年報第 19 号

2017 年度

Annual Report No.19
2017

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 …… 3

組　織 …… 5
組織図 …… 5
職員数 …… 5
教職員 …… 6
平成29年度中の人事異動 …… 11
東京大学情報基盤センター運営委員会委員名簿 …… 14
予　算 …… 15
収入・支出 …… 15
外部資金 …… 15
補助金等 …… 17
平成29年度科学研究費助成事業採択状況 …… 17
平成29年度受託研究費受入状況 …… 21
平成29年度共同研究費受入状況 …… 22
平成29年度政府系委託費受入状況 …… 24
平成29年度奨学寄附金受入状況 …… 24

PART2　センター活動報告 …… 25

学際情報科学研究体 …… 27
学際情報科学研究体概要 …… 29
学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 …… 31
その他 …… 45
高度ITインフラを扱う人材育成に向けた活動
—IoTとAI時代を担う先進的アーキテクト人材の育成— …… 47
海外研究機関との研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）締結 …… 52

PART3　各研究部門　研究活動報告 …… 55

情報メディア教育研究部門 …… 57
情報メディア教育研究部門概要 …… 59
柴山　悦哉 …… 60
情報システムの信頼性と安全性に関する研究
田中　哲朗 …… 66
ゲームプログラミングに関する研究
品川　高廣 …… 68

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 ……76
計算機科学関連カリキュラムの分析
岡田　和也 ……82
エッジコンピューティングに関する研究・ITインフラ技術者育成
学術情報研究部門 ……87
学術情報研究部門概要 ……89
中川　裕志 ……93
人工知能と社会
中村　覚 ……99
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 …… 105
ネットワーク研究部門概要 …… 107
工藤　知宏 …… 114
異種エンジン統合クラウドとポストムーアアーキテクチャの検討
中山　雅哉 …… 120
広域分散環境の高度基盤技術に関する研究
小川　剛史 …… 123
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 …… 132
積極的な守りを展開するサイバーセキュリティとソフトウェアインフラを活かすIT
アーキテクト人材に関する研究
中村　文隆 …… 142
顔認識を用いたIoT システムおよび、情報基礎教育用教科書の執筆
妙中　雄三 …… 144
異種IoT データの連携を促進するネットワーク技術の研究
中村　遼 …… 150
ソフトウェア基盤によるキャンパスネットワークの高度化に関する研究
Marc Bruyere …… 156
New Generation Internet
スーパーコンピューティング研究部門 …… 161
スーパーコンピューティング研究部門概要 …… 163
中島　研吾 …… 191
大規模並列シミュレーション手法に関する研究，教育
田浦 健次朗 …… 203
高生産・高性能並列プログラミング言語・データ処理フレームワークの研究
佐藤　周行 …… 214
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
Optimization Verifying Compiler,Privilidge Design in Federation Service,and
Trust Models in Security
塙　　敏博 …… 221
演算加速機構と通信機構との統合環境に関する研究

下川辺　隆史 …… 229
メモリサイズを超える計算および高精細計算を実現する高生産ステンシル計算フレームワークに関する研究
近藤　正章 …… 237
高性能・省電力計算システムに関する研究開発
星野　哲也 …… 243
階層型行列法のメニーコアプロセッサにおける最適化手法の研究
三木　洋平 …… 250
銀河の形成・進化史探求のためのコード開発および銀河考古学の進展
伊田　明弘 …… 259
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
河合　直聡 …… 268
多色順序付けアルゴリズムの階層的な並列化
有間　英志 …… 273
次世代HPCシステム
今野　　雅 …… 283
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 …… 291
五十嵐　亮 …… 293
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

PART4　教育・サービス活動報告 …… 295

情報メディア教育 …… 297
情報メディア教育支援サービス概要 …… 299
教育用計算機システム運用報告 …… 301
学内組織向けメールサーバ（MAILHOSTING）運用報告 …… 315
学内組織向けDNS ホスティング運用報告 …… 318
WEB PARK サービス運用報告 …… 319
遠隔講義支援サービス運用報告 …… 321
LMS 運用報告 …… 323
その他のサービス運用報告 …… 327
学術情報 …… 329
学術情報概要 …… 331
図書館関係システム運用・管理 …… 332
デジタルコンテンツサービス …… 334
学術情報リテラシー支援 …… 335
ネットワーク …… 349
ネットワーク概要 …… 351
東京大学情報ネットワークシステム（UTNET4）の運用管理 …… 354
セキュリティ対応 …… 365
東京大学情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）との連携 …… 367
学内ソフトウェアライセンス …… 370

ハウジングサービス …… 372
PKI …… 373
スーパーコンピューティング …… 375
スーパーコンピューティング概要 …… 377
スーパーコンピューティング業務 …… 380
講習会 …… 398
シンポジウム・研究会 …… 405
公募型研究プロジェクト …… 411
スーパーコンピュータの企業利用支援 …… 421
スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2017年） …… 424
その他イベント …… 427

PART5　その他 …… 431

委員会委員等 …… 433
講習会・セミナー …… 436
報道関係一覧 …… 440

巻 頭 言

東京大学情報基盤センター長 田浦 健次朗

2017 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、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の 4 研究部門と、それらを横断する学際情報科学研究体から構成される組織であり、研究・教育ならびにサービスの提供をミッションとしております。 2017 年度も教職員が一丸となってセンターのアクティビティの活性化が図られました。ここではセンター全体の大きな事柄について簡単に紹介させていただきます。

当センターは、全国 8 大学の情報基盤系共同利用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（略称:JHPCN）において中核拠点の役割を担っており、公募型の学際共同研究活動を推進・支援しております。8 大学が連携して活動するネットワーク型拠点であり、その価値は研究者間の交流による学術の発展、構成拠点間の交流による課題や将来ビジョンの共有、お互いの特徴を活かした役割分担などにあります。2016 年度からこの拠点活動は第 2 期に入りました。第 2 期の活動として、このネットワーク型拠点を構成する 8 センターにおいて独自に募集する共同研究を JHPCN の萌芽型共同研究とし、将来的に JHPCN の一般課題へ進展させることで、新規分野の開拓と萌芽的研究の発掘を目指す制度を開始しました。国際共同研究や企業共同研究も開始しました。このように連携・交流・研究者育成を旨とした、ネットワーク型拠点にふさわしいさまざまな取り組みを行い、さらに積極的に拠点活動を推進しております。2018 年度は応募課題の数も大幅に増え、本拠点の存在意義が全国の研究者に浸透していると感じます。制度設計や課題選定にあたっていただいた方々の努力の成果です。

2017 年度は、2016 年 12 月 1 日に全系稼働を開始した、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 が本格運用に入った年となりました。これは、当センターと筑波大学計算科学研究センターが共同で運営する最先端共同 HPC 基盤施設（JCAHPC: Joint Center for Advanced High Performance Computing）として導入したものです。2016 年 11 月に発表された TOP500 リストにおいて、「京」コンピュータを上回り国内最高性能システムとして登録され、世界ランキングでも第 6 位となりました。最新の 2017 年 11 月のリストでは世界 9 位、国内 2 位となりましたが、多数のユーザに公開利用されている計算機としては国内最高速です。また、疎行列ベンチマークである HPCG においては世界 6 位、同種のメニーコア CPU 搭載で、かつ Oakforest-PACS よりもノード数の多い Cori システムを上回る結果を残しました。さらに、2017 年 11 月に初めて公表された、ストレージ性能を計測するベンチマークに基づくランキング IO-500 においても世界 1 位となりました。これらの結果は、Oakforest-PACS が様々な種類のワークロードや IO に対しても堅牢な性能を示し、我が国のフラッグシップである京コンピュータの後を受け継ぐ計算機としてしっかりと役割を果たせること、およびポスト京コンピュータ稼働まで

の間、第 2 階層の計算機の中核として重要な役割を果たすであろうことを示しています。

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、年報編集委員長の中村覚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。

2018 年 5 月吉日

PART 1

概　況

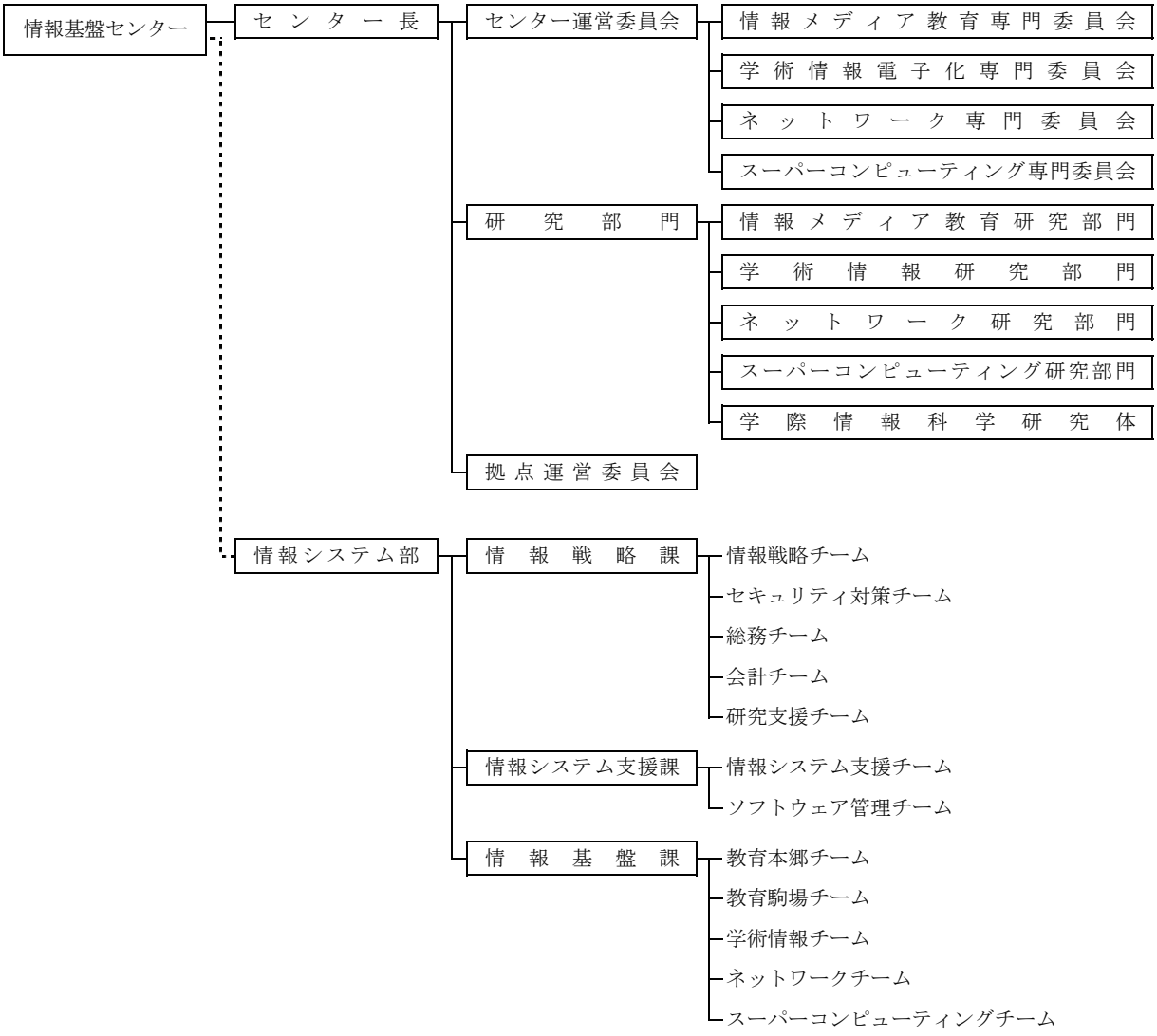
組　織

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　　H30.3.31

	専任	兼務	特任	合計
センター長		1		1
教授	4	1		5
准教授	8	1	1	10
講師			1	1
助教	8		2	10
研究員		3		3
事務補佐員	5		2	7
技術補佐員	3			3
合計	28	6	6	40

情報システム部　　H30.3.31

	専任	兼務	特任	合計
事務職員	31			31
技術職員	24		1	25
事務補佐員	7			7
技術補佐員	4			4
派遣職員	7			7
合計	73		1	74

教職員

平成 30 年 3 月 31 日現在

情報基盤センター長　　中　村　　宏
（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

学術情報研究部門

教　授	中　川　裕　志
助　教	中　村　　覚
事務補佐員	吉　冨　美　樹

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	小　川　剛　史
准教授	関　谷　勇　司
助　教	中　村　文　隆
助　教	妙　中　雄　三
助　教	中　村　　遼
事務補佐員	川　崎　しのぶ
技術補佐員	徳　山　美香子
技術補佐員	須　賀　灯　希
技術補佐員	小　谷　　岳
客員研究員	宮　本　大　輔
特別研究員	Marc Bruyere

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）	田　浦　健次朗
准教授	佐　藤　周　行
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
特任准教授	伊　田　明　弘
特任助教	河　合　直　聡
特任助教	有　間　英　志
客員研究員	今　野　　雅
事務補佐員	伊　東　雅　美

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）	妙　中　雄　三
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
特任講師	五十嵐　　亮
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	津　田　弥　恵

情報システム部

部　長	水　上　順　一

情報戦略課

課　長	茅　根　　修
副課長	松　本　康　男

情報戦略チーム

係　長	柳　川　圭　介
一般職員	末　永　幸　加
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

専門職員	落　合　弘　樹
係　長	長谷川　　聖
事務補佐員	杉　山　洋　子

総務チーム

専門職員（兼務）	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
主　任	木　崎　信　一
一般職員	本　間　千　景
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	金　子　伸　一
一般職員	杉　田　七　海
事務補佐員	猪　股　由理子
派遣職員	吉　田　浩　子

係　長	中　山　仁　史

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

係　長	並　木　登美幸
係　長	阿　部　仁　志
係　長	今　田　哲　也
主　任	廣　本　和　哉
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
係　長	岩　崎　直　樹
技術補佐員	谷　口　恵　子
派遣職員	加　藤　愛　実
派遣職員	高　谷　智　子
派遣職員	中　村　友　美

教育駒場チーム

副課長	松　岡　喜美代
専門員	有　賀　　浩
係　長	友　西　　大
技術職員	明　比　英　高
一般職員	香　田　健　二
技術補佐員	加　藤　康　一
派遣職員	五　味　由美子
派遣職員	池　谷　佳　恵

学術情報チーム

専門員	村　上　晋　司
係　長	小　松　陽　一
係　長	須賀井　理　香
係　長	前　田　　朗
主　任	清　水　郁　子
主　任	大　谷　智　哉
一般職員	石　田　　唯
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	岩　藤　健　弘
技術職員	駒　井　優　哉
技術職員	中　山　昭　男
技術補佐員	井　上　　滋
技術補佐員	及　川　　彩

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	坂　井　朱　美
主　任	安　部　達　巳
主　任	松　本　浩　一
技術職員	中　張　遼太郎
特任専門職員	中　　誠一郎
技術補佐員	中　村　典　子
派遣職員	田　場　章　江

平成２９年度中の人事異動

情報基盤センター

（転入・昇任・配置換等）

29. 4. 1	下川辺　隆　史	スーパーコンピューティング研究部門准教授・学際情報科学研究体准教授（兼務）／新規採用
29. 4. 1	中　村　　覚	学術情報研究部門助教／新規採用
29. 6. 1	森　重　博　司	学際情報科学研究体特任専門職員／新規採用
29. 9. 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
29.10. 1	中　村　　遼	ネットワーク研究部門助教・学際情報科学研究体助教（兼務）／新規採用
29.10. 1	三　木　洋　平	スーパーコンピューティング研究部門助教・学際情報科学研究体助教（兼務）／新規採用
29.12. 1	徳　山　美香子	ネットワーク研究部門技術補佐員／新規採用
29.12. 1	須　賀　灯　希	ネットワーク研究部門技術補佐員／新規採用
29.12.16	小　谷　　岳	ネットワーク研究部門技術補佐員／新規採用

（転出・退職等）

29. 8.31	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／任期満了
30. 3.31	中　川　裕　志	学術情報研究部門教授／定年退職
30. 3.31	妙　中　雄　三	ネットワーク研究部門助教／奈良先端科学技術大学院大学准教授へ
30. 3.31	河　合　直　聡	スーパーコンピューティング研究部門特任助教／任期満了
30. 3.31	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／任期満了
30. 3.31	阿　曽　義　浩	学際情報科学研究体特任専門職員／任期満了
30. 3.31	吉　冨　美　樹	学術情報研究部門事務補佐員／任期満了

情報システム部

（転入・昇任・配置換等）

29. 4. 1	水　上　順　一	情報システム部長／カブリ数物連携研究機構事務長から
29. 4. 1	石　掛　五　男	情報システム支援課長／本部広報課副課長から
29. 4. 1	松　岡　喜美代	情報基盤課教育駒場チーム副課長／放送大学学園教育研究支援部情報推進課課長補佐から
29. 4. 1	古　田　智　嗣	情報戦略課研究支援チーム専門職員／医学部附属病院総務課教育研修チーム係長から
29. 4. 1	川　名　由希子	情報戦略課総務チーム係長／国立青少年教育振興機構管理部人事課給与係長から

29. 4. 1	岩　藤　健　弘	情報基盤課ネットワークチーム係長／放送大学学園教育研究支援部情報推進課情報基盤係係長から
29. 4. 1	大　谷　智　哉	情報基盤課学術情報チーム主任／附属図書館情報サービス課参考調査係一般職員から
29. 4. 1	本　間　千　景	情報戦略課会計チーム一般職員／新規採用
29. 4. 1	明　比　英　高	情報基盤課教育駒場チーム技術職員／新規採用
29. 4. 1	中　山　昭　男	情報基盤課ネットワークチーム技術職員／新規採用
29. 4. 1	石　野　和　世	情報戦略課総務チーム(センター長室)事務補佐員／新規採用
29. 4. 1	谷　口　恵　子	情報基盤課教育本郷チーム技術補佐員／新規採用
29. 4. 1	鈴　木　佐和子	情報基盤課学術情報チーム事務補佐員／新規採用
29. 4. 1	平　野　光　敏	情報基盤課長／情報システム支援課長から
29. 4. 1	落　合　弘　樹	情報戦略課セキュリティ対策チーム専門職員(兼務)情報戦略課総務チーム専門職員／情報戦略課総務チーム係長から
29. 4. 1	長谷川　　聖	情報戦略課セキュリティ対策チーム係長／情報戦略課情報戦略チーム係長から
29. 4. 1	岩　崎　直　樹	情報基盤課教育本郷チーム係長／情報戦略課総務チーム係長から
29. 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主任／情報基盤課教育駒場チーム主任から
29. 4. 1	末　永　幸　加	情報戦略課情報戦略チーム一般職員／情報戦略課総務チーム一般職員から
29. 4.16	杉　山　洋　子	情報戦略課セキュリティ対策チーム事務補佐員／新規採用
29. 7. 1	有　賀　　浩	情報基盤課教育駒場チーム専門員／日本学術振興会総務企画部企画情報課課長代理から
29. 7. 1	松　本　浩　一	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム主任／情報基盤課教育本郷チーム主任から
29. 9. 1	及　川　　彩	情報基盤課ネットワークチーム事務補佐員／新規採用
29.10. 1	中　張　遼太郎	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
29.11. 1	猪　股　由理子	情報戦略課研究支援チーム事務補佐員／新規採用

（転出・退職等）

29. 4. 1	稲　垣　博　明	情報システム部長／工学系・情報理工学系等事務部長へ
29. 4. 1	清　水　隆　志	情報戦略課総務チーム係長／環境安全衛生部安全衛生課衛生企画チーム係長へ
29. 4. 1	大　橋　正　浩	情報戦略課研究支援チーム係長／柏地区共通事務センター給与係専門職員へ
29. 4. 1	前　田　光　教	情報基盤課教育駒場チーム係長／国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課係長へ
29. 4. 1	下　田　哲　郎	情報基盤課ネットワークチーム係長／放送大学学園教育研究

		支援部情報推進課課長補佐へ
29. 4. 1	小　川　大　典	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長／放送大学学園教育研究支援部情報推進課情報基盤係長へ
29. 4. 1	納　　朋　子	情報戦略課会計チーム一般職員／財務部経理課出納チーム一般職員へ
29. 4. 1	楳　原　衣　恵	情報基盤課学術情報チーム一般職員／工学系・情報理工学系等情報図書課情報サービスチーム一般職員へ
29. 4.21	佐々木　友　博	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム事務補佐員／退職
29. 7. 1	石　崎　　勉	情報基盤課教育駒場チーム係長／日本学術振興会総務企画部企画情報課課長代理へ
29. 8.31	山　崎　友　理	情報基盤課ネットワークチーム技術補佐員／任期満了
29. 9.30	清　野　善　裕	スーパーコンピューティング研究部門学術支援職員／任期満了
29.11.30	長谷川　康　弘	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／退職
30. 2.28	竹　尾　朋　子	情報基盤課教育本郷チーム技術補佐員／任期満了
30. 3.20	西　川　恵　美	情報戦略課研究支援チーム事務補佐員／退職
30. 3.31	中　村　典　子	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム事務補佐員／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：平成２９年４月１日～平成３１年３月３１日

平成２９年４月１日

氏　　名	所　属　・　職　名	適　　用
中　村　　宏	情報基盤センター長	規則第3条第1号
中　川　裕　志	情報基盤センター・教授	規則第3条第2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
田浦　健次朗	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
久留島　典子	附属図書館長	規則第3条第4号

オブザーバー　千　葉　　滋　総長補佐（大学院情報理工学系研究科・教授）

予　算

収入・支出

平成 29 年度決算額

収入

区　　分	決算額（千円）
奨学寄附金収入	13,343
受託研究費等収入	469,341
自　己　収　入	452,190
計	934,874

支出

区　　分	決算額（千円）
人　　件　　費	637,888
物　　件　　費	5,502,684
計	6,140,572

外部資金

1)科学研究費助成事業(平成 29 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	7,800
学術情報研究部門	2	5,960
ネットワーク研究部門	5	9,712
スーパーコンピューティング研究部門	9	19,045
学際情報科学研究体	1	780
計	20	43,297

2)受託研究(平成 29 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	3	71,320
スーパーコンピューティング研究部門	3	25,860
計	6	97,180

3)共同研究(平成 29 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	4	17,970
スーパーコンピューティング研究部門	7	15,230
計	11	33,200

4)政府系委託費(平成 29 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	295,664
計	1	295,664

5)奨学寄附金(平成 29 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	1	5,500
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	1	7,843
計	2	13,343

補助金等

平成 29 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　品川　高廣
研究種目　　基盤研究(B)【補助金】
研究期間　　平成 28～32 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　　4,030,000 円（平成 29 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　　平成 29～31 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　　2,470,000 円（平成 29 年度）

研究代表者　　助教　岡田　和也
研究種目　　研究活動スタート支援【補助金】
研究期間　　平成 28～29 年度
研究課題　　ソフトウェアにより仮想化されたネットワークインフラの監視手法の確立
受入額　　1,300,000 円（平成 29 年度）

【学術情報研究部門】

研究代表者　　教授　中川　裕志
研究種目　　基盤研究（B)【補助金】
研究期間　　平成 27～29 年度
研究課題　　情報検索システムにおけるプライバシー保護に関する研究
受入額　　5,460,000 円（平成 29 年度）

研究分担者　　教授　中川　裕志
（研究代表者:東京大学　情報理工学系研究科　山口特任准教授）
研究種目　　挑戦的萌芽研究【基金】
研究期間　　平成 28～29 年度
研究課題　　現実の人の動きを元にした移動履歴解析とその解析に適したプライバシー保護手法（役割分担：モデルの検討機械学習の新たなアルゴリズム検討）
受入額　　500,000 円（平成 29 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　平成 28～30 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　6,500,000 円（平成 29 年度）

研究分担者　准教授　中山　雅哉
（研究代表者：東京大学・新領域創成科学研究科・齋藤教授）
研究種目　挑戦的萌芽研究【基金】
研究期間　平成 28～29 年度
研究課題　圧倒的原生林ライブ配信・アーカイブが持つ国際的エンターテイメント価値の実証（役割分担：有人ライブ配信の取りまとめと最終評価）
受入額　20,000 円（平成 29 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　平成 28～30 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　1,300,000 円（平成 29 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　平成 28～30 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　800,000 円（平成 29 年度）

研究分担者　助教　妙中　雄三
(研究代表者:福岡大学　工学部　大橋教授)
研究種目　基盤研究(B)【補助金】
研究期間　平成 29 年度
研究課題　先進的無線・有線ハーモナイズド SDN の研究開発
(役割分担:サービスドリブン SDN)
受入額　1,092,000 円(平成 29 年度)

【スーパーコンピューティング研究部門】

研究代表者　准教授　佐藤　周行
研究種目　基盤研究（B)【補助金】
研究期間　平成 27～29 年度
研究課題　個人のコンテキスト情報に基づく適応的サービス再構成アーキテクチャの研究
受入額　4,550,000 円（平成 29 年度）

研究代表者　准教授　塙　敏博
研究種目　基盤研究（C)【基金】
研究期間　平成 27～30 年度
研究課題　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
受入額　1,040,000 円（平成 29 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　平成 29～31 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　1,690,000 円(平成 29 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　学術国際情報センター　青木教授）
研究種目　基盤研究（S)【補助金】
研究期間　平成 29～30 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（平成 29 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　理学院　谷津助教）
研究種目　挑戦的萌芽研究【基金】
研究期間　平成 29～30 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　65,000 円（平成 29 年度）

研究代表者　助教　星野　哲也
研究種目　研究活動スタート支援【補助金】
研究期間　平成 28～29 年度
研究課題　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
受入額　1,430,000 円（平成 29 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　平成 29～31 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　6,370,000 円(平成 29 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　平成 29～31 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　2,210,000 円（平成 29 年度）

研究代表者　特任助教　有間　英志
研究種目　研究活動スタート支援【補助金】
研究期間　平成 28～29 年度
研究課題　高電力高率なビッグデータ処理のためのメモリシステム最適化
受入額　1,430,000 円（平成 29 年度）

【学術情報科学研究体】
研究代表者　特任講師　五十嵐　亮
研究種目　若手研究(B)【基金】
研究期間　平成 26～30 年度
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
受入額　780,000 円(平成 29 年度)

平成 29 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　　平成 28～30 年度
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（平成 29 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　　平成 29～30 年度
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　　16,864,900 円（平成 29 年度）

研究代表者　　助教　妙中　雄三
相手機関名　　総務省
研究期間　　平成 29 年度
研究課題　　近接空間内 IoT データのスクラム連携を実現する通信技術の研究開発
受入額　　455,000 円(平成 29 年度)

【スーパーコンピューティング研究部門】

研究分担者　　センター長　中村　宏
(研究代表者：東京大学　医学系研究科　宮園教授)
相手機関名　　(国研)日本医療研究開発機構
研究期間　　平成 28～30 年度
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(平成 29 年度)

研究代表者　　教授　中島　研吾
相手機関名　　（国研）科学技術振興機構
研究期間　　平成 24～29 年度
研究課題　　自動チューニング機構を有するポストペタスケールアプリケーション開発・実行環境のための基盤ソフトウェア
受入額　　20,692,100 円（平成 29 年度）

研究代表者　　准教授　佐藤　周行
相手機関名　　（株）ABEJA（(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構再委託）
研究期間　　平成 28～29 年度
研究課題　　IoT 化社会に向けた雑多なデータを包括的に管理可能なデータシステムの研究開発
受入額　　5,168,000 円（平成 29 年度）

平成 29 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　　平成 28～29 年度
研究課題　　ダイナミック光パスネットワークの応用と実運用に関する共同研究
受入額　　0 円（平成 29 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　　平成 28～30 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（平成 29 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　　平成 29 年度
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　　15,000,000 円（平成 29 年度）

研究代表者　　准教授　関谷　勇司
相手機関名　　日本電信電話株式会社
研究期間　　平成 29 年度
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

【スーパーコンピューティング研究部門】

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　（国研）理化学研究所
研究期間　平成 26～31 年度
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　12,650,000 円（平成 29 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　平成 27～30 年度
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（平成 29 年度）

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　(一社)日本自動車工業会
研究期間　平成 29 年度
研究課題　非線形 CAE ソフトウェアのメニィコアクラスタにおけるフィージビリティスタディ
受入額　0 円(平成 29 年度)

研究代表者　准教授　塙　敏博
相手機関名　日本電信電話(株)
研究期間　平成 29 年度
研究課題　汎用 CPU 及びアクセレレータを用いた光通信処理技術に関する研究
受入額　0 円（平成 29 年度）

研究代表者　助教　星野　哲也
相手機関名　（株）IHI
研究期間　平成 29 年度
研究課題　圧縮性流体解析プログラムの高速化に関する研究
受入額　1,080,000 円（平成 29 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　平成 29 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　　平成 29～30 年度
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（平成 29 年度）

平成 29 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　中村　宏
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　　平成 29～33 年度
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　　295,664,253 円（平成 29 年度）

平成 29 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　　平成 29～30 年度
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　　5,500,000 円（平成 29 年度）

【スーパーコンピューティング研究部門】
研究代表者　　教授　中島　研吾
相手機関名　　インテル（米国）
研究期間　　平成 29 年度～
研究課題　　ポスト T2K 上での ppOpen-HPC による大気海洋連成シミュレーション
受入額　　7,843,374 円（平成 29 年度）

PART 2

センター活動報告

学際情報科学研究体

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のは、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教員 14 名の計 15 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; スーパーコンピューティング研究部門)
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
妙中雄三	助教 (兼務; ネットワーク研究部門)
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)

この PART では、学際情報科学研究体として今年度行なった以下の活動について報告する。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: 情報基盤センターは、8 大学 (東京大学の他に、北海道大学、東北大学、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センターから構成されるネットワーク型の共同利用・共同研究拠点の中核機関として活動している。今年度は、8 大学全体で公募型共同研究課題を計 107 件（国際共同研究課題 3 件、

企業共同研究課題 1 件、一般共同研究課題 42 件、萌芽型共同研究課題 61 件）採択し、共同研究を実施した。なお、107 件のうち 25 件は、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) と連携して採択された課題である。

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): 「京」コンピュータを中心に大学のスーパーコンピュータや大容量共用ストレージなどを連携させた最先端科学研究のための基盤である HPCI に、情報基盤センターでは、スーパーコンピュータや共用ストレージなどの資源を提供している。

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点

五十嵐　亮　　研究支援チーム

1　共同利用・共同研究拠点“ Joint Usage / Research Center ”

本章では、まず、文部科学省が説明している「共同利用・共同研究拠点の概要」を引用し、拠点制度の実施背景について説明する。次いで、拠点制度の性質と形態について説明し、平成 29 年度における認定状況について説明する。

『我が国の学術研究の発展には、個々の大学の枠を越えて大型の研究設備や大量の資料・データ等を全国の研究者が共同で利用したり、共同研究を行う「共同利用・共同研究」のシステムが大きく貢献してきました。共同利用・共同研究は、従来、国立大学の全国共同利用型の附置研究所等を中心に推進されてきましたが、我が国全体の学術研究の更なる発展のためには、国公私立大学を問わず大学の研究ポテンシャルを活用し、研究者が共同で研究を行う体制を整備することが重要です。このため、文部科学省では、科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会の報告を踏まえ、平成 20 年 7 月に、学校教育法施行規則を改正し、国公私立大学を通じたシステムとして、新たに文部科学大臣による共同利用・共同研究拠点の認定制度を設けました。本制度の実施により、広範な研究分野にわたり、共同利用・共同研究拠点が形成されるなど、我が国の学術研究の基盤強化と新たな学術研究の展開が期待されます。』

従来の国立大学の全国共同利用型附置研究所等は一分野につき一拠点とすることが原則であったが、今後国公私立大学を通じた共同利用・共同研究拠点では、研究分野によっては、一定の役割分担の下で複数の拠点を設けて相互に連携を図るなど、当該研究分野の特性や研究者コミュニティの議論を踏まえた柔軟な形態による最適な拠点構成の方向性が謳われている。このような拠点のタイプとしては、単一機関内に設置される「単独型」と、複数の拠点により構成される「ネットワーク型」とがある。後者は、「特定の国公私立大学の研究所等が中心となって、他の研究組織とネットワークを形成する形態」の拠点である。

平成 29 年 4 月 1 日現在、共同利用・共同研究拠点として 53 大学 105 拠点が認定されており、そのうち単独型拠点 100(51 大学 98 研究機関)、ネットワーク型拠点 5（13 大学 21 研究機関）である。

2　学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（情報基盤拠点）について

本拠点の正式名称は「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」であり、略称として「情報基盤拠点」が用いられる。英語表記の正式タイトルは、“Joint Usage / Research Center for Interdisciplinary Large-Scale Information Infrastructures”である。また、本拠点正式発足に向けては、当事業の特長を示す研究分野の英語名から“JHPCN：Japan High Performance Computing and Networking plus Large-scale Data Analyzing and Information Systems”というキーワードも用意した。

2.1　本拠点の目的

本拠点は、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、九州大学にそれぞれ附属するスーパーコンピュータを持つ 8 つの共同利用施設から構成され、東京大学情報基盤センターがその中核機関として機能する「ネットワーク型」の共同利用・共同研究拠点である。

我が国の学術情報基盤全体の構築と次世代スーパーコンピュータとの連携という観点から、従来の大型計算機センターから発展してきた 7 つのスーパーコンピュータセンターと東京工業大学のそれが、緊密なネットワークを形成して共同利用・共同研究の拠点を構築することは、国家的観点から大変に意義深い。

本ネットワーク型拠点の目的は、超大規模計算機と大容量のストレージおよびネットワークなどの情報基盤を用いて、地球環境、エネルギー、物質材料、ゲノム情報、Web データ、学術情報、センサーネットワークからの時系列データ、映像データ、プログラム解析、その他情報処理一般の分野における、これまでに解決や解明が極めて困難とされてきた、いわゆるグランドチャレンジ的な問題について、学際的な共同利用・共同研究を実施することにより、我が国の学術・研究基盤の更なる高度化と恒常的な発展に資することにある。

2.2 拠点の全体計画の概要

本ネットワーク型拠点が共通的に対象とする研究分野は、地球環境、エネルギー、物質材料などの超大規模数値計算系応用分野、ゲノム情報や学術情報コンテンツに対する高度なアクセスや検索などの超大規模データ処理系応用分野、超大規模データを共有するため等の超大容量ネットワーク技術分野、および、これらの技術分野を統合した大規模情報システム関連研究分野を想定する。共同利用・共同研究拠点の重要事項は、8 大学内外の教員・研究者から構成され、中核機関に置かれる運営委員会において審議される。本拠点が実施する共同研究の公募課題の設定や実施課題の採択等の重要事項は、運営委員会が審議する（公募課題の審議自体は課題審査委員会が実施し、拠点運営委員会が採択課題の承認を行う）。

2.3 拠点の目指す役割

本ネットワーク型拠点は、我が国の学際大規模情報基盤の共同利用・共同研究の拠点として、地球環境、エネルギー、物質材料、ゲノム情報、学術情報、プログラム解析等の分野を中心に、グランドチャレンジ的な問題に取り組む研究を、計算科学・工学および計算機科学に基づき、学際的に遂行・支援する中心的な役割を果たす。さらに、「京」コンピュータを中心とする HPCI に対して、本拠点は戦略性をもつ支援体制や共同研究体制を整備する役割を担う。また、超大規模データ処理系応用分野においては、スーパーコンピュータを利用した学際共同研究を推進するという大きな役割を果たす。

2.4 拠点形成の必要性

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、大規模情報システム関連研究分野における技術や知見は、科学技術の飛躍的発展に不可欠であり、我が国の持続的繁栄を支える基盤となる。8 大学の施設から構成されるネットワーク型の拠点では、大規模計算資源を集中的に連携させ、かつ運営委員会を通して、これらの分野の共同利用・共同研究を戦略的に遂行していく。

また、ネットワーク型拠点が可能にする緊密な連携とシナジー効果により、それぞれの施設が実施可能な特徴的な研究課題が他の多くの施設にも共有されるだけでなく、他の施設が持つ研究ポテンシャルを援用することによって問題解決が容易になり、一つの施設では解決不能と思われていた問題を解決・解明する。シナジー効果は研究能力の側面にとどまらず、ネットワークを構成する各大学センターのもつ設備を、ネットワーク内のルールに基づき、極めて柔軟性の高い形で集約・結合し、互いの共同利用・共同研究に資することが可能になるので、この点においても従来解決が困難とされていた諸問題への対処が可能になる。

このような拠点形成の必要性は、関係する研究者コミュニティからも明言されており、本拠点の申請に当たっては、以下の学会から推薦をいただいた。

日本計算工学会、 日本応用数理学会、 情報処理学会、 電子情報通信学会、

人工知能学会、　言語処理学会、 分子科学会

さらに、拠点形成の必要性の要望について、拠点全体および拠点を構成する各大学に対しては、上記学会のほか、以下の研究者コミュニティからも要望書が寄せられた。

統計関連学会連合、 計算機学術利用北海道地区協議会、 航空宇宙学会、
日本機械学会、 気象庁予報部数値予報課、
理化学研究所 情報基盤センター、 北陸先端大学 先端融合領域研究院、
産業技術総合研究所 計算科学部門、
情報・システム研究機構 国立情報学研究所 学術基盤推進部、
情報・システム研究機構 国立情報学研究所 リサーチグリッド研究開発センター、
宇宙航空研究開発機構 情報・計算工学センター、
名古屋大学情報連携基盤センター利用者懇談会、 Sakai Foundation（本部：米国）、
日本流体力学会、 財団法人 科学技術交流財団（愛知県）、 京都高度技術研究所、
愛媛大学 総合情報メディアセンター、 豊橋技術科学大学、
日本バーチャルリアリティー学会、大型計算機利用大阪地区（第6地区）協議会、
日本機械学会 計算力学部門、 西日本地区大学情報関連センター長会議、
財団法人九州先端科学技術研究所、 財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

ただし、上記は当拠点申請時のコミュニティであったが、当拠点採択後に起きた事業仕分けにより、次世代スーパーコンピュータ開発の位置付けの変更を余儀なくされ、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）や HPCI コンソーシアムが発足した。現状としては、上記のコミュニティのほとんどが HPCI システム構成機関や HPCI コンソーシアム会員となっており、当拠点の活動内容からも、現在の主な研究者コミュニティとはこれら HPCI 系のコミュニティであると捉えている。また、HPCI 系ではない機関であっても、当拠点運営委員、課題審査委員、各構成拠点（構成機関）の教員が中心的役割を担っている、または、実際に共同研究を実施してきている研究機関やコミュニティである。

2.5　全国的な学術研究の発展への寄与

本拠点（8 大学）のもつ施設は、国内では希少の巨大な計算基盤であり、これが上記の研究分野の大半の研究者によって共同利用・共同研究として利用されることになる。このため、本ネットワーク型拠点の共同利用・共同研究による成果は、わが国における上述グランドチャレンジ的研究の成果全体のなかで非常に大きな部分を占めることになり、国内のみならず海外からも注目されることが期待できる。また本拠点では、このような研究分野を中心にしながら、ネットワークを構成する各センターがもつ特徴を生かすことにより、研究分野に広がりを持たせ、さらにスーパーコンピュータの資源や研究者を量的に集積・確保することにより、質・量双方の観点から当該コミュニティの中心的存在となり、総じて本ネットワーク型拠点が全国的な学術研究の発展へ大きく貢献できると考えている。

3　平成 29 年度公募型共同研究の活動内容

平成 29 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。なお、平成 25 年度から本拠点の計算機利用において HPCI と連携し、原則、共同研究課題実施グループに対する施設利用負担金は徴収しない（全課題で負担金免除となる）こととしている。また、平成 28 年度から、新たに国際共同研究課題、企業共同研究課題を募集し、海外や企業所属の研究者との共同研究を推進しているほか、将来的な JHPCN 一般・国際・企業共同研究課題への進展を期待し、本ネットワーク型拠点を構成するセンターからの推薦に基づき、萌芽型共同研究課題の募集を開始した。平成 29 年度からは、国立情報学研究所の協力により、SINET5 が提供する広帯域ネットワーク(L2VPN サービスなどを含む)の利用を前提とした大規模データ・大規模ネットワークを利用する研究も実施できるようにした。

3.1 主なスケジュール

平成 28 年 11 月 15 日　平成 29 年度拠点共同研究の募集要項を公開
平成 28 年 12 月 15 日　課題応募受付開始
平成 29 年 1 月 10 日　課題応募受付締切
平成 29 年 3 月 14 日　採否通知
平成 29 年 4 月 1 日　共同研究開始
平成 29 年 7 月 13、14 日　第 9 回シンポジウム
平成 30 年 3 月 31 日　共同研究終了
平成 30 年 5 月 14 日　成果報告書提出

また、萌芽型共同研究課題については、構成機関毎に募集し、随時課題審査委員会での審査を行った。

3.2 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 52 件であった。課題審査委員による審査を経て、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 42 課題の合計 46 課題（81 共同研究拠点）が採択された。また萌芽型共同研究課題は 61 件が採択された。

研究課題名の冒頭に* が付いた課題は HPCI-JHPCN システム利用課題を表す。
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
*Development of next-generation quantum material research platform	星健夫（鳥取大学）	数	東大
*Development of Time-Reversal Method for Detecting Multiple Moving Targets Behind the Wall	南里豪志（九州大学）	数	九大
*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

企業共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者（所属）	研究分野	共同研究拠点
ポストペタスケールシステムを目指したニ酸化炭素地中貯留シミュレーション技術の研究開発	山本肇（大成建設株式会社）	数	東大

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
*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
*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
*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

*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
*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
*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
*熱流動解析のための格子ボルツマン法による超大規模高速 GPU コードの開発と複雑固相界面乱流熱伝達の大規模数値解析	須賀一彦 （大阪府立大学）	数	東工大
*固体粒子-流体の大規模連成およびマルチスケール解析手法の防災・減災への応用	浅井光輝 （九州大学）	数	京大
*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
*分子動力学法とフェーズフィールド法の融合による粒成長の高精度解析法の構築	高木知弘 （京都工芸繊維大学）	数	東工大
*分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS の大規模メニーコア・ワイド SIMD クラスター対応並列化に関する研究	安藤嘉倫 （名古屋大学）	数	東大、名大
*格子ボルツマン法によるリアルタイム物質拡散シミュレーション手法の開発	小野寺直幸 （日本原子力研究開発機構）	数	東工大
*航空エンジンの翼列周り流れ解析のメニーコアシステム向け最適化	星野哲也 （東京大学）	数	東大
*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
*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
*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
*反応・相変化を伴う多分散系混相流の大規模シミュレーション	松尾亜紀子 （慶應義塾大学）	数	東北大
*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
*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	下川辺隆史 （東京大学）	数	東大、東工大
*可視化用粒子データを用いた遠隔地からの対話的 In-Situ 可視化	河村拓馬 （日本原子力研究開発機構）	ネ	東大、東工大、名大
*粒子法の高精度化と大規模流体シミュレータへの応用	井元佑介 （東北大学）	数	東大、名大、京大
*GW space-time コードの大規模な有機-金属界面への適用のための高効率化	柳澤将 （琉球大学）	数	東北大
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
Optimisation of Fusion Plasma Turbulence Code toward Post-Petascale Era II	前山伸也 （名古屋大学）	数	東工大、名大
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	北大、九大
海溝型巨大地震を対象とした大規模並列地震波・津波伝播シミュレーション	竹中博士 （岡山大学）	数	東大、東工大

グリーンランド氷床モデルを用いた 3 次元理論地震波形計算	豊國源知 （東北大学）	数	東北大、東大
メニーコア型大型計算機での海洋シミュレーション（環オホーツク圏の海洋シミュレーション）	中村知裕 （北海道大学）	数	北大、東大
Development of Cartesian-mesh CFD for Moving Boundary Problems in Aerospace Applications	佐々木大輔 （金沢工業大学）	数	東北大、名大
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
高精度即時予測のための GPU による大規模津波数値解析	青井真 （防災科学技術研究所）	数	東工大
耐災害性・耐障害性の自己検証機能を具備した広域分散プラットフォームの国際的展開と HPCI-JHPCN システム資源との柔軟な連携	柏崎礼生 （大阪大学）	情	北大、東北大、京大、阪大、九大
高レイノルズ数乱流現象解明のための計算・実験科学研究ネットワーク形成	山本義暢 （山梨大学）	数デ	東北大、名大、九大
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
大規模シミュレーションによるマイクロデバイスを利用した輸送機器 設計革新技術の産業利用拡大	浅田健吾 （東京理科大学）	数	東北大
高速 CFD コードを用いた次世代空力応用研究プラットフォーム構築に向けた実証研究	松尾裕一 （宇宙航空研究開発機構）	数	北大
Theory and Practice of Vector Processing for Data and Memory Centric Applications	小林広明 （東北大学）	情	東北大
スケジューラと連動した広域データステージングに関する 検証・評価	阿部洋丈 （筑波大学）	ネ情	東大、阪大
導電性高分子材料の電子状態計算に現れる連立一次方程式に対する並列直接解法の高性能化	深谷猛 （北海道大学）	数	北大、東大、京大
Construction of Universal Visualization as a Service (VaaS) on PRAGMA-ENT	渡場康弘 （奈良先端科学技術大学院大学）	情	阪大
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
Proactive and Reactive Cyber Security	関谷勇司 （東京大学）	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
スーパーコンピュータとクラウドシステムの連携による高性能計算環境の構築	後藤佑介 （岡山大学）	北大
大規模計算資源を活用した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度化	伊藤桂一 （秋田工業高等専門学校）	北大
3 次元大規模伝搬シミュレーションによる第 5 世代移動通信における構造物の影響の解明	松永真由美 （東京工科大学）	北大
有限体積法による汎用 CFD における流体構造連成解析ソルバーの計算効率の検証	柴田良一 （岐阜工業高等専門学校）	北大

プラズモニック構造付シリコン光検出器の HPC 援用設計に関する研究	佐藤弘明 （静岡大学）	北大
サービスチェイニングにおける動的なリソース配置手法	馬場健一 （工学院大学）	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
スーパーコンピュータ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
境界埋め込み法を用いた大規模流体解析手法の研究	佐々木大輔 （金沢工業大学）	東北大
Computational materials science and theory	Bhattacharyya Swastibrata （横浜国立大学）	東大
拡張アンサンブル法を用いたタンパク質の構造変化と変異が及ぼす影響の解析	大滝大樹 （長崎大学）	東大
brucite の(001)面における摩擦特性の決定	奥田花也 （東京大学）	東大
大規模並列環境における少精度型を用いたディープラーニングの学習精度の検証	大山洋介 （東京工業大学）	東大
OpenFOAM を用いた乱流スカラー輸送の大規模数値計算	恒吉達矢 （名古屋大学）	東大
ハイブリッドクラスタシステムにおける通信削減 QR 分解実装	高柳雅俊 （山梨大学）	東大
タンパク質-リガンド複合体への共溶媒効果の系統的解析	山守優 （大阪大学）	東大
超大規模な線形数値計算に対する精度保証付き数値計算法の開発と評価	寺尾剛史 （芝浦工業大学）	東大
カスケード型超並列シミュレーションに立脚した遷移経路探索法の開発	原田隆平 （筑波大学）	東大
第一原理計算に基づく大規模自己組織化ナノ構造における熱電特性の計算	新屋ひかり （大阪大学）	東大
磁気回転不安定性によるブラックホール降着流の角運動量輸送機構の解明	町田真美 （九州大学）	東大
将来の大規模メニーコアプロセッサ環境に向けたビッグデータ基盤処理の性能評価	佐藤仁 （産業技術総合研究所）	東大
酵素反応機構の理解に向けた効率的にタンパク質の揺らぎを取り込む計算手法の開発	山田健太 （理化学研究所）	東大
問題分割と対称性検知を用いた、高速なプランニングアルゴリズムの開発	浅井政太郎 （東京大学）	東大
第一原理電子状態計算による DNA のエネルギーバンドの塩基配列依存性と超電導	関川卓也 （新潟大学）	東大

二温度磁気流計算によるジェットの構造解析	大村匠 （九州大学）	東大
エンジンノッキング現象における末端ガス圧力波発生メカニズムの解明：大規模詳細化学反応機構を用いた多次元流体解析	佐藤伴音 （北海道大学）	東大
PPDF-S 法による GOSAT 観測スペクトルデータからの温室効果ガス濃度の導出	岩﨑千沙 （東京大学）	東大
ニューラルネットワークを用いた量子誤り訂正の復号器の開発	濵村一航 （京都大学）	東大
陽解法を用いた軸受の流体構造連成解析	深川宏樹 （九州大学）	東大
壁面流における持続乱流の発生過程	清水雅樹 （大阪大学）	東大
分子動力学シミュレーションによる多剤排出トランスポーターAcrB と基質間の反応機構の解明	篠田恵子 （東京大学）	東大
遷音速失速領域における航空エンジンファン翼列の Large Eddy Simulation	立石敦 （東京大学）	東大
全原子 MD を用いた高分子混合系の相溶性評価手法の開発	山田一雄 （大阪大学）	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定数の決定	末松環 （東京大学）	東大
1000 億自由度規模の電磁界解析を可能とするための，階層分割型数値計算フレームワーク ADVENTURE_Magnetic の高並列化・高速化研究	杉本振一郎 （諏訪東京理科大学）	東大
耐 CO アノード用錯体触媒の機構解明と設計に向けた第一原理計算	多田幸平 （産業技術総合研究所）	東大
密度汎関数法を用いた凝縮系の電荷分布とその溶媒和構造依存性の解明	石井良樹 （大阪大学）	東大
Taylor-Couette 流れと 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
南極大型大気レーダーPANSY で観測された大気重力波の数値モデル再現実験による力学特性の解明	佐藤薫 （東京大学）	東大
溶液中の水素イオンに対する分子動力学計算の開発と応用	渡邉宙志 （東京大学）	東工大
銀河ハロー中を漂う中間質量ブラックホール探査	三木洋平 （筑波大学）	東工大
カスケード型超並列シミュレーションに立脚した遷移経路探索法の開発	原田隆平 （筑波大学）	東工大
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

超音速乱流の大スケール動力学特性	渡邉智昭 （名古屋大学）	名大
大規模トポロジー最適化による革新的流路設計法の開発	矢地謙太郎 （大阪大学）	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
破壊力学に基づく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
教師あり機械学習に基づく超並列カスケード型シミュレーションの定式化とタンパク質構造変化予測への適用	原田隆平 （筑波大学）	京大
視聴覚モダリティ間デコーディングによる感覚間協応のメカニズムの解明	金谷翔子 （京都大学）	京大
随伴解析を用いた物体表面形状最適化による抵抗低減	高木洋平 （横浜国立大学）	京大
津波による底泥巻き上げ量の予測と海洋環境変化に関する数値解析	村山雅子 （富山高等専門学校）	京大
半無限領域のスペクトル法による竜巻を模した渦の数値実験に向けた研究開発	松嶋 俊樹 （理化学研究所）	京大
水素の室温大量貯蔵・輸送を実現する多孔性材料の分子ダイナミクスに基づく解明と先導的デザイン	金賢得 （京都大学）	阪大
厳密な Z3 対称性を持つ量子色力学による格子計算	開田丈寛 （九州大学）	阪大
大規模シミュレーションで見る宇宙初期から現在に至る星形成史の変遷	樋口公紀 （九州大学）	阪大
有限温度・有限密度 2 カラーQCD の相図と超流動性の解明	伊藤悦子 （大阪大学）	阪大
キロテスラ級磁場下における超高強度レーザープラズマ相互作用の物理	畑昌育 （大阪大学）	阪大
格子 QCD シミュレーションによる南部-ゴールドストン粒子の質量生成機構の研究	若山将征 （理化学研究所）	阪大
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）	阪大
日本の全世帯位置情報付き仮想個票データの統計データからの生成	原田拓弥 （関西大学大学院）	阪大
HPC 基盤における大量データ転送のためのデータ転送ツールの評価	深沢圭一郎 （京都大学）	九大

3.3 拠点シンポジウム

平成 29 年度は、シンポジウムを 1 回開催した。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た。また、発表資料や報告書は各回の Web ページに掲載している。

第9回シンポジウム
開催日時: 平成 29 年 7 月 13 日(木)、14 日(金)
開催場所: THE GRAND HALL(品川)
主な内容: 平成 28 年度採択課題の最終報告(口頭発表 39 件)
平成 29 年度採択国際・企業・一般課題の研究紹介(ポスター発表 46 件)
平成 28 年度採択萌芽型課題(一部)の成果報告(ポスター発表 4 件)
平成 29 年度採択萌芽型課題(一部)の研究紹介(ポスター発表 24 件)
参加者数: 239 名(大学 154 名、独法等研究機関 35 名、企業他 50 名)
案内 URL: https://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/sympo/9th/

4 拠点関連委員会の活動

拠点には拠点運営委員会と共同研究課題審査委員会があり、下記の活動が行われた。各々の委員会活動の実務は、構成拠点の教員から構成されるワーキンググループ(実務教員 WG または連絡教員 WG)によっても推進された。

拠点運営委員会では、情報基盤拠点の長の諮問に応じて、主に「当拠点の組織に関する事項」「共同利用・共同研究の実施方針及び実施計画に関する事項」「共同利用・共同研究の概算要求及び予算に関する事項」を審議する。公募課題の審議は課題審査委員会が実施し、拠点運営委員会が採択課題の承認を行う。

4.1 拠点運営委員会

第 23 回 平成 28 年 7 月 13 日(於:品川 THE GRAND HALL)
主な議題:
1. 運営委員会の体制について
2. 課題審査委員会の体制について
3. 平成 28 年度決算について
4. 平成 29 年度予算について
5. 平成 30 年度概算要求について
6. 募集要項・課題申込書の改訂について
7. 共同研究課題の助成について
8. 国際共同研究課題の旅費助成について
9. 萌芽型共同研究について
10. 共同研究者の追加等について
11. シンポジウム等の協賛について
12. 自己点検について

第 24 回 平成 29 年 11 月 10 日(於:大阪大学サイバーメディアセンター)
主な議題:
1. 平成 30 年度共同研究の公募について
2. 萌芽型共同研究について
3. 共同研究者の追加について
4. 共同研究課題の助成について

第 25 回 平成 30 年 2 月 2 日（於：東京大学情報基盤センター）
主な議題：
1. 平成 30 年度拠点内示額等について
2. 平成 30 年度公募型共同研究の採択について
3. 平成 29 年度実施課題の最終評価方法について
4. 拠点中間評価 WG の設置について
5. 共同研究者の追加等について
6. 共同研究課題の経費助成について
7. シンポジウムの協賛等について
8. 第 10 回拠点シンポジウムについて

4.2 共同研究課題審査委員会

第 18 回 平成 28 年 7 月 14 日（於：品川 THE GRAND HALL）
主な議題：
1. 課題審査委員会の体制について
2. 平成 28 年度実施課題の最終評価について
3. 募集要項・課題申込書の改訂について
4. 国際共同研究課題の経費助成について
5. 萌芽型共同研究について
6. 共同研究者の追加等について

第 19 回 平成 29 年 2 月 2 日（於：東京大学情報基盤センター）
主な議題：
1. 平成 30 年度公募型共同研究課題審査について
2. 平成 29 年度実施課題の最終評価方法について
3. 萌芽型共同研究について
4. 共同研究者の追加等について
5. 共同研究課題の経費助成について
6. 第 10 回拠点シンポジウムについて

その他にも、メールにて下記に関する審議も行った。
1) 平成 30 年度共同研究募集要項、課題申込書の改訂
2) 平成 30 年度共同研究 応募課題審査要領の改訂
3) 各種評価の報告書フォーマット改訂、中間報告書評価要領、シートの改訂
4) 共同研究課題の実施要領改訂（計算機リソース追加、共同研究者追加・削除等の事務的な実施要領）

5 拠点活動に関するその他の取り組み

5.1 経費助成

本拠点で採択した課題に対する支援の一環として、平成 24 年度より「経費助成」を実施している。

● 助成対象：

採択年度およびその翌年度に JHPCN の公募型共同研究による成果を発表するための、「査読付き国際会議での発表旅費」、「論文掲載料」、「研究集会（ワークショップ等）の会場利用料」が対象である。

● 助成金額:
原則として 1 件 50 万円を上限として助成。同一の研究課題に対する助成は、原則として各年度 1 回まで。

● 選考方法:
JHPCN の共同研究課題審査委員会にて審査。申込後 1 ヶ月を目処に審査結果を研究課題代表者に
通知する。

● 平成 29 年度助成実績
申込み件数:5 件、 採択件数:5 件（発表旅費4件、論文掲載料 1 件）

5.2 国際共同研究課題への旅費助成

本拠点で国際共同研究課題として採択した課題には、海外の研究者との研究者との打ち合わせに対して旅費の助成を実施している。

● 助成対象:
採択年度に JHPCN の国際共同研究に採択された課題に対し、海外の共同研究者との研究打ち合わせを実施するための旅費を助成する。

● 助成金額:
原則として 1 課題年間 50 万円を上限として助成。

● 選考方法:
JHPCN の共同研究課題審査委員会にて審査。申込後 1 ヶ月を目処に審査結果を研究課題代表者に
通知する。

● 平成 29 年度助成実績
申込み件数:2 件、 採択件数:2 件

5.3 情報発信の強化

平成 29 年度は、本拠点の活動内容と共同研究による成果の発信を目的とし、以下のシンポジウムを協賛・後援した。

● SINET アイディアソン
平成 29 年 6 月 10 日（土）（於:国立情報学研究所）
主催:国立情報学研究所

● 第 2 回データサイエンス支援サービスシンポジウム
平成 29 年 6 月 20 日（火）（於:大阪大学サイバーメディアセンター）
主催:名古屋大学情報基盤センター、大阪大学サイバーメディアセンター

● International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT) 2017
平成 29 年 8 月 29 日（火）～30 日（水）（於:名古屋大学情報基盤センター）
主催:名古屋大学情報基盤センター

● 2017 ポストペタスケールシステムソフトウェアに関する JST CREST 国際シンポジウム (ISP2S2-2017)
平成 29 年 12 月 10 日(月)～11 日(火)(於:秋葉原コンベンションホール)
主催:科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST 領域

● 東京大学計算科学アライアンス 第 2 回計算科学の研究と教育に関するシンポジウム (RECS2017)
平成 29 年 12 月 18 日(月)～19 日(火)(於:東京大学)
主催:東京大学計算科学アライアンス

● 16th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing
平成 30 年 3 月 7 日(水)～10 日(土)(於:早稲田大学)
主催:SIAM

● サイバーHPC シンポジウム
平成 30 年 3 月 16 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 27 回 Workshop on Sustained Simulation Performance(WSSP)
平成 30 年 3 月 22 日(木)～3 月 23 日(金)(於:東北大学青葉山キャンパス)
主催:東北大学サイバーサイエンスセンター、東北大学情報科学研究科、海洋研究開発機構、ドイツ・シュトゥットガルト大学高性能計算センター、NEC

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 2017 および SC17 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。

その他

高度ITインフラを扱う人材育成に向けた活動
　―IoTとAI時代を担う先進的アーキテクト人材の育成―

海外研究機関との研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）締結

高度ITインフラを扱う人材育成に向けた活動 — IoTとAI時代を担う先進的アーキテクト人材の育成 —

ネットワーク研究部門　　准教授　関谷 勇司

情報メディア教育研究部門　　助教　岡田 和也

1　背景と概要

IoT/AI 時代のネットワークは、あらゆる「モノ」がネットワークに接続されることにより多様なデータやダイナミックに変化するトラフィックを処理することが求められる。また、あらゆる「モノ」がネットワークに接続されることにより、ネットワークに対するユーザニーズも今後、大きく変化することが予想される。従来の「人」が使うネットワークとは異なる性質を持ったネットワークが求められ、そのトラフィック管理や品質管理も従来のシステム構築や管理とは異なったものとなる。具体的には、コネクティッドカーの通信に求められる遅延の極小化や、監視用ウェブカメラなどにおいて必要な場面だけの高解像度記録 (４Ｋ８Ｋ映像) とその特徴点処理など、多様なユースケースが考えられる。

このようなトラフィック処理やユーザニーズの変化に対応するためには、従来のハードウェア中心のネットワークから仮想化やソフトウェア技術を用いて、柔軟にインフラストラクチャを構成変更したり新たな機能を導入できるような基盤が必要となる。この動向に対応するためには、従来の「ネットワーク」や「コンピューティング」という区分に囚われた人材育成では、次世代のシステム構築に対応できるインフラエンジニアは育成できない。次世代のトップレベルインフラエンジニアには、存在する IT 技術を「部品」としてとらえ、要件を満たすためのシステムをどう構築するか、「アーキテクト」する能力が必要とされる。

そこで本活動では、次世代のシステム構築に求められる要素技術と理論を研究した成果を元に、実際の学生や教職員をターゲットとした人材育成プログラムの実践を行い、人材を育成することを目指す。また、人材育成プログラムによって得られた知見をカリキュラムにフィードバックすることで、次世代システム構築求められる要素技術を更新し続け、より現実的な人材育成プログラムの作成を目指した。

本年度は、試験的なプログラム施行として、情報基盤センター主催の「次世代 IT アーキテクト育成セミナー」を開催した。その概要と結果を報告する。

2　本年度の活動

2.1　開催概要

本年度の活動成果として、東京大学情報基盤センターにおいて学生ならびに東京大学の職員を対象とした、「次世代 IT アーキテクト育成セミナー」を開催した。セミナーは 2018 年 2 月 19 日から 2018 年 2 月 23 日までの 5 日間にて、集中的に行われた。情報基盤センター Web ページならびにポスターとして学内に掲載された開催概要を、図 1 に示す。

このセミナーにおいては、次の 4 点に関する要素技術と基礎理論を習得することを目指したカリキュラムが構成された。

東京大学　情報基盤センター主催

次世代ITアーキテクト育成セミナー参加者募集

-日程：2018/2/19～2/23-

情報基盤センターでは、次世代のITインフラを担うアーキテクトとエンジニアを育成するプログラムを開始しました。

第１弾として、主に本学の学生や職員を対象とした5日間の集中セミナーを開催します。セミナーは座学とハンズオン形式の演習を組み合わせて行われ、IT 技術への理解を深めることを目的としています。なお、修了生には一般社団法人　高度ITアーキテクト育成協議会が実施する技術者認定試験を受験できる資格が与えられます。

受講対象・条件

- 東京大学の学生、職員、もしくは一般の方
  (ただし学生を優先させて頂きます)
- セミナーの全日程を受講できること
- 日頃 PC を利用していること

募集定員

30名程度

参加費

無料

開催日程

2018年2月19日～2月23日

全日9:00 – 17:00（予定）

開催会場

東京大学　情報基盤センター 4F413

本件問い合わせ先

東京大学　情報基盤センター
情報メディア教育研究部門　担当：岡田
mail: okada@ecc.u-tokyo.ac.jp

講義概要

- ネットワーク/OSの基礎・演習
- クラウド/コンテナ技術の基礎・演習
- SDN・NFV技術の基礎・演習
- ネットワーク設計論・演習
- 監視・運用技術の基礎・演習

応募方法

下記のURL/QRコードを開き必要事項を埋めて応募してください

URL: https://goo.gl/eK9AJw

応募締切（延長しました）

~~**2018年2月4日（日曜）23:59 (JST)**~~
2018年2月13日（火曜）23:59 (JST)

主催

東京大学　情報基盤センター

開催協力

一般社団法人
高度ITアーキテクト育成協議会

図 1: 次世代 IT アーキテクト育成セミナーの案内

1. ネットワーキング技術
2. コンピュータアーキテクチャ・OS 技術
3. 仮想化・クラウド技術
4. システム構築と運用・オートメーション技術

これらの 4 分類に関して、理論と仕組みを学ぶ座学と実際の機材を用いた演習を行った。なお、これらカリキュラムの詳細に関してはネットワーク研究部門 関谷の活動報告において詳細を述べた。

2.2 開催結果

本セミナーは、結果として 40 名以上の学生ならびに職員に参加してもらい、無事セミナーを終了することができた。参加者の内訳を表 1 に示す。

表 1: 第 1 回セミナーの参加者内訳

学年・所属	人数
学部 1 年生	1 人
学部 2 年生	1 人
学部 3 年生	4 人
学部 4 年生	11 人
修士 1 年生	9 人
修士 2 年生	8 人
博士以上	1 人
教職員	6 人

学生は、東京大学の学生のみならず千葉大学や慶應義塾大学からも参加があった。開催当日の様子を図 2 に示す。

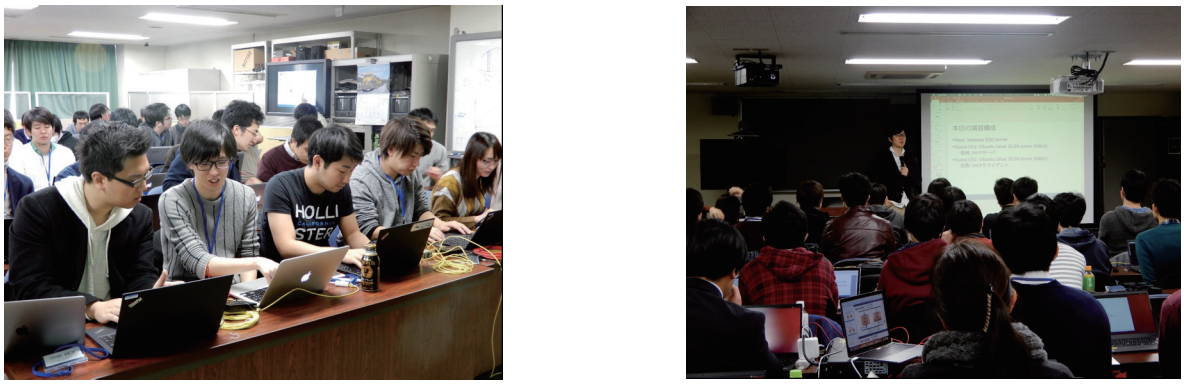


図 2: 第 1 回 次世代 IT アーキテクト育成セミナー 実施中の様子

また、セミナー参加者に、後日セミナーの満足度についてのアンケートに回答してもらった。5 日間のセミナー各日における参加者の満足度を図 3 に示す。満足度を 1(不満)〜5(満足) の 5 段階にて評価してもらった結果となる。

このように満足度の高い評価を得ているが、一部の講義内容に関しては簡単すぎるという意見や内容としての改善提案をもらっているため、今後のカリキュラムにフィードバックをかけ、より良い人材育成のためのカリキュラム策定を行う。

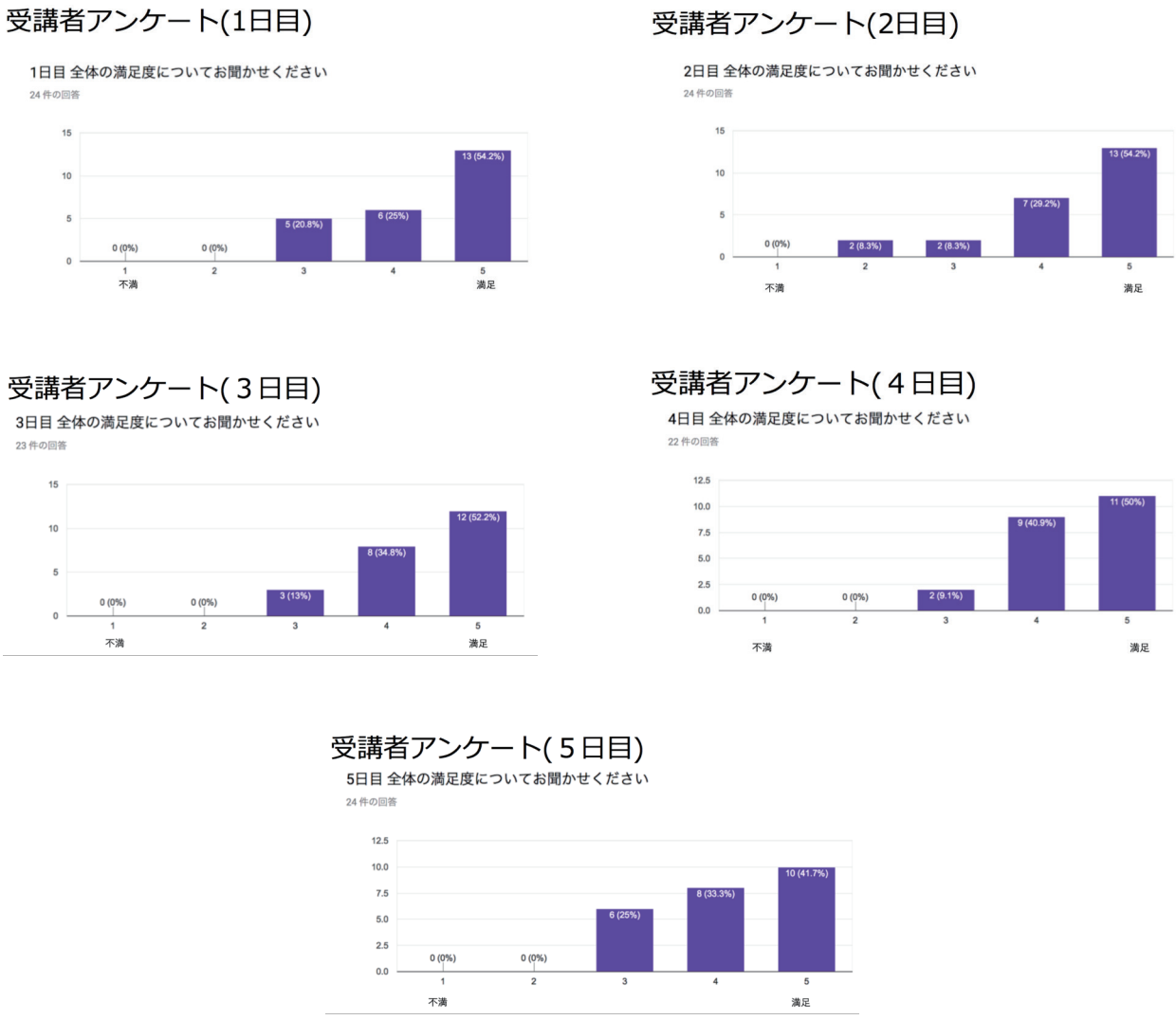


図 3: 第 1 回 次世代 IT アーキテクト育成セミナー アンケート結果

2.3 今後の予定

来年度も、学生を対象とした次世代 IT 人材育成セミナーを開催する予定である。学部 1 年生、2 年生にも積極的に呼びかけができるよう駒場キャンパスへの案内掲示とともに、全学的に本セミナーの知名度を上げることによって、年間 100 名以上の履修生の輩出したいと考える。本年度は少なくとも 2 回、集中セミナーとして本セミナーを開催する予定である。

また集中セミナーのみならず、学生にとっての正規の履修講義とするための方策を探り、東京大学における一つの講義として成立させることをめざす。本セミナーや講義の履修者には、授業の習熟度をチェックするための試験を受けてもらい、合格者を学内の様々な場所における IT 技術アシスタントとして雇用することも画策している。これにより、学内の IT インフラ運用における IT レベルやセキュリティレベルの底上げを目指し、研究者が自身の研究に利用したり専念したりできるような、より良い IT 環境を得られることを目指す。

海外研究機関との研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）締結

スーパーコンピューティング研究部門

1　背景

最先端の計算機システムは大規模化，アーキテクチャの複雑化により，その性能を引き出すことは一層困難となっている。当情報基盤センターでは自動チューニング（Automatic/Auto Tuning（AT））がこの問題を解決するための有効な方策と認識しており，様々な研究開発とともに自動チューニング機構を有する科学技術計算向け数値計算ライブラリである ppOpen-HPC の開発を実施してきた。2017 年度は下記 3 機関と新たに研究交流協定覚書（Memoradum of Understanding）を取り交わした：

- ヴッパータール大学数学・自然科学学域（Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Wuppertal，Bergische Universität Wuppertal (BUW)）（ドイツ）（2017 年 7 月）[1]
- ジョージア工科大学（Georgia Institute of Technology）（アメリカ合衆国）（2017 年 8 月）[2]
- 國家理論科學研究中心數學組（National Center for Theoretical Sciences (NCTS), Mathematics Division）（台湾）[3]

協定締結により，大規模数値アルゴリズム，自動チューニング等に関する緊密な共同研究を推進する。特にメニィコアシステムを使用した大規模計算向けの数値アルゴリズムの開発，自動チューニング手法，数値計算ライブラリの整備によって，HPC 及び計算科学・工学の発展に資するものと期待される。

2　ヴッパータール大学数学・自然科学学域（ドイツ）

ヴッパータール大学は 1972 年創立の公立（州立）大学であり，6 つの School（“Humanities & Cultural Studies”, “Business & Economics”, “Mathematics & Natural Sciences”, “Architecture, Civil Engineering Mechanical Engineering, Safety”, “Electrical Engineering, Information Technology, Media Technology”, “Design & Art”）から構成され，学生数約 21,500 名（学部：約 13,500 名，大学院：約 8,000 名），教員 950 名であり，100 以上のリサーチセンターを有している。自然科学，建築，デザイン分野では定評があり，ドイツ国内ではトップクラスである。

[1] https://www.math.uni-wuppertal.de/mathematik-informatik.html
[2] https://www.cc.gatech.edu/
[3] http://www.ncts.ntu.edu.tw/

科学技術計算においては特に疎な係数行列を対象とした疎行列ソルバーが重要であり，その大規模問題向けの手法である多重格子法（Multigrid Method），更に時間方向へ並列化した時空間並列アルゴリズム（Algorithms for Parallel in Space/Time）の分野においては国内トップクラスの研究を実施している。ppOpen-HPC は 2011 年度から 5 年間，科学技術振興機構（JST）CREST の一環として実施されてきたが，2016 年度からは JST と DFG（Deutsche Forschungsgemeinschaft）の支援を受けて，DFG の SPPEXA-II（German Priority Programme 1648, Software for Exascale Computing）の 1 つである ESSEX-II（Equipping Sparse Solvers for Exascale）に参加している。BUW の Matthias Bolten 教授は同じく ExaStencils というプロジェクトに参加しており，我々が現在積極的に取り組んでいる，多重格子法，時空間並列アルゴリズムの専門家である。2016 年 9 月に ExaStencils の共同研究のために来日した際に情報交換を開始し，特にメニィコア向けの大規模アルゴリズムについて緊密な共同研究を推進するため，研究交流協定を締結することで合意に至った。また同じく Bruno Lang 教授は並列固有値解析の専門家であり，ESSEX-II プロジェクトのメンバーでもある。2016 年から共同研究を継続して実施している。

3　ジョージア工科大学（アメリカ合衆国）

ジョージア工科大学は 1885 年の公立（州立大学）であり，6 つの College（Business, Computing, Design, Engineering, Science, Liberal Arts），31 学部，学生数約 27,000 名（学部：約 15,500 名，大学院：約 11,500 名），教員 1,140 名であり，100 以上のリサーチセンターを有している。

工学分野では世界トップクラスの大学であり，世界 7 位，全米 3 位，州立大学（学部）としてはトップにランクされている。マサチューセッツ工科大学（MIT），カリフォルニア工科大学（Caltech）とともにアメリカの 3 大工科大学の一つである。

ジョージア工科大学の Edmond Chow 教授らのグループは並列数値アルゴリズムの分野において世界的にも著名な研究者であり，最近は大規模システム向けの非同期数値アルゴリズムの研究を実施している。同じく Richard Vuduc 教授は性能評価モデル，自動チューニング分野における第一人者である。Chow 教授，Vuduc 教授とは個人レベルで 15 年以上の交流があり，当該分野に関する価値観を共有し，個別の分野では，研究協力，情報交換，招待講演を実施してきた。大規模数値アルゴリズム，自動チューニング，並列プログラミングモデル等に関するより緊密な共同研究を推進するため，研究交流協定を締結することで合意に至った。

4　國家理論科學研究中心數學組（台湾）

國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences (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。数学部門の本部は 2015 年から国立台湾大学（台北）に置かれている。台湾各地の大学・公的研究機関の研究者が兼担として所属しており，2017 年 12 月現在で，66 名の Scientific Members，10 名の Center Scientists が居る。この他，専任の研究者として 8 名の Research

Assistants，15 名のポスドク研究員が所属している。A. numbertheory and representation theory, B. algebraic geometry, C. differential geometry and geometric analysis, D. differential equations and stochastic analysis, E. scientific computing, F. interdisciplineary research, G. big and complex data analysis, H. armonic analysis の 8 つの重点分野がある。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。

NCTS の中心メンバーである王偉仲教授（国立台湾大学）のグループは並列数値アルゴリズムの分野において世界的にも著名であり，最近は医用画像処理などの新しい分野に大規模システム向けの非同期数値アルゴリズムの研究を実施している。王教授とは個人レベルで 10 年以上の交流があり，また 2014 年からは国立台湾大学との研究協力を通じて，当該分野に関する価値観を共有し，個別の分野では，研究協力，情報交換，国際会議共催を実施してきた。台湾は当該分野における研究開発が盛んであり，優れた研究者も多数活発に活動している。今回は，NCTS という横断的研究組織に所属する，より多くの研究者と大規模数値アルゴリズム，自動チューニング，並列プログラミングモデル等に関するより緊密な共同研究を推進するため，研究交流協定を締結することで合意に至った。

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

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

情報メディア教育研究部門

情報メディア教育研究部門概要

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
エッジコンピューティングに関する研究・IT インフラ技術者育成

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。

- プログラム理解支援に関する研究 (柴山)
- 情報システムの安全目標の検討 (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)
- ARM ベースのマイクロデータセンターにおけるライブマイグレーション (品川)
- 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 (品川)
- VM を意識した適応的キャッシュプリフェッチ手法 (品川)
- macOS 上で Linux バイナリを動作させる技術に関する研究 (品川)
- ファイルサーバの高速なマイグレーション (品川)
- JIT ROP 攻撃を防止するための軽量な保護機構に関する研究 (品川)
- 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 (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)
- 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)
- 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 (品川)
- 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 (品川)
- 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(品川)
- エッジコンピューティングにおけるトラフィック誘導手法に関する研究 (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など延べ合計では 4 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。

- 連続空間を扱うゲーム (田中)

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、コンピュータや情報ネットワークなどを構成要素とする情報システムに強く依存している。世界中に散らばる人や資源を結びつける情報ネットワークと作業の自動化を推進するコンピュータを組み合わせて生み出される情報システムのの効率性・利便性はきわめて高い。一方で、情報システムが内包するリスクの顕在化により、様々な問題が発生しているのも事実である。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。

情報システムの便益を享受しつつ、リスクの顕在化を抑えることは、簡単に解決できる課題ではない。広範な技術開発を必要とするものであり、情報システムの信頼性や安全性の研究開発が重要となる。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。

- プログラム理解に関する研究 [発表 1, 発表 3]
- 情報システムの安全性、安全基準・目標に関する検討 [発表 2]

最初の項目は、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。今年度は、デバッグ時の理解支援に関する研究を促進するために、正常なプログラムと不具合のあるプログラムの差分から、不具合による「感染の連鎖 (Chain of Infection)」を抽出する手法とツールに関する研究を行なった。この成果については、第 2 節で概要を述べる。

2 番目の項目は、日本学術会議の情報学委員会が設置した安全・安心社会と情報社会分科会および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）における検討の一貫として行われたものである。第 3 節では、後者の分科会の検討結果に関する成果についてその概要を述べる。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のような工学システムと情報システム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のが目標である。なお、それぞれの分科会の検討結果については、日本学術会議の以下の報告として公表されている。

- 報告「社会の発展と安全・安心を支える情報基盤の普及に向けて」, 日本学術会議 情報学委員会 安全・安心社会と情報技術分科会, 2017 年 8 月 28 日. *http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170828.pdf*,
- 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」, 日本学術会議 総合工学委員会・機械工学委員会合同 安全・安心・リスク検討分科会, 2017 年 9 月 20 日. *http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170920-2.pdf*

これらの研究の他に、以下のような活動も行った。

- 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
- デジタルトランスフォーメーションに対応した学習環境に関する検討 [特記 1, 特記 2, 発表 4]

最初の項目は、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 番目の項目は、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) の予想される将来の発展形としての次世代デジタル学習環境 (NGDLE – Next Generation Digital Learning Environment) に関するものである。国内外での研究連携強化を目的とした情報交換や啓発などを行なっている。NGDLE は、(1) 相互運用性とシステム統合 (Interoperability and Integration)、(2) パーソナリゼーション (Personalization)、(3) 分析、助言、学習評価 (Analytics, Advising, and Learning Assessment)、(4) コラボレーション (Collaboration)、(5) アクセシビリティとユニバーサルデザイン (Accessibility and Universal Design) を含む概念と考えられている。これらの技術的課題の他に、学習者に関するデータの取得と利用に関するポリシーの策定や大学間での学習データの共有や交換の枠組み等の非技術的な課題の検討も行なっている。

2　プログラム理解支援に関する研究

2.1　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。このうちデバッグは、プログラムの不具合の結果として生じた何らかの観測可能な症状から、その原因を特定し、さらに修正する作業である。因果関係の連鎖を結果から原因の方向にたどることを基本とするが、因果関係のネットワークには枝分かれも多く、仮説検証を繰り返すことになる。複雑な認知過程を伴うことから、デバッグ作業を分析するためのモデルとツールを構築することにした。

2.2　内容

今年度は、デバッグの理解支援を目的に、デバッグ過程におけるプログラムの実行とプログラム理解の関係を調べるためのモデルやツールの整備を行なった。プログラムのデバッグ過程では、不具合が原因となり現れる本来在るべきものと異なるプログラムの実行状態に通常注目する。このような本来と異なる状態のことを「感染 (Infection)」と呼び、このような感染間の因果関係の連鎖を「感染の連鎖 (Chain of Infetion)」と呼ぶことにする。

デバッグ時にユーザの認知的な過程を分析するためには、プログラムの実行モデルとプログラム理解時の人間のメンタルモデルの対応関係を調べることが重要となる。昨年度は、プログラムの実行モデルを、実行トレース中の依存関係（因果関係）に基づき定義する方法を主に採用していたが、今年度は感染を表現する方式を新たに採用することとした。しかし、上で述べた感染の定義からわかるように、感染や感染の連鎖を抽出するためには、正常な実行状態と異常な実行状態を識別する必要がある。そこで、便宜的ではあるが、不具合のあるプログラムとないプログラムを両方用意し、その実行状態の差分から感染を抽出することとした。これは、コントロールされた実験で用いることを前提とした手法である。

実行トレース中の因果の連鎖の中では、原因となるイベントに異常があっても途中段階でこれがマスクされ、正常な実行状態が現れることも少なくない。テストやデバッグのためには、不具合が発現しやすい Fail Fast 型のプログラムの方が扱いやすいが、実用的なプログラムにはさまざまな補償のメカニズムが組み込まれている場合が多い。感染という考え方を採用することにより、実行トレース全体ではなく、本来と異なる箇所を重点的に扱えるようになる。

今年度は Java プログラムを対象に、バイトコードレベルでの実行トレースを作成し、不具合のあるプログラムとないプログラムのプログラム自体とトレースを比較することで、感染および感染の連鎖を抽出するためのルール、アルゴリズム、プロトタイプの開発を行なった。定めたルールは単純なものであり、命令文の実行を単位として、Defetive, Ideal, Straying の分類を行う。Defective は不具合、Ideal は在るべき姿を意味する。そして、Straying は、これ自体は不具合ではないが、不具合が原因となり本来とは異なる時期に実行されたことを意味する。

2.3 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 [発表 1, 発表 3]。

3 情報システムの安全目標に向けて

3.1 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、2014 年に報告「工学システムに対する社会の安全目標」を公表している。この報告は、人命とそれ以外の社会的リスクを対象に、原子力発電、化学プラント、機械、自動車交通、鉄道、船舶・海洋、情報システム、労働安全、製品安全と広範な領域に渡る安全目標の統一的な考え方を確立しようと試みたものである。この報告では、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。

そして、今年度はこの報告を改訂する形で報告「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」を公表した。二つの基準値の考え方の明確化、多様なリスクのバランスを考慮した評価方法などの検討が行われており、さらに各工学システムへの具体的な適用の一例として情報システムについても検討を行なった。

3.2 内容

昨年度に引き続き、3.1 節で述べた報告作成の下準備として、情報システムの安全目標を考える上での論点整理を行った。2014 年の報告は、広範な工学システムを対象としてはいるが、中心はプラントや機械系の工学システムであった。これらは、単体あるいはひとまとまりのシステムとして完結した工学システムである。一方、情報システムの場合、他のシステムに組み込まれて動作したり、他のシステムとネットワーク化した形で動作したりすることが多く、このような場合、単体で完結したシステムとは異なった考え方が必要になる。

2017 年の報告では、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、まず、リスクの分類を、被害が及ぶ対象ごとに検討を行なった。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、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。この 3 軸による分類で主に注目したのは、以下のようなタイプのシステムである。

1. サイバー・セントリック・システム

2. サイバー・フィジカル・システム

3. サイバー・ソーシャル・システム

1 は、物理世界や人間社会との間接的な関連はあるとしても、安全目標の議論をそれらと比較的独立に行えるようなタイプのシステムである。重要インフラに分類されるものの中では、情報通信がこれに該当する。一般に、重要インフラが停止すると社会的な影響が大きいため、重要インフラでは可用性が重要になる。情報通信の可用性については、電気通信事業法第 28 条に「重大な事故」という用語が現れ、施行細則において、(1) 影響を受けた通信の重要度、(2) 停止や品質低下が発生した時間の長さ、(3) その影響を受けた利用者数を組み合わせた指標により「重大」が定義されている。情報通信においては、さらに、通信の秘密の侵害も重大な問題と考えられている。検閲の禁止と通信の秘密は憲法第 21 条にも規定されており、民間事業社に対しては電気通信事業法などで検閲の禁止と通信の秘密の保護が定められている。しかし、通信の秘密がその他すべての社会的価値に優先するわけではなく、一定の例外があることは最高裁の判例（平成 9(あ)636）でも示されている。この情報通信の例では、可用性、機密性などの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しており、サイバー・セントリック・システムの場合には、このような考え方が有効と思われる。

2 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が該当する。ウクライナではサイバー攻撃による停電も発生しており、自動運転車の実用化などが進むと、情報システムの安全性に問題があったときに人命等に被害が及ぶ可能性も高くなる。この分類については、「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」という形でまとめることとした。なお、情報システムの問題が制御対象の安全性の向上に貢献することも少なくない（たとえば、自動運転により交通事故は減少すると考えられる）ため、正負両方の効果を検討する必要がある。

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ことが起こっている。個人情報の問題は典型的な例であり、利活用による利益もあれば、保護の必要性もある。そのため、ステークホルダー間での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。

3.3 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 2]。

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。

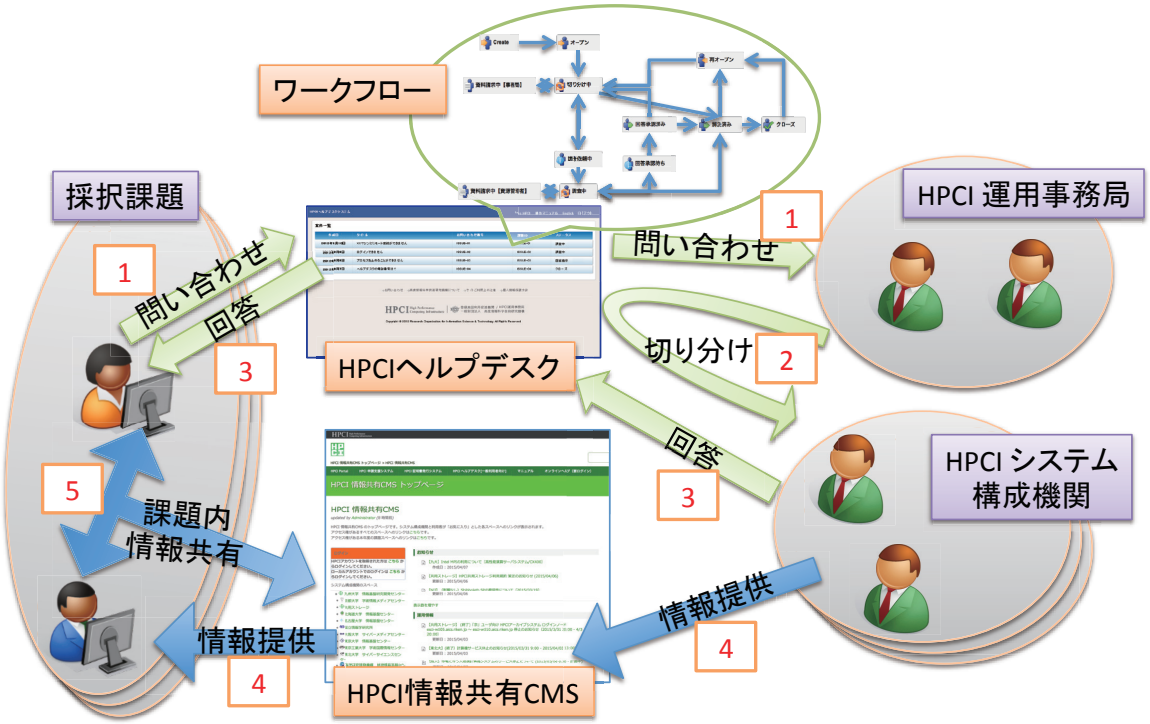


図 1: HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS

4.2 内容

今年度から第 2 期目が始まった文部科学省委託業務「HPCI の運営」の一部として、昨年度までの第 1 期「HPCI の運営」の事業を引き継ぐ形で、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 1)。

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と HPCI 情報共有 CMS でグループメンバーの登録・削除の権限を各グループの管理者に移譲する機能の実現
- HPCI 情報共有 CMS において外部データベースを参照する機能の実現
- 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の再構築に関する技術的検討
- 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に向けた技術的検討

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

その他の発表論文

[発表 1] Izuru Kume, Masahide Nakamura, Naoya Nitta, Etsuya Shibayama: Analyzing execution traces of failed programs for materializing chain of infection, *International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science Engineering*, 2017.

[発表 2] 情報分野における安全目標, 柴山悦哉, 安全工学シンポジウム, PD-2-3, 2017.

[発表 3] 久米出, 中村匡秀, 新田直也, 柴山悦哉: デバッグ作業者の内面分析支援を目的とした障害発生過程の実体化手法, 日本ソフトウェア科学会大会論文集, FOSE2-2-L, 2017.

[発表 4] 山田恒夫, 柴山悦哉, 緒方広明, 藤井聡一朗, 秋光淳生, 中野裕司, 梶田将司, 常盤祐司, 山地一禎: 次世代電子学習環境 (NGDLE) と国際標準化: わが国における最新動向, 大学 ICT 推進協議会年次大会, FA1, 2017.

特記事項

[特記 1] 緒方広明, 稲垣知宏, 中野裕司, 竹村治雄, 柴山悦哉, 島田敬士, 戸田智基, 三石大, 梶田将司, 重田勝介, パネル討論「大学教育とラーニングアナリティクス基盤」, 第 16 回情報科学技術フォーラム (FIT2017), 2017.

[特記 2] 柴山悦哉, 喜多敏博, 藤井聡一朗: パネル討論「教育サービスの機能拡張のためのツール統合とプラグイン」, 大学 ICT 推進協議会年次大会, FC2, 2017.

[特記 3] 島岡政基, 柴山悦哉, 渡辺博芳, 松島裕康, 浅井信吉: パネル討論「論文必勝法 – 条件付きの壁を越えよう」, 情報処理学会全国大会, 2018.

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 連続空間を扱うゲーム

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。

2.2 内容

昨年度に引き続き、「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った。

離散状態、離散行動のゲームではモンテカルロ木探索が成功を収めているので、その中の代表的な手法である UCT (Upper Confidence Bounds for Trees) を連続空間に拡張している。UCT は木のノードに対して、どのアクションを選択するかを決定するために、UCB 値を求めるが、UCB 値の計算には、そのアクションを過去に採用した回数と、そのアクションを選択した後の平均利得を求める必要がある。

しかし、状態が連続値を取り乱数を含んだ問題設定においては、全く同じ状態にたどり着くことはないので、類似した状態で同じアクションを選択した回数、そのアクションを選択した後の平均利得を元に UCB 値を近似計算して木探索をおこなう。「類似した状態」を効率的に扱うために、図 1 のような状態木 (State Tree) というデータ構造を提案し、近似計算をおこなっている。

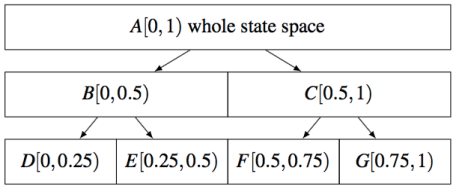


図 1: 1 次元の状態木 (State Tree) の例

2.3 具体的成果

デジタルカーリングの思考プログラムに本研究の手法を実装し、純粋モンテカルロ法によるプログラムと対戦実験をおこない評価をおこなった。本研究の成果は国際会議 Fifteenth International Conference on Advances in Computer Games (ACG2017) で論文として発表した。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Ohto, Katsuki, and Tetsuro Tanaka: A Curling Agent Based on the Monte-Carlo Tree Search Considering the Similarity of the Best Action Among Similar States, Advances in Computer Games. ACG 2017. LNCS, vol. 10664, pp. 151 - 161, 2017.

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。

- ARM ベースのマイクロデータセンターにおけるライブマイグレーション [査読付 2]

  ARM マシンで構成されるマイクロデータセンターにおいて、仮想化のオーバーヘッドを低く抑えつつライブマイグレーションを実現するシステム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ベアメタルクラウドのハードウェア保護 [査読付 3]

  ベアメタルクラウドのように物理マシンを提供している環境でハードウェア破壊やウィルス感染を防止することを目的として、仮想マシンモニタを用いて不揮発性メモリ領域へのアクセスのみを制限することで、性能を損なうことなくセキュリティを向上させることが出来るシステムに関する研究開発をおこなった。

- VM を意識した適応的キャッシュプリフェッチ [査読付 4]

  SSD と HDD を組みあせたような階層型のストレージ・システムにおいて、キャッシュすべきデータを適切に判断するために、VM 内のエージェントと連携して、ファイルシステムの構造に関する情報や、データベースのパフォーマンスに関する情報などを取得して、これからアクセスされるデータを予測したり、状況に応じてプリフェッチ速度を調整するなどの手法に関する研究をおこなった。

- macOS 上で Linux バイナリを動作させる技術に関する研究 [査読付 5]

  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。

- ファイルサーバの高速なマイグレーション [発表 1]

  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中身のファイルをオンデマンドでコピーする手法に関する研究をおこなった。

- JIT ROP 攻撃を防止するための軽量な保護機構に関する研究 [発表 2]

  Google Chrome などの Web ブラウザに搭載されている JavaScript を Just-In-Time(JIT) コンパイルするエンジンに対して、情報漏えいのバグなどを利用してコードを読み込んで動的に Return-Oriented Programming(ROP) のチェーンを構築する JIT ROP 攻撃を防止するために、特定の値の定数を見えなくする Constant Blinding を軽量に実現する手法に関する研究をおこなった。

- 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

  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仮想マシンモニタのデバイスドライバの堅牢性検査

  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。

- 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

  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。

- 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。

- 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。

- 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。

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

研究成果としては、まず国際会議での査読付き論文の発表を 5 件（ACM SAC 2018, IEEE EdgeCom 2018, IEEE CloudCom 2017 × 2, ACM APSys 2017）おこなった [査読付 1, 査読付 2, 査読付 3, 査読付 4, 査読付 5]。他にも、査読なし国際会議での発表が 1 件 [発表 2]、国内シンポジウムでの発表を 1 件 [発表 1]、ポスター発表を 1 件 [発表 3] おこなった。2017 年 12 月には、第 29 回コンピュータシステム・シンポジウムの併設イベントとして、BitVisor Summit 6 を企画立案・開催した。1 件の招待講演と 8 件の一般発表で構成し、30 名前後の参加者があった。また、ソフトウェアとして BitVisor 2.0 [公開 1] を公開したほか、CPU の仮想化機能の性能を測定する VMXbench [公開 2] を公開した。また、共著で教科書 1 件の改訂を行った [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について、3 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について、4 章では、仮想マシンモニタによる物理デバイスドライバ検証環境について、5 章では、macOS 上で Linux バイナリを動作させる技術に関する研究について、6 章では、ファイルサーバの高速なマイグレーションについて、7 章では、JIT ROP 攻撃を防止するための軽量な保護機構に関する研究について、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) で論文として発表予定である。

3 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

3.1 背景

従来の IaaS（Infrastructure-as-a-Service）クラウドは、仮想マシンをサーバーとして提供する。しかし、仮想化はパフォーマンスオーバーヘッドを招くほか、ハードウェア機能を最大限に活用することが難しい。そこでいくつかの IaaS ベンダーは、仮想マシンではなく物理的なハードウェアを提供するベアメタルクラウドと呼ばれる新しいサービスを開始した。しかし、物理ハードウェアをユーザーに公開すると、クラウドベンダーにとってはハードウェア保護の問題が発生する。物理ハードウェアは不揮発性メモリ（NVM）にファームウェアコードや設定データを保存する。したがって、NVM が悪意のあるユーザーによって変更された場合、ハードウェアはマルウェアによって永続的に破損したり他に感染したりする可能性がある。ベアメタルクラウドにはハードウェアを保護するための仮想化レイヤがないため、クラウドベンダーにとってはこれを防ぐのは難しい。

3.2 内容

本研究では、まずベアメタルクラウドで可能な攻撃の種類を説明し、次にベアメタルクラウドのハードウェア保護スキームである BMCArmor を提案する。BMCArmor は、ハードウェアを仮想化せず NVM へのアクセスを防ぐだけの薄いハイパーバイザを使用する。実験により、BMCArmor は実際にハードウェアの保護を実現できることや、パフォーマンスのオーバーヘッドがほとんど無いことが分かった。

3.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 9th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2017) で論文として発表した。

4 VM を意識した適応的キャッシュプリフェッチ

4.1 背景

ストレージ・キャッシュ・プリフェッチは、アクセス局所性に基づいてアクセス・パターンが予測可能である場合は、階層ストレージ・システムのアクセス・レイテンシを削減する有効な手法である。しかし、IaaS（Infrastructure-as-a-Service）クラウドでは、ストレージの仮想化によってデータが大幅に再配置され、ホストオペレーティングシステム（OS）で観測されるアクセスの空間的局所性が低下する。さらに、IaaS クラウドでは時間とともに変化する可能性のある様々なワークロードを持ったアプリケーションを一台のマシン上で動作させることになる。従って、アクセスパターンは空間的および時間的の両方で大きく変化する。

4.2 内容

本研究では、仮想マシン（VM）内の構造情報と統計情報を利用した適応型ストレージキャッシュプリフェッチ方式を提案する。ゲスト OS におけるアプリケーションのファイル使用状況および内部ファイルレイアウト情報の観察により、ホスト OS はストレージアクセス中に空間的および時間的局所性を取得することができる。さらに、アプリケーション・レベルのパフォーマンス統計を用いることで、過度のプリフェッチによるパフォーマンス低下を防ぎ、ホスト OS がプリフェッチ速度を適応的に調整することができる。我々は VM 内で動作する Linux 及び PostgreSQL と協調するプロトタイプのキャッシュプリフェッチシステムを実装した。TPCx-V ベンチマークを使用した実験では、VM を意識した手法が従来のプリフェッチと比較してパフォーマンスを 17.1 %向上させることが示された。また、我々のシステムは、既存の非プリフェッチキャッシングシステムよりも 3.15 倍優れたパフォーマンスを達成した。

4.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 9th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2017) で論文として発表した。

5 macOS 上で Linux バイナリを動作させる技術に関する研究

5.1 背景

Linux はプロダクション環境として人気のあるオペレーティングシステム（OS）であるが、一方で多くの開発者が macOS を日々の開発環境として利用することを好んでいる。この状況に対処する方法としては、仮想マシンで Linux を実行する方法や、アプリケーションを Linux から macOS に移植する方法がある。しかし、仮想マシンにはリソース共有の問題があるほか、アプリケーションの移植は非常にコストがかかるため、完全には移植できないことがしばしばある。低コストでかつシームレスなリソース共有を実現するための有望なアプローチとしては、MacOS 用の Linux 互換レイヤを開発する方法がある。しかし、OS 互換レイヤを実装する既存の方法は堅牢性または柔軟性に欠ける。

5.2 内容

本研究では、OS 互換レイヤの新しいアーキテクチャを提案する。この仕組みでは、ホスト OS のコアエミュレーションレイヤーをユーザー空間で実装することで堅牢性を向上させながら、仮想化技術を活用してホスト OS のカーネルに大きく依存することなく柔軟で強力なエミュレーション機能を実現する。本手法を実装し、Ubuntu のユーザランドが macOS 上で動作することを確認した。また、実験結果により、本手法が現実のアプリケーションに対して妥当な性能を有することを確認した。

5.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 8th ACM SIGOPS Asia-Pacific Workshop on Systems (APSys 2017) で論文として発表した。

6 ファイルサーバの高速なマイグレーション

6.1 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．

6.2 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．

6.3 具体的成果

本研究の成果は、国内シンポジウム第 29 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2017) で論文として発表した。

7 JIT ROP 攻撃を防止するための軽量な保護機構に関する研究

7.1 背景

現代のブラウザには、JavaScript プログラムをネイティブバイナリコードにコンパイルする JIT（Just-In-Time）コンパイラがある。最近の JIT コンパイラは、JavaScript データを JavaScript 以外のメモリ領域に格納するため、シェルコードを JavaScript データとして入力するだけでは機能しない。この保護を克服するために、最近の攻撃では、コード領域に配置された命令に準拠した JavaScript プログラムの定数を利用し、ガジェットと呼ばれる小さなコードとして ROP（Return-Oriented Programming）でチェーン化する。この攻撃に対抗するために、最近のブラウザでは、JavaScript の定数を秘密鍵で暗号化し、実行時に復号化して攻撃者が任意のガジェットを挿入することを防いでいる。残念ながら、現在のブラウザ（Firefox、Google Chrome、および Microsoft Edge を含む）では、パフォーマンス上の理由から 2 バイト以上のブラインド定数しかないため、攻撃者は ROP 攻撃を行うのに十分な 1 バイトと 2 バイトのガジェットを生成することができる。

7.2 内容

本論文では、JIT コンパイラの高性能で安全なブラインド手法を提案する。この手法では、定数の値に基づいて定数をブラインドするかどうかを決定する。定数に制御フロー命令（たとえば texttt ret と texttt jmp）として解釈できる値が含まれている場合、2 バイト以下であってもその定数を無視する。それ以外の場合は、ガジェットとして使用できないため、定数をブラインドしない。この技術は、ブラインドされなければならない定数の数を減らすことによって、一定のブラインドのオーバーヘッドを効果的に削減する一方で、小さな定数でもガジェットとして利用される可能性を排除してセキュリティを向上させる。この技術を Microsoft Edge の JIT エンジンである ChakraCore で実装し、x64 システムで実行し、JIT エンジンのパフォーマンスを測定した。実験結果は、我々の技法がすべての定数をブラインドすることと比較して、最大 2.85%性能を改善することを確認した。

7.3 具体的成果

本研究の成果は、無査読国際会議 The 7th International Workshop on Networking, Computing, Systems, and Software で論文として発表した。

8 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] (APSys 2017) Bash on Ubuntu on macOS. Takaya Saeki, Yuichi Nishiwaki, Takahiro Shinagawa, Shinichi Honiden. 第 29 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2017), Dec 2017. 招待凱旋発表

著書／編集

[著書 1] 野口 健一郎, 光来 健一, 品川 高廣: IT Text オペレーティングシステム（改訂 2 版）, オーム社, 2018 年 1 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.

[査読付 2] Ilias Avramidis, Michael Mackay, Posco Tso, Takaaki Fukai, Takahiro Shinagawa. Live Migration on ARM-based Micro-datacentres. In Proceedings of the 3rd Workshop on Edge Computing (EdgeCom 2018), Jan 2018.

[査読付 3] Takaaki Fukai, Satoru Takekoshi, Kohei Azuma, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. BMCArmor: A Hardware Protection Scheme for Bare-metal Clouds. In Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2017), Dec 2017.

[査読付 4] Keiichi Matsuzawa, Takahiro Shinagawa. VM-aware Adaptive Storage Cache Prefetching. In Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2017), Dec 2017. Best paper candidate

[査読付 5] Takaya Saeki, Yuichi Nishiwaki, Takahiro Shinagawa, Shinichi Honiden. Bash on Ubuntu on macOS. In Proceedings of the 8th ACM SIGOPS Asia-Pacific Workshop on Systems (APSys 2017), Sep 2017.

公開ソフトウエア

[公開 1] BitVisor 2.0, http://www.bitvisor.org/, 2017 年 12 月

[公開 2] VMXbench, https://github.com/utshina/VMXbench.

その他の発表論文

[発表 1] 松沢 敬一, 早坂 光雄, 品川 高廣．オンデマンド及びバックグラウンド複製によるファイルサーバ移行時の停止時間削減．第 29 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2017)，2017 年 12 月

[発表 2] Tomoyuki Nakayama, Masanori Misono, Takahiro Shinagawa. High-performance and Secure Just-in-time Compiler Protection. The 7th International Workshop on Networking, Computing, Systems, and Software, Aomori, Oct 2017.

[発表 3] 忠鉢 洋輔, 品川 高廣, 後藤 厚宏, 加藤 和彦．カーネルに組み込まれた強制的な TLS 公開鍵ピンニング．コンピュータセキュリティシンポジウム 2017（CSS 2017），山形，2017 年 10 月．

特記事項

[特記 1] BitVisor Summit 6 開催（第 29 回コンピュータシステム・シンポジウム 併設イベント）、2017 年 12 月，http://www.bitvisor.org/summit6/

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 計算機科学関連カリキュラムの分析

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。

一方、学会等では対象とする分野で教育すべきトピックを整理したカリキュラム標準と呼ぶものを作成する場合がある。例えば、ACM は IEEE Computer Society (IEEE CS) と共に、大学学部生向けの計算機科学分野のカリキュラム標準として Computing Science Curricula を公開している。

そこで、このようなカリキュラム標準を基準としてカリキュラムを分析する手法を開発している。具体的には、確率的な文書モデルである Latent Dirichlet Allocation (LDA) を一部改良した simplified supervised LDA (ssLDA) を用いて、カリキュラム標準の Body of Knowledge (BOK) に含まれる用語から、トピックごとの用語の重みを示すモデルを生成する。更に得られたモデルを用いて、シラバスとトピックとの関係を得る。

2.2 内容

これまで、2013 年 12 月に ACM と IEEE CS によって発表された最新のカリキュラム標準 “Computing Science Curricula CS2013 (CS2013)” を基準として、計算機科学に関わる学部や学科のカリキュラムを分析することを行っている。CS2013 の BOK を構成する Knowledge Area (KA) を表 1 に示す。CS2013 はコンピュータ科学の分野を 18 個の KA に分類した上で、それぞれの KA で扱われる内容を 10 個程度の Knowledge Unit (KU) で説明している。

2015 年度以降は、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] を用いている。THE は、教育活動や研究活動などの独自の指標に基づいて、世界中の大学を順位付けしている。“Arts and humanities,” “Social sciences,” “Physical sciences,” “Life sciences,” “Engineering and technology,” “Medicine” の 6 つの分野ごとにランキングを公表し

[1] http://www.timeshighereducation.co.uk/world-university-rankings/2014-15/subject-ranking/subject/engineering-and-IT (2017 年 4 月 3 日アクセス)

表 1: CS2013 の Knowledge Area 一覧

ID	KA	ID	KA
AL	Algorithms and Complexity	NC	Networking and Communication
AR	Architecture and Organization	OS	Operating Systems
CN	Computational Science	PBD	Platform-Based Development
DS	Discrete Structures	PD	Parallel and Distributed Computing
GV	Graphics and Visualization	PL	Programming Languages
HCI	Human-Computer Interaction	SDF	Software Development Fundamentals
IAS	Information Assurance and Security	SE	Software Engineering
IM	Information Management	SF	Systems Fundamentals
IS	Intelligent Systems	SP	Social Issues and Professional Practice

表 2: 分析対象とした 47 大学の一部

Rank	Country / University		ID
1	us	Massachusetts Institute of Technology	MIT
2	us	Stanford University	Stanford
3	us	California Institute of Technology	Caltech
4	uk	Princeton University	Princeton
5	uk	University of Cambridge	Cambridge
6	uk	Imperial College London	Imperial
7	uk	University of Oxford	Oxford
8	ch	ETH Zürich - Swiss Federal Institute of Technology Zürich	ETH
9	us	University of California, Los Angeles	UCLA
10	us	University of California, Berkeley	UCB
11	us	Georgia Institute of Technology	Georgia Tech
12	ch	École Polytechnique Fédérale de Lausanne	EPFL
13	sg	National University of Singapore	NUS
14	us	University of Texas at Austin	UTAustin
15	us	University of Michigan	Michigan
16	us	Carnegie Mellon University	CMU
17	us	Cornell University	Cornell
18	us	University of Illinois at Urbana-Champaign	Illinois
19	nl	Delft University of Technology	TUDelft
19	us	Northwestern University	Northwestern

ているが、本研究では “Engineering and technology” の上位校から順に、計算機科学分野の学士号取得可能な学部や学科のウェブサイトにアクセスして、シラバスの取得を試みた。分析対象は THE のランキングの上位校のうち、シラバスを取得できた 47 大学 (表 2) である。ランキングの上位の多くは英語圏の大学であり、非英語圏の大学であっても英語で書かれたシラバスが公開されていた。CS2013 で使われている単語の数が少ないシラバスを除いて、約 3,000 個のシラバスのデータがある。

カリキュラム標準からトピックに関するモデルを生成する際には、2015 年度に開発した simplified supervised LDA (ssLDA) を用いた。ssLDA はテキストと KA との関係を入力として与えられることで、CS2013 の BOK を適切にモデル化できる。各大学のカリキュラムを構成するシラバスを ssLDA を用いて分析することで、それぞれのシラバスと KA との関係の強さを得ることが出来る。特定のカテゴリ/クラスタに分類するのではなく、関わりの強弱が得られるのは LDA の特徴である。

表 3: 各クラスタに含まれる大学の設置国の一覧

country code	us	uk	au	ca	jp	sg	hk	ch	kr	be	dk	fr	se	nl	de	TOTAL
C1	1	1	4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	8
C2	1	0	0	2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	7
C3	2	3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	9
C4	17	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	1	1	23
TOTAL	21	4	4	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	47

この 18 個の KA で張られる空間内での約 3,000 個のシラバスの位置座標に対して、階層的クラスタリング (Hierarchical Cluster Analysis, HCA) と主成分分析 (Principles Component Analysis, PCA) を適用した。

まず、HCA から 47 大学が C1–C4 の 4 つのクラスタに分けられた。それぞれのクラスタに含まれる大学の設置国を表 3 に示す。C1 にはオーストラリアの全ての大学が含まれ、C4 には多くの米国の大学が含まれるなど、地域毎の分布の偏りが有ることも分かる。

KA で張られる空間内での各クラスタの中心を、図 1 に示す。ここから、C1 は HCI, SE, SP といった人間や社会に関わる KA に、C2 は AL や CN などコンピュータの理論的側面に関わる KA に、C3 は AL, DS, GV, PL など計算やアプリケーションに関わる KA に、それぞれ強く関わっていると考えられ、一方 C4 は CS2013 の KA 全般に偏り無く関わっているといえる。

一方、PCA によって得られた 3 つの成分について、各成分 P1–P3 と KA との関係を示したのが図 2 である。また、P2 と P3 の値に基づいて、各大学を平面上にプロットしたのが図 3 である。図中では、それぞれの大学がクラスタごとにまとまってプロットされていることが分かる。

各クラスタの解釈と合わせると、オーストラリアでは、人間工学や人間に関わりに関する教育を重視する大学が多く、米国の大学では幅広い分野をバランス良く教育する大学が多いと考えられる。このように、カリキュラムの地域的な特徴を得られた。

2017 年度以降は、カリキュラム分析手法やその手法を用いて得られた知見の妥当性を、より多数の大学のシラバスデータから検証することに取り組んでおり、数百程度の数の大学のシラバスを取得することを目標としている。

当面は、Times Higher Education の World University Rankings 2018 by Subject: Computer Science (`https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/2018/subject-ranking/computer-science#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/stats`) に掲載されている大学を対象として、ウェブクローラを用いて 1 大学当たり数百から数万ページのウェブページを取得している。

その上で、これまでウェブサイトを目視で閲覧して取得してきた各大学のシラバス情報を教師データとする機械学習的手法を用いて、シラバスが記載されていると思しきページを抽出する。またヒューリスティクスとして、シラバスを含むウェブページの URL の特徴 (例えば URL に *course* を含むなど) を用いて、なるべく漏れの無いように、シラバスを含むウェブページを抽出することを試みている。但し、2018 年 3 月の時点では、効率的にシラバスを抽出する段階までは至っていない。

2.3 具体的成果

CS2013 BOK 及び THE のランキング上位の大学のシラバスを分析した結果得られた知見については、論文 [査読付 2] として掲載予定である。

CS2013 を用いてシラバスデータを簡便に分析する仕組みとして、講義のシラバスを入力することで、CS2013 BOK の KA、著名な大学のコース、それぞれと当該講義との関係などを参照可能なウェブサイト CS2013Data (`https://rp3.ecc.u-tokyo.ac.jp/cs2013data/`) を構築して公開している。

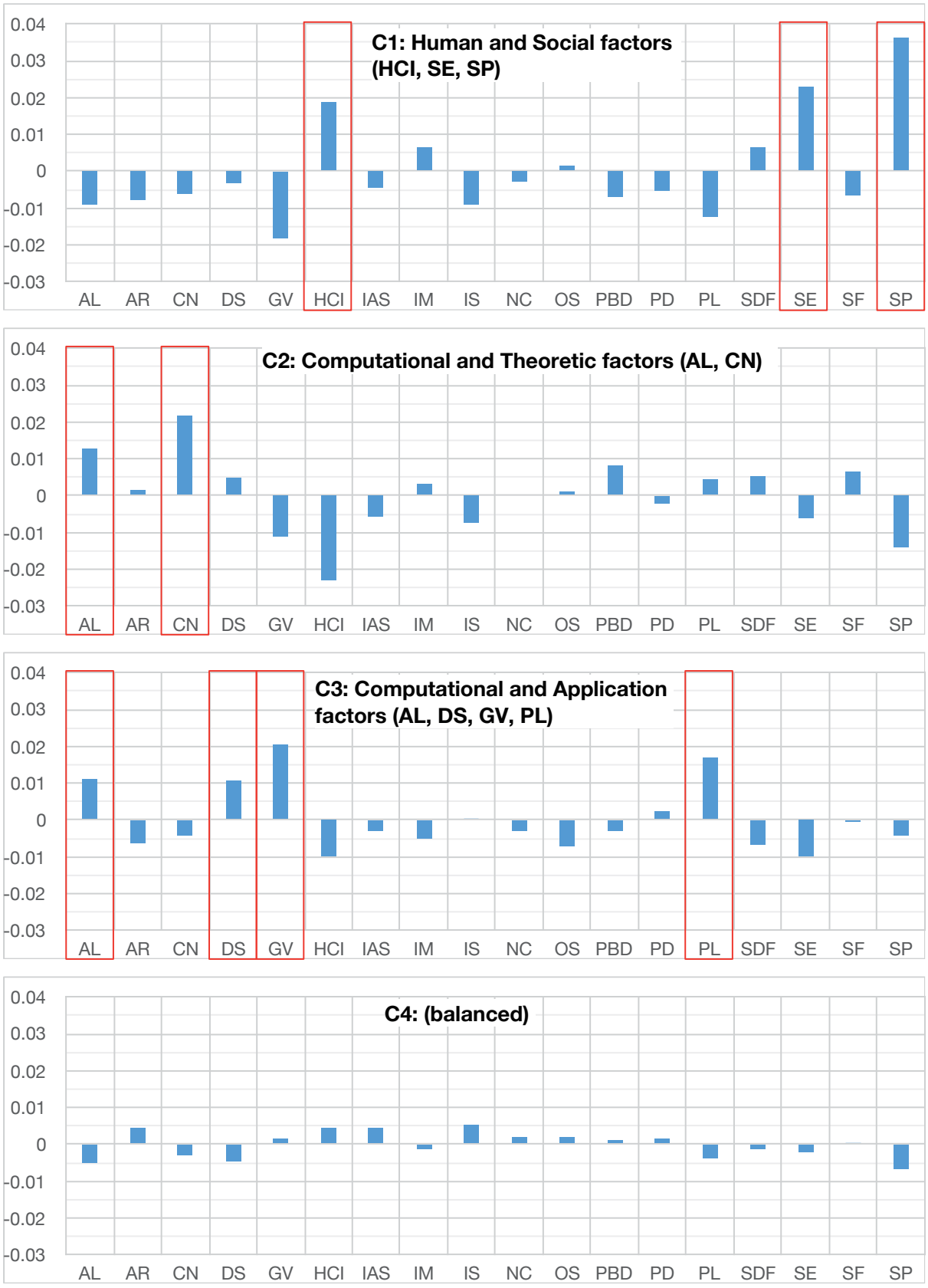


図 1: KA 空間内での各クラスタの中心

図 2: KA 空間内での主成分

このウェブサイト CS2013Data について、FIE2017 で発表した [査読付 1]。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Takayuki Sekiya, Yoshitatsu Matsuda, Kazunori Yamaguchi: A web-based curriculum engineering tool for investigating syllabi in topic space of standard computer science curricula, Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE2017, pp. 1-9, Oct. 2017.

[査読付 2] Yoshitatsu Matsuda, Takayuki Sekiya, Kazunori Yamaguchi: Curriculum Analysis of Computer Science Departments by Simplified, Supervised LDA, Journal of Information

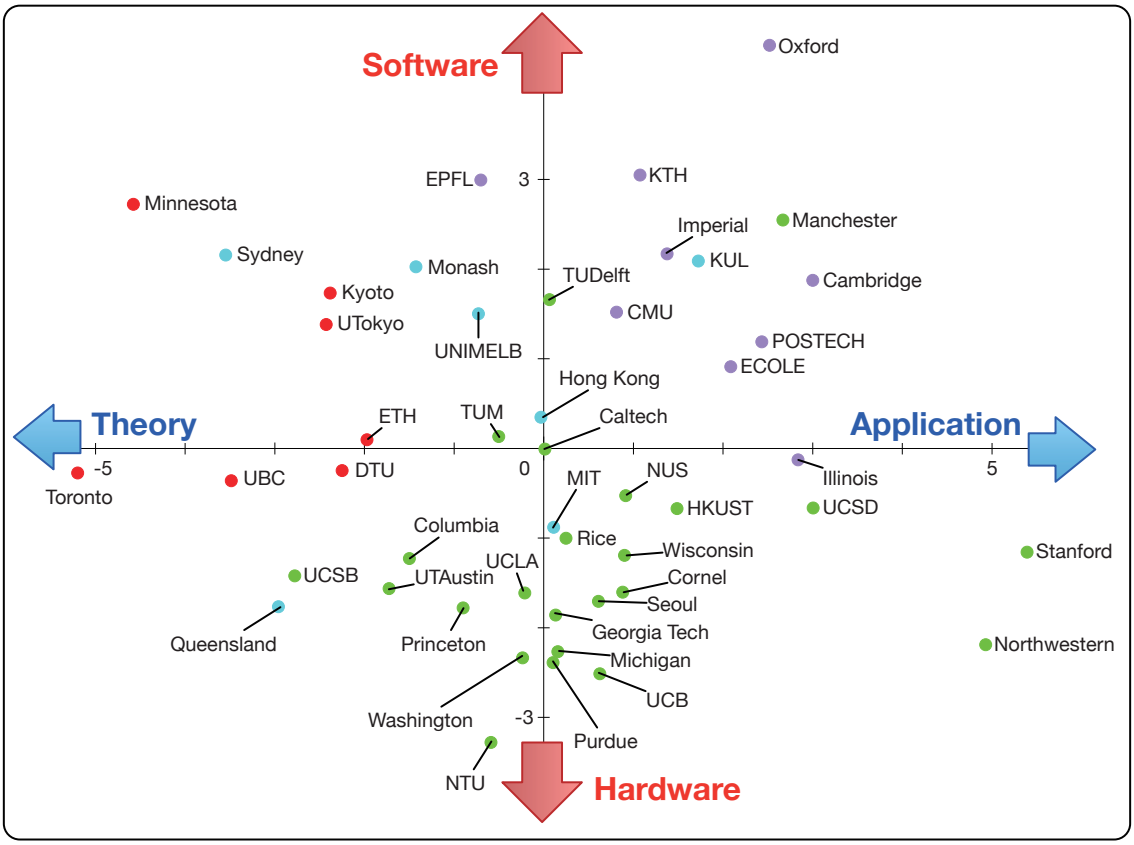


図 3: PCA によって得られた主成分 PC2, PC3 用いて各大学を平面上にプロットした結果

Processing (JIP), Volume 26, Jun. 2018 (Accepted: Mar. 2018).

エッジコンピューティングに関する研究 ・ITインフラ技術者育成

岡田和也

1 エッジコンピューティングにおけるトラフィック誘導手法に関する研究

1.1 概要

第 5 世代移動通信システム (5G) では，現在の 4G よりも高速・広帯域な移動体通信の実現が期待されている．さらに，モバイル通信網内の利用者端末に近い基地局などのエッジでサービスを提供し，通信遅延の低減と通信網全体の負荷軽減する仕組みとしてマルチアクセスエッジコンピューティング (MEC) が提唱されている．MEC はこれまでのインターネットのように，サーバとクライアント間でのエンドツーエンド通信ではなく，MEC の使用の有無に関して柔軟に対応できる必要があるが，参照モデルとして利用できる実装がほとんどない． そこで本研究では，MEC の研究開発の促進に貢献するために，参照モデルの一部としてトラフィック誘導方式の提案と評価を行う．提案方式は，従来から IP ネットワークで利用されている DNS と IP 経路制御 (IP anycast) の仕組みを利用してエッジに設置されたサーバにトラフィック誘導を行う．また，実機を用いた初期実験により本提案方式がトラフィック誘導が可能でありことを示し，今後の課題を明らかにした．

1.2 内容

1.2.1 MEC

MEC は欧州電気通信標準化機構 (ESTI: European Tele-communications Standard Institute）の Industry Specification Group for Multi-access Edge Computing (ISG MEC) において標準化が進められている．当初，MEC は Mobile Edge Computing として標準化が進められていたが，Wi-Fi ネットワークや有線アクセスネットワークなどを含むヘテロジニアスネットワークへの適用も考慮し，2016 年 9 月以降は，Multi-access Edge Computing の略称として MEC が用いられている．ESTI の Web ページ では，MEC の仕様書や白書が公開されており, 仕様書 (ETSI GS MEC-IEG 005) では，概念実証の重要性と活動手引きが記されているが，具体的な実装方法や実験環境に関する情報は記載されていない．また，MEC に関してはこれまで多くの研究論文が発表されており，MEC の全体的な話だけでなく，アーキテクチャやセキュリティに焦点を当てたサーベイ論文も発表されている．MEC を実現するためには，様々な側面からのアプローチが必要となるが，MEC のベース機能となるネットワークのトラフィック誘導を実現する参照モデルは多くない．

1.2.2 トラフィック誘導手法

MEC では，利用者端末からの通信を基地局 (eNodeB) に設置された MEC 機器内のアプリケーションに誘導しなければならない．先行研究では基地局内に設置した OpenFlow スイッチにおいて，宛先 IP アドレスに基づきトラフィック誘導を実現している．しかし，この方法では，以下のような課題を持つ．まず，MEC に誘導すべきサービスの数に比例して OpenFlow スイッチが保持すべきルール数が増加してしまう．特に大規模サービスでは，複数の IP アドレスを用いる場合もあり，IP アドレス数分

のルールが必要となる．次に，負荷分散の目的で端末の接続地域やネットワークに応じてIPアドレスが異なる場合もあるため，それらを考慮したルールを設定する必要がある．また，サービスに対応するIPアドレスは構成変更などの様々な理由により変化する．そこで本研究ではDomain Name System (DNS) のResponse Policy Zone (RPZ) とルータのIP経路制御手法を組み合わせたトラフィック誘導方式を提案する．本トラフィック誘導方式に大きな特徴としては，OpenFlowスイッチのように個別のフローやセッションの状態をネットワーク側で保持しないステートレスな点があげられる．OpenFlowなどのSDN技術によりトラフィックを誘導する方式では，誘導するためのルールを保持や，集中した維持・管理が必要となる．一方，本提案方式では，状態を管理する仕組みが不要であり，且つDNSの更新と経路の設定のみでトラフィック誘導を実現できる．また，既存のIPネットワークで広く利用されている技術であるDNSとIP経路制御のみで実現できるため，既存の知識を活かすことができる．加えて，これらの技術はオープンソースソフトウェア及び商用アプライアンスやネットワーク機器として幅広い実装が存在し，それらの資産を流用できる利点がある．しかしながら，ステートレス/ステートフルに関わらず，MECのサーバやサービスの管理は必要であるが，本研究は対象としない．

本提案方式のトラフィック誘導の動作について詳細に説明する（図参照）．

1. トラフィック誘導ルータとMECサーバの間にプライベートネットワーク (例: 192.168.0.0/24など) を作成する．ただし，その経路はOSPFやISISなどのプロトコルを用いて他のルータに広告しない．ここで作成するネットワークにはプライベートIPアドレス以外にグローバルIPアドレスのセグメントを用いても良い．

2. MECサーバにMECインスタンスを立ち上げ(1)で設定したプライベートネットワークからアドレスを割り当てる．（例：192.168.0.100）

3. DNSサーバのRPZゾーンファイルにMECに誘導すべきFQDNとMECインスタンスのIPアドレスを対応付けて記述する．

4. RPZに設定されたFQDN以外の問い合わせは通常通りに名前解決が行われ正しいIPアドレスが返答される．

5. RPZ内のFQDNに合致するDNSクエリに対しては，通常の名前解決を行わずに設定されているIPアドレスを応答する．（例：192.168.0.100）

6. 端末はそのIPアドレスに対して通信を開始する．

7. トラフィック誘導ルータは，MECインスタンス宛のトラフィックを受信すると，経路表にしたがってMECインスタンスにトラフィックを誘導する．

上記の仕組みと手順によりトラフィックを選択的にエッジに設置された計算機に誘導することが可能となる．この手法の利点は，既存のIP経路制御技術とDNSのみを用いてトラフィック誘導を実現できることである．また，プレフィックス単位でトラフィックを選択するため，個別の細かな経路やルールを制御・管理する必要がなく規模拡張性に優れている．

1.3 具体的成果

本研究では，既存のIP anycastとDNSの仕組みを組み合わせることで簡素で規模拡張性のあるトラフィック誘導手法を実際のルータとDNSソフトウェアを用いて構築できることを示した．今後は大規模なネットワーク環境下での規模拡張性や機能の評価を行う予定である．

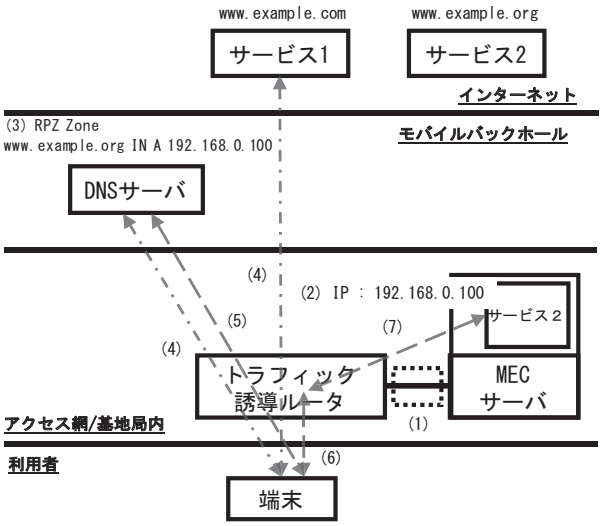


図 1: トラフィック誘導の仕組み

2　次世代 IT インフラアーキテクトの育成

2018 年 2 月 19 日から 2 月 23 日の 5 日間に渡り，東京大学情報基盤センターにて「第 1 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．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，学内外から 42 名（内学生 36 名）の申し込みがあり，合計 37 名が受講した．セミナーで扱った内容は以下の通りである．

- 2 月 19 日　ネットワーク基礎／ IGP 経路制御演習
- 2 月 20 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
- 2 月 21 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
- 2 月 22 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
- 2 月 23 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，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．

今回が初開催のセミナーであったが，学内外の学部生・大学院生や教職員など多数の参加があった．1 回目の結果を受けて座学・演習内容を更新し，今後も同様のセミナーを年に 2 回程度開催予定である．

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Keiichi Shima, Daisuke Miyamoto, Hiroshi Abe, Tomohiro Ishihara, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, Hirochika Asai, Yusuke Doi, ”Classification of URL bitstreams using Bag of Bytes” , First International Workshop on Network Intelligence (NI2018), February 20-22, 2018.

その他の発表論文

[発表 1] 岡田和也, 樫原茂, 川西直, 鈴木信雄, 門林雄基, 杉山敬三, マルチアクセスエッジコンピューティングのトラフィック誘導に着目した実装に関する一検討. 電子情報通信学会技術研究報告, MoNA 研究会, 2018 年 2 月.

[発表 2] 神谷和憲, 長谷川彩子, 関谷勇司, 岡田和也, DNS キャッシュサーバログのグラフ分析による感染端末検知の検討電子情報通信学会技術研究報告, ICSS 研究会, 2017 年 11 月.

[発表 3] 須賀 灯希, 落合 秀也, 江崎 浩, 岡田 和也, IP アドレスを用いたセッション管理による DTLS サーバへの DoS 攻撃の軽減. ルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム, 2017 年 6 月.

特記事項

[特記 1] 第 1 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 1 月.

学術情報研究部門

学術情報研究部門概要

中川 裕志
人工知能と社会

中村　覚
デジタルアーカイブの構築と活用

学術情報研究部門

概要

部門長　中川裕志

1　概要

2017 年度は、人工知能と社会の関係、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。

1.1　人工知能と社会

- 改正個人情報保護法において導入された匿名加工情報の数理的定義に沿うガイドラインとなる評価方法として、履歴データの匿名化と再識別に関するコンテスト PWSCUP2107 に参加し、出場 15 チーム中 6 位の成績を得た。また、匿名加工情報に関する個人情報保護委員会が定めたガイドラインの解釈の優秀さに関して受賞した [受賞 1]。また、プライバシー保護技術に関する会議発表を行った [査読付 2, 査読付 3]。
- 個人データが GAFA と総称されるIT大企業に囲い込まれている現状を改善する目的で My-Data Japan 2017 を主催者として開催し、講演も行った [招待 1]。
- 人工知能の脅威および汎用人工知能について調査し、招待講演を行った [招待 2, 招待 5, 招待 6, 招待 8, 招待 9]。
- 自動運転車の技術とプライバシーに関する講演を行った [招待 4, 招待 11]。
- 人工知能倫理基準に関して IEEE EAD version2 のプライバシーに関する章の執筆に寄与した [特記 3]。

1.2　デジタルアーカイブの構築と活用

- 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 13][発表 4][特記 4, 特記 5, 特記 7, 特記 8]。
- LOD（Linked Open Data）や IIIF（International Image Interoperability Framework）等の情報技術を用いたデジタルアーカイブの利活用に関する研究を行った [査読付 5, 査読付 6, 査読付 7, 査読付 8][発表 5, 発表 6, 発表 7, 発表 8]。

2　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 中川裕志:招待講演:MyData をめぐる状況　－MyData 2016 の報告－, 一般社団法人オープン・ナレッジ・ファウンデーション・ジャパン（OKJP）, 秋葉原コンベンションセンター, 2017 年 5 月.

[招待 2] 中川裕志:招待講演:人工知能の課題～シンギュラリティ以前に考えるべきこと, 司法研修所・基盤研究会1, 2017 年 7 月.

[招待 3] 中川裕志:プライバシー保護の技術と展望, IT の進展から派生する諸課題に関する学術シンポジウム, 主催:日本学術会議情報学委員会 IT の生む諸課題検討分科会, 日本学術会議講堂, 2017 年 8 月.

[招待 4] 中川裕志:人工知能と社会～理研の AI 研究, 第 1 回　法と技術シンポジウム「人工知能による自動走行と社会」, 主催:新潟大学法学部, 理化学研究所革新知能総合研究センター, 新潟県, 新潟市朱鷺メッセ, 2017 年 9 月.

[招待 5] Hiroshi Nakagawa: AI takes over human jobs,　A Symposium on AI and Society, 2017, Oct. 11,　Toranomon Hills Forum 5F Main Hall, Tokyo,　http://www.aiandsociety.org/.

[招待 6] 中川裕志:　AI ネットワークの利用環境の展望, 総務省 AI ネットワーク社会推進会議（第 7 回 ）, 2017 年 10 月 , http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/ai_network/02iicp01_04000110.html.

[招待 7] 中川裕志:人工知能倫理指針におけるプライバシーの扱い,情報ネットワーク法学会大会 第 8 分科会, 名古屋大学, 2017 年 11 月.

[招待 8] 中川裕志:招待講演:AGI への道程:2017 年版人工知能学会合同研究会（汎用人工知能研究会 (SIG-AGI)）, 慶応大学, 2017 年 11 月.

[招待 9] 中川裕志:招待講演:AIにおける倫理と社会的影響:BSR 主催セミナー:AI・テクノロジーと倫理・人権課題―グローバル＆日本の潮流, フクラシア東京ステーション, 2017 年 12 月.

[招待 10] 中川裕志:招待論文:プライバシー保護の技術:質問者の保護から個人情報秘匿技術まで, 情報管理 60 巻 (2017) 10 号 p. 710-718, 2017 年 1 月, https://doi.org/10.1241/johokanri.60.710, https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/10/60_710/_article/-char/ja/.

[招待 11] 中川裕志:招待講演:自動運転車の技術課題, 法と技術シンポジウム（第2回）

人工知能（AI）と IoT 利用のプライバシー・個人情報保護～コネクティッド カー(Connected Car)を一例に～, 一橋講堂, 2018 年 2 月.

[招待 12] 中川裕志:招待講演:個人データと個別アクセス制御 Personal Data and Individual Access Control, IEEE Ethically Aligned Design version2 Workshop series 第 4 回, 2018 年 3 月.

[招待 13] 中村覚:東京大学デジタルアーカイブズ構築事業と LOD（Linked Open Data）による利活用, 第 6 回東北大学史料館アーカイブズセミナー, 2018 年 2 月.

受賞関連

[受賞 1] CSS2017(PWS セクション)山形, 2017 年 10 月 23 日（PWSCUP2017 匿名加工基準賞受賞）: 門田将徳

査読付論文

[査読付 1] Yo Ehara, Issei Sato, Hidekazu Ooiwa, Hiroshi Nakagawa: Mining words in the minds of second language learners:learner-specific word difficulty, journal of Information Processing, Vol.22, No.4, pp.1‐9, Jan. 2017, DOI: 10.2197/ipsjjip.22.1

[査読付 2] Takuma Nakagawa, Hiromi Arai, Hiroshi Nakagawa: Personalized Anonymization for Set-Valued Data by Partial Suppression, the 10th International Workshop on Privacy and Anonymity in the Information Society (PAIS 2017) collocated with IEEE ICDM2017, URL:http://cscdb.nku.edu/pais17/program.html, New Orleans, Louisiana (U.S.A.), 2017 Nov. 18.

[査読付 3] Hiroshi Nakagawa: Anonymization and Re-identification for Personal Transaction Da-ta, Workshop on Design Issues for a data Anonymization Competition (WODIAC) on Privacy Enhanc-ing Technologies Symposium (PETS) 2017, Minneapolis, July 17, 2017.

[査読付 4] 福田貴三郎, 村瀬健太郎, 中村覚, 稗方和夫, 笈田佳彰, 松本滋, 岡田伊策: システムの仕様変更調査における設計情報と作業プロセス間の依存関係を用いた影響分析システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.4, 採録決定, 2018.

[査読付 5] 中村覚, 大和裕幸, 稗方和夫, 満行泰河, 鈴木淳, 吉田ますみ: Linked Data を用いた歴史研究者の史料管理と活用を支援するシステムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.2, pp.267-277, 2018.

[査読付 6] 中村覚: Linked Data を用いた軍艦オントロジーの構築と平賀譲デジタルアーカイブへの活用, じんもんこん 2017 論文集, Vol.2017, pp.133-138, 2017.

[査読付 7] Satoru Nakamura, Development of System to Encourage Data Sharing and Usage among Process on Historical Study with Linked Data, Seventh Annual Conference of the Japanese Associa-tion for Digital Humanities (JADH2017), pp.68-69, Doshisha Uni-versity, Kyoto, Japan, 2017.

[査読付 8] Satoru Nakamura, Kazuo Hiekata, Taiga Mitsuyuki, Satoshi Kato, Takashi Miyamoto, Tomoko Takashima. Development of System to Support Knowledge Discovery in His-torical Study, Proc. of the 24th ISPE International Conference on Transdisciplinary Engineering (TE2017), Vol.5, pp.657-664, Nanyang Technological University, Singa-pore, 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 出町彰浩、荒井ひろみ、中川裕志:顔画像データにおける匿名化手法, 情報処理学会 コンピュータセキュリティシンポジウム CSS2017, 3F4-3, 2017 年 10 月 山形国際ホテル, URL:http://www.iwsec.org/css/2017/.

[発表 2] 中川卓麻、荒井ひろみ、中川裕志:集合値データに対する個人適応型匿名化手法, 情報処理学会 コンピュータセキュリティシンポジウム CSS2017, 3F4-4, 2017 年 10 月, 山形国際ホテル, URL: http://www.iwsec.org/css/2017/.

[発表 3] Hiroshi Nakagawa: Anonymization and Re-identification for Personal Transaction Data, Third French-Japanese Meeting on Cybersecurity, Keio Universty, Mita, April, 2017 (The Department for Science and Technology of the Embassy of France in Japan).

[発表 4] 東京大学学術資産アーカイブ化推進室:「東京大学デジタルアーカイブズ構築事業」について, 東京大学大学院情報学環社会情報研究資料センターニュース, No.28, pp.1-2, 2018 年 3 月.

[発表 5] 宮本隆史, 片桐由希子, 中村覚: 地域文化資源デジタルアーカイブの方法論, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.2, No.2, pp.28-31, 2018 年 3 月.

[発表 6] 冨澤かな, 木村拓, 成田健太郎, 永井正勝, 中村覚, 福島幸宏: デジタルアーカイブの「裾野のモデル」を求めて －東京大学附属図書館 U-PARL「古典籍 on flickr！～漢籍・法帖を写真サイトでオープンしてみると～」報告, 情報の科学と技術, Vol.68, No.3, pp.129-134, 2018 年 3 月.

[発表 7] 中村覚, 成田健太郎, 永井正勝, 冨澤かな: U-PARL における漢籍・碑帖拓本デジタルアーカイブの試作と研究利用, 研究報告人文科学とコンピュータ(CH), Vol.2018-CH-116, No.5, pp.1-8, 函館コミュニティプラザ G スクエア, 2018 年 1 月.

[発表 8] 中村覚, 大和裕幸, 稗方和夫, 満行泰河: Linked Data を用いた平賀譲デジタルアーカイブの構築と活用, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.1, No.Pre, pp.71-75, 岐阜女子大学 文化情報研究センター, 2017 年 7 月.

特記事項

[特記 1] 科学研究費　基盤研究(B): 情報検索システムにおけるプライバシー保護に関する研究,代表者, 平成 27 年度～平成 29 年度

[特記 2] 中川裕志, 西田豊明, 堀浩一:主催:第 31 回人工知能学会全国大会, オーガナイズドセッション「OS-24 人工知能が誘発する問題の人工知能による解決を目指して」. 名古屋, ウインクあいち, 2017 年 5 月.

[特記 3] Hiroshi Nakagawa(分担執筆): Chapter:Personal Data and Individual Access Control, IEEE Ethically Aligned Design version2, http://standards.ieee.org/develop/indconn/ec/autonomous_systems.html, 2018 年 12 月刊行.

[特記 4] 中村覚:LOD(Linked Open Data)について, 東京大学学術資産アーカイブ化推進室主催セミナー「学術資産アーカイブズとメタデータ」, 2018 年 2 月.

[特記 5] 中村覚:東京大学学術資産等アーカイブズシステム(仮称)について, 東京大学学術資産アーカイブ化推進室主催セミナー「学術資産アーカイブズとメタデータ」, 2018 年 2 月.

[特記 6] 大和裕幸, 中村覚:平賀譲文書 ― デジタルアーカイブを利用した歴史学の研究手法とそれを支える情報技術, 東京大学柏図書館第 16 回サイエンスカフェ, 2018 年 1 月.

[特記 7] 東京大学学術資産アーカイブ化推進室: 東京大学学術資産等アーカイブズリポジトリ, https://iiif.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/repo/, 2018 年 1 月公開.

[特記 8] 東京大学学術資産アーカイブ化推進室: 東京大学学術資産等アーカイブズリンク集, http://da.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dalink/, 2017 年 12 月公開.

[特記 9] 中村覚: 東京大学柏図書館「第 11 回」企画展示 ふね遺産『平賀譲文書』, 2017 年 12 月.

[特記 10] 中村覚:デジタルアーカイブ管理ツールである Omeka チュートリアル, じんもんこん 2017 国立歴史民俗博物館 企画セッション「歴史研究と人文研究のためのツールを学ぶ」, 2017 年 12 月.

[特記 11] 中村覚:flickr にもう一工夫でできること, アジアンライブラリーカフェ no.002 古典籍 on flickr!～漢籍・法帖を写真サイトでオープンしてみると～, 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, 2017 年 10 月.

報道関連

[報道 1] Newton, ゼロからわかる人工知能 - セキュリティとプライバシー p.44,45, 人工知能は人類の友人となるか？それとも・・・・ p.44-51, 2018 年 1 月号, ニュートンプレス社.

人工知能と社会

中川裕志

1　概要

2017 年度は、主に人工知能ないし機械学習の技術と社会の関係に関して種々の検討を行った。

(1) 改正個人情報保護法において導入された匿名加工情報の数理的定義に沿うガイドラインとなる評価方法として、履歴データの匿名化と再識別に関するコンテスト PWSCUP2107 に参加し、出場 15 チーム中 6 位の成績を得た。また、匿名加工情報に関する個人情報保護委員会が定めたガイドラインの解釈の優秀さに関して受賞した[受賞 1]。また、プライバシー保護技術に関する会議発表を行った[査読付 2,3] 。
(2) 個人データが GAFA と総称されるIT大企業に囲い込まれている現状を改善する目的で MyData Japan 2017 を主催者として開催し、講演も行った[招待 1]。
(3) 人工知能の脅威および汎用人工知能について調査し、招待講演を行った[招待 2,5,6,8,9]。
(4) 自動運転車の技術とプライバシーに関する講演を行った[招待 4,11]。
(5) 人工知能倫理基準に関してIEEE EAD version2のプライバシーに関する章の執筆に寄与した[特記 3]。

紙数の関係から、以下では、プライバシー保護技術について述べる。

2　プライバシー保護技術

2.1　はじめに

ビッグデータの中でも個人データ[注1)] はビジネス的価値が高いものとして注目されている。個人データとしては、氏名、住所、職業、収入、ゲノムなどの固定的な個人情報と時間とともに集積していく履歴データがある。履歴データとしては、医療履歴、購買履歴、移動履歴、行動履歴(Web 閲覧履歴、IT サービス利用履歴など)があり、その利活用はビジネスとして大きな価値を生む。履歴データは個人データなので、プライバシー保護の対象になるが、誰のどのような個人データを保護するかを分類したのが以下の 2 節である。

2.1.1 質問者、サービス利用者

検索エンジンや IT サービスの利用の場合、質問者やサービス利用者に関する情報の秘匿が目標になる。

(1) 質問者、サービス利用者に関する情報
　質問者の個人識別情報、ネットワーク上のアドレス、質問ないし利用した時の位置情報が秘匿対象である。
(2) 質問あるいは利用に係わる情報

質問そのもの、あるいはIT サービス利用のために投入する情報も検索エンジンやIT サービス事業者から秘匿するべき場合がある。

2.1.2 データベース中の個人データ

データベースを組織間移転、転売、公開、ないしは検索サービスに供する場合、データベースに格納された個人データのプライバシー保護が問題になる。重要な課題は、データベースに含まれている個人データに関して、対応する個人すなわちデータ主体を特定[注3)]されることを防ぐことである。データ主体が特定されることの問題点は、特定された当該データと同じデータ主体に関する他の個人データが紐づけされてしまい、データ主体本人の気づかないまま詳細な個人データ、個人情報が特定の事業者などに集積されてしまうことである。

データベース中の個人データのプライバシー保護にはデータベース自体を改変する方法とデータベースへの検索結果を改変する方法がある。

2.2 質問者、サービス利用者の匿名化と秘匿

2.2.1 グループに紛れる方法

2.1.1(1)で述べた方法で古くから知られているのは質問者、サービス利用者（以下では、まとめて「質問者」と記す。）を複数人からなるグループに紛れさせてしまう方法である。

Reiter らのの手法[1]では、予め参加しているメンバーからなるCrowd というグループの中で、質問者が発した質問メッセージをグループ内でランダムに選んだメンバーに送付することを繰り返す。ただし、メッセージを受け取ったメンバーは一定の確率で質問を検索システムに送付する。

検索結果は、ランダムな経路を逆に辿って質問者まで戻される。ただし、この逆送付ができるのは、Crowd グループのメンバーに限られるので、検索システムから質問者を特定できない。

質問者が自身の位置情報を入力してサービスを受ける場合について考えてみよう。たとえば、自分の現在位置に近いレストランを検索するサービスなどである。自身の位置情報が質問内容になるので、サービス供給者まで届いてしまうが、自分が誰であるかが推定されないので、位置情報のプライバシーは守られていると考えられる。

2.2.2 Tor

Tor（The Onion Routing）は質問者を最終受信者からオニオン・ルーティングと呼ばれる公開鍵暗号を利用したプロトコルで隠蔽する方法であり、質問者の匿名化ができる[2]。Tor は完全性の高い方法だが、最近はトラフィックパタンを観察して質問者を辿る方法が検討されている[3]。

2.3 質問自体の秘匿

2.3.1 質問改変

質問自体を検索エンジンに知られたくないことはしばしばある。たとえば、企業の研究開発者が特許検索において用いる質問の単語は、その企業の製品開発方針という重要な企業秘密を内包している。よって、質問の単語を知られることは企業秘密の漏洩につながりかねない。

質問を秘匿する方法の一つに質問改変がある。まず、質問 Q を単語の集合$\{q_1 \cdots q_k\}$とする。この状況で質問改変には以下のような方法がある。

(1) 単語への分解：Q を 1 単語からなる k 個の質問$q_1 \cdots q_k$に分解して、1 単語ずつの質問を繰り返す。得られた結果を質問者の計算機上で処理して、Q に対する結果を作る。例えば、単語 q_i に対する結果を R(q_i)とすると、それらの共通部分を Q に対する結果とする。

ただし、この方法は検索エンジン側は質問の発信者が同一であることを知っていれば効果がない。よって、質問者を秘匿する方法と併用せざるをえないであろう。

(2) 単語の置き換え：単語を類似の単語で置き換える方法である。ただし、単語間の類似度をなんらかの外部情報で補う必要がある。一つの方法としては既存の類義語辞書あるいはシソーラスを使う方法がある。

(3)　ノイズ付加：紛らわしい単語をノイズとして質問に加え、真の質問単語を知られにくくする方法である。紛らわしい単語は、既存のシソーラスなどを使う。この方法のベースライン的存在であるTrackMeNot[4]では、Yahoo!の公開している categories, sub-categories を用いている。

質問改変方法は必ずしも強力な質問秘匿方法とはいえない。例えば、(3)の方法だと、k 単語からなる質問にノイズ付加をして総数 Nk 単語としても、$1/N$ の確率で真の質問単語を推定される。さらに、(2)(3)のいずれも検索エンジンすなわち攻撃者は、質問者の過去の質問履歴を知っていてそれから学習すれば、高い精度で真の質問を推定できる。

以上まとめると、質問改変は弱い秘匿方法である。ただし、質問者の PC のブラウザにおけるプラグインとして使える簡便さがある。

2.4 データベース自体の匿名化

2.4.1 仮名化

データベースに個人 1 名のデータが 1 レコードに格納されているとする。このレコードは次の表のようになる。

表 1. 個人データのレコード構造

個人識別情報	個人データ	機微情報
氏名、個人 ID、住所、年令、性別など	購買履歴、移動履歴、Web 閲覧履歴など	病歴、前科前歴など

このレコードのデータ主体である個人が識別されないためには、まず氏名ないし個人ごとに異なる個人 ID(マイナンバーなど)を削除する。とはいえ、レコードの残りの部分をインデクスするために何らかの名前が必要である。これを氏名などからハッシュ関数などを使って発生した値、すなわち仮名で置き換える。これを仮名化という。

2.4.2 履歴データ分割

仮名化はデータベースにおける個人データの匿名化に必要な処理だが、それだけで匿名化ができるわけではない。表 1 の個人データにおいて購買履歴、行動履歴、Web 閲覧履歴などが長期間にわたって収集され続けると、履歴情報が他のデータベースなどの情報源と突合されて個人が識別される可能性が高くなる。そこで、履歴データを分割して分割毎に異なる仮名をつける。これによって、分割された履歴データが連結できなくなるため、識別の困難さが増す。極端なケースとして履歴の 1 データ毎に仮名を変える[注5)]なら、個人識別は非常に困難になる。

一般に仮名の変更が頻繁になるほどデータの有用性は低下する。例えば、患者の健康状態の推移などでは履歴を分割するとほとんど有用性が消滅する情報もある。一方、購買履歴は、かなり細かく分割しても日時毎の特定商品の販売個数などビジネスに有用な統計情報は取り出せる。つまり、履歴分割による有用性の低下は対象データの種類に依存する。

2.4.3 kー匿名化、lー多様化

Sweeney[5]は複数のデータベースの名寄せの具体例をあげて危険性を指摘している。

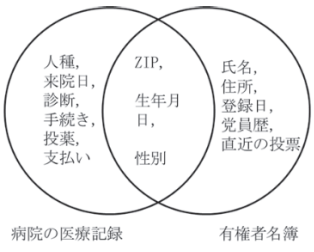


図 1. 複数のデータベースの名寄せ例

米国では図 1 のように氏名、住所、ZIP コード、生年月日、性別などを含む有権者名簿が公開されている。一方、病院の医療記録は、患者の氏名は削除したものの ZIP コード、生年月日、性別、人種、診断などが記載されている。公開されている投票者名簿においてマサチューセッツ州知事の ZIP コード、生年月日、性別を医療記録と照合した結果、6 人が知事と同じ生年月日、うち 3 人が知事と同じ

く男性、うち 1 名が同じ ZIP(郵便番号)であって一意絞り込みができ、本人の病歴が漏洩してしまった。

このような状況を防ぐために導入されたのが *k*－匿名化[5]である。氏名は仮名化した上で、他の個人識別情報の精度を粗くする。次の表に実例を示す。

表 2. *k*－匿名化の例（*k*＝２）

氏名	誕生日	性別	Zip5 桁	病名
太朗	21/1/82	男	55014	大腸炎
花子	10/1/81	女	55410	大腸炎
光子	1/10/44	女	90210	気管支炎
次郎	21/2/74	男	02174	肺炎
明菜	19/4/72	女	02237	胃炎

↓

仮名	誕生年代	性別	Zip2 桁	病名
A01	80		55	大腸炎
03B	80		55	大腸炎
~~412~~	~~40~~	~~女~~	~~90~~	~~気管支炎~~
CC8	70		02	肺炎
XY9	70		02	胃炎

上の表から下の表への変換は次のようにして行う。まず、氏名を仮名で置き換える。次に誕生日を 10 年ごとの年代に置き換える。性別は削除する。Zip コードは 5 桁から上 2 桁にする。こうすると、誕生年代、性別、Zip2 桁だけみると、A01 と 03B は区別できず、CC8 と XY9 も区別できない。また、412 はどのように情報を粗くしても他人と等しくできないので、レコードそのものを削除する。こうすると、誕生年代、性別、Zip2 桁は同一の人が 2 名以上いるので、1 名に絞り込めない。この処理を 2－匿名化と呼ぶ。一般的に言えば、データベースにおいて誕生日、性別、ZIP が同一の人が *k* 人以上いるように情報を粗くする処理を *k*－匿名化と呼ぶ。なお、情報の粗くする処理を最小限に抑える処理は計算量がレコード数に対して NP 完全であることが知られており、かなり重い処理である。

ところで、表 2 においては 2－匿名化はできているが、A01、03B の 2 名の病名は 2 名とも同一の大腸炎なので、2－匿名化によっても病名という機微な情報は漏洩してしまう可能性が高い。これを防ぐために *k*－匿名化の *k* 人のグループ内に知られては困る情報つまり機微情報の種類が *l* 種類以上存在するように情報を粗くする処理を調節する方法を *l*－多様化[6]と呼ぶ。表 2 の場合、CC8、XY9 の 2 名は 2－匿名化されているうえに、病名も 2 種類あるので、この部分だけみれば 2－多様化されている。データベース全体の *l*－多様化を *k*－匿名化に加味する匿名化処理は、計算量が大きい上にデータ有用性をさらに低下させる可能性がある。

2.5 おわりに

以上、プライバシー保護技術の概要を述べた。この内容は[招待 3]に準ずるものであるが、プライバシー保護技術に関する独自の成果としては[査読付 2] [査読付 3] [受賞 1]などがある。

参考文献

[1] M. Reiter and A. Rubin. Crowds: anonymity for web transactions. ACM Transactions on Information and System Security. 1998, vol.1, no.1, p.66–92.

[2]M. G. Reed, P. F. Syverson, D. M. Goldschlag. Anonymous Connections and Onion Routing. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1998, vol.16, no.4, p. 482 – 494.
[3]A. Johnson, R.Jansen, N. Hopper, A. Segal , P. Syverson. PeerFlow: Secure Load Balancing in Tor. Prceedings on Privacy Enhancing Technologies . 2017, no.2, p.74–94.
[4]V. Toubiana, L. Subramanian, Helen Nissenbaum. TrackMeNot: Enhancing the privacy of Web Search. 2011-9-22. https://arxiv.org/pdf/1109.4677.pdf (accessed 2017-8-14)
[5] L. Sweeney L. k-Anonymity: A Model for Protecting Privacy. International Journal on Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems. 2002, vol.10., no. 5, p. 557-570.
[6]A. Machnavajjhala, D. Kifer, J. Gehrk, U. Venkitasbramaniam. l-Diversity: Privacy Beyond k-Anonymity. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data. 2007, vol. 1, no. 1, Article 3. p.1-52.

3 成果要覧

受賞

[受賞 1] CSS2017(PWS セクション)山形, 2017 年 10 月 23 日（PWSCUP2017 匿名加工基準賞受賞）:門田将徳

招待講演／招待論文

[招待 1]中川裕志：招待講演：MyData をめぐる状況 －MyData 2016 の報告－，一般社団法人オープン・ナレッジ・ファウンデーション・ジャパン（OKJP），秋葉原コンベンションセンター，2017 年 5 月 19 日
[招待 2]中川裕志：招待講演：人工知能の課題～シンギュラリティ以前に考えるべきこと，司法研修所・基盤研究会 1，2017 年 7 月 5 日
[招待 3] 中川裕志：プライバシー保護の技術と展望，IT の進展から派生する諸課題に関する学術シンポジウム，主催：日本学術会議情報学委員会 IT の生む諸課題検討分科会，日本学術会議講堂，2017 年 8 月 9 日、
[招待 4] 中川裕志：人工知能と社会～理研の AI 研究，第 1 回 法と技術シンポジウム「人工知能による自動走行と社会」，主催：新潟大学法学部，理化学研究所革新知能総合研究センター，新潟県，新潟市朱鷺メッセ，2017 年 9 月 18 日
[招待 5] Hiroshi Nakagawa: AI takes over human jobs, A Symposium on AI and Society, 2017, Oct. 11, Toranomon Hills Forum 5F Main Hall, Tokyo, http://www.aiandsociety.org/
[招待 6] 中川裕志： AI ネットワークの利用環境の展望，総務省 AI ネットワーク社会推進会議（第 7 回），2017 年 10 月 19 日，
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/ai_network/02iicp01_04000110.html
[招待 7] 中川裕志:人工知能倫理指針におけるプライバシーの扱い,情報ネットワーク法学会第 8 分科会，名古屋大学, 2017 年 11 月 12 日
[招待 8] 中川裕志：招待講演：AGI への道程：2017 年版人工知能学会合同研究会（汎用人工知能研究会 (SIG-AGI)），慶応大学，2017 年 11 月 24 日
[招待 9] 中川裕志：招待講演：ＡＩにおける倫理と社会的影響：BSR 主催セミナー：AI・テクノロジーと倫理・人権課題―グローバル＆日本の潮流，フクラシア東京ステーション，2017 年 12 月 11 日
[招待 10] 中川裕志：招待論文：プライバシー保護の技術：質問者の保護から個人情報秘匿技術まで，情報管理 60 巻 (2017) 10 号 p. 710-718，2017 年 1 月，
https://doi.org/10.1241/johokanri.60.710,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/60/10/60_710/_article/-char/ja/
[招待 11]中川裕志：招待講演：自動運転車の技術課題，法と技術シンポジウム（第２回）人工知能（AI）と IoT 利用のプライバシー・個人情報保護～コネクティッドカー (Connected Car)を一例に～，一橋講堂，2018 年 2 月 19 日

[招待 12]中川裕志：招待講演：個人データと個別アクセス制御 Personal Data and Individual Access Control, IEEE Ethically Aligned Design version2 Workshop series 第 4 回, 2018 年 3 月 11 日

査読付論文

[査読付 1] Yo Ehara, Issei Sato, Hidekazu Ooiwa, Hiroshi Nakagawa: Mining words in the minds of second language learners:learner-specific word difficulty, journal of Information Processing Vol.22 No.4 pp.1–9, Jan. 2017, DOI: 10.2197/ipsjjip.22.1

[査読付 2]Takuma Nakagawa, Hiromi Arai, Hiroshi Nakagawa: Personalized Anonymization for Set-Valued Data by Partial Suppression, the 10th International Workshop on Privacy and Anonymity in the Information Society (PAIS 2017) collocated with IEEE ICDM2017, URL:http://cscdb.nku.edu/pais17/program.html, New Orleans, Louisiana (U.S.A.), 2017 Nov. 18

[査読付 3]Hiroshi Nakagawa: Anonymization and Re-identification for Personal Transaction Data, Workshop on Design Issues for a data Anonymization Competition (WODIAC) on Privacy Enhancing Technologies Symposium (PETS) 2017, Minneapolis, July 17, 2017

その他の発表論文

[発表 1] 出町彰浩、荒井ひろみ、中川裕志：顔画像データにおける匿名化手法，情報処理学会コンピュータセキュリティシンポジウム CSS2017, 3F4-3, 2017 年 10 月 25 日,山形国際ホテル, URL:http://www.iwsec.org/css/2017/

[発表 2] 中川卓麻、荒井ひろみ、中川裕志：集合値データに対する個人適応型匿名化手法，情報処理学会 コンピュータセキュリティシンポジウム CSS2017, 3F4-4, 2017 年 10 月 25 日, 山形国際ホテル, URL: http://www.iwsec.org/css/2017/

[発表 3]Hiroshi Nakagawa: Anonymization and Re-identification for Personal Transaction Data, Third French-Japanese Meeting on Cybersecurity, Keio Universty, Mita, April 25,2017 (The Department for Science and Technology of the Embassy of France in Japan)

特記事項

[特記 1]科学研究費 基盤研究(B): 情報検索システムにおけるプライバシー保護に関する研究,代表者, 平成 27 年度～平成 29 年度

[特記 2] 中川裕志, 西田豊明，堀浩一：主催：第 31 回人工知能学会全国大会, オーガナイズドセッション「OS-24 人工知能が誘発する問題の人工知能による解決を目指して」. 名古屋, ウインクあいち,2017 年 5 月 23 日

[特記 3]Hiroshi Nakagawa(分担執筆): Chapter:Personal Data and Individual Access Control, IEEE Ethically Aligned Design version2, http://standards.ieee.org/develop/indconn/ec/autonomous_systems.html，2018 年 12 月刊行

報道発表

[報道 1] Newton, ゼロからわかる人工知能 - セキュリティとプライバシー p.44,45, 人工知能は人類の友人となるか？それとも・・・・・ p.44-51, 2018 年 1 月号，ニュートンプレス社

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。

- 「東京大学学術資産等アーカイブズシステム（仮称）」の設計と構築

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「資料管理」「資料研究」「成果公開」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　「東京大学学術資産等アーカイブズシステム（仮称）」の設計と構築

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」が設置された。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、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システム（仮称）」の設計と構築に取り組んでいる。

図 1 に示す本アーカイブズシステムは、以下の 3 つのシステムから構成される。

- 東京大学学術資産等アーカイブズリンク集
- 東京大学学術資産等アーカイブズポータル（仮称）
- 東京大学学術資産等アーカイブズリポジトリ（仮称）

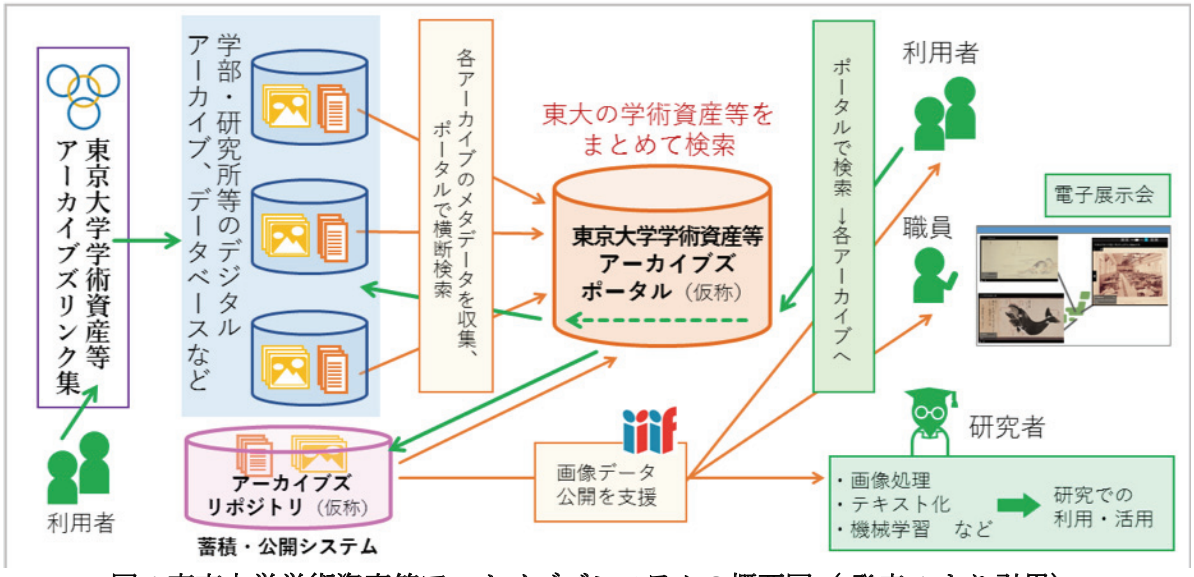


図 1 東京大学学術資産等アーカイブズシステムの概要図（[発表 1]より引用）

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。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（仮称）（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。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。このポータルシステムの構築に向け、2017 年度はメタデータの登録実験やプロトタイプシステムの構築などを行った。これらの実証試験結果をもとに、2018 年度は本システムの構築を進める。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）を用いた公開データの利活用を支援するための環境構築についても検討している。

東京大学学術資産等アーカイブズリポジトリ（仮称）（以下、「リポジトリ」）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である。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。さらに、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）の付与なども実装できるべく検討を進めている。

2.3 具体的成果

具体的な成果は以下の通りである。

- 東京大学学術資産等アーカイブズリンク集の構築と公開 [特記 5]
- 東京大学学術資産等アーカイブズポータルのプロトタイプシステムの構築と学内公開

- 東京大学学術資産等アーカイブズリポジトリの構築と公開 [特記 4]
- セミナー発表や原稿執筆を通じた事業内容の発信 [招待 1] [発表 1][特記 1, 特記 2]

リンク集については、2017 年 12 月に公開を開始した。2018 年 4 月 2 日時点では、184 件の学内ウェブサイトが登録されている。日本語ページだけでなく、英語ページも提供することで、東京大学学術資産の国内外に向けた発信を行っている。

ポータルについては、オープンソースソフトウェアの次世代 OPAC「VuFind」を用いたプロトタイプシステムを構築し、閲覧者を限定した学内公開を行なっている。本プロトタイプシステムの機能検証を目的として、ダミーデータ(推進室が学内ウェブサイトから独自に抽出したデータ)を登録している。2018 年 2 月 7 日時点では、16 部局 116,192 件のアイテムが登録されている。本システムを用いることにより、例えば「情報学環・学際情報学府」「法学政治学研究科・法学部」「総合研究博物館」が各々所蔵する「郵便報知新聞」をまとめて取得することができ、対象資料の網羅的な検索が可能となった。このような事例から、異なる部局が所蔵する学術資産に対する横断検索を可能とするポータルシステムの有用性を確認した。また、2018 年度のポータルシステムの構築に向けた要件定義を目的として、学内の有識者による本プロトタイプシステムの評価アンケートを実施した。この評価アンケートの結果を踏まえ、ポータルシステムの実用化を進めている。

図 2 東京大学学術資産等アーカイブズポータルのプロトタイプシステム

リポジトリについては、2018 年 1 月に公開を開始した。2018 年 4 月 11 日時点では、東京大学総合図書館の所蔵資料である「百鬼夜行図」「紀州熊野浦諸鯨之圖」「明・弘治十八年八月二十日勅命」「写真帖『東京帝國大學』」「三十六歌撰絵巻」「直江状」「松乃栄」「救世主像」の 8 コレクションを公開している。特に「百鬼夜行図」については、第三者によるセミナーでの利用事例等が報告されており、IIIF を用いた画像公開の利点を確認した。また「直江状」については、TEI に従って記述した原文テキストデータを公開している。今後は「東京大学デジタルアーカイブ構築事業」でデジタル化された学術資産を本リポジトリで順次公開していくとともに、IIIF や TEI 等の情報技術を利用した公開データの研究・展示活動等への活用を進める。

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

歴史学研究は、歴史資料（以下、資料）の目録データの作成や整理を行う「資料管理」、研究者が資料を用いて研究課題の解明に取り組む「資料研究」、資料や研究成果を広く一般に公開する「成果公開」の三つのプロセスに整理することができる。各々のプロセスは、取り扱うデータや活動主体の違いにより、独立して進められることが多い。本研究では、上述したプロセス間の有機的な連携を支援することを目的とし、各プロセス間で取り扱うデータを 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を提案する。

3.2　内容

Linked Data とは、分野やシステムを超えたデータの共有や再利用を支援することを目的とし、Web 上で機械可読な構造化データを公開する技術の総称である。本手法では Linked Data を用いて、歴史学研究を構成する「資料管理」「資料研究」「成果公開」プロセスの成果物を統合的に管理する。提案手法の概要を図 3 に示す。RDF（Resource Description Framework）を格納する RDF ストアを Web 空間上に構築し、資料の目録情報をはじめとする「目録データ」、研究者が研究目的に応じて蓄積する「研究データ」、キャプションやキーワード等の資料展示に必要となる「展示データ」を一元的に管理する。さらに RDF ストアに対して API を介してアクセスするアプリケーションを構築し、データの利活用を行う。本研究では、このアプリケーションの一つとしてデジタルアーカイブを位置づけ、さらに資料研究や展示による成果公開におけるデータ活用を支援する。

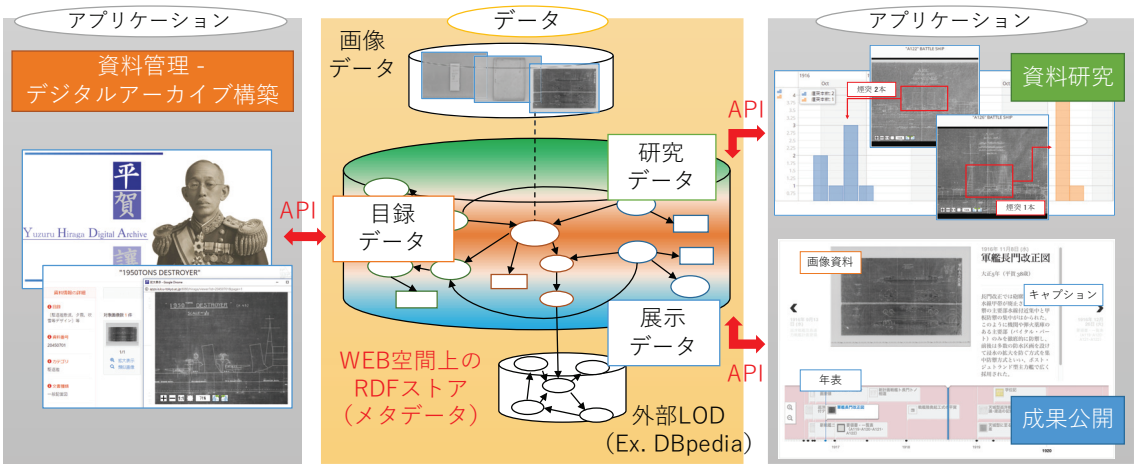


図 3 Linked Data を用いたデジタルアーカイブ活用手法（[発表 5]より引用）

3.3　具体的成果

上述した提案手法に基づき、以下に示す資料群を対象とした研究・展示活動を行なった。

- 東京大学柏図書館所蔵『平賀譲文書』[査読付 3, 査読付 4][発表 5][特記 3, 特記 6]
- 東京大学附属図書館 U-PARL：漢籍・碑帖拓本 [発表 3, 発表 4] [特記 8]
- 東京大学文書館所蔵『文部省往復』[査読付 5]
- 地域文化資源アーカイブ「地域雑誌『谷中・根津・千駄木』」[発表 2]

『平賀譲文書』を対象とした研究では、大日本帝国海軍造船中将であった平賀譲が遺した艦艇に関する設計図面や技術文書を公開する平賀譲デジタルアーカイブの利活用に向け、軍艦に関する知識の体系化を行うオントロジーの構築を行った。DBpedia を用いたオントロジー構築を行うことで、既存の知識ベースが提供するデータの再利用が可能となり、123 件の軍艦から構成されるオントロジーを低コストで構築することができた。また、構築した軍艦オントロジーを用いて、軍艦の建造史や階層関係等を可視化することにより、軍艦に関する多角的な情報提供と、平賀譲デジタルアーカイブが公開する資料に対する多角的なアクセスを実現した。

さらに、『平賀譲文書』が 2017 年 5 月 22 日に日本船舶海洋工学会より第 1 回ふね遺産に認定されたことを記念して、東京大学柏図書館にて 2017 年 12 月 18 日から企画展示を開催している。この展示では、「平賀譲デジタルアーカイブ」上で展示資料を公開するデジタル展示も合わせて開催している。

また、東京大学附属図書館 U-PARL（アジア研究図書館上廣倫理財団寄付研究部門）が公開している漢籍・碑帖拓本資料を対象とした研究では、これら資料の研究利用に向けた要件定義を行なった。さらに、この要件定義に基づき、オープンソースの Web パブリッシングのプラットフォームである Omeka と IIIF を用いた研究環境の構築を行なった。具体的には、IIIF に準拠して画像を公開するデジタルアーカイブと、研究者がメタデータやアノテーションを付与することが可能な環境を構築した。このシステムを用いて集帖を対象とした作品メタデータ（作品タイトル、著者名）や、テキストアノテーションを付与することで、作品の同定に必要な情報を蓄積し、絞り込み等の資料検索に活用するモデルを示した。

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と LOD（Linked Open Data）による利活用，第 6 回東北大学史料館アーカイブズセミナー，2018 年 2 月．

査読付論文

[査読付 1] 福田貴三郎，村瀬健太郎，中村覚，稗方和夫，笈田佳彰，松本滋，岡田伊策：システムの仕様変更調査における設計情報と作業プロセス間の依存関係を用いた影響分析システムの開発，情報処理学会論文誌，Vol.59, No.4, 採録決定, 2018.

[査読付 2] 中村覚，大和裕幸，稗方和夫，満行泰河，鈴木淳，吉田ますみ：Linked Data を用いた歴史研究者の史料管理と活用を支援するシステムの開発，情報処理学会論文誌，Vol.59，No.2，pp.267-277, 2018.

[査読付 3] 中村覚：Linked Data を用いた軍艦オントロジーの構築と平賀譲デジタルアーカイブへの活用，じんもんこん 2017 論文集，Vol.2017, pp.133-138, 2017.

[査読付 4] Satoru Nakamura, Development of System to Encourage Data Sharing and Usage among Process on Historical Study with Linked Data, Seventh Annual Conference of the Japanese Association for Digital Humanities (JADH2017), pp.68-69, Doshisha University, Kyoto, Japan, 2017.

[査読付 5] Satoru Nakamura, Kazuo Hiekata, Taiga Mitsuyuki, Satoshi Kato, Takashi Miyamoto, Tomoko Takashima. Development of System to Support Knowledge Discovery in Historical Study, Proc. of the 24th ISPE International Conference on Transdisciplinary Engineering (TE2017), Vol.5, pp.657-664, Nanyang Technological University, Singapore, 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 東京大学学術資産アーカイブ化推進室:「東京大学デジタルアーカイブズ構築事業」について, 東京大学大学院情報学環社会情報研究資料センターニュース, No.28, pp.1-2, 2018 年 3 月.

[発表 2] 宮本隆史, 片桐由希子, 中村覚: 地域文化資源デジタルアーカイブの方法論, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.2, No.2, pp.28-31, 2018 年 3 月.

[発表 3] 冨澤かな, 木村拓, 成田健太郎, 永井正勝, 中村覚, 福島幸宏: デジタルアーカイブの「裾野のモデル」を求めて －東京大学附属図書館 U-PARL「古典籍 on flickr！～漢籍・法帖を写真サイトでオープンしてみると～」報告, 情報の科学と技術, Vol.68, No.3, pp.129-134, 2018 年 3 月.

[発表 4] 中村覚, 成田健太郎, 永井正勝, 冨澤かな: U-PARL における漢籍・碑帖拓本デジタルアーカイブの試作と研究利用, 研究報告人文科学とコンピュータ(CH), Vol.2018-CH-116, No.5, pp.1-8, 函館コミュニティプラザ G スクエア, 2018 年 1 月.

[発表 5] 中村覚, 大和裕幸, 稗方和夫, 満行泰河: Linked Data を用いた平賀譲デジタルアーカイブの構築と活用, デジタルアーカイブ学会誌, Vol.1, No.Pre, pp.71-75, 岐阜女子大学 文化情報研究センター, 2017 年 7 月.

特記事項

[特記 1] 中村覚:LOD(Linked Open Data)について, 東京大学学術資産アーカイブ化推進室主催セミナー「学術資産アーカイブズとメタデータ」, 2018 年 2 月.

[特記 2] 中村覚:東京大学学術資産等アーカイブズシステム(仮称)について, 東京大学学術資産アーカイブ化推進室主催セミナー「学術資産アーカイブズとメタデータ」, 2018 年 2 月.

[特記 3] 大和裕幸, 中村覚:平賀譲文書 ― デジタルアーカイブを利用した歴史学の研究手法とそれを支える情報技術, 東京大学柏図書館第 16 回サイエンスカフェ, 2018 年 1 月.

[特記 4] 東京大学学術資産アーカイブ化推進室: 東京大学学術資産等アーカイブズリポジトリ, https://iiif.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/repo/, 2018 年 1 月公開.

[特記 5] 東京大学学術資産アーカイブ化推進室: 東京大学学術資産等アーカイブズリンク集, http://da.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dalink/, 2017 年 12 月公開.

[特記 6] 中村覚: 東京大学柏図書館「第 11 回」企画展示 ふね遺産『平賀譲文書』, 2017 年 12 月.

[特記 7] 中村覚:デジタルアーカイブ管理ツールである Omeka チュートリアル, じんもんこん 2017 国立歴史民俗博物館 企画セッション「歴史研究と人文研究のためのツールを学ぶ」, 2017 年 12 月.

[特記 8] 中村覚:flickr にもう一工夫でできること, アジアンライブラリーカフェ no.002 古典籍 on flickr! ～漢籍・法帖を写真サイトでオープンしてみると～, 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, 2017 年 10 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

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
積極的な守りを展開するサイバーセキュリティと
ソフトウェアインフラを活かすITアーキテクト人材に関する研究

中村 文隆
顔認識を用いたIoTシステムおよび、情報基礎教育用教科書の執筆

妙中 雄三
異種IoTデータの連携を促進するネットワーク技術の研究

中村　遼
ソフトウェア基盤によるキャンパスネットワークの高度化に関する研究

Marc Bruyere
New Generation Internet

ネットワーク研究部門

概要

部門長　工藤　知宏

Society 5.0 では、ビッグデータ等の新たな技術をあらゆる産業や社会生活に取り入れてイノベーションを創出することが重要であり、これを支える基盤としての情報通信ネットワークの重要性も日々高まっている。ネットワークには、単にデータを移動するパイプではなく、他の情報震源と有機的に連携したより高度な機能を持つ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、ネットワークを動的な資源として管理、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に取り組んでいる。2017 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

機械学習や深層学習を利用した積極的な守りを展開するサイバーセキュリティに関する研究を行った。従来セキュリティ専門家の経験や知識に頼っているサイバーセキュリティ脅威対策を、機械学習や深層学習を利用してセキュリティ脅威の分析や対策を一定程度アシストするシステムの実現を目指した。さらに、攻撃者がネットワーク上にて行う各種スキャニング挙動や、攻撃者の攻撃動機や動向を社会的情報として収集し、注意すべき攻撃の傾向を分析することで、より積極的なサイバーセキュリティ対策を実現することを目指した。

また、従来のネットワークやサーバといった区分にとらわれることなく、ソフトウェアによって構成される柔軟な IT システムをアーキテクトする手法、ならびにその人材育成の手法に関する研究を行った。一般社団法人 高度 IT アーキテクト育成協議会と綿密な連携を行い、学内外において次世代の IT インフラを支えることのできる IT インフラエンジニアを育成するための教育カリキュラムと、次世代における IT インフラのあり方とその構成手法に関する検討を行った。今年度は、情報基盤センターにおいても 5 日間の集中講義を開催し、東京大学の学生を含め、約 40 名程度の学生が履修した。

さらに、研究の自由度を尊重しつつセキュリティを確保することが求められる大学環境を対象とした、ファイアウォールの管理およびグローバルアドレスを持つ機器の管理を行うシステムの開発を行った。このシステムは、適切な権限管理の下で、全学で設置するファイアウォールの設定を部局の担当者や研究室の担当者等が行え、さらに大学全体のファイアウォールの状態の一括把握、管理を可能にし、全学のグローバル IP アドレスを持つ機器の把握に要する労力の低減を実現する。本システムは 2018 年度以降、実運用に供する計画である。

［2］ICT 基盤技術

キャンパスネットワークの高度化を目指して、Software Defined WAN (SD-WAN) 技術を用いた柔軟なネットワーク構成と運用の自動化を実現する技術の開発を行った。大学のメイン

キャンパスとブランチ拠点間をより柔軟に接続するために、SD-WAN と呼ばれるオーバーレイネットワークを導入した ASANO システムを開発している。ASANO システムは、Dynamic Multipoint VPN、IPsec、Ethernet VPN/VXLAN といった標準化された技術とそのオープンソース実装を用いてオーバーレイネットワークを構築する。その上で、オーケストレータによる機器の一括制御を通じて拠点間ネットワーク運用の自動化を実現する。2017 年度は、この ASANO システム全体の設計と実装を行い、東京大学内のいくつかの拠点において実利用を開始した。

インターネットにおいて重要な役割を果たしている IXP (Internet Exchange Point)のより動的な構成変更を可能にし、制御プレーンとデータプレーンを分離して信頼性を向上させるために、SDN (Software Defined Networking)を IXP に導入することを目的とした研究を行った。OpenFlow コントローラに IXP 向けのインタフェースを持たせた FAUCET Umbrella を IXP 向けのマネージメントスイートに加える活動を行っている。

さらに、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)システムを開発しており、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している。FPGA を用いたスイッチングとデータ処理を行う FPGA 高機能スイッチノード 16 ノードからなるプロトタイプを開発した。

加えて、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、インターコネクションの革新的な広帯域化によりムーアの法則の限界を超えたデータセンターの性能向上を図るための消費電力と性能の観点からの要件と、その際に必要となる新たな通信アーキテクチャについての検討を行った。

［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 (Augmented Reality) 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、温冷刺激による錯覚を利用した擬似的な味覚の提示方式や電気的筋肉刺激を利用した音楽体験時における感情増幅手法、視覚刺激によって圧力知覚を消滅させる刺激提示方式に関する研究を中心に進めた。

また、IoT デバイスの利用と、IoT デバイスからのデータ(IoT データ)の収集・連携に関する研究を行っている。小型気象センサから得られる情報を利用して、東京都の夏季豪雨に関する研究を行った。加えて、多数の IoT デバイスを接続する無線 LAN を想定し、より重要な AP(Access Point) からの通信を優先する MAC 制御手法を検討し、シミュレータによる有効性評価を行った。さらに、IoT データの生成された物理的な位置をネットワーク内で扱うことができる物理位置調和型通信に取り組み、ネットワーク制御によって近接性を意識した IoT データスクラム連携が実現可能である事を実ネットワークにおいて実証した。IoT データを転送する際に、そのデータが生成された物理的な位置をパケットに識別子として埋め込むことで、ネットワーク内での転送中に位置情報を意識したネットワーク制御が可能な物理位置調和型通信を行う実ネットワーク設計・構築とこれを用いた実証実験を行い、実用化に向けた技術検証と技術課題の抽出を行った。

さらに、IoT や AI などの発展を受けて、シングルボードコンピュータへの顔認証機能の組み込み例の記事執筆や、新しい技術を取り込んだ情報基礎の教科書の執筆を行った。

ネットワーク研究部門 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Tomohiro Kudoh, Shu Namiki: Energy efficient dynamic optical path networking, 17th Annual Global LambdaGrid Workshop, Sydney, Australia, Sep. 2017.

[招待 2] 工藤 知宏, 並木 周: 将来のデータセンター像と光インターコネクション・光デバイスへの期待, 2018 年電子情報通信学会総合大会 CI–3–1, 2018(企画シンポジウム).

[招待 3] 関谷 勇司: IETF に見るネットワークとソフトウェアの関係, ネットワークのソフトウェア化に関する各標準化団体での検討状況, 一般社団法人情報通信技術委員会, 2018 年 2 月.

[招待 4] 関谷 勇司: ソフトウェア技術が構築するネットワーク, クラウド時代のネットワーク最適化 Forum 2018, 2018 年 1 月.

[招待 5] Yuji Sekiya: The Detection Possibility of Cyber-threats using Big Data Analysis and Machine Learning, The 2017 International Data Mining and Cybersecuryty Workshop , Nov. 2017.

[招待 6] 関谷 勇司: ネットワークログ分析による異常検知の可能性について, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム, DICOMO2017 論文集, pp. 1338–1341, 2017 年 6 月.

[招待 7] 関谷 勇司: 学内ネットワークでの SD-WAN 活用, Interop Tokyo 2017 基調講演, 2017 年 6 月.

著書／編集

[著書 1] 関谷 勇司, 岡田 和也: 攻撃に強いネットワークの作り方 : 3-5 一歩進んだセキュリティ対策, 技術評論社, Software Design 別冊 インフラエンジニア教本, pp. 113–121, ISBN : 978–4–7741–8924–6, 2017 年 4 月.

査読付論文

[査読付 1] Jason H. Haga, Carolina Fernandez, Atsuko Takefusa, Takatoshi Ikeda, Jin Tanaka, Bartosz Belter, and Tomohiro Kudoh: Building Intelligent Future Internet Infrastructures: FELIX for Federating Software-Defined Networking Experimental Networks in Europe and Japan, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine, Volume: 3, Issue: 4, pp. 35–42, Oct. 2017.

[査読付 2] Yao Hu, Michihiro Koibuchi, and Tomohiro Kudoh: A Case of Electrical Circuit Switched Interconnection Network for Parallel Computers, The 18th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT’ 17), Dec. 2017.

[査読付 3] K. Ishii, A. Takefusa, S. Namiki, and T. Kudoh: Topology Description Generation and Path Computation Framework for Dynamic Optical Path Network with Heterogeneous Switches, Proc. of OFC2018, paper Tu3D.7, Mar. 2018.

[査読付 4] Yoshihito Seto, Hitoshi Yokoyama, Tsuyoshi Nakatani, Haruo Ando, Nobumitsu Tsunematsu, Yoshinori Shoji, Kenichi Kusunoki, Masaya Nakayama, Yuto Saitoh and Hideo Takahashi: Relationshops among Rainfall Distribution, Surface Wind, and Precipitable Water Vapor during Heavy Rainfall in Central Tokyo in Summer, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 96A, pp. 35–49, Feb. 2018.

[査読付 5] Minori Inoue and Takefumi Ogawa: One Tap Owner Authentication on Smartphones, Proc. of The 15th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2017), Salzburg, Austria, pp. 22–28, Dec. 2017.

[査読付 6] Munkhdorj Baaatarsuren and Yuji Sekiya: Cyber attack prediction using social data analysis”, IOS Press, Journal of High Speed Networks, Vol. 23, No. 2, pp. 109–135, 2017, DOI : 10.3233/JHS–170560.

[査読付 7] Keiichi Shima, Hiroshi Abe, Daisuke Miyamoto, Tomohiro Ishihara, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, Hirochika Asai, and Yusuke Doi: Classification of URL bitstreams using Bag of Bytes, Proceedings of the 21st Innovations in Clouds, Internet and Networks, Feb. 2018.

[査読付 8] Hiroshi Abe, Keiichi Shima, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto, Tomohiro Ishihara, and Kazuya Okada : Hayabusa: Simple and Fast Full-Text Search Engine for Massive System Log Data”, Proceedings of the 12th International Conference on Future Internet Technologies (CFI17), ACM, DOI: 10.1145/3095786.3095788, Jun. 2017.

[査読付 9] Keiichi Shima, Hiroshi Abe, Daisuke Miyamoto, Tomohiro Ishihara, Kazuya Okada, and Yuji Sekiya : URL Classification using BoF of URL bitstream, Extended Abstract Session of Conference on Future Internet (CFI17), Jun. 2017.

[査読付 10] Yuzo Taenaka, Kazuki Mizuyama, and Kazuya Tsukamoto: Adaptive bundle flow management for reducing control traffic on SDN-enabled multi-radio wireless networks, IEICE Transactions on Communications, Vol. E101–B, No. 7, Jul. 2018. (to appear).

[査読付 11] Gianni Antichi, Ignacio Castro, Marco Chiesa, Eder L. Fernandes, Remy Lapeyrade, Daniel Kopp, Jong Hun Han, Marc Bruyere, Christoph Dietzel, Mitchell Gusat, Andrew W. Moore, Philippe Owezarski, Steve Uhlig, and Marco Canini: ENDEAVOUR: A Scalable SDN Architecture For Real-World IXPs, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 35, No. 11, pp. 2553–2562, Nov. 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 工藤 知宏, 高野 了成, 天野 英晴, 鯉渕 道紘, 松谷 宏紀, 塙 敏博, 田浦 健次朗, 並木 周, 池上 努, 須崎 有康, 田中 哲, 赤沼 領大: データの流れに着目した異種エンジン統合クラウドシステム Flow In Cloud, 情報処理学会研究報告システム・アーキテクチャ（ARC）, 2017–ARC–227(1), 1–6, 2017 年 7 月.

[発表 2] 赤沼 領大, 高野 了成, 工藤 知宏: CNN の学習におけるチャネル方向並列化の提案, 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）, 2018–HPC–163(16), 1–7, 2018 年 2 月.

[発表 3] 胡 曜, 工藤 知宏, 鯉渕 道紘: 並列計算機におけるサーキットスイッチ・ネットワークのスロット数の削減法, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (CPSY), 2017 年 7 月.

[発表 4] 工藤 知宏: 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, 第 16 回新産業技術促進検討会「IoT 社会の実現に向けた基盤技術の開発」, 2017 年 11 月.

[発表 5] 山内 脩吾, 武者 千嵯, 工藤 知宏, 天野 英晴: マルチ FPGA ボードによる Recurrent Neural Network の高速化, 信学技報, Vol. 117, No. 378, CPSY2017–106, pp. 1–6, 2018 年 1 月.

[発表 6] 赤沼 領大, 高野 了成, 工藤 知宏: 超広帯域インターコネクトを想定した同期型アーキテクチャーと通信方式の検討, 情報処理学会研究報告システム・アーキテクチャ（ARC）, 2017–ARC–227(22), 1–6, 2017 年 7 月.

[発表 7] Tomohiro Kudoh: Data Centers and Post Moore’s law computing, a part of a workshop “Will Optical Switching Drive Data Center Design in 2028?” (as a member of team A), OFC2018, San Diego, USA, Mar. 2018.

[発表 8] 中村 遼, 関谷 勇司, 工藤 知宏: オープンソースソフトウェアを用いたキャンパス SD-WAN の検討, 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 117, No. 354, IA2017–64, pp. 67–72, 2017 年 12 月.

[発表 9] 後 継元, 中山 雅哉, 若原 恭: アクセスポイントからの通信を優先した無線 LAN MAC 制御手法の提案と評価, 信学技法, Vol. 117, No. 21, IN2017–1, pp. 1–6, May 2017.

[発表 10] 瀬戸 芳一, 横山 仁, 中谷 剛, 安藤 晴夫, 常松 展充, 小司 禎教, 楠 研一, 中山 雅哉, 斎藤 勇人, 高橋 日出男: Relationships among Rainfall Distribution, Surface Wind, and Precipitable Water Vapor derived from GNSS during Localized Heavy Rainfall in Tokyo in Summer, JpGU–AGU Joint Meeting, MTT38–P06, May 2017.

[発表 11] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚を利用した辛味提示手法の基礎検討, VR 学研報, Vol. 22, No. CS–2, CSVC2017–11, pp. 21–26, 2017 年 6 月.

[発表 12] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚による辛味提示システム, VR 学研報, Vol. 22, No. CS–4, CSVC2017–28, pp. 7–10, 2017 年 12 月.

[発表 13] 三上 紀一, 小川 剛史: 音楽体験向上のための電気的筋肉刺激を用いた感情増幅手法の検討, 情処研報, Vol. 2018–DCC–18, No. 42, 2018 年 1 月.

[発表 14] 大山 晃平, 小川 剛史: 視覚刺激を用いた圧覚の隠消現実感に関する基礎検討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–1, CSVC2018–1, pp. 1–6, 2018 年 2 月.

[発表 15] 彦坂 真央樹, 関谷 勇司: Wireless D2D Caching Network での多腕 Bandit 問題としてのリソース割当手法, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 117, No. 385, NS2017–153, pp. 53–58, 2018 年 1 月.

[発表 16] 神谷 和憲, 長谷川 彩子, 関谷 勇司, 岡田 和也: DNS キャッシュサーバログのグラフ分析による感染端末検知の検討, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 117, No. 316, pp. 53−58, 2017 年 11 月.

[発表 17] Yuji Sekiya and Marc Bruyere: Implementing SDN-IX in Japan – PIX–IE (Programmable IX) -- “, TNC17 SDN global coordination meeting, May 2017.

[発表 18] 彦坂 真央樹, 関谷 勇司:Software-defined Device-to-Device 通信における多腕バンディット問題としてのリソース割当手法, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 117, No. 3, NS2017–7, ICSS2017–47, pp. 37−42, 2017 年 4 月.

[発表 19] 西山 泰史, 熊谷 充敏, 岡野 靖, 神谷 和憲, 谷川 真樹, 岡田 和也, 関谷 勇司: HTTP 通信に着目した Deep Learning に基づくマルウェア感染端末検知手法と検知性能評価, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 116, No. 522, ICSS2016–52, pp. 49–54, 2017 年 3 月.

[発表 20] 関谷 勇司: 次世代データセンターが担う役割とは, SB クリエティブ株式会社, 次世代データセンター活用セミナー 2017 基調講演, 2017 年 2 月.

[発表 21] 永田 晃, 中村 勝一, 妙中 雄三, 田村 瞳, 塚本 和也: 物理位置調和型アドレスに基づく Geo-Centric Networking の　検討, 電子情報通信学会全国大会, 2018 年 3 月.

[発表 22] 中村 芳美, 長尾 健太郎, 樋口 伸伍, 塚本 和也, 妙中 雄三, 永田 晃, 中村 勝一: 近接空間内 IoT データ　スクラム連携　実効性検証実験, 電子情報通信学会全国大会, 2018 年 3 月.

[発表 23] Hiroshi Esaki and Ryo Nakamura: Overlaying and Slicing for IoT Era based on Internet's End-to-End Discipline, The 23rd IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (IEEE LANMAN2017), Osaka, Japan, June 2017.

[発表 24] Marc Bruyere, Remy Lapeyrade, Philippe Owezarski, Eder L. Fernandes, Ignacio Castro, Steve Uhlig, Andrew W. Moore, and Gianni Antichi: Umbrella : A Deployable SDN-enabled IXP Switching Fabric, Proc. of the Symposium on SDN Research (ACM SOSR'18), Los Angeles, CA, USA, Mar. 2018.

特記事項

[特記 1] J. MacAuley, T. Kudoh, C. Guok, and G. Roberts: Applying Policy in the NSI Environment, Open Grid Forum Document GFD.233 (P–REC), Aug. 2017.

[特記 2] J. MacAuley, T. Kudoh, and C. Guok: Error Handling in NSI CS 2.1, Open Grid Forum Document GFD.235 (P–REC), Aug. 2017.

[特記 3] 関谷 勇司: ASANO System ご紹介 〜学内における SD-WAN + NFV の活用〜, UTNET meeting, 2017 年 11 月.

[特記 4] 関谷 勇司: 愉快なソフトウェアネットワーキング, ONIC Japan 2017, 2017 年 10 月.

[特記 5] 関谷 勇司: 大学内 SDN/NFV システムの事例と Open SD-WAN に向けた戦略, Open Source Network Days 2017 JAPAN, 2017 年 10 月.

[特記 6] 関谷 勇司: ソフトウェア時代のエンジニア育成とは, OOL Summit 2017, 高度 IT アーキテクト育成協議会 (AITAC), 2017 年 9 月.

[特記 7] 関谷 勇司: SD-WAN を利用した学内ネットワーク制御に見るこれからの組織内ネットワーク, クラウド時代のネットワーク最適化 Forum 2017, 日経 BP 社, 2017 年 7 月.

[特記 8] 関谷 勇司, 村井 純 : IoT/AI 時代だからこその高度 IT アーキテクト人材育成, Interop Tokyo 2017 SDI/NFV ShowCase Classroom, 2017 年 6 月.

[特記 9] 関谷 勇司: ShowNet に見るソフトウェアを最大活用したネットワークインフラのあり方, Interop Tokyo 2017, 2017 年 6 月.

[特記 10] 関谷 勇司: 地域 BWA を利用した IoT 環境の実現, Interop Tokyo 2017, 2017 年 6 月.

[特記 11] JST CREST [人工知能] イノベーション創発に資する人工知能基盤技術の創出と統合化 研究代表者.

[特記 12] 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 13] NTT セキュアプラットフォーム研究所 共同研究.

[特記 14] 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 15] 総務省「ICT 分野における技術戦略検討会」構成員.

[特記 16] 総務省「医療等分野における高精細映像等データ共有基盤の在り方に関する実証の請負 」東大・京大フィールド WG 構成員.

[特記 17] 総務省「IoT 政策委員会人材育成ワーキンググループ」構成員.

[特記 18] 中村　遼: OSS でつくる yet another SD-WAN, ENOG49 meeting, 2018 年 2 月, http://enog.jp/archives/1838

異種エンジン統合クラウドとポストムーア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)システムを開発しており、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している。FPGA を用いたスイッチングとデータ処理を行う FPGA 高機能スイッチノード 16 ノードからなるプロトタイプを開発した[発表 1]。

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、インターコネクションの革新的な広帯域化によりムーアの法則の限界を超えたデータセンターの性能向上を図るための消費電力と性能の観点からの要件と、その際に必要となる新たな通信アーキテクチャについての検討を行った[招待 2]。

1.1　異種エンジン統合クラウドアーキテクチャ

1.2　背景

Flow-in-Cloud (FiC)では、①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、②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。また、エンジン間をつなぐインタフェースを規定するとともに、エンジン間の接続を動的に変更するのに適したネットワークを設計開発する。

近年、クラウドの利用があらゆる分野で進んでおり、IoT における人工知能のための処理でも、学習などの特に即時性を必要としないアプリケーションでは、資源を集中して配置し、多くのアプリケーションで共有することにより利用効率の向上を目指すクラウド型の処理基盤の利用が想定される。特に、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、異種の複数のエンジンによる並列処理を行うため、ジョブはエンジンの種類ごとに一定の性能を要求することになる。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ベアメタルクラウドととらえることもできる。

1.3　内容

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接続し、エンジン間で相互に通信して処理を進める。AI エンジン間は、ネットワークの設定により個々のジョブに応じたエンジン間接続を行って、アプリケーションに提供する。異種のエンジンとしては、現段階

では GPU 搭載ノードと FPGA 搭載高機能スイッチノード（以下、スイッチノード）の開発を予定している。

スイッチノードは、FPGA とメモリを持ち、他のノードと接続するための複数のリンクを持つノードで、FPGA のプログラムによりスイッチ機能を持つと同時に、FPGA を用いた AI エンジン機能も持つ。

ネットワークは、ハードウェア機能を動的に再構成可能な FPGA と大量の DRAM モジュールから成る単一スイッチノードを多数カスケード接続することで実現する。スイッチノードが GPU 間通信の通過点となるため、個々の GPU に大容量 DRAM（例えば、現行の K80 では 24GB）を持たせるのではなく、スイッチノード内に大容量 DRAM を持たせる。このようなスイッチへのメモリ集中化によって、個々の GPU デバイスメモリへの無駄なメモリコピーを廃してデータ転送性能を向上させると共にメモリの利用効率を改善する。

また、本来の GPU 間データ転送では、間にホストプロセッサが介在するため柔軟なデータ処理が可能となっているが、同時に PCI-Express を介したデータ転送やソフトウェア処理が性能のボトルネックにもなっていた。FiC では、スイッチノードの FPGA 部分をアプリケーションに合わせて再構成することができる。これによって、GPU 同士はワイヤレートでデータを転送しつつ、中継するスイッチにおいてオンザフライでデータを処理できる。これは大量の学習データから平均値を取得するような場面で効果を発揮する。スイッチノードが提供可能な機能としては、単純なデータ転送機能に加え、Key-value store 機能、集約演算機能、機械学習機能などを盛り込む。つまり、我々が提案するスイッチノードによって、従来ホスト CPU が行っていたデータの加工、従来 GPU が有していた大容量デバイスメモリはそもそも不要となり、GPU 間転送の性能向上に加え、コストや電力効率が大幅に改善される。

FiC では、将来広帯域光通信技術を相互接続ネットワークに用いることを想定し、エンジン間をつなぐインタフェースを規定するとともに、エンジン間の接続を動的に変更するのに適したネットワークを設計開発する。現在、広域網で用いられている波長多重や移送多重などの技術を用いれば、近い将来、数十 Tbps の性能を持つインターコネクトをクラウド内で利用することができるようになると考えられる。電気信号によるスイッチでこのような広帯域の信号をスイッチングするには、大きな回路規模と消費電力が必要となってしまうが、光信号のままスイッチすればこれらのコストを抑えることができる。光信号のスイッチングでは回線を切り替えるサーキットスイッチを用いるのが現実的である。サーキット数を増やすには、波長を用いた光スイッチを用いることが考えられる。

一方、FiC はエンジンをまるごと個々のジョブに割り当てるベアメタルクラウド型の構成をとるため、アプリケーションは利用できるエンジンの性能は既知であり、他のアプリケーションの振る舞いに性能が左右されることはない。この性質をジョブに割り当てられる複数のエンジンから構成されるスライス全体に適用するためには、スライス内の通信の性能も保証する必要がある。サーキットスイッチ方式ではパケット競合が起きないため、通信帯域や遅延を保証することが容易であり、この要件の実現に適している。

FiC では、光スイッチは用いないが、上記の要件を考慮してサーキットスイッチによるネットワークを構成する。サーキットスイッチでは、基本的に送信側から受信側までのサーキットを確立した上で通信を行うため、相当数のサーキットが同時に利用できる必要がある。ハードウェアの制約から物理的なリンク数は多く持てないため、時分割多重(TDM)により利用できるサーキット数を増やす。

すべてのノードで共通の発振源から供給されるクロックを用いることで、エンジン間でクロック周波数に差異が全く生じない方式をとることとし、サーキットスイッチと時分割多重 (TDM) 通信方式を組み合わせてあらかじめ決められた時間でノード間通信を行える方式とする。

FPGA による実装を前提に、エンジン内部回路 1 クロックを 1 スロットとし 100MHz 程度の動作クロックを想定した。実効通信速度 8Gbps 程度の高速シリアルリンクを用いて、1 スロットのビット幅を 80bit 程度とすることとした。同一ノードとつなぐポートごとに 1～4 本程度の双方向シリアルリンクを用い、さらにリンクごとにスロットを複数持つことができる 1 クロック単位の TDM 方式を用いることにより、1 ノード上に論理的に多数のサーキットを持つことができる方式とした。

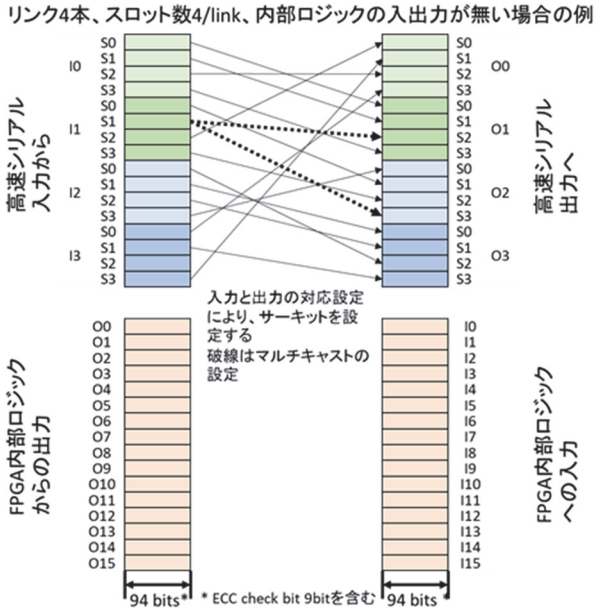


図1スイッチノードでのサーキットの設定

図 1 に示すように、各ノード上では、入力スロットと出力スロットのマッピングを設定することにより通信路を設定する。また、内部回路と入出力スロットをマッピングすることにより、内部回路を用いた演算回路と外部との通信を設定することができる。エンジン間は同期通信とし下位レイヤでフローコントロールを行わない設計とした。フローコントロールがないため、1対多のスロット間マッピングを行うことによりブロードキャストやマルチキャストを容易に行うことができる。また、スイッチングにかかる時間は、入力と内部ロジックのクロックの関係により決定的に決まるため、アプリケーションの実装時にこの性質を利用して複数のエンジンにまたがったあらかじめ通信時間が確実に定まるようにし、通信のオーバヘッドを削減することができる。

1.4 具体的成果

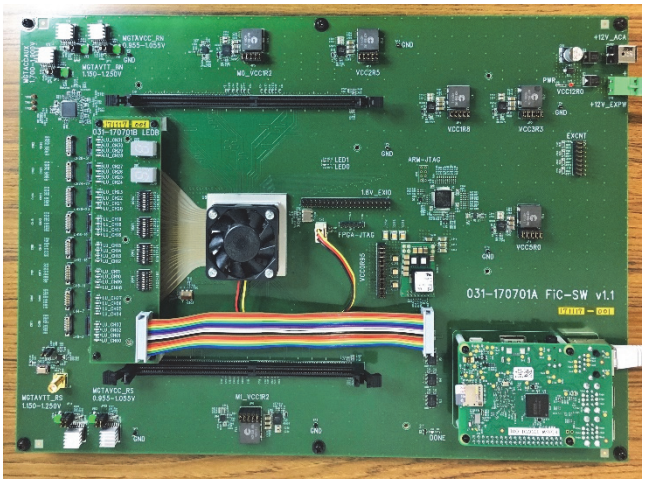


図2 改版した FiC-SW 試作ボード

2016 年度に作成した試作ボード(FiC-SW)を元に、制御入出力を付加する改版(図 2)を行った上で 16 ノードを作成し、並列システムを構築した。また、通信部の詳細設計を行い、高速シリアル信号

を用いた通信機構を実装してノード間通信を実現した。外部信号 10Gbps 強のシリアル伝送とすることで、1 スロットのビット幅を 84bit とし、8.4Gbps(ECC による符号訂正済み)の実効通信性能を実現した。また、FPGA のコンフィグレーションをボード上の制御プロセッサから行えるようにし、イーサネットを介してホストマシンからコンフィグレーション等の制御を行えるようにした。これによりアプリケーション開発にシステムを供する準備がほぼ整った。距離の離れたボード間を接続するために、PETRA が開発しアイオーコア社が販売を計画している光 I/O コアを用いる検討を行い、同コアを用いた回路の基本設計を行った。2m を超える距離のボード間接続には同コアを用いた光通信を用いることを計画している。さらに、開発システムをアクセラレータベアメタルクラウドとして用いるために FiC-SW と共通のインタフェースを持つホストプロセッサの I/O ボードを慶應義塾大学と共同で開発し、同ボードを利用するための開発環境の整備を行った。

2　ポストムーア時代の計算機アーキテクチャの検討

2.1　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。

2.2　内容

これまで計算機性能の向上ペースは通信帯域の向上ペースを上回っていた。また、通信に要するエネルギーは演算やメモリアクセスに必要なエネルギーと比べて大きいため、なるべくデータを動かさずに計算を行う Near-Data Processing が用いられてきた。しかし、低消費エネルギーで十分な帯域を持つ通信が利用できれば、異なる種類の専用ハードウェア間でデータを動かしながら処理をする At-Function Processing を用いることで、より高性能な計算システムを構築できる可能性がある(図 3)。

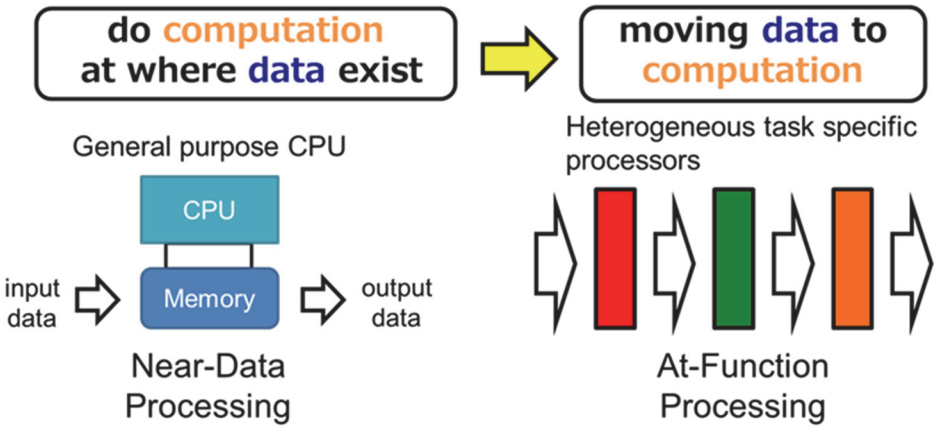


図3 途中でデータを動かさずに様々な処理を一か所で行う Near-Data Processing と、多種のハードウェアを適材適所で使う At-Function Processing

Near-Data Processing において大きなデータを処理する場合には CPU の近傍に置かれたメモリ(DRAM)にデータを格納して処理する。このため、通信において DRAM アクセスに匹敵する帯域と電力を実現できれば、At-Function Processing の利用が現実的になると考えられる。近い将来に利用

できる最先端の DRAM のアクセス帯域は 1～2TByte/秒 (8～16Tbps)、アクセスに要するエネルギーは 7pJ/bit 程度である。これに匹敵、もしくはこれを超える帯域および電力性能を実現することが当面の目標になると考えられる。

一方、DRAM アクセスと同等以上の通信帯域が実現されると、メモリ間コピーに依存した従来の通信モデルでは通信性能を十分に活用することが困難となる。従来の通信は、送信側計算ノードのメモリから、受信側計算ノードのメモリに対してのメモリ間コピーの形で通信が実装されている。メモリのアクセス帯域以上の通信はできないし、CPU からのメモリアクセスと通信のためのメモリアクセスが競合するため、いずれかが待たされる場合もある。このような問題を回避した新しい通信モデルも必要になると考えられる[発表 2]。

2.3 具体的成果

広帯域通信を活かし、専用ハードウェア間でデータを動かしながら処理する方式が、汎用プロセッサを用いる方式に置き換わるための条件を、消費電力の観点から検討した。また、メモリの帯域を超える通信帯域が実現すると、新しい通信アーキテクチャが必要であることを示し、その方式について検討した。

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Tomohiro Kudoh, Shu Namiki, “Energy efficient dynamic optical path networking,” 17th Annual Global LambdaGrid Workshop (Sydney, Australia), Sep. 26, 2017

[招待 2]工藤知宏,並木周,”将来のデータセンター像と光インターコネクション・光デバイスへの期待”,2018 年電子情報通信学会総合大会 CI-3-1 (2018) (企画シンポジウム)

査読付論文

[査読付 1] Jason H. Haga, Carolina Fernandez, Atsuko Takefusa, Takatoshi Ikeda, Jin Tanaka, Bartosz Belter, Tomohiro Kudoh, “Building Intelligent Future Internet Infrastructures: FELIX for Federating Software-Defined Networking Experimental Networks in Europe and Japan “, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine, Volume: 3 Issue: 4, pp. 35-42, Oct. 2017

[査読付 2]Yao Hu, Michihiro Koibuchi, Tomohiro Kudoh, "A Case of Electrical Circuit Switched Interconnection Network for Parallel Computers”, The 18th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT’17), Dec. 2017

[査読付 3] K. Ishii, A. Takefusa, S. Namiki, and T. Kudoh, "Topology Description Generation and Path Computation Framework for Dynamic Optical Path Network with Heterogeneous Switches," in Proc. OFC2018, paper Tu3D.7, Mar. 2018.

その他の発表論文

[発表 1] 工藤知宏,高野了成,天野英晴,鯉渕道紘,松谷宏紀,塙敏博,田浦健次朗,並木周,池上努,須崎有康,田中哲,赤沼領大,「データの流れに着目した異種エンジン統合クラウドシステム Flow In Cloud」,情報処理学会研究報告システム・アーキテクチャ（ARC）,2017-ARC-227(1),1-6 (2017-07-19) , 2188-8574

[発表 2] 赤沼 領大 , 高野 了成 , 工藤 知宏,「超広帯域インターコネクトを想定した同期型アーキテクチャーと通信方式の検討」,情報処理学会研究報告システム・アーキテクチャ（ARC）,2017-ARC-227(22),1-6 (2017-07-19) , 2188-8574

[発表 3]胡 曜,工藤 知宏,鯉渕 道紘,「並列計算機におけるサーキットスイッチ・ネットワークのスロット数の削減法」,電子情報通信学会コンピュータシステム研究会(CPSY),2017 年 7 月

[発表 4]工藤知宏,「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」,第 16 回新産業技術促進検討会「IoT 社会の実現に向けた基盤技術の開発」,2017 年 11 月

[発表 5]山内脩吾,武者千嵯,工藤知宏,天野英晴,「マルチ FPGA ボードによる Recurrent Neural Network の高速化」,信学技報, vol. 117, no. 378, CPSY2017-106, pp. 1-6, 2018 年 1 月

[発表 6] 赤沼 領大 , 高野 了成 , 工藤 知宏, 「CNN の学習におけるチャネル方向並列化の提案」,情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）,2018-HPC-163(16),1-7 (2018-02-21) , 2188-8841

[発表 7] Tomohiro Kudoh, “Data Centers and Post Moore’s law computing,” a part of a workshop “Will Optical Switching Drive Data Center Design in 2028?” (as a member of team A), OFC2018 (San Diego, USA), Mar. 11, 2018

特記事項

[特記 1] 標準化文書：J. MacAuley, T. Kudoh, C. Guok, G. Roberts, “Applying Policy in the NSI Environment”, Open Grid Forum Document GFD.233 (P-REC), Aug. 18, 2017

[特記 2] 標準化文書：J. MacAuley, T. Kudoh, C. Guok, “Error Handling in NSI CS 2.1”, Open Grid Forum Document GFD.235 (P-REC), Aug. 18, 2017

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、東京都の夏季豪雨に関する研究を行った。

また、小型デバイスの利用が一般的になってくるにつれ、それらを接続する無線 LAN 環境の役割がより重要になってきた。特に、同一 AP に収容される無線端末数が増加し、各端末から頻繁に通信要求が送られるようになると、相対的に AP の通信要求の優先度が低くなり、各端末の通信遅延が増大する問題が生じる様になる。

今年度は、AP からの通信を優先する MAC 制御手法を検討し、シミュレータによる有効性評価を行った。

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。

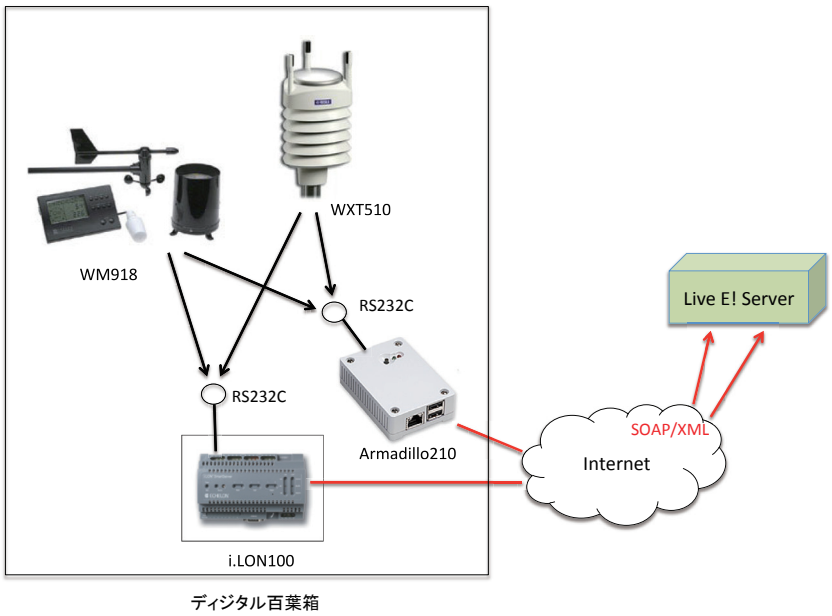


図 1: ディジタル百葉箱の構成

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。

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や他の気象観測データを用いて水蒸気量と地上風を密に観測することで、東京都の夏季豪雨が発生する場所を早期に正確に観測できることを明らかにし、日本地球惑星科学連合大会 [発表 2] で発表を行うとともに、日本気象学会論文誌 [査読付 1] に論文としてまとめた。

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応用技術で成果をあげている。

3 無線ネットワークの MAC 制御方式に関する研究

3.1 背景

携帯端末や小型デバイスの利用が一般的になっており、それらを接続する無線 LAN 環境の役割がより重要になってきた。特に、同一 AP に収容される無線端末数が増加すると、各端末からの通信要求に対する応答が発生するため、AP の通信要求を優先的に処理しないと各端末の通信遅延が増大す

る問題が生じることになる。

また、最近の無線 LAN は、データ転送レートが高い通信方式が主流だが、制御フレームの転送レートは固定レートのままのため、通信時間全体における制御時間の占める割合が高くなってしまう問題もある。

本研究では、多数のクライアント機能を持った端末が同一 AP に収容される無線 LAN 環境での MAC 制御方式の改善方法に関して検討し、シミュレータによる有効性評価を行った。

3.2 内容

携帯端末などの小型デバイスを Internet に接続するためには、インフラストラクチャモードの無線 LAN 環境を用いることが主流となっている。このため、AP に接続される無線端末は大半がクライアントとして機能するデバイスとなるため、無線端末から AP に向かう通信量に比べて AP から無線端末に向かう通信量が多くなる傾向にある。

それに対して、CSMA/CA に基づく IEEE802.11 規格の無線 LAN MAC 制御方式は、無線端末も AP も同じ優先度で通信機会を得る方式のため、同一 AP に収容される無線端末数が増加し、各端末から頻繁に通信要求が送られるようになると、相対的に AP の通信要求の優先度が低くなり、各端末の通信が終了するまでの時間が遅延する問題が生じることになる。

また、近年は、データフレームの転送速度が速い通信方式が用いられるようになっているが、制御フレームの転送速度は固定レートで行われているため、データ転送時間に対する制御時間の割合が高くなる問題もある。

そこで、本研究では、従来の MAC 制御方式を改良し、AP から端末に向けた通信を行う際には、RTS/CTS の制御フレームの交換を行う代わりに、新しい制御フレーム (RTDS: Request To Data Send) を導入するとともに、送信待機 (BO: Back Off) 時間を短縮する制御方式を検討した。

3.3 具体的成果

本研究で提案する新しい制御方式を Qualnet 6.1 シミュレータを用いて有効性評価の実験を行った結果について、電子情報通信学会 IN 研究会で発表を行った [発表 1]。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yoshihito Seto, Hitoshi Yokoyama, Tsuyoshi Nakatani, Haruo Ando, Nobumitsu Tsunematsu, Yoshinori Shoji, Kenichi Kusunoki, Masaya Nakayama, Yuto Saitoh and Hideo Takahashi: Relationshops among Rainfall Distribution, Surface Wind, and Precipitable Water Vapor during Heavy Rainfall in Central Tokyo in Summer, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.96A, pp.3549, 2018/02.

その他の発表論文

[発表 1] 後継元, 中山雅哉, 若原恭: アクセスポイントからの通信を優先した無線 LAN MAC 制御手法の提案と評価, 信学技法, Vol.117, No.21, IN20171, pp.16, 2017/05.

[発表 2] 瀬戸芳一, 横山仁, 中谷剛, 安藤晴夫, 常松展充, 小司禎教, 楠研一, 中山雅哉, 斎藤勇人, 高橋日出男: Relationships among Rainfall Distribution, Surface Wind, and Precipitable Water Vapor derived from GNSS during Localized Heavy Rainfall in Tokyo in Summer, JpGUAGU Joint Meeting, MTT38P06, 2017/05.

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。

本研究室においても、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、温冷刺激による錯覚を利用した擬似的な味覚の提示方式や電気的筋肉刺激を利用した音楽体験時における感情増幅手法、視覚刺激によって圧力知覚を消滅させる刺激提示方式に関する研究を中心に進めた。

2　スマートフォンにおける 1 タップ認証方式

2.1　背景

高機能なスマートフォンの普及により、知人と会話したり、メッセージを交換したりするだけでなく、写真の撮影やユーザが訪れた場所など位置情報の保存、SNS の利用など、日常生活に深く密着した利用がなされるようになっている。これによってスマートフォンに保存されるデータは、その量が増大するだけでなく、個人情報など高い機密性を要するものとなっており、スマートフォンのセキュリティ技術は大変重要となっている。

スマートフォンのような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。例えば、パスコードで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は低下する。ある調査では、1 日におけるスマートフォンとタブレット端末の使用時間はほぼ同じにも関わらず、1 回アンロックした後の使用時間はスマートフォンが約 5 分であるのに対し、タブレット端末は約 11 分であったと報告されており、スマートフォンはタブレット端末よりも 1 日にアンロックする回数が多い。つまり、パスコードを長くすると、端末の利便性に大きく影響を与えることとなる。携帯端末のセキュリティ技術における重要な要素は、安全性、ユーザビリティ、システム効率性の 3 つあると言われており、本研究ではセキュリティを維持しつつ、特にユーザビリティの高い認証システムの構築を目指している。

2.2　内容

ユーザがスマートフォンをタップした際の内蔵センサの計測値を取得し、それらの計測データから特徴量を抽出する。取得した特徴量からランダムフォレストを用いて識別モデルを構築し、ユーザの

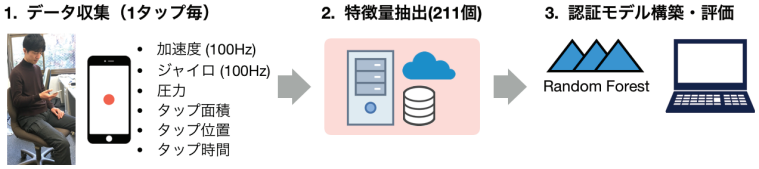


図 1: 1 タップ認証システムの概要

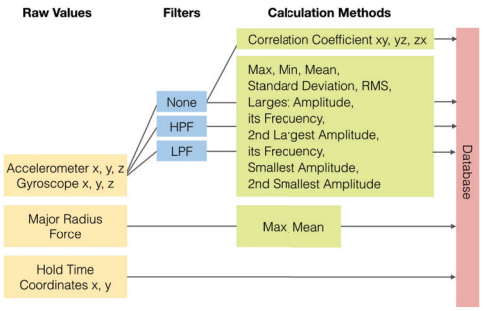


図 2: 利用する特徴量

表 1: 1 タップによる個人認証精度

Subject	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Ave.
EER (%)	11	3.4	0.8	12	2.8	2.8	1.8	1.2	1.6	0.6	3.8

1 タップ毎にユーザ認証を行う。認証システムの概要を図 1 に示す。

2.2.1 特徴量抽出

スマートフォンには Apple 社の iPhone6S を用い、タップイベントをトリガとしてデータを収集する。具体的にはスクリーンにおけるタップ座標と接触面積、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記録する。センサ値を取得するための iOS アプリケーションを開発し、スクリーン中央に設置したボタンを被験者にはタップさせ、取得したデータから Python の数値計算ライブラリ Numpy を用いて特徴量を抽出する。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、最小値など計 211 個の特徴量を抽出した。抽出した特徴量を図 2 に示す。

2.2.2 認証モデル構築と評価方法

スマートフォンのオーナと不正ユーザのタップデータを用いて、オーナのモデルを構築する。モデル構築には機械学習手法の一つであるランダムフォレストを採用し、ハイパーパラメタとした決定木の最大高さを学習曲線と検証曲線を調べることにより適切な値を決定する。オーナ 1 名の認証モデル構築に、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 (500 タップ ×1 名 +40 タップ ×25 名) のタップデータを用いる。

モデル評価には生体認証システムの評価でよく用いられる EER (Equal Error Rate) を採用する。生体認証では、一般的に判定基準を厳しくすれば本人拒否率 FRR (False Rejection Rate) が、逆に緩めると他人受入率 FAR (False Acceptance Rate) が高くなり、FRR と FAR はトレードオフにある。EER とは判定閾値に対する FRR 曲線と FAR 曲線の交点におけるエラー率を示しており、EER が小さいほど本人を拒否せず他人も受け入れにくい精度の高いモデルであるといえる。

2.2.3 認証精度検証および実用性向上に関する検討

被験者 10 名のオーナモデルを構築し、各オーナモデルを 5 分割交差検定によって精度の検証を行った。例として被験者 A の FAR・FRR プロットを図 3 に示す。また、被験者 10 名それぞれの EER を表 1 に示す。平均の EER は 3.8 となり、4 タップを用いた先行研究と比較しても良い結果が得られた。

一般的に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。提案方式でもオーナによる 500 回分のタップデータを必要としていた。しかし、スマートフォンを購入して利用開始するために 500 回のタップを要求することは現実的ではない。そこで、少ないデータに対してデー

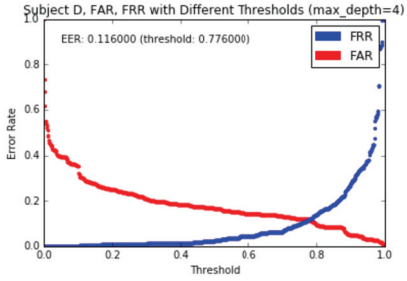


図 3: 被験者 A の FAR・FRR プロット

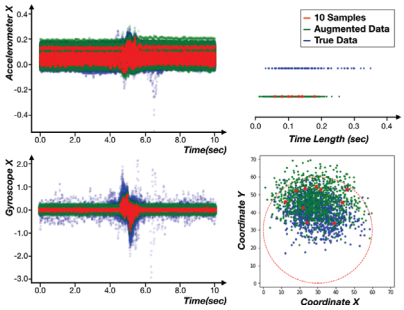


図 4: 被験者 A のデータオーグメンテーション例 (加速度 x 成分、ジャイロ x 成分、タップ時間、タップ座標)

表 2: 生成したデータを用いた学習モデルでの認証精度

Subject	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Ave.
EER (%)	7.6	0.8	2.8	13	3.2	2.8	3.6	6.6	2.6	2.8	4.6

タ変換を行うことでデータ数を増やす、データオーグメンテーションに注目した。データオーグメンテーションは、データ数を増加させるだけでなく、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、モデルの汎用性を向上させる役割も持っている。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。図 4 にオーナ A の 10 個のサンプルデータから生成したデータと真のデータの例を示す。これらの生成したデータを用いてモデリングを行った際の EER を表 2 に示す。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、国際会議 [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

食事は人が生きる上で必要不可欠な活動であるとともに、日々の暮らしを豊かにするためにも楽しい食事を実現することは大変重要である。HCI (Human Computer Interaction) などの分野では、AR 技術を利用して食品の見た目を変化させたり、電気刺激を舌に提示したりすることで、食品の味を変化させる技術が開発されており、例えば健康上の理由などから食事内容を制限せざるを得ない人々でも充実した食生活を送ることができるよう様々な研究が進められている。従来研究の多くは、味の中でも五味と呼ばれる基本味（甘味、酸味、塩味、苦味、旨味）を対象としていたが、本研究ではこれまで扱われていなかった辛味に着目し、擬似的に辛味を提示するための手法の検討を進めた。

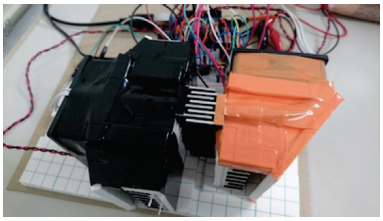


図 5: 舌刺激装置

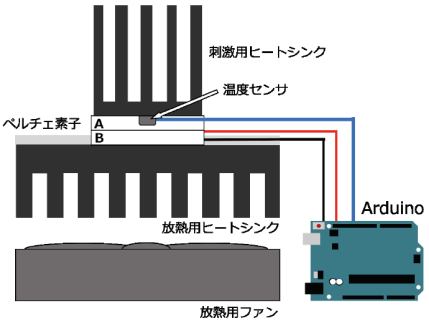


図 6: 温度刺激デバイス

表 3: 被験者の回答結果

味の種類	選択した被験者数
辛味	10
酸味	4
甘味	1
渋味	1
塩味	0
苦味	0
旨味	0
その他	2

3.2 内容

3.2.1 味の知覚メカニズム

甘味、酸味、塩味、苦味、旨味の基本味は、舌表面の味蕾と呼ばれる器官で知覚されている。味蕾の中には 5 種類の味細胞が存在し、味細胞が食べ物や飲み物に含まれる化学物質を検知すると、電気信号として脳に情報が伝えられ、人は味を知覚する。この各味細胞が特定の味にのみ反応するため、味蕾で知覚する味は基本味の 5 種類となっている。一方、辛味や渋味といった味は、主に舌の表面や口腔粘膜などに広く分布する知覚神経によって得られる熱痛覚や、口腔粘膜のタンパク質が変性することによって生じる痛覚や触覚として知覚されており、味覚受容器の活性化によって生じる感覚ではない。

3.2.2 辛味提示デバイス

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サーマルグリル錯覚と呼ばれる錯覚が知られている。本研究ではこの錯覚現象を辛味提示に応用するため、図 5 に示す舌刺激装置を作成した。この装置は温刺激を与える部分とと冷刺激を与える部分を独立して作成し、組み合わせることで構築している。温刺激デバイスおよび冷刺激デバイスの基本構成を図 6 に示す。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取り付け、刺激用ヒートシンクには温度センサを貼り付けている。ペルチェ素子と温度センサをマイコン (Arduino) に接続し、温度センサからのセンサ値をフィードバックとして温度制御を行う。

3.2.3 主観評価実験

サーマルグリル錯覚を舌に生起させることで辛味を提示することができるのか、また温度の組合せによって辛味の感じ方が変わるのかを調査するために 2 種類の実験を実施した。実験 1 では、45 ℃と 15 ℃の組合せによるサーマルグリル錯覚を舌に提示した際、辛味が生起するかについて検証した。実験 2 では、温刺激を 50 ℃、45 ℃、40 ℃、冷刺激 20 ℃、15 ℃、10 ℃としたときの全組合せ 9 条件で辛味の知覚強度に変化が生じるかについて検証した。

表 3 に実験 1 の結果を示す。被験者 18 人中 10 人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。また、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。さらに自由記述アンケートにおいて被験者 18 人中 15 人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、8 割以上の被験者が辛味に近いものを感じていたことが分かった。これらの実験結果から、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つながるという仮説を概ね支持することが明らかとなった。辛味を選択した被験者に共通して、冷たさを知覚した後に辛味が生起していることが自由記述アンケートから分かった。さらに、辛味が舌に残ると回答した被験者も多かった。その他を選択した被験者の中には、外国籍の被験者 (インドネシア) で食文化の違いから辛さの基

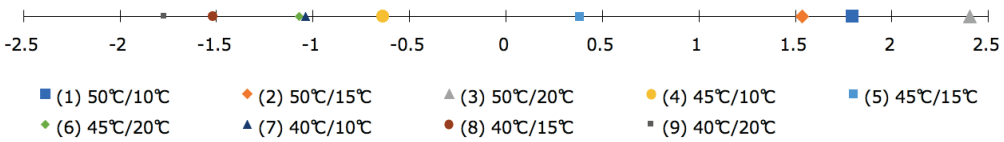


図 7: 各温度の組合せにおける辛味強度 (サーストンの一対比較法)

準が異なり、ピリピリはしたが辛さとは呼べないと回答した者もいた。また、甘味と選択した被験者は、初めに冷感を感じた後に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アンケートで回答している。

実験 2 では、各条件において知覚する辛味の程度を調査するために、サーストンの一対比較法による検証を行った。図 7 に結果を示す。数直線上で数値が大きくなるほど、辛味強度が高いことを示している。刺激提示面の平均温度が最も高い条件 (3) が辛味を最も強く知覚し、以下温刺激温度が高い条件 (2)、条件 (3) の順で辛味を強く知覚することが分かった。温冷刺激の温度差が等しい組合せである条件 3(50 ℃/20 ℃)、条件 5(45 ℃/15 ℃)、条件 7(40 ℃/10 ℃) を比較すると、温冷刺激の平均温度が高い条件の方が辛味を強く知覚しており、条件 3 と条件 5、条件 3 と条件 7、条件 5 と条件 7 の間には有意水準 1%で有意差が認められた。また、温冷刺激の平均温度が等しい組合せである条件 1(50 ℃/10 ℃)、条件 5(45 ℃/15 ℃)、条件 9(40 ℃/20 ℃) を比較すると、温冷刺激の温度差が大きい条件の方が辛味を強く知覚しており、条件 1 と条件 5、条件 1 と条件 9、条件 5 と条件 9 の間に有意水準 1%で有意差が認められた。

3.3 具体的成果

サーマルグリル錯覚を用いることで、ヒリヒリ感やピリピリ感といった辛味に近い知覚も含めると 8 割以上の被験者が辛味を知覚することが明らかになり、温冷刺激の温度差が大きいほど、また、平均温度が高いほど辛味を強く近くする傾向があることが確認できた。本研究の成果は、国内研究会 [発表 1, 発表 2] で発表した。

4 音楽体験向上のための電気的筋肉刺激を用いた感情増幅手法

4.1 背景

映画やライブなどのエンターテインメントの分野で聴覚刺激や視覚刺激だけでなく、他の感覚も用いたマルチモーダルな刺激を提示することでよりリッチな体験を提供するシステムが登場し始めている。4D シアタは映像に風や香り、振動などを用いて臨場感を高める試みがなされている。また、ライブ会場にいるかのような体験を提供するために複数のスピーカをジャケットに搭載してジャケットを着るユーザの全身を震わせる LIVE JACKET もある。本研究では、スピーカなどを用いて身体に振動刺激を与えるのではなく、人が音楽を聞いているときに無意識に発生する身体の動きを電気的筋肉刺激 (Electric Muscle Stimulation, EMS) を用いて再現することにより、音楽への没入感を増強し、音楽体験を向上させる手法を提案する。

4.2 内容

人は脳波、心拍、呼吸、運動時の筋肉の緊張および弛緩など、常に生体リズムを伴っており、その生体リズムは外界から与えられる周期的な刺激に影響を受けることが知られている。音楽を聴くときには、その曲に集中もしくは没入するほど「ノリ」と呼ばれる音楽に合わせた身体的反応が現れる。この身体動作を強制的に EMS で発生させることで音楽体験の向上を試みる。音楽に没入している際、手足や首などでリズムを取る動作が最も多くの人で現れる動作であると考えられることから、これらの動作に注目し、特に EMS で再現が容易である手でリズムを取る動作を本研究では対象とした。手

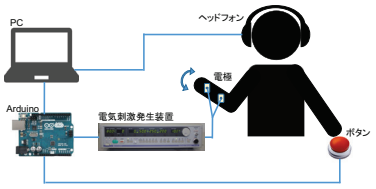


図 8: システム概要図

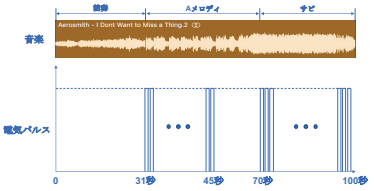


図 9: 音楽の文脈を考慮した EMS 刺激例

表 4: SD 法に用いた印象語対

dislike	like
boring	interesting
uncomfortable	comfortable
unenjoyable	enjoyable
calming	exciting
unlively	lively
dark	light
slow	fast
light	heavy
hard	soft

でリズムを取る動作は、前腕にある総指伸筋に対して電気刺激を与えることで実現した。システムの概要を図 8 に示す。

被験者実験では、心理的変化を調査するため皮膚コンダクタンス反応 (Skin Conductance Response, SCR) を以下の 3 条件で計測した。条件 2 における曲と EMS の刺激例を図 9 に示す。

[条件 1] 曲のみを聞かせた場合

[条件 2] 曲の文脈を考慮して、サビなどの盛り上がるパートで EMS を与えた場合

[条件 3] EMS のみを提示した場合

SCR 値は、条件 1 よりも条件 2、条件 3 が大きい値となったが、各条件間に有意差は認められなかった。EMS のみの提示でも SCR 値が高くなっていることから EMS に対する恐怖や不安による上昇も考えられる。そのため SD 法による主観評価を行った。評価に用いた印象語対を表 4 に示す。上記の条件 1, 条件 2 について比較したところ、「interesting」、「enjoyable」、「exciting」、「lively」、「fast」、「heavy」、「soft」の 7 語については、条件 1 より条件 2 のほうが評価が高く、自由記述アンケートでも「高揚感がある」「ライブ感があった」「低音が響くように感じた」などの意見が見受けられた。一方、「like」、「comfortable」の 2 語については、条件 1 の評価が高く、「触覚刺激よって曲に集中できなかった」「自分が取りたいリズムとのズレが違和感を増強させた」といった意見があった。自分のリズムとのズレの影響が大きいと考えられたため、EMS で被験者に曲を聞きながら取らせたリズムを再現する条件での実験を行ったところ、SCR 値は曲のみを聞かせた条件 1 よりも大きな値となり有意水準 5%で有意差が認められただけでなく、SD 法においても「like」や「comfortable」の評価が改善され、「音楽への没入感が増した」などの意見が得られた。

4.3 具体的成果

本研究では、音楽に没入している際の身体動作を外部からの電気刺激によって提示することで音楽体験を向上させる手法を提案し、強制的に音楽に合わせてリズムを刻ませるだけでなく、自身でとったリズムを再現することにより、曲や音楽体験への印象や電気刺激に対する印象が変化することが被験者実験によって明らかとなった。本研究の成果は、国内研究会 [発表 3] で発表した。

5 視覚刺激を用いた圧覚の隠消現実感に関する研究

5.1 背景

拡張現実感 (Augmented Reality, AR) や仮想現実感 (Virtual Reality, VR) は日常生活の様々な場面において用いられるようになり、その技術は急速に発展している。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。

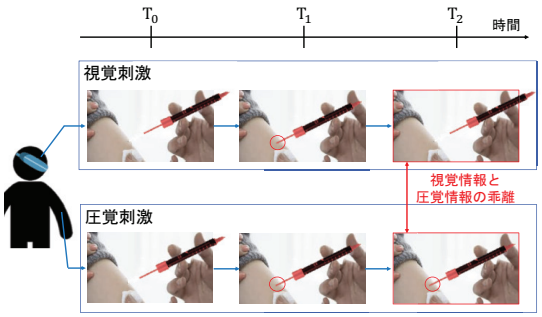


図 10: 提案方式の概要

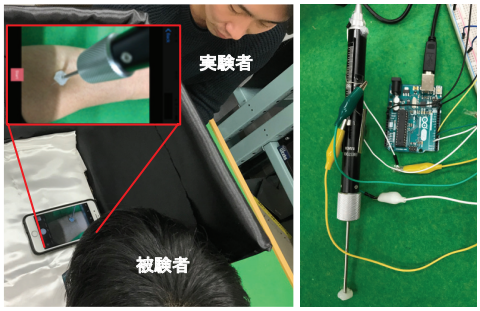


図 11: 実験システムの概要

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、視覚刺激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を提案する。

5.2 内容

本研究では、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る圧覚知覚の減衰を目指す。図 10 に提案方式の概念図を示す。図 10 において、時間 T_0 から T_1 の間は徐々に強くなる力を提示し、視覚的にも力が強くなる様子を提示することで、視覚刺激と圧覚刺激は整合性が維持された状態である。一方、時間 T_1 から T_2 の間は、例えば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。

圧力刺激は、与えている圧力を定量的に測定できるテンションゲージ (中村製作所 TK3000cN) を使用し、ゲージが腕に接触したタイミングや圧力が最大になったタイミングなどを検出できるよう Arduino に接続して加工した。テンションゲージの先端にはホットメルト接着剤を付け接触面の面積を 1$[cm^2]$ にした。提案方式の有用性を検証するために構築した実験システムを図 11 に示す。被験者はスマートフォンのディスプレイを通して自身の腕を見ており、実験者は被験者から見えないように腕に圧覚刺激を提示する。図 10 における時間 T_0 から T_1 の間は被験者が圧力刺激を受ける様子をスマートフォンの背面カメラで録画すると同時にそのままの映像をディスプレイに表示する。時間 T_1 から T_2 の間は録画した映像を逆再生してディスプレイに表示することで、視覚刺激と圧覚刺激に不整合を発生させる。T_0 から T_1 の間は 15 秒とし、逆再生が終了した時点で画面をブラックアウトする.

5.2.1 仮説

予備実験から、視覚と圧覚のクロスモーダルによって圧覚 DR が実現できる可能性と人の圧力知覚では圧力の絶対値よりも相対的な変化を知覚するほうが容易であることが示唆された。また既存研究において、自己帰属感が弱くなるほど錯覚も弱くなるとの報告があることから、下記の 3 つの仮説を立てた。

[仮説 1] 圧力が弱くなったことを示す視覚刺激により、主観的な圧力知覚が減衰する。

[仮説 2] 視覚刺激と圧覚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] 画面に表示された腕に対する自己帰属感が強いほど圧力知覚はより強く減衰する。

5.2.2 実験内容

まず 400[cN] から 2400[cN] まで、400[cN] 毎に変化させた圧力を被験者に提示し、知覚した圧力と実際の強度との対応を覚えさせた後、以下に示す手順で実験を実施した。被験者は成人男性 10 名である。

(1) iPhone の画面外からテンションゲージを被験者の腕に近づける。

(2) 1500[cN] に達するまで圧力を与え、その圧力を維持する。

(3) 画面上の映像を逆再生させる。

(4) 逆再生のタイミングに合わせて与える圧力を X[cN] に変化させ、維持する。

(5) 逆再生が終了した時点で画面をブラックアウトする。

手順 (4) における圧力 X は 0[cN]、500[cN]、700[cN]、1500[cN] の 4 通りとした。圧力 1500[cN] は、圧力刺激を変化させない条件である。被験者ごとに 4 条件をランダムな順序で設定して実施し、次に被験者の目を閉じた状態で同様に実験を行った。なお、被験者には実験中に以下のタイミングで主観的な圧力強度を 1 秒以内に数値で回答させた。

[回答 1] テンションゲージが与える圧力が最大 (1500[cN]) になったタイミング

[回答 2] 逆再生によって、 テンションゲージが腕から離れたという視覚刺激を与えたタイミング

[回答 3] 画面がブラックアウトし、 視覚刺激がなくなったタイミング

被験者にはテンションゲージが接触していない時とテンションゲージは接触しているが圧力を感じない時とを区別して回答するよう伝えている。実験後、自由記述に加え、画面に映る腕がどの程度自身の腕であると感じたかについて 10 段階で評価させた。

5.2.3 実験結果

視覚と圧覚の整合性が保たれている状態での主観的圧力 (回答 1)、視覚と圧覚に不整合が生じた状態での主観的圧力 (回答 2)、視覚を遮断することで圧覚だけを提示した状態の主観的圧力 (回答 3) を答えさせており、回答 3 よりも回答 2 の圧力が小さい場合、視覚と圧覚の不整合により DR が生じたと考えられるため、視覚刺激と圧覚刺激の双方を提示したときと、視覚刺激を提示せず圧覚刺激のみを提示したときに DR が生起した回数を計測した。結果を図 12 に示す。視覚刺激あり条件での生起回数が視覚刺激なし条件での生起回数を大きく上回り、カイ二乗検定を適用したところ条件間に有意差が認められた ($\chi^2(1) = 10.536, p < .01$)。視覚刺激と圧覚刺激の不整合によって DR が生起したと考えられ、仮説 1 を支持する結果となった。

視覚刺激と圧覚刺激の双方を提示した場合の各圧力条件下において DR が生起した被験者数を図 13 に示す。各圧力条件の結果を比較すると、X=1500[cN] において DR が最も生起しにくく X=500[cN] において最も DR が生起されやすかった。X=1500[cN] は圧力刺激を変化させない圧力条件であり他の圧力条件よりも視覚刺激との乖離が大きい。一方、X=0[cN] が最も視覚刺激との乖離が小さくなる圧力条件であると考えられるが、最も生起する結果とはならなかった。イェーツの補正を施したカイ二乗検定を行ったところ、各圧力条件間に有意差は認められず、仮説 2 を支持する結果とはならなかった。

実験後のアンケートによる自己帰属感の主観評価と、視覚刺激あり条件で生じた圧覚知覚の変化の関係について調査した。視覚刺激によって生じた圧覚知覚の変化として、回答 3 から回答 2 を引き回答 1 で割った値を用い、これを本稿では正規化差分と呼ぶ。正規化差分が大きいほど、被験者の主観的な圧力に対して大きく圧覚知覚が減衰したと考えられる。図 14 に、各被験者ごとの、各圧力条件における正規化差分の平均と自己帰属感の主観評価の関係を示す。自己帰属感が高くなるほど圧力知覚はより強く減衰する傾向にあることがわかる。正規化差分の平均と自己帰属感には相関係数 0.20 で弱い正の相関が確認され、仮説 3 を支持する結果となった。

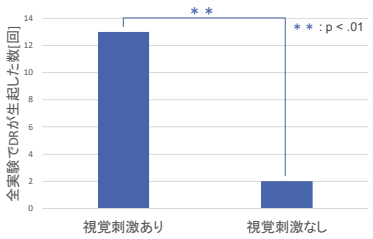


図 12: 実験結果 1: 圧覚 DR 生起頻度

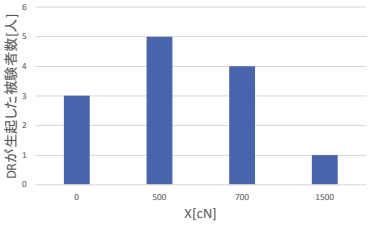


図 13: 実験結果 2: 各圧力条件における圧覚 DR 生起人数

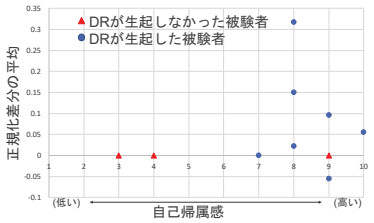


図 14: 実験結果 3: 自己帰属感と圧覚 DR 生起者の関係

5.3 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。本研究の成果は、国内研究会 [発表 4] で発表した。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Minori Inoue and Takefumi Ogawa: One Tap Owner Authentication on Smartphones, Proc. of The 15th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2017), Salzburg, Austria, pp. 22–28, Dec. 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚を利用した辛味提示手法の基礎検討, VR 学研報, Vol. 22, No. CS–2, CSVC2017–11, pp. 21–26, 2017 年 6 月.

[発表 2] 吉田 圭佑, 小川 剛史: サーマルグリル錯覚による辛味提示システム, VR 学研報, Vol. 22, No. CS–4, CSVC2017–28, pp. 7–10, 2017 年 12 月.

[発表 3] 三上 紀一, 小川 剛史: 音楽体験向上のための電気的筋肉刺激を用いた感情増幅手法の検討, 情処研報, Vol. 2018–DCC–18, No. 42, 2018 年 1 月.

[発表 4] 大山 晃平, 小川 剛史: 視覚刺激を用いた圧覚の隠消現実感に関する基礎検討, VR 学研報, Vol. 23, No. CS–1, CSVC2018–1, pp. 1–6, 2018 年 2 月.

積極的な守りを展開するサイバーセキュリティとソフトウェアインフラを活かすITアーキテクト人材に関する研究

関谷 勇司

1 概要

今年度は、(1) 機械学習や深層学習を利用した積極的な守りを展開するサイバーセキュリティに関する研究と、(2) 従来のネットワークやサーバといった区分にとらわれることなく、ソフトウェアによって構成される柔軟な IT システムをアーキテクトする手法、ならびにその人材育成の手法に関する研究、(3)SD-WAN を利用した柔軟性かつ即時性を有した学内ネットワークの構築に関する研究、の 3 点を主とした研究活動を行った。(1) では、現在はセキュリティ専門家の経験や知識に頼って行われているサイバーセキュリティ脅威の対策を、機械学習や深層学習を利用することでセキュリティ脅威の分析や対策をある一定レベルまでアシストするシステムを実現することを目指した。さらに、攻撃者がネットワーク上にて行う各種スキャニング挙動や、攻撃者の攻撃動機や動向を社会的情報として収集することによって、注意すべき攻撃の傾向を分析することで、より積極的なサイバーセキュリティ対策を実現することを目指した。(2) では、一般社団法人 高度 IT アーキテクト育成協議会と綿密な連携を行い、学内外において次世代の IT インフラを支えることのできる IT インフラエンジニアを育成するための教育カリキュラムの検討と、次世代における IT インフラのあり方とその構成手法に関する検討を行った。今年度は、東京大学情報基盤センターにおいても 5 日間の集中講義を開催し、東京大学の学生を含め、約 40 名程度の学生が履修した。(3) においては、研究にて求められる柔軟なネットワーク構成を実現しつつ、必要なセキュリティ機能を提供するためのネットワーク構築・管理システムである ASANO System (Advanced Service and Network Orchestration System) を設計ならびに実装した。このシステムでは、SD-WAN と呼ばれるオーバレイネットワーク技術を用いて、必要な場所に必要なネットワークを迅速に提供することを可能とし、学内ユーザに対して試験サービスの提供を開始した。

2 積極的な守りを展開するサイバーセキュリティに関する研究

2.1 背景

本研究では、増大するサイバー攻撃によるサービス妨害や情報漏洩に対抗するために、攻撃者の動向をとらえた積極的な守りを展開するためのサイバーセキュリティ対策の手法とシステムを確立することを目指す。昨今のサイバー攻撃の増大とその防御は困難を極めており、対策は後手に回りがちである。現在の組織におけるセキュリティ対策は、管理者の知識と経験に依存している。そのため熟練した技術と経験を持ったセキュリティ担当者がいない組織においては、一定レベルのセキュリティ対策を講じることが難しい。そこで、攻撃の予兆や攻撃者の動向を、複数種類のデータセットから機械学習ならびに深層学習技術を用いてリアルタイム解析することで、サイバー攻撃の兆候検知や攻撃の予測、並びに攻撃の影響範囲と一次対策の決定に関して、セキュリティ担当者のアシストを行う技術を確立する。これにより、熟練したセキュリティ技術者がいない組織においても、一定レベルのセキュ

リティ対策を講じることが可能となり、社会の IT インフラにおけるセキュリティレベルの底上げに貢献することができる。

2.2 内容

本研究では、図 1 に示すようなリアルタイム解析と人工知能によるセキュリティ担当者のワークフロー支援と、サイバー研究に貢献するエコシステムを確立ならびに構築することを目指す。現在、サイバー攻撃の対策はネットワーク・セキュリティ運用者の知識と経験にもとづいて行われており、サイバー攻撃が増加している昨今では運用者の大きな負荷となっている。本研究では、この属人的な知識と経験にもとづいた判断を人工知能技術を用いて解決し、セキュリティ対策の底上げと積極的な守りを展開するサイバーセキュリティ対策を目指す。

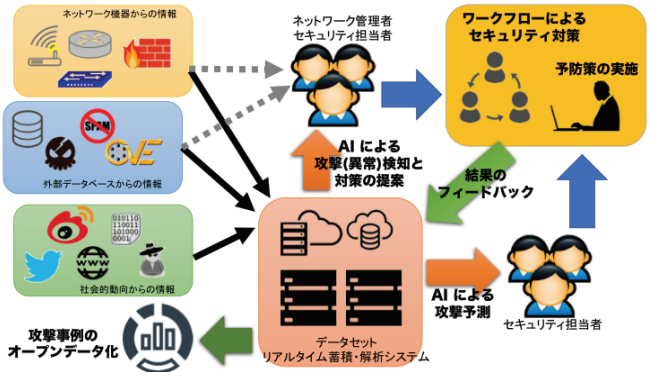


図 1: 本研究が目指すセキュリティアシストシステムの概要

前述の目標を達成するために、本研究は次に述べる 4 つの技術的課題に取り組む。

課題 1 大規模リアルタイム・ストリーミングデータ解析

リアルタイムかつ定常的にサイバー脅威の解析が可能なストリーミングデータ解析基盤を構築する。具体的には、サイバー脅威の予兆を得るために多種類のデータを並列して収集し、ストリーミングデータ解析基盤に格納するシステムを構築する。 数値的目標として、一日あたり 17 億件のデータ（毎秒 20,000 件）を受信し処理可能な解析基盤の構築を目指す。この件数は、本提案の研究組織である 30,000 人規模の利用者を有するキャンパスネットワークにて生成される実際のログ件数を元に算出しており、小中規模の通信事業者、大企業の有するネットワーク規模に相当する。

課題 2 知識ベース・機械学習を用いた脅威予測

サイバー脅威データを利用し、機械学習技術・人工知能技術の学習アルゴリズムを適用することで自動的に特徴を抽出する。学習にあたっては、パケット、URL データ、システムログ、検知ログ、ソーシャルデータといった各種データをベクトルに変換する手法を確立する。サイバーセキュリティの分野においては、どの種のデータをどのようにベクトル解析結果を導き出せるかの手法が確立されていない。そのため、各種データの深層学習への適用方法を確立する。また攻撃を予測するために、ソーシャルメディアやニュースサイトなどに公開される脅威や脆弱性の情報、攻撃の動機となり得る社会的事象など自然言語で書かれた情報を活用する。

課題 3 インシデントレスポンスの自動化基盤

サイバー攻撃が発生した際には、膨大なログデータを付き合わせて原因を特定し、インシデントの影響度をセキュリティ担当者が判断しなくてはならない。この判断は、担当者の知識や経験にもとづいた属人的なものとなっている。本研究では、セキュリティ担当者の業務を軽減するた

めに機械学習を適用し、セキュリティ担当者がインシデントの原因特定を行うためのアシストを行う手法を確立する。

課題 4 サイバー脅威のオープンデータ

プライバシを考慮した上でのサイバー脅威データのオープン化に取り組む。これにより、様々なサイバーセキュリティの研究に使え、今後の研究に大きな貢献となるデータセットを提供する。

2.3 具体的成果

この積極的な守りを展開するサイバーセキュリティ手法を確立するために、本年度は特に、攻撃のリアルタイム解析と攻撃予測・影響範囲の推定を行なうシステムの設計と構築、また攻撃者の挙動を検知するための要素技術に関する研究を行った。具体的には、サイバー脅威を分析するにあたって (a) 収集すべきデータセットの選定、(b) データ解析基盤の設計と構築、(c) 単一データセットを用いた異常検知手法の開発、(d) インシデントレスポンスのワークフロー特定、(e) サイバー攻撃予測に利用できるデータセットの選定と予備実験、を行った。

(a) に関しては、インフラ基盤から得られるデータセットを定義・検討し、どのデータセットを用いることでどのような攻撃を検知できる可能性があるかを分類して明確化した。(b) に関しては、独自に設計した Hayabusa と呼ばれる解析システムを考案し実装した。また、この Hayabusa を複数台のホスト上で分散処理できるよう設計を拡張し、実証実験を行った。この成果は論文にて発表し、実装はオープンソースとして公開した。hayabusa システムの概要を図 2 に示す。Hayabusa では、データを

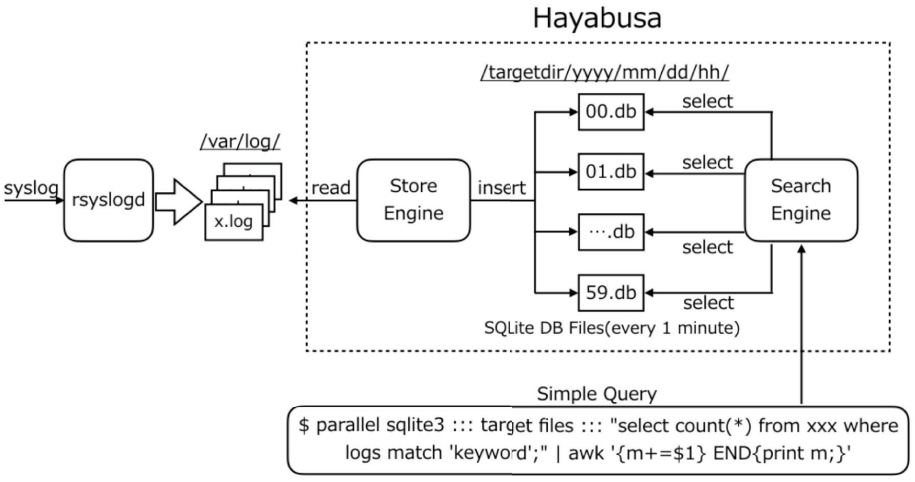


図 2: リアルタイムデータ蓄積・検索システム : Hayabusa

時系列に応じて細かく分割し、小さなファイル単位として蓄積している。さらに、データの蓄積にはオープンソースである SQlite3 を利用しており、構造化データも非構造化データも扱うことが可能となっている。あらかじめデータベースとしてのスキーマを定義してデータを蓄積する場合には、構造化データベースとして利用することができ、様々な種類のネットワーク機器やセキュリティ機器から送られてくるログデータをリアルタイムに蓄積する場合には、syslog プロトコルを利用してログを受信し、ログメッセージをテキストとした非構造化データベースとして利用することが可能となっている。非構造化データベースとして利用する場合には、検索ワードに対しての全文検索を提供する。この際、時系列によって細かく分割されたデータファイルを単位として複数の検索プロセスを並列実行させ、その結果を統合してソートすることによって全体としての検索結果を構築している。つまり、分割されたデータファイルの数だけ検索プロセスを並列実行させることが可能であり、近年のサーバ

が有する複数コアをすべて検索のための並列実行に利用することで、高速な全文検索を実現した。この成果に関しては、[査読付 3] にて発表した。また、ソフトウェアはオープンソースとして公開した。

さらに (c) に関しても、ユーザの Web アクセス挙動のデータや攻撃者のスキャニング挙動といった単一データセットをもとに、悪性サイトや攻撃ノードの発見を行う手法を論文として公開した。特に本年度の成果としては、従来のこの分野の研究が行っていたヘッダ情報などを宛先や送信元といったセマンティクスにおいて解釈するのではなく、パケットの到着間隔やサイズに着目し、到着した時系列をもとにした画像データとして処理することを提案した。これによって、既存の画像処理などに用いている深層学習の学習手法やアルゴリズムをほぼそのまま適用することができ、確度の高い異常判定を実現できることがわかった。この詳細に関しては、[査読付 2][査読付 4][発表 3][発表 6] において発表した。

(d) に関しては、実際のインシデントレスポンス事例の分類を開始した。また (e) に関しては、攻撃の動機予知に利用できるソーシャルネットワークのデータセットに関して、分類と選定作業を行った。また、過去の攻撃事例をもとに、ソーシャルデータを利用した予測がどのていど有用に機能するのかを検証する予備実験を行った。この成果に関しては、[査読付 1] にて発表した。

3　ソフトウェアインフラを活かす IT アーキテクトに関する研究

3.1　背景

IoT 時代のネットワークは、あらゆる「モノ」がネットワークに接続されることにより多様なデータやダイナミックに変化するトラフィックを処理することが求められる。また、あらゆる「モノ」がネットワークに接続されることにより、ネットワークに対するユーザニーズも今後、大きく変化することが予想される。具体的には、コネクティッドカーの通信における遅延の極小化や、監視用ウェブカメラなどの４Ｋ８Ｋ映像伝送など多様なユースケースが考えられ、そのようなトラフィック処理やユーザニーズの変化に対応するためには、従来のハードウェア中心のネットワークから、仮想化やソフトウェア技術を用いて、トラフィック分析を基にした動的な運用・管理を可能とする、以下のような特徴を持つネットワークが必要となる。

このようにニーズによって異なる性格のネットワークやシステムを構築することが求められており、さらにアイディアをいち早く具現化する DevOps 形式での展開が求められている。これを実現するためには、システム構築のリーディングタイムを短縮したり、システムの柔軟な構成と構築を可能とする、ソフトウェア資源を最大限に活かした構成が求められる。すなわち、従来の「ネットワーク」や「サーバ」、「コンピューティング」といった分類に応じた技術の適用ではなく、現在の IT システムを構築するにあたって最も効率の良い技術を選定し組み合わせるための「アーキテクト」の技能が必要となっている。

そこで本研究では、現在 IT システムの構築に利用できる技術とその本質となる情報理論をあらためて考え直すことで、これからの IT システム構築に不可欠となる技術要素を横断的かつ俯瞰的に選定・分類し、さらにその技術を習得するための人材育成カリキュラムに関する研究を行った。

3.2　内容

前述の通り、現在の IT システムはアイディアを即座に具現化し、サービスを迅速に提供することが求められる。これは、従来のように「物理インフラ」、「ネットワーク」、「サーバ」、「アプリケーション」といったような分類で構築されていたシステムとは異なり、クラウドやオープンソースソフトウェアといった、使うことのできる部品を組み合わせて最大限の効率化を行うことが求められている。ここで登場するのがソフトウェア化技術であり、ソフトウェア資源を最大限に活用した「ソフトウェアライゼーション」と呼ばれるシステム構築手法である。

従来のシステム構築では、システムを構築する部品を専用のハードウェアを調達もしくは開発する

ことにより、それを連結することでシステムを実現してきた。すなわち分業化によるシステム構築であり、その個々の部品は専門的な知識と経験を有したエンジニアによって構成され、膨大な結合試験を経てサービスとして展開された。しかし現在の IT システムは、サービスインまでに膨大な時間がかかる従来の構築手法では競争に乗り遅れる傾向にあり、DevOps に代表されるような、開発を行いながら完成した機能から順次サービスインし、サービス性能も段階的に拡張できるようなシステム構築が求められている。これを実現するにあたっては、ソフトウェア化されたインフラ構築が適している。すなわち、専用ハードウェアにて実現されていた機能を、汎用ハードウェアの上にソフトウェア実装を搭載することで、同様の機能を実現するインフラである。その理由として、ソフトウェア資源を活用したインフラ構築は、次の利点を有している。

即時性 ある新たな機能を実現するために専用ハードウェアを開発するのではなく、汎用ハードウェアの上にソフトウェアを用いて機能を実現することで、発案からサービスインまでの時間を短縮することが可能となる

柔軟性 ハードウェアの物理的な配置や性能限界に影響されることなく、汎用ハードウェアをソフトウェアによって連結したり分割したりすることで、ハードウェアの物理的な配置や個々の性能限界に影響されないシステム構築が可能となる

規模性 サービス初期状態では最低限の資源でスタートし、サービスに顧客が付いてより性能が必要となった時点で汎用ハードウェアの増強を行うことで、サービスの性能を拡張することができる

この観点に基づいて、ソフトウェア資源を最大限に利用したシステム構築が行われる必要があり、逆に言えばこの利点を得られるシステムであれば、ソフトウェア化をすることに利点を見出すことができるシステムであると言える。本年度は、このソフトウェア化インフラを実現するための要素技術に関して、技術の分類と選定を行った。

3.3 具体的成果

本研究における本年度の具体的成果として、現在の IT システムを構築するにあたってソフトウェア化技術として有用かつ必要となる技術に関して、選定と分類を行った。本研究は、一般社団法人高度 IT アーキテクト育成協議会 (AITAC) との共同研究であり、おもに要素技術の選定と分類を東京大学が担当し、その技術の教育カリキュラム化を AITAC と東京大学が分担して行った。その成果を表 1 に示す。この表に示すとおり、ソフトウェアを最大限に活かしたインフラ構築に必要となる要素技術を 4 つに分類し、さらにその要素技術と根本となっている情報理論について分類と定義を行った。この定義を元に、これからの IT インフラ構築に必要となるエンジニア人材を育成するための教育カリキュラム策定を行った。

このカリキュラムに基づく講義は、AITAC としても実施され、本年度は東京大学情報センター主催の集中講義も開催された。この東京大学情報基盤センター主催の集中講義開催の報告とその成果については、本年報の別章において別途報告した。

4 柔軟性かつ安全性を提供するネットワーク構築・管理システムの構築

4.1 背景

近年、サイバーセキュリティに関する要求が高まっており、本報告書においても述べたとおり、日々様々な攻撃が行われている。企業に対する攻撃も当然ながら、政府や学術機関を狙った攻撃も頻発しており、大学においてもセキュリティ事故による情報漏えい等が発生している。このような状況を受け、大学のネットワークもセキュリティを強化すべきとの気運が高まっており、各大学や研究機関においてファイアウォールの導入やセキュリティの強化が進められている。

表 1: ソフトウェアインフラ実現のための要素技術

学習分野	学習項目	学習内容
ネットワークの基礎技術 構築・運用技術 設計方法	講義の概要	本講義の位置付け、実施方針を伝える
	ネットワークの理論	
	TCP/IP ネットワークの概要	TCP/IPネットワークの全体像と階層モデルについて理解する
	Ethernet の仕組み	
	Ethernetを用いたネットワークの構築演習	Ethernetを用いて小規模なネットワークを構築する
		スイッチの操作を覚える
	ネットワーク層	ネットワーク層の役割について理解し、IPアドレスの構造、IGPの仕組みを理解する
	IP経路制御 (1)	
	IP経路制御(2)	EGPの役割とBGPの仕組みについて理解する
		またBGPを応用した実際の経路制御手法についても学ぶ
	経路制御演習 (1)	IGPとEGPの階層的な経路制御について学び、RIP、OSPFを用いた経路制御の演習を行う
	経路制御演習(2)	BGPの仕組みについて理解し、ルータの設定を通じて理解を深める
	ネットワーク冗長化と設計	信頼性向上のためにネットワークの冗長化が必要であることを理解する
		各層での冗長化技術を学ぶ
	ネットワーク設計論	データセンタや ISP における実際のネットワーク設計や Interop Tokyo におけるネットワーク設計からその意味を学ぶ
サーバの基礎技術 スケーラビリティー 仮想化技術	OS/コンピュータアーキテクチャ	サーバに用いられるOSの基礎的な仕組みを理解する
		現在のコンピュータアーキテクチャとCPUの仕組みについて学ぶ
	OS/サーバの仕組み	Linux を例として OS の構造と仕組みを理解する
	セキュリティ	Linux を利用して構築されるサーバの事例を理解する
	Linux のインストールと	OSインストールからソフトウェアのインストール、性能試験までを一通り行い、サーバ構築の一連の流れを学ぶ
	サーバとしての設定	
	負荷分散と仮想化	サーバ仮想化技術について学びその利点と欠点を理解する
		サービスの負荷分散手法について学ぶ
		実際のシステムについて事例を通じて理解を深める
最新ネットワーク制御技術 サービス仮想化 統合管理技術	大規模システム構築に向けて	サーバ仮想化や負荷分散、ネットワークの冗長化を利用して大規模可能なシステムの構築について学ぶ
	クラウド技術の概要	クラウドのアーキテクチャとその要素技術を理解する
	クラウドサービス構成法	
	ストレージとデータベース技術	ファイルシステムからネットワークベースのストレージ、データベースの技術について理解する。
	コンテナ技術と演習	オンプレミスクラウドの構築について、IaaSとPaaSの場合を経験する
		オンプレミスクラウドを構築する場合の注意点とセキュリティについて学ぶ
	商用クラウドを用いたサービスの構築	商用クラウドの利用方法を学び、商用クラウドを利用したシステム構築事例について学ぶ
	商用クラウドサービスの活用	商用クラウドを利用して Web サービスを構築する手法について学ぶ
	ハイブリッドなシステムの構築	データベースを利用しデータ解析基盤として利用する手法について学ぶ
	SDN技術	SDN技術の基礎を理解し、その特徴と既存ネットワークとの違いを理解する
	OpenFlow を用いたネットワークアプリケーションの作成	OpenFlow アプリケーションを実装できるようになる
	NFV技術の概要	NFV技術の概念を理解し、その実現方法と技術課題について理解する
各技術を適切に活用しサービスインフラの設計・構築・プログラミングを用いた設計理論の習得	インフラ設計論	サービスを構築するにあたって必要な要件とそれを満たすコンポーネントをどう利用するか、議論を通じて理解を深める
	構築プロセスの紹介	ShowNet や大規模ネットワークを事例としたネットワーク設計論を紹介する
	インフラ運用・監視・管理技術	構築したインフラシステムを監視するための手法と、監視要件を元にした監視システムの構築について事例を通じて学ぶ
	サービスインフラのセキュリティ	サービスインフラに対して求められるセキュリティとその注意事項について
		実際の事例や教材を元に学習する
	インフラ構築と運用の自動化 (必要なプログラミング初歩を含む)	インフラ構築を自動化するためのツール群に関して、プログラミング言語の初歩を交えながら学習する
	運用ツールによるインフラ構築と運用の自動化	自動化ツールを用いてインフラの構築と運用自動化を体験する
	実シナリオに基づいたアーキテクチャ設計	グループを形成し、グループ単位で与えられたサービス課題を実現するためのシステムアーキテクチャについて議論を行いまとめる

しかし、大学のネットワークは研究活動を行うためのネットワークであり、企業のように情報を守るために最大限のセキュリティを確保した一律的なネットワークを提供することは難しい。研究活動において、資料やデータを外部研究者と共有する必要があったり、データを外部に転送したり受け入れたりする必要もある。また、実験機器を接続するネットワークでは、広域に延びたレイヤー 2 ネットワークが必要であったり、ネットワーク自体の研究者やアプリケーションの研究者は、制限の無いネットワークが必要な場合もある。その一方で、成績データや機密性の高い研究成果のデータ、実験に用いる個人情報等絶対に外部に漏えいしてはいけないデータも存在しており、これらはネットワークインフラやセキュリティ機能によって守られるべきである。

つまり、相反する要素である柔軟性と機密性の両立が求められているのが大学のネットワークであり、この相反する機能を実現することが次世代のキャンパスネットワーク管理に求めれる要件となっている。そこで本研究では、オーバーレイネットワーキング技術である SD-WAN と呼ばれる技術を活用し、即時性と柔軟性、ならびにセキュリティ機能を兼ね備えたネットワーク構築・運用システムの設計と構築を目指した。

4.2 内容

具体的には、ネットワークを利用したい管理者に対して、その管理者が利用する権利を有しているネットワークの構成変更と管理の権限を委譲し、クラウド上に配置された統合管理システムを用いて自由にネットワーク構成を行うことのできるシステムを設計・構築した。このシステムは ASANO System と命名された。ASANO System の概要を 3 に示す。

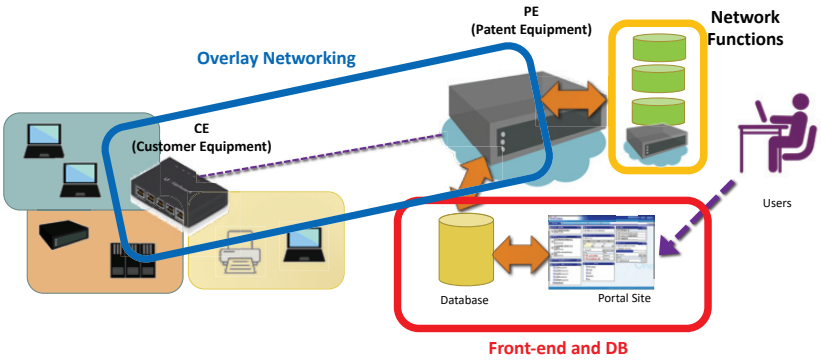


図 3: ASANO System の概要

本システムは 3 つのコンポーネントによって構成される。オーバーレイネットワーク技術を用いて迅速かつ柔軟に必要となるネットワークを構築するオーバーレイネットワークコンポーネントと、ユーザからのリクエストを受け付け、システムを集中制御するフロントエンドコンポーネント、セキュリティ機能などのファンクションを付加するファンクションコンポーネントである。これらを既存の技術やオープンソースソフトウェア、ならびに独自開発することによって、システムを構築した。

なお、本システムの技術的詳細については、共同で研究を行っており本システムの開発を主に担当した中村遼助教の報告に詳しく述べられている。また、[発表 2] において成果の公開も行った。詳しくは中村遼助教の報告書を参照してほしい。

4.3 具体的成果

本年度は、本システムのプロトタイプ実装を完成させ、実際に学内のユーザから利用者を募ることによって試験サービスを開始した。現在複数部局の遠隔地やメインキャンパス内で利用されており、研究室のネットワークやそのネットワークにつながっているファイルサーバなどの資源に、遠隔地か

ら安全にアクセスする機能を提供している。今後もテストユーザを募り試験サービスを継続させる所存である。ある程度の需要が見込めれば、試験サービスから UTNET の本サービスとして展開し、柔軟かつセキュリティを確保した次世代のキャンパスネットワーク構築モデルとして提案し、他大学や他組織への展開も積極的に行っていく所存である。

5 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 関谷 勇司 :「IETF に見るネットワークとソフトウェアの関係」, ネットワークのソフトウェア化に関する各標準化団体での検討状況, 一般社団法人情報通信技術委員会, 2018 年 2 月

[招待 2] 関谷 勇司 :「ソフトウェア技術が構築するネットワーク」, クラウド時代のネットワーク最適化 Forum 2018, 2018 年 1 月

[招待 3] Yuji Sekiya :“The Detection Possibility of Cyber-threats using Big Data Analysis and Machine Learning”, The 2017 International Data Mining and Cybersecuryty Workshop , November 2017.

[招待 4] 関谷 勇司 :「ネットワークログ分析による異常検知の可能性について」, マルチメディア, 分散，協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム, DICOMO2017 論文集, pp. 1338-1341, 2017 年 6 月

[招待 5] 関谷 勇司 :「学内ネットワークでの SD-WAN 活用」, Interop Tokyo 2017 基調講演, 2017 年 6 月

著書／編集

[著書 1] 関谷勇司, 岡田 和也 :「攻撃に強いネットワークの作り方 : 3-5 一歩進んだセキュリティ対策」, 技術評論社, Software Design 別冊 インフラエンジニア教本, pp. 113-121, ISBN : 978-4-7741-8924-6, 2017 年 4 月

査読付論文

[査読付 1] Munkhdorj Baaatarsuren, and Yuji Sekiya :“Cyber attack prediction using social data analysis”, IOS Press, Journal of High Speed Networks, vol. 23, no. 2, pp. 109-135, 2017, DOI : 10.3233/JHS-170560.

[査読付 2] Keiichi Shima, Hiroshi Abe, Daisuke Miyamoto, Tomohiro Ishihara, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, Hirochika Asai, and Yusuke Doi : ”Classification of URL bitstreams using Bag of Bytes”, Proceedings of the 21st Innovations in Clouds, Internet and Networks, February 2018.

[査読付 3] Hiroshi Abe, Keiichi Shima, Yuji Sekiya, Daisuke Miyamoto, Tomohiro Ishihara, and Kazuya Okada :“Hayabusa: Simple and Fast Full-Text Search Engine for Massive System Log Data”, Proceedings of the 12th International Conference on Future Internet Technologies (CFI17), ACM, DOI: 10.1145/3095786.3095788, June 2017.

[査読付 4] Keiichi Shima, Hiroshi Abe, Daisuke Miyamoto, Tomohiro Ishihara, Kazuya Okada, and Yuji Sekiya :“URL Classification using BoF of URL bitstream”, Extended Abstract Session of Conference on Future Internet (CFI17), June 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 彦坂 真央樹, 関谷 勇司 :「Wireless D2D Caching Network での多腕 Bandit 問題としてのリソース割当手法」, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 117, no. 385, NS2017-153, pp.53–58, 2018 年 1 月

[発表 2] 中村 遼, 関谷 勇司, 工藤 知宏 :「オープンソースソフトウェアを用いたキャンパス SD-WAN の検討」, 電子情報通信学会, 進学技報, vol. 117, no. 354, IA2017-64, pp. 67-72, 2017 年 12 月

[発表 3] 神谷 和憲 , 長谷川 彩子 , 関谷 勇司 , 岡田 和也 :「DNS キャッシュサーバログのグラフ分析による感染端末検知の検討」, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 117, no. 316, pp.53–58, 2017 年 11 月

[発表 4] Yuji Sekiya, Marc Bruyere :“Implementing SDN-IX in Japan - PIX-IE (Programmable IX)“, TNC17 SDN global coordination meeting, May 2017

[発表 5] 彦坂 真央樹 , 関谷 勇司 :「Software-defined Device-to-Device 通信における多腕バンディット問題としてのリソース割当手法」, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 117, no.3, NS2017-7, ICSS2017-47, pp.37–42, 2017 年 4 月

[発表 6] 西山泰史, 熊谷充敏, 岡野 靖, 神谷和憲, 谷川真樹, 岡田和也, 関谷勇司 : 「HTTP 通信に着目した Deep Learning に基づくマルウェア感染端末検知手法と検知性能評価」, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 116, no. 522, ICSS2016-52, pp.49–54, 2017 年 3 月

[発表 7] 関谷 勇司 : 「次世代データセンターが担う役割とは」, SB クリエティブ株式会社, 次世代データセンター活用セミナー 2017 基調講演, 2017 年 2 月

特記事項

[特記 1] 関谷 勇司 :「ASANO System ご紹介 ～学内における SD-WAN + NFV の活用～」, UTNET meeting, 2017 年 11 月

[特記 2] 関谷 勇司 :「愉快なソフトウェアネットワーキング」, ONIC Japan 2017, 2017 年 10 月

[特記 3] 関谷 勇司 :「大学内 SDN/NFV システムの事例と Open SD-WAN に向けた戦略」, Open Source Network Days 2017 JAPAN, 2017 年 10 月

[特記 4] 関谷 勇司 :「ソフトウェア時代のエンジニア育成とは」, OOL Summit 2017, 高度 IT アーキテクト育成協議会 (AITAC), 2017 年 9 月

[特記 5] 関谷 勇司 : 「SD-WAN を利用した学内ネットワーク制御に見るこれからの組織内ネットワーク」, クラウド時代のネットワーク最適化 Forum 2017, 日経 BP 社, 2017 年 7 月

[特記 6] 関谷 勇司, 村井 純 :「IoT/AI 時代だからこその高度 IT アーキテクト人材育成」, Interop Tokyo 2017 SDI/NFV ShowCase Classroom, 2017 年 6 月

[特記 7] 関谷 勇司 : 「ShowNet に見るソフトウェアを最大活用したネットワークインフラのあり方」, Interop Tokyo 2017, 2017 年 6 月

[特記 8] 関谷 勇司 :「地域 BWA を利用した IoT 環境の実現」, Interop Tokyo 2017, 2017 年 6 月

[特記 9] JST CREST [人工知能] イノベーション創発に資する人工知能基盤技術の創出と統合化 研究代表者

[特記 10] 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 11] NTT セキュアプラットフォーム研究所 共同研究

[特記 12] 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 13] 総務省「ICT 分野における技術戦略検討会」構成員

[特記 14] 総務省「医療等分野における高精細映像等データ共有基盤の在り方に関する実証の請負 」東大・京大フィールド WG 構成員

[特記 15] 総務省「IoT 政策委員会人材育成ワーキンググループ」構成員

顔認識を用いた IoT システム
および、情報基礎教育用教科書の執筆

中村 文隆

1 概要

一般向けの教育啓発を目的として、ラズベリー・パイ上で顔検出と認識を行い、機器の制御や検出通知を行うシステムを開発し、トランジスタ技術誌に掲載予定の原稿を執筆した。また、情報教育の基礎科目として広く開講されている情報システム概論の教育に資する目的で、現在の情報技術に対応した教科書を執筆した。

2 顔認証を用いた IoT システム

2.1 背景

深層学習をブレイクスルーとした急速な発展をしつつある AI と、小型かつ低コスト、低消費電力のノード機器の充実に伴って普及しつつある IoT は、社会的認知度が高まっている反面、開発や教育の現場においては、手ごろな入門用の教材がまだ不足している状況もある。今回、CQ 出版社からの依頼を受け、顔認証と IoT を組み合わせたシステムの開発を行う記事を執筆した。

2.2 内容

本記事のシステムでは、インテルが開発した OpenCV3 内のモジュールを用いて顔領域の検出と顔認識を行った。顔領域の検出は OpenCV3 の物体検出器である detectMultiScale()を用い、ブースティングとして Haar-Like 特徴を用いた顔検出の学習結果として GitHub に公開されている haarcascade_frontalface を適用した。認識対象となる顔画像は、Python 上の TkInter により構築した GUI 上で detectMultiScale()によって切り出したものが保存される。

顔認識の学習には LBPH(Local Binary Patterns Histogram)を用い、訓練用の顔画像サンプルとしてイェール大学が公開している YACEfaces の顔画像ライブラリを使用した。このライブラリには 15 名の人物について、それぞれ異なる照明条件と表情とで撮影した 10 通りの顔画像が計 150 枚含まれている。認証対象として登録したい顔画像をこれらの顔画像とあわせて LBPH 認識器を構築し、顔認識を行う。

顔認識のシステムについても Python スクリプトとして構築し、ラズベリー・パイのカメラ画像からリアルタイムに顔検出と顔認識を行うようにした。検出された顔画像が登録された人物と認識された場合、設定されたメールアドレスに来訪のあったことを通知するメールを送信するとともに、GPIO 経由で任意の機器の ON/OFF ができるようになっている。

2.3 具体的成果

上記のシステムについて、構築過程とその原理、意味について解説した記事がトランジスタ技術2018 年 7 月号に掲載される予定である。

3 情報基礎教育用教科書

3.1 背景

ICT の基礎教育科目として、情報システム概論は多くの大学で開講されている科目であるが、現在入手できる情報システム概論向けの教科書の多くは時代に合わないものになりつつある。たとえば通信分野では ISDN や ADSL といったレガシーなテクノロジまでしか扱われていないものであったり、ファイルシステムについてもメインフレーム時代のファイル編成を扱っているものであったりする。

新しい教科書がなかなか現れない背景はいろいろ考えうるが、ICT 技術の変遷が速いペースで進んできた状況においては、教科書としてまとめたものがまたすぐに陳腐化する可能性を危惧することもあると推察される。しかし近年では、インフラとしての ICT の技術は比較的安定してきている感もあることから、このタイミングで現在の ICT 技術についてまとめた教科書を、法政大学の和泉順子氏、東芝 IoT テクノロジーセンターの櫻井茂明氏と共著で執筆することにした。

3.2 内容

背景で述べた事情から、旧来の教科書で扱われている内容のうち、レガシー化しているテクノロジについては歴史的な記述の項目に回すこととし、これまで含まれてこなかったオープンシステムや現代的な OS、モバイルやクラウド、AI や IoT、およびセキュリティについての記述に多くの紙数を割いた。

全 6 章のうち、中村は第 2 章のデータ表現、および、第 3 章の情報システムの構成について執筆した。

3.3 具体的成果

執筆した教科書は、2018 年 9 月頃にサイエンス社より上梓を予定している。

異種 IoT データの連携を促進するネットワーク技術の研究

妙中雄三

1　背景

物理空間に存在する膨大なヒト・モノ・コトをセンシングして情報（IoT データ）化し、集約した IoT データをサイバー空間で活用して情報サービスを提供する機会が増えている。IoT データは個々のサービスに特化したクラウドで集められており（サイロ型）、サービスや環境（収容するクラウドやネットワーク）に依らない異種または同種の IoT データの連携（IoT データスクラム連携）は行われていない。しかし、IoT データは物理空間内の位置に基づいて利用される事がほとんどであることから、サービスを限定しない異種データ連携利用が求められている。本研究では IoT データの生成された物理的な位置をネットワーク内で扱うことができる物理位置調和型通信に取り組み、ネットワーク制御によって近接性を意識した IoT データスクラム連携が実現可能である事を実ネットワークにおいて実証した。

2　内容

本研究では、IoT データを転送する際にそのデータが生成された物理的な位置をパケットに識別子として埋め込むことでネットワーク内での転送中に位置情報を意識したネットワーク制御を可能とする物理位置調和型通信技術の実ネットワークにおける実証実験を行い、実用化に向けた技術検証と技術課題の抽出を行った。本研究において物理位置調和型通信の実証実験を行う実ネットワークの設計と構築を行った。また、設計・構築を通して得られた知見に基づき、物理位置調和型通信の実ネットワークにおける課題を明らかにした。加えて、本研究が対象とする多様な IoT データをスクラム連携するサービスの実現に向けて、物理位置調和型通信技術の位置付けと課題の検討を行った。以下にそれぞれの内容について説明する。

2.1　技術検証のための実験ネットワークの設計・構築

本研究で開発した物理位置調和型通信は位置情報を一次元的に表現できる地域メッシュコードを識別子として用いる。地域メッシュコードは図 1 に示す通り、物理空間をメッシュ状に分割し、1 次から 2 次、3 次と次数が増えるにしたがって表す範囲が詳細となる様な数値である。このメッシュコードを拡張し、先行研究では IPv6 アドレスに位置情報を埋め込む方法を提案した。図 2 に示す様に、接続ネットワーク固有の IPv6 アドレス上位 64 ビット（プレフィクス）に加え、位置情報の詳細度に合わせてメッシュコードを最大 10 次（56 ビット）までの可変長で埋め込んだネットワークアドレスを用い、残りの下位ビットに端末固有の識別子を付与するフォーマットとなる。このフォーマットを用いることで、既存のインターネットで用いられる制御をそのまま利用できることから既存のネットワーク技術との親和性が高い事に加え、経路制御では次数の大きい（対応する位置情報が詳細な）アドレスから小さい（位置情報が粗い）ものまで基本的な longest match 制御を活用することで物理空間のメッシュコード単位で個別にネットワーク制御が可能となる。

本研究では上記で説明した位置情報をネットワークアドレスに埋め込む方法を用いて通信する物理位置調和型通信の技術検証を行うために、研究分担者が所属する東京大学と九州工業大学の実ネットワーク内にそれぞれ実験環境を構築し、それらを相互に接続して実証実験を行った。本実験では、実ネットワーク上で物理位置調和型通信によるデータ転送が可能であること、物理位置調和型通信を用いることで送信されるデータの生成場所がネットワークアドレスのみで判定可能である

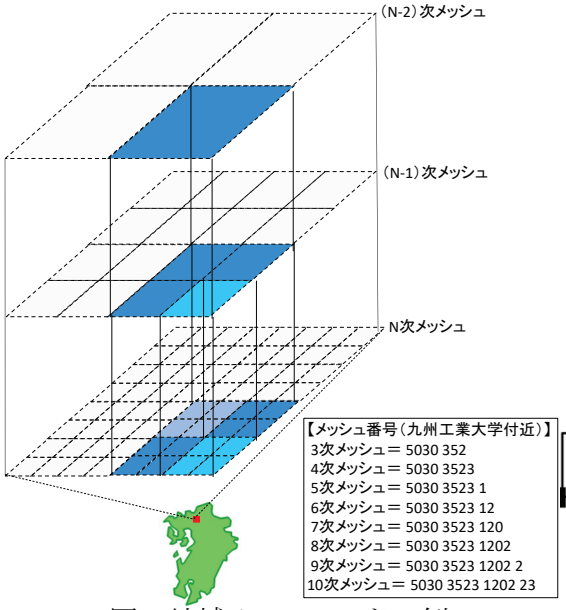


図 1 地域メッシュコードの例

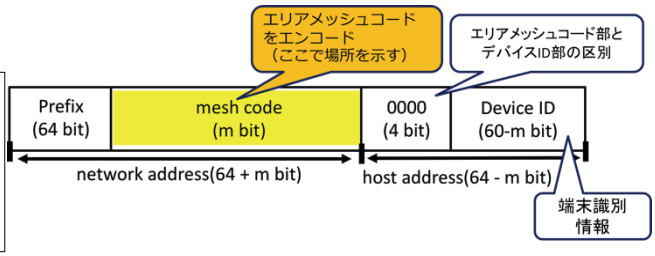


図 2 位置情報を含む IPv6 アドレスフォーマット

こと、異なるネットワークであっても物理的に同じ位置であればデータ連携ができることを示すことが目的である。この目的を達成するために、二つの実験ネットワーク A、B を設計した。

実験ネットワーク A では異なるネットワークで異なる位置を示すトポロジを構成した。図 3 に実験ネットワーク A の概要を示す。九州工業大学では X::/64、東京大学では Y::/64 という大学固有の IPv6 プレフィックスを用い、それぞれのキャンパスの位置に合致するメッシュコードを埋め込んだ。具体的には九州工業大学飯塚キャンパスを緯度・経度で表すと 33.6534946, 130.67267418 であり、この位置を含む 10 次メッシュコード(約 39m 四方)は 5030 3523 1202 23 となる。ここで、図 2 に示すように可変長のメッシュコードと端末固有の識別子を判別可能とするために 0 を用いるため、メッシュコード内での 0 の利用を避けて 3 次メッシュコード以降で各桁に 1 ずつ加算し、5030 3534 2313 34 とする。図 3 に左下に示すように、この値を IPv6 アドレスに 0x50303534231334 として埋め込む。9 次メッシュになると対応する位置が粗くなり、末尾の 4 ビット(1 桁)を削除して 0x5030353423133 となる。同様に、東京大学弥生キャンパスは緯度・経度が 35.71553321, 139.76442933 で表され、10 次メッシュコードが 5339 4620 0313 21 となり、IPv6 アドレスに埋め込むメッシュコードは 3 次メッシュコード以降の各桁に 1 を加算し、5339 4631 1424 32 となる。この様なメッシュコードの割り当てに従いながら、九州工業大学と東京大学のネットワークアドレスを割り当てるネットワーク設計を行った(図 3)。

実験ネットワーク B では異なるネットワークでありながら、物理的には同じ位置で提供されている環境を模擬するトポロジを構成した。図 4 に実験ネットワーク B の概要を示す。実験ネットワーク B では実験ネットワーク A と同様に九州工業大学では X::/64、東京大学では Y::/64 という大学固有の IPv6 プレフィックスを用いる一方で、埋め込む位置情報はどちらも同じメッシュコードを用いた。前述の通り、九州工業大学飯塚キャンパスはメッシュコードで 5030 3523 1202 23 と表され、IPv6 アドレスには 0x50303534231334 として埋め込まれる。この位置情報を東京大学のネットワークにも適応し、東京大学の IPv6 プレフィックス Y::/64 に対して、Y:5030:3534:2313:3400/120 の様にネットワークアドレスを割り当てている(図 4 左下赤丸部分)。この様に、異なるネットワークであっても物理空間では近接した環境となるため、エリア毎のネットワークは仮想化されたネットワーク機器の共有やその地域の電話局舎、データセンタ等において物理的にも異なるネットワークの装置も近接していると考えられるため、図 4 に示す K6 と T4 間のネットワーク接続の様に同一の場所に対応するネットワークを扱うルータ間での接続性を確保した。この地点において、位置情報を考慮して経路制御を行うことで異なるネットワーク間でも物理的に近接している事を軸に IoT データのスクラム連携が可能となる。東京大学と九州工業大学の物理的にも離れたネットワーク機器間でこの近接性を模擬するために、それぞれの次

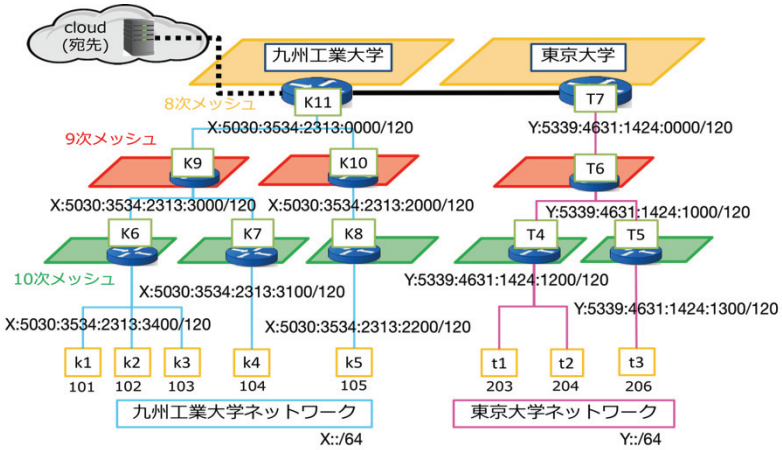


図 3 実験ネットワーク A の概要

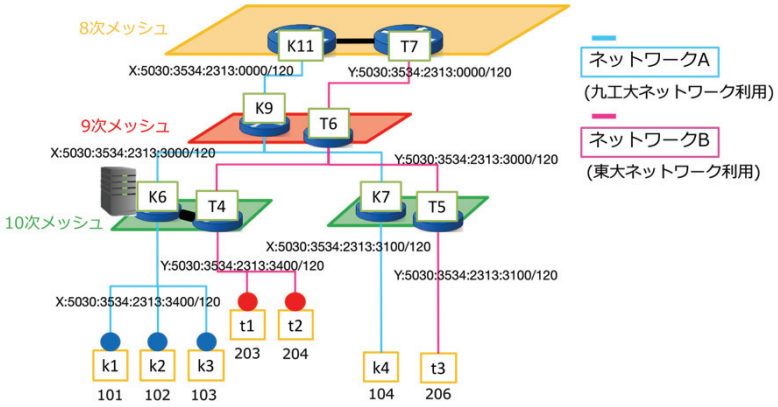
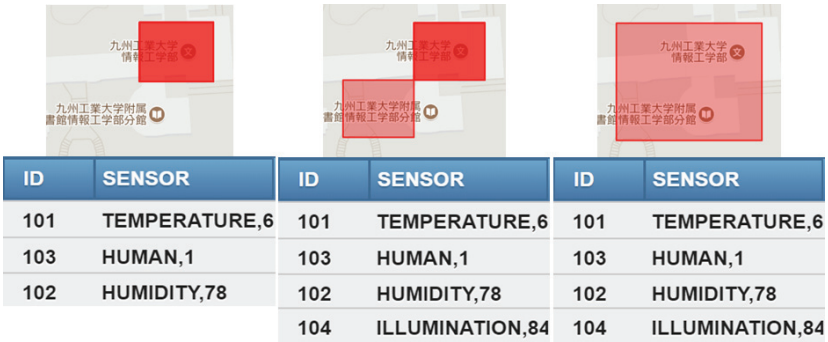


図 4 実験ネットワーク B の概要

数のルータにおいて、IPv4 ネットワークを介した VPN を確立している。図 4 の例では K6 に割り当てた IPv4 アドレスと T4 に割り当てた IPv4 アドレスの間で VPN のトンネル接続を行い、そのトンネル回線の上で IPv6 パケットを交換する構造とした。

2. 2　実ネットワークにおける技術検証

図 3 のネットワークを用いて物理位置調和型通信の検証を行った。九州工業大学の結果を例に挙げて説明する。IoT 機器を k1~k5 として設置し、センサ情報を 8 次メッシュのルータへ送信する。ここで送信するデータには位置情報を含まず、得られたセンサ情報の数値のみを送信する構成としている。本実験では各ルータの収集状況を比較するため、次数が 10 から 8 までのルータで得られる IoT データを比較する。



ID	SENSOR
101	TEMPERATURE,6
103	HUMAN,1
102	HUMIDITY,78

ID	SENSOR
101	TEMPERATURE,6
103	HUMAN,1
102	HUMIDITY,78
104	ILLUMINATION,84

ID	SENSOR
101	TEMPERATURE,6
103	HUMAN,1
102	HUMIDITY,78
104	ILLUMINATION,84

図 5 10 次、9 次、8 次メッシュのルータにおけるデータ収集例

図 5 にそれぞれのルータにおける収集データを示す。図 3 は上部のマップ上に収集データの位置情報を表示し、収集した IoT データの具体的な内容を示す。この図より、それぞれの次数で種類が異なる複数の IoT データが集まっていることがわかる。また、送信情報に位置情報を含むことなく、IPv6 アドレスのみで物理位置を考慮した経路制御を行い、異種の IoT データの連携ができていることがわかる。また、メッシュ次数が大きい範囲と小さい範囲での IoT データの収集状況から、次数に対応したメッシュ内の近接 IoT データが各次数のルータで集約できることもわかる。

2.3 実ネットワークにおける課題検討

上記のネットワーク設計・構築を行いながら現実のネットワークにおいて物理位置調和型通信を活用した場合における課題抽出を行った。設計・構築を行う過程でネットワーク構成における課題と、位置情報を軸としたネットワーク制御の課題を明らかにした。

ネットワークの構成においては IPv6 アドレスの割り当てに課題が残る。先行研究で提案された位置情報を埋め込んだ IPv6 アドレスは図 2 に示した通り、メッシュコードをその次数に対応した可変長で扱えるフォーマットとなっている。しかし、図 3、4 に示した通り、物理位置調和型通信を用いるための IPv6 アドレスのネットワーク部分は埋め込むメッシュコードの次数に関わりなく、可変長で埋め込んだ場合において機器の識別子として想定された部分も含んだ 120 ビットで全て固定となっている。図 3 の東京大学の例では、10 次メッシュにおいて Y:5339:4631:1424:1200/120 というネットワークアドレスを用いている。この時、可変長のメッシュコードは最大長の 56 ビットとなり、ネットワーク固有の IPv6 プレフィックスと合わせて 120 ビットがネットワークアドレスになっている。一方で、8 次メッシュでは本来の可変長のアドレスを割り当てるならば Y:5339:4631:1424::/112 と 8 ビット分短いネットワークアドレスとなるにも関わらず、Y:5339:4631:1424:0000/120 を割り当てた。これは、可変長 8 次メッシュコードを埋め込んだアドレス Y:5339:4631:1424::/112 と、10 次メッシュコードを埋め込んだアドレス Y:5339:4631:1424:1200/120 において IP アドレスが競合してしまう問題に起因する。IPv6 アドレスは階層構造を構築する様には設計されておらず、1 次元の空間を競合しない様に分割して用いることとなっている。対して、メッシュコードで扱う位置情報は低次のメッシュコードが高次のメッシュコードを包含する関係にある。従って、アドレスの重複を避けるためにメッシュコードを埋め込むネットワークでは全てのセグメントにおいて最長の 120 ビットでネットワークアドレスを構成する必要があり、ネットワーク数が増える上に、可変長アドレスの利点が損なわれる結果となっている。

ネットワーク制御では位置情報を軸とした経路制御が複数のネットワークを横断して透過的に実施することが困難な課題が残る。本研究ではメッシュコードを埋め込むことで IPv6 アドレスから位置を扱える様になるため、経路制御において位置を意識した転送先の選択が可能となった。具体的には、組織固有の IPv6 プレフィックスとメッシュコードまでを含むネットワークアドレスについて経路制御を行うことで、ネットワークアドレスに含まれるメッシュコードの位置に基づいてデータの送信先を制御することができる。しかし、実験ネットワーク B の様に物理的に同じ位置において異なるネットワークが提供されている場合が存在する。そこでは、組織固有の IPv6 プレフィクスが異なるため、IPv6 プレフィックス毎に経路制御を行う必要がある。しかし、位置情報のみをキーとして制御する場合にはどの組織がその場所で、どのような IPv6 プレフィックスでネットワークを提供しているかを予め知っておく必要がある。実空間の全てのエリアでそのような情報を収集し、更新し続けることは困難であるため、大きな問題であると考えられる。

さらに、現在のネットワークは組織（ISP など）毎に縦割りの階層構造で構築されており、異なる組織（ネットワーク）間で通信をするためにはインターネットのコア網まで経由してデータ転送する必要がある。つまり、現在のネットワーク構成のままでは物理的に同じ場所で生成された IoT データであってもネットワーク上では近接しないため、不必要なネットワーク資源消費や IoT データのネットワーク上での拡散が発生してしまう。上述の複数ネットワークでの同一位置情報の管理方法と合わせて、ネットワーク構成とその制御方法を検討する必要がある。

2.4 異分野データ連携プロジェクトの調査

本研究では多様な IoT データをスクラム連携するサービスの実現を目的として、物理位置調和型通信技術の検討を行なっている。同様にスマート IoT 推進フォーラムにおいて異分野データ連携プロジェクトが立ち上げられ、本研究と同様に IoT の横断的な流通・統合を行うための課題検討が進められている。そこで本研究では、異分野データ連携の検討内容を調査することで、本研究の位置付けを明確にし、本研究において残る課題の検討を行った。以下に異分野データ連携プロジェクトの平成 28 年度技術報告書を調査した。

異分野連携プロジェクトでは(1)横断的データ利活用のための基盤技術開発、(2)IoT 社会に向けたデータ連携基盤の構築、(3)課題解決志向なデータ利活用の 3 つの観点で課題検討が行われている。(1)横断的データ利活用のための基盤技術開発は、(a)データ形式や API の共通化、(b)安心安全なデータ利活用のための技術、(c)スケーラブルなデータ取得・流通・利活用技術の開発の 3 つの項目に分けて議論されている。1 つ目(a)データ形式や API の共通化では主に様々な IoT データを統合して活用する上でデータ構造とその変換を行えることに加え、データに対して空間や時間軸方向での操作や検索・取得を可能とする API の必要性が議論されている。物理位置調和型通信技術では IoT データの収集時点で共通の測地系(地域メッシュコード)を用い、GPS 等の位置情報計測手段を持つ機器はその機器主体で、また位置情報計測の手段がない機器はネットワーク主体で位置情報を IP アドレスに埋め込み、空間軸における IoT データの連携を容易にしている。データ自体の処理や時間方向の変動については演算処理が含まれるため通信(ネットワーク技術)が扱う対象ではなく、ミドルウェア又はアプリケーションで扱うものであると想定している。一方で、データ検索においては位置やサービスに合わせてネットワークがデータの転送先を制御することから、検索クエリを適切なデータまで導いて発見・応答させる技術が必要であると考える。2 つ目の(b)安心・安全なデータ利用のための技術では、データの精度や真贋性、プライバシ、トレーサビリティなどを扱う技術が議論されている。主にデータの内容を扱う項目であるため、ネットワークが関わる部分は少ないと考える。但し、物理位置調和型通信では埋め込まれた位置情報からデータの生成位置を特定できるため、物理空間内でのトレーサビリティを持つ。その反面、データと物理位置が強く関連づいてしまうため、そのままではプライバシを犯す可能性がある。そこで、本研究では埋め込まれた位置情報をそのまま転送する公開送信元 IP アドレスに加え、転送毎(メッシュ次数の低いルータを経由する度)にメッシュコードの次数を減らす秘匿送信元 IP アドレスを用いた転送方法を検証している。技術的な有効性検証は完了しており、どのようにそれらの IP アドレスを使い分けるかが課題として残る。最後に 3 つ目の(c)スケーラブルなデータ取得・流通・利活用技術では、大規模なデータ収集のための要件・技術が議論されている。エッジやフォグ、クラウドの連携や、データの保存・管理に対するスケーラブルな方法やデータ統合・分析・可視化に対するスケーラブルな技術が求められている。位置情報調和型通信では、データの転送先となるエッジ・フォグ・クラウドや、データの保管場所をデータの生成位置に応じて動的に切り替える転送制御を行えるため、物理空間の観点でのスケーラブルな分散が容易に行える。しかし、位置情報以外の情報(例えば、データの性質や量など)に基づいて転送制御を行う必要も考えられ、スケーラブルな取得・流通・利活用のためのネットワーク制御では課題が残る。

次に(2)IoT 社会に向けたデータ連携基盤の構築では、多様なデータを容易に組み合わせることができる仕組みが議論されている。ここではデータの取得・生成から、収集・分析・フィードバッグに至るまで都市や地域全体でデータを有機的に流通させ、データ利活用を通じた社会システムの最適化, 効率化を図ることが期待されている。本研究の物理位置調和型通信は、様々な主体が様々な目的で整備している機器から得られる IoT データを位置情報を軸に収集可能としており、本項目のデータの流通を実現している。しかし、上記でも述べた通り、データの検索と配信については本研究における今後の検討課題である。

最後に(3)課題解決志向なデータ利活用は明確な課題設定とその課題解決に役立つデータの有効利用について議論している。自治体に散在しているデータや官公庁が進めるオープンデータ、民

間が整備しているデータなどを有効的に活用すること、ガバメント 2.0 の様にコミュニティ全体での積極的なデータ共有と課題解決を行うことの重要性が述べられている。本項目はコミュニティ活動やアプリケーションについて述べられており、本研究とは関連が薄い内容であった。

3　具体的成果

上記で説明した物理位置調和型通信の概念を[発表 1]で発表し、実ネットワークにおける評価結果を[発表 2]で発表した。また、昨年度以前より行っていた研究成果について、[査読付 1]にて出版が確定している。

4　成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yuzo Taenaka, Kazuki Mizuyama, Kazuya Tsukamoto: "Adaptive bundle flow management for reducing control traffic on SDN-enabled multi-radio wireless networks," IEICE Transactions on Communications, Vol.E101-B,No.7, Jul. 2018. (to appear).

その他の発表論文

[発表 1] 永田晃, 中村勝一, 妙中雄三, 田村瞳, 塚本和也: "物理位置調和型アドレスに基づく Geo-Centric Networking の検討," 電子情報通信学会 全国大会, 2018 年 3 月.

[発表 2] 中村芳美, 長尾健太郎, 樋口伸伍, 塚本和也, 妙中雄三, 永田晃, 中村勝一: "近接空間内 IoT データのスクラム連携の実効性検証実験," 電子情報通信学会 全国大会, 2018 年 3 月.

ソフトウェア基盤によるキャンパスネットワークの高度化に関する研究

中村 遼

1 概要

本研究では、キャンパスネットワークの高度化を目指して、Software Defined WAN (SD-WAN) 技術を用いた柔軟なネットワーク構成と運用の自動化を実現する技術を開発している。現在の大学は、メインとなるいくつかのキャンパス以外にも、数多くのブランチ拠点を全国各地に設置するのが一般的となっている。そのため大学のキャンパスネットワークは、そうしたブランチ拠点へも延伸され、通常のキャンパスと同様に利用できることが求められる。しかし、現在の専用線や VPN を利用した拠点間ネットワーク構成では、個別に管理しなければならない機器が多く、ブランチ拠点を通常のキャンパスと同様の手法やコストで管理することは難しい。そこで我々は、メインキャンパスとブランチ拠点間をより柔軟に接続するために、SD-WAN と呼ばれるオーバーレイネットワークを導入した ASANO システムを開発している。ASANO システムは、Dynamic Multipoint VPN、IPsec、Ethernet VPN/VXLAN といった標準化された技術とそのオープンソース実装を用いてオーバーレイネットワークを構築する。その上で、オーケストレータによる機器の一括制御を通じて拠点間ネットワーク運用の自動化を実現する。2017 年度は、この ASANO システム全体の設計と実装を行い、東京大学内のいくつかの拠点において実利用を開始した。

2 背景

現在の大学は、複数のキャンパスや研究拠点にまたがって構成されるのが一般的となっている。メインとなるキャンパスのほかにも、いくつかのブランチ拠点を設置したり、地理的に遠く離れた辺地での研究活動拠点など、その設置形態は様々である。一方で、大学の日々の研究や業務を円滑にすすめるためには、拠点の所在地に左右されずに大学内部の情報システムへとアクセスできる必要がある。ほとんどの大学は専用の学内情報システムを整備しており、研究や業務を支える基盤として用いている。こうした学内システムは、セキュリティ上の問題や秘密保護の観点などから、学内ネットワークからのみアクセスを許可し、学外からのアクセスは遮断している場合が多い。そのため、大学のキャンパスネットワークは、何らかの手段を用いて、離れた拠点へも学内ネットワークを延伸し、学内システムへの均質なアクセスを実現する必要がある。

離れた拠点へと学内ネットワークを延伸する手段として一般的なのは、専用線もしくは Virtual Private Network(VPN) による接続の二種類である。専用線は、離れたキャンパス間に専用の光ファイバを敷設し接続する方法である。光ファイバを占有できるため高速な通信が可能な一方で、敷設と維持には大きな費用がかかる。VPN は、パケットをカプセル化することで IP ネットワーク越しに暗号化された仮想回線を構成し、メインとなる拠点とブランチ拠点を接続する。一般的なインターネットへの接続回線を利用できるため、専用線と比較して小さな費用で済むが、通信速度はその接続回線に律速される。このように、二種類の方法は通信速度と費用のトレードオフの関係にある。そのため、図 1 に示すような、メインとなるキャンパス間に専用線を用いた高速なバックボーンを構築し、小規模の拠

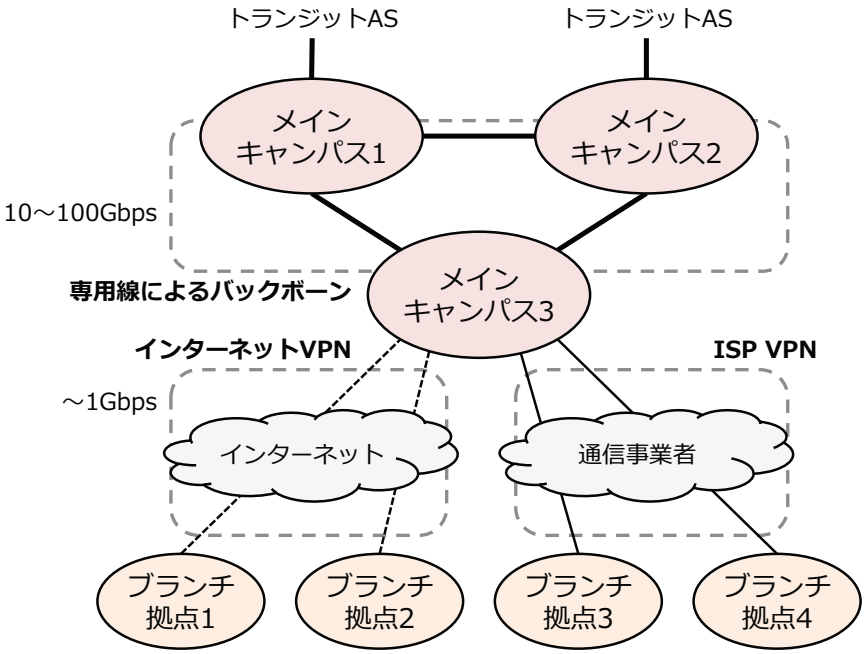


図 1: 一般的な複数拠点によるキャンパスネットワークの概要

点にはインターネット VPN を用いたり、通信事業者 (ISP) の提供するオフィスブランチ向けの VPN サービスなどを利用する。

分散した複数拠点にまたがるキャンパスネットワークを運用するにあたって、接続方法に関わらず問題となるのが、構成変更時の作業にかかる時間や手間などのオペレーションコスト (OPEX) である。キャンパスネットワークでは、拠点にまたがるネットワークの延伸や、ファイアウォールのルール変更など、利用者からの要望によって様々な作業が発生する。しかし、とりわけネットワーク管理者のいない小さな拠点では、こうした作業に多くの手間と時間がかかってしまう。たとえば、スーパーコンピュータや実験データを保存したストレージなど特定のリソースに対して、ネットワーク単位でアクセス制御をかけることがある。そういったリソースにアクセスしたい研究者が複数の拠点に分散している場合、リソースにアクセス可能なネットワークを要求に従って指定の場所に提供する必要がある。このような構成変更を実施するには、まず利用者がキャンパスネットワークの運用者に要望を上げ、現状を確認し、作業日時を決め、作業を実施し、利用者が確認するというフローが発生する。一連の作業を実施するには、往々にして数日を要するのが実際である。

そこで我々は、複数拠点間の接続に SD-WAN 技術を適用することで構成変更を自動化し、より迅速に利用者からの要求に応えられるキャンパスネットワークの構築を目指している。本稿では、その実装であるオープンソースソフトウェアを用いたキャンパス SD-WAN (Software Defined WAN) である ASANO (Advanced Service And Network Orchestration) システムについて説明する。ASANO システムは、Linux ベースのソフトウェアルータを用いて、図 1 におけるメインキャンパスとブランチ拠点を結ぶオーバーレイネットワークを構成する。このオーバーレイネットワークはレイヤー 2 セグメントを IP カプセル化を用いて延伸し、任意の VLAN を任意の拠点へ届けることができる。また、ブランチ拠点に設置された ASANO システムの機器はオーケストレータによって集中制御される。利用者はオーケストレータの Web フロントエンドを通じて、利用する VLAN を希望する場所に導通させたり、フィルタリングルールの設定を行うことができる。この ASANO システムを用いてブランチ拠点を接続することによって、利用者による迅速な構成変更が可能となり、設定変更に要する手間や時間の削減が可能になる。

3　内容

複数拠点にまたがってオーバーレイのキャンパスネットワークを構築するには、パケット配送を担うデータプレーンにおいて **(1) レイヤー 2 セグメントの延伸**、**(2)NAT 透過**、**(3) 暗号化**、の 3 つを実現しなければならない。アクセスフィルタなどの運用におけるポリシーは、ネットワークごとに適用される。そのため、ネットワーク単位で、つまりレイヤー 2 セグメントの単位でネットワークを延伸できる必要がある。このためには、Ethernet フレームをカプセル化し配送できるトンネルプロトコルを用いる必要がある。また、カプセル化したパケットを運ぶ WAN 回線の形態は拠点によって異なることが想定される。大まかには、グローバル IP アドレスを直接利用できる場合と、NAT デバイスの配下にある場合である。後者の場合は、オーバーレイネットワークは NAT によるアドレスとポートの変換を透過できなければならない。最後に、学内システムに流れるデータは、外部に漏洩しないよう、インターネットを経由する場合は暗号化されている必要がある。

一方ネットワークの制御を担うコントロールプレーンでは、**(1) 複数機器の一括制御**、**(2) 迅速な設定変更の反映**、**(3) アカウント管理**、の 3 つを実現する必要がある。キャンパス SD-WAN を構成する機器は、接続する拠点ごとに設置される。それらの機器を個別に設定する手間を省き、設定作業完了までの時間を削減するため、複数の機器を一元的に管理し、設定の変更や保存を実現する必要がある。また、設定の変更は、リアルタイムに、なるべく迅速に完了されなければならない。その上で、利用者がキャンパスネットワーク管理者に要求を上げる手間も省略するため、利用者が自身の権限の範囲で機器の設定を変更できるよう、オーケストレータにはアカウンティングの機能も必要である。

これらの要件を満たし、複数拠点にまたがる柔軟なオーバーレイネットワークとその制御システムとして、我々は ASANO システムを開発している。ASANO システムは、データプレーンとコントロールプレーンそれぞれ要求について、2 つのトンネルプロトコルを重ね合わせたオーバーレイと、暗号化されたネットワーク越しのオーケストレータによる一括制御を用いて解決する。

3.1　データプレーン

ASANO システムのネットワークは、インターネットへの接続や延伸したいレイヤー 2 セグメントを既に持つメインキャンパスに設置された Provider Edge デバイス (PE) と、ブランチ拠点に設置された Customer Edge デバイス (CE) によって構成される。PE と CE は、エッジ側のインターフェースで受信した Ethernet フレームをカプセル化し、適切な PE または CE へとインターネットなどの IP ネットワーク経由で転送する。またカプセル化されたパケットを受信すると、カプセル化を解き、もとの Ethernet フレームをエッジ側インターフェースへと送信する。

パケットのカプセル化と配送には Virtual eXtensible LAN (VXLAN) と Dynamic Multipoint VPN (DMVPN) という 2 つのオーバーレイ技術を用いて、レイヤー 2 セグメントの延伸、NAT 透過、そして暗号化を同時に実現する。図 2 に示すように、パケットを配送するデータプレーンは VXLAN によるオーバーレイネットワークを、DMVPN によるオーバーレイネットワークの上に重ねて構成される。VXLAN によって Ethernet フレームのカプセル化を行い、DMVPN によって NAT の透過と暗号化を行う。VXLAN は、Ethernet フレームをカプセル化するトンネルプロトコルとして一般的なものである。VXLAN では、Ethernet フレームを VXLAN ヘッダ、UDP ヘッダ、そして外側 IP ヘッダでカプセル化される。また VXLAN ヘッダに存在する Virtual Network Identifier (VNI) という 24bit の識別子を用いて、単一の VXLAN オーバーレイ上に複数のレイヤー 2 セグメントを多重化することが可能である。また、オーバーレイネットワークの経路制御を行うコントロールプレーンには、BGP の拡張として標準化された Ethernet VPN を用いる。

DMVPN は、複数の地点間をフルメッシュに接続するレイヤー 3 トンネル、つまり IP パケットをカプセル化して運ぶオーバーレイネットワークである。DMVPN では、トンネルプロトコルには Generic Routing Encapsulation (GRE) を用いる。カプセル化された内側 IP パケットの宛先に基づいて適切な宛

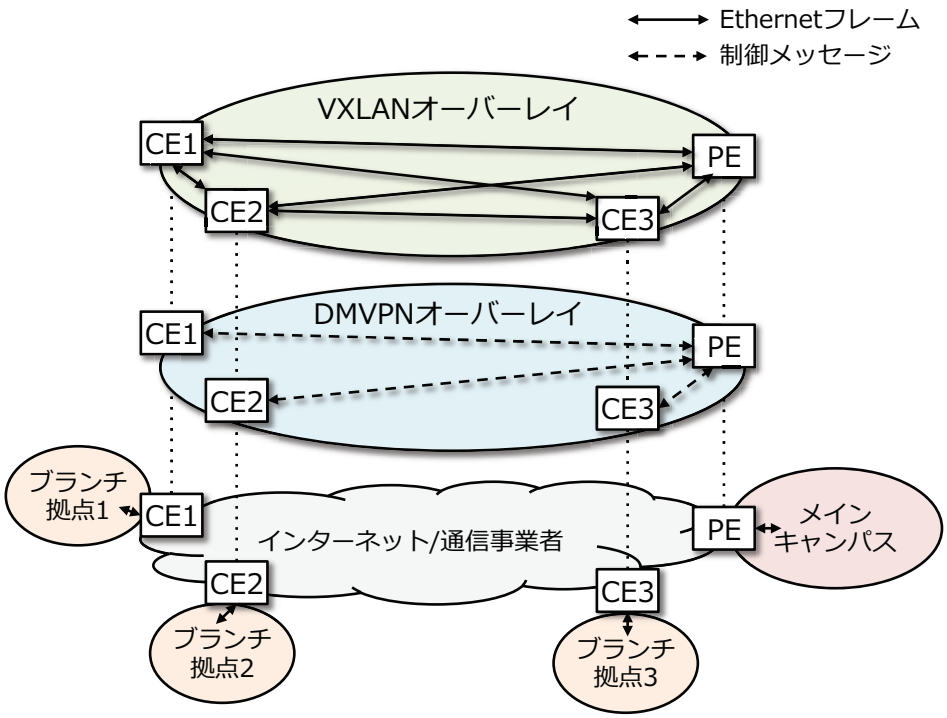


図 2: ASANO システムの構成するオーバーレイネットワークの概要

先のトンネル外部アドレスを取得するために、NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP) を用いる。また NHRP による DMVPN は、IPsec と組み合わせることで、暗号化と、NAT の透過を同時に実現することができる。

VXLAN と DMVPN によるデータプレーンには、レイヤー 2 セグメントの延伸、NAT 透過と暗号化に加えて、**WAN 回線の隠蔽による内部 IP アドレスの固定化**という利点がある。ブランチ拠点に設置される CE に WAN 回線から付与される IP アドレスは、例えば DHCP や PPPoE のセッション更新などによって、変更される可能性がある。結果として、VXLAN カプセル化時の外側 IP アドレスに WAN 回線の IP アドレスを用いると、予期せぬアドレスの変更によって VXLAN オーバーレイネットワークに障害が発生してしまう可能性がある。そこで ASANO システムでは、DMVPN オーバーレイの内部の IP アドレスを VXLAN の外側 IP アドレスとして用いることで、この問題を回避する。DMVPN オーバーレイの内側に付与する IP アドレスは、DMVPN の外側、つまり WAN 回線に付与される IP アドレスからは分離されている。WAN 回線の変更によって WAN 回線の IP アドレスが変更されても、DMVPN 内部の IP アドレスは変更する必要がない。そのため、運用者は DMVPN の内側で、WAN 回線から分離された変化しない固定 IP アドレスを自由に各 CE に付与することができる。

3.2 コントロールプレーン

ASANO システムはオーケストレータを用いて各 CE を集中制御する。図 3 はある CE とオーケストレータ間の制御の概要を示している。オーケストレータと各 CE 間の制御メッセージは、DMVPN オーバーレイ上でやりとりされる。各 CE は DMVPN 上の固定 IP アドレスを通信の端点として、そして CE の識別子として用い、制御を簡略化する。また CE の制御は、コンポーネントごとに個別の Docker コンテナとして実装されている。現在 CE 上で動作するコンテナは、VLAN の設定を行うポート制御コンテナ、簡単なファイアウォールの設定を行うアクセス制御コンテナ、そして VXLAN と DMVPN の経路を管理する経路制御コンテナの 3 つである。コンポーネントごとにコンテナ化することで、環境のパッケージングと実行の簡略化、そしてバージョン管理が容易になる。

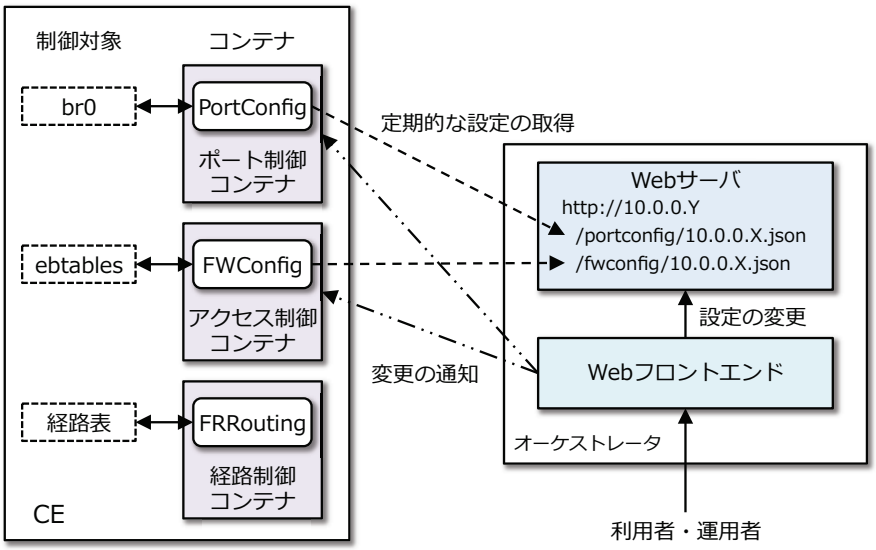


図 3: オーケストレータによる CE 制御の概要

ASANO システムでは、CE 上に機器の設定を保存しない設計を採用した。これは、オーケストレータと CE の間で設定に不整合が起こるのを防ぐためである。CE 上の各制御コンテナは、起動時に、また定期的に、オーケストレータから設定ファイルを取得して自身を設定する。

以下に、CE が設定ファイルを取得する際の挙動についてまとめる。

- **起動時:** CE 上の各制御コンテナは起動時にまず事前に設定されたオーケストレータの DMVPN 上の IP アドレスから設定ファイルを取得する。どの CE がどの設定ファイルを取得するかは、DMVPN オーバーレイ上の IP アドレスを識別子として用いる。
- **定常時:** 起動時の設定が完了すると、以後は設定された数十分から数時間の程度の間隔で定期的に設定ファイルを取得し、差分がある場合は再設定することで、オーケストレータ上の設定との食い違いが起こることを回避する。
- **失敗時:** WAN 回線の障害や NAT デバイスによる IPsec セッションの接続断などによって、起動時及び定常時の設定ファイルの取得に失敗する場合がある。その場合、成功するまで数秒おきに設定ファイルの取得を試みる。
- **変更通知:** 利用者などによってオーケストレータ上で CE の設定が変更されると、オーケストレータは変更を反映した適切な設定ファイルを作成し、当該 CE 上のコンテナに設定が変わったことを通知する。通知を受け取ったコンテナは、直ちに設定ファイルの取得を試みる。

オーケストレータ上の設定ファイルは、オーケストレータの Web フロントエンドから行われた設定に応じて適正に生成される。利用者が Web フロントエンドにログインすると、利用者の管理できる CE の一欄が表示される。その中から設定を変更したい CE を選択し、任意のポートに利用者の利用できる VLAN を設定することができる。運用者が行う作業は最初の CE の作成及び登録する作業のみであり、以降の設定変更はすべて利用者がこの Web フロントエンドを通して行うことができる。

3.3 実装と展開

2017 年度、我々はこの ASANO システムを実装し、実運用を開始した。Linux を用いた本実装は、経路制御ソフトウェアに FRRouting、暗号化の制御に StrongSwan を用い、制御コンポーネントを動作させるコンテナには Docker を用いている。これらのソフトウェアは全てオープンソースソフトウェア

であり、Linux コミュニティの開発の恩恵を継続的にうけることができる。また現在 Linux は幅広い環境で動作が可能であり、広帯域な NIC を持つサーバから仮想マシンまで、様々な環境に ASANO システムをデプロイすることが可能である。

現在運用を行なっている ASANO システムは、浅野キャンパスの情報基盤センターに設置された 10Gbps NIC を持つサーバを PE として用い、ブランチ拠点に設置する CE には小型の x86 マシンを利用している。岩手県大槌町の東京大学 大気海洋研究所 国際沿岸海洋研究センターに実際に設置されている ASANO システムの CE は、Intel Celeron 1037U (1.8GHz) CPU と 4GB のメモリ、そして 6 つの 1000BASE-T ポートを持つ x86 マシンに Linux をインストールし、ASANO システムのソフトウェアをインストールすることで構成されている。

4 具体的成果

ソフトウェア基盤を用いたキャンパスネットワークの高度化に取り組み、SD-WAN 技術を応用した複数拠点間を柔軟に接続するキャンパスオーバーレイネットワークシステムを開発した。実運用にも着手し、遠隔地として岩手県大槌町に 1 台、駒場キャンパスに 1 台がすでに一般利用として稼働している。今後、より台数を増やしてキャンパスネットワークの運用に資する予定である。

本研究の成果を、国内研究会で 1 件発表した [発表 1]。また国内のネットワーク通信事業者の会合である ENOG Meeting において発表した [特記 1]。

5 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 中村 遼, 関谷 勇司, 工藤 知宏, ”オープンソースソフトウェアを用いたキャンパス SD-WAN の検討”, 電子情報通信学会 信学技報, vol. 117, no. 354, IA2017-64, pp. 67-72, 2017 年 12 月

[発表 2] Hiroshi Esaki and Ryo Nakamura, ”Overlaying and Slicing for IoT Era based on Internet ’s End-to-End Discipline”, The 23rd IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (IEEE LANMAN2017), Osaka, Japan, June 2017

特記事項

[特記 1] 中村 遼, ”OSS でつくる yet another SD-WAN”, ENOG49 meeting, 2018 年 2 月 23 日, http://enog.jp/archives/1838

New Generation Internet

Dr. Marc Bruyere

1 Overview

My research contribution evaluated small and medium-sized regional IXP architectures. Based on that evaluation, I proposed an SDN OpenFlow switching fabric design that resolves the issues of the IXPs layer2 shared broadcast domain. The broadcasted traffic in the IXP fabric is necessary for discovering layer2 address, but even a small level of broadcast traffic can impact all routers connected. Even today with the latest IETF EVPN architecture the problem is not well resolved.

Right after finishing my Ph.D., I joint the Sekiya Lab with a two-year JSPS fellowship to continue to work on SDN IXPs architecture with various real deployments experiment. We also conducted exploring projects such as: How IXPs impact on the Internet topology ? or could Virtual Reality help networks operator to troubleshoot their networks?

2 SDN IXP

2.1 Background

Reliability and Robustness: SDN IXPs will be critical infrastructures that need to be dependable. SDN decouples the control and data planes and reveals new types of problems; where to place vital functions? IXPs have metropolitan size networks and control functions placement is an issue. A solution we proposed using OpenFlow is to programme the most critical functions directly in the data plane.

Another problem faced by the networks operators is how to convert a running network from none SDN legacy to SDN OpenFlow without service interruption. The Internet eXchange points IXP operators also suffer this difficulty.

2.2 Research contents

The research conducted focuses on experimenting in production deployment and propose control plane design and migration procedures from the lessons learned.

2.3 Outcomes

One of the best achievement was to increase the robustness of IXP fabric by design, with actively evaluated and experimented in close production situations.

The work done to integrated Umbrella architecture in the emerging OpenFlow controller FAUCET, allow moving into upper layer management functions such as Umbrella switching fabric abstraction interface. The collaboration started with Prof Saad Qaisar from the National University of Science and Technology, is leading to a development project to add FAUCET Umbrella in the well-known IXP-Manager suite.

Five experimental deployments in real productions environment are now providing enough materials to propose procedures to minimize migration service interruption.

FAUCET Umbrella has been deployed at NSPIXP-3 and the Toulouse IXP.

Organizing a FAUCET workshop with a dedicated hands-on session for IXPs in May 2018 could bring more exciting results to large IXPs Operators such as JPNAP and JPIX.

3 Secondary research projects

3.1 IXP History

3.1.1 Background

The large dataset of Internet traces such as BGP view archives and ATLAS RIPE NCC traceroute can help to identify the impact of IXPs on the global Internet topology in the past decade. It is a collaboration project with the Queen Mary London University and the Cambridge University in the UK. We did not found enough information yet to publish our contribution.

3.1.2 Research contents

Various tools have been used to provide views and graphs. The past decade archived traceroute from RIPE Atlas and tools called traceroute, highlight the presence of IXP in the path between tens of thousands hosts. As the Internet growth, there is not a significative increase of IXPs visibility.

3.1.3 Outcomes

The exploring research project IXP History is still running. We explored three different data set who by now do not reflect any real influence of IXP flattening Internet topology.

3.2 VR Interface for networking troubleshooting

3.2.1 Background

Virtual Reality is not new, even so, it has not been explored for as the tool for networks operators.

3.2.2 Research contents

We explored some concept and possible use case with an internship master student from Prof Takeo Igarashi from the University of Toronto, **Matthew Lakier**.

3.2.3 Outcomes

VR is an amazing tool for immersive GUI including specialization and sound Why VR could help compare with the 2D classical view, we listed a broad list of questions.

- Inside the data and surrounding with stereo sound information?
- Easier to share in collaborative?
- Easier for a newbie to understand and start to troubleshoot?
- Speed up access to critical information?
- Denser information representation through a unique view?

In this exploration phase, Prof. Takefumi OGAWA identified the sound in VR representation has the possible vector for narrowing interesting information.

4 Publications

4.1 Conferences and meetings

- **EURO-IX - Barcelona April 2017**

  EURO-IX is the largest federation of operators Internet Exchanges points with more than 80 IXPs; all the three Japanese largest IXPs are members of EURO-IX. As Member of the EURO-IX Program Committee and could lead the presentations agenda on research topics.

- **Networkshop AARNET Melbourne 22 Jun-2017 - 23 Jun-2017**[1]

  Participated in the discussion on New developments in SDN, specifically Internet peering points and operational requirements. The FAUCET team Brad Cowie from the University of Waikato and Josh Bailey from Google were present.

- **Internet NZ Wellington** [8]

  Talk:"SDN Internet eXchange."

- **FAUCET team - Victoria University of Wellington University - Josh Bailey @ Google**

  Talk:"Umbrella architecture."

  Initiated collaboration project, including Prof. Saad from NUST on SDN IXP.

- **SDN SoftWare development team Allied Telesis NZ**

  The Allied Telesis OpenFlow implementation is done in New Zealand. During the meeting, the specifics requirement of IXPs in operation were discussed. Allied Telesis development team from there supported our experimental deployment.

- **Joint Workshop on Informatics JFLI ISEE RIIT September 25-26, 2017**[3]

  Talk: "Software Defined Networking Internet Exchange"

- **Large Scale Networking (LSN) Workshop on Operationalizing SDN**

  Invited by the NSF to present the works done on deploying SDN IXPs.

  Talk: "SDN IXP from design to deployment."

- **Wide meeting Dec 2017**

  Talk: "SDN IXP to design to deployment."

- FAUCET Conference @ Berkeley Lab

  Talk: "SDN IXP Umbrella with FAUCET"

- **SOSR18 - ONS18**

  The Symposium on SDN Research (SOSR) is the leading symposium for research publications on SDN. The paper: "Umbrella: a deployable SDN-enabled IXP Switching Fabric" was invited for the poster session.

4.1.1 Papers

Published

- JSAC SDN Special issue ”ENDEAVOUR: A Scalable SDN Architecture For Real-World IXPs”[7]
- SOSR18 invited at the poster session.”Umbrella : a deployable SDN-enabled IXP Switching Fabric” [4]

Submitted waiting review

- JSAC SDN Special issue : ”Umbrella: a practical approach to softwarized Internet eXchange Points”

Rejected

- IEEE TNSM Journal : ”Umbrella: a practical approach to softwarized Internet eXchange Points”
- ACM SOSR18: ”Umbrella: a practical approach to softwarized Internet eXchange Points”

参考文献

[1] NETWORKSHOP 2017 - AARNET. *https://www.aarnet.edu.au/events/networkshop-2017*

[2] SOSR18 AND OPENNETSUMMIT LOS ANGELES. *http://conferences.sigcomm.org/sosr/2018/*

[3] JFLI-KYUDAI JOINT WORKSHOP ON INFORMATICS. *http://limu.ait.kyushu-u.ac.jp/~diego_thomas/Workshop-JFLI-Kyudai/*

[4] SOSR18 AND OPENNETSUMMIT LOS ANGELES. *http://conferences.sigcomm.org/sosr/2018/*

[5] NUST SEECS AND DR MARC BRUYERE. *http://seecs.nust.edu.pk/Events/PERIDOT-Program/*

[6] IXP-MANAGER PROJECT. *https://www.ixpmanager.org/*

[7] ENDEAVOUR: A SCALABLE SDN ARCHITECTURE FOR REAL-WORLD IXPS. *https://ieeexplore.ieee.org/document/8068192/*

[8] INTERNETNZ PRESENTATION; SDN IXP. *hhttps://internetnz.nz/event/dr-marc-bruyere-presentation*

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
大規模並列シミュレーション手法に関する研究，教育

田浦 健次朗
高生産・高性能並列プログラミング言語・データ処理フレームワークの研究

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　Optimization Verifying Compiler,Privilidge Design in Federation Service,and Trust Models in Security

塙　敏博
演算加速機構と通信機構との統合環境に関する研究

下川辺　隆史
メモリサイズを超える計算および高精細計算を実現する高生産ステンシル計算フレームワークに関する研究

近藤 正章
高性能・省電力計算システムに関する研究開発

星野 哲也
階層型行列法のメニーコアプロセッサにおける最適化手法の研究

三木　洋平
銀河の形成・進化史探求のためのコード開発および銀河考古学の進展

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

河合 直聡
多色順序付けアルゴリズムの階層的な並列化

有間 英志
次世代HPCシステム

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。データ科学が「第四の科学」と言われることもある。米国ではアルゴンヌ国立研究所を中心に 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、2018 年 3 月現在で 9 名のセンター専任教員（教授：1、准教授：3、助教：2、特任准教授：1、特任助教：2）、2 名の兼任教員（教授 1 ，准教授 1）、客員研究員 2 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始まっている。

また，業務部門と協力して 6 式のスーパーコンピュータシステム（大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム（Yayoi）（2017 年 10 月運用終了）、大規模超並列スーパーコンピューターシステム（Oakleaf-FX）（2018 年 3 月運用終了）、長時間ジョブ実行用並列スーパーコンピューターシステム（Oakbridge-FX））（2018 年 3 月運用終了）、新たにデータ解析・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）、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〔表彰 1,2〕，最優秀論文候補（審査中）〔査読付 6〕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 年度は 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。2016 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（2017 年 11 月現在では世界第 9 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。

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 向け最適化を実施した。

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 2014 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 2014 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。

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

2016 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，国内学会でのパネルディスカッション、BoF を実施した他，いくつかの招待講演での講演を実施した〔招待講演 4,6,7,9,10,16〕。

国内外各機関と協力して Post Moores Era Supercomputing 2017 (PMES17) を 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）において開催した。

3 研究活動項目

3.1 計算機システム

- CPU，GPU を用いた光通信技術に関する研究
- 三次元積層 LSI のアーキテクチャに関する研究
- ビルディングブロック型コンピューティングシステムの実現を目指したインダクティブカップリングによるチップ間通信による 3 次元積層 LSI のアーキテクチャの検討
- ディープラーニング向けアクセラレータ
- 密結合演算加速機構（Tightly Coupled Acceleration：TCA）に関する研究
- GPU クラスタにおける GPU セルフ通信機構
- 次世代 HPC システムのためのプロセッサシミュレーション基盤構築
- 次世代 HPC システムにおけるデータ転送最適化・キャッシュ最適化

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
- 強化学習を用いた IoT（Internet of Things）端末の電力制御に関する研究
- 次世代 HPC システムにおける電力制御
- ハイブリッドメインメモリにおけるニアデータプロセッシング
- 大規模データ処理のためのキャッシュ階層最適化

3.3 プログラム開発環境

- プログラムの性能改善のためのコンパイラ最適化の理論
- 分散メモリ用タスク並列処理系
- 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
- ユーザー駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証
- 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
- 適合細分化格子法によるステンシル計算フレームワーク
- 大規模データ処理に対する特化型言語
- 局所性に考慮したワークスチーリングアルゴリズム
- 検証付最適化コンパイラ
- プログラムの静的解析のフレームワーク

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。

- 並列プログラミングモデル
- ソフトウェア自動チューニング
- GPU、Xeon Phi を用いたアプリケーション高速化
- 高効率・高可搬性ライブラリ開発
- 超並列高性能数値計算ライブラリ開発
- 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
- ILU 前処理のための多色順序付け並列化
- 量子力学固有値問題向け不完全コレスキー分解前処理手法
- GPU、Xeon Phi を用いた疎行列ベクトル積
- 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
- OpenFOAM におけるパイプライン型共役勾配法の実装と性能評価

3.5 大規模並列シミュレーション（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 を用いたアプリケーション開発に関する研究
- 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
- 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 Pascal 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

- 大規模 ad-hoc データ用汎用省メモリ処理系の設計と実装
- 深層学習フレームワーク Chainer の性能解析および CPU 最適化
- 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

3.7 セキュリティ関連分野

- クラウドを前提とした認証とそのための暗号系
- 認証フェデレーションにおけるプライバシー
- オンライントラスト構築
- IT 環境におけるリスク評価

3.8 学際的分野

- ポストペタスケール環境における大規模疎行列解法のための数値計算・通信ライブラリに関する研究

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）
- コンピュータ科学特別講義 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。2017 年度は同講習会を 21 回実施した。新たに「Reedbush スパコンを用いた GPU ディープラーニング入門」，「OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門」を開講し，特に前者は 40 名近い受講者があった。

4.4 國立臺灣大學での集中講義

國立臺灣大學において 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 2 回実施した：

- 國家理論科學研究中心數學組 2017 年暑季課程：「用超級電腦做科學計算」（Scientific Computing on Supercomputer）：Part C. Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems：2017 年 7 月 4 日～7 日
- 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）：2018 年 2 月 22 日～25 日

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。

2016 年 12 月に平成 29 年度公募型共同研究の課題募集を開始し、2017 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 52 課題のうち 46 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 21 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，それぞれ 2 件，1 件が採択された。当センターは国際 2 件，企業 1 件に参加し，主導的に研究を推進している。大成建設と共同で実施する企業共同研究課題「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」は 2016 年度からの継続課題であり，温室効果ガス低減に資するものである。2017 年度は CO_2 圧入井戸配置の最適化に関する先端的で実用的な研究開発を実施した。また，2017 年 4 月から正式に運用を開始したデータ解析・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）を使用して，東大病院等と共同で実施した「Deep Learning を用いた医用画像診断支援に関する研究」など，従来の計算科学的課題のみならず，データ科学，機械学習分野の課題を実施した。

2016 年度報告会、2017 年度採択課題紹介を兼ねた第 9 回シンポジウムは 2017 年 7 月 13 日（木）・14 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。2017 年度は、前期 14 件、後期 16 件、インターン 5 件の合計 35 件の課題を採択した。これは 2016 年の合計 7 件と比較して 5 倍の増加である。今回は 2017 年度から運用を開始した Oakforest-PACS, Reedbush-H 等の最新システムの人気が高かった。上記 35 課題のうち，インターンを除く 30 課題は JHPCN の萌芽型共同研究課題として推薦され認可された。

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）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。2017 年度は全部で 3 課題が採択された。また 2017 年度からは Oakforest-PACS（JCAHPC として実施），Reedbush-H についても大規模 HPC チャレンジを実施しており，それぞれ 6 件，4 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（共同研究協約締結：2009 年 9 月）国立台湾大学（同：2014 年 2 月），国立中央大学（同：2015 年 8 月）とは JHPCN 国際共同研究課題「High-performance Randomized Matrix Computations for Big Data Analytics and Applications」に参加し，大規模データ解析のための数値アルゴリズムの研究開発を共同で実施している。

国立中央大学とは三次元地熱シミュレーション手法の共同開発に着手した。

また 2017 年度は，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）と新たに共同研究協約を締結した。

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、2017 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 9 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 2 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] T. Yamaguchi, K. Fujita, T. Ichimura, M. Hori, M. Lalith, K. Nakajima, Implicit Low-Order Unstructured Finite-Element Multiple Simulation Enhanced by Dense Computation using OpenACC, Proceedings of the Fourth Workshop on Accelerator Programming Using Directives in conjunction with SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Network-ing, Storage and Analysis), Denver, CO, 2017（Best Paper Award）

[受賞 2] K. Fujita, K. Katsushima, T. Ichimura, M. Horikoshi, K. Nakajima, M. Hori, L. Mad-degedara, Wave propagation simulation of complex multi-material problems with fast low-order unstructured finite-element meshing and analysis, ACM Proceedings of HPC Asia 2018, Tokyo, Japan, 2018（Best Paper Award）

招待講演／招待論文

[招待 1] K. Nakajima, Parallel Preconditioning Method for Iterative Linear Solvers on Multicore/Manycore Clusters, IACM 19th International Conference on Finite Elements in Flow Problems - FEF 2017: Iterative Methods and Parallel Computing (Rome, Italy, April 4, 2017)

[招待 2] K. Nakajima, Communication-Computation Overlapping with Dynamic Loop Scheduling for Preconditioned Parallel Iterative Solvers on Multicore/Manycore Clusters (Berkeley, CA, USA, June 9, 2017)

[招待 3] K. Nakajima, T. Hanawa, T. Hoshino, Parallel Preconditioned Iterative Solvers on Many-core Architectures, MS26: Computing Bulks of Inner Eigenpairs of Large Sparse Matrices: From Applications and Algorithms to Performance and Software Engineering (2/2), PASC17 (The Plat-form for Advanced Scientific Computing) (Lugano, Switzerland, June 27, 2017)

[招待 4] K. Nakajima, A. Ida, M. Kawai, T. Katagiri, Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems using ppOpen-HPC, APSCIT 2017 Annual Meeting (Asia Pacific Society for Computing and Information Technology (Sapporo, Hokkai-do, Japan, July 29, 2017)

[招待 5] 中島研吾，新しい科学を開拓する Oakforest-PACS，サイエンティフィックシステム研究会 科学技術計算分科会 2017 年度会合　拡がる HPC ～新たな鼓動～（神戸，兵庫，2017 年 10 月 26 日）

[招待 6] K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures on Post-Peta/Exascale System, ScalA17: 8th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems in conjunction with SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis) (Denver, CO, USA, November 13, 2017)

[招待 7] K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures on Post-K/Post-Moore Era, Next QUMAT 2017: Development of Next-Generation Quantum Material Re-search Platform (Tokyo, December 4, 2017)

[招待 8] 中島研吾，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，第 9 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 (ATTA2017) †. Ninth symposium on Automatic Tuning Technology and its Application (9th ATTA)（東京，2017 年 12 月 25 日）

[招待 9] K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures -from Exascale to Post Moore Era-, International Workshop for High Performance Numerical Algorithms and Applications (HPNAA) (Sanya, China, January 8-12, 2018)

[招待 10] K. Nakajima, Computational Science and Engineering in Exascale and Post Moore Era, JAMSTEC‐DKRZ Workshop: Open Workshop: User Services at Earth Science HPC Centers (Yokohama, Japan, March 19, 2018)

[招待 11] 塙 敏博: JCAHPC のスパコン Oakforest-PACS とスパコン技術の将来展望,「データセンタシステムと光ネットワーキングのコ・デザインは有用か？」セッション，電子情報通信学会ソサィエティ大会，2017 年 9 月.

[招待 12] 塙 敏博：Reedbush スーパーコンピュータを用いたディープラーニング，GPU テクノロジーカンファレンス，2017 年 12 月.

[招待 13] Akihiro Ida,”Low Rank Approximation Methods Used in Hierarchical Matrices”, ATAT in HPC 2018, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan (March 27, 2018)

[招待 14] 伊田明弘；「大規模数値解析向け低ランク行列近似手法」，RIMS 共同研究『数値解析学の最前線-理論・方法・応用-』, 京都大学数理解析研究所 京都市，2017 年 11 月 8 日

[招待 15] Akihiro Ida and Kengo Nakajima, ”ppOpen-HPC in Post-K/Post-Moore Era”, First French-Japanese -German Workshop on Programming and Computing for Exascale and beyond, Tokyo, Japan (5, April 2017).

[招待 16] Kengo Nakajima, Masatoshi Kawai and Akihiro Ida, Keynote: Application Development Framework for Manycore Architectures on Post-Peta/Exascale Systems, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis (SC17) (Denver, USA, Nov. 13, 2017)

[招待 17] Kengo Nakajima, Akihiro Ida, Masatoshi Kawai, and Takahiro Katagiri, Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems using ppOpen-HPC, APSCIT 2017 Annual Meeting (Asia Pacific Society for Computing and Information Technology) (Sapporo, Hokkaido, Japan, July 29, 2017)

[招待 18] Masaaki Kondo：Energy Efficient Network-on-Chips with Opportunistic Circuit-Switching for MPSoCs , 17th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware, July 2017.

[招待 19] 今野　雅: OpenFOAM による流体解析ベンチマークテスト ～FOCUS・クラウド・スパコンでのチャネルおよびボックスファン流れ解析～, 計算科学振興財団 スパコン産業利用セミナー 2017 ～ 他社事例に学ぶ企業のシミュレーション技術活用 ～, 神戸, 2017 年 7 月.

著書／編集

査読付論文

[査読付 1]　N. Nomura, A. Fujii, T. Tanaka, K. Nakajima, O.A. Marques, Performance Analysis of SA-AMG Method by Setting Extracted Near-Kernel Vectors, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10150, 52-63, 2017

[査読付 2] N. Nomura, K. Nakajima, A. Fujii, Robust SA-AMG Solver by Extraction of Near-Kernel Vectors, ACM Proceedings of SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis) (Research Poster), Denver, CO, USA, 2017

[査読付 3] T. Yamaguchi, K. Fujita, T. Ichimura, M. Hori, M. Lalith, K. Nakajima, Implicit Low-Order Unstructured Finite-Element Multiple Simulation Enhanced by Dense Computation using OpenACC, Proceedings of the Fourth Workshop on Accelerator Programming Using Directives in conjunction with SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Network-ing, Storage and Analysis), Denver, CO, 2017

[査読付 4] K. Fujita, K. Katsushima, T. Ichimura, M. Horikoshi, K. Nakajima, M. Hori, L. Mad-degedara, Wave propagation simulation of complex multi-material problems with fast low-order unstructured finite-element meshing and analysis, ACM Proceedings of HPC Asia 2018, Tokyo, Japan, 2018

[査読付 5] T. Ichimura, K. Fujita, M. Horikoshi, L. Meadows, K. Nakajima et al., 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 Distribut-ed Processing Symposium (IPDPS 2018), 2018 (in press)

[査読付 6] 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), 2018 (in press)

[査読付 7] Wataru Endo and Kenjiro Taura. Parallelized software offloading of low-level communication with user-level threads. In *Proceedings of the International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region*, pages 289–298. ACM, 2018.

[査読付 8] An Huynh and Kenjiro Taura. Delay spotter: A tool for spotting scheduler-caused delays in task parallel runtime systems. In *Cluster Computing (CLUSTER), 2017 IEEE International Conference on*, pages 114–125. IEEE, 2017.

[査読付 9] Shintaro Iwasaki, Abdelhalim Amer, Kenjiro Taura, and Pavan Balaji. Optimistic threading techniques for mpi+ult. In *The 24th European MPI Users' Group Symposium (EuroMPI '17) (Poster)*. IEEE, 2017.

[査読付 10] Atsushi Ohori, Kenjiro Taura, and Katsuhiro Ueno. Making sml# a general-purpose high-performance language. In *ML Workshop 2017*, 2017.

[査読付 11] Yuchen Qiao, Kazuma Hashimoto, Akiko Eriguchi, Haixia Wang, Dongsheng Wang, Yoshimasa Tsuruoka, and Kenjiro Taura. Cache friendly parallelization of neural encoder-decoder models without padding on multi-core architecture. In *Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), 2017 IEEE International*, pages 437–440. IEEE, 2017.

[査読付 12] Sangmin Seo, Abdelhalim Amer, Pavan Balaji, Cyril Bordage, George Bosilca, Alex Brooks, Philip Carns, Adrián Castelló, Damien Genet, Thomas Herault, et al. Argobots: a lightweight low-level threading and tasking framework. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 29(3):512–526, 2018.

[査読付 13] Masahiro Tanaka, Kenjiro Taura, and Kentaro Torisawa. Autonomic resource management for program orchestration in large-scale data analysis. In *Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), 2017 IEEE International*, pages 1088–1097. IEEE, 2017.

[査読付 14] Tian Yang, Kenjiro Taura, and Liu Chao. Sdac: Porting scientific data to spark rdds. In *IFIP International Conference on Network and Parallel Computing*, pages 127–130. Springer, Cham, 2017.

[査読付 15] Takahiro Kaneda, Ryotaro Sakai, Naoki Nishikawa, Toshihiro Hanawa, Chiharu Tsuruta, Hideharu Amano: Performance Evaluation of PEACH3: Field-Programmable Gate Array Switch for Tightly Coupled Accelerators, International Symposium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies, 9 pages, Jun. 2017.

[査読付 16] Toshihiro Hanawa, Takahiro Kaneda, and Hideharu Amano: Evaluation of Graph Application using Tightly Coupled Accelerators, International Supercomputing Conference (ISC'17) research poster, Jun. 2017.

[査読付 17] Kengo Nakajima, Toshihiro Hanawa: Communication-Computation Overlapping with Dynamic Loop Scheduling for Preconditioned Parallel Iterative Solvers on Multicore and Manycore Clusters, Intl. Workshop on Parallel Programming Models and Systems Software for High-End Computing (P2S2), in conjunction with Intl. Conf. on Parallel Processing, pp. 210–219, Sep. 2017.

[査読付 18] Takahiro Suzuki, Sang-Yuep Kim, Jun-ichi Kani, Toshihiro Hanawa, Ken-Ichi Suzuki, and Akihiro Otaka: Demonstration of 10-Gbps Real-Time ReedSolomon Decoding Using GPU Direct Transfer and Kernel Scheduling for Flexible Access Systems, Journal of Lightwave Technology, Vol. 36, Issue 10, pp. 1875-1881, 2018

[査読付 19] Masashi Horikoshi, Larry Meadows, Tom Elken, Pradeep Sivakumar, Edward Mascarenhas, James Erwin, Dmitry Durnov, Alexander Sannikov, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku: Scaling collectives on large clusters using Intel (R) architecture processors and fabric, Intel eXtreme Performance Users Group Workshop at HPC Asia Conference, pp. 59–62, Jan. 2018.

[査読付 20] Takahiro Suzuki, Sang-Yuep Kim, Jun-ichi Kani, Akihiro Otaka, and Toshihiro Hanawa: 10-Gbps Real-time Burst-Frame Synchronization Using Dual-Stage Detection for Full-Software Optical Access Systems, , paper Tu3L.6 (3 pages), Mar. 2018.

[査読付 21] Sangyeup Kim, Takahiro Suzuki, Jun-ichi Kani, Akihiro Otaka, Toshihiro Hanawa: Coherent Receiver DSP Implemented on a General-Purpose Server for Full Software-Defined Optical Access, Optical Fiber Communication Conference, page Tu3L.2 (3 pages), Mar. 2018.

[査読付 22] 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), June 2018 (accepted).

[査読付 23] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, Toshihiro Hanawa and Kengo Nakajima, “Design of Parallel BEM Analyses Framework for SIMD Processors”, The International Conference on Computational Science 2018 (ICCS 2018), Wuxi, China (June 11-13, 2018) (Accepted)

[査読付 24] Akihiro Ida,“Lattice H-Matrices on Distributed-Memory Systems”, 32nd IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Vancouver, Canada (May 21-25, 2018) (Accepted)

[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 Symposium (IPDPS 2018), Vancouver, Canada (May 21-25, 2018) (Accepted)

[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 Superconductivity, Volume 28, Issue 3 (April 2018), pp.1-5.(DOI: 10.1109/TASC.2017.2780821)

[査読付 27] Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, and Rio Yokota,“Optimization of Hierarchical matrix computation on GPU”, In: Asian Conference on Supercomputing Frontiers. Springer, Cham, 2018. p. 274-292.

[査読付 28] Akihiro Ida, Hiroshi Nakashima, and Masatoshi Kawai,“Parallel Hierarchical Matrices with Block Low-rank Representation on Distributed Memory Computer Systems”, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Redion (HPC Asia 2018), Tokyo, Japan (Jan. 28-31, 2018), pp.232-240.(DOI: 10.1145/3149457.3149477, ACM ISBN : 978-1-4503-5372-4/18/01)

[査読付 29] Akihiro Ida, Tadashi. Ataka, Takeshi Mifune, Yasuhito Takahashi, Takeshi Iwashita and Atsushi Furuya,“Application of Improved H-matrices in Micromagnetic Simulations of Spin Torque Oscillator”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 54, Issue 3, (07 November 2017) (DOI:10.1109/TMAG.2017.2763611)

[査読付 30] Masatoshi Kawai, Akihiro Ida and Kengo Nakajima,“Hierarchical Parallelization of Multicoloring Algorithms for Block IC Preconditioners,”IEEE The 19th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC 2017), Bangkok, Thailand (December 18-20 2017) pp.138-145.

[査読付 31] Takeshi Iwashita, Akihiro Ida, Takeshi Mifune, and Yasuhito Takahashi, ”Software Framework for Parallel BEM Analyses with H-matrices Using MPI and OpenMP”, Procedia Computer Science 108C (2017) pp.2200?2209.

[査読付 32] Akihiro Ida, Tadashi Ataka, Takeshi Mifune, Yasuhito Takahashi, Takeshi Iwashita and Atsushi Furuya,“Application of Improved H-matrices in Micromagnetic Simulations”, 21st International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2017), Daejeon, Korea(20th June 2017).

[査読付 33] Naoyuki Amemiya, Naoki Tominaga, Takeshi Mifune, Yusuke Sogabe, Yudai Mizobata, Akihiro Ida, 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 HTS, Caparica, Portugal (June 26-29, 2018) (Accepted)

[査読付 34] Shinji Sakane, Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Three-dimensional morphologies of inclined equiaxed dendrites growing under forced convection by phase-field-lattice Boltzmann method, Journal of Crystal Growth, Vol. 483, 2018/02, 147-155.

[査読付 35] Takashi Shimokawabe, Toshio Endo, Naoyuki Onodera and Takayuki Aoki: A Stencil Framework to Realize Large-scale Computations Beyond Device Memory Capacity on GPU Supercomputers, 2017 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), Honolulu, HI, USA, Sep. 2017, pp. 525-529.

[査読付 36] Eisuke Miyoshi, Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Shinji Sakane, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Ultra-large-scale phase-field simulation study of ideal grain growth, npj Computational Materials 3, 25, 2017/07, P1-6.

[査読付 37] Shinji Sakane, Tomohiro Takaki, Roberto Rojas, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Multi-GPUs parallel computation of dendrite growth in forced convection using the phase-field-lattice Boltzmann model, Journal of Crystal Growth, Vol. 474, 2017/09, 154-159.

[査読付 38] Tomohiro Takaki, Roberto Rojas, Shinji Sakane, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Phase-field-lattice Boltzmann studies for dendritic growth with natural convection, Journal of Crystal Growth, Vol. 474, 2017/09, 146-153.

[査読付 39] Thang Cao, Wei Huang, Yuan He, and Masaaki Kondo：Cooling-Aware Job Scheduling and Node Allocation for Overprovisioned HPC Systems, 31st IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS2017), 10pages, May 2017.

[査読付 40] Ryuichi Sakamoto, Thang Cao, Masaaki Kondo, Koji Inoue, Masatsugu Ueda, Tapasya Patki, Daniel Ellsworth, Barry Rountree, and Martin Schulz：Production Hardware Overprovisioning: Real-world Performance Optimization using an Extensible Power-aware Resource Management Framework, 31st IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS2017). 10pages, May 2017.

[査読付 41] Ryuichi Sakamoto, Ryo Takata, Jun Ishii, Masaaki Kondo, Hiroshi Nakamura, Tetsui Ohkubo, Takuya Kojima and Hideharu Amano：The Design and Implementation of Scalable Deep Neural Network Accelerator Cores, IEEE 11th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC-17), 8pages, Sep. 2017.

[査読付 42] Shaswot Shresthamali, Masaaki Kondo, and Hiroshi Nakamura：Adaptive Power Management in Solar Energy Harvesting Sensor Node using Reinforcement Learning, ACM Transactions on Embedded Computing Systems, Vol.16, No.5s, pp.181:1-181:21, Oct. 2017.

[査読付 43] Yasutaka Wada, Yuan He, Thang Cao, Masaaki Kondo：A Power Management Framework with Simple DSL for Automatic Power-Performance Optimization on Power-Constrained HPC Systems, SupercomputingAsia 2018 (SCA18), 20pages, Mar. 2018.

[査読付 44] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Enforcing Hidden Access Policy for Supporting Write Access in Cloud Storage Systems,” Proc. CLOSER 2017, 530.536, Porto, Portugal, April, 24–26, 2017.

[査読付 45] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Achieving Scalable and Optimized Attribute Revocation in Cloud Computing,” IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E100-D, No. 5, 973–983, 2017.

[査読付 46] Prajak Chertchom, Shigeaki Tanimoto, Hayato Ohba, Tsutomu Kohnosu, Toru Kobayashi,Hiroyuki Sato, and Atsushi Kanai: “A lifelog data portfolio for privacy protection based on dynamic data attributes in a lifelog service,” IEEE/ACIS Int’l Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, (SNPD2017),Springer SCI vol. 721, 107.120, Kanazawa, Kinrosha Plaza, June 26.28, 2017.

[査読付 47] Lei Ma, Bing Yu, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato: “Collaborative Computation Offloading in Heterogeneous Asynchronous Cloud Environment,”Proc. COMPSAC 2017 vol. 1, July 7, 929–934, 2017.

[査読付 48] SATO Hiroyuki, SEINO Yoshihiro, OGATA Takanori, SHIMOKAWA Tatsuya: “Detection of Irregularities and Rips by Finding Critical Points of Morse Theory . Preliminary Results on Analysis on Sales Data,” COMPSAC Proceedings vol 2 (DASC: The 1st IEEE International COMPSAC Workshop on Data Science Challenges in Algorithm and Complexity), July 8, 386–390, 2017. DOI 10.1109/COMPSAC.2017.106

[査読付 49] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Scalable and Secure Access Control Policy Update for Outsourced Big Data, Future Generation Computer Systems,” 2017. https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.014

[査読付 50] SATO Hiroyuki: “Authorization by Documents,”Journal of Information Processing vol. 25, 766–774, 2017.

[査読付 51] Hiroyuki Sato, Yasuo Okabe, Motonori Nakamura:“User Identification of Pseudonyms without Identity Information Exposure . A Scenario in Access Federations,” Journal of Information Processing, 25, 788–795, 2017.

[査読付 52] Shigeaki Tanimoto, Shun Totsuka, Motoi Iwashita, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato and Atsushi Kanai: “Risk Assessment for Privacy Protection of Information Literacy Beginners in Big Data Era,”Proc. Advances in Network-based Information Systems, Lecture Notes on Data Engineering and Coomunication Technologies 7, Springer, August, 737–749, Tronto, 2017.

[査読付 53] Shigeaki Tanimonot, Tsutomu Konosu, Motoi Iwashita, Shinsuke Matsui, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: “Risk Assessment Considerting Configuration

[査読付 54] Yamato Miura, Naoki Wakabayashi, Shohei Ueno, Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto and Hiroyuki Sato: “A Performance Evaluation of Data Storage Approach for High Availability and Confidentiality on Multi-Cloud,”Proc. Advances in Netowrk-based Information Systems, Lecture Notes on Data Engineering and Communication Technologies 7, Springer, August, 888–900, Tronto, 2017.

[査読付 55] Sato Hiroyuki, Ogata Takanori:“Trust for Data and Data Platforms in the Cyber-world,”Proc. Cyberworld 2017, Chester, September 20.22, 245–248, 2017. DOI 10.1109/CW.2017.31

[査読付 56] Toru KOBAYASHI, Kenichi ARAI, Hiroyuki SATO, SHigeaki TANIMOTO, Atsushi KANAI: “An Application Framework for Smart Education System based on Mobile and Cloud Systems,” IEICE Transactions Vol. E100-D, no. 10, 2399–2410, 2017.

[査読付 57] Hayato OHBA, Shigeaki TANIMOTO, Takashi HATASHIMA, Teruo ENDOU, Hiroyuki SATO, Atsushi KANAI: “A Study of Efficent Team Management Configuration for CSIRT Deployment,” Proc. 11th int’l Conf. Project Management (ProMAC 2017), 613–620.

[査読付 58] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Enabling Dynamic and Efficient Data Access Control in Cloud Computing based on the Attribute Ceriticate Management and CP-ABE,” in Proc. 26th Euromicro international Conf. Parallel, Distributed and Network-based Processing, Cambridge, March, 2018.

[査読付 59] Hiroyuki Sato, Shigeaki Tanimoto, Toru Kobayashi, Atsushi Kanai: “Adaptive Policy Evaluation Framework for Flexible Service Provision,”in Proc. Service Oriented Software Engineering 2018, 124–131, Bamberg, March27.29, 2018.

[査読付 60] 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, *Astrophysical Journal*, 853, 29 (21pp), Jan., 2018.

[査読付 61] 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 62] Kawai, M., Ida, A., and Nakajima, K.,“Hierarchical Parallelization of Multi-coloring algorithm for Block IC Preconditioners.”, IEEE

公開ソフトウエア

[公開 1] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.

[公開 2] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.

[公開 3] Miki, Y. and Umemura, M.: MAGI, `https://bitbucket.org/ymiki/magi`, Dec., 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 塙 敏博，星野 哲也，中島 研吾，大島 聡史，伊田 明宏，GPU 搭載スーパーコンピュータ Reedbush-H の性能評価，情報処理学会研究報告（2017-HPC-159-9），日本情報処理学会第 159 回 HPC 研究会（柏，千葉，2017 年 4 月 17 日）

[発表 2] 中島研吾，藤田敬文，ポストムーア時代の並列反復法アルゴリズム，第 22 回計算工学講演会（日本計算工学会）（大宮，2017 年 5 月 31 日）

[発表 3] 河合直聡, 伊田明弘, 中島研吾, ICCG 法向け並列多色順序付け法の提案，第 22 回計算工学講演会（日本計算工学会）（大宮，2017 年 6 月 1 日）

[発表 4] 星野 哲也，伊田 明弘，塙 敏博，中島 研吾, 階層型行列法ライブラリ HACApK を用いたアプリケーションのメニーコア向け最適化，情報処理学会研究報告（2017-HPC-160-15），2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田，2017 年 7 月 26 日〜28 日）

[発表 5]　中島研吾，並列マルチグリッド前処理付き共役勾配法のメニィコアクラスタ向け最適化，2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田，2017 年 7 月 26 日〜28 日）

[発表 6]　櫻井隆雄，中島研吾，疎行列における非零要素の値を考慮したリオーダリング手法の検討，情報処理学会研究報告（2017-HPC-160-30），2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田，2017 年 7 月 26 日〜28 日）

[発表 7]　野村直也，中島研吾，藤井昭宏，田中輝雄，高並列環境下に向けた粗いレベルでニアカーネルベクトルを抽出および追加的に設定する手法の性能評価，情報処理学会研究報告（2017-HPC-160-31），2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田，2017 年 7 月 26 日〜28 日）

[発表 8]　野村直也，中島研吾，藤井昭宏，SA-AMG 法におけるニアカーネルベクトル抽出手法の性能評価，日本応用数理学会 2017 年度年会（東京，2017 年 9 月 6 日〜8 日）

[発表 9]　K. Nakajima, Preconditioned Iterative Solvers in ppOpen-HPC/pKOpen-HPC for ESSEX-II, Parallel Programming Models - Productivity and Applications (2nd Edition) (Versailles France, October 18, 2017)

[発表 10]　K. Nakajima, Preconditioned Iterative Solvers in ppOpen-HPC/pK-Open-HPC for the DFG Project ESSEX, ISP2S2-2017: JST/CREST International Symposium on Post Petascale Sys-tem Software (Tokyo, Japan, December 11-12, 2017)

[発表 11]　中島研吾，星野哲也，成瀬彰，塙敏博，三木洋平，有限要素法における係数行列生成部のマルチコア・メニィコア向け最適化，情報処理学会研究報告（2017-HPC-163-28），日本情報処理学会第 163 回 HPC 研究会（松山，愛媛，2018 年 2 月 28 日〜3 月 2 日）

[発表 12]　K. Nakajima, Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems Using ppOpen-HPC, MS82 Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing - Part II of III, 2018 SIAM Conference on Parallel Pro-cessing for Scientific Computing (SIAM PP18) (Tokyo, Japan, March 7-10, 2018)

[発表 13] K. Nakajima, Parallel Multigrid Method with Automatic Tuning for Manycore Clusters, 2018 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Compu-ting (2018 ATAT in HPSC) (Tainan, Taiwan, March 26-27, 2018)

[発表 14] Namsraijav Byambajav and Taura Kenjiro. Performance modeling of task parallel programs. 情報処理学会論文誌プログラミング *(PRO)*, 10(4):28–28, 2017.

[発表 15] Wataru Endo and Kenjiro Taura. A distributed shared memory library with global-view tasks on high-performance interconnects. In *SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*, 2018.

[発表 16] Christian Helm and Kenjiro Taura. A memory performance analysis tool based on linux perf. In 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(2017-HPC-160)*, pages 1–7, 2017.

[発表 17] Christian Helm and Kenjiro Taura. Perfmemplus: A memory performance analysis tool based on linux perf. In *SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*, 2018.

[発表 18] Kenjiro Taura and Wataru Endo. A communication layer for fine grain communication and task parallelism. In *SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*, 2018.

[発表 19] Wataru Endo, Kenjiro Taura. Parallelized software offloading in low-level communication layer. In *xSIG 2017*, pages 1–10, 2017.

[発表 20] 遠藤 亘 and 田浦 健次朗. 分散スレッドスケジューラと協調する分散共有メモリ処理系の初期評価. In 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(2017-HPC-160)*, pages 1–10, 2017.

[発表 21] 利光宏平 and 田浦健次朗. Instant cloud fs: 広域分散環境で即興に構築できる分散ファイルシステム. In *xSIG 2017*, 2017.

[発表 22] 伊藤 大 and 田浦 健次朗. Bzip2+ : Fbwt を用いた高速な圧縮. In *xSIG 2017*, pages 1–7, 2017.

[発表 23] 中澤 弘樹 and 田浦 健次朗. アトミックなデータ永続化を備えた次世代不揮発性メモリ向けファイルシステム (amfs) の高速化. In *xSIG 2017*, 2017.

[発表 24] 樋口兼一 and 田浦健次朗. 深層学習フレームワークにおける cpu と gpu の性能解析および最適化. In 情報処理学会第 *117* 回プログラミング研究会, pages 1–10, 2018.

[発表 25] 藤澤徹, 田浦健次朗. コールサイトローカルな型情報による効率的な関数インライン展開. In 情報処理学会第 *117* 回プログラミング研究会, pages 1–9, 2018.

[発表 26] 塙 敏博, 野村 行宏：医用画像処理への HPC 環境利用に向けて, 第 1 回人工知能応用医用画像研究会（シンポジウム）, 2017 年 6 月.

[発表 27] 工藤 知宏, 高野 了成, 天野 英晴, 鯉渕 道紘, 松谷 宏紀, 塙 敏博, 池上 努, 須崎 有康, 田中 哲, 赤沼 領大, 並木 周, 田浦 健次朗: データの流れに着目した異種エンジン統合クラウドシステム Fiow in Cloud, 情報処理学会研究報告, 2017-ARC-227(1), pp. 1–5, 2017 年 7 月.

[発表 28] 塙 敏博: マルチスレッド環境における MPI 通信の最適化, 非線形問題の解法に関する研究会, 第 1 回非線形・可視化部門研究会, 2017 年 8 月.

[発表 29] 塙 敏博, 伊田 明弘, 星野 哲也: 階層型行列計算の FPGA への適用, 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-161(10), pp. 1–10, 2017 年 9 月.

[発表 30] 野村 行弘, 佐藤 一誠, 塙 敏博, 花岡 昇平, 中尾 貴祐, 竹永 智美, 佐藤 大介, 星野 哲也, 関谷 勇司, 大島 聡史, 林 直人, 阿部 修, スーパーコンピュータ上での Deep Learning 学習環境の初期構築, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, no. 281, MI2017-47, pp.1-2, 2017 年 11 月.

[発表 31] 塙 敏博, 伊田 明弘, 星野 哲也：OpenCL を用いた FPGA による階層型行列計算, 情報処理学会研究報告, 2018-HPC-163(26), pp. 1–8, 2018 年 2 月.

[発表 32] Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku: Design Experience on Intel HARP2 Platform using OpenCL, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Talk, Mar. 2018.

[発表 33] Kohei Tamura, Toshihiro Hanawa: Performance Evaluation of Large-Scale Deep Learning Framework ChainerMN on Oakforest-PACS, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Poster, Mar. 2018.

[発表 34] Akihiro Ida,“Efficient Low-rank Solver for Integral Equations on Distributed Memory Systems” SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 35] 伊田明弘, 河合直聡「階層型行列における行列分割法」,2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2017）, 秋田アトリオンビル（秋田県秋田市）, 2017 年 7 月 27 日

[発表 36] 伊田明弘, 片桐孝洋「階層型行列法向け低ランク行列近似手法の検討」, 第 22 回計算工学会, ソニックシティ(埼玉県さいたま市), 2017 年 6 月 1 日

[発表 37] Masatoshi Kawai, Akihiro Ida, and Kengo Nakajima,“Efficient and Robust Parallel ILU Preconditioners for Quantum Eigenvalue Problems in ppOpen-HPC/ESSEX-II”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 38] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, and Toshihiro Hanawa,“Performance Evaluations and Optimizations of H-Matrices for Many-Core Processors”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 39] Ichitaro Yamazaki, Satoshi Ohshima, Akihiro Ida, Rio Yokota, and Jack Dongarra,“Accelerating Hierarchical-Matrix Based Linear Solver on a GPU Cluster”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 40] 大島 聡史, 山崎 市太郎, 伊田 明弘, 横田 理央「階層型行列計算の GPU 向け最適化」日本応用数理学会 2017 年度 年会武蔵野大学有明キャンパス（東京都江東区）, 2017 年 9 月 7 日

[発表 41] Takahiro Katagiri, Mu Yang, Weichung Wang, Akihiro Ida「Performance Evaluation of Integration of Multiple Randomized Low-Rank Singular Value Decompositions」, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2017）, 秋田アトリオンビル（秋田県秋田市）, 2017 年 7 月 27 日

[発表 42] 大島聡史, 山崎市太郎, 伊田明弘, 横田理央「GPU クラスタ上における階層型行列計算の最適化」,SWoPP 秋田 2017,Vol.2017-HPC-160, No.14, 秋田アトリオンビル（秋田県秋田市）, 2017 年 7 月 27 日

[発表 43] Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, and Rio Yokota,“Performance Evaluation of Hierarchical Matrix Computation on Various Modern Architectures”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 44] 白正陽, 平石拓, 伊田明弘, 中島浩「階層型行列の区分け決定処理の Cilk Plus による並列化」, 第 20 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ（PPL2018）, 皆生温泉「皆生グランドホテル天水」(鳥取県米子市), 2018 年, 3 月 5 日

[発表 45] 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,” 25th International Conference on Magnet Technology (MT25), RAI ? Amsterdam, Holand(31th Aug. 2017).

[発表 46] 川村卓人, 深谷猛, 岩下武史, 伊田明弘,「H 行列ベクトル積のスレッド並列化手法に関する性能評価」,2017 年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム（HPCS2017）, 神戸大学, 2017 年, 6 月 5-6 日

[発表 47] 下川辺 隆史, 青木 尊之, 小野寺 直幸: 高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの開発, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日 - 6 月 2 日.

[発表 48] 高木 知弘, 坂根 慎治, 大野 宗一, 澁田 靖, 下川辺 隆史, 青木 尊之: 自然対流を伴う二元合金一方向凝固の phase-field シミュレーション, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日 - 6 月 2 日.

[発表 49] 三好 英輔, 高木 知弘, 大野 宗一, 澁田 靖, 坂根 慎治, 下川辺 隆史, 青木 尊之: 大規模 3D multi-phase-field 計算に基づく 2D 断面上の粒成長挙動評価, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日 - 6 月 2 日.

[発表 50] 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構築, JHPCN：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 9 回 シンポジウム, 東京, 2017 年 7 月 13 日 - 14 日.

[発表 51] 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 9 回 シンポジウム, 東京, 2017 年 7 月 13 日 - 14 日. (ポスター発表)

[発表 52] Takashi Shimokawabe: An AMR Framework for Realizing Effective High-Resolution Simulations on GPU 第 29 回 ASE 研究会, 東京, 2017 年 8 月 1 日.

[発表 53] Takashi Shimokawabe: AMR Framework for Realizing Effective High-Resolution Simulations on GPU, GPU Technology Conference (GTC) 2018, San Jose, CA, USA, March 26 - 29, 2018. (ポスター発表)

[発表 54] 高木 知弘, 大野 宗一, 澁田 靖, 坂根 慎治, 三好 英輔, 下川辺 隆史, 青木 尊之: 大規模 phase-field シミュレーションの現状, 第 30 回計算力学講演会, 大阪, 2017 年 9 月 16 日 - 9 月 18 日.

[発表 55] Takashi Shimokawabe: A Stencil Framework to Realize Large-scale Computations Beyond GPU Device Memory Capacity, 第 32 回 ASE 研究会, 東京, 2017 年 11 月 24 日.

[発表 56] 坂根 慎治, 高木 知弘, 大野 宗一, 澁田 靖, 下川辺 隆史, 青木 尊之: デンドライトの成長と運動の大規模 phase-field シミュレーション, 第 31 回 数値流体力学シンポジウム, 京都, 2017 年 12 月 12 日 - 12 月 14 日.

[発表 57] Takashi Shimokawabe, Takayuki Aoki, and Naoyuki Onodera: An AMR Framework for Realizing Effective High-Resolution Simulations on Multiple GPUs, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Tokyo, Japan, March 7 - 10, 2018.

[発表 58] Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Shinji Sakane, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Parallel GPU Phase-Field Simulations of Dendrite Competitive Growth, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Tokyo, Japan, March 7 - 10, 2018.

[発表 59] 小澤 俊貴, 谷津 陽一, 吉井 健敏, 間宮 英生, 河合 誠之, 菊谷 侑平, 林 雄希, 新谷 勇介, 小泉 翔, 増田 雄斗, 松永 三郎, 下川辺 隆史: 民生品を用いた・新型スタートラッカの開発, 日本天文学会 2018 年春季年会, 千葉, 2018 年 3 月 14 日 - 17 日.

[発表 60] 和遠，近藤正章：省電力 NoC 向けの動的リンク分割を用いたハイブリッドスイッチング手 法の提案，Cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG2017)，東京，2017 年 4 月.

[発表 61] 高田遼，石井潤，坂本龍一，近藤正章，中村宏，大久保徹以，小島拓也，天野英晴：ディープニューラルネットワーク向けアクセラレータチップの設計と性能評価，Cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG2017)，東京，2017 年 4 月.

[発表 62] 坂本龍一，カオタン，近藤正章，井上弘士，上田将嗣，Tapasya Patki，Daniel Ellsworth，Barry Rountree，Martin Schulz：オーバープロビジョニング環境での大規模 HPC システムの電力と性能評価，情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューテング研究会，2017 年 7 月.

[発表 63] 石井潤，坂本龍一，近藤正章：可変データビット幅を持つ DNN とそのアクセラレータアーキテクチャの検討，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，2017 年 7 月.

[発表 64] シュレスタマリサソット，近藤正章，中村宏：適応的電力制御を行う環境発電駆動センサノードの強化学習戦略の比較評価，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，2017 年 7 月.

[発表 65] 勝又航生，近藤正章，中村宏，星貴之，檜山敦，稲見昌彦：高精度スマホ位置推定技術を用いたバーチャルディスプレイの開発，第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会，2017 年 9 月.

[発表 66] 上野洋典，東耕平，近藤正章：画像認識における効率的な転移学習のための学習モデル選択手法の検討，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，2017 年 11 月.

[発表 67] 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検討，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，2017 年 11 月.

[発表 68] 高野晃洋，近藤正章，中村宏：すれ違い時の携帯端末相互接続を利用した高精度屋内位置推定システムの検討，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，2017 年 11 月.

[発表 69] 石井潤，坂本龍一，近藤正章：DNN 向けニューロン毎の量子化ビット幅最適化に関する評価，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，2018 年 1 月.

[発表 70] 三吉郁夫，三輪忍，井上弘士，近藤正章：DFS/DCT 制御による電力あたり性能の実行時最適化，情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューテング研究会，2018 年 2 月.

[発表 71] Tetsuya Hoshino, Satoshi Ohshima, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima, Akihiro Ida: Pascal vs KNL: Performance Evaluation with ICCG Solver, Research Poster Session, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, Germany, June 18-22, 2017) (ポスター発表)

[発表 72] Takashi Shimokawabe, Tetsuya Hoshino: Accelerated computing research activities of ITC, the University of Tokyo, Accelerated Data Analytics and Computing (ADAC) Workshop - July 17-18, 2017 - San Jose, California

[発表 73] 野村 行弘，佐藤 一誠，塙 敏博，花岡 昇平，中尾 貴祐，竹永 智美，佐藤 大介，星野 哲也，関谷 勇司，大島 聡史，林 直人，阿部 修，スーパーコンピュータ上での Deep Learning 学習環境の初期構築，電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, no. 281, MI2017-47, pp.1-2, 2017 年 11 月.

[発表 74] 小宮山裕, 千葉柾司, 田中幹人, 田中賢幸, 桐原崇亘, 三木洋平, 森正夫, Lupton, R. H., Guhathakurta, P., Kalirai, J. S., Gilbert, K., Kirby, E., Lee, M. G., Jang, I. S., Sharma, S., 林航平: Hyper Suprime-Cam で探るアンドロメダ銀河の恒星ストリームとハロー構造, 日本天文学会 2018 年春季年会, R17a, 千葉大学, 2018 年 3 月.

[発表 75] 桐原崇亘, 三木洋平, 森正夫, 小宮山裕, 千葉柾司, 田中幹人, 田中賢幸, 林航平, 他: アンドロメダ銀河 North-Western ストリームの形成過程, 日本天文学会 2018 年春季年会, R18a, 千葉大学, 2018 年 3 月.

[発表 76] 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, *2018-HPC-164*, No. 8, pp. 1-7, 2018.

[発表 77] Eishi Arima: Efficient Big Data Processing through Page Table Walk Aware Cache Management, *ASE Seminar*, Apr. 2017 (also appeared in BPOE-8@ASPLOS17).

[発表 78] Kawai, M “Hierarchical Parallelization of Coloring Procedures for ILU Preconditioner”, SPPEXA Workshop, Japan, 2017 19th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC), pp. 138-145, 2017

[発表 79] 大風翼，菊本英紀，小野浩己，今野雅，挾間貴雅，岸田岳士，中尾圭佑，池谷直樹，田畑侑一，富永禎秀: LES による市街地風環境予測のためのガイドライン策定に向けて その 1 1:1:2 単体建物周辺流れのベンチマークテスト概要, 2017 年度日本建築学会大会 (中国), 41445, 広島, 2017 年 9 月.

[発表 80] 小野浩己，大風翼，菊本英紀，今野雅，富永禎秀: LES による市街地風環境予測のためのガイドライン策定に向けて その 3 1:1:2 単体建物周辺流れの計算格子分割数に関する検討: 2017 年度日本建築学会大会 (中国), 41447, 広島, 2017 年 9 月.

[発表 81] 富永禎秀，大風翼，今野雅，菊本英紀，小野浩己: LES による市街地風環境予測のためのガイドライン策定に向けて その 5 1:1:2 単体建物周辺流れにおける SGS 乱流モデルの影響: 2017 年度日本建築学会大会 (中国), 41449, 広島, 2017 年 9 月.

[発表 82] 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 1 ルームエアコンディショナー及びセントラル空調による室内温熱環境の CFD 解析: 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会 (高知), D-25, 高知, 2017 年 9 月.

[発表 83] 今野雅: OpenFOAM における Communication-Avoiding CG 法の実装と性能評価, オープン CAE 学会オープン CAE シンポジウム 2017, C24, 名古屋, 2017 年 12 月.

[発表 84] 大風翼，菊本英紀，小野浩己，今野雅，挾間貴雅，岸田岳士，中尾圭佑，池谷直樹，田畑侑一，富永禎秀: LES による 1:1:2 単体建物周辺流れのベンチマークテストに基づく各種計算条件が計算結果に及ぼす影響の検討, 第 31 回数値流体力学シンポジウム, B09-1, 京都, 2017 年 12 月.

[発表 85] 今野雅, 片桐孝洋: 並列プログラミング講習会活動と実用アプリケーションクラウドのご紹介, OpenFOAM による流体解析ベンチマークテスト FOCUS・クラウド・スパコンでのチャネルおよびボックスファン流れ解析, 第 17 回 PC クラスタシンポジウム, 東京, 2017 年 12 月.

[発表 86] Akashi MOCHIDA, Shun WATANABE, Tsubasa OKAZE, Yoshiteru TAKANO, Masashi IMANO, Hiroyasu KOBAYASHI: CFD prediction of effects of windbreak forests on occurrence

frequency of wind-blown sand in coastal agricultural area of Sendai plain, International Workshop on WIND-RELATED DISASTERS & MITIGATION, 59, Sendai, March 2018.

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/17e/

[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/17s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17w/

[特記 3] 中島 研吾： 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/17s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17w/

[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/17s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17w/

[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： 計算科学アライアンス，http://www.compsci-alliance.jp/

[特記 7] 中島 研吾： 日本計算工学会理事，会員委員会委員長

[特記 8] 中島 研吾： 日本応用数理学会，代表会員

[特記 9] 中島 研吾： General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

[特記 10] 中島 研吾：セッションオーガナイザ，日本計算工学会第 22 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」（大宮, 2017.5）

[特記 11] 中島 研吾：Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2017) (Zurich, Switzerland, 2017.6)

[特記 12] 中島 研吾： Co-Chair, Program Committee, Sixth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2017) in conjunction with ICCS 2017 (Zurich, Switzerland, 2017.6)

[特記 13] 中島 研吾：Member of Ph.D Forum Committee, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, 2017.6)

[特記 14] 中島 研吾： Member of BoF Committee, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, 2017.6)

[特記 15] 中島 研吾：Session Organizer, Algorithms for Extreme Scale in Practice, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, 2017.6)

[特記 16] 中島 研吾： Member of Program Committee, The 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2017) （Bristol, UK, 2017.8）

[特記 17] 中島 研吾： Chair, Posters Committee, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

[特記 18] 中島 研吾： Member of Test of Time Award Committee, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

[特記 19] 中島 研吾: Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2017 (PMES17) in conjunction with 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

[特記 20] 中島 研吾： Co-organizer of BoF, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers （Denver, CO, USA, 2017.11）

[特記 21] 中島 研吾： Member of Program Committee, IEEE 19th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC 2017) (Bangkok, Thailand, 2017.12)

[特記 22] 中島 研吾：Co-Chair, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), (Tokyo, 2018.3)

[特記 23] 中島 研吾: Co-organizer of Mini-Symposium, 2018 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18): Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing (Tokyo, Japan, 2018.3)

[特記 24] 中島 研吾: Member of Student Research Competition, Copper Mountain 2018 (Copper Mountain, CO, USA, 2018.3)

[特記 25] 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 26] 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 27] 中島 研吾： Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2018) (Wuxi, China, 2018.6)

[特記 28] 中島 研吾： Member of Program Committee, Seventh 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 29] 中島 研吾： Member of Research Paper Committee, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

[特記 30] 中島 研吾： Vice-Chair, HPC in Asia 2018, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

[特記 31] 中島 研吾： Member of Program Committee, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018) （Eugene, OR, USA, 2018.8）

[特記 32] 中島 研吾： Posters Chair, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018)（Eugene, OR, USA, 2018.8）

[特記 33] 中島 研吾： Member of Scientific Committee, 13th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2018) (Sao Paolo, Brazil, 2018.9)

[特記 34] 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 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：中島研吾，科学技術計算 I ／コンピュータ科学特別講義 I「並列有限要素法」，スーパーコンピューティングニュース 19-3，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 37] 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／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 19-5，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 38] 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 19-6，東京大学情報基盤センター, 2017

[特記 39] 中島 研吾：中島研吾，第 78 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 19-4，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 40] 中島 研吾：中島研吾，星野哲也，第 81 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 19-5，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 41] 中島 研吾：中島研吾，星野哲也，第 87 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 20-1，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 42] 中島 研吾：中島研吾，第 88 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 20-1，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 89 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習「一日速習：三次元並列有限要素法とハイブリッド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 20-1，東京大学情報基盤センター， 2018

[特記 44] 中島 研吾：中島研吾，星野哲也，國家理論科學研究中心數學組 2017 年暑季課程「用超級電腦做科學計算」(Scientific Computing on Supercomputer)，スーパーコンピューティングニュース 20-1，東京大学情報基盤センター， 2018

[特記 45] 中島 研吾：中島研吾，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 20-1，東京大学情報基盤センター，2018

[特記 46] 田浦 健次朗：IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Associate Editor

[特記 47] 田浦 健次朗：Program Committee Area Chair (Programming and System Software). IEEE CLUSTER 2017

[特記 48] 田浦 健次朗：Program Committee Member ACM Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing 2017

[特記 49] 田浦 健次朗：Program Committee Member. 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium 2017

[特記 50] 田浦 健次朗：Program Committee Member. Tenth International Workshop on Programmability and Architectures for Heterogeneous Multicores 2017

[特記 51] 田浦 健次朗：Program Committee Member. Seventh International Workshop on Domain-Specific Languages and High-Level Frameworks for High Performance Computing 2017

[特記 52] 田浦 健次朗：情報処理学会プログラミング研究会主査

[特記 53] 田浦 健次朗：xSIG 2017 ワークショップ実行委員長

[特記 54] 塙 敏博：塙 敏博, 筑波大学計算科学研究センター学際共同利用プログラム「密結合演算加速機構アーキテクチャに向けた GPGPU アプリケーション」プロジェクト研究代表者, 2017 年度

[特記 55] 塙 敏博：Member of Program Committee, The 8th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2017

[特記 56] 塙 敏博：Member of Program Committee, The 15th International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2017

[特記 57] 塙 敏博：Member of Program Committee, 11th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC-17), 2017

[特記 58] 塙 敏博：General Vice Chair, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia), 2018

[特記 59] 塙 敏博：Digital Life 編集長, Vol. 29, Vol. 30, 2017

[特記 60] 塙 敏博：HPCI（柏キャンパス-SINET5 間）高速ネットワーク一式仕様策定委員長，2017 年 7 月〜2017 年 10 月

[特記 61] 塙 敏博：HPCI 共用ストレージ東拠点システム増設技術審査委員長，2017 年 11 月

[特記 62] 塙 敏博：情報処理学会 HPC 研究会運営委員

[特記 63] 塙 敏博：最先端共同 HPC 基盤施設運営委員

[特記 64] 伊田 明弘：第 85 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」, 2017 年 9 月 12 日〜13 日, 取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 65] 伊田 明弘：第 95 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 3 月 13 日〜14 日, 取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 66] 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 67] 伊田 明弘：2017 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 68] 伊田 明弘：平成 29 年度 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究「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 69] 伊田 明弘：Member of Local Organizing Committee, 2018 SIAM Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18)

[特記 70] 伊田 明弘：Co-organizer of Mini-Symposium, 2018 SIAM Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18): Hierarchical Low Rank Approximation Methods Part I - VI (Tokyo, Japan, 2018.3)

[特記 71] 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「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」課題代表者, 2017 年度

[特記 72] 下川辺 隆史： Technical Poster Committee, The 2017 ACM/IEEE International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC17), Denver, US, November 12 - 17, 2017.

[特記 73] 下川辺 隆史: Program Committee, 7th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications
& Frameworks (IHPCES 2017) (in conjunction with ICCS 2017), Zurich, Switzerland, June 12 - 14, 2017.

[特記 74] 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 75] 下川辺 隆史： Program Committee, The Second International Workshop on GPU Computing and Applications (GCA'17), (in conjunction with CANDAR'17), Aomori, Japan, November 19 - 22, 2017.

[特記 76] 下川辺 隆史： 日本計算工学講演会 実行委員

[特記 77] 下川辺 隆史： ACS 論文誌 編集委員

[特記 78] 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 79] 下川辺 隆史： 平成 29 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 14 件, インターン採択課題 5 件, 後期採択課題 16 件

[特記 80] 下川辺 隆史： 平成 29 年度 前期 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」成果報告会, 企画と実施, 2017 年 12 月 6 日

[特記 81] 下川辺 隆史：平成 29 年度「若手・女性利用者推薦」前期課題成果報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 特集号 1（2018 年 2 月）, 企画

[特記 82] 下川辺 隆史： ISC High Performance 2017 (ISC 2017) 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.19 No.4 (2017 年 7 月)

[特記 83] 下川辺 隆史： ISC High Performance 2017 (ISC 2017) 参加報告, 広報誌 Digital Life, Vol.29 (2017 年 9 月)

[特記 84] 下川辺 隆史： SC17 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.1 (2018 年 1 月)

[特記 85] 下川辺 隆史： SC17 参加報告, 広報誌 Digital Life, Vol.30 (2018 年 3 月)

[特記 86] 下川辺 隆史： 第 91 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」, 2017 年 12 月 4 日, 講師を担当

[特記 87] 下川辺 隆史： 第 93 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 1 月 22 日, 企画と一部の講師を担当

[特記 88] 近藤 正章： Publicity Chair, IEEE Cluster, 2017.

[特記 89] 近藤 正章： Program Committee, 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2017), 2017.

[特記 90] 近藤 正章： Program Committee, 2017 International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED2017), 2017.

[特記 91] 近藤 正章： Program Committee, 22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC), 2018.

[特記 92] 近藤 正章： Program Committee, 2017 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Sys-tems and Software (ISPASS-2018), 2018.

[特記 93] 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, 2017 年.

[特記 94] 星野 哲也：Publicity Chair, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia), 2018

[特記 95] 星野 哲也： OpenACC ハーフハッカソン 企画・講師を担当

[特記 96] 星野 哲也: 國家理論科學研究中心數學組 2017 年暑季課程「用超級電 腦做科學計算」(Scientific Computing on Supercomputer) , 一部の講師を担当

[特記 97] 星野 哲也： 第 75 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」, 2017 年 4 月 12 日, 講師を担当

[特記 98] 星野 哲也： 第 81 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」, 2017 年 7 月 11 日 ∼12 日, 一部の講師を担当

[特記 99] 星野 哲也： 第 86 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」, 2017 年 10 月 4 日, 一部の講師を担当

[特記 100] 星野 哲也： 第 87 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」, 2017 年 10 月 31 日 ∼11 月 1 日, 一部の講師を担当

[特記 101] 三木 洋平：三木洋平: GPU 講習会（CUDA 講習会）, 東北大学, 2017 年 11 月.

[特記 102] 三木 洋平：Yohei Miki: Acceleration of N-body simulation and hunting a wandering supermassive black hole in M31 halo, lecture for undergraduate students at NTNU (Norwegian University of Science and Technology), 2018 年 3 月.

[特記 103] 有間 英志： 平成 28 年度科学研究費補助金 (科研費), 研究活動スタート支援, 高電力効率なビッグデータ処理のためのメモリシステム最適化, 研究代表者, 2016-2017 年度.

[特記 104] 有間 英志： SC17 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.1, 2018 年 1 月.

[特記 105] 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 106] 有間 英志： Visiting Scientist at Lawrence Livermore National Laboratory, - Oct. 2017.

[特記 107] 有間 英志： Organizing Committee Member of IEEE NVMSA 2018 (Web Chair).

[特記 108] 有間 英志： Program Committee Member of ICPP 2018 (Performance Track).

[特記 109] 有間 英志： Program Committee Member of IEEE NVMSA 2018.

[特記 110] 有間 英志： Program Committee Member of SC-Asia 2018 (Architecture Track).

[特記 111] 有間 英志： Program Committee Member of HPC Asia 2018 (Architecture Track).

[特記 112] 有間 英志： Program Committee Member of CANDAR 2017 (Architecture Track).

[特記 113] 有間 英志： Program Committee Member of IEEE NVMSA 2017.

[特記 114] 有間 英志： Technical Reviewer of IEICE Transactions on Information and Systems.

[特記 115] 有間 英志： Technical Reviewer of IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems.

[特記 116] 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 117] 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 118] 今野 雅：一般社団法人オープン CAE 学会理事.

[特記 119] 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 120] 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 121] 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 76 回「OpenFOAM 入門」(2017 年 5 月), 第 83 回「OpenFOAM 入門」(2017 年 8 月), 第 92 回「OpenFOAM 初級」(2018 年 1 月).

[特記 122] 今野　雅：九州大学情報基盤研究開発センター「OpenFOAM ハンズオン講習会」, https://www.cc.kyushu-u.ac.jp/scp/users/news/2017/416.html, ハンズオン講習会の講師を担当, 2018 年 3 月.

[特記 123] 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 73 回 (Vol.19, No.3, 2017 年 5 月), 第 76 回 (Vol.19, No.4, 2017 年 7 月), 第 83 回 (Vol.19, No.5, 2017 年 9 月)

[特記 124] 今野 雅：オープンソース CFD コード OpenFOAM の高度化, 東京大学情報基盤センター年報，第 18 号, pp.265-270, 2017 年.

大規模並列シミュレーション手法に関する研究，教育

中島 研吾

1　概要

有限要素法を中心とした，大規模並列シミュレーション手法に関する研究，教育を実施した。主な実施項目を以下に示す：

- 大規模数値アルゴリズムに関する研究

多重格子法を中心として，ポストペタスケール，エクサスケールシステム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 1,2,3〕〔査読付き 1,2,3,5,7,9〕〔発表　1,3,4,5,6,7,8,9,10,13〕。

- ハイエンド計算機環境におけるアプリケーション開発環境に関する研究

昨今，マルチコアクラスタ，GPU など様々な HPC 環境の利用が可能となっているが，科学技術計算に携わる科学者，技術者にとって，ハードウェアの能力を充分に引き出し，効率的なアプリケーションプログラムを開発することは至難の業である。一般に科学技術アプリケーションは様々な処理から構成されており，各プロセスを最適化することもまた科学者，技術者にとっては困難な作業である。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基盤 ppOpen-HPC の開発を継続して実施した。異なるスパコンでも，自動チューニング機構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る。〔招待 4,5,8〕〔発表 11〕。

- 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〔査読付き 4,6,8〕

- ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学に関する研究

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とともにアーキテクチャ，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に着手した。ポストムーアに向けたデータ移動中心型アプリケーション開発環境，数値アルゴリズムに関する検討〔招待 6,7,9,10〕〔発表 2,12〕とともに，SC17 では昨年に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 19〕。

- 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 2〜8，10〕〔特記 1〜5〕，計算科学アライアンス〔特記 6〕の活動を実施した。また国立台湾大学において，集中講義を実施した〔解説記事 9〕。

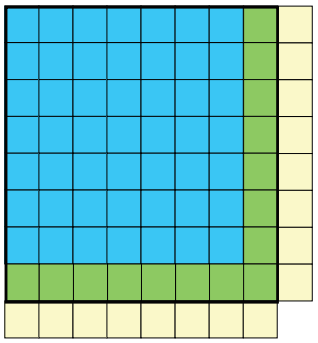
2 研究成果

2.1 動的ループスケジューリングによる通信最適化

大規模な並列計算機を使用する場合，ノード数の増加によって通信のオーバーヘッドは増加する傾向にある。並列計算において通信は必須のプロセスであるが，通信をできる限り効率的に実施し，削減することは EFLOPS 級システムにおいて重要である。通信の削減がアルゴリズムに不安定をもたらす可能性もある。ここでは，行列解法に焦点を当てアルゴリズムに関して述べることにする。有限要素法，差分法等から得られる大規模疎行列の解法としては共役勾配法（Conjugate Gradient，CG）に代表されるクリロフ部分空間法が広く使用されている。通信が生じる代表的なプロセスとしては，①疎行列ベクトル積（1 対 1 通信），②内積（集団通信）がある。ここでは，特に①に注目した検討を紹介する〔招待 1,2,3〕〔査読付き 2〕。

図 1 に示すように，並列有限要素法，有限体積法などにおける Halo を含む並列データ構造において，内点を，Halo と接している点（境界点）とそうでない点（純内点）にわけて並び替え，後者の計算とプロセス間をオーバーラップさせる方法が考えられる〔引用 1〕。図 1 に示す手法は，本来ステンシル計算（陽解法）のために考案されたものであるが，疎行列ベクトル積の場合には，通信を隠蔽するだけの充分な計算量を得ることが難しく，あまり効果がないとされてきた。一方，〔引用 2〕では，Halo 通信に OpenMP の動的ループスケジューリング機能を適用する手法が考案されている。この手法では，通信をマススレッドが受け持ち，純内点の計算とオーバーラップさせる。純内点の部分の計算には，OpenMP の動的ループスケジューリング機能を適用し，適当なチャンクサイズを設定し，通信終了次第マススレッドが計算に参加できるようになっている。本研究では，OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルを使用した有限要素法による三次元固体力学アプリケーション向け前処理付き CG 法（対角ブロック前処理）における疎行列ベクトル積に本手法を適用した（図 2）。通信をマススレッドが受け持ち，他のスレッドは「!$omp do schedule (dynamic,CHSIZ)」（CHSIZ：チャンクサイズ）として実施した計算結果を図 3 に示す。Static は通常の「計算-通信オーバーラップ（動的ループスケジューリング適用無し）」であり，10，20，…，500 などの数字はチャンクサイズである。東大情報基盤センターOakleaf-FX（FX10），Reedbush-U（BDW），Oakforest-PACS（KNL）の 3,840 コアを使用している。問題サイズは 368,640,000 自由度（122,880,000 節点＝640×480×400）である。

KNL では 20-25%，FX10 では 10-15%程度の速度向上が見られた。一方 BDW では 5%以下の向上に留まっている。チャンクサイズが小さい場合にはオリジナルの実装よりも速度が低下しているケースもある。最適なチャンクサイズは，問題サイズ，ノード数，機種によって異なると考えられるため，自動チューニングの適用が効果的である。



Internal Meshes
External (HALO) Meshes
Internal Meshes on Boundary's

Mat-Vec operations (SpMV)

- Renumbering: ■⇒■
- Communications of info. on external meshes
- Computation of ■ BEFORE completion of comm. (comm.-comp. overlapping)
- Synchronization of communications
- Computation of ■

図 1 行列ベクトル積並列計算時の計算と通信のオーバーラップ

```
!$omp parallel private (neib,j,k,i,X1,X2,X3,WVAL1,WVAL2,WVAL3)
!$omp&         private (istart,inum,ii,ierr)

!$omp master              Communication is done by the master thread (#0)
!C
!C- Send & Recv.
(…)
      call MPI_WAITALL (2*NEIBPETOT, req1, sta1, ierr)
!$omp end master

!C                        The master thread can join computing of internal
!C-- Pure Inner Nodes     nodes after the completion of communication

!$omp do schedule (dynamic,200)    Chunk Size= 200
      do j= 1, Ninn
        (…)
      enddo
!C
!C-- Boundary Nodes       Computing for boundary nodes are by all threads

!$omp do                  default: !$omp do schedule (static)
      do j= Ninn+1, N
        (…)
      enddo

!$omp end parallel
```

図 2 行列ベクトル積並列計算時の動的ループスケジューリング機能の適用

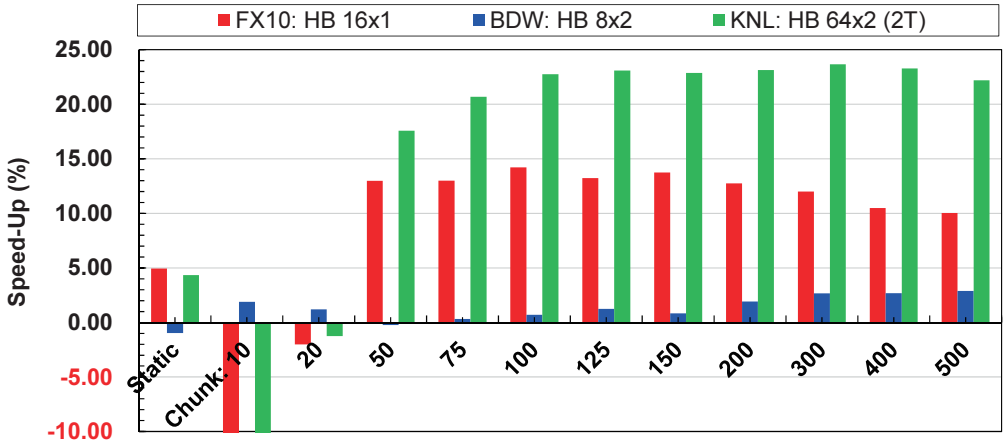


図 3 動的ループスケジューリングの効果（三次元固体力学並列有限要素法，対角ブロック前処理付き CG 法），オリジナル手法からの CG 法性能改善率，Static：動的ループスケジューリング適用無し，数字はチャンクサイズ，東大情報基盤センターOakleaf-FX（FX10），Reedbush-U（BDW），Oakforest-PACS（KNL）の 3,840 コアを使用，問題サイズ：368,640,000 自由度（122,880,000 節点＝640×480×400）

3 HPC 教育

3.1 並列計算プログラミング・先端計算機演習（理学系研究科）

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〕。2017 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。

本講義・演習は，科学技術計算プログラミングに必須の項目である「SMASH（Science-Modeling-Algorithm-Software-Hardware）」を，できるだけ幅広くカバーし，広い視野を持った人材を育成することを最終的な目標とし，特に，MPI（Message Passing Interface）を使って，差分法，有限要素法，境界要素法等によるアプリケーションを並列化する能力を身につける，ことを重視している。2014 年度は 2012 年度に作成した有限要素法をターゲットとした教材を使用し，Fortran 及び C 言語向けの両方の教材を準備した。これまでは MPI，OpenMP を別々に教えていたが，2014 年度からは OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルに関する内容を新たに加えた教材で実施している。プログラミング能力を高めるためには実習が必須である。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。2017 年度は合計 50 名の受講者があった〔解説記事 3〕。2018 年度も引き続き 8 月から 9 月にかけて集中講義を実施予定である。

3.2 科学技術計算 Ⅰ・Ⅱ／コンピュータ科学特別講義 Ⅰ・Ⅱ（科学技術計算プログラミング（有限要素法））（大学院情報理工学系研究科），スレッド並列プログラミング・ハイブリッド分散並列プログラミング（大学院工学系研究科）

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」の一環として，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）」，「コンピュータ科学特別講義 Ⅰ・Ⅱ（コンピュータ科学専攻）」を 2016 年 S1S2・A1A2 学期に実施した〔特記 3, 4〕。2016 年度からは，スレッド並列コンピューティング（S1S2 学期），ハイブリッド分散並列コンピューティング（A1A2 学期）として，大学院工学系研究科電気系工学専攻の講義としても開講している。

2014 年度までの講義では，冬（A1A2）学期（Ⅱ）の履修は夏（S1S2）学期（Ⅰ）の履修を前提としていたが，昨今の大学の国際化に伴い，10 月に入学する留学生が増加しており，そのような条件を満たさない履修者が増えてきた。そこで 2015 年度からは，方針を変更し，両者をある程度独立した科目として履修できるよう：

- S1S2 学期（Ⅰ）：お試し講習会「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」で実施している内容〔解説記事 5〕
- A1A2 学期（Ⅱ）：理学系研究科「並列計算プログラミング・先端計算機演習」で実施

している内容（3.1 参照）〔解説記事 3〕

を実施することとした。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。2017 年度は S1S2 学期 38 名と A1A2 学期 26 名の受講者があった。2018 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。

3.3　計算科学アライアンス

計算科学アライアンス〔特記 6〕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平成 27 年度に準備活動を開始し，平成 28 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　成果要覧

招待講演

〔招待 1〕 K. Nakajima, Parallel Preconditioning Method for Iterative Linear Solvers on Multicore/Manycore Clusters, IACM 19th International Conference on Finite Elements in Flow Problems - FEF 2017: Iterative Methods and Parallel Computing (Rome, Italy, April 4, 2017)

〔招待 2〕 K. Nakajima, Communication-Computation Overlapping with Dynamic Loop Scheduling for Preconditioned Parallel Iterative Solvers on Multicore/Manycore Clusters (Berkeley, CA, USA, June 9, 2017)

〔招待 3〕 K. Nakajima, T. Hanawa, T. Hoshino, Parallel Preconditioned Iterative Solvers on Manycore Architectures, MS26: Computing Bulks of Inner Eigenpairs of Large Sparse Matrices: From Applications and Algorithms to Performance and Software Engineering (2/2), PASC17 (The Platform for Advanced Scientific Computing) (Lugano, Switzerland, June 27, 2017)

〔招待 4〕 K. Nakajima, A. Ida, M. Kawai, T. Katagiri, Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems using ppOpen-HPC, APSCIT 2017 Annual Meeting (Asia Pacific Society for Computing and Information Technology (Sapporo, Hokkaido, Japan, July 29, 2017)

〔招待 5〕中島研吾, 新しい科学を開拓する Oakforest-PACS, サイエンティフィックシステム研究会 科学技術計算分科会 2017 年度会合　拡がる HPC ～新たな鼓動～（神戸, 兵庫, 2017 年 10 月 26 日）

〔招待 6〕K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures on Post-Peta/Exascale System, ScalA17: 8th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems in conjunction with SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis) (Denver, CO, USA, November 13, 2017)

〔招待 7〕K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures on Post-K/Post-Moore Era, Next QUMAT 2017: Development of Next-Generation Quantum Material Research Platform (Tokyo, December 4, 2017)

〔招待 8〕中島研吾, 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, 第 9 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(ATTA2017) †. Ninth symposium on Automatic Tuning Technology and its Application (9th ATTA)（東京, 2017 年 12 月 25 日）

〔招待 9〕K. Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures -from Exascale to Post Moore Era-, International Workshop for High Performance Numerical Algorithms and Applications (HPNAA) (Sanya, China, January 8-12, 2018)

〔招待 10〕K. Nakajima, Computational Science and Engineering in Exascale and Post Moore Era, JAMSTEC-DKRZ Workshop: Open Workshop: User Services at Earth Science HPC Centers (Yokohama, Japan, March 19, 2018)

査読付論文リスト

〔査読付 1〕 N. Nomura, A. Fujii, T. Tanaka, K. Nakajima, O.A. Marques, Performance Analysis of SA-AMG Method by Setting Extracted Near-Kernel Vectors, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10150, 52-63, 2017

〔査読付 2〕 K. Nakajima, T. Hanawa, Communication-Computation Overlapping with Dynamic Loop Scheduling for Preconditioned Parallel Iterative Solvers on Multicore/Manycore Clusters, IEEE Proceedings of 10th International Workshop on Parallel Programming Models & Systems Software for High-End Computing (P2S2 2017) in conjunction with the 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2017), Bristol, UK, 2017

〔査読付 3〕 N. Nomura, K. Nakajima, A. Fujii, Robust SA-AMG Solver by Extraction of Near-Kernel Vectors, ACM Proceedings of SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis) (Research Poster), Denver, CO, USA, 2017

〔査読付 4〕 T. Yamaguchi, K. Fujita, T. Ichimura, M. Hori, M. Lalith, K. Nakajima, Implicit Low-Order Unstructured Finite-Element Multiple Simulation Enhanced by Dense Computation using

OpenACC, Proceedings of the Fourth Workshop on Accelerator Programming Using Directives in conjunction with SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis), Denver, CO, 2017

〔査読付 5〕 M. Kawai, A. Ida, K. Nakajima, Hierarchical Parallelization of Multicoloring Algorithms for Block IC Preconditioners, IEEE Proceedings of the 19th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC 2017), 138-145, Bangkok, Thailand, 2017

〔査読付 6〕 K. Fujita, K. Katsushima, T. Ichimura, M. Horikoshi, K. Nakajima, M. Hori, L. Maddegedara, Wave propagation simulation of complex multi-material problems with fast low-order unstructured finite-element meshing and analysis, ACM Proceedings of HPC Asia 2018, Tokyo, Japan, 2018

〔査読付 7〕 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), 2018 (in press)

〔査読付 8〕T. Ichimura, K. Fujita, M. Horikoshi, L. Meadows, K. Nakajima et al., 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), 2018 (in press)

〔査読付 9〕 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), 2018 (in press)

表彰

〔表彰 1〕 T. Yamaguchi, K. Fujita, T. Ichimura, M. Hori, M. Lalith, K. Nakajima, Implicit Low-Order Unstructured Finite-Element Multiple Simulation Enhanced by Dense Computation using OpenACC, Proceedings of the Fourth Workshop on Accelerator Programming Using Directives in conjunction with SC17 (The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis), Denver, CO, 2017（**Best Paper Award**）

〔表彰 2〕 K. Fujita, K. Katsushima, T. Ichimura, M. Horikoshi, K. Nakajima, M. Hori, L. Maddegedara, Wave propagation simulation of complex multi-material problems with fast low-order unstructured finite-element meshing and analysis, ACM Proceedings of HPC Asia 2018, Tokyo, Japan, 2018（**Best Paper Award**）

解説記事

〔解説記事 1〕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 19-3, 東京大学情報基盤センター, 2017

〔解説記事 2〕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 19-5, 東京大学情報基盤センター, 2017

〔解説記事 3〕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 19-6, 東京大学情報基盤センター, 2017

〔解説記事 4〕中島研吾, 第 78 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 19-4, 東京大学情報基盤センター, 2017

〔解説記事 5〕中島研吾, 星野哲也, 第 81 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 19-5, 東京大学情報基盤センター, 2017

〔解説記事 6〕中島研吾, 星野哲也, 第 87 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 20-1, 東京大学情報基盤センター, 2017

〔解説記事 7〕中島研吾, 第 88 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 20-1, 東京大学情報基盤センター, 2018

〔解説記事 8〕中島研吾, 第 89 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習「一日速習:三次元並列有限要素法とハイブリッド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 20-1, 東京大学情報基盤センター, 2018

〔解説記事 9〕中島研吾, 星野哲也, 國家理論科學研究中心數學組 2017 年暑季課程「用超級電腦做科學計算」(Scientific Computing on Supercomputer) , スーパーコンピューティングニュース 20-1, 東京大学情報基盤センター, 2018

〔解説記事 10〕中島研吾, 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 20-1, 東京大学情報基盤センター, 2018

その他発表論文リスト

〔発表 1〕 塙 敏博, 星野 哲也, 中島 研吾, 大島 聡史, 伊田 明宏, GPU 搭載スーパーコンピュータ Reedbush-H の性能評価, 情報処理学会研究報告(2017-HPC-159-9), 日本情報処理学会第 159 回 HPC 研究会(柏, 千葉, 2017 年 4 月 17 日)

〔発表 2〕 中島研吾, 藤田敬文, ポストムーア時代の並列反復法アルゴリズム, 第 22 回計算工学講演会(日本計算工学会)(大宮, 2017 年 5 月 31 日)

〔発表 3〕 河合直聡, 伊田明弘, 中島研吾, ICCG 法向け並列多色順序付け法の提案, 第 22 回計算工学講演会（日本計算工学会）（大宮, 2017 年 6 月 1 日）

〔発表 4〕 星野 哲也, 伊田 明弘, 塙 敏博, 中島 研吾, 階層型行列法ライブラリ HACApK を用いたアプリケーションのメニーコア向け最適化, 情報処理学会研究報告（2017-HPC-160-15）, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田, 2017 年 7 月 26 日～28 日）

〔発表 5〕 中島研吾, 並列マルチグリッド前処理付き共役勾配法のメニィコアクラスタ向け最適化, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田, 2017 年 7 月 26 日～28 日）

〔発表 6〕 櫻井隆雄, 中島研吾, 疎行列における非零要素の値を考慮したリオーダリング手法の検討, 情報処理学会研究報告（2017-HPC-160-30）, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田, 2017 年 7 月 26 日～28 日）

〔発表 7〕 野村直也, 中島研吾, 藤井昭宏, 田中輝雄, 高並列環境下に向けた粗いレベルでニアカーネルベクトルを抽出および追加的に設定する手法の性能評価, 情報処理学会研究報告（2017-HPC-160-31）, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2016）（秋田, 2017 年 7 月 26 日～28 日）

〔発表 8〕 野村直也, 中島研吾, 藤井昭宏, SA-AMG 法におけるニアカーネルベクトル抽出手法の性能評価, 日本応用数理学会 2017 年度年会（東京, 2017 年 9 月 6 日～8 日）

〔発表 9〕 K. Nakajima, Preconditioned Iterative Solvers in ppOpen-HPC/pKOpen-HPC for ESSEX-II, Parallel Programming Models - Productivity and Applications (2nd Edition) (Versailles France, October 18, 2017)

〔発表 10〕 K. Nakajima, Preconditioned Iterative Solvers in ppOpen-HPC/pK-Open-HPC for the DFG Project ESSEX, ISP2S2-2017: JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software (Tokyo, Japan, December 11-12, 2017)

〔発表 11〕 中島研吾, 星野哲也, 成瀬彰, 塙敏博, 三木洋平, 有限要素法における係数行列生成部のマルチコア・メニィコア向け最適化, 情報処理学会研究報告（2017-HPC-163-28）, 日本情報処理学会第 163 回 HPC 研究会（松山, 愛媛, 2018 年 2 月 28 日～3 月 2 日）

〔発表 12〕 K. Nakajima, Development of Large-Scale Scientific \& Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems Using ppOpen-HPC, MS82 Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing - Part II of III, 2018 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18) (Tokyo, Japan, March 7-10, 2018)

〔発表 13〕 K. Nakajima, Parallel Multigrid Method with Automatic Tuning for Manycore Clusters, 2018 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (2018 ATAT in HPSC) (Tainan, Taiwan, March 26-27, 2018)

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/17e/

〔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/17s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17w/

〔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/17s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17w/

〔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/17s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17w/

〔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〕計算科学アライアンス，http://www.compsci-alliance.jp/

〔特記 7〕日本計算工学会理事，会員委員会委員長

〔特記 8〕日本応用数理学会，代表会員

〔特記 9〕General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

〔特記 10〕セッションオーガナイザ，日本計算工学会第 22 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」（大宮，2017.5）

〔特記 11〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2017) (Zurich, Switzerland, 2017.6)

〔特記 12〕Co-Chair, Program Committee, Sixth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2017) in conjunction with ICCS 2017 (Zurich, Switzerland, 2017.6)

〔特記 13〕Member of Ph.D Forum Committee, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, 2017.6)

〔特記 14〕Member of BoF Committee, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, 2017.6)

〔特記 15〕Session Organizer, Algorithms for Extreme Scale in Practice, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, 2017.6)

〔特記 16〕Member of Program Committee, The 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2017)（Bristol, UK, 2017.8）

〔特記 17〕Chair, Posters Committee, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

〔特記 18〕Member of Test of Time Award Committee, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

〔特記 19〕Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2017 (PMES17) in conjunction with 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

〔特記 20〕Co-organizer of BoF, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers（Denver, CO, USA, 2017.11）

〔特記 21〕Member of Program Committee, IEEE 19th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC 2017) (Bangkok, Thailand, 2017.12)

〔特記 22〕Co-Chair, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), (Tokyo, 2018.3)

〔特記 23〕Co-organizer of Mini-Symposium, 2018 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18): Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing (Tokyo, Japan, 2018.3)

〔特記 24〕Member of Student Research Competition, Copper Mountain 2018 (Copper Mountain, CO, USA, 2018.3)

〔特記 25〕Member of Program Committee (System Software), 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018) (Vancouver, Canada, 2018.5)

〔特記 26〕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 27〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2018) (Wuxi, China, 2018.6)

〔特記 28〕Member of Program Committee, Seventh 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 29〕Member of Research Paper Committee, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

〔特記 30〕Vice-Chair, HPC in Asia 2018, ISC High Performance 2018 (Frankfurt, 2018.6)

〔特記 31〕Member of Program Committee, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018)（Eugene, OR, USA, 2018.8）

〔特記 32〕Posters Chair, The 47th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2018)（Eugene, OR, USA, 2018.8）

〔特記 33〕Member of Scientific Committee, 13th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2018) (Sao Paolo, Brazil, 2018.9)

〔特記 34〕Member of Posters Committee, 2018 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC18)（Dallas, TX, USA, 2018.11）

〔特記 35〕Co-Chair, Program Committee, The 48th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2019), (Kyoto, 2019.8)

引用文献

〔引用 1〕Takashi Shimokawabe, Takayuki Aoki, Tomohiro Takaki, Akinori Yamanaka, Akira Nukada, Toshio Endo, Naoya Maruyama, and Satoshi Matsuoka, Peta-scale Phase-Field Simulation for Dendritic Solidification on the TSUBAME 2.0 Supercomputer," ACM/IEEE Proceedings of SC11, Seattle, WA, USA, November 2011

〔引用 2〕伊奈 拓也，朝比 祐一，井戸村 泰宏，テラフロップス級メニーコアアーキテクチャにおけるステンシル計算の最適化手法の開発，情報処理学会研究報告（2015-HPC-152-10），情報処理学会第 152 回 HPC 研究会（札幌，2015 年 12 月）

高生産・高性能並列プログラミング言語・データ処理フレームワークの研究

田浦 健次朗

1 概要

並列プログラミングにおける生産性と高性能の両立を目指して研究を進めている. 以下では特に,

- 機械学習フレームワーク (Chainer) の最適化 (2 節)
- テキストデータ処理に特化した領域特化型言語の最適化 (3 節)
- 汎用タスク並列プログラミング処理系における, 局所性を考慮した負荷分散アルゴリズム (4 節)

について述べる.

2 深層学習フレームワーク Chainer の性能解析および CPU 用最適化

2.1 動機

現在, 高速な機械学習は GPU で実行されることが多い. 原因の一部として, 機械学習に使われるフレームワークが GPU 上で, CPU と比較して非常な高性能を示すことがあげられる. その性能差の要因には, ハードウェアの差に起因する要因以外に, それらのフレームワークの多くが, CPU 向けに最適化されていないというソフトウェアに起因する要因が大きい. 本研究の目的は, 既存の深層学習フレームワーク Chainer を題材に, 最近の CPU と GPU での性能比較を行った上で,

- CPU 上でもソフトウェアの最適化に適切な労力をかけた場合の性能,
- その上で大きな性能差がある場合の要因,

などを明らかにすることである. そして, 情報基盤センターで運用している, CPU を主たるプロセッサとするマシン (Oakforest-PACS や Reedbush-U) 上での高速化に貢献することである.

なお Chainer を CPU 用に最適化するという試みはすでに Intel が進めている. [1]. 現在今後の協力体制について Intel と協議をしながら進めている. 本節の結果の詳細は [発表 11] にある.

2.2 既存の Chainer の CPU/GPU 上での性能

本研究では CPU 最適化を施す深層学習フレームワークに「Chainer v2.1.0」を選択した．Chainer を用いて定義されたモデルは，内部の各層で入力に対する出力（forward）・出力に対するモデルへの反映（backward）が行われる．それらの処理は関数として Chainer 内部で定義されており，カーネルは NumPy のみが用いられた CPU 用の実装と，CuPy[2] ・cuDNN[1] を用いて GPU 用に最適化された実装がそれぞれ用意されている．

本実験で用いる実験環境について説明する．使用したマシンは CPU に Intel Xeon E5-2695v4（Broadwell）を 2 ソケット（以降は Xeon と表記），GPU に NVIDIA Tesla P100 for PCIe-Based（Pascal）を 1 基（以降は Tesla-P100 と表記）搭載し，DDR4 規格の RAM を 32GB × 8 の計 256GB 搭載する．Xeon-Tesla-P100 間の接

[1] https://github.com/intel/ideep
[2] https://github.com/cupy/cupy

表 1: CPU-GPU 比較

プログラム	Xeon のみ [s]	Tesla-P100 利用 [s]	速度比
mnist	13.16	2.28	5.77
cifar	2351.88	43.97	53.48
ptb	2174.50	372.85	5.83
sentiment	346.23	644.18	0.54
word2vec	233.36	4.81	48.51

続には PCI Express Gen3 を 16 レーン分利用している．それぞれ単体の理論性能は，Xeon が 0.97 × 2 TFLOPS（単精度）[3] ・Tesla-P100 が 9.4 TFLOPS（単精度）[4]であるため理論性能比は約 4.8 倍となる．

まず Chainer には一切手を加えない状態ではどれほどの実行時間の差が存在するかを表 1 に示す．ベンチマークとして用いたものは以下の Chainer の提供する実装例である．

- mnist: 手書き文字データセット（MNIST）の学習モデル
- cifar: VGG[2] による画像分類データセット（cifar10）の学習モデル
- ptb: 自然言語処理用データセット（Penn Tree Bank）の学習モデル
- sentiment: Richard Socher による感情学習モデル [3]
- word2vec: 単語間の相関度をベクトルを用いて表現する学習モデル

これらのプログラムを Xeon のみを利用する環境と Tesla-P100 を利用する環境で 1 エポック分実行し，消費時間をそれぞれ計測した．乱数値の初期化には同一のシードを渡しそれぞれの環境で同じ演算を行わせる．データセットのメモリへのロードによる計測結果への影響を避けるため，時間計測は 2 回目のプログラム実行の際に行った．ミニバッチサイズなどのパラメータは全て Chainer v2.1.0 における実装例のデフォルトを使用した．Python のバージョンは 2.7.13，NumPy のバージョンは 1.11.3（Intel MKL Optimized）を用いた．CUDA のバージョンは 8.0.44，cuDNN のバージョンは 7 を用いた．その結果に速度比（=Xeon のみ [s]/Tesla-P100 利用 [s]）を加えたものが表 1 である．

注意するべきこととして，GPU 用に CuPy で書かれた部分は最初に呼ばれたタイミングで Tesla-P100 用のコンパイルを行うため，コンパイル時間が最初の実行時にのみ発生することが挙げられる．この問題に対処するため Tesla-P100 を利用する場合の消費時間は複数エポックの実行を行った後に，コンパイル時間を差分から計算して総消費時間から除去している．

2.3 Chainer の CPU 用実装と最適化

Chainer の CPU 上の実装は, 多くの操作が numpy ライブラリを呼び出すことで記述されている. numpy ライブラリは, 一部の計算集約的な操作は並列化・ベクトル化している. 例えば行列積は BLAS ライブラリを呼び出すことで実装しており, 並列・ベクトル化された BLAS ライブラリがシステム上で利用可能であれば, それを利用する. しかしながらそれ以外の多くの操作は並列化もベクトル化もされていない. それに加え, numpy を用いて式を記述するため, 一つ一つの小さな演算 (例えば配列と配列の足し算, 配列のスカラー倍など) ごとに一次配列が生成され, 効率が良いとは言えない.

一方の GPU 用実装は, 多くが cupy というライブラリを使って, ひとつのカーネル (ニューラルネットワークの一ステップ) 全体を一回の CUDA カーネルの呼び出しによって実行している. それによって GPU による並列化がほぼ全てのカーネルでなされているだけでなく, 余分な一次配列の生成などもなく計算が行われる.

今回我々が施した CPU 用最適化は, 各カーネルを C 言語で書かれた外部関数として実装し, その中で OpenMP の `parallel for` や `simd` を用いて行っている.

[3] http://www.hpc.co.jp/compare_intel_processors.html
[4] http://www.nvidia.co.jp/object/tesla-p100-jp.html

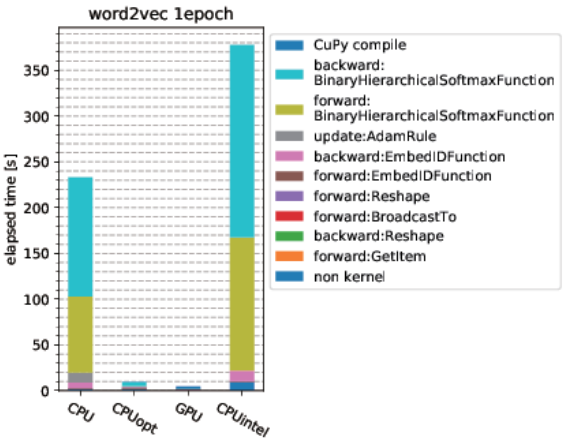


図 1: train_word2vec.py のプロファイル

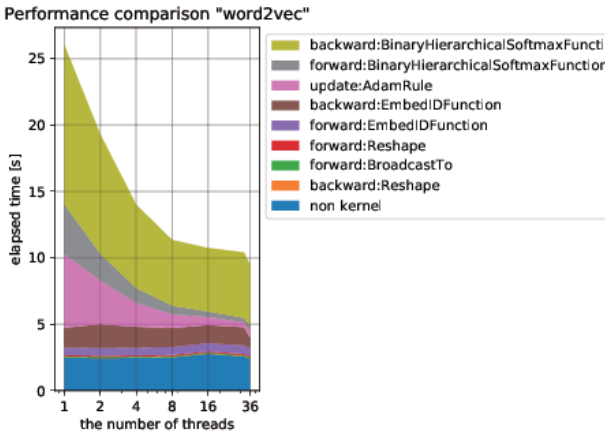


図 2: スレッド数と各カーネルの関係

2.4 実験結果の要約

上記の最適化を適用して得られた結果に，最適化後の速度比（=最適化後 [s]/Tesla-P100 利用 [s]）と達成された高速化（=表 1 の Xeon のみ [s]/最適化後 [s]）を加えて表 2 に示す．

表 2: Xeon 向け最適化後の比較結果

プログラム	最適化後 [s]	Tesla-P100 利用 [s]	最適化後の速度比	達成された高速化
mnist	4.25	2.28	1.86	3.10
cifar	333.39	43.97	7.58	7.05
ptb	1485.83	372.85	3.98	1.46
sentiment	414.11	644.18	0.64	0.84
word2vec	9.50	4.81	1.98	24.56

プログラム全体の実行速度が sentiment を除いて高速化されていることがわかる．特に大きく高速化されたのが word2vec であり約 24.6 倍の高速化が達成された．word2vec と比較して ptb では高速化されたとはいえ約 1.5 倍にとどまっている．また cifar では元の実行時間と比較して約 7 倍高速化しているが，Tesla-P100 を利用する場合と比較して約 7.1 倍と理論性能比以上の実行時間比になっている．

2.5 word2vec の結果分析

ここではベンチマークの一つである word2vec の結果について述べる．なお, [発表 11] においては上述した 5 つのベンチマークに対して詳述している．

各環境とグラフのラベル名の関係を以下に示す．

- CPU: デフォルトの Chainer 上で GPU 環境を無効化した計測結果
- CPUopt: 実験手法を用いて高速化された Chainer 上で GPU 環境を無効化した計測結果
- GPU: デフォルトの Chainer 上で GPU 環境を有効にした計測結果
- CPUintel: Intel が MKL-DNN を導入した Chainer 上で GPU 環境を無効化した計測結果

これらの環境を以降の文中で指し示す際はラベル名をカギ括弧でくくったものを用いて記述する．

このベンチマークは最適化によって大きく高速化される一方で, 依然として GPU と大きな性能差が残るカーネル (backward:BinaryHierarchicalSoftmaxFunction) がある．最も大きな高速化は forward・backward ともに BinaryHierarchicalSoftmaxFunction で達成されている．forward・backward 共に NumPy で記述されていたことに

表 3: CPUopt を基準とした各カーネルの速度比（word2vec）

Kernel	CPU	CPUopt	GPU	CPUintel
backward:BinaryHierarchicalSoftmaxFunction	28.30	1.00	0.02	45.71
forward:BinaryHierarchicalSoftmaxFunction	206.20	1.00	0.74	359.81
update:AdamRule	21.16	1.00	0.33	0.00
backward:EmbedIDFunction	7.77	1.00	0.14	14.15

よる問題点が解消し, 大きな高速化が達成された. 一方, BinaryHierarchicalSoftmaxFunction カーネルの backward 処理 (以下) においては, GPU と大きな差がついている.

Listing 1: hierarchical_softmax.py(_backward_cpu_one)

```
1  def _backward_cpu_one(self, x, t, W, gloss, gW):
2      begin = self.begins[t]
3      end = self.begins[t + 1]
4      path = self.paths[begin:end]
5      w = W[path]
6      wxy = w.dot(x) * self.codes[begin:end]
7      g = -gloss * self.codes[begin:end] / (1.0 + numpy.exp(wxy))
8      gx = g.dot(w)
9      gw = g.reshape((g.shape[0], 1)).dot(x.reshape(1, x.shape[0]))
10     gW[path] += gw
11     return gx
```

Listings 1 の 10 行目に位置する gW の更新位置が path という別の配列によって与えられているため, 更新の競合が起こる. これを解消するには浮動小数点数に対する排他的な fetch-and-add が必要で, CUDA ではそれを用いて並列化されている. 一方 Xeon CPU にはそのような命令がないため, このカーネルの高速化が困難であることがわかった. また, 更新はスパースであるため各スレッドがローカルな配列を持つ方法は, メモリ使用量が多い上, 集約処理のオーバーヘッドが大きいことが予想される. Xeon CPU 用の最適化として両者を組み合わせたような手法を今後実装, 評価する予定である.

3 大規模 ad-hoc データ用汎用省メモリ処理系の設計と実装

3.1 動機

多くの大規模データが JSON や XML をはじめとした文字列フォーマットで保管されている。バイナリ形式と比較した場合、文字列フォーマットはデータサイズや変換処理時間の面では不利だが、内容を人間が直接確認できる上, 形式の修正が柔軟に行える上, 既存のテキスト処理ツールが多く使えるため, プログラムの開発や保守の面では有利である.

文字列フォーマットのデータをプログラム中で扱うデータ構造に変換する手段としては、JSON や XML 等の著名なフォーマットに対して専用のパーサプログラムを用いるか、もしくは、その場限りのフォーマットや用途が限られたフォーマットについてパーサジェネレータ等を用いてパーサを作成するか、いずれかを選択することが一般的である。JSON や XML の専用パーサプログラムは SIMD 命令 [6] やマルチコアの活用 [5] [7] [8] によって高度に最適化が進んでいる一方で、サーバに保存されたログファイル等、その場限り (アドホック) のフォーマットについては、簡潔に文法を定義して高速に処理する方法は数少ない。Fisher ら [4] は、アドホックな文字列データに対して効率的に文法や変換方法を指定してパーサを作成する手法を提案しているけれども、この手法の応用範囲は構造化データを直接シリアライズした規則性の高いデータに限られており、文字レベルの繊細な制御が必要とされるような複雑な文法については考慮されていない。

本研究では、文脈自由文法に比較的近い、広範な文法を含む文法クラスについて、高速なパーサを生成可能なパーサジェネレータについて検討し、複雑なアドホック文法についても JSON や XML の専用パーサに匹敵する性能で解析可能な処理系を目指している.

ここまでの研究で, LL(*)-S という, 十分に強力な文法クラスと, その文法に対するスキャナレス (別途字句解析器を必要としない) なパーザを生成する手法を開発し, 評価を行っている. 以下では文法クラスに関する説明

を省略し, 得られた実験結果について述べる. 本節の内容の詳細は xSIG ワークショップ 2018 で発表予定となっている.

3.2 評価

JSON 文法を LL(*)-S 文法で記述したものを、提案手法によるパーサジェネレータに与え、x86-64 用パーサの実行可能バイナリを生成させた。このパーサに 180MB 程度の大きさの JSON ファイル (citylots.json) をメモリ上に読み込んだ状態で与え、パーサが入力を承認するまでの時間を測定した。高速な JSON 専用パーサとして知られる RapidJson 1.1.0、および PEGTL と呼ばれる C++用 PEG パーサコンビネータライブラリを対象として、構文木の構築や文字列の変換を除いた純粋な解析速度の比較を試みた。RapidJson はメモリ上に構文木を構築する DOM モード、およびメモリ上に構文木を構築する代わりに、構文木要素が見つかるたびにユーザプログラムへのコールバックを発行する SAX モードの 2 種類の動作モードを備えている。実験ではこれら 2 つのモードについて性能評価を行った。また、PEGTL 2.3.4 についてはライブラリに付属する JSON 文法を利用して、構文解析のみを行い、結果的に入力の JSON 文法による検証が完了するまでの時間を測定した。

表 4: パーサ性能の評価環境

CPU	Core i7-7600U 2.8GHz, ブースト時最大 3.9GHz
メモリ	DDR3L-1600 SDRAM 8GB (シングルチャネル)
OS	Windows 10 バージョン 1703 64 ビット (4KB ページ)
コンパイラ	MSVC ツールセット v141 (/O2 最適化オプションを使用)
C ランタイム	ユニバーサル CRT バージョン 16299

表 5: 各パーサの性能比較

ソフトウェア名	実行時間 [ms]	読込バイト数 [byte]	処理速度 [Mbyte/sec]
RapidJson 1.1.0 DOM モード	973	189,778,220	195
RapidJson 1.1.0 SAX モード (空ハンドラを設定)	845	189,778,220	225
PEGTL 2.3.4 構文解析のみ	2312	189,778,220	82
提案手法 構文解析のみ	556	189,778,220	341

評価に用いた環境を表 4 に、評価結果を表 5 に示す。提案手法によって生成された字句・構文解析器は、RapidJson ライブラリが SAX モードで JSON ファイルをすべて読み飛ばすよりも 50%ほど速く、同じファイルを JSON 文法にマッチさせることができた。ただし、RapidJson は単なる字句・構文解析器ではなく、JSON ファイルのデシリアライザとしての機能を持っているため、単に SAX モードで入力を読み飛ばすだけでも何らかのオーバーヘッドが生じている可能性があり、これが公平な比較であるかどうかは今後詳細な検討を要する。

一方で PEGTL との比較については、文法定義に基づいて生成されたスキャナレス構文解析器同士の比較であるため、RapidJson との比較よりも公平に近いと考えられる。PEGTL の Packrat 構文解析は非決定的であるが、JSON のような LL(1) 構文解析については非決定性はほぼ消滅しており、実質的には LL(1) 構文解析器と同じものが生成されていると考えられる。提案手法と同じスキャナレス構文解析器である PEGTL との間で 4 倍以上の性能差が生じた理由としては、PEGTL が高性能を志向したライブラリではないという点が挙げられる。高性能を標榜する Packrat パーサジェネレータ・パーサコンビネータとの比較は将来の課題として残されている。

4 局所性に考慮したワークスチーリングアルゴリズムの提案と解析

4.1 動機

Cilk[9], TBB[10], Qthreads[11]，MassiveThreads[12] 等，多くのタスク並列プログラム処理系において採用されているスケジューリング方式が Work Stealing である．

Work Stealing では，ワーカーが他のワーカーからタスクを盗むことを試みるが，その盗み先の選択方法としては，全てのワーカーから無作為に決定する Random Work Stealing が一般的である．しかし，階層的キャッシュや分散メモリといった構造を有する近年の計算機においては，Victim の選択によって steal にかかる処理時間に差が生じることが考えられる．タスクの steal の際，データ移動によるオーバーヘッドを小さくするため，なるべく Theif から距離の近いワーカーを Victim に選ぶことが望ましいが，Victim の選出が無作為である Random Work Stealing では，そのような局所性が全く考慮されないという問題がある．

本研究では，なるべく距離の近いワーカーから steal が行われ，かつ，全体の steal attempt の回数が少なくなるよう，ワーカーを計算ノードのキャッシュ構造を基にグループ分けし，現在のグループごとの Thief の数に応じて動的に各グループにおける steal の確率を変化させる，Light Expectation-Balancing Victim Selection (L-EBVS) の提案，実装を行った．本節の内容の詳細は xSIG ワークショップ 2018 で発表予定となっている．

4.2 Light Expectation-Balancing Victim Selection

なるべく距離の近いワーカーから steal を行うことだけが目的であれば, thief となったワーカーは, 自分から近いワーカーを常に優先的に Victim として選択すれば, 一見良さそうに思える. しかし実際には, 実行待ちのタスクが各ワーカーに対してどのように分布しているか分からないため, 無条件にそれを行うと, タスクを持つワーカが victim として選択される確率がさがり, 全体として実行時間が伸びてしまう危険性がある. 本来の目的は実行時間の短縮であるから, これでは本来の目的が達成できない可能性がある.

L-EBVS アルゴリズムのポイントは, そのようなタスクの「平均待機時間」が, 一様な work stealing と比べて悪くなることがないことを保証することである. それは, あるタスクへ向かう steal の試みの平均数を一様にすることによって達成される. 具体的には以下のようにする.

ワーカが n 個のグループに別れているとする. 各グループは, お互いに近いワーカのグループである. 例えばひとつの numa ノードにおいて, 同じ CPU ソケット内で動くワーカが 1 グループを構成しいていると想像すれば良い.

L-EBVS アルゴリズムは各グループにおける thief (タスクを持たないワーカ) の数を管理する (そのためのオーバーヘッドが生ずる). グループ i における thief 数を τ_i, 全グループにおける thief 数の平均を $\bar{\tau} = \tau/n$ として, グループ i の thief は以下の動作をする.

- $\tau_i \leq \bar{\tau}$ である場合
  グループ内でのみ steal を行い，グループ外への steal は行わない.
- $\tau_i > \bar{\tau}$ である場合
  $\bar{\tau}/\tau_i$ の確率でグループ内で steal を行い，$1 - \bar{\tau}/\tau_i$ の確率でグループ外へ steal を行う.

となる.

グループ数が 4，各グループのワーカー数が 4 である場合の Work Stealing の動作例を示したものが図 3 である.

4.3 評価

本章では，いくつかのマイクロベンチマークを，L-EBVS に基づいたスケジューリングを行う Work Stealing を適用して実行した結果について述べる.

4.3.1 測定環境

測定に使用した計算ノードの構成を，表 6 に示す．実験では全てのコアに 1 つのスレッドが割り当てられるように設定し，計 48 スレッドで測定を行った.

4.3.2 評価対象

評価の対象としては，正方行列積 (`matmul`)，三角行列積 (`trimul`)，コレスキー分解 (`chol`)，熱伝導問題 (`heat`) の 4 つを選択した.

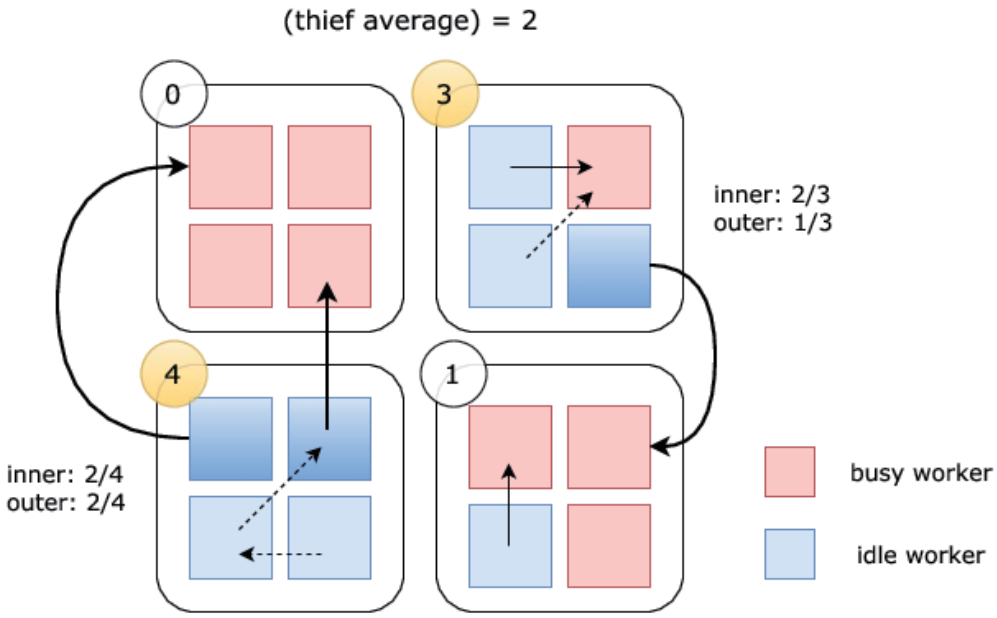


図 3: L-EBVS の Work Stealing 戦略

表 6: 計算ノードの構成

プロセッサ名 OS 動作周波数	Intel Xeon E7-8890 v4 (Broadwell) Linux 2.20GHz
ソケット数 コア数 スレッド数	2 48 96
L1 キャッシュ L2 キャッシュ L3 キャッシュ メモリ	1536KB 6MB 60MB 1TB
GCC	v5.4.0

`matmul` は正方行列積を分割統治法に基づいて計算するプログラムであり，`trimul` は計算のアルゴリズムは `matmul` と同じであるが，行列の疎部分との積演算が省略され，DAG が不均衡な形になる点で異なる．`chol` は行列積を含む複数種の演算を行うものであり，`heat` は，ある 1 点の計算を行う際に，その周辺の値を参照するステンシル計算を行うベンチマークである．

また，いずれのベンチマークも行列のサイズは 2048×2048 とし，L3 キャッシュに計算に用いるデータが全て収まるように設定した．

4.3.3 実行時間の削減

図 4 に各マイクロベンチマークの実行にかかった時間についての結果を示す．比較のため，L-EBVS 以外に Random Work Stealing，および Bias Work Stealing における結果も合わせて示した．Bias Work Stealing は，常に高い確率で Thief と同じソケット内に属するワーカーから Victim を選ぶ，試験的なスケジューリング方法である．実験では，同じソケット内のワーカーから Victim を選ぶ確率を 80%に設定した．`matmul`，`trimul`，`chol` については，L-EBVS が 3 種のスケジューリング方式の中で最も優れたパフォーマンスを示し，Random Work Stealing に比べ，10〜15%程実行時間を短縮することができている．一方，`heat` については，Bias Work Stealing が Random Work Stealing に比べ，優れたパフォーマンスを示しているのに対し，L-EBVS は Random Work Stealing よりも劣ったパフォーマンスを示している．

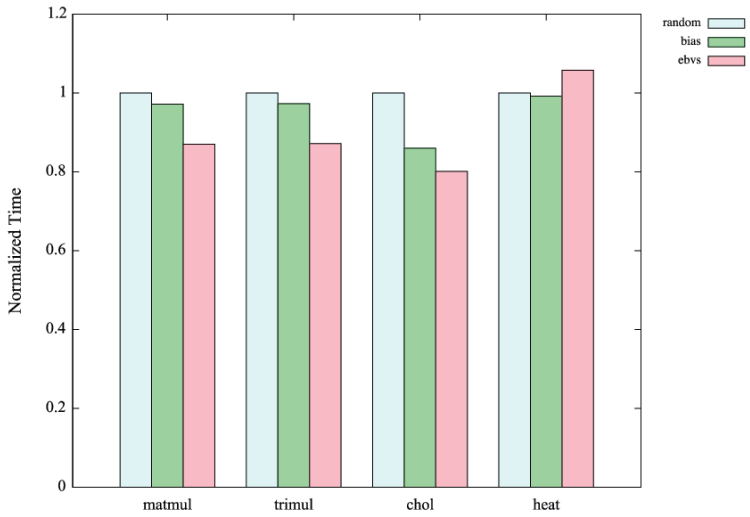


図 4: 各スケジューリング方式における処理時間の比較

表 7: リモートソケットへのデータフェッチ回数

	Random	L-EBVS	Bias
matmul	7378	6812	7384
trimul	1500	1125	1686
chol	4903	4617	4464
heat	904	1090	957

4.3.4 遠隔メモリアクセスの削減

Linux の性能解析ツールである perf を用いて，リモートキャッシュへのデータフェッチ回数の調査を行った．結果を表 7 に示す．`matmul`，`trimul`，`chol` については，L-EBVS は Random Work Stealing に比べて，リモートへのフェッチ回数を減らすことができている．一方，`heat` については L-EBVS は Random Work Stealing に比べてリモートへのフェッチ回数が増えている．理由として以下のことが考えられる．`heat` は行列におけるステンシル計算を適当な回数分反復して行うが，行列積等と異なり 1 イテレーション中に同じメモリへの複数回の更新は行われない．同じメモリアドレスへのアクセスは異なるイテレーションにまたがって存在するが，L-EBVS ではそのような時間的に離れた局所性に対応できないため，結果リモートキャッシュへのアクセスを減らせず，また，全体の実行時間を削減できなかったと考えられる．

5 基盤センター業務関連活動

- 2017 年 12 月に開催された情報基盤センター運営委員会において, 2018 年度からの情報基盤センター長に選出された.
- 情報基盤センターが中核拠点となっている, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) の中間評価に関わる打ち合わせや議論に参加した (2018 年度より拠点長).
- 全学的な取り組みが始まったデータプラットフォーム構想の, 構想づくりのための議論に参加し, 将来の共同研究者に対するヒアリングなどを行った.
- 情報基盤センター運営委員の一員として, 運営委員会に出席し, 情報基盤センター運営に関わる議論に参加した (2018 年度より運営委員長).
- スーパーコンピューティング専門委員会の一員として, 専門委員会に出席し, 本センターが運用するシステムに関する議論に参加した.

- スーパーコンピューティング部門の一員として, 運用中のマシンに関する打ち合わせ, 今後導入を予定しているマシンの仕様策定やベンダとの協議に参加した.
- 最先端共同 HPC 基盤施設 (JCAHPC) 委員として, Oakforest-PACS の運用に関する委員会に参加し, 議論を行った (2018 年度より施設長).

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Wataru Endo and Kenjiro Taura. Parallelized software offloading of low-level communication with user-level threads. In *Proceedings of the International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region*, pages 289–298. ACM, 2018.

[査読付 2] An Huynh and Kenjiro Taura. Delay spotter: A tool for spotting scheduler-caused delays in task parallel runtime systems. In *Cluster Computing (CLUSTER), 2017 IEEE International Conference on*, pages 114–125. IEEE, 2017.

[査読付 3] Shintaro Iwasaki, Abdelhalim Amer, Kenjiro Taura, and Pavan Balaji. Optimistic threading techniques for mpi+ult. In *The 24th European MPI Users' Group Symposium (EuroMPI '17) (Poster)*. IEEE, 2017.

[査読付 4] Atsushi Ohori, Kenjiro Taura, and Katsuhiro Ueno. Making sml# a general-purpose high-performance language. In *ML Workshop 2017*, 2017.

[査読付 5] Yuchen Qiao, Kazuma Hashimoto, Akiko Eriguchi, Haixia Wang, Dongsheng Wang, Yoshimasa Tsuruoka, and Kenjiro Taura. Cache friendly parallelization of neural encoder-decoder models without padding on multi-core architecture. In *Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), 2017 IEEE International*, pages 437–440. IEEE, 2017.

[査読付 6] Sangmin Seo, Abdelhalim Amer, Pavan Balaji, Cyril Bordage, George Bosilca, Alex Brooks, Philip Carns, Adrián Castelló, Damien Genet, Thomas Herault, et al. Argobots: a lightweight low-level threading and tasking framework. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 29(3):512–526, 2018.

[査読付 7] Masahiro Tanaka, Kenjiro Taura, and Kentaro Torisawa. Autonomic resource management for program orchestration in large-scale data analysis. In *Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), 2017 IEEE International*, pages 1088–1097. IEEE, 2017.

[査読付 8] Tian Yang, Kenjiro Taura, and Liu Chao. Sdac: Porting scientific data to spark rdds. In *IFIP International Conference on Network and Parallel Computing*, pages 127–130. Springer, Cham, 2017.

公開ソフトウエア

[公開 1] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.

[公開 2] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.

その他の発表論文

[発表 1] Namsraijav Byambajav and Taura Kenjiro. Performance modeling of task parallel programs. 情報処理学会論文誌プログラミング *(PRO)*, 10(4):28–28, 2017.

[発表 2] Wataru Endo and Kenjiro Taura. A distributed shared memory library with global-view tasks on high-performance interconnects. In *SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*, 2018.

[発表 3] Christian Helm and Kenjiro Taura. A memory performance analysis tool based on linux perf. In 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(2017-HPC-160)*, pages 1–7, 2017.

[発表 4] Christian Helm and Kenjiro Taura. Perfmemplus: A memory performance analysis tool based on linux perf. In *SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*, 2018.

[発表 5] Kenjiro Taura and Wataru Endo. A communication layer for fine grain communication and task parallelism. In *SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing*, 2018.

[発表 6] Wataru Endo，Kenjiro Taura. Parallelized software offloading in low-level communication layer. In *xSIG 2017*, pages 1–10, 2017.

[発表 7] 遠藤 亘 and 田浦 健次朗. 分散スレッドスケジューラと協調する分散共有メモリ処理系の初期評価. In 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(2017-HPC-160)*, pages 1–10, 2017.

[発表 8] 利光宏平 and 田浦健次朗. Instant cloud fs: 広域分散環境で即興に構築できる分散ファイルシステム. In *xSIG 2017*, 2017.

[発表 9] 伊藤 大 and 田浦 健次朗. Bzip2+ : Fbwt を用いた高速な圧縮. In *xSIG 2017*, pages 1–7, 2017.

[発表 10] 中澤 弘樹 and 田浦 健次朗. アトミックなデータ永続化を備えた次世代不揮発性メモリ向けファイルシステム (amfs) の高速化. In *xSIG 2017*, 2017.

[発表 11] 樋口兼一 and 田浦健次朗. 深層学習フレームワークにおける cpu と gpu の性能解析および最適化. In 情報処理学会第 *117* 回プログラミング研究会, pages 1–10, 2018.

[発表 12] 藤澤徹，田浦健次朗. コールサイトローカルな型情報による効率的な関数インライン展開. In 情報処理学会第 *117* 回プログラミング研究会, pages 1–9, 2018.

特記事項

[特記 1] IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Associate Editor

[特記 2] Program Committee Area Chair (Programming and System Software). IEEE CLUSTER 2017

[特記 3] Program Committee Member ACM Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing 2017

[特記 4] Program Committee Member. 32nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium 2017

[特記 5] Program Committee Member. Tenth International Workshop on Programmability and Architectures for Heterogeneous Multicores 2017

[特記 6] Program Committee Member. Seventh International Workshop on Domain-Specific Languages and High-Level Frameworks for High Performance Computing 2017

[特記 7] 情報処理学会プログラミング研究会主査

[特記 8] xSIG 2017 ワークショップ実行委員長

参考文献

[1] Sharan Chetlur, Cliff Woolley, Philippe Vandermersch, Jonathan Cohen, John Tran. cuDNN: Efficient Primitives for Deep Learning, 2014.

[2] Karen Simonyan, Andrew Zisserman. VERY DEEP CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR LARGE-SCALE IMAGE RECOGNITION, 2015.

[3] R. Socher, C. Lin, A. Y. Ng, and C.D. Manning. Parsing Natural Scenes and Natural Language with Recursive Neural Networks. in ICML2011.

[4] Fisher, K., & Gruber, R. (2005, June). PADS: a domain-specific language for processing ad hoc data. In ACM Sigplan Notices (Vol. 40, No. 6, pp. 295-304). ACM.

[5] Lu, W., Chiu, K., & Pan, Y. (2006, September). A parallel approach to XML parsing. In Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing (pp. 223-230). IEEE Computer Society.

[6] Cameron, R. D., Herdy, K. S., & Lin, D. (2008, October). High performance XML parsing using parallel bit stream technology. In Proceedings of the 2008 conference of the center for advanced studies on collaborative research: meeting of minds (p. 17). ACM.

[7] Pan, Y., Zhang, Y., & Chiu, K. (2008, April). Simultaneous transducers for data-parallel XML parsing. In Parallel and Distributed Processing, 2008. IPDPS 2008. IEEE International Symposium on (pp. 1-12). IEEE.

[8] Fadika, Z., Head, M. R., & Govindaraju, M. (2009, October). Parallel and distributed approach for processing large-scale xml datasets. In Grid Computing, 2009 10th IEEE/ACM International Conference on (pp. 105-112). IEEE.

[9] Matteo Frigo, Charles E. Leiserson, and Keith H. Randall. The Implementation of the Cilk-5 Multithreaded Language In *PLDI '98 Proceedings of the ACM SIGPLAN 1998 conference on Programming language design and implementation*, page 212-223(1998).

[10] *Intel(R) Threading Building Blocks*, Intel Corporation. https://www.threadingbuildingblocks.org/

[11] Kyle B. Wheeler, Richard C. Murphy, and Douglas Thain. An API for programming with millions lightweight threads. In *IEEE IPDPS 2008*, page 1-8(2008).

[12] Jun Nakashima and Kenjiro Taura. Massivethreads: A thread library for high productivity languages. In *Concurrent Objects and Beyond: Papers dedicated to Akinori Yonezawa on the Occasion of His 65th Birthday*, pages 222-238(2014).

[13] Robert D. Blumofe, and Charles E. Leiserson. Scheduling Multithreaded Computations by Work Stealing In *Journal of the ACM (JACM)*, page 720-748(1999).

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
Optimization Verifying Compiler, Privilidge Design in Federation Service, and Trust Models in Security

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近年盛んに論じられている「オンライントラスト」の構築についても研究を行った。2017 年度は特に以下の研究を行った。

1. **プログラムの静的解析を適用した Authorization 表現の研究。**認証フェデレーションの枠組で、認可判断も複雑化している。本年度は、セマンティクスを表現するための枠組である CTL*を、認可表現に応用した研究を行った。さらに、認可のための枠組を研究し、assertion が evidence にエレベートすることを表現するモデルを構築した [査読付 7, 査読付 16]。

2. **クラウドを前提とした認証とそのための暗号系の研究。**クラウドをベースとしたオフロード手法を始めとする機能の改良について研究した [査読付 4, 査読付 11, 査読付 13]。特に、属性ベース暗号によって、データをクラウドに置くことを前提としたトラストモデルとセキュリティの手法について研究した [査読付 1, 査読付 2, 査読付 6, 査読付 10, 査読付 15]。

3. **認証フェデレーションにおけるプライバシーの研究。**学割等にみられる、プライバシー保護と、サービス制限のための条件の調停を行う技術を開発した [査読付 3, 査読付 8, 査読付 9]。

4. **機械学習を利用したビッグデータ解析の新手法の研究。**TDA (Topological Data Analysis) の高次元ホモロジー群の解析をデータ解析に応用して、異常検知を教師なしで行うモデルを構築した [査読付 5]

5. **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。さらに、新しい環境に適応するための枠組みの研究も行っている [査読付 12, 査読付 16]。

6. **リスク評価の様々な場面における展開**トラスト構築の前提となるリスク評価の手法を様々な場面で展開することを試みた [査読付 10, 査読付 14]。

2　プログラムの静的解析の枠組の展開の研究

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、有効な方法の開発が待たれている。

そこで、プログラム解析、特に静的解析手法をサービス解析に応用することで、厳密な証明または、モデル検査の手法を提供することが一部で行われるようになった。特に、モデル検査で、プログラムの性質を表現する CTL*を応用することが 2008 年に佐藤によって提案されているが、その当時からサービス実装技術が格段に複雑化した中で、それへの対応が求められるようになった。

2.2　内容

目的としてあげたゴールに対して 2017 年度は具体的に以下のようにテーマを設定した。

- プログラムの静的解析を適用した Authorization 表現の研究
- サービス連携の枠組の中で、通信相手から取得した assertion を評価し、evidence として利用するための形式的な枠組の構築

2.3　具体的成果

サービス連携を前提として、認可情報を CTL*を利用して記述し、それに対してモデル検査を行うことで、認可の可否を決定する形式的枠組を構築した [査読付 7]。

同じく、通信相手から取得した assertion を評価し、evidence として利用するための形式的な枠組を構築した [査読付 16]。ここで構築できる Kripke model が、全体のトラスト構築に大きくかかわることを示している。

3　クラウドを前提とした認証とそのための暗号系の研究

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。特に、オフローディングは、mobile device が

大きな位置を占めるようになった今、機能的に非常に重要である。また、分散ストーレジの提供も、重要である。

さらに、クラウドが ICT 環境の中で不通に使われるようになると、データのアクセス制御が本質的な問題になってくる。特に柔軟な制御を可能にする属性ベース暗号は、失効管理の難しさ、ポリシー管理の難しさにより、普及が阻まれている。

3.2 内容

法政大、千葉工大、長崎大と共同で科研費「基盤 (B): 個人のコンテキスト情報に基づく適応的サービス再構成アーキテクチャの研究」を得、クラウドをベースにした mobility に対応したクラウドの機能拡張、性能改善を行った。さらに属性ベース暗号を配備するための様々な困難の克服を行った。

3.3 具体的成果

オフローディングの最適手法の良い近似解を得ることに成功した [査読付 4]。この研究は馬雷（ハルビン工科大）らとの共同研究である。また、マルチクラウド分散ストーレジの性能改善をおこなった [査読付 11]。mobility を前提とした教育へのクラウド応用を試みた [査読付 13]。

さらに [査読付 1, 査読付 2, 査読付 6, 査読付 10, 査読付 15] において、クラウドにおける属性ベース暗号の効率的な実装と運用のための研究を行った。なお、後半の一連の研究は大学院生である Somchart Fugkeaw との共同研究である。

4 認証フェデレーションにおけるプライバシーの研究

4.1 背景

認証フェデレーションの普及のためには、今後プライバシー保護が制度的に大きな問題になることがわかっている。従来のようにプライバシーマーク等、社会制度による担保のみでなく、技術的に担保することが重要になる。一般的には、自分の身元を隠すための Proxy の設置が有効とされている。従来でも Tor 等、一部強力なプロトコルが提案されてきたが、運用が軽量であること、隠ぺいが必要な情報が実際に隠ぺいできること、その情報が必要なエンティティのみに正しく伝達できること等の保証をするためには、詳細な設計が必要になる。

4.2 内容

今年度は以下の内容で研究を行った。

1. 国立情報学研究所、京都大学、野村総合研究所と共同で 2012 年度総務省委託研究「情報流通連携のためのオープンな ID 連携プラットフォームにおけるプライバシー保護機能の高度化の研究開発」のもと、認証フェデレーションで用いられるプロトコルにプライバシーを保護する機能を実装するための研究開発成果を今年度も得て、発表を行った。
2. ライフログ等の具体的な場面に対するプライバシー保護の解を与えた。

4.3 具体的成果

[査読付 8] において、学割等にみられる、プライバシー保護と、サービス制限のための条件の調停を行う技術を発表した。また、ライフログ等の具体的な場面においてプライバシー保護の研究を行った [査読付 3, 査読付 9]。

5 機械学習を利用したビッグデータ解析の新手法の研究

5.1 背景

TDA (Topological Data Analysis) は、次世代の機械学習の有力な手法といわれ、2005 年前後から研究が進められ、高速のパッケージも開発されてきた。しかし、計算量の制約から、解析手法は 0 次元または 1 次元のホモロジー群解析にとどまることが多く、自然クラスタリング等への適用に応用が限定されてきた。高次元のホモロジー群解析の応用はいまだに明らかになっていない。

5.2 内容

「IoT 社会の実現に向けた IoT 推進部実施事業の周辺技術・関連課題における小規模研究開発／IoT 化社会に向けた雑多なデータを包括的に管理可能なデータシステムの研究開発」 (NEDO) のサポートのもと、TDA の研究を行った。ここでは、モース理論を応用した高次元ホモロジー群の解釈を行い、大規模データの異常検知に応用した。なお、これは大学院生の清野善裕との共同研究である。

5.3 具体的成果

[査読付 5] において、モース理論を応用した高次元ホモロジー群の解釈を行い、大規模 POS データの異常検知に応用し、ポジティブな結果が得られた。

6 オンライントラストの具体的な構築について

6.1 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。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いる。

6.2 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。

6.3 具体的成果

[査読付 13] において、日本で行われているトラストフレームワークの基準の最適化の試みについて報告し、トラスト自体がエンジニアリングの対象に（まだ）なることを示した。ここでは、おおもとの基準は変更せずに、対コスト効率のよい形で基準をあげることで潜在的な需要に応えられることを示している。

また、JIPDEC が 2015 年度に行った「ID 連携トラストフレームワーク」の構築のための実証事業において、日本の民間におけるトラストフレームワークの構築についても意見を述べた。

さらに、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。

さらに [査読付 12, 査読付 16] において、データ解析におけるトラストモデル、IoT 環境におけるトラストモデルの検討を行った。

7 リスク評価の様々な場面における展開

7.1 背景

IT 環境の多様性が増える中、リスク評価もその多様な IT 環境を反映しなければならない。従来型のリスク評価 [**?**] に加えて、多様性を反映したリスク評価の手法の開発が求められている。

7.2 内容

クラウド環境にある条件を加えて、現実性を増したモデルにおけるリスク評価、IoT の中でも特にセンサを活用した環境におけるリスク評価を行った。

7.3 具体的成果

[査読付 10, 査読付 14] において、従来のリスク評価をハイブリッドクラウドに適用した研究を行った。

8 学会活動

IEEE COMPSAC (2017 EATA Symposium Chair), IEEE Mobile Cloud (2016, 2017 General Chair, Steering Committee) および CANDAR (2016, 2017 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。

9 成果要覧

査読付論文リスト

[査読付 1] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Enforcing Hidden Access Policy for Supporting Write Access in Cloud Storage Systems,” Proc. CLOSER 2017, 530–536, Porto, Portugal, April 24–26, 2017.

[査読付 2] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Achieving Scalable and Optimized Attribute Revocation in Cloud Computing,” IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E100-D, No. 5, 973–983, 2017.

[査読付 3] Prajak Chertchom, Shigeaki Tanimoto, Hayato Ohba, Tsutomu Kohnosu, Toru Kobayashi, Hiroyuki Sato, and Atsushi Kanai: “A lifelog data portfolio for privacy protection based on dynamic data attributes in a lifelog service,” IEEE/ACIS Int’l Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, (SNPD2017), Springer SCI vol. 721, 107–120, Kanazawa, Kinrosha Plaza, June 26–28, 2017.

[査読付 4] Lei Ma, Bing Yu, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato: “Collaborative Computation Offloading in Heterogeneous Asynchronous Cloud Environment,” Proc. COMPSAC 2017 vol. 1, July 7, 929–934, 2017.

[査読付 5] SATO Hiroyuki, SEINO Yoshihiro, OGATA Takanori, SHIMOKAWA Tatsuya: “Detection of Irregularities and Rips by Finding Critical Points of Morse Theory – Preliminary Results on Analysis on Sales Data–,” COMPSAC Proceedings vol 2 (DASC: The 1st IEEE International COMPSAC Workshop on Data Science Challenges in Algorithm and Complexity), July 8, 386–390, 2017. DOI 10.1109/COMPSAC.2017.106

[査読付 6] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Scalable and Secure Access Control Policy Update for Outsourced Big Data, Future Generation Computer Systems,” 2017. https://doi.org/10.1016/j.future.2017.06.014

[査読付 7] SATO Hiroyuki: “Authorization by Documents,” Journal of Information Processing vol. 25, 766–774, 2017.

[査読付 8] Hiroyuki Sato, Yasuo Okabe, Motonori Nakamura: “User Identification of Pseudonyms without Identity Information Exposure – A Scenario in Access Federations,” Journal of Information Processing, 25, 788-795, 2017.

[査読付 9] Shigeaki Tanimoto, Shun Totsuka, Motoi Iwashita, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato and Atsushi Kanai: “Risk Assessment for Privacy Protection of Information Literacy Beginners in Big Data Era,” Proc. Advances in Network-based Information Systems, Lecture Notes on Data Engineering and Coomunication Technologies 7, Springer, August, 737–749, Tronto, 2017.

[査読付 10] Shigeaki Tanimonot, Tsutomu Konosu, Motoi Iwashita, Shinsuke Matsui, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: “Risk Assessment Considerting Configuration of Hybrid Cloud Computing, Chap6 of Advances in Networks,” Security and Communications: Reviews, Vol. 1, 171–185, 2017.

[査読付 11] Yamato Miura, Naoki Wakabayashi, Shohei Ueno, Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto and Hiroyuki Sato: “A Performance Evaluation of Data Storage Approach for High Availability and Confidentiality on Multi-Cloud,” Proc. Advances in Netowrk-based Information Systems, Lecture Notes on Data Engineering and Communication Technologies 7, Springer, August, 888–900, Tronto, 2017.

[査読付 12] Sato Hiroyuki, Ogata Takanori: “Trust for Data and Data Platforms in the Cyberworld,” Proc. Cyberworld 2017, Chester, September 20–22, 245–248, 2017. DOI 10.1109/CW.2017.31

[査読付 13] Toru KOBAYASHI, Kenichi ARAI, Hiroyuki SATO, SHigeaki TANIMOTO, Atsushi KANAI: “An Application Framework for Smart Education System based on Mobile and Cloud Systems,” IEICE Transactions Vol. E100-D, no. 10, 2399–2410, 2017.

[査読付 14] Hayato OHBA, Shigeaki TANIMOTO, Takashi HATASHIMA, Teruo ENDOU, Hiroyuki SATO, Atsushi KANAI: “A Study of Efficent Team Management Configuration for CSIRT Deployment,” Proc. 11th int’l Conf. Project Management (ProMAC 2017), 613–620.

[査読付 15] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Enabling Dynamic and Efficient Data Access Control in Cloud Computing based on the Attribute Ceriticate Management and CP-ABE,” in Proc. 26th Euromicro international Conf. Parallel, Distributed and Network-based Processing, Cambridge, March, 2018.

[査読付 16] Hiroyuki Sato, Shigeaki Tanimoto, Toru Kobayashi, Atsushi Kanai: “Adaptive Policy Evaluation Framework for Flexible Service Provision,” in Proc. Service Oriented Software Engineering 2018, 124–131, Bamberg, March27–29, 2018.

演算加速機構と通信機構との統合環境に関する研究

塙 敏博

1 概要

2017 年度は，主に以下の研究および業務を行った。

1.1 密結合演算加速機構 (Tightly Coupled Accelerators:TCA) と演算加速機構応用、演算加速機構・通信機構の統合に向けて

1.1.1 TCA に関する研究

GPU に代表される演算加速機構を用いた高性能計算システムにおいて，演算加速機構同士がノードをまたいで通信を行う際にオーバヘッドが大きく，アプリケーション性能に影響を与える。そこで，ノードをまたいだ演算加速機構同士の直接通信を可能にする，TCA を開発している。その成果を元に、筑波大学には TCA を搭載した実証 GPU クラスタ HA-PACS/TCA が設置され，2013 年 11 月より運用中である。今年度は、TCA を PCIe Gen3 により実現する PEACH3 を用いて、グラフ探索によるアプリケーション評価を実施した [査読付 2, 査読付 3]。

この研究の一部は，JST-CREST 研究領域「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」（研究代表者：朴泰祐筑波大教授）による。これらの研究における HA-PACS/TCA の利用は，筑波大学計算科学研究センターの学際共同利用プロジェクト (研究代表者：塙　敏博) によるものである [特記 1]。

本研究については 2 章で詳しく述べる。

1.1.2 CPU, GPU を用いた光通信処理技術に関する研究

次世代の光通信に必要不可欠な信号処理について，従来は専用ハードウェアを用いていた処理の一部を，CPU または GPU を用いた実装について検討している。今年度は、昨年度に引き続き、実証システムを構築した。

FPGA 評価ボードによって光信号を受信し、バッファリングしたデータを、1.1 節, 2 節で述べた TCA の技術を応用して GPU に直接データ転送し、処理を行うことのできる機構を実現した。本研究は，NTT アクセスサービスシステム研究所との共同研究として実施した（2017 年度で終了予定）。また研究内容の一部について、今年度新たに 1 件の特許を出願、もう 1 件は特許出願に向けた準備中である。

- IEEE 802.3av で規定されている 10 G-EPON の物理層の規格に準拠した光通信システムを用いて、リードソロモン符号のデコード機能を GPU にオフロードして 10 Gbps リアルタイムでのエラー訂正が可能であることを示した [査読付 5]。
- 光アクセスシステムにおいて、物理層を含む完全ソフトウェア制御可能なシステムを実現するため、リアルタイムな光コヒーレント受信のための信号処理を GPU にオフロードすることで、5 Gbps での QPSK 通信が実現できることを示した [査読付 7]。

- 10 G-EPON などの物理層において FEC (Forward-Error Correction) などの複雑な処理をリアルタイムで GPU に行わせる機構を検討している。その際のバーストフレームの同期機構について提案した [査読付 8] 。

1.1.3 OpenCL による FPGA に対する演算オフローディング

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た [発表 6, 発表 9]。これらの研究の一部は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」による。

また、Intel Xeon と FPGA を QPI (QuickPath Interconnect) で接続した HARP(Hardware Accelerator Research Platform) 環境において実例を紹介した [発表 10]。

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」(jh170036-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 [発表 2, 査読付 10]。

- Reedbush-H, Reedbush-L システムを用いた Chainer-MN による大規模・高速な学習について、ImageNet と seq2seq を用いた結果を報告した [招待 2]。

- 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、評価を実施している [発表 11]

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 10]。また OFP における通信性能改善についての報告を行った [査読付 6]。

さらに、Oakforest-PACS システムに関して次世代のインタコネクト技術への展望を含めて講演を行った [招待 1]。

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）。

- 計算と通信のオーバラップについて、OpenMP の動的スケジューリング機能を用いることで効率よく実現した [査読付 4]。

- 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 9, 発表 4]。

1.4 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 システム、P100 を用いた性能評価

当センターにおける Reedbush システムの性能改善、特に GPU Direct 関連等を実施した。また、Reedbush-H システムの性能評価を行ない、HPC 研究会において発表した [発表 1]。

2 密結合演算加速機構 (Tightly Coupled Accelerators:TCA) と演算加速機構・通信機構の統合

2.1 背景

近年，GPU (Graphics Processing Unit) を始めとする演算加速機構の持つ高い演算性能とメモリバンド幅、また電力効率の良さに着目し，これらを搭載したクラスタが広く用いられている。しかし従来は，CPU メモリを介してノード間を転送するため数回のデータコピーが必要となっていた。そこで，ノード間接続および GPU 間接続に，レイテンシとバンド幅の改善を目指した独自開発の専用相互結合機構 TCA (Tightly Coupled Accelerators) の開発を行ってきた。

2.2 内容

TCA の基本的なハードウェア技術としては，PCIe を応用したものである [1]。現時点で TCA が対象にする演算加速機構は，NVIDIA 社の Kepler アーキテクチャ以降の Tesla 版 GPU であり，GPUDirect Support for RDMA[2] (以降 GDR) により PCIe デバイスとの間で直接 GPU メモリの読み書きが可能になる。

TCA アーキテクチャを実現するインタフェースボードとして，FPGA チップを搭載した PEACH2 (PCI Express Adaptive Communication Hub ver.2) ボードおよび PEACH3 (PEACH ver.3) ボードを開発してきた。PCIe では CPU とデバイス間において双方向パケット通信を行っているが，PEACH2, 3 においてはこれをノード間の通信に拡張し、PCIe パケットヘッダの書き換えによる中継処理，高度な DMA 転送などをハードワイヤード処理で行う。FPGA には，PEACH2 では PCIe Gen2 x8 レーン 4 ポートのハード IP を内蔵した Altera 社 Stratix IV GX を、PEACH3 では PCIe Gen3 x8 レーン 4 ポートのハード IP を内蔵した Altera 社 Stratix V GX を用いている。PEACH2 は，PIO と DMA の 2 つの通信方式を備えている。PIO 通信は，CPU の store 操作によってリモートノードに書き込みを行うことであり，小サイズのデータに向いている．一方，DMA として 4 チャネルのコントローラを持つ。各コントローラは，chaining DMA 機能を備え，複数の DMA を効率よく実行することができる。また，ブロックストライド転送機能を持ち，ステンシル計算における 3 次元配列データの袖領域通信などを効率よく実現できる。

HA-PACS/TCA では図 1 に示す構成を用いている。また図 2 に PEACH2 ボード、PEACH3 ボードの写真を示す．このボードは，PCIe ボード規格に準拠しており，Gen2/Gen3 x8 のエッジコネクタと，左側面には PCIe ケーブルポートが PEACH2 では合計 3 個、PEACH3 では 2 個備わっている。

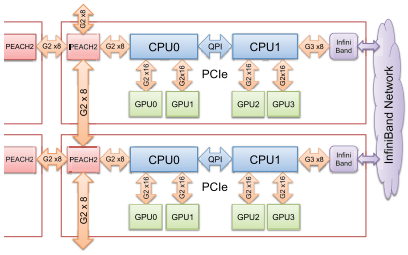


図 1: HA-PACS/TCA におけるノード構成

HA-PACS/TCA は 64 ノードで構成される。各計算ノードには PEACH2 ボードが内蔵され，ボード同士を PCIe 外部接続ケーブルで接続することによって TCA サブクラスタが構成される。現在の構成では，TCA サブクラスタは 16 ノードからなり，HA-PACS/TCA 全体では 4 つの TCA サブクラスタを含む。

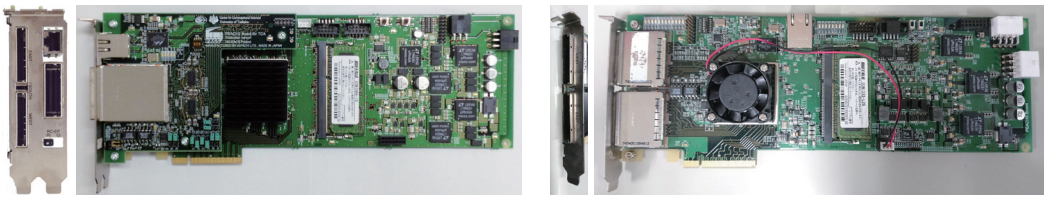


図 2: PEACH2 ボードの写真 (左：パネル面，中左：基板面)、PEACH3 ボードの写真（中右：パネル面，右：基板面）

2.3 PEACH3 のアプリケーション評価

PEACH2 では、PCIe Gen2 x8 を用いていたが、ホストの PCIe インタフェースは Gen3 が標準になっており、十分性能を活かせていなかった。そこで性能向上のため通信に PCIe Gen3 x8 を用いる PEACH3 を開発した。FPGA には、Altera 社の Stratix V GX を用いた。

また FPGA 内部の回路は、PEACH2 とほぼ同一の構成を用いている。その結果、PEACH3 において、最小遅延時間は PEACH2 と大きな差はなく、バンド幅は GPU への書き込みで Gen2 と Gen3 の性能差により PEACH2 の 1.6 倍の性能を示した。一方 GPU からの読み出しは GPU メモリが律速となり PEACH2 と大きな差はない。PEACH3 を用いて Graph500 における幅優先探索を実装した結果、PEACH2 を用いた場合の 1.13 倍を実現した [査読付 2, 査読付 3]。

2.4 演算加速機構・通信機構の統合に向けて

今後も、演算加速機構とホスト間、ノードを超えた演算加速機構間の結合を密にする上で、FPGA の果たす役割は大きいと考えている。さらに、FPGA の中で通信以外にも、空きロジックを使用して演算をストリーミング的にオフロードすることを検討している (1.1.3 節参照)。QPI や OpenCAPI のように，CPU と FPGA とがより緊密に接続された環境も今後増えてくると考えられるが、一層多様な組み合わせが生まれる。様々な CPU と FPGA のインタフェースの共通化、プログラミングインタフェースの検討も進めていく。

3 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。2017 年度は 2016 年度に引き続き、6 年間運用経過し老朽化した既存のストレージシステムの更新、および SINET5 への 100 Gbps 接続を実施した。

具体的にはサービスを継続しながら、新機材での運用に向けてのデータ移行計画を策定し、さらに追加機材についても調達を実施した [特記 8]。一方、SINET5 に対して 100 Gbps での接続を実現するため、回線サービスの調達に向けて仕様策定委員長として仕様書を策定した [特記 7]。

その結果、2017 年 10 月からは新機材を用いたサービスの提供、また 2018 年 3 月からは 100 Gbps でのサービスを提供している。

4 HPC 教育

4.1 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。Reedbush-U 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。

4.2 お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

2017 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 77 回 (5/15)・第 82 回 (7/31)・第 90 回 (11/24)

  Oakforest-PACS を使った初めての講習会の試みであり、KNL において OpenMP、 MPI を使用したプログラムをどのようにすれば最適に実行できるか、実習を行なった。

- 「MPI 基礎」 第 79 回 (6/1-2)・第 84 回 (9/4-5)

  前年度に引き続き、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。

- 「MPI 上級」 第 80 回 (6/26-27)

  2017 年度に新しく開講した講習会であり、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、Reedbush-U を用いて演習を行なった。

来年度は、受講者の負担を減らすため、それぞれの開催日程を半分に短縮することを検討している。

5 施設見学

2017 年度は、海外から 6 件、国内からは 4 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。

6 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 塙 敏博: JCAHPC のスパコン Oakforest-PACS とスパコン技術の将来展望,「データセンタシステムと光ネットワーキングのコ・デザインは有用か？」セッション，電子情報通信学会ソサィエティ大会，2017 年 9 月.

[招待 2] 塙 敏博：Reedbush スーパーコンピュータを用いたディープラーニング，GPU テクノロジーカンファレンス，2017 年 12 月.

査読付論文

[査読付 1] K. Matsumoto, N. Fujita, T. Hanawa, and T. Boku: Implementation and Evaluation of NAS Parallel CG Benchmark on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10150, pp. 135–145, 2017

[査読付 2] Takahiro Kaneda, Ryotaro Sakai, Naoki Nishikawa, Toshihiro Hanawa, Chiharu Tsuruta, Hideharu Amano: Performance Evaluation of PEACH3: Field-Programmable Gate Array Switch for Tightly Coupled Accelerators, International Symposium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies, 9 pages, Jun. 2017.

[査読付 3] Toshihiro Hanawa, Takahiro Kaneda, and Hideharu Amano: Evaluation of Graph Application using Tightly Coupled Accelerators, International Supercomputing Conference (ISC'17) research poster, Jun. 2017.

[査読付 4] Kengo Nakajima, Toshihiro Hanawa: Communication-Computation Overlapping with Dynamic Loop Scheduling for Preconditioned Parallel Iterative Solvers on Multicore and Manycore Clusters, Intl. Workshop on Parallel Programming Models and Systems Software for High-End Computing (P2S2), in conjunction with Intl. Conf. on Parallel Processing, pp. 210–219, Sep. 2017.

[査読付 5] Takahiro Suzuki, Sang-Yuep Kim, Jun-ichi Kani, Toshihiro Hanawa, Ken-Ichi Suzuki, and Akihiro Otaka: Demonstration of 10-Gbps Real-Time ReedSolomon Decoding Using GPU Direct Transfer and Kernel Scheduling for Flexible Access Systems, Journal of Lightwave Technology, Vol. 36, Issue 10, pp. 1875-1881, 2018

[査読付 6] Masashi Horikoshi, Larry Meadows, Tom Elken, Pradeep Sivakumar, Edward Mascarenhas, James Erwin, Dmitry Durnov, Alexander Sannikov, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku: Scaling collectives on large clusters using Intel (R) architecture processors and fabric, Intel eXtreme Performance Users Group Workshop at HPC Asia Conference, pp. 59–62, Jan. 2018.

[査読付 7] Takahiro Suzuki, Sang-Yuep Kim, Jun-ichi Kani, Akihiro Otaka, and Toshihiro Hanawa: 10-Gbps Real-time Burst-Frame Synchronization Using Dual-Stage Detection for Full-Software Optical Access Systems, , paper Tu3L.6 (3 pages), Mar. 2018.

[査読付 8] Sangyeup Kim, Takahiro Suzuki, Jun-ichi Kani, Akihiro Otaka, Toshihiro Hanawa: Coherent Receiver DSP Implemented on a General-Purpose Server for Full Software-Defined Optical Access, Optical Fiber Communication Conference, page Tu3L.2 (3 pages), Mar. 2018.

[査読付 9] 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 (accepted).

[査読付 10] 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), June 2018 (accepted).

その他の発表論文

[発表 1] 塙 敏博, 星野 哲也, 中島 研吾, 大島 聡史, 伊田 明弘: GPU 搭載スーパーコンピュータ Reedbush-H の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-159(9), pp. 1–6, 2017 年 4 月.

[発表 2] 塙 敏博, 野村 行宏：医用画像処理への HPC 環境利用に向けて, 第 1 回人工知能応用医用画像研究会（シンポジウム）, 2017 年 6 月.

[発表 3] 工藤 知宏, 高野 了成, 天野 英晴, 鯉渕 道紘, 松谷 宏紀, 塙 敏博, 池上 努, 須崎 有康, 田中 哲, 赤沼 領大, 並木 周, 田浦 健次朗: データの流れに着目した異種エンジン統合クラウドシステム Fiow in Cloud, 情報処理学会研究報告, 2017-ARC-227(1), pp. 1–5, 2017 年 7 月.

[発表 4] 星野 哲也, 伊田 明弘, 塙 敏博, 中島 研吾: 階層型行列法ライブラリ HACApK を用いたアプリケーションのメニーコア向け最適化, 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-160(15), pp. 1–10, 2017 年 7 月.

[発表 5] 塙 敏博: マルチスレッド環境における MPI 通信の最適化, 非線形問題の解法に関する研究会, 第 1 回非線形・可視化部門研究会, 2017 年 8 月.

[発表 6] 塙 敏博，伊田 明弘，星野 哲也: 階層型行列計算の FPGA への適用，情報処理学会研究報告, 2017-HPC-161(10), pp. 1–10, 2017 年 9 月.

[発表 7] 野村 行弘，佐藤 一誠，塙 敏博，花岡 昇平，中尾 貴祐，竹永 智美，佐藤 大介，星野 哲也，関谷 勇司，大島 聡史，林 直人，阿部 修，スーパーコンピュータ上での Deep Learning 学習環境の初期構築，電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, no. 281, MI2017-47, pp.1-2, 2017 年 11 月.

[発表 8] 中島 研吾，星野 哲也，成瀬 彰，塙 敏博，三木 洋平：有限要素法における係数行列生成部のマルチコア・メニィコア向け最適化，情報処理学会研究報告，2018-HPC-163(28), pp. 1–8, 2018 年 2 月.

[発表 9] 塙 敏博，伊田 明弘，星野 哲也：OpenCL を用いた FPGA による階層型行列計算，情報処理学会研究報告，2018-HPC-163(26), pp. 1–8, 2018 年 2 月.

[発表 10] Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku: Design Experience on Intel HARP2 Platform using OpenCL, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Talk, Mar. 2018.

[発表 11] Kohei Tamura, Toshihiro Hanawa: Performance Evaluation of Large-Scale Deep Learning Framework ChainerMN on Oakforest-PACS, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Poster, Mar. 2018.

特記事項

[特記 1] 塙 敏博, 筑波大学計算科学研究センター学際共同利用プログラム「密結合演算加速機構アーキテクチャに向けた GPGPU アプリケーション」プロジェクト研究代表者, 2017 年度

[特記 2] Member of Program Committee, The 8th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2017

[特記 3] Member of Program Committee, The 15th International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2017

[特記 4] Member of Program Committee, 11th International Symposium on Embedded Multicore/Manycore Systems-on-Chip (MCSoC-17), 2017

[特記 5] General Vice Chair, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia), 2018

[特記 6] Digital Life 編集長, Vol. 29, Vol. 30, 2017

[特記 7] HPCI（柏キャンパス-SINET5 間）高速ネットワーク一式仕様策定委員長，2017 年 7 月〜2017 年 10 月

[特記 8] HPCI 共用ストレージ東拠点システム増設技術審査委員長，2017 年 11 月

[特記 9] 情報処理学会 HPC 研究会運営委員

[特記 10] 最先端共同 HPC 基盤施設運営委員

参考文献

[1] 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久: Tightly Coupled Accelerators アーキテクチャに基づく GPU クラスタの構築と性能予備評価, 情報処理学会論文誌（コンピューティングシステム）, Vol.6, No.4, pp.14-25, 2013 年 10 月

[2] NVIDIA Corp.: *NVIDIA GPUDirect*. http://developer.nvidia.com/gpudirect.

メモリサイズを超える計算および高精細計算を実現する高生産ステンシル計算フレームワークに関する研究

下川辺 隆史

1 概要

GPU デバイスメモリのサイズを超える計算および高精細計算を実現する適合細分化格子法の導入をアプリケーションユーザが簡便に行えるように、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。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。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。

- GPU デバイスメモリのサイズを超える計算を実現するステンシル計算フレームワークの開発

  GPU 上でステンシル計算を行う際、その問題サイズは GPU のデバイスメモリ容量に制限される。本研究では、開発を進めている GPU コンピューティング・フレームワークを拡張し、GPU に搭載されたデバイスメモリを超える計算を実現する機構の開発と導入を行った [査読付 2, 発表 8]。詳細は 2 章で述べる。

- 高精細計算を実現する適合細分化格子法の高性能ステンシル計算フレームワークへの導入

  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 4, 発表 6, 発表 10]。また Xeon Phi への対応を進めた [発表 5]。詳細は 3 章で述べる。

- GPU 計算の材料科学計算、気流計算および天文観測データ処理への応用

  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 1, 査読付 3, 査読付 4, 査読付 5, 発表 2, 発表 3] 。これらは、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) 課題「分子動力学法とフェーズフィールド法の融合による粒成長の高精度解析法の構築」(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、JHPCN 課題「格子ボルツマン法によるリアルタイム物質拡散シミュレーション手法の開発」(研究代表者：日本原子力研究開発機構 小野寺直幸) の一部として気流計算用の GPU コードの高速化を検討した。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 12]。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。

- 「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。本年度の後期課題の課題採択から本制度の実施を担当した [特記 9]。特に本年度から、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することとした [特記 10]。また、平成 29 年度前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 11]。

- 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 17]。高性能計算分野の大きな国際会議である SC17、ISC2017 への参加報告をスーパーコンピューティングニュースおよび Digital Life へ投稿した [特記 12, 特記 13, 特記 14, 特記 15]。

- 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。特に、本センターには、スーパーコンピュータ利用を検討中の方やスーパーコンピュータおよびセンターの活動に関心を持つ方など、スーパーコンピュータユーザでない一般の方向けのメール配信サービスがなかったため、この新設を提案し整備した。講習会、企業利用、公募利用などについて配信される。また、スーパーコンピューティング部門の運営する Web サイトを利用しやすくなるよう Web サイトのリニューアルの検討と実施を行った。

以降では、「GPU デバイスメモリのサイズを超える計算を実現するステンシル計算フレームワークの開発」および「高精細計算を実現する適合細分化格子法の高性能ステンシル計算フレームワークへの導入」について、その概要を述べる。

2 GPU デバイスメモリのサイズを超える計算を実現するステンシル計算フレームワークの開発

2.1 背景

GPU は高い性能を持つため、本センターの運用する Reedbush をはじめ、GPU は多くのスパコンに大規模に搭載されてきている。しかしながら、GPU に搭載されているデバイスメモリはホストメモリよりも小さいため、GPU 上でのステンシル計算の問題規模は CPU による計算と比較し、小さい規模となってしまう。限られた GPU 資源で、そのデバイスメモリ容量を超える大規模計算を高性能に実現するためには、デバイスメモリにホストメモリを加えたメモリ階層を効率的に利用する必要がある。本研究では、開発を進めるステンシル計算フレームワークを拡張し、GPU に搭載されたメモリサイズを超える計算を実現する機構の開発を行い、性能評価した。

2.2 内容

GPU 上でステンシル計算を行う際、その問題サイズは GPU のデバイスメモリ容量に制限される。本研究では、開発を進めている GPU コンピューティング・フレームワークを拡張し、GPU に搭載された

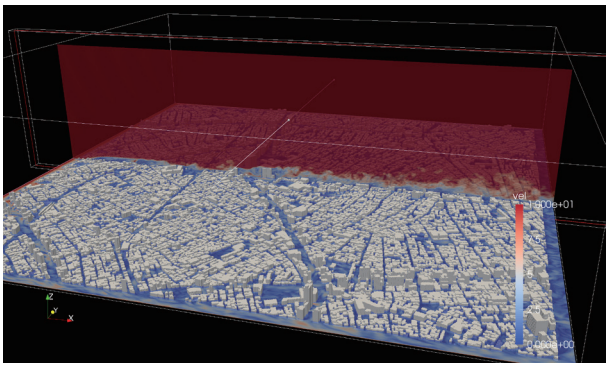


図 1: 格子ボルツマン法による都市気流計算の計算例

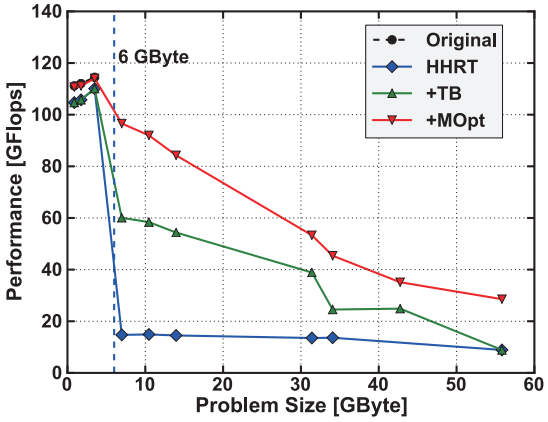


図 2: 単一 GPU による都市気流計算の実行性能

デバイスメモリを超える計算を実現する機構を導入する。これを実現するためには、デバイスメモリを超えたデータを一時的にホストメモリへ待避する必要がある。この機能を実現するため、本フレームワークでは、その内部で、自動的にホストメモリとデバイスメモリ間でデータをスワップアウト／インする Hybrid Hierarchical Run-time (HHRT) ライブラリを利用する。HHRT ライブラリは、東京工業大学の遠藤敏夫教授によって開発が進められている。このホストメモリとデバイスメモリ間でのメモリスワップによる性能低下を抑えるため、メモリアクセスの局所性を向上する必要がある。そのために、時間ブロッキングと呼ばれる手法を導入することが必須である。しかしながら、時間ブロッキング手法は、ステンシル・アプリケーションの時間発展ループの構造を大きく変更する必要があり、導入コストが高い。そこで本研究では、この複雑な手法を簡便に導入できるようステンシル計算フレームワークを拡張した。

2.3 具体的成果

本研究では、時間ブロッキング手法を簡便にアプリケーションへ導入する手法を提案し、自動的にホストメモリとデバイスメモリ間でデータをスワップアウト／インする機構とともに、ステンシル計算フレームワークへ導入・実装し、これを使った GPU デバイスメモリのサイズを超える気流計算を実現し、高い性能を達成した。

時間ブロッキング手法は、k ステップの通信を 1 回でまとめて行い、k 回の時間発展計算を通信なく進める手法である。一般的なステンシル計算では、1 回の計算と 1 回の通信を行う時間発展計算を N 回繰り返すが、時間ブロッキング手法を適用すると、N/k 回のループの内側で k 回の時間発展計算と k 回の通信に相当する 1 回の通信を行う時間発展ループとなる。このように、時間ブロッキング手法は、デバイスメモリを超えたデータを一時的にホストメモリへ退避する処理の実行回数を減らすため、GPU に搭載されたデバイスメモリを超える計算の実現に必須であるが、その適用は時間発展ループを大きく変更することになり、開発コストが高い。

提案するステンシル計算フレームワークでは、ユーザコードに簡便に時間ブロッキング手法を導入できる機構を導入した。フレームワーク内でデータ転送のための関数の呼び出し回数をカウントすることで、実際に転送が必要ない際は仮想的に計算領域を縮小し、実際に転送が必要となったときにのみ実際にこれを行う。これによってユーザコードの修正をほぼ無くし、時間ブロッキング手法を導入することを実現した。

HHRT によるホストメモリとデバイスメモリ間のスワップは、`MPI_Recv` や `MPI_Wait` などの MPI のブロッキング処理に伴って実行される。HHRT は MPI/CUDA のラッパーライブラリで、ステンシル計算フレームワーク内で呼ばれているため、ユーザは HHRT を利用していることを意識することな

く、スワップ機能を持ったユーザコードを記述することが可能となった。

本フレームワークを格子ボルツマン法で実装された実アプリケーションである都市気流シミュレーションに適用する。図 1 にシミュレーションのスナップショットを示す。これを東京工業大学の GPU スパコン TSUBAME2.5 に搭載された NVIDIA Tesla K20X の一つを用いて実行した。その実行性能を図 2 に示す。NVIDIA Tesla K20X のメモリ容量である 6 GByte を超えた計算でも、時間ブロッキング手法とメモリや通信の最適化を併用することで、最大達成性能の 80.0% 程度の 92.0 GFlops の実行性能を達成することに成功した。

TSUBAME2.5 に搭載された複数 GPU 計算による弱スケーリングの測定では、1 プロセスあたり $256 \times 256 \times 512$ を計算し、4 プロセスが 1GPU を共用するとき、192 GPU で 17.7 TFlops を達成した。これは 1GPU の性能と比較し、95%の効率を達成した。

本研究の詳細は、[査読付 2] を参照されたい。

3 高精細計算を実現する適合細分化格子法の高性能ステンシル計算フレームワークへの導入

3.1 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。

3.2 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。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し、非物理的な振動など発生することなく、計算できることを示した。

3.3 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

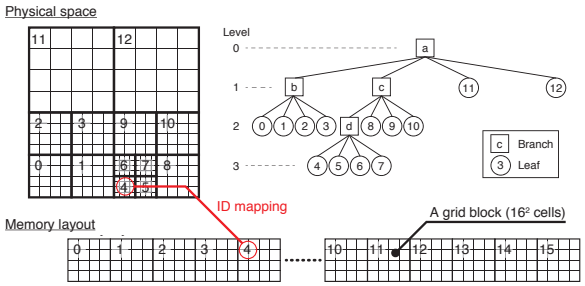


図 3: 多数の格子の木構造による物理空間配置とメモリ空間配置

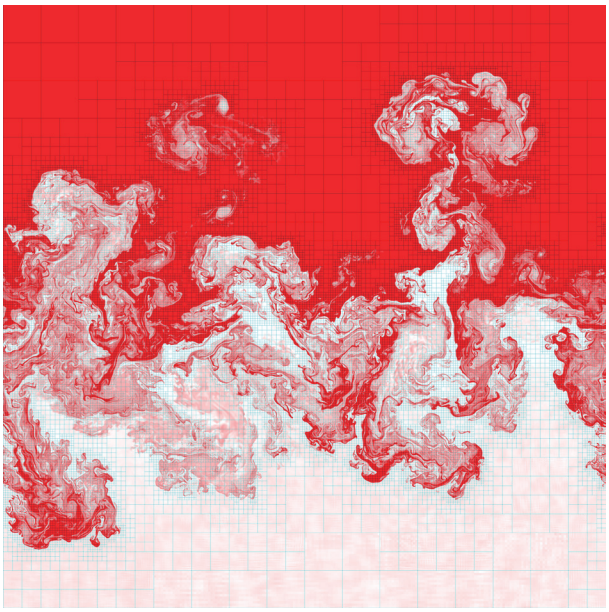


図 4: AMR 法を用いたレイリーテイラー不安定性の計算結果

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 2 次元で 16 × 16 格子程度である。図 3 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。

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 `ArrayIndex3D` 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 `Array` を用いることで、効率的な記述を実現する。`Array` は、大きさと位置の情報を持つ `Range3D` 型と配列を保持するクラスである。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、この他に、複数 GPU による AMR 計算を実現するため、同一 GPU 内およ

び異なる GPU 間における格子ブロック間の袖領域データ交換機構、格子解像度の変更機構、格子データの GPU 間の移行機構を提供する。紙面の都合上、ここでは詳細は割愛する。

提案フレームワークの有効性を評価するため、2 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。図の格子状の水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 20^2 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。非物理的な振動を発生せずに計算することに成功した。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Shinji Sakane, Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Three-dimensional morphologies of inclined equiaxed dendrites growing under forced convection by phase-field-lattice Boltzmann method, Journal of Crystal Growth, Vol. 483, 2018/02, 147-155.

[査読付 2] Takashi Shimokawabe, Toshio Endo, Naoyuki Onodera and Takayuki Aoki: A Stencil Framework to Realize Large-scale Computations Beyond Device Memory Capacity on GPU Supercomputers, 2017 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), Honolulu, HI, USA, Sep. 2017, pp. 525-529.

[査読付 3] Eisuke Miyoshi, Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Shinji Sakane, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Ultra-large-scale phase-field simulation study of ideal grain growth, npj Computational Materials 3, 25, 2017/07, P1-6.

[査読付 4] Shinji Sakane, Tomohiro Takaki, Roberto Rojas, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Multi-GPUs parallel computation of dendrite growth in forced convection using the phase-field-lattice Boltzmann model, Journal of Crystal Growth, Vol. 474, 2017/09, 154-159.

[査読付 5] Tomohiro Takaki, Roberto Rojas, Shinji Sakane, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Phase-field-lattice Boltzmann studies for dendritic growth with natural convection, Journal of Crystal Growth, Vol. 474, 2017/09, 146-153.

その他の発表論文

[発表 1] 下川辺 隆史, 青木 尊之, 小野寺 直幸: 高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの開発, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日 - 6 月 2 日.

[発表 2] 高木 知弘, 坂根 慎治, 大野 宗一, 澁田 靖, 下川辺 隆史, 青木 尊之: 自然対流を伴う二元合金一方向凝固の phase-field シミュレーション, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日 - 6 月 2 日.

[発表 3] 三好 英輔, 高木 知弘, 大野 宗一, 澁田 靖, 坂根 慎治, 下川辺 隆史, 青木 尊之: 大規模 3D multi-phase-field 計算に基づく 2D 断面上の粒成長挙動評価, 第 22 回計算工学講演会, 大宮, 2017 年 5 月 31 日 - 6 月 2 日.

[発表 4] 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構築, JHPCN：学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 9 回 シンポジウム, 東京, 2017 年 7 月 13 日 - 14 日.

[発表 5] 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 9 回 シンポジウム, 東京, 2017 年 7 月 13 日 - 14 日. (ポスター発表)

[発表 6] Takashi Shimokawabe: An AMR Framework for Realizing Effective High-Resolution Simulations on GPU 第 29 回 ASE 研究会, 東京, 2017 年 8 月 1 日.

[発表 7] 高木 知弘, 大野 宗一, 澁田 靖, 坂根 慎治, 三好 英輔, 下川辺 隆史, 青木 尊之: 大規模 phase-field シミュレーションの現状, 第 30 回計算力学講演会, 大阪, 2017 年 9 月 16 日 - 9 月 18 日.

[発表 8] Takashi Shimokawabe: A Stencil Framework to Realize Large-scale Computations Beyond GPU Device Memory Capacity, 第 32 回 ASE 研究会, 東京, 2017 年 11 月 24 日.

[発表 9] 坂根 慎治, 高木 知弘, 大野 宗一, 澁田 靖, 下川辺 隆史, 青木 尊之: デンドライトの成長と運動の大規模 phase-field シミュレーション, 第 31 回 数値流体力学シンポジウム, 京都, 2017 年 12 月 12 日 - 12 月 14 日.

[発表 10] Takashi Shimokawabe, Takayuki Aoki, and Naoyuki Onodera: An AMR Framework for Realizing Effective High-Resolution Simulations on Multiple GPUs, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Tokyo, Japan, March 7 - 10, 2018.

[発表 11] Tomohiro Takaki, Munekazu Ohno, Yasushi Shibuta, Shinji Sakane, Takashi Shimokawabe and Takayuki Aoki: Parallel GPU Phase-Field Simulations of Dendrite Competitive Growth, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Tokyo, Japan, March 7 - 10, 2018.

[発表 12] 小澤 俊貴, 谷津 陽一, 吉井 健敏, 間宮 英生, 河合 誠之, 菊谷 侑平, 林 雄希, 新谷 勇介, 小泉 翔, 増田 雄斗, 松永 三郎, 下川辺 隆史: 民生品を用いた・新型スタートラッカの開発, 日本天文学会 2018 年春季年会, 千葉, 2018 年 3 月 14 日 - 17 日.

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「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」課題代表者, 2017 年度

[特記 2] Technical Poster Committee, The 2017 ACM/IEEE International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC17), Denver, US, November 12 - 17, 2017.

[特記 3] Program Committee, 7th International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES 2017) (in conjunction with ICCS 2017), Zurich, Switzerland, June 12 - 14, 2017.

[特記 4] 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 5] Program Committee, The Second International Workshop on GPU Computing and Applications (GCA'17), (in conjunction with CANDAR'17), Aomori, Japan, November 19 - 22, 2017.

[特記 6] 日本計算工学講演会 実行委員

[特記 7] ACS 論文誌 編集委員

[特記 8] 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 9] 平成 29 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 14 件, インターン採択課題 5 件, 後期採択課題 16 件

[特記 10] 平成 29 年度 前期 東京大学情報基盤センター「若手・女性利用者推薦」成果報告会, 企画と実施, 2017 年 12 月 6 日

[特記 11] 平成 29 年度「若手・女性利用者推薦」前期課題成果報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 特集号 1（2018 年 2 月）, 企画

[特記 12] ISC High Performance 2017 (ISC 2017) 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.19 No.4 (2017 年 7 月)

[特記 13] ISC High Performance 2017 (ISC 2017) 参加報告, 広報誌 Digital Life, Vol.29 (2017 年 9 月)

[特記 14] SC17 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.1 (2018 年 1 月)

[特記 15] SC17 参加報告, 広報誌 Digital Life, Vol.30 (2018 年 3 月)

[特記 16] 第 91 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」, 2017 年 12 月 4 日, 講師を担当

[特記 17] 第 93 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 1 月 22 日, 企画と一部の講師を担当

高性能・省電力計算システムに関する研究開発

近藤 正章

1 概要

大規模高性能計算システムから組み込みシステムを対象に、ハードウェアとソフトウェアの協調最適化により、高性能・低消費電力な計算機システムを実現することを目的として研究開発を行っている。大規模高性能計算システムに関しては、従来のように利用可能な全ハードウェア資源を使い切るという発想ではなく、限られた電力資源を各アプリケーションに、またその中でも計算・記憶・通信という各要素に適応的に配分し、性能やシステムの電力効率を最適化することをテーマとした、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の研究開発を中心に行ってきた。また、組み込みシステム向けの研究としては、工場ビッグデータを利活用するためのリアルタイム性と全データ性を両立するエッジ学習基盤、ビルディングブロック型コンピューティングシステムの実現を目指したインダクティブカップリングによるチップ間通信による 3 次元積層 LSI のアーキテクチャの検討、ディープラーニング向けアクセラレータ、強化学習を用いた IoT（Internet of Things）端末の電力制御などに関する研究を実施中である。以下では、本年度の成果の一部として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に関して主に述べる。

2 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

2.1 背景

ポストペタスケール高性能計算システムは、消費電力がシステム設計や実効性能を制約する最大の要因であると考えられている。2012 年時点で世界最高性能を誇った京コンピュータは 10 ペタフロップス級の性能を約 13MW の消費電力で達成しているが、地球規模の省エネ要求や現大型計算機センターの電力設備状況を鑑みると、将来的にも 100MW 級の電力供給能力を持つセンターを配することは不可能であり、2020 年あたりに実現されるエクサスケール級のシステムは 20〜30MW とほぼ同程度の電力で京コンピュータの 100 倍近い性能を達成することが求められる。さらに、環境負荷低減の重要性が叫ばれる中、高性能計算システムでも太陽光発電などの再生可能エネルギー利用が拡大し、電力供給が時々変化するなどの運用環境の変化が訪れることも予想される。

一方、ポストペタ時代のアプリケーションは、超大規模システムにスケールさせる上でシステムへの要求は多様化する。例えば、演算性能で 100 倍、メモリ帯域で 1000 倍、メモリ容量で 1000 倍もの差が要求仕様にあるとの報告もある。しかし、電力供給がシステム制約となる状況下では、計算・記憶・通信といった各要素へ投入するハードウェア資源を制限せざるを得ず、多くのアプリケーションに適用可能なシステム構築は難しい。

上記の背景より、ポストペタスケール高性能計算システムでは、供給電力、あるいは熱設計電力制約の中でハードウェア資源を投入し、運用時のピーク消費電力が制約を超えないことを保証する従来の設計思想では、アプリケーションを今後の大規模システムに対してスケールさせることは難しい。そこで、今後の大規模システムを設計する上では、ピーク消費電力が制約を超過することを積極的に許し、ハードウェアの電力性能ノブを最適化することで実効電力を制約以下に制御するシステム形態をコンセプトとするシステム開発が重要と考えられる。このような電力制約適応型システムでは、従来のように利用可能な全ハードウェア資源を使い切るという発想ではなく、限られた電力資源を各

アプリケーションに、またその中でも計算・記憶・通信という各要素に適応的に配分し、性能やシステムの電力効率を最適化することが必須となる。この適応的な電力制御を行うことができれば、単一システムのもと、電力性能ノブの調整次第で様々なハードウェア資源への要求に対応でき、多くのアプリケーションに適用可能なシステムが構築可能となる。

電力制約適応型システム上で高性能かつ高電力効率を達成するためには、アプリケーションの特徴や運用状況等に合わせた電力制御・電力管理がシステムソフトウェアの最も重要な役割の一つであり、そのためのソフトウェア資産の構築や、システムアーキテクチャとの連携が重要となる。例えば、計算部には各コアの周波数・電圧・使用コア数制御や電力制約制御、記憶部にはメモリチップの周波数・電圧制御や使用メモリ容量・帯域制御、通信には使用リンク数制御などの電力性能ノブを候補に持つシステムを想定し、これらの電力性能ノブを適切に抽象化しつつ、最適化ツールやアプリケーション開発者に解放することが、システムソフトウェアの特つべき重要な機能であると考えている。そこで、電力制約適応型システムにおいて、ハードウェアに搭載された電力性能ノブを適切に抽象化しつつ、その制御をアプリケーションの特性および運用状況に合わせて最適化し、アプリケーションの性能とシステム全体の電力効率を向上させるための研究開発を主として実施している。

2.2 内容

電力制約適応型システムのための要素技術として、特に1）アプリケーションの特徴と運用状況に合わせた電力性能ノブ最適化技術、2）大規模アプリケーション向け電力性能挙動予測技術、3）システムソフトウェアから効果的に電力性能ノブを制御可能なシステムアーキテクチャ、の 3 項目の研究開発を行った。1）ではライブラリやミドルウェアを含むシステムソフトウェアと性能最適化ツールを、2）では高性能計算機システムのネットワーク部分の電力予測ツール群を、3）ではソフトウェアからハードウェア依存の最適化を解放するための電力性能ノブ抽象化手法を開発し、エクサスケールシステム時代の電力マネージメントフレームワークとして、電力資源を有効利用できる計算環境を創出することを目的としている。

本年度は、特にアプリケーションの特徴と運用状況に合わせた電力性能ノブ最適化技術として、

- ジョブ内の電力制御を自動・半自動で最適化するための電力最適化フレームワークの開発
- Slurm リソースマネージャをベースとした電力資源管理ツールの大規模システムでの評価

に関して研究開発を行った。

2.3 具体的成果

(1) ジョブ内の電力制御を自動・半自動で最適化するための電力最適化フレームワークの開発

電力制約適応型システムにおいて、電力性能ノブを適切に制御しつつ電力制約下で性能を最大化することが重要となるが、一般のユーザがそのための最適化を行うのは容易ではない。それを補助するための基盤システムソフトウェアとして、 ジョブ内での電力性能ノブ最適化を目的とし、自動・半自動で電力性能ノブの制御ポイント埋め込み、プロファイリング、ノブ制御最適化を行うアプリケーション内電力性能ノブ最適化などを実行するツールを開発した。本ツールは、電力性能ノブの制御ポイント埋め込みは TAU/PDT の機能を利用して元のプログラムに対しコード解析を行い、電力ノブを制御する可能性のあるポイントに API 呼び出しの関数埋め込みを行う。電力観測・制御ライブラリ等を含み、それらを利用したプロファイリングを行うことで、各制御ポイントの電力ノブ設定を決定し、最終的に電力ノブ制御が最適化されたコードを実行する。これらの機能を統合したものを最適化フレームワークとして公開中である。

図 1 に本パッケージの概要を示す。本パッケージは以下の手順で自動・半自動でアプリケーションコードの最適化を行う。

1. オリジナルなアプリケーションプログラムに対し、コード解析して電力ノブを制御する可能性のあるポイントに API 呼び出しの関数を埋め込む。
2. 複数ノブ設定下でプロファイリング実行を行い、API を利用して電力性能情報を取得する。

3. 得られた情報をもとに、電力分配最適化アルゴリズムにより各制御ポイントでの電力配分を決定し、それを設定ファイルとして保存する。
4. 実行時には、電力配分設定ファイルを参照し、1.で埋め込まれた API により電力ノブを制御しつつ実行を行う。

本年度は、特に本フレームワーク上にいくつかの最適化アルゴリズムを例として実装し、機能および有用性の検証等を行った。

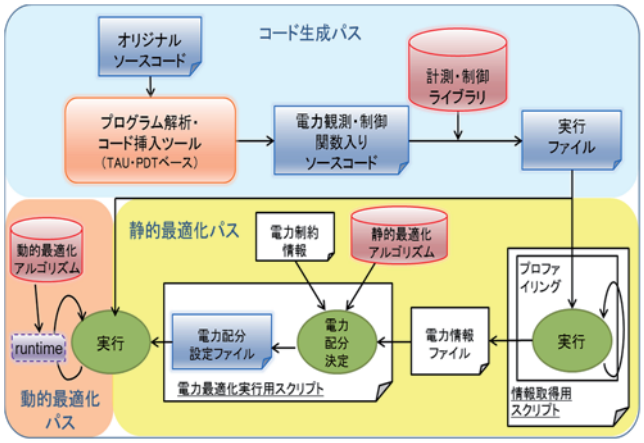


図 1:開発した電力性能最適化フレームワークの概要

(2) Slurm リソースマネージャをベースとした電力資源管理ツールの大規模システムでの評価

大規模計算機センターでは、システムを分割し複数ジョブが同時に実行されることが通常である。そのような環境では、システム全体の電力供給と使用状況やアプリケーションの優先度に応じた動的電力スケジューリングを行うことが必要である。そのためのシステムソフトウェア設計と開発を昨年度より行っている。クラスタシステムの資源管理ツールとして世界的に最も広く利用されている Slurm リソースマネージャをベースとして、電力資源管理や各ジョブの電力制御機能を持つリソースマネージャの開発と評価を国際連携体制のもとで昨年来に引き続き行った。

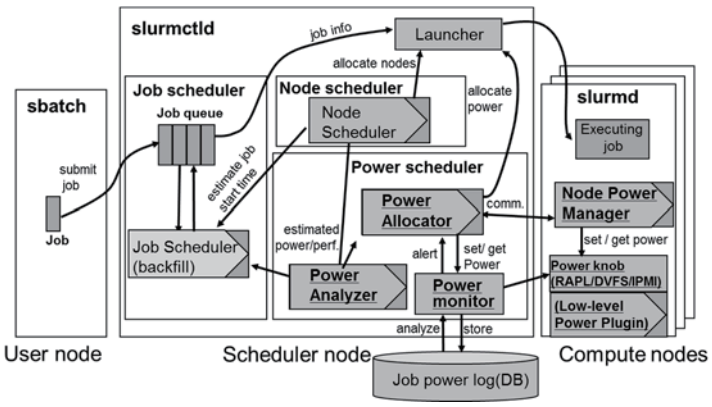
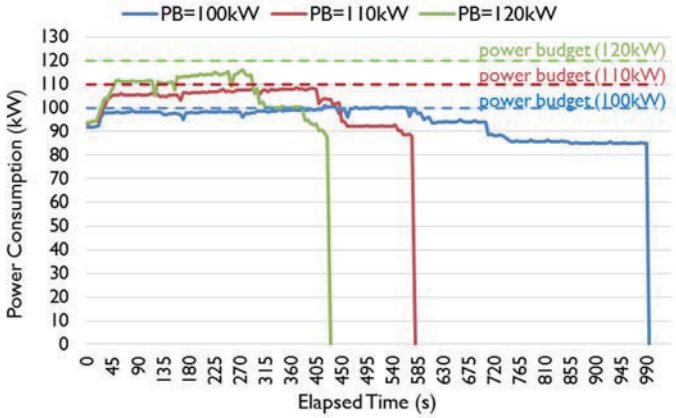


図 2:開発した Slurm ベースの資源管理ツール

図 2 に開発した Slurm ベースの資源管理ツールの概要を示す。オリジナルの Slurm に対してジョブの必要電力や制約下での性能を予測するモジュール(Power Analyzer)、ジョブの最適な電力割り当て決定モジュール(Power Allocator)、各ノードの電力収集と電力制約の設定モジュール(Power Monitor)、各ノードで動作し実際に電力のモニタリングや電力ノブの制御を行うモジュール(Node Power Manager)が追加されている。本年度は、この開発した電力資源管理機能付き Slurm リソース

マネージャを、1000 ノード規模の大規模システムである九州大学情報基盤研究開発センターの HA8000 システムにインストールして電力制約を考慮して資源管理を行った際の電力・性能特性について調査を行った。行列積をアプリケーションとし様々な電力制約下でジョブをスケジューリングし



たところ、図 3 に示すように本リソースマネージャより電力制約内でジョブがスケジューリングできていることを確認した。

図 3：リソースマネージャで電力制約設定時にジョブ実行をした際の消費電力

次に、様々なジョブセットを実行した場合の性能や実行中の消費電力について開発したリソースマネージャにより解析を行った。評価では、様々なジョブの電力特性をエミュレートするために、行列計算のサイズを変更してキャッシュミス率を調整可能なジョブセットを作成した。評価環境としては HA8000 の 965 ノードを用い、消費エネルギーや平均消費電力、ジョブの実行時間等の評価を行った。評価ではオーバープロビジョニング環境を想定し、システム全体の電力制約値は 400 ノードの TDP 分の電力を仮定した。さらに、システム全体のノード数は 400, 540, 680, 820, 960 と変更して評価を行った。 ジョブの到着タイミングには理研 RICC のログを用い、その先頭から 600 ジョブを実行すると想定した。ジョブ特性の違いによる性能・電力消費特性の違いを解析するため、評価では 85W, 70W, 55W の電力キャップで動作させるジョブの割合を、85W:70W:55W = 1:0:0 (high-only)、3:2:1(many-high)、1:1:1 (middle)、1:2:3 (many-low)、0:0:1(low-only) と変化させたジョブミックスを作成して評価を行った。

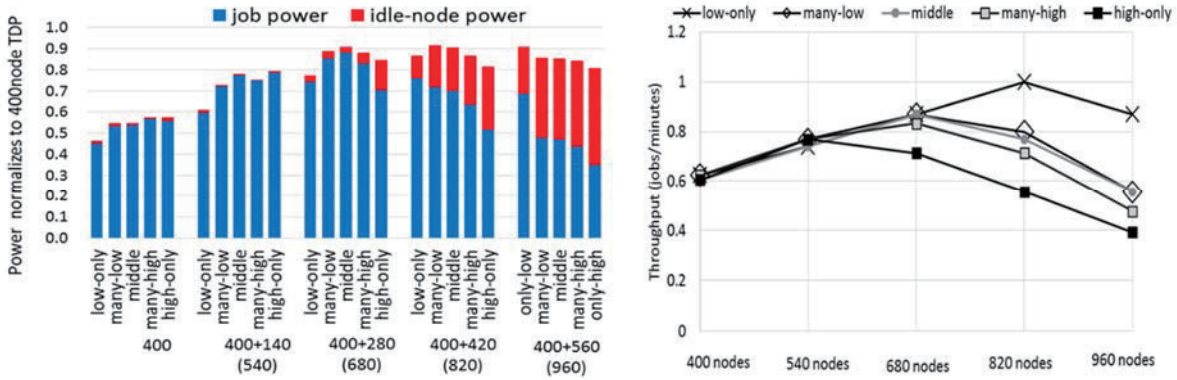


図 4：電力使用率とジョブ実行スループット

図 4 (左)は、システムの電力制約に対する電力使用率を示しており、ジョブが割り当てられたノードとアイドルノードの電力内訳も示している。図より、ノード数を 680 台まで増やした場合は電力利用率が向上する一方、それ以上にノード数を増やすと逆に電力利用率が低下することが分かる。基準の 400 ノードに対し、オーバープロビジョンとして追加するノード数が少ない場合は、ノードの利用率は高い。これは計算ノードに対し電力が十分に確保できるためである。一方で追加ノードが多すぎ

る場合、アイドルノード時の消費電力も増えることにより、ジョブ実行に利用できる電力が減少することもわかる。

図 4 (右)はジョブスループットを示しており、ノード数が増えるにつれてスループットが向上することがわかる。オーバープロビジョニングにより追加ノード数だけより多くのジョブが実行可能なためである。一方、960 ノードになるとスループットは大きく低下している。さらに、その低下度合いはジョブミックスによっても異なっている。高消費電力ジョブが多い場合は各ノードのジョブ実行電力が大きくなるため、追加ノードが少ない場合であっても電力資源が枯渇しやすい傾向にあり、追加ノード数は少ない方が好ましい。一方で low-only のように個々のジョブの消費電力が少ない、つまりメモリインテンシブと想定されるジョブが多い場合は電力資源が枯渇しにくいため、多くのノードを追加してもそれらノードを使い切ることができ性能が向上する。つまり、追加ノード数は多いほうが良いことが分かる。オーバープロビジョンドシステムの設計には、アイドルノードの電力を考慮することが重要であると言える。このように開発したリソースマネージャで評価を行うことで、将来的な HPC システムにおける電力制御の在り方について多くの知見を得ることができた。

3　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Masaaki Kondo：Energy Efficient Network-on-Chips with Opportunistic Circuit-Switching for MPSoCs，17th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware，July 2017.

査読付論文

[査読付 1] Thang Cao, Wei Huang, Yuan He, and Masaaki Kondo：Cooling-Aware Job Scheduling and Node Allocation for Overprovisioned HPC Systems, 31st IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS2017), 10pages, May 2017.

[査読付 2] Ryuichi Sakamoto, Thang Cao, Masaaki Kondo, Koji Inoue, Masatsugu Ueda, Tapasya Patki, Daniel Ellsworth, Barry Rountree, and Martin Schulz：Production Hardware Overprovisioning: Real-world Performance Optimization using an Extensible Power-aware Resource Management Framework, 31st IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS2017). 10pages, May 2017.

[査読付 3] Ryuichi Sakamoto, Ryo Takata, Jun Ishii, Masaaki Kondo, Hiroshi Nakamura, Tetsui Ohkubo, Takuya Kojima and Hideharu Amano：The Design and Implementation of Scalable Deep Neural Network Accelerator Cores, IEEE 11th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC-17), 8pages, Sep. 2017.

[査読付 4] Shaswot Shresthamali, Masaaki Kondo, and Hiroshi Nakamura：Adaptive Power Management in Solar Energy Harvesting Sensor Node using Reinforcement Learning, ACM Transactions on Embedded Computing Systems, Vol.16, No.5s, pp.181:1-181:21, Oct. 2017.

[査読付 5] Yasutaka Wada, Yuan He, Thang Cao, Masaaki Kondo：A Power Management Framework with Simple DSL for Automatic Power-Performance Optimization on Power-Constrained HPC Systems, SupercomputingAsia 2018 (SCA18), 20pages, Mar. 2018.

その他の発表論文

[発表 1] 和遠，近藤正章：省電力 NoC 向けの動的リンク分割を用いたハイブリッドスイッチング手 法の提案，Cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG2017)，東京，2017 年 4 月.

[発表 2] 高田遼, 石井潤, 坂本龍一, 近藤正章, 中村宏, 大久保徹以, 小島拓也, 天野英晴:ディープニューラルネットワーク向けアクセラレータチップの設計と性能評価, Cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG2017) , 東京, 2017 年 4 月.

[発表 3] 坂本龍一, カオタン, 近藤正章, 井上弘士, 上田将嗣, Tapasya Patki, Daniel Ellsworth, Barry Rountree, Martin Schulz:オーバープロビジョニング環境での大規模 HPC システムの電力と性能評価, 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューテング研究会, 2017 年 7 月.

[発表 4] 石井潤, 坂本龍一, 近藤正章:可変データビット幅を持つ DNN とそのアクセラレータアーキテクチャの検討, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 2017 年 7 月.

[発表 5] シュレスタマリサソット, 近藤正章, 中村宏:適応的電力制御を行う環境発電駆動センサノードの強化学習戦略の比較評価, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 2017 年 7 月.

[発表 6] 勝又航生, 近藤正章, 中村宏, 星貴之, 檜山敦, 稲見昌彦:高精度スマホ位置推定技術を用いたバーチャルディスプレイの開発, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017 年 9 月.

[発表 7] 上野洋典, 東耕平, 近藤正章:画像認識における効率的な転移学習のための学習モデル選択手法の検討, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 2017 年 11 月.

[発表 8] 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検討, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 2017 年 11 月.

[発表 9] 高野晃洋, 近藤正章, 中村宏:すれ違い時の携帯端末相互接続を利用した高精度屋内位置推定システムの検討, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 2017 年 11 月.

[発表 10] 石井潤, 坂本龍一, 近藤正章:DNN 向けニューロン毎の量子化ビット幅最適化に関する評価, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 2018 年 1 月.

[発表 11] 三吉郁夫, 三輪忍, 井上弘士, 近藤正章:DFS/DCT 制御による電力あたり性能の実行時最適化, 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューテング研究会, 2018 年 2 月.

特記事項

[特記 1] Publicity Chair, IEEE Cluster, 2017.

[特記 2] Program Committee, 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2017), 2017.

[特記 3] Program Committee, 2017 International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED2017), 2017.

[特記 4] Program Committee, 22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC), 2018.

[特記 5] Program Committee, 2017 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS-2018), 2018.

[特記 7] 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 幹事, 2017 年.

階層型行列法のメニーコアプロセッサにおける最適化手法の研究

星野 哲也

1 概要

昨年度当センターに導入されたスーパーコンピュータである Oakforest-PACS と Reedbush はそれぞれ、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) を搭載している。KNL と P100 は多数の演算コアを搭載することにより高い演算性能を達成するという点で共通しており、多数のコアを効率良く用いるための最適化技術が盛んに研究されている。本センターにおける筆者の主たるミッションは、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支援である。高度化支援の方法として、以下を行なっている。

- メニーコアプロセッサを効率的に用いるためのソフトウェア・ライブラリなどの開発
  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・ライブラリの開発など [査読付 1], [発表 1], [発表 2], [発表 3], [発表 5], [発表 8], [発表 9], [発表 4] を行なった。なおこれら研究の一部は、「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」のタイトルの元、日本学術振興会の研究活動スタート支援プログラムの支援により遂行した研究である。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、私は計算機科学の研究者として、計 4 つの課題に参加した。[査読付 2], [発表 7] 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、メニーコアプロセッサ向けの並列プログラミング言語である、OpenACC に関するプログラミング講習会の講師を担当した。[特記 4] [特記 5] [特記 6] [特記 7]。また、ユーザプログラムの高度化支援の一環として、新規イベントである OpenACC ハーフハッカソン [特記 2] の企画を中心となって行い、講師を担当した。さらに、国立台湾大にて行われた集中講義 [特記 3] 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。また次期システム導入に際しての仕様検討などを行なった。

以降では、2017 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プロセッサにおける最適化手法の研究」に関して記述する。

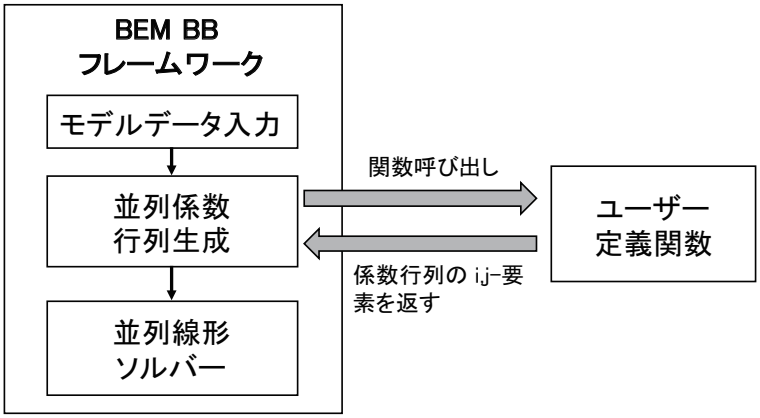


図 1: 境界要素法フレームワーク BEM-BB の構成

2 階層型行列法のメニーコアプロセッサにおける最適化手法の研究

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、本センターに導入された Oakforest-PACS や Reedbush システムも利用されている。メニーコアプロセッサの登場により演算性能が向上を続ける一方で、メニーコアプロセッサの備えるメモリ容量は汎用 CPU 向けのメモリの容量と比較して小さい。例えば Reedbush-H の計算ノードは、汎用 CPU のメモリ容量が 1 プロセッサあたり 128GB であるのに対し、P100 GPU 1 枚のメモリ容量は 16GB である。このような理由から、メニーコアプロセッサの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。メモリ容量不足の問題を回避するために、メニーコアプロセッサが持つ高速・小容量のメモリに加え、汎用 CPU の持つメモリや NVRAM などのより低速・大容量の記憶媒体を階層的に用い、データの局所性を高めることによりなるべく計算速度を落とさない手法や、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。階層型行列を用いる場合、密行列をそのまま用いる場合と比較して、計算量・必要メモリ量は共に $\mathcal{O}(N^2)$ から $\mathcal{O}(N\log N)$ へと減少する。ここで N は行列のサイズ（行数または列数）を表す。メモリ容量の観点から、階層型行列法はメニーコアプロセッサ向けの計算手法であると言えるが、今までメニーコアプロセッサ向けの応用研究はなされておらず、検討が必要とされている。

2.2 内容

本年は、主に以下の 2 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

2 に関しては現在論文投稿中であるため、本稿では 1 について説明する。なお、1 の詳細については [査読付 1] にて発表の予定である。図 1 に対象とした BEM-BB フレームワークの概要を示す。このフレームワークは、境界要素法を並列コンピュータ上で解くために用いられるフレームワークである。ユーザは境界要素法において最も重要な積分方程式を解くプログラムを、係数行列の i, j 要素を計算するユーザ定義関数として実装する。図 2 に示す通り、フレームワークはこのユーザ定義関数を用い、

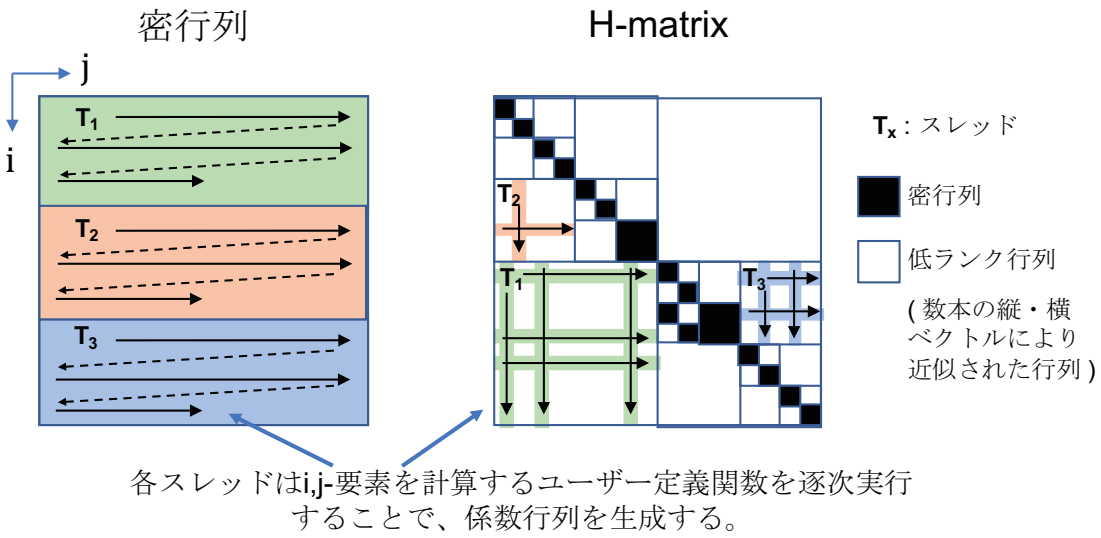


図 2: 並列係数行列生成部

並列に係数行列生成を行う。並列計算は多くの計算科学者にとって手間のかかるものであるが、本フレームワークでは OpenMP+MPI のハイブリッド並列がユーザ定義関数とは切り離して実装されているため、ユーザは並列計算を意識せずに、並列計算機の恩恵を得ることができる。

一方、近年のプロセッサでは必須となっている Single Instruction Multiple Data (SIMD) 並列計算に関しては、BEM-BB では考慮されていない。SIMD は命令レベルの並列計算であるため、ユーザプログラムとの切り離しが難しいためである。しかし、例えば Oakforest-PACS に搭載されている KNL は 512 bit の SIMD 演算機を搭載しているため、倍精度 (64 bit) の演算の場合、SIMD をうまく利用できなければ理論性能の 8 分の 1 の性能しか得られない。本研究では、SIMD 並列をユーザ定義関数から切り離し、ユーザが並列計算を意識せずとも SIMD 並列計算を利用できるよう、フレームワークデザインの検討を行ったものである。

2.3 具体的成果

2.3.1 SIMD 並列化のためのフレームワークデザイン

SIMD を利用するためには、以下の 3 つの方法が考えられる。

1. コンパイラの自動並列化
2. 指示文を利用した半自動並列化
3. Intrinsics と呼ばれる組み込み関数を用いた命令レベルの並列化

このうち (3) の intrinsics の利用は、明示的に SIMD を利用できる一方、ユーザプログラムと切り離しが困難であるため、本研究では (2) の指示文を利用する手法を検討した。

指示文による SIMD 並列においては、以下の 2 点が重要である。

1. コンパイラから見て、並列実行する命令の間にデータ依存性がないことが明らかであること
2. 並列実行命令への入力・出力データが連続領域に保存されていること

BEM-BB フレームワークにおいて、自動並列化・指示文による並列化がうまくいかない原因は、ユーザ関数呼び出しのインターフェースにある。図 3, 4 に、係数行列として密行列を生成する場合のユー

```
1  real(8) function user_func(i,j,st_bemv)
2     integer, intent(in) :: i, j
3     type(st_bembb), intent(in) :: st_bemv
4
5     ! ユーザ定義関数。係数行列のi,要素を計算する。j
6
7  end function user_func
```

図 3: ユーザ定義関数。対象とする積分方程式により計算内容は異なる。入力データは構造体 st_bemv により受け取る。

```
1  do i=lhp, ltp
2    do j=j_st, j_en
3      a(j,i) = user_func( i, j, st_bemv)
4    enddo
5  enddo
```

図 4: ユーザ定義関数の呼び出し部。a(j,i) は係数行列を表す。計算に必要なデータは構造体 st_bemv により受け渡す。

ザ関数、ユーザ関数呼び出し元を示す。ここでは、i, j 要素を計算するために必要なデータを、構造体により引き渡している。この場合、図 4 の 2 行目、j のループを並列実行するのが単純な方法であるが、単にここに!$omp simd 指示文を適用してもうまくいかない。構造体によりデータを引き渡しているため、入力データが連続になっているかどうか、コンパイラが判断できないためである。また、j ループの計算の間に依存性があるかどうかについてもコンパイラは判断できず、結果として SIMD 化されていない効率の悪いプログラムが生成される。係数行列として $\mathcal{H}$-matrix を生成する場合も問題は同様である。

そこで、SIMD 化を促進するフレームワークデザインでは、構造体へのデータアクセス部分と演算部分の分離を行った。図 5, 6, 7 はそれぞれ、データアクセス部、演算部、呼び出し部の擬似コードである。並列化されるループは図 7 の 14 行目にあたるループであるが、このループは入力と出力がループ要素毎に完全に独立していることが容易に判定できるため、コンパイラによって並列化が可能である。また並列実行される関数である vectorize_func(図 6) の 2 行目において、!$omp declare simd 指示文を宣言することにより、この関数が並列実行可能であることを示している。このような方針による SIMD 並列化は多くのアプリケーションにおいて可能であるが、並列化すべき演算部分が相対的にデータアクセス部より重い必要がある。

上記の並列化方針をベースとし、ある程度最適化された SIMD 指示文を自動的に挿入するフレーム

```
1  subroutine set_args(i,j,st_bemv,darg1,darg2,...,dargN,iarg1,iarg2,...,iargM)
2     integer, intent(in) :: i, j
3     type(st_bembb), intent(in) :: st_bemv
4     real(8), intent(out) :: darg1,darg2,...,dargN
5     integer, intent(out) :: iarg1,iarg2,...,iargM
6
7     ! 演算部分で使うデータをあらかじめスカラ変数に保存する。SIMD
8
9  end subroutine set_args
```

図 5: 構造体へのデータアクセスを行う関数。この関数は逐次に実行され、引数の数はユーザが決定する。

```
1  real(8) function vectorize_func(darg1,darg2,...,dargN,iarg1,iarg2,...,iargM)
2     !$omp declare simd simdlen(SIMDLENGTH)
3     real(8), intent(in) :: darg1,darg2,...,dargN
4     integer, intent(in) :: iarg1,iarg2,...,iargM
5
6     ! ユーザ定義関数。係数行列のi,要素を計算する。j
7
8  end function vectorize_func
```

図 6: SIMD 並列により実行する関数。計算内容は図 3 と同一だが、図 5 により作られたスカラ変数を入力として計算する。SIMDLENGTH はターゲットとするプロセッサの SIMD 長で、コンパイラオプションとして指定する。

```
1  real(8),dimension(SIMDLENGTH) :: ans
2  real(8),dimension(SIMDLENGTH) :: darg1,darg2,...,dargN
3  integer,dimension(SIMDLENGTH) :: iarg1,iarg2,...,iargM
4     ...
5  do i=lhp, ltp
6     do jj=j_st, j_en, SIMDLENGTH
7        ii = 1
8        do j=jj,min(jj+SIMDLENGTH-1,j_en)
9           call set_args(i,j,st_bemv,darg1(ii),darg2(ii),...,dargN(ii) &
10                           ,iarg1(ii),iarg2(ii),...,iargM(ii))
11          ii = ii+1
12       end do
13       !$omp simd
14       do ii = 1, SIMDLENGTH
15          ans(ii) = vectorize_func(darg1(ii),darg2(ii),...,dargN(ii) &
16                           ,iarg1(ii),iarg2(ii),...,iargM(ii))
17       end do
18       ii = 1
19       do j=jj,min(jj+SIMDLENGTH-1,j_en)
20          a(j,i) = ans(ii)
21          ii = ii+1
22       end do
23    enddo
24 enddo
```

図 7: SIMD を考慮したユーザ定義関数の呼び出し部。

ワークを構築した。詳細は [査読付 1] をご覧いただきたい。

2.3.2 静電場解析によるフレームワークの評価

構築したフレームワークを静電場解析により比較評価した。静電場解析の対象として、地面から 0.25m の高さに設置され、1V の電位を持つ、半径 0.25m の 2 種類の球体を用いた。一方が完全導体であり、もう一方が誘電体である。完全導体・誘電体それぞれで積分方程式が異なり、従ってユーザ定義関数も異なる。SIMD 化に際しての両者の違いは、分岐の有無である。完全導体のユーザ関数には分岐が含まれない（log, atan2 などの組み込み関数中で分岐が発生する可能性はある）が、誘電体のユーザ関数には分岐が含まれており、SIMD 化時の効率に悪影響を及ぼすと考えられる。以上の 2 種類のユーザ定義関数を用い、係数行列として密行列を生成した場合、$\mathcal{H}$-matrix を生成した場合の実行時間を比較した。BEM-BB の利用の際には、係数行列として $\mathcal{H}$-matrix を生成することを推奨しているが、$\mathcal{H}$-matrix の生成には部分行列の低ランク近似のための処理を必要とする。SIMD 向けデザインにおいて SIMD 化されるのはあくまでユーザ定義関数であるため、近似のための処理は SIMD 向けデ

表 1: プロセッサスペック

略称	名称	コア数	理論性能 (倍精度)	SIMD 長
BDW	Intel Xeon E5-2695 v4	18	605 GFlops	256 bit
KNL	Intel Xeon Phi 7250	68	3,046 GFlops	512 bit

表 2: オリジナルの BEM-BB と SIMD 向け BEM-BB の実行時間の比較と高速化率。

	完全導体				誘電体			
	KNL		BDW		KNL		BDW	
	$\mathcal{H}$-matrix	密行列	$\mathcal{H}$-matrix	密行列	$\mathcal{H}$-matrix	密行列	$\mathcal{H}$-matrix	密行列
オリジナル BEM-BB 実行時間 (sec)	10.00	215.0	10.51	233.2	13.07	249.5	13.53	265.5
SIMD 向け BEM-BB 実行時間 (sec)	2.307	32.47	4.728	95.61	3.167	44.11	7.140	126.10
高速化率	4.33	6.62	2.22	2.43	4.12	5.65	1.89	2.11

ザインにおいても高速化しない。一方密行列を生成する場合、実行時間は純粋にユーザ定義関数の速度に依存するため、今回の評価に適している。

評価に用いたプロセッサは、Oakfores-PACS に搭載された KNL と、Reedbush に搭載された Intel Xeon Broadwell (BDW) である。それぞれのスペックの詳細を表 1 に示す。コンパイラには Intel コンパイラ 18.0.1 を用い、BDW 向けには `-align array64byte -xAVX2 -qopenmp -O3 -fpp -ipo -lm -qopt-report=5 -DSIMDLENGTH=4`、KNL 向けには `-align array64byte -xMIC-AVX512 -qopenmp -O3 -fpp -ipo -lm -qopt-report=5 -DSIMDLENGTH=8` をオプションとして用いた。

評価結果を表 2 に示す。完全導体と誘電体で傾向は概ね一致しているが、誘電体の方が全体的に高速化率が小さい。これは分岐の影響により、SIMD 並列の効率が低くなったためであると考えられる。KNL における密行列生成の高速化率を見ると、完全導体では 6.62 倍の高速化を達成している。KNL における SIMD 並列による高速化の理論値は 8.0 倍であるため、6.62 倍は十分な高速化率であると言える。

今後、他のケースにおいても本手法が有効であるかどうか、評価を行う予定である。

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 (accepted).

[査読付 2] 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), June 2018 (accepted).

その他の発表論文

[発表 1] Tetsuya Hoshino, Satoshi Ohshima, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima, Akihiro Ida: Pascal vs KNL: Performance Evaluation with ICCG Solver, Research Poster Session, ISC High Performance 2017 (Frankfurt, Germany, June 18-22, 2017) (ポスター発表)

[発表 2] Takashi Shimokawabe, Tetsuya Hoshino: Accelerated computing research activities of ITC, the University of Tokyo, Accelerated Data Analytics and Computing (ADAC) Workshop - July 17-18, 2017 - San Jose, California

[発表 3] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, Toshihiro Hanawa, and Kengo Nakajima,“ Performance Evaluations and Optimizations of H-Matrices for Many-Core Processors ”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 4] 塙 敏博, 星野 哲也, 中島 研吾, 大島 聡史, 伊田 明弘: GPU 搭載スーパーコンピュータ Reedbush-H の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2017-HPC-159(9), pp. 1–6, 2017 年 4 月.

[発表 5] 星野 哲也, 伊田 明弘, 塙 敏博, 中島 研吾: 階層型行列法ライブラリ HACApK を用いたアプリケーションのメニーコア向け最適化，情報処理学会研究報告, 2017-HPC-160(15), pp. 1–10, 2017 年 7 月.

[発表 6] 塙 敏博，伊田 明弘，星野 哲也: 階層型行列計算の FPGA への適用，情報処理学会研究報告, 2017-HPC-161(10), pp. 1–10, 2017 年 9 月.

[発表 7] 野村 行弘，佐藤 一誠，塙 敏博，花岡 昇平，中尾 貴祐，竹永 智美，佐藤 大介，星野 哲也，関谷 勇司，大島 聡史，林 直人，阿部 修，スーパーコンピュータ上での Deep Learning 学習環境の初期構築，電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, no. 281, MI2017-47, pp.1-2, 2017 年 11 月.

[発表 8] 中島 研吾，星野 哲也，成瀬 彰，塙 敏博，三木 洋平：有限要素法における係数行列生成部のマルチコア・メニィコア向け最適化，情報処理学会研究報告，2018-HPC-163(28), pp. 1–8, 2018 年 2 月.

[発表 9] 塙 敏博，伊田 明弘，星野 哲也：OpenCL を用いた FPGA による階層型行列計算，情報処理学会研究報告，2018-HPC-163(26), pp. 1–8, 2018 年 2 月.

特記事項

[特記 1] Publicity Chair, International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia), 2018

[特記 2] OpenACC ハーフハッカソン 企画・講師を担当

[特記 3] 國家理論科學研究中心數學組 2017 年暑季課程「用超級電 腦做科學計算」(Scientific Computing on Supercomputer) , 一部の講師を担当

[特記 4] 第 75 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」, 2017 年 4 月 12 日, 講師を担当

[特記 5] 第 81 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」, 2017 年 7 月 11 日 ∼12 日, 一部の講師を担当

[特記 6] 第 86 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」, 2017 年 10 月 4 日, 一部の講師を担当

[特記 7] 第 87 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」, 2017 年 10 月 31 日 ∼11 月 1 日, 一部の講師を担当

銀河の形成・進化史探求のためのコード開発および銀河考古学の進展

三木 洋平

1 概要

10 月付けでスーパーコンピューティング研究部門に着任したため、まずは前所属である筑波大学計算科学研究センター在籍時から行っていた宇宙物理学の研究活動に継続的に取り組んだ。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。また着任後に新たに取り組み始めたこととしては、GPU を用いての科学技術計算の普及活動や共同研究体制の構築（§5）及びスーパーコンピューティング研究部門における業務の遂行（§6）があげられる。

2 N 体計算コード GOTHIC の Pascal 世代の GPU 向け最適化

本節では、GPU 向けに最適化された N 体計算コード `GOTHIC` (Gravitational Oct-Tree code accelerated by HIerarchical time step Controlling, developed by Miki & Umemura 2017 [1]) の Pascal 世代の GPU 向け最適化について紹介する。`GOTHIC` の開発については、[発表 1, 発表 2, 特記 1, 特記 2] においても紹介した。

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

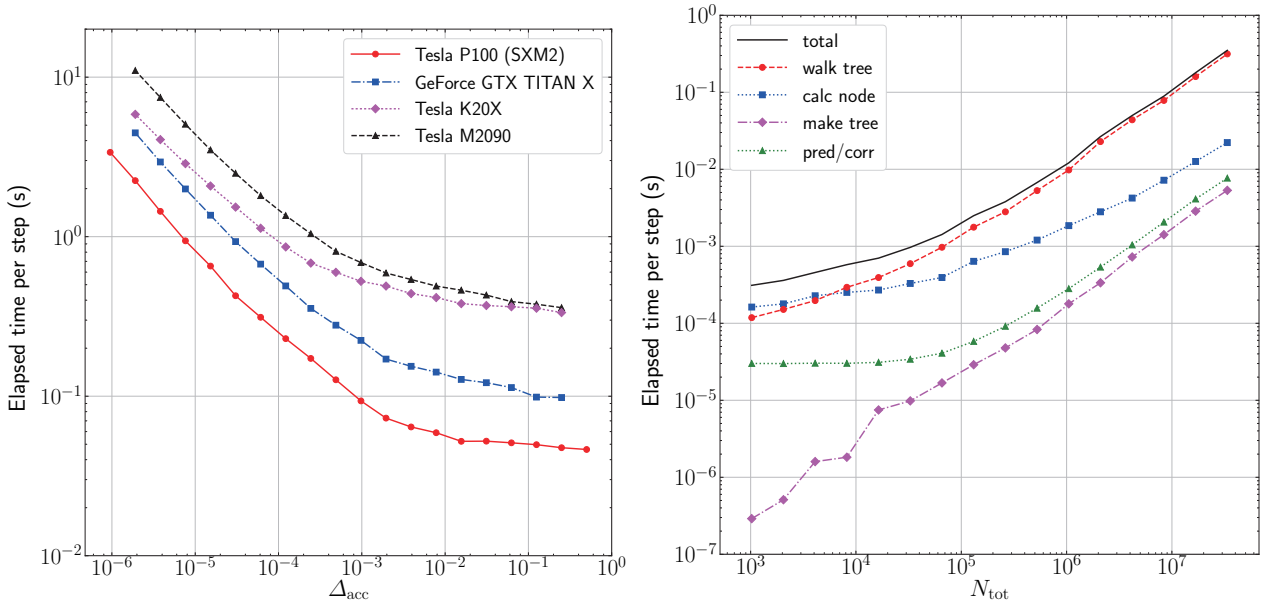
$$\boldsymbol{a}_i = \sum_{j=0,j\neq i}^{N-1} \frac{G m_j \left(\boldsymbol{r}_j - \boldsymbol{r}_i\right)}{\left(\left|\boldsymbol{r}_j - \boldsymbol{r}_i\right|^2 + \epsilon^2\right)^{3/2}}, \tag{1}$$

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（Barnes & Hut 1986 [2]）や階層化時間刻み法（McMillan 1986 [3]）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。しかし、Miki & Umemura (2017) の研究において対象とされた GPU の世代は Fermi, Kepler, Maxwell の 3 世代のみであり、Reedbush-H/L や TSUBAME 3.0 などの最近導入されたスパコンに搭載されている Pascal 世代の GPU 向けの最適化は施されていなかった。

[1] 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.

[2] Barnes, J. and Hut, P.: A hierarchical O(N log N) force-calculation algorithm, *Nature*, 324, pp.446–449 (4pp), Dec., 1986.

[3] McMillan, S. L. W.: The Vectorization of Small-N Integrators, *Lecture Notes in Physics*, 267, 156, 1986.



(a) 実行時間の計算精度依存性。計算精度の制御パラメータ $\Delta_{\rm acc}$ (b) 実行時間の粒子数依存性。NVIDIA Tesla P100 上での 1 ス に対して、$N = 2^{23} = 8,388,608$ の N 体計算に要する 1 ス テップあたりの実行時間を全粒子数 $N_{\rm tot}$ の関数として示した。テップあたりの実行時間を示した。赤丸、青の四角形、マゼンタ 赤丸は重力計算、青の四角形はモーメントの計算、緑の三角の菱形、黒の三角形がそれぞれ NVIDIA Tesla P100, NVIDIA 形は予測子・修正子法による時間積分、マゼンタの菱形はツ GeForce GTX TITAN X, NVIDIA Tesla K20X, NVIDIA Tesla リー構築の寄与、黒の実線がこれら全ての総和である。 M2090 上での測定結果である。

図 1: GOTHIC の性能測定結果。

2.2 内容

Pascal 世代の GPU 向け最適化として、スレッドブロックあたりに割り当てるスレッド数などのコード内のパラメータを調整した。パラメータの調整については、筑波大学計算科学研究センターの Pre-PACS-X に搭載された NVIDIA Tesla P100 を用いた。また、Pascal 世代の GPU においてはストリーミングマルチプロセッサあたりのシェアードメモリの容量が増え、さらに L1 キャッシュとは独立した扱いとなった。したがって、以前の世代向けの実装よりも積極的にシェアードメモリを使用することが性能向上に寄与すると考えられるため、シェアードメモリの使い方についても調整を施した。

2.3 具体的成果

TSUBAME 3.0 に搭載された NVIDIA Tesla P100 を用いた性能測定結果を図 1 に示す。GOTHIC による重力計算では、ツリーノードのサイズ l_j が重力計算の精度を制御するパラメータ $\Delta_{\rm acc}$、前のステップでの加速度の値 $\boldsymbol{a}_i^{\rm old}$ に対して

$$\frac{G m_j}{{r_{ij}}^2} \left(\frac{l_j}{r_{ij}} \right)^2 \leq \Delta_{\rm acc} \left| \boldsymbol{a}_i^{\rm old} \right| \tag{2}$$

という条件を満たした際に重力計算を実行している（Springel 2005 [4]）。性能測定時に用いた粒子分布はアンドロメダ銀河（M31）を模したモデルであり、NFW ハロー、Hernquist バルジ、銀河円盤によって構成されている。NVIDIA Tesla M2090, K20X を用いての測定は筑波大学計算科学研究センターの HA-PACS を用いたものであり、NVIDIA GeForce GTX TITAN X 上での測定結果とあわせて Miki & Umemura (2017) において報告済みの測定結果である。図 1a からは、NVIDIA Tesla P100 を用いた場

[4] Springel, V.: The cosmological simulation code GADGET-2, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 364, pp.1105–1134, Dec., 2005.

合が他の GPU を用いた場合に比べて常に高速であり、Fermi 世代の GPU である NVIDIA Tesla M2090 に比べて約 8 倍速いことが分かる。この 8 倍という数字は、両 GPU の単精度での理論ピーク性能比と丁度対応する数字である。また、図 1b に示すように、NVIDIA Tesla P100 上では $N = 30$M までの計算が実行できており、実行時間のスケーリングがおよそ $\propto N$ となることが分かった。

ここで開発した GOTHIC を用いての宇宙物理学の研究は既に成果をあげ始めており、[査読付 1, 査読付 2, 発表 1, 発表 2, 発表 5] で報告済みである。また、2018 年度の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）公募型共同研究課題として採択された「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」（課題番号：jh180045）においても GOTHIC を活用して研究を遂行する計画となっている。

3 銀河の多成分力学平衡モデル生成コード MAGI の開発

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 3, 発表 3, 公開 1] について紹介する。

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。特に、天の川銀河に代表される円盤銀河の多くは厚い円盤と薄い円盤の 2 成分の円盤成分を持つことが知られている（Dalcanton & Bernstein 2002 [5]; Yoachim & Dalcanton 2006 [6]）ため、複数の円盤成分を表現できることが望ましい。さらに、銀河の質量やサイズ、各成分の質量分布に対する依存性を調べるためには、これらを手軽に変更できることも重要であるが、こうした望ましい性質を全て備えた初期条件生成コードは存在しない。例えば、代表的な初期条件生成コードである GalactICS（Kuijken & Dubinski 1995 [7]; Widrow et al. 2003 [8]）では、バルジ・ハロー・円盤からなる粒子系を力学平衡系として表現できるが、球対称成分の密度プロファイルを変更することはできない。

3.2 内容

本研究では、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 MAGI を開発した [査読付 3]。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

$$f_i(\mathcal{E}) = \frac{1}{\sqrt{8}\pi^2}\left[\int_0^{\mathcal{E}} \mathrm{d}\Psi \, \frac{1}{\sqrt{\mathcal{E}-\Psi}} \frac{\mathrm{d}^2\rho_i}{\mathrm{d}\Psi^2} + \frac{1}{\sqrt{\mathcal{E}}} \left.\frac{\mathrm{d}\rho_i}{\mathrm{d}\Psi}\right|_{\Psi=0}\right], \quad \text{where } \Psi = \sum_{i=1}^{N} \Psi_i, \tag{3}$$

を用いて分布関数 $f_i(\mathcal{E})$ を作成し、この分布関数に従う粒子分布を生成することで多様なモデルやその重ね合わせを力学平衡な粒子分布として表現できる。ここで、$\mathcal{E}$ および Ψ は質量あたりのエネルギーおよびポテンシャルに対応する量、$\rho(r)$ は密度プロファイル、添字の i は i 番目の成分であることを示す。また、式（3）中の第 1 項については

$$\frac{\mathrm{d}^2\rho_i}{\mathrm{d}\Psi^2} = \left(\frac{r^2}{GM(r)}\right)^2 \left[\frac{\mathrm{d}^2\rho_i}{\mathrm{d}r^2} + \frac{\mathrm{d}\rho_i}{\mathrm{d}r}\left(\frac{2}{r} - \frac{4\pi r^2 \sum_i \rho_i(r)}{M(r)}\right)\right], \tag{4}$$

[5] Dalcanton, J. J. and Bernstein, R. A.: A Structural and Dynamical Study of Late-Type, Edge-on Galaxies. II. Vertical Color Gradients and the Detection of Ubiquitous Thick Disks, *Astronomical Journal*, 124, pp.1328–1359, Sep., 2002.

[6] Yoachim, P. and Dalcanton, J. J.: Structural Parameters of Thin and Thick Disks in Edge-on Disk Galaxies, *Astronomical Journal*, 131, pp.226–249, Jan., 2006.

[7] Kuijken, K. and Dubinski, J.: Nearly Self-Consistent Disc / Bulge / Halo Models for Galaxies, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 277, 1341, Dec., 1995.

[8] Widrow, L. M., Perrett, K. M., and Suyu, S. H.: Disk-Bulge-Halo Models for the Andromeda Galaxy, *Astrophysical Journal*, 588, pp.311–325, May, 2003.

として、半径 r 内の全質量 $M(r)$ を用いて書き替えた上で数値積分を実行する。第 2 項は無限遠方での密度勾配に対応するため、この項は落ちる。

円盤成分については `GalactICS`（Kuijken & Dubinski 1995; Widrow et al. 2003）の実装を改良し、厚さの異なる複数の円盤成分を持った粒子系を生成できるように拡張した。円盤成分の密度分布としては面密度 $\Sigma(R)$ を指定したうえで、高さ方向については等温モデルとなる

$$\rho(R,z) \propto \Sigma(R) \exp\left[-\frac{\Phi(R,z)-\Phi(R,0)}{\Phi(R,z_{\rm d})-\Phi(R,0)}\right], \tag{5}$$

というものを仮定した。したがって密度分布 $\rho(R,z)$ がポテンシャル $\Phi(R,z)$ の関数となるが、一方で Poisson 方程式

$$\nabla^2\Phi = 4\pi G\rho \tag{6}$$

はポテンシャル $\Phi(R,z)$ を密度分布 $\rho(R,z)$ の関数として与えるため、両者が整合的になる組み合わせ（potential–density pair）を求めなければならない。本研究では、ILU(0) による前処理を施した BiCGSTAB 法を用いての Poisson 方程式の求解と、与えられたポテンシャル場を用いての密度場の再設定とを、結果が収束するまで繰り返すことによって potential–density pair を数値的に求めることとした。円盤成分を構成する粒子の速度分布については、Schwarzschild の分布関数

$$f_{\rm Sch}(L_z,z) \propto \exp\left[-\frac{{v_R}^2+\gamma^2\left\{v_\phi-v_{\rm c}(R_{\rm g})\right\}^2}{2{\sigma_R}^2(L_z)}-\frac{{v_z}^2}{2{\sigma_z}^2(L_z)}\right], \tag{7}$$

を採用した。

3.3 具体的成果

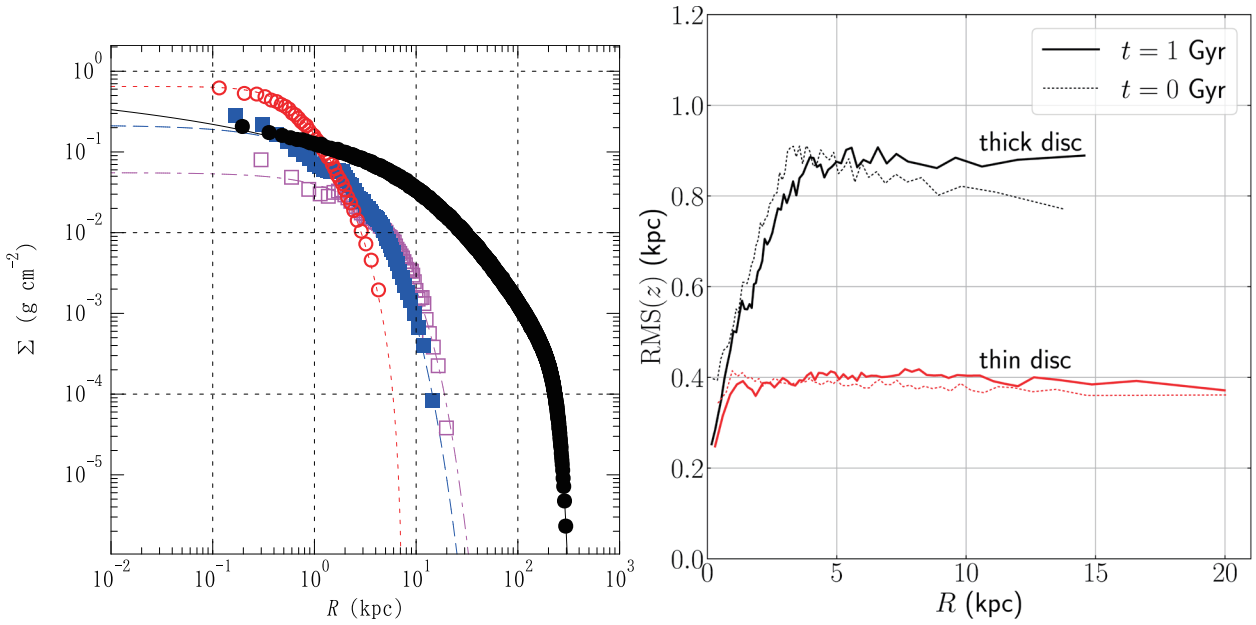
早期型銀河のモデルとして、ダークマターハロー、バルジ、厚い銀河円盤、薄い銀河円盤の 4 成分からなる軸対称銀河モデルを $2^{23} = 8,388,608$ 粒子で表現し、1 Gyr だけ時間発展させた結果を図 2 に示す。この図から、生成した粒子分布が長時間に渡って力学平衡状態にあること、2 成分の銀河円盤モデルを適切に設定できていることが確認できた。

初期条件生成コードの性能としては、実行時間も重要である。図 3 には AMD Ryzen Threadripper 1950X 上での `MAGI` の実行時間を示した。コンパイルには AOCC 1.1 を用い、コンパイルオプションとしては `-O3 -ffast-math -funroll-loops -march=znver1 -fopenmp` を指定した。生成した粒子分布はダークマターハロー、恒星ハロー、バルジ、銀河円盤からなるモデルである。図 3 からは銀河円盤の potential–density pair 生成に要する時間（図中の calc_disk）が支配的であるが、$N \lesssim 10^8$ の場合には 2 分程度という短時間で粒子分布が生成できることが確かめられた。

以上の成果は [発表 3] において発表し、論文も出版済み [査読付 3] であり、ソースコードも公開 [公開 1] している。また、`MAGI` を用いた宇宙物理学の研究も既に実施している [発表 5, 査読付 1, 査読付 2]。§2 で紹介した `GOTHIC` と同様に、2018 年度の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）公募型共同研究課題として採択された「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」（課題番号 : jh180045）においても `MAGI` を活用して研究を遂行する計画となっている。

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 [査読付 1, 査読付 2]。



(a) 早期型銀河モデルの面密度プロファイルの安定性 (b) 早期型銀河モデルの銀河円盤の厚みの安定性（[査読付 3] ([査読付 3] の Figure 2 を転載)。黒丸がダークマターハロー、の Figure 3 を転載)。厚い銀河円盤と薄い銀河円盤それぞれに赤丸がバルジ、青の四角形が厚い銀河円盤、マゼンタの四角 対して、実線で $t = 1$ Gyr における厚みを、点線で初期条件に形が薄い銀河円盤の $t = 1$ Gyr における粒子データに対応し、おける厚みを示した。
黒の実線、赤の点線、青の破線、マゼンタの一点鎖線がそれ
ぞれの成分の初期プロファイルを示している。

図 2: 早期型銀河モデルの安定性。

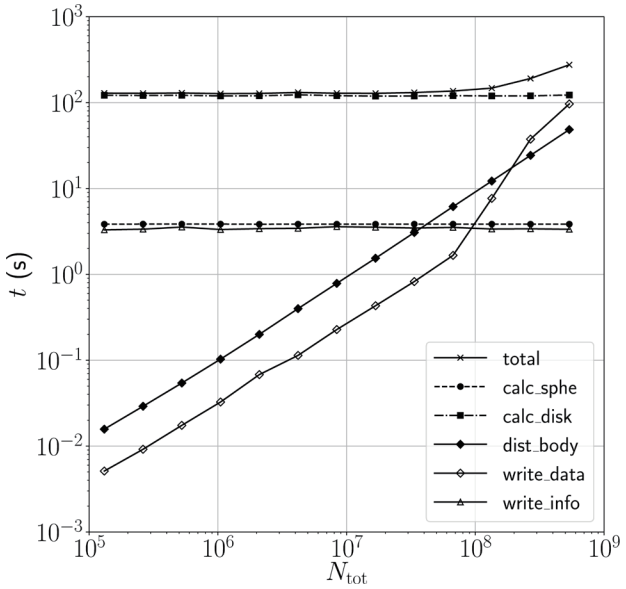


図 3: MAGI の実行時間。

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（Moore et al. 1999 [9]; Ishiyama et al. 2009 [10]）。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 (2012) によって提案されており、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。図 4a 中のグレーの領域は Richardson et al. (2011)[11]の Figure 1 に掲載された M31 ハロー周辺の恒星分布を示しており、M31 の中心領域から赤丸の領域（北西方向）に向かって伸びている細長い構造が NW ストリームである。

4.2 テスト粒子を用いた研究による成果

NW ストリームを N 体計算を用いて再現するための準備として、まずはテスト粒子を用いたパラメータ探査を遂行し、NW ストリームの母天体の軌道要素を制限した [査読付 1]。この際に、NW ストリームの見かけの構造に加えて、NW ストリームに沿って分布することが報告された 5 つの球状星団（Veljanoski et al. 2014 [12]）の視線速度のデータも用いた。全 5,068,617 モデルに及ぶパラメータ探査の結果として、（1）NW ストリームの母天体は M31 中心から 2 kpc 以内の領域には侵入できないこと、（2）NW ストリームを再現可能な軌道要素はストリームが M31 の手前側に形成される場合と奥側に形成される場合の 2 通りのブランチがあることが分かった。このうち（1）の結果は母天体が M31 から受ける潮汐力の上限値を与えることとなり、観測されている光度分布を説明するためには母天体の質量が $2 \times 10^6 M_\odot$ 以上、サイズが 30 pc 以上なければいけないことが分かった。このことから、NW ストリームの母天体が球状星団ではなく矮小銀河であることが確かめられた。また（2）の不定性は、NW ストリームまでの距離測定がなされていなかったために生じたものであり、距離観測を遂行することでどちらか一方のブランチが棄却される。

4.3 Subaru/HSC を用いた観測結果との比較

理論的な研究だけでは NW ストリームの形成過程の全てを明らかにすることはできないため、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam（HSC）を用いて M31 のハロー領域のうち約 9.2 平方度を対象としたサーベイ観測を行った [査読付 2]。Subaru/HSC サーベイの観測領域は図 4a 中の赤丸で囲った領域であり、Red Clump 星を用いての距離推定に成功し、NW ストリームが M31 本体よりも遠方に位置していることが分かった。この結果から、NW ストリームの母天体の軌道要素に対する制限が強まり、構造を再現可能な軌道の数は距離データを用いない場合の 10%程度となった。NW ストリームの母天体を質量 $5 \times 10^7 M_\odot$, スケール長 1 kpc の Plummer 球としたときの N 体計算の結果を、図 4 の (b), (c)

[9] Moore, B. et al.: Dark Matter Substructure within Galactic Halos, *Astrophysical Journal Letters*, 524, L19–L22, Oct., 1999.

[10] Ishiyama, T., Fukushige, T., and Makino, J.: Variation of the Subhalo Abundance in Dark Matter Halos, *Astrophysical Journal*, 696, pp.2115–2125, May, 2009.

[11] Richardson, J. C. et al.: PAndAS' Progeny: Extending the M31 Dwarf Galaxy Cabal, *Astrophysical Journal*, 732, 76 (14pp), May, 2011.

[12] Veljanoski, J. et al.: The outer halo globular cluster system of M31 - II. Kinematics, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 442, pp.2929–2950, Aug., 2014.

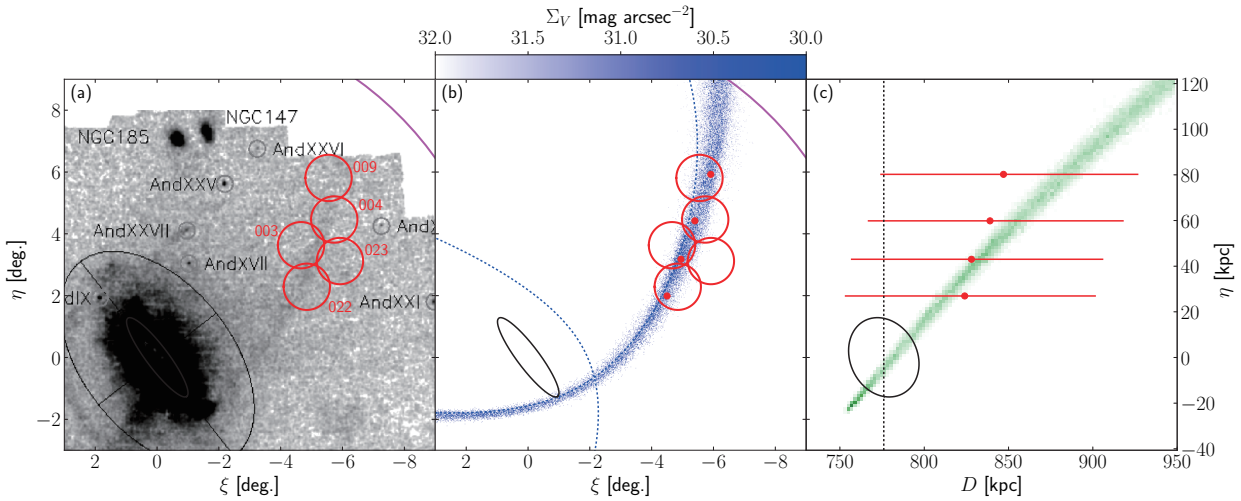


図 4: NW ストリームの 3 次元構造（[査読付 2] の Figure 16 を転載）。M31 周辺の恒星分布（Richardson et al. (2011) の Figure 1）を (a) に示した。N 体シミュレーションの結果は天球面上での表面輝度分布を (b) に、奥行構造を (c) に示した。赤の円または誤差棒付きのデータ点は Subaru/HSC サーベイの観測領域（a, b）または NW ストリームまでの距離測定の結果（c）である。

に示した。初期条件の生成には MAGI を、N 体計算には GOTHIC を用い、数値計算は筑波大学計算科学研究センターの HA-PACS 上で実行した。図 4 からは、観測された構造が N 体計算によってよく再現されていることが分かる。こうした結果は、NW ストリームをプローブとして用いたダークマターサブハロー検出に向けての準備が着々と進行していることを強く示唆するものである。

5 GPGPU の普及活動

本節では、東北大学において行った GPU 講習会 [特記 1] について報告する。

5.1 背景

東北大学の天体理論グループからの依頼を受けて、初心者を対象とした GPU 講習会を開催した。

5.2 内容

GPU の特性、CUDA 環境の構築からはじめて、ベクトルの積和算を例とした簡単な CUDA コードの記述と性能測定結果の紹介、直接法による N 体計算を例に GPU を対象とした性能チューニングについても紹介した。

5.3 具体的成果

東北大学の天体理論グループで運用していた NVIDIA Tesla P100 を用いて実際の研究のためのテスト計算が走らせられるようになり、また今回の講習会をきっかけとして共同研究を開始することとなった。該当する共同研究は、2018 年度の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）公募型共同研究課題として採択された「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」（課題番号：jh180045）である。

6 業務関連

現在調達作業が進行中である Oakbridge-II の導入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 SC17 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、Oakleaf-FX、Oeakbridge-FX の定例会に、HPCI 関連の業務として作業部会や共用ストレージの課題検討会議、富士通との間で開催されている HPCI 共用ストレージ東拠点システム定例会に出席した。

2017 年 10 月 27 日、28 日に開催された 東京大学柏キャンパス 一般公開 2017 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。その他にも、2018 年 2 月 27 日に教養学部 1 年生が Oakforest-PACS を見学した際の対応、2018 年 3 月 23 日に NTNU の学生が来訪した際の見学対応及び研究紹介 [特記 2] など、一般社会や学生に向けてのアウトリーチ活動を行った。

また、2018 年 1 月 13 日には大学入試センター試験の 1 日目の試験監督を務めた。

7 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 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 (筑波大在籍時).

[査読付 2] 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, *Astrophysical Journal*, 853, 29 (21pp), Jan., 2018.

[査読付 3] 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, `https://bitbucket.org/ymiki/magi`, Dec., 2017.

その他の発表論文

[発表 1] Yohei Miki: Acceleration of Gravitational Octree Code on GPU and Its Applications to Astrophysics, LBNL/CRD - TSUKUBA/CCS Meeting, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, Apr., 2017 (筑波大在籍時).

[発表 2] 三木洋平: 重力多体計算コードの GPU 実装と将来展望, ITC セミナー, 東京大学, 2017 年 5 月（筑波大在籍時）.

[発表 3] 三木洋平, 梅村雅之: 銀河の多成分力学平衡分布生成コード MAGI の開発, 日本天文学会 2017 年秋季年会, R37a, 北海道大学, 2017 年 9 月（筑波大在籍時）.

[発表 4] 小宮山裕, 千葉柾司, 田中幹人, 田中賢幸, 桐原崇亘, 三木洋平, 森正夫, Lupton, R. H., Guhathakurta, P., Kalirai, J. S., Gilbert, K., Kirby, E., Lee, M. G., Jang, I. S., Sharma, S., 林航平: Hyper Suprime-Cam で探るアンドロメダ銀河の恒星ストリームとハロー構造, 日本天文学会 2018 年春季年会, R17a, 千葉大学, 2018 年 3 月.

[発表 5] 桐原崇亘, 三木洋平, 森正夫, 小宮山裕, 千葉柾司, 田中幹人, 田中賢幸, 林航平, 他: アンドロメダ銀河 North-Western ストリームの形成過程, 日本天文学会 2018 年春季年会, R18a, 千葉大学, 2018 年 3 月.

特記事項

[特記 1] 三木洋平: GPU 講習会（CUDA 講習会）, 東北大学, 2017 年 11 月.

[特記 2] Yohei Miki: Acceleration of N-body simulation and hunting a wandering supermassive black hole in M31 halo, lecture for undergraduate students at NTNU (Norwegian University of Science and Technology), 2018 年 3 月.

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手法（低ランク近似、不完全分解近似）を適用し、数値線形代数計算の省メモリ化・高速化を通じて、大規模シミュレーションを実行可能にするための研究を行った。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（図1参照）。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

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、$O(N)$~$O(N\log^p N)$のメモリ量および計算量で解析を行うことが可能となる。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。

- 新しい低ランク構造行列法の提案

  構造階層型行列法(Lattice $\mathcal{H}$-matrices)と名付けた新手法を提案した[査読付 2、招待 1、発表 1]。構造階層型行列法は、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手法であり、分散メモリ並列計算で効率的な演算を行うことを目的に考案した。構造階層型行列生成および構造階層型行列・ベクトル積演算を MPI 並列計算で行うための計算割当て方式および MPI 通信パターンについては、

分散メモリ BLR 行列法の研究成果[査読付 6、発表 2]を活用した。第 2 節で、構造階層型行列法について、より詳しく述べる。

- 低ランク構造行列法の適用範囲拡大

  低ランク構造行列法の中で最も豊かな表現力を持つ階層型行列法を、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 4、査読付 11、発表 18]。マイクロマグネティクス計算に基づくシミュレーション（スピントルク振動子および磁壁駆動）に対して、階層型行列法を適用し、様々な条件下（モデル形状・メッシュ数・必要精度・使用計算機）で有効性を検証した[査読付 7、査読付 10]。低ランク構造行列法において、各部分行列の近似に使用される低ランク近似手法(R-SVD 法、ACA 法、RR-QR 法など)について比較検討を行った[招待 2、発表 3、発表 10]。

- 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 5、発表 9、発表 11、発表 12、発表 15、発表 19]。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 3]。FPGA を用いた 階層型行列計算について、検討・実装・評価を行った[発表 7、発表 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 16]。

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 の開発を行い、関連する講演を行った [査読付 9、招待 3]。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 1]。

③ クリロフ部分空間法に関わる研究

- 悪条件問題に対するクリロフ部分空間法前処理

  条件数が大きく、不定値で、非優対角である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。対角シフトとブロック不完全コレスキー分解を用いた行列正則化付き前処理手法を提案し、通常のICCG法では収束解が得られない問題に対しても効果があることを確かめた [発表 4、招待 3]。

- 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方法を提案した[査読付 8、発表 13]。ICCG 法ソルバの行列格納形式および並列処理のための色付け手法について、最適な組み合わせを Pascal GPU および Intel Xeon Phi 上で調べた [発表 17]。

第 2 節において、①の第 1 項目ついて、背景、内容および具体的成果を記述する。

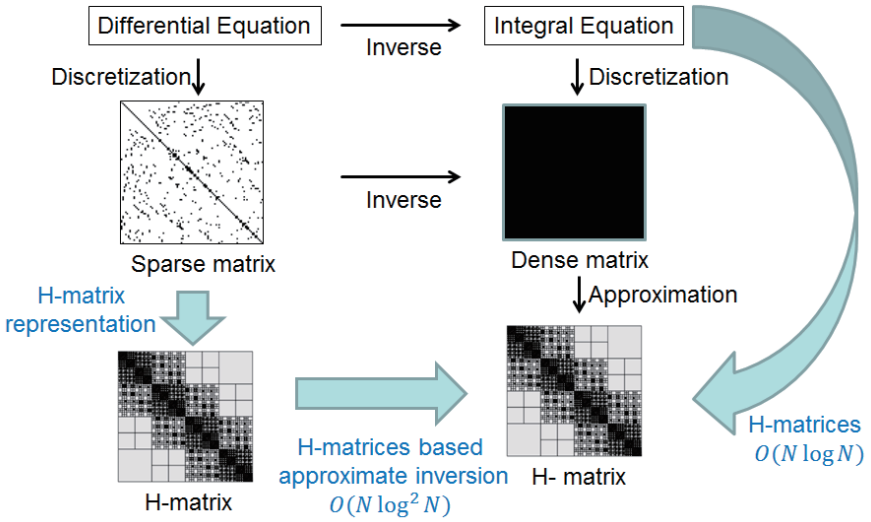


図 1:本研究の概念図。科学技術計算で有用な密行列を、実際には計算することなく、その近似行列を構築する研究を行っている。

・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]。

③ 並列計算関連の会議への貢献

国際会議 SIAM PP 2018 の Local Organizing Committee メンバーを務めた[特記 6]。

また、同会議において、Mini-Symposium「Hierarchical Low Rank Approximation Methods」Part I – VI の Co-organizer を務めた[特記 7]。

2 格子階層型行列法(Lattice $\mathcal{H}$-matrices)

2.1 背景

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), $\mathcal{H}^2$行列法, BLR 行列法(Block Low-Rank matrices), HSS 行列法(Hierarchically Semi-Separable matrices), HODLR 行列法(Hierarchically Off-Diagonal Low-Rank matrices) [7]などが挙げられる. これら近似手法を総称して, 本稿では低ランク構造行列法(Low-rank structured matrices)と呼ぶ. それぞれの低ランク構造行列法には一長一短があり, 計算対象および計算環境に応じて最適な手法は異なる. 残念ならが,

大規模な分散メモリ並列計算環境においては，実シミュレーションへの適用に耐え得る低ランク構造行列法は存在しなかった．その穴を埋めるべく，筆者は格子階層型行列法(Lattice $\mathcal{H}$-matrices)を提案した[査読付 2、招待 1、発表 1].

2.2 内容

図2に示す通り，格子階層型行列法で用いられる行列分割構造は，BLR 行列と$\mathcal{H}$-行列のハイブリッド様に可視化することができる．格子階層型行列法の狙いは，BLR 行列法と階層型行列法のそれぞれの長所を活かすことにある．それら長所とは，BLR 行列の利便性と階層型行列の高圧縮性である．格子階層型行列法を簡単に説明するならば，BLR 行列に見られる格子構造を保存し，格子上の各ブロックに対して層型行列法を適用する手法と言える（図 2 参照）．格子階層型行列演算を MPI 並列で行うことを考える際，格子ブロックを MPI プロセスに割り当てると，演算・通信パターンには，BLR 同様に，密行列用計算アルゴリズムの流用が可能である．論文[査読付 2]では図 3 に示すような，プロセスグリッドに基づく 2D サイクリック割り当て方式を提案した．各 MPI プロセスは，複数の階層型部分行列(もしくは低ランク部分行列)を受け持つことになるが，逐次計算または共有メモリ並列計算であれば，階層型行列の複雑性は許容されると想定している．

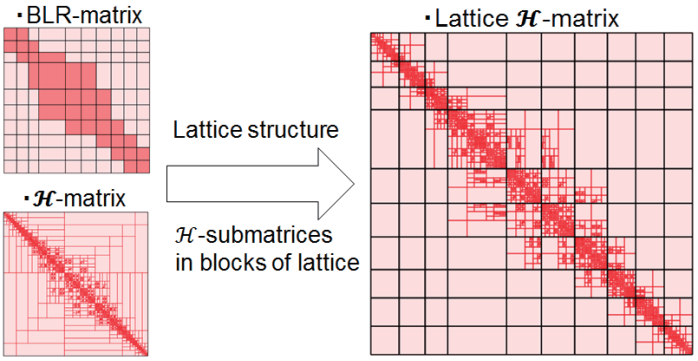


図 2:格子階層型行列法で用いられる行列分割．

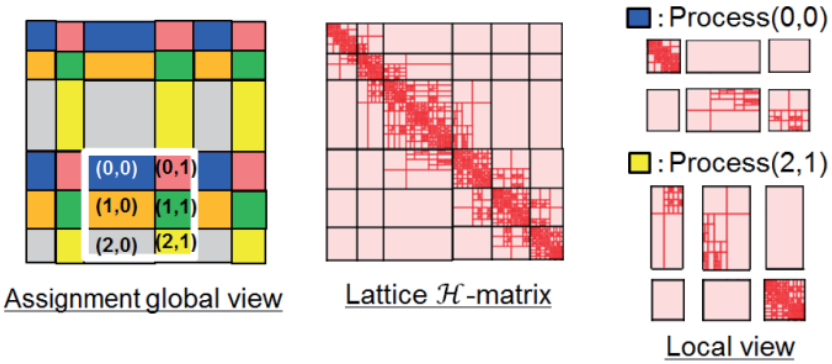


図 3:格子階層型行列演算を 6MPI プロセス・プロセスグリッド(3×2)を用いた場合の計算割り当て．同色で塗られた格子ブロックが1つの MPI プロセスに割り当てられる．

2.3 具体的成果

原理的に，格子階層型行列のメモリ使用量は，階層型行列と BLR 行列の間$O(N \log N)$~$O(N^{1.5})$のどこかであり，格子ブロック数に依存する．格子階層型行列は，格子ブロック数$N_L = 1$の時，階層型行列となり，ブロック数が増加し全ブロックが階層型部分行列でなくなった時，BLR 行列になる．表 1 に示す通り，格子ブロック数を 1 から増やしていくと，メモリ使用量は単調に増加する．しかし，格子階層型行列の構築時間には極小値が存在し，使用した MPI プロセス数に依存関係が見られる．こ

の原因としては，負荷バランスが関係していると考えられる．格子ブロック数N_Lは，MPI プロセス数N_Pに応じて決められるべきであると考える（行列サイズNとは独立）．我々の数値実験によると，格子階層型行列生成および格子階層型行列・ベクトル積演算を行う場合には，適度な格子ブロック数は$\sqrt{N_L} = 15\sqrt{N_P}$の関係式で決められる数である．このように，格子ブロック数N_Lと MPI プロセス数N_Pが比例関係にあるなど，幾つかの適当な仮定を置くと，格子階層型行列のメモリ使用量は$O(N \log N)$であることを理論的に確かめることができる[査読付2].

表1：格子階層型行列のメモリ使用量と計算時間．行列サイズ$N = 491{,}600$のデータに対して，格子ブロック数N_Lを変化させながら，諸量を測定した（使用計算機：東京大学・情報基盤センターFX10）．

$\sqrt{N_L}$	Memory [MB]	Construction time of lattice $\mathcal{H}$-matrices[s]			
		576MPI	256MPI	144MPI	64MPI
1	13177	—	—	—	—
32	13277	106.6	147.0	173.4	222.2
96	14748	53.8	79.2	103.2	174.2
196	17393	49.6	84.4	113.5	185.8
396	21028	46.1	76.3	114.6	209.4
752	29318	49.8	85.0	132.9	248.1
1506	49392	67.2	119.2	193.6	386.0

図4に，従来の階層型行列法と格子階層型行列法で並列計算性能を比較した結果を示す．比較対象である従来の階層型行列法については，階層型行列法ライブラリ HACApK を使用した．従来の階層型行列法では，約 100MPI プロセスあたりで速度向上の限界に達している．この原因は計算負荷の不均衡と考えられる．それに対して，格子階層型行列法では少なくとも約 4000MPI プロセスまで速度向上が観測された．使用 MPI プロセス数が少ない時(150MPI プロセス以下)には，従来の階層型行列法の方が速かった．この原因は，格子構造の導入によるメモリ使用量の増加の影響と考えられる．使用 MPI プロセス数が多くなると，格子階層型行列法は従来法より優位に速く，4000MPI プロセス使用時の計算時間は，従来法の 1/10 程度であった．

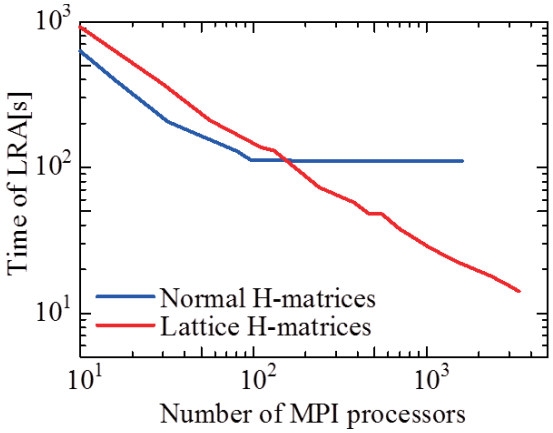


図4：並列計算性能比較．行列サイズ$N = 1188{,}000$のデータを用いて，近似行列作成時の主要部である低ランク近似の計算時間を，MPI プロセス数を変えながら測定した（使用計算機：東京大学・情報基盤センターFX10）．

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Akihiro Ida," Low Rank Approximation Methods Used in Hierarchical Matrices", ATAT in HPC 2018, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan (March 27, 2018)

[招待 2] 伊田明弘;「大規模数値解析向け低ランク行列近似手法」, RIMS 共同研究『数値解析学の最前線ー理論・方法・応用ー』, 京都大学数理解析研究所 京都市, 2017 年 11 月 8 日

[招待 3] Akihiro Ida and Kengo Nakajima, "ppOpen-HPC in Post-K/Post-Moore Era", First French-Japanese -German Workshop on Programming and Computing for Exascale and beyond, Tokyo, Japan (5, April 2017).

[招待 4] Kengo Nakajima, Masatoshi Kawai and Akihiro Ida, Keynote: Application Development Framework for Manycore Architectures on Post-Peta/Exascale Systems, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis (SC17) (Denver, USA, Nov. 13, 2017)

[招待 5] Kengo Nakajima, Akihiro Ida, Masatoshi Kawai, and Takahiro Katagiri, Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems using ppOpen-HPC, APSCIT 2017 Annual Meeting (Asia Pacific Society for Computing and Information Technology) (Sapporo, Hokkaido, Japan, July 29, 2017)

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", The International Conference on Computational Science 2018 (ICCS 2018), Wuxi, China (June 11-13, 2018) (Accepted)

[査読付 2] Akihiro Ida, "Lattice H-Matrices on Distributed-Memory Systems", 32nd IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS 2018), Vancouver, Canada (May 21-25, 2018) (Accepted)

[査読付 3] 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) (Accepted)

[査読付 4] 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.(DOI: 10.1109/TASC.2017.2780821) (In press)

[査読付 5] Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, and Rio Yokota, "Optimization of Hierarchical matrix computation on GPU", In: Asian Conference on Supercomputing Frontiers. Springer, Cham, 2018. p. 274-292.

[査読付 6] Akihiro Ida, Hiroshi Nakashima, and Masatoshi Kawai, "Parallel Hierarchical Matrices with Block Low-rank Representation on Distributed Memory Computer Systems", International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Redion (HPC Asia 2018), Tokyo, Japan (Jan. 28-31, 2018), pp.232-240.(DOI: 10.1145/3149457.3149477, ACM ISBN : 978-1-4503-5372-4/18/01)

[査読付 7] Akihiro Ida, Tadashi. Ataka, Takeshi Mifune, Yasuhito Takahashi, Takeshi Iwashita and Atsushi Furuya, “Application of Improved H-matrices in Micromagnetic Simulations of Spin Torque Oscillator”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 54, Issue 3, (07 November 2017) (DOI:10.1109/TMAG.2017.2763611)

[査読付 8] Masatoshi Kawai, Akihiro Ida and Kengo Nakajima, “Hierarchical Parallelization of Multi-coloring Algorithms for Block IC Preconditioners,” IEEE The 19th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC 2017), Bangkok, Thailand (December 18-20 2017) pp.138-145.

[査読付 9] Takeshi Iwashita, Akihiro Ida, Takeshi Mifune, and Yasuhito Takahashi, "Software Framework for Parallel BEM Analyses with H-matrices Using MPI and OpenMP", Procedia Computer Science 108C (2017) pp.2200‐2209.

[査読付 10] Akihiro Ida, Tadashi Ataka, Takeshi Mifune, Yasuhito Takahashi, Takeshi Iwashita and Atsushi Furuya, “Application of Improved H-matrices in Micromagnetic Simulations”, 21st International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2017), Daejeon, Korea(20th June 2017).

[査読付 11] Naoyuki Amemiya, Naoki Tominaga, Takeshi Mifune, Yusuke Sogabe, Yudai Mizobata, Akihiro Ida, 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 HTS, Caparica, Portugal (June 26-29, 2018) (Accepted)

その他の発表論文

[発表 1] Akihiro Ida, “Efficient Low-rank Solver for Integral Equations on Distributed Memory Systems” SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 2] 伊田明弘, 河合直聡「階層型行列における行列分割法」,2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2017）,秋田アトリオンビル（秋田県秋田市）, 2017 年 7 月 27 日

[発表 3] 伊田明弘, 片桐孝洋「階層型行列法向け低ランク行列近似手法の検討」,第 22 回計算工学会, ソニックシティ(埼玉県さいたま市), 2017 年 6 月 1 日

[発表 4] Masatoshi Kawai, Akihiro Ida, and Kengo Nakajima, “Efficient and Robust Parallel ILU Preconditioners for Quantum Eigenvalue Problems in ppOpen-HPC/ESSEX-II”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 5] Tetsuya Hoshino, Akihiro Ida, and Toshihiro Hanawa, “Performance Evaluations and Optimizations of H-Matrices for Many-Core Processors”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 6] Ichitaro Yamazaki, Satoshi Ohshima, Akihiro Ida, Rio Yokota, and Jack Dongarra, “Accelerating Hierarchical-Matrix Based Linear Solver on a GPU Cluster”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 7] 塙 敏博, 伊田 明弘, 星野 哲也「OpenCL を用いた FPGA による階層型行列計算」第 163 回 HPC 研究会, ひめぎんホール（愛媛県松山市）, 2018 年 3 月 2 日

[発表 8] 塙 敏博, 伊田 明弘, 星野 哲也「階層型行列計算の FPGA への適用」第 161 回 HPC 研究発表会, 北洋ビル（北海道函館市）, 2017 年 9 月 20 日

[発表 9] 大島 聡史, 山崎 市太郎, 伊田 明弘, 横田 理央「階層型行列計算の GPU 向け最適化」日本応用数理学会 2017 年度 年会武蔵野大学有明キャンパス（東京都江東区）, 2017 年 9 月 7 日

[発表 10] Takahiro Katagiri, Mu Yang, Weichung Wang, Akihiro Ida「Performance Evaluation of Integration of Multiple Randomized Low-Rank Singular Value Decompositions」, 2017 年並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ（SWoPP 秋田 2017）,秋田アトリオンビル（秋田県秋田市）, 2017 年 7 月 27 日

[発表 11] 星野 哲也, 伊田 明弘, 塙 敏博, 中島 研吾「階層型行列法ライブラリ HACApK を用いたアプリケーションのメニーコア向け最適化」,SWoPP 秋田 2017,Vol.2017-HPC-160, No.15, 秋田アトリオンビル（秋田県秋田市）, 2017 年 7 月 27 日

[発表 12] 大島聡史, 山崎市太郎, 伊田明弘, 横田理央「GPU クラスタ上における階層型行列計算の最適化」,SWoPP 秋田 2017,Vol.2017-HPC-160, No.14, 秋田アトリオンビル（秋田県秋田市）, 2017 年 7 月 27 日

[発表 13] 河合直聡, 伊田明弘, 中島研吾「ICCG 法向け並列多色順序付け法の提案」,第 22 回計算工学会, ソニックシティ(埼玉県さいたま市), 2017 年 6 月 1 日

[発表 14] 塙 敏博, 星野 哲也, 中島 研吾, 大島 聡史, 伊田 明弘, GPU 搭載スーパーコンピュータ Reedbush-H の性能評価, 情報処理学会研究報告（2017-HPC-159-9）, 日本情報処理学会第 159 回 HPC 研究会（柏, 千葉, 2017 年 4 月 17 日）

[発表 15] Satoshi Ohshima, Ichitaro Yamazaki, Akihiro Ida, and Rio Yokota, “Performance Evaluation of Hierarchical Matrix Computation on Various Modern Architectures”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing 2018(SIAM PP 18), Tokyo, Japan (March 2018).

[発表 16] 白正陽, 平石拓, 伊田明弘, 中島浩「階層型行列の区分け決定処理の Cilk Plus による並列化」, 第 20 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ（PPL2018）,皆生温泉「皆生グランドホテル天水」(鳥取県米子市), 2018 年, 3 月 5 日

[発表 17] Tetsuya Hoshino, Satoshi Ohoshima, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima, Akihiro Ida, “Pascal vs KNL : Performance Evaluation with ICCG Solver”, ISC17 Poster, Frankfurt Germany (2017).

[発表 18] 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,” 25th International Conference on Magnet Technology (MT25), RAI – Amsterdam, Holand(31th Aug. 2017).

[発表 19] 川村卓人, 深谷猛, 岩下武史, 伊田明弘,「$\mathcal{H}$行列ベクトル積のスレッド並列化手法に関する性能評価」,2017 年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム（HPCS2017）, 神戸大学, 2017 年, 6 月 5-6 日

特記事項

[特記 1] 第 85 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」, 2017 年 9 月 12 日～13 日,取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 2] 第 95 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 3 月 13 日～14 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] 2017 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 29 年度 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究「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 Local Organizing Committee, 2018 SIAM Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18)

[特記 7] Co-organizer of Mini-Symposium, 2018 SIAM Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18): Hierarchical Low Rank Approximation Methods Part I - VI (Tokyo, Japan, 2018.3)

多色順序付けアルゴリズムの階層的な並列化

河合 直聡

1 はじめに

固有値解析は，構造解析や量子力学など、多くの分野で，解析対象の基本的な特性を調べるために利用されている．また、計算機の発展によって要求される解析の精度やモデルが複雑化が可能となり，解析の対象が大規模化している．量子力学などの実問題では，複素平面内の任意の領域内に存在する固有値を計算しなければならない場合が多い．大規模固有値問題を数値的に行う手法は複数提案されており，特定の範囲の固有値を求める手法として Sakurai-Sugiura(SS) 法や FEAST がある．これらの手法では、求めたい固有値の範囲が離散的な周回積分で表現されるが，離散点毎に連立一次方程式を解く必要が生ずる．(図 1) また、FEAST では固有値の精度向上を目的として、導出された方程式を右辺ベクトルを変えて複数回解く操作が行われる。したがって、SS 法や FEAST では大規模な問題を高速に解ける線形ソルバが要求される。加えて、導出された方程式の係数行列は悪条件である可能性がるため、高い堅牢性も必要である。

筆者らは ppOpen-HPC(CREST；日本) および ESSEX-II(SPPEXA：ドイツ) の共同研究プロジェクトとして、上述の要件を満たすソルバの開発を目的とした、並列不完全 LU 分解 (ILU) 前処理付きクリロフ部分空間法の研究を行った。本稿では、既存の多色順序付けアルゴリズムを並列化可能な階層的な手法とその評価結果について述べる [発表 1],[?],[査読付 1]。多色順序付けの結果は ILU 前処理の効果や演算性能に強く影響するため、様々なアルゴリズムが提案されている。しかしながら、これらはいずれも逐次アルゴリズムであり、大規模問題を扱うためには並列化が必要とされる。本研究で提案した階層的な手法は、既存の多色順序付けアルゴリズムを ILU の効果や性能を大きく変化させずに並列化可能である。実際に、さまざまな問題で期待通りに並列化できていることを、評価結果とともに示す。

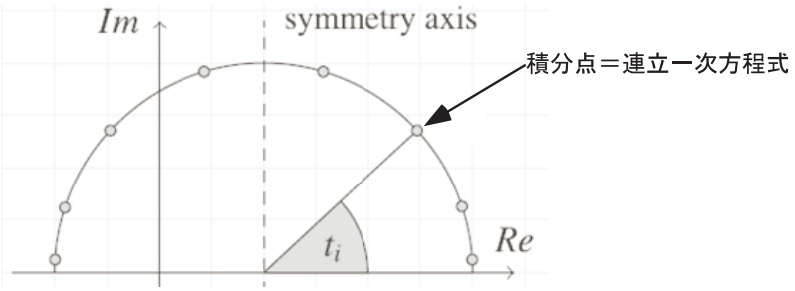


図 1: Sakurai-Sugiura 法または FEAST での離散的な線積分の例

2 内容

本研究で提案した多色順序付けアルゴリズムの階層的な並列化について述べる。

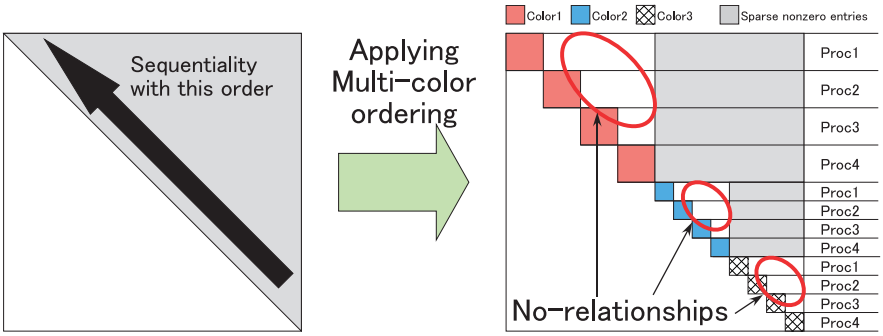


図 2: 多色順序付けによる ILU 前処理の並列化

2.1 ILU 前処理の多色順序付け並列化

ILU 前処理のプロセスは主に分解と前進・後退代入に分別されるが、いずれも強い逐次性を持っている。これを並列化する手法として多色順序付けが広く用いられている。

ILU 前処理の計算過程における依存関係は係数行列から生成されるグラフ情報に置き換えることができる。多色順序付け法では、このグラフ情報に基づいてすべてのノードを同じ色が隣接しないように色付けを行う。。結果、同じ色で塗られた要素間には依存関係がないため、ILU 前処理の分解、前進・後退代入で同じ色の要素を並列に計算することが可能となる。(図 2) ただし、ILU 前処理の収束性は多色順序付けの結果に強く依存する。結果、Cuthill-Mckee や Greedy、代数多色順序付けなどさまざまな多色順序づけアルゴリズムが提案されており、多くのアプリケーションでの検証結果が報告されている。

一方で、既存の多色順序付けアルゴリズム自体は逐次であり、エクサスケールシステムで大規模な問題を解くためには並列化が必須である。同時に、並列化手法は、ILU 前処理の効果が多色順序付けの結果に強く影響を受けることを考慮し、既存の多色順序付けアルゴリズムに適用可能な汎用性が要求される。並列化された多色順序付けアルゴリズムはいくつか報告されているが、それらはグラフカラーリングのための物であり、ILU 前処理での評価を行った報告は少ない。また、これらの並列化されたアルゴリズムは専用の手法であり、一般的にそれ以外の多色順序付けアルゴリズムを並列化する物ではない。

2.2 階層的並列化

ここでは本研究で提案した多色順序付けアルゴリズムの並列化について述べる。既存の多色順序付けアルゴリズムでは、色分け対象の要素を辞書式や Chutill-Mckee 順序付けに基づいて決める。そこで、提案手法ではすべての要素を複数のグループに分割、グループ自体を色分けすることで、依存関係のないグループを提供する。これによりグループごとの色分けの並列化を可能とする。図 3 に提案手法の手順を示す。具体的な手順は以下の通りである。

a, 初期条件を得る。

b, 各プロセスは担当の要素を複数のグループに分割する。

c, 分割されたグループの依存関係から新たなグラフを作成し、これをマスタープロセスに送付する。

d, マスタープロセスが集約されたグラフに基づいて任意の手法で色分けを行う。

e, 色分け結果を他のプロセスに送付する。

f〜h, 各プロセスはグループの色分け結果に基づいて並列に任意のアルゴリズムで多色順序付けを行う。

グループ毎の色分けは任意の多色順序付けアルゴリズムが適用可能であるため、既存の多色順序付けアルゴリズムを並列化可能である。

3 成果

ここでは、提案手法が、既存の多色順序付けアルゴリズムの性質を変化させない並列化に成功していることを示す。

はじめに、複数の問題を対象とした収束性および演算性能の変化を評価した結果を示す。対象の問題は Florida matrix collection の Parabolic_FEM、Thermal2、Flan1565 および 3 次元ポアソン方程式を構造格子を基に有限差分法で離散化した問題 (自由度は 128×128×256) の 4 つとした。反復法はブロックサイズ 4 のブロック ICCG 法を適用し、相対残差が 10-7 以下となった場合に収束と判断した。評価に用いた環境は東京大学 情報基盤センターの Reedbush-U の 32 ノードである。ブロック ICCG 法はハイブリッド並列化されており、ノード辺り 2 プロセス、プロセス辺りのスレッド数は 18 とした。

図 4 は逐次の多色順序付け法に対して階層的な並列化を施した多色順序付け法の収束性と計算時間の変化を示している。評価した多色順序付け法は Greedy と α 色の代数多色順序付け (AMC(α))、およびそれらと Cuthill-Mckee(CM) と併用した手法である。これらの図で Convergence の棒グラフが 1 を示している場合、逐次的な多色順序付けと階層的な並列化を施した多色順序付けの反復回数が同じであることを示す。また、1 より大きい場合は並列化された多色順序付けの収束性が良いことを示す。Calculation time のグラフに関しても同様である。なお、計算時間は反復部のみの測定である。いずれの問題でも階層的な並列化を適用した多色順序付け法の収束性および計算時間は逐次の場合と比較して同程度であった。最も収束性の差が大きい場合で 1.32 倍 (Parabolic_FEM の Greedy)、計算時間では 1.26 倍 (FLAN1565 の Greedy) であった。

最後に、より大規模な並列環境での解析結果を示す。対象は ESSEX-II より提要された Graphene モデル (約 5 千万自由度) である。評価には東京大学学術情報基盤センターの Oakleaf-FX 128〜4,800 ノードを利用した。本評価ではノード辺り 16 スレッドのハイブリッド並列としている。また、色分けには提案手法で並列化した 10 色の代数多色順序付け法を使用している。ノード数に対する性能向上を図 5 に各ノード数での収束性および演算性能を示す。並列度を 4,800 ノードまで増加させた場合でも反復回数に大きな変化はなかった。また、収束性が変化しないため、提案手法による色分けで並列化したブロック ICCG 法は高い性能が得れれることも確認した。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Kawai, M., Ida, A., and Nakajima, K., “Hierarchical Parallelization of Multi-coloring algorithm for Block IC Preconditioners.”, IEEE

その他の発表論文

[発表 1] 河合直聡, 伊田明弘, and 中島研吾. ”ICCG 法向け並列多色順序付け法の提案.” 計算工学講演会論文集 Proceedings of the Conference on Computational Engineering and Science. Vol. 22. 日本計算工学会, 2017.

[発表 2] Kawai, M “Hierarchical Parallelization of Coloring Procedures for ILU Preconditioner”, SPPEXA Workshop, Japan, 2017 19th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC), pp. 138-145, 2017

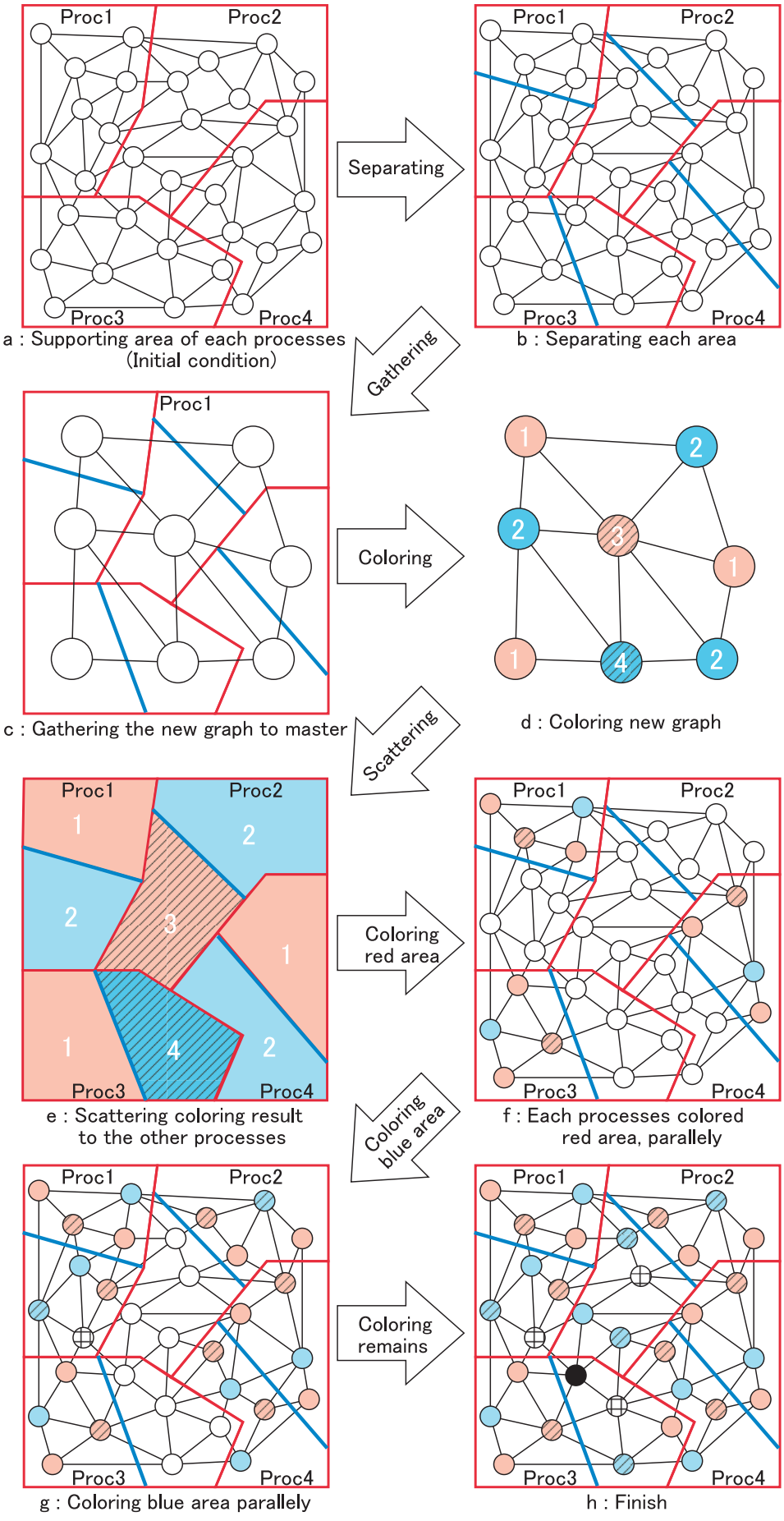
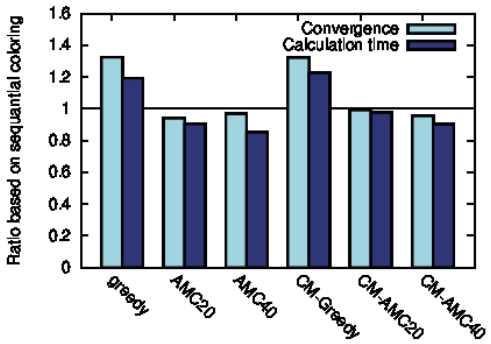
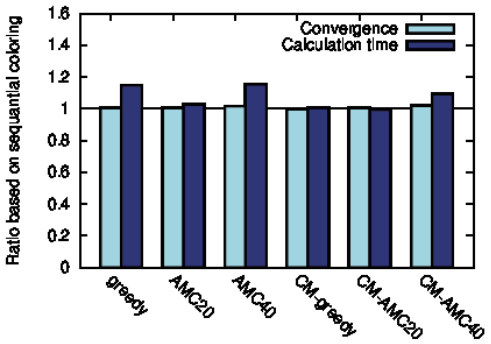


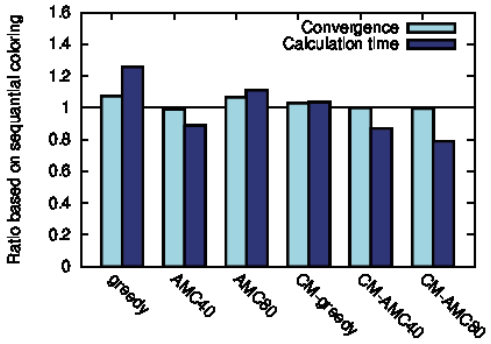
図 3: 多色順序付けの階層的な並列化



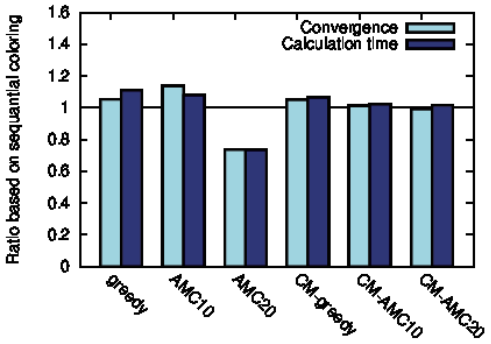
(a) Parabolic_FEM



(b) Thermal2



(c) Flan1565



(d) Poisson

図 4: 階層的な並列化による収束性および演算性能の変化

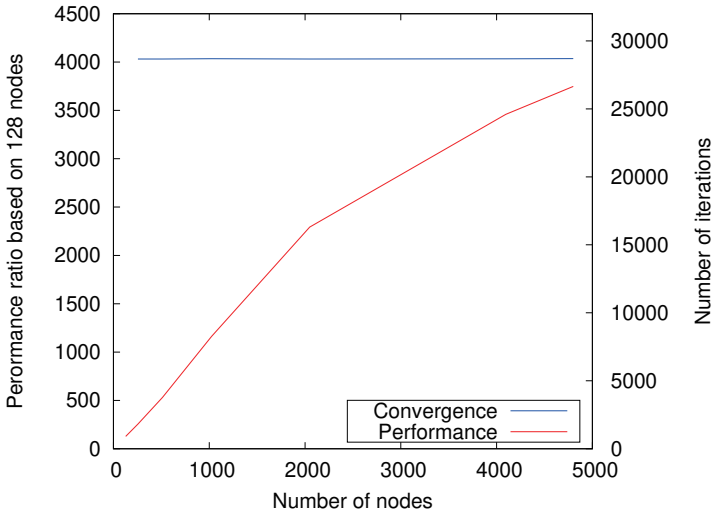


図 5: 大規模な Grapnene モデルでの評価結果

次世代HPCシステム

有間 英志

1 概要

本年度は、次世代 HPC システム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、その際に必要不可欠となるシミュレーション基盤の開発も同時に行った。具体的に実施した研究は以下の通りである。

- 次世代 HPC システムにおけるデータ転送最適化
- 次世代 HPC システムにおける電力制御最適化
- 次世代 HPC システムにおけるキャッシュ最適化
- 次世代 HPC システムのためのシステムシミュレーション基盤構築

以下、これらの詳細について 2 章〜5 章にて述べる。さらに、その他に実施したサービス業務や兼業・社会貢献については 6 章にて述べる。

2 次世代HPCシステムにおけるデータ転送最適化

2.1 背景

将来的に HPC システムの性能は、プロセッサのスループットよりも、メモリシステムのバンド幅及び容量により支配されることが予想されている。 HMC、HBM といった三次元積層メモリを利用することによってバンド幅の向上は可能である反面、これらの技術では容量をスケールさせるのが難しいという問題がある。一方で、DIMM ベースの DRAM/NVRAM を利用すると容量の面ではスケールさせやすいものの、ピン数制約やバスの電力制約により、バンド幅をスケールさせるのが難しいという問題がある。この様な背景のもと、複数の異なるメモリ技術によってメインメモリを構成する、ハイブリッドメモリアーキテクチャが有力視されており、例えば、Intel KNL では高速かつ小容量な MCDRAM と低速かつ大容量な DDR メモリの両者をサポートしている (図 1)。しかし、この様なメモリアーキテクチャはバンド幅と容量を両立できる潜在性を持つものの、どの様にしてこれらを同時に引き出すべきかについては未だ明らかではない。

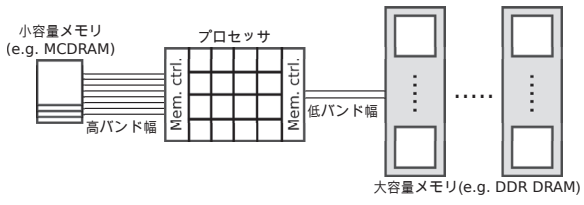


図 1: ハイブリッドメモリアーキテクチャ(e.g., KNL)

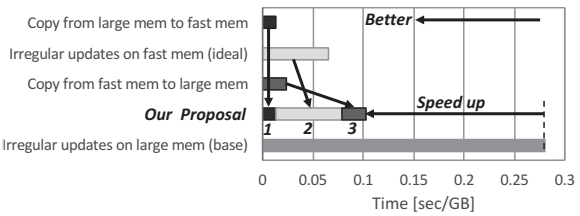


図 2: コンセプト

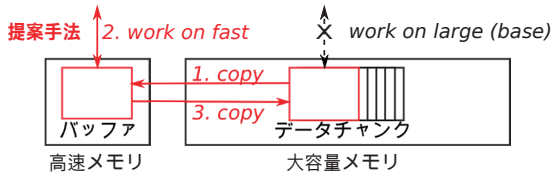


図 3: 提案の概要

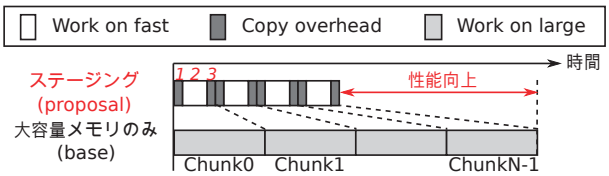


図 4: タイムラインの比較

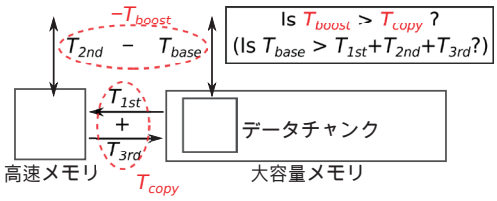


図 5: 問題設定

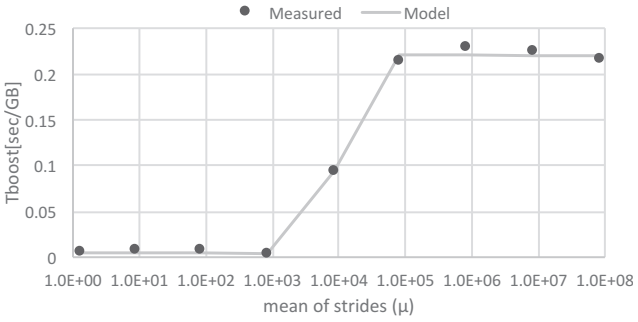


図 6: T_{boost} と μ の関係 ($R_{util} = 1$)

2.2 内容

2.2.1 動機付け・コンセプト

この様な問題に対処するため、我々はアクセスパターンを考慮したステージング技術を提案している。これは図 2 に示す観測に基づいている。すなわち、(1) 不規則なアクセスを行うタスクでは、高速メモリは、大容量メモリを凌駕するものの、(2) メモリ間のシーケンシャルなコピーよりもより多くの時間がかかる。これは、(1) チャンネル数等並列性の違いにより、高速メモリを利用することによって、メモリインテインシブなタスクを相対的には高速化できる一方で、(2) 性能 (実効バンド幅) の絶対値自体はメモリアクセスパターンに大きく依存するためである (アクセスが不規則になればなるほど、キャッシュライン中で一度に使われる要素の数は減り、それによってメモリバンド幅を無駄遣いする上、bank、row buffer 等メモリデバイス内でのコンフリクトも起きやすくなる)。

図 2 に示す様に、我々はこの現象を利用してメモリインテンシブなタスクの高速化を行う: (1) データチャンクを大容量メモリから高速メモリにコピーし、(2) 当該チャンクに対して高速メモリ上でアクセスを行い、(3) 大容量メモリにデータを書き戻す。我々はこのステージング技術をデータサイズが高速メモリよりも大きい場合に行う。すなわち、図 3 に示す様に、高速メモリ内に数 GB のバッファを確保し、大容量メモリ内のデータを数 GB のチャンクに分割しておき、各々のチャンクに対して、上述の動作 (1)〜(3) を行う。図 4 にこの動作のタイムラインを示す。

2.2.2 トレードオフ・モデリング

本手法によっ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}) がその他のステージによってもたらされるコピーオーバーヘッド (T_{copy}) よりも大きい必要がある。この問題設定を図 5 に示す。ここで、T_{base} は大容量メモリのみを利用した場合の実行時間であり、$T_{1st}, T_{2nd}, T_{3rd}$ は各ステージの実行時間である。

これらの関係を明らかにするため、T_{copy} 及び T_{boost} のモデル化を行った。T_{copy} に関しては、チャンクアクセスがリードオンリー、ライトオンリーの場合、それぞれ、第 3、第 1 ステージを省略できるため、これを考慮する。T_{1st}、T_{3rd} はチャンクサイズが定まれば一意に決まるものとし、T_{copy} を以下のように表す。

$$T_{copy} = \alpha T_{1st} + \beta T_{3rd} \tag{1}$$

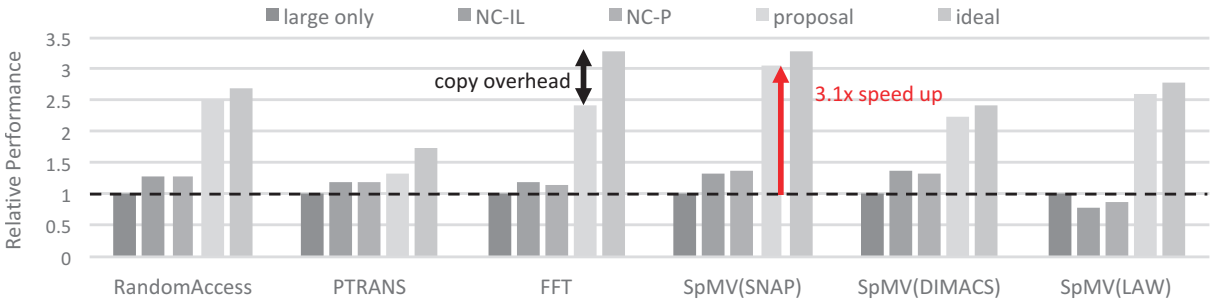


図 7: 性能比較 (データサイズ：90GiB)

$$\alpha = \begin{cases} 0 & (write\ only) \\ 1 & (otherwise) \end{cases}, \beta = \begin{cases} 0 & (read\ only) \\ 1 & (otherwise) \end{cases}$$

一方、T_{boost} はアクセスストライドの絶対値の平均値 μ 及び、要素辺りのアクセス回数 R_{util}(再利用性) の関数として以下の様なモデル化 (empirical model) を行った。

$$T_{boost}(\mu, R_{util}) = R_{util} T_{boost}(\mu, 1) = R_{util}\left(a\frac{b\mu - c}{1 + |b\mu - c|} + d\right) \quad (2)$$

これはシグモイド関数を拡大・平行移動したものであり、各パラメタ a、b、c、d は最小自乗法を用いて事前にキャリブレーションしておくものとする (我々の環境では、それぞれ 0.108、1.08、9030、0.112 と求まった)。T_{boost} のモデルの当てはまりを図 6 に示しておく。

2.2.3 評価

次章の表 1 に示すシステムを利用して評価を行った。当システム上で次の手法について性能を比較した: ***1. large only:***DDR4 メモリのみを利用 (baseline)、***2. NC-IL:***コマンド *numactl –interleave=0,1* を使ってデータをインターリーブで配置、***3. NC-P:***コマンド *numactl –preferred* を使って MCDRAM にデータを優先配置、***4. proposal:***提案ステージング技術、***5. ideal:***理想性能であり proposal の実行時間から計測したオーバーヘッドを削除。ワークロードは HPCC ベンチマークの中からいくつか選択し、さらに SpMV を florida sparse matrix collection の中からいくつかを使って行った。

図 7 にデータサイズが 90GiB の際の性能比較結果を示す。横軸は各手法をワークロードごとに並べたものを示しており、縦軸は *large only* の性能で正規化された相対性能を示している。図に示す通り、我々の手法によって既存のものよりも高い性能が得られている (最高で 3.1 倍)。 前述のモデルの当てはまりについても評価を行っており、評価の結果、これらのワークロードにおいて、性能向上が得られるかどうかを正しく判断できていることが確認できた。

2.3 具体的成果・今後の展望

本研究は、後述するローレンス・リバモア国立研究所にて visiting scientist として滞在中に Prof. Schulz らと行ったものである [特記 4]。2017 年度に国際会議に投稿したものの、採録には至らなかったため、再度投稿を予定しており、2018 年度の国際会議論文採録を目指している。

今後の展望としては、本ステージング技術をコンパイラ・ランタイムシステムのツールチェインに組み込み、自動化することを予定している。さらには、アーキテクチャ・OS の協調制御による自動化も目指している。

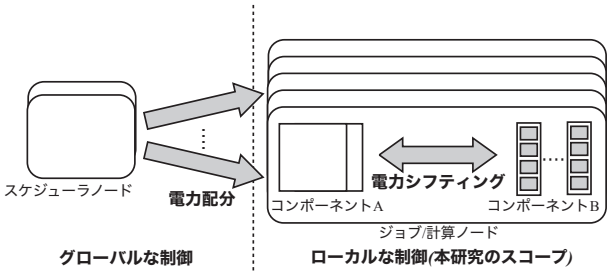


図 8: 大規模システムにおける階層的電力制御

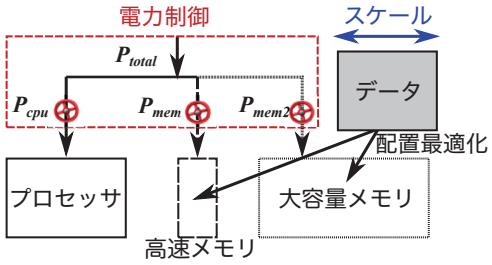


図 9: 対象とする計算ノード

```
1 #pragma omp parallel for simd
2 for (i = 0; i < N; i ++) {
3     A[i] = A[i] * B[i] ... * B[i];
4 }
```

図 10: テストに用いたコード: 配列サイズ N を変化させることでデータサイズをスケールさせ、”* B[i]” の個数を変化させることで F/B 比をスケールさせている。

3 次世代 HPC システムにおける電力制御

3.1 背景

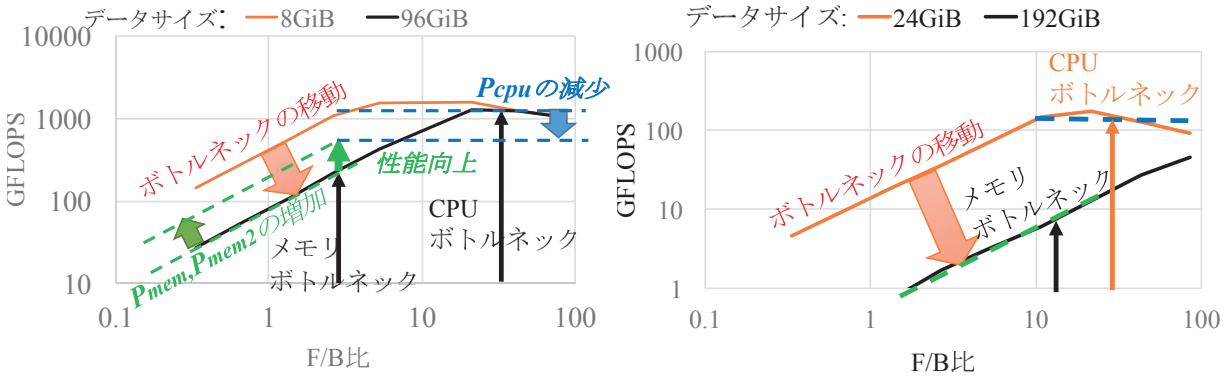
将来の HPC システムにおいては、電力制約がシステムの性能向上を制限することも危惧されており、電力制約下においてシステムの総スループットを向上させるための技術も必要である。一方で、前述の通りメモリシステムの大容量化・高バンド幅化も重要な課題であり、ベンダーはこれらを両立するために、異なるメモリ技術によってメインメモリを構成するハイブリッドメモリをサポートし始めている (例: Intel KNL)。しかし、この様な背景に反して、ハイブリッドメモリを搭載する実システム上での電力管理技術に関する研究は、十分になされていないのが現状である。そこで我々は、その様なシステムにおける電力制御技術、特にアプリケーションの利用データサイズを考慮した電力制御技術を提案している。これは、ハイブリッドメモリでは、利用するデータサイズに応じて、その実効バンド幅が大きく変化する点に着目したものである。

3.2 内容

3.2.1 想定するシステム

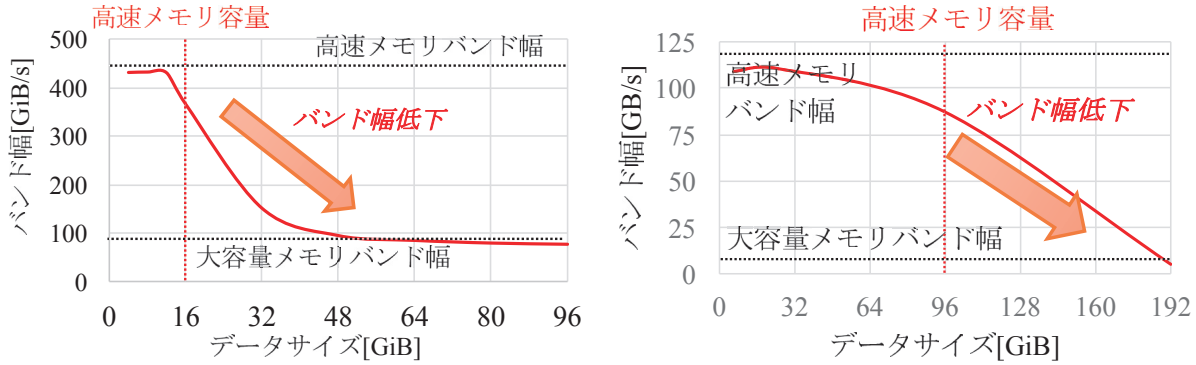
大規模システムの電力マネジメントは図 8 に示す様な階層的構造を取ることが多く、これまでの先行研究もグローバル制御 (電力を考慮したスケジューリング) 及び、ローカル制御 (電力シフティング) に分類できる。前者は、スケジューラによるノード/ジョブへの電力配分最適化であり、後者は各ノード/ジョブにおける与えられた電力予算の有効活用であり、我々の研究は後者に属する。

図 9 に、本研究が対象とする計算ノードを示す。プロセッサ、高速 (小容量) メモリ、大容量 (低速) メモリの電力制御が我々のスコープである。高速メモリと大容量メモリの間のデータ制御は、ソフトウェア (IMDT: Intel Memory Drive Technology 等) もしくはハードウェア (KNL におけるキャッシュモード等) が自動的に行う場合を想定する。その様な環境において、様々なスケールのデータを使ってアプリケーションを動かす状況を想定する。当計算ノード上で、スケジューラから当ノードに与えられた電力予算を P_{total} とし、これをプロセッサ/高速メモリ/大容量メモリの電力 $P_{cpu}/P_{mem}/P_{mem2}$ に上手く分配し、性能最適化を図る。



KNL ベースのシステム　　SKL ベースのシステム

図 11: ルーフライン曲線及び提案コンセプト



KNL ベースのシステム　　SKL ベースのシステム

図 12: 実効バンド幅とデータサイズの関係 (F/B rate: 1/3)

3.2.2　動機付け・コンセプト

この様なシステムにおける電力割り当てを最適化することを目的とし、その制御手法の手がかりを得るため、我々は予備評価を実施した。具体的には、表 1 に示す KNL ベースのシステム及び、表 2 に示す SKL ベースのシステムを用いており、これらシステム上にて図 10 に示す様なコードを実行し、データサイズ、F/B(Flops/Bytes) 比を変化させながら性能を計測した。

図 11 の通り、両システムともにデータサイズを大きくすることで、メモリバンド幅律速の斜線部が大きく下側に平行移動しており、結果として多くの F/B 比において CPU からメモリシステム側にボトルネックが移動していることが分かる。この理由を図 12 に示す。図 12 の横軸はデータサイズを表しており、縦軸はメモリシステムの実効バンド幅を示している。グラフから分かる通り、データサ

表 1: KNL ベースのシステム

CPU Package	Xeon Phi x200 Processor 7210 (Knights Landing), 64 cores, 1.3GHz, In-package cluster mode: quadrant
Memory System	MCDRAM: 16GiB, 450GiB/s, DDR4: 96GiB, 90GiB/s Memory mode: flat, ***Data management: numactl –preferred=1***
OS	Cent OS 7.2
Compiler	Intel C++/Fortran Compiler 17.0.4, Options: -O3 -qopenmp, -xMIC-AVX512

表 2: SKL ベースのシステム

CPU Package	Xeon Gold 6140 Processor (Skylake), 18 cores, 2.4GHz, TDP 140W x2sockets
Memory System	DRAM: 96GiB, 120GiB/s, TDP 70W, NVRAM: Intel Optane SSD P4800X, 375GB, 2.4GB/s(read), 2.0GB/s(write) x2, ***Data management: Intel Memory Drive Technology (IMDT)***
OS	Cent OS 7.4
Compiler	Intel C++/Fortran Compiler 17.0.4, Options: -O3 -qopenmp

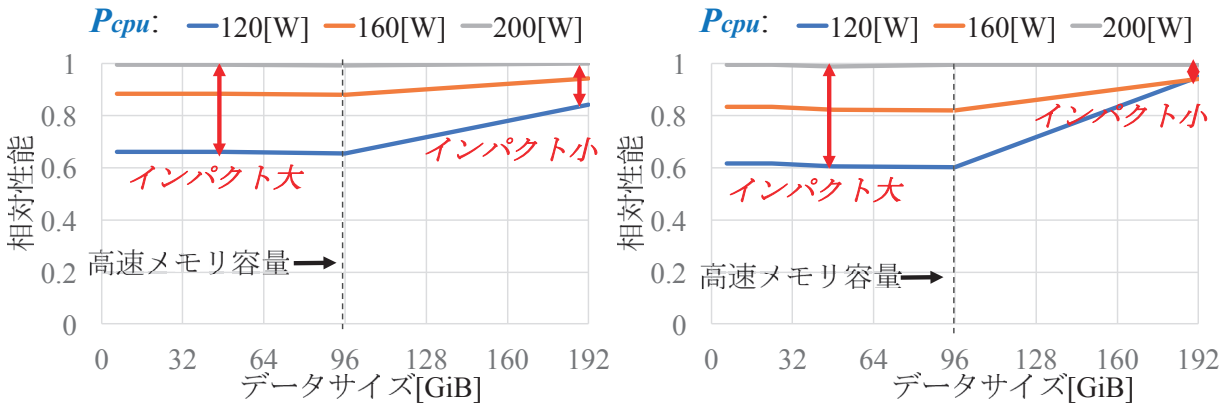


図 13: CPU 電力キャッピングが性能に与える影響の変化 (P_{mem}:40W)

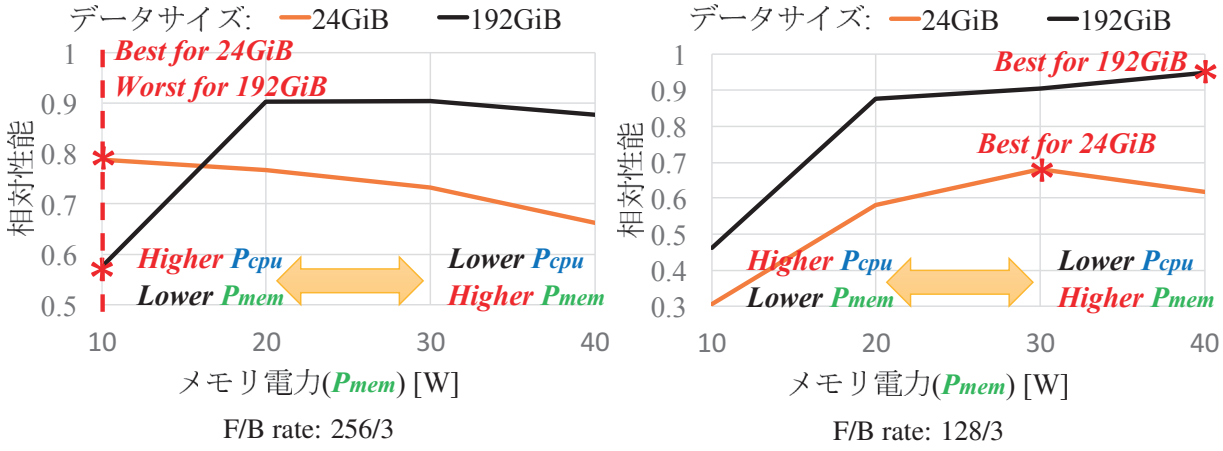


図 14: 電力シフティングの結果 (Pcpu+Pmem=Ptotal:160W)

イズが大きくなればなるほど、特に高速メモリの容量を超えると、実効バンド幅は大きく低下する。

上記の観測結果に基づき、データサイズを考慮した電力シフティング手法を提案する。このコンセプトは図 11 に示されている。すなわち、プロセッサへの割り当て電力 P_{cpu} を下げることによって、プロセッサのスループット律速の水平線を下げつつ (多くの F/B 比では性能低下が起きない)、それによって生じた余剰電力をメモリシステム側 P_{mem}, P_{mem2} に割り当てることで、大きいスケールのデータを利用することによって生じた性能低下をカバーするというものである。

3.2.3 実験

表 2 に示す SKL ベースのシステムにて図 10 のプログラムを動作させ、さらに CPU やメモリに対して電力制御を行った場合の性能を評価した。ただし、表 1 に示す KNL ベースのシステムは、メモリの電力制御をサポートしていないため、本評価では利用していない (KNL 側では電力制御機能をサポートしているものの、BIOS 側でロックがかかっているためである)。この電力制御のインターフェイスとして RAPL を利用し、各コンポーネントに電力キャップを与えることで評価を行う。ただし、NVRAM の電力制御はここでは考えないものとする (すなわち、$P_{mem2} = 0$ とみなして評価を行う)。NVRAM の電力制御まで含めた評価については今後の研究課題である。

図 13 に CPU 電力キャッピングが性能に与える影響に関する評価結果を示す。横軸はデータサイズであり、縦軸は相対性能 (各々のデータサイズにおける、電力制約を与えない場合の性能で正規化) で

ある。図に示す通り、データサイズが大きくなればなるほど、CPU 電力キャップが性能に与える影響は小さくなっている。これは、図 11 に示す通り、データサイズが大きい場合には性能はプロセッサのスループットよりもメモリシステムのバンド幅律速となることが多いためである。

図 14 に CPU と DRAM メモリの間での電力シフティングを行った場合の性能を示す。ただし、横軸は DRAM メモリに与えた電力キャップ値 P_{mem} を示しており、縦軸は相対性能 (各々のデータサイズにおける、電力制約を与えない場合の性能で正規化) を表している。ここで、CPU の電力キャップ値は $P_{cpu} = P_{total} - P_{mem}$ の様に与えている。図に示す通り、最適な $\{P_{cpu}, P_{mem}\}$ の最適組み合わせはデータサイズに応じて大きく変化している。特に F/B 比が 256/3 の場合に着目すれば、24GiB の際に最適な組み合わせだったものが、192GiB の際には最悪の組み合わせに変化している。この様な結果から、データサイズを考慮した電力制御が有効であることが確認できた。

3.3 具体的成果・今後の展望

初期段階の研究成果を国内研究会にて発表する予定である [発表 1]。さらには、本研究テーマの一部は平成 28 年度科学研究費補助金 (研究活動スタート支援) の研究課題「高電力効率なビッグデータ処理のためのメモリシステム最適化」(課題番号 16H06677) としても採択されている [特記 1]。

今後の方針としては、まず、HPC ベンチマーク、実アプリケーションを利用して、本提案の有効性をより現実的な状況で確認することが挙げられる。さらには、最適電力割り当てを行うためのアルゴリズムやフレームワークの作成を行うことも必要である。また、本稿では、NVRAM の電力マネジメントは考慮していないが、これを含めて電力割り当てを最適化することも重要である。さらには、KNL 等のシステムの上でも有効性を評価することも検討している。

4 次世代 HPC システムにおけるキャッシュ最適化

4.1 背景

近年では、高速、高密度、低リーク電力、不揮発といった特性を持つメモリデバイスである STT-MRAM が注目を集めており、既存の SRAM キャッシュ階層の代替として期待されている。しかし、STT-MRAM には素子への書き込みエネルギーが大きいという欠点がある。従って、STT-MRAM への頻繁な書き込みを減らす必要があり、先行研究では、高速・低アクセスエネルギー・小容量の SRAM と STT-MRAM を混載させたキャッシュ階層が提案されており、書き込みの多いデータを優先的に SRAM 領域に置くデータマネジメント手法が提案されている。しかし、性能の観点からは性能クリティカルなデータは、書き込みが多いかどうかにかかわらず、高速な SRAM 領域に配置すべきであり、この様な制御を行えば SRAM 領域の競合が起きやすくなるという問題がある。ここでは、特に、L1 キャッシュが SRAM で L2 キャッシュが STT-MRAM で構成された 2 階層のキャッシュを考える (図 15)。

4.2 内容

本研究では、特にページテーブルウォークに着目し、これが頻繁に起きた場合に、上記混載キャッシュ階層にどの様な影響を与えるのかという点に注目する。例えば、近年注目を集めている、グラフ処理に代表される大規模データ処理を行うアプリケーションは、TLB ミスを頻発させることが知られている。TLB ミスが頻発することによって、その後に続くページテーブルウォークもまた頻発する。このページテーブルウォーク時にはページテーブルエントリ (PTE) のアクセスを行うが、これはアプリケーション実行のクリティカルパス上にあることが多い。一部のアプリケーションでは、実行時間の約 50%をページテーブルウォークに費やすという報告もなされている。結果として性能のためには PTE を上位の SRAM キャッシュに配置しておくことが望ましい。一方で、PTE はリードオンリーなデータであり、STT-MRAM キャッシュへの書き込みエネルギー削減の観点からは、SRAM キャッシュに配置

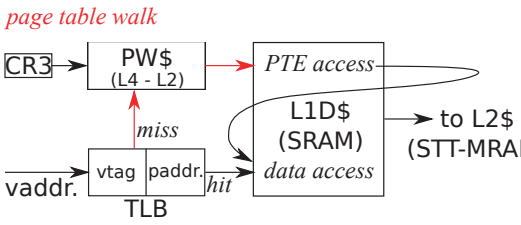


図 15: 想定するハードウェア

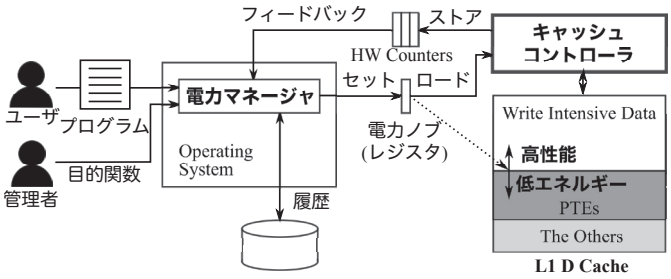


図 16: 提案フレームワーク

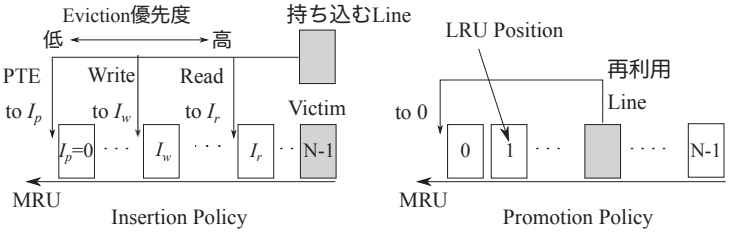


図 17: 提案キャッシュリプレイスメントアルゴリズム

しない方が良い。この問題を定量化し、これを解決するためのキャッシュマネージメント手法をソフトウェア・ハードウェアの両面から開発するのが本研究の目的である。

この問題を解決するための提案フレームワークを図 16 に示す。本フレームワークでは、まず、システム側で制御の目的関数 (例：性能制約下におけるエネルギー最適化) を予め与えておく。そうしておいて、ユーザがプログラムを実行させると、OS 内の電力マネージャが過去の履歴やハードウェアカウンタに基づいて、プログラムの特性を判断し、目的関数を最大化する様にハードウェアノブに値を書き込む。キャッシュコントローラはこのノブの値をコンテクストスイッチ毎に読み込み、その値に基づいて、各種ハードウェアパラメータを最適化し、キャッシュ上のデータ配置優先度を最適化する。

優先度に基づくデータ配置最適化を行うための、キャッシュリプレイスメントアルゴリズムを提案している (図 17)。本アルゴリズムは既存の LRU アルゴリズムを元に改変を加えたものである。LRU に基づくアルゴリズムは通常、Eviction Policy、Insertion Policy(図 17 左)、Promotion Policy(図 17 右) からなる。Eviction Policy とは、キャッシュミスが生じた場合にどのキャッシュラインをキャッシュから追い出すかを決めるポリシーであり (本アルゴリズムでは LRU)、Insertion Policy とは、ミスを起こした後に下位のメモリ階層から送られてきたキャッシュラインを、LRU スタック上のどの位置に配置するかを規定するものであり、Promotion Policy とは、キャッシュヒットが起きた場合に、ヒットしたキャッシュラインを LRU スタック上のどの位置に配置するのかを規定するものである。図に示す通り、PTE、書き込み、読み込みかどうかによって、Insertion の位置を変化させており、それによって優先度の制御を行っている。

4.3 具体的成果・今後の展望

本研究の初期段階の成果を査読付き国際ワークショップ (BPOE-8@ASPLOS2017) にて発表しており、同等のものを ASE 研究会にて発表を行った [発表 2]。さらに、本研究テーマの一部は平成 28 年度科学研究費補助金 (研究活動スタート支援) の研究課題「高電力効率なビッグデータ処理のためのメモリシステム最適化」(課題番号 16H06677) としても採択されている [特記 1]。今後は優先度をアプリケーションの実行フェイズごとに最適化するための OS 側での具体的なマネジメント手法を開発し、論文誌または国際会議に論文を投稿する予定である。

5 次世代HPCシステムのためのシステムシミュレーション基盤構築

5.1 背景

次世代 HPC システムのためのアーキテクチャ・コンパイラ開発等を行う上で、これらの性能を適切に評価するためのシステムシミュレーション環境は必要不可欠である。さらには、次世代 HPC システム向けのコード最適化の方法論を明らかにする上でも、その様な評価基盤は必要となる。そこで、次世代 HPC システムのシミュレーション環境の構築を、理化学研究所と共同で進めている。

5.2 内容

昨年度では、次世代 HPC システムの機能シミュレーションをサポートするシミュレータに対して、サイクルアキュレートなタイミングシミュレーションを行える様に拡張を行った。本年度は、その続きの作業として、このタイミングシミュレーションの精度向上に取り組んでおり、特に、メモリシステムのスループットに焦点を当てて改変を行った。具体的には、当シミュレータ上にて streaming triad のスレッド数やデータサイズを変えて動作させた場合に、期待通りの性能が得られる様、シミュレータコードの改変及びシミュレータの内部パラメータの調整を行っており、さらには、ポスト京システムの重点課題アプリケーションを動かした場合の性能に関しても調整・評価を行っている。

5.3 具体的成果・今後の展望

上述の改変を行った結果、上述の streaming triad や様々なアプリケーションについて期待通りの性能が得られている。今後は、理化学研究所内外の現京ユーザーを対象とした、次世代 HPC システムの性能評価及びコード最適化等にも役立てられる予定であり、そのために機能の面で HPC ツールとして当シミュレータをどう発展させていくべきかについても検討する予定である。特にシミュレータではサイクルアキュレートに事象を捉えることができるという特徴から、既存のハードウェアカウンタを用いた粗い時間粒度の統計情報からでは得られない解析結果をユーザに提示できるはずである。その様な観点から、シミュレータならではの機能を抽出し、チューニング用ツールとして提示できれば良いと考えている。

6 その他

6.1 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いくつか参加を行った。また SC17 にて当センターのブース運営の協力を行い、さらに参加報告への寄稿も行った [特記 2]。

6.2 兼業・社会貢献等

昨年度より理化学研究所 計算科学研究機構の客員研究員を兼務しており [特記 3]、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、2017 年 10 月まではローレンス・リバモア国立研究所にも客員研究員として在籍しており、現地にて共同研究を実施した (collaborator: Prof. Schulz)[特記 4]。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、本年度より国際会議 IEEE NVMSA2018 (IEEE Non-Volatile Memory Systems and Applications Symposium) の組織委員のメンバー (Web Chair) を勤めている [特記 5]。また、国際会議 ICPP 2018 (47th International Conference on Parallel Processing)、IEEE NVMSA2018/2017 (前述)、SC-Asia 2018 (Supercomputing Asia)、HPC Asia 2018 (International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region)、CANDAR 2017(International Symposium on Computing and Networking) のプログラム委員として多数の論文の査読・選

別を行っている [特記 6, 特記 7, 特記 8, 特記 9, 特記 10, 特記 11]。加えて、英語論文誌である IEICE Transactions on Information and Systems や IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems の査読も行っている [特記 12, 特記 13]。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いる [特記 14]。

7 成果要覧

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, *2018-HPC-164*, No. 8, pp. 1-7, 2018.

[発表 2] Eishi Arima: Efficient Big Data Processing through Page Table Walk Aware Cache Management, *ASE Seminar*, Apr. 2017 (also appeared in BPOE-8@ASPLOS17).

特記事項

[特記 1] 平成 28 年度科学研究費補助金 (科研費), 研究活動スタート支援, 高電力効率なビッグデータ処理のためのメモリシステム最適化, 研究代表者, 2016-2017 年度.

[特記 2] SC17 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.20 No.1, 2018 年 1 月.

[特記 3] 理化学研究所, 計算科学研究機構, 客員研究員.

[特記 4] Visiting Scientist at Lawrence Livermore National Laboratory, - Oct. 2017.

[特記 5] Organizing Committee Member of IEEE NVMSA 2018 (Web Chair).

[特記 6] Program Committee Member of ICPP 2018 (Performance Track).

[特記 7] Program Committee Member of IEEE NVMSA 2018.

[特記 8] Program Committee Member of SC-Asia 2018 (Architecture Track).

[特記 9] Program Committee Member of HPC Asia 2018 (Architecture Track).

[特記 10] Program Committee Member of CANDAR 2017 (Architecture Track).

[特記 11] Program Committee Member of IEEE NVMSA 2017.

[特記 12] Technical Reviewer of IEICE Transactions on Information and Systems.

[特記 13] Technical Reviewer of IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems.

[特記 14] 情報処理学会, システム・アーキテクチャ研究会, 運営委員.

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 Oakforest-PACS、東京大学 Oakleaf-FX、Reedbush-U、九州大学 ITO、計算科学振興財団 FOCUS、Amazon EC2、Microsoft Azure の各システムにおいて、チャンネル流れおよびボックスファン流れを対象に 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や研究会で発表した [招待 1, 発表 7]。

- OpenFOAM におけるパイプライン型共役勾配法の実装と性能評価
  OpenFOAM にパイプライン型共役勾配法を実装し、Reedbush-U と Oakforest-PACS において、チャネル流れを対象に性能評価を行なった。また、Reedbush-U での検討結果についてシンポジウムで発表した [発表 5]。

- 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。2017 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 5, 特記 7]。また、PC クラスタコンソーシアムが主催し、九州大学情報基盤研究開発センターの新スパコン ITO を用いて行なわれた講習会において、午後の OpenFOAM ハンズオン講習会を担当した [特記 6]。

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

2017 年度は、オープン CAE 学会 V&V 委員会が策定した OpenFOAM ベンチマーク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、およびボックスファン流れを対象に、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主なシステムの概要を表 1 に、2017 年度に新たに測定した Oakforest-PACS、ITO サブシステム A で用いたソフトウェア、コンパイラ、MPI ライブラリを表 2 に示す。Oakforest-PACS 以外のシステムは、ノードあたりの MPI プロセス数は物理コア数とした。Oakforest-PACS は 1 ノードあたり 64MPI プロセスとし、`I_MPI_PIN_PROCESSOR_EXCLUDE_LIST=0,1,68,69,136,137,204,205`、`KMP_AFFINIY` 未設定、`KMP_HW_SUBSET=1T`, `I_MPI_PIN_DOMAIN=4` の設定を用いた。また、Flat メモリーモードでは、優先的に MCDRAM を使うよう numactl のオプションとして`--preferred=1` を用いた。既往測定システムでの計算条件の詳細は文献 [招待 1] 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 サブシステム A	Intel Xeon Gold 6154 (3.0-3.7)	2 (18)	3456	192 (255.9)	Infiniband EDR 4x (100)
FOCUS	A システム	Intel Xeon L5640 (2.26)	2 (12)	108	48 (25.6 × 2)	Infiniband QDR (40)
	D システム	Intel Xeon E5 -2670v2 (2.5)	2 (20)	400	64 (51.2 × 2)	Infiniband FDR (56)
	F システム	Intel Xeon E5 -2698 v4 (2.2)	2 (40)	1152	128 (76.8 × 2)	
	H システム	Intel Xeon D -154 (2.1)	1 (8)	205	64 (34.2 × 1)	10GbE (10) × 2 シャーシ間 40GbE
Amazon	EC2 c4.8xlarge	Intel Xeon E5 -2666v3 (2.9)	2 (18)	310	60 (不明)	10GbE (10)
Microsoft	Azure A9	Intel Xeon E5-2670 (2.6)	2 (16)	333	112 (不明)	Infiniband FDR (56)

表 2: 2017 年度新規計測におけるソフトウェア・コンパイラ・MPI ライブラリ

システム	ソフトウェア	コンパイラ	MPI ライブラリ
OFP	OpenFOAM-v1612+ (`WM_COMPILER=IccKNL`)	Intel 2017.4.196	Intel 2017.3.196
ITO-A	OpenFOAM-v1706	Intel 2018.1.163	Intel 2018.1.163

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。Reedbush-U が 16 ノード (576 プロセス) で解析速度が飽和するのに対し、ITO-A は 32 ノード (1,152 プロセス) まで飽和せず、16 ノード (576 プロセス) 時を除き、解析速度が最速であった。Oakforest-PACS の解析速度は、検討した 32 ノード (2,048 プロセス) まで範囲では飽和せず、メモリモードが Flat より Cache のほうが速かったが、その差は僅かである。また、4 ノード以上では ITO-A の半分以下の速度となった。

図 2 にノードベースの並列化効率 (Strong scaling) を示すが、ITO-A は 32 ノードまでスケールし、16 ノード以下では非常に高い並列化効率が得られた。Oakforest-PACS は 4 ノードまではスケールするが、それ以上では急激に並列化効率が減少した。

【謝辞】九州大学情報基盤研究開発センターの大島聡史助教には、ITO サブシステム A に関する多くの助言を頂くとともに、同システムでのベンチマークテスト計測を共同で実行して頂いた。ここに深く感謝する。

3 OpenFOAM におけるパイプライン型共役勾配法の実装と性能評価

圧力 Poisson 方程式に対するソルバーとして前処理共役勾配法 (以下，PCG) を用いた場合、MPI のプロセス数が大きくなるにつれ、CG 法自体や前処理における本来の計算量に比べ、MPI 通信時間が卓越するようになる。このため、並列化性能を向上させるには、MPI 通信時間を削減、または隠蔽することが重要であるが、Ghysel らによるパイプライン型 PCG(以下 PPCG) および、Gropp アルゴリズムのパイプライン型 PCG(以下 GACG) では、内積の集団通信に対して MPI-3 で採用された非同期集団通信 (MPI_Iallreduce) を用いることにより、集団通信を隠蔽することが可能なアリゴリズムとなって

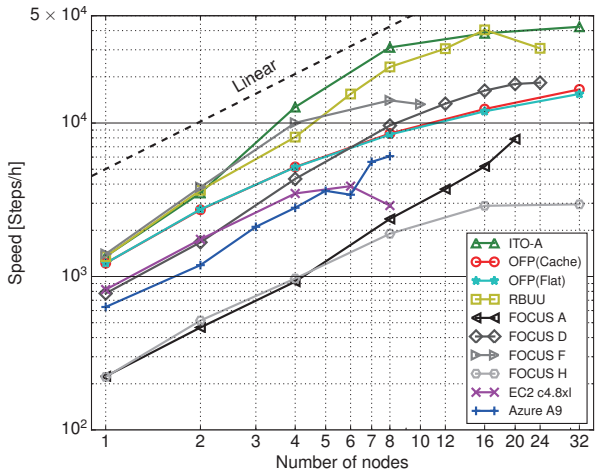


図 1: 解析速度

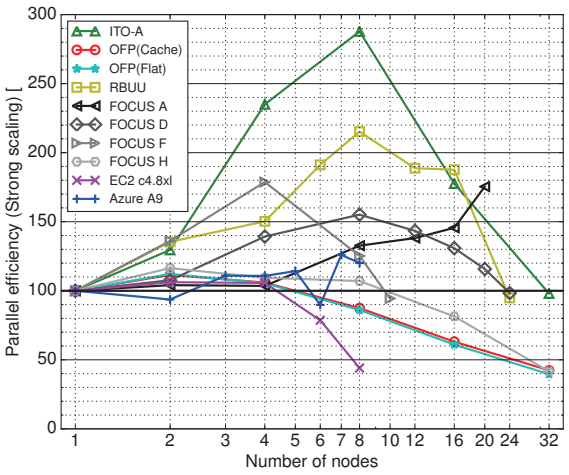


図 2: 並列化効率 (Strong scaling)

いる。本研究では、Reedbush-U および Oakforest-PACS において、摩擦速度 Re_τ が 110 のチャネル流れを対象に、圧力 Poisson 方程式に対する線型ソルバーとして、オリジナルの PCG に対して PPCG および GACG を用いた場合での性能比較を行なった。

表 3 に計算条件や検討ケースを示す。なお、Oakforest-PACS では、Flat メモリモードや 1 ノードあたり 64MPI プロセスのケースも検討したが、検討した 32,768MPI プロセス (512 ノードまたは 1,024 ノード) のまで範囲では、解析速度の上位 3 位まで 1 ノードあたり 32MPI プロセスかつ Cache メモリーモードで占められたので、ここではこの条件下での結果のみを示す。

表 3: 解析条件・検討ケース

対象問題	チャネル流 (摩擦速度 Re_τ=110、乱流モデル無し)
計算機	東京大学 Reedbush-U(RBU)
	JCAHPC Oakforest-PACS(OFP)、Cache メモリモード
解析ソルバ	pimpleFoam (OpenFOAM v1612+)
MPI プロセス数/ノード	32 (領域分割方法: scotch)
格子数・格子分割	0.37M (120 × 65 × 48) (RBU のみ)
	3M (240 × 130 × 96) (RBU のみ)
	24M (480 × 260 × 192)
RBU でのコンパイラ・MPI ライブラリ	Icc 2016.4, Intel MPI 5.1.3 (※)
	Icc 2018.1, Open MPI 1.10.7
OFP でのコンパイラ・MPI ライブラリ	Icc 2016.4, Intel MPI 5.1.3
	Icc 2018.1, Intel MPI 2018.1
圧力方程式線型ソルバ	PCG: オリジナルの前処理共役勾配法
	PPCG: Ghysel らによるパイプライン型前処理共役勾配法
	GACG: Gropp アリゴリズムによるパイプライン型前処理共役勾配法

※) `I_MPI_DAPL_TRANSLATION_CACHE` および `I_MPI_DAPL_UD_TRANSLATION_CACHE` に 0 を設定

Reedbush-U における各検討ケースでの 1 時間あたりの解析ステップ数 (解析速度) を図 3 に、オリジナルの PCG に対する解析速度比を図 4 に示す。解析速度は Intel MPI 5.1.3(コンパイラは Icc 2016.4) を用いたケースより、OpenMPI 1.10.7(コンパイラは Icc 2018.1) を用いたケースのほうが概ね高いが、OpenMPI のケースでは PPCG や GACG よりオリジナルの PCG のほうが概ね速く、例外は MPI プロセス数が 2 の冪乗でない 96 ノード (3,072 プロセス) や 112 ノード (3,584 プロセス) の時のみである。

一方、Intel MPI 5.1.3 を用いた場合、32 ノード (1,024 プロセス) 以上で、PCG より PPCG や GACG が高速になり、PPCG は最大で約 80%、GACG は最大で約 20%高速化された。高速化の割合は MPI プロセス数が 2 の冪乗でない場合に特に高い事から、Intel MPI 5.1.3 では、デフォルトの設定で自動的に選択される MPI_Allreduce のアルゴリズムがそのような状況下において MPI 通信のコストが高いため、MPI_Allreduce の代わりに MPI_IAllreduce を用いるパイプライン型での高速化率が高いと推測されるが、詳細な検討は今後の課題である。

Oakforest-PACS における各検討ケースでの 1 時間あたりの解析ステップ数 (解析速度) を図 5 に、オリジナルの PCG に対する解析速度比を図 6 に示す。Intel MPI 5.1.3(コンパイラは Icc 2016.4) を用いたケースでは、PPCG や GACG が PCG より最大 20%程度高速化される。一方、Intel MPI 2018.1(コンパイラは Icc 2018.1) を用いたケースでは、PPCG や GACG は PCG に対して高速化されない結果となった。今回のようにデフォルトの設定では、Intel MPI は MPI_Allreduce や MPI_IAllreduce など通信について，最適とされるアルゴリズムを自動的に選択する。Intel MPI 2018.1 では、MPI_Allreduce について、トポロジーを考慮し、かつノード内 SHM ベースのアルゴリズムが選択肢にあるが、Intel MPI 5.1.3 では、トポロジーを考慮するが、SHM ベースのアルゴリズムは選択肢にない。一方、現状ではどちらのバージョンでも、MPI_IAllreduce については、トポロジーを考慮したり、SHM ベースのアルゴリズムが選択肢にない。従って、Intel MPI 2018.1 においてパイプライン型が高速化されないのは、MPI_Allreduce が MPI_IAllreduce に置き変わる事で、アルゴリズムも変化して通信の効率が悪化し、通信隠蔽の効果を打ち消すためと推測される。実際、`I_MPI_ADJUST_ALLREDUCE` や `I_MPI_ADJUST_IALLREDUCE` でアルゴリズムを 5(Binominal tree) などに固定すると、32 ノード (1,024MPI プロセス) 以上で PPCG が PCG より概ね高速となるが、アルゴリズムが自動選択されるデフォルトのケースより解析速度のピークは減少してしまう。今後はパイプライン型 PCG において、最適な MPI_IAllreduce のアルゴリズムを選択する手法について検討する。また、Oakforest-PACS や FX100 などの計算機において、より大規模な問題で検討を行う予定である。

4 成果要覧

招待講演／招待論文

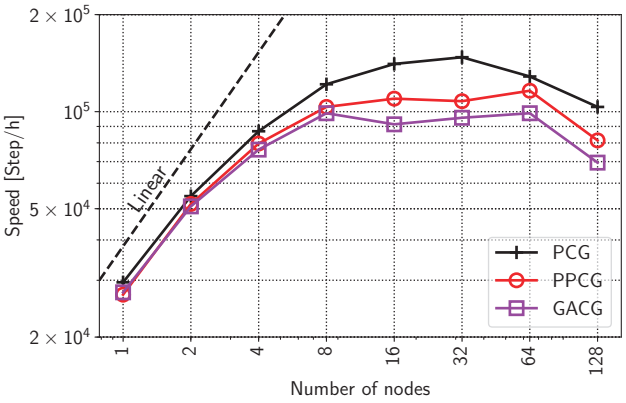
[招待 1] 今野　雅: OpenFOAM による流体解析ベンチマークテスト ～FOCUS・クラウド・スパコンでのチャネルおよびボックスファン流れ解析～, 計算科学振興財団 スパコン産業利用セミナー 2017 ～他社事例に学ぶ企業のシミュレーション技術活用～, 神戸, 2017 年 7 月.

その他の発表論文

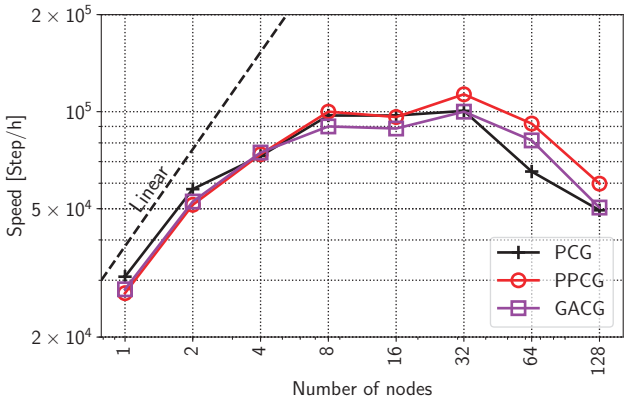
[発表 1] 大風翼，菊本英紀，小野浩己，今野雅，挾間貴雅，岸田岳士，中尾圭佑，池谷直樹，田畑侑一，富永禎秀: LES による市街地風環境予測のためのガイドライン策定に向けて その 1 1:1:2 単体建物周辺流れのベンチマークテスト概要, 2017 年度日本建築学会大会 (中国), 41445, 広島, 2017 年 9 月.

[発表 2] 小野浩己，大風翼，菊本英紀，今野雅，富永禎秀: LES による市街地風環境予測のためのガイドライン策定に向けて その 3 1:1:2 単体建物周辺流れの計算格子分割数に関する検討: 2017 年度日本建築学会大会 (中国), 41447, 広島, 2017 年 9 月.

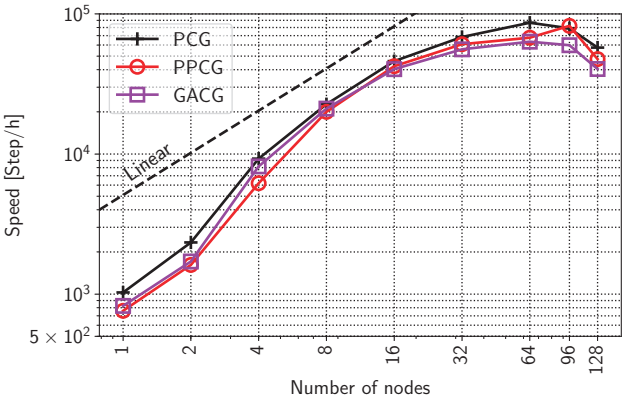
[発表 3] 富永禎秀，大風翼，今野雅，菊本英紀，小野浩己: LES による市街地風環境予測のためのガイドライン策定に向けて その 5 1:1:2 単体建物周辺流れにおける SGS 乱流モデルの影響: 2017 年度日本建築学会大会 (中国), 41449, 広島, 2017 年 9 月.



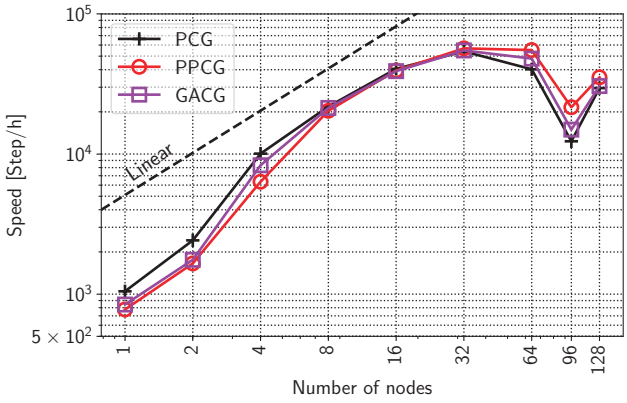
(a) 格子数 *0.37M, OpenMPI*



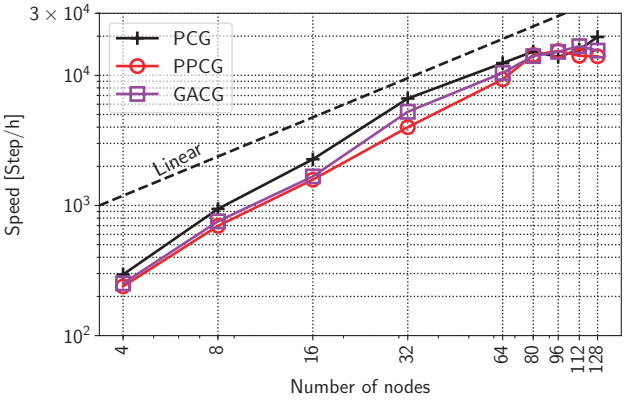
(b) 格子数 *0.37M, Intel MPI*



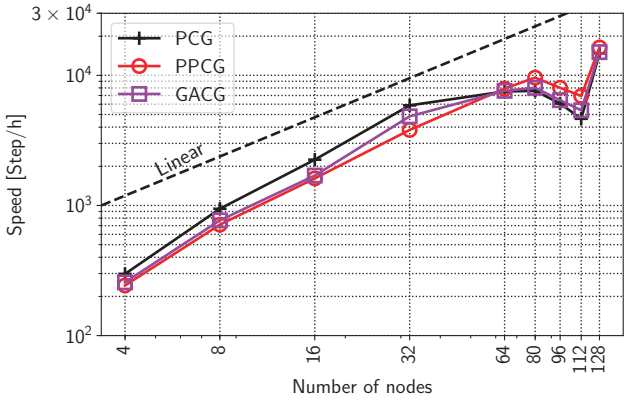
(c) 格子数 *3M, OpenMPI*



(d) 格子数 *3M, Intel MPI*

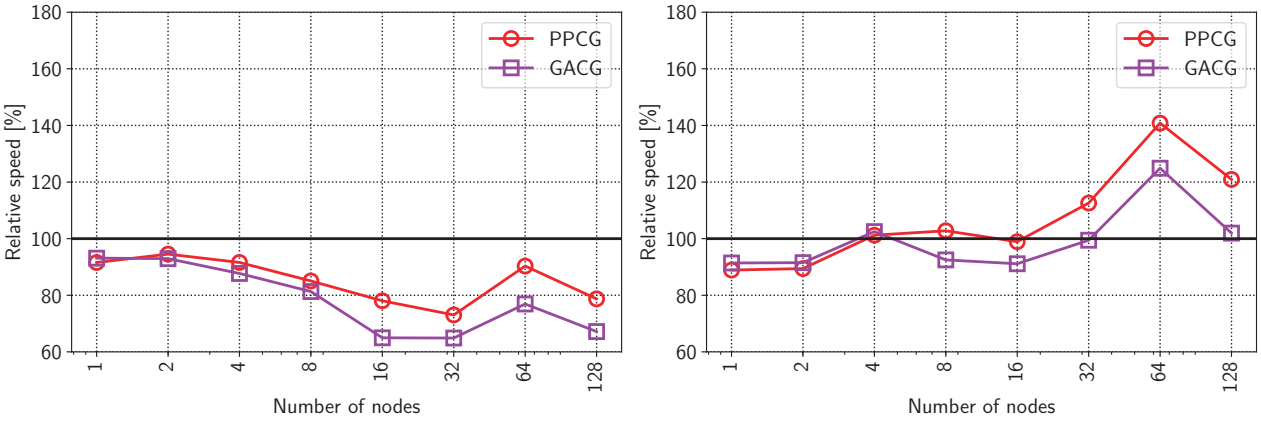


(e) 格子数 *24M, OpenMPI*



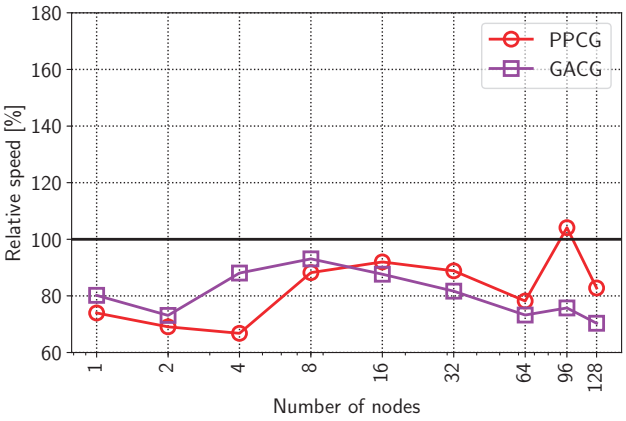
(f) 格子数 *24M, Intel MPI*

図 3: Reedbush-U でのチャネル流の解析速度

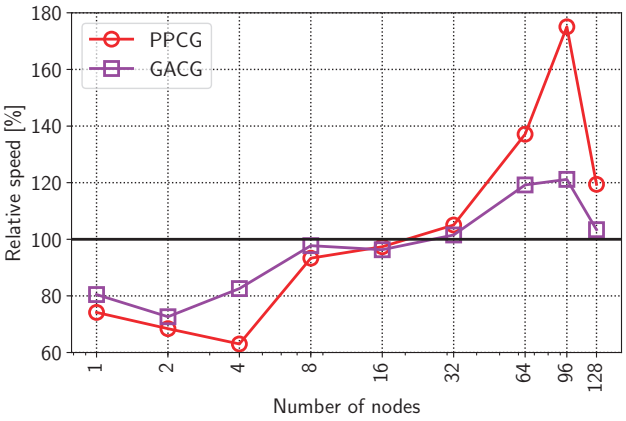


(a) 格子数 *0.37M, OpenMPI*

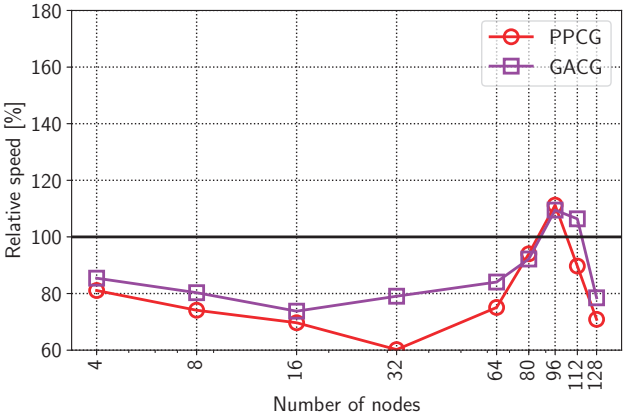
(b) 格子数 *0.37M, Intel MPI*



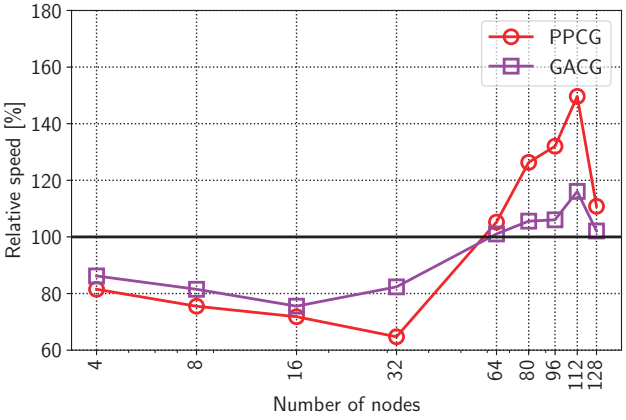
(c) 格子数 *3M, OpenMPI*



(d) 格子数 *3M, Intel MPI*

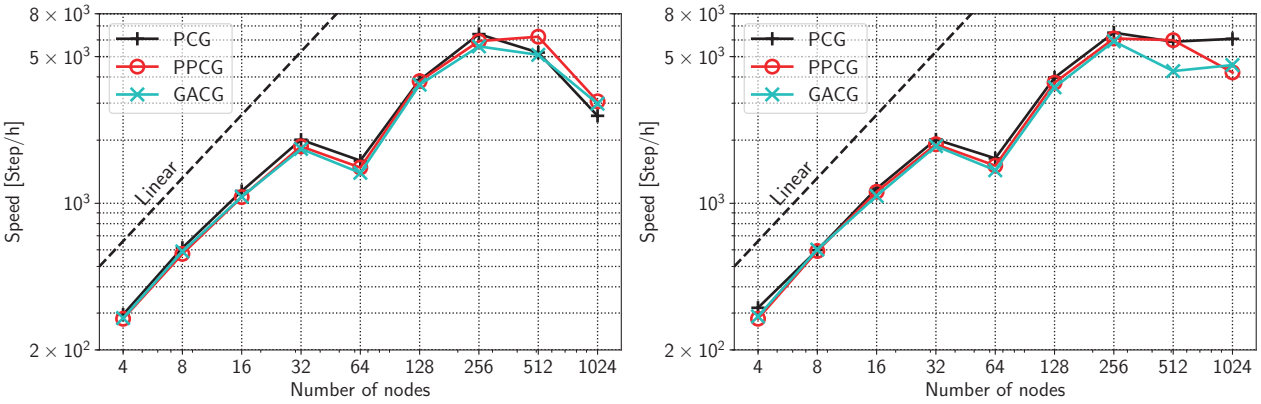


(e) 格子数 *24M, OpenMPI*



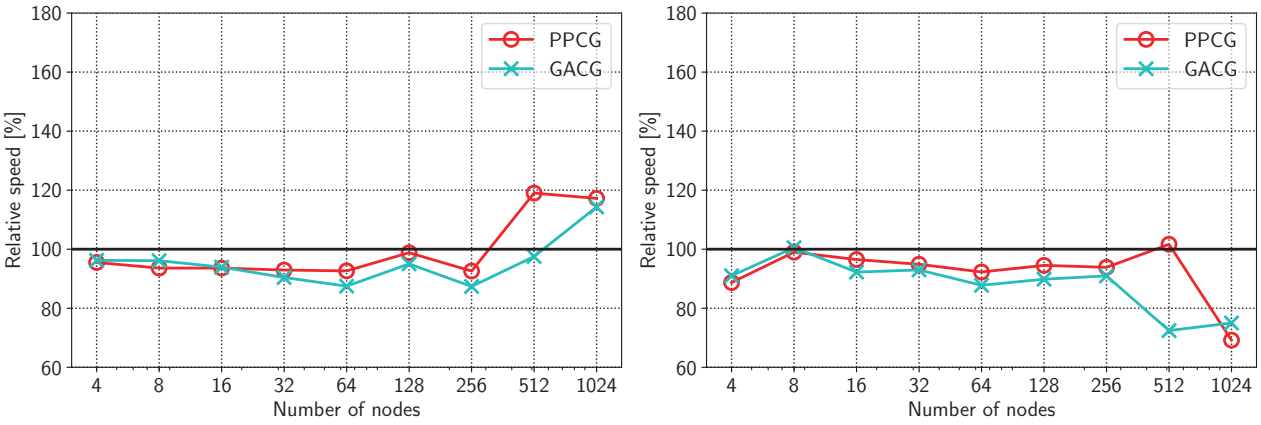
(f) 格子数 *24M, Intel MPI*

図 4: Reedbush-U でのチャネル流のオリジナル PCG に対する解析速度比



(a) Intel MPI 5.1.3 *(b) Intel MPI 2018.1*

図 5: Oakforest-PACS での 24M 格子チャネル流の解析速度



(a) Intel MPI 5.1.3 *(b) Intel MPI 2018.1*

図 6: Oakforest-PACS での 24M 格子チャネル流のオリジナル PCG に対する解析速度比

[発表 4] 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 1 ルームエアコンディショナー及びセントラル空調による室内温熱環境の CFD 解析: 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会 (高知), D-25, 高知, 2017 年 9 月.

[発表 5] 今野雅: OpenFOAM における Communication-Avoiding CG 法の実装と性能評価, オープン CAE 学会オープン CAE シンポジウム 2017, C24, 名古屋, 2017 年 12 月.

[発表 6] 大風翼，菊本英紀，小野浩己，今野雅，挾間貴雅，岸田岳士，中尾圭佑，池谷直樹，田畑侑一，富永禎秀: LES による 1:1:2 単体建物周辺流れのベンチマークテストに基づく各種計算条件が計算結果に及ぼす影響の検討, 第 31 回数値流体力学シンポジウム, B09-1, 京都, 2017 年 12 月.

[発表 7] 今野雅, 片桐孝洋: 並列プログラミング講習会活動と実用アプリケーションクラウドのご紹介, OpenFOAM による流体解析ベンチマークテスト FOCUS・クラウド・スパコンでのチャネルおよびボックスファン流れ解析, 第 17 回 PC クラスタシンポジウム, 東京, 2017 年 12 月.

[発表 8] Akashi MOCHIDA, Shun WATANABE, Tsubasa OKAZE, Yoshiteru TAKANO, Masashi IMANO, Hiroyasu KOBAYASHI: CFD prediction of effects of windbreak forests on occurrence frequency of wind-blown sand in coastal agricultural area of Sendai plain, International Workshop on WIND-RELATED DISASTERS & MITIGATION, 59, Sendai, March 2018.

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.

[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] 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 76 回「OpenFOAM 入門」(2017 年 5 月), 第 83 回「OpenFOAM 入門」(2017 年 8 月), 第 92 回「OpenFOAM 初級」(2018 年 1 月).

[特記 6] 九州大学情報基盤研究開発センター「OpenFOAM ハンズオン講習会」, https://www.cc.kyushu-u.ac.jp/scp/users/news/2017/416.html, ハンズオン講習会の講師を担当, 2018 年 3 月.

[特記 7] 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 73 回 (Vol.19, No.3, 2017 年 5 月), 第 76 回 (Vol.19, No.4, 2017 年 7 月), 第 83 回 (Vol.19, No.5, 2017 年 9 月)

[特記 8] 今野　雅: オープンソース CFD コード OpenFOAM の高度化, 東京大学情報基盤センター年報，第 18 号, pp.265-270, 2017 年.

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。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。

本年度は、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 H29-Ca-0118) 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).

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　　副課長　松岡喜美代

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

ECCS2016 の端末は Apple iMac で、駒場キャンパス、本郷キャンパス、柏キャンパスに合計 1,341 台設置している。OS は端末起動時に Mac OS(Mac 環境)と Windows(Windows 環境)から選択することができる。

システムイメージの更新は OS のバージョンアップ、セキュリティアップデート、アプリケーションのインストールやアップデートに伴って行っていた。

2017 年度の主な更新は以下の通りである。

Mac 環境

2017 年 4 月 4 日

- Apple ソフトウェアアップデート
  - iTunes アップデート 12.6
  - RemoteDesktop クライアントアップデート 3.9.0
- Adobe Flash Player 25.0.0.127
- Firefox 45.8.0
- Google Chrome 56.0.2987.110
- Thunderbird 45.8.0
- MS Office 15.32.0
- MS Remote Desktop 8.0.38
- MATLAB R2017a
- JMP 13.0.0
- Mathematica 11.0.1
- R 3.3.3
- R Studio 1.0.136

2017 年 5 月 11 日

- ソフトウェアアップデート
  - セキュリティアップデート 2017-001 10.11.6
  - iTunes 12.6
  - Safari 10.1
  - iMovie 10.1.5
- Office アップデート
  - Microsoft AutoUpdate 3.9
  - Microsoft PowerPoint Update 15.33.0
  - Microsoft Word Update 15.33.0
  - Microsoft Excel Update 15.33.0
  - Microsoft Outlook Update 15.33.0
  - Microsoft OneNote Update 15.33.0
- Adobe Flash Player 25.0.0.148
- Java 1.8.0_131
- Firefox 45.9.0esr
- Thunderbird 52.0.1
- Google Chrome 58.0.3029.8
- JMP Pro ライセンス更新

2017 年 6 月 8 日

- ソフトウェアアップデート

        - セキュリティアップデート 2017-002 10.11.6
        - Safari 10.1.1
        - iTunes 12.6.1
- Office アップデート
    - Microsoft AutoUpdate 3.9.1
    - Microsoft PowerPoint Update 15.34.0
    - Microsoft Word Update 15.34.0
    - Microsoft Excel Update 15.34.0
    - Microsoft Outlook Update 15.34.0
    - Microsoft OneNote Update 15.34.0
- Adobe Flash Player 25.0.0.171
- Thunderbird 52.1.1
- Google Chrome 58.0.3029.110
- Cyberduck 6.0.0
- VLC 2.2.4
- GIMP 2.8.22
- R 3.4.0
- StataSE 14.2

2017 年 7 月 6 日

- ソフトウェアアップデート
    - iMovie 10.1.6
    - GarageBand 10.2.0
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.35.0
    - Microsoft Word Update 15.35.0
    - Microsoft Excel Update 15.35.0
    - Microsoft Outlook Update 15.35.0
    - Microsoft OneNote Update 15.35.0
- Adobe Flash Player 26.0.0.131
- Firefox 52.2.0
- Thunderbird 52.2.0
- Google Chrome 59.0.3071.109
- Microsoft Remote Desktop 8.0.40
- RStudio 1.0.143

2017 年 8 月 3 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-003 10.11.6
    - iTunes 12.6.2
    - Safari 10.1.2
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.36.0
    - Microsoft Word Update 15.36.0
    - Microsoft Excel Update 15.36.0
    - Microsoft Outlook Update 15.36.0
    - Microsoft OneNote Update 15.36.0
- Adobe Acrobat Reader DC 17.009.20058
- Adobe Flash Player 26.0.0.137
- Firefox 52.2.1
- Thunderbird 52.2.1
- Java 1.8.0_141
- Google Chrome 59.0.3071.115
- Microsoft Remote Desktop 8.0.41
- Stata/SE 15.0
- Octave 4.0.3

2017 年 8 月 31 日

- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.37.0
    - Microsoft Word Update 15.37.0
    - Microsoft Excel Update 15.37.0
    - Microsoft Outlook Update 15.37.0
    - Microsoft OneNote Update 15.37.0
- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20095
- Adobe Flash Player 26.0.0.151
- Firefox 52.3.0
- Thunderbird 52.3.0
- Java 1.8.0_144
- Google Chrome 60.0.3112.101
- Stata/SE 15.0 (update 20Jul2017)
- Anaconda3 4.4.0
- Adobe Acrobat Reader 環境設定変更

2017 年 9 月 22 日

- ソフトウェアアップデート
    - iTunes 12.7.0.166
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.38.0
    - Microsoft Word Update 15.38.0
    - Microsoft Excel Update 15.38.0
    - Microsoft Outlook Update 15.38.0
    - Microsoft OneNote Update 15.38.0
- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20098
- Adobe Flash Player 27.0.0.130
- Google Chrome 61.0.3163.79
- Microsoft Remote Desktop 8.0.42
- R 3.4.1
- RStudio 1.0.153

2017 年 11 月 2 日

- ソフトウェアアップデート
    - Safari 11.0
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.39.0
    - Microsoft Word Update 15.39.0
    - Microsoft Excel Update 15.39.0
    - Microsoft Outlook Update 15.39.0
    - Microsoft OneNote Update 15.39.0
- Adobe Flash Player 27.0.0.170
- Firefox 52.4.1
- Thunderbird 52.4.0
- Google Chrome 61.0.3163.100
- Microsoft Remote Desktop 8.0.43
- MacTeX
    - TeXShop:3.77
    - BibDesk:1.6.10（4171）
    - LaTeXit:2.8.1
    - TeX Live:1.28

2017 年 11 月 30 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-004 10.11.6
    - iTunes 12.7.1
    - Safari 11.0.1

情報メディア教育

- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.40
    - Microsoft Word Update 15.40
    - Microsoft Excel Update 15.40
    - Microsoft Outlook Update 15.40
    - Microsoft OneNote Update 15.40
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20044
- Adobe Flash Player 27.0.0.187
- Firefox 52.5.0 esr
- Java 1.8.0_151
- Google Chrome 62.0.3202.94
- MATLAB R2017b
- StataSE 15.1
- R 3.4.2
- RStudio 1.1.383

2017 年 12 月 28 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-005 10.11.6
    - iTunes 12.7.2
    - Safari 11.0.2
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.41
    - Microsoft Word Update 15.41
    - Microsoft Excel Update 15.41
    - Microsoft Outlook Update 15.41
    - Microsoft OneNote Update 15.41
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20050
- Adobe Flash Player 28.0.0.126
- Firefox 52.5.2 esr
- Thunderbird 52.5.0
- Google Chrome 63.0.3239.84
- StataSE 21 Nov 2017(15.1)
- R 3.4.3
- VLC 2.2.8
- Cyberduck 6.3.2

2018 年 2 月 1 日

- ソフトウェアアップデート
    - Safari 11.0.2
- Adobe Flash Player 28.0.0.137
- Firefox 52.5.3 esr
- Thunderbird 52.5.2
- Google Chrome 63.0.3239.132

2018 年 3 月 2 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2018-001 10.11.6
    - iTunes 12.7.3
    - Safari 11.0.3
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 16.10
    - Microsoft Word Update 16.10
    - Microsoft Excel Update 16.10
    - Microsoft Outlook Update 16.10
    - Microsoft OneNote Update 16.10
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20036
- Adobe Flash Player 28.0.0.161
- Firefox 52.6.0 esr

- Thunderbird 52.6.0
- Java 1.8.0_161
- Google Chrome 64.0.3282.167
- StataSE 13 Feb 2018(15.1)
- RStudio 1.1.423

2018 年 3 月 14 日

- macOS High Sierra(10.13.3)

2018 年 3 月 30 日

- Office アップデート
    - icrosoft PowerPoint Update 16.11.1
    - Microsoft Word Update 16.11.1
    - Microsoft Excel Update 16.11.1
    - Microsoft Outlook Update 16.11.1
    - Microsoft OneNote Update 16.11.1
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20038
- Adobe Flash Player 29.0.0.113
- Firefox 52.7.3 esr
- Thunderbird 52.7.0
- Google Chrome 65.0.3325.181

Windows 環境

2017 年 4 月 4 日

- WindowsUpdate
- Adobe Flash Player 25.0.0.127
- Firefox 52.0.1
- Google Chrome 57.0.2987.110
- ThunderBird 45.8.0
- MATLAB R2017a
- JMP 13.0.0
- Mathematica 11.0.1
- R 3.3.3
- R Studio 1.0.136

2017 年 5 月 11 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 17.009.20044
- Adobe Flash Player NPAPI 25.0.0.148 PPAPI 25.0.0.148
- Java 8.0.1310.11
- Firefox 53.0
- ThunderBird 52.0.1
- Google Chrome 58.0.3029.81
- JMP Pro ライセンス更新

2017 年 7 月 6 日

- WindowsUpdate
- Adobe Flash Player 26.0.0.131
- Firefox 54.0
- ThunderBird 52.2.0
- Google Chrome 59.0.3071.109
- RStudio 1.0.143

2017 年 8 月 3 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2017.009.20058

- Adobe Flash Player 26.0.0.137
- Firefox 54.0.1
- ThunderBird 52.2.1
- Java 1.8.0_141
- Google Chrome 59.0.3071.115
- Stata/SE 15.0
- Prisade DecisionTools 削除

2017 年 8 月 31 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20095
- Adobe Flash Player 26.0.0.151
- Firefox 55.0.2
- ThunderBird 52.3.0
- Java 1.8.0_144
- Google Chrome 60.0.3112.101
- Stata/SE 15.0(update 20Jul2017)
- Anaconda3 4.4.0
- Adobe Acrobat Reader 環境設定変更

2017 年 9 月 22 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20098
- Adobe Flash Player 27.0.0.130
- Firefox 55.0.3
- Google Chrome 61.0.3163.79
- R 3.4.1
- RStudio 1.0.153
- EViews 10

2017 年 11 月 2 日

- WindowsUpdate
- Adobe Flash Player 27.0.0.170
- Firefox 56.0
- Thunderbird 52.4.0
- Google Chrome 61.0.3163.100
- Rhinoceros 5.14.522.8390

2017 年 11 月 30 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20044
- Adobe Flash Player 27.0.0.187
- Firefox 57.0
- Java 1.8.0_152
- Google Chrome 62.0.3202.94
- TeX Live 2017
- MATLAB R2017b
- StataSE 15.1
- R 3.4.2
- RStudio 1.1.383

2017 年 12 月 28 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20050
- Adobe Flash Player 28.0.0.126
- Firefox 57.0.2
- Thunderbird 52.5.0
- Google Chrome 63.0.3239.84

- StataSE 21.Nov.2017(15.1)
- VLC 2.2.6
- Cyberduck 6.3.2

2018 年 2 月 1 日

- WindowsUpdate
- Adobe Flash Player 28.0.0.137
- Firefox 57.0.4
- Thunderbird 52.5.0
- Google Chrome 63.0.3239.132

2018 年 3 月 2 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20036
- Adobe Flash Player 28.0.0.161
- Firefox 58.0.2
- Thunderbird 52.6.0
- Java 1.8.0_162
- Google Chrome 64.0.3282.167
- StataSE 13 Feb 2018(15.1)
- RStudio 1.1.423

2018 年 3 月 30 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20038
- Adobe Flash Player 29.0.0.113
- Firefox 59.0.2
- Thunderbird 52.7.0
- Google Chrome 65.0.3325.181
- Microsoft MPI

リモートアクセス環境

2017 年 5 月 11 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-001 10.11.6
    - iTunes 12.6
    - Safari 10.1
- Adobe Flash Player 25.0.0.148
- Java 1.8.0_131
- Firefox 45.9.0esr
- Thunderbird 52.0.1
- Google Chrome 58.0.3029.8

2017 年 6 月 8 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-002 10.11.6
    - Safari 10.1.1
    - iTunes 12.6.1
- Adobe Flash Player 25.0.0.171
- Thunderbird 52.1.1
- Google Chrome 58.0.3029.110
- Cyberduck 6.0.0
- VLC 2.2.4
- GIMP 2.8.22
- R 3.4.0
- StataSE 14.2

2017 年 7 月 6 日

- ソフトウェアアップデート
    - iMovie 10.1.16
    - Grageband 10.2.0
- Adobe Flash Player 26.0.0.131
- Firefox 52.2.0
- Thunderbird 52.2.0
- Google Chrome 59.0.3071.109
- RStudio 1.0.143

2017 年 8 月 3 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-003 10.11.6
    - iTunes 12.6.2
    - Safari 10.1.2
- Adobe Acrobat Reader DC 17.009.20058
- Adobe Flash Player 26.0.0.137
- Firefox 52.2.1
- Thunderbird 52.2.1
- Java 1.8.0_141
- Google Chrome 59.0.3071.115
- Stata/SE 15.0

2017 年 8 月 31 日

- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20095
- Adobe Flash Player 26.0.0.151
- Firefox 52.3.0
- Thunderbird 52.3.0
- Java 1.8.0_144
- Google Chrome 60.0.3112.101
- Stata/SE 15.0(update 20Jul2017)
- Anaconda3 4.4.0

2017 年 9 月 22 日

- iTunes 12.7.0.166
- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20098
- Adobe Flash Player 27.0.0.130
- Google Chrome 61.0.3163.79
- R 3.4.1
- RStudio 1.0.153

2017 年 11 月 2 日

- Safari 11.0
- Adobe Flash Player 27.0.0.170
- Firefox 52.4.1
- Thunderbird 52.4.0
- Google Chrome 61.0.3163.100
- Microsoft Remote Desktop 8.0.43
- MacTeX
    - TeXShop:3.77
    - BibDesk:1.6.10（4171）
    - LaTeXit:2.8.1
    - TeX Live:1.28

2017 年 11 月 30 日

- ソフトウェアアップデート

    - セキュリティアップデート 2017-004 10.11.6
    - iTunes 12.7.1
    - Safari 11.0.1
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20044
- Adobe Flash Player 27.0.0.187
- Firefox 52.5.0 esr
- Java 1.8.0_151
- Google Chrome 62.0.3202.94
- MATLAB R2017b
- StataSE 15.1
- R 3.4.2
- RStudio 1.1.383

2017 年 12 月 28 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-005 10.11.6
    - Safari 11.0.2
    - iTunes 12.7.2
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20050
- Adobe Flash Player 28.0.0.126
- Firefox 52.5.2 esr
- Thunderbird 52.5.0
- Google Chrome 63.0.3239.84
- StataSE 21 Nov 2017(15.1)
- R 3.4.3
- VLC 2.2.8
- Cyberduck 6.3.2

2018 年 2 月 1 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2018-001 10.11.6
    - iTunes 12.7.3
    - Safari 11.0.3
- Adobe Flash Player 28.0.0.137
- Firefox 52.5.3 esr
- Thunderbird 52.5.2
- Google Chrome 63.0.3239.132

2018 年 3 月 2 日

- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20036
- Adobe Flash Player 28.0.0.161
- Firefox 52.6.0 esr
- Thunderbird 52.6.0
- Java 1.8.0_161
- Google Chrome 64.0.3282.167
- StataSE 13 Feb 2018(15.1)
- RStudio 1.1.423

2018 年 3 月 14 日

- macOS High Sierra(10.13.3)

2018 年 3 月 30 日

- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20038
- Adobe Flash Player 29.0.0.113
- Firefox 52.7.3 esr
- Thunderbird 52.7.0
- Google Chrome 65.0.3325.181

SSH サーバ

2017 年 6 月 8 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-002 10.11.6
    - Safari 10.1.1
    - iTunes 12.6.1
- Adobe Flash Player 25.0.0.171
- Thunderbird 52.1.1
- Google Chrome 58.0.3029.110
- Cyberduck 6.0.0
- VLC 2.2.4
- GIMP 2.8.22
- R 3.4.0
- StataSE 14.2

2017 年 7 月 6 日

- ソフトウェアアップデート
    - iMovie 10.1.16
    - Grageband 10.2.0
- Adobe Flash Player 26.0.0.131
- Firefox 52.2.0
- Thunderbird 52.2.0
- Google Chrome 59.0.3071.109
- RStudio 1.0.143

2017 年 8 月 3 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-003 10.11.6
    - iTunes 12.6.2
    - Safari 10.1.2
- Adobe Acrobat Reader DC 17.009.20058
- Adobe Flash Player 26.0.0.137
- Firefox 52.2.1
- Thunderbird 52.2.1
- Java 1.8.0_141
- Google Chrome 59.0.3071.115
- Stata/SE 15.0

2017 年 8 月 31 日

- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20095
- Adobe Flash Player 26.0.0.151
- Firefox 52.3.0
- Thunderbird 52.3.0
- Java 1.8.0_144
- Google Chrome 60.0.3112.101
- Stata/SE 15.0 (update 20Jul2017)
- Anaconda3 4.4.0

2017 年 9 月 22 日

- iTunes 12.7.0.166
- Adobe Acrobat Reader DC 2017.012.20098
- Adobe Flash Player 27.0.0.130
- Google Chrome 61.0.3163.79
- R 3.4.1
- RStudio 1.0.153

2017 年 11 月 2 日

- Safari 11.0
- Adobe Flash Player 27.0.0.170
- Firefox 52.4.1
- Thunderbird 52.4.0
- Google Chrome 61.0.3163.100
- Microsoft Remote Desktop 8.0.43
- MacTeX
    - TeXShop:3.77
    - BibDesk:1.6.10（4171）
    - LaTeXit:2.8.1
    - TeX Live:1.28

2017 年 11 月 30 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-004 10.11.6
    - iTunes 12.7.1
    - Safari 11.0.1
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20044
- Adobe Flash Player 27.0.0.187
- Firefox 52.5.0 esr
- Java 1.8.0_151
- Google Chrome 62.0.3202.94
- MATLAB R2017b
- StataSE 15.1
- R 3.4.2
- RStudio 1.1.383

2017 年 12 月 28 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2017-005 10.11.6
    - Safari 11.0.2
    - iTunes 12.7.2
- Adobe Acrobat Reader DC 2018.009.20050
- Adobe Flash Player 28.0.0.126
- Firefox 52.5.2 esr
- Thunderbird 52.5.0
- Google Chrome 63.0.3239.84
- StataSE 21 Nov 2017(15.1)
- R 3.4.3
- VLC 2.2.8
- Cyberduck 6.3.2

2018 年 2 月 1 日

- ソフトウェアアップデート
    - セキュリティアップデート 2018-001 10.11.6
    - iTunes 12.7.3
    - Safari 11.0.3
- Adobe Flash Player 28.0.0.137
- Firefox 52.5.3 esr
- Thunderbird 52.5.2
- Google Chrome 63.0.3239.132

2018 年 3 月 2 日

- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20036
- Adobe Flash Player 28.0.0.161
- Firefox 52.6.0 esr
- Thunderbird 52.6.0
- Java 1.8.0_161

- Google Chrome 64.0.3282.167
- StataSE 13 Feb 2018(15.1)
- RStudio 1.1.423

2018 年 3 月 14 日

- macOS High Sierra(10.13.3)

2018 年 3 月 30 日

- Adobe Acrobat Reader DC 2018.011.20038
- Adobe Flash Player 29.0.0.113
- Firefox 52.7.3 esr
- Thunderbird 52.7.0
- Google Chrome 65.0.3325.181

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ている。2017 年度からはオンライン講習を基本としているが、部局からの依頼による出張講習会も行う。

2017 年度の実施状況は次ページのとおりである。

表 1. センター主催の新規利用者向け講習会受講者数

	本郷地区		オンライン講習	
	福武ホール			
	開催数	受講者数	受講数	合格者数
4 月	40	155	1405	851
5 月			135	77
6 月			76	48
7 月			135	70
8 月			57	27
9 月	40	44	638	353
10 月	42	23	465	240
11 月			189	91
12 月			114	54
1 月			87	38
2 月			43	22
3 月			42	23
合計	122	222	3386	1894

表 2. 部局依頼による出張講習会

開催日	依頼部局	対象者	受講者数
4 月 3 日	法科大学院	法科大学院新入生	206
4 月 3 日	公共政策大学院	公共政策大学院新入生	68

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、2017 年度(各月右側)と 2016 年度(同左側)を載せてある。

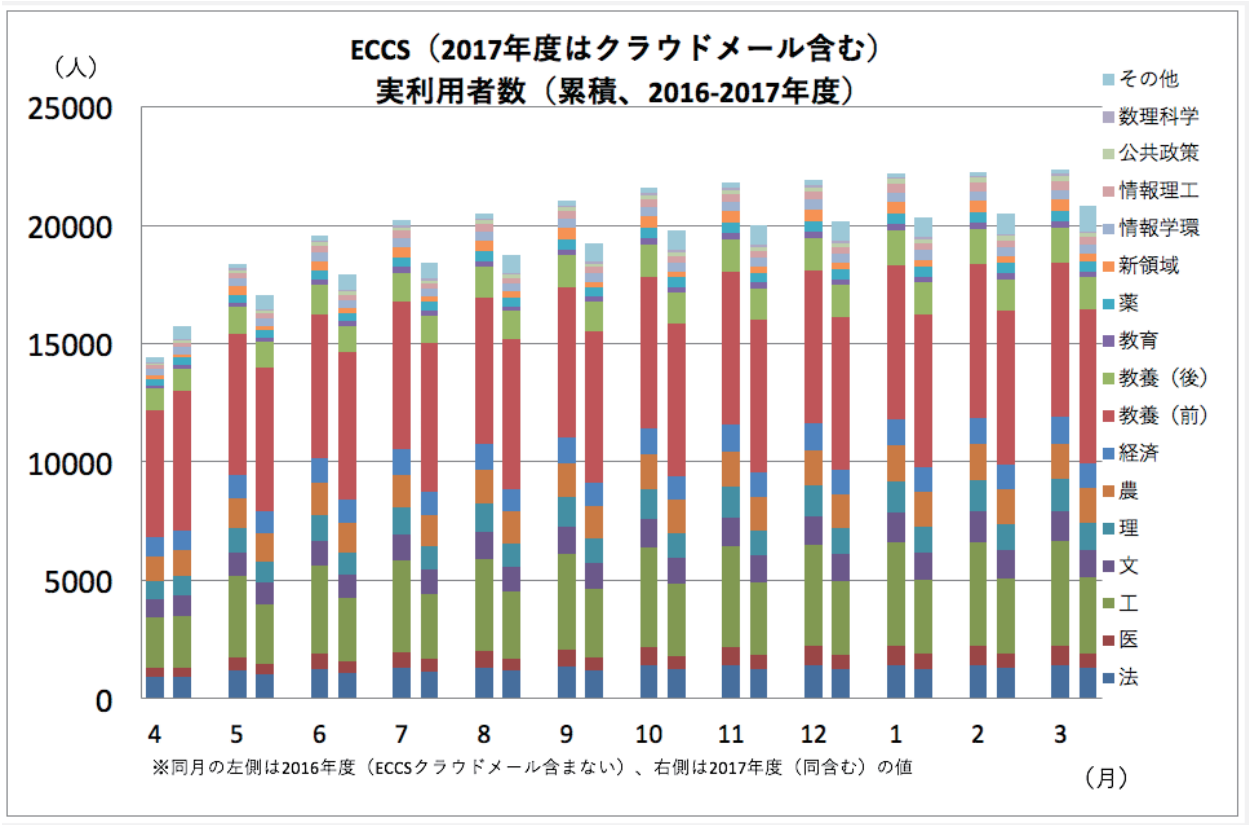


図 1. 部局別実利用者数

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。

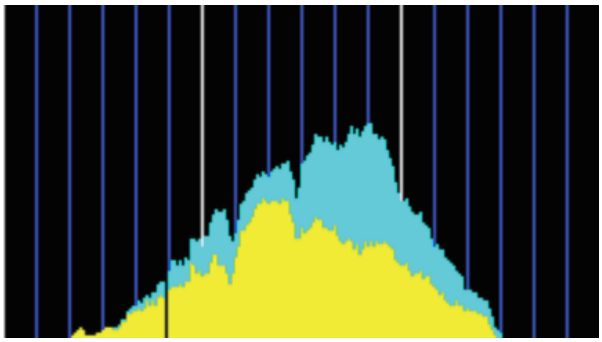


図 2. 駒場情報教育棟 1F 自習室 (124 台)

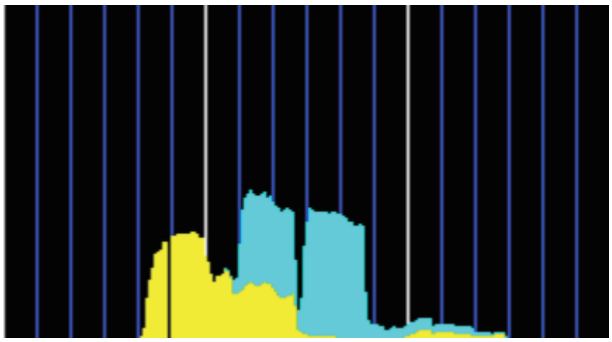


図 3. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 1 (165 台)

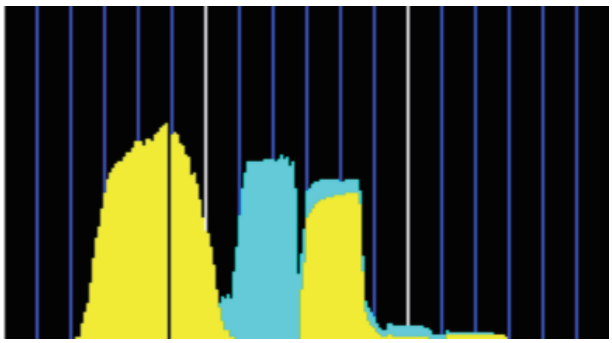


図 4. 駒場情報教育棟 3F 大演習室 2 (135 台)

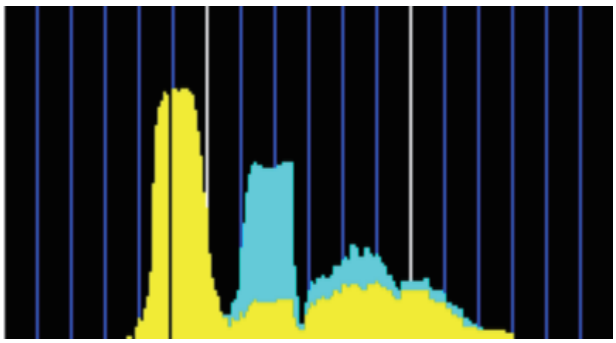


図 5. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 3 (108 台)

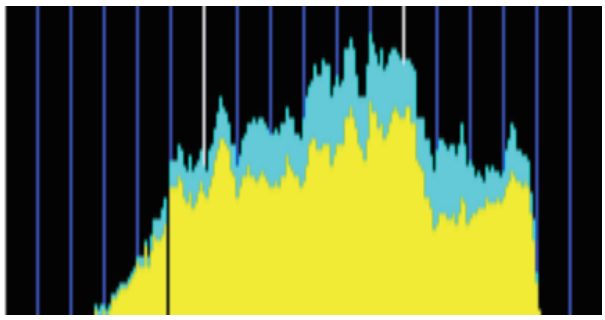


図 6. 駒場図書館 1F メディアパーク (58 台)

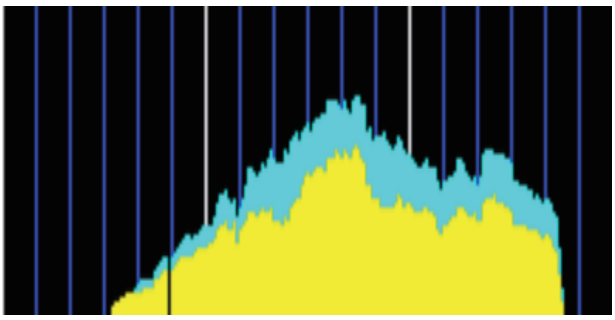


図 7. 総合図書館 1F メディアプラザ (69 台)

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	216	180	387	6	623	41	159
5 月	139	79	80	2	93	15	50
6 月	148	71	73	0	98	18	48
7 月	128	65	38	0	53	5	49
8 月	85	32	22	0	26	12	34
9 月	128	78	105	7	98	34	87
10 月	189	111	100	2	133	31	69
11 月	158	42	79	3	90	10	29
12 月	148	44	68	0	60	11	33
1 月	112	47	43	0	38	17	68
2 月	98	52	41	9	40	11	115
3 月	79	126	54	24	41	18	102
合計	1,628	927	1,090	53	1,393	223	843

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

2017 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。今年度は特にフィッシング防止のための改修や対応が行われた。

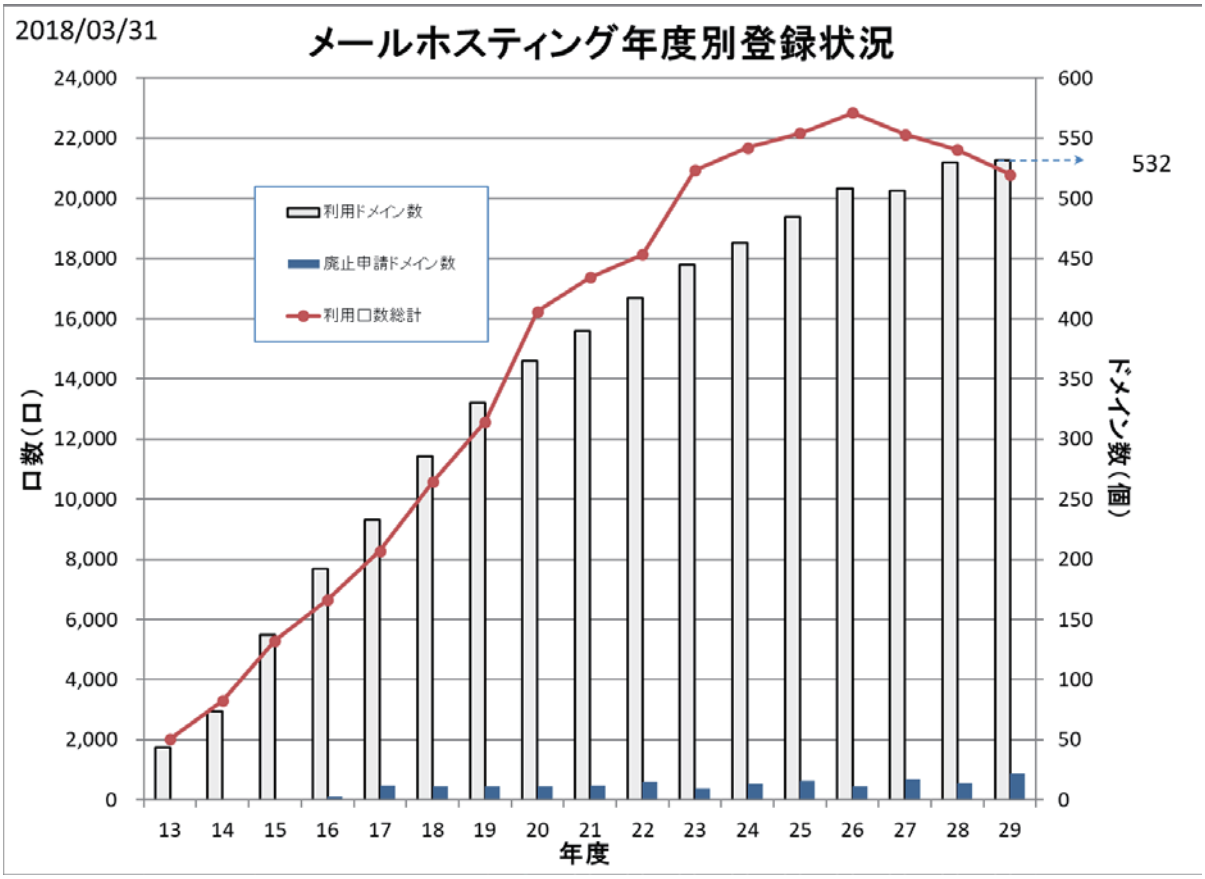
2017 年、情報メディア部門管理機器全体で Web 機能を持つサーバは全て等しく HTTPS 対応とする方針となり、同年 9 月 29 日メールホスティング広報サイトも対応を行った。同時に正しく検証可能なサーバ証明書を UPKI から取得設定し、正規広報サイトである証明を行えるようになっている。

2017 年 10 月 20 日には、メールホスティングユーザーアカウントのパスワード期限を 1 年間とする改修を行ってから 1 年が経過し、正しく動作したことの確認と、ユーザー向けのリマインダとして各種通知及び広報対応を行っている。これにより、同一のパスワード文字列を永続的に使われるより、パスワード詐取された場合の不正アクセスリスクが抑えられるようになった。特に、利用されなくなったアカウントが削除されず残っている場合の効果が大きい。

その他の経過として、2018 年 3 月 6 日、電源系統の障害により ECCS 及び MailHosting のほぼ全てのサービスが利用できない状態となり、同日 21 時 32 分に復旧した。

2　参加組織

2017 年度末時点において、本サービスを利用している組織は、532 組織であり、それらの申し込み口数の合計は 20,790 口である。2016 年度末に比べ、2 組織増加、1,060 口減少している。



3　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

2017 年
- 4 月 20 日　2017 年度継続手続きの案内について
- 4 月 20 日　メールホスティングの廃止手続き
- 5 月　7 日　DNS に何を登録しなければならないのでしょうか？
- 5 月　7 日　Email Server Country Authentication Restriction System Failure [Solved]
- 5 月 18 日　メールサーバの国別認証制限機能の障害について［終了］
- 6 月　6 日　メールアカウント盗用への注意喚起
- 6 月　6 日　【ECCS、教職員メール、メールホスティング】仮想サーバメンテナンスのお知らせ（2017.6.5-6）【終了】
- 6 月　7 日　【ECCS、教職員メール、メールホスティング】メンテナンスのお知らせ（2017.6.6）【終了】
- 6 月　7 日　[ECCS, ECCS Staff Email and MailHosting] System Maintenance (June 6, 2017)[completed]
- 6 月 21 日　MailSuite からの応答が切れる、または遅い（6/21 更新）
- 6 月 22 日　メール送信サーバの更新作業について
- 7 月 13 日　学内組織向けメールサーバの利用負担金について

8 月 23 日 【管理者向け】MailSuite での迷惑メール隔離の管理
8 月 29 日 【利用者向け】迷惑メール隔離リストの対処方法
9 月 12 日 SPF レコードを設定する際の注意事項
9 月 22 日 【利用者向け】パスワードの更新方法
9 月 22 日 メールホスティングのユーザーアカウントパスワード有効期限通知について
10 月 4 日 メールホスティングの廃止手続き
10 月 12 日 【MailSuite】メールリスト機能と転送機能の違い
10 月 18 日 【管理者向け】ユーザーパスワードの再設定方法
10 月 19 日 ユーザーアカウントのパスワード有効期限について
11 月 1 日 ECCS, ECCS Staff Email and MailHosting] System Maintenance (November 7, 2017)[completed]
11 月 1 日 【ECCS、教職員メール、メールホスティング】メンテナンスのお知らせ（2017.11.7）【完了】
11 月 9 日 ECCS を騙るフィッシング詐欺について
11 月 21 日 【管理者向け】当センター迷惑メール対策サービス終了に伴う MailSuite の自動 SPAM チェック（Auto-Detect）機能に関する注意点

2018 年
2 月 1 日 DNS に何を登録しなければならないのでしょうか？
2 月 1 日 管理インターフェース作業不具合について
2 月 8 日 教職員メール及びメールホスティングサービス メンテナンス 2018 年 2 月 14 日（18:00-19:00）
2 月 27 日 【終了】2/27 システムメンテンナスに伴うサービス一時停止について
3 月 7 日 【障害】UPS 機器故障に伴うシステム障害【解決】
3 月 8 日 UTNET 保守による ECCS 外部通信との停止について
3 月 27 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 27 日 2018 年度継続手続きの案内について

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

2017 年 4 月 21 日にシステムのバージョンアップを行った。
2017 年 11 月 13 日に広報サイトを情報基盤センターHP 配下のページへ移転を行った。
　移転先 URL：https://www.itc.u-tokyo.ac.jp/education/services/dns-hosting/

2　参加組織

2017 年度末時点において、35 組織が利用中である。2016 年度末から 4 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。

2017 年
　4 月　 20 日　更新用サーバの一時停止
　11 月　 13 日　広報ページの移転について

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 年度も引き続きサービスを行った。

2　サービス統計

2017 年度に利用を開始した組織数は 64、利用を中止した組織数は 34 であった。2017 年 3 月末現在の総利用組織数は 884 である。利用組織数の変化を図 1 に示す。

利用負担金免除制度は、2016 年 10 月 3 日に行われた第 55 回情報メディア教育専門委員会において 2016 年度をもって終了となったが、現サービス利用者については、上記専門委員会の承認を経て 2017 年度への継続利用についても可能とした。2017 年 7 月 12 日行われた第 57 回情報メディア教育専門委員会において、利用負担金免除制度を希望していた 2 組織 について制度の適用が認められた。

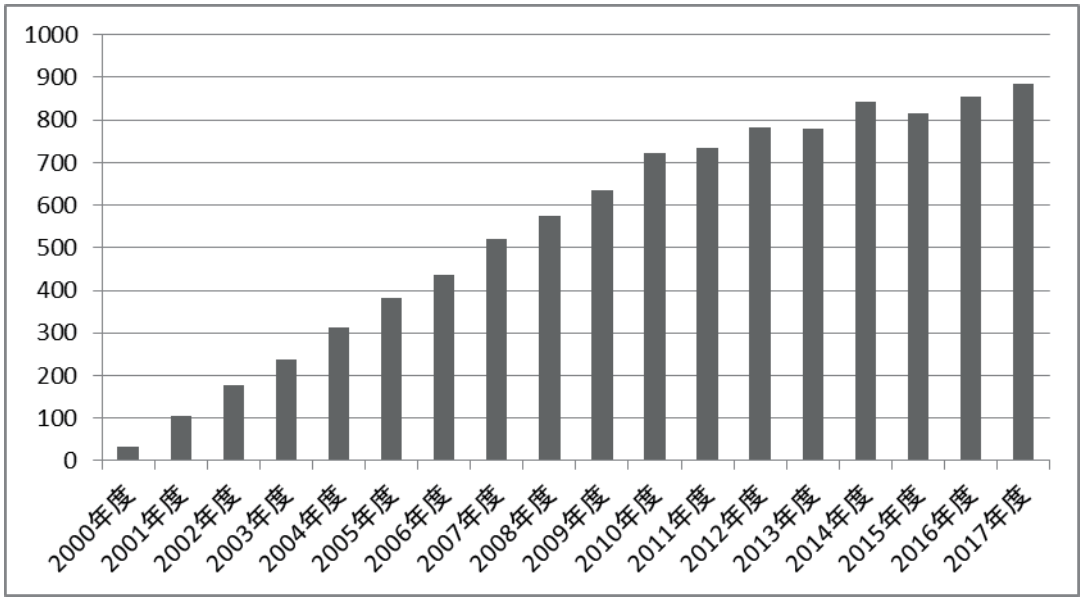


図 1. 利用組織数の遷移

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	39
医学系研究科/医学部	49
附属病院	9
工学系研究科/工学部	244
人文社会系研究科/文学部	0
理学系研究科/理学部	14
農学生命科学研究科/農学部	135
経済学研究科/経済学部	36
総合文化研究科/教養学部	118
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	0
新領域創成科学研究科	100
情報理工学系研究科	26
情報学環・学際情報学府	5
その他	105

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 サービスは 2019 年 3 月末に終了することが、2017 年 10 月 06 日に行われた第 58 回情報メディア教育専門委員会において認められた。

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。

2017 年度は本郷遠隔講義室は 37 回、駒場遠隔講義室は 11 回、MCU 33 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。

2017 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。

2017 年度は 1 件の貸出を行った。

2　サービス統計

2017 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。

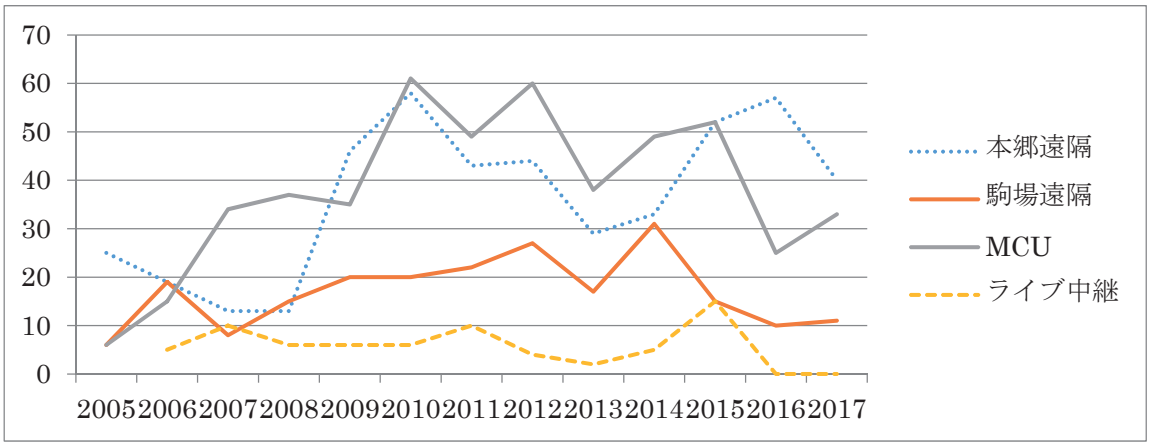


図 1.遠隔講義支援サービス利用数経年変化(2005-2017)

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。

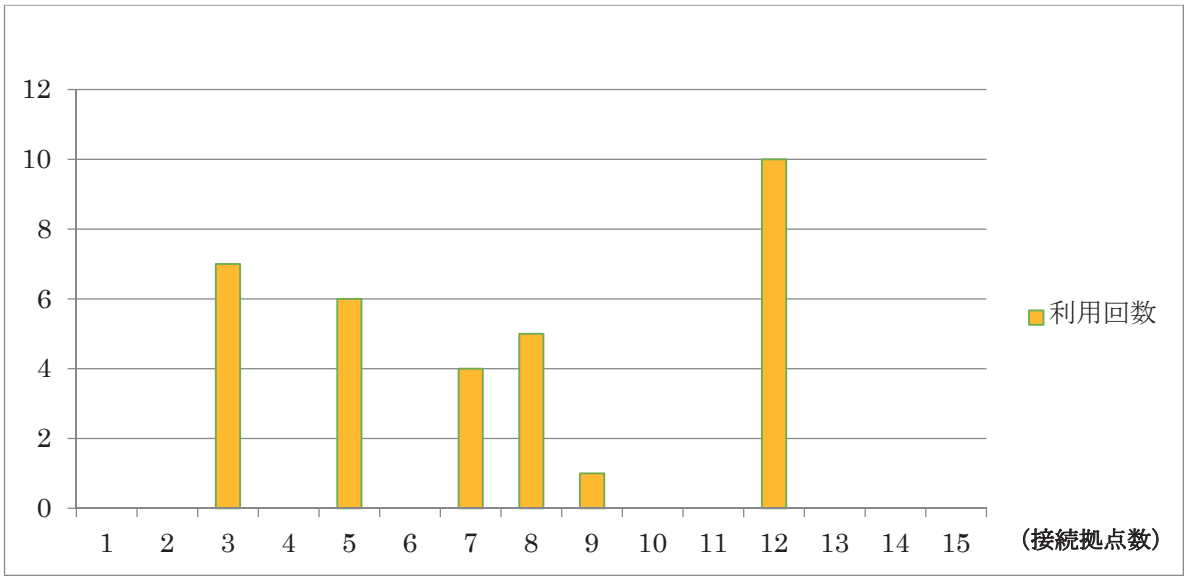


図 2.MCU 接続拠点数別利用頻度(2017)

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。2017 年度は、新学務システム UTAS との連携に関する対応を行った。また、課題を提出していない学生に催促メールを送る機能を追加するなど、主に教員が使用する機能の追加を行った。さらに、「情報セキュリティ教育」のような全学の構成員が受講対象となるコースを作成できるように、講習コース機能の追加を行った。

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。2017 年度の開催日時は以下の通り。

2017 年 9 月 12 日 (火)	13:30 〜 15:00	駒場 : 情報教育棟 3 階　大演習室 2
2017 年 9 月 13 日 (水)	13:30 〜 15:00	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 1
2018 年 3 月 19 日 (月)	13:30 〜 15:00	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 1
2018 年 3 月 20 日 (火)	14:40 〜 16:10	駒場 : 情報教育棟 3 階　大演習室 2

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。

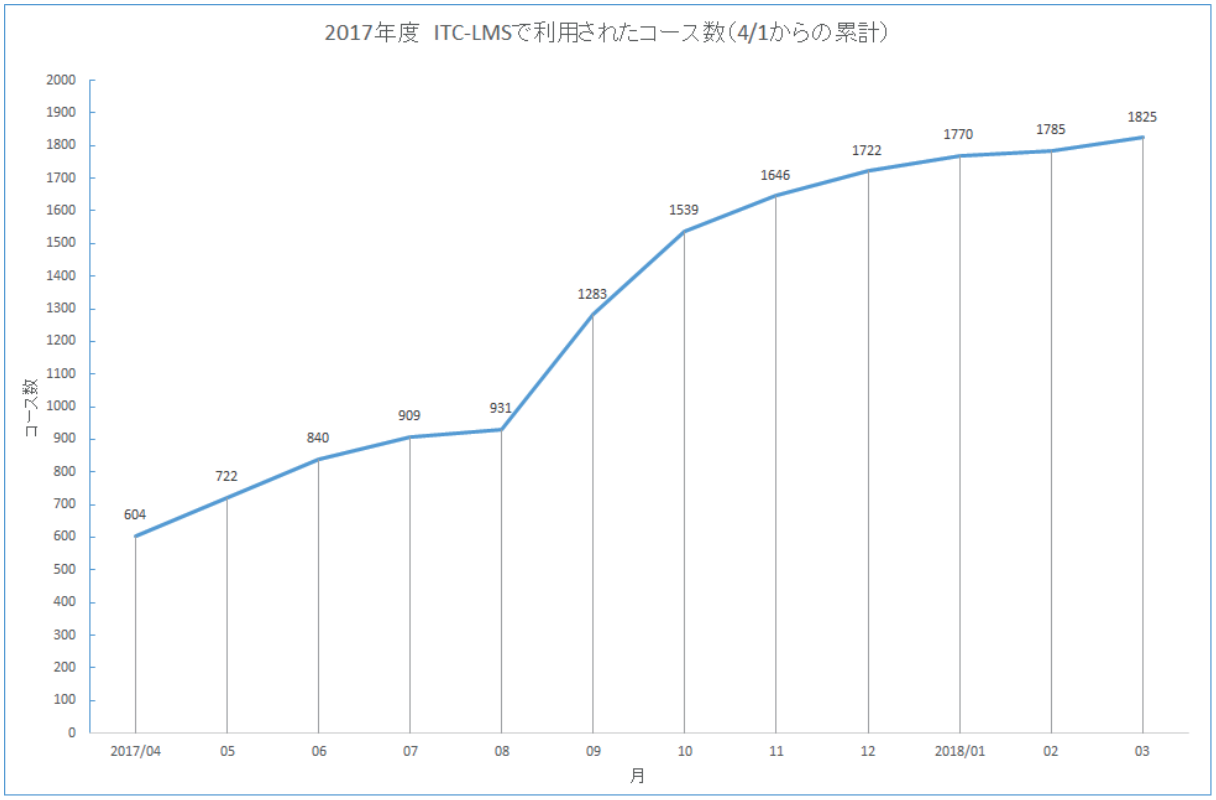


図 1. ITC-LMS 利用されたコース(教材・課題・テストなどの主な機能において、当該機能のデータを 1 個以上作成したコース)の総数

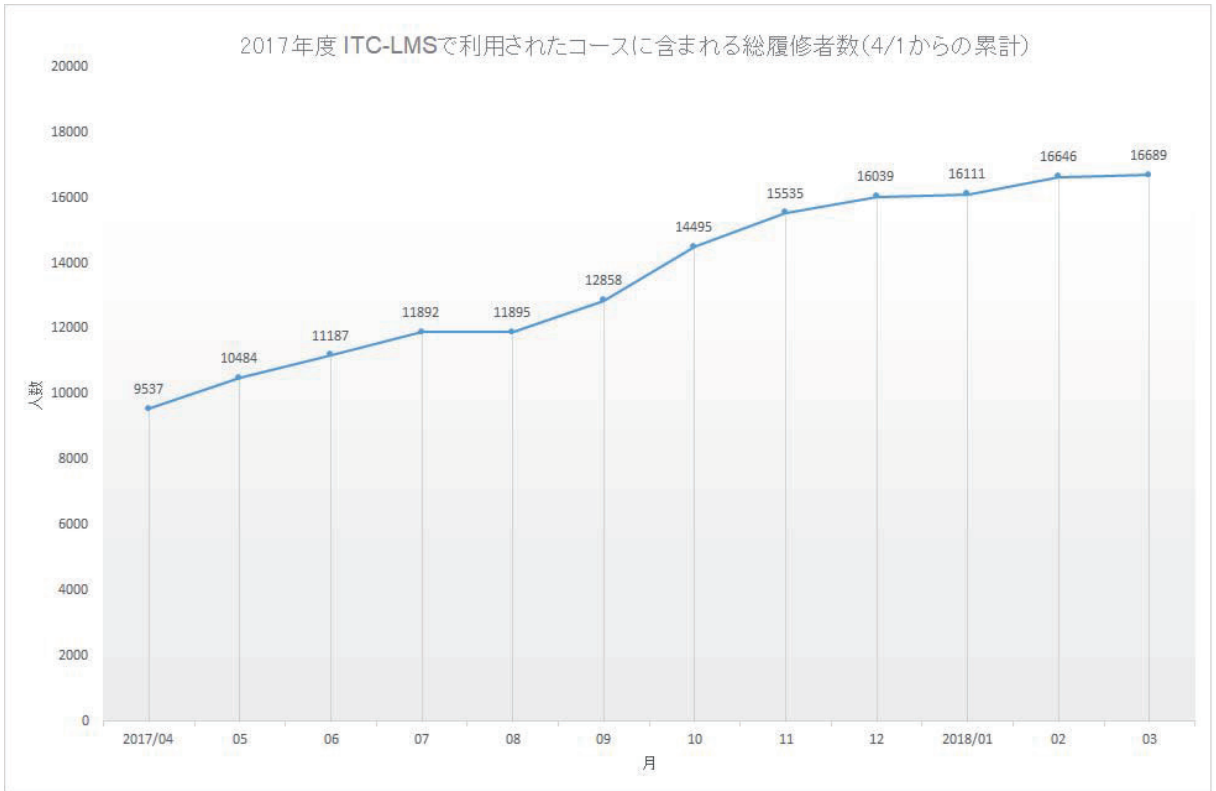


図 2. ITC-LMS 利用されたコースに登録されている学生数の総数(重複を除く総和)

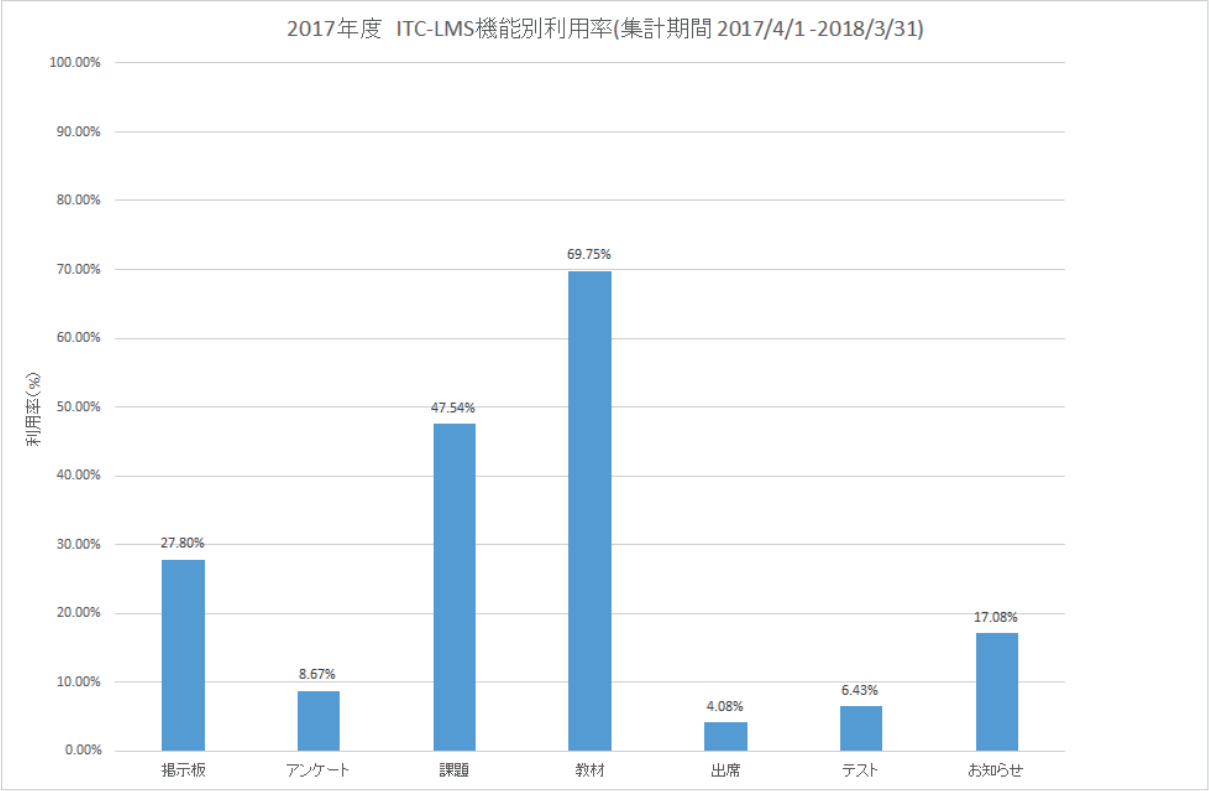


図 3. ITC-LMS 機能別利用率(2017 年度)

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. 2017 年度に利用されたコース数の組織別分布

教養学部(前期課程)	633
法学部	61
医学部	2
工学部	101
文学部	66
理学部	39
農学部	29
経済学部	27
教養学部	285
教育学部	13
法学政治学研究科	51
工学系研究科	62
人文社会系研究科	37
理学系研究科	9
農学生命科学研究科	11
経済学研究科	18

総合文化研究科	134
教育学研究科	5
数理科学研究科	2
新領域創成科学研究科	18
情報理工学系研究科	15
学際情報学府	38
公共政策学教育部	96
本部	67

5　システム更新

現学習管理システム(ITC-LMS)は 2019 年 2 月末までで借入期間が終了するため、2019 年 3 月から新しい学習管理システムのサービスを開始するためのシステム調達作業を行った。

新学習管理システムでは、現在の 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

以下の日程によりシステム調達を行った。政府調達の結果、提供事業者は「キヤノンマーケティングジャパン株式会社」に決定した。

2017 年 10 月 23 日　第 1 回仕様策定委員会
2017 年 11 月 13 日　第 2 回仕様策定委員会
2017 年 11 月 21 日　第 3 回仕様策定委員会
2017 年 12 月 11 日　入札公告
2018 年 1 月 31 日　入札締切
2018 年 2 月 5 日　第 1 回技術審査委員会
2018 年 2 月 13 日　第 2 回技術審査委員会
2018 年 2 月 21 日　開札
2019 年 2 月 28 日　納入期限
2019 年 3 月 1 日　新学習管理システム運用開始

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 5、合計口数は 147 である。

利用月	部局	口数	内容
6 月	総合企画部	40	東京大学ウェブサイト コンテンツマネジメントシステムのバージョンアップに伴う操作実習の実施について
8 月	情報理工学系研究科	45	情報処理学会２０１７年度教員免許更新講習
11 月	情報基盤センター	15	平成 29 年度コンピュータネットワーク研修
12 月	総合文化研究科	16	生物オリンピック特別講義(統計実習)
1 月	経済学研究科	31	経済学実験

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。

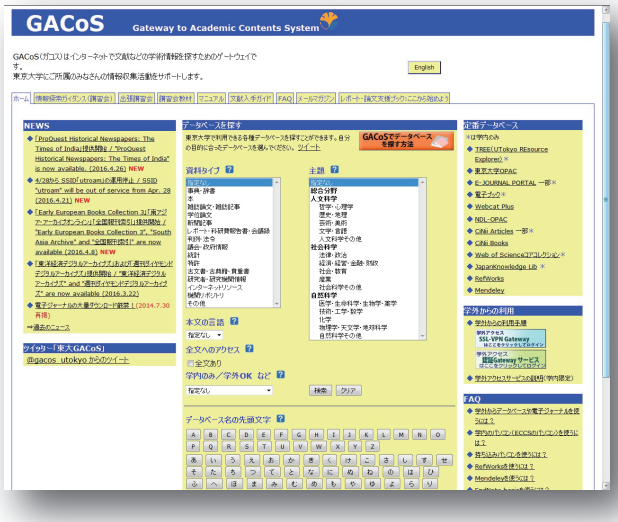
本郷（福武ホール　教材編集室）　163 件

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 77 台で、その内訳は以下の通りである。

法学政治学研究科	27 台	公共政策学連係研究部	23 台
総合図書館	8 台	農学生命科学研究科	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　中川裕志　　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。

今年度も図書館と連携しながら、システムの安定稼働に向けて調整を行った。また総合図書館にて来年度運用開始予定である大規模な自動書庫へのシステムの対応をすすめている。

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、著作権処理の業務を行っている。2017 年度のコンテンツ登録数は前年度より 2,190 件増加し、38,736 件の本文ありコンテンツが登録されている。

また、2017 年 10 月に国立情報学研究所が構築・運用している共用リポジトリサービスである JAIRO Cloud への移行を果たした。

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。

2017 年 12 月 22 日に東京大学学術資産等アーカイブズリンク集を公開した。また、新たな画像サーバを導入し、図像の公開方法として IIIF (International Image Interoperability Framework)への対応やデータ移行を進めているほか、東京大学学術資産等アーカイブズポータルの試作版開発も手掛けている。

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、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」を中心に附属図書館 Web サーバも含めた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。2017 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

2017 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、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。

図書館システムの利用者情報については、学務システムや人事給与システム等からの情報を連携させているが、学務システムのリプレイスに伴い、データ取得の再設定や処理プログラムの変更等の対応を行った。

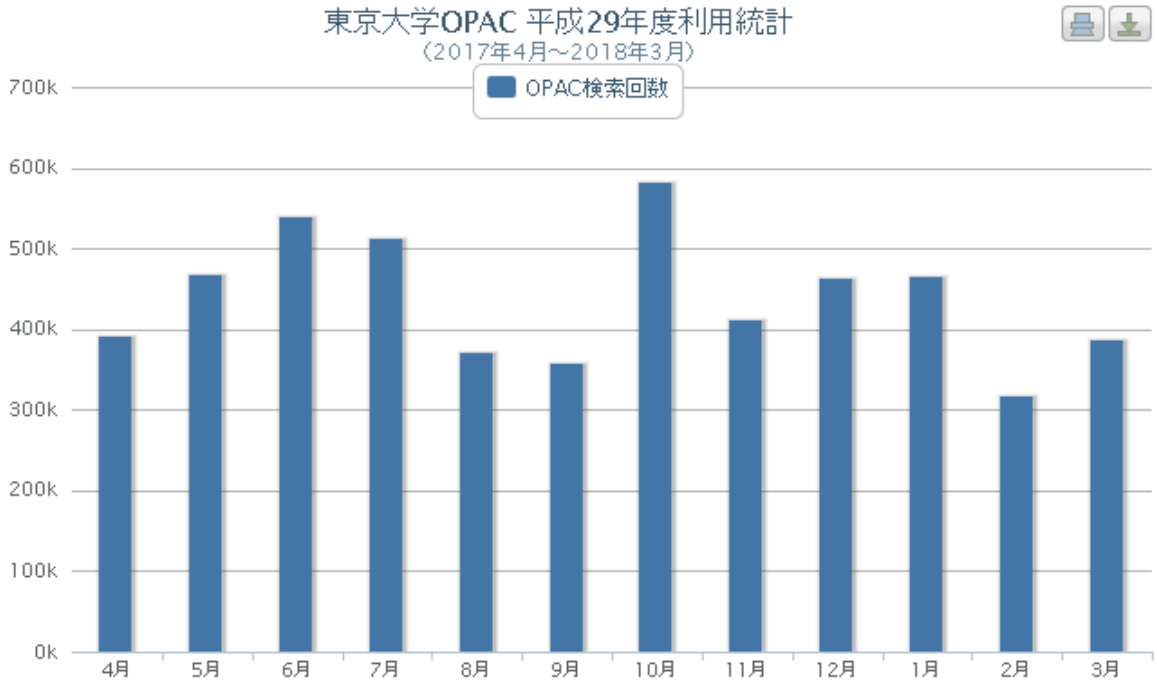
1.2　総合図書館工事に伴う対応

総合図書館内の工事に伴い、別館や工事完了エリアの LAN 配線等のネットワーク整備の対応をした。また、自動書庫の導入に伴い、登録用データの作成や図書館システムとの連携準備を行った。

1.3　その他の図書館関係サーバ等

- 附属図書館 Web サーバの管理(故障対応、外部サーバへの移行対応)
- 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
- 部門ホームページの管理
- 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29年度利用統計
（2017年4月～2018年3月）
OPAC検索回数
700k
600k
500k
400k
300k
200k
100k
0k
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。2017 年度には DOI 付与対象のうち 1990 年度から 1999 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許諾処理

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、2017 年度末には 38,726 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、単に電子化作業を行うだけではなく、著作権の許諾処理を必須として作業を行っている。

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、140 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 年度には、貴重書サーバマシンをリプレイスし、各種コレクションを移行した。また同サーバ上で公開している平賀譲デジタルアーカイブ及び観世アーカイブのシステムアップデート対応を行った。

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、東京大学デジタルアーカイブズ構築事業の推進に参画している。2017 年度は主に、東京大学学術資産等アーカイブズリンク集（公開中　http://da.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dalink/）及び東京大学学術資産等アーカイブズリポジトリと、東京大学学術資産等アーカイブズポータル試作版（非公開）の構築、数点のコレクションの IIIF 対応での画像公開に寄与した。

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。

（http://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。

(http://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。

(http://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。
(http://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. 283 から No. 300 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、また完全予約制講習会の開催確定通知や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。2017 年度は、引用文献リスト作成に特化した「文献管理ツールを使って引用文献リストを作ってみよう」コースを新たに実施した（柏図書館での開催）。

コース名	月日	回数	人数	内容
論文準備ここからスタート！	4/10、4/12、5/9、5/24、6/14、6/20、8/1、8/4、9/22、9/26、12/8、1/12、1/31、2/15、2/23	15	141	【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)	4/13、4/17、6/5、6/7、7/21、11/16、11/17	7	52	文献管理ツール RefWorks の使い方を 30 分で紹介。
はじめての本や論文の探し方 (昼休み 30 分)	5/15、5/16	2	15	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（昼休み 30 分）	7/4、7/12、12/13、12/19	4	10	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）	5/26、5/30、7/18、11/14、11/15	5	42	文献管理ツール Mendeley の使い方を 30 分で紹介。
就活の味方「eol」ミニ講座（昼休み 25 分）	10/30、11/1、11/2、2/1、2/2(中止)	5	14	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。
論文準備のための文献管理：Web of Science & RefWorks（夕方 60 分）	10/13、10/24	2	10	Web of Science の基本的な検索方法と文献管理ツール RefWorks の実習。
卒業してからの文献検索・文献管理	2/14、2/20、3/2	3	22	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文献管理に利用できる、無料の各種ツールを紹介。
合計 42 回（開催予定は 43 回）			306 名	

2.2 留学生向け情報探索ガイダンス

留学生を対象に、英語、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。

コース名		月日	時間	人数
Enhanced course「Searching for books and papers」	英語コース	4/20、4/25	15:00-16:00	9
留学生向け情報探索ガイダンス	韓国語コース	4/27	15:00-16:00	10
	中国語コース	10/12	13:10-14:10	14
		10/12	15:00-16:00	15
合計 5 回				48 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。2017 年度は、NBDC（科学技術振興機構バイオサイエンスデータベースセンター）が提供する、生命科学系のデータを網羅的に探せるポータルサイトの講習と、判例・法令情報データベース Lexis Advance の講習を開催した。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
Mendeley 講習会 文献管理ツールクローズアップ	通常コース	6/6	13:10-14:40	7
	Q&A コース		15:00-16:00	3
EndNote 講習会 文献管理ツールクローズアップ		6/8	15:00-16:30	10
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう		6/14	15:00-16:15	7
SciFinder で化学分野の情報検索をするには？		6/15	15:00-16:30	7
LexisNexis Academic で海外のニュースやビジネス情報を検索するには？		6/16	15:00-16:15	3

人社系向け新聞を研究にいかす		6/20	15:00-16:15	9
OECD の出版物や統計を探すには？ OECD iLibrary 講習会		6/21	15:00-16:15	13
生命科学系のデータを活用する～統合データベース講習会～		6/23	15:00-16:30	7
研究分析ツール SciVal 講習会	初級者向け	9/5	10:30-12:00	15
	経験者向け		15:00-16:30	9
研究分析ツール InCites 講習会	初級者向け	9/6	10:30-12:00	14
	経験者向け		15:00-16:30	5
SciFinder 講習会 (会場:薬学図書館)		9/21	15:00-16:30	6
LexisAdvance 講習会 (法学部研究室図書室と共催)		12/14	13:15-14:35	16
合計			15 回	131 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
7/25	10:30-11:45	14	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。
9/1	13:15-14:30	8	
合計 2 回		22 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」	4/7	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
文学部現代文芸論研究室	4/20	10:25-12:10	11	文学部 3 号館図書室ツアー(30 分) Gale Literary Sources、CiNii Articles、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

医科学研究所 公共政策研究分野	4/21	10:30-12:00	8	PubMed、 Web of Science Core Collection、 PsycINFO/PsycARTICLES、TREE、 RefWorks の実習。	医科学研究所 公共政策分野ヒトゲノム解析センター内
医学系研究科看護管理学分野	4/25	10:00-12:00	5	Web of Science Core Collection、PubMed、CINAHL 、TREE の検索実習。 (参考 PsycINFO/PsycARTICLES)	福武ホール地下1 階講習会コーナー
	5/17	13:30-15:00	11	SocINDEX、TREE、 Mendeley の実習。	
情報学環学際情報学府	5/2	13:00-14:30	71	JapanKnowledge Lib、CiNii Articles、Web of Science Core Collection 、TREE 、RefWorks の紹介。	工学部 2 号館 9 階 93B
文学部 「Academic Writing」	5/18	14:55-16:40	10	TREE、 JapanKnowledge Lib、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
	7/6	14:55-16:40	8	RefWorks の実習。	
理学部生物化学科	5/22	13:00-15:30	19	PubMed 、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	情報基盤センター大演習室 2
理学部生物学科 A 系(人類学系)	6/6	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	6/9	13:30-15:30	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)	6/19	15:00-16:00	17	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

教育学研究科臨床心理学コース	6/27	13:00-14:30	15	Web of Science Core Collection、PsycINFO/PsycARTICLES、PubMed 、Mendeley の実習。	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]公共政策大学院	8/2	10:30-11:30	1	Mendeley の使い方。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
工学部精密工学科	9/28	13:30-14:45	49	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
学際情報学府「文化・人間情報学研究法」	10/4	10:25-12:10	10	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
学際情報学府「デジタルアーカイブ原論」	10/11	13:00-14:45	11	TREE、NDL-OPAC、国立国会図書館サーチ、CiNii Articles、RefWorks の実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
文学部「社会心理学調査実習」	10/16	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)	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)	10/18	14:55-16:40	24	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
工学部・システム創成学科	11/2	14:30-16:30	11	Web of Science Core Collection、Engineering Village、EBSCOhost、TREE、Mendeley の実習。	工学部 3 号館演習室 5(317)

文学部国際交流室日本語教室	11/8	18:45-20:15	6	TREE、ProQuest、EBSCOhost、Gale Literacy Sources の検索実習。	法文 2 号館 2202 号室
文学部「Academic Writing」	11/9	14:55-16:40	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
	12/21	14:55-16:40	5	Mendeley の実習。	
人文科学ゼミナール	12/5	10:25-12:10	4	JapanKnowledge Lib、TREE、Gale Literary Sources の検索実習。(参考:GVRL、CiNii Articles)	駒場 5 号館 515 教室
[個人オーダーメイド]公共政策大学院、医学部・医学系研究科	12/5	15:30-16:30	2	RefWorks、Mendeley 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」	12/7	16:50-18:35	31	TREE、ERIC (EBSCOhost)、CiNii Articles の検索実習。	駒場教育情報棟
[個人オーダーメイド]医学部・医学系研究科	12/20	16:00-17:00	1	RefWorks の実習。	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]文学部・人文社会系研究科	12/22	13:30-15:00	1	CiNii Articles、RefWorks の実習。	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]情報学環・学際情報学府	12/25	11:00-12:00	1	RefWorks の実習。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
合計 29 回			407 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)	4/4	14:45-15:45	12	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
総合図書館オリエンテーション「本や論文の探し方」(日本語)	4/5	15:00-15:30	14	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
	4/7	10:30-11:00	13		
	4/11	15:00-15:30	17		

General Library Orientation「Searching for books and papers」(英語)	4/6 4/10	15:00-15:30	9 13	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
[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」	4/24	15:00-16:15	17	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」	4/26 5/11	15:00-16:30	18 19	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」	4/28	第1回 13:30-14:30 第2回 15:30-16:30 第3回 17:30-18:30	12 11 12	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
[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」	5/10 5/12	15:00-16:30	14 19	PubMed、TREE、RefWorksの実習。	農学生命科学図書館3階PC端末室1
[大学院数理科学研究科図書室共催]「MathSciNet講習会」	5/19	15:00-16:15	16	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]論文準備ここからスタート!in 駒場	5/23 6/2 6/29	15:00-16:30	4 10 6	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorksの実習。	駒場図書館
[駒場図書館、教養教育高度化機構初年次教育部門共催]初年次ゼミ理科検索講習会	5/23 5/30 6/2 6/6 6/16 6/20 6/30	12:20-12:50	0 3 0 2 4 3 6	Google Scholar/TREE/Web of Scienceを比較して実習。	駒場キャンパス21KOMCEE・オープンスペースアリーナ

[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	5/25	12:20-12:50	10	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の講習(講義形式)	工2号館図書室
		17:00-17:30	4		
	5/26	17:00-17:30	7		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献管理 RefWorks コース」	5/25	12:50-13:20	9	RefWorks の講習(講義形式)	工2号館図書室
		17:30-18:00	4		
	5/26	17:30-18:00	7		
[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」	5/31	15:00-16:30	14	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
	6/13		6		
[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	6/7	15:00-16:00	13	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
[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」	6/22	14:00-15:15	15	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 An 棟 4 階中セミナー室 1
[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」	6/30	第 1 回 15:30-16:30	2	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] 「はじめよう！ RefWorks in 駒場」	7/5	12:20-12:50	1	RefWorks の実習。	駒場図書館 2 階グループ学習室
[駒場図書館共催] 「はじめよう！ Mendeley in 駒場」	7/5	13:30-14:00	2	Mendeley の実習。	駒場図書館 2 階グループ学習室
[柏図書館共催] 論文準備ここからスタート！in 柏	7/20	15:00-16:30	13	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	9	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

[薬学図書館共催]「薬学研究のための文献検索　基礎編」	9/13	15:00-16:00	11	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」	9/14	15:00-16:00	10	Web of Science Core Collection 、 RefWorks の実習。	薬学部資料館 4 階情報室
総合図書館 Library Tour「本や論文の探し方」(日本語)	9/27	10:30-11:40	4	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
	10/6	15:00-16:10	10		
General Library Tour「Searching for books and papers」(英語)	9/27	15:00-16:10	18	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
	10/6	10:30-11:40	13		
	10/10	15:00-16:10	10		
[柏図書館共催]論文準備ここからスタート！in 柏	10/3	15:00-16:30	6	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
[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」	10/5	15:00-16:30	4	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
[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」	10/17	15:00-16:30	9	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)	生産研 An 棟 4 階中セミナー室 1
[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)	10/17	12:20-12:55	6	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
	10/18	12:20-12:55	13		
[工学・情報理工学図書館共催]「文献検索早わかりコース」	10/19	12:20-12:50	7	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
	10/20	12:20-12:50	8		

[工学・情報理工学図書館共催] 「文献管理 RefWorks コース」	10/19	12:50-13:20	4	RefWorks の使い方(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室
	10/20	12:50-13:20	7		
[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」	10/25	14:00-15:15	7	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
[医科学研究所図書室共催] 「秘書さんのためのはじめての論文の探し方 in 医科研」	10/26	14:00-15:15	7	医中誌 Web、TREE、東京大学 OPAC の実習。(参考:PubMed)	医科学研究所 2 号館 2 階小講義室
[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」	10/27	15:00-16:30	12	TREE、PubMed、RefWorks の実習。	農学生命科学図書館本館 3 階 PC 端末室 1
[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	0	受講者がいなかったため中止	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	7	医中誌 Web、PubMed、TREE の検索実習。	
[駒場図書館共催] 「論文準備ここからスタート! in 駒場」	11/10	10:30-12:00	2	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	駒場図書館 2 階グループ学習室
	11/21	15:00-16:30	1		駒場図書館
	11/29	15:00-16:30	4		駒場図書館
[駒場図書館共催] 「はじめよう! Mendeley in 駒場」	11/10	12:20-12:50	1	Mendeley の実習。	駒場図書館 2 階グループ学習室
	11/29	12:20-12:50	2		
[駒場図書館共催] 「はじめよう! RefWorks in 駒場」	11/21	12:20-12:50	1	RefWorks の実習。	駒場図書館
[柏図書館共催] 文献管理ツールを使って引用文献リストを作ってみよう	11/28	15:00-16:30	2	文献リストの作成、RefWorks、Mendeley 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] 「はじめよう! Mendeley in 駒場」	1/30	12:20-12:50	1	Mendeley の実習。	駒場図書館

[駒場図書館共催]「論文準備ここからスタート！ in 駒場」	1/30	15:00-16:30	2	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	駒場図書館
[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」	2/22	13:30-14:15	1	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
	3/6	13:30-14:15	7		
合計 72 回(開催予定は 73 回)			576 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(木) 2 限、3 限 計 2 回	213	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
4/14(金) 1 限、3 限、4 限 計 3 回	280		
4/17(月) 4 限 計 1 回	116		
4/18(火) 1 限、3 限、4 限 計 3 回	309		
4/19(水) 2 限、3 限、4 限 計 3 回	330		
合計 12 回	1,248 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。

コース名	月日	時間	参加人数	会場
英語論文セミナー CUP Author Workshop : How to publish your articles/books with Cambridge University Press?	5/19(金)	10:30-12:00	29	総合図書館共同利用棟 3F 会議室 1
英語論文セミナー 科学英語編	11/30(木)	15:00-16:30	28	総合図書館共同利用棟 3F 会議室 1
英語論文セミナー 投稿・出版編	12/1(金)	15:00-16:30	27	総合図書館共同利用棟 3F 会議室 1
Making your research count Springer Nature セミナー	3/20(火)	13:30-15:00	30	工 2 号館図書室
合計	4 回		114 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
[柏図書館] 「文献管理の味方！RefWorks ミニ講座」	5/26(金)、 6/9(金)、 6/23(金)、 7/28(金)、 11/10(金) (5 回)	12:20-12:50	8	[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] 「学術論文を探そう！(英語論文編)」	6/2(金)、 6/16(金)、 7/7(金)、 7/21(金)、 10/20(金)、 12/1(金) (6 回)	12:20-12:50	17	[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 「論文準備ここからスタート！ in 柏」	6/19(月)	13:00-14:00	8	[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』、 『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
[駒場図書館] 「論文準備ここからスタート！」	6/30(金)	13:45-14:45	5	[テキスト提供（プリント）] 『論文準備のための文献検索：CiNii Articles と Web of Science』、 『RefWorks を使うには』ほか	駒場図書館
[柏図書館] 「はじめよう！Mendeley in 柏」	6/30(金)、 11/16(金) 12/8(金) 1/9(火) (4 回)	12:20-12:50	15	[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！(日本語論文編)」	7/14(金)	12:20-12:50	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

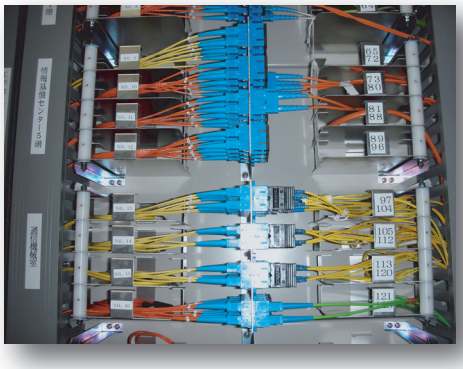
[柏図書館] 「学術論文を探そう！」「はじめよう！Mendeley in 柏」	9/25(金)	15:00-16:45	3	[テキスト提供(データ)] 『論文準備のための文献検索:CiNii Articles と Web of Science』『はじめよう！Mendeley』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館] 「就活の味方 ″eol″ ミニ講座 in 柏」	11/24(木)	12:20-12:50	2	[テキスト提供(データ)] 『就活の味方 eol ミニ講座』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館] 「CiNii Articles と Web of Science」	12/22(金) 1/16(火) (2 回)	12:20-12:50	3	[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 「CiNii Articles と Web of Science」	3/16(金)	10:00-	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
合計 23 回			64 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]

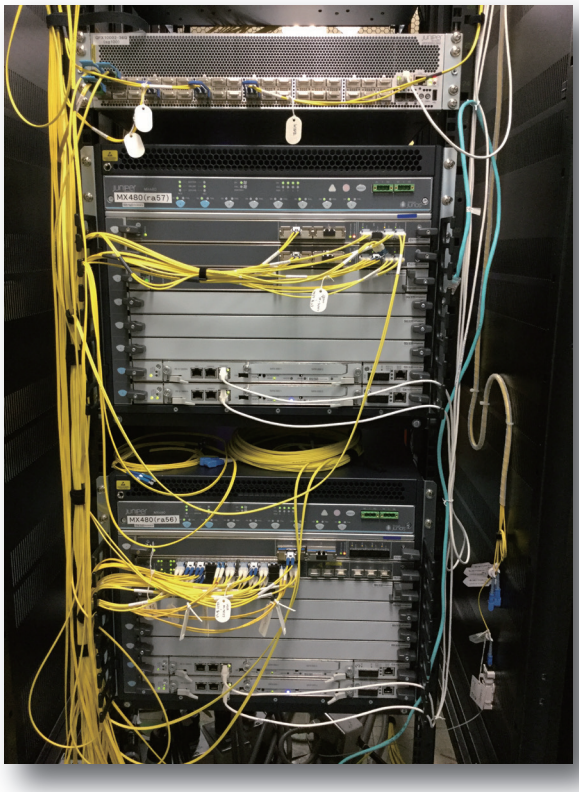
U-PARL 主催の「アジア研究文献探索セミナー」に、会場提供(講習会コーナー)と広報協力を行った。また、セミナー当日の運営にも協力した。

月日	時間	コース名	参加人数
5/15(月)	14:55-16:40	アジア研究文献探索セミナー　漢籍編	8 名
6/28(水)	17:00-18:00	アジア研究文献探索セミナー　中東・イスラム研究文献編	7 名
9/20(水)	15:00-16:30	アジア研究文献探索セミナー　韓国朝鮮語文献編	13 名
11/22(水)	15:00-16:30	アジア研究文献探索セミナー　南アジア地域研究(近現代)編	4 名
1/18(木)	18:00-19:00	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編	14 名
合計	5 回		46 名

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



SINET5との100GbE接続用機器

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、2017 年度も 2016 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. 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、柏地区の柏図書館、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、無線 LAN サービスを提供した。

また、通信事業者の提供する公衆無線 LAN に接続する公衆無線 LAN 接続サービスも提供した。

5. その他関連業務

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。

また、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の各業務に取り組んだ。

■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。

3. 迷惑メール(SPAM)対策
全学的に激増する SPAM メールへの全学的な対策として、情報システム本部と連携協力して、メールサーバ単位での SPAM 対策の運用を実施した。
なお、迷惑メール対策システムのサポート終了に伴い、利用者への周知を行い、2018 年 3 月末までに他システム等への移行作業を実施していただいた。

4. その他
2018 年 2 月から、国立情報学研究所(NII)のセキュリティ運用連携サービスの利用を開始した。

■ 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、2017 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。
申請業務の効率化のために申請システムを構築し、TLRA 部局向けに施行を開始した。
また、クライアント証明書の運用を開始した。

■ 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。
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。

2017 年　7 月 7 日 第 62 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2017 年　10 月 25 日 第 63 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2018 年　2 月 21 日 第 64 回情報基盤センターネットワーク専門委員会(電子メール開催)

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
・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負担金の見直しについて
・規則改定について

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。

－本郷地区収容用 L3SW の機器更新（附属図書館設置）
－駒場 I 地区収容用 L3SW の機器更新
－駒場 I 地区～駒場 II 地区間の回線増速（10Gbps 化）
－本郷地区収容用 L3SW の設置（電話庁舎、機器更新対応用）
－柏地区収容用 L3SW の設置（機器更新対応用）

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。

2017 年 4 月 1 日の基幹ネットワーク構成を図 1 に、2018 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 30 台を予防保全のための更新、建物竣工に伴い 2 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。SWS1day 及び docomo については、今年度中に停波をした。

	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 ／ SWS1day	ソフトバンクモバイル
4	0000docomo ／ docomo	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)設置サービスを開始し、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 15 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　2017 年 11 月 2 日（木）
・場所　小柴ホール

プログラムは次のとおり

1	UTNET update 2017 / ウイルス対策/ソフトウェアライセンス / 迷惑メール対策システム	佐山純一係長 岩藤健弘係長
2	UTokyo-CERT 報告	中山雅哉准教授 大学院総合文化研究科　石原知洋助教
3	情報セキュリティインシデント発生時の対応について	CISO 補佐　中山雅哉准教授
4	UTokyo WiFi と東京大学における無線 LAN 利用	情報システム本部　玉造潤史准教授
5	全学セキュリティファイアウォールと IP アドレスの管理について	工藤知宏教授/関谷勇司准教授/ 佐藤周行准教授/中村文隆助教
6	ASANO System ご紹介 ～学内における SD-WAN＋NFV の活用～	関谷勇司准教授
7	フリーディスカッション	中村遼助教

[平成 29 年度コンピュータネットワーク研修]

本学技術職員及び事務職員のうち、研究室やセンター等においてコンピュータやコンピュータネットワークを利用する初心者レベルの利用者で、特にセキュリティ対策に興味のある者を対象に、セキュリティ対応を含むコンピュータやコンピュータネットワークの利用に関する研修を以下の通り実施した。参加者は 10 名であった。

・期間　2017 年 11 月 28 日（火）～11 月 30 日（木）（3 日間）
・場所　情報基盤センター1階 103 遠隔講義室

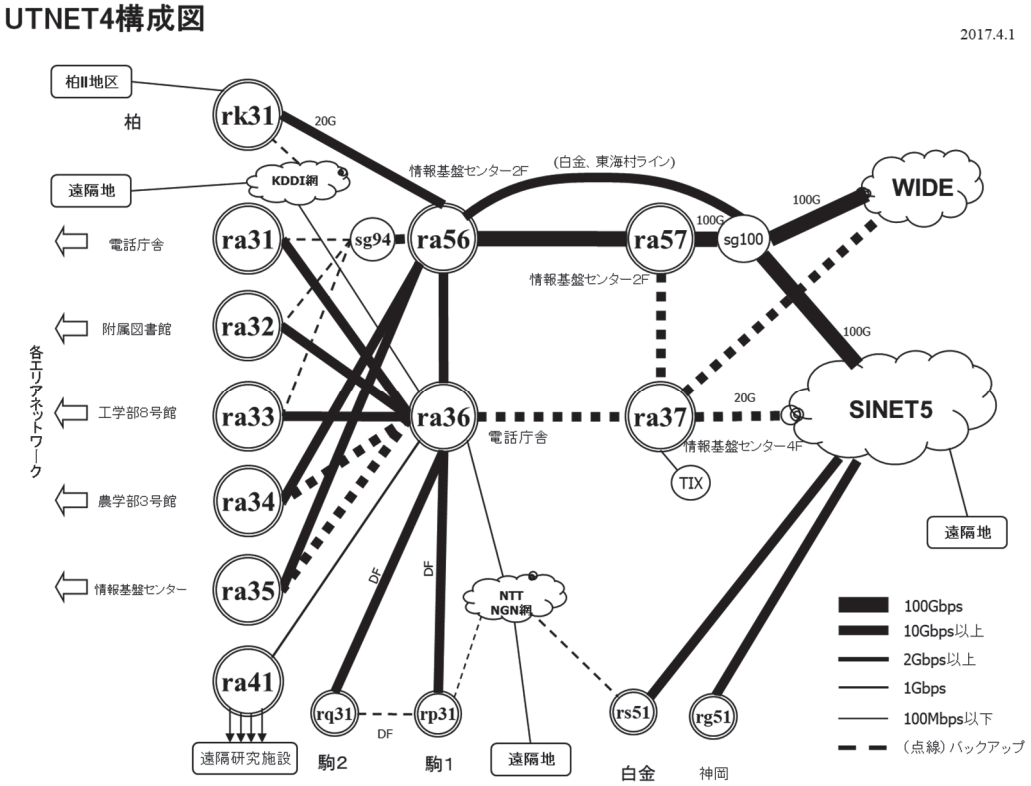


図 1　UTNET4 基幹構成図(2017 年 4 月 1 日)

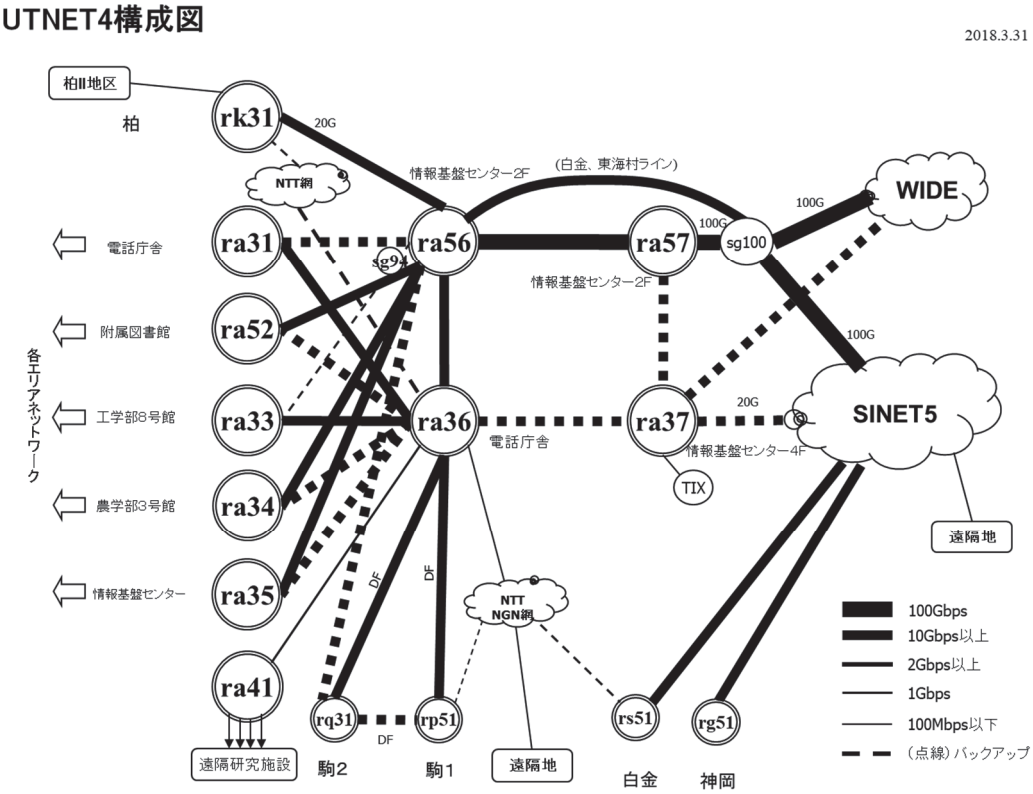
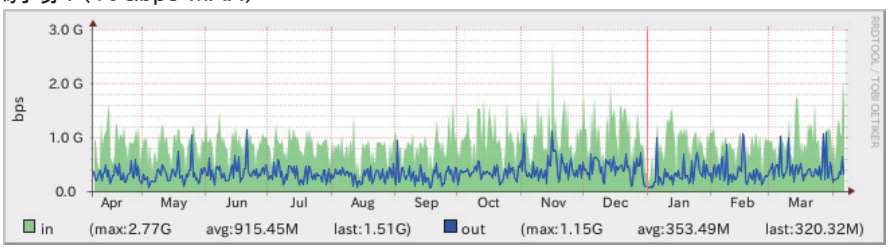


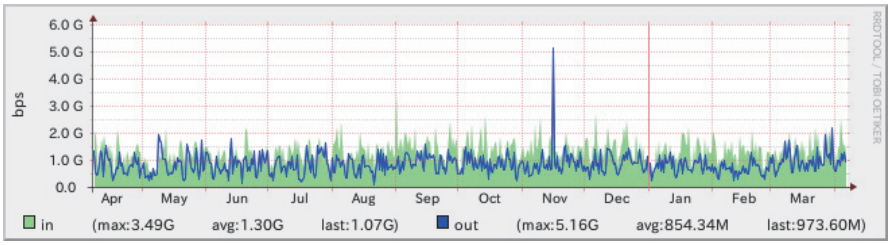
図 2　UTNET4 基幹構成図(2018 年 3 月 31 日)

キャンパス間トラフィック

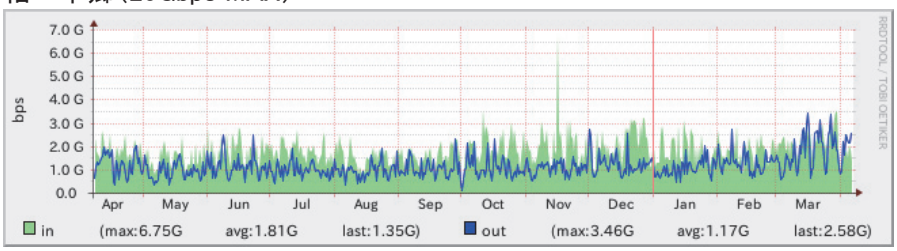
駒場1（10Gbps MAX）



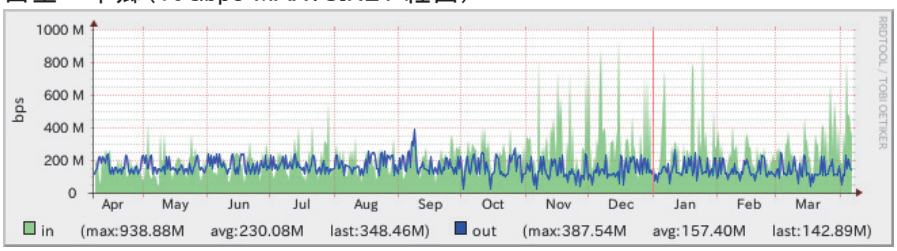
駒場 2（10Gbps MAX）



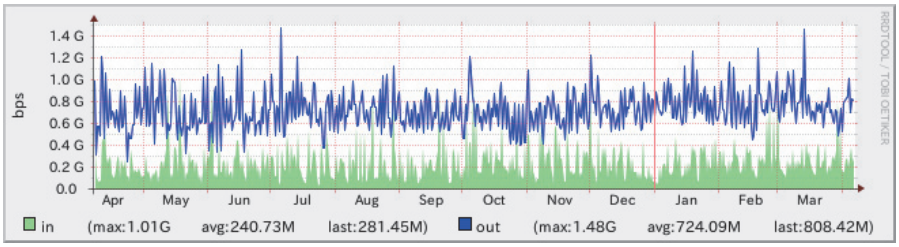
柏ー本郷（20Gbps MAX）



白金ー本郷（10Gbps MAX：SINET 経由）



神岡ー本郷（10Gbps MAX：SINET 経由）



中野ー本郷（100Mbps MAX：NTT NGN 経由）

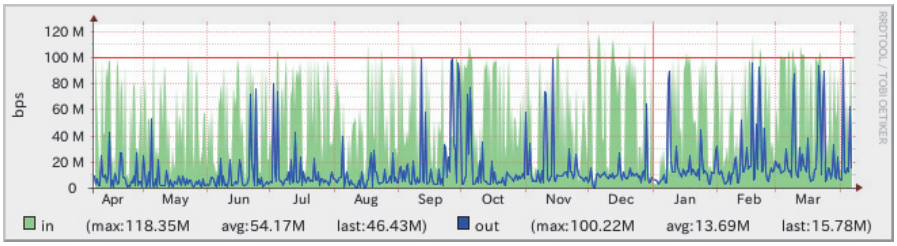


図 3　UTNET のキャンパス間トラフィック

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	医科学研究所	医科研 1 号館西	建物間 VLAN 申請
2	総合文化研究科	キャンパスプラザ（サークル棟）A 棟	建物間 VLAN 申請
3	理学系研究科		サブネットアドレスの割当申請
4	医科学研究所	医科研 1 号館西	建物間 VLAN 申請
5	医科学研究所	医科研 1 号館西	建物間 VLAN 申請
6	新領域創成科学研究科	第2総合研究棟	建物間 VLAN 申請
7	医学系研究科	医学部 5 号館	建物間 VLAN 申請
8	本部事務組織	大気海洋研究所	建物間 VLAN 申請
9	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	建物間 VLAN 申請
10	本部事務組織	理学部プレハブ研究 A 棟、御殿下記念館	建物間 VLAN 申請
11	医科学研究所	医科研 1 号館西	建物間 VLAN 申請
12	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
13	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	建物間 VLAN 申請
14	情報理工学系研究科		サブネットアドレスの割当申請
15	本部事務組織	情報基盤センター、医科研附属病院 B 棟	基幹ネットワークの構成変更
16	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
17	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
18	情報理工学系研究科		建物間 VLAN 申請
19	情報理工学系研究科		建物間 VLAN 申請
20	総合文化研究科	教養学部 17 号館、情報教育棟	基幹ネットワークの構成変更
21	先端科学技術研究センター	生産技術研究所	建物間 VLAN 申請
22	医科学研究所	医学部 3 号館	基幹ネットワークの構成変更及び サブネットアドレスの割当申請
23	附属図書館	総合図書館別館ライブラリプラザ	建物間 VLAN 申請
24	医科学研究所	医科研近代医科学記念館	建物間 VLAN 申請
25	教育学研究科	附属図書館、社会科学研究所、工学部 8 号館、 教養学部 5 号館、教養学部 7 号館、工学部 12 号館	建物間 VLAN 申請
26	本部事務組織	医科研 1 号館東棟、医科研ヒトゲノム解析センター、本部棟、情報基盤センター、医科研 3 号館、 医科研旧ゲノム解析センター	建物間 VLAN 申請
27	先端科学技術研究センター	生産技術研究所	建物間 VLAN 申請
28	地震研究所	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及び サブネットアドレスの割当申請
29	先端科学技術研究センター	生産技術研究所	建物間 VLAN 申請
30	環境安全研究センター	情報基盤センター、柏実験廃液処理施設	基幹ネットワークの構成変更及び サブネットアドレスの返却申請
31	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
32	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
33	人文社会系研究科	国際学術総合研究棟、法文 1 号館	基幹ネットワークの構成変更
34	法学政治学研究科	国際学術総合研究棟	建物間 VLAN 申請
35	本部事務組織	国際学術総合研究棟	建物間 VLAN 申請
36	医科学研究所	医科研 1 号館西側、医科研ヒトゲノム解析センター	基幹ネットワークの構成変更
37	本部事務組織	第 2 本部棟	建物間 VLAN 申請
38	工学系研究科	工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更
39	理学系研究科	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN 申請
40	法学政治学研究科	医学部 1 号館	建物間 VLAN 申請
41	理学系研究科	医学部 1 号館	基幹ネットワークの構成変更
42	医学部附属病院	電話庁舎	基幹ネットワークの構成変更
43	新領域創成科学研究科	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
44	本部事務組織	アドミニストレーション棟	建物間 VLAN 申請
45	医学部附属病院	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請

46	理学系研究科	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN 申請
47	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	建物間 VLAN 申請
48	本部事務組織	御殿下記念館、本部棟、情報基盤センター、山上会館	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの返却申請
49	医学部附属病院	電話庁舎	基幹ネットワークの構成変更
50	生産技術研究所		サブネットアドレスの割当申請
51	医学系研究科	医学部 3 号館	建物間 VLAN 申請
52	高大接続研究開発センター	医学部 1 号館、理学部プレハブ研究 A 棟	建物間 VLAN 申請
53	情報基盤センター		サブネットアドレスの割当申請
54	情報学環･学際情報学府	先端研 4 号館	建物間 VLAN 申請
55	工学系研究科	工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更
56	情報基盤センター	コミュニケーションプラザ	建物間 VLAN 申請
57	本部事務組織	薬学部本館	建物間 VLAN 申請
58	工学系研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
59	医学部附属病院	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
60	本部事務組織	大講堂	建物間 VLAN 申請
61	情報基盤センター	生産技術研究所	基幹ネットワークの構成変更
62	情報基盤センター	法学部 3 号館	基幹ネットワークの構成変更
63	物性研究所	物性研究所	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの割当申請
64	工学系研究科		基幹ネットワークの構成変更
65	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
66	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの割当申請
67	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
68	高大接続研究開発センター	医学部 1 号館	建物間 VLAN 申請
69	本部事務組織	神岡宇宙素粒子研究施設、情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
70	情報基盤センター	医学部 1 号館	建物間 VLAN 申請
71	経済学研究科	経済学研究科棟	建物間 VLAN 申請
72	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
73	生産技術研究所		基幹ネットワークの構成変更
74	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
75	生産技術研究所		基幹ネットワークの構成変更
76	農学生命科学研究科	医学部 1 号館	建物間 VLAN 申請
77	経済学研究科	経済学研究科棟	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの割当申請
78	経済学研究科	附属図書館	建物間 VLAN 申請
79	先端科学技術研究センター	工学部 14 号館、先端研 4 号館	基幹ネットワークの構成変更
80	本部事務組織	駒場コミュニケーションプラザ	建物間 VLAN 申請
81	法学政治学研究科	赤門総合研究棟	建物間 VLAN 申請
82	本部事務組織	駒場コミュニケーションプラザ	建物間 VLAN 申請
83	工学系研究科	工学部附属原子力工学研究施設、工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの返却申請
84	情報学環･学際情報学府	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
85	医学系研究科	医学部 2 号館、医学部総合中央館、附属病院管理研究棟	基幹ネットワークの構成変更
86	情報基盤センター	アドミニストレーション棟、情報教育棟	基幹ネットワークの構成変更
87	情報基盤センター	情報教育棟	基幹ネットワークの構成変更
88	本部事務組織	第 2 本部棟	建物間 VLAN 申請
89	本部事務組織	経済学研究科棟、新領域基盤棟、本部棟	建物間 VLAN 申請
90	薬学系研究科	薬学部本館	建物間 VLAN 申請
91	本部事務組織	理学部 1 号館東棟	建物間 VLAN 申請
92	本部事務組織	理学部 1 号館東棟、理学部プレハブ研究 A 棟	建物間 VLAN 申請
93	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
94	宇宙線研究所	物性研究所	建物間 VLAN 申請

95	情報基盤センター	第 2 総合研究棟	建物間 VLAN 申請
96	総合文化研究科	コミュニケーションプラザ	建物間 VLAN 申請
97	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
98	本部事務組織	生研(柏)研究実験棟	建物間 VLAN 申請
99	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及び サブネットアドレスの割当申請
100	工学系研究科	柏第 2 総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
101	アイソトープ総合センター	アイソトープ総合センター、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
102	先端科学技術研究センター	情報基盤センター、先端研 4 号館	基幹ネットワークの構成変更
103	情報基盤センター	情報基盤センター、柏第 2 総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
104	情報基盤センター	情報基盤センター、柏第 2 総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
105	情報学環･学際情報学府	情報学環(図書館団地)、福武ホール、工学部 2 号館新棟	建物間 VLAN 申請
106	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
107	情報基盤センター		サブネットアドレスの割当申請
108	情報学環･学際情報学府	先端研 56 号館	建物間 VLAN 申請
109	本部事務組織	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及び サブネットアドレスの割当申請
110	海洋アライアンス機構		サブネットアドレスの割当申請
111	理学系研究科	電話庁舎	建物間 VLAN 申請
112	情報理工学系研究科	理学部 7 号館、理学部プレハブ研究 A 棟	基幹ネットワークの構成変更
113	ニューロインテリジェンス国際研究機構	医学部教育研究棟、医学部 1 号館	基幹ネットワークの構成変更及び サブネットアドレスの割当申請
114	本部事務組織	医学部 1 号館	建物間 VLAN 申請
115	ニューロインテリジェンス国際研究機構	医学部教育研究棟、医学部 1 号館	基幹ネットワークの構成変更
116	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
117	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN 申請
118	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	建物間 VLAN 申請

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	platinum.u-tokyo.ac.jp	工学系研究科	「プラチナ社会」総括寄付講座	継続
2	ct.u-tokyo.ac.jp	高大接続研究開発センター	高大接続研究開発センター	新規
3	utcc.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東京大学コミュニケーションセンター	新規
4	digitalgrid.u-tokyo.ac.jp	工学系研究科	「電力ネットワークイノベーション（デジタルグリッド）」総括寄付講座	廃止
5	freut.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東大女性研究者コミュニティ フルート(FREUT)	廃止
6	cks.u-tokyo.ac.jp	工学系研究科	知の構造化センター（ネットワーク）	廃止
7	hmc.u-tokyo.ac.jp	附属図書館	ヒューマニティーズセンター	新規
8	utripl.u-tokyo.ac.jp	理学系研究科	光量子科学連携研究機構	新規
9	srro.u-tokyo.ac.jp	物性研究所	放射光分野融合国際卓越拠点	新規
10	nnso.u-tokyo.ac.jp	宇宙線研究所	次世代ニュートリノ科学連携研究機構	新規
11	aviation.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	総括プロジェクト機構航空イノベーション総括寄附講座	継続

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	情報学環・学際情報学府	起点：薬学部本館 終点：情報基盤センター	SM2 芯	新規
2	情報学環・学際情報学府	起点：薬学部本館 終点：情報基盤センター	SM4 芯	新規
3	情報学環・学際情報学府	起点：薬学部本館 終点：附属図書館	SM2 芯	新規
4	工学系研究科	起点：工学部 8 号館 終点：工学部列品館	GI4 芯	廃止
5	情報基盤センター	起点：物性研究所 終点：第 2 総合研究棟	SM2 芯	新設
6	工学系研究科	起点：工学部 8 号館 終点：工学部 12 号館	SM2 芯	新規
7	生産技術研究所	起点：生産技術研究所 終点：設備センター	GI2 芯	廃止
8	生産技術研究所	起点：生産技術研究所 終点：設備センター	SM2 芯	新規

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	2				8			
2	医学部附属病院	1				2			
3	教育学研究科					1	1		
4	工学系研究科	3	13	2		1	5	1	
5	公共政策大学院	1	1						
6	情報理工学系研究科		1				2		
7	新領域創成科学研究科		1		15				
8	農学生命科学研究科			2					1
9	農学生命学研究科	1							
10	理学系研究科	1	1			1			
11	宇宙線研究所				3				
12	地震研究所		2						
13	情報学環					1			
14	大気海洋研究所	1							
15	物性研究所	1			1				
16	分子細胞生物学研究所			2					
17	アジア生物資源環境研究センター	1							
18	高齢社会総合研究機構		1				1		
19	情報基盤センター	1							
20	人工物工学研究センター				2				
21	人文社会系研究科	1							
22	素粒子物理国際研究センター	1							
23	大規模集積システム設計教育研究センター		2						
24	国際本部				4				
25	卒業生室						2		
26	保健・健康推進本部(柏地区)健康管理室				3				
27	本部・キャリアサポート課		1						
28	グローバルリーダー育成プログラム推進室		1						
29	高大接続研究開発センター			2					
30	東京大学リーディング大学院		1						
31	新学術領域研究「性スペクトラム － 連続する表現型としての雌雄」								1

32	新学術領域研究「ノンコーディング RNA ネオタクソノミ」		1						
33	新学術領域研究「ゆらぎと構造の協奏」		1						
34	新学術領域研究領域会議								1
35	東京大学中国留学生学友会		1						
36	ADMETA 委員会			1					
37	Bio4Apps2017			1					
38	EUNITY Project		1						
39	ICCNS 2017		1						
40	IEEE SSCS(Solid-State Circuits Society) Japan Chapter		2						
41	MPLS 2017		1						
42	NPO 法人 日本エコツーリズム協会			1					
43	NPO 法人 ブロードバンドアソシエーション		1						
44	SINAPS								1
45	ST マイクロエレクトロニクス株式会社		1						
46	Tokyo RNA club		1						
47	一般財団法人 総合研究奨励会		1						
48	一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会			1					
49	一般社団法人 日本原子力学会 原子力安全部会		2						
50	一般社団法人 日本獣医学専門医奨学基金			1					
51	一般社団法人 日本燃焼学会		1						
52	一般社団法人 日本保全学会		1						
53	液体水素利用シンポジウム実行委員会		1						
54	エルゼビア・ジャパン株式会社			1					
55	大阪大学		1						
56	科研費新学術領域研究「疎性モデリング」		2						
57	株式会社 一条工務店			1					
58	聞き書き甲子園実行委員会			1					
59	京都大学			1					
60	ゲノム医科学研究機構					1			
61	公益社団法人 日本実験動物学会			2					
62	公益社団法人 日本盲導犬協会			1					
63	公益社団法人 農林水産・食品産業技術振興協会			1					
64	高エネルギー加速器研究機構			1					
65	航空宇宙会		1						
66	厚生労働省			1					
67	酵母遺伝学フォーラム第 50 回研究報告会			1					
68	国際獣疫事務局(OIE)			1					1
69	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構		1						
70	国立研究開発法人 科学技術振興機構			1					
71	国立研究開発法人 物質・材料研究機構		1						
72	資源・素材学会 関東支部		1						
73	心身障害児総合医療療育センター					1			
74	生物生産工学研究センター								1
75	生理学研究所 生体システム研究部門					1			
76	全国がんプロ協議会					1			
77	創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム			1					1
78	第 3 回生体模倣型の双性イオン構造材料に関する国際会議 実行委員会		1						
79	地球医育成機構			1					
80	特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合		1						
81	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					
82	特定非営利活動法人 大学宇宙工学コンソーシアム(UNISEC)		2						
83	日本安全性薬理研究会			1					
84	日本学校精神保健研究会		1						
85	日本獣医学生協会(JAVS)			1					
86	日本バイディジタル O-リングテスト医学会	1							
87	日本ロボット学会		2				2		
88	農業・食品産業技術総合研究機構			1					
89	農業情報学会			1					

90	バイオ関連化学シンポジウム事務局			1					
91	東空会	1							
92	ライフイズテック株式会社		4						
93	ライフサイエンス委員会								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

2017 年度は、従来から利用している異常トラフィック監視システムのハードウェアの保守が切れて延長することができなくなったため、新たなパケットキャプチャシステムの導入を行った。

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

コンピュータウイルス対策ソフトウェアの業務に関しては、2014 年度に情報システム部情報システム支援課ソフトウェア管理チームに引き継いで運用していたが、今年度から再びネットワークチームに引き継いで運用した。

1.3 迷惑メール（SPAM メール）対策

全学的な迷惑メール対策システムの運用を実施した。

なお、本システムはすでに販売終了しており、2018 年 3 月末でライセンスが終了となったため、利用者への終了のお知らせ及び他のシステム（Mailhosting や InterScan VirusWall など）への移行をお願いした。

2017 年度の参加数は 13 部局、58 ドメイン、9,352 メールアカウントである。

2017 年度の迷惑メール対策システムの運用状況は、図 1 のとおりである。

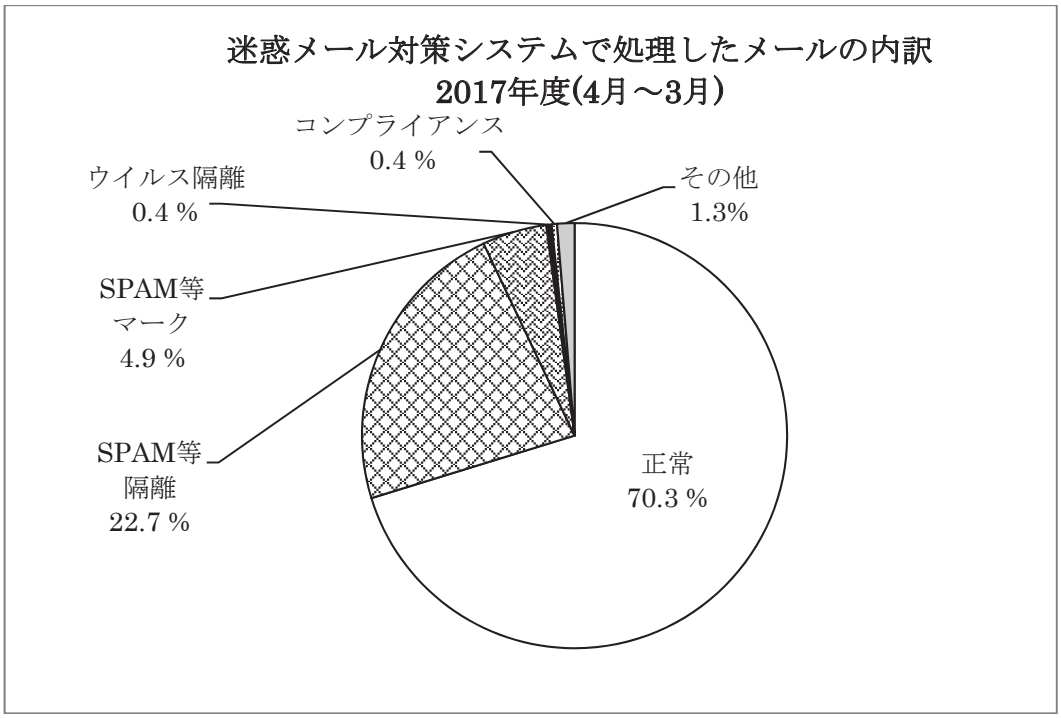


図1　迷惑メール対策システムの運用状況

2　サービス統計

2017 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）	651	44	12,943
ウイルスバスター（英語版）	114	22	510
Sophos Anti-Virus for Windows	27	14	164
Sophos Anti-Virus for MacOS X	169	33	1,879
ESET Smart Security (Windows)	59	22	374
ESET Smart Security (Mac)	14	13	32
Symantec Endpoint Protection (Windows)	32	18	551
Symantec Endpoint Protection (Mac)	57	25	351
Server Protect	33	19	105
InterScan VirusWall	7	7	13

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

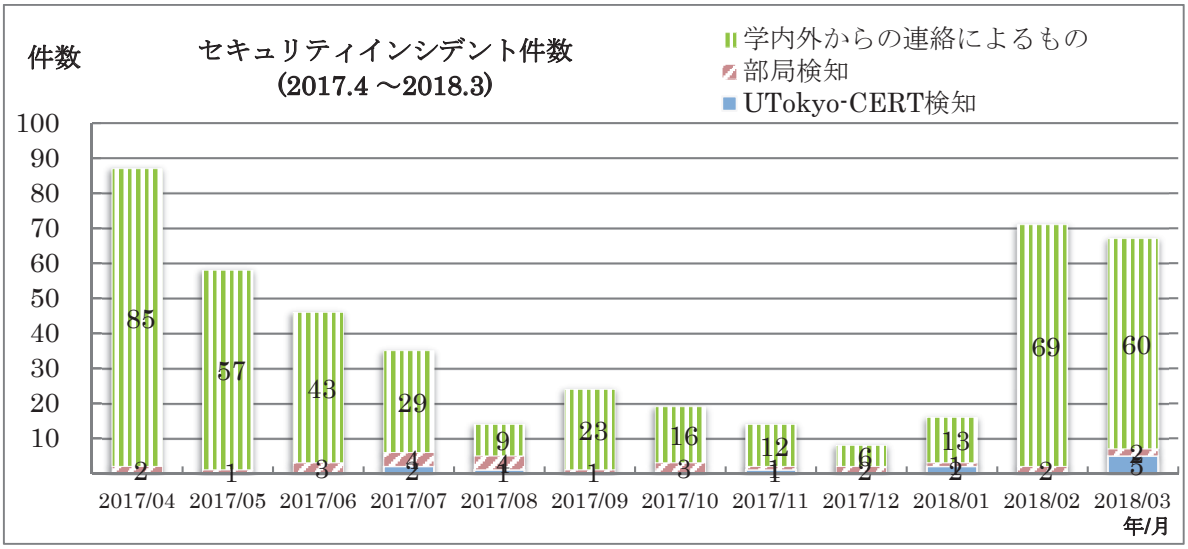
情報基盤センターでは、UTNET の基幹ネットワークでセキュリティ対策を実施していることから、ネットワークを介したセキュリティインシデントについて、東京大学情報システム緊急対応チーム UTokyo-CERT(University of Tokyo-Computer Emergency Response Team)から以下の委託業務を受け、UTokyo-CERT と連携協力しながら、全学的なセキュリティ対策を実施した。

・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。
　2017 年 4 月より全学ファイアウォールが導入されたためインシデント件数が増加しているが、UTSOC で重要度の見直しがあり全学ファイアウォールで検知したインシデント件数は徐々に減少した。
　また、2018 年 2 月から NII-SOCS に参加したため、NII-SOCS からの連絡によるインシデント件数が増加した。
・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

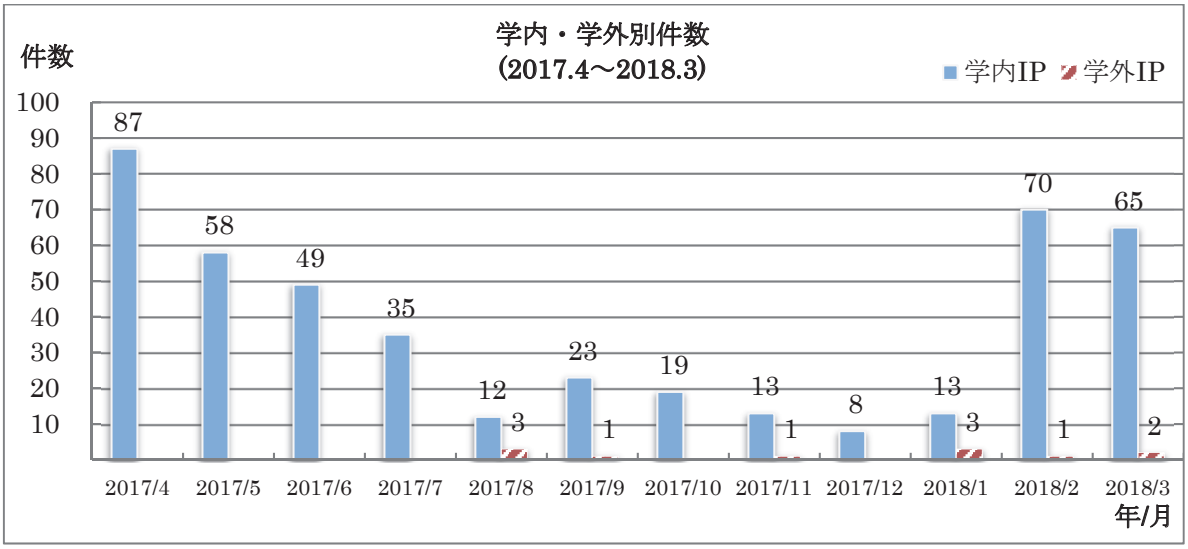
2017 年度のセキュリティ対策で扱ったインシデント件数は図 1~3 のとおりである。

図 1　セキュリティインシデント件数



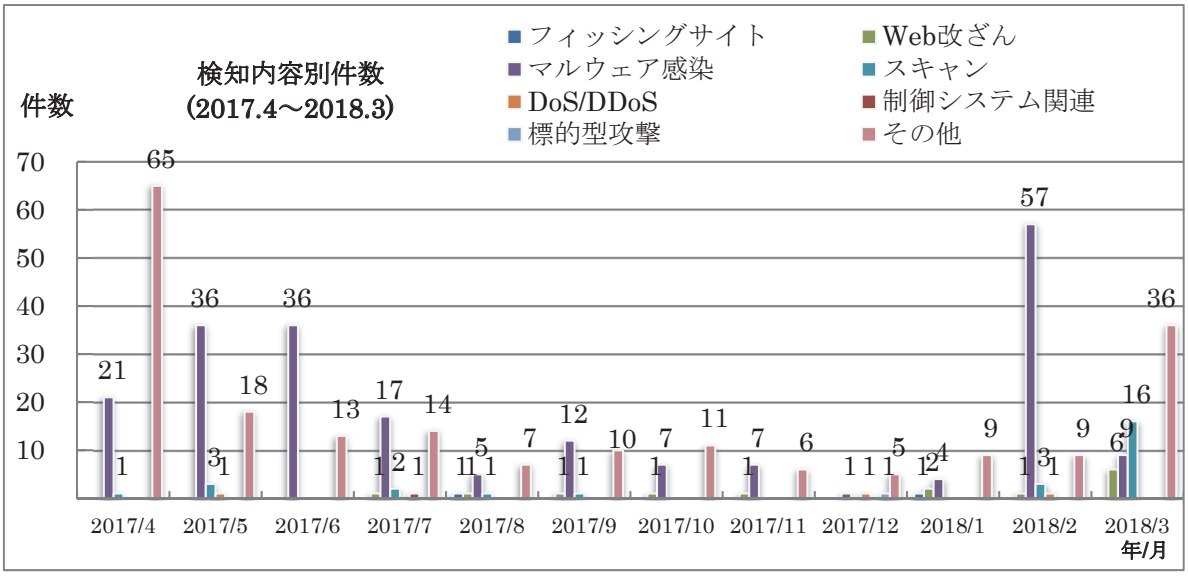
※「検知元別件数」は、学内組織にインシデントとして発行された件数を月毎に集計したものである。

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。

本サービスは、2014 年度に情報システム部情報システム支援課ソフトウェア管理チームに引き継いで運用していたが、今年度から再びネットワークチームに引き継いで運用を行った。

Microsoft 社製品のアカデミックセレクトプラスについて、ソフトウェアダウンロードサイトを用いて提供を行った。必要な業務のうち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）

(2) Adobe CLP
Adobe 社の Acrobat、Photoshop 等の製品を生協経由で安価に購入できるライセンス。

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	18	7
JMP Pro	50	14
SAS	27	7
MATHEMATICA	165	18
ChemOffice	49	9
LabVIEW	184	19

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	7	11	6
Windows Server CAL(User CAL)	8	2	2
Windows Server CAL(Device CAL)	15	3	3
SQL Server CAL DeviceLicense（PC 台数分）	5	1	1
SQL Server CAL UserLicnese（利用者人数分）	5	1	1
Microsoft Office Professional Plus 2013 32bit	1	1	1
Windows 8.1 Pro 64bit	1	1	1
Office Visio Standard 2016 64bit	1	1	1
Office Visio Professional 2016 64bit	5	1	1
SQL Server Standard Edition 2017 64bit 版	1	1	1
SharePoint Server 2016 64bit 版	1	1	1
SharePoint Standard CAL + SA(3yrs)	5	1	1
SharePoint Enterprise CAL + SA(3yrs)	5	1	1
Project Server + SA(3yrs)	1	1	1
Project Server CAL + SA(3yrs)	5	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2017 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 2017 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）
5 部局	3 本	5 本	3 個

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 2016 年 3 月 23 日に改訂し、東大内登録局（TLRA）の設置基準を緩和した。現在 TLRA を運用している部局は 16 を数える。

2017 年度には、サーバ証明書申請システムを構築し、試行運用を 2018 年 3 月から開始した。そのほか、情報基盤センターPKI の Web サイトのリニューアル、東大シールサーバの更新を行った。

また、昨年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

2017 年 3 月 31 日現在で有効な証明書の数を 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	128
本部事務局 (adm)	64
生産技術研究所 (iis)	57
理学系研究科 (s)	33
附属病院 (h)	25
情報基盤センター (itc)	22
総合文化研究科 (c)	22
史料編纂所 (hi)	19
カブリ数物連携宇宙研究機構 (ipmu.jp)	13
物性研究所 (issp)	13
情報学環 (iii)	11
新領域創成科学研究科 (k)	10
数理科学研究科 (ms)	10
空間情報科学研究センター (csis)	9
大学総合教育研究センター (he)	9
医学系研究科 (m)	5
UTNET (nc)	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。
2018 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。
CP/CPS の発行は 2018 年 1 月 15 日。2018 年 3 月 31 日現在での有効枚数は 4 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タ
FUJITSU PRIMEHPC FX10
(Oakleaf-FX)

スーパーコンピュータ
HITACHI SR16000 モデル M1
(Yayoi)

スーパーコンピュータ
FUJITSU PRIMEHPC FX10
(Oakbridge-FX)

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。

2017 年度は、大規模 SMP 並列スーパーコンピュータシステムとして、Hitachi SR16000/M1（Yayoi）（56 ノード、1,792 コア、ピーク性能 54.9 TFLOPS、2011 年 10 月運用開始）、大規模超並列スーパーコンピュータシステムとして、Fujitsu PRIMEHPC FX10（FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX））（4,800 ノード、76,800 コア、ピーク性能 1.13 PFLOPS、同 2012 年 4 月）、Fujitsu PRIMEHPC FX10（FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用（Oakbridge-FX））（576 ノード、9,216 コア、ピーク性能 136.2 TFLOPS、同 2014 年 4 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）、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、同 2016 年 10 月）に加えて、2017 年 10 月から SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-L）（64 ノード、2,304 コア＋256GPU、ピーク性能 1435.3TFLOPS）の計 7 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、2016 年度に引き続いて Oakleaf-FX、Oakbridge-FX 486 ノード年（7,776 コア年、ピーク性能 114.9TFLOPS 相当）、2017 年度から新たに Reedbush-U 18 ノード年（648 コア年、ピーク性能 21.8TFLOPS 相当）および Oakforest-PACS 928 ノード年（63,104 コア年、ピーク性能 2.827PFLOPS 相当）を拠出した。

各システムは順調な稼働を続けており、有償による正式運用の初年度となる Oakforest-PACS（Xeon Phi（KNL）搭載）と Reedbush-H（1 ノードに GPU 2 基）の利用率は、月平均で各々65%、48% に達した。10 月より運用を開始した Reedbush-L（同 4 基）は無償の試験運用期間には 67% という滑り出しであった。Reedbush-U は 10 月以降 80%前後で推移し、年度末は 87% に達し大変混雑している。Oakleaf-FX は 6 年間のリース契約の最終年度にもかかわらず 85%を超える利用率を達成した月もあった。なお、Hitachi SR16000/M1（Yayoi）は本年度 9 月末、Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX、Oakbridge-FX）は 3 月末をもって運用を終了した。

2017 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

- Fujitsu PRIMEHPC FX10（FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX／Oakbridge-FX））
  - 企業ユーザー利用支援
  - 講習会
  - 広報活動

2 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の導入

データ解析、機械学習分野のユーザは、個人情報等機密性の高いデータを扱ったり、独自のソフトウェアをインストールする必要があることから、ログインノードも含めて個別のカスタマイズが必要である。また、一週間を超えるような長時間のジョブをインタラクティブな環境下で継続して実施する必要とすることもあるため、計算機資源を占有可能とするようなサービスが必須となったことから、「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」の導入を実施した。

2016 年 11 月 10 日に導入説明会、2017 年 1 月 6 日に仕様書原案説明会、同 4 月 25 日に入札説明会を実施し、同 6 月 7 日に応札締切、同 6 月 28 日に開札を実施し、日本 SGI 社（現 HPE 社）提案のシステムが採択となった。本システム（Reedbush-L）は計算ノードの CPU として Intel Xeon E5-2695（Broadwell-EP）を採用し、演算加速装置として GPU（NVIDIA Tesla P100 （Pascal））が搭載されており、Reedbush-U/Reedbush-H と一体的に運用するシステムとなった。

1 ノードに 4 基の GPU を搭載し、全 64 ノードで合計 256GPU となっており、全計算ノードのピーク性能は 1.43 PFLOPS である。この他、高速ファイルキャッシュシステム（DDN IME240, 153.6TB）を搭載している。2017 年 10 月 1 日に Reedbush-L システムの運用を開始した。

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。

2016 年 11 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、2017 年 3 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 52 課題のうち 46 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 21 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。2016 年度からは審査委員会の承認により、萌芽型共同研究として認定されるようになった。本年度は 61 課題が採択され、そのうち 30 課題が東大情報基盤センターと共同研究を行った。2016 年度報告会、2017 年度採択課題紹介を兼ねた第 9 回シンポジウムは 2017 年 7 月 13 日（木）・14 日（金）に THE GRAND HALL（品川）で開催された。

「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。2017 年度は、前期 14 件、後期 11 件、インターン 5 件の合計 30 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。2017 年度は全部で 13 課題（Oakleaf-FX 3 課題、Reedbush-H 4 課題、Oakforest-PACS 6 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。2016 年度は Reedbush-U システムを提供の対象とし、2017 年度には 2 回の募集を実施し、新たに稼働を開始した Reedbush-H、Oakforest-PACS システムについても提供の対象としており、Reedbush-U 3 件、Reedbush-H 2 件、Oakforest-PACS 1 件でのべ 6 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。2017 年度は同講習会を 21 回実施した。その他、「國家理論科學研究中心 2017 年暑季課程：「用超級電腦做科學計算」（Scientific Computing on Supercompuer ） Part C. Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems」（2017 年 7 月 4 日～7 日）、「國家理論中心數學組「高效能計算 」短期課程 Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」（2018 年 2 月 22 日～25 日）（共催：國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences）、東京大学情報基盤センター他）を國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）で開催した。

2017 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、「スーパーコンピューティングニュース特別号」を 1 回発行した。特別号は、「平成 29 年度『若手・女性利用者推薦前期課題 成果報告』」の特集である。

6 その他イベント

2017 年 10 月 27 日・28 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 16 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　2017 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、2017 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、Fujitsu FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）、および本郷キャンパス（本センター）の HPE Reedbush-U/H スーパーコンピュータシステム、Fujitsu FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用（Oakbridge-FX）、Hitachi SR16000 システムの運用に加えて、本郷キャンパスにて HPE Reedbush-L スーパーコンピュータシステムの運用を開始し、合計 7 式のスーパーコンピュータの運用を行った。このうち SR16000 は 2017 年 9 月末、Oakleaf-FX/Oakbridge-FX は 2018 年 3 月末をもってサービスを終了した。

1.1　Reedbush-L サービス開始

Reedbush-L は各計算ノードに演算アクセラレータ（GPU）を 4 基搭載したシステムである。2017 年 10 月 2 日より試験運用を開始し、10 月 31 日から正式サービスを行った。Reedbush-L は Reedbush スーパーコンピュータのサブシステムとして既存の Reedbush-U/H と一体運用を行っている。

1.1.1　ハードウェア

ハードウェア諸元は以下のとおりである。

表 1. Reedbush-L のハードウェア諸元（全体）

項目		諸元
総理論演算性能		1435.3 TFlops
総ノード数		64
総主記憶容量		16 TByte
ネットワークトポロジー		Full-bisection Fat Tree
高速ファイルキャッシュシステム	サーバ	DDN IME240
	サーバ数	8
	容量	153.6 TB
	転送速度	166.4 GB/sec

※並列ファイルシステムは Reedbush-U/H と共有のため省略

表 2. Reedbush-L のハードウェア諸元（ノード構成）

項目		諸元
マシン名		SGI Rackable C1102-GP8
CPU	プロセッサ名	Intel Xeon E5-2695v4 (Broadwell-EP)
	プロセッサ数 (コア数)	2 (36)
	周波数	2.1 GHz (Turbo boost 時最大 3.3 GHz)
	理論演算性能	1209.6 GFlops
メモリ	容量	256 GB
	メモリ帯域幅	153.6 GB/sec
GPU	プロセッサ名	NVIDIA Tesla P100 (Pascal)
	コア数 (単体)	56
	メモリ容量 (単体)	16 GB
	メモリ帯域幅 (単体)	732 GB/sec
	理論演算性能 (単体)	5.3 TFlops
	搭載数	4
	CPU-GPU 間接続	PCI Express Gen3 x16 レーン(16 GB/sec)
	GPU 間接続	NVLink 2 brick (20 GB/sec x2 or x1)
インターコネクト		InfiniBand EDR 4x 2 リンク(100 Gbps x2)

※CPU およびメモリは Reedbush-U/H と同性能。GPU（単体）は Reedbush-H と同性能。

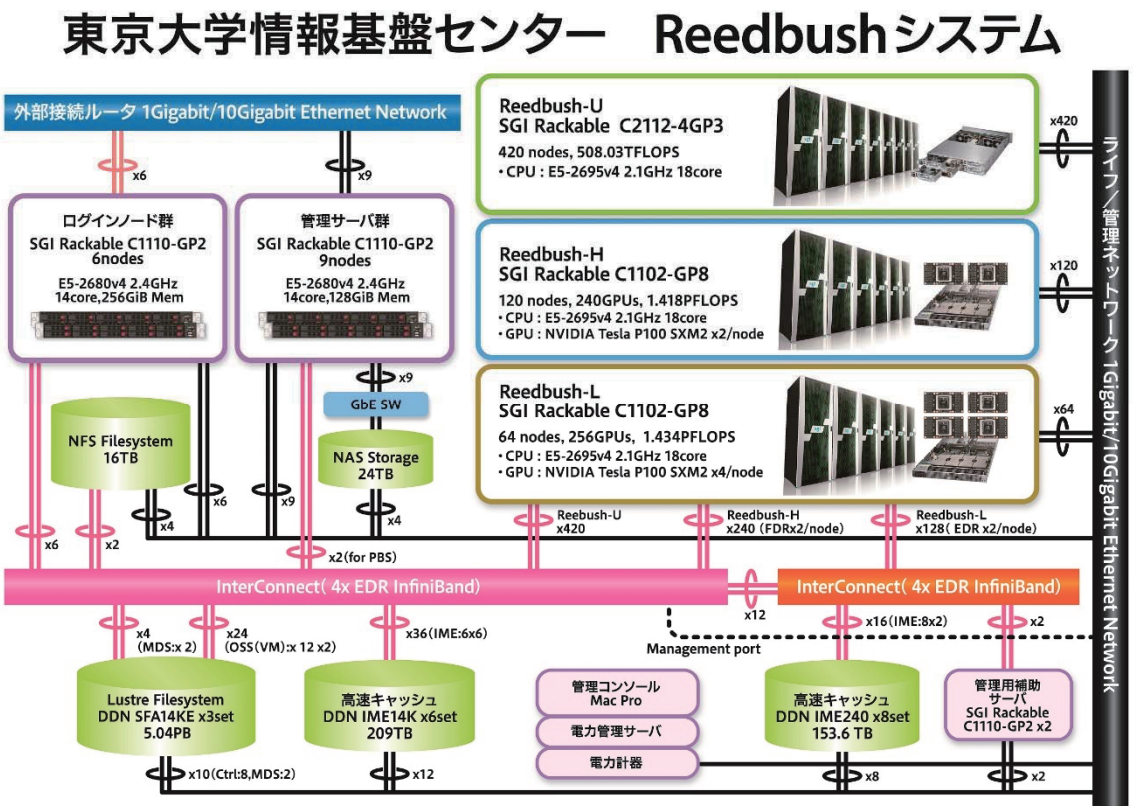


図 1. Reedbush の構成

1.1.2 ソフトウェア

ソフトウェア諸元は以下のとおりである。

表 3. Reedbush-L のソフトウェア諸元

項目	諸元
OS	Red Hat Enterprise Linux 7
コンパイラ	GNU コンパイラ、 Intel コンパイラ (Fortran77/90/95/2003/2008、C、C++)、 PGI コンパイラ (Fortran77/90/95/2003/2008、C、C++、OpenACC 2.0、CUDA Fortran) NVCC コンパイラ(CUDA C)
メッセージ通信ライブラリ	Intel MPI、SGI MPT、Open MPI、MVAPICH2、Mellanox HPC-X、GPUDirect for RDMA: Open MPI、MVAPICH2-GDR
ライブラリ	Intel 社製ライブラリ(MKL) BLAS、LAPACK、ScaLAPACK その他ライブラリ FFTW、GNU Scientific Library、NetCDF、Parallel netCDF、Xabclib、ppOpen-HPC、ppOpen-AT、MassiveThreads、OpenJDKcuBLAS、cuSPARSE、cuFFT、MAGMA、OpenCV、ITK、Theano、Anaconda、ROOT、TensorFlow
アプリケーション	Torch、Caffe、Chainer、GEANT4
デバッガ プロファイラ	Total View、Intel VTune、Intel Inspector、Intel Trace Analyzer & Collector、PerfSuite、NVIDIA Visual Profiler

※上記ソフトウェアは Reedbush-H と共通

1.1.3 ジョブクラス制限値

ジョブクラス制限値は以下のとおりである。最大 16 ノードのジョブ実行が可能である。

表 4. Reedbush-L ジョブクラス制限値

キュー名※1	ノード数※2（最大 GPU 数）	制限時間（経過時間）	メモリー容量（GB）※3	パーソナルコース	グループコース		
					一般申込	公募制度	ノード固定
(l-regular)							
l-small	1 ～ 4 (16)	168 時間	244	○	○	○	○
l-medium	5 ～ 8 (32)	〃	〃	○	○	○	○
l-large	9 ～ 16 (64)	〃	〃	○	○	○	○
任意	申込数	任意 ※4	244	×	×	×	○
l-interactive ※5	1 (4)	24 時間	244	○	○	○	○
(l-regular-low) ※6							
l-small-low	1 ～ 4 (16)	12 時間	244	▲	▲	▲	▲
l-medium-low	5 ～ 8 (32)	〃	〃	×	▲	▲	▲
l-large-low	9 ～ 16 (64)	〃	〃	×	▲	▲	▲

▲ パーソナルコースは 最大 1 ノード，グループコースは申込ノード数の 4 分の 1 まで実行可（公募制度・ノード固定による申し込みの場合は申込ノード数まで実行可）

※1 キューの指定（〝#PBS -q キュー名〞）は，l-regular を小文字で指定する
l-regular キューはノード数の指定（〝#PBS -l select=ノード数〞）でノード数別のキューに投入される

※2 トークンの消費係数は優先ノード数まで 4.00，優先ノード数超で 8.00
（優先ノード数は，パーソナルコースが 1 ノード，グループコースは申込ノード数の 4 分の 1 とする
ただし，公募制度・ノード固定による申し込みの場合は申込ノード数を優先ノードとする）

※3 1ノード当りの利用者が利用可能なメモリー容量

※4 申込ノード数の合計以内ならば，キュー名・制限時間（原則 168 時間以内）は相談の上，任意に設定可能

※5 インタラクティブジョブの起動は次のとおり（トークン消費あり）
qsub -I -q l-interactive -l select=ノード数 -l walltime=XX:XX -W group_list=グループ名

※6 非優先ジョブクラス（低プライオリティキュー）は，トークンの追加申込が締め切られ，ジョブ実行に必要なトークン残量が不足した場合のみ実行可

1.2 2017 年度のサービスに係わる変更

1.2.1 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 16 課題に対し、FX10（Oakleaf-FX および Oakbridge-FX）は 6 課題 485.8 ノード/年（4,197,064 ノード時間）、Reedbush-U は 1 課題 18 ノード/年（155,520 ノード時間）、Oakforest-PACS は 10 課題 927.9 ノード/年(8,017,275 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 21 課題に対し FX10 は 5 課題 89.1 ノード/年（770,004 ノード時間）、Reedbush-U は 4 課題 7.2 ノード/年（62,389 ノード時間）、Reedbush-H は 4 課題 12.2 ノード/年（105,720 ノード時間）、Oakforest-PACS は 11 課題 71.4 ノード/年(617,083 ノード時間)の資源提供を行った。

1.3 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 (FX10 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 14 件の利用があった。

FX10 利用
・工学院大学情報学部コンピュータ科学科「並列計算システム」
・東京大学教養学部「動機付けプロジェクト(学部 2 年 A1A2、駒場キャンパス)」

Reedbush-U 利用
・東京大学工学部・工学系研究科「実践的シミュレーションソフトウェア開発演習」
・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」
・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」」
・東京大学工学系研究科「電子系工学専攻修士実験2017S1」
・東京大学工学部・工学系研究科「計算科学概論」
・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」
・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 (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)」
・臺灣大學數學科學中心「Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」
・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)」
・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」

1.4 利用説明会

Oakforest-PACS および Reedbush-U/H を対象とした利用説明会を以下のとおり実施した。

表 5. 利用説明会実施状況

開催場所	開催日	参加人数
東京大学(柏)	2017 年 5 月 16 日	14 人
東京大学(本郷)	5 月 17 日	14 人
埼玉大学	6 月 7 日	30 人

2 2018 年度のシステム整備計画

2017 年度末に運用を終了した 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、新たな大規模超並列スーパーコンピュータシステムの調達を行っており、2018 年度中にシステムを導入し、運用を開始する予定である。

資源提供について、HPCI の 17 課題に対し、Oakforest-PACS を 1,600 ノード/年(13,824,000 時間)、Reedbush-U を 59.2 ノード/年(511,428 時間)を予定している。また JHPCN の 15 課題に対し、Oakforest-PACS を 159.5 ノード/年(1,378,080 時間)、Reedbush-U を 5.9 ノード/年(50,976 時間)、Reedbush-H を 14.6 ノード/年(126,144 時間)、Reedbush-L を 6.1 ノード/年(52,704 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。2017 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 24 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2018 年 1 月 23 日 (火) 10:00 ～
議題 :
- スーパーコンピューターシステム利用規程別表の改正について
- 試用アカウント配布型講習会 実施要領の改正について
- 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
- 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
- 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）運用開始に関する報告
- 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

なお、本年度は利用規程等改正のため、以下のメール審議が行われた。

日時 : 2017 年 6 月 21 日 (水) ～ 6 月 27 日 (火)
議題 :「トライアルユース実施要領の改訂」および「試用アカウント配布型講習会 実施要領および利用規程別表5の改訂」

日時 : 2017 年 7 月 3 日 (月) ～ 7 月 7 日 (金)
議題 :「Reedbush-H 通常パーソナルコースの最大ノード数の変更（利用規程別表 5の改訂の訂正）」

日時 : 2017 年 9 月 21 日 (木) ～ 9 月 27 日 (水)
議題 :「大規模 HPC チャレンジ審査委員会内規および実施要領の制定・改定」および「Reedbush-L 利用負担金制定」

日時 : 2018 年 2 月 22 日 (木) ～ 3 月 1 日 (木)
議題 :「Oakforest-PACS 提供ディスク量の拡大」

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　2017 年度の利用負担金改正

4.1.1　トライアルユース実施要領の改訂

Reedbush-U/H、Oakforest-PACS の有償トライアルユースで、利用者が実用性を評価するために十分な期間提供できるように、従来の有効期間の設定（パーソナルコース最大 3 ヶ月、グループコース最大 9 ヶ月）を年度のサービス終了日まで（最大 1 年）とした。また、Reedbush-H のパーソナルコースにおける最大ノード数を拡大した。

表 6. Reedbush-U/H、Oakforest-PACS 有償トライアルユース

改正前	改正後
パーソナルコース 利用期間　最大 3 ヶ月 Reedbush-H　最大 2 ノード グループコース 利用期間　最大 9 ヶ月	パーソナルコース 利用期間　年度のサービス終了日まで（最大 1 年） Reedbush -H　最大 4 ノード グループコース 利用期間　年度のサービス終了日まで（最大 1 年）

4.1.2　Reedbush-H のパーソナルコースにおける最大ノード数の拡大（利用規程別表 5 の改訂）

Reedbush-H （GPU）の利用促進およびトライアルユースの最大ノード数の拡大に伴い、一般利用のパーソナルコースにおいても最大ノード数を拡大した。

表 7. Reedbush-H パーソナルコース

改正前	改正後
パーソナルコース Reedbush-H　最大 2 ノード	パーソナルコース Reedbush -H　最大 32 ノード

4.1.3　試用アカウント配布型講習会実施要領の改訂

講習会において Reedbush-H、Oakforest-PACS の利用方法を十分に習得する期間を提供するため、アカウントの有効期間を延長できるものとした。

表 8. 試用アカウント配布型講習会実施要領

改正前	改正後
有効期間 講習会期間と講習会終了後1週間	有効期間 講習会期間と講習会終了後1週間（講習会の目的の範囲内で延長可能）

4.1.4　大規模 HPC チャレンジ実施要領の改定

本年度 10 月より Oakforest-PACS 、12 月より Reedbush-H において大規模 HPC チャレンジを実施できるよう実施要領を改正した。

4.1.5 Reedbush-L 利用負担金制定

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 を 2017 年 10 月から試験運用開始、11 月から正式サービスするにあたって利用負担金を制定した。試験運用期間は無償としたため、11 月の利用分から本負担金を適用した。

表 9. Reedbush-U/H/L 利用負担金

申し込みコース	負担金額
パーソナルコース （トークン 17,280 ノード時間, Reedbush-U 最大ノード数 16 ノード, 消費係数 4 ノードまで 1.00, 4 ノード超 2.00 Reedbush-H 最大ノード数 32 ノード, 消費係数 1 ノードまで 2.50, 1 ノード超 5.00 Reedbush-L 最大ノード数 16 ノード, 消費係数 1 ノードまで 4.00, 1 ノード超 8.00 /lustre 1TB, 利用者当たり /home 2GB）	（大学・公共機関） 150,000 円/年
グループコース 4 ノード申し込み当たり （トークン 34,560 ノード時間, Reedbush-U 最大ノード数 128 ノード, 消費係数 申込ノードまで 1.00, 申込ノード超 2.00 Reedbush-H 最大ノード数 32 ノード, 消費係数 申込ノード数の 1/4 まで 2.50, 申込ノード数の 1/4 超 5.00 Reedbush-L 最大ノード数 16 ノード, 消費係数 申込ノード数の 1/4 まで 4.00, 申込ノード数の 1/4 超 8.00 /lustre 4TB, 利用者当り /home 2GB）	（大学・公共機関） 300,000 円/年 （企業） 360,000 円/年
公募制度・ノード固定（グループコース） Reedbush-U 4 ノード申し込み当たり （トークン 34,560 ノード時間, 最大ノード数 128 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 /lustre 4TB, 利用者当たり /home 2GB）	（大学・公共機関） 300,000 円/年 （企業） 360,000 円/年 ※ノード固定の場合 （大学・公共機関） 450,000 円/年 （企業） 540,000 円/年
公募制度・ノード固定（グループコース） Reedbush-H 1 ノード申し込み当たり （トークン 21,600 ノード時間, 最大ノード数 32 ノード, 消費係数 申込ノード数まで 2.50, 申込ノード数超 5.00 /lustre 4TB, 利用者当たり /home 2GB）	（大学・公共機関） 180,000 円/年 （企業） 216,000 円/年 ※ノード固定の場合 （大学・公共機関） 270,000 円/年 （企業） 324,000 円/年
公募制度・ノード固定（グループコース） Reedbush-L 1 ノード申し込み当たり （トークン 34,560 ノード時間, 最大ノード数 16 ノード, 消費係数 申込ノード数まで 4.00, 申込ノード数超 8.00 /lustre 4TB, 利用者当たり /home 2GB）	（大学・公共機関） 300,000 円/年 （企業） 360,000 円/年 ※ノード固定の場合 （大学・公共機関） 450,000 円/年 （企業） 540,000 円/年

表 10. Reedbush-U/H/L トライアルユース利用負担金

申し込みコース	負担金額
有償トライアルユース パーソナルコース （トークン 4,320 ノード時間, Reedbush-U 最大ノード数 16 ノード, 消費係数 4 ノードまで 1.00, 4 ノード超 2.00 Reedbush-H 最大ノード数 4 ノード, 消費係数 1 ノードまで 2.50, 1 ノード超 5.00 Reedbush-L 最大ノード数 4 ノード, 消費係数 1 ノードまで 4.00, 1 ノード超 8.00 /lustre 1TB, 利用者当たり /home 2GB）	（大学・公共機関） 11,500 円/年 （企業） 13,800 円/年
有償トライアルユース グループコース （トークン 25,920 ノード時間, Reedbush-U 最大ノード数 128 ノード, 消費係数 4 ノードまで 1.00, 4 ノード超 2.00 Reedbush-H 最大ノード数 32 ノード, 消費係数 1 ノードまで 2.50, 1 ノード超 5.00 Reedbush-L 最大ノード数 16 ノード, 消費係数 1 ノードまで 4.00, 1 ノード超 8.00 /lustre 4TB, 利用者当り /home 2GB）	（大学・公共機関） 92,300 円/年 （企業） 110,900 円/年
無償トライアルユース グループコース（企業のみ） （トークン 8,640 ノード時間, Reedbush-U 最大ノード数 128 ノード, 消費係数 4 ノードまで 1.00, 4 ノード超 2.00 Reedbush-H 最大ノード数 32 ノード, 消費係数 1 ノードまで 2.50, 1 ノード超 5.00 Reedbush-L 最大ノード数 16 ノード, 消費係数 1 ノードまで 4.00, 1 ノード超 8.00 /lustre 4TB, 利用者当り /home 2GB）	（企業） 0 円/年

4.2 2018 年度に向けて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い、2018 年 4 月より適用する。

4.2.1 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）

表 11. Reedbush-U/H/L 利用負担金

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

4.2.2 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）

表 12. Oakforest-PACS 利用負担金

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）

5　システム利用状況

2017 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 は平均 50%程度で推移したが 3 月には 65%に達した。Reedbush-U は平均 70%程度と高い利用率であり 2 月には 87%に達した。4 月から本運用を開始した Reedbush-H および 10 月の試験運用を経て 10 月末から本運用を開始した Reedbush-L は徐々に利用が増えてきている。FX10（Oakleaf-FX/Oakbridge-FX）および SR16000 はサービスの最終年度であったが、中でも Oakleaf-FX は平均 70%程度と高い利用率で推移した。

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

表 13. Oakforest-PACS ジョブ処理状況

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		
201704	965	231	4,825 54	683 96,108	208	1,770,173	36.0	934 1,525,834
201705	1,148	212	5,070 35	903 131,839	229	2,106,471	47.0	778 862,271
201706	1,078	223	7,025 102	1,314 143,401	395	2,343,818	40.4	870 958,787
201707	1,137	243	8,403 92	458 177,580	261	2,838,003	47.3	1,020 1,069,098
201708	1,159	220	5,760 63	618 105,030	259	1,609,291	38.2	1,264 1,173,188
201709	1,185	247	7,313 1,331	239 134,161	97	2,548,306	44.0	1,390 1,454,357
201710	1,182	255	8,147 167	432 123,562	168	3,320,804	58.6	1,300 1,351,913
201711	1,225	277	9,209 110	1034 59,867	386	2,861,608	49.3	1,358 1,277,988
201712	1,228	284	9,241 140	1460 38,760	775	3,332,644	55.5	1496 1,385,095
201801	1,250	271	8,511 121	1,012 210,475	716	3,385,857	56.4	1,647 1544,086
201802	1,288	311	9,240 126	764 102,750	337	2,695,348	49.8	1,804 2,172,981
201803	1,305	317	8,407 100	538 82,334	325	3,657,695	65.4	1,834 2,458,682
合計			91,151 2,441	9,455 1,405,867	4,156	32,470,018		

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

表 14. Reedbush-U ジョブ処理状況

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		
201704	651	248	3,314 234	18,507	38	108,675	49.3	109 103,268
201705	808	278	4,533 351	10,649	73	131,101	65.3	44 106,135
201706	963	320	7,660 675	32,442	178	172,857	67.0	51 114,494
201707	992	307	7,724 362	37,023	69	186,637	69.7	61 135,191
201708	1,131	255	4,848 109	50,562	38	115,093	60.0	60 141,655
201709	1,144	222	5,266 181	24,026	60	138,573	61.1	63 163,071
201710	1,037	272	7,398 223	20,077	81	191,769	79.3	72 193,651
201711	1,132	273	6,848 480	31,965	190	213,324	82.4	80 225,379
201712	1,130	256	6,688 623	27,154	245	212,722	79.5	83 337,057
201801	1,106	294	6,883 367	26,243	111	220,784	82.3	85 335,225
201802	1,160	279	6,278 84	22,921	27	211,825	87.7	86 359,771
201803	1,123	212	4,492 260	17,903	69	212,971	86.3	86 363,162
合計			71,932 1,685	319,472	1,179	2,116,331		

※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

表 15. Reedbush-H ジョブ処理状況

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		
201704	—	—	3,314 42	1,381	8	3,697	5.2	—
201705	—	—	4,533 250	1,269	51	4,776	7.5	—
201706	—	—	7,660 254	5,771	52	7,631	9.3	—
201707	—	—	7,724 280	10,423	91	17,278	20.3	—
201708	—	—	4,848 205	3,007	70	7,283	12.3	—
201709	—	—	5,266 131	6,293	28	11,349	15.7	—
201710	—	—	7,398 122	8,893	26	20,054	26.9	—
201711	—	—	6,848 153	8,620	43	40,145	48.7	—
201712	—	—	6,688 154	9,571	49	31,042	36.4	—
201801	—	—	6,883 188	11,299	58	36,568	42.8	—
201802	—	—	6,278 50	5,788	9	32,756	42.7	—
201803	—	—	4,492 72	4,358	17	30,198	38.6	—
合計			71,932 1,901	76,673	502	242,777		

※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

表 16. Reedbush-L ジョブ処理状況

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		
201710	−	−	7,398 188	1,600	103	24,425	67.6	−
201711	−	−	6,848 122	1,084	59	2,878	7.4	−
201712	−	−	6,688 77	1,083	67	5,748	14.1	−
201801	−	−	6,883 130	2,446	113	9,141	22.4	−
201802	−	−	6,278 86	3,531	89	3,797	10.5	−
201803	−	−	4,492 26	2,845	42	10,953	28.9	−
合計			38,587 517	6,213	342	42,192		

※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

5.5 FX10 スーパーコンピュータシステムのジョブ処理状況（Oakleaf-FX）

表 17. Oakleaf-FX ジョブ処理状況

年月	登録者数	実利用者数	件数		CPU 時間 (時間)		ノード利用率 (%)	ファイル使用量 (MB) (上段)/home (下段)/group
			(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	(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		
201704	940	255	6,013 630	29,673	1,603.69 465.56	19,962,377.80	44.9	41,710,512 740,395,296
201705	1,077	236	4,969 348	38,390	3,206.25 50.59	19,258,224.53	46.7	44,853,148 725,984,844
201706	1,050	302	7,996 727	37,254	3,307.54 296.58	30,175,665.81	63.6	45,713,394 765,632,622
201707	976	310	7,961 672	73,046	3,635.11 365.66	31,662,595.73	64.4	47,951,486 795,055,764
201708	986	217	5,329 825	20,025	1,108.53 231.71	25,610,835.22	70.4	47,010,771 805,449,406
201709	1,013	246	7,048 644	34,717	2,228.58 377.53	36,631,230.32	78.7	49,507,741 842,033,132
201710	951	266	8,848 1,552	58,961	7,127.60 629.59	34,506,564.12	73.7	55,874,269 849,637,510
201711	993	261	8,980 951	37,132	3,588.41 669.77	37,746,981.42	77.2	59,291,438 894,747,115
201712	985	263	8,564 911	35,916	5,132.12 792.19	43,557,224.46	85.4	59,364,595 873,407,458
201801	989	256	7,177 721	37,057	2,783.29 1,536.41	38,803,145.05	76.9	61,531,059 891,090,663
201802	985	243	5,424 175	32,083	2,559.94 79.42	32,993,703.43	73.6	67,717,594 899,565,914
201803	994	240	6,039 183	21,700	3,580.23 293.28	31,950,469.80	64.3	64,360,892 864,873,850
合計			84,348 8,339	455,954	39,861.29 5,788.29	382,859,017.69		

5.6 FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用（Oakbridge-FX）のジョブ処理状況

表 18. Oakbridge-FX ジョブ処理状況

年月	登録者数	実利用者数	件数		CPU 時間 (時間)		ノード利用率 (%)	ファイル使用量 (MB) (上段)/home (下段)/scratch
			(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	(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		
201704	940	34	172 21	13	9.32 533.28	2,404,703.61	47.9	456,873 22,615,088
201705	1,077	38	234 38	233	13.10 202.39	1,454,652.59	32.9	466,754 12,646,703
201706	1,050	30	95 17	171	4.12 0.25	555,452.96	15.4	476,953 11,339,576
201707	976	28	113 8	110	10.17 0.11	1,408,655.64	39.8	487,032 20,118,251
201708	986	19	74 25	225	2.68 0.60	426,137.36	13.3	499,428 10,104,303
201709	1,013	25	159 16	201	4.59 0.23	992,443.55	20.6	512,905 9,727,256
201710	951	31	139 16	197	3.52 0.23	1,608,638.04	30.3	516,505 10,109,159
201711	993	34	394 12	624	11.89 14.62	3,659,789.87	62.4	530,731 13,450,838
201712	985	30	261 14	192	33.40 31.76	3,854,753.34	62.4	535,676 12,404,104
201801	989	27	75 47	179	6.19 463.40	1,067,070.73	17.6	535,163 8,930,286
201802	985	26	86 26	192	5.85 77.90	1,617,324.82	29.2	536,193 10,579,146
201803	994	30	92 0	76	5.39 0.00	769,619.20	32.0	536,458 10,407,325
合計			1,894 240	2,413	110.22 1,324.77	19,819,241.71		

5.7 SR16000 システムのジョブ処理状況

表 19. SR16000 ジョブ処理状況

年月	登録者数	実利用者数	件数		CPU 時間 (時間)		ノード利用率 (%)	/home ファイル使用量 (MB)
			ログイン	NQS	ログイン	NQS		
201704	392	36	636	760	28.08	151,465.99	15.0	68,304,339
201705	400	26	392	484	30.75	117,704.91	12.6	69,884,249
201706	400	24	422	555	31.90	105,561.49	9.1	71,099,249
201707	400	30	491	828	20.05	127,584.48	11.1	71,311,161
201708	403	27	357	577	32.80	68,002.41	7.8	71,649,391
201709	403	42	592	663	54.48	91,870.32	9.5	70,595,719
合計			2,890	3,867	198.06	662,189.60		

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。2017 年度のプログラム相談件数は以下のとおりである。

表 20. プログラム相談件数

	Oakforest-PACS	Reedbush-U/H/L	FX10	SR16000 他	合計
2017 年 4 月	29	22	7	0	58
2017 年 5 月	21	27	7	0	55
2017 年 6 月	22	23	12	0	57
2017 年 7 月	29	23	9	1 (1)	62 (1)
2017 年 8 月	14	3	6 (1)	0	23 (1)
2017 年 9 月	19	7	4	0	30
2017 年 10 月	13	17	14	1	45
2017 年 11 月	12	14	5	−	31
2017 年 12 月	12	14	2	−	28
2018 年 1 月	7	5	2	−	14
2018 年 2 月	22	12	4	−	38
2018 年 3 月	6	5	3	−	14
小計	206	172	75 (1)	2 (1)	455 (2)

括弧内は面談件数

6.2 刊行物

2017 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.19 No.3 ～ Vol.20 No.2 (2017 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。

2017 年度はユーザからの成果報告を計 7 編掲載した。また、平成 29 年度「若手・女性利用者推薦」前期課題 成果報告をまとめた特集号 Vol.20 Special Issue 1 を発行し、前期に課題の終了した 10 件のうち 7 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おり、HPC テクノロジー企画セッションが 2013 年度より設置されている。「HPC テクノロジー」は 2016 年度までは企画セッションであったが、本年度から一般セッションに統合され、受賞審査対象となった。

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 2017 年 12 月 13 日 ～ 15 日に広島国際会議場にて開催され、一般セッション（口頭発表、ポスター発表）に本センターから職員が参加し発表を行った。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）
・「Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムの運用」
－宮嵜 洋 (口頭発表)－
本論文は 2016 年 12 月から運用を開始した Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムの概要と運用状況について報告したものである。
・「Reedbush スーパーコンピュータシステムの運用」
－坂井 朱美 (ポスター発表)－
本論文は 2016 年 7 月に運用を開始した Reedbush-U に加えて、2017 年 3 月、10 月より各サブシステム Reedbush-H、Reedbush-L の運用を開始した Reedbush スーパーコ ンピュータシステムについての概要と運用状況について報告したものである。

詳しくは、「大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 2017 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。2017 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
- OpenACC ハーフハッカソン
- 國家理論科學研究中心 2017 年春季課程:「高效能計算與深度學習」(NCTS 2017 Courses on High-Performance Computing and Deep Learning)

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、10 年目となる 2017 年度は、全 21 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(FX10 スーパーコンピュータシステム、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。

2017 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 21 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。それに伴い、2016 年度より実施している「GPU プログラミング入門」、「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」に加え、2017 年度からは「OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門」、「Reedbush スパコンを用いた GPU ディープラーニング入門」を新規開講した。2016 年度開講の 2 講習会は比較的基礎的なプログラミング技法を学ぶための講習会であったが、2017 年度開講の 2 講習会はより実践的・応用的な内容となっている。特に「Reedbush スパコンを用いた GPU ディープラーニング入門」講習会は、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であり、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　2017 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 75 回	GPU プログラミング入門	4 月 12 日	Reedbush-H	星野哲也	25/22
第 76 回	OpenFOAM 入門※	5 月 12 日	Reedbush-U	今野雅	17/17
第 77 回	KNL 実践	5 月 15 日	Oakforest-PACS	塙敏博	15/15
第 78 回	有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎	5 月 23 日〜24 日	Reedbush-U	中島研吾	7/7
第 79 回	MPI 基礎 : 並列プログラミング入門	6 月 1 日〜2 日	Reedbush-U	塙敏博	6/4
第 80 回	MPI 上級編	6 月 26 日〜27 日	Reedbush-U	塙敏博	8/8
第 81 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	7 月 11 日〜12 日	Reedbush-U,H	中島研吾 星野哲也	11/8
第 82 回	KNL 実践	7 月 31 日	Oakforest-PACS	塙敏博	24/18
第 83 回	OpenFOAM 入門※	8 月 23 日	Reedbush-U	今野雅	14/13
第 84 回	MPI 基礎 : 並列プログラミング入門	9 月 4 日〜5 日	Reedbush-U	塙敏博	14/11
第 85 回	ライブラリ利用 : 科学技術計算の効率化入門	9 月 12 日〜13 日	Oakforest-PACS, Reedbush-U, FX10	伊田明弘 平石拓 松本正晴	5/3
第 86 回	GPU プログラミング入門	10 月 4 日	Reedbush-H	星野哲也	17/15
第 87 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	10 月 31 日〜11 月 1 日	Reedbush-U,H	中島研吾 星野哲也	10/7
第 88 回	有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎	11 月 7 日〜8 日	Reedbush-U	中島研吾	9/7
第 89 回	一日速習 : 三次元有限要素法とハイブリッド並列プログラミング	11 月 21 日	Reedbush-U	中島研吾	10/8
第 90 回	KNL 実践	11 月 24 日	Oakforest-PACS	塙敏博	4/3
第 91 回	OpenACC と MPI によるマルチ GPU プログラミング入門（新設）	12 月 4 日	Reedbush-U,H	下川辺隆史	12/10
第 92 回	OpenFOAM 初級※	1 月 17 日	Reedbush-U	今野雅	9/7
第 93 回	Reedbush スパコンを用いた GPU ディープラーニング入門（新設）※※	1 月 22 日	Reedbush-H	下川辺隆史 山崎和博	38/36
第 94 回	KNL 実践	2 月 14 日	Oakforest-PACS	塙敏博	6/5
第 95 回	ライブラリ利用 : 科学技術計算の効率化入門	3 月 13 日〜14 日	Oakforest-PACS, Reedbush-U, FX10	伊田明弘 平石拓 松本正晴	14/14

※　オープン CAE 学会共催

※※　エヌビディア合同会社共催

3 OpenACC ハーフハッカソン

2017 年 6 月 13 日（火）～15 日（木）にかけて、東京大学情報基盤センター主催、NVIDIA 社共催のもと初開催された、OpenACC ハーフハッカソンについて紹介する。本イベントは、国内の研究機関や企業から参加チームを募り、GPU などのアクセラレータ向け並列プログラミングモデルである OpenACC を用い、各チーム所有のアプリケーションを 3 日間で集中的に高速化することを目的として実施された。OpenACC コミュニティ[5]において開催されている本家 OpenACC ハッカソンが 5 日間のイベントであることに敬意を表し、本イベントは OpenACC「ハーフ」ハッカソンと銘打った。

本イベントでは、GPU を搭載したスパコン環境として、当センターに導入されている Reedbush スーパーコンピュータシステムを用いた。開催初日には Reedbush システムの見学会も開催した。当日の日程について以下に示す。

1 日目（6 月 13 日（火））

午前：OpenACC プログラミングの概要（座学）
午後：各チームからのアプリケーションの紹介
Reedbush 見学ツアー
OpenACC 化の方針検討

2 日目（6 月 14 日（水））

午前：個別アプリケーションチューニング（１）
午後：個別アプリケーションチューニング（２）

3 日目（6 月 15 日（木））

午前：個別アプリケーションチューニング（３）
午後：結果発表会、意見交換

今回は初めてということもあり、今後に向けてのテストとしての側面もあったことから、一般からのユーザ募集はせず、既存の FX10 のユーザに参加者を限定して行われた。その中でも 4 チーム 10 名の参加があり、また当センターより星野・塙・下川辺・中島の 4 名、NVIDIA 社より成瀬様・村上様の 2 名で計 6 名がチューターとして参加した。各チームに一人の担当チューターを配し、参加者と議論しながら OpenACC による並列化を行った。参加者を FX10 ユーザに絞ったこともあり、各チームのアプリケーションは OpenMP でもともと並列化されており、またスパコン環境に慣れたユーザが多く、3 日間という短い期間ではあったが、大変充実したイベントとなった。

一方、次回以降のイベント開催を考えると多くの課題も残る。今回の参加者は GPU に関しては素人であっても、スパコンプログラミングに関しては多くがエキスパートであった。それでもなお、参加チーム数 4 に対してチューター6 名でいっぱいいっぱいであった。当センターからさらにチューターを増やすことは難しいため、イベントの質を保つためには参加チーム数を今回程度に留めるか、外部からチューターを招集するしかない。また、各チームが OpenMP で並列化済みのアプリケーションを持ち寄ることが予め分かっていたため、それを前提とした日程を組むことができた。今後については要検討である。

[5] https://www.openacc.org/

4 國家理論科學研究中心數學組 2017 年暑季課程:「用超級電腦做科學計算」(Scientific Computing on Supercomputer): Part C. Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems

2017 年 7 月 4 日（火）～7 日（金）に國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）[6]で「國家理論科學研究中心數學組 2017 年暑季課程：「用超級電腦做科學計算」（Scientific Computing on Supercomputer）」[7]（共催：國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences，NCTS）[8]，東京大学情報基盤センター他）の一環として実施された「Part C. Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming using OpenMP/OpenACC for Multicore/Manycore Systems[9]」について紹介する。

これまで國立臺灣大學（台湾・台北市），國立中央大學（台湾・桃園市）との共同研究協約の元で実施してきた集中講義の経緯，内容等については，既に刊行された解説記事[10]を参照されたい。今回は國家理論科學研究中心（NCTS） 2017 年暑季課程：「用超級電腦做科學計算」[2] という講義の一環として実施された。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。台湾各地の大学・公的研究機関の研究者が兼担として所属しており，2017 年 12 月現在で，66 名の Scientific Members，10 名の Center Scientists が居る。この他，専任の研究者として 8 名の Research Assistants，15 名のポスドク研究員が所属している。A. numbertheory and representation theory, B. algebraic geometry, C. differential geometry and geometric analysis, D. differential equations and stochastic analysis, E. scientific computing, F. interdisciplineary research, G. big and complex data analysis, H. armonic analysis の 8 つの重点分野がある。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。

今回はプログラミング実習で Reedbush-U，Reedbush-H を使用したが，受講者 56 名のうち，22 名が國立臺灣大學，11 名が國立中央大學関係者であった。これら 33 名には Reedbush の利用者 ID を発行したが，残り 23 名については國立臺灣大學の PC クラスタを利用してもらった。

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」[11]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」[12]の教材を使用している。4 日間のスケジュールの概要を以下に示す：

1 日目（7 月 4 日（火））

- スーパーコンピューティングへの招待（中島）
- 有限体積法（中島）
- Reedbush システムへのログイン（中島）
- OpenMP 並列プログラミング（中島）
- Reordering（1/2）（中島）

[6] http://www.ntu.edu.tw/
[7] https://sites.google.com/site/school4scicomp/2017-c-summer/
[8] http://www.cts.nthu.edu.tw/main.php
[9] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2017S/
[10] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/public/VOL19/No2/11.201703lec-2.pdf
[11] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/87/
[12] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/17s/

2 日目（7 月 5 日（水））
- Reordering（2/2）（中島）
- 有限体積法コードの OpenMP による並列化（1/2）（中島）

3 日目（7 月 6 日（木））
- 有限体積法コードの OpenMP による並列化（2/2）（中島）
- OpenACC 入門（1/2）（星野）

4 日目（7 月 7 日（金））
- OpenACC 入門（2/2）（星野）
- 有限体積法コードの OpenACC による並列化（星野）

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。

写真：講義風景（左），集中講義のポスター（右）

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）

2018 年 2 月 22 日（木）～25 日（日）に國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）[13] 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）」[14]（共催：國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences）[15]，東京大学情報基盤センター他）について紹介する。

[13] http://www.ntu.edu.tw/
[14] https://sites.google.com/site/school4scicomp/2018-b-nk/
[15] http://www.cts.nthu.edu.tw/main.php

國立臺灣大學の集中講義は 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）[16]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 56 名の受講申込があり，國立臺灣大學と國立中央大學からはそれぞれ 26 名，2 名の受講者があったが，半数が他大学からの受講であった。國立臺灣師範大學（National Taiwan Normal University）11 名，國立成功大學（National Cheng Kung University）5 名の参加が多かった。

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，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[17,18]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 SC4SC2016，2017 と同じ内容であるが，今回は 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」[19]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 22 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 23 日（金））

- 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－ベクトル積
    - 固有値問題におけるべき乗法
    - 行列－行列積
    - 完全分散版の行列－行列積

3 日目（2 月 24 日（土））

- 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

[16] http://www.cts.nthu.edu.tw/main.php
[17] http://www.abc-lib.org/MyHTML/Lectures/NU/class-matrNTU2018.htm
[18] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2018/
[19] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/lectures/53/

- 共役勾配法の並列化

4 日目（2 月 25 日（日））

- 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 9 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 13 日（木）・14 日（金）に「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 9 回シンポジウム」を THE GRAND HALL（品川）で開催した。当日は 239 名の参加者（大学 154 名、研究機関等 35 名、企業他 50 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、2016 年度に実施された一般・国際・企業共同研究 39 課題の口頭発表による最終報告および 73 課題（2017 年度採択の一般・国際・企業共同研究課題および 2016, 2017 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。

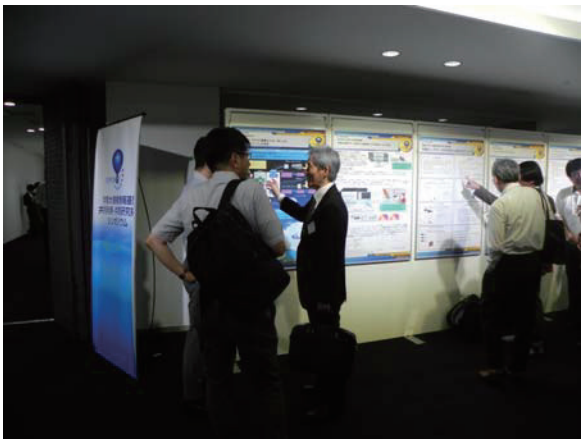
シンポジウム初日には、中村宏総括拠点長（東京大学情報基盤センター長）による主催側挨拶と、澤田和宏文部科学省研究振興局参事官（情報担当）付参事官補佐の来賓挨拶があった。また、1 日目の夜には懇親会が開催され、原克彦文部科学省研究振興局参事官（情報担当）の来賓挨拶があり、参加者間のコミュニケーションの場として盛大に行われた。2 日間にわたり、公募型共同研究が対象としている超大規模数値計算系応用分野、超大規模データ処理系応用分野、超大容量ネットワーク技術分野、超大規模情報システム関連研究分野およびこれらの分野にまたがる複合分野研究の研究成果発表および研究内容紹介が行われた。

閉会では、合田憲人共同研究課題審査委員長（国立情報学研究所教授）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。

中村総括拠点長（東京大学情報基盤センター長）による主催者挨拶

澤田文部科学省研究振興局参事官（情報担当）付参事官補佐による来賓挨拶

発表および会場内の様子



ポスター発表の様子

原文部科学省研究振興局参事官（情報担当）
懇親会で来賓挨拶

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。2017 年度は表 1 に示すように第 27～35 回の 9 回の研究会を開催した。

表1 2017 年度に開催された ASE 研究会（第 27 回～第 35 回）

	開催日	概要，主な講演者（所属）・講演題目	出席者数
27	2017 年 4 月 7 日（金）	招待講演者として，ドイツ・エアランゲン大学から Faisal Shahzad 博士をお招きして，超並列計算機上で動作するソフトウェアにおける Fault Tolerance についてご講演いただいた。	12
		Faisal Shahzad (University of Erlangen, Germany) CRAFT: A library for application-level Checkpoint/Restart & Automatic Fault Tolerance Toshihiro Hanawa (Information Technology Center, The University of Tokyo) Tightly Coupled Accelerators Architecture: A Very Low Latency Communication System on GPU Cluster Eishi Arima (Information Technology Center, The University of Tokyo) Efficient Big Data Processing through Page Table Walk Aware Cache Management	

28	2017年 5月22日 （月）	招待講演者として，Intel の Jonathan Eastep 博士をお招きして，Exascale システム向けの電力マネージメントフレームである GEOPM についてご講演いただいた。 Jonathan Eastep (Intel) Global Extensible Open Power Manager: A Vehicle for HPC Community Collaboration on Co-Designed Energy Management Solutions Thang Cao (The University of Tokyo) Cooling-Aware Job Scheduling and Node Allocation for Overprovisioned HPC Systems Kengo Nakajima (The University of Tokyo) Overview of Supercomputing Research Division, Information Technology Center, the University of Tokyo	9
29	2017年 8月1日 （火）	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，本センター教員による関連分野の講演も併せて実施した。 Toshihiro Hanawa (ITC/The University of Tokyo) Overview of Supercomputing Research Division, Information Technology Center, the University of Tokyo Keita Teranishi (Principal Member of Technical Staff, Sandia National Laboratories, USA) Numerical Libraries: Community Achievements, Challenges, and Opportunities Experience with Library Interoperability in the xSDK Kengo Nakajima (ITC/The University of Tokyo) Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems using ppOpen-HPC Takashi Shimokawabe (ITC/The University of Tokyo) An AMR Framework for Realizing Effective High-Resolution Simulations on GPU Keita Teranishi (Principal Member of Technical Staff, Sandia National Laboratories, USA) Portability and Scalability of Sparse Tensor Decompositions on CPU/MIC/GPU Architectures	15
30	2017年 9月27日 （水）	多重格子法（Multigrid 法）の研究者として著名な同学の Matthias Bolten 教授の来日に合わせて，「Ode to Multigrid」と題し，国内の多重格子法関連の研究者もお招きして，多重格子法をこよなく愛する研究者の会を企画した。 Matthias Bolten (Bergische Universitat Wuppertal, Germany) Multigrid methods for structured grids on large-scale supercomputers Takeshi Iwashita (Hokkaido University) Multigrid and subspace correction methods for computational electromagnetics -Introduction to research activities on multigrid method in Kyoto Univ. and Hokkaido Univ.- Naoya Nomura (The University of Tokyo) The Extraction Method of Near-Kernel Vectors for Robust SA-AMG Akihiro Fujii (Kogakuin University) Impact of RDMA communication for sparse linear solvers on FX10 Masatoshi Kawai (The University of Tokyo) Hierarchical Parallelization of Multi-coloring Algorithms for Block IC Preconditioners Akihiro Ida (The University of Tokyo) Efficient Structures of H-matrices on Distributed Memory Computer Systems	20

31	2017 年 9 月 20 日 （水）	招待講演者として，ドイツ・ヴッパータール大学から Martin Galgon 氏ならびに Sarah Huber 氏をお招きして，超並列計算機上で動作する固有値解析ソフトウェアフレームワーク：BEAST の関連研究について，ご講演いただいた。 Martin Galgon (University of Wuppertal, Germany) Meet the BEAST Sarah Huber (University of Wuppertal, Germany) Reducing linear system size with moment based methods in the BEAST framework	7
32	2017 年 11 月 24 日 （金）	招待講演者として,ドイツ・ETH スイス連邦工科大学チューリッヒ校（ETH Zurich）から Petros Koumoutsakos 教授をお招きして、大規模シミュレーションにおける実験データとシミュレーションの融合手法に関する研究について，ご講演いただいた。 Petros Koumoutsakos (ETH Zurich) Fusing Data and HPC for Large Scale Atomistic and Mesoscale Simulations Takashi Shimokawabe (The University of Tokyo) A Stencil Framework to Realize Large-scale Computations Beyond GPU Device Memory Capacity	8
33	2017 年 11 月 30 日 （木）	来日中の國立臺灣大學應用數學科學研究所のメンバー（王偉仲教授，蔡宇翔・陳彦禎（大学院生））を中心に，名古屋大，当センターの研究者による講演を実施します。東京大学情報基盤センターと國立臺灣大學應用數學科學研究所は 2014 年から共同研究協約を結んでおり，研究，教育等様々な交流を積極的に実施しております。また，蔡宇翔・陳彦禎の両氏は，11 月半ばに米国デンバーで開催された SC17 で ACM Student Research Competition（ACM-SRC）で難関を突破して Semifinalists に選ばれました。当日は，その際の発表内容の講演を実施した。 Weichung Wang (National Taiwan University (NTU), Taiwan) High-performance Randomized Matrix Computations for Big Data Analytics and Applications Takahiro Katagiri (Nagoya University, Japan) Auto-tuning of Numerical Computation Kernels by Loop Transformations and Deep-learning Mike Tsai (National Taiwan University (NTU), Taiwan)(SC17 ACM-SRC Semifinalist) A Load Balancing Divide-and-Conquer Contour Integral Eigensolver on GPU Cluster Yen-Chen Chen (National Taiwan University (NTU), Taiwan)(SC17 ACM-SRC Semifinalist) A High-Speed Algorithm for Genome-Wide Association Studies on Multi-GPU Masatoshi Kawai (ITC/University of Tokyo, Japan) Parallel Block IC Preconditioner for Large Complex Problems on Quantum Systems	22
34	2017 年 12 月 13 日 （水）	東京大学情報基盤センター，筑波大学システム情報系は 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)に参加しています。 第 34 回 ASE 研究会では，ESSEX-II のプロジェクトリーダー (Leading PI) である，Gerhard Wellein 教授 (Friedrich-Alexander-Universitat Erlangen-Nurnberg (FAU))および，同 Co-PI である Achim	17

		Basermann 博士(Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt (DLR, German Aerospace Center))のお二人をお招きして，性能モデリング，航空宇宙分野における大規模アプリケーションなどの話題についてご講演いただいた。その他，東大，筑波大の研究者による講演もあった。 Achim Basermann (Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt (DLR, German Aerospace Center)) High Performance Computing Challenges in Aeronautics and Space Applications Masatoshi Kawai (ITC/University of Tokyo) Hierarchical Parallelization of Multi-coloring Algorithms for Block IC Preconditioners Gerhard Wellein (Friedrich-Alexander-Universitat Erlangen-Nurnberg (FAU)) Performance Engineering: Welcome to the world of FLOPs, Bytes and Cycles ! Xiucai Ye (University of Tsukuba) Spectral Clustering for Big data analysis	
35	2018 年 3 月 5 日（月）	招待講演者として，米国 Lawrence Berkeley 国立研究所から Scott B. Baden 氏をお招きして，プログラミング言語や MPI アプリケーションの再構成といった観点での，通信コスト削減や通信隠蔽手法について，ご講演いたいた。 Scott B. Baden (Lawrence Berkeley National Laboratory / University of California, San Diego, USA) How to reduce and tolerate communication costs	7

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。2017 年度は表 2 に示す 2 回のセミナーが開催された。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 2017 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
4	2017 年 8 月 29 日（火）（本郷（浅野））	数値ライブラリ分野の研究者として世界的に著名な Michael Heroux 博士（Senior Scientist, Sandia National Laboratories, USA）をお招きして，Heroux 博士がリーダーをつとめる Trillinos プロジェクト（https://trilinos.org/）の現状と動向のほか，Heroux 博士が中心となって整備を進め，新しいスパコンベンチマークとして注目されている HPCG（http://hpcg-benchmark.org/）についてもご講演いただいた。	23

[1] http://jcahpc.jp/
[2] https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/ofp/service/

		Mike Heroux (Sandia National Laboratories, USA) The Trilinos Project Exascale Roadmap Akira Imakura (JCAHPC/University of Tsukuba) A complex moment-based parallel eigensolver using the block communication-avoiding Arnoldi procedure Tetsuya Sakurai (JCAHPC/University of Tsukuba) Nonlinear Sakurai-Sugiura method for complex band structure calculation on Oakforest-PACS Mike Heroux (Sandia National Laboratories, USA) The High Performance Conjugate Gradients (HPCG) Benchmark Kengo Nakajima (JCAHPC/University of Tokyo) ppOpen-HPC and Sparse Linear Solvers Akihiro Ida (JCAHPC/University of Tokyo) Efficient Structures of H-matrices on Distributed Memory Computer Systems	
5	2017 年 10 月 12 日 （木）（柏キャンパス）	Oakforest-PACS は 2016 年 12 月 1 日に全系運用を開始し，多くの利用者の皆さまによってすでに様々な成果が得られています。本利活用報告会では，その中から選りすぐりの 6 名の利用者の皆さまにお願いして，OFP を使って得られた様々な成果の紹介とともに，高速化・最適化の手法についてもご講演いただいた。 斉藤圭亮（東京大学） 光合成蛋白質内の水分子のシミュレーション 佐々木勝一（東北大学） 物理点格子 QCD シミュレーションによる核子構造の研究 廣川祐太（筑波大学） 電子動力学シミュレーション ARTED の Oakforest-PACS での全系性能評価 井戸村泰宏（日本原子力研究開発機構） Oakforest-PACS における大規模 CFD コードの計算技術開発 八代　尚（理化学研究所計算科学研究機構） 『超』並列時代の気象・気候シミュレーション：メニーコアは怖くないぞ！ 渡邊啓正（HPC システムズ株式会社） Oakforest-PACS 上での FMO 計算プログラム ABINIT-MP の性能評価	43

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　公募型共同研究平成 29 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 29 年度採択課題
（東大分）

① 国際共同研究課題

新規	研究課題名	研究課題代表者 （所属）	研究分野 （※）	他大学
○	Development of next-generation quantum material research platform	星 健夫 （鳥取大学）	数	
	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

② 企業共同研究課題

新規	研究課題名	研究課題代表者 （所属）	研究分野 （※）	他大学
	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	山本 肇 （大成建設）	数	

③ 一般共同研究課題

新規	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	
○	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	
	分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS の大規模メニーコア・ワイド SIMD クラスター対応並列化に関する研究	安藤 嘉倫 （名古屋大学）	数	名大
○	航空エンジンの翼列周り流れ解析のメニーコアシステム向け最適化	星野 哲也 （東京大学）	数	
○	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	
○	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	

○	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
	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	下川辺 隆史 (東京大学)	数	東工大
○	可視化用粒子データを用いた遠隔地からの対話的 In-Situ 可視化	河村 拓馬 (日本原子力研究開発機構)	ネ	東工大、名大
○	粒子法の高精度化と大規模流体シミュレータへの応用	井元 佑介 (東北大学)	数	名大、京大
	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
	海溝型巨大地震を対象とした大規模並列地震波・津波伝播シミュレーション	竹中 博士 (岡山大学)	数	東工大
○	グリーンランド氷床モデルを用いた 3 次元理論地震波形計算	豊國 源知 (東北大学)	数	東北大
	メニーコア型大型計算機での海洋シミュレーション(環オホーツク圏の海洋シミュレーション)	中村 知裕 (北海道大学)	数	北大
○	スケジューラと連動した広域データステージングに関する 検証・評価	阿部 洋丈 (筑波大学)	ネ情	阪大
○	導電性高分子材料の電子状態計算に現れる連立一次方程式に対する並列直接解法の高性能化	深谷 猛 (北海道大学)	数	北大、京大
○	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	
○	Proactive and Reactive Cyber Security	関谷 勇司 (東京大学)	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、情:超大規模情報システム関連研究分野

④ 萌芽型共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 (所属)
Computational materials science and theory	Bhattacharyya Swastibrata (横浜国立大学)
拡張アンサンブル法を用いたタンパク質の構造変化と変異が及ぼす影響の解析	大滝 大樹 (長崎大学)
brucite の(001)面における摩擦特性の決定	奥田 花也 (東京大学)
大規模並列環境における少精度型を用いたディープラーニングの学習精度の検証	大山 洋介 (東京工業大学)
OpenFOAM を用いた乱流スカラー輸送の大規模数値計算	恒吉 達矢 (名古屋大学)

ハイブリッドクラスタシステムにおける通信削減 QR 分解実装	高柳 雅俊 (山梨大学)
タンパク質–リガンド複合体への共溶媒効果の系統的解析	山守 優 (大阪大学)
超大規模な線形数値計算に対する精度保証付き数値計算法の開発と評価	寺尾 剛史 (芝浦工業大学)
カスケード型超並列シミュレーションに立脚した遷移経路探索法の開発	原田 隆平 (筑波大学)
第一原理計算に基づく大規模自己組織化ナノ構造における熱電特性の計算	新屋 ひかり (大阪大学)
磁気回転不安定性によるブラックホール降着流の角運動量輸送機構の解明	町田 真美 (九州大学)
将来の大規模メニーコアプロセッサ環境に向けたビッグデータ基盤処理の性能評価	佐藤 仁 (産業技術総合研究所)
酵素反応機構の理解に向けた効率的にタンパク質の揺らぎを取り込む計算手法の開発	山田 健太 (理化学研究所)
問題分割と対称性検知を用いた、高速なプランニングアルゴリズムの開発	浅井 政太郎 (東京大学)
第一原理電子状態計算による DNA のエネルギーバンドの塩基配列依存性と超電導	関川 卓也 (新潟大学)
二温度磁気流計算によるジェットの構造解析	大村 匠 (九州大学)
エンジンノッキング現象における末端ガス圧力波発生メカニズムの解明：大規模詳細化学反応機構を用いた多次元流体解析	佐藤 伴音 (北海道大学)
PPDF–S 法による GOSAT 観測スペクトルデータからの温室効果ガス濃度の導出	岩﨑 千沙 (東京大学)
ニューラルネットワークを用いた量子誤り訂正の復号器の開発	濵村 一航 (京都大学)
陽解法を用いた軸受の流体構造連成解析	深川 宏樹 (九州大学)
壁面流における持続乱流の発生過程	清水 雅樹 (大阪大学)
分子動力学シミュレーションによる多剤排出トランスポーターAcrB と基質間の反応機構の解明	篠田恵子 (東京大学)
遷音速失速領域における航空エンジンファン翼列の Large Eddy Simulation	立石 敦 (東京大学)
全原子 MD を用いた高分子混合系の相溶性評価手法の開発	山田 一雄 (大阪大学)
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定数の決定	末松 環 (東京大学)
1,000 億自由度規模の電磁界解析を可能とするための，階層分割型数値計算フレームワーク ADVENTURE_Magnetic の高並列化・高速化研究	杉本 振一郎 (諏訪東京理科大学)
耐 CO アノード用錯体触媒の機構解明と設計に向けた第一原理計算	多田 幸平 (産業技術総合研究所)
密度汎関数法を用いた凝縮系の電荷分布とその溶媒和構造依存性の解明	石井 良樹 (大阪大学)

Taylor−Couette 流れと 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）
南極大型大気レーダーPANSY で観測された大気重力波の数値モデル再現実験による力学特性の解明	佐藤 薫 （東京大学）

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。

2017 年度は、平成 29 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）。

FX10（Oakleaf-FX/Oakbridge-FX）, Oakforest-PACS,Reedbush-U/H

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。
2017 年度の各システム優先ノード数は以下のとおりであった。

・FX10（Oakleaf-FX/Oakbridge-FX）　96 ノード
・Oakforest-PACS　72 ノード
・Reedbush-U　8 ノード
・Reedbush-H　12 ノード

2016 年 11 月に平成 29 年度公募型共同研究（国際・企業・一般）の課題募集を開始し（2017 年 1 月 10 日締切）、2017 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 52 課題のうち 46 課題が採択された。表 1 の①～③は、東京大学情報基盤センターと共同研究を行う 21 題である。そのうち、超大規模数値計算系応用分野の 7 課題、超大規模データ処理系応用分野の 2 課題、超大容量ネットワーク技術分野の 5 課題（うち超大規模情報システム関連研究分野を含む 1 課題）の合計 14 課題が新規採択であった。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、61 件の課題が採択された。表 1 の④は、東京大学情報基盤センターと共同研究を行う 30 課題である。

また、2017 年 7 月 13 日（木）・14 日（金）に第 9 回シンポジウムが THE GRAND HALL（品川）で開催され、2016 年度に実施された平成 28 年度公募型共同研究 39 課題の口頭発表による最終報告および平成 29 年度公募型共同研究に採択された中から 74 課題（内萌芽型共同研究 28 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 2017 年度採択課題

Oakforest-PACS

課題名	代表者名 代表者所属
IHK/McKernel 軽量カーネル OS の大規模評価	Balazs Gerofi 理化学研究所計算科学研究機構
SELL-C-σ 疎行列格納法による自動チューニング付き並列多重格子法ソルバーの最適化および性能評価	中島 研吾 東京大学情報基盤センター
磁性体を記述する疎行列の数値対角化における大規模並列計算の挑戦	中野 博生 兵庫県立大学大学院物質理学研究科
2.5 次元アルゴリズムを用いた高性能 PDGEMM の開発	椋木 大地 理化学研究所計算科学研究機構
2+1 フレーバー格子 QCD におけるマスターフィールドシミュレーション	藏増 嘉伸 筑波大学計算科学研究センター
櫻井・杉浦法とシフト CG 法を用いた実空間差分法に基づく第一原理伝導計算の高速化	小野 倫也 筑波大学計算科学研究センター

Reedbush-H

課題名	代表者名 代表者所属
ChainerMN を用いた深層学習の性能評価	塙 敏博 東京大学情報基盤センター
Reedbush-H における GPU のばらつきに関する研究	三輪 忍 電気通信大学大学院情報理工学研究科
アンドロメダ銀河南天のアーク構造の起源解明	三木 洋平 東京大学情報基盤センター
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 宇宙航空研究開発機構

Oakleaf-FX

課題名	代表者名 代表者所属
CM-RCM 法及び Column-wise ELL 疎行列格納法による並列多重格子法ソルバーの最適化および性能評価	中島 研吾 東京大学情報基盤センター
ICCG 法向け多色順序付けアルゴリズムの階層的並列化手法の提案	河合 直聡 東京大学情報基盤センター
FrontISTR による構造物－地盤連成系の地震時挙動解析	山田 和彦 鹿島建設株式会社

3　若手・女性利用者推薦

当センターでは、若手研究者（概ね 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・後期）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、2017 年度は前期 14 件、後期 16 件、インターン 5 件合わせて 35 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。

2016 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。

2017 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　2017 年（前期）採択課題

2017 年度（前期）は FX10、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
Computational materials science and theory	Bhattacharyya Swastibrata	横浜国立大学大学院 工学研究院	Oakforest-PACS
拡張アンサンブル法を用いたタンパク質の構造変化と変異が及ぼす影響の解析	大滝 大樹	長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科	Reedbush-U
brucite の(001)面における摩擦特性の決定	奥田 花也	東京大学 理学部	Reedbush-U
大規模並列環境における少精度型を用いたディープラーニングの学習精度の検証	大山 洋介	東京工業大学 情報理工学院	Reedbush-H
OpenFOAM を用いた乱流スカラー輸送の大規模数値計算	恒吉 達矢	名古屋大学 工学研究科	Oakforest-PACS

ハイブリッドクラスタシステムにおける通信削減 QR 分解実装	高柳 雅俊	山梨大学大学院 総合研究部	Reedbush-H
タンパク質-リガンド複合体への共溶媒効果の系統的解析	山守 優	大阪大学 基礎工学研究科	Oakforest-PACS
超大規模な線形数値計算に対する精度保証付き数値計算法の開発と評価	寺尾 剛史	芝浦工業大学大学院 理工学研究科	Oakforest-PACS
カスケード型超並列シミュレーションに立脚した遷移経路探索法の開発	原田 隆平	筑波大学 計算科学研究センター	Reedbush-U
第一原理計算に基づく大規模自己組織化ナノ構造における熱電特性の計算	新屋 ひかり	大阪大学大学院 基礎工学研究科	Oakforest-PACS
磁気回転不安定性によるブラックホール降着流の角運動量輸送機構の解明	町田 真美	九州大学大学院 理学研究院	Oakforest-PACS
将来の大規模メニーコアプロセッサ環境に向けたビッグデータ基盤処理の性能評 価	佐藤 仁	産業技術総合研究所 人工知能研究センター	Oakforest-PACS
酵素反応機構の理解に向けた効率的にタンパク質の揺らぎを取り込む計算手法の 開発	山田 健太	理化学研究所	Oakforest-PACS
問題分割と対称性検知を用いた、高速なプランニングアルゴリズムの開発	浅井 政太郎	東京大学 総合文化研究科	Reedbush-U Reedbush-H

3.2 2017 年（インターン）採択課題

2017 年度（インターン）は FX10、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
第一原理電子状態計算による DNA のエネルギーバンドの塩基配列依存性と超伝導	関川 卓也	新潟大学 理学部	Reedbush-U
二温度磁気流体計算によるジェットの構造解析	大村 匠	九州大学 理学府	Oakforest-PACS
エンジンノッキング現象における末端ガス圧力波発生メカニズムの解明：大規模詳細化学反応機構を用いた多次元流体解析	佐藤 伴音	北海道大学大学院 工学院	FX10
PPDF-S 法による GOSAT 観測スペクトルデータからの温室効果ガス濃度の導出	岩﨑 千沙	東京大学 新領域創成科学研究科	FX10
ニューラルネットワークを用いた量子誤り訂正の復号器の開発	濵村 一航	京都大学大学院 工学研究科	Reedbush-H

3.3 2017 年（後期）採択課題

2017 年度（後期）は FX10、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
陽解法を用いた軸受の流体構造連成解析	深川 宏樹	九州大学大学院 工学研究院	Reedbush-U Reedbush-H
brucite の積層不整様式の決定とその摩擦特性	奥田 花也	東京大学理学部 地球惑星環境学	Reedbush-U
カスケード型超並列シミュレーションで探る FtsZ の細胞分裂ダイナミクス	原田 隆平	筑波大学 計算科学研究センター	Reedbush-U
タンパク質-リガンド複合体への共溶媒効果の系統的解析	山守 優	大阪大学 基礎工学研究科	Oakforest-PACS
壁面流における持続乱流の発生過程	清水 雅樹	大阪大学大学院 基礎工学研究科	Oakforest-PACS
分子動力学シミュレーションによる多剤排出トランスポーターAcrB と基質間の反応機構の解明	篠田 恵子	東京大学 先端科学技術研究センター	Oakforest-PACS

遷音速失速領域における航空エンジンファン翼列の Large Eddy Simulation	立石 敦	東京大学大学院 工学系研究科	Oakforest-PACS
全原子 MD を用いた高分子混合系の相溶性評価手法の開発	山田 一雄	大阪大学 基礎工学研究科	Reedbush-U
磁気回転不安定性によるブラックホール降着流の角運動量輸送機構の解明	町田 真美	九州大学大学院 理学研究院物理学部門	Oakforest-PACS
ハイブリッドクラスタシステムにおける通信削減タイル QR 分解実	高柳 雅俊	山梨大学大学院 総合研究部工学域	Reedbush-H
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湿潤対流活動の共鳴時定数の決定	末松 環	東京大学大学院 理学系研究科	Oakforest-PACS
1,000 億自由度規模の電磁界解析を可能とするための，階層分割型数値計算フレームワーク ADVENTURE_Magnetic の高並列化・高速化研究	杉本 振一郎	諏訪東京理科大学	Oakforest-PACS
耐 CO アノード用錯体触媒の機構解明と設計に向けた第一原理計算	多田 幸平	産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 電池技術研究部門	FX10
密度汎関数法を用いた凝縮系の電荷分布とその溶媒和構造依存性の解明	石井 良樹	大阪大学大学院 基礎工学研究科	Reedbush-U
Taylor-Couette 流れと 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	FX10
南極大型大気レーダーPANSY で観測された大気重力波の数値モデル再現実験による力学特性の解明	佐藤 薫	東京大学大学院 理学系研究科	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 2017 年度企業利用

2017 年 4 月利用開始の公募では、利用資格者審査の結果、4 社が採択された。また、2017 年度 10 月利用開始の公募では、1 社が採択された。

2017 年度は、10 月および 2018 年 4 月利用開始の 2 回の課題公募を実施した。2018 年 4 月利用開始の公募では、2017 年度からの継続となる 4 社および新規 2 社の応募があり採択された。

●平成 29 年度第一回公募（2017 年 4 月以降利用開始）

- 申請 5 件（内継続課題 2 社）
- 採択 5 件（内継続課題 2 社）

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	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
株式会社データダイレクト・ネットワークス・ジャパン	IME を使用した IO アクセラレーションテスト	Reedbush-U
株式会社 JSOL	電磁界有限要素解析の大規模処理による高速化の検討	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-H

●平成 29 年度第二回公募（2017 年 10 月以降利用開始）

- 申請 1 件
- 採択 1 件

企業名	課題名	利用システム
富士フイルム株式会社	DeepLearningによる医用画像認識	Reedbush-H

●平成 30 年度第一回公募（2018 年 4 月以降利用開始）
- 申請 7 件 （内継続課題 4 社）
- 採択 7 件 （内継続課題 4 社）

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	Reedbush-H

1.4　2017 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。

● 2017 年度　教員との共同研究
- ✧ 大成建設株式会社 （担当教員：中島研吾　教授）
  - ●「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」
- ✧ 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利用による研究成果報告（2017 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システム Oakforest-PACS

2017 年 (2017 年 1 月～2017 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

【物理学】

1. Yu YAMAMORI, Nobuyuki MATUBAYASI: Interaction-component analysis of the effects of urea and its alkylated derivatives on the structure of T4-lysozyme: Journal of Chemical Physics, AIP, 146.

【地球惑星科学】

2. Shibuya R., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Sato, Y. Tomikawa, K. Nishimura, and M. Kohma: Quasi-12h inertia-gravity waves in the lower mesosphere observed by the PANSY radar at Syowa Station (39.6 °E ,69.0 °S): Atmospheic Chemistry and Physics, European Geoscience Union, 17, 10.
3. Williams, P. D., M. J. Alexander, E. A. Barnes, A. H. Butler, H. C. Davies, C. I. Garfinkel, Y. Kushnir, T. P. Lane, J. K. Lundquist, O. Martius, R. N. Maue, W. R. Peltier, K. Sato, A. A. Scaife, C. Zhan: A Census of Atmospheric Variability from Seconds to Decades: Geophysical Research Letters, AGU PUBLICATIONS, 44, 21.

1.2　口頭・ポスター発表

【地球惑星科学】

4. 佐藤薫: 大型大気レーダー国際共同観測で探る気候のテレコネクション: 宇宙科学談話会, 国立極地研究所談話会.
5. 佐藤薫、高麗正史、堤雅基、佐藤亨: PANSY レーダー観測に基づく夏季中間圏極域における風の周波数スペクトルと鉛直プロファイルの研究: 日本気象学会 2017 年度春季大会.
6. K. Sato, M. Tsutsumi, and AJ0901 members: A Study of the Whole Atmospheric System Explored by High-Resolution Observations of the Antarctic Atmosphere (AJ0901): The Eighth Symposium on Polar Science.
7. A. Amemiya and K. Sato: A simple two dimensional model for the subseasonal variability of the Asian monsoon anticyclone.: Joint SPARC Dynamics & Observations Workshop (QBOi, FISAPS & SATIO-TCS).
8. K. Sato, M. Kohma, K. Nishimura, Y. Tomikawa, M. Tsutsumi, and T. Sato: Energy dissipation rate estimation based on obserations by the PANSY radar in the Antarctic.: Joint SPARC Dynamics & Observations Workshop (QBOi, FISAPS & SATIO-TCS).
9. Y. Tomikawa, M. Kohma, M. Takeda, and K. Sato: Balloonborne ozone and water vapor measurements around the Antarctic tropopause region in winter of 2016.: Joint SPARC Dynamics & Observations Workshop (QBOi, FISAPS & SATIO-TCS).
10. K. Sato: Mesospheric gravity waves revealed by a combination of radar observations and high resolution model simulation.: Mats Science Meeting.
11. K. Sato: Contribution of gravity waves to the mean meridional circulation and momentum budget in the middle atmosphere.: Good Hope for Earth Science (IAPSO-IAMAS-IAGA Joint Assembly 2017).
12. K. Sato and S. Hirano: Contribution of Gravity-Wave Forcing to the Brewer-Dobson Circulation.: 21st Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics 19th Conference on Middle Atmosphere.

13. K. Sato, M. Kohma, M. Tsutsumi, and T. Sato: Frequency spectra and vertical profiles of wind fluctuations in the summer Antarctic mesosphere revealed by MST radar observations.: 15th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar.
14. K. Sato: An interplay of Rossby waves and gravity waves in the general circulation of the middle atmosphere.: MPI KlimaCampus Kolloquium.

【機械工学】

15. 山田英助: OpenFOAM による燃料電池自動車用タンクへの水素充填の数値シミュレーション: 計算工学講演会, 計算工学講演会論文集 Vol.22.

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

2017 年 (2017 年 1 月～2017 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

【総合工学】

16. 玉置義治，原田基至，今村太郎: 直交格子流体ソルバ UTCart を用いた NASA-CRM の非粘性および RANS 解析: 航空宇宙技術(オンライン論文集).

2.2　口頭・ポスター発表

【計算基盤】

17. 遠藤 亘, 田浦 健次朗: 分散スレッドスケジューラと協調する分散共有メモリ処理系の初期評価: 並列／分散／協調処理に関する『秋田』サマー・ワークショップ (SWoPP2017), 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）.
18. Wataru Endo, Kenjiro Taura: Parallelized Software Offloading in Low-Level Communication Layer: The 1st cross-disciplinary Workshop on Computing Systems, Infrastructures, and Programming (xSIG 2017).
19. Tianqi Xu, Kento Sato, Satoshi Matsuoka: A Simulation-Based Analysis on the Configuration of the Burst Buffer: SC17.
20. 大島聡史, 山崎市太郎, 伊田明弘, 横田理央: GPU クラスタ上における階層型行列計算の最適化: 情報処理学会研究報告(HPC-160).

【人間医工学】

21. Yukihiro Nomura, Naoto Hayashi, Shouhei Hanaoka, Mitsutaka Nemoto, Tomomi Takenaga, Soichiro Miki, Takeharu Yoshikawa, Osamu Abe: Effects of different types of gold standard on computer-assisted detection of lung nodules using voxel-based classification: CARS 2017, International Journal of Cumputer Assisted Radiology and Surgery. vol.12, Suppl.1, pp.S151-S152.
22. 野村行弘、佐藤一誠、塙敏博、花岡昇平、中尾貴祐、竹永智美、佐藤大介、星野哲也、関谷勇司、大島聡史、林直人、阿部修: スーパーコンピュータ上での Deep Learning 学習環境の初期構築: 電子情報通信学会医用画像研究会, 電子情報通信学会技術研究報告(vol.117, no.281), pp.1-2.

【ゲノム科学】

23. Yuta Tokuoka, Noriko F Hiroi, Tetsuya J Kobayashi, Kazuo Yamagata, Akira Funahashi: Segmenting four-dimensional fluorescence microscopic image using Convolutional Neural Network: International Conference on Systems Biology 2017.
24. Yuta Tokuoka, Noriko F Hiroi, Tetsuya J Kobayashi, Kazuo Yamagata, Cornette Richard, Kikawada Takahiro, Akira Funahashi: Development of CNN Based Image Processing Algorithms for Microscopic Images in Quantitative Biology; Classification, Detection and Segmentation: GTC Japan 2017.

【内科系臨床医学】

25. 高田剛志、古徳純一、小林毅範、白石憲史郎、山本真由、近藤浩史、大場洋、古井滋: Visualize Skin Dose and Air Dose in Virtual Reality: RSNA (Radiological Society of North America) 2017.

2.3 受賞情報

26. 奥田花也: brucite の(001)面における真の接触面での摩擦特性: 学生優秀発表賞: 日本地球惑星科学連合.
27. 高田剛志、古徳純一、小林毅範、白石憲史郎、山本真由、近藤浩史、大場洋、古井滋: Visualize Skin Dose and Air Dose in Virtual Reality: Identified for RadioGraphics: RSNA (Radiological Society of North America).

3 大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10

2017 年 (2017 年 1 月～2017 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 口頭・ポスター発表

【応用物理学】

28. Misaki Ito and Kazuhiro Shimada: First-Principles Study of Crystal Structures and the Stability of (YxAl1-x)2O3: The 6th International Symposium on Materials Science and Surface Technology 2017, The 6th International Symposium on Materials Science and Surface Technology 2017 予稿集, pp.63-64.
29. 島田 和宏，伊藤未沙稀，金子卓也，小林伸之介: M2O3(M=Al,Ga,In)混晶の結晶構造に関する第一原理計算: 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 8a-PA4-24.
30. 新井眞大、赤城文子、吉田和悦: スーパーコンピュータ FX10 を用いたマイクロマグネティックシミュレータの高速化: 第 41 回日本磁気学会学術講演会, 第 41 回日本磁気学会学術講演会概要集, 22pC-5.

【地球惑星科学】

31. Shibuya, R., Sato, K., Tsutsumi, M., Sato, T., Tomikawa, Y., Nishimura, K. and Kohma, M. Quasi 12 h Inertia-gravity waves in the lower mesosphere observed by the PANSY radar: Quasi 12 h Inertia-gravity waves in the lower mesosphere observed by the PANSY radar: The 15th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar.

4 超並列型スーパーコンピューターHA8000 クラスタシステム

2017 年 (2017 年 1 月～2017 年 12 月) における、超並列型スーパーコンピューターHA8000 クラスタシステム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。

4.1 論文

【地球惑星科学】

32. Masaru Yamamoto: Probability distribution of surface wind speed induced by convective adjustment on Venus : Icarus, 284.

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 2017

2017 年度の東京大学柏キャンパス一般公開は「柏で探検、知の世界」というテーマで 10 月 27 日、 28 日の両日に開催された。 情報基盤センターでは、日本最速の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、マシンの見学に合わせて教員が 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、参加者の皆様に臨場感ある解析結果の可視化体験をしてもらった。参加者からは「おー」という歓声があがり、部屋の外にまで聞こえた。 28 日（土）は台風の影響で午後から雨になったが、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とも昨年同様の盛況であった。

【2 日間の参加者】

スーパーコンピュータ見学者	467 名 （昨年比 ▲12 人）	1 日目 169 名、 2 日目 298 名
うちガイドツアー参加者	181 人 （昨年比 ▲11 人）	1 日目　74 名、 2 日目 107 名
三次元可視化システムの体験	189 人 （昨年比 ＋26 人）	1 日目　77 名、 2 日目 112 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、イベント告知については、近隣の柏市役所、流山市役所のホームページ及び、facebook 掲載にも協力をいただいた。

Oakforest-PACS ガイドツアーの様子

三次元可視化システム体験の様子

2　来訪者の状況

2017 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　2017 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	5月17日	筑波大学駒場中学校	5	施設見学	Reedbush Oakbridge-FX SR16000
2	5月18日	台湾ナショナルスーパーコンピューティングセンター（NCHC）	11 (10)	施設見学	Oakforest-PACS
3	5月23日	オーストラリア国立大学	7 (4)	施設見学	Oakforest-PACS
4	6月14日	鹿児島県立甲南高等学校（大気海洋研究所）	11	施設見学	Oakforest-PACS
5	6月28日	シンガポール南洋理工大学	9	施設見学	Reedbush Oakbridge-FX SR16000
6	7月11日	Cavium社	4 (2)	施設見学	Oakforest-PACS Oakleaf-FX
7	7月18日	トヨタ自動車(富士通)	16	施設見学	Oakforest-PACS
8	9月28日	関西電力(株)	1	取材撮影	Reedbush Oakbridge-FX SR16000
9	10月30日	産総研、シンガポールNSCC、Singapore AI	10 (6)	施設見学	Oakforest-PACS
10	11月9日	韓国テレビ局CHNNEL-A	4 (4)	施設取材・撮影	Oakforest-PACS

11	11月22日	(株)Preferred Networks	7	施設見学	Oakforest-PACS
12	12月20日	Universityof Oslo,Norway	2 (1)	施設見学	Oakforest-PACS Oakleaf-FX
13	12月25日	貞静学園高等学校(大気海洋研究所)	6	施設見学	Oakforest-PACS
14	1月16日	新領域創成科学研究科人間環境学専攻	20	施設見学	Oakforest-PACS Oakleaf-FX
15	2月27日	教養学部１年生（柏サイエンスキャンプ参加者）	19	施設見学	Oakforest-PACS
16	3月23日	NTNU(ノルウェー工科大学)	16 (16)	施設見学	Oakforest-PACS Oakleaf-FX

人数は引率者除く、括弧内は外国人見学者数

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	東京大学教養学部 非常勤講師	29.4.1 ～ 29.8.31
	一般社団法人大学ICT推進協議会 研究員	29.4.1 ～ 30.3.31
	国立研究開発法人科学技術振興機構 研究主幹	29.4.1 ～ 30.3.31
	東京大学 情報システム戦略会議ICTサービス統合化専門部会部会長	29.4.1 ～ 30.3.31
	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	29.4.1 ～ 30.3.31
	一般財団法人高度情報科学技術研究機構 客員研究員	29.5.1 ～ 30.3.31
	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	29.9.1 ～ 30.8.31
	京都大学数理解析研究所 運営委員会委員	29.9.1 ～ 31.8.31
	情報セキュリティ大学院大学 客員教授	29.10.1 ～ 30.3.31
田中 哲朗	東京大学教養学部 非常勤講師	29.4.1 ～ 29.8.31
	東京大学 情報システム戦略会議ICTインフラ整備専門部会部会員	29.4.1 ～ 30.3.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	29.9.1 ～ 30.3.31
品川 高廣	東京大学教養学部 非常勤講師	29.4.1 ～ 29.8.31
	東京大学工学部 非常勤講師	29.4.1 ～ 30.3.31
	株式会社オーム社 書籍原稿執筆	29.6.1 ～ 29.12.31
関谷 貴之	東京大学 情報システム戦略会議ICTサービス統合化専門部会部会員	29.4.1 ～ 30.3.31
	学校法人専修大学 非常勤講師	29.4.1 ～ 30.3.31
	東京学芸大学 非常勤講師	29.4.7 ～ 29.9.30
岡田 和也	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	29.5.1 ～ 30.3.31
	慶應義塾大学 大学講師(非常勤)(環境情報学部)	29.9.22 ～ 30.3.31
中川 裕志	国立研究開発法人理化学研究所 革新知能統合研究センター社会における人工知能研究グループ グループディレクター(非常勤)プライバシーと社会制度チーム チームリーダー(非常勤)	29.4.1 ～ 30.3.31
	一般財団法人情報法制研究所 上席研究員	29.4.1 ～ 31.3.31
	国立研究開発法人産業技術総合研究所 客員研究員	29.4.1 ～ 31.3.31
	総務省情報通信政策研究所 AIネットワーク社会推進会議	29.4.5 ～ 30.3.31
	株式会社日立技術情報サービス 「特許出願技術動向調査(匿名化技術)アドバイザリーボード」委員	29.8.7 ～ 30.2.23
	株式会社富士通総研 データポータビリティに関する検討会委員	29.11.20 ～ 30.3.16
中村 覚	東京大学附属図書館 学術資産等アーカイブズ連絡会議委員	29.4.1 ～ 31.3.31
工藤 知宏	国立研究開発法人産業技術総合研究所 客員研究員	29.4.1 ～ 29.4.30
	国立研究開発法人産業技術総合研究所 客員研究員	29.4.1 ～ 29.4.30
	東京大学 情報システム戦略会議ICTインフラ整備専門部会部会長	29.4.1 ～ 30.3.31
	一般社団法人電子情報技術産業協会 電子材料・デバイス技術専門委員会委員、非ノイマン型情報処理へ向けたデバイス技術分科会委員長	29.4.13 ～ 30.3.31

委員会委員等

	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	29.5.22	～	30.3.31
	東京大学　情報セキュリティ委員会情報セキュリティ・ポリシー検討専門委員会委員	29.6.2	～	30.3.31
	文部科学省研究振興局　大学の情報ネットワーク等の整備に関する検討会委員	29.6.5	～	29.10.30
	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	29.10.1	～	30.3.31
中山　雅哉	東京大学　情報システム戦略会議ICTインフラ整備専門部会部会員	29.4.1	～	30.3.31
	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	29.5.22	～	30.3.31
関谷　勇司	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	29.5.22	～	30.3.31
	東京大学理学部　非常勤講師	29.9.1	～	30.3.31
	慶應義塾大学　大学講師(非常勤)(環境情報学部)	29.9.22	～	30.3.31
	東日本電信電話株式会社　総務省「医療等分野における高精細映像等データ共有基盤の在り方に関する実証の請負」東大・京大フィールドWG委員	29.10.10	～	30.3.30
	総務省　ICT分野における技術戦略検討会構成員	29.12.15	～	30.9.30
小川　剛史	東京大学　情報システム戦略会議ICTインフラ整備専門部会部会員	29.4.1	～	30.3.31
中村　文隆	学校法人法政大学　兼任講師	29.4.1	～	29.9.30
	学校法人法政大学　非常勤講師	29.10.1	～	30.3.31
中島　研吾	東京大学大学院理学系研究科　非常勤講師	29.4.1	～	29.9.20
	一般社団法人日本応用数理学会　代表会員	29.4.1	～	30.3.31
	北海道大学　情報基盤センター共同利用・共同研究委員会委員	29.4.1	～	31.3.31
	東京大学フューチャーセンター推進機構　運営委員会委員	29.4.1	～	31.3.31
	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	29.5.25	～	30.3.31
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	29.5.25	～	30.3.31
佐藤　周行	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	29.5.22	～	30.3.31
	東京大学　情報セキュリティ委員会情報セキュリティ・ポリシー検討専門委員会委員	29.6.9	～	30.3.31
	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	29.6.23	～	30.3.31
	一般財団法人日本情報経済社会推進協会　アイデンティティ連携トラストフレームワーク推進コンソーシアム全体会議委員	29.6.26	～	30.3.31
塙　敏博	東京大学工学部　非常勤講師	29.4.1	～	30.3.31
	文部科学省研究振興局　技術参与	29.4.1	～	30.3.31
	筑波大学計算科学研究センター　客員准教授	29.4.1	～	30.3.31
	名古屋大学情報連携統括本部　全国共同利用システム専門委員会委員	29.4.1	～	31.3.31
	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	29.5.25	～	30.3.31
	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	29.6.23	～	30.3.31

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	29.9.25	～	30.3.31
伊田　明弘	名古屋大学情報連携統括本部　産業利用非公開審査委員会(仮)委員	29.4.1	～	31.3.31
有間　英志	国立研究開発法人理化学研究所　客員研究員	29.4.1	～	30.3.31

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
・拠点シンポジウム		p.405
第９回	7/13-14	
・コンピュータ・ネットワーク利用セミナー		p.356
（第85回）「平成29年度コンピュータネットワーク研修（東京大学技術職員研修）」講義	11/28-29	

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
・新規利用者向け講習会			p.312
本郷キャンパス	情報学環・福武ホール	4/3-4/28（平日）,9/1-10/31（平日） 合計122回	
出張講習会		4/3(2回)	
・システム利用説明会			p.323
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/13, 3/19	
駒場キャンパス	情報教育棟	9/12, 3/20	
・相談員説明会			
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/6, 9/25	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/6, 9/26	

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.336
論文準備ここからスタート！	4/10, 4/12, 5/9, 5/24, 6/14, 6/20, 8/1, 8/4, 9/22, 9/26, 12/8, 1/12, 1/31, 2/15, 2/23	
はじめよう！RefWorks(昼休み30分)	4/13, 4/17, 6/5, 6/7, 7/21, 11/16, 11/17	
はじめての本や論文の探し方(昼休み30分)	5/15, 5/16	
比べる！検索ツール(昼休み30分)	7/4, 7/12, 12/13, 12/19	
はじめよう！Mendeley(昼休み30分)	5/26, 5/30, 7/18, 11/14, 11/15	
論文準備のための文献管理：Web of Science & RefWorks（夕方60分）	10/13, 10/24	
就活の味方「eol」ミニ講座（昼休み25分）	10/30, 11/1, 11/2, 2/1, 2/2	
卒業してからの文献検索・文献管理	2/14, 2/20, 3/2	
・留学生向け情報探索ガイダンス		p.337
Enhanced course 「Searching for books and papers」英語コース	4/20, 4/25	
韓国語コース	4/27	
中国語コース	10/12(同日2回開催)	
・外部講師による講習会		p.337
Mendeley講習会(通常コース)　文献管理ツールクローズアップ	6/6	
Mendeley講習会(Q&Aコース)　文献管理ツールクローズアップ	6/6	
EndNote講習会　文献管理ツールクローズアップ	6/8	
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう	6/14	
SciFinderで化学分野の情報検索をするには？	6/15	
LexisNexis Academicで海外のニュースやビジネス情報を検索するには？	6/16	
人社系向け新聞を研究にいかす	6/20	
OECDの出版物や統計を探すには？OECD iLibrary講習会	6/21	
生命科学系のデータを活用する～統合データベース講習会～	6/23	
研究分析ツールSciVal講習会(初級者向け)	9/5	
研究分析ツールSciVal講習会(経験者向け)	9/5	
研究分析ツールInCites講習会(初級者向け)	9/6	
研究分析ツールInCites講習会(経験者向け)	9/6	
SciFinder講習会（会場：薬学図書館）	9/21	
LexisAdvance講習会（法学部研究室図書室共催）	12/14	
・秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会	7/25, 9/1	p.338
・出張・オーダーメイド講習会		p.338
オーダーメイド講習会 文学部、医科学研究所、医学系研究科、情報学環学際情報学府、理学部、工学部、教育学研究科、教養学部、公共政策大学院	4/7, 4/20, 4/21, 4/25, 5/2, 5/17, 5/18, 5/22, 6/6, 6/9, 6/19, 6/27, 7/6, 8/2, 9/28, 10/4, 10/11, 10/16, 10/18, 11/2, 11/8, 11/9, 12/5, 12/7, 12/20, 12/21, 12/22, 12/25	
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	4/4, 4/5, 4/7, 4/11, 4/6, 4/10, 4/24, 4/26, 4/28, 5/10, 5/11, 5/12, 5/19, 5/23, 5/25, 5/26, 5/30, 5/31, 6/2, 6/6, 6/7, 6/16, 6/20, 6/22, 6/29, 6/30, 7/5, 7/20, 9/7, 9/13, 9/14, 9/27, 10/3, 10/5, 10/6, 10/10, 10/17, 10/18, 10/19, 10/20, 10/25, 10/26, 10/27, 10/31, 11/10, 11/21, 11/28, 11/29, 1/30, 2/22, 3/6	
・初年次ゼミナール		p.346
文科	4/13, 4/14, 4/17, 4/18, 4/19	

・セミナー		p.346
英語論文セミナー CUP Author Workshop : How to publish your articles/books with Cambridge University Press?	5/19	
英語論文セミナー　科学英語編	11/30	
英語論文セミナー　投稿・出版編	12/1	
Making your research count Springer Nature セミナー	3/20	
・テキスト協力	5/26, 6/2, 6/9, 6/16, 6/19, 6/23, 6/30, 7/7, 7/14, 7/21, 7/28, 9/25, 10/20, 11/10, 11/16, 11/24, 12/1, 12/8, 12/22, 1/9, 1/16, 3/16	p.347
・講習会協力		p.348
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	5/15, 6/28, 9/20, 11/22, 1/18	

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.356
第15回	11/2	

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.398
第75回「GPUプログラミング入門」	4/12	
第76回「OpenFOAM入門」	5/12	
第77回「KNL実践」	5/15	
第78回「有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎」	5/23-24	
第79回「MPI基礎：並列プログラミング入門」	6/1-2	
第80回「MPI上級編」	6/26-27	
第81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」	7/11-12	
第82回「KNL実践」	7/31	
第83回「OpenFOAM入門」	8/23	
第84回「MPI基礎：並列プログラミング入門」	9/4-5	
第85回「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」	9/12-13	
第86回「GPUプログラミング入門」	10/4	
第87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」	10/31-11/1	
第88回「有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎」	11/7-8	
第89回「一日速習：三次元有限要素法とハイブリッド並列プログラミング」	11/21	
第90回「KNL実践」	11/24	

第91回「OpenACCとMPIによるマルチGPUプログラミング入門」	12/4	
第92回「OpenFOAM初級」	1/17	
第93回「Reedbushスパコンを用いたGPUディープラーニング入門」	1/22	
第94回「KNL実践」	2/14	
第95回「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」	3/13-14	
・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.406
第27回	4/7	
第28回	5/22	
第29回	8/1	
第30回	9/27	
第31回	9/20	
第32回	11/24	
第33回	11/30	
第34回	12/13	
第35回	3/5	
・JCAHPC セミナー		p.409
第4回	8/29	
第5回	10/12	
・その他		
Oakforest-PACS、Reedbush利用説明会	5/16、5/17、6/7	p.384
東京大学(柏キャンパス、浅野キャンパス)、埼玉大学		
OpenACCハーフハッカソン	6/13-15	p.400
NCTS 2017 Advanced Course on Multi-Threaded Parallel Programming　using OpenMP/OpenACC　for Multicore/Manycore Systems	7/4-7	p.401
NCTS 2018 Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters	2/22-25	p.402

報道関係一覧

スーパーコンピューティング部門

[報道 1] HPCIC メールニュース 2017 年 4 月 6 日 Interview 中村センター長 【Key Person】 東京大学・筑波大学の 2 大学が共同運用する国内最高性能の新スーパーコンピュータ「Oakforest-PACS」

[報道 2] 産経新聞 2017 年 6 月 20 日 スパコンランキング中国 9 連覇、日本 7 位

[報道 3] excite ニュース 2017 年 6 月 19 日 スパコンランキング、中国が 1・2 位独占＝日本勢は東大・筑波大の 7 位が最高

[報道 4] biglobe ニュース 2017 年 6 月 19 日 スパコンランキング、中国が 1・2 位独占＝日本勢は東大・筑波大の 7 位が最高

[報道 5] NHK 総合テレビ 2017 年 7 月 30 日 NHK スペシャル 列島誕生 ジオ・ジャパン 第2集 奇跡の島は山国となった（取材協力・クレジット）

[報道 6] 文教速報 2017 年 8 月 2 日 JHPCN シンポジウムを開催、ポスター発表や意見交換

[報道 7] 学内広報 2017 年 8 月 25 日 【CLOSE UP】 9 回目の共同利用・共同研究拠点シンポジウムを開催

[報道 8] 韓国 ChannelA（ケーブル TV） 2017 年 12 月 1 日 スーパーコンピュータに関するドキュメンタリー放映。11 月 9 日取材分。ネット視聴可
http://m.ichannela.com/news/main/news_detailPage_mob.do?publishId=000000068127

[報道 9] NHK オンライン 2017 年 11 月 14 日 スーパーコンピュータ Top500 発表で中国が連続トップになっている状況について、中村センター長の見識・コメントを掲載。

[報道 10] exite news 2017 年 11 月 16 日 Oakforest-PACS のストレージが IO-500 で世界一位に認定

[報道 11] HPC-Wire Japan 2017 年 11 月 16 日 Oakforest-PACS が IO-500 で世界一位

[報道 12] 日本経済新聞 電子版 2017 年 11 月 16 日 富士通、最先端共同 HPC 基盤施設のスパコン Oakforest-PACS のストレージが IO-500 で世界一位に認定

[報道 13] Itmedia NEWS 2017 年 11 月 20 日 東大と筑波大のスパコン「Oakforest-PACS」のストレージ、世界1位に認定

[報道 14] msn news 2017 年 11 月 20 日 東大と筑波大のスパコン「Oakforest-PACS」のストレージ、世界1位に認定

[報道 15] Yahoo Japan news 2017 年 11 月 20 日東大と筑波大のスパコン「Oakforest-PACS」のストレージ、世界1位に認定

[報道 16] 産経新聞 2017 年 11 月 20 日東大と筑波大のスパコン「Oakforest-PACS」のストレージ、世界1位に認定

[報道 17] 東京大学新聞 2017 年 11 月 28 日 スパコン世界一に…ストレージ性能を評価

[報道 18] マイナビニュース 2017 年 12 月 14 日 にっぽんのスパコン「Oakforest-PACS」と「Reedbush」の電力測定手法－Green500 は改良された電力測定法を目指す
https://news.mynavi.jp/article/sc17_green500-3/

東京大学情報基盤センター年報

2017 年度（第 19 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　　中村　覚
編集委員　　品川　高廣、小川　剛史、星野　哲也、五十嵐　亮、
阿曽　義浩、野呂　清隆、中村　昇平、村上　晋司、
井爪　健雄、宮嵜　洋、川名　由希子、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

2018 年 7 月発行

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO