティングシステム（OS）に関する研究をおこなっている。仮想化技術に関しては、仮想マシンモニタと呼ばれるシステムソフトウェアに関する研究をおこなっている。仮想マシンモニタとは、OS の下で動作してハードウェアを仮想化するソフトウェアであり、既存の OS に依存することなく新たな機能の追加を安全かつ容易に実現できるといった利点があるため、近年様々な応用に向けた研究が盛んにおこなわれている。本研究で主に対象としているのは、我々が考案した「準パススルー型」という新しいアーキテクチャの仮想マシンモニタである。準パススルー型とは、物理的なハードウェアを敢えて仮想化せずに可能な限り OS に対して直接そのまま見せる、すなわち OS からハードウェアへのアクセスをなるべく通過（パススルー）させつつ、必要最小限のアクセスだけを捕捉・変換する方式である。準パススルー型アーキテクチャは、(1) OS よりも高いセキュリティを実現できる、(2) OS の機能に依存せずに新たな機能を追加できるといった仮想マシンモニタの利点を保ちつつも、VMWare や Xen のような従来型アーキテクチャの仮想マシンモニタと比べて、(1) 仮想化のオーバーヘッドを大幅に削減できる、(2) ゲスト OS がハードウェアの機能を最大限活用できる、といった利点がある。我々の研究室では、準パススルー型アーキテクチャを実装した仮想マシンモニタ「BitVisor」をベースとして研究開発をおこなっている。OS に関しては、OS のカーネルを改変してセキュリティ機能を始めとした新しい機能を追加したり、アプリケーションの性能を向上させるための研究をおこなっている。

今年度は、主に以下のテーマに関して研究をおこなった。

- 仮想マシンモニタによるハードウェア抽象化レイヤ [査読付 1]

  デバイスドライバの維持管理コストを削減して新しい OS の開発コストを削減することを目的として、仮想マシンモニタのレイヤでデバイスドライバを実行するソフトウェアレイヤを構成し、広く一般に普及している virtio のインターフェイスでアクセスできるようにすることで、デバイスドライバの開発・維持管理を一元的におこなえるようにするシステムの研究開発をおこなった。

- ファイルサーバの高速なマイグレーション [査読付 2]

  ファイルサーバを新しくする際に、ファイルサービスを停止することなく移行することを可能にするために、ポストコピー方式を採用して、ファイルの中身を必要に応じてコピーする on-demand migration や、バックグランドでファイルの移行を促進する background migration、標準のファイルサービスプロトコルのみで実現するための stub-based file management などの手法を用いたファイルサーバ移行方式の研究開発をおこなった。

- 仮想マシンモニタによるベアメタルクラウドでのライブマイグレーション [査読付 3]

  ベアメタルクラウドと呼ばれる物理マシンを貸し出す IaaS 環境においてライブマイグレーションを実現することを目的として、軽量な仮想マシンモニタによって物理デバイスの状態を取得・転

送することにより OS からは透過的に物理マシンの状態を別のマシンに転送することが出来るシステムに関する研究をおこなった。今年度は主にマルチコア対応をおこなった。

- 仮想マシンモニタによる DDoS 攻撃防止のためのパケットフィルタリング [査読付 4]

  クライアント端末からの大量のパケット送信によるサーバに対する DDoS 攻撃を防止することを目的として、予め軽量仮想マシンモニタをクライアント側に導入しておくことで、DDoS 攻撃を受けているサーバ側からの要求に応じてパケット送信を停止できるようにすることで、攻撃を停止させる手法に関する研究開発をおこなった。

- 仮想マシンモニタによる仮想マシンモニタのデバイスドライバの堅牢性検査 [査読付 5, 発表 1]

  仮想マシンモニタを二重化するネステッド仮想化の技術を用いて、VMWare など既存の仮想マシンモニタが持つ固有のデバイスドライバに対して、ハードウェアが想定外の動作をした場合に仮想マシンモニタがクラッシュしたりしないかどうかを検査するためのフレーム枠に関する研究をおこなった。

- ホストマシンの NUMA トポロジーに基づく vCPU スケジューリング [発表 2]

  ゲスト OS が NUMA に基づく効率の良いスケジューリングをおこなうために，ホストマシンの NUMA トポロジーを再現した VM を作成する．

- JIT コンパイラに対する 1 バイト定数攻撃とその防御手法 [発表 3]

  JavaScript プログラム中に含まれる 1 バイトの定数を用いて ROP 攻撃を行う手法とその防御手法に関する研究をおこなった。

- DMA 機構の故障に対するデバイスドライバの耐性検証 [発表 4]

  デバイスとデバイスドライバの間のやり取りで用いられるメモリ上のディスクリプタに対して Fault Injection をおこなう手法に関する研究をおこなった。

- ネステッド仮想化の動的 ON/OFF による仮想マシンモニタ若化

  クラウド環境において VMM がメモリリークなどによって徐々に性能が低下していくエイジングという問題に対して、稼働中の仮想マシン（VM）を止めることなく単一マシン上で高速に VMM を再起動できるようにすることで、VMM の若化を図る手法に関する研究をおこなった。

- 仮想化技術を用いて異なる OS のバイナリを動作させる技術に関する研究

  仮想化技術によりシステムコールやページフォルトなどをユーザレベルのプロセスで処理できるようにすることで、柔軟かつ堅牢な OS 互換レイヤを実現する手法に関する研究をおこなった。

- OS カーネルにおける BPF によるアクセス制御に関する研究

  OS カーネル内において柔軟かつ動的なアクセス制御をおこなうためのフレームワークの実現を目的として、Linux カーネルの Linux Security Module (LSM) と Berkeley Packet Filter (BPF) を組み合わせてプログラムによりアクセス制御の仕組みを記述する方式に関する研究をおこなった。

- ネットワークスタックと不揮発性メモリの統合による永続性 Key-Value Store の高速化

  10 Gbit ネットワークや不揮発性メモリ（Non-Volatile Memory: NVM）のような高速な I/O デバイスの登場によって、OS のプロトコルスタックやファイルシステムなどのレイヤを経由するとハードウェアの性能を十分に活かしきれなくなっている問題に対して、Key-Value Store に特化してソフトウェアを極力バイパスしたシステムを構築することでハードウェア性能を最大限活かす手法に関する研究をおこなった。

- 仮想化技術とディープラーニングによるマルウェア検知に関する研究

  仮想マシンモニタのレイヤでストレージへの書き込みを捉えて、ファイル単位ではなくブロック単位のデータからディープラーニングによりマルウェアを検知する技術に関する研究をおこなった。

- 多次元リソースを考慮したクラスタスケジューラに関する研究

  複数の CPU や異なるメモリ使用量など要求リソースが異なるタスクを効率よくスケジューリングするタスクスケジューラに関する研究をおこなった。

これらの研究は、主に以下の事業による支援により実施された。

- 公益財団法人三菱財団 平成 29 年度自然科学研究助成 研究代表者
- 日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 「準パススルー型仮想マシンモニタに関する研究」 研究代表者
- 公益財団法人 栢森情報科学振興財団 研究助成 「仮想化環境における不揮発性メモリの最適配置」研究代表者
- 富士通研究所 奨学寄付

研究成果としては、まず国際ジャーナル論文として IEEE Transactions on Cloud Computing に論文が 1 件採択された [査読付 3]. また、査読付き国際会議論文が 4 件採択された（ACM SAC 2018 [査読付 1], ACM SYSTOR 2018 [査読付 2], IEEE DASC 2018 [査読付 4], IEEE CloudCom 2018 [査読付 5]）. IEEE CloudCom 2018 は採択率が 19.8% (18 / 91) であり、しかも唯一の Best Paper Award を受賞した。他にも、国内ワークショップでの発表を 1 件 [発表 1]、ポスター発表を 3 件 [発表 2, 発表 3, 発表 4] おこなった。2018 年 11 月には、BitVisor Summit 7 を企画立案・主催した。一般発表 8 件で構成し、30 名弱の参加者があった。また、共著で教科書 1 件の翻訳を行った [著書 1]。

以下、2 章では、仮想マシンモニタによるハードウェア抽象化レイヤ [査読付 1] について、3 章では、ファイルサーバの高速なマイグレーション [査読付 2] について、4 章では、仮想マシンモニタによるベアメタルクラウドのハードウェア保護 [査読付 3] について、5 章では、仮想マシンモニタによる DDoS 攻撃防止のためのパケットフィルタリング [査読付 4] について、6 章では、仮想マシンモニタによる仮想マシンモニタのデバイスドライバの堅牢性検査 [査読付 5] について、それぞれ概要を述べる。

2 仮想マシンモニタによるハードウェア抽象化レイヤ

2.1 背景

デバイスドライバは、開発コストやコード品質を保つという観点からして、既存および新規のオペレーティングシステム（OS）における主要な関心事である。しかし、デバイスドライバは OS に強く依存しているため、デバイスドライバの実行環境が OS カーネルと密接に結びつき、デバイスドライバの再利用や統一が複雑になる。主要 OS からデバイスドライバを移植する手法では、さまざまな競合やエンジニアリングコストが発生してしまう。また、仮想マシン（VM）を用いてデバイスドライバを再利用する手法は、無視できないオーバーヘッドがかかる。

2.2 内容

本研究では、薄いハイパーバイザを使用した統一されたハードウェア抽象化レイヤの設計と実装を示す。本ハイパーバイザの上で動作する OS カーネルは、各デバイスクラスごとに 1 つのデバイスドラ

イバを持てばよいため、OS のデバイスドライバの開発コストが削減される。本方式の主要な技術は、デバイスマスカレードである。デバイスマスカレードは、物理的なデバイスを最小限の労力で標準化された抽象的なデバイスに変換する。ハードウェアデバイスに対するデファクト・スタンダードのインタフェースを利用することにより、抽象化レイヤの実装を OS カーネルからきれいに分離し、実際のシステムにおいて容易に利用できるようにする。仮想化のオーバーヘッドを削減するため、ハイパーバイザは単一の VM のみをサポートし、割り込みコントローラなど既に標準化されたデバイスへはパススルーアクセスでアクセスさせる。実験結果により、我々のシステムの性能は、ハイパーバイザのないベアメタルマシンの性能に匹敵することを確認した。

2.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 The 33rd ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2018) で論文として発表した。

3 ファイルサーバの高速なマイグレーション

3.1 背景

ファイルサーバの移行は，格納ファイルの複製を伴うため長時間を要する．この間ファイルアクセスが停止すると，利用者の利便性を著しく損なう．

3.2 内容

本研究では，異機種間でのファイルサーバの移行時に，ファイルアクセスの停止時間を短縮するための移行方式を提案する．提案方式では，まず接続先サーバを移行先サーバに切り替える．その後アクセス要求時に応答に必要なファイルのみ移行元からオンデマンドで複製する方式と，低負荷時に未アクセスファイルをバックグランドで複製する方式を併用する．これにより，ファイルアクセスを停止すること無く時間のかかる複製をおこなえるようにする．性能評価の結果，移行に伴うアクセス停止時間を，一般的なファイルサーバのアクセス許容応答時間である 30 秒以内に短縮できることを確認した．

3.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 11th ACM International Systems and Storage Conference (ACM SYSTOR 2018) で論文として発表した。ACM SYSTOR はストレージの分野では著名な国際会議であり、2018 年の採択率は 22.7%であった。

4 仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーション

4.1 背景

ベアメタルクラウドは近年登場した新しい IaaS クラウドの形態で、仮想マシンの代わりに物理マシンを貸し出すものである。ベアメタルインスタンスは OS からハードウェアへのアクセスに対して、仮想化のレイヤが介在することなく直接アクセスすることを許容するため、ハードウェア・プラットフォームの最大限の性能を安定して提供することが可能である。

ライブマイグレーションは、IaaS クラウドの重要な性質の一つである。例えば、IaaS ベンダーは予防的メンテナンスのために、ライブマイグレーションを使用する。これは、システムの信頼性やセキュリティ、パフォーマンスを維持するために必要不可欠な作業である。電源などのメンテナンスには電源切断が必須であるが、ライブマイグレーションを用いると IaaS ベンダーはサービスを停止させることなくメンテナンスを実施することが可能になる。

しかし、ライブマイグレーションはベアメタルインスタンスではサポートされていない。従って、ベアメタルクラウドではハードウェアメンテナンスの際にダウンタイムが避けがたい。

4.2 内容

本研究では、OS を修正することなくベアメタルインスタンスのライブマイグレーションを実現するシステムを実現した。ライブマイグレーションを実現しつつベアメタルインスタンスと同等の実行環境を実現するために、準パススルー型の仮想マシンモニタを採用した。ライブマイグレーションをおこなうために、仮想マシンモニタは移動元の CPU やメモリ、I/O デバイスなどのハードウェアの状態を取得し、移動先に転送する。移動先のマシンでは、その状態を適切に適用する。

今年度は特にマルチコア対応をおこなった。近年のマシンはマルチコアが標準であり対応が必須であるが、マルチコア対応にするためには複数 CPU の状態をコピーする他に、APIC などの周辺デバイスの状態もコピーする必要がある。また、これらのコピーにはタイミングの問題が存在するため、適切に対処するためには複雑な実装が必要であった。

4.3 具体的成果

本研究の成果は、国際論文誌 IEEE Transactions on Cloud Computing で論文として発表した。当該論文誌は、Google Scholar Citations において Cloud Computing の分野ではトップとなる h5-index 46 とされている。

5 仮想マシンモニタによる DDoS 攻撃防止のためのパケットフィルタリング

5.1 背景

分散サービス拒否 (Distributed Denial of Service: DDoS) 攻撃は、インターネット上で乗っ取った多数のマシンから攻撃対象のマシンに対して大量のパケットを送りつけることで、攻撃対象のマシンのリソースを使い尽くしてアクセスできないようにする攻撃である。DDoS 攻撃によるリソース消費を最小化するためには、パケットの送信元でフィルタリングを行うのが最も望ましいアプローチである。多くの研究では、DDoS 攻撃の検知手法について提案されているが、実際に送信元で DDoS 攻撃を防止する手法はほとんど提案されていない。

5.2 内容

本研究では、信頼できて、軽量で、透過的で、かつ柔軟な送信元での DDoS 攻撃防止手法を提案する。この手法では、管理者が各マシンに軽量でかつフィルタリングが可能なハイパーバイザを予めインストールしておく。ハイパーバイザを軽量に保つために、ネットワークカードを除くほとんどのハードウェアアクセスをパススルーとすることで、仮想化のオーバーヘッドを削減するとともに、ユーザが通常の PC と同等の使い勝手で利用できるようにする。一方、提案方式を柔軟にするために、ハイパーバイザ内で安全寺実行できるコードを送り込む仕組みを提供することで、管理者がパケットフィルタリングのポリシーをコードを用いて自由に構成できるようにする。本手法では、ハイパーバイザの実装として BitVisor、パケットフィルタリングのコードとして BPF を採用し、に似の指定したパケットをフィルタリングできる仕組みを確立した。フィルタリングのオーバーヘッドは無視できる程度であった。

5.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 16th IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (IEEE DASC 2018) で論文として発表した。

6 仮想マシンモニタによる仮想マシンモニタのデバイスドライバの堅牢性検査

6.1 背景

クラウド環境のような多数のハードウェアが存在する所では、一定の割合でハードウェア故障が発生することは避けられない。ハイパーバイザの信頼性を向上させるためには、ハイパーバイザのデバイスドライバがハードウェア故障を適切に処理する必要がある。しかし、多くのハイパーバイザのデバイスドライバでは、ハードウェア故障を想定しておらず、ハードウェア故障時にシステム全体がハングアップしてしまう可能性がある。本研究では、クラウドベンダーが実際に使っているハードウェアを対象として、ソースコードが非公開のハイパーバイザのデバイスドライバが、ハードウェア故障を適切に処理できるかどうか検証する手法を実現することを目的としている。従来の手法では、ソースコードが必要であったり、仮想ハードウェアに対してしかテストが出来なかったり、OS には適用できてもハイパーバイザには適用できなかったりシた。

6.2 内容

本研究では、FaultVisor2 という fault injection と nested virtualization を組み合わせた技術により、ハイパーバイザのデバイスドライバのテストを行うフレームワークを提案する。ソースコードが公開されていないデバイスドライバをテストするために、ハイパーバイザのデバイスドライバからハードウェアに対する I/O アクセスを横取りして擬似的な故障が発生したかのように見せかける。実際のハードウェアに対するテストを可能にするために、物理ハードウェアへのアクセスは基本的にはパススルーとしつつ、一部の I/O アクセスに対してのみ改変をおこなって fault injection を実現する。ハイパーバイザに対して適用可能にするために、nested virtualization の機能を用いて、ハイパーバイザの下にもう一つのハイパーバイザを挿入することで I/O の横取りを可能にする。実際の環境により近づけるとともに性能オーバーヘッドを最小限に抑えるために、通常の nested virtualization の機能のうちの多くを省略して、必要最小限の機能のみを取り入れた。実験により、実際に VMware ESXi ハイパーバイザのデバイスドライバに 3 種類の致命的システム故障を引き起こすエラーを見つけた。

6.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 10th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (IEEE CloudCom 2018) で論文として発表した。今年度の CloudCom は採択率が 19.8% (18 / 91) と狭き門であり、しかも唯一の Best Paper Award を受賞した。

7 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] Best Paper Award (1 out of 18 accepted papers). Masanori Misono, Masahiro Ogino, Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa. FaultVisor2: Testing Hypervisor Device Drivers against Real Hardware Failures. In Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (IEEE CloudCom 2018), Dec 2018. Acceptance Ratio: 19.8%.

著書／編集

[著書 1] 五島 正裕 (監修, 翻訳), 河野 健二 (監修, 翻訳), 南出 靖彦 (監修, 翻訳), 藤原 一毅 (翻訳), 鯉渕 道紘 (翻訳), 近藤 正章 (翻訳), 津邑 公暁 (翻訳), 塩谷 亮太 (翻訳), 吉瀬 謙二 (翻訳), 木村 啓二 (翻訳), 入江 英嗣 (翻訳), 三輪 忍 (翻訳), 千代 英一郎 (翻訳), 鈴木 貢 (翻訳), 光来 健一 (翻訳), 品川 高廣 (翻訳). コンピュータ・システム. 丸善出版, 2019 年 2 月.

査読付論文

[査読付 1] Iori Yoneji, Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa and Kazuhiko Kato. Unified Hardware Abstraction Layer with Device Masquerade. In Proceedings of the 33rd ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2018), Apr 2018. doi:10.1145/3167132.3167250

[査読付 2] Keiichi Matsuzawa, Mitsuo Hayasaka, Takahiro Shinagawa. The Quick Migration of File Servers. In Proceedings of the 11th ACM International Systems and Storage Conference (ACM SYSTOR 2018), Jun 2018. doi:10.1145/3211890.3211894

[査読付 3] Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Live Migration in Bare-metal Clouds. IEEE Transactions on Cloud Computing, Jul 2018. doi:10.1109/TCC.2018.2848981

[査読付 4] Masanori Misono, Kaito Yoshida, Juho Hwang, Takahiro Shinagawa. Distributed Denial of Service Attack Prevention at Source Machines. In Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (IEEE DASC 2018), Aug 2018. doi:10.1109/DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTec.2018.00096

[査読付 5] Masanori Misono, Masahiro Ogino, Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa. FaultVisor2: Testing Hypervisor Device Drivers against Real Hardware Failures. In Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (IEEE CloudCom 2018), Dec 2018. Acceptance Ratio: 19.8%. Best Paper Award. doi:10.1109/CloudCom2018.2018.00048

その他の発表論文

[発表 1] 荻野 将拓, 味曽野 雅史, 深井 貴明, 品川 高廣．ハードウェア障害に対するハイパーバイザの対故障性検証．第 143 回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会．情報処理学会研究報告，第 2018-OS-143 巻，情報処理学会，2018 年 5 月．

[発表 2] 林 遼, 味曽野 雅史, 品川 高廣．ホストマシンの NUMA トポロジーに基づく vCPU スケジューリング．第 30 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2018)，東京，2018 年 11 月．ポスター発表．

[発表 3] 鈴木 悠希, 味曽野 雅史, 中山 智之, 品川 高廣．JIT コンパイラに対する 1 バイト定数攻撃とその防御手法．第 30 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2018)，東京，2018 年 11 月．ポスター発表．

[発表 4] 畑中 俊輝, 味曽野 雅史, 品川 高廣．DMA 機構の故障に対するデバイスドライバの耐性検証．第 30 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2018)，東京，2018 年 11 月．ポスター発表．

特記事項

[特記 1] BitVisor Summit 7 開催、2018 年 11 月，https://www.bitvisor.org/summit7/

計算機科学関連カリキュラムの分析

関谷 貴之

1 概要

講義のシラバスを用いてカリキュラムを分析する研究を行っている。業務面では、学習管理システム ITC-LMS の設計・運用、及び教育用計算機システム (ECCS) の運用などを、他の教職員と共に当たっている。

2 半自動的なシラバス情報の収集

2.1 背景

高等教育機関が学生に提供するカリキュラムは、体系的な教育を実施するための鍵となる。実際に実施されるカリキュラムは個々の講義の進め方や履修の条件等で複雑なものである。

しかし、そのカリキュラムの概要はシラバスとして学内外に公開され、シラバスは学生が履修科目を選択するための重要な情報となることから、シラバスからカリキュラムを分析することは有益であるとの立場で研究している。

これまでの研究で、国内外の大学の計算機科学 (CS: Computer Science) 分野のシラバスを収集してきたが、学科等のウェブサイトで公開されているシラバスを手動で取得してきたため、その数を増やすことには限界があった。そこで、2017 年度よりなるべく人手をかけることなくシラバスを収集する方法について研究している。

2.2 内容

本研究ではまず、国際的な大学のランキングの一つである Times Higher Education (THE) WORLD UNIVERSITY RANKINGS[1] 2018 with computer science as subject (以下、「THE2018CS」という。) に挙げられている大学をシラバス収集対象とした。各大学の CS 関連のウェブサイトの URL 及び収集範囲を設定した上で、汎用的なウェブクローラ Scrapy [2] でクローリングしたウェブページを、mongoDB[3] に保持している。2019 年 3 月現在、301 大学から合計約 570 万ページを取得済みである。

次に予備実験として、CS 分野を専攻する大学院生 2 名に、取得したウェブページからシラバス情報を抽出することを依頼した。抽出作業に当たって、過去の研究で取得済みのシラバスが記載されたウェブページを正解データとして、ウェブページ内のテキストに基づく Support Vector Machine (SVM) の判定モデルを構築して、クロールしたウェブページの判定結果を示している。THE2018CS の上位 100 校をそれぞれ 50 校ずつ前述の大学院生に割り当てた。その結果、合計で約 60 校からシラバス情報を抽出することができた。また、シラバス情報の抽出に用いたウェブページを分析したところ、その内容やリンク構造から以下の 3 種類に分類できることが分かった。

[1] https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings (2019 年 4 月 4 日アクセス)
[2] https://scrapy.org
[3] https://www.mongodb.com

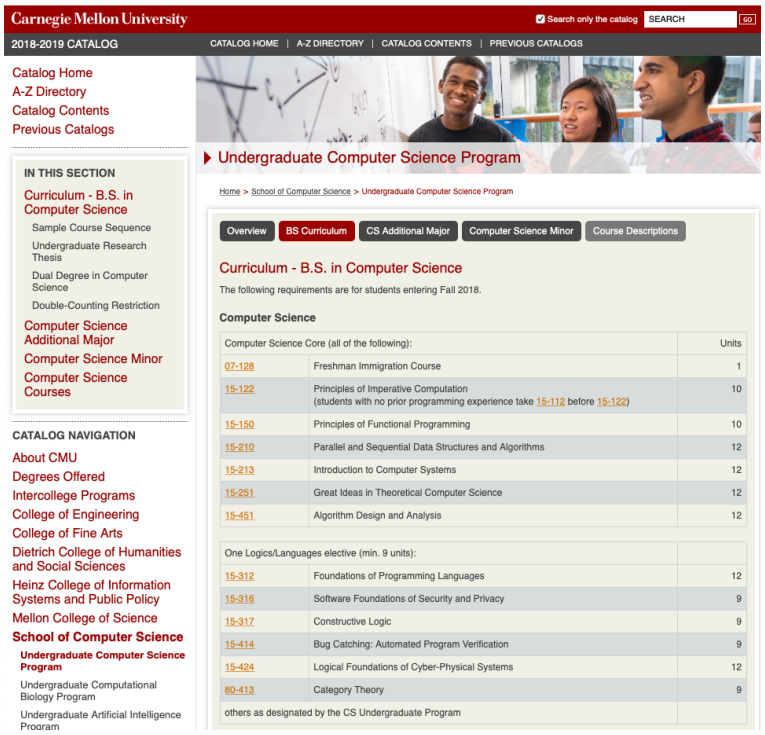


図 1: Link Type のサンプル (Carnegie Mellon University)

Link Type 学部や学科等で開講される科目ごとのシラバスページへのリンクとなっているページである。

Whole Type 学部や学科等で開講される科目のシラバス情報がまとまっているページである。

Database Type 学部や学科、大学全体で開講される科目のシラバス情報を検索できるデータベースの入り口となるページである。

それぞれの Type に当てはまるページを有する大学の数は、大まかに Link : Whole : Database = 3 : 2 : 1 であった。そこで、それぞれの Type に当てはまるページを判定するモデルを作成できるかを検討した。

Link Type　シラバス情報を記載したウェブページは、科目ごとに分かれていることが多い。そのような “シラバスページ” へのリンク集が、Link Type のページである。例えば、図 1 は、Carnegie Mellon University の CS undergraduate courses を記載した Link Type のページ[4]である。科目番号をクリックすると当該科目のシラバス等の情報を記載したウェブページに遷移する。

このような Link Type のページを見つけられれば、リンク先のページを一括して集めることができるためシラバスの収集に当たっては非常に効率的である。そこで、この Link Type ページを正解データとして SVM の判定モデルを構築することとする。なお、いくつかの大学からクローリングしたウェブページについて、シラバスとは関係ないことを目視で判定している。これらのページを判定モデルの不正解データとする。

判定モデルの作成に当たっては、Python で記述された各種のライブラリやツールを用いている。まず、 HTML タグを除去したテキストの抽出には “html2text” を用いた。stop word の除去や bag of words への変換、TF-IDF の抽出には、機械学習にかかわる各種のアルゴリズムなどが実装された

[4] http://coursecatalog.web.cmu.edu/schoolofcomputerscience/undergraduatecomputerscience/(2019-04-03 アクセス)

表 1: TR-LINK の性能 (LOOCV)

precision	recall	f1-score	support
1.00000	0.81818	0.90000	22

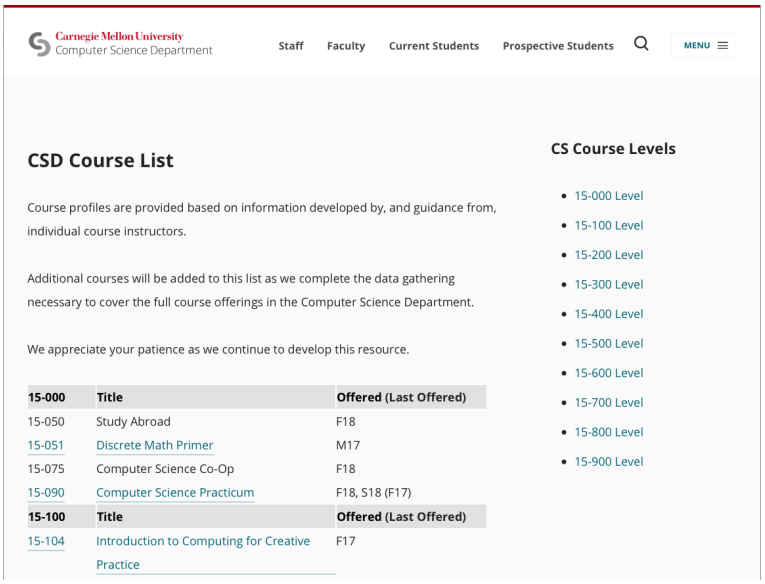


図 2: Carnegie Mellon University における 1 位のページ

scikit-learn[5]を用いた。クラス分類の問題に対してさまざまなアルゴリズムが存在するが、最も一般的な線形サポートベクタマシンを用いることとして、scikit-learn の LinearSVC を用いている。

Link Type の判定に当たっては、正解データ 22 個[6]と不正解データ 500 個でモデル “TR-LINK” を構築した。なお、TR-LINK の作成に当たっては、Link Type のページが多数のリンクを含んでいることを考慮して、ウェブページ内のアンカータグに含まれる URL を、ページから抽出したテキストに追加している。

TR-LINK の評価に当たって、leave-one-out cross validation (LOOCV) を実施した結果を表 1 に示す。LinearSVC のパラメータ C は 10^{-3} から 10^{3} の範囲で、0.1 の時に f1-score が最も高くなり、このとき不正解データをすべて判定できた一方、正解データのうち 18 ページを判定できた。

次にこのモデル “TR-LINK” を用いてシラバスページを見つけることができるかを検討するべく、正解データからある大学のページのみを除外して作成した SVM のモデル “TR-LINK-self” で、その大学からクローリングしたウェブページを判定することを試みた。もし、除外した正解データのウェブページを Link Type のページとして適切に判定できたとすれば、confidence score で並べ替えた当該大学のウェブページの中で上位に現れることが期待される。これを 22 大学すべてについて行った結果を表 2 に示す。例えば、Carnegie Mellon University の場合、クロールによって取得した約 1 万 9 千ページの中で、図 1 の Link Type のページの順位 (Rank) は 1,644 位でページ全体数 (Total)19,322 の中の約 8.5%(Rank / Total) であることを示している。

本手法の評価のために、各大学で上位 10 位に入ったウェブページを調査したところ、16 の大学では Link Type もしくは Link Type へのリンクとなっているページを見つけることができた。例えば、Carnegie Mellon University の場合は図 2 のページ[7]が 1 位として見つかっている。

これらの結果から、今回作成した SVM の判定モデル TR-LINK は、Link Type のウェブページを

[5] https://scikit-learn.org/stable/
[6] 大学院生が見つけたページ 31 個から、クローラによって取得できていないページを除いた。
[7] https://csd.cs.cmu.edu/course-profiles/csd-course-list (2019-04-03 アクセス)

表 2: TR-LINK-self による大学のウェブページの判定結果

id	University (Country)	Rank	Rank / Total (%)	Total
3	University of Oxford (United Kingdom)	130	0.9	14,506
5	University of Cambridge (United Kingdom)	588	4.2	14,100
7	Carnegie Mellon University (United States)	1,644	8.5	19,322
14	University of Edinburgh (United Kingdom)	25,686	30.3	84,776
18	UCL (United Kingdom)	4,550	49.7	9,153
19	Columbia University (United States)	928	14.0	6,607
21	University of Illinois at Urbana-Champaign (United States)	946	1.6	60,355
24	University of California, San Diego (United States)	11	0.6	1,851
26	University of Texas at Austin (United States)	2	0.0	64,804
27	University of Wisconsin-Madison (United States)	7	0.0	129,026
40	Seoul National University (South Korea)	239	8.6	2,789
44	University of California, Santa Barbara (United States)	52	0.3	18,762
46	Zhejiang University (China)	2,316	79.5	2,915
48	Brown University (United States)	1	0.0	20,299
61	King's College London (United Kingdom)	131	0.1	101,282
63	University of Manchester (United Kingdom)	10,797	83.8	12,891
85	University of Southampton (United Kingdom)	6	0.1	5,566
91	Rutgers, the State University of New Jersey (United States)	33	0.2	17,053
94	Stony Brook University (United States)	330	5.1	6,438
98	Newcastle University (United Kingdom)	1,327	4.5	29,774
99	Queensland University of Technology (Australia)	223	0.6	35,389
	平均		13.7	

表 3: TR-SYL の性能 (LOOCV)

precision	recall	f1-score	support
0.99784	0.99713	0.99749	1393

探すためにある程度役に立つといえるだろう。

Whole Type　Whole Type は比較的短いシラバスを集めたページである。図 3 に Whole Type のサンプルとして、University of California, Irvine のページ[8]を示すそこで、過去に集めたシラバスページを正解データとして用いた判定モデル "TR-SYL" によって、Whole Type のページを探すことを試みている。モデルの作成に当たったライブラリなどは Link Type と同様だが、シラバスページを 1,393 個、シラバス以外のページ 5,000 個を用いて、Whole Type 判定用のモデルとした。Link Type の時と同様に、TR-SYL の LOOCV の結果を表 3 に示す。また、TR-SYL を用いて、各大学のウェブページの中から、予め見つけていた Whole Type 相当のページを見つけられるかを示したのが表 4 である。各大学のウェブページ全体の中で、平均して約 1.13%の中に Whole Type のページを見つけることができている。各大学のページの上位 10 位以内で調べると、12 校中 9 校で Whole Type や Link Type に相当するページを見つけられている。

[8] http://catalogue.uci.edu/donaldbrenschoolofinformationandcomputersciences/departmentofcomputerscience/#courseinventory (2019-04-03 アクセス)

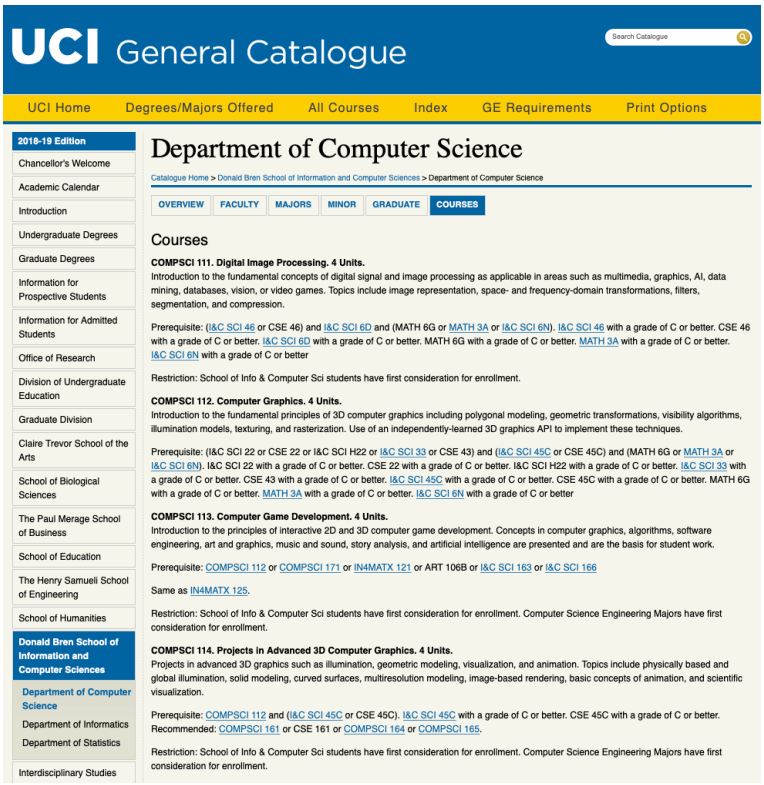


図 3: Whole Type のサンプル (University of California, Irvine)

表 4: TR-SYL による大学のウェブページの判定結果

id	University (Country)	Rank	Rank / Total (%)	Total
6	California Institute of Technology (United States)	5	0.0	14,728
8	Georgia Institute of Technology (United States)	63	0.6	10,940
20	Tsinghua University (China)	1	0.1	1,154
23	University of Pennsylvania (United States)	94	0.3	27,051
29	Hong Kong University of Science and Technology (Hong Kong)	170	1.2	14,580
38	Chinese University of Hong Kong (Hong Kong)	32	0.1	22,714
41	Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)	1	0.2	429
42	Delft University of Technology (Netherlands)	34	0.9	3,692
49	University of California, Irvine (United States)	150	0.5	29,625
52	Rice University (United States)	173	1.1	15,273
68	Pennsylvania State University (United States)	1925	4.6	42,026
72	University of North Carolina at Chapel Hill (United States)	877	5.2	16,767
	平均		1.13	

Database Type　Database Type とはシラバス等の講義情報を提供するデータベースサイトの入り口となるページである。図 4 は、University of Melbourne のシラバス情報などを検索できるサイト

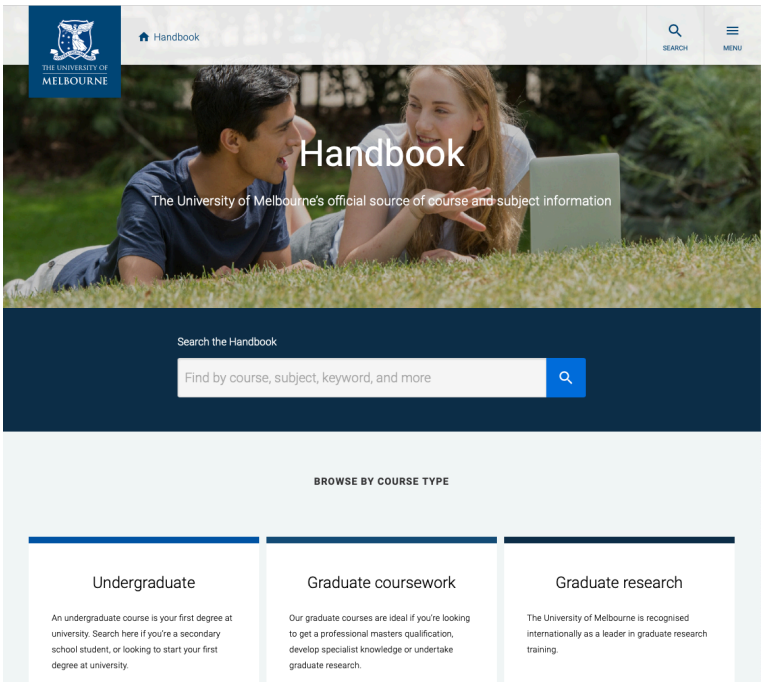


図 4: Database Type のサンプル (University of Melbourne)

表 5: TR-DB の性能 (LOOCV)

precision	recall	f1-score	support
0.36364	1.00000	0.53333	12

Handbook のトップページ[9]である。このようなサイトは大学全体の中でも重要なサイトの一つであることから、学内の他のページからのリンクが多く、ウェブ検索等でも上位に位置づけられると考えられ、検索に用いられる代表的なアルゴリズムの一つである PageRank の値も高くなると予想される。そこで、Database の判定モデル “TR-DB” の構築に当たっては、Link Type と同様のページのテキストに加えて、対象とする大学内のウェブページのリンク構造に基づいて算出した PageRank の値を用いた。正解データは 12 個、一方不正解データは TR-LINK と同じである。LOOCV による TR-DB の評価の結果は表 5 に示す。また、TR-LINK-self と同様の方法で TR-DB から作成したモデル TR-DB-self で、正解データに用いた大学のクローリング済みのページを評価した結果を表 6 に示す。この表からは、PageRank を用いた場合の方がやや判定結果が良いことが読み取れる。

以上、それぞれの Type のページを判定するモデルを用いて、シラバス情報を収集するためにある程度役に立つことが分かった。今後はこの判定モデルを用いて、予備実験対象以外の大学からシラバス情報の収集を進める予定である。

2.3 具体的成果

2019 年 4 月現在、本研究で得られた知見を取りまとめ、国際会議で発表すべく、論文を投稿中である。なお、2018 年度には、過去に行ったカリキュラム分析についての成果が論文 [査読付 1] として掲載された。

[9] https://handbook.unimelb.edu.au/ (2019-04-03 アクセス)

表 6: TR-DB-self による大学のウェブページの判定結果

id	University (Country)	w/o PageRank		w. PageRank		Total
		Rank	Rank / Total (%)	Rank	Rank / Total (%)	
1	Stanford University (United States)	23,504	91.9	11,978	46.8	25,573
4	ETH Zurich Swiss Federal Institute of Technology Zurich (Switzerland)	284	3.2	31	0.4	8,816
12	Princeton University (United States)	99	0.8	937	7.9	11,812
13	National University of Singapore (Singapore)	487	6.1	597	7.5	7,950
15	Cornell University (United States)	611	1.1	300	0.5	57,195
28	University of British Columbia (Canada)	107	0.7	1,922	13.4	14,291
30	University of Southern California (United States)	177	1.5	295	2.4	12,069
34	University of Chicago (United States)	415	1.8	147	0.7	22,613
39	University of Melbourne (Australia)	1,462	17.4	12	0.1	8,404
52	Rice University (United States)	1,081	9.3	118	1.0	11,575
83	Australian National University (Australia)	21,148	53.0	14,672	36.8	39,881
87	University of Pittsburgh (United States)	1,049	7.8	1,768	13.1	13,524
	平均		16.2		10.9	

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yoshitatsu Matsuda, Takayuki Sekiya, Kazunori Yamaguchi: Curriculum Analysis of Computer Science Departments by Simplified, Supervised LDA, Journal of Information Processing (JIP), Volume 26, Jun. 2018.

機械学習を利用した悪性パケット分類に関する研究 ・次世代ICTインフラアーキテクト育成

岡田和也

1 機械学習を利用した悪性パケット分類に関する研究

1.1 背景

個人や組織を狙ったサイバー攻撃がインターネットインフラと利用者への大きな脅威となっている．日々新しい攻撃手法が生み出されており，防御する側はそれらの攻撃に対処しなくてならない．こうした未知や巧妙なサイバー攻撃を検知するためには，正常な通信やデータのパターンを予め定義し，正常から逸脱したものを検知するアノマリ型の検知手法が有効である．特に昨今では，深層学習をはじめとする機械学習技術を応用した検知手法が幅広く研究されている．

しかし，ネットワーク上での攻撃検知は，セキュリティ機器によりネットワークに到着する全てのパケットをリアルタイムに検査しなければならない．次世代型ファイアウォール (NGFW) や Intrusion Detection System (IDS) のような現在のセキュリティ機器ではシグネチャを用いて最大で 100 Giga bit per second (Gbps) の速度でネットワークトラフィックを検査が可能である．一方でリアルタイムでのパケット検査で許容される 1 パケットあたりの処理時間は非常に短い．10 Gbps のスループットを達成するためには，64 byte のパケットを受信から送信まで合計 約 50 ナノ秒以内に処理しなければならない．

機械学習を利用した検知手法は、検知対象となる攻撃に対し複数の特徴量と分類アルゴリズムを用いることで検知精度を向上させている．その一方で，検知に必要な処理時間は考慮されておらず，処理時間がアルゴリズムの種別や特徴量の数に応じて長くなってしまう．そのため，これらの検知手法の多くはリアルタイムでの攻撃検知に適していない．分類に要する処理時間が長くなると，パケット転送に時間を要し，正規の通信に遅延が生じてしまう．そのため，パケット転送遅延を抑えつつ機械学習を用いた検知手法を動作させる機構が必要である．

本研究では，ネットワーク上のパケットに対して機械学習を用いた攻撃検知処理を高速に行い，パケットの分類を行う処理機構の提案を目的とする．個々の通信プロトコルの特徴や実際のネットワークを流れるトラフィックの特性に着目し，パケット処理以外の部分で機械学習による分類処理時間を得る方法を提案した．2018 年度は DNS の名前解決に要する時間を活用することで，機械学習を用いて悪性 DNS クエリを検知し名前解決を未然に防ぐリアルタイム悪性 DNS クエリ分類システムを提案した．

1.2 研究内容

機械学習によるパケット分類を行うために，図 1 に示す転送機構を提案した．提案機構は，パケット処理を担う受信，パーサ，特徴量抽出，分類，送信の 5 つのパートから構成される．さらに受信，送信パートを送受信モジュールとしてまとめ，パーサ，特徴量抽出，分類パートを追加・削除が容易な分類モジュールとしてまとめる．各パートはそれぞれ次の動作を行う．我々は，提案アーキテクチャを汎用的なソフトウェアとライブラリのみを用いて実装した．パケットの転送には Intel 社の Data Plane

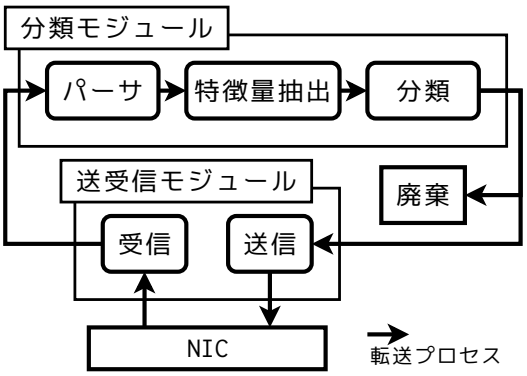


図 1: 機械学習を利用したパケット転送機構

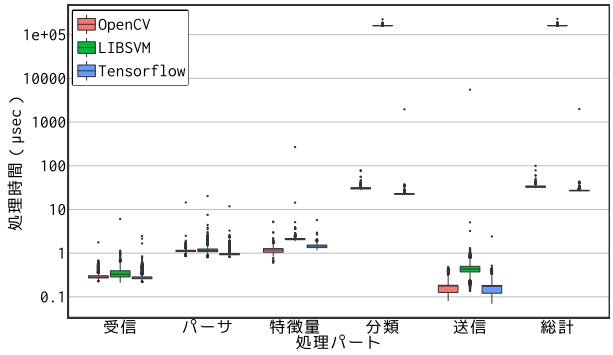


図 2: 各パートの処理時間

Development Kit (DPDK) を用いた．分類機構は機械学習アルゴリズムの実装に利用される LIBSVM, TensorFlow,, OpenCV を用いて実装した．

図 2 は，実装した転送機構において各処理パートでのパケット処理時間を計測した結果である．分類アルゴリズムには，DNS クエリに含まれる悪性ドメイン名を検知するアルゴリズムを SVM (LIBSVM を利用），深層学習（TensorFlow を利用），ランダムフォレスト（OpenCV を利用）でそれぞれ実装した物を用いた．いずれのアルゴリズムを用いた場合も，「分類処理」が最も時間を要していることがわかる．最も早い TensorFlow の実装でも約 50 μ s の時間を要しており，ワイヤーレートでのパケット転送（約 50ns）を達成するためには約 1,000 倍近い改善が必要である．

上記の問題を解決するために，DNS の名前解決時間（数ミリ秒）を利用して分類処理を行うことで分類処理時間を確保する方法を提案した．DNS では，名前解決時に DNS クエリパケットが早出され，DNS サーバにて名前解決が行われ，対応する DNS レスポンスが返信される．その後，名前解決を行なったホストに対して通信が開始される．そのため，DNS クエリパケットの時点でパケット分類が未完了であっても，名前解決後の最初のパケットが宛先ホストに届くまでは実害がないことが多い．本研究では，上記の DNS の名前解決時間を分類時間に利用するためにドメイン/IP アドレスのブラックリスト・ホワイトリストを複数組み合わせる方式を提案し実装した．その結果，分類処理による転送速度の低下を削減しつつ各種アルゴリズムによる分類に必要な時間を確保することに成功した．

1.3 具体的成果

提案機構を実装し，実際のトラフィックデータを用いて分類・転送速度について評価した．研究成果については研究会 1 編，国際会議併設ワークショップ 1 編にまとめて発表した．今後は分類の高速化を進めると共に DNS 以外にも分類時間を稼ぐ手段を研究していく．また，様々な分類アルゴリズムを手軽に利用可能にするために，モジュール化など転送機構の設計・実装を見直す予定である．

本節で紹介した「機械学習を利用した悪性パケット分類に関する研究」は，JST CREST[人工知能]の採択課題である「 サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測」（研究分担者）の一部で実施した成果である．

2 次世代 ICT インフラアーキテクトの育成

2018 年 8 月 27 日から 8 月 31 日の 5 日間に渡り，東京大学情報基盤センターにて「第 2 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー」を一般社団法人　高度 IT アーキテクト育成協議会 (AITAC) の協力のもとに開催した．また,「第 3 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー」を 2019 年 2 月 25 日から 3 月 1 日の 5 日間に渡り開催した．筆者は本セミナーにおいてカリキュラムの作成及びネットワーク/監視/SDN に関する講義・演習の講師を担当した．本セミナーは，インターネット上で提供される様々なサービス，アプリケーションを提供するための基盤となる IT インフラを設計・構築・運用するために必要な要素技術を座学と演習を通して学ぶことを目的として，2017 年度から当センターで実施しているものである．

講師は，当センターの関谷勇司准教授，空閑洋平特任講師，中村遼助教を加えた 4 名が中心となり，各講義を分担した．各回のスケジュールは下記の通りである．2019 年 2 月に開催した第 3 回のセミナーでは，カリキュラムを改定し新しくストレージ・データベース技術の基礎・演習，DNS/NTP 技術に関する基礎を実施した．

- 第 2 回次世代 IT アーキテクト育成セミナースケジュール
  - 8 月 27 日　ネットワーク基礎／ IGP 経路制御演習
  - 8 月 28 日　 OS 基礎／サーバ構築演習／コンテナ技術基礎／コンテナ演習
  - 8 月 29 日　クラウド技術基礎／クラウドサービス構築演習／ストレージ・データベース技術の基礎／ SDN 基礎
  - 8 月 30 日　インフラ自動化基礎・演習／ NFV 技術の概要／ SDN プログラミング演習
  - 8 月 31 日　インフラ運用監視基礎・演習／インフラ設計事例／グループワーク
- 第 3 回次世代 IT アーキテクト育成セミナースケジュール
  - 2 月 25 日 ネットワーク基礎／ IGP 演習
  - 2 月 26 日 DNS /NTP /OS 基礎／サーバ構築演習／コンテナ技術基礎／コンテナ演習
  - 2 月 27 日 インフラ自動化基礎・演習／ NFV 技術の概要／インフラセキュリティ
  - 2 月 28 日 クラウド技術基礎／クラウドサービス構築演習／ストレージ・データベース技術の基礎・演習／ SDN 基礎／ SDN プログラミング演習
  - 3 月 1 日 インフラ運用監視基礎・演習／インフラ設計事例／グループワーク

セミナーでは，IT インフラの基礎技術であるコンピュータネットワークとオペレーティングシステム (OS) の基礎を座学で学んだのちに，演習を通して技術の理解を深めた．その後，クラウド技術，SDN 技術，NFV 技術といった昨今のインフラには必要不可欠な技術を座学と演習を通して学んでもらった．特に演習では，小型のルータを利用して小規模ネットワークを構築し経路制御を実施したり，

図 3: セミナーの様子（第 3 回）

セミナーの協力組織である AITAC のもつクラウド演習環境を利用してサーバ構築などを行なった．クラウド技術の演習では，商用クラウドサービス事業者である AWS（アマゾンウェブサービス）の環境を利用して，サーバ構築，docker を用いたコンテナ演習，ansible による自動化演習などを行なった．

第 1 回から第 3 回の受講数の推移は表 1 の通りである．第 1 回・第 2 回と比べて第 3 回の受講者数が大幅に少ない理由は，第 1 回・第 2 回の受講者数が講師人数に比べて多く，時間内の演習遂行ができなかったためである．第 3 回では，募集期間を限定し延長を行わなかったため 17 名の参加となったが，演習を円滑に実施することができた．講師が満遍なく学生のサポートができたため，ほぼ全ての演習課題を無事に終えることができた．次回以降も演習方法を改善し，20 名程度の受講者を対象としたセミナーを実施する予定である．

2019 年度も年 2 回のセミナー開催を予定している．また過去のセミナーの実施状況を踏まえて，セミナー内容のアップデートを AITAC と連携して実施していく．

3　その他の成果

2018 年度は上記の研究以外にも研究活動を遂行し，他にも査読付論文 1 編（共著者），発表 6 件，特許出願 2 件を達成した．

4　成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 阿部 博, 島 慶一, 宮本 大輔, 関谷 勇司, 石原 知洋, 岡田 和也, 中村 遼, 松浦 知史, 篠田 陽一,「時間軸検索に最適化したスケールアウト可能な高速ログ検索エンジンの実現と評価」, 情報処理学会論文誌, 60 巻 3 号, pp.728-737, 2019 年 3 月.

その他の発表論文

[発表 1] Toki Suga, Kazuya Okada, Hiroshi Esaki,“Toward Real-time Packet Classification for Preventing Malicious Traffic by Machine Learning”, 1st International Workshop on Artificial Intelligence

回	受講者数
第 1 回（2018 年 2 月）	37 名
第 2 回（2018 年 8 月）	39 名
第 3 回（2018 年 9 月）	17 名

表 1: 過去 3 回のセミナー受講者数

and Machine Learning Technologies for Enhanced Network Management (AIMLEM 2019), Paris, France, February 2019.

[発表 2] Kazuya Okada, Shigeru Kashihara, Yoshihisa Kondo, Nobuo Suzuki and Hiroyuki Yokoyama, ”Device-Based Network Selection for Edge Computing,” 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 1-2. doi: 10.1109/CCNC.2019. (demo)

[発表 3] 岡田和也, 樫原　茂, 近藤良久, 鈴木信雄, 横山浩之. エッジコンピューティングを考慮した端末ベースのネットワーク選択手法の提案. 信学技報, vol. 118, no. 305, MoNA2018-23, pp. 7-12, 2018 年 11 月.

[発表 4] Kazuya Okada, Shigeru Kashihara, Nao Kawanishi, Nobuo Suzuki, Keizo Sugiyama and Youki Kadobayashi, ”GoEdge: A Scalable and Stateless Local Breakout Method”, Theory and Practice for Integrated Cloud, Fog and Edge Computing Paradigms (TOPIC 2018), July 2018. (workshop)

[発表 5] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Diasuke Miyamoto, Kazuya Okada and Tomohiro Ishihara, ”Malicious Host Detection by Imaging SYN Packets and A Neural Network”, IEEE International Symposium on Networks, Computers and Comunications (IEEE ISNCC2018), Roma, Italy, June 2018 (short paper)

[発表 6] 須賀 灯希, 岡田 和也, 江崎 浩, ”機械学習による悪性トラフィック遮断のための高速パケット分類機構の検討”, 電子情報通信学会 第 16 回ネットワークソフトウェア研究会, 2018 年 6 月.

特記事項

[特記 1] 特願 2019-015817 発明名称: 通信装置.

[特記 2] 特願 2018-111069 発明名称: 通信装置，パケット処理方法及びプログラム.

[特記 3] 一般社団法人 高度 IT アーキテクト育成協議会 共同研究.

[特記 4] NTT セキュアプラットフォーム研究所 共同研究.

[特記 5] InteropTokyo 2018 出展/ShowNet2018 でデモを実施.

[特記 6] 第 3 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー, 主催：東京大学情報基盤センター, 2019 年 2 月.

[特記 7] 第 2 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー, 主催：東京大学情報基盤センター, 2018 年 8 月.

データ科学研究部門
（旧学術情報研究部門）

データ科学研究部門概要

中村　覚

デジタルアーカイブの構築と活用

データ科学研究部門

概要

部門長　田浦健次朗

1　概要

2018 年度は，デジタルアーカイブの構築と活用に関して種々の検討を行った．

- 東京大学学術資産等アーカイブズ委員会の委員として，東京大学デジタルアーカイブズ構築事業の推進に協力した．また，東京大学学術資産アーカイブ化推進室の一員として，東京大学内における学術資産の公開と利活用を支援するデジタルアーカイブシステムの設計と開発に取り組んだ [招待 1][査読付 4, 査読付 6][発表 1, 発表 6].

- LOD（Linked Open Data）や IIIF（International Image Interoperability Framework）等の情報技術を用いた人文学研究（人文情報学・デジタルヒューマニティーズ）に関する研究を行った [招待 2, 招待 3, 招待 4] [査読付 1, 査読付 2, 査読付 3, 査読付 5][発表 3, 発表 7, 発表 8, 発表 9].

2　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 中村覚：東京大学デジタルアーカイブズ構築事業におけるオープンデータに関する取り組み，シンポジウム「オープンデータと大学」| 九州大学附属図書館，2019 年 1 月 30 日．http://hdl.handle.net/2324/2197530

[招待 2] 永崎研宣, 中村覚: NCC Digital Scholarship Workshop: IIIF, 北米日本研究資料調整協議会, NCC Digital Scholarship Workshop, 2018年11月15－16日. https://guides.nccjapan.org/homepage/news/ncc-digital-scholarship-workshop-november-15-16-2018

[招待 3] 小風尚樹, 中村覚, 金甫榮, 清原和之, 福田真人, 田中聡: 〈シリーズ　歴史家とアーキビストの対話　第 4 回〉対話の場としてのデジタル・アーカイブ：歴史研究者のためのデータ・リテラシーとウェブデザイン, 歴史学研究, No.974, 2018 年 9 月.

[招待 4] 中村覚：軍艦から拓本まで ～東京大学のデジタル文化資源，文化資源学会 展望プロジェクト デジタル文化資源の未来，2018.4.29.

受賞関連

[受賞 1] 平成 30 年 5 月 情報処理学会 人文科学とコンピュータ研究会学生奨励賞 歴史研究者・アーキビスト・エンジニアの学際的協働に基づくコミュニティ構築：Tokyo Digital History を事例に（受賞者：小風尚樹・中村覚・清原和之・山王綾乃・纓田宗紀・小林拓実）

査読付論文

[査読付 1] 中村覚, 大和裕幸, 稗方和夫, 満行泰河: Linked Data とデジタルアーカイブを用いた史料分析支援システムの開発，デジタル・ヒューマニティーズ，Vol.1，pp.29-43，2019.1. http://dx.doi.org/10.24576/jadh.1.0_29

[査読付 2] 上原究一, 永井正勝, 中村覚, 中尾道子, 近藤隼人, 荒木達雄, 蓑輪顕量: 図書館における木版本のデジタル化と利活用の可能性―IIIF と TEI を用いた『水滸伝』諸版本のデジタル化を通じて―，じんもんこん 2018 論文集，Vol.2018，pp.381-388，2018.12. http://id.nii.ac.jp/1001/00192402/

[査読付 3] 中村覚, 成田健太郎, 永井正勝: Linked Data 化した典拠データと IIIF を用いた法帖の異版比較支援システムの開発，じんもんこん 2018 論文集，Vol.2018，pp.297-302，2018.12. http://id.nii.ac.jp/1001/00192390/

[査読付 4] 中村覚: 東京大学デジタルアーカイブズ構築事業：学術資産の利活用に向けた取り組み，漢字文献情報処理研究, No.18, pp.29-34, 2018.10.

[査読付 5] Satoru Nakamura, Masato Fukuda, Jun Ogawa, Sho Makino, Ayano Sanno, Shohei Yamasaki: Broadening Perspectives of Historical Researchers: From a Case of Interdisciplinary Workshop organized by Graduate Students in Japan, The 8th International Conference of Japanese Association for Digital Humanities, pp.86-87, 2018.9.

[査読付 6] Satoru Nakamura, Publication and Usage of TEI Data in UTokyo Digital Archives Development Project, The 18th annual Conference and Members Meeting of the Text Encoding Initiative Consortium, pp.232-233, 2018.9.

その他の発表論文

[発表 1] 中村覚: IIIF とオープンデータを活用した『君拾帖』内容検索システムの開発, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.3, No.2, pp.155-158, 2019 年 3 月 16 日.

[発表 2] 宮本隆史, 中村覚: 個人アーカイブから想起のコミュニティへ:前川俊行による『異風者からの通信』と三池炭鉱の記憶, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.3, No.2, pp.207-210, 2019 年 3 月 16 日.

[発表 3] 永崎研宣・王一凡監訳, 小風綾乃・小風尚樹・中村覚訳: (翻訳論文)Nancy Ide, Michael Sperberg-McQueen, & Lou Burnard「TEI:それはどこからきたのか. そして, なぜ, 今もなおここにあるのか？」, デジタル・ヒューマニティーズ, Vol.1, pp.3-28, 2019 年 1 月.(依頼有り) https://doi.org/10.24576/jadh.1.0_3

[発表 4] 中村覚: 日本におけるデジタルアーカイブの動向について, 専門図書館, No.292, pp.2-7, 2018 年 12 月.(依頼有り)

[発表 5] 中村覚: 大学図書館とデジタルアーカイブ──東京大学における取り組みを例として, 現代思想, pp.108-113, 2018 年 11 月.(依頼有り) https://ci.nii.ac.jp/naid/40021742343

[発表 6] 中村覚: 東京大学デジタルアーカイブズ構築事業における学術資産の利活用に向けた取り組み, 東北大学史料館だより, No.29, pp.2-3, 2018 年 9 月.(依頼あり) http://www2.archives.tohoku.ac.jp/news/TUANL29.pdf

[発表 7] 中村覚, 永崎研宣: 日本国内の IIIF 準拠画像に対する横断検索システムの構築, 研究報告人文科学とコンピュータ(CH), Vol.2018-CH-118, No.8, pp.1-6, 2018 年 8 月. http://id.nii.ac.jp/1001/00190728/

[発表 8] 小風尚樹, 中村覚, 清原和之, 山王綾乃, 纓田宗紀, 小林拓実: 歴史研究者・アーキビスト・エンジニアの学際的協働に基づくコミュニティ構築 Tokyo Digital History を事例に, 研究報告人文科学とコンピュータ(CH), Vol.2018-CH-117, No.10, pp.1-6, 2018 年 5 月. http://id.nii.ac.jp/1001/00187426/

[発表 9] 小風 尚樹 , 中村 覚 , 纓田 宗紀 , 山王 綾乃 , 小林 拓実 , 清原 和之 , 金 甫榮 , 福田 真人 , 山崎 翔平 , 槙野 翔 , 小川 潤 , 橋本 雄太 , 宮本 隆史 , 菊池 信彦 , 後藤 真 , 崎山 直樹 , 元 ナミ , 加藤 諭: デジタルヒストリー入門 : 2018 Spring Tokyo Digital History Symposium 開催報告, 東京大学学術機関リポジトリ, pp.1-57, 2018 年 5 月. http://hdl.handle.net/2261/00074493

書籍等出版物

[書籍 1] 中村覚 (担当:共編者), デジタルアーカイブ・ベーシックス 1:権利処理と法の実務, 勉誠出版, 2019 年 3 月.

[書籍 2] 中村覚 (担当:分担執筆, 範囲:歴史データをつなぐこと - 画像データ -), 歴史情報学の教科書, 文学通信, pp. 37-52, 2019 年 3 月.

[書籍 3] 中村覚 (担当:分担執筆, 範囲: 学校図書館の行方:大学図書館とデジタルアーカイブ──東京大学における取り組みを例として), 現代思想 2018 年 12 月号 特集＝図書館の未来, 現代思想, pp. 108-113, 2018 年 11 月.

デジタルアーカイブの構築と活用

中村覚

1　概要

本年度の主な実施項目を以下に示す.

- 東京大学デジタルアーカイブズ構築事業の推進とシステム開発

東京大学内における学術資産等のデジタル化と公開の支援に取り組む「学術資産アーカイブ化推進室」の一員として，学術資産の公開と利活用を支援するための情報システムの設計と構築を行った.

- Linked Data を用いたデジタルアーカイブの利活用に関する研究

歴史学研究を構成する「資源」「研究」「展示」プロセスにおける有機的な連携を支援するための方法論を研究した. 具体的には，デジタルアーカイブの活用による各々のプロセス支援に加え，プロセス間の成果物を Linked Data を用いて関連づけ，それらを相互に利用可能なシステムの開発，および複数の事例研究を通じた有用性の評価を行った.

2　東京大学デジタルアーカイブズ構築事業の推進とシステム開発

2.1　背景

2015 年に公表された「東京大学ビジョン 2020」の一つに「学術の多様性を支える基盤の強化」が掲げられ，「東京大学が保持する学術資産のアーカイブを構築し，その公開と活用を促進することで，学術の多様性を支える基盤を強化する. 」という方針が示された. これを受け，2016 年 9 月に「東京大学学術資産等アーカイブズ委員会」が東京大学内に設置された. 本委員会は東京大学附属図書館長，東京大学総合研究博物館長，東京大学文書館長，東京大学情報基盤センター長を中心として構成され，東京大学内の MLA（博物館 Museum・図書館 Library・文書館 Archives）機関が参画している点に特徴がある. 委員会では，東京大学の保持する多様な学術資産等のデジタルアーカイブ化を行い，かつ国内外に向けて広く公開し，その活用を促進するための「東京大学デジタルアーカイブズ構築事業」を 2017 年度から実施している. また，2017 年 4 月には附属図書館に学術資産アーカイブ化推進室（以下，「推進室」）が設置され，情報基盤センターや附属図書館，情報システム部等の教職員 10 名から成るメンバーで学内における学術資産等のデジタル化と公開の支援に取り組んでいる.

2.2　内容

推進室の一員として，東京大学デジタルアーカイブズ構築事業の推進と，学内の学術資産の公開と利活用を支援するための情報システム「東京大学学術資産等アーカイブズプラットフォーム」の開発に取り組んでいる.

図 1 に示す本アーカイブズプラットフォームは，以下の 3 つのシステムから構成される.

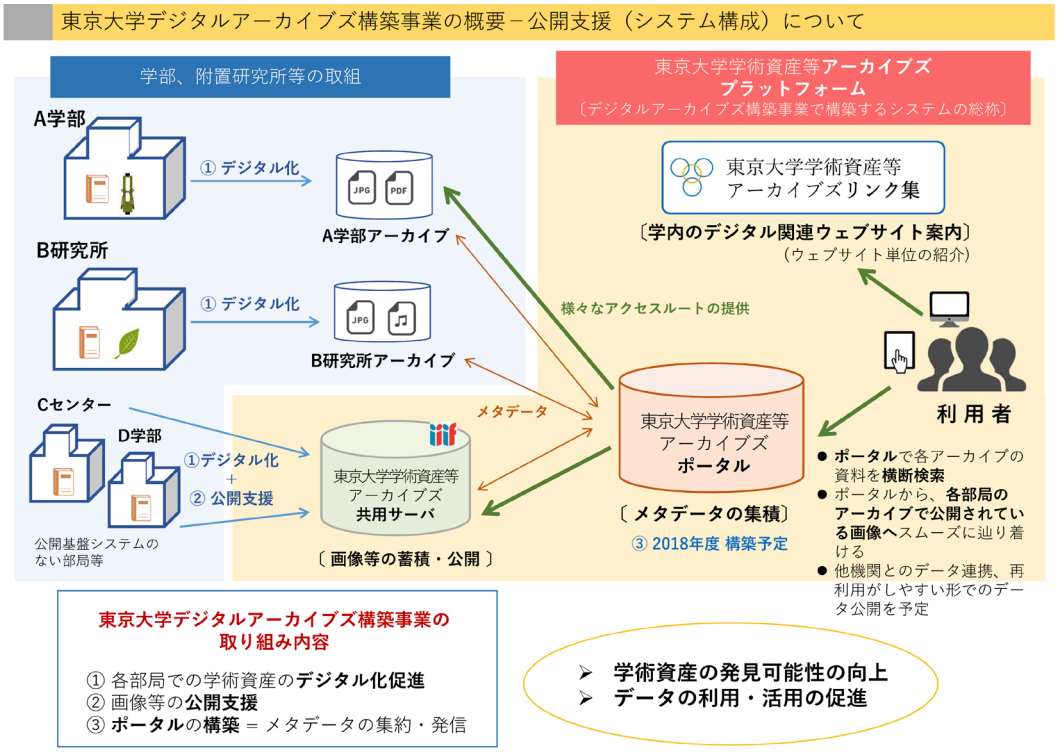


図 1 東京大学デジタルアーカイブズ構築事業の概要

東京大学学術資産等アーカイブズリンク集（以下，「リンク集」）は，既に学術資産のデジタル公開を行っている学内ウェブサイトを一覧形式で紹介するものである（https://da.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dalink/browse.html）．本学で所有する学術資産の現状を俯瞰的に閲覧可能にすることを目的としたシステムである．

リンク集がデータベースやウェブサイト単位での情報集約であるのに対し，東京大学学術資産等アーカイブズポータル（以下，「ポータル」）は，資料単位での横断検索を可能にするシステムである（https://da.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/portal/）．学内で学術資産を公開するデジタルアーカイブやデータベースからメタデータを収集し，部局や各アーカイブを横断した検索を可能とするシステムを目指している．また，国立国会図書館や国立情報学研究所とのデータ連携や，LOD（Linked Open Data）を用いたデータ公開，画像への永続的なアクセスと利便性の向上を目的とする DOI（Digital Object Identifier）の付与なども検討している．

東京大学学術資産等アーカイブズ共用サーバ（以下，「共用サーバ」）は，公開システムの構築が困難な部局に対する学術資産の公開を支援するためのプラットフォーム，ホスティングサービスである（https://iiif.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/repo/）．支援が必要な部局から画像やメタデータを受け取り，公開サイトの構築までをサポートする．この公開においてはポータルと同様に，単なる学術資産の公開に留まらず，第三者や計算機による公開データの利活用を支援することを目的として，デジタルアーカイブに関連する国際規格や新しい情報技術を積極的に導入する．具体的には，画像の効果的・効率的な共有を行うための国際規格である IIIF（International Image Interoperability Framework）を用いた画像公開や，人文学資料のマークアップのためのルールを定めているガイドライン TEI（Text Encoding Initiative）に従ってテキストを公開する．

2.3 具体的成果

ポータルシステムの構築については，システム仕様書の作成及び業者選定を行い，受注業者と綿密に連絡を取りながら構築を進め，予定通り 2 月末にシステムが納入された．2019 年度前半の公開に向け，搭載データの整理や利用者向けヘルプの充実等を行った．

共用サーバを用いたコレクション公開では，法学部が所蔵する室町時代の「御前落居記録」など法制史研究において重要な資料の公開支援を行うことができた．「Fragment of an Address to the Jews」では，関連論文（2 件）の公開許可をとることができ，画像と併せて公開することができた．また幕末から明治にかけての膨大なスクラップブックである「田中芳男文庫」の『捃拾帖』や，法・明治新聞雑誌文庫所蔵の宮武外骨収集資料の公開では，研究者はもちろん一般層からの反応も多数あり，学術資料の魅力を広く伝えることができた．更に，IIIF 準拠でのリニューアル公開を行い，デジタル技術を利用した人文学研究の推進に寄与することができた．（新規公開 9 コレクション，リニューアル公開 4 コレクション）

アーカイブズ事業の広報普及活動については，画像データ等のオープンデータ化により，データ活用を促進する環境を作ることができた．（学術資料の画像利用に対する敷居を下げること，画像利用申請の手間の削減など）また，オープンデータに関するセミナーを実施することにより，この取組を学内外に広く周知することができた．（セミナー参加者・約 130 名）

3　Linked Data を用いたデジタルアーカイブの利活用に関する研究

3.1　背景

近年，様々な分野において，オープンサイエンスの導入や実践が進められている．オープンサイエンスに関わる要素は多岐に渡るが，情報の共有に関する「オープンアクセス」「オープンデータ」「研究データ」，研究の協働に関する「学際研究」「市民科学」などがキーワードとして挙げられる．

「オープンデータ」とは，自由に使えて再利用もでき，かつ誰でも再配布できるようなデータのことである．従うべき決まりは，せいぜい「作者のクレジットを残す」あるいは「同じ条件で配布する」程度である．また，オープンデータは公開のレベルによって 5 段階に分類することができる．オープンライセンスでデータを公開する第 1 段階から，オープンに利用できるフォーマットでデータを公開する第 3 段階，Linked Open Data（LOD）を公開する第 5 段階までのレベルがある．LOD の公開により，第三者・計算機によるデータの利活用が容易となる．

人文学分野においても，デジタルヒューマニティーズに代表されるように，研究のデジタル化とオープン化が進んでいる．特に，画像などの Web コンテンツを共有するための国際的な枠組みである IIIF（International Image Interoperability Framework）が，日本国内においても広まりつつあり，IIIF の特徴を生かした活用事例も数多く報告されている．

本研究では，Linked Data をはじめ，デジタルアーカイブや IIIF 等の情報技術を用いて，学術資産の利活用を支援するシステムの開発を目的とする．具体的には，歴史研究プロセスの支援や，研究成果の公開支援を目的とする．

3.2　内容

Linked Data やデジタルアーカイブ，IIIF などの情報技術を用いて，学術資産の利活用を支援するシステムを提案・開発する．具体的には，以下の 4 点に取り組む．

1 点目の取り組みは，API（Application Programming Interface）の提供である．API とは，ソフトウェアが持つ機能の一部を外部のプログラムなどから簡単に利用できるようにする，機能の呼び出し手順などを定めた仕様のことを指す．API を利用することにより，プログラムを効率的に開発することが可能となり，多様な利活用を促すことができる．

様々なデータセットを組み合わせて利用する際などには，データの相互運用性が重要となる．この相互運用性の確保を目的として，公開データのオープン化（オープンデータ化）を積極的に進める．オープンデータは，二次利用や商用利用が認められた形でのデータ提供を指し，第三者によるデータの利活用を実現するための最低条件である．

また，データのオープン化にとどまらず，LOD（Linked Open Data）の提供を行う．LOD は Linked Data の技術に基づくオープンデータである．Linked Data はセマンティック Web 技術の応用として，データの意味論を RDF（Resource Description Framework）などを用いて記述する．データ形式が機械可読な形で標準化されることにより，様々なシステムやアプリケーションでのデータ利用が容易となる．

Linked Data に加え，国際的な標準規格，デファクト標準を積極的に採用する．国際的な標準規格を採用することにより，国内外における意味共有，データ利用を支援する．

画像については，画像の効果的・効率的な共有を行うための規格である IIIF（International Image Interoperability Framework）を用いた画像公開を行う．IIIF の利点として，画像へのアクセスが標準化され，多様な利活用を促す点が挙げられる．また，テキストデータについては，人文学資料のマークアップのためのルールを定めているガイドライン TEI（Text Encoding Initiative）に準拠したデータ公開を行う．さらに，メタデータの記述については，Dublin Core や bibo（Bibliographic Ontology）などの既存語彙の利用を基本として，データ単体での情報流通を見据えたデータ作成を行う．

3.3 具体的成果

ここでは「東京大学総合図書館所蔵：田中芳男・博物学コレクション」に関する取り組みについて述べる．

『捃拾帖』とは，明治時代の博物学者である田中芳男が収集した，幕末から大正時代にかけてのパンフレットや商品ラベルなどを貼り込んだ膨大なスクラップブックである．東京大学総合図書館はこれらの画像を冊単位で公開しているが，貼り込まれた資料単位での検索が望まれていた．この課題に対して，本研究では IIIF のアノテーション機能を利用し，各頁の貼り込み資料単位で画像を切り出し，検索可能なシステムを開発した．また，東京大学史料編纂所の「摺物データベース」が提供する，貼り込み資料単位のメタデータと組み合わせることで，内容情報に基づく検索を可能としている．本研究はその他，複数の機関が提供する各種リソース（IIIF・オープンデータ）を組み合わせて利用している点に特徴があり，デジタルアーカイブの利活用を検討する上での一事例を示すことを目的としている．さらに，本システム開発において人手で抽出した貼り込み資料に関するデータを，機械学習における教習データとして利用し，深層学習（ディープラーニング）を用いた貼り込み資料の自動検出，および類似画像検索システムの開発などにも取り組んでいる．（図 2）

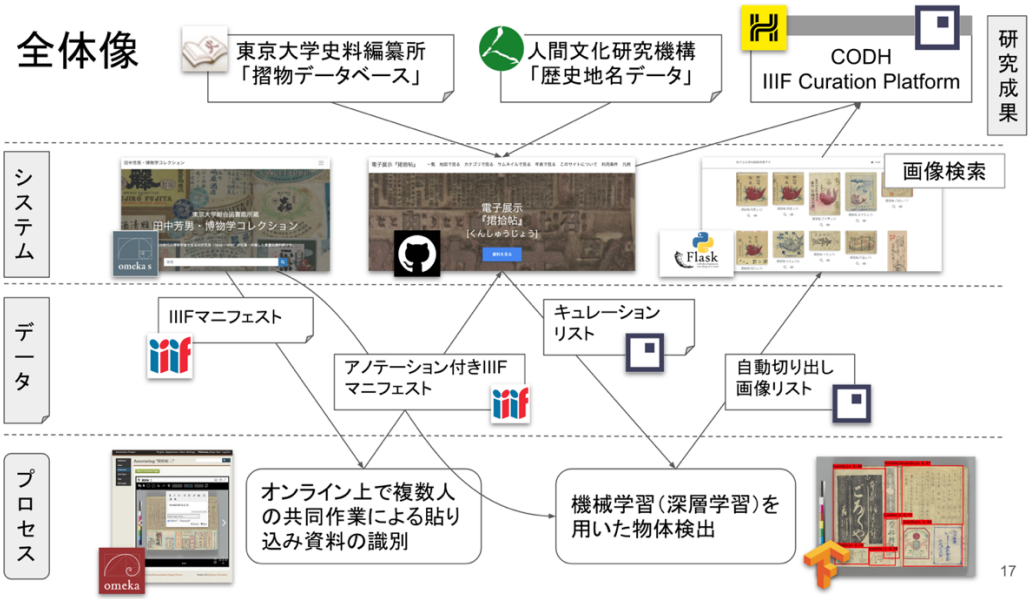


図 2『捃拾帖』の利活用に関する全体像

4　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 中村覚：東京大学デジタルアーカイブズ構築事業におけるオープンデータに関する取り組み，シンポジウム「オープンデータと大学」| 九州大学附属図書館，2019 年 1 月 30 日．http://hdl.handle.net/2324/2197530

[招待 2] 永崎研宣，中村覚: NCC Digital Scholarship Workshop: IIIF，北米日本研究資料調整協議会，NCC Digital Scholarship Workshop，2018 年 11 月 15－16 日．https://guides.nccjapan.org/homepage/news/ncc-digital-scholarship-workshop-november-15-16-2018

[招待 3] 小風尚樹，中村覚，金甫榮，清原和之，福田真人，田中聡: 〈シリーズ　歴史家とアーキビストの対話　第 4 回〉対話の場としてのデジタル・アーカイブ：歴史研究者のためのデータ・リテラシーとウェブデザイン，歴史学研究，No.974，2018 年 9 月．

[招待 4] 中村覚：軍艦から拓本まで ～東京大学のデジタル文化資源，文化資源学会 展望プロジェクト デジタル文化資源の未来，2018.4.29.

受賞関連

[受賞 1] 平成 30 年 5 月 情報処理学会 人文科学とコンピュータ研究会学生奨励賞 歴史研究者・アーキビスト・エンジニアの学際的協働に基づくコミュニティ構築：Tokyo Digital History を事例に（受賞者：小風尚樹・中村覚・清原和之・山王綾乃・纓田宗紀・小林拓実）

査読付論文

[査読付 1] 中村覚，大和裕幸，稗方和夫，満行泰河: Linked Data とデジタルアーカイブを用いた史料分析支援システムの開発，デジタル・ヒューマニティーズ，Vol.1，pp.29-43，2019.1. http://dx.doi.org/10.24576/jadh.1.0_29

[査読付 2] 上原究一，永井正勝，中村覚，中尾道子，近藤隼人，荒木達雄，蓑輪顕量: 図書館における木版本のデジタル化と利活用の可能性―IIIF と TEI を用いた『水滸伝』諸版本のデジタル化を通じて―，じんもんこん 2018 論文集，Vol.2018，pp.381-388，2018.12. http://id.nii.ac.jp/1001/00192402/

[査読付 3] 中村覚，成田健太郎，永井正勝: Linked Data 化した典拠データと IIIF を用いた法帖の異版比較支援システムの開発，じんもんこん 2018 論文集，Vol.2018，pp.297-302，2018.12. http://id.nii.ac.jp/1001/00192390/

[査読付 4] 中村覚: 東京大学デジタルアーカイブズ構築事業：学術資産の利活用に向けた取り組み，漢字文献情報処理研究，No.18，pp.29-34，2018.10.

[査読付 5] Satoru Nakamura, Masato Fukuda, Jun Ogawa, Sho Makino, Ayano Sanno, Shohei Yamasaki: Broadening Perspectives of Historical Researchers: From a Case of Interdisciplinary Workshop organized by Graduate Students in Japan, The 8th International Conference of Japanese Association for Digital Humanities, pp.86-87, 2018.9.

[査読付 6] Satoru Nakamura, Publication and Usage of TEI Data in UTokyo Digital Archives Development Project, The 18th annual Conference and Members Meeting of the Text Encoding Initiative Consortium, pp.232-233, 2018.9.

その他の発表論文

[発表 1] 中村覚: IIIF とオープンデータを活用した『君拾帖』内容検索システムの開発, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.3, No.2, pp.155-158, 2019 年 3 月 16 日.

[発表 2] 宮本隆史, 中村覚: 個人アーカイブから想起のコミュニティへ:前川俊行による『異風者からの通信』と三池炭鉱の記憶, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.3, No.2, pp.207-210, 2019 年 3 月 16 日.

[発表 3] 永崎研宣・王一凡監訳, 小風綾乃・小風尚樹・中村覚訳: (翻訳論文)Nancy Ide, Michael Sperberg-McQueen, & Lou Burnard「TEI:それはどこからきたのか. そして, なぜ, 今もなおここにあるのか？」, デジタル・ヒューマニティーズ, Vol.1, pp.3-28, 2019 年 1 月.(依頼有り) https://doi.org/10.24576/jadh.1.0_3

[発表 4] 中村覚: 日本におけるデジタルアーカイブの動向について, 専門図書館, No.292, pp.2-7, 2018 年 12 月.(依頼有り)

[発表 5] 中村覚: 大学図書館とデジタルアーカイブ──東京大学における取り組みを例として, 現代思想, pp.108-113, 2018 年 11 月.(依頼有り) https://ci.nii.ac.jp/naid/40021742343

[発表 6] 中村覚: 東京大学デジタルアーカイブズ構築事業における学術資産の利活用に向けた取り組み, 東北大学史料館だより, No.29, pp.2-3, 2018 年 9 月. (依頼あり) http://www2.archives.tohoku.ac.jp/news/TUANL29.pdf

[発表 7] 中村覚, 永崎研宣: 日本国内の IIIF 準拠画像に対する横断検索システムの構築, 研究報告人文科学とコンピュータ(CH), Vol.2018-CH-118, No.8, pp.1-6, 2018 年 8 月. http://id.nii.ac.jp/1001/00190728/

[発表 8] 小風尚樹, 中村覚, 清原和之, 山王綾乃, 纓田宗紀, 小林拓実: 歴史研究者・アーキビスト・エンジニアの学際的協働に基づくコミュニティ構築 Tokyo Digital History を事例に, 研究報告人文科学とコンピュータ(CH), Vol.2018-CH-117, No.10, pp.1-6, 2018 年 5 月. http://id.nii.ac.jp/1001/00187426/

[発表 9] 小風 尚樹, 中村 覚, 纓田 宗紀, 山王 綾乃, 小林 拓実, 清原 和之, 金 甫榮, 福田 真人, 山崎 翔平, 槙野 翔, 小川 潤, 橋本 雄太, 宮本 隆史, 菊池 信彦, 後藤 真, 崎山 直樹, 元 ナミ, 加藤 諭: デジタルヒストリー入門 : 2018 Spring Tokyo Digital History Symposium 開催報告, 東京大学学術機関リポジトリ, pp.1-57, 2018 年 5 月. http://hdl.handle.net/2261/00074493

書籍等出版物

[書籍 1] 中村覚 (担当:共編者), デジタルアーカイブ・ベーシックス 1:権利処理と法の実務, 勉誠出版, 2019 年 3 月.

[書籍 2] 中村覚 (担当:分担執筆, 範囲:歴史データをつなぐこと - 画像データ -), 歴史情報学の教科書, 文学通信, pp. 37-52, 2019 年 3 月.

[書籍 3] 中村覚 (担当:分担執筆, 範囲: 学校図書館の行方:大学図書館とデジタルアーカイブ──東京大学における取り組みを例として), 現代思想 2018 年 12 月号 特集＝図書館の未来, 現代思想, pp. 108-113, 2018 年 11 月.

ネットワーク研究部門

ネットワーク研究部門概要

工藤 知宏
異種エンジン統合クラウドとポストムーア時代に向けたアーキテクチャの検討

中山 雅哉
広域分散環境の高度基盤技術に関する研究

佐藤 周行
検証付き言語処理系とサービス体系におけるセキュリティ保証の研究

小川 剛史
人々の実生活を支援する情報メディア技術に関する研究

関谷 勇司
サイバーセキュリティ対策のアシストシステム確立と
ソフトウェアを活かしたICTアーキテクチャに関する研究

中村 文隆
文理融合教育における情報基礎教育教材

中村　遼
ネットワークの高速化と運用高度化に関する研究

空閑 洋平
ITインフラ技術者育成・DDoS緩和アーキテクチャの検討

ネットワーク研究部門

概要

部門長　工藤　知宏

Society 5.0 にむけて、ネットワークの重要性は日々高まっており、「サービス」という概念の元、ネットワーク以外の情報インフラと統合して扱うことや、機微なデータも扱える高いセキュリティレベルを実現することが求められている。

ネットワーク研究部門ではこれらの要求に応えるため、ネットワークをサービスとしてとらえ様々な機能や他のインフラと統合して管理、制御する技術や、安全に資源を利用するためのセキュリティ技術、物理空間とサイバー空間のインタラクションとヒューマンコンピューターインタフェース技術など、基礎技術から実用技術までの幅広い研究と、社会人等も対象にした教育に取り組んでいる。2018 年度の研究の取り組みの概要は以下の通りである。

［１］セキュリティ技術

最適化に際してセマンティクスを保証するための検証の枠組と、最適化の結果性能が確実に向上していることを検証する枠組に関する研究として、バグの出現確率が一定でない確率分布に従うと仮定し、バグを発見しやすそうなテストを優先して行う TCP 手法でソフトウェアテスティングの有意な性能向上を得た。また、電子投票の管理へのブロックチェインの適用を実現した。選挙管理委員会をトラストの起点とし、投票に関する匿名性についての条件を弱めることで、ブロックチェインを導入することを可能にし、これをもって大衆による投票の検証を可能にした。さらに、世界的に構築が進むオンラインのトラストフレームワークを日本で運用管理するために、基準の策定、ドキュメンテーション、対外的な交渉に関与した。結果は日本での学術認証フェデレーション「学認」のトラストフレームワーク構築に反映された。加えて、マイナンバーのよりよい運用のためのリスク分析を行った。

機械学習を用いてサイバーセキュリティ対策のアシストを行うための手法とそのシステムに関する研究を行った。組織に対する攻撃の動向を把握し早期警戒情報の提供、攻撃の検知と攻撃者の挙動分析に必要なデータセットの提案、インシデントに対する分析と対策のアドバイスを行うことで、高度な知識や経験を持たないセキュリティ管理者のセキュリティ対策をアシストするシステムの設計と構築を進めた。

ハードウェアによる DDoS 緩和を実現するにあたり、従来研究のフィルタルール数を増やすアプローチではなく、すべての IPv4 アドレスに対してフィルタルールが記述可能なハードウェアアーキテクチャを検討した。

［２］ICT 基盤技術と教育

ソフトウェア基盤を活用することで柔軟性と即時性に優れた ICT システムの設計技術に関する研究を行った。ネットワークインフラの構築に利用される NFV (Network Functions Virtualization)と呼ばれる技術を、より運用に即したシステムとして実現するための設計手法の研究と、次世代の学内ネットワークシステムを実現するための ASANO(Advanced Service and Network Orchestration) System の研究開発を行った。

ノード内部のネットワークスタックとノード間をつなぐネットワーク双方の高速化と高度化を目的として、汎用オペレーティングシステム（OS）におけるネットワークの高速化と、バックボーンネットワークの柔軟な制御を目指し、大規模な情報システムを構築するための要素技術であるコンテナ仮想化に着目し、Linux におけるコンテナの利用に伴うネットワークオーバーヘッドを削減する手法を開発した。またバックボーンネットワーク制御の領域においては、成熟した IP 経路制御技術を用いたサービスチェイニングの実現手法を開発し、世界最大級のイベントネットワークにおいて実運用とデモンストレーションを実施した。

多数の FPGA や GPU などの処理エンジンを直接結合し、システムソフトウェアにより統合制御するシステムを開発した。これは、多数の異種エンジンをホストプロセッサの介在なしに直接結合し、できるかぎり決定的な動作を実現することにより通信やスケジューリングのオーバヘッドを削減して、高効率な処理を実現することを目指すものである。2018 年度は、大規模システムの構築を想定して光インターコネクトを用いたボード間接続を実現した。また、FPGA でより高度な処理を行うために、DSP を多く持つ FPGA を用いたエンジンを開発し、複数台システムを構築した。さらに、FPGA での処理を想定した機械学習の効率化の試みとして、数値表現の最適化やパラメタ数の削減に取り組んだ。また、ムーアの法則に従ったデバイス技術の進展が望めなくなる中で、データセンター内の通信の重要性が高まることを指摘し、メモリの消費電力等との比較から通信に求められる電力性能について検討した。

ICT 基盤に関する教育としては、システムの設計やその構築を行うにあたって要素技術の選定や実装を行うことができるエンジニアの育成カリキュラムの制定と検証を行った。サイバーセキュリティ人材の育成は ICT インフラエンジニア人材の育成と密接に関係している。そのため、新たな ICT インフラの構築とその防御に対応できる人材の育成が必要であり、そのためのエンジニア育成カリキュラムと育成環境の研究開発を行った。学内外の職員や学生、また一般企業のエンジニアに対してカリキュラムに基づいた教育プログラムを提供し、その習熟度から本研究にて開発したカリキュラムの検証と改善を行った。

また、小型気象センサを東京近郊の高校や大学 30 箇所以上に設置して、「気象センサを活用した環境学習」に関する高大連携事業を実施しているもので、教育／研究の両面で小型センサから得られた情報の活用を行っている。今年度は、東京都立戸山高等学校で実施されているスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の活動や東京都立立川高等学校の天文気象部の活動と連携し、東京近郊の分散した場所に設置された小型気象センサから収集される環境情報などを活用した環境教育の活動を実施した。

このほか、文理融合型の学部教育カリキュラムにおける情報基礎教育のためのテキスト執筆も行った。

［３］物理空間とサイバー空間のインタラクションと HCI 技術

人々の日常生活を支援することを目的に AR などの技術を応用したシステムやインタフェースに関する研究を行っている。スマートフォンにおけるセキュリティとユーザビリティの双方を実現するための行動的特徴を用いた個人認証方式、新しい体験をユーザに提供することを目的として、視覚刺激によって圧力知覚を消滅させる刺激提示方式、VR 環境において柔軟な力覚フィードバックを提示するシステム、触覚フィードバックを提示可能な不可視 AR マーカ、空間に映像を提示する残像効果を利用した投擲型ディスプレイ、現実空間と仮想空間をシームレスに接続するための空間提示手法に関する研究を中心に進めた。

ネットワーク研究部門 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究委員会, 2018 年 10 月.

[受賞 2] 桑原 大樹, 小川 剛史: DCC 優秀賞, 情報処理学会デジタルコンテンツクリエーション研究会, 2019 年 1 月.

[受賞 3] 小川 剛史, 朴 燦鎬: DCON 論文賞, 情報処理学会論文誌：デジタルコンテンツ, 2019 年 3 月.

[受賞 4] 佐川 俊介, 小川 剛史: DCON 論文賞, 情報処理学会論文誌：デジタルコンテンツ, 2019 年 3 月.

[受賞 5] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Hajime Tazaki: Best Paper Award, Grafting Sockets for Fast Container Networking, ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems, 2018.

招待講演／招待論文

[招待 1] Tomohiro Kudoh: Revisiting Computing and Communication: New Landscapes in Wide Area, Datacenters and Computing Systems, CANREXI Keynote, The Sixth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'18), Nov. 2018.

[招待 2] 工藤知宏: ポストムーア時代の通信と計算のバランスとアクセラレータクラウド構想, 第十八回 PC クラスタシンポジウム, 2018 年 12 月.

[招待 3] Tomohiro Kudoh: High Performance Computing in Japan and the Role of Optics in the Future, OFC2019 Special Chairs' Session: The Role of Optics in Future Data Center and Computing Applications, OFC2019, Mar. 2019.

[招待 4] Yuji Sekiya: Challenges of Assisting Cybersecurity Incident Response by Applying Machine Learning, AI x Cybersecurity Summit 2018 (ACSS 2018), Chongqing, China, Dec. 2018.

[招待 5] Yuji Sekiya: Cybersecurity Incident/Response Assitance using AI Technology, Artificial Intelligence − International Research and Applications: 1st Japanese-German-French DWIH Symposium, Tokyo, Japan, Nov. 2018.

[招待 6] Paul Shaoning Pang and Yuji Sekiya: NML Cybersecurity Big Data, International Conference on Data Science in Hikone, Shiga, Japan, Nov. 2018.

[招待 7] Yuji Sekiya: The Possibility of Improving Incident Response by Applying Machine Learning, Japan − New Zealand Summit On Smart Technologies, Auckland, New Zealand, Oct. 2018.

著書／編集

[著書 1] 和泉 順子, 櫻井 茂明, 中村 文隆: 情報システム概論, サイエンス社, ISBN978-4-7819-1430-5, 2018 年 10 月.

査読付論文

[査読付 1] Kazusa Musha, Tomohiro Kudoh, Hideharu Amano: Deep Learning on High Performance FPGA Switching Boards: Flow-in-Cloud, The 14th International Symposiumon Applied Reconfigurable Computing (ARC2018).

[査読付 2] S. O'uchi, H. Fuketa, T. Ikegami, W. Nogami, T. Matsukawa, T. Kudoh, and R. Takano: Image-Classifier Deep Convolutional Neural Network Training by 9-bit Dedicated Hardware to Realize Validation Accuracy and Energy Efficiency Superior to the Half Precision Floating Point Format, IEEE International Symposium on Circuits Systems (ISCAS2018).

[査読付 3] Kiyo Ishii, Atsuko Takefusa, Shu Namiki, and Tomohiro Kudoh: Efficient Path Calculation Schemefor Advance Reservation of Hierarchical Optical Path Network Using Continuous Variables to Represent Switch States, in Proc. IEEE Photonics in Switching and Computing (PSC2018), Paper Fr3A.2, Sept. 2018.

[査読付 4] Kiyo Ishii, Atsuko Takefusa, Shu Namiki, and Tomohiro Kudoh: Multi-granular Optical Path Computations Based on Physical Network Topology Descriptions, Proc. of OECC2018, Paper 6A1-2, July 2018.

[査読付 5] 谷本 茂明, 上田 祥仁, 岩下 基, 畑島 隆, 川村 亨, 佐藤 周行, 小林 透, 金井 敦: マイナンバーのセキュアな運用モデルの提案, 電子情報通信学会論文誌 D(Letter), Vol. J101–D No. 10, pp. 1443–1447, 2018.

[査読付 6] Cosmas K. Adiputra, Rikard Hjort, Hiroyuki Sato: A Proposal of Blockchain-based Electronic Voting System, to appear in World Conf. Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WS4), pp. 22–27, 2018.

[査読付 7] Minori Inoue and Takefumi Ogawa: TapOnce: A Novel Authentication Method on Smartphones, International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 14, Issue: 1, pp. 33–48, May 2018.

[査読付 8] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示手法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 189–196, 2018 年 9 月.

[査読付 9] Bo Hu, Atsutoshi Kumagai, Kazunori Kamiya, Kenji Takahashi, Daniel Dalek, Ola Soderstrom, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, and Akihiro Nakao: Alchemy: Stochastic Feature Regeneration for Malicious Network Traffic Classification, 2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), July 2019 (Accepted).

[査読付 10] 阿部 博, 島 慶一, 宮本 大輔, 関谷 勇司, 石原 知洋, 岡田 和也, 中村 遼, 松浦 知史, 篠田 陽一: 時間軸検索に最適化したスケールアウト可能な高速ログ検索エンジンの実現と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 3, pp. 728–737, 2019 年 3 月.

[査読付 11] Jing Zhao, Shaoning Pang, Iman Tabatabaei Ardekani, Yuji Sekiya, and Daisuke Miyamoto: Task and Instance Quadratic Ordering for Active Online Multitask Learning, 25th International Conference on Neural Information Processing 2018 (ICONIP 2018), Neural Information Processing Proceedings Part III, pp. 435–447, Siem Reap, Cambodia, DOI:978-3-030-04182-3_38, Dec. 2018.

[査読付 12] 堀場 勝広, 中村 遼, 鈴木 茂哉, 関谷勇司, 村井 純: NFV を利用したサービスチェイニングの設計と運用の実践, 情報処理学会, デジタルプラクティス, Vol. 9, No. 4, pp. 023–944, 2018 年 10 月.

[査読付 13] Gaku Kotani and Yuji Sekiya: Unsupervised Scanning Behavior Detection Based on Distribution of Network Traffic Features Using Robust Autoencoders, 1st IEEE International Workshop on Adapting Data Mining for Security (ADMiS2018), Singapore, Nov. 2018.

[査読付 14] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hajime Tazaki: Grafting Sockets for Fast Container Networking, ACM Proceedings of the 2018 Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems, pp. 15–27, Ithaca, NY, U.S.A., DOI: 10.1145/3230718.3230723, July 2018.

[査読付 15] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto, Kazuya Okada, and Tomohiro Ishihara: Malicious Host Detection by Imaging SYN Packets and A Neural Network, 2018 IEEE International Symposium on Networks, Computers, and Communications (ISNCC), Rome, Italy, DOI:10.1109/ISNCC.2018.8530964, June 2018.

[査読付 16] Ryo Nakamura, Yukito Ueno, Teppei Kamata, Kazuki Shimizu, Takashi Tomine, and Takayuki Watanabe: Practical Service Chaining based on IP Routing, In AINTEC'18: Asian Internet Engineering Conference (in-cooperation with ACM), Bangkok, Thailand, Nov. 2018.

公開ソフトウエア

[公開 1] 中村 遼: AF_GRAFT, https://github.com/upa/af-graft.

特許申請／取得

[特許 1] 関谷 勇司: 特願 2019-015817 発明名称: 通信装置.

[特許 2] 中村 遼: 通信装置, パケット処理方法及びプログラム, 特願 2018-111069, 申請中, 2018 年 6 月.

その他の発表論文

[発表 1] 野上 和加奈, 池上 努, 大内 真一, 高野 了成, 岸 裕真, 工藤 知宏: CNN における数値表現の遺伝的アルゴリズムを用いた最適化, 信学技報, Vol. 118, No. 165, CPSY2018–26, pp. 193–198, 2018 年 7 月. (研究会優秀若手発表賞)

[発表 2] 岸 裕真, 池上 努, 大内 真一, 高野 了成, 野上 和可奈, 工藤 知宏: 敵対型生成ネットワークにおける学習の低ビット化の検討, 信学技報, Vol. 118, No. 165, CPSY2018–19, pp. 91–96, 2018 年 7 月.

[発表 3] 青木 佑真, 石井 紀代, 工藤 知宏, 繁野 麻衣子, 竹房 あつ子, 吉瀬 章子: 多様なサービスを柔軟に提供する光伝送網設計の一手法, スケジューリング・ シンポジウム 2018, 2018 年 9 月.

[発表 4] 武者 千嵯, Akram Ben Ahmed, 工藤 知宏, 天野 英晴: FPGA スイッチボードへの深層学習アプリケーションの実装, 信学技報, vol. 118, no. 340, RECONF2018-40, pp. 33–38, 2018 年 12 月.

[発表 5] 高野 了成, 池上 努, 鯉渕 道紘, 胡 曜, 弘中 和衛, 天野 英晴, 工藤 知宏: マルチ FPGA クラウドシステムにおける資源管理の検討, 情処研報システムソフトウェアとオペレーティング・システム（OS）, 2019-OS-145(16), 1-8 (2019-02-21), 2188-8795.

[発表 6] Yuma Kishi, Tsutomu Ikegami, Shin-ichi O'uchi, Ryousei Takano, Wakana Nogami, and Tomohiro Kudoh: Perturbative GAN: GAN with Perturbation Layers, arXiv:1902.01514v1 [cs.LG].

[発表 7] Hiroyuki Sato: Internet Trust: Design and Deployment, Keynote, International Multi-Topic ICT Conference (IMTIC) 2018, Jamshoro, Apr. 2018.

[発表 8] 斎藤 雄太, 佐藤 周行: 確率密度関数を用いたソフトウェアテスティングのためのテストケース優先順位付け戦略, IPSJ PRO 122, 2019 年 1 月.

[発表 9] 高橋 直人, 小川 剛史: 視触覚 VR のためのリターゲティング可能領域に関する一検討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–2, CSVC2018–8, pp. 1–6, 2018 年 6 月.

[発表 10] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示システムの評価, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–3, CSVC2018–16, pp. 19–24, 2018 年 10 月.

[発表 11] 大山 晃平, 小川 剛史: 圧覚の隠消現実感を誘起する視覚刺激の提示方式に関する基礎検討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–4, CSVC2018–24, pp. 7–10, 2018 年 12 月.

[発表 12] 小俣慎太郎, 小川 剛史: 触覚フィードバックを与える不可視 AR マーカの検討, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 55, 2019 年 1 月.

[発表 13] 高橋 直人, 小川 剛史: Haptic Turntable: リターゲティングと回転運動を用いた力触覚提示システム, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 56, 2019 年 1 月.

[発表 14] 大山 晃平, 小川 剛史: 圧覚の隠消現実感を引き起こす視覚刺激の提示手法に関する一検討, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 57, 2019 年 1 月.

[発表 15] 桑原 大樹, 小川 剛史: 空間描画のための投擲型残像ディスプレイの設計と実装, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 58, 2019 年 1 月.

[発表 16] 小沢健吾, 小川 剛史: MR 空間における歩行の安全性を考慮した空間切り替え制御手法に関する一検討, VR 学研報, Vol. 24, No. CS–1, CSVC2019–3, pp. 13–18, 2019 年 2 月.

[発表 17] 井戸 千晴, 関谷 勇司: 無線センサネットワークにおけるカッコウ探索とファジーアルゴリズムを用いたクラスタリングプロトコルの検討, 信学技報, Vol. 118, No. 395, CQ2018-84, pp. 47–52, 2019 年 1 月.

[発表 18] Ryo Nakamura: AF_GRAFT: A new address family for containerized applications, The Technical Conference on Linux Networking (Netdev 0x13), Prague, Czech Republic, Mar. 2019.

[発表 19] Hajime Tazaki, Akira Moroo, and Ryo Nakamura: Jail to the Outside World: Revisit the Container Architecture, USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'18), Carlsbad, CA, USA, Oct. 2018 (Poster session).

[発表 20] 中村 遼, 上野 幸杜, 鎌田 徹平, 清水 一貴, 遠峰 隆史, 渡邊 貴之: ShowNet 2018 における IP 経路制御技術を用いたサービスチェイニング, 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 118, No. 204, IA2018–30, pp. 91–96, 2018 年 9 月.

[発表 21] 空閑洋平, 松谷 健史, 中村 遼: DDoS 緩和のための全 IPv4 空間を対象とした ACL アーキテクチャの検討, 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 118, No. 204, IA2018–28, pp. 77–81, 2018 年 9 月.

特記事項

[特記 1] 関谷 勇司: サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測, 東京大学情報基盤センター教員セミナー, 2018 年 12 月.

[特記 2] 関谷 勇司: SD-WAN を用いたネットワークシステムの開発, 日商エレクトロニクスセミナー, 東京, 2018 年 6 月.

[特記 3] 関谷 勇司: サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測, Interop Tokyo 2018, 国際. 展示場デモンストレーション, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 4] 関谷 勇司: ShowNet に見るネットワークインフラの進化とインテリジェンス, Interop Tokyo 2018, Mellanox ブース, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 5] 関谷 勇司: IoT/AI 時代だからこそ求められる新しいインフラエンジニアの育成, Interop Tokyo 2018, NEC ブース, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 6] 関谷 勇司: これからの人材育成と AITAC, Interop Tokyo 2018, AITAC ブース, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 7] 関谷 勇司: サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測, JST CREST「人工知能」研究領域 成果展開シンポジウム, 東京, 2018 年 4 月.

[特記 8] Yuji Sekiya: IEEE NFV-SDN 2019 : 5th IEEE Conference on Network Functions Virtualization and Software Defined Networking, Technical Program Co-Chair.

[特記 9] 関谷 勇司: 一般社団法人 高度 IT アーキテクト育成協議会 共同研究.

[特記 10] 関谷 勇司: NTT セキュアプラットフォーム研究所 共同研究.

[特記 11] 関谷 勇司: 総務省「我が国のインターネットにおけるトラヒックの集計・試算」構成員.

[特記 12] 関谷 勇司: 総務省「ICT 分野における技術戦略検討会」構成員.

[特記 13] 中村 遼: IP 経路制御技術を最大限に活用した複数拠点間サービスチェイニング, shownet.conf, 2018 年 11 月.

[特記 14] 中村 遼: IP 経路制御技術でつくる実践的なサービスチェイニング, Open Networking Conference Japan, 2018 年 10 月.

[特記 15] 中村 遼: Containers Do Not Need Network Stacks, IIJ lab seminar, 2018 年 10 月.

[特記 16] 空閑 洋平: 第 3 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー, 主催:東京大学情報基盤センター, 2019 年 2 月.

異種エンジン統合クラウドとポストムーア時代に向けたアーキテクチャの検討

工藤知宏

1 概要

NEDOプロジェクト「 省電力AIエンジンと異種エンジン統合クラウドによる人工知能プラットフォーム」において、多数のFPGAやGPUなどの処理エンジンを直接結合し、システムソフトウェアにより統合制御するFlow-in-Cloud (FiC)システムを開発した。これは、多数の異種エンジンをホストプロセッサの介在なしに直接結合し、できるかぎり決定的な動作を実現することにより通信やスケジューリングのオーバヘッドを削減して、高効率な処理を実現することを目指すものである。2018年度は、大規模システムの構築を想定して光インターコネクトを用いたボード間接続を実現した。また、FPGAでより高度な処理を行うために、DSPを多く持つFPGAを用いたエンジンを開発し、複数台システムを構築した。さらに、FPGAでの処理を想定した機械学習の効率化の試みとして、数値表現の最適化やパラメタ数の削減に取り組んだ [査読付 2][発表 1][発表 2][発表 6].

また、ムーアの法則に従ったデバイス技術の進展が望めなくなる中で、データセンター内の通信の重要性が高まることを指摘し、メモリの消費電力等との比較から通信に求められる電力性能について検討した。[招待 1][招待 2][招待 3]。

2 異種エンジン統合クラウドアーキテクチャ

2.1 背景

Flow-in-Cloud (FiC)プロジェクトでは、様々な種類の処理装置(エンジン）を適材適所で組み合わせて用いる「 異種エンジン統合システム」とすることにより汎用プロセッサを超える性能を得ること、光通信技術等の導入により今後より高速になることが期待されるインターコネクトで、ホストプロセッサの介在なしにエンジン間を直接接続することによりオーバヘッドの小さな並列処理を実現することにより、ポストムーアにも対応できるシステムの構成法を検討することを目指した。

2.2 内容

様々な種類のエンジンを適材適所で組み合わせることによって高い効率と性能を得ることを目指す異種エンジン統合システムでは、様々な種類の異なるハードウェアをあらかじめ用意しなくてはならないため、多数のアプリケーションで共有することが資源利用効率の点から不可欠である。一方、一つのアプリケーション(ジョブ）に対して、異種の複数エンジンによる並列処理を行うため、エンジンの種類ごとに一定の性能が必要である。このため、FiCでは個々のエンジンはジョブに割り当てられている間はそのジョブが占有する形をとることにより、確実に性能をジョブに対して割り当てる。これは、異種エンジンにより構成されるアクセラレータのベアメタルクラウド (図1)ととらえることもできる。

FiCは、エンジンを搭載した基板(ノード）と、それらをつなぐネットワークから構成される異種エンジン統合システムのアーキテクチャを採る。AIエンジン間は、ネットワークの設定により柔軟に

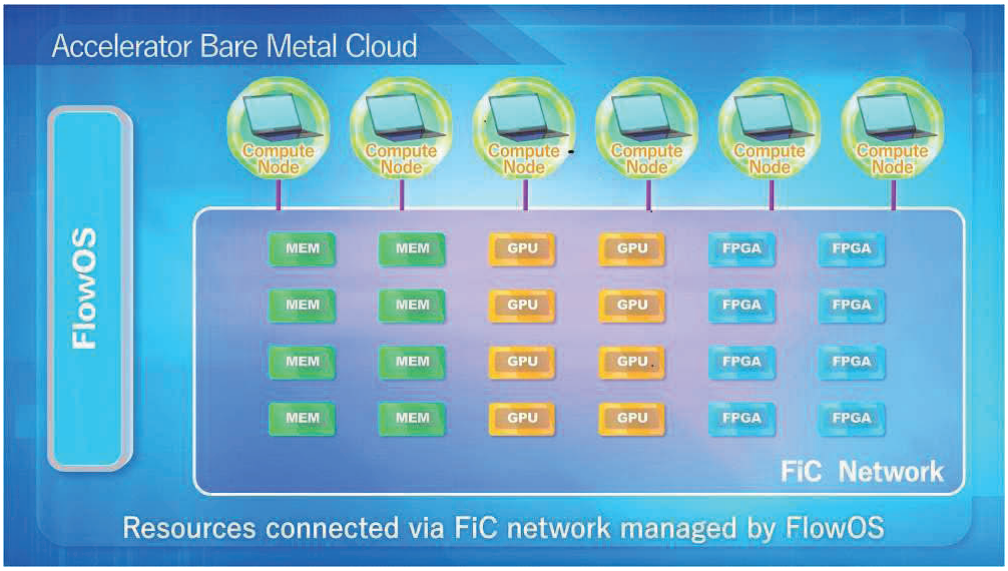


図 1: アクセラレータベアメタルクラウド

接続し、エンジン間で相互に通信して処理を進める。2018 年度は、2017 年度までに整備した FiC プロトタイプシステムの拡充を行った。

2.3 具体的成果

FiC プロトタイプシステム (図 2) を構築し、複数台での機械学習処理の動作を確認した。また、PETRA(技術研究組合光電子融合基盤技術研究所) が開発し、アイオーコア社が販売する光 I/O コア (図 3) を用いてボード間を光インターコネクトにより接続する光 I/O 付きスイッチボード (図 4) を開発し、2m を超える長い距離のボード間接続を可能とした。

また、畳込層を用いた従来の CNN-based GAN(DCGAN, WGAN-gp, BIGGAN) に代わる, 固定ノイズマスクの加算を行う転置摂動層 (Transposed Perturbation Module) を用いた PNN-based の Perturbative GAN を提案した [発表 6]。Perturbative GAN は従来手法と比べて学習するパラメータ数が少なく、学習の収束が速く, また生成画像の Inception Score が従来よりも高い。同 GAN の FPGA 上への実相を想定して、固定ノイズマスクのアルゴリズミック生成についても検討を行った.

また、CNN における数値表現手法として、量子化のビン境界を任意に設定することにより数値表現に必要なビット数の圧縮を図る “Variable Bin-size Quantization (VBQ)” を提案し、

- 数値表現のビット数を小さくしつつ、推論における正確性を保つこと
- 量子化のビン境界をなるべく容易に決定できること

を目的に、量子化手法を提案した [発表 1]。まず、遺伝的アルゴリズムにより正解率を下げない量子化ビンを求めた。3 から 4 ビットの数値表現で、16 ビットの浮動小数点 (FP16) を用いた場合とほぼ同等の正解率を得ることができた。遺伝的アルゴリズムによる量子化ビン境界の決定には大きな計算量を要するため、次に、量子化の近似式を決定した。近似式は二つのパラメタを持つが、これらのパラメタの値は、シミュレーテッドアニーリングにより決定することにより、実際の問題ごとの量子化ビン境界決定のための計算量を削減した。

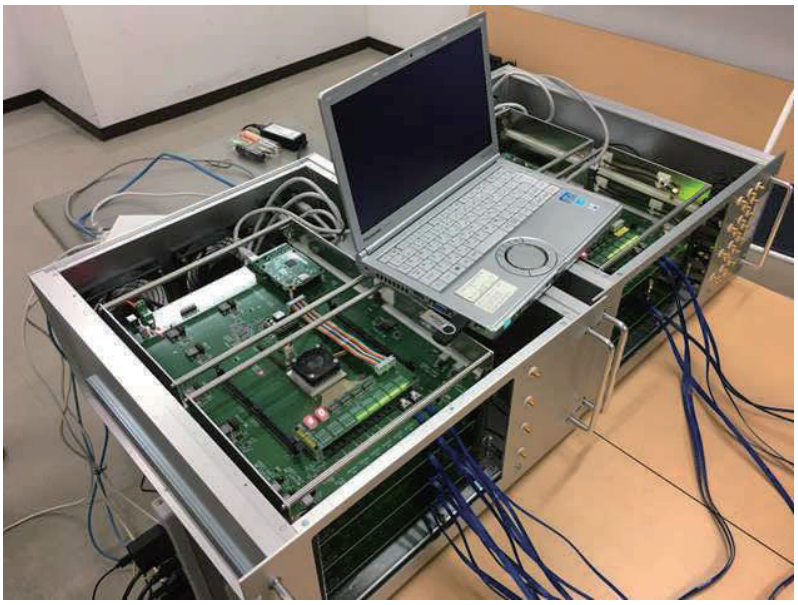


図 2: FiC プロトタイプシステム

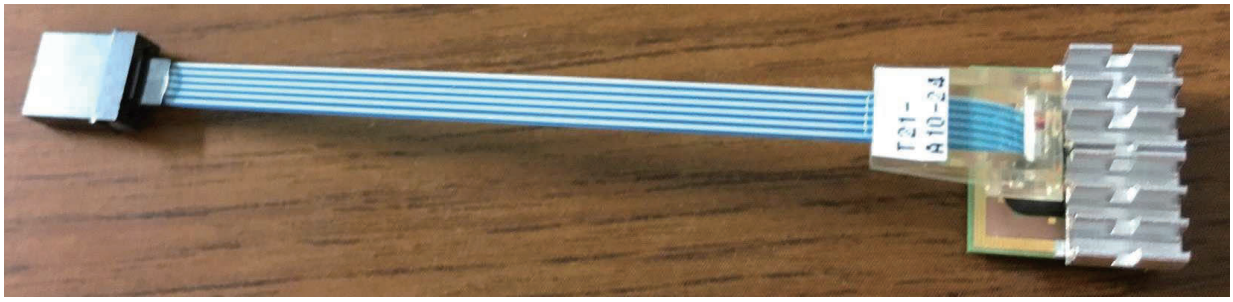


図 3: 光 IO コア

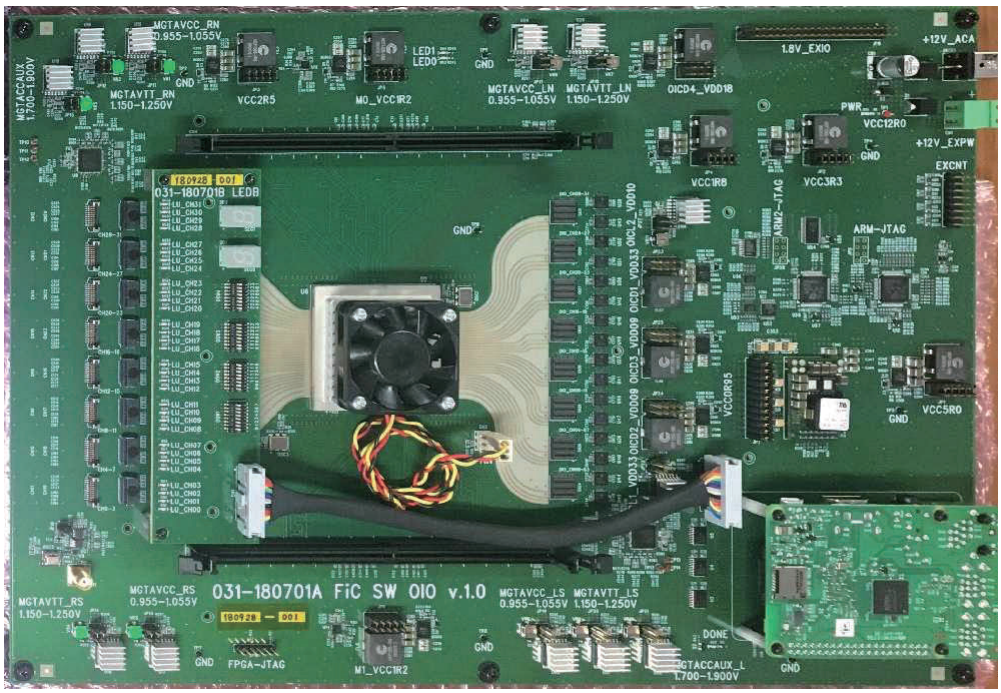


図 4: 光 I/O 付きスイッチボード

3　ポストムーア時代の計算機アーキテクチャの検討

3.1　背景

ムーアの法則では、半導体の集積度は 1.5 年〜2 年で 2 倍になるとされている。従来、計算機システムはムーアの法則と同じかそれ以上のペースで性能が向上してきており、性能向上の相当の部分が半導体の集積度向上によるものであった。しかし、半導体の集積度や消費電力効率向上の限界と設計コストの上昇により、集積度向上に依存した汎用計算機システムの性能の向上は望めなくなりつつあり、用途ごとに特定の機能を強化した専用ハードウェアの利用が議論されている。

3.2　内容

これまで行ってきたポストムーア時代の計算機アーキテクチャの検討結果を検証するために、現状技術の調査を行った [招待 1][招待 2][招待 3]。

電気 I/O の帯域の向上は 10 年間で 6 から 7 倍となっており、LSI 内の演算性能の向上に比べて遅く、LSI の I/O の帯域が計算機システムの性能全体の隘路となってきている。この問題に対処するために、シリコンインタポーザなどを用いて同一パッケージ内に複数の LSI を実装する SiP (System in Package) が注目されており、NVIDIA のハイエンド GPU やスーパーコンピュータシステムなど、非常に高性能を要求する用途で使用が広がっている。SiP では、パッケージ内のチップ間の通信帯域を広くとれ、プロセスの異なるデバイスを組み合わせることが可能である。HBM (High Bandwidth Memory) などの 3 次元実装の DRAM や NVRAM と組み合わせた実装も広く用いられている。しかし、HBM などを用いても、SiP 内に実装できるメモリ量には限りがあり、メモリ量の不足が問題となってきている。この問題を解決するためには、DRAM と同等の帯域を DRAM 以下の消費電力で実現するインターコネクトの実現が望まれる。

光インターコネクトについては、広帯域の電気信号は配線長が長くとれないため、なるべく電気回路に近いところに光モジュールを置くための OBO (On-Board Optics) の研究開発が盛んに進められている。今後はさらに、SiP 内に光モジュールを置く Co-packaging 技術が重要であるとされている。

3.3 具体的成果

ポスト ムーア時代に、広帯域通信を活かして計算機性能の向上を図るためには、インターコネクト の広帯域化と低消費電力を同時に実現していかなくてはならないことを明らかにした。また、光モジュールを電気回路と同一パッケージ内に実装する Co-packaging 技術の重要性を指摘した。また、このような通信が用いられるようになると、計算機システム内の通信の階層構造がより複雑になり、これをモデル化してプログラムのマッピングや通信の最適化などに用いていかなくてはならないことを指摘した。

4 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Tomohiro Kudoh: , Revisiting computing and communication: New landscapes in wide area, data centers and computing systems, CANREXI Keynote, The Sixth International Symposium on Computing and Networking (CANDAR '18), Nov.28, 2018.

[招待 2] 工藤知宏: ポスト ムーア時代の通信と計算のバランスとアクセラレータクラウド 構想, 第十八回 PC クラスタシンポジウム, 2018 年 12 月 14 日

[招待 3] Tomohiro Kudoh: High Performance Computing in Japan and the Role of Optics in the Future, OFC2019 Special Chairs' Session: The Role of Optics in Future Data Center and Computing Applications, OFC 2019, Mar. 5, 2019.

査読付論文

[査読付 1] Kazusa Musha, Tomohiro Kudoh, Hideharu Amano: Deep Learning on High Performance FPGA Switching Boards: Flow-in-Cloud, The 14th International Symposium on Applied Reconfigurable Computing (ARC2018).

[査読付 2] S. O'uchi, H. Fuketa, T. Ikegami, W. Nogami, T. Matsukawa, T. Kudoh, R. Takano: Image-Classifier Deep Convolutional Neural Network Training by 9-bit Dedicated Hardware to Realize Validation Accuracy and Energy Efficiency Superior to the Half Precision Floating Point Format, IEEE International Symposium on Circuits & Systems (ISCAS2018).

[査読付 3] Kiyo Ishii, Atsuko Takefusa, Shu Namiki, Tomohiro Kudoh: Efficient Path Calculation Scheme for Advance Reservation of Hierarchical Optical Path Network Using Continuous Variables to Represent Switch States, in Proc. IEEE Photonics in Switching and Computing (PSC)2018、Paper Fr3A.2, September, 2018.

[査読付 4] Kiyo Ishii, Atsuko Takefusa, Shu Namiki, Tomohiro Kudoh: Multi-granular optical path computations based on physical network topology descriptions, in Proc. OECC2018, Paper 6A1-2, July 2018.

その他の発表論文

[発表 1] 野上和加奈, 池上　努, 大内真一, 高野了成, 岸　裕真, 工藤知宏: CNN における数値表現の遺伝的アルゴリズムを用いた最適化, 信学技報, vol. 118, no. 165, CPSY2018-26, pp. 193-198, 2018 年 7 月. (研究会優秀若手発表賞)

[発表 2] 岸　裕真, 池上　努, 大内真一, 高野了成, 野上和可奈, 工藤知宏: 敵対型生成ネットワークにおける学習の低ビット 化の検討, 信学技報, vol. 118, no. 165, CPSY2018-19, pp. 91-96, 2018 年 7 月.

[発表 3] 青木佑真、石井紀代、工藤知宏、繁野麻衣子、竹房あつ子、吉瀬章子: 多様なサービスを柔軟に提供する光伝送網設計の一手法、スケジューリング・ シンポジウム 2018、2018 年 9 月

[発表 4] 武者千嵯, Akram Ben Ahmed, 工藤知宏, 天野英晴: FPGA スイッチボード への深層学習アプリケーションの実装, 信学技報, vol. 118, no. 340, RECONF2018-40, pp. 33-38, 2018 年 12 月.

[発表 5] 高野 了成 , 池上 努 , 鯉渕 道紘 , 胡 曜 , 弘中 和衛 , 天野 英晴 , 工藤 知宏: マルチ FPGA クラウドシステムにおける資源管理の検討, 情処研報システムソフトウェアとオペレーティング・システム（ OS）,2019-OS-145(16),1-8 (2019-02-21) , 2188-8795

[発表 6] Yuma Kishi, Tsutomu Ikegami, Shin-ichi O'uchi, Ryousei Takano, Wakana Nogami, Tomohiro Kudoh: Perturbative GAN: GAN with Perturbation Layers, arXiv:1902.01514v1 [cs.LG]

広域分散環境の高度基盤技術に関する研究

中山雅哉

1　概要

Internet に代表される広域分散環境は、今日の社会生活に不可欠な存在となっている。これまでは、コンピュータをノードとしてネットワークを構成することが中心であったが、最近では、気象センサを始めとする小型デバイスや映像や音声を定期的に取得する定点観測装置などもネットワークの構成要素として接続されることが一般的になってきた。今年度は、小型気象センサから得られる情報を利用して、高等学校における環境教育での活用の研究を行った。

本研究室では、上述したように広域分散環境における高度基盤技術に資する基礎と応用技術に関する各種の研究に取り組んでいる。

2　ネットワークに接続された小型センサの活用方法に関する研究

2.1　背景

今日の社会生活に不可欠な存在である広域分散環境 (Internet) には、最近は計算機だけでなく気象センサを始めとする様々な小型センサがノードとして接続される様になってきた。

これらの小型センサは、自律分散ノードとして観測されたデータを集約ノードなどに常時送信する機能を持っており、集約ノードに集められた情報に基づいて、社会生活に対する安心情報としてネットワーク利用者に提供されている。

その一例として、小型の気象センサを都市部の工業高校や大学を中心に集中展開することで、短時間強雨 (ゲリラ豪雨) やヒートアイランド現象などの都市部特有の現象を観測し可視化する方法の検討を進めてきた。

ここでは、これまでの研究で培われた技術を組み合わせることで行った研究成果について報告する。

2.2　内容

小型気象センサを用いた本研究では、図 1 に示す様な気象観測ユニット (Vaisala 社の WXT510 ウェザートランスミッターや Oregon Scientific 社の WM918 気象ステーション) と小型ネットワーク PC (Atmark Techno 社の Armadillo 210 や Echelon 社の i.LON 100) を組み合わせた「ディジタル百葉箱」を小型センサとして用い、インターネット網を介して集約サーバ (Live E! Server) に SOAP ／ XML の形態で定期的に観測データを転送するシステムを構築している。

この小型気象センサを東京近郊の高校や大学 30 箇所以上に設置して、「気象センサを活用した環境学習」に関する高大連携事業を実施し、教育／研究の両面で小型センサーから得られた情報の活用を行っている。

今年度は、小型センサーから得られる情報を他の気象センサの情報と組み合わせることで、東京都の夏季豪雨に関する研究を行った。

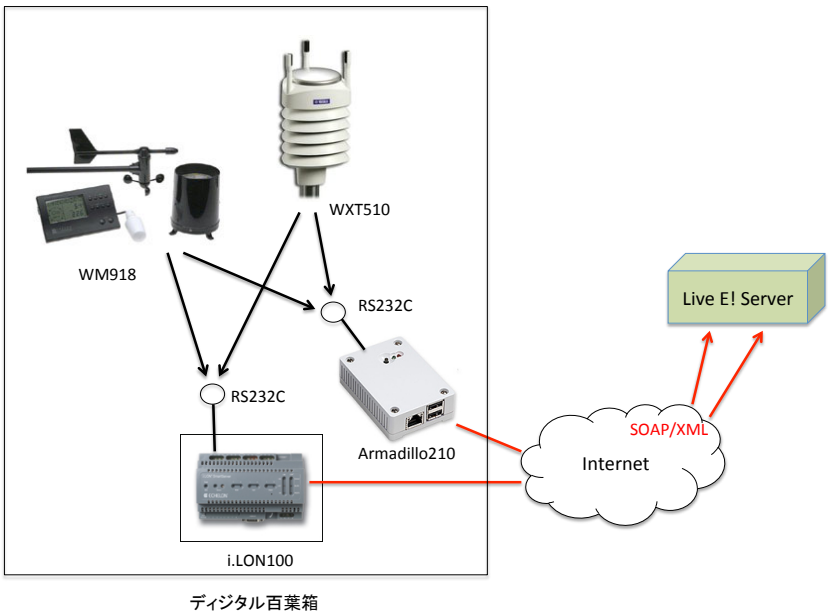


図 1: ディジタル百葉箱の構成

2.3 具体的成果

本研究では、上述したとおり、小型気象センサを東京近郊の高校や大学 30 箇所以上に設置して、「気象センサを活用した環境学習」に関する高大連携事業を実施しているもので、教育／研究の両面で小型センサーから得られた情報の活用を行っている。

今年度は、東京都立戸山高等学校で実施されているスーパーサイエンスハイスクール (SSH) の活動や東京都立立川高等学校の天文気象部の活動と連携し、東京近郊の分散した場所に設置された小型気象センサから収集される環境情報などを活用した環境教育の活動を実施をした。

このように、本研究は小型気象センサーによる観測データの利活用に関する活動で成果をあげている。

検証付き言語処理系とサービス体系における セキュリティ保証の研究

佐藤周行

1 概要

われわれは、「検証付最適化コンパイラ」のもと、最適化に際してセマンティクスを保証するための検証の枠組と、最適化の結果、それが性能を確実に上げていることを検証する枠組を研究してきた。これは言語処理系を中心としてセマンティクスを保証するための枠組の研究だったが、さらにサービス体系全般に敷衍し、複数のテーマについて「保証」をテーマに研究を行っている。さらに、「保証」を論じるためのモデル構築、リスク分析についてもあわせて研究を行っている。さらに、保証の実際的な形として論じられている「オンライントラスト」の構築についても研究を行った。2018 年度は特に以下の研究を行った。

1. **ソフトウェアテスティングの性能向上の試み**

   回帰テストモデルを高速に回すために、バグを発見しやすそうなテストを優先して行うことが、戦略として考えられる（TCP)。このラインに従って、TCP の性能向上を、バグの出現確率が一定でない確率分布に従うと仮定して行い、有意な性能向上を得た [発表 2]。この中で、バグ発見の確率が、ほとんど発見できないものと、すぐ発見できるものの 2 極に分化していることを発見し、経験から得られる知見を裏打ちした。

2. **ブロックチェインの応用の拡大**

   ブロックチェインの応用として、より秘匿性が要求される電子投票の管理を対象にした [査読付 2]。電子投票は、要求要件によって容易なものから難しいものまであり、既存のものとの比較も難しい。この研究では、選挙管理委員会ひとつをトラストの起点とし、投票に関する匿名性についての条件を弱めることで、ブロックチェインを導入することを可能にし、これをもって大衆による投票の検証が可能になっている。

3. **オンライントラストの具体的な構築**

   世界的に構築が進むオンラインのトラストフレームワークを日本で運用管理するために、基準の策定、ドキュメンテーション、対外的な交渉に関与した。結果は日本での学術認証フェデレーション「学認」のトラストフレームワーク構築（Kantara 認定取得、FICAM LoA 1 Assessor Credential の獲得）に反映された。また、LIGO 等、国際研究協力のための IT インフラの運用にも関与している。キーノートスピーチ [発表 1] では、これまでの研究成果を踏まえ、現実の配備状況について述べている。

4. **リスク評価の様々な場面における展開**

   マイナンバーの運用は、政治的な側面をもち、運用が安定して利用が伸びているとは言い難い。[発表 2] では、運用面からの検討を行い、よりよい運用のためのリスク分析を行った。

2　ソフトウェアテスティングの性能向上の試み

2.1　背景

プログラムの静的解析の枠組は、正当性の証明を始めとするプログラムの性質解析に大いに役立ってきた。最近では INRIA の COMPCERT など、具体的にプロダクションレベルの成果もみることができる。特にモデル検証の手法は、大規模プログラムに対応できるようになり、ソフトウェアテスティングとともに大きな分野を構成するようになった。

近年のコンピュータサイエンスでは、計算、解析の対象がサービスに関係するものを含むようになり、サービス提供の枠組の複雑化につれて、モデル検証、ソフトウェアテスティングともに有効な方法の開発が待たれている。

そこで、ソフトウェアテスティングのうちの回帰モデル（ソフトウェアシステムをテスト→デバッグ→テスト→のサイクルで開発していく）のうち、テストにおいて、バグを早期に発見できるような手法に注目した。これは従来 TCP (Test Case Prioitization) の名前で一般に知られていたが、ヒューリスティクスベースであり、性能向上のためには、バグの発生についての一定のモデル化が必要だった。

2.2　内容

目的としてあげたゴールに対して 2018 年度は具体的に以下のようにテーマを設定した。

- ソフトウェアテスティングの自動化・効率化の推進
- ソフトウェアテスティングの性能モデルの構築

2.3　具体的成果

TCP のラインに従って、TCP の性能向上を、バグの出現確率が一定でない確率分布に従うと仮定して行い、有意な性能向上を得た [発表 2]。この中で、バグ発見の確率が、ほとんど発見できないものと、すぐ発見できるものの 2 極に分化していることを発見し、経験から得られる知見を裏打ちした。バグ発生確率は 0 付近と 1 付近に Beta 分布を見せていることが観察されている。

この研究は佐藤研究室 齋藤雄太との共同研究である。

3　ブロックチェインの応用の拡大

3.1　背景

クラウドは、もはやサービス・計算環境として無視できない勢力になったが、サービス提供の意味では依然、性能改善、機能改善が要求される。その一方で、トラストを分散させることによって、single point of failure をなくし、信頼性を高める試みもなされるようになった。ブロックチェインはその代表的なものである。特に IoT デバイスのような貧弱な通信能力しか持たないものに対して分散的なトラストを提供することは本質的に重要である。この意味で、ブロックチェインの応用の拡大が求められている。

3.2　内容

ブロックチェインの応用として、より秘匿性が要求される電子投票の管理を対象にした。電子投票は、要求要件によって容易なものから難しいものまであり、既存のものとの比較も難しい。既存の電子投票システムは、中央管理により、投票の検証が選挙管理委員会にしか許されていなかったり、また分散管理では、匿名性に関する条件がゆるかったりして、電子投票の要件そのものが定まっていなかった。

本研究では、トラストアンカーを選挙管理委員会に定めたうえで、分散台帳を使うことで誰でも投票の検証ができ、選挙管理委員会以外は匿名性が担保できるようなモデルを作成し、実際に PoC を作成した。

3.3 具体的成果

この研究では、選挙管理委員会ひとつをトラストの起点とし、投票に関する匿名性についての条件を弱めることで、ブロックチェインを導入することを可能にし、これをもって大衆による投票の検証が可能になっている [査読付 2]。

この研究は佐藤研究室 Cosmas K. Adiputra 及び受入れ交換留学生 Rikard Hjort との共同研究である。

4 オンライントラストの具体的な構築

4.1 背景

FICAM によるアメリカ連邦政府のサービスへのアクセスに関する LoA の策定、ISO による認証の LoA (Level of Assurance) の ISO 化などが現実のものとなり、日本やヨーロッパでも、トラストフレームワークの構築が現実に視野に入ってきている。世界的には、国際研究協力の場でトラストフレームワークが具体化し、2017 年のノーベル賞受賞の LIGO の観測結果解析のための世界的な協力体制に採用されている。

日本の学術界におけるトラストフレームワークの構築を具体的に進めるために、基準の制定、ドキュメント化、監査を含めた評価体制の整備が必要になってきている。

4.2 内容

日本の大学・研究機関が参加する認証フェデレーションとして「学認」が存在するが、そこでのトラストフレームワークの構築、特に LoA1 認定の実際に運用を行った。また、トラストフレームワークがプラクティカルに運用できるように評価基準についての研究を行った。

4.3 具体的成果

国際研究協力体制 LIGO において、日本側対応プロジェクト KAGRA からのデータ利用のためのの利用者収容の活動を行っている。

キーノート [発表 1] において、今までのトラストフレームワーク構築における成果をまとめ、さらに将来の展望について概観した。

将来のトラストフレームワークの展望、特に評価体制については、2018 年 5 月の NII オープンフォーラムで報告するとともに、佐賀大学で 2019 年 3 月に開催された「統合認証シンポジウム」で学認の現状を報告した。

5 リスク評価の様々な場面における展開

5.1 背景

マイナンバーの運用は、政治的な側面をもち、運用が安定して利用が伸びているとは言い難い。これに代表されるように、IT 環境が多様化する中で、従来の組織向けのリスク評価とともに、一般消費者を対象にした環境でのリスク評価が必要になってきた。

5.2 内容

マイナンバーの運用をするにあたって、運用組織側で必要な要求要件を研究した。マイナンバーは、一般消費者の関与の度合いが大きく、基本的に統制が効かない。このような環境は、IoT をはじめとして一般的になってきており、十分一般性をもつものである。

5.3 具体的成果

[発表 2] では、運用面からの検討を行い、よりよい運用のためのリスク分析を行った。

6 学会活動

IEEE COMPSAC (2018 EATA Symposium Chair), IEEE Mobile Cloud (Steering Committee, General Chair) および CANDAR (2016, 2017, 2018 Software Track Chair) をはじめとして将来のサービスアーキテクチャの研究のための組織化を行っている。

また、IEEE ITPro をはじめ国際論文誌の編集委員を務めた。

7 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 谷本 茂明, 上田 祥仁, 岩下 基, 畑島 隆, 川村 亨, 佐藤 周行, 小林 透, 金井 敦: マイナンバーのセキュアな運用モデルの提案, 電子情報通信学会論文誌 D(Letter), Vol. J101-D No. 10, 1443-1447, 2018.

[査読付 2] Cosmas K. Adiputra, Rikard Hjort, Hiroyuki Sato: A Proposal of Blockchain-based Electronic Voting System, to appear in World Conf. Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WS4), 22–27, 2018.

その他の発表論文

[発表 1] Hiroyuki Sato: Internet Trust: Design and Deployment, Keynote, International Multi-Topic ICT Conference (IMTIC) 2018, Jamshoro, April, 2018.

[発表 2] 斎藤雄太, 佐藤周行: 確率密度関数を用いたソフトウェアテスティングのためのテストケース優先順位付け戦略, IPSJ PRO 122, January, 2019.

人々の実生活を支援する情報メディア技術に関する研究

小川 剛史

1　概要

AR (Augmented Reality) とは、デジタルの世界と現実世界を重ね合わせ、現実世界の情報を豊かにすることで、人々にとって有益な空間を構築する技術である。一方、AH (Augmented Human) と呼ばれる研究分野ではヒトの身体や思考をコンピュータによって拡張する技術が研究され注目を集めている。

我々の研究グループでは、人々の日常生活を支援することを目的に AR などの技術を応用したシステムやインタフェースに関する研究を行っている。今年度は、スマートフォンにおけるセキュリティとユーザビリティの双方を実現するための行動的特徴を用いた個人認証方式、新しい体験をユーザに提供することを目的として、視覚刺激によって圧力知覚を消滅させる刺激提示方式、VR 環境において柔軟な力覚フィードバックを提示するシステム、触覚フィードバックを提示可能な不可視 AR マーカ、空間に映像を提示する残像効果を利用した投擲型ディスプレイ、現実空間と仮想空間をシームレスに接続するための空間提示手法に関する研究を中心に進めた。これらの研究テーマのほか、過去に国内論文誌へ掲載された論文が表彰 [受賞 3, 受賞 4] を受けた。

2　スマートフォンにおける 1 タップ認証

2.1　背景

携帯端末における従来の認証システムでは、4 桁から数桁のパスコードや画面上でのストロークパタン、指紋といった情報が用いられていたが、ショルダーハッキングのような覗き見やパスワードアタック、寝ている間に所有者の指を使ってロックを解除するなどのリスクが存在している。パスコードは桁数を多くすることでセキュリティを高めることが可能であるが、桁数の増加に伴って利便性が低下するため、いつでもどこでもすぐに使えるというスマートフォン本来の最も重要な特徴を失うことになってしまう。したがって、スマートフォンの利便性を損ねることなく、高いセキュリティを維持できる認証技術の確立が重要な課題となっている。

2.2　内容

本研究テーマでは、スマートフォンをタップする際のユーザの癖を用いた認証方式を提案する。図 1 にモデル構築の流れを示す。スマートフォンの内蔵センサから、タップされたスクリーン座標と指の接触面積、接触時間、圧力、加速度センサおよびジャイロセンサのデータを取得し、これらのセンサデータから、接触面積および圧力からは最大値と平均値、加速度センサとジャイロセンサのデータについては生データとハイパスフィルタ、ローパスフィルタを適用したデータの最大値、最小値、平均値、標準偏差、RMS、FFT によって抽出した周波数成分の振幅の最大値、最小値を計算して、計 211 個の特徴量を抽出した。スマートフォンオーナと不正ユーザのタップデータを用いて、機械学習手法のランダムフォレストによって識別器を構築する。識別器構築に用いたデータ数は、オーナのタップデータ (500 個) と不正ユーザデータ 25 名分のタップデータ (500 個) の計 1000 個である。認証システ

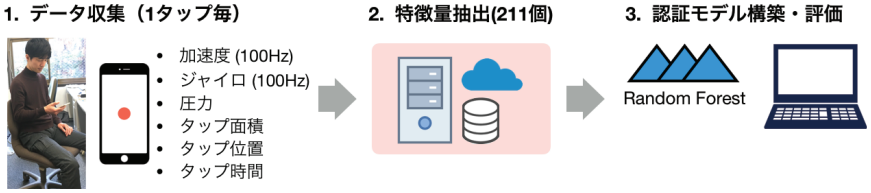


図 1: モデル構築の流れ

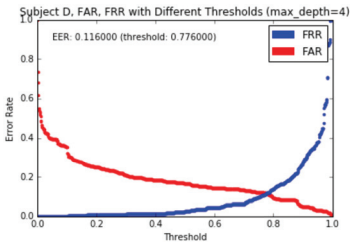


図 2: 認証精度の例

ムの評価では、本人拒否率 (FRR) と他人受入率 (FAR) が共に小さいことが良いとされるが、これらはトレードオフにあるため、FRR と FAR が等しくなる点の値 (EER) が用いられている。提案方式では 1 回のタップだけで認証を行っているが平均 EER は 3.8 となり、4 タップを用いた従来の研究と比較しても良い結果が得られた。図 2 に最も精度の良かった被験者の結果を示す。

機械学習アルゴリズムを利用するためには大量の学習データが必要となる。提案方式でも上記の通りオーナによる 500 回分のタップデータを必要としていた。そこで、学習データを削減するために、データにノイズを加えたり、データ変換によってデータの多様性を高めることでデータ数を増加させ、モデルの汎用性を向上させることも可能な、データオーグメンテーションに注目した。本研究では特に、タップ位置、タップ時間、加速度・ジャイロセンサ値が正規分布に従うことを利用し、10 個のオーナタップサンプルから、500 サンプルにデータを増やす。タップ位置、タップ時間のデータに対しては、多変量正規分布に従うデータのサンプリングを、加速度・ジャイロセンサの値については、1 タップの平均値が正規分布に従うように、ランダムに取得した 10 サンプルを垂直方向に平行移動してデータを生成する。これらの生成したデータを用いてモデリングを行っても、最も高い精度の被験者では EER が 0.8、平均の EER は 4.6 と、真のデータを用いた学習モデルと近い精度のモデルが構築できていることが確認できた。

2.3 具体的成果

スマートフォン画面に対するタップ動作の癖を機械学習によって学習し、個人を認証する方式に関して検討を進めた。評価実験により 1 回のタップ動作のみでも、4 回のタップ動作を必要とした従来の個人認証方式と同等の認識精度が実現できることを明らかにし、タッチダイナミクス認証のユーザビリティを大きく高めることができた。また、機械学習において必要な学習データを大幅に削減し、1 タップ個人認証方式の実用性を大きく向上させた。本研究の成果は、国際論文誌 [査読付 1] で発表した。

3 温冷刺激による錯覚を利用した仮想辛味提示

3.1 背景

食事は、外界から食物を体内へ取り入れることによって生命を維持し、活動や成長に必要な栄養分を補う、生きる上で必要不可欠な行為であると同時に、ただ空腹感を満たすだけではなく、おいしい食事に満足したり、子どもの頃の味の記憶に懐かしさを感じたり、仲間同士で一緒に食事を摂ることによって帰属意識を高めたりなど、日常生活の上で重要な役割を担っている。そのため、食事行動や食事中のコミュニケーション、調理活動など食に関する人々の活動支援や、おいしさを向上させることによる豊かな食体験の提供 など、食メディアに関する研究が注目されている。食体験向上に関する従来研究では、舌面の味細胞を直接刺激することによる味覚提示、飲食物の色や外観などの視覚情報や香りによる嗅覚情報との相互作用による味覚提示、咀嚼音などの聴覚情報を用いた食感提示などさまざまなアプローチが提案されている。本研究テーマでは、調味料や添加物を使用せずに味を提示す

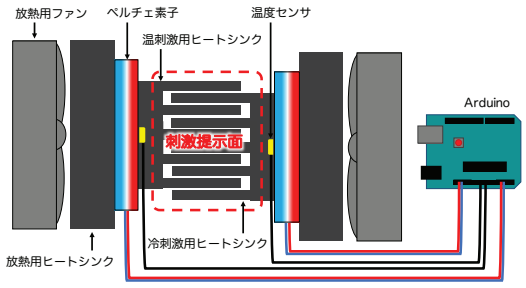


図 3: 舌刺激装置

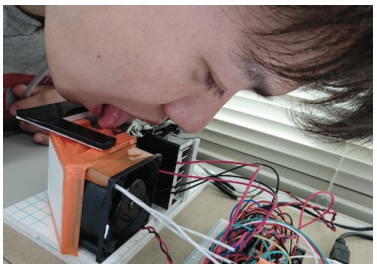


図 4: 実験の様子

る手法の実現を目的とし、特に辛味に注目して検討を進めた。

3.2 内容

辛味は、渋味とともに、五味と呼ばれる 5 つの基本味 (甘味、酸味、塩味、苦味、旨味) を含めた広義の味覚に分類され、おいしさを構成する重要な要素であるが、五味とは異なり、ヒトは辛味を舌表面や口腔粘膜などに分布する知覚神経から熱痛覚として知覚している。そこで、サーマルグリル錯覚を舌部に与えることで辛味を生起させる手法を提案する。サーマルグリル錯覚とは、冷たい棒と温かい棒を同時に触れるとあたかも熱い棒に触れたときに感じるような熱痛覚が生起する錯覚であり、冷たい棒を 20 ℃、温かい棒を 40 ℃に設定し、刺激面を手で押さえると熱で焼けるような痛みが生じたと報告されている。

舌刺激装置のシステム構成を図 3 に示す。本システムは温刺激を与えるヒートシンクと冷刺激を与えるヒートシンクが交互に並ぶように組み合わせて、刺激提示面を作成している。ペルチェ素子の各面に刺激用ヒートシンクと放熱用ヒートシンクを放熱用シリコン接着剤で接着し、刺激用ヒートシンクに温度センサを取り付けた。放熱用ヒートシンクには、ファンから風を当ててヒートシンクを常温に保ち、ペルチェ素子の裏表の温度が影響し合うのを防いでいる。ペルチェ素子と温度センサはマイコン (Arduino) に繋がっており、温度センサから得られた温度と目標温度との差からペルチェ素子に加える電圧を決定し、PWM 制御で刺激提示面の温度制御を行っている。本システムを用いて、舌部におけるサーマルグリル錯覚の生起の有無および味覚への影響、提示する温度条件の違いによる味覚への影響、刺激場所や刺激時間の違いによる味覚への影響に関して調査した。

実験の様子を図 4 に示す。被験者 18 名中 10 名から辛味と回答が得られ、半数以上の被験者が辛いと感じたことが分かった。酸味と答えた被験者は 4 名と辛味に次いで 2 番目に多く、甘味、苦味と答えた被験者は 1 名、その他と答えた被験者は 2 名という結果になった。自由記述アンケートでは被験者 15 名が舌にヒリヒリ感やピリピリ感を感じたと回答しており、この 15 名の中には辛味と答えた 10 名、酸味と答えた 4 名、その他と答えた 1 名がいた。また、辛味を選択した被験者は冷たさを知覚した後に辛味を知覚したと共通して答えており、辛味が少し舌に残ると回答した被験者も多かった。その他を選択した 1 名の被験者は、ピリピリはしたが辛さとは言えないと回答した。甘味を選択した被験者は、辛味を選択した被験者と同様にはじめに冷たさを感じ、その後次第に舌の内側から温かくなるような感じを知覚し、それが甘味のように感じたと回答した。以上により、舌表面においてもサーマルグリル錯覚による痛みが生起し、その痛みが辛味の知覚に関与していると考えられる。

温度条件については、温冷刺激の温度差が大きい組合せほど、また温冷刺激の平均温度が高い組合せほど辛味を強く知覚する傾向にあることが分かった。刺激場所については、舌突部のみよりも舌部と刺激提示面との接触面積が大きくなるように舌部全体を刺激するほうが辛味を強く知覚した。刺激時間については、3 秒間、5 秒間、10 秒間の 3 通りで実験したが、時間が長くなるにしたがい、辛味が減少する傾向が見られた。温冷刺激への慣れが原因のひとつであると考えられたが、舌部が長時間触れることで刺激提示面の温度が設定温度から変化していることも分かっており、より詳細な検証が

必要である。

3.3 具体的成果

本研究テーマでは、サーマルグリル錯覚による辛味提示が可能であることが明らかとなり、辛味の強度を制御するための条件について検証を行った。本研究の成果は、国内論文誌 [査読付 2] および国内研究会 [発表 2] で発表した。また、研究会より表彰 [受賞 1] を受けた。

4 視覚刺激を用いた圧覚の隠消現実感

4.1 背景

AR/VR 技術は視覚だけでなく、その他の五感や前庭感覚、加速度感覚など人間の感覚すべてに対して適用される技術である。一方、複数の感覚に同時に与えられた情報が混ぜ合わさることで、本来与えられていない感覚が生起したり通常とは異なる強度の感覚を知覚したりするクロスモーダル現象が知られており、クロスモーダル現象を利用することで、シンプルな機器構成で感覚モダリティに情報を与え、人間に新しい体験を提供できる。視覚を介したクロスモーダル現象を用いた研究がこれまでにも盛んに行われており、視覚情報によってシンプルな形状のオブジェクトを触った際に異なる触感を生起させたり、歩行者にベクションを見せることで加速度感を増強させたりしている。本研究テーマでは、従来研究のような他の感覚を生起・増強させるためにクロスモーダル現象を用いるのではなく、既に与えられている感覚が減衰する隠消現実感 (Diminished Reality, DR) にクロスモーダル現象を応用することを目的としている。視覚からの情報によって、酔いや痛み、圧迫感などの不快な感覚を減衰できると考え、まずは様々な感覚の中から圧覚に着目し検討を進めた。

4.2 内容

視覚刺激と圧覚刺激に意図的な不整合を発生させることで、クロスモーダル知覚によって圧覚知覚を減衰させる。具体的には、一定の力を受けているにも関わらず力が弱まる様子を視覚的に提示したり、力が弱まる様子を視覚的に強調して提示したりすることで、視覚刺激と圧覚刺激を乖離させ、圧覚知覚の低減や消滅を実現する。図 5 に提案手法の概要を示す。また、見ている対象を自己またはその延長として捉えている感覚は自己帰属感と呼ばれ、既存研究において自己帰属感が弱くなると視触覚間のクロスモーダルによる錯覚の強さも弱くなることが報告されているため、本研究においても自己帰属感の影響についても調査する。検証する仮説は以下の通りである。

仮説 1: 提案方式による視覚刺激を与えると、与えない場合よりも知覚する圧力強度が弱くなる。
仮説 2: 視覚刺激と圧力刺激との間の乖離が小さいほど、圧覚の DR は生じやすい。
仮説 3: 画面上に映る腕に対する自己帰属感が強いほど圧力知覚はより大きく減衰する。

仮説 3 を検証では、スマートフォンを用いた提示システム（図 6）と HMD を用いた提示システム（図 7）を構築して比較した。実験では、仮説 1 および仮説 2 を支持する結果を得ることができたが、より自己帰属感が大きくなると思われる HMD を用いたシステムよりもスマートフォンを用いたシステムの方が圧力知覚が減衰する結果となり、仮説 3 は支持されなかった。自由記述アンケートにより HMD を用いたシステムの方が現実感は強かったが、スマートフォンを用いたシステムでは、スクリーン上に自分の腕しか写っていないため、圧力刺激を受ける様子を集中して見ることができたことが原因であることが示唆された。そこで、HMD における表示範囲をスマートフォンと同等となるように制限するフィルタを作成して、再実験したところ圧力知覚をより大きく減衰させることができた。

4.3 具体的成果

圧覚と視覚とのクロスモーダル知覚により圧力知覚を減衰させる刺激提示方式の提案と実験による有効性の検証を行い、視覚刺激と圧覚刺激の不整合によって、圧力知覚を減衰させる可能性があるこ

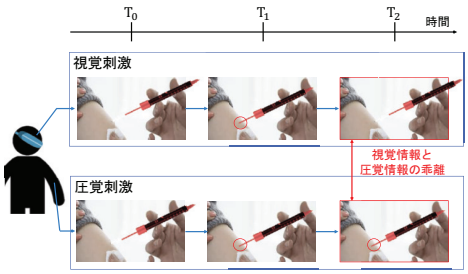


図 5: 提案手法の概要

図 6: スマートフォンによる提示

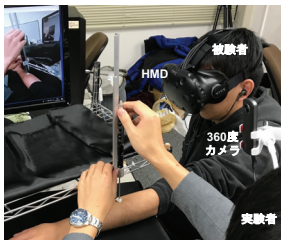


図 7: HMD による実験

と、圧覚知覚の減衰度合いと、画面表示された腕に対する自己帰属感との間に弱い正の相関があること、視覚刺激と圧覚刺激との不整合の程度が圧覚 DR の生起に影響を与える可能性があることが明らかになった。また、刺激に気づかせないために気をそらさせる行為が有効であることが、従来示されていたが、提案手法では刺激に集中することで刺激が低減する結果となり、新たな知見を得ることができた。本研究の成果は、国内研究会 [発表 3, 発表 6] で発表した。

5　リターゲティングと回転運動を用いた力触覚提示

5.1　背景

VR 空間の中で物体を操作する際に、その物体からの力触覚を感じることができれば、その動作のリアリティが向上し、VR 空間への没入感も高くなる。そのため、視覚情報と力触覚情報を組み合わせた VR 体験に関する研究が盛んに行われている。ロボット分野などでは、アクチュエータを用いて力触覚を提示するシステムについて研究が進められているが、力触覚の分解能を高めるために機構が複雑になってしまったり、力触覚提示デバイスが高価になってしまったりする欠点がある。一方、VR 空間に存在する物体と等しい形・大きさ・位置・テクスチャ感を持った現実空間の物体に触れさせることで、触覚フィードバックを提示するシステムは、正確な位置合わせが必要な反面、比較的安価に構築でき、その機構も非常にシンプルである。近年では、視覚と触覚、あるいは固有受容感覚の相互作用を利用することで、バーチャル物体とは少し異なる形状や位置の現実物体でも違和感を少なくして、触覚フィードバックを提示できることが示されている。従来研究は、静止したバーチャル物体を対象としており、運動するバーチャル物体を対象とはしておらず、例えば物体を把持した際の運動方向に受ける力覚を提示することはできなかった。そこで本研究テーマでは、平面内の任意の運動方向へ移動するバーチャル物体を把持した際の力覚フィードバックを提示するためのシステムを提案する。

5.2　内容

テーブルの上にあるオブジェクトを手にとるために、オブジェクトに腕を伸ばし、それを把持する運動に注目した力触覚ディスプレイ Haptic Turntable を提案する。提案システムでは円盤の円周上に把持用の現実物体をひとつ固定し、円盤を回転させることで、円盤の接線方向への力覚提示に利用する。図 8 に構築したシステムの概要を示す。提案システムは据え置き型となっており、力覚提示用の現実物体とサーボモータおよび制御用マイコンで構成されている。360 度フィードバックサーボモータには、Parallax 社 Feedback 360°　High Speed Servo を使用し、マイコンには Arduino 社 Arduino Uno を用いて PWM 制御を行った。円形の台座 (直径 30cm) 中心にモータを固定し、さらにスペーサの上にレコード用台座 (直径 30cm) を設置した。サーボホーンにはレコード (直径 30cm) をマウントできるように改造した。レコード円周上に力触覚提示用の現実物体 (素ボール・直径 10cm) を把持しても外れないようにネジおよび接着剤で固定した。サーボモータには 12W の電力を供給し、吊り測りで現実物体からのトルクを計測したところ最大 0.50[kg・m] であった。

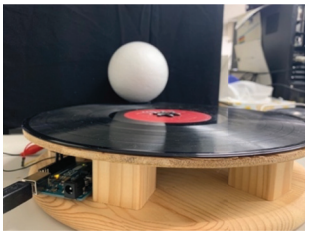


図 8: システム概要

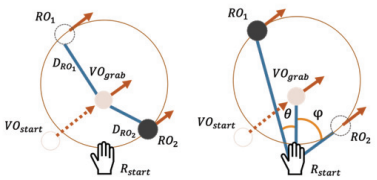


図 9: 把持位置選択手法

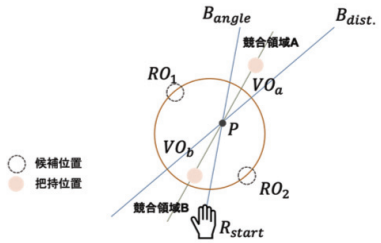


図 10: 競合領域

円運動による接線方向への力覚提示を行う場合、ある特定の方向への力覚が提示できるのは 2 箇所しか存在しない。机の上のような平面上での任意の点で、移動する物体を把持できるようにするため、リターゲティング操作を組み合わせる。候補となる 2 箇所の把持位置から、どちらを選択するのかを決定するための戦略として、バーチャル物体の把持位置と現実物体の把持位置との距離が短くなる方を選択する ShorterDistance 方式（図 9 左）とバーチャル物体を把持するために手をのばす方向と現実物体を把持するために手をのばす方向のなす角が小さくなる方を選択する CloserAngle 方式（図 9 右）を実装し、被験者実験によりどちらの方式が有効であるかを検証した。それぞれの方式によって採用すべき現実物体の位置が異なる競合領域が図 10 のように存在し、被験者から遠い場所にある競合領域 A では、CloserAngle 方式が、被験者から近い場所にある競合領域 B では ShorterDistance 方式が物体を把持しやすいことが明らかとなった。

5.3 具体的成果

本研究テーマでは、平面上を移動するバーチャル物体からの力覚フィードバックを円盤上の現実物体を用いて提示し、簡易なシステムでも違和感なくバーチャル物体を把持させることができた。また、力覚の方向と実際の運動方向が 45 度程度までずれていてもヒトはその違いを知覚することはできず、力覚提示デバイスをよりシンプルに構成できる可能性も見出した。本研究の成果は、国内研究会 [発表 1, 発表 5] で発表した。

6 空間描画のための投擲型残像ディスプレイ

6.1 背景

AR 技術を用いることで、3 次元空間内のどこであっても電子情報を提示することが可能で、低価格な HMD の登場やスマートフォンを用いた AR アプリケーションの登場により、AR の体験がより身近になってきている。一方で、複数人で AR 体験を共有しようとすると HMD でそれぞれの顔を見ることができないことや、HMD を装着することの煩わしさ、スマートフォン越しでは視野が狭くなってしまうことなどの問題が生じており、これらの問題を解決するための新たな情報の提示技術が必要である。

6.2 内容

本研究テーマでは、空間に提示された情報を HMD やディスプレイ越しに見るのではなく、空間に描画された情報を裸眼で閲覧する新たなディスプレイを提案する。提案システムではヒトの眼の残像効果を用いるため、投擲動作によって発光物体を現実空間中に投げ、その残像をディスプレイとして用いる。ボールの表面に LED、内部にはボールの運動状況を計測するためのセンサを配置し、投擲中に残像として情報が適切に表示されるよう、LED の点灯を制御する仕組みを構築した。これまでにもボール型のディスプレイは存在するが、ボール表面を映像の提示面としていたのに対し、提案ディスプレイは情報を提示できるエリアを現実空間としているところが大きく異なる。

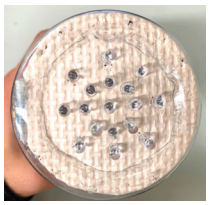


図 11: 情報提示部

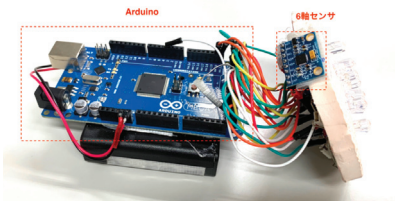


図 12: システム構成

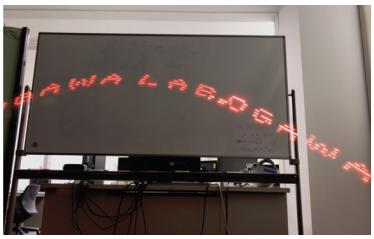


図 13: 空間描画例

システムを簡略化するため、円筒形の物体の底面をディスプレイ表示部して用い、円筒の底面を同じ方向に向けて投擲することで、実際に残像が映像として提示されるかどうかを検証した。この場合、検出すべき角速度の回転軸は 1 軸で必要な計算量が少なくなるため、デバイスの計算力に制約があっても実現可能である。投擲物体として、直径 8.4cm、深さ 11cm の瓶状の PET 製容器を用意した。図 11 に示すように容器の底面部分に、2 つの同心円の円周上に 8 個および中心に 1 個の LED を配置し、これらの LED を制御用のマイコンに接続した。LED の点灯制御には Arduino Mega 2560 を用いた。回転速度のセンシングのため、3 軸加速度および 3 軸角速度センサを内蔵する InvenSense 社の MPU6050 と信号処理用の IC 等を搭載した 6 軸センサボード (GY-521) を用い、Arduino と I2C 接続してセンサの計測値を送信する。システムの構成を図 12 に示す。システムの有効性を検証するため、提案システムを実際に投擲し、表示した文字が判別できるかどうかを確認した（図 13)。 回転量の計算や表示の切り替えを行うのに不足ないセンサデータ取得間隔を決定するため、センサからの回転速度の取得を開始してから、回転量の計算、LED 表示の切り替えが終了するまでの計算の所要時間を計測したところ最大で 1.8[ms] であったため、 2[ms] 周期で処理することとした。

6.3 具体的成果

本研究テーマでは、ディスプレイを投げることで空間に情報を提示するシステムを提案し、実験によりシステム性能を調査した。本研究テーマの成果は、国内研究会 [発表 7] で発表し、研究会より優秀賞 [受賞 2] を受賞した。

7 触覚フィードバックを与える不可視 AR マーカ

7.1 背景

安価な HMD の登場やスマートフォンの高性能化に伴い、AR アプリケーションが急速に身近なものとなった。AR アプリケーションでは、仮想オブジェクトのリアリティを高めるために現実世界との幾何学的な整合性を保つことが重要である。古くから現実世界に配置した画像マーカを用いてカメラの位置姿勢を推定するための手法が提案されており、比較的簡易な物理計算でカメラの位置姿勢を推定できたり、マーカの位置に正確に仮想オブジェクトを提示することが可能といった利点がある。しかし、現実空間内に多数の画像マーカを配置すると景観を損ねてしまう問題もあり、現実空間中の自然特徴点を用いた手法や、スマートフォンのような端末に内蔵されたセンサを用いた手法などが提案されている。 一方、仮想オブジェクトとのインタラクションを考慮した場合、そのリアリティを向上させるためには、視覚的な要素だけでなく、ヒトのさまざまな感覚に対してフィードバックを提示することが重要であり、仮想オブジェクトに触れたときの触覚フィードバックを実現する研究はこれまで盛んに行われてきた。指先や腕など触覚を提示する身体部位にアクチュエータを装着し、仮想オブジェクトの動きやヒトの動きに応じてアクチュエータを作動させることで、触覚の伴うインタラクションを実現している。このようなシステムでは、触覚提示が可能な箇所がアクチュエータを装着した箇所に限定されることや、例えば指先に付けた装置が現実オブジェクトを把持する際に邪魔になる

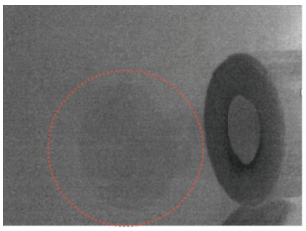


図 14: 二酸化炭素で構成した渦輪の赤外線写真

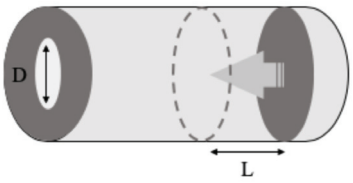


図 15: 空気砲のパラメタ

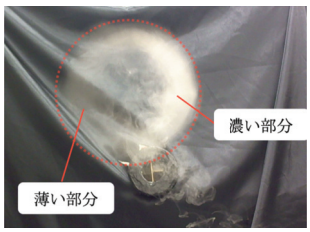


図 16: 渦輪内のスモークの濃度を変更した例

などの問題点が指摘されている。

本研究テーマでは、デバイスを身につけることなく触覚フィードバックを提示可能で、景観を損ねることのない不可視なビジュアルマーカを提案する。提案方式では、触覚フィードバックの提示と不可視であることの双方の条件を、空気塊でビジュアルマーカを構成することで実現する。

7.2 内容

空気砲で射出した渦輪をビジュアルマーカとして利用するために、二酸化炭素を用いて渦輪を構成する。二酸化炭素の赤外線放射ピーク波長を捉えるために赤外線カメラに 4.26[um] を中心とするバンドパスフィルタを装着して渦輪を撮影することで、肉眼では見ることが不可能な AR を実現する。図 14 に赤外線カメラで撮影した渦輪の様子を示す。画像内に渦輪の存在を確認することはできたが、ビジュアルマーカとして画像処理できるまで鮮明に捉えることはできていない。シャンパンから出る炭酸を撮影した Belair らの先行研究を参考に撮影環境に関する検討は今後の課題として、渦輪をビジュアルマーカとして利用するための条件を明らかにするため、スモークによる渦輪を用いて検討を進めた。渦輪をビジュアルマーカとして利用するためには、カメラからの 3 次元位置を測定できること、複数の ID を表現できることが重要となる。そこで、渦輪をカメラに映る形状から相対位置を計測するため、渦輪の構成する粒子の濃度を高く維持でき、安定した形状であることが必要である。渦輪中の粒子濃度と形状の安定性については、空気砲の吹出口から渦輪が射出される瞬間の条件によって決定され、渦輪生成機構をピストンとシリンダで構成した場合、図 15 に示したようにピストンの移動距離 L と吹出口の直径 D の比に依存することが分かっており、プロトタイプを構築する際の参考とした。複数 ID に関しては、渦輪の粒子濃度を変更させることを検討した。ただ、それぞれの粒子濃度を変更するだけでなく、バーコードのようにひとつの渦輪内で濃度の高い部分と低い部分を作成することも試みた（図 16）。実験により、安定した形状の渦輪が生成できた場合でも渦輪が移動する際に尾がノイズとなって、カメラ画像から渦輪を抽出する画像処理における精度を低下させてしまうことや、ひとつの渦輪内で構成粒子の濃度を変更した場合には、渦輪の形状が不安定となり渦輪の飛距離が短くなる傾向があることが明らかとなった。

7.3 具体的成果

本研究テーマでは、触覚フィードバックを提示でき、人の目には見えないビジュアルマーカを構築するため、二酸化炭素で生成した渦輪を用いた新たな AR マーカを提案し、安定したマーカを構成するための条件を実験により明らかにした。本研究の成果は、国内研究会 [発表 4] で発表した。

8 MR 空間における歩行の安全性を考慮した空間切り替え制御手法

8.1 背景

VIVE Focus や Oculus Quest など PC を必要とせず、慣性計測装置やカメラ映像を用いた自己位置推定技術によって 6 自由度の移動に対応したスタンドアロン型 HMD が注目されている。スタンドア

図 17: 想定する融合空間

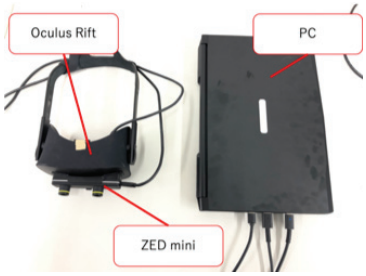


図 18: システム構成

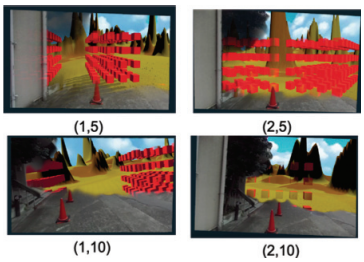


図 19: RE と VE の融合提示

ロン型 HMD では、接続ケーブルやトラッキング領域などユーザの移動を制限するものがなくなり、室内から屋外へとその利用場所を拡張することで新たな VR 体験が可能となる。例えば、SixerVR は、広いサッカー場などでの空間的制限のない VR 体験は体験者の没入度を新たなレベルへと引き上げると報告している。一方で、等身大の広大な VR 空間を実際に体験するためには、VR 空間に対応した同等の現実空間が必要となり、現実空間の任意の場所で VR 体験を提供するためには、現実空間の構造や実際に現実空間を歩いている人などによる移動の制約や危険を回避しなければならない。スタンドアロン型 HMD の多くには、フロントカメラが搭載されており、周囲の環境を撮影して状況を認識することも可能ではあるが、日常的に HMD を装着して街中を活動するようになると、近年の世界的な社会問題となっている「歩きスマホ」と同様に「歩き VR 」による危険が生じる可能性が指摘されている。

8.2 内容

「歩き VR」における主な危険としては、足元の段差によるつまずきや他の歩行者との衝突などが挙げられるが、このような障害の存在を適切に提示できれば、普段の歩行時と同様にユーザ自身で危険を回避できると考えられる。そこで、「歩き VR」中に、実環境におけるユーザの周囲をセンシングし、衝突する危険性の高いオブジェクトを VR 空間内に提示することで安全な歩行を支援する。

オブジェクトの危険度は、静止物体であるか運動物体であるか、また運動物体であればその運動速度の大きさなど、オブジェクトの種類や動きによって変化すると考えられ、その危険度に応じた適切な提示が必要である。特にユーザとの衝突に注目すると、その危険度は対象物との距離に大きく依存するため、ユーザからの距離に応じて現実空間と VR 空間の融合比率を変更した MR 空間の提示手法を提案する。ユーザに提示する空間の概念図を図 17 に示す。ユーザを中心とする半径の異なる 2 つの球で空間を 3 つの領域に分割し、各領域では異なる空間表示手法でユーザに映像を提示する。提示する空間の種類は全部で 3 種類存在し、ユーザ位置から近い順に、現実空間の映像を映し出す空間 (RE)、現実空間の映像を 3DCG に変換した空間 (AVE)、そしてバーチャル空間を映し出す空間 (VE) としており、それぞれの境界付近では融合率を漸次的に変更する。まずは、AVE の領域をゼロとして、RE から VE へ変化する空間のプロトタイプを実装した。図 18 にシステム構成を示す。HMD 前面に装着したステレオカメラを用いて周囲の depth 情報を取得し、ユーザに提示するビューにおいて depth 値の小さなカメラの近傍にあるピクセルはステレオカメラから得た画像をそのまま描画し、depth 値が大きくなるにしたがって透明度を大きくしながら描画することで、カメラからの遠方にある物体は表示しない。一方、VE については、カメラに対して遠方の物体はそのまま描画して、カメラに近づくにしたがって透明度を大きくして描画する。これにより、RE と VE とをシームレスに切り替える。屋外で、実装したプロトタイプの動作実験を行い、概ね想定通りの挙動を確認できたが、ステレオカメラによって算出される depth 情報に誤差があり、キャリブレーションが必要であることが分かった（図 19)。

8.3 具体的成果

本研究テーマでは、「歩き VR」における歩行の安全性を支援するために、現実空間と VR 空間を漸次的に切り替える手法を提案し、プロトタイプの実装を行った。本研究の成果は、国内研究会 [発表 8] で発表した。

9 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究委員会, 2018 年 10 月.

[受賞 2] 桑原 大樹, 小川 剛史: DCC 優秀賞, 情報処理学会デジタルコンテンツクリエーション研究会, 2019 年 1 月.

[受賞 3] 小川 剛史, 朴 燦鎬: DCON 論文賞, 情報処理学会論文誌：デジタルコンテンツ, 2019 年 3 月.

[受賞 4] 佐川 俊介, 小川 剛史: DCON 論文賞, 情報処理学会論文誌：デジタルコンテンツ, 2019 年 3 月.

査読付論文

[査読付 1] Minori Inoue and Takefumi Ogawa: TapOnce: A Novel Authentication Method on Smartphones, International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 14, Issue: 1, pp. 33–48, May 2018.

[査読付 2] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示手法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 189–196, 2018 年 9 月.

その他の発表論文

[発表 1] 高橋 直人, 小川 剛史: 視触覚 VR のためのリターゲティング可能領域に関する一検討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–2, CSVC2018–8, pp. 1–6, 2018 年 6 月.

[発表 2] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚を用いた辛味提示システムの評価, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–3, CSVC2018–16, pp. 19–24, 2018 年 10 月.

[発表 3] 大山 晃平, 小川 剛史: 圧覚の隠消現実感を誘起する視覚刺激の提示方式に関する基礎検討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–4, CSVC2018–24, pp. 7–10, 2018 年 12 月.

[発表 4] 小俣慎太郎, 小川 剛史: 触覚フィードバックを与える不可視 AR マーカの検討, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 55, 2019 年 1 月.

[発表 5] 高橋 直人, 小川 剛史: Haptic Turntable: リターゲティングと回転運動を用いた力触覚提示システム, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 56, 2019 年 1 月.

[発表 6] 大山 晃平, 小川 剛史: 圧覚の隠消現実感を引き起こす視覚刺激の提示手法に関する一検討, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 57, 2019 年 1 月.

[発表 7] 桑原 大樹, 小川 剛史: 空間描画のための投擲型残像ディスプレイの設計と実装, 情処研報, Vol. 2019–DCC–021, No. 58, 2019 年 1 月.

[発表 8] 小沢健吾, 小川 剛史: MR 空間における歩行の安全性を考慮した空間切り替え制御手法に関する一検討, VR 学研報, Vol. 24, No. CS–1, CSVC2019–3, pp. 13–18, 2019 年 2 月. -1, pp. 1–6, 2018 年 2 月.

サイバーセキュリティ対策のアシストシステム確立とソフトウェアを活かしたICTアーキテクチャに関する研究

関谷 勇司

1 概要

今年度は、(1) 機械学習を用いてサイバーセキュリティ対策のアシストを行うための手法とそのシステムに関する研究、(2) ソフトウェア基盤を活用することで柔軟性と即時性に優れた ICT システムの設計技術に関する研究、(3) そのシステムを構築するエンジニアリング技術とエンジニア育成手法に関する研究、の三点を中心とした活動を行った。

(1) の研究では、攻撃が高度化するサイバーセキュリティ対策において、高度な知識や経験を持たないセキュリティ管理者がセキュリティ対策を行うにあたってのアシストを行うシステムの設計と構築を目指した。具体的には、組織に対する攻撃の動向を把握し早期警戒情報の提供、攻撃の検知と攻撃者の挙動分析に必要なデータセットの提案、インシデントに対する分析と対策のアドバイスを行うことを目的とした。これにより、中小の組織にて十分なセキュリティ管理者を設置することができない場合においても、一定レベルのサイバーセキュリティ対策を提供することができ、サイバーセキュリティ人材の不足を補うとともに情報社会におけるサイバーセキュリティレベルの底上げに貢献することを目指した。本年度は開発したいくつかの技術を統合し、セキュリティ管理者のアシストを実現システムの設計と構築を行った。

次に (2) の研究では、ソフトウェア技術を活用することで、柔軟性と即時性に優れた ICT 基盤を構築するためのアーキテクチャとシステム実現に取り組んだ。従来の ICT インフラでは、専用ハードウェア機器に搭載された専用のソフトウェアに対して設定を行うことでネットワーク基盤やコンピューティング基盤が構築され、サービスの構築が行われていた。これは共通化された機能を組み合わせることで構築された、いわば「インテグレーション」の ICT インフラであり、提供するサービスに応じて最適化された ICT インフラではなかった。本研究では、提供するサービスやその要件を実現するために、サービスや目的にとって適した ICT インフラを柔軟かつ迅速に構築するためのアーキテクチャとシステム実現を目指した。具体的には、ネットワークインフラの構築に利用される NFV (Network Functions Virtualization) と呼ばれる技術を、より運用に即したシステムとして実現するための設計手法の研究と、次世代の学内ネットワークシステムを実現するための ASANO (Advanced Service and Network Orchestration) System の研究開発を行った。

最後に (3) の研究では、(2) の研究にて目指すシステムの設計やその構築を行うにあたって、要素技術の選定や実装を行うことができるエンジニアをどう育成するか、その育成カリキュラムの制定と検証を行った。いわば「ソフトウェアライゼーション」に対応できる ICT インフラエンジニアの育成手法に関する研究であり、サイバーセキュリティ人材の不足と同様に不足する ICT インフラ人材を体系的に育成するための手法に関する研究である。また、サイバーセキュリティ対策を行うためには ICT インフラに関する知識が不可欠であり、サイバーセキュリティ人材の育成は ICT インフラエンジニア人材の育成と密接に関係している。そのため、新たな ICT インフラの構築とその防御に対応できる人材の育成が必要であり、そのためのエンジニア育成カリキュラムと育成環境の研究開発を行った。学

内外の職員や学生、また一般企業のエンジニアに対してカリキュラムに基づいた教育プログラムを提供し、その習熟度から本研究にて開発したカリキュラムの検証と改善を行った。

2　機械学習を用いたサイバーセキュリティ対策のアシストに関する研究

2.1　背景

昨今、インターネット上ではサイバー攻撃が増加している。その手法は多様化と高度化の一途を辿っており、被害も増大している。従来のサイバー攻撃は、従来は愉快犯や個人的な恨みによる行為、自身の能力を誇示したいという自己顕示欲といった、個人的な目的によって行われていた。しかし昨今のサイバー攻撃は、社会的な思想の誇示や主張の実現、営利的な利益に直結する情報の搾取、大量の個人情報の取得等、確たる目的に基づいて組織的に行われる攻撃が増加している。その攻撃を実現するための基盤構築や実際の攻撃も分業化される傾向にあり、サイバー攻撃がビジネスとして確立している。

一方で、サイバーセキュリティに関する従来の研究では、個々の攻撃の検知手法やその挙動の解析ならびに攻撃の解析手法に関するものがほとんどであり、組織にとってのサイバーセキュリティ対策に利用できる研究は少ない。その理由として、サイバーセキュリティ対策には多岐の分野に渡った知識と技能が必要とされ、セキュリティ管理者個人の知識と技量に頼った対策が行われているためである。つまり、個々の知識や技術に関する研究ではなく、サイバーセキュリティ対策をシステムとして実現するための研究が必要とされる。そこで本研究では、サイバーセキュリティに関連するビッグデータの収集と分析を通じて、サイバー攻撃の検知や早期警戒の実現、並びに攻撃の影響範囲と一次対策の決定に関して管理者のアシストを行う技術とシステムの実現を目指した。

2.2　内容

本研究では、サイバーセキュリティビッグデータの収集とリアルタイム解析を基盤とし、多種のデータセットを用いた機械学習を活用することで、組織に対する攻撃の検知と早期警戒情報の提供の実現、ならびにインシデント対策のアシスト実現を目指す。具体的には、図 1 に示すようなビッグデータ収集とリアルタイム解析基盤を実現し、その基盤を利用した攻撃検知と対策アシストのエコシステム実現を目指したシステムの研究開発を行った。現在、サイバーセキュリティ対策はセキュリティ管理者の属人的な知識と経験にもとづいて行われているのが実情であり、サイバー攻撃が増加している昨今ではセキュリティ管理者への負担が増大している。本研究では、このサイバーセキュリティ対策において必要とされていた属人的な知識と経験を軽減し、機械学習による検知と分析、対策のアシストを実現することで、普遍的なサイバーセキュリティ対策レベルの向上を目指した。なお、本研究は JST CREST 「人工知能」研究領域における「サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測」研究課題として採択されており、東京大学、東京工業大学、奈良先端科学技術大学院大学、IIJ イノベーションインスティチュートとの共同研究として行った。以下はその共同研究の成果について述べる。

本研究による学術的成果や社会貢献としては、次の点があげられる。

1. セキュリティビッグデータ収集とリアルタイム解析のための解析基盤
2. 解析基盤を利用した攻撃者の挙動解析アシスト技術
3. 解析基盤を利用した機械学習と深層学習によるサイバー攻撃の検知技術
4. インシデント対策におけるセキュリティ管理者の意思決定アシスト技術
5. 他のサイバーセキュリティ研究に利用可能なオープンデータの提供

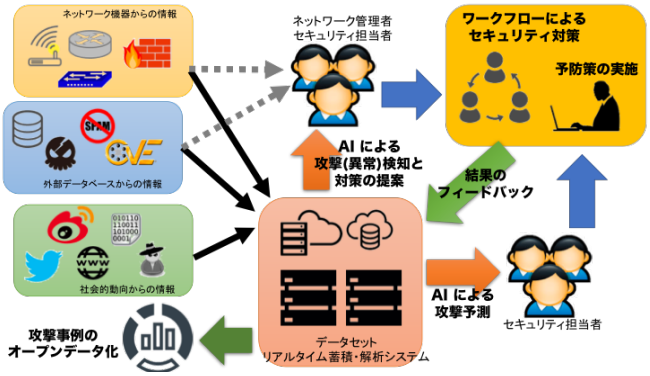


図 1: 本研究が目指すサイバーセキュリティ対策システムの概要

2.3 具体的成果

昨年度までは、セキュリティビッグデータ収集と解析のためのシステム基盤の設計と実装、ならびに収集したデータセットを利用した攻撃検知手法の開発を行った。この成果をうけ本年度は、(a) より多くのセキュリティビッグデータの収集、(b) リアルタイム攻撃検知技術の確立、(c) 攻撃者の挙動を解析するためのデータセット検索アシストの実現、(d) インシデント対策アシストを行うためのデータセット構築と機械学習適用手法の開発、を行った。

(a) に関しては、研究開発したデータ収集・解析基盤である Hayabusa を改良し、より多くのデータを高速に収集しリアルタイムに解析するための基盤として Hayabusa2[1] の設計と実装を行った。Hayabusa2 ではデータセットの蓄積ファイルシステムを共有化し、蓄積と検索のフロントノードを分散化するアーキテクチャを採用した。これにより、通常はオンプレミスにてデータの収集を行い、大量データの高速な検索や解析が必要となった場合にフロントノードを動的に増やすことで解析性能を向上させることが可能となった。また、このアーキテクチャを採用したことによってクラウドとオンプレミスの連携が可能となり、必要な資源を動的に確保した解析を実現することを可能とした。

さらに、サイバーセキュリティ対策に活用できるデータセットとして「ネットワークインフラデータセット」と「ソーシャルデータセット」という種別を定義した。ネットワークインフラデータセットとは、ルータやスイッチといったネットワーク機器やサーバから得られる通信記録、またファイアウォール機器から得られるサイバーセキュリティ情報ログ等を意味する。一方でソーシャルデータセットとは、SNS や Web から得られる攻撃者の攻撃動機に関連する情報や、インシデント発生時のレポートとその対策に関する記録等のセキュリティ管理者が行った行動に関するデータセットを意味する。これらのデータセットを統合して解析することで、個々の攻撃に対する解析ではなく組織に対する統合的なサイバー攻撃の解析とアシストの実現を目指した。

また、(b) に関してはネットワーク画像化する ”Picturization” という手法を提案し、ホストの通信挙動やユーザがアクセスした Web ページの URL 情報を画像化することで異常状態を検知することを実現した。主にネットワークインフラデータセットに対して適用する手法であり、従来は通信記録として 5 tuple (src/dst IP address, src/dst port, protocol) 情報を利用して解析を行っていたのに対して、これらの情報を単なるビット列として扱い、それ以外の通信のインターバルやホストの挙動を示す TCP パラメータ等を利用して通信挙動を画像化した。これにより、画像処理のための機械学習アルゴリズムを適用することが可能となり、インフラデータセットからリアルタイムでの異常挙動検知が可能となった。なお本研究成果に関しては、その手法に関する特許出願を行った。

(c) に関しては、(b) による攻撃検知結果を統合してセキュリティ管理者に通知し、その結果を元にセキュリティ管理者が (a) の基盤を用いてデータセットの解析を行うことができるための、ダッシュ

[1] https://github.com/hirolovesbeer/hayabusa2

ボード機構の設計と実装を行った。現在は Slack もしくはそのオープンソース実装である Mattermost[2] を利用して構築を開始しており、システムの構築と検証を行っている。

最後に (d) に関しては、インシデントに対する判断と対策をアシストするための人工知能を実現することを目指した。具体的には、インシデントが発生した場合にその起点となったデータや報告書、その一次対策と最終的な結末をデータセットとして構築した。このデータセットに対して自然言語解析を行い、セキュリティ管理者が何かの挙動を発見した場合、もしくは外部からのインシデントレポートが届いた場合にその事象をシステムに入力することで、過去の事例に即した解析と一次対策のアシスト実現を目指した。現在までにデータセットの収集と構築、ならびに機械学習を利用した予備実験を行った。

これら本年度の研究成果を広く公開するために、2018 年 6 月に幕張メッセで開催された Interop Tokyo 2018 にて共同研究プロジェクトの名称である、NML(Network Muscle Learning) Project という名前のブースを出展した。具体的には、 (b) の成果を活用し会場内のライブラトラフィックにてリアルタイムの攻撃検知を行うとともに、ポスター展示にて研究成果のアピールを行った。会場のブースにはおよそ 200 名程度の来訪があり、研究成果の説明を行った。

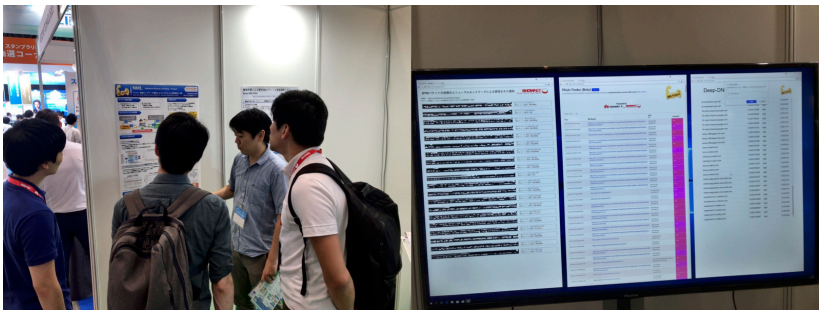


図 2: Interop Tokyo 2018 におけるブース展示
左 : 研究成果の展示と説明
右 : ライブトラフィックを利用したデモンストレーション画面

3　ソフトウェアを活用した ICT アーキテクチャに関する研究

3.1　背景

従来の ICT インフラは、特定の用途に特化されたハードウェア機器を用いて構築されていた。ネットワークインフラに関しては、ルータやスイッチといった専用ハードウェアの上にハードウェア制御用の専用ソフトウェアが搭載され、製品として販売されていた。また、サービスを構築する計算資源に関しては、サーバと呼ばれる Intel アーキテクチャの PC に OS と呼ばれる基本ソフトウェアを導入し、その上にてサービスを構築するためのソフトウェアを導入することでシステムを構築していた。さらに、構築したシステムをサイバー攻撃から守るために、IDS や IPS と呼ばれる専用のハードウェア機器を導入したり、負荷分散を行うためにロードバランサと呼ばれる機器を導入することでシステムを構築していた。これら従来の ICT インフラ構築手法は、いわば「インテグレーション」によるシステム構築であり、一般的な機能を備えた機器の中からシステムに必要となる機能のみを選択利用して構築されたシステムと言える。

[2]https://www.mattermost.org/

一方で、近年は「ソフトウェアライゼーション」と呼ばれる ICT インフラ構築手法が注目されている。これは、従来は専用ハードウェアにて実現されていた機能を、ソフトウェア技術を用いて汎用のハードウェアにて同等の機能を実現したり、クラウドにて提供される機能を組み合わせてインフラ用のハードウェア機器を用いることなくシステム構築を行う手法を意味する。特に通信事業者においては、数年前から Network Function Virtualization(NFV) と呼ばれる技術が注目されている。これは、専用ハードウェアの代わりに汎用ハードウェアとソフトウェア技術を活用することで、規模性に優れたサービスインフラを迅速に構築する技術である。

しかし、このソフトウェア技術を活用した ICT インフラ構築は、実際の運用技術として成熟しているとは言えず、様々な課題を抱えている。その代表的なものが処理性能であり、運用管理技術である。そこで本研究では、ソフトウェア技術を活用した ICT インフラ構築が持つ利点の本質をふまえ、実運用を可能とするソフトウェアインフラアーキテクチャとその構築技術に関するシステム提案と構築、ならびに検証を行った。

3.2 内容

ICT インフラにおいてソフトウェア技術を活用することの利点は、(a) 即時性、(b) 柔軟性、(c) 規模性にある。まず (a) の即時性に関しては、インフラとシステム構築に必要となる時間の短縮である。従来のシステム構築では、要件に基づいてシステム設計が行われ、そのシステムを実現するためのネットワークインフラや計算資源インフラが設計される。設計に従い専用機器の発注が行われ、納入され次第インフラ構築が行われるが、時には専用機器自体のハードウェア開発を伴うため、サービス発案からシステムを構築しサービスを開始するまでのリードタイムに多くの時間が費やされる。この部分にソフトウェア技術を活用し、汎用ハードウェア (PC サーバ) の上にソフトウェア、特にオープンソースソフトウェアといった即時に入手できる実装を用いてインフラを構築することで、短時間でサービスを実現するシステムを構築することが可能となる。これにより、発案されたサービスの妥当性や実現性を短時間で検証することが可能となり、即時性のあるサービス展開が可能となる。

次に (b) の柔軟性に関しては、汎用ハードウェアを用いることで資源の再割り当てが可能となり、どの汎用ハードウェアにおいても同様にソフトウェアが展開可能となることで、ハードウェアの設置場所に制約されずにサービスを展開することが可能となる。クラウドを利用してシステムの構築を行う場合には、利用するクラウドが全世界規模のクラウドであれば、世界規模において様々な場所からサービスを提供することが可能となり、ユーザにサービスの提供場所を意識させないシステムを実現できる。

(c) の規模性に関しては、汎用ハードウェアの上にソフトウェアを展開することで、必要となる資源を段階的に増設することが可能となる。また、クラウドを利用する場合にはインフラを構築する汎用ハードウェア資源すら意識することなく、必要となる資源を段階的に増大させることが可能となる。これにより、専用ハードウェアを調達する場合のようにサービス展開の将来を予測した投資をせずとも、現在のサービス規模に応じたインフラ展開が可能となる。以上がソフトウェア技術を活用したシステム構築の利点であり本質であると考える。しかしその一方で、ソフトウェア技術であるが故の欠点も存在する。それが前述の処理性能問題であり、運用管理性問題である。

まず処理性能問題は、汎用ハードウェアに起因する問題である。専用ハードウェアの場合には、想定された特定の処理を行うためのハードウェアを搭載しており、処理を高速に行うことが可能である。つまり、1 台のハードウェアで実現される処理性能が高い。しかしソフトウェア技術の場合には、汎用ハードウェアに搭載された CPU によってソフトウェア処理されることで特定の処理を行うため、専用ハードウェアに比べ 1 台のハードウェアで実現される処理性能が低い。まだ従来の OS の特性により、特定の処理を行いつつ他の管理処理が同じ CPU にて行われているため、処理性能が安定しない。

次に運用管理性の問題については、汎用ハードウェアの上に基本ソフトウェアである OS を導入し、その上に特定処理を行うためのソフトウェアを導入するという入れ子構造になっているため、前述の

処理性能問題やシステムに問題が発生した場合の障害箇所の特定が難しくなる。 さらに、ソフトウェア自体も単一の機能を実現するモジュール単位で実装されることが多く、複数のモジュールが結合することによって一つのシステムを形成する場合が多い。つまり、ソフトウェアが入れ子状態に結合されて機能している状態になっているため、障害箇所の特定をより難しくする傾向にある。

そこで本研究では、ソフトウェア技術を ICT インフラに活用することで得られる前述の利点を享受しつつ、運用管理性を向上させることのできる FlowFall というアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャは、ソフトウェアのモジュール単位で障害点を切り分けることができ、サービスに影響を与えることなく障害点の切り離しとリセットを行うことを可能とした。この研究成果は、運用管理ができるソフトウェアインフラアーキテクチャとしての実例であり、実際のユースケースとして論文にて公開した。

さらに、ソフトウェアインフラを利用したアーキテクチャ研究の成果を利用し、学内の次世代ネットワーク管理モデルを実現するための SD-WAN システムとして、ASANO System を提案し実装した。現在の東京大学の学内は、従来の専用ハードウェアを主としたインフラにて構築されている。そのため、ネットワークやセキュリティサービスの提供において、従来の専用ハードウェアの技術にとらわれた設計となっている。アカデミックなユーザの要求を叶えるために、より柔軟性と即時性を兼ね備えたネットワークサービスを提供すべく ASANO System が考案され、設計と実装が行われた。ASANO System の研究開発はネットワーク研究部門の研究テーマとして行われ、主に中村遼助教と私がシステム設計を、中村遼助教がオーバレイネットワーク制御部分の実装を担当した。

3.3 具体的成果

本年度は、主に ASANO System の設計と実装、ならびに学内サービスとしての展開に注力をおいた研究活動を行った。昨年度までに研究開発された ASANO System は Version 1.0 としての初期実装であり、オーバレイネットワーク制御のために IPsec, VXLAN, EVPN, DMVPN, NHRP といった技術を利用してシステムを構築した。また、ユーザは Web 画面のポータルから SD-WAN の制御を行い、その制御情報は Web ポータルに付随する SQL データベースに格納されていた。

この初期実装である ASANO System Version 1.0 は遠隔研究施設を含むいくつかの部局にて利用され、本郷キャンパスにて利用されているネットワークを L2 ネットワークとして遠隔地や別キャンパスに延伸するために利用された。特に、岩手県上閉伊郡大槌町にある大気海洋研究所では、本郷キャンパスにて利用している無線 LAN のネットワークを L2 にて延伸するために利用された。

しかし、この初期実装である Version 1.0 は、テスト運用を通じていくつかの不具合が明らかになった。主な不具合としては、(a) IKE 鍵更新時の IPsec VPN の再確立失敗、(b) フロントエンド (ポータル Web) 実装とネットワーク制御実装における情報の不整合、(c) NHRP 実装と IPsec 実装の不整合よる不具合、である。特に IPsec VPN に関連する不具合は、オーバレイネットワーク制御部分の設計に起因するものであり、既存設計のままでは解決が難しいものと判明した。

そこで本年度は、オーバレイネットワーク部分の設計を一新した ASANO System Version 2.0 の開発に取り組んだ。ASANO System Version 2.0 では Wire Guard と呼ばれる新たな実装を VPN 部分に導入した。さらに、フルメッシュ構成の VPN ではなくスター型構成の VPN に変更することによって、VPN 部分の複雑さを軽減して運用管理性を向上させた。このオーバレイネットワーク制御部分の実装は、中村遼助教が担当した。また、ユーザの本システム制御方法として、Web ポータルに変わってスマートフォンアプリを設計した。スマートフォンアプリは現在設計が進行しており、来年度に実装を完成させる予定である。ASANO System 2.0 では、ユーザが設定したオーバレイネットワーク制御情報は、フロントエンドシステムと分離して配置された etcd と呼ばれる分散 KVS に格納される。そのため、オーバレイネットワーク制御部分とフロントエンド部分のどちらからも独立した形でユーザが設定した制御情報が格納され、それぞれの制御部分間における情報の不整合が解消された。また Version 1.0 の頃から実装予定であった、ユーザ PC からのソフトウェア VPN による ASANO System への接続

も現在設計中であり、来年度前半にも試験提供が開始される予定である。

4 ソフトウェアライゼーションを実現するICTエンジニアの育成手法に関する研究

4.1 背景

前節においても述べた通り、従来の専用ハードウェアだけのインフラ構築にとらわれない、ソフトウェアを活用した新たなICTインフラの設計と構築が行われ始めている。しかし、このソフトウェア化の利点を正しくシステムに活用するためには、ソフトウェア化の本質を理解したICTエンジニアが必要となる。これは、前述のセキュリティ人材にも共通することであるが、現在のICTインフラがソフトウェアやクラウドといった新たなインフラを活用して構築され始めているため、これらの新たなインフラ導入に対応できる知識と技術を有したエンジニアの育成が急務とされている。また私自身は、長年Interop Tokyoというイベントにおいて、会場内のICTインフラ(ShowNet)を設計および構築するNOCチームの統括責任者を担ってきた。このShowNetの設計と構築にあたっては、毎年STMと呼ばれるボランティアメンバーを募り、社会人数年目の若い方や学生の方にICTインフラの構築を体験することで新たな技術に対応できるICTエンジニア育成を行ってきた。

しかし、このInterop TokyoにおけるSTM活動だけでは育成できる人数に限界があり、求められるICTエンジニアを育成するためには、より体系的なカリキュラム用いて学習の機会を提供する場が必要であると感じていた。一方、このICTインフラ人材の欠乏は国の政策としても対応すべき課題としてあげられており、2017年度に設立された一般社団法人高度ITアーキテクト育成協議会(AITAC)が設立された。そこで、このAITACと共同研究を行うことで、ソフトウェア化に対応できるICTエンジニア人材育成のためのカリキュラム制定と、学習の場の提供に取り組んだ。

4.2 内容

AITACとの共同研究において、ソフトウェアライゼーションに対応できるICTエンジニアの育成手法について、調査と検討ならびに有識者との議論を行った。日本国内に限らず世界のICTエンジニア動向や、ソフトウェア技術を活用した新たな技術動向に関する調査もふまえ、AITACの教育カリキュラムの制定を行った。その結果として、三段階にわたるステップを経てエンジニアを育成するための基本カリキュラムを制定した。また、その育成に必要となる学習環境の調査や設計、開発にも携わった。制定された教育カリキュラムの骨子は、[STEP 1] : ソフトウェア化に対応できるICTインフラエンジニアに求められる要素技術の習得(講義と演習)、[STEP 2] : 実践的課題に基づいたグループワーク(実習)、[STEP 3] : 現場環境におけるICTインフラならびにシステム構築(実習)である。

4.3 具体的成果

本年度は、STEP2と呼ばれるグループワークを主体とした実践的演習カリキュラムの作成と、e-learningと呼ばれるWebを通じて自己学習を行うことができるシステムの研究開発に取り組んだ。また昨年度に引き続き、これからのICTエンジニアに求められる要素技術やシステム設計概要を座学と簡単な演習で学ぶことのできるSTEP1と呼ばれるセミナーを開催した。本セミナーは、5日間の集中セミナーとして東京大学にて2回、AITAC大手町オフィスにて4回開催された。また、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスにて通年の授業として、九州大学において半期の授業として開講された。その他にも、工学院大学や信州大学等において、AITACにて提供されたカリキュラムに基づいた授業が開講された。なおSTEP1のカリキュラムも、昨年度の講義の結果を反映しカリキュラムの改定を行った。ソフトウェア化に必要となる技術をより取捨選択して取り入れるとともに、従来から存在するDNSやデータベースといった技術に関しても、ICTインフラの構築に欠かせない要素技術であると判断し、カリキュラムへの導入を行った。

5 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Yuji Sekiya, ”Challenges of Assisting Cybersecurity Incident Response by Applying Machine Learning”, AI x Cybersecurity Summit 2018 (ACSS 2018), Chongqing, China, December 2018.

[招待 2] Yuji Sekiya :“Cybersecurity Incident/Response Assitance using AI Technology”, Artificial Intelligence – International Research and Applications: 1st Japanese-German-French DWIH Symposium, Tokyo, Japan, November 2018.

[招待 3] Paul Shaoning Pang and Yuji Sekiya :“NML Cybersecurity Big Data”, International Conference on Data Science in Hikone, Shiga, Japan, November 2018.

[招待 4] Yuji Sekiya :“The Possibility of Improving Incident Response by Applying Machine Learning”, Japan – New Zealand Summit On Smart Technologies, Auckland, New Zealand, October 2018.

査読付論文

[査読付 1] Bo Hu, Atsutoshi Kumagai, Kazunori Kamiya, Kenji Takahashi, Daniel Dalek, Ola Soderstrom, Kazuya Okada, Yuji Sekiya and Akihiro Nakao, ”Alchemy: Stochastic Feature Regeneration for Malicious Network Traffic Classification”, 2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), July 2019 (Accepted).

[査読付 2] 阿部 博, 島 慶一, 宮本 大輔, 関谷 勇司, 石原 知洋, 岡田 和也, 中村 遼, 松浦 知史, 篠田 陽一,「時間軸検索に最適化したスケールアウト可能な高速ログ検索エンジンの実現と評価」, 情報処理学会論文誌, 60 巻 3 号, pp.728-737, 2019 年 3 月

[査読付 3] Jing Zhao, Shaoning Pang, Iman Tabatabaei Ardekani, Yuji Sekiya, and Daisuke Miyamoto,“Task and Instance Quadratic Ordering for Active Online Multitask Learning”, 25th International Conference on Neural Information Processing 2018 (ICONIP 2018), Neural Information Processing Proceedings Part III, pp. 435-447, Siem Reap, Cambodia, DOI:978-3-030-04182-3_38, December 2018.

[査読付 4] 堀場 勝広, 中村 遼, 鈴木 茂哉, 関谷勇司, 村井 純 :「NFV を利用したサービスチェイニングの設計と運用の実践」, 情報処理学会, デジタルプラクティス, vol. 9, no. 4, pp. 023-944, 2018 年 10 月.

[査読付 5] Gaku Kotani and Yuji Sekiya,“Unsupervised scanning behavior detection based on distribution of network traffic features using robust autoencoders”, 1st IEEE International Workshop on Adapting Data Mining for Security (ADMiS) 2018, Singapore, November 2018.

[査読付 6] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hajime Tazaki, “Grafting sockets for fast container networking”, ACM Proceedings of the 2018 Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems, pp. 15-27, Ithaca, NY, U.S.A., DOI: 10.1145/3230718.3230723, July 2018.

[査読付 7] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto, Kazuya Okada, and Tomohiro Ishihara,“Malicious Host Detection by Imaging SYN Packets and A Neural Network”, 2018 IEEE International Symposium on Networks, Computers, and Communications (ISNCC), Rome, Italy, DOI:10.1109/ISNCC.2018.8530964, June 2018.

その他の発表論文

[発表 1] 井戸 千晴, 関谷 勇司 :「無線センサネットワークにおけるカッコウ探索とファジーアルゴリズムを用いたクラスタリングプロトコルの検討」, 信学技報, vol. 118, no. 395, CQ2018-84, pp. 47-52, 2019 年 1 月.

特許申請／取得

[特許 1] 願 2019-015817 発明名称: 通信装置

特記事項

[特記 1] 関谷 勇司 :「サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測」, 東京大学 情報基盤センター教員セミナー, 2018 年 12 月.

[特記 2] 関谷 勇司 :「SD-WAN を用いたネットワークシステムの開発」, 日商エレクトロニクスセミナー, 東京, 2018 年 6 月.

[特記 3] 関谷 勇司 :「サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測」, Interop Tokyo 2018, 国際. 展示場デモンストレーション, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 4] 関谷 勇司 :「ShowNet に見るネットワークインフラの進化とインテリジェンス」, Interop Tokyo 2018, Mellanox ブース, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 5] 関谷 勇司 :「IoT/AI 時代だからこそ求められる新しいインフラエンジニアの育成」, Interop Tokyo 2018, NEC ブース, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 6] 関谷 勇司 :「これからの人材育成と AITAC」, Interop Tokyo 2018, AITAC ブース, 千葉, 2018 年 6 月.

[特記 7] 関谷 勇司 :「サイバー脅威ビッグデータの解析によるリアルタイム攻撃検知と予測」, JST CREST 「人工知能」研究領域 成果展開シンポジウム, 東京, 2018 年 4 月.

[特記 8] IEEE NFV-SDN 2019 : 5th IEEE Conference on Network Functions Virtualization and Software Defined Networking, Technical Program Co-Chair.

[特記 9] 一般社団法人 高度 IT アーキテクト育成協議会 共同研究.

[特記 10] NTT セキュアプラットフォーム研究所 共同研究.

[特記 11] 総務省「我が国のインターネットにおけるトラヒックの集計・試算」構成員.

[特記 12] 総務省「ICT 分野における技術戦略検討会」構成員.

文理融合教育における情報基礎教育教材

中村 文隆

1 概要

文理融合型の学部教育カリキュラムにおける情報基礎教育のためのテキストを執筆した．

2 文理融合カリキュラムにおける情報基礎教育テキスト

2.1 背景

近年，文理融合をコンセプトとした学部が増えつつあり，理系・文系という従来からの区分にとらわれない教育が多くの大学で行われている一方，初等中等教育においては理系・文系の履修体系が依然として残っている．このため，大学入学後の教育において文系のバックグラウンドをもつ学生が理数系の科目を履修する場合，従来の教科書等の教材では授業の運営が必ずしもスムースに行い得ないケースがみられる．

筆者が法政大学国際文化学部で担当している「情報システム概論」は，1 年次の秋学期に開講されている科目であり，同名の科目は他大学においても主に 1 年次向けの科目として広く開講されている．そのため，既刊の情報システム概論の教科書は少なくないが，それらは情報技術の外延的な記述に重点が置かれており，そもそも情報システムの外延に馴染みの薄い文系の受講者にはハードルの高いものとなっている．

このため，これまでは既刊の情報システム概論の教科書を指定した上で，各担当者が個別に補足教材を作成してきたが，同科目は複数の担当者が開講している科目であり，授業内容がクラスによって異なる状況であった．

2.2 内容

こうした背景から，中村を含めた情報システム概論の担当者 3 名が，文理融合カリキュラムにおける情報システム概論の教科書を執筆することを企画した．

全体のコンセプトとして，現在の情報システムの開発が，理系・文系といった区別を問わず，多くの人間の協働作業であることを意識し，文系のバックグラウンドをもつ学生が将来的に情報システムの開発に携わった場合に必要となるコミュニケーション能力の育成に重点を置くこととした．とりあえげる内容としては，情報技術の外延に触れることはもちろん必要であるが，技術の変遷の速度が過去に比べ速い時代であることも踏まえ，内包的な理解に導くような事例と記述を徹底するように心がけた．

実際の書籍においてとりあげた，類書にはみられない事例としては，簡潔なハードウェア構成とコンパクトな仕様をもち，初学者がコンピュータシステムの基本的な動作を理解しやすい COMET II/CASL II や，SQL 文を意識することなく RDB の運用を理解できる Microsoft Access が挙げられる．

2.3 具体的成果

以上のような方針のもと,「情報システム概論」を，法政大学和泉順子氏，東芝デジタルソリューションズ 櫻井茂明氏と共同で執筆し，サイエンス社より 2018 年 10 月に上梓した.

第 1 章 情報システムとコンピュータ
第 2 章 ファイルシステム
第 3 章 データ表現
第 4 章 コンピュータが動くには
第 5 章 プログラムが動くには
第 6 章 ネットワークやデータベースにつながるとは
第 7 章 セキュリティ・リテラシ・システム開発

執筆は，第 1 章，第 2 章と第 7 章を和泉順子氏が，第 5 章と第 6 章を櫻井茂明氏が，第 3 章と第 4 章を中村が担当した.本書は 2018 年度秋学期から実際に授業で使用し，学生からの反応も概ね良好であった.

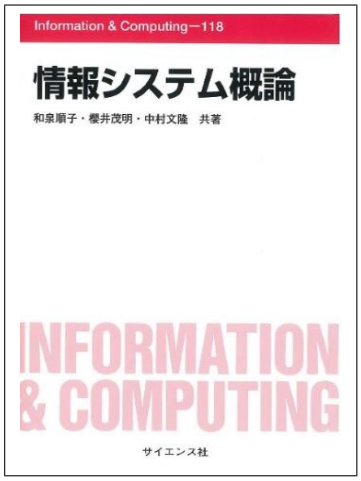


図 1: 情報システム概論 表紙

3 成果要覧

著書／編集

[著書 1] 和泉順子, 櫻井茂明, 中村文隆: 情報システム概論, サイエンス社,2018 年 10 月, ISBN978–4–7819–1430–5

ネットワークの高速化と運用高度化に関する研究

中村 遼

1 概要

情報通信ネットワークは、ネットワークに接続するノード内部のネットワークスタックと、ノード間を繋ぐネットワークによってデータ通信を実現する。本研究では、ネットワークを構成する双方の高速化と高度化を目的として、汎用オペレーティングシステム (OS) におけるネットワークの高速化と、バックボーンネットワークの柔軟な制御という、二つの研究を進めている。2018 年度は、大規模な情報システムを構築するための要素技術であるコンテナ仮想化に着目し、Linux におけるコンテナの利用に伴うネットワークオーバーヘッドを削減する手法を開発した。またバックボーンネットワーク制御の領域においては、成熟した IP 経路制御技術を用いたサービスチェイニングの実現手法を開発し、世界最大級のイベントネットワークにおいて実運用とデモンストレーションを実施した。

2 コンテナネットワークの高速化に関する研究

2.1 背景

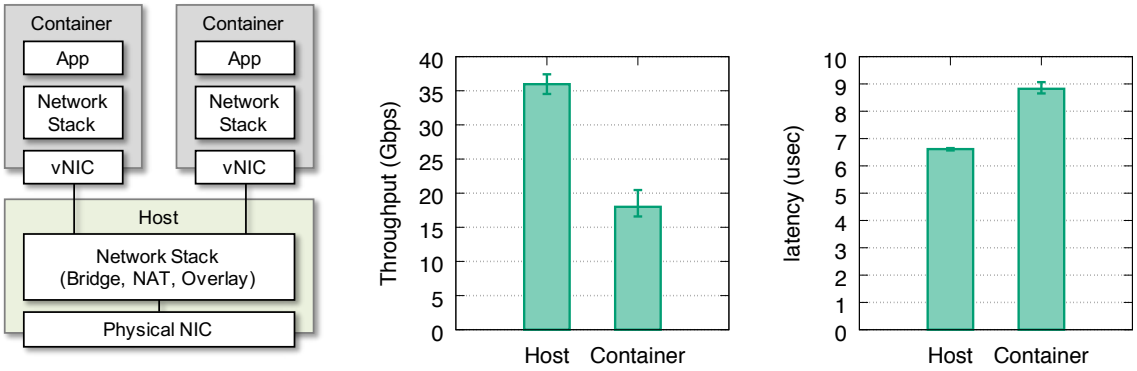
増え続けるサービストラフィックを処理するために、Web サービスなど多種多様な情報システムは、より高い性能を実現すると同時に複雑化するシステムを効率的にメンテナンスし運用できる柔軟性を求められている。このような背景から、近年コンテナ技術が注目されている。コンテナ技術とは、物理ホスト上で、ネットワークやファイルシステムといったホスト OS の資源を名前空間を用いて分離し、ホスト OS 内に独立したアプリケーション実行環境を構築する技術である。この独立した実行環境はコンテナと呼ばれ、ユーザはコンテナ内で自由にライブラリを追加し、アプリケーションを実行することができる。

類似の仮想化技術である仮想マシンに対して、コンテナを用いる利点は以下の二点が挙げられる。

1. オーバーヘッドの小ささ: コンテナは、仮想マシンのようなハイパーバイザやゲスト OS の処理が必要無いため、より小さなオーバーヘッドで動作する。そのため、同じ物理ホスト上でもより多くの仮想環境を実行することができる。

2. 実行環境のパッケージングによる運用の簡素化: アプリケーションとその実行に必要なライブラリをコンテナイメージとしてパッケージングすることができる。アプリケーションをデプロイする際はコンテナイメージを実行するだけとなり、環境構築の手間を減らすことができる。

Linux Container や Docker といったコンテナ管理ソフトウェアは、ホスト OS 内に構築されるコンテナに外部ネットワークへの接続性を提供するため、NAT を利用した仮想ネットワークを構成する。図 1a に、NAT を用いた一般的なコンテナネットワークの構成を示す。各コンテナは名前空間で分離されたネットワークスタックを持ち、独立した IP アドレスや経路表を保持する。コンテナとホスト OS の



(a) コンテナネットワークアーキテクチャ　(b) スループット　(c) レイテンシ

図 1: コンテナネットワークの概要と物理ホストとの性能比較

ネットワークスタックは仮想的な Network Interface Card(vNIC) を介して接続され、ホスト OS のネットワークスタックが各コンテナに対して NAT ルータとして振る舞う。

現在のこのようなコンテナネットワークでは、データはネットワークに送信されるまでの間に、コンテナ内とホスト内で二つのネットワークスタックを通過する必要がある。これが、物理ホストに対するネットワーク性能面でのオーバーヘッドとなっている。物理ホストとコンテナ環境で、iperf3 を用いてスループットを計測した結果と、sockperf を用いてレイテンシを計測した結果のそれぞれ図 1b と図 1c に示す。これらのグラフから、ホストとコンテナという二つのネットワークスタックを経由する場合、物理ホストと比べてスループットで約半分、レイテンシでは 1.3 倍という、大きなネットワーク性能の低下が確認できる。

2.2 Socket-Grafting

本研究では、前節で述べた二つのネットワークスタックによる性能の低下を抑制するため、Socket-Grafting を提案する。Socket-Grafting は、コンテナ内で開いたソケットをホスト内に開いたソケットに接ぎ木することで、コンテナネットワークスタックを迂回し、性能低下を回避する手法である。図 2 に示すように、コンテナ上のアプリケーションの送信したデータが実際にネットワークに送信されるまでには、ホストネットワークスタックによる処理のみが存在する。その結果、コンテナを用いた場合でも、物理ホストと同等のネットワーク性能を実現することができる。

本手法の利点として、コンテナネットワークスタックの迂回によるネットワーク性能の向上に加えて、本手法がネットワークスタックの実装に非依存である点が挙げられる。現在、性能の最適化を目的として、Data Plane Development Kit や netmap といった高速ネットワーク I/O 手法を用いて TCP/IP スタックそのものを作り直すアプローチが注目を集めている。そういった手法に対して、Socket-Grafting は、ソケットレイヤーにおける新しいデータ通信チャンネルのデザインである。そのため、現在の成熟した Linux ネットワークスタックだけでなく、将来的に TCP/IP スタックがより高速な実装に置き換わったとしても、アプリケーションとネットワークスタックの間に API 層が存在する限り、本提案手法をコンテナネットワークの高速化に利用することが可能である。

本研究では、Socket-Grafting の具体的な実装として、新しいソケットアドレスファミリである AF_GRAFT を実装した。AF_GRAFT ソケットは、伝統的な socket システムコールに基づき、下記のソースコード 1 のように作成し、利用することができる。AF_GRAFT は新しいアドレスファミリのため、bind() には専用のソケットアドレス構造体 (struct sockaddr_gr) を用いる。sockaddr_gr 構造体は、bind() した AF_GRAFT ソケットを接ぎ木する対象となるホストネットワークスタック上のソケットエンドポイントを識別するための文字列 (sgr_epname) を含む。

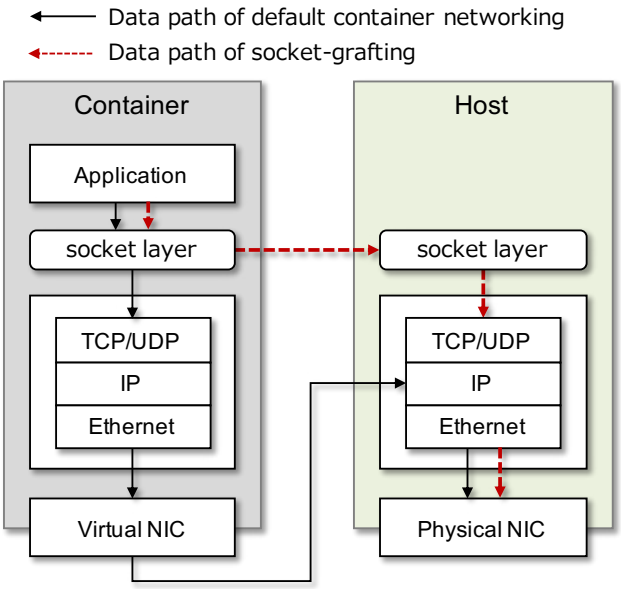


図 2: Socket-Grafting によるデータパスの概要

Listing 1: AF_GRAFT Socket API

```
1  int sock;
2  struct sockaddr_gr sgr;
3
4  sock = socket(AF_GRAFT, SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP);
5
6  sgr.sgr_family = AF_GRAFT;
7  strncpy(sgr.sgr_epname, "ep-http", 7);
8
9  bind(sock, (struct sockaddr *)&sgr, sizeof(sgr));
10
11 /* then, sock can be used as usual TCP sockets */
```

AF_GRAFT は新しいソケットアドレスファミリであり、既存のアプリケーションが AF_GRAFT を利用するためにはソースコードの変更が必要である。しかし、変更を加えたソフトウェアパッケージを利用し続けるのは保守や運用上の観点から望ましくはない。そこで、AF_INET や AF_INET6 といった既存のアドレスファミリ依存のシステムコール呼び出しを LD_PRELOAD を用いて動的に上書きすることで、既存のアプリケーションに変更を加えることなく AF_GRAFT を利用するためのハイジャックライブラリ、libgraft-convert.so を実装した。下記のコマンドは、トラフィックジェネレータアプリケーションである iperf3 を、本手法を用いて AF_GRAFT で動作させる例を示している。この例では、iperf3 クライアントが iperf3 サーバに接続する際のソケットを、ep-out という sockaddr_gr で bind() する AF_GRAFT ソケットに動的に置き換えている。

```
$ graft -v -e 0.0.0.0/0=ep-out -- iperf3 -c 127.0.0.1 -p 8080
LD_PRELOAD=/usr/local/lib/libgraft-convert.so
GRAFT_VERBOSE=1
GRAFT_INGRESS_CONVERT=
GRAFT_EGRESS_CONVERT=0.0.0.0/0=ep-out
libgraft-convert.so:419:make_conv_prefix(): use ep ep-out for 0.0.0.0/0 (egress)
libgraft-convert.so:597:socket(): overwrite family 2 with AF_GRAFT
libgraft-convert.so:746:bind_before_connect(): use ep-out for 127.0.0.1:8080
Connecting to host 127.0.0.1, port 8080
```

```
libgraft-convert.so:597:socket(): overwrite family 2 with AF_GRAFT
libgraft-convert.so:746:bind_before_connect(): use ep-out for 127.0.0.1:8080
[  4] local 127.0.0.1 port 50583 connected to 127.0.0.1 port 8080
[ ID] Interval           Transfer     Bandwidth       Retr  Cwnd
[  4]   0.00-1.00   sec  4.09 GBytes  35.1 Gbits/sec    0   3.12 MBytes
[  4]   1.00-2.00   sec  3.95 GBytes  34.0 Gbits/sec    0   3.12 MBytes
```

2.3 具体的成果

本年度は、提案手法である AF_GRAFT の設計と実装を行なった。また本実装を用いて評価実験を行い、コンテナ環境におけるネットワーク性能の低下を抑制し、一般的なコンテナネットワークに対して、約 2 倍のスループットを実現し、コンテナ上の HTTP サーバやメッセージキューといったアプリケーションでも 10 から 40%のパフォーマンスの向上を実現した [査読付 2]。さらに、コンテナランタイムとして広く普及している Docker と共に AF_GRAFT を利用する手法を開発し [発表 1]、ソースコードを公開している [公開 1]。

3 IP 経路制御によるサービスチェイニングに関する研究

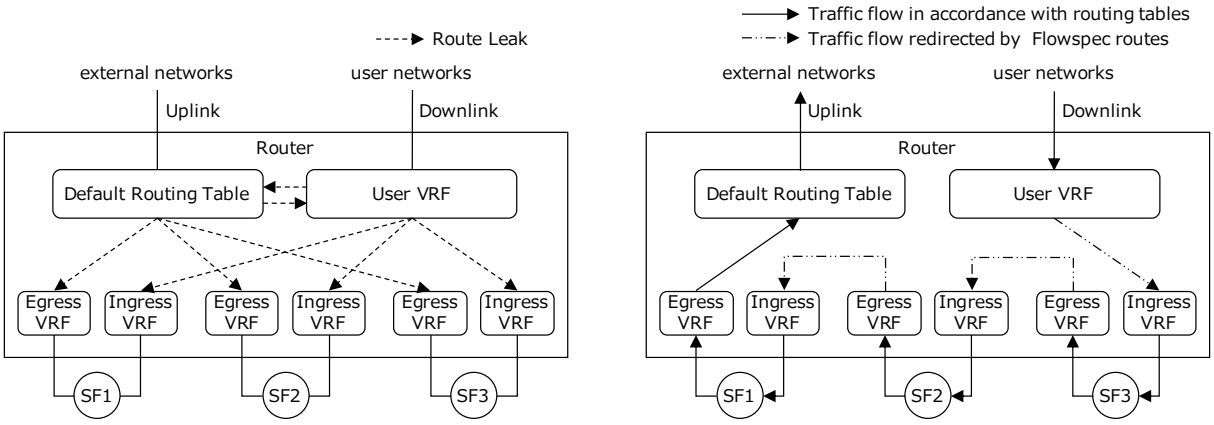
3.1 背景

ネットワークに接続される機器の多様化に伴い、ネットワークに対する要求も多様化している。例えば、ユーザデバイスには適切なセキュリティ機能を、WiFi クライアントにはキャプティブポータルを、Web サーバには Web Application Firewall を、といったように、デバイスの種別に応じて適切なネットワークの機能を適用する必要がある。サービスチェイニングは、この要求を達成するために提案されたネットワーク設計のひとつである。サービスチェイニングでは、ネットワークの機能はサービスファンクションと呼ばれ、一連のサービスを通るパスをサービスチェインと呼ぶ。そして、任意のサービスチェインに選択的にトラフィックを通すことのできるネットワーク構成が、サービスチェイニングである。こうしたサービスチェイニングを実現するには、柔軟なパケット配送を実装できる Software-Defined Networking(SDN) の技術を用いるのが一般的である。一方で SDN は、データプレーンとコントロールプレーンの双方で実装が必要であり、開発、運用コストが高く、障害発生時のトラブルシューティングやバグの発見と修正が難しいことが知られている。

3.2 BGP Flowspec を用いたサービスチェイニング

本研究では、SDN 技術を用いず、IP 経路制御のみでサービスチェイニングを実現する手法を提案する。IP における経路制御とパケット転送は、最短経路に従う。そのため、一般的には IP ネットワークで任意のトラフィックを任意の機器に誘導することはできない。そこで我々は、BGP Flow Specification (Flowspec) を利用する方法を開発した。BGP Flowspec は、RFC5575 で定義された、BGP を用いて Access Control List (ACL) を伝搬するための標準技術である。BGP Flowspec では、新しい Network Layer Reachability Information (NLRI) として、マッチ (IP アドレスやポート番号、ICMP コードなど) とアクション (ドロップやレートシェーピング) のペアを定義し、ルータは受信した NLRI に基づく ACL ルールをパケットの転送を行うハードウェアにインストールする。提案手法では、Flowspec のアクションのひとつである Virtual Routing and Forwarding (VRF) Redirect を用いる。

本提案手法の核となるアイデアは、VRF を用いてサービスファンクションごとに独立した IP ネットワークを構築し、BGP Flowspec の VRF Redirect を用いて、選択したトラフィックがサービスファンクションのネットワークを次々と乗り換えていく、というものである。図 3 に、提案手法によるサービスチェイニングを一つのルータで構成する際の概要を示す。VRF は、本来 MPLS/VPN において VPN 経路を保持する機能であり、ひとつの VRF が独立したひとつの経路表として動作する。図 3a は、サービスチェインをインストールしていない基本の状態を示している。図 3a に示すように、二つの VRF(Egress



(a) 基本状態　　(b) Flowspec 経路をインストールした状態

図 3: BGP Flowspec を用いたサービスチェイニングの概要

VRF と Ingress VRF) が一つのサービスファンクション (図 3 中の SF) を挟みこみ、独立した一つの IP ネットワークを構成している。そして、Route Leak を用いて、Egress VRF は Default Routing Table から Default Route を含む外部ネットワークの経路を、Ingress VRF は User VRF から下流のユーザネットワークの経路を受信する。さらに、Egress と Ingress の VRF がサービスファンクション越しに OSPF でお互いの経路を交換する。これによって、サービスファンクションごとに、サービスファンクション越しに上下にトラフィックを転送する独立した IP ネットワークを構成することができる。

図 3b は、図 3a で示した基本状態に、Flowspec 経路をインストールすることで SF3、SF2、SF1 とパケットを転送するサービスチェインを構成した状態を示している。ユーザが送信し、外部へと向かうパケットをサービスチェインに通す場合の Flowspec 経路は、User VRF と各 Egress VRF にインストールされる。各 Flowspec 経路は、パケットの送信元アドレス、つまりユーザの IP アドレスをマッチし、アクション VRF Redirect によって、次に通るべきサービスファンクションの Ingress VRF へとパケットを転送する。Ingress VRF に入ったパケットは、前述した Route Leak と OSPF によって学習した経路に応じて、サービスファンクションを経由して Egress VRF へと転送される。この Egress VRF でも同様に、Flowspec 経路によって、次のサービスファンクションに応じた Ingress VRF へとパケットは転送される。このように、BGP Flowspec の VRF Redirect を用いて次々と VRF を乗り換えることで、任意のトラフィックを任意のサービスファンクションに誘導することができる。

3.3 Interop Tokyo ShowNet におけるデモンストレーション

本提案手法は、毎年 6 月に幕張メッセで開催される Interop Tokyo において構築される、世界最大級のデモンストレーションネットワークである ShowNet において考案されたものである。そのため、2018 年の ShowNet において実際にユーザを収容するネットワークの機能の一つとしてデプロイされた。図 4 に、ShowNet におけるサービスチェイニング全体の構成概要を示す。ShowNet では、一台のルータとその配下に収容される複数サービスファンクションをまとめてファンクションプールと呼ぶ。2018 年は 3 箇所のファンクションプールを構築し、プールをまたいだサービスチェインの構成や、フェイルオーバを実現した。各プールは、Cisco Systems ASR9904、Juniper Networks MX204、Huawei NE40E-M2K をそれぞれサービスファンクション収容ルータとし、各プール間を Juniper Networks QFX10002、Huawei CE6860、DELL Z9100 (Cumulus Linux) による EVPN/VXLAN によるオーバーレイネットワークで接続することで、冗長リンクやプール間のリンクを構成した。そして、表 1 に示す 15 個のサービスファンクションを用いて、合計 492 本のサービスチェインを構築し、200 以上の出展社と 14 万人を越える来場者に適切なネットワーク機能を提供した。

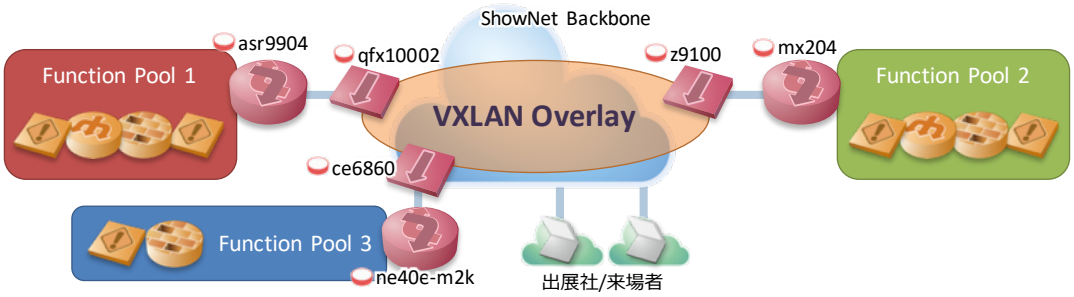


図 4: ShowNet における IP 経路制御技術を用いたサービスチェイニングの構成概要

表 1: 各ファンクションプールに収容されたファンクション

プール	サービス	機器	コントリビュータ
1	CGN	SRX4600	Juniper Networks
	NetFlow ETA	ASR1002HX	Cisco Systems
	サンドボックス	Lastline	Lastline
	侵入検知	Tipping Point	Trend Micro
	不正通信排除	ThreatARMOR	Keysight
	ファイアウォール	Fortigate	Fortinet
2	CGN	Thunder 7740 CFW	A10 Networks
	ファイアウォール	PA-5280	Palo Alto Networks
	キャプティブポータル	PA-5280	Palo Alto Networks
	サンドボックス	FirePower 9300	Cisco Systems
	ACL アクチュエーション	S4048ON, Liquid Metal	DELL, あくしゅ
3	ACL アクチュエーション	S4048ON	DELL
	DNS パケットフィルタ	deep-dns-filter	NML プロジェクト
	サンドボックス	Lastline	Lastline
	サンドボックス	Firepower Threat Defense Virtual	Cisco Systems

3.4 具体的成果

本研究では、開発、運用コストの高い SDN 技術ではなく、広く普及し、成熟した IP 経路制御技術を用いて実践的なサービスチェイニングを構築する手法を提案した [査読付 1]。そして、世界最大のデモンストレーションネットワークである Interop Tokyo ShowNet での実運用を通じてその実現性と運用可能性を示し [発表 3]、またその運用結果についても発表した [特記 1][特記 2]。

4 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Hajime Tazaki: Best Paper Award, Grafting Sockets for Fast Container Networking, ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems 2018

査読付論文

[査読付 1] Ryo Nakamura, Yukito Ueno, Teppei Kamata, Kazuki Shimizu, Takashi Tomine, Takayuki Watanabe: Practical Service Chaining based on IP Routing, In AINTEC'18: Asian Internet Engineering Conference (in-cooperation with ACM), Bangkok, Thailand, November 2018

[査読付 2] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Hajime Tazaki: Grafting Sockets for Fast Container Networking, In ANCS'18: ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems, Ithaca, NY, USA, July 2018

[査読付 3] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto, Kazuya Okada, Tomohiro Ishihara: Malicious Host Detection by Imaging SYN Packets and A Neural Network, IEEE International Symposium on Networks, Computers and Communications (IEEE ISNCC2018), Roma, Italy, June 2018

[査読付 4] 阿部 博, 島 慶一, 宮本 大輔, 関谷 勇司, 石原 知洋, 岡田 和也, 中村 遼, 松浦 知史, 篠田 陽一: 時間軸検索に最適化したスケールアウト可能な高速ログ検索エンジンの実現と評価, 情報処理学会論文誌, Vol 60 (2019), No. 3 pp. 728-737

[査読付 5] 堀場 勝広, 中村 遼, 鈴木 茂哉, 関谷 勇司, 村井純: NFV を利用したサービスチェイニングの設計と運用の実践, 情報処理学会, デジタルプラクティス, Vol 9 (2018) No. 4 pp. 923-944

公開ソフトウエア

[公開 1] 中村 遼: AF_GRAFT, https://github.com/upa/af-graft

特許申請／取得

[特許 1] 中村 遼: 通信装置, パケット処理方法及びプログラム, 特願 2018-111069, 申請中, 2018 年 6 月

その他の発表論文

[発表 1] Ryo Nakamura: AF_GRAFT: A new address family for containerized applications, The Technical Conference on Linux Networking (Netdev 0x13), Prague, Czech Republic, March 2019

[発表 2] Hajime Tazaki, Akira Moroo, Ryo Nakamura: Jail to the Outside World: Revisit the Container Architecture, USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'18), Carlsbad, CA, USA, October 2018 (Poster session)

[発表 3] 中村 遼, 上野 幸杜, 鎌田 徹平, 清水 一貴, 遠峰 隆史, 渡邊 貴之: ShowNet 2018 における IP 経路制御技術を用いたサービスチェイニング, 電子情報通信学会 信学技報, vol. 118, no. 204, IA2018-30, pp. 91-96, 2018 年 9 月

[発表 4] 空閑洋平, 松谷 健史, 中村 遼: DDoS 緩和のための全 IPv4 空間を対象とした ACL アーキテクチャの検討, 電子情報通信学会 信学技報, vol. 118, no. 204, IA2018-28, pp. 77-81, 2018 年 9 月

特記事項

[特記 1] 中村 遼: IP 経路制御技術を最大限に活用した複数拠点間サービスチェイニング, shownet.conf, 2018 年 11 月

[特記 2] 中村 遼: IP 経路制御技術でつくる実践的なサービスチェイニング, Open Networking Conference Japan, 2018 年 10 月

[特記 3] 中村 遼: Containers Do Not Need Network Stacks, IIJ lab seminar, 2018 年 10 月

IT インフラ技術者育成・DDoS 緩和アーキテクチャの検討

空閑 洋平

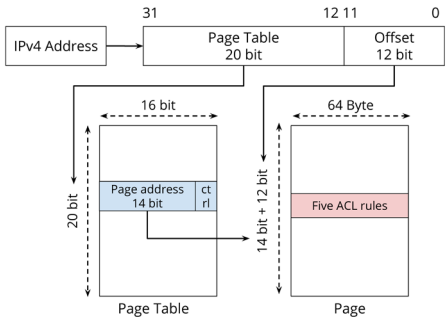
1　IT インフラ技術者育成

一般社団法人　高度 IT アーキテクト育成協議会 (AITAC) の協力のもと，2019 年 2 月 25 日から 2019 年 3 月 1 日の期間で東京大学情報基盤センター主催の第 3 回次世代 IT アーキテクト育成セミナーを行った．

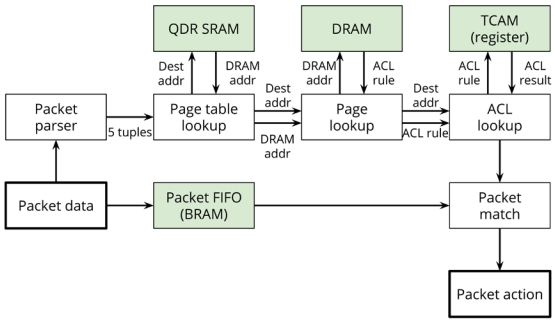
データセンタにおける SDN・NFV 技術を含む現在のインフラエンジニアリングは、急速に技術が進歩している領域になっている．これらの最新技術は、単一のソフトウェアというよりは、アプリケーションの使われ方、サービスデプロイ先のクラウド環境、ネットワークハードウェアやサーバソフトウェアが広く連動している．そのため、これら技術の普及・教育には、既存のコンピュータアーキテクチャと、最新のインフラエンジニアリング両方の側面から体系立てて関係を調査、カリキュラムを構築する必要がある．

本セミナーでは，そのような視点から，ネットワークやコンピューティングの基礎アーキテクチャと最新のデータセンタ管理に利用される技術両方についての座学，演習をカリキュラムに組み込み，講習を行った．セミナーの講義内容は以下の通りである．そのうち，OS・コンピュータ・アーキテクチャ座学，サーバ構築演習，商用クラウドを用いたサービスの構築座学・演習を担当した．

- TCP/IP ネットワークの概要（座学）
- IGP・EGP 経路制御演習（座学・演習）
- DNS・NTP（座学・演習）
- OS/コンピュータアーキテクチャ（座学）
- サーバ構築演習（演習）
- コンテナ技術（座学・演習）
- インフラ自動化（座学・演習）
- インフラセキュリティ（座学）
- SDN・NFV 技術（座学・演習）
- 商用クラウドを用いたサービスの構築（座学・演習）
- ストレージ・データベース技術（座学・演習）
- インフラ運用・監視・管理（座学・演習）
- 具体的なインフラ事例紹介（座学）



IPv4 アドレスによる ACL ルールの検索



ACL ルールの検索回路概要

図 1: IPv4 全空間探索を想定した DDoS 対策システム

2 DDoS 緩和アーキテクチャの検討

2.1 概要

データセンタにおける 100 Gbps を超える分散システムは，ソフトウェアで機能拡張可能な専用ハードウェアによる高機能と高性能を両立したアーキテクチャが必要となる．本研究は，データセンタにおける 100 Gbps，400 Gbps を超える DDoS に対応するための緩和アーキテクチャを検討した．

2016 年に発生した MIRAI 型 DDoS 攻撃は、パスワードの脆弱な常設型 IoT 機器に感染するマルウェアによって、従来のアンプ型 DDoS 攻撃の規模を大きく超える 600 Gbps 規模で行われた。既存のソフトウェアによる DDoS フィルタ数緩和技術のみで MIRAI 規模の DDoS 攻撃に対応することは処理性能、フィルタルールの管理方法の側面から困難であり、今後の更なる IoT 機器の普及に従って DDoS 攻撃が大規模化していく恐れがある。そこで、本研究では全 IPv4 アドレス空間のフィルタルールが記述可能な DDoS 緩和アーキテクチャを研究開発することで、今後の IoT 時代の DDoS 攻撃ノード数に対応可能なことを実装を用いて示し、インターネット運用の健全化に貢献することを目指す。

2.2 内容

本研究では、従来研究のフィルタルール数を増やすアプローチではなく、すべての IPv4 アドレスに対してフィルタルールが記述可能なハードウェアアーキテクチャを検討した。

図 1 は、本研究で提案するハードウェアによる IPv4 アドレス検索用のデータ構造と DDoS 検索のための ACL ルール検索回路の全体概要である．IPv4 空間には、ローカル IP アドレスやマルチキャスト IP アドレス、経路表に乗っていない IP アドレス空間といった、本来フィルタルールとしてはじめから除外可能なアドレス空間があるため、これらを除外することによって、1 IP アドレスあたりの保持可能なフィルタルール容量を増加可能であると考えられる。本アーキテクチャでは、フィルタルールのデータ構造として、CPU のメモリ管理方法であるページング手法を DDoS フィルタルール管理に応用することを検討した。一般的な CPU は、DRAM メモリへのアクセス遅延を隠蔽するために、キャッシュと呼ばれる手法を用いて連続したメモリへのアクセスを高速化している。また、効率的なメモリ管理、不要なメモリ空間を圧縮管理するために、ページングと呼ばれる動的なメモリ割り当てアーキテクチャが用いられている。本研究の想定する IPv4 アドレスは 32 bit であり、CPU アーキテクチャも同様に 32 bit または 64 bit アーキテクチャである。そこで、IPv4 アドレスを CPU アーキテクチャに見立て、CPU のページングアクセス回路を実装する。本アーキテクチャでは，フィルタルールを検索する IPv4 アドレスを 2 つ以上の bit データに分割する。そして、上位 bit から Page Directory を検索することによって、Page Table, Page に該当フィルタルールの存在を判定する．IP アドレスは CIDR による上位 bit からのクラス分けで管理されるため，本データ構造によって、フィルタルールが不必要な IPv4 アドレス空間を除外することが期待できる．

本アーキテクチャでは、64GB 程度の DRAM メモリを保有するサーバに、NIC 型ハードウェアが DMA (Direct Memory Access) で直接メモリ操作する方式での ACL (Access Control List) を作成する．DDoS フィルタリングルールは、外部に構築した観測環境から受け取り、CPU を経由してサーバのメモリ空間に展開される。DDoS トラフィックは本実装 NIC ハードウェアの Ethernet ポートから入力され、ハードウェア内でフィルタリング処理、その際にフィルタルールをサーバのメモリ空間を CPU と独立した DMA アクセスによって読み込み、そしてもう一方の NIC ポートからフィルタリングされた結果のパケットが送信される。検索は入力されたパケットすべてで実行される．はじめに，パケットパーサにより，5 タプルの情報を抽出し，送信先 IP アドレスと送信元 IP アドレスで ACL ルールを検索する．ページングは，分割した上位ビットを QDR SRAM，ACL ルール実体を DRAM によってそれぞれ管理し検索する．ページングによるデータ構造によって検索した ACL ルールは，1 エントリ分検索可能な TCAM 回路にロードし，入力パケットデータと検索し，最終的な入力パケットに対する処理内容を決定する．

2.3 具体的成果

本研究はアーキテクチャ検討とシミュレーションによる動作確認を行った段階である．本研究の成果は，国内研究会で 1 件発表した [発表 2].

3 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 矢内 洋祐, 松谷 健史, 空閑 洋平, 徳差 雄太, 村井 純, 10G Ethernet 向けデータパス拡張を適用した RISC-V プロセッサの提案と実装, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (CPSY), 2018 年 7 月（慶応大学在籍時）.

[発表 2] 空閑 洋平, 松谷 健史, 中村 遼: DDoS 緩和のための全 IPv4 空間を対象とした ACL アーキテクチャの検討, 電子情報通信学会 信学技報, vol. 118, no. 204, IA2018-28, pp. 77-81, 2018 年 9 月（慶応大学在籍時）.

特記事項

[特記 1] 第 3 回次世代 IT アーキテクト育成セミナー, 主催:東京大学情報基盤センター, 2019 年 2 月.

スーパーコンピューティング研究部門

スーパーコンピューティング研究部門概要

中島 研吾
ポストムーア時代に向けた超並列数値計算アルゴリズムの研究と並列プログラミング教育

塙　敏博
Oakforest-PACSシステムにおける大規模深層学習に関する研究

下川辺　隆史
高精細計算を実現するAMR法フレームワークに関する研究

星野 哲也
階層型行列法のメニーコアクラスタ向け高速化の研究

三木　洋平
宇宙物理学のためのコード開発と銀河考古学への適用

伊田 明弘
大規模科学技術計算に向けた行列近似手法の研究および普及活動

有間 英志
次世代計算機の最適化

今野　雅
オープンソースCFDコードOpenFOAMの性能評価および高速化に関する研究

スーパーコンピューティング研究部門

概要

部門長　中島 研吾

1　はじめに

計算科学が、理論、実験に続く「第三の科学」と呼ばれるようになって久しく，スーパーコンピューティングは計算科学を支える重要な基盤であった。米国では 2021 年のエクサスケール達成を目指した「A21」プロジェクト（https://www.top500.org/news/retooled-aurora-supercomputer-will-be-americas-first-exascale-system/）が進められているが，そこではスーパーコンピュータの役割は **Simulations（計算科学），Data（データ科学），Learning（機械学習）**と位置づけられており，エクサスケールコンピューティングの時代を迎えて、スーパーコンピューティング研究部門の果たすべき役割は大きく，より多様となっている。

スーパーコンピューティング研究部門は、2019 年 3 月現在で 7 名のセンター専任教員（教授：1、准教授：2、助教：2、特任准教授：1、特任助教：1）、3 名の兼任教員（教授 1，准教授 1，助教 1）、客員研究員 1 名を擁しており、大学院兼担教員による大学院生としては、工学系研究科電気系工学専攻，情報理工学系研究科数理情報学専攻の修士課程、博士課程学生が在籍している。

専門分野は、計算機システムからコンパイラ、数値アルゴリズム、各種科学技術アプリケーション、セキュリティまで、また理論的研究から実用的研究まで多岐にわたっている。スーパーコンピュータの用途の多様化に応じて，データ科学，機械学習，人工知能を指向した研究への取り組みも 2017 年度より継続して実施している。第 23 回計算工学会ではグラフィックスアワード特別賞を受賞し〔受賞 1,2〕，情報処理学会 2018 年度コンピュータサイエンス領域奨励賞を受賞している〔受賞 4〕。

また，業務部門と協力して 3 式のスーパーコンピュータシステム（データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム（Reedush-U/H）、メニーコア型大規模スーパーコンピュータシステム（Oakforest-PACS），長時間ジョブ実行用演算加速装置付き並列スーパーコンピュータシステム（Reedbush-L））の運用にあたり、利用環境の向上、利用者拡大のための広報・普及活動を実施している。成果は各分野の学会において研究論文等として発表されており、高い評価を得ている。利用者と共同で実施した研究成果は国際学会で高い評価を得ており，最優秀論文候補〔査読付 5，7〕となっているものもある。

また各学会の役員、各種会合運営、セッションオーガナイザ等としても活発に活動している。

以下に研究、教育活動の概要を示す。

2　主な研究プロジェクト

スーパーコンピューティング研究部門として取り組んでいるプロジェクトとして以下のようなものがある：

2.1　「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境（ppOpen-HPC）」（JST CREST）

2011 年度から、科学技術振興機構戦略的想像研究推進事業（JST CREST）「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」研究領域（ポストペタ CREST）において、東京大学各部局（大気海洋研究所、大学院情報学環、大学院新領域創成科学研究科）、京都大学 学術

情報メディアセンター、海洋研究開発機構と協力して開発を進めている。複雑化、大規模化するスーパーコンピュータ(スパコン)上でのプログラム開発とその安定な実行は困難な課題である。本研究では、計算機の専門家でない科学者や技術者がスパコン向けの様々なシミュレーションプログラムを容易に開発し、高速・安定に実行するための環境 ppOpen-HPC を開発する。異なるスパコンでも、自動チューニング機構 ppOpen-AT によりプログラムの修正無しに最適な性能で安定に実行可能となり、本研究の成果は、スパコンを利用して新しい科学を開拓する人材の育成にも大いに貢献する 2015 年 11 月に ppOpen-HPC の公開(Ver.1.0.0)を実施した。プロジェクトは 2016 年 3 月を以て終了したが，日独(JST-DFG)の協力に出資による SPPEXA-II(German Priority Programme 1648 Software for Exascale Computing)に日独共同で提出したプロポーザルが採択され，ESSEX-II(Equipping Sparse Solvers for Exascale, P.I. Professor Gerhard Wellein (Department of Computer Science, University of Erlangen-Nuremberg), http://blogs.fau.de/essex/)として 2018 年度まで継続して実施され，その成果は https://github.com/Post-Peta-Crest/ppOpenHPC において公開されている。ポストペタ CREST 及び ESSEX-II の成果は「Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing: The Japanese Post-Peta CREST Research Project」として出版された〔書著 1〕。また ESSEX-II の成果をまとめた論文は ISC-HPC 2018 で Hans Meuer Award Finalists(最優秀論文候補)〔査読付 5〕に選出されている。

2.2 最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)

2013 年 3 月，筑波大学と東京大学は，計算科学・工学及びその推進のための計算機科学・工学の発展に資するため，最先端共同 HPC 基盤施設の設置に合意し，協定を締結した。最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)は，東京大学柏キャンパスの東京大学情報基盤センター内に，双方のスーパーコンピュータシステムを設置して，最先端の大規模高性能計算基盤を構築・運営するための組織である。この施設を連携・協力して運営することにより，最先端の計算科学を推進し，我が国の学術及び科学技術の振興に寄与していくことを目指すものである。

JCAHPC のメニーコア型大規模スーパーコンピュータシステム（Oakforest-PACS，OFP）は 2017 年 4 月 1 日より正式運用を開始した。OFP は米国 Intel 社の最新の超高性能メニーコア型プロセッサであるインテル ® Xeon Phi ™ プロセッサ（開発コード名：Knights Landing）を 8,208 台搭載したピーク性能 25 PFLOPS のシステムである。平成 28 年 11 月に発表された第 48 回 TOP 500 では 13.55 PFLOPS を達成し、世界第 6 位、国内最高性能となった（2018 年 11 月現在では世界第 14 位，国内第 2 位）。

両大学センター教職員の緊密な連携、協力のもとで運用が開始されており、物性物理学、宇宙物理学、大気・海洋科学、地震学、工学などの様々な分野で大規模シミュレーションによる最先端の研究の進展に寄与している。OFP システムの概要は世界各国の最新スーパーコンピュータシステムを紹介した書籍で紹介されている〔著書 3〕

また，流体シミュレーション用のオープンソースコードとして広く使用されている OepnFOAM の Knights Landing 向け最適化を継続して実施している〔発表 73-75〕。

2.3 ポスト京のプロセッサアーキテクチャ、電力制御技術、システムソフトウェアおよび数値計算ライブラリに関する研究(理化学研究所)

文部科学省では，我が国における科学技術の振興、産業競争力の強化，国際貢献，安全・安心の国づくり等を実現するため，スーパーコンピュータ「京」の後継機となるポスト「京」の開発(フラッグシップ 2020 プロジェクト)に 2015 年度より着手しており，理化学研究所と富士通の共同によるポスト京システムの開発が始まっている。理化学研究所と東京大学情報基盤センターは 2015 年度に共同研究協約を締結し，ポスト京システムのプロセッサアーキテクチャ、電力制御技術、システムソフトウェ

アおよび数値計算ライブラリ等の広範囲にわたる研究活動を開始している〔招待 8〕〔査読付 11・12〕〔発表 7, 21-30, 66-69〕。

2.4 ポスト「京」重点課題「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成」（東京大学物性研究所）

文部科学省では，「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」重点課題の実施機関を公募し，2014 年 12 月に 9 分野の各重点課題の実施機関を決定した。当部門は 9 分野の 1 つとして採択された「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成（代表：常行真司（東京大学物性研究所））」のサブ課題「共通基盤シミュレーション手法」に協力機関として参加し、次世代スパコン向け数値計算アルゴリズムに関するフィージビリティスタディを継続して実施した。

2.5 ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開

前年度に引き続いて国内各機関と協力してポストムーア時代に向けたソフトウェア，アルゴリズム，アプリケーションの研究を継続して実施した〔招待講演 2-8〕〔発表 2,3,12-17〕。

国内外各機関と協力して Post Moores Era Supercomputing 2018 (PMES18) を 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）において開催した。

3 研究活動項目

3.1 計算機システム

- 再構成可能システムと GPU による複合型高性能計算プラットフォーム
- 次世代計算機におけるデータ転送最適化
- 次世代計算機におけるスケジューリング最適化

3.2 省電力分野

- ポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワーク
- GPU プログラミング環境と省電力化
- 低精度演算活用による省電力化

3.3 プログラム開発環境

- 自動チューニング機構を有するアプリケーション開発環境 ppOpen-HPC
- GPU クラスタ向け並列言語 XcalableACC（XACC）
- 並列実行性能の高い数値計算ライブラリ及びプログラム開発環境
- アプリケーションのデータ構造に着目したメニーコア向け自動最適化フレームワーク
- FPGA 向けアプリケーション開発環境
- タスク並列処理の高性能化に関する研究
- 高精細計算を実現する適合細分化格子法に対応したフレームワーク

3.4 数値計算ライブラリ・アルゴリズム

東大情報基盤センターで運用中のシステム、京コンピュータ等を対象として、ペタスケール・エクサスケールシステムに向けて高性能数値計算手法・ライブラリの研究開発を実施した。PC からスーパーコンピュータに至る広範な計算機環境において、自動的に性能チューニングが達成できるソフトウェア（ソフトウェア自動チューニング）に関する、理論、方式、言語、およびライブラリに関する総合

的研究を実施したほか、並列プログラミングモデルに関する研究も実施した。この他、基礎的な数理アルゴリズムに関する研究も実施した。

- 超並列数値計算アルゴリズムに関する研究
- 高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法
- 悪条件問題向け精度保証手法
- 低ランク構造行列法に関する研究開発
- 前処理付きクリロフ部分空間法に関する研究
- GPU、Xeon Phi を用いたアプリケーション高速化
- 並列多重格子法アルゴリズム
- マルチコアクラスタ環境における悪条件問題のための前処理手法
- 階層型行列法（H 行列法）に関する研究・開発，ACA 法を用いた階層型行列法（ACA-H 行列法）に関する研究開発，階層型行列法のメニーコアプロセッサにおける最適化
- 不完全コレスキー分解の fill-in 戦略に関する研究
- 非同期型並列アルゴリズムに関する研究
- 時間方向並列化アルゴリズムに関する研究
- 動的ループスケジューリングによる通信最適化
- ポストムーア向け数値アルゴリズムの研究

3.5 大規模並列計算科学シミュレーション（最適化含む）

並列計算機を使用した大規模シミュレーションについて、アプリケーションの研究開発とそれを使用した科学的な研究の他、並列アプリケーション開発に必要な基盤技術の研究開発を実施した。

- GPU の材料科学，気流計算への適用
- 拡張階層型領域分割に基づく有限要素法の開発
- 並列前処理手法、領域分割手法
- 大規模並列形状処理、大規模並列可視化
- 並列有限要素法における行列生成最適化に関する研究
- 科学技術アプリケーションの OpenACC による高速化・最適化
- クラウド・スーパーコンピュータにおける OpenFOAM の性能ベンチマークテスト
- OpenFOAM によるシミュレーション
- OFP における OpenFOAM ベクトル化，MPI 通信削減による高速化
- FPGA による科学技術シミュレーション
- N 体計算コード GOTHIC の Volta 世代 GPU 向け最適化
- 銀河の多成分力学平衡モデル生成コード MAGI
- アンドロメダ銀河北西領域の恒星ストリームに関する研究

3.6 データ科学・機械学習・深層学習

- GPU の天文観測データ処理への応用
- 超小型人工衛星用のスタートラッカーの開発
- 機械学習を利用したビッグデータ解析手法
- Deep Learning を用いた医用画像診断支援
- Oakforest-PACS による超大規模深層学習

4 教育活動

4.1 スーパーコンピュータを使用した講義

人材育成の取り組みの一環として、本センターが所有するスーパーコンピュータを受講学生が活用できる新しい形態の全学的な教育プログラム(学際計算科学・工学人材育成プログラム)を、本センターが主導して実施している。従来スーパーコンピューティング研究部門教員が担当している下記の 5 科目については、継続して実施した:

- スパコンプログラミング(工学部・工学系研究科共通科目)
- 並列計算プログラミング・先端計算機演習(大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、理学系研究科大学院教育高度化プログラム)
- 科学技術計算 I・II(大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻)
- 計算科学アライアンス特別講義 I・II(大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻)
- スレッド並列プログラミング、ハイブリッド並列プログラミング(大学院工学系研究科電気系工学専攻)

4.2 計算科学アライアンス

計算科学アライアンス(http://www.compsci-alliance.jp/)は東京大学の研究教育活動として工学系・理学系・情報理工学系研究科, 情報基盤センターを中心に 2015 年度に準備活動を開始し, 2016 年 4 月から本格的活動を開始した。計算科学アライアンスでは計算物理学などの計算科学・工学と情報科学を連携・融合しながら東京大学の英知を結集して, 世界の計算科学研究を先導する。また学部から大学院・ポスドクまでを一貫した理念の下に教育するための標準教育体系を整備して組織的な講義・演習を実施し, 基礎から先端までの教育を展開する。特に優秀な学生には国際性豊かな英才教育を実施し、国際的にトップクラスの計算科学の人材を育成する。

4.3 お試しアカウント付きスパコン利用講習会

基礎的な並列プログラミング教育を目的とした、国内に例を見ないユニークな取り組みとして「お試しアカウント付きスパコン利用講習会」がある。2018 年度は同講習会を 17 回実施した。

4.4 國立臺灣大學・ソウル国立大学での集中講義

國立臺灣大學及びソウル国立大学において Reedbush システムを使用した並列計算プログラミングの集中講義を下記 3 回実施した:

- 國家理論中心數學組「高效能計算」短期課程 Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multi-core/Manycore Systems, NCTS Summer School 2018 for Scientific Computing on Supercomputers, National Taiwan University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2018S/ (2018 年 7 月 16 日～19 日)〔特記 6〕
- Parallel Finite Element Method using Supercomputer, Seoul National University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/SNU2019Jan/ (2019 年 1 月 22 日～26 日)〔特記 7〕
- 國家理論科學中心數學組「高效能計算」短期課程 Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters, Short Course for Scientific Computing (SC4SC 2019), National Taiwan University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2019/ (2019 年 2 月 11 日～14 日)〔特記 8〕

5　学際大規模情報基盤共同利用共同研究拠点（JHPCN）

公募型研究プロジェクトとしては、「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」、「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」、「大規模 HPC チャレンジ」を実施した。

2010 年 4 月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する 8 大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）が正式に発足し、活動を開始した 。本共同利用・共同研究拠点は 8 機関によるネットワーク型拠点であり、東京大学情報基盤センターはその中核拠点である。

2017 年 12 月に 2018 年度公募型共同研究の課題募集を開始し、2018 年 2 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 70 課題のうち 52 課題が採択された。東大情報基盤センターと共同研究を行うのはこのうち 16 課題であった。2013 年度からは JHPCN 公募型研究課題は HPCI の一部として実施されるようになっている。2016 年度からは新制度として，国際共同研究および企業共同研究課題が開始され，2018 年度はそれぞれ 3 件，1 件が採択された。当センター教員研究代表者となっている課題は以下の 5 件である：

- Innovative Multigrid Methods（代表：中島研吾）（国際共同研究課題）
- 高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用（同：中島研吾）
- Physiologically realistic study of subcellular calcium dynamics with nanometer resolution（同：中島研吾）
- 高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの高度化（同：下川辺隆史）
- 高精度・高分解能シミュレーションを用いた銀河の形成・進化史の探求（同：三木洋平）

この他，11 件の課題にも副研究代表，主要メンバーとして，主導的に研究を推進している。

2017 年度報告会，2018 年度採択課題紹介を兼ねた第 10 回シンポジウムは 2018 年 7 月 12 日（木）・13 日（金）に THE GRAND HALL（品川）で開催された。

6　公募型共同研究プロジェクトの推進

「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」は、概ね 40 歳以下の若手研究者及び女性研究者（学生を含む）を対象としており、採択された課題の計算機利用負担金（半年分）をセンターが負担する。年 2 回公募し、年間でのべ 10 件程度の優れた研究提案を採択する。継続申請と再審査の上で、最大で 1 年間の無料利用ができる。2015 年度からは、学部・大学院生を対象とし、主に夏期におけるスパコン利用を想定したインターン制度を開始した。また、従来は個人を対象としていたが、2015 年度からグループでの応募も可能となり、それぞれパーソナルコース、グループコースとしている。グループコースはインターン制度においても適用可能である。2018 年度は、前期 21 件、後期 16 件、インターン 2 件の合計 39 件の課題を採択した。これは 2017 年度の 35 件から更に増加している。

東京大学情報基盤センターでは、スーパーコンピュータの大規模計算機資源を占有可能なサービスを毎月実施してきた。2017 年度からは Oakforest-PACS（JCAHPC として実施），Reedbush-H について大規模 HPC チャレンジを実施しており，2018 年度はそれぞれ 2 件，1 件が採択された。

7　国際共同研究

ローレンスバークレイ国立研究所，国立台湾大学，国立中央大学（台湾），Georgia Institute of Technology（米国），Università della Svizzera italiana（スイス），Bergische Universität Wuppertal（ドイツ），国家理論科学研究中心（台湾）に加えて，2018 年度は香港大学地球科学科と新たに共同研究協約を締結した。各共同研究機関とは個別に共同研究を進めている他，JHPCN 共同研究課題であ

る,「Innovative Multigrid Methods」,「高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用」,「High-performance Randomized Matrix Computations for Big Data Analytics and Applications」においても共同研究を実施している。また 2018 年度 JHPCN 共同研究課題である「Physiologically realistic study of subcellular calcium dynamics with nanometer resolution」は SIMULA Laboratory(ノルウェー)との共同研究である。

8 広報・研究会活動

本部情報基盤課スーパーコンピューティングチームと協力して、広報誌「スーパーコンピューティングニュース」を 6 回発行した。

部門の研究活動として、2018 年度は先進スーパーコンピューティング環境研究会(Advanced Supercomputing Environment, ASE)(略称:ASE 研究会)を 4 回開催した。また、最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)主催によるセミナー(JCAHPC セミナー)を 1 回実施した。

スーパーコンピューティング研究部門 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 下川辺 隆史, 小野寺 直幸: グラフィックスアワード特別賞（MSC Apex 賞）, 第 23 回計算工学講演会, 2018 年 6 月.

[受賞 2] 下川辺 隆史, 小野寺 直幸: グラフィックスアワード特別賞（Visual Computing 賞）, 第 23 回計算工学講演会, 2018 年 6 月.

[受賞 3] 辻丸 勇樹, 坂本 龍一, 近藤 正章, 中村 宏: Outstanding M2 Student Award, xSIG2018.

[受賞 4] 坂本 龍一: 情報処理学会 2018 年度コンピュータサイエンス領域奨励賞

招待講演／招待論文

[招待 1] K. Nakajima, Activities of IPCC at the Information Technology Center, The University of Tokyo, Intel Parallel Computing Centers Asia Summit 2018 (Chengdu, China, May 10-11, 2018)

[招待 2] K. Nakajima, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability Extension of ppOpen-HPC towards the Post Moore Era, Future Accelerated Math Library Design, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, Germany, June 25, 2018)

[招待 3] K. Nakajima, Innovative Method for Integration of Computational & Data Sciences in the Exa-Scale/Post-Moore Era, APSCIT 2018 Annual Meeting (Asia Pacific Society for Computing and Information Technology) (Sapporo, Hokkaido, Japan, July 21, 2018)

[招待 4] K. Nakajima, Innovative Method for Integration of Computational & Data Sciences in the Exa-Scale/Post-Moore Era, Seminar of IBM T.J. Watson Research Center (Yorktown Heights, NY, USA, July 25, 2018)

[招待 5] K. Nakajima, Innovative Multigrid Methods and the JHPCN Program, Second French-Japanese-German Workshop on Programming and Computing for Exascale and Beyond (Embassy of Germany in Tokyo, October 30-31, 2018)

[招待 6] 中島研吾, (計算＋データ＋学習) 融合による新しいスーパーコンピューティング, PCCC ワークショップ@柏（柏，千葉，2019 年 2 月 22 日）

[招待 7] K. Nakajima, T. Ogita, R. Sakamoto, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability Extension of ppOpen-HPC/ESSEX-II towards the Post Moore Era, 4th SPPEXA Workshop on Parallel Programing Models - Productivity & Applications for Exascale and Beyond, University of Versailles (Versailles, France, March 21, 2019)

[招待 8] Masaaki Kondo: Reinforcement Learning-Based Adaptive Power Management for Energy Harvesting IoT Devices, 18th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware, July 2018..

[招待 9] Toshihiro Hanawa: Towards Efficient Commucation and I/O on Oakforest-PACS: Large-scale KNL+OPA Cluster, 6th Annual MVAPICH User Group, Ohio Supercomputer Center, Aug. 2018.

[招待 10] 塙 敏博: JCAHPC のスパコン Oakforest-PACS システム, 原子核研究, Vol. 63, No. 1, pp. 102–113, 2018 年 10 月.

[招待 11] 伊田明弘；「大規模数値解析向け低ランク行列近似手法」, 第 52 回 FrontISTR 研究会, 東京大学本郷キャンパス 工学部 8 号館 東京, 2019 年 3 月 19 日

[招待 12] Akihiro Ida,“Matrix Arithmetic Using Lattice H-matrix Representations”, ATAT in HPC 2019, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung, Taiwan (February 15, 2019)

[招待 13] 三木洋平: Volta 世代の GPU における重力ツリーコードの性能評価, 天体形成研究会, 筑波大学, 2018 年 11 月.

著書／編集

[著書 1] K. Nakajima , M. Matsumoto , M. Kawai , T. Katagiri , T. Arakawa , H. Yahshiro, A. Ida, Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing: The Japanese Post-Peta CREST Research Project, Springer, 2019

[著書 2] T. Boku, T. Hanawa, H. Murai, M. Nakao, Y. Miki, H. Amano, and M. Umemura: GPU-Accelerated Language and Communication Support by FPGA, in the book of Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing, The Japanese Post-Peta CREST Research Project, Springer, 2019

[著書 3] T. Boku, O. Tatebe, D. Takahashi, K. Yabana, Y. Hirokawa, M. Umemura, T. Hanawa, K. Nakajima, H. Nakamura, T. Ichimura, K. Fujita, Y. Ishikawa, M. Sato, B. Gerofi, and M. Takagi: Oakforest-PACS: Advanced KNL Cluster System, in the book of Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale, Volume 3, CRC Press, May. 2019 (TBA)

査読付論文

[査読付 1] T. Hoshino, A. Ida, T. Hanawa, K. Nakajima, Design of Parallel BEM Analyses Framework for SIMD Processors, Proceedings of 2018 International Conference on Computational Science (ICCS 2018), 601-613, 2018

[査読付 2] B. Gerofi, R. Riesen, M. Takagi, T. Boku, K. Nakajima, Y. Ishikawa, R.W. Wisniewski, Performance and Scalability of Lightweight Multi-kernel Based Operating Systems, Proceedings of 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10680, 116-125, 2018

[査読付 3] T. Ichimura, K. Fujita, M. Horikoshi, L. Meadows, K. Nakajima, T. Yamaguchi, K. Koyama, H. Inoue, A. Naruse, A Fast Scalable Implicit Solver with Concentrated Computation for Nonlinear Time-evolution Problems on Low-order Unstructured Finite Elements, Proceedings of 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10680, 620-629, 2018

[査読付 4] N. Nomura, A. Fujii, T. Tanaka, O. Marques, K. Nakajima, Algebraic Multigrid Solver Using Coarse Grid Aggregation with Independent Aggregation, Proceedings of the 13th International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2018) conjunction with IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10680, 1104-1112, 2018

[査読付 5] M. Kreutzer, D. Ernst, A.R. Bishop, H. Fiske, G. Hager, K. Nakajima, G. Wellein, Chebyshev Filter Diagonalization on Modern Manycore Processors and GPGPUs, Proceedings of ISC High Performance 2018 (Hans Meuer Award Finalist), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10876, 329-349, 2018

[査読付 6] T. Hoshino, A. Ida, T. Hanawa, K. Nakajima, Load-balancing-aware Parallel Algorithms of H-matrices with Adaptive Cross Approximation for GPUs, Proceedings of IEEE Cluster 2018, 2018

[査読付 7] T. Ichimura, K. Fujita, T, Yamaguchi, A. Naruse, J.C. Wells, T.C. Schulthess, T.P. Straatsma C.J. Zimmer, M. Martinasso, K. Nakajima, M. Hori, L. Maddegedara, A Fast Scalable Implicit Solver for Nonlinear Time-Evolution Earthquake City Problem on Low-Ordered Unstructured Finite Elements with Artificial Intelligence and Transprecision Computing, IEEE/ACM Proceedings of SC18 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis), 2018 (Gordon Bell Prize Finalist)

[査読付 8] 野村直也，中島研吾，藤井昭宏，高スケーラブル・安定的な SA-AMG 法に向けたニアカーネルベクトル自動抽出手法に関する研究，第 65 回 ACS 論文誌，2019（in press）

[査読付 9] C. Jarvis, G. Terje Lines, J. Langguth, K. Nakajima and X. Cai, Combining Algorithmic Rethinking and AVX-512 Intrinsics for Efficient Simulation of Subcellular Calcium Signaling, Proceedings of 2019 International Conference on Computational Science (ICCS 2019), 2019 (in press)

[査読付 10] K. Fujita, M. Horikoshi, T. Ichimura, L. Meadows, K. Nakajima, M. Hori and L. Maddegedara, Development of Element-by-Element Kernel Algorithms in Unstructured Implicit Low-Order Finite-Element Earthquake Simulation for Many-Core Wide-SIMD CPUs, Proceedings of 2019 International Conference on Computational Science (ICCS 2019), 2019 (in press)

[査読付 11] Ryuichi Sakamoto, Tapasya Patki, Thang Cao, Masaaki Kondo, Koji Inoue, Masatsugu Ueda, Daniel Ellsworth, Barry Rountree, and Martin Schulz: Analyzing Resource Trade-offs in Hardware Overprovisioned Supercomputers, 32nd IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS2018), 10pages, May 2018.

[査読付 12] Mineto Tsukada, Masaaki Kondo, Hiroki Matsutani: OS-ELM-FPGA: An FPGA-Based Online Sequential Unsupervised Anomaly Detector, The 16th International Workshop on Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogeneous Platforms (HeteroPar'18), Aug 2018.

[査読付 13] T. Suzuki, S. Kim, J. Kani, T. Hanawa, K. Suzuki and A. Otaka: Demonstration of 10-Gbps Real-Time Reed-Solomon Decoding Using GPU Direct Transfer and Kernel Scheduling for Flexible Access Systems, in Journal of Lightwave Technology, Vol. 36, No. 10, pp. 1875–1881, May, 2018.

[査読付 14] Y. Nomura, I. Sato, T. Hanawa, S. Hanaoka, T. Nakao, T. Takenaga, D. Sato, T. Hoshino, Y. Sekiya, S. Ohshima, N. Hayashi, O. Abe, Preliminary development of training environment for deep learning on supercomputer system, 32nd International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology (CARS 2018), pp. S-105–106, June 2018.

[査読付 15] Takahiro Suzuki, Sang-Yuep Kim, Jun-ichi Kani, Akihiro Otaka, and Toshihiro Hanawa: 10-Gb/s Software Implementation of Burst-Frame Synchronization Using Array-Access Bitshift and Dual-Stage Detection for Flexible Access Systems, in Journal of Lightwave Technology, Vol. 36, No. 23, pp. 5656–5662, Dec. 2018

[査読付 16] Masahiro Nakao, Tetsuya Odajima, Hitoshi Murai, Akihiro Tabuchi, Norihisa Fujita, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku, and Mitsuhisa Sato. “Evaluation of XcalableACC with Tightly Coupled Accelerators/InfiniBand Hybrid Communication on Accelerated Cluster.” The International Journal of High Performance Computing Applications, Jan. 2019.

[査読付 17] Toshihiro Hanawa and Kengo Nakajima: Optimization of parallel mesh generation via file for multigrid method, Intel eXtreme Performance Users Group (IXPUG) Asia Workshop in conjunction with HPC Asia 2019, Jan. 2019.

[査読付 18] T. Boku, R. Kobayashi, N. Fujita, H. Amano, K. Sano, T. Hanawa and Y. Yamaguchi: Cygnus: A Multi-Hybrid Supercomputing Platform with GPUs and FPGAs, Intl. Supercomputing Conference (ISC’19) Project poster, Jun. 2019 (accepted)

[査読付 19] Y. Nomura, T. Hanawa, I. Sato, S. Hanaoka, T. Nakao, M. Murata, T. Takenaga, T. Hoshino, Y. Sekiya, N. Hayashi, and O. Abe: Development of training environment for deep learning with medical images on supercomputer system based on asynchronous parallel Bayesian optimization, Intl. Supercomputing Conf. (ISC’19) Research poster, Jun. 2019 (accepted)

[査読付 20] Takeshi Mifune, Naoki Tominaga, Yusuke Sogabe, Yudai Mizobata, Masahiro Yasunaga, Akihiro Ida, Takeshi Iwashita and Naoyuki Amemiya, “Large-scale electromagnetic field analyses of coils wound with coated conductors using a current-vector-potential formula-tion with a thin-strip approximation”, Superconductor Science and Technology(SUST) (Accepted)

[査読付 21] Andreas Alvermann, et.al. (Akihiro Ida: one of 33 authors),“Benefits from using mixed precision computations in the ELPA-AEO and ESSEX-II eigensolver projects”, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics(JJIAM) (Accepted)

[査読付 22] Akihiro Ida, Tadashi Ataka and Atsushi Furuya, “Lattice H-matrices for Massively Parallel Micromagnetic Simulations of Current-induced Domain Wall Motion”, 22nd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2019), Paris, France(July 2017) (Accepted).

[査読付 23] Tadashi Ataka, Akihiro Ida, Atsushi Furuya, Koichi Shimizu, Jun Fujisaki, Tomohiro Tanaka and Hirotaka Oshima, “Application of the Fast Micromagnetic Simulation to Thin Spintronic devices”, 22nd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2019), Paris, France(July 2019) (Accepted).

[査読付 24] Akihiro Ida, “Lattice H-Matrices on Distributed-Memory Systems”, 32nd IEEE Interna-tional Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Vancouver, Canada (May 21-25, 2018), pp.389-898.

[査読付 25] Ichitaro Yamazaki, Ahmad Abdelfattah, Akihiro Ida, Satoshi Ohshima, Stanimire Tomov, Rio Yokota, and Jack Dongarra “Analyzing Performance of BiCGStab with Hierarchical Matrix on GPU clusters”, 32nd IEEE International Parallel & Distributed Processing Sym-posium (IPDPS 2018), Vancouver, Canada (May 21-25, 2018) ,pp930-939.

[査読付 26] Naoki Tominaga, Takeshi Mifune, Akihiro Ida, Yusuke Sogabe, Takeshi Iwashita, Naoyuki Amemiya, “Application of hierarchical matrices to large-scale electromagnetic field analyses of coils wound with coated conductors”, IEEE Transactions on Applied Su-perconductivity, Volume 28, Issue 3 (April 2018), pp.1-5.

[査読付 27] Takashi Shimokawabe and Naoyuki Onodera: A High-productivity Framework for Adaptive Mesh Refinement on Multiple GPUs, International Conference on Computational Science (ICCS) 2019, Faro, Algarve, Portugal, Jun. 2019. (to appear)

[査読付 28] Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura, Yussuf Ali and T. Shimokawabe: Communication Reduced Multi-time-step Algorithm for Real-time Wind Simulation on GPU-based Supercomputers, the 9th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems (ScalA) 2018, Dallas, US, Nov. 2018, pp. 1-8.

[査読付 29] Eisuke Miyoshi, Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Shinji Sakane, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Correlation between three-dimensional and cross-sectional characteristics of ideal grain growth: large-scale phase-field simulation study, Journal of Materials Science, Vol. 53, Issu. 21, 2018/11, 15165-15180.

[査読付 30] Miki, Y. and Umemura, M.: MAGI: many-component galaxy initializer, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 475, pp.2269–2281 (13pp), Apr., 2018.

[査読付 31] 西剛伺, 今野雅: 熱伝導問題に関する OpenFOAM の固体・流体熱連成定常解析ソルバの妥当性確認: オープン CAE 学会論文集, Vol.1, No.1, 2018 年.

特許申請／取得

[特許 1] 塙　敏博、柴田　直剛、木村　英明、可児　淳一:「通信装置、通信方法、及びプログラム」, 特許 6338152, 特許登録, 2018 年 6 月 6 日

公開ソフトウエア

[公開 1] Takeshi Iwashita, Takeshi Mifune, Yuki Noseda, Yasuhito Takahashi, Masatoshi Kawai, Akihiro Ida ：ppOpen-APPL/BEM ver.0.5.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, https://github.com/Post-Peta-Crest/ppOpenHPC/tree/APPL/BEM

[公開 2] Akihiro Ida and Takeshi Iwashita ：HACApK ver.1.0.1, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, https://github.com/Post-Peta-Crest/ppOpenHPC/tree/MATH/HACApK

[公開 3] Miki, Y. and Umemura, M.: MAGI (MAny-component Galaxy Initializer), `https://bitbucket.org/ymiki/magi`

その他の発表論文

[発表 1] 中島研吾, AM-hCGA 法による並列多重格子法, 第 23 回計算工学講演会（日本計算工学会）（名古屋, 2018 年 6 月 7 日）

[発表 2] K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures -from Exascale to Post Moore Era-, Exa/Post-Peta Scale Computational Mechanics, The 13th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XIII) (New York, NY, USA, July 27, 2018)

[発表 3] 中島研吾, ポストムーア時代の並列反復法アルゴリズム, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 日本応用数理学会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会（MEPA）（熊本, 2018 年 7 月 31 日）

[発表 4] 野村直也, 中島研吾, 藤井昭宏, Oakforest-PACS 上における SA-AMG 法の Hybrid 並列化に関する分析, 情報処理学会研究報告（2018-HPC-165-34）, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）（熊本, 2018 年 8 月 1 日）

[発表 5] 野村直也，中島研吾，Oakforest-PACS 上における SA-AMG 法の高並列環境下に向けた Hybrid 並列化に関する分析，日本応用数理学会 2018 年度年会（名古屋，2018 年 9 月 3 日〜5 日）

[発表 6] 中島研吾，荻田武史，悪条件問題におけるパイプライン型共役勾配法，情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-27），日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇，沖縄，2018 年 12 月 17-18 日）

[発表 7] 坂本龍一，近藤正章，中島研吾，藤田航平，市村強，HPC アプリケーションにおける低精度演算の積極的利用による電力効率改善の検討，情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-19），日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇，沖縄，2018 年 12 月 17-18 日）

[発表 8] 塙敏博，中島研吾，マルチグリッド法におけるファイルを介したメッシュ生成プロセスの高速化，情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-4），日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇，沖縄，2018 年 12 月 17-18 日）

[発表 9] 野村直也，中島研吾，藤井昭宏，大規模クラスタ環境上における SA-AMG 法の Hybrid 並列化に関する分析，情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-28），日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇，沖縄，2018 年 12 月 17-18 日）

[発表 10] 中島研吾，スパコンへの数学・スパコンへの算数　新しい科学の最前線の開拓を目指して，東京大学柏キャンパス一般公開 2018　特別講演「柏でわくわく知の探検 」（柏，千葉，2018 年 10 月 27 日）

[発表 11] K. Nakajima, Supercomputing（超級計算） in the University of Tokyo towards the Exascale/Post-Moore Era, Advanced Technology on Multimedia and Computer Human Interaction, NTU-UTokyo Joint Conference: Developing a Sustainable Future Society in East Asia (Taipei, Taiwan, December 12, 2018)

[発表 12] K. Nakajima, A Sustainable Method for Integration of Simulation/Data/Learning in the Exascale/Post-Moore Era Supercomputing and AI for Sustainable Society, NTU-UTokyo Joint Conference: Developing a Sustainable Future Society in East Asia (Taipei, Taiwan, December 13, 2018)

[発表 13] 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，第 10 回 自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウム（ATTA2018），東京大学弥生講堂（東京，2018 年 12 月 25 日）

[発表 14] K. Nakajima, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability, The 39th ASE Seminar, Information Technology Center, The University of Tokyo (Tokyo, Japan, January 8, 2019)

[発表 15] K. Nakajima, T. Ogita, and R. Sakamoto, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability Extension of ppOpen-HPC towards the Post Moore Era, 2019 Conference on Advanced Topics & Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT 19), National Sun Yat Sen University (Kaohsiung, Taiwan　February 16, 2019)

[発表 16] K. Nakajima, Innovative Method for Integration of Simulation/Data/Learning in the Exascale/Post-Moore Era, BDEC2 Workshop (Kobe, Japan, February 19-21, 2019)

[発表 17] K. Nakajima, An Innovative Method for Integration of Simulation/Data/Learning in the Exascale/Post-Moore Era, MS137 Toward Software Ecosystems for CSE, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE19) (Spokane, WA, USA, February 26, 2019)

[発表 18] K. Nakajima, M. Horikoshi, T. Hanawa, H. Fujita, M. Shiryaev, Optimization of Parallel Multigrid Solvers on Manycore Clusters, 19th Copper Mountain Conference on Multigrid Methods (Copper Mountain, CO, USA, March 24-28, 2019)

[発表 19] N. Nomura, K. Nakajima, M. Kawai and A. Fujii, The Analysis of SA-AMG Method by Applying Hybrid MPI/OpenMP Parallelization on Cluster Supercomputer System, 19th Copper Mountain Conference on Multigrid Methods (Copper Mountain, CO, USA, March 24-28, 2019)

[発表 20] H. Nakamura, Panel on “Is the CPU dying or dead? Are accelerators the future of computation?”, 2018 Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Symposium 2018), (Panelist)

[発表 21] 胡 思已 , 坂本 龍一 , 近藤 正章 , 中村 宏 , 新 善文, Rump kernel の通信性能の評価と改善手法の検討, 情報処理学会研究報告 2018-OS-144, No.5, pp.1-7(2018)

[発表 22] 辻丸 勇樹, 坂本 龍一, 近藤 正章, 中村 宏, LPWA 通信を利用する IoT プラットフォーム向けの電力効率を考慮したゲートウェイ配置手法の研究, xSIG2018, (Outstanding M2 Student Award)

[発表 23] 石井潤, 坂本龍一, 近藤正章: 深層ニューラルネットワークにおけるニューロン毎の量子化ビット幅最適化とそのアクセラレータアーキテクチャ, The 2nd Cross-Disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG’18), 東京, 2018 年 5 月 30 日.

[発表 24] 呉天雄, 近藤正章: 強化学習を用いた無線センサネットワークのデータ通信経路自律制御の検討, 第 223 回情報処理学会システム・アーキテクチャ研究会, 山形, 2018 年 6 月 15 日.

[発表 25] 上野洋典, 近藤正章 効率的な転移学習のための学習モデル構築およびモデル選択手法第 223 回情報処理学会システム・アーキテクチャ研究会, 山形, 2018 年 6 月 15 日.

[発表 26] 胡思已, 坂本龍一, 近藤正章, 中村宏, 新善文, : Rump kernel の通信性能の評価と改善手法の検討, 第 144 回情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 熊本, 2018 年 7 月 30 日.

[発表 27] 塚田峰登, 近藤正章, 松谷宏紀: FPGA を用いたオンライン逐次学習による教師無し異常検知のための高効率化と安定化手法, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (2018 年 8 月), 熊本, 2018 年 8 月 1 日.

[発表 28] 伊藤怜, 塚田峰登, 近藤正章, 松谷宏紀: 複数オンライン逐次学習コアによる教師なし異常行動検出の検討, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (2019 年 1 月), 日吉, 2019 年 1 月 31 日.

[発表 29] 濱崎龍馬, 坂本龍一, 近藤正章: 組合せ最適化問題向けアクセラレータを用いた HPC システムのジョブスケジューリング手法の検討, 第 168 回情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 加賀, 2018 年 3 月 6 日.

[発表 30] 塚田峰登, 近藤正章, 松谷宏紀: 複数のオンライン教師無し異常検知コアを用いた精度改善手法, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (2019 年 3 月), 種子島, 2019 年 3 月 18 日.

[発表 31] 中尾昌広，小田嶋哲哉，村井均，田渕晶大，藤田典久，塙敏博，朴泰祐，佐藤三久: Tightly Coupled Accelerators/InfiniBand ハイブリッド通信を用いたアクセラレータクラスタ用並列言語 XcalableACC の評価，情報処理学会研究報告, Vol. 2018‐HPC‐164, No. 9, pp. 1–13, 2018 年 4 月

[発表 32] 田村 紘平，塙 敏博: 大規模メニーコアシステム Oakforest-PACS におけるディープラーニングの性能評価，情報処理学会研究報告， Vol. 2018-HPC-165, No. 3, pp. 1–6, 2018 年 7 月

[発表 33] Toshihiro Hanawa: Advanced Cyberinfrastructure Platform Design, Bigdata and Extreme-scale Computing 2 (BDEC2) Workshop, Indiana University, Nov. 2018.

[発表 34] 塙 敏博, 中島 研吾: マルチグリッド法におけるファイルを介したメッシュ生成プロセスの高速化，情報処理学会研究報告， Vol. 2018-HPC-167, No. 3, pp. 1–6, 2018 年 12 月

[発表 35] Toshihiro Hanawa: Optimization of Parallel Mesh Generation via File for Multigrid Method, The 39th ASE Seminar, Information Technology Center, The University of Tokyo, Jan. 2019

[発表 36] 田村 紘平，塙 敏博: 大規模メニーコアシステム Oakforest-PACS におけるディープラーニングの通信性能改善，情報処理学会研究報告， Vol. 2019-HPC-168, No. 26, pp. 1–8, 2019 年 2 月

[発表 37] Akihiro Ida, Ichitaro Yamazaki, Rio Yokota, Satoshi Ohshima, Tetsuya Hoshino, Tasuku Hi-raishi and Takeshi Iwashita,“More Efficient Structures of H-matrices, The HPC symposium “Computational Science at Scale” (CoSaS18) , (Erlangen, Germany, Sep.6,2018)

[発表 38] Naoyuki Amemiya, Naoki Tominaga, Takeshi Mifune, Yusuke Sogabe, Yudai Yasunaga, Akihiro Ida and Takeshi Iwashita, “Progress of Large-Scale and Fast Electromagnetic Field Analyses of Coils Wound with Coated Conductors for Ac Loss and Shielding Current Calcu-lations”, 6th International Workshop on Numerical Modelling of High Temperature Super-conductors (HTS Modelling 2018), Caparica Portugal(26-29 June 2018).

[発表 39] 伊田明弘, 「格子 H 行列を用いた並列行列計算」, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 熊本市国際交流会館 (熊本県熊本市), 2018 年 7 月 31 日

[発表 40] 伊田 明弘, 「格子階層型行列法：分散メモリ並列計算機向け階層型低ランク近似手法」, 第 23 回計算工学会, ウインクあいち (愛知県名古屋市), 2018 年 6 月 7 日

[発表 41] Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota, and Jack Dongarra, “Distributed Memory Lat-tice H-Matrix Factorization”, SIAM Conference on Computational Science and Engineering 2019(SIAM CSE 19), Spokane, USA (February 2019).

[発表 42] Tetsuya Hoshino and Akihiro Ida, “H-Matrix Framework for Many-core Processors”, SIAM Conference on Computational Science and Engineering 2019 (SIAM CSE 19), Spokane, USA (February 2019).

[発表 43] 白 正陽, 平石 拓, 中島 浩, 伊田 明弘, 八杉 昌宏「Parallelization of Matrix Partitioning in Construction of Hierarchical Matrices using Task Parallel Languages」, 情報処理学会第 122 回プログラミング研究会, 福山市ものづくり交流館 (広島県福山市), 2019 年 1 月 17 日

[発表 44] 岩下 武史，川村 卓人，深谷 猛，伊田 明弘「H 行列ベクトル積のスレッド並列化における負荷均衡に関する検討」, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 熊本市国際交流会館 (熊本県熊本市), 2018 年 7 月 31 日

[発表 45] 河合 直聡，伊田 明弘，中島 研吾「IC 前処理の数値データ型による収束性、演算時間への影響の評価」, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 熊本市国際交流会館 (熊本県熊本市), 2018 年 7 月 31 日

[発表 46] 大島 聡史、山崎 市太郎、伊田 明弘、横田 理央「階層型行列計算におけるソフトウェア自動チューニング」, 第 23 回計算工学会, ウインクあいち (愛知県名古屋市), 2018 年 6 月 7 日

[発表 47] 河合 直聡、伊田 明弘「代数マルチグリッド法のための並列 Aggregation の評価」, 第 23 回計算工学会, ウインクあいち (愛知県名古屋市), 2018 年 6 月 8 日

[発表 48] Masatoshi Kawai, Akihiro Ida and Gerhard Wellein, “ppOpen-SOL: Robust ILU Precondi-tioner for Exascale”, ISC2018 HPC in Asia Poster Session, Frankfurt, Germany (June 27, 2018)

[発表 49] 下川辺 隆史, 小野寺 直幸: 複数 GPU を用いた高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの開発, 第 23 回計算工学講演会, 名古屋, 2018 年 6 月 6 日 - 6 月 8 日.

[発表 50] 下川辺 隆史, AMR 法フレームワークの様々なアーキテクチャへ向けた発展, JHPCN：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回 シンポジウム, 東京, 2018 年 7 月 12 日 - 13 日.

[発表 51] 下川辺 隆史, 高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの高度化, JHPCN：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回 シンポジウム, 東京, 2018 年 7 月 12 日 - 13 日. (ポスター発表)

[発表 52] 間宮 英生, 飯田 康太, 小澤 俊貴, 谷津 陽一, 河合 誠之, 菊谷 侑平, 佐々木 謙一, 新谷 勇介, 小泉 翔, 増田 雄斗, 岩崎 陽平, 渡邉 圭, 古谷 航志, 松永 三郎, 下川辺 隆史, 工藤 裕: 高背景輝度での点源抽出や宇宙線の除去を行う超小型衛星用スタートラッカーの開発・軌道上実験について, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 姫路, 2018 年 9 月 19 日 - 21 日.

[発表 53] 小野寺 直幸, 井戸村 泰宏, アリ ユスフ, 下川辺 隆史: 適合細分化格子ボルツマン法による熱対流解析, 第 32 回 数値流体力学シンポジウム, 東京, 2018 年 12 月 11 日 - 12 月 13 日.

[発表 54] 庭野 聖史, 村田 勝寛, 伊藤 亮介, 橘 優太朗, 下川辺 隆史, 河合 誠之, 谷津 陽一, 森田 浩太郎, 大枝 幹, 飯田 康太, 白石 一輝, 安達 稜: 突発天体検知のための MITSuME 望遠鏡用 自動解析パイプラインの GPU を用いた高速化, 第 9 回光・赤外線大学間連携ワークショップ, 埼玉, 2018年 12 月 25 日 - 12 月 26 日.

[発表 55] 飯田 康太, 谷津 陽一, 伊藤 亮介, 村田 勝寛, 橘 優太朗, 河合 誠之, Yan Long, 篠田 浩一, 井上 中順, 下川辺 隆史: 深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像からの 突発天体検知, 第 9 回光・赤外線大学間連携ワークショップ, 埼玉, 2018 年 12 月 25 日 - 12 月 26 日.

[発表 56] Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura, Yussuf Ali, Takashi Shimokawabe: Communication reduced multi-time-step algorithm for the AMR-based lattice Boltzmann method on GPU-rich supercomputers, The 1st R-CCS International Symposium, Kobe, Japan, February 18-19, 2019. (ポスター発表)

[発表 57] 間宮 英生, 小澤 俊貴, 谷津 陽一, 河合 誠之, 菊谷 侑平, 佐々木 謙一, 新谷 勇介, 小泉 翔, 増田 雄斗, 岩崎 陽平, 渡邉 圭, 松永 三郎, 下川辺 隆史, 工藤裕: 超小型衛星用スタートラッカの開発と軌道上実証, 日本天文学会 2019 年春季年会, 東京, 2019 年 3 月 14 日 - 17 日.

[発表 58] 庭野 聖史, 村田 勝寛, 伊藤 亮介, 橘 優太朗, 河合 誠之, 谷津 陽一, 針田 聖平, 森田 浩太郎, 大枝 幹, 飯田 康太, 間宮 英生, 白石 一輝, 安達 稜, 下川辺 隆史: 突発天体検知のためのMITSuME望遠鏡用自動解析パイプラインの GPU を用いた高速化, 日本天文学会 2019 年春季年会, 東京, 2019 年 3 月 14 日 - 17 日. (ポスター発表)

[発表 59] 飯田 康太, 谷津 陽一, 伊藤 亮介, 村田 勝寛, 橘 優太朗, 河合 誠之, Yan Long, 篠田 浩一, 井上 中順, 下川辺 隆史: 深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像からの突発天体検知, 日本天文学会 2019 年春季年会, 東京, 2019 年 3 月 14 日 - 17 日. (ポスター発表)

[発表 60] Takashi Shimokawabe: AMR Framework with multiple GPUs to Realize Effective High-Resolution Simulations, GPU Technology Conference (GTC) 2019, San Jose, CA, USA, March 23 - 26, 2019. (ポスター発表)

[発表 61] Tetsuya Hoshino and Akihiro Ida, “H-Matrix Framework for Many-core Processors”, SIAM Conference on Computational Science and Engineering 2019 (SIAM CSE 19), Spokane, USA (February 2019).

[発表 62] 三木洋平: 高精度・高分解能シミュレーションを用いた銀河の形成・進化史の探求, JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回シンポジウム, 東京, 2018 年 7 月（ポスター発表）.

[発表 63] 宮川銀次郎, 森正夫, 三木洋平, 桐原崇亘: Dark satellite と矮小銀河の衝突シミュレーション, 日本天文学会 2018 年秋季年会, X54a, 兵庫県立大学, 2018 年 9 月.

[発表 64] 三木洋平: Volta 世代の GPU における重力ツリーコードの性能評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2018-HPC-166 No.6, 北海道, 2018 年 9 月.

[発表 65] Yohei Miki: Performance evaluation of gravitational octree code on Volta GPU, Booth talk at SC18, Dallas, USA, Nov., 2018.

[発表 66] Eishi Arima, Toshihiro Hanawa, and Martin Schulz: Toward Footprint-Aware Power Shifting for Hybrid Memory Based Systems, ICPP, Poster Session, 2pages, 2018.

[発表 67] Eishi Arima: Power-Performance Optimizations for Emerging Memory Technologies, CAPS Seminar @TU Munich, 2018.

[発表 68] Eishi Arima: Optimizations for Hybrid Memory Based Systems, CAPS Seminar @TU Munich, 2019.

[発表 69] Eishi Arima, and Martin Schulz: A Pattern Aware Optimization for Hybrid Main Memories, HotSPA, 2019.

[発表 70] Hiroki Ono, Takeshi Kishida, Tsubasa Okaze, Hideki Kikumoto, Masashi Imano, Yoshihide Tominaga: Grid Dependency with Various Grid Systems on Large-Eddy Simulations of Flow around an Isolated Building Model, The proceedings of 7th International Conference on Computational Wind Enginnering, June 2018.

[発表 71] Naoki Ikegaya, Tsubasa Okaze, Hideki Kikumoto, Masashi Imano, Yoshihide Tominaga: Effect of Advection Scheme for Large-Eddy Simulation on Turbulent Flow Fields around an Isolated Block Model, The proceedings of 7th International Conference on Computational Wind Enginnering, June 2018.

[発表 72] 今野雅, 桑沢保夫, 赤嶺嘉彦: 暖房方式による室内気流分布を考慮した暖房負荷補正方法に関する検討 その 2 熱負荷解析と CFD 解析による暖房負荷増分の推定, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, J20, 2018 年 8 月.

[発表 73] 今野雅: Xeon Phi KNL プロセッサを搭載したスーパーコンピュータ Oakforest-PACS における OpenFOAM の高速化, オープン CAE シンポジウム 2018, A24, 川崎, 2018 年 12 月.

[発表 74] 今野雅: OpenFOAM による流体解析ベンチマークテスト スパコン・クラウド・FOCUS でのチャネル流れ解析, 第十八回 PC クラスタシンポジウム, 東京, 2018 年 12 月.

[発表 75] 今野雅: OpenFOAM による流体解析ベンチマークテストスパコン・クラウド・FOCUS でのチャネル流れ解析および Oakforest-PACS における Optuna を用いた HBM 設定のベイズ最適化 PC クラスタワークショップ in 柏 2019, 柏, 2019 年 2 月.

特記事項

[特記 1] 中島 研吾：並列計算プログラミング，先端計算機演習，東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18e/

[特記 2] 中島 研吾：科学技術計算 I・II，東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18w/

[特記 3] 中島 研吾：計算科学アライアンス特別講義 I・II，東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18w/

[特記 4] 中島 研吾：スレッド並列コンピューティング，ハイブリッド分散並列コンピューティング，東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18w/

[特記 5] 中島 研吾：東京大学情報基盤センター，お試しアカウント付き並列プログラミング講習会，https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/

[特記 6] 中島 研吾：Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems, NCTS Summer School 2018 for Scientific Computing on Supercomputers, National Taiwan University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2018/

[特記 7] 中島 研吾：Parallel Finite Element Method using Supercomputer, Seoul National University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/SNU2019Jan/

[特記 8] 中島 研吾：Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters, Short Course for Scientific Computing (SC4SC 2019), National Taiwan University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2019/

[特記 9] 中島 研吾： 計算科学アライアンス，http://www.compsci-alliance.jp/

[特記 10] 中島 研吾：2018 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点共同研究課題「Innovative Mul-tigrid Methods」， https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/abstract.php?ID=jh180022-NAHI

[特記 11] 中島 研吾：2018 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点共同研究課題「高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用：Large-scale Simulations by Advanced Numerical Meth-ods with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability」，https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/abstract.php?ID=jh180023-NAH

[特記 12] 中島 研吾：2018 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点共同研究課題「Physiologically realistic study of subcellular calcium dynamics with nanometer resolution」，https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/abstract.php?ID=jh180024-MDJ

[特記 13] 中島 研吾：日本計算工学会，代表会員

[特記 14] 中島 研吾：日本応用数理学会，代表会員

[特記 15] 中島 研吾：General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechan-ics)

[特記 16] 中島 研吾：Member of Program Committee (System Software), 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018) (Vancouver, Canada, 2018.5)

[特記 17] 中島 研吾：セッションオーガナイザ，日本計算工学会第 23 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」（名古屋, 2018.6）

[特記 18] 中島 研吾：Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2018) (Wuxi, China, 2018.6)

[特記 19] 中島 研吾：Member of Program Committee, 8th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2018) in conjunction with ICCS 2018 (Wuxi, China, 2018.6)

[特記 20] 中島 研吾：Member of Research Paper Committee, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

[特記 21] 中島 研吾：Vice-Chair, HPC in Asia 2018, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

[特記 22] 中島 研吾：Member of Program Committee, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018) （Eugene, OR, USA, 2018.8）

[特記 23] 中島 研吾：Posters Chair, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018)（Eugene, OR, USA, 2018.8）

[特記 24] 中島 研吾：Member of Scientific Committee, 13th International Meeting on High-Performance Com-puting for Computational Science (VECPAR 2018) (Sao Paolo, Brazil, 2018.9)

[特記 25] 中島 研吾：Member of Posters Committee, 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）

[特記 26] 中島 研吾：Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2018 (PMES18) in conjunction with 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）

[特記 27] 中島 研吾：Co-organizer of BoF, 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）

[特記 28] 中島 研吾：Co-organizer of Mini-Symposium, 2019 SIAM Conference on Computational Science & Engineering (SIAM CSE19): Progress and Challenges in Extreme Scale Computing and Data (Spokane, WA, USA, 2019.2)

[特記 29] 中島 研吾：Member of Program Committee (System Software), 33rd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2019) (Rio De Janeiro, Brazil, 2019.5)

[特記 30] 中島 研吾：セッションオーガナイザ，日本計算工学会第 24 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」（大宮, 2019.6）

[特記 31] 中島 研吾：Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2019) (Faro, Algarve, Portugal, 2019.6)

[特記 32] 中島 研吾：Member of Program Committee, 9th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2019) in conjunction with ICCS 2019 (Faro, Algarve, Portugal, 2019.6)

[特記 33] 中島 研吾：Member of Research Paper Committee, ISC High Performance 2019 (Frankfurt, 2019.6)

[特記 34] 中島 研吾：Chair, HPC in Asia 2019, ISC High Performance 2019 (Frankfurt, 2019.6)

[特記 35] 中島 研吾：Co-Chair, Program Committee, The 48th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2019), (Kyoto, 2019.8)

[特記 36] 中島 研吾：Member of Program Committee, ParCo2019 (Parallel Computing Conference), (Prague, Czech Republic, 2019.9)

[特記 37] 中島 研吾:Co-organizer of Mini-Symposium, 2019 Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM 2019), Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing & Big Data (Taipei, Taiwan, 2019.12)

[特記 38] 中島 研吾：Member of Scientific Committee, 2020 SIAM Conference on Parallel Processing for Sci-entific Computing (SIAM PP20) (Seattle, WA, USA, 2019.2)

[特記 39] 中島 研吾：Member of Organizing Committee, 3rd International Conference on. Computational Engi-neering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (Kobe, Japan, 2020.3) 解説記事

[特記 40] 中島 研吾：中島研吾，國家理論科學研究中心數學組「高效能計算」短期課程：Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters 20-3, 2018，東京大学情報基盤センター, 2018

[特記 41] 中島 研吾：中島研吾，科学技術計算 II ／コンピュータ科学特別講義 II「並列有限要素法」，スーパーコンピューティングニュース 20-3，東京大学情報基盤センター， 2018

[特記 42] 中島 研吾：中島研吾，星野哲也，第 101 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習「有限要素法で学ぶ並列プログラミング」，スーパーコンピューティングニュース 20-5，東京大学情報基盤センター， 2018

[特記 43] 中島 研吾：中島研吾，第 6 回 JCAHPC セミナー実施報告（チュートリアル及び第 2 回 OFP 利活用報告会），スーパーコンピューティングニュース 20-6，東京大学情報基盤センター，2018

[特記 44] 中島 研吾：中島研吾，科学技術計算 I ／コンピュータ科学特別講義 I ／スレッド並列コンピューティング「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門」，スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター， 2019

[特記 45] 中島 研吾：中島研吾，講義紹介：並列計算プログラミング・先端計算機演習（地球惑星科学専攻），スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター, 2019

[特記 46] 中島 研吾：中島研吾，第 108 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習 「有限要素法で学ぶ並列プログラミング」，スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター， 2019

[特記 47] 中島 研吾：中島研吾，星野哲也，第 107 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習「OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」，スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター， 2019

[特記 48] 中島 研吾：中島研吾，星野哲也，國家理論中心數學組『高効能計算』短期課程（2018 NCTS Summer Course），スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター，2019

[特記 49] 中島 研吾：中島研吾，第 37 回先進スーパーコンピューティング環境 (ASE) 研究会実施報告，スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター， 2019

[特記 50] 中島 研吾：中島研吾，第 38 回先進スーパーコンピューティング環境 (ASE) 研究会実施報告，スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター， 2019

[特記 51] 中島 研吾：中島研吾，第 39 回先進スーパーコンピューティング環境 (ASE) 研究会実施報告，スーパーコンピューティングニュース 21-1，東京大学情報基盤センター， 2019

[特記 52] 近藤 正章： Program Committee, 24th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2019), 2019.

[特記 53] 近藤 正章：Program Committee Member, The 51th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (Micro 2018), 2018.

[特記 54] 近藤 正章： Finance Co-Chair, The 51th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (Micro 2018), 2018.

[特記 55] 近藤 正章： TPC Area Chair (Architecture, Network/Communications, and Management Area), The IEEE Cluster 2018, 2018.

[特記 56] 近藤 正章： Program Committee Member, International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED'18), 2018.

[特記 57] 近藤 正章： 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 幹事, 2018 年.

[特記 58] 塙 敏博：Member of Program Committee, The 9th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2018

[特記 59] 塙 敏博:Member of Program Committee, The 16th International Conference on High Performance Computing
& Simulation (HPCS), 2018

[特記 60] 塙 敏博：Member of Program Committee, 12th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC-18), 2018

[特記 61] 塙 敏博：Member of Program Committee (Experiments), 33rd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2019)

[特記 62] 塙 敏博：Member of Research Poster Committee, ISC 2019

[特記 63] 塙 敏博：Finance Chair, 49th International Conference on Parallel Processing, (ICPP), 2019

[特記 64] 塙 敏博：Digital Life 編集長, Vol. 31, Vol. 32, 2018

[特記 65] 塙 敏博：情報処理学会 HPC 研究会運営委員

[特記 66] 塙 敏博：情報処理学会 ACS 論文誌編集委員 (2019 年 4 月–)

[特記 67] 塙 敏博：HPCI 連携サービス運営作業部会委員

[特記 68] 塙 敏博：HPCI 共用ストレージ運用部会委員

[特記 69] 塙 敏博：最先端共同 HPC 基盤施設運営委員，運用支援部門長 (2019 年 4 月–)

[特記 70] 塙 敏博：山形大学大学院理工学研究科「情報科学特論」「応用生命システム工学特論」非常勤講師

[特記 71] 塙 敏博：Chainer MN を用いた深層学習の性能評価,，スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 3，東京大学情報基盤センター， 2018 年 5 月

[特記 72] 塙 敏博: 東京大学工学部・工学系研究科共通科目「スパコンプログラミング (1) および (I)」実施報告，スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 3，東京大学情報基盤センター, 2018 年 5 月

[特記 73] 塙 敏博: 第 94 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「KNL 実践」実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 3，東京大学情報基盤センター， 2018 年 5 月

[特記 74] Balazs Gerofi, 高木 将通, 石川 裕, 中島 研吾, 塙 敏博, 朴 泰祐: Oakforest-PACS 上での IHK/McKernel の評価，スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 4，東京大学情報基盤センター， 2018 年 7 月

[特記 75] 塙 敏博: 第 98 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎：並列プログラミング入門」実施報告，スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 4，東京大学情報基盤センター， 2018 年 7 月

[特記 76] 塙 敏博: 第 35 回 ASE 研究会実施報告，スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 4，東京大学情報基盤センター， 2018 年 7 月

[特記 77] 塙 敏博: 山形大学大学院理工学研究科「情報科学特論」「応用生命システム工学特論」における「高性能コンピューティング概論」報告，スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 5，東京大学情報基盤センター， 2018 年 9 月

[特記 78] 塙 敏博: 第 102 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「KNL 実践」実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 5，東京大学情報基盤センター， 2018 年 9 月

[特記 79] 塙 敏博: 大学院工学系研究科電気系工学専攻修士実験 MPI による並列プログラミング入門, スーパーコンピューティングニュース Vol. 21, No. 1，東京大学情報基盤センター， 2019 年 1 月

[特記 80] 塙 敏博: 大学院工学系研究科電気系工学専攻修士実験第 106 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習「MPI 上級」実施報告，スーパーコンピューティングニュース Vol. 21, No. 1，東京大学情報基盤センター， 2019 年 1 月

[特記 81] 塙 敏博: 東京大学工学部・工学系研究科共通科目「スパコンプログラミング (1) および (I)」, スーパーコンピューティングニュース Vol. 21, No. 2，東京大学情報基盤センター， 2019 年 3 月

[特記 82] 伊田 明弘： 第 104 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」, 2018 年 9 月 19 日, 取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 83] 伊田 明弘： 第 113 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」, 2019 年 3 月 12 日, 取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 84] 伊田 明弘： 名古屋大学情報基盤センター非公開産業利用審査委員（2017 年 4 月〜）

[特記 85] 伊田 明弘： 2018 Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastruc-tures Joint Research Project Proposal Application Form, “Hierarchical low-rank approxima-tion methods on distributed memory and GPUs with applications in fluid and electromagnet-ic simulation”, person in charge

[特記 86] 伊田 明弘： 平成 30 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「時空間領域境界積分方程式法の高速解法の開発と巨大地震シミュレーションへの応用」, 研究副代表

[特記 87] 伊田 明弘： Member of Program Committee, the 48th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2019), 2019

[特記 88] 伊田 明弘: Member of Scientific Committee, the 13th International Meeting on High Performance Com-puting for Computational Science (VECPER 2018), 2018

[特記 89] 下川辺 隆史： 下川辺 隆史, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) 課題「高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの高度化」課題代表者, 2018 年度

[特記 90] 下川辺 隆史： Co-Chair, 8th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications
& Frameworks (IHPCES 2018) (in conjunction with ICCS 2018), Wuxi, China, June 11 - 13, 2018.

[特記 91] 下川辺 隆史： Co-Chair, 9th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications
& Frameworks (IHPCES 2019) (in conjunction with ICCS 2019), Faro, Algarve, Portugal, June 12 - 14, 2019.

[特記 92] 下川辺 隆史： Program Committee, The 3rd International Workshop on GPU Computing and AI (GCA'18), (in conjunction with CANDAR'18), Hida Takayama, Japan, November 27-30, 2018.

[特記 93] 下川辺 隆史： Exhibition chair, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCAsia2020), Fukuoka, Japan, January 15 - 17, 2020.

[特記 94] 下川辺 隆史： 日本計算工学講演会 実行委員

[特記 95] 下川辺 隆史： 日本計算工学会 代表会員

[特記 96] 下川辺 隆史： ACS 論文誌 編集委員

[特記 97] 下川辺 隆史： ハイパフォーマンスコンピューテング研究会 運営委員

[特記 98] 下川辺 隆史：SC18 参加報告, 計算工学, Vol.24, No.1 2019（2019 年 1 月）

[特記 99] 下川辺 隆史： 平成 30 年度 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」(https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/young/), 前期採択課題 21 件, 後期採択課題 16 件, インターン採択課題 2 件

[特記 100] 下川辺 隆史： 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」平成 29 年度 インターン・後期 採択課題 成果報告会, 企画と実施, 2018 年 6 月 4 日

[特記 101] 下川辺 隆史： 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」平成 30 年度 前期 採択課題 成果報告会, 企画と実施, 2018 年 12 月 5 日

[特記 102] 下川辺 隆史: 平成 29 年度「若手・女性利用者推薦」後期課題 成果報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 特集号 2（2018 年 8 月）, 企画

[特記 103] 下川辺 隆史： 第 100 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「Reedbush スパコンを用いた GPU ディープラーニング入門」, 2018 年 5 月 31 日, 企画と一部の講師を担当

[特記 104] 下川辺 隆史： 第 107 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門」, 2018 年 11 月 6 日, 一部の講師を担当

[特記 105] 下川辺 隆史： 第 111 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「第 1 回 ディープラーニング分散学習ハッカソン」, 2019 年 1 月 24 日 - 25 日, 企画と一部の講師を担当

[特記 106] 星野 哲也： Program Committee Member, xSIG 2019.

[特記 107] 星野 哲也： 國家理論中心數學組『高効能計算』短期課程（2018 NCTS Summer Course）, 一部の講師を担当

[特記 108] 星野 哲也： 第 97 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「GPU プログラミング入門」, 2018 年 4 月 18 日, 講師を担当

[特記 109] 星野 哲也：第 101 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」, 2018 年 6 月 19 日 ∼20 日, 一部の講師を担当

[特記 110] 星野 哲也： 第 107 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門」, 2018 年 11 月 6 日, 一部の講師を担当

[特記 111] 星野 哲也：第 109 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」, 2018 年 11 月 27 日 ∼11 月 28 日, 一部の講師を担当

[特記 112] 星野 哲也： 第 111 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ディープラーニング分散学習ハッカソン」, 2019 年 1 月 24 日 ∼1 月 25 日, 一部の講師を担当

[特記 113] 三木 洋平：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）課題「高精度・高分解能シミュレーションを用いた銀河の形成・進化史の探求」, 課題代表者, 2018 年度.

[特記 114] 三木 洋平：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）課題「中間質量ブラックホールの理解に向けた星の衝突・破壊に関する研究」, 課題副代表者, 2018 年度.

[特記 115] 三木 洋平：「HPCI 連携サービス運営・作業部会」部会員.

[特記 116] 三木 洋平：「HPCI 共用ストレージ運用部会」部会員.

[特記 117] 三木 洋平：HDD 増設仕様策定委員会 委員, 2018 年 6 月.

[特記 118] 三木 洋平：第 2 総合研究棟 運営専門委員会 委員.

[特記 119] 三木 洋平：第 105 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 初級」, 2018 年 10 月 18 日, 講師を担当.

[特記 120] 三木 洋平：三木洋平: アンドロメダ銀河南天のアーク構造の起源解明, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.4, 2018 年 7 月.

[特記 121] 三木 洋平：三木洋平, 阿曽義浩: ISC High Performance 2018（ISC 2018）参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.5, 2018 年 9 月.

[特記 122] 三木 洋平：三木洋平: 第 105 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会, スーパーコンピューティングニュース, Vol.21 No.1, 2019 年 1 月.

[特記 123] 三木 洋平：星野哲也, 坂本龍一, 三木洋平, 阿曽義浩: SC18 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.21 No.1, 2019 年 1 月.

[特記 124] 有間 英志： 平成 30 年度科学研究費補助金 (科研費), 若手研究, 高バンド幅と大容量を両立するアクセスパターン適応型ハイブリッドメインメモリ, 研究代表者, 2018-2019 年度.

[特記 125] 有間 英志： 理化学研究所, 計算科学研究機構, 客員研究員.

[特記 126] 有間 英志： External Scientist, Technical University of Munich, Jul. 2018-.

[特記 127] 有間 英志： Web Chair, IEEE NVMSA 2018.

[特記 128] 有間 英志： Publications Chair, IEEE CLUSTER 2019.

[特記 129] 有間 英志： Program Committee Member, ISC PhD Forum 2019.

[特記 130] 有間 英志： Program Committee Member, xSIG 2019.

[特記 131] 有間 英志： Program Committee Member, CANDAR 2018.

[特記 132] 有間 英志： Program Committee Member, ICPP 2018.

[特記 133] 有間 英志： Program Committee Member, IEEE NVMSA 2018.

[特記 134] 有間 英志： Technical Reviewer, IEICE Transactions on Information and Systems.

[特記 135] 有間 英志： 情報処理学会, システム・アーキテクチャ研究会, 運営委員.

[特記 136] 有間 英志： 電子情報通信学会, コンピュータシステム研究専門委員会, 幹事補佐 (2019-).

[特記 137] 今野 雅：PC クラスタコンソーシアム実用アプリケーション部会会員.

[特記 138] 今野 雅：一般社団法人オープン CAE 学会理事. V
&V 小委員会委員長. HPC 小委員会委員. 資料翻訳委員会委員. 広報・コミュニティ委員会委員. オープン CAE シンポジウム 2018 実行委員.

[特記 139] 今野 雅：日本建築学会屋外空気環境小委員会検証用ベンチマーク実施 WG 委員.

[特記 140] 今野 雅：空気調和・衛生工学会換気設備委員会 BIM・CFD パーツ開発応用小委員会委員.

[特記 141] 今野 雅:今野　雅: オープンソース CFD コード OpenFOAM の性能評価および高速化に関する研究, 東京大学情報基盤センター年報, https://www.itc.u-tokyo.ac.jp/public/annual_report/, 第 19 号, pp.283-290, 2018 年.

[特記 142] 今野 雅：お試しアカウント付き並列プログラミング講習会, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/, 第 99 回「OpenFOAM 入門」(2018 年 5 月), 第 103 回「OpenFOAM 初級」(2018 年 8 月), 第 110 回「OpenFOAM 中級」(2019 年 1 月).

[特記 143] 今野 雅：大阪大学サイバーメディアセンター「OpenFOAM ハンズオンセミナー」, http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/lec_ws/20180727/, ハンズオン講習会の講師を担当, 2018 年 7 月.

[特記 144] 今野 雅：お試しアカウント付き並列プログラミング講習会実施報告, スーパーコンピューティングニュース, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/, 第 99 回 (Vol.20, No.4, 2018 年 7 月), 第 103 回 (Vol.20, No.6, 2018 年 11 月), 第 110 回 (Vol.21, No.2, 2019 年 3 月).

ポストムーア時代に向けた超並列数値計算アルゴリズムの研究と並列プログラミング教育

中島 研吾

1 概要

ポストムーア時代に向けた超並列数値計算アルゴリズムの研究，関連した教育を実施した。主な実施項目を以下に示す:

- 超並列数値計算アルゴリズムに関する研究

多重格子法を中心として，エクサスケールシステム，ポストムーア時代を目指した大規模連立一次方程式解法，前処理手法及び自動チューニングに関する研究を継続して実施した〔招待 2, 7〕〔査読付き 1,4,5,6,9〕〔発表 1,3,4,5,9,18,19〕。また学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の共同研究課題として提案した「Innovative Multigrid Methods」が国際共同研究課題として採択され，国内のみならずドイツ，アメリカの研究者と共同で研究開発を実施した〔特記 10〕。

- ポストムーア時代に向けた計算機科学・計算科学に関する研究

計算機の専門家でない科学者や技術者がスパコン向けの様々なシミュレーションプログラムを容易に開発し，高速・安定に実行するための基盤 ppOpen-HPC，pK-Open-HPC の開発を継続して実施した〔引用 1〕〔著書 1〕。このアイディアを拡張し，2025 年以降と予測されるムーアの法則の終焉に備えるための研究開発，アーキテクチャ，システムソフトウェア，アプリケーション，アルゴリズムをカバーする研究協力体制の構築を継続して実施した。

東大情報基盤センターで 2021 年 4 月から運用開始を予定している BDEC システム（Big Data & Extreme Computing）では，（計算＋データ＋学習）融合による更に高度なスーパーコンピューティングを目指している。そのために必要なアプリケーション開発環境に関する検討を開始した〔招待 1,3,4,5,6〕〔発表 2,11,12,16,17〕。

エクサスケール，ポストムーア時代のスーパーコンピューティングでは消費電力の削減が大きな技術的課題となるが，それを実現するための手法として低精度演算の積極的活用を目指して，学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の共同研究課題として「高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用」を提案し採択され〔特記 11〕，様々な活動を実施した〔招待 2,7〕〔発表 6,7,13,14,15〕。SC18 では 2016 年から引き続いて海外の研究者と協力してワークショップをオーガナイズし，盛況であった〔特記 26〕。

- 大規模数値シミュレーションに関する研究

Oakforest-PACS，Reedbush-H 等を使用した大規模地震，地殻変動シミュレーションを利用者と共同で実施した〔招待 1〕〔査読付き 3,5,7, 11〕〔発表 11〕。また，学際大規模情報基盤共同利用・

共同研究拠点の共同研究課題として「Physiologically realistic study of subcellular calcium dynamics with nanometer resolution」を提案し採択された〔査読付き 10〕〔特記 12〕。

- HPC 教育

HPC 教育プログラム策定，講義，演習を実施し〔解説記事 2～8〕〔特記 1～5〕，計算科学アライアンス〔特記 9〕の活動を実施した。また国立台湾大学，ソウル国立大学において，集中講義を実施した〔解説記事 1,9〕〔特記 6～8〕。

2 研究成果：高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）平成 30 年度共同研究課題として採択されている「高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用」〔特記 11〕の概要と成果について述べる。エクサスケールシステムにおける高性能数値アルゴリズム実現には，メモリ・ネットワークの階層の深化に対応した通信最適化（Serial，Parallel）とともに省電力・省エネルギー（以下「省電力」）に向けた検討が必要である。Approximate Computing〔引用 2〕は，低精度演算の積極的活用により計算時間短縮，消費電力削減を図る試みであり，従来は画像認識等の計算精度の要求されない分野を対象としていたが，昨今は数値計算において半精度から四倍精度まで演算精度を動的に変動させる変動精度（Transprecision）の研究が進められている。数値計算による近似解（数値解）は様々な計算誤差を含み，計算結果の信頼性の観点から，数値解の正しさを数学的に保証する必要があり，低精度・変動精度使用時，悪条件問題には重要であるが，実問題で現れる大規模疎行列・H 行列への応用例はほとんどない。本研究では，JHPCN システム群の中で消費電力当たり計算性能（GFLOPS/W 値）の高いシステムを主たるターゲットとして，以下を実施する：

- 疎行列演算，H行列演算，ステンシル演算等の代表的数値アルゴリズム，各アプリケーション（地震，大気科学，量子科学，構造力学）について，高性能最適化手法を各システムにおいて実装し，低精度演算・変動精度演算について検討し，消費電力を測定する。
- 疎行列演算やH行列演算を対象として，実用的な精度保証法を確立する。更に各アルゴリズム，アプリケーションについて所望の結果精度達成のために，計算時間や消費電力を最小化する最適演算精度を自動チューニングによって動的に制御する手法を確立する。
- 本研究によって開発された高性能・変動精度・高信頼性数値解法を，自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境ppOpen-HPC及びpK-Open-HPC（ppOpen-HPCの発展形）〔引用1〕に実装し，東大Oakforest-PACS（OFP），東大Reedbush（RBU, RBH，RBL），東工大Tsubame-3（TSB3），東大Oakbridge-CX（OBCX）等で公開する。将来的には，他のセンターのスパコンへの導入も視野に入れる。

本研究は，最先端のスパコン向けに開発された高性能数値アルゴリズムに対して，半精度から倍精度，倍々精度までの広範囲をカバーする変動精度演算を適用し，精度保証，そのための自動チューニング手法を開発する試みとしては初めてのものである。開発したアルゴリズム，アプリケーションの消費電力の直接測定によって，各計算の特性と低精度演算の有効性を消費電力の観点からも検討可能となる。

以下に 2018 年度成果概要について述べる〔招待 2,7〕〔発表 6,7,13,14,15〕。ここで対象とするアプリケーションは差分格子によってメッシュ分割された三次元領域において，ポアソン方程式を解く Poisson3D プログラムである。図 1 に示すような不均質場における三次元熱伝導問題を有限体積法で離散化して得られる連立一次方程式を ICCG 法で解く。問題規模サイズは 2,097,152=128^3 である。

まず，CRS（Compressed Row Storage）法，ELL 法，SELL-C-σ（SIMD 演算に適した疎行列格納法）〔引用 3〕等の疎行列格納法（図 2）を適用した。図 3 は図 1 に示す問題を対象として Oakforest-PACS（OFP，Intel Xeon Phi（Knights Landing，KNL））1 ノードを使用して実施した（64 コア，128 スレッド）場合の ICCG 法の計算時間である。CRS⇒ELL で 2 倍以上，ELL⇒SELL-C-σで 15-25%程度の計算時間短縮が得られている〔引用 4〕。更に倍精度⇒単精度で 30%程度の短縮が達成されている。C の最適値は倍精度で 8-16，単精度で 16 となっている。

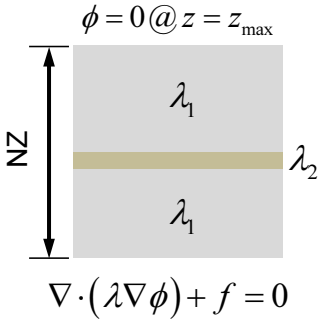


図 1　不均質場における熱伝導問題

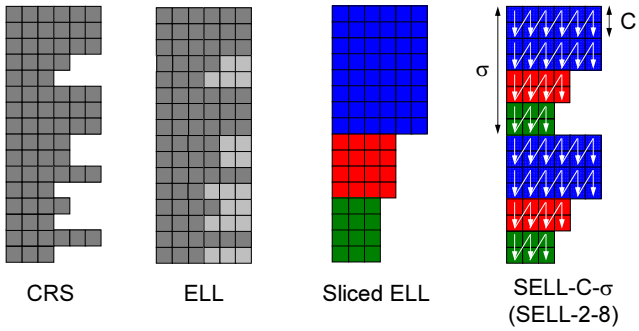


図 2　様々な疎行列格納手法〔引用 3,4〕

図 4 は，図 1 に示す問題を対象として，λ_2 を変化させた場合の Reedbush-U の 1 ノード（Intel BDW（BDW），36 コア）を使用した場合の計算結果である。反復回数と ICCG 法の計算時間について，倍精度演算の場合を 1 として，単精度演算の値を示している。単精度演算の反復回数は若干増加するものの，計算時間は半分程度になっている。

λ_1/λ_2 が増加し，係数行列の条件が悪化すると，単精度演算の反復回数は増加し，計算時間も倍精度の場合を上回るようなケースがある。また，λ_1/λ_2 が増加時は単精度演算による解の誤差も増加し，図 4 の $\lambda_1/\lambda_2=10^6$ のケースでは 10%にも達している。単精度演算の適用により，倍精度と比較して反復回数等の増加は見られるものの，計算時間は 15～50%程度減少することが確認された。計算時間の減少率はアルゴリズム，アーキテクチャ，最適化の度合いによって異なっており，これらの関係について更なる検討が必要である。

2018 年度研究では，様々なアプリケーションについて BDW，NVIDIA Tesla P100/V100（P100/V100），KNL 等で消費電力・エネルギー測定を実施している。低精度化による消費電力（Watt 値）は，BDW 上においては，③の場合はやや増加，⑤の場合は減少している〔8,10〕。これはそれぞれのプログラムの最適化の度合い，低精度化による演算密度の変化との関係によって増加するものと減少するものがあるが〔発表 7〕，より多様な場合について，系統的な調査検討が必要である。消費エネルギー（Joule 値）は低精度化による計算時間の減少にほぼ比例しており，BDW 上で 35%-40%の減少が見られる。図 5 は Adaptive CG 法〔査読付き 3,7,11〕について BDW 1 ソケット（18 コア）使用の場合の，倍精度・混合精度によるスレッド数（3-18），計算時間，消費エネルギー（Joule）の関係を示す。

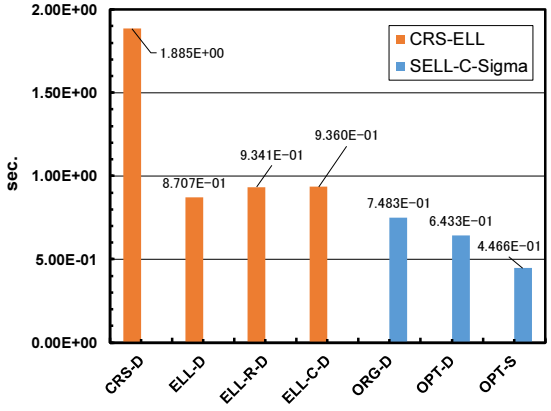


図 3 三次元熱伝導問題（図 1）の KNL での計算時間（64 コア，128 スレッド）（ICCG 法）（-D：倍精度，-S：単精度，OPT：星野他による最適化〔引用 4〕適用）

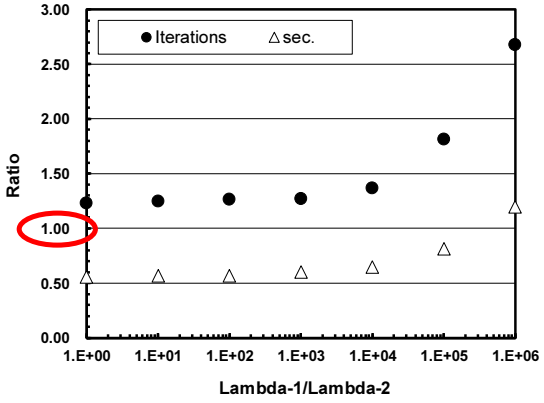


図 4 単精度／倍精度演算時の反復回数比とλ_1/λ_2の関係（BDW）

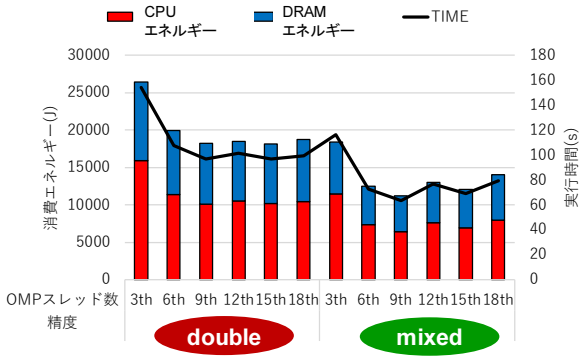


図 5 Adaptive CG 法〔査読付き 3,7,11〕の計算結果：BDW 1 ソケットによる評価，倍精度・混合精度演算によるスレッド数（3-18），計算時間，消費エネルギーの関係〔発表 7〕

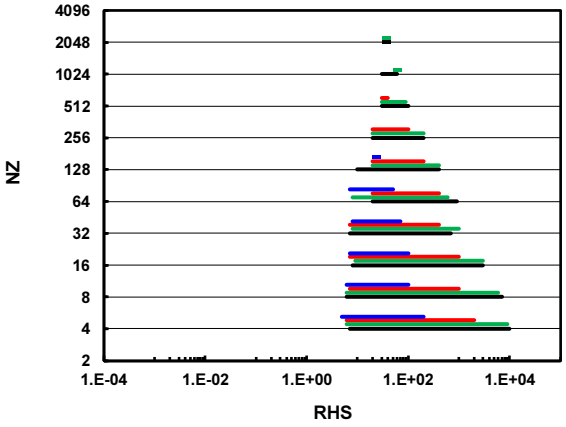


図 6 V100 上で単精度演算（前処理部分のみ半精度）を適用した場合の収束解が得られるパラメータの範囲（RHS：右辺，NZ：Z 方向メッシュ数，$\lambda_1/\lambda_2=10^0, 10^1, 10^2, 10^3$）

倍精度⇒単精度⇒半精度によって扱うことのできる値の範囲，有効桁数は減少するため，低精度演算は，変数値の変動幅が大きい問題，大規模問題は不適当である。図 6 は図 1 に示す問題の右辺，Z 方向メッシュ数などを変更した場合について，NVIDIA Tesla V100（V100）上で単精度演算（前処理のみ半精度）の収束解が得られるパラメータの範囲を示している。

倍精度，単精度（前処理含む）の場合は全て収束解が得られているが，前処理のみ半精度となった場合には解を得られる範囲が極端に少なくなっていることがわかる。

3 HPC 教育：大学院理学系・工学系・情報理工学系研究科での講義

「計算科学アライアンス〔特記 9〕」の一環として，大学院理学系研究科地球惑星科学専攻で「並列計算プログラミング・先端計算機演習」を実施した〔特記 1〕。2018 年度夏季集中講義として，2017 年 9 月に 8 日間，20 コマの講義と 12 コマの演習を実施した。本講義・演習は，21 世紀 COE プログラム「多圏地球システムの進化と変動の予測可能性（観測地球科学と計算地球科学の融合拠点の形成）」（2003 年度～2007 年度）において 2004 年度より開講されたもので，2008 年度からは「理学系研究科大学院教育高度化プログラム」に認定され，夏季集中講義として開講された。

2018 年度は有限要素法をターゲットとして，MPI，OpenMP，OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルに関する並列プログラミング教育を実施し，Fortran 及び C 言語向けの両方の教材を準備した。本講義・演習では Reedbush-U を使用したプログラミング実習を実施した。2018 年度は合計 36 名の受講者があった〔解説記事 6〕。本講義は 2018 年度で終了し，15 年の歴史に幕を閉じた。

この他，大学院情報理工学系研究科において「科学技術計算Ⅰ・Ⅱ：科学技術計算プログラミング（有限要素法）（数理情報学専攻）」，「計算科学アライアンス特別講義Ⅰ・Ⅱ（コンピュータ科学専攻）」を 2018 年 S1S2・A1A2 学期に実施した〔特記 2, 3, 4〕。2015 年度から S1S2 学期（Ⅰ）では OpenMP によるノード内並列化， A1A2 学期（Ⅱ）では MPI によるノード間並列，Hybrid 並列に着目した講義を実施している。両者は若干のオーバーラップはあるものの，ほぼ独立した内容である。2018 年度は S1S2 学期 39 名と A1A2 学期 16 名の受講者があった。2019 年度も引き続き開講の予定である。実習には 2016 年 7 月に導入されたデータ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム（Reedbush-U）を使用した。

4 成果要覧

招待講演

〔招待 1〕 K. Nakajima, Activities of IPCC at the Information Technology Center, The University of Tokyo, Intel Parallel Computing Centers Asia Summit 2018 (Chengdu, China, May 10-11, 2018)

〔招待 2〕 K. Nakajima, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability Extension of ppOpen-HPC towards the Post Moore Era, Future Accelerated Math Library Design, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, Germany, June 25, 2018)

〔招待 3〕 K. Nakajima, Innovative Method for Integration of Computational & Data Sciences in the Exa-Scale/Post-Moore Era, APSCIT 2018 Annual Meeting (Asia Pacific Society for Computing and Information Technology) (Sapporo, Hokkaido, Japan, July 21, 2018)

〔招待 4〕 K. Nakajima, Innovative Method for Integration of Computational & Data Sciences in the Exa-Scale/Post-Moore Era, Seminar of IBM T.J. Watson Research Center (Yorktown Heights, NY, USA, July 25, 2018)

〔招待 5〕 K. Nakajima, Innovative Multigrid Methods and the JHPCN Program, Second French-Japanese-German Workshop on Programming and Computing for Exascale and Beyond (Embassy of Germany in Tokyo, October 30-31, 2018)

〔招待 6〕 中島研吾, (計算＋データ＋学習)融合による新しいスーパーコンピューティング: Supercomputing in Next Generation by Integration of (Simulation + Data + Learning), PCCC ワークショップ@柏(柏, 千葉, 2019 年 2 月 22 日)

〔招待 7〕 K. Nakajima, T. Ogita, R. Sakamoto, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability Extension of ppOpen-HPC/ESSEX-II towards the Post Moore Era, 4th SPPEXA Workshop on Parallel Programing Models - Productivity & Applications for Exascale and Beyond, University of Versailles (Versailles, France, March 21, 2019)

査読付論文リスト

〔査読付 1〕 T. Hoshino, A. Ida, T. Hanawa, K. Nakajima, Design of Parallel BEM Analyses Framework for SIMD Processors, Proceedings of 2018 International Conference on Computational Science (ICCS 2018), 601-613, 2018

〔査読付 2〕 B. Gerofi, R. Riesen, M. Takagi, T. Boku, K. Nakajima, Y. Ishikawa, R.W. Wisniewski, Performance and Scalability of Lightweight Multi-kernel Based Operating Systems, Proceedings of 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10680, 116-125, 2018

〔査読付 3〕 T. Ichimura, K. Fujita, M. Horikoshi, L. Meadows, K. Nakajima, T. Yamaguchi, K. Koyama, H. Inoue, A. Naruse, A Fast Scalable Implicit Solver with Concentrated Computation for Nonlinear Time-evolution Problems on Low-order Unstructured Finite Elements, Proceedings of 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10680, 620-629, 2018

〔査読付 4〕 N. Nomura, A. Fujii, T. Tanaka, O. Marques, K. Nakajima, Algebraic Multigrid Solver Using Coarse Grid Aggregation with Independent Aggregation, Proceedings of the 13th International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2018) conjunction with IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10680, 1104-1112, 2018

〔査読付 5〕 M. Kreutzer, D. Ernst, A.R. Bishop, H. Fiske, G. Hager, K. Nakajima, G. Wellein, Chebyshev Filter Diagonalization on Modern Manycore Processors and GPGPUs, Proceedings of

ISC High Performance 2018 (Hans Meuer Award Finalist), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10876, 329-349, 2018

〔査読付 6〕 T. Hoshino, A. Ida, T. Hanawa, K. Nakajima, Load-balancing-aware Parallel Algorithms of H-matrices with Adaptive Cross Approximation for GPUs, Proceedings of IEEE Cluster 2018, 2018

〔査読付 7〕 T. Ichimura, K. Fujita, T, Yamaguchi, A. Naruse, J.C. Wells, T.C. Schulthess, T.P. Straatsma C.J. Zimmer, M. Martinasso, K. Nakajima, M. Hori, L. Maddegedara, A Fast Scalable Implicit Solver for Nonlinear Time-Evolution Earthquake City Problem on Low-Ordered Unstructured Finite Elements with Artificial Intelligence and Transprecision Computing, IEEE/ACM Proceedings of SC18 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis), 2018 (Gordon Bell Prize Finalist)

〔査読付 8〕 T. Hanawa and K. Nakajima, Optimization of Parallel Mesh Generation via File for Multigrid Method, Proceedings of IXPUG Workshop at HPC Asia 2019, 2019

〔査読付 9〕 野村直也, 中島研吾, 藤井昭宏, 高スケーラブル・安定的な SA-AMG 法に向けたニアカーネルベクトル自動抽出手法に関する研究, 第 65 回 ACS 論文誌, 2019（in press）

〔査読付 10〕 C. Jarvis, G. Terje Lines, J. Langguth, K. Nakajima and X. Cai, Combining Algorithmic Rethinking and AVX-512 Intrinsics for Efficient Simulation of Subcellular Calcium Signaling, Proceedings of 2019 International Conference on Computational Science (ICCS 2019), 2019 (in press)

〔査読付 11〕 K. Fujita, M. Horikoshi, T. Ichimura, L. Meadows, K. Nakajima, M. Hori and L. Maddegedara, Development of Element-by-Element Kernel Algorithms in Unstructured Implicit Low-Order Finite-Element Earthquake Simulation for Many-Core Wide-SIMD CPUs, Proceedings of 2019 International Conference on Computational Science (ICCS 2019), 2019 (in press)

著書

〔著書 1〕K. Nakajima , M. Matsumoto , M. Kawai , T. Katagiri , T. Arakawa , H. Yahshiro, A. Ida, ppOpen-HPC/pK-Open-HPC: Application Development Framework with Automatic Tuning (AT), Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing: The Japanese Post-Peta CREST Research Project, 11-36, Springer, 2019

解説記事

〔解説記事 1〕中島研吾, 國家理論科學研究中心數學組「高效能計算」短期課程：Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters 20-3, 2018, 東京大学情報基盤センター, 2018

〔解説記事 2〕中島研吾, 科学技術計算Ⅱ／コンピュータ科学特別講義Ⅱ「並列有限要素法」, スーパーコンピューティングニュース 20-3, 東京大学情報基盤センター, 2018

〔解説記事 3〕中島研吾, 星野哲也, 第 101 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習 「有限要素法で学ぶ並列プログラミング」, スーパーコンピューティングニュース 20-5, 東京大学情報基盤センター, 2018

〔解説記事 4〕中島研吾, 第 6 回 JCAHPC セミナー実施報告（チュートリアル及び第 2 回 OFP 利活用報告会）, スーパーコンピューティングニュース 20-6, 東京大学情報基盤センター, 2018

〔解説記事 5〕中島研吾, 科学技術計算Ⅰ／コンピュータ科学特別講義Ⅰ／スレッド並列コンピューティング「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門」, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

〔解説記事 6〕中島研吾, 講義紹介：並列計算プログラミング・先端計算機演習（地球惑星科学専攻）, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

〔解説記事 7〕中島研吾, 第 108 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習 「有限要素法で学ぶ並列プログラミング」, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

〔解説記事 8〕中島研吾, 星野哲也, 第 107 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習「OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

〔解説記事 9〕中島研吾, 星野哲也, 國家理論中心數學組『高効能計算』短期課程（2018 NCTS Summer Course）, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

〔解説記事 10〕中島研吾, 第 37 回先進スーパーコンピューティング環境(ASE)研究会実施報告, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

〔解説記事 11〕中島研吾, 第 38 回先進スーパーコンピューティング環境(ASE)研究会実施報告, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

〔解説記事 12〕中島研吾, 第 39 回先進スーパーコンピューティング環境(ASE)研究会実施報告, スーパーコンピューティングニュース 21-1, 東京大学情報基盤センター, 2019

その他発表論文リスト

〔発表 1〕 中島研吾, AM-hCGA 法による並列多重格子法, 第 23 回計算工学講演会（日本計算工学会）（名古屋, 2018 年 6 月 7 日）

〔発表 2〕 K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures -from Exascale to Post Moore Era-, Exa/Post-Peta Scale Computational Mechanics, The 13th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XIII) (New York, NY, USA, July 27, 2018)

〔発表 3〕 中島研吾, ポストムーア時代の並列反復法アルゴリズム, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 日本応用数理学会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会（MEPA）（熊本, 2018 年 7 月 31 日）

〔発表 4〕 野村直也, 中島研吾, 藤井昭宏, Oakforest-PACS 上における SA-AMG 法の Hybrid 並列化に関する分析, 情報処理学会研究報告（2018-HPC-165-34）, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）（熊本, 2018 年 8 月 1 日）

〔発表 5〕 野村直也, 中島研吾, Oakforest-PACS 上における SA-AMG 法の高並列環境下に向けた Hybrid 並列化に関する分析, 日本応用数理学会 2018 年度年会（名古屋, 2018 年 9 月 3 日～5 日）

〔発表 6〕 中島研吾, 荻田武史, 悪条件問題におけるパイプライン型共役勾配法, 情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-27）, 日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇, 沖縄, 2018 年 12 月 17-18 日）

〔発表 7〕 坂本龍一, 近藤正章, 中島研吾, 藤田航平, 市村強, HPC アプリケーションにおける低精度演算の積極的利用による電力効率改善の検討, 情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-19）, 日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇, 沖縄, 2018 年 12 月 17-18 日）

〔発表 8〕 塙敏博, 中島研吾, マルチグリッド法におけるファイルを介したメッシュ生成プロセスの高速化, 情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-4）, 日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇, 沖縄, 2018 年 12 月 17-18 日）

〔発表 9〕 野村直也, 中島研吾, 藤井昭宏, 大規模クラスタ環境上における SA-AMG 法の Hybrid 並列化に関する分析, 情報処理学会研究報告（2018-HPC-167-28）, 日本情報処理学会第 167 回 HPC 研究会（那覇, 沖縄, 2018 年 12 月 17-18 日）

〔発表 10〕 中島研吾, スパコンへの数学・スパコンへの算数　新しい科学の最前線の開拓を目指して, 東京大学柏キャンパス一般公開 2018　特別講演「柏でわくわく知の探検 」（柏, 千葉, 2018 年 10 月 27 日）

〔発表 11〕 K. Nakajima, Supercomputing（超級計算） in the University of Tokyo towards the Exascale/Post-Moore Era, Advanced Technology on Multimedia and Computer Human Interaction, NTU-UTokyo Joint Conference: Developing a Sustainable Future Society in East Asia (Taipei, Taiwan, December 12, 2018)

〔発表 12〕 K. Nakajima, A Sustainable Method for Integration of Simulation/Data/Learning in the Exascale/Post-Moore Era Supercomputing and AI for Sustainable Society, NTU-UTokyo Joint Conference: Developing a Sustainable Future Society in East Asia (Taipei, Taiwan, December 13, 2018)

〔発表 13〕 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, 第 10 回 自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウム(ATTA2018), 東京大学弥生講堂(東京, 2018 年 12 月 25 日)

〔発表 14〕 K. Nakajima, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability, The 39th ASE Seminar, Information Technology Center, The University of Tokyo (Tokyo, Japan, January 8, 2019)

〔発表 15〕 K. Nakajima, T. Ogita, and R. Sakamoto, Numerical Library with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability Extension of ppOpen-HPC towards the Post Moore Era, 2019 Conference on Advanced Topics & Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT 19), National Sun Yat Sen University (Kaohsiung, Taiwan February 16, 2019)

〔発表 16〕 K. Nakajima, Innovative Method for Integration of Simulation/Data/Learning in the Exascale/Post-Moore Era, BDEC2 Workshop (Kobe, Japan, February 19-21, 2019)

〔発表 17〕 K. Nakajima, An Innovative Method for Integration of Simulation/Data/Learning in the Exascale/Post-Moore Era, MS137 Toward Software Ecosystems for CSE, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE19) (Spokane, WA, USA, February 26, 2019)

〔発表 18〕 K. Nakajima, M. Horikoshi, T. Hanawa, H. Fujita, M. Shiryaev, Optimization of Parallel Multigrid Solvers on Manycore Clusters, 19th Copper Mountain Conference on Multigrid Methods (Copper Mountain, CO, USA, March 24-28, 2019)

〔発表 19〕 N. Nomura, K. Nakajima, M. Kawai and A. Fujii, The Analysis of SA-AMG Method by Applying Hybrid MPI/OpenMP Parallelization on Cluster Supercomputer System, 19th Copper Mountain Conference on Multigrid Methods (Copper Mountain, CO, USA, March 24-28, 2019)

特記事項

〔特記 1〕並列計算プログラミング, 先端計算機演習, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18e/

〔特記 2〕科学技術計算 Ⅰ・Ⅱ, 東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18w/

〔特記 3〕コンピュータ科学特別講義 Ⅰ・Ⅱ, 東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18w/

〔特記 4〕スレッド並列コンピューティング, ハイブリッド分散並列コンピューティング, 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18w/

〔特記 5〕東京大学情報基盤センター, お試しアカウント付き並列プログラミング講習会, https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/

〔特記 6〕Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems, NCTS Summer School 2018 for Scientific Computing on Supercomputers, National Taiwan University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2018S/

〔特記 7〕Parallel Finite Element Method using Supercomputer, Seoul National University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/SNU2019Jan/

〔特記 8〕Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters, Short Course for Scientific Computing (SC4SC 2019), National Taiwan University, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2019/

〔特記 9〕計算科学アライアンス, http://www.compsci-alliance.jp/

〔特記 10〕2018 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点共同研究課題「Innovative Multigrid Methods」, https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/abstract.php?ID=jh180022-NAHI

〔特記 11〕2018 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点共同研究課題「高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用：Large-scale Simulations by Advanced Numerical Methods with High-Performance/Adaptive-Precision/High-Reliability」, https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/abstract.php?ID=jh180023-NAH

〔特記 12〕2018 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点共同研究課題「Physiologically realistic study of subcellular calcium dynamics with nanometer resolution」, https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/abstract.php?ID=jh180024-MDJ

〔特記 13〕日本計算工学会, 代表会員

〔特記 14〕日本応用数理学会, 代表会員

〔特記 15〕General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

〔特記 16〕Member of Program Committee (System Software), 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018)　(Vancouver, Canada, 2018.5)

〔特記 17〕セッションオーガナイザ, 日本計算工学会第 23 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」(名古屋, 2018.6)

〔特記 18〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2018) (Wuxi, China, 2018.6)

〔特記 19〕Member of Program Committee, 8th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2018) in conjunction with ICCS 2018 (Wuxi, China, 2018.6)

〔特記 20〕Member of Research Paper Committee, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

〔特記 21〕Vice-Chair, HPC in Asia 2018, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

〔特記 22〕Member of Program Committee, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018)（Eugene, OR, USA, 2018.8）

〔特記 23〕Posters Chair, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018)（Eugene, OR, USA, 2018.8）

〔特記 24〕Member of Scientific Committee, 13th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2018) (Sao Paolo, Brazil, 2018.9)

〔特記 25〕Member of Posters Committee, 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）

〔特記 26〕Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2018 (PMES18) in conjunction with 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）

〔特記 27〕Co-organizer of BoF, 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）

〔特記 28〕Co-organizer of Mini-Symposium, 2019 SIAM Conference on Computational Science & Engineering (SIAM CSE19): Progress and Challenges in Extreme Scale Computing and Data (Spokane, WA, USA, 2019.2)

〔特記 29〕Member of Program Committee (System Software), 33rd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2019) (Rio De Janeiro, Brazil, 2019.5)

〔特記 30〕セッションオーガナイザ，日本計算工学会第 24 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」（大宮, 2019.6）

〔特記 31〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2019) (Faro, Algarve, Portugal, 2019.6)

〔特記 32〕Member of Program Committee, 9th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2019) in conjunction with ICCS 2019 (Faro, Algarve, Portugal, 2019.6)

〔特記 33〕Member of Research Paper Committee, ISC High Performance 2019 (Frankfurt, 2019.6)

〔特記 34〕Chair, HPC in Asia 2019, ISC High Performance 2019 (Frankfurt, 2019.6)

〔特記 35〕Co-Chair, Program Committee, The 48th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2019), (Kyoto, 2019.8)

〔特記 36〕Member of Program Committee, ParCo2019 (Parallel Computing Conference), (Prague, Czech Republic, 2019.9)

〔特記 37〕Co-organizer of Mini-Symposium, 2019 Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM 2019), Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing & Big Data (Taipei, Taiwan, 2019.12)

〔特記 38〕Member of Scientific Committee, 2020 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP20) (Seattle, WA, USA, 2019.2)

〔特記 39〕Member of Organizing Committee, 3rd International Conference on. Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (Kobe, Japan, 2020.3)

引用文献

〔引用 1〕https://github.com/Post-Peta-Crest/ppOpenHPC

〔引用 2〕S. Mittal, A Survey of Techniques for Approximate Computing, ACM CSUR 48-4, 2016

〔引用 3〕Kreutzer, M., Hager, G., Wellein, G., Fehske, H. and Bishop, A.R.: A unified sparse matrix data format for efficient general sparse matrix-vector multiplication on modern processors with wide SIMD units. SIAM Journal on Scientific Computing 36-5（2014）C401–C423

〔引用 4〕星野哲也，大島聡史，塙敏博，中島研吾，伊田明弘，OpenACC を用いた ICCG 法ソルバーの Pascal GPU における性能評価，情報処理学会研究報告（2017-HPC-158-18），日本情報処理学会第 158 回 HPC 研究会，2017

Oakforest-PACS システムにおける大規模深層学習に関する研究

塙 敏博

1 概要

2018 年度は、主に以下の研究および業務を行った。

1.1 FPGA と GPU による複合型高性能計算プラットフォーム

GPU を用いた高性能計算システムが広く用いられている一方、FPGA(Field Programmable Gate Array) はクラウド上で AI などの応用に使われ始めている。次世代の高性能計算 (HPC) システムに向けた究極のコ・デザインに向けて、GPU や CPU では性能不足となる処理の FPGA オフローディングと、高速通信を組み合わせた新しい FPGA の利用方法を提案し、具体的な実アプリケーションを適用することにより、 次世代の統合的演算加速並列システムの枠組みを構築することで、その有効性を実証する。

この研究の一部は、科学研究費基盤研究 (B) 「再構成可能システムと GPU による複合型高性能計算プラットフォーム」（研究代表者：朴 泰祐・筑波大教授）、科学研究費基盤研究 (C)「密結合演算加速機構による通信と演算の融合に関する研究」（研究代表者：塙 敏博）による。これらの研究における FPGA 環境の利用は、Intel 社 Hardware Accelerator Research Program (HARP) および University Program、 Xilinx 社 University Program の支援による。

本研究については 2 章で詳しく述べる。

1.2 大規模環境に対応するディープラーニングフレームワークに関する研究

ディープラーニングフレームワーク Chainer-MN について、Reedbush システムおよび Oakforest-PACS システムにおいて実現、性能評価を実施している。なお、これらの研究の一部は、JHPCN「Deep Learning を用いた医用画像診断支援に関する研究」(jh180073-DAH) による。

- Deep Learning を用いた高性能なコンピュータ支援検出（CAD）の開発を行うことを目的とする。具体的には、パラメータ自動探索を用いた Deep Learning 学習方法を Reedbush システム上にて構築する。その構築した環境下で脳動脈瘤検出、頭部疾患（脳梗塞、脳出血など）検出、肝臓結節性病変検出などの複数の CAD の開発を実施している [査読付 3]。

- Oakforest-PACS システムにおいて、Chainer-MN を用いた大規模・高速なディープラーニング環境の実現に向けて、実装、評価を実施した [発表 3, 発表 7]。本研究については、3 章で詳しく述べる。

1.3 最先端共同 HPC 基盤施設 (JCAHPC: Joint Center for Advanced High Performance Computing) における Oakforest-PACS システム、KNL を用いた性能評価

筑波大学計算科学研究センターと共同で、柏キャンパスの情報基盤センター内に設置する Oakforest-PACS システム運用について、特に IME 関連や McKernel 関連の運用について、中心的に議論や調整などを行った [特記 24]。また、原子核物理の研究者に向けた OFP の紹介記事 [招待 2] や、最新 HPC

システムに関して紹介する書籍の該当ページ [著書 2] を執筆した。さらに、Oakforest-PACS システムにおける MPI や IO 性能に関して、MVAPICH ユーザ会において講演を行った [招待 1]。

一方、マルチグリッド法で用いられるグリッド前処理付き並列 CG ソル バーを実行する際のファイルを介した並列メッシュ生成プロセスの性能改善について検討した。マルチグリッド法のメッシュ生成プロセスにおいて、並列メッシュ生成プログラムにより作成したメッシュデータ ファイルをソルバーが読み込んで動作するが、計算時間に比べてファイル入出力時間がボトルネックになっていた。そこでファイル入出力を MPI-IO に置き換え、バッファリングを適切に行うことで、最大 243 倍の性能向上を得た。またバーストバッファ技術を用いたファイルキャッシュによる性能改善も試みた [査読付 8]。なおこの研究の一部は、JHPCN “Innovative Multigrid Method” (jh180022-NAHI) による。

その他、以下のような研究を実施した（詳細は各筆頭著者を参照のこと）。

- KNL において wide-SIMD の効果を引き出すソフトウェアの実装方法について検討した [査読付 2]。

2 再構成可能システムと GPU による複合型高性能計算プラットフォーム

近年、GPU (Graphics Processing Unit) を汎用数値処理に用いたスーパーコンピュータが注目されている。しかしながら、超並列 GPU クラスタでは、条件分岐等がない大量の単純並列性が要求されるため、アプリケーションの範囲が限定されること、さらに計算ノードを跨る複数の GPU 間ではその通信性能が大きなボトルネックとなり、特に strong scaling の並列化効率が悪いという問題がある。2017 年度まで実施された JST-CREST 研究課題「ポストペタスケール時代に向けた演算加速機構・通信機構統合環境の研究開発」においては、計算ノードを跨る GPU 間直接通信を実現するコンセプトとして TCA (Tightly Coupled Accelerators) を提唱し、高性能 FPGA を用いた PEACH2/3 (PCI Express Adaptive Communication Hub ver.2/3) チップを開発した。さらに実験用クラスタ HA-PACS/TCA (筑波大学計算科学研究センターに設置) にこれを適用し、GPU 間低レイテンシ通信システムの開発に成功した。さらに XcalableACC 言語によって、アプリケーションに対し容易に TCA と InfiniBand の両者の通信を組み合わせて適用することができる [査読付 7]。これらの研究の結果、さらなる高速性のために、FPGA にも演算をオフロードし通信機能と連携することで演算通信の融合を行う AiS (Accelerator in Switch) という概念を提唱した。

本研究ではこの AiS コンセプトを、実アプリケーションを対象として実証し、次世代の複合型演算加速スーパーコンピュータを構築する基盤技術を研究開発する。このような GPU と FPGA の連携計算、さらに演算と通信の融合処理は、近年の HPC システム開発で重要な co-design のコンセプトの究極形と言える。アルゴリズムの持つ並列性やパイプライン的処理の特性に基づき、GPU と FPGA を適材適所に利用し、FPGA 間直接通信網による低遅延通信を活かして高い演算性能を実現する。

本研究では、並列システムの各ノードに GPU と FPGA を混載し、GPU プログラミングと FPGA プログラミングを連携させ、さらに計算ノードをまたぐ並列 GPU 間通信を FPGA が効率的に行うハードウェア的枠組みと、それらをユーザから出来る限り隠蔽し、アプリケーション開発を加速させるシステムソフトウェアを開発する。GPU と FPGA の結合は現時点では PCIe が主であるが、FPGA に部分的にオフロードされた処理においては、FPGA による直接高速通信を活かすことができ、またハードウェア化された CPU よりも効率的に GPU・FPGA 間のデータ移動を実現する。

これまで、演算加速機構と通信機構の統合に向けて、数値アルゴリズムの一部を FPGA にオフローディングするため OpenCL を用いて実装し、FPGA 評価ボードを用いて評価した。主に階層型行列演算 ($\mathcal{H}$-matrix) のアルゴリズムの一部を対象にし、FPGA の実装について検討したが、ハードウェアの性能を引き出すためには、特性に合わせて様々な実装上の工夫をする必要がある。

Intel 社 FPGA の環境として、これまで用いてきた Arria10 搭載評価ボードが対応している開発環境に問題があり、OpenCL 記述から FPGA 回路に論理合成する際にエラーとなるケースが多発し、継続使用を断念した。新しい世代の製品が入手可能になったため、HBM2 メモリを統合した Stratix10MX 搭載

ボードを入手し評価を行っている。また、Intel 社の vLab クラスタを用いて、上記とは異なる Arria10 搭載ボードや Intel Xeon と FPGA を QPI (QuickPath Interconnect) で接続された環境が使えるようになった。

また新たに Xilinx 社の FPGA として Virtex Ultrascale+搭載ボードを入手し、評価を実施している。このボードでは、従来の PCIe Gen3 に加えて、PCIe Gen4, CAPI 2.0, OpenCAPI 3.0 など最新のインタフェースに対応している。QPI, CAPI, OpenCAPI による接続は、従来の PCIe とは異なりキャッシュコヒーレントなプロトコルであるため、これまでの FPGA の利用方法とは大きく異なり、より軽量なオフロードが可能になると考えられる。また、GPU との間でのデータ転送では、PCIe の IO 空間を使って DMA 転送していたものが、メモリコピーだけで済むようになり、処理が単純化できる。

3 Oakforest-PACS システムにおける大規模深層学習に関する研究

3.1 背景

深層学習 (DL) ではこれまで、教師データからのトレーニングには主に GPU が使われてきたが、依然として非常に長い時間を要する。近年は GPU を多数用いて分散学習を行うことによって高速化を図る試みが多数行われているが、GPU ではオンボードのメモリ容量が限られており、複雑なモデルや大きなデータセットを扱う際には、モデルを分割して並列化を行うなど、対応が困難になってくる。

そこで、GPU よりはるかに大きなメモリ容量が利用可能なメニーコアプロセッサを用いて DL のトレーニングを行うことで、効率の良い大規模 DL が実現可能であると考えられる。メニーコアプロセッサである Intel Xeon Phi (Knights Landing) では、AVX512 の SIMD ユニットによって GPU 同様に効率よく計算でき、MPI 通信についても GPU と異なり直接通信を発行できるためオーバーヘッドが小さくできる。

本研究では、DL フレームワークとして Preferred Networks Inc. によって開発されている Chainer およびマルチノード用の拡張プラグインである ChainerMN を対象とする。

3.2 予備性能評価

評価環境を表 1 に示す。Python は Intel 社が提供する Intel Distributed for Python を使用した。これは従来の Python とは異なり、科学技術計算用モジュールである Numpy や Scipy において Intel Xeon Phi 向けに最適化された MKL-DNN ライブラリを使用できる。また、Chainer は v5.0.0 を用いた。Intel Deep Learning Package (iDeep) に対応し，Intel CPU での学習及び推論の高速化が実現され、内部で OpenMP によるスレッド並列が実現されている。DL トレーニングのデータセットには ImageNet を用い、モデルは ResNet-50 を使用した。詳細を 2 に示す。

表 1: 評価環境

Platform	Oakforest-PACS
CPU	Intel Xeon Phi
Memory Mode	Cache
Memory capacity	96 GB
Intel Python	3.6.3
Intel MPI	2018.1.163
MPI4py	3.0.0
Chainer	5.0.0
iDeep4py	2.0.0

表 2: ImageNet データセットにおける設定

Training Data	1,281,167
Validation Data	50,000
Classification	1,000
Batch Size	32

ノード当たりでの最適なプロセス数とスレッド数を調査した結果、ノード当たりのプロセス数は 1、スレッド数は 64 が最適であることが分かった [発表 3]。OpenMP によるマルチスレッド並列に加えて，MPI によるマルチプロセスを組み合わせたハイブリッド並列の結果を示す。

図 1 に ChainerMN の 1 イタレーションの処理、図 2 に 1 イタレーション当たりの実行時間とその内訳を示す。Weak scaling であるため、ノード数が増加

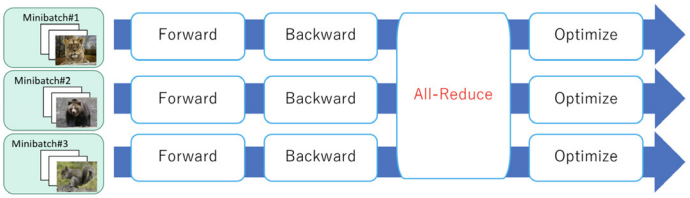


図 1: ChainerMN における学習プロセス

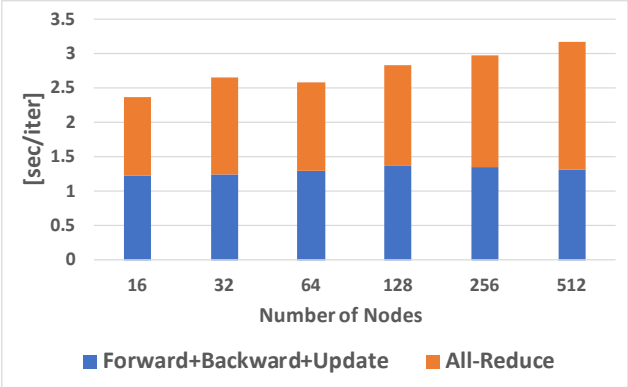


図 2: イタレーションあたりの学習速度と通信速度

しても計算が主体である Forward, Backward, Update(Optimize) は本質的に増加しないが、Backward 処理の後に通信によって AllReduce による勾配の集約処理が大きくなっている。

3.3 AllReduce の改善と評価

分析の結果、AllReduce による集約処理だけではなく、ベクトル長が大きいため平均を求める処理時間が大きいことがわかった [発表 7]。そこで、文献 [1] で用いられている 2D-Torus All- Reduce を応用して、One-sided 通信を組み込むことで高速化を図った。この方法では、全プロセスを 2 次元に配置し直し、以下の処理を行う。

1. Reduce-Scatter により、ベクトルを同一行のプロセス間で交換・集約
2. 同一列のプロセス間で AllReduce
3. 同一行のプロセス間で AllGather

このとき、平均処理を行うための除算（実際には逆数の乗算）は 2 と 3 の間で全プロセスで並列に行うことができる。

ここではさらに、3 の AllGather を One-Sided 通信によって実現した。水平方向に並んだ 4 プロセスにおける One-Sided 通信の例を図 3 に示す.

実装した結果、プロセス数は 256 で固定して AllReduce のみを用いた場合と比較評価を行った。M と N の比を変化させた時の通信時間の変化を評価した．まずは各グリッドの形状における 1 イテレーションあたりの通信時間を図 4 に示す。従来手法の All-Reduce のみを用いた結果と、水平方向のプロセス数を M，垂直方向のプロセス数を N とした本実装を示した。

いずれのグリッドの形状においても従来手法と比較して 1.8 倍から 2.0 倍の高速化を達成した。Reduce-Scatter によってメッセージを分割することで All-Reduce の通信や平均を求めるための除算処理のコスト $1/M$ に削減したことと、Put 処理によるキャッシュの利用効率の改善が考えられる。

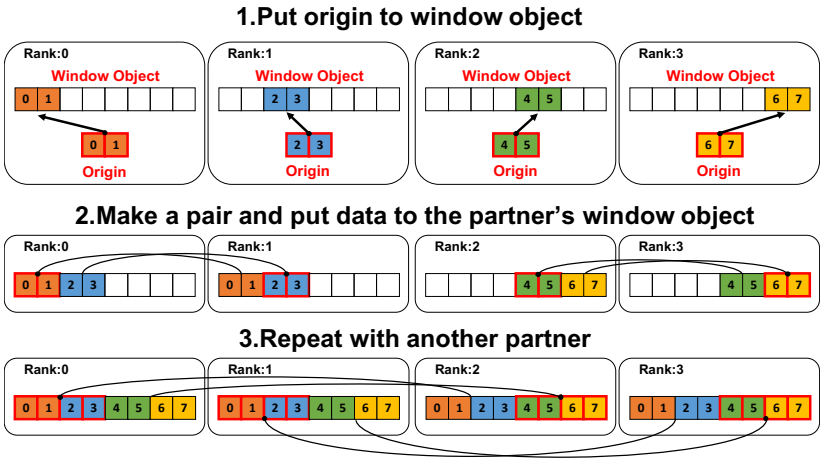


図 3: One-Sided 通信による All-Gather 実装

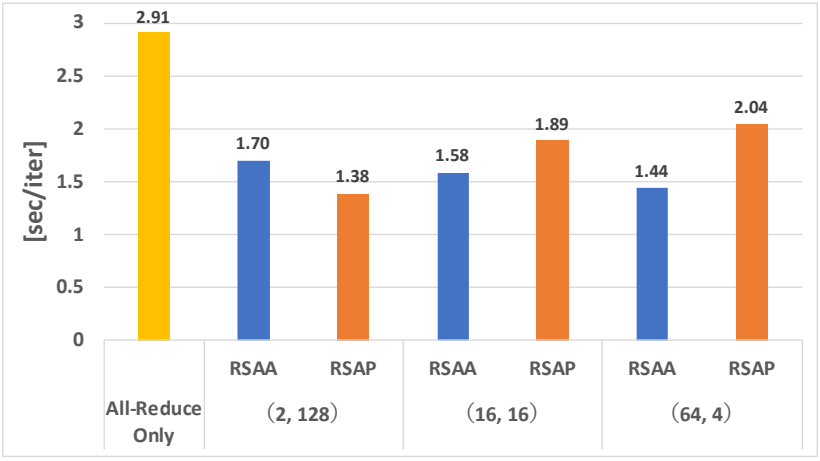


図 4: 各グリッドの形状における各アルゴリズムの 1 イテレーションあたり通信時間

3.4 今後の課題

本研究では、ResNet-50 による ImageNet で評価を行ったが、比較的サイズが小さいメッセージを多く通信するモデルであることから One-Sided 通信による大きな効果は得られなかった。したがって、RNN を用いた Encoder-Decoder モデル等における評価を実施することでその有用性を確認する。また、本稿においては 2D-Torus All-Reduce における All-Gather を Put 関数によって高速化を実現したが、Reduce-Scatter に関しても Accumulate 関数によって同様の機能を実現できるため、可能な限り Collective 通信を使わずに One-Sided 通信を使うことで更なる高速化を図っていく予定である。

4 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) の運用業務

HPCI 連携サービス運営・作業部会メンバーとして、HPCI 連携サービス運営業務を行った。

また、柏キャンパス第 2 総合研究棟 1 階に設置されている HPCI 共用ストレージ東拠点の運用を行なった。2018 年度はこれまでに引き続き、既存のストレージシステムの容量追加と構成変更、および SINET5 との 100 Gbps 接続構成変更、IP アドレスおよびドメイン名変更を実施した。

西拠点との連携を強化した結果、年間の稼働率として 99.2%以上を達成し、ほぼ無停止でサービスを継続することができた。

5 HPC 教育

5.1 スパコンプログラミング (1)(I) (工学部・大学院工学系研究科共通科目)

工学部および大学院工学系研究科の共通科目「スパコンプログラミング (1) および (I)」を通年科目 (S セメスター、A セメスター共通) として、2016 年度から引き続いて開講している。後期教養教育科目にも登録されており、工学部や大学院工学系研究科 以外の学生も数多く受講している。また、2017 年度より計算科学アライアンスに認定されている。Oakforest-PACS を用いて、並列処理の基本的な概念を学ぶとともに MPI の基礎的な使い方を演習により習得する。教材としては、行列-ベクトル積、べき乗法 (行列-ベクトル積を応用した固有値・固有ベクトルの初等的な数値計算法)、行列-行列積、LU 分解法の 4 種類を用いた。

5.2 お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

2018 年度は以下のお試しアカウント付き並列プログラミング講習会について担当した。

- 「KNL 実践」第 102 回 (7/10)・第 112 回 (2/13)

  Oakforest-PACS で採用されている KNL についての特徴と、その上で OpenMP や MPI を使用したプログラムを最適に実行する方法について実習を行った。本年度より、半日での開催に短縮した。

- 「MPI 基礎」 第 98 回 (4/26)・第 105 回 (10/18: 三木助教が主に担当)

  並列プログラミング初心者を対象に、MPI を使った並列プログラミングについて実習を行なった。本年度より、1 日での開催に短縮した。今後は主に三木助教に担当してもらうことにしている。

- 「MPI 上級」 第 106 回 (10/29)

  MPI 基礎などでは触れられなかった、MPI 3.1 などで利用できる高度な MPI 関数について解説し、Oakforest-PACS を用いて演習を行った。本年度より、1 日での開催に短縮した。

6 施設見学

2018 年度は、海外から 2 件、国内は 1 件の来訪者について、施設の概要説明および案内を行った（キャンパス一般公開は除く）。詳細は、「来訪者の状況」を参照されたい。

7 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Toshihiro Hanawa: Towards Efficient Commucation and I/O on Oakforest-PACS: Large-scale KNL+OPA Cluster, 6th Annual MVAPICH User Group, Ohio Supercomputer Center, Aug. 2018.

[招待 2] 塙 敏博: JCAHPC のスパコン Oakforest-PACS システム, 原子核研究, Vol. 63, No. 1, pp. 102–113, 2018 年 10 月.

査読付論文

[査読付 1] T. Suzuki, S. Kim, J. Kani, T. Hanawa, K. Suzuki and A. Otaka: Demonstration of 10-Gbps Real-Time Reed - Solomon Decoding Using GPU Direct Transfer and Kernel Scheduling for Flexible Access Systems, in Journal of Lightwave Technology, Vol. 36, No. 10, pp. 1875–1881, May, 2018.

[査読付 2] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, Toshihiro Hanawa, and Kengo Nakajima: Design of Parallel BEM Analyses Framework for SIMD Processors, International Conference on Computational Science (ICCS 2018), June 2018.

[査読付 3] Y. Nomura, I. Sato, T. Hanawa, S. Hanaoka, T. Nakao, T. Takenaga, D. Sato, T. Hoshino, Y. Sekiya, S. Ohshima, N. Hayashi, O. Abe, Preliminary development of training environment for deep learning on supercomputer system, 32nd International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology (CARS 2018), pp. S-105–106, June 2018.

[査読付 4] Eishi Arima, Toshihiro Hanawa, and Martin Schulz: Toward Footprint-Aware Power Shifting for Hybrid Memory Based Systems, Intl. Conf. on Parallel Processing, Poster Session, 2 pages, Aug. 2018.

[査読付 5] T. Hoshino, A. Ida, T. Hanawa and K. Nakajima, Load-Balancing-Aware Parallel Algorithms of H-Matrices with Adaptive Cross Approximation for GPUs, in 2018 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), Belfast, United Kingdom, pp. 35-45., Sep., 2018

[査読付 6] Takahiro Suzuki, Sang-Yuep Kim, Jun-ichi Kani, Akihiro Otaka, and Toshihiro Hanawa: 10-Gb/s Software Implementation of Burst-Frame Synchronization Using Array-Access Bitshift and Dual-Stage Detection for Flexible Access Systems, in Journal of Lightwave Technology, Vol. 36, No. 23, pp. 5656–5662, Dec. 2018

[査読付 7] Masahiro Nakao, Tetsuya Odajima, Hitoshi Murai, Akihiro Tabuchi, Norihisa Fujita, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku, and Mitsuhisa Sato. “Evaluation of XcalableACC with Tightly Coupled Accelerators/InfiniBand Hybrid Communication on Accelerated Cluster.” The International Journal of High Performance Computing Applications, Jan. 2019.

[査読付 8] Toshihiro Hanawa and Kengo Nakajima: Optimization of parallel mesh generation via file for multigrid method, Intel eXtreme Performance Users Group (IXPUG) Asia Workshop in conjunction with HPC Asia 2019, Jan. 2019.

[査読付 9] T. Boku, R. Kobayashi, N. Fujita, H. Amano, K. Sano, T. Hanawa and Y. Yamaguchi: Cygnus: A Multi-Hybrid Supercomputing Platform with GPUs and FPGAs, Intl. Supercomputing Conference (ISC’19) Project poster, Jun. 2019 (accepted)

[査読付 10] Y. Nomura, T. Hanawa, I. Sato, S. Hanaoka, T. Nakao, M. Murata, T. Takenaga, T. Hoshino, Y. Sekiya, N. Hayashi, and O. Abe: Development of training environment for deep learning with medical images on supercomputer system based on asynchronous parallel Bayesian optimization, Intl. Supercomputing Conf. (ISC’19) Research poster, Jun. 2019 (accepted)

著書／編集

[著書 1] T. Boku, T. Hanawa, H. Murai, M. Nakao, Y. Miki, H. Amano, and M. Umemura: GPU-Accelerated Language and Communication Support by FPGA, in the book of Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing, The Japanese Post-Peta CREST Research Project, Springer, 2019

[著書 2] T. Boku, O. Tatebe, D. Takahashi, K. Yabana, Y. Hirokawa, M. Umemura, T. Hanawa, K. Nakajima, H. Nakamura, T. Ichimura, K. Fujita, Y. Ishikawa, M. Sato, B. Gerofi, and M. Takagi: Oakforest-PACS: Advanced KNL Cluster System, in the book of Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale, Volume 3, CRC Press, May. 2019 (TBA)

特許申請／取得

[特許 1] 塙　敏博, 柴田　直剛, 木村　英明, 可児　淳一: 通信装置、通信方法、及びプログラム, 特許 6338152, 特許登録, 2018 年 6 月 6 日

その他の発表論文

[発表 1] 有間英志, 塙敏博: ハイブリッドメモリを搭載するシステムにおけるデータサイズを考慮した電力制御, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018 - HPC - 164, No. 8, pp. 1–7, 2018 年 4 月

[発表 2] 中尾昌広, 小田嶋哲哉, 村井均, 田渕晶大, 藤田典久, 塙敏博, 朴泰祐, 佐藤三久: Tightly Coupled Accelerators/InfiniBand ハイブリッド通信を用いたアクセラレータクラスタ用並列言語 XcalableACC の評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018 - HPC - 164, No. 9, pp. 1–13, 2018 年 4 月

[発表 3] 田村 紘平, 塙 敏博: 大規模メニーコアシステム Oakforest-PACS におけるディープラーニングの性能評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-HPC-165, No. 3, pp. 1–6, 2018 年 7 月

[発表 4] Toshihiro Hanawa: Advanced Cyberinfrastructure Platform Design, Bigdata and Extreme-scale Computing 2 (BDEC2) Workshop, Indiana University, Nov. 2018.

[発表 5] 塙 敏博, 中島 研吾: マルチグリッド法におけるファイルを介したメッシュ生成プロセスの高速化, 情報処理学会研究報告, Vol. 2018-HPC-167, No. 3, pp. 1–6, 2018 年 12 月

[発表 6] Toshihiro Hanawa: Optimization of Parallel Mesh Generation via File for Multigrid Method, The 39th ASE Seminar, Information Technology Center, The University of Tokyo, Jan. 2019

[発表 7] 田村 紘平, 塙 敏博: 大規模メニーコアシステム Oakforest-PACS におけるディープラーニングの通信性能改善, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-HPC-168, No. 26, pp. 1–8, 2019 年 2 月

特記事項

[特記 1] 塙 敏博: Chainer MN を用いた深層学習の性能評価, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 3, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 5 月

[特記 2] 塙 敏博: 東京大学工学部・工学系研究科共通科目「スパコンプログラミング (1) および (I)」実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 3, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 5 月

[特記 3] 塙 敏博: 第 94 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「KNL 実践」実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 3, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 5 月

[特記 4] Balazs Gerofi, 高木 将通, 石川 裕, 中島 研吾, 塙 敏博, 朴 泰祐: Oakforest-PACS 上での IHK/McKernel の評価, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 4, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 7 月

[特記 5] 塙 敏博: 第 98 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎 : 並列プログラミング入門」実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 4, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 7 月

[特記 6] 塙 敏博: 第 35 回 ASE 研究会実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 4, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 7 月

[特記 7] 塙 敏博: 山形大学大学院理工学研究科「情報科学特論」「応用生命システム工学特論」における「高性能コンピューティング概論」報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 5, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 9 月

[特記 8] 塙 敏博: 第 102 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「KNL 実践」実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 20, No. 5, 東京大学情報基盤センター, 2018 年 9 月

[特記 9] 塙 敏博: 大学院工学系研究科電気系工学専攻修士実験 MPI による並列プログラミング入門, スーパーコンピューティングニュース Vol. 21, No. 1, 東京大学情報基盤センター, 2019 年 1 月

[特記 10] 塙 敏博: 大学院工学系研究科電気系工学専攻修士実験第 106 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習「MPI 上級」実施報告, スーパーコンピューティングニュース Vol. 21, No. 1, 東京大学情報基盤センター, 2019 年 1 月

[特記 11] 塙 敏博: 東京大学工学部・工学系研究科共通科目「スパコンプログラミング (1) および (I)」, スーパーコンピューティングニュース Vol. 21, No. 2, 東京大学情報基盤センター, 2019 年 3 月

[特記 12] IEICE 査読委員, 2018

[特記 13] Member of Program Committee, The 9th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2018

[特記 14] Member of Program Committee, The 16th International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2018

[特記 15] Member of Program Committee, 12th International Symposium on Embedded Multicore/Manycore Systems-on-Chip (MCSoC-18), 2018

[特記 16] Member of Program Committee (Experiments), 33rd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2019)

[特記 17] Member of Research Poster Committee, ISC 2019

[特記 18] Finance Chair, 49th International Conference on Parallel Processing, (ICPP), 2019

[特記 19] Digital Life 編集長, Vol. 31, Vol. 32, 2018

[特記 20] 情報処理学会 HPC 研究会運営委員

[特記 21] 情報処理学会 ACS 論文誌編集委員 (2019 年 4 月–)

[特記 22] HPCI 連携サービス運営作業部会委員

[特記 23] HPCI 共用ストレージ運用部会委員

[特記 24] 最先端共同 HPC 基盤施設運営委員, 運用支援部門長 (2019 年 4 月–)

[特記 25] 山形大学大学院理工学研究科「情報科学特論」「応用生命システム工学特論」非常勤講師

参考文献

[1] Mikami, Hiroaki, Hisahiro Suganuma et al: “ImageNet/ResNet-50 Training in 224 Seconds”, arXiv preprint arXiv:1811.05233, 2018

高精細計算を実現するAMR法フレームワークに関する研究

下川辺 隆史

1 概要

高精細計算を実現する適合細分化格子 (Adaptive mesh refinement, AMR) 法の導入をアプリケーションユーザが簡便に行うためのアプリケーション開発フレームワークの構築に関する研究を行った。また、共同研究として、GPU 計算を材料科学計算、気流計算および天文観測のデータ処理へ適用する研究を進めた。超小型人工衛星上で姿勢を決定するために用いられるスタートラッカーの開発に携わった。また、「若手・女性利用者推薦」制度の実施を中心に、本センターのスーパーコンピュータの運用に携わり、高性能計算分野の普及活動を行った。

- 高精細計算を実現する適合細分化格子法に対応したフレームワークの構築

  格子に基づいたシミュレーションでは、広大な計算領域の場所によって求められる精度が異なる問題に有効な手法が要求されてきている。GPU 計算では、GPU が得意なステンシル計算を活用しながら、高精度が必要な領域を局所的に高精細にできる適合細分化格子（AMR）法が有効である。本研究では、ステンシル計算フレームワークを基盤に、複数 GPU に対応した AMR 法フレームワークを構築を進めた [発表 1, 発表 2, 発表 3, 発表 12]。これを用いた高精細な 3 次元の圧縮性流体計算に成功した [査読付 1]。また、2 次元の圧縮性計算の結果で、第 23 回計算工学講演会 グラフィックスアワード特別賞 2 賞を受賞した [受賞 1, 受賞 2]。詳細は 2 章で述べる。

- GPU 計算の材料科学計算および気流計算への応用

  共同研究として、数値計算分野では、GPU を搭載したスーパーコンピュータで材料科学計算を高速に計算する研究を実施した [査読付 3]。これは、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) 課題「データ同化による粒界異方性物性データベースの構築と大規模フェーズフィールド粒成長計算」(研究代表者：京都工芸繊維大学 高木知弘) の一環として実施した。また、GPU および AMR を導入した気流計算の研究を実施した [査読付 2, 発表 5, 発表 8]。これは、JHPCN 課題「格子ボルツマン法による都市街区を対象とした物質拡散シミュレーション」(研究代表者：日本原子力研究開発機構 小野寺直幸) の一部として実施した。

- GPU 計算の天文観測データ処理への応用および超小型人工衛星用のスタートラッカーの開発

  GPU による低消費電力で高速な計算を天文観測およびデータ処理へ適用する研究の一環として、小型人工衛星上で天体の位置から視野方向を決定するスタートラッカの開発を行った [発表 4, 発表 9]。開発したスタートラッカーは、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の革新的衛星技術実証プログラムの初の実証機会となる革新的衛星技術実証 1 号機の小型実証衛星 1 号機（RAPIS-1）に搭載され、2019 年 1 月 18 日に打ち上げられた。JSPS 国際共同研究教育パートナーシッププログラム「PIRE GROWTH:突発天体現象監視のための地球全周リレー天文台」（研究代表者：東京工業大学 河合誠之）の一部として、GPU による望遠鏡撮像画像の高速処理について検討を進めた [発表 6, 発表 7, 発表 10, 発表 11]。

- 「若手・女性利用者推薦」制度の実施

  本センターでは、若手研究者（40 歳以下、学生を含む）及び女性研究者（年齢は問わない）による、スーパーコンピュータ、大規模ネットワーク機器などの大型計算資源を使用した研究を対象とした公募型プロジェクトを実施している。本年度の本制度の実施を担当した [特記 11]。昨年度に引き続き、本制度を利用して得られた成果を発表する場として成果報告会を開催した [特記 12, 特記 13]。また、平成 29 年度後期採択課題の成果報告をスーパーコンピューティングニュース特集号としてまとめ、出版した [特記 14]。

- 並列プログラミング講習会の実施および高性能計算分野の普及活動

  スーパーコンピューティング部門では、スパコンを利用した一般ユーザ向けの「お試しアカウント付き並列プログラミング講習会」を実施している。本年度は、GPU 搭載スパコンで大規模な数値計算を実現するために必須となるマルチ GPU プログラミングに関する講習会の講師を担当した [特記 16]。また、GPU を搭載した Reedbush スーパーコンピュータにおける機械学習やディープラーニング（深層学習）などを用いたデータ科学分野による利用を促進するため、エヌビディア合同会社の協力のもと、GPU を使用したディープラーニング入門の講習会を開催した [特記 15]。初めての試みとして、参加者がディープラーニングのモデルおよびデータセットを持ち込み、マルチ GPU、マルチノードでの分散学習を実践するディープラーニング分散学習ハッカソンを開催した [特記 17]。高性能計算分野の大きな国際会議である SC18 の参加報告を投稿した [特記 10]。

- スーパーコンピュータの運用・調達、HPCI 運用業務

  Oakforst-PACS, Reedbush などのスーパーコンピュータの運用および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 (HPCI) の運用に携わった。データプラットフォーム構想では、この推進のために、ユーザへのヒアリングを行い、設計するシステムへのフィードバックを行った。

以降では、「高精細計算を実現する AMR 法フレームワーク」について、その概要を述べる。

2 高精細計算を実現する AMR 法フレームワーク

2.1 背景

近年、大規模 GPU 計算が可能となり、広大な計算領域の場所によって求められる精度が異なる問題に有効な手法が要求されている。GPU 計算では、 GPU が得意なステンシル計算を活用しながら、高精度が必要な領域を局所的に高精細にできる適合細分化格子法 (Adaptive Mesh Refinement, AMR) が有効である。しかしながら、大規模 GPU アプリケーションは、開発コストが高いだけでなく、CPU では動作せず、生産性や保守性が低い。さらに実装が複雑となる AMR 法を導入した GPU アプリケーションの開発コストは極めて高い。

本研究では、このような問題を解決し、高い抽象度により生産性 を向上させるため、これまでの研究で開発したステンシル計算用のフレームワークを発展させ、AMR 法に必要なデータ構造や計算機構を開発し、GPU を搭載した GPU スパコンに向けた AMR 法フレームワークの構築を進めた。

2.2 内容

本研究では、これまでに開発したステンシル計算フレームワークを拡張する形で、AMR 法フレームワークの構築を進めた。本フレームワー クでは、直交格子上にブロック領域を定義し、その領域内を再帰的に細分化するブロック AMR 法を用いる。ブロック AMR 法では、計算領域内に様々な解像度のブロックが存在するが、ユーザは単一解像度の格子点上での計算についてのみ記述する。フレームワークは、格子全体の処理、解像度の変更、解像度の異なるブロック間での袖領域のデータ交換など

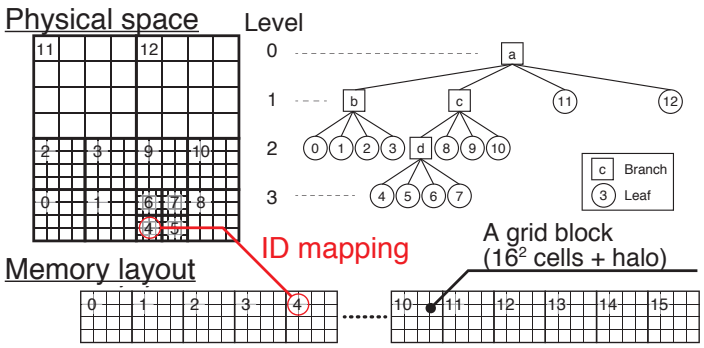


図 1: 多数の格子の木構造による物理空間配置とメモリ空間配置

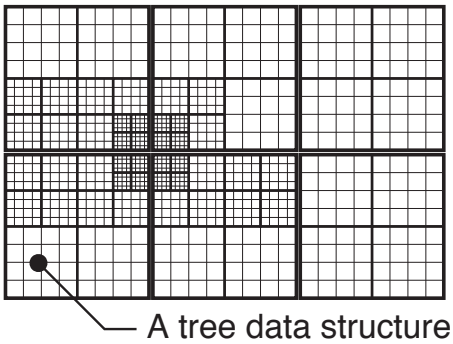


図 2: 複数の木構造によるデータ構造

を行う関数群やクラス群を提供する。これによって高い生産性を実現する。本フレームワークは、これに加えて、AMR 計算で必須となる動的負荷分散を実現するデータ移行を支援する。評価実験では、3 次精度風上手法を用いた圧縮性流体計算に提案フレームワークを適用することで、均一な直交格子を用いた計算と比較して、最大で 15%の計算時間で、10%のメモリ使用量で計算することに成功した。東京工業大学の TSUBAME3.0 スパコンを用いた弱スケーリングでは、84%の並列化効率を達成した。

2.3 具体的成果

本研究では、AMR を導入したアプリケーションを簡便に開発することができる AMR 法フレームワークの開発を行い、これを用いた圧縮性流体計算を実現した。

本 AMR 法フレームワークは、直交格子型の解析を対象とし、各格子点上で定義される物理変数の時間変化を計算する。当該物理変数の時間ステップ更新は陽的であり、ステンシル計算によって行われる。各時間ステップにおける格子の解像度は局所的に変化する。本フレームワークは直交格子上にブロック領域を定義し、その領域内を再帰的に細分化するブロック AMR 法として実装する。ブロック AMR 法では、計算領域内に様々な解像度のブロックが存在するが、ユーザは単一解像度の格子点上での計算についてのみ記述し、格子全体の処理、解像度の変更、解像度の異なるブロック間での袖領域のデータ交換などはフレームワークが行う。このフレームワークは、C/C++言語および NVIDIA CUDA を用いて実装されており、ユーザは C/C++言語から利用することができる。

本フレームワークの対象とする AMR 法では構造格子を再帰的に細分化し、その空間的配置を木構造で表す。木構造の各リーフノードには、一つの格子ブロックを割り当てる。格子ブロックは典型的には 3 次元で 16^3 格子程度である。図 1 に多数の格子の物理空間配置とメモリ空間の配置の模式図を示す。3 次元計算では八分木、2 次元空間では四分木となる。GPU は連続したメモリ領域へアクセスするときに高い実行性能となるため、格子ブロックは物理変数ごとに一つの大きな連続メモリ領域に確保する。各リーフノードは、直接は格子ブロックを保持せず、格子ブロックを特定する ID を保持する。この ID から割り当てられた格子ブロックの連続メモリ領域における位置を求め、格子ブロック上のデータを参照する。

木構造は空間的に点対称な広がりを持つため、単一の木構造で計算対象とする物理空間を充填させると、計算対象の形状によっては無駄な領域が発生する。そこで、図 2 のように複数の木構造を物理空間に配置する。これによって任意の領域形状を柔軟に表現することが可能となる。この複数の木構造を生成するため、本フレームワークでは、`Field` 型を提供する。

本フレームワークでは、AMR 構造上でのステンシル計算は、フレームワークの提供する `MArrayIndex3D` 等を用い、C++11 で導入されたラムダ式を使い定義し、ステンシル計算関数と呼ぶ。フレームワークの提供するデータ構造 `MArray` を用いることで、効率的な記述を実現する。`MArray`

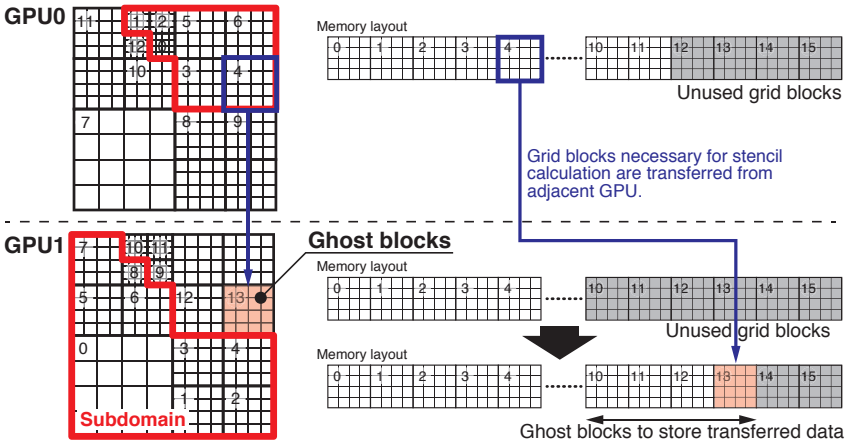


図 3: 異なる GPU 間における格子ブロック間の袖領域データ交換

は、大きさと位置の情報を持つ Range3D 型と単一の大きな配列を保持するクラスである。このクラスの内部では、この配列は仮想的に多数の格子ブロックへと分割され、利用される。3 次元の拡散計算では、次のようにステンシル計算関数を定義し実行することができる。

```
// ユーザ定義のステンシル関数（例は拡散方程式）
auto diffusion3d = [] __host__ __device__
(const MArrayIndex &idx, int level, float ce, float cw, float cn,
 float cs, float ct,  float cb, float cc, const float *f, float *fn) {
    fn[idx.ix()] = + cc*f[idx.ix()] + ce*f[idx.ix(1,0,0)] + cw*f[idx.ix(-1,0,0)]
       + cn*f[idx.ix(0,1,0)] + cs*f[idx.ix(0,-1,0)]
       + ct*f[idx.ix(0,0,1)] + cb*f[idx.ix(0,0,-1)];
  }};

Range3D inside; // inside は格子点のうち、更新した領域
Engine_t engine;
engine.run(amrcon, inside, LevelGreaterEqual(1), diffusion3d, idx(fa.range()), level(),
  ce, cw, cn, cs, ct, cb, cc, ptr(fa), ptr(fan));
```

本フレームワークでは、リーフノード上の格子ブロックは、ステンシル計算のために袖領域を持つ。時間ステップを進めるためには、異なる解像度間で袖領域のデータ交換が必要である。低解像度の格子データから高解像度の格子データを生成する場合、新たに挿入される格子点には補間された値を代入する。現在の実装では、この値は 1 次関数により補間される。

袖領域のデータ交換は次の順に行う。まず、(1) 値の補間が必要ない同一解像度の格子ブロック間で袖領域のデータ交換を行う。次に (2) 値の補間が必要ない高解像度格子ブロックから低解像度格子ブロックへ袖領域のデータを転送する。格子点上に値が定義されている場合は、高解像度格子の値を間引くことで低解像度格子の値を決定する。最後に (3) 値の補間を必要とする低解像度格子ブロックから高解像度格子ブロックへ袖領域のデータを転送する。(3) では、補間のために隣接格子点を参照するため、先に (1)、(2) を実行する。

複数 GPU 計算では、時間発展させるためには、同一 GPU 内における格子ブロック間の袖領域データ交換とともに、異なる GPU に割り当てられた格子ブロックの袖領域データも交換する必要がある。図 3 に異なる GPU 間における格子ブロック間の袖領域データの交換方法を示す。ステンシル計算に必要な格子ブロックを隣接 GPU から転送するとき、まずフレームワークは、各ランクにおいて、連続メモリ領域から未使用な格子ブロックの一部を一時領域として確保する。次に、MPI 通信を利用して実際に隣接 GPU からステンシル計算に必要となる格子ブロックを転送し、一時領域へ保存する。各ランクでのステンシル計算は、この一時領域を参照して実行される。

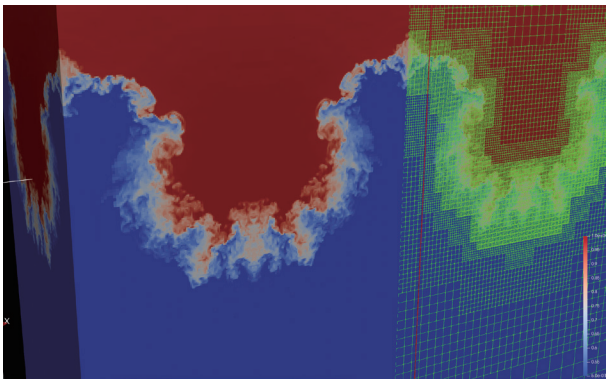


図 4: AMR 法を用いた 3 次元レイリーテイラー不安定性の計算結果

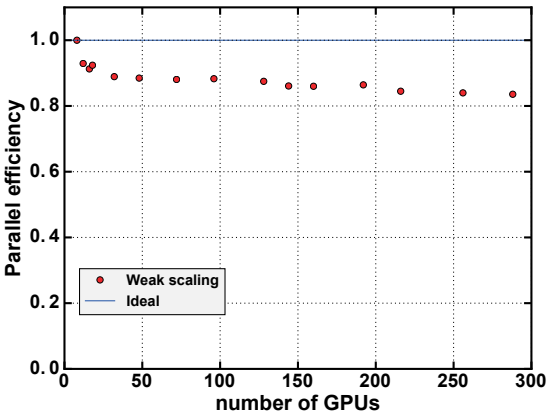


図 5: AMR 法を用いた 3 次元レイリーテイラー不安定性計算の弱スケーリング

異なる GPU 間の袖領域の交換では、ステンシル計算で必要となる格子ブロックの袖領域だけでなく、格子ブロックの全領域のデータを転送する。この格子ブロックの全領域のデータを有効活用するため、本フレームワークでは時間ブロッキング法を導入している。ステンシル計算で時間ブロッキング法を用いることで、複数の時間ステップに必要な通信をまとめて実行することが可能となる。本フレームワークでは、カウントダウンベースの時間ブロッキング法を使用することで、ユーザーコードの時間積分ループの構造を変えることなくユーザーコードに時間ブロッキング法を適用することが可能である。

本フレームワークでは、この他に、格子解像度の変更機構、格子データの GPU 間の移行機構とそれに基づいた動的負荷分散技術を提供する。詳細は、[査読付 1] を参照されたい。

提案フレームワークの有効性を評価するため、3 次元 3 次精度風上手法を用いた圧縮性流体計算を行う。高次精度数値計算手法である 3 次精度風上手法は、解像度の変化による誤差に対して敏感であり、異なる解像度間のコピーや袖領域のデータ転送が正しく作用しないと、非物理的な振動が発生する。図 4 に、この計算コードで計算したレイリーテイラー不安定性の計算結果を示す。図の格子状の緑色線は各リーフノードが持つ格子ブロックを表す。一つの格子ブロックは 16^3 格子で、5 レベルの AMR を用いる。最大格子の幅は最小格子の幅の 16 倍となる。流体の色は二つの異なる密度を表している。高解像度が必要となる界面を含む領域を AMR 法で高解像度にしている。

図 5 に東京工業大学の TSUBAME3.0 スパコンを用いたレイリーテイラー不安定性計算の弱スケーリング結果を示す。本計算では、5 レベルの AMR を用い、ノードあたり 4GPU を用いる。$6144 \times 6144 \times 8192$ の均一直交格子と同等の計算領域に対して 288GPU を用いた計算では、8GPU の実行性能と比較すると、84%の並列化効率を達成した。

3 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 下川辺 隆史, 小野寺 直幸: グラフィックスアワード特別賞（MSC Apex 賞）, 第 23 回計算工学講演会, 2018 年 6 月.

[受賞 2] 下川辺 隆史, 小野寺 直幸: グラフィックスアワード特別賞（Visual Computing 賞）, 第 23 回計算工学講演会, 2018 年 6 月.

査読付論文

[査読付 1] Takashi Shimokawabe and Naoyuki Onodera: A High-productivity Framework for Adaptive Mesh Refinement on Multiple GPUs, International Conference on Computational Science (ICCS) 2019, Faro, Algarve, Portugal, Jun. 2019. (to appear)

[査読付 2] Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura, Yussuf Ali and T. Shimokawabe: Communication Reduced Multi-time-step Algorithm for Real-time Wind Simulation on GPU-based Supercomputers, the 9th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems (ScalA) 2018, Dallas, US, Nov. 2018, pp. 1-8.

[査読付 3] Eisuke Miyoshi, Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Shinji Sakane, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Correlation between three-dimensional and cross-sectional characteristics of ideal grain growth: large-scale phase-field simulation study, Journal of Materials Science, Vol. 53, Issu. 21, 2018/11, 15165-15180.

その他の発表論文

[発表 1] 下川辺 隆史, 小野寺 直幸: 複数 GPU を用いた高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの開発, 第 23 回計算工学講演会, 名古屋, 2018 年 6 月 6 日 - 6 月 8 日.

[発表 2] 下川辺 隆史, AMR 法フレームワークの様々なアーキテクチャへ向けた発展, JHPCN：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回 シンポジウム, 東京, 2018 年 7 月 12 日 - 13 日.

[発表 3] 下川辺 隆史, 高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの高度化, JHPCN：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回 シンポジウム, 東京, 2018 年 7 月 12 日 - 13 日. (ポスター発表)

[発表 4] 間宮 英生, 飯田 康太, 小澤 俊貴, 谷津 陽一, 河合 誠之, 菊谷 侑平, 佐々木 謙一, 新谷 勇介, 小泉 翔, 増田 雄斗, 岩崎 陽平, 渡邉 圭, 古谷 航志, 松永 三郎, 下川辺 隆史, 工藤 裕: 高背景輝度での点源抽出や宇宙線の除去を行う超小型衛星用スタートラッカーの開発・軌道上実験について, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 姫路, 2018 年 9 月 19 日 - 21 日.

[発表 5] 小野寺 直幸, 井戸村 泰宏, アリ ユスフ, 下川辺 隆史: 適合細分化格子ボルツマン法による熱対流解析, 第 32 回 数値流体力学シンポジウム, 東京, 2018 年 12 月 11 日 - 12 月 13 日.

[発表 6] 庭野 聖史, 村田 勝寛, 伊藤 亮介, 橘 優太朗, 下川辺 隆史, 河合 誠之, 谷津 陽一, 森田 浩太郎, 大枝 幹, 飯田 康太, 白石 一輝, 安達 稜: 突発天体検知のための MITSuME 望遠鏡用 自動解析パイプラインの GPU を用いた高速化, 第 9 回光・赤外線大学間連携ワークショップ, 埼玉, 2018 年 12 月 25 日 - 12 月 26 日.

[発表 7] 飯田 康太, 谷津 陽一, 伊藤 亮介, 村田 勝寛, 橘 優太朗, 河合 誠之, Yan Long, 篠田 浩一, 井上 中順, 下川辺 隆史: 深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像からの 突発天体検知, 第 9 回光・赤外線大学間連携ワークショップ, 埼玉, 2018 年 12 月 25 日 - 12 月 26 日.

[発表 8] Naoyuki Onodera, Yasuhiro Idomura, Yussuf Ali, Takashi Shimokawabe: Communication reduced multi-time-step algorithm for the AMR-based lattice Boltzmann method on GPU-rich supercomputers, The 1st R-CCS International Symposium, Kobe, Japan, February 18-19, 2019. (ポスター発表)

[発表 9] 間宮 英生, 小澤 俊貴, 谷津 陽一, 河合 誠之, 菊谷 侑平, 佐々木 謙一, 新谷 勇介, 小泉 翔, 増田 雄斗, 岩崎 陽平, 渡邉 圭, 松永 三郎, 下川辺 隆史, 工藤裕: 超小型衛星用スタートラッカの開発と軌道上実証, 日本天文学会 2019 年春季年会, 東京, 2019 年 3 月 14 日 - 17 日.

[発表 10] 庭野 聖史, 村田 勝寛, 伊藤 亮介, 橘 優太朗, 河合 誠之, 谷津 陽一, 針田 聖平, 森田 浩太郎, 大枝 幹, 飯田 康太, 間宮 英生, 白石 一輝, 安達 稜, 下川辺 隆史: 突発天体検知のための MITSuME 望遠鏡用自動解析パイプラインの GPU を用いた高速化, 日本天文学会 2019 年春季年会, 東京, 2019 年 3 月 14 日 - 17 日. (ポスター発表)

[発表 11] 飯田 康太, 谷津 陽一, 伊藤 亮介, 村田 勝寛, 橘 優太朗, 河合 誠之, Yan Long, 篠田 浩一, 井上 中順, 下川辺 隆史: 深層学習を用いた MITSuME 望遠鏡画像からの突発天体検知, 日本天文学会 2019 年春季年会, 東京, 2019 年 3 月 14 日 - 17 日. (ポスター発表)

[発表 12] Takashi Shimokawabe: AMR Framework with multiple GPUs to Realize Effective High-Resolution Simulations, GPU Technology Conference (GTC) 2019, San Jose, CA, USA, March 23 - 26, 2019. (ポスター発表)

特記事項

[特記 1] 下川辺 隆史, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) 課題「高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの高度化」課題代表者, 2018 年度

[特記 2] Co-Chair, 8th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES 2018) (in conjunction with ICCS 2018), Wuxi, China, June 11 - 13, 2018.

[特記 3] Co-Chair, 9th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES 2019) (in conjunction with ICCS 2019), Faro, Algarve, Portugal, June 12 - 14, 2019.

[特記 4] Program Committee, The 3rd International Workshop on GPU Computing and AI (GCA'18), (in conjunction with CANDAR'18), Hida Takayama, Japan, November 27-30, 2018.

[特記 5] Exhibition chair, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCAsia2020), Fukuoka, Japan, January 15 - 17, 2020.

[特記 6] 日本計算工学講演会 実行委員

[特記 7] 日本計算工学会 代表会員

[特記 8] ACS 論文誌 編集委員

[特記 9] ハイパフォーマンスコンピューテング研究会 運営委員

[特記 10] SC18 参加報告, 計算工学, Vol.24, No.1 2019（2019 年 1 月）

[特記 11] 平成 30 年度 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」(https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/young/), 前期採択課題 21 件, 後期採択課題 16 件, インターン採択課題 2 件

[特記 12] 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」平成 29 年度 インターン・後期 採択課題 成果報告会, 企画と実施, 2018 年 6 月 4 日

[特記 13] 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」平成 30 年度 前期 採択課題 成果報告会, 企画と実施, 2018 年 12 月 5 日

[特記 14] 平成 29 年度「若手・女性利用者推薦」後期課題 成果報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 特集号 2（2018 年 8 月）, 企画

[特記 15] 第 100 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「Reedbush スパコンを用いた GPU ディープラーニング入門」, 2018 年 5 月 31 日, 企画と一部の講師を担当

[特記 16] 第 107 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門」, 2018 年 11 月 6 日, 一部の講師を担当

[特記 17] 第 111 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「第 1 回 ディープラーニング分散学習ハッカソン」, 2019 年 1 月 24 日 - 25 日, 企画と一部の講師を担当

階層型行列法のメニーコアクラスタ向け高速化の研究

星野 哲也

1 概要

本センターにおける筆者の主たるミッションは、近年利用が一般的となりつつあるメニーコアプロセッサを搭載した計算環境における、ユーザプログラムの高度化を手助けすることである。当センターでは、Intel 社のメニーコアプロセッサである Xeon Phi Knights Landing (KNL)、NVIDIA 社の HPC 向け GPU である Tesla P100 (P100) を搭載したスーパーコンピュータを運用しており、これらの運用、効率よく利用するための研究、利用方法の講習などが主たる業務である。本年度の業務の概要を以下に示す。

- 階層型行列法のメニーコアクラスタ向け高速化の研究
  メニーコアプロセッサである Intel Xeon Phi (Knights Landing)、NVIDIA Tesla GPU (Pascal) などを効率的に用いるためのソフトウェア・ライブラリの開発、特に、科学技術計算において頻出する密行列の近似手法の一種である、階層型行列法の高速化に関する研究 [査読付 1], [査読付 2], [発表 1] を 2017 年度に引き続き行なった。詳細は後述する。

- メニーコアプロセッサによるユーザープログラムの高速化
  本センターは JHPCN(学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点) の拠点の一つであり、JHPCN の制度を利用することで、本センターの提供するスパコンを計算資源として利用することができる。また本制度では計算科学・計算機科学それぞれの専門家がチームを組んで課題を遂行することが推奨されており、筆者は計 6 つの課題に参加した。[査読付 4], [査読付 3] は本制度を利用した研究成果である。

- 並列プログラミングの講習及びスパコンユーザの教育に関する活動
  スーパーコンピューティング研究部門では、並列プログラミング言語やライブラリ利用に関する一般ユーザー向けの講習会を実施している。本年度は主に、GPU を効率的に用いるためのプログラミング講習会の講師を担当した。[特記 3] [特記 4] [特記 5] [特記 6]。また、ユーザプログラムの高度化支援の一環として、近年 AI 分野において活発に研究が進められている Deep Learning を用いたハッカソンイベント [特記 7] のチューターを担当した。さらに、国立台湾大にて行われた集中講義 [特記 2] の一部講師を担当した。

- スーパーコンピュータの運用・調達、**HPCI** 運用業務
  Oakforest-PACS, Reedbush などのスパコン、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) の運用に携わった。2019 年 7 月より運用を開始する Oakbridge-CX および次期大規模システムに関する仕様検討を行なった。

以降では、2018 年度に主として行なって来た、「階層型行列法のメニーコアクラスタ向け高速化の研究」に関して記述する。

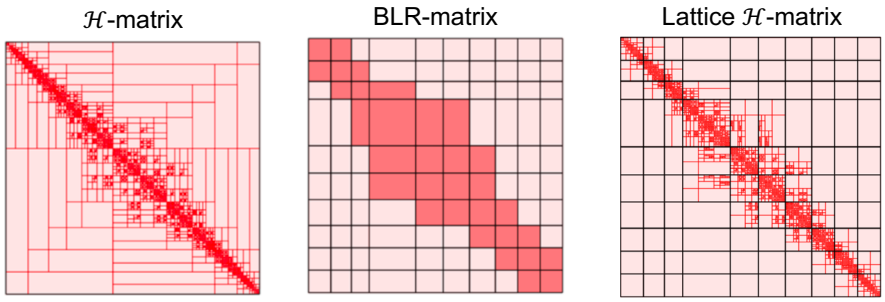


図 1: 左：階層型行列、中央：Block Low Rank 行列、右：格子階層型行列。濃赤色で塗られた部分行列が密行列、淡赤色で塗られた部分行列が低ランク行列である。([査読付 2] より引用)

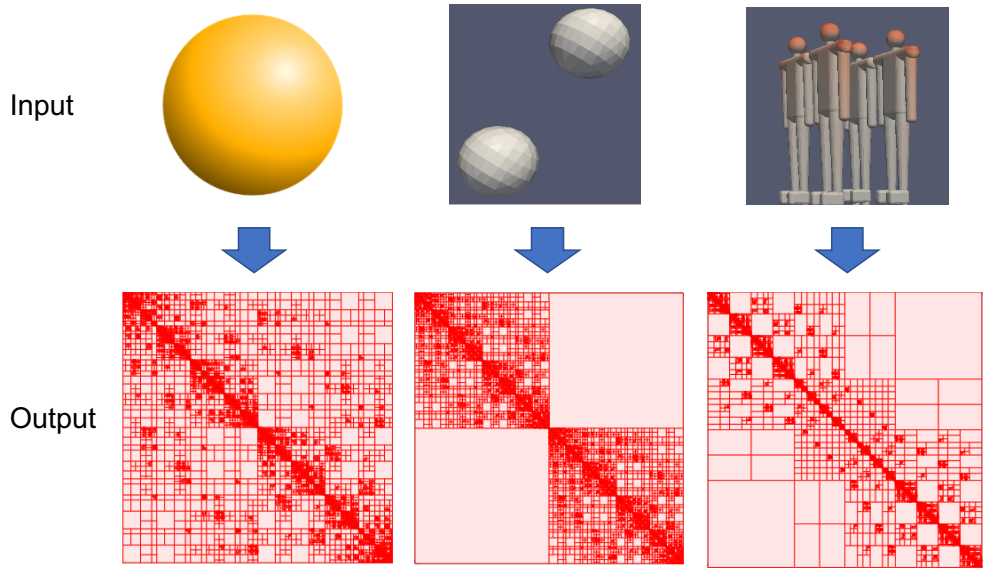


図 2: 入力となる解析対象と、生成される $\mathcal{H}$-matrix の関係。いずれも静電場解析の例である。

2 階層型行列法のメニーコアクラスタ向け高速化の研究

2.1 背景

多数の演算コアを備えたメニーコアプロセッサを搭載した計算環境は一般的になりつつあり、本センターが運用する Oakforest-PACS や Reedbush システムにも利用されている他、理化学研究所が導入を進めるポスト京スーパーコンピュータに導入されるプロセッサもメニーコアプロセッサである。一般的にメニーコアプロセッサは、高速であるが小容量のメモリを搭載しているため、利用に際してはそのメモリ容量が問題になりがちである。この問題を回避するためには、低速・大容量のメモリを階層的かつ効率的に用いる手法や、アルゴリズムの工夫によりアプリケーションが使うメモリ量自体を削減する手法の開発などが求められている。

本研究で対象とする階層型行列法は後者の手法である。階層型行列 (Hieralchical matrix, $\mathcal{H}$-matrix) とは、一つの巨大な密行列を多数の小密行列と低ランク近似行列の集合で近似したものである。$N \times N$ の密行列に要するメモリ量 $\mathcal{O}(N^2)$ に対し、$\mathcal{H}$-matrix に要するメモリ量は $\mathcal{O}(N\log N)$ である。メモリ量の観点から階層型行列法はメニーコアプロセッサ向けの手法であると言えるが、コアへの計算の割り当て手法（計算負荷のロードバランシング）などが、メニーコアプロセッサにおいては特に問題となる。

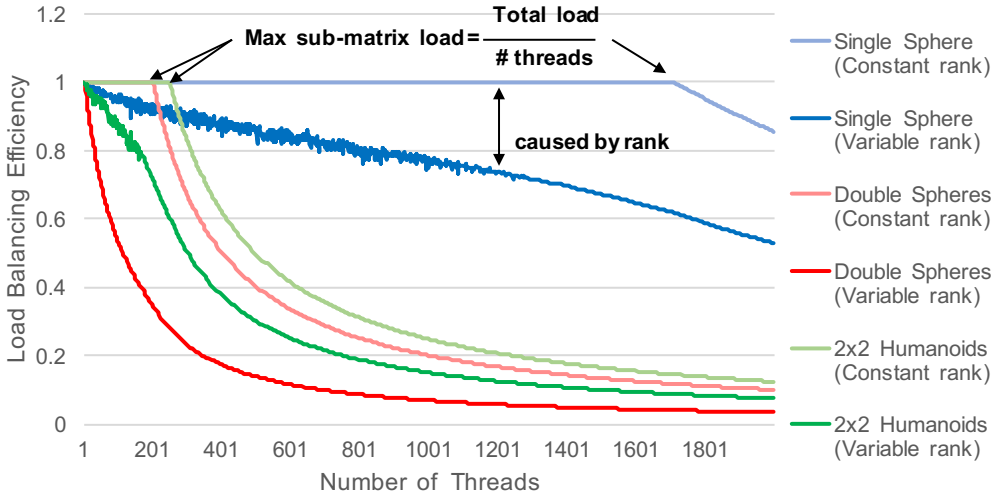


図 3: 解析対象と $\mathcal{H}$-matrix の関係

図 1 に、階層型行列法を含む低ランク近似行列法の概念図を示す。これらに用いられる近似原理は基本的に同じであり、例えば N 体問題でよく用いられる近似手法（物体間の相互作用は距離に反比例して小さくなるため、遠くの物体同士の相互作用は複数の物体の集合同士の相互作用で置き換えて計算する）と同様の近似原理が通用する行列に適用範囲が限られる。実用例として、境界要素法において現れる係数行列には多くの場合において階層型行列法が適用可能であることが知られている。$\mathcal{H}$-matrix の図からわかる通り、部分行列のサイズはまちまちであり、また解析対象に大きく依存するため、多数のコアにおける適切な計算負荷のロードバランシング手法は明らかではない。

本年は、主に以下の 3 点を行なった。

1. $\mathcal{H}$ACApK を用いた境界要素法フレームワーク BEM-BB の SIMD プロセッサ向けフレームワークデザインの検討
2. ロードバランス改善のための GPU 向けアルゴリズムの開発
3. 格子階層行列法を用いた、メニーコアクラスタ向けの通信手法の開発

3 に関しては開発中の段階であり、また 1 に関しては 2017 年度の年報に概要を記載したため、本稿では 2 の概要について説明する。なお、2 の詳細については [査読付 2] を参照していただきたい。

2.2 具体的成果

2.2.1 解析対象と負荷不均衡の関係

本節では、解析対象と生成される $\mathcal{H}$-matrix の構造の関係から、計算の負荷不均衡に関する分析を行った結果について説明する。$\mathcal{H}$-matrix は、低ランク近似行列の中でも基底がネストしていないことが特徴である。基底がネストしない低ランク近似行列では部分行列間の依存関係がないため、部分行列毎の演算に自明な並列性がある。従来の並列アルゴリズムではこの部分行列間の並列性を用いて並列化を行うが、それぞれの部分行列が有する演算コストは部分行列のサイズとランクに比例し、なおかつ部分行列のサイズとランクはインプットとなる解析対象によって大きく異なるため（図 2）、負荷不均衡が生じる。

図 3 は、図 2 の各行列を 1 ～ 2000 スレッドを用い、従来手法で分割した際の負荷均衡の効率を示したものである。$\mathcal{H}$-matrix には部分行列のランクを固定する Constant rank 方式と、部分行列毎のランクの変動を許す Variable rank 方式があり、図 3 では両者を比較している。Variable rank 方式では、密

Algorithm 1 Locality-aware algorithm to fill in blocks of $\mathcal{H}(M)$ with ACA

for all $m \in M$ **do**
  if $A|^m_{s_m \times t_m}$ is dense matrix **then**
    for all $j \in t_m$ **do**
      for all $i \in s_m$ **do**
        $(A|^m_{s_m \times t_m})_{i,j} :=$ calcEntry(i, j, m)
      end for
    end for
  else
    $k := 0$; $err := \infty$
    $ii :=$ calcFirstIndex(m)
    while $err > \epsilon$ **do**
      $k := k + 1$
      for all $j \in t_m$ **do**
        $(W_m)_{k,j} :=$ calcEntry(ii, j, m)
        if $k > 1$ **then**
          $(W_m)_{k,j} := (W_m)_{k,j} - \sum_{l=1}^{k-1}((V_m)_{ii,l} \cdot (W_m)_{l,j})$
        end if
      end for
      $w_{max} := max_{j \in t_m}(W_m)_{k,j}$
      $jj :=$ index of w_{max}
      $(W_m)_{k,j \in t_m} := (W_m)_{k,j \in t_m} / w_{max}$
      for all $i \in s_m$ **do**
        $(V_m)_{i,k} :=$ calcEntry(i, jj, m)
        if $k > 1$ **then**
          $(V_m)_{i,k} := (V_m)_{i,k} - \sum_{l=1}^{k-1}((W_m)_{l,jj} \cdot (V_m)_{i,l})$
        end if
      end for
      $v_{max} := max_{i \in s_m}(V_m)_{i,k}$
      $ii :=$ index of v_{max}
      $err :=$ calcError(V_m, W_m)
    end while
  end if
end for

Algorithm 2 Load-balance-aware algorithm to fill in blocks of $\mathcal{H}(M)$ with ACA

for all $l \in L$ **do**
  $i := E(l)$; $j := F(l)$; $m := G(l)$
  $D_l :=$ calcEntry(i, j, m)
end for
$M_{NC} := M_{lowRank}$
$k := 0$
for all $m \in M_{NC}$ **do**
  $\boldsymbol{ii}_m :=$ calcFirstIndex(m)
end for
while $M_{NC} \neq \emptyset$ **do**
  $k := k + 1$
  for all $j \in J_k$ **do**
    $m := T_k(j)$; $jjj := P_k(j)$
    $(\boldsymbol{w}_k)_j :=$ calcEntry$(\boldsymbol{ii}_m, jjj, m)$
    if $k > 1$ **then**
      $(\boldsymbol{w}_k)_j := (\boldsymbol{w}_k)_j - \sum_{l=1}^{k-1}((\boldsymbol{v}_l)_{\boldsymbol{ii}_m} \cdot (\boldsymbol{w}_l)_j)$
    end if
  end for
  for all $m \in M_{NC}$ **do**
    $w_{max} := max_{j \in t_m}(\boldsymbol{w}_k)_{P_k^{-1}(j)}$
    $\boldsymbol{jj}_m :=$ index of w_{max}
    $(\boldsymbol{w}_k)_{P_k^{-1}(j \in t_m)} := (\boldsymbol{w}_k)_{P_k^{-1}(j \in t_m)} / w_{max}$
  end for
  for all $i \in I_k$ **do**
    $m := U_k(i)$; $iii := Q_k(i)$
    $(\boldsymbol{v}_k)_i :=$ calcEntry$(iii, \boldsymbol{jj}_m, m)$
    if $k > 1$ **then**
      $(\boldsymbol{v}_k)_i := (\boldsymbol{v}_k)_i - \sum_{l=1}^{k-1}((\boldsymbol{w}_l)_{\boldsymbol{jj}_m} \cdot (\boldsymbol{v}_l)_i)$
    end if
  end for
  for all $m \in M_{NC}$ **do**
    $v_{max} := max_{i \in s_m}(\boldsymbol{v}_k)_{Q_k^{-1}(i)}$
    $\boldsymbol{ii}_m :=$ index of v_{max}
  end for
  for all $m \in M_{NC}$ **do**
    $V_m :=$ returnV$(\boldsymbol{v_{1:k}}, m)$
    $W_m :=$ returnW$(\boldsymbol{w_{1:k}}, m)$
    $err :=$ calcError(V_m, W_m)
    if $err < \epsilon$ **then**
      $M_{NC} := M_{NC} - m$
    end if
  end for
end while

図 4: $\mathcal{H}$-matrix への ACA 適用アルゴリズム。左が従来アルゴリズム、右が GPU 向けの提案アルゴリズム。([査読付 2] より引用)

行列に対する近似精度を保証することができるが、より負荷バランスをとることが難しいことがわかる。また、大きな部分行列を持つ $\mathcal{H}$-matrix ではより負荷バランスをとることが難しく、球が 2 つの入力ケースでは 400 スレッド程度の分割においても負荷バランス効率が 20%以下になってしまっていることがわかる。特に GPU は数千の演算コアを持つため、従来手法ではうまくいかないことが予想できる。

2.2.2 GPU 向けの Load-balancing-aware ACA アルゴリズム

本節では、GPU 向けに提案した $\mathcal{H}$-matrix への Adaptive Cross Approximation(ACA) 適用アルゴリズムの概要を説明する。図 4 に、従来アルゴリズムと提案アルゴリズムを示す。二つのアルゴリズムの計算内容は同一であり、計算順序のみが異なる。ACA は密行列向けの高速近似アルゴリズムの一種であり、従来手法では $\mathcal{H}$-matrix の部分行列一つ一つに順番に ACA を適用することで近似を完了するが、提案手法では $\mathcal{H}$-matrix の部分行列を同時並行で近似する。一つ一つの部分行列に ACA を適用する従来手法では、部分行列一つ一つのサイズが小さく十分な並列性が取れないこと、部分行列のサイズがマチマチでありロードバランシングが難しいことが主要因となり、GPU での高速化が困難であった。一方提案手法では、計算の依存性を考慮し計算順序を変えることで、各部分行列への ACA 計算の中から同時並行で実行可能な部分を抽出し、十分な並列性を確保することに成功した。

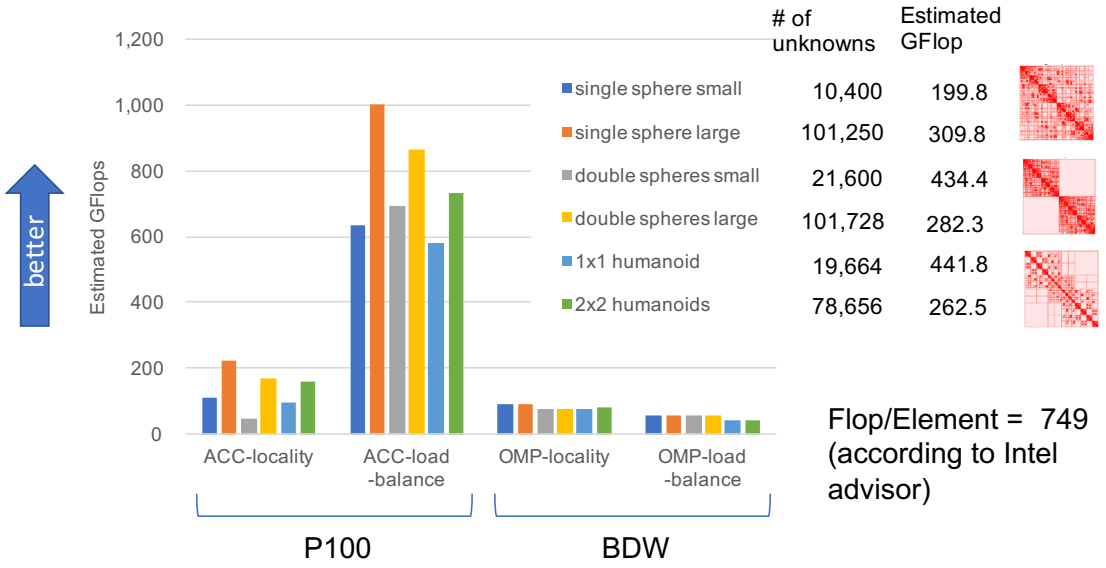


図 5: NVIDIA P100 GPU, Intel Xeon Broadwell CPU における、Locality-aware 方式と Load-balancing-aware 方式の性能比較。

図 5 に、NVIDIA P100 GPU と Intel Xeon Broadwell CPU における、Locality-aware 方式と Load-balancing-aware 方式の性能評価の結果を示す。解析対象は図 2 である。ACC-locality が従来手法の GPU 向けの実装であり、ACC-load-balancing が提案の Load-balancing-aware 手法である。グラフからわかる通り、おおよそ 5 倍程度の性能向上を達成している。もっとも負荷バランスのとり辛い、問題サイズが小さくかつ球が 2 つのケースにおいては、12.9 倍の性能向上を果たした。一方で、提案手法は局所性を犠牲にしているため、スレッド数の少ない CPU ではむしろ遅くなってしまっていることがわかる。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, Toshihiro Hanawa, and Kengo Nakajima: Design of Parallel BEM Analyses Framework for SIMD Processors, International Conference on Computational Science (ICCS 2018), June 2018.

[査読付 2] T. Hoshino, A. Ida, T. Hanawa and K. Nakajima, Load-Balancing-Aware Parallel Algorithms of H-Matrices with Adaptive Cross Approximation for GPUs, in 2018 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), Belfast, United Kingdom, pp. 35-45., Sep., 2018

[査読付 3] Y. Nomura, T. Hanawa, I. Sato, S. Hanaoka, T. Nakao, M. Murata, T. Takenaga, T. Hoshino, Y. Sekiya, N. Hayashi, and O. Abe: Development of training environment for deep learning with medical images on supercomputer system based on asynchronous parallel Bayesian optimization, Intl. Supercomputing Conf. (ISC'19) Research poster, Jun. 2019 (accepted)

[査読付 4] Y. Nomura, I. Sato, T. Hanawa, S. Hanaoka, T. Nakao, T. Takenaga, D. Sato, T. Hoshino, Y. Sekiya, S. Ohshima, N. Hayashi, O. Abe, Preliminary development of training environment for deep learning on supercomputer system, 32nd International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology (CARS 2018), pp. S-105–106, June 2018.

その他の発表論文

[発表 1] Tetsuya Hoshino and Akihiro Ida, “H-Matrix Framework for Many-core Processors”, SIAM Conference on Computational Science and Engineering 2019 (SIAM CSE 19), Spokane, USA (February 2019).

特記事項

[特記 1] Program Committee Member, xSIG 2019.

[特記 2] 國家理論中心數學組『高効能計算』短期課程（2018 NCTS Summer Course）, 一部の講師を担当

[特記 3] 第 97 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「GPU プログラミング入門」, 2018 年 4 月 18 日, 講師を担当

[特記 4] 第 101 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」, 2018 年 6 月 19 日 ∼20 日, 一部の講師を担当

[特記 5] 第 107 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門」, 2018 年 11 月 6 日, 一部の講師を担当

[特記 6] 第 109 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」, 2018 年 11 月 27 日 ∼11 月 28 日, 一部の講師を担当

[特記 7] 第 111 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ディープラーニング分散学習ハッカソン」, 2019 年 1 月 24 日 ∼1 月 25 日, 一部の講師を担当

宇宙物理学のためのコード開発と銀河考古学への適用

三木 洋平

1 概要

具体的には、以前から開発してきた N 体計算コードの性能最適化（§2）、初期条件生成コードの開発と公開（§3）に加え、こうしたコードを活用した宇宙物理学の共同研究の遂行（§4）である。

2 N 体計算コード GOTHIC の Volta 世代の GPU 向け最適化

本節では、Fermi 世代から Pascal 世代までの GPU 向けの最適化がなされている重力ツリーコード GOTHIC (Gravitational Oct-Tree code accelerated by HIerarchical time step Controlling) [8] の Volta 世代の GPU 向け最適化および性能評価の結果を紹介する。本研究の成果については、[招待 1, 発表 4, 発表 3] などで発表した。

2.1 背景

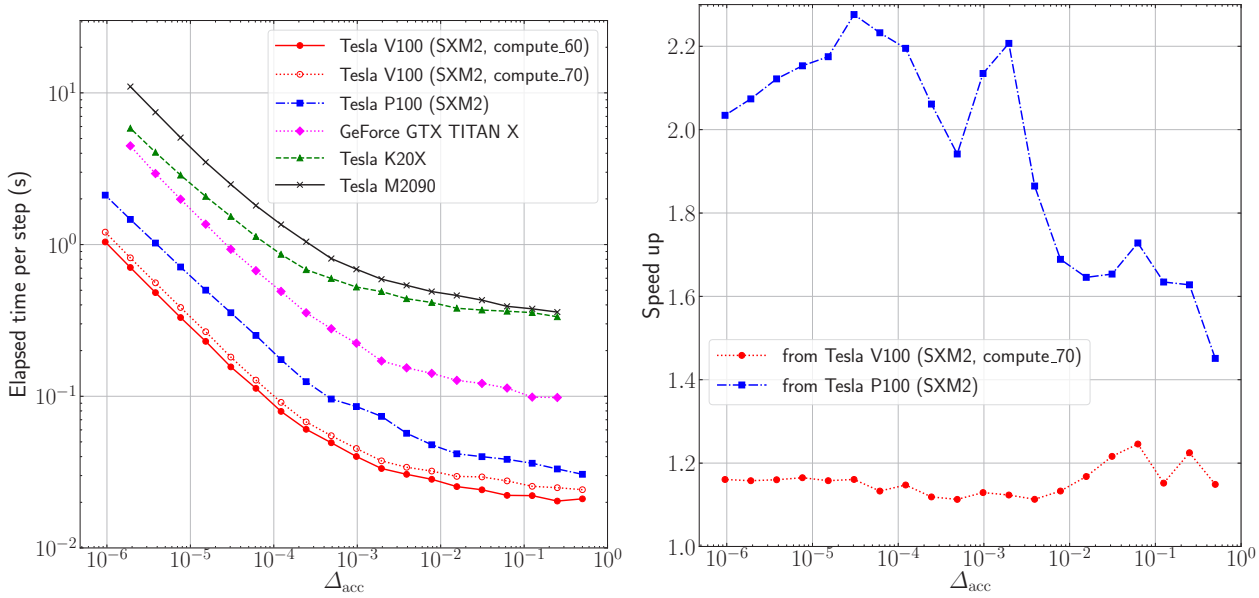
宇宙物理学の研究においては無衝突 N 体計算が広く用いられているため、N 体計算コードの開発・性能最適化は極めて重要である。 N 体計算の基礎方程式は Newton の運動方程式であり、i 番目の粒子の加速度 $\boldsymbol{a}_i$ は重力定数 G, 粒子の質量 m_i, 粒子の位置 $\boldsymbol{r}_i$ を用いて

$$\boldsymbol{a}_i = \sum_{j=0, j\neq i}^{N-1} \frac{G m_j \left(\boldsymbol{r}_j - \boldsymbol{r}_i\right)}{\left(\left|\boldsymbol{r}_j - \boldsymbol{r}_i\right|^2 + \epsilon^2\right)^{3/2}}, \tag{1}$$

と与えられる。ここで ϵ は重力ソフトニングであり、粒子どうしが近接遭遇した際のゼロ割りを避けるために導入されている。 N 体計算の高速化手法としてはツリー法 [1] や階層化時間刻み法 [6] といった高速なアルゴリズムに加え、代表的な演算加速器である GPU を用いた高速化があげられる。GOTHIC は GPU 向けに開発された重力ツリーコードであり、階層化時間刻み法の採用に加えて自動最適化を用いた高速化がなされている。前年度までの研究によって GOTHIC には Pascal 世代までの GPU 向けの最適化が施されているが、現在 HPC 向けの GPU の最新世代である Volta 世代向けの最適化を施す必要がある。

2.2 内容

Pascal 世代以前の GPU 向けに開発されてきたアプリケーションの Volta 世代への移植においては、（1）Volta 世代の GPU 上で正しく計算できるようにコードの修正と（2）性能に寄与するパラメータの再設定とが必要となる。プログラミングモデルにおける Pascal 世代以前との最大の違いは、ワープ内の暗黙の同期がなくなったことである。 Pascal 世代以前においてはワープを構成する 32 スレッドの演算は同時に実行されていたため、同期が必要な処理をワープの中に閉じ込めてあげた際には、明示的に同期命令を発行する必要はなかった。これに対して Volta 世代においては、ワープ内の 32 スレッドの演算が同時に実行されるという保証はなくなった。このため、ワープ内の 32 スレッドを同期



(a) 実行時間の計算精度依存性。重力計算の精度を制御するパラメータ Δ_{acc} の関数として、ステップあたりの実行時間を示す。Tesla V100 を用いて Pascal モードで動作させた際の計算時間を、Volta モード（赤丸）および Tesla P100（青の四角形）と比較した。Maxwell 世代以前の GPU 上での測定結果については [8] において報告済みのデータである。 (b) GOTHIC の速度向上率。

図 1: GOTHIC の性能測定結果。

する___syncwarp() や、ワープ内の 2 ベキ数のスレッドを同期する Cooperative Groups のタイル同期といった新機能が提供されており、これらを用いて明示的に同期処理を行う必要がある。また、ワープ内の暗黙の同期がなくなった影響として、ワープ分裂が起こった後に明示的な同期処理をいれるまではワープが分裂したまま動作し続けるということがあげられる（[10] の Figs. 20, 22, 23）。Pascal 世代以前においてはワープ分裂が起こるのは条件分岐に関する節の中だけであり、その後はワープ内の 32 スレッドが同時に動作していた。これに対して Volta 世代においては、条件分岐が発生する処理が全て終了しワープ内の 32 スレッドが同時に同じ演算を実行できるようになったとしても、明示的な同期命令を発行するまではワープが分裂したまま動作することがホワイトペーパー [10] の記述から読み取れる。したがって、適切に同期命令を発行しない限りはワープ分裂の持続時間が延びてしまうという性能面への悪影響があるため、Volta 世代への移植は慎重に行う必要がある。こうしたコードの書き換えが困難なユーザのために、-gencode arch=compute_60,code=sm_70 を指定してコンパイルすることで、Pascal 世代以前と同じくワープ内の 32 スレッドを暗黙のうちに同期された状態で動作させるという救済措置も提供されている。以下、本稿では-gencode arch=compute_60,code=sm_70 を指定してコンパイルした場合を Pascal モード、通常どおり-gencode arch=compute_70,code=sm_70 を指定してコンパイルした場合を Volta モードと呼ぶこととする。

2.3 具体的成果

性能評価時に用いた粒子分布は代表的な円盤銀河であるアンドロメダ銀河を 8 388 608 粒子で表現したものであり、4096 ステップ分の実行時間を Tesla P100 および Tesla V100 上で測定した。図 1(a) に、測定したステップあたりの実行時間を重力計算の精度を制御するパラメータ Δ_{acc} の関数として測定した（Δ_{acc} が小さいほど高精度）。また、Maxwell 世代以前の GPU 上での測定結果については [8] において報告済みのものである。典型的な精度である $\Delta_{acc} = 2^{-9} = 1.953125 \times 10^{-3}$ のときのステップあたりの実行時間は、Tesla P100 上で 7.4×10^{-2} s、Tesla V100 上では Volta モードで 3.8×10^{-2} s、

Pascal モードで 3.3×10^{-2} s であった。 Kepler 世代を除けば $\Delta_{\rm acc}$ に対する計算時間の依存性は GPU の世代に依らずほぼ同じであり、Volta 世代の GPU では Fermi 世代の GPU と同一のアルゴリズムのままで 10 倍以上高速に計算できることが確かめられた。また、Tesla V100 において Volta モードと Pascal モードの結果を比較すると、常に Pascal モードの方が高速であることが分かった。以降では、Pascal モードを Tesla V100 使用時の標準設定とする。 Pascal モードにおける測定結果を、Tesla P100 使用時や Volta モードでの測定結果に対する速度向上率として図 1(b) に示した。 Tesla P100 からは最大で 2.2 倍程度、最低でも 1.4 倍程度の高速化が達成されている（青の四角形）。特に $\Delta_{\rm acc} \lesssim 10^{-3}$ の領域においてはおおむね 2 倍以上の高速化が達成されている。この値は Tesla P100 と Tesla V100 の理論ピーク演算性能比である 1.5 よりも大きな値であり、整数演算の実行時間が隠蔽されたために実現されたと考えられる。 Tesla V100 上での動作モードの比較では、Pascal モードの方が $\Delta_{\rm acc}$ に依らず 1.1–1.2 倍高速であることが分かった（赤丸）。 Tesla V100 上では最大 $N = 25 \times 2^{20} = 26\,214\,400$ 粒子の計算が実行でき、ステップあたりの実行時間は 2.0×10^{-1} s であった。得られた単精度演算性能は 3.5 TFlop/s であり、Tesla V100 の単精度理論ピーク演算性能の 22%にあたる。

3 銀河の多成分力学平衡モデル生成コード MAGI のユーザサポートと機能拡張

本節では、銀河の多成分力学平衡モデル生成コード MAGI (MAny-component Galaxy Initializer) の開発 [査読付 1, 公開 1] について紹介する。 MAGI はオープンソースソフトウェアとして公開しており、ユーザからの問い合わせや機能追加依頼などに応じて適宜対応している。また、公開版のソフトウェアでは球対称成分の速度分布が等方的であることを仮定しているが、本年度は、より現実的な銀河モデルを表現するために非等方な速度分布モデルを生成できるような機能拡張を施し、現在公開に向けた準備を進めている。

3.1 背景

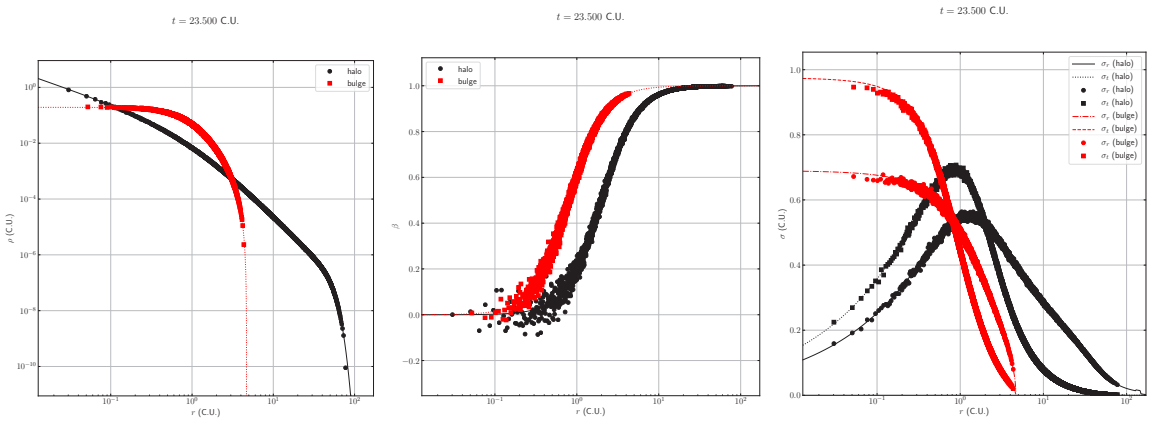
銀河どうしの衝突・合体や銀河円盤中の渦状腕の形成などの銀河の力学進化過程を詳細に調べるために、N 体計算を用いた研究が精力的に進められている。こうした計算を行うためには適切な初期条件を生成する必要がある。しかし、一般に銀河はバルジ・ハロー・円盤からなる多成分系であり、これを力学平衡な粒子分布として表現することは容易ではなく、現在も初期条件の生成方法に関する研究が続けられている。 2017 年 12 月に公開した MAGI は、複数の球対称成分と軸対称成分を粒子系として表現する初期条件生成コードである。このうち球対称成分については等方的な速度分布を仮定したうえで Eddington formula を用いて分布関数を生成している。しかし、より現実的な銀河モデルを構築するためには、粒子の空間分布や速度分布の非球対称性、ひいては三軸不等性を取り入れていくことが重要である。そこで本年度については、Osipkov–Merritt モデルを用いて粒子の速度分布に非等方性を取り入れることに取り組んだ。

3.2 内容

Osipkov や Merritt らによって構築された、半径と共に anisotropy parameter β が増加する分布関数モデル [11, 7] を多成分向けに拡張したものは

$$f_i(Q) = \frac{1}{\sqrt{8}\pi^2}\left[\int_0^Q \mathrm{d}\Psi\, \frac{1}{\sqrt{Q-\Psi}}\frac{\mathrm{d}^2\rho_{Q,i}}{\mathrm{d}\Psi^2} + \frac{1}{\sqrt{Q}}\left.\frac{\mathrm{d}\rho_{Q,i}}{\mathrm{d}\Psi}\right|_{\Psi=0}\right], \quad \rho_{Q,i}(r) \equiv \left(1+\frac{r^2}{r_{a,i}^2}\right)\rho_i(r), \quad \Psi = \sum_i \Psi_i \tag{2}$$

と与えられる。ここで、$Q \equiv \mathcal{E} - L^2/(2r_{a,i}^2)$, $\mathcal{E} \equiv -E + \Phi_0 = \Psi - v^2/2$, $\Psi \equiv -\Phi + \Phi_0$ であり、添字 i は成分ごとに異なる物理量であることを示している。また、$r_{a,i}$ は anisotropy radius と呼ばれる定



(a) 密度プロファイル。 (b) Anisotropy parameter. (c) 速度分散プロファイル。動径方向の速度分散 σ_r と tangential 方向の速度分散 σ_t を示した。

図 2: 非等方速度分布モデルの安定性。黒丸および赤の四角形はそれぞれ $t = 23.5$ における粒子データに対応し、それぞれに対応する線は各成分の初期プロファイルを示す。

数であり、速度分布の非等方性が卓越するスケールを与える。上記の積分中の第 2 項は ρ の無限遠方での微分に対応しており、通常考える $r \to \infty$ で速やかに $\rho \to 0$ となる密度分布 $\rho(r)$ については、0 となるために計算する必要はない。第 1 項についてはこのままの形式では実装に適さないために少し計算を進めて

$$\frac{\mathrm{d}^2\rho_{Q,i}}{\mathrm{d}\Psi^2} = \left(\frac{r^2}{GM(r)}\right)^2 \left[\left(\frac{2}{r} - \frac{4\pi r^2 \sum_i \rho_i(r)}{M(r)}\right)\left\{\frac{2r\rho_i(r)}{r_{a,i}^2} + \left(1 + \frac{r^2}{r_{a,i}^2}\right)\frac{\mathrm{d}\rho_i}{\mathrm{d}r}\right\} + \frac{2\rho_i(r)}{r_{a,i}^2} + \frac{4r}{r_{a,i}^2}\frac{\mathrm{d}\rho_i(r)}{\mathrm{d}r} + \left(1 + \frac{r^2}{r_{a,i}^2}\right)\frac{\mathrm{d}^2\rho_i}{\mathrm{d}r^2}\right] \tag{3}$$

として評価する。以上の積分を $\rho_i(r)$, $\mathrm{d}\rho_i(r)/\mathrm{d}r$, $\mathrm{d}^2\rho_i(r)/\mathrm{d}r^2$, $M(r)$ のテーブルを用いて二重指数関数型数値積分公式を用いて評価する実装としている。

3.3 具体的成果

複数の非等方速度分布モデルを重ね合わせた上で力学平衡分布を生成できるかを検証するために、NFW モデル（$M = 1$, $r_\mathrm{s} = 1$, $r_\mathrm{a} = 2$; $N = 8\,388\,608$）と King モデル（$M = 1$, $r_0 = 1$, $r_\mathrm{a} = 0.8$, $W_0 = 3$; $N = 8\,388\,608$）を重ね合わせた粒子分布を分布関数から構築し、$t = 23.5 = 13.6 t_\mathrm{ff}$ まで時間進化させ、その結果を図 2 に示した。 この図から、独立な非等方半径を持つ粒子分布を重ね合わせても生成した粒子分布が長時間に渡って力学平衡状態にあることが分かる。また、中心領域においては速度分布が等方的（$\beta = 0$）であり、外縁部に近付くにつれて動径方向の速度分散が卓越（$\beta > 0$）していることが見て取れる。

4 アンドロメダ銀河北西領域の恒星ストリームに関する研究

本節では、アンドロメダ銀河（M31）ハローの北西領域において近年発見された恒星ストリームである North-Western ストリーム（以下 NW ストリーム）に関する研究成果について紹介する。

4.1 背景

銀河のハロー領域には、ストリームやシェルといった過去の銀河衝突の痕跡が残っている。こうしたストリーム構造自体についての研究が銀河の形成・進化史を調べる上で重要であることは言うまでもな

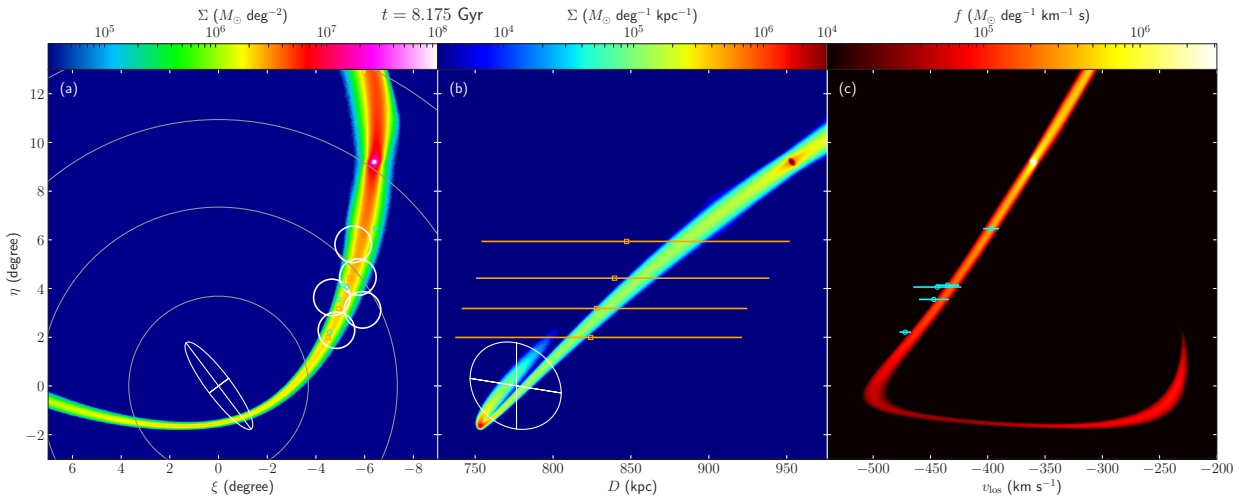


図 3: NW ストリームの 3 次元構造。 N 体シミュレーションの結果は天球面上での表面輝度分布を (a) に、奥行構造を (b) に、視線速度構造を (c) に示した。 (a) 天球面上での面密度分布を示した。白の円は Subaru/HSC サーベイの観測領域である。 (b) 奥行方向の分布を示した。オレンジの誤差棒付きのデータ点は Subaru/HSC を用いて測定された NW ストリームまでの距離であり、観測結果をよく再現している。 (c) 視線速度分布を示した。 NW ストリームに沿って分布する球状星団の視線速度（水色のデータ点）とよく一致している。

いが、ストリーム構造をプローブとして用いた研究を遂行するための準備研究としての側面もある。標準的な構造形成理論の問題点の 1 つとして、宇宙論的 N 体シミュレーションによって形成されるダークマターサブハローの個数が、銀河の周辺で見つかっている衛星銀河の数よりも 1 桁程度多すぎるという衛星銀河問題が指摘されている [9, 3]。この比較には、電磁波観測では検出できないダークマターサブハローの数と、恒星系を伴った衛星銀河の数を比較しているという問題点があるため、ダークマターサブハローの数を観測的に評価しなければならない。このために、恒星ストリームとダークマターサブハローの近接遭遇時の重力相互作用時の痕跡を見つけることでダークマターサブハローの数を推定するという方法が Carlberg によって提案 [2] されており、NW ストリームが格好のターゲットとされている。 NW ストリームは PAndAS（Pan-Andromeda Archaeological Survey）プロジェクトによって最近発見された恒星ストリームである。

4.2 内容

先行研究 [4, 5] では N 体計算を用いて NW ストリームの 3 次元構造を概ね再現し、NW ストリームの母体が矮小銀河であることを明らかにした。しかし、実際の矮小銀河ではダークマター成分が支配的であるため、計算モデルのアップデートが必要である。 NW ストリームを対象とした一連の研究の最終目的は、ストリーム近傍を通過するダークマターサブハローによる力学的擾乱を数値的・観測的に評価することである。このためには、ストリームを構成する恒星粒子の力学状態を正確に決定しておくことが重要であり、矮小銀河内の力学状態を支配するダークマター成分の物理量を正確に決定しておく必要がある。

4.3 具体的成果

本年度は、16 384, 65 536, 262 144, 1 048 576, 4 194 304, 16 777 216 の合計 6 通りの粒子数を用いて大規模パラメータ探査に向けて収束性の確認を行った。解像度の最も高い $N = 16\,777\,216$ の時の結果を図 3 に示した。観測されている 3 次元構造および速度構造がよく再現されていることが分かる。また収束性を確認した結果、計算結果を十分に収束させるためには 26 万体では不十分であり、100 万程度

の粒子数が必要であることが分かった。特に、元矮小銀河のコアが衝突後も生き残って現在観測可能であるかを議論するためには、十分な粒子数を用いた計算を実行することが重要である。ちなみに、N 体計算を用いて NW ストリームを再現した先行研究は [4] および [5] のみであり、用いた粒子数は 65 536 であったので、今回実行した計算は NW ストリームを対象とした世界最大の計算である。

5 業務関連

Oakbridge-CX の調達に関連した業務として、ソフトウェア・ライブラリ周りを中心に仕様書策定に取り組み、また提案書を提出したベンダーからのヒアリングや SC18 におけるベンダーミーティングに参加した。スーパーコンピュータの運用に係る業務として Reedbush、Oakforest-PACS の定例会に、HPCI 関連の業務として連携サービス運営・作業部会、共用ストレージ運用部会や共用ストレージの課題検討会議などに出席した。

2018 年 10 月 26 日、27 日に開催された東京大学柏キャンパス一般公開 2018 にあたっては、3 次元可視化システムを用いてのデモのための素材を提供し、また参加者に対する説明を行った。その他の施設見学対応としては、海外から 5 件、国内から 4 件の見学者に対して、施設の概要説明・案内および研究紹介を行った。

第 105 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 初級」（2018 年 10 月 18 日）の講師を担当し、MPI を用いた並列プログラミングの基礎について、並列プログラミング初心者を対象とした講義および演習を行った。

6 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 三木洋平: Volta 世代の GPU における重力ツリーコードの性能評価, 天体形成研究会, 筑波大学, 2018 年 11 月.

著書／編集

[著書 1] T. Boku, T. Hanawa, H. Murai, M. Nakao, Y. Miki, H. Amano, and M. Umemura: GPU-Accelerated Language and Communication Support by FPGA, in the book of Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing, The Japanese Post-Peta CREST Research Project, Springer, 2019.

査読付論文

[査読付 1] Miki, Y. and Umemura, M.: MAGI: many-component galaxy initializer, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 475, pp.2269–2281 (13pp), Apr., 2018.

公開ソフトウエア

[公開 1] Miki, Y. and Umemura, M.: MAGI (MAny-component Galaxy Initializer), https://bitbucket.org/ymiki/magi

その他の発表論文

[発表 1] 三木洋平: 高精度・高分解能シミュレーションを用いた銀河の形成・進化史の探求, JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回シンポジウム, 東京, 2018 年 7 月（ポスター発表）.

[発表 2] 宮川銀次郎, 森正夫, 三木洋平, 桐原崇亘: Dark satellite と矮小銀河の衝突シミュレーション, 日本天文学会 2018 年秋季年会, X54a, 兵庫県立大学, 2018 年 9 月.

[発表 3] 三木洋平: Volta 世代の GPU における重力ツリーコードの性能評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2018-HPC-166 No.6, 北海道, 2018 年 9 月.

[発表 4] Yohei Miki: Performance evaluation of gravitational octree code on Volta GPU, Booth talk at SC18, Dallas, USA, Nov., 2018.

特記事項

[特記 1] 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）課題「高精度・高分解能シミュレーションを用いた銀河の形成・進化史の探求」, 課題代表者, 2018 年度.

[特記 2] 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）課題「中間質量ブラックホールの理解に向けた星の衝突・破壊に関する研究」, 課題副代表者, 2018 年度.

[特記 3] 「HPCI 連携サービス運営・作業部会」部会員.

[特記 4] 「HPCI 共用ストレージ運用部会」部会員.

[特記 5] HDD 増設仕様策定委員会 委員, 2018 年 6 月.

[特記 6] 第 2 総合研究棟 運営専門委員会 委員.

[特記 7] 第 105 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 初級」, 2018 年 10 月 18 日, 講師を担当.

[特記 8] 三木洋平: アンドロメダ銀河南天のアーク構造の起源解明, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.4, 2018 年 7 月.

[特記 9] 三木洋平, 阿曽義浩: ISC High Performance 2018（ISC 2018）参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.5, 2018 年 9 月.

[特記 10] 三木洋平: 第 105 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会, スーパーコンピューティングニュース, Vol.21 No.1, 2019 年 1 月.

[特記 11] 星野哲也, 坂本龍一, 三木洋平, 阿曽義浩: SC18 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.21 No.1, 2019 年 1 月.

参考文献

[1] Barnes, J. and Hut, P.: A hierarchical O(N log N) force-calculation algorithm, Nature, 324, pp.446–449 (4pp), Dec., 1986.

[2] Carlberg, R. G.: Dark Matter Sub-halo Counts via Star Stream Crossings, The Astrophysical Journal, 748, 20 (20pp), Mar., 2012.

[3] Ishiyama, T., Fukushige, T., and Makino, J.: Variation of the Subhalo Abundance in Dark Matter Halos, The Astrophysical Journal, 696, pp.2115–2125, May, 2009.

[4] Kirihara, T., Miki, Y., and Mori, M.: The nature of the progenitor of the M31 north-western stream: globular clusters as milestones of its orbit, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 469, pp.3390–3395 (6pp), Aug., 2017.

[5] Komiyama, Y., Chiba, M., Tanaka, M., Tanaka, M., Kirihara, T., Miki, Y., Mori, M., Lupton, R.H., Guhathakurta, P., Kalirai, J.S., Gilbert, K., Kirby, E., Lee, M.G., Jang, I.S., Sharma, S., and Hayashi, K.: Stellar Stream and Halo Structure in the Andromeda Galaxy From a Subaru/Hyper Suprime-Cam Survey, The Astrophysical Journal, 853, 29 (21pp), Jan., 2018.

[6] McMillan, S. L. W.: The Vectorization of Small-N Integrators, Lecture Notes in Physics, 267, 156, 1986.

[7] Merritt, D.: Spherical stellar systems with spheroidal velocity distributions, The Astronomical Journal, 90, pp.1027–1037 (11pp), June, 1985.

[8] Miki, Y., and Umemura, M.: GOTHIC: Gravitational oct-tree code accelerated by hierarchical time step controlling, New Astronomy, 52, pp.65–81 (17pp), Apr., 2017.

[9] Moore, B. et al.: Dark Matter Substructure within Galactic Halos, The Astrophysical Journal, 524, L19–L22, Oct., 1999.

[10] NVIDIA: NVIDIA Tesla V100 GPU Architecture, 2017.

[11] Osipkov, L. P.: Spherical systems of gravitating bodies with an ellipsoidal velocity distribution, Soviet Astronomy Letters, 5, pp.42–44 (3pp), Jan., 1979.

大規模科学技術計算に向けた行列近似手法の研究および普及活動

伊田　明弘

1　概要

科学技術計算に現れる行列に対して近似を適用し、数値線形代数計算の省メモリ化・高速化を実現するための研究を行った。低ランク近似、不完全分解、近似代数的疎格子近似などの近似を対象とし、行列種類、演算内容、利用計算システムに応じて使い分け、それぞれの最適化を目指している。開発した近似手法およびその実装を通じて、実問題の大規模シミュレーションの実現に寄与する活動を続けている。また、大規模科学技術計算の普及に向けた社会貢献活動を行った。

・大規模シミュレーションに向けた行列近似手法の研究

科学技術計算において、線形微積分方程式は現象を記述する支配方程式として広く利用されている。解析領域の形状や境界条件が複雑な場合は言うに及ばず、そうでない場合でも、線形微積分方程式を解析的に計算することは一般に困難であり，その計算には数値解析が多く用いられる。その際、重み付き残差法などを用いて方程式を離散化することにより、線形微積分方程式は連立一次方程式へと変換される。連立一次方程式の方程式数をNとすると、係数行列がいわゆる疎行列であれば、疎行列を格納するために必要なメモリ容量は$O(N)$でしかない。しかし、疎行列の LU 分解・QR 分解・逆行列などを考えると、行列の疎な構造は失われ密行列となり得る。また、離散化される方程式が積分作用素を含む場合には、離散化された連立一次方程式の係数行列自体が密行列である。このように、密行列は科学技術計算において頻繁に現われ有用であるが、$O(N^2)$のメモリ容量と$O(N^2)$以上の計算量が必要となる。大規模な解析を行うためには、これら要求が大きな障壁である。

科学技術計算で扱われる密行列またはその部分行列に対して適当な近似を行うことにより、シミュレーションの実行に必要なメモリ容量と計算量を$O(N)$~$O(N\log^p N)$程度に軽減する研究を行っている。とりわけ、密行列を概念上の存在に留めて実際に計算することを避け、疎行列や微積分方程式から直接、必要な近似行列を構築する手法に注目している。また、近年の大型計算機の現状を鑑み、開発するアルゴリズムとその実装法については、並列計算機の活用を念頭に置いている。

2018 年度の成果は、以下のとおりである。

① 低ランク構造行列法(Low-rank structured matrices)に関する研究・開発[招待 1]

低ランク構造行列法は線形積分作用素を離散化して得られる密行列に対する近似手法の総称である。低ランク構造行列法では、積分作用素と積分に関わる空間的情報から近似行列を直接作成することができ、密行列を経由する必要がないため、計算に必要なメモリ量および計算量を低減させることが可能である。低ランク構造行列法に関して、次の三点について研究成果が得られた。

- 低ランク構造行列法の適用範囲拡大

（格子）階層型行列法を、様々な実シミュレーションで活用するための研究を行った。超電導マグネットの交流損失を評価するためのシミュレーションにおいて、演算量が最も多い積分作用素の評価に階層型行列法を適用し、使用メモリ量および計算時間を大幅に低減させた[査読付 1，査読付 9，発表 2]。

マイクロマグネティクス計算に基づく磁壁駆動シミュレーションに対して、格子階層型行列法を適用するための研究をおこなった [査読 2]。格子階層型行列法を同シミュレーションに対して最適化を行い、従来手法よりも多くの計算資源を有効に使えることを示した[査読 1]。

- 格子階層型行列法(Lattice $\mathcal{H}$-matrices)

  既存の階層型行列法($\mathcal{H}$-matrices)と BLR 行列法(Block Low-Rank matrices)の長所を組み合わせた新手法として、格子階層型行列法(Lattice $\mathcal{H}$-matrices)を提案した[著書1、査読付 7, 発表 3]。通常の階層型行列（図1左下）は複雑な構造を有しており、特に分散メモリシステム上で効率的な演算を行うことが困難であった。この困難を解決すべく、格子階層型行列（図1右）は、BLR 行列の格子構造を階層型行列に導入した。格子の各ブロックを MPI プロセスに割り当てることにより、分散メモリシステムにおいて効率的な行列演算パターンと通信パターンを構築することができるようになる。

  これまでの研究において、低ランク構造行列の生成および行列・ベクトル積に焦点を絞って研究を行ってきたが、格子階層型行列法の特性を活かし、より複雑な線形代数演算を行う研究を進めている。格子階層型行列の特殊な場合である BLR 行列に対して、LU 分解および QR 分解を行うアルゴリズムを開発した[招待 2, 発表1, 発表 4, 発表 5]。この内、QR 分解については、より詳しく第 2 節で記述する。
- 低ランク構造行列法の高速化手法

  低ランク構造行列法の計算過程は、いくつかの構成要素に分解できる。各構成要素の特性に合わせ、様々な計算アーキテクチャを用いて高速化を図る研究を行っている。階層型行列・ベクトル積計算をメニーコア・アーキテクチャ（GPU、KNL）向けに最適化する研究を行った[査読付 5, 発表 6, 発表 8, 発表 10]。階層型行列・ベクトル積計算をランタイムライブラリの使用により高速化する研究を行った[査読付 8]。また、低ランク構造行列の分割構造作成を、動的負荷分散の使用により高速化する研究を行った[発表7]。

② 分散メモリ並列計算環境を用いた大規模解析向けソフトウェアの開発と公開

境界要素法ソフトウェアフレームワーク BEM-BB および$\mathcal{H}$行列法ライブラリ$\mathcal{H}$ ACApK の開発を行った [公開1, 2]。本研究は、計算機の専門家でない研究者や技術者が大規模システム向けの様々なシミュレーションプログラムを容易に開発し、高速・安定に実行するための環境を提供することを目的のひとつとしている。BEM-BB は境界要素解析のためのフレームワークであり、HACApK ライブラリを使用することにより大規模化・高速化が可能となる。これらのソフトウェアにおける SIMD の活用法に関する研究も実施した[査読付 6]。

③ クリロフ部分空間法に関わる研究

- 代数的多段格子法前処理

  代数的多段格子法では、代数的に表現された格子から、粗い格子を作成する操作が必要となる。この操作に対して、並列計算処理を行うための研究を行った。前年度までに開発した不完全 LU 分解前処理の並列計算手法を応用し、新しい並列粗格子生成手法を提案した[発表 11]。
- 悪条件問題に対するクリロフ部分空間法前処理

  条件数が大きな疎行列を係数行列に持つ大規模連立一次方程式に対して、クリロフ部分空間法を適用する際に、その収束性を改善する前処理手法の検討を行った。行列成分が実数であり、前処理付きクリロフ部分空間法の演算を実数計算のみで行える場合であっても、複素数係数前処理行列を導入することにより収束性を改善できる場合があることを示した[発表 9]。
- 不完全分解前処理法の並列計算

分散メモリ並列計算機上で不完全 LU 分解前処理を効率的に行うための研究を行った。量子化学計算に必要な固有値計算に現れる連立一次方程式に適用し、有効性を確かめた[査読付 2, 発表 12]。開発手法を実装し、オープンソースソフトウェアとして公開した。

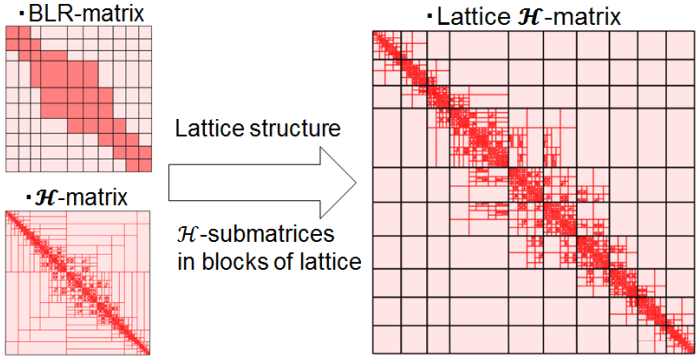


図1：格子階層型行列法で用いられる行列分割

・大規模科学技術計算の普及に向けた社会貢献活動

① スーパーコンピュータを用いた講習会の企画・実施

スーパーコンピュータ向けに開発された科学技術計算ライブラリを用いた講習会（お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」）を企画・実施した[特記 1,2]。この講習会の講師（一部）を担当した[特記 1,2]。

② スーパーコンピュータの企業による利用の推進

スーパーコンピュータの価値の評価またはスーパーコンピュータを用いた研究を、民間企業が独自に行えるように支援する活動を行った。

東京大学・情報基盤センターが有するスーパーコンピュータを、民間企業が利用しやすいように制度を整備し、HPを整えた。また、スーパーコンピュータ企業利用説明会を2回（7月・1月）企画・実施し、スーパーコンピュータの企業による利用の促進を図った。

名古屋大学・情報基盤センターが有するスーパーコンピュータを民間企業が利用するための制度の審査委員を務めた[特記 3]。

2 BLR 行列表現に基づく近似 QR 分解

2.1 研究背景

科学技術計算を実行するにあたり、密行列を扱う必要性は、科学技術計算の随所（積分作用素の離散化、疎行列の LU 分解や逆行列計算など）に現れる。行列サイズ(行数または列数)をNとして、密行列の扱いには少なくとも$O(N^2)$の計算機メモリが必要であり、行列演算（行列-行列積、LU 分解、QR 分解など）には$O(N^3)$の計算コストが要求される。この計算コストの軽減を目的として、科学技術計算に現れる密行列を、適当な精度で近似する研究が近年盛んに行われている。具体的な近似手法としては、階層型行列法（$\mathcal{H}$-行列法、 Hierarchical matrices）、格子階層型行列法(Lattice $\mathcal{H}$-matrices)、BLR 行列法(Block Low-Rank matrices)などが挙げられる（図1参照）。BLR 行列は、これらの手法の中で最も単純な構造を持つ。圧縮効率は他の手法に劣るが、演算の容易さが長所と言える。本研究では、BLR 行列に基づき QR 分解を行うアルゴリズムを提案した。

2.2 内容

任意の行列$A \in \mathbb{R}^{m\times n}$は、直交行列$Q \in \mathbb{R}^{m\times m}$および上三角行列$R \in \mathbb{R}^{m\times n}$を用いて、

$$A := QR, \tag{1}$$

と分解することができ、この分解はQR分解と呼ばれる（以下、この論文では、簡単のため行列は正方であるとする；即ち、$m = n = N$）。QR分解は行列に対する基本的な演算の一つであり、固有値計算や最小二乗法に用いられるなど、応用範囲も広い。

密行列のQR分解には、様々なアルゴリズムが提案されており、並列計算やキャッシュメモリの有効利用に向けては、ブロック分割テクニックを採用したものがある。今、このテクニックを用いるために、式(1)の行列A, Q, Rを次式のように$N_b \times N_b$のブロック（部分行列）に分割する。

$$X := \{X_{ij} \mid 1 \le i, j \le N_b\},\ X \in \{A, Q, R\}. \tag{2}$$

ブロック分割 QR 分解アルゴリズムにも種類があるが、この論文では修正ブロック・グラム・シュミット・(MBGS)アルゴリズムに注目する。図2に MBGS アルゴリズムの手順を示す。このアルゴリズムで演算が行われる部分は 2,5,7 行目であり、各演算の計算コストと実行回数を表1に示す。表1で、ブロックは全て正方であり、ブロックサイズについても一定サイズlであることを仮定した。ブロックサイズlに依存せず、密行列を MBGS アルゴリズムで QR 分解した場合の計算コストが$O(N^3)$であることが分かる。

式(2)で、QR分解される行列Aが疎行列だとしても、一般的に分解後のQ行列およびR行列は密行列となる。そのため、$O(N^2)$の計算機メモリが必要であり、$O(N^3)$の計算コストが要求される。本論文の提案は、行列A, Q, Rを全て、近似的にBLR行列を用いて表現し、計算メモリとコストを低減させるものである。行列Aが、ブロック分割されていると仮定する。そのような行列について、全ての非対角ブロックを低ランク行列形式で表現し、対角ブロックを密行列で表せば、形式的にBLR行列$\tilde{A}$を得る。即ち、

$$\tilde{A} := \left\{ \tilde{A}_{ij} = \begin{cases} \tilde{A}^U_{ij}\tilde{A}^V_{ij} & (i \ne j) \\ A_{ij} & (i = j) \end{cases} \middle|\ 1 \le i, j \le N_b \right\}. \tag{3}$$

ここで、$\tilde{A}^U_{ij} \in \mathbb{R}^{m_i\times k_{ij}}, \tilde{A}^V_{ij} \in \mathbb{R}^{k_{ij}\times n_j}$であり、$k_{ij} \in \mathbb{N}$は部分行列$\tilde{A}_{ij}$のランクである。多くの部分行列について、$k_{ij} \ll \min(m_i, n_j)$であれば、BLR行列の使用メモリ量は密行列に比べて十分に小さい。さらに、$\varepsilon \in \mathbb{R}_{>0}$に対して、全ての部分行列で$\|A_{ij} - \tilde{A}_{ij}\|_F / \|\tilde{A}_{ij}\|_F \le \varepsilon$と仮定すると、全体行列について$\|A - \tilde{A}\|_F / \|\tilde{A}\|_F \le \varepsilon$となることを証明可能である。式(3)のBLR行列表現は、任意の行列について可能であるが、ランクk_{ij}が十分小さくなるには多くの仮定が必要である。境界要素法に現れる行列や、微分方程式を離散化して得られる疎行列の逆行列について、適当な行の入れ替えと分割を行えば、全部分行列でランクk_{ij}が十分に小さくなるようなBLR行列表現が可能であることが知られている。

図２に示したMBGSアルゴリズムを、式(3)のBLR行列$\tilde{A}$に適用し、QR分解することを考える。密行列の場合と同様に、演算はブロック毎に行う。違いは、非対角ブロックが低ランク行列で表現されていることである。ここで、分解結果行列$\tilde{Q}$と$\tilde{R}$に対して、次の２つの条件を課す：

C1: 行列$\tilde{Q}, \tilde{R}$は$\tilde{A}$と同じ構造を有する

C2: 非対角ブロック$\tilde{Q}_{ij}, \tilde{R}_{ij}$は、ブロック$\tilde{A}_{ij}$と同じランク$k_{ij}$である

これらの条件下で MBGS アルゴリズムの演算を実行するためには、密部分行列どうしの積和演算に加えて、低ランク部分行列が関わる次の４つの演算 LA1～LA４が必要である。

LA1: (低ランク) + (低ランク) = (低ランク)

LA2: (低ランク) × (低ランク) = (低ランク)

LA3: (低ランク) + (密) = (密)
LA4: (低ランク) × (密) = (低ランク)

条件C1, C2の下では、行列積$\tilde{Q}\tilde{R}$は$\tilde{A}$にならず、その近似になる：$\tilde{A} \approx \tilde{Q}\tilde{R}$。この原因は、低ランク行列どうしの和(LA1)にある。低ランク行列の和を正確に行うと、ランクが増大する。条件“C2”を満たすためには、和の結果行列を近似して、増大したランクを減らす必要が生じる。そのように近似的に低ランク行列の和を行う方法として、いわゆる“rounded addition”を採用する。この手法では、 特異値分解(SVD)とtall-skinny行列QR分解(TSQR)を効果的に用いたアルゴリズムを利用してランクを低減させている。この時、二つの低ランク行列のサイズlは、ランクkに比べて十分大きいと仮定しているため、“rounded addition”の計算コストは$O(l)$に過ぎない。

図2の MBGS アルゴリズムにおいて、2,5,7 行目の行列演算を、上記の低ランク行列演算に置き換えたものを、BLR 行列に基づく QR 分解アルゴリズムとして提案する。そのアルゴリズムの計算コストを、表1に密行列の場合と供に示す。計算コストはブロックサイズlに依存し、ブロックサイズ$l \propto \sqrt{N}$と取れば、計算コストは$O(N^2)$となる。

Input : A with $N_b \times N_b$ blocks
Output : Q, R with $N_b \times N_b$ blocks such that QR=A
1: **For** $j = 1,2,\cdots,N_b$ **do**
2: $[Q_{*,j}, R_{j,j}] \coloneqq \mathrm{TSQR}(A_{*,j})$
3: **For** $k = j+1, j+2, \cdots, N_b$ **do**
4: $R_{j,k} \coloneqq Q_{*,j}^T A_{*,k}$
5: $A_{*,k} \coloneqq A_{*,k} - Q_{*,j}\, R_{j,k}$
6: **End do**
7: **End do**

図2. MBGS アルゴリズム．N_bは行列A, Q, Rの行（または列）に含まれるブロック数を表す。行列の添え字は、行方向または列方向のブロック・インデックスである。添え字の記号*は、その方向の全ブロックを示す。例えば、$A_{*,j}$は、j番目のブロック列であり、tall-skinny 行列となる。関数 TSQR($A_{*,j}$)は、tall-skinny 行列$A_{*,j}$の QR 分解を返す関数である。この分解は、$Q_{*,j}^T Q_{*,j} = I$ および $Q_{*,j}, R_{j,j} = A_{*,j}$ を満たす。

表１：ブロック分割密行列とBLR行列を、MBGSアルゴリズムによりQR分解する場合の計算コスト。表中、“# of calls”はfunctionが呼ばれる回数を意味し、“1time complexity”は各function１回あたりの演算コストを示している。“Total complexity”は、これら２つの積である。

Function	Dense-matrix			BLR-matrix		
	# of calls	1time complexity	Total complexity	# of calls	1time complexity	Total complexity
$\mathrm{TSQR}(A_{*,j})$	$N/l(\coloneqq N_b)$	$O(l^2N)$	$O(lN^2)$	N/l	$O(l^3)$	$O(Nl^2)$
$Q_{*,j}^T A_{*,k}$	$(N/l)^2$	$O(l^2N)$	$O(N^3)$	$(N/l)^2$	$O(l)$	$O(N^2/l)$
$A_{*,k} - Q_{*,j}\, R_{j,k}$	$(N/l)^2$	$O(l^2N)$	$O(N^3)$	$(N/l)^2$	$O(l^2)$	$O(N^2)$

2.3 具体的成果

前小節で述べた通り、密行列を用いたMBGSアルゴリズムの計算コストが$O(N^3)$であるのに対し、BLR行列に基づくMBGSアルゴリズムの計算コストは$O(N^2)$と見積もられる。前小節で述べた各サイズのBLR行列(近似精度ε =1.0e-4, 1.0e-6,1.0e-8)を提案手法で計算した際の計算時間を図３に示す。また、図３には、BLR行列の近似元に相当する密行列について、

MKLルーチンを用いてQR分解した際の計算時間もプロットした。MKLルーチンの計算時間は、理論的予測通り$O(N^3)$であったが、提案手法については、観測結果の計算オーダーが理論的予測$O(N^2)$よりも小さいように見える。この理論と実験の差異の原因として考えられる可能性の一つとして、非対角ブロックでランクの差を挙げておく。表２の理論的見積もりでは、全ての非対角ブロックでランクが一定であることを仮定していたが、現実の問題では、行列サイズが大きくなるにつれてBLR行列の非対角ブロックのランクが小さくなる傾向にある。 予測された通り、提案アルゴリズムの計算時間はBLR行列の近似精度に依存している。行列サイズによらず、近似精度ε =1.0e-4の場合の計算速度は、近似精度ε =1.0e-8に比べて約3.5倍高速であった。近似精度が高く、行列サイズが小さい場合には、提案アルゴリズムはMKLルーチンより遅いが、近似精度ε =1.0e-4の場合、もしくは行列サイズが数千より大きい場合には、提案アルゴリズムがMKLルーチンより高速であることが確かめられた。最後に使用メモリについて言及すると、提案手法を用いれば行列サイズ$N = 338{,}000$であっても、１ノード(32GB)で計算することができた。

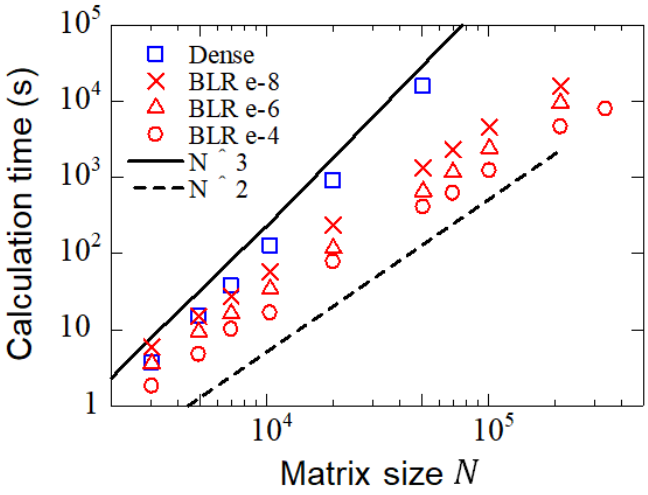


図6：提案手法およびMKLルーチン（“dgeqrf”および“dorgqr”）の計算時間

3　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 伊田明弘;「大規模数値解析向け低ランク行列近似手法」, 第 52 回 FrontISTR 研究会, 東京大学本郷キャンパス 工学部 8 号館 東京, 2019 年 3 月 19 日

[招待 2] Akihiro Ida, ”Matrix Arithmetic Using Lattice H-matrix Representations”, 2019 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT in HPC 2019), National Sun Yat-sen University, Kaohsiung, Taiwan (February 15, 2019)

著書／編集

[著書 1] Kengo Nakajima, Masaharu Matsumoto, Masatoshi Kawai, Takahiro Katagiri, Takashi Arakawa, Hisashi Yashiro and Akihiro Ida (2019). “ppOpen-HPC/pK-Open-HPC: Application Development Framework with Automatic Tuning (AT)”, In Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing (pp. 11-36). Springer, Singapore.

査読付論文

[査読付 1] Takeshi Mifune, Naoki Tominaga, Yusuke Sogabe, Yudai Mizobata, Masahiro Yasunaga, Akihiro Ida, Takeshi Iwashita and Naoyuki Amemiya, “Large-scale electromagnetic field analyses of coils wound with coated conductors using a current-vector-potential formulation with a thin-strip approximation”, Superconductor Science and Technology (SUST) (Accepted)

[査読付 2] Andreas Alvermann, *et.al.* (Akihiro Ida: one of 33 authors), “Benefits from using mixed precision computations in the ELPA-AEO and ESSEX-II eigensolver projects”, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics (JJIAM) (Accepted)

[査読付 3] Akihiro Ida, Tadashi Ataka and Atsushi Furuya, “Lattice H-matrices for Massively Parallel Micromagnetic Simulations of Current-induced Domain Wall Motion”, 22nd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2019), Paris, France (July 2019) (Accepted).

[査読付 4] Tadashi Ataka, Akihiro Ida, Atsushi Furuya, Koichi Shimizu, Jun Fujisaki, Tomohiro Tanaka and Hirotaka Oshima, “Application of the Fast Micromagnetic Simulation to Thin Spintronic devices”, 22nd International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2019), Paris, France (July 2019) (Accepted).

[査読付 5] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, Toshihiro Hanawa and Kengo Nakajima, “Load-balancing-aware Parallel Algorithms of H-matrices with Adaptive Cross Approximation for GPUs”, In Proceedings of IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER 2018)

[査読付 6] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, Toshihiro Hanawa and Kengo Nakajima, “Design of Parallel BEM Analyses Framework for SIMD Processors”, In: Shi Y. *et al*. (eds) Computational Science – ICCS 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 10860. Springer, Cham.

[査読付 7] Akihiro Ida, “Lattice H-Matrices on Distributed-Memory Systems”, 32nd IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Vancouver, Canada (May 21-25, 2018), pp.389-898.

[査読付 8] Ichitaro Yamazaki, Ahmad Abdelfattah, Akihiro Ida, Satoshi Ohshima, Stanimire Tomov, Rio Yokota, and Jack Dongarra “Analyzing Performance of BiCGStab with Hierarchical Matrix on GPU clusters”, 32nd IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Vancouver, Canada (May 21-25, 2018), pp930-939.

[査読付 9] Naoki Tominaga, Takeshi Mifune, Akihiro Ida, Yusuke Sogabe, Takeshi Iwashita, Naoyuki Amemiya, “Application of hierarchical matrices to large-scale electromagnetic field analyses of coils wound with coated conductors”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Volume 28, Issue 3 (April 2018), pp.1-5.

公開ソフトウェア

[公開 1] Takeshi Iwashita, Takeshi Mifune, Yuki Noseda, Yasuhito Takahashi, Masatoshi Kawai, Akihiro Ida : ppOpen-APPL/BEM ver.0.5.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, https://github.com/Post-Peta-Crest/ppOpenHPC/tree/APPL/BEM

[公開 2] Akihiro Ida and Takeshi Iwashita :HACApK ver.1.0.1, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, https://github.com/Post-Peta-Crest/ppOpenHPC/tree/MATH/HACApK

その他の発表論文

[発表 1] Akihiro Ida, Ichitaro Yamazaki, Rio Yokota, Satoshi Ohshima, Tetsuya Hoshino, Tasuku Hiraishi and Takeshi Iwashita, “More Efficient Structures of H-matrices”, The HPC symposium Computational Science at Scale (CoSaS18), (Erlangen, Germany, Sep.6,2018)

[発表 2] Naoyuki Amemiya, Naoki Tominaga, Takeshi Mifune, Yusuke Sogabe, Yudai Yasunaga, Akihiro Ida and Takeshi Iwashita, “Progress of Large-Scale and Fast Electromagnetic Field Analyses of Coils Wound with Coated Conductors for Ac Loss and Shielding Current Calculations”, 6th International Workshop on Numerical Modelling of High Temperature Superconductors (HTS Modelling 2018), Caparica Portugal (26-29 June 2018).

[発表 3] 伊田明弘,「格子 H 行列を用いた並列行列計算」, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 熊本市国際交流会館(熊本県熊本市), 2018 年 7 月 31 日

[発表 4] 伊田 明弘,「格子階層型行列法：分散メモリ並列計算機向け階層型低ランク近似手法」, 第 23 回計算工学会, ウインクあいち(愛知県名古屋市), 2018 年 6 月 7 日

[発表 5] Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota, and Jack Dongarra, “Distributed Memory Lattice H-Matrix Factorization”, SIAM Conference on Computational Science and Engineering 2019(SIAM CSE 19), Spokane, USA (February 2019).

[発表 6] Tetsuya Hoshino and Akihiro Ida, “H-Matrix Framework for Many-core Processors”, SIAM Conference on Computational Science and Engineering 2019 (SIAM CSE 19), Spokane, USA (February 2019).

[発表 7] 白 正陽, 平石 拓, 中島 浩, 伊田 明弘, 八杉 昌宏,「Parallelization of Matrix Partitioning in Construction of Hierarchical Matrices using Task Parallel Languages」, 情報処理学会第 122 回プログラミング研究会, 福山市ものづくり交流館(広島県福山市), 2019 年 1 月 17 日

[発表 8] 岩下 武史, 川村 卓人, 深谷 猛, 伊田 明弘,「H 行列ベクトル積のスレッド並列化における負荷均衡に関する検討」, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 熊本市国際交流会館(熊本県熊本市), 2018 年 7 月 31 日

[発表 9] 河合 直聡, 伊田 明弘, 中島 研吾,「IC 前処理の数値データ型による収束性、演算時間への影響の評価」, 2018 年並列／分散／協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ（SWoPP 熊本 2018）, 熊本市国際交流会館(熊本県熊本市), 2018 年 7 月 31 日

[発表 10] 大島 聡史、山崎 市太郎、伊田 明弘、横田 理央,「階層型行列計算におけるソフトウェア自動チューニング」, 第 23 回計算工学会, ウインクあいち(愛知県名古屋市), 2018 年 6 月 7 日

[発表 11] 河合 直聡、伊田 明弘,「代数マルチグリッド法のための並列 Aggregation の評価」, 第 23 回計算工学会, ウインクあいち(愛知県名古屋市), 2018 年 6 月 8 日

[発表 12] Masatoshi Kawai, Akihiro Ida and Gerhard Wellein, “ppOpen-SOL: Robust ILU Preconditioner for Exascale”, International Supercomputing Conference 2018, HPC in Asia Poster Session, Frankfurt, Germany (June 27, 2018)

特記事項

[特記 1] 第 104 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」, 2018 年 9 月 19 日,取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 2] 第 113 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」, 2019 年 3 月 12 日,取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 3] 名古屋大学情報基盤センター非公開産業利用審査委員（2017 年 4 月～）

[特記 4] 2018 Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures Joint Research Project Proposal Application Form, “Hierarchical low-rank approximation methods on distributed memory and GPUs with applications in fluid and electromagnetic simulation”, person in charge

[特記 5] 平成 30 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「時空間領域境界積分方程式法の高速解法の開発と巨大地震シミュレーションへの応用」, 研究副代表

[特記 6] Member of Program Committee, the 48th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2019), 2019

[特記 7] Member of Scientific Committee, the 13th International Meeting on High Performance Computing for Computational Science (VECPER 2018), 2018

次世代計算機の最適化

有間 英志

1 概要

昨年度に引き続き、本年度も次世代計算機のためのアーキテクチャ、システムソフトウェア、コーディング技術、ならびに電力制御に関する研究を実施した。本稿では、特に以下の内容について述べる。

- 第 2 章: 次世代計算機におけるデータ転送最適化
- 第 3 章: 次世代計算機における電力制御最適化
- 第 4 章: 次世代計算機におけるスケジューリング最適化
- 第 5 章: その他 (業務・兼業・社会貢献等)

2 次世代計算機におけるデータ転送最適化

2.1 背景

次世代 HPC システムでは、そのメインメモリの高バンド幅化と大容量化を実現することが必要不可欠である。しかし、これらを両立することは以下の理由から困難である: (1) HBM に代表される三次元積層 DRAM によって高バンド幅化は可能であるものの、コスト・熱等の面から大容量化が難しい; (2) 既存の DIMM ベースのメモリでは、特に不揮発性メモリを用いた大容量化が可能であるものの、こちらもピン数制約やメモリバスの電力制約から高バンド幅化が難しい。従って、これら異なるメモリ技術を組み合わせたハイブリッドメインメモリ構成が有力であり、その上でのデータ転送の最適化が高性能化の鍵となる。本研究では特にメモリステージング (図 1) に焦点を当ててこれを最適化する。

2.2 内容

2.2.1 着眼点: メモリステージングにおける性能トレードオフ

メモリステージングにおいて性能向上を得るためには、第 2 ステージで得られる性能向上分 ($T_{boost} = T_{base} - T_{2nd}$) が第 1、3 ステージにて生じる性能オーバーヘッド ($T_{copy} = T_{1st} + T_{3rd}$) を上回る必要がある。しかし、我々の実験により、この大小関係は当該データチャンクに対するメモリアクセスパターンに大きく依存することが分かっている (図 2/3)。ここで、図 2 の Random/Sequential では、8GB のデータアレイに対して 1G 回のランダム/シーケンシャルアクセスを行った場合をそれぞれ表している。一方で図 3 は 8GB のメモリ間コピーのオーバーヘッド (T_{copy}) を表している。 これらを比較することで (T_{boost} vs T_{copy})、メモリステージングを適用すべきかどうかが分かり、図では、ランダムな場合では適用すべきであり ($T_{boost} > T_{copy}$)、シーケンシャルの場合は適用すべきではない ($T_{boost} < T_{copy}$)。

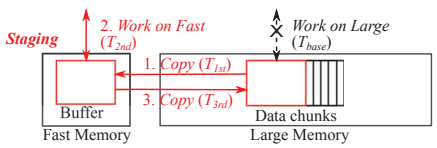


図 1: メモリステージング

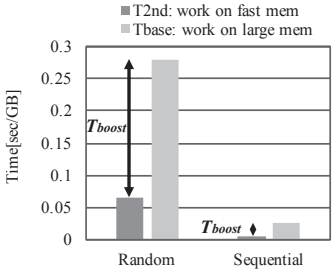


図 2: 潜在的性能向上

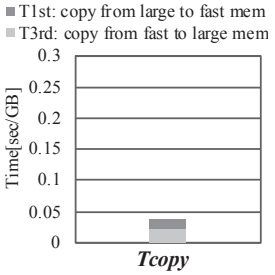


図 3: コピーオーバーヘッド

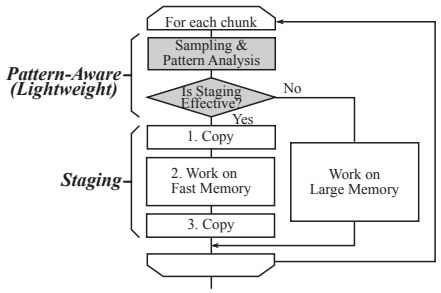


図 4: パターン適応型メモリステージングのブロックダイアグラム

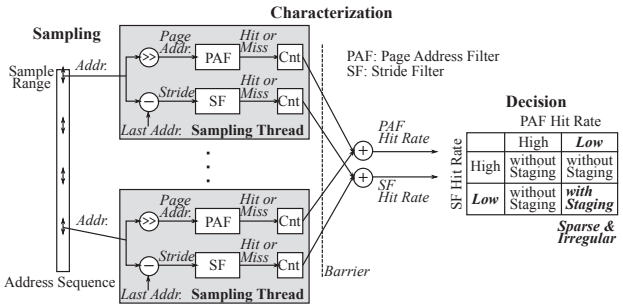


図 5: パターン分析手法の概要

2.2.2 提案: パターン適応型メモリステージング

前述の観測結果に基づき、軽量なソフトウェアメカニズムである「パターン適応型メモリステージング」を提案している。この概要を図 4 のブロックダイアグラムに示す。これは、あるチャンクへのアクセスシーケンスをランタイムにサンプリングし、そのパターンを分析し、その分析結果に基づいて、メモリステージングを行うかどうかを決めるというものである。

図 5 にそのメカニズム、特にパターン分析手法の概要を示す。これは次の 3 つの部分からなる: アドレスサンプリング、特徴量抽出、判断である。図のサンプリングスレッドでは、アドレスシーケンスをランタイムにサンプリングし、パターンを分析する。この特徴量抽出を 2 つのブルームフィルタを用いて行う — すなわち、Page Address Filter (PAF) と Stride Filter (SF) である。これらのフィルタはページアドレスもしくはアドレスストライドの履歴を空間効率良く保持しており、各インプットが履歴に保存されているかどうかを判断することができる。もし、疎なアクセスをする場合には、PAF のヒット率は低くなり、不規則なアクセスをする場合には、SF のヒット率は低くなる。このサンプリングを適当な数で打ち切った後、これらフィルタのヒット・ミスカウントを収集してヒット率を求める部分までが、特徴量抽出部分の最後であり、この統計情報を元にメモリステージングを行うかどうかの判断を行う。もし、アクセスが疎であり、かつ不規則であれば、メモリステージングによって性能向上が得られる可能性が高く、従って、これを行うべきである。

2.2.3 アドレスサンプリング手法

図 6 に提案手法を適用する前のサンプル擬似コードを示す。ただし、ここでは簡単のため並列化されていないコードを記述しているが、実際には、スレッド並列化されたコードを対象として評価を行っている。第 3 行は新しく導入したディレクティブを示しており、我々は次のシナリオを想定している: コンパイラがこのディレクティブを認識すると、ターゲットの配列に対してパターン適応型メモリステージング適用し、自動的にコードを変換する (図 7/8)。現時点では人手による変換を行っているが、将来的には、先行研究のヘルパースレッディングで利用されたコンパイラによるコード変換手法を駆使することで自動化できると考えている。図 7 では図 6 から変換されたコードを示しており、メモリアクセスのアドレス部分に着目し、これを前述のブルームフィルタ (PAF 及び SF) にインプットしている。サンプル数が一定数に達するとこのループを抜け出す (ただし、スレッド並列化ループにおい

```
1  for(i=0;i<num_chunks;i++){
2    //processing ith chunk
3    #pragma our_directive target(A[][])
4    for(j=0;j<M;j++){
5      for(k=0;k<N;k++){
6        A[i][(j*I[k])%L]+=1;
7      }
8    }
9  }
```

図 6: オリジナルコード

```
1  for(j=0;j<M;j++){
2    for(k=0;k<N;k++){
3      PAF.input(&A[i][(j*I[k])%L]);
4      SF.input(&A[i][(j*I[k])%L]);
5      sample++;
6      if(sample >= max_sample) {
7        goto SAMPLE_END;}
8    }
9  }
10 SAMPLE_END:
```

図 7: サンプリングスレッド

```
1  for(i=0;i<num_chunks;i++){
2    //processing ith chunk
3    [Put the sampling threads code here]
4    if(decision_making(args)){
5      [code with staging]
6    }else{
7      [code without staging]
8    }
9  }
```

図 8: 変換後

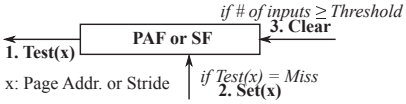


図 9: フィルタの動作

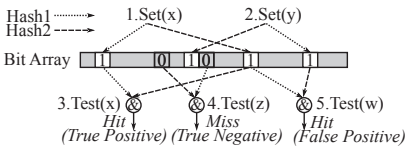


図 10: ブルームフィルタのメカニズム

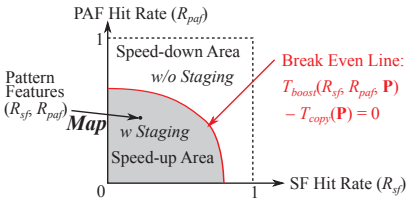


図 11: 判定手法の概要

てはこの部分は例えば omp cancel for を使って実装される)。このサンプリングスレッドは図 8 の判断部分 (decision_making(args)) の直前に配置される。

2.2.4 ブルームフィルタを用いた特徴量抽出

まず、図 9 に示す通り、前提として次のフィルタ機能を想定する: $Test()$, $Set()$, $Clear$ である。$Clear$ はフィルタの中身を初期化するために使われる。$Test()$ は各入力アドレスが履歴に存在するかどうかをチェックするために使われる。もし、存在すればヒットカウンタがインクリメントされ、もし存在しなければ、ミスカウンタがインクリメントし、$Set()$ 機能により、当該アドレスを登録する。

図 10 にブルームフィルタの構造を示す。まずビット列上にアクセス履歴を保存しており、$Set()/Test()$ は複数のハッシュ関数を用いて実現される。図では、3 の時点においては x は登録済みであるため、$Test(x)$ は必ずヒットを返す (*True Positive*)。反面、4 の時点では z はまだ登場していないため、$Test(z)$ はミスを返している (*True Negative*)。一方で、5 の時点では、ハッシュ衝突により、$Test(w)$ は誤ってヒットを返す (*False Positive*)。ただし、この *False Positive* はビット列を十分大きく取り、ハッシュ関数を適切に設定することで、その発生確率を無視できるほど小さくできる。一方で、入力に応じてフィルタが徐々に汚染されていくため、定期的にビット列の初期化 ($Clear$) が必要となる。本研究では、Florida sparse matrix collection を用いてフィルタの構成やサンプル数といったパラメタを最適化しており、評価の結果、例えば、PAF/SF に対して各スレッドごとに 2K/1K サンプルを行い、各々256B のフィルタを用いて 256 登録ごとに $Clear$ を行いつつパターンを識別することで、十分な精度が得られることが分かっており、その時間オーバーヘッドも 8GB のコピーオーバーヘッドと比較し 0.040%で済むことが分かっている。

2.2.5 モデリングによる判定

上記取得したパターン特徴量を用いてメモリステージングを行うか否かを決定する (図 11)。すなわち、R_{sf}-R_{paf} 平面上において、パターン特徴量ベクトル (R_{sf}, R_{paf}) が性能向上領域にマップされるなら、メモリステージングを行い、そうでなければ行わない (ただし、R_* は*のヒット率)。このポリシーに基づいた上で、誤差を配慮し、閾値 (T_{th}) を用いて下記を満たせばメモリステージングを行う。

$$T_{boost}(R_{sf}, R_{paf}, \mathbf{P}) - T_{copy}(\mathbf{P}) > T_{th} \tag{1}$$

$\mathbf{P}$ はベクトルであり、これはいくつかの given なパラメタ (read や write の割合等) を含んでいる。T_{boost} 及び T_{copy} の具体的なモデルについてはここでは省略するが、係数の調整が容易になる様にシンプルな線形モデルを用いて記述している。

次に、SpMV 及び Florida sparse matrix collection を用いた、メモリステージングの真偽・陰陽性判定の頻度とその性能への影響について考察する。まず、図 12 に偽 (陰陽) 性判定が性能に与える影響を記す。横軸にはワークロード番号、縦軸には *Large Mem Only*(常に大容量低速メモリを利用) の性能で正規化された相対性能を示している。*Always Staging* はパターンに依らず常にメモリステージングを行う場合の性能である。図に示す通り、偽判定は *Large Mem Only* と *Always Staging* の差が小さい、すなわち、偽判定の影響が小さい場合に起きやすいことが分かる (なぜなら、差が小さいために、モデル誤差の影響を受けやすいためである)。図 13 は真偽・陰陽性判定の内訳を示している。真の判定

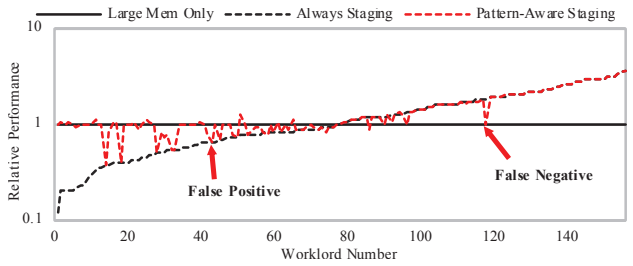


図 12: 偽 (陰陽) 性判定が性能に与える影響

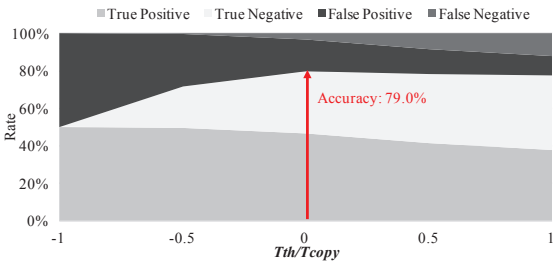


図 13: 真偽・陰陽性判定の割合

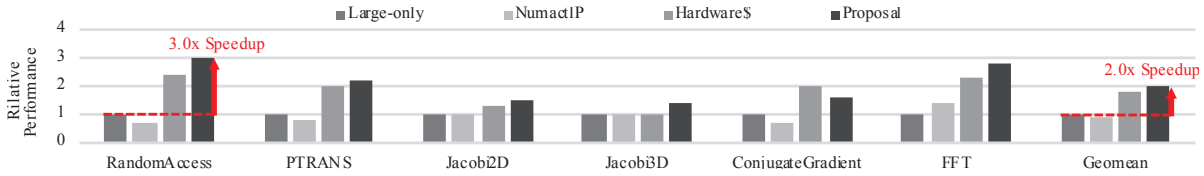


図 14: アプリケーションごとの性能比較

は $T_{th}/T_{copy} = 0$ の場合、79%の確率で起き、さらに、T_{th}/T_{copy} を 0 から 1 にスケールさせることで、全体の精度をほぼ下げることなく、偽陽性を偽陰性にシフトすることができる。

2.2.6 ベンチマークを用いた評価

表 1 に示すシステム上で様々な HPC カーネルを用いて提案手法の有効性を評価した。その評価結果を図 14 に示す。縦軸は相対性能であり、 *Large-only*(大容量低速メモリのみ使用) の場合のそれで正規化されている。図に示す通り、提案手法によって、最大で 3 倍、幾何平均で 2 倍の性能向上を達成している。ただし、*NumactlP* はデフォルトの Numactl を用いたソフトウェアによるナイーブな方式であり、*Hardware$* はハードウェアキャッシュによる制御である (この性能はデータサイズがスケールすると競合のため大幅に低下する)。最後にその他の統計情報を表 2 にまとめておく。

2.3 具体的成果・今後の展望

具体的な成果としては、前述の通り、大幅な性能向上を達成済みであり、さらには、独自の着眼点に基づく手法を提案している点からも新規性は十分にあると考えており、一流国際会議での論文採択を目指している。今後の展望としては、提案手法のコンパイラによる自動化、提案コンセプトのハードウェアによる実現、不揮発性 DIMM を搭載する新しいハードウェア上での評価、当センター教員とも協力した実アプリケーションを用いた評価等を視野に入れている。また、本研究内容で科研費 (若手研究) を獲得しており [特記 1]、実際にそれを元に Technical University of Munich にて共同研究を実施しており [特記 3]、今後もこの様に国際的にも協力しながら研究を実施する予定である。

3 次世代計算機における電力制御最適化

3.1 背景

消費電力はスーパコンピュータに代表される大規模システムの性能を制約する主要な要因であり、洗練された電力制御技術こそが性能向上を達成するために必要不可欠である。大規模システムに対する

表 1: 評価環境

Name	Remarks
CPU	XeonPhi 7210, 64cores, 1.3GHz, quadrant mode
Memory	MCDRAM: 16GB 450GB/s, DDR4: 96GB 90GB/s
OS	CentOS 7
Compiler	ICC 19.0.1.144

表 2: その他統計情報

Name	R_{paf}	R_{sf}	Estimated $T_{boost}/T_{copy} - 1$	Measured $T_{boost}/T_{copy} - 1$	Decision Correctness
RandomAccess	0.0388	0.0620	22.9 (>0)	20.3 (>0)	**Correct**
PTRANS	0.00297	0.999	6.60 (> 0)	3.73 (> 0)	**Correct**
Jacobi2D	0.998	0.998	3.51 (> 0)	1.67 (> 0)	**Correct**
Jacobi3D	0.996	0.998	5.37 (> 0)	2.18 (> 0)	**Correct**
ConjugateGradient	0.368	0.0947	31.8 (> 0)	17.8 (> 0)	**Correct**
FFT	0.968	0.998	5.54 (> 0)	9.08 (> 0)	**Correct**

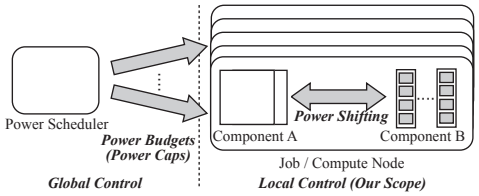


図 15: 階層的電力制御

```
1  #pragma omp parallel for simd
2  for (i = 0; i < N; i ++) { A[i] = A[i] * B[i] ... * B[i]; }
```

図 16: ルーフラインの計測に用いたコード

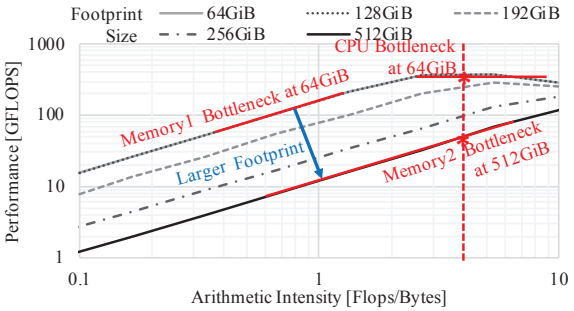


図 17: 計測したルーフライン曲線

電力制御手法はこれまでにも様々なものが考えられてきたが、図 15 に示す階層構造を取る事が多い。即ち、ジョブスケジューラと同様に、電力予算を各ジョブやノードに割り振る電力スケジューラというものが存在し、各ジョブ・ノードは与えられた電力予算制約の下、性能を最大化する様に各コンポーネントへ電力を割り振るというものである。本研究では特に後者に焦点を当て、高速 SSD を搭載するノードにて、CPU、メインメモリ、高速 SSD 間での電力割り当ての最適化を試みる。

3.2 内容

3.2.1 研究動機: ルーフライン曲線の観測

図 16 に示すコードを当該システム上にて各種パラメタ (データサイズ、F/B 率) を変化させながら実行し、図 17 に示すルーフライン曲線を得た。即ち、F/B 率が低い場合は総じてメモリシステムによって性能が制限され (斜線部)、F/B 率が高い場合には CPU によって性能が抑制される (水平線部) というものである。本実験では、データサイズをスケールさせる事で、ボトルネックが CPU やメインメモリ側から高速 SSD 側へと移行するボトルネックの移動を観測している。一般論として、電力制約下において性能を最大化するためには、より多くの電力をボトルネックとなっているコンポーネントに割り振る事が重要となる。しかしながら、このボトルネックはデータサイズに大きく依存するために、データサイズを考慮した電力制御が重要となる。

3.2.2 コンセプト: データサイズ適応型電力シフティング

上記の現象に基づき、データサイズ適応型電力シフティングを提案している。この問題設定を図 18 に示す。ここで、入力はアプリケーション (App)、データサイズ (S)、スケジューラから与えられたノード電力キャップ (P_{node}) である。P_{others} はスコープ外のコンポーネントの総電力であり、適切に設定されているものとする。即ち、電力制約 $P_{sum}(= P_{node} - P_{others})$ の下、与えられたアプリケーション及びデータサイズに対して、CPU(P_{cpu}) と各種メモリ (P_{memi}) への電力割り当てを最適化する。これは以下の様に定式化する事ができる。

$$\begin{aligned} given \quad & App, S, P_{sum} \\ \max \quad & \text{Perf}(App, S, P_{cpu}, P_{mem1}, P_{mem2}, \cdots) \\ s.t. \quad & P_{cpu} + \Sigma_i P_{memi} \leq P_{sum}(= P_{node} - P_{others}) \end{aligned}$$

3.2.3 モデリング

上記目的関数 Perf() を以下の様にルーフラインモデルを使って記述する。

$$\text{Perf}(App, S, P_{cpu}, P_{mem1}, \cdots) = \min\{F_{cpu}(P_{cpu}), R_{fpb} B_{mem}(S, P_{mem1}, \cdots)\}$$

ただし、$F_{cpu}(P_{cpu})$ は演算性能を表し、$B_{mem}(S, P_{mem1}, \cdots)$ はメモリシステムのバンド幅を示す。R_{fpb} はアプリケーションの F/B 比である。次に、このメモリシステムのバンド幅 $B_{mem}()$ を以下の様

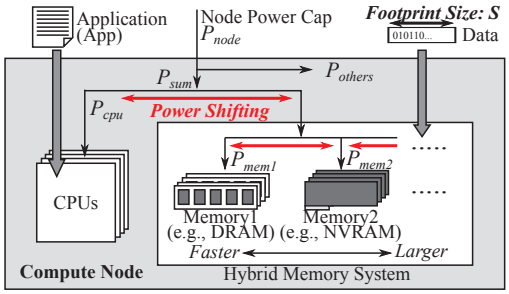


図 18: 問題設定

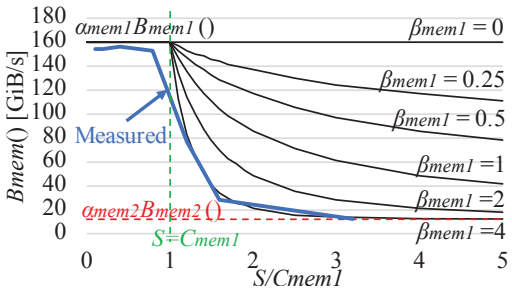


図 19: バンド幅曲線の概形と当てはまり

な線形モデルで記述する。

$$B_{mem}(S, P_{mem1}, P_{mem2}, \cdots) = \Sigma_i W_{memi}(S) B_{memi}(P_{memi})$$

ここで、$B_{memi}(P_{memi})$ は i 番目のメモリのバンド幅であり、P_{memi} の関数である。続いて、導出部分は省略するが、$W_{memi}(S)$ を以下の様に記述する。

$$W_{memi}(S) = \begin{cases} \alpha_{mem1} R_{mem1}(S) & (i = 1) \\ \alpha_{memi} R_{memi}(S) \Pi_{k=1}^{i-1} (1 - R_{memk}(S)) & (i > 1) \end{cases}$$

ここで $R_{memi}(S)$ は i 番目のメモリのヒット率であり、これをべき乗法則と呼ばれるメモリシステムのモデリングではよく知られた経験則を用いて記述する。

$$R_{memi}(S) = \begin{cases} 1 & (S < C_{memi}) \\ (C_{memi}/S)^{\beta_{memi}} & (S \geq C_{memi}) \end{cases}$$

図 19 は $i = 2$ の場合のバンド幅モデルの当てはまりを示す。ここで、$\alpha_{mem1} B_{mem1}(P_{mem1})$ と $\alpha_{mem2} B_{mem2}(P_{mem2})$ はそれぞれ 160 と 12 で固定されており、Measured は前述のルーフライン計測コードを利用した際のバンド幅曲線である。この様に当該モデルは、様々な概形の曲線を取る事ができ、アプリケーション・システムのデータ配置最適化度合いに応じて幅広く対応できる。

3.2.4 フレームワーク

上記モデルに基づき、電力割り当てを最適化するためのフレームワークを図 20 に示す。これは、Power-Performance Profiling、Weight Functions Training、Power Allocation Algorithm からなる。Power-Performance Profiling については、与えられた電力制約におけるスループットを各コンポーネントごとに計測する ($F_{cpu}(P_{cpu})$ と $B_{memi}(P_{memi})$ の取得)。これは、システム構築時に一度行えば良い。Weight Functions Training については、各アプリケーションの統計情報を元に $W_{memi}(S)$ を学習する。Power Allocation Algorithm については、これらプロファイルデータを元に具体的に電力配分を行う部分であり、貪欲法に基づいて最適化する。

3.2.5 電力シフティングによる性能向上

上述のフレームワークは実装の途中であるため、ここでは、表 3 に示すシステム上で実際に電力シフティングを行った際に得られる性能向上について示す。まず、図 21 では、異なる 2 つの問題サイズ

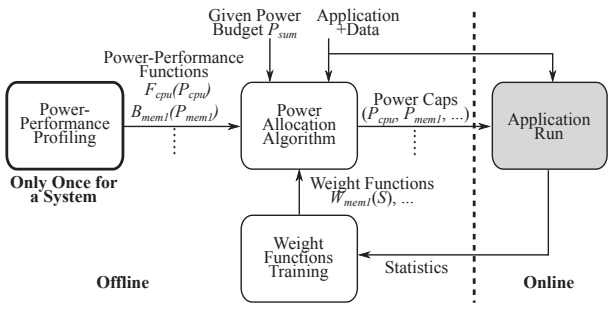


図 20: フレームワーク

表 3: 評価環境 2

Name	Remarks
CPU Package	Xeon Gold 6154 Processor (Skylake) x2 sockets, 36 cores, 3.0GHz(max)
Memory System	**DRAM (mem1):** DDR4-2666 x12 DIMMs, 12ch, 192GB, 256GB/s(max), **NVRAM (mem2):** Intel Optane SSD P4800X x2 cards, 750GB, 4.8GB/s(read max), 4.0GB/s(write max), **Data management:** IMDT
OS	Cent OS 7.4
Compiler	Intel C++/Fortran Compiler 17.0.4, **Options:** -O3 -qopenmp -xCORE-AVX512

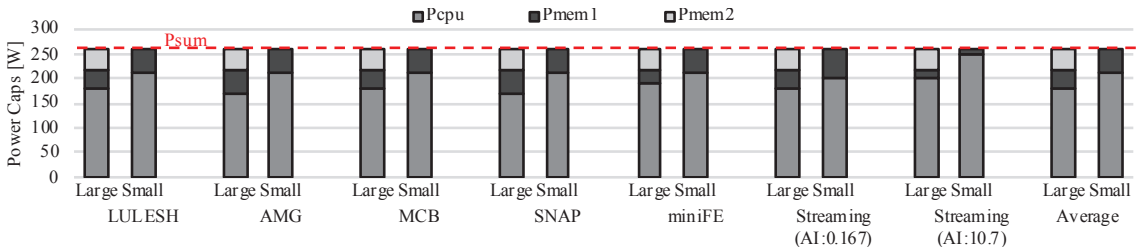


図 21: 問題サイズごとの最適電力割り当て (P_{sum}: 260[W])

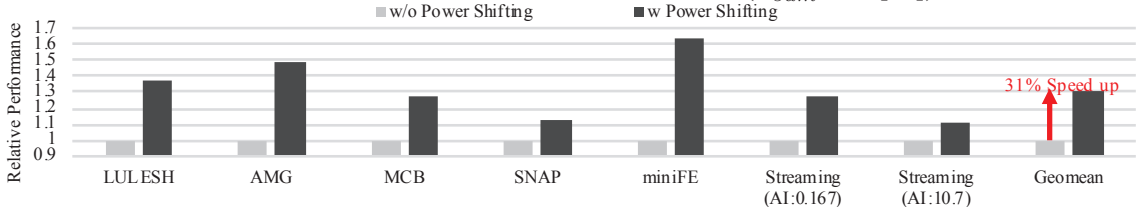


図 22: 第 2 試行における性能比較 (第 1 試行: `Large` 問題 ⇒ 第 2 試行: `Small` 問題, P_{sum}: 260[W])

(`Small` 及び `Large`) を与えた際のコンポーネントごとの最適電力予算割り当てを記している。`Small` は DRAM メモリにデータが収まる場合であり、`Large` では DRAM には収まりきらずに高速 SSD にもデータが保持される場合である (スペースの都合上、具体的なサイズについては言及しない)。図に示す通り、データサイズに応じて最適な電力割り当ては変化する事が分かる。次に図 22 にデータサイズ適応型電力シフティングを行った場合の性能向上を示す。この実験では、これらベンチマークを問題サイズを変えて 2 回実行している。*w/o Power Shifting* は第 1 試行の問題サイズに最適な電力割り当てのまま、第 2 試行を行なっている反面、*w Power Shifting* では、第 2 試行の問題サイズに合わせて、電力割り当てを再度最適化している (即ちデータサイズ適応型電力シフティングを行なっている)。そうする事で最大 63%、平均 31%の性能向上が得られる。

3.3 具体的成果・今後の展望

前述の通り、データサイズ適応型電力シフティングを実施する事で大幅な性能向上が期待できる事を明らかにしており、その成果を国際会議にて発表している (ポスター)[発表 1]。今後の展望としては上記フレームワークを完成させ、著名な国際会議での採択を目指す。本研究も前述の研究と同様に国際的な共同研究として今後も実施する予定である。

4 次世代計算機におけるスケジューリング最適化

4.1 背景

デナードスケーリングの終焉とともに、プロセッサアーキテクチャはシングルコアからマルチコア、さらにはメニーコアへと変化してきた。一方でメモリアーキテクチャも新メモリ技術によって変化を遂げ、その高バンド幅化と大容量化がなされつつある。一方でこの様にノードごとのリソース性能が向上するにつれ、単一のジョブでは有効利用できないリソースの無駄がより深刻になっている。即ち、CPU/メモリインテンシブなアプリケーションでは、メモリ/CPU リソースをフルに活用できない事が多く無駄が生じる。これを解決するため、1 ノード上で複数のアプリケーションを動かす「コスケジューリング」が有力視されており、本研究ではこれに焦点を当てている。

4.2 内容

4.2.1 着眼点: スケーラビリティのデータサイズ依存性

前述の通り、次世代システム上では性能ボトルネックはデータサイズに依存して大きく変化する事が分かっている。ボトルネックが変化すれば、必要なリソースも変化し、結果として、コスケジュー

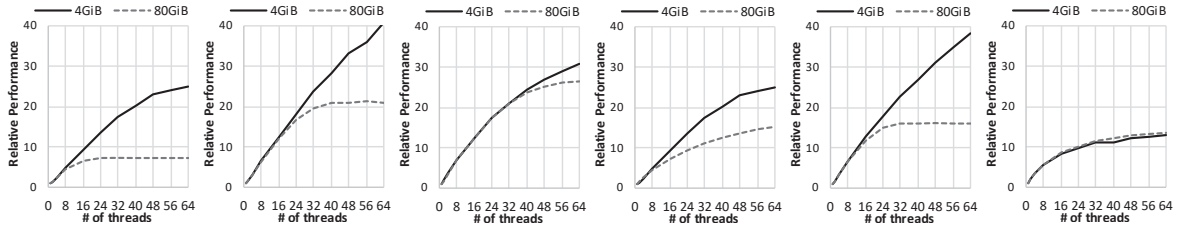


図 23: スケーラビリティのデータサイズ依存性 (単一実行)

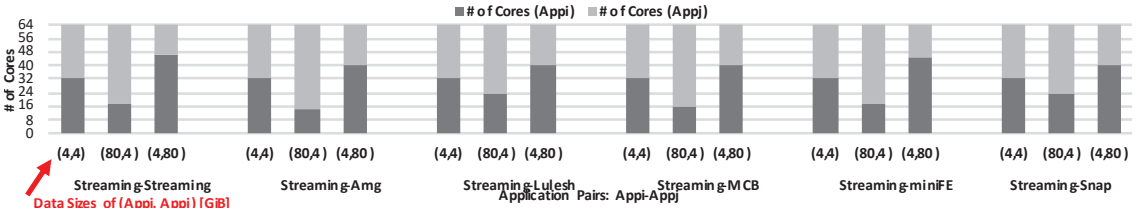


図 24: 最適 CPU コアリソース配分

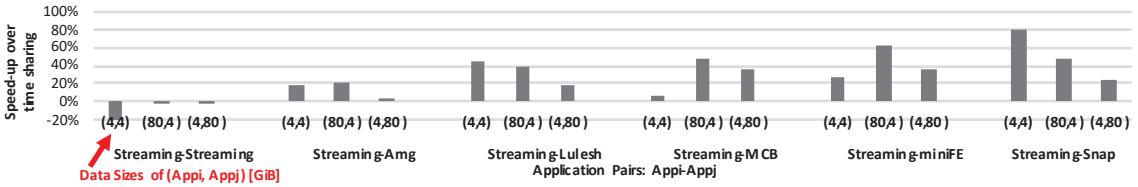


図 25: コスケジューリングによる性能向上

リング (ジョブミックスの選択及びその中でのリソース配分) への影響も大きいと考えられる。まずはその前段階として、データサイズがスレッドレベルのスケーラビリティ (=必要な CPU コア数) へ与える影響について評価を行った。本評価では、前述の表 1 に示すシステムを利用する。

図 23 にスケーラビリティのデータサイズによる変化をアプリケーションごとに示している。ここで、縦軸は相対性能であり、1 コアでの実行時のそれで正規化されている。図に示す通り、データサイズをスケールさせる事で、ボトルネックはメモリシステム側に移行するため、結果としてスケーラビリティ (=必要な CPU コア数) は下がる傾向にある。

4.2.2 予備評価: コスケジューリングへの影響

次にこのスケーラビリティの変化がコスケジューリングに与える影響について考察する。まず、図 24 にてコスケジューリングを行なった際の最適 CPU コア配分を示す。ここで、最適とは、全体の実行時間が最小になる場合を指す。前述の通り、データサイズに応じてスケーラビリティが変化するため、この最適配分もそれに応じて変化する事が分かる。

次に図 25 にコスケジューリングによって得られる性能向上を示す。ただし、ベースラインは *Time Sharing*(ジョブを時分割で実行) であり、コスケジューリング時のコアのリソース配分は図 24 に基づく。概ねコスケジューリングによって大幅な性能向上を達成できるものの、その効果はデータサイズに依存している。そのため、コスケジューリングを行う場合は、アプリケーションペアだけでなく、そのデータサイズも考慮して、ペアの選定とリソース配分を決める必要がある。

4.3 具体的成果・今後の展望

前述の通り、本研究のポテンシャルは確認済みであり、今後は以下について研究を行う: (1) キュー上のジョブのデータサイズの予測手法、(2) データサイズを引数としたスケーラビリティ及びリソース競合の予測手法、(3) 最適コスケジューリングペアを選択するアルゴリズム、(4) 電力制約も考慮した最適化。本研究も継続して国際的に共同で研究を行う予定であり、著名な国際会議での採択を目指す。

5 その他

業務関連: スーパーコンピュータシステムの管理・運用業務や、ベンダーミーティングへの参加・提言を行った。
兼業・社会貢献等: 理化学研究所 計算科学研究機構の客員研究員を勤めており [特記 2]、理化学研究所と共同で、ポスト京スーパーコンピュータのアーキテクチャや電力制御に関する研究開発を行っている。さらに、2018 年 7 月以降は Technical University of Munich にも客員研究員として在籍しており (継続中)、現地にて共同研究を実施した [特記 3]。この様に国内外の研究機関とも連携して研究に取り組んでいる。

また、本年度も国内外の学会運営には積極的に貢献を行った。まず、昨年度に引き続き国際会議 IEEE NVMSA2018 の組織委員 (Web Chair) を勤めた [特記 4]。さらに、本年度途中より国際会議 IEEE CLUSTER2019 の組織委員 (Publications Chair) も勤めている [特記 5]。また、査読付き国際・国内会議でのプログラム委員として多数の論文の選別に関わった (国際会議 ISC 2019 PhD Forum[特記 6], 国内会議 xSIG2019[特記 7], 国際会議 CANDAR 2018[特記 8], 国際会議 ICPP 2018[特記 9], 国際会議 IEEE NVMSA 2018[特記 10] 等である)。加えて、外部査読者として、英語論文誌である IEICE Transactions on Information and Systems[特記 11] や国際会議 IEEE IPDPS 2019 の査読も行った。さらには、昨年度より引き続き、情報処理学会システム・アーキテクチャ研究会の運営委員を勤めており [特記 12]、今後はこれと並行して電子情報通信学会コンピュータシステム研究専門委員会の幹事補佐としても学術界に貢献する予定である [特記 13]。

6 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] Eishi Arima, Toshihiro Hanawa, and Martin Schulz: Toward Footprint-Aware Power Shifting for Hybrid Memory Based Systems, ICPP, Poster Session, 2pages, 2018.

[発表 2] Eishi Arima: Power-Performance Optimizations for Emerging Memory Technologies, CAPS Seminar @TU Munich, 2018.

[発表 3] Eishi Arima: Optimizations for Hybrid Memory Based Systems, CAPS Seminar @TU Munich, 2019.

[発表 4] Eishi Arima, and Martin Schulz: A Pattern Aware Optimization for Hybrid Main Memories, HotSPA, 2019.

特記事項

[特記 1] 平成 30 年度科学研究費補助金 (科研費), 若手研究, 高バンド幅と大容量を両立するアクセスパターン適応型ハイブリッドメインメモリ, 研究代表者, 2018-2019 年度.

[特記 2] 理化学研究所, 計算科学研究機構, 客員研究員.

[特記 3] External Scientist, Technical University of Munich, Jul. 2018-.

[特記 4] Web Chair, IEEE NVMSA 2018.

[特記 5] Publications Chair, IEEE CLUSTER 2019.

[特記 6] Program Committee Member, ISC PhD Forum 2019.

[特記 7] Program Committee Member, xSIG 2019.

[特記 8] Program Committee Member, CANDAR 2018.

[特記 9] Program Committee Member, ICPP 2018.

[特記 10] Program Committee Member, IEEE NVMSA 2018.

[特記 11] Technical Reviewer, IEICE Transactions on Information and Systems.

[特記 12] 情報処理学会, システム・アーキテクチャ研究会, 運営委員.

[特記 13] 電子情報通信学会, コンピュータシステム研究専門委員会, 幹事補佐 (2019-).

オープンソース CFD コード OpenFOAM の性能評価および高速化に関する研究

今野　雅

1　概要

オープンソース CFD コード OpenFOAM の性能評価と高速化に関する研究と講習会を実施した。主な実施項目を以下に示す。

- クラウド・スーパーコンピュータにおける OpenFOAM の性能ベンチマークテスト
  最先端共同 HPC 基盤施設 (以下、JCAHP) の Oakforest-PACS(以下、OFP)、東京大学の Reedbush-U、大阪大学の OCTOPUS、九州大学の ITO、計算科学振興財団 FOCUS、Amazon の EC2、Microsoft の Azure、Oracle の Cloud の各システムにおいて、チャンネル流れを対象に OpenFOAM ベンチマークテストを実行し、得られた成果についてシンポジウムで発表した [発表 5, 発表 6]。

- OFP における OpenFOAM のベクトル化および MPI 通信削減による高速化
  OpenFOAM のベクトル化を促進させる性能改善パッチを適用した上で、係数行列格納方式の CRS 形式変換による SpMV のベクトル化を行い、圧力方程式の線型ソルバとして Chronopoulos/Gear アルゴリズムによる共役勾配法 (以下、CG) を用いるなど、各種高速化手法の組み合わせを検討した。メニーコア型の Xeon Phi KNL プロセッサ (以下、KNL) で構成される OFP において、チャネル流を対象に性能評価を行なったところ、標準の OpenFOAM に比べ、最大で約 20%の高速化率が得られた。また、ベクトル化と CG を組み合わることで、並列数にあまり依存せず、約 10〜15%の安定した高速化率が得られた。また、得られた成果についてシンポジウムで発表した [発表 4]。

- OFP における High-Bandwidth Memory 設定のベイズ最適化
  OFP のフラットメモリモードにおいて、OpenFOAM のアプリケーションを高速に実行するには、DDR4 メモリよりメモリバンド幅とレイテンシが大きい MC-DRAM へのメモリの割り当てかたが重要となる。OpenFOAM の実行において、libhbm 等の High-Bandwidth Memory(以下、HBM) 用ライブラリを用いる場合、HBM や MPI バッファサイズの設定調整が必要となるが、Optuna を用いたベイズ最適化により、グリッドサーチに比べ大変少ない試行数で最適化できた。また、得られた成果についてワークショップで発表した [発表 6]。

- OpenFOAM 講習会
  PC クラスタコンソーシアムの実用アプリケーション部会 [特記 1] とオープン CAE 学会 [特記 2] 共催の OpenFOAM 講習会を担当した。2018 年度は、お試しアカウント付き並列プログラミング講習会として東京大学情報基盤センターで終日の講習会を 3 回行なった [特記 6, 特記 8]。また、PC クラスタコンソーシアムが主催し、大阪大学サイバーメディアセンターの新スパコン OCTOPUS を用いて行なわれた講習会において、ハンズオンセミナーを担当した [特記 7]。

2 クラウド・スパコンにおける OpenFOAM の性能ベンチマークテスト

2018 年度は、2017 年度に引き続き、オープン CAE 学会 V&V 委員会が策定した、OpenFOAM ベンチマーク (`https://gitlab.com/OpenCAE/OpenFOAM-BenchmarkTest/`) である壁面摩擦速度とチャネル半幅によるレイノルズ数 Re_τ が 110 のチャンネル流を対象に、様々なシステムでベンチマークテストを行なった。ここでは格子数が約 3M のチャンネル流の結果を示す。ベンチマークテストを行なったシステムの概要を表 1 に示す。なお、2018 年度新規に測定したのは、大阪大学の OCTOPUS(CPU ノード)、Microsoft の Azure H16r、Oracle の Cloud BM HPC 2.36 である。また、再測定したのは、JCAHPC の OFP と九州大学の ITO サブシステム A である。システム間の比較を行う本ベンチマークでは原則として、ノードあたりの MPI プロセス数は物理コア数としているが、OFP は 1 ノードあたり 64MPI プロセスとし、第 1 タイルを除いてコアにピニングした。既往測定システムでの計算条件の詳細は文献 [発表 5, 発表 6] を参照のこと。

表 1: 対象システムのノードあたりの性能とインターコネクト

機関	システム (略称)	CPU (周波数 [GHz])	CPU 数 (コア数)	倍精度性能 [GFlops]	メモリ [GiB] (帯域幅 [GB/s])	インターコネクト (帯域幅 [Gbps])
JCA HPC	Oakforest -PACS(OFP)	Intel Xeon Phi 7250 KNL (1.4)	1 (68)	3046	96 (115.2) + 16 (490, MCDRAM)	Intel Omni -Path (100)
東京大学	Reedbush -U(RBU)	Intel Xeon E5 -2695 v4 (2.1-3.3)	2 (36)	1210	256 (76.8 × 2)	Infiniband EDR 4x (100)
九州大学	ITO A (ITO)	Intel Xeon Gold 6154 (3.0-3.7)	2 (36)	3456	192 (255.9)	Infiniband EDR 4x (100)
FOCUS	A (FA)	Intel Xeon L5640 (2.26)	2 (12)	108	48 (25.6 × 2)	Infiniband QDR (40)
	D (FD)	Intel Xeon E5 -2670v2 (2.5)	2 (20)	400	64 (51.2 × 2)	Infiniband FDR (56)
	F (FF)	Intel Xeon E5 -2698 v4 (2.2)	2 (40)	1152	128 (76.8 × 2)	Infiniband FDR (56)
	H (FH)	Intel Xeon D -154 (2.1)	1 (8)	205	64 (34.2 × 1)	10GbE (10) × 2 シャーシ間 40GbE
Amazon	EC2 c4.8 xlarge(c48x)	Intel Xeon E5 -2666v3 (2.9)	2 (18)	310	60 (不明)	10GbE (10)
Microsoft	Azure A9(A9)	Intel Xeon E5-2670 (2.6)	2 (16)	333	112 (不明)	Infiniband QDR (40)
	Azure H16r(H16r)	Intel Xeon E5-2667 v3(3.2)	2 (16)	691	112 (不明)	Infiniband FDR (56)
Oracle	BM HPC 2.36(ORA)	Intel Xeon Gold 6154(3.0-3.7)	2 (36)	3456	384 (255.9)	RoCE v2 (100)

図 1 に格子数 3M での各システムにおける解析速度を示す。使用ノード数毎に解析速度を比較すると、最速なシステムは、1 から 3 ノードでは Oracle Cloud、4 から 32 ノードで ITO であった。また、OCTOPUS と Reedbush-U がこれらに続く結果となった。総じて、理論演算性能やメモリバンド幅が高い最新のシステムは高い性能が得られた。

図 2 にノードベースの並列化効率 (Strong scaling) を示す。インターコネクトとして Infiniband を使用した ITO、OCTOPUS、Reedbush-U、FOCUS の A・D・F では、16 ノード程度までスーパリニアとなった。RoCE v2 を使用した Oracle Cloud では 16 ノード程度まで概ねリニアとなった。Omni-Path を使用する OFP は、12 ノード以上ではスケールしなかった。また、10GbE のシステムでは 6 ノード以上でスケールしなかった。

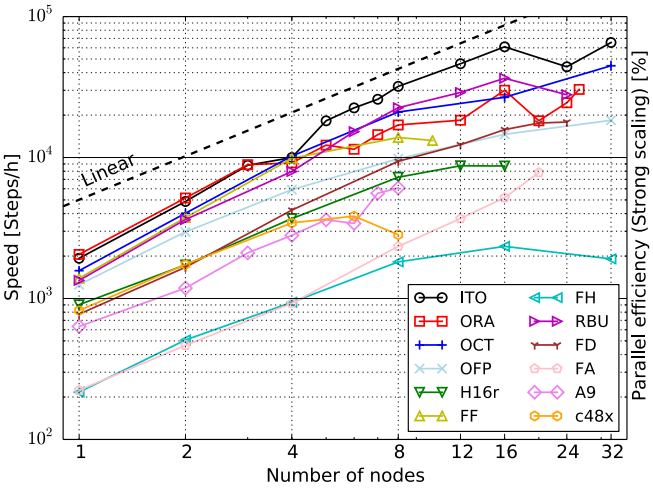


図 1: 解析速度

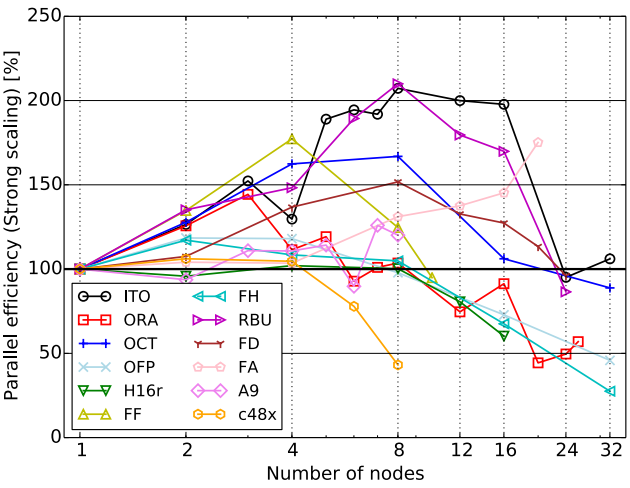


図 2: 並列化効率 (Strong scaling)

3 OFP における OpenFOAM のベクトル化および MPI 通信削減による高速化

3.1 背景

JCAHP が運営するスーパーコンピュータ OFP のプロセッサは、各コアが 512-bit 幅のベクタユニットを 2 基備える KNL であるが、標準の OpenFOAM ではベクトルユニットを活用できず、性能が発揮できない問題があった。本研究では、ベクトル化を促進させる性能改善を施し、オープン CAE 学会の OpenFOAM ベンチマークであるチャネル流で性能評価を行なった。また、大規模並列解析時には、線型ソルバにおける内積の計算に伴なう MPI の集団通信のコストがボトルネックとなるため、通信回数削減型の共役勾配法についても併せて検討を行なった。

3.2 内容と具体的成果

OpenFOAM は主に有限体積法を用いて、解くべき支配方程式の離散化を行うが、格子の形状としては、任意面数のポリヘドラル (多面体) を用いる事が可能である。このため、OpenFOAM では、格子間の界面が、界面を保有する格子と、それに隣接する格子という 2 つの格子へのポインタを持つという、界面ベース探索の格子格納形式を採用している。OpenFOAM が用いている有限体積法では、SIMPLE や PISO といった方程式のカップリングアルゴリズム、時間・空間の離散化スキーム等を用い、解くべき支配方程式を線型の連立方程式に変換し、最終的に線型ソルバによって解く。さらに、格子の格納形式が界面ベースであることから、連立方程式の係数行列も界面の探索によって作成する。また、OpenFOAM は、空間的に高々2 次精度の離散化スキームを使用するため、界面でのフラックスを離散化した結果生じる係数行列の非零成分が、上対角成分 (以下、U) と下対角成分 (以下、L) にひとつずつ組で存在することになる。このため、OpenFOAM では、U と L を界面ベースの探索で格納しており、さらに対角成分 (以下、D) を格子の探索で格納する方式 (lduAddressing および lduMatrix クラス) を採用している。この格納方式は、D、L、U を分離して、L と U を COO(Coordinate) 形式とした変形 COO 形式であり [1, 2]、単純に係数行列が生成可能で、対称行列では格納データとメモリアクセスを減少させることが可能である利点を有する。一方、疎行列ベクトル積 (以下 SpMV) において、U と L の成分に関する行列ベクトル積を行うコードをコード 1 に示すが、行列成分の参照アドレスである `uPtr[face]` や `lPtr[face]` が界面ループ内で重複するので、ベクトル化ができない。また、2 重の間接参照であり、メモリアクセスがランダムとなり、高いメモリバンド幅が必要となる欠点を有する [1, 3]。

コード 1: lduMatrixATmul.C における SpMV のソースコードの一部

```
1     for (label face=0; face<nFaces; face++)
2     {
3         ApsiPtr[uPtr[face]] += lowerPtr[face]*psiPtr[lPtr[face]];
4         ApsiPtr[lPtr[face]] += upperPtr[face]*psiPtr[uPtr[face]];
5     }
```

その他にも、AVX-512 用の最適化オプションをコンパイル時に指定しても、線型ソルバなどで多用されるベクトル内積の `sumProd` など、高速化されない実装が多く存在する [3]。

本研究で検討した高速化手法を以下に示す。

KNL Intel コンパイラを用いる場合の標準の設定 `WM_COMPILER=Icc` ではなく、`WM_COMPILER=IccKNL` の設定でコンパイルする手法。コンパイラのオプションに`-xmic-avx512 -DvectorMachine` 等が加わる。

VEC 上記に加え、OpenFOAM-Intel[4, 5] のベクトル化改良パッチを適用する手法。上記で `vectorMachine` を定義すると、線型ソルバなどで多用されるベクトル内積の `sumProd` などは、ベクトル化が容易なループ構造に変更されるが、このパッチは、これらについて simd プラグマや ivdep プラグマを用いて、コンパイラに SIMD 化を指示するなどのベクトル化改良を行う。

CG 圧力方程式の線型ソルバとして、Chronopoulos/Gear アルゴリズムによる共役勾配法を使用する手法。OpenFOAM の PCG では、反復ループ内に内積の計算が 2 箇所にあるが、このアルゴリズムでは 1 箇所にまとめられているので、多並列 MPI 計算で大きな比重を占める MPI 集団通信のコストを下げることが可能である [6, 7]。なお、MPI 集団通信について、MPI-3 で採用された非同期集団通信 (MPI_Iallreduce) を使用し、パイプライン型などの共役勾配法を用れば、超大規模 MPI 並列では集団通信コストを隠蔽・回避することも可能だが、本検討では MPI プロセス数が高々1,024 と小さいので検討しなかった [6, 特記 5]。

SpMV 初期に係数行列の参照アドレスを CRS(Compressed Row Storage) 形式に変換しておき、線型ソルバにおける SpMV を CRS 形式で計算する手法。SpMV がベクトル化される。

上記に述べた高速化手法を用いた OpenFOAM を用い、オープン CAE 学会の OpenFOAM ベンチマークであるチャネル流を対象に性能改善の評価を行なった。計算条件を表 2 に示す。

表 2: 解析条件

対象問題	オープン CAE 学会 OpenFOAM ベンチマークのチャネル流[1]
計算機	JCAHPC Oakforest-PACS、Flat メモリモード (`numactl -p 1` を使用)
解析ソルバ	pimpleFoam (OpenFOAM v1612+)
MPI プロセス数/ノード	64 (領域分割方法: scotch)
格子数・解析ノード数	格子数 3M ($240 \times 130 \times 96$) の時、1, 2, 4, 8 ノード
	格子数 24M ($480 \times 260 \times 192$) の時、4, 8, 16 ノード
コンパイラ・MPI ライブラリ	Intel Compiler 2018.3.222, Intel MPI 2018.3.222[2]
圧力方程式線型ソルバ	共役勾配法 (PCG)。前処理：不完全コレスキー分解 (DIC)

*1 摩擦速度 Re_τ=110、乱流モデル無し。

*2 `I_MPI_FABRICS=shm:tmi` と `I_MPI_DYNAMIC_CONNECTION=0` を設定。最初のタイルを除いてプロセスを各物理コアに配置した。

図 3 の上図に、Intel VTune Amplifier プロファイラを用いて実行した場合での、ホットスポットを棒グラフで示す。また、初期ステップ以降のステップ毎の平均 CPU 時間 [s] と、標準の OpenFOAM-v1612+のソースを `WM_COMPILER=Icc` の設定でコンパイルした baseline ケースに対する高速化率 [%] を、各ケースの棒グラフの上部に示す。また、高速化率 [%] は下図にも示した。なお、ステップ毎の平均 CPU 時間の計測時にはプロファイラを用いていない。また、ステップ毎の平均 CPU 時間は、格子数 3M では初期ステップから第 51 ステップ間、格子数 24M では初期ステップから第 9 ステップ間の `ExecutionTime` の差より求めた。

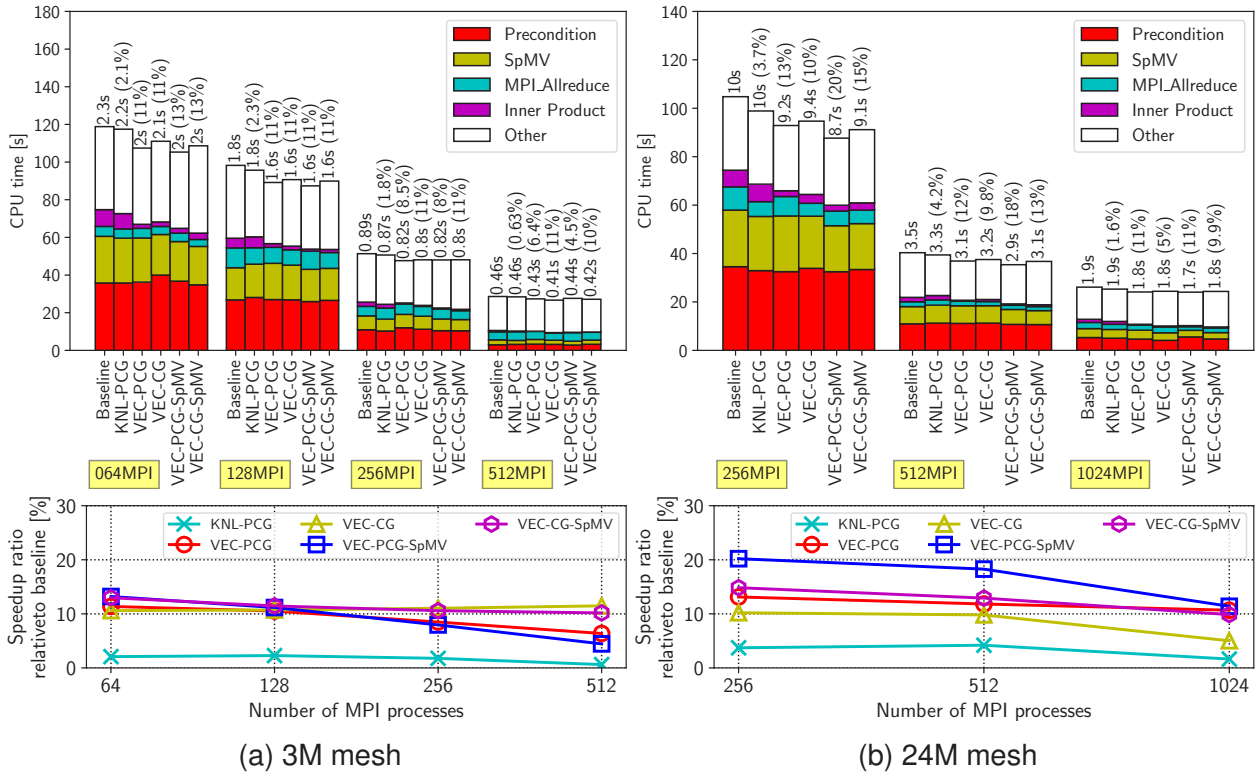


図 3: ホットスポットの CPU 時間とステップあたりの平均 CPU 時間および baseline からの高速化率

標準のソースのまま、AVX-512 用のコンパイラオプションを付けてコンパイルし、線型ソルバとして標準の PCG を用いた KNL-PCG ケースでは、baseline に対する高速化率が格子数 3M で約 1〜2%、格子数 24M で約 2〜4%に留まった。また、主要なホットスポットについても、ほとんど減少していない。

ベクトル化改良パッチを適用した VEC-PCG ケースでは、KNL-PCG ケースに比べ、ベクトル内積 Inner Product(`sumProd`) の CPU 時間が大幅に減少した。また、最大の高速化率が格子数 3M で約 6〜11%、格子数 24M で約 11〜13%となり、ある程度高速化されるが、並列数の増加に伴ない高速化率が減少した。

ベクトル化改良に加え、圧力方程式の線型ソルバとして Chronopoulos/Gear アルゴリズムによる共役勾配法 CG を使用した VEC-CG ケースでは、VEC-PCG ケースに比べ、MPI 集団通信 MPI_Allreduce の CPU 時間が僅かに減少した。また、最大の高速化率が格子数 3M で約 11%、格子数 24M で約 5〜10%となり、MPI 通信の比重が大きい格子数 3M では並列数が上昇しても高速化率が減少しなかった。一方、MPI 通信の比重が小さい格子数 24M では、VEC-PCG より低速となった。

SpMV を CRS 形式で計算する VEC-PCG-SpMV ケースでは、VEC-PCG ケースに比べ、SpMV の CPU 時間が減少した。高速化率が格子数 3M で約 5〜13%、格子数 24M で約 11〜20%となり、他のケースに比べ並列化数が小さい場合の高速化率が高いが、並列化数の増加に伴ない高速化率が急激に

減少した。

圧力方程式の線型ソルバとした CG を用い、さらに SpMV を CRS 形式で計算する VEC-CG-SpMV ケースでは、最大の高速化率が格子数 3M で約 10〜13%、格子数 24M で約 10〜15%となり、並列数にあまり依存せず安定した高速化率が得られた。

以上の検討結果から、並列数が小さい場合には VEC-PCG-SpMV ケース、多い場合には VEC-CG-SpMV ケースを用いることで、概ね高い高速化が得られることがわかった。

今後は、メモリアライメントによるベクトル化向上、intrinsics 関数による高速化 [5]、Chronopoulos/Gear 共役勾配法での DIC 前処理の高速化 [7]、メニーコアプロセッサに適した前処理の検討などが課題である。

4 Oakforest-PACS における HBM 設定の最適化

4.1 背景

2 節における、OFP のベンチマークテストは、Flat メモリモードで行なっており、HBM の管理には libhbm[4] を用いている。libhbm は、memkind の autohbm と同様に HBM のメモリ確保をするが、アプリケーション開始時に、プロセス毎に固定サイズのヒープを確保し、アプリケーションが終了するまで開放しない点が異なる。libhbm を用いた実行時には、以下の表に示す環境変数を適切に指定する必要があり、libhbm の配布先では、これらに対する推奨値が示されている。

HBM_SIZE ヒープサイズ [MiB]。推奨値は、1 ノードあたりのメモリ容量 16GiB を、ノードあたり MPI プロセス数で割った値である。例えば、2 節でのベンチマークテストでは、ノードあたり 64 プロセスなので、256MiB となる。

HBM_THRESHOLD HBM に割り当てる下限サイズ [KiB]。HBM の断片化を避けると共に、2 つのメモリのバンド幅を活かすため、推奨値は 16KiB とされている。

MPI_BUFFER_SIZE MPI 通信用のバッファのサイズ [B]。OpenFOAM のデフォルトは 20,000,000(20MB) だが、大抵のソルバでは大きな値を必要としないので、MC-DRAM を浪費しないように、推奨値は 1,000,000(10MB) とされている。

しかしながら、MPI バッファサイズや HBM 設定の最適値は問題に依存し、チャネル流での最適値は推奨値と異なる可能性があるので、最初にグリッドサーチによる最適化を行った。一方、CFD 解析の試行時間は長いので、よりパラメータ数が多く、パラメータ空間が広い場合、グリッドサーチの最適化コストは莫大となる可能性がある。そこで、ハイパーパラメータ自動最適化ツール Optuna を用いたベイズ最適化を行い、グリッドサーチとの比較により、その収束性や効率を検討した。

4.2 内容と具体的成果

表 3 に、グリッドサーチおよびベイズ最適化のパラメータ空間を示す。なお、並列化効率が 1 に近い 8 ノード・512MPI 並列計算のみを対象とした (図 2 参照)。組み合わせ総数は 512 である。同パラメータでの解析を 5 回行い、CPU 時間の平均値を評価対象とした。

表 3: グリッドサーチおよびベイズ最適化のパラメータ空間

環境変数	単位	設定値	サンプル数
HBM_SIZE	[MiB]	144〜256 (刻み：16)	8
HBM_THRESHOLD	[KiB]	4〜32 (刻み：4)	8
MPI_BUFFER_SIZE	[B]	1,048,576〜8,388,608 (刻み：1,048,576)	8

図 4 に、MPI_BUFFER_SIZE が 1MiB と 6MiB のケースにおける平均 CPU 時間のヒートマップを示す。HBM_THRESHOLD が小さいほど、CPU 時間が短縮される傾向がある。libhbm の推奨値である、MPI_BUFFER_SIZE=1MiB、HBM_SIZE=256MiB、HBM_THRESHOLD=16KiB の設定では、平均 CPU 時間が 0.3742s となり、グリットサーチの全 512 試行における累積相対度数は約 97%と、非常に遅い結果となった。また、平均 CPU 時間が最小となるのは、MPI_BUFFER_SIZE=6MiB、HBM_SIZE=240MiB、HBM_THRESHOLD=4KiB の設定であり、平均 CPU 時間が 0.3649s と、推奨設定より約 2.5%高速化された。

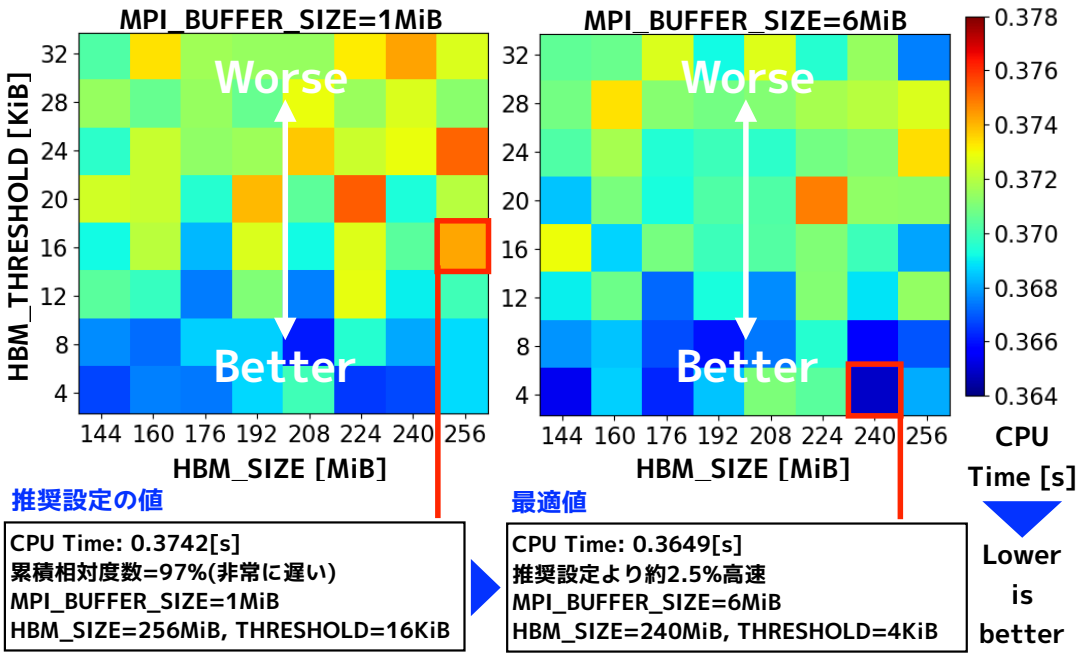


図 4: 平均 CPU 時間ヒートマップ

図 5 に、512 試行のベイズ最適化を 8 回行なった際の最小 CPU 時間の推移を示す。8 回中 6 回は最適値 0.3649[s] まで、平均 210 試行で到達するが、8 回中 2 回は 512 試行行なっても、最適値ではなく 2 位の値となる。ただし、2 位の値 0.3653[s] は最適値より 0.1%大きいだけであり、累積相対度数は 0.6%である。なお、この時の設定は MPI_BUFFER_SIZE=5MiB、HBM_SIZE=160MiB、HBM_THRESHOLD=4KiB であった。8 回のベイズ最適化において、全ケースの平均値 0.3703[s] 以下まで最適化するのに必要な試行数は、2 以下と大変少なかった。また、累積相対度数 5%値である 0.3665[s] 以下まで最適化するのに必要試行数は、7 から 23 と、必要な試行数は全試行数 512 の 4.5%以下であり、大変効率的に最適化されることがわかった。

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 西剛伺, 今野雅: 熱伝導問題に関する OpenFOAM の固体・流体熱連成定常解析ソルバの妥当性確認: オープン CAE 学会論文集, Vol.1, No.1, 2018 年.

その他の発表論文

[発表 1] Hiroki Ono, Takeshi Kishida, Tsubasa Okaze, Hideki Kikumoto, Masashi Imano, Yoshihide Tominaga: Grid Dependency with Various Grid Systems on Large-Eddy Simulations of Flow around an

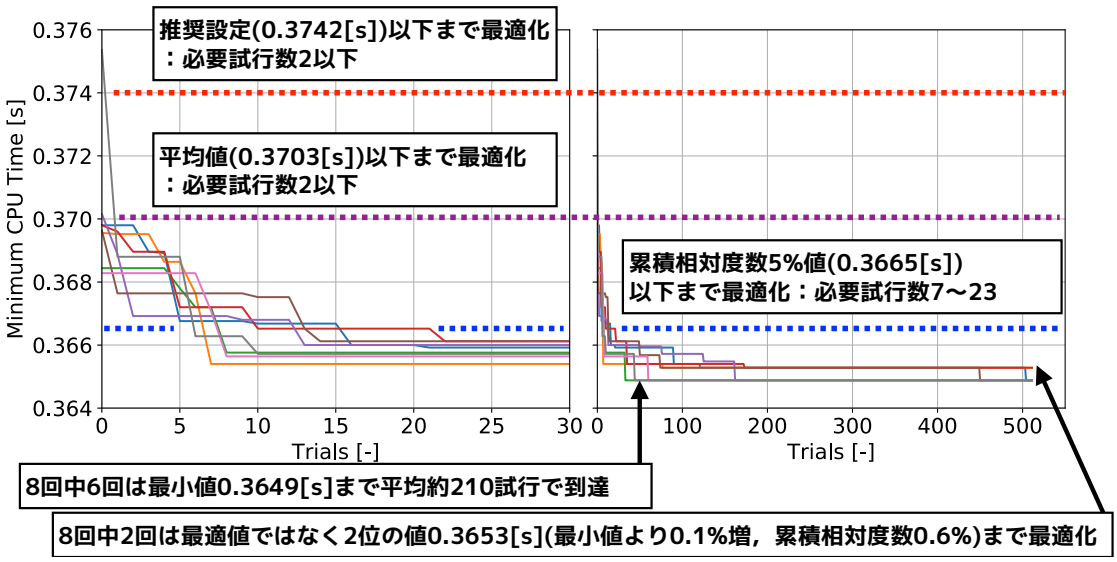


図 5: 8 回のベイズ最適化における最小 CPU 時間の推移

Isolated Building Model, The proceedings of 7th International Conference on Computational Wind Enginnering, June 2018.

[発表 2] Naoki Ikegaya, Tsubasa Okaze, Hideki Kikumoto, Masashi Imano, Yoshihide Tominaga: Effect of Advection Scheme for Large-Eddy Simulation on Turbulent Flow Fields around an Isolated Block Model, The proceedings of 7th International Conference on Computational Wind Enginnering, June 2018.

[発表 3] 今野雅, 桑沢保夫, 赤嶺嘉彦: 暖房方式による室内気流分布を考慮した暖房負荷補正方法に関する検討 その 2 熱負荷解析と CFD 解析による暖房負荷増分の推定, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, J20, 2018 年 8 月.

[発表 4] 今野雅: Xeon Phi KNL プロセッサを搭載したスーパーコンピュータ Oakforest-PACS における OpenFOAM の高速化, オープン CAE シンポジウム 2018, A24, 川崎, 2018 年 12 月.

[発表 5] 今野雅: OpenFOAM による流体解析ベンチマークテスト スパコン・クラウド・FOCUS でのチャネル流れ解析, 第十八回 PC クラスタシンポジウム, 東京, 2018 年 12 月.

[発表 6] 今野雅: OpenFOAM による流体解析ベンチマークテストスパコン・クラウド・FOCUS でのチャネル流れ解析および Oakforest-PACS における Optuna を用いた HBM 設定のベイズ最適化 PC クラスタワークショップ in 柏 2019, 柏, 2019 年 2 月.

特記事項

[特記 1] PC クラスタコンソーシアム実用アプリケーション部会会員.

[特記 2] 一般社団法人オープン CAE 学会理事. V&V 小委員会委員長. HPC 小委員会委員. 資料翻訳委員会委員. 広報・コミュニティ委員会委員. オープン CAE シンポジウム 2018 実行委員.

[特記 3] 日本建築学会屋外空気環境小委員会検証用ベンチマーク実施 WG 委員.

[特記 4] 空気調和・衛生工学会換気設備委員会 BIM・CFD パーツ開発応用小委員会委員.

[特記 5] 今野　雅: オープンソース CFD コード OpenFOAM の性能評価および高速化に関する研究, 東京大学情報基盤センター年報, https://www.itc.u-tokyo.ac.jp/public/annual_report/, 第 19 号, pp.283-290, 2018 年.

[特記 6] お試しアカウント付き並列プログラミング講習会, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/, 第 99 回「OpenFOAM 入門」(2018 年 5 月), 第 103 回「OpenFOAM 初級」(2018 年 8 月), 第 110 回「OpenFOAM 中級」(2019 年 1 月).

[特記 7] 大阪大学サイバーメディアセンター「OpenFOAM ハンズオンセミナー」, http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/lec_ws/20180727/, ハンズオン講習会の講師を担当, 2018 年 7 月.

[特記 8] お試しアカウント付き並列プログラミング講習会実施報告, スーパーコンピューティングニュース, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/, 第 99 回 (Vol.20, No.4, 2018 年 7 月), 第 103 回 (Vol.20, No.6, 2018 年 11 月), 第 110 回 (Vol.21, No.2, 2019 年 3 月).

参考文献

[1] Mottaqiallah Taouil. A hardware accelerator for the openfoam sparse matrix-vector product. Master's thesis, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, Delft University of Technology, 2009. https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:ce583533-45ea-4237-b18d-fe31272ea1ee

[2] 伊東聰. ppOpen-AT における OpenFOAM 自動最適化への取り組み. オープン CAE 学会オープン CAE ワークショップ 2012, 2012. http://www.opencae.or.jp/activity/workshop/opencae_workshop2012/

[3] 井上義昭. 「京」における openfoam の性能評価. 平成 26 年度「京」における高速化ワークショップ, 2014. http://www.hpci-office.jp/pages/ws_kei_141219

[4] OpenFOAM-Intel Repository. https://github.com/OpenFOAM/OpenFOAM-Intel

[5] N. Agrawal, P. Edwards, R. Ojha, A. Pandey, and P. Pawar. Performance Optimization of OpenFOAM on KNL. IXPUG Workshop, Application Performance on Intel Xeon Phi - Being Prepared for KNL and Beyond, 2016. https://www.ixpug.org/events/ixpug-isc-2016

[6] P. Ghysels and W. Vanroose. Hiding global synchronization latency in the preconditioned conjugate gradient algorithm. *Parallel Comput.*, Vol. 40, No. 7, pp. 224–238, July 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.parco.2013.06.001

[7] 内山学, ファム バン フック. 非構造格子に対応した PCG 法の thread 並列化手法. Technical report, 2016. https://www.ipsj.or.jp/kenkyukai/event/hpc153.html

学際情報科学研究体

五十嵐　亮

オープンソース量子格子模型シミュレーションソフトウェアの開発

オープンソース量子格子模型シミュレーションソフトウェアの開発

五十嵐 亮

1 概要

本研究では、今後さらに並列度が上がると予測されている、数万ノードかつ数十万計算ユニットをもつ超並列スーパーコンピューター上で性能を発揮できる、汎用かつ高速に実行可能な量子格子模型のシミュレーションプログラムを開発し、オープンソースプログラムとして広く一般に公開することである。研究開始当初、数万ノードかつ数十万計算ユニットをもつ超並列スーパーコンピューター上で効率よく計算するためには、計算機科学としてのアルゴリズムや実装の工夫が必要であることが明白であった。ところで、本研究でターゲットとする量子格子模型のシミュレーションプログラムは、大規模かつ大量の行列演算が必要となるが、物理として基本的なアルゴリズムが日進月歩のため、並列化の考慮がされていないことが多いだけでなく、利用する行列の演算が微分方程式の解法の際に利用される行列解法とは性質が少し異なり、近年の計算機科学の発展の結果を直接適用することが難しいケースが見受けられた。

計算物性物理の専門家や当該分野を志望する学部学生や大学院生だけでなく、異分野の研究者のリファレンスとなりうる高品質なソフトウェアの開発を主眼とする。

さらに、当該ソフトウェアを利用し、多彩な物性を示すフラストレート系のシミュレーションを行うことで、フラストレーション系の物性の解明につなげることを目的とする。

2 オープンソース量子格子模型シミュレーションソフトウェア

2.1 背景

これまで、広く使われるようになったオープンソースな量子格子模型のパッケージとして、ALPS(`http://alps.comp-phys.org/`) がある。 ALPS プロジェクトは、オープンソースモデルに基づく量子格子系の高品質な計算基盤ライブラリ/アプリケーションの国際的な開発プロジェクトで、スイス、日本、ドイツ、アメリカなど多くの国の研究者が参加している。ALPS は、C++言語のジェネリックプログラミング技法を多用したソフトウェアとなっており、計算のアルゴリズムと格子やモデルを分離して隠蔽する技法を用いている。ALPS は、実行時に外部パラメータとして格子構造や量子モデルを指定する汎用性にもかかわらず、FORTRAN などによる特定のモデルのみにチューニングした実装に匹敵する計算速度を達成している。さらに、現在のところ、古典スピンのモンテカルロ法、量子モンテカルロ法、DMRG 法、厳密対角化法、DMFT 法など各種の汎用計算アルゴリズムがアプリケーションとして実装され、公式に配布されており、異なる計算手法の間で結果を比較できるようにもなっている。

2.2 内容

この研究では、ALPS フレームワークの上で、行列積状態法 (Matrix Product State 法; MPS) の並列化されたソフトウェアを実装し、普及をはかるものである。

本年度も、GPGPU 向けの実装に向けて、Randomized SVD 法の実装とそのテストを行い、Randomized SVD 法のテンソルネットワーク法一般への応用について論文発表を行った。

2.3 具体的成果

本研究テーマは、平成 26 年度科学研究費補助金 (若手研究 (B)) の研究課題「高並列なオープンソース量子格子模型シミュレーションソフトウェアの開発」(課題番号 26730062) として採択されている。

本年度は、利用した数値計算法について論文発表を行った [査読付 1]。

3 長距離相互作用行列の低ランク近似を用いたモンテカルロシミュレーション

3.1 背景

本研究では、長距離相互作用がある系のモンテカルロシミュレーションを、長距離相互作用行列に対する低ランク行列近似を用いて計算オーダーを下げることを試みた。長距離相互作用系では一般に、短距離相互作用のときと異なり、相互作用エネルギーの計算が $O(N^2)$ 必要であり、大規模な系のシミュレーションが難しいが、本プロジェクトではメモリ、計算量ともに $O(N \log N)$ にすることを目的とする。これまでに、より計算量を落とすことのできる $O(N)$ 法は Fukui-Todo らによって開発されてきているが、この方法ではスナップショットのエネルギーは求めることができない。また、当該アルゴリズムは複雑な相互作用を持つ系では適用できないこともあったり、拡張アンサンブル法の適用も難しいことがわかっている。

3.2 内容

この研究は伊田特任准教授との共同研究で、モンテカルロシミュレーションの際に必要となるスナップショットのエネルギー計算に、ハミルトニアン行列を H-matrix 法を用いて近似することで計算量を落とすことがアイディアである。

サイト間の距離は固定なのでシミュレーションの間中、ハミルトニアン行列は不変なので、H-matrix 法の適用がうまくいくと予想している。

本年度はモンテカルロシミュレーションだけでなく、H-matrix 法のその他の固体物理分野への応用を検討するため、特に対角化に関する情報収集を行った。

その結果、物性物理および量子化学で用いられる密度汎関数法 (Density Function Theory; DFT 法) においては、$O(10000)$ 程度の行列の対角化が計算のボトルネックとなっているが、KKR 法というグリーン関数を用いる方法では、他の方法とは異なり、対角化の際に固有ベクトルを利用しないため、H-matrix 法の応用が可能な可能性が見つかったため、実際の応用に向けた検討を行った。

3.3 具体的成果

本研究テーマは、東京大学物性研究所スパコン共同利用の研究課題「長距離相互作用行列の低ランク近似を用いたモンテカルロシミュレーション」(課題番号 (H30-Ca-0123) として採択されたものである。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Satoshi Morita, Ryo Igarashi, Hui-Hai Zhao, and Naoki Kawashima, ”Tensor renormalization group with randomized singular value decomposition”, Phys. Rev. E **97**, 033310 (2018).

情報セキュリティ研究体

宮本　大輔

サイバーレジリエンスに関する研究

サイバーレジリエンスに関する研究

宮本 大輔

1 概要

多様なサイバーリスクについて技術的側面、組織的側面、人的側面における課題の解決により、サイバーレジリエンスを高めることを目的とした研究を行っている。

今年度に実施した研究の概要は以下のとおりである。

- マルウェアの意図抽出

  インシデント対応において、マルウェアに含まれる悪意を理解することは重要である。この悪意について、仮想マシンの内部から観察することで、悪意を自動的に抽出する手法の研究を行った。具体的には、マルウェアが発行する API をテイント解析を用いて関連付ける。本提案方式は、仮想マシン QEMU 上で実装されたバイナリ解析プラットフォームである PANDA のプラグインとして実装し、有効性について ATT&CK を用いたカバレージ比較による分析を行った。

- セキュリティゲーム演習ツールの開発

  サイバー攻撃による被害は常に増加している一方で、セキュリティ人材の不足が問題となっている。セキュリティ担当者は常に変化・進化するサイバー攻撃に対応するため、モチベーションの維持が重要な課題である。そこで、既存のサイバーゲーム演習では着目していないシステム運用時のセキュリティ管理策について、モチベーションを維持できるゲーミフィケーションの仕組みを活用した教材を作成し、モチベーションの評価を行う。

- なりすましメールと視線分析

  標的型メール、ビジネスメール詐欺、フィッシングメールなどの様々ななりすましメールの対策は急務であり、セキュリティインジケータが開発されている。これらのインジケータは、視認性や分かりやすさの有効性について不明瞭な点が多く、本研究では視線分析装置による評価を試みた。

2 マルウェアの意図抽出

2.1 背景

インシデント発生時にはマルウェアの特徴や攻撃者の目的についての調査が必要となる。マルウェアは攻撃者の意図に応じて様々な振る舞いを示すため、確認された振る舞いについての分析を行わなければならない。攻撃者は特に自身の不正活動を隠蔽・消去する手口に力を注いでおり、マルウェア及び不正プログラムによる攻撃者の内部活動 (Lateral movement) は巧妙化と高度化を続けているため、解析はより困難になっている。

そこでマルウェアの挙動における特徴の抽出を試みる。例えばマルウェアは、情報の窃取や改竄を行う為にファイルへのアクセスを行うが、読み出されたデータは暗号化されたり、外部送信されたり

等の形で多くの API に受け渡される。データが処理される過程の追跡は攻撃者の意図を特定する手がかりであり、マルウェアが開いたファイルや用いた API はマルウェアの悪意を示す特徴になる。

しかし、マルウェア解析は API コールの監視等の命令単位でマルウェアの挙動を一つずつ明らかにする手法が一般的であるが、人手で行うには時間と根気の要る作業である。一連の解析作業を自動で行うためにサンドボックスがあるが、サンドボックスから得られる情報は API コールの観測結果についてのみの範囲に留まっており、複数の API コールの併用によって作動するマルウェアの振る舞いを解釈する術がない。

2.2 内容

そこで、本研究ではマルウェアが実行中に操作するデータの流れからマルウェアの意図に関する情報の自動化手法を提案する。特定の API コールの組み合わせによって攻撃者の意図が発現したことをテイント解析によって確認可能なデータを介した結びつきから特定する。

ルウェアによるファイルデータの処理に対してデータの流れを追跡し、特定の悪性機構に関する情報をピンポイントで取得する。提案方式は監視対象のファイルが読み出され、外部出力されるまでにマルウェアが適用した処理の解明作業を扱う。プロセス 1 つ 1 つを個別に精査する方式ではなく、システム全体を通し観測できるイベントから監視対象ファイルからの読み出しが発生した時に操作対象のデータに着目した解析モードへと移行する。

提案方式は PANDA フレームワークに組み込みが可能なプラグインであるとして実装し、Spaniel と命名した。Spaniel は標的マシン上で record したマルウェアの実行トレースを対象に解析を行う。Spaniel はマルウェアによる窃取や改竄等の標的となり得るファイルの指定により、そのファイルデータに適用された処理をテイント解析によって特定する。ファイルやネットワークに関する I/O 処理を API フックで捕捉し、テイント解析用の処理を挿入する。テイントチェックによってテイントされたデータが操作対象となったネットワーク送信やファイル書き込み等を検出し、解析によって得た事実をマルウェアの悪性機構の判別に用いる。OS 内で動作するプロセスやロードされた共有ライブラリ等のシステム情報を VMI で取得しセマンティクスを復元する。得られたセマンティクス情報からグラフ記述スクリプトを生成し、それを用いてグラフを生成し解析結果を可視化する。

プラグインの開発にあたってプログラム言語に C++、グラフ生成には Graphviz を用いた。また、本提案方式が用いる API フックとは実行トレースログの再生の中で特定のシステムコールが観測された際にコールバック関数を挿入することを指す。特定のシステムコールの呼び出し時に任意の解析用処理を挿入できる点において広義の API フックと同じである。

Spaniel は API フックを用いて I/O 処理の際にテイント解析に関する処理を挿入する。Input 処理にあたる監視対象ファイルの読み込み (read) を API の引数に含まれているファイル名から確認した時、データの格納先のメモリ領域にテイントタグを設定して監視対象としてデータフローの追跡を開始する。Output 処理であるファイル書き込みやネットワーク送信 (write,sendto) が呼び出された時、出力対象のバッファがテイントされているかをテイントチェックで判定する。テイントタグにはラベル番号という識別子が割り当てられており、Spaniel は監視対象のバッファのメモリ領域の全体に 1 つのラベル番号を与えている。I/O 処理に用いられるバッファはテイント解析の起点になる。Input 処理はテイント解析の開始口でありバッファにテイントタグの設定を行う。Output 処理はバッファに対してテイントチェックを行う、言わば出口検査である。テイントチェックにより出力バッファ上にテイントタグの存在を確認した場合、それはマルウェアがファイルを開いた後に何らかの処理を行ったとし、監視対象のファイルが改竄もしくは窃取された痕跡と見なすことができる。このようにして得た痕跡を悪性機構の指標として用いる。

ファイルデータが格納されたメモリ領域をテイント後、メモリ領域は監視対象となりテイントされたメモリ領域に含まれているデータの操作を行った命令は tainted 命令として記録される。データ操作によって発生したテイント伝搬先のメモリもまたテイントされ、それらへのデータ操作も tainted 命

令記録の対象となる。tainted 命令は仮想 CPU 上で観測された機械語命令であり粒度の細かい情報であるため、VMI を用いた OS コマンドや共有ライブラリ等の取得によってセマンティクスの復元を行う。VMI による OS レベルの情報の取得によって、その命令コードを実行したプロセス名や参照したライブラリ名の特定が可能になる。解析結果はテキストベースの出力とテキストベースの解析結果を基に生成したグラフによる可視化結果からなる。テキスト出力からは悪性機構のカテゴリが読み取ることができる。

2.3 具体的成果

本研究の成果をまとめ、論文 [査読付 5] として投稿し、採択された。

3 セキュリティゲーム演習ツールの開発

3.1 背景

経済産業省の調査によると 2016 年時点で約 13.2 万人のセキュリティ人材が不足しており、2020 年には約 19.3 万人の不足が推計されている。このような状況を受け、情報処理推進機構が毎年、作成・公開している 10 大脅威 2018 年版において、「脅威に対応するためのセキュリティ人材不足」が組織への脅威第 5 位に初めてランクインしている。このことから、セキュリティ人材を育成することおよびセキュリティ担当者のモチベーションを維持・向上させることが大きな課題であるといえる。本稿では上記の課題解決のため、カードゲーム形式でセキュリティ教育を実施するためのサイバーゲーム演習ツール（セキュ・ワン）を開発した。サイバーゲーム演習では、技術的な能力向上を目指す演習は数多く実施されているが、管理面の知識習得を目指す演習の機会は前者と比較して非常に少ない。さらに、管理面に関する知識の習得を目指すゲーム演習ツールはシステム開発時やインシデント発生後の対応に焦点を当てており、システム運用中の対策には焦点を当てていない。このため、セキュ・ワンではセキュリティ担当者・技術者に学習の動機付けを与えるとともにシステム運用中の管理面に関する知識を習得させることを目的とした。セキュ・ワンは学習者の動機付けに有効性が確認されているゲーミフィケーションの手法を取り入れている。また、最新のサイバー攻撃の手法と対策を学習するため、サイバー攻撃手法の辞書にあたる攻撃ライブラリとセキュリティ標準である ”The CIS Critical Security Controls for Effective Cyber Defense”（CSC) を用いる。

3.2 内容

ゲーミフィケーションおよびゲーム演習をサイバーセキュリティに取り入れた演習ツールが作成されている。Kaspersky Interactive Protection Simulation（KIPS）はカスペルスキー社で作成された重要インフラに対するサイバー攻撃の影響をゲーム形式で体験しながら、その対策を学習できるゲーム演習ツールである。サイバー 攻撃を受けている企業や組織の運用上のリスクや投資に 見合った有効な対策をゲーム形式で演習する。参加者はグ ループに分かれ、条件や指示が書かれた複数枚のカードと 決められた予算、作業時間を有効に使い、発生するインシ デントに対応しつつ 5 週間という仮想期間内での生産高を競う。

インシデント対応ボードゲーム はトレンドマイクロ社により作成・公開されたセキュリティインシデント発生時の対応を体感できるゲーム演習ツールである。ゲーム内で発生する架空のインシデントに対して、調査方法、復旧方法、対外的なコミュニケーション戦略等について話し合い、インシデント対応プランを決定することで自組織の対応要領の確認や問題点を見つけ出すことができる。

The Elevation of Privilege（EoP）は Microsoft 社により作成・公開されているカードゲーム形式で自組織の開発システム等における脅威を洗い出すためのゲーム演習用ツールである。演習ツールとしてだけではなく、実際にシステムへの脅威モデリングを実施するためにも用いられる。システム設計の

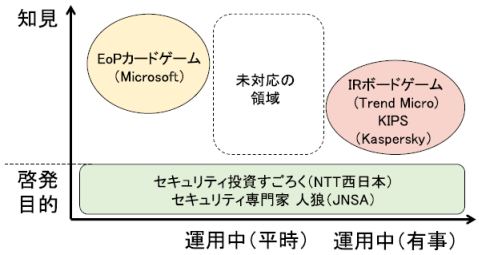


図 1: 既存演習ツールの適応領域

段階で様々なメンバにより EoP を使用し、議論することで製品のリリース前に潜在的な脆弱性を修正することができる。

図 1 に既存の演習ツールと対応領域をマッピングした。グラフの横軸はシステムの開発時からセキュリティインシ デント発生（運用中（有事））までの時間経過を示している。グラフの縦軸は演習ツール対象者が必要とされる知見のレ ベルを示している。啓発目的でゲーミフィケーションを取り入れた演習ツールはセキュリティの知見を有していない初級者を対象としている。既存のゲーム演習ツールは時系列的にはシステムの設計段階および運用中のインシデント 発生時の対応を演習することができる。一方で、システム 開発後の運用要領やセキュリティインシデント発生を防止 するための対策について議論することが限定的である。これは既存のゲーム演習は特にシステム開発段階やインシデ ント対応に焦点を当てているためである。システム開発後 の運用要領には導入したセキュリティ機能の設定内容の維 持や妥当性の確認方法、機器やログの監視要領、運用中に 生じる脆弱性の対応要領の他、教育・インシデント管理要 領といった組織的な体制の強化方法があげられる。従来の 演習ツールでは未対応の領域であるシステム運用中の対策 に焦点を当てて議論を実施するための演習ツールが望まれる。このため、本稿では特に既存のゲーム演習ツールでは 未対応の領域を議論できるツールを新規に開発することとした。

提案方式であるセキュ・ワンの有用性は、動機付け効果と設計方針の達成度を確認することにより示す。ゲーム演習は参加者の動機付けの効果を意図して作成されていることから、設計方針のうち、動機付け効果の評価はセキュ・ワンと他の演習ツールの評価を比較することとした。動機付けの効果を測定するための指標に ARCS 動機付けモデルを用い、セキュ・ワンと他演習ツールを共通の指標で評価した。ARCS 動機付けモデルは 4 つの項目（注意、関連性、自信、満足）に分類される。ARCS の各項目を高めることにより、高い動機付け効果が得られるとされている。

動機付け効果は既存演習ツールと同程度以上の評価となっており、有効性を確認することができた。これは、ゲーミフィケーションの仕組みおよび CSC や攻撃ライブラリのような体系的に整備されたコンテンツを上手く活用できたためと考えられる。すなわち、最新のサイバー攻撃の手法と効果的な対策を楽しみながら学習することが可能であると考えられる。動機付け効果以外の設計方針も他プレイヤおよびゲームマスタとの議論を通して、おおむね達成できた。他プレイヤから単に知識を得るだけではなく、単独学習では困難であったサイバー攻撃手法や対策の解釈の幅を広げることが可能となった。演習後にプレイヤの総得点を確認することで、「サイバー攻撃を理解し、迅速に最適な対策を判断する能力」を測ることができる可能性を示した。セキュ・ワンは単に知識習得のために使用されるものではなく、プレイヤの現状の能力を定量的に把握する場合にも有用であると考えられる。

3.3 具体的成果

本研究の成果をまとめ、論文 [査読付 3] として投稿し、採択された。

4　なりすましメールと視線分析

4.1　背景

現代社会において、電子メールは手軽なコミュニケーションツールとして広く普及しており、日々膨大な量の通信が行われている。このような状況から、サイバー犯罪者にとっては、メールが最も狙いやすい攻撃経路となっている。メールを利用して攻撃を行う場合、特定の人物や組織になりすましてメールを送る「なりすましメール」がある。このサイバー攻撃に対して、送信ドメイン認証や電子署名など対策が提案されてきたが、攻撃の報告は毎年増加する一方である。この原因としては、技術的要因だけでなく人間の精神状態が影響する人的要因も考えられる。

このような人的要因によるセキュリティインシデントを軽減するために、メールソフトにはインジケータを用いて安全性の検証を行った結果をエンドユーザに提示する機能がある。しかし、メールインジケータのインターフェースの視認性や分かりやすさの有効性については不明瞭な点が多い。

この特徴を調べるため、本研究では様々な種類のメールインジケータを用いた視線分析の実験を行い、ユーザがメールの真贋判定をする上で、メール画面のどこに重要と感じる要素があるのかを調査する。また、ウェブインジケータのデザイン設計に関する研究を元に、本研究では 2 種類のメールインジケータを設計し、既存のメールインジケータと比較することで、それぞれのインジケータのユーザインターフェースの有効性の特徴について言及する。

4.2　内容

ユーザがメールの真贋判定をできない原因として、既存のなりすましメールの対策手法を用いても、その真贋判定に資する情報を表示するユーザインタフェースの問題があるのではないかと考えられる。また、メールインジケータをどのように設計するかは、不明瞭な点が多く、この特性を調べるために特徴の異なるメールインジケータを作成して分析する。

4.2.1　インジケータの要件定義

この節ではインジケータの要件定義について説明する。インジケータの要件定義は、セキュリティ面とインターフェース面に分けて考えることができる。本研究では、セキュリティ面の要件が満たされているものとして、インターフェース面の視認性と分かりやすさの特徴を調べるための分析をする。

- セキュリティ面

  1. 提示される情報の正確性
     インジケータはセキュリティ技術により検証した結果が提示されるものであるが、この内容は正しく判別した結果を表示しなければならない。メールインジケータは危険度別に 4 種類 (安全/不明/危険/その他警告) に分類することができるが、その他警告は使われる事例が極めて少ないため、3 種類 (安全/不明/危険) を対象とする。
  2. インジケータの偽装について
     なりすましメールの文面が限りなく正規のメール文面に近い形となっているように、インジケータのデザインが普及すれば、攻撃者は正規のものを使用して攻撃を行おうとする。そのため、インジケータは偽装しにくいデザインで設計しなければならない。

- インターフェース面

  1. 提示される情報の視認性
     ユーザがインジケータの存在を認識できなければ、インジケータとして効果を示すことはできない。そのため、インジケータをユーザが認識しやすい場所や、認識しやすい大きさに設計する必要がある。

2. 提示される情報の分かりやすさ
   インジケータが安全性の情報を提示しても、その意味が理解されないことがある。そのため、インジケータの提示する内容はユーザにとって分かりやすく (判読性が高く)、その意味を素早く理解できる (可読性が高い) ものでなければならない。
3. 提示する情報の表示空間
   使用するデバイスによっては、インジケータを表示するための空間が十分に確保できない場合がある。そのような限られた領域においても、効果的なインジケータを設計しなければならない。

4.2.2 本研究で新たに設計するメールインジケータ

A.P.Felt らの先行研究 [1] を参考に真贋性を示すメールインジケータとして次のような設計を行った。

- アイコン形状
  A. P. Felt らの提案方式と同じ形状にした。具体的には安全を示す形状を南京錠、不明を示す形状を丸型のエクスクラメーションマーク、危険を示す形状を三角のエクスクラメーションマークを使用する。

- 色
  A. P. Felt らの提案方式では、不明を示す色が灰色であるとした論拠が乏しく、確実な成果としては、黒色がユーザの主観的評価が高いという結果が出ていた。その他は市場調査に基づいた評価を行っていたため、本提案方式では安全を示す色が緑色、不明を示す色が黒色、危険を示す色が赤色を採用する。

- 文字
  A. P. Felt らの提案方式では、安全を示す言葉として”Secure”、不明と危険を示す言葉が”Non secure”であったが、本研究では、日本人が使うメールを想定するので、日本人が分かりやすいと感じる言葉を選ぶ必要がある。そのため、安全を示す言葉を”安全な送信者”、不明を示す言葉を”安全でない送信者”、危険を示す言葉を”危険な送信者”とした。

ウェブインジケータでは URL バーの左に表示するのが一般的であるが、メールインジケータにおいてはそれぞれの手法によって表示場所が異なるため、どの表示場所が効果的かを調べる必要がある。そのため、表示する場所を変えたメールインジケータセットを 2 つ作成した。差出人情報の左側に表示するセットを Indicator Based Google Chrome Pattern1(IBGC1)、右側に表示するセットを Indicator Based Google Chrome Pattern1(IBGC2) として記す。

4.2.3 実験

この節では、メールインジケータのユーザインターフェースの有効性についての特徴を調べるために視線分析実験を行い、視認性と分かりやすさの観点でそれぞれの特徴をまとめる。

本実験で用いるメーラーは、普及率が高いことと、アドオンやプラグインの導入により開発しやすい環境であることから「Thunderbird」を用いる。Thunderbird のバージョンは 52.9.1(MAC OS 版) である。また、視認性分析に用いる視線認識装置には Tobii Pro TX300 を用いた。調査に用いるメールインジケータは、Thunderbird の電子署名、アドインである DKIM Verifier、Thundersec 等のメールインジケータに加えて、本研究の提案方式のメールインジケータを使用する。

視認性分析に用いるメール文面の設計については、視線認識装置が認識しやすいように差出人、件名、宛先、本文の文章を標準設定よりも大きくし、文字の行間も広くなるようにした。本文は、執筆者の元に届いた正規のメールと、フィッシング対策協議会に報告されたなりすましメールの 2 種類を

[1] A.P.Felt et al. ”Rethinking Connection Security Indicators”, SOUPS2016)

図 2: IBGC1 のヒートマップ

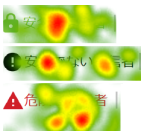


図 3: IBGC2 のヒートマップ

図 4: DigitalSignature のヒートマップ

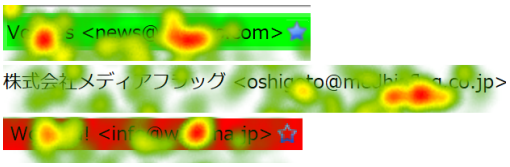


図 5: DKIM Verifier(S) のヒートマップ

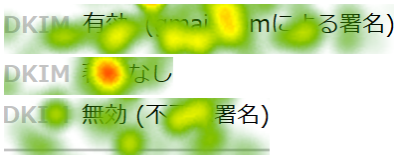


図 6: DKIM Verifier((H) のヒートマップ

図 7: DKIM Verifier((S.B) のヒートマップ

用いて、個人情報やセキュリティの観点から一部に改変を加えたものを使用した。メール文章と使用するメールインジケータの安全性 (安全/不明/危険) の組み合わせはランダムに設定した。つまり、安全を示すメールインジケータであっても、メールの文章は正規メールとなりすましメールの 2 通りが存在する。これは、文章の正規性に関係なく、ユーザはメールインジケータを見て判断するのかを調査するためである。

実験に際しては、被験者にメール画面を見て、送信者のなりすまし判定 (◯/△/×) を 20 秒以内に口頭で答え。実験者はその内容を記録する。◯が信頼できる正規の送信者、△ がどちらともいえない送信者、× が危険な送信者 (なりすましメール) を表す。判定ができた時点で次のメール画面に進み、全 16 画面に対して同様の内容を記録する。この 20 秒というのは、おおよその人がメール 1 通あたりに割く時間の上限であると想定して決定した。

4.2.4 実験結果

この項では認識精度の悪かった被験者 4 人を除いた 13 人分の視線分析結果について示す。なお、実験ではアンケートも行っており、文献 [発表 1] を参照されたい。それぞれのメールインジケータ毎に対する凝視時間割合のヒートマップを図 2〜図 8 に表す。

メールインジケータの分かりやすさ (判読性) について考察する。判読性はアイコン+色+文字の 3 つで構成されるか、アイコン+色の 2 つで構成される時に高い評価を示し、メール画面の左側に表示するものがより良い結果となった。アイコン+色+文字の 3 つで構成については、この特徴に該当するインジケータである IBGC1, IBGC2, Thundersec が高い数値を示している。その中でも、IBGC1 と IBGC2 を比較すると、全ての状態 (安全/不明/危険) で画面の左側に表示する IBGC2 の評価が高くなっている。同手法における安全、不明のインジケータでは高い評価を得られなかったが、デザイン次第ではアイコン+色の構成においても分かりやすい設計が可能ということが分かる。また、不明を示すインジケータでは安全と危険を示すインジケータと比べて、全体的に分かりやすさの評価が低くなっていることから、安全性が保証されない「不明」という状態がユーザにとって理解されにくいのではない

図 8: Thundersec のヒートマップ

かと推察できる。このような分かりにくいインターフェースこそ、改善の余地がある。
同様に、凝視率、凝視時間についても調査を行い、成果は論文 [発表 1] として発表した。

4.3 具体的成果

本研究の成果をまとめ、論文 [発表 1] として発表した。

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Andrew M'manga, Shamal Faily, John McAlaney, Youki Kadobayashi, Daisuke Miyamoto: A Normative Decision Making Model for Cyber Security, Information and Computer Security (Accepted)

[査読付 2] 阿部 博, 島 慶一, 宮本 大輔, 関谷 勇司, 石原 知洋, 岡田 和也, 中村 遼, 松浦 知史, 篠田 陽一: 時間軸検索に最適化したスケールアウト可能な高速ログ検索エンジンの実現と評価, 情報処理学会論文誌, 60(3), pp.728–737, 2019 年 3 月.

[査読付 3] 近江谷 旦 , 宮本 大輔 , 門林 雄基: サイバーセキュリティゲーム演習ツールセキュ・ワンの提案, 情報処理学会論文誌, 59(12), pp.2232–2245, 2018 年 12 月.

[査読付 4] Masayuki Jimichi, Daisuke Miyamoto, Chika Saka, Shuichi Nagata: Visualization and Statistical Modeling of Financial Big Data: Double-Log Modeling with Skew-Symmetric Error Distributions, Springer, Japanese Journal of Statistics and Data Science, Vol. 1, Iss. 2, pp. 347–371, September 2018.

[査読付 5] Shun Yonamine, Youki Kadobayashi, Daisuke Miyamoto, Yuzo Taenaka: Towards Automated Characterization of Malware's High-level Mechanism using Virtual Machine Introspection In Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP), February 2019.

[査読付 6] Jema David Ndibwile, Edith Talina Luhanga, Doudou Fall, Daisuke Miyamoto, Youki Kadobayashi: A Comparative Study of Smartphone-User Security Perception and Preference towards Redesigned Security Notifications, In Proceedings of the 2nd African Conference on Human Computer Interaction (AfriCHI 2018), December 2018.

[査読付 7] Jing Zhao, Shaoning Pang, Iman Tabatabaei Ardekani, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto: Task and Instance Quadratic Ordering for Active Online Multitask Learning, In Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing of the Asia-Pacific Neural Network Assembly (ICONIP), December 2018.

[査読付 8] Jema David Ndibwile, Edith Talina Luhanga, Doudou Fall, Daisuke Miyamoto, Youki Kadobayashi: Decisions in Developing and Developed Countries, In Proceedings of the 10th International Conference on Information Management and Engineering (ICIME), September,2018.

[査読付 9] Nissy Sombatruang, Youki Kadobayashi, Angela Sasse, Michelle Baddeley, Daisuke Miyamoto: The continued risks of unsecured public Wi-Fi and why users keep using it: Evidence from Japan, In Proceedings of the 16th Annual Conference on Privacy, Security and Trust, August 2018.

[査読付 10] Andrew M'Manga, Shamal Faily, John Mcalaney, Chris Williams, Youki Kadobayashi, Daisuke Miyamoto: Eliciting Persona Characteristics for Risk Based Decision Making, In Proceedings of the 32nd British Human Computer Interaction Conference (Poster Session), July, 2018.

[査読付 11] Andrew M'Manga, Shamal Faily, John Mcalaney, Chris Williams, Youki Kadobayashi, Daisuke Miyamoto: Qualitative Adaptation: Informing Design for Risk-based Decision Making, In Proceedings of the 2nd Workshop on the Challenges and Opportunities for Qualitative Data Research Methods in HCI, July, 2018.

[査読付 12] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto, Kazuya Okada, Tomohiro Ishihara, Malicious Host Detection by Imaging SYN Packets and A Neural Network, In Proceedings of the 2018 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC): Trust, Security and Privacy, June, 2018.

その他の発表論文

[発表 1] 小野木祐太, 宮本 大輔: "視線認識を用いたメールインジケータの視認性分析に関する研究", 情報処理学会 研究報告, 2018 年 12 月.

PART 4

教育・サービス活動報告

情報メディア教育

学術情報

ネットワーク

スーパーコンピューティング

情報メディア教育

教育用計算機システム iMac 端末（駒場情報教育棟大演習室１）

情報メディア教育支援サービス
概要

部門長　柴山悦哉　　専門職員　中村昇平　　係長　友西大

情報基盤センターでは、情報メディア教育支援サービスとして、教育研究目的で利用可能なさまざまな機器、ソフトウェア、サービスなどを、東京大学に所属する学生および教職員に対して提供している。そして、これらに付随する運用・管理、ユーザサポート、システム設計、研究開発などの業務も行っている。

現在提供中のシステムやサービスのうち、代表的なものを以下で紹介する。これらは、研究室、学科・専攻、部局等で個別に運用・管理を行うことが困難であったり、大学全体で共有して運用・管理を集約化する方が費用面等で有利であったりするものである。

教育用計算機システム (ECCS)： 年度末時点で 2 万人を超えるユーザに対し、本郷、駒場、柏の 3 キャンパスに分散配置した 1,341 台の iMac により、macOS 環境と Windows 環境の利用サービスを提供している。両環境には、Office スイートや数式処理システムなどの商用アプリケーションと多数のフリーソフトウェアがインストールされており、授業などの教育目的を中心にさまざまな用途に利用されている。この他に、学内外からネットワーク経由で同時に最大 15 名が OS X 環境を利用できるリモートアクセスサービスも提供している。また、3 キャンパスで計 29 台の複合機を設置し、ECCS の iMac からだけでなく、インターネット経由のリクエストにも対応可能なプリントサービスを提供しており、交通系電子マネー (Suica, PASMO など) などによる決済にも対応している。さらに、Google 社の G Suite の各種サービス (Gmail, Google Drive など) をユーザに対して提供している。

一般ユーザが直接触れることはないが、分散配置された多数の機器を一元管理するために、認証サーバ、ファイルサーバ、管理サーバなどを用いた集中管理体制を取っている。また、新規利用者向けの講習会の開催、ヘルプデスクの設置、相談員（学生アルバイト）の雇用などによりソフトなサービスにも力を入れている。

メールホスティング： 学内組織を対象にメールホスティングサービスを提供しており、年度末時点で 532 組織、17,000 名以上のユーザが利用している。

Web ホスティング： 学内組織を対象に Web ホスティングサービスを提供しており、年度末時点で 884 組織が利用している。このサービスは外部事業者への委託により行われている。

DNS ホスティング： 学内組織を対象とした DNS ホスティングサービスを提供しており、年度末時点で 35 組織が利用している。

学習管理システム (ITC-LMS)： 教材のオンライン配布、課題の出題とレポートの提出、クイズの出題と回答、掲示板、出欠管理などの教育支援機能を提供する学習管理システムの運用を学内向けに行なっている。今年度は 1,825 コースで利用された。また、今年度は、本学の全教職員・学生を対象とした「情報セキュリティ教育」でも利用された。

遠隔講義支援: テレビ会議システムを備えた遠隔講義室、多地点接続装置などを用意しており、遠隔講義や遠隔会議に利用されている。

WiFi アクセスポイント提供サービス: UTokyo WiFi 用のアクセスポイントを部局に貸し出すサービスを行っており、年度末時点で 77 台のアクセスポイントが貸し出されている。

その他のサービス: 有線 LAN、認証情報の提供、動画のストリーミングサービス、大判プリンターのサービスなどを提供している。

教育用計算機システム運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

1　運用報告

1.1　ECCS2016 の運用

2018 年 4 月 26 日

Mac 環境

- iTunes 12.7.4
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 16.12.0
    - Microsoft Word Update 16.12.0
    - Microsoft Excel Update 16.12.0
    - Microsoft Outlook Update 16.12.0
    - Microsoft OneNote Update 16.12.0
- Adobe Flash Player 29.0.0.140
- iMovie 10.1.9
- Xcode 9.3
- Pages 7.0
- Keynote 8.0
    - Numbers 5.0

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Flash Player 29.0.0.140
- Firefox 59.0.2
- Rhinoceros 6

リモートアクセス環境

- iTunes 12.7.4
- Adobe Flash Player 29.0.0.140
- iMovie 10.1.9
- Xcode 9.3
- Pages 7.0
- Keynote 8.0
- Numbers 5.0

SSH サーバ

- iTunes 12.7.4
- Adobe Flash Player 29.0.0.140
- iMovie 10.1.9
- Xcode 9.3
- Pages 7.0
- Keynote 8.0
- Numbers 5.0
- Google Chrome 65.0.3325.181

2018 年 5 月 31 日

Mac 環境

- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 16.13.0
    - Microsoft Word Update 16.13.0
    - Microsoft Excel Update 16.13.0
    - Microsoft Outlook Update 16.13.0
    - Microsoft OneNote Update 16.13.0
- Adobe Flash Player 29.0.0.171
- Java SE 1.8.0_171
- Java SDK 1.8.0_171
- Google Chrome 66.0.3359.181
- Xcode 9.3.1
- Pages 7.0.1
- Keynote 8.0.1
- Numbers 5.0.1

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Flash Player 29.0.0.171
- Firefox 60.0.1
- Thunderbird 52.8.0
- Java SE 8u172
- Java SDK 8u172
- Google Chrome 66.0.3359.181

リモートアクセス環境

- Adobe Flash Player 29.0.0.171
- Java SE 1.8.0_171
- Java SDK 1.8.0_171
- Google Chrome 66.0.3359.181
- Xcode 9.3.1
- Pages 7.0.1
- Keynote 8.0.1
- Numbers 5.0.1

SSH サーバ

- Java SE 1.8.0_171
- Java SDK 1.8.0_171
- Xcode 9.3.1
- Pages 7.0.1
- Keynote 8.0.1
- Numbers 5.0.1

2018 年 6 月 28 日

Mac 環境

- iTunes 12.7.5
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 16.13.1
    - Microsoft Word Update 16.13.1
    - Microsoft Excel Update 16.13.1
    - Microsoft Outlook Update 16.13.1
    - Microsoft OneNote Update 16.13.1
- Adobe Flash Player 30.0.0.113
- Firefox 52.8.1 esr
- Google Chrome 67.0.3396.87
- Xcode 9.4.1
- Pages 7.1
- Keynote 8.1
- Numbers 5.1
- Mathematica 11.3

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Flash Player 30.0.0.113
- Firefox 60.0.2
- Java SE 8u172
- Java SDK 8u172
- Google Chrome 67.0.3396.87
- Mathematica 11.3

リモートアクセス環境

- iTunes 12.7.5
- Adobe Flash Player 30.0.0.113
- Firefox 52.8.1 esr
- Google Chrome 67.0.3396.87
- Xcode 9.4.1
- Pages 7.1
- Keynote 8.1
- Numbers 5.1
- Mathematica 11.3

SSH サーバ

- iTunes 12.7.5
- Adobe Flash Player 30.0.0.113
- Firefox 52.8.1 esr
- Google Chrome 67.0.3396.87
- Xcode 9.4.1
- Pages 7.1
- Keynote 8.1
- Numbers 5.1
- Mathematica 11.3
- SSH 同時接続数変更

2018 年 8 月 3 日

Mac 環境

- Tunes 12.8
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 16.15.0
    - Microsoft Word Update 16.15.0
    - Microsoft Excel Update 16.15.0
    - Microsoft Outlook Update 16.15.0
    - Microsoft OneNote Update 16.15.0
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20055
- Adobe Flash Player 30.0.0.134
- Firefox ESR 52.9.0
- Thunderbird 52.9.1
- Google Chrome 67.0.3396.99
- GarageBand 10.3.1

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20055
- Adobe Flash Player 30.0.0.134
- Firefox 61.0.1
- Thunderbird 52.9.1
- Google Chrome 66.0.3369.99

リモートアクセス環境

- iTunes 12.8
- Office アップデート
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20055
- Adobe Flash Player 30.0.0.134
- Firefox ESR 52.9.0
- Thunderbird 52.9.1
- Google Chrome 67.0.3396.99
- GarageBand 10.3.1

SSH サーバ

- iTunes 12.8
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20055
- Adobe Flash Player 30.0.0.134
- Firefox ESR 52.9.0
- Thunderbird 52.9.1
- Google Chrome 67.0.3396.99
- GarageBand 10.3.1

2018 年 9 月 20 日

Mac 環境

- OS X 10.13.6
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 16.16.2
    - Microsoft Word Update 16.16.2
    - Microsoft Excel Update 16.16.2
    - Microsoft Outlook Update 16.16.2
    - Microsoft OneNote Update 16.16.2
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20058
- Adobe Flash Player 31.0.0.108
- Firefox ESR 60.2.0
- Java SE 1.8.0_181
- Java SDK 1.8.0_181
- Google Chrome 69.0.3497.92
- Dynare（新規インストール）4.5.6

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20058
- Adobe Flash Player 31.0.0.108
- Firefox 62.0
- Java SE 1.8.0_181
- Java SDK 1.8.0_181
- Google Chrome 69.0.3497.92
- EViews（更新パッチ適用）

リモートアクセス環境

- OS X 10.13.6
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20058
- Adobe Flash Player 31.0.0.108
- Firefox ESR 60.2.0
- Java SE 1.8.0_181
- Java SDK 1.8.0_181
- Google Chrome 69.0.3497.92

SSH サーバ

- OS X 10.13.6
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20058
- Adobe Flash Player 31.0.0.108
- Firefox ESR 60.2.0
- Java SE 1.8.0_181
- Java SDK 1.8.0_181
- Google Chrome 69.0.3497.92

2018 年 10 月 30 日

Mac 環境

- Safari 12.0
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20074
- Adobe Flash Player 31.0.0.122
- Firefox ESR 60.2.2
- Google Chrome 69.0.3497.100
- Microsoft Remote Desktop 8.0.44
- Xcode 10.0
- Pages 7.2
- Keynote 8.2
- Numbers 5.2

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20074
- Adobe Flash Player 31.0.0.122
- Firefox 62.0.3
- Google Chrome 69.0.3497.100

リモートアクセス環境

- Safari 12.0
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20074
- Adobe Flash Player 31.0.0.122
- Firefox ESR 60.2.2
- Google Chrome 69.0.3497.100
- Microsoft Remote Desktop 8.0.44
- Xcode 10.0
- Pages 7.2
- Keynote 8.2
- Numbers 5.2

SSH サーバ

- Safari 12.0
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20074
- Adobe Flash Player 31.0.0.122
- Firefox ESR 60.2.2
- Google Chrome 69.0.3497.100
- Microsoft Remote Desktop 8.0.44
- Xcode 10.0
- Pages 7.2
- Keynote 8.2
- Numbers 5.2

2018 年 11 月 22 日

Mac 環境

- mac OS X セキュリティアップデート（2018-002 High Sierra）
- Safari 12.0.1
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20080
- Adobe Flash Player 31.0.0.148
- Firefox ESR 60.3.0
- Thunderbird 60.3.1
- Java SE 1.8.0_192
- Java SDK 1.8.0_192
- Microsoft Office 16.14..4
    - PowerPoint
    - Word
    - Excel
    - Outlook
    - OneNote
- iMovie 10.1.10
- Xcode 10.1
- Pages 7.3
- Keynote 8.3
- Numbers 5.3
- MATLAB R2018b ..
- gfortran によりコンパイルできない問題を修正

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20081
- Adobe Flash Player 31.0.0.148
- Firefox 63.0.1
- Thunderbird 60.3.0
- Java SE 8u192
- Java SDK 8u192
- Google Chrome 70.0.3538.102
- MATLAB R2018b

リモートアクセス環境

- mac OS X セキュリティアップデート（2018-002 High Sierra）
- Safari 12.0.1
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20080
- Adobe Flash Player 31.0.0.148
- Firefox ESR 60.3.0
- Thunderbird 60.3.0
- Java SE 1.8.0_192
- Java SDK 1.8.0_192
- Google Chrome 70.0.3538.102
- iMovie 10.1.10
- Xcode 10.1
- Pages 7.3
- Keynote 8.3
- Numbers 5.3
- MATLAB R2018b MacTeX
- gfortran によりコンパイルできない問題を修正

SSH サーバ

- mac OS X セキュリティアップデート（2018-002 High Sierra）
- Safari 12.0.1
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.008.20080
- Adobe Flash Player 31.0.0.148
- Firefox ESR 60.3.0
- Thunderbird 60.3.0
- Java SE 1.8.0_192
- Java SDK 1.8.0_192
- Google Chrome 70.0.3538.102
- iMovie 10.1.10
- Xcode 10.1
- Pages 7.3
- Keynote 8.3
- Numbers 5.3
- MATLAB R2018b

2018 年 12 月 27 日

Mac 環境

- mac OS X セキュリティアップデート（2018-003 High Sierra, macOS Mojave 10.14.2）
- Safari 12.0.2
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20064
- Adobe Flash Player 32.0.0.101
- Firefox ESR 60.4.0
- Thunderbird 60.3.3
- Google Chrome 71.0.3578.98

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20064
- Adobe Flash Player 32.0.0.101
- Firefox 64.0
- Thunderbird 60.3.3
- Google Chrome 71.0.3578.98
- R 3.4.4

- Microsoft Office 16.16.5
    - PowerPoint
    - Word
    - Excel
    - Outlook
    - OneNote
- GarageBand 10.3.2
- XQuartz 2.7.11
- R 3.4.4

リモートアクセス環境

- mac OS X セキュリティアップデート（2018-003 High Sierra, macOS Mojave 10.14.2）
- Safari 12.0.2
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20064
- Adobe Flash Player 32.0.0.101
- Firefox ESR 60.4.0
- Thunderbird 60.3.3
- Google Chrome 71.0.3578.98
- GarageBand 10.3.2
    - リソースダウンロード警告がでないように修正
- XQuartz 2.7.11
- R 3.4.4

SSH サーバ

- mac OS X セキュリティアップデート (2018-003 High Sierra, macOS Mojave 10.14.2)
- Safari 12.0.2
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20064
- Adobe Flash Player 32.0.0.101
- Firefox ESR 60.4.0
- Thunderbird 60.3.3
- Google Chrome 71.0.3578.98
- GarageBand 10.3.2
    - リソースダウンロード警告がでないように修正
- XQuartz 2.7.11
- R 3.4.4

2019 年 1 月 31 日

Mac 環境

- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20069
- Adobe Flash Player 32.0.0.114
- Thunderbird 60.4.0
- Java SE 1.8.0_202
- Java SDK 1.8.0_202
- Microsoft Office 16.16.6
    - PowerPoint
    - Word
    - Excel
    - Outlook
    - OneNote

リモートアクセス環境

- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20069
- Adobe Flash Player 32.0.0.114
- Thunderbird 60.4.0
- Java SE 1.8.0_202
- Java SDK 1.8.0_202

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20069
- Adobe Flash Player 32.0.0.114
- Firefox 64.0.2
- Thunderbird 60.4.0
- Java SE 8u202
- Java SDK 8u202

SSH サーバ

- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20069
- Adobe Flash Player 32.0.0.114
- Thunderbird 60.4.0
- Java SE 1.8.0_202
- Java SDK 1.8.0_202
- Microsoft Office 16.16.6
    - PowerPoint
    - Word
    - Excel
    - Outlook
    - OneNote
- Windows_mount.sh でのマウント不具合修正
- SSH 接続時の不具合修正

2019 年 2 月 28 日

Mac 環境

- mac OS X セキュリティアップデート（2019-001 High Sierra, macOS Mojave 10.14.3）
- iTunes 12.8.2
- Safari 12.0.3
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20091
- Adobe Flash Player 32.0.0.142
- Firefox ESR 60.5.1
- Thunderbird 60.5.1
- Google Chrome 72.0.3626.109
- Microsoft Office 16.16.7
    - PowerPoint
    - Word
    - Excel
    - Outlook
    - OneNote

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20091
- Adobe Flash Player 32.0.0.142
- Firefox 65.0.1
- Thunderbird 60.5.1
- Google Chrome 72.0.3626.109

リモートアクセス環境

- mac OS X セキュリティアップデート（2019-001 High Sierra, macOS Mojave 10.14.3）
- iTunes 12.8.2
- Safari 12.0.3
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20091（2019-001 High Sierra, macOS Mojave 10.14.3）
- Adobe Flash Player 32.0.0.142
- Firefox ESR 60.5.1
- Thunderbird 60.5.1
- Google Chrome 72.0.3626.109

SSH サーバ

- mac OS X セキュリティアップデート
- iTunes 12.8.2
- Safari 12.0.3
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20091
- Adobe Flash Player 32.0.0.142
- Firefox ESR 60.5.1
- Thunderbird 60.5.1

2019 年 3 月 22 日

Mac 環境

- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20098
- Adobe Flash Player 32.0.0.156
- Firefox ESR 60.5.2
- Thunderbird 60.5.3
- (削除)Java SE
- (削除)Java SDK
- (新規)AdoptOpenJDK JRE 1.8.0_202
- (新規)AdoptOpenJDK JDK 1.8.0_202
- Google Chrome 73.0.3683.75
- Microsoft Office 16.16.8
    - PowerPoint
    - Word
    - Excel
    - Outlook
    - OneNote

Windows 環境

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20098
- Adobe Flash Player 32.0.0.156
- Firefox 65.0.2
- Thunderbird 60.5.3
- (削除)Java SE 8u202
- (削除)Java SDK 8u202
- (新規)AdoptOpenJDK JRE 1.8.0_202
- (新規)AdoptOpenJDK JDK 1.8.0_202
- Google Chrome 73.0.3683.75

リモートアクセス環境

- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20098
- Adobe Flash Player 32.0.0.156
- Firefox ESR 60.5.2
- Thunderbird 60.5.3
- (削除)Java SE
- (削除)Java SDK
- (新規)AdoptOpenJDK JRE 1.8.0_202
- (新規)AdoptOpenJDK JDK 1.8.0_202
- • Google Chrome 73.0.3683.75

SSH サーバ

- Adobe Acrobat Reader DC 2019.010.20098
- Adobe Flash Player 32.0.0.156
- Firefox 65.0.2
- Thunderbird 60.5.3
- (削除)Java SE
- (削除)Java SDK
- (新規)AdoptOpenJDK JRE 1.8.0_202
- (新規)AdoptOpenJDK JDK 1.8.0_202
- Google Chrome 73.0.3683.75

1.2 システム利用説明会

このシステムを利用して講義等を行う教員やティーチングアシスタント、及び分散端末管理責任者・担当者を対象とした説明会を年 2 回開催している。

本郷: 情報基盤センター 1 階 大演習室 1

9 月 11 日 13:30-15:00, 3 月 20 日 14:30-15:30

駒場: 情報教育棟 3 階 大演習室 2

9 月 12 日 13:30-15:00, 3 月 19 日 16:00-17:00

1.3 次期教育用計算機システム（ECCS2020）

2020 年運用開始予定の次期教育用計算機システム構築に関する経過

2018 年 6 月 19 から 10 月 31 日まで

東京大学構成員向けに、次期教育用計算機システムに対する希望を広く募集するためのアンケートを実施した。

2018 年 9 月 11 日及び 9 月 12 日

東京大学構成員向けに、次期教育用計算機システムの仕様に関する方針の説明と、方針に対する意見を直接受ける機会として 9 月 11 日は本郷情報基盤センターで、9 月 12 日は駒場情報教育棟でそれぞれ公聴会を開催した。

2　講習会開催報告

2.1 新規利用者向け講習会

学部学生、大学院生および研究生が教育用計算機システムの利用を新規に申し込む際には、新規利用者向け講習会を受講する必要がある。本講習会については、2016 年度 9 月よりオンライン講習を開始し、2017 年度からはオンライン講習を基本としている。また、学部新1年生は 2018 年度入学生まで、ガイダンス時に座学の講習会を開催していたが、2019 年度入学生よりオンライン講習による受講を実施しており、3 月より受講が行われている。

2018 年度の実施状況は次表のとおりである。

表 オンライン新規利用者講習会受講・合格者数

	オンライン講習	
	受講数	合格者数
4 月	2079	1401
5 月	193	116
6 月	122	71
7 月	143	73
8 月	139	67
9 月	1109	577
10 月	791	369
11 月	245	114
12 月	314	139
1 月	233	119
2 月	71	27
3 月	2650	1265
合計	8089	4338

3　サービス統計

3.1 部局別利用者数

教育用計算機システムを一度でも利用したことのある学部学生、大学院生、研究生、教職員の月毎累積の部局別実利用者数を図 1 に示す。比較のため、2018 年度(各月右側)と 2017 年度(同左側)を載せてある。

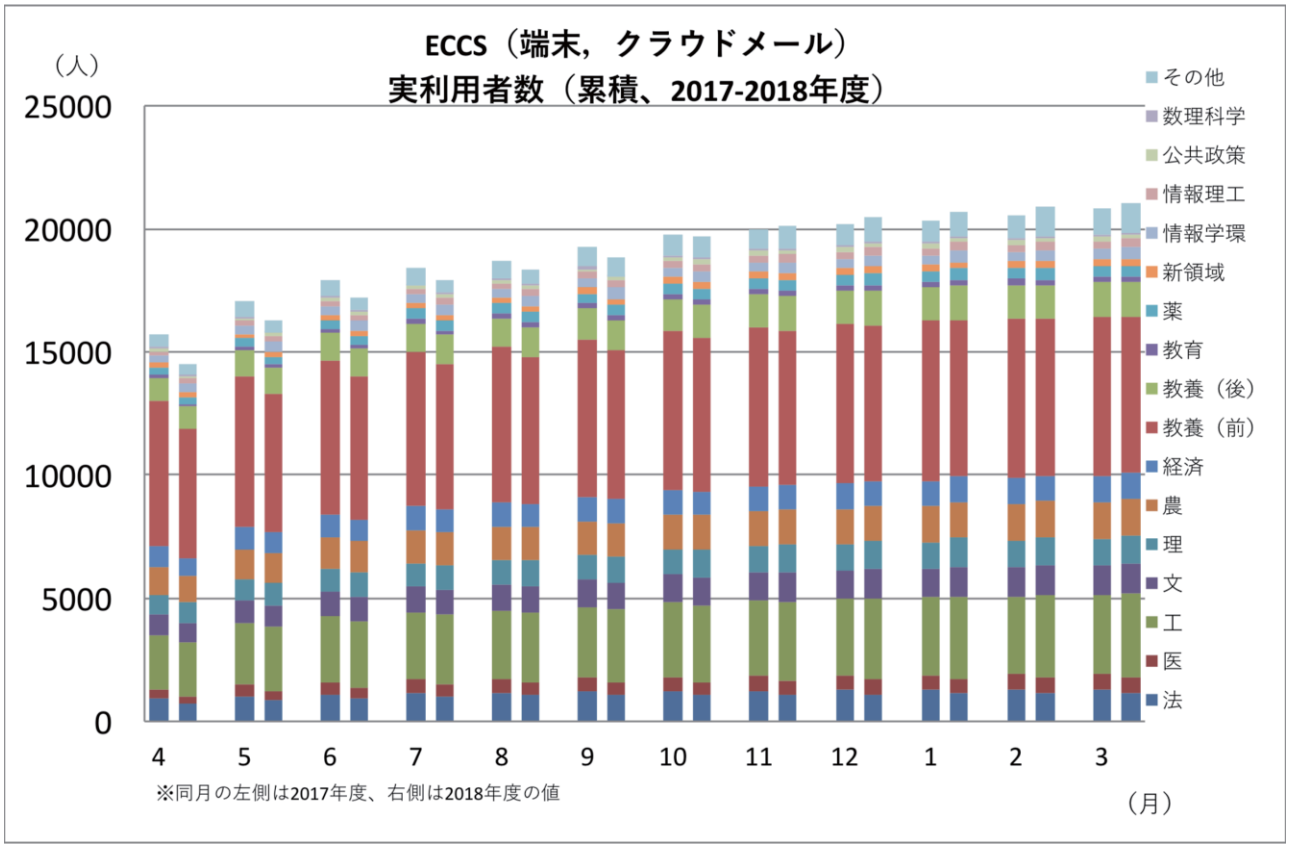


図 1. 部局別実利用者数

3.2 端末利用状況

教育用計算機システムの端末は、本郷地区では情報基盤センター(浅野地区)の演習室に端末を集中配置するとともに、総合図書館、福武ホール、各学部/研究科等の 15 箇所にも端末を分散配置している。駒場地区では、情報教育棟に端末を集中配置し、駒場図書館にも端末を配置している。柏地区は柏図書館に端末を配置している。

これらの配置場所のうち、利用の多い本郷地区の総合図書館と駒場地区の情報教育棟、駒場図書館の利用状況を図 2 から図 7 に示す。図の中で濃い灰色が Mac 環境利用、薄い灰色が Windows 環境利用である。

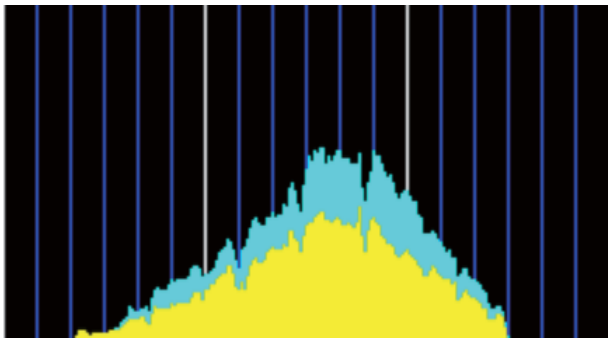


図 2. 駒場情報教育棟 1F 自習室 (124 台)

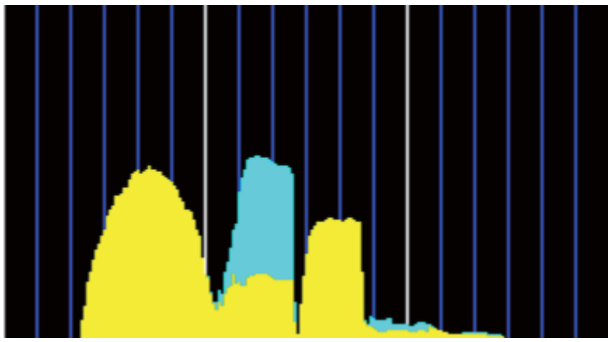


図 3. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 1 (165 台)

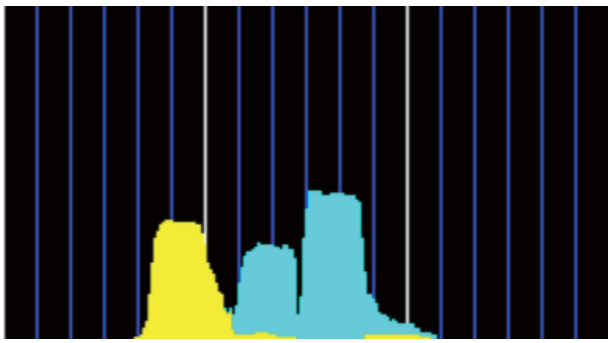


図 4. 駒場情報教育棟 3F 大演習室 2 (147 台)

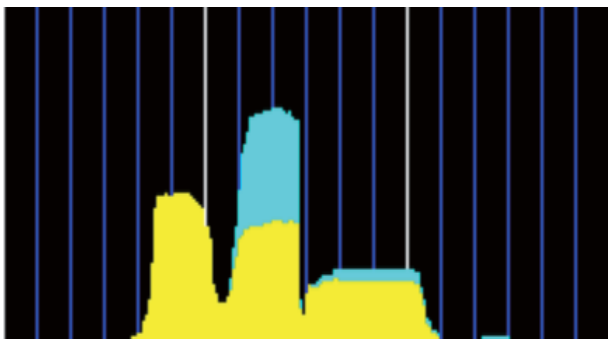


図 5. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 3 (108 台)

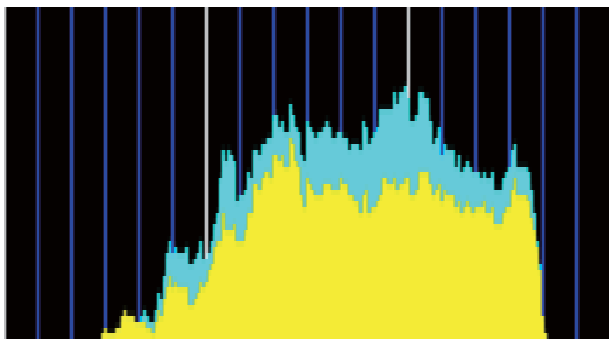


図 6. 駒場図書館 1F メディアパーク (58 台)

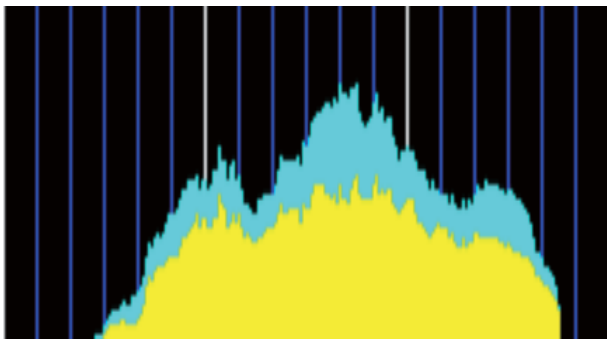


図 7. 総合図書館 1F メディアプラザ (69 台)

3.3 利用者対応

利用者への対応について、窓口、電話対応件数、メールによる対応件数を表 3 に示す。

表 3. 利用者対応件数

	情報基盤センター		福武ホール		駒場情報教育棟		メール
	窓口対応	電話対応	窓口対応	電話対応	窓口対応	電話対応	
4 月	76	148	170	1	359	61	241
5 月	33	40	67	7	97	4	77
6 月	27	40	46	2	71	10	50
7 月	93	34	48	4	38	5	33
8 月	75	34	29	5	15	12	59
9 月	75	56	60	18	65	21	47
10 月	144	47	67	29	92	18	95
11 月	79	33	31	6	44	19	63
12 月	90	23	27	7	39	10	43
1 月	86	26	22	3	18	14	29
2 月	72	48	38	5	24	8	76
3 月	72	70	36	3	27	29	150
合計	922	599	641	90	889	211	963

学内組織向けメールサーバ(MAILHOSTING)運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

1　経過

2018 年度は昨年度から引き続き ECCS2016 システムの MailSuite を利用している。

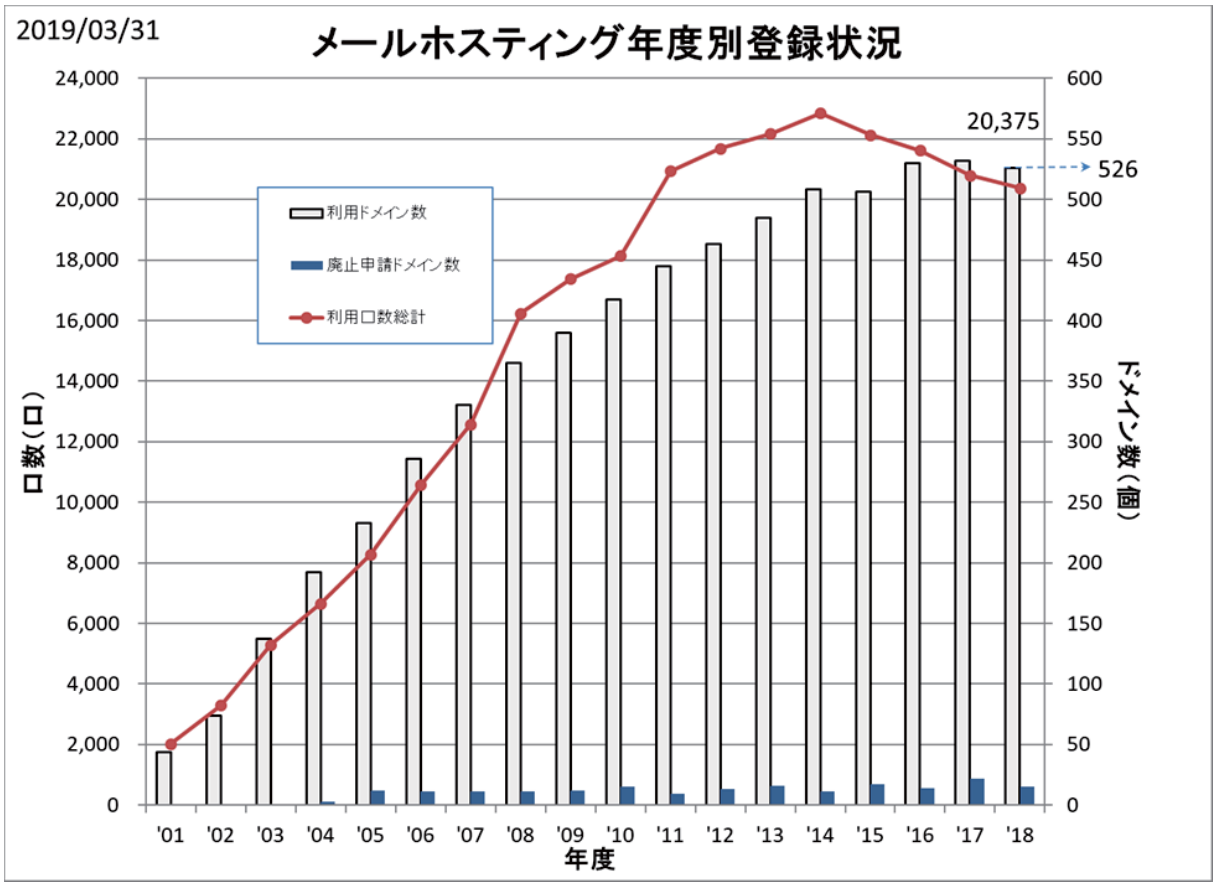
今年度は例年に増して、障害、外的要因、SPAM 処理による過負荷等でメール送受信の遅延が多く発生した。主には 5 月 23 日ファイルサーバ保守遅延による 32 時間程度の停止、7 月 8 日大量 SPAM による過負荷により 27 時間程度の送受信不可、8 月 21 日 SPAM の大量外部転送を制限されたことによるスプール溢れで約 1 週間程度の送受信不可や大幅遅延の発生、その他数時間程度の遅延や停止が数回発生している。

これに対応し、正規メールの到達性を高めるため、送信用サーバのスプール容量拡大や、ドメイン管理者に対する SPF 機能設定の促進、MailSuite での全受信メールに対する SPF 判定有効化や SPAM 判定の最適化、そしてこれらを実現するため一部システム改修を実施している。

その他の経過として、2018 年 8 月 6 日には 2020 年度運用開始予定の次期メールシステムに向けたアンケート、9 月 11 日本郷、9 月 12 日駒場にて公聴会を、いずれも教育用計算機システム向けと同時期に実施、次期メールシステムに関する意見を広く学内から募集した。

2　参加組織

2018 年度末時点において、本サービスを利用している組織は、526 組織であり、それらの申し込み口数の合計は 20,375 口である。2017 年度末に比べ、6 組織減少、415 口減少している。法人向けの商用クラウドメールシステムが普及し、そちらを選択するドメインが増えてきているため、参加組織数は漸減傾向である。



3　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

2018 年

4 月　9 日　メールシステム移行後の Gmail での送受信について
4 月 13 日　【ECCS 教職員メール，メールホスティング】サーバメンテナンスのお知らせ（2018.4.13）【終了】
5 月　1 日　【ドメイン管理者向け】アカウントが削除できない。
5 月 23 日　【重要】ファイルサーバメンテナンスに伴うサービス一時停止について【復旧】【完了】
5 月 23 日　5 月 19, 20 日の MailHosting サービスおよび ECCS 教職員メールサービスの障害について
6 月 22 日　SPAM マークが付いたメールの自動処理手順例
6 月 27 日　MailHosting サービスおよび ECCS 教職員メールサービスの Sender Policy Framework 適用範囲の拡大
7 月　9 日　2018 年 7 月メール送信遅延に関するお詫び
8 月　6 日　次期教育用計算機システムメールホスティングシステムに関する公聴会のお知らせ
8 月　7 日　メールホスティングシステム，ECCS 教職員メールユーザ向けアンケートの実施について

8 月 7 日 【終了】メール送信用サーバの更新について
8 月 9 日 一部の拡張子を持つ添付ファイルの送受信禁止について(追加)
8 月 17 日 【管理者向け】SPF 設定の推奨と注意事項
8 月 21 日 クラウドメールサービス宛メールの遅延について
9 月 5 日 メールのログからのパスワード削除
9 月 7 日 学内ネットワークの障害の影響について(終了)
10 月 9 日 【ドメイン管理者向け】アカウントが削除できない。
10 月 9 日 メールホスティングの廃止手続き
12 月 21 日 /etc/aliases 相当の機能はありますか？
12 月 21 日 【MailSuite】メールリスト機能と転送機能の違い
12 月 21 日 【ドメイン管理者ログイン向け】多要素認証でのログイン方法
12 月 21 日 【MailSuite】メールの転送設定方法
12 月 26 日 (集計結果の公開. アンケートへの回答は終了済) メールホスティングシステム, ECCS 教職員メールユーザ向けアンケートの実施について
12 月 27 日 【MailSuite】メール送信数制限について

2019 年
1 月 29 日 ユーザーアカウントのパスワード有効期限について
3 月 20 日 【メール】MailSuite モジュール更新作業について

学内組織向け DNS ホスティング運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

1　経過

2019 年 3 月に、システムを XACK 社製 XACK DNS 及び ZONE EDITOR に変更した。2019 年 4 月から運用開始予定。

同時にサーバ証明書を UPKI 発行のものに変更した。

2　参加組織

2018 年度末時点において、45 組織が利用中である。2017 年度末から 10 組織増加した。

3　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

2019 年

2 月　25 日　DNS ホスティング用サーバの更新とそれに伴う停止等について

WEB PARK サービス運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

1　運用報告

WEB PARK サービスとは、2000 年度から開始した学内組織向けの Web ホスティングサービスである。2014 年 2 月にオンプレミスによるサービスから外部事業者が提供する Web ホスティングサービスへと変更し、2017 年 2 月の契約更新を経て 2018 年度も引き続きサービスを行った。

2　サービス統計

2018 年度に利用を開始した組織数は 65、利用を中止した組織数は 39 であった。2019 年 3 月末現在の総利用組織数は 910 である。利用組織数の変化を図 1 に示す。

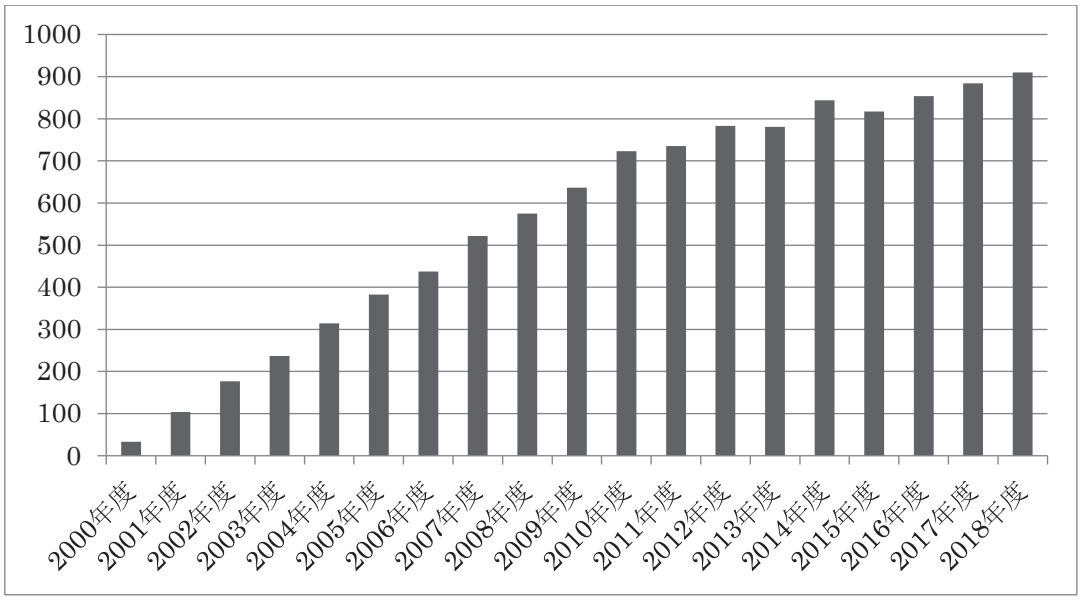


図 1. 利用組織数の遷移

表1. 部局別利用組織数

部局名	組織数
法学政治学研究科/法学部	37
医学系研究科/医学部	49
附属病院	12
工学系研究科/工学部	247
人文社会系研究科/文学部	0
理学系研究科/理学部	15
農学生命科学研究科/農学部	136
経済学研究科/経済学部	38
総合文化研究科/教養学部	126
教育学研究科/教育学部	1
薬学系研究科/薬学部	3
数理科学研究科	1
新領域創成科学研究科	107
情報理工学系研究科	28
情報学環・学際情報学府	3
その他	107

遠隔講義支援サービス運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

1　運用報告

遠隔地と講義・会議ができるような TV 会議システムを本郷・駒場の遠隔講義室に提供して利用のサポートを行なっている。また MCU(テレビ会議システム多地点接続制御装置)を提供している。

なお、MCU サービス、及び映像配信(動画ストリーミング配信、インターネットライブ中継)のサービスは本年度にてサービスを終了した。

1.1 遠隔講義室

遠隔地と講義・会議ができるような TV 会議システムを本郷・駒場の遠隔講義室に提供して利用のサポートを行なっている。

2018 年度は本郷遠隔講義室は 30 回、駒場遠隔講義室は 4 回、MCU 14 回の利用があった。

1.2 インターネットライブ中継サポート

学内で行われる卒業式、イベント、最終講義等のライブ中継サポートを行なっている。

2018 年度は 0 件の中継サポートを行った。

1.3 撮影機材貸し出し

ビデオカメラ及び三脚等の撮影機材の貸出を行っている。

2018 年度は 1 件の貸出を行った。

2　サービス統計

2018 年度においては、遠隔講義支援に関わる設備等は次の利用回数があった。なお、会議等の利用状況については、学外との接続利用のみの回数である。また遠隔講義室の授業利用に関しては学期毎にまとめて1回として集計している。

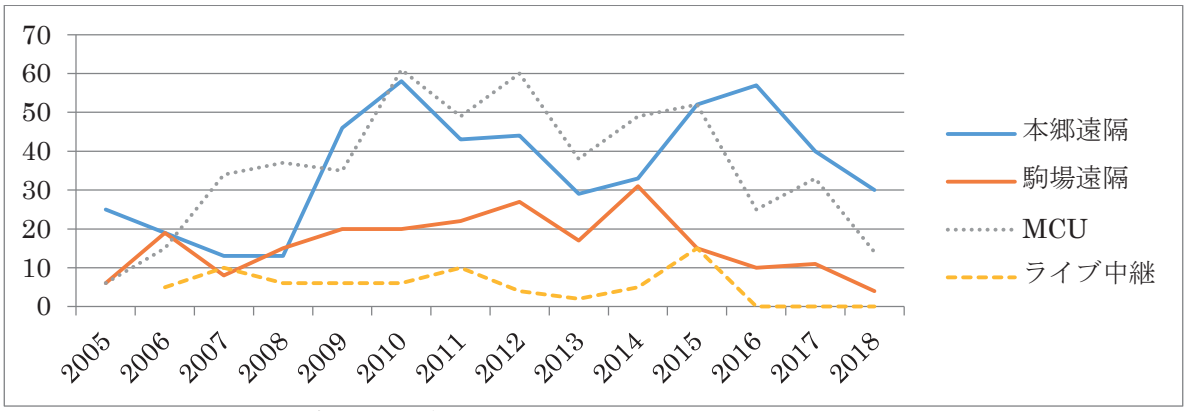


図 1.遠隔講義支援サービス利用数経年変化(2005-2018)

MCU の接続拠点数と利用頻度を集計した。MCU の接続数は最大15 拠点の接続が可能である。

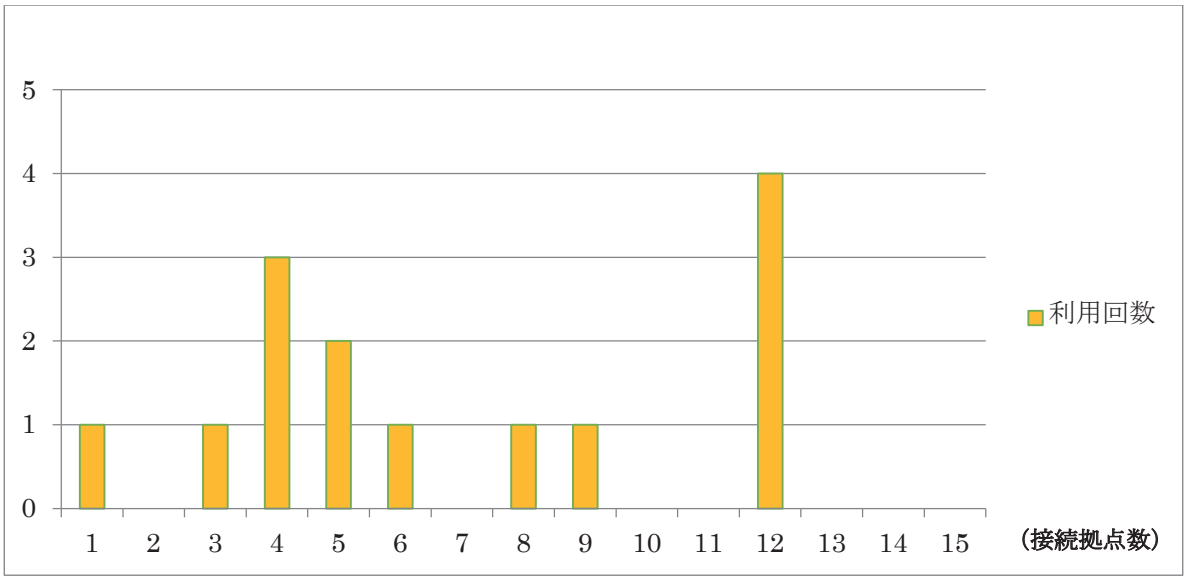


図 2.MCU 接続拠点数別利用頻度(2018)

3　その他

関連 URL　https://www.itc.u-tokyo.ac.jp/education/services/e-learn/

LMS 運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

1　概要

情報メディア教育部門では、2014 年 3 月から学習管理システム (ITC-LMS : ITC Learning Management System) を運用している。

ITC-LMS では、学務システム (UTAS) で登録された講義をコースとして自動登録している。教員は、登録されたコースで、教材・講義資料の配布、課題の出題やレポートの受領、コメントの返却、小テストの出題と採点、出欠管理などを行うことができる。他にも、アンケート、掲示板、通知などの機能も利用可能である。ITC-LMS の利用にあたって、教職員及び学生は UTokyo Account を使用する。

2　運用報告

ITC-LMS の主な機能は前述の通りである。また、利用者である教員や学生の利便性の向上や、運用を担当するセンター教職員の負荷の低減などを目的として、適宜機能の追加や改良を行っている。2018 年度は、システム稼働から5年経過すること、および基盤環境機器のリースが満了することに伴いシステムの全面更新を行い、2019 年 3 月より新システム稼働を開始した。

新システムでは、従来の ITC-LMS の主な機能を踏襲しつつその一部を改良する他、以下の点を大きく変更することとした。

・サーバ機器をクラウドサービス上で運用
・ラーニングアナリティクスの基盤として Learning Record Store (LRS) を導入
・学習成果の保存や提示のために e ポートフォリオシステムを導入

3　システム利用説明会

教育用計算機システム (ECCS) を利用して講義を行う教員、ティーチングアシスタントと分散配置端末管理・担当者を対象とした「システム利用説明会」を開催している (年 2 回開催)。

システム利用説明会では、前半を ECCS に関する説明を、後半に ITC-LMS の概要について説明を行っている。2018 年度の開催日時は以下の通り。

2018 年 9 月 11 日 (火)	13:30 〜 15:00	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 1
2018 年 9 月 12 日 (水)	13:30 〜 15:00	駒場 : 情報教育棟 3 階　大演習室 2
2019 年 3 月 19 日 (火)	15:00 〜 17:00	駒場 : 情報教育棟 3 階　大演習室 2
2019 年 3 月 20 日 (水)	13:30 〜 15:30	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 1

4　サービス統計

4.1　利用状況

ITC-LMS の利用状況は以下の通り。

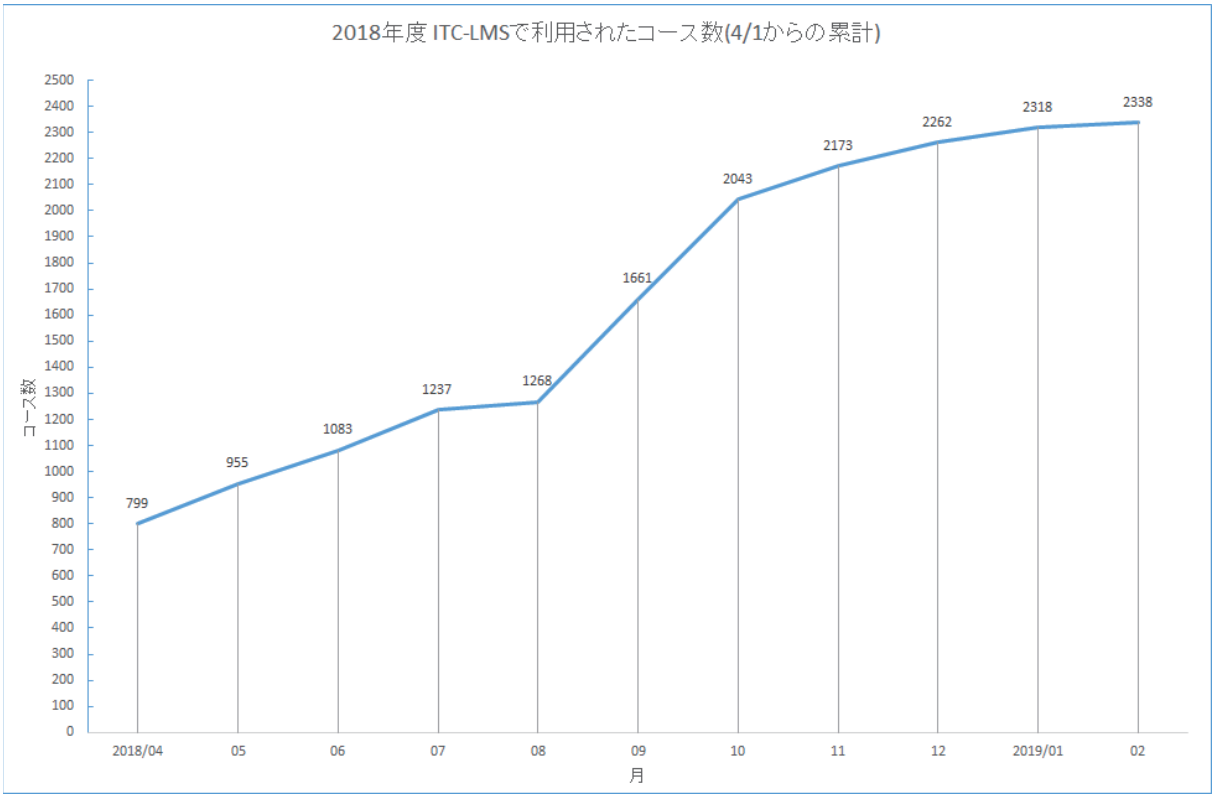


図 1. ITC-LMS　利用されたコース(教材・課題・テストなどの主な機能において、当該機能のデータを 1 個以上作成したコース)の総数(2019/2/25 まで)

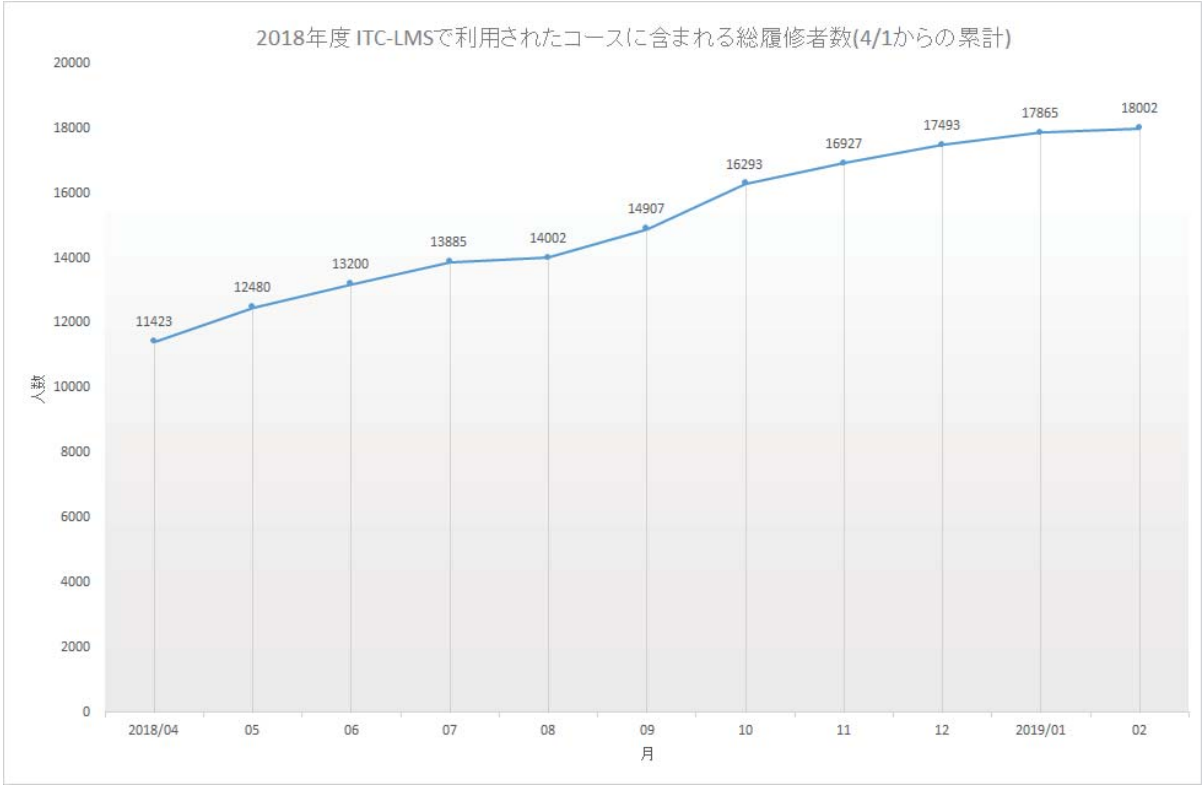


図 2. ITC-LMS 利用されたコースに登録されている学生数の総数(重複を除く総和)
(2019/2/25 まで)

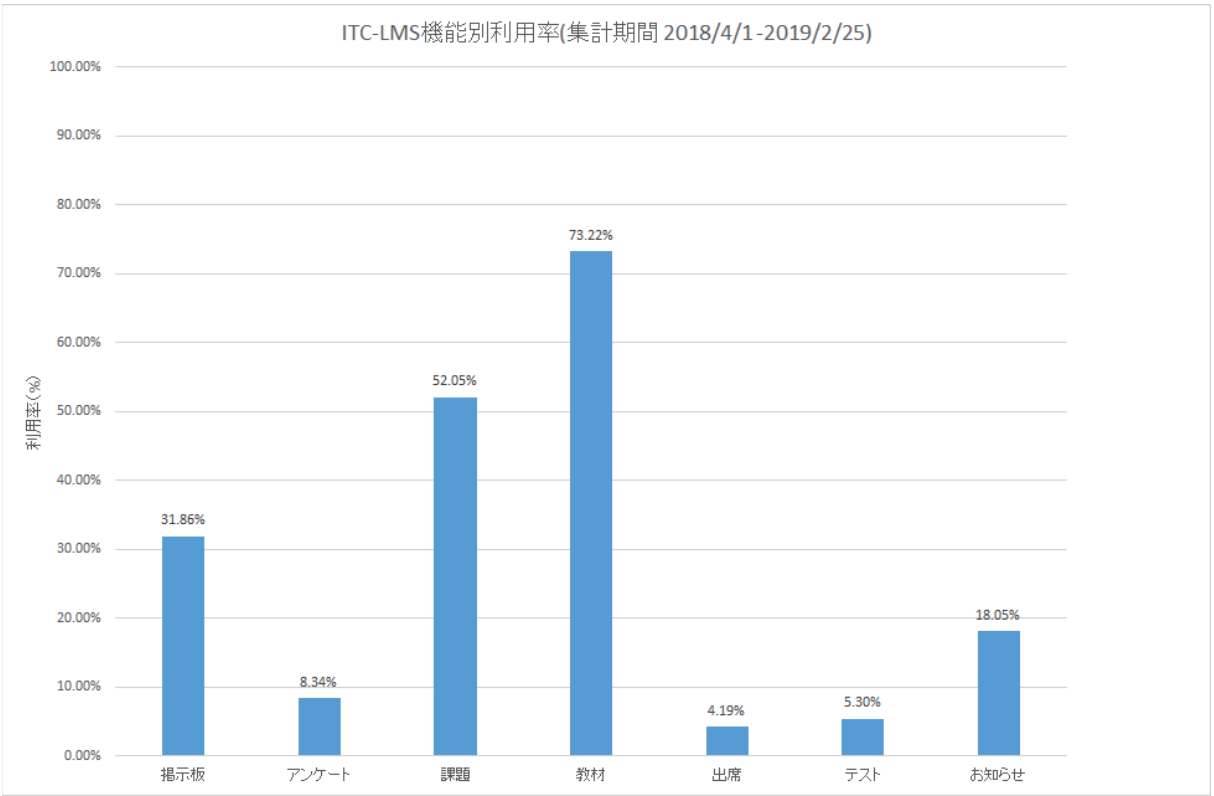


図 3. ITC-LMS 機能別利用率(2018 年度)

4.2　組織別 の利用状況

ITC-LMS の組織別の利用状況は以下の通り。

表 1. 2018 年度に利用されたコース数の組織別分布(2019/2/25 まで)

教養学部（前期課程）	744
法学部	70
医学部	4
工学部	140
文学部	101
理学部	58
農学部	50
経済学部	34
教養学部	403
教育学部	20
法学政治学研究科	70
医学系研究科	1
工学系研究科	90
人文社会系研究科	57
理学系研究科	16
農学生命科学研究科	13
経済学研究科	21
総合文化研究科	173
教育学研究科	8
数理科学研究科	2
新領域創成科学研究科	19
情報理工学系研究科	48
学際情報学府	30
公共政策学教育部	90
本部	76

その他のサービス　運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

情報メディア教育部門において実施されている、その他のサービス（部局設置機器の管理、一時アカウント使用、認証情報の提供、大判プリント、AP 提供サービス）について報告する。

1　一時アカウント使用

一時アカウントの発行状況は、申込み数は 9、合計口数は 232 である。

利用月	部局	口数	内容
5 月	本部広報課	35	東京大学全学ウェブサイト CMS（ALAYA）の操作実習
7 月	経済学研究科	31	経済学実験
8 月	情報理工学系研究科	55	情報処理学会２０１８年度教員免許更新講習および SSR+都高校情研
9 月	経済学研究科	31	経済学実験
11 月	経済学研究科	31	経済学実験
12 月	総合文化研究科	15	国際生物オリンピック派遣高校生の生物統計の特訓のため
12 月	経済学研究科	30	澤田研究室経済実験
1 月	情報システム部	2	新 ITC-LMS 負荷試験
3 月	情報システム部	2	新 ITC-LMS 負荷試験(追加)

2　認証情報提供

教育用計算機システムの認証情報の提供サービスは SSL-VPN の他は、以下のとおりである。

組織数：5

対象：部局管理 Active Directory（2 組織）、部局管理 LDAP（2 組織）、SNOWBALLS

3　大判プリント

大判プリント提供サービスの利用は以下のとおりである。

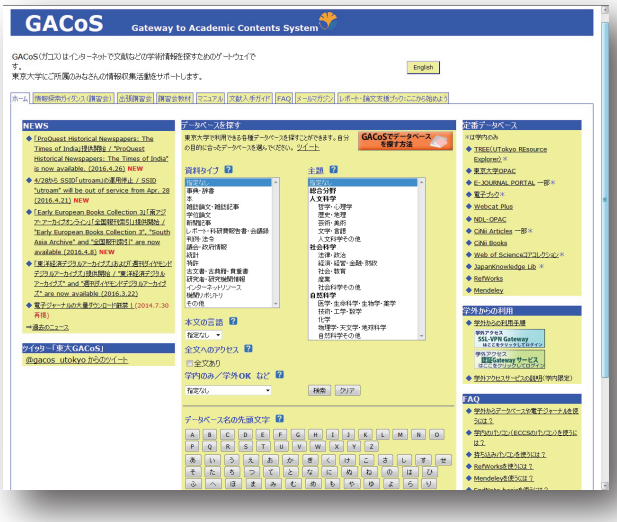
本郷（福武ホール　教材編集室）　171 件

4　AP 提供サービス

無線 LAN については UTokyo WiFi 用アクセスポイント（AP）を提供するサービスを行っている。AP 提供サービスによる無線アクセスポイント提供数は 85 台で、その内訳は以下の通りである。

法学政治学研究科	39 台	人文社会学系研究科	1 台
公共政策学連係研究部	23 台	農学生命科学研究科	3 台
薬学系研究科	1 台	総合文化研究科	5 台
医科学研究所	13 台		

学術情報



GACoS

東京大学 OPAC

学術情報

概要

部門長　田浦健次朗　　専門員　村上晋司

1　図書館システムの運用管理とサービスの提供

「附属図書館学術情報システム」（図書館システム）は、本学図書館・室の図書館業務を担う業務システム的部分と、その結果蓄積された図書・雑誌の書誌・所在情報を「東京大学 OPAC」を窓口として学内外のユーザの利用に供するためのサービスシステムとしての側面も有するものであり、附属図書館が提供する各種サービスの中核をなすシステムである。

今年度は、総合図書館にて運用を開始した大規模な自動書庫へのシステムの対応を行った。また、2021 年のシステムリプレイスに向けて準備を開始した。

2　東京大学機関リポジトリの運用管理と情報発信

東京大学学術機関リポジトリ（UTokyo Repository）の運用管理、著作権対応の業務を行っている。2018 年度のコンテンツ登録数は前年度より 2,464 件増加し、41,200 件の本文ありコンテンツが登録されている。

また、一部の紀要及び 1990 年度から 2016 年度に学位授与された博士論文へ DOI を付与した。

3　東京大学デジタルアーカイブズ構築事業への協力

附属図書館に設置された学術資産アーカイブ化推進室に室員として参加し、東京大学デジタルアーカイブズ構築事業に協力している。

2018 年度には東京大学学術資産等アーカイブズ共用サーバにより「田中芳男・博物学コレクション」や「皇明條法事類纂デジタルアーカイブ」などのコレクションの公開に寄与した。

4　学術情報に関するポータルサイト提供と各種講習会の企画・運営

各種データベース等の電子的学術情報資源の中から自分の目的に合ったものを探すためのポータルサイト「GACoS」を提供している。また、各部局や附属図書館と連携しながら各種講習会・セミナーの企画・実施、案内冊子やパンフレット等の作成を行うとともに、上記の「GACoS」を通じて講習会・セミナーの広報を行っている。

5　その他

その他、SSL-VPN ゲートウェイによる学外からの電子ジャーナル等へのアクセスサービスの運用や、本学所蔵の貴重書の電子化と公開に協力している。

図書館関係システム運用・管理

図書館システム担当

1　運用報告

図書館システム担当では、「附属図書館学術情報システム」を中心に図書館関係サーバ群の運用管理を行っている。

1.1　附属図書館学術情報システム（図書館システム）

「附属図書館学術情報システム」は全学の図書館業務システムであり、OPAC、MyOPAC 等の利用者サービスを提供するシステムでもある。2018 年度は以下の業務の実施とともに、総合図書館の工事に伴う対応を行った。

1.1.1　図書館システムにおける通年業務

2018 年度も通常の業務画面では処理が困難な大量の各種データの一括登録・修正・削除処理について、附属図書館の要望に沿って作業を行った。さらに毎年行う柏図書館への製本雑誌移管に係るデータ修正、部局図書館の移転・統合に伴う移設作業や新図書館建設に係る総合図書館資料の移設作業に対応するため、データ修正作業を継続して行っている。

また、理学部の統合等、サービス体制・内容の変更に応じて図書館システムを調整した。

附属図書館業務担当係会と連携し、システムに対する要望の整理・取りまとめ、それらのシステムの適用状況の管理・動作検証等を行っている。2021 年のリプレイス向けには、係会とは別にプロジェクトチームを結成し、検討を開始した。

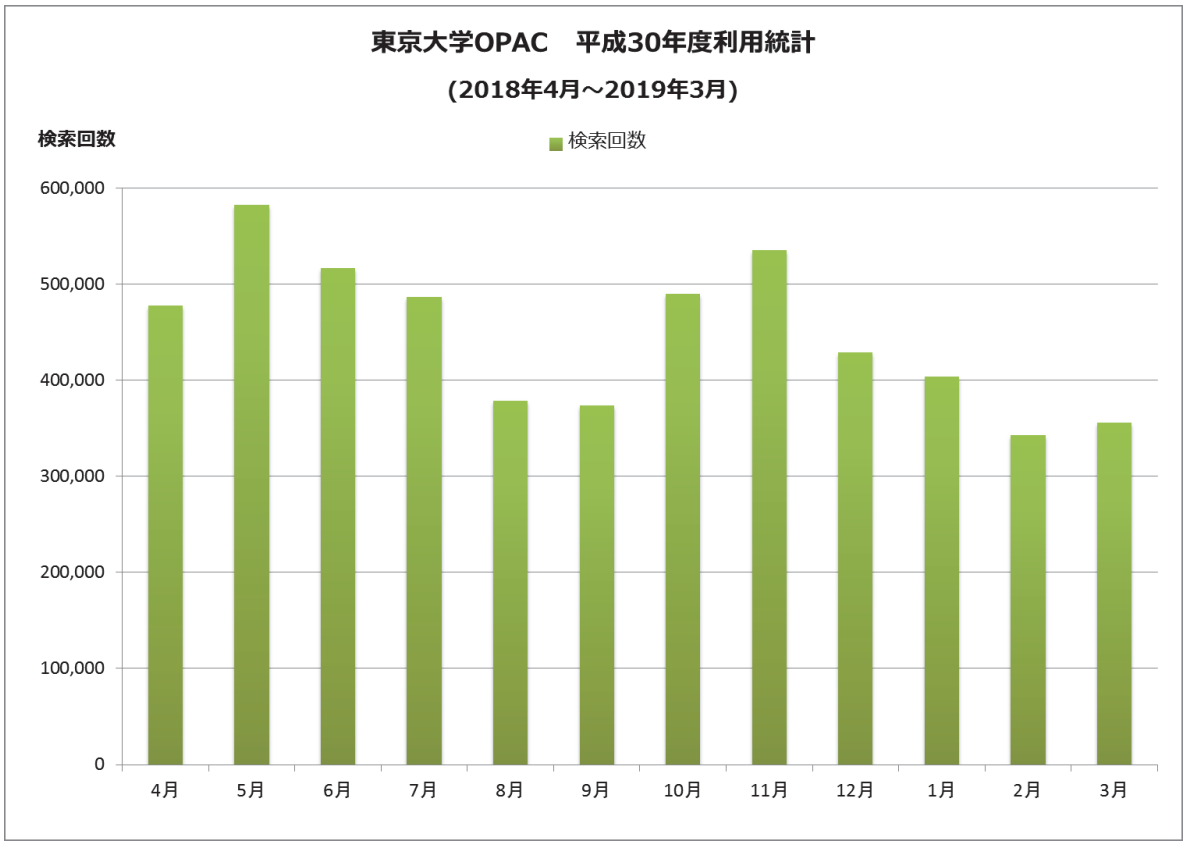
1.2　総合図書館工事に伴う対応

総合図書館内の工事に伴い、停電対応や LAN 配線等のネットワーク整備の対応をした。また、自動書庫の運用開始に向けて、OPAC との連携のためのデータ整備や安定動作のための試行を行った。

1.3　その他の図書館関係サーバ等

- 附属図書館職員用 Wiki の管理
- メールホスティングによる図書系部署・職員のアカウント管理、メーリングリスト管理
- DNS ホスティングによる lib ドメイン、dl-itc ドメインのゾーン管理
- 総合図書館共同利用棟のネットワーク機器管理

2　サービス統計


東京大学OPAC　平成30年度利用統計
(2018年4月～2019年3月)
検索回数
検索回数
600,000
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
0
4月
5月
6月
7月
8月
9月
10月
11月
12月
1月
2月
3月

デジタルコンテンツサービス

デジタル・ライブラリ担当

1　運用報告

1.1　東京大学学術機関リポジトリの運用

東京大学学術機関リポジトリ（UTokyo Repository）とは、東京大学で生産されたさまざまな研究成果を電子的な形態で集中的に蓄積・保存し、学内外に公開することを目的としたインターネット上の発信拠点である。2004 年度から附属図書館と連携して構築を行い、2006 年 4 月から「東京大学学術機関リポジトリ」としてサービスを開始している。2017 年 10 月には、共用リポジトリサービス”JAIRO Cloud”へのシステム移行を実施した。JAIRO Cloud への移行を機に、紀要及び博士論文への DOI 付与を行うこととした。2018 年度には DOI 付与対象のうち一部の紀要及び 1990 年度から 2016 年度に学位授与された博士論文への付与まで完了している。(https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/)

1.1.1　コンテンツ作成と著作権対応

紀要、学位論文、学術雑誌論文を中心としてコンテンツの収集と作成を行い、2018 年度末には 41,200 件の本文ありデータを公開しており、順調に増加している。機関リポジトリでは本文そのものを PDF 等で公開するため、単に本文及びメタデータの登録作業を行うだけではなく、著作権上の問題が起きないように対応を行っている。

1.2　電子ジャーナルのリモートアクセスサービス

学内からのアクセスに限定されている情報リソースの一部を学外からアクセス可能にするサービスである。2006 年度よりサービスとして開始しており、現在、150 件程のデータベースや電子ジャーナルのパッケージが利用可能である。2015 年4月から SSL-VPN Gateway サービス（学生用）、認証 GW サービス（教職員用）に分けて運用している。

1.3　デジタルアーカイブズ構築支援

附属図書館の電子化貴重資料の Web 公開のために貴重書サーバ環境を提供している。

2017 年度からは同年に設置された学術資産アーカイブ化推進室員として、東京大学学術資産等アーカイブズプラットフォームの構築及び運用にあたっている。2018 年度には東京大学学術資産等アーカイブズ共用サーバにより「田中芳男・博物学コレクション」や「皇明條法事類纂デジタルアーカイブ」などのコレクションの公開に寄与した。2019 年度には全学のアーカイブズ資料の統合検索を行うポータルシステムの公開を予定している。

学術情報リテラシー支援

学術情報リテラシー担当

1　運用報告

1.1　情報探索ポータルサイト GACoS(Gateway to Academic Contents System)の運用

電子的な学術情報にアクセスするためのポータルサイトとして、GACoS（日本語・英語版）を継続的に構築、運用した。なお、サイトの安全性向上のため、図書館システム担当により https 化が実施された。（https://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/）

1.2　リテラシー支援資料の作成･改訂

1.2.1　「レポート・論文支援ブック」

東京大学における文献収集やレポート・論文執筆のガイドブックとして、「レポート・論文支援ブック：ここから始めよう」を発行した。日本語・英語・中国語・韓国語の 4 か国語版を作成し、PDF 版を GACoS に掲載した。

冊子版は 8 ページの簡易な内容となっており、詳しい内容は、日本語・英語 2 か国語で GACoS に掲載した。GACoS 掲載の内容については、随時新しい情報を追加・改訂している。

(https://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/supportbook.html)

1.2.2　リーフレット「自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには？」

「レポート・論文支援ブック：ここから始めよう」の別冊として、SSL-VPN Gateway サービスと認証 GW サービスについて紹介した「自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには？」を発行した。日本語・英語の 2 か国語版を作成し、PDF 版を GACoS に掲載した。

(https://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/supportbook.html)

1.2.3　その他のリーフレット、案内資料

データベース検索関連情報として、ECCS 端末を利用するための講習会に関するリーフレット（日英併記）や、UTokyo Account を使って図書館で受けられるサービスに関するリーフレット（日本語・英語版）を作成した。

1.2.4　「図書館利用ガイド」

東京大学の図書館を初めて利用する学生等を対象とした、「図書館利用ガイド」（附属図書館編集発行、日本語・英語版）の作成に協力した。

1.2.5 「文献探しのクイックガイド」

ウェブ版アニメーション教材のクイックガイド（日本語・英語版）を継続的に運用した。
(https://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/literacy.html)

1.3 Litetopi メールマガジンの発行

東京大学構成員を対象に、新規サービスや講習会・セミナーの情報を発信する「Litetopi（リテトピ）メールマガジン」を、No. 301 から No. 316 まで発行した。バックナンバーは GACoS 上で公開している。

1.4 Twitter の発信

講習会・セミナーの広報ツール、またデータベースの一時的なメンテナンス情報などをタイムリーに通知する手段として、Twitter の発信を行った。

2 講習会・セミナー等開催報告

データベース等の電子的学術資料を学習・教育・研究に効率的に利用してもらうこと、及びレポート・論文執筆の支援を目的とし、情報探索ガイダンス各コースを開催した。

2.1 テーマ別ガイダンス

1 つのテーマについて検索実習を交えながら解説する、テーマ別ガイダンスを 9 コース開催した。2018 年度は、文献管理ツール RefWorks の新バージョンのサービス開始（2019 年 1 月）に伴い、「はじめよう！新 RefWorks」コースを新たに実施した。

コース名	月日	回数	人数	内容
論文準備ここからスタート！	4/12、4/24、5/16、5/22、6/8、6/27、8/1、8/3、9/20、9/25	10	121	【論文準備のための文献検索】（CiNii Articles と Web of Science）講習会と、【論文準備のための文献管理：RefWorks】講習会の内容を、90 分コース1回にまとめて実施。
はじめよう！ RefWorks (昼休み 30 分)	6/22、6/28、7/4、11/8、11/9	5	27	文献管理ツール RefWorks の使い方を 30 分で紹介。
はじめよう！ 新 RefWorks(50 分)	3/13、3/20	2	14	文献管理ツール RefWorks 新バージョンの使い方や新機能を 50 分で紹介。
はじめての本や論文の探し方 (昼休み 30 分)	5/14、5/15	2	12	TREE(UTokyo REsource Explorer)を使った、図書や電子ジャーナル、雑誌論文など、基本的な文献の検索方法を 30 分で紹介。
比べる！検索ツール～Google と TREE はどう違うのか～ （昼休み 30 分）	7/3、7/13	2	9	どんな時にどんな検索ツールを使えばよいか、Google Scholar/TREE/Web of Science を比較し、各ツールの特長を分析。

はじめよう！ Mendeley （昼休み 30 分）	4/10、4/23、7/12、11/16	4	87	文献管理ツール Mendeley の使い方を 30 分で紹介。
論文準備のための文献管理：Web of Science & RefWorks （夕方 60 分）	10/12、10/16、12/6、12/14	4	34	Web of Science の基本的な検索方法と文献管理ツール RefWorks の実習。
就活の味方「eol」ミニ講座（昼休み 25 分）	10/30、11/1、11/2	3	13	国内の企業情報データベース「eol」の使い方を昼休み 20 分で紹介。
卒業してからの文献検索・文献管理	2/13、2/19、3/1	3	36	東京大学を卒業・退職する方向けに、卒業・退職してからも文献検索や情報収集に利用できる、各種ツールを紹介。
合計 35 回			353 名	

2.2 留学生向け情報探索ガイダンス

留学生を対象に、韓国語および中国語コースをネイティブの講師により開催した（英語コースは 2.5「・附属図書館・室等との共催講習会」に含む）

コース名		月日	時間	人数
留学生向け情報探索ガイダンス	韓国語コース	5/24	15:00-16:00	9
	中国語コース	10/11	13:10-14:10	22
		10/11	15:00-16:00	9
合計 3 回				40 名

2.3 外部講師による講習会

データベースの提供元等から講師を招き、高度な専門性を必要とするデータベース等を対象として開催した。2018 年度は、物理学・化学・工学分野の「Springer Materials」、文献管理ツール「Mendeley」講習会の英語コース、フランス法情報の総合データベース Juris Classeur の新インターフェース「Lexis 360」の講習を新たに開催した。また、研究分析ツールについても昨年度に引き続き講習会を開催した。

(会場は、特に記載のないものは本郷キャンパス福武ホール地下 1 階講習会コーナーで実施)

コース名	月日	時間	参加人数
Springer Materials 講習会	6/6	15:00-16:00	7
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう	6/20	15:00-16:15	11
SciFinder で化学分野の情報検索をするには？	6/21	15:00-16:30	中止
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう（駒場図書館）	6/22	15:00-16:15	8
LexisNexis Academic で海外のニュースやビジネス情報を検索するには？	6/22	15:00-16:15	5
LexisAdvance 講習会	6/22	16:30-17:30	6
OECD の出版物や統計を探すには？ OECD iLibrary 講習会	6/27	15:00-16:15	8

EndNote 講習会　文献管理ツールクローズアップ		6/28	15:00-16:30	9
Mendeley 講習会　文献管理ツールクローズアップ	通常コース	6/29	13:10-14:40	17
	Q&A コース		15:00-16:00	8
研究分析ツール SciVal 講習会	初級者向け	7/24	13:20-14:50	18
	経験者向け		15:00-16:30	16
研究分析ツール InCites 講習会	初級者向け	7/25	13:20-14:50	16
	経験者向け		15:00-16:30	14
Mendeley workshop in English		8/7	15:00-16:30	19
SciFinder 講習会 (会場:薬学図書館)		9/20	15:00-16:30	6
Lexis360 講習会 (法学部研究室図書室と共催)		12/6	13:15-14:15	13
LexisAdvance 講習会 (法学部研究室図書室と共催)		12/6	14:30-15:30	9
新 RefWorks 講習会		1/16	15:30-16:30	20
合計			18 回(開催予定は 19 回)	210 名

2.4　秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会

研究補助従事者を主対象として夏期に開催した。(会場:福武ホール)
また、同じ内容で柏キャンパス、駒場 II キャンパスでも開催した。(共催講習会参照)

月日	時間	人数	内容
7/20	14:00-15:15	17	参考文献リストの見方、図書や電子ジャーナル、雑誌論文など、基本的な文献の検索方法。
8/30	14:00-15:15	19	
合計 2 回		36 名	

2.5　出張・オーダーメイド講習会

利用者(教員、学生等)や部局からの依頼に合わせた内容で行う、出張講習会を実施した。

オーダーメイド講習会

研究科・研究室名など	月日	時間	参加人数	講習内容	場所
文学部心理学研究室	4/6	14:00-15:00	23	Web of Science Core Collection、PsycINFO/PsycARTICLES、CiNii Articles、TREE の検索実習。	法文 1 号館 111 教室

医学系研究科看護管理学分野	4/19	10:00-12:00	9	Web of Science Core Collection、PubMed、Ebscohost (PsycINFO/PsycARTICLE)、の検索実習。(参考:CINAHLS)	福武ホール地下1階講習会コーナー
文学部国際交流室日本語教室	4/25	10:25-12:10	11	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。	法文2号館2202号室
	5/8	10:25-12:10	14		
	6/13	10:25-12:10	12	RefWorks、Mendeley の実習。	
文学部現代文芸論研究室	4/26	10:25-12:10	7	文学部3号館図書室ツアー(20分)+Gale Literary Sources、TREE の検索実習。	文学部3号館図書室、福武ホール地下1階講習会コーナー
情報学環学際情報学府	4/26	14:55-16:40	9	JapanKnowledge Lib、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE の検索実習。	福武ホール地下1階講習会コーナー
理学部生物化学科	5/7	13:00-14:45	18	PubMed、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	情報基盤センター大演習室2
文学部「Academic Writing」	5/11	10:25-12:10	8	JapanKnowledge Lib、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE の検索実習。	福武ホール地下1階講習会コーナー
	6/15	10:25-11:30	5	RefWorks の実習。	
教養学部 図書館の学び・活用・提案(こまとちゃんゼミナール)	5/17	14:55-16:40	9	CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。(参考:TREE)	駒場キャンパス KOMCEE West K201 教室
理学部生物学科A系(人類学系)	6/5	10:25-11:25	7	TREE、JapanKnowledge Lib、PubMed、Web of Science Core Collection の検索実習。	福武ホール地下1階講習会コーナー
工学部都市工学科	6/12	13:00-15:00	19	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village、TREE、RefWorks の実習。	工学部14号館1階141号室

理学部生物学科 B 系（基礎生物学系）	6/18	15:00-16:00	16	TREE、JapanKnowledge Lib、PubMed、Web of Science Core Collection の検索実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
[個人オーダーメイド] 新領域創成科学研究科、産学連携部	7/4	13:00-14:45	2	ウズベキスタンをテーマに新聞、ニュース、論文検索、文献管理。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
工学部精密工学科	9/27	13:30-14:45	46	TREE、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習。（参考:CiNii Articles）	工学部 14 号館 3 階計算機演習室 326 号室
文学部「社会心理学調査実習」	10/22	13:00-15:30	23	2 グループに分かれ CiNii Articles、Web of Science Core Collection、PsycINFO/PsycARTICLES、TREE の検索実習(60 分)＋総合図書館/文学部図書室ツアー(各 30 分)	文学部 3 号館図書室、福武ホール地下 1 階講習会コーナー
教養学部 図書館の学び・活用・提案(こまとちゃんゼミナール)	10/25	14:55-16:40	13	CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。(参考:TREE)	駒場キャンパス KOMCEE West K201 教室
文学部「Academic Writing」	10/26	10:25-12:10	3	JapanKnowledge Lib、TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
	12/7	10:25-11:15	5	RefWorks の実習。	
[個人オーダーメイド] 学際情報学府	11/5	13:00-14:00	4	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
文学部国際交流室日本語教室	11/6	10:25-12:10	7	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。	法文 2 号館 2202 号室
	11/7	16:50-18:35	4		
	11/14	16:50-18:35	4	RefWorks、Mendeley の実習。	

工学部・システム創成学科	11/15	13:30-15:30	13	Web of Science Core Collection、Engineering Village、TREE、Mendeley の実習。	工学部 3 号館演習室 5(317)
学際情報学府「文化・人間情報学研究法」	11/26	10:25-12:10	6	Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。(参考調査係、選書受入係、目録情報係による図書館の仕事の説明と 総合図書館書庫ツアー付)	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
[個人オーダーメイド] 工学系研究科	12/4	17:00-18:00	4	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Enginnering Village、TREE、RefWorks の実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
教育学部「教育資料調査演習」	12/13	16:50-18:35	27	TREE、ERIC (Proquest)、CiNii Articles の検索実習。	駒場教育情報棟
[個人オーダーメイド] 新領域創成科学研究科	2/19	15:45-16:00	1	検索実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
[個人オーダーメイド] 教育学部・教育学研究科	3/4	14:00-15:30	1	心理系+RefWorks の実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
合計 30 回			330 名		

附属図書館・室等との共催講習会

図書館・室名など	月日	時間	参加人数	講習内容	場所
総合図書館留学生オリエンテーション「本や論文の探し方」(日本語)	4/3	14:45-15:45	18	TREE、自宅からの利用方法。人文社会系留学生対象。文学部図書室ツアー付き	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
General Library Orientation「Searching for books and papers」(英語)	4/5	15:00-15:30	17	TREE、自宅からの利用方法。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
	4/11		13		
総合図書館オリエンテーション「本や論文	4/9	15:00-15:30	10	TREE、自宅からの利用方法。	福武ホール地下 1 階講習会コー
	4/10	15:00-15:30	25		

の探し方」(日本語)	4/11	10:30-11:00	15		ナー
[地震研図書室共催]「研究者と研究支援者のための文献の探し方@地震研」	4/20	15:00-16:15	20	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection 、RefWorks の概要(講義形式)	地震研 1 号館 3 階事務会議室 A
[生産研図書室・先端研図書室共催]「論文準備ここからスタート! in 駒場 II」	4/25	15:00-16:30	7	Web of Science Core Collection、Engineering Village、TREE、RefWorks の実習。(参考:CiNii Articles。PC 持込による実習形式)	生産技術研究所 As 棟 3 階中セミナー室 5
	5/10		7		
[医学図書館共催][EBM のための医学系文献検索入門:医中誌 Web と PubMed」	4/27	第 1 回 13:30-14:30	13	医中誌 Web、PubMed、TREE の検索実習。	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
		第 2 回 15:30-16:30	10		
		第 3 回 17:30-18:30	13		
[農学生命科学図書館共催]「論文準備ここからスタート!in 農学生命科学図書館」	5/9	15:00-16:30	20	PubMed、TREE、RefWorks の実習。	農学生命科学図書館 3 階 PC 端末室 1
	5/11		13		
[大学院数理科学研究科図書室共催]「MathSciNet 講習会」	5/18	15:00-16:15	13	MathSciNet、TREE、RefWorks の実習。	数理科学研究科棟 2 階計算機室
[駒場図書館共催]はじめよう!Mendeley in 駒場	5/21	12:20-12:50	3	Mendeley の実習。	駒場図書館
	6/14		0		
	6/26		7		
[駒場図書館共催]論文準備ここからスタート!in 駒場	5/21	15:00-16:30	2	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	駒場図書館
	6/14		3		
	6/26		4		
[生産研図書室・先端研図書室共催]「秘書さんのためのはじめての論文の探し方 in 駒場 II」	5/23	14:00-15:15	2	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。(PC 持込による実習形式)	生産技術研究所 As 棟 3 階中セミナー室 5

[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	5/24	12:20-12:50	8	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習。(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室
	5/25	12:20-12:50	5		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献管理 RefWorks コース」	5/24	12:50-13:20	3	RefWorks の講習(講義形式)	工 2 号館図書室
	5/25	12:50-13:20	5		
[医科学研究所図書室共催]「論文準備ここからスタート！ in 医科研」	6/4	15:00-16:30	1	医中誌 Web、PubMed、TREE、RefWorks の実習。	医科学研究所 2 号館 2 階小講義室
	6/19		5		
[経済学図書館共催] 経済学・経営学系のための論文・企業情報の探し方	6/6	15:00-16:00	12	Business Source Complete、eol の検索実習。	経済学研究科棟 4 階トレーディング・ラボ
[柏図書館共催] 論文準備ここからスタート！in 柏	7/26	15:00-16:30	10	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	柏図書館ラーニングサポートサービス
総合図書館留学生 Library Tour 「本や論文の探し方」(日本語)	9/7	14:45-15:45	12	TREE、自宅からの利用方法。人文社会系留学生対象。文学部図書室ツアー付き	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文献検索 基礎編」	9/18	15:00-16:00	13	医中誌 Web、PubMed、TREE の検索実習。	薬学部資料館 4 階情報室
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文献検索 上級編」	9/19	15:00-16:00	13	Web of Science Core Collection 、 RefWorks の実習。	薬学部資料館 4 階情報室
General Library Tour 「Searching for books and papers」 (英語)	9/26	15:00-16:10	21	TREE、自宅からの利用方法。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
	10/5	10:30-11:40	10		総合図書館別館ライブラリープラザ
	10/9	15:00-16:10	11		
総合図書館 Library Tour「本や論文の探し方」(日本語)	10/5	15:00-16:10	3	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館別館ライブラリープラザ
	10/9	10:30-11:40	4		

[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」(英語)	10/16	12:20-12:55	3	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習。(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室
	10/17	12:20-12:55	7		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	10/18	12:20-12:50	4	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習。(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室
	10/19	12:20-12:50	7		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献管理 RefWorks コース」	10/18	12:50-13:20	3	RefWorks の使い方(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室
	10/19	12:50-13:20	3		
[生産研図書室・先端研図書室共催] 「秘書さんのためのはじめての論文の探し方 in 駒場 II」	10/23	14:00-15:15	6	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。(持込 PC による実習形式)	生産研 An 棟 4 階中セミナー室 1
[農学生命科学図書館共催] 「論文準備ここからスタート! in 農学生命科学図書館」	10/24	15:00-16:30	6	TREE、PubMed、RefWorks の実習。	農学生命科学図書館本館 3 階 PC 端末室 1
[駒場図書館共催] 「はじめよう! RefWorks in 駒場」	10/25	12:20-12:50	0	RefWorks の実習。	駒場図書館
[駒場図書館共催] 「はじめよう! Mendeley in 駒場」	10/29	12:20-12:50	0	Mendeley の実習。	駒場図書館
	11/13	12:20-12:50	5		
	11/22	12:20-12:50	1		
[生産研図書室・先端研図書室共催] 「論文準備ここからスタート! in 駒場 II」	10/29	15:00-16:30	1	Web of Science Core Collection、Engineering Village 、TREE 、RefWorks の実習。(参考 : CiNii Articles。PC 持込による実習形式)	生産技術研究所 As 棟 3 階中セミナー室 5
[医学図書館共催] 「EBM のための医学系文献検索入門 : 医中誌 Web と PubMed」	10/31	第 1 回 13:30-14:30	11	医中誌 Web、PubMed、TREE の検索実習。	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
		第 2 回 17:30-18:30	9		

[駒場図書館共催]「論文準備ここからスタート！ in 駒場」	11/13	15:00-16:30	8	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	駒場図書館
	11/22	15:00-16:30	0		
[医科学研究所図書室共催]「はじめよう Mendeley! in 医科研」	11/20	14:30-15:15	4	Mendeley の実習。	医科学研究所 2 号館 2 階小講義室
[医科学研究所図書室共催]「はじめよう RefWorks！ in 医科研」	11/20	15:35-16:05	3	RefWorks の実習。	医科学研究所 2 号館 2 階小講義室
[柏図書館共催] 論文準備ここからスタート！in 柏	12/18	15:00-16:30	5	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	柏図書館ラーニングサポートサービス
[駒場図書館共催]「卒業してからの文献検索・文献管理 in 駒場」	2/20	13:30-14:15	3	卒業してからも使えるツールの紹介。	駒場図書館 2 階グループ学習室
	3/5	13:30-14:15	5		
[柏図書館共催] はじめよう！新 RefWorks in 柏	3/12	15:00-15:50	5	新 RefWorks の実習。	柏図書館ラーニングサポートサービス
合計 56 回(開催予定は 60 回)			470 名		

2.6 初年次ゼミナール

[文科]

月日	参加人数	講習内容	会場
4/13(金) 1 限、3 限、4 限 計 3 回	323	教養学部 1 年生対象の授業でレポート・論文執筆に必要な検索ツールの使い方を実習。	駒場 21 KOMCEE West レクチャーホール
4/16(月) 4 限 計 1 回	108		
4/17(火) 1 限、3 限、4 限 計 3 回	324		
4/18(水) 1 限、3 限、4 限 計 3 回	271		
4/19(木) 2 限、3 限 計 2 回	241		
合計 12 回	1,267 名		

2.7 セミナー

昨年度に引き続き、若手研究者への学術情報リテラシー支援として、国際誌への論文投稿・執筆等を主なテーマとしたセミナーを開催した。2018 年度は、より実践的な内容を扱う「英語論文セミナー 執筆実践編」を新たに開催し、また 2018 年 10 月から本格稼働した総合図書館別館ライブラリープラザを会場とすることで、セミナーの視認性を高めた。

コース名	月日	時間	参加人数	会場
英語論文セミナー　科学英語編	11/29(木)	15:00-16:30	31	総合図書館別館ライブラリープラザ
英語論文セミナー　投稿・出版編	12/4(火)	15:00-16:30	33	総合図書館別館ライブラリープラザ
英語論文セミナー　執筆実践編	3/8(金)	13:30-15:30	43	総合図書館別館ライブラリープラザ
合計	3回		107名	

2.8　テキスト協力

各図書館・室が実施するガイダンス・講習会へ、テキストや台本の提供を行った。

図書館・室名など	月日	時間	参加人数	講習内容	場所
[医学図書館]オーダーメイド「EBM のための医学系文献検索入門：医中誌 Web と PubMed」	4/26(木)、5/1(火)(2回)	11:00-12:00	6	[テキスト提供(データ)]『EBM のための医学系文献検索入門』	医学図書館
[柏図書館]オンデマンド講習会「Mendeley & RefWorks」	5/14(月)		1	[テキスト提供(データ)]『はじめよう！Mendeley』、『RefWorksを使うには』ほか	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館]「学術論文を探そう！(英語論文編)」	5/25(金)	12:20-12:50	4	[テキスト提供(データ)]『論文準備のための文献検索：CiNii Articles と Web of Science』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館]オンデマンド講習会「学術論文を探そう！CiNii Articles と Web of Science」	6/4(月)	15:00-16:30	1	[テキスト提供(データ)]論文準備のための文献検索：CiNii Articles と Web of Science』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館]「文献管理の味方！RefWorks ミニ講座」	6/8(金)、10/19(金)12/7(金)、(3回)	12:20-12:50	3(テキストのみ 2)	[テキスト提供(データ)]『RefWorks を使うには』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス

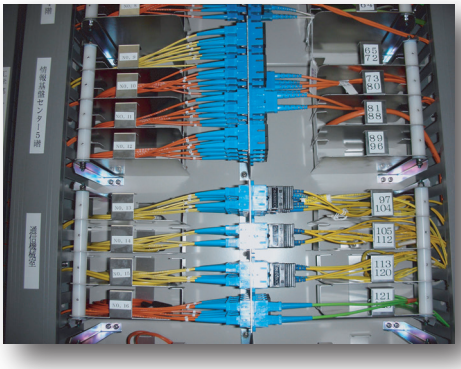
[柏図書館] 「はじめよう！Mendeley in 柏」	6/22(金)、7/27(金) 11/16(金) 1/25(金) (4 回)	12:20-12:50 12:25-13:00 (7,1 月)	6	[テキスト提供(データ)] 『はじめよう！Mendeley』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館] 「学術論文を探そう！CiNii Articles と Web of Science」	7/13(金)	12:25-13:00	1	[テキスト提供(データ)] 『論文準備のための文献検索：CiNii Articles と Web of Science』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館] 「学術論文を探そう！(日本語論文編)」	10/5(金)、1/11(金) (2 回)	12:20-12:50 12:25-13:00 (1 月)	2	[テキスト提供(データ)] 『論文準備のための文献検索：CiNii Articles と Web of Science』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[医科学研究所図書室] 「医中誌 Web を中心とした文献検索(看護部向け)」	12/5(水)	16:30-17:00	5	[テキスト提供(データ)] 文献検索早わかり@東京大学』	医科学研究所図書室
[柏図書館] オンデマンド講習会 「OPAC & RefWorks」	1/17(金)	12:25-13:00	1	[テキスト提供(データ)] 『RefWorks を使うには』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
合計 16 回(開催予定は 17 回)			32 名		

2.9 講習会協力[U-PARL(東京大学附属図書館アジア研究図書館上廣倫理財団寄付研究部門)主催講習会に協力]

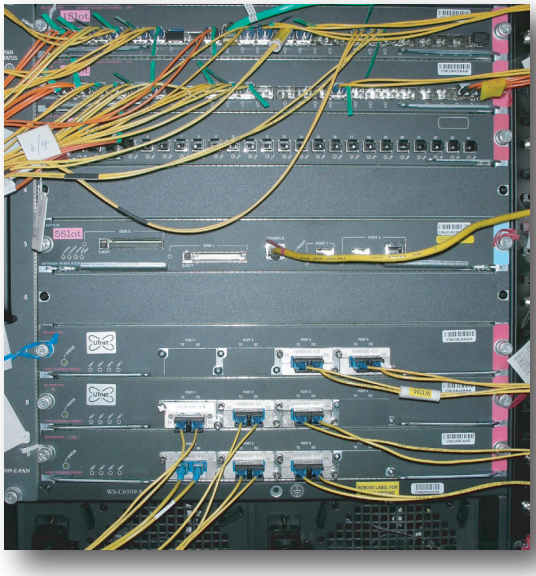
U-PARL 主催の「アジア研究文献探索セミナー」およびシンポジウムに広報協力を行った。

月日	時間	コース名
7/6(月)	17:00-18:35	アジア研究文献探索セミナー 日本語と英語で収集する全アジア情報編
10/23(火)	17:00-18:30	アジア研究文献探索セミナー 「研究ツール」編 地域研究のフィールド調査と GIS・地図の利用
1/26(土)	13:00-17:30	U-PARL シンポジウム：むすび、ひらくアジア3「図書館をめぐる知の変革」

ネットワーク



光ケーブルが集線されているスプライシングボックス



UTnet3の代表的な機器（レイヤ3スイッチ）

ネットワーク

概要

部門長　工藤 知宏　　副課長 井爪 健雄

■東京大学情報ネットワークシステム（UTNET4）の運用管理

本学の情報ネットワークシステム UTNET4（University of Tokyo network system 4）は、各建物内の支線ネットワーク（支線）及び建物間接続や学外との接続のための基幹ネットワーク（基幹）から構成されている。情報基盤センターのネットワークチームは、以下に示す通り、基幹の運用管理に加え、これに関連する業務も含めて取り組んだ。

1. 基幹ネットワークの運用管理

基幹の中核を占めるネットワーク機器は、本郷地区、駒場Ⅰ地区、駒場Ⅱ地区、柏地区、白金地区、中野地区の各ハブサイトに設置したレイヤ 3 スイッチ（L3SW）であり、基幹の基本トポロジーは情報基盤センターを中心にしたスター型になっている。基幹の老朽化した L3SW の更新を含め、運用管理を実施した。

2. 基幹ネットワークと支線ネットワークとの接続

各建物にレイヤ 2 スイッチ（L2SW）を設置し、基幹の L3SW と支線を接続しているが、ネットワーク利用の増大への対応と高機能化及び老朽化対策のため、2018 年度も 2017 年度に引き続き、L2SW の順次更新を実施した。また、新設、撤去及び建物改修に伴う再設置や機能強化による構成変更も実施した。

3. VLAN 対応

UTNET4 では仮想 LAN（VLAN：Virtual LAN）に対応している。VLAN によって、部局や研究室が複数の建物やキャンパスに分散して配置されている場合でも部局や研究室のまとまりごとに同一のサブネットに収容することを可能としている。本学では、建物の新設や組織変更等が少なくなく、それに伴った VLAN に関する要求は非常に多く、それらの要求に応じてネットワーク機器の設定変更や増設等を実施した。

4. その他関連業務

ドメイン名の割り当て、DNS（Domain Name System）のサービス、UTNET 光ファイバケーブル専用利用及び各種無線 LAN サービスの各業務に取り組んだ。

また、全学法定点検に伴う計画停電時には、発電車を用意して主要機器への給電を行うことによって継続運転を実施した。

■セキュリティ対応

本学においてもセキュリティインシデントが頻繁に発生している。特にコンピュータへの不正侵入の試み、標的型攻撃メールや Web ページなどを通してのウィルス感染等が問題となっており、セキュリティ対策はネットワーク運営上必須である。そこで、本学のセキュリティの維持確保に向け、以下の通り、セキュリティ対応業務を実施した。

1. 学外との通信記録の保存

情報セキュリティインシデント発生時の調査のために、学外と学内との間の通信に関し、基幹部分で通信の記録を保存するための仕組みとして、UTNET4 では異常トラフィック監視システム(OKP)及び今年度に新たに導入したパケットキャプチャシステム(SIRIUS)を用いてパケットを一定期間保存し、情報セキュリティインシデントの連絡に応じて必要な調査を実施した。

2. ウィルス感染への対応

メールや Web ページ等を通してのウィルス感染に関する対策として、情報基盤センターでは、適切なウィルス対策ソフトウェア製品を学内利用者の希望に応じて配布し、予防に役立てた。

■ 東京大学情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）との連携

UTNET4 ではセキュリティに関する対応として、基幹部分のギガビットスイッチ（L3SW）で、全学的に問題となる事象や各部局が禁止する個別の事象についてのフィルタを設定している。東京大学情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）から委託業務を受け、このフィルタを活用することによって、全学的なセキュリティ対策を実施した。

NII-SOCS やインシデントの連絡等を元に、UTokyo-CERT 及び情報システム部情報戦略課セキュリティ対策チームと連携してインシデントレポートシステムで部局 CERT に連絡を行った。

■ 学内ソフトウェアライセンス

学内利用者の多いソフトウェアについて、全学サイトライセンスを取得し、そのライセンスの管理と配布サービスを実施した。また、ライセンスの管理と配布の効率化を図るため、ソフトウェアダウンロードサイトを活用した。

■ ハウジングサービス

空調設備やラック等の設備を提供し電源を供給するハウジングサービスを 2010 年 10 月から開始しており、2018 年度も引き続き実施した。

■PKI

国立情報学研究所（NII）の運用する電子証明書発行事業に参加し、東京大学として登録局の運用を行った。

■ その他

UTokyo WiFi に関して、情報システム本部等と協力して運用を行った。

全学ファイアウォールの第 1 段階の PROTECTED への移行及び第 2 段階の導入に関して、情報システム本部等と協力して移行・導入作業を進めた。

第 2 段階の導入にともない、東京大学 IP アドレス/全学 FW 管理システム（IPAC）を構築し、提供を開始した。

また、UTSOC に関しても、情報システム本部等と協力して対応を行った。

■ 関係委員会

情報ネットワークに関する事項について、全学的な視点から企画、立案及び審議を行う情報基盤センターネットワーク専門委員会が以下のとおり開催された。

2018 年　7 月 23 日 第 65 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2019 年　3 月 26 日 第 66 回情報基盤センターネットワーク専門委員会

主な報告事項、検討事項および承認事項
・UTNET 運用報告
・セキュリティ運用報告
・ソフトウェアライセンス運用報告
・電子証明書発行サービスについて
・運用経費予算決算報告
・基幹ネットワークの構成変更について
・規則改定について
・全学セキュリティファイアウォールについて
・ASANO システムについて

東京大学情報ネットワークシステム（UTNET4）の運用管理

UTNET 担当

1　運用報告

本学の情報ネットワークシステムは UTNET（University of Tokyo network system）と総称する。これまでの更新経緯に応じ UTNET1、UTNET2 を経て約 15 年間 UTNET3 と呼ばれてきたが、2016 年 4 月から UTNET4 として運用を開始した。UTNET4 の基本構成は、一部を 100Gbps 化した基幹ネットワーク（基幹）と支線ネットワーク（支線）で構成される。（支線は、各建物内に設置されたネットワークを指し、当該部局によって運用管理されている。基幹は、支線の相互接続及び学外との接続のために設置されたネットワークで、情報基盤センターのネットワーク部門が運用管理している。）本部門では、以下に示す通り、基幹の運用管理に加え、これに関連する業務も含めて取り組んだ。

1.1 基幹ネットワークの運用管理

本郷地区の基幹には、5 ヶ所の HUB サイト（情報基盤センター、電話庁舎、附属図書館、工学部 8 号館、農学部 3 号館）がある。各 HUB サイトにはコア用レイヤ 3 スイッチ（L3SW）を設置し、基幹は情報基盤センターを中心にしたスター型の構成としている。駒場 I 地区、駒場 II 地区、柏地区、白金地区、中野地区の各郊外地区についても、L3SW を設置している HUB サイトから専用回線等を介して本郷地区と接続している。このような基幹の運用管理について、主に以下の取り組みを実施した。

－附属図書館耐震工事に伴う光ファイバ支障移転
－駒場 I 地区第 2 体育館耐震工事に伴う光ファイバ支障移転
－駒場 II 地区収容用 L3SW の機器更新
－柏地区収容用 L3SW の機器更新
－柏 II 地区の L2SW の機器更新
－中野地区～本郷地区間の回線変更
－中野地区の L3SW、L2SW の機器更新
－遠隔地接続用回線の更新
－遠隔地接続用 L2SW の機器更新
－バックアップ回線の更新
－ネットワーク機器の OS アップデート
－無停電電源装置の機器更新

以上の通り、EOL（End Of Life）を迎える HUB サイトの L3SW 更新作業の実施とともに、安定的なネットワークインフラへの要求を実現するために、ネットワークの高速化、信頼性の向上、省電力化に向けた作業を実施した。次年度も継続して実施していく。また、運用の自動化に向けた検討も開始した。

2018 年 4 月 1 日の基幹ネットワーク構成を図 1 に、2019 年 3 月 31 日の基幹ネットワーク構成を図 2 に示す。また、本郷地区と、駒場 I 地区・駒場 II 地区・柏地区・白金地区・中野地区の各キャンパス間のトラフィック量の推移を図 3 に示す。

1.2 基幹ネットワークと支線ネットワークとの接続

基幹と各支線の接続については、各建物に設置したエッジ用レイヤ 2 スイッチ（L2SW）で行っており、この L2SW は HUB サイトの L3SW から伸ばした光ファイバに接続されている。 UTNET3 導入（2001 年度）当初に L2SW を約 200 台設置して以来、撤去や新設で台数の増減はあるものの、現在では約 230 台の

L2SW を設置している。これらのほぼすべては、支線との接続速度がギガビットに対応した。一部の L2SW については、接続速度を 10Gbps への更新も実施した。

L2SW のメンテナンス等について、今年度は 10 台を予防保全のための更新、建物竣工に伴い 1 台の設置を実施した。

1.3 VLAN 対応

部局や研究室が、複数の建物やキャンパスに分散配置したり、他部局の建物内に入居したりするケースがある。UTNET では、部局や研究室のサブネットを他の建物等に VLAN で延長することができる。このような VLAN 機能を持つ基幹に関して、今年度に実施した構成変更及びサブネットの割当を表1に示す。

1.4 その他関連業務

(1)ドメイン名の割り当て等

ネットワーク専門委員会の承認を経て、2 件を新規に割り当て、1 件を継続、2 件を廃止した。詳細を表 2 に示す。

(2) UTNET 光ファイバケーブル専用利用

建物間を横断する UTNET 光ファイバケーブル専用利用の変更、及び割当を実施した。結果を表 3 に示す。

(3) 無線 LAN サービス

山上会館、武田ホール、弥生講堂(一条ホール・セイホクギャラリー)、中島董一郎記念ホール、柏図書館、鉄門記念講堂、総合図書館会議室、向ヶ岡ファカルティハウス、工学部共通講義室等において、情報基盤センターがアクセスポイント(AP)の整備を行い、Web 認証方式の無線 LAN サービスを展開している。それらの部局別の申請利用状況を表 4 に示す。

(4) 公衆無線 LAN 接続サービス

上記の AP に、通信事業者の提供する公衆無線 LAN 接続サービスの SSID を相乗りさせており、各社指定の接続方法にて公衆無線 LAN サービスにローミングしている。

	SSID	通信事業者
1	mobilepoint ／ mobilepoint2	ソフトバンクテレコム
2	Wi2 ／ Wi2 club	テコラス(旧 DATAHOTEL) KDDI
3	0001softbank	ソフトバンクモバイル
4	0000docomo	NTTドコモ

(5) 東京大学教育無線 LAN システム(UTokyo WiFi)

UTokyo WiFi は本学の構成員がキャンパス内で利用できる学内共通無線 LAN サービスである。本サービス基幹部の運用業務を担当した。部局負担による UTokyo WiFi のアクセスポイント(AP)設置サービス対応として、AP 設置に向けた設計、設定変更、調整等を実施した。

(6) ECCS 無線 LAN サービス用 AP の集約

UTNET 無線 LAN サービスの AP をコントロールしている運用システムに、ECCS の AP 群を一括集約し、それらのコントロール業務を担当した。

(7) ECCS レンタル AP の集約

ECCS が窓口になって学内にレンタルしている AP を、UTNET 無線 LAN サービスの AP をコントロールしている運用システムに一括集約し、それらのコントロール業務を担当した。

(8) ゲスト用無線 LAN アカウント

本学の来訪者向けに 2014 年 9 月からアカウント発行サービスが試行されたことに伴い、本サービスのアカウント発行業務を担当した。本学の教職員は UTokyo Account により eduroam JP ID 連携サービスを利用したゲストアカウントを発行できるようになったため、サービスを縮小させていく予定である。

2　講習会･研究会開催報告

[第 16 回 UTNET meeting]

情報ネットワークの直近の動向や管理の問題点に関して情報交換を行うため、UTNET Meeting を開催した。参加者は、情報基盤センターの関係者を含め 70 名であった。

･期間　2018 年 10 月 22 日（月）

･場所　小柴ホール

プログラムは次のとおり

1	UTNET update 2018 ソフトウェアライセンス	佐山純一係長 坂井朱美係長
2	UTokyo-CERT 報告	中山雅哉准教授
3	全学向けネットワークサービスの紹介 Eduroam の現状	工藤知宏教授 佐藤周行准教授
4	全学ファイアウォール	工藤知宏教授 佐藤周行准教授
5	フリーディスカッション	関谷勇司准教授

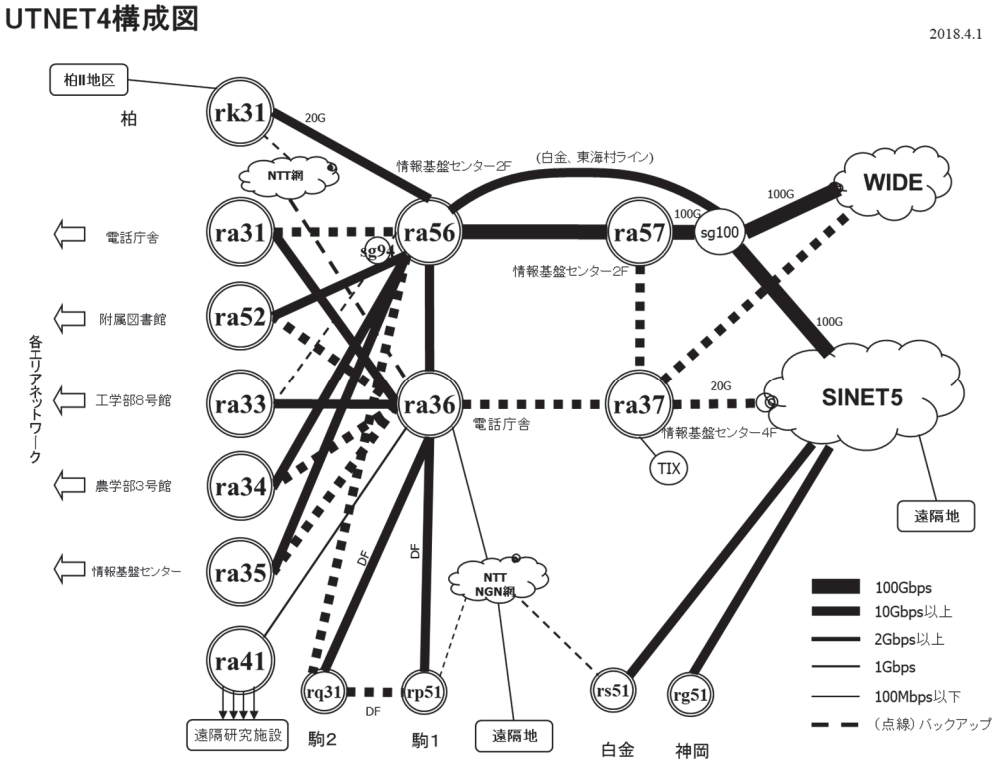


図 1 UTNET4 基幹構成図(2018 年 4 月 1 日)

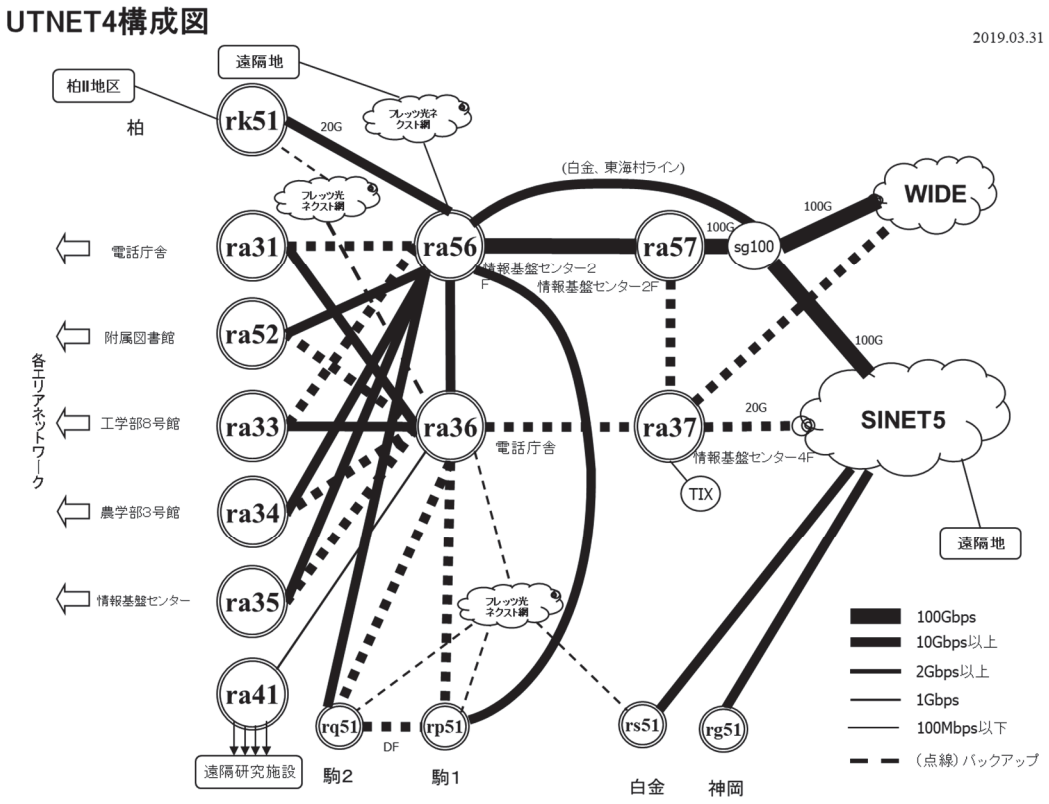
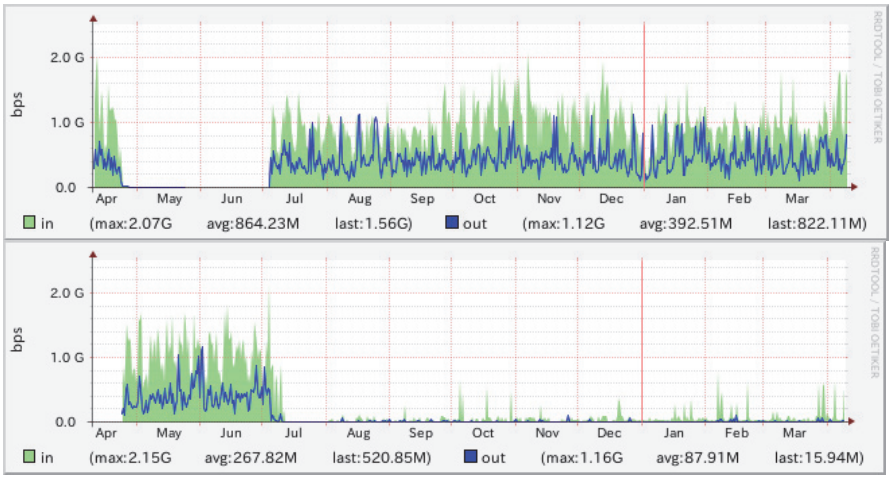


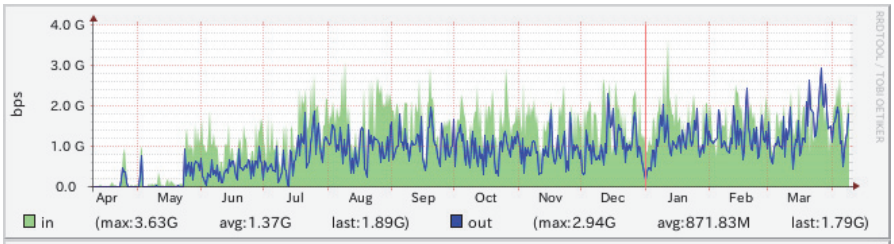
図 2 UTNET4 基幹構成図(2019 年 3 月 31 日)

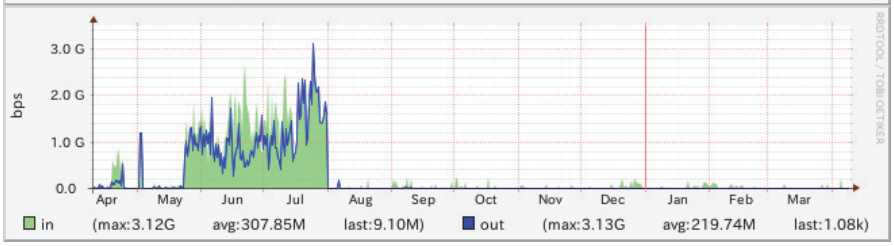
キャンパス間トラフィック

駒場1（10Gbps MAX）

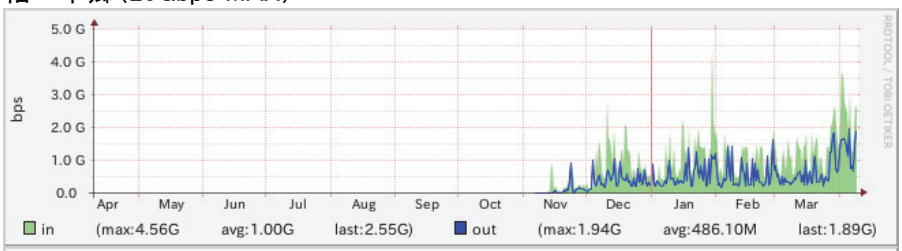


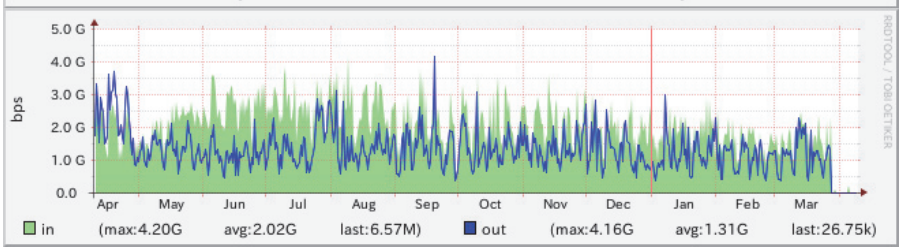
駒場 2（10Gbps MAX）



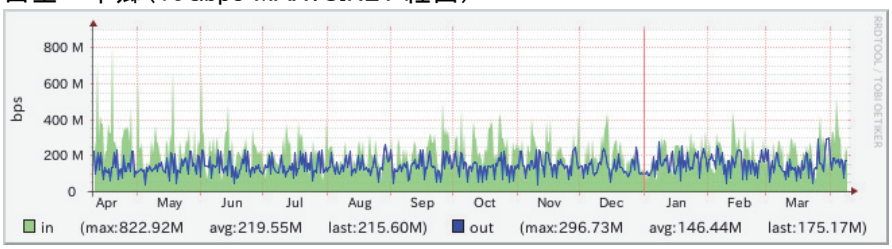


柏ー本郷（20Gbps MAX）

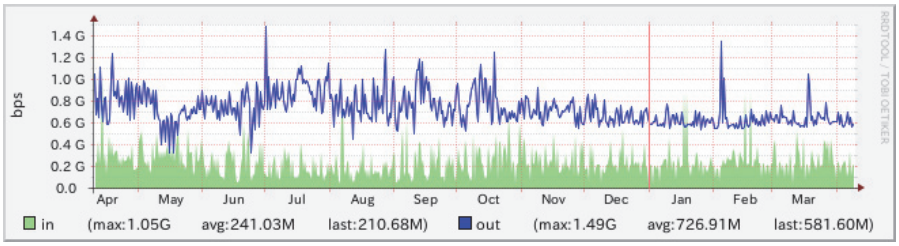




白金－本郷（10Gbps MAX：SINET 経由）



神岡－本郷（10Gbps MAX：SINET 経由）



中野－本郷（1Gbps MAX：NTT フレッツ経由）

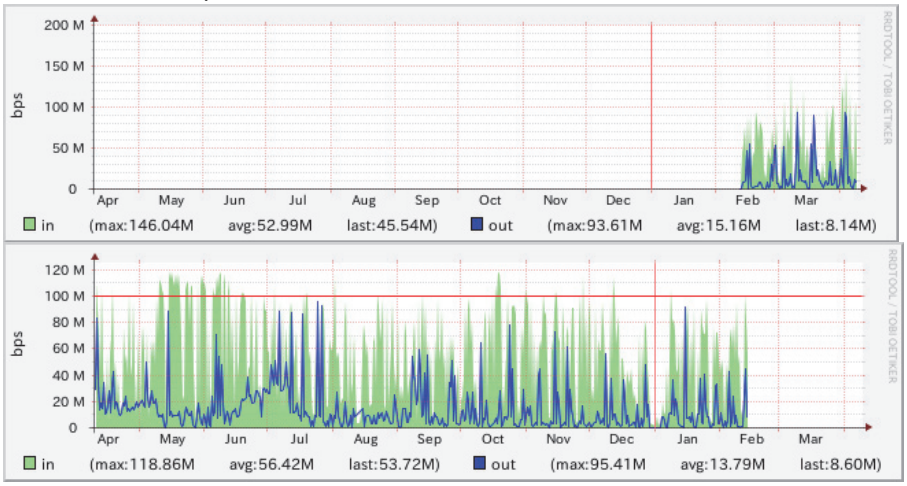


図 3　UTNET のキャンパス間トラフィック

表 1 基幹ネットワークの構成変更及びサブネットワークの割当

項番	申請部局名	設置場所	変更内容
1	本部事務組織	情報基盤センター等	建物間 VLAN 申請
2	本部事務組織	情報基盤センター等	建物間 VLAN 申請
3	総合研究博物館	タンデム棟	建物間 VLAN 申請
4	本部事務組織	共同利用棟(図書館プレハブ)	建物間 VLAN 申請
5	本部事務組織	情報学環(図書館団地)	建物間 VLAN 申請
6	本部事務組織	電話交換機棟	建物間 VLAN 申請
7	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
8	本部事務組織	医学部 1 号館	建物間 VLAN 申請
9	カブリ数物連携宇宙研究機構	物性研本館	建物間 VLAN 申請
10	情報基盤センター		建物間 VLAN 申請
11	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
12	本部事務組織		サブネットアドレスの返却申請
13	法学政治学研究科	法学部法文 1 号館	建物間 VLAN 申請
14	情報基盤センター	国際学術総合研究棟	建物間 VLAN 申請
15	大気海洋研究所	大気海洋研究所	建物間 VLAN 申請
16	医学系研究科	医学部 3 号館	建物間 VLAN 申請
17	総合文化研究科	教養学部 12 号館	建物間 VLAN 申請
18	法学政治学研究科	法学部法文 1 号館	建物間 VLAN 申請
19	本部事務組織	理学部プレハブ研究 A 棟	建物間 VLAN 申請
20	総合研究博物館		サブネットアドレスの割り当て申請
21	総合研究博物館	附属図書館	建物間 VLAN 申請
22	情報基盤センター	教育学部、文学部法文 1 号館、法学部法文 1 号館、法文 2 号館、福武ホール、薬学系総合研究棟、工学部 6 号館、柏図書館	基幹ネットワーク構成変更
23	新領域創成科学研究科	情報基盤センター	基幹ネットワーク構成変更
24	総合研究博物館	附属図書館	建物間 VLAN 申請
25	理学系研究科	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN 申請
26	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワーク構成変更
27	医学部附属病院	電話交換機棟	基幹ネットワーク構成変更
28	理学系研究科	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN 申請
29	本部事務組織	附属病院南研究棟	建物間 VLAN 申請
30	経済学研究科	経済学研究科棟、情報基盤センター	基幹ネットワーク構成変更
31	医学系研究科	医学部 5 号館	建物間 VLAN 申請
32	法学政治学研究科	法学部 3 号館	建物間 VLAN 申請
33	理学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
34	本部事務組織	山上会館	建物間 VLAN 申請
35	医学系研究科	生命科学実験棟	建物間 VLAN 申請
36	本部事務組織	電話交換機棟	建物間 VLAN 申請
37	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワーク構成変更及びサブネットアドレス返却申請
38	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワーク構成変更及びサブネットアドレス割り当て申請
39	医学系研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
40	医学系研究科	医学部 5 号館	基幹ネットワーク構成変更及びサブネットアドレス返却申請
41	情報基盤センター	情報基盤センター、情報教育棟	基幹ネットワーク構成変更及びサブネットアドレス割り当て申請
42	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
43	情報理工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
44	カブリ数物連携宇宙研究機構	数物連携宇宙研究機構棟	建物間 VLAN 申請
45	工学系研究科	工学部列品館、I-REF 棟	建物間 VLAN 申請
46	情報理工学系研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
47	医科学研究所	医科研総合研究棟	建物間 VLAN 申請

48	総合文化研究科	教養学部 14 号館	建物間 VLAN 申請
49	総合文化研究科	教養学部 15 号館	建物間 VLAN 申請
50	法学政治学研究科	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN 申請
51	本部事務組織	附属病院南研究棟	建物間 VLAN 申請
52	情報基盤センター	情報基盤センター、情報教育棟	建物間 VLAN 申請
53	医科学研究所	医科研ヒトゲノム解析センター	建物間 VLAN 申請
54	医学部附属病院	電話交換機棟、情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
55	人文社会学研究科	法文 2 号館、文学部 3 号館、赤門総合研究棟、弥生総合研究棟、文学部アネックス	基幹ネットワーク構成変更
56	総合研究博物館	総合研究博物館、総合研究博物館小石川分館	基幹ネットワーク構成変更
57	総合文化研究科	先端研 56 号館	建物間 VLAN 申請
58	空間情報科学研究センター	柏総合研究棟	基幹ネットワーク構成変更及びサブネットアドレス割り当て申請
59	情報基盤センター		基幹ネットワーク構成変更
60	総合文化研究科	先端研 56 号館	建物間 VLAN 申請
61	東京カレッジ	理学部 1 号館東棟	基幹ネットワーク構成変更
62	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワーク構成変更及びサブネットアドレス割り当て申請
63	総合文化研究科	先端研 56 号館	建物間 VLAN 申請
64	総合研究博物館	総合研究博物館、総合研究博物館小石川分館	建物間 VLAN 申請
65	医学系研究科	医学部教育研究棟	基幹ネットワーク構成変更及びサブネットアドレス割り当て申請
66	工学系研究科		サブネットアドレスの申請
67	東京カレッジ		サブネットアドレスの割り当て申請
68	東京カレッジ	理学部 1 号館東棟	基幹ネットワーク構成変更
69	総合文化研究科	教養学部 15 号館	建物間 VLAN 申請
70	人文社会系研究科	文学部法文 1 号館	建物間 VLAN 申請
71	人文社会系研究科	文学部法文 1 号館	建物間 VLAN 申請
72	人文社会系研究科	文学部法文 1 号館	建物間 VLAN 申請
73	情報基盤センター		サブネットアドレスの返却申請
74	総合文化研究科	教養学部 2 号館	建物間 VLAN 申請
75	本部事務組織	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
76	東洋文化研究所	東洋文化研究所、医学部 1 号館	基幹ネットワーク構成変更

表 2 ドメイン名の割当及び廃止

項番	ドメイン名	申請部局名	備考	
1	vr.u-tokyo.ac.jp	情報理工学系研究科	バーチャルリアリティ教育研究センター	新規
2	muographix.u-tokyo.ac.jp	地震研究所	国際ミュオグラフィ連携研究機構	新規
3	si.u-tokyo.ac.jp	情報理工学系研究科	情報セキュリティ教育研究センター	新規
4	ifi.u-tokyo.ac.jp	政策ビジョン研究センター	未来ビジョン研究センター	新規
5	tc.u-tokyo.ac.jp	国際高等研究所	東京カレッジ	新規

表 3 UTNET 光ファイバケーブル専用利用の変更及び割当

項番	申請部局	利用区間	種類	
1	本部事務組織	起点:総合研究博物館 終点:理学部 1 号館東棟	GI2 芯	新規
2	本部事務組織	起点:総合研究博物館 終点:理学部 1 号館中央棟(新 1 号館)	GI2 芯	廃止
3	先端科学技術研究センター	起点:情報基盤センター 終点:工学部 1 号館	SM2 芯	新規
4	情報基盤センター	起点:物性研究所 終点:第 2 総合研究棟	SM8 芯	廃止

5	医科学研究所	起点:ゲノムセンター新館 HUB サイト 終点:医科学研究所総合研究棟	SM4 芯	廃止
6	情報基盤センター	起点:情報基盤センター 終点:理学部 7 号館	SM2 芯	廃止

表 4 無線 LAN サービス利用の申請部局・組織別申請件数

項番	申請部局・組織	山上会館	武田ホール	弥生講堂	柏図書館	鉄門記念講堂	工学部	向ヶ丘ファカルティハウス	中島ホール
1	医学系研究科					9			
2	工学系研究科		7	1			4		
3	新領域創成科学研究科		1		12				
4	農学生命科学研究科			5					6
5	法学政治学研究科			1					
6	公共政策大学院		1						
7	薬学系研究科		1						
8	理学系研究科	1							
9	医学部附属病院					1			
10	定量生命科学研究所		1						
11	物性研究所				1				
12	宇宙線研究所				2				
13	地震研究所		1						
14	カブリ数物連携宇宙研究機構				1				
15	サステイナビリティ学連携研究機構			1					
16	高齢社会総合研究機構						1		
17	大規模集積システム設計教育研究センター		2						
18	国際本部				1				
19	保健・健康推進本部(柏地区)健康管理室				3				
20	社会連携本部						1		
21	卒業生室						1		
22	コミュニケーションサポートルーム		1						
23	グローバルキャンパス推進本部				5				
24	グローバルリーダー育成プログラム推進室		1	4					
25	産学協創推進本部イノベーション推進部								1
26	ニューロインテリジェンス国際研究機構					2			
27	先端人工知能学教育寄付講座		1						
28	産学官民連携型 農学生命科学研究インキュベータ機構			1					
29	新学術領域研究「ダイイングコード」			1					
30	新学術領域研究「ncRNA ネオタクソノミ」		1						
31	新学術領域研究「植物構造オプト」		1						
32	SICORP 日印プロジェクト全体会合			1					1
33	触媒・電池元素戦略研究拠点東京大学拠点		1						
34	東京大学・リガク産学連携室		1						
35	ADMETA 委員会		1						
36	AMED iD3 キャタリストユニット			1					
37	Biomaterials International 2018			1					
38	GYL 日本支部								2
39	IEEE SSCS (Solid-State Circuits Society) Japan Chapter		2						
40	ITU-T SG17	1							
41	JFS ラボ株式会社								3
42	MoDeSt2018 事務局			1					
43	MPLS JAPAN 2018		1						
44	NPO 法人 ブロードバンドアソシエーション		1						
45	OCD の会		1						
46	ST マイクロエレクトロニクス株式会社		2						
47	TIA		1						
48	一般社団法人 日本ロボット学会		4						
49	一般社団法人 電子情報通信学会		2						
50	一般社団法人 日本プライマリ・ケア連合学会					1			
51	一般社団法人 資源・素材学会 関東支部		1						

52	一般社団法人 日本ゼオライト学会		1						
53	一般社団法人 日本燃焼学会		1						
54	株式会社 Santa Mineral								1
55	株式会社 リガク		1						
56	株式会社 一条工務店			1					
57	株式会社 風力エネルギー研究所		1						
58	公益社団法人 日本農芸化学会								2
59	航空宇宙会		1						
60	国立大学法人 北海道大学		1						
61	ナノ学会		2						
62	農業情報学会			1					
63	放射線プロセスシンポジウム開催実行委員会			1					
64	ライフイズテック株式会社		2						
65	一般財団法人 総合研究奨励会		1						
66	一般社団法人 日本建築構造技術者協会			1					
67	一般社団法人 日本獣医麻酔外科学会			1					
68	一般社団法人 日本循環器学会第 83 回学術集会					1			
69	一般社団法人 日本保全学会		1						
70	基盤 A「矢内原忠雄」シンポジウム			1					
71	空間解析とモデリングに関する国際会議		1						
72	公益財団法人 農学会			1					
73	公益社団法人 土木学会		2						
74	公益社団法人 応用物理学会		1						
75	公益社団法人 日本アイソトープ協会			1					
76	公益社団法人 日本実験動物学会			1					
77	厚生労働省					1			
78	国際固体素子・材料コンファレンス(SSDM2018)			1					
79	国際獣疫事務局(OIE)			1					3
80	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構			1					
81	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構		1						
82	国立研究開発法人 海洋研究開発機構	1							
83	植物科学シンポジウム 2018			1					
84	東アジア鰻学会			1					
85	特定非営利活動法人 健康と病いの語りディペックス・ジャパン			1					
86	特定非営利活動法人 大学宇宙工学コンソーシアム(UNISEC)		1						
87	特定非営利活動法人 日本小児循環器学会		2						
88	独立行政法人 日本学術振興会		2	1					
89	日本ヒト脳機能マッピング学会	1							
90	日本核物質管理学会			1					
91	日本無人機運行管理コンソーシアム			1					

セキュリティ対応

セキュリティ担当

1　運用報告

最近のネットワークにおいては、高速な接続性の実現とともに、セキュリティへの対応も重要となっている。本学においてもセキュリティインシデントは日常茶飯事と言っても過言ではないほどに頻繁に発生している。特にコンピュータへの不正侵入の試み、電子メールや Web ページを通じてのウイルス感染は問題で、感染を受けた側の被害はもとより、学内や学外への不正アクセスの踏台となることも珍しくない。しかし、セキュリティを厳重にすることは利用者の利便性の低下にもつながる。一般論として、セキュリティ対策の要点は安全性と利便性のトレードオフといえるが、本学のように多種多様な部局が存在している環境では、このトレードオフのバランス点を一つに収束させることは容易ではない。このような配慮のもと、本学のセキュリティの維持確保に向け、以下のとおり、セキュリティ対応業務を実施した。

1.1 通信記録の保存

学内と学外の通信をタップして、パケットのヘッダを一定期間保存し、インシデントに関する調査のために利用した。

これには、以下の 2 つの機器を使用して対応を行った。

・異常トラフィック監視システム：沖電気工業社製 Secure Traffic Probe（ソフトウェア）

・パケットキャプチャシステム：コムワース社製 SIRIUS

2018 年度は、パケットキャプチャシステムのディスクの増設を行った。

1.2 ウイルス対策

パソコンやサーバ等において、ウイルスの脅威と感染被害を未然に防ぐ有効な手段として、コンピュータウイルス対策ソフトウェアがある。

情報基盤センターでは、引き続き以下のコンピュータウイルス対策ソフトウェアの学内への配布サービスを推し進めた。

・トレンドマイクロ社：ウイルスバスター、Server Protect 等

・Sophos 社：Sophos Anti-Virus

・キヤノン IT ソリューションズ社：ESET Endpoint Security

・Symantec 社：Symantec Endpoint Protection

2017 年度まで運用していた迷惑メール対策システムは製品のサポート終了に伴い、情報基盤センターとしてのサービスを 2018 年度初頭で停止した。

2　サービス統計

2018 年度のコンピュータウイルス対策ソフトウェアの申請状況は表 1 のとおりである。

表 1　ウイルス対策ソフトウェアの申請状況

ソフトウェア名	件数	部局数	ライセンス数
ウイルスバスター（日本語版）	594	43	12107
ウイルスバスター（英語版）	97	22	465
Sophos Anti-Virus for Windows	22	15	172
Sophos Anti-Virus for MacOS X	147	27	1903
ESET Smart Security (Windows)	60	24	618
ESET Smart Security (Mac)	27	17	236
Symantec Endpoint Protection (Windows)	27	15	490
Symantec Endpoint Protection (Mac)	52	22	392
Server Protect	35	19	124
InterScan VirusWall	8	8	11

東京大学情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）との連携

セキュリティ担当

1　運用報告

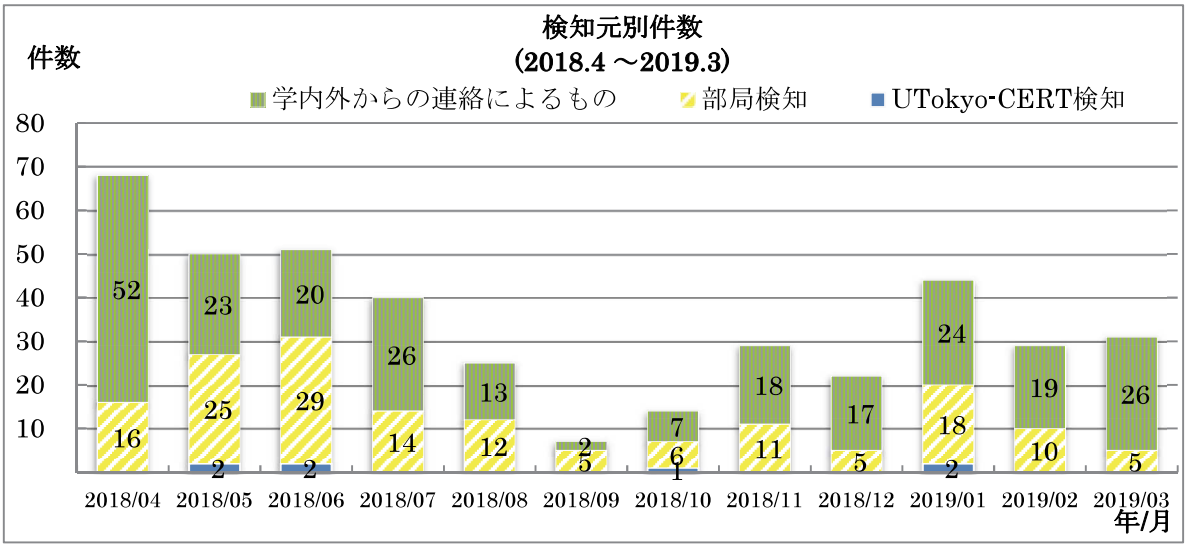
情報基盤センターでは、UTNET の基幹ネットワークでセキュリティ対策を実施していることから、ネットワークを介したセキュリティインシデントについて、東京大学情報システム緊急対応チーム UTokyo-CERT(The University of Tokyo Computer Emergency Response Team)から以下の委託業務を受け、UTokyo-CERT と連携協力しながら、全学的なセキュリティ対策を実施した。

・セキュリティ関連情報の収集と学内への注意喚起等
　メーカやセキュリティ情報サイト等から、セキュリティの脆弱性やウイルスに係わる情報を収集し、UTokyo-CERT の Web ページへの掲載や東大ポータルでの一斉通知及び部局 CERT への電子メールでの通知によって、セキュリティ対応に関する注意喚起を実施した。
・学内と学外との通信におけるインシデントの確認・調査
　異常トラフィック監視システム及び、パケットキャプチャシステムで学内と学外との通信情報を保存し、セキュリティインシデントの確認・調査を実施した。
　2018 年 4 月は Cisco Smart Install Client を悪用した攻撃に関するインシデントの発生頻度が高く、5～6 月は HTTP 認証や SMB 認証のブルートフォースの過検知によるインシデントの発生頻度が高かった。また 11 月以降は外部組織からの XSS や SQL インジェクションなどの脆弱性に関するインシデントの発生頻度が高かった。
・セキュリティインシデントの部局 CERT への連絡
　学内と学外との通信の監視や UTokyo-CERT への学内外からの連絡等によって判明したセキュリティインシデントについて、該当する部局 CERT 担当者へインシデントレポートシステムで対処及び対応報告を依頼した。
・インシデントレポートシステムの運用管理
　部局 CERT から、発生したセキュリティインシデントの内容や対処等を定型的な書式で報告できるように、インシデントレポートシステムの運用管理を実施した。
・インシデントレポートの集計
　部局 CERT から報告されたインシデントレポートについて、毎月集計し UTokyo-CERT Meeting での報告を行うとともに、UTokyo-CERT の Web ページ（https://cert.u-tokyo.ac.jp/）に掲載した。
・セキュリティインシデントが発生した IP アドレスのネットワーク遮断
　部局 CERT に連絡したセキュリティインシデントのうち、発見時点から事象が継続している場合は、緊急措置として、当該 IP アドレスによる通信を UTNET 機器で遮断した。
・セキュリティインシデントの部局 CERT の対策への連携協力
　部局 CERT に連絡したセキュリティインシデントのうち、具体的な対処方法等について、部局 CERT から UTokyo-CERT に協力の依頼があった場合、UTokyo-CERT 及び部局 CERT と連携協力して対応した。

2　サービス統計

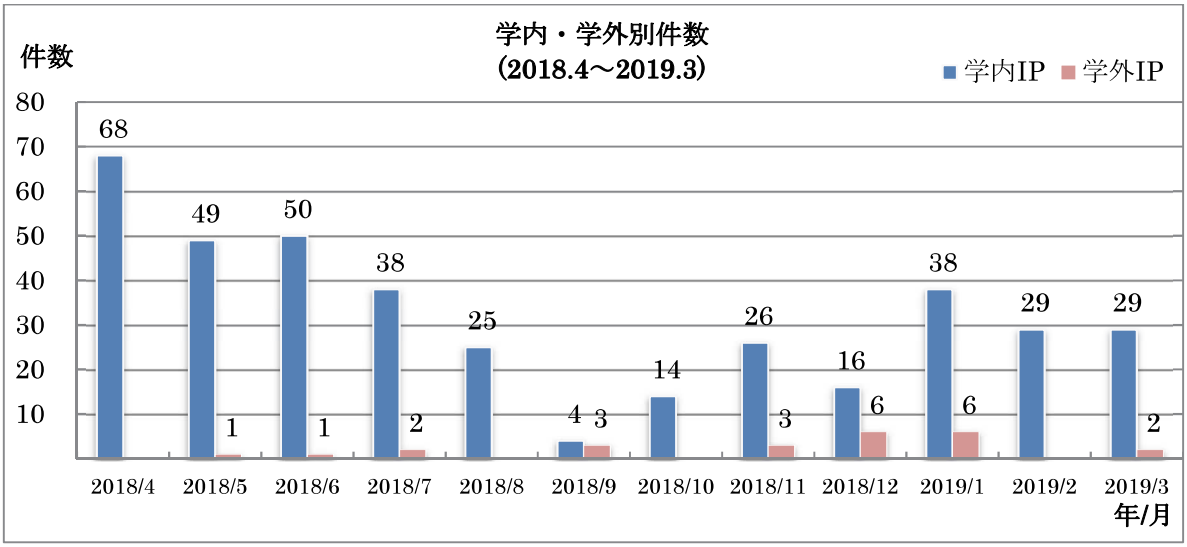
2017 年度のセキュリティ対策で扱ったインシデント件数は図 1~3 のとおりである。

図 1　セキュリティインシデント件数



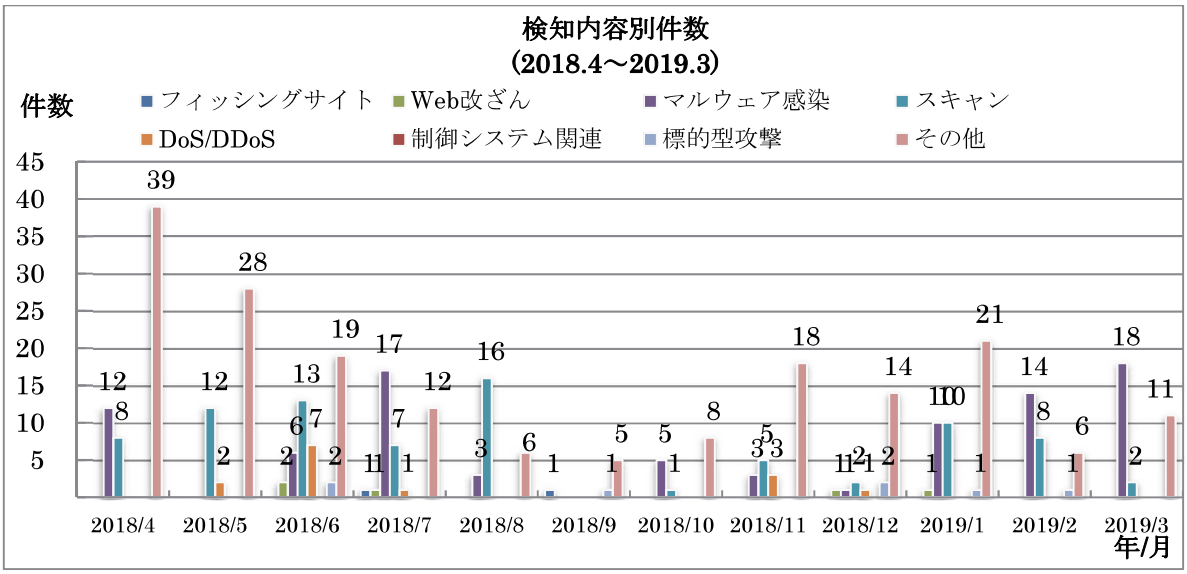
※「検知元別件数」は、学内組織にインシデントとして発行された件数を月毎に集計したものである。

図 2　学内・学外別件数



※「学内・学外別件数」は、130.69.0.0/16, 133.11.0.0/16, 157.82.0.0/16, 192.51.208.0/20 および 10.0.0.0/8 の学内アドレスに関わるインシデントと、それ以外の学外で使用しているアドレスに関わるインシデントの件数を月毎に集計したものです。

図 3　検知内容別件数



※ 検知内容別件数」は、検知したインシデントを、JPCERT/CC(http://www.jpcert.or.jp/)によるインシデント分類に基づいて分類したものである。

学内ソフトウェアライセンス

ソフトウェアライセンス担当

1　運用報告

教育研究の円滑な推進を達成することを目的として、学内での利用が多いソフトウェアを可能な範囲でサイトライセンス契約を提供業者との間で結び、安価でかつ容易に利用できるよう図っている。

Microsoft 社製品のアカデミックセレクトプラスについては、申請受付窓口は情報システム部情報戦略課情報戦略チームが担当し、ネットワークチームでは、ライセンスの発注、利用者への提供、利用負担金の請求資料の作成等を担当している。
SAS については、契約内容の見直しを行い、2019 年度からは各部局で学部単位、研究室単位、個人単位等で契約することとし、情報基盤センターからの提供は 2018 年度で終了した。

ソフトウェアライセンス配布サービスの対象ソフトウェアは以下のとおり。

(1) Creo
3 次元の CAD のソフトウェア。

(2) JMP
統計解析ソフトウェア。

(3) SAS
統計解析ソフトウェア。

(4) MATHEMATICA
数値計算や数式処理用のソフトウェア。

(5) ChemOffice
化学・バイオ分野で必要とされる様々なツールを 1 つにまとめた統合化学ソフトウェア。

(6) LabVIEW
計測・制御ハードウェアとの通信や、データの解析、結果の共有、システムの分散化したデータを処理するためのグラフィカルプログラミングソフトウェア。

(7) Microsoft Academic Select Plus
各種 Microsoft 製品。

この他、次のソフトウェアライセンスの配布や管理も実施した。

(1) ウイルス対策ソフトウェア
パソコン（Windows および Mac）、ファイルサーバ、メールサーバ等のコンピュータウイルス対策ソフトウェア。（詳細はセキュリティ対応を参照）

表 1、2 にソフトウェアライセンスの申請状況を示す。

表 1 ソフトウァライセンスの申請状況

ソフトウェア名	申請件数	部局数
Creo	15	7
JMP Pro	49	16
SAS	33	9
MATHEMATICA	172	18
ChemOffice	53	11
LabVIEW	212	16

表 2 Microsoft Academic Select Plus の申請状況

ソフトウェア名	申請 件数	申請 台数	部局 数
Windows Server 2016 Standard 64bit	2	3	2
Windows Server CAL (User CAL)	2	4	2
Windows Server CAL (Device CAL)	2	20	2
Office Visio Standard 2016 64bit	2	2	2
SQL Server Standard Core	2	4	2
Windows Server Standard 2019	1	1	1
Office Visio Standard 2019 64bit	1	3	1
Microsoft Visual Studio Professional 2015 64bit	1	1	1

ハウジングサービス

UTNET 担当

1　運用報告

サーバを運用するためには、安定した電源供給、部屋を一定の温度に保つための空調設備やサーバを設置するためのラックなどが必要不可欠である。これらの設備を提供するハウジングサービスを2018 年度も引き続き実施した。

なお、学内の法定点検の計画停電時には、発電車を用意して機器への給電を実施した。

提供するサービスと設備は以下のとおりである。

(1)　19 インチ full ラック（42U）、19 インチ half ラック（20U）　※複数本の利用も可能
(2)　電源（full ラック 1 本あたり AC100V 30A 1 回路（half ラックはこの半分））
(3)　空調
(4)　アクセス回線（UTNET へのネットワーク接続）
(5)　入退室管理
(6)　ラックの施錠
(7)　学内法定点検における計画停電時の電源確保

表 1 に 2018 年度のハウジングサービスの利用状況を示す。

表 1　ハウジングサービス利用状況

利用部局数	19 インチ full ラック	19 インチ half ラック	追加電源（15A）
7部局	4本	7本	3 個

2018 年度は、以下の整備を行った。

・UPS の更新（購入のみ）
・UPS 更新のための分電盤工事
・フリーアクセス（一部）の設置

PKI

PKI 担当

1　運用報告

1.1　サーバ証明書

1.1.1　運用形態

国立情報学研究所（NII）の運用する電子証明書発行事業に参加し、東京大学として登録局を運用している。

証明書ポリシー/認証局運用規程（CP/CPS）を NII の CP/CPS の改訂に合わせて、2018 年 7 月 9 日に改訂し DN(Distinguished Name)の変更を行った。現在 TLRA を運用している部局は 17 を数える。

また、2016 度から課金を開始したことにより、今年度も利用負担金の請求資料の作成を行った。

1.1.2　運用実績

2019 年 3 月 31 日現在で有効なサーバ証明書の枚数は 630 で、TLRA ごとに集計した表を下に載せる。

部局名	有効枚数
直接発行	158
本部事務局 (adm)	69
生産技術研究所 (iis)	62
物性研究所 (issp)	61
理学系研究科 (s)	52
総合文化研究科 (c)	36
附属病院 (h)	33
情報基盤センター (itc)	31
カブリ数物連携宇宙研究機構 (ipmu.jp)	26
数理科学研究科 (ms)	20
史料編纂所 (hi)	17
空間情報科学研究センター (csis)	15
大学総合教育研究センター (he)	14
UTNET (nc)	13
医学系研究科 (m)	9
先端科学技術研究センター(rcast)	8
新領域創成科学研究科 (k)	6
情報学環・学際情報学府(iii)	1

1.2 コード署名用証明書

NII の事業の一環として行っているコード署名用証明書の運用を行った。
2019 年 3 月 31 日現在での有効枚数は 3 枚である。

1.3 クライアント証明書

NII の事業の一環として行っているクライアント証明書の運用を開始した。
2019 年 3 月 31 日現在での有効枚数は 15 枚である。

スーパーコンピューティング

スーパーコンピュータ
FUJITSU PRIMERGY CX600 M1/CX1640 M1
(Oakforest-PACS)

スーパーコンピュータ
SGI Rackable C2112-4GP3/C1102-GP8
(Reedbush-U/Reedbush-H/Reedbush-L)

スーパーコンピューティング

概要

部門長　中島 研吾　　副課長　宮嵜 洋

1　スーパーコンピュータシステムの運用

東京大学情報基盤センターでは、学術研究および教育に供することを目的として、全国の大学・研究機関等に在籍する大学教員、大学院学生、および卒業研究や授業を目的とした学生に対して、スーパーコンピュータシステムを用いた高度かつ大規模な計算サービスを提供している。

2018 年度は、メニーコア型大規模スーパーコンピュータシステムとして、Fujitsu PRIMERGY CX600 M1/CX1640 M1（Oakforest-PACS）（8,208 ノード、558,144 コア、ピーク性能 25PFLOPS、運用開始 2016 年 10 月）、データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステムとして、SGI Rackable C2112-4GP3（Reedbush-U）（420 ノード、15,120 コア、ピーク性能 508.03 TFLOPS、同 2016 年 7 月）、SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-H）（120 ノード、4,320 コア＋240GPU、ピーク性能 1418.2TFLOPS、同 2017 年 3 月）、SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-L）（64 ノード、2,304 コア＋256GPU、ピーク性能 1435.3TFLOPS、同 2017 年 10 月）の計 4 システムを運用し、学内外の幅広い利用者に研究・教育のために利用されている。

HPCI には、2017 年度に引き続いて Reedbush-U 60 ノード年（2,160 コア年、ピーク性能 72.6TFLOPS 相当）、Reedbush-H 30 ノード年（60GPU 年、ピーク性能 318TFLOPS 相当）、Reedbush-L 16 ノード年（64GPU 年、ピーク性能 339TFLOPS 相当）および Oakforest-PACS 1,600 ノード年（108,800 コア年、ピーク性能 4.874PFLOPS 相当）を拠出した。

各システムは順調な稼働を続け、利用率は軒並み上昇しており、Oakforest-PACS（Xeon Phi（KNL）搭載）は 11 月以降を月平均 70%以上で推移し、年度末には 89.8% に達した。Reedbush-U（GPU なし）は、6 月以降を 80%近くからそれ以上、8 月に 90.8%に達してからは 1 月まで 90%程度で推移しており、昨年度に引き続き大変混雑している。Reedbush-H（1 ノードに GPU 2 基）は、11 月に 69.3%に達してから年度末まで 60%台、Reedbush-L（1 ノードに GPU 4 基）は、1 月まで 30%程度であったが年度末には 65.0%に達している。

2018 年度はその他、利用者拡大、サービスの向上を目的として以下のような様々な試みを実施した（前年度よりの継続も含む）：

- Fujitsu PRIMERGY CX600 M1/CX1640 M1（Oakforest-PACS）
  - 公募型研究プロジェクトの推進
  - 企業ユーザー利用支援
  - 講習会
  - 広報活動
- SGI Rackable C2112-4GP3（Reedbush-U）／SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-H）／SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-L）
  - 公募型研究プロジェクトの推進
  - 企業ユーザー利用支援
  - 講習会
  - 広報活動

2　大規模超並列スーパーコンピュータシステムの導入

2018 年 3 月まで運用してきた大規模超並列スーパーコンピュータシステム Oakleaf-FX、長時間ジョブ実行用スーパーコンピュータシステム Oakbridge-FX の 両システムは、理学、工学、社会科学等の幅広い分野の利用者による大規模シミュレーションに使用され、高い計算性能、ユーザーフレンドリなプログラム開発環境、安定した運用が利用者に高く評価され、様々な分野における研究開発に貢献してきた。後継システムとして、最新の技術に基づく高い計算・通信・入出力性能、高い安定性を備えるとともに、既存システムからのプログラム類の移行を容易に実施し、高い性能を維持することができるような環境を提供するシステムとして次期「大規模超並列スーパーコンピュータシステム」（Oakbridge-CX）の導入を実施した。

2017 年 11 月 2 日に導入説明会、2018 年 1 月 19 日に仕様書原案説明会、同 11 月 5 日に入札説明会を実施し、同 12 月 25 日に応札締切、2019 年 1 月 23 日に開札を実施し、本システム（Oakbridge-CX）は計算ノードの CPU として Intel Xeon Platinum 8280（Cascade Lake-AP：2.7GHz, 28Core）を採用した富士通株式会社提案のシステムが採択となった。2019 年 7 月に運用開始する予定である。

3　公募型研究プロジェクトの推進

公募型研究プロジェクトとしては、「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」、「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」、「大規模 HPC チャレンジ」を実施した。

2010 年 4 月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する 8 大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）が正式に発足し、活動を開始した 。本共同利用・共同研究拠点は 8 機関によるネットワーク型拠点であり、東京大学情報基盤センターはその中核拠点である。

2017 年 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、2018 年 2 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 70 課題のうち 52 課題が採択された。東大情報基盤センターと共同研究を行うのはこのうち 16 課題であった。2013 年度からは JHPCN 公募型研究課題は HPCI の一部として実施されるようになった。また、2016 年度からは審査委員会の承認により、萌芽型共同研究が認定されるようになった。本年度は 70 課題が採択され、そのうち 25 課題が東大情報基盤センターと共同研究を行った。2017 年度報告会、2018 年度採択課題紹介を兼ねた第 10 回シンポジウムは 2018 年 7 月 12 日（木）・13 日（金）に THE GRAND HALL（品川）で開催された。

「若手・女性利用者推薦（スーパーコンピュータ）」は、概ね 40 歳以下の若手研究者及び女性研究者（学生を含む）を対象としており、採択された課題の計算機利用負担金（半年分）をセンターが負担する。年 2 回公募し、年間でのべ 10 件程度の優れた研究提案を採択する。継続申請と再審査の上で、最大で 1 年間の無料利用ができる。2015 年度からは、学部・大学院生を対象とし、主に夏期におけるスパコン利用を想定したインターン制度を開始した。また、従来は個人を対象としていたが、2015 年度からグループでの応募も可能となり、それぞれパーソナルコース、グループコースとしている。グループコースはインターン制度においても適用可能である。2018 年度は、前期 21 件、後期 16 件、インターン 2 件の合計 39 件の課題を採択した。

東京大学情報基盤センターでは、スーパーコンピュータの大規模計算機資源を占有可能なサービスを毎月実施してきた。2012 年度から Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）の全 4,800 ノード（76,800 コア、ピーク性能 1.13 PFLOPS）、2017 年度から SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-H）の全 120 ノード（4,320 コア＋240GPU、ピーク性能 1418.2TFLOPS）、Fujitsu PRIMERGY CX600 M1/CX1640 M1（Oakforest-PACS）の全 8,208 ノード（558,144 コア、ピーク性能 25PFLOPS）を占有できる「大規模 HPC チャレンジ」を実施している。これは国内の公開されているスーパーコンピュータ

システムで占有可能な最大の計算資源である。2018 年度は全部で 5 課題（Reedbush-H 1 課題、Oakforest-PACS 4 課題）が採択された。

4 企業ユーザー利用支援

2008 年度から、大規模高性能並列計算によるイノベーションと科学技術の発展に寄与することを目的として、HA8000 システムの資源のうち最大 10%までを企業利用に有償で提供することとし、利用規程の変更を含む制度の改定を実施し、2008 年 10 月より企業利用支援の制度を開始した。

2012 年度からは企業利用サービスは Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX, 2014 年度からは Oakbridge-FX も含む）へ全面移行した。それに合わせてトライアルユース制度の整備を実施した。その後、Reedbush-U システム（2016 年度）、Reedbush-H、Oakforest-PACS システム（2017 年度）、Reedbush-L（2018 年度）を提供の対象とし、2018 年度には 2 回の募集を実施し、Reedbush-U 2 件、Reedbush-L 2 件、Oakforest-PACS 3 件でのべ 7 件が採択された。

5 講習会・広報活動

基礎的な並列プログラミング教育を目的とした、国内に例を見ないユニークな取り組みとして「お試しアカウント付きスパコン利用講習会」がある。2018 年度は同講習会を 17 回実施した。その他、「國家理論科学中心數學組「高效能計算」短期過程（2018 NCTS Summer Course） Introduction to Parallel Computing (II):Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems」（2018 年 7 月 16 日～19 日）、國家理論科学中心數學組「高效能計算 」短期課程「Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」（2019 年 2 月 11 日～14 日）を國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）で開催した。

2018 年度は広報誌「スーパーコンピューティングニュース」を 6 回発行した。

6 その他イベント

2018 年 10 月 26 日・27 日に実施された柏キャンパス一般公開に参加した。

その他、本郷地区、柏地区合わせて 12 件の施設来訪があり、情報交換、施設見学を実施した。

スーパーコンピューティング業務

スーパーコンピューティングチーム

1　2018 年度のシステム整備状況

本部門で提供しているスーパーコンピュータシステムのサービスについて、2018 年度のシステム整備状況を以下に述べる。

今年度は柏キャンパス（第二総合研究棟）の Fujitsu Oakforest-PACS、および本郷キャンパス（本センター）の HPE Reedbush-U/H/L スーパーコンピュータシステムの合計 4 式のスーパーコンピュータの運用を行った。

1.1　2018 年度のサービスに係わる変更

1.1.1　資源提供

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）採択の 17 課題に対し、Oakforest-PACS は 13 課題 1,600 ノード/年(13,824,000 ノード時間)、Reedbush-U は 4 課題 59.2 ノード/年（511,428 ノード時間）、JHPCN（学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点）採択の 15 課題に対し、Oakforest-PACS は 9 課題 159.5 ノード/年（1,378,080 ノード時間）、Reedbush-U は 4 課題 5.9 ノード/年（50,976 ノード時間）、Reedbush-H は 6 課題 14.6 ノード/年（126,144 ノード時間）、Reedbush-L は 7 課題 6.1 ノード/年（52,704 ノード時間）の資源提供を行った。

1.1.2　Reedbush-U　u-small-ext キュー新設

Reedbush-U システムでは昨今の混雑状況緩和のため、9 月 10 日（月）より u-small-ext キューを新設した。詳細は以下のとおりである。

◆ u-small-ext キュー
- h-regular と 64 ノードを共有
- 並列数（ノード数）：4～16
- 制限時間：6 時間
- 優先度：h-regular より低
- 消費係数：Reedbush-U のキューと同設定

◆注意事項
・Reedbush-U を利用できないグループはご利用いただけません
・CPU のみ使用するジョブの場合にご利用ください
・Reedbush-U ノードと通信性能が異なるため、ジョブの実行時間に影響する場合がございます
（参考）　Reedbush-U ノード：Infiniband EDR (100Gbps)
Reedbush-H ノード：Infiniband FDR (　56Gbps) ×2
・h-regular の利用状況次第では、ジョブが長時間実行されない可能性がございます

1.1.3 Reedbush-U u-debug キュー最大ノード数変更

Reedbush-U システムでは混雑緩和策の一環として 8 月 31 日（金）の月末保守時に以下の変更を実施した。

◆u-debug キュー（最大ノード数）
24 ノード → 16 ノード

1.1.4 Reedbush-H インタラクティブキュー制限時間の緩和

利用者からの要望を受け、9 月 27 日に下記の変更を実施した。

◆h-interactive キュー（制限時間）
1 ノード利用：30 分 → 2 時間
2 ノード利用：10 分 → 30 分

1.1.5 Reedbush-H ジョブ投入数および実行数の制限緩和

利用者からの要望を受け、10 月 24 日に下記の制限緩和を実施した。

◆Reedbush-H ジョブ
最大同時実行数：10 → 20
最大投入数 ：11 → 21
※グループコース、パーソナルコース共通

1.1.6 Reedbush プリポストサービス開始

Reedbush システムにて 11 月 1 日よりプリポスト処理用ノードサービスを開始した。

◆対象ユーザ
高負荷な前処理、後処理を必要とされる方。
可視化等のアプリケーションを使用される方（ログインノードへの ssh 通信可）。

※通常の計算用途では使用しないでください。
※教育利用（講習会、講義用アカウント）の方はご利用になれません。

◆ハードウェア（1 ノード提供）
CPU：Intel Xeon Gold 6132 2.6GHz 14 コア×2（計 28 コア）
メモリー容量：512 GB
/lustre マウント
高速ファイルキャッシュシステム（/ime2）マウント

◆利用方法
prepost キューにジョブを投入してください。

キュー名	ノード数	制限（経過）時間	メモリー容量
prepost	1	6 時間	500 GB

- インタラクティブ利用
- ソフトウェアは Reedbush-U と同一
- トークン消費なし（ただし予約無使用の場合は消費）
- ユーザあたり 1 本のみジョブの投入、実行が可能
- ジョブ投入方法
qsub -I -q prepost -l select=1 -l walltime=XX:XX:XX -W group_list=グループ名

◆予約制
1 回 6 時間まで、ユーザまたはグループあたり 6 回分まで予約可能。連続予約可。
soudan-rb@cc.u-tokyo.ac.jp あてに、以下を明記してお申込みください。
* 氏名
* 予約ユーザまたはグループ名
* 利用期間（開始および終了時刻は毎時 0 分および 30 分）
* 使用用途（アプリ名等）

※予約開始および終了時間の 5 分前よりサービス切換を行います。
その時刻に実行しているジョブは強制終了となります。

例：予約が 13:00 から 19:00 の場合
12:55 より予約サービスへの切換を実施
→切換完了後は予約者のみ prepost ジョブの投入と実行が可能
18:55 より通常サービスへの切換を実施

※予約は利用前日の 16:00 まで可能です。なお、予約受付は平日のみです（夏季一斉休業、年末年始も休日扱い）。

※予約状況は利用支援ポータルの「prepost 予約状況」または prepost_info コマンドにてご確認ください。

※グループで予約される場合は代表者から直接、あるいは代表者の方のメールアドレスを CC に含めてください。

※使用されない場合はキャンセル連絡をお願いします。連絡が無く、使用されなかった場合は以下を適用します。
* トークン消費（6 時間予約の場合、6 ノード時間）
* 3 ヶ月間予約不可

※グループ予約の場合でも複数ユーザが同時に利用することはできません。

※予約期間外は随時ご利用になれます。ただし予約期間の 5 分前に実行しているジョブは強制終了となります。

1.1.7 Reedbush HyperWorks 提供開始

2019 年 1 月 4 日より Reedbush にて、統合 CAE プラットフォーム HyperWorks の提供を開始した。利用対象者および提供ソフトウェアは以下のとおりである。

利用対象者
- 国内アカデミックユーザ（大学、短大、大学校、高専等に所属の方）

企業や官公庁研究機関に所属の方、および海外アカデミックユーザはライセンス契約上ご利用になれません。グループコース利用においてはユーザ毎に所属を区別します。不正利用が発覚した場合はグループ利用停止等の措置を取らせていただきますのでご注意ください。

※ライセンス個別購入による下記ソフトウェアの利用も可能です（企業や官公庁研究機関に所属の方を含む）。ご希望の方は uketsuke@cc.u-tokyo.ac.jp までお問い合わせください。

提供ソフトウェア
- HyperMesh：高速・高性能汎用 CAE モデリング
- HyperView：ポスト処理と可視化環境
- AcuFieldView：AcuSolve のための CFD ポストプロセッサー
- OptiStruct：構造解析・構造最適化ソルバー
- Radioss：非線形・衝撃解析・連成解析ソルバー
- AcuSolve：熱流体（CFD）解析ソルバー
- FEKO：高周波電磁界（EM）解析ソルバー
- Flux：低周波電磁場 / 熱シミュレーションソフトウェア
- nanoFluidX：粒子法ベースの流体シミュレーション
- ultraFluidX：格子ボルツマン法に基づくシミュレーション

利用方法等の詳細は、Reedbush 利用支援ポータル「ドキュメント閲覧」-「HyperWorks 利用方法」のページをご覧ください。

1.1.8 Reedbush ファイル、ディレクトリ総数制限設定

Reedbush システムにて 2 月 8 日より Lustre 領域のファイル、ディレクトリ総数（inode 数）について利用者あたり 1000 万の上限を設定した。

1.2 教育利用

前年度に引き続き、教育利用のためのシステム提供 (Oakforest-PACS または Reedbush-U、Reedbush-H スーパーコンピュータシステム) を無料で行い、並列プログラミング教育として 18 件の利用があった。

Oakforest-PACS 利用
・東京大学工学系研究科「電子系工学専攻修士実験2017S1」
・山形大学理工学研究科「情報科学特論」「応用生命システム工学特論」
・千葉大学融合理工学府「宇宙磁気流体・プラズマシュミレーションサマースクール」

Reedbush-U 利用
・東京大学工学系研究科「実践的シュミレーションソフトウェア開発演習」
・東京大学工学部・工学系研究科「材料量子モデリング入門」
・東京大学情報理工学系研究科「コンピュータ科学特別講義 I、科学技術計算 I、スレッド並列コンピューティング「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門」」
・工学院大学情報学部「並列計算システム」
・東京大学理学系研究科「並列計算プログラミング、先端計算機演習」
・東京大学情報理工学系研究科「科学技術計算 II、コンピュータ科学特別講義 II」
・ソウル大学「Parallel Finite Element Method using Supercomputer」
・臺灣大學數學科學中心「Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」

Reedbush-U, Reedbush-H 利用
・東京大学工学部・工学系研究科「計算科学概論」
・東京大学情報理工学系研究科「計算科学プログラミング Ⅰ」
・工学院大学情報学部「並列数値計算」
・臺灣大學數學科學中心「Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems」
・東京大学情報理工学系研究科「計算科学プログラミング Ⅱ」

Oakforest-PACS, Reedbush-H 利用
・東京大学工学部・工学系研究科 (前期)「スパコンプログラミング(1) , スパコンプログラミング(I)」
・東京大学工学部・工学系研究科 (後期)「スパコンプログラミング(1) , スパコンプログラミング(I)」

2 2019 年度のシステム整備計画

2018 年 3 月に運用を終えた FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX/Oakbridge-FX）の後継機として、次のとおり新システムの導入を予定している。

・大規模超並列スーパーコンピュータシステム（Oakbridge-CX , 2019 年 7 月運用開始）

資源提供について、HPCI の一般利用区分 20 課題に対し、Oakforest-PACS を 19 課題 2395.3 ノード/年（20,695,430 時間）、Reedbush-U を 1 課題 18.0 ノード/年（155,520 時間）、HPCI の重点的利用区分（ポスト「京」研究開発枠）の 28 課題に対し、Oakforest-PACS を 24 課題 904.7 ノード/年（7,816,565 時間）、Reedbush-U を 4 課題 29.7 ノード/年（256,500 時間）、Reedbush-H を 2 課題 8.6 ノード/年（74,120 時間）、Reedbush-L を 1 課題 4.0 ノード/年（34,560 時間）、Oakbridge-CX を 3 課題 15.5 ノード/年（133,680 時間）を予定している。また JHPCN の 16 課題に対し、Oakforest-PACS を 11 課題 186.7 ノード/年（1,613,020 時間）、Reedbush-U を 5 課題 24 ノード/年（207,605 時間）、

Reedbush-H を 5 課題 44.6 ノード/年（385,155 時間）、Reedbush-L を 8 課題 55.7 ノード/年（481,556 時間）、Oakbridge-CX を 5 課題 11.8 ノード/年（101,836 時間）を予定している。

3 専門委員会報告

本センター運営委員会のもとにスーパーコンピューティング専門委員会を設置し、全国共同利用スーパーコンピュータシステム及びその運用に関する事項について、企画、立案及び審議を行っている。2018 年度に開催した同専門委員会の主な議事内容は以下のとおりである。

第 25 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2019 年 1 月 10 日 (木) 15:00 ～

議題 :
- スーパーコンピューターシステム利用規程　別表（利用負担金）の改正について
- スーパーコンピューターシステム利用規程　実施要領の改正について
- 大規模超並列スーパーコンピュータシステムの調達に関する報告
- 柏第2キャンパス（情報系）総合研究棟の計画について
- 今後のスーパーコンピュータシステム調達・導入計画について
- 統合 CAE プラットフォーム HyperWorks の提供開始について
- お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
- 若手・女性利用者推薦（スーパーコンピュータ）報告
- スーパーコンピュータシステム教育利用報告
- 企業利用報告
- 大規模 HPC チャレンジ実施報告
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点報告
- HPCI 利用課題報告
- 先進スーパーコンピューティング環境研究会（ASE 研究会）報告
- スーパーコンピューティング部門決算報告
- プログラム相談状況
- システム利用状況報告
- その他

4 スーパーコンピューターシステム利用規程の改正

4.1 2018 年度の利用負担金の改正

Reedbush-U のパーソナルコースにおける最大ノード数の拡大、Oakforest-PACS のパーソナルコースにおける最大ノード数の拡大とコース体系の変更、Oakforest-PACS の提供ディスク量の拡大の改正を行った。

4.1.1 Reedbush スーパーコンピュータシステムの負担金改正（規程別表 1,2）

Reedbush-U/H/L 利用負担金表

改正前	改正後
パーソナルコース Reedbush-U 最大 16 ノード Reedbush-H 最大 32 ノード Reedbush-L 最大 16 ノード	パーソナルコース Reedbush-U 最大 128 ノード Reedbush-H 最大 32 ノード Reedbush-L 最大 16 ノード

4.1.2 Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムの負担金改正（規程別表 3,4）

Oakforest-PACS 利用負担金表

改正前	改正後
パーソナルコース 1 （トークン 17,280 ノード時間， 最大ノード数 16 ノード， 消費係数 8 ノードまで 1.00，8 ノード超 2.00 /work 1TB，利用者当たり /home 50GB）	パーソナルコース　申込口数 1 口当たり （トークン 17,280 ノード時間， 消費係数 8 ノードまで 1.00，8 ノード超 2.00 /work 1TB，利用者当たり /home 50GB）
パーソナルコース 2 （トークン 34,560 ノード時間， 最大ノード数 64 ノード， 消費係数 16 ノードまで 1.00，16 ノード超 2.00 /work 2TB，利用者当たり /home 50GB）	
グループコース　8 ノード申し込み当たり （トークン 69,120 ノード時間， 最大ノード数 2,048 ノード， 消費係数 申込ノード数まで 1.00， 申込ノード数超 2.00 /work 2TB，利用者当たり /home 50GB）	グループコース　8 ノード申し込み当たり （トークン 69,120 ノード時間， 最大ノード数 2,048 ノード， 消費係数 申込ノード数まで 1.00， 申込ノード数超 2.00 /work 8TB，利用者当たり /home 50GB）

4.2 2019 年度に向けての利用負担金の改正

利用期間の月数による割増の廃止および追加トークンのコース別負担金の廃止、トライアルユースの負担金改正を行った。これらは 2019 年 4 月から適用する。

4.2.1 利用期間の月数による割増の廃止

利用負担金額はこれまで利用期間（月数）によって割増する（月額×利用期間（月数）×割増倍率）設定としていたが、割増倍率を廃止し、利用期間に応じた均等な利用負担金額に改正した。

（例）Oakforest-PACS グループコース（8 ノード）利用負担金 新旧比較表

利用期間	改正前		改正後
	割増倍率	負担金額	負担金額
12 ヶ月	1.00 倍	400,000	400,000
11 ヶ月	1.05 倍	385,000	366,700
10 ヶ月	1.10 倍	366,600	333,400
9 ヶ月	1.15 倍	345,000	300,000
8 ヶ月	1.20 倍	320,000	266,700
7 ヶ月	1.25 倍	291,600	233,400
6 ヶ月	1.30 倍	260,000	200,000
5 ヶ月	1.35 倍	225,000	166,700
4 ヶ月	1.40 倍	186,600	133,400
3 ヶ月	1.45 倍	145,000	100,000
2 ヶ月	1.50 倍	100,000	66,700
1 ヶ月	1.55 倍	51,600	33,400

百円未満の端数は、改正前は切捨て、改正後は切上げ

4.2.2 追加トークンのコース別負担金の廃止

トークンを追加する際の利用負担金額はパーソナルコース、グループコースで追加するノード時間と金額の最小単位を個別に設定していたが、改正後はコースによらず、一律に 1 ノード月（720 ノード時間）単位に統一した。

（例）Oakforest-PACS トークン追加利用負担金 新旧比較表

改正前			改正後	
コース	負担金額	追加トークン	負担金額	追加トークン
パーソナルコース	大学・公共機関等 8,300 円	1,440 ノード時間	大学・公共機関等 4,170 円 企業 5,000 円	720 ノード時間
グループコース	大学・公共機関等 33,300 円 企業 40,000 円	5,760 ノード時間		

4.2.3 トライアルユース利用負担金表の改正

4.2.1、4.2.2 の改正を有償トライアルユースに適用するとともに、一般利用の負担金額改正（減額）に伴い、有償トライアルユースの負担金額を見直し、負担金額改正（減額）を行った。

（例）トライアルユース利用期間別利用負担金表（Oakforest-PACS システム）パーソナルコース利用負担金 新旧比較表

付与トークン	（トークン）	改正前		改正後	
		大学・公共機関等	企業	大学・公共機関等	企業
3 ヶ月分	(4,320)	7,700	9,200	7,500	9,000
2 ヶ月分	(2,880)	5,300	6,300	5,000	6,000
1 ヶ月分	(1,440)	2,700	3,200	2,500	3,000

（例）トライアルユース利用期間別利用負担金表（Oakforest-PACS システム）グループコース利用負担金 新旧比較表

付与トークン	（トークン）	改正前		改正後	
		大学・公共機関等	企業	大学・公共機関等	企業
9 ヶ月分	(51,840)	123,200	147,800	90,000	108,000
8 ヶ月分	(46,080)	114,300	137,100	80,000	96,000
7 ヶ月分	(40,320)	104,100	124,900	70,000	84,000
6 ヶ月分	(34,560)	92,800	111,400	60,000	72,000
5 ヶ月分	(28,880)	80,300	96,400	50,000	60,000
4 ヶ月分	(23,040)	66,600	79,900	40,000	48,000
3 ヶ月分	(17,280)	51,800	62,100	30,000	36,000
2 ヶ月分	(11,520)	35,700	42,800	20,000	24,000
1 ヶ月分	(5,760)	18,400	22,100	10,000	12,000

（例）トライアルユース利用期間別利用負担金表（Oakforest-PACS システム）トークン追加利用負担金 新旧比較表

改正前			改正後	
コース	負担金額	追加トークン	負担金額	追加トークン
パーソナルコース	大学・公共機関等 2,700 円 企業 3,200 円	1,440 ノード時間	大学・公共機関等 1,250 円 企業 1,500 円	720 ノード時間
グループコース	大学・公共機関等 18,400 円 企業 22,100 円	5,760 ノード時間		

4.3 実施要領の改正

本センターのサービスには一般利用のほか、企業利用、若手・女性利用者推薦、トライアルユース、試用アカウント講習会、教育利用、大規模 HPC チャレンジがあり、これらの利用については、利用目的と提供資源が限定されているため、各実施要領に定めている。企業所属者においても、これらのサービスを提供できるよう実施要領を改正した。

4.3.1 「若手・女性利用者推薦」を企業所属者に認可

企業所属者の利用できるサービスは、企業利用のほか、トライアルユース（企業）、試用アカウント講習会、大規模 HPC チャレンジであったが、若手・女性利用者推薦にも拡大した。（「企業利用」、「若手・女性利用者推薦」実施要領）

4.3.2 企業所属者の審査省略規定の明記

実施要領で規定されるサービスのうち、企業所属者が審査を省略できる事項の規定について整理し、関連する実施要領を改正した（「企業利用」、「若手・女性利用者推薦」実施要領）。その他、実施要領規定の修正漏れ、字句等の訂正を行った（「教育利用」実施要領）。

5 システム利用状況

2018 年度における各システムにおけるジョブ処理状況を以下に示す。
ノード利用率について、Oakforest-PACS は 11 月以降 70%台で推移し、3 月には過去最高となる 89.8%に達した。Reedbush-U は 6 月以降利用が伸び、80%から 90%前後と高い利用率であった。Reedbush-H は 11 月以降 70%弱で推移した。Reedbush-L は 3 月に 65%に達した。

5.1 Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムのジョブ処理状況

Oakforest-PACS ジョブ処理状況表

年月	登録者数	実利用者数	件数		経過時間 (ノード時間)		ノード利用率 (%)	ファイル使用量 (GiB) (上段)/home (下段)/work
			(上段)ログイン (下段)プリポスト	(上段)インタラクティブジョブ (下段)バッチジョブ	インタラクティブジョブ	バッチジョブ		
201804	1,579	393	9911 84	260 16,904	131	1,996,385	40.6	2,285 2,735,355
201805	1,656	355	7,658 112	533 15,060	252	2,306,740	43.8	2,131 2,754,352
201806	1,490	398	9,516 295	501 22,911	297	3,662,922	63.1	2,044 2,433,704
201807	1,503	374	11,309 237	451 27,534	225	3,518,766	58.6	2,143 2,224,081
201808	1,448	338	7,098 132	261 21,368	121	2,198,229	48.6	2,156 2,443,047
201809	1,464	322	8,729 208	301 27,649	197	2,704,076	51.9	2,270 2,671,965
201810	1,476	370	11,193 348	369 95,840	189	3,280,725	56.0	2,328 2,994,086
201811	1,435	358	11,713 413	498 364,725	341	4,078,240	70.3	2,465 2,944,558
201812	1,437	359	12,439 408	747 520,992	323	4,627,113	77.1	2,585 3,342,998
201901	1,452	375	13,066 413	540 48,497	254	4,619,186	77.0	2,756 3,501,720
201902	1,474	369	10,895 229	552 42,034	191	3,667,052	72.2	2,794 3,657,237
201903	1,804	352	10,897 406	794 50,781	293	4,738,294	89.8	3,102 4,313,793
合計			124,424 3,285	5,807 1,254,295	2,814	41,397,728		

5.2 Reedbush-U スーパーコンピュータシステムのジョブ処理状況

Reedbush-U ジョブ処理状況表

年月	登録者数	実利用者数	件数		経過時間 (ノード時間)		ノード利用率 (%)	ファイル使用量 (GiB) (上段)/home (下段)/lustre
			(上段)ログイン (下段)インタラクティブジョブ	バッチジョブ	インタラクティブジョブ	バッチジョブ		
201804	953	300	4,097 62	10,475	7	89,297	46.0	67 224,589
201805	1,556	363	6,052 200	10,841	18	124,795	48.6	74 235,423
201806	1,262	451	8,291 729	19,992	70	205,694	78.5	85 236,852
201807	1,309	424	8,167 350	24,427	68	226,438	83.6	91 273,362
201808	1,394	320	6,206 124	18,251	23	187,347	90.8	91 335,441
201809	1,410	249	6,067 373	9,117	52	199,625	88.1	93 470,036
201810	1,337	288	7,649 489	20,691	111	212,516	87.0	101 403,917
201811	1,282	312	8,628 228	26,950	45	235,948	90.1	113 467,629
201812	1,283	284	8,636 708	19,241	167	239,703	88.5	129 481,568
201901	1,343	321	8,613 442	15,639	178	237,655	87.8	138 513,819
201902	1,323	313	7,420 62	10,745	12	208,203	85.4	139 510,216
201903	1,483	234	5,910 60	6,323	11	198,999	79.4	118 507,195
合計			85,736 3,827	192,692	762	2,366,220		

※登録者数および実利用者数, ファイル使用量は Reedbush-U/H/L で共通

5.3 Reedbush-H スーパーコンピュータシステムのジョブ処理状況

Reedbush-H ジョブ処理状況表

年月	登録者数	実利用者数	件数		経過時間 (ノード時間)		ノード利用率 (%)	ファイル使用量 (GiB) (上段)/home (下段)/lustre
			(上段)ログイン (下段)インタラクティブジョブ	バッチジョブ	インタラクティブジョブ	バッチジョブ		
201804	—	—	4,097 231	2,436	27	3,052	4.9	—
201805	—	—	6,052 52	5,893	4	8,289	9.9	—
201806	—	—	8,291 55	4,943	13	8,205	9.6	—
201807	—	—	8,167 77	3,582	24	11,573	13.6	—
201808	—	—	6,206 190	7,866	67	9,310	13.9	—
201809	—	—	6,067 121	3,052	25	17,656	23.9	—
201810	—	—	7,649 240	15,077	128	28,906	36.4	—
201811	—	—	8,628 289	18,162	163	58,988	69.3	—
201812	—	—	8,636 250	16,039	82	55,816	63.3	—
201901	—	—	8,613 827	10,098	136	56,409	64.0	—
201902	—	—	7,420 130	6,698	91	51,638	65.3	—
201903	—	—	5,910 86	5,480	34	56,525	69.2	—
合計			83,497 2,548	99,326	794	366,367		

※登録者数および実利用者数, ファイル使用量は Reedbush-U を参照

5.4 Reedbush-L スーパーコンピュータシステムのジョブ処理状況

Reedbush-L ジョブ処理状況表

年月	登録者数	実利用者数	件数		経過時間 (ノード時間)		ノード利用率 (%)	ファイル使用量 (GiB) (上段)/home (下段)/lustre
			(上段)ログイン (下段)インタラクティブジョブ	バッチジョブ	インタラクティブジョブ	バッチジョブ		
201804	―	―	4,097 23	958	6	1,796	5.9	―
201805	―	―	6,052 17	1,823	4	2,947	7.3	―
201806	―	―	8,291 48	1,375	28	5,783	14.1	―
201807	―	―	8,167 298	1,794	41	7,086	16.7	―
201808	―	―	6,206 63	1,888	42	5,722	17.7	―
201809	―	―	6,067 23	3,311	5	10,471	29.3	―
201810	―	―	7,649 46	2,004	25	9,839	25.6	―
201811	―	―	8,628 43	3,238	15	14,399	34.9	―
201812	―	―	8,636 76	3,190	60	13,788	32.4	―
201901	―	―	8,613 30	3,496	8	15,879	38.5	―
201902	―	―	7,420 53	4,882	25	9,941	28.0	―
201903	―	―	5,910 26	4,430	17	23,882	65.0	―
合計			83,497 746	32,389	276	121,533		

※登録者数および実利用者数，ファイル使用量は Reedbush-U を参照

6 プログラム相談と刊行物

6.1 プログラム相談

サービスの一環として、利用者からのプログラム相談を E-Mail にて受け付けており、面談を希望する場合は事前予約により対応を行っている。2018 年度のプログラム相談件数は以下のとおりである。

プログラム相談件数表

	Oakforest-PACS	Reedbush-U/H/L	合計
2018 年 4 月	23	32	55
2018 年 5 月	8	19	27
2018 年 6 月	11	15	26
2018 年 7 月	23	5	28
2018 年 8 月	16	12	28
2018 年 9 月	8	3	11
2018 年 10 月	7	15	22
2018 年 11 月	12	7	19
2018 年 12 月	32	9	41
2019 年 1 月	33	6	39
2019 年 2 月	28	12(2)	40(2)
2019 年 3 月	18	4	22
小計	219	139(2)	358(2)

括弧内は面談件数

6.2 刊行物

2018 年度に刊行したものは以下のとおりである。

- スーパーコンピューティングニュース Vol.20 No.3 ～ Vol.21 No.2 (2018 年度)

「スーパーコンピューティングニュース」は、スーパーコンピューティング部門の教員、職員が部門連絡会議等で討議のうえ掲載事項・内容を検討し、スーパーコンピュータの利用者に対して利用に関する適切な情報提供を行うとともに、センターへの要望・提案を受け付けている。利用者へよりわかりやすく情報伝達を行うとともに、サービスの改善に役立てている。さらに同じ内容を本センターの Web ページにも掲載している。

2018 年度はユーザからの成果報告を計 13 編掲載した。また、平成 29 年度「若手・女性利用者推薦」後期課題 成果報告をまとめた特集号 Vol.20 Special Issue 2 を発行し、後期に課題の終了した 14 件のうち 9 件の成果報告を掲載した。より一層利用者の皆様に役立つものとするよう推進していく。

7　職員による研究開発活動

業務系の職員は、日々利用者サービスの向上やシステム運用の効率化・高度化を図りながら業務に携わっており、その成果を発表することで更なる動機付けに期待される。このような成果の発表の場として大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 年次大会が毎年開催されている。

7.1　大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 年次大会

大学 ICT 推進協議会が主催する年次大会が 2018 年 11 月 19 日 ～ 21 日に札幌コンベンションセンターにて開催され、一般セッション「HPC テクノロジー」に本センターから職員が参加し口頭発表を行った。最新の HPC 分野に関する発表・討論を、JHPCN や HPCI の構成機関からの技術報告を中心に実施するものである。

＜本センターの論文＞
（東京大学情報システム部情報基盤課スーパーコンピューティングチーム）
- 「お試しアカウント付き並列プログラミング講習会によるスーパーコンピュータ新規利用促進について」
  －中張　遼太郎　(口頭発表)－
  本論文は、2008 年 3 月より定期的に開催しているお試しアカウント付き並列プログラミング講習会について近年の実施状況を報告するとともに、本講習会によって東京大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ新規利用をどの程度促進しているかを報告したものである。

詳しくは、「大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 2018 年度年次大会論文集」をご覧願いたい。

講習会

研究支援チーム　　スーパーコンピューティングチーム

スーパーコンピューティング研究部門

1　概要

本章では本センターが開催した講習会について述べる。2018 年は、以下の講習会を実施した。

- お試しアカウント付き並列プログラミング講習会
- 國家理論中心數學組『高效能計算』（2018 NCTS Summer Course）Introduction to Parallel Computing (II): Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems
- 東大－ソウル大短期集中コースプログラム：Parallel Finite Element Method using Supercomputer）
- 國家理論科學研究中心數學組「高效能計算」短期課程（Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters）

以下では、それぞれの概要について述べる。

2　お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

2007 年度より毎年開催しているお試しアカウント付き並列プログラミング講習会であるが、2018 年度は、全 17 回の講習会が開催された。

本講習会制度は、本センターが運用するスパコン（Reedbush スーパーコンピュータシステム、Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステム）の臨時アカウントを無料で発行し、受講者は演習形式で並列プログラミング技術を習得できるという、国内でも先駆的な取り組みであり、学習効果の促進とともに利用者の拡大にも貢献している。受講者はノート PC を持参し、無線 LAN 経由でスパコンにログインする。受講者が復習できるように、アカウントの有効期限は講習会の日から一ヶ月程度としている。本講習会は社会貢献の一環として、企業ユーザの利用も推奨している。また、2014 年度からは PC クラスタコンソーシアム [1]（実用アプリケーション部会）、2015 年度からはオープン CAE 学会 [2]と共催の講習会、2017 年からは NVIDIA 社 [3]と共催の講習会も実施している。

2018 年度は本センター主催による並列プログラミング講習会を表 1 に示すように 17 回実施した。2016 年度、本センターとしては初めての GPU 搭載型スーパーコンピュータである、Reedbush スーパーコンピュータシステムが導入された。以来、GPU に関する講習会を開催しており、特に 2018 年度は、昨今話題となっている人工知能技術のひとつであるディープラーニングに関する講習会として、「Reedbush スパコンを用いた GPU ディープラーニング入門」を開催、さらにその発展形として、「ディープラーニング分散学習ハッカソン」を開催した。これらの講習会は、AI 業界をリードする NVIDIA 社との共催のもと、NVIDIA 社のエンジニアを講師に招いて行われた。制限人数を超えるほどの申し込みがあり、大盛況であった。なお、本講習会の資料は本センターの HP[4]にて公開されている。

[1] https://www.pccluster.org/ja/
[2] http://www.opencae.or.jp/
[3] http://www.nvidia.co.jp/page/home.html
[4] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/

表 1 2018 年度に開催した講習会

	名称	開催日	利用計算機	担当講師	申込者数/参加者数
第 97 回	GPU プログラミング入門	4 月 18 日	Reedbush-H	星野哲也	16/15
第 98 回	MPI 基礎:並列プログラミング入門	4 月 26 日	Oakforest-PACS	三木洋平 塙敏博	28/23
第 99 回	OpenFOAM 入門※	5 月 8 日	Oakforest-PACS	今野雅	14/12
第 100 回	Reedbush スパコンを用いた GPUディープラーニング入門※※	5 月 31 日	Reedbush-H	下川辺隆史	37/27
第 101 回	OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門	6 月 19 日～20 日	Reedbush-H	中島研吾 星野哲也	15/12
第 102 回	KNL 実践	7 月 10 日	Oakforest-PACS	塙敏博	13/11
第 103 回	OpenFOAM 初級※	8 月 28 日	Reedbush-U	今野雅	14/13
第 104 回	科学技術計算の効率化入門	9 月 19 日	Reedbush-U Oakforest-PACS	伊田明弘 平石拓	16/12
第 105 回	MPI 基礎:並列プログラミング入門	10 月 18 日	Oakforest-PACS	三木洋平 塙敏博	12/10
第 106 回	MPI 上級編	10 月 29 日	Oakforest-PACS	塙敏博	8/7
第 107 回	OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門	11 月 6 日	Reedbush-U,H	星野哲也 下川辺隆史	9/7
第 108 回	有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎	11 月 20 日～11 月 21 日	Reedbush-U	中島研吾	9/7
第 109 回	OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門	11 月 27 日～11 月 28 日	Reedbush-U,H	中島研吾 星野哲也	5/3
第 110 回	OpenFOAM 中級※	1 月 8 日	Oakforest-PACS	今野雅	11/9
第 111 回	第 1 回ディープラーニング分散学習ハッカソン※※	1 月 24 日～1 月 25 日	Reedbush-H	下川辺隆史	16/14
第 112 回	KNL 実践	2 月 13 日	Oakforest-PACS	塙敏博	5/2
第 113 回	科学技術計算の効率化入門	3 月 12 日	Reedbush-U, Oakforest-PACS	伊田明弘 平石拓	10/8

※ オープン CAE 学会共催
※※ NVIDIA 社共催

3 國家理論中心數學組『高效能計算』短期課程（2018 NCTS Summer Course） Introduction to Parallel Computing (II): Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems

2018 年 7 月 16 日（月）～19 日（木）に國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）[1]で開催された「國家理論中心數學組『高效能計算』短期課程（2018 NCTS Summer Course）」[2]（共催：國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences, NCTS）[3], 東京大学情報基盤センター他）の一環として実施された「Introduction to Parallel Computing (II) ： Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems[4]」について紹介したものである。

國家理論科學研究中心（NCTS）は 1997 年に台湾の National Science Council （NSC, 行政院国家科学委員会）によって設立された横断的研究組織で, 物理・数学の 2 部門がある。数学部門（數學組）の本部は 2015 年から國立臺灣大學（台北）に置かれている。8 つの重点分野があり, 国際交流も盛んに行っているほか, 会議, チュートリアル等様々なイベントを主催, サポートしている。中核となっている研究者は, 国立台湾大学, 国立清華大学, 国立中央大学, 中央研究院（Academia Sinica）等の台湾におけるトップクラスの大学・研究機関を本務としており, 参加している学生もこれらの大学の学部生, 大学院生である。当センターと NCTS は 2018 年 1 月に研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding, MOU）を締結している。

今回は合計 34 名の受講申込があり, 國立臺灣大學から 16 名の他は, 國立成功大學から 4 名, 國立清華大學から 3 名の他は, 他大学から 1-2 名の参加であった。

実施した講義内容と資料は東大側で準備した HP[4] で見ることができる。本講義の内容は, 当センターで実施している「OpenMP/OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング」[5]の内容に準拠しており, 一部, 情報理工学系研究科, 工学系研究科の講義として実施している「科学技術計算 I , コンピュータ科学特別講義 I , スレッド並列コンピューティング」[6]の教材を使用している。

毎回のことではあるが, 台湾での講義は筆者にとっても貴重な体験であり, 教材, 教え方等について色々とアイディアを考えつくとともに, 教育の重要性について改めて考える機会も与えてくれた。このような貴重な機会を与えてくれた王偉仲教授（國立臺灣大學）と NCTS のスタッフに対してこの場を借りて深甚なる謝意を表したい。

[1] http://www.ntu.edu.tw/
[2] https://sites.google.com/site/school4scicomp/2018-c-nk
[3] http://www.cts.nthu.edu.tw/main.php
[4] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2018S/
[5] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/101/
[6] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18s/

4 東大ーソウル大短期集中コースプログラム：Parallel Finite Element Method using Supercomputer）

2019 年 1 月 22 日（火）～26 日（土）に実施した「東大―ソウル大短期集中プログラム：Parallel Finite Element Method using Supercomputer」[1] について紹介する。

東京大学大学院工学系研究科と，ソウル大学校工科大学とは，2006 年より日韓遠隔交換講義として，相互に大学院科目を提供し，遠隔交換講義を実施している。2018 年 6 月にこれまでの日韓遠隔交換講義の歴史を踏まえて，東大工学系研究科とソウル大工科大学との間で，短期集中コースプログラム(Short Intensive Course Program)に関する覚書を締結し，7 月～8 月あるいは 1 月～2 月に相互に相手の大学において短期の集中講義を行うプログラムを実施する方向で協議を開始した。2018 年度の冬からの実施を目指して，2019 年 1 月～2 月にソウル大学にて提供可能な集中講義科目を募集していたのに応募し，採用された。

本講義の内容は 2018 年度冬学期に実施した，科学技術計算 II（大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻）／コンピュータ科学アライアンス特別講義 II（同 コンピュータ科学専攻）／ハイブリッド分散並列コンピューティング（大学院工学系研究科電気系工学専攻）「並列有限要素法入門」[2] と同様の内容であり，2017 年度から英語で実施しているため，特別な準備は無しに実施することができた。通常 105 分×14 コマ（=24.5 時間）で実施している一学期分の講義を，表 1 に示すように 5 日間（90 分×5 コマ×5 日＝37.5 時間）で実施した。できるだけ演習の時間を十分にとるようにしたが，実際には 26 日（土）の午前中で予定の内容を終了した。

偏微分方程式の数値解法として，様々な科学技術分野のシミュレーションに使用されている有限要素法（Finite-Element Method，FEM）について，一次元・三次元定常熱伝導問題を対象として，背景となる基礎的な理論から，実用的なプログラムの作成法まで，連立一次方程式解法などの周辺技術も含めて講義を実施し，プログラミングの実習を実施した。当センターの「データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム（Reedbush）[3]」のうち，汎用 CPU（Intel Broadwell/EP）のみから構成される Reedbush-U を使用してプログラミング実習を実施した。

合計 21 名の受講者があり（申込は 23 名），20 名が単位を取得した。受講者はソウル大学工科大学の学生（主に大学院生）であったが，非常に熱心で，的確な質問もあり，教える側としても大変成果の大きな 5 日間であった。東大・ソウル大の関係者の皆さま，特に講義実施にあたってお世話になったソウル大学航空宇宙工学科の Gun Jin Yun 教授には深く感謝の意を表するものである。Yun 教授とは初対面であったが，同じ航空宇宙工学出身ということもあってすっかり意気投合し，共同研究をやろうかという話になり，土曜日の午後はじっくり議論することができた。

[1] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/SNU2019Jan/
[2] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/18w/
[3] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/system/reedbush/

表 1：講義日程，内容

Date	Hour	Content
January 22 (T)	0830-1000	Introduction
	1015-1145	FEM (1/4)
	1300-1430	FEM (2/4)
	1445-1615	FEM (3/4)
	1630-1800	Exercise (Optional)
January 23 (W)	0830-1000	FEM (4/4)
	1015-1145	Introduction to Parallel FEM
	1300-1430	Login-to Reedbush-U
	1445-1615	MPI (1/4)
	1630-1800	MPI (2/4)
January 24 (Th)	0830-1000	Exercise
	1015-1145	MPI Practice (1/2)
	1300-1430	MPI (3/4)
	1445-1615	MPI (4/4)
	1630-1800	Exercise (Optional)

Date	Hour	Content
January 25 (F)	0830-1000	MPI Practice (2/2)
	1015-1145	Exercise
	1300-1430	Parallel FEM (1/3)
	1445-1615	Parallel FEM (2/3)
	1630-1800	Exercise (Optional)
January 26 (Sa)	0830-1000	Parallel FEM (3/3)
	1015-1145	Exercise
	1300-1430	OpenMP/MPI Hybrid (1/2)
	1445-1615	OpenMP/MPI Hybrid (2/2)
	1630-1800	Exercise (Optional)

5 國家理論科學研究中心數學組「高效能計算」短期課程（Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters）

2019 年 2 月 11 日（月）～14 日（木）に國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）[1] で開催された「國家理論科學研究中心數學組「高效能計算」短期課程（Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters）」[2]（共催：國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences）[3]，東京大学情報基盤センター他）について紹介する。

國立臺灣大學での集中講義は 2015 年 2 月から毎年この時期に開催しているが，受講者は東京大学情報基盤センターと研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding，MOU）を取り交わしている國立臺灣大學と國立中央大學の学生，教職員に限定されていた。これは，両大学関係者しか東大センターのスパコンを利用できないためである。本集中講義は 2017 年から國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences，NCTS）の主催となり，國立臺灣大學，國立中央大學以外の受講者も受け入れたいとの意向があったため，東大情報基盤センターと NTCS は 2018 年 1 月に MOU を締結した。今回は合計 68 名の受講申込あったが，教室のスペースの関係で，プログラミング経験等を考慮して 41 名の受講者を受け付けた。うち，國立臺灣大學と國立中央大學からはそれぞれ 20 名，2 名の受講者があった。2017 年は旧正月明けの学期始めに開講したため，単位を出すことができたが，今回は正月休み中の開講であったため，2018 年に引き続き残念ながら講習会扱いとなった。

実施した講義内容と資料は東大側で準備した HP[4,5]で見ることができる。講義は前年に引き続き片桐孝洋教授（名古屋大学情報基盤センター）とともに実施し，ほぼ 2016～2018 年度と同じ内容である。今回は，2018 年に引き続き Reedbush-U システムを利用した実習を実施した。前半は当センターで実施していた「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」[6]の内容に基づいている。後半は有限体積法によるポアソン方程式ソルバーの並列化に関する教材であり，MPI，OpenMP，OpenMP/MPI ハイブリッド並列に加えて，密行列・疎行列計算アルゴリズム，前処理付き共役勾配法，並列分散データ構造等も含めて学習することができる。4 日間のスケジュールの概要を以下に示す：

1 日目（2 月 11 日（木））

- スーパーコンピューティングへの招待（中島）
- OpenMP 並列プログラミング（片桐）
- Reedbush-U システムへのログイン（中島）
- MPI 並列プログラミング（片桐）
  - 並列プログラミングの基礎
  - 基本的な MPI 関数

2 日目（2 月 12 日（火））

- MPI/OpenMP ハイブリッド並列プログラミング（片桐）
  - ノン・ブロッキング MPI 関数と通信隠蔽手法
  - 並列化演習
    - 行列ーベクトル積
    - 固有値問題におけるべき乗法
    - 行列ー行列積

[1] http://www.ntu.edu.tw/
[2] https://sites.google.com/site/school4scicomp/
[3] http://www.cts.nthu.edu.tw/main.php
[4] http://www.abc-lib.org/MyHTML/Lectures/NU/class-matrNTU2019.htm
[5] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2019/
[6] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/53/

- ✧ 完全分散版の行列－行列積

3 日目（2 月 13 日（水））

- 有限体積法による三次元ポアソン方程式ソルバー（中島）
  - クリロフ部分空間法，共役勾配法（Conjugate Gradient，CG）のアルゴリズム
  - CRS（Compressed Row Storage）による疎行列格納法
- 有限体積法アプリケーションの MPI による並列化（中島）
  - 並列分散データ構造
  - 共役勾配法の並列化

4 日目（2 月 14 日（木））

- 有限体積法アプリケーションの OpenMP による並列化（中島）
- 有限体積法アプリケーションへの OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルの適用（中島）

シンポジウム・研究会

研究支援チーム　　スーパーコンピューティングチーム

スーパーコンピューティング研究部門

1　学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 10 回シンポジウム

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点では、7 月 12 日（木）・13 日（金）に「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 10 回シンポジウム」を THE GRAND HALL（品川）で開催した。当日は 267 名の参加者（大学 183 名、研究機関等 37 名、企業他 47 名）を迎えた。

「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」（以下、当拠点）とは、北海道大学、東北大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学のスーパーコンピュータを所有する 8 つの共同利用施設を構成拠点とし、東京大学情報基盤センターがその中核拠点を担う「ネットワーク型」の共同利用・共同研究拠点である。2016 年度からは、従来の公募型共同研究に加え、グローバル化、産学協同、インキュベーションの機能強化を一層進めることを目指して、国際共同研究課題、企業共同研究課題、萌芽型共同研究課題の公募・採択を行い、当拠点との共同研究を実施している。

今回のシンポジウムは、2017 年度に実施された一般・国際・企業共同研究 46 課題の口頭発表による最終報告および 92 課題（2018 年度採択の一般・国際・企業共同研究課題および平成 2017,2018 年度採択の萌芽型共同研究課題の一部）のポスター発表を実施した。口頭発表、ポスター発表ともに、一般の参加者も交えた活発な質疑や意見交換が行われた。

シンポジウム初日には、田浦健次朗総括拠点長（東京大学情報基盤センター長）による主催側挨拶と、坂下鈴鹿文部科学省研究振興局参事官（情報担当）付計算科学技術推進室長の来賓挨拶があった。それに続けて 2 日間にわたり、公募型共同研究が対象としている超大規模数値計算系応用分野、超大規模データ処理系応用分野、超大容量ネットワーク技術分野、超大規模情報システム関連研究分野およびこれらの分野にまたがる複合分野研究の研究成果発表および研究内容紹介が行われた。

閉会では、青木尊之共同研究課題審査委員長（東京工業大学　学術国際情報センター副センター長）からシンポジウム全体のサマリーを含めた挨拶があり、シンポジウムは盛会のうちに終了した。

発表および会場内の様子

ポスター発表の様子

田浦総括拠点長（東京大学情報基盤センター長）による主催者挨拶

坂下文部科学省研究振興局参事官（情報担当）付計算科学技術推進室長による来賓挨拶

2 研究会

2.1 ASE 研究会 （https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/ase/）

東京大学情報基盤センターでは，内外からの講演者を招いて不定期に先進スーパーコンピューティング環境研究会（Advanced Supercomputing Environment, 略称：ASE 研究会）を開催している。2018 年度は表 1 に示すように第 36～39 回の 4 回の研究会を開催した。

表1 2018 年度に開催された ASE 研究会（第 36 回～第 39 回）

	開催日	概要，主な講演者（所属）・講演題目	出席者数
36	2018 年 7 月 27 日（金）	招待講演者として、米国 Carnegie Mellon 大学から Franz Franchetti 教授をお招きして、計算コードの自動移植について、ご講演いただいた。 • Franz Franchetti (Carnegie Mellon University): Formal Software Synthesis of Computational Kernels	7
37	2018 年 10 月 29 日（月）	東京大学情報基盤センターは 2016 年よりドイツ研究振興協会(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) SPPEXA プログラム(German Priority Programme 1648, Software for Exascale Computing)の一環として実施されている，ESSEX-II プロジェクト(Equipping Sparse Solvers for Exascale)に参加している。第 37 回 ASE 研究会では，ESSEX-II プロジェクトの Co-PI である Achim Basermann 博士(Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt (DLR, German Aerospace Center))，及び同じ SPPEXA プログラム EXASTEEL プロジェクトの Leading-PI である Axel	12

		Klawonn 教授 (University of Cologne, Germany)のお二人をお招きして，各プロジェクトの成果の概要を中心に，大規模シミュレーション向けのアルゴリズの最新動向についてご講演いただいた。	
		• Achim Basermann (DLR, German Aerospace Center): ESSEX-II: Equipping Sparse Solvers for Exascale • Kengo Nakajima (The University of Tokyo, Japan): ppOpen-HPC/pK-Open-HPC • Axel Klawonn (University of Cologne, Germany): EXASTEEL: Extreme Scale Computing for New Materials	
38	2018 年 11 月 26 日 （月）	米国サンディア国立研究所（Sandia National Laboratories, USA）Scalable Modeling and Analysis Department に所属する Keita Teranishi 博士をお招きして，最先端の HPC 技術の応用に関するご講演をいただくとともに，関連分野の講演も併せて実施した。	14
		• Keita Teranishi (Principal Member of Technical Staff, Sandia National Laboratories, USA): Scalable, Efficient Fault Tolerance in Asynchronous Many Task (AMT) Programming Models • 遠藤 亘 (東京大学): 高性能インターコネクトとタスク並列を活用した分散共有メモリライブラリ • 椎名 峻平 (東京大学): ほぼ決定的なスケジューリングを行うタスク並列処理系	
39	2019 年 1 月 8 日 （火）	東京大学情報基盤センターは 2018 年 4 月より日本，ドイツ，アメリカの多重格子法（Multigrid Method）をこよなく愛する研究者と協力して学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の国際共同研究課題「Innovative Multigrid Methods」（研究代表：中島研吾（東京大学情報基盤センター），同副代表：Matthias Bolten（Bergische Universität Wuppertal (BUW), Germany）を推進している。第 39 回 ASE 研究会では，同プロジェクトの副代表である Matthias Bolten 教授（BUW）の来日に合わせ，プロジェクトの進捗報告をかねた研究会「Ode to Multigrid II」を企画した。並列メッシュ生成，時空間並列アルゴリズムも含む多重格子法に関連した様々な話題について，プロジェクトメンバーによる合計 8 件の発表を実施した。	18
		• Kengo Nakajima (The University of Tokyo): Adaptive Multilevel hCGA (AM-hCGA) for Parallel Multigrid Methods • Matthias Bolten (Bergische Universität Wuppertal): Multigrid for Structured Grids on Large-Scale Parallel Computers • Masatoshi Kawai (RIKEN R-CCS): Multiplicative Schwartz type Block Multi-Color Gauss-Seidel Smoother for AMG • Naoya Nomura (The University of Tokyo): The Evaluation of The SA-AMG Method By Applying Hybrid Parallelizaion on Cluster Computing System • Toshihiro Hanawa (The University of Tokyo): Optimization of Parallel Mesh Generation via File for Multigrid Method • Akihiro Ida (The University of Tokyo): Lattice H-Matrices : More Efficient Structures of H-Matrices for Arithmetic and Parallelization • Akihiro Fujii (Kogakuin University): Time Segmented Correction Method for Simple Nonlinear Heat Diffusion Problem • Ryo Yoda (Kogakuin University): The Evaluation of MGRIT Preconditioning for Spring-Mass-Damper System and Burgers Equation	

2.2 JCAHPC セミナー

2013 年 3 月、筑波大学と東京大学で締結された「計算科学・工学及びその推進のための計算機科学・工学の発展に資するための連携・協力推進に関する協定」に基づき、筑波大学計算科学研

究センターと東京大学情報基盤センターは、「最先端共同 HPC 基盤施設[1]（JCAHPC: Joint Center for Advanced High Performance Computing）」を設置した。JCAHPC は東大情報基盤センタースーパーコンピュータシステム柏拠点（東大柏キャンパス）に両機関の教職員が中心となり設計するスーパーコンピュータシステムを設置し、最先端の大規模高性能計算基盤を構築・運営するための組織である。JCAHPC では 2016 年 12 月 1 日より Oakforest-PACS システム[2]（OFP）の運用を開始している。両センターは本施設を連携・協力して運営することにより、最先端の計算科学を推進し、我が国の学術及び科学技術の振興に寄与していく所存であり、その一環として、国内外の研究者による「JCAHPC セミナー」を開催するものである。2018 年度は表 2 に示すように第 6 回セミナーが開催された。第 6 回は 2 部構成とし，午前中（第 I 部）はチュートリアル，午後（第Ⅱ部）は利活用報告会として開催し，OFP の様々な利用方法，活用方法について，高速化・最適化の手法も含めて講演を実施した。本セミナーは柏、筑波、本郷（浅野地区）から同時に参加できるよう遠隔配信を実施している。

表 2 2018 年度に開催された JCAHPC セミナー

	開催日・開催地	主な講演者（所属）・講演題目	出席者数
6	2018 年 10 月 17 日（水）（柏キャンパス）	**第 I 部:チュートリアル** 午前中に開催される第 I 部では，McKernel（理化学研究所で開発されたポストペタスケールスーパーコンピュータ向け OS 軽量カーネル）と高速ファイル I/O を実現する高速ファイルキャッシュシステムに 関するチュートリアルを実施した。 • 塙敏博（JCAHPC/東京大学）・建部修見（JCAHPC/筑波大学）: 高速ファイルキャッシュシステム利用のすすめ • Balazs Gerofi (RIKEN R-CCS): OFP User's Guide to the IHK/McKernel Multi-kernel Operating System	43
		第Ⅱ部:第 1 回 OFP 利活用報告会 2018 年に開催された第 1 回 OFP 利活用報告会（第 5 回 JCAHPC セミナー）では， 主として利用者からの活用事例についての報告だった，今回は JCAHPC 関係者を中心に，最適化事例，OFP の新しい利用法， 午前中のチュートリアルで紹介した McKernel，高速ファイルキャッシュシステムについての利用事例も含めて紹介した。 • 星野哲也（JCAHPC/東京大学）: 階層型行列法による Oakforest-PACS を用いた大規模数値解析 • 堀越将司（インテル株式会社）: Oakforest-PACS 上での通信周り（Intel MPI)およびシステムの最適化 • 高橋大介（JCAHPC/筑波大学）: Oakforest-PACS における並列 FFT の自動チューニング • 石川健一（広島大学）: 格子 QCD ソルバーの OFP での最適化 • 佐藤拓人（筑波大学）: 高速ファイルキャッシュシステムを利用した都市街区 LES モデルの I/O 高速化 • 塙敏博（JCAHPC/東京大学）: Oakforest-PACS システムにおける超大規模 Deep Learning へ向けた試み	

[1] http://jcahpc.jp/
[2] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/ofp/service/

公募型研究プロジェクト

研究支援チーム　　スーパーコンピューティングチーム

1　学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点　公募型研究平成 30 年度採択課題

表 1：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平成 30 年度採択課題
（東大分）

① 国際共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 （所属）	研究分野 （※）	他大学
Hierarchical low-rank approximation methods on distributed memory and GPUs	横田理央 （東京工業大学）	数	北大、東工大、京大、九大
Innovative Multigrid Methods	中島研吾 （東京大学）	数	北大、九大

② 一般共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 （所属）	研究分野 （※）	他大学
電磁流体力学乱流の高精度・高並列 LES シミュレーションコード開発研究	三浦英昭 （核融合科学研究所）	数	
高性能・変動精度・高信頼性数値解析手法とその応用	中島研吾 （東京大学）	数	東工大
時空間領域境界積分方程式法の高速解法の開発と巨大地震シミュレーションへの応用	安藤亮輔 （東京大学）	数	
高精度・高分解能シミュレーションを用いた銀河の形成・進化史の探求	三木洋平 （東京大学）	数	東工大
端末・エッジ・クラウド連携の三位一体による「考えるネットワーク」の研究	中尾彰宏 （東京大学）	ネ	北大、東北大、九大
高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの高度化	下川辺隆史 （東京大学）	数	東工大
Deep Learning を用いた医用画像診断支援に関する研究	佐藤一誠 （東京大学）	デ	
可視化用粒子データを用いた In−Situ 可視化システムの SIMD 最適化	河村拓馬 （日本原子力研究開発機構）	ネ	名大、京大
中間質量ブラックホールの理解に向けた星の衝突・破壊 に関する研究	谷川衝 （東京大学）	数	東工大

Physiologically realistic study of subcellular calcium dynamics with nanometer resolution	中島研吾 （東京大学）	数デ	
High-performance Randomized Matrix Computations for Big Data Analytics and Applications	片桐孝洋 （名古屋大学）	デ	東工大、 名大
分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS のストロングスケーラビリティ向上のための演算および通信性能最適化	安藤嘉倫 （分子科学研究所）	数	名大、九大
大規模な強化学習技術の実証と応用	金子知適 （東京大学）	デ	
財務ビッグデータの可視化と統計モデリング	地道正行 （関西学院大学）	ネ	

※ 研究分野の略称
数：超大規模数値計算系応用分野、デ：超大規模データ処理系応用分野、
ネ：超大容量ネットワーク技術分野

③ 萌芽型共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 （所属）
カスケード型分子動力学シミュレーションに基づくタンパク質構造の精密化アルゴリズムの開発と応用	原田隆平 （筑波大学）
深層学習による乱流燃焼モデル構築に向けた基礎解析	源勇気 （東京工業大学）
Brucite のナノスケール摩擦における水平方向非一様性に関する研究	奥田花也 （東京大学）
機械学習ポテンシャルを用いた金属－固体酸化物の界面構造とイオン伝導特性の大規模解析	清水康司 （東京大学）
JAXA 内製 MPS 法プログラム P-Flow による大規模流体解析	宮島敬明 （理化学研究所）
人物同一性を考慮した深層学習によるメディアコンテンツの変換生成	鈴木惇 （東京大学）
MD 計算による血小板細胞膜蛋白とリガンド結合の立体構造および結合の力学特性の解明(loss of function 型変異体に関して)	後藤信一 （東海大学）
応力テンソルを用いたクォーク間相互作用の数値解析	北澤正清 （大阪大学）
溶融金属への気泡吹き込みを伴う大規模機械撹拌時の流動と微細気泡ダイナミクスの解明	山本卓也 （東北大学）
日本沿岸域の高解像度潮流分布とその季節変化の解明	小平翼 （東京大学）
シンクロトロン放射を取り入れた二温度磁気流体計算による 3 次元ジェット伝搬シミュレーション	大村匠 （九州大学）
分子動力学計算によるアミロイド凝集様態の理論的解析	大滝大樹 （長崎大学）
第一原理計算でひも解く合金が示す長周期積層欠陥構造の形成メカニズム	圓谷貴夫 （熊本大学）

プラズマアクチュエータを用いた振動翼周りの流れ制御	佐藤沙耶 (豊橋技術科学大学)
ADVENTURE_Magnetic による，移動体を含む回転機の大規模並列有限要素解析	杉本振一郎 (八戸工業大学)
全球雲解像モデル NICAM を用いた水惑星実験による海面水温変動と熱帯の湿潤対流活動の共鳴時空間スケールの決定	末松環 (東京大学)
ハイブリッドクラスタシステムにおけるタイル QR 分解のタイルサイズチューニング	高柳雅俊 (山梨大学)
シェールガス資源量評価を目的としたケロジェンナノ孔隙内のメタン吸着挙動に関する分子動力学シミュレーション	曹金栄 (東京大学)
シミュレーションで探る天の川銀河の運動と構造	藤井通子 (東京大学)
Deep Learning を用いたタンパク質のコンタクト残基予測	福田宏幸 (東京大学)
Taylor-Couette-Poiseuille 流れにおける熱伝達とトルク性能の LES 解析	藤本慶 (東京農工大学)
次世代気象気候ライブラリを用いた雷の発生プロセスの解明	佐藤陽祐 (名古屋大学)
Gibbsite(001)面の第一原理電子状態計算による摩擦特性の研究	奥田花也 (東京大学)
AMR 法を適用したデンドライト成長シミュレーションの複数 GPU 並列化	坂根慎治 (京都工芸繊維大学)
安定密度成層下での一様せん断乱流の長時間統計と壁乱流との比較	関本敦 (大阪大学)

2010 年 4 月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する 8 大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点が正式に発足し、活動を開始した。本共同利用・共同研究拠点は 8 機関によるネットワーク型拠点であり、東京大学情報基盤センターはその中核拠点である。

2018 年度は、平成 30 年度公募型共同研究課題(国際・企業・一般)に対し、東大情報基盤センターでは以下の計算資源を提供した(利用は必須ではない)。

Oakforest-PACS, Reedbush-U/H/L

採択各課題に、拠点で審査の上認定されたトークンが与えられる。
2018 年度に提供した各システムの資源量は以下のとおりであった。

・Oakforest-PACS　160 ノード年
・Reedbush-U　6 ノード年
・Reedbush-H　15 ノード年
・Reedbush-L　6 ノード年

2017 年 12 月に平成 30 年度公募型共同研究（国際・企業・一般）の課題募集を開始し（2018 年 1 月 9 日締切）、2018 年 2 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 70 課題のうち 52 課題が採択された。表 1 の①および②は、東京大学情報基盤センターと共同研究を行う 16 題である。

また、萌芽型共同研究に関しては、各大学からの推薦をもとに審査を行い、70 件の課題が採択された。表 1 の③は、東京大学情報基盤センターと共同研究を行う 25 課題である。

また、2018 年 7 月 12 日（木）・13 日（金）に第 10 回シンポジウムが THE GRAND HALL（品川）で開催され、平成 29 年度に実施された公募型共同研究 46 課題の口頭発表による最終報告および平成 30 年度公募型共同研究に採択された中から 92 課題（内萌芽型共同研究 40 課題）のポスター発表による研究内容紹介が行われた。

2 大規模 HPC チャレンジ

2.1 背 景

東京大学情報基盤センターでは、スーパーコンピュータの大規模計算機資源を占有可能なサービスを実施してきており、2012 年度からは Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）の全 4,800 ノード（76,800 コア、ピーク性能 1.13 PFLOPS）を占有できる「大規模 HPC チャレンジ」を公募型プロジェクトとして毎月実施し、大きな成果をあげてきた。

更に 2017 年度からは、本センターと筑波大学計算科学研究センターが共同運営する最先端共同 HPC 基盤施設（JCAHPC：Joint Center for Advanced High Performance Computing）の共同利用スーパーコンピュータシステムである Oakforest-PACS(8208 ノード、558,144 コア、ピーク性能 25.004 PFLOPS)、2017 年 12 月からは、Reedbush-H（120 ノード、GPU 240 基、ピーク性能 1418.2 TFlops）についても「大規模 HPC チャレンジ」の公募も開始した。これらは国内の公開されているスーパーコンピュータシステムで占有可能な最大級の計算資源である。

2.2 概 要

実施要項は以下の通りである：

- 1 ヶ月に 1 回、原則として月末処理前の木曜日 9:00 ～ 金曜日の 9:00 までの 24 時間、全計算ノードを占有利用することが可能である。
- 課題は公募制とし、センター外部からの審査委員も含む審査委員会による審査、選定を実施する。
- 現ユーザーに限定せず、広く課題を募集する。個人、およびグループによる応募が可能であるが、各月に 1 グループの採用を原則とする。
- 本制度により得られた成果については公開を義務とする。成果公開にあたっては本センターまたは最先端共同 HPC 基盤施設のスーパーコンピュータシステムを利用し、「大規模 HPC チャレンジ」制度によって実施した旨を明記する。また、「スーパーコンピューティングニュース」や広報誌等への成果報告記事の執筆、査読付国際会議への 投稿（速報）などをお願いする。
- 本センターまたは最先端共同 HPC 基盤施設の主催、共催するセミナー、ワークショップ等でご発表いただく場合がある。
- 自作プログラム、オープンソースプログラムを利用した課題に限定する。
- 利用料金は無料。

2.3 2018 年度採択課題

Oakforest-PACS

課題名	代表者名 代表者所属
大規模原子力流体コードの性能評価	井戸村 泰宏 日本原子力研究開発機構
超大規模疎行列の固有値計算	Gehard Wellein Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Department of Computer Science
超並列 100 ナノメートル電子状態計算における極限的ストロングスケーリング性能調査	星 健夫 鳥取大学大学院工学研究科
ADVENTURE_Magnetic による 1,000 億自由度数値人体モデルの高周波電磁界解析	杉本 振一郎 八戸工業大学工学部

Reedbush-H

課題名	代表者名 代表者所属
メモリ・アクセス頻度が GPU のばらつきに与える影響の調査	三輪 忍 電気通信大学大学院情報理工学研究科

3 若手・女性利用者推薦

当センターでは、若手研究者（40 歳以下、学生を含む）及び女性研究者（年齢は問わない）による、スーパーコンピュータ、大規模ネットワーク機器などの大型計算資源を使用した研究を対象とした公募型プロジェクトを実施している。

当センターの教員による審査の上、採択された課題では申請した計算資源を無料で使用することができる。前期・後期の半年単位で募集を行う一般枠と、学部・大学院生を対象とし、主に夏期における利用を想定したインターン制度がある。前期・後期・インターンの課題は半年単位の実施となるが、一般枠（前期）については、次の半期に継続課題として申請し採択された場合は、最長で1年間の課題実施が可能となっている。

毎年度 3 回公募をおこない、平成 30 年度は前期 21 件、後期 16 件、インターン 2 件合わせて 39 件の研究課題が採択されている。採択者には、「報告書」の提出、研究成果の発表の際に若手・女性推薦を利用したことの明記、および当センターが発行する「スーパーコンピューティングニュース」誌の原稿執筆を採択の条件としている。

平成 28 年度からは、一般枠で採択された課題のうち、特に優れた課題で「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）」の萌芽型共同研究課題の条件を満たすものについては、当センターより同拠点萌芽型共同研究課題として推薦し、同拠点共同研究課題審査委員会で審査の上、JHPCN の萌芽型共同研究課題としても採択された場合、毎年 7 月に開催される JHPCN のシンポジウムにて発表の機会が与えられる。本制度に採択された課題は終了後、得られた成果をもとに、「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）」の公募型共同研究（一般課題、国際課題、企業課題）等へと進展することが期待される。

平成 29 年度前期からは成果報告会を開催しており、課題終了後に採択者が集まり、研究成果を発表して意見交換等を行う等採択者の情報共有の場を設けている。

3.1 平成 30 年度(前期)採択課題

平成 30 年度（前期）は Reedbush、Oakforest-PACS の各スーパーコンピュータシステムとクラウド資源の Fennel システムを用いた課題を受け付け、採否を決定した。

課題名	代表者名	所属（採択時）	利用システム
カスケード型分子動力学シミュレーションに基づくタンパク質構造の精密化アルゴリズムの開発と応用	原田 隆平	筑波大学 計算科学研究センター	Reedbush-H
深層学習による乱流燃焼モデル構築に向けた基礎解析	源 勇気	東京工業大学	Reedbush-L
Brucite のナノスケール摩擦における水平方向非一様性に関する研究	奥田 花也	東京大学大学院 理学系研究科	Reedbush-U
機械学習ポテンシャルを用いた金属－固体酸化物の界面構造とイオン伝導特性の大規模解析	清水 康司	東京大学大学院 工学系研究科	Reedbush-U
JAXA 内製 MPS 法プログラム P-Flow による大規模流体解析	宮島 敬明	理化学研究所 計算科学研究センター	Reedbush-H, Reedbush-L
人物同一性を考慮した深層学習によるメディアコンテンツの変換生成	鈴木 惇	東京大学大学院 情報理工学系研究科	Reedbush-H
MD 計算による血小板細胞膜蛋白とリガンド結合の立体構造および結合の力学特性の解明(loss of function 型変異体に関して)	後藤 信一	東海大学医学部	Oakforest-PACS
応力テンソルを用いたクォーク間相互作用の数値解析	北澤 正清	大阪大学大学院 理学研究科	Reedbush-U
溶融金属への気泡吹き込みを伴う大規模機械撹拌時の流動と微細気泡ダイナミクスの解明	山本 卓也	東北大学大学院 環境科学研究科	Reedbush-U
日本沿岸域の高解像度潮流分布とその季節変化の解明	小平 翼	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	Oakforest-PACS
シンクロトロン放射を取り入れた二温度磁気流体計算による 3 次元ジェット伝搬シミュレーション	大村 匠	九州大学大学院 理学府	Oakforest-PACS
分子動力学計算によるアミロイド凝集様態の理論的解析	大滝 大樹	長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科	Reedbush-U
第一原理計算でひも解く合金が示す長周期積層欠陥構造の形成メカニズム	圓谷 貴夫	熊本大学大学院 先導機構	Reedbush-U
プラズマアクチュエータを用いた振動翼周りの流れの制御	佐藤 沙耶	豊橋技術科学大学 機械工学系	Oakforest-PACS
ADVENTURE_Magnetic による、移動体を含む回転機の大規模並列有限要素解析	杉本 振一郎	八戸工業大学 工学部	Oakforest-PACS
全球雲解像モデル NICAM を用いた水惑星実験による海面水温変動と熱帯の湿潤対流活動の共鳴時空間スケールの決定	末松 環	東京大学大学院 理学系研究科	Oakforest-PACS

ハイブリッドクラスタシステムにおけるタイル QR 分解のタイルサイズチューニング	高柳 雅俊	山梨大学大学院 総合研究部工学域	Reedbush-H
シェールガス資源量評価を目的としたケロジェンナノ孔隙内のメタン吸着挙動に関する分子動力学シミュレーション	曹 金栄	東京大学大学院 工学系研究科	Oakforest-PACS
シミュレーションで探る天の川銀河の運動と構造	藤井 通子	東京大学大学院 理学系研究科	Reedbush-L
Deep Learning を用いたタンパク質のコンタクト残基予測	福田 宏幸	東京大学大学院 新領域創成科学研究科	Reedbush-L
Taylor-Couette-Poiseuille 流れにおける熱伝達とトルク性能の LES 解析	藤本 慶	東京農工大学大学院 工学府	Oakforest-PACS

3.2 平成 30 年度（インターン）採択課題

平成 30 年度（インターン）は Reedbush、Oakforest-PACS の各スーパーコンピュータシステムとクラウド資源の Fennel システムを用いた課題を受け付け、採否を決定した。

課題名	代表者名	所属（採択時）	利用システム
南極周極流域の乱流混合過程を想定した 3 次元 ray-tracing simulation	髙橋 杏	東京大学 理学系研究科	Oakforest-PACS
計算コストの小さい深層学習モデルアーキテクチャの構築	中西 健	東京大学 理学系研究科	Reedbush-L

3.3 平成 30 年度（後期）採択課題

平成 30 年度（後期）は Reedbush、Oakforest-PACS の各スーパーコンピュータシステムとクラウド資源の Fennel システムを用いた課題を受け付け、採否を決定した。

課題名	代表者名	所属（採択時）	利用システム
次世代気象気候ライブラリを用いた雷の発生プロセスの解明	佐藤 陽祐	名古屋大学 工学研究科	Oakforest-PACS
分子動力学計算によるアミロイド凝集様態の理論的解析	大滝 大樹	長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科	Reedbush-U
溶融金属への気泡吹き込みを伴う大規模機械撹拌時の流動と微細気泡ダイナミクスの解明	山本 卓也	東北大学大学院 環境科学研究科	Reedbush-U
ADVENTURE_Magnetic による，移動体を含む回転機の大規模並列有限要素解	杉本 振一郎	八戸工業大学	Oakforest-PACS
カスケード選択型分子動力学シミュレーションに基づく低解像度タンパク質構造の精密化	原田 隆平	筑波大学 計算科学研究センター	Reedbush-H
Gibbsite(001)面の第一原理電子状態計算による摩擦特性の研究	奥田 花也	東京大学大学院 理学系研究科	Reedbush-U

脈動冷却流がガスタービン翼後縁部カットバック面上フィルム冷却性能に与える影響の LES 解析	中嶋 大智	東京農工大学大学院 工学府	Oakforest-PACS
シミュレーションで探る天の川銀河の運動と構造	藤井 通子	東京大学大学院 理学系研究科	Reedbush-L
応力テンソルを用いたクォーク間相互作用と自己エネルギーの数値解析	北澤 正清	大阪大学大学院 理学研究科	Reedbush-U
貫流と内壁回転のある環状流路内乱流の螺旋状渦構造が熱伝達およびトルク性能に与える影響の LES 解析	藤本 慶	東京農工大学大学院 工学府	Oakforest-PACS
ハイブリッドクラスタシステムにおけるタイル QR 分解のタイルサイズチューニング	高柳 雅俊	山梨大学大学院 総合研究部	Reedbush-H
AMR 法を適用したデンドライト成長シミュレーションの複数 GPU 並列化	坂根 慎治	京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科	Reedbush-L
人物同一性を考慮した深層学習によるメディアコンテンツの変換生成	鈴木 惇	東京大学 情報理工学系研究科	Reedbush-H
低質量星団内におけるブラックホール連星形成と重力波放射	熊本 淳	東京大学 理学系研究科	Reedbush-L
シェールガス資源量評価を目的としたケロジェンナノ孔隙内のメタン相挙動に関する分子動力学シミュレーション	曹 金栄	東京大学大学院 工学系研究科	Oakforest-PACS
安定密度成層下での一様せん断乱流の長時間統計と壁乱流との比較	関本 敦	大阪大学 基礎工学研究科	Oakforest-PACS

スーパーコンピュータの企業利用支援

研究支援チーム

1　スーパーコンピュータの企業利用支援

1.1　企業利用趣旨

工学系研究者および産業界で大規模計算シミュレーションに対する期待が高まっている一方で、その利用は進んでいない。また、企業がスーパーコンピュータ（スパコン）を導入しようとする動きは、必ずしも旺盛ではない。これらの理由として、PC レベルでの小規模計算シミュレーションを大量に処理したいというユーザが多いこと、小規模計算シミュレーションを行っているユーザが大規模計算シミュレーションを行う機会がないために、費用対効果を検討できないことが挙げられる。また、多くの現場において、計算シミュレーションの方法論が浸透していないことも理由の一つである。

一方、文部科学省は、世界が研究開発にしのぎを削る分野で日本の国際競争力を高めようと、大学や独立行政法人等の公的研究機関がもつ先端研究装置を、企業へ開放する方針を推進している。

このような状況を背景として、情報基盤センターでは、次世代スーパーコンピュータにつながるユーザ育成も視野に入れつつ、大規模高性能並列計算を必要とする企業に対して計算資源を提供する。企業利用については、企業における単なる計算需要の負荷を肩代りするのではなく、以下の項目に合致するテーマを支援するものである。

(1) 将来の科学技術発展に寄与する。
(2) 大規模高性能並列計算分野の発展に寄与する。
(3) 大規模高性能並列計算によるイノベーションに寄与する。

1.2　支援内容

企業利用へ提供する計算資源は、スーパーコンピュータシステム全計算資源の 10%以内である。以下の 2 つの利用者カテゴリで課題を公募し、審査委員会での審査を行う。ただし、限られた資源を有効に利用するために、採択可能な課題に対して優先順位を付ける。提供可能な計算資源を勘案して申込内容の調整を行い、採択課題を決定する。

- アプリケーション開発者あるいは利用者
  企業の開発現場において既に確立されている計算シミュレーションによるものづくりに使われるのではなく、産業利用として先端性を有する計算シミュレーションおよび応用分野の課題を支援する。このような先端性を有する計算シミュレーションでは、大規模な並列計算が必要であると考えられる。

- ASP（Application Service Provider）事業者
  - 計算シミュレーションによるものづくりを行ってきていない企業に対し、計算シミュレーションによる高度なものづくりを支援するためには、計算シミュレーションソフトウェアの性質を理解し、入力データの作成、シミュレーション結果の解析などの、きめ細かい支援が必要であ

る。産業界に対して、このような広範な支援を大学が行うのは難しいため、支援を行っていく企業との連携が不可欠である。そのため、計算シミュレーションによるもの作りを従来行っていない企業への支援体制が整っている ASP 事業者を支援する。

大学が企業へ提供する計算資源は限られている。本来、企業は自前でスパコンを確保すべきである。支援を行う企業において大規模計算シミュレーションによるものづくりの可能性が得られた際には、本支援を終了する。ASP 事業者については、ASP 事業者が自前でスパコンを確保できる環境が整い次第、支援を終了する。

1.3 平成 30 年度企業利用

平成 30 年 4 月利用開始の公募では、利用資格者審査の結果、7 件が採択された。

平成 30 年度は、10 月および平成 31 年 4 月利用開始の 2 回の課題公募を実施した。10 月利用開始の公募には応募がなかったが、平成 31 年 4 月利用開始の公募では、新規 1 件および平成 30 年度からの継続となる 3 件の応募があり採択された。

●平成 30 年度第一回公募（平成 30 年 4 月以降利用開始）

- 申請 7 件（内継続課題 5 件）
- 採択 7 件（内継続課題 5 件）

企業名	課題名	利用システム
株式会社小堀鐸二研究所	不規則・不整形地盤の大領域3次元地盤応答評価法の開発と高度化(フェーズ2)	Oakforest-PACS
セイコーインスツル株式会社	流体構造連成シミュレーション技術を用いたインクジェット挙動の調査	Reedbush-U
富士フィルム株式会社	DeepLearning による 3D 画像認識　第 2 期	Reedbush-L
清水建設株式会社	流体コードのハイブリッド並列化手法の検討	Oakforest-PACS
株式会社 JSOL	電磁界有限要素解析の高並列処理における高速化および大規模化の検討	Reedbush-U
株式会社 JSOL	GPU による電磁界有限要素解析の高速化の検討	Reedbush-L
大成建設株式会社	CO2 地中貯留における大規模シミュレーションの適用研究	Oakforest-PACS

●平成 31 年度第一回公募（平成 31 年 4 月以降利用開始）

- 申請 4 件 （内継続課題 3 件）
- 採択 4 件 （内継続課題 3 件）

企業名	課題名	利用システム
株式会社豊田中央研究所	ナノ構造液体分離膜の分子動力学計算	Reedbush-U
株式会社小堀鐸二研究所	不規則・不整形地盤の大領域3次元地盤応答評価法の開発と高度化（フェーズ3）	Oakforest-PACS

セイコーインスツル株式会社	流体構造連成シミュレーション技術を用いたインクジェット挙動の調査	Reedbush-U
株式会社 JSOL	電磁界有限要素解析のスレッド並列およびプロセス並列処理による高速化と大規模化の検討	Reedbush-U

1.4 平成 30 年度企業利用関連の教員との共同研究

企業利用の推進の一環として、センター教員との共同研究も行っている。センター教員との共同研究は、年間数件程度を予定しており、共同研究契約を締結することにより、スーパーコンピュータを利用することができる。

●平成 30 年度　教員との共同研究

- ✧　株式会社ヴァイナス　（担当教員：伊田明弘　特任准教授）
  - ●「低ランク行列近似を用いた新しい反復法ソルバの開発」

以上

スーパーコンピューター利用による研究成果報告(2018 年)

スーパーコンピューティングチーム

1　メニーコア型大規模スーパーコンピューターシステム Oakforest-PACS

2018 年 (2018 年 1 月～2018 年 12 月) における、メニーコア型大規模スーパーコンピュータシステム Oakforest-PACS の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

1.1　論文

【計算科学】

1. Balazs Gerofi, Aram Santogidis, Dominique Martinet, Yutaka Ishikawa: PicoDriver: Fast-path Device Drivers for Multi-kernel Operating Systems: Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC'18), ACM.
2. Balazs Gerofi, Rolf Riesen, Masamichi Takagi, Taisuke Boku, Kengo Nakajima, Yutaka Ishikawa, Robert W. Wisniewski: Performance and Scalability of Lightweight Multi-Kernel based Operating Systems: International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS''18), IEEE.
3. Hannes Weisbach, Balazs Gerofi, Brian Kocoloski, Hermann Härtig, Yutaka Ishikawa: Hardware Performance Variation: A Comparative Study using Lightweight Kernels: International Supercomputing Conference (ISC''18), Springer LNCS.

【物理学】

4. 西山陽大、Jack A. Tuszynski: Nonequilibrium quantum electrodynamics: Entropy production during equilibration: International Journal of Modern Physics B, World Scientic Publishing Company, Vol.32.

【地球惑星科学】

5. Hayashi, Y., and K. Sato: Formation of two-dimensional circulation in response to unsteady wave forcing in the middle atmosphere: Journal of the Atmospheric Sciences, American Meteorological Society, 75, 1.

1.2　口頭・ポスター発表

【計算基盤】

6. 大島聡史, 山崎市太郎, 伊田明弘, 横田理央: 階層型行列計算におけるソフトウェア自動チューニング: 第 23 回計算工学講演会, 第 23 回計算工学講演会　講演論文集.
7. 大島聡史, 藤井昭宏, 田中輝雄, 深谷猛, 須田礼仁: Chebyshev 基底通信削減 CG 法のマルチコア・メニーコア計算環境における性能評価: 情報処理学会研究報告(HPC-165), 情報処理学会研究報告(HPC-165), 1--9.
8. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Optimization of hierarchical matrix computation on GPU - accelerating many small matrix calculation: Sapporo Summer HPC Seminar 2018.
9. 大島聡史, 藤井昭宏, 田中輝雄, 深谷猛, 須田礼仁: マルチコア・メニーコア計算機環境における Chebyshev 基底通信削減 CG 法の性能評価: 日本応用数理学会 2018 年 年会, 日本応用数理学会 2018 年 年会 講演予稿集.
10. 大島聡史, 鈴木惣一朗, 坂下達哉, 荻野正雄, 片桐孝洋, 安藤嘉倫: 512bit SIMD 環境における分子動力学アプリケーション MODYLAS の性能評価: 情報処理学会研究報告(HPC-166), 情報処理学会研究報告(HPC-166), 1--9.
11. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Performance Evaluation of Hierarchical Matrix Computation on Various Modern Architectures: SIAM PP18.

2　データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム Reedbush

2018 年 (2018 年 1 月～2018 年 12 月) における、データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム Reedbush の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

2.1　論文

【計算基盤】

12. Wataru Endo, Kenjiro Taura: Parallelized Software Offloading of Low-Level Communication with User-Level Threads: Proceedings of the International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia 2018), ACM.
13. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Optimization of Hierarchical matrix computation on GPU, In proceedings of Supercomputing Frontiers. SCFA 2018: Lecture Notes in Computer Science, Springer, Vol. 10776.

【情報学フロンティア】

14. Tsukasa Nakamura, Toshiyuki Oda, Yoshinori Fukasawa, Kentaro Tomii: Template-based quaternary structure prediction of proteins using enhanced profile-profile alignments: Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics, WILEY, 86, S1.

【物理学】

15. M. Takamoto, Y. Matsumoto, T. N. Kato: Magnetic Field Saturation of the Ion Weibel Instability in Interpenetrating Relativistic Plasmas: Astrophys. J. Lett., The American Astronomical Society, Volume 860, Number 1.

【地球惑星科学】

16. Amano, T.: A generalized quasi-neutral fluid-particle hybrid plasma model and its application to energetic-particle-magnetohydrodynamics hybrid simulation: Journal of Computational Physics, 366.

2.2　口頭・ポスター発表

【情報学基礎】

17. Deepak Keshwani, Yoshiro Kitamura, Yuanzhong Li: Computation of Total Kidney Volume from CT Images in Autosomal Dominant Polycystic Kidney Disease Using Multi-task 3D Convolutional Neural Networks: International Conference on Machine Learning in Medical Imaging, MICCAI 2018 WORKSHOP PROCEEDINGS, pp.380-388.

【計算基盤】

18. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Performance Evaluation of Hierarchical Matrix Computation on Various Modern Architectures: SIAM PP18.
19. 大島聡史, 山崎市太郎, 伊田明弘, 横田理央: 階層型行列計算におけるソフトウェア自動チューニング: 第 23 回計算工学講演会, 第 23 回計算工学講演会　講演論文集.
20. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Optimization of hierarchical matrix computation on GPU - accelerating many small matrix calculation: Sapporo Summer HPC Seminar 2018.
21. Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, Rio Yokota: Performance Evaluation of Hierarchical Matrix Computation on Various Modern Architectures: SIAM PP18.
22. Wataru Endo, Kenjiro Taura: A Distributed Shared Memory Library with Global-View Tasks on High-Performance Interconnects: SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM-PP).

【材料工学】

23. 佃聖人、嶋﨑真一、塚口友一: 流れ場における気泡挙動に関する数値計算: 日本鉄鋼協会　第 174 回秋季講演大会, 材料とプロセス　Vol.30（2017）No.2, p. 753.

【内科系臨床医学】

24. Takeshi Takata, Jun'ichi Kotoku, Takenori Kobayashi, Kenshiro Shiraishi, Hiroshi Kondo, Masayoshi Yamamoto, Oba Hiroshi, Shigeru Furui: Hands-on virtual reality dose visualization and air dose estimation in interventional radiology: The 115th Scientific Meeting of the Japan Society of Medical Physics.
25. Takeshi Takata, Jun'ichi Kotoku, Hiroshi Kondo, Masayoshi Yamamoto, Kenshiro Shiraishi, Takenori Kobayashi, Takahide Okamoto, Hiroshi Oba, Shigeru Furui: Application of Virtual Reality Technology for Ra-

dioprotection in Interventional Radiology: The 47th Annual Meeting of the Japanese Society of Interventional Radiology & The 13th International Symposium of Interventional Radiology.
26. Takeshi Takata, Yuta Ikeda, Hiroshi Kondo, Masayoshi Yamamoto, Shigeru Furui, Kenshiro Shiraishi, Takenori Kobayashi, Jun'ichi Kotoku: An Estimation of Operator Exposure Dose in IR using Monte Carlo Simulation : 第 116 回日本医学物理学会学術大会.
27. Takeshi Takata, Hiroshi Kondo, Masayoshi Yamamoto, Shigeru Furui, Kenshiro Shiraishi, Takenori Kobayashi, Takahide Okamoto, Hiroshi Oba, Jun'ichi Kotoku: Possible Risks of Interventional Radiology: An estimation from Monte Carlo Simulation: Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe 2018.
28. Takeshi Takata, Susumu Nakabayashi, Hiroshi Kondo, Masayoshi Yamamoto, Shigeru Furui, Kenshiro Shiraishi, Takenori Kobayashi, Takahide Okamoto, Hiroshi Oba, Jun'ichi Kotoku: とある IVR の仮想現実: 第 1 回医学物理学合同研究室会.
29. 古徳純一: 放射線医学分野での機械学習: 一般社団法人 情報処理学会 主催 ソフトウェアジャパン 2018.
30. 古徳純一: 医用画像における人工知能: 医療情報研究会　第 7 回勉強会.
31. 古徳純一: がんと闘うための機械学習とレディオミクスのはなし: 平成 29 年度 第 1 回先端医用量子線技術科学コース講演会.
32. 古徳純一: 医用画像における人工知能: 第 30 回横浜南部地区放射線技師会総会.
33. 古徳純一: 腫瘍を診る: 放射線治療談話会 平成 30 年度談話会第 2 回目例会 @東京女子医科大学.
34. 古徳純一: リアルタイムモンテカルロシミュレーションとバーチャルリアリティによる診療中の放射線線量の可視化: 第一回 帝京大学 研究交流シンポジウム.

2.3 受賞情報

35. Takeshi Takata, Jun'ichi Kotoku, Takenori Kobayashi, Kenshiro Shiraishi, Hiroshi Kondo, Masayoshi Yamamoto, Oba Hiroshi, Shigeru Furui: Hands-on virtual reality dose visualization and air dose estimation in interventional radiology: CyPos 大会長賞, The 115th Scientific Meeting of the Japan Society of Medical Physics.
36. Takanobu AMano: Young Researcher Award, Association of Asia Pacific Physical Societies, Division of Plasma Physics.

3 大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10

2018 年 (2018 年 1 月～2018 年 12 月) における、大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10 の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

3.1 論文

【応用物理学】
37. Kazuhiro Shimada: First-principles study of crystal structure, elastic stiffness constants, piezoelectric constants, and spontaneous polarization of orthorhombic Pna21-M2O3 (M=Al, Ga, In, Sc, Y): Materials Research Express, 5, 3.

【地球惑星科学】
38. Yasushi Fujiwara, Yutaka Yoshikawa, Yoshimasa Matsumura: A Wave-Resolving Simulation of Langmuir Circulations with a Nonhydrostatic Free-Surface Model: Comparison with Craik-Leibovich Theory and an Alternative Eulerian View of the Driving Mechanism: Journal of Physical Oceanography, American Meteorological Society, Vol.48, No.8.

その他イベント

研究支援チーム　　スーパーコンピューティングチーム

1　東京大学柏キャンパス一般公開 2018

2018 年度の東京大学柏キャンパス一般公開は「柏でわくわく知の探検」というテーマで 10 月 26 日、27 日の両日に開催された。情報基盤センターでは、「スパコンで安全・安心な社会へ」というキャッチフレーズのもと、スーパーコンピュータ Oakforest-PACS の見学・ガイドツアー、三次元可視化システムの体験、ポスター展示およびビデオ上映を実施した。Oakforest-PACS のガイドツアーでは、教員がマシンの見学に合わせて Oakforest-PACS の導入経緯、設備概要、スーパーコンピュータを使って行われている研究内容などの説明を行った。また、三次元可視化システムの体験では、ビルの形状とビル風の強さの関係や津波の様子をシミュレーションした映像などを用い、3D メガネを使って、参加者の皆様に解析結果の可視化体験をしてもらった。参加者からは歓声とともに、実際に目の前に迫ってくるような臨場感あふれる可視化体験を楽しむ様子が伺えた。

【2 日間の参加者】
スーパーコンピュータ見学者　464 名（昨年比　▲3 名）1 日目 167 名、2 日目 297 名
　　うちガイドツアー参加者　222 名（昨年比 ＋41 名）1 日目 102 名、2 日目 120 名
三次元可視化システムの体験　204 名（昨年比 ＋15 名）1 日目　80 名、2 日目 124 名

なお、ガイドツアー・可視化システムの体験の運営に当たっては、JCAHPC（最先端共同 HPC 基盤施設）を共同で運営している筑波大学計算科学研究センターに協力をいただいた。また、27 日（土）に開催された特別講演会では、中島研吾教授が「スパコンへの数学・スパコンへの算数」と題して講演を行った。特別講演会の様子はインターネットでも同時配信された。

三次元可視化システム体験

特別講演会 （新領域環境棟 1 階 FS ホール）
「スパコンへの数学・スパコンへの算数」

Oakforest-PACS ガイドツアー

2　来訪者の状況

2018 年度のスーパーコンピュータ関連施設来訪者の概要を表 1 にまとめた。

表 1　2018 年度スーパーコンピュータ関連施設来訪者の概要

	来訪日	団体名	人数	来訪目的	見学内容
1	4月18日	東京工業大学 シンガポールNSCC	7(6)	施設見学	Oakforest-PACS HPCI共用ストレージ
2	4月20日	文部科学省 研究振興局 計算科学技術推進室	6	施設見学	Oakforest-PACS HPCI共用ストレージ
3	5月25日	さくらサイエンスプロジェクト支援	65(54)	施設見学	Oakforest-PACS
4	6月13日	鹿児島県立甲南高校見学	6	施設見学	Oakforest-PACS
5	7月10日	韓国教育電算網(KREN)	22(22)	施設見学	Oakforest-PACS
6	7月25日	北京航空航天大学	26(26)	施設見学	Oakforest-PACS
7	8月3日	愛媛県立西条高校	16	施設見学	Oakforest-PACS
8	10月1日	九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所	13(10)	施設見学	Oakforest-PACS
9	12月13日	気象研究所	4	施設見学	Oakforest-PACS
10	12月26日	土浦日本大学高校	43	施設見学	Oakforest-PACS
11	3月5日	教養学部1年生(柏サイエンスキャンプ)	19	施設見学	Oakforest-PACS
12	3月27日	中山大学 / NSCC-GZ	1(1)	施設見学	Oakforest-PACS

人数は引率者除く、括弧内は外国人見学者の内数

PART 5

そ の 他

委員会委員等

講習会・セミナー

報道関係一覧

委員会委員等

教員名	委員会委員等名	任 期
柴山 悦哉	一般社団法人大学ICT推進協議会 研究員	2018.4.1 ～ 2019.3.31
	一般財団法人高度情報科学技術研究機構 客員研究員	2018.4.1 ～ 2019.3.31
	公益財団法人情報科学国際交流財団 プログラミングコンテスト運営委員	2018.4.4 ～ 2019.3.31
	国立研究開発法人科学技術振興機構 研究主幹	2018.4.20 ～ 2019.3.31
	東京大学 情報システム戦略会議議員	2018.4.27 ～ 2019.3.31
	公益財団法人りそな中小企業振興財団 株式会社日刊工業新聞社 「中小企業優秀新技術・新製品賞」専門審査委員会委員	2018.9.1 ～ 2019.8.31
	情報セキュリティ大学院大学 客員教授	2018.10.1 ～ 2019.3.31
	日本学術会議 日本学術会議会員	2018.10.1 ～ 2020.9.30
田中 哲朗	東京大学駒場図書館 駒場図書館運営委員会委員	2018.4.1 ～ 2020.3.31
品川 高廣	東京大学大学院工学系研究科 非常勤講師	2018.4.1 ～ 2019.3.31
	東京電機大学未来科学研究科 非常勤講師	2018.4.13 ～ 2018.9.10
関谷 貴之	専修大学 非常勤講師	2018.4.1 ～ 2019.3.31
	東京学芸大学 非常勤講師	2018.4.9 ～ 2018.9.30
岡田 和也	東京大学情報システム本部 東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	2018.4.1 ～ 2019.3.31
	株式会社国際電気通信基礎技術研究所適応コミュニケーション研究所 客員研究員	2018.4.1 ～ 2019.3.31
	慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 大学特任助教（有期）（研究／教育）（非常勤）	2018.4.1 ～ 2019.3.31
工藤 知宏	東京大学情報システム本部 東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）責任者	2018.4.1 ～ 2019.3.31
	国立研究開発法人科学技術振興機構 産学共同実用化開発事業評価委員会専門委員	2018.4.1 ～ 2020.3.31
	東京大学 情報システム戦略会議議員	2018.4.27 ～ 2019.3.31
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所 学術情報ネットワーク運営・連携本部ネットワーク作業部会委員	2018.5.9 ～ 2019.3.31
	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO技術委員	2018.6.25 ～ 2020.3.31

委員会委員等

中山　雅哉	東京大学情報システム本部　東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	2018.4.1	～	2019.3.31
	東京大学　最高情報セキュリティ責任者（CISO）補佐	2018.4.1	～	2019.3.31
	東京大学　情報システム緊急対応チーム（Utokyo-CERT）統括責任者	2018.4.1	～	2020.3.31
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所　学術情報ネットワーク運営・連携本部高等教育機関における情報セキュリティポリシー推進部会委員	2018.5.9	～	2019.3.31
関谷　勇司	東京大学情報システム本部　東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	2018.4.1	～	2019.3.31
	慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科　大学特任准教授（有期）（研究／教育）（非常勤）	2018.4.1	～	2019.3.31
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所　学術情報ネットワーク運営・連携本部セキュリティ作業部会委員	2018.5.11	～	2019.3.31
佐藤　周行	東京大学大学院情報理工学系研究科　非常勤講師	2018.4.1	～	2018.8.31
	東京大学情報システム本部　東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	2018.4.1	～	2019.3.31
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所　学術情報ネットワーク運営・連携本部高等教育機関における情報セキュリティポリシー推進部会委員	2018.5.9	～	2019.3.31
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所　学術認証運営委員会委員　同委員会トラスト作業部会員	2018.8.8	～	2019.3.31
中村　文隆	法政大学　兼任講師	2018.4.1	～	2018.9.30
	東京大学情報システム本部　東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	2018.4.1	～	2019.3.31
	法政大学　非常勤講師	2018.10.1	～	2019.3.31
中村　遼	ソニーコンピュータサイエンス研究所　非常勤研究員	2018.5.1	～	2019.3.31
空閑　洋平	慶應義塾大学　特任講師（有期）（非常勤）（大学院政策・メディア研究科）	2018.11.1	～	2019.3.31
中島　研吾	東京大学ゲノム医科学研究機構　運営委員会委員	2018.4.1	～	2019.3.31
	一般社団法人日本応用数理学会　代表会員	2018.4.1	～	2019.3.31
	筑波大学計算科学研究センター　共同研究委員会委員	2018.4.1	～	2020.3.31
	京都大学学術情報メディアセンター　全国共同利用運営委員会委員	2018.4.1	～	2020.3.31
	京都大学学術情報メディアセンター　スーパーコンピュータシステム共同研究企画委員会委員	2018.4.1	～	2020.3.31
	東京大学物性研究所附属物質設計評価施設　スーパーコンピュータ共同利用委員会委員	2018.4.1	～	2020.3.31
	東京大学物性研究所附属物質設計評価施設　スーパーコンピュータ共同利用課題審査委員会委員	2018.4.1	～	2020.3.31
	一般財団法人高度情報科学技術研究機構 「HPCI共用ストレージ運用部会」部会員	2018.5.9	～	2019.3.31

下川辺　隆史	一般財団法人高度情報科学技術研究機構 「HPCI共用ストレージ運用部会」部会員	2018.5.9	～	2019.3.31
	気象庁気象研究所　スーパーコンピュータシステム総合評価基準検討委員	2018.8.20	～	2019.3.31
	StrayCats’Lab株式会社(社名変更:株式会社天の技)　技術アドバイザー	2018.9.1	～	2019.8.31
塙　敏博	東京大学大学院工学系研究科　非常勤講師	2018.4.1	～	2018.8.31
	山形大学　非常勤講師	2018.4.1	～	2018.9.30
	文部科学省研究振興局　技術参与	2018.4.1	～	2019.3.31
	筑波大学計算科学研究センター　客員准教授	2018.4.1	～	2019.3.31
	東北大学サイバーサイエンスセンター　大規模科学計算システム全国共同利用連絡会議委員	2018.4.1	～	2020.3.31
	一般財団法人高度情報科学技術研究機構 「HPCI共用ストレージ運用部会」部会員	2018.5.9	～	2019.3.31
	東京工業大学学術国際情報センター　共同利用専門委員会委員	2018.6.8	～	2019.3.31
星野　哲也	一般財団法人高度情報科学技術研究機構 「HPCI共用ストレージ運用部会」部会員	2018.5.9	～	2019.3.31
三木　洋平	一般財団法人高度情報科学技術研究機構 「HPCI共用ストレージ運用部会」部会員	2018.5.9	～	2019.3.31
有間　英志	国立研究開発法人理化学研究所　客員研究員	2018.4.1	～	2021.3.31

講習会・セミナー

1. センター共通

講習会・セミナー名	開 催 日	参照頁
・学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点シンポジウム		p.378
第10回	7/12-13	

2. 情報メディア教育研究部門・教育本郷チーム・教育駒場チームによるもの

講習会・セミナー名		開 催 日	参照頁
・システム利用説明会			p.287
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/11, 3/20	
駒場キャンパス	情報教育棟	9/12, 3/19	
・ITC-LMS 教員向け講習会			p.299
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/11, 3/20	
駒場キャンパス	情報教育棟	9/12, 3/19	
・相談員説明会			
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/5, 9/25	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/6, 9/25	

3. 学術情報チームによるもの

講習会・セミナー名	開催日	参照頁
・情報探索ガイダンス（テーマ別ガイダンス）		p.312
論文準備ここからスタート！	4/12, 4/24, 5/16, 5/22, 6/8, 6/27, 8/1, 8/3, 9/20, 9/25	
はじめよう！RefWorks(昼休み30分)	6/22, 6/28, 7/4, 11/8, 11/9	
はじめよう！新RefWorks(50分)	3/13,3,20	
はじめての本や論文の探し方(昼休み30分)	5/14, 5/15	
比べる！検索ツール(昼休み30分)	7/3, 7/13	
はじめよう！Mendeley(昼休み30分)	4/10, 4/23, 7/12, 11/16	
論文準備のための文献管理：Web of Science & RefWorks（夕方60分）	10/12, 10/16,12/6,12/14	
就活の味方「eol」ミニ講座（昼休み25分）	10/30, 11/1, 11/2	
卒業してからの文献検索・文献管理	2/13, 2/19, 3/1	
・留学生向け情報探索ガイダンス		p.313
韓国語コース	5/24	
中国語コース	10/11(同日2回開催)	
・外部講師による講習会		p.313
Springer Materials講習会	6/6	
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう	6/20	
SciFinderで化学分野の情報検索をするには？	6/21	
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう（駒場図書館）	6/22	
LexisNexis Academicで海外のニュースやビジネス情報を検索するには？	6/22	
LexisAdvance講習会	6/22	
OECDの出版物や統計を探すには？OECD iLibrary講習会	6/27	
EndNote講習会　文献管理ツールクローズアップ	6/28	
Mendeley講習会(通常コース)　文献管理ツールクローズアップ	6/29	
Mendeley講習会(Q&Aコース)　文献管理ツールクローズアップ	6/29	
研究分析ツールSciVal講習会(初級者向け)	7/24	
研究分析ツールSciVal講習会(経験者向け)	7/24	
研究分析ツールInCites講習会(初級者向け)	7/25	
研究分析ツールInCites講習会(経験者向け)	7/25	
Mendeley workshop in English	8/7	
SciFinder講習会（会場：薬学図書館）	9/20	
Lexis360講習会（法学部研究室図書室共催）	12/6	
LexisAdvance講習会（法学部研究室図書室共催）	12/6	
新RefWorks講習会	1/16	
・秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会	7/20,8/30	p.314
・出張・オーダーメイド講習会		p.314
オーダーメイド講習会 文学部、医学系研究科、医科学研究所、情報学環学際情報学府、理学部、工学部、工学系研究科、教育学部、教養学部、新領域創成科学研究科、産学連携部	4/6, 4/19, 4/25, 4/26, 5/7, 5/8, 5/11, 5/17, 6/5, 6/12, 6/13, 6/15, 6/18, 7/4, 9/27, 10/22, 10/25, 10/26, 11/5, 11/6, 11/7, 11/14, 11/15, 11/26, 12/4, 12/7, 12/13, 2/19, 3/4	
附属図書館・室等との共催講習会		
総合図書館、地震研図書室、生産研図書室、先端研図書室、医学図書館、農学生命科学図書館、大学院数理科学研究所図書室、駒場図書館、教養教育高度化機構初年次教育部門、工学・情報理工学図書館、経済学図書館、薬学図書館、柏図書館、医科学研究所図書室	4/3, 4/5, 4/9, 4/10, 4/11, 4/20, 4/25, 4/27, 5/9, 5/10, 5/11, 5/18, 5/21, 5/23, 5/24, 5/25, 6/4, 6/6, 6/14, 6/19, 6/26, 7/26, 9/7, 9/18, 9/19, 9/26, 10/5, 10/9, 10/16, 10/17, 10/18, 10/19, 10/23, 10/24, 10/25, 10/29, 10/31, 11/13, 11/20, 11/22, 12/18, 2/20, 3/5,3/12	

・初年次ゼミナール		p.321
文科	4/13, 4/16, 4/17, 4/18, 4/19	
・セミナー		p.321
英語論文セミナー　科学英語編	11/29	
英語論文セミナー　投稿・出版編	12/4	
英語論文セミナー　執筆実践編	3/8	
・テキスト協力	4/26, 5/1, 5/14, 5/25, 6/4, 6/8, 6/22, 7/13, 7/27, 10/5, 10/19, 11/16, 12/5, 12/7, 1/11, 1/17, 1/25	p.322
・講習会協力		p.323
U-PARL（東京大学附属図書館アジア研究図書館上廣倫理財団寄付研究部門）主催講習会	7/6, 10/23, 1/26	

4. ネットワーク研究部門・ネットワークチームによるもの

講習会・セミナー名	開 催 日	参照頁
・UTNET Meeting		p.332
第16回	10/22	

5. スーパーコンピューティング研究部門・スーパーコンピューティングチームによるもの

講習会・セミナー名	開 催 日	参照頁
・お試しアカウント付き並列プログラミング講習会		p.371
第97回「GPUプログラミング入門」	4/18	
第98回「MPI基礎：並列プログラミング入門」	4/26	
第99回「OpenFOAM入門」	5/8	
第100回「Reedbush スパコンを用いたGPUディープラーニング入門」	5/31	
第101回「OpenMP/OpenACCによるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」	6/19-20	
第102回「KNL実践」	7/10	
第103回「OpenFOAM初級」	8/28	
第104回「科学技術計算の効率化入門」	9/19	
第105回「MPI基礎：並列プログラミング入門」	10/18	
第106回「MPI上級編」	10/29	
第107回「OpenACCとMPIによるマルチGPUプログラミング入門」	11/6	
第108回「有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎」	11/20-21	
第109回「OpenMP/OpenACCによるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」	11/27-28	
第110回「OpenFOAM中級」	1/8	
第111回「第1回 ディープラーニング分散学習ハッカソン」	1/24-25	
第112回「KNL実践」	2/13	
第113回「科学技術計算の効率化入門」	3/12	

・先進スーパーコンピューティング環境研究会（ASE研究会）		p.379
第36回	7/27	
第37回	10/29	
第38回	11/26	
第39回	1/8	
・JCAHPC セミナー		p.381
第6回	10/17	
・その他		
NCTS 2018 Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems	7/16-19	p.373
Parallel Finite Element Method using supercomputer	1/22-26	p.374
NCTS 2019 Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters	2/11-14	p.376

報道関係一覧

[報道 1] HPC-Wire Japan 2018 年 6 月 26 日 IO500 で Oakforest-PACS が連続で1位に

[報道 2] 文教速報 2018 年 7 月 18 日 東大・筑波大のスパコンが世界1位に ストレージランキングで最高性能を達成

[報道 3] 文教ニュース 2018 年 7 月 30 日 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回シンポジウム開催報告

[報道 4] 文教速報 2018 年 8 月 6 日 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点がシンポジウム開催

[報道 5] 文教ニュース 2018 年 9 月 17 日 データ利活用研究コミュニティワークショップ

[報道 6] 日刊工業新聞 2018 年 9 月 18 日 東大など、学術情報ネットを企業開放 ビッグデータ解析に有効

[報道 7] 文教速報 2018 年 9 月 19 日 東大でデータ利活用研究コミュニティワークショップ

[報道 8] IT Media News 2018 年 11 月 13 日 スパコン「TOP500」米国 2 連覇 日本は 7 位に後退 東京大・筑波大の「Oakforest-PACS」が 14 位

[報道 9] 東京大学ホームページ U-Tokyo Focus 2018 年 12 月 26 日 深層学習でリアルタイム軌道上画像識別を実現 ～超小型衛星用センサの宇宙での実証実験開始へ～

[報道 10] 日本経済新聞 2019 年 2 月 18 日 富士通、東京大学情報基盤センターから大規模超並列スーパーコンピュータシステムを受注

[報道 11] マイナビニュース 2019 年 2 月 18 日 富士通、東大情報基盤センターから 6.6PFlops の大規模超並列スパコンを受注

[報道 12] 日刊工業新聞 2019 年 2 月 19 日 富士通、東大からスパコン受注 7月稼働へシステム構築

[報道 13] IEEE Spectrum 2019 年 2 月 20 日 Japan to Probe IoT Devices and Then Prod Users to Smarten Up にて総務省による IoT 機器調査「NOTICE」に関する佐藤周行先生への取材記事を掲載。

東京大学情報基盤センター年報

2018 年度（第 20 号）

編　　集
東京大学情報基盤センター年報編集委員会
編集委員長　　小川　剛史
編集委員　　品川　高廣、星野　哲也、中村　覚、飯野　孝浩、
阿曽　義浩、野呂　清隆、佐々木馨、村上　晋司、
井爪　健雄、田川　善教、柳川圭介、鈴木　さゆり

発　　行
東京大学情報基盤センター
〒113-8658 東京都文京区弥生 2-11-16
電話 03-5841-2710

2019 年 7 月発行

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO