年報第 18 号

2016 年度

Annual Report No.18
2016

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28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28年度科学研究費助成事業採択状況 …… 17
平成28年度受託研究費受入状況 …… 19
平成28年度共同研究費受入状況 …… 20
平成28年度政府系委託費受入状況 …… 22
平成28年度政府系補助金受入状況 …… 22
平成28年度奨学寄附金受入状況 …… 22

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
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） …… 42
その他 …… 45
TOP500 性能ランキング国内第１位のスーパーコンピュータOakforest-PACS の
運用開始記念式典を開催 …… 47
スイスイタリア大学計算科学研究所（Institute of Computational Science,
The Universita della Svizzera Italiana（USI））との研究交流協定覚書
（Memorandum of Understanding）締結 …… 48

PART3　各研究部門　研究活動報告 …… 49

情報メディア教育研究部門 …… 51
情報メディア教育研究部門概要 …… 53
柴山　悦哉 …… 55
情報システムの信頼性と安全性に関する研究

田中　哲朗 ……61
ゲームプログラミングに関する研究
品川　高廣 ……64
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 ……72
計算機科学関連カリキュラムの分析
岡田　和也 ……78
ソフトウェア化されたネットワークの管理に関する研究及びネットワークセキュリティに関する研究
学術情報研究部門 ……83
学術情報研究部門概要 ……85
中川　裕志 ……88
プライバシー保護の制度と数理モデル
荒井 ひろみ ……97
分散データのプライバシーを保護した利用法
ネットワーク研究部門 …… 103
ネットワーク研究部門概要 …… 105
工藤　知宏 …… 111
管理異種エンジン統合クラウド，ネットワーク資源とポストムーアのアーキテクチャ検討
中山　雅哉 …… 116
広域分散環境の高度基盤技術に関する研究
小川　剛史 …… 122
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
ソフトウェア基盤を用いたネットワークアーキテクチャとセキュリティのリアルタイム分析に関する研究
中村　文隆 …… 140
実用例を通じて学ぶPython学習書
妙中　雄三 …… 142
無線ネットワーク資源管理の高度化に関する研究
宮本　大輔 …… 149
サイバーセキュリティに関する研究
スーパーコンピューティング研究部門 …… 157
スーパーコンピューティング研究部門概要 …… 159
中島　研吾 …… 185
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 …… 196
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 …… 207
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
塙　　敏博 …… 214
演算加速機構と通信機構との統合環境に関する研究
近藤　正章 …… 222

高性能・省電力計算システムに関する研究開発
大島　聡史 …… 228
様々な並列計算ハードウェアを用いた高性能計算に関する研究
星野　哲也 …… 234
アプリケーションのメニーコアプロセッサ向け最適化
伊田　明弘 …… 241
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
松本　正晴 …… 249
マルチスケールシミュレーション手法およびプラズマシミュレーションに関する研究
河合　直聡 …… 254
量子力学固有値問題向けIC 前処理の研究
有間　英志 …… 258
次世代HPCシステムのためのアーキテクチャ及び電力制御に関する研究
今野　　雅 …… 265
オープンソースCFDコードOpenFOAMの高度化
学際情報科学研究体 …… 271
五十嵐　亮 …… 273
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 …… 275

情報メディア教育 …… 277
情報メディア教育支援サービス概要 …… 279
教育用計算機システム運用報告 …… 281
学内組織向けメールサーバ（MAILHOSTING）運用報告 …… 289
学内組織向けDNSホスティング運用報告 …… 292
WEB PARK サービス運用報告 …… 293
遠隔講義支援サービス運用報告 …… 295
LMS 運用報告 …… 297
その他のサービス運用報告 …… 301
学術情報 …… 303
学術情報概要 …… 305
デジタルコンテンツサービス …… 306
学術情報リテラシー支援 …… 307
図書館関係システム運用・管理 …… 321
ネットワーク …… 323
ネットワーク概要 …… 325
東京大学情報ネットワークシステム（UTNET4）の運用管理 …… 328
セキュリティ対応 …… 339
東京大学情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）との連携 …… 342
学内ソフトウェアライセンス …… 345
ハウジングサービス …… 347
PKI …… 348

スーパーコンピューティング …… 349
スーパーコンピューティング概要 …… 351
スーパーコンピューティング業務 …… 354
講習会 …… 378
シンポジウム・研究会 …… 392
公募型研究プロジェクト …… 396
スーパーコンピュータの企業利用支援 …… 403
スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2016 年） …… 406
その他イベント …… 408

PART5　その他 …… 411

委員会委員等 …… 413
講習会・セミナー …… 417
報道関係一覧 …… 421

巻 頭 言

東京大学情報基盤センター長　中村　宏

2016 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。2016 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。

2016 年度、当センターは 2 つのスーパーコンピュータを導入しました。2016 年 9 月 1 日に正式サービスを開始したのが、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 です。これは、ビッグデータ解析や人工知能といった、近年ニーズが高まっている新しい分野の要求を満たし、学際領域研究の新たな進展を先導することをも目指しています。2016 年 12 月 1 日に全系稼働を開始したのが、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 です。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。Oakforest-PACS の理論演算性能は 25PFLOPS、LINPACK での実効性能は 13.55PFLOPS 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。このことには 2 つの意義があると考えております。一つは、5 年ぶりに国内最高性能システムが交代したことです。2011 年に「京」コンピュータが国内最高性能システムとなって以降も科学技術は大きく発展しており、我が国が世界に伍していくためには、日本全体で利用できる計算能力を一層高める必要が生じておりました。今回、新しいシステムが国内最高性能システムとなったことは、これらの要求に応え、我が国の科学技術のさらなる発展につながる、と期待しております。もう一つは、2 つの大学による共同調達・導入・運用という試みが結実したことであります。これは国内初の試みであり、日本全体の力の結集へ向けた試金石にもなると考えております。

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。2016 年度からこの拠点活動は第 2 期に入りました。第 2 期の活動では、ネットワーク型という我々の拠点の特長をさらに活かすべく、各大学のセンターが独自にアウトリーチをかけ新規分野の開拓と萌芽的研究の発掘をしてまいります。その第一歩として、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。また、第 2 期からは国際共同研究や企業共同研究も開始しました。このようにさまざまな新しい取り組みを行い、さらに積極的に拠点活動を推進しております。

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、年報編集委員長の品川高廣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。

2017 年 5 月吉日

PART 1

概　況

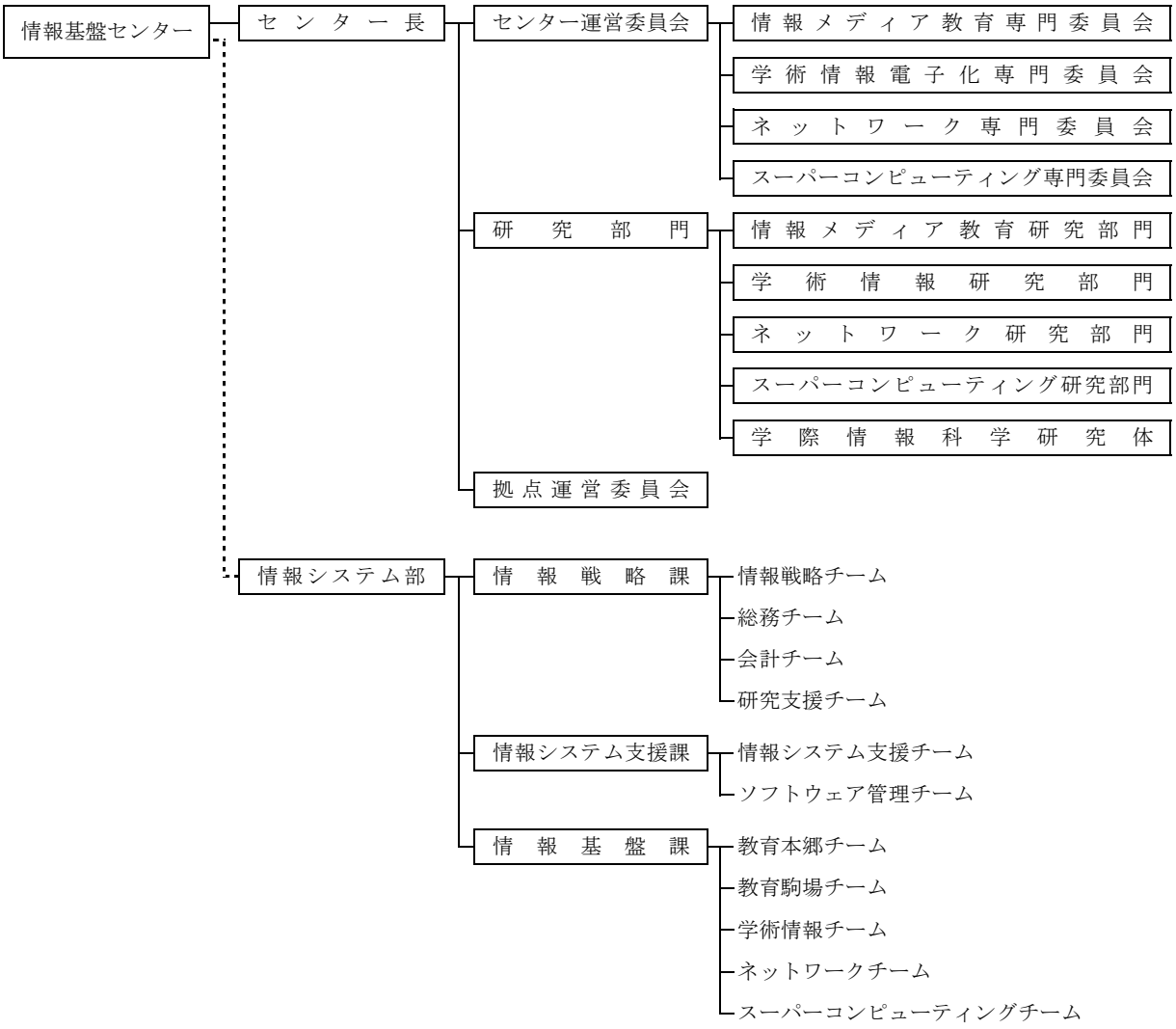
組　織

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　　H29.3.31

	専任	兼務	特任	合計
センター長		1		1
教授	4	1		5
准教授	7	1	1	9
講師			1	1
助教	7		2	9
研究員		4		4
事務補佐員	4		1	5
技術補佐員	1		1	2
合計	23	7	6	36

情報システム部　　H29.3.31

	専任	兼務	特任	合計
事務職員	30			30
技術職員	21		1	22
事務補佐員	7			7
技術補佐員	5			5
派遣職員	6			6
合計	69		1	70

教職員

平成 29 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）

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
客員研究員	佐　藤　一　誠
客員研究員	荒　井　ひろみ
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	宮　本　大　輔
事務補佐員	川　崎　しのぶ
技術補佐員	中　村　　遼
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（兼務）	近　藤　正　章
助　教	大　島　聡　史
助　教	星　野　哲　也
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
学術支援職員	清　野　善　裕
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
助　教（兼務）	妙　中　雄　三
助　教（兼務）	星　野　哲　也
特任講師	五十嵐　　亮
特任専門職員	阿　曽　義　浩
事務補佐員	津　田　弥　恵

情報システム部

部　長	稲　垣　博　明

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
係　長	長谷川　　聖
一般職員	小　林　正　明
事務補佐員	野　崎　一　美

総務チーム

係　長	落　合　弘　樹
係　長	岩　崎　直　樹
係　長	清　水　隆　志
主　任	鈴　木　さゆり
一般職員	末　永　幸　加
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	納　　朋　子
事務補佐員	中　川　郁　美

研究支援チーム

係　長	金　子　伸　一
係　長	大　橋　正　浩
一般職員	杉　田　七　海
事務補佐員	西　川　恵　美

係　長	中　山　仁　史

情報システム支援課

課　長	平　野　光　敏
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

ソフトウェア管理チーム

情報基盤課

課　長（兼務）	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
主　任	松　本　浩　一
技術補佐員	竹　尾　朋　子
派遣職員	後　閑　直　子
派遣職員	高　谷　智　子
派遣職員	池　谷　佳　恵
派遣職員	中　村　友　美

教育駒場チーム

係　長	石　崎　　勉
係　長	前　田　光　教
係　長	友　西　　大
主　任	安　部　達　巳
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

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
一般職員	石　田　　唯
一般職員	楳　原　衣　恵
事務補佐員	笹　原　可　恵

ネットワークチーム

副課長	井　爪　健　雄
係　長	下　田　哲　郎
係　長	佐　山　純　一
技術職員	駒　井　優　哉
技術補佐員	井　上　　滋
技術補佐員	山　崎　友　理

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	小　川　大　典
係　長	佐　島　浩　之
係　長	山　本　和　男
係　長	坂　井　朱　美
特任専門職員	中　　誠一郎
事務補佐員	佐々木　友　博
技術補佐員	長谷川　康　弘
派遣職員	蛯　原　　純

平成２８年度中の人事異動

情報基盤センター

（転入・昇任・配置換等）

28. 4. 1	岡　田　和　也	情報メディア教育研究部門助教／新規採用
28. 4. 1	松　本　正　晴	スーパーコンピューティング研究部門特任講師／再採用
28. 4. 1	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／新規採用
28. 4. 1	有　間　英　志	スーパーコンピューティング研究部門特任助教／新規採用
28.11. 1	阿　曽　義　浩	学際情報科学研究体特任専門職員／新規採用
28.11. 1	伊　東　雅　美	スーパーコンピューティング研究部門事務補佐員／新規採用
28.11.16	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／新規採用

（転出・退職等）

28. 4.30	伊　東　雅　美	スーパーコンピューティング研究部門事務補佐員／任期満了
28.11.30	松　本　正　晴	スーパーコンピューティング研究部門特任講師／情報理工学系研究科特任講師へ
28.12.31	荒　井　ひろみ	学術情報研究部門助教／情報通信研究機構有期研究員へ
29. 3.31	宮　本　大　輔	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情報科学研究科特任准教授へ
29. 3.31	大　島　聡　史	スーパーコンピューティング研究部門助教／九州大学情報基盤研究開発センター助教へ
29. 3.31	中　村　　遼	ネットワーク研究部門技術補佐員／任期満了

情報システム部

（転入・昇任・配置換等）

28. 4. 1	村　上　晋　司	情報基盤課学術情報チーム専門員／附属図書館総務課企画渉外係長から
28. 4. 1	柳　川　圭　介	情報戦略課情報戦略チーム係長／放送大学学務部連携教育課資格取得支援係専門職員から
28. 4. 1	落　合　弘　樹	情報戦略課総務チーム係長／医学部・医学系研究科人事係長から
28. 4. 1	伊　福　　晃	情報戦略課会計チーム係長／柏地区共通事務センター契約係専門職員から
28. 4. 1	前　田　光　教	情報基盤課教育駒場チーム係長／文部科学省行政実務研修生から
28. 4. 1	前　田　　朗	情報基盤課学術情報チーム係長／国立情報学研究所学術基盤推進部学術コンテンツ課研究成果整備チーム係長から
28. 4. 1	坂　井　朱　美	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長／東京国立博物館学芸企画部博物館情報課情報管理室専門職員から

28. 4. 1	末　永　幸　加	情報戦略課総務チーム一般職員／医学部附属病院経営戦略課経営企画チーム一般職員から
28. 4. 1	杉　田　七　海	情報戦略課研究支援チーム一般職員／経済学研究科等大学院係一般職員から
28. 4. 1	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技術補佐員／新規採用
28. 4. 1	平　野　光　敏	情報システム支援課長／情報基盤課スーパーコンピューティングチーム副課長から
28. 4. 1	井　爪　健　雄	情報基盤課ネットワークチーム副課長／情報基盤課ネットワークチーム専門職員から
28. 4. 1	宮　嵜　　洋	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム副課長／情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長から
28. 4. 1	増　田　　均	情報システム支援課副課長／情報基盤課教育本郷チーム副課長から
28. 4. 1	中　村　昇　平	情報基盤課教育本郷チーム専門職員／情報基盤課教育駒場チーム係長から
28. 4. 1	阿　部　仁　志	情報システム支援課情報システム支援チーム係長／情報戦略課情報戦略チーム係長から
28. 4. 1	香　田　健　二	情報基盤課教育駒場チーム一般職員（再雇用）／情報システム支援課長から
28. 4. 1	竹　尾　朋　子	情報基盤課教育本郷チーム技術補佐員／情報基盤課教育駒場チーム技術補佐員から
28. 7. 1	牧　　賢　二	情報戦略課会計チーム専門職員／カブリ数物連携宇宙研究機構予算管理係長から
28. 7. 1	友　西　　大	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システム管理係長から
28. 7. 1	鈴　木　さゆり	情報戦略課総務チーム主任／史料編纂所総務チーム主任から
28. 7. 1	森　　今日子	情報戦略課総務チーム事務補佐員／新規採用
29. 1. 1	平　野　光　敏	情報基盤課長（兼務）／情報システム支援課長
29. 1.30	安　部　達　巳	情報基盤課教育駒場チーム主任／国立情報学研究所情報基盤課所内 LAN・CSIRT チーム係長から

（転出・退職等）

28. 4. 1	本　多　　玄	情報基盤課学術情報チーム専門員／経済学研究科等専門員へ
28. 4. 1	藤　田　英　子	情報戦略課総務チーム主査／工学系・情報理工学系等総務課副課長へ
28. 4. 1	椿　山　惣一郎	情報基盤課ネットワークチーム専門職員／国立情報学研究所学術基盤課 NII-SOC チーム 副課長（兼）係長へ
28. 4. 1	丸　山　　忍	情報戦略課総務チーム係長／社会連携推進課社会連携推進チーム専門職員へ

28. 4. 1	山　村　仁　子	情報戦略課会計チーム係長／財務課財務総括チーム係長へ
28. 4. 1	佐　藤　英　之	情報基盤課学術情報チーム係長／農学系総務課図書チーム係長へ
28. 4. 1	佐　野　　徹	情報システム支援課情報システム支援チーム係長／東京海洋大学学術情報課情報企画係長へ
28. 4. 1	安　部　達　巳	情報基盤課教育駒場チーム主任／国立情報学研究所学術基盤課所内 LAN・CSIRT チーム係長へ
28. 4. 1	佐　藤　孝　明	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム主任／東京国立博物館学芸企画部博物館情報課情報管理室主任へ
28. 4. 1	猿　田　明　奈	情報戦略課研究支援チーム一般職員／国際企画課 連携推進チーム一般職員へ
28. 7. 1	平　原　康　道	情報戦略課会計チーム係長／情報学環会計係専門職員へ
28. 7. 1	秋　田　英　範	情報基盤課教育駒場チーム主任／日本学術振興会総務企画部企画情報課システム管理係長へ
28. 7. 1	齊　藤　暁　子	情報戦略課総務チーム主任／附属図書館総務課庶務係主任へ
28.10. 5	渡　邉　かがり	情報戦略課総務チーム特任専門職員／退職
28.12.31	早　野　裕　士	情報基盤課長／国立情報学研究所特任技術専門員へ
29. 3.31	笹　原　可　恵	情報基盤課学術情報チーム事務補佐員／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２７年４月１日～平成２９年３月３１日

平成２８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
喜連川　　優	生産技術研究所・教授	規則第3条第3号
鴨　川　達　夫	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　斎藤　毅　総長補佐（数理科学研究科・教授）

予　算

収入・支出

平成 28 年度決算額

収入

区　　分	決算額（千円）
奨学寄附金収入	8,043
受託研究費等収入	1,273,195
自　己　収　入	385,765
計	

支出

区　　分	決算額（千円）
人　　件　　費	652,017
物　　件　　費	3,207,240
計	

外部資金

1)科学研究費補助金(平成 28 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	2	5,330
学術情報研究部門	2	5,820
ネットワーク研究部門	6	9,550
スーパーコンピューティング研究部門	4	8,970
学際情報科学研究体	1	780
計	15	30,450

2)受託研究(平成 28 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	500
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門	2	33,900
スーパーコンピューティング研究部門	3	29,637
計	6	64,037

3)共同研究(平成 28 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	0
スーパーコンピューティング研究部門	5	18,836
計	9	18,836

4)政府系委託費(平成 28 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	309,872
計	1	309,872

5)政府系補助金(科学研究費補助金を除く。)(平成 28 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	850,000
計	1	850,000

6)奨学寄附金(平成 28 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	1	500
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	7,543
計	2	8,043

補助金等

平成 28 年度　科学研究費助成事業採択状況

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
研究費　　5,720,000 円（平成 28 年度）

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
研究費　　5,070,000 円（平成 28 年度）

研究代表者　　准教授　関谷　勇司
研究種目　　基盤研究（C)【基金】
研究期間　　平成 26～28 年度
研究課題　　DNS オープンリゾルバを悪用した増幅攻撃に対する検知手法と動的防御システムの確立
研究費　　910,000 円（平成 28 年度）

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
研究費　　5,590,000 円（平成 28 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 27～29 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
研究費　　780,000 円（平成 28 年度）

研究代表者　　准教授　品川　高廣
研究種目　　基盤研究(B)【補助金】
研究期間　　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
研究費　3,770,000 円（平成 28 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
研究費　2,080,000 円（平成 28 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
研究費　1,560,000 円（平成 28 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
研究費　1,560,000 円（平成 28 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
研究費　1,560,000 円（平成 28 年度）

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 26～29 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
研究費　780,000 円(平成 28 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
研究費　900,000 円（平成 28 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：モデルの研究）
研究費　100,000 円（平成 28 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　基盤研究（B）【補助金】
研究期間　平成 26～28 年度
研究課題　インターネット森林観察サイトの拡充による自然学習授業案の開発（役割分担:ライブ音配信サーバーのメンテナンスと観察サイトサーバシステムの構築）
研究費　20,000 円（平成 28 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：ライブ音配信サーバの運用）
研究費　50,000 円（平成 28 年度）

平成 28 年度　受託研究費受入状況

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
研究費　30,000,000 円（平成 28 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 28 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手法に関する調査
研究費　　3,900,000 円（平成 28 年度）

研究代表者　　准教授　佐藤　周行
相手機関名　　（株）ABEJA（NEDO 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
研究費　　3,245,000 円（平成 28 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
研究費　　19,392,100 円（平成 28 年度）

研究代表者　　准教授　品川　高廣
相手機関名　　（株）富士通研究所
研究期間　　平成 28 年度
研究課題　　軽量ハイパーバイザの研究
研究費　　500,000 円(平成 28 年度)

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　間野教授）
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）
研究費　　7,000,000 円(平成 28 年度)

平成 28 年度　共同研究費受入状況

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
研究費　0円（平成28年度）

研究代表者　准教授　関谷　勇司
相手機関名　日本電信電話（株）
研究期間　平成28年度
研究課題　サイバーセキュリティにおける脅威検知・解析技術に関する研究
研究費　0円（平成28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
研究費　0円（平成28年度）

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
研究費　0円（平成28年度）

研究代表者　准教授　関谷　勇司
相手機関名　フランス国立情報学自動制御研究所・（国研）情報通信研究機構
研究期間　平成26～28年度
研究課題　軽量仮想化環境であるDCEを基盤とした新世代ネットワーク技術の研究開発
研究費　0円（平成28年度）

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
研究費　14,786,200円（平成28年度）

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28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
研究費　400,000円（平成28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 28 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
研究費　1,080,000 円（平成 28 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 28 年度
研究課題　CPU と GPGPU を用いた光通信処理技術に関する研究
研究費　2,970,000 円（平成 28 年度）

平成 28 年度　政府系委託費受入状況

研究代表者　センター長　中村　宏
相手機関名　文部科学省
研究期間　平成 24～28 年度
研究課題　HPCI の運営（HPCI 共用ストレージ等の運用・保守）
研究費　309,872,000 円（平成 28 年度）

平成 28 年度　政府系補助金受入状況

研究代表者　センター長　中村　宏
相手機関名　文部科学省
研究期間　平成 28 年度（翌年度へ繰越）
研究課題　高機能演算研究基盤の高度利用事業
研究費　850,000,000 円(全額 29 年度へ繰越)

平成 28 年度　奨学寄附金受入状況

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 28 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
研究費　7,542,612 円（平成 28 年度）

研究代表者　教授　中川　裕志
相手機関名　ニフティ（株）
研究期間　平成 28 年度～

研究課題　　プライバシー保護の制度と技術に関する研究
研究費　　500,000 円（平成 28 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

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）

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 9 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)
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)
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)
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)

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 76 件（国際共同研究課題 3 件、企業共同研究課題 2 件、一般共同研究課題 34 件、萌芽型共同研究課題 37 件）採択し、共同研究を実施した。なお、76 件のうち 22 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 20～22 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、柔軟な形態による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 28 年 4 月 1 日現在、共同利用・共同研究拠点として 51 大学（28 国立大学、23 公私立大学）103 拠点が認定されており、そのうち単独型拠点 98(49 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・共同研究の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 28 年度公募型共同研究の活動内容

平成 28 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。その他に、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、新たに萌芽型共同研究課題の募集を開始した。

3.1 主なスケジュール

平成 27 年 11 月 12 日　平成 28 年度拠点共同研究の募集要項を公開
平成 27 年 12 月 15 日　課題応募受付開始
平成 28 年 1 月 8 日　課題応募受付締切
平成 28 年 3 月 14 日　採否通知
平成 28 年 4 月 1 日　共同研究開始
平成 28 年 7 月 14、15 日　第 8 回シンポジウム
平成 29 年 3 月 31 日　共同研究終了
平成 29 年 5 月 15 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 47 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 2 課題、一般共同研究課題 34 課題の合計 39 課題（65 共同研究拠点）が採択された。また萌芽型共同研究課題は 37 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
＊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
＊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
＊Cerebrospinal Fluid Flow Analysis in Subarachnoid Space	江川隆輔 （東北大学）	数	東北大

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
＊PM-2 次元散乱パターン RMC 法による SPring-8 実験からの 3 次元構造モデル構築の HPC 利用スキーム構築	冨永哲雄 （JSR 株式会社）	数	北大，名大，阪大

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
＊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
＊計算科学による大規模ナノ粒子創製プラズマ研究の新展開	茂田正哉 （大阪大学）	数	東北大

＊超並列宇宙プラズマ粒子シミュレーションの研究	三宅洋平 （神戸大学）	数	北大，京大
＊Data Locality Optimization Strategies for AMR Applications on GPU-accelerated Supercomputers	アテイアモハメド　ワヒブ （RIKEN）	情	東工大
＊空間経済学における秩序形成：産業・人口集積のコーディネーションと都市規模・空間パターンにおけるフラクタル構造の創発	森知也 （京都大学）	数	京大
＊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
＊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
＊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
＊多結晶粒成長メカニズム解明のためのフェーズフィールドクリスタル法の大規模 GPU 計算技術の開発	山中晃徳 （東京農工大学）	数	東工大
＊高分子材料系の粗視化 MD の次世代大規模 HPC 利用の基盤的研究	萩田克美 （防衛大学校）	数	北大，東大，名大，阪大， 九大
＊フェーズフィールド法と分子動力学法による大規模粒成長シミュレーション	高木知弘 （京都工芸繊維大学）	数	東工大
＊適合細分化格子を用いた格子ボルツマン法による非球形固体粒子との直接相互作用計算に基づいた大規模混相流シミュレーション	青木尊之 （東京工業大学）	数	東工大
＊高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの構築	下川辺隆史 （東京工業大学）	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仮想化基盤に関する研究とその実践的運用	柏崎礼生 （大阪大学）	情	北大，東北大，京大，阪大，九大
＊実海域の船舶挙動の推定に向けた大規模計算手法の開発	小野寺直幸 （海上技術安全研究所）	数	東工大
＊Toward a resilient software defined infrastructure to support disaster management applications	渡場康弘 （奈良先端科学技術大学院大学）	情	阪大
＊動的負荷分散による GPU スパコンを用いた粒子法の大規模シミュレーション手法の開発 III - Debris Flow の衝撃による構造物の破壊 -	都築怜理 （海洋研究開発機構）	数	東工大
分散メモリ型スーパーコンピュータにおける直接法と反復法の並列化行列解法の研究	若谷彰良 （甲南大学）	数	東大，京大，阪大
次世代降着円盤シミュレータの開発	廣瀬重信 （海洋研究開発機構）	数	東大
タイルアルゴリズムの大規模適用時の通信最適化	鈴木智博 （山梨大学）	数	東大
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
階層分割型数値計算フレームワークを用いた 3 次元電磁界解析の高速化研究	杉本振一郎 （諏訪東京理科大学）	数	東大，名大
Multi-platform Development of Fusion Plasma Turbulence Code Toward Post-Petascale Era	前山伸也 （名古屋大学）	数	東工大，名大
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
ランダム神経回路網における同期解析のための大規模計算	末谷大道 （大分大学）	デ	九大

高精度即時予測のための GPU 津波シミュレーターの開発	青井真 （防災科学技術研究所）	数	東工大
HPC 技術を活用した電磁場解析の高度化	岩下武史 （北海道大学）	数	北大，京大
分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS のメニーコアおよびワイド SIMD アーキテクチャ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
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
次世代トランジスタの量子輸送シミュレーションに関する研究	森伸也 （大阪大学）	数	阪大
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
自然災害予測に資する流体・構造連成解析の V&V	浅井光輝 （九州大学）	数	京大
超多自由度複雑流動現象解明のための計算科学	石原卓 （名古屋大学）	数	名大
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

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
大規模並列計算による原子核クラスターの構造解析と反応シミュレーション	升井洋志 （北見工業大学）	北大
室内伝搬３次元大規模シミュレーションと可視化技術の検討	日景隆 （北海道大学）	北大
アンテナ放射効率低下メカニズムの解明と放射効率改善手法に関する研究	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
Building Cube 法による大規模高レイノルズ数流れ解析による研究	三坂孝志 （東北大学）	東北大
カノニカル法に基づいた格子 QCD 計算による、有限温度、有限密度での QCD 相構造の解析	福田龍太郎（東京大学）	東大
粒子法を用いた複雑な表面を持つ流体の大規模並列計算	桶作愛嬉 （東京大学）	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
竜巻を伴う回転積乱雲(スーパーセル)のエントレインメントを調べる理想化数値実験	末木健太 （東京大学）	東大
直接数値計算による Langmuir 乱流の研究	藤原泰 （京都大学）	東大
大規模並列環境におけるグラフ最良優先探索の効率的な仕事分配手法	陣内佑 （東京大学）	東大
複数の収束しにくい成分を指定する SA-AMG 法の研究と改良	野村直也 （工学院大学）	東大
疎構造学習に基づく分子シミュレーション解析手法の開発	山守優 （大阪大学）	東工大
通信回数削減型 QR 分解の GPU クラスタシステム上での実装	高柳雅俊 （山梨大学）	東工大

多数のクラックおよび流体を含む岩石中の地震波動伝播特性の研究	河合研志 （地球生命研究所）	東工大
教師付動力学計算によるタンパク質-低分子結合シミュレーション	本野千恵 （産業技術総合研究所）	東工大
クラウドを活用した遠隔データの大規模可視化処理実験	村田健史 （情報通信研究機構）	名大
安定密度成層乱流における大スケール構造間の相互作用の解明	渡邉智昭 （名古屋大学）	名大
JHPCN-DF を用いた大規模有限要素解析におけるデータ圧縮の性能評価	劉麗君 （名古屋大学）	名大
種々の波動問題に対する積分核に依存しない演算子積分時間領域高速多重極境界要素法の開発	斎藤隆泰 （群馬大学）	京大
有機半導体のエキシトン/キャリア輸送現象の理論解析	鬼頭宏任 （筑波大学）	京大
高解像度大気海洋波浪結合モデルを用いた海面物理モデルの現地観測結果に基づく検証	二宮順一 （金沢大学）	京大
大規模津波による流出油の拡散挙動予測	高木洋平 （大阪大学）	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
高次元力学系における準周期軌道の解析	齊木吉隆 （一橋大学）	京大
メモリ一貫性モデルを考慮したモデル検査器の開発	安部達也 （千葉工業大学）	京大
カオス力学系におけるネットワーク解析	小林幹 （立正大学）	京大
MuSTAR MD に基づくタンパク質構造変化の自由エネルギー経路計算手法の確立と応用	山守優 （大阪大学）	京大
ポスト「京」100 ナノ電子状態計算むけの超並列構造保存波束ダイナミクスソルバー開発	井町宏人 （鳥取大学）	京大
固相光化学反応の計算化学による解明	鈴木聡 （京都大学）	京大
海色衛星データを用いた沿岸および陸棚海域における河川由来物質の解析手法の開発	小林志保 （京都大学）	京大
固体内原子拡散・イオン伝導挙動の第一原理解析	豊浦和明 （京都大学）	京大
固液界面における和周波発生分光スペクトルの第一原理シミュレーション	大戸達彦 （大阪大学）	阪大
鼻咽腔閉鎖時における流路トポロジー変化が呼気に及ぼす影響	野崎一徳 （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
学術情報ディープ・テキスト・マイニング	船守美穂 （国立情報学研究所）	九大
SINET を活用したエピゲノムビッグデータ可視化システム技術開発	村田健史 （情報通信研究機構）	九大

3.3 拠点シンポジウム

平成 28 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 8 回シンポジウム
開催日時: 平成 28 年 7 月 14 日(木)、15 日(金)
開催場所: THE GRAND HALL(品川)
主な内容: 平成 27 年度採択課題の最終報告(口頭発表 35 件)
平成 28 年度採択国際・企業・一般課題の研究紹介(ポスター発表 39 件)
平成 28 年度採択萌芽型課題(一部)の研究紹介(ポスター発表 18 件)
参加者数: 194 名(大学 137 名、独法等研究機関 26 名、企業他 31 名)
案内 URL: http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/sympo/8th/

4 拠点関連委員会の活動

拠点には運営委員会と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 運営委員会

第 20 回 平成 28 年 7 月 14 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 27 年度決算について
4. 平成 28 年度予算について
5. 平成 29 年度概算要求について
6. 期末評価を受けての今後の方向性について
7. 募集要項・課題申込書の改訂について
8. 国際共同研究課題の経費助成について
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 21 回 平成 28 年 11 月 8 日(於:名古屋大学情報基盤センター)
主な議題:
1. 平成 29 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 22 回 平成 29 年 2 月 10 日（於：東京大学情報基盤センター）
主な議題：
1. 平成 29 年度拠点内示額等について
2. 平成 29 年度公募型共同研究の採択について
3. 平成 28 年度実施課題の最終評価方法について
4. 萌芽型共同研究について
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 9 回拠点シンポジウムについて

4.2 課題審査委員会

第 16 回 平成 28 年 7 月 15 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 27 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 17 回 平成 29 年 2 月 10 日（於：東京大学情報基盤センター）
主な議題：
1. 平成 29 年度公募型共同研究課題審査について
2. 平成 28 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 9 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 29 年度共同研究募集要項、課題申込書の改訂
2) 平成 29 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、中間報告書評価容量、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 28 年度助成実績
申込み件数:3 件、 採択件数:3 件（発表旅費 2 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 28 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 28 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した。

● High Performance Parallel and Distributed Computing(HPDC) '16
平成 28 年 5 月 31 日（火）～6 月 4 日（土）（於：京都市国際交流会館）
主催：Association for Computing Machinary(ACM)

● 第1回データサイエンス支援サービスシンポジウム
平成 28 年 12 月 7 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

● 第 25 回 ASE 研究会
平成 28 年 12 月 8 日（木）（於：東京大学情報基盤センター）
主催：東京大学情報基盤センター

● スパコン TSUBAME 利用促進シンポジウム
平成 29 年 3 月 8 日（水）（於：東京工業大学）
主催：東京工業大学学術国際情報センター

● 第 25 回 Workshop on Sustained Simulation Performance(WSSP)
平成 29 年 3 月 13 日（月）～3 月 14 日（火）（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

● サイバーHPC シンポジウム
平成 29 年 3 月 16 日（木）（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

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 2016 および SC16 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。

HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)

塙 敏博 星野 哲也　　研究支援チーム　スーパーコンピューティングチーム

1 HPCI

HPCI 構築事業は、我が国の科学技術振興の中心となり、世界最高水準の成果創出と成果の社会還元を推進する研究開発基盤を整備するものである。本センターもシステム構成機関として各種システムの構成、運用体制の検討を行ってきており、2012 年 9 月 28 日より運用を開始した。本環境は、シングルサインオンを実現するユーザ認証システムと各計算機資源から利用可能な共用ストレージシステムを持ち、これらと、各システム構成機関を高速接続する学術情報ネットワーク(SINET)により、シームレスな連携環境を実現している。2016 年 4 月からは、従来の SINET4 に代わり、SINET5 による 100G bps の拠点間フルメッシュ接続に切り替わった。2017 年 3 月で HPCI の第 1 期運用事業が終了するため、5~6 年経過し老朽化したストレージシステムの更新および第 2 期への継続運用に向けて準備中である。

2 情報基盤センターから提供する資源と運用報告

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

2.1 計算資源

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

2.1.1 柏地区キャンパス・富士通 FX10 スーパーコンピュータ Oakleaf-FX、本郷地区キャンパス・富士通 FX10 スーパーコンピュータ（長時間ジョブ用） Oakbridge-FX 総計 744 ノード

スペック表

CPU	富士通 SPARC64 IXfx (1.848 GHz, 16 cores)
Memory	32 GB
Network	富士通 Tofu Interconnect

利用量

利用時間	5,110,110.52 ノード時間
ストレージ使用量	277,736 GB
採択課題数	10 件

2.2 ストレージ資源

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

ストレージは、東・西・東工大の拠点を大規模広域ファイルシステム gfarm を用いてまとめている。gfarm は広域に存在する計算資源から効率よくファイルを共有するシステムで、必要に応じて、

自動的にファイルの複製を行いながら東西の資源を統合している。これにより、各拠点からのファイル転送速度の向上や、耐故障性が実現されている。

平成 28 年度は、HPCI データ保存課題を安定的に保存するためのストレージの増強、および、クライアント応答性能を改善するためのメタデータサーバの更新を実施した。

共用ストレージシステム データ保存用ストレージ	11.5 PB （合計：21.9 PB） 3.8PB
採択課題数	68 件
総利用量（東西）	14,187TB

3 平成 28 年度までに終了した提供資源

東京工業大学が管理する先端ソフトウェア運用基盤・分散環境ホスティングサーバ群「RENKEI-VPE」への資源提供を 9 月末に停止した。

東拠点のテープアーカイブ装置について、本年度はユーザに資源提供はせず、共用ストレージのバックアップ用途に使用し、3 月末をもって運用を停止した。

共用ストレージについては、東工大拠点からの資源提供は 3 月末をもって終了した。

4 平成 29 年度の資源提供について

来年度、当センターとして、これまで通りスーパーコンピュータ FX10（Oakleaf-FX, Oakbridge-FX）の資源提供をする予定である。加えて、平成 28 年度に導入された Reedbush スーパーコンピュータシステム (Reedbush-U, Reedbush-H)の資源提供をする予定である。また、最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)として筑波大学計算科学研究センターと共同で、平成 28 年度に導入された Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムの資源提供を実施する。

一方、共用ストレージ東拠点としては、現有機材を用いて資源提供を行いながら、部分的に機材更新を行なっていき、来年度 10 月までに新機材への移行が完了する予定である。移行完了後には東拠点で 42.5PB の資源提供を行う予定である。

以下の表は，HPCI 課題募集におけるハードウェア資源一覧から当センター、JCAHPC、共用ストレージ東拠点が提供する資源を抜粋したものである。

スーパーコンピュータ FX10	計算ノード 1,500 ノード(354.78 TFLOPS), ストレージ 500 TB
Reedbush-U	計算ノード 60 ノード(72.58 TFLOPS), ストレージ 60 TB
Reedbush-H	計算ノード 18 ノード(212.73 TFLOPS), ストレージ 18 TB
Oakforest-PACS (JCAHPC)	計算ノード 1,600 ノード(4,872 TFLOPS), ストレージ 3,000 TB
共用ストレージ	ディスクストレージ 42.5 PB 提供予定（準備が整い次第）

その他

TOP500性能ランキング国内第１位のスーパーコンピュータ
Oakforest-PACS の運用開始記念式典を開催

スイスイタリア大学計算科学研究所（Institute of Computational Science, The Universita della Svizzera Italiana（USI））との研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）締結

TOP500 性能ランキング国内第１位のスーパーコンピュータ Oakforest-PACS の運用開始記念式典を開催

部門長　中島研吾　　スーパーコンピューティングチーム

東京大学情報基盤センター（センター長：中村宏）と筑波大学計算科学研究センター（センター長：梅村雅之）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、施設長：中村宏）において設置されたスーパーコンピュータ Oakforest-PACS 運用開始記念式典が、12 月 2 日（金）に設置場所である柏キャンパスで開催された。同システムは 2016 年 11 月に発表された TOP500 性能ランキングにおいて国内第1位、世界第 6 位に認定されている。式典には、文部科学省研究振興局長・小松弥生氏を始め多くの来賓、東京大学　五神総長、筑波大学　永田学長、及び開発に携わった多くの関係者が列席し、日本最高性能のスーパーコンピュータ運用開始を祝った。 中村宏施設長は式辞で、「スーパーコンピュータに対するニーズの高まりに対し、世界と肩を並べる計算能力を持ったマシンを運用することにより、共同研究や人材育成の現場において、より一層の社会貢献を行いたい。」と決意を述べた。 今後、Oakforest-PACS は 2017 年 3 月末までの試験運用プログラムによる利用を経て、2017 年 4 月より各種共同利用・共同研究プログラムに供される予定である。

また、式典に先立って行われたシンポジウムでは、梅村雅之副施設長のあいさつに続き、筑波大学計算科学研究センター・副センター長　朴泰祐教授、理化学研究所計算科学研究機構・フラッグシップ2020プロジェクトリーダー　石川裕氏、東京大学情報基盤センター　塙敏博准教授の講演が行われた。

式辞を述べる中村施設長と式典会場

式典でのテープカット。左から田中富士通社長、中村施設長、五神東大総長、
小松振興局長、永田筑波大学長、梅村副施設長

スイスイタリア大学計算科学研究所（Institute of Computational Science, The Universita della Svizzera Italiana（USI））との研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）締結

東京大学情報基盤センターとスイスイタリア大学計算科学研究所（Institute of Computa-tional Science, The Universita della Svizzera Italiana）[1]は 2017 年 3 月にハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）及び計算科学・工学分野における基礎的，学術的な共同研究の促進を目的とした研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）を取り交わしました。スイスイタリア大学（USI）はスイス連邦共和国ルガーノ市（Lugano）に 1996 年に設立された公立大学で，5 学部（Architecture, Economics, Communication Sciences, Informatics, Biomedical Sciences），学生約 3,000 名，教員約 800 名を擁するスイスにおけるトップクラスの教育機関です。同じ Lugano 市に設置されているスイス国立スーパーコンピュータセンター（Swiss National Supercomputing Center, Centro Svizzero di Calcolo Scientifico, CSCS）[2]と緊密に協力し，HPC 分野での研究実績には定評があります。

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ます。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[3]の開発を実施してきています。USI の Olaf Schenk 教授らのグループは PARADISO[4]等のライブラリを開発するとともにスイスの国家プロジェクトである PASC（Platform for Advanced Scientific Computing）[5]でも中心となって活動しています。PASC は ppOpen-HPC と同じ方向性のプロジェクトであり，両者は同様の価値観を共有しています。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ています。また Olaf Schenk 教授と中島研吾教授（スーパーコンピューティング研究部門）は，2018 年 3 月に東京で開催される国際会議 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing（PP18）[6]の実行委員長（Co-Chair）を共同でつとめています。自動チューニング，大規模数値アルゴリズム，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りました。協定締結により，自動チューニング，大規模数値アルゴリズム，並列プログラミングモデル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自動チューニング手法，数値アルゴリズムの開発，数値計算ライブラリの整備によって，HPC および計算科学・工学の発展に貢献に資するものと期待されます。

1 https://www.ics.usi.ch/
2 http://cscs.ch/
3 http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/ppopenhpc/
4 https://software.intel.com/en-us/node/470282
5 http://www.pasc-ch.org/
6 https://www.siam.org/meetings/pp18/

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
フトウェア化されたネットワークの管理に関する研究
及びネットワークセキュリティに関する研究

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。

実運用システムの設計・改善等を直接の目的とした研究: 本研究部門が企画、設計、調達、構築、運用などに関与してい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は、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。また、この規模と複雑さのシステムの実運用から得られた知見やノウハウには、他の組織にとって有用なものも多く、これらを系統的な形にまとめて公開することが研究活動として意味を持つこともある。

今年度は、次のような研究を行った。

- 仮想マシンモニタによるシステム管理 (品川)

情報システムの構成や開発に関連した研究: 業務として運用しているシステムを直接的に対象とするものではなく、より一般的に、情報基盤を開発・運用するための技術に関連した研究も行っている。今年度は次のような研究と成果発表を行った。

- 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基準・目標に関する検討 (柴山)
- 仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーション (品川)
- 仮想マシンモニタによる物理デバイスドライバ検証 (品川)
- 仮想マシンモニタによるデバイスドライバの開発及び維持管理コスト削減 (品川)
- 仮想マシンモニタによるベアメタルクラウドにおけるハードウェア保護 (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)
- VM 内の構造や統計情報を用いた適応的キャッシュプリフェッチ手法 (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)
- 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)
- ソフトウェア化されたネットワークの管理に関する研究 (岡田)
- ネットワークセキュリティに関する研究と活動 (岡田)
- Software Defined Networking (SDN) 技術を利用した Internet eXchange に関する研究・技術開発 (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。

- カーリング AI に対するモンテカルロ木探索の適用 (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。

- プログラム理解支援に関する研究 [査読付 1, 発表 4]
- 情報システムの安全基準・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、デバッグを主たる目的としたプログラム理解支援ツールの評価方法に関する研究を行った。プログラム理解支援ツールがプログラム理解にどのように貢献をしているかを測定するために、ツール利用者のメンタルモデルとツールの動作の関係を表すモデルを構築し、予備的な実験を行った。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・リスク検討分科会および同分科会の安全目標検討小委員会において進められている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。この成果については、第 3 節で概要を述べる。

これらの研究の他に、以下のような活動も行った。

- 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
- ビッグデータ研究分野における国際的な協力関係の構築 [発表 1, 発表 3, 発表 6]
- 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 [発表 5]

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 番目と 3 番目の項目は、国内外での研究連携強化のための情報交換や啓発などを目的としたものである。

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。プログラム理解を支援するツールは今までに多数提案されているが、それらのツールが実際のプログラム理解に及ぼした効果の測定は必ずしも容易ではない。被験者を用いた実験により、ツールの設計パラメータとデバッグ等の目的達成状況の相関を調べ、ツール設計の評価を行うのが一般的なアプローチである。

一方、ツールの動作と人間のプログラム理解プロセス自体との関係を直接的に調べることは稀である。この両者の関係をより明確にすることができれば、この分野の研究の進展、さらには一般的なソフトウェアのデバッグやメンテナンスの効率化に貢献できると考えられる。

2.2　内容

今年度は、デバッグを主たる目的として想定し、プログラム理解支援ツールの評価方法に関する研究を行った。まず、デバッグとは、実行時に現れた仕様に反する動作 (症状) から、その根本原因となるソースコード上の問題箇所 (あるいは仕様に反する入力) を同定する作業と考えることにする (したがって、バグの修正自体は含まない)。一般には、根本原因と症状の間には、因果関係（影響伝播）の長いチェーンが存在しうる。

しかし、通常のデバッグ時に用いられるデバッガには、このチェーンを一度に可視化する機能が備わっていない。通常のデバッガが支援するのは、症状から根本原因の方向にチェーンを辿る作業である。このときに人間が行う作業は、原因（根本原因だけでなくチェーンの中間の原因も含む）に関する仮説をたて、それを検証することである。すなわち、バグに関わるプログラムの動作理解は、デバッガを理解支援ツールとして用い、原因に関する仮説をたて、その仮説の検証に必要なデバッガの操作と対応する出力情報の確認を繰り返すことで行われるのが一般的である。

そこで、被験者を用いた実験から、次の二種類のモデルを抽出し、その間の対応関係を明らかにすることを試みた。

プログラムの実行モデル: これはプログラムの実行をモデル化するものであり、実行トレースとトレース中のイベント間の依存関係で定義する。形式的な定義としては一般的なものであり、依存関係にはデータ依存と制御依存が含まれる。

プログラム理解を行う人間のメンタルモデル: 仮説の立案とその検証を繰り返す過程をモデル化するものである。理解支援ツールとしてのデバッガの利用を、ツールに対する質問の発行、ツールからの回答の咀嚼などの動作からなると考え、これらの列により、仮説検証のための意思決定等の過程をモデル化する。

これら二つのモデルのうち、前者に関しては、実際のプログラムの実行過程から機械的に抽出が可能である。この自動抽出を行うために専用ツールを開発した。これは、昨年度までの研究で開発した技法を利用したものである。

一方、後者に関しては、ツールの操作の系列は自動的に取得可能であるが、その意図を自動抽出するのは難しい。今年度は、考えていることを声に出しながら操作を行う think aloud 手法をベースに、これらの操作と発言を自動的に記録し、さらにその結果を再演しながらインタビューを行って意図を聞き出す方式を採用した。

実験には、コメント等を除いて 3,000 行強の Java のプログラムを用いた。そして、以上述べたような方法で、二種類のモデルの構築と両者の対応関係の識別を試みた。後者のモデルの構築には手作業がかなり必要である等の問題は残されているが、実行モデルとメンタルモデルの対応をほぼ取れることが確認された。

2.3 具体的成果

今年度は、以上のような成果について論文を発表した [査読付 1]。

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。2017 年にこの報告の改訂が予定されており、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、さらに各工学システムへの具体的な適用についても検討が進んでいる。

3.2 内容

昨年度に引き続き、3.1 節で述べた報告の改訂作業の下準備として、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る。これらとは事情が異なる情報システム分野の特徴や問題点の明確化がこの作業の主な目的である。

昨年度は、個々の応用分野にはあまり特化せず、以下の三つの軸で分類を行い、その範囲での論点整理を試みた。

1. 安全性の侵害により被害が及ぶ対象としての国家、社会、組織、個人という分類。
2. 直接的な侵害の対象としての情報自体と情報システムという分類。
3. 安全性に対する侵害のモードとしての機密性 (confidentiality)、真正性 (integrity)、可用性 (avilability) という分類。

今年度は、3 番目の分類軸に現れる可用性に特に注目し、情報システムを次の四つの観点で分析した。

1. インフラとしての情報システム
2. 複数組織が関与する情報システム
3. 悪意にさらされる情報システム

4. 変化する情報システム

1 については、ネットワーク化された自動化システムの特徴として、事故や攻撃の影響を広く伝播しやすい点が問題になる。また、インフラとしての情報システムは、日常生活にも産業活動にも不可欠であり、誤動作はもちろん、単純に停止するだけでも大きな被害が発生する可能性もある。止めることによる被害が大きい分野では、「危なくなったら止める」という戦略を使いづらいため、高い可用性を目指さざるをえない。なお、情報システムが制御系を構成する場合、被害はその応用分野で発生する。応用分野は多岐にわたり、対象となる応用分野の特性を反映した形で、応用分野の安全目標と制御系としての情報システムの安全目標の関係を解明する必要がある。

2 については、関連する組織間の責任分界点を明確にし、責任を全うするための体制を整えることは最低限必要であろう。しかし、金融機関のシステミック・リスクに相当するような system of systems 特有の問題も存在する。全体の安全目標を達成するために、個別組織がどのような安全目標を達成すべきかだけでなく、一部の組織が安全目標の達成に失敗した場合に運用上どうやって被害を軽減するかも含めて検討を行う必要がある。

3 については、情報システムの安全性を考えるときには、サイバー攻撃の可能性を無視できない。偶然の故障やミスが原因となる場合とは異なり、同時多発的な攻撃や最も被害が深刻となる箇所を狙い撃ちにした攻撃などが起こることも想定する必要がある。しかし、このような攻撃の発生確率の推定は難しい。一方、同種の攻撃が多発するケースでは、確率的なリスク分析もある程度可能であり、近年ではサイバー保険も販売されている。

4 は、一般的な工学システムと大きく考え方が異なる点と思われる。従来の組み込みシステムのように閉じたシステムの場合には、ライフサイクル全体に渡るリスク分析を行い、その結果を反映した設計により、リスクを一定のレベルに抑えられる可能性がある。しかし、IoT(Internet of Things) などの外界との接続に依存したオープンなシステムにおいては、むしろソフトウェアのアップデートを絶えず行うことで、環境の変化に耐える戦略の方が合理的であろう。

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。

4.2 内容

今年度は昨年度に引き続き、文部科学省委託業務「HPCI の運営」により行われた HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS の改修を理化学研究所計算科学研究機構のチームとともに担当した。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)。

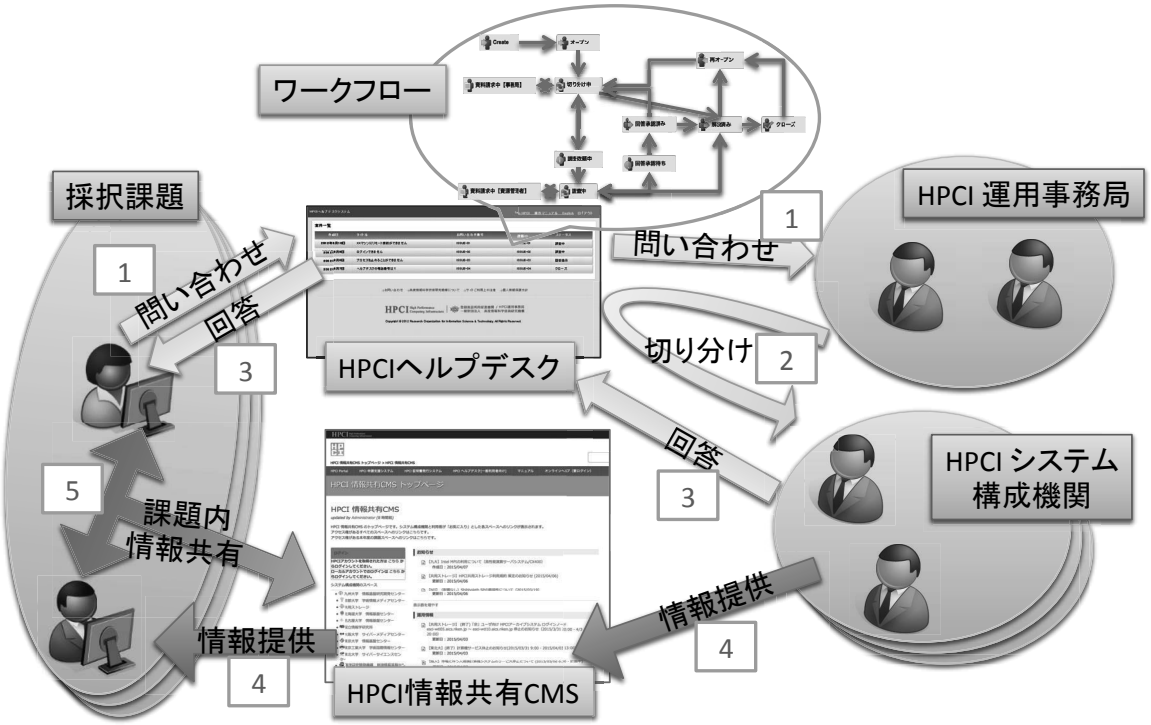


図 1: HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS

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
- 情報共有 CMS のページの閲覧と添付ファイルのダウンロードの履歴を表示する機能の開発
- 情報共有 CMS での Zen Foundation から Theme Press への移行
- HPCI ヘルプデスクシステムのユーザ通知用課題タイプの追加
- HPCI 連携サービス運営・作業部会用の課題管理機能の追加と情報共有機能の強化

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

査読付論文

[査読付 1] Izuru Kume, Masahide, Nakamura, Yasuyuki Tanaka, Etsuya Shibayama: Evaluation of Diagnosis Support Methods in Program Debugging by Trace Analysis: An Exploratory Study, *Proceedings of IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science*, pp. 909–914, 2016.

その他の発表論文

[発表 1] Etsuya Shibayama: An Overview of Big Data Research Programs in Japan, NSF BIGDATA PI meeting, 2016.

[発表 2] 柴山悦哉: 情報システムと安全目標, 安全工学シンポジウム, OS-12-6, 2016.

[発表 3] Etsuya Shibayama: Big Data and Related Research Programs in Japan, Big Data Standardization International Workshop, 2016.

[発表 4] 久米出, 中村匡秀, 田中康之, 新田直也, 柴山悦哉: デバッグ時の診断作業の質的な分析に向けた事例研究, 日本ソフトウェア科学会大会論文集，FOSE3-2, 2016.

[発表 5] 山田恒夫, 常磐祐司, 柴山悦哉, 中野裕司, 梶田将司, 日本版 NGDLE を考える, 大学 ICT 推進協議会年次大会, FB2, 2016.

[発表 6] Etsuya Shibayama: Updates on Big Data Research Programs in Japan, NSF BIGDATA and Big Data Hubs & Spokes Joint PI meeting, 2017.

[発表 7] 柴山悦哉: 理論と現実: 未来を創る若者に何を託すのか？, 数学教育学会春季年会予稿集, pp. 161-163, 2017.

報道関連

[報道 1] プログラミング学習の意義：世界を動かす原理を知る, 東京大学新聞, 2016 年 4 月 12 日.

[報道 2] 東大の iMac はハイパーバイザー型仮想化環境で El Capitan と Windows 10 が動く, ASCII.jp, 2016 年 4 月 26 日. http://ascii.jp/elem/000/001/155/1155369/

[報道 3] 並外れた運用と、けた外れの台数：東大が 1341 台の Mac を使う理由, ITmedia, 2016 年 4 月 27 日. http://www.itmedia.co.jp/pcuser/articles/1604/27/news056.html

[報道 4] 東京大学、学内の教育用計算機システム (ECCS) を更新 – 新たに 21.5 インチ iMac を 1,341 台導入, マイナビニュース, 2016 年 4 月 28 日. http://news.mynavi.jp/articles/2016/04/28/mac/

ゲームプログラミングに関する研究

田中 哲朗

1 概要

ゲームプログラミング研究の対象として、これまで将棋などの完全情報ゲームを主に扱ってきたが [特記 1]、コンピュータ将棋、コンピュータ囲碁が人間のトップのレベルを超えるレベルに達したため、本年度は、カーリング [発表 1] などの連続空間を扱うゲームや大貧民 [発表 2] のような不完全情報ゲームに関する研究をおこなった。

2 カーリング AI に対するモンテカルロ木探索の適用

2.1 背景

カーリングは氷上のチェスとも呼ばれるように、戦略が重視されているウィンタースポーツである。カーリングの戦略をコンピュータプログラムに作らせて、コンピュータプログラム同士を競わせる「デジタルカーリング」システムが電気通信大の伊藤毅志研究室のメンバーによって作成され、2015 年から大会が開催されている。

「デジタルカーリング」システムでは、ショット前の状態は完全情報として与えられ、ショットの初速度を与えた後のストーンの動きの物理モデルは完全に与えられるものの、システムに与える初速度に既知の確率密度関数に基づいた乱数を加えた形で、ショットの不確実性を与えることにより、人間のエラーを含んだ行動を模倣している。

2.2 内容

「デジタルカーリング」システムは、連続空間におけるマルコフ決定過程 (MDP) の問題として扱うことができる。カーリングにおいては、行動も連続的であるが、本研究では行動を離散的な少数の行動に制限して扱う。

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) を連続空間に拡張する手法を提案する。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、状態木 (State Tree) というデータ構造を提案し、近似計算するための式を提案した。

2.3 具体的成果

デジタルカーリングのログを可視化するために、図 1 のようなログビューアを作成し公開した [公開 1]。

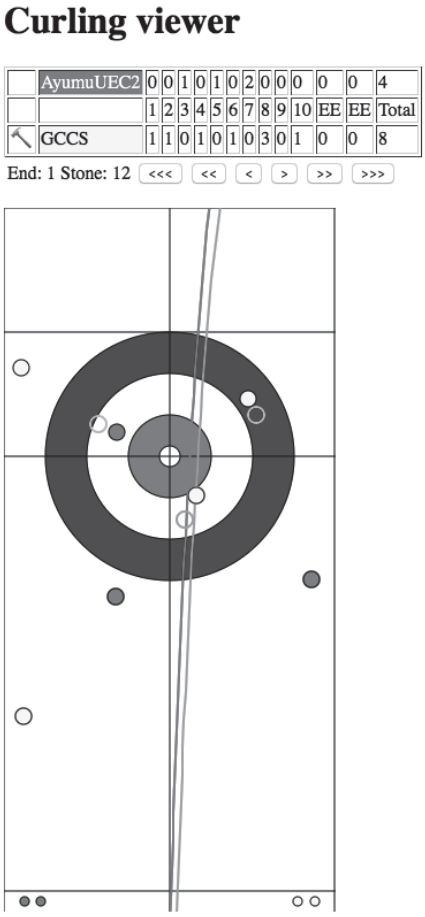


図 1: 作成したカーリングのログビューア

表 1: State - Tree MCTS の Pure MC に対する勝敗 (シンプルなシミュレーション方策)

	勝	延後	延先	負	換算勝率	平均
先攻	128	34	67	171	0.423	0.617
後攻	289	43	8	60	0.811	($p = 4 \times 10^{-11}$)

また、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。

以下では本研究で提案した状態木（State - Tree）を利用したモンテカルロ木探索によるプログラムを State - Tree MCTS、純粋モンテカルロ法によるプログラムを Pure MC と表記する。アクションの生成に用いる方策 (policy) としてシンプルな方策とカーリングに関する人間の知識を入れて決めたヒューリスティックな方策の両方を適用した 4 種類のプログラムを用いる。

試合数は先後を入れ替えて各 400 試合の計 800 試合を各対戦それぞれで行った。

State - Tree MCTS の Pure MC に対する勝敗と換算勝率、換算勝率の先後での平均、検定の結果を表 1 と表 2 に示した。

表 1 と表 2 より、2 条件双方で State - Tree MCTS は Pure MC に有意水準 5%で有意に勝ち越した。

単純なモンテカルロ法と比較して、木探索に拡張することで、有意に強くなることを確認できた。

表 2: State - Tree MCTS の Pure MC に対する勝敗（ヒューリスティックなシミュレーション方策）

	勝	延後	延先	負	換算勝率	平均
先攻	107	21	67	205	0.345	0.552
後攻	257	54	19	70	0.758	($p = 0.003$)

3 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 大渡 勝己, 田中哲朗: ゲームプログラミングワークショップ優秀論文賞, GPW 運営委員会, 2016 年 11 月

査読付論文

[査読付 1] Bi, Xiaoheng, and Tetsuro Tanaka: Human-Side Strategies in the Werewolf Game Against the Stealth Werewolf Strategy, International Conference on Computers and Games. Springer International Publishing, pp. 93 - 102, Leiden, the Netherlands, Jul. 1 - 3, 2016

公開ソフトウエア

[公開 1] 田中哲朗 : Curling viewer, https://github.com/u-tokyo-gps-tanaka-lab/curling_log_viewer, 2016 年 9 月

その他の発表論文

[発表 1] 大渡勝己, 田中哲朗: カーリング AI に対するモンテカルロ木探索の適用, 第 22 回ゲームプログラミングワークショップ 2016, pp. 180 - 187, 箱根, 2016 年 11 月

[発表 2] 大渡勝己, 田中哲朗: 大貧民の空場におけるパスの有効性の検証, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2017-GI-37, No. 11, pp. 1 - 8, 東京, 2017 年 3 月

特記事項

[特記 1] GPS 将棋: 第 26 回世界コンピュータ将棋選手権 15 位, コンピュータ将棋協会, 2016 年 5 月.

仮想化技術とオペレーティングシステムの研究

品川 高廣

1 概要

我々の研究室では、仮想化技術やオペレーティングシステム（OS）に関する研究をおこなっている。仮想化技術に関しては、仮想マシンモニタやハイパーバイザ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物理マシン上での OS 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。

- 仮想マシンモニタによる物理デバイスドライバ検証 [査読付 1]

  物理デバイスのデバイスドライバのデバッグや検証を目的として、仮想マシンモニタにより物理デバイスの状態を微妙に変化させることによって通常は起こりにくい状況を作り出し、デバイスドライバが適切に対応できるかどうか検証できる環境を実現した。

- 仮想マシンモニタによるデバイスドライバの開発及び維持管理コスト削減

  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。

- 仮想マシンモニタによるベアメタルクラウドにおけるハードウェア保護

  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。

- 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 [発表 3]

  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。

- VM 内の構造や統計情報を用いた適応的キャッシュプリフェッチ手法 [発表 1]

  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。

- 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 [発表 2]

  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。

- 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

  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。

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。

- 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
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（平成 28 年度）
- 富士通研究所 委託研究（平成 28 年 8 月～平成 29 年 3 月）

研究成果としては、まず昨年度まで JST の A-STEP の支援のもと株式会社イーゲルと共同で研究開発した vThrii という仮想マシンモニタが製品化され、東京大学を始めとして複数の大学に導入されて実運用が開始された。また、国際会議 ACM SAC 2016 における発表を 1 件 [査読付 1] おこなった。他には、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 2 件 [発表 2, 発表 3] おこなった。2016 年 11 月には、第 28 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 5 を企画立案・開催した。7 件の一般発表で構成し、20 名前後の参加者があった。また、BitVisor をベースに開発されて東京大学に導入された製品 vThrii に関して、ASCII.jp による記事が 3 件 [特記 2, 特記 3, 特記 4] 発表された。

以下、2 章では、東大を始めとした大学で導入された仮想マシンモニタによるシステム管理について、3 章では、仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーションについて、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、VM 内の構造や統計情報を用いた適応的キャッシュプリフェッチ手法について、6 章では、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 の高速化について、7 章では、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システム管理

2.1　背景

大学の計算機センターなどでは、千数百台といった多数の端末が配置されている場合がある。これらの端末は通常の PC や Mac などを使用し、ブラウザや Office などのアプリケーションのほか、CAD ソフトなどの非常に高性能な CPU や GPU を必要とするアプリケーションが使われることがある。

このような環境で使われてる端末は、それぞれローカルに HDD や SSD などのストレージを持っているが、それらは OS のアップデート、新しいソフトウェアのインストール作業などで定期的に更新する必要がある。しかし端末の台数が多い場合には、それらの端末を 1 台 1 台更新するのは大変な作業であるため、各端末のストレージを一箇所で集中管理したいという要求がある。

端末のストレージを一元管理するための最も基本的な手法はイメージコピーと呼ばれるものであり、OS 全体のイメージをサーバからネットワーク経由でコピーしてきて、ローカルのストレージに書き込む手法である。しかしこの手法では、コピーが完了するまでに非常に時間がかかる。

2.2　内容

本研究開発では、OS から非依存な形でネットワークブートしつつ、バックグラウンドで端末のストレージにサーバからディスクイメージを書き込む方式を実現した。ストレージとネットワーク以外はほとんど仮想化しない軽量な仮想マシンモニタを用いて、OS からストレージへのアクセスをネットワークにリダイレクトして OS がすぐに起動して使える状態にしつつ、仮想マシンモニタのレイヤでサーバからディスクイメージを取得してローカルディスクに書き込むようにした。ローカルディスクへの書き込みを全て終えた後には、OS からストレージへのアクセスは全てローカルストレージへのアクセスと同等の速度になるため、ネットワークブートのような即時使用可能性を持ちつつ最終的にはローカルブートと同等の速度を実現することが出来る。また、GPU や通常の I/O デバイスへのアクセスは仮想化しないため、CAD などの高性能が要求されるアプリケーションであっても通常の端末と同等の感覚で使用することが出来る。

2.3　具体的成果

実際に vThrii という名前で製品化され、教育用計算機システム（ECCS）を始めとした複数の大学に導入されて実運用がおこなわれた。東京大学においては、およそ月 1 回のペースでイメージ配信がおこなわれており、問題なく動作している。また、イメージの作成に不備があって、vThrii の機能で 1

つ前のイメージに戻すということも実際におこなわれ、想定通りの機能を発揮していることが確認されている。

3 仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーション

3.1 背景

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

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

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

3.2 内容

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

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

3.3 具体的成果

マルチコア対応のライブマーグレーションシステムを実装して評価をおこない、国際ジャーナルに投稿するための論文にまとめる作業をおこなった。

4 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の実現

4.1 背景

Windows や Linux のなど多くの OS では、デバイスドライバがシステムクラッシュの原因の多くを占める。例えば、Linux カーネルではデバイスドライバのコードが約 70%を占め、その不具合の密度はデバイスドライバ以外のコードに比べて、3〜7 倍であることが知られている。そのため、OS の安定性を維持するためには、デバイスドライバの検証が重要である。

しかし、特定のまれな条件やタイミングでのみ起こるような不具合は、再現することが難しい。例えば、デバイスがハードウェアエラーを起こした時のエラー処理などは、実際に試すためには意図的にハードウェアエラーを引き起こす必要があるが、これは一般には用意には実現できない。そのため、このような場合のエラー処理は十分に検証をおこなえない可能性がある。

4.2 内容

本研究では、仮想マシンモニタを用いて、OS やハードウェア、デバイスドライバのソースコードに依存せずに、一般的なハードウェア上で実デバイスドライバの検証を行う手法を実現した。

まず、デバイスとデバイスドライバの状態を把握するために、対象となるデバイスドライバが動作する OS を、準パススルー型仮想マシンモニタ上で動作させる。これにより、ゲスト OS のデバイスドライバに物理デバイスを直接見せて制御させつつ、デバイスドライバから物理デバイスへの I/O を監視する。

次に、検証対象となる物理デバイスへのアクセスに対して、意図的に誤った値をランダムに挿入することをおこなう。例えば、特定のビットを反転させたり 0 や 1 に固定したりすることによって、ハードウェア故障が発生した状態を意図的に作り出す。このような状況を機械的に数多く作り出すことで、OS やデバイスドライバが適切に対応できずにクラッシュするような状況を探し出すことが出来る。

今年度はこの検証手法を自動的に複数のデバイスに対しておこなえるようなシステムを構築し、様々なデバイスに対して実際に検証をおこなって、いくつかのバグを新たに発見した。

4.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 31st ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2016) で論文として発表した。また、新たなデバイスを対象として自動化したシステムで多数の実験をおこない、国際ジャーナルに投稿するための論文にまとめる作業をおこなった。

5 VM 内の構造や統計情報を用いた適応的キャッシュプリフェッチ手法

5.1 背景

性能、容量、およびコストの点で異なる特性をもった記憶装置をで構成される階層型ストレージシステムを構築することは、費用効果が高い。たとえば、SSD は HDD よりもはるかに高速だが、SSD のほうが当面は高価である。従って、SSD と HDD のハイブリッドストレージシステムは、より高いコストパフォーマンスを実現できる。さらに、新たに登場するストレージクラスメモリにより、より新しい構成が可能になることが予想される。

高速なデバイスをキャッシュとして使用する手法が、多くの研究で提案されている。キャッシングの有効性は、空間的および時間的局所性に大きく依存する。限られた領域に対してストレージアクセスが実行され、その領域が時間の経過と共に変化しない場合、キャッシュによってアクセス要求がより高速のデバイスに対しておこなわれることを可能にし、それによって全体的なパフォーマンスが向上する。キャッシュ・プリフェッチは、ファースト・アクセス・レイテンシを削減することでパフォーマンスをさらに向上させる。アクセスパターンが予測可能である場合、アクセスされる領域をプリフェッチすることにより、キャッシュヒット率が向上する。プリフェッチは、時間的局所性の変化に追従するためにも有効である。

しかし、IaaS クラウドでは、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ローカリティは、2 つの理由により大幅に減少する。まず、ゲスト OS 上のファイルデータは、ゲストおよびホストファイルシステム、ボリューム管理、仮想ディスク管理などのストレージ仮想化レイヤーによって複数回再配置される。ファイルデータが論理的に連続していても、それらは複数の領域に分割され、ホストストレージシステムのランダムな場所に配置されてしまう。したがって、ゲスト OS の空間的局所性がホスト OS で失われる可能性がある。

また、IaaS クラウドはマルチテナントであり、単一のホスト OS 上で複数の仮想マシン（VM）を実行する。各 VM は異なるワークロードを持ち、ストレージアクセスはホストストレージシステムに集約される。その結果、複数のワークロードが混在することによって、空間的局所性が減少してしまう。さらに、VM のワークロードは、IaaS クラウド内の他のホストとの間で頻繁に生成、破棄、マイ

グレーションされるため、時間とともに変化する可能性がある。そのため、ゲスト OS のアクセスローカリティが定期的に失われる可能性がある。この場合、ゲスト OS の空間的局所性がホスト OS で失われ、ホストストレージシステムのアクセスパターンが予測できないため、キャッシュプリフェッチは有効ではない。

5.2 内容

本研究では、IaaS クラウドにおける階層ストレージシステムのためのキャッシュプリフェッチ方式を提案する。ゲスト OS で動作するエージェントプログラムと連携して、VM 内情報を活用して、空間的および時間的局所性を獲得する。空間的局所性を取得するために、アプリケーションとゲスト OS からゲストファイルの使用状況と内部ファイルレイアウト情報を取得する。ゲストファイルシステム内のファイル断片位置を特定することにより、ホスト OS は、ホストストレージシステム内の空間的局所性を再構成し、効果的なキャッシュプリフェッチを実行することができる。アクセスローカリティの変化を検出するために、ゲストアプリケーションの動作を監視し、現在アクセスされているデータの場所を特定する。ホスト OS は、ゲスト OS のアクセスパターンの変化を速やかに検出することにより、キャッシュプリフェッチを適応的に行うことにより、キャッシュヒット率の低下を防ぐことができる。

キャッシュプリフェッチは効果的であるが、過剰なプリフェッチはアプリケーションのストレージアクセスに影響を与え、その全体的なパフォーマンスに悪影響を及ぼす。これを防ぐため、アプリケーションのパフォーマンス統計を監視し、プリフェッチ速度を動的に調整する。

5.3 具体的成果

プロトタイプ実装をおこない、ゲスト Linux カーネルと通信してファイルシステムのレイアウトを取得し、PostgreSQL に問い合わせて現在アクセスされているファイル情報を取得できるようになった。TPCx-V ベンチマークを使用した予備実験では、我々の手法は FlashCache の 3.2 倍の性能を発揮することがわかった。研究成果を論文にまとめて、国際ワークショップに投稿をおこなった。

6 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

6.1 背景

計算機を構成するハードウェアには、CPU やメモリの他、ストレージやネットワークなどの I/O デバイスがある。従来は CPU の処理速度が圧倒的に高速であったため、I/O デバイスの性能を引き出すために複雑なソフトウェアスタックを用いてきた。しかし、10Gbps のネットワークインターフェイスカード（NIC）や不揮発性メモリ（NVM）の登場で I/O デバイスが高速化したため、ソフトウェアで複雑な処理をおこなうと I/O デバイスの性能に追いつかなくなってしまう。従って、ハードウェア性能を最大限に生かす為には、従来のソフトウェアスタックを再構成する必要がある。

本研究では、代表的な Web アプリケーションの一つである永続性 Key-Value Store (KVS）を対象とし、その高速化をおこなう新しいソフトウェア構造を提案する。KVS は多くの Web サービスにおいてバックエンド処理で利用されており、その処理の高速化はサービス全体の性能向上に寄与する。

従来の KVS を 10G NIC や NVM を搭載した環境で動作させると、(1) ネットワークスタックの処理、(2) ストレージスタックの処理、(3)CPU 負荷の集中の 3 点でボトルネックが発生する。(1) では、10G NIC で最小サイズのパケットを送受信すると、1 パケットあたり約 70ns しか処理時間がないため、従来の TCP/IP やソケットなどの処理を OS でおこなっていると、ハードウェア性能を引き出すことが難しい。(2) も同様に、メモリと同程度のアクセス速度がある NVM では、従来のファイルシステムを経由するとソフトウェアのオーバーヘッドが大きい。(3) については、最近の CPU はマルチコアである

ため、コア間で適切に処理を分散することが重要であるが、従来は処理の内容に基づくコアの選択をおこなっていないため、コア間で処理が偏ったりキャッシュを有効活用できなかったりする。

6.2 内容

本研究では、永続性 KVS に特化することでハードウェア性能を最大限引き出すことが出来るソフトウェア構造を提案する。(1) については、KVS に特化して TCP/IP などのプロトコル処理を簡略化し、ゼロコピーで NIC から直接ストレージに書き込めるネットワークスタックを構築する。(2) については、NIC から NVM に対して直接 DMA で書き込めるようなデータ構造を構築する。(3) については、Intel Flow Director を活用して、KVS クライアント側でキーに基いたコア選択をおこなって、処理を適切に分散できるようにする。

6.3 具体的成果

プロトタイプの実装をおこない、国内シンポジウムでポスター発表をおこなった。

7 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

7.1 背景

仮想マシンモニタ（VMM）はサーバ用途で多く用いられているが、長時間連続的に稼働するとシステムの劣化、つまりソフトウェアエージングを引き起こすことがある。ソフトウェアエージングはパフォーマンスの低下や予期せぬシステムダウンを引き起こす要因となるため、これを予防するためには定期的にソフトウェア若化をおこなうことが有効である。ソフトウェア若化の典型例としては再起動があるが、サーバ用途で用いられている VMM の場合、再起動によるシステムダウンが与えるユーザへの影響は大きい。

仮想化環境で再起動によるシステムダウンを避ける手法としては、ライブマイグレーションがある。ライブマイグレーションでは、稼働中の仮想マシン（VM）を止めることなく別の物理マシンに移動することが出来る。そこで、再起動したい VMM 上で動作している VM を全て別のマシン上に移動することにより、サービスを停止せずに VMM を再起動できる。しかしマイグレーションは、VM の状態をネットワークを介して送るため、ネットワークに高い負荷がかかってしまう。

従来の研究では、ネステッド仮想化を用いて一台の物理マシン上で VMM を二つ動作させ、その間でライブマイグレーションをおこなうことでネットワーク転送のコストを削減する手法が提案されている。この手法はマイグレーションコストの削減には有効であるが、ソフトウェア若化をおこなわない時でも常にネステッド仮想化をおこなうことになるため、通常運用時のオーバーヘッドが大きくなってしまう。

7.2 内容

本研究では、ネステッド仮想化を実行時に動的に ON/OFF できる軽量ハイパーバイザを用いることで、VMM の若化をおこなうときだけネステッド仮想化を ON にして VMM を二つ動作させ、VM のライブマイグレーション及び VMM の再起動による VMM 若化が終了したらネステッド仮想化を OFF にする手法を提案する。これにより、物理マシン間の VM マイグレーションによるコストは抑えつつ、通常運用時のネステッド仮想化のオーバーヘッドを削減することができる。また、VMM を二台動作させるためにはハードウェア分割を用いることで、VMM 若化を実現するためのハイパーバイザの構造を簡略化し、VMM 若化中のオーバーヘッドも削減する。

7.3 具体的成果

プロトタイプの実装をおこない、国内シンポジウムでポスター発表をおこなった。

8 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 品川 高廣．ECCS2016 における in Campus Device と vThrii の導入効果．第 32 回課題解決ソリューションセミナー，東京，2016 年 6 月．基調講演．

査読付論文

[査読付 1] Satoru Takekoshi, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: Testing Device Drivers against Hardware Failures in Real Environments. In Proceedings of the 31st ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2016), Apr 2016.

その他の発表論文

[発表 1] 松沢 敬一, 品川 高廣．仮想マシン内のデータ配置を活用した先読み型ストレージ階層管理．第 28 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2016)，2016 年 11 月。

[発表 2] 味曽野 雅史, 品川 高廣．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．第 28 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2016)，東京，2016 年 11 月。

[発表 3] 安岡 亮輔, 深井 貴明, 品川 高廣, 加藤 和彦．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．第 28 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2016)，東京，2016 年 11 月．

特記事項

[特記 1] BitVisor Summit 5 開催（第 28 回コンピュータシステム・シンポジウム 併設イベント）、2016 年 12 月，http://www.bitvisor.org/summit5/

[特記 2] 東大の iMac はハイパーバイザー型仮想化環境で El Capitan と Windows 10 が動く．ASCII.jp 2016 年 4 月 26 日．http://ascii.jp/elem/000/001/155/1155369/

[特記 3] インストール不要で複数 OS が高速起動する東大の変態 Mac．ASCII.jp 2016 年 5 月 18 日．http://ascii.jp/elem/000/001/162/1162651/

[特記 4] 東大変態 Mac を支える Apple 抜きオールジャパン体制に胸熱！ASCII.jp 2016 年 6 月 28 日．http://ascii.jp/elem/000/001/181/1181310/

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 の運用、及び教育用計算機システム (ECCS) の運用、その他業務を支援するウェブベースのツールの開発などを、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 年度に取得した、国際的に有名な大学のシラバスデータを用いて、研究を行っている。対象とする大学の抽出に当たっては、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] を用いた。

[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

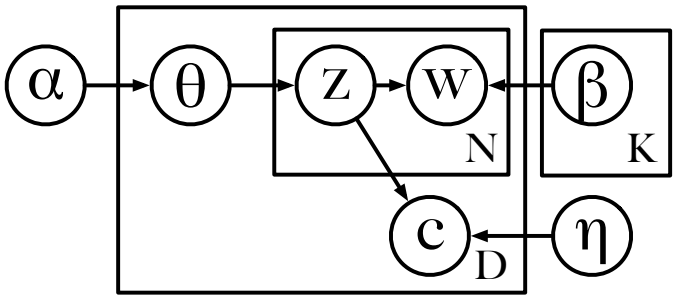


図 1: ssLDA のグラフィカルモデル

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 大学である。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。

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。しかし、一部の大学 (TUDelft, UTokyo, TUM, KUL, Kyoto, and ECOLE) については、英語で書かれたシラバスがほとんど得られなかったことから、それぞれの国の言語で記述されたシラバスを Google Translate で翻訳した結果を分析対象のシラバスに加えている。

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、昨年度に開発した 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。ssLDA のグラフィカルモデルを図 1 に示す。2016 年度に変更した点はないため、詳細は割愛する。

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。例として、ある大学の講義 “Human-computer interaction” を分析した結果を表 2 に示す。表では分析対象のシラバスと、CS2013 の KA との関係の強さを、合計が 100 になるように正規化してある。本講義は CS2013 のレポートでも HCI の course exemplar [2] として挙げられており、ssLDA による分析結果は、各 KA との関わりの大小があるものの、HCI との関係が最も強くなっている。このように、特定のカテゴリ/クラスタに分類するのではなく、関わ

[2]「代表的な講義」とでも解釈すれば良いか。

```
Human-computer interaction

This unit provides a detailed understanding of the underpinning
theories, principles and practices of interface design for
computer-based systems. It examines issues in the design of system
interfaces from a number of perspectives: user, programmer,
designer. It explores the application of the relevant theories in
practice. The unit will cover topics such as methods and tools for
developing effective user interfaces, evaluation methods such as the
conduct of usability and heuristic evaluations, design of appropriate
interface elements including the design of menus and other
interaction styles. ...
```

図 2: ある大学の講義 “Human-computer interaction” のシラバスの一部

表 2: 図 2 のシラバスを CS2013 BOK に基づいて分析した結果

AL	AR	CN	DS	GV	HCI	IAS	IM	IS	NC	OS	PBD	PD	PL	SDF	SE	SF	SP
1.5	1.5	6.8	2.7	1.3	47.7	1.2	1.3	1.6	1.3	1.9	1.2	1.2	1.3	11.2	2.1	1.3	13.1

りの強弱が得られるのは LDA の特徴である。

一方、そもそも講義の内容が複数の KA のトピックを扱うものであると同時に、KA 同士も互いに関わりがある。例えば、IAS はセキュリティに関するトピックをまとめた KA であるが、その内容は OS の “Security and Protection” や SE の “Software Construction” など他の KA のトピックにも関わるものである。

そこで、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づけを表すベクトルを、3000 個のシラバスで張られる空間内での、18 個の KA の位置づけを表すベクトルとして扱うことで、KA 同士の距離を求めることとした。更に、Ward 法による階層的クラスタリングを行った結果を図 3 に示す。図の破線部分で分割するならば、18 個の KA を表 3 に示す 4 つのクラスタに分割できる。但し、解釈はそれぞれの KA の内容を考慮して適当に名前を付けたものである。これは大まかな分類に過ぎないが、収集したシラバスの内容が間接的に反映されたものであることから、実際の講義で一緒に扱われる内容が考慮された KA 同士の関係を得たものといえるだろう。参考までに図 2 のシラバスを CS2013 BOK で分析した上で、表 3 のクラスタとの関係を求めた結果を表 4 に示す。主に人間 (HUMAN) に関わる講義であると言えるだろう。

このように 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、表 3 の 4 つのクラスタ、そして著名な大学のコース、それぞれと当該講義との関係を参照可能なウェブサイト CS2013Data (`https://rp3.ecc.u-tokyo.ac.jp/cs2013data/`) を構築して公開した。CS2013Data の大まかな仕組みを図 4 に示す。

表 3: KA の 4 つのクラスタ:

cluster	含まれる KA	解釈
1	HCI, SP, SE	HUMAN
2	AL, DS, CN, GV, IS	THEORY
3	PBD, PL, SDF	SOFTWARE IMPLEMENTATION
4	AR, SF, OS, PD, IAS, NC, IM	HARDWARE IMPLEMENTATION

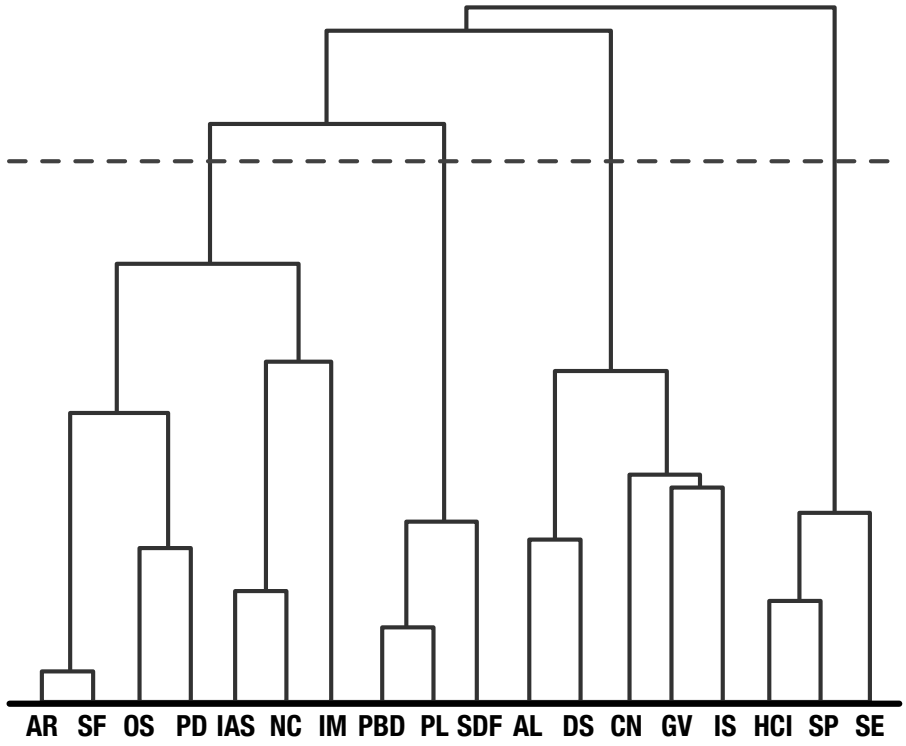


図 3: Ward 法を用いた階層的クラスタリングによって KA 同士の関係を求めた結果

表 4: 図 2 のシラバスと表 3 のクラスタとの関係。

HUMAN	THEORY	SOFTWARE IMPLEMENTATION	HARDWARE IMPLEMENTATION
62.9	13.8	13.7	9.6

図 4 右側の “Setup Processes” として囲まれている部分は、前処理として事前に行う処理である。CS2013 BOK を ssLDA で処理することで得られたモデル “Model of CS2013” と、さらにそのモデルを用いて、実際のシラバスを分析して得られる KA 空間内での講義シラバスの位置 “Positions of Syllabus in KA space” を予め得ておく。

CS2013Data を利用した際に行われる処理は、図 4 左側の “Main Steps” である。シラバスを入力する (1. Input Syllabus) と、不要な記号を取り除くなどの前処理 (2. Preprocess) が行われる。次に、ssLDA を用いて CS2013 BOK の KA との関係を得る (3. Projection) を行った上で、THE のランキング上位大学の中から類似のシラバスを見付ける (4. Similarity Analysis)。最後に、KA との関係、表 3 のクラスタとの関係、更に類似のシラバスを表示する (5. Display)。入力したシラバスを分析した結果を示すスクリーンショットを図 5 に示す。入力するシラバスの長さやその中に CS2013 BOK と同じ単語がどの程度含まれるかに因るが、300 語程度までであれば、概ね 10 秒以内には処理が完了して結果が表示される。

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、論文として取り纏めて投稿中であるが、現時点で採録されたものは無い。

ウェブサイト CS2013Data を公開済みである他、コマンドラインで分析するためのツールを GitHub

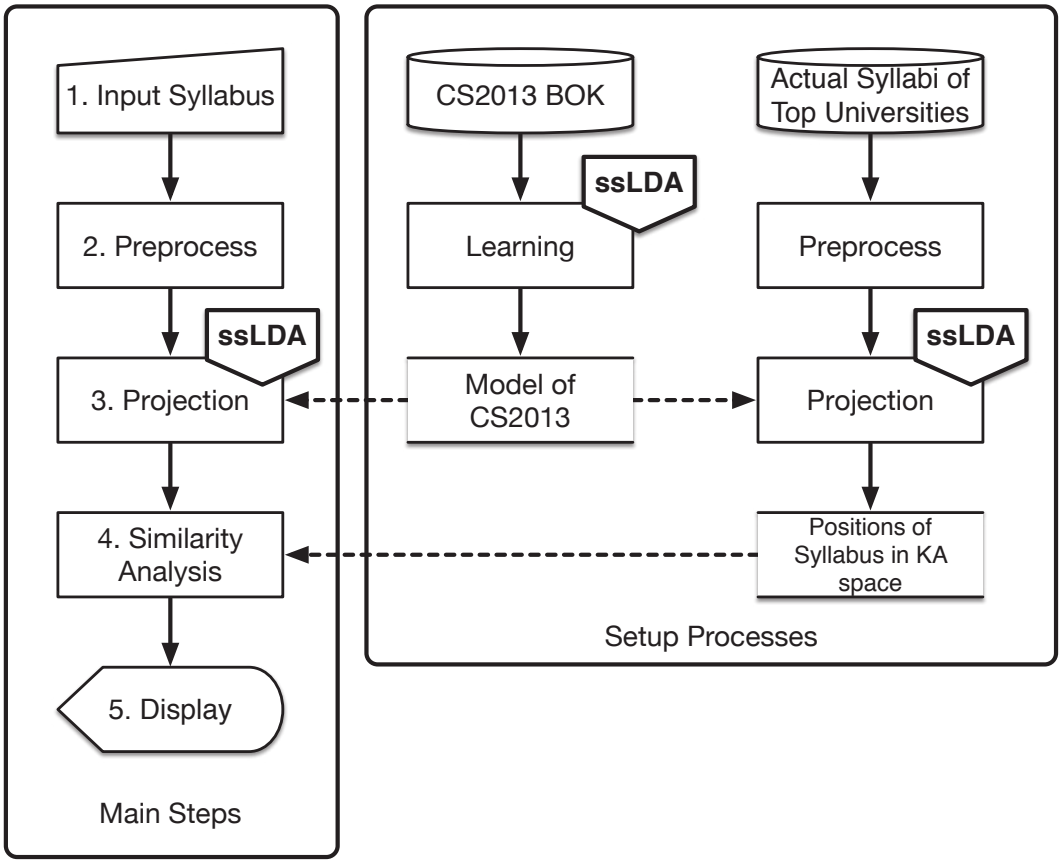


図 4: CS2013 BOK と THE ランキングの上位大学のシラバスを用いて、任意のシラバスを分析するサイト CS2013Data のアーキテクチャの処理の概要。

上で公開[3] している。本ツールは、図 4 の “Model of CS2013” 相当のデータと簡単なスクリプト類を含むパッケージで、処理対象のテキストと CS2013 の BOK 及び 3 のクラスタとの関係を求めることができる。

3 成果要覧

特になし。

[3] https://github.com/sekiya93/CS2013Data

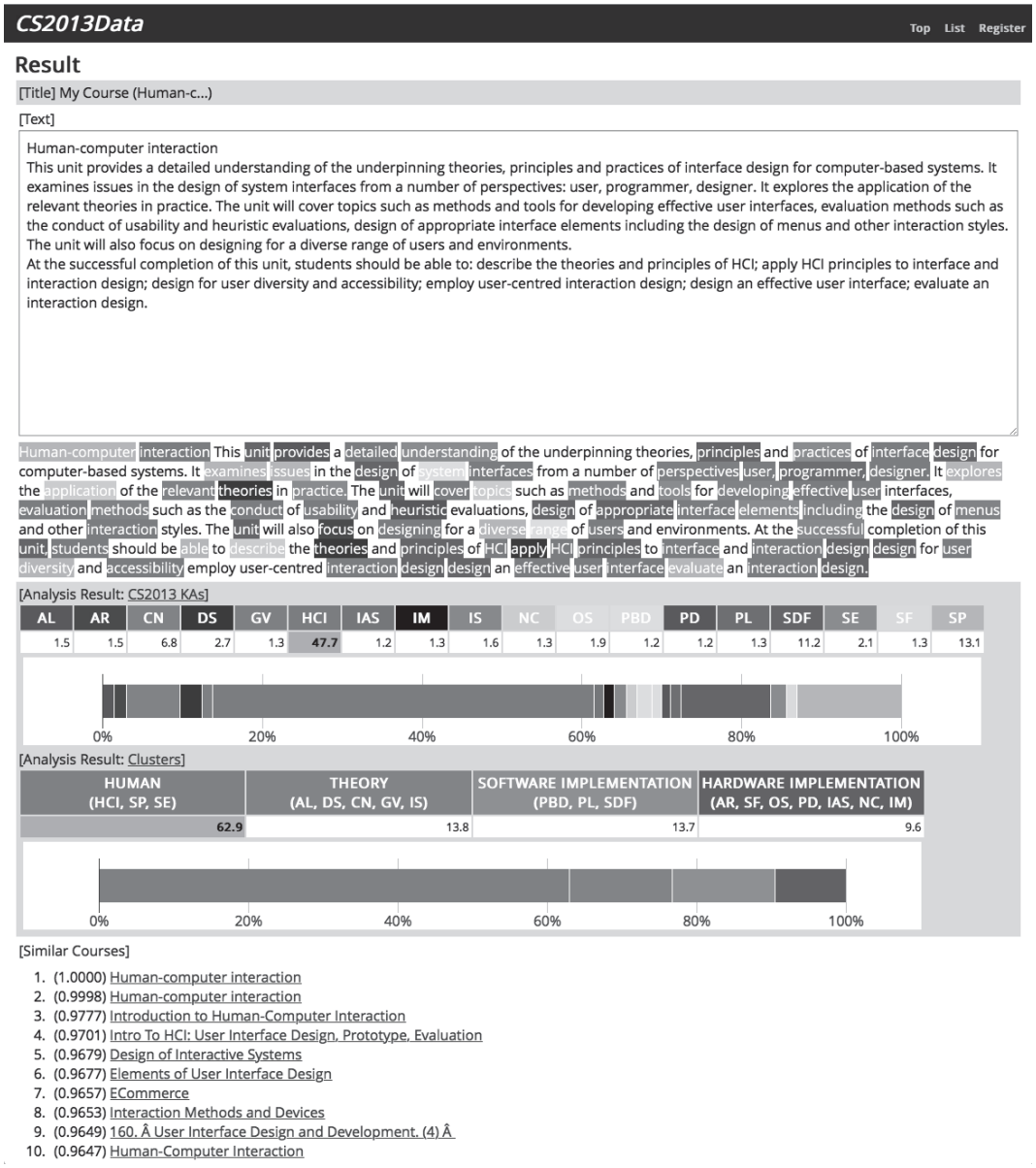


図 5: CS2013Data でシラバスを処理した結果を示すスクリーンショット

ソフトウェア化されたネットワークの管理に関する研究

及び

ネットワークセキュリティに関する研究

岡田和也

1 概要

平成 28 年度は、1) ソフトウェア化されたネットワークの管理に関する研究、2)ネットワークセキュリティに関する研究と活動, 3) Software Defined Networking (SDN) 技術を利用した Internet eXchange に関する研究・技術開発に取り組んだ。

1)のソフトウェア化されたネットワークの管理に関する研究では、Network Function Virtualization (NFV) などネットワーク機能がソフトウェア化された環境における障害検知・性能監視の課題に取り組んでる。

2)のネットワークセキュリティに関する研究では、トラフィック・DNS ログを活用した攻撃検知について外部の研究者らと協力して取り組んでいる。特に他分野で多く利用されている機械学習を、異常検知を始めとしたネットワーク分野への応用を研究している。

3)の SDN を利用した IX に関する研究・技術開発では、WIDE プロジェクトにて運用しているアカデミック IX である Programmable Internet eXchange in Edo (PIX-IE) として SDN IX を実装し運用している 。今年は、当該 IX の運用と技術開発を続けるとともに、米国の学術研究ネットワーク運用組織の会合において、PIX-IE で利用している技術や実装について発表した [発表 1]。

2 ソフトウェア化されたネットワークの管理に関する研究

2.1 背景

固定・移動体通信事業者では、通信量の増加に耐えうる強固なネットワークが必要とされると同時に、顧客毎に要望の異なるセキュリティ機能、認証、コンテンツキャッシュといった様々な付加機能の提供が求められている。こうした背景から通信事業者では、通信量の増加に伴う設備投資費と運用費を削減しつつ、柔軟に付加機能を顧客に提供するための技術としてネットワーク機能仮想化（NFV: Network Function Virtualization）技術が注目されている。NFV では、ソフトウェアにより仮想化されたルータ、NAT、ファイアウォール等のネットワーク機能（VNF: Virtual Network Function）を用いてサービスを構成する。VNF は、仮想マシン（VM）を利用した仮想アプライアンスとして提供される。そのため、複数の VNF を一つのサーバ上に多重化し、ネットワークサービスに必要な機器数を削減し設備投資費を大幅に削減できる（図 1）。

一方、VNF 間の転送は従来の IP アドレスによる経路とは異なり、利用者単位で転送先の VNF が決定される。従って、IP ネットワークで用いられている死活監視、経路確認手法を適応できず、VNF の障害を迅速に検知できない問題がある。しかし、通信事業者において安定したサービスを提供するには、NFV 環境で発生する障害を検知するための監視機構が必要不可欠である。

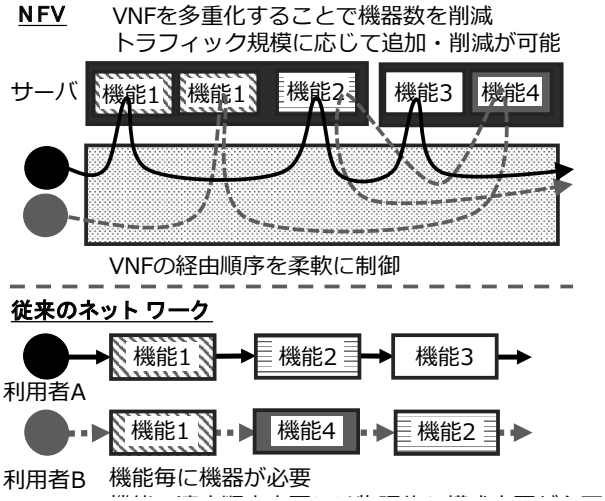


図　1. 従来 IP ネットワークと NFV でのパケット転送

2.2　内容

NFV ではソフトウェアによる機能の仮想化と多重化により論理構造と物理構造の乖離が大きく、通信障害の原因究明が困難になる。特に VNF 間のパケット転送には既存のヘッダ情報に加えて、パケットに埋め込まれた顧客毎の識別子[1]も用いられる。そのため、従来の IP ネットワークで用いられていた ICMP による監視手法だけでは NFV ネットワーク上の障害を検知できない。通信機能のソフトウェア化は設備投資削減と顧客の要求の多様化から避けられない。一方で安定した通信サービスの提供には、正常にサービスが機能していること監視する機構が必要不可欠である。NFV における監視の問題点をまとめると次の 2 点になる(図 2)。

1)　VNF の死活・経路監視が困難

VNF の中には、コンテンツキャッシュ、DPI のように装置が IP アドレスを持たない透過型の VNF も存在する。従来の監視に用いられていた ping, traceroute コマンドでは、装置が応答できないため死活監視、経路確認ができない。

2)　VNF の正常性確認が困難

VNF では機能に応じてパケットの書き換えや、内容に基づいた応答、破棄が行われる。そのため、たとえパケットが宛先端末に到達したとしても、パケットが正常に処理されたか否かを判別できない。

これまでに著者は、SDN 技術である OpenFlow を用いた Internet eXchange (IX) の設計と実装、LISP を用いた DDoS 攻撃緩和に関する研究を行ってきた。研究過程で上記の問題に直面しており、ネットワークの障害原因特定や設定の正しさを確認するために各スイッチの転送ルール確認を行うなど、運用者に大きな負担が掛かることを認識している。こうした運用者の負荷は、障害対応に関わる運用費を増加させてしまう。

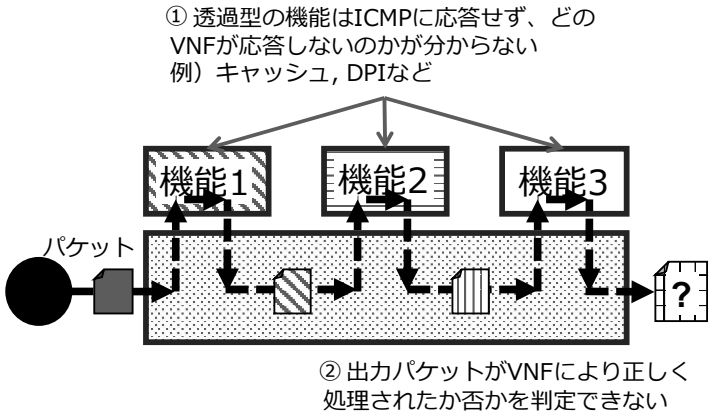


図 2. NFV における障害検知と正常性確認の問題

本研究では、ソフトウ ェア化された通信基盤において VNF の監視機構を設計・実装する。この機構の研究にあたっては、NFV 環境の運用者を利用者として想定し、下記の 3 点を考慮した設計と実装を目標としている。

- 特定の NFV 環境に依存しない汎用性を備える
- VNF のパケット転送性能を損なわない
- NFV の規模に依存しない規模拡張性を備える

2.3 具体的成果

本年は、NFV を実際に構築する基盤技術について調査と検証を行った。特にオープンソースソフトウェアを活用して NFV 環境を構築する OPNFV プロジェクトのツールに沿った環境を構築し、NFV の現状について調査した。また、インターネット技術の標準化団体である Internet Engineering Task Force (IETF) 内で議論されている NFV における operations, administration and maintenance (OAM) 技術の標準化動向について調査した。今後は、前述の NFV における障害検知・正常性確認機能について設計し実装を行う。

3 サイバーセキュリティにおける脅威検知・解析技術に関する研究

3.1 背景

年々高度化・複雑化するサイバー攻撃に対して、アンチウィルスソフト等の既存技術での対応には限界がある。複雑化するサイバー攻撃に対処するには、多種多様なデータを利用した脅威検知・解析技術を確立が必要不可欠である。

本研究は、日本電信電話株式会社 セキュアプラットフォーム研究所と共同研究契約を締結し 2016 年 10 月から共同で実施している。また、別の枠組みとして東京大学と IIJ イノベーションインスティテュートのメンバらと共に機械学習のネットワーク分野への応用について研究している。

3.2 内容

共同研究では、大きく分けて下記の4つの研究課題に取り組んでいる。

1. マルウェア感染端末検知の検討・評価
2. 悪性 URL・悪性ファイル判定方法の検討・評価
3. 公開 Web サーバ攻撃検知の検討・評価
4. DDoS 検知の検討・評価

それぞれの手法について、実際のデータを利用して解析を行い手法の確立を目指している。特に近年、画像処理・自然言語処理の分野で大きな成果を上げている深層学習をネットワーク分野にも応用することに注力している。他分野と比べてネットワーク分野では、深層学習の応用が広まってきたところである。深層学習の特徴を利用することで、未知の攻撃の発見・ネットワークサービスの障害検知が期待される。そのために必要な、リアルタイムでのトラフィック、各種システムログの収集機構の確立、学習のためのデータ加工、ニューラルネットワークの設計に取り組んでいる。

3.3 具体的成果

共同研究の成果として[発表 3]の論文を国内研究会にて発表した。また、WIDE プロジェクトの主宰する研究会にてネットワーク研究者・技術者を集めて、深層学習のネットワーク分野への応用について発表を行い、様々な意見をいただいた。来年度は、本研究の研究成果を論文として発表する。また、活動を発展させるために、関係者らと共に予算獲得を目指す。

4 欧州とのサイバーセキュリティプロジェクト

サイバーセキュリティに関連して、欧州の研究機関との交流を行なった。2017 年 3 月 15 日から 3 月 17 日にフランス・パリ市内で開催されたフランス・日本セキュリティ関係者の意見交換会と視察に日本側使節団の一員として参加した。今回の訪問に日本からは、東京大学に加えて奈良先端科学技術大学院大学、北陸先端科学技術大学院大学、JPCERT/CC、情報通信研究機構、NTT 研究所から合計 11 名が参加した。 学術研究機関、企業、国家プロジェクトの研究者からフランスでの研究開発体制、IoT セキュリティ、産業システムセキュリティに関する取り組みについて紹介いただけ、それぞれ意見交換と議論を行った。

2017 年 6 月から始まる Horizon 2020 の EUNITY プロジェクトでは、欧州と日本の産官学の計 12 組織が参画し、サイバーセキュリティについての状況分析 将来の国際的な研究開発プロジェクト提案を目指す。年に数回、プロジェクト参画組織を含む各国のセキュリティ関係の企業、研究機関などを集めたワークショップを開催し、サイバーセキュリティの現状の俯瞰と将来必要となる技術課題について幅広い議論を行う。その後、欧州の Horizon 2020 を含む研究開発予算に応募する予定である。

フランス・パリ市内で開かれた会合の様子（左：テストベッド施設見学　右：会合会場）

5 成果要覧

著書／編集

[著書 1] 岡田和也, 関谷勇司:インフラエンジニア教本　セキュリティ実践技術編(3 章担当), 技術評論社, 2017 年 4 月 24 日.

その他の発表論文

[発表 1] 岡田和也: PIX-IE: Programmable Internet eXchange in Edo, Tecnology Exchange 2016, Interrnet2, アメリカ　マイアミ, 2016 年 9 月.

[発表 2] 岡田和也, 宮本大輔, 関谷勇司: 日欧協調によるマルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発, ICT イノベーションフォーラム 2016, 千葉, 2016 年 10 月.

[発表 3] 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, ICSS 研究会, IEICE-ICSS2016-52, 長崎, 2017 年 3 月.

特記事項

[特記 1] XDOM0 Workshop on Security and Dependability of Multi-Domain Infrastructures, EuroSys2017 併設ワークショッププログラム委員.

[特記 2] APNet2017 First Asia-Pacific Workshop on Networking, ポスターセッションプログラム委員.

学術情報研究部門

学術情報研究部門概要

中川 裕志
プライバシー保護の制度と数理モデル

荒井 ひろみ
分散データのプライバシーを保護した利用法

学術情報研究部門

概要

中川裕志

1 概要

2016 年度、プライバシー保護の制度と技術課題に関して研究を行った。具体的には、以下に示すテーマの研究を行った。

(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 PWSCUP に参加し、出場 15 チーム中 1 位の成績を得た。[受賞 2][発表 1][招待 1],[特記 1], [報道 1]
(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方法として、個人データはデータ主体個人の管理におく方法が注目されてきている。このテーマに関してプライバシー保護の観点、ビジネスモデルの観点から調査、検討を行なった。[招待 2] ,[招待 4], [発表 5], [発表 6],
(3) 個人ゲノム情報利用におけるプライバシー保護について、個人ゲノムを用いたDTC のゲノム検査を例に、加工データのリスク評価の研究を行った。ゲノム検査会社は提供されたユーザーの個人ゲノムを元に疾病リスクを計算し、ユーザーに提供する。この疾病リスクはゲノム情報を陽に含まないが、プライバシーリスクの存在が懸念される。本研究では疾病リスクから個人ゲノムが推定されるプライバシーリスクの定量のための技術開発及び実データを用いた検証を行った[査読付 1]。さらに、匿名ゲノムデータベースを、それと相関のあるゲノム情報から脱匿名化されるリスクを指摘、評価した[発表 4] [受賞 1].
(4) 分散データを暗号化したまま計算するための暗号技術及びプライバシーリスクのある情報利用について概説した[査読付き 1],[発表 7]。

2 成果要覧

受賞

[受賞 1] CSS2016(PWS セクション)秋田, 2016 年 10 月 12 日 (PWS 論文賞受賞):高山晃一、荒井ひろみ,中川裕志: 匿名ゲノムデータベースに対する連鎖不均衡を用いた脱匿名化攻撃の提案と評価.
[受賞 2] 第 2 回プライバシーデータの匿名化、再識別コンテスト PWSCUP2016 優勝:チーム名 :T-AND-N(中川拓麻、出町彰啓、高山晃一、荒井ひろみ、中川裕志)

招待講演／招待論文

[招待 1]中川裕志:最強攻撃者モデルにおける履歴データのプライバシー保護, ESTRELA No.276, pp.14-20 , 2017 年 3 月

[招待 2]中川裕志:COCN IoT Project, イノベーション創出のエコシステム 第 10 回ワークショップ, URL, 早稲田大学 共創館, 2017 年 3 月 2 日

[招待 3]中川裕志:シンギュラリティ以前の諸問題, 京都大学第 18 回情報学シンポジウム「人工知能と未来」, 京都大学百周年時計台記念館百周年記念ホール,2017 年 2 月 23 日

[招待 4]Hiroshi Nakagawa. Panelist of Closing Panel:New Opportunities and Challenges for Internet Privacy using ICN, 3rd ACM Conference on Information-Centric Networking (ICN 2016), Session Chair: Jeff Burke (UCLA), Satyajayant Misra (New Mexico State University), Hiroshi Nakagawa (University of Tokyo), Dave Oran (Cisco), Thomas Schmidt (Hamburg University of Applied Sciences), Sept. 28, 2016

[招待 5]中川裕志: プライバシー保護技術について. 科学研究費萌芽研究(代表 武田俊之)研究会「プライバシー保護技術と教育データ利活用の課題」. 2016 年 9 月 5 日 . 東京工業大学蔵前会館 2 階大会議室

査読付論文

[査読付 1] Hiromi Arai, Jun Sakuma, Koji Tsuda. Quantifying Genomic Privacy in Genetic Test Results,2nd International Workshop on Genome Privacy and Security (GenoPri ’16), Chicago, USA,2016.

[査読付 2] Kentaro Minami, Hiromi Arai, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa. Differential Privacy without Sensitivity,In Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2016),Barcelona, Spain, 2016.

[査読付 3]Junpei Komiyama, Junya Honda, Hiroshi Nakagawa: Copeland Dueling Bandit Problem: Regret Lower Bound, Optimal Algorithm, and Computationally Efficient Algorithm. ICML2016, JUNE 19-24 2016 NEW YORK proceedings

[査読付 4]横井創磨、佐藤一誠, 中川裕志: Stochastic Gradient MCMC によるスケーラブルなトピックモデルの推定 (Scalable Inference of Topic Models by Stochastic Gradient MCMC) , 人工知能学会３０周年記念論文特集, 第 31 巻 6 号, p.AI30-C_1-9, J-STAGE https://www.jstage.jst.go.jp/browse/tjsai/-char/ja/

その他の発表論文

[発表 1] 中川裕志、出町彰啓、中川拓麻:パーソナル履歴データに対する匿名化と再識別、SCIS2017(暗号と情報セキュリティシンポジウム)2D1-4 那覇、2017年1月25日

[発表 2]野島 良、小栗 秀暢、菊池 浩明、中川 裕志、濱田 浩気、村上 隆夫、山岡 裕司、山口 高康、渡辺 知恵美: 購買履歴データの匿名加工における距離関数を使った指標設計法, SCIS2017(暗号と情報セキュリティシンポジウム)2D1-3 那覇、2017年1月25日

[発表 3]小栗 秀暢、菊池 浩明、中川 裕志、野島 良、濱田 浩気、村上 隆夫、山岡 裕司、山口 高康、渡辺 知恵美: 匿名加工・再識別コンテスト PWSCUP 2016 の報告 ～安全性と有用性の評価～, SCIS2017(暗号と情報セキュリティシンポジウム)2D1-1 那覇、2017年1月25日

［発表 4]高山晃一、荒井ひろみ,中川裕志: 匿名ゲノムデータベースに対する連鎖不均衡を用いた脱匿名化攻撃の提案と評価． CSS2016(PWS セクション)秋田, 2016 年 10 月 12 日（PWS論文賞受賞）

［発表 5]Hiroshi Nakagawa: Defamation Caused By Anonymization, (Poster) , IWSEC2016 (International Workshop on Security), Ochanomizu, Sola City Conference Center, Sep.12-14,2016

［発表 6]Hiroshi Nakagawa: Institutional Issues and Pseudonymization, MyData2016, Aug31st-Sep 2nd,2016, Workshop"Global winds from Japan to Sillicon Valley" Day3 (Sep 2nd)

[発表 7] Hiromi Arai and Hiroshi Nakagawa. Privacy risk analysis in learning from distributed data, NIPS 2016 workshop on private multi-party machine learning, Barcelona, Spain, 2016.

[発表 8] Hiromi Arai. Quantifying privacy in genomic test results, 2016 Second Joint Workshop between France and Japan on Cybersecurity, September 22, Bcom, Rennes, France, 2016.

[発表 9] Hiromi Arai. Privacy Preserving Data Mining, 2016 Japan-America Frontier of Engineering Symposium, June 18, Beckman Center, Irvine, USA, 2016.

[発表 10] 中川裕志, 荒井ひろみ, 高林裕太. 差分プライベート最小二乗密度推定, 2016 年度人工知能学会全国大会(第30 回), 2016.

特記事項

［特記 1］産業競争力懇談会 2016年度 プロジェクト 最終報告書 分担執筆

［特記 2］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 3］講義：言語情報科学, 大学院情報理工学系研究科

https://sites.google.com/site/nakagawa3/yan-yu-qing-bao-ke-xue-1

［特記 4］講義：情報データベース論, 大学院学際情報学府,
https://sites.google.com/site/nakagawa3/qing-baodetabesu-lun

報道発表

[報道 1］日本経済新聞 電子版, 米 IT 任せで大丈夫か AI 時代の個人データ管理 中川裕志東大教授に聞く, 2017 年 2 月 27 日 テクノロジー>新技術＆科学>科学記者の目

プライバシー保護の制度と数理モデル

中川裕志

1 概要

2016 年度は、主にプライバシー保護の制度と技術課題に関して研究を行った。具体的には、以下に示すテーマの研究を行った。

(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 PWSCUP に参加し、出場 15 チーム中 1 位の成績を得た。[受賞 2][発表 1][招待 1],[特記 1], [報道 1]
(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方法として、個人データはデータ主体個人の管理におく方法が注目されてきている。このテーマに関してプライバシー保護の観点、ビジネスモデルの観点から調査、検討を行なった。[招待 2] ,[招待 4], [発表 5], [発表 6],
(3) 個人ゲノム情報利用におけるプライバシー保護について、疾病リスクから個人ゲノムが推定されるプライバシーリスクの定量のための技術開発及び実データを用いた検証を行った[査読付1]。さらに、匿名ゲノムデータベースを、それと相関のあるゲノム情報から脱匿名化されるリスクを指摘、評価した[発表 4] [受賞 1].

紙数の関係から、以下2章では、(1)のテーマについてだけ詳述する。

2 個人の購買履歴データの匿名化と再識別

2.1 はじめに

プライバシー保護の研究対象になった個人データにおける個人に対応するデータレコードは、当初は、以下の図のような内容であった。

個人 ID	疑似 ID			属性データ			
氏名	性別	年令	住所	職業	勤務先	収入	…

図１． 個人 ID、疑似 ID と属性データからなる個人データのレコード

このデータにおいて、プライバシーとして保護したいのは、個人 ID と属性データの対応が分かってしまうことである。個人 ID の部分は hash 関数などで仮 ID に変換する仮名化を行うが、それだけでは不十分である。なぜなら、別の個人データベースを参照すれば、疑似 ID の値から個人 ID を探し出せる可能性が高い。米国では、性別、郵便番号、年令から 85%の人が一意に絞り込めると言われている[1]。

そこで、疑似 ID を粗い精度の表現に変換することが考えられた。たとえば、年令を 10 歳単位にする、郵便番号の下の桁を削除するなどである。これによって、粗くなった疑似 ID では、データベース中で少なくとも k 人が同じ値となるようにする処理を k-匿名化と呼ぶ。

ところが、図 2 のように属性データ以外に履歴データがある個人データは多数存在する。

個人 ID	疑似 ID	属性データ	履歴データ

図２　履歴データを含む個人データのレコード

履歴データとしては、購買履歴、移動履歴、Web 閲覧履歴、医療履歴などビジネスや社会で有用なデータが多い。そのうえ、移動履歴や医療履歴のような履歴はプライバシー保護の必要度が高い。履歴データの構造は以下のようになる。

・購買履歴の場合：(購買日時，購買店舗，購買品目，購買金額，など)の繰り返し

・移動履歴の場合：(出発地点，出発時刻，経路，到着地点，到着時刻　など）の繰り返し

・Web の閲覧履歴：(閲覧した Web ページの URL，閲覧時刻　など)の繰り返し

これらの例からわかるように、履歴データは同じパタンのデータの繰り返しを含むため、一般に長大なデータである。したがって、履歴データを改変して k 人の履歴が同一になるような処理（履歴データに対する k-匿名化）を行おうとすると、データ精度は甚だしく低下し、有用性は著しく損なわれる。

このような背景を踏まえ、以下では、履歴データの匿名化と再識別技術に関するコンテスト PWSCUP の説明と、これに参加した筆者らのチームの使った匿名化手法について説明する。

2.1.1 PWSCUP

履歴データのプライバシー保護の検討課題について説明する。属性データの場合と同じく仮名化は必須である。その上で情報処理学会 CSS 研究会が支援する履歴データの匿名化と再識別コンテスト PWSCUP(Privacy WorkShop CUP)の目指すところを図 3 に示す。なお、以下においては図 3 の上 2 段に示すように図 1，2 の個人データと若干定義を変えている点に留意されたい。図 3 の 3 段目に示すように個人ＩＤを仮ＩＤに変更し、属性データ、履歴データともに匿名化のための加工を施す。

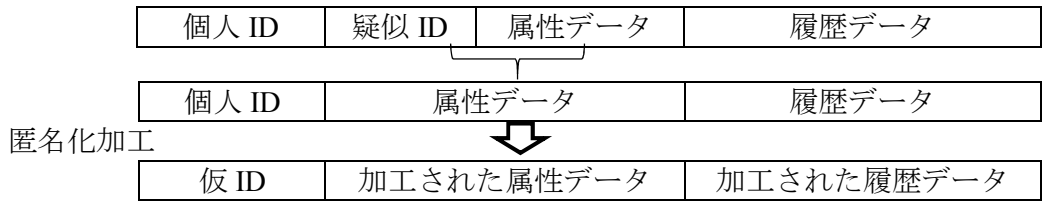


図３　履歴データを含む個人データの匿名化加工

図 4 に匿名化加工された個人データのデータマイニングなどの利活用と、攻撃者による悪用のイメージを示す。なお、図 4 においてはスペースの都合で、図３の属性データと履歴データを合せたデータを「履歴データ」と記した。例えば、中央に描かれた「匿名化履歴データ」は、図 3 の 3 段目の「加工された属性データ」と「加工された履歴データ」を合せたデータを意味する。

仮名化を含む匿名加工された個人データ（図 4 に中央に描かれた「匿名化履歴データ」）は図 4 に示すように、ＩＴ事業者などに移転されて、データマイニングなどの作業対象になる。個人の履歴データを悪用しようという攻撃者の能力は、攻撃者が保持しているデータに依存する。仮ＩＤ単独では、攻撃者は再識別の手がかりにはならないので、これは攻撃者が仮ＩＤを持っていないことと等価である。したがって、攻撃者が最大の情報を持つ場合とは、真の個人データから個人ＩＤを除いた属性データと履歴データを持つ場合である。これが図 4 に示した**最大知識攻撃者モデル**[6]であり、PWSCUP で採用した状況である。

実際の攻撃者はこれ以上の個人データはもっていないと想定できる。よって、ある匿名化加工において、実際の攻撃における再識別される個人データの割合（再識別率）は最大知識攻撃者の再識別率以下となる。

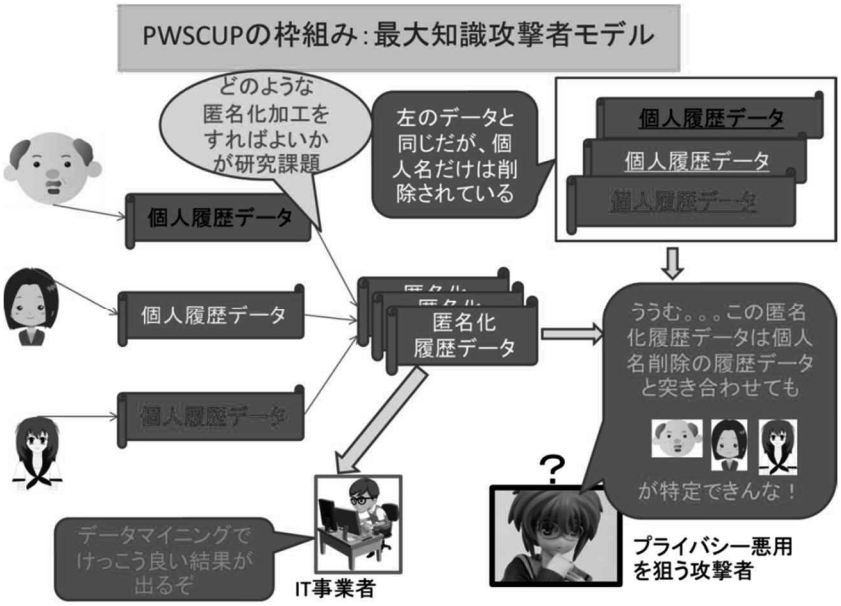


図 4　PWSCUP で想定している最大知識攻撃者モデル

以上の大枠に基づいて、以下で PWSCUP について具体的に説明する。

2.1.2 利用したデータベース

PWSCUP でコンテストに利用したデータは図 5 に示すような構造である。

I

i
1
2
3

M

顧客ID	性別	生年月日	国
1200	m	1957/7/7	UK
1201	m	1965/1/20	Japan
1202	f	1968/12/2	Spain

T

顧客ID	購買日	商品	個数
1201	2014/7/2	cake	3
1200	2014/7/25	tea	10
1202	2014/8/10	milk	1

加工　　加工

P

p(i)
p(1) = 3
p(2) = 1
p(3) = 2

M′

仮ID	性別	生年月日	国
c	f	1964/1/1	UK
a	m	1964/1/1	UK
b	m	1964/1/1	Japan

T′

仮ID	購買日	商品	個数
b	2014/7/2	cake	12
a	2014/7/25	tea	10
c	2014/8/10	apple	5
c	2014/8/10	POST	1

※属性については簡易に表現している

図 5　PWSCUP のデータ構造および匿名化加工

上段が元データ、下段が匿名加工後のデータを表す。一行が個人データ 1 人のデータレコードである。上段の *I* はコンテストの評価用のためにデータに付けた順番である。*M* 中の顧客 ID は個人識別子であり、性別、生年月日、国が属性データである。M とは分離した *T* は *M* の各レコードとのリンクを表す顧客 ID と購買履歴データからなる。実際は（購買日、商品（図には書かれていないが商品の金額もデータとしてはある）、個数、など）の 1 年間分に対応する繰り返しデータである。

下段のデータでは、レコードの上下でのシャッフルを行っており、加工後の i 番目のデータが元データの$\mathrm{p}(i)$番目に対応することを表す。加工されたM'では、顧客番号は仮 ID になっている。仮 ID とレコードの関係も変わってしまっている。さらに加工されたM', T'ともレコード中の各項目のデータが変化している。

このような状況で、攻撃者は M,T と匿名加工されたM', T'を入手した上で、匿名加工後の i 番目のデータレコードは元のデータの何番目に対応するかの推定する、言い換えれば全ての i に対する$\mathrm{p}(i)$を推定するのが PWSCUP における参加者のタスクとなる。この推定は、匿名加工された各レコードに対応する個人を識別することなので、以下では再識別と呼ぶ。

2.1.2 評価指標

PWSCUP においては匿名化加工された個人履歴データの有用性指標としていくつかの指標を用いているが、以下に主要な有用性指標を説明する。

cmae (cluster mean of absolute error)：性別と国籍によって顧客をクラスタ化した場合のクラスタ内平均購買額の絶対値誤差の全クラスタでの平均値。

クラスタ全体を{C}． C の部分集合を s, 置換を p、購買履歴データ T 内でクラスタ s に含まれる顧客に対応する部分を $T|s$，T の j 番目のレコードを tj、とすると

クラスタ内平均単価は、$\mu_{up}(T|s) = \frac{\sum_{tj \in T|s} t_j{}^{単価} \cdot t_j{}^{個数}}{\sum_{tj \in T|s} t_j{}^{個数}}$ となるので、

その全クラスタの平均は：$cmae(M, M', T, T') = \sum_{s \in C} \frac{|\mu_{up}(T|s)| - |\mu_{up}(T'|s)|}{|C|}$ となる。

subset： M'から 10 人の顧客を任意に選び，その集合をX'とし、次にMにおいてX'対応する集合をXの連続した 30 日間の履歴データに対しするXとX'の購入総額の平均値の差の最大値

jaccard：顧客c_iが Tで購入している商品集合：$S(T, i)$と、顧客c_iがT'で購入している商品集合：$S(T', i)$に対して次式で定義される Jaccard 係数

$$d\big(S(T,i), S(T',i)\big) = 1 - \frac{|S(T,i) \cap S(T',i)|}{|S(T,i) \cup S(T',i)|}$$

Mにおける平均値

RFM：M, M'の顧客を、それぞれT, T'の Recency (最後の購買日)，Frequency(購買個数)，Monetary (購買額)の 3 つの条件でクラス分けした顧客数の二乗平均平方根誤差を（最大値で割ることで 0～1 に）正規化した値

topitem：出現頻度の高い商品の頻出集合のTとT'の相対誤差（1- 正規化した積集合の大きさ）

2.2 匿名化手法設計の指針

具体的な再識別手法と匿名化手法について述べる前に具体的なデータや評価指標に依存しない匿名化手法設計の指針を紹介する。指針としては以下の 2 つがある。

(1) データの有用性を与えられた範囲内にしたうえで、再識別ができるだけ困難な匿名化処理を行う。
(2) 再識別の困難さを与えられた範囲内にしたうえで、データ有用性ができるだけ高い匿名化処理を行。

Sweeny が提案した k-匿名化[1][2]や統計処理で使われるトップ／ボトムコーディングはタイプ(2)である。一方、PWSCUP はタイプ(1)を用いた。すなわち、参加者には、評価指標の値に対する制約条件が課せられ、その条件を満たした匿名化データだけが PWSCUP に提出したデータとして受け付けられる。

さて、匿名化手法の設計のためには、当然ながら攻撃側がどのような再識別手法を使ってくるかを考慮しなければならない。そこで、再識別と匿名化を総合的に考慮する枠組みを提案する。まず、以下で使う記法を説明しておく。

記法

D:対象の個人データのデータベース
U:有用性指標
A:匿名化手法
A(D)：匿名化後のデータベース
C:A(D)が満たすべき条件
R:再識別法
Res:　R を A(D)に適用したときの再識別率

この記法を用いると攻撃側の再識別率を評価する方法に関して、以下の匿名化手法の設計枠組みが考えられる。

再識別率に要求水準を与える匿名化手法設計の枠組み

```
while{Res が要求水準より高い}
        新規の A を考案
        A を D に適用し A(D)を得る
        if {A(D)が C を満たす}
            A(D)の再識別法 R を考案
                R を A(D)に適用し再識別率 Res を計算
      end if
 end while
return 匿名化手法 A
```

2 行目でアルゴリズム A は現状、人手で考案する。再識別率自体を利用者が設定、調整して、計算時間が耐えられるレベルにする枠組みなので現実的は枠組みであろう。

2.3　PWSCUP で提案した匿名化手法

2.3.1 有用性指標の条件と再識別手法の設計

3 節(2)で示した PWSCUP における匿名化手法設計指針において、予め設定された有用性指標の条件は以下の通りである。

$$subset \leq 50000 \quad \text{かつ} \quad jaccard \leq 0.7 \cdot T\text{の総レコード数} \tag{4-1}$$

jaccard に関する条件を守ろうとすると、履歴データの値の大きな変更やレコードのシャッフルができない。そこで、再識別側は jaccard の条件をぎりぎりで満たすような匿名化を目指すと予想される。具体的には、各チームから提出され匿名化加工データでは jaccard の条件を守るために、各顧客の購入商品集合はある程度以上は保存されていると想定される。しかし、元のデータにおける顧客ごとの購入商品集合には相当のばらつきがある。よって jaccard の条件を維持しながら他のレコードと完全に紛らわせることは難しい。そのことを勘案して、以下のような再識別手法を導入した。

再識別手法:re-itemset
$n' \leftarrow |M'|$
for$\{i = 1\ to\ n'\}$
$q(i) \leftarrow argmin_j d\big(S(T,i), S(T',i)\big)$
end for
return $Q = \big(q(1), \cdots . q(n')\big)$

この re-itemset は事実上最も有効な再識別手法となり，PWSCUP 本戦において、他チームの多くのデータに対して最大識別数を記録した。

2.3.2 匿名化手法の設計指針

次に PWSCUP では最強と考えられる上記 re-itemset を想定した匿名化手法の設計について述べる。re-itemset　対策の概要は次の通りである。

1. 顧客 c_i の $S(T\,;\,i)$ に近い $S(T\,;\,j)$ をもつ顧客 c_j のうち、Jaccard 係数$d\big(S(T,i), S(T',i)\big) < 0.7$　を満たす顧客を jaccard クラスタ としてまとめる
2. この処理後の顧客 c_j のアイテム集合$S\big(T', p^{-1}(j)\big)$ が$S(T,i)$ に一致するように顧客 c_j のアイテムを変更する
3. これにより、jaccard クラスタ 内の顧客の処理後のアイテム集合は一致し、顧客間で区別できなくなる。

この対策により re-itemset では jaccard クラスタ内の顧客 c_j は全て顧客 c_i として再識別されるが、各 jaccard クラスタ で再識別される顧客を高々1 人（真の顧客 c_i）に抑えるられる。

PWSCUP 本戦で我々のチームは L={9,7,6,5,4}として、400 人（＝レコード）の顧客を 89 個の jaccard クラスタにまとめた。よって、クラスタ内の個人毎識別ができないならば jaccard を対象にした再識別手法では、90 人以上は再識別されないはずである。実際、予想通り、本戦では再識別されたのは 89 人に留まった。

さて、残された問題は jaccard クラスタ内の顧客が再識別されないようにすることである。しかし、クラスタの構成法やクラスタ内の個別顧客の履歴データのランダム化を無制限に行うと有用性が下落してしまう。そこで、クラスタと顧客の履歴データのランダム化と有用性維持を両立させるクラスタ編成手法として以下のような方法を考えた。

Step 1 顧客の購買統計データとクラスタをランダム化.
Step 2 有用性を維持すべく購買統計データを調整.
Step 3 調整された購買統計データを満たす $\boldsymbol{T}'$ を作成.

クラスタは、性別、生年月日、国籍によるクラスタリングによって作られる。ここで、図 6 のように赤丸と青丸で示される 2 種類のクラスタがある場合を例にして Step1、Step2 のランダム化の説明をする。

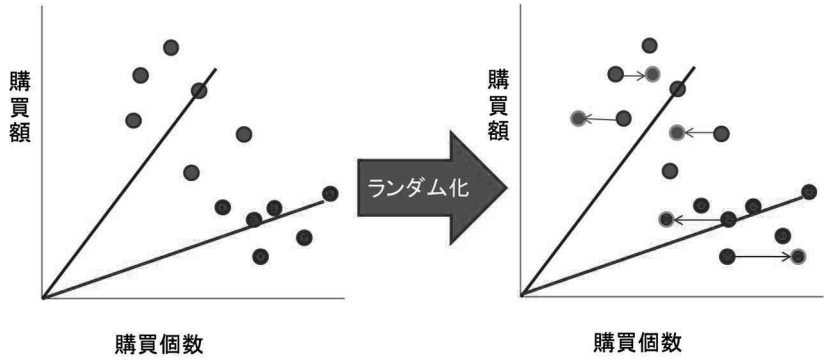


図 6　ランダム化のイメージ

Step 1
赤丸クラスタの要素と青丸クラスタをランダムに移動し（それぞれ縁が黄緑色のデータ）、元のデータとの対応が着きにくくする。ここで有用性指標 RFM を低下させないように次の２つの方法を採用した。

(1) 水平方向の移動によってランダム化する。水平方向の移動をあることは、有効性指標 RFM のうち、購買額がクラスタ内で変化しないようにするためである。
(2) 赤丸の一つが左に動いた場合、別の赤丸をそれと同程度だけ逆方向すなわち右に動かす。青丸の同様である。これによって、有効性指標 RFM のうち購買個数もクラスタ内で変化しないためである。

Step 2
有用性指標の平均絶対値誤差 cmae を劣化させないためには、各クラスタにおいてクラスタ重心に傾き（＝平均購買額）が変化しないようすればよい。このような条件でランダムに移動する。ただし、Step 2 では各顧客データ，移動するのは 1 度のみとする。さらに、未移動顧客の数が最小である未調整クラスタの全未移動顧客を移動し，そのクラスタ平均を調整する作業も行い、当初の目標を達成する。

図 6 は以上のような個別顧客のデータの移動の例である。このようなランダム化が有効であったことは、既に述べたように PWSCUP 本戦の結果としてクラスタ数以上の個数の個人データは再識別されなかったことからも明らかである。

2.4 おわりに

再識別フェーズでは jaccard を軸にした re-itemset のような再識別手法を考えているチームが多かったらしい。筆者らの加工データは 400 人のうち最大で 89 人（22.25%）が再識別された。このことは，既に述べたように匿名化時の予測に合致しており，jaccard<0.7 を条件にした再識別手法の限界値が 89 人である。ただし，22.25% という値それ自体は有用性指標の与え方に強く依存しており今回の PWSCUP の設定における参考値に過ぎない。このように、個人識別子、属性データ、履歴データからなるレコードから構成されるデータの匿名化は有用性指標の定義、および満たすべき制約条件に依存して再識別手法を想定した匿名化手法の設計を行う必要があるため、データへの依存性が高い

参考文献

[1] Sweeney L. Achieving k-anonymity privacy protection using generalization and suppression. International Journal on Uncertainty, Fuzziness, and Knowledge-based Systems, Volume10, Issue.5, 571-588. 2002

3　成果要覧

受賞

[受賞 1] CSS2016(PWS セクション)秋田, 2016 年 10 月 12 日（PWS 論文賞受賞）:高山晃一、荒井ひろみ,中川裕志: 匿名ゲノムデータベースに対する連鎖不均衡を用いた脱匿名化攻撃の提案と評価.

[受賞 2] 第 2 回プライバシーデータの匿名化、再識別コンテスト PWSCUP2016 優勝：チーム名：T-AND-N(中川拓麻、出町彰啓、高山晃一、荒井ひろみ、中川裕志)

招待講演／招待論文

[招待 1]中川裕志：最強攻撃者モデルにおける履歴データのプライバシー保護, ESTRELA No.276, pp.14-20 , 2017 年 3 月

[招待 2]中川裕志：COCN IoT Project, イノベーション創出のエコシステム　第 10 回ワークショップ, URL, 早稲田大学　共創館, 2017 年 3 月 2 日

[招待 3]中川裕志：シンギュラリティ以前の諸問題, 京都大学第 18 回情報学シンポジウム「人工知能と未来」, 京都大学百周年時計台記念館百周年記念ホール,2017 年 2 月 23 日

[招待 4]Hiroshi Nakagawa. Panelist of Closing Panel:New Opportunities and Challenges for Internet Privacy using ICN, 3rd ACM Conference on Information-Centric Networking (ICN 2016), Session Chair: Jeff Burke (UCLA), Satyajayant Misra (New Mexico State University), Hiroshi Nakagawa (University of Tokyo), Dave Oran (Cisco), Thomas Schmidt (Hamburg University of Applied Sciences), Sept. 28, 2016

[招待 5]中川裕志: プライバシー保護技術について. 科学研究費萌芽研究（代表　武田俊之）研究会「プライバシー保護技術と教育データ利活用の課題」. 2016 年 9 月 5 日. 東京工業大学蔵前会館 2 階大会議室

査読付論文

[査読付 1] Kentaro Minami, Hiromi Arai, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa. Differential Privacy without Sensitivity,In Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2016),Barcelona, Spain, 2016.

[査読付 2]Junpei Komiyama, Junya Honda, Hiroshi Nakagawa: Copeland Dueling Bandit Problem: Regret Lower Bound, Optimal Algorithm, and Computationally Efficient Algorithm. ICML2016, JUNE 19-24 2016 NEW YORK proceedings

[査読付 3]横井創磨、佐藤一誠，中川裕志: Stochastic Gradient MCMC によるスケーラブルなトピックモデルの推定（Scalable Inference of Topic Models by Stochastic Gradient MCMC），人工知能学会３０周年記念論文特集，第 31 巻 6 号, p.AI30-C_1-9, J-STAGE https://www.jstage.jst.go.jp/browse/tjsai/-char/ja/

その他の発表論文

[発表　1] 中川裕志、出町彰啓、中川拓麻：パーソナル履歴データに対する匿名化と再識別、SCIS2017(暗号と情報セキュリティシンポジウム）2D1-4　那覇、２０１７年１月２５日

[発表　2]野島 良、小栗 秀暢、菊池 浩明、中川 裕志、濱田 浩気、村上 隆夫、山岡 裕司、山口 高康、渡辺 知恵美：　購買履歴データの匿名加工における距離関数を使った指標設計法, SCIS2017(暗号と情報セキュリティシンポジウム）2D1-3　那覇、２０１７年１月２５日

[発表　3]小栗 秀暢、菊池 浩明、中川 裕志、野島 良、濱田 浩気、村上 隆夫、山岡 裕司、山口 高康、渡辺 知恵美：　匿名加工・再識別コンテスト PWSCUP 2016 の報告 ～安全性と有用性の評価～, SCIS2017(暗号と情報セキュリティシンポジウム）2D1-1　那覇、２０１７年１月２５日

[発表　4]高山晃一、荒井ひろみ,中川裕志: 匿名ゲノムデータベースに対する連鎖不均衡を用いた脱匿名化攻撃の提案と評価.　CSS2016(PWS セクション)秋田, 2016 年 10 月 12 日（ＰＷＳ論文賞受）

[発表　5]Hiroshi Nakagawa: Defamation Caused By Anonymization, (Poster) , IWSEC2016 (International Workshop on Security), Ochanomizu, Sola City Conference Center, Sep.12-14,2016

[発表　6]Hiroshi Nakagawa: Institutional Issues and Pseudonymization, MyData2016, Aug31st-Sep 2nd,2016, Workshop"Global winds from Japan to Sillicon Valley" Day3 (Sep 2nd)

[発表　7] Hiromi Arai and Hiroshi Nakagawa. Privacy risk analysis in learning from distributed data, NIPS　2016 workshop on private multi-party machine learning, Barcelona, Spain, 2016.

[発表　8] 中川裕志, 荒井ひろみ, 高林裕太. 差分プライベート最小二乗密度推定, 2016 年度人工知能学会全国大会(第 30 回), 2016.

特記事項

[特記 1] 産業競争力懇談会 2016 年度 プロジェクト 最終報告書　分担執筆

[特記 2] 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 3] 講義：言語情報科学,大学院情報理工学系研究科
https://sites.google.com/site/nakagawa3/yan-yu-qing-bao-ke-xue-1

[特記 4] 講義：情報データベース論,大学院学際情報学府,
https://sites.google.com/site/nakagawa3/qing-baodetabesu-lun

報道発表

[報道 1] 日本経済新聞　電子版，米 IT 任せで大丈夫か　AI 時代の個人データ管理　中川裕志東大教授に聞く, 2017 年 2 月 27 日　テクノロジー>新技術＆科学>科学記者の目

分散データのプライバシーを保護した利用法

荒井　ひろみ

1　概要

2016 年度は主に分散したプライベートデータのプライバシを保護したデータ利用に関する研究活動を行った。具体的には以下の項目について重点的に研究を行った。

- 分散したプライベートデータを共有し新たな知識を得るために、情報損失が少なくかつプライバシーリスクも低くするための情報共有方法の比較検証を行った。学習器及び k 匿名化データを共有した場合の入力データの被推測リスク及び最終的に得られる学習結果を比較し、データの利用目的が決まっている場合は学習器の共有の方が双方良い結果であることが考察された [発表 1]。
- 個人ゲノム情報利用におけるプライバシ保護について、個人ゲノムを用いた DTC のゲノム検査を例に、加工データのリスク評価の研究を行った。ゲノム検査会社は提供されたユーザーの個人ゲノムを元に疾病リスクを計算し、ユーザーに提供する。この疾病リスクはゲノム情報を陽に含まないが、プライバシリスクの存在が懸念される。本研究では疾病リスクから個人ゲノムが推定されるプライバシリスクの定量のための技術開発及び実データを用いた検証を行った [査読付 1]。さらに、匿名ゲノムデータベースを、それと相関のあるゲノム情報から脱匿名化されるリスクを指摘、評価した [発表 3].
- プライバシ保護技術について、調査研究及び講演を行った。分散データを暗号化したまま計算するための暗号技術及びデータ利用におけるプライバシリスクついて概説した [発表 2, 発表 4]。

本報告では分散プライベート情報利用についてのプライバシーリスクの検証研究を紹介する。

2　学習器統合による分散型プライベートデータ利用のプライバシーリスク

2.1　背景

このビッグデータ時代に機械学習はデータ分析のための強力な方法としてよく用いられている。我々は機械学習によってデータからモデルを知識として得るが、そのために様々なデータを多く集めることが重要である。このようなデータ利活用は個人の行動ログ、センサーの取得する情報、診療情報、ゲノム情報など個人に関する秘匿性の高い情報においても期待されている。しかし、マサチューセッツ州知事の病歴が匿名の疾病リストと投票者名簿の紐付けから明らかになった例に見るように、秘匿性の高い情報の共有はプライバシーリスクがあることが明らかになっている。そのため、このような秘匿性の高い情報の解析はデータのプライバシーを適切に保護して行う必要がある。

ここで、複数の組織にデータが分散されている場合を考える。これは行動ログが各企業に、センサー情報が企業や地域毎に、ゲノム情報が各研究機関にといったように、現実に多く存在する状況である。各組織に集められたデータを収集し、多くの件数のデータを用いて解析を行うことが理想的であるが、プライバシー保護の要請から各機関がデータを直接他者に開示できない場合が多く存在する。組織間

のデータ交換において、未加工のパーソナルデータを直接提供してしまうことはデータ提供者のプライバシーリスクを大きくしてしまう。実際には多くの事例で適切なプライバシー保護が要求される。例えば日本では個人情報保護法、欧米での健康情報の第三者提供を規制する HIPPA など様々な規定が存在する。また、そのような規定に定められている要件以上にも、様々なプライバシーリスクを低くすることは秘匿性の高いデータの利活用において重要な課題といえるであろう。

組織間のデータ交換におけるプライバシーリスクを低くするためには、プライバシー保護のためのデータ処理技術を適用することが有効な対策として考えられる。匿名化、差分プライバシー、秘密計算など様々な方式が提案されてきた。匿名化はマイクロデータの開示において、データを加工し個人が特定されないようにする。入力データに何らかの処理をした統計値や学習器などの出力においては差分プライバシーが提唱されている。これは一要素のみ異なる入力データに対する出力の確率分布があまり変化しないということを定式化した出力のプライバシーを保護するための規準であり、この規準を達成するための様々な方法が提案されている。また、統計値や学習器などのプライベート情報を明示的に含まないデータは、ある程度プライバシーを保護しているという考え方も存在する。以上はデータ出力に関するプライバシー保護であったが、データの計算過程におけるプライバシー保護も可能である。秘密計算は暗号学的アプローチを用いて互いにデータを開示せず目的の演算結果を得る技術である。この場合は、分散されているデータを開示する必要がないという非常に強いプライバシー保護が実現できるが、データを直接解析するよりも計算コストを要する。今回は、秘密計算のプラットフォームを導入コストや法的な制約などの問題で利用できない場面を考え、データ開示におけるデータ保護手法を用いて組織間のデータを集約、解析することを考える。

データ共有におけるプライバシー保護には、ある攻撃者に対しては入力のプライバシーが保護されない場合があることが報告されている。匿名化には linkattack、学習器の共有を行った場合には modelinversion など、入力の部分情報を持っているような場合の攻撃者を想定すると出力からデータの照合や入力の推定がされる可能性がある。学習器統合については、差分プライベートな学習器統合の研究が行われており、そのような方式では差分プライバシーの意味での安全性が保証されつつ、ある程度の学習精度が出ることが示されている。しかしこれらの方法の他の手法で考えている攻撃者に対する安全性や学習精度の比較検証は行われておらず、どの手法がプライバシーを保護したデータ利用に適しているかの判断を難しくしている。

2.2 内容

本研究では、分散データの学習において匿名化及び学習器統合の有用性とプライバシー保護の検証を行った。プライバシー保護については、入力データの一部が攻撃者に知られていると仮定した場合のリスクを検討した。有用性は最終的に得られる学習機の精度で評価した．これらの結果から、分散データの学習におけるプライバシーを保護した利用について考察を行った。

2.2.1 問題定義

本章では分散データの利用方式のプライバシー保護及び結果の有用性を検討するために、複数のデータ所有者からプライベートなデータを集約、利用する問題を定義する。分散されたデータの集約、分析を行う以下のシステムを考える。データ所有者 $S_1, \ldots, S_L$ およびデータユーザー S_u、データセットの全体 $\mathcal{D}$ が存在する。データ所有者 S_ℓ は各々データセット $D_\ell \subset \mathcal{D}$ を持つとする。ここで、S_u は $\mathcal{D}$ のデータを収集し、ある学習器 f を作るためのデータ分析を行いたいとする。各 S_ℓ がデータ D_ℓ を直接 S_u に開示することができる場合には $D = \cup D_\ell$ を S_u が収集し、f の作成に用いることができる。これを理想的な状況とし、D を集約データセットとする。

ここで、D_ℓ が個人情報や個人に関わるセンシティブな情報を含み $S_1, \ldots, S_L$ および S_u が異なる機関である場合、S_ℓ がデータ D_ℓ を他機関である S_u に開示することができない。実際には、個人のプライバシーを保護する処理を行ってデータを渡す必要がある。ここで、プライバシー保護メカニズムを

$\mathcal{M}$ とし、$S_1, \ldots, S_L$ は何らかの加工した情報 $\mathcal{M}(D_\ell)$ を S_u に送り、S_u は $\mathcal{M}(D_1), \ldots, \mathcal{M}(D_L)$ を用いて目的の学習器 f を作成する。以降、まず $\mathcal{D}$ 及び f を導入し、それらに対応して $\mathcal{M}$ を導入する。

本研究では、分析タスクとして 2 値の分類器を検討する。$d_i \in D$ は個人 i にまつわるデータであり、説明変数と目的変数の組 $(\mathbf{x}_i, y_i)$ として与えられるとする。説明変数 $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, \ldots, x_{iM}) \in \mathbb{R}^d$ は d 次元のベクトルデータであり、$y_i \in \{0, 1\}$ とする。全データを $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i) | i \in I\}$ とする。ここで I は全データに含まれる個人の index である。各機関のデータは $D_\ell = \{(\mathbf{x}_i, y_i) | i \in I_\ell\}$ とする。

このようなデータのプライバシーとして、ある個人についての属性値の秘匿を考える。すなわち、任意の $i \in I$ について、$x_{i1}, \ldots, x_{iM}$ 及び y_i がプライベートな情報であり、これらを正確に攻撃者に予測されてしまうことがプライバシー侵害であるとする。

ここで、どのような $\mathcal{M}$ が適切にプライバシーを保護しながら有用な結果を得られるのか検討するために、複数の $\mathcal{M}$ を導入、比較する。現在、個人情報の開示などには匿名化が多く用いられているが、それ以外にも統計量や学習器などの抽象化したデータを開示する方法も考えられる。匿名化は個人と公開データのひも付けを防ぐ必要であるため、ひも付けが正しく行われなければ個人についての属性値も秘匿されると考えることができる。また、学習器についても、個人にまつわるデータが明示されていない。よって、これらの手法は本研究で課題とする属性値のプライバシーを保護する方法と捉えることができる。本稿では、$\mathcal{M}$ として識別子のみを削除する匿名化 $\mathcal{M}_I$、k 匿名化 $\mathcal{M}_A$、学習器 f である $\mathcal{M}_f$ を考える。これらについては次章で詳述する。

2.2.2 手法

本章では本研究で用いたプライバシー保護手法およびそれらを利用した学習の方法、及び得られた結果の評価方法を導入する。

匿名化には様々な安全性を考慮した方法が存在する。識別子のみを削除する匿名化 $\mathcal{M}_I$ は、$(\mathbf{x}_i, y_i)$ と i を一意に紐付ける ID を削除することであり、本稿であつかうデータセット D については既に行われているものと考え、$\mathcal{M}_I(D_\ell) = D_\ell$ とする。

k 匿名化 $\mathcal{M}_A$ は、準識別子を加工し、どの準識別子の組み合わせも k 個以上存在するようにしたものである。本研究では、$\mathbf{x}_i$ のすべての属性が準識別子と仮定し、それらを加工するとする。加工された匿名化テーブルを $\mathcal{M}_I(D_\ell) = \tilde{D}_\ell$、$\tilde{D}_k = \{(\tilde{\mathbf{x}}_i), y_i\}$ とする.

学習器を出力する $\mathcal{M}_f$ は、入力データ D_ℓ について、L2 正則化ロジスティック回帰を用いた学習結果 f^ℓ として、学習の結果得られたパラメーターのみ出力するものとする。すなわち、学習における誤差やデータ数、データに関するその他の統計値などは出力しない。

$\mathcal{M}_I$、$\mathcal{M}_A$、$\mathcal{M}_f$ それぞれの場合について $\mathcal{M}(D_1), \ldots, \mathcal{M}(D_L)$ を用いて最終的な学習器 f^u を得る方法を導入する。

匿名化 $\mathcal{M}_I$、$\mathcal{M}_A$ の場合、$\mathcal{M}(D_1), \ldots, \mathcal{M}(D_L)$ を集約し直接目的の学習を行えばよい。ここで、学習には L2 正則化ロジスティック回帰を用いた。

$\mathcal{M}_f$ の場合、$D_1, \ldots, D_L$ を用いて得られた学習器 $f^1, \ldots, f^L$ から最終的な学習器 f^u を得る必要がある。このため、集団学習の一つである bagging を用いる。これは、集約した L 個の学習器の多数決を行う、すなわち

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{L} \sum_{\ell \in 1, \ldots, L} f^\ell(\mathbf{x}) \tag{1}$$

である。

得られた結果のプライバシー保護を評価するために、以下の攻撃モデルを導入する。攻撃者は個人 i にまつわるデータ $(\mathbf{x}_i, y_i)$ を補助情報 AUX(i) を用いて攻撃するとする。ここで AUX(i) は i のデータ d_i の一部とする。本研究では、簡単のため $x_{ip}, \ldots, x_{iM}$ とした。よって、攻撃対象は $x_{i1}, \ldots, x_{i(p-1)}$ 及び y_i となる。これは、link attack や model inversion などにおける既存の攻撃モデルでも想定されており、SNS でのデータ開示やデータの盗難など現実に起きる可能性のある状況である。

攻撃者は AUX(i) を既に知っており、$x_{i1}, \ldots, x_{ip}$ 及び y_i を攻撃対象とする。

攻撃者は、匿名化 $\mathcal{M}_I$、$\mathcal{M}_A$ の場合、$(\mathbf{x}_i, y_i)$ と個人 i を結びつける link attack を行うことができる、これは、i と紐づくデータの id 群 $\tilde{I}_i \subseteq I$ を特定するもので。$\mathcal{M}_I$ の場合は

$$\tilde{I}_i = \{j \in I | x_{jp} = x_{ip} \wedge \ldots \wedge x_{jM} = x_{iM}\} \tag{2}$$

$\mathcal{M}_k$ の場合は

$$\tilde{I}_i = \{j \in I | \tilde{x}_{jp} = x_{ip} \wedge \ldots \wedge \tilde{x}_{jM} = x_{iM}\} \tag{3}$$

である、本研究では、属性推定をこれらのデータの平均値として行う。すなわち、i のデータの推定値を $(\tilde{\mathbf{x}}_i, \tilde{y}_i)$ として、

$$\tilde{x}_{im} = \frac{1}{|\tilde{I}_i|} \sum_{j \in \tilde{I}_i} x_{jm} \tag{4}$$

とする。$\tilde{y}_i$ についても同様である。

$\mathcal{M}_f$ の場合は、model inversion を適用した。model inversion の概要は以下のようである。何らかのブラックボックスにたいする入力の部分情報と出力及び入力の事前分布を攻撃者が知っているとしそれらの情報を用いて、攻撃者の知らない入力を MAP 推定する。本研究の問題設定の場合、AUX(i) が入力の部分情報、出力が学習器 f^ℓ に対応する。この場合に、残りの入力情報 $x_{i1}, \ldots, x_{i(p-1)}$ 及び y_i を推定するには、データ D_ℓ の事前分布を知る必要があり、さらに探索空間が膨大となり、推定は link attack よりも遥かに高コストとなる。

2.2.3 評価実験

各データ保護手法から得られた学習器の精度評価及びプライバシー保護の評価のための実験を行った。

実験には UCI Machine Learning Repository で公開されている Pima Indians Diabetes （Pima データセットと呼ぶ）を用いた。Pima データセットは患者の年齢, 血糖値, 血圧, 妊娠回数など及び糖尿病であるか否かの 8 次元のデータからなる。本実験では糖尿病であるか否かのラベル を目的変数 y とし、糖尿病であれば 1、そうでなければ 0 をとるとした。その他の次元のデータを属性ベクトルとした。ここで、Plasma 及び血圧の 2 つの項目は欠損値が 3 割以上含まれていたため今回は除外し、説明変数は 6 次元とした。総データ数は 768 であり、そのうち糖尿病と診断された正例データは 268 点、負例は 500 点である。実験では正例と負例からそれぞれ 84 点ずつランダムサンプルし、計 168 点をテストデータとした。訓練データ 600 を全体データ D とし、分散データは以下のように作成した。サイト数 L を $2, 3, 5, 10, 15, 20$ とし、600 点の訓練データを L 個のノードにランダムに等配分した。

学習には L2 正則化ロジスティック回帰を用いた。R の glmnet パッケージを用いて実験を行い、正則化パラメータは 10hold 交差検定でチューニングを行った。匿名化方式は Mondrian を採用し、UTD Anonymization toolbox を用いて行った。

$\mathcal{M}_I$、$\mathcal{M}_A$、$\mathcal{M}_f$ それぞれを用いた場合について得られた学習器をテストデータで評価した結果を図 1 に示す。評価は、ランダムなデータサンプルの 100 回平均の精度で行った。これより、$\mathcal{M}_f$ を用いた場合には $\mathcal{M}_I$、$\mathcal{M}_A$ よりも学習器の精度が良くなる傾向が見られた。また、データ統合を bagging で行った場合は、統合前の学習器の平均よりも精度が向上し、全データを用いた場合と近い精度を得ることができた。サイト数 L が大きくなると各サイトのデータ数が小さくなるため、各サイトのデータ D_ℓ における匿名化での情報量の損失は大きく、学習器の精度は悪くなる傾向がある、また k が大きくなる場合も同様と考察される。また、プライバシー保護に関する実験結果については匿名化よりも学習器を出力する方がプライベート情報の漏洩が少ないという実験結果を得た。

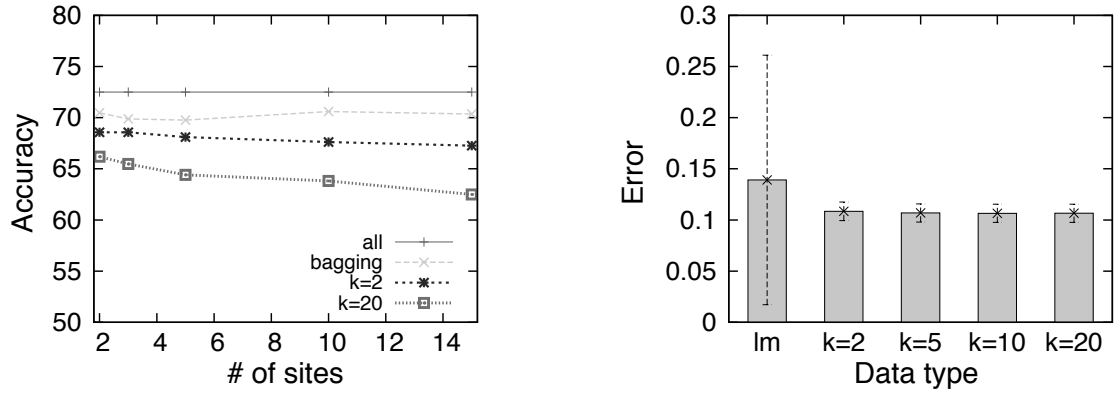


図 1: Pima データセットにおける匿名化 ($\mathcal{M}_I$、$\mathcal{M}_k$) および学習器 ($\mathcal{M}_f$) を共有した場合のサイト数 ℓ の変化に対する学習器の精度変化 (左) および攻撃者の推定エラー (右). $\mathcal{M}_I$ の場合を all, $\mathcal{M}_f$ の場合を bagging、統合前の各学習器の精度の平均を ave、$\mathcal{M}_k$ の $k = 2, 5, 10, 20$ の場合を $k = 2, 5, 10, 20$ としてそれぞれ示す.

2.3 具体的成果

本研究ではプライベートな分散データを用いて bagging などを用いた学習器統合と匿名化データを収集した学習を学習精度及びプライバシー保護の観点から比較検証を行った。結果、学習器統合の方が匿名化よりもプライバシー保護、学習結果両面において優れている場合があることを実験的に示した。さらに学習器統合は、bagging 以外にも指数型重み付け統合など学習器を重み付けして統合しする方式があり、より精度を向上させる余地がある。また、差分プライベートな学習器を用いることで、差分プライバシーの規準で出力結果を保護することも可能であることが既に示されており、よりプライバシー保護を強くすることも考えられる。このように、学習器統合を工夫する余地のある一方で、本研究で検証した攻撃者モデルでデータ出力に対する脅威は網羅できていない可能性があるため、プライバシーリスクのさらなる検証が今後の課題である。また、本研究で検証した学習器統合は、共有する情報が学習器のみであるため匿名化や秘密計算よりも通信量や計算量が小さくなり、各サイトにおけるデータが大量になるようなアプリケーションについても実現コストが低いと期待できる。今後、学習器の精度、匿名性の担保、計算コストを実際に大規模なデータにおいて検証することも課題としてあげられる。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Hiromi Arai, Jun Sakuma, Koji Tsuda. Quantifying Genomic Privacy in Genetic Test Results, 2nd International Workshop on Genome Privacy and Security (GenoPri ’ 16), Chicago, USA, 2016.

[査読付 2] Kentaro Minami, Hiromi Arai, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa. Differential Privacy without Sensitivity, In Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2016), Barcelona, Spain, 2016.

その他の発表論文

[発表 1] Hiromi Arai and Hiroshi Nakagawa. Privacy risk analysis in learning from distributed data, NIPS 2016 workshop on private multi-party machine learning, Barcelona, Spain, 2016.

[発表 2] Hiromi Arai. Quantifying privacy in genomic test results, 2016 Second Joint Workshop between France and Japan on Cybersecurity, September 22, Bcom, Rennes, France, 2016.

[発表 3] 高山晃一，荒井ひろみ，中川裕志．匿名ゲノムデータベースに対する連鎖不均衡を用いた脱匿名化攻撃の提案と評価，コンピュータセキュリティシンポジウム 2016 論文集, vol. 2015, 2016. (2016 年度 PWS 優秀論文賞).

[発表 4] Hiromi Arai. Privacy Preserving Data Mining, 2016 Japan-America Frontier of Engineering Symposium, June 18, Beckman Center, Irvine, USA, 2016.

[発表 5] 中川裕志, 荒井ひろみ, 高林裕太. 差分プライベート最小二乗密度推定, 2016 年度人工知能学会全国大会 (第 30 回), 2016.

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
管理異種エンジン統合クラウド，ネットワーク資源と
ポストムーアのアーキテクチャ検討

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
ソフトウェア基盤を用いたネットワークアーキテクチャと
セキュリティのリアルタイム分析に関する研究

中村 文隆
実用例を通じて学ぶPython 学習書

妙中 雄三
無線ネットワーク資源管理の高度化に関する研究

宮本 大輔
サイバーセキュリティに関する研究

ネットワーク研究部門

概要

部門長　工藤　知宏

情報通信ネットワークは，日々の生活に欠くことのできない重要な社会基盤である．データの活用の重要性が日々高まる中で，データの転送を担うネットワークの役割も大きくなっており，セキュリティや資源管理の柔軟性など多様な要求への対応が求められている．

ネットワーク研究部門ではこれらの要求に応えるため，セキュリティ技術，ICT 基盤技術，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．2016 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

標的型メールやランサムウェアによる攻撃が頻発するなど，昨今，セキュリティ脅威がますます大きくなってきており，セキュリティ確保技術の重要性が高まっている．このため，当部門においてもセキュリティ技術の開発は重要な課題である．

そこでまず，セキュリティのリアルタイム分析ならびに予知を主とした研究活動を行った．複雑化かつ巧妙化するサイバー攻撃に対して，サイバー攻撃の検知と防御は欠かせない要素技術となっており，大学のネットワークにもより高度なセキュリティ対策が求められている．このような状況をふまえ，これまでの研究成果を引き継ぎつつ，よりリアルタイムにデータ解析を行うことで攻撃の兆候を素早く検知し，防御に役立てる手法を研究開発した．深層学習アルゴリズムの適用可能性に関して，調査検討を行った．また，組織的かつ意図的に行われる攻撃の可能性を予知することで，事前の防御や対策に利用することのできるサイバー攻撃予知手法に関しても研究を行った．

また，近年様々な問題を引き起こす発端となっている悪意のあるウェブサイトへの対策を目的として，ユーザの認知活動に着目したフィッシング対策に関する研究を行った．フィッシング攻撃は，本物のウェブサイトからコピーしたコンテンツを表示し，このサイトを閲覧するユーザを騙すサイバー脅威である．フィッシングサイトを発見するためには，エンドユーザはアドレスバーに表示される URL や SSL 証明書を判断するべきであるが，フィッシングサイトに騙されやすいエンドユーザはウェブコンテンツの情報から真贋判定をする傾向にある．この問題に着目し，騙されにくいエンドユーザ，騙されやすいエンドユーザごとに適した防御を柔軟に提供する仕組みについて研究を行った．

［２］ICT 基盤技術

通信量の増大や，ネットワークの利用形態の多様化や，ビッグデータ処理などの新たな情報通信基盤への要求に対応するため，ネットワーク仮想化技術，無線ネットワーク技術やデータ処理用計算機システムの研究開発を行った．

まず，ソフトウェア基盤を用いたネットワークサービス提供のためのアーキテクチャに関する研究として，ソフトウェア技術を用いたシステムのオーケストレーションに関する研究活動を行った．大学内のセキュリティ確保が大きな問題として取り上げられる中で，大学のネットワークとしての利便性・柔軟性とセキュリティが両立するネットワークの提供が実運用の課題となった．そこで，ソフトウェア基盤を用いたネットワークサービス提供のための研究成果を活かし，大学の実運用に利用できるソフトウェア基盤技術を用いたネットワークサービスの構築に取り組んだ．

また，ポストムーア時代の計算機システムの高性能化について，広帯域な光通信技術の導入を想定した，計算性能に対し通信性能が向上した場合の通信方式の検討を行った．オーバヘッドを削減し広帯域な通信を効率よく使うために，システム全体を同期動作させる方式を検討し，通信方式の基本仕様をまとめた．さらに，IoT のための人工知能でのクラウドにおける学習をターゲットに，異種の処理エンジンを複数組み合わせて省電力で高速な処理を行うシステムのアーキテクチャを検討し，FPGA を用いた試作ボードの開発を行った．本アーキテクチャは，異種のエンジンを適材適所で用い，多数の処理エンジン間でホストプロセッサを介することなく通信を行うことでオーバヘッドの削減を狙うものである．

加えて，マルチホップ無線 LAN 環境における無線干渉の回避手法に関する研究と，情報を専門としない人材が広く機械学習や VR，IoT 等の研究開発に携わりつつある現状を踏まえ，初学者が短期間に実用的なプログラミングスキルを習得できるようにするための活動を行った．

［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

ネットワークは，物理空間とサイバー空間をつなぐものであり，この２つがどのようにインタラクションするかは重要である．そこには，センサ，アクチュエーター，ディスプレイなどの構成要素があり，特に人間とサイバー空間をつなぐには，ヒューマンコンピュータインタフェース技術が重要である．

本テーマでは，超小型端末への視線による文字入力手法に関する研究を行った．また，ライフログデータを活用した社会サービスの活用を想定した，特定の個人が特定されない様に統計処理を行う k-匿名化手法の効率的なアルゴリズムの提案とその評価を行った．

さらに，人々の日常生活を支援するための Augmented Reality 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として，電気的筋肉刺激を用いた食感提示および歩行支援のための体感速度制御，クロスモダリティを用いた視触覚提示に関するインタフェース技術を中心に研究を推進した．

ネットワーク研究部門 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 向井 寛人, 小川 剛史: MVE 賞, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2016 年 6 月.

[受賞 2] 新島 有信, 小川 剛史: MVE 賞, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2016 年 6 月.

[受賞 3] Arinobu Niijima, Takefumi Ogawa: Best Paper Award, 8th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activeities, Jul. 2016.

[受賞 4] 小川 剛史: 活動功労賞, 電子情報通信学会通信ソサイエティ, 2016 年 9 月.

[受賞 5] 新島 有信, 小川 剛史: ヒューマンコミュニケーション賞, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ, 2016 年 12 月.

[受賞 6] 妙中 雄三: 奨励賞, 電子情報通信学会通信ソサイエティ, 2016 年 9 月.

[受賞 7] 妙中 雄三: ネットワークシステム研究賞, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2017 年 3 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] 関谷 勇司: データセンターをとりまくネットワーク技術の未来, DataCenter Networking Conference 2016, 2016 年 12 月 (基調講演).

[招待 2] 関谷 勇司: データーセンター基盤におけるソフトウェア化の本質, データセンターコンファレンス 2016 Autumn, 2016 年 9 月 (基調講演).

著書／編集

[著書 1] 赤堀 侃司, 永野 和男, 東原 義訓, 坂元 章, 飯田 秀延, 榎本 竜二, 木戸 俊吾, 小泉 力一, 後藤 貴裕, 佐藤 義弘, 中山 雅哉, 西澤 廣人, 松田 美佐, 宮寺 庸造: 新編 社会と情報, 東京書籍, 2017 年 2 月.

[著書 2] 赤堀 侃司, 永野 和男, 坂元 章, 飯田 秀延, 榎本 竜二, 木戸 俊吾, 小泉 力一, 後藤 貴裕, 中山 雅哉, 西澤 廣人, 東原 義訓, 松田 美佐, 宮寺 庸造: 社会と情報, 東京書籍, 2017 年 2 月.

[著書 3] 赤堀 侃司, 永野 和男, 東原 義訓, 榎本 竜二, 木戸 俊吾, 小泉 力一, 後藤 貴裕, 坂元 章, 佐藤 義弘, 中山 雅哉, 西澤 廣人, 松田 美佐, 宮寺 庸造: 情報の科学, 東京書籍, 2017 年 2 月.

解説

[解説 1] 木本 雅彦, 中山 雅哉, 井上 潔, Live E!: 〜活きた地球の環境情報〜ディジタル環境情報の中で自律的な生成/流通/加工/共有に向けて: 3. 広域の気象センサから得たデータの可視化, 情報処理, Vol. 58, No. 3, pp. 211–214, 2017 年 2 月.

[解説 2] 小川 剛史: 拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出, 画像ラボ, 日本工業出版, Vol. 28, No. 2, pp. 7–13, 2017 年 2 月.

査読付論文

[査読付 1] Tomohiro Kudoh, Kiyo Ishii, Shu Namiki: Current status and future prospects of optical communications technology and possible impact on future BDEC systems., 4th Big Data and Exascale Computing (BDEC) workshop, Jun. 2016.

[査読付 2] C. Fernandez, C. Bermudo, G. Carrozzo, R. Monno, B. Belter, K. Pentikousis, R. Toseef, T. Kudoh, A. Takefusa, J. Haga, B. Puype, J. Tanaka: IaaS Migration Using the FELIX Federated Testbed., 2016 5th IEEE International Conference on Cloud Networking, pp. 33-38, Oct. 2016.

[査読付 3] Ryousei Takano, Takahiro Hirofuchi, Hirokazu Takahashi, Norio Sakaida, Katsuhiro Shimano, Kiyo Ishii, Satoshi Suda, Shu Namiki, Tomohiro Kudoh: Performance-assured Network Function Virtualization for Open and Disaggregated Optical Transport Systems., Optical Fiber Communication Conference 2017, Tu3L13, Mar. 2017.

[査読付 4] 秋山 寛子, 和田 昌昭, 中山 雅哉, 加藤 朗, 砂原 秀樹: k-匿名化アルゴリズムにおける情報損失の極小化, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 12, pp. 2675–2681, 2016 年 12 月.

[査読付 5] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: A Study on Control of a Phantom Sensation by Visual Stimuli, Proc. of EuroHaptics 2016, London, United Kingdom, pp. 305–315, Jul. 2016.

[査読付 6] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: A Proposal of Virtual Food Texture by Electric Muscle Stimulation, Proc. of 8th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities (CEA 2016, in conjunction with The 2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo), Seattle, USA, pp. 1–6, Jul. 2016.

[査読付 7] 新島 有信, 小川 剛史: 視触覚融合コンテンツにおける複数の視覚刺激と振動刺激によるクロスモーダル知覚に関する検討, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 2, pp. 19–26 2016 年 8 月.

[査読付 8] 向井 寛人, 小川 剛史: 個人認証を目的とした視線の軌跡情報からの特徴抽出, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 2, pp. 27–35, 2016 年 8 月.

[査読付 9] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Virtual Food Texture by Electrical Muscle Stimulation, Proc. of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC2016), Heidelberg, Germany, pp. 48–49, Sep. 2016.

[査読付 10] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Study on Control Method of Virtual Food Texture by Electrical Muscle Stimulation, Proc. of 29th ACM User Interface Software and Technology Symposium (UIST2016), Tokyo, Japan, pp. 199–200, Oct. 2016.

[査読付 11] 新島 有信, 小川 剛史: 電気的筋肉刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 575–583, 2016 年 12 月.

[査読付 12] 小川 剛史, 朴 燦鎬: ユーザの姿勢を考慮した端末把持姿勢認識, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 5, No. 1, pp. 31–37, 2017 年 2 月.

[査読付 13] 小川 剛史, 中張 遼太郎, 新島 有信: 電気的筋肉刺激が重量知覚に及ぼす影響の分析, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 1, pp. 3–10, 2017 年 3 月.

[査読付 14] Munkhdorj Baaatarsuren, and Yuji Sekiya : Cyber attack prediction using social data anaysis, IOS Press, Journal of High Speed Networks, DOI 10.3233/JHS-170560 (採録通知受領済).

[査読付 15] 中村 遼, 石原 知洋, 関谷 勇司, 江崎 浩: トンネリング技術を用いた汎用機器によるデータセンターマルチパスの実現, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータ・ソフトウェア, Vol. 33 (2016), No. 3, Pp. 2943, 2016 年 9 月.

[査読付 16] Munkhdorj Baatarsuren and Yuji Sekiya: Cyber Attack Prediction using Social Data Analysis, Proceedings of the 2nd International Conference on Data Compression, Communication, Processing, and Security, Sep. 2016.

[査読付 17] Ryo Nakamura, Yohei Kuga, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: Protocol-Independent FIB Architecture for Network Overlays, Proceedings of the 7th ACM SIGOPS Asia-Pacific Workshop on Systems, ACM, DOI : 10.1145/2967360.2967372, Aug. 2016.

[査読付 18] Kazuki Mizuyama, Yuzo Taenaka, Kazuya Tsukamoto. “Estimation Based Adaptable Flow Aggregation Method for Reducing Control Traffic on Software Defined Wireless Networks,” In Proceedings of The 8th International Workshop on Information Quality and Quality of Service for Pervasive Computing (IQ2S 2017), Mar. 2017.

[査読付 19] Takeshi Takahashi, Daisuke Miyamoto: Structured Cybersecurity Information Exchange for Streamlining Incident Response Operations, In Proceedings of IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS), Apr. 2016.

その他の発表論文

[発表 1] 工藤 知宏: 異種プロセッシング装置を高速な通信で柔軟に組み合わせるポストムーア時代のアーキテクチャ, 第 15 回情報科学技術フォーラム (FIT) (招待講演), 富山大学, 2016 年 9 月.

[発表 2] 武者 千嵯, 工藤 知宏, 鯉渕 道紘, 天野 英晴:マルチ FPGA 上での CNN の実装, 信学技報, vol. 116, no. 417, RECONF2016-71, pp. 135-140, 2017 年 1 月.

[発表 3] 工藤 知宏: 将来の大学ネットワークとネットワーク仮想化, 電子情報通信学会ネットワーク仮想化時限研究専門委員会第 22 回研究会 (基調講演), 法政大学 市ヶ谷キャンパス, 2017 年 3 月.

[発表 4] 濱中 寿樹, 妙中 雄三, 塚本 和也, 中山 雅哉: Multi-Channel Software Defined WMN における無線干渉度合の推定および干渉回避制御に関する初期検討, 信学技法, Vol. 116, No. 256, NS2016–93, pp. 29–34, 2016 年 10 月.

[発表 5] 濱中 寿樹, 妙中 雄三, 塚本 和也, 中山 雅哉: Multi-Radio Software Defined WMN における無線干渉回避制御手法の性能評価, 信学技法, Vol. 116, No. 484, NS2016–245, pp. 505–510, 2017 年 3 月.

[発表 6] 粂 尚成, 宮本 大輔, 中山 雅哉: 超小型端末向け視線フリックを利用した文字入力手法の提案と評価, 信学技法, Vol. 116, No. 496, MVE2016–75, pp. 187–192, 2017 年 3 月.

[発表 7] 浅井 一輝, 小川 剛史: オプティカルフロー強調による移動速度感覚の変化に関する一検討, VR 学研報, Vol. 21, No. CS–3, CSVC2016–25, pp. 19–24, 2016 年 10 月.

[発表 8] 浅井 一輝, 小川 剛史: オプティカルフロー強調が移動速度感覚に与える影響の評価, VR 学研報, Vol. 21, No. CS–4, CSVC2016–31, pp. 1–4, 2016 年 12 月.

[発表 9] 浅井 一輝, 小川 剛史: 移動速度感覚の制御のための歩行動作を考慮した視覚刺激提示, 信学技報, Vol. 116, No. 494, MVE2016–73, pp. 177–182, 2017 年 3 月.

[発表 10] 新島 有信, 小川 剛史: バーチャル食感のための電気的筋肉刺激における時間知覚に関する一検討, VR 学研報, Vol. 22, No. CS–1, CSVC2017–3, pp. 13–18, 2017 年 3 月.

[発表 11] 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, 長崎県立大学, 2017 年 3 月.

[発表 12] 佐藤 康次, 関谷 勇司: 出口対策に向けた耐感染性を有したネットワーク監視並びに防御システムの検討, 電子情報通信学会, 信学技法, vol. 116, no. 361, IN2016–82, pp. 91–96, 広島市立大学, 2016 年 12 月.

[発表 13] Tomohiro Ishihara and Yuji Sekiya: Case-based study and Discussion of threat analysis on DNS traffic using MATATABI platform, IA2016 Workshop on Internet Architecture and Applications 2016, IEICE Tech. Report, vol. 116, no. 282, IA2016–48, pp. 99–102, Taipei, Nov. 2016.

[発表 14] 長谷川 幹人, 阿部 博, 関谷 勇司: PTP(Precision Time Protocol) の相互接続実証実験の現状と方向性 (Phase2) Interop Tokyo 2016 ShowNet における結果からの考察, 電子情報通信学会, 信学技法, vol. 116, no. 203, IA2016–13, IIJ, pp. 1–6, 2016 年 8 月.

[発表 15] 水山一輝, 妙中雄三, 塚本和也 “Software Defined Wireless Network における制御トラヒック削減とチャネル有効利用を両立したフロー集約手法 〜マルチチャネル無線メッシュネットワークにおける有効性評価〜,” 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 2016 年 9 月.

[発表 16] 宮本 大輔: 認知心理学に基づいたサイバーセキュリティ研究に関する一考察, 日本認知心理学会 第 14 回大会, 2016 年 6 月.

[発表 17] Daisuke Miyamoto: Introduction to X.cogent (Q4/SG17), a design consideration for trustworthiness indicators ITU Workshop on Future Trust and Knowledge Infrastructure - Phase 2, Jul. 2016

[発表 18] 宮本 大輔: 認知心理学とサイバーセキュリティに関する一考察：視線分析の事例, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2017 年 1 月.

特記事項

[特記 1] 中山 雅哉, 高大連携と IT 教育 〜環境情報の協同利用を通して環境教育や ICT のもの作り、データ解析を学ぶ, https://www.wakuwaku-catch.net/事例 42 東京大学情報基盤センター中山雅哉先生/.

[特記 2] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Virtual Food Texture の紹介記事, Face electrodes let you taste and chew in virtual reality, New Scientist, https://www.newscientist.com/article/2111371-face-electrodes-let-you-taste-and-chew-in-virtual-reality/, Nov. 2016.

[特記 3] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Virtual Food Texture の紹介記事, Now you can taste FOOD in virtual reality: Electrodes stuck on the face let users feel textures and sense flavours, Daily Mail Online, http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3905258/Now-taste-FOOD-virtual-reality-Electrodes-stuck-face-let-users-feel-textures-sense-flavours.html, Nov. 2016.

[特記 4] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Virtual Food Texture の紹介記事, Food Navigator, Food futures: TasteClouds, virtual food & EMS drive taste & texture development, http://www.foodnavigator.com/Science/Food-futures-TasteClouds-virtual-food-EMS-drive-taste-texture-development, Nov. 2016.

管理異種エンジン統合クラウド，ネットワーク資源とポストムーアのアーキテクチャ検討

工藤 知宏

1　概要

IoT のための人工知能でのクラウドにおける学習をターゲットに，異種の処理エンジンを複数組み合わせて省電力で高速な処理を行うシステムのアーキテクチャを検討し，FPGA を用いた試作ボードの開発を行った．本アーキテクチャは，異種のエンジンを適材適所で用い，多数の処理エンジン間でホストプロセッサを介することなく通信を行うことでオーバヘッドの削減を狙うものである．

OGF(Open Grid Forum) NSI-WG (Network Services Interface Working Group) において，広域動的ネットワークコネクションを要求する標準インタフェース NSI-CS (Connection Service) の改訂作業をこれまでに引き続いて実施した．また，動的なパスを提供する際に必要なパスファインディングを，複数の物理レイヤを持つネットワークで実現する手法について検討・設計・試作を行った．

ポストムーア時代の計算機システムの高性能化について，広帯域な光通信技術の導入を想定した，計算性能に対し通信性能が向上した場合の通信方式の検討を行った．オーバヘッドを削減し広帯域な通信を効率よく使うために，システム全体を同期動作させる方式を検討し，通信方式の基本仕様をまとめた．

2　異種エンジン統合クラウドアーキテクチャ

NEDO「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト」のテーマとして,「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」を産業技術総合研究所，株式会社ディジタルメディアプロフェッショナル，日本電気株式会社と共に提案し，採択された．この中で，研究項目「異種 AI エンジン統合アーキテクチャの研究開発」を，再委託先である慶應義塾大学，国立情報学研究所と共に担当し，研究開発を進めた．

2.1　背景

人工知能による高度なデータ処理の実現と，これに必要な消費電力の低減が IoT における喫緊の課題になっている．特に学習処理が推論システムの最終的な性能を決定するため，より高度な処理を行うことが求められ，高い処理性能が求められる．このため，より高度な学習が必要な場合には学習をクラウド上で行うことが一般的であるが，資源に対する要求の増大に伴い，その消費電力の削減も求められている．

2.2　内容

低消費電力で大量のデータの学習を行うクラウドを実現するためには，多数の異種 AI エンジンを柔軟に組み合わせる必要がある．そこで，図 1 に示すように，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開発する．

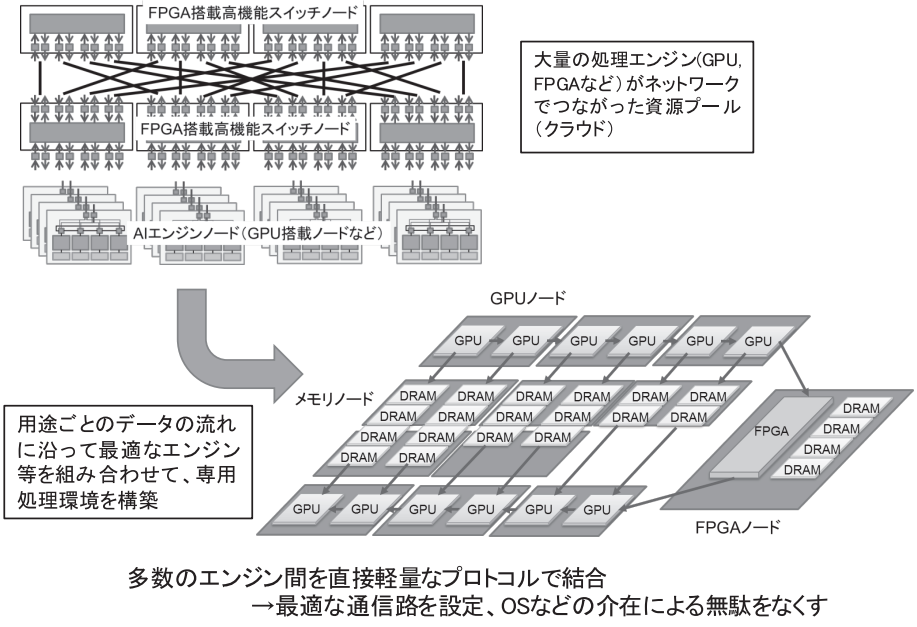


図 1: Flow In Cloud システムのアーキテクチャ

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．このため，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している．

2.3 具体的成果

平成 28 年度は，異種 AI エンジン統合アーキテクチャで用いるエンジン間の伝送方式の設計を行った．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を考案し，その実装仕様を策定した．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．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数のエンジンにまたがったあらかじめ動作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．スイッチノード（SW ノード）の第一版で用いる FPGA を Xilinx 社の XCKU095- FFVB2104 に決定し，ハードウェア試作を行った [発表 2]．また，エンジン間インタフェースの基本回路の開発を行った．

3　広域動的ネットワークコネクション提供技術

3.1　背景

OGF(Open Grid Forum) NSI-WG (Network Services Interface Working Group) では，広域動的ネットワークコネクションを要求する標準インタフェース NSI-CS (Connection Service) の策定作業を行っている．工藤は共同議長として同 WG の活動に参加している．

また，このような動的なコネクションの提供では，要求されたパスの提供時に，どのような経路でパスを設定するかを決めるパスファインディングが必要である．光ネットワーク技術の導入により，ネットワークパスの設定にも，電気信号レベル，波長レベル，ファイバレベルなどの複数のレイヤを考慮しなくてはならない状況になりつつある [査読付 1].

3.2　内容

現在の規格である NSI CS 2.0 と後方互換性を持つ改良版 NSI CS 2.1 のドキュメント案について OGF のコミッティーからの意見に基づき修正を行った．また，平成 27 年度に実施した日欧の共同研究 FELIX（FEderated Test-beds for Large-scale Infrastructure eXperiments）プロジェクトにおいて，NSI-CS を用いて国際的なコネクションを提供する GLIF (Global Lambda Integrated Facility)　AutoGole Task Force の機能を利用した際に認識した運用上の各種問題点を GLIF に対して報告した．

パスファインディングについては，個々の機器の制約条件と結線情報の記述方式を検討した．また，デジタル回路用の回路図エディタをネットワーク記述に用いることができるように拡張して，この記述から結線情報を抽出し，これを基にパスを決定するシステムの試作を行った．

3.3　具体的成果

NSI-CS については，標準化した内容が実際の運用に使われ始めていることを踏まえ，補足的なドキュメントの整備を行った．標準化活動自体は一旦終了すべく，最終文書の調整を実施している．

また，平成 27 年度に NSI-CS を用いて FELIX テストベッド上で実施した，災害時における IaaS 全体のマイグレーションを想定した実 IaaS 管理ソフトウェアを用いた実験について，実験結果を評価し，実用に耐える速度でマイグレーションが行えることを確認した [査読付 3].

パスファインディングについては，実際に運用可能な機器構成を対象に，オープンソースの線形計画法パッケージを用いてパスの探索が現実的な時間内で行えることを確認した．

4　ポストムーア時代の計算機アーキテクチャの検討

4.1　背景

従来の計算機システムは，その性能向上の多くの部分をムーアの法則にしたがった半導体の集積度と速度の向上に依存してきた．しかし，集積度の向上は限界に近づき，半導体のこれ以上の集積度と速度の向上は望めなくなりつつある．

一方，広域通信で用いられる光通信技術を適用すれば，計算ノード間で従来の 100 ないし 1000 倍程度の通信帯域を実現可能である．しかし，通信の帯域の向上を計算機性能の向上につなげるには，新しいアーキテクチャや利用方法が必要である．

4.2　内容

通信性能と計算性能のバランスが変化した際に，どのように計算機システムを構成すればよいかについての検討を実施している．通信方式について，広帯域 I/O と計算回路やメモリとの接続法の検討を行った．現在の並列計算機での通信は，メモリからメモリへデータをコピーする方式をとっている．しかし，将来メモリのアクセス帯域に対して通信の帯域が相対的に大きくなると，メモリアクセスの

帯域によって通信の帯域が制限されてしまう．これを避ける手法として，計算エレメント間の通信からフローコントロールを排除する方式の設計を行った．これは，チップ内の ALU などの論理化回路内部でデータを受け渡すのと同様に，チップをまたがる回路間でも同期してデータを受け渡す方式である．同一クロックソースをもちいることにより，送信側のクロック周波数と受信側のクロック周波数が厳密に同一であることが保証でき，送受いずれもが決定的な動作をすれば，フローコントロールを行うことなく確実にデータを受け渡すことができる．この方式を用いて，チップ間の伝送に用いられる高速シリアル信号に多数のチップ内信号をあらかじめ決めたタイミングで重畳して送信することで，メモリアクセス帯域に制限されることなく，将来の実現が見込まれる超高速シリアル通信を有効に生かすことができる．また，通信時のシステムソフトウェアの介在を無くし，オーバヘッドを削減することができる．

4.3 具体的成果

光通信技術の導入による計算機システムの性能改善の可能性についてまとめ，いくつかの機会で発表を行った [査読付 2][査読付 4].

また，提案方式を評価するための環境を構築した．NetFPGA 2 セットを導入し，10Gbit イーサネットで対抗接続して相互に通信できるようにした．今後平成 28 年度に行った通信方式の基本設計に基づき，FPGA 上への実装を進める．

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yosuke WATANABE, Kiyo ISHII, Toshiki SATO, Atsuko TAKEFUSA, Tomohiro KUDOH, Maiko SHIGENO, Akiko YOSHISE: Routing and wavelength/sub-wavelength path assignment to maximizing accommodated traffic demands on optical networks., Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 10 (2016) No. 3 p. JAMDSM0038, Apr. 2016

[査読付 2] Tomohiro Kudoh, Kiyo Ishii, Shu Namiki: Current status and future prospects of optical communications technology and possible impact on future BDEC systems., 4th Big Data and Exascale Computing (BDEC) workshop, Jun. 2016

[査読付 3] C. Fernandez, C. Bermudo, G. Carrozzo, R. Monno, B. Belter, K. Pentikousis, R. Toseef, T. Kudoh, A. Takefusa, J. Haga, B. Puype, J. Tanaka: IaaS Migration Using the FELIX Federated Testbed., 2016 5th IEEE International Conference on Cloud Networking, pp. 33-38, Oct. 2016

[査読付 4] Ryousei Takano, Takahiro Hirofuchi, Hirokazu Takahashi, Norio Sakaida, Katsuhiro Shimano, Kiyo Ishii, Satoshi Suda, Shu Namiki, Tomohiro Kudoh: Performance-assured Network Function Virtualization for Open and Disaggregated Optical Transport Systems., Optical Fiber Communication Conference 2017, Tu3L13, Mar. 2017

その他の発表論文

[発表 1] 工藤知宏: 異種プロセッシング装置を高速な通信で柔軟に組み合わせるポストムーア時代のアーキテクチャ, 第 15 回情報科学技術フォーラム (FIT) (招待講演), 富山大学, 2016 年 9 月

[発表 2] 武者千嵯, 工藤知宏, 鯉渕道紘, 天野英晴:マルチ FPGA 上での CNN の実装, 信学技報, vol. 116, no. 417, RECONF2016-71, pp. 135-140, 2017 年 1 月

[発表 3] 工藤知宏: 将来の大学ネットワークとネットワーク仮想化, 電子情報通信学会ネットワーク仮想化時限研究専門委員会第 22 回研究会 (基調講演), 法政大学 市ヶ谷キャンパス, 2017 年 3 月

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の可視化に関する取り組みについてまとめた解説を行った。

また、小型デバイスの利用が一般的になってくると、それらを接続する無線 LAN の構成方法や、超小型端末に対する入力方法などが課題となってくる。今年度は、容易に構築が可能となってきたマルチホップ無線 LAN 環境における無線干渉の回避手法に関する研究と、超小型端末への視線による文字入力手法に関する研究を行った。

この他、IC カード等による公共交通機関の利用記録や、クレジットカード等による購買記録、スマートフォン等による移動記録などの様々なライフログデータを活用した社会サービスの提供に関心が高まってきたが、この活用には、パーソナル情報を安全に取り扱うことが不可欠となる。今年度は、特定の個人が特定されない様に統計処理を行う k-匿名化手法の効率的なアルゴリズムの提案とその評価を行った。

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技術の確立を中心とした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。

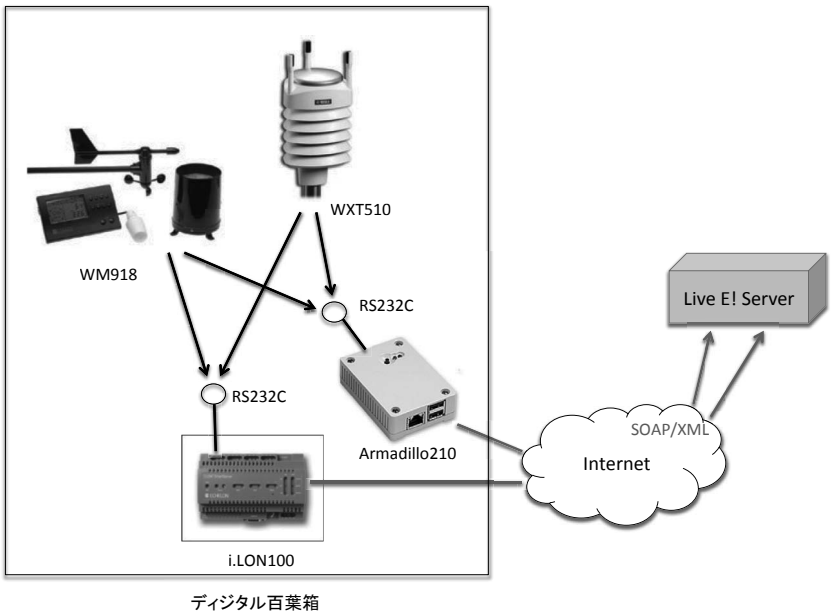


図 1: ディジタル百葉箱の構成

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の可視化に関する取り組みについてまとめた解説などを行った。

2.3 具体的成果

本研究では、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おり、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。

これまでの研究活動のうち、地理的に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を利用者に分かり易く可視化するための工夫が行われてきた。そこで、これまでに行われてきた可視化の工夫を整理して、情報処理学会誌で解説 [解説 1] 記事としてまとめを行った。

また、高校などの教育現場において、取得した環境情報を活用する試みとして、2012 年から行っているサイエンスコンテストに関して紹介を行った、昨年度の情報処理学会第 78 回全国大会のジュニア会員特別企画での発表内容が、学校法人河合塾が運営するサイト [特記 1] で紹介される事となった。

関連して、高等学校の情報教科で使用される教科書の編集に携わっており、東京書籍から発行された [著書 1, 著書 2, 著書 3]。

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側面や、観測データの処理方法を含めた教育／研究の側面などの幅広い分野で成果をあげている。

3　多段メッシュネットワークの運用管理に関する研究

3.1　背景

携帯端末の急速な普及に伴い、多数のユーザ端末を収容する無線 LAN 環境を容易に構築する需要が急速に高まっている。展示会やコンサートなどの比較的大きな会場を対象として、多くのユーザに対して動的に無線 LAN 環境を提供するには、点在する AP を有線ネットワークで接続することが物理的に困難なことが多いため、AP 同士を多段で構成した無線メッシュネットワークを用いた無線 LAN 環境の提供は有効な方法となる。

これまで、単一の管理者が、多段で無線 LAN 環境を構築した際の効率的なチャネル利用方法に関しては研究が行われてきたが、複数の管理者が別々の無線 LAN 環境を提供する場合のチャネル重複に関する検討は行われてこなかった。そこで、本研究では、管理主体の異なる無線 LAN によるチャネル干渉を検知し、自律的に回避する運用管理手法について検討したものである。

3.2　内容

多段メッシュネットワークの運用管理に関する本研究では、図 2 に示す様に、M 段に配置された N チャンネルを用いることができるようにした VAP (Virtual AP) で構成される無線 LAN 環境を前提としている。この環境では、各 VAP 同士の通信情報を OFC (OpenFlow Controller) で管理することで、AP 間を流れるユーザ端末と Internet の通信を制御している。

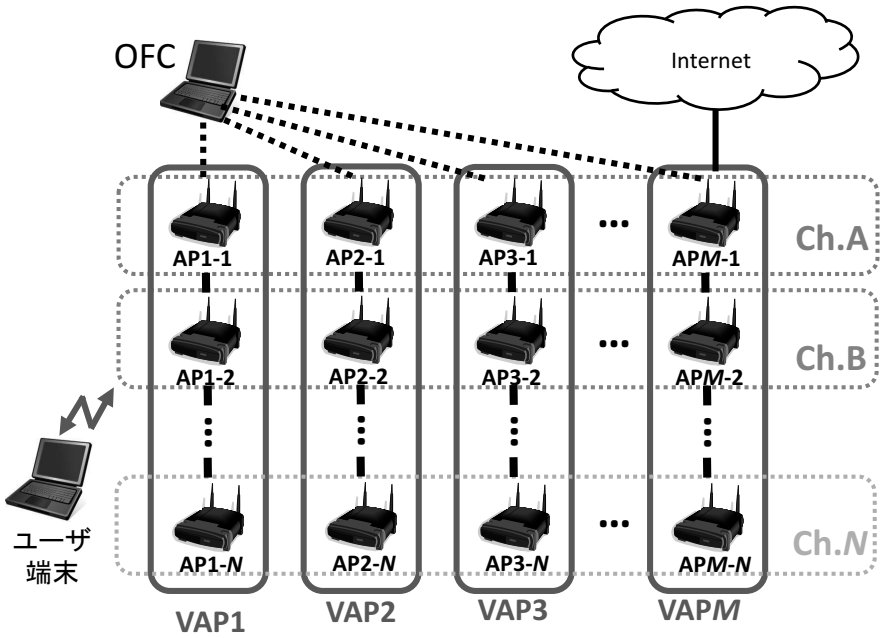


図 2: 多段メッシュネットワークの構成

これまでの研究では、VAP 内でどのチャネルを用いることが、無線メッシュネットワーク全体のチャネル効率を上げることができるかを中心に研究が行われてきたが、今年は、他の管理者が設置した別の無線 LAN 環境との間で発生する電波干渉を一定時間内に AP で処理されるデータ送受信量の差を OFC で検知して、別の空きチャネルに動的に移行させる手法に関する研究を行った。

3.3 具体的成果

本研究では、AP の各 I/F で送受信されるパケットの統計情報を定期的に OFC に通知することで、他の管理者が設置した別の無線 LAN 環境との間で発生する電波干渉を検知し、別の空きチャネルに動的に移行させる手法を実際の IEEE802.11a を用いる AP 上に実装し、実際のフローを用いて評価実験を行った。

この OFC を用いた制御手法に関する検討ならびに、実装した評価実験の結果について、電子通信学会 NS 研究会で発表を行った [発表 1, 発表 2]。

4 超小型端末における視線による文字入力手法に関する研究

4.1 背景

総務省の我が国における情報通信機器の普及状況に関する調査結果によると、最近 5 年間で最も保有率の伸びが高いのは、スマートフォンで、2015 年末には 72.0% の世帯で保有されている。さらに、これに次いで、保有率の伸びが高いのはタブレット型端末で、同時期に 33.3% の世帯で保有されている。

これらの小型端末は、スマートフォンの画面サイズは 5 インチ程度タブレット端末は 7〜10 インチのものが主流となっており、画面にタッチして文字入力などの操作を行う方法が主流となっている。それに対して、最近では、スマートウォッチに代表されるウェアラブル端末も複数の会社から販売される様になってきた。しかし、これらのウェアラブル端末の画面サイズは、1.6〜2 インチほどしかないため、小型端末で用いられてきたタッチ操作による文字入力は困難な状況にあり、新しい入力手法を考える必要が生じている。

そこで、画面サイズの小さい超小型端末では、表示画面以外の領域も操作対象として用いることができる様にした、視線による文字入力手法について検討することとした。ここでは、試作した視線による文字入力システムとその評価結果について報告する。

4.2 内容

スマートウォッチに代表されるウェアラブル端末は、1.6〜2 インチほどの画面サイズしかない超小型端末であり、この端末上でタッチ操作により文字入力を行う方法としては、画面上に表示したキーボードを 1 度目のタッチで入力領域を拡大表示し、2 度目のタッチで入力文字を選択する Zoomboard 方式 (2013 年)　や、腕時計のリストバンド部にキーボード配列を配置してタッチによる文字入力を行う Funk らの方式 (2014 年) などが提案されてきた。しかし、これらの方式では、入力領域が限られているため、一つの文字を入力するのに複数回のタッチ操作を要している。

一方、超小型端末の画面領域を視線によるジェスチャーで文字入力を行う方法として、EyeWrite 方式 (2008 年) や EyeGlance (2013 年) などの研究が行われている。これまで、視線のジェスチャーによる文字入力には、広く利用されてきた手法が存在しないため、各研究では、独自に文字の入力ジェスチャーの設計が行われてきたが、いずれも馴染みがないため、文字の入力速度は十分ではなかった。

本研究では、図 3 に示す様に、超小型端末の画面表示領域を中心に、周囲の 48 領域を視線追跡領域として用いることとし、文字の入力に必要な視線ジェスチャーのストローク数を少なくする手法を設計することとした。

まず、視線追跡領域とした 48 領域のうち、指定された領域を人が正しく注視することができるかの精度評価を行い、その結果に基づいて全体を 16 領域に分割して文字入力手法の設計を行った。

今年度は、2 ストロークの動きで「ひらがな」1 文字を入力する方式を 2 種類用意し、文字の入力速度や入力エラー率について被験者試験を行って評価する研究を行った。

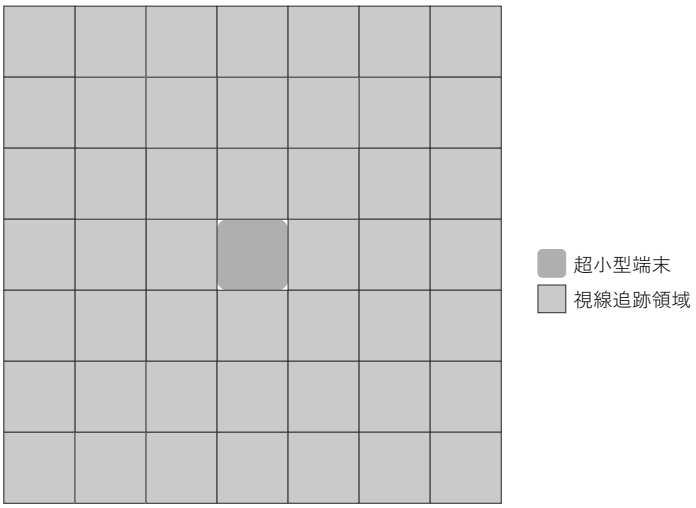


図 3: 超小型端末の視線入力に用いる追跡領域

4.3 具体的成果

本研究では、画面サイズの小さい超小型端末に対して、表示画面以外の領域も操作対象として用いる視線動作による新しい文字入力手法を設計し、被験者試験による評価を行った。

本研究では、実験システムとして Tobii TX300 を用い、約 60cm 離れた画面の位置に、対象となる超小型端末が置かれている環境を想定して視線位置を計測する手法を用い、設計した 2 つの入力方式の評価を行い、電子情報通信学会の MVE 研究会で発表を行った [発表 3]。

5 ネットワークセキュリティに関する研究

5.1 背景

Internet は日常生活で不可欠な存在が故に、安全に安心して利用できる社会基盤の構築が求められている。

一方で、IC カード等による公共交通機関の利用記録や、クレジットカード等による購買記録、スマートフォン等による移動記録などの様々なライフログデータを活用した社会サービスの提供に関心が高まっているが、この活用には、パーソナル情報を安全に取り扱うことが不可欠である。そこで、本研究では、匿名化情報を第三者が取得した場合でも、パーソナル情報の安全性を保持する方法に関して検討を行っている。

5.2 内容

Internet では、多種多様な情報が広く流通しており、様々な組織で取得された個人の活動履歴を活用した社会サービスの提供にも関心が高まってきているが、パーソナル情報を安全に取り扱う技術が不可欠となる。

パーソナル情報に含まれる情報から個人が特定されない様にする手法として、例えば、年齢情報を

「20 代」などに曖昧化することで k 件以上のデータに匿名化した情報で社会サービスの提供者に公開する k-匿名化手法が良く知られている。本研究室では、情報損失を極小化するデータの分割手法に関する検討を行っている。

5.3 具体的成果

さらに、様々なライフログデータに含まれる情報から個人が特定されない様にする匿名化手法として用いられている k-匿名化手法に関して、情報損失を極小化するデータの分割手法に関する検討を、長野高等専門学校、慶応義塾大学と共にっており、情報処理学会論文誌 [査読付 1] で発表を行った。

6 成果要覧

著書／編集

[著書 1] 赤堀侃司, 永野和男, 東原義訓, 坂元章, 飯田秀延, 榎本竜二, 木戸俊吾, 小泉力一, 後藤貴裕, 佐藤義弘, 中山雅哉, 西澤廣人, 松田美佐, 宮寺庸造: 新編 社会と情報, 東京書籍,2017/02.

[著書 2] 赤堀侃司, 永野和男, 坂元章, 飯田秀延, 榎本竜二, 木戸俊吾, 小泉力一, 後藤貴裕, 中山雅哉, 西澤廣人, 東原義訓, 松田美佐, 宮寺庸造: 社会と情報, 東京書籍,2017/02.

[著書 3] 赤堀侃司, 永野和男, 東原義訓, 榎本竜二, 木戸俊吾, 小泉力一, 後藤貴裕, 坂元章, 佐藤義弘, 中山雅哉, 西澤廣人, 松田美佐, 宮寺庸造: 情報の科学, 東京書籍,2017/02.

解説

[解説 1] 木本雅彦, 中山雅哉, 井上潔, Live E!: 〜活きた地球の環境情報〜ディジタル環境情報の中で自律的な生成/流通/加工/共有に向けて: 3. 広域の気象センサから得たデータの可視化, 情報処理, Vol.58, No.3, pp.211-214, 2017/02.

査読付論文

[査読付 1] 秋山寛子、和田昌昭、中山雅哉、加藤朗、砂原秀樹: k-匿名化アルゴリズムにおける情報損失の極小化, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.12, pp.26752681, 2016/12.

その他の発表論文

[発表 1] 濱中寿樹、妙中雄三、塚本和也、中山雅哉: Multi-Channel Software Defined WMN における無線干渉度合の推定および干渉回避制御に関する初期検討, 信学技法、Vol.116, No.256, NS201693, pp.2934, 2016/10.

[発表 2] 濱中寿樹、妙中雄三、塚本和也、中山雅哉: Multi-Radio Software Defined WMN における無線干渉回避制御手法の性能評価, 信学技法, Vol.116, No.484, NS2016245, pp.505510, 2017/03.

[発表 3] 粂尚成、宮本大輔、中山雅哉: 超小型端末向け視線フリックを利用した文字入力手法の提案と評価, 信学技法, Vol.116, No.496, MVE201675, pp.187192, 2017/03.

特記事項

[特記 1] 中山雅哉, 高大連携と IT 教育 〜環境情報の協同利用を通して環境教育や ICT のもの作り、データ解析を学ぶ, https://www.wakuwaku-catch.net/

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

Augmented Reality (AR) 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、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、電気的筋肉刺激を用いた食感提示および歩行支援のための体感速度制御、クロスモダリティを用いた視触覚提示に関するインタフェース技術を中心に研究を推進した。上記と関連して、これまで取り組んできたユーザの姿勢を考慮した携帯端末の把持姿勢認識技術、視線による描画を用いた個人認証技術、電気的筋肉刺激を用いた重量感制御技術に関する研究が国内論文誌 [査読付 4, 査読付 8, 査読付 9] に掲載された。

2　電気的筋肉刺激を用いた食感提示

2.1　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、拡張現実感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。しかし、現実には、人が料理を口にして「おいしい」と感じるとき、味覚や風味、食味、文化、環境など様々な要因が影響していると考えられている。

本研究では、豊かな食体験を実現するために、食味に分類される食感を提示するシステムを提案し、具体的な提示手法の検討とプロトタイプの実装を行った。

2.2　内容

食事をするとき人は五感から様々な情報を得ており、甘味、酸味、塩味、苦味、旨味、渋味、辛味といった味覚から得られる味、こくや香りなど嗅覚から得られる風味、食感や温度、色・光沢、音など視覚、触覚、聴覚から得られる食味が「おいしさ」を構成する科学的・工学的要素である。食味に分類される食感は、硬さ、粘性、弾力性などの力学的特性と舌ざわり、喉ごしなどの表面的特性から構成されるため、まずはじめに力学的特性に関する食感提示を対象に検討を進めた。

2.2.1　Electric Food Texture システム

Electric Food Texture システムは、人が食事をする際の咀嚼筋の活動に基いて力覚フィードバックをユーザに提示するシステムであり、咀嚼検知部と食感データベース、電気刺激提示部で構成されてい

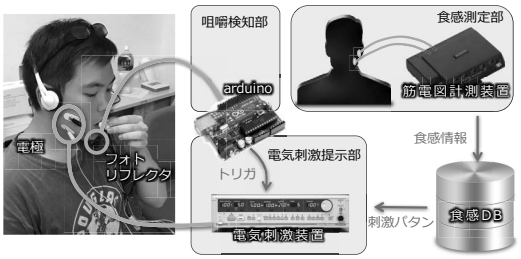


図 1: Electric Food Texture システム

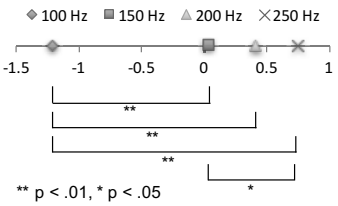


図 2: 周波数と硬さ

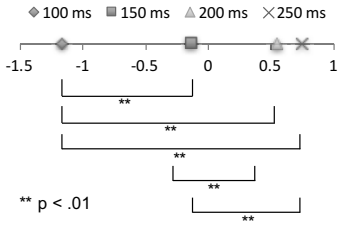


図 3: 提示時間と弾力性

る。咀嚼検知部ではユーザの下顎の動きを測定することにより咀嚼のタイミングを検知し、ユーザが口を閉じるタイミングに合わせて、咀嚼筋に電気刺激を提示する。電気刺激の強度や刺激提示時間は提示したい食感によって変化させることとし、あらかじめ記録された食感データベースのデータをもとに各パラメータを決定する。食感データベースには、食感測定部によって記録された食品の硬さや弾力性に関するデータが含まれている。システムの概要を図 1 に示す。

咀嚼検知部: フォトリフレクタ（Pololu 社 QTR-1A）を用いて下顎の動きを測定する。フォトリフレクタは市販のヘッドセット（Sanwa Supply 社 MM-HSUSB16W）のマイク部に取り付けた。フォトリフレクタと顎との距離をサンプリングレートは 100 Hz で計測する。ノイズ除去のためにセンサ値に平滑化係数 0.1 の指数移動平均処理を適用している。顎の動き（センサ値の変化量）が閾値を超えた場合に開口（閉口）運動として認識する。

食感データベース: 提示する電気刺激の刺激強度や提示時間などの食感の力覚的特性に関するデータを格納する。データベースを構築するためには、実際の食品の食感の硬さや弾力性などの力覚的特性を測定する必要があり、食感を測定するセンサとして圧力センサや加速度センサなどを用いる手法も存在するが、本研究では EMS を利用することから、筋電センサ（EMG センサ）を用いて咀嚼筋の筋活動を測定する手法を採用する。咀嚼筋は複数の部位の筋肉からなり、舌骨筋などの開口筋と咬筋を始めとする閉口筋に大別されるが、食感に最も関連が強いのは咬筋であることから、咬筋の EMG を測定する。

サンプリングレート 2048 Hz の EMG センサ (ThoughtTechnology 社 MyoScan-Z) を用いて、食品を咀嚼したときの咬筋の EMG を測定した。EMG センサ値に対して通過帯域 20 - 500 Hz の 4 次のバターワース型バンドパスフィルタを適用し、時間窓 150 ms の移動平均処理を行った結果から、電気刺激提示部で提示する電気刺激の強度および刺激提示時間を決定するためのパラメータとして、電気刺激の強度にパルス波の最大振幅値を、刺激提示時間はパルス波のパルス幅（振幅が最大振幅値の 50 %である点の時間間隔）を用いることとした。

電気刺激提示部: 電気刺激の提示には、安全面を考慮して医療用の電気刺激装置（NIHON KOHDEN 社 SEN-3401）を用いる。JIS の安全基準（JIS T 0601-2-10）に則り、印加電圧は 20 V 以内とした。外部から装置へトリガが送られるたびにパルス幅 0.05 ms の矩形波を出力する。プロトタイプでは、咀嚼検知部からの得た咀嚼タイミングに合わせて、マイコン（Arduino）がトリガを電気刺激装置に送信している。

2.2.2 EMS による食感パラメタの検証

刺激強度とバーチャル食感の硬さおよび刺激提示時間とバーチャル食感の弾力性の関係性について検証した。EMS の刺激強度は提示する電気刺激（パルス幅 0.05 ms の矩形波）の周波数を変化させて調節する（Pulse Frequency Modulation）。硬さの検証では、刺激提示時間を 150 ms に固定し、周波数を 100、150、200、250 Hz の 4 種類とし、弾力性の検証では、周波数を 150 Hz に固定し、提示時間を 100、150、200、250 ms の 4 種類として、シェッフェの一対比較法（中屋の変法）を用いて 20 代から 30 代の被験者 6 名（男性 5 名、女性 1 名）に実験を行った。周波数と硬さの関係および提示時間と弾

表 1: バーチャル食感のための EMS パラメータ

食品	周波数 (Hz)	提示時間 (ms)
グミ	200	250
チョコレート	150	100
ポテトチップス	250	100

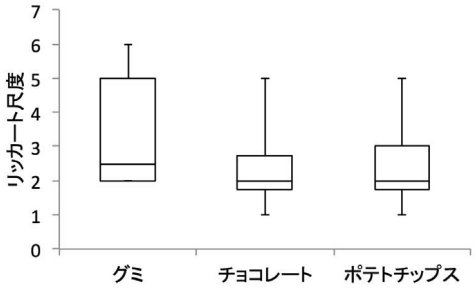


図 4: バーチャル食感のリアリティ

力性の関係をそれぞれ図 2 および図 3 に示す。これにより、EMS の刺激強度が高いほどバーチャル食感が硬く感じられ、EMS の提示時間が長いほどバーチャル食感の弾力性が増して感じられることが示唆された。

2.2.3 バーチャル食感提示

Electric Food Texture System を用いて、グミ、チョコレート、ポテトチップスの 3 種類のバーチャル食感提示に関する予備検討を行った。EMS による食感提示の検証実験結果より、硬い食感を表現する場合は EMS の刺激強度を高く設定し、弾力性のある食感を表現する場合は EMS の提示時間を長く設定すればよいと考えられる。本研究の提案システムでは、EMG センサ値をもとに EMS パラメータ値を決定することを考えているが、現状では EMG センサ値から EMS パラメータ値への変換式が確立していない。したがって、本予備検討では、各食感のパラメータを 2 名の被験者が事前に体験しながらチューニングすることとした。周波数および提示時間のパラメータを 100、150、200、250 の 4 種類の値から選ぶこととした。2 名の被験者が合議の上、グミ、チョコ、ポテトチップスの 3 種類の食感に最も近いと思われるパラメータの組み合わせを選んだ。設定したパラメータを表 1 に示す。

20 代から 30 代の 8 名の男性被験者に対して、各バーチャル食感のリアリティ（実際の食品の食感に近いか）を検証した。5 回の咀嚼の後、どの程度のリアリティを感じたかを 7 段階のリッカート尺度（1：全くリアルでない、7：非常にリアルである）を用いて回答させた。被験者の回答結果を図 4 に示す。箱の上端と下端は第 3 四分位数と第 1 四分位数、箱の中の横棒は中央値、ひげの上端と下端は最大値および最小値を示している。グミは最高点が 6、第 3 四分位数が 5 となり一部の被験者にとってはリアリティが高いと言えるが、チョコレートとポテトチップスはどちらも第 3 四分位数が 3 以下であり、あまりリアリティが高いとは言えない。被験者にインタビューしたところ、「ポテトチップスは咀嚼音がないとリアリティを感じられない」と意見が複数挙がったことから、力覚フィードバックだけでなく聴覚フィードバックも食感のリアリティ向上のために必要不可欠であると考えられる。「チョコレートはそもそも食感を意識したことがあまりない」という回答もあり、食感に特徴のない食品をどのように表現するかは今後の検討課題である。また、本実験では、リアリティのみを評価項目としたため、各食品の詳細な食感との適合性については検証できてない。今後は食品の食感の評価項目を詳細化し、EMS による力覚的フィードバックと各種食感の関係を検証する予定である。

2.3 具体的成果

本研究では、咀嚼筋に電気刺激を提示することで食感を再現する “Electric Food Texture System” を提案し、プロトタイプを構築した。咀嚼時に合わせて提示する電気刺激の強度や提示時間を変化させることで、食品の硬さや弾力性を表現できることが分かり、バーチャルな食感を提示することや咀嚼中の食品の食感を変化させてユーザへの新しい食体験提供を目的として、これからも研究を推進する予定である。

本研究の成果は、国内論文誌 [査読付 7]、国際会議 [査読付 2, 査読付 5, 査読付 6] および国内研究会 [発表 4] で発表し、[受賞 2, 受賞 3, 受賞 5] を受賞した。また、[特記 1, 特記 2, 特記 3] などのオンライン記事にも取り上げられた。

3　歩行支援のための体感速度制御

3.1　背景

運動不足は肥満を引き起こし、生活習慣病のリスクを上昇させる。習慣的な運動は健康の維持・改善に効果があると言われているが、自主的に運動しようと強い意思をもつ人でなければ、運動に対するモチベーションを維持することは難しい。健康改善のために医師から指示されるなど、強制的に運動させられる場合には、なおさら継続的な運動を行うことは困難である。そこで、運動に対する意欲を自然にかきたてる仕組みを作ることによって、人々の自発的な運動を支援することが重要であると考えられる。特にウォーキング（歩行運動）は、特別な道具や設備を必要とせず手軽に始めることができ、体に優しい有酸素運動として注目されている。文部科学省が実施した調査においても、歩行運動は国全体での実施率が最も高く、初心者でも取り組みやすい運動であると言える。しかし、ウォーキングに関しても、いつも同じルートを通っていると新鮮さが失われ、意欲の低下に繋がる。

本研究では、見慣れた道を歩いている場合でも、いつもとは異なる体験をさせることで、新鮮な気持ちで歩行運動が行えるシステムを提案する。まったく異なる道を歩いているように感じさせるのであれば、拡張現実感 (AR, Augmented Reality) 技術を用いて目の前の風景にはない建物を重畳表示したり、建物の形を変更したりすることで、道の印象を変化させる手法が考えられる。しかし実際に見える景色を変化させると、通行人や対向車、障害物など実世界情報が失われる可能性があり、接触事故や転倒事故に繋がる危険性がある。付加する視覚情報が現実と乖離することを避け、普段とは異なる歩行体験を実現する方法として、体感速度に着目する。AR 技術を用い、人が速度を知覚する要因の一つである周辺視野領域のオプティカルフローを変更し、体感速度を制御する。いつもの道をいつもと同じように歩いていても、体感速度を上げることで、ある時は颯爽と、またある時は軽快に歩くことができ、逆に体感速度を下げることで落ち着いてゆったりとした歩行を実現できる可能性があり、普段とは異なる新鮮な気持ちで歩行運動が行なえ、運動意欲維持に効果があると期待している。

3.2　内容

3.2.1　速度感覚提示システム

体感速度を制御する従来システムにおける課題を考慮し、本システムの要件を以下に示す。

1. 歩行時の体感速度を上昇させる
2. 視覚刺激への慣れを軽減させる
3. システム利用時の安全面を考慮する

人が速度を知覚する要因は様々あるが、視覚の寄与するところが大きく、特に周辺視野領域のオプティカルフローが重要であることが知られている。そこで、歩行するユーザに、放射状のフィルタを用いてオプティカルフローを強調した視界を提示するシステムを提案する。常にオプティカルフローを強調した視覚刺激を提示すると、継続して提示される刺激に慣れてしまい、時間経過とともにその効果が低下する問題が考えられる。また、フィルタによって視認性が低下するため安全面の課題もある。本研究では、これらの問題を考慮して、まずはユーザの歩行時の体感速度を上昇させる方式について検討を進めた。

3.2.2　オプティカルフロー強調フィルタ

オプティカルフローを強調するために画像の中心から放射状に広がるフィルタについて述べる。カメラ画像の任意の画素 $P_n(x_n, y_n)$ のフィルタ適用後の画素値 $V_i(P_n)$ を式 (1) によって求める。i(i = 1,

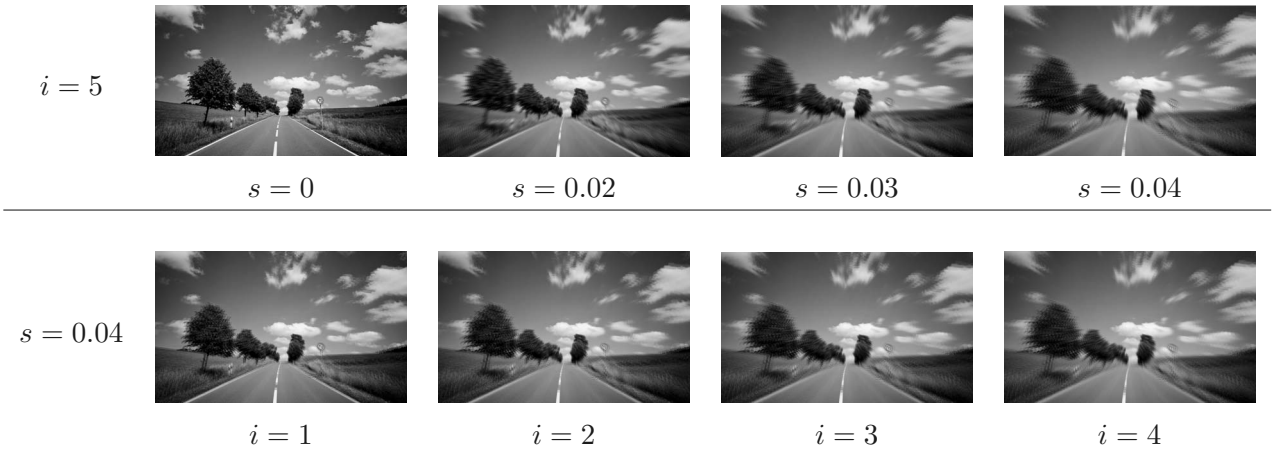


図 5: 強度とフィルタ適用回数の違いによる提示画像例（上段:フィルタ適用回数固定（$i = 5$)、下段:強度固定（$s = 0.04$))

2, 3,...) はフィルタの適用回数を表しており、回数が多いほど、ぼかし効果が強くなる。また、$V_0(P_n)$ および $V_0(P_{n+1})$ はフィルタ適用前のカメラ画像の画素値を表しており、P_n と P_{n+1} の位置関係を式 (2) に示す。s はフィルタ強度を表しており、この値が大きくなるほど、$P_n(x_n, y_n)$ の画素値を算出する際、画像の中心 (c_x, c_y) により近い画素 $P_{n+1}(x_{n+1}, y_{n+1})$ との平均を計算するためブレ幅が大きくなり、結果としてぼかし効果も高まる。フィルタ強度およびフィルタ適用回数を変化させた場合の画面提示例を図 5 に示す。歩行中のユーザの視界に対しリアルタイムにこの処理を加えるために、iOS 上で動作するアプリケーションとして実装した。iOS 端末には apple 社の iPhone 6s を用い、画像処理用ライブラリには OpenCV を用いた。ヘッドセットを用いて、端末を被験者の頭部に固定し視界を提示することで、オプティカルフローの強調が可能となる。

$$V_i(P_n) = \frac{1}{2}V_{i-1}(P_n) + \frac{1}{2}V_{i-1}(P_{n+1}) \tag{1}$$

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n - (x_n - c_x) \times s \\ y_{n+1} &= y_n - (y_n - c_y) \times s \end{aligned} \tag{2}$$

3.2.3 歩行動作を考慮した視覚刺激提示

要件 2 に関して、日常生活で人が知覚している速度に順応する事例が存在する。例えば、車で高速道路を走行した後、一般道を走行すると、速度が小さく感じる。これは、一定時間高速道路で走行することで、走行中に視界に発生するオプティカルフローの変化が乏しいために人の知覚が順応することが原因の一つだと言える。また、要件 3 の安全面に関して、前章で述べたとおり、従来の視覚刺激を用いた体感速度制御に関する研究では常に視覚刺激を提示することを前提としており、実際の利用環境では視認性が低下し接触事故等の危険が予想される。実際の歩行時に使用するためには、ユーザが視覚刺激に慣れないよう変化に富み、安全面を考慮するために可能な限り視界を奪わないよう刺激提示時間を短くする提示手法が必要となる。そこで前節で述べたフィルタを歩行に合わせ、通常の視界と切り替えて提示することを考える。半歩行周期（片足が地面を離れ再び接地するまで）の間にフィルタの繰り返し数を $i = 5$ まで強め、再び通常の視界に戻す。人の通常の歩行周期は約 1 秒であることから、フィルタの強弱の周期を 0.5 秒とした。体感速度を上昇させるため、図 6 に示すようにフィルタの繰り返し数を増加させる際は変化を顕著にし、逆に繰り返し数を減少させる際には変化を知覚しづらくさせる手法を採用した。この手法により、通常の視界とフィルタがかかった視界が切り替わることで変化を生み、また恒常的な視覚刺激の提示を回避することが可能となる。フィルタと通常の視界

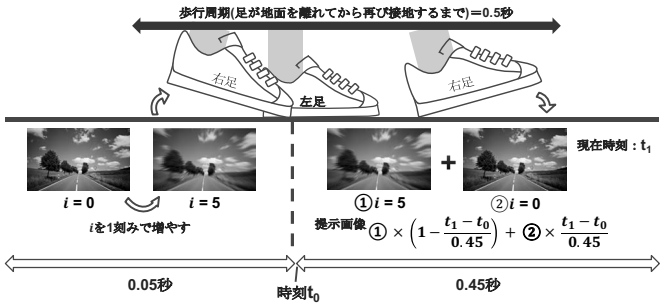


図 6: 歩行周期に合わせた視覚刺激提示手法

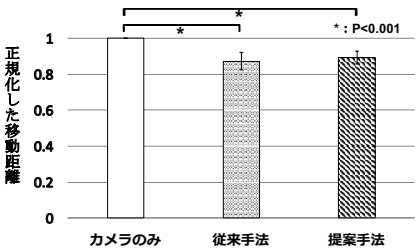


図 7: 暗転後の移動距離の比較

を切り替える周期に関して、20〜40 代の男性被験者 5 名を対象に、フィルタの繰り返し数 i を増加・減少させる時間を変化させ、最も体感速度が上がっていると感じる組合せを調査した。その結果、歩行周期 0.5 秒のうち、図 6 に示したフィルタの繰り返し数増加にかける時間を 0.05 秒、カメラ画像に戻すのにかける時間を 0.45 秒とした。

3.2.4 評価

提案システムの有効性を検証するため、歩行動作に合わせた視覚刺激提示が歩行時の体感速度に与える影響に関する調査と被験者による主観評価を行った。

20 代の男性 5 名を対象にシステムを装着させ、スタート地点から 15[m] 先にあるゴールまで歩くよう指示した。ゴールの 5[m] 手前の地点で画面を暗転させ何も見えない状態にし、ゴール地点だと思うところまで歩かせた。被験者には、歩行開始と同時に視覚刺激を提示しており、常に刺激を提示する従来手法（繰り返し数 $i = 5$, フィルタ強度 $s = 0.04$）と、提案手法の 2 種類を用いた。また、歩行開始から暗転まで一切の刺激を提示しないカメラのみの 3 条件を 5 試行ずつ計 15 試行をランダムな順序で実施した。体感速度が上昇していれば、暗転後の移動距離が減少し最終的な停止位置がより短くなるという仮説を立て本実験を行った。なお、被験者の半歩行周期を 0.5 秒にあわせるために、歩行開始から暗転までは 0.5 秒周期でビープ音を提示しており、それに合わせて歩行するよう指示した。

カメラのみ条件における暗転後の平均移動距離で各条件における平均移動距離を正規化した値を図 7 に示す。つまり、値が 1 よりも小さい場合は、カメラのみ条件よりも移動距離が短いことを意味している。グラフ中のエラーバーは標準偏差を表している。多重比較を行った結果、カメラのみと従来手法、カメラのみと提案手法の間に有意差が検出された ($p < .001$)。いずれの手法でも、カメラのみの場合と比べて移動距離が有意に短くなっており、体感速度が上昇していることを意味する結果となった。

また、主観評価では、予備実験 1 で用いた従来手法と歩行に合わせた視覚刺激提示である提案手法を切り替えられるシステムを構築し、被験者 9 名 (20 代男性 6 名、女性 3 名) に自由に利用させた。被験者には体感速度を上昇させるための歩行用アプリケーションであることを説明し、その使用方法（ボタンを押すとフィルタが適用される、効果音に合わせて歩行する等）を説明した。その後システムを装着して歩く練習をさせ、本人が慣れたと判断した後に実験を開始した。実験開始前に、システムを自由に使用して散歩のような感覚で歩くよう指示をした。また、行き先やフィルタの使用も自由であると説明をした。なお実験中は安全を考慮し、常に実験施行者が被験者の視界に入らないように横についていた。システムを 5 分間利用した後、アンケートに答えさせた。

アンケートでは、歩きやすさ、視認性、実際のウォーキングに使用してみたい（使用意欲）、楽しさの 4 項目について 5 段階のリッカート尺度（1:全く当てはまらない 2:どちらかというと当てはまらない 3:どちらともいえない 4:どちらかといえば当てはまる 5:とても当てはまる）で評価するよう指示した。結果を図 8 に示す。ウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、楽しさ、実際のウォーキングに使用してみたい、の 2 項目では提案手法と従来手法の間にそれぞれ有意水準 1%($p = 0.01$) と

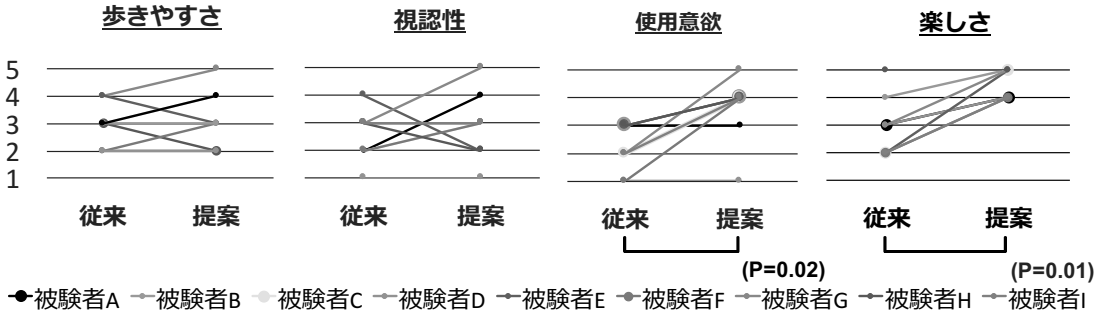


図 8: 実験 2 結果：アンケート結果

5%($p = 0.02$) で有意差が認められた。他の 2 項目では提案手法のほうが従来手法よりも低い評価をしたのは被験者 E と H の 2 名であったが、いずれも楽しさ、実際のウォーキングに使用してみたい、の項目では提案手法の方が高いか同等であると評価をしている。

3.3 具体的成果

実利用環境のための歩行動作を考慮した視覚刺激提示手法を提案し、体感速度への影響の調査を行った。評価実験の結果歩行動作に合わせ視覚刺激を提示する提案手法は体感速度上昇に効果的であることがわかった。

本研究の成果は、国内研究会 [発表 1, 発表 2, 発表 3] で発表した。

4 視覚刺激を用いたファントムセンセーション制御方式

4.1 背景

バーチャルリアリティにおいて、触覚提示技術はバーチャル環境とのインタラクション実現のために重要な要素である。従来、触覚提示手法として、振動刺激、電気刺激や超音波刺激などを用いた手法が提案されている。振動刺激を用いた触覚提示手法の研究においては、少数の振動モータで広範囲の触覚提示を行うために、触錯覚の一つであるファントムセンセーション (以下、PS) が用いられることがある。PS とは、触知覚において皮膚上の異なる 2 点を同時に刺激した際にそれらの間の 1 点に刺激が定位される現象であり、刺激が定位される位置は刺激の強さの比で決定され刺激の強い方に変位する。これまでに我々は、視覚刺激と触覚刺激を同時に提示する環境下において、視覚刺激が触知覚に与える影響について研究してきた。

これまでは、視覚刺激と触覚刺激が 1 対 1 に対応する場合の検証を行っており、それ以外の条件におけるクロスモーダル知覚については検証を行っていなかった。本研究では、格子状に 15 個に並べた LED と振動モータによる視触覚刺激装置において、視覚刺激と触覚刺激の刺激点数（同時に提示する刺激の個数）が異なる場合を含め、可能な限りすべての刺激パターンについて調査し、視触覚ディスプレイの設計指針を明らかにすることを目的として、研究を推進した。

4.2 内容

4.2.1 実験装置

本実験で用いる視触覚ディスプレイを 9 に示す。視覚刺激提示用に LED テープ（Adafruit 社製、NeoPixel Digital RGB LED Strip）を利用し、触覚刺激提示用に振動モータ（東京パーツ工業社製、FM34F）を用いて、10 に示すように 5×3 の格子状に LED と振動モータが並ぶように固定した。LED と振動モータをマイコン（Arduino 社製、Arduino Uno）によって制御し、列単位で 1 列目から 5 列目

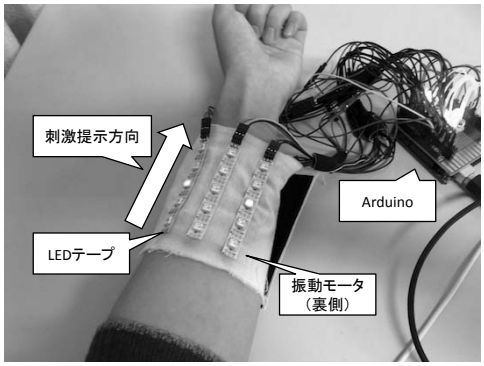


図 9: 視触覚提示装置

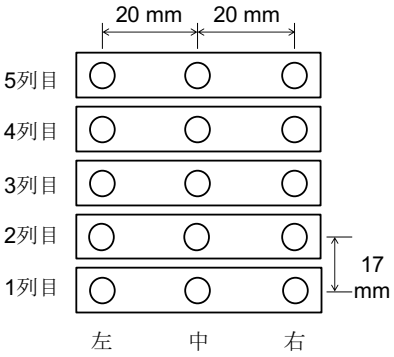


図 10: ディスプレイの配置図

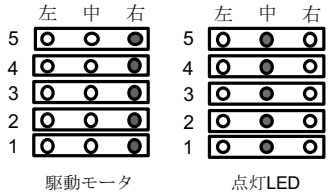


図 11: 視触覚刺激パターン 5

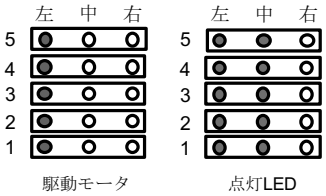


図 12: 視触覚刺激パターン 10

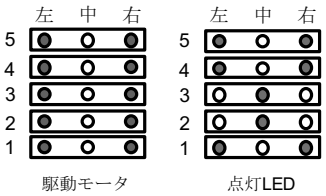


図 13: 視触覚刺激パターン 35

に向かって順番に繰り返し刺激を与える。振動モータのサイズは約 10mm で、振動を知覚する皮膚の機械受容体のパチニ小体が発火しやすいといわれる 200 Hz の周波数で振動させる。

4.2.2 実験

被験者の上腕に視触覚ディスプレイを固定し、肘（1 列目）から手首（5 列目）の方向へ刺激を 1 列ずつ順に提示した。被験者には、刺激提示中または提示後に、各列で振動を感じた位置を回答させ、それを触知覚位置とした。複数箇所で振動を感じた場合には、そのすべての位置を回答させた。被験者は 20 代から 30 代の 15 名（男性：14 名、女性：1 名）である。視触覚刺激の提示パターンは、実験中の被験者の疲労が出ない範囲で可能な限り網羅性を維持できるよう計 48 種類を用いることとした（表 2)。例えば、刺激パターン 5 では、すべての列で振動刺激は右、視覚刺激は中に提示され、刺激パターン 10 では、振動刺激が左、視覚刺激は左と中に提示される。また、刺激パターン 35 は、振動刺激は左右に提示され、視覚刺激は 5 列のうち 2 列が中、3 列が左右の LED を点灯する刺激パターンのうちの 1 つである。この組合せは 10 通りあるため表では 34 - 43 と表している。刺激パターン 5、10、35 における具体的な視触覚刺激位置をそれぞれ図 11、 12、13 に示す。色の付いた場所が刺激する点である。

表 2: 視触覚刺激パターン（表中の数字はパターン ID）

		視覚刺激位置									
		左	中	右	左中	左右	中右	中 4 左右 1	中 3 左右 2	中 2 左右 3	中 1 左右 4
触覚刺激位置	左	1	4	7	10	13	16	—	—	—	—
	右	2	5	8	11	14	17	—	—	—	—
	左右	3	6	9	12	15	18	19 - 23	24 - 33	34 - 43	44 - 48

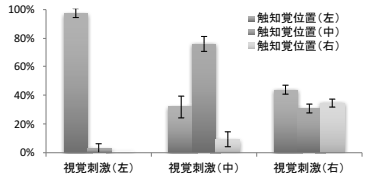


図 14: 触知覚の定位（触覚刺激：左、視覚刺激点数：1）

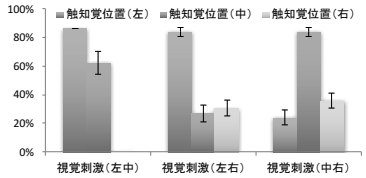


図 15: 触知覚の定位（触覚刺激：左、視覚刺激点数：2）

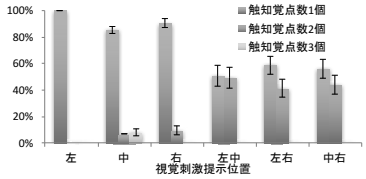


図 16: 触知覚点の数（触覚刺激：左）

4.2.3 結果と考察

実験結果の一部を図 14 から図 16 に示す。図 14 および図 15 は、いづれも触覚刺激を左の振動モータのみとして視覚刺激を 1 点もしくは 2 点とした場合に、被験者が振動していると知覚位置の割合を示している。どちらの結果も、触覚刺激位置と視覚刺激位置が一致している場合にその位置（左）に触覚刺激を感じ、触覚刺激位置に視覚刺激がない場合は触覚刺激位置から近い地点（中）で、触覚刺激を感じていることがわかった。一方、触覚刺激を感じている場所の数は、図 16 にあるように、触覚刺激点が 1 点であっても視覚刺激点を 2 点にすることで、被験者は 2 箇所に触覚刺激を感じる傾向にあることがわかった。

4.3 具体的成果

視覚刺激と触覚刺激の刺激点の個数が異なる場合について検証し、触知覚位置が視覚刺激の影響を受けて変化することや、視覚刺激の刺激点数を増減させることにより触知覚点数が増減されることなど、視触覚融合コンテンツの制作や視触覚ディスプレイの設計に有用な結果を得た。

本研究の成果は、国際会議 [査読付 1] で発表し、国内論文誌 [査読付 3] に掲載された。

5 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 向井 寛人, 小川 剛史: MVE 賞, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2016 年 6 月.

[受賞 2] 新島 有信, 小川 剛史: MVE 賞, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2016 年 6 月.

[受賞 3] Arinobu Niijima, Takefumi Ogawa: Best Paper Award, 8th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activeities, Jul. 2016.

[受賞 4] 小川 剛史: 活動功労賞, 電子情報通信学会通信ソサイエティ, 2016 年 9 月.

[受賞 5] 新島 有信, 小川 剛史: ヒューマンコミュニケーション賞, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ, 2016 年 12 月.

解説

[解説 1] 小川 剛史: 拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出, 画像ラボ, 日本工業出版, Vol. 28, No. 2, pp. 7–13, 2017 年 2 月.

査読付論文

[査読付 1] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: A Study on Control of a Phantom Sensation by Visual Stimuli, Proc. of EuroHaptics 2016, London, United Kingdom, pp. 305–315, Jul. 2016.

[査読付 2] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: A Proposal of Virtual Food Texture by Electric Muscle Stimulation, Proc. of 8th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities (CEA 2016, in conjunction with The 2016 IEEE International Conference on Multimedia and Expo), Seattle, USA, pp. 1–6, Jul. 2016.

[査読付 3] 新島 有信, 小川 剛史: 視触覚融合コンテンツにおける複数の視覚刺激と振動刺激によるクロスモーダル知覚に関する検討, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 2, pp. 19–26 2016 年 8 月.

[査読付 4] 向井 寛人, 小川 剛史: 個人認証を目的とした視線の軌跡情報からの特徴抽出, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 2, pp. 27–35, 2016 年 8 月.

[査読付 5] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Virtual Food Texture by Electrical Muscle Stimulation, Proc. of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC2016), Heidelberg, Germany, pp. 48–49, Sep. 2016.

[査読付 6] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Study on Control Method of Virtual Food Texture by Electrical Muscle Stimulation, Proc. of 29th ACM User Interface Software and Technology Symposium (UIST2016), Tokyo, Japan, pp. 199–200, Oct. 2016.

[査読付 7] 新島 有信, 小川 剛史: 電気的筋肉刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 575–583, 2016 年 12 月.

[査読付 8] 小川 剛史, 朴 燦鎬: ユーザの姿勢を考慮した端末把持姿勢認識, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 5, No. 1, pp. 31–37, 2017 年 2 月.

[査読付 9] 小川 剛史, 中張 遼太郎, 新島 有信: 電気的筋肉刺激が重量知覚に及ぼす影響の分析, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 1, pp. 3–10, 2017 年 3 月.

その他の発表論文

[発表 1] 浅井 一輝, 小川 剛史: オプティカルフロー強調による移動速度感覚の変化に関する一検討, VR 学研報, Vol. 21, No. CS–3, CSVC2016–25, pp. 19–24, 2016 年 10 月.

[発表 2] 浅井 一輝, 小川 剛史: オプティカルフロー強調が移動速度感覚に与える影響の評価, VR 学研報, Vol. 21, No. CS–4, CSVC2016–31, pp. 1–4, 2016 年 12 月.

[発表 3] 浅井 一輝, 小川 剛史: 移動速度感覚の制御のための歩行動作を考慮した視覚刺激提示, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 116, No. 494, MVE2016–73, pp. 177–182, 2017 年 3 月.

[発表 4] 新島 有信, 小川 剛史: バーチャル食感のための電気的筋肉刺激における時間知覚に関する一検討, VR 学研報, Vol. 22, No. CS–1, CSVC2017–3, pp. 13–18, 2017 年 3 月.

特記事項

[特記 1] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Virtual Food Texture の紹介記事, Face electrodes let you taste and chew in virtual reality, New Scientist, https://www.newscientist.com/article/2111371-face-electrodes-let-you-taste-and-chew-in-virtual-reality/, Nov. 2016.

[特記 2] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Virtual Food Texture の紹介記事, Now you can taste FOOD in virtual reality: Electrodes stuck on the face let users feel textures and sense flavours, Daily Mail Online, http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3905258/Now-taste-FOOD-virtual-reality-Electrodes-stuck-face-let-users-feel-textures-sense-flavours.html, Nov. 2016.

[特記 3] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa, Virtual Food Texture の紹介記事, Food Navigator, Food futures: TasteClouds, virtual food & EMS drive taste & texture development, http://www.foodnavigator.com/Science/Food-futures-TasteClouds-virtual-food-EMS-drive-taste-texture-development, Nov. 2016.

ソフトウェア基盤を用いたネットワークアーキテクチャと セキュリティのリアルタイム分析に関する研究

関谷 勇司

1 概要

2016 年度は、ソフトウェア基盤を用いたネットワークサービス提供のためのアーキテクチャに関する研究と、セキュリティのリアルタイム分析ならびに予知を主とした研究活動を行った。どちらの研究課題も、現在の大学ネットワーク運用が抱える問題を解決すべく取り組んでいる課題であり、情報基盤センターのネットワークチームとしての大学ネットワーク構築・運用に貢献する研究であると考え、研究開発を行った。

ソフトウェア基盤を用いたネットワークサービス提供のためのアーキテクチャに関する研究では、2014 年から参加し中心的に研究活動をしている次世代 NSP コンソーシアム (http://www.next-nsp.org) での知見を元に、ソフトウェア技術を用いたシステムのオーケストレーションに関する研究活動を行った。2014 年、2015 年は SDN/NFV といったキーワードに象徴されるソフトウェア基盤技術をどのようにネットワークサービスのアーキテクチャに取り入れるか、その検討を行いながら個々の技術の可能性や特性に関して研究活動を行ってきた。その結果、データセンター内のオーバレイネットワークや仮想ファンクションの構築アーキテクチャ、性能の確保等様々な課題に取り組んだ。それら個々の課題に関しては、[査読付 2][査読付 4] にて詳細を述べ、また社会への啓蒙として[招待 1][招待 2][発表 4]における発表を行った。2016 年度では大学内のセキュリティ確保が大きな問題として取り上げられ、大学のネットワークとしての利便性・柔軟性とセキュリティとの両立するネットワークの提供が実運用の課題となった。そこで、ソフトウェア基盤を用いたネットワークサービス提供のための研究成果を活かし、大学の実運用に利用できるソフトウェア基盤技術を用いたネットワークサービスの構築に取り組んだ。

また、複雑化かつ巧妙化するサイバー攻撃に対して、サイバー攻撃の検知と防御は欠かせない要素技術となっており、大学のネットワークにもより高度なセキュリティ対策が求められている。このような状況をふまえ、2013 年から行ってきた NECOMA Project の成果を引き継ぎ、よりリアルタイムにデータ解析を行うことで攻撃の兆候を素早く検知し、防御に役立てることのできる手法を研究開発した。このプロジェクトを NML (Network Muscle ~~not machine~~ Learning) プロジェクトと名付け、深層学習アルゴリズムの適用可能性に関して、調査検討を行った。また、組織的かつ意図的に行われる攻撃の可能性を予知することで、事前の防御や対策に利用することのできるサイバー攻撃予知手法に関しても研究を行った。

2 ソフトウェア基盤を用いたネットワークアーキテクチャに関する研究

2.1 背景

キャンパスネットワークは研究と教育を支える重要なインフラであり、研究のための自由度を確保しながらユーザ端末や実験機器をサイバー攻撃から守り、機密情報の漏えいを守るためのセキュリティ確保を両立する必要がある。一方で、近年学際的な研究の増加や、ネットワークを利用した世界各国にまたがるような共同研究の増加、他組織との共同研究等、物理的な場所と研究グループの形成

が必ずしも一致しない場面が増えている。また、モバイル端末の普及や IoT による多種多様な機器によるネットワーク利用も増加している。このため、大学で利用するネットワークは物理的な場所に依存することなく研究グループを形成でき、場所に依存せず即時的に同じ利便性を得られることが求められる。このような柔軟なネットワークを構築・運用することは従来の大学ネットワーク運用モデルでは設定変更のための時間と人員が不足してしまい、セキュリティ対策まで手がまわらない場面が発生する。実際に昨今、いくつかの大学において情報漏えいにつながる重大なセキュリティ事故が発生しており、各大学は今まさにセキュリティの強化が急務の課題となっている。しかし、前述の通り研究活動を推進するネットワークの構築とセキュリティの強化は相反する性格を有しており、東京大学において提供が開始されているセキュリティを強化したネットワークも研究の利便性を一部犠牲にしていると言わざるを得ない。

そこで本研究では、実際に東京大学において (1)研究のために物理的距離を超えた柔軟なネットワークを構成するという事例と、(2) セキュリティを強化したネットワークをユーザに提供するという 2 つの実務経験に基づき、柔軟性とセキュリティを両立した大学ならではのネットワークを、人的時間的コストを削減しながら提供するシステムの実現を目指した。

2.2 内容

大学におけるネットワーク提供と管理は、ISP のようなサービス事業者の側面と企業ネットワークを管理する情報システム部門のような 2 つの側面を有する。東京大学においてこの役割を担っているのは情報基盤センターであるが、いままではどちらかというと ISP としてのサービス事業者の側面を担うという傾向が強かった。しかし、昨今の大学におけるセキュリティ事故を見るにあたって、大学内における情報管理やセキュリティマネージメントのあり方が問われており、企業ネットワークのようなセキュリティを確保した統合的な管理が大学のネットワークにも求められる傾向にある。一方で前述の通り、大学のネットワークは研究活動に利用され研究活動を促進するものであり、その管理運用が自身の手を離れてすべて外部管理になったり、お仕着せのネットワーク構成しか実現できないようになったりするのであれば、サービス事業者からネットワークサービスを購入するのと何も変わらない。つまり、大学のネットワークの利点である柔軟性・即時性を確保したまま、セキュリティを確保するという課題を実現しなければならない。

例として、東京大学において現在提供されているセキュリティを強化したネットワーク(通称 PROETCTED ネットワーク) の構築と運用の概要を述べる。現在提供されている PROTECTED ネットワークは、主にユーザが利用する端末を保護するネットワークである。つまり、メールを読む、Web にて検索を行う、チャットや Web を利用したビデオ会議を行う、という研究活動のコミュニケーションを支える部分には有用である。その一方で、機器同士を安全にネットワークで接続したい、計測機器を遠隔から制御したりデータ収集を行いたい、機密データを扱う範囲を限定したネットワークを形成したい、物理的に離れた拠点間において大容量のデータを高速に転送したい、新たなネットワーク・プロトコルやアプリケーションを開発したい、といった研究活動には不適なネットワークとなっている。また、ネットワークの提供も、このネットワークは PROTECTED ネットワーク、このネットワークはセキュリティを提供しないネットワークといったように利用者の申請に基づいてネットワーク管理者が逐一検討・構築を行っているのが現状である。

このままでは学際化、グローバル化が進む大学の研究活動を支えながらセキュリティを担保することが難しくなるばかりでなく、サービスが複雑化するにつれて人員が不足する一方となる。そこで本研究では、ソフトウェア技術である SDN(Software Defined Networking) と NFV (Network Functions Virtualization) を用いて、柔軟性と即時性、セキュリティを担保したキャンパスネットワークを実現するためのネットワークサービス提供システムの設計と実装を行った。この研究は、情報基盤センターのネットワーク研究部門が主導して行う ASANO (Academic Service And Network Orchestration) プロジェクトと命名された。

2.3 具体的成果

本研究において研究開発する ASANO システムでは、(1)柔軟性、(2)即時性、(3)セキュリティ、(4)構築・運用工程の削減 を実現すべき課題と定義し、これを実現するための手法とシステム概要を検討した。そのけっか、システムを三種類の部分に別けて構築することに決定した。システム概要を図 1 に示す。

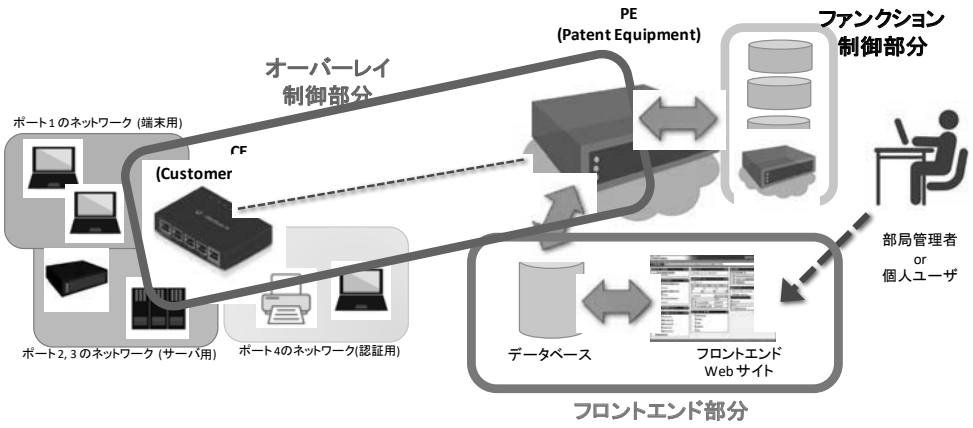


図 1 ： ASANO システム概要

システムはオーバレイ制御部分、ファンクション制御部分、フロントエンド(オーケストレーション)部分に分割される。オーバレイ制御部分は、ネットワークの設計や構築機材によるプロトコルの制限を回避して、柔軟性と即時性を実現すべく、オーバレイネットワークを利用したネットワーク網の構築を目指した。オーバレイネットワークを構築する手法は数多く存在し、またオーバレイの形態が Point-to-Point なのか複数拠点なのかによって用いる技術が異なり、さらに Layer-3 としての提供なのか Layer-2 としての提供なのかによっても適用できる技術が異なる。この検討や手法に関しては、[査読付 2]の論文において詳細な議論を行った。本システムでは、オーバレイの形態は同一ネットワークを複数拠点で利用可能な形態とし、Layer-3 と Layer-2 どちらでの提供も可能とすることを目指した。

また、フロントエンド(オーケストレーション)部分は、ユーザからのリクエストを Web インタフェースにて受け付け、ネットワークの利用者が自身の権限において設定できる範囲の中で自由にネットワーク網を制御し、利用するネットワークに対してセキュリティの技術を組み合わせることができるよう設計した。ユーザが管理できる機器資源とネットワーク資源の対応を図 2 の通り設計した。

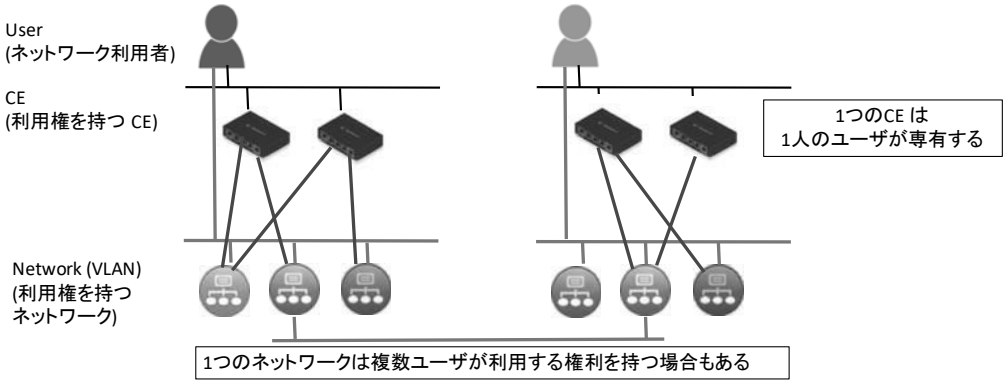


図 2 ： ネットワーク利用者とネットワーク利用権限との対応

さらに、ファンクション制御部分においては、ソフトウェアによる仮想化ファンクションや外部クラウドの機能とうまく連携し、セキュリティ機能やネットワークの管理機能を提供することを目指した。特に、

ファイルのサンドボックス検査や WAF (Web Application Firewall) といった高度なセキュリティ機能は、外部クラウドと連携する方が高機能かつ安価なセキュリティ機能を利用できる。

このような設計概要のもと、現在詳細な設計と実装を行っている。2017 年 3 月時点では、フロントエンド部分とオーバレイ制御部分に関して設計と実装が進行している。オーバレイ制御部分はまず Layer-3 での複数拠点連結を実現すべく、独自手法と商用サービスの SD-WAN 利用したシステムを構築している。その後 Layer-2 でのオーバレイを実現すべく、独自ソフトウェアの開発にも着手している。フロントエンド部分は、データベースを用いた Web フレームワークの Ruby on Rails を用いて構築され、REST API によってオーバレイ制御部分ならびにファンクション制御部分と連結する。さらに、ファンクション制御部分では、まず ACL ベースのファイアウォール提供を目指すべく研究開発が行われており、今後外部商用セキュリティクラウドとの連携や、SINET5 が提供を予定している NFV サービスとの連携を視野に入れた設計を行っている。

ASANO システムは 2017 年 5 月のテスト運用開始を目指し研究開発が行われている。機能強化は随時行われていく予定であり、試験ユーザの要望を取り入れながら柔軟性、即時性、セキュリティ、コスト低減を実現できるネットワークサービス提供システムを研究開発する。

3 サイバーセキュリティのリアルタイム分析と予測に関する研究

3.1 背景

近年ネットワークを利用したサイバー攻撃による被害が増加し、深刻な社会問題となっている。特に内部情報の詐取を狙った標的型攻撃や、標的型攻撃の踏み台に利用する環境の不正利用等、単にサービス妨害を狙った愉快犯としての攻撃のみならず、組織的かつ計画的に内部に存在する情報を見極め、ピンポイントでその情報を狙って詐取する攻撃が見受けられる。

このような攻撃に対して、既存のサイバー攻撃検知・防御システムでは、攻撃や侵入の事象が発生したことを事後に検知する仕組みとなっており、既に情報が漏れた後に検知が行われ、被害に気づく場合も多い。また、このような攻撃を検知・防御するシステムは、そのシステム自体の導入と運用、ならびに検知結果の利用に関して、サイバーセキュリティに関する専門的な知識を必要とする。すなわち、標的型攻撃を防御し、被害にあった場合にもなるべく早く検知して被害を最小限に食い止めることは、大学のみならず様々な組織の急務の課題となっている。

3.2 内容

前述の背景を受け、本研究では (1)多種のセキュリティ関連データを用いて攻撃をリアルタイムに検知し、さらに (2) 社会的なデータを用いて攻撃の予兆を検知することで事前の対策に寄与するための手法を開発することを目指した。

まず、現在の標的型攻撃の事例ならびに手法に関して調査を行い、その攻撃手法と攻撃経路を特定するために必要となるデータ種別の選定を行った。これは先行研究にて行った、NECOMA Project (Nippon-European Cyberdefense-Oriented Multilayer Threat Analysis Project) の成果を用いることで、多くの新入経路に関しては、(1) DNS の名前問い合わせクエリ (DNS querylog)、(2) ホストの通信ログ (Flow data)、(3) ブラウザがアクセスした URL 情報 (URL log)、(4) 有害通信先ブラックリストデータベース (External database) を組み合わせることで特定可能であることがわかった。多くの標的型攻撃はメールや Web サイトへの誘導を通じてして利用者の端末をマルウェア感染させ、C&C サーバと呼ばれる制御サーバと連携することで組織内の情報を詐取したりさらなる攻撃の踏み台として利用される。この挙動をとらえることで標的型攻撃の経路を明らかにすることができるため、マルウェアに感染、もしくは感染しようとしている端末から問い合わせられる FQDN を第一歩として検知を行うことが有用であると考えた。

先行研究にて行っていた手法では、有害通信先ブラックリストデータベースを組み合わせた手法にて被疑通信を特定しており、既に検知されている攻撃手法を再度検知する確率を高めたものであ

って、新たに考案、準備された侵入手法を高い確率で検知できるものではなかった。そこで本研究では、過去の攻撃経路を経験則ならびに機械学習の学習セットとして利用し、DNS のデータを用いた新たな攻撃手法の検知に関する検討と実験を行った。このプロジェクトを NML (Network Muscle ~~not machine~~ Learning) プロジェクトと名付け、外部研究者と意見交換を行いながら様々な深層学習アルゴリズムをどうネットワークデータに適用するかの検討と試行錯誤を続けている。この研究課題については、2016 年度の CREST 特定調査課題に選ばれており、引き続き 2017 年度の CREST に応募する予定である。

一方、既存のセキュリティ研究では、セキュリティ機器やネットワーク機器等のネットワークインフラ機器が生成するログデータを元にした分析が行われている。IDS/IPS と呼ばれる侵入検知・防御のセキュリティ機器は、ファイルや通信パターンに関するシグネチャと呼ばれるデータベースを保持しており、そのデータベースを用いて通信中に含まれるファイルや通信自体をチェックすることで被疑通信を検知、防御している。この際、検知した被疑通信に関する情報を記録したものが脅威ログであり、何か事象が発生した場合の事後の解析に用いられる。また、ルータやスイッチなどのネットワーク機器も、sFlow や NetFlow、NAT ログといった通信に関する情報を記録することができる。この記録が事後の解析に利用される。DNS やサーバのログも同様である。

しかし、これらのデータはあくまでの実際にあった通信をもとに検知、記録されるものであるため、複数種類のデータを組み合わせることで検知できるような攻撃手法の場合には、リアルタイムに検知・解析を行うことは難しい。また、当然これから起こるであろう攻撃を予知することも難しい。そこで本研究では、ネットワークインフラ機器が記録する複数種類のログデータを統合して蓄積し、リアルタイムに分析を行うことができるシステムを検討し開発を開始した。

さらに、従来のセキュリティ検知手法にて用いられていたネットワークインフラから得られるデータではなく、より社会的動向を示すデータを用いることで、目的を持って組織的に行われる攻撃を予知する手法に関して検討と評価を行った。

3.3 具体的成果

先行研究にて構築したシステムである MATATABI システムを利用し、DNS データを利用した標的型攻撃や侵入を試みる攻撃の検知を行った。例えば、DNS サーバに対して偽の応答を覚え込ませ利用者を偽サイトに誘導するような、キャッシュ汚染攻撃に対しては、それぞれの DNS サーバに対して送信される問い合わせクエリの数と応答の数を分析することにより、キャッシュ汚染攻撃をその開始時から検知することが可能となることがわかった。MATATABI システムを用いて、特定の DNS サーバに対する名前問い合わせクエリ数と応答クエリ数を抽出するには、次のような解析文が用いられる。

```
[問い合わせクエリ数]
       select floor(ts/60),count(*) from dns_packets  where dt = '20150401' and
       dns_qr=false and dns_flags not like '%rd%' and server='ns1.XXX.XXX' group by
       floor(ts/60);
[応答クエリ数]
       select floor(ts/60),count(*) from dns_pcaps where dt = '20150401' and
       dns_qr=true and dns_flags like '%aa%' and server='ns1.XXX.XXX' group by
       floor(ts/60);
```

MATATABI システムは Facebook Presto と呼ばれる SQL 言語を用いたビッグデータ解析基盤を利用して構築されているため、上記のような SQL 的な文法により解析した。上記の例では、ns1.XXX.XXX というサーバに関連する 2015 年 4 月 1 日の DNS パケットのうち、DNS の問い合わせに合致するフラグ種別を有しているパケットと応答に合致するフラグ種別を有しているパケットのみを抽出し、その数をカウントしたものである。この数が大きく異なり出した場合には、その DNS サーバに対して何らかの不正パケットが外部から送信されている可能性が高く、キャッシュ汚染攻撃が試みられている可能性が高いと言える。

また同様に、標的型攻撃検知の一例として、DGA (Domain Generation Algorithm) と呼ばれるランダムに生成された名前の問い合わせが DNS サーバに対して行われる。この DGA の名前解決をとらえることで、いち早く標的型攻撃の開始を検知することが可能となる。このための解析文は次の通りである。

```
select src,dns_question from dns_pcaps where regexp_like (dns_question,
'[a-z0-9]{32,48}\.(ru|com|biz|info|org|net)') AND NOT regexp_like(dns_question,
'xn--') AND dt='20150401';
```

この解析を定常的に行うことで、キャッシュ汚染攻撃や標的型攻撃の一部を素早く検知することができるとわかった。この手法と成果に関しては、[発表 3]の論文にて詳しく述べた。

さらに、本研究では社会的動向のデータを用いて組織的かつ意図的に行われる攻撃を予知する手法を確立することを目指した。具体的には、Web や SNS 上に掲載、投稿された政治的、思想的、経済的、社会的な記事を収集し、その記事を自然言語処理して機械学習、ならびに深層学習を用いて解析することで、特定のキーワードに対する攻撃の発生確率を推定する手法を考案し評価実験のためのシステム構築を行った。

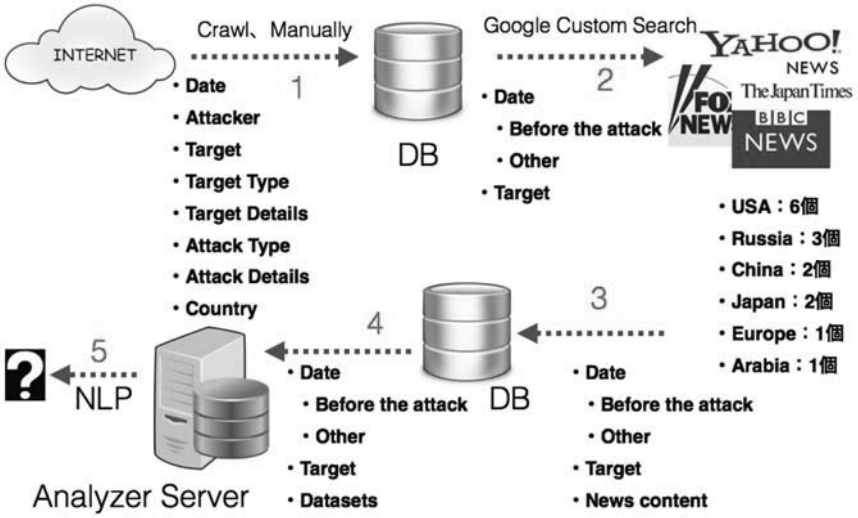


図 3 ： 攻撃に関連する社会的データ収集システム

まず機械学習ならびに深層学習において学習データとして利用するデータを作成するために、図 3 に示すデータ収集システムを構築した。過去に実際に発生した攻撃の攻撃種別、手法、日時を集めてデータベース化し、そのそれぞれの攻撃に対応する Web 記事や SNS 投稿がどの程度その攻撃が発生する以前に掲載されていたかを判定した。攻撃兆候が示される可能性が高いと思われる Web サイトを選定し、それら Web サイトと SNS アプリケーションの全データをクローリングもしくは入手して解析することで、学習データを作成した。学習データを SVM ならびに CNN に適用することで、日常の Web 記事や SNS のクローリングから攻撃に結びつくであろう象徴的なワードを抽出し、そのワードをに関連した攻撃が発生する確度を推定する手法を考案した。その手法によって抽出されたキーワードのうち、どのような種別の攻撃がどの程度の確度で発生するかを予測した一例を、表 1 に示す。この成果の詳細に関しては、[査読付 1]の論文にて述べた。

また、同様に深層学習を利用して、HTTP 通信における Web サーバや Proxy サーバのログを解析することで、端末からのマルウェアへのアクセスを特定する手法を考案し、実験を行った。その結果は [発表 1] の論文にて詳細を述べた。

表１ : SVN を用いたキーワードタイプによる攻撃種別発生可能性

	Targeted attack	アカウントハイジャック	DDoS	SQL インジェクション
学習セット/テストセットの割合	正例：527/93 不例：527/93	正例：423/75 不例：423/75	正例：358/64 不例：358/64	正例：246/44 不例：246/44
ベクトル A： クラス A キーワードの出現数	62.4% (116/186)	60.7% (91/150)	70.3% (90/128)	59.1% (52/88)
ベクトル A： クラス A キーワードの出現数 x センティメントスクア スクア：(-0.5, 0.5, 1.5)	61.0% (111/182)	56.7% (85/150)	62.0% (78/126)	53.4% (47/88)
ベクトル A： クラス A キーワードの出現数 x センティメントスクア スクア：(-1.5, -0.5, 0.5)	61.5% (112/182)	54.7% (82/150)	62.7% (79/126)	54.6% (48/88)
ベクトル B： クラス B キーワードの出現数 x センティメントスクア スクア：(-1, 1)	56.0% (102/182)	64.0% (96/150)	62.0% (78/126)	56.8% (50/88)

以上の通り、本研究では複数種類のデータセットを統合してリアルタイムに解析するシステムと手法を確立し、さらに機械学習や深層学習を統合的に用いることで、組織的かつ意図的に行われる攻撃をリアルタイムにて検知、また予知することを目指す。そのために、脅威データから情報を抽出し知識ベースを構築することで、人間の経験に基づいたヒューリスティックな手法ではなく機械的な分析による検知と予測を可能とし、セキュリティの専門的な知識を持たずとも各組織においてサイバーセキュリティ対策を行うことができるエコシステムの構築を目指すべく、さらなる研究開発を行う。

4 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 関谷 勇司 : データセンターをとりまくネットワーク技術の未来, DataCenter Networking Conference 2016, 2016 年 12 月 (基調講演)

[招待 2] 関谷 勇司 : データーセンター基盤におけるソフトウェア化の本質, データセンターコンファレンス 2016 Autumn, 2016 年 9 月(基調講演)

査読付論文

[査読付 1] Munkhdorj Baaatarsuren, and Yuji Sekiya : Cyber attack prediction using social data anaysis, IOS Press, Journal of High Speed Networks, DOI 10.3233/JHS-170560 (採録通知受領済)

[査読付 2] 中村 遼, 石原知洋, 関谷勇司, 江崎 浩 : トンネリング技術を用いた汎用機器によるデータセンターマルチパスの実現, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータ・ソフトウェア, Vol. 33 (2016), No. 3, Pp. 29‐43, 2016 年 9 月

[査読付 3] Munkhdorj Baatarsuren, and Yuji Sekiya : Cyber Attack Prediction using Social Data Analysis, Proceedings of the 2nd International Conference on Data Compression, Communication, Processing, and Security. September 2016.

[査読付 4] Ryo Nakamura, Yohei Kuga, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki : Protocol-Independent FIB Architecture for Network Overlays, Proceedings of the 7th ACM SIGOPS Asia-Pacific Workshop on Systems. ACM, DOI : 10.1145/2967360.2967372, August 2016.

その他の発表論文

[発表 1] 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, 長崎県立大学, 2017 年 3 月

[発表 2] 佐藤 康次, 関谷 勇司 : 出口対策に向けた耐感染性を有したネットワーク監視並びに防御システムの検討, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 116, no. 361, IN2016-82, pp. 91-96, 広島市立大学, 2016 年 12 月

[発表 3] Tomohiro Ishihara, and Yuji Sekiya : Case-based study and Discussion of threat analysis on DNS traffic using MATATABI platform, IA2016 – Workshop on Internet Architecture and Applications 2016, IEICE Tech. Report, vol. 116, no. 282, IA2016-48, p. 99-102, Taipei, November 2016.

[発表 4] Yuji Sekiya : DIX-IE/PIX-IE Update, The 14th Asia Pacific Internet Exchange Association, Colombo, October 2016.

[発表 5] 長谷川 幹人, 阿部 博, 関谷 勇司 : PTP(Precision Time Protocol)の相互接続実証実験の現状と方向性(Phase2) Interop Tokyo 2016 ShowNet における結果からの考察, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 116, no. 203, IA2016-13, IIJ, pp. 1-6, 2016 年 8 月

実用例を通じて学ぶ Python 学習書

中村　文隆

1　概要

近年，機械学習や VR、IoT 等の分野において重要性が一層高まりつつあるプログラミング言語 Python について，初学者が短期間に実用的なプログラミングスキルを習得することを目標とした書籍を，理想科学工業の砂川寛行氏と共同で執筆した．全体の 4/5 にあたる Python の基本的な文法解説，およびソフトウェア的な例題は中村が執筆し，残りの 1/5 については Raspberry Pi を Python から制御するハードウェアに関する応用について砂川氏が執筆した．

2　実用例を通じて学ぶ Python

2.1　背景

Python は Dropbox や Google などの広く普及したサービスにおいてもクライアントや API プラットフォームとして使われているなど，世界的にはメジャーなスクリプト言語であるが，日本においては近年に至るまでそれほど普及しているとは言い難い状況であった．その原因はさまざまに言われているが，一つにはたとえば Ruby における Ruby on Rails のようなキラーアプリケーションが Python にはなかなか見つからなかったことも挙げられる．しかし，近年の機械学習，VR，IoT 等の分野において Python 上で実装されたアプリケーションが広く使われるようになり，日本においても Python を利活用した研究・教育活動が活発化してきている．

その一方で，Python を学ぶための日本語書籍の充実度はまだ高くはなく，言語仕様とライブラリの基礎的な入門書籍と，特定の分野に的を絞った応用書籍，の 2 つのジャンルについては比較的出てきているものの，入門書積と応用書籍の橋渡しとなるような書籍はあまりみられない．そのため，入門書で言語の概略は掴み，応用書でどういうことができるかは理解したとしても，自らの取り組む対象へのアプローチにおいて躓くという事例がしばしばみられる．

上に挙げた諸分野のうち，特に機械学習については工学をバックグラウンドとしない研究者の関心も高まっていることや，ラーニングパスの多様化に伴ってプログラミングの知識と経験の背景が十分ではない学生に対する教育が必要となることなどもあり，以上のことから筆者は，短期間で実用的なレベルの Python プログラミング習得に資する書籍が必要であるとの考えに至った．

2.2　内容

背景で述べた課題を解決するため，以下のような書籍を執筆した．

基本的な方針として，興味のもてる例題を解くプログラムを通して，所与の問題を解決する Python プログラミングを習得していくことができるようにすることとした．そのため，処理系と文法自体の解説は全体の 1/6 程度のページ数にとどめ，以降の例題を理解し，実行するための最低限の記述とした．

例題としては，解こうとする問題自体の理解が比較的容易であって，かつ，目安として 100 行前後の処理で解くことのできる問題を，いくつかの分野から採用することとした．典型的な入門書ではまとまったプログラムの作成を理解する目的からは問題の規模が小さいことが多く，逆に応用書では成果を強調するために規模が大きくなり，見通しを得るための労力が大きくなることからこのような方針とした．

また, Python に関する書籍では概念や処理の図式化が用いられることが少なく, 初学者にとっては処理の流れを理解するところでの蹉跌が多いとみられることから, 努めて概念や処理の図式化を行うこととした.

以上の方針から書籍の執筆を行い, 書籍中でとりあげた例題は以下の表のようなものである.

・数学	・ネット	・Raspberry Pi
ヒット・アンド・ブロー	Web ページからの表取得	赤外線学習リモコン
Make10	・グラフィックス	GPIO 入出力
モンテカルロ法円周率計算	メッセージの LED 風表示	I2C インターフェース
マンデルブロー集合	CGI からのファイル更新	SPI インターフェース
英単語による覆面算	OpenCV による顔検出	UART インターフェース

数学に関する例題群では, イテレータ処理やシーケンス処理, 無名関数等, Python で特徴的であり, かつ初学者の壁となりやすい項目が現れるようになっている. また, ネットやグラフィックスの例題群では, ウェブスクレイピング, CGI サーバ, 機械学習, の 3 つの分野から, 応用書につながるような内容の例題をとりあげた. 最後に, IoT 分野のプロトタイピングへの展開を見通し, Raspberry Pi をハードウェアプラットフォームとして, 赤外線学習リモコンの製作例と, GPIO/I^2C/SPI/UART の使用例をとりあげた. 最後の GPIO/I^2C/SPI/UART の使用例については砂川氏に執筆していただき, 残りの部分は中村執筆を行った.

なお, 当初, 2017 年 3 月中に上梓予定であったが, 出版社の作業の都合から, 2017 年 4 月～5 月の上梓となる予定であり, 4 月現在, 最終校正をおこなっている.

無線ネットワーク資源管理の高度化に関する研究

妙中 雄三

1　概要

本研究では、有限かつ共有である無線周波数資源を無線ネットワーク上で柔軟に活用することで、無線周波数資源を有効利用しながら無線ネットワークの性能の最大化の実現を目指している。具体的には、無線通信を多く必要とする場所ではその品質要求に対応する量の周波数資源を用い、一方で無線通信の品質要求が少ない場所では最小限の無線周波数資源利用に抑える。この様な制御を自律的に実施するアーキテクチャを実現することで、共有資源である無線を必要な場所で必要な量だけ柔軟に活用し、無線資源の有効利用を実現するとともにネットワーク容量の最大化を実現する。

これまでに、Software Defined Network（SDN）を用いて無線ネットワークを管理し、フロー単位で転送経路を制御することで柔軟な資源管理を可能とするアーキテクチャと、そのアーキテクチャ上で周波数資源を管理する方法を提案した。しかし、無線環境は均質で固定であることを前提としており、無線干渉が発生すると被干渉チャネルで資源超過となり、（他のチャネルの周波数資源に空きがあっても）パケット損失が発生してしまう。また、SDN を無線ネットワークで活用すると、制御ネットワークも無線経由となるため、制御通信量が増えるとネットワーク容量を圧迫してしまう。上記の点から、本年度は無線干渉への適応制御と制御通信削減する周波数利用制御方法を提案した。

2　背景

IoT 時代の幕開けとともに、通信の主体が人からモノへと変わりつつある。IoT ではモノとアプリケーションが増え続け、それらによる通信の量と種類が膨大となるため、無線ネットワークの益々の大容量化が求められている。無線通信では、周波数資源が有限かつ共有であるため、周波数資源の共有範囲を狭くして同一の周波数を空間的に再利用・大容量化（エリアスループットを拡張）する無線アクセスネットワークの小セル化が進んでいる。膨大な数の小セルを設置するためには、それぞれのアクセスポイントに有線接続を配線するのは極めて困難であるため、無線バックボーンネットワークの必要性が高まっている。無線バックボーンネットワークは複数のアクセスポイントで構成し、アクセスポイントは近接のアクセスポイントと無線接続して、インターネットへの有線接続のある一部のアクセスポイントまでトラヒックをマルチホップ転送（またはシングルホップ転送）する。クライアントの通信はこの無線バックボーンネットワーク上で転送されるため、小セル化の効果を高めるためにも、無線バックボーンネットワークの広帯域化が欠かせない。

無線バックボーンネットワークも周波数資源を利用することから、広帯域化のためには周波数資源の有効利用が欠かせない。これまでの無線バックボーンネットワークでは、空間に広く展開するためホップ間での無線干渉を避ける様にアクセスポイントに周波数を割り当て、経路制御によって空間内にトラヒックを分散させることでネットワーク容量の拡張を行っていた。つまり、周波数をチャネル単位で利用し、各アクセスポイント（物理的な位置）に対して異なるチャネルを固定的に割り当てている。しかし、モノ・人が送受信するトラヒックは空間・時間で様々であり、アクセスポイントによっ

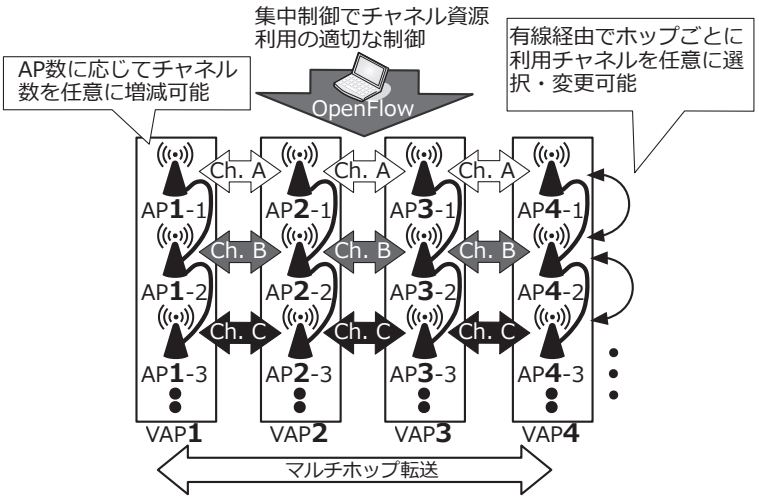


図 1: ネットワーク上で周波数資源管理を可能とするアーキテクチャ

て、固定的に割り当てたチャネルに対してトラヒック量が膨大となることでネットワーク容量が不足し、トラヒック量がわずかであれば余剰となるため、限りある周波数資源を効率的に利用できていない。本研究では、従来の原則であった固定的なチャネル割り当てを行わず、ネットワーク上で周波数資源を柔軟に制御することで無駄のない物理資源の活用を実現する。

これまでの研究では、ネットワーク上で周波数資源利用を制御可能な無線バックボーンネットワークのアーキテクチャと、多様なトラヒックに対して適応的に資源利用を管理する周波数利用手法を提案した。提案アーキテクチャは図 1 に示す通り、任意の数のチャネルを並行して利用できる構成（VAP と呼ぶ）をとり、その上で Software Defined Network（SDN）を活用したネットワーク資源管理を可能とした。フロー単位で周波数とホップ（空間）を軸にして資源利用を制御する周波数利用手法も提案し、柔軟な資源管理による帯域拡張が可能であることを示した。

しかし、ネットワーク上で周波数資源を適切に管理するためには課題が残るため、本研究ではこれまで考慮してこなかった無線干渉への適応と SDN 制御に伴う制御メッセージ量の削減に取り組む。これまでは、無線環境は均質で変化がないもの（チャネル毎のネットワーク資源も均質）を前提としていたが、現実の環境では周囲の無線機器による電波によって、ネットワーク資源に差異や変化が生じてしまう。そのため、被干渉チャネルにおいて資源超過による損失が発生してしまう可能性があり、被干渉チャネルも含めて利用可能なネットワーク資源を適切に把握して適応的に資源管理を行う必要がある。一方、SDN を用いた資源管理、特にフロー単位で詳細な至言管理を行う場合には、フロー単位の統計情報収集が欠かせないが、フロー数に比例してその通信量が増えるため制御通信の削減が欠かせない。無線バックボーンネットワークでは、制御ネットワークも無線で構成する必要があり、統計情報収集の増加はネットワーク容量を消費してしまうこととなる。以上の点から、本年度は無線干渉への適応へ向けた無線干渉の検出と適応制御手法と制御通信量を考慮した周波数利用手法を提案した。

3 内容

3.1 無線干渉の検出と適応制御手法

無線干渉により生じるパケット損失の増加を抑え、ネットワーク容量を拡張するためには、無線干渉の素早い見地及び干渉の回避が必要になる。しかし、干渉回避によって被干渉チャネル自体の利用を控えてしまうと被干渉チャネルに利用可能な資源が残されていてもそれを有効利用できない。そこで、本研究では無線干渉発生時におけるパケット損失を抑制しつつ、被干渉チャネルを含めた全チャネルの周波数資源の有効利用を実現する。

パケット損失抑制と被干渉チャネルの有効利用を両立するためには、無線干渉をすばやく検知した上で、干渉の影響を受けない程度で周波数資源を利用（トラヒックを転送）することが重要となる。そこで、本研究ではアクセスポイントから取得する統計情報の特徴に基づいて、干渉の発生検知と被干渉チャネルの空き状況（利用可能帯域）推定を行う。干渉検知後は利用可能帯域に基づいて、被干渉チャネルで転送中のフローを他チャネルでの転送に切り替える。

3.1.1 無線干渉検知と利用可能帯域推定

無線干渉によって輻輳が発生するとフレーム送信に遅延が生じ、未送信のパケットがバッファに蓄積される。本研究では、このバッファ量を計測することで干渉の発生を検出する。VAP を構成する各物理アクセスポイントからインタフェース単位の統計情報を取得し、入力トラヒック量の合計と出力トラヒック量の合計の差分を計算することでアクセスポイント内に滞留するトラヒックの量をバッファ量の増分として計測する。計測タイミングによってバッファ量に誤差が生じるためチェビシェフの不等式を用いて、明確に無線干渉が発生を判断できるバッファ量増分の閾値と、計測誤差と無線干渉を分別するためのバッファ量増分の閾値の 2 つの基準を定めた。前者は強い無線干渉が発生した場合にバッファ量増分が大幅に増えるため、閾値以上となった場合に干渉と判断する。一方、後者では計測誤差によるバッファ量増分と弱い無線干渉によるバッファ量増分を区別するため、無線干渉の連続性に着目して 2 回連続してバッファ量増分が設定した閾値を超えた場合に干渉と判断する方法とした。また、ここで取得した出力トラヒック量の合計を干渉状況下でも送信できたトラヒック量（利用可能帯域）として以降のチャネル利用制御で活用する。

3.1.2 干渉回避制御

干渉検知時に取得したバッファ量増分に基づいて、干渉回避制御を行う。日干渉チャネル上で転送中のフローの中からのトラヒック量がバッファ量増分以上で最小となるフローを選択し、転送チャネルを切り替える。転送先は、フローのトラヒック量に基づいて、そのフローを収容できる空き容量があり、かつ収容後に最も残余が少なくなるチャネルを選択する。これによって、非干渉チャネルを利用し続けながらも、利用可能な資源を最大限まで活用することができる。

3.2 制御通信量を考慮した周波数利用手法

SDN で無線バックボーンネットワークの資源管理を行うと、統計情報取得による現況把握が欠かせない。これまでの研究ではフロー単位で統計情報を取得しており、制御トラヒック量がフロー数に比例して増加してしまう。制御ネットワークも無線となる環境では、制御通信量がネットワーク容量を圧迫してしまうため、統計情報取得の制御通信を可能な限り削減する周波数利用制御手法を提案する。具体的には、フロー単位の統計情報の代わりに（複数のフロー情報が集約される）インターフェース単位の統計情報を用い、フロー単位での制御が必要な場合には、インターフェース単位の統計情報からフロー単位の情報を推定して利用する。インタフェース単位の統計情報の量は環境によらず変わらないため、フロー数増加時の制御通信量を大幅に削減できる。まず、先行研究で提案した資源利用制御手法（フロー集約手法）を 3.2.1 節で説明し、3.2.2 節で同様の制御方針をとりながらも制御通信を削減する一括制御手法を提案する。

3.2.1 フロー集約手法

本手法では、新たに到着するフロー（新規フロー）を空き容量の大きなチャネルで一時的に転送し、その後フローの必要資源量が判明した時点で特定の（空き容量の少ない）チャネルに集約する方針をとる。新規フローが到着した時点でそのフローの転送に必要なネットワーク容量の把握は困難である。それに伴い、新規フローは到着時点で残余帯域の少ないチャネルで転送するとパケット損失が発生する可能性があるため、可能な限り残余帯域が大きなチャネルで転送を開始する。その後、計測を行うことでフローに必要なネットワーク容量を把握し、そのフローを特定のチャネル（集約チャネル）に集

約することで資源を有効利用する。ただし、多数のフローがまとめて到着した場合や、計測が完了していないフローが存在する場合には、高残余チャネルではそれら未知のフローが消費するネットワーク帯域が未だ考慮されていない状態である。つまり、特定の高残余チャネルに全ての新規フローが集中することになり、容量超過で損失が発生してしまう。この様な状況を回避するために、チャネル毎の残余帯域と未計測フローの数から、フロー単位で獲得できるネットワーク容量が最大（期待値が最大）と見込めるチャネルを選択して、新規フローを転送する。

高残余チャネルで新規フローを転送し始めた後、そのフローの統計情報を取得し、フローの送信レートを把握する。その情報を元に、フローを収容可能で空き容量が最小の集約チャネルを選択し、フローの転送チャネルを切り替える。これにより新規フローを転送する高残余チャネルを確保し、新規フロー流入時のパケット損失を抑制する。

3.2.2 一括制御手法

先行研究では、フロー集約手法をフロー単位の統計情報を取得することで実行していたが、本提案ではインタフェース単位の統計情報に基づいて同様の制御を実現する。フロー集約手法では、高残余チャネルで一時的に転送したフローを集約チャネルに集める際に、フロー単位の統計情報が必要である。この時、高残余チャネルを使う無線インタフェースのインタフェース統計情報を取得し、その時の状況に応じて制御方法を切り替える。全フローをまとめて集約チャネルで収容できる場合には、フロー単位の情報を扱わず、全フローをまとめて制御する全体一括制御を行う。一方、全フローをまとめて集約できず、一部フローのみを選択する必要がある場合には、フロー単位の情報を推測して一部分のフローのみを集約する部分一括制御を行う。それぞれの詳細を以下に説明する。

(a) 全体一括制御

新規フローが到着すると、高残余チャネルで一時的に転送を開始する。その後、インターフェース統計情報を取得する。インタフェース統計情報は指定したアクセスポイントの指定した無線インタフェース（チャネル）でのトラヒック送受信の情報が含まれており、対象のアクセスポイントが無線で送受信したフロー全ての情報が含まれる。そのため、フロー単位の情報には分離できない一方で、全てのフローをまとめて扱うことが可能である。そこで、全フローをまとめて集約可能なチャネルがあるか計算する。具体的には、全てのフローを集約でき、移動後の残余帯域がさらに少なくなる（チャネル容量をより効率的に利用する）チャネルがあれば、全てのフローの転送チャネルを切り替える。

(b) 部分一括制御

全体一括制御でフロー集約できない場合には部分一括制御を行う。インタフェース統計情報を利用する点は変更せず、その情報からフロー単位の統計情報を予測する。まず、新規フローが到着すると、高残余チャネルで一時的に転送を開始する。この時、新規フローの到着を知らせる制御メッセージ packet-in が、新規フローを受け取ったアクセスポイントから SDN コントローラへ送られる。packet-in はそのフローを扱う制御ルール（転送チャネル）がアクセスポイントに登録されるまでは、パケットが到着するたびに SDN コントローラに送られ続ける。つまり、1 つ目の packet-in から制御ルールの登録までの必要時間が一定（つまり、ネットワーク遅延とコントローラの処理遅延が一定）であると仮定すると、packet-in の数はフローの転送レートに比例する。この特徴を利用し、インタフェース統計情報を packet-in 数の比に分けて、フロー情報として扱う。その情報を元に、先行研究と同様の方法で集約チャネルに切り替える。

4 基礎特性評価

4.1 実験機器

図 1 で示した VAP を実機で構成して、実験を行う。各物理アクセスポイントには Buffalo の WZR-HP-AG300H に OpenWrt をインストールし、Open vSwith によって SDN に対応させた。SDN コントロー

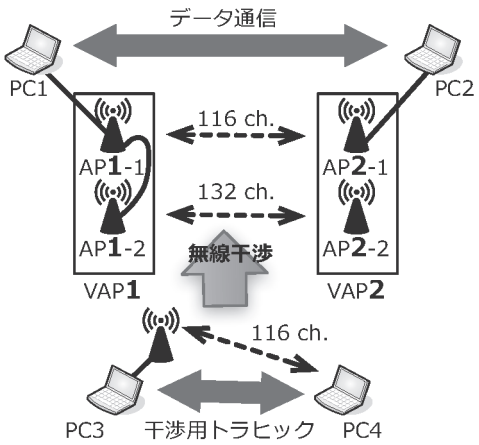
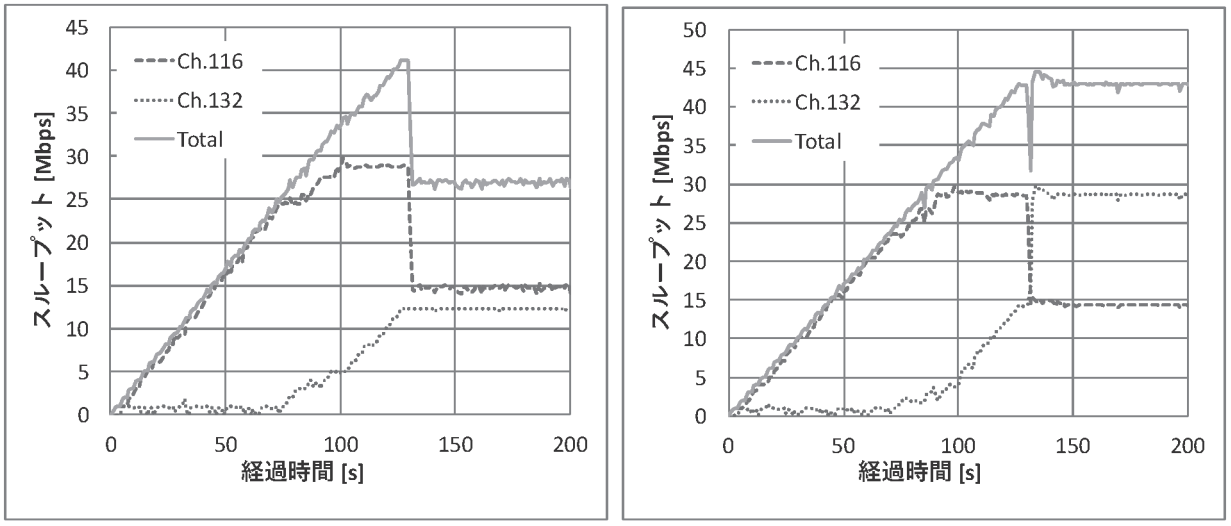


図 2: 無線干渉回避の実験トポロジ



(a) 既存手法　　(b) 提案手法

図 3: スループットの時間推移

ラには Trema を利用し、制御ネットワークでの転送制御が制御内容への影響を最小限とするために、全 AP と有線接続した。

4.2 無線干渉回避の性能評価

4.1 節で説明した VAP を 2 セット用いて 2 チャネル 1 ホップの無線ネットワークを構成し、これとは別に無線干渉を発生させるアクセスポイントと、トラヒック生成を行う PC を準備した。実験では、PC1 から PC2 へ 3 秒ごとに 1Mbps の新規フローを送信開始し、合計 42Mbps になるまで増やし続ける。42 本目のフローの送信が開始された 5 秒後に PC3 から PC4 に向けて 28Mbps の干渉トラヒックを送信する。実験開始から 200 秒後に全てのトラヒック生成を止め、実験を終了する。

本実験における従来手法（フロー集約手法）と提案手法のパケット損失数と損失率を表**??**に示す。パケット損失率で比較すると、従来手法では 20%弱のパケットが損失したのに対し、提案手法では 1%以下にまで抑制できていることがわかる。従って提案手法を用いることによって、干渉発生に伴って生じるパケット損失を低減できたといえる。

表**??**の中央値をとった試行についてスループットの時間推移を従来手法は図 3(a)、提案手法のもの

表 1: パケット損失数の比較

	従来手法		提案手法	
実験番号	損失数	損失率 [%]	損失数	損失率
1	6	0.013	6	0.013
2	6	0.013	6	0.013
3	6	0.013	6	0.013
4	8	0.017	6	0.013
5	7	0.015	6	0.013
6	7	0.015	6	0.013
7	6	0.017	7	0.015
8	6	0.017	6	0.013
9	7	0.015	6	0.013

は図 3(b) に示す。本シナリオにおける干渉発生地点は実験開始後 128 秒地点である。従来手法では、干渉発生以降は Ch.116 のスループットが大幅に低下し、合計スループットもこれに伴って低下したままである。一方提案手法は、Ch.116 のスループットが干渉発生時に大幅に低下しているが、その後に Ch.132 のスループットが急激に増え、合計スループットの下落状態は 1 秒程度で改善している。これは提案手法の干渉回避制御が適切に動作し、干渉検知後速やかに Ch.116 に流れていたフローの一部が Ch.132 に切り替えたことで、スループットがすぐに干渉発生前の水準にまで回復したものと考えられる。また、被干渉チャネルの利用可能帯域である 14Mbps を継続利用しており、被干渉チャネルを含めた有効利用も実現している。

4.3 制御通信量削減の性能評価

4.1 節で説明した VAP を 2 セット用いて 3 ホップの無線ネットワークを構成し、周波数は 100 と 132 の 2 チャネルを用いる。本実験では、PC1 が 4Mbps のフローを PC2 へ送信し、20 秒後に 8Mbps と 0.1Mbps のフローを同時に送信開始する。60 秒間トラヒックを継続したのち、実験を終了する。

表 1 に従来手法と提案手法のパケット損失数を示す。この表からは従来手法と提案手法のどちらもパケット損失数は極めて少なく抑えられていることがわかる。従来手法はフロー単位の統計情報を用い、提案手法ではより荒いインタフェース統計情報を用いているにもかかわらず、従来手法と同等の性能を示している。また、制御通信量の比較では、従来手法が実験を通して 412,254 バイトあったのに対し、提案手法では 289,386 バイトに約 30%の削減が実現できている。このように、わずかなフロー数の実験においても、提案手法は大幅な制御通信量の削減を実現できている。以上の結果から、提案手法はフロー集約手法の性能を損なうことなく、制御通信量を削減できたと言える。

5 具体的な成果

平成 28 年度に実施した無線干渉に適応した周波数資源管理手法は国内研究会で 2 件発表した [発表 1, 発表 1]。制御通信削減手法は国内研究会で 1 件 [発表 3] と査読付き国際会議で 1 件 [査読付 1] 発表した。また、制御通信削減手法ではネットワークシステム研究賞を獲得した [受賞 2]。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Kazuki Mizuyama, Yuzo Taenaka, Kazuya Tsukamoto. “Estimation Based Adaptable Flow Aggregation Method for Reducing Control Traffic on Software Defined Wireless Networks,” In Proceedings of The 8th International Workshop on Information Quality and Quality of Service for Pervasive Computing (IQ2S 2017), March 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 濱中寿樹, 妙中雄三, 塚本和也, 中山雅哉 “Multi-Radio Software Defined WMN における無線干渉回避制御手法の性能評価,” 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 2017 年 3 月.

[発表 2] 濱中寿樹, 妙中雄三, 塚本和也, 中山雅哉 “[ポスター講演] Multi-Channel Software Defined WMN における無線干渉度合の推定および干渉回避制御に関する初期検討,” 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 2016 年 10 月.

[発表 3] 水山一輝, 妙中雄三, 塚本和也 “Software Defined Wireless Network における制御トラヒック削減とチャネル有効利用を両立したフロー集約手法 〜マルチチャネル無線メッシュネットワークにおける有効性評価〜,” 電子情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 2016 年 9 月.

受賞関連

[受賞 1] 電子情報通信学会通信ソサイエティ, 奨励賞, 平成 28 年 9 月 21 日.

[受賞 2] 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, ネットワークシステム研究賞, 2017 年 3 月 2 日.

サイバーセキュリティに関する研究

宮本 大輔

1 概要

本研究は、近年様々な問題を引き起こす発端となっている悪意のあるウェブサイトへの対策を目的としている。これまでは、ユーザの認知活動に着目したフィッシング対策、またはユーザの過失によって発生するインシデントについての方式研究を行っていた。

今年度の報告書では、2013 年から 2016 年度に行った研究の中核に位置づけられるフィッシングサイト対策と視線分析について総括する。

- フィッシングサイトと視線分析

  フィッシング攻撃は、本物のウェブサイトからコピーしたコンテンツを表示し、このサイトを閲覧するユーザを騙すサイバー脅威である。フィッシングサイトを発見するためには、エンドユーザはアドレスバーに表示される URL や SSL 証明書を判断するべきであるが、フィッシングサイトに騙されやすいエンドユーザはウェブコンテンツの情報から真贋判定をする傾向にある。この問題に着目し、騙されにくいエンドユーザ、騙されやすいエンドユーザごとに適した防御を柔軟に提供する仕組みについて研究を行った。

2 フィッシングサイト対策と視線分析

2.1 背景

コンピュータシステムではなく、コンピュータのユーザを狙ったサイバー攻撃が行われている。フィッシング詐欺と呼ばれる攻撃では、攻撃者が銀行などの金融機関を装った偽のメールを送信し、ユーザを悪意のあるウェブサイトにおびき寄せる。攻撃者はこのウェブサイトを本物そっくりに作成することでエンドユーザを騙し、金融口座やクレジットカード番号などの情報を搾取する。標的型メール攻撃やビジネスメール詐欺と呼ばれる攻撃では、攻撃者は不特定多数のユーザではなく特定の組織に属する個人にメールを送信し、メール文面が本当の内容であると信じ込ませ、添付されているマルウェア又はマルウェアを含む文書を開かせたり、金融口座にお金を振り込ませようと試みる。

このようなエンドユーザへの攻撃に対し、サイバーセキュリティ研究者らは何十年にも渡って、危険なウェブサイトの防御やマルウェアの検知、あるいは攻撃の発信源であるボットネットのテイクダウンなど様々なアプローチで対策に取り組んできた。しかし、攻撃は未だに続いており、被害は報告され続けている。この原因には様々なものが考えられるが、技術的な側面からのサイバーセキュリティへの取り組みだけではなく、人的要因あるいは組織的要因からの取り組みが求められると考える。例えば、Hawkey らの研究グループは情報セキュリティ管理において人的要因、組織的要因、そして技術的要因の研究課題及びそれらの交絡関係について述べている。人的要因としては、訓練や経験の不足、組織内の文化による要因、コミュニケーションに関する問題などが挙げられている。組織に所属しない個人を狙った攻撃などを考える際にも、フィッシング攻撃に対しては知識の不足が原因とされ

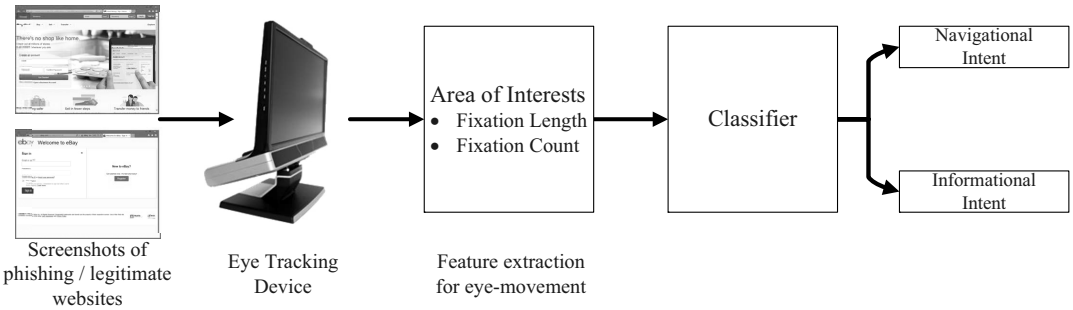


図 1: 実験のブロックダイアグラム図

る。従って、人的要因の側面としてはサイバーセキュリティの教育を目的とした教材開発などが行われている。

一方で、認知心理学が注目を集めている。この研究領域には様々なチャレンジがあるが、その 1 つに「人間の観測される情報から、人間の精神状態を推測する」という課題がある。例えば人間の精神的負荷の高まりを眼球運動や脳波、血圧、呼吸、顔表面温度などから分析する研究が行われている。ストレスの増加など精神的負荷の高まりは過失を引き起こしやすいとされており、このような課題は人的要因の解決を行っているとも考えられる。さらに、近年の IoT 技術の普及に伴い、人間から健康に関するデータを取得する様々な生体センサーの技術開発が進んでいる。この情報を認知心理学の観点から活用すれば、情報機器を利用するユーザが今まさに何を考えているのか、どのような情報を入手し、どのような根拠で、どのような意思決定をしようとしているのかを推測できると思われる。

これまでのサイバーセキュリティ対策では、エンドユーザがどのような状態あるかは考えていないが、仮に「まさに騙されそうな状態にあるユーザ」がわかるのであればどうか。普段は、正常なプログラムをマルウェアであると、正規サイトをフィッシングサイトであるといった誤検知を減らすべく工夫されているセキュリティ技術や製品も、この時ばかりは誤検知を承知の上で注意喚起ができるのではないか。このような工夫によって、人的要因によって起こるインシデントは減らせるのではないか。

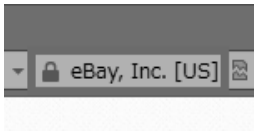
本報告書では、筆者の研究グループがこれまでに行ってきた視線分析の研究について、その学際領域の背景及びこれを利用した研究について説明する。また、視線分析に基づいてユーザごとに異なるサイバー防御を提供するシステムを提案し、この評価実験を行う。この方式の短所についても考察を行い、課題を克服する方針について説明する。さらに、生体センサーによる情報を認知科学により分析した結果をサイバーセキュリティ技術に活用する方法について、視線以外の方式についても説明し、そのために必要な要件について検討する。この上で、さらに研究を進める上でのデータセット、生体情報を分析することに対するプライバシーの懸念といった問題について議論する。

2.2 内容

筆者の研究グループでは、エンドユーザが URL や SSL の鍵アイコンが表示されるアドレスバーを閲覧することの有効性の評価を行った。エンドユーザの視線情報を収集するため、2013 年 11 月から 2014 年 2 月までの期間、東京大学の構内掲示板にて被験者を募集した。実験参加者は 23 人であり、そのうち 20 人が男性、3 人が女性であった。また、22 人が 20 代であり、残りの 1 人が 30 代であった。延べ 331 回のアドレスバーを目視した回数のうち、誤判定があったのは 89 回であった。フィッシングサイトに限定していえば 200 回のアドレスバーを目視した回数のうち 61 回が誤判定であり、残りの 131 回の正規サイトにおいてアドレスバーを目視した場合の誤判定は 28 回であった。従って、エラー率、False Positive 率、False Negative 率はそれぞれ 26.9%、21.4%、30.5%となる。反対にアドレスバーを見ない場合は、41.1%（129 回中 53 回）、18.9%（53 回中 10 回）、56.6%（76 回中 43 回）であった。False Positive 率ではごくわずかにアドレスバーを見ない場合が低くなっているが、フィッシングサイ

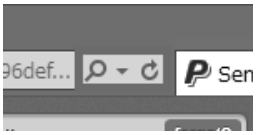
(a) コンテンツ

(b) アドレスバー



(c) EV-SSL 証明書

(d) SSL 証明書



(e) 証明書がない場合の領域

図 2: 関心領域の設定

トのコンテンツは正規サイトと見た目が区別しにくいため、アドレスバーを見ない限り False Positive 率が高くなっている。結論として、アドレスバーを見ることは効果的であると考えられる。

また、先行研究の研究成果を用い、Internet Explorer に表示されるウェブサイトの真贋判定における意図抽出を試みた。この実験の概略を図 1 に示す。

まず、関心領域（Area of Interest) を図 2 のように定義し、その画面における注視時間と回数を調べ、Support Vector Machines によるパターン認識を試みた。例えばアドレスバーを見たユーザが URL に基づいた判定を行ったかをアンケートで調べた所、およそ 85.5% の確率で予想できることがわかった。また、アドレスバーでの目視を確認するだけで 75.9% の確率でこのユーザが正しく判定できるか否かを予想できることがわかった。

この解析で得られた知見を元に、エンドユーザがどの程度危険を認識しているかを判別することは可能と考え、また、その認識の程度によってサイバー防御を切り分けることを考えた。

筆者は様々なヒューリスティクスを用いて調査し、その結果を Random Forest により組み合わせてフィッシングサイトか否かを識別するシステムを実装した。ヒューリスティクスとはフィッシングサイトらしさを計算するためにもちいられる情報であり、例として「ドットの数」という経験則が知られている。フィッシングサイトの FQDN に含まれる数のドットは正規サイトに比べ多くなる傾向にある。このようなヒューリスティクスを機械学習により組み合わせることによりパターン認識の精度が高くなる一方で、識別にかかる時間は増加する。一方で、ドットの数だけに頼るアルゴリズムは機械学習によるアルゴリズムと比較すると、識別の精度は低いものの、識別に必要な時間は短い。また、正規サイトをフィッシングサイトであると間違えて判定する可能性が極端に低い。検知の目安である適合率と再現率は、機械学習による方式ではそれぞれ 0.86、0.76 であったのに対し、ドットの数による方式は 1.00, 0.06 であった。

そこで、一定時間以内にアドレスバーを閲覧したエンドユーザは正しく判定できる可能性が高いと考え、明白にフィッシングサイトと思われるもののみを除外することが可能な「ドットの数による方式」によるフィッシングサイト対策を提供する。反対に、アドレスバーを閲覧しなかったエンドユーザは誤った判定を行う可能性が高いと考え、「機械学習による方式」を適用する。また、フィッシングサイトと判定された場合、防御システムはページの閲覧を完全にブロックするのではなく、個人情報を入力可能なコンテンツを無効化する方式を採用した。

防御システムのアーキテクチャを図 3 に示す。システムは、視線追跡カメラを制御することによりエンドユーザの注視箇所を計測する Eye-Tracking モジュールと、この結果からどの検知アルゴリズムを使うかを決定する Policy Decision Point (PDP) モジュール、そして実際のサイバー防御を行うため

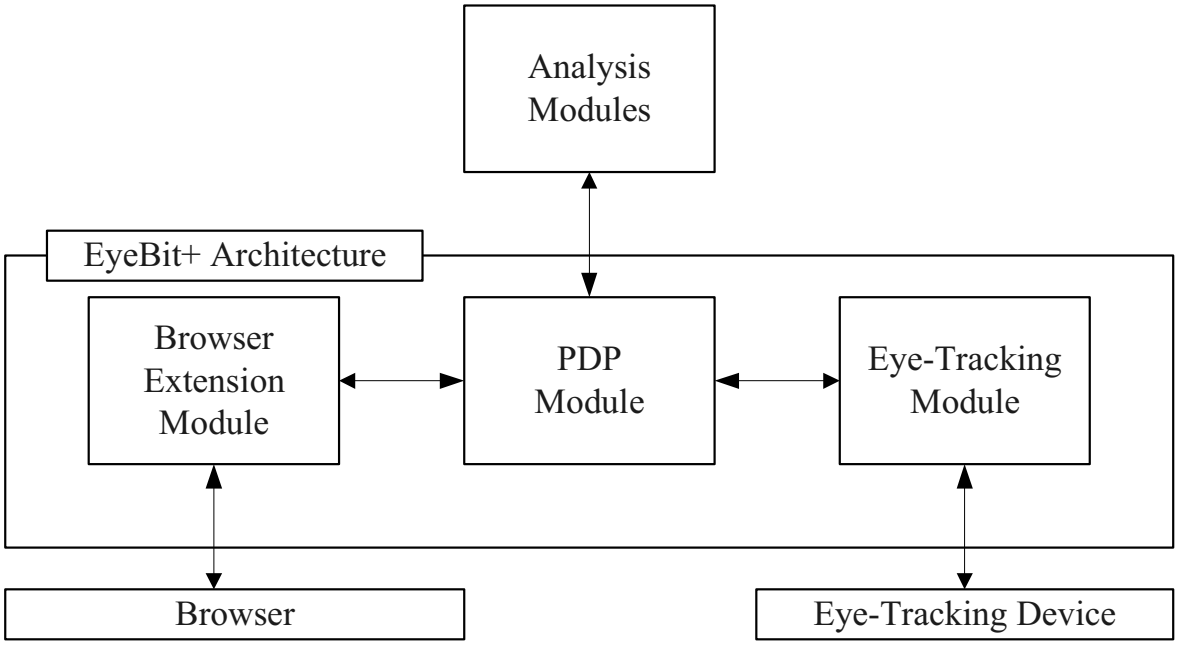


図 3: 防御システムのアーキテクチャ

にエンドユーザが閲覧しているウェブサイトのコンテンツを無効化する Browser Extention モジュールによって構築した。Browser Extention モジュールは Google Chrome ウェブブラウザの拡張機能として実装し、Eye-Tracing モジュールは視線追跡カメラ EyeTribe に用意されている SDK を用いて開発した。また、Analysis モジュールとして実装された機械学習及びドットの数による検知アルゴリズムは、PDP モジュールとはサイバー脅威交換フォーマットである n6 を用いて情報交換を行った。具体的には、PDP モジュールが検知依頼を送信し、Analysis モジュールが検知結果を返信した。なお、実装はオープンソースで公開 [1]で公開されている。

2015 年 12 月から 2016 年 3 月までの期間、東京大学の構内掲示板にて被験者を募集した。応募があった被験者には、実験の目的として、「セキュリティ技術の研究開発を目的としたウェブサイトを閲覧した際のエンドユーザの挙動の観測」であることを説明し、作業内容として「ウェブサイトの画面を閲覧してもらい、正規のサイトか、あるいは偽サイトかを判定していただきます。またその際に判定基準をアンケート形式でお答えいただきます。」と説明した。この実験に関する個人に属する情報として、性別、年代（10 代、20 代、30 代……60 代以上)、ウェブサイトを見た際の判定結果（正規サイト、偽サイト)、視線の動き（判定時の目線の動き)、アンケートによる回答を取得し、個人を特定可能な情報は記録しないことを説明した。実験参加者 21 名のうち 13 人が男性、8 人が女性であった。また、20 代が 13 人、30 代が 6 人、40 代・50 代が 1 人ずつであった。なお実験につかった表示装置はタブレット型の PC である Microsoft Surface 3 Pro であった。

アルゴリズムを実装したシステムの性能としては、1 回あたりのリクエストにかかる時間を評価した。ここでは、HTTPS プロトコルにより n6 でのリクエストを 100 回送信する場合について、並列度を 1,10,20,30,40,50 に変更しながら評価を行った。結果を図 4 に示す。URL に基づいた調査を行うドットによる判定のアルゴリズムの場合は最大で 0.23 秒のオーバヘッドが、機械学習によるアルゴリズムの場合は最大で 2.6 秒程度のオーバヘッドが観測された。

この遅延はフィッシングサイトを誤って判定しそうなユーザに対してのみ行われるものであり、そ

[1] https://github.com/necoma

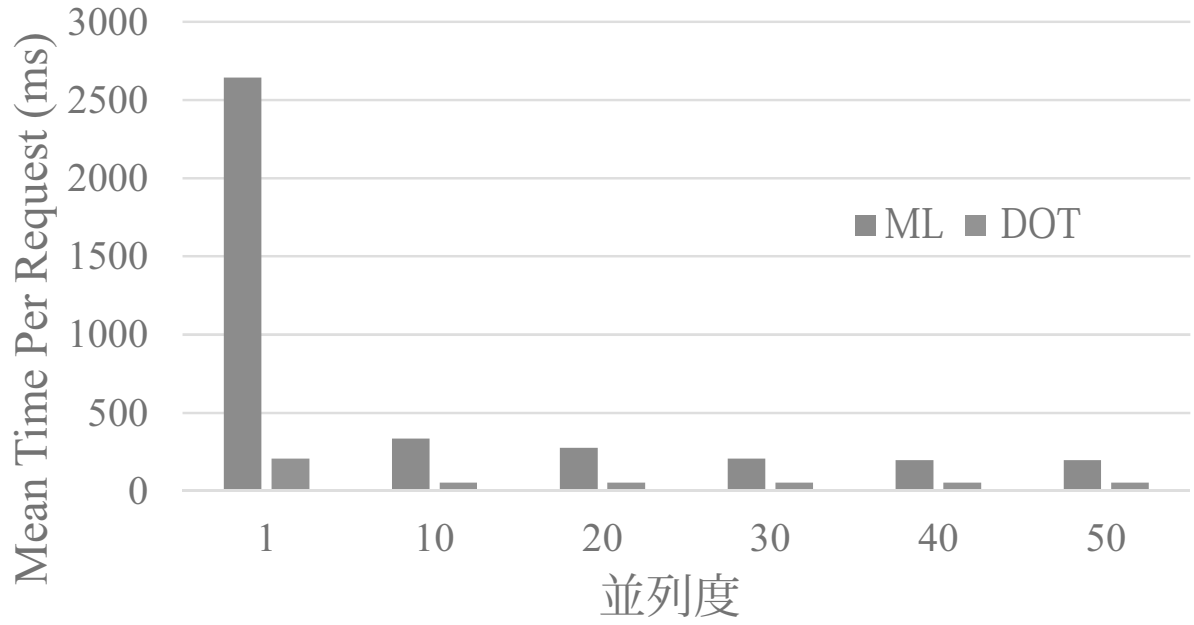


図 4: 防御システムの応答速度

の場合もウェブコンテンツは入力を受け付けないだけで、画像や文言は表示されている。このため、利便性の低下は限定的であると考えられる。この仮説を確認するため、防御システムを利用した被験者に対してアンケートを行い、「不便に思うか」という質問を行い、この解答を「全く思わない（1）」「あまり思わない（2）」「どちらでもない（3）」「ややそう思う（4）」「強くそう思う（5）」の五段階指標により解答させた。図 5 に示す結果の通り、「あまり思わない」が大半であり、残りは「全く思わない」「どちらでもない」がほぼ同じという結果が得られた。一般に、利便性と安全性はトレードオフの関係にるため、「安全だと思うか」という質問も行った。結果は、「ややそう思う」が大半で、ついで「強くそう思う」が多いという結果が観測された。

本研究では視線分析によってユーザの意図の抽出が行えることを前提としているが、この手法には 4 つの課題が考えられる。

まず、熟練により意思決定にかける時間が極めて短いユーザの場合、アドレスバーの閲覧が高速に終了する場合が考えられる。とりわけ、著者の所属するグループでは、フィッシング対策研究者、フィッシング対策の教育の講師及び受講者、及びセキュリティに関する業務を行う者が多く、彼らにフィッシングサイト判別実験を行った所、比較的短時間にアドレスバーの確認を終了する事例が観測された。すなわち、「注視の回数・時間が少ない」場合であっても、アドレスバーの確認が短時間で終了したのか、アドレスバーをあまり閲覧できなかったのかが問題となる。この実験環境ではセキュリティに関する実験ということで被験者が集まったこともあり、意思決定にある程度の時間をかけていたが、例えば短時間で判定しなければならないという制約を設けることによって、違いを見つけることができる可能性がある。また、意思決定を予測する説明変数として最初の注視までの時間や、意思決定に至るまでの注視している時間の割合を用いる方法が考えられる。

第 2 の課題は、アドレスバーに記載される URL がユーザが注意深く見ても視認不可能な場合である。例えば国際化ドメインを用いたフィッシングサイトが考えられる。図 6 は、アルファベットで Daisuke という文字を表示しているが、アルファベットの a を表示しているもの、そしてその代わりにキリル文字の а を表示している場合である。一部の日本語フォントでは識別可能なものがあるが、英字フォントや一部の日本語フォントでは識別が難しい。これらの場合、URL をいくら注意深くみても識別不可能である。ただし、近年のウェブブラウザはアドレスバーにセキュリティ情報を表示している。こ

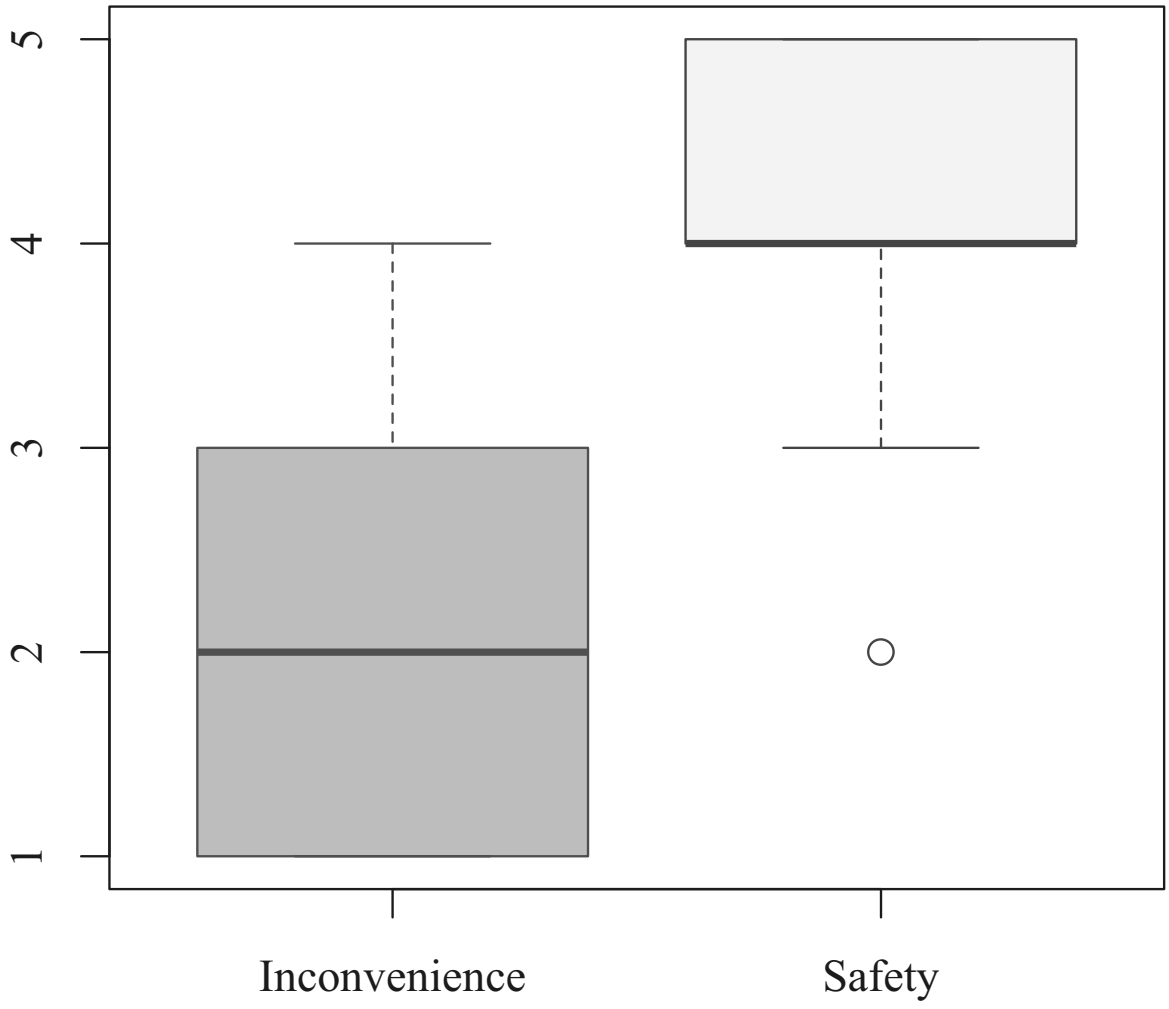


図 5: 防御システムのアンケート調査

のため、アドレスバーの目視を確認することで、フィッシングサイトの判別が可能となることも考えられる。また、この課題については人的要因で解決することではなく、技術的要因で解決する考え方もある。第 3 の課題は、色彩認識と注視の関係である。例えば EV-SSL 証明書などを認識する場合に「緑色」という色が果たす役割は大きいが、色彩の認識は必ずしも注視を必要とせず、サッケードの状態でも行え得る。特定の色の果たす役割は大きく、安全は緑、警告は赤が好ましいとされている。

最後の課題は、視覚障害者への適応が考えられる。著者らは視覚障害者にヒアリングを行い、彼らの環境におけるフィッシング対策について調査を行った。当初、筆者らはスクリーンリーダを用いて音声を読み上げるのが一般的と思われ、証明書の情報をやアドレスバーの情報を読み上げることによってフィッシングサイト判定を行うのではないかと考えた。しかし、スクリーンリーダはウェブブラウザのコンテンツの情報を読み上げることは出来ても、証明書の情報を読み上げることは難しいことがわかった。これは、様々なブラウザが情報へのアクセシビリティを高めるよう、OS のサポートの API を使って開発が行われているところではあるが、アドレスバーについてはこれらの API がサポートされていないからである。一方で、コンテンツへのアクセシビリティを高めるための国際標準 ISO40500、証明書をどのように取得するかといった基準 CAB Baseline Document は存在するものの、証明書をどのようにアドレスバーに表示すればよいかの検討が必要である。そして、それがスクリーンリーダから読みとれるようになり、ひいてはエンドユーザがその情報をどのように認知したかを計測する必要

	アルファベットのａ	キリル文字のａ
ＭＳ明朝	Daisuke	Ｄａisuke
ＭＳゴシック	Daisuke	Ｄａisuke
メイリオ	Daisuke	Daisuke
Century	Daisuke	Daisuke
Times New Roman	Daisuke	Daisuke
Arial	Daisuke	Daisuke

図 6: 難識別文字の例

がある。

また、本研究では視線情報をフィッシングサイト対策に用いたが、サイバーセキュリティ分野で人的要因に対応する必要性は高まっている。特にフィッシングサイトではなくアプリケーションの脆弱性を利用してマルウェアに感染させるウェブサイトに誘導する標的型メール、ストレス等を原因として発生するとされるサイバー事故、あるいは故意に行われるインサイダー攻撃などの解決が求められる。

これまでのサイバーセキュリティ技術は、暗号技術により信頼性を表示したり、解析技術により悪意を発見したりする等、機械的な対策に重点が置かれてきた。しかし、守るべき対象が人間である以上、この人間の意図を解析する、人間に内在する状態を推測する先行研究により提案された方式のサイバーセキュリティ分野への応用が急務であると考えられる。

この応用の障壁の 1 つに、セキュリティ分野と認知心理学分野では方式に求められる要件の違いがあると考えられる。そこで、セキュリティ分野で必須とされる機密性、完全性、可用性の観点から要件を考察する。

機密性要件としては、視線などの生体情報を取得することへの社会的受容が求められる。取得情報の内容、データの保存方法、方式のメリットやデメリットがユーザに周知されることが求められる。完全性要件としては、否定的評価の恐怖により生体情報を偽って取得させようとする試みへの耐性が求められる。可用性要件としては、方式が ICT 活用場面で利用可能であることが望まれる。人体への挿入・浸透を行なうデバイスは避けるべきであり、着用型のデバイスであれば重量や締め付けの観点から数時間の利用に耐えられるべきであろう。

機密性要件は実験計画によって異なると思われるが、本研究で用いた非接触型の視線追跡デバイスや、顔の表面温度の計測による手法が完全性、可用性の要件を満たしやすいと思われる。とりわけ、眼球運動については、精神状態の遷移や意思決定と関連付けた研究は多い。この知見を活かし、システムがユーザの正しい手続きで意思決定を行っていることを監査し、人的要因によって起こる問題の解決が今後の課題である。

2.3 具体的成果

本研究の成果をまとめ、論文 [発表 3, 発表 4] として投稿し、採択された。また、得られた知見を国際標準 X.1212 (X.cogent) として勧告案を作成しており、その発表 [発表 1] を行った。

3　成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Takeshi Takahashi, Daisuke Miyamoto: Structured Cybersecurity Information Exchange for Streamlining Incident Response Operations, In Proceedings of IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS), April 2016.

その他の発表論文

[発表 1] Daisuke Miyamoto: Introduction to X.cogent (Q4/SG17), a design consideration for trustworthiness indicators ITU Workshop on Future Trust and Knowledge Infrastructure - Phase 2, July 2016

[発表 2] 粂 尚成, 宮本 大輔, 中山 雅哉: 超小型端末向け視線フリックを利用した文字入力手法の提案と評価, 電子情報通信学会技術研究報告 信学技法, 2017 年 3 月.

[発表 3] 宮本 大輔: 認知心理学とサイバーセキュリティに関する一考察：視線分析の事例, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2017 年 1 月.

[発表 4] 宮本 大輔: 認知心理学に基づいたサイバーセキュリティ研究に関する一考察, 日本認知心理学会 第 14 回大会, 2016 年 6 月.

スーパーコンピューティング研究部門

スーパーコンピューティング研究部門概要

中島 研吾
大規模並列シミュレーション手法に関する研究，教育

星野 哲也
アプリケーションのメニーコアプロセッサ向け最適化

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

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

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

松本 正晴
マルチスケールシミュレーション手法およびプラズマシミュレーションに関する研究

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

河合 直聡
量子力学固有値問題向けIC 前処理の研究

近藤 正章
高性能・省電力計算システムに関する研究開発

有間 英志
次世代HPCシステムのためのアーキテクチャ及び電力制御に関する研究

大島 聡史
様々な並列計算ハードウェアを用いた高性能計算に関する研究

今野　雅
オープンソースCFDコードOpenFOAMの高度化

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い。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り、ペタスケール、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い。

スーパーコンピューティング研究部門は、平成 29 年 3 月現在で 8 名のセンター専任教員（教授:1、准教授:2、助教:2、特任准教授:1、特任助教: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ほか、業務部門と協力して従来の 3 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）、大規模超並列スーパーコンピューターシステム（Oakleaf-FX）、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））の他、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）の 2 つを加えた合計 5 式のシステムの運用にあたり、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。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）

平成 23 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。平成 27 年度は平成 27 年 11 月に ppOpen-HPC の公開（Ver.1.0.0）を実施した。

プロジェクトは平成 28 年 3 月を以て終了するが，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/）として平成 30 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）

平成 25 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。

T2K 東大の後継機種であるメニーコア型大規模スーパーコンピュータシステムについては，平成 25 年以来仕様策定を継続して実施してきたが、平成 28 年 2 月 4 日に入札説明会を開催し，同 3 月 30 日に応札を締め切った。平成 28 年 4 月 20 日に開札、10 月 1 日より一部システム稼働開始、12 月 1 日より試験運用を開始し、平成 29 年 4 月 1 日より正式運用を開始する予定である。新システム（Oakforest-PACS）は米国 Intel 社の最新の超高性能メニーコア型プロセッサであるインテル ® Xeon Phi ™ プロセッサ（開発コード名：Knights Landing）を 8,208 台搭載したピーク性能 25 PFLOPS のシステムである。平成 28 年 11 月に発表された第 48 回 TOP 500 では 13.55 PFLOPS を達成し、世界第 6 位、国内最高性能となった。

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。

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）に平成 26 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平成 26 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，平成 26 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

平成 27 年度に引き続いて国内各機関と協力してポストムーア時代に向けたソフトウェア，アルゴリズム，アプリケーションの研究を継続して実施した。国内学会でのパネルディスカッション、BoF の他，第 64 回応用物理学会春季学術講演会 特別シンポジウム「半導体とコンピュータとのハーモニックイノベーション」（平成 29 年 3 月，横浜）ではポストムーア時代のアルゴリズム，アプリケーションに関する特別講演を実施した。

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）に提案し，SC16 で実施した PMES16 に引き続いて採択された。

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

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 システムのためのプロセッサシミュレーション環境構築
- 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
- 大規模 ad-hoc データ用汎用省メモリ処理系の設計と実装
- タスク並列処理の高性能化に関する研究
- N 体問題に対する領域特化型言語
- 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を適用したソフトウェアテスティング

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
- 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
- 不完全コレスキー分解の fill-in 戦略に関する研究
- 非同期型並列アルゴリズムに関する研究
- 時間方向並列化アルゴリズムに関する研究
- 動的ループスケジューリングによる通信最適化
- ポストムーア向け数値アルゴリズムの研究

3.5 大規模並列シミュレーション（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。

- 3 次元 Block 型 AMR フレームワークの開発と粒子シミュレーションへの応用
- AMR-PIC プラズマシミュレーション手法の開発と応用
- パルスレーザーを利用する電磁流体エネルギー変換技術
- 磁気プラズマセイル開発へ向けた Hybrid PIC プラズマシミュレーション
- 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 による単体建物周辺流れ LES 解析の高速化
- FPGA による科学技術シミュレーション

3.6 セキュリティ関連分野

- クラウドを前提としたオンライントラスト

3.7 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。

4.3 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。平成 28 年度は同講習会を 16 回実施した。平成 28 年度からは新たに、GPU におけるプログラミング講習会を最先端共同 HPC 基盤施設（JCAHPC）、筑波大学計算科学研究センターと協力して実施した。

その他、「2016 Kobe HPC Summer School（平成 28 年 8 月 1 日～5 日）」（共催：神戸大学計算科学教育センター、理化学研究所計算科学研究機構、東京大学情報基盤センター、兵庫県立大学、公益財団法人計算科学振興財団）ではプログラム策定、実行に貢献した。

4.4 國立臺灣大學での集中講義

前年度に引き続いて國立臺灣大學において Oakleaf-FX を使用した並列計算プログラミングの集中講義「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」を実施した（平成 29 年

2 月 21 日～24 日)。今回からは國立臺灣大學の正式科目として認定され，単位取得が可能となっている。

4.5 Kobe HPC Summer School

「2016 Kobe HPC Summer School(平成 28 年 8 月 1 日～5 日)」(共催:神戸大学計算科学教育センター、理化学研究所計算科学研究機構、東京大学情報基盤センター、兵庫県立大学、公益財団法人計算科学振興財団)ではプログラム策定、実行に貢献した。

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。

平成 22 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。

平成 27 年 12 月に平成 28 年度公募型共同研究の課題募集を開始し、同 28 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 47 課題のうち 39 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 10 課題であった。平成 25 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。平成 28 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 3 件，2 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している企業研究課題「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」では，地球温暖化対策として温室効果ガスである二酸化炭素を地中の帯水層に貯留するための研究開発の一環として，大規模シミュレーションのための非線形三次元多相流コードの改良，高度化を実施した。平成 28 年度研究では，動的ループスケジューリングの適用による高速化と自動チューニング手法の検討，長時間シミュレーションを効率的に実施するための時空間並列アルゴリズムの開発，実装，検証等，スーパーコンピュータの計算能力を最大限引き出すためのアルゴリズムに関する先端的な研究開発を実施した。

平成 27 年度報告会、平成 28 年度採択課題紹介を兼ねた第 8 回シンポジウムは平成 28 年 7 月 14 日(木)・15 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。平成 27 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、平成 27 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。平成 28 年度は、前期 2 件、後期 3 件、インターン 2 件の合計 7 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。平成 24 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。平成 28 年度は全部で 5 課題が採択された。

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：平成 21 年 9 月）国立台湾大学（同：平成 26 年 2 月），国立中央大学（同：平成 27 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。

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、平成 28 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 5 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 3 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] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 松本 和也, 朴 泰祐, Khaled Ibrahim: 最優秀論文賞，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 (HPCS)2016, 仙台, 2016 年 6 月

[受賞 2] 有間 英志: IPSJ 研究会推薦博士論文, 情報処理学会, 2016 年.

招待講演／招待論文

[招待 1] Kengo Nakajima, Extreme Simulations on ppOpen-HPC, Challenges in Extreme Engineer-ing Algorithms, ISC High Performance 2016 (Frankfurt, Germany, June 19-23, 2016)

[招待 2] Kengo Nakajima, Akihiro Ida and Takahiro Katagiri, Development of Large-Scale Scien-tific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems using ppOpen-HPC, Enabling Technologies and Simulation Practices for High Performance Computational Mechanics, The 12th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XII) (Seoul, Korea, July 24-29, 2016)

[招待 3] Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers with Preconditioning in the Post-Moore Era, First International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT) (Nagoya University, September 7, 2016)

[招待 4] Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers for Ill-conditioned Problems with Heterogene-ous Material Properties, NCU Mathematics Seminar, National Central University (Taoyuan, Tai-wan, November 3, 2016)

[招待 5] Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers with Preconditioning in the Post-Moore Era, TIMS Seminar on Scientific Computing, National Taiwan University (Taipei, Taiwan, November 4, 2016)

[招待 6] Kengo Nakajima, Communication/Synchronization Avoiding/Reducing in Krylov Iterative Solvers on Multicore/Manycore Clusters -Early Case Studies on Oakforest-PACS with Intel Xeon Phi, Berkeley Lab Computing Sciences Seminar (Berkeley, CA, USA, January 20, 2017)

[招待 7] Kengo Nakajima, Accelerated Computing Activities at ITC/University of Tokyo, ADAC-3 (Accelerated Data Analytics and Computing) Workshop（Kashiwa, January 25, 2017）

[招待 8] 中島研吾，岩下武史，片桐孝洋，松岡聡，ポストムーア時代の科学技術アプリケーションとアルゴリズム，第 64 回応用物理学会春季学術講演会 特別シンポジウム「半導体とコンピュータとのハーモニックイノベーション」（横浜，2017 年 3 月 14 日）

[招待 9] 中島研吾，Oakforest-PACS の紹介と計算科学の進展，第 30 回人工物コロキウム「大規模シミュレーションと人工物工学」，東京大学人工物工学研究センター（柏，千葉，2017 年 3 月 15 日）

[招待 10] 田浦：Runtime and Operating Systems for Supercomputers (ROSS 2016) 基調講演

[招待 11] 塙 敏博: 密結合演算加速機構アーキテクチャ,「ポストムーア時代の計算プラットフォーム」セッション，第 15 回情報科学技術フォーラム (FIT2016), 富山，2016 年 9 月.

[招待 12] Toshihiro Hanawa: Oakforest-PACS: New System in Joint Center for Advanced HPC (JCAHPC) Towards Realizing Fastest Supercomputer in Japan, Intel Xeon Phi Processor Launch 2016, Bangalore, Sep. 2016.

[招待 13] 塙 敏博: 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 Reedbush におけるストレージシステム、Japan Lustre Users Group (JLUG) 2016, 2016 年 10 月

[招待 14] 塙　敏博: JCAHPC における新システム Oakforest-PACS — 国内最高性能システムの実現に向けて —, 第 8 回「学際計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム, 筑波大, 2016 年 10 月.

[招待 15] 塙 敏博：Oakforest-PACS における運用について、Oakforest-PACS 運用開始記念シンポジウム、柏キャンパス、2016 年 12 月.

[招待 16] Masaaki Kondo：Energy Efficient Network-on-Chip with Runtime Optimization Selection for MPSoCs , 16th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware, July 2016.

[招待 17] Masaaki Kondo：Research and Development of Power Management Framework for Exascale Computing', The 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, Oct. 2016.

[招待 18] Toshihiro Hanawa: TCA and AC-CREST project, Developing Next-gen HPC Architectures — A Hardware Prototyping Workshop, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC'16), Frankfurt, Jul. 2016.

[招待 19] A. Ida,"Application of Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation to Large-scale Simulations", ISC High Performance 2016, Frankfurt Messe, Frankfurt, Germany (June 23, 2016)

[招待 20] A. Ida,"Low Rank Approximation Methods Used in Hierarchical Matrices", ATAT in HPC 2017, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (March 11, 2017)

[招待 21] 今野　雅: OpenFOAM の普及と産業利用での課題, スーパーコンピューティング技術産業応用協議会 HPC 産業利用スクール, 2016 年 5 月.

[招待 22] 今野　雅: FOCUS スパコンの OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテストについて, 計算科学振興財団 FOCUS スパコン利用説明会, 2016 年 5 月.

[招待 23] 今野　雅: オープン CAE 学会 V&V 委員会の活動, 日本計算工学会 HQC 研究会, 2016 年 6 月.

[招待 24] 今野　雅: OpenFOAM の概要と適用事例, 名古屋市工業研究所 オープンソースによる流体解析に関する講習会, 2016 年 7 月.

[招待 25] 今野　雅: 東京大学新スパコン Reedbush-U での OpenFOAM ベンチマークテストとオープン CAE 学会の紹介, 高度情報科学技術研究機構 第 4 回 OpenFOAM ワークショップ, 2016 年 12 月.

[招待 26] 今野　雅: OpenFOAM による撹拌槽解析, 化学工学会関東支部 最近の化学工学講習会 66, 2017 年 1 月.

著書／編集

[著書 1] 伊田明弘,「階層構造を有する低ランク行列近似手法の数値計算とデータ構造」, Numerical Computation and Data Structure of Hierarchical Low-rank Approximation Methods, シミュレーション 2016 年 9 月 Vol. 35 No. 3, pp.30-36 (2016 年 9 月)

[著書 2] 伊田明弘,「大規模科学技術け計算に向けた低ランク近似手法」, 計算工学会 Vol.21, No.4 , pp.10-13 (2016)

[著書 3] 岩下武史、伊田明弘、美舩健、高橋康人,「H行列を用いた並列境界要素解析フレームワークとその応用」, 計算工学会 Vol.21, No.4 , pp.22-25 (2016)

[著書 4] 岩下武史、伊田明弘,「特集　積分方程式の近似解法-高速多重極法・H行列法とその応用-」, 計算工学会 Vol.21, No.4 , pp.5-25 (2016)

[著書 5] 春日　悠, 今野　雅, 一般社団法人オープン CAE 学会編集: OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析, 森北出版, 2016 年 6 月.

[著書 6] 今野：化学工学会粒子・流体プロセス部会, ミキシング技術分科会著, 化学工学会編集: 最近の化学工学講習会６６ 多様化するニーズに応えて進化するミキシング, 三恵社, 2017 年 1 月.

査読付論文

[査読付 1] Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers for Ill-conditioned Problems with Heteroge-neous Material Properties, Procedia Computer Science 80, 1635-1645, 2016

[査読付 2] Naoya Nomura, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Kengo Nakajima and Osni Marques, Per-formance Analysis of SA-AMG Method by Setting Extracted Near-Kernel Vectors, Proceedings of the 12th International Meeting on High Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2016), Porto, Portugal, 2016

[査読付 3] Shigeki Akiyama and Kenjiro Taura. Scalable work stealing of native threads on an x86-64 infiniband cluster. *Journal of Information Processing*, 24(3):583–596, 2016.

[査読付 4] Shigeki Akiyama, Kenjiro Taura, et al. Scalable work stealing of native threads on an x86-64 infiniband cluster (preprint). **情報処理学会論文誌コンピューティングシステム** *(ACS)*, 9(1), 2016.

[査読付 5] Abdelhalim Amer, Satoshi Matsuoka, Miquel Pericas, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Rio Yokota, and Pavan Balaji. Scaling fmm with data-driven openmp tasks on multicore architectures. In *International Workshop on OpenMP*, pages 156–170. Springer International Publishing, 2016.

[査読付 6] Keisuke Fukuda, Motohiko Matsuda, Naoya Maruyama, Rio Yokota, Kenjiro Taura, and Satoshi Matsuoka. Tapas: An implicitly parallel programming framework for hierarchical n-body algorithms. In *Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2016 IEEE 22nd International Conference on*, pages 1100–1109. IEEE, 2016.

[査読付 7] Masaru Ito, Hiroshi Inoue, and Kenjiro Taura. Fragmented bwt: An extended bwt for full-text indexing. In *International Symposium on String Processing and Information Retrieval*, pages 97–109. Springer International Publishing, 2016.

[査読付 8] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Autotuning of a cut-off for task parallel programs. In *Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC), 2016 IEEE 10th International Symposium on*, pages 353–360. IEEE, 2016.

[査読付 9] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. A static cut-off for task parallel programs. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Parallel Architectures and Compilation*, pages 139–150. ACM, 2016.

[査読付 10] Satoshi Matsuoka, Hideharu Amano, Kengo Nakajima, Koji Inoue, Tomohiro Kudoh, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Takeshi Iwashita, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, et al. From flops to bytes: disruptive change in high-performance computing towards the post-moore era. In *Proceedings of the ACM International Conference on Computing Frontiers*, pages 274–281. ACM, 2016.

[査読付 11] Shigeyuki Sato, Kenjiro Taura, et al. Abstraction of space partitioning for spatial computation. **情報処理学会論文誌プログラミング** *(PRO)*, 9(1):16–16, 2016.

[査読付 12] Masahiro Tanaka, Kenjiro Taura, and Kentaro Torisawa. Low latency and resource-aware program composition for large-scale data analysis. In *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2016 16th IEEE/ACM International Symposium on*, pages 325–330. IEEE, 2016.

[査読付 13] Kenjiro Taura. A quest for unified, global view parallel programming models for our future. In *Proceedings of the 6th International Workshop on Runtime and Operating Systems for Supercomputers*, page 1. ACM, 2016.

[査読付 14] Kazutsuna Yamaji, Motonori Nakamura, Yashihiro Nagai, Tomohiro Ito, Hiroyuki Sato: "Specifying a Trust Model for Academic Cloud Services," Proc. IEEE Int'l Conf. Mobile Cloud 2016, 91–99 (Invited), Oxford, 2016.

[査読付 15] SATO Hiroyuki, KANAI Atsushi, TANIMOTO Shigeaki, KOBAYASHI Toru: "Establishing Trust in the Emerging Era of IoT," Proc. IEEE Int'l Conf. Service-Oriented System Engineering 2016, 398–406 (Invited), Oxford, 2016.

[査読付 16] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: "Embedding Lightweight Proxy Re-Encryption for Efficient Attribute Revocation in Cloud Computing," Int'l J. High Performance Computing and Networking, Vol. 9 No. 4, 299–309,2016.

[査読付 17] SATO Hiroyuki, OKABE Yasuo, NAKAMURA Motonori: "User Identification of Pseudonyms without Identity Information Exposure in Access Federations," Proc. IEEE COMPSAC 2016, 487–492, Atlanta, 2016.

[査読付 18] Yasuo Okabe, Takaaki Komura, Hiroyuki Sato, Kazutsuna Yamaji, Motoori Nakamura: "An Authentication Federation Proxy Which Conceals Attributes and Authorization Policies Each Other," Proc. IEEE MidCCI 2016(COMPSACW), Vol.2 , 202–207, Atlanta, 2016.

[査読付 19] Shigeaki Tanimoto, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: "Risk Assessment Quantification of Social-media Utilization in Enterprise," Proc. IEEE/ACIS Int'l Conf. Computer and Information Science, 989–994, Okayama, June, 2016.

[査読付 20] Shigeaki Tanimoto, Rei Kinno, Motoi Iwashita, Tohru Kobayashi, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: "Risk Assessment of Home Gateway/Smart Meter in Smart Grid Service," Proc. IIAI Int'l Conf. Advanced Applied Informatics, 1126–1131, Kumamoto, June, 2016.

[査読付 21] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Improved Lightweight Proxy Re-Encryption for Flexible and Scalable Mobile Revocation Management in Cloud Computing,” Proc. IEEE 9th Int’l Conf. Cloud Computing, 894–899, San Francisco, July, 2016.

[査読付 22] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “An Agent-based Modeling for Cloud-based Access Control,” Proc. IEEE BigData Congress, 430–437, San Francisco, July, 2016.

[査読付 23] Fugkeaw Somchart, Hiroyuki Sato: “Updating Policies in CP-ABE-based Access Control: An Optimized and Secure Service,” The European Conference on Service-Oriented and Cloud Computing (ESOCC), 3–17, September, 2016.

[査読付 24] Shigeaki Tanimoto, Shunsuke Shiraki, Motoi Iwashita, Toru Kobayashi, Hiroyuki Sato and Atsushi Kanai: “Risk Assessment Based on User’s Viewpoint for Mobile Ad Hoc Network,” Proc. 10th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2016), 280–285, Ostrava, September, 2016.

[査読付 25] Lei Ma, Cheng Zhang, Bing Yu, Hiroyuki Sato: “An empirical study on the effects of code visibility on program testability,” Software Quality Journal, vol. 24, 1–28, Springer, 2016.

[査読付 26] 米田翔一, 大角地涼介, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: “TPO 条件に基づく複数クラウドにおける動的クラウド選択手法の提案,” 電子情報通信学会論文誌 Vol.J99-D, No.10, 1045-1049, October, 2016.

[査読付 27] 米田翔一, 畑健一郎, 下村道夫, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: “センサ活用に基づく情報セキュリティエコノミクス： ISMS における費用対効果の効率化に関する検討,” 情報処理学会論文誌, vol. 57, no. 12, 2743–2756, December, 2016.

[査読付 28] Thang Cao, Yuan He, and Masaaki Kondo：Demand-Aware Power Management for Power-Constrained HPC Systems, The 16th IEEE/ACM International Symposium on Cluster,Cloud and Grid Computing (CCGrid2016), pp.21-31, May 2016.

[査読付 29] Yuan He and Masaaki Kondo：Opportunistic Circuit-Switching for Energy Efficient On-Chip Networks, The 24th IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC 2016), 6pages, Sep. 2016.

[査読付 30] Atsushi Koshiba, Mikiko Sato, Kimiyoshi Usami, Hideharu Amano, Ryuichi Sakamoto, Masaaki Kondo, Hiroshi Nakamura, and Mitaro Namiki：An Operating System Guided Fine-Grained Power Gating Control Based on Runtime Characteristics of Applications, IEICE Transactions on Electronics, Vol.E99-C, No.8, pp.926-935, Aug. 2016.

[査読付 31] Yuan He, Masaaki Kondo, Takashi Nakada, Hiroshi Sasaki, Shinobu Miwa, and Hiroshi Nakamura：A Runtime Multi-Optimization Framework to Realize Energy Efficient Networks-on-Chip, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E99-D, No.12, pp.2881-2890, Dec. 2016.

[査読付 32] Tetsuji Okubo, Ryo Takata, Ryuichi.Sakamoto, Masaaki Kondo, Hideharu Amano：
NAMACHA: A software edevelopment environment for a mutli-chip convolutional network accelerator, 32nd International Conference on Computers and Their Applications (CATA2017), Mar. 2017.

[査読付 33] K. Matsumoto, N. Fujita, T. Hanawa, and T. Boku: Implementation and Evaluation of NAS Parallel CG Benchmark on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA, International Meeting on High Performance Computing for Computational Science (VECPAR) 2016, Porto, Jun. 2016.

[査読付 34] K. Matsumoto, N. Fujita, T. Hanawa, and T. Boku: Implementation and Evaluation of NAS Parallel CG Benchmark on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA, Post-proceedings of International Meeting on High Performance Computing for Computational Science (VECPAR) 2016, the Springer Series Lecture Notes in Computer Science (LNCS), 2016. (in Press)

[査読付 35] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 松本 和也, 朴 泰祐, Khaled Ibrahim: 密結合並列演算加速機構 TCA による GPU 対応 GASNet の実装と評価, 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 (HPCS)2016, 仙台, pp. 68–76, 2016 年 6 月.

[査読付 36] Takahiro Kaneda, Chiharu Tsuruta, Toshihiro Hanawa and Hideharu Amano: Performance Evaluation of PEACH3: Field Programmable Gate Array Switch for Tightly Coupled Accelerators, The 7th International Symporium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART 2016), short paper, Jul. 2016.

[査読付 37] Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima, and Satoshi Ohshima: 3D FEM for Solid Mechanics on Knights Landing and OmniPath Architecture, The Intel Xeon Phi Users Group Birds of a Feather session at SC16, lightening talk, Nov. 2016.

[査読付 38] Kenta Sato, Norihisa Fujita, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku, Khaled Z. Ibrahim, "GPU-Ready GASNet Implementation on the TCA Proprietary Interconnect Architecture," International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI2016), Dec. 2016.

[査読付 39] T. Iwashita, A. Ida, T. Mifune and Y. Takahashi, "Software Framework for Parallel BEM Analyses with H-matrices", IEEE 17th Biennial Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC2016), Miami USA (13. Nov., 2016), (DOI: 10.1109/CEFC.2016.7816379)

[査読付 40] A. Ida, T. Ataka, T. Mifune, Y. Takahashi, T. Iwashita and A. Furuya, "Application of Improved H-matrices in Micromagnetic Simulations", 21st International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2017) (in press).

[査読付 41] T. Iwashita, A. Ida, T. Mifune and Y. Takahashi, "Software Framework for Parallel BEM Analyses with H-matrices Using MPI and OpenMP", Tools for Program Development and Analysis in Computational Science, ICCS2017. (in press)

[査読付 42] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto: Auto-tuning on NUMA and Many-core Environments with an FDM code, The Twelfth International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2017) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2017), June 2, 2017. (採録決定)

[査読付 43] T. Hoshino, N. Maruyama and S. Matsuoka, "A Directive-Based Data Layout Abstraction for Performance Portability of OpenACC Applications," 2016 IEEE 18th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 14th International Conference on Smart City; IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), Sydney, NSW, 2016, pp. 1147-1154.

[査読付 44] Eishi Arima, Hiroshi Nakamura: Page Table Walk Aware Cache Management for Efficient Big Data Processing, *In Proceedings of the Eighth Workshop on Big Data Benchmarks, Performance Optimization, and Emerging Hardware (BPOE-8) (in conjunction with ASPLOS2017)*, Apr. 2017.

[査読付 45] 松本正晴，奥野喜裕：パルスレーザー駆動 MHD 発電の実証基礎研究，日本航空宇宙学会論文集，Vol.64，No.2，pp.91-96，2016.

[査読付 46] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri and Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, Proceedings of the 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop, pp.1496-1505, Chicago, USA, May 2016.

[査読付 47] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto and Satoshi Ohshima: Auto-tuning of Hybrid MPI/OpenMP Execution with Code Selection by ppOpen-AT, Proceedings of the 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop, pp.1488-1495, Chicago, USA, May 2016.

[査読付 48] Hideyuki Usui, Saki Kito, Masanori Nunami and Masaharu Matsumoto: Application of Blockstructured Adaptive Mesh Refinement to Particle Simulation, 7th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2017) in conjunction with International Conference on Computational Science 2017 (ICCS2017), Zurich, Switzerland, June 2017. (Procedia Computer Science), accepted.

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] Takeshi Iwashita, Takeshi Mifune, Yuki Noseda, Yasuhito Takahashi, Masatoshi Kawai, Akihiro Ida ：ppOpen-APPL/BEM ver.0.5.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Jan. 2016

[公開 4] Akihiro Ida and Takeshi Iwashita ：HACApK ver.1.0.1, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Jan. 2016

その他の発表論文

[発表 1] Kengo Nakajima, Thread-Scalable FEM, 2016 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP16) (Paris, France, April 12-14, 2016)

[発表 2] 中島研吾，ポストムーア時代の大規模数値計算アルゴリズム，第 21 回計算工学講演会（日本計算工学会）（新潟，2016 年 5 月 31 日 ∼6 月 2 日）

[発表 3] 中島研吾，ppOpen-HPC と大規模シミュレーション，第 21 回計算工学講演会（日本計算工学会）（新潟，2016 年 5 月 31 日 ∼6 月 2 日）

[発表 4] Kengo Nakajima, Framework for Development of Data-Movement Centric Applications, BDEC Frankfurt （The workshop on Big Data and Extreme-scale Computing）（Frankfurt, Germa-ny, June 15, 2016）

[発表 5] 中島研吾，非同期並列前処理手法について，2016 年並列／分散／協調処理に関する 『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）（松本，2016 年 8 月 8 日 ∼10 日）

[発表 6] 中島研吾，大島聡史，塙敏博，星野哲也，伊田明弘，ICCG 法ソルバーの Intel Xeon Phi 向け最適化，情報処理学会研究報告（2016-HPC-157-16），情報処理学会第 157 回 HPC 研究会（那覇，2016 年 12 月 21 日 ∼22 日）

[発表 7] Kengo Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures in Exascale/Post-Moore Era, 2017 SIAM Conference on Computational Science and Engineering (SIAM CSE17) (Atlanta, GA, USA, February 27-March 3, 2017)

[発表 8] Kengo Nakajima, Hiding communications in preconditioned Krylov iterative solvers on multi-core/manycore clusters, 2017 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (2017 ATAT in HPSC), National Taiwan University (Taipei, Taiwan, March 10-11, 2017)

[発表 9] Satoshi Matsuoka, Hideharu Amano, Kengo Nakajima, Koji Inoue, Tomohiro Kudoh, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Takeshi Iwashita, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Toshio Endo. From FLOPS to BYTES: Disruptive Change in High-Performance Computing towards the Post-Moore Era, Proceedings of the ACM International Conference on Computing Frontiers (CF'16) (Como, Italy, May 16-18, 2016)

[発表 10] 松岡聡，天野英晴，中島研吾，井上弘士，工藤知宏，丸山直也，田浦健次朗，岩下武史，片桐孝洋，塙敏博，遠藤敏夫，ポストムーア時代における FLOPS から BYTES への変革，情報処理学会研究報告（2016-HPC-155-32），2016 年並列／分散／協調処理に関する 『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）（松本，2016 年 8 月 8 日 ∼10 日）

[発表 11] Namsraijav Byambajav, Kenjiro Taura, et al. Performance modeling of task parallel programs. **研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング** *(HPC)*, 2016(24):1–8, 2016.

[発表 12] An Huynh, Kenjiro Taura, et al. Critical path analysis for characterizing parallel runtime systems. **研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング** *(HPC)*, 2016(23):1–8, 2016.

[発表 13] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Autotuning for task parallel programs. In *Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure*, 2016.

[発表 14] 福田圭祐, 松田元彦, 丸山直也, 横田理央, 田浦健次朗, 松岡聡, et al. 階層的多体問題向けプログラミングフレームワーク Tapas. **研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング** *(HPC)*, 2016(23):1–9, 2016.

[発表 15] 佐藤重幸 and 田浦健次朗. N 体問題のためのデータ並列スケルトンの設計と実装. In **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**, 2016.

[発表 16] 坂本龍一，カオタン，和遠，近藤正章，深沢圭一郎，上田将嗣，稲富雄一，井上弘士：電力制約を考慮した資源管理ツールによる HPC システムの電力性能解, 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会，松本，2016 年 8 月.

[発表 17] 林遼，森下真幸，高田遼，坂本龍一，近藤正章，中村宏：ディープラーニング向けアクセラレータアーキテクチャの FPGA 実装, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，幕張，2016 年 10 月.

[発表 18] 高田遼，石川潤，坂本龍一，近藤正章，中村宏，大久保徹以，小島拓也，天野英晴：スケーラブルなディープラーニング向けアクセラレータチップの設計と評価，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，茨木，2016 年 11 月.

[発表 19] 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, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，日吉，2017 年 1 月.

[発表 20] シュレスタマリ サソット，近藤正章，中村宏：強化学習を用いた環境発電駆動センサノードの適応的電力制御手法の検討，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，久米島，2017 年 3 月.

[発表 21] 林遼，高田遼，坂本龍一，近藤正章，中村宏，児玉康弘，新善文：ニューラルネットワークを用いた省電力 IP ルックアップ方式の検討，情報処理学会システムアーキテクチャ研究会，久米島，2017 年 3 月.

[発表 22] 水元 明法, 佐藤 周行: 日本のアカデミアにおけるアイデンティティ管理の現状 – 学認アンケートからみる現状の理解と将来の展望–, コンピュータセキュリティシンポジウム 2016, 秋田, October, 2016, 609–616.

[発表 23] Hiroyuki Sato: “Practical Correctness in ICT Environments,” From the Editors, IEEE IT Professionals Magazine, vol. 18, No. 6, 4–8, 2016.

[発表 24] 塙敏博，中島研吾，大島聡史，伊田明宏，星野哲也，田浦健次朗，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 の性能評価，情報処理学会研究報告（2016-HPC-156-10），情報処理学会第 156 回 HPC 研究会（小樽，2016 年 9 月 15 日 ∼16 日）

[発表 25] 塙敏博，中島研吾，大島聡史，星野哲也，伊田明弘，パイプライン型共役勾配法の性能評価，情報処理学会研究報告（2016-HPC-157-6），情報処理学会第 157 回 HPC 研究会（那覇，2016 年 12 月 21 日 ∼22 日）

[発表 26] 塙敏博，中島研吾，大島聡史，星野哲也，伊田明弘，Xeon Phi+OmniPath 環境における OpenMP, MPI 性能最適化，情報処理学会研究報告（2017-HPC-158-21），情報処理学会第 158 回 HPC 研究会（熱海，201 7 年 3 月 8 日 ∼10 日）

[発表 27] 塙敏博, 伊田明弘, 大島聡史, 河合直聡「FPGA を用いた階層型行列ベクトル積」,SWoPP 松本 2016,Vol.2016-HPC-155，No.39, キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 2016 年 8 月 10 日

[発表 28] Toshihiro Hanawa, Takahiro Kaneda, Chiharu Tsuruta, Hideharu Amano, and Taisuke Boku: Performance Evaluation of Low-latency Inter-node Communication between GPUs using PEACH3, HPC in Asia Poster, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC’16), Frankfurt, Jun. 2016.

[発表 29] 金田 隆大, 鶴田 千晴, 塙 敏博, 天野 英晴: PEACH3 の性能測定, 情報処理学会研究報告, 2016-ARC-221(32), pp. 1–6, 松本市キッセイ文化ホール, 2016 年 8 月.

[発表 30] 桑原 悠太, 塙 敏博 , 朴 泰祐: GPU クラスタにおける GPU セルフ MPI システム GMPI の予備性能評価, 2016-HPC-155(15), pp. 1–8, 松本市キッセイ文化ホール, 2016 年 8 月.

[発表 31] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 朴 泰祐, Khaled Ibrahim: 密結合並列演算加速機構 TCA における複数 DMAC の活用による GPU 対応 GASNet の性能改善, 2016-HPC-156(5), pp. 1–8, 小樽経済センター, 2016 年 9 月.

[発表 32] 金田 隆大 , 塙 敏博 , 天野 英晴: アプリケーション中の通信に PEACH3 を利用した場合の評価, 2017-SLDM-178(16)/2017-ARC-224(16), pp. 1–6, 慶応大，2017 年 1 月.

[発表 33] 伊田明弘, 平石拓, 岩下武史,「階層型行列法の計算負荷予測と負荷分散法」， 第 21 回計算工学会, 朱鷺メッセ, 2016 年 5 月 31 日

[発表 34] 伊田明弘,「階層型行列表現を用いた行列演算」, 2016 年並列／分散／協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）， キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 2016 年 8 月 9 日

[発表 35] Akihiro Ida, Development of H-matrices with ACA for Large-scaled BIEM Analyses, 第 24 回 ASE 研究会，東京都文京区，東京大学・情報基盤センター，2106 年 12 月 1 日

[発表 36] Takeshi Iwashita, Naokazu Takemura, Akihiro Ida and Hiroshi Nakashima,“ICB: IC Preconditioning with a Fill-in Strategy Considering Simd Instructions”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Paris, France (12 April 2016).

[発表 37] Ryo Igarashi and Akihiro Ida, Monte Carlo simulation using approximation to long range interactions, 1st International Symposium on Research and Education of Computational Science (RECS), 東京都文京区, 2016 年 11 月 30 日

[発表 38] 五十嵐亮, 伊田明弘, 「長距離相互作用に対する 近似を用いたモンテカルロシミュレーション II」, 日本物理学会 第 72 回年次大会（2017 年）大阪大学　角間キャンパス（石川県金沢市）,2017 年 3 月 17 日

[発表 39] 五十嵐亮, 伊田明弘「長距離相互作用に対する 近似を用いたモンテカルロシミュレーション」, 日本物理学会 2016 年秋季大会金沢大学　角間キャンパス（石川県金沢市）,2016 年 9 月 14 日

[発表 40] 大島聡史, 伊田明弘, 塙敏博, 河合直聡「階層型行列ベクトル積のメニーコア向け最適化」,SWoPP 松本 2016,Vol.2016-HPC-155，No.40, キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 2016 年 8 月 10 日

[発表 41] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, GTC2016, San Jose, April 4-7, 2016. (査読付きポスター)

[発表 42] 大島聡史: Xeon Phi による分子動力学計算の高速化, HPCS2016 2016 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（オーガナイズドセッション（ショート OS）「分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS のメニーコアアーキテクチャ対応，並列化に関する研究」）, 2016 年 6 月 6 日（月）-7（火）開催, 7 日発表, 2016.

[発表 43] Satoshi Ohshima: Auto-tuning of ”Modified/generated code by optimization and auto-tuning” problem, First International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT), Room IB-014, IB Building (Integrated Building), Higashiyama Campus, Nagoya University, September 7, 2016.

[発表 44] Satoshi Ohshima: Directives tuning directives, 2017 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing, Room 202, Astronomy-Mathematics Building, National Taiwan University, March 10-11 10 日発表, 2017.

[発表 45] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-Tuning of Hierarchical Computations with ppOpen-AT, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP16), MS55 Auto-Tuning for the Post Moore's Era - Part I of II, Universite Pierre et Marie Curie, Cordeliers Campus, Paris, France, April 12-15, 2016.

[発表 46] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: AT 研究動向と AT 専用言語 ppOpen-AT の最新機能の紹介, HPCS2016 2016 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（オーガナイズドセッション（ショート OS）「エクサスケールコンピューティングに向けた自動性能チューニング研究の進展」）, 2016 年 6 月 6 日（月）-7（火）開催, 6 日発表, 2016.

[発表 47] 片桐孝洋, 松本正晴, 大島聡史: 3 次元積層技術による高メモリバンド幅時代の自動チューニング ～FDM コードを例にして ～, 情報処理学会 研究報告 (HPC-155), 8 月 1 日発行 (Vol.2016-HPC-155), pp.1–8, 第 155 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (SWoPP2016), キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 8 月 8 日（月）-10 日（水）開催 10 日発表, 2016.

[発表 48] 片桐孝洋, 松本正晴, 大島聡史: 高バンド幅メモリ環境における数値計算アルゴリズムの変革と自動チューニング技術, 日本応用数理学会 2016 年度年会（[正会員主催 OS] 先進的環境おける数値計算と関連基盤技術 (1)）, 北九州国際会議場, 9 月 12 日（月）-14 日（水）開催, 12 日発表, 2016.

[発表 49] Tetsuya Hoshino, Satoshi Matsuoka: Acceleration of a Compressed Flow Analysis Application with OpenACC, HPC in Asia Session, ISC High Performance 2016 (Frankfurt, Germany, June 19-23, 2016) (ポスター発表)

[発表 50] 星野哲也、丸山直也、松岡聡：データレイアウト最適化指示文による OpenACC アプリケーションの高速化、情報処理学会研究報告（2016-HPC-155-32）、2016 年並列／分散／協調処理に関する 『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）（松本、2016 年 8 月 8 日 ～10 日）

[発表 51] 星野哲也，大島聡史，塙敏博，中島研吾，伊田明弘，OpenACC を用いた ICCG 法ソルバーの Pascal GPU における性能評価，情報処理学会研究報告（2017-HPC-158-18），情報処理学会第 158 回 HPC 研究会（熱海，201 7 年 3 月 8 日 ～10 日）

[発表 52] Tetsuya Hoshino: OpenACC Directive Extensions Towards Realizing Performance Portability, 第 26 回 ASE 研究会（東京、2017 年 1 月 6 日）

[発表 53] Tetsuya Hoshino, Naoya Maruyama, Satoshi Matsuoka: A Directive-based Data Layout Autotuning for OpenACC Applications, 2017 SIAM Conference on Computational Science and Engineering (SIAM CSE17) (Atlanta, GA, USA, February 27-March 3, 2017)

[発表 54] 河合直聡，伊田明弘，中島研吾，悪条件問題に対する CG 法向け IC 前処理手法の改善，情報処理学会研究報告（2017-HPC-158-9），情報処理学会第 158 回 HPC 研究会（熱海，201 7 年 3 月 8 日 ～10 日）

[発表 55] 河合直聡，伊田明弘，岩下武史，中島浩 : XeonPhi 上での乗法シュワルツ-ブロック化多色順序付け GS 法を適用した SA-AMG の性能評価，日本応用数理学会 2016 年度年会，北九州，福岡，2016 年 9 月 12 日

[発表 56] Eishi Arima: Revisiting Memory Systems for Energy-Efficient Supercomputers, *LLNL CASC Seminar*, Oct. 2016.

[発表 57] Eishi Arima: Near Memory Processing on Hybrid Memories, *IPSJ SIG Notes*, Vol. 2017-ARC-224, No. 33, pp. 1-4, Jan. 2017.

[発表 58] 渡部朱生, 大風 翼, 今野 雅, 石川 毅, 持田 灯, 小林宏康: CFD による防風フェンスがパイプハウス周辺の風速・圧力場に及ぼす緩和効果の検討, システム農学会 2016 年度春季大会 , 2016 年 5 月.

[発表 59] Hiroki Ono , Masashi Imano, Takamasa Hasama, Takeshi Kishida, Yoshihide Tominaga, Tsubasa Okaze: DATA STORING METHOD FOR LARGE EDDY SIMULATION OF FLOW AROUND A BUILDING, 11th International OpenFOAM Workshop, June 2016.

[発表 60] 渡部朱生, 大風 翼, 今野 雅, 石川 毅, 持田 灯, 小林宏康: CFD に基づくパイプハウス風上に設置した防風フェンスの効果の検討, 農業農村工学会全国大会, 2016 年 9 月.

[発表 61] 今野　雅: オープン CAE 学会によるオープンソース CAE 普及援, オープン CAE 学会オープン CAE シンポジウム 2016, 2016 年 11 月.

[発表 62] 大島聡史, 守歌, 今野　雅: 最新のスーパーコンピュータ向けプロセッサにおける OpenFOAM および OpenMPS の性能評価, オープン CAE 学会オープン CAE シンポジウム 2016, 2016 年 11 月.

[発表 63] 松本正晴：計算科学におけるマルチスケールシミュレーション技術，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講演会，東京，2016 年 8 月

[発表 64] Masaharu Matsumoto: Development of Scientific Applications using Numerical Libraries in ppOpen-HPC, 1st International Symposium on Research and Education of Computational Science (RECS2016), Tokyo, Japan, Nov. 2016

[発表 65] 松本正晴，奥野喜裕：パルスレーザー駆動 MHD 発電に関する研究，第 2 回高エネルギー電磁ビームに誘起される放電とその工学的応用研究会，東京，2017 年 3 月

特記事項

[特記 1] 中島： 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 18-3，東京大学情報基盤センター， 2016

[特記 2] 中島： 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 18-6，東京大学情報基盤センター, 2016

[特記 3] 中島： 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 19-1，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 4] 中島: 中島研吾，第 68 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 19-1，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 5] 中島：中島研吾，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） Introduction to Par-allel Programming for Multicore/Manycore Clusters，スーパーコンピューティングニュース 19-1，東京大学情報基盤センター， 2017

[特記 6] 中島： 学際計算科学・工学人材育成プログラム，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/CSEedu/

[特記 7] 中島： 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/16e/

[特記 8] 中島：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/16s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16w/

[特記 9] 中島： 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/16s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16w/

[特記 10] 中島： 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/16s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16w/

[特記 11] 中島： 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，http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/

[特記 12] 中島： 数値解析，東京大学工学部計数工学科，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16n/

[特記 13] 中島： 計算科学アライアンス，http://www.compsci-alliance.jp/

[特記 14] 中島： 日本計算工学会理事，会員委員会委員長

[特記 15] 中島： 日本応用数理学会，代表会員

[特記 16] 中島： General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

[特記 17] 中島： Co-organizer of Mini-Symposium, 17th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP16): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-III (Paris, France, 2016.4)

[特記 18] 中島：セッションオーガナイザ，日本計算工学会第 21 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」（新潟, 2016.5）

[特記 19] 中島： Member of Scientific Committee, The 2016 Platform of Advanced Scientific Computing Conference (PASC16)（Lausanne, Switzerland, 2016.6）

[特記 20] 中島: Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2016)（San Diego, USA, 2016.6）

[特記 21] 中島： Co-Chair, Program Committee, Sixth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2016) in conjunction with ICCS 2016（San Diego, USA, 2016.6）

[特記 22] 中島： Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC ’16)（Frankfurt, 2016.6）

[特記 23] 中島： Member of Ph.D Forum Committee, International Supercomputing Conference (ISC ’16)（Frankfurt, 2016.6）

[特記 24] 中島： Member of Program Committee, 2nd International Workshop on Performance Modeling: Methods and Applications (PMMA16) in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC ’16)（Frankfurt, 2016.6）

[特記 25] 中島： Member of Scientific Committee, 12th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2016) (Porto, Portugal, 2016.6)

[特記 26] 中島： Area Chair of Technical Program Committee (Applications, Algorithms, and Libraries), IEEE Cluster 2016（Taipei, Taiwan, 2016.9）

[特記 27] 中島： Member of Program Committee, The 23rd European MPI Users’ Group Meeting (Euro MPI 2016) (Edinburgh, UK, 2016.9)

[特記 28] 中島：Member of 2016 Sydney Fernbach Award Subcommittee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16), （Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

[特記 29] 中島： Member of 2016 Seymour Cray Award Subcommittee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16), （Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

[特記 30] 中島： Member of Invited Talks Committee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

[特記 31] 中島：Member of Tutorials Committee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

[特記 32] 中島： Member of Test of Time Award Committee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

[特記 33] 中島： Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2016 (PMES16) in conjunction with 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

[特記 34] 中島：Co-organizer of BoF, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

[特記 35] 中島：Member of Program Committee, 18h IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2016) (Sydney, Australia, 2016.12)

[特記 36] 中島： Co-organizer of Mini-Symposium, 2017 SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE17): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-II (Atlanta, GA, USA, 2017.3)

[特記 37] 中島：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 38] 中島: Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2017)（Zurich, Switzerland, 2017.6）

[特記 39] 中島： Co-Chair, Program Committee, Seventh International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2017) in conjunction with International Conference on Computational Science (ICCS 2017)（Zurich, Switzerland, 2017.6）

[特記 40] 中島： Member of Ph.D Forum Committee, International Supercomputing Conference (ISC ’１７)（Frankfurt, 2017.6）

[特記 41] 中島: Member of BoF Committee, International Supercomputing Conference (ISC’１７)（Frankfurt, 2017.6）

[特記 42] 中島:Session Organizer, Algorithms for Extreme Scale in Practice, International Supercomputing Conference (ISC ’１７)（Frankfurt, 2017.6）

[特記 43] 中島： Member of Program Committee, The 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2017)（Bristol, UK, 2017.8）

[特記 44] 中島： Chair, Posters Committee, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

[特記 45] 中島： 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 46] 中島： Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2016 (PMES16) in conjunction with 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

[特記 47] 中島：Co-Chair, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), (Tokyo, 2018.3)

[特記 48] 中島：Co-Chair, Program Committee, The 48th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2019), (Kyoto, 2019.8)

[特記 49] 田浦：IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Associate Editor

[特記 50] 田浦：Program Co-Chair HPDC 2016

[特記 51] 田浦：Program Committee CLUSTER 2016

[特記 52] 田浦：情報処理学会プログラミング研究会主査

[特記 53] 近藤： Publicity Co-Chair, Program Committee, The 25th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC), 2016.

[特記 54] 近藤： Program Co-Chair, 16th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware (MPSoC'16), 2016.

[特記 55] 近藤： Program Committee, International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED), 2016.

[特記 56] 近藤： Program Committee, IEEE Cluster, 2016.

[特記 57] 近藤： Program Committee, IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC), 2016.

[特記 58] 近藤： Program Committee, 22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC), 2017.

[特記 59] 近藤： 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 幹事, 2016 年.

[特記 60] 塙：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, 2016 年度

[特記 61] 塙：Member of Program Committee, 7th Intl. Symp. on Highly-Efficient Accelerattors and Reconfigurable Technologies, 2016

[特記 62] 塙：Member of Program Committee, The 7th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2016

[特記 63] 塙：Digital Life 編集長, Vol. 27, Vol. 28, 2016

[特記 64] 塙：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 の紹介, スーパーコンピューティングニュース, Vol. 18 No. 4, 2016 年 7 月

[特記 65] 塙：

GTC Japan 2016 参加報告，スーパーコンピューティングニュース，Vol. 18, No. 6, 2016 年 11 月

[特記 66] 塙：Member of Organizing Committee, HPC Asia Conference 2018, (Tokyo, Jan. 2018)

[特記 67] 塙：Member of Organizing Committee, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), (Tokyo, Mar. 2018)

[特記 68] 塙：HPCI 東拠点データ保存用ストレージ仕様策定委員長，2016 年 4 月〜6 月

[特記 69] 塙：HPCI ストレージ東拠点システム仕様策定委員長，2016 年 11 月〜2017 年 2 月

[特記 70] 伊田：ISC High Performance 2016 (ISC 2016) 参加報告, スーパーコンピューティングニュース， Vol.18 No.4, 2016 年 7 月

[特記 71] 伊田：31th International Supercomputing Conference (ISC High Performance 2016) 参加報告, Digital Life， Vol.27, 2016 年 9 月

[特記 72] 伊田：第 62 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」, 2016 年 9 月 6 日 ~7 日, 取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 73] 伊田：第 64 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 入門」, 2016 年 9 月 27 日, 講師（一部）を担当

[特記 74] 伊田：第 71 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」, 2016 年 9 月 6 日 ∼7 日, 取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 75] 松本：ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理

[特記 76] 大島： Program Chair, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-17), イタリア リヨン, 2016 年 9 月 22 日 開催.

[特記 77] 大島： プログラム委員, HPCS2016 2016 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, 東北大学 片平キャンパス さくらホール, 2016 年 6 月 6-7 日 開催.

[特記 78] 大島： ACS 論文誌編集委員

[特記 79] 大島： 一般社団法人オープン CAE 学会 理事

[特記 80] 大島： 自動チューニング研究会 幹事 (運営委員会・総務)

[特記 81] 大島： 日本応用数理学会 若手の会 運営委員

[特記 82] 大島： 第 58 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」, 2016 年 6 月 8 日, 一部の講師を担当

[特記 83] 大島：第 59 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」, 2016 年 6 月 14-15 日, 一部の講師を担当

[特記 84] 大島： 第 61 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」, 2016 年 7 月 7-8 日, 一部の講師を担当

[特記 85] 大島： 第 63 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」, 2016 年 9 月 12-13 日, 一部の講師を担当

[特記 86] 大島： 第 67 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」, 2016 年 10 月 17 日, 一部の講師を担当

[特記 87] 大島： 第 68 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」, 2016 年 11 月 8-9 日, 一部の講師を担当

[特記 88] 大島： 第 72 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」, 2017 年 3 月 6-7 日, 一部の講師を担当

[特記 89] 大島： 第 73 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 初級 in 名古屋」, 2017 年 3 月 13 日, 一部の講師を担当

[特記 90] 大島： 第 74 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 in 名古屋」, 2017 年 3 月 14 日, 一部の講師を担当

[特記 91] 大島： 平成 27 年度 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦 利用報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.4 (2016 年 7 月)

[特記 92] 大島： SWoPP2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.5 (2016 年 9 月)

[特記 93] 大島： GTC Japan 2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.6 (2016 年 11 月)

[特記 94] 大島： SC16 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.19 No.1 (2017 年 1 月)

[特記 95] 星野：スーパーコンピュータ若手利用者推薦制度 (http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/service/wakate/) 2016 年度 前期募集 2 件，後期募集 3 件，インターン募集 2 件.

[特記 96] 星野： ISC 2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース Vol.18 No.4 (2016 年 7 月)

[特記 97] 星野： 第 57 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 入門」, 2016 年 5 月 31 日, 一部の講師を担当

[特記 98] 星野： 第 58 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」, 2016 年 6 月 8 日, 一部の講師を担当

[特記 99] 星野： 第 59 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」, 2016 年 6 月 14 日 ∼15 日, 一部の講師を担当

[特記 100] 星野： 第 67 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」, 2016 年 10 月 17 日, 一部の講師を担当

[特記 101] 星野： 第 68 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」, 2016 年 11 月 8 日 ∼9 日, 一部の講師を担当

[特記 102] 星野： 第 74 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 in 名古屋」, 2017 年 3 月 14 日, 一部の講師を担当

[特記 103] 有間： 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： 理化学研究所, 計算科学研究機構, 客員研究員 (兼務), 2016 年 5 月-2018 年 3 月.

[特記 105] 有間： Visiting Scientist at Lawrence Livermore National Laboratory, Oct. 2016 - Oct. 2017.

[特記 106] 有間： 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 107] 有間： Program Committee Member of IEEE NVMSA2017.

[特記 108] 有間： Technical Reviewer of IEICE Transactions on Information and Systems.

[特記 109] 有間： 情報処理学会論文誌, コンピューティングシステム, 外部査読.

[特記 110] 有間： SWoPP 2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.5, 2016 年 9 月.

[特記 111] 今野： 2015 年 6 月よりオープン CAE 学会会長.

[特記 112] 今野： 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 57 回「OpenFOAM 入門」(2016 年 5 月), 第 64 回「OpenFOAM 入門」(2016 年 9 月), 第 73 回「OpenFOAM 初級 in 名古屋」(2017 年 3 月).

[特記 113] 今野： 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 57 回 (Vol.18, No.5, 2016 年 9 月), 第 64 回 (Vol.18, No.6, 2016 年 11 月).

[特記 114] 今野： 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 17 号, pp.258-264, 2016 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 1,2,4〕〔査読付き 2〕。悪条件問題向けの並列前処理手法に関する検討を実施した〔招待 5〕〔査読付き 1 〕〔発表 12〕。並列前処理付き反復法のマルチコア・メニィコア向け最適化に関する検討〔招待 7,9〕〔発表 8,10,13〕，通信最適化に関する検討〔招待 3,6〕〔発表 7,14,15〕を実施した。

- 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 1,2,9〕〔発表 4,5,11〕。

- 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 3,6,7,8,9〕〔発表 2,3,5,6,11,15〕とともに，SC16 では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 28〕。

- HPC 教育

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」〔特記 1〕の一環として，HPC 教育プログラム策定，講義，演習を実施した〔特記 2～7〕。また，計算科学アライアンス〔特記 8〕設立に向けての準備活動を実施した。また国立台湾大学において，「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）Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」を実施した〔解説記事 5〕。

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。②の対処方法としては Pipelined 法がある〔招待 3,5,6〕〔発表 7〕。Pipelined CG 法では，CG 法の結果が変わらないように計算順序を変更し，MPI-3 でサポートされている非同期集団通信（MPI_Iallreduce）によって，集団通信のオーバーヘッドを隠蔽することに成功しており，昨年度は最大 64 ノード（1,280 コア，1,280 MPI プロセス）を使用してその効果を検証した。ここでは，特に①に注目した検討を紹介する〔招待 3,5,6〕〔発表 15〕。

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 10 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，〔引用文献 4〕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 12 に示す。Overlap 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，50，100，…，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富士通 FX10（Oakleaf-FX）の全 4,800 ノード（76,800 コア）を使用している。1 ノード 16 スレッド，4,800MPI プロセスの OpenMP/MPI ハイブリッド並列による計算である。問題サイズは 1 ノードあたり 200^3 節点（L），100^3 節点（S）の 2 ケース実施した。図 3 の結果は,オリジナル実装からの性能改善率であり，特に問題サイズが小さい場合に，10%以上の性能向上が得られている。一方，動的ループスケジューリングを適用しない通常の計算・通

信のオーバーラップはほとんど性能向上がない。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。

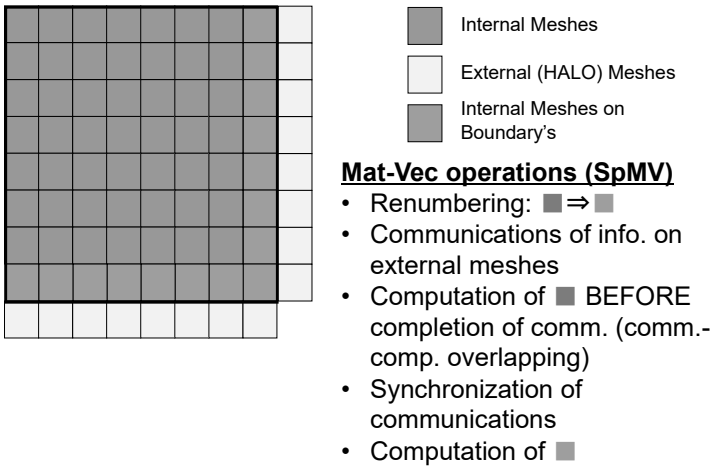


図 1 行列ベクトル積並列計算時の計算と通信のオーバーラップ

```
!$omp parallel private (neib,j,k,i,X1,X2,X3,WVAL1,WVAL2,WVAL3)
!$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

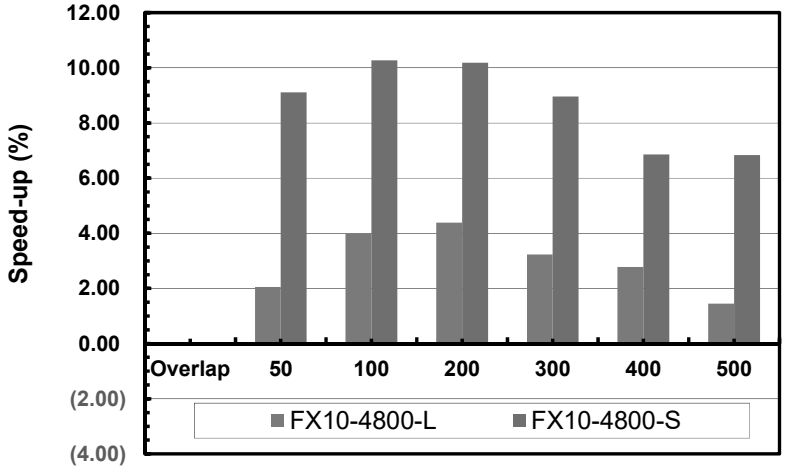


図 3 動的ループスケジューリングの効果（三次元固体力学並列有限要素法，対角ブロック前処理付き CG 法），オリジナル手法からの CG 法性能改善率，Overlap：動的ループスケジューリング適用無し，数字はチャンクサイズ，東大情報基盤センター富士通 FX10（Oakleaf-FX）の全 4,800 ノード（76,800 コア）を使用（16 スレッド×4,800MPI プロセス），1 ノード当りの問題サイズ：200^3 節点（L），100^3 節点（S）

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）

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」〔特記 1〕の一環として，大学院理学系研究科地球惑星科学専攻で「並列計算プログラミング・先端計算機演習」を実施した〔特記 2〕。2016 年度夏季集中講義として，2016 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 Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）を使用したプログラミング実習を実施した。2016 年度は合計 34 名の受講者があった〔解説記事 2〕。2017 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 3,4〕

- 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 1,2〕

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。2016 年度は S1S2 学期 39 名と A1A2 学期 15 名の受講者があった。2017 年度も引き続き開講の予定である。また，A1A2 学期の実習には 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 数値解析（工学部計数工学科）

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」の一環として，工学部応用物理系学科（物理工学科，計数工学科）の学部 2 年生を対象とした「数値解析」講義のうち 7 回を 2016 年 A1A2 学期に担当した〔特記7〕。担当項目は，スーパーコンピューティング入門，線形方程式解法（直接法，反復法），固有値解法，偏微分方程式数値解法である。2016 年度は合計 120 名の受講者があった。

3.4 計算科学アライアンス

計算科学アライアンス〔特記 8〕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〕 Kengo Nakajima, Extreme Simulations on ppOpen-HPC, Challenges in Extreme Engineering Algorithms, ISC High Performance 2016 (Frankfurt, Germany, June 19-23, 2016)

〔招待 2〕 Kengo Nakajima, Akihiro Ida and Takahiro Katagiri, Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems using ppOpen-HPC, Enabling Technologies and Simulation Practices for High Performance Computational Mechanics, The 12th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XII) (Seoul, Korea, July 24-29, 2016)

〔招待 3〕 Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers with Preconditioning in the Post-Moore Era, First International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT) (Nagoya University, September 7, 2016)

〔招待 4〕 Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers for Ill-conditioned Problems with Heterogeneous Material Properties, NCU Mathematics Seminar, National Central University (Taoyuan, Taiwan, November 3, 2016)

〔招待 5〕 Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers with Preconditioning in the Post-Moore Era, TIMS Seminar on Scientific Computing, National Taiwan University (Taipei, Taiwan, November 4, 2016)

〔招待 6〕 Kengo Nakajima, Communication/Synchronization Avoiding/Reducing in Krylov Iterative Solvers on Multicore/Manycore Clusters -Early Case Studies on Oakforest-PACS with Intel Xeon Phi, Berkeley Lab Computing Sciences Seminar (Berkeley, CA, USA, January 20, 2017)

〔招待 7〕Kengo Nakajima, Accelerated Computing Activities at ITC/University of Tokyo, ADAC-3 (Accelerated Data Analytics and Computing) Workshop（Kashiwa, January 25, 2017）

〔招待 8〕 中島研吾, 岩下武史, 片桐孝洋, 松岡聡, ポストムーア時代の科学技術アプリケーションとアルゴリズム, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 特別シンポジウム「半導体とコンピュータとのハーモニックイノベーション」（横浜, 2017 年 3 月 14 日）

〔招待 9〕 中島研吾, Oakforest-PACS の紹介と計算科学の進展, 第 30 回人工物コロキウム「大規模シミュレーションと人工物工学」, 東京大学人工物工学研究センター（柏, 千葉, 2017 年 3 月 15 日）

査読付論文リスト

〔査読付 1〕 Kengo Nakajima, Parallel Iterative Solvers for Ill-conditioned Problems with Heterogeneous Material Properties, Procedia Computer Science 80, 1635-1645, 2016

〔査読付 2〕 Naoya Nomura, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Kengo Nakajima and Osni Marques, Performance Analysis of SA-AMG Method by Setting Extracted Near-Kernel Vectors, Proceedings of the 12th International Meeting on High Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2016), Porto, Portugal, 2016

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 18-3, 東京大学情報基盤センター, 2016

〔解説記事 2〕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 18-6, 東京大学情報基盤センター, 2016

〔解説記事 3〕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 19-1, 東京大学情報基盤センター, 2017

〔解説記事 4〕中島研吾，第 68 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 19-1，東京大学情報基盤センター，2017

〔解説記事 5〕中島研吾，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） Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters，スーパーコンピューティングニュース 19-1，東京大学情報基盤センター，2017

その他発表論文リスト

〔発表 1〕Kengo Nakajima, Thread-Scalable FEM, 2016 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP16) (Paris, France, April 12-14, 2016)

〔発表 2〕Satoshi Matsuoka, Hideharu Amano, Kengo Nakajima, Koji Inoue, Tomohiro Kudoh, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Takeshi Iwashita, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Toshio Endo. From FLOPS to BYTES: Disruptive Change in High-Performance Computing towards the Post-Moore Era, Proceedings of the ACM International Conference on Computing Frontiers (CF'16) (Como, Italy, May 16-18, 2016)

〔発表 3〕 中島研吾，ポストムーア時代の大規模数値計算アルゴリズム，第 21 回計算工学講演会（日本計算工学会）（新潟，2016 年 5 月 31 日～6 月 2 日）

〔発表 4〕中島研吾，ppOpen-HPC と大規模シミュレーション，第 21 回計算工学講演会（日本計算工学会）（新潟，2016 年 5 月 31 日～6 月 2 日）

〔発表 5〕Kengo Nakajima, Framework for Development of Data-Movement Centric Applications, BDEC Frankfurt （The workshop on Big Data and Extreme-scale Computing）（Frankfurt, Germany, June 15, 2016）

〔発表 6〕松岡聡，天野英晴，中島研吾，井上弘士，工藤知宏，丸山直也，田浦健次朗，岩下武史，片桐孝洋，塙敏博，遠藤敏夫，ポストムーア時代における FLOPS から BYTES への変革，情報処理学会研究報告（2016-HPC-155-32），2016 年並列／分散／協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）（松本，2016 年 8 月 8 日～10 日）

〔発表 7〕中島研吾，非同期並列前処理手法について，2016 年並列／分散／協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）（松本，2016 年 8 月 8 日～10 日）

〔発表 8〕塙敏博，中島研吾，大島聡史，伊田明宏，星野哲也，田浦健次朗，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 の性能評価，情報処理学会研究報告（2016-HPC-156-10），情報処理学会第 156 回 HPC 研究会（小樽，2016 年 9 月 15 日～16 日）

〔発表 9〕塙敏博, 中島研吾, 大島聡史, 星野哲也, 伊田明弘, パイプライン型共役勾配法の性能評価, 情報処理学会研究報告(2016-HPC-157-6), 情報処理学会第 157 回 HPC 研究会(那覇, 2016 年 12 月 21 日～22 日)

〔発表 10〕中島研吾, 大島聡史, 塙敏博, 星野哲也, 伊田明弘, ICCG 法ソルバーの Intel Xeon Phi 向け最適化, 情報処理学会研究報告(2016-HPC-157-16), 情報処理学会第 157 回 HPC 研究会(那覇, 2016 年 12 月 21 日～22 日)

〔発表 11〕Kengo Nakajima, Application Development Framework for Manycore Architectures in Exascale/Post-Moore Era, 2017 SIAM Conference on Computational Science and Engineering (SIAM CSE17) (Atlanta, GA, USA, February 27-March 3, 2017)

〔発表 12〕河合直聡, 伊田明弘, 中島研吾, 悪条件問題に対する CG 法向け IC 前処理手法の改善, 情報処理学会研究報告(2017-HPC-158-9), 情報処理学会第 158 回 HPC 研究会(熱海, 2017年 3 月 8 日～10 日)

〔発表 13〕星野哲也, 大島聡史, 塙敏博, 中島研吾, 伊田明弘, OpenACC を用いた ICCG 法ソルバーの Pascal GPU における性能評価, 情報処理学会研究報告(2017-HPC-158-18), 情報処理学会第 158 回 HPC 研究会(熱海, 2017年 3 月 8 日～10 日)

〔発表 14〕塙敏博, 中島研吾, 大島聡史, 星野哲也, 伊田明弘, Xeon Phi+OmniPath 環境における OpenMP, MPI 性能最適化, 情報処理学会研究報告(2017-HPC-158-21), 情報処理学会第 158 回 HPC 研究会(熱海, 2017年 3 月 8 日～10 日)

〔発表 15〕Kengo Nakajima, Hiding communications in preconditioned Krylov iterative solvers on multicore/manycore clusters, 2017 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (2017 ATAT in HPSC), National Taiwan University (Taipei, Taiwan, March 10-11, 2017)

特記事項

〔特記 1〕学際計算科学・工学人材育成プログラム, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/CSEedu/

〔特記 2〕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/16e/

〔特記 3〕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/16s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16w/

〔特記 4〕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/16s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16w/

〔特記 5〕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/16s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16w/

〔特記 6〕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, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/

〔特記 7〕数値解析, 東京大学工学部計数工学科, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16n/

〔特記 8〕計算科学アライアンス, http://www.compsci-alliance.jp/

〔特記 9〕日本計算工学会理事, 会員委員会委員長

〔特記 10〕日本応用数理学会, 代表会員

〔特記 11〕General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

〔特記 12〕Co-organizer of Mini-Symposium, 17th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP16): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-III (Paris, France, 2016.4)

〔特記 13〕セッションオーガナイザ, 日本計算工学会第 21 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」(新潟, 2016.5)

〔特記 14〕Member of Scientific Committee, The 2016 Platform of Advanced Scientific Computing Conference (PASC16)(Lausanne, Switzerland, 2016.6)

〔特記 15〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2016)(San Diego, USA, 2016.6)

〔特記 16〕Co-Chair, Program Committee, Sixth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2016) in conjunction with ICCS 2016(San Diego, USA, 2016.6)

〔特記 17〕Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC'16)(Frankfurt, 2016.6)

〔特記 18〕Member of Ph.D Forum Committee, International Supercomputing Conference (ISC'16)(Frankfurt, 2016.6)

〔特記 19〕Member of Program Committee, 2nd International Workshop on Performance Modeling: Methods and Applications (PMMA16) in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC'16)(Frankfurt, 2016.6)

〔特記 20〕Member of Scientific Committee, 12th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2016) (Porto, Portugal, 2016.6)

〔特記 21〕Area Chair of Technical Program Committee (Applications, Algorithms, and Libraries), IEEE Cluster 2016(Taipei, Taiwan, 2016.9)

〔特記 22〕Member of Program Committee, The 23rd European MPI Users' Group Meeting (Euro MPI 2016) (Edinburgh, UK, 2016.9)

〔特記 23〕Member of 2016 Sydney Fernbach Award Subcommittee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16),（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

〔特記 24〕Member of 2016 Seymour Cray Award Subcommittee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16),（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

〔特記 25〕Member of Invited Talks Committee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

〔特記 26〕Member of Tutorials Committee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

〔特記 27〕Member of Test of Time Award Committee, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

〔特記 28〕Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2016 (PMES16) in conjunction with 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

〔特記 29〕Co-organizer of BoF, 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）

〔特記 30〕Member of Program Committee, 18^{h} IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2016) (Sydney, Australia, 2016.12)

〔特記 31〕Co-organizer of Mini-Symposium, 2017 SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE17): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-II (Atlanta, GA, USA, 2017.3)

〔特記 32〕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 33〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2017)（Zurich, Switzerland, 2017.6）

〔特記 34〕Co-Chair, Program Committee, Seventh International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES 2017) in con-

junction with International Conference on Computational Science (ICCS 2017)（Zurich, Switzerland, 2017.6）

〔特記 35〕Member of Ph.D Forum Committee, International Supercomputing Conference (ISC’17)（Frankfurt, 2017.6）

〔特記 36〕Member of BoF Committee, International Supercomputing Conference (ISC’17)（Frankfurt, 2017.6）

〔特記 37〕Session Organizer, Algorithms for Extreme Scale in Practice, International Supercomputing Conference (ISC’17)（Frankfurt, 2017.6）

〔特記 38〕Member of Program Committee, The 46th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2017)（Bristol, UK, 2017.8）

〔特記 39〕Chair, Posters Committee, 2017 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

〔特記 40〕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 41〕Member of Program Committee, Post Moores Era Supercomputing 2016 (PMES16) in conjunction with 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC17)（Denver, CO, USA, 2017.11）

〔特記 42〕Co-Chair, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), (Tokyo, 2018.3)

〔特記 43〕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

高い生産性と高性能を両立させたプログラミング言語, 領域特化型言語に関する研究を行っている. 汎用的なプログラミング言語に対しては, 動的な負荷分散を行うプログラミング言語の基盤である, タスク並列処理の高性能化に関する研究を行っている [査読付 1, 査読付 2, 査読付 6, 査読付 7, 発表 1, 発表 2, 発表 3]. 領域特化型言語としては, N 体問題に対する領域特化型言語 [査読付 4, 査読付 9, 発表 5, 発表 6], 大規模データ処理に対する特化型言語に関する研究を行った.

以下ではそのうちの一部を要約する. 2 節で, 大規模データ処理に対する特化型言語に関する成果, 3 節で, 局所性を考慮したワークスチーリングアルゴリズムに関する成果を要約する.

2 大規模 ad-hoc データ用汎用省メモリ処理系の設計と実装

2.1 背景

近年数多くの分野で大規模なデータが利用可能になっている. ゲノム解析, 天文などの自然科学分野の他に, 従来からの Web ページやソーシャルメディア上のデータや気象情報, 書誌情報, 地理情報, 行政情報, 百科事典, などをオープンデータとして利用可能にする動きも高まっている. 大規模データを高速に, かつ容易に解析できる仕組みの需要が高まっている.

それらの形式はデータ毎に異なり, 極めて多様である. データの多くは XML, json, csv などの半構造化されたテキストデータであるが, サーバのログやツールで処理した後の中間データなど, 標準的な形式に沿っていないデータも多い. そのようなデータは **ad-hoc データ**と呼ばれ, 解析のためにはデータ形式やアプリケーションごとに, 構文解析器を開発する必要がある.

このような方法は開発工数もかかる上に, 可読性や保守性も悪くなる. さらに大規模データ処理には並列化が必須であり, アプリケーションごとに並列化を含めて高速な構文解析器を開発するのは現実的ではない.

2.2 本研究の目的

そこで本研究では, ad-hoc な大規模データ処理に特化した高速な処理系 (ad-hoc データ処理系) を設計・実装することを目指している. ad-hoc データ処理系では, 対象データに対して抽出したいパターンと, パターンにマッチしたデータに対する問い合わせ処理を記述するだけで, ad-hoc なデータに対する処理が容易に実行できる.

本処理系は, 第一義的には, 標準的なパーザの存在しない ad-hoc なデータ形式を対象としているが, XML, json などの標準的な形式であっても, 汎用的なパーザやデータベースを使うと大量のメモリを消費したり, 性能が得られない場合や, データのペイロード部に対するさらなる解析が必要な場合など, 有用な場合がある.

技術的には, 与えられた文法と問い合わせから, CPU のベクトル化命令や, マルチコア並列性を用いて高性能な問い合わせ処理を実行する処理系を実現することを目指している.

2.3 設計と実装

文法の記述　文法は, Parsing Expression Grammar (PEG) と呼ばれる文法形式を用いて記述する. PEG は ad-hoc なデータ解析にしばしば用いられる正規表現を越え, 文脈自由文法に近い表現能力を持っている. [1]

例として Listing 1 に, PEG による JSON 文法の記述を示す.

Listing 1: PEG による JSON の文法

```
True <- "true"
False <- "false"
Null <- "null"
Digits <- [0-9]+
Exp <- [eE] [-+]? Digits
Number <- '-'? Digits ('.' Digits)? Exp?
Xdigit <- [0-9a-fA-F]
Uni <- 'u' Xdigit Xdigit Xdigit Xdigit
Unicode <- (Uni ('\' Uni)*)?
Escaped <- '"'/'\'/'/'/'b'/'f'/'n'/'r'/'t'/Unicode
Unescaped <- [0x20-0x10FFFF]
Char <- '\' Escaped / !'\' Unescaped
String <- '"' (!'"' Char)*
Array <- '[' (Value (',' Value)*)? ']'
ObjectMem <- String ':' Value
Object <- '{' (ObjectMem (',' ObjectMem)*)? '}'
Value <- (String / Number / Array / False / True / Null) \s*
JSON <- Object / Array / Value
```

本処理系はこのような文法記述から, 構文解析器を自動的に生成する. なお, 整数の表現や浮動小数点数の記述などよく用いるものは事前に定義されており, 毎回ユーザが記述する必要はない.

抽出したい部分の記述　文法に対して非終端記号にマッチした部分を, SQL 風の問い合わせ文の中に記述することができる. 例えば以下は

```
SELECT Key FROM ObjectMem
```

上記の構文で解析されたデータ中で, ObjectMem 中の Key にマッチした部分を取り出す.

ユーザは必要に応じて文法を書き換えることで, マッチさせたい要素をより詳細に指定することができる.

例:　Wikidata のダンプ (json 形式) から小説家の名前を抽出する例を示す.

Listing 2 は Wikidata のダンプファイルの断片で, Douglas Adams という人物が小説家であることを示している.

wikidata の各要素は一つの json オブジェクトとなっている . 各オブジェクトはいくつかのプロパティを持っている . そのうち “labels” は各言語におけるオブジェクトの表題を表し , 小説家の場合これが名前にあたる. “claims” はそのオブジェクトの性質を表すためにあり , 該当する性質を表すプロパティ ID がキーとなっている. プロパティ ID “p106” は職業を指す. “Q6625963” が小説家を意味する id である. 従って目的は, json ファイルの中から, Listing 3 のようなパターンに合致する部分を見つけ出し, X に相当する部分を列挙することである.

そのために必要な文法の記述と, 問い合わせ文が Listing 4, Listing 5 になる.

このような解析を実現するための既存の方法としては, stream 処理型 SAX パーザを用いる方法, 木構造を構築する DOM パーザを用いる方法がある. 前者は木構造を構築しないのでメモリを消費せず, 結果として高速であるという利点があるが, 現在木構造のどの部分を解析しているかなどのコンテクストをユーザが管理する必要があり, 生産性は低い. DOM 型は問い合わせを宣言的に記述でき, 生産性が高いという特徴があるが木構造全体をメモリ上に一旦構築することが基本であり, メモリ消費量が大きい. 特に, 主記憶を上回るデータを処理することは困難である.

本処理系は, 抽出したい部分を指定する文法とその問い合わせを一体的に記述し, 省メモリで宣言的な問い合わせ処理をサポートすることに成功している.

[1] 両者の間に包含関係があるかどうかはわかっていない

Listing 2: wikidata の抜粋

```
[{
  "id": "Q42",
  "type": "item",
  "labels": {
    "en": {
      "language": "en",
      "value": "Douglas Adams"
    }
  },
  "descriptions": {},
  "aliases": {},
  "claims": {
    "P106": [
      {
        "mainsnak": {
          "snaktype": "value",
          "property": "P106",
          "datavalue": {
            "value": {
              "entity-type": "item",
              "numeric-id": 6625963,
              "id": "Q6625963"
            },
            "type": "wikibase-entityid"
          },
          "datatype": "wikibase-item"
        },
        "type": "statement",
        "id": "Q42$D6E21D67-05D6-4A0B-8458-0744FCEED13D",
        "rank": "normal"
      }
    ]
  },
  "sitelinks": {},
  "lastrevid": 195301613,
  "modified": "2015-02-10T12:42:02Z"
}]
```

(a)

Listing 3: 抽出するパターン

```
[{
  ...
  "labels": {
    "en": {
      "language": "en",
      "value": "X"
    }
  },
  ...
  "claims": {
    "P106": [
      {
        "mainsnak": {
          ...
          "id": "Q6625963"
          ...
        },
        ...
      }
    ]
  },
  ...
}]
```

(b)

Listing 4: 小説家の名前を抜き出すための追加文法

```
_ObjectMem <- String ':' Value
OccupationId <- String
WhereId <- "\"id\"" OccupationId
Value <- String
WhereLabel <- "\"Value\"" Value
Labels <- "\"labels\"" ':' JSON
EN <- "\"en\"" ':' JSON
Claims <- "\"claims\"" ':' JSON
P106 <- "\"P106\"" ':' JSON
Mainsnak <- "\mainsnak\"" ':' JSON

ObjectMem <- Claims / P106 / Mainsnak / Labels / EN / WhereId / WhereLabel / _ObjectMem

Doc <- JSON
Root <- '[' (Doc (',' Doc)*)? ']'
```

Listing 5: 小説家の名前を抜き出すためのクエリ

```
SELECT OccupationId FROM Mainsnak FROM P106 FROM Claims FROM Doc
SELECT Value FROM EN FROM Labels FROM Doc
FOR Doc WHERE OccupationId = "Q6625963"
```

表 1: 実験環境およびデータセット

(a) 実験環境

名称	性能
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2660 0 @ 2.20GHz
主記憶	DIMM DDR3 Synchronous 1600 MHz 8GB * 8
2 次記憶	SCSI Disk PERC H310
OS	Ubuntu 14.04.5 LTS

(b) データセット

ファイル名	データサイズ (MB)	パターン出現数
one.json	0.21	1
subset.json	879	264
all.json	94664	7823

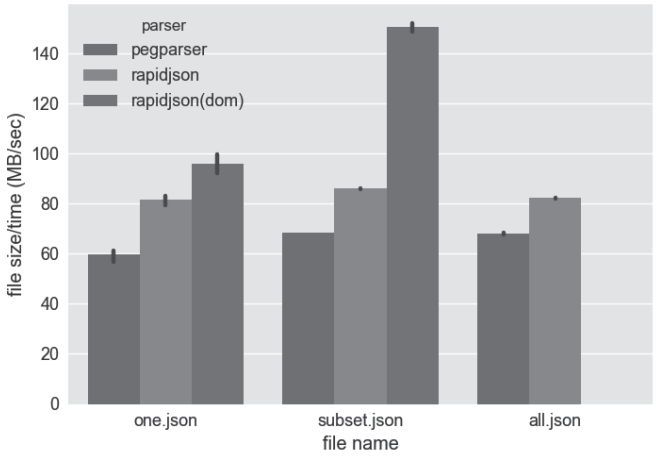


図 1: ファイルサイズ/実行時間 (5 回の平均)

2.4 成果

現在, 文法記述と問い合わせ処理を受け取って, C++で実装された構文解析器を生成し, 問い合わせをする処理系 pegparser が実装されている. 並列化, ベクトル化などの最適化はまだ行えていない.

比較対象: JSON の高速なパーザとして定評のある rapidjson [1] との比較を行った. rapidjson には SAX 型のパーザ, DOM 型のパーザがある.

データセット: 次の二つのデータに対して評価を行った.

- wikidata [3] のダンプファイル（json）から小説家の名前を抜き出す.
- GDELT [2] の 2004 年度の tsv データから日本に関する情報を抜き出す.

以下では紙面の都合上前者に対する結果のみ示す. 対象とした wikidate ファイルは合計で 94GB 程度のファイルだが, DOM 型のパーザで全体を解析することは不可能である. そこで, 比較実験のためにその一部だけを取り出した 2 種類のデータを作成し, 都合, 表 1 に示す 3 通りのデータセットに対して評価を行った.

評価環境: 評価は表 1 に示す環境で行った.

図 1 に各データセットに対する処理速度 (MB/秒) を示す.

pegparser も SAX の rapidjson も入力長によらず一定の性能を示しているが, rapidjson の方が 1.2 から 1.4 倍速いということが分かる. DOM 版が一番早い結果となった. perf で測定したところ DOM 版の IPC は 2.05 あり, SAX 版の IPC は 1.04 であった. pegparser の IPC は 2.11 だったので, pegparser が rapidjson より遅い原因として単純に命令数が多いことが考えられる.

図 2 は解析に使用した最大物理メモリを表す. DOM 版は SAX 版や pegparser と比べて圧倒的に多かったので図には載せていない.one.json で 1.5MB, subset.json で 2.6GB 程度であった. SAX 版と pegparser は抜き出した

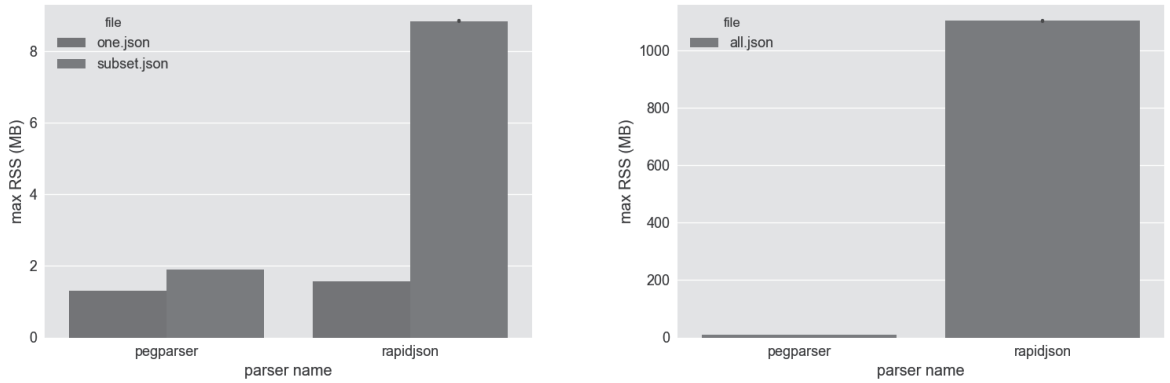


図 2: 各データファイルを解析するのに使用した物理メモリ (5 回の平均)

表 2: 各パーサーを生成するのに必要なコード量

parser	line of program
pegparser	40 + 3
rapidjson (SAX)	134
rapidjson (DOM)	59

データを保存するため, データサイズが大きくなるに比例して必要な物理メモリは増えるが, ファイルサイズに比べて圧倒的に小さいことが分かる. one.json に 1.3MB 必要なことから, pegparser 自体は最低 2MB あれば動くことが予想される. SAX 型の rapidjson も実メモリより大きいデータを性能の低下なく処理出来たことからファイル全てが必要でなく OS が追い出していないだけと考えられるが, 見かけの上では 1GB の物理メモリは使っていることになっている.

各パーサーのコード量は pegparser < rapidjson (DOM) < rapidjson (SAX) となった（表 2）. pegparser の行数は grammar + query としている. また, pegparser を作成するための文法は PEG の記法ではなく, 実際に PEGTL で使う C++のヘッダファイルの行数を測定した. そのため上述した PEG の記法と比べて文法以外の記述を含み行数が多くなっている. rapidjson の場合すべてクエリに該当する処理のための記述だが, pegparser はクエリに関しては圧倒的に少ないことが分かる. 文法に関する部分が多くなってしまうのはデメリットだが, 似た形式なら大半を流用出来るという利点もあり, SAX と比べて再利用しやすと考えられる.

3 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

3.1 背景

ランダムワークスチーリング [6] は, 動的なタスク生成を行うプログラミング言語において動的負荷分散を行う標準的な方法として広く受け入れられている. ランダムワークスチーリングの要点は以下のとおりである.

1. 各ワーカ (ここでは物理コアと同一視して差し支えない) がローカルなタスクキュー (実際には両端キュー) を持ち, 新しいタスクはそれを生成したワーカのタスクキューに挿入される.
2. 各ワーカはローカルなタスクキューが空にならない限り, そこからタスクを取り出し, 実行する.
3. ローカルなタスクキューが空になったら, 他のワーカを一様な確率で選び, そのワーカ (犠牲者と呼ぶ) のタスクキューからタスクを盗む. 犠牲者のタスクキューが空の場合もあるが, その場合はまたワーカを選び直す. これを, タスクが見つかるか, プログラム全体が終了するまで繰り返す.

ランダムワークスチーリングは, 犠牲者を選択する処理の実装が単純である, そのための通信も必要としない (一様な乱数で選ぶだけ), ボトルネックとなるデータ構造が存在しない (その意味ではスケーラビリティに優れ

る), などの利点がある. また, その実行時間に関する解析もなされており [6], プログラムに関する少ない前提のもとで実行時間を抑えることに成功している.

また, 純粋に実行時システムのみで実装できる, すなわちプログラムのタスク生成パターンなどに関する全体を必要としない, という特徴もある. これは一般性, 実装の単純さという意味では強みであるが, プログラム固有の性質を生かした最適化を行わないという意味では欠点とも言える.

3.2 研究の目的

ランダムワークスチーリングを大規模なシステム上の負荷分散アルゴリズムとするために大きな課題となっているのは, 文字通り, タスクの配置 (したがってそのために発生する通信) がランダムであることである. タスクの配置がランダムになると, データをアクセスするための通信もランダムになるという副作用も発生する. 大規模システムは, 局所性の乏しいランダムな通信をスケーラブルに実行できるようには設計されておらず, 分散メモリ並列計算機のネットワークにおいてはこの傾向が顕著である. よって, ランダムワークスチーリングが大規模な環境で高い性能を発揮するのは困難であると予想される.

これを解決するための第一歩として, タスクを盗む際の通信がより局所的になるワークスチーリングアルゴリズムの設計と, その性能に関する解析を行った.

そのようなアルゴリズムを設計するのは一見簡単に思えるかも知れない. 直感的には, 犠牲者を選ぶ際, 自分の近くのワーカを優先して (例えば, 同一コア内, ソケット内, 同一ノード内の順に優先して) 選択すれば良いように思われる. 実際これまでも, この種の経験則に基づいた手法が数多く提案されている [4, 5, 7, 8].

しかしながらそのようなアルゴリズムの性能に対する解析はほとんどなされておらず, 実際, **タスクの生成パターンが未知, タスクを盗む対象を決めるのに, タスク配置に関する知識を用いない**という前提では, そのようなアルゴリズムが通常の (一様な) ランダムワークスチーリングより優れているという一般的な議論は困難であるように思われる. そのような前提では, どのような確率で犠牲者を選ぼうとも, (プログラムの性質によっては) その確率の低いところにタスクが偏在している, という可能性を否定できない.

3.3 提案手法

Expectation-balancing Victim Selection (EBVS) という方式を提案した. アルゴリズム及びその解析を単純化するため, これまでのところ, ワーカの集合全体が二つの同数のワーカからなるグループ G_1, G_2 に分かれているという前提で設計している. グループのサイズが同じでない場合のアルゴリズムの設計も行っているが, ここでは述べない.

3 つ以上のグループや, より深く階層化されたシステムでの同様のアルゴリズムへの一般化は今後の課題である.

このアルゴリズムでは, グループ間のタスクスチール回数を抑えつつ, 犠牲者を一様に選択する場合と比べて, 実行時間の上限を抑えることに成功している. 上述したように, 各ワーカがタスクの配置に関する知識がない状態で犠牲者の選択を行うと, どのような方式で犠牲者を選ぼうとも, それ以外のワーカにタスクが偏在している可能性があり, 一様な確率で選ぶときよりも, それらのタスクが盗まれる (従って実行される) までの平均時間が長くなる事がありうる. したがって, 「任意のプログラムに対して」一様な犠牲者選択よりも優れたアルゴリズムを設計するのは困難である.

EBVS では, グループ G_1, G_2 内でワークスチーリングを行っているワーカ数 τ_1, τ_2 を管理し, 各ワーカがこれらの変数にアクセスできるものとする. 一般性を失うことなく $\tau_1 \leq \tau_2$ と仮定する. このとき EBVS では, G_i に属する各ワーカは, 以下の表に示す確率で, 犠牲者となるグループ G_j を決める. グループ内でどのワーカを犠牲にするかは, 一様に選ぶ.

	$j=1$	$j=2$
$i=1$	1	0
$i=2$	$\frac{1}{2}(1-\tau_1/\tau_2)$	$\frac{1}{2}(1+\tau_1/\tau_2)$

この方式の特徴は, ワークスチーリングを試みるすべてのワーカが一度ずつワークスチーリングを試みた際, ワークスチーリングの犠牲となる回数の平均値が, すべてのワーカで同じになる, ということである. 実際この状

況で,

- G_1 内のどれかのワーカが犠牲となる回数の平均値
$$= 1 \cdot \tau_1 + \frac{1}{2}(1 - \tau_1/\tau_2)\tau_2 = \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2)$$
- G_2 内のどれかのワーカが犠牲となる回数の平均値
$$= 0 \cdot \tau_1 + \frac{1}{2}(1 + \tau_1/\tau_2)\tau_2 = \frac{1}{2}(\tau_1 + \tau_2)$$

グループ内での犠牲者の選び方は一様で, グループのサイズは同一であるため, 結局どのワーカが犠牲者になる回数の期待値も同じということになる.

したがってある (どこにあるかわからない) タスクが, 一定時間後までに盗まれる確率は, 一様な犠牲者選択の場合と比べて悪くなることはない. 一方で表の作り方から, タスクの移動がグループ内で行われる確率は, 一様な場合と比べて高い.

もちろんこの変数の管理およびアクセス自身に通信が必要であり, このアルゴリズムを実装した際に, 得られる通信の局所性による効果がこれらの通信に必要なコストを上回るかどうかは, 今後の検討課題である.

3.4 結果

評価は様々な総タスク量 (T_1), クリティカルパス長 (T_∞) を持つ DAG を生成してシミュレーションを用いて行った. 16 個のワーカーを持つグループを 2 つ用意し, それらの間の通信コストを設定し, Work Stealing のアルゴリズムのシミュレーションを行った.

それぞれの条件で 1000 回計測を行って得た実行時間に関する累積分布を図 3 に示す。

- (T_1, T_∞) : $\underline{D_{100}} = (32000, 100)$, $\underline{D_{500}} = (32000, 500)$, $\underline{D_{1000}} = (32000, 1000)$
- 時間コスト行列 : グループ間のスチールが, グループ内のスチールに比べて 8 倍の時間がかかるという設定.
$$\underline{C_8} = \begin{pmatrix} 1 & 8 \\ 8 & 1 \end{pmatrix}$$
- 犠牲者を選択するアルゴリズム :
  - 一様: Uniform Victim Selection (UVS)
  - 静的な重み付け: Statically Weighted Victim Selection (SWVS). グループ内のスチール確率とグループ間のスチール確率の比 p_i/p_e を, 静的に設定するもので, その日を 2, 3, 5 と変えた.
$$\begin{pmatrix} p_i/p_e & 1 \\ 1 & p_i/p_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 & 1 \\ 1 & 5 \end{pmatrix}$$
    それぞれ SWVS(2), SWVS(3), SWVS(5) と書くことにする。
  - Expectation-balancing Victim Selection (EBVS)

また、T_1, T_∞ が等しいが構造の異なる DAG に対するアルゴリズムの有効性を確かめるために、20 種類の異なる DAG をそれぞれ 50 回実行したときの平均実行時間を UVS, SWVS(2), EBVS について比較したグラフを図 4 に示す。

図 3 を見ると, 実行時間がある一定時間内に収まる確率が向上していることがわかる. また, 静的にグループ内の確率を大きくする SWVS 方式ではその確率の与え方に性能が左右され, 選び方によっては一様に選ぶ方式を下回ることもある. 図 4 からは, 平均の実行時間も数% 短縮されていることがわかる.

本実験が示す性能向上は総じて僅かであるが, これは, ワークスチーリングのアルゴリズムによる実行時間への影響を, あるタスクが盗まれるまでの時間, および盗まれたタスクを移動させるのにかかる時間, でしか評価していないことも一因である. 実際にはタスク配置によって, タスクがアクセスするデータへのアクセスコストが変化し, 結果としてタスクの実行時間そのものが変化する. タスク移動を局所的にすることで, それらのデータの局所性も上がることが期待できるが, どの程度上がるかはアプリケーションのデータアクセスパターンに強く依存する. ここに関して有用かつ, ある程度の一般性を持った命題を発見・証明することは今後の課題である.

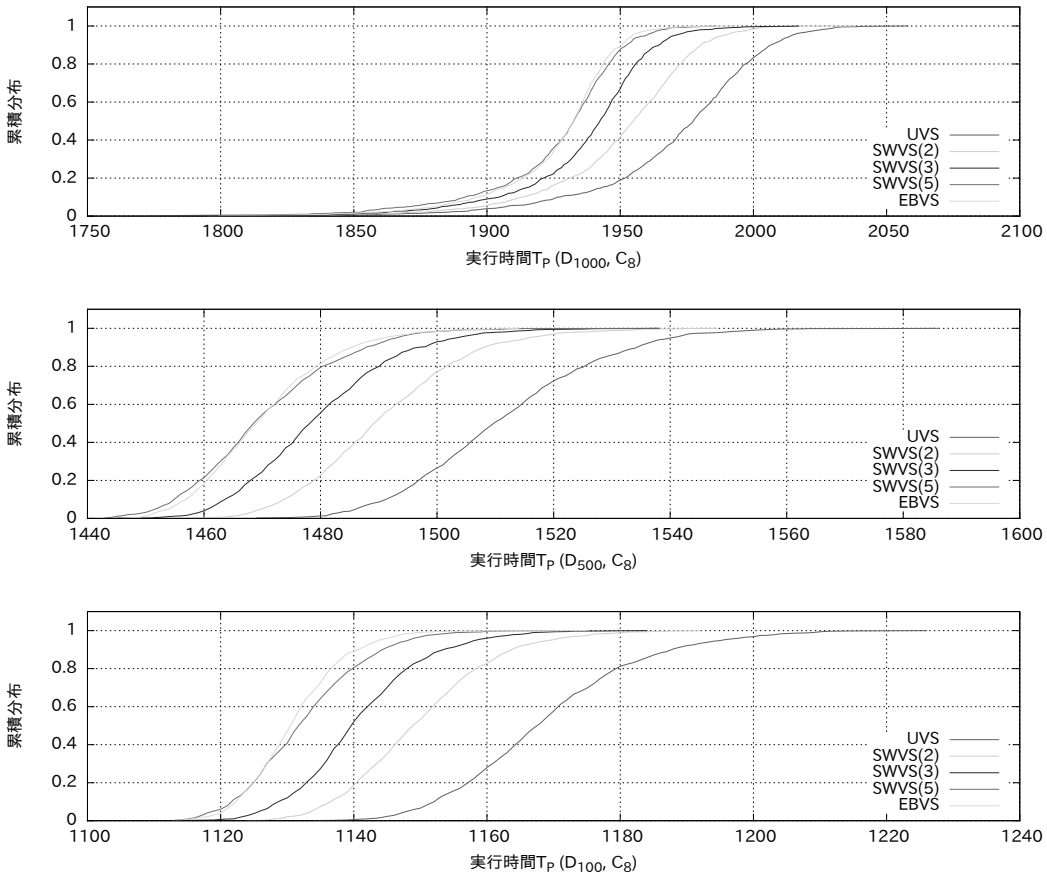


図 3: シミュレーションによる実行時間の累積分布図

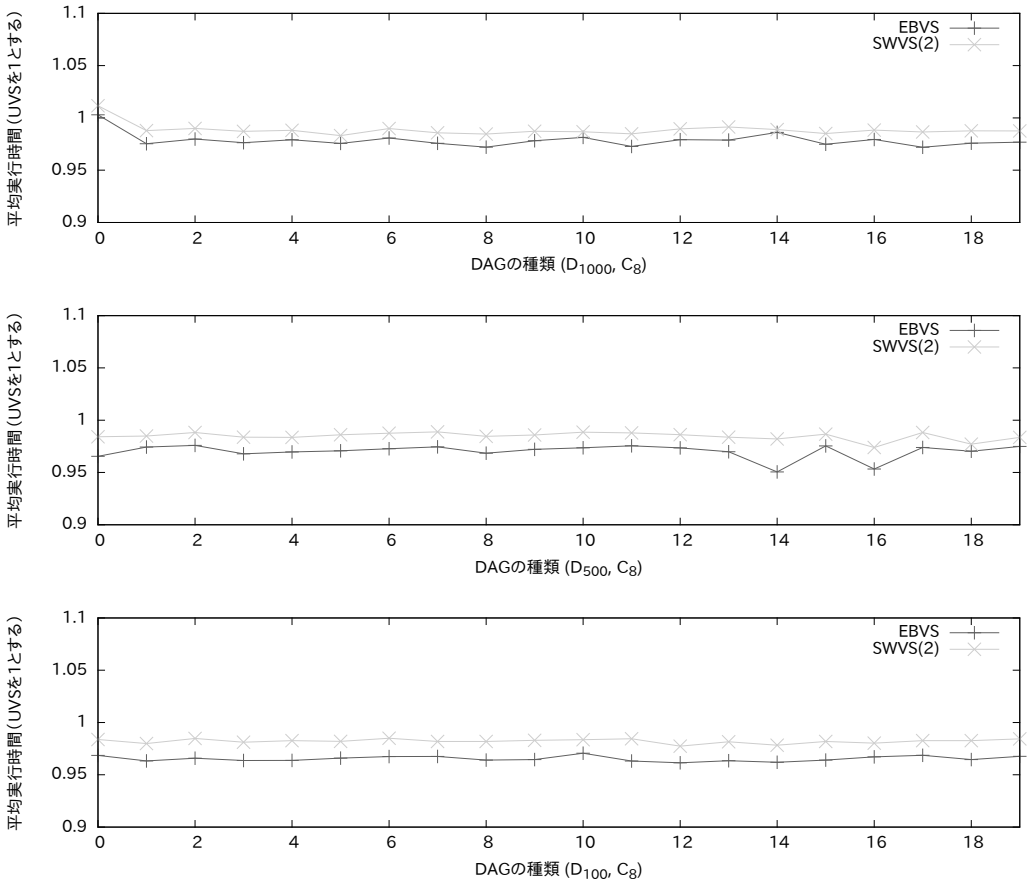


図 4: 20 種類の DAG に対する、UVS を基準とした平均実行時間

4 基盤センター業務関連活動

- Oakleaf-PACS システム仕様策定委員会の一員として仕様策定の一部に参加した. また, 本システムや将来ロードマップに関するベンダとの打ち合わせに参加した.
- 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.

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Shigeki Akiyama and Kenjiro Taura. Scalable work stealing of native threads on an x86-64 infiniband cluster. *Journal of Information Processing*, 24(3):583–596, 2016.

[査読付 2] Shigeki Akiyama, Kenjiro Taura, et al. Scalable work stealing of native threads on an x86-64 infiniband cluster (preprint). 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム *(ACS)*, 9(1), 2016.

[査読付 3] Abdelhalim Amer, Satoshi Matsuoka, Miquel Pericas, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Rio Yokota, and Pavan Balaji. Scaling fmm with data-driven openmp tasks on multicore architectures. In *International Workshop on OpenMP*, pages 156–170. Springer International Publishing, 2016.

[査読付 4] Keisuke Fukuda, Motohiko Matsuda, Naoya Maruyama, Rio Yokota, Kenjiro Taura, and Satoshi Matsuoka. Tapas: An implicitly parallel programming framework for hierarchical n-body algorithms. In

Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2016 IEEE 22nd International Conference on, pages 1100–1109. IEEE, 2016.

[査読付 5] Masaru Ito, Hiroshi Inoue, and Kenjiro Taura. Fragmented bwt: An extended bwt for full-text indexing. In *International Symposium on String Processing and Information Retrieval*, pages 97–109. Springer International Publishing, 2016.

[査読付 6] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Autotuning of a cut-off for task parallel programs. In *Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC), 2016 IEEE 10th International Symposium on*, pages 353–360. IEEE, 2016.

[査読付 7] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. A static cut-off for task parallel programs. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Parallel Architectures and Compilation*, pages 139–150. ACM, 2016.

[査読付 8] Satoshi Matsuoka, Hideharu Amano, Kengo Nakajima, Koji Inoue, Tomohiro Kudoh, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Takeshi Iwashita, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, et al. From flops to bytes: disruptive change in high-performance computing towards the post-moore era. In *Proceedings of the ACM International Conference on Computing Frontiers*, pages 274–281. ACM, 2016.

[査読付 9] Shigeyuki Sato, Kenjiro Taura, et al. Abstraction of space partitioning for spatial computation. 情報処理学会論文誌プログラミング *(PRO)*, 9(1):16–16, 2016.

[査読付 10] Masahiro Tanaka, Kenjiro Taura, and Kentaro Torisawa. Low latency and resource-aware program composition for large-scale data analysis. In *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2016 16th IEEE/ACM International Symposium on*, pages 325–330. IEEE, 2016.

[査読付 11] Kenjiro Taura. A quest for unified, global view parallel programming models for our future. In *Proceedings of the 6th International Workshop on Runtime and Operating Systems for Supercomputers*, page 1. ACM, 2016.

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, Kenjiro Taura, et al. Performance modeling of task parallel programs. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2016(24):1–8, 2016.

[発表 2] An Huynh, Kenjiro Taura, et al. Critical path analysis for characterizing parallel runtime systems. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2016(23):1–8, 2016.

[発表 3] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Autotuning for task parallel programs. In *Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure*, 2016.

[発表 4] Satoshi Matsuoka, Hideharu Amano, Kengo Nakajima, Koji Inoue, Tomohiro Kudoh, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Takeshi Iwashita, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, et al. From flops to bytes: Disruptive change towards the post-moore era (unrefereed workshop manuscript). 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2016(32):1–14, 2016.

[発表 5] 福田圭祐, 松田元彦, 丸山直也, 横田理央, 田浦健次朗, 松岡聡, et al. 階層的多体問題向けプログラミングフレームワーク Tapas. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2016(23):1–9, 2016.

[発表 6] 佐藤重幸 and 田浦健次朗. N 体問題のためのデータ並列スケルトンの設計と実装. In 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, 2016.

特記事項

[特記 1] IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Associate Editor

[特記 2] Program Co-Chair HPDC 2016

[特記 3] Runtime and Operating Systems for Supercomputers (ROSS 2016) 基調講演

[特記 4] Program Committee CLUSTER 2016

[特記 5] 情報処理学会プログラミング研究会主査

参考文献

[1] RapidJSON Documentation. http://rapidjson.org/.

[2] The GDELT Project. http://gdeltproject.org/.

[3] Wikidata:データベースのダウンロード. https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:Database_download/ja#RDF.E3.83.80.E3.83.B3.E3.83.97.

[4] Umut A. Acar, Guy E. Blelloch, and Robert D. Blumofe. The data locality of work stealing. In *Proceedings of the Twelfth Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures*, SPAA '00, pages 1–12, New York, NY, USA, 2000. ACM.

[5] Umut A. Acar, Arthur Chargueraud, and Mike Rainey. Scheduling parallel programs by work stealing with private deques. In *Proceedings of the 18th ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Parallel Programming*, PPoPP '13, pages 219–228, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[6] Robert D. Blumofe and Charles E. Leiserson. Scheduling multithreaded computations by work stealing. *J. ACM*, 46(5):720–748, September 1999.

[7] Quan Chen, Minyi Guo, and Haibing Guan. Laws: Locality-aware work-stealing for multi-socket multi-core architectures. In *Proceedings of the 28th ACM International Conference on Supercomputing*, ICS '14, pages 3–12, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[8] J. Lifflander, S. Krishnamoorthy, and L.V. Kale. Optimizing data locality for fork/join programs using constrained work stealing. In *High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, SC14: International Conference for*, pages 857–868, Nov 2014.

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。2016 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ソフトウェアテスティングの改良の研究。**ソフトウェアの形式的検証が、プログラムの複雑度に対応できない中、ソフトウェアテスティングは、実践的な意味で大きな役割を果たしている。その中で、テストデータを自動的に、しかもテストのカバー率を効率よく上げるように生成することは研究の大きなテーマである。本年度は、特にプログラムの書き方によって隠蔽される情報がテストにどのような影響を与えるかについての研究した [査読付 12]。

2. **クラウドを前提としたオンライントラストの研究。**クラウドをベースとしたリスク管理の手法について研究した [査読付 6, 査読付 7]。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 3, 査読付 8, 査読付 9, 査読付 10]。

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 4, 査読付 5]。

4. **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 1, 査読付 2]。

5. **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 11, 査読付 13, 査読付 14, 発表 1]。

これらに加えて、ICT 環境における「ソフトウェアの正当性証明」とトラストの枠組みの関係を概観する記事を IEEE IT Professionals Magazine[発表 2] に寄稿した。

2 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の研究

2.1 背景

コンパイラの研究の中心である最適化において、従来、研究の展開はアドホックなノウハウの蓄積によってなされてきた。しかし、副作用を許容する最適化、性能的にトレードオフを持つ最適化群の登場など、最適化が複雑・高度になった現在では、理論的基盤を持たなければ最適化適用の正しさの証明さえ危うくなってきている。

検証付きコンパイラ (Verifying Compiler) は、もともと Hoare の提唱したプログラムの正当性を併せて証明するコンパイラシステムとして 21 世紀の課題として提唱した概念である。本研究で目指すのは、コンパイラ最適化における上のような危機的状況に対応すべく最適化をその正しさの証明を込めて適用するコンパイラの構築であり、**最適化検証つきコンパイラ (Optimization Verifying Compiler)** と呼ぶべきものである。

この概念を提唱して年月が経つが、現在では INRIA での CompCert プロジェクトのように実用的なレベルにまで達していると評価することができる。

現在、最適化検証付きコンパイラが検証することのひとつの柱は最適化適用の前後でプログラムの意味が保存されることである (Translation Validation)。CompCert はこれについて大きな成果を上げている。

ここで次に注力すべきなのは、最適化検証付きコンパイラを、プログラム実行の抽象化を通して、最適化適用の最大の目的である性能向上の理論的解析のベースにすることである。現実的に妥当な数理的性能モデルを仮定すると、その中で適用最適化が「真に」最適なコードを出すかどうかの検証ができる。(従来の最適化は、もとのコードと比較して、性能が良くなるかもしれないということを定性的にしか示せなかった。自動チューニング (Atlas 他) は、没理論でノウハウを適用することを目指しているものである。また、アーキテクチャ研究ではエミュレータが実質的なモデルの役割を果してきた。しかし、アンローリングなどのパラメトリックな最適化を解析するには数理的なモデルが必須である。) 性能モデルと、各種整数計画法の適用により、複数の最適化の組み合わせのどれが真に最適かを決定することができる。これはまさに性能面からみた検証であり、検証というプロセスが従来のアドホックな最適化研究に与えるインパクトの大きさを証明するものである。理論的な検証付きコンパイラが具体的な性能モデルの概念と結合して具体的な性能保証をすることは、理論と実践の両面での貢献が大きいものである。

2.2 内容

目的としてあげたゴールに対して 2014 年度は具体的に以下のようにテーマを設定した。

- プログラムの隠蔽された情報がソフトウェアテスティングに及ぼす影響

2.3 具体的成果

オブジェクト指向言語で問題になるコードの visibility がテスティングに及ぼす影響を明らかにする研究を包括的に行った [査読付 12]。この研究は馬雷（ハルビン工科大）との共同研究である。

3 クラウドを前提としたオンライントラストの研究

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、それを大規模に採用するには、全体的な躊躇が観察される。特に、セキュリティ上問題のあるデータを外に出すことに対しての抵抗感は強い。大手のクラウドベンダーにおいても SLA では可用性については意識しているが、セキュリティについての記述は少ない。セキュリティ上の問題を解決するために、重要なデータをプライベートクラウドに置く解も提案されているが、これはクラウドの利点であるコストの合理化に逆行する。

セキュリティの問題が生じる原因は、これまで整備されてきた Organizational Security や Internal Control といった、組織内を統制する概念が適用できないことにある。ISO 27000 シリーズが暗黙のうちに仮定している組織がクラウドではクラウドベンダーにおきかわり、しかも、その統制は SLA という従来よりずっとゆるい形でしか実現されない。

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リスク管理と、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

[査読付 6, 査読付 7] において、内部統制をクラウドに及ぼすためのリスク解析を行った。さらに [査読付 3, 査読付 8, 査読付 9, 査読付 10] 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の発表を行った。

4.3 具体的成果

[査読付 4, 査読付 5] 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。

5 オンライントラストの具体的な構築について

5.1 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。

5.2 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。

5.3 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 1, 査読付 2] において、クラウドにおけるトラストモデル、IoT におけるトラストモデルの検討を行った。

6　リスク評価の様々な場面における展開

6.1　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 [発表 1] 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。

6.2　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。

6.3　具体的成果

[査読付 11, 査読付 13, 査読付 14] において、従来のリスク評価をクラウド、IoT、アドホックネットワークに適用した研究を行った。

7　その他研究活動

「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 (topological data analysis) の研究を行っている。なお、これは大学院生の清野善裕との共同研究である。

8　学会活動

IEEE COMPSAC (2016 PC Chair in Chief), IEEE Mobile Cloud (2016, 2017 General Chair) および CANDAR (2016 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] Kazutsuna Yamaji, Motonori Nakamura, Yashihiro Nagai, Tomohiro Ito, Hiroyuki Sato: “Specifying a Trust Model for Academic Cloud Services,” Proc. IEEE Int’l Conf. Mobile Cloud 2016, 91–99 (Invited), Oxford, 2016.

[査読付 2] SATO Hiroyuki, KANAI Atsushi, TANIMOTO Shigeaki, KOBAYASHI Toru: “Establishing Trust in the Emerging Era of IoT,” Proc. IEEE Int’l Conf. Service-Oriented System Engineering 2016, 398–406 (Invited), Oxford, 2016.

[査読付 3] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Embedding Lightweight Proxy Re-Encryption for Efficient Attribute Revocation in Cloud Computing,” Int’l J. High Performance Computing and Networking, Vol. 9 No. 4, 299–309,2016.

[査読付 4] SATO Hiroyuki, OKABE Yasuo, NAKAMURA Motonori: “User Identification of Pseudonyms without Identity Information Exposure in Access Federations,” Proc. IEEE COMPSAC 2016, 487–492, Atlanta, 2016.

[査読付 5] Yasuo Okabe, Takaaki Komura, Hiroyuki Sato, Kazutsuna Yamaji, Motoori Nakamura: “An Authentication Federation Proxy Which Conceals Attributes and Authorization Policies Each Other,” Proc. IEEE MidCCI 2016(COMPSACW), Vol.2 , 202–207, Atlanta, 2016.

[査読付 6] Shigeaki Tanimoto, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: “Risk Assessment Quantification of Social-media Utilization in Enterprise,” Proc. IEEE/ACIS Int’l Conf. Computer and Information Science, 989–994, Okayama, June, 2016.

[査読付 7] Shigeaki Tanimoto, Rei Kinno, Motoi Iwashita, Tohru Kobayashi, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: “Risk Assessment of Home Gateway/Smart Meter in Smart Grid Service,” Proc. IIAI Int’l Conf. Advanced Applied Informatics, 1126–1131, Kumamoto, June, 2016.

[査読付 8] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “Improved Lightweight Proxy Re-Encryption for Flexible and Scalable Mobile Revocation Management in Cloud Computing,” Proc. IEEE 9th Int’l Conf. Cloud Computing, 894–899, San Francisco, July, 2016.

[査読付 9] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: “An Agent-based Modeling for Cloud-based Access Control,” Proc. IEEE BigData Congress, 430–437, San Francisco, July, 2016.

[査読付 10] Fugkeaw Somchart, Hiroyuki Sato: “Updating Policies in CP-ABE-based Access Control: An Optimized and Secure Service,” The European Conference on Service-Oriented and Cloud Computing (ESOCC), 3–17, September, 2016.

[査読付 11] Shigeaki Tanimoto, Shunsuke Shiraki, Motoi Iwashita, Toru Kobayashi, Hiroyuki Sato and Atsushi Kanai: “Risk Assessment Based on User’s Viewpoint for Mobile Ad Hoc Network,” Proc. 10th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2016), 280–285, Ostrava, September, 2016.

[査読付 12] Lei Ma, Cheng Zhang, Bing Yu, Hiroyuki Sato: “An empirical study on the effects of code visibility on program testability,” Software Quality Journal, vol. 24, 1–28, Springer, 2016.

[査読付 13] 米田翔一, 大角地涼介, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: “TPO 条件に基づく複数クラウドにおける動的クラウド選択手法の提案,” 電子情報通信学会論文誌 Vol.J99-D, No.10, 1045-1049, October, 2016.

[査読付 14] 米田翔一, 畑健一郎, 下村道夫, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: “センサ活用に基づく情報セキュリティエコノミクス : ISMS における費用対効果の効率化に関する検討,” 情報処理学会論文誌, vol. 57, no. 12, 2743–2756, December, 2016.

その他の発表論文リスト

[発表 1] 水元 明法, 佐藤 周行: 日本のアカデミアにおけるアイデンティティ管理の現状 – 学認アンケートからみる現状の理解と将来の展望–, コンピュータセキュリティシンポジウム 2016, 秋田, October, 2016, 609–616.

[発表 2] Hiroyuki Sato: “Practical Correctness in ICT Environments,” From the Editors, IEEE IT Professionals Magazine, vol. 18, No. 6, 4–8, 2016.

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

2016 年度は，主に以下の研究および業務を行った。

以下、1.1-1.4 節の研究の一部は，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。このプロジェクトの研究成果について [招待 1] において講演を行った。

また，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]。

1.1 密結合演算加速機構 (Tightly Coupled Accelerators:TCA) と実証クラスタ HA-PACS/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。さらに、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 月より運用されている。今年度は、これらを基に以下のような研究を行った。

- CG 法の実装と評価 [査読付 1, 査読付 2]
- PEACH3 の基本性能評価およびアプリケーション評価 [発表 3, 発表 12]
- GPU 対応 GASNet の実装 [査読付 3, 発表 8, 査読付 6]

本研究については 2 章で詳しく述べる。

1.2 GPU クラスタにおける GPU セルフ通信機構の開発

GPU クラスタ上での並列アプリケーションでは，GPU 間での通信が必須であるが、一般的に GPU 上のデータであってもホスト CPU 上で MPI によって通信処理を行う必要がある。そのため，通信が発生する毎に GPU 上の CUDA カーネルからホストに一旦制御を戻す必要があり，カーネル関数の起動や同期に伴うオーバーヘッドが生じる。特に並列処理における通信粒度が細かいほど，カーネル関数の起動回数も増え，オーバーヘッドも増加する。それだけでなく，プログラミングのコストが高く，CPU 向け MPI プログラムを GPU 並列化する場合にソースコードが煩雑になりやすいといった生産性の低下も問題となる。これらの問題を解決するため，GPU カーネル内から MPI 通信の起動を可能とする並列通信システム “GMPI” を提案・開発している [発表 4]。これにより，並列 GPU プログラミングを容易にし，GPU カーネルの起動や同期に伴うオーバーヘッド削減による並列処理効率の向上を目

指している。これまでに GMPI の実装と，Ping-Pong 通信および姫野ベンチマークの性能評価を行ってきた。

1.3 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 GPU に直接データ転送して処理を行なったものを、ホストに渡して処理を行うような仕組みを実現した。

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。また研究内容の一部について、特許出願中である。

1.4 階層型行列ベクトル積の性能評価

階層型行列ベクトル積について、OpenMP を用いて実装しメニーコアプロセッサ上で性能評価を行なった。詳細は筆頭著者教員の節を参照されたい [発表 5]。その中で、メニーコアプロセッサの動作環境 (knsc クラスタおよび ofp-mini クラスタ) の整備を実施した。

また、階層型行列ベクトル積のカーネル部分について、OpenCL を用いて実装し、FPGA 上で実行した際の性能評価を行った [発表 6]。

1.5 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 システム運用に向けて、中心的に議論や調整などを行なった。また、Oakforest-PACS システムに関する講演を行なった [招待 3, 招待 5, 招待 6]。

KNL を用いた性能評価として、Oakforest-PACS システムおよび KNL 実験クラスタである ofp-mini を用いて、三次元有限要素法による固体力学解析について、MPI+OpenMP ハイブリッド並列の効果を測定した [査読付 5]。また、パイプライン型共役勾配法についても性能測定を行い、他のシステムと比較を行なった [発表 10]。同様に、不完全コレスキー分解つき共役勾配法 (ICCG 法) についても同様に性能評価を行なった [発表 11]。

さらに、KNL と OmniPath の組み合わせにおける OpenMP+MPI ハイブリッド実行について、基本特性の評価を行なった [発表 14]。

1.6 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 システムの導入について基本設計および仕様検討など導入について中心的に作業を行った。また、Reedbush システムに関する講演、紹介記事執筆を行なった [招待 4, 特記 5]。さらに、Reedbush 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 9]。

同様に、不完全コレスキー分解つき共役勾配法 (ICCG 法) について性能評価を行ない、KNL などのプロセッサと比較した [発表 13]。

1.7 ポストムーア時代におけるアーキテクチャ

ポストムーア時代におけるアーキテクチャについて、講演 [招待 2] を行なった。([発表 1, 発表 7] は共著)

1.8 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。さらに、東拠点データ保存用ストレージの導入、既存のストレージの更新として，HPCI ストレージ東拠点システムの導入のため，仕様策定委員長として仕様書を作成した [特記 9, 特記 10]。調達の結果，東拠点データ保存用ストレージについては 9 月末に 3.84 PB が導入され、すでに運用を開始している。また、HPCI ストレージ東拠点システムについては、二段階に分けて合計 42.5 PB の導入が決定し、2017 年 3 月現在、データ移行のための準備を実施している。

2 密結合演算加速機構 (Tightly Coupled Accelerators:TCA) と実証クラスタ HA-PACS/TCA

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。

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。

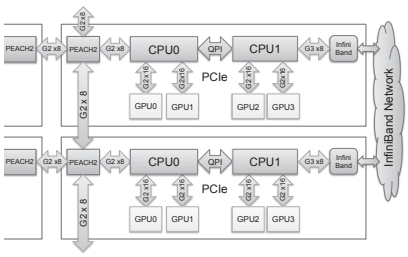


図 1: HA-PACS/TCA におけるノード構成

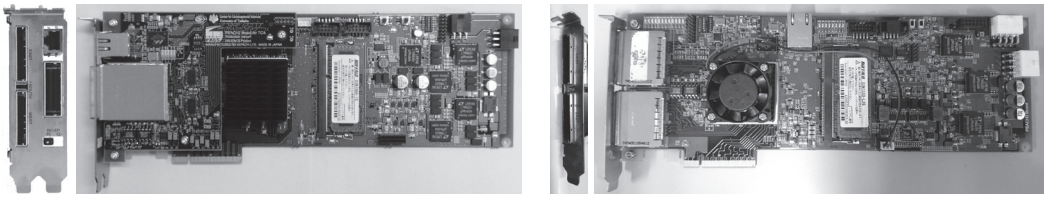


図 2: PEACH2 ボードの写真 (左：パネル面，中左：基板面)、PEACH3 ボードの写真（中右：パネル面，右：基板面）

2.3 具体的成果

1. CG 法の実装と評価

   NAS Parallel benchmark CG に TCA を適用した。CLASS S で 16 ノード用いた場合には、InfiniBand に比べて 3.0 倍の性能向上を得た [査読付 1, 査読付 2]。

2. PEACH3 の基本性能評価および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、基本通信性能の評価を行った。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 と大きな差はなかった [査読付 4, 発表 2, 発表 3]。

   さらに、PEACH3 を用いて Graph500 における幅優先探索を実装した。その結果、PEACH2 を用いた場合の 1.13 倍を実現した [発表 12]。

3. TCA 向け GPU 対応 GASNet の実装

   TCA/PEACH2 を利用するためには独自 の API を用いる必要があり、プログラミングコストが高く、既存のアプリケーションの移植も容易でないという問題があった。本研究では，PGAS 言語を対象とした通信ライブラリである GASNet に注目し，これを GPU を対象とした PEACH2 に実装する。これによって，GASNet を介して各種のソフトウェアとの互換性が生まれ，TCA/PEACH2 が広く利用できるようになると考えられる。既存の GASNet では CPU メモリを対象とした通信しか想定されていなかったが，本研究では GASNet の GPU 対応についても検討した。TCA/PEACH2 による GASNet のプロトタイプ実装において、ノードを跨ぐ GPU 間の通信性能は TCA/PEACH2 を直接使用した場合の性能と 比較して，最小レイテンシの増大は 15%程度に抑えられ，ソフトウェア支援によって最大バンド幅は最大 2.1 倍の性能向上を達成した [査読付 3, 査読付 6]。また、

PEACH2 には 4 チャネルの DMAC が実装されているが，今までの実装ではそのうちの 1 チャネルしか利用されていなかった．そのため，複数チャネルの DMAC を活用した転送による性能改善についての検討および実装を行った。その結果，有効な転送サイズの範囲は限られるが、1 チャネルしか利用しない場合と比べて最大で 1.4 倍のバンド幅が得られた [発表 8]。

このうち、2016 年 6 月に行った本研究に関する発表 [査読付 3] に対して、最優秀論文賞 [受賞 1] を受賞した。

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Toshihiro Hanawa: TCA and AC-CREST project, Developing Next-gen HPC Architectures — A Hardware Prototyping Workshop, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC'16), Frankfurt, Jul. 2016.

[招待 2] 塙 敏博: 密結合演算加速機構アーキテクチャ，「ポストムーア時代の計算プラットフォーム」セッション，第 15 回情報科学技術フォーラム (FIT2016), 富山，2016 年 9 月.

[招待 3] Toshihiro Hanawa: Oakforest-PACS: New System in Joint Center for Advanced HPC (JCAHPC) Towards Realizing Fastest Supercomputer in Japan, Intel Xeon Phi Processor Launch 2016, Bangalore, Sep. 2016.

[招待 4] 塙 敏博: 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 Reedbush におけるストレージシステム、Japan Lustre Users Group (JLUG) 2016, 2016 年 10 月

[招待 5] 塙　敏博: JCAHPC における新システム Oakforest-PACS — 国内最高性能システムの実現に向けて —, 第 8 回「学際計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム, 筑波大, 2016 年 10 月.

[招待 6] 塙 敏博：Oakforest-PACS における運用について、Oakforest-PACS 運用開始記念シンポジウム、柏キャンパス、2016 年 12 月.

受賞関連

[受賞 1] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 松本 和也, 朴 泰祐, Khaled Ibrahim: 最優秀論文賞，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 (HPCS)2016, 仙台, 2016 年 6 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, International Meeting on High Performance Computing for Computational Science (VECPAR) 2016, Porto, Jun. 2016.

[査読付 2] K. Matsumoto, N. Fujita, T. Hanawa, and T. Boku: Implementation and Evaluation of NAS Parallel CG Benchmark on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA, Post-proceedings of International Meeting on High Performance Computing for Computational Science (VECPAR) 2016, the Springer Series Lecture Notes in Computer Science (LNCS), 2016. (in Press)

[査読付 3] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 松本 和也, 朴 泰祐, Khaled Ibrahim: 密結合並列演算加速機構 TCA による GPU 対応 GASNet の実装と評価, 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 (HPCS)2016, 仙台, pp. 68–76, 2016 年 6 月.

[査読付 4] Takahiro Kaneda, Chiharu Tsuruta, Toshihiro Hanawa and Hideharu Amano: Performance Evaluation of PEACH3: Field Programmable Gate Array Switch for Tightly Coupled Accelerators, The 7th International Symporium on Highly Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART 2016), short paper, Jul. 2016.

[査読付 5] Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima, and Satoshi Ohshima: 3D FEM for Solid Mechanics on Knights Landing and OmniPath Architecture, The Intel Xeon Phi Users Group Birds of a Feather session at SC16, lightening talk, Nov. 2016.

[査読付 6] Kenta Sato, Norihisa Fujita, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku, Khaled Z. Ibrahim, “GPU-Ready GASNet Implementation on the TCA Proprietary Interconnect Architecture,” International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI2016), Dec. 2016.

その他の発表論文

[発表 1] Satoshi Matsuoka, Hideharu Amano, Kengo Nakajima, Koji Inoue, Tomohiro Kudoh, Naoya Maruyama, Kenjiro Taura, Takeshi Iwashita, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, and Toshio Endo. 2016. From FLOPS to BYTES: disruptive change in high-performance computing towards the post-moore era. In Proceedings of the ACM International Conference on Computing Frontiers (CF ’16), pp. 274–281, May, 2016.

[発表 2] Toshihiro Hanawa, Takahiro Kaneda, Chiharu Tsuruta, Hideharu Amano, and Taisuke Boku: Performance Evaluation of Low-latency Inter-node Communication between GPUs using PEACH3, HPC in Asia Poster, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC’16), Frankfurt, Jun. 2016.

[発表 3] 金田 隆大, 鶴田 千晴, 塙 敏博, 天野 英晴: PEACH3 の性能測定, 情報処理学会研究報告, 2016-ARC-221(32), pp. 1–6, 松本市キッセイ文化ホール, 2016 年 8 月.

[発表 4] 桑原 悠太, 塙 敏博 , 朴 泰祐: GPU クラスタにおける GPU セルフ MPI システム GMPI の予備性能評価, 2016-HPC-155(15), pp. 1–8, 松本市キッセイ文化ホール, 2016 年 8 月.

[発表 5] 大島 聡史 , 伊田 明弘 , 河合 直聡 , 塙 敏博: 階層型行列ベクトル積のメニーコア向け最適化, 2016-HPC-155(39), pp. 1–9, 松本市キッセイ文化ホール, 2016 年 8 月.

[発表 6] 塙 敏博, 伊田 明弘, 大島 聡史, 河合 直聡: FPGA を用いた階層型行列ベクトル積, 2016-HPC-155(40), pp. 1–9, 松本市キッセイ文化ホール, 2016 年 8 月.

[発表 7] 松岡 聡, 天野 英晴, 中島 研吾, 井上 弘士, 工藤 知宏, 丸山 直也, 田浦 健次朗, 岩下 武史, 片桐 孝洋, 塙敏博, 遠藤 敏夫: ポストムーア時代における FLOPS から BYTES への変革, 2016-HPC-155(32), pp. 1–14, 松本市キッセイ文化ホール, 2016 年 8 月.

[発表 8] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 朴 泰祐, Khaled Ibrahim: 密結合並列演算加速機構 TCA における複数 DMAC の活用による GPU 対応 GASNet の性能改善, 2016-HPC-156(5), pp. 1–8, 小樽経済センター, 2016 年 9 月.

[発表 9] 塙 敏博, 中島 研吾, 大島 聡史, 伊田 明弘, 星野 哲也, 田浦 健次朗: 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 の性能評価, 2016-HPC-156(10), pp. 1–10, 小樽経済センター, 2016 年 9 月.

[発表 10] 塙 敏博 , 中島 研吾 , 大島 聡史 , 星野 哲也 , 伊田 明弘: パイプライン型共役勾配法の性能評価, 2016-HPC-157(6), pp. 1–9, 沖縄産業支援センター，2016 年 12 月.

[発表 11] 中島 研吾, 大島 聡史, 塙 敏博, 星野 哲也, 伊田 明弘: ICCG 法ソルバーの Intel Xeon Phi 向け最適化, 2016-HPC-157(16), pp. 1–8, 沖縄産業支援センター，2016 年 12 月.

[発表 12] 金田 隆大 , 塙 敏博 , 天野 英晴: アプリケーション中の通信に PEACH3 を利用した場合の評価, 2017-SLDM-178(16)/2017-ARC-224(16), pp. 1–6, 慶応大，2017 年 1 月.

[発表 13] 星野 哲也, 大島 聡史, 塙 敏博, 中島 研吾, 伊田 明宏: OpenACC を用いた ICCG 法ソルバーの Pascal GPU における性能評価, 2017-HPC-158(18), pp. 1–9, 熱海市大月ホテル和風館，2017 年 3 月.

[発表 14] 塙 敏博, 星野 哲也, 中島 研吾, 大島 聡史, 伊田 明弘: Xeon Phi+OmniPath 環境における OpenMP, MPI 性能最適化，2017-HPC-158(21), pp. 1–8, 熱海市大月ホテル和風館，2017 年 3 月.

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, 2016 年度

[特記 2] Member of Program Committee, 7th Intl. Symp. on Highly-Efficient Accelerattors and Reconfigurable Technologies, 2016

[特記 3] Member of Program Committee, The 7th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2016

[特記 4] Digital Life 編集長, Vol. 27, Vol. 28, 2016

[特記 5] 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 の紹介，スーパーコンピューティングニュース, Vol. 18 No. 4, 2016 年 7 月

[特記 6] GTC Japan 2016 参加報告，スーパーコンピューティングニュース，Vol. 18, No. 6, 2016 年 11 月

[特記 7] Member of Organizing Committee, HPC Asia Conference 2018, (Tokyo, Jan. 2018)

[特記 8] Member of Organizing Committee, 18th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP18), (Tokyo, Mar. 2018)

[特記 9] HPCI 東拠点データ保存用ストレージ仕様策定委員長，2016 年 4 月〜6 月

[特記 10] HPCI ストレージ東拠点システム仕様策定委員長，2016 年 11 月〜2017 年 2 月

報道関連

[報道 1] ピーク演算性能は京の 2.5 倍 - 東大/筑波大のスパコン「Oakforest PACS」, `http://news.mynavi.jp/articles/2016/10/21/oakforest/`, マイナビニュース，2016 年 10 月 21 日

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.

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いる。一方、組み込みシステム向けの研究としては、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や、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である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。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となるが、現状では十分なソフトウェア資産が構築されていないばかりか、システムアーキテクチャや各ソフトウェア階層に求められる要件も明白ではない。そこで、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られる。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が求められる。

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ている。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が目的である。

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、

- 要求性能を意識した電力資源配分およびジョブスケジューリング手法
- 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評価

に関して研究を行った。

2.3 具体的成果

(1) 要求性能を意識した電力資源配分およびジョブスケジューリング手法

電力制約適応型システムにおける、リアルタイム電力監視・動的ノブ制御を行うミドルウェアの開発を行った。ミドルウェアに必要な要件調査の結果、各ノードで動作するアプリケーションの電力消費状況は変動するため、その変動に適切に対応できること、外部要因で電力制約が変化した場合にも適切に制御できること、運用ポリシーに依存して電力制約による性能低下の影響を抑えるべき高優先度のジョブが存在すること、などがミドルウェア開発上の要件と考えられることがわかっている。そこで、これらの要求に対応すべく、高優先ジョブの電力消費要求を監視し、性能が低下しない範囲で電力制約を動的に設定しつつ、余剰となる電力で高優先ジョブ以外の通常ジョブを動作させるためのジョブスケジューラを開発した。高優先ジョブの電力使用要求に応じて、通常ジョブの電力制約を適応的に変更することで、システムの電力制約を満たしつつ高システムスループットを得ることが目的である。

32 ノードのシステムで開発したジョブスケジューラを動作させたところ、システム全体の電力制約を満たしつつ、適切に高優先ジョブと通常ジョブの電力制約を設定できることがわかった。本ジョブスケジューラにより余剰電力を有効活用してより多くのジョブをシステムに投入できるようになるため、最適化なし(No Cap)に比べ、動的制御(Adaptive)によりシステムのスループットを最大 39%向上できるという評価結果を得ている(図 1 左)。この時の高優

先ジョブの実行時間増加は 1.1%の性能低下であり、影響はほとんどないこともわかった(図 1 右)。

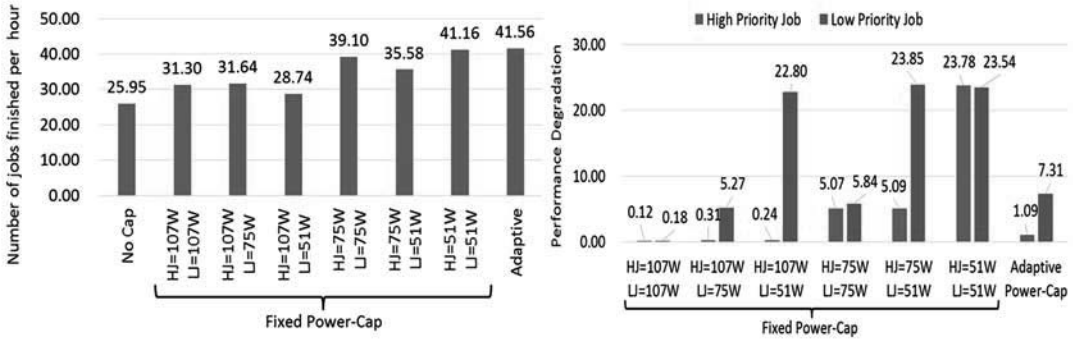


図 1:開発ジョブスケジューラによる性能向上と電力制御の様子

(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拡張

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。特に、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、電力資源を含めた総合的な資源管理ツールを開発している。

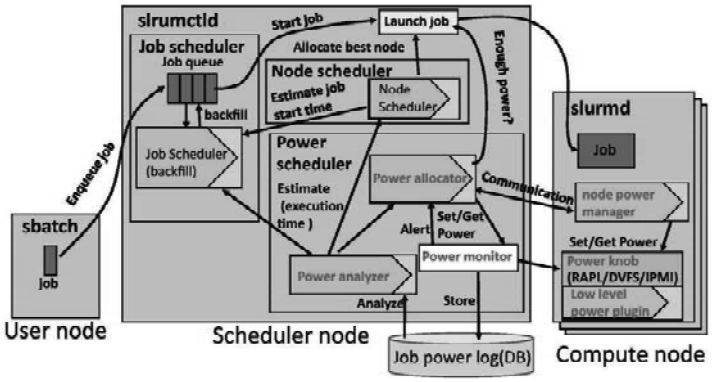


図 2:開発した Slurm ベースの資源管理ツール

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)を追加している。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用い、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。具体的には、実際の HPC システムを用いて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評価した。

様々なジョブの電力特性をエミュレーションすることができるよう、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評価を行う。本ジョブは OpenMP を用いてノード内の並列化をしている。本ジョブを利用して、965 ノードを持つクラスタシステム上で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、965 台のノードの内、7 割のノードが最大の電力を消費した場合の電力をシステムの電力制約

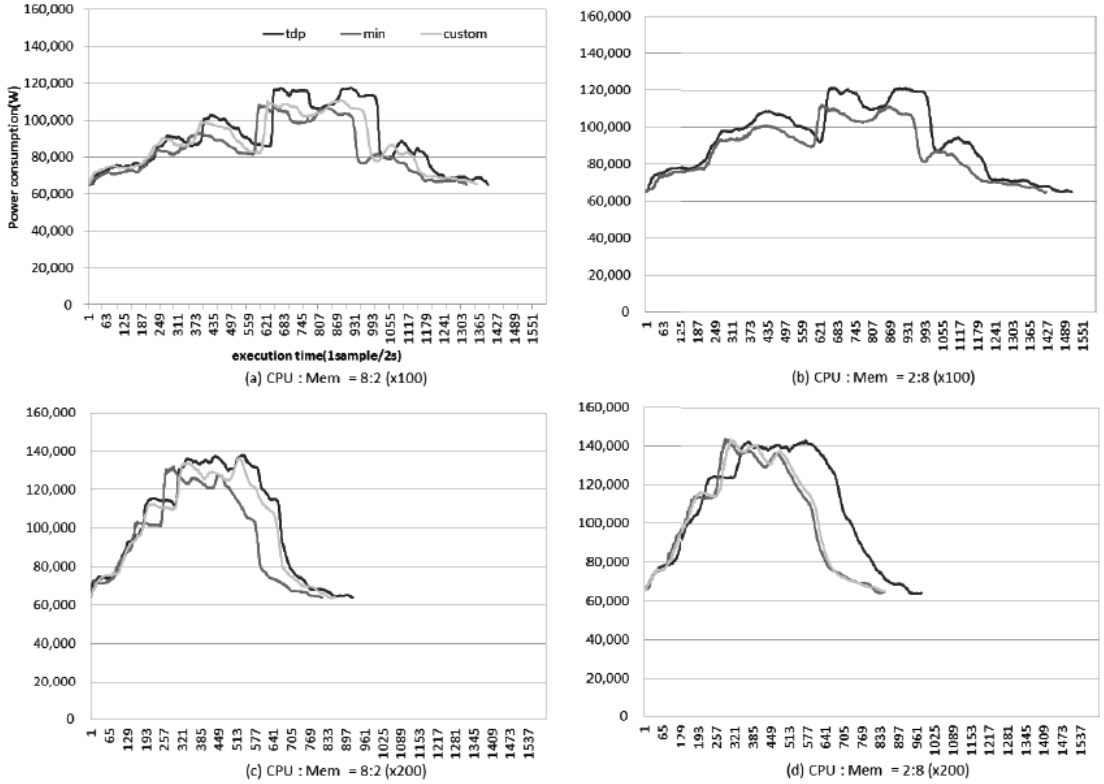


図 3:ジョブ実行中の消費電力

値と仮定した。ジョブの到着タイミングには、理研 RICC の 2010 年のログを用い、その先頭から 600 ジョブを実行すると想定する。さらに、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、600 個のジョブに対しその特性に偏りを持たせた。具体的には 600 ジョブのうち 8 割が CPU インテンシブなジョブ(行列サイズ 512) で 2 割がメモリインテンシブ(行列サイズ 8192) な場合と、2 割が CPU インテンシブなジョブで 8 割がメモリインテンシブな場合の 2 つのケースを評価する。システム規模の違いを考慮し、ジョブの到着間隔を短くしてノードの利用率が上がるようにした。本評価では、ジョブの到着間隔をログにある到着間隔の 100 分の 1、あるいは 200 分の 1 に変更した。

ジョブ実行中の消費電力の変化を図 3 に示す。グラフ内の各項目の名前は、CPU インテンシブなジョブが多いかメモリインテンシブなジョブが多いか(cpu/mem)、そして電力制約(tdp/min/custom)、最後に到着間隔(x100/x200)を示している。Tdp は電力キャップ値を TDP に設定して電力制約を行わない場合、min は実験で用いた CPU がサポートする最小の電力キャップ値である 55W に固定的に設定した場合、custom は CPU インテンシブなジョブに対しては電力制約を与えずメモリインテンシブなジョブにのみ 55W の電力キャッピングを与えた場合を示している。図より最大消費電力は 140kW 程度であることが確認できる。システムの電力制約は 217kW を設定しており、まだ電力に余剰があるが、この原因として割当てるべきジョブやノードが不足していることが考えられる。

600 ジョブの実行が終わるまでの時間については、スケジューリングに tdp を用いた場合と比較して、min では 11%性能を改善するという結果を得た。これは、min では各ジョブの実行時間が伸びるものの、それ以上に同時に実行できるジョブ数が増えたためである。また到着率を x100 から x200 にあげると、消費エネルギーが削減されるという結果を得た。これは、余剰ノードが有効に利用されたためと考えられる。このように、開発した Slurm ベースの資源管理ツールを用いることで、様々な条件下でジョブの実行性能や消費電力の傾向を評価することが可能となる。今後、システムの性能を向上させるためのジョブスケジューリングアルゴリズム等を実装し評価を行う予定である。

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Masaaki Kondo：Energy Efficient Network-on-Chip with Runtime Optimization Selection for MPSoCs , 16th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware, July 2016.

[招待 2] Masaaki Kondo：Research and Development of Power Management Framework for Exascale Computing', The 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, Oct. 2016.

査読付論文

[査読付 1] Thang Cao, Yuan He, and Masaaki Kondo：Demand-Aware Power Management for Power-Constrained HPC Systems, The 16th IEEE/ACM International Symposium on Cluster,Cloud and Grid Computing (CCGrid2016), pp.21-31, May 2016.

[査読付 2] Yuan He and Masaaki Kondo：Opportunistic Circuit-Switching for Energy Efficient On-Chip Networks, The 24th IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC 2016), 6pages, Sep. 2016.

[査読付 3] Atsushi Koshiba, Mikiko Sato, Kimiyoshi Usami, Hideharu Amano, Ryuichi Sakamoto, Masaaki Kondo, Hiroshi Nakamura, and Mitaro Namiki：An Operating System Guided Fine-Grained Power Gating Control Based on Runtime Characteristics of Applications, IEICE Transactions on Electronics, Vol.E99-C, No.8, pp.926-935, Aug. 2016.

[査読付 4] Yuan He, Masaaki Kondo, Takashi Nakada, Hiroshi Sasaki, Shinobu Miwa, and Hiroshi Nakamura：A Runtime Multi-Optimization Framework to Realize Energy Efficient Networks-on-Chip, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E99-D, No.12, pp.2881-2890, Dec. 2016.

[査読付 5] Tetsuji Okubo, Ryo Takata, Ryuichi.Sakamoto, Masaaki Kondo, Hideharu Amano：NAMACHA: A software edevelopment environment for a mutli-chip convolutional network accelerator, 32nd International Conference on Computers and Their Applications (CATA2017), Mar. 2017.

その他の発表論文

[発表 1] 坂本龍一, カオタン, 和遠, 近藤正章, 深沢圭一郎, 上田将嗣, 稲富雄一, 井上弘士：電力制約を考慮した資源管理ツールによる HPC システムの電力性能解, 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 松本, 2016 年 8 月.

[発表 2] 林遼, 森下真幸, 高田遼, 坂本龍一, 近藤正章, 中村宏：ディープラーニング向けアクセラレータアーキテクチャの FPGA 実装, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 幕張, 2016 年 10 月.

[発表 3] 高田遼, 石川潤, 坂本龍一, 近藤正章, 中村宏, 大久保徹以, 小島拓也, 天野英晴：スケーラブルなディープラーニング向けアクセラレータチップの設計と評価, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 茨木, 2016 年 11 月.

[発表 4] 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, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 日吉, 2017 年 1 月.

[発表 5] シュレスタマリ サソット, 近藤正章, 中村宏:強化学習を用いた環境発電駆動センサノードの適応的電力制御手法の検討, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 久米島, 2017 年 3 月.

[発表 6] 林遼, 高田遼, 坂本龍一, 近藤正章, 中村宏, 児玉康弘, 新善文:ニューラルネットワークを用いた省電力 IP ルックアップ方式の検討, 情報処理学会システムアーキテクチャ研究会, 久米島, 2017 年 3 月.

特記事項

[特記 1] Publicity Co-Chair, Program Committee, The 25th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC), 2016.

[特記 2] Program Co-Chair, 16th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware (MPSoC'16), 2016.

[特記 3] Program Committee, International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED), 2016.

[特記 4] Program Committee, IEEE Cluster, 2016.

[特記 5] Program Committee, IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC), 2016.

[特記 6] Program Committee, 22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC), 2017.

[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, 2016 年.

様々な並列計算ハードウェアを用いた高性能計算に関する研究

大島 聡史

1 概要

本年度の主な活動は以下に大別される。

様々な並列計算ハードウェアを用いたプログラム高性能化と自動チューニングに関する研究 高速な並列計算プログラムの実装と自動チューニングに関する研究を実施した。昨年までと同様に、マルチコア CPU、メニーコアプロセッサ、GPU を対象として研究を実施した。得られた成果はシンポジウムや研究会等にて発表した [発表 1, 発表 2, 発表 3, 発表 4, 発表 5, 発表 6, 発表 7, 発表 8, 発表 9, 発表 10, 発表 11, 発表 12, 発表 13, 発表 14]。これらの活動の一部は、JST CREST プロジェクト「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」(研究代表者：中島研吾教授)、JHPCN 共同研究「分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS のメニーコアおよびワイド SIMD アーキテクチャ対応並列化に関する研究」(研究代表者：安藤嘉倫講師 (名古屋大))、JHPCN 国際共同研究「Hierarchical low-rank approximation methods on distributed memory and GPUs」(研究代表者：横田理央准教授 (東工大))、日台二国間交流事業共同研究「国際交流による自動チューニングのための性能モデルの深化」(研究代表者：片桐孝洋教授 (名古屋大)) などの一部として実施しており、その多くは次年度以降にも継続して実施する計画となっている。

スーパーコンピュータ・高性能計算に関する業務と GPGPU/HPC/CAE の啓蒙や教育に関する活動 本情報基盤センターにおける計算機システム調達の仕様策定と運用支援に携わった。ISC2016 および SC16 におけるブース展示活動に参加し、各展示における中心的な役割を果たした。学会イベントの PC 委員や実行委員 [特記 1, 特記 2]、論文誌編集委員 [特記 3]、学会の運営委員や理事 [特記 4, 特記 5, 特記 6]、その他いくつかの論文査読に協力し、またプログラミング講習会の一部を担当 [特記 7, 特記 8, 特記 9, 特記 10, 特記 11, 特記 12, 特記 13, 特記 14, 特記 15]、広報誌への執筆協力 [特記 16, 特記 17, 特記 18, 特記 19]、柏キャンパス一般公開やスーパーコンピュータシステムの見学対応などの活動を行った。

本報告の残りの部分では「様々な並列計算ハードウェアを用いたプログラム高性能化と自動チューニングに関する研究」において実施した研究について、その概要を述べる。

2 メニーコアプロセッサや GPU を用いたアプリケーションの高性能化に関する研究

2.1 背景

小型のワークステーションから大規模なスーパーコンピュータまで、メニーコアプロセッサや GPU の普及が急速に進んでいる。その一方、これらの最先端ハードウェアを十分に活用して様々なアプリケーションを高速化させるには対象ハードウェアの特徴に合わせたプログラムの作成が必要である。これ

は時間がかかり労力の大きな作業であるため、対象アプリケーションについて熟知している計算科学の研究者と、最適化プログラミング能力に長けた計算機科学の研究者による協力の重要性が高まっている。

2.2 内容

最新のスーパーコンピュータを用いたプログラムの最適化と性能評価に関する論文執筆に参加した。さらに、階層型行列を用いた計算技術の研究や分子動力学計算ソフトウェアの最適化に関する研究に参加し、計算機科学の研究者として性能分析や性能最適化手法の検討に関わった。

2.2.1 階層型行列計算

階層型行列とは密行列を多数の小行列と低ランク行列を用いて近似した行列 (図 1) であり、大規模な密行列を少ないメモリ量で表現できるため、大規模な計算を行うことが可能となる。共同研究者である横田准教授・伊田准教授らは階層型行列を用いた計算をマルチコア CPU 上で実施してきた実績がある。本研究ではこれをメニーコアプロセッサや GPU 向けにも最適化することを目標としている。本年度は、主に階層型行列を用いた BiCGSTAB 法およびその中で実行される階層型行列ベクトル積計算を対象問題として、メニーコアプロセッサ Xeon Phi 5110P (Knights Corner アーキテクチャ) および Tesla K20/K40 GPU (Kepler アーキテクチャ) を用いた計算の実装や評価を行った。

2.2.2 分子動力学ソフトウェア

共同研究者の安藤講師らは分子動力学ソフトウェア MODYLAS の開発に長く携わっている。MODYLAS は既に「京」コンピュータ向けに最適化が施されているソフトウェアである。一方、現在のスーパーコンピュータは「京」と比べてメニーコア化やワイド SIMD 化が進んでおり、「京」を置き換える次世代システム (ポスト「京」) でもその傾向は継続されることが予定されている。そこで本研究では、MODYLAS に対して FX100 システムや Xeon Phi など「京」よりメニーコアな計算機環境向けに最適化を実施している。本年度は主に FX100 向けの新たな計算手法の開発および開発した手法の Xeon Phi 上での評価を実施しており、特に Xeon Phi 上での評価について貢献した。

2.3 具体的成果

2.3.1 階層型行列計算

Xeon Phi 5110P 上で実装と性能評価を行った結果を研究会にて報告した [発表 6]。その中で、BiCGSTAB 法全体でみると Xeon Phi 5110P の性能は同世代の CPU (IvyBridge-EP) と比べて同等またはやや遅いこと、Xeon Phi 5110P の利用コア数は 120 程度が最も良いこと (図 2)、BiCGSTAB 法の中でも特に階層型行列ベクトル積計算の占める時間が長いことが確認できた。さらに OpenMP の schedule 節を用いてスレッド毎の実行時間のばらつきを軽減させることを試みたところ、階層型行列ベクトル積計算の性能が最大 33%向上する例 (human_1x1 行列における性能) を確認した。また、並列計算を阻害する atomic 計算の影響の調査を行ったが、スレッド間の実行時間のばらつきの影響の方が大きいことが推測される結果となった。さらにベクトル化を促進するためのパディングやキャッシュアクセス効率を高めるためのブロック化についても影響を評価したところ、限定的ながら効果があることが確認できた。

メニーコアプロセッサ向けの実装と性能評価については、後継アーキテクチャ(Knights Landing) のプロセッサが利用可能となったため、今後はこちらを対象として進めていく予定である。

GPU 向けの最適化については、特に共同研究者である山崎研究員 (テネシー大) と共に性能評価と改善案の検討を進めている。本年度は主に TSUBAME を用いて階層型行列ベクトル積計算の評価を実施し、MAGMA ライブラリを用いた性能の調査や、複数 GPU 使用時の性能ボトルネックの特定といった作業を進めている。

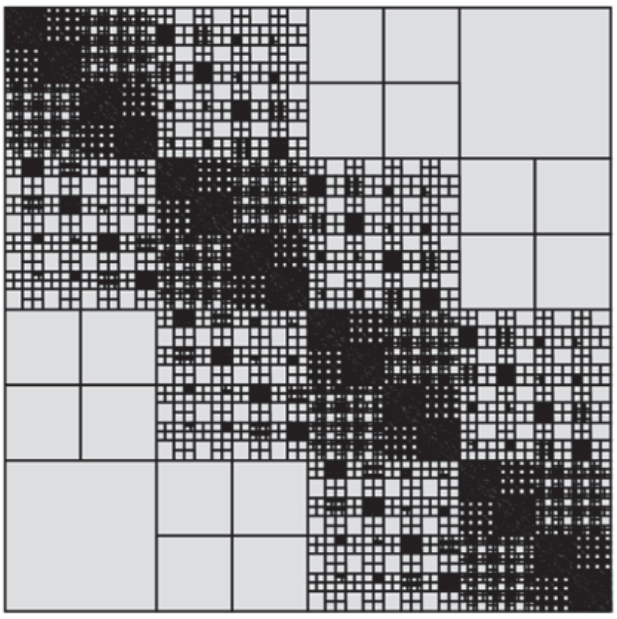


図 1: 階層型行列の例 : 文献 [発表 6] より引用。黒い部分は密な部分であり、小さな密行列で表現する。灰色の部分は疎な部分であり、低ランク行列によって近似する。

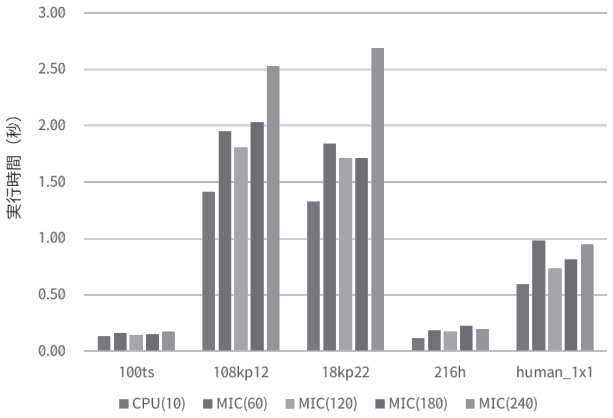


図 2: 階層型行列を用いた BiCGSTAB 法の実行時間比較結果 : 文献 [発表 6] より引用。CPU は Xeon E5-2680 v2, MIC は Xeon Phi 5110P で括弧内は使用スレッド数。横軸は行列名。

これらの研究活動は次年度も継続予定であり、特に最新のメニーコアプロセッサ (Knights Landing アーキテクチャ) や最新の GPU(Pascal アーキテクチャ) といった最新の計算ハードウェアの活用を中心に進めていく予定である。

2.3.2 分子動力学ソフトウェア

共同研究で実施している内容についてシンポジウムで報告した [発表 4]。本研究において、本年度は従来の計算法に加えて幾つかの新たな並列計算アルゴリズムを追加し、それらを FX100 上で評価した。開発した各手法はループの構成方法が異なり、計算の並列度や計算量のオーダーも違うため、高並列度な計算機環境での性能などにそれぞれ特徴がある。さらに Xeon Phi 5110P 上でも性能を評価し、FX100 よりも同時実行可能スレッド数が多い Xeon Phi においては異なる性能の傾向が生じることを確認した。

なお、これらの研究成果は現在論文化に向けた作業中のため、詳細については記載しない。

3 OpenACC プログラムを主対象とした指示文を用いた自動チューニングに関する研究

3.1 背景

様々な並列計算ハードウェアが用いられている今日、プログラム最適化の難しさやコスト (手間や時間) も大きくなってきている。そこで、容易に高性能を得るためのプログラミング手法として、指示文を用いたプログラミングの普及が進んでいる。既にマルチコア CPU 向けの並列化プログラミングに広く使われてきた OpenMP は、メニーコアプロセッサ (Xeon Phi) 向けの並列化プログラミングにもそのまま利用可能であり、さらに GPU への対応も進められている。また主に GPU 向けの並列化プログラミングのために仕様策定・開発が進められてきた OpenACC も普及が進んできている。

一方我々はソフトウェア自動チューニング (AT) の研究において指示文を用いたプログラミング環境に注目しており、AT 言語 ppOpen-AT の開発を進めている。特に筆者はこれまでメニーコアプロセッサや GPU 向けのプログラム最適化における ppOpen-AT のさらなる活用について研究を実施してきた。

3.2 内容

昨年度までの研究において、ppOpen-AT に対する OpenMP のループスケジューリングや OpenACC の並列実行形状の最適化についての機能の提案と効果の実証を行った。本年度はこれらの機能についてさらに拡張したり、汎用化したり、これまでより実アプリケーションに近いコードへ適用したりといった研究を実施した。その結果、昨年度までに提案していた機能に対して、既に実装されている他の AT 機能と組み合わせて使う上での問題や制限が確認された。この制限を回避する、もしくは適切に制御できるよう、指示文仕様の検討などを実施した。

3.3 具体的成果

検討内容や実施内容の一部について、幾つかの公開ワークショップ等で発表した [発表 8, 発表 15]。今後はそれらの内容を論文化するとともに、公開している ppOpen-AT ソフトウェアへ組み込むことなどを考えている。

なお、これらの研究成果は現在論文化に向けた作業中のため、詳細については記載しない。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto: Auto-tuning on NUMA and Many-core Environments with an FDM code, The Twelfth International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2017) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2017), June 2, 2017. (採録決定)

その他の発表論文

[発表 1] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, GTC2016, San Jose, April 4-7, 2016. (査読付きポスター)

[発表 2] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-Tuning of Hierarchical Computations with ppOpen-AT, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP16), MS55 Auto-Tuning for the Post Moore's Era - Part I of II, Universite Pierre et Marie Curie, Cordeliers Campus, Paris, France, April 12-15, 2016.

[発表 3] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: AT 研究動向と AT 専用言語 ppOpen-AT の最新機能の紹介, HPCS2016 2016 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（オーガナイズドセッション（ショート OS）「エクサスケールコンピューティングに向けた自動性能チューニング研究の進展」）, 2016 年 6 月 6 日（月）-7（火）開催, 6 日発表, 2016.

[発表 4] 大島聡史: Xeon Phi による分子動力学計算の高速化, HPCS2016 2016 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（オーガナイズドセッション（ショート OS）「分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS のメニーコアアーキテクチャ対応，並列化に関する研究」）, 2016 年 6 月 6 日（月）-7（火）開催, 7 日発表, 2016.

[発表 5] 片桐孝洋, 松本正晴, 大島聡史: 3 次元積層技術による高メモリバンド幅時代の自動チューニング〜FDM コードを例にして〜, 情報処理学会 研究報告 (HPC-155), 8 月 1 日発行 (Vol.2016-HPC-155), pp.1–8, 第 155 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (SWoPP2016), キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 8 月 8 日（月）-10 日（水）開催 10 日発表, 2016.

[発表 6] 大島聡史, 伊田明弘, 河合直聡, 塙敏博: 階層型行列ベクトル積のメニーコア向け最適化, 情報処理学会 研究報告 (HPC-155), 8 月 1 日発行 (Vol.2016-HPC-155), pp.1–9, 第 155 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (SWoPP2016), キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 8 月 8 日（月）-10 日（水）開催 10 日発表, 2016.

[発表 7] 塙敏博, 伊田明弘, 大島聡史, 河合直聡: FPGA を用いた階層型行列ベクトル積, 情報処理学会 研究報告 (HPC-155), 8 月 1 日発行 (Vol.2016-HPC-155), pp.1–9, 第 155 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (SWoPP2016), キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 8 月 8 日（月）-10 日（水）開催 10 日発表, 2016.

[発表 8] Satoshi Ohshima: Auto-tuning of ”Modified/generated code by optimization and auto-tuning” problem, First International Workshop on Deepening Performance Models for Automatic Tuning (DPMAT), Room IB-014, IB Building (Integrated Building), Higashiyama Campus, Nagoya University, September 7, 2016.

[発表 9] 片桐孝洋, 松本正晴, 大島聡史: 高バンド幅メモリ環境における数値計算アルゴリズムの変革と自動チューニング技術, 日本応用数理学会 2016 年度年会（[正会員主催 OS] 先進的環境おける数値計算と関連基盤技術 (1)）, 北九州国際会議場, 9 月 12 日（月）-14 日（水）開催, 12 日発表, 2016.

[発表 10] 塙敏博, 中島研吾, 大島聡史, 伊田明宏, 星野哲也, 田浦健次朗: 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 の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-156), 9 月 8 日発行 (Vol.2016-HPC-156), pp.1–10, 第 156 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 小樽経済センター (4F ホール), 9 月 15 日（木）-16 日（金）開催 16 日発表, 2016.

[発表 11] 塙敏博, 中島研吾, 大島聡史, 星野哲也, 伊田明弘: パイプライン型共役勾配法の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-157), 2016 年 12 月 14 日発行 (Vol.2016-HPC-157), pp.1–9, 第 157 回ハイパフォーマンス研究発表会, 沖縄産業支援センター会議室（大）302+303, 12 月 21 日（水）-22 日（木）開催 22 日発表, 2016.

[発表 12] 中島研吾, 大島聡史, 塙敏博, 星野哲也, 伊田明弘: ICCG 法ソルバーの Intel Xeon Phi 向け最適化, 情報処理学会 研究報告 (HPC-157), 2016 年 12 月 14 日発行 (Vol.2016-HPC-157), pp.1–8, 第 157 回ハイパフォーマンス研究発表会, 沖縄産業支援センター会議室（大）302+303, 12 月 21 日（水）-22 日（木）開催 22 日発表, 2016.

[発表 13] 塙敏博, 中島研吾, 大島聡史, 星野哲也, 伊田明弘: Xeon Phi+OmniPath 環境における OpenMP, MPI 性能最適化, 情報処理学会 研究報告 (HPC-158), 2017 年 3 月 1 日発行 (Vol.2017-HPC-158), pp.1–8, 第 158 回ハイパフォーマンス研究発表会, 大月ホテル和風館, 3 月 8 日（水）-10 日（金）開催 9 日発表, 2017.

[発表 14] 星野哲也, 大島聡史, 塙敏博, 中島研吾, 伊田明弘: OpenACC を用いた ICCG 法ソルバーの Pascal GPU における性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-158), 2017 年 3 月 1 日発行 (Vol.2017-HPC-158), pp.1–9, 第 158 回ハイパフォーマンス研究発表会, 大月ホテル和風館, 3 月 8 日（水）-10 日（金）開催 9 日発表, 2017.

[発表 15] Satoshi Ohshima: Directives tuning directives, 2017 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing, Room 202, Astronomy-Mathematics Building, National Taiwan University, March 10-11 10 日発表, 2017.

特記事項

[特記 1] Program Chair, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-17), イタリア リヨン, 2016 年 9 月 22 日 開催.

[特記 2] プログラム委員, HPCS2016 2016 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, 東北大学 片平キャンパス さくらホール, 2016 年 6 月 6-7 日 開催.

[特記 3] ACS 論文誌編集委員

[特記 4] 一般社団法人オープン CAE 学会 理事

[特記 5] 自動チューニング研究会 幹事 (運営委員会・総務)

[特記 6] 日本応用数理学会 若手の会 運営委員

[特記 7] 第 58 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」, 2016 年 6 月 8 日, 一部の講師を担当

[特記 8] 第 59 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」, 2016 年 6 月 14-15 日, 一部の講師を担当

[特記 9] 第 61 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎 : 並列プログラミング初級入門」, 2016 年 7 月 7-8 日, 一部の講師を担当

[特記 10] 第 63 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎 : 並列プログラミング初級入門」, 2016 年 9 月 12-13 日, 一部の講師を担当

[特記 11] 第 67 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」, 2016 年 10 月 17 日, 一部の講師を担当

[特記 12] 第 68 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」, 2016 年 11 月 8-9 日, 一部の講師を担当

[特記 13] 第 72 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎 : 並列プログラミング初級入門」, 2017 年 3 月 6-7 日, 一部の講師を担当

[特記 14] 第 73 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 初級 in 名古屋」, 2017 年 3 月 13 日, 一部の講師を担当

[特記 15] 第 74 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 in 名古屋」, 2017 年 3 月 14 日, 一部の講師を担当

[特記 16] 平成 27 年度 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦 利用報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.4 (2016 年 7 月)

[特記 17] SWoPP2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.5 (2016 年 9 月)

[特記 18] GTC Japan 2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.6 (2016 年 11 月)

[特記 19] SC16 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.19 No.1 (2017 年 1 月)

アプリケーションのメニーコアプロセッサ向け最適化

星野 哲也

1 概要

当センターでは本年度、Intel 社の最新のメニーコアプロセッサ Xeon Phi (Knights Landing) を大規模に搭載したスーパーコンピュータである Oakforest-PACS が 12 月に、NVIDIA 社の HPC 向け GPU (Tesla シリーズ) において最新の Pascal GPU を搭載した Reedbush スーパーコンピュータが 3 月にそれぞれ運用を開始した。これらのスパコンは消費電力あたりの演算性能を高めるための要素技術としてメニーコアプロセッサを用いており、実際に Oakforest-PACS は 2016 年 11 月の Green500 List (スパコンの消費電力あたりの性能を競うランキング) で 6 位にランキングされた。一方で、メニーコアプロセッサ向けのアプリケーション最適化技術の開発は喫緊の課題であり、私の主たる研究課題である。本年度の主な活動は以下である。

- 最新型メニーコアプロセッサ向け性能最適化最新のメニーコアプロセッサである Intel Xeon Phi (Knights Landing)、NVIDIA Tesla GPU (Pascal) について、性能評価・性能最適化を行った [発表 5] [発表 7] [発表 9]。詳細は後述する。

- 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
  本研究は、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現在進行している研究である。本年度の主な成果は、特に実アプリケーションに適用する上で問題となっていた、フレームワーク側の制約を緩和するための機能の実装、データ構造変更と共にループ順序を最適化する機能の実装を行い、実アプリケーションを用いて評価を行った。本成果については、[査読付 1] [発表 3] [発表 8] において発表を行った。詳細は [査読付 1] を参照していただきたい。

- 実アプリケーションの **OpenACC** による高速化
  株式会社 IHI との共同研究において、同社が開発する航空エンジンの翼列周りの流れのシミュレーションを目的としたアプリケーションについて、OpenACC による並列化、GPU を用いた評価を行った。本年度は主に単体の GPU 向けにアプリケーションの移植、性能最適化や評価を行い、複数 GPU を用いた大規模環境にでの実行に向けて課題の洗い出しを行なった。来年度の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) の一般課題に選ばれており、同制度の支援の元、大規模環境での評価を行う予定である。

- 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 3] [特記 4] [特記 5] [特記 6] [特記 7] [特記 8]。また、当センターが提供する公募型プロジェクトである、スーパーコンピュータ若手・女性利用推薦制度について中心的に作業を行なった [特記 1]。

- スーパーコンピュータの運用・調達、**HPCI** 運用業務
  Oakforest-PACS, Reedbush などスーパーコンピュータの導入、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。特に 2017 年度 10 月の導入を目指している、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に際しての仕様検討などについて中心的に作業を行った。導入システムの名称が示す通り、GPU などの演算加速装置を搭載し、長時間のジョブに対応するシステムである。学習を行うために長時間ノードを占有する必要のある、人工知能分野などのニーズに応えたシステムになると期待している。

以降では、本誌の読者にとって最も有益と思われる、「最新型メニーコアプロセッサ向け性能最適化」に関して記述する。

2 最新型メニーコアプロセッサ向け性能最適化

2.1 背景

スーパーコンピュータシステムの構築・運用において、今日最も重要視される要素の一つが消費電力あたりの演算性能である。消費電力あたりの演算性能を高めるための要素技術として注目されているのが、GPU や Intel Xeon Phi などに代表されるメニーコアプロセッサである。その証左として、スーパーコンピュータシステムの電力あたりの性能を競うランキングである Green500 List の最新版 (2016 年 11 月) において、Top 10 にランキングされたシステム全てがメニーコアプロセッサを利用している。中でも NVIDIA 社の Tesla GPU (Pascal, 以下 P100) を使ったシステムが同リストの 1, 2 位にランキングされており、Top 10 中 5 システムは Intel Xeon Phi (Knights Landing, 以下 KNL) を用いたシステムである。従ってメニーコアプロセッサに適した計算手法の開発は喫緊の課題であり、本研究では最新のメニーコアプロセッサにおける性能特性の評価・適した計算手法の開発を目的としている。

2.2 実施内容

本研究では評価対象として、疎行列連立一次方程式の解法として科学技術計算において広く使用されている、不完全コレスキー分解前処理付き共役勾配法（Preconditioned Conjugate Gradient Method by Incomplete Cholesky Factorization, ICCG 法）ソルバーを用いる。これまでの研究で我々スーパーコンピューティング部門では、種々のプロセッサにおいて ICCG 法の最適化・性能評価を行なってきており、疎行列格納形式は性能に大きく影響を与え、また有効な格納形式は実行するプロセッサによって異なることがわかっている。そこで本研究では、NVIDIA 社の最新の Pascal 世代の GPU である P100、Intel 社の最新のメニーコアプロセッサである KNL 向けの最適化・性能評価を実施し、比較評価を行なった。

結果として、ELL 形式の拡張である Sliced-ELL、SELL-C-σ が P100、KNL に双方において有効な疎行列格納形式であることが確認された。一方で、P100 と KNL の SIMD 長の違いなどから、P100 では SELL-64-1 形式、KNL では SELL-8-1 形式が最適であるなど、最適なパラメータは異なることを確認した。またプロセッサ同士の比較から、P100・KNL においては十分な性能を得られていないことを確認したため、その原因調査、解決策の模索を行なった。

2.3 具体的成果

2.3.1 計算環境

本研究において評価に使用した 4 種類の計算環境を表 1 に示す。K20 は Kepler 世代 (Pascal の前) の GPU であり、KNC は Kights Corner 世代 (Knights Landing の前) の Xeon Phi、BDW は Intel Xeon シリーズの最新世代 (Broadwell-EP) である。P100、KNL はそれぞれ Reedbush、Oakforest-PACS のものを用いている。1 中のメモリバンド幅性能は Stream Triad の実測値を示している。また KNL は通常の

DDR4 メモリの他、高速な三次元積層メモリ MCDRAM を搭載しており、主記憶要領・メモリバンド幅性能は MCDRAM のものである。KNL のメモリモード・サブ NUMA クラスタリングモードは、それぞれ Flat・Quadrant モードを使用している。

表 1: 計算環境概要 (コア数確認要)

略称	P100	K20	KNL	KNC	BDW
動作周波数 (GHz)	1.480	0.732	1.40	1.053	2.10
コア数	3,584	2,688	68	60	18
理論演算性能 (GFlops)	5,304	1,311.7	3,046.4	1,010.9	604.8
主記憶容量 (GB)	16	6	16	8	128
メモリバンド幅性能 (GB/sec)	534	179	490	159	65.5

2.3.2 実施ケースの概要

本研究では、ICCG 法による三次元のポアソン方程式ソルバーを対象とする。並列化に際しての色付け手法として CM-RCM(k) 法を用い、Coalesced・Sequential 方式によるリオーダリング、CRS、Sliced-ELL、SELL-C-σ による疎行列格納方式を適用する。色付け・リオーダリング手法、疎行列格納形式の説明はここでは割愛する。詳細は [発表 5]、[発表 7] を参照していただきたい。実施ケースは c-CRS, c-Sliced-ELL, c-SELL-C-σ, s-CRS, s-Sliced-ELL, s-SELL-C-σ の 6 ケースであり、c-, s- は Coalesced, Sequential のリオーダリング方式を示す。なお、SELL-C-σ のパラメータは、$\sigma = 1$ であり、C は適宜変更している。対象問題の要素数は NX=NY=NZ=128 の総メッシュ数 2,097,152 である。P100・K20 向けには OpenACC による実装を、KNL・BDW 向けには OpenMP による実装を用いている。基本的には、OpenACC・OpenMP の指示文を無視すれば等価なプログラムとなるよう実装している（図 1)。図 1 の実装の説明については割愛する。詳細は [発表 7] を参照していただきたい。

2.3.3 性能評価

各実施ケースにおいて、色数を変化させた際の実行時間の変化について調べた結果が図 2 である。P100 においては c- で始まる Coalesced 版が高速である一方で、KNL では s- から始まる Sequential 版が高速な傾向であった。疎行列形式として最も一般的と言える CRS 形式に着目すると、P100 では最速ケースと比較して概ね 3 割程度低速であるのに対し、KNL では 2.5 倍ほど低速であった。

また、各プロセッサの性能比較が図 3 である。各プロセッサにおいて最速の実施ケースによる実行結果である。具体的には、P100 は c-SELL-C-σ の $C = 64$ としたもの、K20 は $C = 128$、KNL・KNC は s-SELL-C-σ の $C = 8$、BDW は $C = 4$ であり、いずれも $\sigma = 1$ である。C の値はプロセッサの SIMD 幅に依る。P100 とその前世代である K20 を比較すると、P100 は K20 より 2.7 倍程度高速であった。プロセッサのメモリバンド幅性能が約 3 倍であることを鑑みると、妥当な結果であると言える。一方 KNL は、前世代の KNC と比較して、3.6 倍程度高速であった。これは、前世代の KNC の実行効率が非常に悪かったためと考えられる。P100 と KNL を比較すると、概ねメモリバンド幅の比相当の結果であるため、妥当であると言える。

BDW の結果を見ると、色数を増やすごとに実行時間が小さくなっていることがわかる。色数を増やした場合収束性が良くなり、図 12 行目の収束判定ループの回転数が少なくなるため、BDW の振る舞いは自然である。一方で、色数を増加すると 4 行目の色ループが増加し、21-22 行目の `!$omp end parallel do` または `!$acc end kernels` で発生する同期コストが増加する。P100・K20・KNL・KNC で色数増により実行時間が変わらない、もしくは悪化している原因は、この同期コストによる。メニーコアプロセッサは文字通り多数のコアを並列に実行することにより性能を稼いでおり、多数の同期コストは相対的に大きくなるため、実行時間の増加は自然である。

```
1  !$acc data copy(... )
2     do itr = ...    ! 収束判定ループ
3        ....
4        do ic= 2, NCOLORtot-1  ! 色ループ
5  !$omp parallel do private(... )
6  !$acc kernels async(0)
7  !$acc loop independent gang
8        do ip= 1, PEsmpTOT
9          ip1= (ip-1)*NCOLORtot + ic
10 !$omp simd
11 !$acc loop independent vector
12         do i= SMPindex(ip1-1)+1, SMPindex(ip1)
13           ib0= i - SMPindex(ip1-1)
14           VAL= W(i,Z)
15         do k= 1, 3
16           VAL= VAL - AL(ib0,k,ip1) * W(itemL(ib0,k,ip1),Z)
17         enddo
18           W(i,Z)= VAL * W(i,DD)
19         enddo
20       enddo
21 !$omp end parallel do
22 !$acc end kernels
23       enddo
24       ....
25    end do ! 収束判定ループ
26 !$acc end data
```

図 1: 前進後退代入部（実施ケース： s-Sliced-ELL）の OpenACC・OpenMP 実装。NCOLORtot：総色数、PEsmpTOT：総スレッド数、SMPindex：各スレッドに属する総要素数、AL：非零非対角成分、itemL：非零非対角成分の列番号、W(i,DD)：対角成分

2.3.4 P100・KNL 向け性能最適化

前述の通り、P100・KNL では同期コストが大きいことがわかっている。そこで主に同期コストに着目し、以下の性能最適化を施した。各項目の詳細については [発表 7] を参照していただきたい。

- P100・K20 向け最適化
  1. Baseline：全ての並列ループに `!$acc kernels` を適用
  2. Async：`!$acc kernels` を `!$acc kernels async(0)` へ置き換え
  3. Thread：`gang`, `vector` といった、スレッド数を調整するパラメータを最適化
  4. Fusion：カーネルの融合による、暗黙の同期コストの削減
- KNL・BDW
  1. Baseline ：全ての並列ループに `omp parallel do`
  2. mvparallel1：`!$omp parallel` を色ループ（図 14 行目）の外側に移動
  3. nowait：`!$omp end do nowait` を SpMV 部分に適用し、暗黙の同期コストの低減
  4. mvparallel2：`!$omp parallel` を収束判定ループ（図 12 行目）の外側に移動
  5. rmompdo：`!$omp do` を使わずに、機械的にループ分割（reduction 部を除く）
  6. rmreduction：`reduction` 節を用いず、手動により実装する
  7. loopscheduling：アプリケーション固有の知識を用いたループスケジューリングにより、同期コストを削減

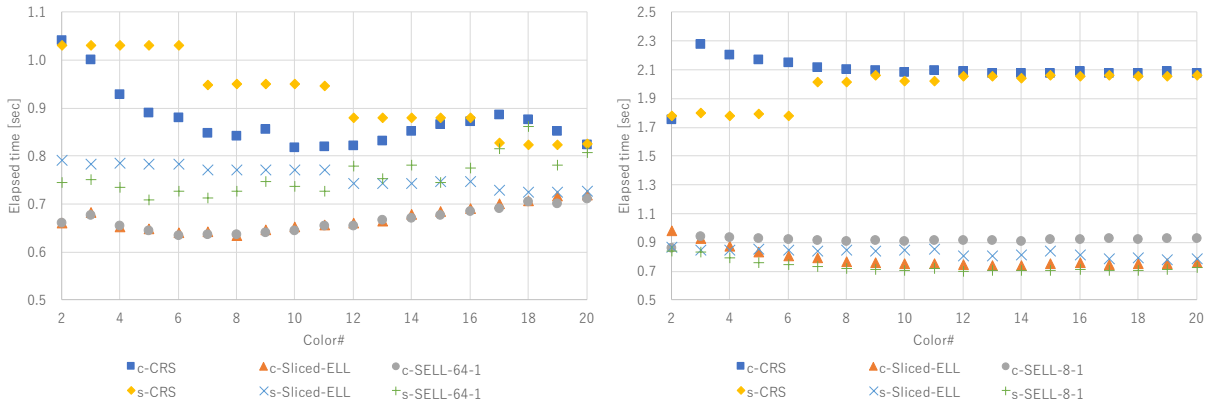


図 2: 各ケースの色数と実行時間の関係 左）P100、右）KNL。縦軸のメモリの違いに注意。

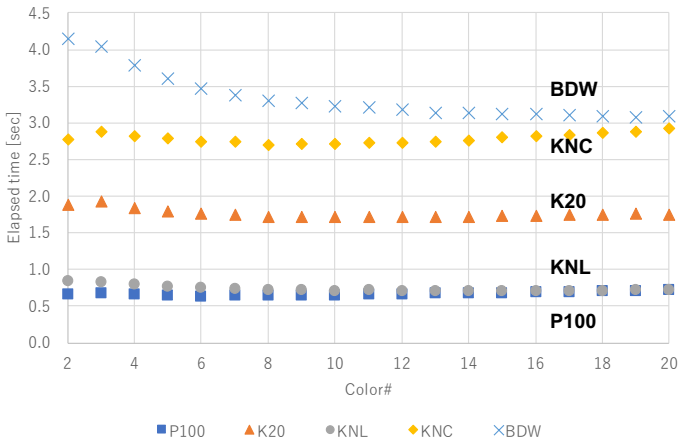


図 3: 各プロセッサの性能比較。6 つの実施ケースのうち、各プロセッサで最速の形式を用いている。

最適化の結果を図 4 に示す。P100 においては、async の効果が大きいことがわかる。async 節を付けない場合、ホストプロセスはデバイスプロセスの終了を待ち、その後に次のデバイスプロセスを発行するため、この発行コストが大きな影響を及ぼしている。Fusion まで順次適用することで、色数増により高速化していることから、同期コストの低減に成功していることがわかる。KNL 向けの最適化の順次適用による、OpenMP の指示文数、同期回数の変遷について表 2 に示す。parallel コンストラクトと同期の回数が次第に減少しており、それに伴い実行時間が減少していることがわかる。

以上の通り、P100・KNL などの最新のメニーコアプロセッサにおいては、三次元積層メモリの搭載による大幅な高速化が見込める一方で、相対的に同期コストが大きくなっており、最適化の必要性があることがわかった。同期回避のアルゴリズムの開発などが今後の課題である。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] T. Hoshino, N. Maruyama and S. Matsuoka, ”A Directive-Based Data Layout Abstraction for Performance Portability of OpenACC Applications,” 2016 IEEE 18th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 14th International Conference on Smart City; IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS), Sydney, NSW, 2016, pp. 1147-1154.

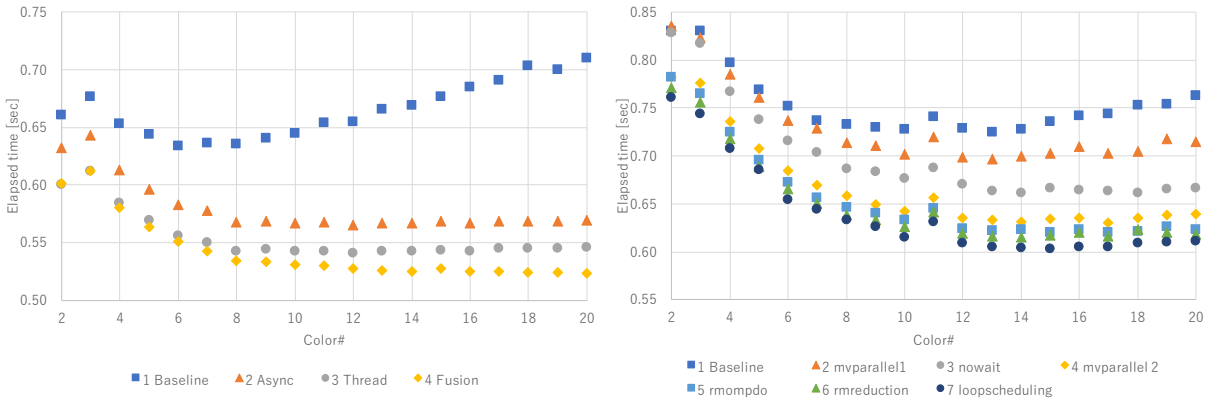


図 4: 同期コスト削減等、最適化の効果。左）P100、右）KNL

表 2: 1 イテレーションあたりの OpenMP 指示文出現数（色数 12 のとき）

	baseline	mvparallel1	nowait	mvparallel2	rmompdo	rmreduction	loopsched
parallel do	40	5	5	0	0	0	0
parallel	0	3	3	0	0	0	0
do	0	35	23	28	3	0	0
do (nowait)	0	0	12	12	0	0	0
reduction clause	3	3	3	3	3	0	0
barrier (explicit)	0	0	0	1	26	29	26
barrier (implicit)	43	46	34	31	6	0	0

その他の発表論文

[発表 1] Tetsuya Hoshino, Satoshi Matsuoka: Acceleration of a Compressed Flow Analysis Application with OpenACC, HPC in Asia Session, ISC High Performance 2016 (Frankfurt, Germany, June 19-23, 2016) (ポスター発表)

[発表 2] 星野哲也、丸山直也、松岡聡：データレイアウト最適化指示文による OpenACC アプリケーションの高速化、情報処理学会研究報告（2016-HPC-155-32)、2016 年並列／分散／協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）（松本、2016 年 8 月 8 日 ~10 日）

[発表 3] 塙敏博、中島研吾、大島聡史、伊田明宏、星野哲也、田浦健次朗、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 の性能評価、情報処理学会研究報告（2016-HPC-156-10)、情報処理学会第 156 回 HPC 研究会（小樽、2016 年 9 月 15 日 ~16 日）

[発表 4] 塙敏博、中島研吾、大島聡史、星野哲也、伊田明弘、パイプライン型共役勾配法の性能評価、情報処理学会研究報告（2016-HPC-157-6)、情報処理学会第 157 回 HPC 研究会（那覇、2016 年 12 月 21 日 ~22 日）

[発表 5] 中島研吾、大島聡史、塙敏博、星野哲也、伊田明弘、ICCG 法ソルバーの Intel Xeon Phi 向け最適化、情報処理学会研究報告（2016-HPC-157-16)、情報処理学会第 157 回 HPC 研究会（那覇、2016 年 12 月 21 日 ~22 日）

[発表 6] Tetsuya Hoshino: OpenACC Directive Extensions Towards Realizing Performance Portability, 第 26 回 ASE 研究会（東京、2017 年 1 月 6 日）

[発表 7] 星野哲也、大島聡史、塙敏博、中島研吾、伊田明弘、OpenACC を用いた ICCG 法ソルバーの Pascal GPU における性能評価、情報処理学会研究報告（2017-HPC-158-18）、情報処理学会第 158 回 HPC 研究会（熱海、201 7 年 3 月 8 日 ∼10 日）

[発表 8] Tetsuya Hoshino, Naoya Maruyama, Satoshi Matsuoka: A Directive-based Data Layout Autotuning for OpenACC Applications, 2017 SIAM Conference on Computational Science and Engineering (SIAM CSE17) (Atlanta, GA, USA, February 27-March 3, 2017)

[発表 9] 塙敏博、中島研吾、大島聡史、星野哲也、伊田明弘、Xeon Phi+OmniPath 環境における OpenMP, MPI 性能最適化、情報処理学会研究報告（2017-HPC-158-21）、情報処理学会第 158 回 HPC 研究会（熱海、201 7 年 3 月 8 日 ∼10 日）

特記事項

[特記 1] スーパーコンピュータ若手利用者推薦制度 (http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/service/wakate/) 2016 年度 前期募集 2 件，後期募集 3 件，インターン募集 2 件.

[特記 2] ISC 2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース Vol.18 No.4 (2016 年 7 月)

[特記 3] 第 57 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 入門」, 2016 年 5 月 31 日, 一部の講師を担当

[特記 4] 第 58 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」, 2016 年 6 月 8 日, 一部の講師を担当

[特記 5] 第 59 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」, 2016 年 6 月 14 日 ∼15 日, 一部の講師を担当

[特記 6] 第 67 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」, 2016 年 10 月 17 日, 一部の講師を担当

[特記 7] 第 68 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」, 2016 年 11 月 8 日 ∼9 日, 一部の講師を担当

[特記 8] 第 74 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 in 名古屋」, 2017 年 3 月 14 日, 一部の講師を担当

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

密行列に対する低ランク近似手法および疎行列に対する不完全分解近似などを中心に、大規模科学技術計算における数値線形代数計算の高速化に関わる研究を行った。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。

・大規模科学技術計算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$O(N)$~$O(N\log N)$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。

2016 年度の成果は、以下のとおりである。

① 階層型行列法（H 行列法）に関する研究・開発

H 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一つである。H 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、$O(N\log N)$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。H 行列法に関して、次の三点について研究成果が得られた。

- H 行列法に適用される低ランク近似手法
  これまでの研究においては、H行列の部分行列を低ランク近似する手法として、ACA法を適用してきた。様々な実問題に対してH行列法を適用していくうちに、ACA法が低ランク行列近似として機能しない案件が散見されるようになってきた。その原因の調査および対応策の検討を行った[招待 2] 。第 3 節で、より詳しく述べる。
- H 行列法の適用範囲拡大

H 行列に対して、ハウスホルダー変換による三重対角化を効率的に行えるかの検討を行った。実験コードを作成し、電磁場解析で得られるH行列に適応した。密行列の場合の $O(N^3)$から $O(N^2 \log N)$程度に演算量が低減していることを確かめた[発表 2]。マイクロマグネティクス計算にH行列法を適用する研究を行っている。地震サイクルシミュレーション用に開発した改良型H行列法が有効であることを単純なモデルで確かめた [査読付 2]。 長距離イジング模型におけるモンテカルロシミュレーションに対して、H行列を適用する研究を行っている [発表 5、発表 6、発表 13]。

- H 行列計算の高速化手法

  動的負荷分散を H 行列生成や H 行列・ベクトル積の演算に使用する研究を行っている [発表 1]。また、H 行列・ベクトル積の演算のメニーコアCPU向け最適化に関する研究を行った [発表 15]。FPGA を用いた H 行列・ベクトル積についても検討・実装・評価を行った [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 H 行列法ライブラリ HACApK のバージョンアップを行い公開した[招待 1、査読付 1、査読付 3、公開 1、公開 2、発表 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。

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ている。主に量子力学で扱われる一般固有値問題を、周回積分を利用した方法（FEAST法、櫻井-杉浦法など）で解く際に現れる連立一次方程式が適用対象であり、一般的な前処理手法（緩和法、不完全コレスキ分解法）を用いたのでは、クリロフ部分空間法が収束しないことも多い。このような悪条件問題にたいする処方として、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 9、発表 14]。
- ICCG法ソルバの最新アーキテクチャ向け最適化

  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は、最適な組み合わせが実行環境に大きく依存する。Pascal GPU および Intel Xeon Phi 上で様々な組み合わせについて計算を行い、性能評価を行った [発表 8 発表 10]。

  パイプライン型共役勾配法は、内積計算部分にパイプライン型を導入することにより、集団通信と計算をオーバーラップさせる手法である。ReedBush および Oakforest-PACS を用いて、この手法の性能評価および比較検討を行った[発表 11]。
- IC分解の fill-in 戦略に関する研究

  ICCG法に対して、SIMD 演算を有効活用する方法について研究を行った。係数行列に対して、SIMD 幅で決定されるサイズでブロック化を行い、ブロック内の fill-in を許可するという新しいIC分解法を提案し、数値実験により提案手法の有効性を確認した[発表 4]。

第2節において、①の第 3 項目ついて、背景、内容および具体的成果を記述する。

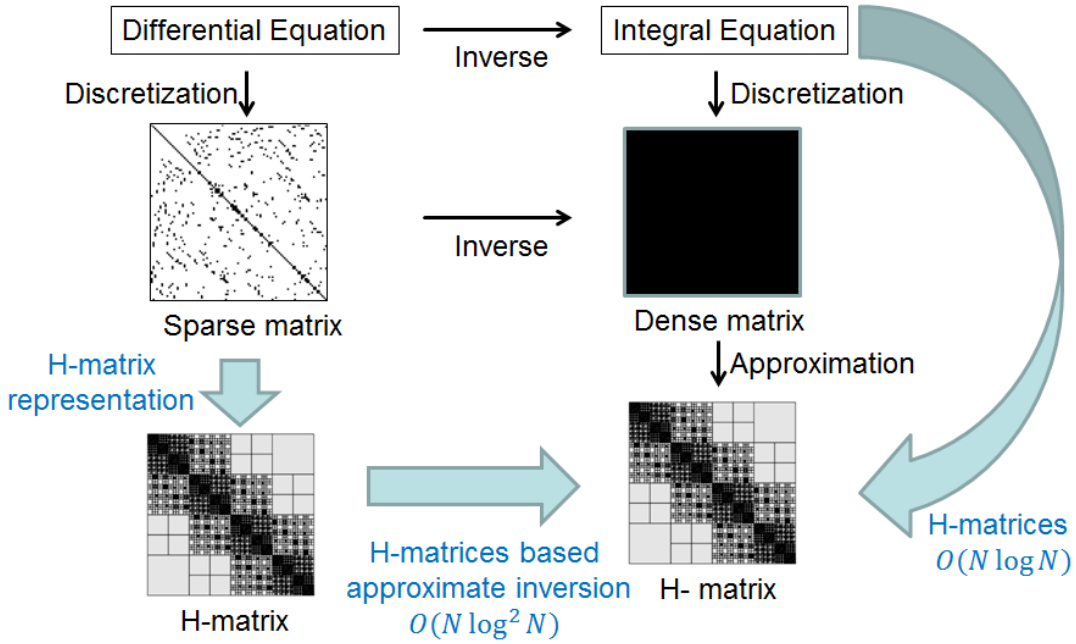


図 1:本研究の概念図。科学技術計算で有用な密行列を、実際には計算することなく、その近似行列を構築する研究を行っている。

・大規模科学技術計算の普及に向けた社会貢献活動

① 大規模科学技術計算に関する記事執筆

シミュレーション学会誌に、解説記事「階層構造を有する低ランク行列近似手法の数値計算とデータ構造」を投稿した[著者1]。

計算工学会誌に、特集「H行列を用いた並列境界要素解析フレームワークとその応用」を企画した[著者 4]。また、大規模境界要素法と階層型行列法に関する解説記事を、同企画に投稿した[著者 2,3]。

ISC2016 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 DegitalLife に投稿した[特記1,2]。

② 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 3,5]。この講習会および OpenFOAM を用いた講習会の講師(一部)を担当した[特記 3,4,5]。

③ 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。具体的には、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。

2　H 行列法に適用される低ランク近似手法

2.1　背景

階層型行列法(H 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一種である。密行列を扱うためには、行列サイズをNとして、少なくとも$O(N^2)$の計算機メモリと演算量が要求される。H 行列法の適用により、これらは$O(N \log N)$に減じられる。

H 行列法の近似原理は、計算科学に現れる線形積分作用素の積分核の多くが持つ、ある性質に基づいている．その性質とは、積分核を$g(x,y)$とした時、遠く離れた２点x,yに対しては、$g(x,y) \cong \sum_{\nu=1}^{k} g_1^{\nu}(x) g_2^{\nu}(y)$のように、変数分離した関数積の級数で近似することができ、かつ、少ない数の級数項数kで必要な精度を得ることができるというものである．このような性質を積分核が持つという仮定の下で、遠く離れた2つの領域を考えれば、積分作用素を離散化して得られる密行列の中で、それらの領域間の相互作用に対応する部分行列は、低ランクの2つの行列の積で近似できる（低ランク行列近似）．言い換えれば、積分作用素を離散化して得られる密行列から適当な部分行列を選択すれば低ランク行列近似が可能だということである．

筆者らは、H 行列法ライブラリ HACApK を開発し、提供を行ってきた[公開 2]． 現在、部分 pivoting 付き ACA 法が低ランク近似手法として HACApK には実装されている。近年、低ランク行列近似手法は数多く提案されており、これらの手法が H 行列法の低ランク近似手法として選択肢になり得るかを調査する意義は大きい。

2.2　内容

本研究では、H 行列法に用いられる低ランク近似手法が満たすべき条件について考察した．ここでは、特に重要と考えられる項目として、次の3項目を挙げる．

① 計算コスト
② 計算に必要な行列データ量
③ 精度の制御

上記の他にも、並列性など様々な項目が検討対象として考えられるが、本稿では割愛する．

項目①の計算コストについては考える．H 行列生成を$O(N\log N)$の計算時間で行うためには、低ランク近似手法の計算コストは、$O(N\log N)$以下であることが求められる．Truncated SVD と呼ばれる手法が最良近似を与えることが証明されているが、特異値分解の計算コストが$O(N^3)$と高すぎるため、H 行列法では使用できない．近似行列のランクが増加したとしても、より計算コストの安い低ランク行列近似手法が H 行列法においては必要である．計算コスト$O(N^3)$は高すぎるとしても、$O(N^2)$のアルゴリズムであれば、H 行列が適用されるアプリケーションによっては、許容され得る．例えば、HACApK の適用対象の一つである地震サイクルシミュレーションにおいては、H 行列・ベクトル積計算が何十万回も繰り返し行われるため、H 行列生成の計算時間はシミュレーション全体の計算時間の数%に過ぎない。このようなアプリケーションでは、H 行列生成の計算時間が多少増加してでも、H 行列・ベクトル積計算の計算コストを減らすべく、近似行列のランクがなるべく小さくなる手法を選択した方が、シミュレーション全体の効率が良くなる可能性がある。

項目②については、近似対象行列の一部要素のみを用いて低ランク近似を実行可能な手法が求められる。Truncated SVD を初めとして多くの低ランク近似手法では、行列の全要素が必要であるが、全要素を用いたのでは計算コストが$O(N^2)$以上となってしまう．上述した一部のアプリケーションを除いては、計算コスト$O(N^2)$は許容されないため、近似対象行列の数本の列および行のみを用いるような計算コスト$O(N)$の手法が望ましい。

項目③に挙げた精度の制御は、実用上重要である。低ランク行列近似を実際のシミュレーションで使用する際には、ランクkを与えて誤差$\varepsilon(k)$が決まるよりも、許容誤差εを与えてランク$k(\varepsilon)$が決まる方が都合の良いことが多い．しかし、乱択特異値分解法(Randomized SVD)のように、ランクkを指定しなければならない手法もあり、そのような手法を H 行列法で採用することは難しい。

2.3 具体的成果

Truncated SVD 以外の低ランク近似手法は、２つのグループに大別される．１つ目のグループは、行列分解に基づく手法であり、もう一つのグループは、乱択特異値分解法とその派生版である．行列分解に基づく手法として、本稿では次の４つを考える．

- 完全 pivoting 付き ACA 法(ACA_full) [
- 部分 pivoting 付き ACA 法(ACA_part)
- Rank-revealing LU 分解法 (RR LU)
- Rank-revealing QR 分解法 (RR QR)

上の表記で、手法名の後ろに丸括弧付きで手法の略称を記した．乱択特異値分解とその派生版としては、以下を挙げる．

- Randomized SVD (rSVD)
- Gaussian projection 版 Integrated SVD(iSVD_gp)
- Column sampling 版 Integrated SVD (iSVD_cs)

これらの手法が、前小節に示した３つの条件を満たすかどうかを検討した。結果を表１に示す。全ての条件を満たす手法は、ACA_part のみである。HACApK において低ランク行列近似手法に ACA_part を採用している理由は、ここにある。ACA_part 以外の行列分解に基づく手法は、近似対象行列の全要素を必要とし、計算コストが$O(N^2)$となるため、使用できるアプリケーションは限定的である。近似対象行列の数本の列しか必要としない iSVD_cs は、階層型行列法に適用可能な低ランク行列近似手法の有力な候補である．しかし、iSVD_cs では、ランクkを指定して計算を行わなければならず、精度に応じてランクを決める理論は、未だ考案されていない。

表1:低ランク近似手法

低ランク近似手法	計算コスト	計算に必要な行列データ	精度の制御
Truncated SVD	$O(N^3)$	行列Aの全要素	可
ACA_full	$O(N^2)$	行列Aの全要素	可
ACA_part	$O(N)$	Aの列と行を数本	可
RR QR	$O(N^2)$	行列Aの全要素	可
RR LU	$O(N^2)$	行列Aの全要素	可
r-SVD	$O(N^2)$	行列Aの全要素	不可
iSVD_gp	$O(N^2)$	行列Aの全要素	不可
iSVD_cs	$O(N)$	Aの列を数本	不可

青字 ：条件を満たす
黒字 ：状況により許容
赤字 ：要改善

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] A. Ida, “Application of Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation to Large-scale Simulations”, ISC High Performance 2016, Frankfurt Messe, Frankfurt, Germany (June 23, 2016)

[招待 2] A. Ida,” Low Rank Approximation Methods Used in Hierarchical Matrices”, ATAT in HPC 2017, National Taiwan University, Taipei, Taiwan (March 11, 2017)

著書／編集

[著書 1] 伊田明弘,「階層構造を有する低ランク行列近似手法の数値計算とデータ構造」, Numerical Computation and Data Structure of Hierarchical Low-rank Approximation Methods, シミュレーション 2016 年 9 月 Vol. 35 No. 3, pp.30-36 (2016 年9月)

[著書 2] 伊田明弘,「大規模科学技術け計算に向けた低ランク近似手法」, 計算工学会 Vol.21, No.4 , pp.10-13 (2016)

[著書 3] 岩下武史、伊田明弘、美舩健、高橋康人,「H行列を用いた並列境界要素解析フレームワークとその応用」, 計算工学会 Vol.21, No.4 , pp.22-25 (2016)

[著書 4] 岩下武史、伊田明弘,「特集 積分方程式の近似解法-高速多重極法・H行列法とその応用-」, 計算工学会 Vol.21, No.4 , pp.5-25 (2016)

査読付論文

[査読付 1] T. Iwashita, A. Ida, T. Mifune and Y. Takahashi, “Software Framework for Parallel BEM Analyses with H-matrices”, IEEE 17th Biennial Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC2016), Miami USA (13. Nov., 2016),

(DOI: 10.1109/CEFC.2016.7816379)

[査読付 2] A. Ida, T. Ataka, T. Mifune, Y. Takahashi, T. Iwashita and A. Furuya, “Application of Improved H-matrices in Micromagnetic Simulations”, 21st International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (Compumag 2017) (in press).

[査読付 3] T. Iwashita, A. Ida, T. Mifune and Y. Takahashi, “Software Framework for Parallel BEM Analyses with H-matrices Using MPI and OpenMP”, Tools for Program Development and Analysis in Computational Science, ICCS2017. (in press)

公開ソフトウェア

[公開 1] Takeshi Iwashita, Takeshi Mifune, Yuki Noseda, Yasuhito Takahashi, Masatoshi Kawai, Akihiro Ida：ppOpen-APPL/BEM ver.0.5.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Jan. 2016

[公開 2] Akihiro Ida and Takeshi Iwashita ：HACApK ver.1.0.1, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Jan. 2016

その他の発表論文

[発表 1] 伊田明弘, 平石拓, 岩下武史,「階層型行列法の計算負荷予測と負荷分散法」, 第 21 回計算工学会, 朱鷺メッセ, 2016 年 5 月 31 日

[発表 2] 伊田明弘,「階層型行列表現を用いた行列演算」, 2016 年並列／分散／協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016）, キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 2016 年 8 月 9 日

[発表 3] Akihiro Ida, Development of H-matrices with ACA for Large-scaled BIEM Analyses, 第 24 回 ASE 研究会, 東京都文京区, 東京大学・情報基盤センター, 2106 年 12 月 1 日

[発表 4] Takeshi Iwashita, Naokazu Takemura, Akihiro Ida and Hiroshi Nakashima, “ICB: IC Preconditioning with a Fill-in Strategy Considering Simd Instructions”, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing, Paris, France (12 April 2016).

[発表 5] Ryo Igarashi and Akihiro Ida, Monte Carlo simulation using approximation to long range interactions, 1st International Symposium on Research and Education of Computational Science (RECS), 東京都文京区, 2016 年 11 月 30 日

[発表 6] 五十嵐亮, 伊田明弘,「長距離相互作用に対する 近似を用いたモンテカルロシミュレーション II」,日本物理学会 第 72 回年次大会（2017 年）大阪大学 角間キャンパス（石川県金沢市）,2017 年 3 月 17 日

[発表 7] 塙 敏博, 中島 研吾, 大島 聡史, 星野 哲也, 伊田 明弘,「Xeon Phi+OmniPath 環境における OpenMP, MPI 性能最適化」,第 158 回 HPC 研究発表会, 大月ホテル和風館(静岡県熱海市), 2017 年 3 月 9 日

[発表 8] 星野 哲也, 大島 聡史, 塙 敏博, 中島 研吾, 伊田 明弘「OpenACC を用いた ICCG 法ソルバーの Pascal GPU における性能評価」,第 158 回 HPC 研究発表会, 大月ホテル和風館(静岡県熱海市), 2017 年 3 月 9 日

[発表 9] 河合 直聡, 伊田 明弘, 中島 研吾,「悪条件問題に対する CG 法向け IC 前処理手法の改善」,第 158 回 HPC 研究発表会, 大月ホテル和風館(静岡県熱海市), 2017 年 3 月 8 日

[発表 10] 中島 研吾, 大島 聡史, 塙 敏博, 星野 哲也, 伊田 明弘,「ICCG 法ソルバーの Intel Xeon Phi 向け最適化」, 第 157 回 HPC 研究発表会, 沖縄産業支援センター(沖縄県那覇市), 2016 年 12 月 22 日

[発表 11] 塙 敏博, 中島 研吾, 大島 聡史, 星野 哲也, 伊田 明弘,「パイプライン型共役勾配法の性能評価」, 第 157 回 HPC 研究発表会, 沖縄産業支援センター(沖縄県那覇市), 2016 年 12 月 21 日

[発表 12] 塙 敏博, 中島 研吾, 大島 聡史, 伊田 明弘, 星野 哲也, 田浦 健次朗,「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 の性能評価」, 第 156 回 HPC 研究会, 小樽 [HOKKE-23], 2016 年 9 月 15 日

[発表 13] 五十嵐亮, 伊田明弘「長距離相互作用に対する 近似を用いたモンテカルロシミュレーション」,日本物理学会 2016 年秋季大会金沢大学 角間キャンパス（石川県金沢市）,2016 年 9 月 14 日

[発表 14] 河合直聡, 伊田明弘, 岩下武史, 中島浩,「XeonPhi 上での改良型ブロック化多色順序付け GS 法を適用した SA-AMG の性能評価」, 日本応用数理学会 2016 年度年会, pp.112-113.北九州国際会議場（福岡県北九州市小倉）,2016 年 9 月 12 日

[発表 15] 大島聡史, 伊田明弘, 塙敏博, 河合直聡「階層型行列ベクトル積のメニーコア向け最適化」, SWoPP 松本 2016,Vol.2016-HPC-155, No.40, キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 2016 年 8 月 10 日

[発表 16] 塙敏博, 伊田明弘, 大島聡史, 河合直聡「FPGA を用いた階層型行列ベクトル積」, SWoPP 松本 2016,Vol.2016-HPC-155, No.39, キッセイ文化ホール（長野県松本文化会館）, 2016 年 8 月 10 日

特記事項

[特記 1] ISC High Performance 2016 (ISC 2016) 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.4, 2016 年 7 月

[特記 2] 31th International Supercomputing Conference (ISC High Performance 2016) 参加報告, Digital Life, Vol.27, 2016 年 9 月

[特記 3] 第 62 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」, 2016 年 9 月 6 日～7 日,取りまとめ及び講師（一部）を担当

[特記 4] 第 64 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 入門」, 2016 年 9 月 27 日, 講師（一部）を担当

[特記 5] 第 71 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」, 2016 年 9 月 6 日～7 日, 取りまとめ及び講師（一部）を担当

マルチスケールシミュレーション手法およびプラズマシミュレーションに関する研究

松本 正晴

1 概要

2016 年度に行った主な研究実施項目と，その概要について以下に示す。

- **3 次元 Block 型 AMR フレームワークの開発と粒子シミュレーションへの応用**

  アプリケーションへ適合格子細分化（Adaptive Mesh Refinement, AMR）法を導入するための 3 次元 Block 型 AMR フレームワークの開発を進めている。Block 型 AMR フレームワークでは Block 単位で格子を生成・消滅させることから，差分法などでよく用いられる i,j,k などのインデックスで整理される整合配列データ構造で計算される kernel 部分をそのままフレームワークの kernel として使用することができ，移植性に優れ簡単に AMR シミュレーションを行えるのが特徴である。今年度は，開発を進めている 3 次元 Block 型 AMR フレームワークに，エージェントベースモデルの一種であるシュガースケープモデルを適用した粒子シミュレーションを行い，本フレームワークの有効性と課題点の洗い出しについて評価を行った。なお本研究は，神戸大学，核融合科学研究所との共同研究として行った。[査読付 5]

- **AMR-PIC プラズマシミュレーション手法の開発とその応用**

  プラズマシミュレーション手法の一つである Full Particle-In-Cell（PIC）法に AMR 法を導入した AMR-PIC 法の開発を従来より引き続き進めている。本年度は，宇宙用推進システムの一種であるイオンスラスタにおける，イオンビームの電荷中和に関する計算機シミュレーションに AMR-PIC 法を適用し，その有効性と課題点の洗い出しについて評価を行った。なお本研究は，神戸大学，核融合科学研究所との共同研究として行った。

- **ppOpen-AT の機能拡張に伴う ppOpen-APPL/FDM ライブラリの最適化**

  自動チューニング専用言語 ppOpen-AT の開発と，その応用として ppOpen-APPL/FDM ライブラリによって構築される地震波動解析用アプリケーション Seism3D への適用を昨年度に引き続いて進めている。本年度は，ppOpen-AT の追加機能であるコード選択処理の実装に先立ち，ppOpen-APPL/FDM の従来のベクトル計算機向けコードの他に，新たにスカラ計算機向けコードの実装・最適化を行い，Xeon Phi，Ivy Bridge，および SPARC64 IXfx（Oakleaf-FX）の 3 種類の異なる計算機上でコード選択機能の評価を行った。なお本研究は，名古屋大学との共同研究として行った。[査読付 3, 査読付 4, 発表 2, 発表 3, 発表 4, 発表 7]

- **パルスレーザーを利用する電磁流体エネルギー変換技術の開発**

  エネルギーキャリアとしてレーザーを利用して，すなわち外部からのエネルギー供給を受けることで，航空宇宙機における高出力密度電力発生を狙うパルスレーザー駆動 MHD 発電技術の研究開発を進めている。本年度は，原始的ながら世界初の試みとして，CO_2 パルスレーザーを用い

てアルゴンを加熱し，MHD 発電の原理実証を試みるとともに，得られた実験結果と数値シミュレーションとの比較から発電特性と流体挙動の解明を進めた。なお本研究は，東京工業大学との共同研究として行った。[査読付 1, 発表 9]

- **磁気プラズマセイル開発へ向けた Hybrid PIC プラズマシミュレーション研究**

  次世代惑星間航行用推進システムとして提案されている磁気プラズマセイルの開発へ向けて，その数値シミュレーション手法の開発を進めている。本年度は，プラズマシミュレーション手法の一つである Hybrid PIC 法による 3 次元シミュレーションコードの開発を行い，解析を行った。なお本研究は，宇宙航空研究開発機構，明石工業高等専門学校との共同研究として行った。

なお以下では，2016 年度に行った主な研究について述べる。

2 Block 型 AMR フレームワークの開発と粒子シミュレーションへの応用

2.1 背景

従来より，差分法で離散化されているアプリケーションへ AMR 法を導入するための Block 型 AMR フレームワークの開発を進めている。計算格子の 1 つ 1 つが生成・消滅する Cell 型 AMR シミュレーションとは異なり，Block 型 AMR シミュレーションでは，ある程度ひとまとめにした計算格子群をブロックと定義し，そのブロックが生成・消滅することで，AMR 機能を実現する。これにより，差分法などでよく用いられる i,j,k などのインデックスで整理される整合配列データ構造で計算される kernel 部分をそのままフレームワークの kernel として使用することができ，移植性に優れ簡単に AMR シミュレーションを行える，という点が Block 型 AMR フレームワークの最大の特徴である。今年度，我々は従来より開発を進めている Block 型 AMR フレームワークの追加機能として，粒子を取り扱うことができる処理を追加し，その応用として，エージェントベースモデルの一種であるシュガースケープモデルを適用した粒子シミュレーションを行い，本フレームワークの有効性と課題点の洗い出しについて評価を行った。

2.2 内容

この Block 型 AMR フレームワークでは，計算領域は複数に分割され，MPI を使用した並列計算のための複数のプロセスに割り当てられる。MPI プロセスに対応するそれぞれの分割された計算領域は，それぞれが固定数のグリッドを有する複数のブロック構造領域から構成され，計算領域の特定の領域で高解像度が要求される場合，細分化された格子を持つブロック構造領域が子ブロックとして作成される。この Block 型 AMR フレームワークで粒子シミュレーションを行うために，各 MPI プロセスに対応する分割された計算領域について，粒子処理のための複数の配列を用意する。この詳細については参考文献 [査読付 5] を参照のこと。開発した Block 型 AMR フレームワークにおける粒子処理の実装を検証するために，ある地域の住民を代表するエージェントを多数用いて，人工社会シミュレーションのために提案されているシュガースケープモデルを採用し，テストシミュレーションを行った。2 次元シミュレーション領域の各格子には糖度が割り当てられており（図 1 参照），その初期条件として砂糖の 2 つのピークを配置するとともに，（粒子である）住民をランダムに配分する。シミュレーション結果は予想通り，エージェントは 2 つの糖度のピークに集まり，密度が特定の基準を超過した場合に，対応する領域で細分化格子を持つ子ブロックが生成されることが確認できた（図 2 参照）。また，エージェントの動きは格子幅が変化するブロック境界においても妙な影響を受けず，AMR フレームワークへの粒子処理が適切に行われていることが確認された。

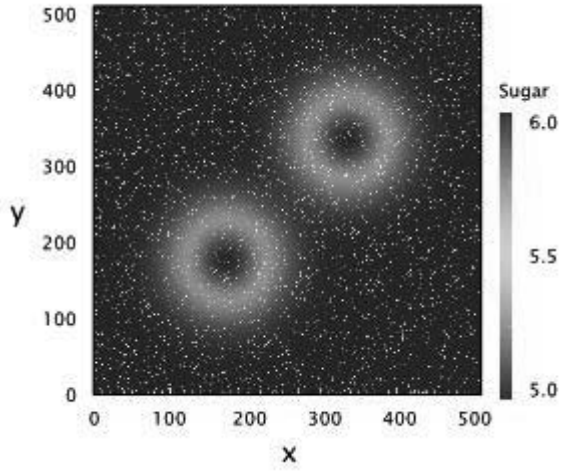


図 1: 計算領域内糖度分布

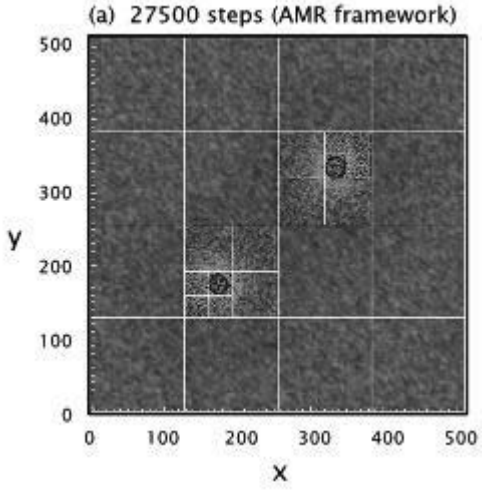


図 2: エージェント密度と計算格子

3 パルスレーザーを利用する電磁流体エネルギー変換技術の開発

3.1 背景

MHD 発電は，外部から磁界が印加された流路に電気伝導性を有する作動気体を流すことにより，作動気体が持つ熱エネルギーを電気エネルギーへ直接変換する発電方式であり，タービン発電機のような可動部がないことから軽量で，コンパクト（高密度）な高効率エネルギー変換技術の 1 つである。元来 MHD 発電は地上での大容量高効率発電システムとして実現が期待されているが，一方で近年その特徴を生かし，特殊用途ではあるが宇宙での電力発生や MHD 効果を利用した流れ制御など航空宇宙分野での応用も盛んに研究が進められている。著者らは，その 1 つの応用例として，パルスレーザー駆動 MHD 発電に着目している。これは，レーザー光やマイクロ波を利用して，すなわち外部からのエネルギー供給を受けることで燃料や推進剤を搭載することなく航空宇宙機の推進を行い，ペイロード比の向上とコストの削減を狙うビーム推進技術と趣旨を同じくするもので，エネルギーキャリアとしてのレーザー光を利用して高出力密度電力発生を行おうとするものである。パルスレーザーを用いてレーザー支持デトネーション（Laser-Supported Detonation, 以降 LSD と略称する）を生成すれば，MHD 発電に適する高温，高圧の作動気体が得られ（MHD 発電プラントにおける希ガス加熱器，圧縮機が不要），しかもシードフリーで，発電機そのものが軽量であることから，航空宇宙機において魅力的な発電システムとなり得る。そこで本研究では，パルスレーザー駆動 MHD 発電の実証基礎研究として，原始的ながら世界初の試みとして， CO_2 パルスレーザーを用いてアルゴンを加熱し，MHD 発電の原理実証を試みるとともに，得られた実験結果と非定常 2 次元数値計算との比較から発電特性と流体挙動の基礎的な説明を試み，それらから発電性能向上に向けた指針を得ることを目的とした

3.2 内容

実験装置の概略図を図 3 に示す。同図に示すように，希ガス（アルゴン, 10kPa）を充填したチャンバーの中に MHD 発電機を設置し，ZnSe レンズ（焦点距離 127mm）を介してレーザー光を発電機流路内に集光して希ガスを直接加熱し，発電実験を行った。ビーム推進技術で想定される大気（空気）をはじめ様々なガス種（プラズマ）が作動気体の候補として挙げられるが，本実験は基礎的な実証研究の段階にあることから，これまでの MHD 発電実験でよく用いられているアルゴンを作動気体とした。希ガスの加熱には CO_2 レーザー（波長 10.6 μ m，パルス幅 1 s，出力エネルギー ～2.6J）を使用した。

本研究で用いた数値モデルは以下の通りである。支配方程式は，重粒子温度 Th と電子温度 Te が

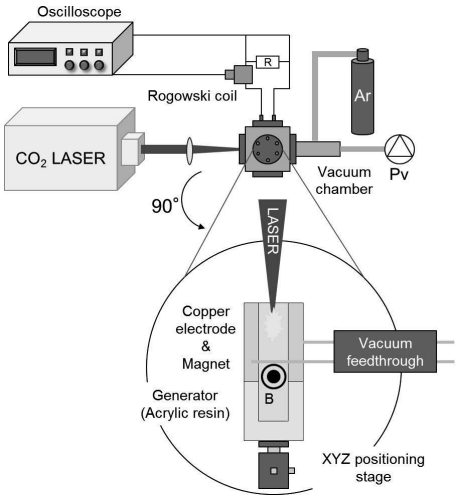


図 3: 発電実験装置の概略図

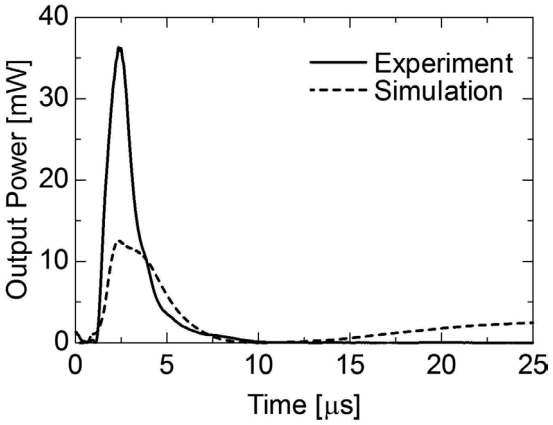


図 4: 実験と計算における発電出力の時間変化

異なる 2 温度モデルを採用し，MHD 相互作用とレーザーによる加熱の項を含む圧縮性 Navier-Stokes 方程式にイオンの質量保存式と Ohm の法則，電子エネルギー保存式等を加えたものを用いた。ただし，作動気体であるアルゴンの電離モデルでは，発電機内の電子温度，重粒子温度ともに高々15,000 ～20,000 K 程度であるので電子衝突による一価電離のみを考慮した。電磁界系については，Maxwell 方程式と Ohm の法則から導出される Poisson 方程式を有限体積法によって解いた。簡単のため Hall 効果および輻射の影響は無視した。入射レーザーは，実験と同様に，波長 10.6 μ m の CO_2 レーザー（2.6 J，1 s 間出力一定を仮定）とし，レーザーから作動気体へのエネルギー吸収過程は，支配的になると考えられる逆制動放射過程のみとし，多光子吸収過程などの効果は考慮していない。支配方程式の対流項に関しては Harten-Yee non-MUSCL type 2 次精度風上 TVD 法で評価し，時間積分は Strang type fractional step method により計算を行った。

図 4 に実験と計算における発電出力の時間変化を示す。これらを比較するとピークの大きさは異なるものの，数値計算においては概ね 10 s までは実験結果を定性的には模擬できているといえる。ただし，出力等の絶対値には差があり，また数値計算ではピークの後にわずかではあるが緩やかな発電出力の増加が見られる一方，実験では観測されていない。本数値計算でのレーザーの吸収・加熱過程をはじめとして様々なモデルの妥当性の検証，特にこの時間帯では Hall 係数が比較的高く（～1），本来連続電極では出力が低下するが，本数値計算では，この Hall 効果を無視していることなどの要因も考えられ，より詳細な比較検討は今後の課題である。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 松本正晴，奥野喜裕：パルスレーザー駆動 MHD 発電の実証基礎研究，日本航空宇宙学会論文集，Vol.64，No.2，pp.91-96，2016.

[査読付 2] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri and Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, Proceedings of the 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop, pp.1496-1505, Chicago, USA, May 2016.

[査読付 3] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto and Satoshi Ohshima: Auto-tuning of Hybrid MPI/OpenMP Execution with Code Selection by ppOpen-AT, Proceedings of the 2016 IEEE In-

ternational Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop, pp.1488-1495, Chicago, USA, May 2016.

[査読付 4] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto, Auto-tuning on NUMA and Many-core Environments with an FDM code, The Twelfth International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2017) in conjunction with 31th IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS2017), Orlando, USA, May 2017, accepted.

[査読付 5] Hideyuki Usui, Saki Kito, Masanori Nunami and Masaharu Matsumoto: Application of Block-structured Adaptive Mesh Refinement to Particle Simulation, 7th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2017) in conjunction with International Conference on Computational Science 2017 (ICCS2017), Zurich, Switzerland, June 2017. (Procedia Computer Science), accepted.

その他の発表論文

[発表 1] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri and Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, GPU Technology Conference 2016, San Jose, USA, Apr. 2016

[発表 2] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-Tuning of Hierarchical Computations with ppOpen-AT, SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP16), Paris, France, April 2016.

[発表 3] 片桐孝洋，大島聡史，松本正晴：AT 研究動向と AT 専用言語 ppOpen-AT の最新機能の紹介，2016 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（HPCS2016），仙台，2016 年 6 月

[発表 4] 片桐孝洋，松本正晴，大島聡史 : 3 次元積層技術による高メモリバンド幅時代の自動チューニング〜FDM コードを例にして〜，2016 年並列/分散/協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ（SWoPP 松本 2016），松本，2016 年 7 月

[発表 5] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri and Masaharu Matsumoto: Auto-Tuning of OpenACC Using ppOpen-AT, International Supercomputing Conference 2016 (ISC'16), HPC in Asia Session, Frankfurt, Germany, June 2016

[発表 6] 松本正晴：計算科学におけるマルチスケールシミュレーション技術，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講演会，東京，2016 年 8 月

[発表 7] 片桐孝洋，松本正晴，大島聡史：高バンド幅メモリ環境における数値計算アルゴリズムの変革と自動チューニング技術，日本応用数理学会 2016 年度年会，北九州，2016 年 9 月

[発表 8] Masaharu Matsumoto: Development of Scientific Applications using Numerical Libraries in ppOpen-HPC, 1st International Symposium on Research and Education of Computational Science (RECS2016), Tokyo, Japan, Nov. 2016

[発表 9] 松本正晴，奥野喜裕：パルスレーザー駆動 MHD 発電に関する研究，第 2 回高エネルギー電磁ビームに誘起される放電とその工学的応用研究会，東京，2017 年 3 月

特記事項

[特記 1] ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理

量子力学固有値問題向けIC前処理の研究

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．計算機の発展に伴って，要求される解析の精度やモデルが複雑化し，結果として固有値解析の対象は大規模化している．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 法や Jacobi-Davidson 法がある．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，離散点毎に大規模な連立一次方程式を解く必要が生ずる．(図 1) これら連立一次方程式の係数行列は，1) 対角成分の絶対値が非対角成分と比較して小さい．あるいは正と負の対角成分が混在している，2) 不正定値である，3) 条件数が大きい，という悪条件な特徴を持つ可能性がある．悪条件な係数行列は計算誤差の増大や破綻を引き起こすため，大規模な問題を高速かつ安定に解けるソルバが必要である．

本研究では前処理付きクリロフ部分空間法を用いた上述の要件を満たすソルバの開発を行っている．係数行列の性質は悪条件であり，また疎行列であるため前処理付き CG 法が一つの候補として挙げられる．CG 法は反復法の一つであり，適した前処理との併用により収束性と安定性が向上するため，悪条件な問題に対処可能である．本稿では幅広い分野で採用され，その効果が確認されている，不完全コレスキー (IC) 分解に基づく前処理適用について考える．IC 分解は近似的な逆行列を求める手法であり，悪条件な問題に対しても比較的良好な収束性を示す．しかし，IC 分解を対角成分の絶対値が非対角成分と比較して小さい係数行列に適用した場合，計算精度の低下や分解破綻が発生する可能性がある．これらの問題が発生することを防ぐために，本研究では IC 分解前の係数行列へのブロック化と対角シフトによる正則化の適用を提案している．

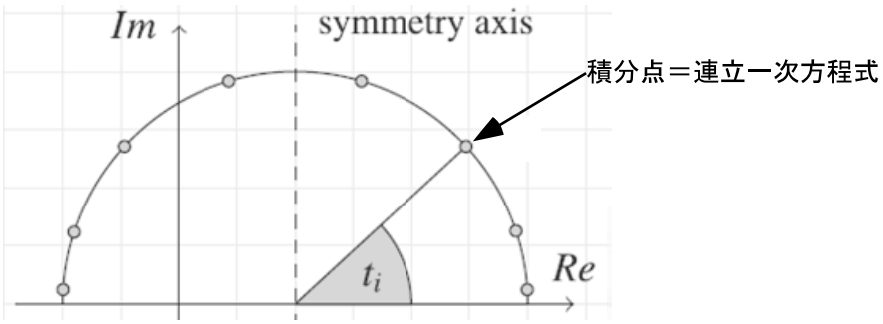


図 1: Sakurai-Sugiura 法または FEAST での離散的な線積分の例

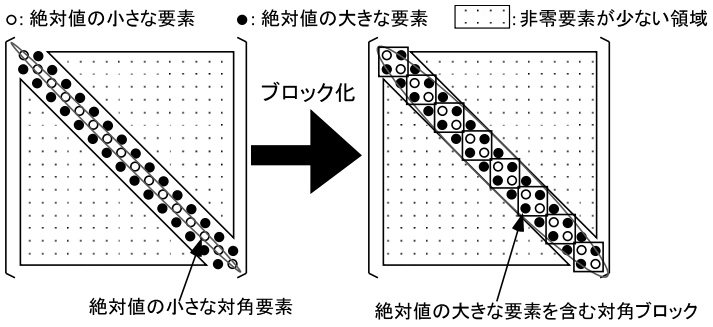


図 2: ブロック IC 分解での対角行列

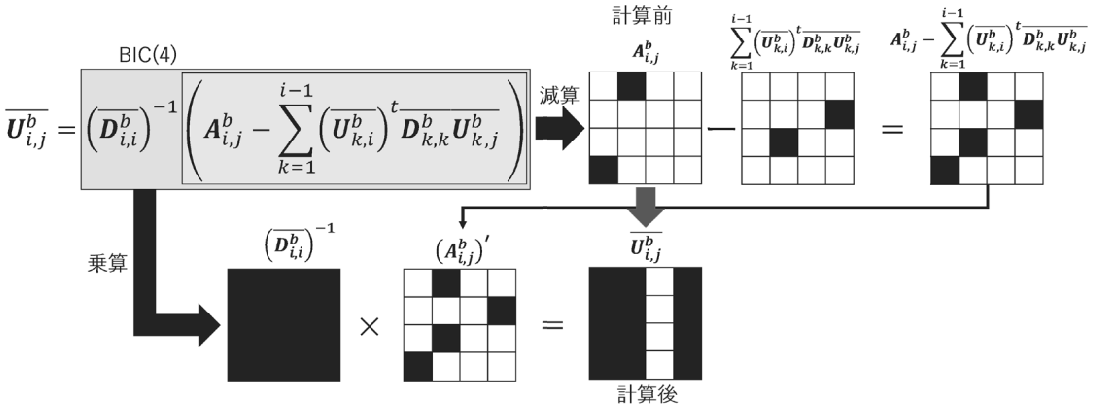


図 3: ブロック IC 分解での fill-in の発生プロセス

2 内容

本研究で IC 分解前処理に適用した正則化はブロック化および対角シフトの 2 手法である．

2.1 ブロック化

ブロック化では分解対象となる係数行列の部分行列をそれぞれブロックとして扱い，IC 分解を適用する．これにより対角成分の絶対値が非対角成分のそれより十分に小さい問題では，元の行列の対角成分に対して対角ブロックが相対的に大きくなる．図 2 に示すように，対角ブロックには元の行列の非対角成分が含まれるためである．ブロック化を適用した IC 分解ではブロック化を適用しない IC 分解と比較して精度低下，分解破綻が起こりにくく，ロバスト性が向上する．

また，図 3 に示すように，元のブロックが疎な行列の場合でも，除算および乗算の結果は比較的密な行列となる．この手順で示すような元の係数行列で 0 の位置に非ゼロ要素が入ることを Fill-in と呼ぶ．一般的に Fill-in を発生させることで IC 前処理付き CG 法の収束性はさらに改善する．ブロック化では Fill-in が多く発生するため，収束性の向上も期待できる．

2.2 対角シフト

対角シフトは元の行列の全ての対角成分に定数 (シフト量) を加算する手法である．これにより元の係数行列の対角成分が小さい場合でも計算誤差の低下や分解破綻を防ぐ事ができる．ただし，シフト量が大きい場合，元の行列と分解後の行列が乖離してしまうため，適度なシフト量を設定することが重要である．

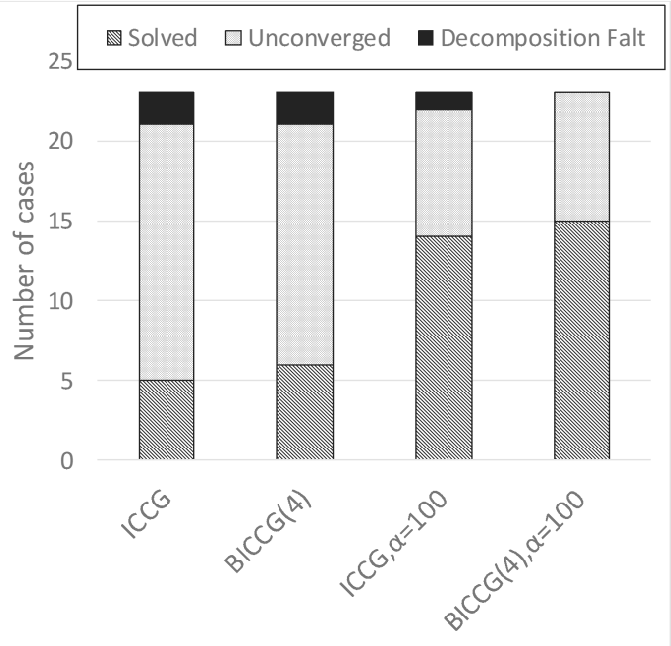


図 4: 正則化による効果

3 成果

量子力学の一般固有値問題から導出される連立一次方程式の問題 25 ケースに対して提案手法を適用した場合の評価結果を示す．図 4 に正則化を行わなかった場合，ブロックサイズ 4 のブロック化のみを適用した場合，$\alpha = 100$ の対角シフトのみを適用した場合，両方の正則化を適用した場合の結果を示す (それぞれを ICCG，BICCG(4)，$\alpha = 100.0$，BICCG(4),$\alpha = 100.0$ と表記)．グラフの下からそれぞれ解けたケース数，解けなかったケース数，分解破綻となったケース数を示している．正則化なしの ICCG では 5 ケースしか解けていないのに対して対角シフトの適用により，9 ケースの問題が解けている．さらにブロック化の適用で分解破綻を起こしていた問題が改善でき，最終的に 23 ケース中 15 ケースが解けることを確認した．解けなかったのはいずれも Spin の問題であった．これは spin の問題の係数行列は対角要素が正または負であるが，絶対値は非対角要素と比較して小さくなく，IC 分解による計算誤差の増加が少なかったためと推察する．

次に，ブロックサイズが 1(ICCG)，2，4，8，16，32 の場合と，シフト量 α が 1.0，10.0，100.0 の場合の全ての組み合わせ (18 通り) の収束までの反復回数を図 4 で解けた 15 ケースの問題で評価した．表 1 はその結果であり，収束までの反復回数が一番少なかった場合の結果と，その時のブロックサイズ，対角シフト量を示している．本結果から，比較的要素数の少ない問題ではブロックサイズを大きくした BICCG が最も効果的であり，要素数の大きな問題では対角シフトを適用した方が収束性が良いことがわかる．この傾向は対象の係数行列のバンド幅がいずれも大きい事に起因すると考えられる．要素数が小さい問題ではブロックサイズを大きくすることにより元の行列の 0 要素に対する Fill-in の割合が大きくなり，前処理行列が元の行列に近くなる．結果，同条件では対角シフトは逆効果となると推察する．一方で要素数の大きな問題ではブロック化を適用しても Fill-in 増加量が十分ではないため，計算精度を上げる対角シフトの効果が得られると考えられる．

表 1: 反復回数が最小の場合の正則化の条件

問題の種類	問題番号	要素数	反復回数	最適なブロックサイズ	最適な対角シフト量
Kohn-Sham	1	57,575	1795	**16**	**10.0**
	2	59,927	1105	**16**	**1.0**
	3	62,279	1087	**32**	**1.0**
	4	64,631	1356	1	**1.0**
	5	76,163	788	1	0.0
	6	57,575	686	1	0.0
Graphen	1	1,000	268	**16**	0.0
	2	10,000	671	**16**	0.0
	3	100,000	1335	1	**100.0**
	4	1,000,000	1335	**2**	**100.0**
	5	128	13	**32**	0.0
	6	256	28	**16**	0.0
	7	8,192	601	1	**100.0**
	8	32,768	1205	1	**100.0**
	9	131,072	2382	1	**100.0**

4 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 河合直聡，伊田明弘，岩下武史，中島浩 : XeonPhi 上での乗法シュワルツ-ブロック化多色順序付け GS 法を適用した SA-AMG の性能評価，日本応用数理学会 2016 年度年会，北九州，福岡，2016 年 9 月 12 日

[発表 2] 河合直聡，伊田明弘，中島研吾，悪条件問題に対する CG 法向け IC 前処理手法の改善，情報処理学会研究報告（HPC-158-9），日本情報処理学会第 158 回 HPC 研究会， 熱海，2017 年 3 月 8 日

次世代HPCシステムのための アーキテクチャ及び電力制御に関する研究

有間 英志

1 概要

本年度は，次世代 HPC システムのためのプロセッサ・メモリアーキテクチャ及び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 システムのためのプロセッサシミュレーション環境構築
- 次世代 HPC システムにおける電力制御に関する研究
- 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

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システムのためのプロセッサシミュレーション環境構築

2.1 背景

次世代 HPC システムのためのアーキテクチャ・コンパイラ開発を行う上で，これらの性能を適切に評価するためのプロセッサ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 システムのプロセッサ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。

2.2 内容

本年度は，これまで開発を進めてきた次世代 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，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。具体的には，次世代 HPC システム上等で動作するプログラムを解釈し，その命令通りに計算を行うエミュレーション機能のみをサポートするシミュレータに対して，アウト・オブ・オーダー処理系等，プロセッサ内部のマイクロアーキテクチャの動作も同時にシミュレーションできる様に改変を加え，プログラムの実行時間や実行時の各種リソースの利用状況をも解析できる様に拡張を行っている。さらには，当該シミュレータを用いたアーキテクチャ・コンパイラの性能評価も実施している。

2.3 具体的成果

上記シミュレータの拡張は，一部のベクトル命令を除いて正しく動作することが確認できおり，理化学研究所内の複数のグループ内にて，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ている。

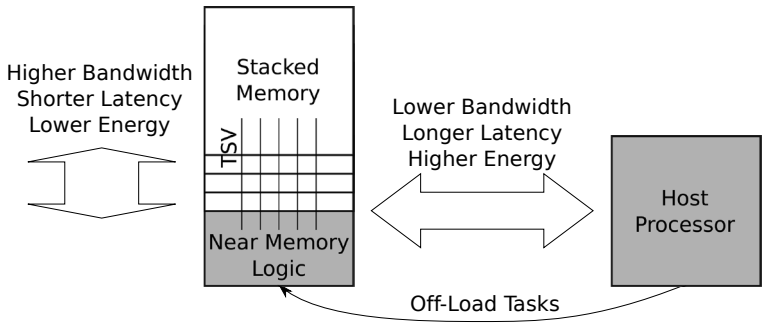


図 1: ニアデータプロセッシングの概念図

3 次世代 HPC システムにおける電力制御に関する研究

3.1 背景

次世代 HPC システムでは，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。これは，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計算機センターを配することは不可能であり，今後は，現在とほぼ同程度のオーダーの供給電力のもと，現在の 10〜30 倍の電力対性能を達成することが求められるためである。

3.2 内容

上記の背景のもと，次世代 HPC システムの電力制御技術に関する研究を進めている。本年度は，特にプロセッサコア内の性能・電力ノブと動作周波数の協調制御に着目し，研究を行った。

3.3 具体的成果

論文等が未発表であり，内容の詳細はまだ明らかにできないものの，前述のプロセッサシミュレーション基盤や既存の HPC システムを利用して評価を進めているところである。また，SC16 にてプロセッサベンダとのミーティングを行う機会が得られ，本研究内容及び電力評価ツール等を含めた今後の研究協力に関する議論を行った。

4 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

4.1 背景

近年の計算機システムにおいては，データ転送が性能・電力の両面からボトルネックとなる場面も多い。そこで，次世代 HPC システムのためのアーキテクチャ研究開発の一環として，メモリアクセスボトルネック解消のためのメモリアーキテクチャの最適化についても取り組んでいる。

このメモリアクセスボトルネックを解消する手段として，特にニアデータプロセッシングについて検討している。ニアデータプロセッシングとは，データの加工に関するシンプルな処理をメインメモリのそばのロジックにオフロードし，プロセッサとメインメモリ間のデータ転送数を減らすことを目的としたものである。そうすることで，データ転送にかかる性能・電力オーバーヘッドを削減できるだけでなく，無駄なデータ配置を削減できるためキャッシュの有効利用にもつながる。近年では，HMC や HBM といった三次元積層メモリが HPC システムにも利用され始めており，これら三次元積層メモリの最下層のロジックを利用することで，ニアデータプロセッシングが可能になると期待される。この，概念図を図 1 に示しておく。

一方で，2 つの異なるメモリからなるハイブリッドメインメモリに関しても次世代 HPC システムでは広く採用されると考えられる。ハイブリッドメインメモリとは，高速小容量のメモリと低速大容量の

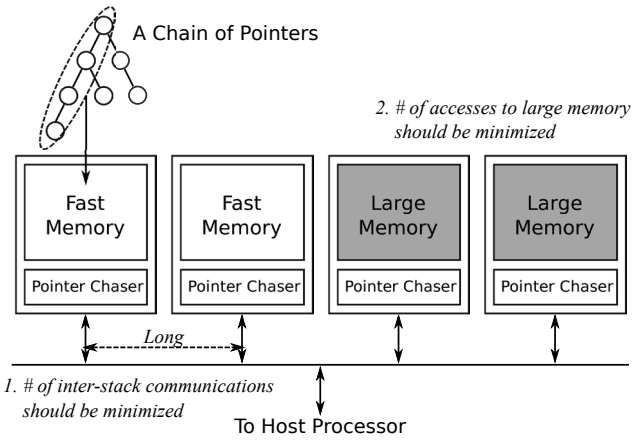


図 2: ハイブリッドメモリ上でのニアメモリロジックを用いたポインタ追跡

メモリからなるメインメモリである。高速小容量のメモリとして，前述の三次元積層メモリの利用が考えられ，低速大容量のメモリとして PCRAM 等の不揮発性メモリや既存の DIMM ベースの DRAM の利用が考えられる。例えば，東京大学情報基盤センターの Oakforest-PACS に代表される Intel 社の Knights Landing ベースのシステムではハイブリッドメインメモリが採用されている。

4.2 内容

この様な背景のもと，本研究では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について取り組んでいる。具体的には，まず三次元積層メモリのロジック層に低性能ではあるものの，非常に低電力な汎用プロセッサが搭載される状況を想定し，その際にハイブリッドメモリ間のデータ転送とリアレンジメント (ポインタアクセスを介する gather/scatter，マスク付きベクトルロード/ストア，ハードウェアを意識したデータ配置最適化等) を担当するスレッドを当該ロジック層にオフロードする状況を考えている。その前段階として，まず現在の HPC ベンチマークにおいてこの様なスレッドが効果的かどうかを検討している。具体的には当該スレッドの実装及び，メニーコアプロセッサ及びハイブリッドメインメモリを持つ Knights Landing ベースの HPC システム上での実証実験を行っているところである。

今後の方針としては，まずは当スレッドの実装を完了し，上記システム上で当スレッドの有効性を確認する予定である。さらには，当スレッドをメモリ側のプロセッサにオフロードした際の性能を見積もり，性能・電力を最適化するためのロジックの設計最適化についても考慮する予定である。加えて，データ転送・リアレンジメントを自動化するためのライブラリの作成についても検討しているところである。さらには，ホストプロセッサ側の DVFS 等電力・性能ノブへの影響も考慮し，これらを含めた電力・性能最適化についても検討する予定である。

以上は，メモリ側のロジックに汎用プロセッサが組み込まれる状況を想定したものであった。一方で，電力・熱を抑えるために特定の処理に特化したロジックが組み込まれる場合も考えられる。例えば，ポインタ追跡に特化したロジックが挙げられる。ポインタ追跡はリスト，ツリー，ハッシュ等のデータ構造を扱うアプリケーションに広く登場するタスクであり，プロセッサとメモリ間で非効率なデータ転送を行う代表的なものである。従って，この様なタスクをメモリ側のロジックにオフロードし，追跡結果のみをホストプロセッサ側に返すことができれば，性能・電力の両面で効果的である。しかし，図 2 に示す様なハイブリッドメモリ構成で，複数の積層メモリが存在する際には，積層メモリ間のデータ転送を最小化しつつ，高速メモリに多くのデータをヒットさせる必要があり，その様なデータ配置最適化について，オープンソースのプロセッサシミュレータを用いて検討しているところである。

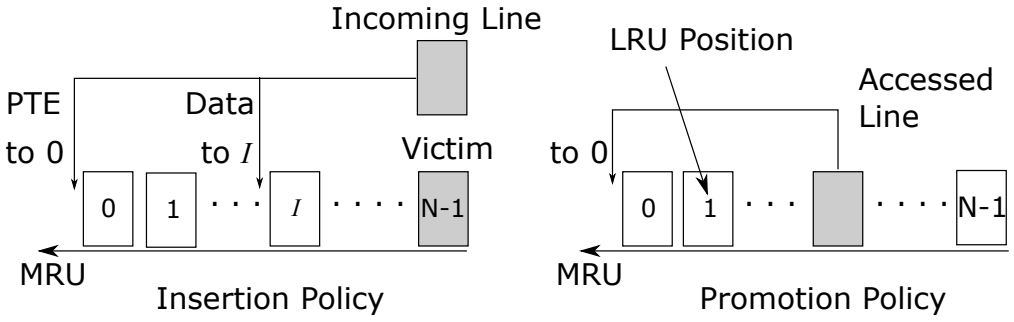


図 3: 提案アルゴリズム

4.3 具体的成果

ローレンス・リバモア国立研究所のセミナーにて，これまでの研究成果 [受賞 1]，及び当該研究テーマに関する今後の方針に関して発表を行った [発表 1]。さらに，本研究成果の概要に関しても国内研究会にて発表を行った [発表 2]。

5 大規模データ処理のためのキャッシュ階層最適化

5.1 背景

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，近年大きな注目を集めている。しかしながら，この様なアプリケーションを現在のコンピュータシステム上で効率良く実行することは困難である。これは，現状のメモリシステムはデータアクセスの局所性という性質に基づいて最適化されているものの，これらアプリケーションはデータクセスの局所性が低い上，広範囲なメモリ領域にアクセスするため，メモリシステムが効率良く動作しないためである。具体的には，これらのアプリケーション実行時にはキャッシュミス及び TLB ミスが頻発することが知られている。一部のアプリケーションでは，実行時間の約 50%をこの TLB ミスの解決に費やすという報告もなされている。

5.2 内容

そこで本研究では，データアクセスの局所性が低く，広範囲なメモリ領域にアクセスするアプリケーションを対象とし，これらのアプリケーションを効率良く実行するためのキャッシュ制御方式について検討している。具体的には，通常のデータアクセスと TLB ミス後に生じる PTE アクセスとを分類し，これらのメモリアクセス特性の違いに基づいて，キャッシュ配置の優先度を決めるというものである。より具体的には，PTE アクセスは通常のデータアクセスよりも高い局所性を持つが，キャッシュミスを引き起こす大量のデータアクセスによって再利用される前に追い出されるという観測に基づいており，PTE を保持するキャッシュラインが長時間キャッシュラインに残る様に，キャッシュリプレイスメントアルゴリズムを改変するというものである。

具体的なキャッシュリプレイスメントアルゴリズムを図 3 に示す。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 3 左)，Promotion Policy(図 3 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，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。

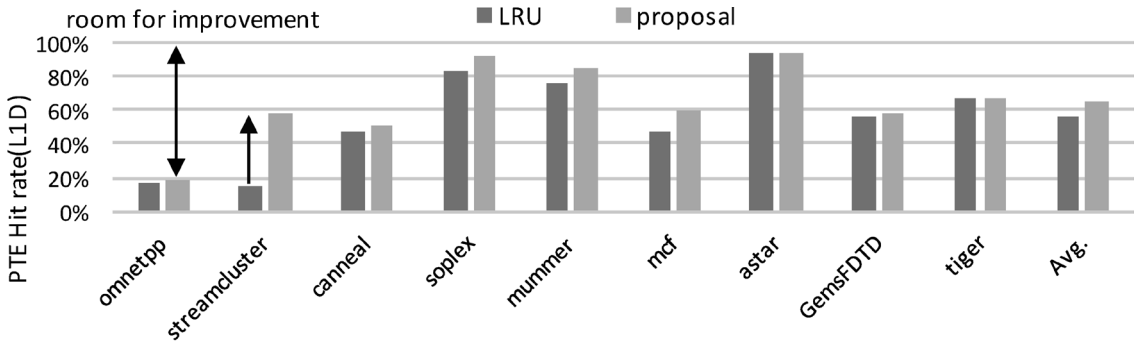


図 4: L1D キャッシュにおける PTE ヒット率

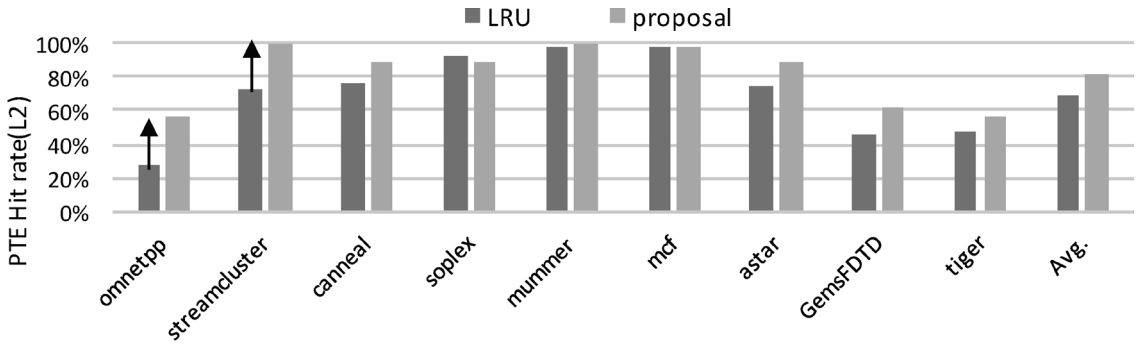


図 5: L2 キャッシュにおける PTE ヒット率

本アルゴリズムでは，Eviction Policy は通常の LRU アルゴリズムと同様に LRU スタック上で最下位のもの (LRU アルゴリズムでは最も長くアクセスされていないキャッシュライン) を選択する。一方，Insertion Policy では，キャッシュラインが PTE を保持するかどうかで挿入位置を変更する。具体的には PTE を保持する場合には，LRU スタック上の最上位に配置し (LRU アルゴリズムでは最近にアクセスされたキャッシュライン)，そうでない場合には，LRU スタック上で I 番目に挿入する。そうすることで，キャッシュミスを引き起こす可能性の高いデータをキャッシュから早く追い出すことができ，PTE を保持するキャッシュラインをより長時間キャッシュ上に配置し続けることができる。一方で，Promotion Policy では通常の LRU アルゴリズムと同様に PTE を保持するかどうかに関わらず，LRU スタック上の最上位に配置する。これは，1 度再利用されたキャッシュラインはその後何度もアクセスされる可能性が高いというデータアクセスの性質に基づいている。

この様に提案アルゴリズムはシンプルであるため，ハードウェアの変更量も少なく実用的である。具体的には，キャッシュタグに PTE を保持するかどうかを判別するビットを 1 ビット追加し，このビットに応じて挿入位値を変える様に，既存の Insertion Position 指定様のハードウェアに信号を入れるだけである。

検討したアルゴリズムをオープンソースのプロセッサシミュレータ上に実装し，既存の LRU ベースのアルゴリズムとの比較を行った。本アルゴリズムでは通常のデータを保持するキャッシュラインの挿入位値 I を最適化しておく必要がある。本評価では，評価したアプリケーションの幾何平均性能が最高になる様に I を選択している。

この評価結果のうち，一部を抜粋して図 4〜7 に示す。これらの図では横軸は実行したアプリケーションを示しており，縦軸はキャッシュヒット率 (図 4, 5 では PTE アクセス，図 6, 7 ではデータアクセスに限定) を示している。凡例は LRU と提案手法であり，図ではこれらの比較結果を示している。図 4 に示す様に，提案手法を適用することで，最大で 40%程度，平均で 10%程度 PTE を保持するキャッシュラインの L1D キャッシュ上でのヒット率を向上させることができている (図 5 に示す様に L2 キャッ

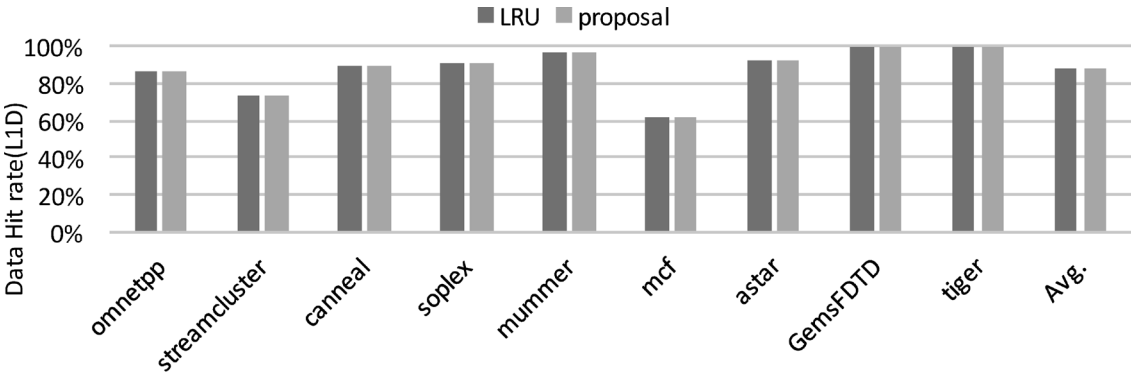


図 6: L1D キャッシュにおけるデータヒット率

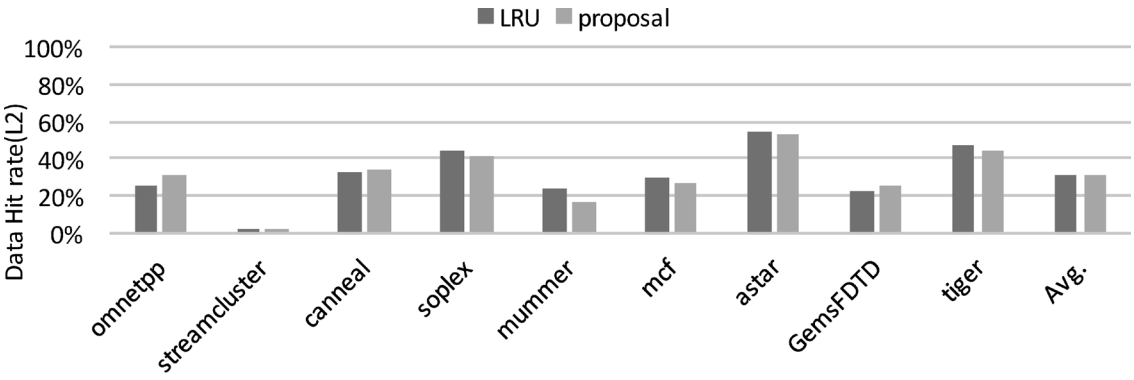


図 7: L2 キャッシュにおけるデータヒット率

シュ上では提案手法によって平均で 15%程度向上)。一方で図 6 に示す様に，通常のデータを保持するキャッシュラインについては L1D キャッシュ上でのヒット率は下がっていない (図 7 に示す様に L2 キャッシュも平均では同様である)。従って，再利用されるデータを犠牲にすることなく，PTE をキャッシュ上に優先的に配置できていることが分かる。結果として提案アルゴリズムを適用することで，数%の性能向上を確認している。

今後の課題としては，より洗練されたアルゴリズムを提案することである。図 4 に示す様に PTE のヒット率に関してはまだ改善の余地があり，よりアグレッシブに PTE をキャッシュに残す必要がある。より洗練されたアルゴリズムを開発することによって，データのヒット率を落とすことなく PTE のヒット率を大幅に改善できれば，より大幅な性能向上が可能であると考えている。そのための方法として，データの挿入位値 I をプログラムの実行フェーズに応じて適応的に調整する手法や，オペレーティングシステムを含めたソフトウェア側からの最適化も検討する予定である。

5.3 具体的成果

本研究成果は査読付き国際ワークショップ (BPOE-8@ASPLOS2017) に採択され，中国の西安にて発表を行った [査読付 1]。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]。

6 その他

6.1 業務関連

Oakleaf-FX，Reedbush-U 等スーパーコンピュータシステムの管理・運用業務への参加を行った。

6.2 兼業・社会貢献等

本年度 5 月より理化学研究所 計算科学研究機構の客員研究員を兼務している [特記 2]。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ベンダとのミーティングにも参加しており，必要に応じて提言を行っている。さらに，10 月以降はローレンス・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ている (collaborator: Dr. Schulz)[特記 3]。この様に国内外の研究機関とも連携して研究に取り組んでいる。

また，本年度より情報処理学会システム・アーキテクチャ研究会の運営委員を勤めており，研究会での座長等の運営業務にも従事している [特記 4]。また，国際会議 IEEE NVMSA2017 (The 6th IEEE Non-Volatile Memory Systems and Applications Symposium) のプログラム委員も勤めている [特記 5]。さらに，英語論文誌 IEICE Transactions on Information and Systems や情報処理学会論文誌 コンピューティングシステムの査読も多数行っている [特記 6, 特記 7]。

7 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 有間 英志: IPSJ 研究会推薦博士論文, 情報処理学会, 2016 年.

査読付論文

[査読付 1] Eishi Arima, Hiroshi Nakamura: Page Table Walk Aware Cache Management for Efficient Big Data Processing, *In Proceedings of the Eighth Workshop on Big Data Benchmarks, Performance Optimization, and Emerging Hardware (BPOE-8) (in conjunction with ASPLOS2017)*, Apr. 2017.

その他の発表論文

[発表 1] Eishi Arima: Revisiting Memory Systems for Energy-Efficient Supercomputers, *LLNL CASC Seminar*, Oct. 2016.

[発表 2] Eishi Arima: Near Memory Processing on Hybrid Memories, *IPSJ SIG Notes*, Vol. 2017-ARC-224, No. 33, pp. 1-4, Jan. 2017.

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] 理化学研究所, 計算科学研究機構, 客員研究員 (兼務), 2016 年 5 月-2018 年 3 月.

[特記 3] Visiting Scientist at Lawrence Livermore National Laboratory, Oct. 2016 - Oct. 2017.

[特記 4] 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 5] Program Committee Member of IEEE NVMSA2017.

[特記 6] Technical Reviewer of IEICE Transactions on Information and Systems.

[特記 7] 情報処理学会論文誌, コンピューティングシステム, 外部査読.

[特記 8] SWoPP 2016 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.5, 2016 年 9 月.

オープンソースCFDコードOpenFOAMの高度化

今野　雅

1　概要

本年度の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
  2015年度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(部会長:東京大学 片桐孝洋准教授(当時))の実用アプリケーション･クラウド課題として採択され実行した、Amazon EC2、Microsoft Azure、東京大学Oakleaf-FX、東京工業大学TSUBAME 2.5、計算科学振興財団FOCUSを対象としたOpenFOAMベンチマークテストを継続し、2016年度に運用が開始された最先端共同HPC基盤施設Oakforest-PACS、東京大学Reedbush-U、およびFOCUS F、Hシステムで計測を行なった。得られた成果については、シンポジウムや研究会で発表した[招待1, 招待2, 招待3, 招待4, 招待5]。

- OpenFOAMによる単体建物周辺流れLES解析の高速化
  筆者が委員として所属している日本建築学会の屋外空気環境小委員会・検証用ベンチマーク実施WGでは、単体建物、モデル街区及び実在市街地周辺の流れ場のLES解析を実施し、格子分割や乱流モデル等の各種計算条件の違いが解に及ぼす程度を系統的に把握し、LESによる市街地風環境の予測のためのガイドライン策定を目指している。LES解析は、従来より同WGで検討してきた定常RANS解析に比べ、非常に計算負荷が高いので、系統的なケーススタディを効率的に行うには計算の高速化が重要となる。同WGでは2017年度からReedbush-Uのグループコースを利用し、主にOpenFOAMを用いてケーススタディを行う予定であるので、Reedbush-U上でのOpenFOAMによるLES解析の高速化を検討した。

- OpenFOAM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に2015年度より新設された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とオープンCAE学会[特記1]共催のOpenFOAM講習会を今年度も担当した。2016年度は、東京大学情報基盤センターで終日の講習会を2回、名古屋大学情報基盤センターで午後半日の講習会を1回実施し、参加者は合計35名であった[特記2, 特記3]。

以下では、「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」と「OpenFOAMによる単体建物周辺流れLES解析の高速化」について記述する。

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

壁面摩擦速度とチャネル半幅によるレイノルズ数Re_τが110のチャンネル流を対象にベンチマークテストを行なった。本報では、格子数が約3Mおよび約24Mでの結果を示す。ベンチマーク対象のシステムの概要を表1に、2016年度に新たに測定したOakforest-PACS、Reedbush-U、およびFOCUS F、

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	CPU/GPU (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	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	Intel Xeon E5 -2695 v4 (2.1-3.3)	2 (36)	1210	256 (76.8 × 2)	Infiniband EDR(100)
	Oakleaf -FX	Fujitsu SPARC64 IXfx(1.848)	1 (16)	237	32 (85)	Tofu (40) ×双方向 ×10
東京工業大学	TSUBAME 2.5 S	Intel Xeon E5 -2670 (2.93-3.2)	2 (12)	1541	54 (32 × 2)	Infiniband QDR(40)
	TSUBAME 2.5 G	nVIDIA Tesla K20X (0.732)	3 GPU	1310 × 3	6 × 3 (150 × 3)	
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: 2016 年度新規計測システムでのソフトウェア・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
Oakforest-PACS(※ 1)	OpenFOAM-v1612+(※ 2)	Intel 2017.1.132	Intel 2017.1.132
Reedbush-U	OpenFOAM-2.3.0	Gcc-4.8.5	SGI MPT 2.14
FOCUS F, H	OpenFOAM-2.3.0	Gcc-4.8.3	OpenMPI 1.6.5

※ 1) 1 ノード 64 コア、I_MPI_PIN_PROCESSOR_EXCLUDE_LIST=0,68,136,204 の設定で実行した。

※ 2) WM_COMPILER=IccKNL の設定でビルドした。

H 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。既往測定システムでの計算条件の詳細は文献 [招待 5, 特記 4] を参照のこと。

以下では主に新たに計測したシステムの結果について述べる。図 1 に格子数 3M での各システムにおける 1 時間あたりのステップ数を示す。なお、Oakforest-PACS は flat モードであり、numactl のオプションが`--preferred=1` での結果である。4 ノード以下は FOCUS F が最速であり、6 ノード以上では Reedbush-U が最速であった。Oakforest-PACS は、5 ノード以下では Oakleaf-FX と Azure A9 との間の性能を示すが、6 ノード以上では性能が劣化し、32 ノードで飽和した。図 2 に並列化効率 (Strong scaling) を示すが、Reedbush-U は 16 ノードまで、FOCUS F と H は 8 ノードまでスーパースケールした。10GbE の FOCUS H は、16 ノード以上で急激に並列化効率が減少した。Oakforest-PACS は 5 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。

図 3 に格子数 24M での Oakforest-PACS、Reedbush-U、および FOCUS F、H システムにおける 1 時間あたりのステップ数を示す。なお、Oakforest-PACS は cache モードの結果である。2 ノード以下は FOCUS F が最速であり、4 ノード以上では Reedbush-U が最速となった。Oakforest-PACS は、1 ノードの性能は Reedbush-U と同等であったが、多ノードでは性能が劣化し、128 ノードで飽和した。図 4 に

並列化効率 (Strong scaling) を示すが、Reedbush-U は全ノード範囲でスーパースケールした。FOCUS F は概ねスケールしたが、FOCUS H はスケールしなかった。Oakforest-PACS は 5 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。今後は、より実務的な流れ場についてベンチマークテストを行う予定である。

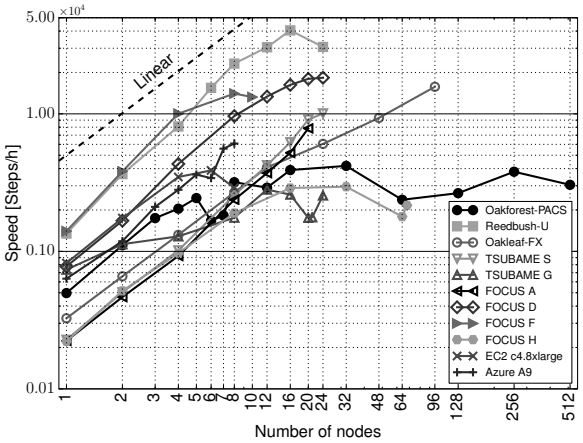


図 1: 格子数 3M チャネル流れの 1 時間あたりのステップ数

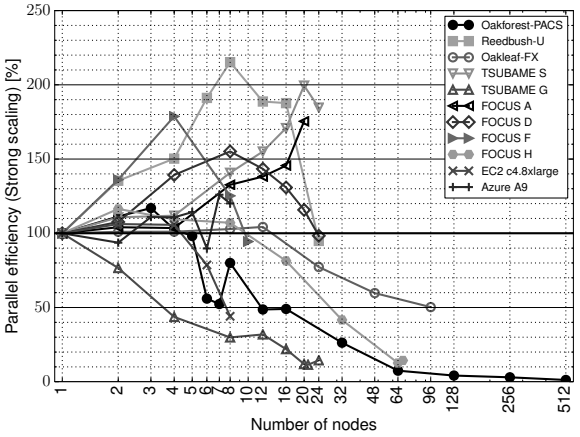


図 2: 格子数 3M チャネル流れの並列化効率 (Strong scaling)

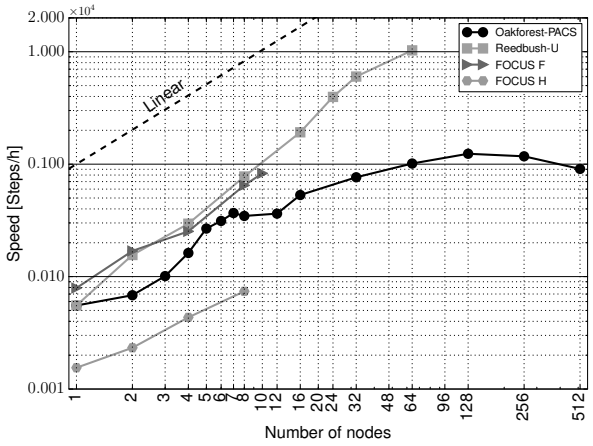


図 3: 格子数 24M チャネル流れの 1 時間あたりのステップ数

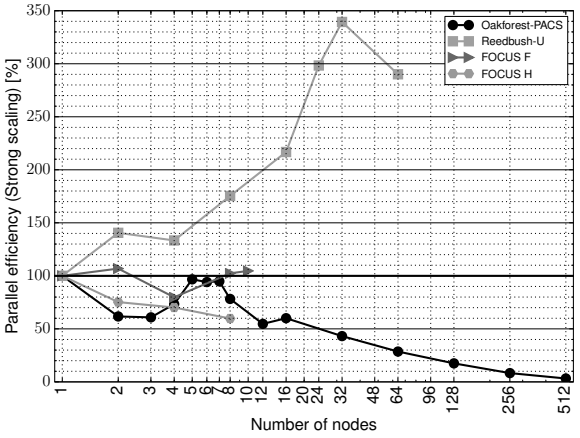


図 4: 格子数 24M チャネル流れの並列化効率 (Strong scaling)

3 OpenFOAM による単体建物周辺流れ LES 解析の高速化

圧力 Poisson 方程式に対する線型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 のプロセッサ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 通信のオーバーヘッド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 通信のオーバーヘッドを削減、または隠蔽することが重要であるが、Chronopoulos/Gear アルゴリズムではオリジナルの PCG と数学的に等価の範囲で計算順序を変更して、内積計算を一箇所に集めることにより、集団通信の回数を減らして通信のオーバーヘッドを削減している。また、Pipelined PCG および Gropp アルゴリズムによる PCG 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いる [1, 2]。

そこで、本報では東京大学 Reedbush-U における OpenFOAM を用いた単体建物周辺流れの LES 解析 [3] の高速化を目的として、圧力 Poisson 方程式に対する線型ソルバーとして PCG を用いた場合に

おける、MPI の集団通信のオーバーヘッドを削減するアルゴリズムを用いた PCG の検討を行なった。

また、本解析では浮動小数点として単精度演算を用いても、求める解析結果の精度として十分であるため、倍精度演算と単精度演算のケースでも検討を行なった。なお、非定常の LES 解析では、一般に乱流統計量として速度変動の分散の時間平均を漸化式を用いて更新するが、OpenFOAM の標準の時間平均値を求める関数 (fieldAverage) では、単精度演算で分散を求めると、丸め誤差の影響を強く受け、倍精度演算に比べ非常に精度が劣化する。このため、丸め誤差の影響を受けにくい Welford による分散算出の漸化式を用いるよう fieldAverage 関数を修正し、単精度演算での乱流統計量の算出精度を大きく向上させた。

表 3 に計算条件や検討ケースを示す。本報では圧力に対する線型ソルバとして、OpenFOAM に既に実装されているオリジナルの PCG と、今回独自に実装した Chronopoulos/Gear アルゴリズムによる PCG および Gropp アルゴリズムによる PCG を用いて、単体建物周辺流れ LES 解析のベンチマークテストを行なった。

表 3: 単体建物周辺流れ LES 解析の計算条件

計算機	東京大学 Reedbush-U
コンパイラ	Intel Compiler 2017.1.132
MPI ライブラリ	Intel MPI 2017.1.132
ソフトウエア	OpenFOAM v1606+
格子数	928,136
領域分割	simple 法 (1 ノードあたり 32 プロセッサ)
圧力線型ソルバ検討ケース	CG: オリジナルの PCG
	C-G: Chronopoulos/Gear アルゴリズムによる PCG
	Pipe-CG: Pipelined PCG
	Gropp: Gropp アルゴリズムによる PCG
圧力線型ソルバ共通条件	前処理: 高速対角不完全コレスキー (FDIC)、許容規準化残差: 10^{-6}
浮動小数点精度検討ケース	DP: 倍精度、SP: 単精度

1 時間あたりの解析ステップ数を図 5 に、並列化効率 (Strong scaling) を図 6 に、それぞれの具体的な数値を表 4 に示す。なお、単精度での Pipelined PCG は、反復の途中で残差の補正を行なっても収束しないケースが多かったので除外した。

2 ノード以下では、オリジナルの PCG が最速であるが、8 ノードおよび 16 ノードでは、Chronopoulos/Gear の PCG が最速となり、32 ノードでは両者が拮抗した。

非同期集団通信により内積の計算を行う Pipelined PCG や Gropp による PCG は倍精度演算では、並列化効率が向上しており、集団通信のオーバヘッド隠蔽の効果が見られる。しかし、本報で検討した範囲では、オリジナルの PCG や Chronopoulos/Gear の PCG より遅い結果となった。

単精度演算は倍精度演算に比べ、1 ノードでは 64〜107%と大幅に高速化されるが、32 ノード時では 5〜7%の高速化にとどまった。これは、多ノードでは MPI 通信のオーバヘッドが支配的であるためと考えられる。

今回の対象流れ場は格子数が 100 万弱と小さく、32 ノード (1024 プロセッサ) 時でも 1 プロッセッサあたりの格子数が約 900 と小さいため、これ以上のプロセッサ数での解析は効率が低く検討しなかったが、今後はより大きな格子数の問題を対象に、より広いプロセッサ数範囲で検討を行う予定である。

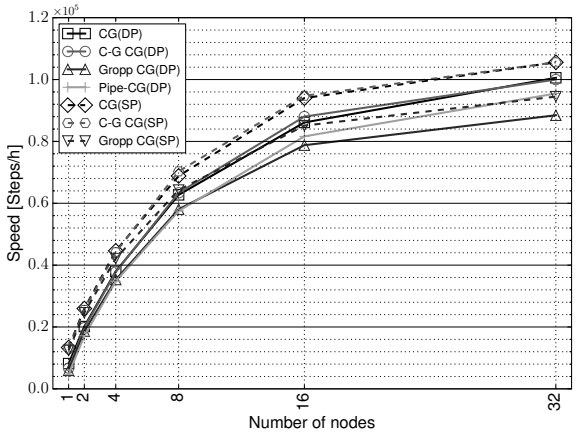


図 5: 単体建物周辺流れ LES 解析の 1 時間あたりの解析ステップ数

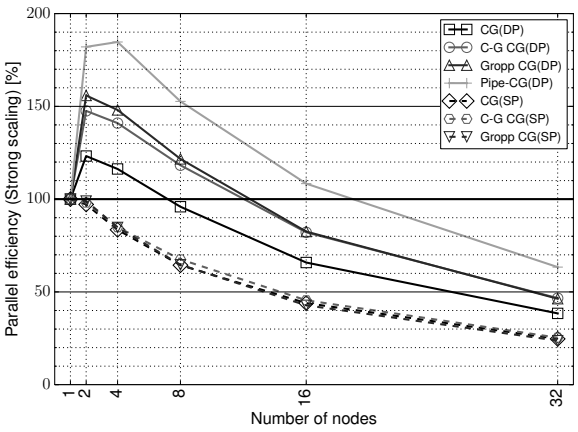


図 6: 単体建物周辺流れ LES 解析の並列化効率 (Strong scaling)

表 4: 単体建物周辺流れ LES 解析の 1 時間あたりの解析ステップ数 (× 10^4) と並列化効率 (Strong scaling)

ノード数 (プロセッサ数)	1 (32)	2 (64)	4 (128)	8 (256)	16 (512)	32 (1024)
CG(DP)	0.817	2.01 (123%)	3.80 (116%)	6.27 (95.9%)	8.61 (65.8%)	10.1 (38.4%)
C-G CG(DP)	0.670	1.98 (148%)	3.78 (141%)	6.34 (118%)	8.80 (82.1%)	10.0 (46.6%)
Gropp CG(DP)	0.597	1.86 (156%)	3.53 (148%)	5.81 (122%)	7.88 (82.5%)	8.85 (46.3%)
Pipe-CG(DP)	0.471	1.71 (182%)	3.48 (185%)	5.75 (153%)	8.16 (108%)	9.55 (63.4%)
CG(SP)	1.34	2.60 (97.2%)	4.46 (83.5%)	6.88 (64.4%)	9.40 (44.0%)	10.6 (24.7%)
C-G CG(SP)	1.30	2.55 (98.1%)	4.42 (84.9%)	7.03 (67.6%)	9.47 (45.5%)	10.6 (25.4%)
Gropp CG(SP)	1.24	2.46 (99.0%)	4.22 (84.8%)	6.43 (64.6%)	8.51 (42.8%)	9.45 (23.8%)

4 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 今野　雅: OpenFOAM の普及と産業利用での課題, スーパーコンピューティング技術産業応用協議会 HPC 産業利用スクール, 2016 年 5 月.

[招待 2] 今野　雅: FOCUS スパコンの OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテストについて, 計算科学振興財団 FOCUS スパコン利用説明会, 2016 年 5 月.

[招待 3] 今野　雅: オープン CAE 学会 V&V 委員会の活動, 日本計算工学会 HQC 研究会, 2016 年 6 月.

[招待 4] 今野　雅: OpenFOAM の概要と適用事例, 名古屋市工業研究所 オープンソースによる流体解析に関する講習会, 2016 年 7 月.

[招待 5] 今野　雅: 東京大学新スパコン Reedbush-U での OpenFOAM ベンチマークテストとオープン CAE 学会の紹介, 高度情報科学技術研究機構 第 4 回 OpenFOAM ワークショップ, 2016 年 12 月.

[招待 6] 今野　雅: OpenFOAM による撹拌槽解析, 化学工学会関東支部 最近の化学工学講習会 66, 2017 年 1 月.

著書／編集

[著書 1] 春日　悠, 今野　雅, 一般社団法人オープン CAE 学会編集: OpenFOAM による熱移動と流れの数値解析, 森北出版, 2016 年 6 月.

[著書 2] 化学工学会粒子・流体プロセス部会, ミキシング技術分科会著, 化学工学会編集: 最近の化学工学講習会６６ 多様化するニーズに応えて進化するミキシング，三恵社, 2017 年 1 月.

その他の発表論文

[発表 1] 渡部朱生, 大風 翼, 今野 雅, 石川 毅, 持田 灯, 小林宏康: CFD による防風フェンスがパイプハウス周辺の風速・圧力場に及ぼす緩和効果の検討, システム農学会 2016 年度春季大会 , 2016 年 5 月.

[発表 2] Hiroki Ono , Masashi Imano, Takamasa Hasama, Takeshi Kishida, Yoshihide Tominaga, Tsubasa Okaze: DATA STORING METHOD FOR LARGE EDDY SIMULATION OF FLOW AROUND A BUILDING, 11th International OpenFOAM Workshop, June 2016.

[発表 3] 渡部朱生, 大風 翼, 今野 雅, 石川 毅, 持田 灯, 小林宏康: CFD に基づくパイプハウス風上に設置した防風フェンスの効果の検討, 農業農村工学会全国大会, 2016 年 9 月.

[発表 4] 今野　雅: オープン CAE 学会によるオープンソース CAE 普及援, オープン CAE 学会オープン CAE シンポジウム 2016, 2016 年 11 月.

[発表 5] 大島聡史, 守歌, 今野　雅: 最新のスーパーコンピュータ向けプロセッサにおける OpenFOAM および OpenMPS の性能評価, オープン CAE 学会オープン CAE シンポジウム 2016, 2016 年 11 月.

特記事項

[特記 1] 2015 年 6 月よりオープン CAE 学会会長.

[特記 2] 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 57 回「OpenFOAM 入門」(2016 年 5 月), 第 64 回「OpenFOAM 入門」(2016 年 9 月), 第 73 回「OpenFOAM 初級 in 名古屋」(2017 年 3 月).

[特記 3] 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 57 回 (Vol.18, No.5, 2016 年 9 月), 第 64 回 (Vol.18, No.6, 2016 年 11 月).

[特記 4] 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 17 号, pp.258-264, 2016 年.

参考文献

[1] P. Ghysels, W. Vanroose: Hiding global synchronization latency in the preconditioned Conjugate Gradient algorithm, Parallel Computing, 40-7, pp.224-238, 2014.

[2] 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, 東京大学情報基盤センター年報, 第 17 号, pp.180-189, 2016 年.

[3] 小野浩己, 挟間 貴雅，岸田 岳士, 大風 翼, 富永 禎秀: LES のための風洞実験を再現した流入変動風の作成とその利用に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, pp.797-798, 2017.

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。

また、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「MPS 法の並列化および GPGPU 対応とそのフラストレーション系への応用」(課題番号 H28-Ca-0094) として採択されたもの

である。

本研究テーマで、現状の進捗の学会発表を行った [発表 2, 発表 3]。

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 1000 万サイト程度のべき相互作用イジング模型を例に計算テストを行なったが、1 ノードで数秒程度でエネルギー計算が可能で、小さいサイズでの比較では、厳密な計算と比較してほとんど誤差がないことがわかった。

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 H28-Cb-0026) として採択されたものである。

本年度には予備的な実装と計算結果を元に、学会発表を行った [発表 1]。

4 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 五十嵐亮, 伊田明宏: 長距離相互作用に対する近似を用いたモンテカルロシミュレーション, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 14aAE-6, 2016.

[発表 2] 五十嵐亮: MPS における低ランク近似と乱択アルゴリズムの導入, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 16aPS-72, 2016.

[発表 3] 森田: GPU を利用したテンソルネットワーク計算ライブラリの開発, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 16aPS-73, 2016.

PART 4

教育・サービス活動報告

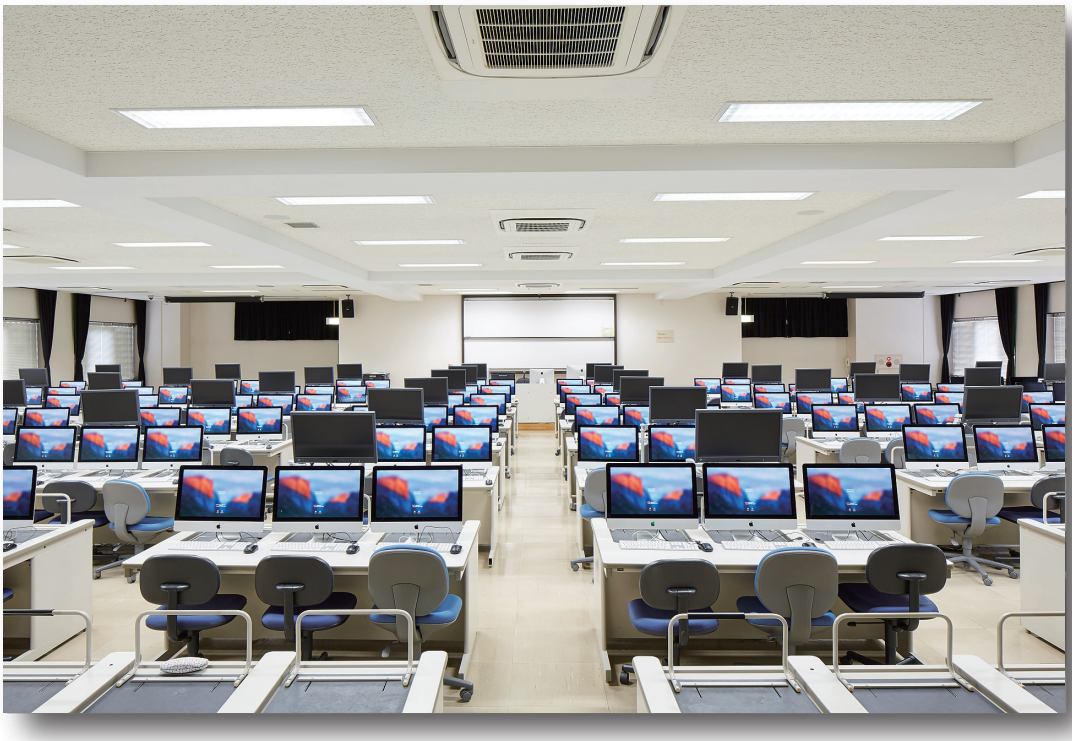
情報メディア教育

学術情報

ネットワーク

スーパーコンピューティング

情報メディア教育



教育用計算機システム iMac 端末（駒場情報教育棟大演習室 1）

情報メディア教育支援サービス
概要

部門長　柴山悦哉　　専門職員　中村昇平　　係長　石崎勉

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 27,000 名近くのユーザに対し、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、OS X 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 530 組織、17,000 名近く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 833 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 31 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 1,467 コースで利用された。また、今年度は e-learning 用の機能を強化し、ECCS 新規利用者用のオンライン講習会での利用も開始した。

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。

部局負担による携帯端末接続環境: 教育用計算機システムの携帯端末接続環境 (有線 LAN) と同様の機器を部局が自己負担で導入し、情報基盤センターが運用・管理することにより、ユーザ認証後にインターネットに接続できる環境を提供している。無線 LAN に関しては、utroam(年度途中から UTokyo WiFi へ移行) 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いる。

その他のサービス: 部局設置機器の管理代行、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。

2016 年度の主な更新は以下の通りである。

Mac 環境

2016 年 4 月 28 日

- iTunes 12.3.3
- OS X El Capitan 10.11.4
- デジタルカメラ RAW 互換性アップデート 6.19
- GarageBand 10.1.1
- Xcode 7.3
- Command Line Tools for Xcode 7.3
- Microsoft AutoUpdate 3.4.0
- Microsoft Outlook Update 15.21.1
- Microsoft PowerPoint Update 15.21.1
- Microsoft Excel Update 15.21.1
- Microsoft Word Update 15.21.1
- Microsoft OneNote Update 15.21.1
- Java 8 Update 91 build 14
- Flash 21.0.0
- Thunderbird 45.0
- Google Chrome 50.0
- ruby 文書追加
- Google Earth 7.1.5
- Remote Desktop Connection
- JMP12.2
    - ver11 はアンインストール
- octave
- imapsync
- gdb
- valgrind
- gpg

2016 年 6 月 9 日

- OS X El Capitan アップデート 10.11.5
- iTunes 12.4
- Xcode 7.3.1
- Command Line Tools(OS X 10.11) for Xcode 7.3
- GarageBand 10.1.2
- Keynote 6.6.2
- Numbers 3.6.2

- Pages 5.6.2
- iMovie 10.1.2
- Microsoft Remote Desktop 8.0.32
- Microsoft AutoUpdate 3.5.0
- Microsoft PowerPoint Update 15.22.0
- Microsoft Word Update 15.22.1
- Microsoft Excel Update 15.22.0
- Microsoft Outlook Update 15.22.0
- Microsoft OneNote Update 15.22.0
- Adobe Flash Player 21.0.0.242
- Adobe Acrobat Reader DC 2015.016.20041
- Firefox 45.1.1 esr
- Thunderbird 45.1.0
- GoogleChrome 51.0.2704.63
- ImageMagick 6.9.4-3
- XQuartz 2.7.9
- umask の変更（077）
    - ファイル権限 600 、ディレクトリ 700 。
- gdb 修正

2016 年 7 月 7 日

- ソフトウェアアップデート
- Microsoft PoewrPoint Update 15.23.2
- Microsoft Word Update 15.23.2
- Microsoft Excel Update 15.23.2
- Microsoft Outlook Update 15.23.0
- Microsoft OneNote Update 15.23.0
- Adobe Flash Player 22.0.0.192
- Firefox 45.2.0 esr
- Thunderbird 45.1.1
- GoogleChrome 51.0.2704.106
- XQuartz 2.7.86
- graphviz 2.38.0 ※新規インストール

2016 年 7 月 28 日

- ソフトウェアアップデート
    - Mac OS X 10.11.6
    - iTunes 12.4.2
- Office アップデート
    - Microsoft PoewrPoint Update 15.24.0
    - Microsoft Word Update 15.24.0
    - Microsoft Excel Update 15.24.0
    - Microsoft Outlook Update 15.24.0
    - Microsoft OneNote Update 15.24.0
    - Lync 14.4.1 Update
- Adobe Flash Player 22.0.0.209
- Thunderbird 45.2.0

2016 年 9 月 8 日

- ソフトウェアアップデート
    - iTunes 12.4.3
    - デジタルカメラ RAW 互換性アップデート 6.20
- Microsoft Remote Desktop 8.0.33
- Office アップデート

    - Microsoft AutoUpdate 3.6.0
    - Microsoft PowerPoint Update 15.25.0
    - Microsoft Word Update 15.25.0
    - Microsoft Excel Update 15.25.0
    - Microsoft Outlook Update 15.25.0
    - Microsoft OneNote Update 15.25.0
- Firefox 45.3.0 esr
- GoogleChrome 52.0.2743.116
- Java 8 Update 101
- Node.js 6.2.0 ※新規インストール
- Visual Studio code 1.4.0 ※新規インストール
- ROOT 6.06/02 ※新規インストール

2016 年 10 月 25 日

- ソフトウェアアップデート
    - iTunes 12.5.1
    - Safari 10.0
    - セキュリティアップデート 2016-001 10.11.6
    - Xcode 8.0
    - Microsoft Remote Desktop 8.0.35
- Office アップデート
    - Microsoft PowerPoint Update 15.27.0
    - Microsoft Word Update 15.27.0
    - Microsoft Excel Update 15.27.0
    - Microsoft Outlook Update 15.27.0
    - Microsoft OneNote Update 15.27.0
- Adobe Flash Player 23.0.0.185
    - Safari では、Flash Player がデフォルトで無効になる。
- Firefox 45.4.0 esr
- Thunderbird 45.4.0
- Google Chrome 54.0.2840.59
- Java 8 Update 111

2016 年 12 月 6 日

- ソフトウェアアップデート
    - iTunes 12.5.3
    - Safari 10.0.1
    - セキュリティアップデート 2016-002 10.11.6
    - iMovie 10.1.4
    - GarageBand 10.1.3
    - Xcode 8.1
    - Microsoft Remote Desktop 8.0.36
- Office アップデート
    - Microsoft AutoUpdate 3.8.16111001
    - Microsoft PowerPoint Update 15.28.16111501
    - Microsoft Word Update 15.28.16111501
    - Microsoft Excel Update 15.28.16111501
    - Microsoft Outlook Update 15.28.16111700
    - Microsoft OneNote Update 15.28.16111501
- Adobe Flash Player 23.0.0.207
- Firefox 45.5
- Thunderbird 45.5.1
- Google Chrome 55.0.2883.75
- Adobe Reader DC フォントパック追加

2017 年 2 月 6 日

- ソフトウェアアップデート
    - Command Line Tools(macOS El Capitan version 10.11) for Xcode 8.2
    - iTunes 12.5.5
    - Safari 10.0.0.3
    - Xcode 8.2.1
    - GarageBand 10.1.5
    - Microsoft Remote Desktop 8.0.37
- Office アップデート
    - Microsoft AutoUpdate 3.8.16120900
    - Microsoft PowerPoint Update 15.30.0(170107)
    - Microsoft Word Update 15.30.0(170107)
    - Microsoft Excel Update 15.30.0(170107)
    - Microsoft Outlook Update 15.30.0(170107)
    - Microsoft OneNote Update 15.30.0(170107)
- Adobe Flash Player 24.0.0.194
- Java 1.8.0_121-b13
- Firefox 45.7.0esr
- Thunderbird 45.7.0
- Google Chrome 56.0.2924.76

Windows 環境

2016 年 4 月 28 日

- Windows Update
- Office Update
- Firefox 45.0.2
- Thunderbird 45
- Google Chrome 50.0
- Flash 21.0.0
- JAVA 8 update92
- JMP12.2
    - ver11 はアンインストール

2016 年 6 月 9 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 2015.016.20041
- Adobe Flash Player 21.0.242
- Firefox 46.0.1
- Google Chrome 51.0.2704.63m
- Thunderbird 45.1.0
- Paraview
- Autodesk Factory Design Suite Ultimate 2017
    - 2016 はアンインストール
    - Inventor 2017 用累積的な修正プログラム適用

2016 年 7 月 7 日

- Windows Update
- Adobe Acrobat Reader DC 2015.016.20045
- Adobe Flash Player NPAPI 22.0.0.192
    - PPAPI 22.0.0.192
- Firefox 47.0
- GoogleChrome 51.0.2704.106m
- Thunderbird 45.1.1
- デスクトップにショートカット「3ds Max 2017 - 図形科学」作成

2016 年 7 月 28 日

- Windows Update
- Adobe Acrobat Reader 15.017.20050
- Adobe Flash Player NPAPI 22.0.0.209、PPAPI 22.0.0.209
- Firefox 47.0.1
- Thunderbird 45.2.0

2016 年 9 月 8 日

- Windows Update
- Adobe Acrobat Reader DC 2015.017.20053
- Adobe Flash Player NPAPI 22.0.0.209 / PPAPI 22.0.0.209
- GoogleChrome 52.0.2743.116m
- Java 8.0.101.13
- Node.js 6.5.0 ※新規インストール

2016 年 10 月 25 日

- Windows Update
- Adobe Acrobat Reader DC 15.020.20039
- Adobe Flash Player NPAPI 23.0.0.185、PPAPI 23.0.0.185
- Firefox 49.0.1
- Chrome 54.0.2840.59m
- Java 8.0.1110.14
- ThunderBird 45.4.0
- Grasshopper 0.9.76.0 ※追加
- @risk Decision Tools Suite7.5 ※追加

2016 年 12 月 6 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 15.020.20042
    - フォントパック追加
- Adobe Flash Player 23.0.0.207
- Firefox 50.0.2
- ThunderBird 45.5.1
- GoogleChrome 55.0.2883.75m

2017 年 2 月 6 日

- WindowsUpdate
- Adobe Acrobat Reader DC 15.023.20056
- Adobe Flash Player NPAPI 24.0.0.194 PPAPI 24.0.0.194
- Java 8.0.1210.13
- Firefox 51.0.1
- ThunderBird 45.7.0
- Google Chrome 56.0.2924.76

リモートアクセス環境

2016 年 7 月 28 日

リモートアクセス環境および SSH サーバについて ECCS 端末（Mac 環境）に準ずる内容でシステム更新を実施

2017 年 2 月 28 日

- ソフトウェアアップデート
    - RemoteDesktop クライアントアップデート 3.9
    - GarageBand 10.1.6
- Adobe Flash Player 24.0.0.221

- Thunderbird 45.7.1
- Google Chrome 56.0.2924.87

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りよう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センター主催が基本であるが、部局からの依頼による出張講習会も実施している。

2016 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		駒場地区		柏地区	
	福武ホール		情報教育棟		柏図書館	
	開催数	受講者数	開催数	受講者数	開催数	受講者数
4 月	40	803	12	217	4	49
5 月	38	92	6	12	1	6
6 月	44	50	4	7	1	11
7 月	40	31	3	2		
8 月	31	9	2	5		
9 月	38	227	3	36		
10 月	38	154	4	8		
11 月	40	11	2	0		
12 月	36	9	0	0		
1 月	36	3	0	0		
2 月	40	2	0	0		
3 月	44	0	0	0		
合計	465	1391	36	287	6	66

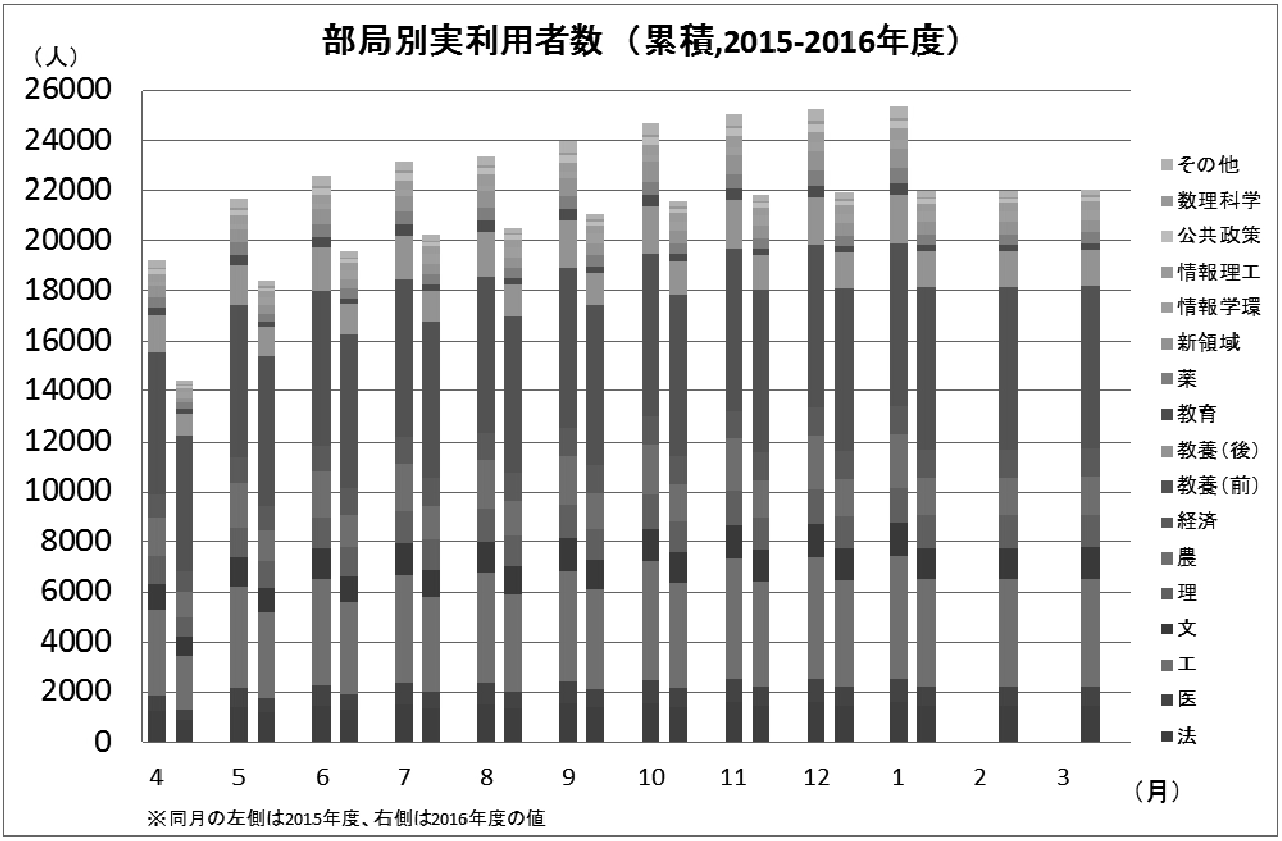
表 2. 部局依頼による出張講習会

開催日	依頼部局	対象者	受講者数
4 月 1 日	情報学環	情報学環新入生	33
4 月 1 日	法科大学院	法科大学院新入生	209
4 月 4 日	公共政策大学院	公共政策大学院新入生	79
4 月 22 日	柏図書館	新入生	35
4 月 26 日	柏図書館	新入生	14
5 月 31 日	柏図書館	新入生	6
6 月 8 日	柏図書館	新入生	11
9 月 14 日	国際センター駒場オフィス	PEAK/GPEAK 新入生	142
9 月 21 日	公共政策大学院	公共政策大学院新入生	55

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、2016 年度(各月右側)と 2015 年度(同左側)を載せてある。



注)2016 年 2, 3 月分は ECCS2016 移行中につきデータ無し。

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。

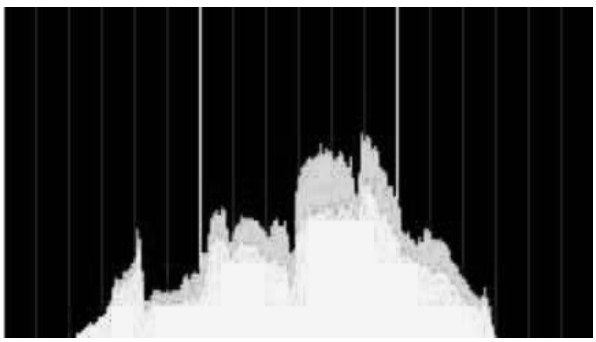


図 2. 駒場情報教育棟 1F 自習室 (124 台)

図 3. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 1 (165 台)

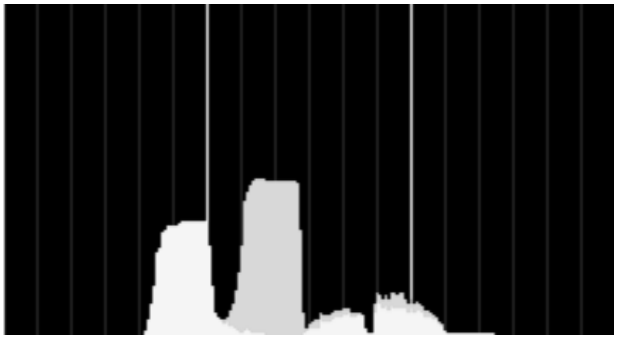


図 4. 駒場情報教育棟 3F 大演習室 2 (135 台)

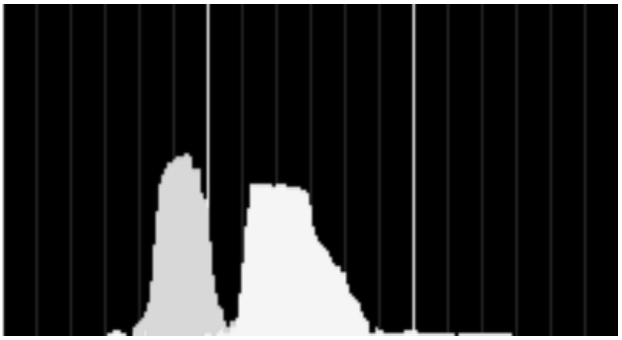


図 5. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 3 (108 台)

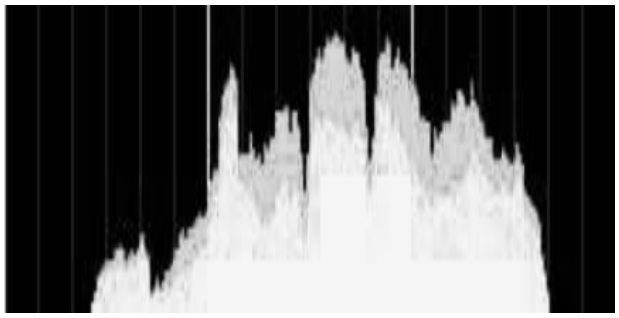


図 6. 駒場図書館 1F メディアパーク (58 台)

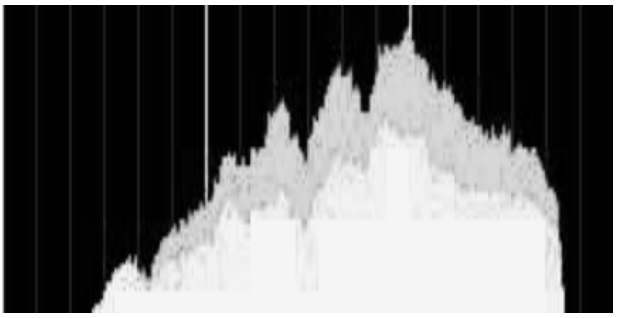


図 7. 総合図書館 2F,3F メディアプラザ 2,3 (69 台)

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	273	288	559	37	664	61	204
5 月	193	161	199	15	210	33	113
6 月	203	71	163	18	133	30	156
7 月	170	87	137	11	116	31	116
8 月	101	126	128	24	57	27	84
9 月	151	122	253	10	163	30	127
10 月	214	116	208	9	263	37	99
11 月	165	52	153	8	74	12	62
12 月	165	38	105	8	77	14	47
1 月	115	47	93	6	60	16	33
2 月	106	58	77	12	74	18	83
3 月	118	183	160	3	106	68	242
合計	1,774	1,349	2,235	161	1,997	377	1,366

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

2016 年度は ECCS2012 システムから ECCS2016 システムへの更新があり、学内組織向けメールサーバも 2016 年 8 月 18 日に機器更新を行い運用を開始している。製品は引き続き MailSuite を利用している。

第 54 回情報メディア教育専門委員会(2016 年 7 月 5 日)にて利用負担金の改定が審議され、利用負担金はそのままで、1 口あたり 1GByte が承認され、2016 年 8 月 18 日のメールサーバのシステムの移行作業から適用された。

2016 年 8 月 18 日のメールサーバのシステム移行では、この他に国別認証制限、多要素認証ログイン機能が付加された。

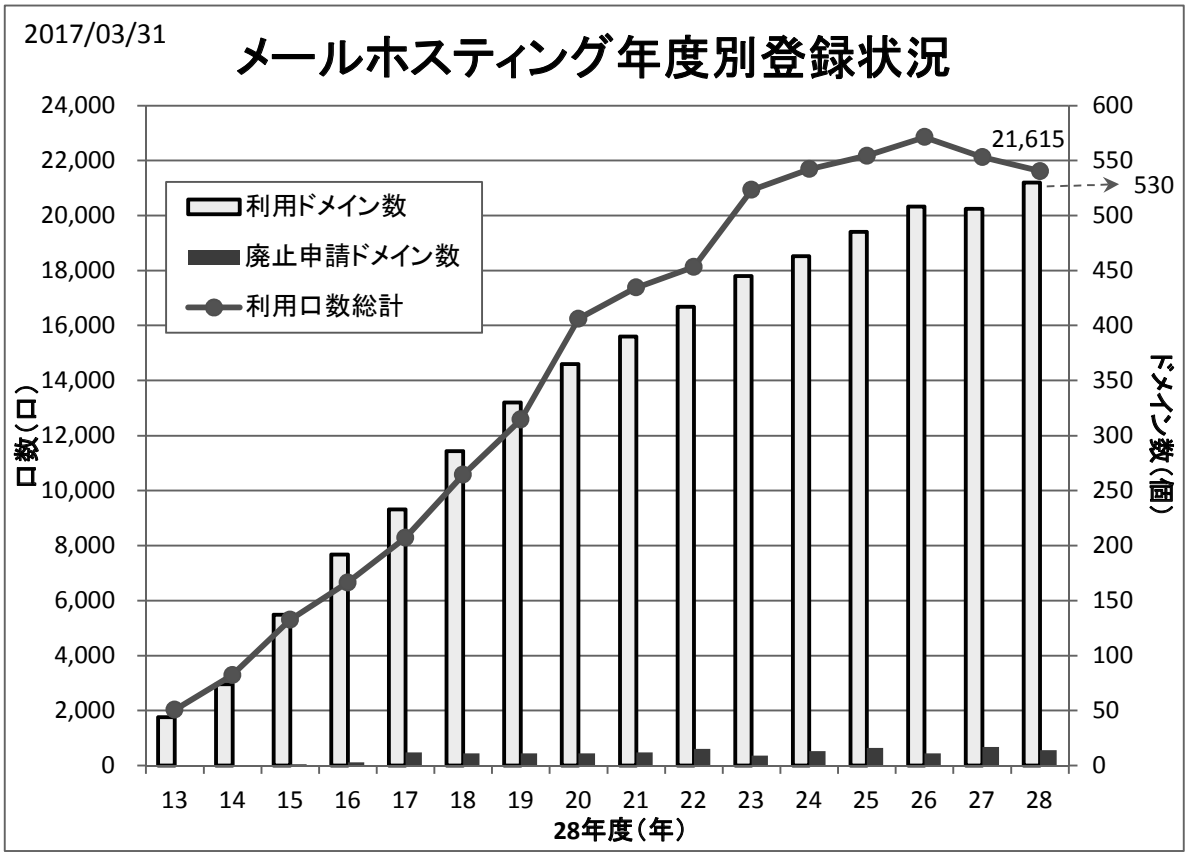
第 55 回情報メディア教育専門委員会（2016 年 10 月 3 日）にて、メールホスティングサービスで提供していた利用負担金免除制度は、2016 年度分までを以て終了となった。特例措置として、2016 年度分のメールホスティングサービス負担金免除が承認されている組織は 2017 年度分まで利用負担金免除申請が可能となった。

2017 年 3 月 4 日、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、3 月 6 日 17 時 10 分に復旧した。

この他、2016 年 7 月 7 日、2017 年 3 月 28 日にメールサーバのシステム更新を行った。

2　参加組織

2016 年度末時点において、本サービスを利用している組織は、530 組織であり、それらの申し込み口数の合計は 21,615 口である。2015 年度末に比べ、24 組織増加、510 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。

2016 年
- 4 月　4 日　【MailSuite】メールの転送設定方法
- 4 月　19 日　メールサーバへの暗号化通信に関する制限について
- 6 月　13 日　メールホスティングの廃止手続き
- 6 月　30 日　7/7 システムメンテナンスに伴うサービス一時停止について
- 7 月　6 日　利用負担金の改定について
- 7 月　6 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　16 日　8/18 メールでの問い合わせ対応業務の一時停止
- 8 月　18 日　メーリングリストの利用は口数を消費しますか？
- 8 月　18 日　ドメイン管理インタフェースの利用方法について
- 8 月　18 日　学内組織向けメールサーバのシステムの移行について【終了】
- 8 月　19 日　【MailSuite】メールボックス容量の超過について
- 8 月　24 日　メールシステム移行後の Gmail での送受信について
- 8 月　24 日　国別認証制限の設定について
- 8 月　31 日　【管理者向け】MailSuite マニュアル
- 9 月　6 日　Web ファイル機能について
- 9 月　6 日　【MailSuite】メールの受信が、ある時点から途絶える

10 月　6 日　ドメイン管理インタフェースへのアクセス法の変更
10 月　6 日　DNS 障害による一部サービスの停止について
10 月 11 日　ネットワーク障害による通信遅延【復旧】
10 月 21 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 10 日　【ドメイン管理者ログイン向け】多要素認証でのログイン方法
11 月 10 日　【ユーザーログイン向け】多要素認証でのログイン方法
11 月 11 日　多要素認証機能の利用方法
11 月 15 日　ECCS を騙るフィッシング詐欺について
11 月 16 日　【重要】負担金免除制度の廃止について
11 月 25 日　フィッシングメールに対する注意喚起 (2016 年 11 月)
11 月 28 日　メールヘッダの確認方法
11 月 26 日　ドメイン管理インタフェースへのアクセス法の変更
12 月 28 日　フィッシングメールに対する注意喚起 (2016 年 12 月)

2017 年
1 月 10 日　本郷－駒場間回線工事による ECCS 利用不可について
1 月 19 日　一部の拡張子を持つ添付ファイルの送受信禁止について(追加)
1 月 19 日　一部の拡張子を持つファイルを含む ZIP ファイルの送受信禁止について
3 月　3 日　メール送信およびドメイン管理インターフェイスログインの不具合【復旧】
3 月　6 日　[終了] ECCS 及び MailHosting のサービス障害 2017 年 3 月 4 日
3 月　8 日　利用申請システムの停止について【3/7-3/9】
3 月 24 日　メール送信サーバの更新作業について

学内組織向けDNSホスティング運用報告

教育本郷チーム　　教育駒場チーム

1　経過

2016年10月6日と11月10日、2017年1月23日と2月27日にシステムのバージョンアップを行った。

2　参加組織

2016年度末時点において、31組織が利用中である。2015年度末との組織数に変化はない。

3　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

2016年
10月　6日　更新サーバの一時停止
11月　10日　更新用サーバの一時停止

2017年
1月　10日　本郷－駒場間回線工事によるECCS利用不可について
1月　17日　更新用サーバの一時停止
2月　24日　更新用サーバの一時停止

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 月からは、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 (WEB PARK 2014) へと変更した。

WEB PARK 2014 は導入から 3 年が経過することから、次期 WEB PARK (WEB PARK 2017) サービスの調達手続きを行い、調達の結果、現サービスと同じサービスを引き続き利用することとなった。

(利用者アンケート)
次期 WEB PARK サービスに求める機能等について、2016 年 3 月 22 日から 4 月 12 日まで利用者アンケートを実施した。

(仕様の検討)
WEB PARK 2017 仕様策定委員会を設置、仕様書の作成を行った。仕様策定委員会は、2016 年 4 月 25 日、5 月 19 日の 2 回、開催した。

(入札公告)
2016 年 6 月 6 日　入札の官報公示

(入札)
2016 年 7 月 28 日　応札締め切り

(技術審査)
WEB PARK 2017 技術審査委員会を設置し、提案について審査を行った。技術審査委員会は、2016 年 8 月 1 日に開催した。

(開札)
2016 年 8 月 23 日　さくらインターネット株式会社が落札した。

(納入)
2017 年 2 月 1 日　WEB PARK 2017 サービスを開始した。

2　サービス統計

2016 年度に利用を開始した組織数は 63、利用を中止した組織数は 47 であった。2017 年 3 月末現在の総利用組織数は 833 である。利用組織数の変化を図 1 に示す。

2016 年 7 月 5 日行われた第 54 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 3 組織 (2 組織は継続、1 組織は新規) について制度の適用が認められた。

なお、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、今年度をもって終了となった。ただし、現サービス利用者については、専門委員会の承認を経て 2017 年度への継続利用について可能とする。

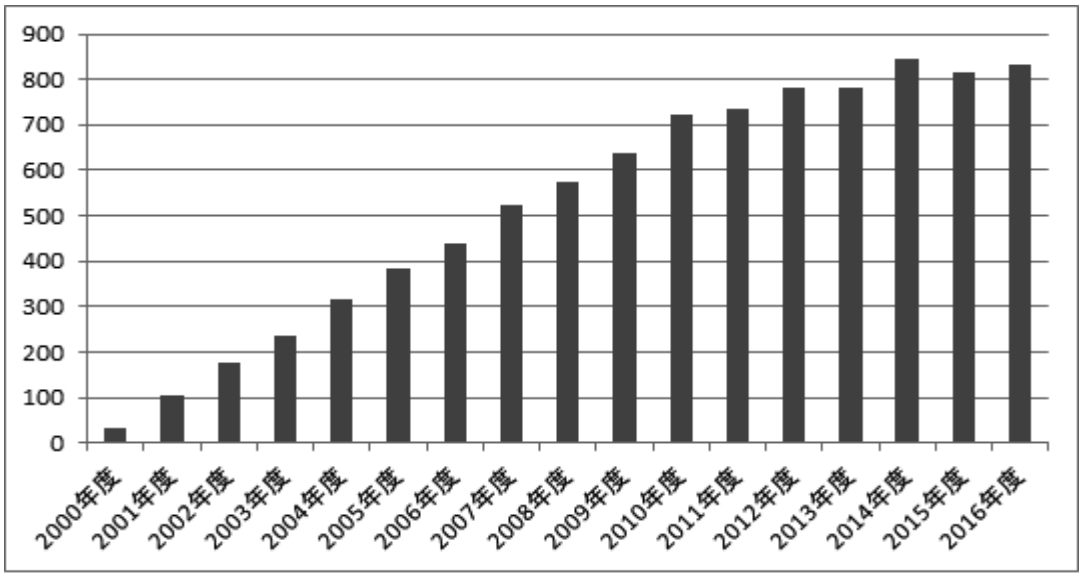


図 1. 利用組織数の遷移

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	5
工学系研究科/工学部	232
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	126
経済学研究科/経済学部	32
総合文化研究科/教養学部	112
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	3
新領域創成科学研究科	91
情報理工学系研究科	24
情報学環・学際情報学府	2
その他	100

表1. 部局別利用組織数

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)を提供してる。

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。
2016 年度は本郷遠隔講義室は 57 回、駒場遠隔講義室は 10 回、MCU 25 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。
2016 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。
2016 年度は 9 件の貸出を行った。

2　サービス統計

2016 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。

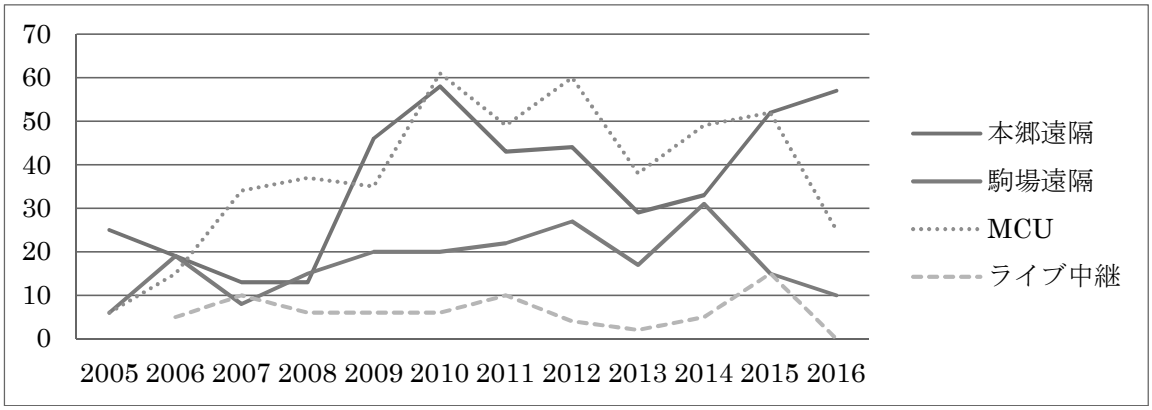


図 1.遠隔講義支援サービス利用数経年変化(2005-2016)

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。

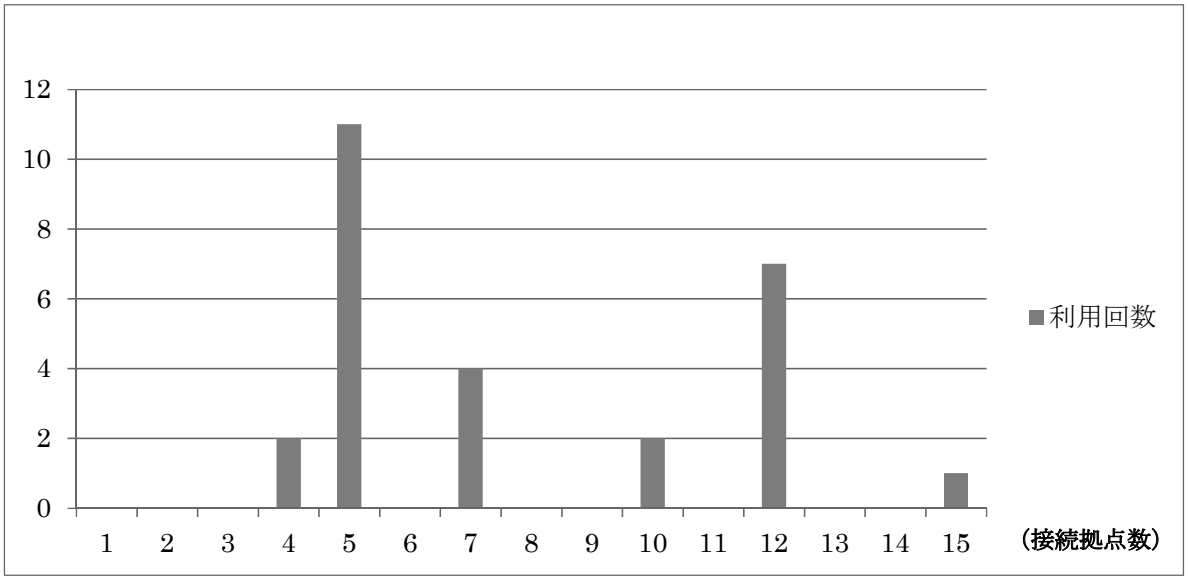


図 2.MCU 接続拠点数別利用頻度(2016)

3　その他

関連 URL　http://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 (UTask-Web・UT-mate) で登録された講義をコースとして自動登録する。登録したコースを教員は、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、通知機能などの機能を提供している。ITC-LMS の利用は、UTokyo Account を使用する。

2　運用報告

ITC-LMS の主な機能は上記の通りである。2016 年度はスマートフォン対応を行うなど、利用者の利便性向上作業を行った。また、ITC-LMS のテスト機能を使用した「ECCS 新規利用者講習」を開始した。

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。2016 年度の開催日時は以下の通り。

2016 年 9 月 12 日 (月)	13:30 〜 15:00	駒場 : 情報教育棟 3 階　大演習室 2
2016 年 9 月 13 日 (火)	13:30 〜 15:00	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 1
2017 年 3 月 22 日 (水)	13:30 〜 15:00	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 2
2017 年 3 月 24 日 (金)	15:10 〜 16:40	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。

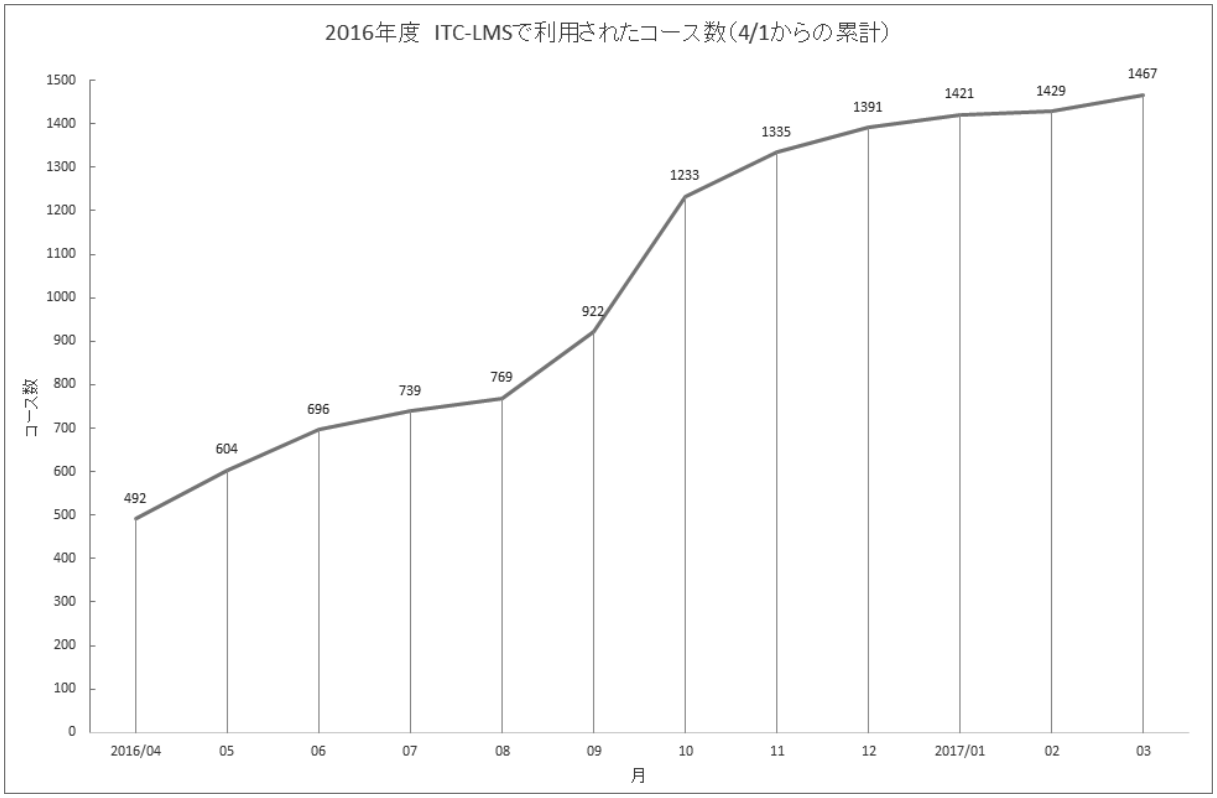


図 1. ITC-LMS 利用されたコースの総数

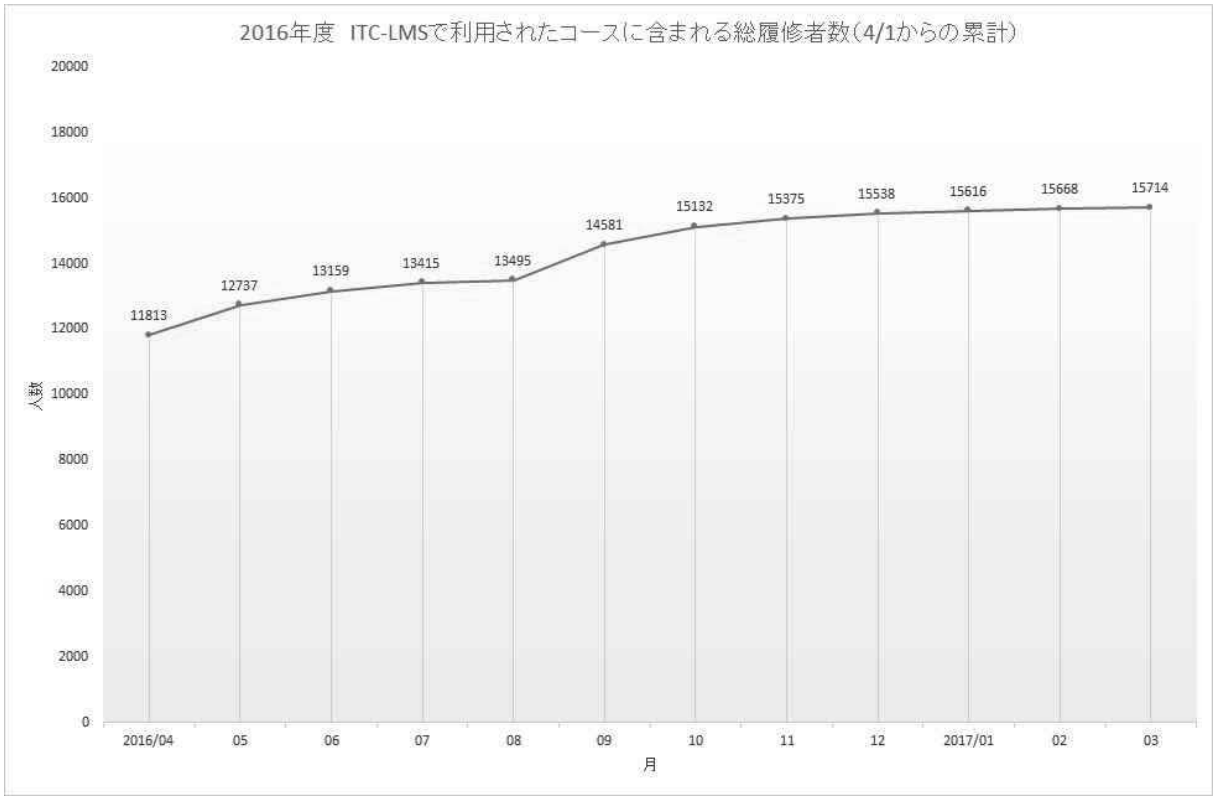


図 2. ITC-LMS 利用されたコースに登録されている学生数の総計

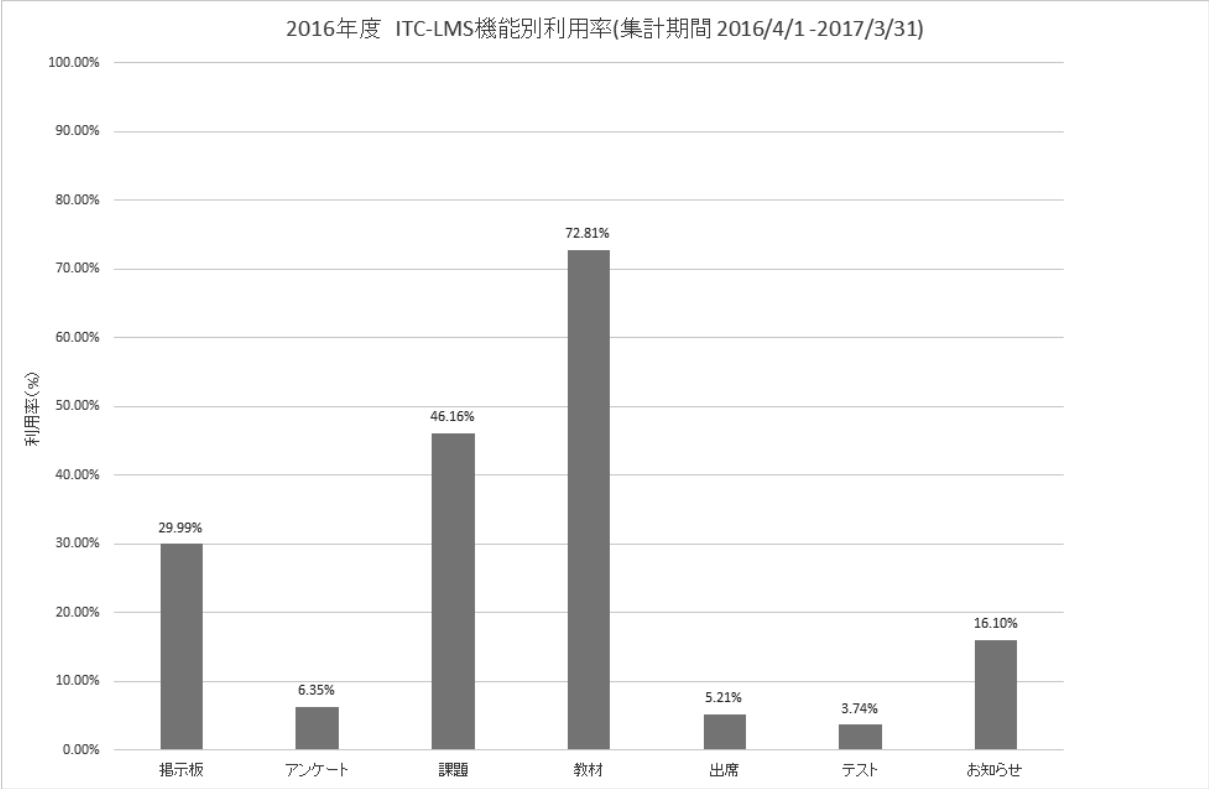


図 3. ITC-LMS 機能別利用率(2015 年度)

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。

教養学部(前期課程)	703
教養学部	223
総合文化研究科	105
工学部	65
法学部	55
公共政策学教育部	52
工学系研究科	41
法学政治学研究科	39
文学部	31
理学部	25
学際情報学府	23
農学部	18
経済学部	15
人文社会系研究科	12
情報理工学系研究科	9
農学生命科学研究科	7
教育学部	6
理学系研究科	6

新領域創成科学研究科	4
経済学研究科	3
医学系研究科	1
教育学研究科	1
数理科学研究科	1

表 1. 2016 年度に利用されたコース数の組織別分布

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 10、合計口数は 245 である。

利用月	部局	口数	内容
4 月	総合文化研究科	20	東京都高校生物教員向け統計学入門研修会「R で学ぶ生物統計学入門」
5 月	柏図書館	6	平成 28 年度柏図書館情報リテラシー教育業務に係る講習会
6 月	経済学研究科	31	経済学実験
8 月	情報理工学系研究科	56	情報処理学会２０１６年度教員免許更新講習
8 月	大気海洋研究所	50	過去モデル講習会
11 月	本部人事部	9	平成 28 年度コンピュータネットワーク研修
12 月	教養学部	15	国際生物オリンピック派遣高校生の生物統計の特訓
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）　217 件

4　AP 提供サービス

東京大学全学無線 LAN サービス（utroam）AP 提供サービスによる無線アクセスポイント提供数は 58 台で、その内訳は以下の通りである。ただし教育学研究科については、耐震補強工事による一時撤去により、今年度の稼働実績はなかった。

法学政治学研究科	28 台	公共政策学連係研究部	3 台
総合図書館	1 台	教育学研究科	2 台
総合文化研究科	5 台	医科学研究所	1 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。

2016 年 7 月 21 日に新システムでのサービスを開始。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。

2　東京大学機関リポジトリの運用管理と情報発進

学術情報チームでは東京大学機関リポジトリ（UTokyo Repository）の運用管理、著作権処理の業務を行っている。2016 年度は前年度より約 2,200 件増加し、約 36,500 件の本文ありコンテンツが登録されている。

また、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 への移行準備を進めている。

3　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。

4　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への協力を行っている。

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 1 日から「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。2016 年 10 月には、オープンアクセスウィークに合わせ特設サイトを用意し、学内図書館室のイベントに協力した。共用リポジトリサービス”JAIRO Cloud”へ 2017 年度にシステム移行すべく準備中である。
(http://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、2016 年度末には約 36,536 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。2016 年 2 月末からは、ユーザー認証に UTokyo Account(東京大学アカウント)を用いるように変更した。

1.3　貴重資料の公開支援

既に公開済みの貴重資料のうち、教育用掛図のデータ追加、平賀譲デジタルアーカイブのサイトのシステム更新準備を行った。現行の貴重書公開用サーバマシンの老朽化に伴い、新マシンにリプレイスすべく準備中である。

学術情報リテラシー支援

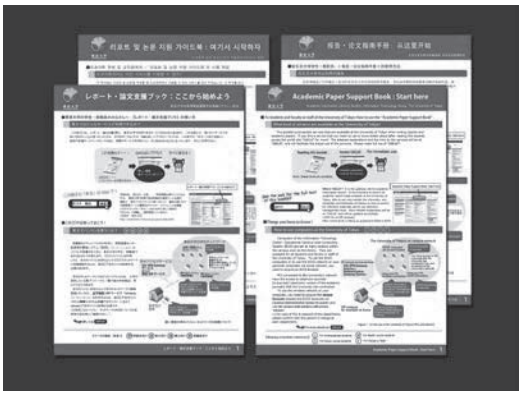
学術情報リテラシー担当

1　運用報告

1.1　情報探索ポータルサイト GACoS(Gateway to Academic Contents System)の運用

電子的な学術情報にアクセスするためのポータルサイトとして、GACoS（日本語・英語版）を継続的に構築、運用した。

（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。

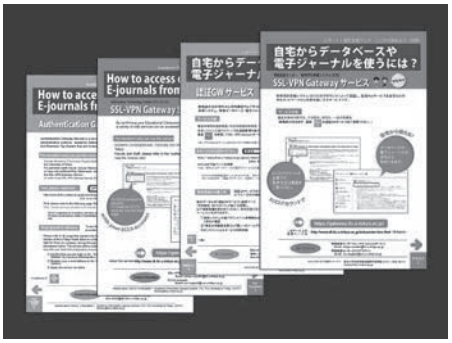
冊子版は 8 ページの簡易な内容となっており、詳しい内容は、日本語・英語 2 か国語で GACoS に掲載した。GACoS 掲載の内容については、随時新しい情報を追加・改訂している。

(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 アカウントの取得（日英併記）や、学内無線 LAN の案内用リーフレット（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 2017」（附属図書館学術情報リテラシー教育部会編集、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. 265 から No. 282 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。

1.5 講習会コーナーの移転

総合図書館の耐震改修工事に伴い、講習会コーナーの移転作業を 2 回行った。まず 2016 年 9 月上旬に総合図書館 1 階から 3 階へ移転し、さらに 2017 年 2 月下旬に福武ホール地下 1 階へ移転した。

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。2016 年度は、文献管理ツール Mendeley の 30 分コースと、論文の本文を入手することに特化した「本文入手大作戦」コースを新たに実施した。

コース名	月日	回数	人数	内容
論文準備ここからスタート！	4/5、4/18、4/27、5/24、5/30、6/9、6/22、7/5、8/2、10/7、11/1、12/8、1/13、1/19、2/9、3/10	16	184	【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)	4/12、4/20、5/24、5/25、6/10、6/16、6/21	7	67	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)	5/10、5/18、5/23	3	27	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）	7/1、7/6、7/12、9/30、12/13、12/21	6	30	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 or 夕方 30 分）	9/16、10/6、10/18、11/7、11/25、12/2、12/7	7	62	新コース。文献管理ツール Mendeley の使い方を 30 分で紹介。
本文入手大作戦（昼休み 30 分）	9/28、1/11、1/24	3	19	新コース。論文の本文を探す時に役立つ機能を紹介。
就活の味方「eol」ミニ講座（昼休み 20 分）	10/11、10/12、10/17、11/2、11/10、11/18	6	40	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。
論文投稿シミュレーション：JCR と RefWorks を使って	10/25、11/9（中止）	2	8	RefWorks で文献データの整理～インパクトファクターを調べて投稿誌の選定～投稿誌の規定に沿った文献リストを RefWorks で自動作成、という流れに沿って講習。
卒業してからの文献検索・文献管理	2/3、2/15、3/7、3/9	4	32	東京大学を卒業・退職される方向けに、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 53 回（開催予定は 54 回）			469 名	

2.2 夜間ガイダンス

昨年度に引き続き、完全予約制夜間ガイダンスを開催した。（予約者 3 名以上で開催）

コース名	月日	回数	人数	内容
論文準備のための文献管理：Web of Science & RefWorks	7/15、8/5、10/14、11/18	4	20	Web of Science の基本的な検索方法と文献管理ツール RefWorks の実習。
合計		4 回	20 名	

2.3 留学生向け情報探索ガイダンス

留学生を対象に、韓国語および中国語コースをネイティブの講師により開催した。
2016 年度は、英語コースも新たに実施した。

コース名		月日	時間	人数
Enhanced course「Searching for books and papers」	英語コース	4/14 、4/20 、9/28、10/6	15:00-16:00 10:30-11:30 (9/28 のみ)	24
留学生向け情報探索ガイダンス	韓国語コース	5/12	15:00-16:00	7
	中国語コース	10/14	13:10-14:10	21
		10/14	15:00-16:00	25
合計 7 回				77 名

2.4 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。2016 年度は、18-19 世紀の新聞を横断検索できるツールの講習を本郷・駒場キャンパスで開催した。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。

コース名	月日	時間	参加人数	会場
Mendeley 講習会　文献管理ツールクローズアップ	6/7	10:30-12:00	8	総合図書館 1 階講習会コーナー
		15:00-16:30	21	
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう	6/9	15:00-16:00	7	駒場図書館
SciFinder で化学分野の情報検索をするには？	6/10	15:00-16:30	10	総合図書館 1 階講習会コーナー
人社系向け新聞を研究にいかす	6/14	15:00-16:00	9	駒場図書館
	6/21	15:00-16:00	11	総合図書館 1 階講習会コーナー
EndNote 講習会　文献管理ツールクローズアップ	6/15	15:00-16:30	18	総合図書館 1 階講習会コーナー
OECD の出版物や統計を探すには？ OECD iLibrary 講習会	6/16	15:00-16:15	15	総合図書館 1 階講習会コーナー
LexisNexis Academic で海外のニュースやビジネス情報を検索するには？	6/17	15:00-16:15	12	総合図書館 1 階講習会コーナー
研究戦略: ESI/InCites	7/27	15:00-16:30	21	総合図書館 1 階講習会コーナー
研究戦略: SciVal/Pure	7/29	15:00-16:30	18	総合図書館 1 階講習会コーナー
SciFinder 講習会	9/21	15:00-16:30	13	薬学図書館
合計		12 回	163 名	

2.5 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：総合図書館）
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
7/29	11:00-12:00	18	参考文献リストの見方、図書や電子ジャーナル、雑誌論文など、基本的な文献の検索方法。
8/30	15:00-16:00	11	
合計 2 回		29 名	

2.6 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」	4/8(金)	14:00-15:00	22	Web of Science Core Collection、PsycINFO、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	4/25(月)	16:50-18:35	11	文学部 3 号館図書室ツアー(30 分) +Artemis Literary Sources、CiNii Articles、TREE の検索実習。	文学部 3 号館図書室、総合図書館 1 階講習会コーナー
医学系研究科看護管理学分野	4/26(火)	10:00-12:00	7	Web of Science Core Collection、PubMed、TREE、RefWorks の実習。（参考 CiNii Articles、医中誌 Web、PsycINFO、PsycARTICLES、CINAHL）	総合図書館 1 階講習会コーナー
情報学環学際情報学府	5/17(火)	13:00-14:45	56	JapanKnowledge Lib、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE の紹介。	工学部 2 号館 9F93B
文学部「Academic Writing」	5/27(金)	10:25-12:10	8	TREE、JapanKnowledge Lib、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。(その後自分のキーワードで自由検索)	総合図書館 1 階講習会コーナー
	6/24(金)	10:25-12:10	8	RefWorks の使い方。	総合図書館 1 階講習会コーナー

工学部都市工学科	6/8(水)	13:30-15:00	19	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE 、RefWorks の実習。	工学部 14 号館 2 階 144 号室
医科学研究所 公共政策研究分野	6/29(水)	15:00-16:30	14	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
理学部生物化学科	7/25(月)	13:15-15:30	12	PubMed、Web of Science Core Collection、TREE 、RefWorks の実習。	情報基盤センター大演習室 2
工学部精密工学科	9/29(木)	13:30-14:45	46	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習。	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」	10/5(水)	10:25-12:10	8	Web of Science Core Collection、TREE 、RefWorks の実習。	総合図書館 3 階講習会コーナー
工学部・システム創成学科	10/6(木)	14:30-16:00	8	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village、TREE 、RefWorks の実習。	工学部 3 号館演習室
文学部「社会心理学調査実習」	10/24(月)	13:05-14:05(1)	11	2 グループに分かれ CiNii Articles、Web of Science Core Collection、PsycINFO、 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)	総合図書館 3 階講習会コーナー
		14:20-15:20(2)	16		

文学部「Academic Writing」	10/28(金)	10:25-12:10	8	JapanKnowledge Lib、TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。	総合図書館 3 階講習会コーナー
	12/16(金)	10:25-12:10	6	RefWorks の使い方。	
[個人オーダーメイド]総合文化研究科	11/29(火)	16:00-17:00	1	TREE、EBSCOhost、E-JOURNAL PORTAL、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	総合図書館 3 階講習会コーナー
[個人オーダーメイド]公共政策大学院	12/9(金)	13:30-15:00	1	不動産関係でデータベース検索、Business Source Complete、Web of Science Core Collection、Mendeley の講習。	総合図書館 3 階講習会コーナー
[個人オーダーメイド]附属病院	12/20(火)	13:30-16:00	1	Mendeley の使い方。	ミニレクチャルーム
[個人オーダーメイド]総合文化研究科	3/21(火)	10:30-11:30	1	GACoS、TREE、UTokyo Article Link、RefWorks の説明。	福武ホール地下 1 階講習会コーナー
文学部国際交流室日本語教室	3/23(木)	10:30-12:00	6	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Gale Literary Sources の実習。	法文 2 号館 2202 号室
合計 21 回			270 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 Library Tour「はじめての本や論文の探し方」(日本語)	4/4(月)	15:00-15:30	7	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館 1 階講習会コーナー
	4/5(火)	15:00-15:30	15		
	4/8(金)	10:30-11:00	14		

総合図書館留学生ガイダンス「本や論文の探し方」(日本語)	4/6(水)	14:30-15:00	14	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館 1 階講習会コーナー
総合図書館 Library Tour「Searching for books and papers」(英語)	4/7(木)	15:00-15:30	17	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館 1 階講習会コーナー
	4/11(月)	15:00-15:30	20		
[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」	4/22(金)	15:00-16:30	20	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village、TREE、RefWorks の実習(PC 持込による実習形式)	生産技術研究所 As 棟 3F 中セミナー室 3
	5/9(月)	15:00-16:30	12		
[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」	4/26(火)	14:00-15:15	13	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、新聞記事の探し方、RefWorks の概要(講義形式)	地震研 1 号館 3 階会議室
[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(木)	第 1 回 13:30-14:30	6	医中誌 Web、PubMed、TREE の検索実習。	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
		第 2 回 15:30-16:30	7		
		第 3 回 17:30-18:30	11		
[理学部生物学科図書室共催]理学部生物学科 B 系(基礎生物学系)	5/2(月)	15:00-16:00	17	TREE、JapanKnowledge Lib、PubMed、Web of Science Core Collection の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
[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」	5/11(水)	15:00-16:30	13	PubMed、TREE、RefWorks の実習。	農学生命科学図書館 3F PC 端末室 1
	5/13(金)	15:00-16:30	11		

[理学部生物学科図書室共催] 理学部生物学科 A 系(人類学系)	5/18(水)	9:15-10:15	3	TREE、JapanKnowledge Lib、PubMed、Web of Science Core Collection の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	5/19(木)	12:20-12:50	12	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の講習(講義形式)	工 2 号館図書室閲覧室
	5/20(金)		10		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献管理 RefWorks コース」	5/19(木)	12:50-13:20	8	RefWorks の講習(講義形式)	工 2 号館図書室閲覧室
	5/20(金)		4		
[駒場図書館共催] 「はじめよう！RefWorks in 駒場」	5/26(木)	12:20-12:50	7	RefWorks の実習。	駒場図書館地下 1 階会議室
[駒場図書館共催] 論文準備ここからスタート in 駒場	5/26(木)	15:00-16:30	8	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	駒場図書館地下 1 階会議室
[大学院数理科学研究科図書室共催] 「MathSciNet 講習会」	5/27(金)	15:00-16:15	8	MathSciNet、TREE、RefWorks の実習。	数理科学研究科棟 2 階計算機室
[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	6/14(火)	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
[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	6/20(月)	12:20-12:50	4	Google Scholar/TREE/Web of Science を比較して実習。	駒場キャンパス 21KOMCEE・MM ホール
	6/27(月)		8		
	6/28(火)		3		
[柏図書館共催] 比べる！検索ツール in 柏	6/23(木)	12:20-12:50	5	Google Scholar/TREE/Web of Science を比較して実習。	柏図書館ラーニングサポートサービス

[柏図書館共催] 秘書さんのためのはじめての論文の探し方 in 柏	6/23(木)	15:00-16:00	4	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。	柏図書館ラーニングサポートサービス
[柏図書館共催] 論文準備ここからスタート！in 柏(PubMed を使いこなそう)	7/14(木)	10:30-12:00	5	PubMed 、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
総合図書館留学生ガイダンス 「はじめての本や論文の探し方」(日本語)	9/7(水)	14:45-15:15	14	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館 3 階講習会コーナー
総合図書館 Library Tour「はじめての本や論文の探し方」(日本語)	9/27(火)	10:30-11:00	11	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館 3 階講習会コーナー
	10/3(月)	15:00-15:30	12		
総合図書館 Library Tour 「Searching for books and papers」(英語)	9/30(金)	15:00-15:30	16	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館 3 階講習会コーナー
	10/4(火)	10:30-11:00	10		
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文献検索 基礎編」	9/14(水)	15:00-16:00	10	医中誌 Web、Pubmed、Tree の検索実習。	薬学部資料館 4F 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」	9/15(木)	15:00-16:00	11	Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	薬学部資料館 4F 情報室
[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」	10/13(木)	14:00-15:15	12	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。(PC 持込による実習形式)	生産技術研究所 As 棟3F 中セミナー室5
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」(英語)	10/18(火)	12:20-12:55	8	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習。(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室閲覧室
	10/19(水)	12:20-12:55	9		

[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	10/20(木)	12:20-12:50	4	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection 、Engineering Village の検索実習。(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室閲覧室
	10/21(金)	12:20-12:50	5		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献管理 RefWorks コース」	10/20(木)	12:50-13:20	3	RefWorks の使い方(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室閲覧室
	10/21(金)	12:50-13:20	5		
[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」	10/27(木)	15:00-16:30	10	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、 Engineering Village の検索実習、RefWorks の実習。(持込 PC による実習形式)	生産研 As 棟 3F 中セミナー室 5
[医学図書館共催] 「EBM のための医学系文献検索入門:医中誌 Web と PubMed」	10/31(月)	第 1 回 13:30-14:30	4	医中誌 Web、PubMed、TREE の検索実習。	医学図書館1F マルチメディアコーナー
		第 2 回 17:30-18:30	10		
[農学生命科学図書館共催] 「農学リテラシー」授業の学生向け講習会	11/22(火)	15:00-16:00	4	TREE、PubMed の検索実習。	農学生命科学図書館本館 3F PC 端末室 1
[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」	11/24(木)	15:00-16:30	7	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
[駒場図書館共催] 「はじめよう! RefWorks in 駒場」	12/19(月)	10:30-11:00	2	RefWorks の実習。	駒場図書館2F グループ学習室
[駒場図書館共催] 「比べる!検索ツール in 駒場」	12/19(月)	11:30-12:00	2	Google Scholar/ TREE/Web of Science の比較	駒場図書館2F グループ学習室
[駒場図書館共催] 「はじめよう! Mendeley in 駒場」	12/19(月)	12:20-12:50	4	Mendeley の実習。	駒場図書館2F グループ学習室
[駒場図書館共催] 「論文準備ここからスタート in 駒場」	2/1(水)	15:00-16:30	5	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	駒場図書館2F グループ学習室

[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」	2/8(水)	15:45-16:30	0	受講者がいなかったため中止	駒場図書館2F グループ学習室
[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」	2/16(木)	15:45-16:30	5	卒業してから使えるツールの紹介。	駒場図書館2F グループ学習室
合計 54 回(開催予定は 55 回)			482 名		

2.7 初年次ゼミナール

[文科]

月日	参加人数※	講習内容	会場
4/13(水) 2 限、3 限、4 限 計 3 回	316	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(木) 2 限、3 限 計 2 回	231		
4/15(金) 1 限、3 限、4 限 計 3 回	295		
4/18(月) 4 限 計 1 回	97		
4/19(火) 1 限、3 限、4 限 計 3 回	316		
合計 12 回	1255 名		

※参加人数はアンケート記入数でカウント

2.8 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 SAGE Talks: Simple Guide to Writing a Journal Article	11/11(金)	15:00-17:00	33	総合図書館共同利用棟 3F 会議室 1
英語論文セミナー 出版社が語るアクセプトされる論文とは？ ～Elsevier～	11/15(火)	15:00-16:30	32	総合図書館共同利用棟 3F 会議室 1
合計	2 回		65 名	

2.9 質問受付 day

文献管理ツールや文献検索の個別相談を行った。

月日	参加人数	場所
1/16(月)～1/18(水)11:00～17:00	3 名	総合図書館 3 階講習会コーナー

2.10 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] テキスト提供(データ) 「First steps to searching for books and papers @Utokyo」(英語)	5/20(金)、 5/24(火) (2 回)	12:20-12:50	2	[テキスト提供] 『First steps to search for books and papers @UTokyo』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[柏図書館] テキスト提供(データ) 「論文準備ここからスタート in 柏」	5/18(水)、 5/26(木) (2 回)	15:00-16:30	8	[テキスト提供] 『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
[柏図書館] テキスト提供(データ) 「文献管理の味方！RefWorks ミニ講座」	6/7(火)、 6/17(金)、 10/14(金)、 10/19(水)、 12/6(火) (5 回)	12:20-12:50	11	[テキスト提供] 『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] テキスト提供(データ) 「学術論文を探そう！(日本語論文編)」	10/13(木)	12:20-12:50	2	[テキスト提供] 『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] テキスト提供(データ) 「学術論文を探そう！(英語論文編)」	10/18(火)、 11/21(月) (2 回)	12:20-12:50	7	[テキスト提供] 『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] テキスト提供(データ) 「就活の味方 eol ミニ講座 in 柏」	11/9(水)、 1/12(木) (2 回)	12:20-12:50	10	[テキスト提供] 『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] テキスト提供(データ) 「はじめよう！ Mendeley in 柏」	11/25(金)、 1/17(火) (2 回)	12:20-12:50	9	[テキスト提供] 『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] テキスト提供(データ) 「比べる！検索ツール」	12/14(水)	12:20-12:50	1	[テキスト提供] 『比べる！検索ツール』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[駒場図書館] テキスト提供(プリント) 「はじめよう！ Mendeley」	12/22(木)	12:20-12:50	3	[テキスト提供] 『はじめよう！ Mendeley』	駒場図書館 2 階グループ学習室
[駒場図書館] テキスト提供(プリント) 「はじめよう！ RefWorks」	12/26(月)	12:20-12:50	5	[テキスト提供] 『RefWorks を使うには』	駒場図書館 2 階グループ学習室
[柏図書館] テキスト提供(データ) 「修了・退職してからの文献検索・文献管理」	1/27(金)	12:20-12:50	3	[テキスト提供] 『卒業してからの文献検索・文献管理』	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
合計 20 回			61 名		

2.11 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
5/31(火)	17:00-18:00	アジア研究文献探索セミナー　中国語文献編	8 名
6/30(木)	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	14 名
7/7(木)	17:00-18:00	アジア研究文献探索セミナー　韓国朝鮮語文献編	10 名
12/22(木)	17:00-18:00	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	13 名
合計	4 回		45 名

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。2016 年度は主にシステムリプレイスに係る業務を進めた。

1.1.1　図書館システムにおける通年業務

2016 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、附属図書館業務別部会と連携し、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。

1.1.2　図書館システムのリプレイス

2016 年 7 月 21 日に新システムでのサービスを開始した。導入の具体的な作業は 2016 年 2 月から開始し、要件確認、サーバ構築、データ移行、ネットワーク構築を経て、導入作業を実施し、最後の 1 週間はサービス内容を制限して切り替えを行った。

1.2　サーバ室の移転

総合図書館内の工事に伴い、旧サーバ室が工事区画となったため、サーバ室を移設した。新サーバ室では、電気・LAN 配線を整備し、ラック類を導入して、サーバ機器の移設作業を行った。また、移設終了後、旧サーバ室の不要になった機材の廃棄作業を行った。

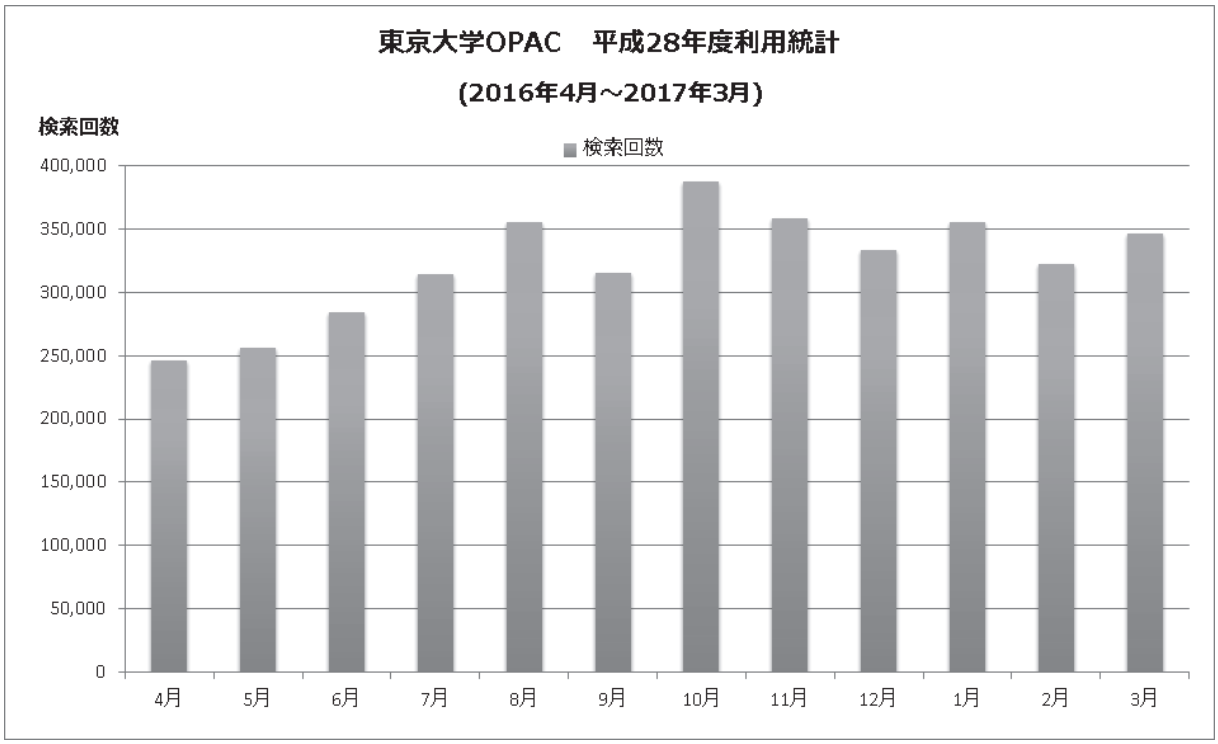
サーバ室の移転に伴い、旧サーバ室にあった大学の基幹ネットワークである UTNET への接続用スイッチを廃止し、新サーバ室に新たに設置した。また、接続用スイッチの各種設定のための申請を行った（総合図書館西側の一部工事完了区域への LAN 配線新設、講習会コーナーの移転 2 回、旧図書館システム用ネットワークの廃止等）。

1.3　その他の図書館関係サーバ等

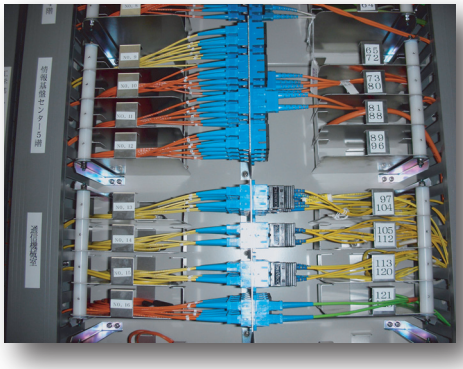
- 附属図書館 Web サーバの管理
- 附属図書館職員用 Wiki の管理

- 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

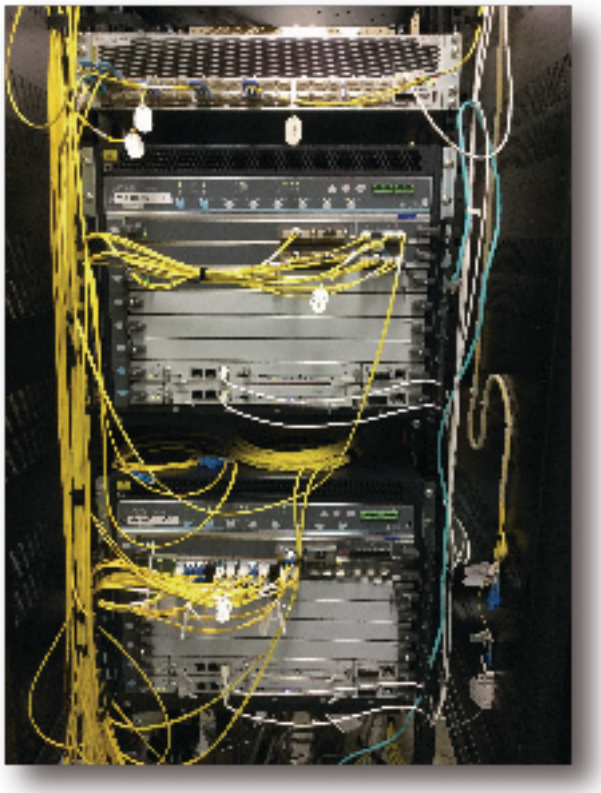
2　サービス統計



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、2016 年度も 2015 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、2012 年 10 月から本格運用を開始した全学無線 LAN サービス（utroam）の運用を引き続き実施した。なお、utroam は、UTokyo WiFi の運用を開始したことに伴い、2017 年 3 月末で運用を終了した。

更に、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、標的型メールや Web ページなどを通してのウィルス感染、P2P（Peer to Peer）、SPAM メール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. 不正侵入の監視

学外と学内との間の通信に関し、基幹部分において不正侵入の試みを検知し事前に予防する仕組みとして、 UTNET3 では不正侵入検知装置 (IDS: Intrusion Detection System)と異常トラフィック監視システムを用いて監視し、その結果に応じて必要な対処を実施した。

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。

4. その他

SINET5 との接続により対外回線が 100Gpbs に増強されたことに伴い、100Gbps 対応のセキュリティ機器の情報収集と動作検証を実施した。

■ 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。

■ 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。

なお、学内ソフトウェアライセンス関係の業務は、2013 年度にソフトウェア管理チームに引き継いだが、運用に関しては引き続きサポートを実施した。

■ 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、2016 年度も引き続き実施した。

■PKI

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。
今年度から課金を開始した（10 月から半年分）。また、コード署名用証明書の運用も開始した。

■ その他

東京大学教育無線 LAN に関して、情報システム本部や他部門と協力して運用を開始した。

全学ファイアウォールの導入に関して、情報システム本部や他部門と協力して導入作業を進めた。

■ 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。

2016 年　6 月 10 日 第 59 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2016 年　12 月 19 日 第 60 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2017 年　3 月 14 日 第 61 回情報基盤センターネットワーク専門委員会

主な報告事項、検討事項および承認事項
・UTNET 運用報告
・セキュリティ運用報告
・ソフトウェアライセンス運用報告
・運用経費予算決算報告
・UTnet Meeting の開催及び開催報告
・基幹ネットワークの構成変更について
・SINET5 関連について
・電子証明書の運用について
・規則改定について
・東京大学無線 LAN サービスについて
・全学セキュリティファイアウォール整備について

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 年間ほど UTNET3 と呼ばれてきたが、3 月に 100Gbps 回線に対応した中核機器の導入に伴い、2016 年 4 月から UTNET4 の運用を開始した。なお、基本構成は、支線ネットワーク（支線）と基幹ネットワーク（基幹）から構成されていることに変わりない。（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本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。

－白金地区収容用 L3SW の機器更新
－本郷地区収容用 L3SW の機器更新（農学部 3 号館設置）
－神岡地区に UTNET 用スイッチ設置
－基幹のメイン、バックアップの切替

以上の通り、SINET の更新に伴い、SINET5 と 100GbE 接続に向けた UTNET 機器の更新をメインに安定化運用の対策・監視の強化等を行い、基幹に対する学内からの要求に応えることによって、本学の研究・教育の一層の円滑な推進を図った。また、EOL(End Of Life)を迎える HUB サイトの L3SW 更新作業について実施した。次年度も継続して実施していく。

平成 28 年 4 月 1 日の基幹ネットワーク構成を図 1 に、平成 29 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。

L2SW のメンテナンス等について、今年度は 16 台を予防保全のための更新、建物改修完了に伴う 1 台の再設置を実施した。

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されたり、他部局の建物内に入居するケースがある。UTNET では、部局や研究室のサブネットを他の建物等に VLAN で延長することができる。このような VLAN 機能を持つ基幹に関して、今年度に実施した構成変更及びサブネットの割当を表1に示す。

1.4 その他関連業務

(1)ドメイン名の割り当て等

ネットワーク専門委員会の承認を経て、2 件を新規に割り当て、1 件を継続、2 件を廃止した。詳細を表 2 に示す。

(2) UTNET 光ファイバケーブル専用利用

建物間を横断する UTNET 光ファイバケーブル専用利用の変更、及び割当を実施した。結果を表 3 に示す。

(3) 無線 LAN サービス

山上会館、武田ホール、弥生講堂(一条ホール・セイホクギャラリー)、中島董一郎記念ホール柏図書館、鉄門記念講堂、総合図書館会議室、向ヶ岡ファカルティハウス、工学部共通講義室等において、情報基盤センターがアクセスポイント(AP)の整備を行い、Web 認証方式の無線 LAN サービスを展開している。それらの部局別の申請利用状況を表 4 に示す。

(4) 公衆無線 LAN 接続サービス

上記の AP に、通信事業者の提供する公衆無線 LAN 接続サービスの SSID を相乗りさせており、各社指定の接続方法にて公衆無線 LAN サービスにローミングしている。

	SSID	通信事業者
1	mobilepoint ／ mobilepoint2	ソフトバンクテレコム
2	Wi2 ／ Wi2 club	テコラス(旧 DATAHOTEL) KDDI
3	0001softbank ／ SWS1day	ソフトバンクモバイル
4	0000docomo ／ docomo	NTT ドコモ

(5) 全学無線 LAN サービス(utroam)

utroam は学内構成員が対象で、部局等が整備する無線 LAN システムを連携させ、キャンパスの様々な場所で無線 LAN が利用できるサービスである。本サービス基幹部の運用業務を担当した。

尚、utroam サービスについては 2017 年 3 月 31 日をもってサービス提供終了した。

(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) utroam 利用用レンタル 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。

(9) 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の主に教育活動スペースで利用できる無線 LAN サービスである。今年度は導入に向けた構築と運用テストを行い、2017 年 3 月 1 日から本格的にサービス開始し、本サービス基幹部の運用業務を担当した。

2　講習会・研究会開催報告

[第 14 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 53 名であった。

・期間　2016 年 10 月 25 日（火）
・場所　武田ホール

プログラムは次のとおり

1	UTNET update 2016 / ソフトウェアライセンス / 迷惑メール対策システム	下田哲郎係長 井爪健雄副課長
2	UTokyo-CERT 報告	中山雅哉准教授
3	電子証明書	佐藤周行准教授
4	全学無線 LAN の利用について	玉造潤史准教授
5	全学セキュリティファイアウォールの整備について	工藤知宏教授 関谷勇司准教授
6	大学間連携に基づく情報セキュリティ体制の基盤構築について	国立情報学研究所 椿山惣一郎副課長
7	フリーディスカッション	宮本大輔助教

[平成 28 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 6 名であった。

・期間　2016 年 12 月 13 日（火）～12 月 15 日（木）（3 日間）
・場所　情報基盤センター1階遠隔講義室

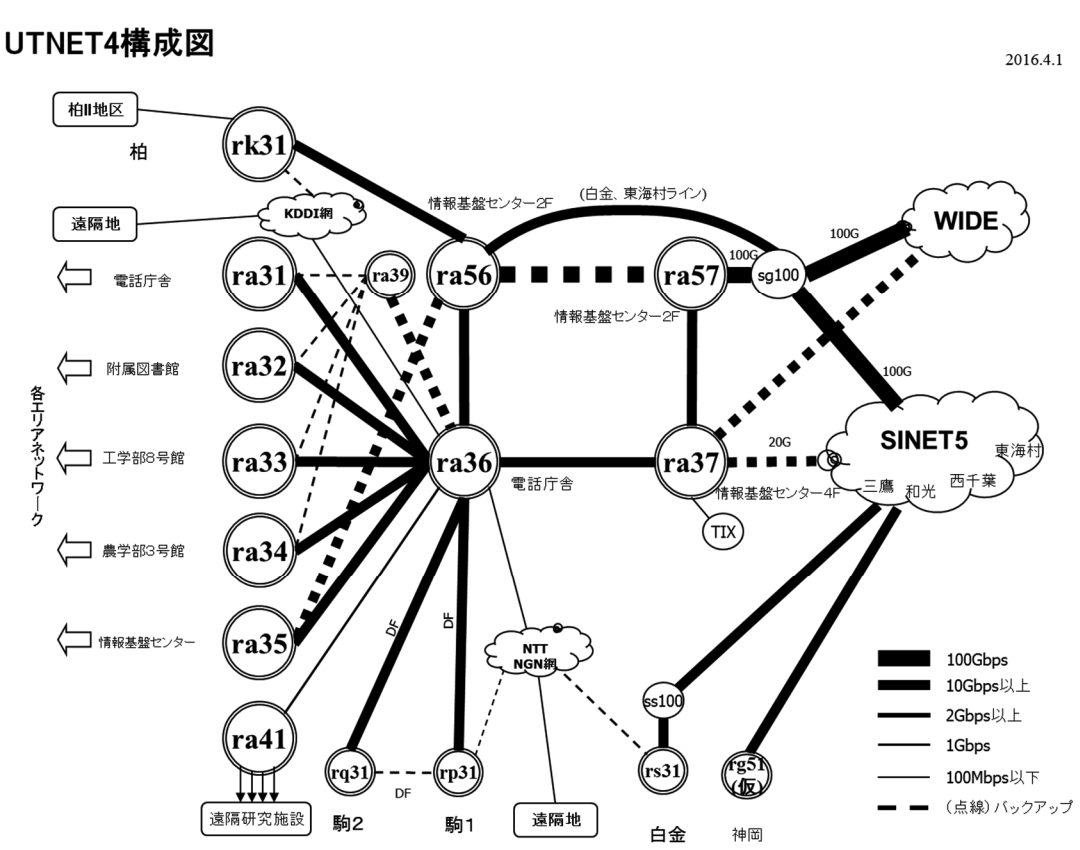


図 1 UTNET4 基幹構成図(平成 28 年 4 月 1 日)

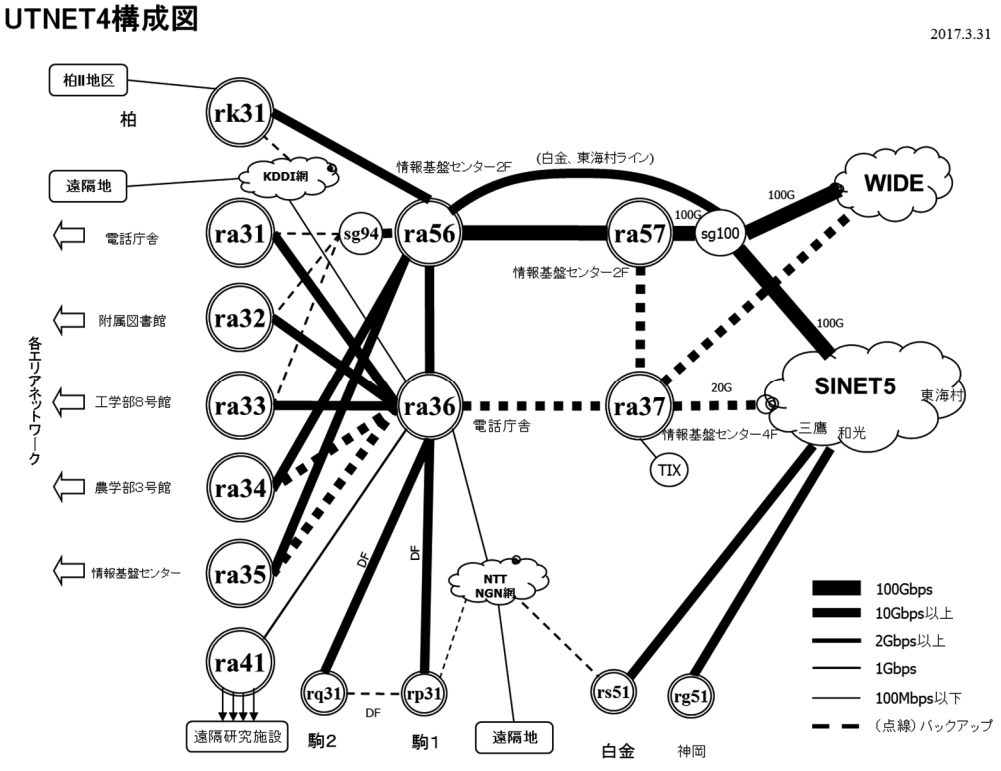
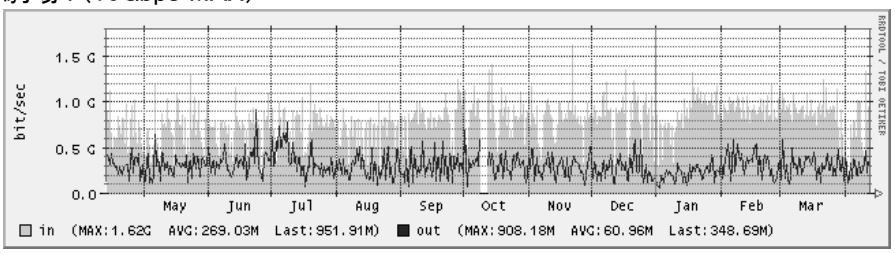


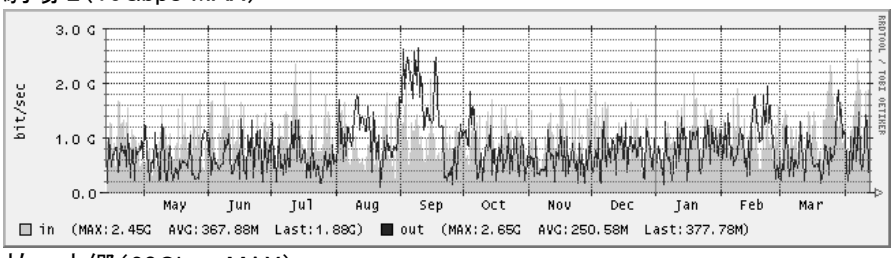
図 2 UTNET4 基幹構成図(平成 29 年 3 月 31 日)

キャンパス間トラフィック

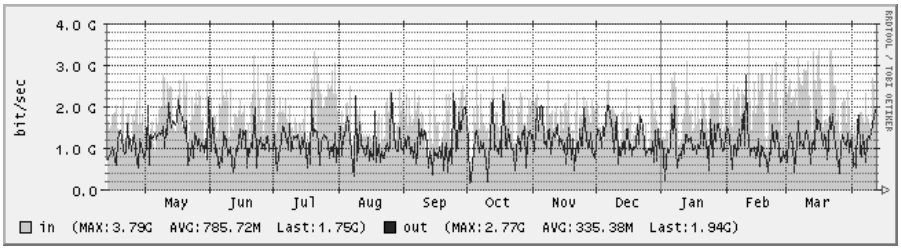
駒場1（10Gbps MAX）



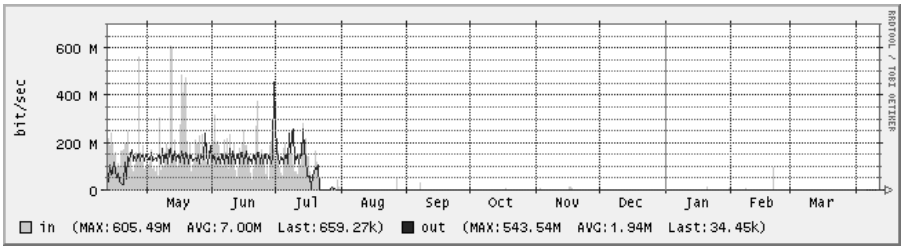
駒場 2（10Gbps MAX）



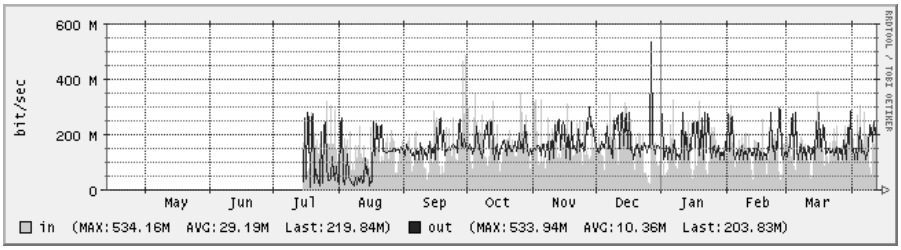
柏ー本郷（20Gbps MAX）



白金ー本郷（10Gbps MAX：SINET 経由）（～2016 年 7 月 15 日）



白金ー本郷（10Gbps MAX：SINET 経由）（2016 年 7 月 15 日～）



中野ー本郷（100Mbps MAX：NTT NGN 経由）

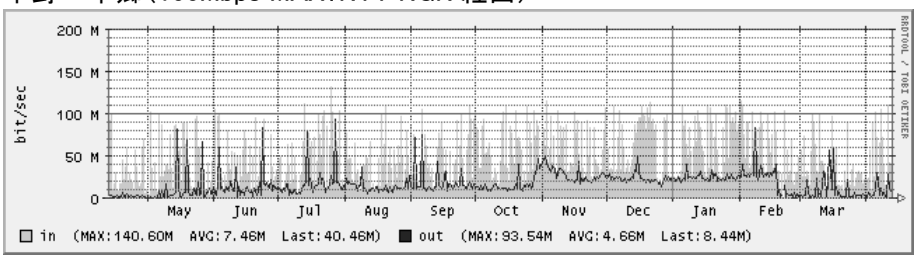


図 3　UTNET のキャンパス間トラフィック

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	本部事務組織	第二食堂	建物間 VLAN 申請
2	情報基盤センター	数理科学研究科	建物間 VLAN 申請
3	医科学研究所	医科研 1 号館東棟	建物間 VLAN 申請
4	理学系研究科	大講堂	建物間 VLAN 申請
5	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
6	情報理工学研究科		サブネットアドレスの割当
7	本部事務組織	東洋文化研究所	建物間 VLAN 申請
8	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
9	大学総合教育研究センター	大学総合教育研究センター	建物間 VLAN 申請
10	情報理工学研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
11	情報基盤センター	宇宙線研究所	建物間 VLAN 申請
12	理学系研究科	大講堂	建物間 VLAN 申請
13	本部事務組織	大講堂	建物間 VLAN 申請
14	本部事務組織	情報学環・学術情報学府	建物間 VLAN 申請
15	本部事務組織	大講堂	建物間 VLAN 申請
16	情報基盤センター	総合図書館	建物間 VLAN 申請
17	本部事務組織	大気海洋研究所	建物間 VLAN 申請
18	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
19	教育学研究科	附属図書館	建物間 VLAN 申請
20	本部事務組織	情報基盤センター、電話庁舎	基幹ネットワークの構成変更
21	本部事務組織	情報学環(図書館団地)	建物間 VLAN 申請
22	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN 申請
23	教育学研究科	分子細胞生物学研究所	建物間 VLAN 申請
24	本部事務組織	第二食堂、産学連携プラザ、御殿下記念館、附属図書館、伊藤国際学術研究センター、柏図書館、柏福利厚生新棟、宇宙線研究所、旧出版会、医学部 1 号館、医学部 2 号館、教育学部、史料編纂所、総合研究博物館、法文 2 号館、経済学研究科棟、農学部 3 号館、分子細胞生物学研究所、アイソトープ総合センター、情報基盤センター、教育学部付属中等学校旧校舎	建物間 VLAN 申請
25	本部事務組織	山上会館龍岡門別館	建物間 VLAN 申請
26	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
27	情報基盤センター	安田講堂	建物間 VLAN 申請
28	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
29	教育学研究科	社会科学研究所	建物間 VLAN 申請
30	本部事務組織	情報基盤センター、工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
31	宇宙線研究所	物性研究所	建物間 VLAN 申請
32	本部事務組織	地震研究所 1 号館	建物間 VLAN 申請
33	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
34	本部事務組織	電話交換機棟	建物間 VLAN 申請
35	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
36	教育学研究科	社会科学研究所	建物間 VLAN 申請
37	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
38	医学系研究科	附属病院ライフイノベーション棟、医学部教育研究棟	基幹ネットワークの構成変更
39	医学系研究科	附属病院臨床研究棟 A	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り当て申請
40	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
41	理学系研究科	理学部プレハブ研究 A 棟	建物間 VLAN 申請
42	生産技術研究所	生産技術研究所	基幹ネットワークの構成変更
43	人文社会科学研究科	工学部 12 号館、文学部法文 1 号館、	基幹ネットワークの構成変更
44	新領域創成科学研究科	工学部 13 号館、新領域基盤棟	基幹ネットワークの構成変更

45	情報基盤センター	附属図書館	建物間 VLAN 申請
46	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
47	医学部附属病院	電話庁舎	基幹ネットワークの構成変更
48	本部事務組織	柏実験廃液処理施設	建物間 VLAN 申請
49	本部事務組織	本部棟、情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
50	理学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
51	情報基盤センター	情報基盤センター、電話庁舎	建物間 VLAN 申請
52	理学系研究科	工学部 5 号館	建物間 VLAN 申請
53	本部事務組織	柏福利施設、医科研 3 号館、第二食堂、医学部 1 号館、文学部法文 2 号館、農学部 3 号館、駒場コミュニケーションプラザ、先端研 15 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
54	新領域創成科学研究科	柏第 2 総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
55	総合文化研究科	21 KOMCEE	建物間 VLAN 申請
56	新領域創成科学研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
57	新領域創成科学研究科	柏第 2 総合研究棟、新領域基盤棟	基幹ネットワークの構成変更
58	情報基盤センター	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
59	理学系研究科	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
60	情報基盤センター	情報教育棟	建物間 VLAN 申請
61	本部事務組織	附属図書館	建物間 VLAN 申請
62	理学系研究科	大講堂	建物間 VLAN 申請
63	総合文化研究科	身体運動科学研究棟	建物間 VLAN 申請
64	本部事務組織	アドミニストレーション棟	建物間 VLAN 申請
65	総合文化研究科	大講堂	建物間 VLAN 申請
66	工学系研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
67	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
68	本部事務組織	大講堂	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
69	医学部附属病院	医学部附属病院	基幹ネットワークの構成変更
70	医学系研究科	附属病院分子ライフイノベーション棟	基幹ネットワークの構成変更
71	宇宙線研究所	物性研究所	基幹ネットワークの構成変更
72	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
73	情報基盤センター		サブネットアドレスの返却申請
74	情報基盤センター	情報基盤センター、情報教育棟	建物間 VLAN 申請
75	情報基盤センター	工学部 8 号館、生産技術研究所、電話庁舎	建物間 VLAN 申請
76	本部事務組織	医科研総合研究棟、工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
77	情報基盤センター	情報教育棟、21 KOMCEE、経済学研究科棟	建物間 VLAN 申請
78	宇宙線研究所	物性研究所、神岡宇宙素粒子研究施設	基幹ネットワークの構成変更
79	本部事務組織	新領域基盤棟	建物間 VLAN 申請
80	本部事務組織	生産技術研究所	建物間 VLAN 申請
81	本部事務組織	地震研究所 1 号館	建物間 VLAN 申請
82	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
83	生産技術研究所	生産技術研究所	基幹ネットワークの構成変更
84	本部事務組織	法文 2 号館、文学部法文 1 号館、附属図書館	建物間 VLAN 申請
85	情報基盤センター	福武ホール	建物間 VLAN 申請
86	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返却申請
87	本部事務組織	経済学研究科棟	建物間 VLAN 申請
88	本部事務組織	物性研究所	建物間 VLAN 申請
89	本部事務組織	医科研総合研究棟	建物間 VLAN 申請
90	生産技術研究所		サブネットアドレスの割り当て申請
91	本部事務組織	情報教育棟、21 KOMCEE	建物間 VLAN 申請
92	本部事務組織	附属病院管理研究棟	建物間 VLAN 申請
93	本部事務組織	電話交換機棟	建物間 VLAN 申請
94	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
95	大学総合教育研究センター	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
96	本部事務組織	社会科学研究所	建物間 VLAN 申請
97	本部事務組織	情報基盤センター、伊藤国際学術研究センター、医科研 1 号館東棟	建物間 VLAN 申請
98	人文社会系研究科	附属図書館、文学部法文 1 号館	基幹ネットワークの構成変更
99	医学系研究科	医学部 1 号館、医学部 2 号館、生命科学実験棟、医学部総合中央館	建物間 VLAN 申請
100	医学系研究科	医学部 3 号館、医学部 3 号館別館、医学部 5 号館	建物間 VLAN 申請
101	情報学環･学際情報学府	ダイワユビキタス学術研究館	建物間 VLAN 申請
102	本部事務組織	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
103	情報学環･学際情報学府	情報基盤センター	建物間 VLAN 申請
104	宇宙線研究所	物性研究所	建物間 VLAN 申請
105	本部事務組織	柏の葉キャンパス駅前サテライト	建物間 VLAN 申請
106	工学系研究科	工学部 8 号館、先端研 4 号館	建物間 VLAN 申請
107	本部事務組織	豊島国際学生宿舎 B 棟	建物間 VLAN 申請
108	本部事務組織	工学部 8 号館	建物間 VLAN 申請
109	生産技術研究所	柏設備センター、生産技術研究所	基幹ネットワークの構成変更
110	本部事務組織	数理科学研究科棟	建物間 VLAN 申請
111	医科学研究所	医科研 1 号館東棟、医科研 2 号館、医科研 3 号館、医科研総合研究棟、医科研臨床研究 A 棟、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
112	本部事務組織	数物連携宇宙研究機構棟	建物間 VLAN 申請
113	工学系研究科	原子力工学研究施設（東海村）	建物間 VLAN 申請
114	情報理工学研究科		サブネットアドレスの割当申請
115	本部事務組織	産学連携プラザ、柏総合研究棟	建物間 VLAN 申請
116	物性研究所	第 2 総合研究棟、物性研究所	基幹ネットワークの構成変更
117	本部事務組織	低温センター	建物間 VLAN 申請
118	柏地区共通事務センター	生研(柏)研究実験棟	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	gsi.u-tokyo.ac.jp	工学系研究科	太陽光を機軸とした持続可能グローバルエネルギーシステム総括寄付講座	継続
2	ocdd.u-tokyo.ac.jp	創薬オープンイノベーションセンター	創薬オープンイノベーションセンター	廃止
3	utcoop.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東京大消費生活協同組合	廃止
4	ai.u-tokyo.ac.jp	情報理工学研究科	次世代知能科学研究センター	新規
5	mi.u-tokyo.ac.jp	情報理工学研究科	数理・情報教育研究センター	新規

表 3 UTNET 光ファイバケーブル専用利用の変更及び割当

項番	申請部局	利用区間	種類	
1	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	新規
2	宇宙線研究所	起点：物性研究所 終点：第2総合研究棟	SM2 芯	新規
3	工学系研究科	起点：工学部 8 号館 終点：情報基盤センター	SM4 新	新規
4	工学系研究科	起点：工学部 8 号館 終点：工学部旧 2 号館	GI2 芯	廃止
5	工学系研究科	起点：工学部 8 号館	SM2 芯	新設

		終点:工学部 9 号館		
6	地震研究所	起点:地震研究所 1 号館 終点:情報基盤センター	SM2 芯	新規
7	情報理工学研究科	起点:工学部 8 号館 終点:角川ビル	SM2 芯	新規
8	情報理工学研究科	起点:工学部 8 号館 終点:工学部 13 号館	SM2 芯	新規
9	医科学研究所	起点:ヒトゲノム解析センター 終点:総合研究棟	GI2 芯	廃止
10	生産技術研究所	起点:生産技術研究所 C 棟 終点:国際・産学共同研究センター棟	SM2 芯	廃止
11	工学系研究科	起点:工学部 8 号館 終点:附属病院分子ライフイノベーション棟	SM4 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	大学院医学系研究科	1		1		6			
2	大学院教育学研究科	2							
3	大学院工学系研究科	6	10	1			9		
4	大学院情報理工学系研究科	3	3	1			4		
5	大学院新領域創成科学研究科				8				
6	大学院法学政治学研究科	1							
7	大学院理学系研究科	6	1						
8	大学院農学生命科学研究科			3					4
9	公共政策大学院		2						
10	情報学環・学際情報学府							1	
11	医学部附属病院	3				5			
12	宇宙線研究所				5				
13	地震研究所		2						
14	社会科学研究所	1							
15	生産技術研究所	1							
16	大気海洋研究所	3							
17	物性研究所	2							
18	情報基盤センター		1		1				
19	素粒子物理国際研究センター	2							
20	大学総合教育研究センター	1							
21	大規模集積システム設計教育研究センター		2						
22	地球観測データ統融合連携研究機構			1					
23	海洋アライアンス海洋教育促進研究センター		1	1					
24	ゲノム医科学研究機構					1			
25	高齢社会総合研究機構	1	1						
26	国際高等研究所サステイナビリティ学連携研究機構	1	1						
27	国際本部 国際センター柏オフィス(柏 IO)				5				

28	将来航空推進システム技術創成社会連携講座		1						
29	先端人工知能学教育寄附講座		1						
30	知の構造化センター						1		1
31	博士課程教育リーディングプログラム「社会構想マネジメントを先導するグローバルリーダー養成プログラム(GSDM)」						1		
32	ライフイノベーションを先導するリーダー養成プログラム(GPLLI)		1						
33	海洋開発利用システム実現学 寄付講座		1						
34	渉外本部	1							
35	卒業生室						2		
36	東京大学華人科学技術促進会	1	1						
37	東京大学中国留学生学友会	1							
38	ADMETA 委員会			1					
39	BDORT 医学会	1							
40	GYL 日本支部								1
41	IEEE SSCS(Solid-State Circuits Society) Japan Chapter		1						
42	International Symposium on Experimental Robotics (ISER 学会)			1					
43	MPLS JAPAN 2016		1						
44	NHK「グローバルアジェンダ」事務局		1						
45	NPO 学校支援協議会		1						
46	TEDxUTokyo 実行委員会		1						
47	The DMREF-FCMP Symposium on Mott Transitions and Computational Approaches		1						
48	Tokyo RNA club		1						
49	一般財団法人 情報法制研究所		1						
50	一般財団法人 染色体学会			1					
51	一般財団法人 総合研究奨励会		1						
52	一般社団法人 日本エネルギー学会			1					
53	一般社団法人 日本原子力学会		1						
54	一般社団法人 日本建築構造技術者協会			1					
55	一般社団法人 日本航空宇宙学会	1							
56	宇宙素粒子若手の会				1				
57	宇都宮大学農学部							1	
58	株式会社 WiL			1					
59	株式会社 一条工務店			1					
60	株式会社 ザッツコーポレーション					1			
61	株式会社 東京大学エッジキャピタル	1							
62	株式会社 ペット・ベット			1					
63	環境ホルモン学会	1							
64	聞き書き甲子園実行委員会			1					
65	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構		1						
66	グローバル・ユース・リーダーシップ連盟(GYL)日本支部			1					
67	血液・腫瘍内科					2			
68	公益社団法人 土木学会		2						
69	航空宇宙会		1						
70	厚生労働省			1					

71	国際紫外線協会(IUVA)シンポジウム		1						
72	国際獣疫事務局(OIE)			2					1
73	国際植物医科学会								1
74	国際植物分類学シンポジウム			1					
75	国立医薬品食品衛生研究所			1					
76	国立研究開発法人 海洋研究開発機構			1					
77	国立研究開発法人 科学技術振興機構			1					1
78	国立障害者リハビリテーションセンター研究所		1						
79	国立精神・神経医療研究センター					1			
80	国連フォーラム						1		
81	自然科学研究機構 分子科学研究所		1						
82	獣医麻酔外科学会			1					
83	触媒・電池元素戦略研究拠点 東京大学拠点		1						
84	植物科学シンポジウム運営事務局			1					
85	新アミノ酸分析研究会		1						
86	新学術領域研究「ノンコーディング RNA ネオタクソノミ」		1	1					
87	認知神経科学会学術集会		1						
88	筑波大学						2		
89	特定非営利活動法人 IBREA JAPAN			1					
90	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					
91	特定非営利活動法人 大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC)		1						
92	特定非営利活動法人 ブロードバンド・アソシエーション		1						
93	土木計画学研究委員会			1					
94	日本・アジアに関する教育研究ネットワーク	1							
95	日本安全性薬理研究会			1					
96	日本学術振興会		3						1
97	日本学校精神保健研究会		1						
98	日本血液浄化技術学会					1			
99	日本原子力学会		1						
100	日本原子力研究開発機構	1							
101	日本造園学会			1					
102	日本蛋白質科学会		1						
103	日本プライマリ・ケア連合学会					1			
104	日本マーモセット研究会			1					
105	日本マイコトキシン学会			1					
106	日本ロボット学会		1						
107	農業情報学会			1					
108	農林水産省			1					
109	白鴎大学足利高等学校			1					
110	東日本大震災復興を応援する獣医師の会			1					
111	放射線プロセスシンポジウム開催実行委員会			1					
112	保健・医療パラダイムシフト推進協議会		1						
113	木材利用システム研究会								1
114	ライフイズテック株式会社		3						

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 不正侵入の監視

本学内のコンピュータに対して不正なアクセスを試みている可能性を検出し、必要ならば当該コンピュータが収容されているネットワークの管理者と連絡をとって不正侵入を防ぐべく対応を実施した。このような不正アクセスの検知には、以下の 2 システムを活用した。

・不正侵入検知システム (IDS :Intrusion Detection System)

これは、通常のネットワークアクセスでは発生しないようなアクセスパターン (例えば多数のホストを順にスキャンしていく動作など)を対象として検知し、警告を発するシステムである。具体的には、マカフィー社の M-8000 を 2 台併用し、学内と学外との通信をタップして監視を実施した。また、P2P 通信の監視を行い、P2P 通信情報を各部局のセキュリティ担当者宛に電子メールで連絡した。

更に、M-8000 において附属病院及び地震研究所のローカルネットワークの通信情報を部局の端末で監視するためのサービスを継続して実施した。

なお、本システムは今年度末のライセンス期限終了に伴い運用を終了した。

・異常トラフィック監視システム

これは、サービス妨害攻撃またはサービス不能攻撃などと呼ばれる、インターネット経由での不正アクセスの 1 つで、大量のデータや不正パケットを送りつける行為などの不正な攻撃を検知できるシステムである。具体的には、沖電気工業社製 Secure Traffic Probe（ソフトウェア）を導入し、学内と学外との通信をタップして、ポート単位での異常なトラフィックの変化について監視した。

1.2 ウイルス対策

パソコンやサーバマシン等において、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、引き続きトレンドマイクロ社のウイルスバスター、Sophos 社の Sophos Anti-Virus、キヤノン IT ソリューションズ社の ESET Smart Security、Symantec 社の Symantec Endpoint Protection 等のコンピュータウイルス対策ソフトウェアの学内への安価な配布サービスを推し進めた。

コンピュータウイルス対策ソフトウェアの運用に関しては、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だが、ネットワークチームでは引き続き業務のサポートを実施した。

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。東京大学職員メールシステムについても本システムで迷惑メール対策を実施した。2017 年 3 月末時点での参加数は 13 部局、58 ドメイン、9,352 メールアカウントである。

2016 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。

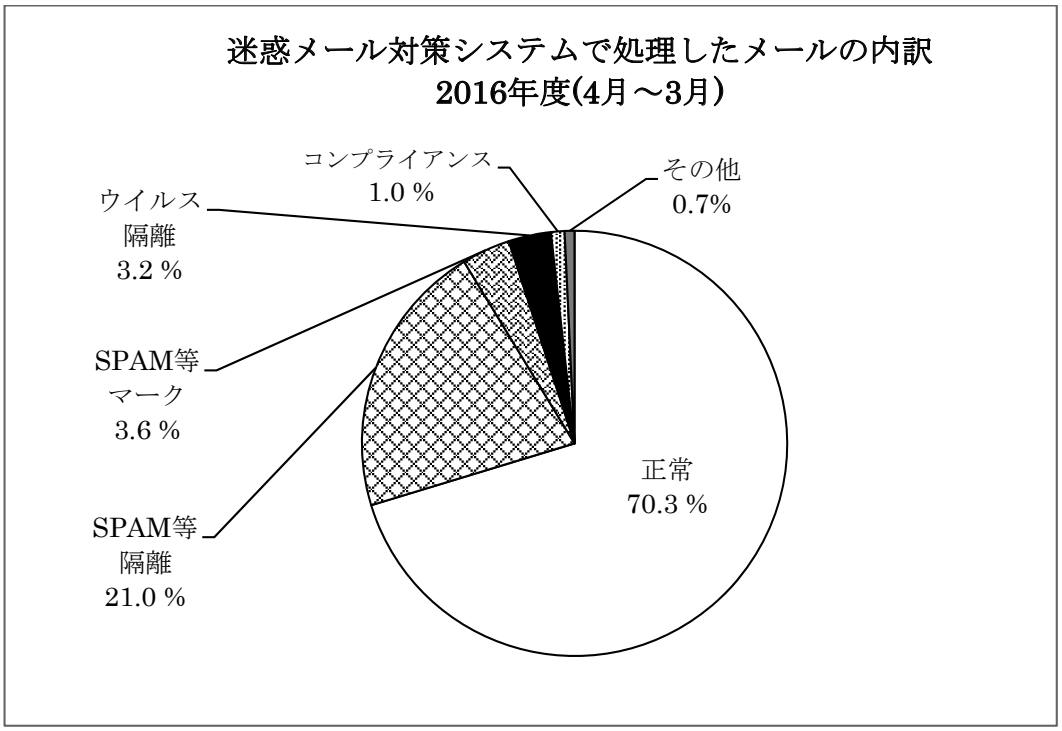


図1　迷惑メール対策システムの運用状況

1.4 次期セキュリティ製品の検証及び情報収集

SINET5 との接続が 100Gpbs に増強されたことに備えて、100Gbps 対応のセキュリティ機器の情報収集と動作検証を実施した。

2　サービス統計

2016 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）	684	41	14,028
ウイルスバスター（英語版）	122	20	630
Sophos Anti-Virus for Windows	29	14	910
Sophos Anti-Virus for MacOS X	178	30	2,635
ESET Smart Security (Windows)	59	20	563
ESET Smart Security (Mac)	5	5	110
Symantec Endpoint Protection (Windows)	34	18	513
Symantec Endpoint Protection (Mac)	49	24	300
Server Protect	36	20	107
InterScan VirusWall	6	6	12

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

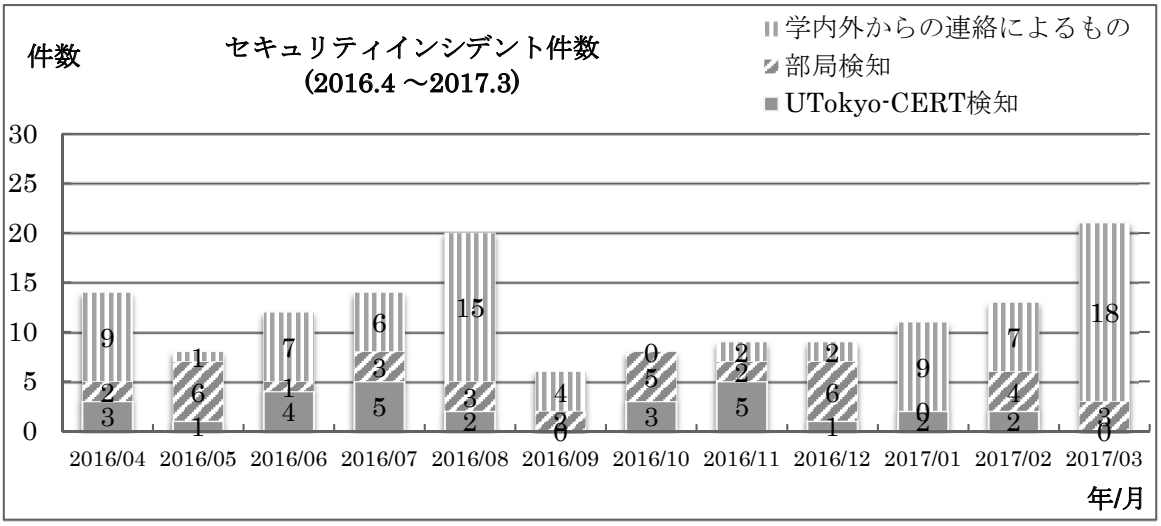
情報基盤センターでは、UTNET の基幹ネットワークでセキュリティ対策を実施していることから、ネットワークを介したセキュリティインシデントについて、東京大学情報システム緊急対応チーム UTokyo-CERT(University of Tokyo-Computer Emergency Response Team)から以下の委託業務を受け、UTokyo-CERT と連携協力しながら、全学的なセキュリティ対策を実施した。

・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、情報基盤センターと 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ネットワークを介したインシデントの監視
　IDS や異常トラフィック監視システムで学内と学外との通信を監視し、セキュリティインシデントの検知を実施した。
・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 担当者へメールで対処を依頼した。また、インシデントレポートシステムでの報告を求めた。
・P2P 通信情報の部局 CERT への連絡
　P2P の通信の監視結果や通信情報を、該当する部局 CERT 担当者へメールで連絡した。また、部局 CERT からの P2P 通信に対する詳細情報提供等の依頼に関する対応を実施した。
・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 アドレスのホストによる通信を 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

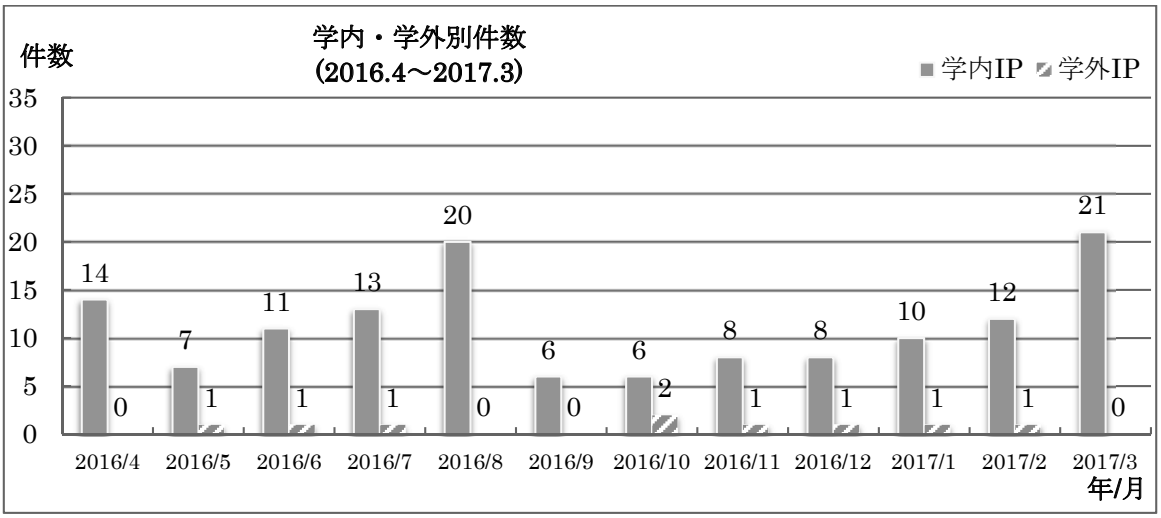
2016 年度のセキュリティ対策で扱ったインシデント件数は図1~3のとおりである。

図1　セキュリティインシデント件数



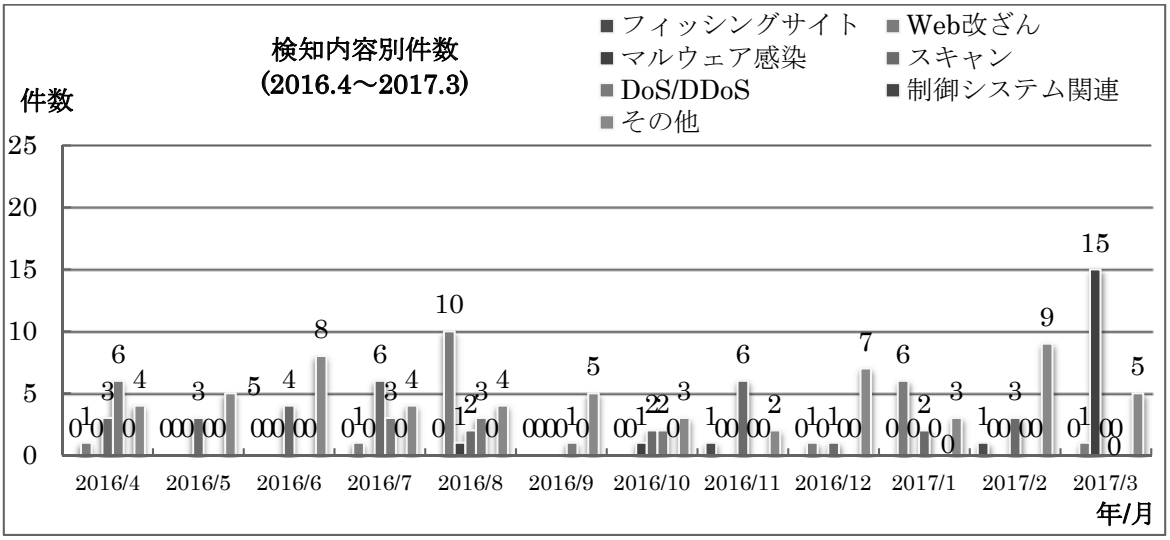
※「検知元別件数」は、学内組織にインシデントとして発行された件数を月毎に集計したものである。

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

学内での教育研究の円滑な推進を達成することを目的として、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で運用を行っているが、引き続きネットワークチームでもサポートを実施した。

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。

また、情報基盤センターで契約している Microsoft 社の包括ライセンスについては、ネットワークチームで申請を受け付け、ダウンロードサイトを用いて提供した。

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（旧 Pro/ENGINEER）
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	21	8
JMP Pro	44	15
SAS	35	10
MATHEMATICA	157	22
ChemOffice	41	12
LabVIEW	206	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
Office Standard 2016 64bit	2	2	1
Office Professional Plus 2013 64bit	2	2	2
Office Professional Plus 2016 32bit	2	2	2
Office Professional Plus 2016 64bit	20	35	9
Office Professional Plus 2016 64bit(英語版)	1	1	1
Office for Mac Standard 2016	4	5	3
Office Visio Standard 2016 64bit	1	1	1
Visual Studio Professional 2015	1	1	1
Windows 10 Education 64bit	1	1	1
Windows 10 Pro 32bit	1	2	1
Windows 10 Pro 64bit	7	12	4
Windows Server Standard	1	2	1
Windows Server 2016 Standard 64bit	1	1	1
Windows Server 2016 Standard 64bit(英語版)	1	1	1
Windows Server CAL(User CAL)	1	10	1
Windows Server RDC CAL UserLicense	1	5	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2016 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
4 部局	3 本	3 本

PKI

PKI 担当

1 運用報告

1.1 サーバ証明書

1.1.1 運用形態

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。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。さらに 2016 年度から課金を開始した（TLRA を運用する部署については局ごと、その他については運用している証明書 1 枚ごとの課金)。現在 TLRA を運用している部局は 14 を数える。

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	88
本部事務局 (adm)	63
生産技術研究所 (iis)	48
史料編纂所 (hi)	27
理学系研究科 (s)	27
附属病院 (h)	17
情報学環 (iii)	17
情報基盤センター (itc)	16
総合文化研究科 (c)	15
大学総合教育研究センター	12
数理科学研究科 (ms)	10
新領域創成科学研究科 (k)	9
物性研究所 (issp)	9
空間情報科学研究センター	7
医学系研究科 (m)	4

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開始した。CP/CPS の発行は 2016 年 3 月 23 日。2017 年 3 月 31 日現在での発行枚数は 2 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)

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。

スーパーコンピュータシステムとしては Hitachi SR16000/M1（Yayoi）（56 ノード、1,792 コア、ピーク性能 54.9 TFLOPS、平成 23 年 10 月運用開始）、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、同平成 24 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、同平成 26 年 4 月）に加えて、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平成 28 年 7 月から SGI Rackable C2112-4GP3（Reedbush-U）（420 ノード、15,120 コア、ピーク性能 508.03 TFLOPS）、および平成 29 年 3 月から SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-H）（120 ノード、4,320 コア＋240GPU、ピーク性能 1418.2TFLOPS）、さらに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平成 28 年 10 月から Fujitsu PRIMERGY CX600 M1/CX1640 M1（Oakforest-PACS）（8,208 ノード、558,144 コア、ピーク性能 25PFLOPS）の計 6 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 には平成 27 年度に引き続いて Oakleaf-FX、Oakbridge-FX を提供し、合計 660 ノード年のノード時間（10,560 コア年、ピーク性能 156.1 TFLOPS 相当）を拠出した。

Reedbush-U, Reedbush-H および Oakforest-PACS は導入作業に大きな問題はなく、稼働についても Oakforest-PACS で月平均 84%、Reedbush-U では月平均 90%に達するなど予想以上の滑り出しであった。各システムは順調な稼働を続けており、特に Oakleaf-FX は月平均 73%を超える利用率を達成した月もあった。平成 28 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）
  - 広報活動
- SGI Rackable C2112-4GP3（Reedbush-U）／SGI Rackable C1102-GP8（Reedbush-H）
  - 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
- Hitachi SR16000/M1（Yayoi）
  - 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））
  - 公募型研究プロジェクトの推進
  - 企業ユーザー利用支援
  - 講習会
  - 広報活動

2　メニーコア型大規模スーパーコンピュータシステムの導入

平成 25 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。JCAHPC に導入されるシステムの東大情報基盤センターにおける位置づけは、平成 26 年 3 月に運用を終了した HA8000 クラスタシステム（T2K 東大）の後継機である。

平成 27 年度は、仕様書策定を実施し、平成 28 年 2 月 4 日に入札説明会を開催し、同 3 月 30 日に応札を締め切った。平成 28 年度は、4 月 20 日に開札が行われ、富士通株式会社が落札した。平成 28 年 10 月 1 日までに 416 ノードを導入し試験運転を実施、同 12 月 1 日に全システムの運用を開始した。

3　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の導入

前項で示したポスト T2K システムの導入の遅延により、Oakleaf/Oakbridge-FX の混雑を緩和するための代替計算機資源の導入が急務となったことから、「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」の導入を実施した。Oakleaf/Oakbridge-FX の次世代機（ポスト FX10）においては、データ解析、Deep Learning 等新たな利用者の開拓も視野に入れてシステム整備を実施する必要があり、本システムはそのためのテストベッドとしての役割も担っている。

平成 27 年 8 月 18 日に導入説明会、同 10 月 23 日に仕様書原案説明会、平成 28 年 1 月 15 日に入札説明会を実施し、同 2 月 29 日に応札締切、同 3 月 22 日に開札を実施し、日本 SGI 社提案のシステムが採択となった。本システム（Reedbush）は計算ノードの CPU として Intel Xeon E5-2695（Broadwell-EP）を採用し、また一部の計算ノードには演算加速装置として GPU（NVIDIA Tesla P100（Pascal））が搭載されており、本センターとして初の GPU 搭載システムとなった。

CPU のみ搭載部（Reedbush-U）は 420 ノード、GPU 搭載部（Reedbush-H）は 120 ノード、合計 240GPU となっており、全計算ノードのピーク性能は 1.80~1.93 PFLOPS である。この他、Lustre による共有ファイルシステム（5.04 PB）、高速ファイルキャッシュシステム（DDN IME, 209TB）を搭載している。平成 28 年 7 月 1 日に Reedbush-U、同 29 年 3 月 1 日に Reedbush-H を含めた全システムの運用を開始した。

4　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。

平成 22 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。

平成 27 年 11 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、同 28 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 47 課題のうち 39 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 10 課題であった。平成 25 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。平成 28 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 37 課題が採択され、そのうち 7 課題が東

大情報基盤センターと共同研究を行った。平成 27 年度報告会、平成 28 年度採択課題紹介を兼ねた第 8 回シンポジウムは平成 28 年 7 月 14 日（木）・15 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。平成 27 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、平成 27 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。平成 28 年度は、前期 2 件、後期 3 件、インターン 2 件の合計 7 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。平成 24 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。平成 28 年度は全部で 5 課題が採択された。

5 企業ユーザー利用支援

平成 20 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、平成 20 年 10 月より企業利用支援の制度を開始した。

平成 24 年度からは企業利用サービスは Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX, 平成 26 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。平成 28 年度は 2 回の募集を実施し、新たに稼働を開始した Reedbush-U システムについても提供の対象としており、FX10 で 1 件、Reedbush-U で 2 件、のべ 3 件が採択された。

6 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。平成 28 年度は同講習会を 16 回実施した。その他、「KOBE HPC Summer School 2016（平成 28 年 8 月 1 日～5 日）」（主催：理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学計算科学教育センター、東京大学情報基盤センター、兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科、公益財団法人計算科学振興財団）が開催された。

また「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）」（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）を平成 29 年 2 月 21 日～24 日に國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）で開催した。

平成 28 年度は広報誌「スーパーコンピューティングニュース」を 6 回発行した。

7 その他イベント

平成 28 年 10 月 21 日・22 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 15 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　2016 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、2016 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 FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）、本郷キャンパス（本センター）の 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）および Hitachi SR16000 システムの運用に加えて、柏キャンパス（第二総合研究棟）にて Fujitsu Oakforest-PACS スーパーコンピュータシステムを、本郷キャンパス（本センター）にて SGI Reedbush-U/H スーパーコンピュータシステムの運用を開始し、合計 5 式のスーパーコンピュータの運用を行った。

1.1　Reedbush サービス開始

Reedbush は CPU のみのノードからなる Reedbush-U と、演算アクセラレータとして GPU を搭載したノードからなる Reedbush-H の 2 つのサブシステムから構成されている。Reedbush-U は 2016 年 7 月に試験運用を開始し、9 月から正式サービスを行った。Reedbush-H は 2017 年 3 月に試験運用を開始し、4 月から正式サービスを行う予定である。なお、従来のシステムと利用方法が大きく変わることから、試験運用、正式サービス開始にあたっては、本学および学外における利用説明会を表 1 に示すとおり実施した。

表 1. 利用説明会

開催場所	開催日	参加人数
東京大学（柏）	2016 年 5 月 26 日	8 人
東京大学（本郷）	5 月 30 日	22 人
慶応義塾大学	6 月　2 日	11 人
山梨大学	6 月 10 日	13 人
早稲田大学	6 月 10 日	11 人
電気通信大学	6 月 16 日	24 人
横浜国立大学	6 月 27 日	10 人
東京大学（本郷）※	7 月　1 日	11 人
千葉大学	7 月　5 日	3 人
埼玉大学	7 月　6 日	25 人
工学院大学	7 月 11 日	27 人
東京工業大学	7 月 12 日	4 人
東京工科大学	7 月 22 日	8 人

※企業利用説明会

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 2. Reedbush のハードウェア諸元（全体）

項目		Reedbush-U	Reedbush-H
総理論演算性能		508.03 TFlops	1287.4 ～ 1418.2 TFlops
総ノード数		420	120
総主記憶容量		105 TByte	30 TByte
ネットワークトポロジー		Full-bisection Fat Tree	
並列ファイルシステム	システム名	Lustre ファイルシステム	
	サーバ(OSS)	DDN SFA14KE	
	サーバ(OSS)数	3	
	ストレージ容量	5.04 PB	
	メモリ帯域幅	145.2 GB/sec	
高速ファイルキャッシュシステム	サーバ	DDN IME14K	
	サーバ数	6	
	容量	209 TB	
	メモリ帯域幅	436.2 GB/sec	

表 3. Reedbush のハードウェア諸元（ノード構成）

項目		Reedbush-U	Reedbush-H
マシン名		SGI Rackable C2112-4GP3	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	
Memory	容量	256 GB	
	メモリ帯域幅	153.6 GB/sec	
GPU	プロセッサ名	None	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)		4.8 ～ 5.3 TFlops
	搭載数		2
	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)
インターコネクト		InfiniBand EDR 4x (100 Gbps)	InfiniBand FDR 4x 2 リンク(56 Gbps x2)

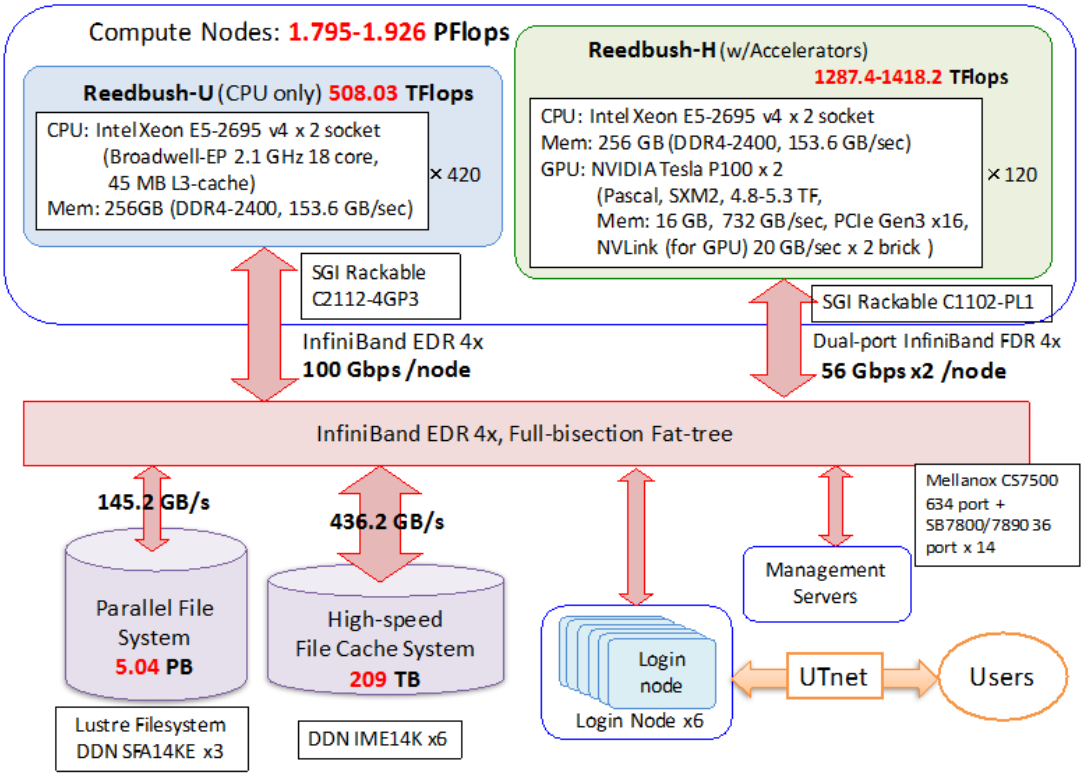


図 1. Reedbush の構成

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 4. Reedbush のソフトウェア諸元

項目	Reedbush-U	Reedbush-H
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++)	
	None	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	
	None	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、OpenJDK	
	SuperLU、SuperLU MT、SuperLU DIST、METIS、MT-METIS、ParMETIS、Scotch、PT-Scotch、PETSc、Boost	cuBLAS、cuSPARSE、cuFFT、MAGMA、OpenCV、ITK、Theano、Anaconda、ROOT、TensorFlow
アプリケーション	OpenFOAM、ABINIT-MP、PHASE、FrontFlow/blue、FrontISTR、REVOCAP、OpenMX、xTAPP、AkaiKKR、MODYLAS、ALPS、feram、GROMACS、BLAST、R、bioconductor、BioPerl、BioRuby、BWA、GATK、SAMtools、K MapReduce、Spark	Torch、Caffe、Chainer、GEANT4

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。Reedbush-U は最大 128 ノード、Reedbush-H は最大 32 ノードのジョブ実行が可能である。

表 5. Reedbush-U ジョブクラス制限値

キュー名※1	ノード数※2（最大コア数）	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		
					4ノード以上	公募制度	ノード固定
u-debug	1 ～ 24 (864)	30 分	244	△	○	○	○
u-short	1 ～ 8 (288)	4 時間	244	○	○	○	○
(u-regular)							
u-small	4 ～ 16 (576)	48 時間	244	○	○	○	○
u-medium	17 ～ 32 (1152)	〃	〃	×	○	○	○
u-large	33 ～ 64 (2304)	〃	〃	×	○	○	○
u-x-large	65 ～ 128 (4608)	24 時間	〃	×	○	○	○
任意	申込数	任意 ※4	244	×	×	×	○
(u-interactive) ※5							
u-interactive_1	1 (36)	30 分	244	○	○	○	○
u-interactive_4	2 ～ 4 (144)	10 分	〃	○	○	○	○
(u-regular-low) ※6							
u-small-low	4 ～ 16 (576)	12 時間	244	▲	▲	▲	▲
u-medium-low	17 ～ 32 (1152)	〃	〃	×	▲	▲	▲
u-large-low	33 ～ 64 (2304)	〃	〃	×	▲	▲	▲
u-x-large-low	65 ～ 128 (4608)	6 時間	〃	×	▲	▲	▲

△ パーソナルコースは 最大 16 ノードまで実行可
▲ パーソナルコースは 最大 4 ノード，グループコース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，u-short，u-regular，u-debug を小文字で指定する
u-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 1.00，優先ノード数超で 2.00
（優先ノード数は，パーソナルコースが 4 ノード，グループコースは申込ノード数）
※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 48 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（トークン消費なし）
qsub -I -q u-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

表 6. Reedbush-H 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※4		
					4ノード（1ノード）以上	公募制度	ノード固定
h-debug	1 ～ 4 (8)	30 分	244	△	○	○	○
h-short	1 ～ 4 (8)	2 時間	244	△	○	○	○
(h-regular)							
h-small	1 ～ 4 (8)	48 時間	244	△	○	○	○
h-medium	5 ～ 8 (16)	〃	〃	×	○	○	○
h-large	9 ～ 16 (32)	〃	〃	×	○	○	○
h-x-large	17 ～ 32 (64)	24 時間	〃	×	○	○	○
任意	申込数	任意 ※5	244	×	×	×	○
(h-interactive) ※6							
h-interactive_1	1 (2)	30 分	244	○	○	○	○
h-interactive_2	2 (4)	10 分	〃	○	○	○	○
(h-regular-low) ※7							
h-small-low	1 ～ 4 (8)	12 時間	244	▲	▲	▲	▲
h-medium-low	5 ～ 8 (16)	〃	〃	×	▲	▲	▲
h-large-low	9 ～ 16 (32)	〃	〃	×	▲	▲	▲
h-x-large-low	17 ～ 32 (64)	6 時間	〃	×	▲	▲	▲

△ パーソナルコースは 最大 2 ノードまで実行可

▲ 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，h-short，h-regular，h-debug を小文字で指定する
h-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 2.50，優先ノード数超で 5.00
（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 グループコースにおける括弧内のノード数は公募制度による申し込みの場合

※5 申込ノード数の合計以内ならば，キュー名・制限時間（原則 48 時間以内）は相談の上，任意に設定可能

※6 インタラクティブジョブの起動は次のとおり（トークン消費なし）
qsub -I -q h-interactive -l select=ノード数 -l walltime=XX:XX -W group_list=グループ名

※7 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 Oakforest-PACS サービス開始

Oakforest-PACS は 2016 年 12 月に試験運用を開始した。正式サービスは 2017 年 4 月から開始する予定である。

1.2.1 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 7. Oakforest-PACS のハードウェア諸元（全体）

項目		仕様
総理論演算性能		25.004 PFlops
総ノード数		8,208
総主記憶容量		897 TByte
ネットワークトポロジー		Full-bisection Fat Tree
並列ファイルシステム	システム名	Lustre ファイルシステム
	サーバ(OSS)	DDN SFA14KE
	サーバ(OSS)数	10
	ストレージ容量	26 PB
	ストレージデータ転送速度	500 GB/sec
高速ファイルキャッシュシステム	サーバ	DDN IME14K
	サーバ数	25
	容量	940 TB
	ストレージデータ転送速度	1,560 GB/sec

表 8. Oakforest-PACS のハードウェア諸元（ノード構成）

項目		仕様
マシン名		Fujitsu PRIMERGY CX1640 M1
CPU	プロセッサ名	Intel® Xeon Phi ™ 7250 （開発コード名 : Knights Landing）
	プロセッサ数 (コア数)	1 (68)
	周波数	1.4 GHz
	理論演算性能	3.0464 TFlops
Memory		96 GB(DDR4)＋ 16 GB(MCDRAM)
インターコネクト		Intel ® Omni-Path ネットワーク (100 Gbps)

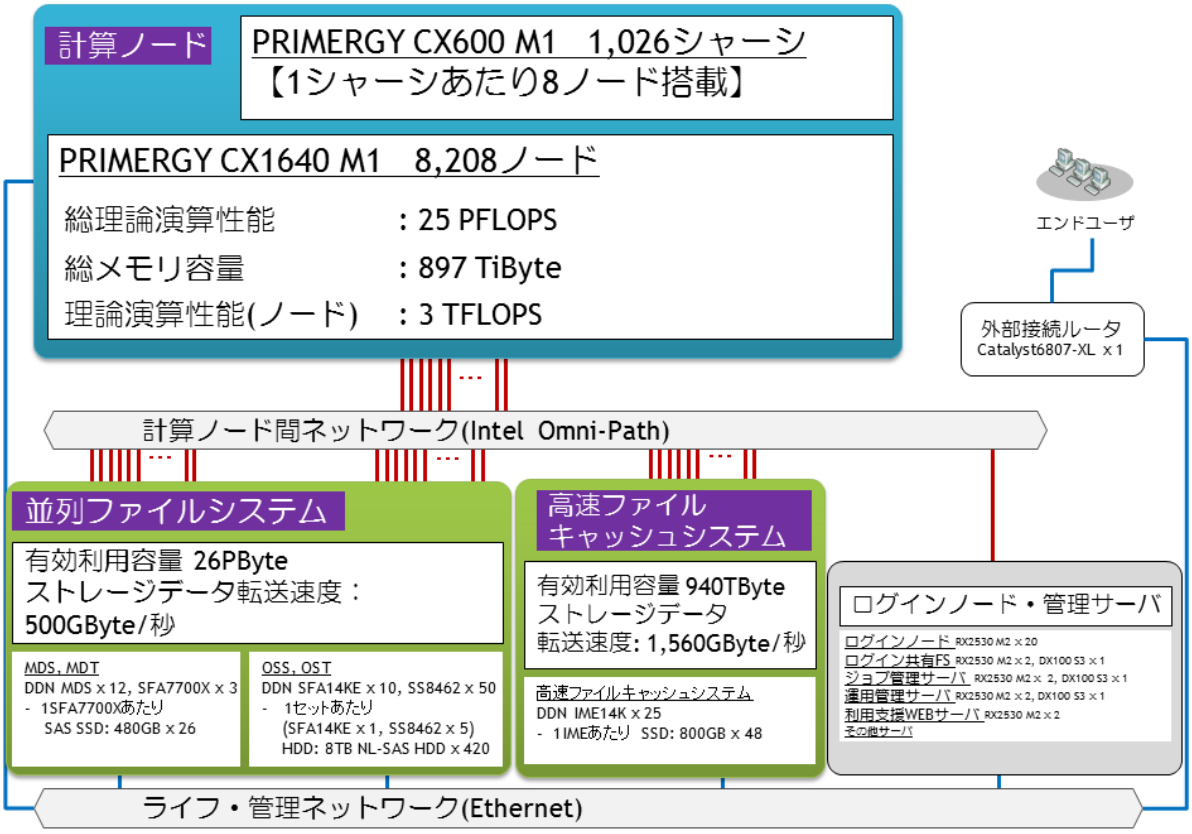


図 2. Oakforest-PACS の構成

1.2.2　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 9. Oakforest-PACS のソフトウェア諸元

項目	構成
OS	Red Hat Enterprise Linux 7、CentOS 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++)
メッセージ通信ライブラリ	Intel MPI、Intel Omni-Path Fabric Software
ライブラリ	Intel 社製ライブラリ(MKL)、BLAS、LAPACK、ScaLAPACK、FFTW、GNU Scientific Library、NetCDF、Parallel netCDF、Xabclib、ppOpen-HPC、ppOpen-AT、MassiveThreads、SuperLU、SuperLU MT、SuperLU DIST、METIS、MT-METIS、ParMETIS、Scotch、PT-Scotch、PETSc、Boost
アプリケーション	mpijava、omnicompiler、OpenFOAM、ABINIT-MP、PHASE、FrontFlow/blue、FrontISTR、REVOCAP、OpenMX、xTAPP、AkaiKKR、MODYLAS、ALPS、feram、GROMACS、BLAST、R、bioconductor、BioPerl、BioRuby

1.2.3 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 2048 ノードのジョブ実行が可能である。

表 10. Oakforest-PACS ジョブクラス制限値

キュー名※1	ノード数※2（最大コア数）	制限時間（経過時間）	メモリー容量（GB）※3	パーソナル		グループコース
				コース1	コース2	
debug-cache	1 ～ 128 (8704)	30 分	82	△	△	○
debug-flat	1 ～ 128 (8704)	30 分	96	△	△	○
(regular-cache)						
small-cache	1 ～ 128 (8704)	48 時間	82	△	△	○
medium-cache	129 ～ 512 (34816)	〃	〃	×	×	○
large-cache	513 ～ 1024 (69632)	〃	〃	×	×	○
x-large-cache	1025 ～ 2048 (139264)	24 時間	〃	×	×	○
(regular-flat)						
small-flat	1 ～ 128 (8704)	48 時間	96	△	△	○
medium-flat	129 ～ 512 (34816)	〃	〃	×	×	○
large-flat	513 ～ 1024 (69632)	〃	〃	×	×	○
x-large-flat	1025 ～ 2048 (139264)	24 時間	〃	×	×	○
(interactive-cache) ※4						
interactive_n1-cache	1 (68)	2 時間	82	○	○	○
interactive_n16-cache	2 ～ 16 (1088)	10 分	〃	○	○	○
(interactive-flat) ※4						
interactive_n1- flat	1 (68)	2 時間	96	○	○	○
interactive_n16- flat	2 ～ 16 (1088)	10 分	〃	○	○	○
prepost	1 (28)	6 時間	222	○	○	○

△ パーソナルコース1は 最大 16 ノード， コース2は 64 ノードまで実行可
※1 キューの指定("#PJM -L "rscgrp=キュー名" ") は, regular-cache/flat, debug-cache/flat を小文字で指定する
　　regular-cache/flat キューはノード数の指定("#PJM -L "node=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 1.00, 優先ノード数超で 2.00
　　（優先ノード数は, パーソナルコース1が 8 ノード, コース2が 16 ノード, グループコースは申込ノード数）
※3 1ノード当りの利用者が利用可能なメモリー容量
※4 インタラクティブジョブの起動は， pjsub --interact -g グループ名 -L "rscgrp=キュー名,node=ノード数"
　　（キュー名は interactive-cache/flat, トークン消費なし）

1.3 2016 年度のサービスに係わる変更

1.3.1 資源提供

FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX および Oakbridge-FX）では 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 10 課題に対し 660 ノード/年（5,702,400 ノード時間）を、JHPCN（学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点）採択の 10 課題に対し 168 ノード/年（1,451,520 ノード時間）の資源提供を行った。

1.3.2 FX10 外部ファイルシステムにおける /mppxb 領域のファイル保存期間短縮

/mppxb 領域の空き領域不足の緩和を図るため、1 年間となっていた /mppxb 領域内ファイルの保存期間を 2016 年 6 月の月末処理日 (6 月 24 日) 以後、9 ヶ月間に短縮した。

毎月の月末処理の際に保存期間を過ぎたファイルの消去が行なわれる。月末処理日の 9 ヶ月前の月の「日」が同一の日 (例：6 月 24 日に対する 9 月 24 日)、該当日が無い月については月末日 (例：3 月 31 日に対する 6 月 30 日) の午前零時以前の更新日付を持つファイルが消去される。

1.3.3 ジョブクラス xx-large 新設（Oakleaf-FX）

Oakleaf-FX の一般ジョブクラスでより多数のノードでジョブを実行したい需要に応えるため、2016 年 11 月 25 日(金)17:00 より新ジョブクラス xx-large を提供することとした。ジョブクラスの制限値は以下の通りである。

キュー名	xx-large
ノード数	1441 ～ 2880
制限時間	2 時間
メモリー容量	28GB（既設ジョブクラスと同じ）
対象	グループコース利用者

1.3.4 Reedbush-U 非優先ジョブクラス（低プライオリティキュー）

Reedbush-U は、2016 年 12 月 14 日に提供可能な計算リソースが上限に達したため、トークンの追加などの利用申込を締め切ったが、トークン残量が不足していても、計算リソースに余裕がある時にはジョブ実行ができるよう、12 月 27 日より非優先ジョブクラス（低プライオリティキュー）のサービスを開始した。提供可能な計算リソース上限による申込の締め切り後、トークン残量が不足しているグループやユーザに対して、以下のキューが利用可能である。制限 (経過) 時間は、通常利用の 1/4 としている。

表 11. 非優先ジョブクラス制限値

キュー名	ノード数（最大コア数）	制限時間（経過時間）	メモリー容量（GB）
(u-regular-low)			
u-small-low	4 ～ 16 (576)	12 時間	244
u-medium-low	17 ～ 32 (1152)	〃	〃
u-large-low	33 ～ 64 (2304)	〃	〃
u-x-large-low	65 ～ 128 (4608)	6 時間	〃

1.4 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 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 11 件の利用があった。

FX10 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」
・東京大学工学部・工学系研究科 (前期)「スパコンプログラミング(1) , スパコンプログラミング(I)」
・東京大学情報理工学系研究科 「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」」
・東京大学情報理工学系研究科「並列数値計算論」
・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」
・千葉大学大学院理学研究科「宇宙磁気流体・プラズマシミュレーションサマースクール」
・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)」
・臺灣大學數學科學中心「Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」

Reedbush-U 利用
・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「科学技術計算 II、コンピュータ科学特別講義 II」

2 2017 年度のシステム整備計画

Oakforest-PACS および Reedbush-H について、4 月から正式運用を開始する予定である。
新システムの導入については以下を予定している。
・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（2017 年 10 月運用開始）
また、以下のシステムについてサービス終了を予定している。
・SR16000 システム（2017 年 9 月末）
・FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX/Oakbridge-FX）（2018 年 3 月末）
資源提供について、HPCI の 16 課題に対し、Oakforest-PACS を 927.9 ノード/年（8,017,275 時間）、Reedbush-U を 18 ノード/年（155,520 時間）、FX10（Oakleaf-FX および Oakbridge-FX）を 485.8 ノード/年（4,197,064 時間）を予定している。また JHPCN の 17 課題に対し、Oakforest-PACS を 71.4 ノード/年（617,084 時間）、Reedbush-U を 7.2 ノード/年（62,389 時間）、Reedbush-H を 12.2 ノード/年（105,720 時間）、FX10 を 89.1 ノード/年（770,004 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ー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。2016 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 22 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2016 年 4 月 21 日 (木) 15:00～

議題 :
- ・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運用開始に伴う利用負担金改正について
- ・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調達に関する報告
- ・メニーコア型大規模スーパーコンピューターシステム調達に関する報告
- ・お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
- ・スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦報告
- ・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
- ・プログラム相談状況
- ・システム稼働状況報告
- ・その他

第 23 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2017 年 1 月 16 日 (月) 10:30～

議題 :
- ・2017 年度利用負担金の改定（案）について
- ・若手・女性利用者推薦制度の改定について
- ・メニーコア型大規模スーパーコンピューターシステム運用開始に関する報告
- ・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運用開始に関する報告
- ・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の調達に関する報告
- ・お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
- ・スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦報告
- ・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
- ・JCAHPC セミナー報告
- ・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

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　2016 年度の利用負担金改正

4.1.1　Reedbush-U スーパーコンピュータシステムの利用負担金制定（規程別表 5,6）

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 2016 年 7 月から試験運用開始、10 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、10 月の利用分から本負担金を適用した。

表 12. Reedbush-U 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, 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 /lustre 1TB）	（大学・公共機関）　200,000 円/年
グループコース　4 ノード申し込み （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 4 ノードまで 1.00, 4 ノード超 2.00 /lustre 4TB, 利用者当たり 500GB）	（大学・公共機関）　400,000 円/年 （企業）　480,000 円/年
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 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 8TB, 利用者当たり 500GB）	（大学・公共機関）　700,000 円/年 （企業）　840,000 円/年 ※ノード固定の場合 （大学・公共機関）1,000,000 円/年 （企業）1,200,000 円/年

4.1.2　トライアルユースに関する利用負担金の制定（トライアルユース実施要領別表）

2016 年度向けの利用負担金改正に併せて、トライアルユース負担金額を制定および改定した。

表 13. Oakleaf-FX/Oakbridge-FX トライアルユース利用負担金

申し込みコース	負担金額
パーソナルコース 1（トークン 3 ノード・3 ヶ月分）	（大学・公共機関）　9,200 円/3 ヶ月 （企業）　11,000 円/3 ヶ月
パーソナルコース 2（トークン 6 ノード・3 ヶ月分）	（大学・公共機関）　19,100 円/3 ヶ月 （企業）　22,900 円/3 ヶ月
グループコース（トークン 12 ノード・9 ヶ月分）	（大学・公共機関）　154,000 円/9 ヶ月 （企業）　184,800 円/9 ヶ月
グループコース（無償）（トークン 12 ノード・3 ヶ月分）	（企業）　0 円/3 ヶ月

表 14. Reedbush-U トライアルユース利用負担金

申し込みコース	負担金額
パーソナルコース（トークン 2 ノード･3 ヶ月分）	（大学・公共機関） 15,400 円/3 ヶ月 （企業） 18,500 円/3 ヶ月
グループコース（トークン 8 ノード･9 ヶ月分）	（大学・公共機関） 215,600 円/9 ヶ月 （企業） 258,700 円/9 ヶ月
グループコース（無償）（トークン 8 ノード･3 ヶ月分）	（企業） 0 円/3 ヶ月

4.2 2017 年度に向けての利用負担金の改正

2016 年 12 月に試験運用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、2017 年 3 月に試験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-H が、それぞれ 2017 年 4 月に正式サービスを開始するにあたって、利用負担金を制定した。また、Oakleaf-FX/Oakbridge-FX 及び Reedbush-U については、電力量、電気料金単価等を見直すことにより、負担金額を減額改定し、4 月より適用する。

4.2.1 FX10 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 15. Oakleaf-FX/Oakbridge-FX 利用負担金

改正前	改正後
パーソナルコース 1（大学・公共機関）120,000 円/年	（大学・公共機関） 90,000 円/年
パーソナルコース 2（大学・公共機関）250,000 円/年	（大学・公共機関） 180,000 円/年
グループコース 12 ノード当たり （大学・公共機関） 500,000 円/年 （企業） 600,000 円/年	 （大学・公共機関） 360,000 円/年 （企業） 432,000 円/年

4.2.2 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 5,6）

表 16. Reedbush-U/H 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 2 ノード, 消費係数 1 ノードまで 2.50, 4 ノード超 5.00 /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 /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） 314,000 円/年

4.2.3 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 7,8）

表 17. Oakforest-PACS 利用負担金

申し込みコース	負担金額
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）	（大学・公共機関） 100,000 円/年
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）	（大学・公共機関） 200,000 円/年
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）	（大学・公共機関） 400,000 円/年 （企業） 480,000 円/年

4.2.4 トークン移行に関する換算表の制定（規程別表 9）

トークン移行制度を 3 つのシステム間で行えるようノード時間積及び消費係数切替点の換算表を制定した。

表 18.トークン移行換算表

移行先 / 移行元	Oakleaf-FX/ Oakbridge-FX	Reedbush-U/H	Oakforest-PACS
Oakleaf-FX/Oakbridge-FX （基準ノード数 12 ノード）	―	0.4 4	0.6 8
Reedbush-U/H （基準ノード数 4 ノード）	2.5 10	―	1.5 6
Oakforest-PACS （基準ノード数 8 ノード）	1.6 12	0.6 6	―

移行先に追加されるトークン量（ノード時間）＝移行トークン量×上段の係数
移行先の消費係数切替点（ノード）＝移行元の申込ノード数÷基準ノード数×下段の係数

4.2.5 トライアルユースに関する利用負担金の制定（トライアルユース実施要領別表）

2017 年度向けの利用負担金改正に併せて、トライアルユース負担金額を制定および改定した。

表 19. Oakleaf-FX/Oakbridge-FX トライアルユース利用負担金

申し込みコース	負担金額
パーソナルコース 1（トークン 3 ノード・3 ヶ月分）	（大学・公共機関） 6,900 円/3 ヶ月 （企業） 8,300 円/3 ヶ月
パーソナルコース 2（トークン 6 ノード・3 ヶ月分）	（大学・公共機関） 13,700 円/3 ヶ月 （企業） 16,400 円/3 ヶ月
グループコース（トークン 12 ノード・9 ヶ月分）	（大学・公共機関） 110,900 円/9 ヶ月 （企業） 133,000 円/9 ヶ月
グループコース（無償）（トークン 12 ノード・3 ヶ月分）	（企業） 0 円/3 ヶ月

表 20. Reedbush-U/H トライアルユース利用負担金

申し込みコース	負担金額
パーソナルコース（トークン 2 ノード・3 ヶ月分）	（大学・公共機関） 11,500 円/3 ヶ月 （企業） 13,800 円/3 ヶ月
グループコース（トークン 4 ノード・9 ヶ月分）	（大学・公共機関） 92,300 円/9 ヶ月 （企業） 110,900 円/9 ヶ月
グループコース（無償）（トークン 4 ノード・3 ヶ月分）	（企業） 0 円/3 ヶ月

表 21. Oakforest-PACS トライアルユース利用負担金

申し込みコース	負担金額
パーソナルコース 1（トークン 2 ノード・3 ヶ月分）	（大学・公共機関） 7,700 円/3 ヶ月 （企業） 9,200 円/3 ヶ月
パーソナルコース 2（トークン 4 ノード・3 ヶ月分）	（大学・公共機関） 15,200 円/3 ヶ月 （企業） 18,300 円/3 ヶ月
グループコース（トークン 8 ノード・9 ヶ月分）	（大学・公共機関） 123,200 円/9 ヶ月 （企業） 147,800 円/9 ヶ月
グループコース（無償）（トークン 8 ノード・3 ヶ月分）	（企業） 0 円/3 ヶ月

4.3 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦実施要領の改正

若手・女性利用者推薦制度は、これまでスーパーコンピューティング部門で実施してきた推薦制度であったが、他の部門も含めた情報基盤センターの制度として実施することに伴い、本実施要領の表題を「スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦 実施要領」から「東京大学情報基盤センター『若手・女性利用者推薦』（スーパーコンピュータ）実施要領」に改定した。また、2016 年度から Reedbush-U にて実施し、2017 年度は Reedbush-H および Oakforest-PACS においても実施することから、これらのスーパーコンピュータシステムが本制度の対象となるよう記述の改定を行った。

5 システム利用状況

2016 年度におけるジョブ処理状況は表 22 ～表 27 のとおりである。それぞれのノード利用率について、2016 年 12 月に運用を開始した Oakforest-PACS においては 1 月以降 80%台と高い利用率であった。2016 年 7 月に運用を開始した Reedbush-U においても概ね 80%前後の高い利用率となり、2016 年 10 月には 90% に達した。Reedbush-H は試験運用期間の 2017 年 3 月のみの値である。この他、FX10（Oakleaf-FX）においては平均 70% 弱、FX10（Oakbridge-FX）は平均 60% 弱、SR16000 は平均 50% 程度で推移した。

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 22. 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		
201612	175	89	3,281 8	1,345 63,241	642	4,054,415	69.5	130 186,261
201701	439	178	7,731 57	1,417 81,292	611	4,862,308	83.7	360 61,616
201702	497	186	10,296 168	876 125,391	403	4,558,775	84.3	487 498,028
201703	501	153	5,769 61	362 298,025	258	4,955,403	85.3	559 1,568,995
合計			27,077 294	4,000 567,949	1,914	18,430,901		

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 23. 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		
201607	466	368	3,782 165	19,087	9	200,529	76.5	17 37,140
201608	449	89	4,496 62	6,929	6	154,061	86.0	24 105,768
201609	545	125	2,746 98	55,483	8	186,301	78.6	27 54,157
201610	477	114	3,204 103	48,804	21	221,176	90.0	30 168,989
201611	480	118	3,485 177	15,477	42	224,108	79.9	31 106,817
201612	466	111	3,366 381	11,662	102	219,270	79.3	35 115,761
201701	469	112	2,993 322	15,822	92	191,477	72.4	37 126,731
201702	486	117	2,595 259	13,323	105	117,152	70.6	38 140,064
201703	546	125	4,563 118	17,546	30	180,571	70.5	40 94,111
合計			31,230 1,685	204,133	415	1,694,645		

※登録者数および実利用者数, ファイル使用量は Reedbush-H と共通

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 24. 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		
201703	―	―	4,563 87	3,483	9	47,311	61.3	―

※登録者数および実利用者数, ファイル使用量は Reedbush-U と共通のため省略

5.4 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 25. 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		
201604	1,094	273	5,830 936	41,153	1,696.66 639.46	29,644,597.63	71.0	45,912,894 736,358,049
201605	1,373	408	7,901 1,163	61,001	1,980.75 374.68	25,726,296.87	72.6	43,570,509 661,565,497
201606	1,325	451	9,202 1,294	44,579	4,633.03 340.43	22,308,645.47	56.2	44,158,222 743,454,061
201607	1,362	475	9,848 1,743	66,864	2,722.85 933.57	28,004,326.21	64.7	43,408,014 651,762,004
201608	1,302	332	7,410 1,122	28,411	2,697.18 951.93	14,441,243.16	50.5	44,045,911 679,286,566
201609	1,282	307	9,082 2,025	77,307	7,627.14 2,237.99	28,941,850.98	65.3	47,864,172 704,769,344
201610	1,177	315	9,620 1,707	41,745	10,523.89 1,626.53	33,813,963.96	72.3	50,710,273 718,159,936
201611	1,132	283	9,716 971	38,050	13,160.13 315.48	33,452,501.39	69.2	48,990,709 756,395,242
201612	1,100	295	9,980 1,438	21,272	4,101.15 681.94	35,373,852.27	70.8	50,869,414 834,302,216
201701	1,108	284	9,366 1,178	33,100	2,330.14 708.87	37,868,394.05	73.8	49,945,697 906,792,057
201702	1,165	320	7,595 761	37,611	1,919.80 521.56	31,068,552.48	71.1	48,000,665 834,757,483
201703	1,173	297	7,640 523	47,769	2,475.77 551.48	24,761,724.60	54.6	44,029,746 722,132,519
合計			103,190 14,861	538,862	55,868.49 9,883.92	345,405,949.07		

5.5 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 26. 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		
201604	1,094	40	245 9	199	24.04 0.00	3,677,817.09	71.1	439,064 48,815,239
201605	1,373	42	251 6	139	25.54 1.59	3,420,996.86	67.0	402,977 35,510,441
201606	1,325	38	314 24	406	16.96 0.13	3,444,855.11	60.6	419,310 35,966,464
201607	1,362	36	293 47	219	8.17 0.79	2,847,135.74	43.7	427,928 30,713,851
201608	1,302	27	146 31	369	4.15 3.33	2,203,664.37	51.5	432,001 20,431,654
201609	1,282	36	251 48	358	18.44 21.78	1,959,396.25	40.8	472,820 22,439,096
201610	1,177	35	295 23	284	8.41 0.64	3,496,870.89	63.1	472,216 24,303,208
201611	1,132	27	508 16	363	16.15 0.01	4,176,027.05	71.6	476,842 59,169,726
201612	1,100	28	249 8	145	26.69 0.01	4,063,102.83	65.1	470,709 57,532,489
201701	1,108	24	317 23	194	31.12 0.02	3,866,553.29	61.8	469,456 21,655,770
201702	1,165	28	296 20	162	8.82 0.01	3,584,951.50	65.6	472,758 21,680,855
201703	1,173	28	223 32	165	12.24 0.64	2,271,023.33	36.2	460,896 21,741,631
合計			3,388 287	3,003	200.73 28.95	39,012,394.31		

5.6 SR16000 システムのジョブ処理状況

表 27. 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		
201604	398	49	1,601	2,458	97.42	542,731.07	50.7	68,605,929
201605	405	53	1,508	2,106	42.53	628,177.28	65.1	66,268,052
201606	408	47	1,685	2,327	64.20	626,580.36	56.7	69,334,835
201607	410	45	1,709	24,830	57.24	594,285.66	53.6	68,118,749
201608	405	44	1,237	1,467	30.65	366,243.71	51.3	67,749,232
201609	406	53	1,683	1,925	166.20	565,192.57	64.6	70,837,880
201610	408	36	1,890	1,955	67.28	550,404.94	54.7	73,682,041
201611	407	41	2,650	3,023	108.87	537,778.15	48.5	70,161,961
201612	409	43	2,718	3,306	117.53	711,400.27	60.8	73,373,187
201701	408	38	1,757	2,249	67.38	642,538.88	54.1	72,904,726
201702	411	49	1,485	2,163	86.19	366,699.39	42.9	75,212,542
201703	413	44	1,388	1,729	347.33	429,222.43	36.7	72,030,608
合計			21,311	49,538	1,252.82	6,561,254.71		

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。2016 年度のプログラム相談件数は以下のとおりである。

表 28. プログラム相談件数

	Oakforest-PACS	Reedbush-U/H	FX10	SR16000 他	合計
2016 年 4 月	—	—	13	0	13
2016 年 5 月	—	—	9	1	10
2016 年 6 月	—	—	9 (1)	0	9
2016 年 7 月	—	20	10	0	30
2016 年 8 月	—	14	10	0	24
2016 年 9 月	—	12	8	2	22
2016 年 10 月	—	11 (1)	14	1	26
2016 年 11 月	—	8	10	1	19
2016 年 12 月	—	6	11	1	18
2017 年 1 月	8	8	4	1	21
2017 年 2 月	22	8	6	3	39
2017 年 3 月	42	6	8	0	56
小計	72	93 (1)	112 (1)	10	287

括弧内は面談件数

6.2 刊行物

2016 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.18 No.3 ～ Vol.19 No.2 (2016 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ー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。スーパーコンピューター利用者へよりわかりやすく情報伝達を行うとともに、スーパーコンピューター利用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。

2016 年度はユーザからの成果報告を計 4 編掲載した。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。

7.1　大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 年次大会 HPC テクノロジー企画セッション

大学 ICT 推進協議会が主催する年次大会が 2016 年 12 月 14 日 ～ 16 日に国立京都国際会館にて開催され、HPC テクノロジー企画セッションに本センターから職員が参加し発表を行った。

HPC テクノロジー企画セッションは HPCI をはじめとする最新の HPC テクノロジーに関する発表・討論を、HPCI 構成センター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）
・「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）の運用」
　－田川　善教 (発表者)－

本論文は 2016 年 7 月から運用を開始した Reedbush スーパーコンピュータシステムの概要および運用形態、利用状況等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) 2016 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

2016 年度は表 1 に示す並列計算プログラミングに関連した講習会を開催した。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）の臨時アカウントを無料で発行しての講習会は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 1 週間程度としている。本講習会は社会貢献の一環として、企業ユーザー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（実用アプリケーション部会），2015 年度からは更にオープン CAE 学会と共催の講習会も実施している。

2　お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

2016 年度は本センター主催による並列プログラミング講習会を表 1 に示すように 17 回実施した。本年度からは「GPU プログラミング入門」、「有限要素法で学ぶ並列プログラミング基礎」を新規開講し、「ライブラリ利用：高性能プログラミング初級入門」の内容を刷新し、スパコンのさらなる効率的な利用方法についての内容を盛り込んだ、「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」として実施した。

表 1 2016 年度に開催した講習会

名称	開催日	利用計算機	申込者数	備考
第 55 回「ALPS 入門」	5 月 18 日			実施中止
第 56 回「有限要素法で学ぶ並列プログラミング基礎」	5 月 24 日～25 日	FX10	14	※ A
第 57 回「OpenFOAM 入門」	5 月 31 日	FX10	20	※ B
第 58 回「GPU プログラミング入門」	6 月 8 日	HA-PACS（筑波大学計算科学研究センター）	25	※ C
第 59 回「OpenMP / OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」	6 月 14 日～15 日	FX10, HA-PACS（筑波大学計算科学研究センター）	6	※ C
第 60 回「並列有限要素法とハイブリッド並列プログラミング」	6 月 28 日～29 日	FX10	2	※ A
第 61 回「MPI 基礎：並列プログラミング入門」	7 月 7 日～8 日	FX10 Reedbush-U	19	※ A
第 62 回「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」	9 月 6 日～7 日	FX10 Reedbush-U	15	※ A
第 63 回「MPI 基礎：並列プログラミング入門」	9 月 12 日～13 日	Reedbush-U	5	※ A
第 64 回「OpenFOAM 入門」	9 月 27 日	Reedbush-U	15	※ B
第 65 回「有限要素法で学ぶ並列プログラミング基礎」	10 月 11 日～12 日	Reedbush-U	5	※ A
第 66 回「MPI 上級」	10 月 14 日			実施中止
第 67 回「GPU プログラミング入門」	10 月 17 日	HA-PACS（筑波大学計算科学研究センター）	10	※ C
第 68 回「OpenMP / OpenACC によるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」	11 月 8 日～9 日	FX10, HA-PACS（筑波大学計算科学研究センター）	9	※ C
第 69 回「OpenFOAM 入門」	11 月 29 日	Reedbush-U		実施中止

第 70 回「並列有限要素法とハイブリッド並列プログラミング」	2 月 14 日～15 日			実施中止
第 71 回「ライブラリ利用:科学技術計算の効率化入門」	2 月 28 日～3 月 1 日	FX10, Reedbush-U	8	※ A
第 72 回「MPI 基礎:並列プログラミング入門」	3 月 6 日～7 日	Reedbush-U	7	※ A
第 73 回「OpenFOAM 初級 in 名古屋」	3 月 13 日	Reedbush-U		※ D 名古屋大学情報基盤センターにて開催
第 74 回「GPU プログラミング入門 in 名古屋」	3 月 14 日	Reedbush-H		※ E 名古屋大学情報基盤センターにて開催

備考 ※ A 情報基盤センター主催, PC クラスタコンソーシアム共催

※ B 情報基盤センター主催, PC クラスタコンソーシアム共催, オープン CAE 学会共催

※ C 情報基盤センター主催, 筑波大学計算科学研究センター共催, JCAHPC 共催, PC クラスタコンソーシアム共催

※ D 情報基盤センター主催, 名古屋大学情報基盤センター共催, PC クラスタコンソーシアム共催, オープン CAE 学会共催

※ E 情報基盤センター主催, 名古屋大学情報基盤センター共催, PC クラスタコンソーシアム共催

2.1 第 56 回講習会

2016 年度からの新企画である「有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎」では，有限要素法による一次元熱伝導解析プログラムを，MPI を使用して並列化するための手順について解説，実習を行なった。本講習会では、有限要素法のプログラミング、MPI による並列プログラミングの基礎、前処理付き反復法による連立一次方程式解法のアルゴリズムなど，大規模シミュレーションに必須の数値アルゴリズムから，並列プログラミングまで幅広い知識を 2 日間で効率的に身につけることを目的とし、FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）（Fujitsu PRIMEHPC FX10）による実習を実施した。（表 2）。

表 2 第 56 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 スケジュール

開催日	時 間	内 容	講 師
5 月 24 日(火)	09:00-10:30	有限限要素入門	中島研吾
	10:30-12:30	一次元並列有限要素法(1/2)	中島研吾
	13:30-14:00	一次元並列有限要素法(2/2)	中島研吾
	14:00-15:30	並列有限要素法への道	中島研吾
	15:45-16:30	FX10 ログイン	中島研吾
	16:30-18:00	MPI 並列プログラミング(1/4)	中島研吾
5 月 25 日(水)	09:30-11:00	MPI 並列プログラミング(2/4)	中島研吾

	11:15-12:30	MPI 並列プログラミング(3/4)	中島研吾
	13:30-15:00	MPI 並列プログラミング(4/4)	中島研吾
	15:15-17:00	MPI による一次元有限要素法プログラムの並列化	中島研吾
	17:00-18:00	質疑，実習	中島研吾

2.2 第 57 回講習会

「OpenFOAM 初級入門」では，オープンソースの CFD ツールキットである OpenFOAM を用いた基礎的な CFD 並列解析の講習を実施した。スパコンの概要や利用法概説に始まり，OpenFOAM の概要説明，格子生成，CFD 解析，格子や解析結果のデータ転送，可視化，並列計算などの演習（FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）（Fujitsu PRIME-HPC FX10）使用）を実施した（表 3）。

表 3 第 57 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 スケジュール

開催日	時 間	内 容	講 師
5 月 31 日(火)	10:00-11:00	FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）	星野哲也
	11:00-11:30	OpenFOAM 概要	今野雅
	12:30-15:00	流れ解析実習(格子生成，解析，可視化)	今野雅
	15:15-16:00	並列計算実習	今野雅
	16:00-17:00	実行性能・並列化効率評価実習	今野雅
	17:15-18:00	Microsoft Azure クラウドの紹介と OpenFOAM 実行デモ	今野雅

2.3 第 58 回講習会

2016 年度からの新企画である「GPU プログラミング入門」では、GPU を含むシステム上でのプログラミングに必須である GPU のアーキテクチャやプログラミング方法に関する講義および実習を実施した。対象 GPU としては主に NVIDIA 社の Tesla GPU（Fermi アーキテクチャ）を、GPU 向けの並列化プログラミング環境としては OpenACC と CUDA を用い、行列積などの基本的な計算問題を題材とし、GPU 向けのプログラムを作成する方法からいくつかの最適化手法を適用するまでの手順を実習形式で解説した。実習には筑波大学計算科学研究センターに設置されている HA-PACS ベースクラスタシステムを使用した。(表 4)。

表 4 第 58 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 スケジュール

開催日	時 間	内 容	講 師
6 月 8 日 (水)	09:30-12:00	GPU 入門、CUDA 入門	大島聡史
	13:00-14:30	OpenACC 入門+HA-PACS ログイン	星野哲也
	14:45-16:15	OpenACC 最適化入門と演習	星野哲也
	16:30-18:00	CUDA 最適化入門と演習	大島聡史

2.4 第 59 回講習会

近年マイクロプロセッサのマルチコア化が進み，様々なプログラミングモデルが提案されている。中でも OpenMP は指示行（ディレクティヴ）を挿入するだけで手軽に「並列化」ができるため，広く使用されており，様々な解説書も出版されている。メモリへの書き込みと参照が同時に起こるような「デ

ータ依存性(data dependency)」が生じる場合に並列化を実施するには，適切なデータの並べ替えを施す必要があるが，このような対策は OpenMP 向けの解説書でも詳しく取り上げられることは余り無い。本講習会(科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門)では，「有限体積法から導かれる疎行列を対象とした ICCG 法」を題材として，科学技術計算のためのマルチコアプログラミングにおいて重要なデータ配置，reordering などのアルゴリズムについての講習，FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)(Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した実習を実施した。

OpenACC は GPU などのアクセラレータのためのプログラミング環境として広く利用されている。OpenACC では OpenMP と同様に指示行挿入によって容易にプログラミングが可能である。本講習会では，OpenACC と OpenMP の違いなど，OpenACC についての基礎的な講習を行い，また同じ題材を OpenACC によって並列化する過程を、筑波大学計算科学研究センターに設置されている HA-PACS ベースクラスタシステムを使用した実習を通じ、解説した。表(5)

表 5　第 59 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
6 月 14 日(火)	09:30-11:30	有限体積法	中島研吾
	11:30-12:00	Oakleaf-FX ログイン	中島研吾
	13:00-14:15	OpenMP 入門	中島研吾
	14:30-16:00	オーダリング	中島研吾
	16:15-18:00	OpenMP 並列化	中島研吾
6 月 15 日(水)	09:30-10:30	HA-PACS ログイン	大島聡史
	10:30-12:00	OpenACC 入門(1/2)	星野哲也
	13:00-15:00	OpenACC 入門(2/2)	星野哲也
	15:15-17:30	OpenACC による並列化	大島聡史

2.5　第 60 回講習会

「並列有限要素法とハイブリッド並列プログラミング」では，有限要素法による熱伝導解析プログラムを，MPI, OpenMP を使用して並列化するための手順，特に並列分散データ構造に関する考え方を理解してもらうことを主眼として実施している。有限要素法そのものに関して初めて学ぶ受講者のために，1 日目午前中は有限要素法と関連した数値計算アルゴリズム，プログラミング，1 日目午後以降に並列有限要素法に関する講義・解説，FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)(Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した実習を実施した(表 3)。今回からは新たに OpenMP に関する簡単な解説も交え，OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルの適用例についても紹介した(表 6)。

表 6　第 60 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
6 月 28 日(火)	09:30-12:30	有限限要素法プログラム概要	中島研吾
	13:30-14:30	FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)	中島研吾
	14:30-16:00	並列有限要素法への道	中島研吾
	16:15-18:00	一次元並列有限要素法・質疑・実習	中島研吾
6 月 29 日(水)	09:30-10:30	三次元並列有限要素法(1/3)	中島研吾
	11:15-12:45	三次元並列有限要素法(2/3)	中島研吾
	13:45-15:00	三次元並列有限要素法(3/3)	中島研吾

	15:15-17:00	OpenMP 入門・ハイブリッド並列プログラミング	中島研吾
	17:00-18:00	質疑, 実習	中島研吾

2.6 第 61 回講習会

「MPI 基礎：並列プログラミング入門」では、FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）（Fujitsu PRIMEHPC FX10）に加え、7 月 1 日に運用を開始した Reedbush-U スーパーコンピュータシステムを使用し、初心者向け並列プログラミング講習会を実施した。並列プログラミングの基礎、MPI、並列アプリケーション入門について講義・実習を実施した（表 7）。

表7 第 60 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 スケジュール

開催日	時 間	内 容	講 師
7 月 7 日（月）	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	塙敏博
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	塙敏博
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	塙敏博
7 月 8 日（火）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（分割コンパイル）（演習）	大島聡史
	14:00-15:30	MPI プログラミング実習 II（演習）	大島聡史
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III（演習）	大島聡史

2.7 第 62 回講習会

「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」は、数値計算ライブラリ利用により科学技術計算を効率的に行うための講習会である。厳選した実用的な数値計算ライブラリの解説や効率的なジョブ投入方法の紹介を行い、また、簡単な数値計算プログラムを用いたシミュレーションの基本的な流れを体験することができる。これらについて、FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）（Fujitsu PRIMEHPC FX10）、Reedbush-U スーパーコンピュータシステムを使用した実習を実施した（表８）。

表 8 第 62 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 スケジュール

開催日	時 間	内 容	講 師
9 月 6 日(火)	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行など(演習)	伊田明弘
	13:30-15:00	プログラム実習（BLAS, LAPACK、Sca-LAPACK）& 座学	伊田明弘
	15:30-17:30	Xcrypt を用いたジョブ並列処理(座学&実習)	平石拓
9 月 7 日(水)	10:30-12:00	Rokko を用いた分散メモリ行列対角化(座学&実習)	五十嵐亮
	13:30-15:30	ppOpen-HPC を用いたシミュレーション体験(座学&演習)	松本正晴
	15:45-17:45	階層型行列法と HACApK ライブラリ(座学&演習)	伊田明弘

2.8 第 63 回講習会

「MPI 基礎：並列プログラミング入門」では、FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）（Fujitsu PRIMEHPC FX10）に加え、7 月 1 日に運用を開始した Reedbush-U スーパーコンピュータシステムを使用し、初心者向け並列プログラミング講習会を実施した。並列プログラミングの基礎、MPI、並列アプリケーション入門について講義・実習を実施した（表 9）。

表 9　第 63 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
9 月 12 日（月）	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	塙敏博
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	塙敏博
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	塙敏博
9 月 13 日（火）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（分割コンパイル）（演習）	大島聡史
	14:00-15:30	MPI プログラミング実習 II（演習）	大島聡史
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III（演習）	大島聡史

2.9 第 64 回講習会

「OpenFOAM 初級入門」では，オープンソースの CFD ツールキットである OpenFOAM を用いた基礎的な CFD 並列解析の講習を実施した。スパコンの概要や利用法概説に始まり，OpenFOAM の概要説明，格子生成，CFD 解析，格子や解析結果のデータ転送，可視化，並列計算などの演習（Reedbush-U スーパーコンピュータシステム）を実施した（表 10）。

表 10　第 64 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
9 月 27 日（火）	10:00-11:00	情報基盤センターの紹介とログインテスト	伊田明宏
	11:00-11:30	OpenFOAM 概要	今野雅
	12:30-13:00	OpenFOAM の独自ビルド（演習）	今野雅
	13:00-14:00	流れ解析実習その 1 （演習）	今野雅
	14:15-15:45	流れ解析実習その 2（演習）	今野雅
	16:00-17:30	並列計算・並列化効率評価実習（演習）	今野雅

2.10 第 65 回講習会

「有限要素法で学ぶ並列プログラミングの基礎」では，有限要素法による一次元熱伝導解析プログラムを，MPI を使用して並列化するための手順について解説，実習を行なった。本講習会では、有限要素法のプログラミング、MPI による並列プログラミングの基礎、前処理付き反復法による連立一次方程式解法のアルゴリズムなど，大規模シミュレーションに必須の数値アルゴリズムから，並列プログラミングまで幅広い知識を 2 日間で効率的に身につけることを目的とし、Reedbush-U スーパーコンピュータシステムによる実習を実施した。（表 11）。

表 11　第 54 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時 間	内 容	講 師
10 月 11 日（火）	09:00-10:30	有限限要素入門	中島研吾
	10:30-12:30	一次元並列有限要素法（1/2）	中島研吾
	13:30-14:00	一次元並列有限要素法（2/2）	中島研吾
	14:00-15:30	並列有限要素法への道	中島研吾
	15:45-16:30	Reedbush ログイン	中島研吾
	16:30-18:00	MPI 並列プログラミング（1/4）	中島研吾
10 月 12 日（水）	09:30-11:00	MPI 並列プログラミング（2/4）	中島研吾
	11:15-12:30	MPI 並列プログラミング（3/4）	中島研吾
	13:30-15:00	MPI 並列プログラミング（4/4）	中島研吾
	15:15-17:00	MPI による一次元有限要素法プログラムの並列化	中島研吾
	17:00-18:00	質疑，実習	中島研吾

2.11 第 67 回講習会

2016 年度からの新企画である「GPU プログラミング入門」では、GPU を含むシステム上でのプログラミングに必須である GPU のアーキテクチャやプログラミング方法に関する講義および実習を実施した。対象 GPU としては主に NVIDIA 社の Tesla GPU（Fermi アーキテクチャ）を、GPU 向けの並列化プログラミング環境としては OpenACC と CUDA を用い、行列積などの基本的な計算問題を題材とし、GPU 向けのプログラムを作成する方法からいくつかの最適化手法を適用するまでの手順を実習形式で解説した。実習には筑波大学計算科学研究センターに設置されている HA-PACS ベースクラスタシステムを使用した。（表 12）。

表 12　第 67 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
10 月 17 日（月）	10:00-12:00	HA-PACS ログイン、GPU 入門	大島聡史
	13:00-14:30	OpenACC 入門	星野哲也
	14:45-16:15	OpenACC 最適化入門と演習	星野哲也
	16:30-18:00	OpenACC の活用（CUDA との連携およびライブラリの活用）	大島聡史

2.12 第 68 回講習会

近年マイクロプロセッサのマルチコア化が進み，様々なプログラミングモデルが提案されている。中でも OpenMP は指示行（ディレクティヴ）を挿入するだけで手軽に「並列化」ができるため，広く使用されており，様々な解説書も出版されている。メモリへの書き込みと参照が同時に起こるような「データ依存性（data dependency）」が生じる場合に並列化を実施するには，適切なデータの並べ替えを施す必要があるが，このような対策は OpenMP 向けの解説書でも詳しく取り上げられることは余り無い。本講習会（科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門）では，「有限体積法から導かれる疎行列を対象とした ICCG 法」を題材として，科学技術計算のためのマルチコアプログラミングにおいて重要なデータ配置，reordering などのアルゴリズムについての講習，Reedbush-U スーパーコンピュータシステムを使用した実習を実施した。

OpenACC は GPU などのアクセラレータのためのプログラミング環境として広く利用されている。OpenACC では OpenMP と同様に指示行挿入によって容易にプログラミングが可能である。本講習会では，OpenACC と OpenMP の違いなど，OpenACC についての基礎的な講習を行い，また同じ題

材を OpenACC によって並列化する過程を、筑波大学計算科学研究センターに設置されている HA-PACS ベースクラスタシステムを使用した実習を通じ、解説した。表(13)

表 13　第 68 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
11 月 8 日(火)	09:30-11:30	有限体積法	中島研吾
	11:30-12:00	Reedbush-U ログイン	中島研吾
	13:00-14:15	OpenMP 入門	中島研吾
	14:30-16:00	オーダリング	中島研吾
	16:15-18:00	OpenMP 並列化	中島研吾
11 月 9 日(水)	09:30-10:30	HA-PACS ログイン	大島聡史
	10:30-12:00	OpenACC 入門(1/2)	星野哲也
	13:00-15:00	OpenACC 入門(2/2)	星野哲也
	15:15-17:30	OpenACC による並列化	大島聡史

2.13 第 71 回講習会

「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」は、数値計算ライブラリ利用により科学技術計算を効率的に行うための講習会である。厳選した実用的な数値計算ライブラリの解説や効率的なジョブ投入方法の紹介を行い、また、簡単な数値計算プログラムを用いたシミュレーションの基本的な流れを体験することができる。これらについて、FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）（Fujitsu PRIMEHPC FX10）、Reedbush-U スーパーコンピュータシステムを使用した実習を実施した（表 14）。

表 14　第 71 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
2 月 28 日(火)	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行など(演習)	伊田明弘
	14:00-17:00	Xcrypt を用いたジョブ並列処理(座学＆実習)	平石拓
3 月 1 日(水)	10:30-12:00	プログラム実習(BLAS, LAPACK、Sca-LAPACK)＆ 座学	伊田明弘
	13:30-15:30	ppOpen-HPC を用いたシミュレーション体験(座学＆演習)	松本正晴
	15:45-17:45	階層型行列法と HACApK ライブラリ(座学&演習)	伊田明弘

2.14 第 72 回講習会

「MPI 基礎：並列プログラミング入門」では、7 月 1 日に運用を開始した Reedbush-U スーパーコンピュータシステムを使用し、初心者向け並列プログラミング講習会を実施した。並列プログラミングの基礎、MPI、並列アプリケーション入門について講義・実習を実施した（表 15）。

表 15　第 72 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師

3 月 6 日（月）	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	塙敏博
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	塙敏博
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	塙敏博
3 月 7 日（火）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（分割コンパイル）（演習）	大島聡史
	14:00-15:30	MPI プログラミング実習 II（演習）	大島聡史
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III（演習）	大島聡史

2.15 第 73 回講習会

第 73 回講習会では、初めて名古屋大学情報基盤センターと共催にて実施を行なった。Reedbush スーパーコンピュータシステムを用い、自動車の空力解析などについて OpenFOAM を用いて実習形式で学んだ(表 16)。

表 16　第 73 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
3 月 13 日(月)	13:30-14:00	情報基盤センターの紹介とログインテスト	中島研吾
	14:00-15:15	自動車(ERCOFTAC Ahmed body)の格子生成	今野雅
	15:30-16:45	自動車(ERCOFTAC Ahmed body)の空力解析	今野雅
	17:00-18:00	並列計算	今野雅

2.16 第 74 回講習会

第 74 回講習会は、第 73 回講習会に引き続き、名古屋大学情報基盤センターと共催にて実施を行なった。また、3 月 1 日に運用を開始したばかりの Reedbush-H システムを用い、NVIDIA 社の Tesla GPU(Pascal アーキテクチャ)を対象とした実習を実施した。(表 17)。

表 17　第 74 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会　スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
3 月 14 日（火）	10:00-12:00	Reedbush-H ログイン、GPU 入門	大島聡史
	13:00-14:30	OpenACC 入門	星野哲也
	14:45-16:15	OpenACC 最適化入門と演習	星野哲也
	16:30-18:00	OpenACC の活用（CUDA との連携およびライブラリの活用）	大島聡史

3 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）

3.1 背 景

2017 年 2 月 21 日（火）～24 日（金）に國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）[1] で開催された「國家理論科學研究中心 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）」[2]（共催：國家理論科學研究中心（National Center for Theoretical Sciences）[3]，東京大学情報基盤センター他）について紹介する。

國立臺灣大學（台湾 台北市）は 1945 年 11 月に設置された台湾を代表する高等研究・教育機関であり，1928 年に設立された臺北帝國大學にその源を発している。

東京大学情報基盤センターと臺大理論科學研究中心（Taida Center for Advanced Study in Theoretical Sciences（CASTS））[4]は 2014 年 2 月にハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）及び計算科学・工学分野における基礎的，学術的な共同研究の促進を目的とした研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding，MOU）を取り交わしている [5]。更に 2017 年 1 月には更に 3 年間期限を延長して協定の継続に合意している。

2015・2016 年に実施した SC4SC 2015・2016 はその MOU に基づき，臺大理論科學研究中心の王偉仲教授 [6]（Professor Weichung Wang，CASTS の下部組織である臺大數學科學中心（Taida Institute for Mathematical Sciences, TIMS）[7]に所属）の以下の 2 点に関する強い要望によって実現したものである [8]：

- 台湾の大学には並列プログラミングを系統的に教える講義体系が存在しないため，是非，MPI，OpenMP 等の並列プログラミング教育を受けさせたい
- 台湾の研究者，学生は最先端の大規模並列計算機に触れる機会がないため，東大情報基盤センターのスーパーコンピュータで実習をさせてやりたい

我が国のスパコンの外国人及び海外在住者による利用には外国為替及び外国貿易法による制限があり，例えば本学に学籍を有する留学生も入国後 6 ヶ月を経過していない「非居住者」の場合には法令上の規制対象となっている [9]。関係法令を踏まえ，東大情報基盤センターでは東大本部安全保障輸出管理支援室 [10]との緊密な連携の下に，必要な確認を行った上で，非居住者のスーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX，Oakbridge-FX，Reedbush，Oakforest-PACS グループコース）の利用を認めている。

利用資格の判定基準は，ケース・バイ・ケースであるが，基本的には以下の 3 条件を満たすことが最低条件である：

- 利用資格を有する居住者と共同研究協約等を結んでいる（今回の場合は，2014 年 2 月に締結し，2017 年 1 月に更新した MOU がこれに相当する）
- 平和目的の利用である

[1] http://www.ntu.edu.tw/
[2] https://sites.google.com/site/school4scicomp/
[3] http://www.cts.nthu.edu.tw/main.php
[4] http://www.casts.ntu.edu.tw/
[5] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/VOL16/No2/11_MOU201403.pdf
[6] http://www.math.ntu.edu.tw/~wwang/
[7] http://www.tims.ntu.edu.tw/
[8] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/VOL17/No2/09_201503lec-1.pdf
[9] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/application/qualification/non-resident.html
[10] http://www.u-tokyo.ac.jp/ja/administration/export-control/

- 東大情報基盤センタースパコンシステムの利用規程を遵守し，本来の利用目的以外には使用しない旨記載した誓約書に署名し，グループ利用代表者も確認の署名をする

場合によってマニュアルのアクセス制限を設けることがある。スパコンのオンラインマニュアルへのアクセスは利用者ごとに制限を加えることができるようになっており，例えば留学生がスパコンを使用する講義を受講する場合には個別に事前に資格審査・確認が行われ，非居住者の場合にはマニュアルにアクセスできない場合もある。

東大情報基盤センターでは 2014 年度から上記のような条件の下での非居住者の利用を認めているが，今回のように海外で講習会を実施するのは 2015・2016 年に実施した SC4SC 2015・2016 に続いて 3 回目の試みである。これまで 2 回は台湾の旧正月休み中に実施していたため「講習会」という扱いであったが，今回は國立臺灣大學の正式な講義となり，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」として開講された。単位数の関係で，これとは別に Deep Learning に関する講義・実習も國立臺灣大學，國家理論科學研究中心の教員によって実施される予定である。

東京大学情報基盤センターは 2015 年 8 月に國立中央大學理學院（College of Science, National Central University, Taiwan, NCU）（台湾）[11]とも同様の MOU を締結しており [12]，今回は國立臺灣大學（NTU）の講義を受講する学生，國立中央大學（NCU）に所属する学生，研究者に限定して受講者を募り，受講者全員に Oakleaf-FX（Fujitsu PRIMEHPC FX10）アカウントを付与し，プログラミング実習を行った。また，外国為替及び外国貿易法を考慮し，本学安全保障輸出管理支援室とも協議して，受講者には Oakleaf-FX のマニュアルの閲覧はできないように制限を適用した。通常，東大情報基盤センターのお試しアカウント付き講習会では，講習会終了後 1 週間継続して Oakleaf-FX の使用が可能であるが，今回は講義科目となっている関係もあり，3 月末まで継続して使用可能とした。

学期中の開催ということで，受講者が集まるのかやや懸念されたが，最終的には 52 名の申込があり（うち NTU：43 名，NCU：9 名），52 名のうち 51 名が学生（学部：21 名，大学院（修士）：30 名）であった。

3.2 実施内容

実施した講義内容と資料は東大側で準備した HP[13,14]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（現:名古屋大学情報基盤センター）とともに実施し，ほぼ SC4SC2016 と同じ内容である。片桐教授の都合でやや変則的な講義構成となったが，前半は当センターで実施している「MPI 基礎:並列プログラミング初級入門」[15]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 21 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

[11] http://science.ncu.edu.tw/
[12] http://www.itc.u-tokyo.ac.jp/blog/2015/08/19/post-934/
[13] http://www.abc-lib.org/MyHTML/Lectures/NU/class-matrNTU2017.htm
[14] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2017/
[15] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/53/

- CRS（Compressed Row Storage）による疎行列格納法
- OpenMP 並列プログラミング（片桐）

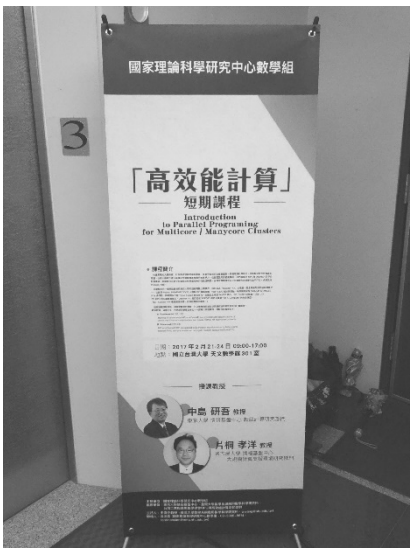
2 日目（2 月 22 日（水））
- FX10 システム（Oakleaf-FX）へのログイン（片桐）
- MPI 並列プログラミング（片桐）
  - 並列プログラミングの基礎
  - 基本的な MPI 関数

3 日目（2 月 23 日（木））
- 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
- 有限体積法アプリケーションの MPI による並列化（中島）
  - 並列分散データ構造
  - 共役勾配法の並列化

4 日目（2 月 24 日（金））
- 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）

3.3 感想等

今回は当初は 2016 年 7 月から稼働を開始した最新の Reedbush を使用する予定であったが，GPU（Nvidia Tesla P100）装着のためこの週は運用停止となった。また最終日（24 日）は Oakleaf-FX は定期メインテナンスに当たっており，実習を行わず，座学による講義のみとなった。



写真：講義風景（左），集中講義のポスター（右）

また今回は，Sli.do[16]というシステムを導入し，講義を聴きながら受講者が質問を入力できるようになった。20 分ほど進めては Sli.do のサイトをチェックし，その間に出た質問に答える，という方式で進めた。王教授は「質問は中国語で書いても良い」と指示してあったそうだが，全員が英語であった。お互い母国でない言語でのコミュニケーションなので，これは非常に便利だった。自分の講義でも使ってみようと思う。

毎回のことではあるが，SC4SC 2017 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。

4 KOBE HPC Summer School 2016

平成 28 年 8 月 1 日（月）～5 日（金）、理化学研究所（理研）計算科学研究機構（Advanced Institute for Computational Science，AICS）において、「KOBE HPC Summer School 2016」（主催：理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学計算科学教育センター、東京大学情報基盤センター、兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科、公益財団法人計算科学振興財団）が開催された [17]。

本サマースクールは、「京」に代表されるスパコンを駆使して何か新しいことに挑戦したいと考えている若手研究者を対象に、並列計算機を使いこなすためのプログラミング手法（並列計算プログラミング）の基礎を学習することを目的として平成 23 年度より開催されている。平成 27 年までは、RIKEN AICS Summer School として実施していたものである。今回から事務局が理研から神戸大学となり、新たに兵庫県立大学、計算科学振興財団が共催団体として加わった。

平成 24 年度，25 年度は講義内容が担当者によって完全に個別に設定されていたため，重複や欠落が多く必ずしも受講者の評判は良くなかったことから，平成 26 年度からは内容を一新し，東大情報基盤センターが主導して，本学理学系研究科地球惑星科学専攻で実施している「並列プログラミング，先端計算機演習 [18]」で実施している内容を元にスケジュールを作成した。名称は変わったものの、平成 28 年度も平成 26 年度、27 年度のプログラムを踏襲して実施した。

実習には Fujitsu PRIMEHPC FX10（神戸大）を使用した。

[16] https://www.sli.do/
[17] http://www.aics.riken.jp/library/event/riken-aics-hpc-summer-school-2015.html
[18] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/16e/

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8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 14 日（木）・15 日（金）に「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 8 回シンポジウム」を THE GRAND HALL（品川）で開催した。当日は 194 名の参加者（大学 137 名、独法等研究機関 26 名、企業他 31 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。毎年度、共同研究の公募・採択を行い、当拠点との共同研究を実施した。

今回のシンポジウムは、平成 27 年度に実施された共同研究 35 課題の口頭発表による最終報告および平成 28 年度公募型共同研究に採択された中から 57 課題のポスター発表による研究内容紹介を実施した。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。

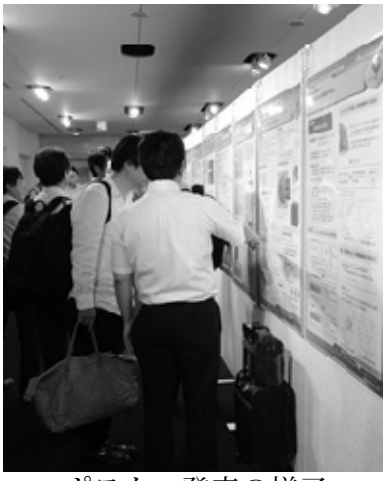
シンポジウム初日には、中村 宏 統括拠点長（東京大学情報基盤センター長）による主催側挨拶と、榎本 剛 文部科学省研究振興局参事官（情報担当）の来賓挨拶があった。それに続けて 2 日間にわたり、公募型共同研究が対象としている超大規模数値計算系応用分野、超大規模データ処理系応用分野、超大容量ネットワーク技術分野、超大規模情報システム関連研究分野およびこれらの分野にまたがる複合分野研究の研究成果発表および研究内容紹介が行われた。

閉会では、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

榎本文部科学省研究振興局参事官（ 情報担当）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

2 研究会

2.1 ASE 研究会

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。平成 28 年度は表 1 に示すように第 22～26 回の 5 回の研究会を開催した。

表1 平成 28 年度に開催された ASE 研究会（第 22 回～第 26 回）

	開催日	概要，主な講演者（所属）・講演題目	出席者数
22[1]	平成 28 年 5 月 10 日（金）	筑波大学計算科学研究センター，最先端共同 HPC 基盤施設（Joint Center for Advanced High Performance Computing（JCAHPC））との共催で，2016 年度中に本格稼働を開始する日米のスーパーコンピュータシステムに関する最新の状況を，Jonathan Carter 博士（Lawrence Berkeley National Laboratory（LBNL））による招待講演も交えて，紹介した。 Kengo Nakajima (The University of Tokyo), Integrated Supercomputer System for Data Analyses and Scientific Simulations (Reed-bush):Computing Sciences at ITC/U.Tokyo Jonathan Carter (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), Computing Sciences at Berkeley Lab and Status of Cori System Taisuke Boku (University of Tsukuba), Status of Post T2K System (Oakforest-PACS)	35
23[2]	平成 28 年 7 月 6 日（水）	来日中の Subodh Sharma 博士（Indian Institute of Technology, Delhi）による講演の他，Sharma 博士から「HPC システムの省電力技術」，「計算科学教育」について議論をしたいという要望があったため，当該トピックについての学内・センター教員からの講演も実施した。	20

[1] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/event/ase/22.html
[2] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/event/ase/23.html

		Subodh Sharma (Indian Institute of Technology, Delhi), Performance Tuning of MPI Programs via Model Checking Massaki Kondo, and Thang Cao (The University of Tokyo), Demand-Aware Power Management for Power-Constrained HPC Systems Kengo Nakajima (The University of Tokyo), CSE Education in the University of Tokyo and Activities of the CS Alliance	
24[3]	平成 28 年 12 月 1 日（木）	並列直接法ライブラリ PARADISO の開発者である Olaf Schenk 教授（Universita della Svizzera italiana, Switzerland）による疎行列直接並列解法の最近の動向について講演を実施した。 Olaf Schenk (Universita della Svizzera italiana, Switzerland), Performance Engineering and Sparse Matrices: Introduction, applications and supercomputing Akhiro Ida (The University of Tokyo), Development of H-matrices with ACA for Large-scaled BIEM Analyses	12
25[4]	平成 28 年 12 月 8 日（木）	学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）平成 28 年度国際共同研究課題として実施している「High-performance Randomized Matrix Computations for Big Data Analytics and Applications（代表：片桐孝洋（名古屋大学情報基盤センター），副代表：王偉仲（國立臺灣大學應用數學科學研究所））」[5]に参加している名古屋大学，國立臺灣大學の研究者に，Integrated Singular Value Decomposition (iSVD) に関する話題を中心に講演を実施した。 Takahiro Katagiri (Nagoya University), Integration of Multiple Randomized Low-Rank Singular Value Decompositions for Large Matrices on Parallel Computers Weichung Wang (National Taiwan University), Evaluating a Randomized Algorithm for Singular Value Decomposition with Supercomputers and Adaptation of Auto-tuning Cheng-Han Du (National Taiwan University), Scaling-Up Finite-Difference Frequency-Domain Photonic Simulation on Multi-GPU Systems	22
26[6]	平成 29 年 1 月 6 日（金）	Edmond Chow 博士（ジョージア工科大学）による Southwell 緩和法に基づく並列反復解法の最先端の研究に関する講演の他，関連分野についてセンター教員から 3 件の発表を実施した。 Edmond Chow (Georgia Institute of Technology, USA), Variants of the Southwell Iterative Method for High Performance Computing, Masatoshi Kawai (The University of Tokyo), Parallel Block ICCG Method for Ill-Conditioned Problems Tetsuya Hoshino (The University of Tokyo), OpenACC Directive Extensions Towards Realizing Performance Portability Kengo Nakajima (The University of Tokyo), Parallel Preconditioning Method for Iterative Linear Solvers on Multicore/Manycore Clusters	15

[3] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/event/ase/24.html
[4] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/event/ase/25.html
[5] http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/ja/abstract.php?ID=jh160025-DAHI
[6] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/event/ase/26.html

2.2 JCAHPC セミナー

平成 25 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[7]（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 では平成 28 年 12 月 1 日より Oakforest-PACS システム[8]（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。平成 28 年度は表 2 に示す 3 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　平成 28 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
1[9]	平成 28 年 9 月 30 日（金）（本郷（浅野））	米国 Intel 社の二人の研究者による，Intel Xeon Phi/KNL を含む最新の技術動向についての講演を実施した。 Kengo Nakajima (The University of Tokyo), Long and Winding Road towards Oakforest-PACS (OFP) Lawrence Meadows (Intel), Intel(R) Xeon Phi(TM) processor: Overview, Experiences, and Optimizations Hideki Saito (Intel), Latest News for ICC Vectorizer (improvements in ICC16.0 and 17.0)	41
2[10]	平成 28 年 11 月 2 日（水）（本郷（浅野））	DDN Japan の二人のエンジニアによる、Oakforest-PACS および Reedbush システムに利用されているファイルキャッシュシステムについての講演を実施した。 ファイルシステムキャッシュ概要 Reedbush/OFP ファイルシステムキャッシュ構成説明、使い方、差違など Reedbush 性能評価報告、アプリケーション IO 高速化のヒントご紹介	35
3[11]	平成 29 年 2 月 17 日（金）（柏）	エクセルソフト社の講師による、Intel Xeon Phi/KNL の概要と最適化手法についての講演を実施した。 インテル Xeon Phi プロセッサー（Knights Landing)の概要 インテルソフトウェア開発製品の KNL 対応機能紹介 KNL 向け最適化に必要なポイント: AVX512、並列化、メモリー DRAM と MCDRAM の違いと効果的な利用方法 解析ツールを用いた AVX512 ベクトル化	38

[7] http://jcahpc.jp/
[8] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/system/ofp/
[9] http://jcahpc.jp/event/seminar1.html
[10] http://jcahpc.jp/event/seminar2.html
[11] http://jcahpc.jp/event/seminar3.html

公募型研究プロジェクト

研究支援チーム　　スーパーコンピューティングチーム

1　学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点　公募型研究平成 28 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 28 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
○	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
○	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
○	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
○	高分子材料系の粗視化 MD の次世代大規模 HPC 利用の基盤的研究	萩田克美 (防衛大学校)	数	北大,名大,阪大,九大
	分散メモリ型スーパーコンピュータにおける直接法と反復法の並列化行列解法の研究	若谷彰良 (甲南大学)	数	京大,阪大
	次世代降着円盤シミュレータの開発	廣瀬重信 (海洋研究開発構)	数	
○	タイルアルゴリズムの大規模適用時の通信最適化	鈴木智博 (山梨大学)	数	

	階層分割型数値計算フレームワークを用いた 3 次元電磁界解析の高速化研究	杉本振一郎 (諏訪東京理科大学)	数	名大
	分子動力学計算ソフトウェア MODYLAS のメニーコアおよびワイド SIMD アーキテクチャ対応並列化に関する研究	安藤嘉倫 (名古屋大学)	数	名大

④ 萌芽型共同研究課題

研究課題名	研究課題代表者 (所属)
カノニカル法に基づいた QCD 計算による、有限温度、有限密度での QCD 相構造の解析	福田龍太郎 (東京大学)
粒子法を用いた複雑な表面を持つ流体の大規模並列計算	桶作愛嬉 (東京大学)
大規模並列環境におけるグラフ最良優先探索の効率的な仕事分配手法	陣内佑 (東京大学)
複数の収束しにくい成分を指定する SA-AMG 法の研究と改良	野村直也 (工学院大学)
brucite の(001)面における摩擦特性の決定	奥田花也 (東京大学)
竜巻を伴う回転積乱雲(スーパーセル)のエントレインメントを調べる理想化数値実験	末木健太 (東京大学)
直接数値計算による Langmuir 乱流の研究	藤原泰 (京都大学)

※ 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

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。

平成 28 年度の国際・企業・一般公募型共同研究課題に対し、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)。

Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
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。また、平成 28 年度の優先ノード数は 168 ノードだった。

2015 年 11 月に平成 28 年度の国際・企業・一般公募型共同研究の課題募集を開始し（2016 年 1 月 8 日締切）、2016 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 47 課題のうち 39 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 10 題である。そのうち、超大規模数値計算系応用分野の 5 課題と、超大規模データ処理系応用分野の 1 課題の合計 6 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、37 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 7 課題である。

また、2016 年 7 月 14 日（木）・15 日（金）に第 8 回シンポジウムが THE GRAND HALL（品川）で開催され、平成 27 年度に実施された公募型共同研究 35 課題の口頭発表による最終報告および平成 28 年度公募型共同研究に採択された中から 57 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、平成 24 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級の計算資源である。

平成 24 年秋から京コンピュータの運用も開始されたが、「大規模 HPC チャレンジ」を通して、ポストペタスケール、エクサスケールシステムへ向けたアプリケーション、アルゴリズム、システムソフトウェアの開発が促進されることを期待している。

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、4,800 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。成果発表にあたっては「FX10 スーパーコンピュータシステム」の利用、「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」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。
- センターの主催、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 2016 年度採択課題

第 1 回採択課題（平成 28 年 4 月～7 月）

課題名	代表者名	所属
並列多重格子法ソルバーの最適化および性能評価（その 2）	中島　研吾	東京大学情報基盤センター
大規模コードクローン解析のためのスーパーコンピューティングに関する研究	鵜林　尚靖	九州大学システム情報科学研究院

第 2 回採択課題（平成 28 年 8 月～11 月）

課題名	代表者名	所属
計算・通信とオーバーラップ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
ADVENTURE_Magnetic による 100 億自由度数値人体モデルの高周波電磁界解析	武居　周	宮崎大学工学教育研究部

第 3 回採択課題（平成 28 年 12 月～平成 29 年 3 月）

課題名	代表者名	所属
Volume Penalization 法を用いた複雑形状を有する楽器まわりの流れと音の厳密解予測への試み	横山　博史	豊橋技術科学大学 機械工学系

3 スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦

当センターでは、概ね 40 歳以下の若手研究者（学生を含む）及び女性研究者（年齢は問わない）を対象とした、スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦（以降、若手・女性推薦）による課題の公募を行っている。スーパーコンピューティング部門の教員により審査の上、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。

また、平成 24 年度から各採択課題について、スーパーコンピューティング研究部門の教員が技術的・学術的補佐を行う共同研究者として参加し、各採択課題の支援を行う。共同研究実施のため、東京大学情報基盤センター柏キャンパスにおける共同研究場所の確保、および、必要に応じて柏キャンパスまでの旅費（最大で1週間程度）を支給する。

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。採択の方には、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する。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」の公募型共同研究へと進展することなどが大いに期待される。平成 27 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、平成 27 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。

平成 28 年度からは「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）」審査委員会による承認の上、JHPCN の萌芽型共同研究として認定される。

3.1 2016 年（前期）採択課題

2016 年（前期）は、FX10 スーパーコンピュータ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	利用システム
カノニカル法に基づいた QCD 計算による、有限温度、有限密度での QCD 相構造の解析	福田 龍太郎	東京大学 理学系研究科	FX10
粒子法を用いた複雑な表面を持つ流体の大規模並列計算	桶作 愛嬉	東京大学 理学部	FX10

3.2 2016 年（インターン）採択課題

2016 年（インターン）は、FX10 スーパーコンピュータ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	利用システム
大規模並列環境におけるグラフ最良優先探索の効率的な仕事分配手法	陣内 佑	東京大学 総合文化研究科	FX10
複数の収束しにくい成分を指定する SA-AMG 法の研究と改良	野村 直也	工学院大学 工学研究科	FX10

3.3 2016 年（後期）採択課題

2016 年（後期）は、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	利用システム
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
竜巻を伴う回転積乱雲(スーパーセル)のエントレインメントを調べる理想化数値実験	末木 健太	東京大学 理学系研究科	FX10
直接数値計算による Langmuir 乱流の研究	藤原 泰	京都大学 理学研究科	FX10

スーパーコンピュータの企業利用支援

研究支援チーム

1　スーパーコンピュータの企業利用支援

1.1　企業利用趣旨

工学系研究者および産業界で大規模計算シミュレーションに対する期待が高まっている一方で、その利用は進んでいない。また、企業がスーパーコンピュータ（スパコン）を導入しようとする動きは、必ずしも旺盛ではない。これらの理由として、PC レベルでの小規模計算シミュレーションを大量に処理したいというユーザが多いこと、小規模計算シミュレーションを行っているユーザが大規模計算シミュレーションを行う機会がないために、費用対効果を検討できないことが挙げられる。また、多くの現場において、計算シミュレーションの方法論が浸透していないことも理由の一つである。

一方、文部科学省は、世界が研究開発にしのぎを削る分野で日本の国際競争力を高めようと、大学や独立行政法人等の公的研究機関がもつ先端研究装置を、企業へ開放する方針を推進している。

このような状況を背景として、情報基盤センターでは、次世代スーパーコンピュータにつながるユーザ育成も視野に入れつつ、大規模高性能並列計算を必要とする企業に対して計算資源を提供する。企業利用については、企業における単なる計算需要の負荷を肩代りするのではなく、以下の項目に合致するテーマを支援するものである。

(1) 将来の科学技術発展に寄与する。
(2) 大規模高性能並列計算分野の発展に寄与する。
(3) 大規模高性能並列計算によるイノベーションに寄与する。

1.2　支援内容

企業利用へ提供する計算資源は、スーパーコンピュータシステム全計算資源の 10%以内である。以下の 2 つの利用者カテゴリで課題を公募し、審査委員会での審査を行う。ただし、限られた資源を有効に利用するために、採択可能な課題に対して優先順位を付ける。提供可能な計算資源を勘案して申込内容の調整を行い、採択課題を決定する。

- アプリケーション開発者あるいは利用者
  - 企業の開発現場において既に確立されている計算シミュレーションによるものづくりに使われるのではなく、産業利用として先端性を有する計算シミュレーションおよび応用分野の課題を支援する。このような先端性を有する計算シミュレーションでは、大規模な並列計算が必要であると考えられる。

- ASP（Application Service Provider）事業者
  - 計算シミュレーションによるものづくりを行ってきていない企業に対し、計算シミュレーションによる高度なものづくりを支援するためには、計算シミュレーションソフトウェアの性質を理解し、入力データの作成、シミュレーション結果の解析などの、きめ細かい支援が必要であ

る。産業界に対して、このような広範な支援を大学が行うのは難しいため、支援を行っていく企業との連携が不可欠である。そのため、計算シミュレーションによるもの作りを従来行っていない企業への支援体制が整っている ASP 事業者を支援する。

大学が企業へ提供する計算資源は限られている。本来、企業は自前でスパコンを確保すべきである。支援を行う企業において大規模計算シミュレーションによるものづくりの可能性が得られた際には、本支援を終了する。ASP 事業者については、ASP 事業者が自前でスパコンを確保できる環境が整い次第、支援を終了する。

1.3 平成 28 年度企業利用

平成 28 年 4 月利用開始の公募では、利用資格者審査の結果、1 件が採択された。また、平成 28 年 10 月利用開始の公募では、2 件が採択された。

平成 28 年度は、10 月および平成 29 年 4 月利用開始の 2 回の課題公募を実施した。平成 29 年 4 月利用開始の公募では、平成 28 年度からの継続となる 2 件および新規 3 件の応募があり採択された。

●平成 28 年度第一回公募（平成 28 年 4 月以降利用開始）
- ・対象システム：FX10
  - ➢ 申請 1 件 （継続課題）
  - ➢ 採択 1 件 （継続課題）
    - ✧ 株式会社ブリヂストン（FX10）
      - ● 「低燃費タイヤ用ゴム材料設計を目指した大規模分子シミュレーション基盤技術の開発」

●平成 28 年度第二回公募（平成 28 年 10 月以降利用開始）
- ・対象システム：FX10、Reedbush-U
  - ➢ 申請 2 件 （新規課題）
  - ➢ 採択 2 件 （新規課題）
    - ✧ セイコーインスツル株式会社（Reedbush-U）
      - ● 「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」
    - ✧ 株式会社 JSOL（Reedbush-U）
      - ● 「電磁界有限要素解析の大規模処理による高速化の検討」

●平成 29 年度第一回公募（平成 29 年 4 月以降利用開始）
- ・対象システム：FX10、Reedbush-U、Reedbush-H、Oakforest-PACS
  - ➢ 申請 5 件 （内継続課題 2 件）
  - ➢ 採択 5 件 （内継続課題 2 件）
    - ✧ 株式会社小堀鐸二研究所（Oakforest-PACS）
      - ● 「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」
    - ✧ セイコーインスツル株式会社（Reedbush-U）
      - ● 「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」
    - ✧ 株式会社データダイレクト・ネットワークス・ジャパン（Reedbush-U）
      - ● 「IME を使用した IO アクセラレーションテスト」
    - ✧ 株式会社 JSOL（Reedbush-U）
      - ● 「電磁界有限要素解析の大規模処理による高速化の検討」

- ✧ 株式会社 JSOL（Reedbush-H）
  - 「GPU による電磁界有限要素解析の高速化の検討」

1.4 平成 28 年度企業利用関連の教員との共同研究

企業利用制度推進の一環として、センター教員との共同研究も行っている。センター教員との共同研究は、年間数件程度を予定しており、共同研究契約を締結することにより、スーパーコンピュータを利用することができる。

●平成 28 年度　教員との共同研究

- ✧ 株式会社ヴァイナス （担当教員：伊田明弘　特任准教授）
  - 「低ランク行列近似を用いた新しい反復法ソルバの開発」

以上

スーパーコンピューター利用による研究成果報告（2016 年）

スーパーコンピューティングチーム

1　大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10

2016 年 (2016 年 1 月～2016 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。

1.1　論文

【社会・安全システム科学】

1. Guo, Y., K. Koketsu and H. Miyake: Propagation mechanism of long-period ground motions for offshore earthquakes along the Nankai Trough: effects of the accretionary wedge: Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 106, 1176-1197.

【物理学】

2. J. Terasaki: Two decay paths for calculating the nuclear matrix element of neutrinoless double-β decay using quasiparticle random-phase approximation: Physics Review C, American Physical Society, VoL. 93, 024317-1 -9.

【地球惑星科学】

3. M. Yamamoto and M. Takahashi: General circulation driven by baroclinic forcing due to cloud-layer heating: significance of planetary rotation and polar eddy heat transport: Journal of Geophysical Research - Planets, Vol. 121, 558-573.

【基礎化学】

4. Erik Lötstedt, Tsuyoshi Kato and Kaoru Yamanouchi: Decomposition of the configuration-interaction coefficients in the multiconfiguration time-dependent Hartree-Fock method: The Journal of Chemical Physics, American Institute of Physics, Vol. 144, No. 15, 154111.

【土木工学】

5. Yohei Sawada, Toshio Koike: Towards ecohydrological drought monitoring and prediction using a land data assimilation system: A case study on the Horn of Africa drought (2010-2011): Journal of Geophysical Research - Atmospheres, American Geophysical Union, Vol. 121, No. 14, 8229-8242.

【総合工学】

6. Takayuki Araki, Keisuke Yoshida, Youhi Morii, Nobuyuki Tsuboi, A. Koichi Hayashi: Numerical Analyses on Ethylene/Oxygen Detonation with Multi-step Chemical Reaction Mechanisms: Grid Resolution and Chemical Reaction Model: Combustion Science and Technology, Taylor & Francis, Vol. 188, No. 3, 346-369.

1.2　口頭・ポスター発表

【社会・安全システム科学】

7. 郭雨佳, 纐纈一起: 地震波形の広帯域性を考慮した三次元速度構造インバージョン: 日本地球惑星科学連合大会.
8. 郭雨佳, 纐纈一起, 三宅弘恵: 2016 年 4 月 1 日三重県南東沖の地震 (Mj 6.5) の長周期地震動に対する南海トラフ付加体の効果: 日本地震学会秋季大会.
9. 郭雨佳, 纐纈一起: マルチスケール波形インバージョンによる南海トラフ付加体の三次元速度構造の推定: 日本地震学会秋季大会.

【応用物理学】
10. 島田 和宏, 中尾 優斗, 藤枝 直輝: M2O3(M=Al,Ga,In)のバンドギャップとバンドオフセットの第一原理計算: 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 14p-P10-12.
11. 島田 和宏, 市川 拓也, 坂巻 宏紀, 近 拳輔, 堂上 真人, 秩父重英: ScxAl1-xN と YxAl1-xN のバンドギャップとバンドオフセットの第一原理計算: 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 16a-P5-31.

【物理学】
12. 寺崎順: QRPA を用いた 48Ca のニュートリノレス二重ベータ崩壊の原子核行列要素計算: 日本物理学会第 71 回年次大会, 日本物理学会講演概要集.

【基礎化学】
13. Erik Lötstedt, Tsuyoshi Kato and Kaoru Yamanouchi: Efficient solution of the time-dependent Schrödinger equation: Factorized CI approximation in MCTDHF: International Conference on Computational Methods in Science and Engineering 2016, Computational Chemistry Symposium.

2 大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム SR16000

2016 年 (2016 年 1 月～2016 年 12 月) における、大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム SR16000 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

【複合化学】
14. T. Kubo, R. Häusermann, J. Tsurumi, J. Soeda, Y. Okada, Y. Yamashita, N. Akamatsu, A. Shishido, C. Mitsui, T. Okamoto, S. Yanagisawa, H. Matsui, and J. Takeya: Suppressing molecular vibrations in organic semiconductors by inducing strain: Nature Communications, Nature Publishing Group, Vol. 7, 11156.
15. C. Mitsui, Y. Tanaka, S. Tanaka, M. Yamagishi, K. Nakahara, M. Yano, H. Sato, A. Yamano, H. Matsui, J. Takeya, and T. Okamoto: High Performance Oxygen-bridged N-shaped Semiconductors with Stabilized Crystal Phase and Blue Luminescence: RSC Advances, RSC Publishing, Vol. 6, 28966-28969.

2.2 口頭・ポスター発表

【複合化学】
16. T. Kubo, C. Mitsui, A. Yamamura, and J. Takeya: Effects of strain in ultra-thin organic semiconductor crystals: MRS Fall Meeting 2016.
17. 窪孝祥, 鶴見淳人, R. Hausermann, 渡邉峻一郎, 赤松範久, 宍戸厚, 三津井親彦, 岡本敏宏, 柳澤将, 松井弘之, 竹谷純一: 歪み有機単結晶トランジスタの温度依存性とホール効果測定: 日本物理学会第 71 回年次大会.
18. 安中辰朗, 三津井親彦, 井原将司, 山岸正和, 矢野将文, 岩澤大地, 長谷川美貴, 竹谷純一, 岡本敏宏: アルキル置換酸素架橋 V 字型半導体の集合体構造と発光特性: 第 27 回基礎有機化学討論会.

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 2016

10 月 21 日（金）、22 日（土）の 2 日間、柏キャンパスで「東京大学柏キャンパス一般公開 2016（発見・体験！柏の知）」が開催された。情報基盤センターでは、スーパーコンピュータガイドツアーで、これまでのスパコン「Oakleaf-FX」に加えて、新スパコン「Oakforest-PACS」を公開した。試験運転作業中のため、「Oakforest-PACS」の室内見学は行わなかったが、ツアー参加者はスパコン「京」を超える性能という説明に興味深く耳を傾けていた。恒例の三次元可視化システム体験、ポスター展示およびビデオ上映「スーパーコンピューティングへの招待」も実施され、スーパーコンピュータ見学者 479 名（1 日目 201 名、2 日目 278 名）、うちガイドツアー参加者 192 名（1 日目 38 名、2 日目 154 名）、三次元可視化システム体験の参加者 163 名（1 日目 61 名、2 日目 102 名）と大盛況であった。

スーパーコンピュータ「Oakleaf-FX」見学の様子

スーパーコンピュータ「Oakforest-PACS」見学の様子
（説明員：中島教授、塙准教授、大島助教、伊田特任准教授）

三次元可視化システム体験の様子（説明員：松本特任講師、星野助教）

2　来訪者の状況

平成 28 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　平成 28 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	7月6日	日本経済新聞科学技術部	1	施設見学（取材）	Oakforest-PACS
2	7月11日	松戸テクノプラザ	11	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
3	12月1日	Oakforest-PACS 運用開始記者会見	10	施設見学	Oakforest-PACS
4	12月2日	Oakforest-PACS 運用開始記念式典	125	施設見学	Oakforest-PACS
5	12月6日	文科省参事官補佐	4	施設見学	Oakforest-PACS
6	12月7日	CDMSIシンポジウム	8	施設見学	Oakforest-PACS
7	12月9日	NHKエンタープライズ	7	施設見学（取材）	Oakforest-PACS
8	12月26日	筑波大学	2	施設見学	Oakforest-PACS、Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
9	1月18日	Asetek	2	施設見学	Oakforest-PACS
10	1月19日	理化学研究所AICS	8	施設見学	Oakforest-PACS
11	1月24日	企業利用説明会（柏）	9	施設見学	Oakforest-PACS
12	1月24日	大成建設	8	施設見学	Oakforest-PACS
13	1月25日	Accelerated Data and Computing Workshop	47(30)	施設見学	Oakforest-PACS、Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）

14	2月7日	国立環境研究所	2	施設見学	Oakforest-PACS
15	2月17日	PCクラスタワークショップ	61	施設見学	Oakforest-PACS

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	一般社団法人 日本ソフトウェア科学会 役員候補者選考委員会委員	26.4.1 ～ 29.3.31
	独立行政法人 科学技術振興機構 研究領域「ビックデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」 副研究総括	26.4.1 ～ 30.3.31
	日本学術会議 日本学術会議会員	26.10.1 ～ 30.9.30
	一般社団法人 日本ソフトウェア科学会 評議員	27.4.1 ～ 31.3.31
	京都大学数理解析研究所 専門委員会委員	27.9.1 ～ 29.8.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	28.4.1 ～ 28.8.31
	国立研究開発法人 理化学研究所 客員主管研究員	28.4.1 ～ 29.3.31
	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会委員	28.4.1 ～ 29.3.31
	国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究主幹	28.4.1 ～ 29.3.31
	一般社団法人 大学ICT推進協議会 研究員	28.4.1 ～ 29.3.31
	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	28.4.1 ～ 29.3.31
	学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点運営委員会委員	28.4.1 ～ 30.3.31
	東京大学 情報倫理委員会委員	28.4.1 ～ 30.3.31
	東京大学 情報倫理審査専門委員会委員	28.4.1 ～ 30.3.31
	一般社団法人情報処理学会 一般社団法人情報処理学会理事	28.6.3 ～ 30.6.3
	公益財団法人りそな中小企業振興財団 「中小企業優秀新技術・新製品賞」専門審査委員会委員	28.9.1 ～ 29.8.31
	情報セキュリティ大学院大学 客員教授	28.10.1 ～ 29.3.31
田中 哲朗	東京大学教養学部 非常勤講師	28.4.1 ～ 28.8.31
	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	28.4.1 ～ 29.3.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	28.9.1 ～ 29.3.31
品川 高廣	東京大学教養学部 非常勤講師	28.4.1 ～ 28.8.31
	東京大学工学部 非常勤講師	28.5.1 ～ 28.8.31
	東京大学工学部 非常勤講師	28.9.1 ～ 29.3.31
関谷 貴之	専修大学 非常勤講師	28.4.1 ～ 29.3.31
	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員	28.4.1 ～ 29.3.31
	東京学芸大学 非常勤講師	28.4.7 ～ 28.9.30
岡田 和也	慶應義塾大学SFC研究所 上席所員	28.5.25 ～ 29.3.31
	東京大学情報システム本部 東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	29.1.1 ～ 30.3.31
中川 裕志	柏図書館 柏図書館運営委員会委員	27.4.1 ～ 30.3.31
	株式会社Faber&Technology 技術アドバイザー	27.12.1 ～ 28.11.30
	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 客員研究員	28.4.1 ～ 29.3.31
	一般社団法人バイオ産業情報化コンソーシアム タスクフォース1委員	28.6.27 ～ 29.3.31

委員会委員等

	一般社団法人産業競争力懇談会 「IoT時代におけるプライバシーとイノベーションの両立」プロジェクトメンバー	28.8.15 ～ 29.3.31
	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目的指向基盤技術研究グループプライバシーと社会制度チームチームリーダー（非常勤）	28.10.1 ～ 29.3.31
荒井 ひろみ	独立行政法人 理化学研究所 客員研究員	26.10.1 ～ 29.3.31
	コンピュータセキュリティシンポジウム2016（CSS2016）プログラム委員会 プログラム委員	28.4.1 ～ 28.12.31
工藤 知宏	独立行政法人 産業技術総合研究所 客員研究員	27.4.1 ～ 29.3.31
	独立行政法人 産業技術総合研究所 客員研究員	27.4.1 ～ 29.3.31
	一般社団法人 電子情報通信学会 通信ソサイエティ ネットワーク仮想化時限研究専門委員会専門委員	27.4.1 ～ 29.3.31
	文部科学省研究振興局 HPCI計画推進委員会次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ委員	27.8.5 ～ 29.3.31
	文部科学省研究振興局 特定高速電子計算機施設に係る評価委員会委員	28.2.26 ～ 29.2.25
	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 非ノイマン型計算機へ向けたデバイス技術分科会委員長	28.4.1 ～ 29.3.31
	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長	28.4.1 ～ 29.3.31
	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO技術委員	28.5.19 ～ 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・連携本部ネットワーク作業部会委員	28.6.23 ～ 29.3.31
中山 雅哉	一般社団法人 電子情報通信学会 ソサイエティ論文誌 査読委員	27.6.4 ～ 28.6.30
	東京大学 情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）統括責任者	28.4.1 ～ 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	28.6.23 ～ 29.3.31
	国立保健医療科学院 「国立保健医療科学院研究情報ネットワークシステムの更改に係る構築、賃貸借及び運用保守調達に係る提案書技術審査委員会」委員	28.8.1 ～ 28.8.31
	東京大学情報システム本部 東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	29.1.1 ～ 30.3.31
関谷 勇司	東京大学キャンパス計画室交通計画部会 東京大学キャンパス計画室交通計画部会本郷地区WG委員	27.10.1 ～ 29.3.31
	慶應義塾大学SFC研究所 SFC研究所上席所員	28.4.1 ～ 29.3.31
	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 学術情報ネットワーク運営・連携本部セキュリティ作業部会委員	28.6.23 ～ 29.3.31
	東京大学理学部 非常勤講師	28.9.1 ～ 29.3.31
	総務省 情報通信審議会情報通信政策部会IoT政策委員会人材育成ワーキンググループの構成員	28.10.18 ～ 28.12.5
	東京大学情報システム本部 東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	29.1.1 ～ 30.3.31
小川 剛史	一般社団法人電子情報通信学会 通信ソサイエティ和文論文誌編集委員	24.6.1 ～ 28.5.31
	特定非営利活動法人 日本バーチャルリアリティ学会 サイバースペースと仮想都市研究委員会副委員長	27.1.1 ～ 29.12.31
	特定非営利活動法人 日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究委員会委員	28.1.1 ～ 30.12.31
	東京大学文学部 非常勤講師	28.4.1 ～ 29.3.31
	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	28.4.1 ～ 29.3.31
	一般社団法人 情報処理学会 デジタルコンテンツクリエーション研究運営委員会運営委員	28.4.1 ～ 30.3.31

中村　文隆	法政大学　非常勤講師	28.4.1　～　28.9.30
	法政大学　非常勤講師	28.10.1　～　29.3.31
	東京大学情報システム本部　東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	29.1.1　～　30.3.31
妙中　雄三	一般社団法人　電子情報通信学会　情報ネットワーク研究専門委員会専門委員	27.6.4　～　29.6.30
	慶應義塾大学SFC研究所　上席所員	28.4.1　～　29.3.31
宮本　大輔	国際学会　AsiaJCIS2016　プログラム委員	27.10.29　～　28.8.5
	東京大学　情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）委員	28.4.1　～　30.3.31
	国立研究開発法人情報通信研究機構サイバーセキュリティ研究所　協力研究員	28.7.1　～　29.3.31
中島　研吾	一般社団法人　日本計算工学会　理事	26.5.20　～　28.5.20
	北海道大学情報基盤センター　共同利用・共同研究委員会	27.4.1　～　29.3.31
	東京大学理学系研究科　非常勤講師	28.4.1　～　28.9.25
	一般社団法人　日本応用数理学会　代表会員	28.4.1　～　29.3.31
	国立研究開発法人理化学研究所　客員主管研究員	28.4.1　～　30.3.31
	東北大学サイバーサイエンスセンター　大規模科学計算システム全国共同利用連絡会議委員	28.4.1　～　30.3.31
	東京大学物性研究所附属物質設計評価施設　スーパーコンピュータシステム共同利用委員会委員	28.4.1　～　30.3.31
	京都大学学術情報メディアセンター　スーパーコンピュータシステム共同研究企画委員会委員	28.4.1　～　30.3.31
	一般財団法人　日本計算工学会　理事	28.5.27　～　30.5.31
	東京大学工学部　非常勤講師	28.9.1　～　29.3.31
近藤　正章	国立研究開発法人理化学研究所　客員研究員	28.4.1　～　30.3.31
佐藤　周行	一般社団法人　電子情報通信学会　インターネットアーキテクチャ研究専門委員会委員	26.6.5　～　28.6.30
	一般社団法人　日本ソフトウェア科学会　評議員	27.4.1　～　31.3.31
	一般社団法人　情報処理学会　論文誌ジャーナル/JIP特集号編集委員長	27.4.3　～　28.8.15
	国際会議CANDAR (International Symposium on Computing and Networking) トラックチェア	27.4.23　～　28.7.31
	国際会議　COMPSAC　2016　プログラム全体委員会委員長	27.7.24　～　28.6.14
	Mobile Cloud 2016　General Chair	27.9.7　～　28.4.1
	国際学会　IEEE　雑誌「IT　Professional」編集委員	27.11.24　～　28.11.23
	東京大学情報理工系研究科　非常勤講師	28.4.1　～　28.8.31
	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	28.6.23　～　29.3.31
	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	28.7.26　～　29.3.31
	一般財団法人日本情報経済社会推進協会　平成28年度電子経済産業省構築事業（ID連携トラストフレームワークのためのリポジトリ検討）に係る検討委員会委員	28.11.25　～　29.3.31
	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	28.11.25　～　29.3.31

委員会委員等

	東京大学情報システム本部　東京大学セキュリティ監視チーム（UTSOC）構成員	29.1.1　～　30.3.31
塙　敏博	文部科学省研究振興局　技術参与	28.4.1　～　29.3.31
	東京大学工学部　非常勤講師	28.4.1　～　29.3.31
	筑波大学計算科学研究センター　客員准教授	28.4.1　～　29.3.31
	東京工業大学学術国際情報センター　学術国際情報センター共同利用専門委員会委員	28.4.28　～　29.3.31
大島　聡史	東京大学キャンパス計画室　東京大学キャンパス計画室交通計画部会柏地区WG委員	27.4.1　～　29.3.31
	一般社団法人　情報処理学会　ハイパフォーマンスコンピューティング研究運営委員会	28.4.1　～　30.3.31
有間　英志	国立研究開発法人　理化学研究所　客員研究員	28.5.1　～　29.3.31

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.392
第８回	7/14-15	
・コンピュータ・ネットワーク利用セミナー		p.330
（第84回）「平成28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	12/13-15	

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.286
本郷キャンパス	情報学環・福武ホール	4/1-8/10(平日), 8/22-12/26(平日),1/5-3/30(平日) 合計465回	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/ 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 18, 20, 22, 26, 28 5/9, 12, 17, 20, 24, 27 6/2, 10, 20, 28, 7/6, 14, 22 ,8/1, 9, 9/16, 21, 27 10/3, 13, 21, 27, 11/9, 21	
柏キャンパス	柏図書館	4/22, 26, 5/31, 6/8	
出張講習会		4/1(2回), 4/4, 9/14, 9/21	
・システム利用説明会			p.297
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/13, 3/22	
駒場キャンパス	情報教育棟	9/12, 3/24	
・相談員説明会			
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/6, 9/27	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/6, 9/27	

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.308
論文準備ここからスタート！	4/5, 4/18, 4/27, 5/24, 5/30, 6/9, 6/22, 7/5, 8/2, 10/7, 11/1, 12/8, 1/13, 1/19, 2/9, 3/10	
はじめよう！RefWorks(昼休み30分)	4/12, 4/20, 5/24, 5/25, 6/10, 6/16, 6/21	
はじめての本や論文の探し方(昼休み30分)	5/10, 5/18, 5/23	
比べる！検索ツール(昼休み30分)	7/1, 7/6, 7/12, 9/30, 12/13, 12/21	
はじめよう！Mendeley(昼休みor夕方30分)	9/16, 10/6, 10/18, 11/7, 11/25, 12/2, 12/7	
本文入手大作戦（昼休み30分）	9/28, 1/11, 1/24	
就活の味方「eol」ミニ講座（昼休み20分）	10/11, 10/12, 10/17, 11/2, 11/10, 11/18	
論文投稿シミュレーション：JCRとRefWorksを使って	10/25, 11/9（中止）	
卒業してからの文献検索・文献管理	2/3, 2/15, 3/7, 3/9	
・夜間ガイダンス		p.309
論文準備のための文献管理：Web of Science & RefWorks	7/15, 8/5, 10/14, 11/18	
・留学生向け情報探索ガイダンス		p.309
Enhanced course 「Searching for books and papers」英語コース	4/14, 4/20, 9/28, 10/6	
韓国語コース	5/12	
中国語コース	10/14(同日2回開催)	
・外部講師による講習会		p.310
Mendeley講習会　文献管理ツールクローズアップ	6/7(同日2回開催)	
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう	6/9	
SciFinderで化学分野の情報検索をするには？	6/10	
人社系向け新聞を研究にいかす	6/14, 6/21	
EndNote講習会　文献管理ツールクローズアップ	6/15	
OECDの出版物や統計を探すには？OECD iLibrary講習会	6/16	
LexisNexis Academicで海外のニュースやビジネス情報を検索するには？	6/17	
研究戦略：研究分析ツールESI/InCites講習会	7/27	
研究戦略：研究分析ツールSciVal/Pure講習会	7/29	
SciFinder講習会	9/21	
・秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会	7/29, 8/30	p.310
・出張・オーダーメイド講習会		p.311
オーダーメイド講習会 文学部、医学系研究科、情報学環学際情報学府、工学部、医科学研究所、理学部、総合文化研究科、附属病院、公共政策大学院	4/8, 4/25, 4/26, 5/17, 5/27, 6/8, 6/24, 6/29, 7/25, 9/29, 10/5, 10/6, 10/24, 10/28, 11/29, 12/9, 12/16, 12/20, 3/21, 3/23	

附属図書館・室等との共催講習会		p.313
総合図書館、生産研図書室、先端研図書室、地震研図書室、医学図書館、理学部生物学科図書室、農学生命科学図書館、工学・情報理工学図書館、駒場図書館、大学院数理科学研究所図書室、経済学図書館、教養教育高度化機構初年次教育部門、柏図書館、薬学図書館、医科学研究所図書室	4/4, 4/5, 4/6, 4/7, 4/8, 4/11, 4/22, 4/26, 4/28, 5/2, 5/9, 5/11, 5/13, 5/18, 5/19, 5/20, 5/26, 5/27, 6/14, 6/20, 6/23, 6/27, 6/28, 7/14, 9/7, 9/14, 9/15, 9/27, 9/30, 10/3, 10/4, 10/13, 10/18, 10/19, 10/20, 10/21, 10/27, 10/31, 11/22, 11/24, 12/19, 2/1, 2/8, 2/16	
・初年次ゼミナール		p.318
文科	4/13, 4/14, 4/15, 4/18, 4/19	
・セミナー		p.318
英語論文セミナー SAGE Talks: Simple Guide to Writing a Journal Article	11/11	
英語論文セミナー 出版社が語るアクセプトされる論文とは？～Elsevier～	11/15	
・質問受付day	1/16, 1/17, 1/18	p.318
・テキスト協力	5/18, 5/20, 5/24, 5/26, 6/7, 6/17, 10/13, 10/14, 10/18, 10/19, 11/9, 11/21, 11/25, 12/6, 12/14, 12/22, 12/26, 1/12, 1/17, 1/27	p.319
・講習会協力		p.320
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	5/31, 6/30, 7/7, 12/22	

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.330
第14回	10/25	

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.378
第55回「ALPS入門」	5/18（中止）	
第56回「有限要素法で学ぶ並列プログラミング基礎」	5/24-25	
第57回「OpenFOAM入門」	5/31	
第58回「GPUプログラミング入門」	6/8	
第59回「OpenMP/OpenACCによるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」	6/14-15	
第60回「並列有限要素法とハイブリッド並列プログラミング」	6/28-29	
第61回「MPI基礎：並列プログラミング入門」	7/7-8	

第62回「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」	9/6-7	
第63回「MPI基礎：並列プログラミング入門」	9/12-13	
第64回「OpenFOAM入門」	9/27	
第65回「有限要素法で学ぶ並列プログラミング基礎」	10/11-12	
第66回「MPI上級」	10/14（中止）	
第67回「GPUプログラミング入門」	10/17	
第68回「OpenMP/OpenACCによるマルチコア・メニィコア並列プログラミング入門」	11/8-9	
第69回「OpenFOAM入門」	11/29（中止）	
第70回「並列有限要素法とハイブリッド並列プログラミング」	2/14-15（中止）	
第71回「ライブラリ利用：科学技術計算の効率化入門」	2/28-3/1	
第72回「MPI基礎：並列プログラミング入門」	3/6-7	
第73回「OpenFOAM初級 in 名古屋」	3/13	
第74回「GPUプログラミング入門 in 名古屋」	3/14	
・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.393
第22回	5/10	
第23回	7/6	
第24回	12/1	
第25回	12/8	
第26回	1/6	
・JCAHPC セミナー		p.395
第1回	9/30	
第2回	11/2	
第3回	2/17	
・その他		
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）利用説明会		p.354
東京大学(柏キャンパス、浅野キャンパス)、慶應義塾大学、山梨大学、早稲田大学、電気通信大学、横浜国立大学、千葉大学、埼玉大学、工学院大学、東京工業大学、東京工科大学	5/26、5/30、6/2、6/10、6/16、6/27、7/1、7/5、7/6、7/11、7/12、7/22	
KOBE HPC Summer School 2016	8/1-5	p.391
NCTS 2017 Courses on High-Performance Computing and Deep Learning	2/21-24	p.388

報道関係一覧

スーパーコンピューティング部門

[報道 1] 日本経済新聞 電子版 2016 年 5 月 10 日 「京」超えるスパコン開発へ 東大・筑波大、富士通と

[報道 2] 日本経済新聞 2016 年 5 月 11 日 「京」超えるスパコン 東大・筑波大など開発へ

[報道 3] 読売オンライン 2016 年 5 月 11 日 国内最高性能スパコン共同導入へ 東大と筑波大

[報道 4] 読売新聞 2016 年 5 月 11 日 国内最高のスパコン 東大と筑波大導入へ 計算能力「京」の 2 倍

[報道 5] 朝日新聞デジタル 2016 年 5 月 17 日 新スパコン、「京」の2 倍速 東大と筑波大が共同導入へ

[報道 6] 日刊工業新聞 2016 年 7 月 23 日 次期スパコン 共同で運営管理 筑波大・東大が研究組織

[報道 7] 日経産業新聞 2016 年 7 月 23 日 東大と筑波大 スパコン共同導入へ 毎秒 30 ペタ、レンタルで

[報道 8] 日経産業新聞 2016 年 8 月 9 日 汎用品でも国内最高性能 東大・筑波大が新型、12 月稼働 費用対効果が突出

[報道 9] マイナビニュース 2016 年 10 月 21 日 ピーク演算性能は京の 2.5 倍 - 東大/筑波大のスパコン「Oakforest PACS」 http://news.mynavi.jp/articles/2016/10/21/oakforest/

[報道 10] YahooTop/産経ニュース 2016 年 11 月 14 日 スパコン世界ランク、中国が8連覇 理研の「京」、東大に抜かれる http://www.sankei.com/economy/news/161114/ecn1611140045-n1.html

[報道 11] 朝日新聞 2016 年 11 月 15 日 最先端共同 HPC 基盤施設のスーパーコンピュータ Oakforest-PACS が Top500 で国内最高性能に認定

[報道 12] 読売新聞 2016 年 11 月 15 日 東大など運用スパコン、世界 6 位…「京」超える

[報道 13] ITmedia 2016 年 11 月 15 日 スーパーコンピュータ Top500、中国 8 連覇、日本トップは初登場 JCAHPC の 6 位
http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1611/15/news065.html

[報道 14] ITpro 2016 年 11 月 15 日 富士通のスパコン「Oakforest-PACS」、京を抜いて国内最高位に http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/news/16/111503385/?rt=nocnt

[報道 15] PC Watch 2016 年 11 月 15 日 68 コア CPU「Xeon Phi 7250」を採用した日本のスパコンが世界 6 位 http://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/1029960.html

[報道 16] 日本経済新聞 2016 年 12 月 1 日 日本最速のスパコン稼働へ 東大・筑波大、能力「京」の 2 倍

[報道 17] 時事ドットコムニュース 2016 年 12 月 1 日 国内最高性能の新スパコン＝東大と筑波大、運用開始 http://www.jiji.com/jc/article?k=2016120100884&g=soc

[報道 18] 共同通信 47NEWS 2016 年 12 月 1 日 国内最速スパコンの運用開始 東大と筑波大、「京」超す https://this.kiji.is/176995523516057077?c=39546741839462401

[報道 19] 日経産業新聞 2016 年 12 月 1 日 計算速度「京」の 2 倍 東大などスパコンの運用開始

[報道 20] CNET Japan 2016 年 12 月 1 日「京」超えの国内最速スパコンが稼働開始--理論演算性能は 25 ペタフロップス https://japan.cnet.com/article/35093047/

[報道 21] ZDNet Japan 2016 年 12 月 2 日 国内第 1 位スパコン、稼働開始--性能指標でも世界第 3 位：Oakforest-PACS https://japan.zdnet.com/article/35093116/

[報道 22] 読売新聞 2016 年 12 月 2 日 日本最速のスパコン始動…「京」の 2.2 倍

[報道 23] HPCwire JAPAN 2016 年 12 月 2 日 国内最速のスパコンが運用開始 http://www.hpcwire.jp/archives/11624

[報道 24] ITmedia 2016 年 12 月 2 日 東大と筑波大が国内最速スーパーコンピュータ正式運用開始 総ピーク演算性能は「京」の 2.2 倍 http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1612/02/news116.html

[報道 25] マイナビニュース 2016 年 12 月 2 日 国内最高性能のスパコン、正式運用を開始 – JCAHPC http://news.mynavi.jp/news/2016/12/02/035/

[報道 26] スポーツニッポン 2016 年 12 月 2 日 京超えスパコン

[報道 27] 夕刊フジ 2016 年 12 月 2 日 東大と筑波大、国内初の共同運用 「京」超す国内最速スパコン運用開始

[報道 28] 東奥日報 2016 年 12 月 2 日 国内最速スパコン始動 東大・筑波大 「京」超え、温暖化予測

[報道 29] 福島民報 2016 年 12 月 2 日 国内最速スパコン運用開始 東大と筑波大、「京」上回る

[報道 30] 京都新聞 2016 年 12 月 2 日 国内最速スパコン始動

[報道 31] 日本経済新聞 2016 年 12 月 7 日 東大・筑波大が運用 最速スパコン 急先鋒 ポスト「京」は開発遅れる

[報道 32] 東大新聞 2016 年 12 月 13 日 国内最高性能のスパコン、筑波大と共同運用開始 http://www.todaishimbun.org/supercom20161213/

東京大学情報基盤センター年報

2016 年度（第 18 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　　品川　高廣
編集委員　　小川　剛史、星野　哲也、五十嵐　亮、中村　覚、阿曽　義浩、
松本　康男、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

2017 年 7 月発行

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO