年報第 17 号

2015 年度

Annual Report No.17
2015

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27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 …… 13
予　算 …… 14
収入・支出 …… 14
外部資金 …… 14
補助金等 …… 16
平成27年度科学研究費助成事業採択状況 …… 16
平成27年度受託研究費受入状況 …… 18
平成27年度共同研究費受入状況 …… 18
平成27年度政府系委託費受入状況 …… 21
平成27年度奨学寄附金受入状況 …… 21

PART2　センター活動報告 …… 23

学際情報科学研究体 …… 25
学際情報科学研究体概要 …… 27
学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 …… 29
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） …… 37
その他 …… 39
Unitec Institute of Technologiesとの覚書締結及びAdvanced Workshop on Machine Learning and Cybersecurityの開催報告 …… 41

PART3　各研究部門　研究活動報告 …… 45

情報メディア教育研究部門 …… 47
情報メディア教育研究部門概要 …… 49
柴山　悦哉 …… 51
情報システムの信頼性と安全性に関する研究
田中　哲朗 …… 57
ゲームプログラミングに関する研究
品川　高廣 …… 60
準パススルー型仮想マシンモニタ「BitVisor」の研究

関谷　貴之 ……66
計算機科学関連カリキュラムの分析及び初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答の分析
学術情報研究部門 ……73
学術情報研究部門概要 ……75
中川　裕志 ……79
プライバシー保護の制度と数理モデル
荒井 ひろみ ……85
データ出版におけるプライバシ保護
ネットワーク研究部門 ……91
ネットワーク研究部門概要 ……93
工藤　知宏 ……101
SDNフェデレーション技術，広域動的ネットワークコネクション提供技術とポストムーア時代の情報基盤
中山　雅哉 ……107
広域分散環境の高度基盤技術に関する研究
小川　剛史 ……112
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 ……123
新たなネットワークサービスアーキテクチャに関する研究
中村　文隆 ……131
クラウドとパーソナルデジタルサイネージ
妙中　雄三 ……135
無線ネットワークにおける柔軟なチャネル利用に関する研究
宮本　大輔 ……143
サイバーセキュリティに関する研究
田崎　　創 ……149
マルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発
スーパーコンピューティング研究部門 ……153
スーパーコンピューティング研究部門概要 ……155
中島　研吾 ……180
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 ……190
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 ……198
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
片桐　孝洋 ……205
ソフトウェア自動チューニングおよび高性能数値計算ライブラリの研究とHPC教育
塙　　敏博 ……212
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 ……220
高性能・省電力計算システムに関する研究開発
大島　聡史 ……225
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 …… 233
アクセラレータ向け自動最適化フレームワークの研究
伊田　明弘 …… 239
大規模科学技術計算に向けた行列近似手法の研究
松本　正晴 …… 246
大規模マルチスケールシミュレーションに関する研究
實本　英之 …… 254
エクストリームスケール高性能計算を対象とした支援システム
今野　　雅 …… 258
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 …… 265
佐藤　芳樹 …… 267
HPCのためのソフトウェアモジュール化技術，及び，センター業務への取り組み

PART4　教育・サービス活動報告 …… 277

情報メディア教育 …… 279
情報メディア教育支援サービス概要 …… 281
教育用計算機システム運用報告 …… 283
学内組織向けメールサーバ（MAILHOSTING）運用報告 …… 291
学内組織向けDNSホスティング運用報告 …… 293
WEB PARKサービス運用報告 …… 294
遠隔講義支援サービス運用報告 …… 296
LMS運用報告 …… 298
その他のサービス運用報告 …… 302
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（UTNET）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 …… 355
講習会 …… 363
シンポジウム・研究会 …… 374

公募型研究プロジェクト …… 381
スーパーコンピュータの企業利用支援 …… 387
スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2015年） …… 390
その他イベント …… 393

PART5　その他 …… 397

委員会委員等 …… 399
講習会・セミナー …… 403
報道関係一覧 …… 407

巻 頭 言

東京大学情報基盤センター長　中村　宏

2015 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、それらを横断し機能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。2015 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。各部門の活動報告はそれぞれの報告に譲るとして、センター全体の大きな事柄について簡単に紹介させていただきます。

当センターは、全国 8 大学の情報基盤系共同利用センターから構成される学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（略称：JHPCN）において中核拠点の役割を担っており、公募型の学際共同研究活動を推進・支援しております。2015 年度は、共同利用・共同研究拠点の期末評価が行われました。JHPCN は「大学の学術の方向や高性能計算へのニーズを見ながら、特色の異なる 8 機関を横断的に利用する計算環境を提供し、多様な共同研究を公募して、多くの研究成果をあげるとともに、今後の計算科学の方向を探る努力が認められる」という評価を受け、2016 年度からも引き続き共同利用・共同研究拠点として認定されました。ネットワーク型という我々の拠点の特長を活かすべく、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いくこととし、さらに拠点活動を活性化していく予定です。

海外との連携も進めております。2015 年度はニュージーランド UNITEC(Unitec Institute of Technology)との間でサイバーセキュリティ分野における研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）を取り交わしました。また、前年度に引き続き、國立臺灣大學において当センターのスーパーコンピュータ Oakleaf-FX を用いる講習会を開催いたしました。今後も国際的な共同研究を積極的に進めてまいります。

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、年報編集委員長の大島聡史先生をはじめとする年報編集委員の皆様に感謝申し上げます。

2016 年 5 月吉日

PART 1

概　況

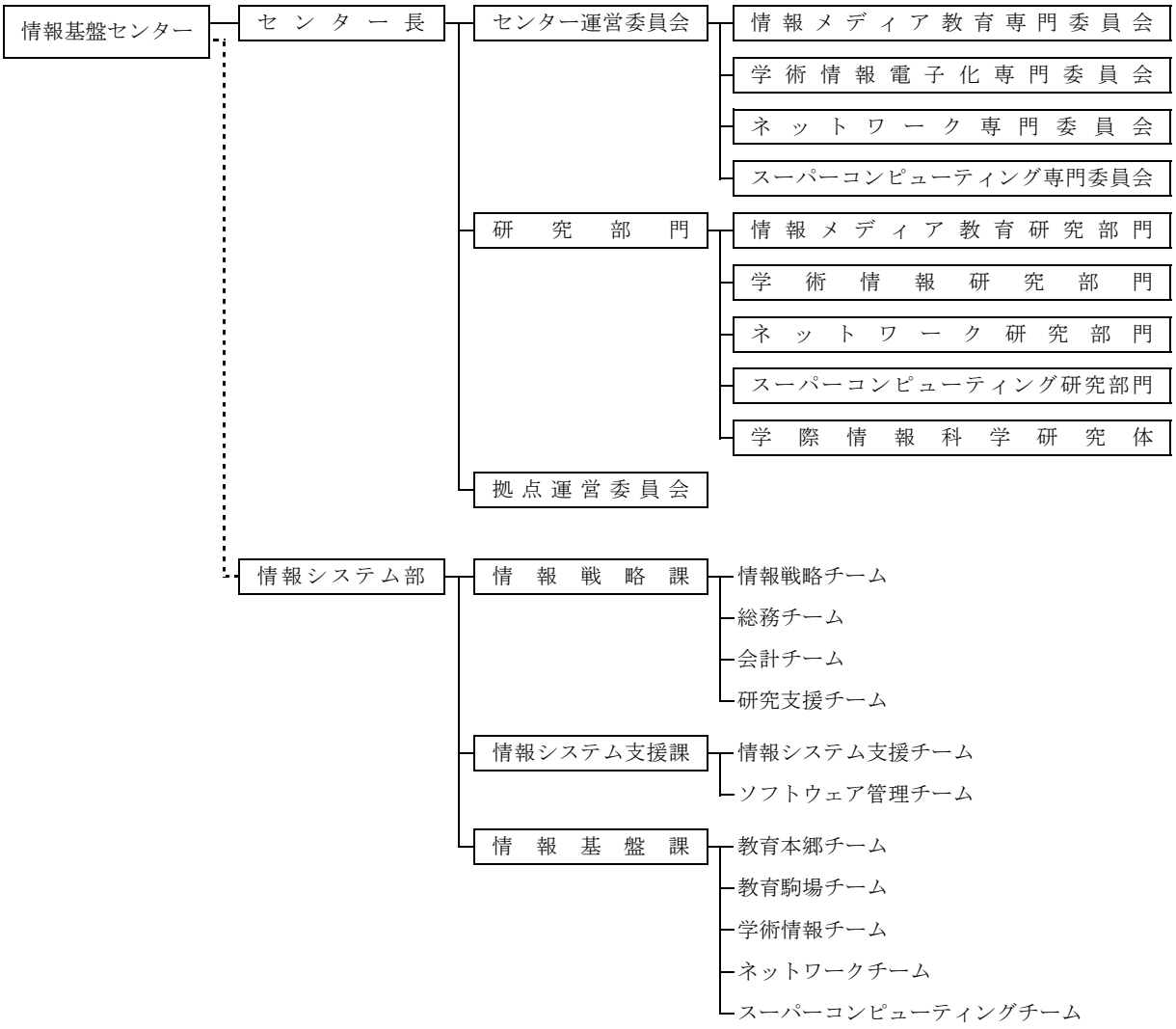
組　織

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　　H28.3.31

	専任	兼務	特任	合計
センター長		1		1
教授	4	1		5
准教授	8	1	1	10
講師			4	4
助教	7			7
研究員	1	2		3
事務補佐員	4		1	5
技術補佐員	1			1
合計	25	5	6	36

情報システム部　　H28.3.31

	専任	兼務	特任	合計
事務職員	29			29
技術職員	25		1	26
事務補佐員	6			6
技術補佐員	6			6
派遣職員	7			7
合計	73		1	74

教職員

平成 28 年 3 月 31 日現在

情報基盤センター長　　中　村　　宏
（情報理工学系研究科教授）
秘書（特任専門職員）渡　邉　かがり

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

学術情報研究部門

教　授	中　川　裕　志
助　教	荒　井　ひろみ
客員研究員	佐　藤　一　誠
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
特任講師	田　崎　　創
学術支援専門職員	飯　村　卓　司
事務補佐員	川　崎　しのぶ
技術補佐員	中　村　　遼

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	片　桐　孝　洋
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
特任講師	松　本　正　晴
客員研究員	今　野　　雅
事務補佐員	伊　東　雅　美

学際情報科学研究体

教　授（兼務）	柴　山　悦　哉
教　授（兼務）	工　藤　知　宏
教　授（兼務）	中　島　研　吾
准教授（兼務）	品　川　高　廣
准教授（兼務）	関　谷　勇　司
准教授（兼務）	佐　藤　周　行
准教授（兼務）	片　桐　孝　洋
准教授（兼務）	塙　　敏　博
助　教（兼務）	妙　中　雄　三
特任講師	佐　藤　芳　樹
特任講師	五十嵐　　亮
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
係　長	中　山　仁　史

情報戦略チーム

係　長	阿　部　仁　志
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

主　査	藤　田　英　子
係　長	岩　崎　直　樹
係　長	丸　山　　忍
係　長	清　水　隆　志
主　任	齊　藤　暁　子

会計チーム

係　長	山　村　仁　子
係　長	平　原　康　道
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

副課長	松　本　康　男
係　長	金　子　伸　一
係　長	大　橋　正　浩
一般職員	猿　田　明　奈
事務補佐員	西　川　恵　美

情報システム支援課

課　長	香　田　健　二

情報システム支援チーム

係　長	佐　野　　徹
係　長	並　木　登美幸
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

係　長	丹　下　藤　夫

情報基盤課

課　長	早　野　裕　士

教育本郷チーム

副課長	増　田　　均
係　長	伊　藤　真　之
係　長	佐々木　　馨
主　任	松　本　浩　一
技術補佐員	柏　　芳　美
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	佐々木　香　代

教育駒場チーム

専門職員	中　村　昇　平
係　長	石　崎　　勉
主　任	安　部　達　巳
主　任	秋　田　英　範
技術補佐員	加　藤　康　一
技術補佐員	竹　尾　朋　子
派遣職員	五　味　由美子

学術情報チーム

専門員	本　多　　玄
係　長	佐　藤　英　之
係　長	小　松　陽　一
係　長	須賀井　理　香
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

専門職員	井　爪　健　雄
専門職員	椿　山　惣一郎
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	平　野　光　敏
係　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
主　任	佐　藤　孝　明
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
派遣職員	藤　本　大　輔

平成２７年度中の人事異動

情報基盤センター

（転入・昇任・配置換等）

27. 4. 1	工　藤　知　宏	ネットワーク研究部門教授・学際情報科学研究体教授（兼務）／新規採用
27. 4. 1	妙　中　雄　三	ネットワーク研究部門助教／任期更新
27. 4. 1	津　田　弥　恵	学際情報科学研究体事務補佐員／新規採用
27.12. 1	塙　　敏　博	スーパーコンピューティング研究部門准教授・学際情報科学研究体准教授（兼務）／新規採用
27.12. 1	伊　田　明　弘	スーパーコンピューティング研究部門特任准教授／新規採用
28. 1. 1	星　野　哲　也	スーパーコンピューティング研究部門助教／新規採用
28. 2. 1	五十嵐　　亮	学際情報科学研究体特任講師／新規採用

（転出・退職等）

27. 9. 1	佐　藤　一　誠	学術情報研究部門助教／新領域創成科学研究科講師へ
27. 9. 1	佐　野　敦　子	学術情報研究部門技術補佐員／新領域創成科学研究科技術補佐員へ
27.11.30	塙　　敏　博	スーパーコンピューティング研究部門特任准教授／辞職
28. 3.31	片　桐　孝　洋	スーパーコンピューティング研究部門准教授／辞職（名古屋大学情報基盤センター大規模計算支援環境研究部門教授へ）
28. 3.31	田　崎　　創	ネットワーク研究部門特任講師／任期満了
28. 3.31	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／任期満了
28. 3.31	佐　藤　芳　樹	学際情報科学研究体特任講師／任期満了
28. 3.31	飯　村　卓　司	ネットワーク研究部門学術支援専門職員／任期満了

情報システム部

（転入・昇任・配置換等）

27. 4. 1	稲　垣　博　明	情報システム部長／カブリ数物連携宇宙研究機構事務長から
27. 4. 1	茅　根　　修	情報戦略課長／産学連携部産学連携課長から
27. 4. 1	清　水　郁　子	情報基盤課学術情報チーム主任／附属図書館総務課企画渉外係主任から
27. 4. 1	秋　田　英　範	情報基盤課教育駒場チーム主任／情報基盤課情報メディア教育支援チーム一般職員から
27. 4. 1	廣　本　和　哉	情報システム支援課情報システム支援チーム主任／情報システム支援課情報システム支援チーム一般職員から
27. 4. 1	石　田　　唯	情報基盤課学術情報チーム一般職員／法学政治学研究科等図書整理係から
27. 4. 1	小　林　正　明	情報戦略課情報戦略チーム一般職員（再雇用）／附属病院医

		事課医事企画チーム副課長から
27. 4. 1	納　　朋　子	情報戦略課会計チーム一般職員／新規採用
27. 4. 1	野　崎　一　美	情報戦略課情報戦略チーム事務補佐員／新規採用
27. 5. 1	中　川　郁　美	情報戦略課会計チーム事務補佐員／新規採用
27. 7. 1	松　本　康　男	情報戦略課副課長／資産管理部資産課資産経営チーム専門員から
27. 7. 1	中　山　仁　史	情報戦略課係長／情報システム支援課ソフトウェア管理チーム係長から
27. 7. 1	並　木　登美幸	情報システム支援課情報システム支援チーム係長／農学系経理課予算・決算チーム係長から

（転出・退職等）

27. 4. 1	児　島　昌　樹	情報システム部長／情報システム部長兼務免
27. 4. 1	水　上　順　一	情報戦略課長／カブリ数物連携宇宙研究機構事務長へ
27. 4. 1	清　野　一　男	情報システム支援課情報システム支援チーム専門職員／附属病院医事課医事企画チーム副課長へ
27. 4. 1	海　津　　聡	情報戦略課会計チーム係長／史料編纂所研究支援チーム係長へ
27. 4. 1	前　田　光　教	情報基盤課教育駒場チーム係長／文部科学省研究振興局学術機関課研修生へ
27. 4. 1	濱　田　智恵子	情報基盤課学術情報チーム主任／農学系総務課図書チーム係長へ
27. 4. 1	松　原　　恵	情報基盤課学術情報チーム一般職員／教養学部等図書課利用者サービス係主任へ
27. 7. 1	新　井　　忠	情報戦略課副課長／社会科学研究所副事務長へ
28. 1. 5	垂　水　美奈子	情報システム支援課情報システム支援チーム係長／退職
28. 1.31	宮　北　美　保	情報基盤課教育本郷チーム技術補佐員／任期満了
28. 3.31	香　田　健　二	情報システム支援課長／定年退職
28. 3.31	丹　下　藤　夫	情報システム支援課ソフトウェア管理チーム係長／定年退職
28. 3.31	柏　　芳　美	情報基盤課教育本郷チーム技術補佐員（再雇用）／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２７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
矢　島　美　寛	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　猿　渡　洋　総長補佐（情報理工学系研究科・教授）

予　算

収入・支出

平成27年度決算額

収入

区　　分	決算額（千円）
奨学寄附金収入	２，６５０
受託研究費等収入	４５０，３１０
自　己　収　入	３９１，１７９
計	８４４，１３９

支出

区　　分	決算額（千円）
人　　件　　費	６６０，０７３
物　　件　　費	２，４７８，１４７
計	３，１３８，２２０

外部資金

1）科学研究費補助金（平成27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	３	７，１００
ネットワーク研究部門	３	１，８３０
スーパーコンピューティング研究部門	２	７，３００
学際情報科学研究体	２	２，２００
計	１１	１８，９３０

2）受託研究（平成27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	３，４７３
学術情報研究部門	１	１５，０８０
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	３８，８７０
計	４	５７，４２３

3)共同研究(平成27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	0
ネットワーク研究部門	5	0
スーパーコンピューティング研究部門	7	１８，２２４
計	１３	１８，２２４

4)政府系委託費(平成27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	1	２８，６０８
スーパーコンピューティング研究部門	1	３２７，１２５
計	2	３５５，７３３

5)政府系補助金(科学研究費補助金を除く。)(平成27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		
計	0	0

6)奨学寄附金(平成27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	1	１，１５０
スーパーコンピューティング研究部門	1	１，０００
計	3	２，６５０

補助金等

平成２７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　　4,800,000 円（平成 27 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　　5,100,000 円（平成 27 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　　800,000 円（平成 27 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 25～27 年度
研究課題　　拡張現実感における視覚・触覚・聴覚のクロスモダリティを用いた感覚提示方式
研究費　　1,000,000 円（平成 27 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　　2,200,000 円（平成 27 年度）

研究代表者　　助教　関谷　貴之

研究種目　挑戦的萌芽研究【基金】
研究期間　平成 25～27 年度
研究課題　初学者のプログラミング教育におけるプログラミング能力の把握とその改善
研究費　500,000 円（平成 27 年度）

研究代表者　教授　中川　裕志
研究種目　挑戦的萌芽研究【基金】
研究期間　平成 26～27 年度
研究課題　匿名化が誘発する濡れ衣現象のモデル化と最適化による解消法
研究費　1,400,000 円（平成 27 年度）

研究代表者　特任講師　佐藤　芳樹
研究種目　若手研究（B）【基金】
研究期間　平成 26～27 年度
研究課題　並列コレクション向けモジュール化技術の研究開発
研究費　1,300,000 円（平成 27 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　900,000 円(平成 27 年度)

研究代表者　日本学術振興会特別研究員(DC2)　小宮山　純平
研究種目　特別研究員奨励費【補助金】
研究期間　平成 27 年度
研究課題　動的大規模データ環境における適応推薦（受入研究者:中川裕志）
研究費　900,000 円（平成 27 年度）

研究分担者　准教授　中山　雅哉
（研究代表者:東京大学・農学生命科学研究科・齋藤 教授）
研究種目　基盤研究（B）【基金】
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:配信サーバ開発管理）
研究費　30,000 円（平成 27 年度）

平成２７年度　受託研究費受入状況

研究代表者　　准教授　品川　高廣
相手機関名　　（国研）科学技術振興機構
研究期間　　平成 27 年度
研究課題　　高セキュリティ・高信頼のクラウドコンピューティング環境実現に向けた基盤システムソフトウェア「BitVisor」の研究開発
研究費　　2,973,100 円（平成 27 年度）

研究代表者　　助教　佐藤　一誠
相手機関名　　（国研）科学技術振興機構
研究期間　　平成 25～28 年度
研究課題　　統計的潜在意味解析によるデータ駆動インテリジェンスの創発
研究費　　15,080,000 円（平成 27 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 24～28 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　　38,870,000 円（平成 27 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 27 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 27 年度)

平成２７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 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 27 年度）

研究代表者　准教授　片桐　孝洋
相手機関名　鹿島建設（株）
研究期間　平成 26～27 年度
研究課題　OpenFOAM の行列解法の高速化および数値計算に関する研究
研究費　700,000 円（平成 27 年度）

研究代表者　助授　佐藤　一誠
相手機関名　日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所
研究期間　平成 27 年度
研究課題　行列関係データからの知識抽出のための効率的・高精度な機械学習技術の研究
研究費　0 円（平成 27 年度）

研究代表者　准教授　中山　雅哉
相手機関名　（国研）情報通信研究機構
研究期間　平成 23～27 年度
研究課題　センサーネットワークに関する研究開発
研究費　0 円（平成 27 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 26～27 年度
研究課題　広域分散インターネットエクスチェンジにおけるネットワークトラフィックの高度管理技術の研究開発
研究費　0 円（平成 27 年度）

研究代表者　助教　宮本　大輔
相手機関名　（国研）情報通信研究機構
研究期間　平成 26～27 年度
研究課題　先進的セキュリティ技術の運用を目指す研究
研究費　0 円（平成 27 年度）

研究代表者　助教　宮本　大輔
相手機関名　（株）インク
研究期間　平成 26～27 年度
研究課題　初等・中等教育課程における効果的なサイバーセキュリティ教育手法の確立
研究費　0 円（平成 27 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 27 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 24～27 年度
研究課題　ポストペタスケールを目指したシステムソフトウェアに関する共同研究
研究費　0 円（平成 27 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　13,554,200 円（平成 27 年度）

研究代表者　准教授　片桐　孝洋
相手機関名　国立大学法人愛媛大学・(株) 日立製作所
研究期間　平成 27 年度
研究課題　メニーコア環境向け実行時自動チューニングの研究
研究費　0 円（平成 27 年度）

研究代表者　准教授　片桐　孝洋
相手機関名　新日鐵住金（株）
研究期間　平成 26～27 年度
研究課題　非構造格子流体解析コードの大規模・高速化対応
研究費　1,000,000 円（平成 27 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)アクセスサービスシステム研究所
研究期間　平成 27 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 27 年度）

平成２７年度　政府系委託費受入状況

研究代表者　　准教授　関谷　勇司
相手機関名　　総務省
研究期間　　平成 25～27 年度
研究課題　　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
研究費　　28,607,800 円（平成 27 年度）

研究代表者　　教授　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　　327,125,000 円（平成 27 年度）

平成２７年度　奨学寄附金受入状況

研究代表者　　助教　妙中　雄三
相手機関名　　（公財）電気通信普及財団
研究期間　　平成 27 年度～
研究課題　　次世代無線メッシュネットワーク実現に向けた複数チャネル有効利用の高度化
研究費　　1,150,000 円（平成 27 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 27 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 27 年度）

研究代表者　　准教授　片桐　孝洋
相手機関名　　（公財）大川情報通信基金
研究期間　　平成 27 年度～
研究課題　　ビッグデータ同化のための自動チューニング機能付き基盤ソフトウェアの試作
研究費　　1,000,000 円（平成 27 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各 2 名 (内 1 名は 2 月より) と各研究部門を本務とする教員 10 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)
片桐孝洋	准教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
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)
佐藤芳樹	特任講師
五十嵐亮	特任講師
佐藤一誠	助教 (兼務; 学術情報研究部門)
妙中雄三	助教 (兼務; ネットワーク研究部門)

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 35 件の公募型共同研究課題を採択し、共同研究を実施した。なお、35 件のうち 27 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　　佐藤 芳樹　　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。』

これまで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 27 年度までに認定された拠点数は、単独型拠点 90、部分型拠点 2、ネットワーク型拠点 3（15 研究施設）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。拠点が実施する共同研究の公募課題の設定や実施課題の採択等の重要事項は、運営委員会が審議する（公募課題の審議自体は課題審査委員会が実施し、拠点運営委員会が採択課題の承認を行う）。

2.3 拠点の目指す役割

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

2.4 拠点形成の必要性

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

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

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

日本計算工学会、 日本応用数理学会、 情報処理学会、 電子情報通信学会、

人工知能学会、 言語処理学会、 分子科学会

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

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

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

2.5 全国的な学術研究の発展への寄与

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

3 平成 27 年度公募型共同研究の活動内容

平成 27 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。

3.1 主なスケジュール

平成 26 年 10 月 2 日	平成 26 年度拠点共同研究の日程を掲載
平成 26 年 11 月 7 日	平成 26 年度拠点共同研究の募集要項を公開
平成 26 年 12 月 16 日	課題応募受付開始
平成 27 年 1 月 9 日	課題応募受付締切
平成 27 年 3 月 16 日	採否通知

平成 27 年 4 月 1 日　　共同研究開始
平成 27 年 7 月 9、10 日　　第 7 回シンポジウム
平成 28 年 3 月 31 日　　共同研究終了
平成 28 年 5 月 11 日　　成果報告書提出

3.2　課題応募数と採択課題

課題応募数は 51 件であった。課題審査委員による審査を経て、下表の 35 課題（73 共同研究拠点）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

研究課題名	研究課題代表者 （所属）	研究 分野	共同研究拠点
＊大規模データ系の VR 可視化解析を効率化する多階層精度圧縮数値記録(JHPCN-DF)の実用化研究	萩田克美 (防衛大学校)	数	北大, 東北大, 東大, 東工大,名大, 京大, 阪大, 九大
＊時間並列化アルゴリズムの新しい方向性と実用例の探索	萩田克美 (防衛大学校)	数	東大, 名大, 九大
＊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
＊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
＊コデザインアプローチによる高性能電磁場解析基盤の確立	岩下武史 (北海道大学)	数	北大, 京大
＊Xeon Phi・ベクトル計算機への FDTD コードと電磁流体コードの最適化手法の研究	深沢圭一郎 (京都大学)	情	北大, 東北大, 東大, 京大, 九大
＊太陽磁気活動の大規模シミュレーション	横山央明 (東京大学)	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
＊フェーズフィールド法と分子動力学法による大規模デンドライト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
＊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	安藤嘉倫 (名古屋大学)	数	東大, 名大
＊可動な分散粒子を含む金属材料における多結晶粒成長の大規模マルチフェーズフィールドシミュレーション	山中晃徳 (東京農工大学)	数	東工大
＊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
＊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
＊計算資源の連携を目指した将来のサイエンスビッグデータ共有機構の開発	松岡聡 (東京工業大学)	デネ情	北大, 東大, 東工大, 九大
＊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

＊Fast Multipole Method を用いた多種アーキテクチャ向けスーパーコンピュータ用ライブラリの開発と分子・流体シミュレーションでの評価	成見哲 (電気通信大学)	数	東北大, 東工大, 名大, 京大
＊渦の動力学に基づく乱流生成とその維持機構の理解	伊澤精一郎 (東北大学)	数	東北大
＊クラウドを活用したビッグデータポスト処理環境実現のためのデータ伝送実験	村田健史 (情報通信研究機構)	情	名大, 京大, 阪大, 九大
＊次世代降着円盤シミュレータの開発	松元亮治 (千葉大学)	数	東大
＊航空機の環境適合性・安全性向上に向けた大規模数値解析手法の研究	佐々木大輔 (金沢工業大学)	数情	東北大, 名大, 九大
＊グリーンランド氷床モデルを用いた 2.5 次元理論地震波形計算	豊国源知 (東北大学)	数	東北大
＊科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証	實本英之 (東京工業大学)	数情	北大, 東大, 東工大, 九大
＊超大規模シミュレーションのためのアーキテクチャ特性を考慮した通信削減技術	遠藤敏夫 (東京工業大学)	数	北大, 東北大, 東大, 東工大
＊大規模 GPU/CPU 計算に向けた高生産フレームワークの構築とこれを用いた都市気流計算コードの開発	下川辺隆史 (東京工業大学)	数	東工大
＊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 II － 流体・構造連成計算への適用 －	青木尊之 (東京工業大学)	数	東工大
＊環オホーツク圏の海洋・大気シミュレーション	中村知裕 (北海道大学)	数	北大
＊大規模計算結果の効果的な利用に向けた高精細可視化イメージ遠隔配信システムの実証	阿部洋丈 (筑波大学)	情	東北大, 阪大
行列分解のタイルアルゴリズムの高並列環境における最適化	鈴木智博 (山梨大学)	数	東大
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
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
分子性液体の積分方程式理論による大規模生体分子系における高速な溶媒和自由エネルギー計算プログラムの開発	丸山豊 (理化学研究所)	数	東北大, 東工大
社会・経済データの実証分析	大西立顕 (東京大学)	デ	東大
社会インフラの破壊・非破壊シミュレーションの高度化に資する大規模数値解析	中畑和之 (愛媛大学)	数	京大
流体・固体連成を考慮する防災計算力学	牛島省 (京都大学)	数	京大
次世代スーパーコンピューター向けの軽量な仮想計算機環境の実現に向けた研究開発	品川高廣 (東京大学)	情	東大

3.3 拠点シンポジウム

平成 27 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 7 回シンポジウム

開催日時: 平成 27 年 7 月 9 日(木)、10 日(金)
開催場所: THE GRAND HALL(品川)
主な内容: 平成 26 年度採択課題の最終審査(口頭発表 34 件)
平成 27 年度採択課題の研究紹介(ポスター発表 35 件)
参加者数: 167 名(大学 109 名、独法等研究機関 24 名、企業他 34 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、各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 17 回 平成 27 年 7 月 9 日(於:品川 THE GRAND HALL)
主な議題:
1. 平成 26 年度決算について
2. 平成 27 年度予算について
3. 平成 28 年度概算要求について
4. 期末評価について
5. 次期活動方針について
6. 自己点検について
7. 共同研究者の追加等について
8. 協賛について
9. 共同研究成果の発信について

第 18 回 平成 27 年 11 月 6 日(於:京都大学学術情報メディアセンター)
主な議題:
1. 共同利用・共同研究拠点の期末評価結果等について
2. 平成 28 年度概算要求について
3. 平成 28 年度運営委員会の体制について
4. 共同研究課題審査委員会規則の改正について
5. 平成 28 年度共同研究課題審査委員会の体制について
6. 平成 28 年度共同研究の公募について
7. 共同研究者の追加について
8. ACSI2016 への協賛について
9. 平成 27 年度予算の執行状況について

第 19 回 平成 28 年 2 月 5 日(於:東京大学情報基盤センター)
主な議題:
1. 運営委員会の体制について
2. 共同研究課題審査委員会の体制について

3. 平成 28 年度拠点内示額等について
4. 平成 28 年度公募型共同研究の採択について
5. 萌芽型共同研究について
6. 運営委員会規則及び審査委員会規則の改正について
7. 研究成果に対する支援について
8. シンポジウムの協賛について
9. 第 8 回拠点シンポジウムについて

4.2 課題審査委員会

第 13 回 平成 27 年 7 月 10 日（於：品川 THE GRAND HALL）
主な議題：
1. 平成 26 年度実施課題の最終評価について
2. 募集要項・課題申込書の改訂について
3. 共同研究者の追加等について
4. 共同研究成果の発信について

第 14 回 平成 27 年 11 月 2 日（於：東京大学情報基盤センター）
主な議題：
1. 第 28 年度公募型共同研究等について
2. 中間報告の評価シートについて

第 15 回 平成 28 年 2 月 5 日（於：東京大学情報基盤センター）
主な議題：
1. 課題審査委員会体制について
2. 平成 28 年度公募型共同研究課題審査について
3. 萌芽型共同研究について
4. 課題審査委員会規則の改正について
5. 研究課題に対する支援について
6. 第 8 回拠点シンポジウムについて

その他にも、随時、メールにて下記作業も行った。主に、課題審査委員長と中核拠点担当者にて検討・調整の後、課題審査委員会 ML にて協議した。
1) 平成 28 年度共同研究募集要項、課題申込書の改訂
2) 平成 28 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:
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 27 年度助成実績
申込み件数:6 件、 採択件数:5 件(発表旅費 3 件、論文掲載料 2 件)

5.2 情報発信の強化

平成 27 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。

● SIGGRAPH Asia 2015
平成 27 年 11月 2 日(月)〜5日(木)(於:神戸コンベンションセンター)
主催:ACM SIGGRAPH

● 「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム
開催:平成 27 年 12 月 22 日(火)(於:東京大学武田先端知ホール)
共催:東京工業大学 学術国際情報センター、東京大学 情報基盤センター

● ACSI 2016
平成 28 年 1 月 18 日(月)〜20 日(水)(於:九州大学医学部百年講堂)
主催:(社)情報処理学会・システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会(OS)、同・ハイパフォーマンスコンピューティング研究会(HPC)、同・プログラミング研究会(PRO)

● 第 23 回 Workshop on Sustained Simulation Performance(WSSP)
平成 28 年 3 月 16 日(水)〜3 月 17 日(木)(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 28 年 3 月 25 日(金)(於:大阪大学サイバーメディアセンター)
主催:大阪大学サイバーメディアセンター

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 SC15 では当拠点のポスター掲示、パンフレットの配布を行った。

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　　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(SINET4)により、シームレスな連携環境を実現している。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調整中である。

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。なお、データ解析可視化システムアクセラレーション部(GPU クラスタ) に関しては、HPCI における今年度の利用者はいなかったが、本センター独自の若手・女性利用者推薦プログラムにおいて利用されている。スケジューラと連動した電源管理を導入しており、利用者が居ないときにはノードの電源を落とすといった、省電力運用を行っている。なお、データ解析可視化システム、およびデータ解析可視化システムアクセラレーション部(GPU クラスタ)については、設備工事の都合で 2015 年 12 月末日でユーザの利用は停止している。
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 675.7 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	5407672.63 ノード時間
ストレージ使用量	27,329 GB
採択課題数	9 件

2.1.2 東拠点・データ解析可視化システム Fujitsu PRIMERGY RX200S6 総計 61 ノード

スペック表

CPU	Intel Xeon Processor X5680(3.33GHz, 6cores) x2
Memory	96 GB
HDD	600 GB(OS 含む)
Network	InfiniBand 4xQDR (40Gbps)

利用量

ノード時間	26182.6 ノード時間
採択課題数	2 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。なお、今年度の東工大提供分に関しては、東西拠点とは別に募集が行われており、ここには含まれていない。

共用ストレージシステム	12.0 PB （東西合計：22.0 PB）
テープアーカイバ	20 PB （東西合計： 80 PB）
採択課題数	63 件
総利用量（東西）	13,218 TB

3 来年度について

来年度も、当センターとしてスーパーコンピュータ FX10（Oakleaf-FX, Oakbridge-FX）、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」への資源提供を予定している（なお、RENKEI-VPE に使用しているサーバ群の維持管理が困難であるため、10 月末までの 7 ヶ月間の提供としている）。また、東拠点として共用ストレージの資源提供をする予定である。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（東拠点）が提供する資源を抜粋したものである。（共用ストレージについては東・西・東工大拠点を合わせた容量で示されている。）

共用ストレージに使用している機材の老朽化に伴い、機材更新を検討している。来年度は、今後数年間保管する必要がある、データ保存課題に向けた数 PB クラスのストレージを追加設置する予定である。

スーパーコンピュータ FX10	計算ノード 660 ノード(156.08 TFLOPS), ディスク 220 TB
RENKEI−VPE	物理ノード 1 ノード (2016 年 10 月末まで)
共用ストレージ	ディスクストレージ 21.9 PB, テープアーカイブ装置 60 PB

その他

Unitec Institute of Technologiesとの覚書締結及びAdvanced Workshop on Machine Learning and Cybersecurityの開催報告

Unitec Institute of Technologies との覚書締結及び Advanced Workshop on Machine Learning and Cybersecurity の開催報告

ネットワーク研究部門

本稿は，2016 年 3 月 3 日に行われた Unitec 工科大学との部局覚書（MOU）締結及び，これを記念して開催された Advanced Workshop on Machine Learning and Cybersecurity の開催について報告する．

Unitec 工科大学は，ニュージーランド・オークランド州にある国立大学であり，単科大学（ITP）としてはニュージーランドにおいて最大の規模を誇る [1]．とりわけ，近年は Cyber Security Research Centre を設立するなど，サイバーセキュリティ分野における研究に力を注いでいる．

1　交流の経緯

Unitec との交流の経緯については，ネットワーク研究部門の宮本助教が東京大学着任する前に所属していた研究機関と Unitec 工科大学工学部の間で共同研究を行っていた事に端を発する．我々の研究課題は，当時は高速とされていた 10G ネットワークでの悪性パケットの解析であった．Unitec 工科大学コンピュータ工学部の Paul Pang 准教授（当時）は，この共同研究を担当しており，トラフィック分析に適したクラスタリング手法の開発を行い，オンライン解析を行なうアルゴリズムを研究された．

宮本助教の東京大学への着任以降も，この交流は継続して行われた．まず，2013 年〜2015 年度にかけて，合計 24 時間分のサイバーセキュリティに関する特別講義を，宮本助教が Unitec 工科大学にてセキュリティに関する集中講義プログラムの一環として行った．内容は，システムではなくユーザを狙って行われるサイバー攻撃であるフィッシング攻撃の対策技術である．また，ユーザの過失によって起こるインシデント，故意にシステムを攻撃したり情報漏洩を引き起こすインサイダー攻撃の問題点とその対策について，技術的な視点からだけではなく，経営学や心理学の視点も含めて説明する包括的な授業を行った．

また，2015 年 2 月には，ニュージーランド政府の奨学制度「Prime Minister’s Scholarships for Asia」における「サイバーセキュリティ情報交流プログラム（Cybersecurity Knowledge Transfer Programme）」の一環として，Unitec 工科大学に所属する 7 名の大学生の受け入れを，東京大学情報基盤センターにて行った．本学の教員が講義を行なうだけでなく，日本のサイバーセキュリティ研究機関から講師を招聘して授業を行った．また，宮本助教がコーディネートし，サイバーセキュリティの実務者やサービス事業者を訪問し，活発に意見交換を行った．

一方，東京大学は 2013 年度 6 月より当センターのネットワーク研究部門の関谷准教授が拠点代表者となり，欧州委員会 FP7 プログラム (Seventh Framework Programme) と総務省 戦略的国際連携型研究開発推進事業の日欧 ICT 協調課題である「サイバー脅威に対する回復性強化のためのサイバーセキュリティ」の採択課題である「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 (Nippon-European Cyberdefense-Oriented Multilayer threat Analysis)」に参画している．昨今，サイバー攻撃は複雑化・多様化が進んでおり，対策には深いレベルかつ幅広い技術が必須となっている．当センターは学術バックボーン，大学間学術クラウド，クライアント PC など様々な環境におけるサイバー脅威情報の収集・解析を行っている．また，Unitec 工科大学はデータのオンライン解析技術の

[1] Tertiary Education Commission: Performance-Based Research Fund (2012)

学術研究を行っている．これら互いの強みを活かすことによって，複雑化・多様化するサイバー攻撃に対抗するべく，セキュリティ技術の高度化を推進できると期待される．これらの強みを互いに活かし，研究を推進するべく部局覚書の締結に至った．

2　研究活動の実施

2000 年頃から 2010 年頃に至るまで，サイバーセキュリティ分野では機械学習の活用が急激に進むようになった．この背景に，マルウェアやフィッシングサイトの解析の分野では，いわゆるシグネチャ型と呼ばれる，悪性情報のデータベースとのパターンマッチによりサイバー攻撃を検知する手法だけでは困難となってきたことがある．このため，アノマリ型，ヒューリスティクス型のような異常状態を観測することによりサイバー攻撃を検知する手法の研究が行われ，データマイニング技術はこの検知精度を高める技術として注目を集めた．また，機械学習の分野においても，新しい解析手法を活用するだけでなく，解析手法を利活用してくことは重要な課題であった．この機運を受けて，2007〜2008 年度頃にサイバーセキュリティとデータマイニング分野の交流が本格化し，2008 年には人工知能・機械学習分野で著名な国際会議である ICONIP において「Data Mining Methods for Cybersecurity」と題した Special Session が開催されるに至った．余談ではあるが，宮本助教は本セッションの論文発表者，Paul 教授は座長という立場だった．

2009 年以降，本セッションは ICONIP において Data Mining and Cybersecurity というワークショップになり，本境界領域分野の人材交流の橋渡し的な役割を担うことになる．2010 年以降はサイバーセキュリティのデータセットを本ワークショップに提供し，解析性能を競うコンペティションが行われるようになった．Paul 教授は引き続きこの運営にあたり，宮本助教はデータの提供者という立場になる．これらのイベントを通じ，機械学習のユーザであるサイバーセキュリティの研究者と，機械学習の研究者がデータマイニングを行なう際に，過学習の対策に実力差が現れる傾向が見られた．例えば，宮本助教は 2014 年度にフィッシングサイトと正規サイトの URL をデータセットとして提供し，判別器を作成するタスクをコンペティションに提供した．このデータセットを宮本助教自らが分類を行った際の精度は 85%程度であったが，本コンペティションの優勝者らは「このデータの影響が大きすぎる」と正則化を行うことで過学習を緩和し，90%程度にまで精度が向上する例があった．このような成果を鑑みるに，データマイニングの研究者に積極的にサイバーセキュリティ分野に参画してもらうことは有益であると思われる．

2014〜2015 年度より Unitec 工科大学の Paul 教授，当センターの関谷准教授，宮本助教との研究打ち合わせが始まった．東京大学が NECOMA プロジェクトに参画した際に作成した，情報収集基盤及び情報共有基盤についての説明や，ネットワークオペレータとして採取可能なサイバー脅威情報の説明を行った．また，このようなサイバー脅威情報の集積において Unitec 工科大学がこれまで行ってきたサイバー脅威解析アルゴリズムについて，分散コンピューティング技術を活用することで高速動作する設計となっている等の説明を受けた．このアルゴリズムを実行可能な情報解析基盤を用いるための問題点について整理がなされ，システムの設計が現在も継続して行われている．

また，Paul 教授が大災害においてもサービスを継続維持するためのクラウドシステムの研究開発を，関谷准教授が日本国内における大学間 IaaS クラウドを運用していること，宮本助教が IaaS クラウドで用いられる仮想コンピュータ技術を用いての攻撃収集を行っていることから，クラウド技術についての新たな研究も模索された．これを受けて，公開可能なデータセットの作成が問題点であること，そして可用性の向上には大規模な実験が必要であることの問題点が明らかになった．これらは共同研究の推進によって解決されると考えられる．

3　ワークショップの実施

2016年3月3日に，Unitec工科大学コンピューティング学部のHossein Sarrafzadeh学部長とPaul Pang教授が東京大学を訪問した．当日はITCセミナーが11時より予定されていたが，この時間を頂いてHossein学部長及びPaul教授にご講演頂いた．なお，当初計画では当日午後から開催されるAdvanced Workshop on Machine Learning and Cybersecurityにてご発表いただく計画であったが，中村センター長に特別に許可を頂いた上で，全教員が参加可能なITCセミナーでのご発表となった．

Hossein学部長からは，Unitec工科大学コンピューティング学部及びニュージーランドの紹介を頂いた．また，これまでの企業や研究機関との共同研究について説明があり，特に日本において古くから関わりがあることが説明された．なお，ニュージーランドは国民の多くが英語を母国語としているにもかかわらず，時差が日本と3-4時間程度と欧米諸外国に比べて短い．英語による国際連携を行いやすい国家の一つであると思われる．

Paul教授からは，Incremental LDAを使った分散型解析の説明と，このサイバーセキュリティ分野への応用について説明頂いた．また，これまでの様々な共同研究，とりわけ日本国内の他の研究機関との成果についても説明があった．講演ではサイバー攻撃が発生している様子を可視化する研究として，従来の平面的なネットワークトポロジ上に攻撃を表示するのではなく，施設をVR技術を用いて三次元空間にし，その上に攻撃を表示するデモンストレーションが行われた．このシステムでは前述の解析技術をオンライン解析にて行ない，オペレータが実時間で攻撃を把握する際に適していると思われる．

調印式は14時から，遠隔講義室にて行われた．調印式後に，Advanced Workshop on Machine Learning and Cybersecurityと題したワークショップを，引き続き104遠隔講義室にて開催した．登壇者は，中村センター長，工藤教授，関谷准教授，妙中助教，宮本助教であった．

中村センター長からは，当センターについての紹介を頂いた．とりわけ，Exascale Computingについてどのように高性能コンピューティングを達成するかを目標としている点について説明があり，Unitec側もぜひ東京大学の保有するスーパーコンピュータを用いた実験を行いたい旨の申し入れがあった．当センターの共同利用の観点から前向きに考えていきたい．

工藤教授からは，通信の広帯域化を用いてシステムの性能向上を図るポストムーア時代のデータセンターアーキテクチャであるFlow Centric Computingについて紹介があった．現状，データセンターの計算資源を有効活用する際にデータの移動などの障壁が問題となっている．この問題に，多様化・ヘテロジーニアス化する計算資源の特徴を巧みに活かし，広帯域化された通信網を用いてビッグデータのリアルタイム解析を行なう．サイバーセキュリティ情報がビッグデータとなっている昨今，高速な処理を行なうアーキテクチャは重要な次世代技術であり，この観点から議論が行われた．

関谷准教授からは，これからの共同研究テーマに関するブレインストーミングが行われた．分散解析基盤を用いた，多種多量のセキュリティログ解析に関して，より解析のリアルタイム性を高めるためにはどうすればいいか，議論が行われた．また，攻撃検知のみならず，攻撃予測に必要となるデータセットとその解析方法について議論を行った．今後の方針として，これらデータ解析に関して解析基盤は東京大学側のリソースを利用し，解析手法に関してUNITEC側の手法を取り入れた新たな解析システムを構築することを目指す．さらに，インシデント情報などの情報交換プラットフォームについて議論を行った．交換する情報のモデリングが大事であり，まずモデリングを行うべきとの意見が出された．交換できる情報を交換することでインシデントの予知や解析に利用できるシステムを構築する方向で議論が行われた．

妙中助教からは，Software Defined Network (SDN) を用いた回線資源の制御についての研究事例が紹介された．特にOpenFlowに対応したWireless Access Point (AP) は，効率よく通信チャネルを用い，無線ネットワーク資源を有効に活用できる．なお，このAPはサイバーセキュリティ分野，具体的には接続端末に対するファイアウォール機能を提供する研究にも活用されている．

図 1: 調印式の様子

宮本助教からは，NECOMA プロジェクトの紹介及び取得しているデータとその解析方法について説明があった．このプロジェクトに参加している東京大学の教員は全てネットワークオペレータであったが故に，オペレータの知見をアルゴリズムに実装しがちであるという問題が指摘された．この上で，いわゆる「エキスパートシステム」ではなく,「人工知能」に解析をさせる方法論としての Deep Learning について，サイバーセキュリティ分野での応用事例が紹介された．

このワークショップの後も，ニュージーランドで開かれる著名な国際会議 International Conference on Privacy, Security, Trust (PST) が 2016 年度にニュージーランドに開催される旨の連絡を受け，併設ワークショップの企画・立案などについて相談があった．このように，Unitec 工科大学コンピューティング学部・東京大学情報基盤センターは引き続き共同でサイバーセキュリティ分野の連携を深めていく予定である．

PART 3

各研究部門

研究活動報告

情報メディア教育研究部門

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
準パススルー型仮想マシンモニタ「BitVisor」の研究

関谷 貴之
計算機科学関連カリキュラムの分析及び
初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答の分析

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 1 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、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、我が国の中でも有数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。

- Java のフレームワークを用いたアプリケーションを対象としたプログラム理解支援に関する研究 (柴山)
- 情報システムの安全目標に向けた研究 (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 POS 端末におけるクレジットカード情報の保護 (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)
- 仮想マシンモニタによるスーパーコンピュータ向け仮想計算環境の実現 (品川)

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)
- 初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答に関する分析 (関谷)

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

- ゲームプログラミングに関する研究 (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、コンピュータやネットワークに強く依存している。さまざまな機器やシステムがネットワークで相互に接続され、これらの機器やシステムは基本的にソフトウェアで制御されて動いている。そして、このように構成された情報システムが、社会の隅々にまで浸透するに至った。今後、IoT の発達により、各種機器やセンサーの社会への浸透はさらに進み、AI やビッグデータ解析技術の発達により、ソフトウェアで制御される領域はますます拡大するであろう。そして、情報システム自体とその情報システムが扱う情報に、人々の日々の生活がますます強く依存するようになることが予想される。

しかし、ネットワーク化された情報システムは、わずかな綻びがネットワーク効果により増幅され、大きな被害を生み出す可能性を秘めている。また、情報システムを制御するソフトウェアは、巨大化・複雑化の一途をたどっており、バグや脆弱性などの綻びの種が世の中に蔓延しているのが現状である。システムの障害や悪意のある攻撃により、大事故・大事件が引き起こされる可能性を無視はできない。これは簡単に解決できる問題ではなく、広範な技術開発を必要とするものであるが、情報システムの信頼性や安全性が大前提となることは確実である。

以上のような現状に鑑み、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。

- Java のフレームワークを用いたアプリケーションを対象としたプログラム理解支援に関する研究 [査読付 1, 発表 1]
- 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、ソフトウェアの設計や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。アプリケーションの開発を行う際に、今日では多くの場合、アプリケーションフレームワークが利用される。しかし、アプリケーション開発者は、フレームワーク内部の詳細な動作を知っているわけではない。一般のライブラリでも同様のことは言えるが、関数的な挙動をとることが多いライブラリがブラックボックスとして扱いやすいのに対し、フレームワークのメソッドは、間接的にアプリケーションのメソッドを呼び出すことが多々あり、いわゆる Inversion of Control のような現象が発生するため、ブラックボックスとして扱いにくい面がある。また、実行中にオブジェクトのフィールドの値を変えることも多い。そのため、問題の症状を発見しても、原因にたどり着くのが難しい傾向がある。そこで、フレームワークとアプリケーションの境界を越えるメソッド呼び出し (cross-boundary method invocation) などに注目し、症状のパターン化と症状から原因を追求する作業を支援するツールに関する研究を行った。また、バックインタイムデバッガの利用に関する検討も行った。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

この項目は、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 Java のフレームワークを用いたアプリケーションを対象としたプログラム理解支援に関する研究

2.1 背景

今日のアプリケーションの多くはオブジェクト指向アプリケーションフレーム（以下、単に「フレームワーク」と呼ぶ）を用いて構築されている。フレームワークは、基本的に、対象となるアプリケーション群に共通の骨組み部分を定義するものである。ホットスポットに相当する箇所に、各アプリケーションに固有のロジックを後から埋め込むことで、アプリケーションは構築される。アプリケーションの基本的なアーキテクチャはフレームワークが定めるため、難易度の高い設計上の決断からアプリケーション開発者を解放する効果もある。

問題となるのは、ドキュメントが未整備のフレームワークもあれば、アプリケーション開発者がフレームワークの挙動を誤解してホットスポット部分を実装する場合もあることである。アプリケーションの開発者とフレームワークの開発者は異なり、通常は、両者の間には密なコミュニケーションのチャネルがない。そのため、多かれ少なかれコミュニケーションに齟齬が生じやすい。また、フレームワークを用いたアプリケーションでは、Inversion of Control のような複雑な制御の流れが生じやすく、フレームワークの内部の詳細を知らないアプリケーションの開発者が、実行の過程を追うのも簡単ではない。

2.2 内容

意図せぬ状態の更新が起こりやすい以下のパターンを対象に、症状から原因を追求する方式と例題に基づくその有効性の検討を行った。

Cross-boundary side effects: フレームワークのメソッドからアプリケーションのメソッドが呼び出され、その中で代入が発生する場合には、アプリケーション開発者らから見ると、呼び出しが implicit に行われるため状況を把握しづらい。

Aliasing: 一つのオブジェクトに対して複数のアクセスパスが存在し、複数のパスからの更新が行われると、更新履歴を追跡しづらい。

Outdated state: 以上のような事情により予期せぬ更新が発生した場合に、その更新が発生したオブジェクトの状態に依存した条件判定が行われると、予期せぬ挙動をアプリケーションが取りやすい。

一般的なデバッガのようなツールを用いて、これらのパターンの要因が絡み合ったプログラムの実行過程を追跡する作業は、相当に手間がかかるものとなる。特に、フレームワークの内部の詳細が不明な場合には、細かい粒度で追跡しても理解が深まらず、非常に困難な作業となる。

そこで、以下のような支援機能を持ったプロトタイプツールを開発した。

- 実行のトレースを記録し、cross-boundary side effects でアプリケーション側のオブジェクトが更新された箇所を抽出するとともに、個々の動作の間の依存関係も抽出する。
- 注目するオブジェクトの更新が意図したものかどうかをアプリケーション開発者が判定するために、(1) フレームワークに属する箇所、(2) 標準ライブラリなどのフレームワーク以外のライブラリに属する箇所、(3) アプリケーション固有の箇所の区別を明確にし、かつ抽象化により単純化した依存関係の可視化を行う。
- アプリケーション開発者がトレースをインタラクティブに追跡するために、バックインタイム型のデバッガを提供する。

このツールは、Java 言語を対象としており、Byte Code Engineering Library (BCEL) を用いて試作した。

このツールの有効性を確かめるためのケーススタディを、第三者が作成した UML エディタを対象に行った。この UML エディタは、Graphical Editing Framework (GEF) を用いて作成されており、グラフのノードやエッジを表すクラスを具象化して、アプリケーション固有のクラスが定義されている。UML のアソシエーションを削除するコマンドに関する既知のバグを対象に、提案手法やプロトタイプツールの有効性評価を行った。

2.3 具体的成果

今年度は、以上のような成果についてジャーナル論文を発表した [査読付 1]。

3 情報システムの安全目標に向けて

3.1 背景

日本学術会議が 2014 年に発出した報告「工学システムに対する社会の安全目標」では、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ている。基本的な考え方として、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。基準値 (B) は、絶対安全を意味するわけではない。この報告では、一定のリスクは不可避であり、絶対安全の達成は現実には不可能と考えている。

上記の報告は広範な工学システムを対象としてはいるが、中心はやはり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を統一的に扱うことができるのか、また最終的に社会的な合意・受容を達成するために、どのようなプロセスを踏んで目標値の設定と普及を図れば良いのか等の課題が残されている。

3.2 内容

現代社会で人命の損失リスクを対象とした場合、背景で述べた基準値 (A) は概ね 10^{-3}/年～10^{-4}/年、基準値 (B) は 10^{-5}/生涯～10^{-6}/生涯となるようである。もちろん、工学システムの場合、何らかの社

会的な便益があることが前提である。そのため、一般には分野によって異なる便益の多寡、リスク軽減の現実的可能性、他の選択肢の有無などにも妥当な基準値は依存する。

しかし、人命の損失確率を主たる指標とする考え方は、プラントや交通システムの制御系に組み込みシステムが使われるような場合を除き、情報システムの安全目標には馴染まないであろう。また、少なくとも我が国で工学システムの安全性評価を行うときには、戦争やテロの可能性を含んだ議論はあまり行われていないようである。一方、情報システムの安全性を考えるときに、サイバー攻撃の可能性を無視するわけにはいかないだろう。さらに、情報システムは応用分野が多岐にわたるため、対象となる応用分野に応じた評価が必要との考え方もある。

今年度は、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ることとした。

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。これは法益の分類などを参考に定めた。

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。これは情報セキュリティの分野では一般的なものである。

1 の分類は、市場原理に任せるか、それとも規制が必要かという判断に関係する。ここで市場原理に任せるとは、安全性は高いが値段も高いシステムと安全性は低いが値段は安いシステム、さらにはその中間のものを市場で競争させ、あとは「見えざる手」に委ねるという考え方である。情報システムの安全性の問題は、世の中全体の安全性の縮図になっており、基本的人権に関わったり、従来から刑事罰が設定されているような領域は、規制が必要な可能性が高く、そうでない領域は市場原理に任せられる可能性が高い。なお、パーソナルデータの保護のように、欧州では基本的人権に分類されるが、文化的に比較的近い米国でも同様には考えられていないケースもある。

2 の分類は、1 の分類よりも技術寄りであり、安全性が侵害されたときの全体としてのインパクトではなく、個別の要素を取り出して評価を行うときに意味があるものである。たとえば、情報の漏洩が問題になるとき、暗号が破られて漏洩しても、OS のアクセス制御機構が破られて漏洩しても、応用分野におけるインパクトには差がない。しかし、要素技術の安全指標を設定するときには、どちらに注目するかでまるで違ったものになる。情報自体と情報システムでは、安全目標の指標の種類が異なることは確実である。

3 の分類もやや技術寄りではあるが、この分類が異なると、応用分野で発生する被害の性格も異なる場合が多い。情報自体については機密性と真正性、情報システムについては可用性、情報システムを制御するソフトウェアに関しては真正性が問題とされることが多く、それぞれに異なった指標や基準が必要になる。

3.3 具体的成果

今年度は、以上のような検討の成果に関する記事を執筆した [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。

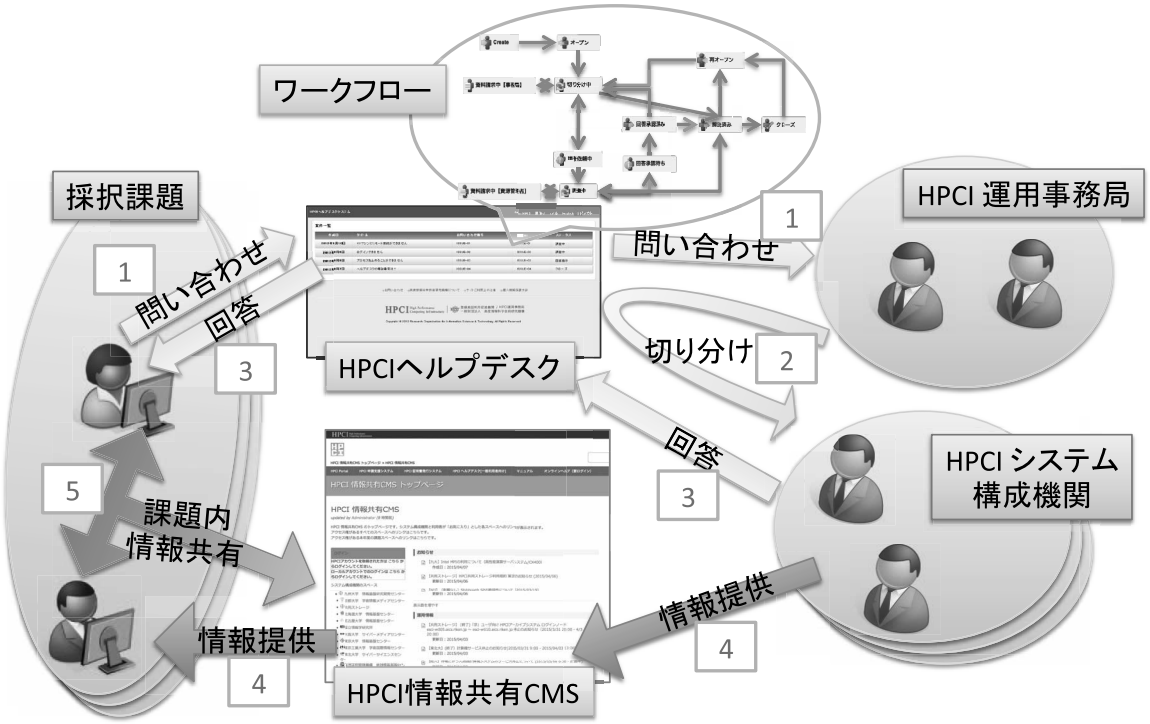


図 1: HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS

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、文部科学省委託業務「HPCI の運営」により行われた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) の改修を理科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)。

1. HPCI の課題採択者等が、ワンストップの窓口である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。

- Java 7 から Java 8 への移行にともなう各種バージョンアップ作業
- HPCI 申請支援システムとのデータ連携により、ヘルプデスクシステムのチケットの一部のフィールドを自動的に埋める機能の追加
- ヘルプデスク業務の可視化を行う機能の追加
- ヘルプデスクのすべてのチケットに read only 権限でアクセスするユーザの実現
- ヘルプデスクのエンドユーザ用 UI の改良
- ヘルプデスクのワークフローの修正
- 情報共有 CMS での HPCI システム構成機関担当者の書き込みを、個人名ではなく組織名で表示するための改修
- Zen Foundation から Theme Press への移行のための調査

4.3 具体的成果

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や記録のために利用された。また、HPCI 共用ストレージを複数組織で連携して運用するための利用も始まりつつある。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活用されている。HPCI 連携サービス運営・作業部会などの会議での情報共有、HPCI 関連マニュアや規則類の共有にも利用されている。

5 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 柴山悦哉: 平成 27 年度科学研究費助成事業審査委員表彰, 日本学術振興会, 2015 年 11 月.

査読付論文

[査読付 1] Izuru Kume, Masahide Nakamura, Naoya Nitta, Etsuya Shibayama: A Case Study of Dynamic Analysis to Locate Unexpected Side Effects Inside of Frameworks, *International Journal of Software Innovation*, Vol. 3, Issue 3, Article 3, pp. 26-40, 2015.

その他の発表論文

[発表 1] 久米出，中村匡秀，波多野賢治，柴山悦哉: 逆回しデバッグ支援の個別化に向けて, 日本ソフトウェア科学会大会論文集，PPL2-4, 2015 年.

[発表 2] 柴山悦哉: 情報システムの安全目標，学術の動向，Vol. 21，No. 3，pp. 56–60, 2016 年.

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]、コンピュータ将棋が人間のトップのレベルに達するという目的は昨年度まででほぼ達成された。本年度は、麻雀 [発表 2]、大貧民 [発表 4]、人狼 [発表 1] などの不完全情報ゲームに研究対象を広げた。

2　人狼ゲームの戦略に関する研究

2.1　背景

人狼ゲームは情報の獲得、情報の真偽判断、自然言語処理など、様々な分野と関連しているため、人狼ゲームに関して研究することが多くの分野に貢献できると期待されている。一方で、人狼ゲームは会話を取り除いても、ゲームとして成立していると考えられる。この会話による説得を取り除いた人狼ゲームの戦略を検討することは、会話を取り入れた場合の戦略のベースラインとして意味があると考えられる。

人狼側の戦略の一つに「ステルス人狼」というものがある。これは、人狼は自分が昼間は村人であるかのように発言、行動するという戦略であるが、一般的にはそれほど良い戦略ではないとされている。「ステルス人狼」に対する村人側の有効な戦略を示すことによって、このことを実証することには意味があると考えられる。

2.2　内容

人狼陣営に狂人がいない、また、村人陣営の役職が占い師と狩人だけだという設定の元で、両陣営の戦略に、

- 人狼側は「ステルス人狼」戦略を取り、村人も分かっている。
- 占い師は初日に役職を明かす。占い対象は占い師の立場から灰色 (人か人狼か不明　) の人にして、占った結果は次の日に明かす。
- 狩人は役職は決して明かさない。
- 占い師に人狼と占われたプレイヤがいる時は、そのプレイヤに投票する。そうでない時は灰色のプレイヤからランダムに投票されるようにする。

という制約を加える。

この制約を加えても、人狼がどのようなグループの中のプレイヤ (占い師、白と占われた人、占われていない人) を襲うか、狩人がどのようなグループのプレイヤ (占い師、白と占われた人、一度守る

のに成功した人、占われていないプレイヤ) を守るかという点で、戦略の自由度がある。また、夜のターンに同時にアクションを選ぶので、じゃんけんと同様に双方の戦略は確率的にアクションを決定する混合戦略が求められる。

本質的に 2 人ゲームであり、双方の戦略にはナッシュ均衡が存在する。情報集合が多いゲームのナッシュ均衡を求めるのは、困難とされていたが、近年 counterfactual regret minimization algorithm という手法が考案され、大規模な展開形ゲームの ε-ナッシュ均衡 (ナッシュ均衡と比べて exploitability がたかだか ε) を求めることができるようになった。この変種である CFR+ というアルゴリズムを使って、いくつかの条件のナッシュ均衡を求めた。

2.3 具体的成果

CFR+は 2 人ポーカー用のプログラムが公開されているが、ポーカーに特化したプログラムだったので、python で汎用のライブラリを実装した上で、今回の設定の人狼ゲームに適用した。

プレイヤ数が 10 名までで、占い師が最大 1 名、狩人が最大 1 名のすべての組み合わせ (ゲームとして成立しないものは除く) について、村人陣営の勝率を求めた。表 1 は占い師、狩人が共に 1 名の時の村人陣営の勝率である。

一般的にはプレイヤ数が 7 名以下では人狼は 1 名、8-10 名では人狼は 2 名割り当てるが、プレイヤ数が 4 名のケースを除くと人狼側の勝率は 50%以下になっている。このことから、人狼側の戦略として「ステルス人狼」が良い戦略ではないことが推測される.

表 1: 村人陣営の勝率 (占い師 1 名、狩人 1 名)

人狼数 \ プレイヤ数	3	4	5	6	7	8	9	10
1	50%	33%	67%	68%	80%	81%	84%	83%
2	-	-	33%	27%	53%	52%	66%	64%
3	-	-	-	-	25%	20%	42%	40%
4	-	-	-	-	-	-	17%	15%

また、占い師、狩人を入れるルールと入れないルールでどの程度の勝率の変化がでるかをまとめたのが、図 1 になる。どちらかを入れただけでは大きな変化はなく、両方を入れることによって、勝率が大きく変化することが分かる。ただし、これは【占い師が初日に役職を明かす」という前提に基づく結果なので注意が必要である。

また、ε-ナッシュ均衡 を与える戦略をチェックしたところ、

- 狩人が占い師ではなく灰色の村人を守るのが有利な例
- 狩人が黒と確定した人狼を守るのが有利な例

など興味深い例も見つかった。

3 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 畢暁恒, 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, 2015 年 11 月.

[受賞 2] 大渡 勝己, 田中 哲朗: 第 35 回研究会若手奨励賞, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, 2016 年 3 月.

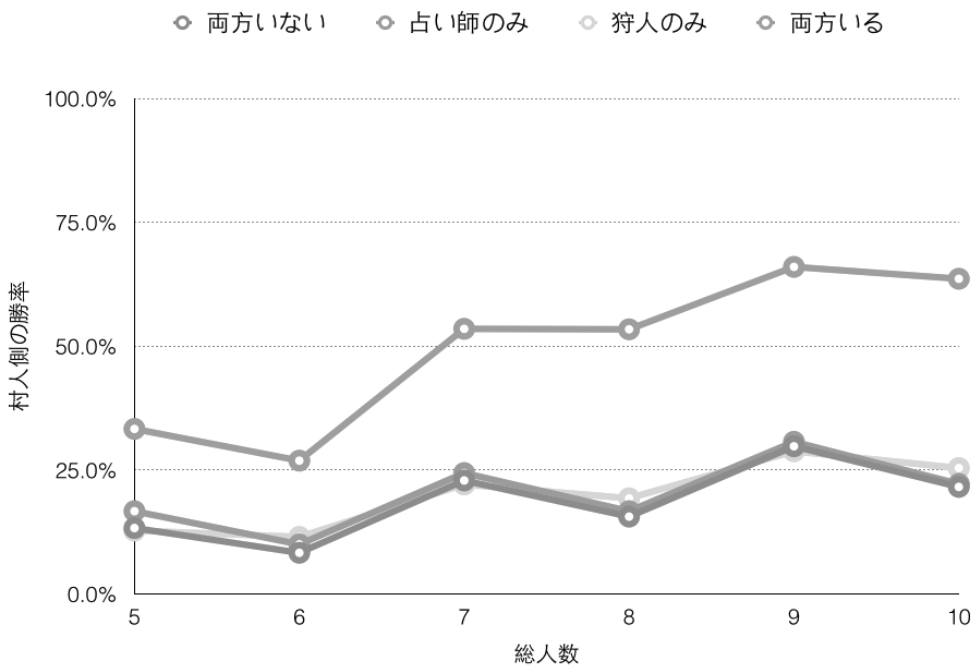


図 1: 人狼 2 名の勝率の比較

査読付論文

[査読付 1] Yokoyama, Shu, Tomoyuki Kaneko, and Tetsuro Tanaka. ”Parameter-Free Tree Style Pipeline in Asynchronous Parallel Game-Tree Search.” Advances in Computer Games. Springer International Publishing, 2015. 210-222.

その他の発表論文

[発表 1] 畢 暁恒, 田中 哲朗: 対話のない人狼ゲームの戦略, 第 20 回ゲーム・プログラミングワークショップ 2015, pp. 25-30, 軽井沢, 2015 年 11 月.

[発表 2] 我妻 敦, 田中 哲朗: 半教師あり学習による麻雀の降り局面の判別, 第 20 回ゲーム・プログラミングワークショップ 2015, pp. 143-147, 軽井沢, 2015 年 11 月.

[発表 3] 田中 哲朗: SMT ソルバを用いた「竹内の 3 人の賢者問題」の求解, 組合せゲーム・パズル プロジェクト 第 11 回研究集会, No. 16, 東京, 2016 年 3 月.

[発表 4] 大渡 勝己, 田中 哲朗: 方策勾配を用いた教師有り学習によるコンピュータ大貧民の方策関数の学習とモンテカルロシミュレーションへの利用, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2016-GI-35, No. 10, pp. 1-8, 東京, 2016 年 3 月.

特記事項

[特記 1] GPS 将棋: 第 25 回世界コンピュータ将棋選手権 5 位, コンピュータ将棋協会, 2015 年 5 月.

準パススルー型仮想マシンモニタ「BitVisor」の研究

品川 高廣

1 概要

本研究は、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ものである。仮想マシンモニタとは、オペレーティングシステム（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。そのため、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。

今年度は、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、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システム管理

  Mac 環境において、端末の管理を容易におこなうことを目的として、軽量な仮想マシンモニタを用いて OS からは透過的にバックグラウンドでストレージへの OS インストール作業をおこない、端末が必要になるとすぐに使用を開始できるようにす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マシン上での OS ライブマイグレーション [査読付 1, 受賞 1]

  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 2, 発表 4]

  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 POS 端末におけるクレジットカード情報の保護 [発表 1]

  POS 端末がマルウェアに感染することによって、クレジットカード情報が漏洩すること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クレジットカード情報をカードフォーマットを

維持したまま透過的に暗号化することにより、既存の POS アプリケーションに対する改修を最低限に抑えられるシステムを実現するための研究をおこなった。

- 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 [発表 3]

  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 [発表 2]

  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。

- 仮想マシンモニタによるスーパーコンピュータ向け仮想計算環境の実現

  多数のノードから構成されるスーパーコンピュータ環境において、OS のオーバヘッドを最小化するために OS のカスタマイズを可能にしつつ、必要な安全性や管理を仮想マシンモニタを用いて極めて低いオーバーヘッドで実現する仕組みについて研究をおこなった。

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。

- JST 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 産学共同促進ステージ（ハイリスク挑戦タイプ）（研究責任者）（平成 26 年 1 月～平成 28 年 12 月）
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（平成 27 年度）
- 富士通研究所 委託研究（平成 27 年 10 月～平成 28 年 3 月）

研究成果としては、まず JST の A-STEP の支援のもと株式会社イーゲルと共同で仮想マシンモニタによるシステム管理方式の研究開発を実施して、vThrii という名称で製品化をおこなった。

また、国際会議 IEEE/ACM UCC 2015 における発表を 1 件 [査読付 1]、国際会議 ACM SAC 2016 における発表を 1 件 [査読付 2] おこなった。国際会議 UCC 2015 での発表は、Best Paper Award を授賞した [受賞 1]。また、2012 年に出願していた特許の取得をおこなった [特許 1]。

他にも、国内シンポジウムでの発表を 1 件 [発表 1]、国内ワークショップでの発表を 1 件 [発表 2]、国際ワークショップでのポスター発表を 3 件 [発表 3, 発表 4, 発表 5] おこなった。

2015 年 11 月には、第 27 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 4 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。

以下、2 章では、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、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

企業や大学の計算機センターなどの環境では、数十台から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 などを使用している場合があり、一般のユーザが使用する場合と同様にブラウザや 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もある。

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 やソフトウェアのアップデート、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。

OS ストリーミング・デプロイメントという手法を用いると、導入時間を短縮することが出来る。この手法では、まずネットワークブートをおこない、OS イメージをバックグラウンドでコピーする。しかしこの手法では、OS に依存した手法や設定が必要となり、OS 透過性を損なってしまう。OS 透過性がないと、ドライバの互換性の検証やアップデートなどの作業を定期的に実施する必要があるほか、OS 選択の自由が大きく損なわれてしまう。

2.2　内容

本研究開発では、主に Mac 端末を対象として、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。

本手法では、ストレージへのアクセスは SATA のレベルで調停をおこなっている。OS から SATA デバイスへのアクセスを捕捉して、ローカルディスクに既にある領域（LBA）へのアクセスであればそのままパススルーとし、まだ存在しな領域であった場合には TCP/IP 経由でのサーバへのアクセスに変換する。また、仮想マシンモニタ自身で定期的に TCP/IP 経由でサーバにアクセスして、まだ取得していないディスク領域への書き込みを OS からのアクセスの隙間におこなう。一方、ネットワークに関しては、OS が起動する前からアクセスする必要があるほか、OS がネットワークデバイスを初期化する際にもアクセスを継続しなければならないため、SATA デバイスとは異なる困難さがある。そこで、今回は Mac OS に virtio ドライバを導入して、仮想マシンモニタがデバイスドライバと virtio のデバイスモデルを実装する形とした。

2.3　具体的成果

本研究開発の基本的なアイデアは、昨年度に国際会議 ASPLOS 2015 において論文として発表している。今年度はそれを Mac 環境向けに実装して製品化に向けた完成度向上のための研究開発をおこなった。実際に vThrii という名前で製品化した他、キャノン ITS の in Campus Device という製品と組み合

わせて販売され、第一弾として東京大学の教育用計算機システムに導入されて実運用が開始されている。他にも複数の大学で導入されているほか、今後も販売先を広げていく予定である。

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。従って、ベアメタルインスタンスはビッグデータや高性能計算など、仮想化のオーバーヘッドが無視できない非常に高性能な計算が必要な場合に適している。ベアメタルクラウドは現実的なサービスで、IBMを始めとした多くの事業者が実際にサービスを開始している。

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。ライブマイグレーションは、予防的フォールト・トレランスにも有効である。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るの際にダウンタイムが避けがたい。

ライブマイグレーションは、以下の理由から、OSからは透過的に実現されるべきである。まず、IaaS事業者は通常は顧客のOSを直接は管理していない。従って、ライブマイグレーションがOSに依存すると、顧客自身が必要な時にライブマイグレーションの作業を実施する必要が生じる。顧客がいつでもライブマイグレーションを実施できるように待機していることは現実的ではない。また、追加のソフトウェアやデバイスドライバを導入するのは面倒な作業である。さらに、顧客は独自のOSを使いたいかもしれない。そのような場合、特殊なソフトウェアやデバイスドライバは入手できないかもしれない。

近年の研究では、OS自身の機能を用いてライブマイグレーションを実現する手法が提案されている。しかし、この手法はOSの修正が必要になる。NICのファームウェアを改造してベアメタルインスタンスでのライブマイグレーションを実現する手法も提案されているが、この手法は専用ハードウェアが必要になる。コンテナを使ったライブマイグレーションも提案されているが、ゲストOSがホストOSと同一のカーネルを用いる必要があり、選択肢が狭まるという制約がある。

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提案する。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する。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。

この手法で最も難しいのは、I/Oデバイスの状態を取得・設定することである。仮想化環境においては、仮想マシンモニタは仮想デバイスの状態を簡単に取得・設定することができるが、物理環境においては、I/Oデバイスの内部状態を取得したり設定することは簡単ではない。例えば、リードオンリーのレジスタやライトオンリーのレジスタなどが存在している。これらの状態を取得・設定するために、仮想マシンモニタは、ゲストOSからのライトオンリーのレジスタに対するアクセスを監視・

捕捉して、その状態を内部に保存しておく。また、リードオンリーレジスタの状態を設定するために、デバイスを意図的に操作することで間接的に状態を変更させる。これらの手法により、I/O をデバイスの内部状態をマイグレーションすることが可能になる。

3.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 8th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC 2015) [査読付 1] で論文として発表をおこなった。本国際会議の採択率は 25.7% (27 / 105) であった。本論文は、本国際会議の採択論文の中で唯一 Best Paper Award を授賞した。

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。

この手法では、検証する対象となるデバイス以外の環境は実環境と同等のものになるため、シンボリック実行などの手法と比べて、実際に近い環境で実験をおこなえるため、実環境でしか再現しないようなバグなどを見つけ出すことが可能である。

実際に、NVIDIA の GPU ドライバや、Adaptec の RAID ドライバ、Marvell の SATA ドライバなどを対象として、Windows と Linux の環境でデバイスドライバのバグを見つけ出す実験をおこなった結果、41 個の問題が発生する状態を作り出すことができ、そのうち 30 個ではシステムがハングアップするなどの致命的な障害が生じることを確認した。

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。

5　成果要覧

受賞関連

[受賞 1] Takaaki Fukai, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: Best Paper Award, 8th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing, Dec 2015

査読付論文

[査読付 1] Takaaki Fukai, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: OS-Independent Live Migration Scheme for Bare-metal Clouds. In Proceedings of the 8th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing, Dec 2015.

[査読付 2] 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. To appear

特許申請／取得

[特許 1] 品川 高廣, 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 北村 朋宏, 榮樂 英樹, 松原 克弥: 特許第 5829959 号（特許出願 2012-066264），国立大学法人東京大学, 株式会社イーゲル，2015 年 10 月.（出願日：2012 年 3 月 22 日）

その他の発表論文

[発表 1] 竹腰 開, 品川 高廣, 加藤 和彦: POS 端末における VMM を用いたクレジットカード情報の保護．コンピュータセキュリティシンポジウム 2015(CSS 2015)，2015 年 10 月．情報処理学会研究報告, Vol. 2013-OS-130, 情報処理学会, Jul 2014.

[発表 2] 東 耕平, 竹腰 開, 深井 貴明, 品川 高廣, 加藤 和彦: ベアメタルクラウドにおけるハードウェア保護．第 136 回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会．情報処理学会研究報告，第 2016-OS-136 巻，情報処理学会，2016 年 2 月.

[発表 3] Iori Yoneji, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: A new framework for baremetal OS. 6th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSYS 2015), Tokyo, Jul 2015. (Poster)

[発表 4] Satoru Takekoshi, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: Testing Device Drivers against Hardware Failures in Real Environments. 6th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSYS 2015), Tokyo, Jul 2015. (Poster)

[発表 5] Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: Exit-Less Isolated Execution. 6th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSYS 2015), Tokyo, Jul 2015. (Poster)

[発表 6] 品川 高廣: BitVisor: OS を手玉に取る仮想化ソフトウェア．IPSJ-ONE, 日吉, 2016 年 3 月.

特記事項

[特記 1] BitVisor Summit 4 開催（第 27 回コンピュータシステム・シンポジウム 併設イベント），2015 年 12 月，http://www.bitvisor.org/summit4/

計算機科学関連カリキュラムの分析
及び
初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答の分析

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、及びプログラムをトレースする能力とプログラミング能力との関係に関する研究を行っている。

なお業務面では、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) の運用や導入などを、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が、その概要はシラバスとして学内外に公開されるため、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、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。

2014 年度は米国の大学を分析対象としたが、2015 年度は米国以外の大学も分析対象とした。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。

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

[1] http://www.timeshighereducation.co.uk/world-university-rankings/2014-15/subject-ranking/subject/engineering-and-IT (2016 年 3 月 28 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

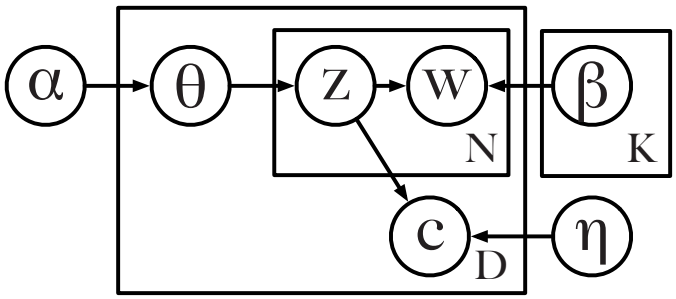


図 1: ssLDA のグラフィカルモデル

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。表 4 に分析対象とした 47 大学の一覧を示す。

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た。

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。α や θ などはオリジナルの LDA と同一であることから説明を省略する。LDA と異なるのは、2 つの変数 c と η を新たに導入したことにある。c は文書 w と文書に割り当てられるトピック z との関係を示すもので、η は関係の強さを調整するパラメータである。

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 との関係を得ることが出来る。更に、各シラバスごとに得られた KA との関係の強さをカリキュラム単位で足し合わせて平均を取ることで、カリキュラム毎の KA との関係の強さが得られる。つまり KA を軸とする 18 次元の空間 (KA 空間) の中での、各大学のカリキュラムの位置付けを得られることになる。

KA 空間内の大学カリキュラムを分析するために、 Ward 法による階層的クラスタリングを行った結果を図 2 に示す。この図からは、対象とする 47 大学が 4 つのクラスタ (C1–C4) に分類されたと言える。元の KA 空間内における、これらの 4 つのクラスタの中心を表 2 に示す。

以上の分析結果から、次の点を読み取ることができる。

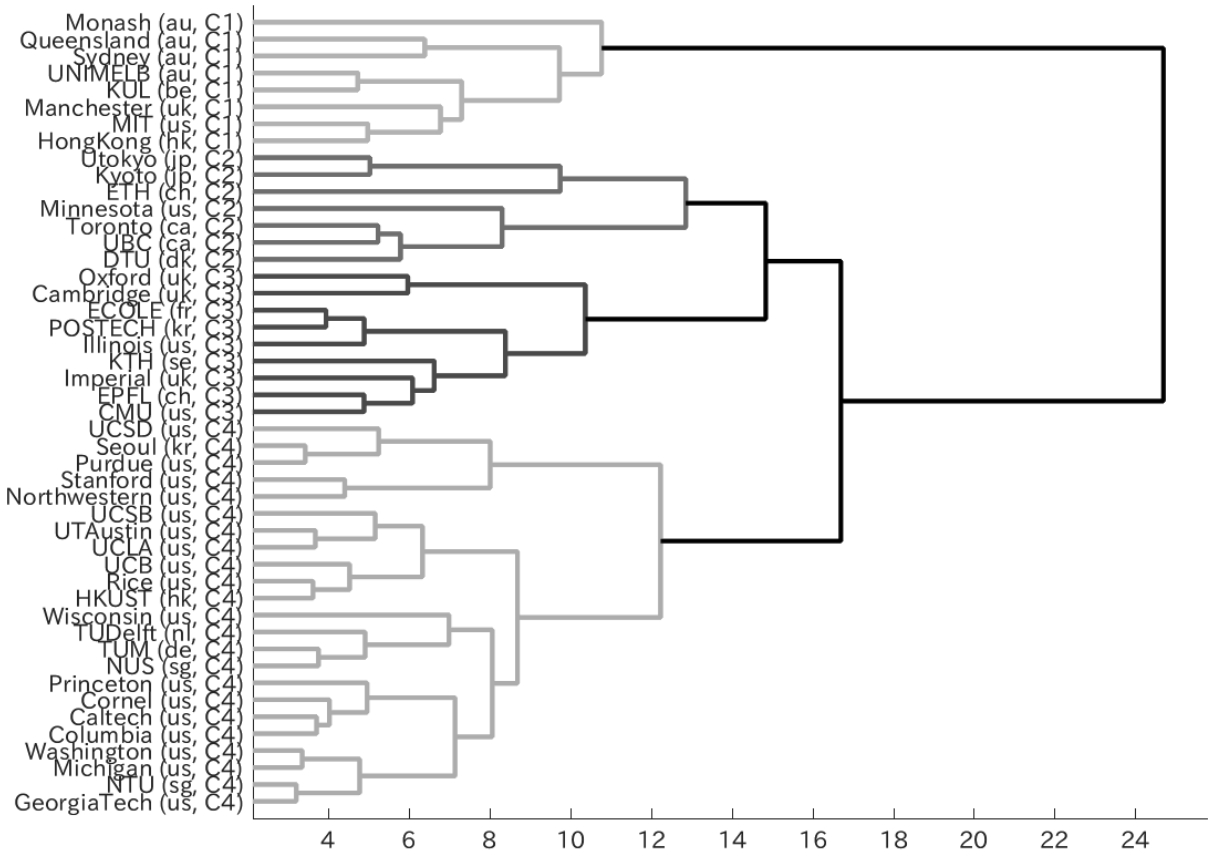


図 2: Word 法を用いた階層的クラスタリングの結果: 表 4 の ID を用いて示した大学が、4 つのクラスタ (C1–C4) に分けられていることを示している。

- C1 は KA の中でも HCI と SE、そして特に SP に重点を置いている大学が多い。いずれも、人間や社会との関わりがある KA である。一方、GV や PL といったコンピュータによる情報処理との関わりが強い KA には重点が置かれていない。つまり、C1 に含まれる大学においては、人間工学や人間との関わりに関する教育が重視されていると考えられる。

- C2 は AL や CN に重点を置いており、これらはコンピュータによる情報処理や理論との関わりが強い。その一方で、GV、HCI や SP は重視していない。特に HCI や SP は人間との関わりが強い。つまり、C2 に含まれる大学においては、理論面に関する教育が重視されていると考えられる。

- C3 は AL, DS, GV 及び PL に重点を置いており、これらはコンピュータによる情報処理や理論、また応用的な領域との関わりが強い。つまり、C3 に含まれる大学においては、理論面に関する教育を重視する C2 と似ているものの、加えて応用に関する領域を重視されていると考えられる。

- C4 は、特定の KA との関係が強かったり、弱かったりといった傾向が観られない。これは言い方を変えれば、C4 に含まれる大学においては、幅広い領域をバランス良く教育することに重点が置かれていると考えられる。

それぞれのクラスタに含まれる大学の設置国を表 3 に示す。C1 にはオーストラリアの全ての大学が含まれ、C4 には多くの米国の大学が含まれるなど、地域毎の分布の偏りが有ることも分かる。各クラスタの解釈と合わせると、オーストラリアでは、人間工学や人間に関わりに関する教育を重視す

表 2: KA 空間内での C1–C4 のクラスタの中心: 1.0 を越える値を赤字、-1.0 を下回る値を青字にしている。

	AL	AR	CN	DS	GV	HCI	IAS	IM	IS	NC	OS	PBD	PD	PL	SDF	SE	SF	SP
C1	-0.9	-0.8	-0.6	-0.3	-1.8	1.9	-0.5	0.7	-0.9	-0.3	0.2	-0.7	-0.6	-1.2	0.7	2.3	-0.7	3.6
C2	1.3	0.2	2.2	0.5	-1.1	-2.3	-0.6	0.3	-0.7	0.0	0.1	0.8	-0.2	0.5	0.5	-0.6	0.6	-1.4
C3	1.1	-0.6	-0.4	1.0	2.1	-1.0	-0.3	-0.5	0.1	-0.3	-0.7	-0.3	0.2	1.7	-0.7	-1.0	0.0	-0.4
C4	-0.5	0.5	-0.3	-0.4	0.2	0.4	0.4	-0.1	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	-0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.7

表 3: 各クラスタに含まれる大学の設置国の一覧

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

る大学が多く、米国の大学では幅広い分野をバランス良く教育する大学が多いと考えられる。分析対象としたのはシラバスのみで、その中でも CS2013 の BOK に含まれる用語しか ssLDA の処理の対象にならない。設置国を直接表す情報を含まないにも関わらず、このようにクラスタ間で地域毎の分布の偏りがあるのは興味深い。

2.3 具体的成果

THE の大学の分析結果について、論文としてまとめて投稿中である。

3 初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答に関する分析

3.1 背景

プログラミングの初学者に対する教育に関して、プログラミングに関わる能力に注目した様々な研究があるが、そこではプログラムを読むスキルや、読んだコードを説明できるスキル、プログラム中の変数の値などの変化を追うスキル (トレーシング)、書くスキル (ライティング) などが提案されている。その中でもトレーシングは基本的かつ重要なスキルであるが、初学者にとっては困難であるといわれる。また、トレーシングはテストなどで用いて能力を身に付けたか否かを判定することが、他のスキルと比較すると比較的容易である。

しかし、単にトレーシング問題を解かせて変数の値を答えさせた場合、トレーシングスキルが身に付いていないことが原因の誤答なのか、単に解答時の不注意だったのかを判断する必要が有る。そこで本研究では、トレーシングにおいて初学者が陥りやすい誤った解釈に注目して、その解釈と同様の出力を与えられたプログラムから得る仕組みを開発している。この仕組みを用いて、初学者の誤りのパターンを見つけた上で、更にその誤答パターンと成績との関係を分析している。

3.2 内容

2015 年度は、これまでに収集した 5 年間分の初学者の解答データを用いて、他に誤答パターンと見做せる物が無いかを調査した。

具体的には、基本的な誤答パターンを表現する変換器を組み合わせて、より複雑な仮想的な誤答パターンを生成し、それらの仮想的な誤答パターンに当てはまる解答データが、一定以上の頻度で見られないかを探した。その結果、「`for` ループの中の加算減算式で，制御変数を用いて計算する」パターンが見られ、そのパターンに当てはまる一部の学生のアンケートから、そのように誤っていることを

裏付ける回答文が見られた。しかし、当該パターンに当てはまる学生については、過去に見付けた別の誤答パターンとは異なり、期末試験の成績の平均点が著しく低いなどの傾向はなかった。

3.3 具体的成果

本件に関しては特に学会発表などを行っていない。

4 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 芳賀 瑛, 関谷 貴之, 梶田 将司: 第 5 回 Learning Analytics & Knowlege Conference (LAK15) 参加報告, 情報処理学会研究報告 2015-CLE-16, No. 10, pp. 1–6, 2015.

[発表 2] 関谷 貴之, 芳賀 瑛, 梶田 将司: SEO3-1-1 学習解析 (Learning Analytics) の動向 (特別セッション データサイエンス時代の学習の科学), 日本行動計量学会大会発表論文抄録集, Vol.43, pp. 154–157, 2015.

表 4: THE に基づいてカリキュラムを取得した大学の一覧。左からそれぞれの大学の THE での順位、設置国を示すコード、大学名と学科名、そして略称である。

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

Rank	Country / University (Department)		ID
19	us	Northwestern University (Dept. of Electrical Engineering and Computer Science)	Northwestern
21	hk	Hong Kong University of Science and Technology (Dept. of Computer Science and Engineering)	HKUST
22	us	University of California, Santa Barbara (Dept. of Computer Science)	UCSB
24	ca	University of Toronto Scarborough (Dept. of Computer and Mathematical Sciences)	UTSC
25	jp	The University of Tokyo (Dept. of Information Science, School of Science)	UTokyo
27	us	University of Wisconsin-Madison (Dept. of Computer Science)	Wisconsin
28	de	Technical University of Munich (Dept. of Informatics)	TUM
29	sg	Nanyang Technological University (School of Computer Engineering)	NTU
30	se	KTH Royal Institute of Technology	KTH
31	dk	Technical University of Denmark (Dept. of Applied Mathematics and Computer Science)	DTU
32	us	Columbia University (Computer Science Dept.)	Columbia
33	us	University of Washington (Dept. of Computer Science and Engineering)	Washington
34	be	KU Leuven (Dept. of Computer Science)	KUL
35	kr	Seoul National University (Dept. of Computer Science and Engineering)	Seoul
36	hk	The University of Hong Kong (Dept. of Computer Science)	HongKong
37	uk	University of Manchester (School of Computer Science)	Manchester
37	au	University of Melbourne (School of Information)	UNIMELB
39	au	University of Queensland (School of Information Technology and Electrical Engineering)	Queensland
40	us	Rice University (Dept. of Computer Science)	Rice
41	jp	Kyoto University (Informatics and Mathematical Science, Faculty of Engineering)	Kyoto
42	fr	École Polytechnique (Computer Science Department)	ECOLE
43	ca	University of British Columbia (Dept. of Computer Science)	UBC
45	us	Purdue University (School of Electrical and Computer Engineering)	Purdue
46	kr	Pohang University of Science and Technology (Computer Science and Engineering)	POSTECH
46	au	University of Sydney (School of Information Technologies)	Sydney
48	au	Monash University (Faculty of Information Technology)	Monash
49	us	University of Minnesota (Dept. of Computer Science and Engineering)	Minnesota
50	us	University of California, San Diego (Dept. of Computer Science and Engineering)	UCSD

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
データ出版におけるプライバシ保護

学術情報研究部門

概要

中川裕志

1 概要

2015 年度、プライバシー保護の制度と技術課題、および統計的機械学習の応用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) 多腕バンディット問題：Web ページ広告を出す時刻、場所のように多数の選択肢がある場合、そのうちの少数例しか試して有効性に関する結果を得ることができない場合の学習方法を多腕バンディット問題と呼ぶ。今年は、同時に複数の選択肢を試せる場合について最適解に漸近収束するまでの試行回数の上界を理論的に求め、実験的に評価した。[査読付 3]　さらに、複数の選択肢の有効性が絶対値ではなく、比較順位として得られる場合に対して、コンドルセ勝者（自身以外の全てに優位である選択肢）が存在する場合の漸近的最適化アルゴリズムを提案した。この場合は、最適解に漸近収束する試行回数の上界と下界を求め、それらが一致することを証明した。[査読付 4,7]
(2) 差分プライバシー：従来から知られていたラプラス雑音を加算する差分プライバシーを保つ学習器を複数統合するアルゴリズムを提案した[査読付 5]。また、相関があるデータに対する差分プライバシーとして、ベイジアン・差分プライバシーを提案した。相関がある場合は実世界の状況に近く、さらに相関があるほうが漏洩情報量は少ないという貴重な結果を導出している。[査読付 2]
(3) k-匿名化が誘発する濡れ衣：個人情報の匿名化の主要な手法である個人識別情報を曖昧化し k 人以下に絞り込めないようにする k －匿名化を適用すると、k 人のグループ内における無実の人物に疑いがかかってしまうという濡れ衣現象に関して、その緩和手法を提案した。位置情報のような数値データだけでなく、職業などのカテゴリーデータに拡張した一般的な方法である。また、濡れ衣現象の緩和のために追加する計算量は元々の k-匿名化の計算量に比べて無視できる程度あることを実験的に示した。[査読付 6]
(4) 匿名加工情報の利活用：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の明確化と利活用方法について検討した。[発表 11]
(5) プライバシー保護に関して、プライバシーの定義、漏洩の危険性、日本およびＥＵ，米国の状況、プライベート･データ･エコシステムの調査を行なった。[著書 2]
(6) 情報出版におけるプライバシー定量、ゲノム利用におけるプライバシー保護、クラウドソーシングにおけるワーカーのプライバシーの保護に関する技術研究[発表 2]、医療情報及びゲノム情報利用に関する調査研究及び講演[発表 7,8,10]を行った。

2 成果要覧

著書／編集

[著書 1] 中川裕志:東京大学工学教程 情報工学「機械学習」, 東京大学工学教程編纂委員会編, 丸善出版, 2015 年 11 月 20 日初版 発行. 12 月 30 日 2 刷, 2016 年 3 月 3 刷

[著書 2] 中川裕志: プライバシー保護入門 -法制度と数理的基礎 -, 勁草書房, 2016 年 2 月 20 日初版 1 刷 発行

[著書 3] 中川裕志: 人工知能学事典(Web 版):項目:データマイニングとコンプライアンス, 人工知能学会編. 2015 年 5 月 29 日

査読付論文

[査読付 1] Seiya Tokui, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Locally Optimized Hashing for Nearest Neighbor Search. PAKDD 2015, Ho Chi Minh City, Viet Nam, May 19-22 2015.

[査読付 2] Bing Yang, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Bayesian Differential Privacy on Correlated Data. ACM SIGMOD2015. pp747-762, Melbourne, VIC, Australia on May 31 - June 4, 2015.

[査読付 3] Junpei Komiyama, Junya Honda, and Hiroshi Nakagawa: Optimal Regret Analysis of Thompson Sampling in Stochastic Multi-armed Bandit Problem with Multiple Plays. ICML2015, pp.1152-1161, Lille, France. July.6-11, 2015

[査読付 4] Junpei Komiyama, Junya Honda, Hisashi Kashima and Hiroshi Nakagawa: Regret Lower Bound and Optimal Algorithm in Dueling Bandit Problem. COLT2015, pp.1141-1154, Paris France. July 3-6, 2015

[査読付 5] 南賢太郎, 荒井ひろみ, 佐藤一誠, 中川裕志: 差分プライベート弱学習器の統合, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM) , 8(2), pp. 31-43 (2015-07-24)

[査読付 6] 角野為耶、荒井ひろみ、中川裕志: データベース分割再構成法による k-匿名化が誘発する濡れ衣の軽減, 情報処理学会論文誌, 56(12), pp. 2244-2252 (2015-12-15)

[査読付 7] Junpei Komiyama, Junya Honda, and Hiroshi Nakagawa: Regret Lower Bound and Optimal Algorithm in Finite Stochastic Partial Monitoring. NIPS2015, http://papers.nips.cc/paper/6024-regret-lower-bound-and-optimal-algorithm-in-finite-stochastic-partial-monitoring, Montreal, Canada. December 8, 2015

[査読付 8] Kentaro Minami, Hiromi Arai, and Issei Sato: (ε , δ)-differential privacy of Gibbs posteriors. NIPS2015 workshop of Learning and privacy with incomplete data and weak supervison, Montreal, Canada. December 12, 2015

[査読付 9] Kana Shimizu, Koji Nuida, Hiromi Arai, Shigeo Mitsunari, Nuttapong Attrapadung, Michiaki Hamada, Koji Tsuda, Takatsugu Hirokawa, Jun Sakuma, Goichiro Hanaoka, Kiyoshi Asai: Privacy-Preserving Search for Chemical Compound Databases, BMC Bioinformatics, 16(Suppl 18): S6, 2015

その他の発表論文

[発表 1] 南 賢太郎、荒井 ひろみ、佐藤 一誠、中川 裕志: 差分プライベート統合を用いた分散データからの線形回帰. 第 29 回人工知能学会全国大会, 1H4-4. 公立はこだて未来大学, 2015 年 5 月 30 日

[発表 2] 梶野洸, 荒井ひろみ, 佐久間淳, 鹿島久嗣: クラウドソーシングにおけるプライバシ保護タスク割り当て. 第 29 回人工知能学会全国大会, 3K4-OS-20b-4. 公立はこだて未来大学, 2015 年 6 月 1 日

[発表 3] 小宮山純平, 本多淳也, 鹿島久嗣, 中川裕志: 比較バンディット問題における最適なアルゴリズム ～ ランキング手法比較や選好情報学習を目的として ～. 第 21 回 IBISML 研究会 2015-14 沖縄科学技術大学院大学, 2015 年 6 月 23 日

[発表 4] 南 賢太郎, 荒井ひろみ, 佐藤一誠, 中川裕志:差分プライバシと擬ベイズ事後分布. 第 21 回 IBISML 研究会 2015-7, 沖縄科学技術大学院大学, 2015 年 6 月 23 日

[発表 5] 横井創磨, 佐藤一誠, 中川裕志:大規模データ・高次元トピックに対応したトピックモデル. 第 21 回 IBISML 研究会 2015-5, 沖縄科学技術大学院大学, 2015 年 6 月 23 日

[発表 6] 高林裕太, 荒井ひろみ, 中川裕志:最小二乗密度比推定における差分プライバシー. 情報処理学会 コンピュータセキュリティシンポジウム 2015, 2B2-2, 長崎ブリックホール, 2015 年 10 月 22 日

[発表 7] 荒井ひろみ, 津田宏治, 佐久間淳: ゲノム検査結果の開示によるプライバシ侵害の評価, コンピュータセキュリティシンポジウム 2015 論文集, 3, 1258 -1265, 2015 年 10 月 23 日

[発表 8] 荒井ひろみ:個人情報の研究や医療での利活用のための課題. 生命医薬情報学連合大会 2015 年年会 若手合同セッション「生命・化学・医療情報学は連携できるのか？, 京都大学おうばくプラザ, 2015 年 10 月 30 日

[発表 9] 中川裕志:匿名化の技術的俯瞰. 第 35 回医療情報学連合大会 シンポジウム 3 ICT による自己情報コントロールとプライバシー保護, 4-A-2-2. 沖縄コンベンションセンター, 2015 年 11 月 4 日

[発表 10] 荒井ひろみ:個人ゲノム利用における情報漏えいとプライバシー保護データマイニングによる問題解決の可能性. 第 35 回医療情報学連合大会 シンポジウム 3 ICT による自己情報コントロールとプライバシー保護, 4-A-2-2. 沖縄コンベンションセンター, 2015 年 11 月 4 日

[発表 11] 中川裕志:匿名加工情報の利活用へむけての議論. 情報ネットワーク法学会 第 15 回研究大会 個別報告 C-6. 予稿集 pp.110-113, 北九州国際会議場, 2015 年 11 月 29 日

[発表 12] 荒井ひろみ, 学習器統合による分散型プライベートデータ利用法に関する提案, 2016 年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2016 年 1 月 19 日

特記事項

[特記1] 産業競争力懇談会 ２０１５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 挑戦的萌芽研究:匿名化が誘発する濡れ衣現象のモデル化と最適化による解消法, 代表者, 平成 26 年度～平成 27 年度

[特記 3] 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 4] 講義:数理手法 IV:統計的機械学習入門,工学部計数工学科, http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/48/

[特記 5] インタビュー記事:技術はプライバシー保護とデータ利活用の両立を可能にするか, サイバーセキュリティ 2020 脅威の近未来予測, 編者 日本ネットワークセキュリティ協会(JNSA), インプレス社, 2015 年 11 月 6 日 刊行

プライバシー保護の制度と数理モデル

中川裕志

1　概要

2015 年度は、主にプライバシー保護の制度と技術課題、および統計的機械学習の応用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) 多腕バンディット問題：Web ページ広告を出す時刻、場所のように多数の選択肢がある場合、そのうちの少数例しか試して有効性に関する結果を得ることができない場合の学習方法を多腕バンディット問題と呼ぶ。今年は、同時に複数の選択肢を試せる場合、複数の選択肢の有効性が絶対値ではなく、比較順位として得られる場合に対して、漸近的最適化アルゴリズムの提案、最適解に収束する速度を評価する数理モデルを開発した。[査読付 3,4,7]
(2) 差分プライバシー：従来から知られていたラプラス雑音を加算する差分プライバシーを保つ学習器を複数統合するアルゴリズムを提案した[査読付 5]。また、相関があるデータに対する差分プライバシーとして、ベイジアン・差分プライバシーを提案した[査読付 2]。
(3) k-匿名化が誘発する濡れ衣：個人情報の匿名化の主要な手法である個人識別情報を曖昧化し k 人以下に絞り込めないようにする k －匿名化を適用すると、k 人のグループ内における無実の人物に疑いがかかってしまうという濡れ衣現象に関して、その緩和手法を提案した[査読付 6]。
(4) 匿名加工情報の利活用：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の明確化と利活用方法について検討した[発表 7]。

紙数の関係から、以下2章では、(4)のテーマについてだけ詳述する。

2　匿名加工情報の利活用へむけての議論

2.1　背景

2015 年 9 月に成立した改正個人情報保護法では、個人データの利活用を目的として匿名加工情報が導入された。本論文に関連する条文の一部を以下に記す。

第二条１～８（略）
９　この法律において「匿名加工情報」とは、次の各号に掲げる個人情報の区分に応じて当該各号に定める措置を講じて特定の個人を識別することができないように個人情報を加工して得られる個人に関する情報であって、当該個人情報を復元することができないようにしたものをいう。
一第一項第一号に該当する個人情報当該個人情報に含まれる記述等の一部を削除すること（当該一部の記述等を復元することのできる規則性を有しない方法により他の記述等に置き換えることを含む。）。

二第一項第二号に該当する個人情報当該個人情報に含まれる個人識別符号の全部を削除すること（当該個人識別符号を復元することのできる規則性を有しない方法により他の記述等に置き換えることを含む。）。
第三十六条　個人情報取扱事業者は、匿名加工情報（匿名加工情報データベース等を構成するものに限る。以下同じ。）を作成するときは、特定の個人を識別すること及びその作成に用いる個人情報を復元することができないようにするために必要なものとして個人情報保護委員会規則で定める基準に従い、当該個人情報を加工しなければならない。
第三十八条　匿名加工情報取扱事業者は、匿名加工情報を取り扱うに当たっては、当該匿名加工情報の作成に用いられた個人情報に係る本人を識別するために、当該個人情報から削除された記述等若しくは個人識別符号若しくは第三十六条第一項の規定により行われた加工の方法に関する情報を取得し、又は当該匿名加工情報を他の情報と照合してはならない。

ようするに匿名加工情報とは、提供元の事業者が個人情報に適当な匿名化加工を施した情報であり、個人の同意なく第 3 者に提供できる。事業者にとっては大変便利にみえるが、個人にとっては心配な状況である。前提として、匿名化は提供元基準で匿名化できないことを保証する。一方、提供先（受け取った側）である匿名加工情報取扱事業者は、個人の再識別のために、作成者が削除した記述等や加工方法の取得、他の情報と照合を行なってはいけない（第三十八条）。

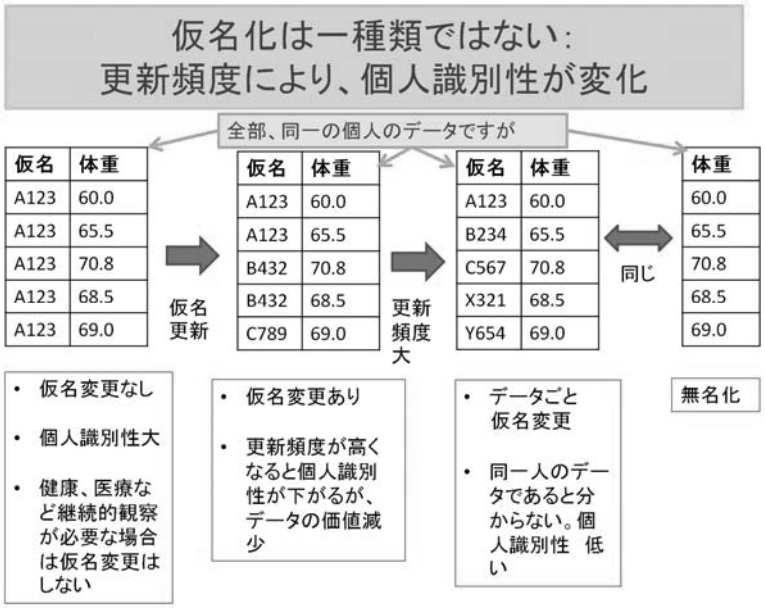


図 1　種々の仮名化

このような状況で匿名加工情報が個人データの利活用に有効なものかどうかを、以下の節で仮名化の視点から議論する。

2.2　仮名化

仮名化とは、個人情報を記載するデータレコードの氏名、あるいは個人識別番号（以下では、これらを個人 ID と記す）を乱数で置き換える方法である。具体的には、個人 ID にハッシュ関数を作用させて作った乱数を用いる。この乱数を以下 hash(個人 ID)と記す。ハッシュ関数は結果の乱数から元の個人 ID は計算できないことが保証されている。
EU のデータ保護規則（改正案）では、仮名化を以下のように定義している。
-追加情報の利用が伴わないと特定のデータ主体に帰属させることができない個人データ。
-追加情報は別管理され、不帰属を確実にするための技術的及び組織的措置が講じられる場合に限る。
EU では仮名化された個人情報は重要との認識の下、パーソナルデータの仮名化に関する自主ルール作成を推奨している。ここで気を付けなければならないのは仮名化の方法は一つではないことである。ハッシュ関数の入力を個人 ID と固定せずに何らかの数値 n_i (i=1,2,…)を

加算したものを用い、hash(個人 ID+n_i)とすれば、いくつでも異なる乱数を作ることができる[2]。よって、仮名の更新がいくらでも可能である。仮名化されたデータを受け取った側では、仮名が更新されれば、同じデータ主体の個人データであることは分からない。更新頻度が頻繁になればなるほど個人識別は困難になる。極端な場合、1 データレコード毎に仮名を更新してしまうと、個人 ID を削除したことと同じである。この状態をここでは無名化と呼ぶ。当然ながら、無名化であればハッシュ関数の計算も必要なく、単純に個人 ID を削除するだけでよい。以上の状況を図 1 に示す。

2.3 具体的成果

匿名加工情報となりうる仮名化の設計指針

仮名化は匿名加工情報ではないと言われている。仮名更新なし仮名化では、個人データが長期に集積してしまい、個人の一意的絞り込みが容易であり、結果として、特定個人識別も可能性が高い。よって、同意なし第３者提供ができる匿名加工情報とみなすのが危険であるということは技術的にも納得できるところがある。匿名加工情報は本人識別の意図の下で他の情報と突き合わせることは禁止されている。本人識別の意図がなくても他の情報と突き合わせたら偶然本人識別できているかもしれない。こういった事情を考慮すれば、提供先事業者としては、他の情報との突き合わせを躊躇するだろうが、匿名加工情報単独で抽出できる情報にどれほど価値のあるものがあるかはなはだ疑問である。
個別データ毎に仮名を変更する、いわゆる無名化は個人 ID を削除していることと等価なので、条文の解釈上も匿名加工情報になるのではないかと考えられる。少なくとも、提供元基準では明確に個人識別できないデータと見なせる。

すると、仮名更新なし仮名化と無名化の中間にある仮名更新あり仮名化は、どっちになるのだろうかという疑問が湧く。無名化以外の仮名化の全てを匿名加工情報でないとすると、データとして有益かつ個人識別は難しく、結果として個人到達性の非常に低い状態なのに、第３者提供できず、有効利用できないということになってしまい個人データ利活用という匿名加工情報導入の主旨が活かせない。そこで、仮名更新頻度がある閾値(K データレコード毎など)を越える仮名更新ありの仮名化は匿名加工情報だと見なせないかという問題提起ができる。ただし、閾値 K の決め方[1]が難しい。法律の上からは閾値による分類は馴染まないように筆者は推測している。実際難しい問題だが、有用性、リスク評価の視点などを持ち込むことによって、適当な線引き基準を設定することが可能であれば、追求する価値があるテーマであろう。

本題をそれるが、k-匿名化なら匿名加工情報になるという話もある。しかし、k=2 や 3 なら半分ないし 1/3 の確率で特定個人に到達できる可能性があり、仮名化よりプライバシー漏洩の危険度が高いかもしれない。一方で k を大きくしようとすると、データの質が大きく低下することも良く知られている。

自主規制ルールに関する考察

全ての分野でリスクを予見し評価することは現実的に難しい。仮名の更新を例えば K データ毎に行うとき、個別分野毎にリスクと有用性が K の値によってどう変化するかを分析し評価しなければならない。その上で、匿名加工情報とみなしうる K の値を決めることが基本方針となる。このような方法をとる場合、医療、購買、交通など分野毎に利害関係者が集まって自主規制ルールを作る方法がある。利害関係者の集合が認定個人情報保護団体になると、

[1] このような問題の立て方は、k-匿名化の k の値をどう決めたらよいのかというパーソナルデータ検討委員会の初期に出された諮問を彷彿する。

個人情報保護委員会は個別分野の認定個人情報保護団体の決めた自主規制ルールを認定し、その中に適切な仮名更新頻度 K の値も含まれるという運用がありえる。

自主規制ルールは、分野毎のデータ状況や技術発展によって変更を余儀なくされるであろう。したがって、K の値も時代の変遷によって変わってくる可能性がある。このような変更は、個別分野毎に行うほうが小回りがきき、機動的かつ柔軟な運用ができるので、データ利活用の観点からは望ましい。

分野毎の利用価値の分析

個人データの発生は利活用が想定される分野における仮名の更新頻度によって利用価値が変化する様子を医療、移動履歴、購買履歴について下の表にまとめ、本論文を締めくくることにする。

情報カテゴリー	仮名の更新頻度	利用価値
医療情報	更新なし	患者個人の長期病歴や生活習慣と罹患疾病の関係を分析できる
	更新あり	個人の追跡調査できず。ただし、短期間の流行把握は可能
移動履歴 （運転履歴を含む）	更新なし	個人 ID 収集も同意あり→個人の車の状態を把握して修理アドバイスや運転癖の指摘できる
		個人 ID 収集も同意なし→車と運転癖との関連のデータ分析
	低頻度	個人の運転癖も類型化は可能。 交通流の長期的傾向把握（都市設計などに使える） 1 ヶ月単位くらいだと、曜日毎の交通流把握が可能で、交通規制などに役立つかもしれない。
	高頻度	短い時間の間の交通流の把握のみ
購買履歴	更新なし	個人 ID 収集も同意あり→行動ターゲッティング広告
		個人 ID 収集も同意なし→データ主体の趣味趣向のデータマイニングによる精密なカテゴリー化
	低頻度	個人の長期間にわたる購買傾向。例えば春に X を買った人は夏に Y を買う傾向があるというようなデータマイニング
	高頻度	個人の短期的な購買傾向把握
	1 データ毎に更新	特定の品物の売れ行き調査

この表のように医療のように仮名更新がないことが決定的に重要な分野もある。しかし、仮名更新の頻度がある程度高くてもデータマイニングを適用すると、データ主体である多数の個人のクラスタリングによる類型化など、有用な情報が得られる可能性がある。同時に無名化（あるいは個人 ID 削除）は利用価値が低いことも窺われる。

3　成果要覧

著書／編集

[著書 1] 中川裕志:東京大学工学教程 情報工学「機械学習」, 東京大学工学教程編纂委員会編, 丸善出版, 2015 年 11 月 20 日初版　発行. 12 月 30 日 2 刷, 2016 年 3 月 3 刷

[著書 2] 中川裕志: プライバシー保護入門 -法制度と数理的基礎 -, 勁草書房, 2016 年 2 月 20 日初版 1 刷　発行

[著書 3] 中川裕志: 人工知能学事典(Web 版):項目:データマイニングとコンプライアンス, 人工知能学会編. 2015 年 5 月 29 日

査読付論文

[査読付 1] Seiya Tokui, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Locally Optimized Hashing for Nearest Neighbor Search. PAKDD 2015, Ho Chi Minh City, Viet Nam, May 19-22 2015.

[査読付 2] Bing Yang, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Bayesian Differential Privacy on Correlated Data. ACM SIGMOD2015. pp747-762, Melbourne, VIC, Australia on May 31 - June 4, 2015.

[査読付 3] Junpei Komiyama, Junya Honda, and Hiroshi Nakagawa: Optimal Regret Analysis of Thompson Sampling in Stochastic Multi-armed Bandit Problem with Multiple Plays. ICML2015, pp.1152-1161, Lille, France. July.6-11, 2015

[査読付 4] Junpei Komiyama, Junya Honda, Hisashi Kashima and Hiroshi Nakagawa: Regret Lower Bound and Optimal Algorithm in Dueling Bandit Problem. COLT2015, pp.1141-1154, Paris France. July 3-6, 2015

[査読付 5] 南賢太郎, 荒井ひろみ, 佐藤一誠, 中川裕志: 差分プライベート弱学習器の統合, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM) , 8(2), pp. 31-43 (2015-07-24)

[査読付 6] 角野為耶、荒井ひろみ、中川裕志: データベース分割再構成法による k-匿名化が誘発する濡れ衣の軽減, 情報処理学会論文誌, 56(12), pp. 2244-2252 (2015-12-15)

[査読付 7] Junpei Komiyama, Junya Honda, and Hiroshi Nakagawa: Regret Lower Bound and Optimal Algorithm in Finite Stochastic Partial Monitoring. NIPS2015, http://papers.nips.cc/paper/6024-regret-lower-bound-and-optimal-algorithm-in-finite-stochastic-partial-monitoring, Montreal, Canada. December 8, 2015

その他の発表論文

[発表 1] 南 賢太郎、荒井 ひろみ、佐藤 一誠、中川 裕志: 差分プライベート統合を用いた分散データからの線形回帰. 第 29 回人工知能学会全国大会, 1H4-4. 公立はこだて未来大学, 2015 年 5 月 30 日

[発表 2] 小宮山純平, 本多淳也, 鹿島久嗣, 中川裕志: 比較バンディット問題における最適なアルゴリズム　～ ランキング手法比較や選好情報学習を目的として ～. 第 21 回 IBISML 研究会 2015-14 沖縄科学技術大学院大学, 2015 年 6 月 23 日

[発表 3] 南　賢太郎, 荒井ひろみ, 佐藤一誠, 中川裕志:差分プライバシと擬ベイズ事後分布. 第 21 回 IBISML 研究会 2015-7, 沖縄科学技術大学院大学, 2015 年 6 月 23 日

[発表 4] 横井創磨, 佐藤一誠, 中川裕志:大規模データ・高次元トピックに対応したトピックモデル. 第 21 回 IBISML 研究会　2015-5, 沖縄科学技術大学院大学, 2015 年 6 月 23 日

[発表 5] 高林裕太, 荒井ひろみ, 中川裕志:最小二乗密度比推定における差分プライバシー. 情報処理学会 コンピュータセキュリティシンポジウム 2015, 2B2-2, 長崎ブリックホール, 2015 年 10 月 22 日

[発表 6] 中川裕志:匿名化の技術的俯瞰. 第 35 回医療情報学連合大会 シンポジウム 3 ICT による自己情報コントロールとプライバシー保護, 4-A-2-2. 沖縄コンベンションセンター, 2015 年 11 月 4 日

[発表 7] 中川裕志:匿名加工情報の利活用へむけての議論. 情報ネットワーク法学会 第 15 回研究大会 個別報告 C-6. 予稿集 pp.110-113, 北九州国際会議場, 2015 年 11 月 29 日

特記事項

[特記1] 産業競争力懇談会 ２０１５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 挑戦的萌芽研究：匿名化が誘発する濡れ衣現象のモデル化と最適化による解消法, 代表者, 平成 26 年度～平成 27 年度

[特記 3] 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 4] 講義：数理手法 IV:統計的機械学習入門, 工学部計数工学科

http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/48/

[特記 5] インタビュー記事:技術はプライバシー保護とデータ利活用の両立を可能にするか, サイバーセキュリティ 2020 脅威の近未来予測, 編者 日本ネットワークセキュリティ協会(JNSA), インプレス社, 2015 年 11 月 6 日 刊行

データ出版におけるプライバシ保護

荒井　ひろみ

1　概要

2015 年度は主にプライバシを保護したデータ収集及び利用に関する研究を行った。具体的には以下に示すテーマに注力して行った。

- データ出版におけるプライバシ保護について、個人ゲノム情報利用におけるプライバシ保護についてプライバシ定量の観点から研究をおこなった。個人ゲノムを用いたサービスの一つに DTC のゲノム検査があり、ゲノムを元に計算した疾病リスクを提供する。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の公開におけ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 [発表 5]。
- 個人情報を含むデータから構成した推定量や学習器を外部に公開する場合のプライバ シ保護基準の一つに差分プライバシがある。近年事後分布からのサンプリングが自動的に差分プライバシを満たすことが示されたが、それはモデルの対数尤度の有界性という極めて限定的な状況でのみであった。本研究では擬ベイズ事後分布と呼ばれる分布からのサンプリングが適当な条件のもとで (ε, δ)-近似差分プライバシを満たすことを示した。特にサンプルサイズや事前分布の縮小の強さの寄与が定量的に評価でき、また、密度推定や非有界な損失をもつ問題に対し差分プライバシを満たす新しい学習アルゴリズムが得られた [査読付 1, 発表 3]。
- 医療情報利用におけるプライバシ保護について、調査研究及び講演を行った。主に国内外での医療、医学分野における個人情報の取り扱いの法律及び各種指針の規定を概観、匿名化等の方式の曖昧性を指摘し、またプライバシリスクのある情報利用について概観した。さらにプライバシ保護技術の検討を行った [発表 6, 発表 7]。

本報告では主要な成果であるゲノム情報のプライバシ保護に関する研究について紹介する。

2　ゲノム検査結果

2.1　背景

個人に関する情報を含む様々な情報の利用が進む現在、プライバシ保護は情報の適切な利用に重要な課題として認識され、技術的にも様々なアプローチがなされている。その一つに秘匿性の高い情報を含むデータを元に構成したデータテーブル、統計量、推定量、学習器などを公開する場合のプライバシー保護（出力プライバシー）がある。出力プライバシーにはランダム化などのデータの加工によるプライバシ保護基準が様々提案されてきた。例えば、差分プライバシー等が存在する。一方で、医療や健康に関する情報に関しては目的の処理以外のデータの加工を極力避けたいといった場合が想定される。そのような場合には、例えば統計量などの公開におけるプライバシ保護基準が必要とされる。本研究では、このようなデータ出版におけるプライバシーの定量を扱う。

これまでプライバシー定量の技術的な研究では、クエリ監査と呼ばれる繰り返しのデータベース問い合わせに対してデータベースから漏洩するプライバシを監査する方式などが提案されている。しかし、このような研究は、得られたデータベースの回答を満たすデータベースを求める必要があり、その計算量がネックとなりデータベースのサイズに対してスケールさせることが難しかった。

プライバシー保護が必要な情報源は様々存在するが、個人に関する秘匿性の高い情報の代表的な一つに個人ゲノムがある。個人ゲノムは個人の身体や体質、血縁、人種、将来的な健康リスクなど極めて豊富な情報を含むため、その研究や医療への利用が期待されている。実際、近年パーソナルゲノムの一般利用は急速に進んでいる。病院や DTC のゲノム検査に代表されるゲノム利用サービスが普及しており、個人が自身のゲノムやその二次情報を容易に入手、利用することが可能になってきた。

一方でその情報の機微性からその取扱におけるプライバシーリスクが懸念されている。ゲノム情報はそれ自身に個人特定性および機微性両方を持つ。ゲノムは個人固有のパターンを持つため個人照合な に利用でき、またがんになりやすい体質など疾病や体質に関する機微情報を含むのである。さらにこの疾病リスク情報をゲノムから読み取るルールはゲノムワイド解析によって得られ、未知のルールが日々発見されている。このような状況から、個人ゲノムの具体的な配列の情報は個人に関する重要な情報であり、部分的であっても容易に開示すべき情報ではないと言える。

上記のような懸念が存在するにも関わらず、個人ゲノムやそれをもとにした情報が不用意に公開されてしまう例も後を絶たない。特に、ゲノム検査結果などの明示的にゲノムが 記載されていない二次情報を SNS などにおいて公開してしまうような場合もある。そのため、それらの情報のプライバシリスクを明確にし、そのプライバシリスクに応じた扱い方を考える必要がある。

2.2 内容

本稿ではゲノム 検査結果の疾病リスクを開示した場合のプライバシリスクを定量する問題に取り組む。疾病リスク

2.2.1 疾病リスク計算法

ゲノム検査では個人のゲノムからゲノムに由来する疾病リスクを算定する。ゲノムは塩基と呼ばれる 4 種の分子からなる 2 本がペアとなった鎖状の高分子であり、ゲノムにコードされた情報は塩基を表す A, T, G, C の 4 文字の文字列として表現することができる。ヒトゲノムは集団間で多くの部分が共通しているが、多様性が存在する決まった部位が存在する。中でも一文字の違いで表される多様性は一塩基多型（SNP）と呼ばれる。ある SNP における特定の塩基はアレルと呼ばれ、ある体質や疾病のなりやすさと強く関連するアレルはリスクアレルと呼ばれる。例えば、BRCA1 遺伝子における rs222795 という ID で参照される SNP において、”G”がリスクアレルであり、これが存在すると乳がんになる確率が高くなる。個人ゲノムの大部分をしめる常染色体は 23 対存在し、SNP も文字の対で表される。よって上記の例で SNP が ”GG”、”TG ”の場合にリスクアレルはそれぞれ 2 つ、1 つ存在することになる。ある被験者におけるこのような情報をリスクアレル数と呼ぶことにする。ゲノム検査では、このようなリスクアレル数を様々な疾病、SNP において検査し、被験者がある特徴や疾病を持つ確率を計算する。

本研究では以下に示す疾病リスク計算方法を用いる。これは、複数のリスク因子が存在する場合、それらによるリスクを乗算していく多くのゲノム検査サービスで実際に用いられる主要な計算モデルである。

ある被験者について、被験者が属する人種集団における疾病の相対リスクを被験者の SNP 情報から計算する。検査対象の疾病、体質、特徴などを疾病と総称し、それらの集合を $T_T = \{t_1, \ldots, t_{n_T}\}$ とする。また、疾病リスクはある人口集団における疾病の相対リスクとする。SNPi における 1 つのリスクアレルによって、t_k の相対リスクが確率 a_{ki} 増えるとする。リスクアレルが複数ある場合は、相対リスクは以下のように積算される。ある人種における平均的な相対リスクを $\bar{a}_{k_i}$ とする。SNPi におけ

る被験者のリスクアレルの数を $x_i \in \{0,1,2\}$、検査で用いられる全 SNP を L_T とすると、被験者の t_k の疾病リスクは

$$r'_k = \prod_{i \in L_T} s_i = \prod_{i \in L_T} \frac{a_{ki}^{x_i}}{\bar{a}_{ki}}.$$

と計算される。

ここで、疾病リスクはサービスにおいて、可読性のために

$$r_k = \lfloor r'_k / b + 1/2 \rfloor \cdot b,$$

のように丸めて用いられるとする。丸めパラメータは $b \in [0.001, 0.01]$ とする。これは、副次的なプライバシ保護の効果もある程度期待される。ここで、リスクアレル数のベクトル表現を $\mathbf{x} = (x_1, \ldots, x_{|L_T|})$、疾病リスク計算は

$$f_k(\mathbf{x}) = \mathtt{round}(\prod_{i \in L_T} \frac{{a_{ki}}^{x_i}}{\bar{a}_{ki}}, b).$$

と記述できる。

2.2.2 攻撃モデル

プライバシーを評価するための攻撃モデルを定義する。攻撃モデルによる被験者のセンシティブ情報推定の正確さを定量しプライバシー漏えい度合いと評価する。

被験者が疾患リスクのセット S_T を公開した場合の情報漏洩を評価するために、以下の攻撃モデルを想定する。攻撃シナリオとして、攻撃者が疾患リスクの計算式**??**を知っているとする。多くのゲノム検査サービスで、検査方法は white paper やデモシステムなどで開示されているためこの想定は妥当である。被験者は、個人のゲノム情報自身や、特に重篤な疾患に関連する遺伝情報を公開したくないが不用意に S_T を公開してしまったとする。この場合に攻撃者が推測する情報を評価する。攻撃者はゲノム検査の入力である被験者のリスクアレルの情報を、ゲノム検査関数と出力である S_T から推測するのに以下の様なリバースエンジニアリング的な手法を取るとする。

我々は $\mathbf{x}$ の推測として、S_T を取りうるデータベースを評価する方法をとる。可能なリスクアレルの集合を $\mathcal{X} = \{0,1,2\}^{|L_T|}$ とする。このうち、S_T を取りうる $\tilde{\mathbf{x}} \in \mathcal{X}$ は

$$\mathcal{X}_r = \{\tilde{\mathbf{x}} \in \mathcal{X} | \{f_k(\tilde{\mathbf{x}}) = r_k | k \in T\}\}.$$

さらに、x_i がある値をとるサブセットは

$$\mathcal{X}_{iv} = \{\tilde{\mathbf{x}} \in \mathcal{X}_r | \tilde{x}_i = v\} \ \ (v \in \{0,1,2\})$$

である。ここで、$\tilde{\mathbf{x}}$ は一様確率で $\mathcal{X}$ に分布しているとすると

$$\Pr(\mathbf{x} \in \mathcal{X}, x_i = v | S) = \frac{|\mathcal{X}_{jv}|}{|\mathcal{X}_r|}$$

となる。よって SNPi におけるリスクアレル数の期待値は

$$E(x_i) = \sum_{v \in \{0,1,2\}} \Pr(x_i = v | S) \cdot v.$$

となる。

ここで、$|\mathcal{X}_{iv}|$ および $|\mathcal{X}_r|$ の計算は安易に $\mathcal{X}$ の全要素に対しブルートフォースよって求めると、$|L_T|$ に対して幾何級数的な時間を要する。ゲノム検査サービスでは将来的に $|L_T|$ がかなり大きくなる可能

性も考えられ、このアプローチは計算コストが掛かり過ぎると懸念される。しかし、$\mathcal{X}_r$ の条件式の対数を取ると、線形不等式制約として記述できる。よって、$|\mathcal{X}_r|$、$|\mathcal{X}_{iv}|$ の計算には整数線形計画問題として効率的に解くことができる。我々は上記の制約条件を $\{0,1\}$ ベクトルの形に書き直し、整数計画問題のソルバーを用いて計算を行った。

さらに、攻撃者はアレル推定の結果から被験者の持つ重篤な疾患 T_S に関する疾患リスクを推測するとする。GWAS 研究から得られる多くの疾病-SNP の関連情報の中には身長や髪の色等のそれほどセンシティブではないものから癌やアルツハイマーなどの、他人に知られることで不利益を被るようなセンシティブな情報がある。ここで、センシティブでない疾患を T_{NS}、センシティブな疾患を T_S とする。センシティブでない疾患 T_{NS} の疾患リスクから、センシティブな疾患 T_S の疾患リスクが推定される問題を考える。

T_S のうちいずれかの疾患と関連する SNP を考える。疾患 t_k と関連する SNP 集合を L_k とすると、T_S、T_{NS} と関連する SNP はそれぞれ $L_S = \cup_{t_k \in T_S} L_k$、$L_{NS} = \cup_{t_k \in T_{NS}} L_k$ となる。また、L_S と相関する SNP 群も考える。遺伝子には連鎖不均衡 (LD) という、集団内で複数の遺伝子多型の間にランダムでない相関が見られるという現象がある。ヒトのある人種における SNP 間の LD を考える。SNP 対の相関は連鎖不平衡係数 r^2 で評価でき、$r^2 > 0.6$ であると強い相関があると評価される。SNPℓ と j の間の連鎖不平衡係数を $r^2_{\ell j}$ と示す。ここで、被験者は L_S と連鎖不平衡にある SNP

$$L_{LD} = \{\ell | r^2_{\ell j} > 0.6, j \in L_S\},$$

のいずれかを持つ場合、それと LD にある疾患因子を持つと疑われると考えられる。

本研究では、ゲノム検査において、センシティブでない疾患の疾患リスクから推定される上記のセンシティブなリスクアレルの情報を取り扱う。ゲノム検査におけるセンシティブでない疾患は $T_T \cap T_{NS}$、それから推測できるリスクアレルは $L_T \cap L_{NS}$ である。それらから推測できるセンシティブ情報は、センシティブな疾患と関連する SNP 及び、センシティブな疾患と強い相関を持つ SNP を収集し、これらのリスクアレル情報が正確に推測されるならばセンシティブ情報が漏えいしたと考える。

3 評価実験

ゲノム検査被験者としての人口集団のデータセットを作成し、また疾患リスク計算のための SNP-疾患関係を収集し被験者のプライバシーを評価した。

被験者の集団として人種別の人口集団のリスクアレルデータを作成した。人種別集団における各個人 SNP 情報のデータベースである HapMap データベースを用い、CEU、JPT、YRI と呼ばれる人口集団における各 174、96、176 人についてのリスクアレル数のデータセットを作成した。リスクアレルは次節にのべる疾患リスク計算で用いる $|L_T| = 119$SNP について収集した。これらを各々CEU、JPT、YRI データセットとする。

疾患リスク計算法のパラメータである SNP と疾患の関連情報及び相対リスク値は GWAS Catalog の 2013/12/09 時点のデータを用い収集した。これは、GWAS 研究の成果をキュレートしたデータベースであり、ここから、信頼できる情報を以下のように収集した。まず、インパクトの高いジャーナルに掲載された研究を選び、さらに P 値が $5 \cdot 10^{-5}$ 以下である疾患-SNP の関連を選択した。これは GWAS 研究の評価におけるスタンダードなしきい値である。

ここから、関連する SNP が 2 から 5 個である疾患を選択し、最終的に T_T として 56 疾患、$|L_T| = 119$ 種のリスクアレル及び各リスクアレルについての相対リスク値を得た。これらのうち 4 疾患は共通のリスクアレルを持ち、疾患と SNP をそれぞれ T_C、$L_C = \cup_{t_k \in T_C} L_k$ とする。

また、センシティブアレルデータセットとして GWAS Catalog から T_S 及び T_{NS} をそれぞれ 67 及び 37 疾患収集し、それらと関連するリスクアレル L_S 及び L_{NS} を収集した。また、SNP ペアと r^2 の情報を HapMap データベースにおける LD データベースから収集し、L_{LD} を作成した。

アレル推定攻撃によるリスクアレル数の推定結果は以下のようであった。b は 10^{-3}、10^{-2}、0.1、0.2、0.5、1 と変化させた。推定攻撃によるプライバシ漏洩を図るための規準としては、各リスクアレルについてのエラー $Err(x_i) = |E(x_i) - x_i|$ とする。これを全人口、全 SNP について平均した値の丸めパラメータ b に対する変化を図 1 に示す。

丸めパラメータが大きいほど、エラーは大きくなりプライバシ漏洩は少なくなる。一方で、$b \leq 0.5$ と十分小さい場合には、ほとんどのリスクアレルの情報が正確に推定されてしまうため疾患リスクの開示における有用性とプライバシ保護の両立は困難であると考察される。結果は CEU, YRI, JPT データセットについて同様の結果を得た。

センシティブ情報の各人口集団データセットにおけるエラーも同様に b とトレードオフの関係にあるとわかった。また、特に LD による漏洩は人種によって結果に差があり、これは人種によって連鎖不平衡が異なっており、漏洩しやすさがそれに依存して変化するためと考察される。

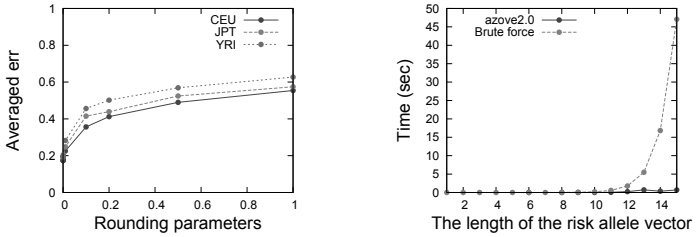


図 1: (左)L_T について CEU, JPT, YRI データセットでのアレル推定攻撃。縦軸は推定のエラー平均、横軸は丸めパラメータ b。(右) 対象リスクアレル数の変化に対するアレル推定攻撃の 1 リスクアレルに対する計算時間の変化。azove 2.0 を用いた場合と、brute force の場合それぞれの 100 回平均値を示す。

また、リスクアレル推定の計算効率を評価した。3.20GHz CPU 、4GB RAM の Linux マシンにおけるアレル推定攻撃の 1 リスクアレルに対する計算時間の変化を図 1 に示す。実験は CEU データセットを用いて c++で実装し行った。結果より、ブルートフォースに評価した場合は計算時間が対象 SNP 数に対して幾何級数的に増加するが、azove2.0 を用いた場合には対象 SNP 数が増加しても計算時間は大きく変化せず効率的に計算が実行されていることがわかる。よって、実際に多量の SNP についてゲノムプライバシーを評価する場合にも計算コストを多く要しないことが期待される。

3.1 具体的成果

本研究ではゲノム検査結果の開示における被験者のリスクアレル情報の漏洩および、センシティブな疾患に関する因子の推測を定量評価する問題を提案した。さらに漏洩の定量評価方法を提案し実データを用いてある人種における平均的なプライバシ漏洩を評価した。我々の提案した方法はゲノムプライバシ漏洩を整数線形計画問題として定式化し、計算効率性の高く定量評価が可能な手法を導入したという新規性がある。また、本研究によってゲノム検査結果はプライバシーリスクが大きいと評価されたことから情報開示における適切な情報利用に貢献するものと期待される。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Kentaro Minami, Hiromi Arai, Issei Sato: (ε , δ)-Differential Privacy of Gibbs Posteriors, NIPS 2015 Workshop on Learning and Privacy with Incomplete Data and Weak Supervision, Montreal, Canada. December 12, 2015.

[査読付 2] Kana Shimizu, Koji Nuida, Hiromi Arai, Shigeo Mitsunari, Nuttapong Attrapadung, Michiaki Hamada, Koji Tsuda, Takatsugu Hirokawa, Jun Sakuma, Goichiro Hanaoka, Kiyoshi Asai: Privacy-Preserving Search for Chemical Compound Databases, BMC Bioinformatics, 16(Suppl 18): S6, 2015.

その他の発表論文

[発表 1] 南 賢太郎, 荒井 ひろみ, 佐藤 一誠, 中川 裕志: 差分プライベート統合を用いた分散データからの線形回帰．第 29 回人工知能学会全国大会, 1H4-4. 公立はこだて未来大学, 2015 年 5 月 30 日

[発表 2] 梶野洸, 荒井ひろみ, 佐久間淳, 鹿島久嗣: クラウドソーシングにおけるプライバシ保護タスク割り当て．第 29 回人工知能学会全国大会, 3K4-OS-20b-4. 公立はこだて未来大学,　2015 年 6 月 1 日

[発表 3] 南　賢太郎, 荒井ひろみ, 佐藤一誠, 中川裕志：差分プライバシと擬ベイズ事後分布．第 21 回 IBISML 研究会 2015-7, 沖縄科学技術大学院大学, 2015 年 6 月 23 日

[発表 4] 高林裕太, 荒井ひろみ, 中川裕志：最小二乗密度比推定における差分プライバシー. 情報処理学会　コンピュータセキュリティシンポジウム 2015, 2B2-2, 長崎ブリックホール, 2015 年 10 月 22 日

[発表 5] 荒井ひろみ, 津田宏治, 佐久間淳: ゲノム検査結果の開示によるプライバシ侵害の評価．コンピュータセキュリティシンポジウム 2015 論文集, 3, 1258 -1265, 2015 年 10 月 23 日

[発表 6] 荒井ひろみ：個人情報の研究や医療での利活用のための課題. 生命医薬情報学連合大会 2015 年年会　若手合同セッション「生命・化学・医療情報学は連携できるのか？, 京都大学おうばくプラザ, 2015 年 10 月 30 日

[発表 7] 荒井ひろみ：個人ゲノム利用における情報漏えいとプライバシー保護データマイニングによる問題解決の可能性. 第 35 回医療情報学連合大会　シンポジウム 3　ICT による自己情報コントロールとプライバシー保護, 4-A-2-2. 沖縄コンベンションセンター, 2015 年 11 月 4 日

[発表 8] 荒井ひろみ, 学習器統合による分散型プライベートデータ利用法に関する提案, 2016 年　暗号と情報セキュリティシンポジウム, 2016 年 1 月 19 日

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
SDNフェデレーション技術，広域動的ネットワークコネクション提供技術と
ポストムーア時代の情報基盤

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
新たなネットワークサービスアーキテクチャに関する研究

中村 文隆
クラウドとパーソナルデジタルサイネージ

妙中 雄三
無線ネットワークにおける柔軟なチャネル利用に関する研究

宮本 大輔
サイバーセキュリティに関する研究

田崎　創
マルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発

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．最近では IoT が注目を集めるなど，ネットワークにつながる機器は多様化しその数も増大している．このため，通信量が増大するとともに，多様な要求への対応，セキュリティの確保が重要となっている．また，人間を含む物理空間とのインタフェースも重要な課題である．ネットワーク研究部門ではこれらの要求に応えるため，ネットワークセキュリティ技術，ネットワーク基盤技術，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．2015 年度の研究の取り組みの概要は以下の通りである．

［1］ネットワークセキュリティ技術

標的型メールやランサムウェアによる攻撃が話題になるなど，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．

そこで，web サーバなどを対象として一般の通常アクセスに紛れて行われる不正アクセス攻撃の行動を監視し，SDN 技術を用いて効率的にハニーポットシステムに誘導するシステムの VM 環境上での構築方法に関する研究を実施した．また，過去に発見された脆弱性の共通脆弱性識別子(CVE)記述と専門家が判定した共通脆弱性評価システム(CVSS) スコアによる脆弱性影響度の結果を機械学習することで，新規の脆弱性に対する CVSS スコアの自動予測を行うことの有効性について検討を行った．加えて，効率的な k-匿名化手法に関する提案とその検証を行った．

エンドユーザのフィッシングサイトへのアクセスを防ぐために，エンドユーザの思考パターンを視線分析により予想する仕組みを構築した．エンドユーザの視線，とりわけ画面の特定の個所を凝視した時間，回数を用い，どのような意図でウェブサイトの真贋判定を行っているかを推測した．この結果に基づいてフィッシングサイト対策を行うシステムの開発を行った．また，エンドユーザが真贋判定を行う際に参照するアドレスバー等さまざまな情報についてサーベイを行い，ITU-T Study Group 17 Question 4 において標準化活動を実施した．

日欧協調の共同研究プロジェクトである，「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」(NECOMA プロジェクト）に参加し，MATATABI と呼ぶデータ解析基盤を構築し，この基盤上にて複数のデータセットを用いた攻撃分析を行った．蓄積した知見をもとにいかに効果的な脅威緩和を行えるかを計測した．また，SDN-IX と呼ばれるインターネットの中核部分において，DDoS (Distributed Denial of Service) 攻撃を効率的に防御するための機構に関する研究開発を行った．SDN-IX は実運用への展開に向けて，実際のインターネットエクスチェンジサービスと提携し試験運用を開始した．

［2］ネットワーク基盤技術

通信量の増大や，ネットワークの利用形態の多様化に対応するため，ネットワーク仮想化技術や無線ネットワーク技術の研究開発を行った．

近年，ネットワーク仮想化技術が注目を集めている．これは，従来静的に設置されるものであったネットワークを，要求や利用状況に応じて動的に構成を変更し，個々の利用者の要求に合ったネットワークを提供することで，利便性や安全性を高めようとするものである．
そこで，仮想化技術を用いてネットワークサービスを提供するための基盤技術に関する研究を行った．これからのネットワークに求められるネットワークサービスを挙げ，それらを実現するための仮想化技術に関して検証と問題点の分析を行った．そのうえで，問題点を解決する新たな仮想化手法の提案と評価，ネットワークサービスをチェイニングしてユーザに提供するための簡易なシステムアーキテクチャについての提案と実証実験を行った．

また，SDN フェデレーションを実現する日欧協調の共同研究プロジェクト FELIX プロジェクトのユースケースとして，IaaS マイグレーションの実証実験を行った．FELIX プロジェクトでは，異なるデータセンター（SDN アイランド）間を連携させたテストベッドを構築しており，動的に SDN アイランド間を接続したテストベッド上にスライスを構築する． FELIX テストベッド上でクラウドサービスの一形態である IaaS のマイグレーションの実証実験を行った．

無線ネットワークの通信量の増大に対応するため，無線ネットワークの性能の最大化するための研究開発を行った．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無線資源（品質要求に対応する数の無線チャネル）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資源利用に抑える制御を自律的に実施するアーキテクチャを実現すれば，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とができる．そのために，現実環境に近いトラヒックを扱うチャネル有効利用手法の研究を行った．

［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，小型気象センサとともに音声ならびに映像を定期的に取得する定点観測装置を複数の森林等に設置し，樹木や野生動物の季節変動に伴う生態観測を行うフェノロジー研究を実施した．また，人々の日常生活を支援することを目的に 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を実施し，携帯端末の把持姿勢認識技術，自然なしぐさを利用した視覚拡張システム，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知覚制御技術，視覚と触覚のクロスモダリティを用いたインタフェース技術に関する研究に取り組んだ．さらに，パーソナルなデジタルサイネージシステムについて，視覚的アウトプットの視認性向上を図るシステムの構築技術と，それに付随して生じるタイミングアウェアなプログラミング技術の普及に取り組んだ．

ネットワーク研究部門 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 北原 俊, 小川 剛史: 2015 年サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, 2016 年 2 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] 関谷 勇司, 中村 遼, 岡田 和也, 堀場 勝広: SDN と NFV による新たなネットワークサービス構造の提案, 電子情報通信学会, Vol. J98–B, No. 4, pp. 333–344, 2015 年 4 月.

[招待 2] 関谷 勇司: SDN と NFV がもたらす新たなネットワークアーキテクチャの可能性, 富士通株式会社, 富士通 PPE 総会, エポック中原, 2015 年 4 月.

[招待 3] 関谷 勇司: SDI と NFV がもたらすネットワーククラウドの可能性, SDI/NFV カンファレンス 2015, 2015 年 12 月.

著書／編集

[著書 1] 関谷勇司, 岡田 和也: 一歩進んだセキュリティ対策, 技術評論社, Software Design 2015 年 10 月号, 2015 年 9 月, ASIN:B012875GJM.

査読付論文

[査読付 1] C. Fernandez, C. Bermudo, G. Carrozzo, R. Monno, B. Belter, K. Pentikousis, R. Toseef, T. Kudoh, A. Takefusa, J. Haga, B. Puype, and J. Tanaka: A recursive orchestration and control framework for large-scale, federated SDN experiments: the FELIX architecture and use cases, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, Vol. 20, Issue 6, pp. 428–446, Jun. 2015.

[査読付 2] K. Ishii, J. Kurumida, K. Sato, T. Kudoh, and S. Namiki: Unifying top-down and bottom-up approaches to evaluate network energy consumption, IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. 33, Issue 21, pp. 4395–4405, Aug. 2015.

[査読付 3] M. Koibuchi, I. Fujiwara, K. Ishii, S. Namiki, F. Chaix, H. Matsutani, H. Amano, and T. Kudoh: Optical network technologies for HPC: computer-architects point of view, IEICE Electronics Express Vol. 13 (2016) No. 6, pp. 1–14, Mar. 2016.

[査読付 4] K. Ishii, J. Kurumida, A. Takefusa, T. Kurosu, T. Kudoh, and S. Namiki: Extremely high-capacity, low-energy, and low latency optical networking for future infrastructure, Opto-Electronics and Communications Conference (OECC 2015), pp. 1–3, Jun. 2015.

[査読付 5] Y. Watanabe, K. Ishii, T. Sato, A. Takefusa, T. Kudoh, H. Nakada M. Shigeno, and A. Yoshise: Routing and wavelength/sub-wavelength path assignment to maximizing accommodated traffic demands on optical networks, Proc. of International Symposium on Scheduling, pp. 202–207, Jul. 2015.

[査読付 6] U. Toseef, C. Fernandez, C. Bermudo, G. Carrozzo, R. Monno, B. Belter, K. Dombek, L. Ogrodowczyk, T. Kudoh, A. Takefusa, J. Haga, T. Ikeda, J. Tanaka, and K. Pentikousis: Implementation of the FELIX SDN Experimental Facility, Proceedings of European Workshop on Sofware Defined Network (EWSDN 2015), pp. 7–12, Sept. 2015.

[査読付 7] A. Takefusa, J. Haga, U. Toseef, T. Ikeda, T. Kudoh, J. Tanaka, and K. Pentikousis: Realizing Business Continuity Planning over FELIX Infrastructure, Proc. of 8th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC 2015), pp. 416–417, Dec. 2015.

[査読付 8] Kaoru Saito, Kazuhiko Nakamura, Mutsuyuki Ueta, Reiko Kurosawa, Akio Fujiwakara, Hill Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Ayako Toko, and Kazuyo Nagahama: Utilising the Cyberforest live sound system with Social Media to remotely conduct woodland Bird Censuses in Central Japan, Ambio, Vol. 44, No. 4 supplement, pp. 572–583, Oct. 2015.

[査読付 9] Yasuhiro Yamamoto, Daisuke Miyamoto, and Masaya Nakayama: A Text mining-based Approach for Estimation of the Impact of the Vulnerability, Proc. of the 4th International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), Nov. 2015.

[査読付 10] Ayumu Hirata, Daisuke Miyamoto, Masaya Nakayama, and Hiroshi Esaki: INTERCEPT+: SDN Support for Live Migration-based Honypots, Proc. of the 4th International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), Nov. 2015.

[査読付 11] 長濱 和代, 中村 和彦, 石田 健, 中山 雅哉, 藤原 章雄, 相島健介, 張本 裕資, 大西 鮎美, 小坂 紗代, 松崎 花, 内田 竜嗣, 斎藤 馨: 現地の自然環境を活用した岩手県大槌町での出前講座の実践, 環境教育, Vol. 25, No. 2, pp. 115–122, 2016.

[査読付 12] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を用いた飛行ロボット操作手法の提案と評価, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 3, No. 2, pp. 32–41, 2015 年 8 月.

[査読付 13] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を考慮した指差しインタフェース, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 3, No. 2, pp. 42–51, 2015 年 8 月.

[査読付 14] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出手法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J98–D, No. 9, pp. 1201–1211, 2015 年 9 月.

[査読付 15] Chanho Park and Takefumi Ogawa: A Study on Grasp Recognition Independent of Users' Situations Using Built-in Sensors of Smartphones, Proc. of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2015), Charlotte, NC, Poster, pp. 69–70, Nov. 2015.

[査読付 16] 朴 燦鎬, 小川 剛史: 携帯端末の利用環境に依存しない端末把持姿勢認識手法, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 1, pp. 10–18, 2016 年 2 月.

[査読付 17] 新島 有信, 小川 剛史: 視覚刺激を用いたファントムセンセーションの生起の制御に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 93–100, 2016 年 3 月.

[査読付 18] Ryo Nakamura, Kouji Okada, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: A common data plane for multiple overlay networks, Elsevier, Computer Networks Journal, ISSN 1389-1286, Oct. 2015, DOI:doi:10.1016/j.comnet.2015.09.031.

[査読付 19] 山本 成一, 中村 遼, 上野 幸杜, 堀場 勝広, 関谷 勇司: GINEW : 革新的なネットワーク運用管理アーキテクチャの一提案, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータ・ソフトウェア, Vol. 32 (2015), No. 3, pp. 46-57, 2015 年 9 月, DOI:10.11309/jssst.32.3_46.

[査読付 20] 堀場 勝広, 湧川 隆次, 関谷 勇司, 村井 純: NFV におけるプロセス型ソフトウェアミドルホボックスアーキテクチャの提案, 電子情報通信学会, Vol. J98–B, No. 7, 2015 年 7 月.

[査読付 21] Ryo Nakamura, Yohei Kuga, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: Protocol Independent NIC Offloading for Overlay Networks, CoNEXT 2015 Student Workshop, Proc. of the 2015 CoNEXT on Student Workshop, Dec. 2015.

[査読付 22] Ryo Nakamura, Kazuya Okada, Shuichi Saito, Hiroyuki Tanahashi, and Yuji Sekiya: FlowFall: A Service Chaining Architecture with Commodity Technologies, The 23rd IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), CoolSDN Workshop 2015, Nov.2015.

[査読付 23] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: Layer-3 Multipathing in Commodity-based Data Center Networks, Proc. of the 18th IEEE Global Internet Symposium 2015, Hong Kong, Apr. 2015.

[査読付 24] Daisuke Miyamoto, Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Takeshi Takahashi: Offloading Smartphone Firewalling Using OpenFlow-capable Wireless Access Points, Proc. of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom WIP session), Mar. 2016.

[査読付 25] Yuzo Taenaka, Masaki Tagawa, and Kazuya Tsukamoto: An Experimental Approach to Examine a Multi-Channel Multi-Hop Wireless Backbone Network, An International Journal of Computing and Informatics, Vol. 39, No. 4, 2015.

[査読付 26] Yuzo Taenaka and Kazuya Tsukamoto: A radio interference aware dynamic channel utilization method on software defined WMN, Proc. of the 10th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC2015), Nov. 2015.

[査読付 27] Masaki Tagawa, Yuzo Taenaka, Kazuya Tsukamoto, and Suguru Yamaguchi: A Channel Utilization Method for Flow Admission Control with Maximum Network Capacity toward Loss-free Software Defined WMNs, Proc. of the Fourteenth International Conference on Networks (ICN 2015), Feb. 2016.

[査読付 28] Takeshi Takahashi, Daisuke Miyamoto, and Koji Nakao: Toward Automated Vulnerability Monitoring Using Open Information and Standardized Tools, Proc. of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom WIP Session), Mar. 2016.

[査読付 29] Daisuke Miyamoto, Gregory Blanc, and Youki Kadobayashi: Eye Can Tell: On the Correlation between Eye Movement and Phishing Identification, Proc. of the 22nd International Conference on Neural Information Processing of the Asia-Pacific Neural Network Assembly (ICONIP), Nov. 2015.

[査読付 30] Pernelle Mensah, Gregory Blanc, Kazuya Okada, Daisuke Miyamoto, and Youki Kadobayashi; AJNA : Anti-phishing JS-based visual aNAlysis to Mitigate Users Excessive Trust in SSL/TLS, In Proceedings of the 4th International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), Nov. 2015.

[査読付 31] Takeshi Matsuya, Hajime Tazaki, Yohei Kuga, Rodney Van Meter, Hideaki Yoshifuji, and Jun Murai: Low-latency Communication by FPGA based IP-NUMA (in Japanese). *IEICE Transactions on Communications*, Vol. 98, No. 10, Oct. 2015.

[査読付 32] Takeshi Matsuya, Hajime Tazaki, Yohei Kuga, Rodney Van Meter, and Osamu Nakamura: FPGA based low-latency IPv6 Route Lookup Using Dynamic XOR Table. ACM APsys 2015 (poster session), 2015.

公開ソフトウエア

[公開 1] NECOMA Project: MATATABI 1.0, http://www.necoma-project.jp/ja/blog/matatabi-v1.0, 2015 年 5 月.

[公開 2] H. Tazaki, and R. Nakamura. NUSE: Network stack in USerspacE http://libos-nuse.github.io/, Mar. 2016.

その他の発表論文

[発表 1] 工藤 知宏: ポストムーア時代の情報基盤構築に向けて, 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 17 回研究会 (招待講演), 新潟大学 駅南キャンパス ときめいと, 2015 年 11 月.

[発表 2] 工藤 知宏: 通信性能の飛躍的向上を活用したポストムーア時代の新しいアーキテクチャ,「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム, 東京大学武田ホール, 2015 年 12 月.

[発表 3] 竹房 あつ子, 芳賀 ジェイソン 英世, 高野 了成, 岡崎 史裕, 柳田 誠也, 工藤知宏: FELIX 日欧連携基盤における IaaS マイグレーション実証実験, 信学技報, Vol. 115, No. 483, NS2015–176, pp. 47-52, フェニックス・シーガイア・リゾート, 2016 年 3 月.

[発表 4] 中山雅哉: 高大連携と IT 教育, 情報処理学会第 78 回全国大会, ジュニア会員特別企画, 2016 年 3 月.

[発表 5] 秋山 寛子, 中山 雅哉, 加藤 朗, 砂原 秀樹: データ間距離に基づいた匿名化アルゴリズムの一考察, 2016 年電子情報通信学会総合大会, D–19–11, 2016 年 3 月.

[発表 6] 朴 燦鎬, 小川 剛史: 携帯端末の利用環境に依存しない端末把持姿勢推定に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–10, No. 3, 2015 年 6 月.

[発表 7] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるズーミングインタフェース, VR 学研報, Vol. 20, No. CS–3, CSVC2015–24, pp. 87–92, 2015 年 10 月.

[発表 8] 向井 寛人, 小川 剛史: 視線の軌跡情報を用いた個人認証手法に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–11, No. 11, 2015 年 11 月.

[発表 9] 新島 有信, 小川 剛史: 視触覚融合コンテンツにおける視覚刺激と振動刺激のクロスモーダル知覚に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–11, No. 12, 2015 年 11 月.

[発表 10] 中張 遼太郎, 新島 有信, 小川 剛史: 電気的筋肉刺激が重量知覚に及ぼす影響に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–11, No. 13, 2015 年 11 月.

[発表 11] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるキャプチャインタフェース, VR 学研報, Vol. 20, No. CS–4, CSVC2015–34, pp. 21–24, 2015 年 12 月.

[発表 12] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるキャプチャインタフェースの評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016–DCC–12, No. 32, 2016 年 1 月.

[発表 13] 朴 燦鎬, 小川 剛史: ユーザの姿勢を考慮した携帯端末の把持姿勢認識に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016–DCC–12, No. 33, 2016 年 1 月.

[発表 14] 中張 遼太郎, 新島 有信, 小川 剛史: 疲労軽減を目的とした電気的筋肉刺激による重量知覚制御に関する一検討, VR 学研報, Vol. 21, No. CS–1., CSVC2016–7, pp. 35–39, 2016 年 2 月.

[発表 15] 向井 寛人, 小川 剛史: 視線による描画動作を用いた個人認証手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 493, MVE2015–58, pp. 25–30, 2016 年 3 月.

[発表 16] 新島 有信, 小川 剛史: 電気刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 493, MVE2015–62, pp. 49–54, 2016 年 3 月.

[発表 17] バータルスレン ムンフドルジ, 関谷 勇司: ニュース記事解析に基づいたサイバー攻撃予測, 電子情報通信学会, 信学技法, Vol. 115, No. 484, IN2015–136, pp. 165–170, 2016 年 3 月.

[発表 18] 佐藤 康次, 関谷 勇司: SDN を用いた Network 監視によるデータ漏えい防止機構の検討, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 115, No. 484, IN2015–139, pp. 183–188, 2016 年 3 月.

[発表 19] 長谷川 幹人, 関谷 勇司: PTP (Precision Time Protocol) 相互接続実証実験の現状と方向性, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol. 115, No. 192, IA2015–28, pp. 53–57, 2015 年 8 月.

[発表 20] Xiaozhou Jia, Panagiotis Georgopoulos, Laurent Vanbever, Karin Anna Hummel, Yuji Sekiya, and Hajime Tazaki: SDN based Mobility Management, IEICE Technical Report, Vol. 115, No. 140, IN2015–24, pp. 7–23, Jul. 2015.

[発表 21] 関谷 勇司, 妙中 雄三, 大江 将史, 田崎 創: 多重仮想化を用いた大容量サービス環境の遠隔地への高速転送に関する研究, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点, JHPCN 第 7 回シンポジウム, JHPCN 第 7 回シンポジウム資料集, pp. 92–95, 東京都, 2015 年 7 月.

[発表 22] 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, 第 16 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT 2015), 富山県, 2015 年 6 月.

[発表 23] Yuji Sekiya, Ryo Nakamura, and Horiba Katsuhiro: SFC Architecture Model using Open-Flow comparing using NSH, Internet Engineering Task Force 94, NFV Research Group, Nov. 2015.

[発表 24] Yuji Sekiya: MATATABI : Cyber Threat Analysis and Defense Platform using Huge Amount of Datasets, APNIC 40, APOPS Technical Session, Jakarta, Indonesia, Sept. 2015.

[発表 25] 関谷 勇司: NFV の今とこれから 〜導入サイドから見るその将来像〜, Interop Tokyo 2015 カンファレンス, 大手町サンケイビル, 2015 年 6 月.

[発表 26] Kenichi Koizumi, Mary Inaba, Hirochika Asai, Goki Honjo, Junichiro Shitami, Junji Tamatsukuri, Akira Kato, Katsuyuki Hasebe, Seiichi Yamamoto, Yuji Sekiya, and Kei Hiraki : 73Gbps single stream TCP data transfer over trans pacific 100Gigabit network, APAN 41 Network Engineering Workshop, Jan. 2016.

[発表 27] Yuji Sekiya: The Proposed Architecture of NFV and SFC toward better performance and management, APAN 41 Network Engineering Workshop, Jan. 2016.

[発表 28] 妙中 雄三, 田川 真樹, 塚本 和也: Software define WMN のパケットロス低減を実現するフロー集約手法, 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, Vol. 115, No. 404, NS2015–149, pp. 17–22, 2016 年 1 月.

[発表 29] 水山 一輝, 田川 真樹, 妙中 雄三, 塚本 和也: ［奨励講演］Software Defined WMN における一括フロー制御による制御トラヒック削減手法, 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, Vol. 115, No. 368, NS2015–131, pp. 25-30, 2015 年 12 月.

[発表 30] 田川 真樹, 妙中 雄三, 塚本 和也: 無線メッシュネットワークのパケットロスを低減する遅延バインディング型フロー割当による複数チャネル有効利用手法, 電気情報通信学会 モバイルネットワークとアプリケーション研究会, 信学技報, Vol. 115, No. 61, MoNA2015–6, pp. 195–200, 2015 年 5 月.

[発表 31] Daisuke Miyamoto and Youki Kadobayashi: X.Cogent MILE Implementation Report Question 4, Study Group 17, International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, Mar. 2016.

[発表 32] Daisuke Miyamoto and Youki Kadobayashi: X.metric, Metrics for Evaluating Threat and Resilience in Cyberspace Question 4, Study Group 17, International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, Mar. 2016.

[発表 33] Chris Inacio and Daisuke Miyamoto: MILE Implement Report, MILE Working Group, Internet Engineering Task Force, Submitted Jul. 2014, Revised Nov. 2014, Mar. 2015, Jul. 2015, Nov. 2015.

[発表 34] Hajime Tazaki: LibOS as a regression test framework for Linux networking, 2016. THE Technical Conference on Linux Networking netdev 1.1, 2016.

特記事項

[特記 1] NECOMA Project, SDN を活用した高機能な IX を Interop Tokyo 2015 ShowNet にて動態展示, プレスリリース, 2015 年 6 月 4 日.

SDNフェデレーション技術，広域動的ネットワークコネクション提供技術とポストムーア時代の情報基盤

工藤 知宏

1　概要

SDN フェデレーションを実現する FELIX プロジェクトのユースケースとして，IaaS マイグレーションの実証実験を行った．BCP（事業継続計画）は IT サービスの重要課題の一つであり，クラウドサービス全体を遠隔データセンターにマイグレーションする技術が重要となる．FELIX プロジェクトでは，異なるデータセンター（SDN アイランド）間を連携させたテストベッドを構築しており，NSI 接続サービスまたは GRE トンネルにより動的に SDN アイランド間を接続したテストベッド上にスライスを構築することができる．本研究では，FELIX テストベッド上でクラウドサービスの一形態である IaaS のマイグレーションの実証実験を行い，低遅延 SDN ドメイン間では高速に IaaS マイグレーションが行えること，日欧間のような高遅延環境でも通信の最適化により 10 分以内にマイグレーションが行えることを示した．

また，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) の策定作業を行った．NSI-CS は現在 ver2.0 が公開され各国の R&E ネットワークで利用されているが，より頑強な動作を実現するための変更を行い，v2.1 規格原案をまとめた．

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の検討を行った．半導体の集積度や性能が向上しなくなる中で，計算機システムの性能を向上させるために，通信の広帯域化を利用することを提案した．

2　IaaS マイグレーション実証実験 - FELIX プロジェクトユースケース -

2.1　背景

クラウドの利用者や事業者にとって IT サービスの BCP（事業継続計画）は重要な課題である．データセンター内では，冗長化により高可用性を維持することができるが，大規模災害時などで電源供給が途絶えると，データセンター内の資源の活用だけではサービスを維持することが困難である．このため，遠隔地のデータセンターとの連携によりサービスを継続することが必要となる．

IaaS（Infrastructure as a Service）はクラウドサービスの一形態であり，データセンター内の計算ノード群やネットワークスイッチ群を OpenStack や Apache CloudStack（以降 CloudStack と呼ぶ）のような IaaS 管理ソフトウェアを用いて管理し，利用者の要求に応じてそれらの物理資源群を仮想化／アイソレートして提供している．IaaS 管理ソフトウェアは，通常データセンター内の共有ストレージでディスクイメージを管理しているため，過負荷な状況の改善やメンテナンス等のためにデータセンター内の他の計算ノードに個々の仮想計算機（VM）をマイグレートする機能を有している．しかし，災害時のように各種サービスを他のデータセンターにマイグレートして引き続きサービスを提供するためには，VM そのものだけでなく共有ストレージや IaaS 管理ソフトウェアとそのステートを含めたデータを全てマイグレートしなくてはならない．

FELIX（FEderated Test-beds for Large-scale Infrastructure eXperiments）プロジェクト[査読付 1][査読付 6] は，日本とヨーロッパに分散する SDN（Software Defined Networking）で制御可能なデータセンター（SDN アイランド）を連携させたテストベッドを構築し，日欧の研究者に対して広域に分散し，かつアイソレートされた実験環境（“スライス” と呼ぶ）を必要に応じて構築・提供することを目指している．FELIX では，SFA（Slice-based Federation Architecture）で定義されているスライス連携の概念を実現するため，資源管理ソフトウェアスタックの開発と，開発したソフトウェアを配備した日欧の連携テストベッドの構築を行っている．異なる SDN アイランド間の接続では，ネットワーク接続サービスの標準である NSI（Network Services Interface）と，GRE (Generic Routing Encapsulation) トンネルを用いている．FELIX では，広域に分散した実験環境を提供することを目的としており，各ユーザに連携 SDN アイランドを連携させたテストベッド上に構築されたスライスを提供するだけでなく，そのスライスに割り当てられた SDN スイッチ等の制御環境も提供する．本研究では，FELIX プロジェクトのユースケースとして，IaaS マイグレーションを実現した[査読付 7][発表 3].

2.2 内容

本研究では，FELIX テストベッド上で災害時における IaaS 全体のマイグレーションを想定した実験を実 IaaS 管理ソフトウェアを用いて行った．IaaS 管理ソフトウェアには CloudStack を用い，つくばの AIST（産総研）アイランドで運用している IaaS サービス全体を，FELIX ソフトウェアスタックを用いてポーランドの PSNC アイランドにマイグレートした．IaaS 全体のマイグレーションを容易にするため，KVM の入れ子型仮想化技術を採用した．実験では，PSNC アイランドの計算および SDN ネットワーク資源と，複数 R&E ネットワークが参加している GLIF の Automated GOLE (AutoGOLE) テストベッド上で，AIST と PSNC のアイランド間ネットワークを NSI を用いて動的に確保して日欧にスライスを拡張し，その上で IaaS のマイグレーションを実行した．また，比較対象として産総研ドメイン内での IaaS マイグレーションも実施した．

我々はデータセンターの拡張を容易にするため，Hardware as a Service (HaaS) という概念を提案しており，IaaS 全体のマイグレーションでもこの技術を利用する．従来の物理資源を提供するサービスとは異なり，我々の提案する HaaS は仮想環境をあたかも物理環境のように提供する．これにより，あるデータセンター内で運用している IaaS 環境が逼迫した場合，他のデータセンター上にシームレスに IaaS 環境を拡張することができる．この際，利用者は仮想環境上に新たに IaaS 環境を構築，運用することになるため，我々は Linux Container および KVM の入れ子型仮想化技術で二階層の仮想化が可能なことを実証している．入れ子型仮想化技術を用いることで，IaaS 環境のアーカイブおよびマイグレーションを容易に行うことができる．

以下に IaaS マイグレーションの手順を示す．

1. 送信側での IaaS 環境の構築

(1)IaaS 管理者の要求に応じて，(2)HaaS コーディネータはある SDN ドメインで IaaS 用のスライス（SDN のスライスおよび L1VM）を確保し，プロビジョンする．その後，(3)IaaS 管理者が確保された SDN ドメイン内のスライス上に IaaS 環境を構築し，IaaS の利用者に対してユーザ VM を提供する．IaaS 環境は管理サーバ群とユーザ VM 群からなり，それぞれ L2VM としてデプロイされる．

2. 遠隔 SDN アイランドへのスライス拡張

災害の発生等により，(4)IaaS 管理者が IaaS マイグレーションのために，スライスの拡張要求を HaaS コーディネータに送信すると，(5)HaaS コーディネータは遠隔 SDN アイランド上の SDN スライスおよび L1VM と，送信側および受信側の SDN アイランド間の NSI パスを確保して，1. で生成した IaaS 環境の L2 データプレーンを遠隔 SDN アイランドまで拡張する．

3. IaaS 環境の停止・転送

IaaS 管理者は，IaaS 管理サーバ群およびユーザ VM 群の L2VM を停止し，そのディスクイメージを遠隔 SDN アイランドの L1VM 群に転送する．

4. IaaS マイグレーションの完了

L2VM の転送が終了すると，IaaS 管理者は遠隔 SDN アイランドの L1VM 上で IaaS 管理サーバ群とユーザ VM 群の L2VM を起動し，IaaS 全体のマイグレーションが完了する．

FELIX テストベッド外部から IaaS 環境へのトラフィックを転送先の SDN アイランドにリルーティングするため，HaaS コーディネータは各 SDN アイランドで利用可能なグローバル IP アドレスを管理しておく．HaaS コーディネータは，グローバルなアクセスが必要なユーザ VM に対して転送先の SDN アイランドのグローバル IP アドレスを払い出して再設定する．その後，DNS の再設定等により，リルーティングが完了する．

2.3 具体的成果

本研究により，FELIX の実行環境上で IaaS マイグレーションが実際に行えることを確認した．13.7GB のイメージサイズを持つ IaaS のマイグレーションで，最大帯域 1Gbps のネットワークを用いてローカルな環境で 99.3MB/s，日本とポーランド間で 23.9MB/s の転送レートを達成することができた．日本とポーランド間でのマイグレーションにかかった時間は 9 分 34 秒であった．なお，日本・ポーランド間のネットワークは帯域保証がなく，利用可能帯域が不安定であった．

このように，低遅延 SDN ドメイン間では高速に IaaS マイグレーションが行えること，日欧のような高遅延環境においても通信の最適化により 10 分以内に IaaS 環境のマイグレーションが行えることがわかった．

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．

NSI-CS は，ユーザが複数のネットワークドメインにまたがるネットワークコネクションを要求するためのインタフェースで，図 1 に示すように，ユーザがコネクションの始点，終点とコネクション提供の開始，終了時刻，要求帯域（オプショナル）を指定してコネクションを要求し，NSA(Network Service Agent) と呼ばれるソフトウェアが連携してコネクションを提供するモデルをとっている．NSI-CS は現在 ver2.0 が公開され各国の R&E ネットワークで利用されているが，NSI-WG ではより頑強な動作を実現するための改良を検討している．

3.2 内容

エラーの分類，名称等についての議論を行い，エラーハンドリング手順をまとめて，”Error Handling in NSI CS 2.0” というドキュメントとしてまとめた．また，NSI CS 2.0 の問題点を整理し，後方互換性を持つ改良版 NSI CS 2.1 についてまとめた．特に，予約内容を変更するときの各 NSA の動作について，基本ステートマシンへの変更を提案し，承認された．これらのドキュメントは現在，OGF のコミッティーにより審査されている．また，NSI-CS 2.0 の実装・運用を GLIF (Global Lambda Integrated Facility)　AutoGole Task Force において，各国の研究機関と協力して進めた．

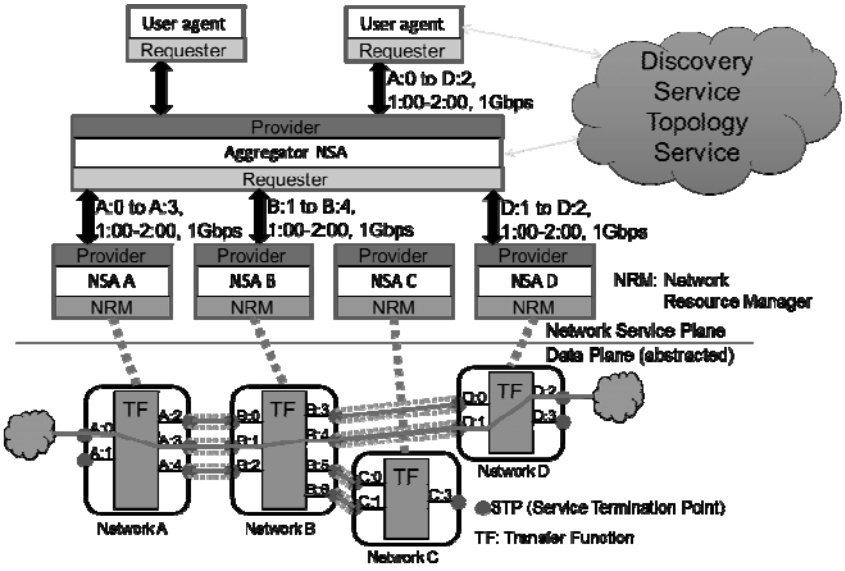


図 1: NSI-CS の動作: A:0 から D:2 までのコネクションを要求する例

3.3 具体的成果

NSI-CS 2.0 は，主に欧米の R&E ネットワークにおいて広く採用が進んでいる．特に，高エネルギー物理学の実験装置からの出力データをネットワークを介して各国の研究機関で共有するためのプロジェクト LHCONE において，NSI-CS 2.0 が提供するネットワークコネクションを利用するプロジェクトが進められている．また，前項に述べた FELIX プロジェクトにおいても，AutoGole が提供する動的コネクションを NSI-CS 2.0 を介して自動的に要求する仕組みを用意して利用している．エラーハンドリング手順の整理とインタフェースの頑健化により，NSI がより広く使われるようになることが期待できる．

4 ポストムーア時代の情報基盤

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．従来の計算機システムはプロセッサの演算速度やメモリのアクセス帯域に対して，計算ノード間の通信帯域は小さいことを前提に設計されてきた．

高性能な計算機システムでは，計算ノード間の通信帯域を向上させるために光通信技術が用いられるようになりつつある．しかし，ファイバあたりの通信帯域は最大でも 100Gbps 程度であり，ノード内でのプロセッサの処理スループット (例えば倍精度 100GFLOPS の二項演算は，100G x 64bit x 3 = 19.2Tbps の入出力スループットを持つ）や，メモリの帯域と比べて小さい．一方，広域の通信では，波長多重 (DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing) などの多重化技術によりファイバあたり 100Tbps 超の通信が実現されている．これを，シリコンフォトニクス技術を用いて低消費電力・小型化すれば，計算機システム内でファイバあたり 10Tbps クラスの通信帯域を実現できると考えられる．

このような広帯域通信技術を導入すれば，従来の計算機システムに対して計算と通信のバランスが大きく変化することになる．このバランスの変化を生かした新しい計算機システムの構成法により，ムーアの法則の壁を破って計算機システムの性能を向上させることができる可能性がある．

4.2 内容

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の検討を行った．半導体の集積度や性能が向上しなくなる中で，計算機システムの性能を向上させるために，通信の広帯域化を利用することを提案した．

4.3 具体的成果

通信性能の向上を生かして，異種の計算エンジンを組み合わせ，ジョブのステージに応じて計算エンジン間でデータを転送しつつ処理を進めるフローセントリックアーキテクチャを提案した [発表 1][発表 2]．フローセントリックアーキテクチャでは，従来のデータ通信を極力削減したデータアフィニティスケジューリングではなく，機能の所在に応じてデータを動かすファンクションアフィニティスケジューリングを採用し，データを動かすパス（ネットワーク）と機能を持つ計算エンジンを同時にスケジューリングしてユーザに提供することにより，効率の良い計算処理を行うことを目指す．今後，同アーキテクチャの詳細設計と評価を進めていく．

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] C. Fernandez, C. Bermudo, G. Carrozzo, R. Monno, B. Belter, K. Pentikousis, R. Toseef, T. Kudoh, A. Takefusa, J. Haga, B. Puype, J. Tanaka: A recursive orchestration and control framework for large-scale, federated SDN experiments: the FELIX architecture and use cases., International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, Vol. 20, Issue 6, pp.428-446, June 2015

[査読付 2] K. Ishii, J. Kurumida, K. Sato, T. Kudoh, S. Namiki: Unifying top-down and bottom-up approaches to evaluate network energy consumption., IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. 33, Issue 21, pp. 4395-4405, August 2015

[査読付 3] M. Koibuchi, I. Fujiwara, K. Ishii, S. Namiki, F. Chaix, H. Matsutani, H. Amano, T. Kudoh: Optical network technologies for HPC: computer-architects point of view., IEICE Electronics Express Vol. 13 (2016) No. 6, pp. 20152007, March 2016

[査読付 4] K. Ishii, J. Kurumida, A. Takefusa, T. Kurosu, T. Kudoh, S. Namiki: Extremely high-capacity, low-energy, and low latency optical networking for future infrastructure., Opto-Electronics and Communications Conference (OECC 2015), pp. 1 - 3, June 2015

[査読付 5] Y. Watanabe, K. Ishii, T. Sato, A. Takefusa, T. Kudoh, H. Nakada M. Shigeno, A. Yoshise: Routing and wavelength/sub-wavelength path assignment to maximizing accommodated traffic demands on optical networks., Proceedings of International Symposium on Scheduling, pp.202-207, July 2015

[査読付 6] U. Toseef, C. Fernandez, C. Bermudo, G. Carrozzo, R. Monno, B. Belter, K. Dombek, L. Ogrodowczyk, T. Kudoh, A. Takefusa, J. Haga, T. Ikeda, J. Tanaka, K. Pentikousis: Implementation of the FELIX SDN Experimental Facility., Proceedings of European Workshop on Sofware Defined Network (EWSDN 2015), pp.7-12, September 2015

[査読付 7] A. Takefusa, J. Haga, U. Toseef, T. Ikeda, T. Kudoh, J. Tanaka, K. Pentikousis: Realizing Business Continuity Planning over FELIX Infrastructure., Proc. 8th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC 2015), pp.416-417, December 2015

その他の発表論文

[発表 1] 工藤知宏: ポストムーア時代の情報基盤構築に向けて, 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 17 回研究会 (招待講演), 新潟大学 駅南キャンパス ときめいと, 2015 年 11 月

[発表 2] 工藤知宏: 通信性能の飛躍的向上を活用したポストムーア時代の新しいアーキテクチャ, 「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム, 東京大学武田ホール, 2015 年 12 月

[発表 3] 竹房あつ子, 芳賀 ジェイソン 英世, 高野了成, 岡崎史裕, 柳田誠也, 工藤知宏: FELIX 日欧連携基盤における IaaS マイグレーション実証実験, 信学技報, vol. 115, no. 483, NS2015-176, pp. 47-52, フェニックス・シーガイア・リゾート, 2016 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。

これら小型気象センサとともに音声ならびに映像を定期的に取得する定点観測装置を複数の森林等に設置し、樹木や野生動物の季節変動に伴う生態観測を行うフェノロジー研究を行っている。今年度は、森林の鳥類調査を遠隔から行った結果について考察を行った。

一方、Internet が日常の社会生活で不可欠な存在が故に、安全に安心して Internet が利用できる社会基盤の構築が求められている。ネットワークを介した不正アクセスの多くは、OS やアプリケーションの脆弱性を突いてシステムへの侵入を試みるものが多いが、新たな脆弱性への攻撃の行動を監視することは困難である。そこで、web サーバなどを対象として一般の通常アクセスに紛れて行われる不正アクセス攻撃の行動を監視し、SDN 技術を用いて効率的にハニーポットシステムに誘導するシステムの VM 環境上での構築方法について研究を行っている。

また最近では、新たに発見された脆弱性情報に対して共通脆弱性識別子 (CVE) を付与して情報共有し、専門家が共通脆弱性評価システム (CVSS) スコアによって脆弱性の影響度が評価される様になってきている。そこで、昨年度に引き続き、過去に発見された脆弱性の CVE 記述と専門家が判定した CVSS スコアによる脆弱性影響度の結果を機械学習することで、新規の脆弱性に対する CVSS スコアの自動予測を行うことの有効性について検討を行った。

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となる。特定の個人が特定されない様に k-匿名化手法で統計処理を行われているが、本研究では、効率的な k-匿名化手法に関する提案とその検証を行った。

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。

また、複数の森林等に小型気象センサや音声／映像取得装置を設置して定点観測を長期間に渡って行うことで、樹木や野性動物の季節変動に伴う生態観測を行うフェノロジー研究での活用を進めるとともに、ICT 技術を活用することで森林の鳥類調査を遠隔から行った結果について考察を行った。

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。

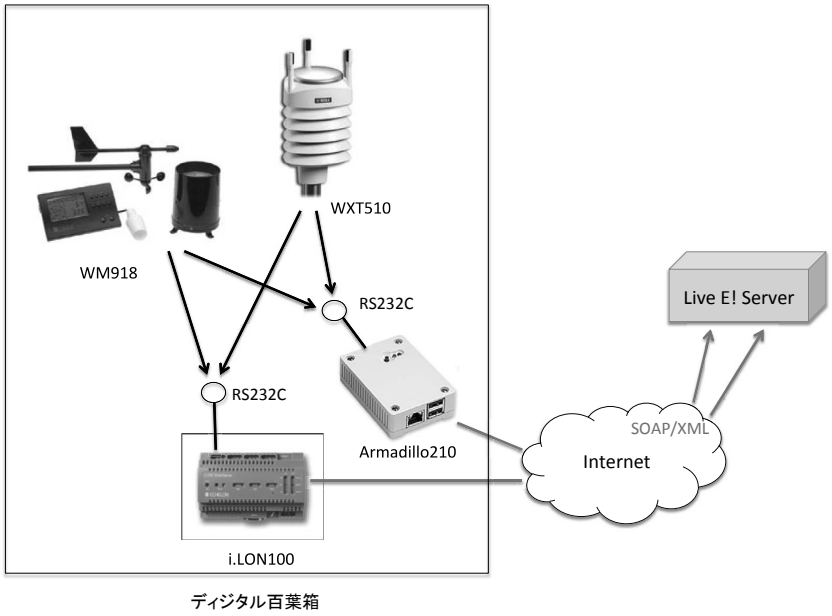


図 1: ディジタル百葉箱の構成

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。

また、農学部附属演習林などに小型気象センサに加えて音声／映像取得装置を設置し、長期間の定点観測を行うことでフェノロジー研究での活用を行っている。今年度は、ICT 技術を活用し、森林の鳥類調査を遠隔から行った結果について考察を行った。

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。情報処理学会第 78 回全国大会のジュニア会員特別企画において、この活動ならびに 2012 年度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 [発表 1]。

また、東日本大震災で被災した岩手県大槌町の大気海洋研究所に気象センサ、ステレオマイクや web カメラを設置して、2012 年度から現地のサウンドスケープ配信を行うとともに、小中高校生を対象とした、自然環境を活用した講座を行ってきた。これらの活動に関して、環境教育で報告を行った [査読付 4]。

さらに、農学部附属演習林でも小型気象センサに加えて音声/映像取得装置を設置した、森林ライブモニタリングシステムの構築を進めている。構築したシステムは、同一地点で長期間に渡って定点観測することで、樹木や野生動物の季節変動に伴う生態観測を行うフェノロジー研究で活用されている。今年度は、森林における鳥類調査を遠隔から行って得られた結果についてとりまとめ、論文として発表した [査読付 1]。

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 ネットワークセキュリティに関する研究

3.1 背景

Internet が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。

まず、ネットワークを介した不正アクセスは社会的な問題となっているが、不正アクセスの多くは、OS やアプリケーションの脆弱性を突いてシステムへの侵入を試みるものが多く、侵入検知システム (IDS) などは、既知の脆弱性を突く攻撃を監視する手法が用いられている。しかし、新たに発見された脆弱性情報への対応はどうしても後手にまわることになり、迅速に対応する方法の構築が常に求められている。そこで、本研究では、より迅速な対応に向けたシステム構築の検討を行っている。

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た。

ここでは、各課題について行った研究成果について報告する。

3.2 内容

Internet を介した不正アクセスは、OS やアプリケーションの脆弱性を突いてシステムへの侵入を試みるものが多いが、特に未知の攻撃を監視することは困難である。このため、これらの攻撃の監視には、ハニーポットと呼ばれる攻撃監視のシステムが用いられているが、本研究では、一般の web サーバを VM 環境上に構築し、一般の通信アクセスに紛れて行われる不正アクセス攻撃の行動を併設して用意されたハニーポットシステムに誘導して監視するシステムの構築方法の検討を行った。

また、最近では、新たに発見された脆弱性情報に対して共通脆弱性識別子 (CVE) を付与して、複数の関連機関で情報共有するとともに、専門家により脆弱性の影響度を共通脆弱性評価システム (CVSS) スコアで評価される様になっている。そこで、本研究室では、専門家が判定している CVSS スコアを、過去に発見された脆弱性の CVE 記述と CVSS スコアの結果に基づく機械学習で新規の脆弱性に対する CVE 記述から CVSS スコアの予測を行うことの有効性に関して検討を行った。

一方、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。ライフログ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た。

3.3 具体的成果

未知の攻撃を監視するためのハニーポットシステムは、通常のシステムと同等の応答をすることでシステムへの不正侵入の行動を監視することができるが、通常の web サーバなどを監視システムとして機能させることは、不正侵入の行動監視を行うことで重要なデータへのアクセスを許す危険性が生じるため併設することは困難であった。

本研究では、VM 環境上のライブマイグレーション機能を利用するとともに、SDN 技術を用いて一般の通常システムに紛れて行われる不正アクセス攻撃を分離することで、不正アクセス攻撃のみをハニーポットシステムとして動作する別システムに誘導する仕組みの検討を行った。この結果について BADGERS 2015 国際会議において発表した [査読付 2]。

また、ネットワークを介した不正アクセスに迅速に対応するために、過去に発見された脆弱性に対して付与された CVE 記述と、それに対して専門家が付与した CVSS スコアの結果を機械学習の教師データとして活用し、新たに発見された脆弱性に対して付与された CVE 記述から CVSS スコアを予測する手法の検討とその有効性に関して BADGERS 2015 国際会議において発表した [査読付 3]。

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、2016 年電子情報通信学会総合大会 [発表 2] にて発表を行った。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Kaoru Saito, Kazuhiko Nakamura, Mutsuyuki Ueta, Reiko Kurosawa, Akio Fujiwakara, Hill Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Ayako Toko, Kazuyo Nagahama: Utilising the Cyberforest live sound system with Social Media to remotely conduct woodland Bird Censuses in Central Japan, Ambio, Vol.44, No.4 supplement, pp.572583, 2015/10.

[査読付 2] Ayumu Hirata, Daisuke Miyamoto, Masaya Nakayama, Hiroshi Esaki: INTERCEPT+: SDN Support for Live Migration-based Honypots, Proc. of BADGERS 2015, 2015/11.

[査読付 3] Yasuhiro Yamamoto, Daisuke Miyamoto, Masaya Nakayama: A Text mining-based Approach for Estimation of the Impact of the Vulnerability, Proc. of BADGERS 2015, 2015/11.

[査読付 4] 長濱和代、中村和彦、石田健、中山雅哉、藤原章雄、相島健介、張本裕資、大西鮎美、小坂紗代、松崎花、内田竜嗣、斎藤馨: 現地の自然環境を活用した岩手県大槌町での出前講座の実践, 環境教育, Vol.25, No.2, pp.115122, 2016.

その他の発表論文

[発表 1] 中山雅哉: 高大連携と IT 教育, 情報処理学会第 78 回全国大会, ジュニア会員特別企画, 2016 年 3 月.

[発表 2] 秋山寛子、中山雅哉、加藤朗、砂原秀樹: データ間距離に基づいた匿名化アルゴリズムの一考察, 2016 年電子情報通信学会総合大会, D1911, 2016 年 3 月.

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、携帯端末の把持姿勢認識技術、自然なしぐさを利用した視覚拡張システム、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知覚制御技術、視覚と触覚のクロスモダリティを用いたインタフェース技術に関する研究に取り組んだ。

上記以外にもこれまで取り組んできた「仮想平面を用いた飛行ロボットの操作インタフェース」「大画面ディスプレイのための両眼視差インタフェース」「拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出手法」の研究が、国内論文誌 [査読付 1, 査読付 2, 査読付 3] に掲載された。

2　ユーザの状況を考慮した携帯端末の把持姿勢認識

2.1　背景

スマートフォンなどの携帯端末が普及し、いつでもどこでも素早く様々な情報にアクセスできるようになった。Web ページは縦画面、ムービーは横画面というように、表示するコンテンツに適した端末の持ち方が存在するが、片手に荷物を持っているとき、電車で座席に座っているとき、ソファに横になっているときなど、ユーザの状況やその時の端末の持ち方によっても、適切なコンテンツやインタフェースの表示方法は異なる。これまで、携帯端末の把持姿勢を認識する研究が盛んに行われているが、静電容量センサを端末の背面に貼り付けて端末を把持する手の形状を認識するなど、新たなセンサを必要とし、普及している端末をそのまま利用できない手法が多い。また、乗り物に乗っていたり、ソファに横になっていたりというようなユーザの状況は考慮されていない。

本研究では、端末の持ち方だけでなく、ユーザの状況も考慮し、かつ把持姿勢を即座に認識する手法を提案し、識別精度の検証およびプロトタイプの実装を行った。

2.2　内容

携帯端末の把持姿勢認識システムの概要を図 1 に示す。提案システムでは、ユーザが携帯端末のスクリーンをタッチした際の内蔵センサの計測値を取得し、それらの計測データから特徴量を抽出する。取得した特徴量からサポートベクターマシン (SVM, Support Vector Machine) を用いて識別モデルを構築し、ユーザが端末を操作（具体的には画面のタッチ）する度に、把持姿勢を推定する。

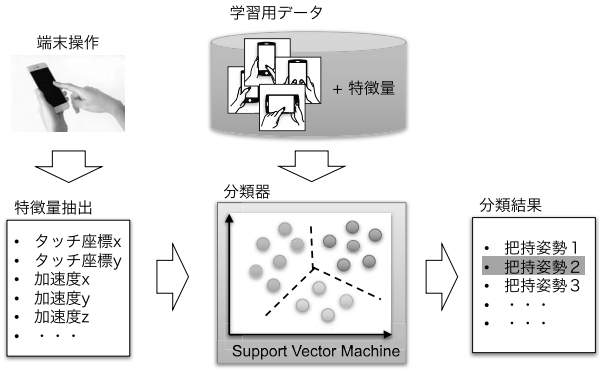


図 1: 把持姿勢認識システム

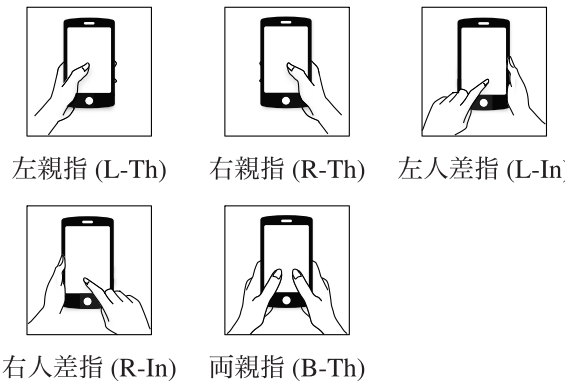


図 2: 把持姿勢 5 パターン

2.2.1 特徴量取得

スクリーンのタッチイベントをトリガとして各センサよりデータを取得する。まず、タッチスクリーンでは、指が触れた座標 (x 座標、y 座標) と指の触れた面積 (pixels) を記録する。内蔵センサであるジャイロセンサ、加速度センサでは 50Hz でサンプリングし、タッチイベントの前後 0.2 秒間のデータを記録する。これらのデータから表 1 に示す、スクリーンに関する特徴量を 8 次元、ジャイロセンサおよび加速度センサに関する特徴量を各 61 次元抽出する。

表 1: 取得する特徴量

スクリーン	タッチ座標	x, y
	タッチ面積	pixels
	前回のタッチ座標	x, y
	前回のタッチ座標との差	x, y
	前回のタッチ座標との距離	d
ジャイロセンサ 加速度センサ	センサ値	x, y, z
	高周波成分センサ値	x, y, z
	低周波成分センサ値	x, y, z
	平均値	x, y, z
	標準偏差	x, y, z
	相関係数	x, y, z
	軸間相関係数	x-y, y-z, z-x
	二乗平均平方根	x, y, z
	最大値	x, y, z
	最小値	x, y, z
	3 軸合成値の平均	x-y-z
	周波数成分の振幅の最大値	x, y, z
	周波数成分の振幅の二番目に大きい値	x, y, z
	周波数成分の振幅の二番目に大きい値のインデックス	x, y, z
	周波数成分の軸間相関係数	x-y, y-z, z-x
	低周波領域における周波数成分の振幅の最大値	x, y, z
	低周波領域における周波数成分の振幅の標準偏差	x, y, z
	低周波領域における周波数成分の軸間相関係数	x-y, y-z, z-x
	高周波領域における周波数成分の振幅の最大値	x, y, z
	高周波領域における周波数成分の振幅の標準偏差	x, y, z
	高周波領域における周波数成分の軸間相関係数	x-y, y-z, z-x

2.2.2 SVM による識別

本研究では、把持姿勢推定のため、機械学習手法の一つである SVM（Support Vector Machines）を用いて、前節で述べた特徴量と把持状態の関係を学習し、判別を行った。線形 SVM の 1vs1 法を複数用い、多値分類を行った。実装に Python を用いて SVM ライブラリの一つである LIBSVM を使用した。

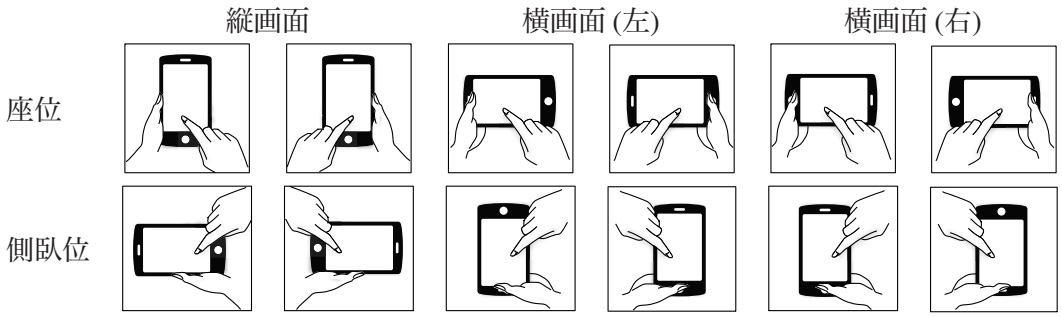


図 3: 姿勢を考慮した把持姿勢 (12 パターン)

識別のため、取得した特徴量から LIBSVM 形式データに変換し、スケール調整を行っている。RBF カーネル関数を用い、最適なパラメータ C と γ を求めるために、交差検定からグリッド探索を行った。訓練データに対してモデルを生成し、最後にテストデータに適用した。SVM の判別により 5 パターンの把持姿勢の中から 1 つのパターンに分類する。

2.2.3 ユーザの状況を考慮した把持姿勢認識

認識する端末の把持姿勢は、通常の操作でよく見られる 5 パターンとした。図 2 に認識する把持姿勢を示す。端末スクリーンを縦横 8×5 の 40 個のセルに分割し、セルをランダムな順序でタッチする試行を、5 種類の把持姿勢に対し、椅子に座った状態で行った。5-分割交差検定を実施した結果、95.8%の精度で把持姿勢を認識することができた。また、電車内において、座席に座っている状態、ドアに持たれて立っている状態、つり革を持って立っている状態、何にも掴まらずに立って端末を操作している状態で、同様の試行を実施した。訓練データには、室内に座った状況で取得したデータを用い、電車内で取得したデータをテストしたところ 86.4%の認識精度であった。

さまざまな状況すべてを考慮してデータを収集し訓練することは現実的ではないため、実験では室内で取得したデータを訓練データとして電車内のデータをテストした。室内のデータのテスト結果と比較して、電車内のテスト結果は認識率が低下したが 85%以上の精度は維持された。

2.2.4 ユーザの姿勢を考慮した把持姿勢

ユーザの姿勢として、椅子に座っている状態 (座位) および体の右側 (左側) を下にしてソファに寝ている状態 (側臥位) を、端末の把持姿勢として、右手 (左手) で端末を持ち、左人差し指 (右人差し指) で画面を操作する状態を考慮して、図 3 に示した 12 通りの組合せを提案システムで認識すべき、ユーザの姿勢を考慮した端末の把持姿勢とする。側臥位状態では、端末の持ち易さを考慮し、体の下側になる手で端末を持つこととしている。

5 名の被験者に 12 通りの把持姿勢についてスクリーン上の 40 個のセルをランダムな順序で 5 回タッチさせ、1 被験者あたり 2400 回分のタッチデータを取得した。5-分割交差検定により、4 名のデータで訓練した後、残りの 1 名のデータで識別テストを行う。以上を全被験者のデータでテストをするまで繰り返した。

姿勢を考慮した 12 パターンの把持姿勢に対する認識精度は 97.08%となった。また、ユーザにコンテンツを提示するなど実際の利用場面を想定すると、12 パターンすべてを区別して認識する必要はなく、ユーザがスクリーンを見ている方向に対して正しい方向で提示すればよいため、図 3 の縦画面、横画面 (左)、横画面 (右) の 3 種類を区別できればよい。この場合の認識精度は、99.7%となり、ユーザの姿勢を考慮した把持姿勢認識に、表 1 の特徴量が有効であることが示された。

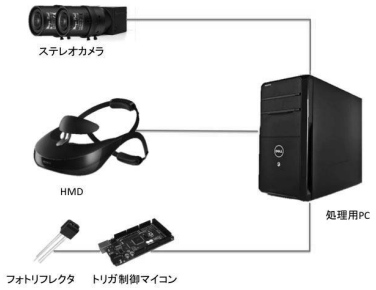


図 4: システム構成

図 5: HMD 内部のフォトリフレクタ

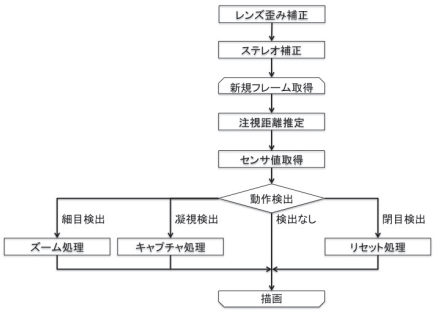


図 6: 処理のフロー

2.3 具体的成果

本研究の成果は、国際会議 [査読付 4] および国内研究会 [発表 1, 発表 8] で発表した。また、国内論文誌 [査読付 5] に掲載された。

3 自然なしぐさを利用した視覚拡張システム

3.1 背景

人は日常生活において外部から受け取る情報の約 80%を視覚から得ているとも言われ、五感において視覚は非常に重要な役割を担っている。ヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display, HMD）などのウェアラブルデバイスの開発と普及に伴い、それらを利用した人間の視覚能力拡張に関する研究が注目を集めており、ハンズフリーというウェアラブルシステムの特徴を活かした視線停留や瞬目などを用いた視線入力インタフェースが提案されている。しかし、感覚器官である眼を利用すると、例えば視覚的な情報を得るための自然な停留と対象を操作するために意図的に行った停留を識別することが困難であったり、瞬目などの目の動作を利用するシステムでは、操作と機能の対応が直感的ではなかったり、操作が不自然で疲労が伴うといった問題が生じる。

本研究では、操作から機能が直感的に理解できるだけでなく、ユーザの無意識な動作でも操作できる自然なしぐさを利用した視覚拡張インタフェースに関する検討を行った。

3.2 内容

3.2.1 視覚拡張システム

視覚能力とは目を通して身の回りの状況を把握する能力であり、把握できる範囲を広げることが重要であると考えられる。そこで提案システムでは、“遠くを見る能力” と “広く見る能力” に着目する。

“遠くを見る能力” は、高所にある看板や近づくことの難しいものを見るときなど日常生活において遠くのものを見たい場面が多くあり、この能力の有用性は高い。そこで、遠くを見る能力としてズームシステムを考える。双眼鏡のように遠くのものを拡大して提示すると、対象物は大きくなり、その詳細を確認することができるが、視野が狭くなり周りの状況を把握できなくなったり、移動するものを見ている時には対象物を見失ったりする可能性がある。提案システムでは、注視領域のみを部分的にズームすることによって視野を狭めないズームを実現する。さらに注視対象とユーザの距離に応じてズームの加速度を変更することにより、ズーム動作の操作性を向上する。この操作には、人は遠くにあって見るのが困難なものをを見ようとした時に目を細めるということから、細目動作を割り当てる。

“広く見る能力” は、離れた場所にあって同時に見ることができないものを比較したり、空間全体の状況を把握したりするのに重要な能力である。従来研究では、魚眼レンズなどを用いて画角の広い映像を撮影し、提示する手法などが提案されているが、広画角な映像を人間の視野角に収まるよう圧縮

して表示すると、通常の視野外から接近するものの存在を検知することは可能であるが、物体の正しい形状を認識することは困難となる。そこで提案システムでは視野拡張のアプローチとして注視領域のキャプチャ機能を実現する。例えば、一度には見ることができない離れた場所に移動させることが困難な見比べたいオブジェクトがあるとき、一方のオブジェクトを見ながらその様子を保存し、もう一方のオブジェクトの横に保存した映像を表示することで、2 つのオブジェクトを並べて比較できるようにする。この操作には、“目に焼き付ける” という言葉からしっかり見る動作として、凝視動作を割り当てる。また、提示される映像を通常状態に戻すリセット動作に、閉目動作を割り当てる。

3.2.2 プロトタイプの実装と評価

プロトタイプのシステム構成を図 4 に示す。提案システムでは、HMD 内部にフォトリフレクタを固定している（図 5）。細目動作や凝視動作でズームやキャプチャを実行するため、フォトリフレクタでまぶたの動きを測定し、その測定値をマイコン経由で処理用 PC に送信する。HMD には 2 台の USB カメラを搭載し、HMD の左右のディスプレイにカメラの映像を表示することで立体視による三次元空間の提示を行う。カメラ間距離は 6.5cm とし、カメラの光軸がユーザの視線と同軸になるように固定している。図 6 にプロトタイプの処理フローを示す。

被験者実験により、ユーザが細目動作や凝視動作を行ってからシステムが認識するまでの遅延時間や、凝視可能時間や操作開始までの遅延時間、ズーム機能による視力向上度、キャプチャ機能によるオブジェクトのサイズ比較による視線の平均移動回数に関して検証を行った。

3.3 具体的成果

本研究の成果は、国内研究会 [発表 2, 発表 6, 発表 7] で発表した。国内研究会 [発表 2] での発表は、2015 年に研究会で発表された研究の中で最も優れた研究として、2015 年サイバースペース研究賞 [受賞 1] を受賞した。

4 視線による描画軌跡を利用した個人認証システム

4.1 背景

スマートフォンやパソコンなどの電子デバイスを利用する時や、オンラインショッピングなどのネットワークサービスを利用する時など、日常生活において個人認証を必要とする場面が爆発的に増加している。最も利用されているのは、ID/パスワードや IC カードを用いた認証方式であるが、パスワード認証はブルートフォース攻撃などの脅威に常に晒されており、認証情報の漏洩による「なりすまし」や「不正アクセス」の危険がある。そこで、複雑なパスワードを設定したり、システム毎に異なるパスワードを設定したりとセキュリティ対策が行われているが、人間の記憶に基づく認証方式は限界を迎えている。また、IC カードなどの所有物を用いた認証では、認証に用いる物の紛失や盗難などの危険性がある。

一方、生物個体が持つ特徴を利用した生体認証に関する研究が盛んに行われ、その実用化が進められている。生体認証では、指紋や声紋、静脈パターン、虹彩などから特徴を抽出して、認証に用いるため、パスワードのように記憶したり、IC カードのような物品の管理が不要で利便性が高い。しかし、成長や怪我などで当該部位が変化してしまうと認証が困難となる場合もあり、以下の 4 点が生体認証に適した部位に求められる要件として重要であるとされている。

安定性: 人の成長など時間の経過に伴う変化の有無
秘匿性: 認証情報が他人から見えず盗まれにくいこと
識別性: 特徴量の類似性による誤認識の可能性
変更可能性: 利用者による意図的な認証情報変更の可否

図 7: 視線で描いた文字の例

本研究では、人の視線が、虹彩と同様に外部からの観察が困難で秘匿性が高いことに着目し、視線で描く軌跡を用いた認証方式を提案する。視線で描く軌跡を用いた認証では、仮に認証情報が漏洩した場合でも描く軌跡を自由に変更できるため変更性も高い。また、虹彩認証や顔認証などと併用できる可能性があるといった利点もある。

4.2 内容

4.2.1 特徴量

視線で描かれた文字に関して、文字の形状だけでなく、そのサイズや描く際に必要な時間にも個人の特徴が現れると考え、アイトラッカで取得した視線データから以下に示す特徴量を抽出する。

軌跡形状: 描かれた軌跡の特徴を最も表現していると考えられる形状に関する特徴量である。具体的には、視線計測装置が出力した全フレームを時系列データとして、30 区間に分割し、各区間における視点の平均座標 (x, y) と視点が移動を示す方向ベクトル (x 成分, y 成分)、平均速度を算出し、5 次元の特徴量とした。30 区間あるため、合計 150 次元となる。軌跡の分割数に関しては、分割数が多いほど、軌跡の形状を反映した情報を保持できると考えられるが、次元数が増加する問題もある。

軌跡サイズ: 視線によって描かれる軌跡は、手書き文字と同様に、人によってそのサイズやアスペクト比が異なると考え、描かれた軌跡のバウンディングボックスのサイズを特徴量とした。具体的には、バウンディングボックスの横幅と高さのピクセル数を算出して 2 次元の特徴量とする。

描画時間: 描画する文字の種類や人の描き方で、文字の描画に必要な時間が変化すると考え、描画時間に関する特徴を抽出する。視線追跡装置が秒間 50 フレームで視線位置をサンプリングしているため、軌跡の描画開始から終了までのフレーム数を描画時間として 1 次元の特徴量とする。

視線速度分布: 描画する文字の種類や人の描き方によって、軌跡を描く速度が異なると考え、視線の移動速度分布を算出する。具体的には、視線追跡装置が取得した連続する 2 フレーム間における視線位置の距離を求め、その平均値と標準偏差を用いて 2 次元の特徴量とする。

以上の特徴量をすべて利用すると、各視線データに対して計 155 次元の特徴量が抽出される。

4.2.2 検証実験

シンプルな形状は視線による描画が容易である一方で、他人との違いが少なく識別が困難であると考えられるのに対し、複雑な形状の文字では、視線による描画行為が困難となり、同一の形状が描画できないために、同一人物の同一文字であることの認識が困難であると考えられる。そこで、シンプルな形状として○記号、それよりも複雑な形状として文字 B を採用し、被験者にそれぞれ 50 回描画させ、SVM による分類精度を検証した。図 7 に被験者が描いた○記号および文字 B の例を示す。被験者は成人男性 10 名 (22〜41 歳) である。分類実験では 5-分割交差検定により分類精度を評価した。

○記号と文字 B の分類結果をそれぞれ表 2、表 3 に示す。各被験者の分類精度は、○記号、文字 B ともに 94%〜100%であり、全被験者での分類精度は、○記号は 97.6%（488/500）、文字 B が 98.6%（493/500）と高い精度を示し、視線で描いた軌跡から得られる特徴が個人認証に利用できる可能性が明らかになった。

表 2: ○記号の分類結果

	Predicted										
True	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ACC
1	**49**	0	0	0	0	0	0	0	0	1	.98
2	2	**47**	1	0	0	0	0	0	0	0	.94
3	0	0	**50**	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	**50**	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	**47**	1	2	0	0	0	.94
6	0	0	0	0	0	**50**	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	1	0	**49**	0	0	0	.98
8	0	0	0	0	0	0	0	**50**	0	0	1
9	0	0	0	0	1	2	0	0	**47**	0	.98
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**49**	.98

表 3: 文字 B の分類結果

	Predicted										
True	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ACC
1	**50**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	**47**	0	0	0	0	0	0	1	1	.94
3	0	0	**50**	0	0	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	**49**	0	0	0	0	0	0	.98
5	0	0	0	0	**49**	0	0	0	0	1	.98
6	0	0	0	0	0	**50**	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	**50**	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	**50**	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	**49**	1	.98
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	**49**	.98

4.3 具体的成果

本研究の成果は、国内研究会 [発表 3, 発表 10] で発表した。

5 電気的筋肉刺激を用いた重量感制御に関する研究

5.1 背景

日常生活において、家事や買い物、家具の移動など、物体を持ち上げたり、運んだりする作業が頻繁に行われている。特に高重量の物体を扱う作業を支援するために、パワードスーツに関する研究が進められている。パワードスーツは高出力の駆動装置を使用しており、介護や医療の現場などでの利用が期待されているが、日常生活において使用するにはその運用やメンテナンスのために多大なコストが必要である。パワードスーツでは、物体の重量の一部をデバイスで負担し、物体を持ち上げる際に必要な筋肉の運動量を減らすことで重量知覚を制御して作業支援を行っている。しかし、この方法では高出力の駆動装置などが必要であるため、コストを削減することが困難である。日常生活で使用できる低コストな作業支援システムを実現するためには、駆動装置などの補助により筋肉の運動量を減らすのではなく、別の方法で重量知覚を制御することが必要である。

本研究では、日常生活における様々な作業の中で、物体の持ち上げ作業に注目し、電気的筋肉刺激による重量知覚の制御することで物体を持ち上げる際に生じる疲労を軽減する支援システムの実現を目指す。電気的筋肉刺激を用いることで、クロスモーダルによる錯覚を利用する従来研究とは異なり、持ち上げる物体の外見に依存せず効果が持続する重量知覚制御が可能となる。電気的筋肉刺激により筋肉の運動量に直接影響を与えることで、より大きな重量知覚の変化を提示でき、疲労軽減効果が高くなると考えられる。

5.2 内容

5.2.1 電気刺激の提示

提案手法では、物体を持ち上げてから置くまでの間に特定の筋肉に対して電気刺激を与える。 電気刺激装置として Digitimer 社の医療用電気刺激装置マルチパルス D185 を使用した。この電気刺激装置は、刺激電圧と群発刺激パルスの数の積が一定の値を超えると自動的に刺激出力を遮断する機構を内蔵しており、人体への安全性を確保している。この電気刺激装置では、トリガが発動するとパルス幅 0.05 [ms] のパルスを 1〜9 個出力する。複数のパルスを出力する際のパルス間隔は 1.0〜9.9 [ms] まで調整可能であり、電圧は最大約 1000 [V] まで 1 [V] 刻みで指定できる。トリガ制御をマイクロコントローラ (Arduino MEGA) によって行い、シリアル通信によりコンピュータで刺激タイミング、刺激時間、周波数が調整可能となる。電極は、日本光電社のディスポ電極 Vitrode F-150-M を使用した。

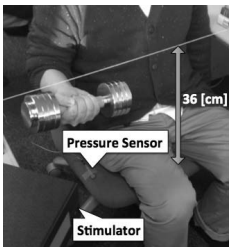


図 8: 実験の様子

表 4: 実験結果（上下回数）

被験者	刺激なし	上腕二頭筋	長母指屈筋
A	33	38	41
B	49	49	60
C	36	38	36
D	34	37	32
E	19	24	23
F	37	43	42
G	35	29	38
平均	34.7	36.9	38.9

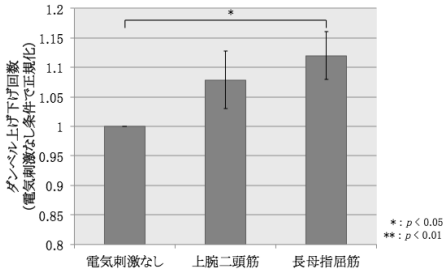


図 9: 上下回数の比較

5.2.2 実験

実験では、電気刺激条件下と電気刺激なし条件下で被験者に 5.0 [kg] のダンベルを可能な限り上げ下げさせ、電気刺激の有無による回数の変化を調査した。提案手法により疲労が軽減されていれば、電気刺激なし条件よりも回数が増加すると考えられる。実験風景を図 8 に示す。被験者には肘と背中を椅子の背もたれに固定した状態で、3 秒に 1 回のペースでダンベルを上げるよう指示した。タイミングは PC から 3 秒ごとに音を鳴らすことで示し、音が鳴ると同時に上げ始めるように、ダンベルを持たない状態で数回練習させた。ダンベルを上げる際には、椅子の座面から 36 [cm] の高さに張られた糸に触れるまで持ち上げ、下ろす際には、座面の圧力センサにダンベルの左端が触れるまで下ろした後、太腿の横でダンベルが座面に触れないよう維持させた。被験者が上記の指示を守れなくなる、もしくは被験者が限界を訴えた時点の回数を記録して実験を終了した。

刺激箇所は予備実験の結果から、上腕二頭筋と前腕の長母指屈筋（親指の屈曲を行う筋肉）とした。この 2 条件に電気刺激を与えない条件も加えて合計 3 条件についてそれぞれ 1 回試行を行った。電気刺激を与える場合は、PC から音が鳴ると同時に刺激が開始され、圧力センサにダンベルが触れると刺激が停止するように設計した。各筋肉での最大効果を計測するため、電圧は被験者に痛みが生じない範囲で最大化した。電圧の調整は 5 [V] 刻みで行った。被験者には、実験以外に大きく疲労する行動を避けるように指示した。疲労の影響を考慮し、1 日に 1 試行のみとして、試行と試行の間は 1 日あけ、被験者が筋肉痛など疲労を訴えた場合は日を改めて実験を行った。また、被験者ごとに各条件を実施する順序を指定し、順序による影響が出ないようにした。被験者は 22〜25 歳の男性 7 名で、全員右利きである。被験者には電気刺激を与えることについて十分な説明を行い、同意を得た後に実験を行った。

5.2.3 実験結果と考察

各条件下での結果を表 4 に示す。電気刺激の有無がダンベルの上げ下げ回数の平均に与えた影響を検証するため、対応のある両側 t 検定を実施し、上腕二頭筋では有意差は認められなかったが、長母指屈筋では $t(6)=1.96, p<.05$ となり、有意水準 5%で有意差が認められた。被験者ごとに、電気刺激を与えなかった場合の上げ下げ回数で正規化したグラフを図 9 に示す。縦軸は正規化後の上げ下げ回数、エラーバーは標準誤差を示す。上腕二頭筋に電気刺激を与えることで、電気刺激なし時と比べてダンベルの上げ下げ回数が 7.8±4.9%増加し、長母指屈筋に電気刺激を与えることで、12.0±4.1%増加した。

検定の結果、長母指屈筋に電気刺激を与えて対象物を実際よりも軽く知覚させることで、作業における持久力向上を実現可能であることが明らかになった。著者らの実験では、どちらの筋肉を刺激した場合でも重量知覚の変化量はほとんど同じであるが、上げ下げ回数の増加幅は長母指屈筋の方が大きくなり、上腕二頭筋では有意差は認められなかった。原因としては、電気刺激による筋収縮と意識的な筋収縮が同一ではないことが考えられる。意識的な筋収縮では、疲労しにくいが収縮張力の小さい筋繊維から動員される。しかし、電気刺激による筋収縮では、疲労しやすい大きな筋繊維から動員される。これは、収縮が生じる刺激強度の閾値が、大きい筋繊維ほど低いことに起因する。提案手法

では、電気刺激で補助的に筋収縮をさせるものの、主には意識的な筋収縮によって運動が生じることから影響は限定されると考えられるが、上腕二頭筋はダンベルを上げ下げする際に主に収縮させる筋肉であるため、長母指屈筋よりも強く影響を受けた可能性がある。

5.3 具体的成果

本研究の成果は、国内研究会 [発表 5, 発表 9] で発表した。また関連して、電気的筋肉刺激を用いたバーチャル食感提示技術に関する研究も進め、成果を国内研究会 [発表 11] で発表した。

6 視覚刺激を用いたファントムセンセーション制御方式

6.1 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。

本研究では、視覚刺激が PS の生起に対してどのような影響を与えるかについては検証し、視覚刺激の提示の仕方によって PS の生起を制御する手法について研究を進めた。

6.2 内容

視覚刺激が触知覚に影響を与えるという従来研究の知見および我々のこれまでの研究成果から、視覚刺激によって PS の生起を制御することが可能であるという仮説を立てた。具体的な仮説は以下の通りである。

1. PS の位置に提示した視覚刺激は PS ションの生起を促進する。
2. 触覚刺激の位置に提示した視覚刺激は PS の生起を抑制する。

本仮説を検証するために、我々は視覚刺激と触覚刺激を同時に提示可能なディスプレイを開発した。図 10 に示すように、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）を利用したディスプレイである。それぞれの LED の中心と振動モータの中心が一致するように設置した。各 LED 間および振動モータ間は約 17mm である。LED および振動モータはマイコン（Arduino 社製、Arduino Uno）によって制御する。

本ディスプレイを用いた視覚刺激および触覚刺激の提示例を図 11 に示す。触覚刺激は図のモータ 1 からモータ 5 を番号順に振動させることで提示する。例えば、モータ 1 の両端のモータを同時に振動させ止めてから、モータ 2 の両端のモータを同時に振動するという動作を順に行う。また、視覚刺激に関しては、モータと同様に LED1 から LED5 を番号順に点灯することで提示する。

図 11 の視覚刺激提示パターン（1 回目）に示すように、異なる 2 個の振動モータを振動させ、それらの中間に位置する LED を点灯させる場合は、PS の位置に視覚刺激が提示されているので、PS の生起が促進されると考えられる。一方、視覚刺激提示パターン（2 回目）に示すように、異なる 2 個の振動モータを振動させ、それらの位置と同じ位置の LED を 2 個点灯させる場合は、触覚刺激の位置に視覚刺激が提示されているので、PS が抑制されると考えられる。

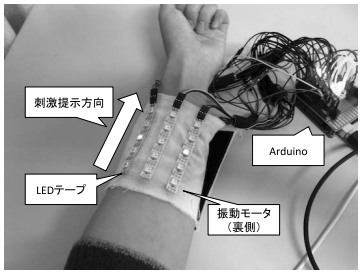


図 10: 視触覚提示装置

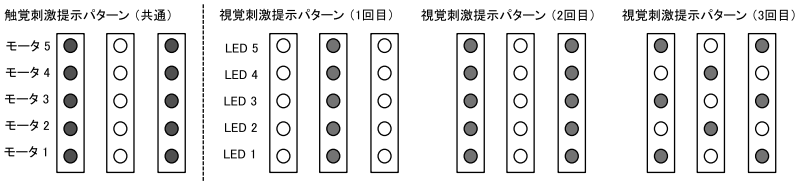


図 11: 実験における刺激パターン

図 11 に示す触覚刺激提示パターンと各視覚刺激提示パターンを組み合わせて、視覚刺激が PS の生起に与える影響を検証した。被験者は、20 代から 60 代の被験者 35 名であった。被験者が自身の前腕を見ている状態で、刺激を提示し、被験者には震えていると知覚した場所を回答用紙に記入させた。

6.3 具体的成果

すべての試行において、振動させるモータの位置は同じだったが、点灯させる LED の位置を変化させることで、震えていると回答した位置は大きく異なった。したがって、同じパターンの触覚刺激を提示しても、視覚刺激の刺激パターンを変化させることで、触知覚を変化できる可能性が示された。

本研究の成果は、国内研究会 [発表 4] で発表し、国内論文誌 [査読付 6] に掲載された。

7 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 北原 俊, 小川 剛史: 2015 年サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, 2016 年 2 月.

査読付論文

[査読付 1] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を用いた飛行ロボット操作手法の提案と評価, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 3, No. 2, pp. 32–41, 2015 年 8 月.

[査読付 2] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を考慮した指差しインタフェース, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 3, No. 2, pp. 42–51, 2015 年 8 月.

[査読付 3] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出手法, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J98–D, No. 9, pp. 1201–1211, 2015 年 9 月.

[査読付 4] Chanho Park and Takefumi Ogawa: A Study on Grasp Recognition Independent of Users' Situations Using Built-in Sensors of Smartphones, Proc. of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2015), Charlotte, NC, Poster, pp. 69–70, Nov. 2015.

[査読付 5] 朴 燦鎬, 小川 剛史: 携帯端末の利用環境に依存しない端末把持姿勢認識手法, 情報処理学会論文誌 (デジタルコンテンツ), Vol. 4, No. 1, pp. 10–18, 2016 年 2 月.

[査読付 6] 新島 有信, 小川 剛史: 視覚刺激を用いたファントムセンセーションの生起の制御に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 93–100, 2016 年 3 月.

その他の発表論文

[発表 1] 朴 燦鎬, 小川 剛史: 携帯端末の利用環境に依存しない端末把持姿勢推定に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–10, No. 3, 2015 年 6 月.

[発表 2] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるズーミングインタフェース, VR 学研報, Vol. 20, No. CS–3, CSVC2015–24, pp. 87–92, 2015 年 10 月.

[発表 3] 向井 寛人, 小川 剛史: 視線の軌跡情報を用いた個人認証手法に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–11, No. 11, 2015 年 11 月.

[発表 4] 新島 有信, 小川 剛史: 視触覚融合コンテンツにおける視覚刺激と振動刺激のクロスモーダル知覚に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–11, No. 12, 2015 年 11 月.

[発表 5] 中張 遼太郎, 新島 有信, 小川 剛史: 電気的筋肉刺激が重量知覚に及ぼす影響に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015–DCC–11, No. 13, 2015 年 11 月.

[発表 6] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるキャプチャインタフェース, VR 学研報, Vol. 20, No. CS–4, CSVC2015–34, pp. 21–24, 2015 年 12 月.

[発表 7] 北原 俊, 小川 剛史: 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるキャプチャインタフェースの評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016–DCC–12, No. 32, 2016 年 1 月.

[発表 8] 朴 燦鎬, 小川 剛史: ユーザの姿勢を考慮した携帯端末の把持姿勢認識に関する一検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016–DCC–12, No. 33, 2016 年 1 月.

[発表 9] 中張 遼太郎, 新島 有信, 小川 剛史: 疲労軽減を目的とした電気的筋肉刺激による重量知覚制御に関する一検討, VR 学研報, Vol. 21, No. CS–1., CSVC2016–7, pp. 35–39, 2016 年 2 月.

[発表 10] 向井 寛人, 小川 剛史: 視線による描画動作を用いた個人認証手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 493, MVE2015–58, pp. 25–30, 2016 年 3 月.

[発表 11] 新島 有信, 小川 剛史: 電気刺激を用いたバーチャル食感提示手法に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 493, MVE2015–62, pp. 49–54, 2016 年 3 月.

新たなネットワークサービスアーキテクチャに関する研究

関谷 勇司

1 概要

平成 27 年度は、主に(1)多種のデータセットを用いたネットワークセキュリティの分析と攻撃の防御に関する研究、ならびに(2)新たなネットワークサービスアーキテクチャの構築に関する研究に取り組んだ。(1)に関しては、日欧協調の共同研究プロジェクトである、NECOMA Project[1]の一部として行った。MATATABI[2]と呼ばれるデータ解析基盤を構築し、この基盤上にて複数のデータセットを用いた攻撃分析を行った。例えば、ユーザ端末が発する DNS クエリデータと通信フローデータの結果を用いることで、C&C サーバと呼ばれる攻撃制御ノードへの通信状況の分析や、ユーザの視線データと通信フローデータを用いることで、フィッシングサイトへのアクセス状況分析を行った。また、SDN-IX と呼ばれるインターネットの中核部分において、DDoS (Distributed Denial of Service) 攻撃を効率的に防御するための機構に関する研究開発を行った。SDN-IX は実運用への展開に向けて、実際のインターネットエクスチェンジサービスと提携し試験運用を開始した。これらの成果は、[公開 1] [発表 8]にて公開された。

(2)に関しては、仮想化技術を用いてネットワークサービスを提供するための基盤技術に関する研究を行った。これからのネットワークに求められるネットワークサービスについて述べ、それを実現するための仮想化技術に関して検証と問題点の分析を行った。この問題点を解決すべく、ネットワークサービスを実現するための新たな仮想化手法の提案と評価、ネットワークサービスをチェイニングしてユーザに提供するための簡易なシステムアーキテクチャについての提案と実証実験を行った。

2 新たなネットワークサービスアーキテクチャに関する研究

2.1 背景

現在のネットワークは、従来の情報通信のみならず人々の生活に欠かせないインフラとして定着している。そのため、ネットワークの利用用途も多様化しており、従来のいわゆる計算機が接続するネットワークとしての役割から、全ての物がつながるネットワークへと変化している。つまり、人間が利用する機器としてのデバイスのみならず、自動的に情報を取得するためのセンサーデバイスが接続され始めており、ネットワークを用いて有機的に情報を融合することで新たな価値が生み出されている。このようなインフラとしてのネットワークでは、単に情報を伝達するための通信路としての役割のみならず、接続されるユーザやデバイスにとって簡易に目的を達成できるネットワークが求められる。つまり、ネットワークに付加的な機能が求められ、ユーザやデバイスからの要求に応じたネットワークを動的に構成、展開する機能が求められる。付加的な機能とは、IP レイヤの上に付加されるセキュリティや個人認証、通信最適化といった機能であり、これらをネットワークサービスと定義する。ユーザやデバイスに適したネットワークサービスを構成するにあたっては、ネットワーク面とパスの動的構成技術、ならびにソフトウェアを用いた仮想サービス提供技術の融合が必要となる。そこで平成 27 年度は、こ

[1] http://www.necoma-project.jp/
[2] http://www.necoma-project.jp/ja/blog/matatabi-v1.0

れらネットワークサービスの動的構成に関する要素技術やアーキテクチャの設計に関する研究を行った。その成果について報告する。

2.2 内容

平成 26 年度の研究成果に引き続き、平成 27 年度も新たなネットワークアーキテクチャの形成に関する研究を行った。まずこれからのインフラとしてのネットワークに求められる付加機能に関しての調査を行い、それら付加機能を動的に実現するため仮想化機能に関する調査と検証を行った。また、仮想化基盤の技術に関する調査も行い、現在の技術を用いて動的なネットワークサービス構成を行うにあたっての問題点を明確にした。提起した問題点について、ネットワークサービスの実現方法に関する一つの解決方法を提案し、検証した。また、複数のネットワークサービスを組み合わせることで実現される、SFC (Service Functions Chaining) の一つのシンプルなアーキテクチャを提案し、検証した。これらの活動は、次世代 NSP (ネットワークサービスプラットフォーム) コンソーシアム[3]の一部として行われ、参加企業の協力の元に行われた。

2.3 具体的成果

ネットワークへの付加的なサービス提供を実現するために必要となる、仮想化サービスとネットワークの連結を実現するための手法を改善するために、まず現存する仮想化技術に関して検証を行った。その結果として、図 1 に Linux OS 上にて kvmによるホスト仮想化を用いて構築した、3 種類の仮想ルータのパケット転送性能について示す。

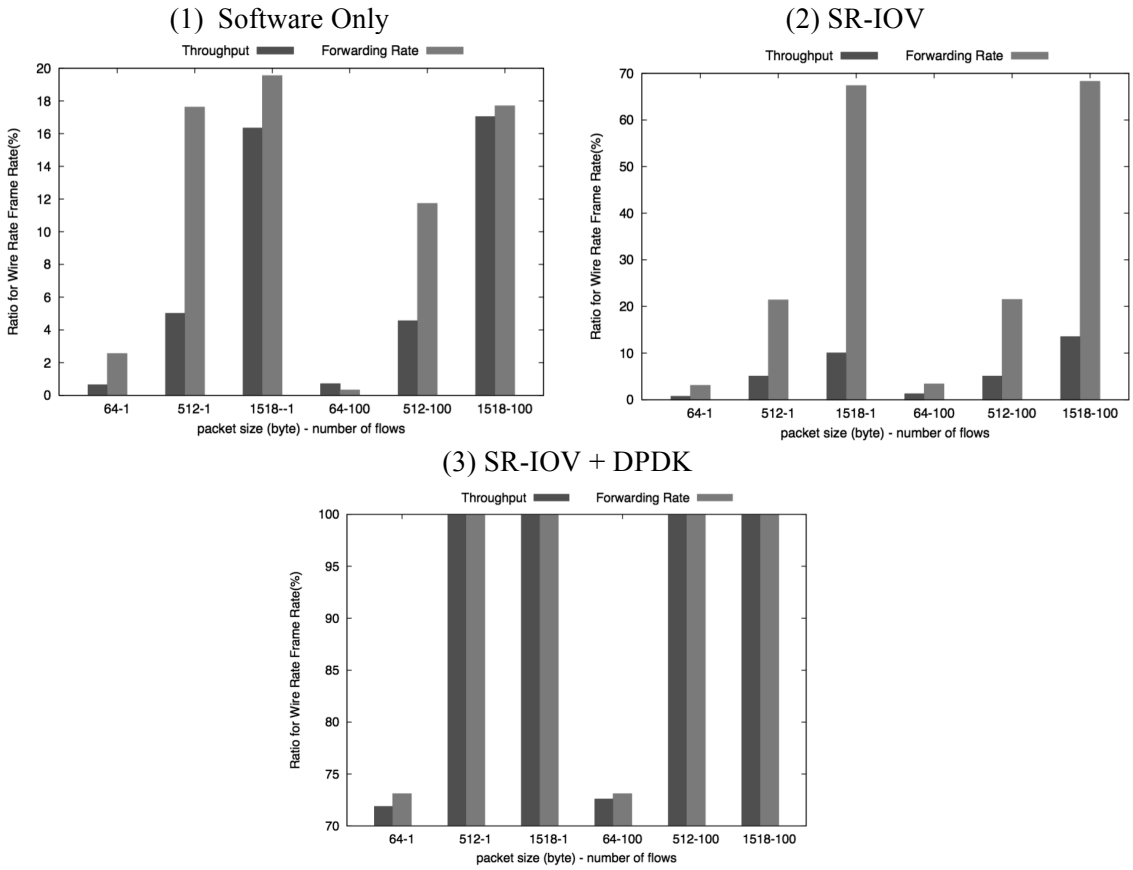


図 1 : 仮想ルータパケット転送性能計測結果

[3] http://www.next-nsp.org/

グラフ中における横軸は、性能計測時における 1 パケットのサイズと IP フローの数を示す。縦軸は、10Gbps を 100%とした際の性能値を示す。Throughput と Forwarding Rate に関しては、Throughput はパケットロス無しで転送できる性能値、Forwarding Rate はパケットロスを生じたとしても最大限に転送可能であった性能値を示す。図 1 において、(a)は純粋にソフトウェアのみによって構築した仮想ルータ、(b) は SR-IOV[4]を用いて構築した仮想ルータ、(c) は SR-IOV + DPDK[5]を用いて構築した仮想ルータでの、それぞれの転送性能計測結果を示す。これらの結果から、ホスト仮想化を用いた場合にはホスト OS とゲスト OS におけるパケット I/O において大きなボトルネックが存在し、その処理の一部をハードウェアにオフローディングする技術を用いない限り、十分な性能が得られないことがわかった。これは、ホスト仮想化でのパケット I/O を実現するにあたって、割り込み処理の多重化とデータコピーの多重化が原因とわかった。

この分析結果を受け、ネットワークサービスを実現するために必要な処理だけを行うことのできる小規模な仮想化を提案した。このアーキテクチャをプロセス型 VNF (Virtual Network Function) と定義し、ネットワークサービスにおいて必要となるパケット処理をデータコピーが発生しないよう実現し、ハードウェアオフローディング技術を利用することを可能とした。図 2 にプロセス型 VNF アーキテクチャの概要を示す。

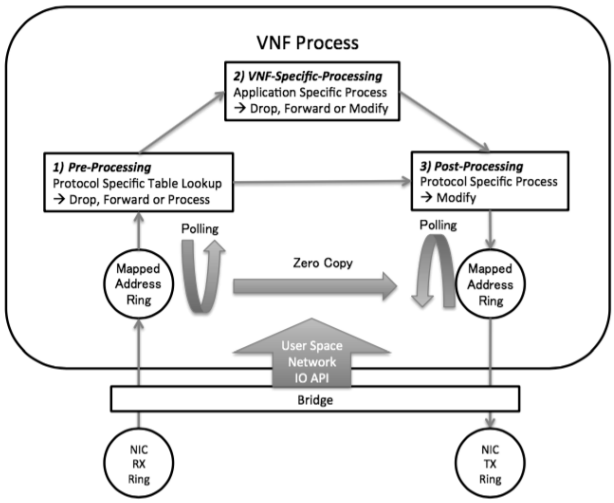


図 2 : プロセス型 VNF アーキテクチャ

さらに、このプロセス型 VNF を連結することで複数のネットワークサービスの連結を実現できる、プロセス型 VNF サービスチェイニングアーキテクチャを提案した。この概要を図 3 に示す。このアーキテクチャでは、ユーザスペースのネットワーク I/O を用いることで、ホスト OS におけるパケット処理を極力バイパスし、ネットワークサービスのために必要となるパケット処理をユーザスペースで動作するプロセス型 VNF 自身で実装することで高速化を実現した。さらに、様々な種類のネットワークサービスを実現するため、Pre Process、VNF Specific Process Post Process という複数のプロセスを用いて 1 つのネットワークサービスを実現するアーキテクチャを構築した。これにより、実際のイーサネットにおけるパケットの入出力に必要となる処理と、ネットワークサービスに必要となり処理を分割することができ、部品の再利用と処理の簡易化、ならびに処理の高速化を実現した。

[4] http://www.intel.com/content/www/us/en/pci-express/pci-sig-sr-iov-primer-sr-iov-technology-paper.html
[5] http://dpdk.org/

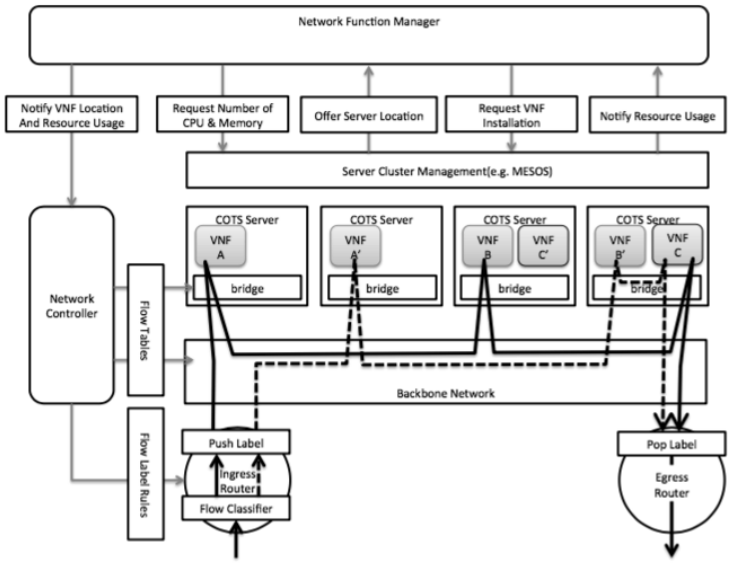


図 3 : プロセス型 VNF を用いたサービスチェイニング概要

実際のプロトタイプ作成にあたっては、netmap[6]と呼ばれるユーザランドを用いたネットワーク高速化機構と、VALE[7]と呼ばれるソフトウェアスイッチを用いてプロセス型 VNF による NAPT(Network Address and Port Translation) 機能を実装した。プロトタイプ実装の NAT VNF 設計を図 4 に示す。

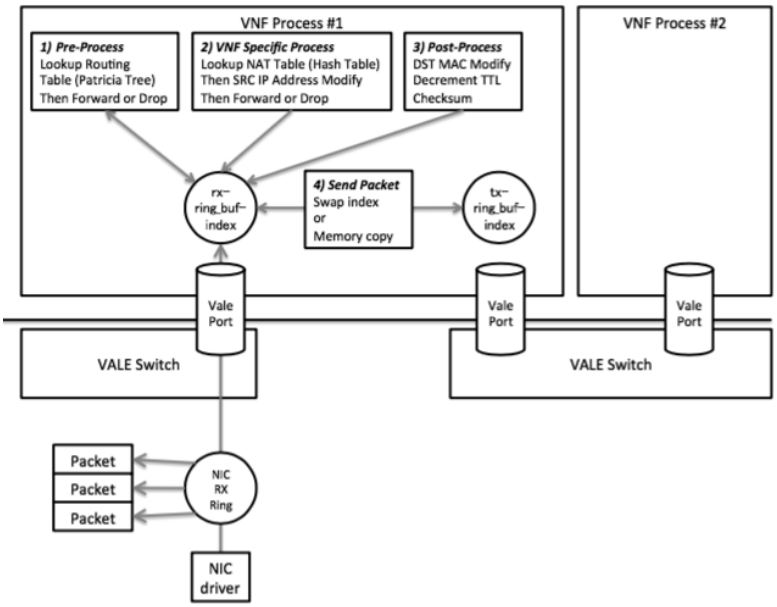


図 4 : NAT VNF 設計概要

この NAT VNF 実装では、Pre Process が VALE と結合し、netmap の機能を利用したポーリングを用いてパケットの受信を担当する。パケットの受信とともに経路表を検索し、宛先が存在しなければパケットを破棄、存在すれば VNF Specific Process 引き渡す。次に、VNF Specific Process が NAT の変換表を検索し、必要となるパケットヘッダを変更して Post Process に引き渡す Post-Process では、レイヤ 3 終端機器として行うべきき TTL の減算,宛先 MAC アドレスの処理、チェックサム計算を行ったのちに送信処理を行う。

[6] http://info.iet.unipi.it/~luigi/netmap/
[7] http://info.iet.unipi.it/~luigi/vale/

このプロセス型 VNF アーキテクチャを用いて構築した、3 種類の VNF の評価結果を**エラー! 参照元が見つかりません。**に示す。横軸では、プロセス型 VNF アーキテクチャ(Process) と通常の VM 型 VNF アーキテクチャ(VM) を用いて実装したことを示し、それぞれで 3 種類のネットワークサービスであるルータ機能(RT)、NAT 機能(NAT)、ファイアウォール機能(FW) を実装した場合の性能計測を示す。縦軸は処理性能を PPS (Packet Per Second) にて示す。結果、どの種類のネットワークサービスにおいてもプロセス型 VNF アーキテクチャが優位な性能を示した。この成果に関しては、[査読付 3] において詳しく述べた。

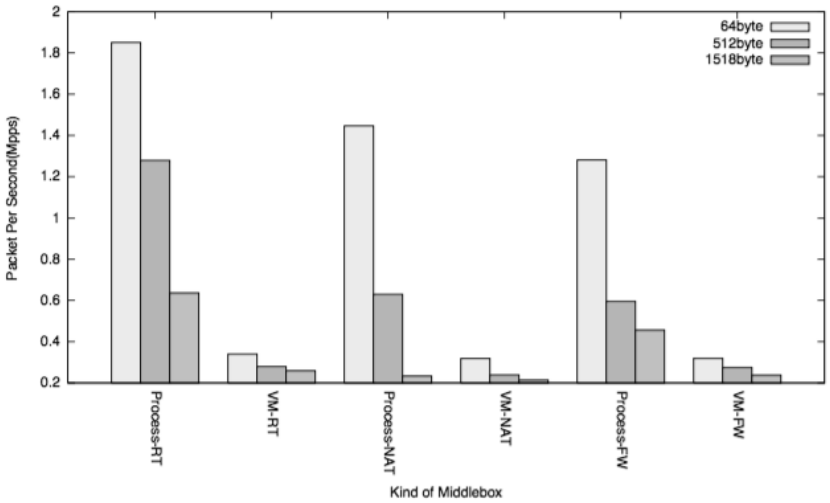


図 5 : NAT VNF の処理性能評価結果

次に、それぞれのネットワークサービスを連結してユーザに提供するためのシステムを構築すべく、ネットワークサービスのチェイニングに関して、FlowFall モデルと名付けた簡易なサービスチェイニングアーキテクチャの提案を行った。このアーキテクチャの概要を図 6 に示す。

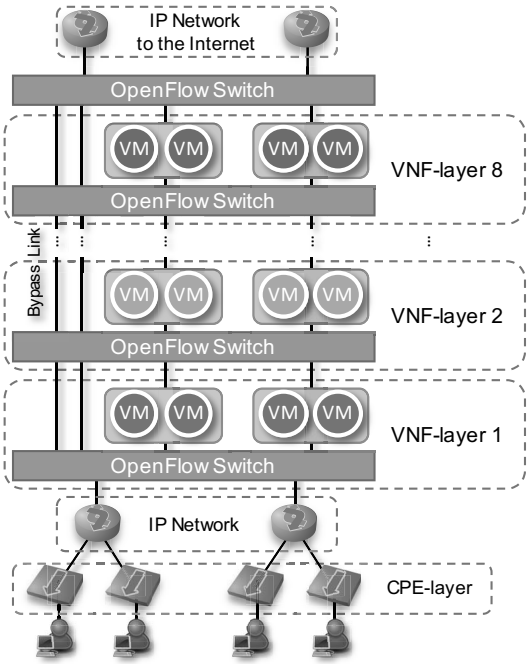


図 6 : FlowFall モデルによるサービスチェイニング

このアーキテクチャでは、VNF の種別を 1 つのレイヤと定義し、ユーザからの通信フローがそれぞれのレイヤを構成するレイヤを通過するかどうかを OpenFlow によって制御することで、柔軟かつ簡易なサービスチェイニングを実現した。例えば VNF レイヤ 1 はファイアウォール、VNF レイヤ 2 は NAT、VNF レイヤ 3 はネットワークキャッシュといったように、機能単位で VNF レイヤを定義する。あるフローがそれぞれのレイヤを通過するかバイパスするかは、IP ヘッダの通常利用されないフィールドを用いて判定することを提案した。例えば IPv4 のフローの場合は、IP ヘッダ中の ToS (Type of Service) フィールドを用いて、ToS フィールドの 8 ビットのビット列を 1〜8 番目のレイヤに対応させた。例えば、ToS フィールドの 3 番目のビットが 1 であれば 3 レイヤ目は VNF を経由、4 番目のビットが 0 であれば 4 レイヤ目はバイパスといった制御を行う。このアーキテクチャでは、フローを発するユーザ側、もしくはサービスチェイニングの入り口となる CPE において、あるフローがどのネットワークサービスを経由すべきなのかを決定することができ、その後サービスチェイニングのシステム中においては、自律分散的に処理を行うことが可能となる。つまり、どのユーザのフローがどのネットワークサービスを利用すべきかという情報は、エンドユーザのデバイスもしくは CPE のみがそれぞれ保持しておけば良く、OpenFlow を用いたネットワークにありがちなシステム全体の集中管理とはならないため、耐障害性に優れる。また、どこかの VNF レイヤにおいて処理性能が不足した場合には、レイヤ単位で機材を追加することで処理性能を向上させることができる。

現在提案されている NFV (Network Functions Virtualization) / SFC (Service Functions Chaining) のアーキテクチャの多くは、システム全てをデータベースによって集中管理し制御するものがほとんどであり、致命的な部分の故障がシステム全体の破綻につながる。その点この FlowFall モデルは、できる限りの自立分散性と規模性を有したシステムであり、簡易に実現できるモデルとして Interop Tokyo 2015 において実証実験を行った。その結果、約 30 ユーザに対してそれぞれ異なった種別のネットワークサービスを提供することに成功した。また IETF (Internet Engineering Task Force) 94 標準化会議においても、本アーキテクチャの紹介と提案を行った。本成果に関しては、[査読付 5] にて詳しく述べた。

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 関谷 勇司, 中村 遼, 岡田 和也, 堀場 勝広 : SDN と NFV による新たなネットワークサービス構造の提案, 電子情報通信学会, Vol.J98-B,No.4, pp. 333‐344, 2015 年 4 月 (招待論文)

[招待 2] 関谷 勇司 : SDN と NFV がもたらす新たなネットワークアーキテクチャの可能性, 富士通株式会社, 富士通 PPE 総会, エポック中原, 2015 年 4 月(招待講演)

[招待 3] 関谷 勇司 : SDI と NFV がもたらすネットワーククラウドの可能性, SDI/NFV カンファレンス 2015, 2015 年 12 月(基調講演)

著書／編集

[著書 1] 関谷勇司, 岡田 和也 : 一歩進んだセキュリティ対策, 技術評論社, Software Design 2015 年 10 月号, 2015 年 9 月, ASIN:B012875GJM

査読付論文

[査読付 1] Ryo Nakamura, Kouji Okada, Yuji Sekiya, and HiroshiEsaki : A common data plane for multiple overlay networks, Elsevier, Computer Networks Journal, ISSN 1389-1286, October 2015, DOI:doi:10.1016/j.comnet.2015.09.031

[査読付 2] 山本 成一,中村 遼, 上野 幸杜, 堀場 勝広, 関谷 勇司 : GINEW : 革新的なネットワーク運用管理アーキテクチャの一提案, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータ・ソフトウェア, Vol.32 (2015), No.3, pp. 46‐57, 2015 年 9 月, DOI:10.11309/jssst.32.3_46

[査読付 3] 堀場 勝広, 湧川 隆次, 関谷 勇司, 村井 純 : NFV におけるプロセス型ソフトウェアミドルホボックスアーキテクチャ の提案, 電子情報通信学会, Vol.J98-B, No.7, 2015 年 7 月

[査読付 4] Ryo Nakamura, Yohei Kuga, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki, Protocol Independent NIC Offloading for Overlay Networks, CoNEXT 2015 Student Workshop, In the Proceedings of the 2015 CoNEXT on Student Workshop, December 2015

[査読付 5] Ryo Nakamura, Kazuya Okada, Shuichi Saito, Hiroyuki Tanahashi, and Yuji Sekiya, FlowFall: A Service Chaining Architecture with Commodity Technologies, The 23rd IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), CoolSDN Workshop 2015, November 2015

[査読付 6] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki, Layer-3 Multipathing in Commodity-based Data Center Networks, In Proceedings of the 18th IEEE Global Internet Symposium 2015, Hong Kong, April 2015

公開ソフトウェア

[公開 1] NECOMA Project: MATATABI 1.0, http://www.necoma-project.jp/ja/blog/matatabi-v1.0, 2015 年 5 月

その他の発表論文

[発表 1] バータルスレン ムンフドルジ, 関谷 勇司 : ニュース記事解析に基づいたサイバー攻撃予測, 電子情報通信学会, 信学技法, vol. 115, no. 484, IN2015-136, pp. 165-170, 2016 年 3 月

[発表 2] 佐藤 康次, 関谷 勇司 : SDN を用いた Network 監視によるデータ漏えい防止機構の検討, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 115, no. 484, IN2015-139, pp. 183-188, 2016 年 3 月

[発表 3] 長谷川 幹人, 関谷 勇司 : PTP (Precision Time Protocol) の相互接続実証実験の現状と方向性, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 115, no. 192, IA2015-28, pp. 53-57, 2015 年 8 月

[発表 4] Xiaozhou Jia, Panagiotis Georgopoulos, Laurent Vanbever, Karin Anna Hummel, Yuji Sekiya, and Hajime Tazaki : SDN based Mobility Management, IEICE Technical Report, vol. 115, no. 140, IN2015-24, pp. 7-23, July 2015.

[発表 5] 関谷 勇司, 妙中 雄三, 大江 将史, 田崎 創 : 多重仮想化を用いた大容量サービス環境の遠隔地への高速転送に関する研究, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点, JHPCN 第 7 回シンポジウム, JHPCN 第 7 回シンポジウム資料集, pp. 92-95, 東京都, 2015 年 7 月

[発表 6] 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, 第 16 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT 2015), 富山県, 2015 年 6 月

[発表 7] Yuji Sekiya, Ryo Nakamura, and Horiba Katsuhiro : “SFC Architecture Model using OpenFlow comparing using NSH”, Internet Engineering Task Force 94, NFV Research Group, November, 2015.

[発表 8] Yuji Sekiya : “MATATABI : Cyber Threat Analysis and Defense Platform using Huge Amount of Datasets”, APNIC 40, APOPS Technical Session, Jakarta, Indonesia, September 2015

[発表 9] 関谷 勇司 : NFV の今とこれから 〜導入サイドから見るその将来像〜, Interop Tokyo 2015 カンファレンス, 大手町サンケイビル, 2015 年 6 月

[発表 10] Kenichi Koizumi, Mary Inaba, Hirochika Asai, Goki Honjo, Junichiro Shitami, Junji Tamatsukuri, Akira Kato, Katsuyuki Hasebe, Seiichi Yamamoto, Yuji Sekiya and Kei Hiraki : 73Gbps single stream TCP data transfer over trans pacific 100Gigabit network, APAN 41 Network Engineering Workshop, January 2016

[発表 11] Yuji Sekiya : The Proposed Architecture of NFV and SFC toward better performance and management, APAN 41 Network Engineering Workshop, January 2016

特記事項

[特記 1] NECOMA Project, SDN を活用した高機能な IX を Interop Tokyo 2015 ShowNet にて動態展示, プレスリリース, 2015 年 6 月 4 日

クラウドとパーソナルデジタルサイネージ

中村　文隆

1　概要

従来から展開している工学教育，文理融合教育，生涯教育に資する教材執筆活動として，ボードコンピュータやマイクロコンピュータをプラットフォームとしたパーソナルなデジタルサイネージシステムをとりあげ，視覚的アウトプットの視認性向上と，それに付随して生ずるタイミングアウェアなプログラミングについて実製作例によって解説した原稿を作成した．また，コンテンツソースとしてパーソナルなインプットに加えて WebAPI を用いてクラウド上のデータを取得，表示する方法についても取り上げた．残念ながら本原稿は共著者都合により出版作業が停止した状態になっているが，時期をみて公開することを引き続き検討している．

また，昨年度出版した 8 ピン ARM マイクロコンピュータ LPC810 に関する書籍について，社会的需要に合致しているかを検討するため，書籍の売り上げ状況を調査したので，先にそちらについて報告し，続いてパーソナルデジタルサイネージについての取り組みについて述べる．

2　既出版書籍のニーズ確認

2.1　背景

筆者は昨年度の報告において，DIP8 ピンマイコン LPC810 について工学教育と文理融合教育の視点から執筆した書籍について述べた(図 1 に表紙を示す)．出版時期が年度の境目にあったこともあり，書籍が社会のニーズに応えているか否かを測る指標を昨年度の時点では提示することができなかったが，出版後の安定した時期に 8 カ月ほどのデータを取得したのでその結果についてもあわせて報告する．

図 1 「挿すだけ!ARM 32 ビット・マイコンのはじめ方」表紙

2.2　内容

書籍の売り上げに関しては大規模な実店舗での売り上げランキングなどを参考にすることも考えられるが，継続してデータを蓄積するにはオンラインでの売り上げ情報を参照することも有用な手段であ

ると考えている. 今回利用した Amazon の売上ランキングは, 特定のサービスを利用するユーザに偏っているのではないというバイアスについての懸念はあるが, ユーザ数の観点からは十分大規模であると考えて妥当であろうと推測している.

図 2 は 2015 年 5 月 17 日から 2016 年 4 月 3 日までの当該書籍の売上ランキングであり, 本 > 科学・テクノロジー > 工学 > 電気工学 > 電子工学, のジャンルにおける 1 日ごとのランキング推移を示している. Amazon のランキング算出アルゴリズムは非公開のため, この順位が実際の売上数とどのような相関をもつかは不透明であるが, 購入のイベントが発生しなければ順位が落ちていくことは確実と思われる. 図 2 を見る限り, 当該書籍は発売直後の 5 月には上位に留まっており, その後もコンスタントに購入されていることをみてとることができる.

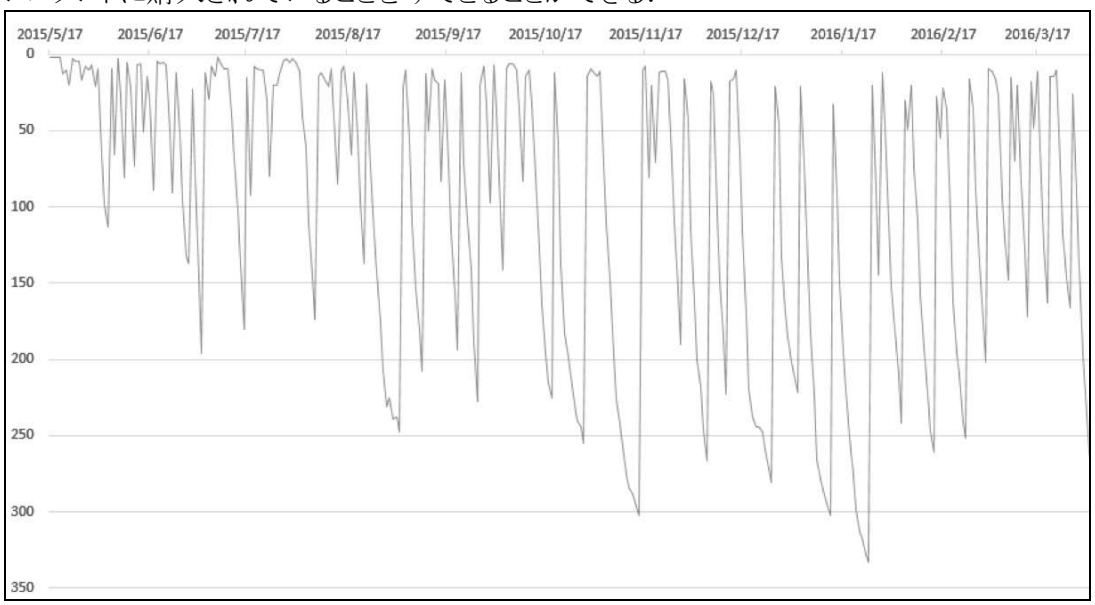


図 2 「挿すだけ!ARM 32 ビット・マイコンのはじめ方」売上推移

3 クラウドとパーソナルデジタルサイネージ

3.1 背景

広告や販売の分野ではデジタルサイネージが広く普及しており, 全国展開したチェーン店舗や個人店舗にいたるまで, 動画を含めた視覚的効果が高く, 掲示内容の動的な更新も可能な新しい広告メディアとして活用されている. そのような場面で用いられるデジタルサイネージシステムは当然ながらパッケージとして完成されたシステムであり, ユーザからはブラックボックスとして利用されるだけであるとともに, 価格も最も小規模なものでも 10 数万円をこえる高額なものとなっている.

一方で, デジタルサイネージはたとえば学校や地域コミュニティのイベントなど, よりパーソナルな文脈での利活用も十分に考えられるシステムであり, また, システムの構築を自ら行うことを通じて電子回路やプログラミングに関する工学教育の教材としても有用性があると考える. また, マイクロコンピュータやシングルボードコンピュータをプラットフォームとし, 汎用の電子部品によるシステム構築を行うことで価格も 1 万円程度に抑えることができる.

3.2 内容

以上のような背景から, 筆者は Yahoo の大内氏と共同でパーソナルデジタルサイネージシステムに関する書籍の執筆に取り組んだ. プラットフォームとしては ARM コアのシングルボードコンピュータ Raspberry Pi によるシステムを中村が, ARM コアのボードマイコン mbed によるシステムを大内が執筆することとした. サイネージの表示デバイスとしては, 2 桁表示の 16x16 の LED ドットマトリクスであ

る PARA LIGHT ELECTRONICS 社の C-2AA0SRDT を 2 台カスケード接続し，4 桁表示のスクロールを行う仕様とし，図 3 のように Raspberry Pi と mbed から制御する設計を想定した．なお，本書籍ではセンサからのデータ表示(例えば温度計など)は割愛し，WebAPI を用いたクラウドとの連携を扱うこととした．

ここで，システムに使用した C-2AA0SRDT は実売価格が 2 台で 5000 円前後であり，1 台 5000 円前後の Raspberry Pi，あるいは mbed と組み合わせることにより，1 万円前後でのパーソナルなデジタルサイネージシステムの構築が可能となる．以下では中村が担当執筆した Raspberry Pi での実装について述べる．

Raspberry Pi での開発言語には Raspberry Pi の標準言語となっている Python を用いた．

サイネージシステムの表示デバイスとしては高精細ディスプレイやプロジェクタを使用するものもあるが，今回のシステムでは低価格を実現するためにドットマトリクス表示を採用している．現在のメジャーな OS ではフォント情報は TTF などのスケーラブルなベクタフォントが主流であり，ビットマップフォントは精細度が低い，あるいは文字種によっては入手に困難が伴うものもある．このため，まずスケーラブルフォントを画像化し，イメージ処理ライブラリによって画像情報からドット情報を取り出し，フォント情報の存在する任意の文字をドットマトリクス表示するコードを実装した．

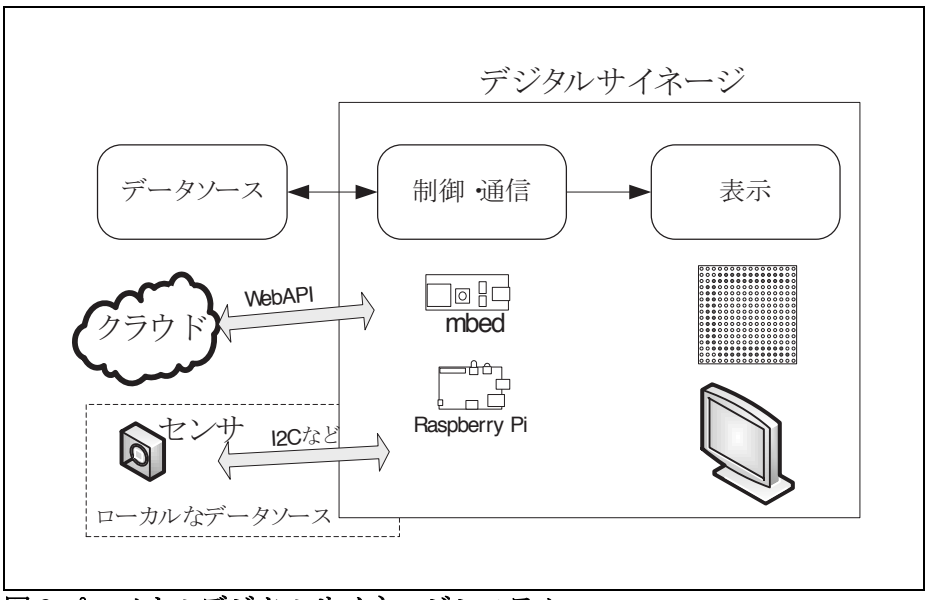


図 3 パーソナルデジタルサイネージシステム

次に， Raspberry Pi 自体を http サーバとして動作させ，プライベートネットワーク内か RaspberryPi 上の web フォームに submit された文字列をデータソースとしてサイネージ上の表示を更新するスクリプトの実装を行った．これは，WebAPI からのデータ取得に進む前の表示系の確認作業を兼ねるとともに，イベント時の告知目的などオンプレミスでデータをプッシュするシステムの構築例にもなっている．

こうして表示系の動作を確認したのち，認証不要のクラウドデータソースとして Livedoor 天気予報を取り上げ，JSON 形式でのデータ取得からドットマトリクスに気象情報を表示するコードの実装に進み，図 4 のように気象情報をリアルタイムにパーソナルデジタルサイネージ上に配信するシステムを提示した．

続いて，認証を伴う WebAPI の使用例として OAUTH2 を用いて Google カレンダーから情報を取得し，サイネージへの表示を行うシステムを実装例として提示した．これは例えば，学園祭などのイベントにおいてクラウド上の Google カレンダーにイベントスケジュールを入力し，Google カレンダーから取得したスケジュール情報と現在時刻との比較を行って直近のイベントを自動的に来場者に提示する，といった用途を想定している．このシステムの実装については，LED マトリクスの他にイベン

ト会場備え付けのプロジェクタなどを利用することにより，ハードウェアの実装を省略することができるケースもあり得ることを想定し，X-Window 上に疑似的な LED 表示環境を構築する方法についてもあわせて示した(図 5).

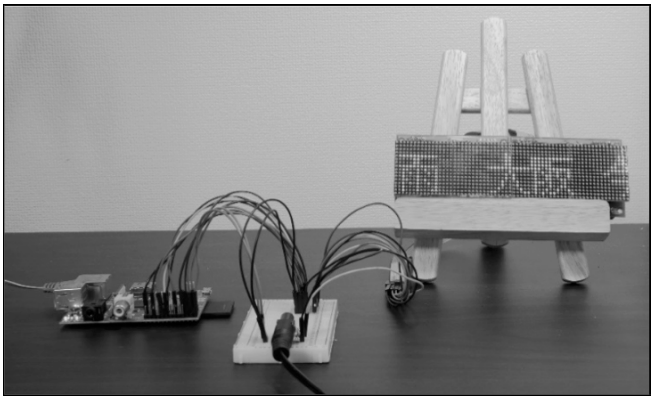


図 4 LED マトリクスによるパーソナルデジタルサイネージ

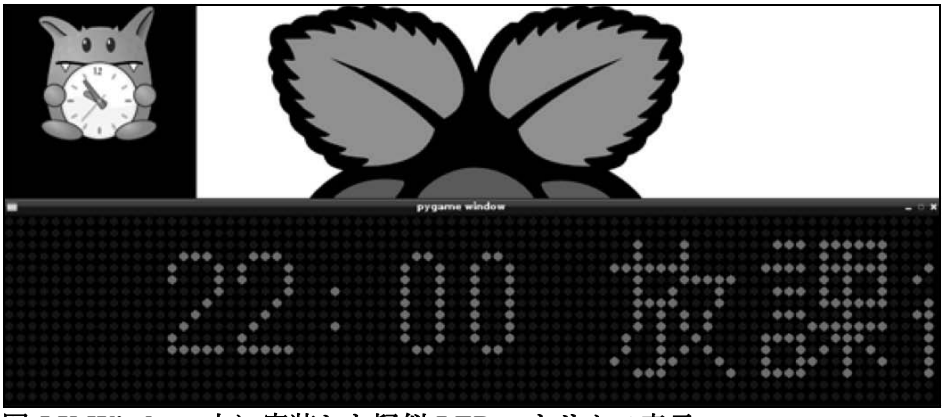


図 5 X-Windows 上に実装した疑似 LED マトリクス表示

以上が中村の執筆した担当原稿の主要な内容であるが，先に記した通り，予定していた共著者が多忙となり，出版作業が停止したために成果として発表できずにいることは大変残念に思っており，今後何らかの形で成果を社会にフィードバックしていくことを模索している.

無線ネットワークにおける柔軟なチャネル利用に関する研究

妙中 雄三

1　概要

本研究では、有限かつ共有資源である無線を無線ネットワークのために適材適所で柔軟に活用することで、無線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無線資源（品質要求に対応する数の無線チャネル）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。

現在はクライアント機器のトラヒックが集約される無線バックボーン（マルチホップ）ネットワークを対象とし、無線 LAN を用いた実環境での概念実証も並行して研究を進めている。2014 年度までに、無線マルチホップ環境においてすべてのホップで同一の複数チャネルを併用した構成を用いて、トラヒック制御によって利用するチャネルをフロー単位で決定するネットワークアーキテクチャとそのアーキテクチャを活用して静的なとラヒックに対して複数チャネルの無線資源を有効活用する基礎的なチャネル有効利用手法を提案した。2015 年度は、クライアント機器からのトラヒックについて、通信毎の開始・終了のタイミングや必要帯域が様々な現実環境に近い動的なトラヒックを扱うチャネル有効利用手法の研究を行った。

2　背景

スマート機器の急増に加えて IoT の普及が予測されており、それらが繋がる無線ネットワークの大容量化が急務となっている。現在の無線ネットワークは LTE を用いた広域網が主であるが、既にモバイル通信量の急激な増加が始まっており、LTE 技術とその高度化のみでは対応が困難となりつつあるため、様々な周波数を扱う複数の無線ネットワークの広域での併用と個々の技術の大容量化が求められている。無線 LAN もそれらの技術の一つに挙げられ、既に物理層・データリンク層では 802.11ac が標準/実用化され、今後 802.11vht も標準化が行われる見込みであり、ネットワーク容量の大容量化が進んでいる。しかし、無線 LAN は物理的に極めて狭い範囲を対象とした無線ネットワーク技術である上に設置できる場所が限定されてしまうため、無線資源の地理的な再利用性が乏しい。従って、無線 LAN は本来利用できる無線資源を広い範囲で有効に利用できていない。

この様な背景から、広い範囲に無線 LAN を展開する技術として、無線メッシュネットワーク（WMN）が再注目されている。無線メッシュネットワークは、全てのアクセスポイント（AP）が無線マルチホップネットワークを用いたバックボーン網を構築し、有線接続を持つ一部の AP（GW）がバックボーン網を経由したインターネットへの接続性を WMN 全域に供給する構造を持つ。しかし、WMN は無線 LAN を広域に展開できる一方で、マルチホップ転送によって複数の AP が共有する無線資源（同一のチャネル資源）を繰り返し利用するため、ネットワーク容量が減少してしまう。インターネットアクセ

スが主の環境では、GW までのマルチホップ経路上において、経路途中の AP に接続する端末発/宛の通信によって GW へ近づくに連れて転送するトラフィック量が累積するため、GW がボトルネックとなりネットワーク容量が制限される。この様な理由から、これまでは WMN の用途が限定されていた。

無線通信では、チャネル単位の容量に理論上限があるため、ネットワーク容量は併用するチャネル数と、それらチャネル資源の利用量（利用率）に依存する。しかし、WMN では利用するチャネル全ての資源を有効利用できず、ネットワーク容量の最大化が困難である。なぜなら、WMN では AP 毎に端末が接続し、端末発/宛の通信とその量は時々刻々と変化するため、WMN 上のボトルネックが一意の場所とはならず、チャネル資源が未使用が発生してしまうためである。従って、様々な状況に柔軟に適応してネットワーク容量を常に最大化するためには、必要な場所で必要な量だけチャネル資源を活用する柔軟なチャネル利用制御を行う必要がある。

既存研究の殆どがホップ毎に異なるチャネルを事前に割り当て、トラフィックの転送経路を分散させる WMN を用いたネットワーク容量の大容量化技術に着目している。ホップ毎に異なるチャネルを利用することから、マルチホップによるネットワーク容量の減少回避には寄与するが、ホップ毎にチャネルを固定することから、トラフィック状況が変動する場合には変動に適応できず、ボトルネックが発生して全チャネル資源を有効活用できない。同様に、GW のボトルネックも GW の利用チャネル数に依存し、ネットワーク容量の最大化が困難である。

本研究ではこれまでに、複数のチャネルを全てのホップで並列に利用する WMN アーキテクチャ（SD-WMN: Software Defined WMN）を提案した。このアーキテクチャでは、OpenFlow を用いてフロー単位でホップ毎に利用するチャネルを全チャネルから柔軟に選択・変更できるため、ホップ毎に特定のチャネル利用とはならず、トラフィック状況に応じてチャネル資源を適材適所に有効利用する制御が可能となる。

このアーキテクチャを用いて昨年度までに複数チャネル間の負荷を平滑化するチャネル有効利用手法を提案した。この平滑化手法では、フロー単位のチャネル利用制御でチャネル負荷を常に均等とすることで、チャネル資源利用の最大化による大容量化を実現した。しかし、実環境ではフロー毎の帯域は様々であるため、平滑化することでパケットロスを発生させてしまう。必要帯域の大きなフローを転送する場合には、平滑化により全てのチャネルに空容量（残余帯域）があり、合計値では該当のフローを転送できるにも関わらず、どの単一チャネルでも転送できない状況が生じてしまう。

そこで本研究では、様々な帯域のフローに対応するために、負荷の平滑化は行わず、フローを可能な限り特定のチャネルへ集約するチャネル有効利用手法（フロー集約手法）を提案する。具体的には、各フローの到着時点でのパケットロスを避けるために可能な限り残余帯域の多いチャネルを用いて該当フローを転送した後に特定のチャネルでの転送に切り替える（集約する）。その結果、様々なフローを転送する場合においても、パケットロスを低減することが可能となる。また、試作機を用いて実環境で提案手法の評価を行い、提案手法の有効性を示す。

2.1 アーキテクチャとこれまでに提案したチャネル有効利用手法

昨年度までに図 1 に示す仮想 AP（VAP）と VAP を用いた WMN を提案した。複数の AP を有線接続し、個々の AP は異なるチャネルを利用する。この有線接続された AP 群を、複数チャネルを持つ 1 つの VAP として扱い、それらで WMN を構築する。その結果、理想的には各 VAP に AP を制限なく追加でき、追加する AP 数に応じて WMN 上で併用するチャネル数を柔軟に増やす事ができる。

WMN のネットワーク容量を最大化するためには、全ホップで併用する複数チャネルを適切に利用する必要がある。本研究ではこれまでに上記構成の WMN に中央制御型の OpenFlow 技術を導入した Software Defined WMN（SD-WMN）を提案した。SD-WMN では、OpenFlow コントローラ（OFC）が OpenFlow プロトコルを用いて（送信元・先の IP アドレスとポート番号の組で定義する）フロー単位で VAP 毎に任意の制御パスを設定・変更が可能となる。また、OpenFlow は SD-WMN 全域の情報を集約できることから、各ホップの各チャネルでのトラフィック転送状況も収集が可能である。これら

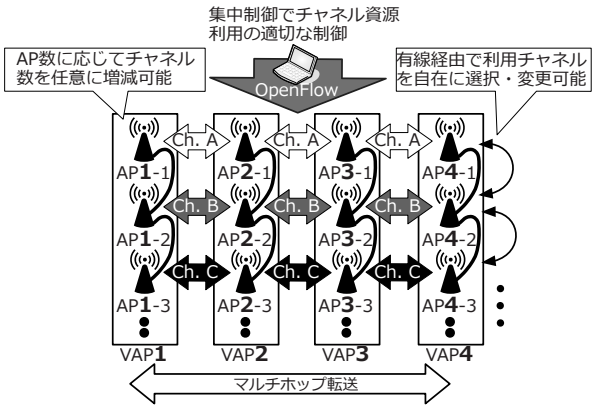


図 1: SD-WMN アーキテクチャ

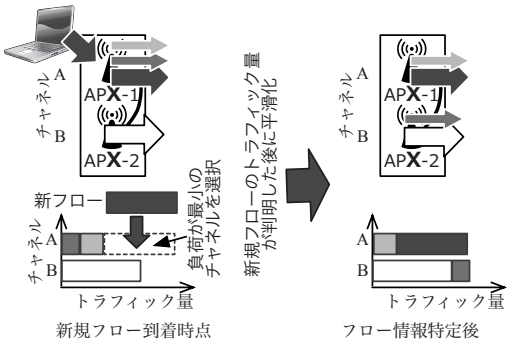
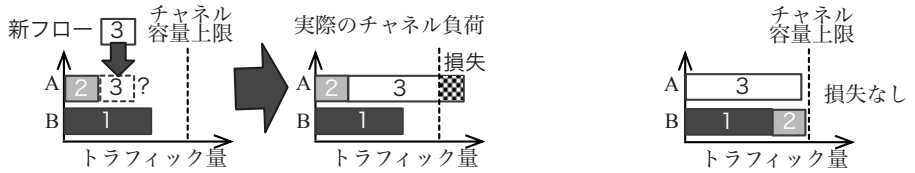


図 2: 平滑化手法の概念図



(a) 平滑化手法による損失

(b) 理想的なチャネル利用

図 3: 平滑化手法の問題点と理想状態

の特徴を用いて、SD-WMN は潜在的に様々なトラフィック状況に対応して、適切なチャネル利用が可能となる。

昨年度までに提案した手法では、SD-WMN 上で各 VAP の電波範囲内において、図 2 の様に全チャネル間でトラフィック負荷を平滑化することでチャネル有効利用を行い、ネットワーク容量の最大化を実現するチャネル有効利用手法（平滑化手法）を提案した。具体的には、OFC は新規フローに対して、到着時点では帯域を収集できないため、一時的に負荷の少ないチャネルを用いて転送する（図 2 左）。その後、OFC が該当フローの帯域を把握した段階でチャネル間での負荷を均等とする様にフローの転送チャネル変更を行う（図 2 右）。帯域の収集は OpenFlow の FlowStats を用いて定期的に取得し、その取得毎に平滑化処理を実施する。なお、FlowStats で得られる結果は累積の転送量であるため、2 回送信した差分をフローの帯域として用いた。

2.2 これまでの研究成果の適用範囲と問題点

平滑化手法では、チャネルを有効利用できる状況が限定される。具体的には、平滑化手法は新規フローの帯域と到着順に制限がある。2.1 節で説明した通り、新規フローは、到着時点で帯域が不明であるため、トラフィック負荷が少ないチャネルを用いて一時的に転送される。平滑化手法を用いてチャネル利用を制御していると、図 3(a) の様に、新規フローの帯域が転送するチャネルの空き容量（残余帯域）を超過し、パケットロスが発生する可能性がある。一方で、フローが 1、3、2 の順で到着する場合には図 3(b) の様に損失が発生しない。従って、平滑化手法が有効に働くのは、単一のチャネルの残余帯域を超えない範囲の帯域のフローが順番に到着した場合に限定される。

この様に到着順によっては適切なチャネル割り当てとなることから、平滑化手法がフローの到着順に依存する点が問題である。これは、平滑化することで、フローの増加に応じて新規フローが利用できる残余帯域がどのチャネルでも減ってしまうことに起因する。よって、この問題を解決するためには、一部のチャネルの残余帯域を可能な限り最大化して、新規フローを転送する際のパケットロスを

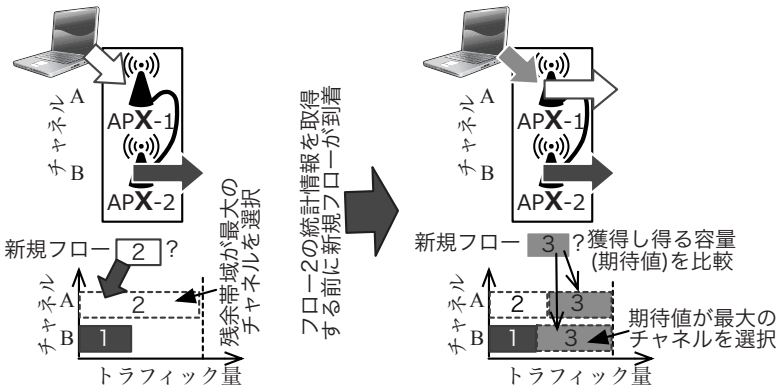


図 4: 一時的な転送チャネルの決定の実施例

回避する必要がある。

3 フロー集約手法

本手法では、2.2 節で述べた通り、一部チャネルの残余帯域を最大化し、新規フロー到着時点でのパケットロスを予防するチャネル有効利用を提案する。新規フローについて、到着時点では残余帯域が最大となるチャネルを用いて一時的に転送し、帯域が判明した時点で特定のチャネルに集約する。また、転送中のフローが終了した場合には、その終了によって増加した残余帯域を活用するために、新規フローに関わらず他のチャネルからフローを集約する。これらを繰り返すことで、一部のチャネルで十分な残余帯域が確保され、新規フローの到着時点におけるパケットロスを可能な限り回避できる。ただし、フローを特定のチャネルに集約する際には、チャネルの残余帯域にフローが収まることを正確に確認する手法も必要となる。以上より、本研究のポイントである残余帯域の計算方法を 3.1 節、新規フロー到着時のチャネル選択手法を 3.2 節、フローの集約方法を 3.3 節、フロー終了時のフローの再集約手法を 3.4 節でそれぞれ説明する。

3.1 チャネルの残余帯域の算出方法

特定のチャネルにフロー集約を行うためには、フローの帯域とチャネルの残余帯域を適切に管理する必要がある。本節では、チャネルの残余帯域の算出方法を説明する。無線ネットワークでは、トラフィックの転送量は容易に計測できる一方で、残余帯域の正確な計測は困難である。本研究では転送量から残余帯域を推定する。

まず、OFC が各 AP から各チャネル上の全てのフローの統計情報を取得する。この統計情報には、フロー毎の転送パケット数と転送バイト数の累積値が含まれる。累積値からフローの帯域を取得するために、0.5 秒間隔で 2 度統計情報を取得し、差分を取得する。つまり、0.5 秒間に転送されたパケット数とバイト数を計測する。また同時に、OFC が OpenFlow とは異なる外部プログラムを用いて、全 AP から各ホップの無線リンク速度を取得する。

次に上記で収集したフロー毎の統計情報と無線リンク速度からチャネルを利用した合計時間（Airtime）を計算する。Airtime は、フレーム送信毎のオーバヘッド（プリアンブルやヘッダ、FEC、ACK 等）と転送バイト数の和を無線リンク速度で除算し、その結果にフレーム毎に発生する DIFS/SIFS の制御時間を加えることで計算する。この結果は、上記のフロー統計情報の計測間隔 0.5 秒間の間で、データ送信に利用された合計時間となる。この Airtime を用いて、チャネルの未使用時間を計算（0.5 – Airtime) し、無線リンク速度を乗算することで残余帯域を予測する。

3.2 フロー到着時の転送チャネル決定方法

新規フローの到着時には、そのフローの帯域は不明であるため、一時的に可能な限り残余帯域の多いチャネルを用いて転送することで、チャネル容量の超過によるパケットロスを回避する。具体的には図4に示す様に、新規フローが獲得し得るチャネル容量（獲得期待容量）を用いて、一時的な転送チャネルを決定する。帯域が判明しているフローのみが存在する場合（図4左）には、獲得期待容量は残余帯域と等しいため残余帯域が最も多いチャネルを選択する。

一方、新規フローが複数到着し、帯域が不明のフローが既に存在する場合（図4右）には、全チャネルを対象に新規フローの獲得期待容量を計算して比較する。まず、OFC はフローの詳細情報はなくとも既に転送中のフローの数は保持している。図4右の様に未知のフロー2をチャネル A で転送している場合にはチャネル A の残余帯域を 2（= 既存の未知のフロー数 + 1）で割った値をフロー3の獲得期待容量として算出する。この例では、チャネル A 上では未知のフローのみが転送されているため、チャネル容量をフロー数で除算する。一方、チャネル B 上では既知のフロー1のみが転送されている事から、フロー3の獲得容量期待値はチャネル容量からフロー1の消費分を減算した値となる。これらチャネル A/B での獲得期待容量を比較し、図4右の例ではその値が大きいチャネル B が選択される。こうする事で、新規フローが頻繁に流入する場合においても、可能な限り多くの容量を個々のフローが利用できるチャネルを用いて転送することでパケットロスの可能性を最小限に抑える。

3.3 必要帯域判明時のフロー集約方法

本手法は 3.2 節の新規フローの処理と並行して定期的にフロー情報を収集し、未知のフローの情報が判明した場合に該当フローを特定のチャネルでの転送に切り替える。集約先のチャネルには、十分な残余帯域が確保できないものから順番に選択する。フロー情報には、OFC が定期的に（3 秒毎に）フロー単位の統計情報を（0.5 秒間隔で）2 度取得してその差分を用いる。フロー情報の収集で全てのフロー情報が集まることから、全フローの情報から 3.1 節で説明した方法によってチャネル毎の残余帯域を計算する。ここで計算した残余帯域は 3.2 節の処理でも活用する。

OFC はフロー情報を取得し、直前まで未知であったフローの情報を特定できた場合にフロー集約を実行する。OFC はフローの帯域を計算し、特定のチャネルに集約可能であるかを確認する。具体的には、フローの帯域を用いて残余帯域の少ないチャネルから順に収容可能かを比較し、収容可能なチャネルが存在した場合には、フローを該当チャネル上での転送に切り替える。フローの移動先が無い場合には、転送チャネルの切替えを行わない。なお、上記の処理はホップ単位で行う。

この様に残余帯域の少ない一部のチャネルにフローを集約し続けることで、残りのチャネルでは残余帯域が最大限確保される。その結果、3.2 節の新規フローに対する一時的なチャネル決定が有効に働き、流入時のチャネル容量超過によるパケットロスを予防することができる。

3.4 フロー終了時のフローの再集約手法

フロー終了時には、該当フローの帯域分だけフローを転送していたチャネル（終了チャネル）の残余帯域が増加する。この時、新規フローの到着と集約を待たずに、既存フローの再集約を行う。OpenFlow では、フローの終了時に各 AP から OFC へ通知が届くため、この通知を契機に再集約を実行する。

OFC はフロー終了の通知を受け取ると同時にフロー終了前に取得したフロー情報から終了したフローの帯域と終了チャネルの残余帯域を計算し、フローの帯域分だけ残余帯域を加算することでフロー終了時点での終了チャネルの残余帯域を予測する。最も残余帯域の大きいチャネルから順番に、そのチャネル上で転送中のフローについて、集約が可能か確認する。具体的には、フローの帯域と終了チャネルの残余帯域から収容可能かどうかを判断し、残余帯域がフロー帯域より大きい場合には該当のフローの転送を終了チャネル上に切り替える。残余帯域が終了チャネルより少ないチャネルについては、上記の処理は行わず、条件を満たすフローが見つからない場合には再集約は実施しない。

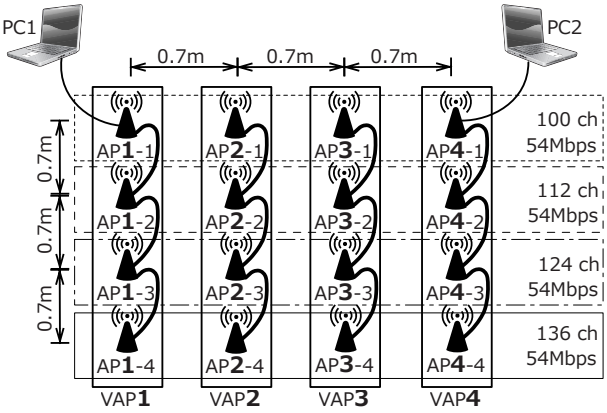


図 5: 実験環境

4 実環境での評価実験

本節では、3 節で提案したフロー集約手法を 2 つの実験シナリオで評価する。実験環境を 4.1 節で説明した後に、4.2 と 4.3 節でそれぞれのシナリオでの実験結果を示す。

4.1 実験環境

本実験では図 5 に示す通り、VAP および各 AP をそれぞれ 0.7m 離して設置した。実装に使用する AP は Buffalo 製 WZR-HP-AG300H を用い、OpenWrt ファームウェアをインストールした。また、OpenFlow スイッチとして、OpenWrt 上に OpenvSwitch をインストールした。なお、無線干渉が無い環境を調査した上で 100 と 112、124、136 チャネルの 4 チャネルを WMN を構成するために用意し、54Mbps 固定の IEEE802.11a で構成した。実験では、Linux をインストールした PC1 と PC2 を用意し、それぞれ VAP1 と VAP4 に接した。その上で PC1 と PC2 の間で iperf を用いたトラフィック送受信を行う。なお、本研究はデータトラフィックに対するチャネル有効利用が研究対象であるため、端末と AP 間や OFC と AP 間は全て有線接続とする。

4.2 基礎性能評価

本節では、提案するフロー集約手法が既存の平滑化手法に比べてチャネル有効利用を実現できる適用範囲が広いことを示すために、2.2 節であげた適応範囲外の例を元にした実験シナリオで性能評価を行う。利用する SD-WMN は、図 5 に示す 100 と 112 チャネルの 2 チャネルのみを使うトポロジ構成を取る。実験シナリオは、1,500 バイトのパケットを用いた 5Mbps の UDP フローを 2 つと 10Mbps の UDP フローを 1 つを 5 秒間隔で順番に PC1 から PC2 へ送信する。送信開始したフローは、30 秒間の実験終了まで継続してトラフィック送信を続ける。

図 6 に実験期間中の 1 秒ごとのパケットロス数を示す。この図から提案手法では、実験を通して常にパケットロスが 0 であることがわかる。一方、平滑化手法では、3 つ目のフローが送信された直後からパケットロスが発生している。2 本目のフローが送信された後、平滑化手法では 2 つのチャネルのトラフィック負荷を均等にするために、5Mbps のフローがそれぞれのチャネルで 1 つずつ送信される様に、フローの転送チャネルの切替えを行う。しかし、この平滑化によって両方のチャネルの残余帯域が減少してしまう。本実験環境では、54Mbps 固定の 802.11a を用いている事から 1 チャネルを 3 ホップする場合の可用帯域は約 10Mbps である。それに対して、どちらのチャネルも既に 5Mbps のフローを転送しているため、3 つ目のフローが到着してどちらのチャネルで転送してもチャネル容量超過によるパケットロスが発生する。その後、平滑化手法はチャネル負荷を平滑化するために、FlowStats を収集することでフローの転送量から帯域を計測するが、既にパケットロスが生じているため正確な帯

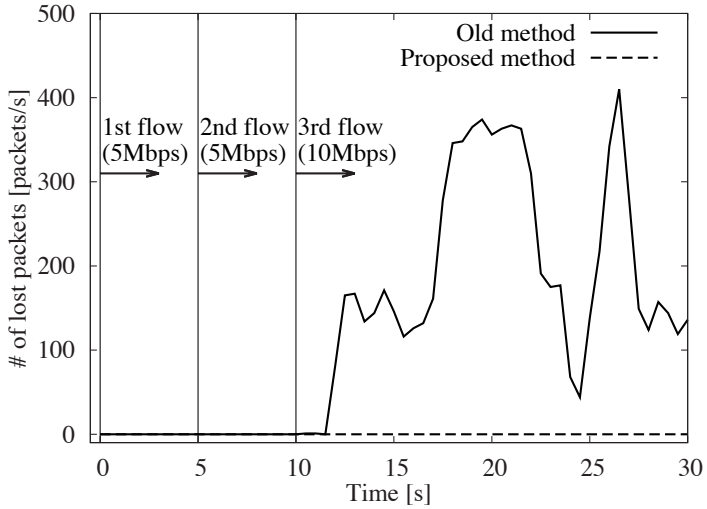


図 6: パケットロス数の時間変化

表 1: 実験試行毎のパケットロス数

手法	最大値	中央値	最小値
平滑化手法	6826	4229	1196
フロー集約手法	8	7	4

域計測が行えずに誤ったチャネル切替えを繰り返してしまい、パケットロス数が大きく変化している。

一方で提案手法は、2 フロー目が到着した後に全てのフローを片方のチャネルに集約するため、もう一方のチャネルは未使用状態となり、そのチャネルの残余帯域が十分に確保される。3 本目のフローが到着した時点では、フローの帯域は不明であるが、残余帯域の大きなチャネルで一時的な転送を開始するため、パケットロスが発生しない。また、フローの帯域を特定した後はフローの集約を試行するが、既に 1/2 つ目のフローでチャネルが埋まっているため、チャネル切替えは行わない。その結果、全てのチャネルが最大限有効利用され、ネットワーク容量を最大化できる。つまり、2 チャネル・3 ホップの最大容量である 20Mbps を損失なく転送できている。

以上の結果より、平滑化手法に存在したフローの帯域と到着順に対する手法の適用範囲がフロー集約手法には存在しないことがわかる。従って、提案手法ではネットワーク容量に空きがある限り、到着フローに依存せずに最大限チャネルを有効利用が可能となる。

4.3 実践的なトラフィックによる評価

本節では、様々な到着タイミングと様々な帯域のフローを模擬した環境で実験を行い、フロー集約手法の有効性を示す。実験では、あらかじめランダムに生成したトラフィックを 1 パターン準備する。フローの生成は、(1) フローの到着間隔は 1 秒以下、(2) フローの継続時間は 1 秒以上 10 秒以下、(3) フローの転送レートは固定で 9Mbps 以下、(4) 同時に送信する合計スループットは 36Mbps 以下の 4 つの条件を満たした範囲でランダムに 100 フロー生成する。なお本実験では、図 5 の 4 チャネル 3 ホップの実験トポロジで、生成した 100 フローを PC1 から PC2 へ送信する。同一フローパターンで 9 回の実験を行う。

表 1 に実験試行単位でのパケットロス数の計測結果を示す。本実験では、同時に転送するトラフィックを必ず 36Mbps 以下となる様にフローを生成しているため、チャネルを有効利用できていれば、全てのトラフィックを転送できるはずである。しかし、平滑化手法では多くのパケットロスが生じている。2.2 節で説明した通り、平滑化する事によりフロー数とそれらの帯域によってチャネル毎の残余帯

域が低下してしまうため、新規フロー到着にチャネル容量超過が発生してパケットロスが増加する。その際、OFC が実測するフローの帯域にも誤差が生じてしまい、誤ったフローのチャネル切替えを実施してしまう。この差分は、実験毎に差異が生じるため、パケットロス数も実験毎に差異がある。

一方、フロー集約手法ではパケットロス数が全ての実験において数パケットに抑えられている。本手法では、フローの到着順序や帯域に依存せず、新規フローについて到着時点では十分な残余帯域のあるチャネル上で一時的に転送し、フローの帯域が判明した段階で特定のチャネルに集約するため、チャネル容量超過を可能な限り回避できている。したがって、ランダムに生成したフローに対しても、フロー集約手法が良好な性能を示した事から、本手法は広い適応範囲の元でチャネル有効利用を実現したと言える。

5 具体的成果

2015 年度の研究成果は国際会議 [査読付 3] 及び国内研究会 [発表 1, 発表 3] で発表した。また、2014 年度に実施した研究成果に基づいて論文誌 [査読付 1] と国際会議 [査読付 2] での発表も行った。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yuzo Taenaka, Masaki Tagawa, Kazuya Tsukamoto: “An Experimental Approach to Examine a Multi-Channel Multi-Hop Wireless Backbone Network,” An International Journal of Computing and Informatics, Vol 39, No 4, 2015.

[査読付 2] Yuzo Taenaka and Kazuya Tsukamoto: “A radio interference aware dynamic channel utilization method on software defined WMN,” In Proceeding of the 10th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC2015), November 2015.

[査読付 3] Masaki Tagawa, Yuzo Taenaka, Kazuya Tsukamoto, and Suguru Yamaguchi: “A Channel Utilization Method for Flow Admission Control with Maximum Network Capacity toward Loss-free Software Defined WMNs,” In Proceedings of the Fourteenth International Conference on Networks (ICN 2015), February 2016.

その他の発表論文

[発表 1] 妙中雄三, 田川真樹, 塚本和也: “Software define WMN のパケットロス低減を実現するフロー集約手法,” 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, vol. 115, no. 404, NS2015-149, pp. 17-22, 2016 年 1 月.

[発表 2] 水山一輝, 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: “［奨励講演］Software Defined WMN における一括フロー制御による制御トラヒック削減手法,” 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, vol. 115, no. 368, NS2015-131, pp. 25-30, 2015 年 12 月.

[発表 3] 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: “無線メッシュネットワークのパケットロスを低減する遅延バインディング型フロー割当による複数チャネル有効利用手法,” 電気情報通信学会 モバイルネットワークとアプリケーション研究会, 信学技報, vol. 115, no. 61, MoNA2015-6, pp. 195-200, 2015 年 5 月.

特記事項

[特記 1] 妙中雄三, The TEAM Erasmus Mundus project に採択.

[特記 2] 妙中雄三, 電気通信普及財団 (TAF) 平成 27 年度 長期海外研究援助に採択.

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る．今年度の研究の概要は以下の通りである．

- エンドユーザの思考パターンを視線分析により予想する仕組み
  エンドユーザの視線，とりわけ画面の特定の箇所を凝視した時間，回数を用い，どのような意図でウェブサイトの真贋判定を行っているかを推測する研究を行った．また，この結果に基づいてフィッシングサイト対策を行うシステムの開発を行った．

- 意思決定に必要な情報を表示する技術の標準化
  エンドユーザが真贋判定を行なう際に，アドレスバー等さまざまな情報を見て判断すると思われる．これらの情報についてサーベイを行い，ITU-T Study Group 17 Question 4 において標準化活動を行った．

2　エンドユーザの思考パターンを視線分析により予想する仕組み

よく「目は口ほどに物を言う」とされるが，エンドユーザの視線を分析することで，このユーザがウェブサイトの真贋判定において何を考えているかを明らかにする研究を行った．現状，ブラウザやセキュリティソフトウェアはフィッシングサイトを検知する機能を持っているが，その検知精度にはまだ難があり，エンドユーザ自身が真贋判定を行なう必要性は高い．

2012〜2014 年度に行った研究では，エンドユーザでも，フィッシング検知に騙されやすい傾向にある「初心者」と，正しく判定できる「熟練者」が分けられることがわかった．特に，初心者はウェブサイトのコンテンツから真贋判定を行なう傾向にあるが，フィッシングサイトのコンテンツは正規サイトからのコピーであり，従って初心者がフィッシングサイトに騙されやすいということがわかった．また，熟練者はアドレスバーに表示される URL やセキュリティ情報から判定を行なう傾向にあるため，正しい判断を行う傾向にあった．

そこで，フィッシング対策システムにおいて，防御するユーザが初心者であるか熟練者であるかを判定する仕組みについて考える．さらに，初心者であれば「時間はかかるが，偽陰性のエラーの少ない検知」を，熟練者であれば「高速に動く偽陽性のエラーの少ない検知」を適応する仕組みについて考える．

2.1　内容

エンドユーザの視線の意図を分析する研究を行い，サイバー防御への活用を考えた．認知心理学では，人間の視線は，何らかの意図を持って閲覧している Informational の状態と，特定の意図を持たずに閲

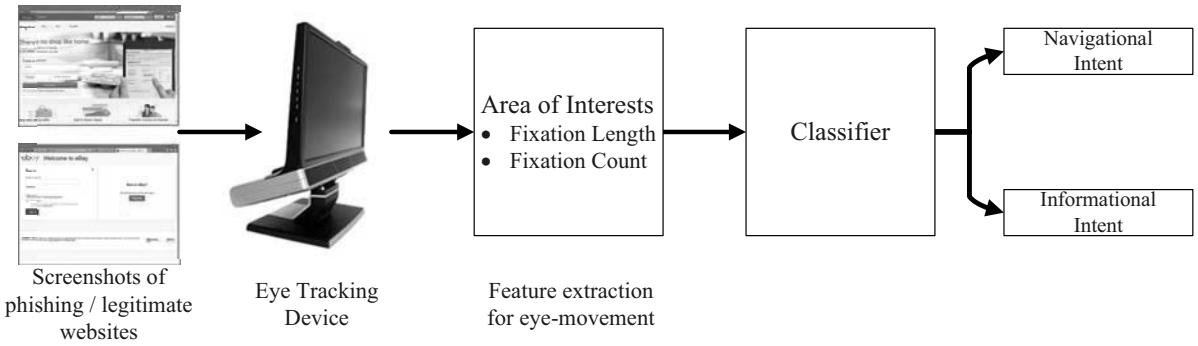


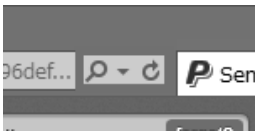
図 1: 実験の手続き

(a) ウェブコンテント

(b) アドレスバー

(c) セキュリティ情報 (EV-SSL 証明書)

(d) セキュリティ情報 (通常の SSL 証明書)



(e) セキュリティ情報が表示される領域

図 2: AoI の設定

覧している Navigational の状態に分類できるとされる [1]．この先行研究の知見を活用し，エンドユーザがどのような箇所を意図をもって閲覧しているか，そしてどのような判断を行うかを予想する．図は解析ダイヤグラムである．ウェブサイトにおいて特定の領域（Area of Interest, AoI) を定義し，その領域において眼球運動でいうところの凝視を行った回数，時間を計測する．この情報を SVM を用いて Informational, Navigational に分類する．

図 1 は実験の手続きを図に示したものである．エンドユーザにフィッシングサイト，正規サイトを閲覧させ，視線追跡カメラを用い，図 2 に示す AoI における眼球運動における凝視の回数及び時間を観測する．さらに，エンドユーザに「どのようにウェブサイトの真贋判定を行ったか」を質問し，それがウェブコンテンツの文言，アドレスバーに表示される URL 情報，ブラウザの表示するセキュリティ情報のどれを用いたかを複数選択可のアンケートにて解答してもらった．ここで，眼球運動を目的変数，真贋判定における根拠を説明変数として SVM を用いて分類を行った．なお，カーネル関数は放射基底関数である．

結果を表 1 に示す．なお，AER は平均エラー率（Average Error Rate）を示す．ここで，熟練者は早い時間に意思決定を行なうことを考え，意思決定にかかった全ての時間での凝視回数と時間ではなく，閲覧から 10 秒以内の凝視回数と時間を取得してパターン分析を行った結果を並列に表記した．実験の条件の詳細については文献 [査読付 3] を参照されたい．

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

[1] Uekob Park et al.: Human Implicit Intent Discrimination Using EEG and Eye Movement, ICONIP 2014

表 1: 視線分析結果とエンドユーザの根拠

Tyep of Intent		AER	AUC
ウェブコンテンツ			
	entire time period	32.4%	0.741
	initial ten seconds period	32.2%	0.759
ウェブサイトの URL			
	entire time perod	21.3%	0.890
	initial ten seconds period	19.7%	0.917
セキュリティ情報			
	entire time epriod	13.5%	0.841
	initial ten seconds period	13.7%	0.809

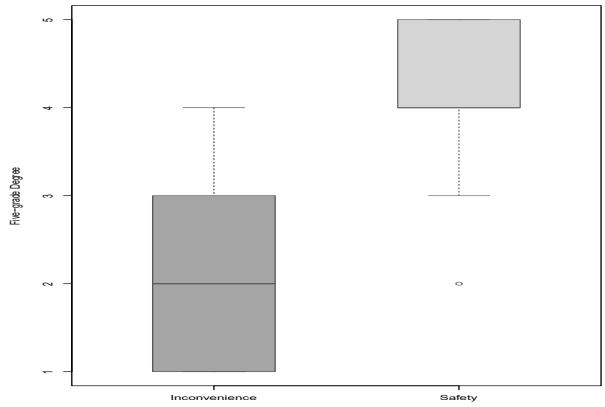


図 3: 被験者によるアンケート評価

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．ここで URL の特徴に基づいてフィッシング判定を行なうアルゴリズムは，フィッシングサイトを誤って正規サイトと見なす可能性こそあるものの，その反対は少なく高速に動作しうる．これは，自らフィッシングサイトを発見できるユーザにとっては利便性が高い．反面，URL だけでなく様々な特徴に基づいて動作する検知アルゴリズムは，時間こそかかるものの詳細な検査を行うことにより，フィッシングサイトの見逃し率は低い．これは初心者にとっては利点が大きいと思われる．

そこで，ユーザの認識によって URL 型または複合型の検知アルゴリズムを選択的に扱うことにした．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 プロトコルを用いたリクエストを 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．詳細な検査を行う複合型のアルゴリズムの場合は最大で 2.6 秒程度，そうでない URL 型のアルゴリズムの場合は最大で 0.23 秒程度のオーバヘッドが必要であることがわかった．これにより，必要以上の利便性の低下は限定的になるのではないかと考えられる．

また，本システムを利用した被験者 20 人に対してアンケートを行い,「不便に感じるか」と尋ねたところ，図 3 のような結果が得られた．解答は「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．とりわけ，2014 年度に開発した EyeBit でも用いた「ウェブ入力フォームを利用不能にする」以外は通常と同じ通りにウェブサイトが閲覧できるため，不便が感じにくかったのではないかと考える．

3 具体的成果

論文発表 [査読付 3] を行った．

表 2: ウェブブラウザとアクセシビリティ

OS	ブラウザ	アクセシビリティAPI
Windows OS	Internet Explorer	MSAA and UIA
Windows OS	Firefox	MSAA and IAccessible2
Windows OS	Chrome	MSAA and IAccessible2
MacOS	Safari	AXAPI
Linux	(any)	ATK/AT-SPI

4 ITU-T SG17 X.Cogent の標準化提案

サイバー犯罪に用いられる技術，それに対抗するサイバーセキュリティ技術は著しく進歩している．その一方で，エンドユーザのセキュリティ技術への理解は追いついていない現状が指摘されている．そこで，国際標準化団体 ITU-T における Study Group 17 Question 4 において，セキュリティ技術をエンドユーザに提示する画像や文章，色といった要素技術を用いて見せ方を工夫する技術や，アクセシビリティを高まる技術について調査を行い，X.Cogent という標準化提案を行った．

エンドユーザを狙ったサイバー攻撃では，エンドユーザが何を信用して良いか，何を信用してはいけないかを認識することが攻撃対策に重要である．例えば，フィッシングサイトのような攻撃の場合，正規サイトからコピーされたコンテンツを信用するのではなく，アドレスバーに表示されているセキュリティ情報や URL を信用し，これに基づいた真贋判定を行うべきである．また，標的型攻撃に用いられるメールであれば，メールの文言ではなく，メールヘッダやメールに付与されている証明書が信用に足ると考えられる．

しかし，こうした信用すべき情報は，エンドユーザにしばしば無視されており，注意をひくことに失敗する．そこで，よりエンドユーザの注意をひき，エンドユーザのセキュリティへの理解を促すインタフェースの設計について考える．

4.1 内容

4.1.1 視覚的要素

エンドユーザへの警告メッセージについて，ANSI Z545.4 Product safety signs and labels という標準は「危険」や「注意」はどのように表示すべきか定義されている．例えば「危険」を表す文書では，赤色の背景色に白色のトライアングルを表示し，その中に赤色のエクスクラメーションマークを表示する.「注意」の場合は，黄色の背景色に黒字のトライアングルを表示し，その中に黄色のエクスクラメーションマークを表示する．

なお，過去には「目」のマークを警告に用いた場合，これをみた人々はより社会的に意識的に振る舞うことを見出している．このマークから人物の顔を想起することが，社会と協調活動を奨励するいわゆる「社会脳」を活性化させるという理論である．ただし，これについても懐疑的な意見はある．

4.1.2 文章的要素

警告メッセージの文言をどのように表記するかについて,「専門用語を避ける」「簡潔に記述する」「具体的なリスクを描写する」という点が重要視されている．例えば，Google Chrome においてサーバの証明書に問題があった場合の警告について，Chrome バージョン 36 では「不正な証明書が用いられていた」ことを正確に描写していたが，バージョン 37 以降は証明書という専門用語を用いることを避け,「この接続ではプライバシーが保護されない」という表記に置き換えた．また，警告メッセージの文字数を減らし，簡潔性を高めている．もちろん，簡潔性と正確性はトレードオフの関係にあるが，これを補うため，どのようなリスクがエンドユーザにあるのかを具体的に描写する手法を用いることにより，エンドユーザの理解を促している．

4.1.3 視覚障害者向けの情報

視覚障害者にとって，アクセスしているウェブサイトの証明書の有無を発見することは難しい．晴眼者にとってアドレスバーが緑色になったかどうかは理解しやすいが，この簡単なことすら今日のウェブブラウザのアクセシビリティでは達成困難である．

ウェブブラウザのベンダーは，表 2 に示すように OS の用意するアクセシビリティAPI を用い，ブラウザを作成している．これにより，視覚障害者が用いているスクリーンリーダは，ウェブブラウザが現在表示している DOM ツリーを取得可能となり，音声読み上げ機能により視覚障害者のコンテンツに対するアクセシビリティを高めている．

その一方で，フィッシングサイト対策ではコンテンツではなくアドレスバーに記載されている情報が求められている．国際標準 ISO/IEC 40500:2012 の定めるアクセシビリティのガイドラインでは，これらアドレスバーに記載されている情報に対するアクセシビリティが定義されていない．また，証明書及び証明書を発行する認証局の規定については CA/Browser Forum が Baseline Document を定めているが，証明書の内容をどのように表示するかについては言及されていない．

また，色情報について，警告では赤，黄色が使われる一方で，安全性を示す情報として緑色が用いられることが多い．緑色は可視光の波長においてちょうど中間となる値であり，認識する際に眼球の調整を必要としないという特徴がある．この一方で，赤緑色盲の状態の色覚異常者にとっては，警告と安全の区別がつきにくいこともある．緑色を他の色で代替可能とするべきという指摘はある．

4.1.4 認知タスク分析

信用に足ると考えられる情報を得るということは，タスク分析の学際領域であるとも考えられる．エンドユーザがインタフェースから情報を得て,「情報を得る」というタスクを行い，最終的に「信用していいかどうか意思決定する」というタスクを実施すると考えれば，エンドユーザがセキュリティ情報に対してどのようにユーザエクスペリエンスを獲得したかを分析することが可能である．

4.2 具体的成果

国際標準化提案 [発表 1] を行った．

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Daisuke Miyamoto, Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, Takeshi Takahashi: Offloading Smartphone Firewalling Using OpenFlow-capable Wireless Access Points, In Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom WIP session), March 2016.

[査読付 2] Takeshi Takahashi, Daisuke Miyamoto, Koji Nakao: Toward Automated Vulnerability Monitoring Using Open Information and Standardized Tools, In Proceedings of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom WIP Session), March 2016.

[査読付 3] Daisuke Miyamoto, Gregory Blanc, Youki Kadobayashi: Eye Can Tell: On the Correlation between Eye Movement and Phishing Identification, In Proceedings of the 22nd International Conference on Neural Information Processing of the Asia-Pacific Neural Network Assembly (ICONIP), November 2015.

[査読付 4] Daisuke Miyamoto, Yasuhiro Yamamoto, Masaya Nakayama: Text mining-based Approach for Estimating Vulnerability Score, In Proceedings of the 4th International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), November 2015.

[査読付 5] Ayumu Hirata, Daisuke Miyamoto, Masaya Nakayama, Hiroshi Esaki: INTERCEPT+: SDN Support for Live Migration-based Honeypots, In Proceedings of the 4th International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), November 2015.

[査読付 6] Pernelle Mensah, Gregory Blanc, Kazuya Okada, Daisuke Miyamoto, Youki Kadobayashi; AJNA : Anti-phishing JS-based visual aNAlysis to Mitigate Users' Excessive Trust in SSL/TLS, In Proceedings of the 4th International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), November 2015.

その他の発表論文

[発表 1] Daisuke Miyamoto, Youki Kadobayashi: X.Cogent MILE Implementation Report Question 4, Study Group 17, International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, March 2016.

[発表 2] Daisuke Miyamoto, Youki Kadobayashi: X.metric, Metrics for Evaluating Threat and Resilience in Cyberspace Question 4, Study Group 17, International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, March 2016.

[発表 3] Chris Inacio, Daisuke Miyamoto: MILE Implement Report, MILE Working Group, Internet Engineering Task Force, Submitted July 2014, Revised November 2014, March 2015, July 2015, November 2015.

マルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発

田崎 創

1 概要

2013 年 6 月より開始された、「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」(NECOMA プロジェクト) にて研究活動に従事した。本プロジェクトでは、多様化し防御が複雑化してきたインターネット上で発生する脅威に対抗するため、複数階層 (マルチレイヤ)、複数地点での計測情報を元にこれらの脅威を検知・防御・予知するためのシステムを研究開発する事を目的としている。

NECOMA プロジェクトでは、6 つの個別課題に細分化し研究開発を実施しており、東京大学で担当している課題のうち、「脅威分析のための大規模実験基盤の手法検討と実装 (NECOMA 課題 4)」を重点的に 2015 年度は実施した。

2 脅威分析のための大規模実験基盤の手法検討と実装[1]

2.1 背景

NECOMA プロジェクトでは攻撃検知・防御・緩和の手法を開発すると共に、これらの提案が現実的な環境で有用である事を示すために、実証実験にて検証する事を課題としている。

本研究では、世界中で活動が観測され続けている悪意のあるプログラムの分散実行のためのネットワーク「ボットネット」への対策を講ずるため、我々で構築するテストベッドにおいてその活動・挙動を認識し、セキュリティオペレータのための対策可能な情報を生成する事を目的としている。更に NECOMA プロジェクトの課題 1、2 で培った脅威情報の計測、検知のアルゴリズムの検証をも含む。

本年度は NECOMA プロジェクト成果物 4.2「実証実験」の執筆に向け、実験環境の構築と、そこでの脅威検知手法の詳細設計・実装を実施した。

2.2 内容

ボットネットは、DDoS 攻撃やスパムなどの様々な大規模な攻撃を実行するのに強力な仕組みである。攻撃者側が多彩な攻撃を実現している一方、防御側は完全なボットネットの根絶が困難なのが現状である。ここでは、NECOMA プロジェクトでの脅威分析や情報共有、攻撃防御に関する研究開発により蓄積した知見がいかに効果的な脅威緩和を得る事ができたかを計測し、さらにはボットネット活動を分析するための総合的な仕組み構築のために、個別の観測・評価付けが貢献するかを検証する。

ボットネット活動解明の検証シナリオとして、集中型コマンド・制御サーバ (Command & Control server、C&C サーバ) にて展開されるボットプログラムを用いて、その挙動を分析する。C&C サーバの観測・分析は、その挙動が単純ではなく、また分析結果はボットプログラムの処理を理解する上で鍵となりうるため、重要である。このシナリオでは、実働しているボットプログラムと C&C サーバとのやりとりを、DNS キャッシュレゾルバにおいて Request Policy Zone (RPZ) と呼ばれる仕組みを DNS

[1]本研究課題は、NECOMA プロジェクトにおける課題 4「事例実験」に該当するものである。

キャッシュリゾルバに用いる事により、おとりサーバにボットトラフィックを誘導させその実体を観測・分析する。おとりサーバを利用する事により、ボットプログラムの活動を観測しながら、分析に必要な情報だけを採取する事が可能となる。

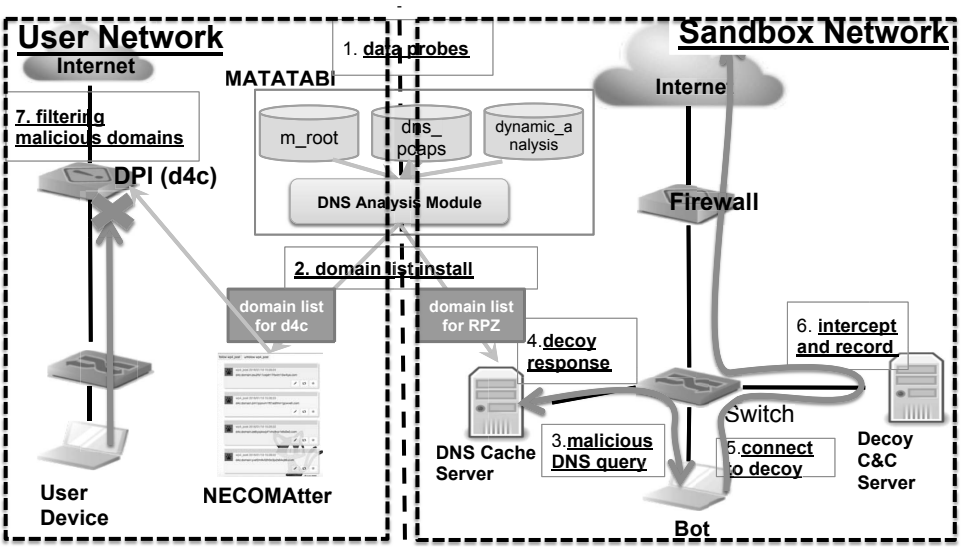


図 1: ボットネット解明のためのシステム概要図。サンドボックスとおとりサーバを利用したボットトラフィック採取・分析ネットワーク (図右側) と、分析結果を実ネットワークにてフィルタとして利用する部分 (図左側) に大分される。

図 1 は、この観測のために構築したネットワークとマシン群を記述したものである。Cuckoo と呼ばれるサンドボックスプログラムを用いて実働するボットプログラム検体を動作させ、C&C サーバとのやりとりをおとり (decoy) サーバにて計測するものである。この環境にて 2015 年 10 月より観測を続けたところ、表 1 に示す C&C サーバとの通信が観測された。これらは図 2 に示した採取した全 HTTP トラフィック 6000 件あまりのうちたかだか数件であるが、こういった特徴的な挙動も観測可能とし、更にこの情報を組織内のファイアウォール等にてフィルタ可能なような情報として役立つ。

表 1: 検出した C&C サーバの一覧。クエリされた FQDN, 解決された IP アドレス、逆引きした FQDN をそれぞれ示す。

query (C&C)	IP address	FQDN
9tr3cq1xedhdqkn2bt51ma3w4.com xohlzx15hg1l4ef8vyh1h5s614.com shinobot.com	5.2.189.251 95.211.230.75 54.245.114.184	atlantis.extremeart.ro. sinkhole.ru. ec2-54-245-114-184.us-west-2.compute.amazonaws.com.

2.3 具体的成果

ボットネット解明技術について、実証実験の詳細とその結果、ビデオ素材は、NECOMA プロジェクトの成果報告書として執筆した。これらの成果報告書は NECOMA プロジェクトのホームページを通じて一般公開される。

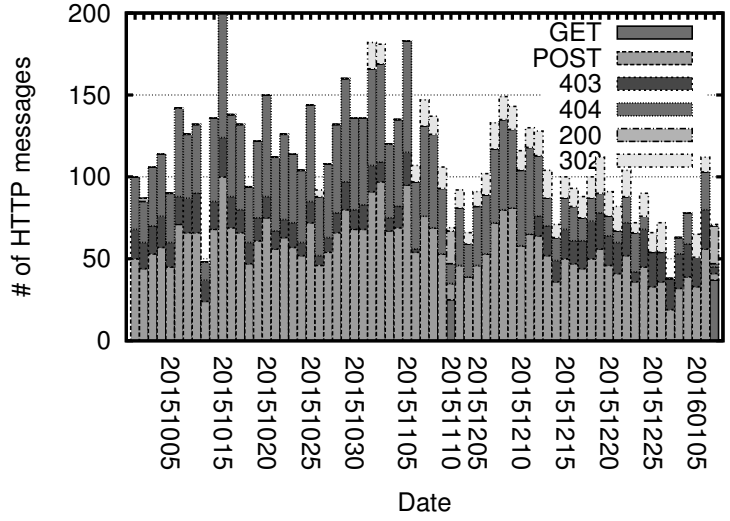


図 2: おとりサーバで収集した HTTP トラフィックとその応答コード分類。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Takeshi Matsuya, Hajime Tazaki, Yohei Kuga, Rodney Van Meter, Hideaki Yoshifuji, and Jun Murai. Low-latency Communication by FPGA based IP-NUMA (in Japanese). *IEICE Transactions on Communications*, vol.98, no.10, , October 2015.

[査読付 2] Takeshi Matsuya, Hajime Tazaki, Yohei Kuga, Rodney Van Meter, and Osamu Nakamura. FPGA based low-latency IPv6 Route Lookup Using Dynamic XOR Table. ACM APsys 2015 (poster session), 2015.

その他の発表論文

[発表 1] Hajime Tazaki. LibOS as a regression test framework for Linux networking, 2016. THE Technical Conference on Linux Networking netdev 1.1, 2016.

公開ソフトウエア

[公開 1] H. Tazaki, and R. Nakamura. NUSE: Network stack in USerspacE http://libos-nuse.github.io/, March 2016.

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

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

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

星野 哲也
アクセラレータ向け自動最適化フレームワークの研究

佐藤 周行
検証付き言語処理系とサービス体系における
セキュリティ保証の研究

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

片桐 孝洋
ソフトウェア自動チューニングおよび高性能数値計算
ライブラリの研究とHPC教育

松本 正晴
大規模マルチスケール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

實本 英之
エクストリームスケール高性能計算を対象とした支援
システム

近藤 正章
高性能・省電力計算システムに関する研究開発

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 28 年 3 月現在で 8 名のセンター専任教員（教授：1、准教授：3、助教：2、特任准教授：1、特任講師：1）、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スーパーコンピュータシステム（Hitachi SR16000/M1（Yayoi）、Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX・Oakbridge-FX））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 年度まで実施される予定である。

2.2 ポスト T2K システムに向けた取組: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。

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。

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

米国インテル社の創設者の一人である, ゴードン・ムーアは 1965 年に発表した論文(G.E. Moore, Cramming More Components onto Integrated Circuits, Electronics Magazine, 1965)で大規模集積回路(LSI IC)の製造・生産における長期傾向に経験則を紹介しており, ムーアの法則(Moore's law)と呼ばれている。すなわち,「集積回路上のトランジスタ数は 18 ヶ月〜24 ヶ月 (=1.5〜2.0 年)ごとに倍になる」というものである。CPU(中央演算装置)の性能は過去 50 年以上, この法則に従って年 60%程度の向上が継続しており, 更にシステムの巨大化が相俟ってスパコンの性能向上も達成されてきた。また各 CPUもマルチコア化, メニィコア化が進んでいる。

高性能な計算を実現のためには, CPU の処理速度の他, データを供給するためのメモリの性能(バンド幅)が重要であるが, メモリ性能の向上は最近 30 年間で年 7%程度にとどまっており, CPU 処理速度の増加率と比較すると 30 年間で数千分の 1 である(http://www.intel.com)。このような状況が

「メモリの壁（Memory Wall）」をもたらし，有限要素法，差分法のような計算手法の性能はメモリ性能に大きく依存する（memory-bound）ため，この影響は深刻である。

近年は NVIDIA 社製の GPU（Fermi，Kepler），Intel Xeon/Phi 等のメニィコアプロセッサをコプロセッサ（Co-Processor）（またはアクセラレータ）として搭載したヘテロジニアスな計算ノードを有するシステムが広く使用されている。GPGPU や Xeon Phi は汎用の CPU と比較して 5 倍～10 倍以上の高いメモリバンド幅を有する。ヘテロジニアスな計算ノードを有するシステムが TOP500 リストに現れたのは 2008 年であり，Cell Broadband Engine を搭載した Roadrunner システムが TOP 500 の 1 位となっている（初の PFLOPS 超えシステムでもある）。2015 年 6 月の TOP 500 リストでは，90 システムが，更に TOP10 のうち 4 システムが Co-Processor を搭載している。

トランジスタの集積度の指標であるゲート長は現在 22nm（ナノメートル）から 14nm へ移行しつつあるが，2025 年頃に 7nm のレベルになるとこれ以上の微細化が困難となり前述のムーアの法則が成立しなくなるいわゆる「ポストムーア」時代が到来すると言われている。これは，単位面積当りのトランジスタ数が変化しなくなることを示し，継続的にシステムを大型化していくことがより困難となる。システムとしての消費電力を抑制するために，これまでもっぱら組込システムに使用されてきた FPGA（Field-Programmable Gate Array）に代表されるプログラマブルなデバイスを積極的により複雑な科学技術シミュレーションに活用して行くための試みも始められている。このような新しいスタイルの FPGA 活用に向けては計算機科学，計算科学，数値アルゴリズム分野の専門家による緊密な学際的協力が不可欠である。

現在，EFLOPS システムへ向けて進められている三次元メモリ積層化技術の進展によって，今後 10 年間にメモリ性能が 10 倍程度向上し，容量も大型化する可能性もある。ただ，これは良いことばかりではなく，メモリ階層の深化も伴うため，高い実行効率を引き出すためには，注意が必要である。

今後 20 年間は，ソフトウェア，アルゴリズム，アプリケーションの分野においても，ポストムーア時代の到来を考慮した研究開発が重要である。当部門はスーパーコンピューティングに関わるハードウェア，ソフトウェア，アプリケーション，アルゴリズムにわたる多様な専門家を擁しており，国内各機関と協力して研究を推進している。

平成 27 年 12 月 22 日に東京大学武田先端知ホールにおいて「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム（共催：東京工業大学学術国際情報センター，東京大学情報基盤センター，協賛：北海道大学情報基盤センター，九州大学情報基盤センター，理化学研究所計算科学研究機構，科学技術振興機構 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」，学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN））を開催した。また，国内外各機関と協力して Post Moores Era Supercomputing 2016 (PMES16) を 2016 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC16)（Salt Lake City, UT, USA, 2016.11）に提案し，採択された。

3 研究活動項目

3.1 計算機システムハードウェア

- 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

3.2 計算機システムソフトウェア

- 容易に耐故障性を実現するアプリケーションチェックポイントフレームワーク
- クロスコンパイル環境でインストール時チューニングを容易にするミドルウェア開発
- 密結合演算加速機構（Tightly Coupled Acceleration：TCA）に関する研究

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
- 分散アプリケーションのモデル検証を可能にする Centralization の一般化
- タスク並列プログラム用プロファイラ
- 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メニィコア環境対応を支援する自動最適化フレームワーク開発
- FPGA 向けアプリケーション開発環境

3.4 数値計算ライブラリ・アルゴリズム

Fujitsu FX10, Hitachi SR16000/M1, ポスト T2K システムを主たるターゲットとし、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
- GPU、Xeon Phi を用いた疎行列ベクトル積
- 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
- 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。

- 大規模プラズマシミュレーション
- 大規模 MHD シミュレーション
- 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
- 磁気プラズマセイル開発へ向けた Hybrid PIC 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
- OpenFOAM の高度化
- OpenFOAM のクラウドスパコンにおけるコスト評価
- 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
- 認証フェデレーションにおけるプライバシー
- Graded Trust の研究
- セキュリティの対費用効果の検討

3.7 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

3.8 学際的分野

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

4 教育活動

4.1 スーパーコンピュータを使用した講義

人材育成の取り組みの一環として、本センターが所有するスーパーコンピュータを受講学生が活用できる新しい形態の全学的な教育プログラム（学際計算科学・工学人材育成プログラム）を、本センターが主導して実施している。従来スーパーコンピューティング研究部門教員が担当している下記の 4 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（有限要素法プログラミング）（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（有限要素法プログラミング）（大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻）

4.2 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 26 年度は同講習会を 9 回実施した。
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27年度は同講習会を9回実施した。その他、「2015 RIKEN AICS HPC Summer School（平成 27 年 8 月 18 日～22 日）」、「2016 RIKEN AICS HPC Spring School（平成 28 年 3 月 8 日～10 日）」（主催：理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学大学院システム情報学研究科、東京大学情報基盤センター）ではプログラム策定、実行に貢献した。

4.3 國立臺灣大學での集中講義

「臺大數學科學中心 科學計算冬季學校（Short Course for Scientific Computing（SC4SC 2016））邁向 Petascale 高速運算, Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」（共催：臺大數學科學中心（Taida Institute for Mathematical Sciences, TIMS）, 東京大学情報基盤センター他）（平成 28 年 2 月 15 日～18 日, 國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU））を開催した。

4.4 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する。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。

4.5 RIKEN AICS HPC Summer/Spring School への貢献

その他、「2014 RIKEN AICS HPC Summer School（平成 26 年 8 月 4 日～8 日）」、「2015 RIKEN AICS HPC Spring School（平成 27 年 3 月 4 日～6 日）」（主催：理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学大学院システム情報学研究科、東京大学情報基盤センター）ではプログラム策定、実行に貢献した。

5 公募型共同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 26 年 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、同 27 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 51 課題のうち 35 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 14 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 26 年度報告会、平成 27 年度採択課題紹介を兼ねた第 7 回シンポジウムは平成 27 年 7 月 9 日（木）・10 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 27 年度は、前期 2 件、後期 2 件、インターン 2 件、グループコース 1 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 27 年度は全部で 3 課題が採択された。

6　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 27 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 2 回開催した。

また，平成 27 年 12 月 22 日に東京大学武田先端知ホールにおいて「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム（共催：東京工業大学学術国際情報センター，東京大学情報基盤センター，協賛：北海道大学情報基盤センター，九州大学情報基盤センター，理化学研究所計算科学研究機構，科学技術振興機構 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」，学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN））を開催した。

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] Yuta Kuwahara, Toshihiro Hanawa, and Taisuke Boku: Outstanding Research Award, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016, Jan. 2016.

招待講演／招待論文

[招待 1] Nakajima, K., Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems, Seventh Korea-Japan Workshop on Computational Engineering (Keynote Lecture) (Busan, Korea, 2015.4.10)

[招待 2] Nakajima, K., Optimization of Communications for Scalable Algorithms on Supercomputers in Next Generation, MS 602: Iterative Methods and Parallel Computing, 13th US National Congress on Computational Mechanics (USNCCM-13) (San Diego, CA, USA, 2015.7.27)

[招待 3] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), LBNL Seminar, Lawrence Berkeley National Laboratory,（Berkeley, CA, USA, 2015.7.28）

[招待 4] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), SDSC Seminar, San Diego Supercompuer Center,（La Jolla, CA, USA, 2015.7.30）

[招待 5] Nakajima, K., Optimization of Communications towards Scalable Algorithms on Post Petascale Supercomputers, ScalA15: Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems, conjunction with SC15 (Keynote Talk) (Austin, TX, USA, 2015.11.16）

[招待 6] Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Hideharu Amano, Hitoshi Murai, Masayuki Umemura, and Mitsuhisa Sato: Towards Unification of Accelerated Computing and Interconnection for Extreme-Scale Computing, 11th International Symposium on Applied Reconfigurable Computing (ARC2015), LNCS 9040, pp. 463–474, Apr 2015.

[招待 7] Masaaki Kondo：Assisting Cache Replacement by Helper-Threading for MPSoCs，15th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware，July 2015.

[招待 8] A. Ida and T. Iwashita : H-matrices with ACA for Large-scale Simulation using Integral Equation Method, International Workshop on Eigenvalue Problems: Algorithms; Software and Applications, in Petascale Computing (EPASA2015), Tsukuba International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Tsukuba, Ibaraki, Japan (September 16, 2015)

[招待 9] A. Ida and T. Iwashita : HACApK: Library for Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation, the 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM-III), Ryogoku KFC Hall, Tokyo, Japan (October 14, 2015)

[招待 10] 今野 雅:OpenFOAM：現状と展望, 化学工学会第 47 回秋季大会 2015 年 9 月.

[招待 11] 今野 雅:OpenFOAM の概要とカスタマイズ事例, 第 28 期非線形 CAE 協会勉強会, 2015 年 12 月.

[招待 12] 今野 雅, 住友正紀:各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能費用ベンチマークテスト, 計算科学振興財団, 平成 27 年度第 2 回産業用クラウドスパコン利用推進協力会, 2016 年 2 月.

著書／編集

[著書 1] K. Nakajima, M. Satoh, T. Furumura, H. Okuda, T. Iwashita, H. Sakaguchi, T. Kata-giri, M. Matsumoto, S. Ohshima, H. Jitsumoto, T. Arakawa, F. Mori, T. Kitayama, A. Ida and M. Y. Matsuo, Optimization in the Real World, Mathematics for Industry 13, K. Fu-jisawa et al. (eds.): ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execu-tion of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Auto-matic Tuning (AT), Springer, pp.15-35, 2016.

査読付論文

[査読付 1] Nakajima, K., and Katagiri, T., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), PASC ’15 (The Platform for Advanced Scientific Computing), Zurich, Switzerland, 2015

[査読付 2] Nakajima, K., Sparse linear solver based on extended ELL storage format of coefficient matrix for manycore architectures, HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC ’15), Frankfurt, Germany, 2015

[査読付 3] Nakajima, K., Satoh, M., Furumura, T., Okuda, H., Iwashita, T., Sakaguchi, H., Katagiri, T., Matsumoto, M., Ohshima, M., Jitsumoto, H., Arakawa, T., Mori, F., Kitayama, T., Ida, A., and Matsuo, M.Y., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), Optimization in the Real World ?Towards Solving Real-Worlds Optimization Problems, Mathematics for Industry 13, 15-35, Springer, 2015

[査読付 4] Nakajima, K., Parallel Iterative Solvers based on Domain Decomposition with Robust Preconditioners for Ill-conditioned Problems, IPSJ Proceedings of the 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), 2016

[査読付 5] Nakajima, K., Parallel Iterative Solvers for Ill-conditioned Problems with Heterogeneous Material Properties, Proceedings of IHPCES 2016 (Sixth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks) in conjunction with ICCS 2016, San Diego, CA, USA, 2016 (in press)

[査読付 6] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama, Futoshi Mori, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Kengo Nakajima: Multi-scale Coupling Simulation of Seismic Waves and Building Vibrations Using ppOpen-HPC, 5th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2015) in conjunction with International Conference on Computational Science 2015 (ICCS2015), Reykjavik, Iceland, June 2015. (Procedia Computer Science, Vol.51, pp.1514-1523, 2015.)

[査読付 7] Shigeki Akiyama and Kenjiro Taura. Uni-Address Threads: Scalable thread management for RDMA-based work stealing. In *Proceedings of the 24th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing*, pages 15–26. ACM, 2015.

[査読付 8] An Huynh, Douglas Thain, Miquel Pericàs, and Kenjiro Taura. DAGViz: a DAG visualization tool for analyzing task-parallel program traces. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Visual Performance Analysis*, page 3. ACM, 2015.

[査読付 9] Hiroshi Inoue and Kenjiro Taura. SIMD-and cache-friendly algorithm for sorting an array of structures. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 8(11):1274–1285, 2015.

[査読付 10] Yusuke Nishioka and Kenjiro Taura. Scalable task-parallel SGD on matrix factorization in multicore architectures. In *Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop (IPDPSW), 2015 IEEE International*, pages 1178–1184. IEEE, 2015.

[査読付 11] Akiyama Shigeki, Taura Kenjiro, et al. Scalable work stealing of native threads on an x86-64 infiniband cluster. 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 12] Sato Shigeyuki, Taura Kenjiro, 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 13] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato: GRT at the SBST 2015 Tool Competition, Proc. 8th Int'l Workshop on Search-based Software Testing, May 18–19, 48–51, 2015.

[査読付 14] Lei Ma, Cheng Zhang, Bing Yu and Hiroyuki Sato: An Empirical Study on Effects of Code Visibility on Code Coverage of Software Testing, Proc. 10th International Workshop on Automation of Software Test, May 23–24, 80–84, 2015.

[査読付 15] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: An extended CP-ABE based Access control model for data outsourced in the cloud, Proc. MidCCI 2015, (COMPSACW), July 5, 73–78, 2015.

[査読付 16] 佐藤周行, 岡部寿男, 中村素典: 認証連携における仮名性を担保したユーザ同一性の確認, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO) 2015 予稿集, July 8–10, 890–895, 2015. (優秀論文賞)

[査読付 17] Shigeaki Tanimoto, Atsuhi Kanai, Hiroyuki Sato: Risk Assessment Quantification in Hybrid Cloud Configuration, Proc. SECURWARE, Aug. 23–28, 2015. 1–6, 2015.

[査読付 18] Shigeaki Tanimoto, Takayuki Kakuta, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: A Study of Cost Structure Visualization for Digital Forensics Deployment, Proc. 4th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, July 13, 428–431, 2015.

[査読付 19] Fugkeaw, Somchart, and Sato, Hiroyuki: Enabling Constraints and Dynamic Preventive Access Control Policy Enforcement in the Cloud, Proc. Int'l 2015 Workshop on Cloud Security and Forensics, Toulouse, August 24–28. 576–583, 2015.

[査読付 20] Somchart Fugkeaw, Hiroyuk Sato: Design and Implementation of Collaborative Ciphertext-Policy Attribute-Role based Encryption for Data Access Control in Cloud, Journal of Information Security Research, 6(3), 71–85, 2015

[査読付 21] Shoichi Yoneda, Shigeaki Tanimoto, Tsutomu Konosu, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Risk Assessment in Cyber-physical System in Office Environment, 9-th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2015), Sep 2–4, Taipei, 412–417, 2015.

[査読付 22] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato, Johannes Gmeiner and Rudolf Ramler: GRT: Program-Analysis-Guided Random Testing, Proc. Int'l Conf. Automated Software Engineering 2015, Nov. 9–13, Lincoln, 212–223, 2015. (Distinguished Paper Award)

[査読付 23] Lei Ma, Cyrille Arthoy, Cheng Zhangx, Hiroyuki Sato, Johannes Gmeinerz, Rudolf Ramlerz: GRT: An Automated Test Generator using Orchestrated Program Analysis, Proc. Int'l Conf. Automated Software Engineering 2015, Nov. 9–13, Lincoln, 842–847, 2015.

[査読付 24] Fugkeaw, S., Sato, H.: CLOUD-CAT: A Collaborative Access Control Tool for Data Outsourced in Cloud Computing, to appear in Proc. Int'l Conf. Digital Information Management, Oct. 21–23, Gyeongju, 241–248, 2015.

[査読付 25] Hokino, M., Fujiki, Y., Onda, S., Kaneko, T., Sakimura, N., Sato, H.: A Practical Trust framework: Assurance Levles Repackages through Analysis of Business Scnarios and related Risks, Proc. Security Standardisation Research 2015, LNSC 9497, Dec. 15–16, 2015, Tokyo, 203–217, 2015.

[査読付 26] Kanai, A., Tanimoto, S., Sato, H.: Performance Evaluation on Secure Data Management Approach for Multiple Clouds Using Secret Sharing Scheme, Int'l Conf. Consumer Electronics 2016, Jan. 7–11, Las Vegas, 471–473, 2016.

[査読付 27] Shohei Ueno, Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato: Evaluation of Selecting Cloud Services Approach for Data Storage using Secret Sharing Scheme, Proc. Sixth International Conference on Performance, Safety and Robustness in Complex Systems and Applications (PESARO 2016), Feb. 21–25, Lisbon, 1–6, 2016.

[査読付 28] Lei Ma, Cyrille Valentin Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato, Johannes Gmeiner and Rudolf Ramler: Guiding Random Test Generation with Program Analysis, Proc. Software Engineering 16 (SE16), Feb. 23–26, Wien, 15–16, 2016.

[査読付 29] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Directive-based Auto-tuning for the Finite Difference Method on the Xeon Phi, The Tenth International Work-shop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2015) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2015), Proceedings of IPDPSW2015, pp.1221-1230, May 2015.

[査読付 30] Riku Murata, Jun Irie, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Takahiro Katagiri: Enhance-ment of Incremental Performance Parameter Estimation on ppOpen-AT, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG-15) (In Conjunction with the IEEE MCSoC-15), Proceedings of MCSoC2015, pp.203-210, September 2015.

[査読付 31] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-tuning of Hybrid MPI/OpenMP Execution with Code Selection by ppOpen-AT, The Eleventh International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2016), Proceedings of IPDPSW2016, May 2016. (採録決定)

[査読付 32] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expan-sion of ppOpen-AT for OpenACC, The Eleventh International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2016), Proceedings of IPDPSW2016, May 2016. (採録決定)

[査読付 33] 黄巍，岩澤直弘，カオタン，和遠，近藤正章，中村宏 : エネルギー効率を考慮した電力制約下でのスループット指向ジョブスケジューリング，2015 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論文集，pp.150-158，2015.

[査読付 34] 大坂隼平，和田康孝，近藤正章，三吉郁夫，本多弘樹 : 電力性能特性ばらつきを考慮した MPI 並列アプリケーションの性能最適化，2015 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論文集，pp. 159-166，2015.

[査読付 35] Yuan He, Masaaki Kondo, Takashi Nakada, Hiroshi Sasaki, Shinobu Miwa, and Hiroshi Nakamura: Runtime Multi-Optimizations for Energy Efficient On-chip Interconnections, Proc. of the 33rd IEEE International Conference on Computer Design (ICCD2015), pp.455458, 2015 (Accepted as poster presentation).

[査読付 36] Y. Inadomi, T. Patki, K. Inoue, M. Aoyagi, B. Rountree, M. Schulz, D. Lowenthal, Y. Wada, K. Fukazawa, M. Ueda, M. Kondo, and I. Miyoshi:, Analyzing and Mitigating the Impact of Manufacturing Variability in Power-Constrained Supercomputing, Proc. of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Article No: 78, 2015

[査読付 37] T. Hiraishi, K. Munakata, A. Ida, T. Iwashita and H. Nakashima, ”Dynamic Load Balancing for Parallel Computation of Hierarchical Matrices”, ISC 2015 HPC in Asia Posters, Leipzig, Germany (2015).

[査読付 38] A. Ida, T. Iwashita, T. Mifune and Y. Takahashi : A Variable Preconditioning of Krylov Subspace Methods for Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation, Compumag 2015, Montreal Canada (2. Jul., 2015).

[査読付 39] T. Iwashita, N. Takemura, A. Ida and H. Nakashima : A new fill-in strategy for IC factorization preconditioning considering SIMD instructions, The 13-th IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications(IEEE ISPA-15), Helsinki Finland (2015) (DOI 10.1109/Trustcom-BigDataSe-ISPA.2015.610).

[査読付 40] A. Ida, T. Iwashita, M. Ohtani and K. Hirahara : Improvement of Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation for Large-scale Simulation, Journal of Information Processing, Vol. 23, No. 3(2015) pp. 366-372. (DOI:10.2197/ipsjjip.23.366)

[査読付 41] A. Ida, T. Iwashita, T. Mifune, and Y. Takahashi : Variable Preconditioning of Krylov Subspace Methods for Hierarchical Matrices With Adaptive Cross Approximation, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 52, Issue 3, (March 2016) Article# 7205104, (DOI: 10.1109/TMAG.2015.2464104)

[査読付 42] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA を用いた GPU 間直接通信による Collective 通信の実装と性能評価, 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 (HPCS2015) 論文集, pp. 120–128, 2015 年 5 月.

[査読付 43] Kazuya Matsumoto, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Hisafumi Fujii, and Taisuke Boku: Implementation of CG Method on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA for GPU Direct Communication, The Internatonal Workshop on Accelerators and Hybrid Exascale Systems (AsHES2015), pp. 647–655, May 2015.

[査読付 44] 藤田 典久, 藤井 久史, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 藏増 嘉伸, Mike Clark: GPU 向け QCD ライブラリ QUDA への TCA アーキテクチャの適用, 情報処理学会論文誌（コンピューティングシステム）, Vol. 8, No.2, pp. 25–35, 2015 年 6 月

[査読付 45] Takahiro Kaneda, Takuji Mitsuishi, Yuki Katsuta, Takuya Kuhara, Toshihiro Hanawa, Hideharu Amano, Taisuke Boku: Parallel processing of Breadth First Search by Tightly Coupled Accelerator, The 21st International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'15), pp. 360–366, Jul. 2015.

[査読付 46] Takuya Kuhara, Chiharu Tsuruta, Toshihiro Hanawa, and Hideharu Amano: Reduction calculator in an FPGA based switching Hub for high performance clusters, 25th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL) (poster session), pp. 1–4, Sep. 2015.

[査読付 47] Toshihiro Hanawa, Hisafumi Fujii, Norihisa Fujita, Tetsuya Odajima, Kazuya Matsumoto, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku: Improving Strong-Scaling on GPU Cluster Based on Tightly Coupled Accelerators Architecture, IEEE Cluster 2015 (short paper), pp. 88–91, Sep. 2015.

[査読付 48] Tetsuya Odajima, Taisuke Boku, Toshihiro Hanawa, Hitoshi Murai, Masahiro Nakao, Akihiro Tabuchi, and Mitsuhisa Sato: Hybrid Communication with TCA and InfiniBand on A Parallel Programming Language XcalableACC for GPU Clusters, Workshop on Heterogeneous and Unconventional Cluster Architectures and Applications (HUCAA) 2015 in conjunction with Cluster2015, pp. 627–634, Sep. 2015.

[査読付 49] Toshihiro Hanawa, Hisafumi Fujii, Norihisa Fujita, Tetsuya Odajima, Kazuya Matsumoto, and Taisuke Boku: Evaluation of FFT for GPU Cluster Using Tightly Coupled Accelerators Architecture, Workshop on Heterogeneous and Unconventional Cluster Architectures and Applications (HUCAA) 2015 in conjunction with Cluster2015, pp. 635–641, Sep. 2015.

[査読付 50] 梅田 宏明, 塙敏博, 庄司光男, 朴泰祐, 重田育照: OpenFMO における 4 中心クーロン相互作用項計算の GPGPU 化の試み, 日本コンピュータ化学会 2015 春季年会精選論文特集号, 2015 年 9 月

[査読付 51] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA による GPU 間直接通信における Collective 通信の実装と性能評価, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム（ACS）, Vol. 8, No. 4, pp. 36–49, 2015 年 11 月

[査読付 52] 小田嶋 哲哉, 朴 泰祐, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 村井 均, 中尾 昌広, 田渕 晶大, 佐藤 三久: アクセラレータ向け並列言語 XcalableACC における TCA/InfiniBand ハイブリッド通信, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム（ACS）, Vol. 8, No.4, pp. 61–77, 2015 年 11 月.

[査読付 53] T. Suzuki, S. Y. Kim, J. i. Kani, K. I. Suzuki, A. Otaka, T. Hanawa: Parallelization of cipher algorithm on CPU/GPU for real-time software-defined access network, 2015 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), pp. 484–487, Dec. 2015.

[査読付 54] 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 (Accepted)

[査読付 55] 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, 2016 年 6 月 (採録決定)

[査読付 56] Futoshi Mori,Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance Optimization of the 3D FDM Simulation of Seismic Wave Propagation on the Intel Xeon Phi Co-processor using the ppOpen-APPL/FDM Library, Lecture Notes in Computer Science, Vol.8969, pp.66-76, 2015.

[査読付 57] 松本正晴，木成郎，奥野喜裕 : パルスレーザ駆動 MHD 発電機の発電特性に関する電磁流体シミュレーション，電気学会論文誌 A，Vol.135，No.6，pp.379-384，2015.

[査読付 58] 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 59] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康:CFD を用いた仙台平野沿岸部の防潮林が農地の飛砂発生頻度に及ぼす影響の検討, システム農学, Vol.32, No.1, pp.11-18, 2016 年. (採録決定)

公開ソフトウエア

[公開 1] Kengo Nakajima, Takahiro Katagiri, Akihiro Ida, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, 他: ppOpen-HPC ver.1.0.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Nov. 2015

[公開 2] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.

[公開 3] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.

[公開 4] Takeshi Iwashita, Takeshi Mifune, Yuki Noseda, Yasuhito Takahashi, Masatoshi Kawai, Akihiro Ida ：ppOpen-APPL/BEM ver.0.4.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Nov. 2015

[公開 5] Akihiro Ida and Takeshi Iwashita ：HACApK ver.1.0.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Nov. 2015

その他の発表論文

[発表 1] Nakajima, K., Parallel Multigrid Solvers on Multicore Cluster Architectures, Sparse Days 2015 in Saint-Girons III, Saint Giron, France, 2015

[発表 2] Nakajima, K., CAE Applications to be Ready for Exascale Systems: What we can see beyond ppOpen-HPC, Sapporo Summer HPC Seminar 2015, Sapporo, 2015

[発表 3] 中島研吾，片桐孝洋，大島聡史，塙敏博，ppOpen-APPL/FVM を使用した並列有限要素法アプリケーションの開発, 情報処理学会研究報告（HPC-151-24），2015

[発表 4] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Ill-Conditioned Problems, 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM-III), 2015

[発表 5] Nakajima, K., ppOpen-HPC beyond Post-Peta Scale Computing, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2015), 2015

[発表 6] 中島研吾，成瀬彰，大島聡史，塙敏博，片桐孝洋，田浦健次朗，有限要素法係数行列生成プロセスのメニィコア環境における最適化, 情報処理学会研究報告（HPC-152-12），2015

[発表 7] 中島研吾，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の創成,「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム，東京，2015

[発表 8] Nakajima, K., Future of ppOpen-HPC: Applications and Algorithms in the Post-K/Post-Moore Era, 2016 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT), Taipei, Taiwan, 2016

[発表 9] 大島 聡史, 塙 敏博, 片桐 孝洋, 中島 研吾: FPGA を用いた疎行列数値計算の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2016-HPC-153(1), pp. 1–9, 道後温泉, 2016 年 2 月

[発表 10] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama, Futoshi Mori, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of Coupled Multi-scale Simulation for Seismic Wave and Building Vibration, International Supercomputing Conference 2015 (ISC'15), HPC in Asia Poster Session, Frankfurt, Germany, July 2015.

[発表 11] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Comparing the Implementation and Performance of ICCG solver using OpenMP and OpenACC, HPC in Asia session at ISC'15, The Forum Messe Frankfurt, Frankfurt, July 15, 2015. (ポスター発表)

[発表 12] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Implementation and Performance of ICCG solver on GPU using OpenACC, IWACOM-III (The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics), KFC Hall & Rooms, Octoboer 12-14 開催 14 日発表, 2015.

[発表 13] Huynh An, Thain Douglas, Pericas Miquel, Taura Kenjiro, et al. Analyzing task parallel program traces based on DAG visualization. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2015(34):1–9, 2015.

[発表 14] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Autotuning for task parallel programs. In *Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure*, 2016.

[発表 15] Shigeyuki Sato and Kenjiro Taura. Abstraction of space partitioning for spatial computation. In 情報処理学会プログラミング研究会, 2015.

[発表 16] 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 17] 岩崎慎太郎 and 田浦健次朗. タスク並列プログラムの効果的なカットオフ閾値の決定. In 情報処理学会プログラミング研究会, 2015.

[発表 18] 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 19] 遠藤亘, 田浦健次朗, et al. 再配置可能な大域アドレス空間システムの設計と RDMA を用いた実装. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2015(5):1–8, 2015.

[発表 20] 片桐孝洋，大島聡史，松本正晴：１ノード２００超スレッド時代の自動チューニングに向けて ～FDM コードを例にして～，OS：エクサスケールに向けた自動チューニング技術の最新研究動向，計算工学講演会論文集，Vol.20，2015 年 6 月．

[発表 21] 片桐孝洋：自動チューニングとビックデータ： 機械学習の適用の可能性，Sapporo Sum-mer HPC Seminar 2015，北海道大学情報基盤センター，2015 年 7 月．

[発表 22] 片桐孝洋，松本正晴，大島聡史：SCG-AT：静的コード生成のみによる自動チューニング実現方式，第 150 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会、情報処理学会研究報告 2015-HPC-150，2015 年 8 月．

[発表 23] 大島聡史，片桐孝洋，松本正晴：ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの自動チューニング，第 150 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会、情報処理学会研究報告 2015-HPC-150，2015 年 8 月．

[発表 24] 片桐孝洋，松本正晴，大島聡史：ppOpen-AT による静的コード生成で実現する自動チューニング方式の評価，日本応用数理学会 2015 年度年会、正会員主催 OS: 先進的環境での数値計算と自動チューニング技術，2015 年 9 月．

[発表 25] 片桐孝洋：東京大学情報基盤センターにおける企業利用制度について，日本応用数理学会 2015 年度年会,「産業における応用数理」部会，2015 年 9 月．

[発表 26] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC program, Second Workshop on Accelerator Programming Using Directives (WACCPD 2015), THE HILTON (opp. to the convention center) , ROOM 406, 16 November, 2015. (ショートプレゼンおよびポスター発表)

[発表 27] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Towards Automatic Code Selection with ppOpen-AT: A Case of FDM - Variants of Numerical Computations and Its Impact on a Multicore Processor -, SPNS2015 (International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation), December 2015.

[発表 28] 片桐孝洋：ppOpen-HPC コードを自動チューニングする言語 ppOpen-AT の現状と新展開，第 7 回 自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウム，東京大学 山上会館，2015 年 12 月．

[発表 29] 大島聡史, 片桐孝洋, 松本正晴: ppOpen-AT による OpenACC プログラムの自動チューニング, 日本応用数理学会 2015 年度年会 (会員主催 OS:先進的環境での数値計算と自動チューニング技術 (1)), 金沢大学, 9 月 9-11 日開催 11 日発表, 2015 年.

[発表 30] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto ppOpen-AT for OpenACC: Can AT features make OpenACC programs fast?, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2015), Earhquake Research Institute (ERI), The University of Tokyo, December 3-4, 2015. (ポスター発表)

[発表 31] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), 九州大学医学部百年講堂, 1 月 18-20 日, 2016. (ポスター発表)

[発表 32] 梅田宏明, 塙敏博, 庄司光男, 朴泰祐, 重田育照: OpenFMO における 4 中心クーロン相互作用項計算の GPGPU 化の試み, 日本コンピュータ化学会春季年会, 東京工業大学, 2015 年 5 月．

[発表 33] 飯島 大貴, 廣川 祐太, 塙 敏博, 朴 泰祐: 密結合演算加速機構 TCA アーキテクチャの Intel MIC プロセッサへの適用, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-149(6), pp. 1–7, 工学院大学@新宿, 2015 年 6 月

[発表 34] Hiroaki Umeda, Toshihiro Hanawa, Mitsuo Shoji, Taisuke Boku, Yasuteru Shigeta: Development of GPU-accelerated FMO Program with OpenFMO and its Performance Benchmark, ICQC 2015 Satellite Symposium in Kobe “Novel computational methods for quantitative electronic structure calculations,” poster session, Kobe, Jun. 2015.

[発表 35] Toshihiro Hanawa, Hisafumi Fujii, Kazuya Matsumoto, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku: Evaluation of FFT Code for GPU Cluster Using Tightly Coupled Accelerators Architecture, HPC in Asia Poster, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC'15), Frankfurt, Jul. 2015.

[発表 36] 松本 和也, 塙 敏博, 藤田 典久, 桑原 悠太, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA による並列 GPU コードの性能予測モデル, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-150(35), pp. 1–8, 別府国際コンベンションセンター, 2015 年 8 月

[発表 37] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 朴 泰祐: 密結合演算加速機構 TCA における Verbs 実装による MPI 環境の実現, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-150(42), pp. 1–9, 別府国際コンベンションセンター, 2015 年 8 月

[発表 38] 小田嶋 哲哉, 朴 泰祐, 塙 敏博, 村井 均, 中尾 昌広, 田渕 晶大, 佐藤 三久: アクセラレータ向け並列プログラミング言語 XcalableACC における TCA/InfiniBand ハイブリッド通信, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-150(43), pp. 1–12, 別府国際コンベンションセンター, 2015 年 8 月

[発表 39] 桑原 悠太, 塙 敏博, 朴 泰祐: GMPI : GPU クラスタにおける GPU セルフ MPI の提案, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-151(12), pp. 1–8, 沖縄産業支援センター, 2015 年 9 月

[発表 40] 中尾 昌広, 村井 均, 岩下 英俊, 田渕 晶大, 塙 敏博, 朴 泰祐, 佐藤 三久: PGAS 言語 XcalableACC を用いた HPC Challenge ベンチマークの実装と評価, 情報処理学会研究報告,2015-HPC-151(16), pp. 1–7, 沖縄産業支援センター, 2015 年 9 月

[発表 41] 梅田 宏明, 塙 敏博, 庄司 光男, 朴 泰祐, 重田 育照: GPGPU 化 OpenFMO による FMO 計算の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-151(26), pp. 1–7, 沖縄産業支援センター, 2015 年 9 月

[発表 42] Hiroaki Umeda, Toshihiro Hanawa, Mitsuo Shoji, Taisuke Boku, Yasuteru Shigeta: Large-scale MO Calculation with GPU-Accelerated FMO Program, SC15 poster, Austin, Nov. 2015.

[発表 43] 金田 隆大, 鶴田 千晴, 塙 敏博, 天野 英晴: PEACH3 の通信性能評価, 情報処理学会研究報告, 2016-ARC-218(27)/2016-SLDM-174(27), pp. 1–6, 慶應大, 2016 年 1 月

[発表 44] Yuta Kuwahara, Toshihiro Hanawa, and Taisuke Boku: A proposal of GMPI: GPU self MPI for GPU clusters, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016, 九州大学医学部百年講堂, Jan. 2016.

[発表 45] Hiroaki Umeda, Toshihiro Hanawa, Mitsuo Shoji, Taisuke Boku, and Yasuteru Shigeta: Development of GPU-accelerated Fragment Molecular Orbital Program, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016 (Poster), 九州大学医学部百年講堂, Jan. 2016.

[発表 46] 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, 情報処理学会研究報告, 2016-HPC-153(28), pp. 1–10, 道後温泉, 2016 年 2 月

[発表 47] 稲富雄一，井上弘士，和田康孝，深沢圭一郎，近藤正章，三吉 郁夫，上田将嗣，Barry Rountree，Martin Schulz，Tapasya Patki，David Lowenthal，青柳睦 : 電力制約スーパーコンピューティングにおける製造ばらつき問題とその対策 〜大規模計算機システムを対象とした電力バジェット配分法の提案〜，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 2015-HPC-150，別府，2015 年 8 月．

[発表 48] 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を行うリソースマネージャの実装と評価，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 2015-HPC-151， 那覇， 2015 年 9 月．

[発表 49] 天野英晴，宇佐美公良，黒田忠広，近藤正章，竹康宏，中村宏，並木美太郎，松谷宏紀 : 誘導結合 TCI（Thru-Chip Interface) を用いたビルディングブロック型システムの SOTB プロセスによる実装，電子情報通信学会情集積回路研究会 (ICD)，ICD2015-105， pp.49-54， 2016 年 3 月．

[発表 50] 下田和佳，中田尚，近藤正章，中村宏 : 最大センシング間隔に着目したエナジーハーベスティングセンサノードの電力制御，情報処理学会組込みシステム研究会，五島，2016-EMB-40，2016 年 3 月．

[発表 51] 伊田明弘，岩下武史 : HACApK ライブラリにおける階層型行列法の大規模解析に向けた改良, 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（HPCS2015）, 東京大学 武田先端知ビル 5 階 武田ホール, 2015 年 5 月 19 日

[発表 52] A. Ida and T. Iwashita : HACApK: Library for Large-scaled Simulations Using the Integral Equation Method, International Workshop on Software for Peta-scale Numerical Simulation (SPNS2015), Tokyo, Japan (3, December 2015).

[発表 53] A. Ida, T. Iwashita, T. Mifune and Y. Takahashi : Variable Preconditioning of Krylov Subspace Methods for Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016, 福岡県福岡市, 九州大学医学部百年講堂，2016 年 1 月 18 日

[発表 54] 松本正晴 : ppOpen-HPC による地震波動－建築物連成シミュレーション，2015 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（HPCS2015），東京，2015 年 5 月．

[発表 55] Masaru Miyashita, Masaharu Matsumoto and Kenichi Kubota: The Development of Adaptive Mesh Refinement Technique for Hybrid Kinetic/Fluid Plasma Simulation, 2015 International Conference on Numerical Simulation of Plasmas (ICNSP2015), Golden, USA, Aug. 2015.

[発表 56] 荒川隆，井上孝洋，松本正晴，佐藤正樹 : 結合ソフトウェア ppOpen-MATH/MP の性能評価と最適化，第 14 回情報科学技術フォーラム（FIT2015），松山，2015 年 9 月．

[発表 57] 實本英之，小林泰三，松本正晴，滝澤真一朗，三浦信一 : 多拠点連成アプリケーションを実現するユーザ駆動型・拠点連携システム，第 151 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会，沖縄，2015 年 9 月．

[発表 58] 松本正晴，梶村好宏，西田浩之，船木一幸 : 磁気プラズマセイルの推進特性に関する 3 次元 Hybrid PIC シミュレーション，第 59 回宇宙科学技術連合講演会，鹿児島，2015 年 10 月．

[発表 59] 松原琢磨，臼井英之，沼波政倫，松本正晴，西野真木，三宅洋平：月面磁気異常上空の太陽風電子ダイナミクスの 3 次元シミュレーション解析，地球電磁気・地球惑星圏学会 第 138 回総会及び講演会，東京，2015 年 10 月.

[発表 60] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama: Coupled Multi-scale Simulations using ppOpen-HPC Libraries, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2015), Tokyo, Japan, Dec. 2015.

[発表 61] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Comparing the Implementation and Performance of ICCG solver using OpenMP and OpenACC, HPC in Asia session at ISC'15, The Forum Messe Frankfurt, Frankfurt, July 15, 2015. (ポスター発表)

[発表 62] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), 九州大学医学部百年講堂, 1 月 18-20 日, 2016. (ポスター発表)

[発表 63] 星野哲也、松岡聡:圧縮性流体解析プログラムの OpenACC による高速化, 情報処理学会 研究報告 (HPC-153), 2016 年 2 月 23 日発行, 道後温泉 ホテル椿館, 2016 年 3 月 1-3 日.

[発表 64] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康:CFD を用いたイチゴ団地周辺の気流場の数値予測とこれに基づくビニルハウス上面の損傷原因の検討, システム農学会 2015 年度春季大会, 2015 年 6 月.

[発表 65] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康:CFD による植樹された防潮林が仙台平野沿岸部の農地の飛砂発生頻度に及ぼす影響の検討, システム農学会 2015 年度春季大会, 2015 年 6 月.

[発表 66] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康:CFD を利用した農業用地の飛砂の発生頻度検討のための風速の超過確率空間分布の算出, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 2015 年 9 月.

[発表 67] 高木洋平, 今野 雅:オープン CAE が築くコミュニティ, 化学工学会第 47 回秋季大会, 2015 年 9 月.

[発表 68] 大風翼, 渡部朱生, 今野雅, 持田灯, 小林宏康:強風被害発生時のビニルハウス周辺の風環境の数値予測, システム農学会 2015 年度秋季大会, 2015 年 10 月.

[発表 69] 今野 雅:OpenFOAM 概要とオープン CAE 学会のご紹介, 第 3 回 OpenFOAM ワークショップ―OpenFOAM を京で使おう―, 2015 年 10 月.

[発表 70] 今野 雅, 大風翼, 義江龍一郎, 富永禎秀, 持田灯:OpenFOAM による単体建物周辺の非等温ガス拡散ベンチマークテスト, オープン CAE シンポジウム 2015, 2015 年 11 月.

[発表 71] 今野 雅, 住友正紀:各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテスト, オープン CAE シンポジウム 2015, 2015 年 11 月.

[発表 72] 今野 雅, 住友正紀:各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテスト, 第十五回 PC クラスタシンポジウム, 2015 年 12 月.

[発表 73] 今野 雅:OpenFOAM の産業応用, 日本機械学会イノベーションセンター研究協力事業委員会所属分科会 RC-D15『産業界における CFD 利用の高度化に関する研究分科会』, 2016 年 2 月.

[発表 74] 實本 英之, ”科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証”, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 7 回シンポジウム, Jul 2015

[発表 75] 實本 英之, ”ユーザ駆動型・大域アプリ連成フレームワーク”, アカデミックインタークラウドシンポジウム 2015, Sep 2015

[発表 76] Hideyuki Jitsumoto, “A Framework for Jointing Computation Center with User-Level Management System”, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), Jan 2016

特記事項

[特記 1] 中島研吾，青木尊之，スーパーコンピューティングの展望：計算機とアルゴリズム，特集：計算工学の 20 年、これからの 20 年，計算工学 21-1，2016

[特記 2] 中島研吾: 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 3] 中島研吾:並列計算プログラミング，先端計算機演習，東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15e/

[特記 4] 中島研吾:科学技術計算 I・II，東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15w/

[特記 5] 中島研吾:コンピュータ科学特別講義 I・II，東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15w/

[特記 6] 中島研吾:東京大学情報基盤センター，お試しアカウント付き並列プログラミング講習会，http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/

[特記 7] 中島研吾:数値解析，東京大学工学部計数工学科，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15n/

[特記 8] 中島研吾:計算科学アライアンス，http://www.compsci-alliance.jp/

[特記 9] 中島研吾:日本計算工学会理事，学会誌編集委員長

[特記 10] 中島研吾:日本応用数理学会，代表会員

[特記 11] 中島研吾: General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

[特記 12] 中島研吾: Member of Scientific Committee, Area Co-Chair of Computer Science & Mathematics, Platform for Advanced Scientific Computing Conference (PASC 15) (Zurich, Switzerland, 2015.6)

[特記 13] 中島研吾: Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2015) (Reykjav?k, Iceland, 2015.6)

[特記 14] 中島研吾: Member of Program Committee, Fifth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES) (Reykjav?k, Iceland, 2015.6)

[特記 15] 中島研吾:セッションオーガナイザ，日本計算工学会第 20 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」（筑波, 2015.6）

[特記 16] 中島研吾: Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC ’15) (Frankfurt, Germany, 2015.7)

[特記 17] 中島研吾: Member of Program Committee, 17th IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2015) (New York, NY, USA, 2015.8)

[特記 18] 中島研吾: Member of Program Committee, IEEE Cluster 2015 (Chicago, IL, USA, 2015.9)

[特記 19] 中島研吾: Member of Program Committee, The 22nd European MPI Users’ Group Meeting (Euro MPI 2015) (Bordeaux, France, 2015.9)

[特記 20] 中島研吾: Co-organizer of Organized Workshop, IWACOM-III (The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics): High performance computing for computational engineering and science (Tokyo, Japan, 2015.10)

[特記 21] 中島研吾: Member of Technical Papers Committee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15) (Austin, TX, USA, 2015.11)

[特記 22] 中島研吾: Co-organizer of BoF, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers (Austin, TX, USA, 2015.11)

[特記 23] 中島研吾: Member of 2015 Sydney Fernbach Award Subcommittee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15), (Austin, TX, USA, 2015.11)

[特記 24] 中島研吾: Member of 2015 Seymour Cray Award Subcommittee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15), (Austin, TX, USA, 2015.11)

[特記 25] 中島研吾: Member of Program Committee, The 21st International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS ’15) (Melbourne, Australia, 2015.12)

[特記 26] 中島研吾: 実行副委員長,「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム（東京，2015.12）

[特記 27] 中島研吾: 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 28] 中島研吾: Member of Scientific Committee, The 2016 Platform of Advanced Scientific Computing Conference (PASC16)（Lausanne, Switzerland, 2016.6）

[特記 29] 中島研吾: Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2016)（San Diego, USA, 2016.6）

[特記 30] 中島研吾: 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 31] 中島研吾: Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC ’16)（Frankfurt, 2016.6）

[特記 32] 中島研吾: Member of Ph.D Forum Committee, International Supercomputing Conference (ISC ’16)（Frankfurt, 2016.6）

[特記 33] 中島研吾: 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 34] 中島研吾: Member of Scientific Committee, 12th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2016) (Porto, Portugal, 2016.6)

[特記 35] 中島研吾: Area Chair of Technical Program Committee (Applications, Algorithms, and Libraries), IEEE Cluster 2016（Taipei, Taiwan, 2016.9）

[特記 36] 中島研吾: Member of Program Committee, The 23rd European MPI Users’ Group Meeting (Euro MPI 2016) (Edinburgh, UK, 2016.9)

[特記 37] 中島研吾: 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 38] 中島研吾: 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 39] 中島研吾: 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 40] 中島研吾: 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 41] 田浦健次朗: IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Associate Editor

[特記 42] 田浦健次朗: Program Co-Chair HPDC 2016

[特記 43] 田浦健次朗: Program Committee CLUSTER 2016

[特記 44] 田浦健次朗: Program Committee CCGrid 2016

[特記 45] 片桐孝洋: スーパーコンピュータ若手利用者推薦制度 2015 年度（前期）2 件（新規 2 件，継続 0 件），2015 年度（後期）2 件（新規 0 件，継続 2 件），2015 年度インターン 2 件（新規 2 件，継続 0 件）.

[特記 46] 片桐孝洋: 東京大学情報基盤センタースーパーコンピューティング部門主催，Advanced Supercomputing Environment (ASE) 研究会: 第 21 回 ASE 研究会（2015 年 12 月 02 日（水）），第 20 回 ASE 研究会（2015 年 10 月 16 日（金）），の 2 回実施.

[特記 47] 片桐孝洋: お試しアカウント付き並列プログラミング講習会（片桐担当分のみ）: 2015 年 6 月 17 日～18 日，2015 年 9 月 1 日～2 日，2015 年 9 月 7 日～8 日，2016 年 2 月 3 日～4 日，2016 年 3 月 7 日～8 日，の 5 回実施.

[特記 48] 片桐孝洋: 国際ワークショップ･オーガナイザー，2016 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (ATAT), National Taiwan University, February 19-20, 2016.

[特記 49] 片桐孝洋: 国際講義（英語）,「2016 科學計算冬季學校:邁向 Petascale 高速計算」，片桐担当：2016 年 2 月 15 日、16 日（OpenMP、MPI、講義および演習），国立台湾大学（台湾），2016 年 2 月 15 日～18 日.

[特記 50] 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, 2015 年度

[特記 51] 塙 敏博, Program Committee, 6th Intl. Symp. on Highly-Efficient Accelerattors and Reconfigurable Technologies, 2015

[特記 52] 塙 敏博, Member of Program Committee, The 6th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2015

[特記 53] 塙 敏博, 実行委員,「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム, 東京大学 武田ホール, 2015 年 12 月 22 日 開催.

[特記 54] 塙 敏博, チュートリアル副委員長, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI), 2016

[特記 55] 塙 敏博: 30th International Supercomputing Conference (ISC'15) 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.5, 2015 年 9 月

[特記 56] 塙 敏博: 30th International Supercomputing Conference(ISC'15) 参加報告, Digital Life, Vol.25, 2015 年 9 月.

[特記 57] 塙 敏博: SWoPP 別府 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.5, 2015 年 9 月

[特記 58] 塙 敏博: GTC Japan 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.6, 2015 年 11 月

[特記 59] 塙 敏博: SC15 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.1, 2016 年 1 月

[特記 60] 塙 敏博: SC15 参加報告, Digital Life, Vol.26, 2016 年 3 月.

[特記 61] 近藤正章: Program Committee, 15th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2015.

[特記 62] 近藤正章: Program Committee, Design Automation Conference (DAC), 2015.

[特記 63] 近藤正章: Program Committee, International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED)，2015.

[特記 64] 近藤正章: Program Committee, IEEE Cluster, 2015.

[特記 65] 近藤正章: Program Committee, IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC), 2015.

[特記 66] 伊田明弘: Member of Committee, SPNS(International Workshop on Software for Peta-scale Numerical Simulation), 2015

[特記 67] 松本正晴: Chair, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation 2015 (SPNS2015), Tokyo, Dec. 2015.

[特記 68] 松本正晴: 第 48 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：高性能プログラミング初級入門」, 2015 年 9 月 1-2 日, 一部の講師を担当

[特記 69] 松本正晴: 第 52 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：高性能プログラミング初級入門」, 2015 年 2 月 3-4 日, 一部の講師を担当

[特記 70] 松本正晴: ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理，ならびに ppOpen-HPC ver.1.0 ライブラリ群公開へ向けた整備

[特記 71] 大島聡史: ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの最適化に関する研究, 東京大学情報基盤センター 平成 27 年度前期 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦課題 採択, 2015.

[特記 72] 大島聡史: ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの最適化：全体最適化と指示文拡張に向けて, 東京大学情報基盤センター 平成 27 年度後期 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦課題 採択, 2015.

[特記 73] 大島聡史: PC member, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-15), イタリア トリノ, 2015 年 9 月 23 日 開催.

[特記 74] 大島聡史: プログラム委員/実行委員 (会場担当), HPCS2015 2015 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, 東京大学 武田ホール, 2015 年 5 月 19-20 日 開催.

[特記 75] 大島聡史: Publicity Chair, SPNS2015: International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation, 東京大学 地震研究所, 2015 年 12 月 3-4 日 開催.

[特記 76] 大島聡史: PC member, The 21st IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems, Australia Melbourne, 2015 年 12 月 14-17 日 開催.

[特記 77] 大島聡史: 実行委員 (会場・広報担当), 「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム, 東京大学 武田ホール, 2015 年 12 月 22 日 開催.

[特記 78] 大島聡史: プログラム委員, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), 九州大学医学部百年講堂, 2016 年 1 月 18-20 日 開催.

[特記 79] 大島聡史: ACS 論文誌編集委員

[特記 80] 大島聡史: 一般社団法人オープン CAE 学会 理事

[特記 81] 大島聡史: 第 47 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」, 2015 年 6 月 17-18 日, 一部の講師を担当

[特記 82] 大島聡史: 第 49 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」, 2015 年 9 月 7-8 日, 一部の講師を担当

[特記 83] 大島聡史: 第 53 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 3 月 7-8 日, 一部の講師を担当

[特記 84] 大島聡史: 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「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」（新企画）, 2016 年 3 月 22-23 日, 一部の講師を担当

[特記 85] 大島聡史: 30th International Supercomputing Conference (ISC'15) 参加報告, Vol.17 No.5 (2015 年 9 月)

[特記 86] 大島聡史: SWoPP 別府 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.5 (2015 年 9 月)

[特記 87] 大島聡史: GTC Japan 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.6 (2015 年 11 月)

[特記 88] 大島聡史: SC15 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.1 (2016 年 1 月)

[特記 89] 大島聡史: OpenACC を用いたプログラムの並列化と最適化, Prometech Simulation Conference 2015, 虎ノ門ヒルズ, 2015 年 9 月 17 日

[特記 90] 大島聡史: OpenACC を用いた GPU プログラミング - ICCG 法の高速化実装を題材として -, GPU セミナー, 電気通信大学, 2015 年 10 月 21 日

[特記 91] 星野哲也: 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 3 月 22 日 23 日, 一部の講師を担当

[特記 92] 今野雅: 一般社団法人オープン CAE 学会:各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテスト, PC クラスタコンソーシアム実用アプリケーション・クラウド採用実績, http://pccluster.sakura.ne.jp/application/cloud/adopted/, 2015 年度 10 月採択課題.

[特記 93] 今野雅:　お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 初級入門」, http://www.cc.utokyo.ac.jp/support/kosyu/, 第 45 回 (2015 年 5 月), 第 50 回 (2015 年 9 月), 第 51 回 (2015 年 10 月).

[特記 94] 今野雅: お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「OpenFOAM 初級入門」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 45 回 (Vol.17, No.4, 2015 年 7 月), 第 50 回～第 51 回 (Vol.17, No.6, 2015 年 11 月).

[特記 95] 實本英之: Member of Program Committee, 5th Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale (FTXS2015), https://sites.google.com/site/ftxsworkshop/home/ftxs2014/

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 2, 5〕〔発表 1〕。悪条件問題向けの並列前処理手法 BILUT(*p,d,t*)に関する検討を実施した〔査読付 4, 5〕〔発表 4〕。疎行列解法の高速化について，疎行列格納法の観点から検討を実施した〔査読付 2〕。

- 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を開発する。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。2014 年度に引き続いて開発を実施し，SC15（Austin, TX, USA）にて成果物の第 4 回公開を実施した〔招待 1,3,4〕〔査読付 1,3〕〔発表 2,3,5,8〕。有限要素法マトリクス生成に関する研究を継続して実施し，GPU 実装に関する検討を実施した〔発表 6〕。

- 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に関する検討〔発表 7,8〕

〔解説記事 1〕とともに，海外からの招待講演者も含む，国際シンポジウムの開催を主宰した〔特記 23〕。

- 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 2〜6〕。また，計算科学アライアンス〔特記 7〕設立に向けての準備活動を実施した。

2 研究成果

2.1 ポストムーア時代の大規模数値計算アルゴリズム

トランジスタの集積度の指標であるゲート長は現在 22nm（ナノメートル）から 14nm へ移行しつつあるが，2025 年頃に 7nm のレベルになるとこれ以上の微細化が困難となり前述のムーアの法則が成立しなくなるいわゆる「ポストムーア」時代が到来すると言われている。これは，単位面積当りのトランジスタ数が変化しなくなることを示し，継続的にシステムを大型化していくことがより困難となる。システムとしての消費電力を抑制するために，これまでもっぱら組込システムに使用されてきた FPGA（Field-Programmable Gate Array）に代表されるプログラマブルなデバイスを積極的により複雑な科学技術シミュレーションに活用して行くための試みも始められている〔引用 1〕。このような新しいスタイルの FPGA 活用に向けては計算機科学，計算科学，数値アルゴリズム分野の専門家による緊密な学際的協力が不可欠である。

現在，EFLOPS システムへ向けて進められている三次元メモリ積層化技術の進展によって，今後 10 年間にメモリ性能が 10 倍程度向上し，容量も大型化する可能性もある。ただ，これは良いことばかりではなく，メモリ階層の深化，レイテンシの不均質化・増加も伴うため，高い実行効率を引き出すためには，注意が必要である。またネットワークも階層化によってレイテンシの不均質化・増加が予想されている。

米国テネシー大学計算機科学科の教授であり TOP 500 の主宰者の一人でもある Jack Dongarra の講演（例えば http://www.siam.org/meetings/pp10/）によると EFLOPS 級（PFLOPS の 1,000 倍）のシステムにおける，アプリケーション，アルゴリズムの研究開発にあたっては，下記のようなことに留意する必要があるということである：

- ヘテロジニアス，ハイブリッドな計算ノード
- 通信及び同期削減アルゴリズム
- 混合精度演算
- 自動チューニング，自己適応性
- 障害回復性を有するアルゴリズム

- 結果の再現性

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。同手法では内積の計算が現れるが，全MPIプロセスによる通信を必要とするため，計算量に比べて通信のオーバーヘッドの割合が大きくなる。Pipelined CG 法〔引用 2〕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いる。

図1は1,474,560自由度（491,520節点＝96 ×80×64）の三次元静弾性問題（有限要素法）から導かれる疎行列を並列ICCG法で解いた場合の，最大64ノード（1,280コア，1,280MPIプロセス）までの加速率の結果である。1ノードあたり2ソケット，各ソケット10コアのIntel Xeon E5-2680 v2 (Ivy-Bridge-EP)によるクラスタを使用している。適用したアルゴリズムは：

- Alg.1： オリジナルのICCG法
- Alg.2： Chronopoulos/Gearアルゴリズムによる ICCG法〔引用 2〕
- Alg.3： Pipelined CG法〔引用 2〕
- Alg.4： Groppアルゴリズムによる CG法〔引用 2〕

であり。Alg.1の1ノード（20コア）における ICCG法の計算時間から得られる性能を20とした場合の各アルゴリズムによる速度増加率が示されている。内積部分には非同期集団通信（MPI_Iallreduce）を適用している。Alg.2 は CG 法中の内積を一箇所に集めることによって，集団通信の回数を減らしているだけであるが，64ノード（1,280コア）ではオリジナル手法との明瞭な差が認められる。Alg.3，Alg.4でも同様であり，Alg.4が最も高い性能を示していることがわかる。

有限要素法，差分法に対して並列計算機を使用する場合にはこれまで空間方向に領域分割を適用してきた。今後更にノード数が増加し，また，ネットワークの階層化も進むことが考えられるため，通信・同期削減アルゴリズムを適用した場合でも高い並列化効率を求めることはより困難になる。近年，非定常計算において時間方向にも並列性を抽出して計算を実施する，時空間並列計算手法（Parallel-in-Space/Time）の研究が盛んになっており，数百以上のMPIプロセスを使用する場合に特に有効であることが示されている〔引用 3〕。ポストムーア時代に向けた解法として注目されている。

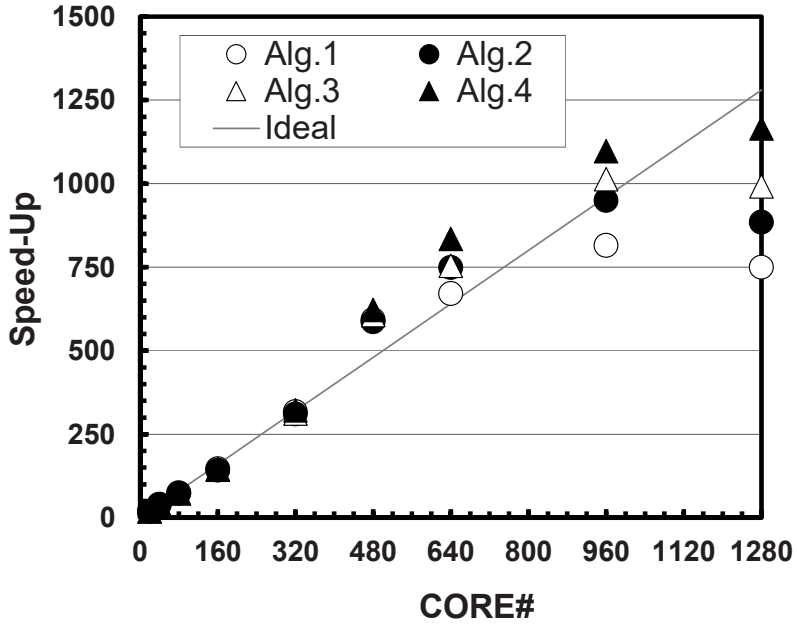


図 1　三次元静弾性問題（有限要素法）における並列 ICCG 法の Ivy-Bridge クラスタ上での計算性能，1,474,560 自由度（491,520 節点＝96 ×80×64），最大 64 ノード（1,280 コア，1,280MPI プロセス）までの加速率，Alg.1：オリジナルの ICCG 法，Alg.2：Chronopoulos/Gear アルゴリズムによる ICCG 法，Alg.3：Pipelined CG 法，Alg.4：Gropp アルゴリズムによる CG 法，Alg.1 の 1 ノード（20 コア）における ICCG 法の計算時間から得られる性能を 20 とした場合の各アルゴリズムによる速度増加率

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〕。2015 年度夏季集中講義として，2015 年 9 月に 9 日間，22 コマの講義と 14 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。2015 年度は合計 39 名の受講者があった。2016 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）

「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 2014 年夏・冬学期に実施した〔特記 3，4〕。

2014 年までは偏微分方程式の数値解法として，様々な科学技術分野のシミュレーションに使用されている有限要素法（Finite-Element Method，FEM）について，背景となる基礎的な理論から，実用的なプログラムの作成法まで，連立一次方程式解法などの周辺技術も含めて講義を実施し，プログラミングの実習を実施している。題材としては一次元及び三次元弾性静力学を扱っており，プログラミング言語としては C 言語を使用している。夏学期（I）と冬学期（II）に分けて，夏学期は有限要素法の理論とプログラミングの基礎，冬学期はその並列化についての講義・実習を行っている。冬学期は東大情報基盤センターのスーパーコンピュータを使った実習を実施している。2011 年度までは T2K 東大を使用していたが，2012 年度からは 2012 年 4 月より運用を開始した Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）を使用してきた。

2014 年度までの講義では，冬学期（Ⅱ）の履修は夏学期（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：

- 夏学期（Ⅰ）：お試し講習会「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門」で実施している内容〔特記 5〕
- 冬学期（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（3.2 参照）

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。2015 年度は夏学期 36 名と冬学期 15 名の受講者があった。2016 年度も引き続き開講の予定である。

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 2015 年冬学期に担当した〔特記 6〕。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。講義の他，情報基盤センターにおいて教育用計算機システム（ECCS2012）を使用した C 言語プログラミング速習講義・演習を併せて実施した。

2015 年度は合計 128 名の受講者があった。2016 年度も引き続き担当の予定である。

3.4 計算科学アライアンス

計算科学アライアンス〔特記 7〕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する。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〕 Nakajima, K., Development of Large-Scale Scientific & Engineering Applications on Post-Peta/Exascale Systems, Seventh Korea-Japan Workshop on Computational Engineering (Keynote Lecture) (Busan, Korea, 2015.4.10)

〔招待 2〕 Nakajima, K., Optimization of Communications for Scalable Algorithms on Supercomputers in Next Generation, MS 602: Iterative Methods and Parallel Computing, 13th US National Congress on Computational Mechanics (USNCCM-13) (San Diego, CA, USA, 2015.7.27)

〔招待 3〕 Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), LBNL Seminar, Lawrence Berkeley National Laboratory,（Berkeley, CA, USA, 2015.7.28）

〔招待 4〕 Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), SDSC Seminar, San Diego Supercompuer Center,（La Jolla, CA, USA, 2015.7.30）

〔招待 5〕 Nakajima, K., Optimization of Communications towards Scalable Algorithms on Post Petascale Supercomputers, ScalA15: Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems, conjunction with SC15 (Keynote Talk) (Austin, TX, USA, 2015.11.16）

査読付論文リスト

〔査読付 1〕 Nakajima, K., and Katagiri, T., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), PASC’15 (The Platform for Advanced Scientific Computing), Zurich, Switzerland, 2015

〔査読付 2〕 Nakajima, K., Sparse linear solver based on extended ELL storage format of coefficient matrix for manycore architectures, HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC'15), Frankfurt, Germany, 2015

〔査読付 3〕 Nakajima, K., Satoh, M., Furumura, T., Okuda, H., Iwashita, T., Sakaguchi, H., Katagiri, T., Matsumoto, M., Ohshima, M., Jitsumoto, H., Arakawa, T., Mori, F., Kitayama, T., Ida, A., and Matsuo, M.Y., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), Optimization in the Real World –Towards Solving Real-Worlds Optimization Problems, Mathematics for Industry 13, 15-35, Springer, 2015

〔査読付 4〕Nakajima, K., Parallel Iterative Solvers based on Domain Decomposition with Robust Preconditioners for Ill-conditioned Problems, IPSJ Proceedings of the 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), 2016

〔査読付 5〕Nakajima, K., Parallel Iterative Solvers for Ill-conditioned Problems with Heterogeneous Material Properties, Proceedings of IHPCES 2016 (Sixth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks) in conjunction with ICCS 2016, San Diego, CA, USA, 2016 (in press)

解説記事

〔解説記事 1〕中島研吾, 青木尊之, スーパーコンピューティングの展望:計算機とアルゴリズム, 特集:計算工学の 20 年、これからの 20 年, 計算工学 21-1, 2016

その他発表論文リスト

〔発表 1〕 Nakajima, K., Parallel Multigrid Solvers on Multicore Cluster Architectures, Sparse Days 2015 in Saint-Girons III, Saint Giron, France, 2015

〔発表 2〕 Nakajima, K., CAE Applications to be Ready for Exascale Systems: What we can see beyond ppOpen-HPC, Sapporo Summer HPC Seminar 2015, Sapporo, 2015

〔発表 3〕中島研吾, 片桐孝洋, 大島聡史, 塙敏博, ppOpen-APPL/FVM を使用した並列有限要素法アプリケーションの開発, 情報処理学会研究報告(HPC-151-24), 2015

〔発表 4〕 Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Ill-Conditioned Problems, 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM-III), 2015

〔発表 5 〕 Nakajima, K., ppOpen-HPC beyond Post-Peta Scale Computing, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2015), 2015

〔発表 6〕 中島研吾, 成瀬彰, 大島聡史, 塙敏博, 片桐孝洋, 田浦健次朗, 有限要素法係数行列生成プロセスのメニィコア環境における最適化, 情報処理学会研究報告(HPC-152-12), 2015

〔発表 7〕 中島研吾, 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の創成,「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム, 東京, 2015

〔発表 8〕 Nakajima, K., Future of ppOpen-HPC: Applications and Algorithms in the Post-K/Post-Moore Era, 2016 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT), Taipei, Taiwan, 2016

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/15e/

〔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/15s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15w/

〔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/15s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15w/

〔特記 5〕 東京大学情報基盤センター, お試しアカウント付き並列プログラミング講習会, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/

〔特記 6〕 数値解析, 東京大学工学部計数工学科, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15n/

〔特記 7〕 計算科学アライアンス, http://www.compsci-alliance.jp/

〔特記 8〕 日本計算工学会理事, 学会誌編集委員長

〔特記 9〕 日本応用数理学会, 代表会員

〔特記 10〕 General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

〔特記 11〕 Member of Scientific Committee, Area Co-Chair of Computer Science & Mathematics, Platform for Advanced Scientific Computing Conference (PASC 15) (Zurich, Switzerland, 2015.6)

〔特記 12〕 Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2015) (Reykjavík, Iceland, 2015.6)

〔特記 13〕 Member of Program Committee, Fifth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES) (Reykjavík, Iceland, 2015.6)

〔特記 14〕セッションオーガナイザ, 日本計算工学会第 20 回計算工学講演会「先進並列シミュレーション」(筑波, 2015.6)

〔特記 15〕Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC'15) (Frankfurt, Germany, 2015.7)

〔特記 16〕Member of Program Committee, 17th IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2015) (New York, NY, USA, 2015.8)

〔特記 17〕Member of Program Committee, IEEE Cluster 2015 (Chicago, IL, USA, 2015.9)

〔特記 18〕Member of Program Committee, The 22nd European MPI Users' Group Meeting (Euro MPI 2015) (Bordeaux, France, 2015.9)

〔特記 19〕Co-organizer of Organized Workshop, IWACOM-III (The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics): High performance computing for computational engineering and science (Tokyo, Japan, 2015.10)

〔特記 20〕Member of Technical Papers Committee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15) (Austin, TX, USA, 2015.11)

〔特記 21〕Co-organizer of BoF, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15): Software Engineering for Computational Science and Engineering on Supercomputers (Austin, TX, USA, 2015.11)

〔特記 22〕Member of 2015 Sydney Fernbach Award Subcommittee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15), (Austin, TX, USA, 2015.11)

〔特記 23〕Member of 2015 Seymour Cray Award Subcommittee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15), (Austin, TX, USA, 2015.11)

〔特記 24〕Member of Program Committee, The 21st International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS'15) (Melbourne, Australia, 2015.12)

〔特記 25〕実行副委員長,「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム（東京, 2015.12）

〔特記 26〕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 27〕Member of Scientific Committee, The 2016 Platform of Advanced Scientific Computing Conference (PASC16)（Lausanne, Switzerland, 2016.6）

〔特記 28〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2016)（San Diego, USA, 2016.6）

〔特記 29〕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 30〕Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC'16)（Frankfurt, 2016.6）

〔特記 31〕Member of Ph.D Forum Committee, International Supercomputing Conference (ISC'16)（Frankfurt, 2016.6）

〔特記 32〕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 33〕Member of Scientific Committee, 12th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2016) (Porto, Portugal, 2016.6)

〔特記 34〕Area Chair of Technical Program Committee (Applications, Algorithms, and Libraries), IEEE Cluster 2016（Taipei, Taiwan, 2016.9）

〔特記 35〕Member of Program Committee, The 23rd European MPI Users' Group Meeting (Euro MPI 2016) (Edinburgh, UK, 2016.9)

〔特記 36〕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 37〕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 38〕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 39〕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）

引用文献

〔引用 1〕丸山直也, H. Zohouri, 松田元彦, 松岡聡, OpenCL による FPGA の予備評価, 情報処理学会研究報告（HPC）, 2015-HPC-150, 2015

〔引用 2〕P. Ghysels and W. Vanroose, Hiding global synchronization latency in the preconditioned Conjugate Gradient algorithm, Parallel Computing 40-7, 224-238, 2014

〔引用 3〕R.D. Falgout et al., Parallel Time Integration with Multigrid, SIAM Journal on Scientific Computing, 2014

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

大規模並列計算機上で, 高生産性と高性能を両立するためのプログラミング環境を目指して, 図 1 のロードマップで研究を進めている. 並列プログラミングにおいて高生産性と高性能を両立させることは困難な課題であるが, 我々はそのための鍵は「階層的な並列アルゴリズム」を簡潔に記述し, 効率よく実行できるプログラミングモデルを設計・実現することであると考えている. そもそも現在及び今後の計算機では, ノード間でもノード内でも, 逐次アルゴリズムであっても並列アルゴリズムであっても, 参照の局所性を活かすことが性能のために最重要で, そのために計算を階層的に分割して行くアルゴリズムがしばしば用いられる. 現在支配的な, MPI, MPI+OpenMP, MPI+CUDA などのモデルでは, このような階層性を活かすためのプログラミングは煩雑になりがちである.

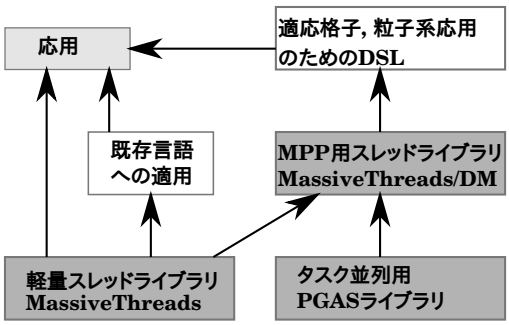


図 1: 高生産・高性能言語ロードマップ

この問題を解決するために我々は, タスク並列性をサポートするプログラミングモデルに注目している．タスク並列プログラミングモデルは，以下のような特徴を持つプログラミングモデルである．

1. プログラム実行中の任意の時点でタスクを生成することができる．
2. タスク生成のオーバーヘッドは小さく，大量のタスクを生成することが許される．
3. タスク間に依存関係を定義でき，依存関係が満たされかつ空いている CPU コアができ次第，実行される．
4. タスクの負荷分散はプログラマが指定せずとも，処理系によって行われる

これらの性質により，タスク並列モデルはループ，入れ子ループ，再帰呼出しなどを含む様々なパターンのプログラムを，統一的なプリミティブで並列化できるモデルになっている．また，イテレーション間で負荷が異なるループ，負荷が異なる複数の再帰呼出しを動的に負荷分散する機構としても有用である．再帰呼出しを負荷分散できるという性質から，空間の再帰直交分割や，行列やテンソルの再帰的なブロッキングなど，局所性を高めるアルゴリズムを記述，負荷分散する機構としても有用である．さらに高並列環境ではノイズ耐性を高めたり，遅延アクセスの道具としても有用である．

我々はそのような観点から，タスク並列モデルを統一的な並列モデルとして位置づけ，ノード間並列性，ノード内並列性，SIMD レベル並列性にマッピングする手法を研究している．

本年度行った研究の成果は以下のとおりである．

タスク並列プログラムの最適化コンパイラおよび自動チューニング: タスク並列性を用いると再帰的にタスクを生成するプログラムを自然に並列化できる. 特に, 分割統治法を用いたアルゴリズム, 木構造を用いたアルゴリズム, 多重ループを再帰的にブロッキングするアルゴリズムなどを自然に記述できる. 一方自然に記述された分割統治法やタスク並列プログラムでは, 再帰呼出しの末端付近で非常に粒度の小さいタスクが多数作られ, タスクのオーバーヘッドが大きくなる, コンパイラによる最適化を妨げる, などの問題点がある. 総じてタスク並列プログラムで高い絶対性能を得るためには, 再帰呼出しの末端付近でタスクを手動で逐次化 (カットオフ) し, 場合により SIMD 化のためのコーディングを別途行わなくてはならないのが現状である. 本研究はそれらの処理を言語処理系で自動化し, 自然なタスク並列プログラムから高い絶対性能を得ることに成功した [発表 5, 発表 2]. また，カットオフの閾値やいくつかのバージョンからの選択に関して，自動チューニングを用いて選択する方式を実装した．

ページマイグレーションをサポートし，マルチスレッド性能の高い PGAS 処理系: 分散ノード間で単一のアドレス空間 (大域アドレス空間; Global Address Space) を提供するライブラリ MGAS の設計と実装を行った [発表 7]．また，従来の大域アドレス空間に無い特徴として動的なページの複製と移動をサポートしている．さらにそれを，多数のスレッドによるアクセスに対して，高い性能を発揮するように実装した．実装および評価を FX10 上及び Infiniband クラスタに対して行った．

MPP 用タスク並列システムのスケーラブルな実装方法: 我々は, C や C++言語で書かれた native スレッドを, 分散メモリ MPP 上でノードをまたがって負荷分散 (マイグレーション) できるライブラリ MassiveThreads/DM を設計, 実装している. Native なスレッドをノードをまたがってマイグレートする際に, ポインタの修正が必要のない, スケーラブルな方式として, Uni-address 方式を提案した [査読付 1]. 昨年度行った，FX10 用の実装に引き続き，これを Infiniband クラスタ上でも実装，評価した．

タスク並列プログラム性能可視化・分析ツール DAGViz: タスク並列モデルは, 任意の場所でタスクを生成でき, そのようにして作られた多数のタスクを, 処理系が依存関係にしたがって動的にスケジューリングする並列プログラミングモデルである. 高い負荷分散性能と生産性を達成できる一方で, 性能に大きな影響を与える, タスクの CPU へのマッピングが処理系内にブラックボックス化されており, ユーザにとって性能理解がしにくいという問題がある. 本研究ではこの問題の解決策のひとつとして, タスク並列プログラムの詳細な性能解析を行えるツール DAG Recorder とその可視化ツール DAGViz [査読付 2] を設計・実装した. このツールは, タスク並列プログラムの性能デバッグを行いたいユーザや, タスク並列処理系の実装者に有用なツールとなることを目指している.

SIMD およびキャッシュとの親和性が高い構造体整列アルゴリズム: 現実のアプリケーションで現れる多くの整列アルゴリズムは，大きな構造体の一部をキーとして整列を行う．従って構造体の配列に対する高速な整列アルゴリズムを確立することは重要な課題である．構造体の配列を整列する場合，構造体のまま整列させるアルゴリズムと，一旦，各要素のキーと配列中の位置（添字）とだけを並べた配列を作り，整列を完了し，最後にそれをもとに元の配列を並べ替えるという方式が考えられる．両者には一長一短が有り，前者は大きな配列に対して多くのメモリバンド幅を消費する上，キーがメモリ上で分散するため，SIMD 化が困難である．後者は，最後の並び替えがランダムなアクセスとなり，プロセッサの先読み機構を活用できない．本研究では両者を折衷させ，先読みおよび SIMD を活用できる，構造体整列アルゴリズムを提案した [査読付 3]．提案手法は，k-way マージソートアルゴリズム（マージソートを 2 つのストリームのマージではなく，$k(>2)$ ストリームのマージに拡張したもの）に基づいているが，k-way マージを行う際に一時的に，構造体配列をキー + ストリーム番号の対に変換する．そしてこの k-way マージは，SIMD 化された 2-way のマージを組み合わせて行う．

```
1  void vadd(float* a, float* b, int n) {
2    if(n == 1) {
3      *a += *b;
4    } else {
5      spawn vadd(a    , b    , n/2  );
6      spawn vadd(a+n/2, b+n/2, n-n/2);
7      sync;
8    }
9  }
```

(a) 最適化前

```
1  void vadd(float* a, float* b, int n) {
2    if(1 <= n && n <= 1000) {
3      vadd_serial(a, b, n);
4    } else {
5      spawn vadd(a    , b    , n/2  );
6      spawn vadd(a+n/2, b+n/2, n-n/2);
7      sync;
8    }
9  }
10 void vadd_serial(float* a, float* b, int n) {
11   if(n == 1) {
12     *a += *b;
13   } else {
14     vadd_serial(a    , b    , n/2  );
15     vadd_serial(a+n/2, b+n/2, n-n/2);
16   }
17 }
```

(b) タスク生成除去後

```
1  void vadd(float* a, float* b, int n) {
2    if(1 <= n && n <= 1000) {
3      vadd_serial_opt(a, b, n);
4    } else {
5      spawn vadd(a    , b    , n/2  );
6      spawn vadd(a+n/2, b+n/2, n-n/2);
7      sync;
8    }
9  }
10
11 void vadd_serial_loop(float* a, float* b, int n) {
12   for(int i = 0; i < n; i++)
13     *(a + i) += *(b + i);
14 }
```

(c) ループ化後

図 2: タスク並列プログラムおよびその最適化の例

2 タスク並列プログラムの最適化コンパイラおよび自動チューニング

本研究はタスク並列を前提に分割統治法を用いて書かれたプログラムを最適化する．タスク並列プログラムの典型例は図 2(a) のように，問題をこれ以上分割できなくなるまで分割し，それぞれを並列に実行するというものである．

この計算を実行すると，例えば図 3 のような再帰呼び出しの木構造ができる．本研究ではこのようなコードを対象に，

- リーフ付近の小さな計算を逐次化してタスク生成のオーバーヘッドを減らす **(静的カットオフ)**
- さらに逐次化された計算から関数呼び出し自体を除去し，関数呼び出しのオーバーヘッドをなくす．この際，再帰呼出しを多段に展開することによるコードの膨張を防ぎながら行う **(コード膨張のないインライン展開)**
- 可能ならばリーフ付近の計算をループに置き換え，さらに SIMD 命令を用いて最適化する **(ループ化及びベクトル化)**

ことを目指している．

分割統治法を用いて書かれたプログラムは，問題が文字通り分割できなくなるまで分割して書くと，コードが簡潔になる一方で，タスク生成や再帰呼出しのオーバーヘッドが大きくなるという問題がしばしば生ずる．

これまでもタスク生成のオーバーヘッドを小さくするために，条件に応じてタスク生成を消去する，カットオフに関する研究がなされてきた．しかしそれらの多くは実行時に (例えばタスクが多数生成されている，全てのコアがビジーであるなどの) 条件を検査しながら，タスク生成を逐次的な関数呼び出しに置き換えるものがほとんどである．この手法では，条件の検査自身にオーバーヘッドがかかる上，得られる効果は，タスク生成が関数呼び出しに置き換わるまでで，それ以降の最適化は期待できない．それに対し我々の手法ではコンパイラによって，再帰呼び出しが「リーフ付近」であるような条件を求め，その中で行われていたタスク生成を無条件で取り除く (図 2(b))．具体的には，リーフまでの段数がある一定値以内であるという条件を静的に求め，タ

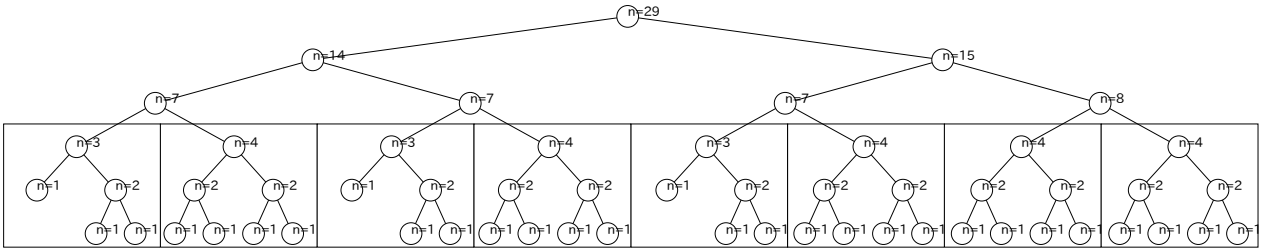


図 3: vecadd から生成される再帰呼出しおよびタスクの木構造

スク生成が取り除かれたバージョンに切り替える．この最適化はリーフ付近，すなわち行われる計算の量が少ない場合にのみ適用されるため，過度に並列度を抑制することがない．

また，リーフまでの段数がある一定値以内であるため，インライン展開を繰り返せば，関数呼び出しを完全に除去することが可能である．一方で，そのような展開を安易に行うとコードが段数に対して指数関数的に膨張する危険性がある．これを避けるためのインライン展開手法，およびそれをループに変形する手法も提案した (図 2(c))．

表 1: 最適化の適用可能性．dynamic : 動的なカットオフ，static : 静的カットオフ, cbf : コード膨張のないインライン展開, loopify : ループ化・ベクトル化

	dynamic	static	cbf	loopify
fib	✓	✓	✓	
nqueens	✓	✓	✓	
nbody	✓	✓	✓	
vecadd	✓	✓	✓	✓
heat2d	✓	✓	✓	✓
heat3d	✓	✓	✓	✓
gaussian	✓	✓	✓	✓
matmul	✓	✓	✓	✓
treeadd	✓			
treesum	✓			
uts	✓			

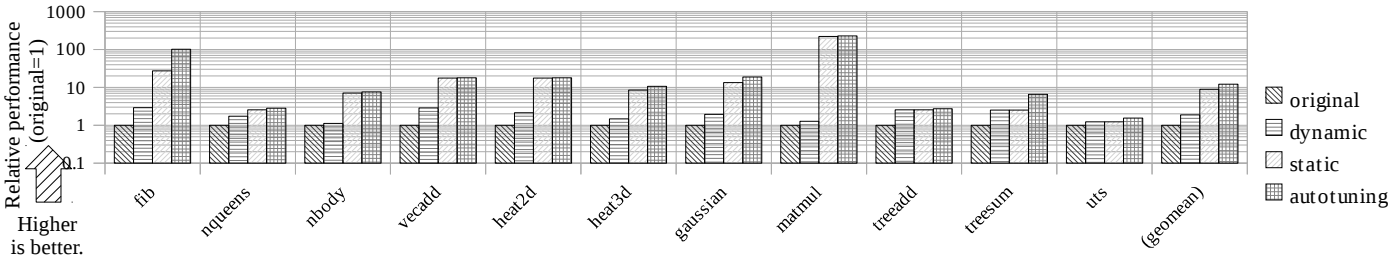


図 4: 36 コアシステムにおける性能. 最適化前を 1 とした場合の相対性能

実際にどの手法が適用可能かは場合に寄って異なる．以下に，評価に用いた 11 個のベンチマークの内容を示す．

1) **fib** ：44 番目のフィボナッチ数を分割統治的に求める．
2) **nqueens** ：$N = 14$ の N-Queens 問題を解く．
3) **nbody** ：$30K$ 個の 3 次元空間内の粒子について，添え字を分割統治的に分けることで全対全の引力を計算する．
4) **vecadd** ：二つの $400M$ 個の単精度浮動小数点の配列の和を計算し，別の配列に代入する．

5) **heat2d** ：$30K$ x $30K$ で分割された平面について，境界での値を一定として拡散方程式を解く．

6) **heat3d** ：$1K$ x $1K$ x $1K$ で分割された空間について，境界での値を一定として拡散方程式を解く．

7) **gaussian**：$30K$ x $30K$ の画素について，5 x 5 の画像処理的なガウスフィルタを適用する．

8) **matmul** ：一辺が $2K$ の単精度浮動小数点の正方行列積を計算し，別の行列に代入する．

9) **treeadd** ：二分木の木構造のポインタをたどることで，葉ノードの持つ単精度浮動小数点の値を更新する．入力には深さ 30 となる均衡した木を用いた．

10) **treesum**：二分木の木構造のポインタをたどることで，葉ノードの持つ単精度浮動小数点の和を求める．**treeadd** 同様に，入力には深さ 30 となる均衡した木を用いた．

11) **uts** ：Unbalanced Tree Search[**?**] を実行する．入力には “T1XL” という大きさのセットを用いた。

表 1 はそれぞれの最適化の適用可能性を要約したものである．

図 4 に，最適化の効果を示した．ループ化が可能なプログラムに対しては著しい効果が認められ，行列積においては 100 倍以上の高速化を実現できている．

3 ページマイグレーションをサポートし，マルチスレッド性能の高い PGAS 処理系

タスク並列処理を分散メモリ環境で実現するために，動的なページマイグレーションをサポートする PGAS 処理系を開発している．タスク並列処理は，グラフや木構造などの不規則なデータ構造や，負荷分散自身が単純ではないアルゴリズムをサポートすることが重要であり，そのためにはデータ配置にも柔軟性・動的な変更のサポートが求められるが，我々の知る限り全ての PGAS 処理系は，データ配置が固定的，かつ，ブロックサイクリックなどの規則的な分割しかサポートしない．また，多数のスレッドからの細粒度な通信要求を効率よくサポートすることが，アプリケーション性能のために重要である．本節で，本年度行ったマルチスレッド性能の高いスレッドセーフな通信レイヤの実装について述べる．

通信レイヤーでスレッドセーフティを保証する最も単純な手法は，通信 API 関数が呼び出される度に粗粒度のロックを取得・解放することであるが，そのような手法では API 呼び出しが複数スレッドから並列に行われた際に衝突が多発することになる．マルチスレッド性能を考える上で，現在のハードウェアにおいてコア数に対して通信資源が少なく，しかも複数のスレッドが任意のタイミングで通信を開始しかねないという事情を考慮する必要がある．

近年の MPI の処理系ではマルチスレッド性能を向上させるために通信専用スレッド (dedicated thread) を用意する Software Offloading と呼ばれる手法が提案されている [3]．Tofu の API はスレッドセーフティを保証しない [4] ため， RDMA と MPI の両方の呼び出しを排他制御する必要があり，通信専用スレッドが RDMA と MPI の呼び出しを一括して担当することが性能上もデッドロック回避にも有効である．これと同様の実装手法が，ACP 基本層にもみられる [2]．尚，Tofu には NIC が複数あるが，別々の NIC であっても内部のスレッドセーフでないデータ構造が共有されているため，単一の通信スレッドによって RDMA の API 呼び出しを全てシリアライズしている．

図 5 に，低水準通信レイヤーの Tofu 向けの設計を示す．通信を要求するユーザ側のスレッド (ここでは計算スレッドと呼ぶ) は，図中央の循環バッファに対してリクエストを投入する．通信専用スレッドはこのバッファを常に監視しており，バッファが空の場合はポーリングを行う．バッファが空でない場合でも，通信完了しているリクエストがある時にポーリングを実行したほうが全体の実行時間を減らせる可能性もあるが，一方でポーリングを増やすことでリクエストの発行が遅れるという問題もあるために採用していない．

循環バッファは複数スレッドから操作されるので，リクエストの効率的な追加/削除を実現するためにアトミック命令によって管理される．ロックフリーな任意長 FIFO キューは，実装可能 (例えば [1]) であるものの複雑である．これに対して，固定長の循環バッファであれば，2 つの整数カウンタ (head と tail) をアトミック命令で操

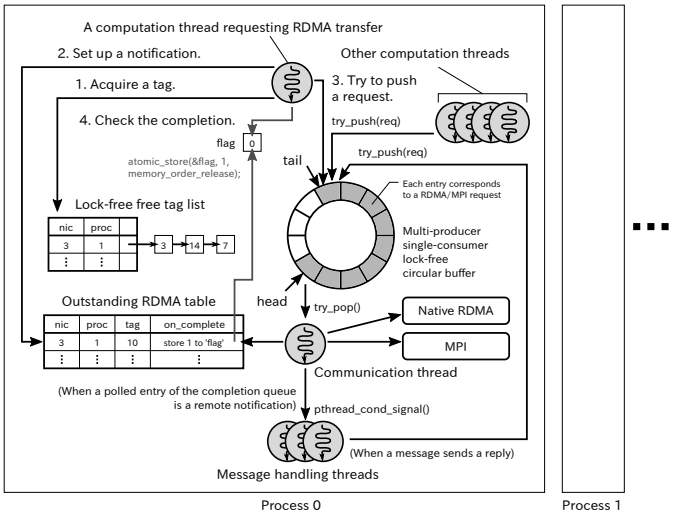


図 5: 低水準通信レイヤーの Tofu 向け実装

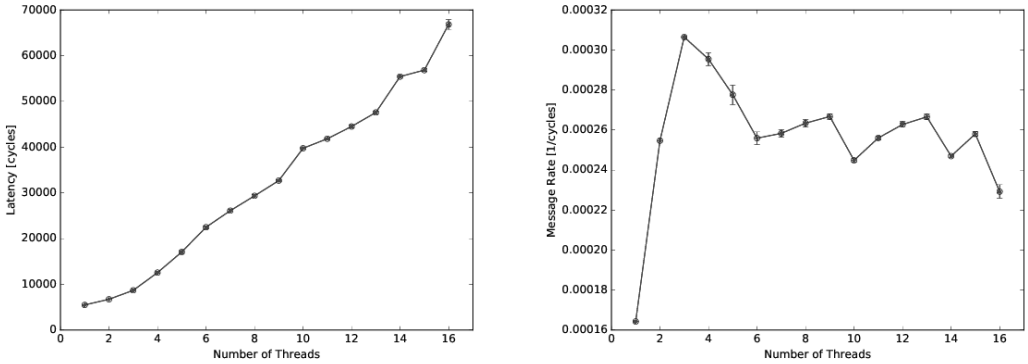
作するだけでよいため実装が比較的容易である．固定長バッファの問題点は，バッファが満杯になった場合にリクエストを追加できなくなることであるが，前述のとおり通信 API は失敗可能であるように定義してあるため，即座に失敗として上位レイヤーに復帰することが可能である．このような実装方式では，低水準通信レイヤーの内部でバッファが空くまで待機したり，動的メモリ確保を行ってリクエストを一時保存することがないので，性能を予測しやすいという利点もある．

評価環境としては，スーパーコンピュータシステムである FX10 と東工大 TSUBAME を利用した．以下では FX10 上の結果について述べる．マイクロベンチマークプログラムとしては，まず 2 プロセス（1 ノードに対し 1 プロセス）を起動し，さらにプロセス内に複数のスレッドを立ち上げ，一定時間経つまで各スレッドが自身以外のランダムなプロセス上のメモリに対して RDMA GET を繰り返してそのレイテンシを測定し，総実行時間を実行回数で割ることでメッセージレートも算出する．このベンチマークを作成した際の主な目的はマルチスレッド対応によるオーバーヘッドの測定だったため，通信が終了するまで頻忙待機するようなベンチマークになっている．

図 6 に，Tofu を使用している FX10 におけるベンチマーク結果を示す．レイテンシがスレッド数が上昇するほど増加していくことが分かる．コア数に対して通信資源が限られているために，スレッドを増やしていくと通信資源が枯渇してメッセージレートが飽和し，レイテンシも増加していくことは避けられない．Tofu の場合は 4 スレッド以上で飽和しており，この結果は NIC が 4 つしかないことを考慮すると妥当な結果であるといえる．

レイテンシに着目すると，最小のレイテンシは 1 スレッド時の 5592 ± 2 サイクルである．このベンチマークの他にも，事前に Tofu 上ではネイティブの RDMA API を利用してハードウェアの最大性能も測定しており，その際の Tofu の RDMA READ における最小レイテンシは 4372 サイクルであった．これらの差である 1220 サイクル ($= 0.66\mu$sec) は，主にマルチスレッド対応に必要なオーバーヘッドであるといえる．参考までに，Tofu 2 上における ACP [2] のベンチマークでは，リモートアトミックのネイティブ API のみでレイテンシが 2.26μsec であるのに対し，ACP を用いると 4.26μsec まで増大すると報告しており，ACP のマルチスレッド対応には 2.00μsec ものオーバーヘッドがあることが分かる．提案処理系の方が高速になった理由としては，コードチューニングの他にも，ACP よりも低水準なレイヤーであることが挙げられる．ACP は PGAS のようにアドレス変換を行う機構が含まれているため，正しく比較するには GAS としての get の性能を測定する必要がある．現段階ではこの低水準通信レイヤーを用いて GAS として評価することができていないが，開発中の GAS においてのアドレス変換のオーバーヘッドは約 1300 サイクル程度 ($= 0.7\mu$sec) であり，GAS のオーバーヘッドを加味しても依然として ACP に対する優位性がある．

メッセージレートに関しては，最大で 3 スレッド時に 0.00031 リクエスト/サイクルという結果になった．Tofu のネイティブ API のベンチマークにおいて，RDMA リクエストの送信とポーリングにかかる時間はそれぞれ



(a) レイテンシ　　(b) メッセージレート

図 6: 低水準通信レイヤーの RDMA GET のマルチスレッド性能 (FX10)

約 1000 サイクル程度 (但し非常にばらつきが大きく正確に測定できていない) であり，4 つの NIC を全て使い切ったとすれば 8000 サイクルで 4 リクエスト発行できるので，その場合のメッセージレートは 0.0005 リクエスト/サイクルとなる．この数値が正しければ，ハードウェアの最大性能のおよそ 62% 程度は達成できているといえる．

4　基盤センター業務関連活動

- 例年通り, スーパーコンピューティング部門の一員として, Oakleaf FX 運用に関わる業務活動への参加
- PostT2K の仕様策定, それに関わるベンダ打ち合わせなどへの参加
- MiniPostT2K の仕様策定, それに関わるベンダ打ち合わせなどへの参加
- 特にファイルシステムや, バーストバッファ周辺の仕様策定にあたり, 仕様書案の執筆やベンダとの打ち合わせなどを行った

5　成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Shigeki Akiyama and Kenjiro Taura. Uni-Address Threads: Scalable thread management for RDMA-based work stealing. In *Proceedings of the 24th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing*, pages 15–26. ACM, 2015.

[査読付 2] An Huynh, Douglas Thain, Miquel Pericàs, and Kenjiro Taura. DAGViz: a DAG visualization tool for analyzing task-parallel program traces. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Visual Performance Analysis*, page 3. ACM, 2015.

[査読付 3] Hiroshi Inoue and Kenjiro Taura. SIMD-and cache-friendly algorithm for sorting an array of structures. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 8(11):1274–1285, 2015.

[査読付 4] Yusuke Nishioka and Kenjiro Taura. Scalable task-parallel SGD on matrix factorization in multicore architectures. In *Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop (IPDPSW), 2015 IEEE International*, pages 1178–1184. IEEE, 2015.

[査読付 5] Akiyama Shigeki, Taura Kenjiro, et al. Scalable work stealing of native threads on an x86-64 infiniband cluster. 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 6] Sato Shigeyuki, Taura Kenjiro, 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.

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] Huynh An, Thain Douglas, Pericas Miquel, Taura Kenjiro, et al. Analyzing task parallel program traces based on DAG visualization. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2015(34):1–9, 2015.

[発表 2] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Autotuning for task parallel programs. In *Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure*, 2016.

[発表 3] Shigeyuki Sato and Kenjiro Taura. Abstraction of space partitioning for spatial computation. In 情報処理学会プログラミング研究会, 2015.

[発表 4] 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 5] 岩崎慎太郎 and 田浦健次朗. タスク並列プログラムの効果的なカットオフ閾値の決定. In 情報処理学会プログラミング研究会, 2015.

[発表 6] 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 7] 遠藤亘, 田浦健次朗, et al. 再配置可能な大域アドレス空間システムの設計と RDMA を用いた実装. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング *(HPC)*, 2015(5):1–8, 2015.

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] Program Committee CLUSTER 2016

[特記 4] Program Committee CCGrid 2016

参考文献

[1] Marco Aldinucci, Marco Danelutto, Peter Kilpatrick, Massimiliano Meneghin, and Massimo Torquati. An Efficient Unbounded Lock-Free Queue for Multi-core Systems. In *Euro-Par '12: Proceedings of the 18th International European Conference on Parallel and Distributed Computing*, pages 662–673, 2012.

[2] Takafumi Nose, Yuichiro Ajima, Kazushige Saga, Naoyuki Shida, and Shinji Sumimoto. ACP ライブラリの性能最適化に関する検討. 研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング（*HPC*）, 2015-HPC-1(39):1–6, 2015.

[3] Karthikeyan Vaidyanathan, Dhiraj D. Kalamkar, Kiran Pamnany, Jeff R Hammond, Pavan Balaji, Dipankar Das, Jongsoo Park, and Bálint Joó. Improving concurrency and asynchrony in multithreaded MPI applications using software offloading. In *SC '15: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*, pages 1–12. ACM Press, 2015.

[4] 富士通株式会社. Technical computing suite v1.0 mpi 使用手引書 (primehpc fx10 用), 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。2015 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。ここでは、研究室で開発した自動ソフトウェアテスティングツール GRT[査読付 1, 査読付 16] に対して、プログラム解析の手法を加えて、性能を向上することに成功した。これはその分野で著名な学会の一つである ASE'15 のツールコンテストにおいて、トップを取る性能を見せた。さらに発表した論文が Distinguished Paper Award を受賞した。

2. **クラウドを前提としたオンライントラストの研究。**クラウドで内部統制を効かせるためのリスク解析を行った。また秘密分散を行う暗号化によって、データのプライバシーをクラウドにおいても担保することで、セキュリティの問題を解決することを試みた。具体的にクラウドのデータにスクランブルをかけ、鍵を自分のトラストの中で管理することで実現できることを示した。

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。この結果は DICOMO において優秀論文賞を受賞した。

   また、CP-ABE の実用化に向けての研究において、特にポリシー反映についての研究を行った。

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。

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。事実 Gnu-C では、いまだに大量のバグレポートがなされている。

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。

従来の国内外における構成要素としての研究成果にはアセンブラの型付けによる動作正当性の証明 (Necula)、最適化の適用前後での意味保存の証明 (Necula)、最適化適用条件の時相論理等での形式化 (D Jones) を含む。さらに広義にはモデル検査の応用として動作正当性を証明することも含む。

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)。証明を最適化の適用と同時に行うことを、アセンブラ言語に対する型理論として展開する。最適化適用はデータフロー解析を本質的に用いることから、データフロー理論を包含した型理論の構築につなげることができる。この最大の意義はデータフロー型の最適化の正当性を形式的に証明する体系を提示することである。また研究の基礎として、動作同一性証明に適したプログラム実行の適切な抽象化ができることになる。

また、最適化検証付きコンパイラは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なる。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。

2.3 具体的成果

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。ここでは、研究室で開発した自動ソフトウェアテスティングツール GRT[査読付 1, 査読付 16] に対して、プログラム解析の手法を加えて、性能を向上することに成功した。これはその分野で著名な学会の一つである ASE'15 のツールコンテストにおいて、トップを取る性能を見せた [査読付 11]。さらに発表した論文が Distinguished Paper Award を受賞した [査読付 10]。さらにオブジェクト指向言語で問題になるコードの visibility を向上させる研究も行った [査読付 2]。この研究は馬雷（千葉大）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。

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、以下の研究を行った。

われわれは、暗号化によって、データのプライバシーをクラウドにおいても担保することで、セキュリティの問題を解決することを試みた。具体的にクラウドのデータにスクランブルをかけ、鍵を自分のトラストの中で管理することで実現できることを示そうとした。

3.3 具体的成果

[査読付 5, 査読付 6, 査読付 9] 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 14, 査読付 15] において、クラウドにおけるセキュリティ技術として分散暗号技術を追及した。

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。
2. ABE をベースとするアクセス制御技術を展開し、CP-ABE の実用化に向けての課題解決を図った。

4.3 具体的成果

[査読付 4] 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開発した。この論文は DICOMO において優秀論文賞を受賞した。

また、[査読付 3, 査読付 7, 査読付 8, 査読付 12] において、特にポリシー反映についての研究を行った。なお、一連の研究は大学院生である Somchart Fugkeaw との共同研究である。

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。

6 学会活動

IEEE COMPSAC (2016 PC Chair in Chief) およびIEEE Mobile Cloud (2015, 2016 General 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、JIP COMPSAC2015 Special Issueの編集委員長、IEEE ITProをはじめ国際論文誌の編集委員を務めた。

7 成果要覧

査読付論文リスト

[査読付 1] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato: GRT at the SBST 2015 Tool Competition, Proc. 8th Int'l Workshop on Search-based Software Testing, May 18–19, 48–51, 2015.

[査読付 2] Lei Ma, Cheng Zhang, Bing Yu and Hiroyuki Sato: An Empirical Study on Effects of Code Visibility on Code Coverage of Software Testing, Proc. 10th International Workshop on Automation of Software Test, May 23–24, 80–84, 2015.

[査読付 3] Somchart Fugkeaw, Hiroyuki Sato: An extended CP-ABE based Access control model for data outsourced in the cloud, Proc. MidCCI 2015, (COMPSACW), July 5, 73–78, 2015.

[査読付 4] 佐藤周行, 岡部寿男, 中村素典: 認証連携における仮名性を担保したユーザ同一性の確認, マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO) 2015 予稿集, July 8–10, 890–895, 2015. (優秀論文賞)

[査読付 5] Shigeaki Tanimoto, Atsuhi Kanai, Hiroyuki Sato: Risk Assessment Quantification in Hybrid Cloud Configuration, Proc. SECURWARE, Aug. 23–28, 2015. 1–6, 2015.

[査読付 6] Shigeaki Tanimoto, Takayuki Kakuta, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: A Study of Cost Structure Visualization for Digital Forensics Deployment, Proc. 4th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, July 13, 428–431, 2015.

[査読付 7] Fugkeaw, Somchart, and Sato, Hiroyuki: Enabling Constraints and Dynamic Preventive Access Control Policy Enforcement in the Cloud, Proc. Int'l 2015 Workshop on Cloud Security and Forensics, Toulouse, August 24–28. 576–583, 2015.

[査読付 8] Somchart Fugkeaw, Hiroyuk Sato: Design and Implementation of Collaborative Ciphertext-Policy Attribute-Role based Encryption for Data Access Control in Cloud, Journal of Information Security Research, 6(3), 71–85, 2015

[査読付 9] Shoichi Yoneda, Shigeaki Tanimoto, Tsutomu Konosu, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Risk Assessment in Cyber-physical System in Office Environment, 9-th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2015), Sep 2–4, Taipei, 412–417, 2015.

[査読付 10] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato, Johannes Gmeiner and Rudolf Ramler: GRT: Program-Analysis-Guided Random Testing, Proc. Int'l Conf. Automated Software Engineering 2015, Nov. 9–13, Lincoln, 212–223, 2015. (Distinguished Paper Award)

[査読付 11] Lei Ma, Cyrille Arthoy, Cheng Zhangx, Hiroyuki Sato, Johannes Gmeinerz, Rudolf Ramlerz: GRT: An Automated Test Generator using Orchestrated Program Analysis, Proc. Int'l Conf. Automated Software Engineering 2015, Nov. 9–13, Lincoln, 842–847, 2015.

[査読付 12] Fugkeaw, S., Sato, H.: CLOUD-CAT: A Collaborative Access Control Tool for Data Outsourced in Cloud Computing, to appear in Proc. Int'l Conf. Digital Information Management, Oct. 21–23, Gyeongju, 241–248, 2015.

[査読付 13] Hokino, M., Fujiki, Y., Onda, S., Kaneko, T., Sakimura, N., Sato, H.: A Practical Trust framework: Assurance Levles Repackages through Analysis of Business Scnarios and related Risks, Proc. Security Standardisation Research 2015, LNSC 9497, Dec. 15–16, 2015, Tokyo, 203–217, 2015.

[査読付 14] Kanai, A., Tanimoto, S., Sato, H.: Performance Evaluation on Secure Data Management Approach for Multiple Clouds Using Secret Sharing Scheme, Int'l Conf. Consumer Electronics 2016, Jan. 7–11, Las Vegas, 471–473, 2016.

[査読付 15] Shohei Ueno, Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato: Evaluation of Selecting Cloud Services Approach for Data Storage using Secret Sharing Scheme, Proc. Sixth International Conference on Performance, Safety and Robustness in Complex Systems and Applications (PESARO 2016), Feb. 21–25, Lisbon, 1–6, 2016.

[査読付 16] Lei Ma, Cyrille Valentin Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato, Johannes Gmeiner and Rudolf Ramler: Guiding Random Test Generation with Program Analysis, Proc. Software Engineering 16 (SE16), Feb. 23–26, Wien, 15–16, 2016.

ソフトウェア自動チューニングおよび高性能数値計算ライブラリの研究とHPC教育

片桐　孝洋

1　概要

本報告は、以下の研究・教育・業務報告に大別される。

- ソフトウェア自動チューニング研究
  - 研究室の PC から、国家が提供するスーパーコンピュータに至る広範な計算機環境で、自動的に性能チューニング（**ソフトウェア自動チューニング**、以降「AT」と記載する）ができるソフトウェアの理論、方法論、方式、言語、およびライブラリに関する総合的研究。
  - ポストペタスケールに資する数値計算ミドルウェア、および ppOpen-HPC のための AT 機構の開発（ppOpen-HPC および ppOpen-AT プロジェクト）。
  - 最新メニーコア CPU 上での地震波シミュレーションコード(Seism3d、ppOpen-APPL/FDM) 向き AT 方式開発**[査読付 1，3]**
  - AT のための性能モデル化手法の開発**[査読付 2]**
- 超並列高性能数値計算ライブラリ研究開発
  - アルゴリズムと実装方式を自動チューニングする機能を有する、疎行列反復解法ソルバ Xabclib の研究開発（E-サイエンスプロジェクト成果物に関する研究開発）
- 高性能数値計算アルゴリズム開発
  - 離散要素法（DEM）における新しい並列化方式（マルチカラー接触判定法）の開発
- 高性能計算（HPC）における学部・大学院教育およびスーパーコンピュータユーザ教育業務
  - センターのスーパーコンピュータを用いて行う並列プログラミングの授業。
    - 東京大学工学部・工学系研究科共通科目：スパコンプログラミング（1）（Ｉ）
    - 駒場の教養学部学生を対象に行う全学ゼミ：スパコンプログラミング研究ゼミ
  - 並列プログラミング教育および新規ユーザ獲得支援業務。
    - 若手・女性利用者推薦
    - Advanced Supercomputing Environment（ASE）研究会
    - お試しアカウント付き並列プログラミング講習会
  - 国立台湾大学における講義およびスーパーコンピュータを用いた演習**[特記 5]**
- スーパーコンピュータによる社会貢献業務
  - 東京大学情報基盤センター企業利用支援制度

2　ソフトウェア自動チューニング研究

2.1　背景

近年の数値計算ソフトウェアは、性能に影響を及ぼす計算機上やアルゴリズム上のパラメタが多数存在する。これは平易な利用の妨げになるばかりか、高性能を達成するため時間を浪費し、職人芸的な知識を必要とする。この背景から、本研究では以下を目的とする。

1. ソフトウェア工学的観点(ソフトウェア性能工学)から、ソフトウェア自動チューニングという新しい汎用的ソフトウェア・パラダイムの研究をおこなう。AT研究により、パラメタチューニング作業が自動化され、最適プログラムが自動選択される。このことで、ソフトウェアの再利用性を格段に高め、コスト削減を実現することができる。
2. AT機能を付加した実用的な数値計算ソフトウェアの研究開発を行う。日本発となる、自由入手可能なソフトウェアの普及を目指す。
3. AT機構をソフトウェアに実装するための計算機言語、ミドルウェア、システムソフトウェア、およびAT支援ツールの研究開発を行う。

2.2 内容

本研究により、数値計算や並列処理を専門としない利用者に対し、容易に利用できる高性能数値ソフトウェアが初めて開発できるようになる。世界に先駆け、数値計算ライブラリに限定しないATパラダイムやAT技術の提案を行ってきた。

2.3 具体的成果

本研究は 2002 年から継続して成果を出してきている。主な研究成果は以下である。

1. **汎用的ATインターフェースおよびATライブラリXabclibの開発:**いままでのAT機能付きライブラリでは、汎用的なユーザインターフェースが存在しないので、AT機能の再利用性が低い。そこで、汎用的ATインターフェースOpenATLibを設計し、ATに必要な機能の一部を実現した。また、Xabclibをフリーの流体解析ソフトウェアOpenFOAMへ実装して、高性能化を実現した。本研究は、日立製作所中央研究所との共同研究である。
2. **ポストペタスケール時代における数値計算ミドルウェアおよびそのためのAT言語の開発(*ppOpen-HPC* および *ppOpen-AT* プロジェクト)[査読付1～4][発表1,3,4, 5]**:ポストペタスケール時代で利用される数値計算ミドルウェア開発プロジェクトである。なお本研究は、JST-CREST「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:東京大学 中島研吾 教授)における東大グループの一員として実施されている。
   また、実行環境として開発される数値計算ミドルウェア*ppOpen-HPC*のためのAT言語*ppOpen-AT*の開発を主として行っている。本研究成果は工学院大学との共同研究で利用されており、成果はAT基盤として広く利用されつつある。
3. **学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(以降「拠点」とよぶ)の共同研究:** 基盤センターが所有するスパコンを対象とした、実用アプリケーションの並列化、演算高性能化、数値アルゴリズム開発、AT機能の適用の研究である。片桐は東大・基盤センター側の研究者として参加し、今まで拠点に関連する共同研究先は8件以上にのぼる。単に技術提供的な補助ではなく、核融合研究所や名古屋大学等との共同研究では、コードチューニングやアルゴリズム開発を行っている。

また、米国応用数理学会(SIAM)の会議で、継続して日本および世界の自動チューニング研究を紹介するミニ・シンポジウムの企画、および、日本・台湾との国際ワークショップの企画**[特記4]**を実施している。海外においてもAT研究の情報を発信し続けている。

3 ポストペタスケール時代における数値計算ミドルウェア *ppOpen-HPC* のための自動チューニング機構 *ppOpen-AT* の研究開発

3.1 背景

先進計算機のハードウェア構成が複雑化している。非均質アクセスのメモリ、多階層キャッシュ、チップ上に多数のコアを配置したマルチコア CPU やメニーコア CPU、GPU に代表される演算アクセレータを搭載した計算機が普及し、いまや普通に使えるようになっている。このように複雑化した計算

機では、理工学で必要となる科学技術計算プログラムのチューニングが、高性能計算を専門としない科学者やエンジニアにとって困難になってきている。

そこで我々は、大規模並列計算機上での実用的なシミュレーションコード開発と、コード最適化を支援するソフトウェア基盤 ***ppOpen-HPC*** を開発している. ここで“pp”とは, post-peta（ポストペタ）の略語であり、ペタスケール計算機の後に来る計算機環境のことを指している。

このポストペタ環境では、非均質な計算ノードを持つことが予想されている。マルチコアで CPU と GPU の構成が計算機アーキテクチャのトレンドからすると、主流になる。これら複雑化された計算機ハードウェアにおいても、低コストで高性能を達成可能な数値計算のためのソフトウェア基盤が、強く要請されている。

3.2 内容

（1） *ppOpen-HPC* の概要

*ppOpen-HPC*の対象は、現在主流の数値計算法によるプログラムである。主にFEM、FDM、BEM、DEMによる数値計算法を対象としている。一方、自動チューニング（Auto-tuning （AT））技術が、先進的計算機環境での高性能計算には必須となるといわれている。そこで*ppOpen-HPC*はAT技術を採用して開発をする前提を置く。

*ppOpen-HPC*のためのAT基盤ソフトウェアを***ppOpen-AT*** と呼ぶ。図1に、*ppOpen-HPC* における*ppOpen-AT* の位置づけと、その機能をまとめる。

（2） *ppOpen-AT*概要

ppOpen-AT は、*ppOpen-MATH* と *ppOpen-SYS* に AT 機能を提供する。*ppOpen-AT* の AT 機能を利用することで、計算機資源選択（CPU と GPU もしくはメニーコアへの自動切り替えの機能の意味）を実現する。AT 機能により、コードのデータアクセスパターンの最適化を行う。

図 1 の AT 機能は、*ppOpen-AT* の AT 機能と、ユーザ環境ごとに異なるコンパイラ最適化機能を合わせて使うことにより *ppOpen-AT* 専用プリプロセッサを通し実現される。このことで、幅広い計算機環境での AT を可能にする。計算機環境に依存しないで高性能を達成する（「**性能可搬性**」）―AT 機能の本質的問題―を実現する。

ppOpen-AT の最適化対象は、*ppOpen-HPC* で実装されている数値計算法のカーネル、プログラム、実装方式に限定することで開発コストを削減する。*ppOpen-APPL* の原始コード（C、C++、Fortran90）が対象である。

3.3 具体的成果

（1）**これまでの成果の概要:** 有限差分法 ppOpen-APPL/FDM の演算カーネルに向くループ変換を基にしたAT機能である、ループ融合、ループ分割、および、式並べのAT方式を開発している。

（2）**本年度の成果:** 本年度は, 階層メモリ型計算機のための**階層型 AT 機構**、および、その**アルゴリズム選択機能**を開発した。現在普及しているメニーコア型CPUである Intel Xeon Phi を用いて、これらAT機能の効果の検証を行った。その結果、最も時間のかかる計算カーネルで、約 4.2 倍もの高い AT による速度向上を得ることができた**[査読付 3]**。

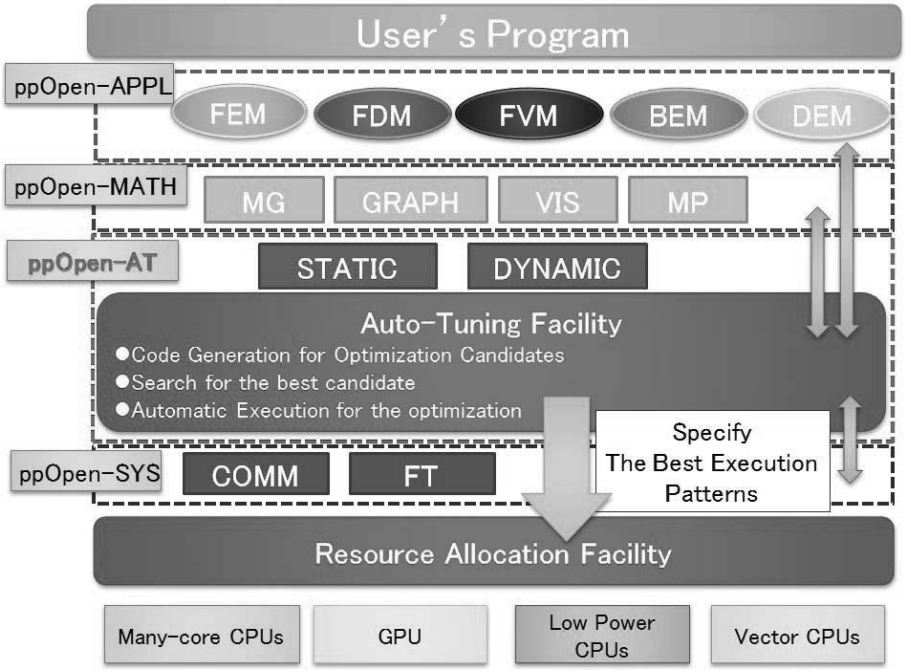


図 1　*ppOpen-HPC* と *ppOpen-AT* の提供機能

4　HPC 教育関連業務

4.1　背景

東京大学情報基盤センター特任准教授として 2007 年 4 月 1 日に赴任後、教育業務として並列プログラミング基礎の講義と、本センターのスーパーコンピュータを用いた演習を、東京大学工学部・工学系研究科の共通科目「スパコンプログラミング(1)および(Ⅰ)」として、通年(夏学期・冬学期)各1コマ行っている。また、駒場キャンパスの教養学部の学生に工学部と同様の授業を教えることで、天才プログラマを早期から育成することを目指す、全学ゼミ「スパコンプログラミング研究ゼミ」を開講している。本講義は、「学際計算科学・工学人材育成プログラム」の一環で開講されている。

内容は、通信ライブラリ MPI を利用し情報基盤センターに設置されている FX10 スーパーコンピュータシステム(FX10)、12 ノード(192 コア) を受講生に利用させた計算機演習を行う。スーパーコンピュータの利用方法の講習を含む。情報基盤センターのスーパーコンピュータの将来的な新規ユーザ獲得も狙った講義である。

4.2　内容(HPC 教育業務全般)

- **スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦**(2007 年 10 月から実施)
  - **概要:**概ね 40 歳以下の若手研究者(学生を含む)、および、女性研究者を対象とした利用者向けのスーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦(以降、若手推薦)による課題公募である。スーパーコンピューティング研究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。
  - **詳細:**年 2 回公募し、年間で 4 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。採択者には、報告書の提出、研究成果の発表の際に若手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。また、共同研究実施のため、基盤センターの教員との共同研究のための旅費、1週間分が支給される。

- **お試しアカウント付き並列プログラミング講習会**(2008 年 3 月から実施)
  - **趣旨:**センターに設置されたスーパーコンピュータの利用者における利用促進、および利用を検討している新規ユーザを対象とした、並列プログラミング講習会(MPI および OpenMP を用いるもの)を実施した。
  - **対象者:**センターのスーパーコンピュータのアカウントを所有しているユーザのみならず、センターのスーパーコンピュータの利用資格を有し、今後の利用を検討している方(大学教員、および学生など)、および企業所属の方も対象にする。
- **先進スーパーコンピューティング環境(ASE)研究会**(2008 年 3 月から実施)
  - **概要:**センターに設置されたスーパーコンピュータに関係する最新の研究成果をユーザが知ることは、スーパーコンピュータの利用成果を創出するために必要である。また、センターのユーザが個別に所有する情報に関して、ユーザ間での情報交流の活性化も必要である。この趣旨から、スーパーコンピューティング部門が主催する、スーパーコンピュータ環境に関する研究会を行う。

4.3 具体的成果

- 東京大学における HPC 教育(2015 年度)
  - 工学部共通科目(夏学期・冬学期)で、登録人数合計 56 名、単位取得者数 28 名を達成した。
  - 教養学部の全学ゼミにおいては、登録 6 名、合格 4 名であった。
- スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦(2015 年度、前期、後期)**[特記 1]**
  - 本学、鳥取大、工学院大、から合計6件の課題を採択した。
- お試しアカウント付き並列プログラミング講習会(2015 年度は 5 回実施(片桐担当分)**[特記 3]**)
- 先進スーパーコンピューティング環境研究会(ASE 研究会)(2015 年度は 5 回実施**[特記 2]**)

5 スーパーコンピュータによる社会貢献業務

5.1 背景

本業務は、東京大学情報基盤センターが独自事業として、民間企業にスーパーコンピュータを有償利用に供するための業務である。

5.2 内容

東京大学情報基盤センター業務は、スーパーコンピュータを民間企業に供する場合、企業ユーザの利用資格を審査したうえで、限定資源に対し有償利用を行う。

5.3 具体的成果

- 東京大学情報基盤センターにおける企業利用者支援に対する業務

6 成果要覧

著書/編集

[著書 1] K. Nakajima, M. Satoh, T. Furumura, H. Okuda, T. Iwashita, H. Sakaguchi, T. Katagiri, M. Matsumoto, S. Ohshima, H. Jitsumoto, T. Arakawa, F. Mori, T. Kitayama, A. Ida and M. Y. Matsuo, Optimization in the Real World, Mathematics for Industry 13, K. Fujisawa et al. (eds.):

ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), Springer, pp.15-35, 2016.

査読付論文リスト

[査読付 1] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Directive-based Auto-tuning for the Finite Difference Method on the Xeon Phi, The Tenth International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2015) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2015), Proceedings of IPDPSW2015, pp.1221-1230, May 2015.

[査読付 2] Riku Murata, Jun Irie, Akihiro Fujii, Teruo Tanaka, Takahiro Katagiri: Enhancement of Incremental Performance Parameter Estimation on ppOpen-AT, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG-15) (In Conjunction with the IEEE MCSoC-15), Proceedings of MCSoC2015, pp.203-210, September 2015.

[査読付 3] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-tuning of Hybrid MPI/OpenMP Execution with Code Selection by ppOpen-AT, The Eleventh International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2016), Proceedings of IPDPSW2016, May 2016. (採録決定)

[査読付 4] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, The Eleventh International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2016), Proceedings of IPDPSW2016, May 2016. (採録決定)

その他の発表論文リスト

[発表 1] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴:1ノード200超スレッド時代の自動チューニングに向けて～FDM コードを例にして～, OS:エクサスケールに向けた自動チューニング技術の最新研究動向, 計算工学講演会論文集, Vol.20, 2015 年 6 月.

[発表 2] 片桐孝洋:自動チューニングとビックデータ: 機械学習の適用の可能性, Sapporo Summer HPC Seminar 2015, 北海道大学情報基盤センター, 2015 年 7 月.

[発表 3] 片桐孝洋, 松本正晴, 大島聡史:SCG-AT:静的コード生成のみによる自動チューニング実現方式, 第 150 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会、情報処理学会研究報告 2015-HPC-150, 2015 年 8 月.

[発表 4] 大島聡史, 片桐孝洋, 松本正晴:ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの自動チューニング, 第 150 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会、情報処理学会研究報告 2015-HPC-150, 2015 年 8 月.

[発表 5] 片桐孝洋, 松本正晴, 大島聡史:ppOpen-AT による静的コード生成で実現する自動チューニング方式の評価, 日本応用数理学会 2015 年度年会、正会員主催 OS: 先進的環境での数値計算と自動チューニング技術, 2015 年 9 月.

[発表 6] 片桐孝洋:東京大学情報基盤センターにおける企業利用制度について, 日本応用数理学会 2015 年度年会,「産業における応用数理」部会, 2015 年 9 月.

[発表 7] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC program, Second Workshop on Accelerator Programming using Di-

rectives (WACCPD), co-located with SC15 - in cooperation with ACM SIGHPC, Lightening Talk, November 2015.

[発表 8] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Towards Automatic Code Selection with ppOpen-AT: A Case of FDM - Variants of Numerical Computations and Its Impact on a Multi-core Processor -, SPNS2015 (International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation), December 2015.

[発表 9] 片桐孝洋:ppOpen-HPC コードを自動チューニングする言語 ppOpen-AT の現状と新展開, 第 7 回 自動チューニング技術の現状と応用に関するシンポジウム, 東京大学 山上会館, 2015 年 12 月.

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 2015 年度(前期) 2 件(新規 2 件, 継続 0 件), 2015 年度(後期) 2 件(新規 0 件, 継続 2 件), 2015 年度インターン 2 件(新規 2 件, 継続 0 件).

[特記 2] 東京大学情報基盤センタースーパーコンピューティング部門主催, Advanced Supercomputing Environment (ASE)研究会: ·第 21 回 ASE 研究会(2015 年 12 月 02 日(水)), 第 20 回 ASE 研究会(2015 年 10 月 16 日(金)), の 2 回実施.

[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(片桐担当分のみ):2015 年 6 月 17 日～18 日, 2015 年 9 月 1 日～2 日, 2015 年 9 月 7 日～8 日, 2016 年 2 月 3 日～4 日, 2016 年 3 月 7 日～8 日, の 5 回実施.

[特記 4] 国際ワークショップ・オーガナイザー, 2016 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (ATAT), National Taiwan University, February 19-20, 2016.

[特記 5] 国際講義(英語),「2016 科學計算冬季學校:邁向 Petascale 高速計算」, 片桐担当:2016 年 2 月 15 日、16 日(OpenMP、MPI、講義および演習), 国立台湾大学(台湾), 2016 年 2 月 15 日～18 日.

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

2015 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：朴泰祐教授）による。このプロジェクトの紹介として [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。

- TCA 基本通信の実現およびベンチマーク、モデリング [査読付 6, 査読付 1, 査読付 10, 発表 5]
- アプリケーションへの適用 [査読付 2, 査読付 3, 査読付 8, 発表 4, 査読付 13, 査読付 4]
- FPGA の活用および改良 [発表 14, 査読付 5]
- MPI, GASNet への対応 [発表 6, 査読付 14, 発表 18]、GPU 以外のアーキテクチャへの適用 [発表 2]

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 8, 発表 15]。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いる。

このうち，2016 年 1 月に行った本研究に関する発表 [発表 15] に対して，Outstanding Research Award[受賞 1] を受賞した。

1.3 GPU クラスタ向け並列言語 XcalableACC に関する研究

並列言語 Xcalable-MP(XMP) を GPU などの演算加速機構に拡張する XcalableACC (XACC) が筑波大学・理研を中心に開発されている。一方、1.1 節で述べた TCA は，ハードウェアの制限や実装効率の面で数十ノードからなるサブクラスタにとどまる。そこでより大きなサイズに対応するためサブクラスタをまたいだ通信が必要であり，TCA と InfiniBand によるハイブリッド通信を提案している。しかし，そこで，アクセラレータ向けの並列言語である XcalableACC のフレームワークの中にハイブリッド通信を組み込むことで，低いプログラミングコストで通信ネットワークを有効に利用することを目指している。ステンシル計算の袖領域交換において効果が見られることを確認した [査読付 7, 査読付 11, 発表 7]。

また、HPC Challenge(HPCC) ベンチマークについて XACC で実装を行った。TCA、MPI+CUDA などの通信ハードウェアの相違はランタイムライブラリによって吸収することができ、実行時に最適な通信ハードウェアを選択することが可能になる [発表 9]。

1.4 GPU を用いたアプリケーション開発

OpenFMO コードにおける Fock 行列計算の GPU 化に関する研究を行った [査読付 9, 発表 1, 発表 3, 発表 11, 発表 12, 発表 16]。

1.5 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、実証システムの検討を行った。FPGA 評価ボードによって、光信号を受信し CPU に転送を行う実証システムがすでに動作している。そこで、このシステムに変更を加えて、FPGA ボードと GPU 間で直接転送を行い、GPU で通信処理を行ったのち FPGA に送り返すシステムを設計した。

また、通信中リアルタイムに暗号化を行う方式を提案し、GPU を用いて実装・評価を行った [査読付 12]。

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。

1.6 並列有限要素法アプリケーションの性能評価・係数行列生成プロセスの最適化

有限要素法アプリケーションにおける係数行列生成機能，前処理付き反復法ソルバーについて、Intel Xeon Phi を用いたコードの最適化と性能評価を行った。また、 有限要素法アプリケーションにおける係数行列生成機能について、Intel Xeon Phi および NVIDIA Tesla K40 を用いて最適化を行った。詳細は筆頭著者教員の節を参照されたい [発表 10, 発表 13]。その中で、コードの実装について議論を行い共に検討するとともに、性能評価環境について準備・補助を行った。

1.7 FPGA を用いた疎行列数値計算の性能評価

OpenCL を用いて実装した CG 法について、FPGA 上で実行した際の性能評価を行った。詳細は筆頭著者教員の節を参照されたい [発表 17]。その中で、FPGA 動作環境の準備、FPGA に向けた最適化および性能評価を実施した。

1.8 最先端共同 HPC 基盤施設 (JCAHPC: Joint Center for Advanced High Performance Computing) および当センターにおけるスパコン調達

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国内最高性能レベルの単一スパコンシステムを導入するため、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、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。Reedbush システムには、一部のノードに演算加速装置として GPU が搭載され、高速ファイルキャッシュシステムの採用を始め、各構成要素として現時点での最新技術を使用した製品が搭載される。全体として 2 PF 弱のピーク性能を実現する予定である。

1.9 HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ) の運用業務

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、HPCI 共用ストレージ東拠点の運用を実施するともに、次期ストレージシステムへの更新について検討を行った。

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 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，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。

図 1 に HA-PACS/TCA における構成、および PEACH2 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 x8 のエッジコネクタと，左側面には PCIe ケーブルポートが合計 3 個備わっている。

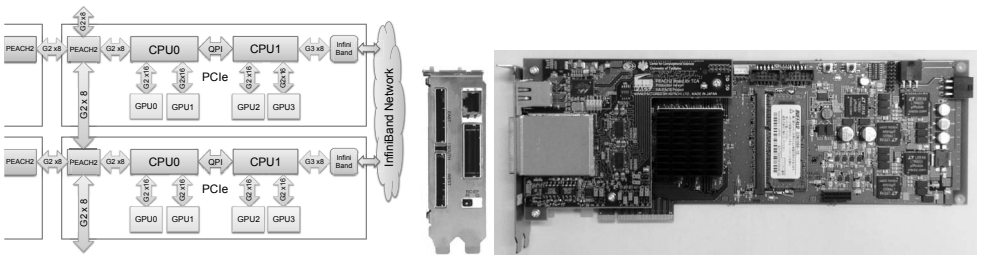


図 1: HA-PACS/TCA におけるノード構成 (左)　PEACH2 ボードの写真 (中：パネル面，右：基板面)

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。

2.3　具体的成果

1. TCA 通信ライブラリの開発・性能評価

   TCA における基本通信機能の測定を行い、GPU 間で 2.0μs の性能であった。姫野ベンチマークにより性能評価した結果、MPI の場合に比べ 61%性能改善した [査読付 6]。また集団通信関数を実装し、CG 法により性能を評価し、条件によっては MPI より 20%程度改善した [査読付 1, 査読付 10]。同時に、性能予測モデルの提案も行っている [発表 5]。

2. アプリケーションへの TCA の適用

   以下のようなアプリケーションの通信部分に TCA を適用した。CG 法の実装と評価 [査読付 2]、QCD ライブラリ QUDA への適用 [査読付 3]、FFT ライブラリ FFTW への適用 [査読付 8, 発表 4]、NAS Parallel Benchmark の CG への適用 [査読付 13]、Graph500 における幅優先探索への適用 [査読付 4]。いずれも、小〜中規模の問題において、TCA は MPI より高い性能を示すことが確認されている。

3. PEACH2 の機能拡張、および PEACH3 の基本性能評価

   PEACH2 ボードに搭載した FPGA 内部の空きロジックを用いて，通信中にリダクションを実現する機能を実装し評価した [査読付 5]。さらに、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 とほとんど差がなかった [発表 14]。

4. TCA における MPI 環境の実現

   TCA において InfiniBand 互換となる Verbs を実装することにより、一般的な MPI 処理系を用いて MPI アプリケーションを実行することに成功した [発表 6]。また、GPU 対応 GASNet の実装を行っている [査読付 14, 発表 18]。

5. TCA の Intel Xeon Phi への適用を行った [発表 2]。

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Hideharu Amano, Hitoshi Murai, Masayuki Umemura, and Mitsuhisa Sato: Towards Unification of Accelerated Computing and Interconnection for Extreme-Scale Computing, 11th International Symposium on Applied Reconfigurable Computing (ARC2015), LNCS 9040, pp. 463–474, Apr 2015.

受賞関連

[受賞 1] Yuta Kuwahara, Toshihiro Hanawa, and Taisuke Boku: Outstanding Research Award, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016, Jan. 2016.

査読付論文

[査読付 1] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA を用いた GPU 間直接通信による Collective 通信の実装と性能評価, 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 (HPCS2015) 論文集, pp. 120–128, 2015 年 5 月.

[査読付 2] Kazuya Matsumoto, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Hisafumi Fujii, and Taisuke Boku: Implementation of CG Method on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA for GPU Direct Communication, The Internatonal Workshop on Accelerators and Hybrid Exascale Systems (AsHES2015), pp. 647–655, May 2015.

[査読付 3] 藤田 典久, 藤井 久史, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 藏増 嘉伸, Mike Clark: GPU 向け QCD ライブラリ QUDA への TCA アーキテクチャの適用, 情報処理学会論文誌（コンピューティングシステム）, Vol. 8, No.2, pp. 25–35, 2015 年 6 月

[査読付 4] Takahiro Kaneda, Takuji Mitsuishi, Yuki Katsuta, Takuya Kuhara, Toshihiro Hanawa, Hideharu Amano, Taisuke Boku: Parallel processing of Breadth First Search by Tightly Coupled Accelerator, The 21st International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'15), pp. 360–366, Jul. 2015.

[査読付 5] Takuya Kuhara, Chiharu Tsuruta, Toshihiro Hanawa, and Hideharu Amano: Reduction calculator in an FPGA based switching Hub for high performance clusters, 25th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL) (poster session), pp. 1–4, Sep. 2015.

[査読付 6] Toshihiro Hanawa, Hisafumi Fujii, Norihisa Fujita, Tetsuya Odajima, Kazuya Matsumoto, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku: Improving Strong-Scaling on GPU Cluster Based on Tightly Coupled Accelerators Architecture, IEEE Cluster 2015 (short paper), pp. 88–91, Sep. 2015.

[査読付 7] Tetsuya Odajima, Taisuke Boku, Toshihiro Hanawa, Hitoshi Murai, Masahiro Nakao, Akihiro Tabuchi, and Mitsuhisa Sato: Hybrid Communication with TCA and InfiniBand on A Parallel Programming Language XcalableACC for GPU Clusters, Workshop on Heterogeneous and Unconventional Cluster Architectures and Applications (HUCAA) 2015 in conjunction with Cluster2015, pp. 627–634, Sep. 2015.

[査読付 8] Toshihiro Hanawa, Hisafumi Fujii, Norihisa Fujita, Tetsuya Odajima, Kazuya Matsumoto, and Taisuke Boku: Evaluation of FFT for GPU Cluster Using Tightly Coupled Accelerators Architecture, Workshop on Heterogeneous and Unconventional Cluster Architectures and Applications (HUCAA) 2015 in conjunction with Cluster2015, pp. 635–641, Sep. 2015.

[査読付 9] 梅田 宏明, 塙敏博, 庄司光男, 朴泰祐, 重田育照: OpenFMO における 4 中心クーロン相互作用項計算の GPGPU 化の試み, 日本コンピュータ化学会 2015 春季年会精選論文特集号, 2015 年 9 月

[査読付 10] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA による GPU 間直接通信における Collective 通信の実装と性能評価, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム（ACS）, Vol. 8, No. 4, pp. 36–49, 2015 年 11 月

[査読付 11] 小田嶋 哲哉, 朴 泰祐, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 村井 均, 中尾 昌広, 田渕 晶大, 佐藤 三久: アクセラレータ向け並列言語 XcalableACC における TCA/InfiniBand ハイブリッド通信, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム（ACS）, Vol. 8, No.4, pp. 61–77, 2015 年 11 月.

[査読付 12] T. Suzuki, S. Y. Kim, J. i. Kani, K. I. Suzuki, A. Otaka, T. Hanawa: Parallelization of cipher algorithm on CPU/GPU for real-time software-defined access network, 2015 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), pp. 484–487, Dec. 2015.

[査読付 13] 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 (Accepted)

[査読付 14] 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, 2016 年 6 月 (採録決定)

その他の発表論文

[発表 1] 梅田宏明, 塙敏博, 庄司光男, 朴泰祐, 重田育照: OpenFMO における 4 中心クーロン相互作用項計算の GPGPU 化の試み, 日本コンピュータ化学会春季年会, 東京工業大学, 2015 年 5 月.

[発表 2] 飯島 大貴, 廣川 祐太, 塙 敏博, 朴 泰祐: 密結合演算加速機構 TCA アーキテクチャの Intel MIC プロセッサへの適用, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-149(6), pp. 1–7, 工学院大学@新宿, 2015 年 6 月

[発表 3] Hiroaki Umeda, Toshihiro Hanawa, Mitsuo Shoji, Taisuke Boku, Yasuteru Shigeta: Development of GPU-accelerated FMO Program with OpenFMO and its Performance Benchmark, ICQC 2015 Satellite Symposium in Kobe “Novel computational methods for quantitative electronic structure calculations,” poster session, Kobe, Jun. 2015.

[発表 4] Toshihiro Hanawa, Hisafumi Fujii, Kazuya Matsumoto, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku: Evaluation of FFT Code for GPU Cluster Using Tightly Coupled Accelerators Architecture, HPC in Asia Poster, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC’15), Frankfurt, Jul. 2015.

[発表 5] 松本 和也, 塙 敏博, 藤田 典久, 桑原 悠太, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA による並列 GPU コードの性能予測モデル, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-150(35), pp. 1–8, 別府国際コンベンションセンター, 2015 年 8 月

[発表 6] 佐藤 賢太, 藤田 典久, 塙 敏博, 朴 泰祐: 密結合演算加速機構 TCA における Verbs 実装による MPI 環境の実現, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-150(42), pp. 1–9, 別府国際コンベンションセンター, 2015 年 8 月

[発表 7] 小田嶋 哲哉, 朴 泰祐, 塙 敏博, 村井 均, 中尾 昌広, 田渕 晶大, 佐藤 三久: アクセラレータ向け並列プログラミング言語 XcalableACC における TCA/InfiniBand ハイブリッド通信, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-150(43), pp. 1–12, 別府国際コンベンションセンター, 2015 年 8 月

[発表 8] 桑原 悠太, 塙 敏博, 朴 泰祐: GMPI：GPU クラスタにおける GPU セルフ MPI の提案, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-151(12), pp. 1–8, 沖縄産業支援センター, 2015 年 9 月

[発表 9] 中尾 昌広, 村井 均, 岩下 英俊, 田渕 晶大, 塙 敏博, 朴 泰祐, 佐藤三久: PGAS 言語 XcalableACC を用いた HPC Challenge ベンチマークの実装と評価, 情報処理学会研究報告,2015-HPC-151(16), pp. 1–7, 沖縄産業支援センター, 2015 年 9 月

[発表 10] 中島 研吾, 塙 敏博, 大島 聡史, 片桐 孝洋: ppOpen-APPL/FVM を使用した並列有限要素法アプリケーション, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-151(24), pp. 1–6, 沖縄産業支援センター, 2015 年 9 月

[発表 11] 梅田 宏明, 塙 敏博, 庄司 光男, 朴 泰祐, 重田 育照: GPGPU 化 OpenFMO による FMO 計算の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2015-HPC-151(26), pp. 1–7, 沖縄産業支援センター, 2015 年 9 月

[発表 12] Hiroaki Umeda, Toshihiro Hanawa, Mitsuo Shoji, Taisuke Boku, Yasuteru Shigeta: Large-scale MO Calculation with GPU-Accelerated FMO Program, SC15 poster, Austin, Nov. 2015.

[発表 13] 中島 研吾, 成瀬 彰, 大島 聡史, 塙 敏博, 片桐 孝洋, 田浦 健次朗: 有限要素法係数行列生成プロセスのメニィコア環境における最適化, 情報処理学会研究報告. 2015-HPC-152(12), pp. 1–10, 北海道立道民活動センター, 2015 年 12 月

[発表 14] 金田 隆大, 鶴田 千晴, 塙 敏博, 天野 英晴: PEACH3 の通信性能評価, 情報処理学会研究報告, 2016-ARC-218(27)/2016-SLDM-174(27), pp. 1–6, 慶應大, 2016 年 1 月

[発表 15] Yuta Kuwahara, Toshihiro Hanawa, and Taisuke Boku: A proposal of GMPI: GPU self MPI for GPU clusters, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016, 九州大学医学部百年講堂, Jan. 2016.

[発表 16] Hiroaki Umeda, Toshihiro Hanawa, Mitsuo Shoji, Taisuke Boku, and Yasuteru Shigeta: Development of GPU-accelerated Fragment Molecular Orbital Program, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016 (Poster), 九州大学医学部百年講堂, Jan. 2016.

[発表 17] 大島 聡史, 塙 敏博, 片桐 孝洋, 中島 研吾: FPGA を用いた疎行列数値計算の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2016-HPC-153(1), pp. 1–9, 道後温泉, 2016 年 2 月

[発表 18] 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, 情報処理学会研究報告, 2016-HPC-153(28), pp. 1–10, 道後温泉, 2016 年 2 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, 2015 年度

[特記 2] 塙 敏博, Program Committee, 6th Intl. Symp. on Highly-Efficient Accelerattors and Reconfigurable Technologies, 2015

[特記 3] 塙 敏博, Member of Program Committee, The 6th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2015

[特記 4] 塙 敏博, 実行委員, 「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム, 東京大学 武田ホール, 2015 年 12 月 22 日 開催.

[特記 5] 塙 敏博, チュートリアル副委員長, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI), 2016

[特記 6] 30th International Supercomputing Conference (ISC'15) 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.5, 2015 年 9 月

[特記 7] 30th International Supercomputing Conference(ISC'15) 参加報告, Digital Life, Vol.25, 2015 年 9 月.

[特記 8] SWoPP 別府 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.5, 2015 年 9 月

[特記 9] GTC Japan 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.6, 2015 年 11 月

[特記 10] SC15 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.1, 2016 年 1 月

[特記 11] SC15 参加報告, Digital Life, Vol.26, 2016 年 3 月.

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、インダクティブカップリングによるチップ間通信を用いた 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に関する研究を実施中である。以下では、本年度の成果の一部としてポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワークに関して主に述べる。

2　ポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワーク

2.1　背景

ポストペタスケール高性能計算システムは、消費電力がシステム設計や実効性能を制約する最大の要因であると考えられている。2012 年時点で日本最高性能を誇る京コンピュータは 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

現在は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、

- ノード間の電力性能特性ばらつきを考慮した電力資源配分最適化手法
- 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

に関して研究開発を行った。

2.3 具体的成果

(1) ノード間の電力性能特性ばらつきを考慮した電力資源配分最適化手法

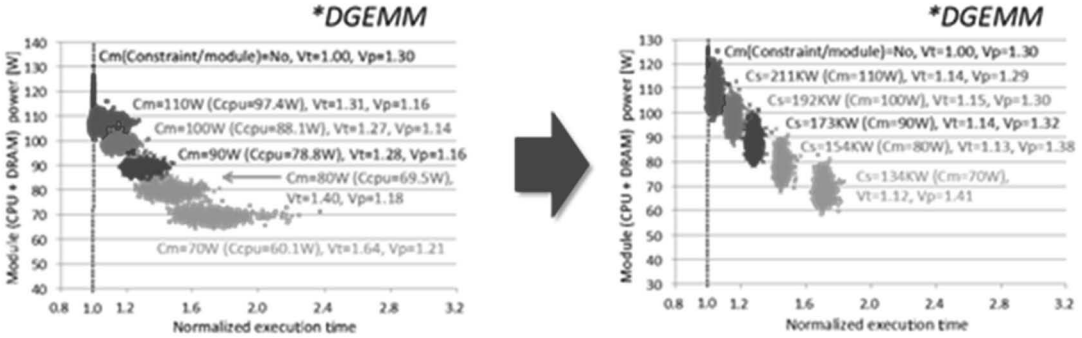


図 1: 電力制約時の性能のばらつき（左：最適化前、右最適化後）

実機を用いて電力性能特性を詳細に解析した結果、同一ハードウェア構成にて同一アプリケーションを実行した場合でも、計算ノード間には電力性能特性ばらつきが生じる（同一電力バジェットで実行した場合でもノード間で性能ばらつきが生じる）ことが分かった。図 1（左）は*DGEMM を用いて、CPU に電力制約を与えた際の、実行時間とCPU＋DRAM の合計電力をCPUソケット毎にプロットしたものである。図より、電力制約を与えない場合はほぼ同一の実行時間であったものが、電力制約を

与えると、同じプログラムを実行しているのにも関わらず実行時間（横軸）が大きくばらついていることがわかる。この性能ばらつきは、電力制約が厳しくなるにつれ、より顕著になる傾向があることもわかる。多くの HPC アプリケーションは、複数ノード間で同期を取りつつ処理を進めることが多く、性能にばらつきがあると、最も遅いノードで性能が律速されてしまうという問題がある。そこで、このような電力性能特性ばらつきを考慮した電力性能制御アルゴリズムを開発し、電力観測・制御ライブラリへと組み込んだ。

具体的には、少数計算ノードを用いた全計算ノード電力性能特性予測技術を開発した。本技術では、全計算ノードにおいてマイクロベンチマークを用いた消費電力測定をシステム起動時などに実施し、電力性能特性テーブルを作成する。そして、実行対象アプリが定まった時点で少数の計算ノードで消費電力プロファイリングを行い、電力性能特性テーブルに基づき、実行ターゲットとなるアプリケーションが与えられた際の計算ノード間特性ばらつきを推定する。この結果に基づき、各計算ノードに配分すべき消費電力、または、各計算ノードの動作周波数を自動で決定する。図 1（右）は本手法適用後の性能と消費電力である。このような機能を搭載したライブラリを開発し、実 HPC アプリケーションを用いた定量的評価を行った結果、最大で 5.4 倍の性能向上を達成した（図 2）。なお、本最適化技術は、九州大学、米国ローレンス・リバモア国立研究所、および米国アリゾナ大学と連携して開発したものであり、SC'15 において発表を行った。

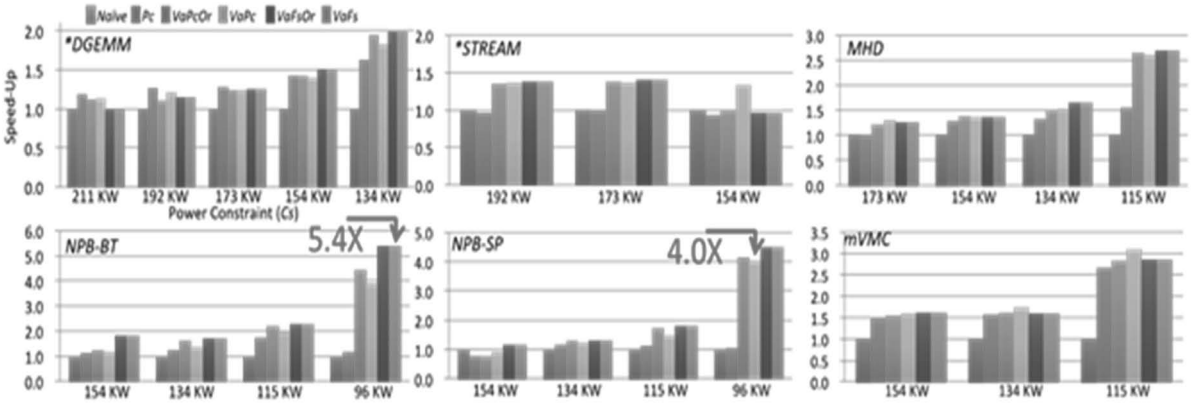


図 2：最適化による性能向上の初期評価

(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

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の開発を目指している。

本年度は、基本部分の実装に注力し、Slurm リソースマネージャに計算ノードの電力管理機能を実装した。電力管理の第一段階として、各ジョブに対する電力制約は、ユーザーがジョブの実行要求と合わせて電力ヒントとして与える実装とした。スケジューラはユーザーから与えられたジョブ情報と電力ヒント、そして計算ノード全体の電力制約を考慮したうえでジョブスケジューリングを行う。個々の計算ノードでは、割り当てられたジョブを実行するとともに、与えられた電力ヒントを用いて電源管理を行う。本年度に開発した Slurm へのの追加モジュールは、電力ヒントインタフェース、改良版スケジューラ、電力モニタ、計算ノード上の電源管理デーモンである。

開発した追加モジュールの機能検証のため、以下の実験を行った。計算ノード数を超える多数のジョブを同時に投入し、ジョブ実行中の計算ノードの電力を計測する。評価に用いたジョブは NPB 中の CG、EP、MG の 3 つのカーネルとし、データサイズはクラス C および D とした。また、これらの

ベンチマークに対して使用ノード数を変えたジョブをいくつか用意した。ジョブの電力制約においては、有効に電力制約が働くと予想される範囲の電力制約をランダムにジョブに対し与えた。これらの中からランダムに複数のジョブを取り出し、ジョブセットとして定義した。このジョブセットをリソースマネージャに投入し、計算ノード全体の電力制約を変えた場合について検証を行った。計算ノードは Xeon プロセッサを 2 基搭載するマシンを 4 台用いた。

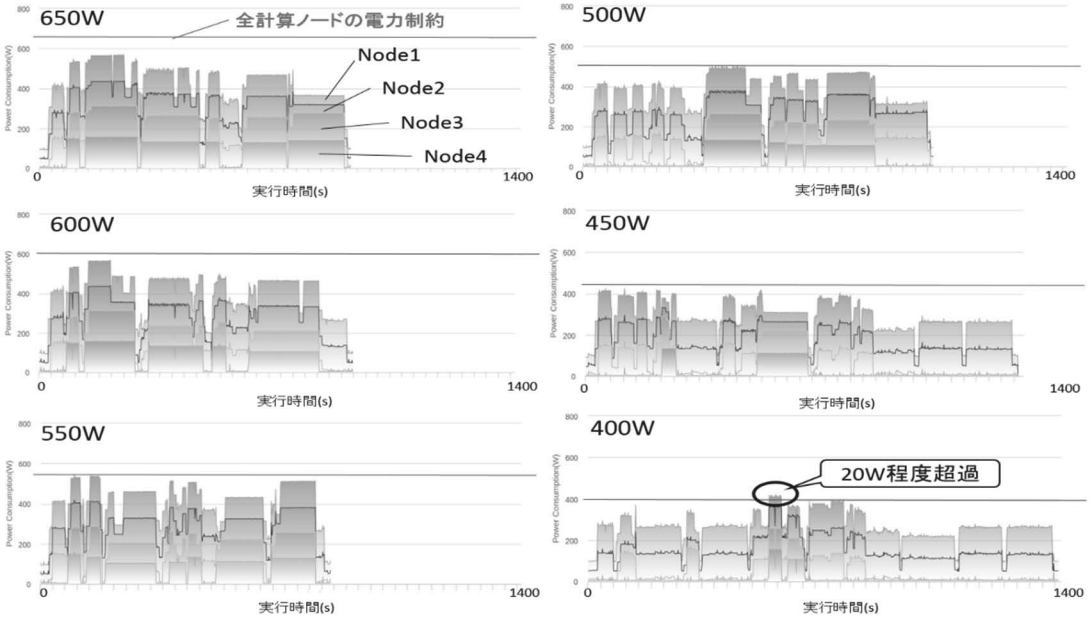


図 3:電力制約を変化させた場合のジョブ実行中の消費電力

全計算ノードの電力制約を 650W、600W、550W、500W、450W、400W とした場合の実験結果を図 3 に示す。事前評価において、1 CPU ソケット辺りの電力が最大 80W 程度であり、検証環境として先に述べた 2 ソケット CPU を持つ計算ノードが 4 台あることから、最大値を 650W として実験を行った。ジョブは先に述べたベンチマークから 20 ジョブを選択している。図 3 の結果より、400W を除く電力制約条件下において全計算ノードの電力制約を守りつつジョブ実行が可能であることを確認した。電力制約を 400W とした場合において 20W 程度、電力制約を超過する場合があった。これは、今回各 CPU ソケットに電力制約をかけるために使用した RALP における電力制御が、うまく働いていないためと考えられる。電力の超過の許容度は、システムの電源系統の構成や計算機センターの利用ポリシーに大きく依存する部分があるが、電力超過が発生しないようにさらに開発を行っていく予定である。

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Masaaki Kondo : Assisting Cache Replacement by Helper-Threading for MPSoCs, 15th International Forum on MPSoC for Software-defined Hardware, July 2015.

査読付論文

[査読付 1] 黄巍, 岩澤直弘, カオタン, 和遠, 近藤正章, 中村宏:エネルギー効率を考慮した電力制約下でのスループット指向ジョブスケジューリング, 2015 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論文集, pp.150-158, 2015.

[査読付 2] 大坂隼平, 和田康孝, 近藤正章, 三吉郁夫, 本多弘樹:電力性能特性ばらつきを考慮した MPI 並列アプリケーションの性能最適化, 2015 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論文集, pp. 159-166, 2015.

[査読付 3] Yuan He, Masaaki Kondo, Takashi Nakada, Hiroshi Sasaki, Shinobu Miwa, and Hiroshi Nakamura: Runtime Multi-Optimizations for Energy Efficient On-chip Interconnections, Proc. of the 33rd IEEE International Conference on Computer Design (ICCD2015), pp.455-458, 2015 (Accepted as poster presentation).

[査読付 4] Y. Inadomi, T. Patki, K. Inoue, M. Aoyagi, B. Rountree, M. Schulz, D. Lowenthal, Y. Wada, K. Fukazawa, M. Ueda, M. Kondo, and I. Miyoshi:, Analyzing and Mitigating the Impact of Manufacturing Variability in Power-Constrained Supercomputing, Proc. of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Article No: 78, 2015

その他の発表論文

[発表 1] 稲富雄一, 井上弘士, 和田康孝, 深沢圭一郎, 近藤正章, 三吉 郁夫, 上田将嗣, Barry Rountree, Martin Schulz, Tapasya Patki, David Lowenthal, 青柳睦:電力制約スーパーコンピューティングにおける製造ばらつき問題とその対策 ～大規模計算機システムを対象とした電力バジェット配分法の提案～, 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 2015-HPC-150, 別府, 2015 年 8 月.

[発表 2] 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を行うリソースマネージャの実装と評価, 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 2015-HPC-151, 那覇, 2015 年 9 月.

[発表 3] 天野英晴, 宇佐美公良, 黒田忠広, 近藤正章, 竹康宏, 中村宏, 並木美太郎, 松谷宏紀: 誘導結合 TCI（Thru-Chip Interface)を用いたビルディングブロック型システムの SOTB プロセスによる実装, 電子情報通信学会情集積回路研究会 (ICD), ICD2015-105, pp.49-54, 2016 年 3 月.

[発表 4] 下田和佳, 中田尚, 近藤正章, 中村宏: 最大センシング間隔に着目したエナジーハーベスティングセンサノードの電力制御, 情報処理学会組込みシステム研究会, 五島, 2016-EMB-40, 2016 年 3 月.

特記事項

[特記 1] Program Committee, 15th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2015.

[特記 2] Program Committee, Design Automation Conference (DAC), 2015.

[特記 3] Program Committee, International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED), 2015.

[特記 4] Program Committee, IEEE Cluster, 2015.

[特記 5] Program Committee, IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC), 2015.

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 疎行列を用いた数値計算問題を主な対象問題として、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 CPU(SPARC64、Xeon、Opteron)、MIC(Xeon Phi)、GPU(Tesla, FirePro) を使用して研究を行い、さらに新たに FPGA を用いた研究も開始した。得られた成果はシンポジウムや研究会等にて発表した [査読付 1, 査読付 2, 査読付 3, 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, 特記 1, 特記 2]。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) の一部として実施した [著書 1]。

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。ISC'15 および SC15 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 3, 特記 4, 特記 5, 特記 6, 特記 7, 特記 8]、論文誌編集委員 [特記 9]、学会理事 [特記 10]、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 11, 特記 12, 特記 13, 特記 14]、広報誌への執筆協力 [特記 15, 特記 16, 特記 17, 特記 18]、学外でのカンファレンス・セミナーでの講演 [特記 19, 特記 20]、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。文部科学省 研究振興局参事官 (情報担当) 付 計算科学技術推進室の技術参与を兼任し、次世代のスーパーコンピュータ (主にポスト「京」) に関する活動に参加した。

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」において実施した内容の一部について述べる。

2 ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの自動チューニングに関する研究

2.1 背景

従来、GPU (Graphics Processing Unit) 上で動作するプログラムを作成するには CUDA や OpenCL を用いる必要があり、プログラミングの手間がかかることや、マルチコア CPU・メニーコアプロセッサ向けのプログラムと共通のコードを使えないことなどが問題であった。一方、OpenACC や最新の OpenMP の登場により、従来の OpenMP に似た指示文の記述によって容易に GPU プログラムを作成すること

が可能となった。しかしこれらの指示文を用いたプログラミングにおいても、高速な GPU プログラムを作成するには様々な最適化パラメタを適切に指定せねばならず、それらの手間や難しさがしばしば問題となっている。

2.2 内容

これまでマルチコア CPU やメニーコアプロセッサ向けのプログラムを対象として開発されてきた AT (Auto Tuning) 言語である ppOpen-AT について、OpenACC プログラムの最適化についても活用可能であるかを検討し、また OpenACC プログラムを最適化するための新たな機能について検討を行った。

ppOpen-AT は、専用の AT 指示文、プログラム変換機構、および実行時ライブラリを提供する。利用者の記述した AT 指示文を元にプログラム変換機構がプログラムコードのバリエーションを生成し、実行ライブラリが問題サイズなどの指定パラメータに対応する最適なコードバリエーションをあらかじめ記録しておき、本番実行時には最適なコードバリエーションのみが利用される。ppOpen-AT を用いたアプリケーション高性能化の事例については既に多数の論文発表や口頭発表が行われているが、これまで OpenACC プログラムに対する適用は行われていなかった。

ppOpen-AT は様々な AT 機能を提供しているが、主なものとしては

1. 変数の値について、与えられた値の候補から最適なものを選ぶ機能
2. 最適なループアンローリングの段数を選ぶ機能
3. 対象ループの構造を改変し (ループの collapse, split, reordering およびそれらの組み合わせを生成)、最適なループ構造を選ぶ機能
4. 与えられたサブカーネル群から最適なものを選ぶ機能

などがあげられる。一方 OpenACC を用いた GPU プログラムの最適化手法としては

1. 十分に長いループを並列化対象とすること
2. GPU のハードウェアアーキテクチャに適したメモリアクセスが行われること (コアレスなメモリアクセスが行われること)
3. キャッシュやレジスタが有効活用されるようなプログラム構造とすること
4. CPU-GPU 間のデータ転送 (量/回数) を減らすこと
5. CPU と GPU のうち対象計算を高速に行える方を用いること

などがあげられる。

AT 機能と最適化手法の対応について検討を行った結果、各機能はそれぞれ幾つかの最適化手法に寄与できることがわかった。ただしプログラム変換機構が OpenACC プログラムを処理するうえでいくつかの問題があったため、それらについては次期 ppOpen-AT に向けた改善点として提案した。

OpenACC 向けの最適化手法の中には従来の AT 機能では対応が困難なものもあることが確認できた。特に OpenACC では GPU 上の多数の演算器に対してどのように計算を割り当てるかといった指定 (並列度の指定) を指示文の中で指定する必要があるのに対して、ppOpen-AT は指示文をただのコメントとして認識してしまうために並列度の指定に対する AT が行えないことが問題であった。そこで、指示文中の変数に対する AT を行う為の機能および記法を提案した (図 1)。これにより OpenACC における並列度の指定を最適化可能となった。また本機能は OpenMP におけるスケジューリングの最適化などにも有用であると考えられる。

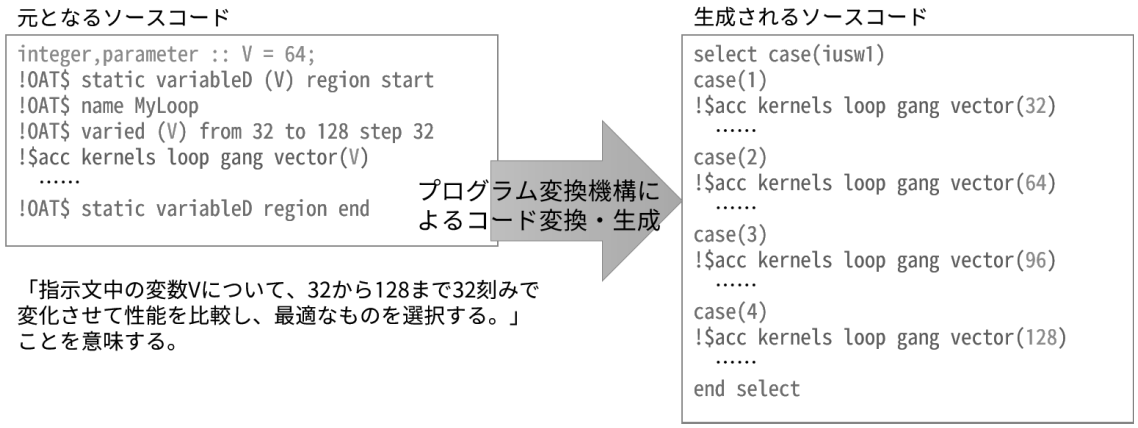


図 1: 指示文の中の変数に対する AT の例

さらに、OpenACC における並列度の指定の最適化について、実際に最適化 (性能の測定と比較) を行う際の利便性を考えて並列度の指定に特化した記法も提案した。図 2 に提案した記法を用いた記述と生成される候補群の対応の例を示す。この記法を用いて単純な三重ループからなる行列積プログラムに対して並列度の指定を最適化した結果、表 1 に示すように問題サイズによって最適な並列度 (Gang/Vector の値) が異なる例が確認できた。これにより提案した AT 機能の有用性が確認された。

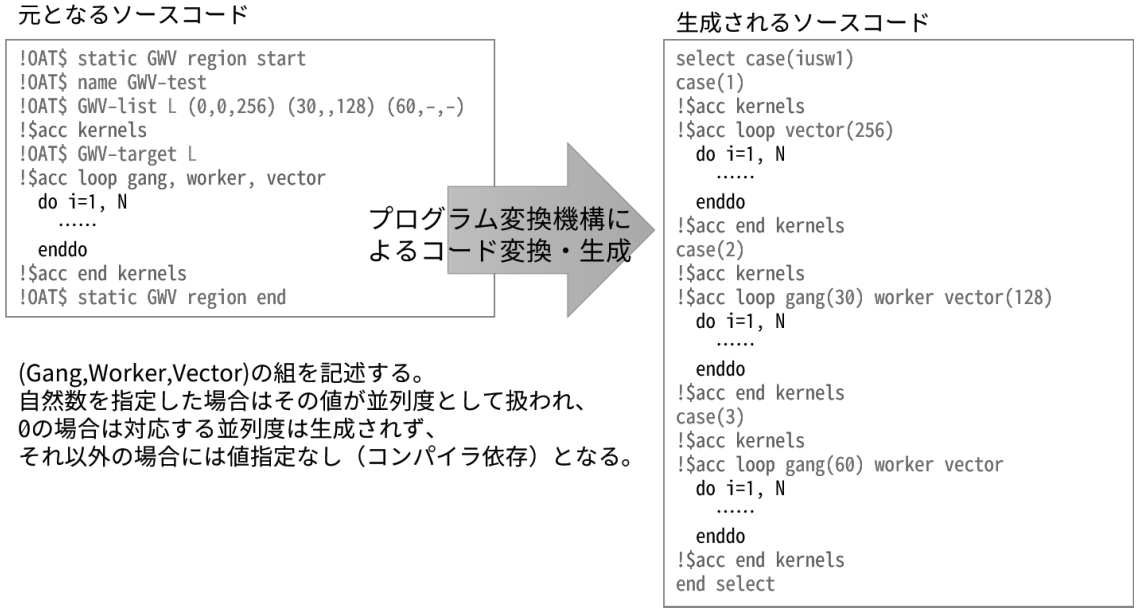


図 2: 並列度の指定に特化した記法

2.3 具体的成果

ppOpen-AT の OpenACC 対応についての検討、提案、評価を実施した。その成果に基づきいくつかの研究会等にて口頭発表やポスター発表を行った。また 2016 年度に開催される査読付き国際会議への採録が決定している。さらに、本研究で検討した内容は ppOpen-AT ver.1.0 の仕様に反映された。ppOpen-AT ver.1.0 はプロジェクトの Web ページ (`http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/`) からダウンロード可能となっている。

今後は様々なアプリケーションへ適用して効果を確認し、また必要に応じてさらなる AT 機能の提

表 1: 問題サイズと最適な並列度指定の対応 (Tesla K40 にて測定)

問題サイズ N	500	1000	2000	4000
Gang	180	180	180	def.
Vector	128	512	def.	def.

案なども行う予定である。

3 FPGA を用いたプログラムの高速化に関する研究

3.1 背景

高い電力あたり演算性能を実現しうるハードウェアとして、再構成可能なハードウェアである FPGA (Field Programmable Gate Array) が注目されている。FPGA は回路を動的に再構成することができるため、対象とする問題にあわせた最適な回路を構成できれば高い性能や電力あたり性能を得ることが可能であり、様々な用途への活用が模索されている。しかし、FPGA を用いて任意の処理を行う (FPGA プログラミング) には専用のハードウェア記述言語やツールを使う必要があり、一般的な科学技術計算プログラムの作成には適していなかった。

一方近年では OpenCL を用いて FPGA プログラムを作成可能な FPGA 製品が登場したことにより、HPC 分野における FPGA の活用も始まりつつある。そこで本研究では、我々が従来マルチコア CPU・メニーコアプロセッサ・GPU に向けて実装・評価してきた様々な科学技術計算プログラムについて、FPGA 上での実装・最適化を行い、性能やハードウェアによる最適化の有効性の違いなどについての評価を行うことにした。

3.2 内容

単純な一次元 FEM (Finite Element Method) プログラムの CG 法部分を対象として、FPGA 向けの OpenCL 実装と最適化の実験・評価を行った。なお三次元 FEM プログラムについても適用実験を実施したが、回路規模が大きくなるため最適化手法を適用しにくい (容量が大きくなり FPGA に収まりきらなくなりやすい) という難点があることがわかったため、主に一次元 FEM を題材として用いている。

性能評価は、既知の OpenCL および FPGA 向け最適化手法を幾つか適用して実行時間や回路構成情報を比較することによって実施した。適用した最適化手法は以下の通りである。

1. 元の C プログラムを最低限動作する OpenCL プログラムに書き換える (未最適化)
2. const キーワードと restrict キーワードを用いて変数の属性を指定する
3. __local 指示子を用いて一部の変数配列を FPGA 上の高速なメモリに配置する
4. 細粒度並列化 (SIMD 化やベクトル化) を適用する
5. ループの構成変更、配列変数の一時変数化、ループのアンローリングを適用

Altera Startix V GS D5 上にて上記の 3 までの実装を行った際の実行性能および比較用に Xeon E5-2680 v2 上で逐次実行を行った際の性能を図 3 に示す。開発環境としては Altera 社 Quartus II 15.1 を用いた。グラフから最適化の適用により性能が向上していることが確認できる一方、その性能が CPU 1 コアと比べて非常に低いことも確認できた。

さらに SIMD 化やベクトル化についても適用して性能を確認した。しかし、結果として性能が大きく低下してしまい、その原因については調査中である。

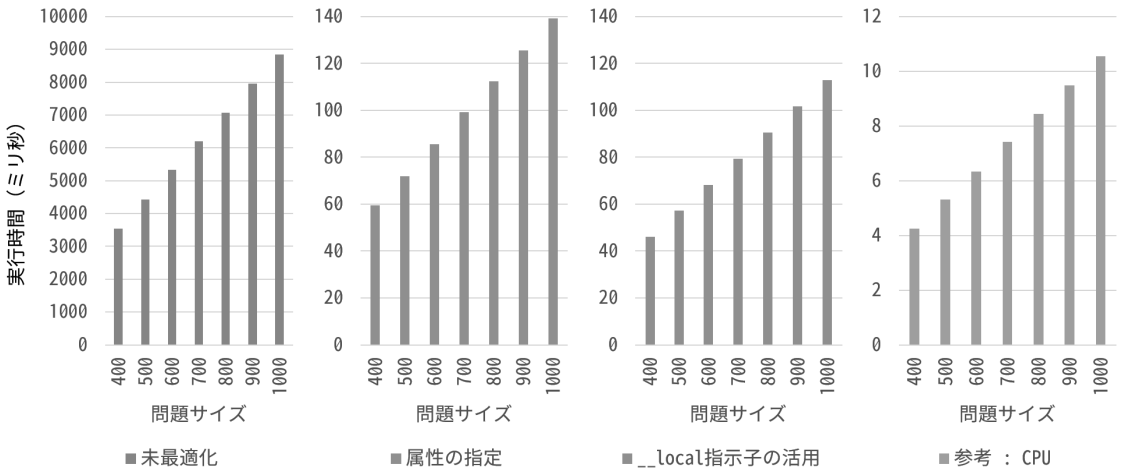


図 3: FPGA に対する最適化と性能の比較

表 2: コンパイル結果から確認できる回路構成の比較

	未最適化	属性の指定	__local 指示子の活用	コード記述レベルの最適化
動作周波数 (MHz)	247.46	269.32	262.12	285.30
Logic utilization	60%	68%	39%	63%
Dedicated logic registers	31%	34%	18%	31%
Memory blocks	61%	71%	34%	68%
DSP blocks	2%	2%	2%	2%
問題サイズ 1000 の実行時間 (ミリ秒)	8840.128	139.167	112.971	106.951

最適化手法 4 までについてはプログラムの構造を変化させない最適化である一方、最適化手法 5 はプログラムの構造を変化させるようなコード記述レベルの最適化である。OpenCL コードから回路情報への変換においては、コンパイラによって for 文や while 文などのループ構造がハードウェアレベルのパイプラインに変換される。このときにパイプラインの各ステージで行う処理の長さ (量) が均等または整数倍であるほうが高い動作周波数の回路を構成しやすくなるため、ループの分割やアンローリングを行うことで高速化を行えることがある。また一般的な CPU プログラムにおいては分岐を減らすことで性能が向上することが多い一方、FPGA における分岐はセレクタによる信号の選択であり性能に対してほとんど影響しない。むしろ回路規模を小さくしたり使用する回路が共通化されるようにプログラムを作成することの方が重要である。これらの OpenCL 向け最適化手法を考慮してプログラムの変更を行った結果、問題サイズ 1000 において 106.951msec と今回行った FPGA 実装の中では最も高い性能を得ることができた。

各実装における回路構成情報と性能の一部を表 2 に示す。FPGA の実装同士を比較すると、一部の実装において Memory blocks や DSP blocks の値に大きな差はあるものの、特に性能と強い相関があるパラメタは動作周波数程度しか確認できていない。回路構成情報と性能との対応付けは今後の課題である。一方、各実装の動作周波数はたかだか 300MHz 未満であり、対する比較用 CPU の動作周波数が 2.8GHz であることから、FPGA と CPU で性能が 10 倍違うのは妥当であると言える。

3.3 具体的成果

従来マルチコア CPU・メニーコアプロセッサ・GPU を用いて実行してきた科学技術計算プログラムについて、FPGA 向けに実装して性能や最適化手法を比較することを目指し、OpenCL を用いて FPGA 上で動作する FEM アプリケーションを実装して性能を評価・比較した。いくつかの最適化手法につ

いてはその効果を確認し、また FPGA 向けの回路生成の特徴を考慮した最適化についても実施し性能向上を確認することができた。一方、従来の並列計算ハードウェアで実施してきたような SIMD 化・ベクトル化についてはうまく適用して性能を向上させることができておらず、今後の課題となった。

これらの研究内容について、研究会にて口頭発表を行った。今後は SIMD 化・ベクトル化による性能向上を目指すとともに、より現実的なアプリケーションを用いた性能評価などを行う予定である。

4 成果要覧

著書／編集

[著書 1] K. Nakajima, M. Satoh, T. Furumura, H. Okuda, T. Iwashita, H. Sakaguchi, T. Katagiri, M. Matsumoto, S. Ohshima, H. Jitsumoto, T. Arakawa, F. Mori, T. Kitayama, A. Ida and M. Y. Matsuo, Optimization in the Real World, Mathematics for Industry 13, K. Fujisawa et al. (eds.): ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), Springer, pp.15-35, 2016.

査読付論文

[査読付 1] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Directive-based Auto-tuning for the Finite Difference Method on the Xeon Phi, The Tenth International Work-shop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2015) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2015), Proceedings of IPDPSW2015, pp.1221-1230, May 29, 2015.

[査読付 2] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-tuning of Hybrid MPI/OpenMP Execution with Code Selection by ppOpen-AT, The Eleventh International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2016), May 27, 2016. (採録決定)

[査読付 3] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, The Eleventh International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) (In Conjunction with the IEEE IPDPS2016), May 27, 2016. (採録決定)

その他の発表論文

[発表 1] 片桐孝洋，大島聡史，松本正晴：1 ノード 200 超スレッド時代の自動チューニングに向けて〜FDM コードを例にして〜，OS：エクサスケールに向けた自動チューニング技術の最新研究動向，計算工学講演会論文集，Vol.20，2015 年 6 月.

[発表 2] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Comparing the Implementation and Performance of ICCG solver using OpenMP and OpenACC, HPC in Asia session at ISC'15, The Forum Messe Frankfurt, Frankfurt, July 15, 2015. (ポスター発表)

[発表 3] 大島聡史: Implementation of Sparse Matrix Solver on Modern Parallel Architectures, Sapporo Summer HPC Seminar 2015, 北海道大学情報基盤センター, 7 月 23 日, 2015 年.

[発表 4] 片桐孝洋，松本正晴，大島聡史：SCG-AT：静的コード生成のみによる自動チューニング実現方式，情報処理学会 研究報告 (HPC-150), 7 月 28 日発行 (Vol.2015-HPC-150), 第 150 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (SWoPP2015), ビーコンプラザ 別府国際コンベンションセンター, 8 月 4-6 日開催 6 日発表, 2015 年.

[発表 5] 大島聡史, 片桐孝洋, 松本正晴: ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの自動チューニング, 情報処理学会 研究報告 (HPC-150), 7 月 28 日発行 (Vol.2015-HPC-150), 第 150 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (SWoPP2015), ビーコンプラザ 別府国際コンベンションセンター, 8 月 4-6 日開催 6 日発表, 2015 年.

[発表 6] 片桐孝洋，松本正晴，大島聡史：ppOpen-AT による静的コード生成で実現する自動チューニング方式の評価，日本応用数理学会 2015 年度年会 (会員主催 OS:先進的環境での数値計算と自動チューニング技術 (1)), 金沢大学, 9 月 9-11 日開催 11 日発表, 2015 年.

[発表 7] 大島聡史, 片桐孝洋, 松本正晴: ppOpen-AT による OpenACC プログラムの自動チューニング, 日本応用数理学会 2015 年度年会 (会員主催 OS:先進的環境での数値計算と自動チューニング技術 (1)), 金沢大学, 9 月 9-11 日開催 11 日発表, 2015 年.

[発表 8] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Implementation and Performance of ICCG solver on GPU using OpenACC, IWACOM-III (The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics), KFC Hall & Rooms, Octoboer 12-14 開催 14 日発表, 2015.

[発表 9] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC program, Second Workshop on Accelerator Programming Using Directives (WACCPD 2015), THE HILTON (opp. to the convention center) , ROOM 406, 16 November, 2015. (ショートプレゼンおよびポスター発表)

[発表 10] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Towards Automatic Code Selection with ppOpen-AT: A Case of FDM - Variants of Numerical Computations and Its Impact on a Multi-core Processor -, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2015), Earhquake Research Institute (ERI), The University of Tokyo, December 3-4, 2015.

[発表 11] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto ppOpen-AT for OpenACC: Can AT features make OpenACC programs fast?, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2015), Earhquake Research Institute (ERI), The University of Tokyo, December 3-4, 2015. (ポスター発表)

[発表 12] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), 九州大学医学部百年講堂, 1 月 18-20 日, 2016. (ポスター発表)

[発表 13] Satoshi Ohshima: Effectiveness of ppOpen-AT for OpenACC , 2016 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing, Room 101, Mathematics Research Center, National Taiwan University, February 19-20 開催 19 日発表, 2016.

[発表 14] 大島聡史, 塙敏博, 片桐孝洋, 中島研吾: FPGA を用いた疎行列数値計算の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-153), 2 月 23 日発行 (Vol.2016-HPC-153), 第 153 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 道後温泉 ホテル椿舘, 3 月 1-3 日開催 1 日発表, 2016 年.

特記事項

[特記 1] 大島聡史: ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの最適化に関する研究, 東京大学情報基盤センター 平成 27 年度前期 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦課題 採択, 2015.

[特記 2] 大島聡史: ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの最適化：全体最適化と指示文拡張に向けて, 東京大学情報基盤センター 平成 27 年度後期 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦課題 採択, 2015.

[特記 3] PC member, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-15), イタリア トリノ, 2015 年 9 月 23 日 開催.

[特記 4] プログラム委員/実行委員 (会場担当), HPCS2015 2015 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, 東京大学 武田ホール, 2015 年 5 月 19-20 日 開催.

[特記 5] Publicity Chair, SPNS2015: International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation, 東京大学 地震研究所, 2015 年 12 月 3-4 日 開催.

[特記 6] PC member, The 21st IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems, Australia Melbourne, 2015 年 12 月 14-17 日 開催.

[特記 7] 実行委員 (会場・広報担当), 「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム, 東京大学 武田ホール, 2015 年 12 月 22 日 開催.

[特記 8] プログラム委員, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), 九州大学医学部百年講堂, 2016 年 1 月 18-20 日 開催.

[特記 9] ACS 論文誌編集委員

[特記 10] 一般社団法人オープン CAE 学会 理事

[特記 11] 第 47 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」, 2015 年 6 月 17-18 日, 一部の講師を担当

[特記 12] 第 49 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」, 2015 年 9 月 7-8 日, 一部の講師を担当

[特記 13] 第 53 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 3 月 7-8 日, 一部の講師を担当

[特記 14] 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「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」（新企画）, 2016 年 3 月 22-23 日, 一部の講師を担当

[特記 15] 30th International Supercomputing Conference (ISC'15) 参加報告, Vol.17 No.5 (2015 年 9 月)

[特記 16] SWoPP 別府 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.5 (2015 年 9 月)

[特記 17] GTC Japan 2015 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.6 (2015 年 11 月)

[特記 18] SC15 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.18 No.1 (2016 年 1 月)

[特記 19] OpenACC を用いたプログラムの並列化と最適化, Prometech Simulation Conference 2015, 虎ノ門ヒルズ, 2015 年 9 月 17 日

[特記 20] OpenACC を用いた GPU プログラミング - ICCG 法の高速化実装を題材として -, GPU セミナー, 電気通信大学, 2015 年 10 月 21 日

アクセラレータ向け自動最適化フレームワークの研究

星野 哲也

1 概要

本年度 1 月着任以降の主たる活動は以下である。

- アプリケーションのメニーコア環境対応を支援する自動最適化フレームワークの開発
  本情報基盤センターにおいても NVIDIA GPU や Intel Xeon Phi といったメニーコアプロセッサを搭載したスーパーコンピュータの導入が計画されているように、メニーコアプロセッサを搭載した計算環境は一般的なものとなりつつある。本研究は、この計算環境の変化に既存の CPU 向けに作られたアプリケーションを対応させるための、アプリケーションを自動並列化・最適化する、高性能・高生産性を持つフレームワークを構築することを目的としている。本研究は昨年 12 月まで、「科学技術アプリケーションのメニーコア環境を支援する自動最適化フレームワーク」の題目で、日本学術振興会の特別研究員として研究開発を進めてきたものである。3 年間の計画であったが、本年 1 月より情報基盤センターに着任した関係から、現状は計画の 2 年目段階であり、今後も引き続き研究を進めていく予定である。

- 実アプリケーションの **OpenACC** による高速化
  上記のフレームワークに関連し、現在のメニーコアプロセッサのためのプログラミングモデルにおける問題点を評価する必要がある。そこでメニーコアプロセッサ向けのプログラミングモデルとして注目されている OpenACC を用いて、実際に利用されているアプリケーションを移植し、OpenMP や CUDA との比較評価を行った。また本研究で得られた成果の一部は、研究会において発表した [発表 1]。

- **GPU** コンピューティングの啓蒙・教育に関する活動
  スーパーコンピューティング部門では、スーパーコンピュータを効率良く利用するために必須となる、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。この講習会の新しい企画として、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企画に携わり、また講習会では一部の講師を担当した [特記 1]。

以降では、「実アプリケーションによる OpenACC の評価」、「アプリケーションのメニーコア環境対応を支援する自動最適化フレームワークの開発」に関して記述する。

2 実アプリケーションによる **OpenACC** の評価

2.1 背景

地震や気象予測、または航空機や高層ビルの設計などにおいて、今でこそ一般的となった数値シミュレーションは、計算機の急速な性能向上の恩恵を受けることで発展してきた。しかし近年では演算コ

ア単体の性能向上が物理的制約から頭打ちになりつつあるため、多数の演算コアを搭載したメニーコアプロセッサが台頭してきているが、多数のコアを効率良く利用するためには、アルゴリズムの見直しや並列プログラミング言語を用いての再実装が往々として必要となる。実際に用いられているアプリケーションを計算環境に合わせて再実装することは容易ではないため、既存のアプリケーション資産を活かしつつ、計算環境の変化に柔軟に対応するための仕組みが求められている。

既存のアプリケーションのメニーコア対応手法として、コンパイラ指示文ベースのプログラミングモデルである OpenACC が注目されている。指示文ベースのプログラミングモデルは、既存のアプリケーションに対し数行の指示文を加えることで並列化が可能であり、また指示文に対応していないコンパイラは指示文行をコメントとして無視するため、元のソースコードを保全することができるためである。しかし OpenACC は 2011 年に発表された比較的新しい規格であり、2015 年 10 月に新しい仕様である OpenACC2.5 が発表されたばかりの、未だ発展途上のプログラミングモデルであるため、特に実アプリケーションにおける評価が少ないのが現状である。

2.2 内容

OpenACC の評価を行うために、実アプリケーションの OpenACC による移植・最適化を行った。実アプリケーションとしては、株式会社 IHI より提供されたアプリケーションである UPACS とそのデータセットを対象とした。また比較のため、OpenMP によるマルチコア向け並列化と CUDA による GPU 向けの並列化も同時に行った。

結果として、OpenACC の仕様上の制限 (明示的なスレッド間同期構文がない、スレッド ID を取得できない) が、OpenMP や CUDA では適用可能な最適化を妨げ、十分な性能を達成できない原因となっていることが確認された。また、OpenACC ではデータ構造の変更による最適化の効果が非常に大きいことが確認された。CPU と GPU では得意とするデータレイアウトが異なり、性能最適化を行う上で重要であることはよく知られているが、特に OpenACC は指示文ベースのプログラミングモデルであるという特性上、ひとつのコードを様々な環境で実行する可能性があるため、性能可搬性の観点から特に問題になると考えられる。

2.3 具体的成果

本研究において対象としている圧縮性流体解析プログラム UPACS は、独立行政法人宇宙航空研究開発機構 JAXA により研究開発されている、航空宇宙分野において要求される様々な流体現象の解析に用いることを目的とした汎用的な流体アプリケーションである。ただし今回対象としている UPACS は、JAXA の UPACS をベースとして、株式会社 IHI が開発のために独自の拡張を施したものである。

UPACS の OpenACC 化は、表 1 に示す 4 段階にて行った。なお、OpenACC 化は IHI より提供されたデータセットにて利用するサブルーチンのみを対象としており、時間発展ループの内側のほぼ全て、49 のループネストに OpenACC 指示文を適用した。オリジナルの UPACS(V0) は時間発展に Matrix Free Gauss-Seidel 法と呼ばれる陰解法を用いており、そのままでは並列化できないため、hyper-plane 法によるカラーリングを施したカーネルと差し替えることで並列化可能とした。また OpenACC の仕様やコンパイラのバグにより、指示文の適用できない部位が存在したため、それらを回避するための変更を施した。ゆえに、OpenACC 指示文を適用しているのは V1 以降である。また比較のために、OpenMP 版と OpenACC+CUDA 版を実装した。OpenMP 版は OpenACC による並列化部分を全て OpenMP の指示文により書き換えたものであり、OpenACC+CUDA 版は OpenACC において最も性能が悪かった 5 カーネルを CUDA で実装したカーネルに置き換え、OpenACC 側から呼び出したものである。V2 と V3 は性能最適化であり、V2 の構造体のデータレイアウト変換では、実行デバイス向けにレイアウトを最適化している。また V3 の最適化は明示的なスレッド間同期、スレッド ID の取得などができない OpenACC では適用できず、性能ギャップを引き起こす原因となっている。

OpenMP 版、CUDA 版との比較評価の結果をグラフ 1 に示す。計測に利用した計算環境は東京工業

表 1: UPACS の最適化

	書換内容
V0	IHI 版 UPACS のオリジナル (変更なし)
V1	並列不可ルーチンの置き換え、OpenACC の仕様への適用、コンパイラのバグ回避のための変更
V2	対流項・粘性項計算部分 (陽解法) において利用されている構造体配列を配列の構造体へと変更
V3	陰解法部分へのブロッキングの適用

表 2: 実行デバイス毎のコンパイラ

	compiler	target	option
Intel	ifort15.0.2	CPU	-O3 -openmp -no-prec-div -xHost -no-fp-port -convert big_endian
PGI	pgfortran15.10	CPU(single)	-fast -mp -byteswapio
		CPU(OpenMP)	-fast -mp -byteswapio
		CPU(OpenACC)	-fast -acc -ta=multicore -byteswapio -Minfo=accel
		GPU(OpenACC)	-fast -acc -ta=tesla -byteswapio -Minfo=accel
		GPU(CUDA)	-Mcuda=7.0 -byteswapio

大学の TSUBAME2.5 Thin ノードであり、CPU は Intel Xeon X5670 6cores 2.93 GHz (Westmere)、GPU は NVIDIA Kepler K20X である。TSUBAME2.5 の 1 ノードは CPU 2 ソケット、GPU 3 枚の構成であるが、本評価では CPU 1 ソケット (6 コア) と GPU 1 枚を用いた。

グラフ 1 は、変更を加える前の IHI 版 UPACS を PGI コンパイラによりコンパイルし、CPU1 コアを用いて実行した時の性能 (グラフの左端) を 1 とした相対性能である。計測時間には初期化処理などを含んでおらず、1 タイムステップあたりの実行時間を計測しており、このときの実行時間が 70.4 秒である。また評価軸は表 1 に記載のものであり、V0 は一部並列化不可の部分があるため、1CPU コアのみでの評価である。

まず、Intel コンパイラと PGI コンパイラの比較であるが、同じ 1CPU コアでの実行であっても、Intel コンパイラによりコンパイルされたものが 4.0 倍程度高速であることがわかった。これは UPACS で用いられている pointer 配列を含む構造体の影響が大きい。この pointer 配列は PGI コンパイラによってうまく解析できず、OpenACC 化の際のバグの原因となっていたため、V0 から V1 への書き換え時に変更した。この変更が結果的に PGI コンパイラの最適化を助け、PGI コンパイラ使用版の V1 は V0 と比較して 2.2 倍程度高速化されている。一方 Intel コンパイラ版では 27%程性能が低下している。これは時間発展部分にカラーリングを施したため、メモリアクセスが不連続になった影響と考えられる。

次にマルチコア CPU 上での比較であるが、PGI コンパイラ、Intel コンパイラそれぞれによる OpenMP 版と OpenACC のマルチコア CPU ターゲット版についての比較を行う。pgfortran15.10 より、NVIDIA 社製 GPU、AMD 社製 GPU に加え、Intel 社の x86 CPU も OpenACC のターゲットにできるようになった。ターゲットの切り替えは-ta=multicore により行っている。ターゲット multicore が指定された場合、ホスト-デバイスはともに CPU でありデータ転送は不要であるため、データ転送指示文は無視される。OpenACC では並列化を行う際、その並列度を 3 段階の粒度によって指定できるが、PGI コンパイラ 15.10 ではマルチコア CPU 向けの並列化では最も粗粒度の指定のみが有効であった。まず OpenMP 版について V2 での性能を比較すると、1CPU ソケット (6 CPU コア) で実行した場合、1 コアでの実行時と比較して、PGI 版、Intel 版それぞれ 3.6 倍、4.1 倍程度の高速化が得られた。次に OpenACC のマルチコア CPU 版との比較であるが、同じ PGI コンパイラによる OpenMP 実装と比較して、V2 ではほとんど遜色ない性能であるが、OpenACC では同期構文が存在しない仕様上 V3 の最適化を適用できないために、最終的に 90%程度の性能となった。

最後に GPU ターゲット版の OpenACC についてであるが、V1 から V2 への性能向上が特に大きく、1.56 倍程度の高速化が得られた。また CPU の結果と比較すると、基準となる PGI 1core 版に対して、

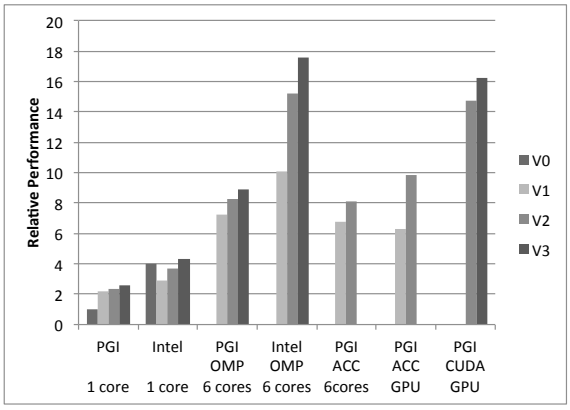


図 1: UPACS OpenMP vs OpenACC vs CUDA

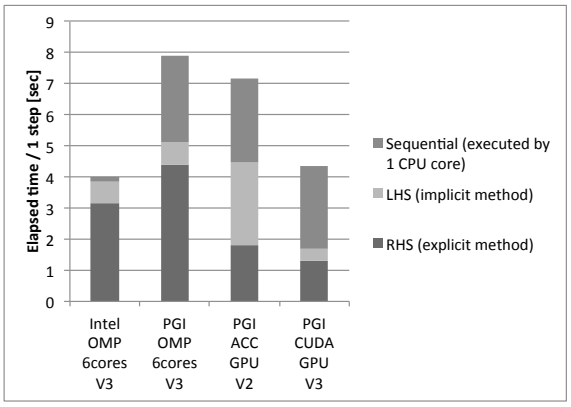


図 2: フェーズ毎の実行時間

9.82 倍の性能向上が得られ、PGI OpenMP 6core 版に対して 1.10 倍程度の性能向上が得られたが、Intel OpenMP 6core 版に対しては 55.8%程度の性能しか得られなかった。CPU・GPU の理論性能差を考慮すると満足な結果であるとは言えず、さらなる改善が望まれる。また、49 カーネル中 5 カーネルのみ置き換えを行った CUDA 版と比較して、V2 の段階で 66.6%、OpenACC では実装できない V3 と比較すると 60.5%程度の性能であった。

また、図 2 は 1 タイムステップあたりの実行時間の比較である。UPACS は右辺項 (図 2 中 RHS、対流・粘性計算などを含む。) の計算を陽的に行い、左辺項 (図 2 中 LHS、時間発展計算など。) の計算を陰的に行っており、またこの部分を OpenACC を用いて並列化している。OpenACC 化を行わなかった、ブロック間の袖領域通信などに要した時間を図 2 では Sequential としており、CPU の 1 スレッドで計算されている。まず、PGI コンパイラを用いた 3 つの実行においては、Sequential 部分が Intel コンパイラを用いたものと比較して 16.8 倍ほど低速であった。この主な原因は、袖領域通信前のデータ加工に使われている Fortran の reshape 組み込み関数であると判明している。この点は今後、組み込み関数を用いないよう変更することで解決する予定である。次に OpenACC 化を行った RHS・LHS 部分について、陽解法を用いている RHS 部分については OpenACC により高速化がなされていることがわかったが、陰解法である LHS 部分については OpenMP と比較して低速であった。これは hyper-plane 法によるカラーリングでは非連続なメモリアクセスとなるため特に GPU に向かないことと、このメモリアクセスを連続化するための最適化である V3 が OpenACC では適用できないことに起因する。

3 アプリケーションのメニーコア環境対応を支援する自動最適化フレームワークの開発

3.1 背景

コンパイラ指示文ベースのプログラミングモデルである OpenACC は、既存のアプリケーションのメニーコア対応手法として注目されている。OpenACC では数行の指示文を挿入することでアクセラレータ上での実行を可能とし、さらに挿入された指示文を無視すれば元のアプリケーションと同様に CPU 上で実行可能であり、デバイス間の機能的な可搬性が高いことが利点である。しかし、CPU と GPU はそれぞれ最適なデータレイアウトに違いがある等、異なる性能特性を持っており、前述の研究でもデータレイアウトを書き換える必要があった。これはホスト-デバイスどちらで実行する場合にも同一のプログラムを用いる OpenACC においては、アプリケーションの性能可搬性低下の原因となるため、特に問題となっている。

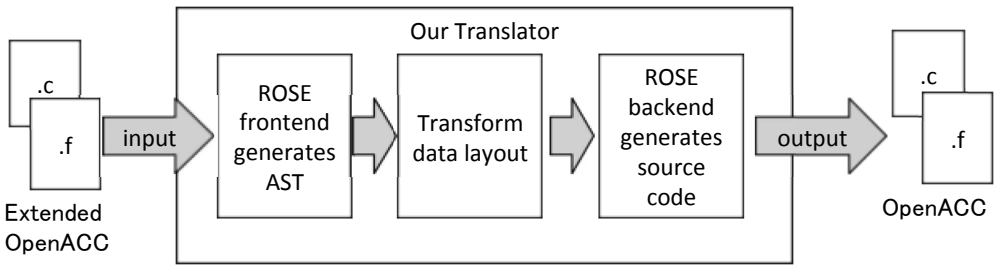


図 3: フレームワーク イメージ図

3.2 内容

本研究では、OpenACC をベースとし、メニーコア環境向けの自動最適化フレームワークの開発を行っている。実行デバイスごとにデータレイアウトを最適化するために、OpenACC にデータレイアウトを抽象化するための拡張を導入し、最適化を行う。データレイアウトの抽象化を実現することにより、CUDA や OpenCL などのローレベルなプログラミングモデルでは行えないデータレイアウトの自動最適化が可能となり、ハイレベルなプログラミングモデルの利点である異なるデバイス間での可搬性を、機能・性能の両面において達成できるものと考えられる。

具体的には、OpenACC の拡張指示文として、*acc transform* の導入を提案する。*acc transform* によって指定された配列は、同時に指定する変換規則に従ってレイアウト変換を行い、指定された領域内のデバイス側では変換後の配列として扱われる。例えば、3 次元配列 *array(3,100,100)* に対し、 *acc transform transpose(array(1:3,1:100,1:100)::(2,1,3))* のように記述することで、*acc transform* から *acc end transform* の間で *array* は変換規則 *(2,1,3)* に従い転置され *array'(100,3,100)* として扱われる。

またフレームワークの実装は、ROSE Compiler Infrastructure と呼ばれるソース-to-ソースのコンパイラ上に、独自の最適化パスを追加することで実現している (図 3)。ROSE Compiler が生成した抽象構文木を、追加した最適化パスにて *acc transform* に従い変更し、変更済みの抽象構文木を ROSE Compiler が再変換し、変換済みのソースコードとして出力する。図 4 に変換前、図 5 にフレームワークにより変換されたソースコードの例を示す。

3.3 具体的成果

OpenACC の拡張指示文として、昨年までに実装済みの *acc transform* 指示文に加え、アプリケーションにて使用する際に必要となる、*acc present_transform, acc transform update* などの機能を追加実装した。*acc present_transform* は、*acc transform* の領域内より呼び出された関数側で用いる指示文であり、変換済みの配列がデバイスメモリ上に存在することを示している。また *acc transform update* は、*acc transform* の領域内にて、ホスト/デバイス側の配列を更新するために用いる指示文である。現在、これらの指示文を用いて、UPACS などの実アプリケーションによる評価を進めている。

4 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 星野哲也、松岡聡：圧縮性流体解析プログラムの OpenACC による高速化, 情報処理学会 研究報告 (HPC-153), 2016 年 2 月 23 日発行, 道後温泉 ホテル椿館, 2016 年 3 月 1-3 日.

特記事項

[特記 1] 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 3 月 22 日 ∼23 日, 一部の講師を担当

```
1  subroutine testroutine(a,b)
2    integer :: i, j, n
3    double precision, dimension(:,:,:) :: a, b
4    !------ initialization --------!
5    !$acc transform &
6    !$acc& transpose(a(1:3,1:100,1:100)::(2,1,3)) &
7    !$acc& transpose(b(1:3,1:100,1:100)::(2,1,3))
8    !$acc kernels copy(a,b)
9    !$acc loop gang
10   do j = 1, 100
11     !$acc loop vector
12     do i = 1, 100
13       !$acc loop seq
14       do n = 1, 3
15         b(n,i,j) = a(n,i,j)
16       end do
17     end do
18   end do
19   !$acc end kernels
20   !$acc end transform
21 end subroutine
```

図 4: Input

```
1  SUBROUTINE testroutine(a,b)
2    USE transpose
3    INTEGER :: i, j, n
4    DOUBLE PRECISION :: a(:,:,:), b(:,:,:)
5    DOUBLE PRECISION, POINTER, DIMENSION(:,:,:) :: a_tp
6    DOUBLE PRECISION, POINTER, DIMENSION(:,:,:) :: b_tp
7    INTEGER, DIMENSION(3) :: LBT_a_tp
8    INTEGER, DIMENSION(3) :: UBT_a_tp
9    INTEGER, DIMENSION(3) :: RUT_a_tp
10   INTEGER, DIMENSION(3) :: LBT_b_tp
11   INTEGER, DIMENSION(3) :: UBT_b_tp
12   INTEGER, DIMENSION(3) :: RUT_b_tp
13   !----- Initialization -----!
14   !$acc transform transpose (a(1:3,1:100,1:100),2,1,3), &
15   !$acc & transpose (b(1:3,1:100,1:100),2,1,3)
16   allocate( b_tp(1:100,1:3,1:100) )
17   allocate( a_tp(1:100,1:3,1:100) )
18   RUT_b_tp(3) = 3
19   UBT_b_tp(3) = 100
20   LBT_b_tp(3) = 1
21   !---- 次元サイズ、変換ルールなどの保存（中略）  -----!
22   RUT_a_tp(1) = 2
23   UBT_a_tp(1) = 3
24   LBT_a_tp(1) = 1
25   CALL transpose_double_3(b_tp,b,LBT_b_tp,UBT_b_tp,RUT_b_tp)
26   CALL transpose_double_3(a_tp,a,LBT_a_tp,UBT_a_tp,RUT_a_tp)
27   !$acc kernels copy (a_tp, b_tp)
28   !$acc loop gang
29   DO j = 1, 100
30     !$acc loop vector
31     DO i = 1, 100
32       !$acc loop seq
33       DO n = 1, 3
34         b_tp(i,n,j) = a_tp(i,n,j)
35       END DO
36     END DO
37   END DO
38   !$acc end kernels
39   CALL retranspose_double_3(a,a_tp,LBT_a_tp,UBT_a_tp,RUT_a_tp)
40   CALL retranspose_double_3(b,b_tp,LBT_b_tp,UBT_b_tp,RUT_b_tp)
41   deallocate( a_tp )
42   deallocate( b_tp )
43   !$acc end transform
44  END SUBROUTINE testroutine
```

図 5: Output

大規模科学技術計算に向けた行列近似手法の研究

伊田　明弘

1　概要

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。

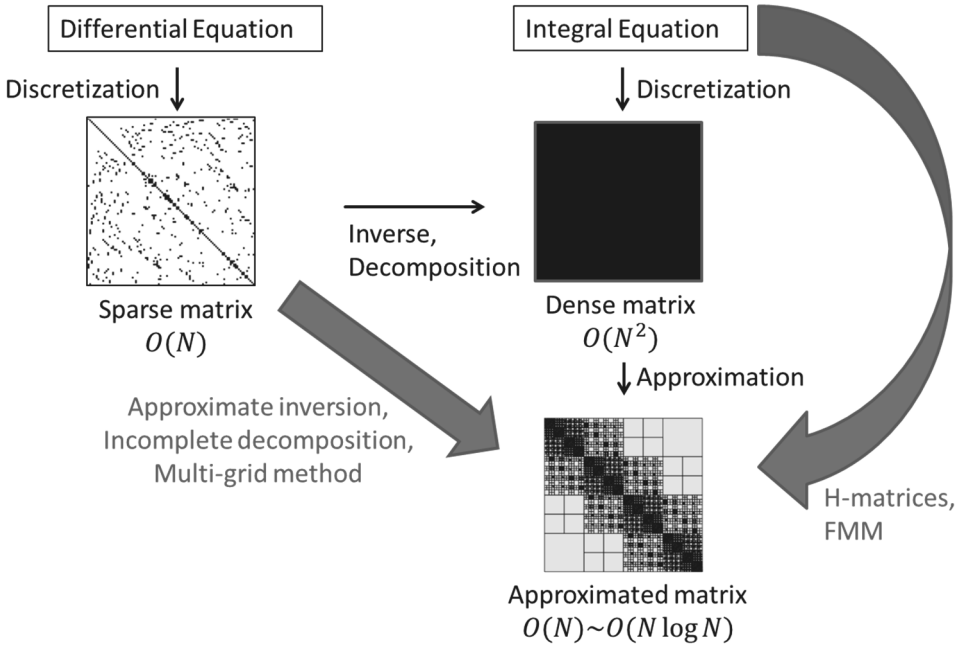


図 1:本研究の概念図。科学技術計算で有用な密行列を、実際には計算することなく、その近似行列を構築する研究を行っている。

2015 年度の成果は、以下のとおりである。

① 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

ACA 法は低ランク行列近似手法の一つであり、ACA-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。ACA-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。ACA-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。

- 大規模解析に向けた ACA-H 行列法の改良

  本研究では、行列に規格化を行い、ACA 法の収束判定条件を見直し、ACA-H 行列法の改良手法を提案した。従来の ACA-H 行列法を用いて大規模計算を行うと、積分作用素の積分核が高次の特異性を持つ際に、必要なメモリ量が$O(N \log N)$から大幅に増加することがあることが報告されていた。そのような問題の一つである地震サイクルシュミレーションに提案手法を適用し、$O(N \log N)$程度の計算量で大規模計算を行うことができることを確認した[招待 1、査読付 4]。
- ACA-H 行列法への動的負荷分散の利用

  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。従来手法では、見積もられた計算量に対して、部分行列を単位とした各ワーカーへ計算割り当てを、静的に行っていた。計算量に対する見積もりが実際とは大きく異なる場合や、非常に大きな計算量を持つ部分行列が存在する場合など、静的負荷分散では十分な並列計算性能が得られない場合について、動的負荷分散を用いて改善を行えることを確かめた[査読付 1]。
- ACA-H 行列法のための可変前処理クリロフ部分空間法

  H 行列を係数行列に持つ連立一次方程式に対して、クリロフ部分空間法を用いた求解を行う際の前処理について検討を行っている。本研究では、係数行列である H 行列が ACA 法を用いて作成されているという条件の下で、H 行列の一部を用いた可変前処理を行うことを提案した。静電場解析に対して提案手法を適用し、有効性を確かめた[招待 2、査読付 2、査読付 5]。第 3 節で、より詳しく述べる。

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 ACA-H 行列法ライブラリ HACApK の開発し、公開を行った[招待 2、著書 1、発表 1、発表 2、公開 1、公開 2]。本研究は、JST CREST/ppOpen-HPC プロジェクトの一環であり、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解析を行うことが可能となる。

③ 不完全コレスキー分解の fill-in 戦略に関する研究

不完全コレスキー分解付き共役勾配法に対して、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不完全コレスキー分解法を提案した。提案手法では、fill-in による演算量増加がもたらす計算時間に対する悪影響は SIMD 演算の効果により軽減され、fill-in による収束特性改善効果の恩恵を受けることができる。フロリダ大学の行列データベースを用いた数値実験により、提案手法の有効性を確認した[査読付 3]。

以下、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。

2　ACA-H 行列法のための可変前処理クリロフ部分空間法

2.1　背景

階層型行列法(H 行列法)は、高速多重極法(FMM)と同様に、境界要素法に現れる密行列に適用可能な行列近似手法の一種である。密行列を扱うには、未知変数の数 N の二乗に比例する計算機メモリと演算量が要求される。行列近似手法の適用により、これらは$O(N)$～$O(N \log N)$に減じられる。階層型行列法には幾つかの派生版が存在し、その内の一つに ACA 法と組み合わせる方法がある。階層型行列法の多くの派生版では、FMM と同様に、積分方程式の積分核を手計算で変数分離形に近似する必要がある。一方、ACA 法を用いた階層型行列法は代数的手法であり、元の密行列の一部要素のみを用いて近似行列を生成することが可能である。指定された行列要素のみが必要で積分核を陽に知る必要がないという性質は、手法のブラックボックス化が可能であることを意味し、ライブラリ化という観点から見て重要な性質である。筆者らは、ACA 法を用いた階層型行列法(ACA-階層型行列法)を分散メモリ並列計算環境で実地するための並列化手法を提案し、提案手法に基づいて開発した階層型行列法ライブラリ(HACApK)の公開を行っている。[公開 2]

従来、境界要素法に現れる連立一次方程式を解く際には、前処理なしのクリロフ部分空間法が適用されることが多かった。係数行列が密行列の場合や、階層型行列を用いたとしても1ノード内で計算する場合には、計算メモリや計算時間の制約から、元数は数十万から百万程度に抑えられていた。その程度のサイズの問題であれば、前処理を使用せずとも、クリロフ部分空間法は数十回の反復回数で収束解に到達することが可能な場合がほとんどであった。一方、HACApK ライブラリの開発に伴い、複数ノードを用いた大規模計算を行うことが可能となった。同一のモデルであっても、要素数を単純に増加させるだけで、クリロフ部分空間法の求解に要する反復回数は増大する(図 2 参照)。また、要素数を増やせるということは、物体形状の表現力が向上することを意味しており、複雑な境界形状を有するモデルを構築することも可能となる。境界形状の複雑化も反復回数を増加させる要因と成り得る。

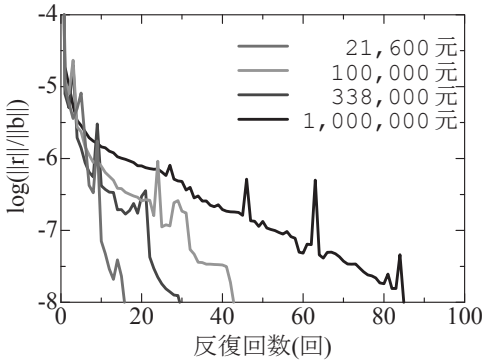


図 2:Bi-CGSTAB 法の収束曲線:表面電荷法に階層型行列法を適用した連立一次方程式を求解した。元数が増加すると、求解に要する反復回数が増加する。

2.2　内容

$N \in \mathbb{N}$に対して、密行列$A \in \mathbb{R}^{N\times N}$の近似として H 行列$\tilde{A}_H^K$を考える。$\tilde{A}_H^K$は、領域$N \times N$に対して、ブロック$h := s_h \times t_h \in H$から構成されるパーティション$H$ によって特徴付けられる（図3参照）。 対角付近の小さな部分行列を除いて、$\tilde{A}_H^K$に含まれる多くの部分行列は低ランクである。 ブロックhに対応する近似対象行列の部分行列$A_H|^h$の近似である低ランク行列$\tilde{A}_H^K|^h$は、次式で表される。

$$\tilde{A}_H^K|^h := \sum_{\nu=1}^{k_h} v^\nu (w^\nu)^T. \tag{1}$$

ここで、$v^{\nu} \in \mathbb{R}^{s_h}, w^{\nu} \in \mathbb{R}^{t_h}, k_h \leq K$。部分行列のランクの上限$K$は、与えられた許容誤差$\varepsilon$に対して、$||A - \tilde{A}_H^K||_F \leq \varepsilon$を満たすように決まる定数である。

$x, b \in \mathbb{R}^N$に対して、次のH行列を係数行列に持つ連立一次方程式を考える。

$$\tilde{A}_H^K x = b. \tag{2}$$

本研究では、実用的で大規模な境界要素解析を実行することを念頭に、式(2)に対するクリロフ部分空間法の前処理手法を検討した。Arnoldi型クリロフ部分空間法自身をArnoldi型クリロフ部分空間法の前処理に適用する可変前処理について、H行列の特性を考慮した新しい手法を提案した。提案手法では、係数行列であるH行列の一部を前処理行列として利用する。そのため、前処理行列を作成するための計算は不要であり、前処理行列のために余分なメモリを確保する必要もない。また、前処理のために必要なH行列演算は、H行列・ベクトル積のみである。そのため、並列化されたH行列用クリロフ部分空間法コードが既にあれば、提案手法の並列化実装は比較的容易である。

2.3 具体的成果

本研究では、H行列$\tilde{A}_H^K$に含まれる低ランク行列$\tilde{A}_H^K|^h$が、ACA法を用いて計算されることを前提とし、次の２つを提案した。

① ACA法で最初に選択する列ベクトルを、近似対象部分行列$A_H|^h$の1行目において最大値を持つj^{v1}列目ベクトルにする。即ち、$j^{v1} \coloneqq \mathrm{argmax}_j|(A_H|^h)_{1,j}|$。

② 前処理では、係数行列$\tilde{A}_H^K$を構成する各低ランク行列に対して、ランク1に制限した近似行列$\tilde{A}_H^1$（図3参照）を用いる。

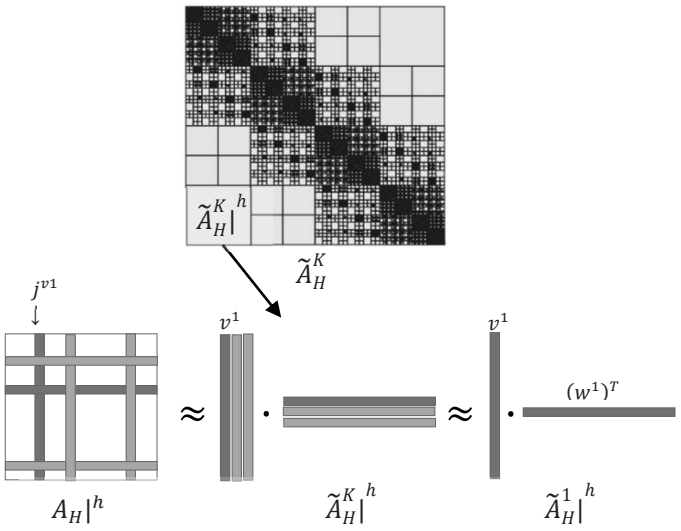


図3：H行列$\tilde{A}_H^K$を構成する低ランク行列$\tilde{A}_H^K|^h$は、近似対象密行列Aの部分行列$A_H|^h$の主要行と主要列から計算される。最大ランクを制限されたH行列$\tilde{A}_H^1$は、$\tilde{A}_H^1|^h$から構成され、$\tilde{A}_H^1|^h$は$\tilde{A}_H^K|^h$の一部分である。$\tilde{A}_H^1$を前処理に用いることにより、$\tilde{A}_H^K$を用いた場合に比べて、演算量は大幅に低減される。

提案手法の有効性を、境界要素法を用いた静電場解析の問題で確かめた。

例題として、一様電界中に完全導体と仮定した人型を、図4右のように配置した時に人型表面に誘起される表面電荷を計算した。人型表面を2,359,680個の三角要素に分割し、境界要素法の基底関数にはステップ関数を使用した。ACA－H行列法の許容近似誤差を$\varepsilon = 10^{-4}$に設定して、連立一次方程式(2)を構築した。この時、係数行列となるH行列の最大ランク$K = 27$であり、低ランク部分行列のランクの平均値$\overline{k_h} = 8$であった。

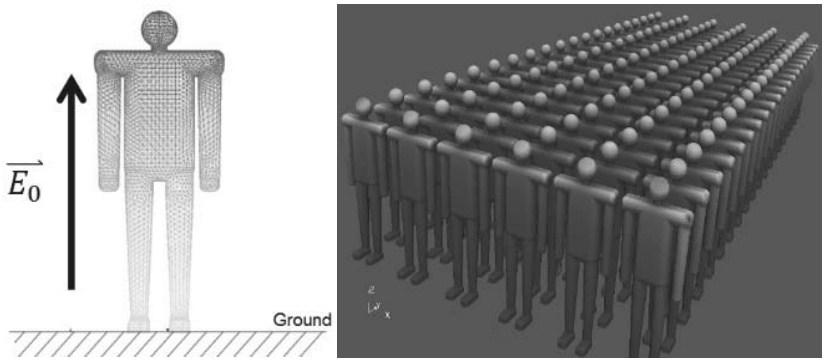


図 4:解析条件(左)と解析結果(右)。人型をした解析対象の表面が三角要素で分割される。人型は 6×20 の格子上に配置される。人型表面に誘起される表面電荷の計算結果が右図に示されている。最前列の両端に立つ人型の肩あたりに分布する赤色が、誘起された電荷の最大値を表す。

上記の連立一次方程式に対して、表1に示した 6 種類のアルゴリズムを用いて求解を行い、収束に至るまでの反復回数と計算時間について比較をおこなった。これらのアルゴリズムの内、本研究で提案した手法は case1-3 である。case1-1 は前処理なし Arnoldi 型クリロフ部分空間法であり、case1-2 は一般的な可変前処理付きクリロフ部分空間法である。Arnoldi 型クリロフ部分空間法としては、GCR(m)法を用いた。case2-1 から case2-3 は、BiCGSTAB 法を用いたアナロジー手法である。主ソルバに対する収束判定条件は相対残差が10^{-6}以下となることとし、前処理ソルバに対しては相対残差が10^{-1}以下となることとした。GCR(m)法のリスタートパラメータは$m = 8$とした。全ての計算は、京都大学の CRAY XC30 の 2 ノードを用いて行った。

表 1　本研究で数値実験を行ったアルゴリズム（case1-3：提案手法）

Case	主ソルバ	前処理ソルバ	前処理ソルバで使用した行列
1-1	GCR(m)	Not used	-
1-2	GCR(m)	GCR(m)	$\tilde{A}_H^{27}$
1-3	**GCR(m)**	**GCR(m)**	$\tilde{A}_H^{1}$
2-1	BiCGSTAB	Not used	-
2-2	BiCGSTAB	BiCGSTAB	$\tilde{A}_H^{27}$
2-3	BiCGSTAB	BiCGSTAB	$\tilde{A}_H^{1}$

図 5 に、主ソルバの収束曲線を、計算時間の関数として相対残差をプロットした場合（左）および主ソルバの反復回数の関数としてプロットした場合（右）について示す。主ソルバが GCR(m)法である case1-1 から 1-3 を比較すると、前処理なし（case1-1）の場合に比べて可変前処理（case1-2）および提案手法(case1-3)は、収束に至るまでに必要な反復回数が大幅に少なくなっていることが分かる。提案手法は、可変前処理に比べると収束に至るまでに必要な反復回数が 5 割ほど増えている。しかし、提案手法の演算量は、H 行列の全要素を使用する可変前処理に比べると大幅に少ない。その結果、計算時間で比較すると、提案手法は他の手法に比べて 1.5 倍以上速く収束するという結果が得られている。

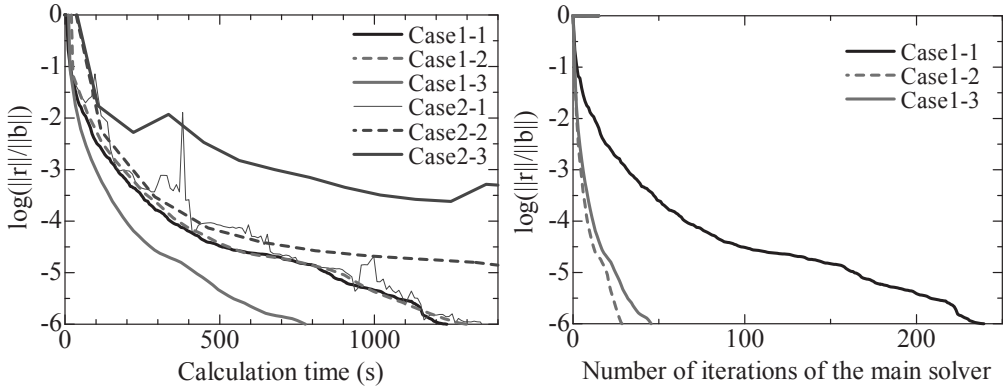


図 5: 主ソルバの収束曲線。計算時間に関する関数として相対残差をプロットした場合（左）および主ソルバの反復回数に関する関数としてプロットした場合（右）

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] A. Ida and T. Iwashita : H-matrices with ACA for Large-scale Simulation using Integral Equation Method, International Workshop on Eigenvalue Problems: Algorithms; Software and Applications, in Petascale Computing (EPASA2015), Tsukuba International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Tsukuba, Ibaraki, Japan (September 16, 2015)

[招待 2] A. Ida and T. Iwashita : HACApK: Library for Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation, the 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM-III), Ryogoku KFC Hall, Tokyo, Japan (October 14, 2015)

著書／編集

[著書 1] Kengo Nakajima, Masaki Satoh, Takashi Furumura, Hiroshi Okuda, Takeshi Iwashita, Hide Sakaguchi, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takashi Arakawa, Futoshi Mori, Takeshi Kitayama, Akihiro Ida and Miki Y. Matsuo : ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), Optimization in the Real World―Toward Solving Real-World Optimization problems, edited by Katsuki Fujisawa, Yuji Shinano and Hayato Waki, Springer Japan 2015, pp.15-35 (ISBN 978-4-431-55419-6).

査読付論文

[査読付 1] T. Hiraishi, K. Munakata, A. Ida, T. Iwashita and H. Nakashima, “Dynamic Load Balancing for Parallel Computation of Hierarchical Matrices”, ISC 2015 HPC in Asia Posters, Leipzig, Germany (2015).

[査読付 2] A. Ida, T. Iwashita, T. Mifune and Y. Takahashi : A Variable Preconditioning of Krylov Subspace Methods for Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation, Compumag 2015, Montreal Canada (2. Jul., 2015).

[査読付 3] T. Iwashita, N. Takemura, A. Ida and H. Nakashima : A new fill-in strategy for IC factorization preconditioning considering SIMD instructions, The 13-th IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications(IEEE ISPA-15), Helsinki Finland (2015) (DOI 10.1109/Trustcom-BigDataSe-ISPA.2015.610).

[査読付 4] A. Ida, T. Iwashita, M. Ohtani and K. Hirahara : Improvement of Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation for Large-scale Simulation, Journal of Information Processing, Vol. 23, No. 3(2015) pp. 366-372. (DOI:10.2197/ipsjjip.23.366)

[査読付 5] A. Ida, T. Iwashita, T. Mifune, and Y. Takahashi : Variable Preconditioning of Krylov Subspace Methods for Hierarchical Matrices With Adaptive Cross Approximation, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 52, Issue 3, (March 2016) Article# 7205104, (DOI: 10.1109/TMAG.2015.2464104)

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.0.4.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Nov. 2015

[公開 2] Akihiro Ida and Takeshi Iwashita :HACApK ver.1.0.0, http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp, Nov. 2015

その他の発表論文

[発表 1] 伊田明弘, 岩下武史 : HACApK ライブラリにおける階層型行列法の大規模解析に向けた改良, 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(HPCS2015), 東京大学 武田先端知ビル 5 階 武田ホール, 2015 年 5 月 19 日

[発表 2] A. Ida and T. Iwashita : HACApK: Library for Large-scaled Simulations Using the Integral Equation Method, International Workshop on Software for Peta-scale Numerical Simulation (SPNS2015), Tokyo, Japan (3, December 2015).

[発表 3] A. Ida, T. Iwashita, T. Mifune and Y. Takahashi : Variable Preconditioning of Krylov Subspace Methods for Hierarchical Matrices with Adaptive Cross Approximation, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2016, 福岡県福岡市, 九州大学医学部百年講堂, 2016 年 1 月 18 日

特記事項

[特記 1] Member of Committee, SPNS(International Workshop on Software for Peta-scale Numerical Simulation), 2015

大規模マルチスケールシミュレーションに関する研究

松本 正晴

1 概要

2015 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。

- **弱連成カップリングツール ppOpen-MATH/MP ライブラリの開発と ver1.0 公開**

  ppOpen-HPC プロジェクト [1] では、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開発している。本年度は、ppOpen-HPC で提供される弱連成カップリングツール ppOpen-MATH/MP ライブラリの汎用性向上のためのインターフェース整備を進め、ver1.0 として本ライブラリの公開を行った。また本ライブラリの検証を行うために、熱伝導方程式を支配方程式とする結合モデルを構築し評価を行った。なお本研究は主に、高度情報科学技術研究機構（RIST）と東京大学新領域創成科学研究科との共同研究として行った。[査読付 4, 発表 1, 発表 3, 発表 10, 発表 16]

- **ppOpen-AT の機能拡張に伴う ppOpen-APPL/FDM ライブラリの最適化**

  ppOpen-HPC プロジェクトの一環として、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。[査読付 1, 査読付 2, 発表 2, 発表 5, 発表 8, 発表 17]

- **有限差分法用 AMR フレームワーク（ppOpen-APPL/AMR-FDM ライブラリ）の開発**

  ppOpen-HPC プロジェクトの一環として、有限差分法用アプリケーションへ適合格子細分化（Adaptive Mesh Refinement, AMR）法を導入するフレームワークである ppOpen-APPL/AMR-FDM の開発を進めている。本年度は、昨年度公開したフレームワークの更なる高性能化を目指し、問題点の洗い出しを進めるとともに、データ構造の再構築・最適化について検討を行った。[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、 $_2$ 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 3, 査読付 5]

[1] http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/

- **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 法の開発を進めている。本年度は、月面磁気異常に対する太陽風プラズマ応答、特に小型磁気圏境界層領域の電子ダイナミクスに着目し、それを運動論的観点から解明することを目的とし、新たに月面磁気異常モデルへの AMR-PIC 法の適用における問題点の洗い出しとその有効性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。[発表 14]

- **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、東京農工大学との共同研究として行った。[発表 12]

- **ユーザー駆動型・拠点協調フレームワークを利用する連成アプリケーション評価**

  I/O や可視化を伴うシミュレーションや複数のアプリケーションを同時に実行する連成シミュレーションのようなアプリケーションを対象に、広域に分散した計算機資源を有効に利活用するためのフレームワークの開発を進めている。本年度は、フレームワークの実装・構築を進めるとともに、拠点間連携に伴う諸問題について検討を行った。なお本研究は主に、東京工業大学、九州大学との共同研究として行った。[発表 11]

なお以下では、2015 年度に行った主な研究の中から、弱連成カップリングツール ppOpen-MATH/MP ライブラリの開発と公開について述べる。

2　弱連成カップリングツール ppOpen-MATH/MP ライブラリの開発と公開

2.1　背景

近年、スーパーコンピュータシステムの高速化・大規模化に伴い、科学技術計算の分野において、ミクロからマクロな現象にかけて高精度かつ高分解能で解析するための手法が求められている。例えば、地球環境変動、異常気象、およびそれに起因する災害予測、人工物の安全性・健全性の評価、複雑な工業製品の設計・試作、ナノレベルの材料挙動、生体内たんぱく質構造と生体内薬物動態など、支配因子が未知あるいは不確定性を含む現象やスケールが極度に異なる現象等のモデル化の研究、そのようなモデルの統合数値解析手法の研究、モデルや入力データの妥当性・結果の信頼性の評価方法の研究などが進められている。しかしこのようなマルチスケール・マルチフィジックス解析は、対象とする時空間スケール・現象が大きく異なるため、単一のアプリケーションではそのモデル化から実装・評価が非常に難しい。

そこで我々の研究グループでは、ppOpen-HPC プロジェクトの一環として、複数のアプリケーションを結合し、大規模データ転送・変換を行う弱連成カップリングツール ppOpen-MATH/MP ライブラリの開発を進めている。ppOpen-MATH/MP は、各アプリケーションに属する計算格子（計算領域）を重ねあわせた際にできる重合領域において、各計算格子上でデータ補間・転送・変換を行うものであり、従来困難だった異なる離散化手法によるモデル間の結合を可能にし、シミュレーションとそれ以外（IO や可視化等）のプロセスとの並列実行も可能にするソフトウェアである。将来的には、ppOpen-MATH/MP と複数のアプリケーションを用いた連成解析を行うことで、マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーションを目指す。本年度は、本ライブラリ公開へ向けたカップリングツールのインターフェースの整備とそれに伴う汎用性の向上、ならびに性能評価を行った。

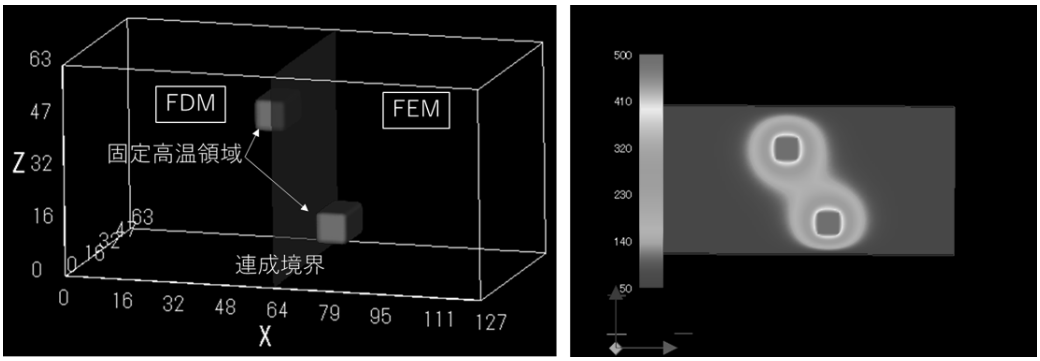


図 1: 熱伝導問題の連成解析条件（左図）と結果（右図）

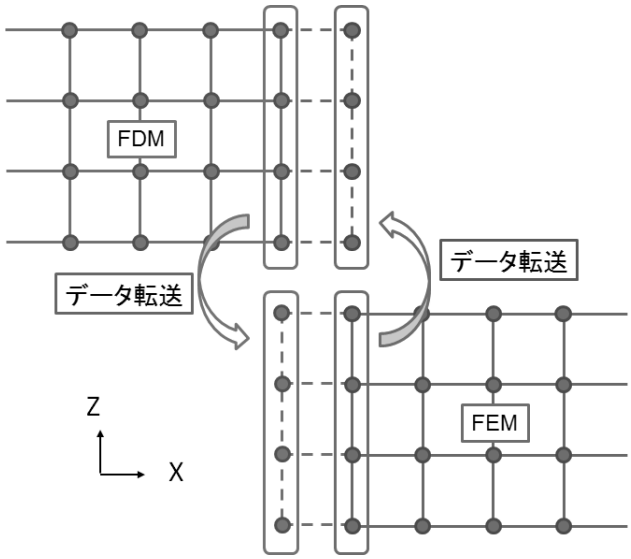


図 2: 連成境界におけるデータ転送の概念図

2.2 内容

ppOpen-MATH/MP は、各アプリケーション間の格子補間コードをユーザーが任意に実装することで、様々な格子形状に対応できる汎用性を確保する。すなわち、入力する情報として、補間計算に用いる各アプリケーションの格子点の対応表（以下、マッピングテーブル）を必要とする。ライブラリにはマッピングテーブルを構築するための格子生成ツールも付随している。ppOpen-MATH/MP はアプリケーションではなくカップラライブラリであることが 1 つの特徴であり、各アプリケーションは互いに格子を接続するために、コード内で API サブルーチンを呼び出す必要がある。これはつまり、各アプリケーションが物理計算を行っている中でカップラもまた、同時に実行されていることを意味しており、この仕様により、カップラによる追加実行のオーバーヘッドを低減させ、アプリケーションの実行効率の低下を最小限に抑えることが可能となる。

ライブラリ公開に先立ち、カップリングツールのインターフェース整備に際しては、ユーザーの便を考慮し必要最低限のサブルーチンの呼び出しで結合を実現するために以下のような条件を設定した。1) 各コンポーネント（アプリケーション）が独立して動作する、2) 各コンポーネントは複数の格子系をもつことができる、3) 個々の格子系に対して複数のデータを定義できる、4) 格子の相対的な位置関係は時間的に変化しない、5) データ交換は一定時間間隔毎に相互にデータを交換しあう並列結合とする、6) 設定ファイルを併用しプログラムの外側で定義可能な情報は設定ファイルに記述する。これらの条件を設定した事により、初期化プロセスで 3 種類、時間積分ループ中に 3 種類、終了時に 1 種類

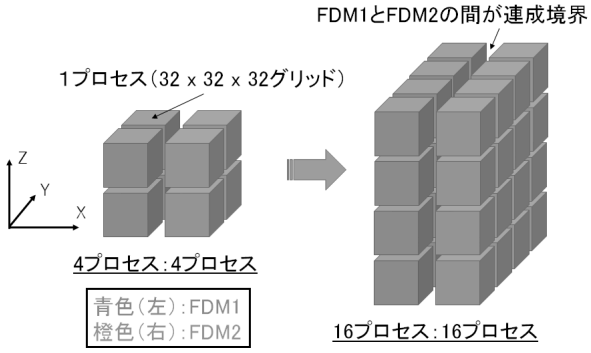


図 3: 計算条件

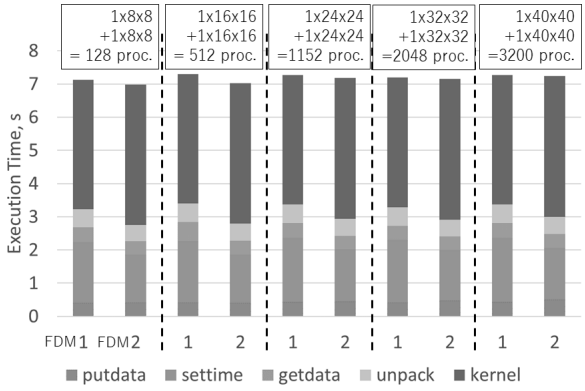


図 4: Oakleaf-FX における Weak Scaling

の合計 7 種類のサブルーチンの呼び出しで結合計算ができるようになった。

作成したインターフェースの妥当性を検証するために、熱伝導方程式を支配方程式とする 2 つの異なるアプリケーション間の結合モデルで評価を行った。これは、図 1 左に示すように、計算領域の左右をそれぞれ差分法（FDM、陽解法)、有限要素法（FEM、陰解法）それぞれの手法により離散化した領域（アプリケーション）に分け、左右の領域にはそれぞれ固定された高温熱源が配置されており、接合面である連成境界面において、各領域が接触しているという結合モデルである。FDM、FEM それぞれ 2 つのアプリケーションコード内では ppOpen-MATH/MP のサブルーチンが呼び出されており、予め用意された（連成境界面上の格子点が指定されている）マッピングテーブルを参照することで、データ補間・転送が行われる。図 2 に連成境界面上の格子点とデータ転送の概念図を示す。x 方向に 2 列に並んで四角で囲われている格子点群が各領域を結合するための重合領域を構成しており、データ受信側では、データを受信した格子点群がその領域の境界条件となっており、これは一般的なステンシル計算における（MPI 並列でよく用いられる）領域分割法と同様の通信方法であることがわかる。この結合モデルでは簡単のため、重合領域における格子点の位置は FDM、FEM それぞれ同じ位置にあるが、上述の通り、ppOpen-MATH/MP ではより複雑な形状同士の結合も、格子点の補間機能を用いることで可能となる。また、ここでは各領域で双方向のデータ転送を行っているが、片方向のデータ転送も可能である。代表的な計算条件の下で計算を行った結果、図 1 右に示すように、双方のモデル（領域）に熱が伝わっていることがわかる。ここで、FDM 領域では時間刻み $\Delta t = 1$ の陽解法で時間積分を行っているのに対し、FEM 領域では $\Delta t = 1$ の陰解法で時間積分を行っている。つまり、FDM 領域で 10 回タイムステップを進める間、FEM 領域では 1 回のタイムステップで済んでいるにも関わらず、結合は正しく行われていることが示されている。

ppOpen-MATH/MP の基本的な性能を把握するために、当センターに設置されているスーパーコンピュータ Oakleaf-FX を使って、MPI プロセスが増加する際の実行時間（Wake Scaling）の評価を行った。図 3 は性能評価を行う際の計算条件（計算領域）を示している。ここでは、ppOpen-MATH/MP 単体の性能評価を行うために、アプリケーション間で計算負荷の偏りが発生しないように全く同じ（熱伝導方程式を支配方程式とする）FDM アプリケーションを 2 つ用意（FDM1 と FDM2）し、結合させる。各アプリケーションは yz 面（図 3 参照）に対して 2 次元的に（各 MPI プロセスが担当する）分割された領域を持っており、1 つの MPI プロセス当たりの格子点数は $x \times y \times z = 32 \times 32 \times 32$ に固定されている。これを、全格子点数と連成境界面上の格子点数の割合（比表面積）が変化しないように、yz 面に対して分割領域（MPI プロセス）を増加させ、全 MPI プロセス数に対する実行時間を計測した。すなわち、図 3 は全 8MPI プロセスと全 32MPI プロセスの場合の例をそれぞれ示している。

図 4 に、全 MPI プロセス数が 128 から 3200 までの FDM1 と FDM2 のそれぞれの実行時間、ならびに各アプリで実行される手続きの内訳を示す。ここで、putdata は送信するデータをカップラの送信

バッファへ格納する時間、settime はデータ送受信にかかる時間、getdata はカップラの受信バッファから（ユーザーが用意したバッファへ）データを取り出す時間、unpack は getdata で取り出したデータを物理計算で使う配列へ格納する時間、そして kernel は各アプリケーション内の MPI 通信を含む（熱伝導方程式の）物理計算にかかる時間をそれぞれ示している。kernel 以外は全て ppOpen-MATH/MP ライブラリが担当する手続きである。同図より、全 MPI プロセス数が増加しても実行時間、ならびに各手続きの内訳にはほとんど変化が見られず、比較的よい Wake-Scaling を有していることがわかる。一方、MPI プロセス数に関わらず、FDM1 の方が FDM2 に比べ、わずかに全実行時間が長いことがわかる。これは MPI の通信方法が関係している。基本的に MPI の通信では、送信と受信がマッチした時点で両者の手続きが完了する Rendezvous 通信が行われるが、本計算における送受信データは、連成境界面上（1MPI プロセス当たり 32×32 点の格子）にある 1 つの物理値（double 型）のみであることから、1 回当たりに送受信するデータ量はたかだか 32×32byte でしかなく、このようにデータ量が小さい場合、（MPI の実装により異なるが）Oakleaf-FX では、送信側がマッチする受信の有無に関わらず送信手続きを完了する Eager 通信が選択される（この時、送信データは MPI 内部のバッファに貯められる）。この連成計算では、FDM1 と FDM2 の間で双方向通信を行っているが、FDM1 は先にデータ送信、後にデータ受信を行うのに対して、FDM2 はその逆で、先にデータ受信、後にデータ送信を行うことから、後にデータ送信を行う FDM2 の方が、最後にデータ受信待ちをすることなく、次のタイムステップへ進むことができるため、FDM1 と比べてわずかに全実行時間が短くなる。その一方で、FDM2 の kernel が FDM1 の kernel に比べてわずかに実行時間が長いのは、先に次のタイムステップへと進んだ FDM2 では kernel の実行後に今度は FDM1 からの受信待ちが発生するが、その時間が kernel の実行時間に含まれることに依る（FDM2 の settime の時間が FDM1 と比べて短いのも同様の理由による）。

2.3 具体的成果

これまでの研究・開発の成果として、ppOpen-MATH/MP ライブラリを ver1.0 として ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト（http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/）に公開した。本ライブラリは、Linux クラスタや FX10、地球シミュレータや京コンピュータ等、広汎なマシンで稼働実績がある。また Oakleaf-FX のほぼ全系（4560 ノード、72960 コア）を利用した大規模な地震波動－建築物連成シミュレーションの実績もあり、今後のエクサスケール級システムにおける計算においても十分貢献できると考えられる。

3 成果要覧

著書／編集

[著書 1] K. Nakajima, M. Satoh, T. Furumura, H. Okuda, T. Iwashita, H. Sakaguchi, T. Katagiri, M. Matsumoto, S. Ohshima, H. Jitsumoto, T. Arakawa, F. Mori, T. Kitayama, A. Ida and M. Y. Matsuo, Optimization in the Real World, Mathematics for Industry 13, K. Fujisawa et al. (eds.): ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), Springer, pp.15-35, 2016.

査読付論文

[査読付 1] Futoshi Mori,Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance Optimization of the 3D FDM Simulation of Seismic Wave Propagation on the Intel Xeon Phi Co-processor using the ppOpen-APPL/FDM Library, Lecture Notes in Computer Science, Vol.8969, pp.66-76, 2015.

[査読付 2] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto: Directive-based Auto-tuning for the Finite Difference Method on the Xeon Phi, 10th International Workshop on Automatic

Performance Tuning (iWAPT2015) in conjunction with 29th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS2015), Hyderabad, India, May 2015. (Proceedings of 2015 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop, pp.1221-1230, 2015.)

[査読付 3] 松本正晴，高木成郎，奥野喜裕：パルスレーザ駆動 MHD 発電機の発電特性に関する電磁流体シミュレーション，電気学会論文誌 A，Vol.135，No.6，pp.379-384，2015.

[査読付 4] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama, Futoshi Mori, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Kengo Nakajima: Multi-scale Coupling Simulation of Seismic Waves and Building Vibrations Using ppOpen-HPC, 5th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2015) in conjunction with International Conference on Computational Science 2015 (ICCS2015), Reykjavik, Iceland, June 2015. (Procedia Computer Science, Vol.51, pp.1514-1523, 2015.)

[査読付 5] 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 6] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto, Satoshi Ohshima: Auto-tuning of Hybrid MPI/OpenMP Execution with Code Selection by ppOpen-AT, 11th International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) in conjunction with 30th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS2016), Chicago, USA, May 2016. (accepted)

[査読付 7] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC, 11th International Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2016) in conjunction with 30th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS2016), Chicago, USA, May 2016. (accepted)

その他の発表論文

[発表 1] 松本正晴：ppOpen-HPC による地震波動－建築物連成シミュレーション，2015 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（HPCS2015），東京，2015 年 5 月．

[発表 2] 片桐孝洋，大島聡史，松本正晴：1 ノード 200 超スレッド時代の自動チューニングに向けて～FDM コードを例にして～，OS：エクサスケールに向けた自動チューニング技術の最新研究動向，第 20 回計算工学講演会，つくば，2015 年 6 月．

[発表 3] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama, Futoshi Mori, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of Coupled Multi-scale Simulation for Seismic Wave and Building Vibration, International Supercomputing Conference 2015 (ISC'15), HPC in Asia Poster Session, Frankfurt, Germany, July 2015.

[発表 4] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Comparing the Implementation and Performance of ICCG solver using OpenMP and OpenACC, International Supercomputing Conference 2015 (ISC'15), HPC in Asia Poster Session, Frankfurt, Germany, July 2015.

[発表 5] 片桐孝洋，大島聡史，松本正晴：SCG-AT：静的コード生成のみによる自動チューニング実現方式，2015 年並列/分散/協調処理に関する『別府』サマー・ワークショップ（SWoPP 別府 2015），別府，2015 年 7 月．

[発表 6] 大島聡史，片桐孝洋，松本正晴：ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの自動チューニング，2015 年並列/分散/協調処理に関する『別府』サマー・ワークショップ（SWoPP 別府 2015），別府，2015 年 7 月．

[発表 7] Masaru Miyashita, Masaharu Matsumoto and Kenichi Kubota: The Development of Adaptive Mesh Refinement Technique for Hybrid Kinetic/Fluid Plasma Simulation, 2015 International Conference on Numerical Simulation of Plasmas (ICNSP2015), Golden, USA, Aug. 2015.

[発表 8] 片桐孝洋，松本正晴，大島聡史：ppOpen-AT による静的コード生成で実現する自動チューニング方式の評価，日本応用数理学会 2015 年度年会，金沢，2015 年 9 月．

[発表 9] 大島聡史，片桐孝洋，松本正晴：ppOpen-AT による OpenACC プログラムの自動チューニング，日本応用数理学会 2015 年度年会，金沢，2015 年 9 月．

[発表 10] 荒川隆，井上孝洋，松本正晴，佐藤正樹：結合ソフトウェア ppOpen-MATH/MP の性能評価と最適化，第 14 回情報科学技術フォーラム（FIT2015），松山，2015 年 9 月．

[発表 11] 實本英之，小林泰三，松本正晴，滝澤真一朗，三浦信一：多拠点連成アプリケーションを実現するユーザ駆動型・拠点連携システム，第 151 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会，沖縄，2015 年 9 月．

[発表 12] 松本正晴，梶村好宏，西田浩之，船木一幸：磁気プラズマセイルの推進特性に関する 3 次元 Hybrid PIC シミュレーション，第 59 回宇宙科学技術連合講演会，鹿児島，2015 年 10 月．

[発表 13] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto and Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Implementation and Performance of ICCG solver on GPU using OpenACC, The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics (IWACOM-III), Tokyo, Japan, Oct. 2015.

[発表 14] 松原琢磨，臼井英之，沼波政倫，松本正晴，西野真木，三宅洋平：月面磁気異常上空の太陽風電子ダイナミクスの 3 次元シミュレーション解析，地球電磁気・地球惑星圏学会　第 138 回総会及び講演会，東京，2015 年 10 月．

[発表 15] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri and Masaharu Matsumoto: Utilization and Expansion of ppOpen-AT for OpenACC program, 2nd Workshop on Accelerator Programming Using Directives (WACCPD2015, Co-located with SC15), Austin, USA, Nov. 2015.

[発表 16] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama: Coupled Multi-scale Simulations using ppOpen-HPC Libraries, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2015), Tokyo, Japan, Dec. 2015.

[発表 17] Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto and Satoshi Ohshima: Towards Code Selection by Autotuning with ppOpen-AT: An Example of Computation Kernels from FDM, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), Fukuoka, Japan, Jan. 2016.

特記事項

[特記 1] Chair, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation 2015 (SPNS2015), Tokyo, Dec. 2015.

[特記 2] 第 48 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：高性能プログラミング初級入門」, 2015 年 9 月 1-2 日, 一部の講師を担当

[特記 3] 第 52 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 : 高性能プログラミング初級入門」, 2015 年 2 月 3-4 日, 一部の講師を担当

[特記 4] ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理，ならびに ppOpen-HPC ver.1.0 ライブラリ群公開へ向けた整備

エクストリームスケール高性能計算を対象とした支援システム

實本　英之

1　概要

近年の広域アプリケーションでは、複数のアプリケーションを連携させたマルチスケールな計算が提案されてきている。連成計算アプリケーションの一種であるマルチスケールアプリケーションは、大規模な範囲を対象とするアプリケーションと、より詳細な小さな範囲を計算する他のアプリケーションを組み合わせて利用するものであり、今後のエクストリームスケールな科学技術計算において必要不可欠である。この複数のアプリケーションを、ネットワーク・地理的距離が離れた複数の計算施設において効率よく利用するためのフレームワークを検討する。

- 科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証
  連成計算アプリケーションを多拠点で実行する場合、連成するアプリケーション間の大規模中途ファイルの転送、拠点内基盤システムの連携、実行環境に合わせたアプリケーションの制御が問題となると考える。特に、拠点内基盤システムの連携には各拠点における、保守管理や安全性の検証といった面から大きな障壁がある。これを SSH 等の Well-known なサービスのみを用いて実現する手法について実装した。

2　科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証

2.1　背景

科学技術シミュレーションの分野においては大規模計算機資源を利用することによって，これまで達成不可能であったような大規模，詳細なシミュレーションが可能となった。また，複数の物理課程を連成して実施するための手法も開発されてきており，より複雑な物理現象の解明も徐々に可能となっている。また，シミュレーション，可視化処理の連成、およびマルチスケールアプリケーション等で行われるデータ処理をローカルで同時に実行する手法も既に開発されている。そこで本研究では、広域分散計算や連成計算の必要条件と要素技術の検討と整備に焦点を合わせる事により、汎用性を備えたフレームワークの基礎を固める。

2.2　内容

2.2.1　設計／概要

本研究では、より大規模に計算機資源を活用するために，1) 多拠点でのアプリケーション実行基盤とプログラミングモデル、2) 多拠点実行に合わせたアプリケーション制御が必要であると考える。これまで、このような連携フレームワークは多々考えられてきたが、大がかりなシステムが多く、各拠点の運用ポリシーの調整やサービスの実装に大幅な時間を取られてきた。このため、本研究ではユー

ザが独自に各拠点の資源を管理できるようなユーザ専用の連携システムを構築することを主眼とし、そのために SSH といった、各拠点でのポリシーのすりあわせを行う必要のない、Well-known なサービスを利用する。また、拠点間のメッセージを管理するデーモンを各拠点のログインノードに置くことで、双方で行われるジョブ実行開始時間のずれ等にも対応する。

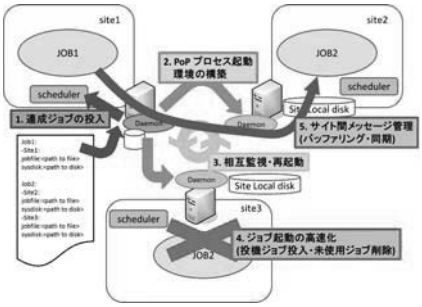


図 1: デーモンと API によるフレームワーク概要

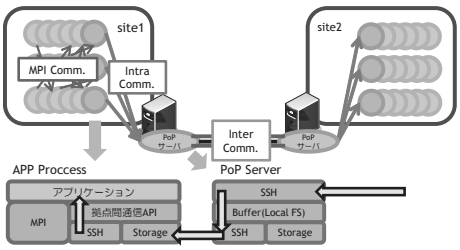


図 2: メッセージ転送手法とシステムスタック

2.2.2 設計／メッセージ喪失対応

メッセージ管理デーモンはログインノードで実行される関係上、拠点毎の実行期限時間によって強制終了される可能性がある。これには、デーモンの再起動で対応するが、拠点間メッセージの喪失に対応する必要がある。通信用共有ファイルは一般的に既読メッセージの削除に大きなコストがかかるため、これを行わない。このとき PoP サーバ間でメッセージ受信に対して ACK 信号を返すモデルを考える (図 3)。

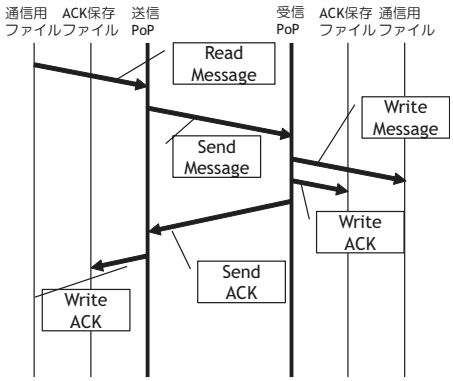


図 3: メッセージ、および ACK の送信と保存

異常終了を検知し、終了されてしまった PoP サーバは再起動を行った後、他方の PoP サーバに現在の ACK 状況を問い合わせる。また、自分が保存しておいた ACK 保存ファイルを読み込み、自分の ACK 送出状況とする。次に送出するメッセージを特定するためには以下のパターンを用いる

送信側 ACK と受信側 ACK が一致する場合 特に対処は必要とせず、次の未 ACK メッセージを送出メッセージとする

送信側 ACK と受信側 ACK が一致しない場合 受信側から ACK が送信側に戻っておらず、メッセージが破損している可能性があるため、破損メッセージリストに ACK を送出していないメッセージのメタデータを保存する。さらに、通信用共有ファイルを閉じ、新たに新しいファイルを通信用共有ファイルとして作成する。受信側のアプリケーションは破損リストを見ながら、該当メッセージを確認した場合、それを破棄、新しい通信用共有ファイルから再度読み込み始める

2.2.3 実装

試験実装は、アプリケーションが利用する拠点間通信 API と各拠点のログインノードで実行される PoP サーバから成る。アプリケーションと PoP サーバ間の通信は拠点間通信 API によって仮想化されており、TCP/IP などをはじめとする、様々な通信実装を採用できる機構とした。　アプリケーション間通信 API は送信プロセスと受信プロセスを識別するタグを設定可能なブロッキング P2P 通信 API(Send/Receive) である。同じプロセスから送出されたメッセージに関してのみ順序が保存される。識別タグに関しては、送信プロセス内、受信プロセス内でそれぞれ重複のない整数値をアプリケーションプログラマが任意に利用する。多くの場合、連成されるアプリケーションは MPI によって実装されていると考えられるため、それぞれにおけるランクを利用すると重複がない状態が実現できる。図 2 に示した Intra-Connection 部分には今回、共有ストレージを利用する手法を優先的に実装している。アプリケーションが生成するメッセージは以下のように扱われる。

- 送信 API により、プロセス毎に作成されるファイルに通信内容が記述される。このとき、ユーザが設定ファイルに記載したブロックサイズ毎にデータが分割され、ヘッダを追加される。ヘッダには送信プロセス、受信プロセスの識別タグと、ブロック開始時点での残りデータサイズが記載されている。

- PoP サーバは POSIX 非同期 IO を用いてプロセス毎の通信用ファイルを監視している。ブロックサイズ分のデータを通信用ファイルから読み込めた段階で、送信先拠点用のバッファとプロセス毎の通信用バッファを入れ替え、後者は POSIX 非同期 IO による読み込みを再開、同時に前者について SSH トンネリングされた送付先拠点へのソケットへブロッキング送信を行う

- 送付先拠点の PoP サーバは受け取ったデータについてヘッダを参照しながら識別タグのペア毎に作成される通信ファイルに書き込む。

- 受信 API により、受信側のアプリケーションは通信ファイルからヘッダを取り除きつつデータを読み込む。この際、通信ファイルは API を呼び出す際に指定された識別タグによって一意に決定される。

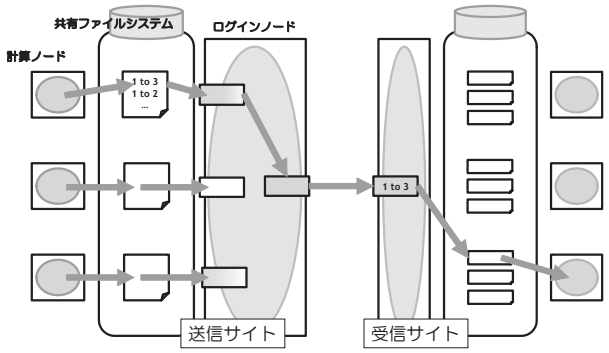


図 4: 共有ファイルを用いたメッセージ送受信の実装シナリオ

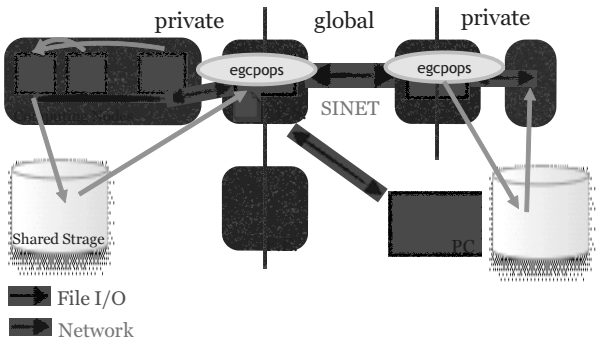


図 5: 連成拡張 OpenFOAM への egcpops の適用

2.3 具体的成果

フレームワークに必要とされる要件の検討を行い、システムを設計、実装を行った。現在九州大で行われている連成拡張を行った OpenFOAM の他拠点対応としての組み込みを開始した。また、本研究テーマで作成されたシステムはパッケージ化を行い Github より公開予定である。

3 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 實本 英之, “科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証”, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 7 回シンポジウム, Jul 2015

[発表 2] 實本 英之, “ユーザ駆動型・大域アプリ連成フレームワーク”, アカデミックインタークラウドシンポジウム 2015, Sep 2015

[発表 3] 實本 英之, 小林 泰三, 松本 正晴, 滝澤 真一朗, 三浦 信一, “多拠点連成アプリケーションを実現するユーザ駆動型・拠点連携システム”, 第 151 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (HPC-151), Sep 2015

[発表 4] Hideyuki Jitsumoto, “A Framework for Jointing Computation Center with User-Level Management System”, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2016), Jan 2016

特記事項

[特記 1] Member of Program Committee, 5th Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale (FTXS2015), https://sites.google.com/site/ftxsworkshop/home/ftxs2014/

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・費用ベンチマーク
  Amazon EC2、Microsoft Azureのクラウドと、東京大学Oakleaf-FX、東京工業大学TSUBAME 2.5、計算科学振興財団FOCUSのスーパーコンピュータ(以下、スパコン)を対象として、共通のOpenFOAMベンチマークテストを行い、性能と費用を比較した。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[発表8, 発表9, 招待3]。また、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(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た[特記1]。

- 建物周辺のガス拡散ベンチマークテスト
  日本建築学会の屋外空気環境小委員会では、屋外空気・風環境の予測・評価を行うためのCFDを中心とした数値解析技術の適切な利用方法の確立とその普及を目的として、様々なコードでの建物周辺のガス拡散問題のベンチマークテスト結果の整備を行なっている。同小委員会委員の今野は単体建物周辺のガス拡散問題を対象にOpenFOAMによる定常RANS解析および非定常LES解析を担当しており、風洞全体の非定常LES解析についてシンポジウムで発表した[発表7]。さらに非定常LES解析を精度良く行うためには、平均流や乱流統計量などの性状が実測値と良く一致する流入変動風を作成する必要があり、格子間隔や時間刻みをより小さくした大規模計算が要求される。本年度は予備検討として，MPI並列数および線型ソルバーと前処理法の組み合わせについてベンチマークテストを行い、流入変動風解析の高速化について検討した。また、流入変動風の性状を精度良く保つためのサンプリング方法と、時間・空間方向の補間方法について検討を行なった。以上の検討を踏まえ、同小委員会における今後のベンチマークテストの基盤となる流入変動風データを作成した。

- 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「OpenFOAM初級入門」講習会を担当した。2015年度は、東京大学情報基盤センターで2回、金沢工業大学で1回実施し、参加者は合計41名であった[特記2, 特記3]。

以下では、「クラウド・スパコンにおけるOpenFOAMの性能・費用ベンチマーク」と「OpenFOAM講習会」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・費用ベンチマーク

2.1　背景

近年 Amazon の EC2 や Microsoft の Azure 等の HPC 向けのクラウドが気軽に利用できるようになっており、手持ちの計算機リソースでは難しい OpenFOAM の大規模 CFD 計算のような HPC 解析をスポット的に実行したい場合などに適すると言われている。また、本学の Oakleaf-FX や東京工業大学の TSUBAME のように、大学や研究機関でも企業利用など教育・公共機関以外に門戸を開放するのスパコン利用サービスが増えてきている。ただし、通常このような教育・公共機関でのスパコンの利用には課題審査があり、利用単位は通常最低でも月単位となり、クラウドと異なりスポット的な利用や課金ではない。一方、計算科学振興財団 FOCUS では、法人の場合課題の審査無く利用可能であり、スポット的な利用や課金も可能である。以上のように、昨今では HPC 計算を行えるリモートの計算機リソースが増えてきたが、各システムでは、CPU 性能はもちろん、インターコネクト等にも違いがあり、利用料金も当然異なる。以上の背景から、OpenFOAM のユーザに対して使用するシステム選択の参考となるよう、共通 OpenFOAM ベンチマークを作成し各種システムの計算性能と費用を比較した。

2.2　内容

共通 OpenFOAM ベンチマークとして、解析領域が直方体のため格子数を系統的に変化させやすい、乱流モデルを使用しなくても良い、非定常解析のため時間ステップ毎の解析時間の統計処理が容易などの理由から、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 のチャンネル流を選択した。本報では、格子数が約 3M(240(主流方向) × 130(スパン方法) × 96(鉛直方向)) の結果を示す。乱流モデルは使用せず (laminar モデル)、時間刻みは 0.002 [s]、速度の線型ソルバは BiCG(前処理 DILU)、圧力の線型ソルバは CG (前処理 DIC [1])、並列計算時の領域分割手法は scotch を用いた。52 回の時間ステップについて解析を行い、最初の各種初期化やファイル入力と最後のファイルの出力にかかる実行時間を除外するため、1 回目と 51 回目の時間ステップ終了後の実行時間の差を 50 で除して、時間ステップ毎の平均実行時間を求めた。なお、システムによっては平均実行時間のばらつきが大きかったので、5 回以上ソルバを実行し、最速 5 位までの実行時間の平均を取得した [2]。

ベンチマーク対象のシステムの概要を表 1 に、用いたソフトウェア、コンパイラ、MPI ライブラリを表 2 に、検討した解析ノード数および MPI 数を表 3 に示す。

図 1 に各システムで解析 1 時間あたりの時間ステップ数を示すが、FOCUS D が最も高く、次に Azure や EC2 のクラウド群が続く結果となった。図 2 に並列化効率 (Strong scaling) を示すが、スケールしているのは、TSUBAME S は全ノード、FOCUS D は 20 ノードまで、Oakleaf-FX は 12 ノードまで、Azure は 6 ノード以外であった。一方、インターコネクトが 10GbE の EC2 は 6 ノード以上で急激に並列化効率が落ちた。また、TSUBAME G は多ノードで並列化効率が低い結果となったが、TSUBAME G のシステム性能よりも GPU 版の RapidCFD のソフトウェアの実装による部分が大きいと考える。図 3 に、成果非公開型での、1 時間の課金と時間ステップ数とのプロットを示す。なお、以降では便宜的に、1 時間あたりの時間ステップ数が 6,000 以上を高速域、1,000 以上 6,000 未満を中速域、1,000 未満を低速域と呼ぶ。各領域で課金が最も安価となるのは、高速域で FOCUS D、中速域で Azure または FOCUS D、低速域で TSUBAME G となった。なお、EC2 のスポット利用は、料金が大きく変動するが、非成果公開型の低・中速で最安価になる場合も多いと予想されるので、今後詳細に検討したい。図 4 に、成果公開型での、1 時間の課金と時間ステップ数間のプロットを示す。各領域で課金が最も安価となるのは、高速域で TSUBAME S [3]、中速域で Oakleaf-FX、低速域で TSUBAME G となった。

[1]ただし、GPU 対応版の RapidCFD では、CG の前処理として DIC が実装されていなかったので AINV を用いた。

[2]ただし，Azure は 1 回のみ計測。

[3]Oakleaf-FX で今回検討した 24 ノードを超えるノードを使用した場合は高速域に達するが、Oakleaf-FX のグループコースでは使用ノード数が申込ノード数を超えると課金が 2 倍になるので、高速域での TSUBAME S との課金の大小は申込ノード数に依存する。

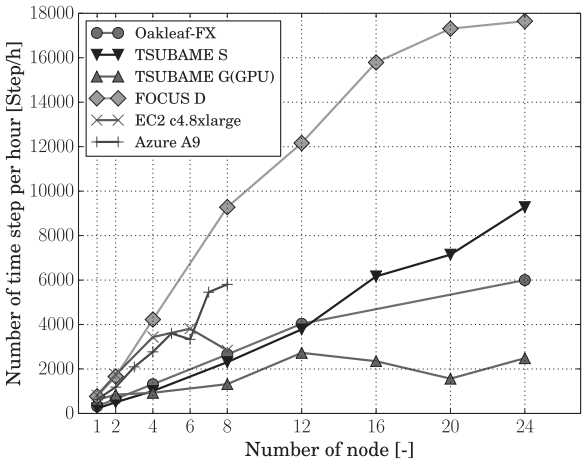


図 1: 1 時間あたりの時間ステップ数

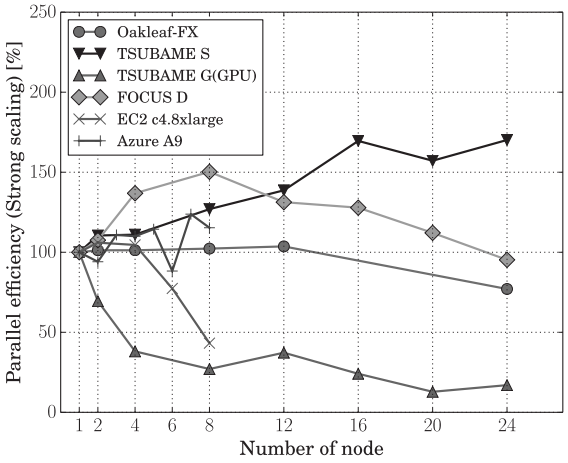
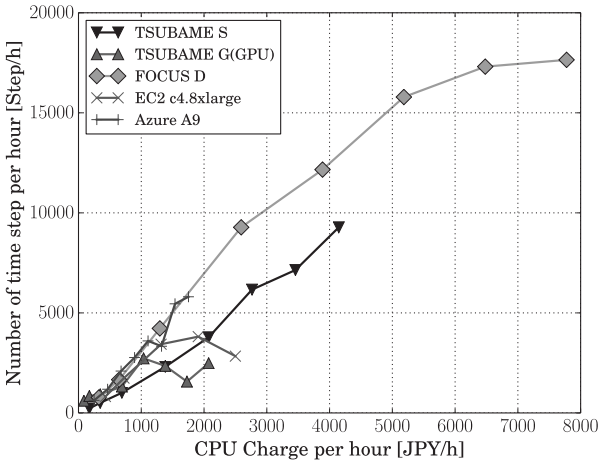
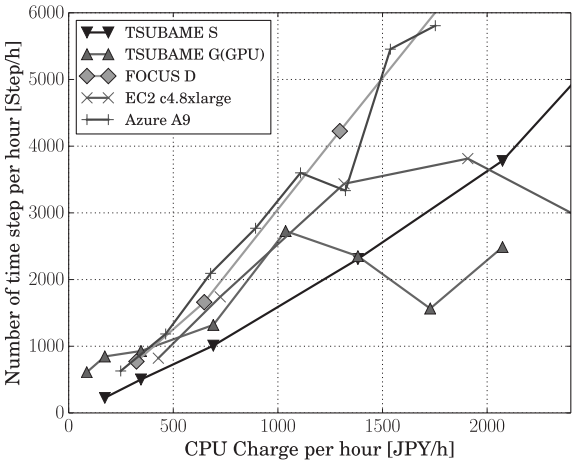


図 2: 並列化効率 (Strong scaling)

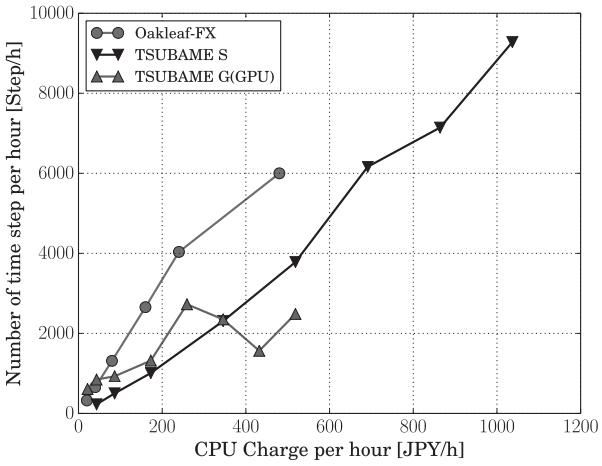


(a) 全体

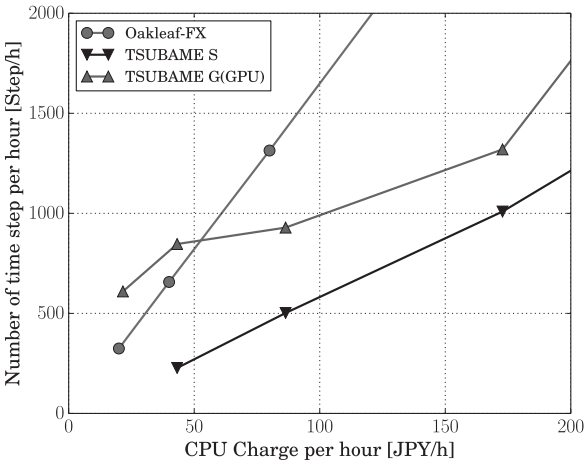


(b) 6,000 [時間ステップ/h] 以下

図 3: 1 時間の課金と時間ステップ数 (成果非公開型)



(a) 全体



(b) 2,000 [時間ステップ/h] 以下

図 4: 1 時間の課金と時間ステップ数 (成果公開型)

表 1: 対象システムの概要

システム	CPU (GPU)	周波数 [GHz]	コア/ ノード	インター コネクト	ノード時間料金 [円](税込、計測時)
東京大学 Oakleaf-FX	Fujitsu SPARC64 IXfx	1.848	16 コア	Tofu, 40Gbps ×双方向× 10	20.9(成果公開) (※ 3)
東京工業大学 TSUBAME 2.5 S キュー (※ 1)	Intel Xeon E5-2670	2.93	6 コア × 2	Infiniband-QDR, 40Gbps × 2	172.8, 43.2(成果公開) (※ 4)
東京工業大学 TSUBAME 2.5 G キュー	(nVIDIA Tesla K20X, GPU のみ利用)	-	3GPU		86.4, 21.6(成果公開) (※ 5)
FOCUS D システム	Intel Xeon E5-2670 v2	2.5	10 コア × 2	Infiniband-FDR, 56Gbps	324 (※ 6)
Amazon EC2 c4.8xlarge(※ 2)	Intel Xeon E5-2666 v3	2.9	9 コア × 2	10GbE, 10Gbps	295.8 (※ 7)
Microsoft Azure A9(※ 2)	Intel Xeon E5-2670	2.6	8 コア × 2	Infiniband-FDR, 56Gbps	214.8 (※ 8)

※ 1) ターボブースト有効。 ※ 2) 仮想マシン。Hyper-threading 無効。

※ 3) 最も高いノード時間料金となるグループコース (企業)、利用期間 1ヶ月間の場合。24 ノードの申込を想定。
大学・公共機関等用のコース (ノード時間料金 4.63 円、4.82 円) は除外。

※ 4) 従量利用、最大計算時間：1 時間、優先度：標準、実行時間ごとの係数：1 の場合。
東京工業大学の学内・共同研究利用 (ノード時間料金 10 円、40 円) は除外。

※ 5) 33 ノード以上で割引となる。今回は 24 ノード以下で該当せず。

※ 6) 計測時 (2015 年 11 月 15 日) の料金。リージョン：東京。NFS サーバ: 132.8 円/h(c3.4xlarge)。
入札で価格が決まるスポット利用は価格の変動が激しいので除外。

※ 7) 計測時 (2015 年 11 月 25〜26 日) の料金。Virtual Machine。リージョン：West US。NFS サーバ: 33.3 円/h(D3)。

2.3 具体的成果

本研究の成果については、オープン CAE 学会のシンポジウム [発表 8] および PC クラスタコンソーシアムのシンポジウム [発表 9], 計算科学振興財団 (FOCUS) の産業用クラウドスパコン利用推進協力会 [招待 3] で発表を行なった。また、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 (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た [特記 1]。

謝辞

本研究では、東京工業大学学術国際情報センター共同利用推進室の佐々木様から、OpenFOAM と RapidCFD の評価用として、TSUBAME 2.5 の計算機リソースを提供して頂いた。また、日本 Microsoft の佐々木様から、Microsoft Azure A9 でのベンチマークの結果を提供して頂いた。さらに、青子守歌様には、RapidCFD のビルド及びベンチマークについてご協力頂いた。ここに深く感謝する。

表 2: 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 (※ 1)	MPI ライブラリ
Oakleaf-FX	OpenFOAM-2.3.0	FCC GM-1.2.1-09	FJMPI GM-1.2.1-09
TSUBAME S		Gcc-4.8.4	OpenMPI 1.6.5 (※ 3)
TSUBAME G(GPU)	RapidCFD(※ 2)	nvcc (cuda-6.5)	OpenMPI 1.8.4 (※ 4)
FOCUS D	OpenFOAM-2.3.0	Gcc-4.8.3	OpenMPI 1.6.5 (※ 3)
EC2 c4.8xlarge		Gcc-4.8.5	OpenMPI 1.8.5 (※ 5)
Azure A9		Gcc-4.8.3	Intel MPI 5.1.1.109 (※ 6)

※ 1) 最適化フラグ: -O3 ※ 2) GPU 対応のフォーク版. rev: d3733257dee5fb9999b918f5c26a1493cebb603c

※ 3) mpirun オプション: -bind-to-core -mca btl openib,sm,self ※ 4) mpirun オプション: -bind-to core -mca btl openib,sm,self

※ 5) mpirun オプション: -bind-to core ※ 6) Linux OS では、MPI 通信に RDMA を使うためには Intel MPI が必要であった

表 3: 解析ノード数・MPI 数

システム	使用コア/ノード	解析ノード数	解析 MPI 数
Oakleaf-FX	16	1, 2, 4, 8, 12, 24	16〜384
TSUBAME S	10(※)	1, 2, 4, 8, 12, 20, 24	10〜240
TSUBAME G(GPU)	3GPU		3〜72
FOCUS D	20		20〜480
EC2 c4.8xlarge	18	1, 2, 4, 6, 8	18〜144
Azure A9	16	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	18〜128

※) 事前の検討によりノード全体の 12 コアを使用するより 10 コア使用のほうが計算が速かった

3 OpenFOAM 講習会

3.1 背景

本講習会は、東京大学情報基盤センターに設置されたスパコンの利用促進とスパコンを用いた CFD の普及を目的として実施した。

3.2 内容

本講習会は、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 並列解析の講習会である。センターのスパコンのアカウントを既に所有している利用者、センターのスパコンの利用資格を有し、今後の利用を検討している方（大学教員、学生、研究機関研究員など）の他、スパコンでの OpenFOAM 利用の学習を目的とした企業に所属する研究者、技術者の方を対象とした。

参加者には本学のスパコン Fujitsu PRIMEHPC FX10(Oakleaf-FX) の 1 週間お試しアカウント (最大ノード数 12、最大実行時間 15 分) が与えられ、スパコンの概要や利用法概説に始まり、OpenFOAM の概要説明をした後、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を 1 日終日の日程で行った。なお、スパコンの概要や利用法概説の担当は東京大学 片桐孝洋准教授 (当時) である。

3.3 具体的成果

2015 年度は 3 回実施した [特記 2]。参加者数および、アンケート集計による参加した満足度の平均値を表 4 に示す [特記 3]。

表 4: OpenFOAM 講習会の参加者数とアンケート結果

	開催日時	開催場所	参加者数	参加した満足度 (平均値、5 点満点)
第 45 回	2015 年 5 月 18 日	東京大学弥生キャンパス	23	3.71
第 50 回	2015 年 9 月 14 日	金沢工業大学扇が丘キャンパス	8	4.38
第 51 回	2015 年 10 月 22 日	東京大学弥生キャンパス	10	4.11

4 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 今野　雅: OpenFOAM：現状と展望, 化学工学会第 47 回秋季大会 2015 年 9 月.

[招待 2] 今野　雅: OpenFOAM の概要とカスタマイズ事例, 第 28 期非線形 CAE 協会勉強会, 2015 年 12 月.

[招待 3] 今野　雅, 住友 正紀: 各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能費用ベンチマークテスト, 計算科学振興財団, 平成 27 年度 第 2 回産業用クラウドスパコン利用推進協力会, 2016 年 2 月.

査読付論文

[査読付 1] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康: CFD を用いた仙台平野沿岸部の防潮林が農地の飛砂発生頻度に及ぼす影響の検討, システム農学, Vol.32, No.1, pp. 11-18, 2016 年 (採録決定).

その他の発表論文

[発表 1] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康: CFD を用いたイチゴ団地周辺の気流場の数値予測とこれに基づくビニルハウス上面の損傷原因の検討, システム農学会 2015 年度春季大会, 2015 年 6 月.

[発表 2] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康: CFD による植樹された防潮林が仙台平野沿岸部の農地の飛砂発生頻度に及ぼす影響の検討, システム農学会 2015 年度春季大会, 2015 年 6 月.

[発表 3] 渡部朱生, 大風翼, 高野芳央, 今野雅, 持田灯, 小林宏康: CFD を利用した農業用地の飛砂の発生頻度検討のための風速の超過確率空間分布の算出, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 2015 年 9 月.

[発表 4] 高木洋平, 今野　雅: オープン CAE が築くコミュニティ, 化学工学会第 47 回秋季大会, 2015 年 9 月.

[発表 5] 大風翼, 渡部朱生, 今野雅, 持田灯, 小林宏康: 強風被害発生時のビニルハウス周辺の風環境の数値予測, システム農学会 2015 年度秋季大会, 2015 年 10 月.

[発表 6] 今野　雅: OpenFOAM 概要とオープン CAE 学会のご紹介, 第 3 回 OpenFOAM ワークショップ ― OpenFOAM を京で使おう ―, 2015 年 10 月.

[発表 7] 今野　雅, 大風 翼, 義江龍一郎, 富永 禎秀, 持田灯: OpenFOAM による単体建物周辺の非等温ガス拡散ベンチマークテスト, オープン CAE シンポジウム 2015, 2015 年 11 月.

[発表 8] 今野　雅, 住友 正紀: 各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテスト, オープン CAE シンポジウム 2015, 2015 年 11 月.

[発表 9] 今野　雅, 住友 正紀: 各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテスト, 第十五回 PC クラスタシンポジウム, 2015 年 12 月.

[発表 10] 今野　雅: OpenFOAM の産業応用, 日本機械学会イノベーションセンター研究協力事業委員会所属分科会 RC-D15 『産業界における CFD 利用の高度化に関する研究分科会』, 2016 年 2 月.

特記事項

[特記 1] 一般社団法人オープン CAE 学会: 各種クラウドサービス・FOCUS・Oakleaf-FX10 での OpenFOAM 性能・費用ベンチマークテスト, PC クラスタコンソーシアム実用アプリケーション・クラウド採用実績, http://pccluster.sakura.ne.jp/application/cloud/adopted/, 2015 年度 10 月採択課題.

[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「OpenFOAM 初級入門」, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/, 第 45 回 (2015 年 5 月), 第 50 回 (2015 年 9 月), 第 51 回 (2015 年 10 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「OpenFOAM 初級入門」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 45 回 (Vol.17, No.4, 2015 年 7 月), 第 50 回～第 51 回 (Vol.17, No.6, 2015 年 11 月).

学際情報科学研究体

佐藤　芳樹

HPCのためのソフトウェアモジュール化技術，
及び，センター業務への取り組み

HPCのためのソフトウェアモジュール化技術、及び、センター業務への取り組み

佐藤 芳樹

1 概要

本研究は、生産性の高いソフトウェアモジュール化技術をハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) アプリケーショ向けに構築することを目的としている。特に、エンタープライズや Web アプリケーションを対象に発展してきた、先端的なモジュール化技術を活用し、科学技術計算のような可読性や保守性に優れた抽象化を犠牲に、莫大なスケールの反復的計算の高度な最適化が求められるアプリケーションへの適用を目指している。具体的には、本年度までに以下の研究を実施した。

- HPC 向けユニットテストフレームワークの性能改善の検討

  計算網羅性及び順序のテストフレームワークを大規模科学技術計算に適用した際に問題となる、テスト実行時の処理時間とメモリ消費を改善する方法を検討する。

- HPC 向けプログラミング言語 X10 向けの性能解析ツール

  HPC 向けのプログラミング言語である X10 において、可読性や保守性を高めるための暗黙的な並列分散処理の挙動を把握するための、プロファイラ及びビジュアライザの開発を目指す。

- Java プログラムを対象とした包含文字列削除のためのプログラム変換

  プログラム内で使われる文字列間での包含関係に着目し、プログラム変換によって実行時に文字列が占有するメモリ量の削減を目指す。また、大規模ソースコードクローン検出器に適用し、その改善効果を評価する。

センター業務については、以下を実施した。

- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点における公募型共同研究に関する取り纏め、シンポジウム運営、及び情報発信の強化。

2 HPC 向けユニットテストフレームワークの性能改善の検討

2.1 背景

物理シミュレーションなどの科学技術計算を実装したアプリケーションプログラムの多くは、計算順序の変更によるキャッシュヒット率の向上のチューニングが施され、クラスタコンピュータなどの大規模並列分散環境で実行される。例えば、行列積計算による行列のブロック化は、典型的なループ最適化であるタイリングによってループ処理の対象を部分行列に分割し、行列要素へのアクセスを集中させる事で、メモリアクセスの局所化が図られる事が多い。2011 年のゴードンベル賞を受賞した物理シミュレーションソフトウェア RSDFT においても、中核を担うモジュールであるグラムシュミットの正規直交化法 (GS 法) の一部を分割し、行列積や行列ベクトル積に置き換え、局所性を高めている。

一方、スーパーコンピュータ上でのシミュレーションのために MPI を利用する並列分散プログラムでは、計算の一部が各計算ノードに割り当てられるため、計算空間は更に分割される。

チューニングや分散実行は、プログラムの実行性能を高める一方、バグの発生要因となり得る。典型的な科学技術計算は、カーネル計算を反復的に繰り返し実行するプログラムが中心的な関心事である。カーネル計算の対象空間は、ループタイリング等のチューニングや分散実行のために開発者によって分割され計算順が変更される。このような計算空間の分割は、プログラム中に境界判定コードを増加させ、保守性や可読性を著しく低下させる。結果として、人為的なミスを誘発し、計算漏れや計算重複といったバグが生じやすくなる。これらのバグは、単純には計算結果の突き合わせにより検証できるが、膨大な結果データを対象にしたり、乱数による初期化、浮動小数点演算の誤差等を考慮する必要があり容易ではない。

本研究テーマでは、反復的なループ処理が中核であるような科学技術計算において、分割の正しさを検査する計算網羅性テスト (calculation coverage testing) の重要性を指摘し、そのツールサポートの開発に取り組んでいる。計算網羅性テストとは、チューニング等によってグループ化されたループ処理の計算範囲及びその実行順序をテストする単体テストを指す。これによって、プログラムの計算漏れや重複、順序の誤りをテストによって検出することを目的としている。

昨年度までに、計算網羅性テストの有効性を評価すべく、Java 向けのテストフレームワーク HPCUnit を開発した。HPCUnit は、指定したカーネル計算の実行時ログを利用した検査を可能にする。実行時ログはプログラムの巡回した計算空間の各要素で、重複を許した順序付き集合として収集される。開発者は収集した実行時ログを用いて、テストプログラム中で計算空間を突合し、等価性を検査することができる。開発性を考慮し、HPCUnit は、アスペクト指向に基づいてカーネル計算を指定する専用言語と、実行時ログを適切に変換できる集合演算用のライブラリを提供している。

ソースコード 1 に例を示す。テストコードは、Java 向けのデファクトスタンダードの単体テストフレームワークである JUnit ライクに記述する。まず、チューニング前後での計算空間を指定し (15-20 行目)、それぞれを実行してログを収集する (7-10 行目)。取得した実行時ログをテストコード内で比較し、計算重複や計算漏れが検査できるようになる (22-24 行目)。

```
1  /* Test suite declaration */
2  @RunWith("HUTestRunner.class")
3  class GSTest {
4
5  /* Test driver */
6  @HUBeforeClass void testRun() {
7    @HUTarget GS gs1 = new NormalGS();
8    @HUTarget GS gs2 = new OptimizedGS();
9    gs1.calc();
10   gs2.calc();
11 }
12
13 /* Test method */
14 @HUTest public void testCoverageGS (
15   @HUList("{(i,j,k) | call(void kernel(int i,int j,int k)) && within(NormalGS)}")
16     HUList correct,
17   @HUList("{(i,j,k) | call(void kernel(int i,int j,int k)) && cflow(call(dgemm(..)))}")
18     HUList squares,
19   @HUList("{(i,j,k) | call(void kernel(int i,int j,int k)) && cflow(call(dgemv(..)))}")
20     HUList triangles)
21 {
22   HUList nullset = HUList.getNull();
23   assert(correct, is(squares.union(triangles))); // 計算重複
24   assert(nullset, is(squares.intxn(triangles))); // 計算漏れ
25 } }
```

ソースコード 1: HPCUnit でのテストコード例

2.2 内容

本年度は、計算網羅性テストのテスト実行時の処理時間とメモリ消費を改善するための、テスト式の事前実行によるインクリメンタルテスト方式の検討を行った。昨年度実施した計算網羅性テストを Java 向けの科学技術計算ベンチマークである Java Grande Forum Benchmark Suite (以降、JGF と呼ぶ) に適用したケーススタディより、現行の HPCUnit では大規模計算での計算網羅性テスト時に生じる実行時オーバーヘッド、及びテスト実行時のオーバーヘッド及びメモリ消費が実用上の障壁となり得るとの認識を持っている。特に、テスト実行時には、カーネル関数の次元やコンテキスト情報の束縛に比例してログ情報が肥大化するため、大量のログ情報の処理や比較によるスケーラビリティの低下が予想される。

インクリメンタルな計算網羅性テストとは、テスト実行時のログ操作や比較処理をアプリケーションの実行時に可能な限り先行して行うランタイムテストである。既存の HPCUnit では、ソースコード 1 の 15-20 行目のように、テストメソッドの引数として実行時ログ集合が受け渡される。一方、インクリメンタルテストでは、直感的には、15, 17, 19 行目で指定されたカーネル関数の処理時に、23 や 24 行目のテスト式を評価する。例えばこの例では、9, 10 行目の対象アプリケーションの実行は逐次的に行われるため、OptimizedGS クラスの実行直前には NormalGS クラスの実行が完了している。したがって、gs1.calc() の実行直後には correct が確定しているため、gs2.calc() の実行中に、assert メソッドが示すテスト式の実行が可能となる。しかし、squares や triangles は未確定の状態であり、テスト式の評価は不可能である。そこで、テスト式を部分テスト式の合成からなる等価な式への変換を行うようにする。具体的には、計算漏れをテストする 24 行目のテスト式から、次のような等価な部分式を導出する。

$$correct = squares \cap triangles$$
$$\Rightarrow correct \cap (squares \cap triangles) = \emptyset$$
$$\Rightarrow correct \cap \{(x, y, z) \mid (x, y, z) \in squares \wedge triangles\} = \emptyset$$

つまり、三次元のタプルである (x,y,z) の集合と correct との積集合は空集合である。したがって、以下に示す部分テスト式の対象アプリケーションへの埋め込みと、単体テスト式の変換を施せば良い。

部分テスト式:

```
p = new HUTuple(a, b, c);
squares.put(p); // or triangles.put(p);
assert(nullset, is(correct.intxn(p));
correct.subtract(squares.union(triangles));
```

単体テスト式:

```
assert(correct, is(nullset);
```

対象アプリケーションの実行時に処理される部分テスト式では、correct に p が含まれているか否かを直ちに判定し、含まれない場合はテストエラーを発生させる。含まれている場合は、correct との差集合で correct を置き換える。したがって、単体テスト式では、結果として得られる correct が空集合であるかを判定すれば良い。

このような変換が可能である時、単体テスト実行時には squares や triangles が不要となるため、これらの消費メモリを削減できる。また、gs1.calc() と gs2.calc() に計算漏れが無い場合は、correct は空となるため、テスト実行の処理時間とメモリ消費はほとんど無視できるようになる。さらに、インクリメンタルテストによって、実行時に部分テストが失敗した場合、gs2.calc() の終了を待たずに単体テストの結果を得られようになる。

インクリメンタルテストの有効性を検討するために、JGF を用いて予備的な性能評価を行った。全てのベンチマークアプリケーションは最大問題サイズで実行し、コア数に合わせて 16 スレッドで並

ベンチマーク	計算空間	並列版		並列版のインクリメンタル	
		テスト実行 [s]	消費メモリ [MB]	テスト実行 [s]	消費メモリ [MB]
Series	999,999	0.19	97	0.0043	84
LUfact	1,652,472	0.76	250	0.0031	81
SOR	399,200,400	49.88	182	0.0021	137
Crypt	12,500,000	1.21	130	0.0039	98
Sparse	500,000,000	18.40	125	0.0029	108

表 1: ログ収集による実行時オーバーヘッド及びテスト時間

列版のみを実行した。実験環境は以下の通りである。

- CPU: Intel(R)) Xeon(R)) CPU E5-2687W 3.10GHz 8 コア x2CPU
- RAM: 64GB
- OS: CentOS 6.2, Linux kernel 2.6.32
- Java: OpenJDK 1.7.0_25 64 ビット版の Server JIT
  (オプション: -Xmx28g -Xms28g -Xmn24g -XX:SurvivorRatio=10)

測定結果を表 1 に示す。Series, LUFact, SOR, Crypt, Sparse 全てにおいて、テスト実行時間が大幅に改善されている事がわかる。これらはベンチマークプログラムが計算漏れを含まない場合、計算空間のサイズに寄らず、テスト時に空の HPCSet クラス (マルチセット) 同士の比較を行うためである。一方、メモリ消費は最大で 70%弱の改善が見られたが、Series や Sparse のような顕著な効果を得られないケースもあった。理論上では、HPCUnit が消費するメモリサイズは、インクリメンタルテストによって最悪でも 1/2 程度に抑えられずはずである。本結果は、期待したタイミングで GC が発生せずに、ヒープ上に不要なオブジェクトが残っていたためと予想している。また、本実験では対象アプリケーションの実行オーバーヘッドが 40∼50%改善された。当初、インクリメンタルな部分テストは、実行時のオーバーヘッドを増加させると想定していた。この逆の結果については、HPCUnit ではログ集合をマルチセットによって保持しているため、要素の追加に比べて、その削除のコストが小さいためと考えられる。マルチセットでは、要素の重複が許されないが、要素数はカウントして保持される。そのため、追加時には等価なオブジェクトの検索が必要となる。一方、削除も同様の検索が必要となるが、インクリメンタルテストによって計算量は O(NlogN) に削減されるため、処理時間が改善されたと考えられる。

本実験では、インクリメンタルテストのナイーブな実装による性能改善の効果を確認した。今後は、テスト式の部分テスト式への変換について、更に一般的な方法の開発を行う。例えば、テストメソッド内で計算空間の操作が行われるような複雑なテスト式では、データフロー解析による部分適用のようなコード変換が必要となる。また、メモリ性能の改善に関しては、精度の高い測定方法で再実験を行う必要がある。

2.3 具体的成果

本研究に関するケーススタディの報告を含む設計及び実装の成果は、昨年度ソフトウェア工学分野のトップカンファレンスの一つである ACM ISSTA 2015 (International Symposium on Software Testing and Analysis) に採録され、本年度発表を行った [査読付 1]。インクリメンタルテストの予備的評価については、ACSI 2016 (Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure) にて発表した。

3 HPC 向けプログラミング言語 X10 向けの性能解析ツール

3.1 背景

MPI や X10 をはじめとする並列分散処理向けプログラミング言語やライブラリでは、複数のプロセッサや分散ノードを利用した低レベルな処理を抽象化して、ソフトウェアの開発生産性を向上させている。X10 では特にメモリやスレッドを抽象的にプログラマに提供し分散クラスタやスーパーコンピュー

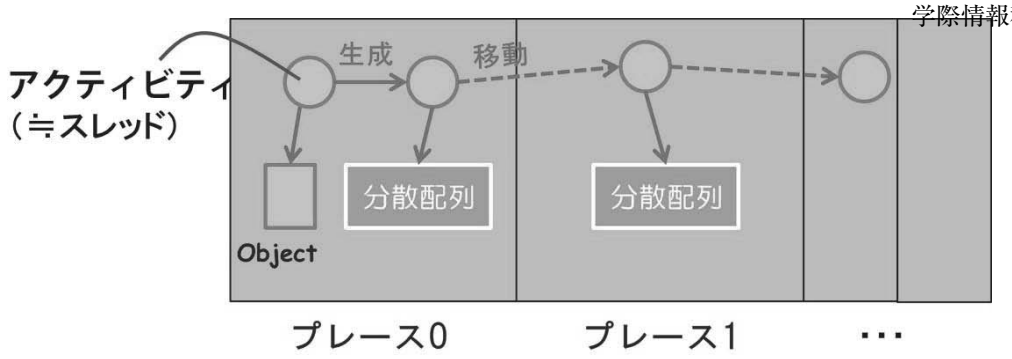


図 1: X10 のアクティビティとプレース

タ向けのソフトウェアを開発しやすくなる。一方で、スレッド生成や同期、分散ノード間通信のような低レベルの処理はランタイムシステムによって自動的に行われ、ユーザには隠蔽されるため、実行動作の把握が困難となる。そのような暗黙的な並列分散処理は、可読性や保守性を高めるが、チューニングやデバッグを困難にさせる可能性がある。しかしながら、今後メニーコアやアクセラレータ上で大量の並列スレッドを用いたソフトウェア開発が求められる中、すべての暗黙的な動作の実行履歴をユーザに開示する事は現実的ではない。

X10 は並列分散処理向けに抽象化されたメモリモデルと専用の言語構文を有するプログラミング言語である。X10 では、メモリ空間をプレースと呼ばれる区分化されたメモリ空間に分割しており、ユーザが物理メモリを意識し局所性を考慮したプログラムを書くことができる。図 1 に示すように、X10 における遠隔処理や遠隔参照は、プレース間でのアクティビティ（スレッド）の移動によって実現される。また、プレース間にまたがる分散配列が提供され、複数プレースを利用した分散処理も容易に記述できる。プレース数はユーザが任意に設定し、単一ノード上のスレッド並列と複数ノードを用いたノード並列を柔軟に設定することができる。

X10 では、抽象化した分散メモリを前提として、並列分散処理向けの様々な専用構文が用意されている。例えば、プレースを移動するための at、アクティビティを生成するための async、バリア同期用の finish を利用したコード例を図 2 に示す。図 2 は X10 の抽象化構文を使用したコード例である。1 行目の async 構文によってアクティビティが生成され、非同期処理が開始される。アクティビティは、移動先プレースで参照するローカル変数のみを、暗黙的にコピーして移動する。例えば、3 行目の at ブロック内の処理 S1 は移動先で実行され、4 行目でローカル変数 a が参照されているため、a の値は at ブロックの先頭でコピーして送受信される。at ブロック終了時には、元のプレースへ再度移動し、処理 S2 が実行される。複数アクティビティによるバリア同期は finish ブロックで async ブロックを包含して指定する。例えば、10-13 行目は、新しく作られたアクティビティが S3 と S4 をそれぞれ実行して終了するまで、元のアクティビティは finish の実行を終了しない。

X10 の抽象化された並列分散構文は生産性の向上に寄与するが、データ通信やスレッド制御のような暗黙的な挙動を把握した低レベルなチューニングが難しくなる問題がある。X10 は低レベルな処理を抽象化することで、データ送受信、アクティビティ（スレッド）生成そして同期制御のプログラミングが容易にする一方、意図しないデータ送受信やバリア同期のブロッキングが性能を低下させる場合がある。これらは、X10 処理系によって暗黙的に処理されるためユーザが気づきにくく、原因も特定しにくい。例えば、at 構文では、プレース間移動や遠隔参照の際にデータ送受信を暗黙的におこなうためにユーザの意図しない送受信を引き起こす可能性がある。これは、移動元プレースで宣言されているローカル変数のうち、移動先プレースで参照されている変数が暗黙的に送受信されるためである。これらの解析による最適化は、移動先プレースでのより多くの変数の参照、配列サイズの動的変化やオブジェクト型変数の送受信の発生、at 構文の多重入れ子など、コードの複雑化に伴ってより困難となる。

さらに finish 構文, async 構文による抽象度の高いバリア同期構文は、不要な待ち時間を誘発する可

```
1  async { //アクティビティ（スレッド）生成
2          val a:long = 1;
3          at (here.next()) { //隣のプレースへ移動
4                  Console.OUT.println(a);
5                  S1;
6          }
7          S2;
8  }
9
10 finish { //バリア同期
11         async { S3; }
12         async { S4; }
13 }
```

図 2: X10 の抽象化構文のソースコードの例

能性がある。直観的な構文によってバリア同期やアクティビティ生成を容易に記述できるため、例えば処理時間の不均一なアクティビティの生成によって、バリア同期全体としての処理時間が待ち時間によって引き延ばされるような状況が引き起こされてしまう。finish と async は、プログラム中の離れた場所に別々の構文で記述可能であるため、バリア同期に参加するアクティビティを静的に把握することも難しい。

3.2 内容

本研究テーマでは、本研究では、暗黙的な挙動を可視化するために、X10 向けのプロファイリングツール X-Eye を開発した。X-Eye は、プログラムの挙動を解析するプロファイラと、解析結果を可視化するビジュアライザから構成されている。プロファイラは、コンパイル時に X10 プログラムに追跡コードを埋め込み、実行時に X10 固有のイベントの実行時情報を取得する。ビジュアライザは、プロファイラの解析結果に基づいて X10 の暗黙的な挙動を可視化するだけでなく、大規模処理で大量のイベントが発生した場合でも可視化された情報をユーザが適切に把握できるようにするために、可視化範囲を適切に絞り込むことができるイベントフィルタリング機能と専用 DSL を提供する。

X-Eye プロファイラは、Java 向けの Managed X10 と C++向け Native X10 のどちらにも対応できるよう X10 コンパイラ拡張によるソースコード変換で実現した。X-Eye による可視化の過程を図 3 に示す。まず、X-Eye プロファイラは、X10 ソースコードに対してコンパイル時に、挙動を追跡するコードを X10 固有の抽象化構文を対象に挿入する。コンパイル後に追跡コードが反映された X10 バイナリファイルが出力され実行されると、X10 固有の抽象化構文によるイベントの実行時情報に関するログデータが出力される。そして Java の GUI ライブラリである JavaFX で開発したビジュアライザが、ログデータを解析してグラフとして可視化する。

X10 が利用されるような大規模並列分散処理では、大量のイベントが発生しやすい。そのため、それらすべてを可視化すると膨大な情報量やグラフの複雑化によって、プログラムの実行速度低下の原因等をユーザが把握することが困難になる。そのため、X-Eye では、ユーザビリティの向上を狙い、可視化したイベント情報の範囲を、専用 DSL によって対話的に絞り込む機能を実装している。

DSL は Java 8 の Stream API ライクに設計し、ラムダ式でフィルタ条件を記述し、可視化結果を見ながら対話的にフィルタリング条件を記述する。図 4 に記述例を示す。ユーザは収集したイベント情報を保持している Stream 型変数 eventStream に対し、filter メソッドを使って可視化範囲を決定する。filter メソッドは引数に、フィルタ条件をとり、それを使ってストリーム中のデータを絞り込む。例では、プレース 0 で発生したイベントのうちアクティビティ0-0（main 関数を実行したメインアクティビティ）によって実行されたイベントのみが可視化される。

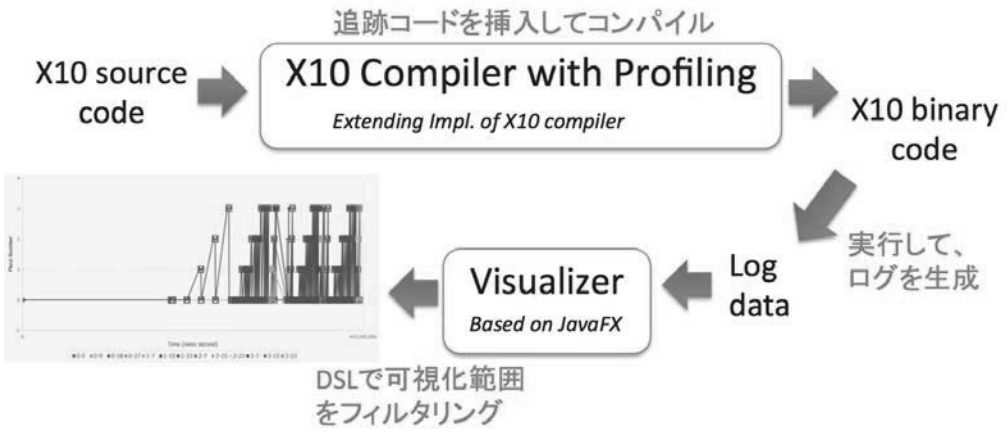


図 3: X-Eye の挙動可視化の流れ

```
1 eventStream = eventStream
2                 .filter(e -> e.execPlace == 0)
3                 .filter(e -> e.activityNumber.equals(''0-0''));
```

図 4: プレース 0 で発生したイベントのうちアクティビティ 0-0 によって実行されたイベントを表示

3.3 具体的成果

本研究テーマでは、処理系を含むプロファイラ、ビジュアライザを開発し、性能測定やユーザビリティの評価を行い共著者として国内学会で発表した。また、国内学会論節に採録された [査読付 2]。

4 Java プログラムを対象とした包含文字列削除のためのプログラム変換

4.1 背景

Java 言語の文字列オブジェクトの実装方法は、文字列処理が多いプログラムの場合、そのメモリ消費量を決める重要な要素である。Java 6 までは、ある文字列から substring メソッドによって、一部の文字列を取り出した際、内部の char 配列を共有する事で冗長な文字配列の生成を回避していた。しかし、Java 7 の特定のバージョンからは、部分文字列は共有されずに新規に生成されるような仕様変更が施された。これは、ガーベージコレクションの容易性や、マルチスレッドアクセス時の排他処理の回避を狙ったものと考えられる。一方、それによって部分的に一致する文字列を扱う場合、ユーザが冗長な文字列オブジェクトの生成を避けるようなチューニングが難しくなっている。また、Java 8 から同値関係にある文字列をガーベージコレクション時に検出して共有する String Deduplication 機能が導入されたが、依然として部分的に一致する文字列による無駄な文字列生成を防ぐ機能は提供されていない。

4.2 内容

本研究テーマでは、substring メソッドで明示的に切り出した部分文字列のオブジェクトを含む、任意の文字列オブジェクトを対象に、部分一致する文字列間で文字列を共有させる手法を検討した。一般に、部分一致関係の検出は大きな計算コストを生じさせる。そのため、部分一致よりも条件を緩め、一方の文字列に包含される文字列（包含文字列と呼ぶ）を対象とした。また、実行時オーバーヘッドを更に改善するために、明示的に指定した範囲でのみ包含文字列を共有する実装方法を検討した。本

	Compress		Collections		Validator	
共有範囲	実行時間	最大メモリ	実行時間	最大メモリ	実行時間	最大メモリ
(a) 共有なし	40sec	1.55GB	125sec	1.64GB	12sec	1.55GB
(b) 全フィールド	9,090sec	239MB	27,500sec	909MB	1,830sec	322MB
(c) 全 private フィールド	316sec	926MB	695sec	1.17GB	68sec	1.54GB
(d) 特定のフィールド	306sec	1.13GB	692sec	1.20GB	62sec	1.55GB

表 2: 実験結果 (最大メモリはメモリ消費が最大の時に確保したヒープのサイズ)

手法の有効性を確認するために、文字列を大量生成するアプリケーションを対象に、手動で文字列共有範囲の制限と、包含文字列を共有する仕組みを実装して性能を測定した。

具体的には、Type3 コードクローン検出器である Scorpio を用いた。Type3 コードクローンとは、コードクローンの内、文の挿入や削除、修正による違いをある程度許容したクローン対である。一般的に、コードクローン検出器は、ソースコードを抽象構文木に変換して、制御フローやデータフローのグラフを作るなどし、類似する部分木を検索する。そのため、様々な解析処理用に同じコード辺や部分コード辺を多数生成している。予備実験では、下記の範囲で文字列を共有できるようプログラムを修正した。入力は Apache Commons プロジェクトから大きさの異なるサブプロジェクト Compress (1.9MB)、Collections (3.9MB)、Validator (1.1MB) を選んで用いた。実行環境は次の通りである。Intel Core i7-4770S (3.10GHz)，Ubuntu 14.04LTS，OpenJDK 8

(a) オリジナルの String クラス

(b) 全クラスの全 String フィールドで文字列共有

(c) 全クラスの private フィールドで文字列共有

(d) 事前分析で選んだ特定のフィールドのみで文字列共有

実験結果を表 2 に示す。包含文字列の共有を行う (b)、(c)、(d) の内、全フィールドを対象とした (b) では顕著なメモリ性能の向上が確認できた。一方、包含文字列の検索処理によるオーバーヘッドは極めて大きいものであった。一方、(c) と (d) では実行オーバーヘッドは (b) と比較して小さいものの、メモリ性能の際立った改善は見られなかった。本実験結果からは、Scorpio においては、共有範囲の制限によるオーバーヘッドの削減効果は確認されなかった。しかし、全フィールド間で包含文字列を共有する事で、最大 1/6 ものメモリ消費の削減が確認できた。今後は、包含文字列の検索処理の高速化が必要であり、またガーベージコレクションと協調したアプリケーションとの並列実行やインクリメンタル実行による見掛け上の性能向上を図る。

4.3 具体的成果

本研究に関する予備的な設計及び実装の成果は、共著者として国内学会発表を行った [発表 1]。

5 センター業務への取り組み

5.1 背景

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の活動の推進及び支援を主に担当している。

5.2 内容

本年度は、例年実施している公募型共同研究のシンポジウム、各種報告書の取り纏め、及び次年度公募型共同研究の課題審査運営に加えて、第一期の期末評価へ向けた期末調書の作成及び第二期に新設

する各種取り組み関する制度設計に注力した。詳細については、PART Ⅱ の「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」の活動報告も参照されたい。

また、本拠点の活動内容や研究成果の発信及びその準備についても、引き続き注力した。その一つとして、先進的な計算を支えるシステムや基盤技術に関する国内最高峰の研究に関する会議 ACSI2016 (Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure) にて、JHPCN セッションを開催し、その企画、準備を行った。セッションでは、学際情報科学研究体の他教員や 8 大学センター長にもアドバイスを頂き、H27 年度実施課題を中心に評価の高いテーマに関して研究成果の紹介を行った。本年度は、拠点 Web サイトについても、今後の国際化対応の一環として英語サイトを準備した。さらに、共同研究成果を発信するための事例集を整備し、各センターから 16 件もの研究事例を非専門家にも分かりやすい形で掲載した。

5.3 具体的成果

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点としては、第一期から第二期への切り替わりであり、第一期拠点活動での綻びを正し研究倫理教育や非居住者の計算機利用のような大きな制度改正にも着手した。さらに、第二期の初年度から、国際化や産業応用、萌芽型研究等の新しい取り組みをスタートできたことは大きな成果である。一方、二回目を迎えた ACSI セッションでも、前回を大幅に越える 90 名超の参加者を数え、参加者からも大変有意義なイベントであるとのコメントを頂いた。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yoshiki Sato, Shumpei Hozumi, Shigeru Chiba: Calculation Coverage Testing in Scientific Applications, ISSTA'15: Proceedings of the 2015 International Symposium on Software Testing and Analysis, July 2015.

[査読付 2] 板橋晟星, 佐藤芳樹, 千葉滋: 並列分散処理向けプログラミング言語 X10 向けの対話的にフィルタリング可能なプロファイリングツールの開発, 情報処理学会論文誌 プログラミング, 2015.

その他の発表論文

[発表 1] 山崎徹郎, 佐藤芳樹, 千葉滋: 大規模コードクローン検出のための包含文字列を対象とした省メモリ化プログラム変換の予備的な性能評価, 情報処理学会全国大会, 2016.

特記事項

[特記 1] 情報処理学会 プログラミング研究会運営委員

[特記 2] 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会運営委員

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　　副課長　増田均　　専門職員　中村昇平

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 名近くの登録ユーザに対し、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。

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。他にも、メールサービスなどを各ユーザに対して提供している。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 506 組織、計 17,000 名以上のユーザが利用している。ECCS ユーザ向けのメールサービスと合わせると、延ユーザ数は 44,000 名以上に達する。

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 817 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。

ストリーミングサービス： 映像配信用のストリーミングサーバを利用したサービスの提供を行っており、UTokyo OCW、東大.TV をはじめさまざまな用途に利用されている。また、映像作成のための機材の提供も行っている。

学習管理システム (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。今年度は約 1,000 コースで利用された。また、今年度で、前年度から進めてきた学務システム (UTask-Web, UT-mate) とのコース情報およびアカウント情報の連携機能の実現が完了した。

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 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、大判プリンターのサービスなどを提供している。このうち認証情報に関しては、utroam、SSL-VPN などの全学を対象としたサービスの他に、部局所有機器等への提供サービスも行っている。

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　ECCS2012 の運用

ECCS2012 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 1,321 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。

2015 年度の主な更新は以下の通りである。

Mac 環境

2015 年 5 月 21 日

- ソフトウェア・アップデート
    - Safari 7.1.6
- Adobe flash 17.0.0.188
- Adobe Reader 11.0.11
- Firefox 38.0.1
- Google Chrome 42.0.2311.152
- Java8 update45 (jdk)
- Office2011 14.5.0 Update
- Remote Desktop 8.0.17
- Stata 14 05 May 2015
- VLC 2.2.1

2015 年 8 月 20 日

- ソフトウェア・アップデート
    - セキュリティアップデート 2015-005
    - セキュリティアップデート 2015-006 1.0
    - Mac EFI セキュリティアップデート 2015-001
    - iTunes 12.2.2
    - Safari 7.1.8
- Adobe flash 18.0.0.232
- Adobe Reader 11.0.12
- Firefox 40.0.2
- Google Chrome 44.0.2403.155
- Java8 Update51 (jdk)
- Office2011 14.5.4 Update
- Remote Desktop 8.0.18
- Stata 03 Aug 2015
- Thunderbird 38.2.0

2015 年 11 月 24 日

- ソフトウェア・アップデート
    - セキュリティアップデート 2015-007 1.0
    - iTunes 12.3.1

    - Safari 9.0.1
- Adobe Flash Player 19.0.0.245
- Adobe Reader 11.0.13
- Firefox 42.0
- Google Chrome 46.0.2490.86
- Java8 Update65 (jdk)
- Office2011 14.5.8 Update
- Remote Desktop 8.0.24
- Stata 29 Oct 2015
- Thunderbird 38.3.0

Windows 環境

2015 年 5 月 20 日

- Windows Update
- Adobe Flash Player 17.0.0.188
- Adobe Reader 11.0.11
- Firefox 38.0.1
- Google Chrome 42.0.2311.152
- Java8 update45 (jdk)
- Stata14 05 May 2015
- VLC 2.2.1

2015 年 6 月 22 日

- Windows Update
- Adobe Flash Player 18.0.0.160
- Firefox 38.0.5
- Google Chrome 43.0.2357.124
- JMP 11.2.0
- Stata 10 Jun 2015
- Thunderbird 38.0.1

2015 年 9 月 14 日

- Windows Update
- Adobe Flash Player 18.0.0.232
- Adobe Reader 11.0.12
- Eviews 9
- Firefox 40.0.3
- Google Chrome 45.0.2454.85
- Java8 update60 (jdk)
- Rhinoceros 5.12
- Stata 3 Aug 2015
- Thunderbird 38.2.0
- Visual Studio Community 2015
- skype 7.9.85.103

2015 年 12 月 21 日

- Windows Update
- Adobe Flash Player 20.0.0.228(235)
- Adobe Reader 11.0.13
- Firefox 43.0

- Google Chrome 47.0.2526.106
- Java8 update66 (jdk)
- Stata 1 Dec 2015
- Thunderbird 38.4.0
- skype 7.16.85.102
- ArcGIS for Desktop を削除

リモートアクセス環境

2015 年 4 月 3 日

- ソフトウェア・アップデート
    - Safari 7.1.4
- Firefox 36.0.4
- Remote Desktop 8.0.14
- Remote Desktop Connection Client for Mac 2.1.1

2015 年 5 月 21 日

- ソフトウェア・アップデート
    - Safari 7.1.6
- Adobe flash 17.0.0.188
- Adobe Reader 11.0.11
- Firefox 38.0.1
- Google Chrome 42.0.2311.152
- Java8 update45 (jdk)
- Remote Desktop 8.0.17
- Stata 14 05 May 2015
- VLC 2.2.1

1.2 新しい教育用計算機システム（ECCS2016）について

1.2.1 システム更新の経緯

2016 年 3 月に教育用計算機システムの更新を行った。以下にその経緯について述べる。

（仕様検討）

情報メディア教育専門委員会の下に「教育用計算機システム導入作業部会」が組織され、2014 年 12 月 2 日、12 月 22 日に同部会を開き、センターホームページで集計した「ECCS に関するアンケート」の結果、および同年 9 月 25 日、26 日に開催した公聴会での意見等を参考に、次期システムの大枠について検討した。

（資料提供招請の公示）

2015 年 1 月 16 日　資料提供招請の官報公示をした。

（導入説明書の作成）

教育用計算機システム導入作業部会での検討結果を受け、導入説明書を作成した。

（導入説明会）

1 月 23 日　導入説明会を開催した。

（仕様策定委員会）

教育用計算機システム仕様策定委員会を設置して、3 月 23 日、3 月 30 日、4 月 24 日、6 月 1 日、6 月 22 日、7 月 6 日の 6 回開催し、次期システムの仕様書を作成した。

（仕様書案の説明会）

5 月 13 日　仕様書案について説明会を行った。

（入札の公示）

7 月 16 日　入札の官報公示を行った。

（入札説明会）

7 月 23 日　次期システムの仕様書の説明、及び事務手続きの説明を行った。

（入札）

9 月 8 日　入札締切

（技術審査委員会）

教育用計算機システム技術審査委員会が 9 月 11 日、9 月 18 日に行われ、入札に参加した 2 社の提案を合格とした。

（開札）

9 月 30 日　富士通株式会社が落札した。

（納入）

2016 年 2 月 29 日　納入期限

3 月 1 日から新教育用計算機システム（ECCS2016）によるサービスを開始した。

1.2.2　ECCS2016 システム利用説明会

教育用計算機システムを利用して授業を行う教員、ティーチングアシスタントと分散配置端末管理者・担当責任者を対象に、新システムの利用説明会を本郷・駒場の両会場で開催した。

本郷：3 月 17 日（木）13:30～15:00　情報基盤センター1 階大演習室 1

駒場：3 月 16 日（水）15:10～16:40　情報教育棟 3 階大演習室 2

また、この説明会では教育用計算機システムの一部として運用している学習管理システム ITC-LMS の説明もおこなった。

1.2.3　ECCS2016 の概要

ECCS2016 の概要について紹介する。

【端末】

- 21.5 インチ Apple iMac(1,341 台)
- Mac OS X El Capitan (10.11)と Microsoft Windows 10 の両方が動作
- Intel Core i5 2.8GHz クワッドコア
- メモリ 16GB
- SSD 256GB
- 1,920 x 1,080 ドット 21.5 インチ
- 縦横スクロール可能な 3 ボタンレーザー式マウス(エレコム M-S2ULBK/RS)
- Apple Keyboard (テンキー付き JIS)

注意事項

- 端末起動後，しばらくすると自動的に Mac のログイン画面に変わる
- Mac のログイン画面が表示されている時に Windows 環境を利用したい場合は，端末を再起動

【ソフトウェア】

- プログラミング言語環境
  C/C++言語、Java 言語、Ruby 言語
- 統計ソフトウェア
  JMP が Windows、Mac 環境で利用可
- 数式処理ソフトウェア
  Mathematica が Mac,Windows で利用可
- オフィスアプリケーション
  MS-Office が Windows、Mac 環境で利用可
- Unix フリーソフト
  Mac 環境で、可能な限り ECCS2012 と同様の Unix フリーソフトを提供
- 数値解析ソフト
  MATLAB、OxMetrix、Stata/SE

注意事項

- MATLAB は、Mac 環境と Windows 環境を合わせた同時使用ユーザ数 100
- Stata/SE は、同時使用ユーザ数 70

【プリンタ】

- フルカラーデジタル複合機(リコーMPC4503SP)29 台
- スキャナー、コピー機能の提供
- A3、A4、B4、B5 用紙利用可
- プリペイドカード、電子マネー（Suica 及び PASMO が利用可）に対応した課金
- USB メモリの PDF、TIFF、JPEG、Word、Excel、PowerPoint ファイルを印刷可能

注意事項

- ECCS2012 で利用できたネットプリントサービスは利用できない

【メールシステム】

- クラウドメールサービスの運用を開始
- Google Apps for Education の一部である Gmail を用いたメールサービス

【外部からの ECCS の利用】

- リモートアクセス環境
  Splashtop Enterprise を用いたリモートアクセス環境を提供

同時利用可能な人数は 15 名

- SSH サーバ

  公開鍵認証方式でのログイン

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。

2015 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	42	833	14	238	4	266
5 月	36	139	5	13		
6 月	44	50	4	4		
7 月	44	32	3	6		
8 月	24	18	2	4		
9 月	38	114	5	51		
10 月	42	336	4	5	5	90
11 月	36	44	4	6		
12 月	36	26	4	6		
1 月	36	22	4	1		
2 月	30	17	2	1		
3 月	43	11	2	1		
合計	531	1662	56	338	9	356

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	新入生	130
4 月 1 日	法科大学院	法科大学院新入生	230
4 月 2 日	公共政策大学院	大学院新入生	95
4 月 2 日	教養学部	新入生	1800
4 月 3 日	教養学部	新入生	1257
4 月 3 日	国際センター駒場オフィス	USTEP 生 AIKOM 生	45
4 月 8 日	情報学環	新入生	25
8 月 20 日	公共政策大学院係	新入生	10
9 月 7 日	公共政策大学院係	新入生	43
9 月 7 日	国際センター駒場オフィス	PEAK/GPEAK 新入生	111
10 月 1 日	情報学環	新入生	19
10 月 7 日	新領域創成科学研究科	新入生	48
10 月 8 日	情報学環	新入生	13
10 月 16 日	柏図書館	新入生	10

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、2015 年度(各月右側)と 2014 年度(同左側)を載せてある。(システム更新のため 2,3 月は作成していない。)

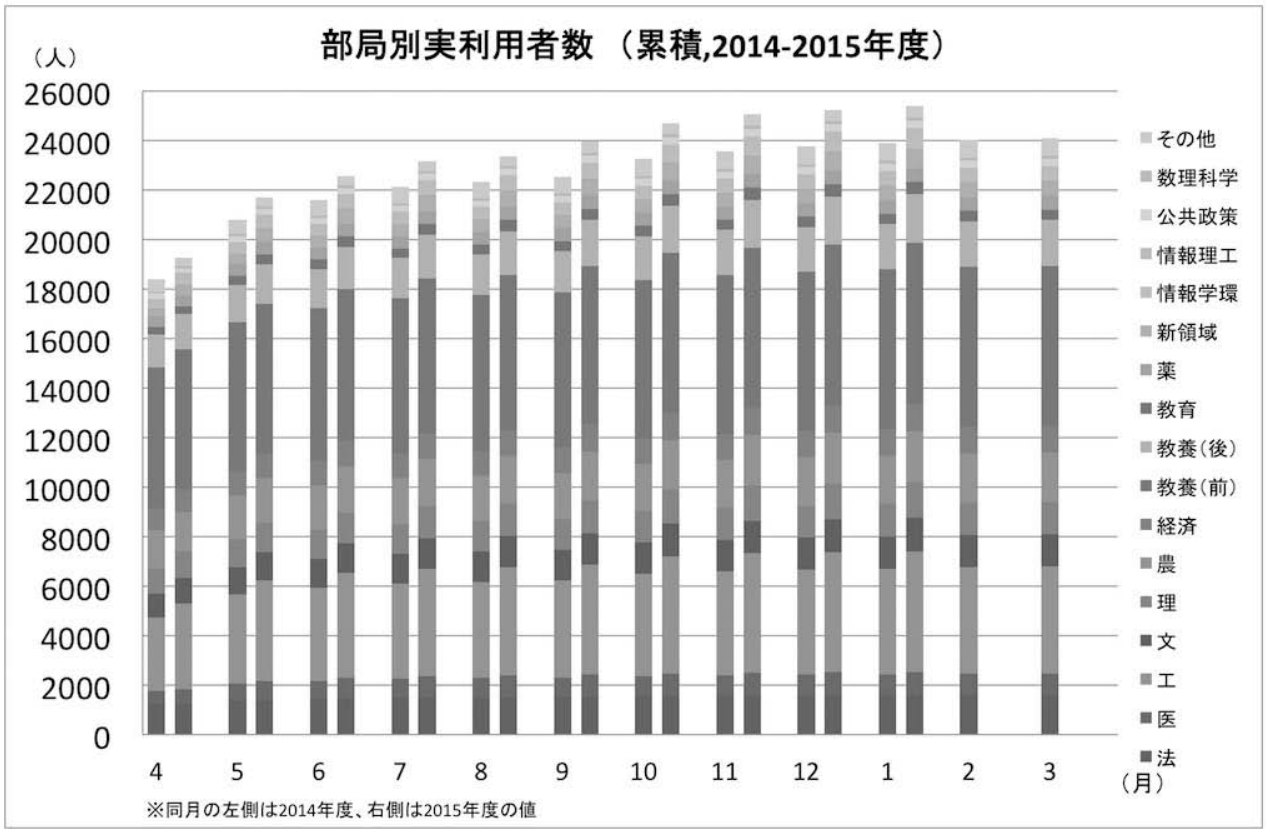
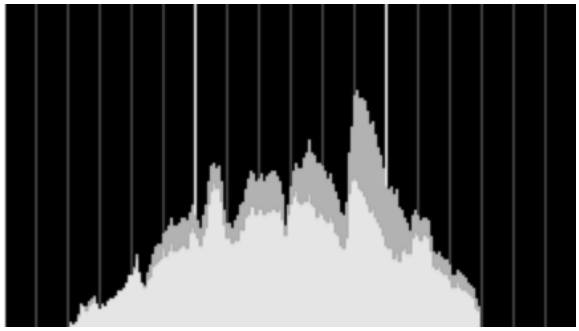


図 1. 部局別実利用者数

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。



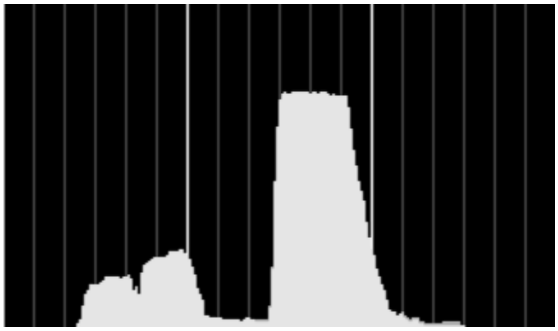


図 2. 駒場情報教育棟 1F 自習室 (124 台)

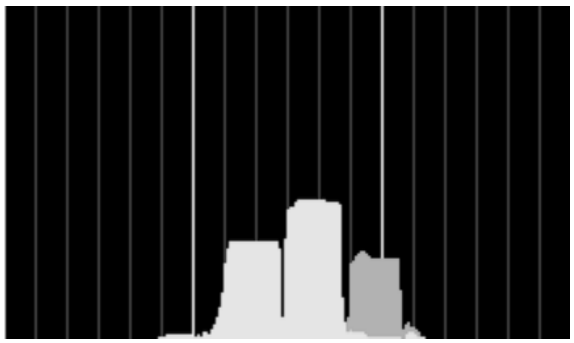


図 3. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 1 (165 台)

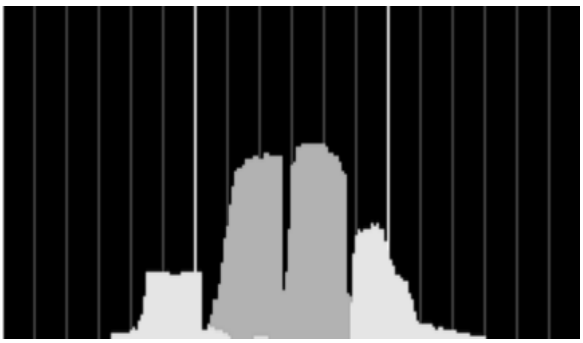


図 4. 駒場情報教育棟 3F 大演習室 2 (135 台)

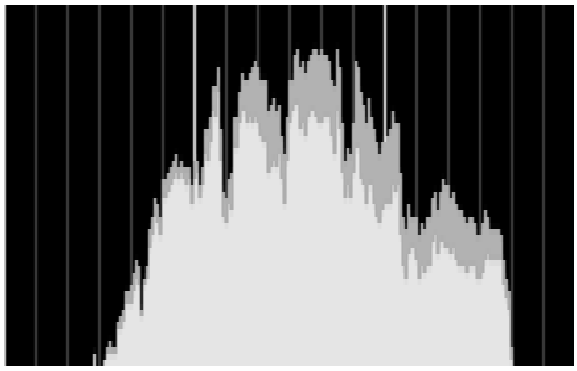


図 5. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 3 (108 台)

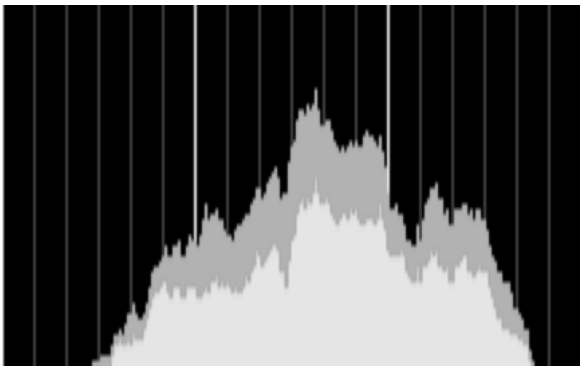


図 6. 駒場図書館 1F メディアパーク (58 台)

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	609	386	1151	102	1020	52	222
5 月	261	156	422	43	269	21	154
6 月	251	148	244	32	167	19	106
7 月	227	161	185	31	181	29	86
8 月	134	70	75	21	52	16	46
9 月	222	131	403	36	352	33	66
10 月	247	153	437	57	210	36	65
11 月	210	76	299	24	205	14	79
12 月	167	49	146	25	103	17	96
1 月	138	66	148	31	52	11	78
2 月	95	109	137	42	36	28	129
3 月	153	135	132	49	71	44	136
合計	3113	1864	4309	617	2890	416	1463

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

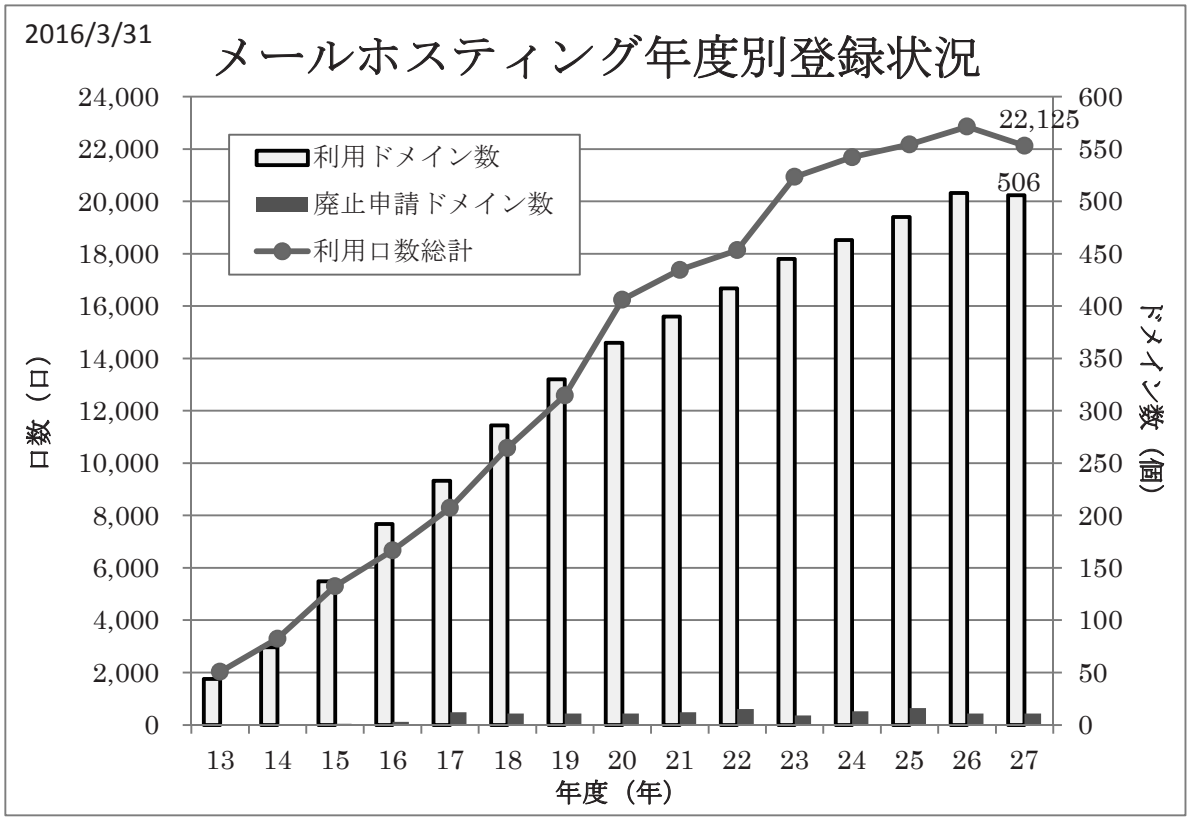
1　経過

2015 年 6 月から 7 月の間に情報基盤センターがサービスを行っているサービスのパスワード等が漏えいしたことにより、8 月 17 日にドメイン管理インタフェースのサービスを一旦停止し、8 月 28 日に安全性を強化したアクセス法に変更して再開した。また、2015 年 9 月 8 日には、特定の拡張子のファイルの送受信を禁止にした。

2015 年度は、システム更新等は行っていない。

2　参加組織

2015 年度末時点において、本サービスを利用している組織は、506 組織であり、それらの申し込み口数の合計は 22,125 口である。2014 年度末に比べ、2 組織、730 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。

2015 年
- 6 月 18 日　保守作業による停止について
- 7 月 16 日　メールホスティングサービス利用者の情報流出に関するお詫び
- 7 月 29 日　7/30 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【終了】
- 8 月 28 日　ドメイン管理インタフェースの再開
- 8 月 28 日　/etc/aliases 相当の機能はありますか？
- 8 月 28 日　ドメインのディスク使用量を確認したい
- 8 月 28 日　【管理者向け】MailSuite での迷惑メール隔離の管理
- 8 月 28 日　緊急対応に伴うドメイン管理インタフェースの停止
- 8 月 28 日　ドメイン管理インタフェースの不具合について
- 9 月 4 日　ドメイン管理インタフェースへのアクセス法の変更
- 9 月 7 日　【管理者向け】ドメイン管理用パスワードの再発行申請
- 9 月 7 日　【管理者向け】利用申請システム用パスワードの再発行申請
- 12 月 22 日　12/24 システムメンテナンスに伴うドメイン管理インタフェースの停止について【終了】

2016 年
- 2 月 15 日　ECCS システム一時障害について
- 2 月 19 日　【メール】2/26 ネットワーク切替作業によるメールシステム等の一時的なサービス停止について
- 2 月 29 日　メーラーによるメール送信不具合【終了】
- 2 月 29 日　3/3 システムメンテナンスに伴うドメイン管理インタフェースの停止について【終了】
- 3 月 1 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　2016/2/26-27 メール送信エラーのお詫び
- 3 月 18 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

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

2015 年 6 月から 7 月の間に情報基盤センターがサービスを行っているサービスのパスワード等が漏えいしたことにより、2015 年 10 月 13 日に利用者にパスワード変更依頼をメールで出し、10 月 19 日までに変更されなかったドメインについては、情報基盤センター側で 2015 年 10 月 20 日にパスワードの変更を行い、変更したパスワードを学内便にて利用者に送付した。
2016 年 1 月 5 日に infoblox の OS アップデートを行い、NIOS6.X 系から NIOS7.X 系となった。

2　参加組織

2015 年度末時点において、31組織が利用中である。2014 年度末に比べ 1 組織増加した。

3　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

2015 年
5 月 22 日　旧 DNS キャッシュサーバの廃止に伴う設定変更の要について
5 月 26 日　DNS サーバアドレスの変更

2016 年
1 月 4 日　パスワードを変更したい場合はどうすれば良いでしょうか
1 月 4 日　全サーバのメンテナンス(1/5)

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 月からサービスを行っている現在の WEB PARK サービス (WEB PARK 2014) 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へと変更した。

当初は、直接外部事業者と契約する場合と、WEB PARK 2014 を利用する場合とでは、サービス内容に大きな違いはないことから (外部事業者と直接契約した場合の方が安価で利用が可能)、利用者が減少することも予想されたが、利用組織数に大きな変化はなかった。

2　サービス統計

2015 年度に利用を開始した組織数は 57、利用を中止した組織数は 62 であった。2016 年 3 月末現在の総利用組織数は 817 である。利用組織数の変化を図 1 に示す。

なお、2015 年 7 月 2 日に行われた第 51 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 組織中(2 組織は継続、1 組織は新規)、継続利用している 2 組織に対して制度の適用が認められた。

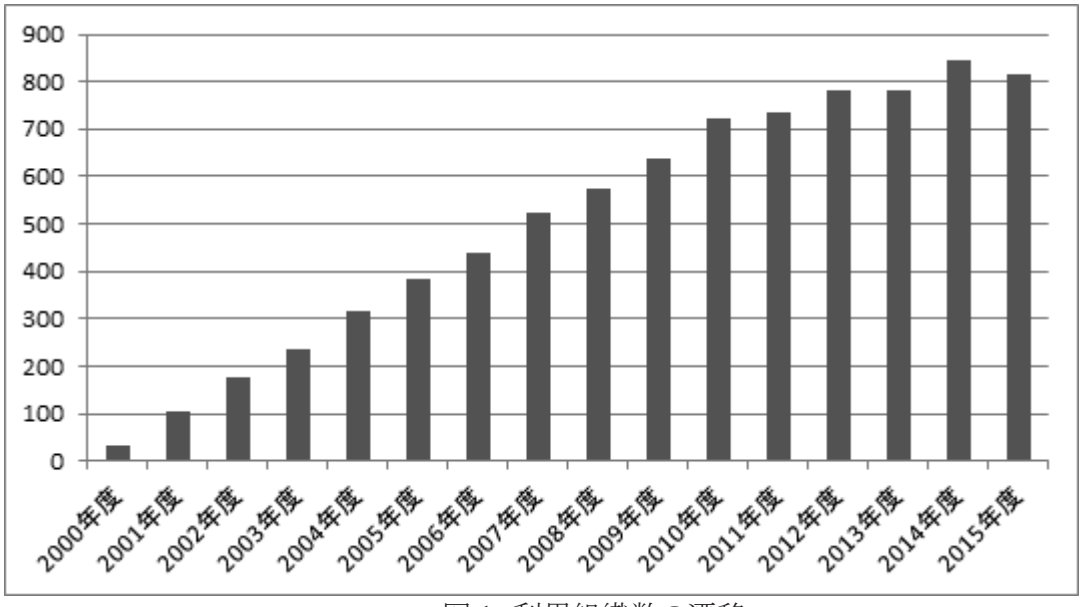


図 1. 利用組織数の遷移

部局名	組織数
人文社会系研究科/文学部	0
教育学研究科/教育学部	2
法学政治学研究科/法学部	43
経済学研究科/経済学部	35
総合文化研究科/教養学部	109
理学系研究科/理学部	11
工学系研究科/工学部	230
情報理工学系研究科	16
農学生命科学研究科/農学部	124
医学系研究科/医学部	46
附属病院	4
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	93
情報学環・学際情報学府	1
その他	97

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。
2015 年度は本郷遠隔講義室は 52 回、駒場遠隔講義室は 15 回、MCU 52 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。
2015 年度は 15 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。
2015 年度は 11 件の貸出を行った。

2　サービス統計

2015 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。

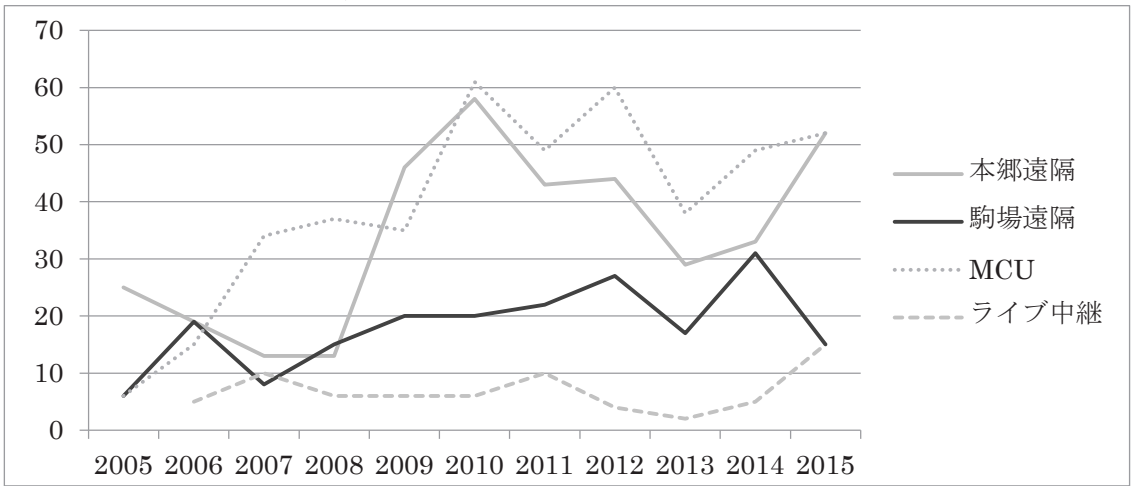


図 1.遠隔講義支援サービス利用数経年変化(2005-2015)

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。

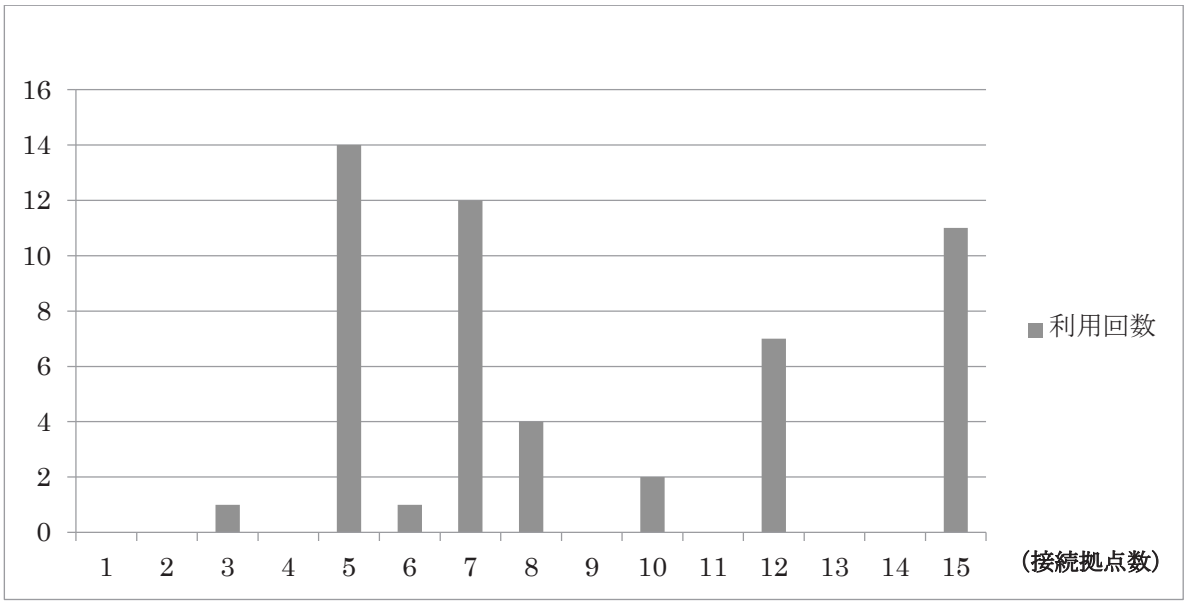


図 2.MCU 接続拠点数別利用頻度(2015)

3　その他

関連 URL　http://www.itc.u-tokyo.ac.jp/education/services/e-learn/dist-edu/

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 の利用には、「学生共通アカウント (ECCS 利用可)」、教職員は「学務システムアカウント」または、「ECCS 教職員アカウント」を使用する (2016 年度からは「UTokyo Account (東京大学アカウント) 」での利用を予定)。

2　運用報告

2014 年の運用開始当初は、教養前期課程で使用している学務システム (UTask-Web) との連携のみであったが、2015 年度からは、後期課程で使用している学務システム (UT-mate) との連携を開始するなど、コース登録機能やテストなどの提供機能強化を行ってきた。2015 年度も利便性向上のための機能追加・強化を実施した。主な強化内容は以下の通り。

・出席管理機能の強化
・ユーザ管理機能の強化
・学務システムとの連携機能の強化
・コースグループ登録機能の強化
・テンプレート引継ぎ機能の強化
・テスト機能の強化
・ストリーミングサーバとの連携機能

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。2015 年度の開催日時は以下の通り。

2015 年 9 月 1 日 (火)	13:30 ～ 15:00	駒場 : 情報教育棟 3 階　大演習室 2
2015 年 9 月 2 日 (水)	13:00 ～ 14:30	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 1
2016 年 3 月 16 日 (水)	15:10 ～ 16:40	駒場 : 情報教育棟 3 階　大演習室 2
2016 年 3 月 17 日 (木)	13:30 ～ 15:00	本郷 : 情報基盤センター 1 階　大演習室 1

・

4　サービス統計

4.1　利用状況

ITC-LMS の利用状況は以下の通り。

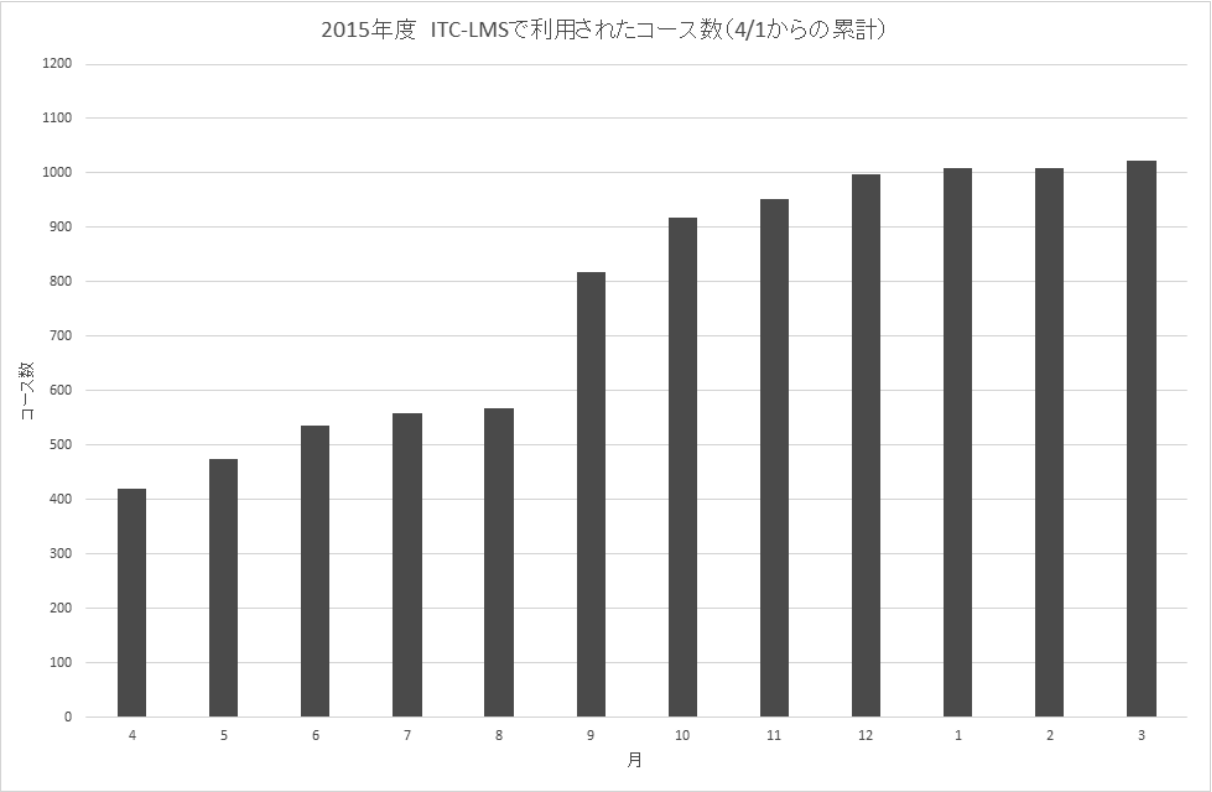


図 1. ITC-LMS　利用されたコースの総数

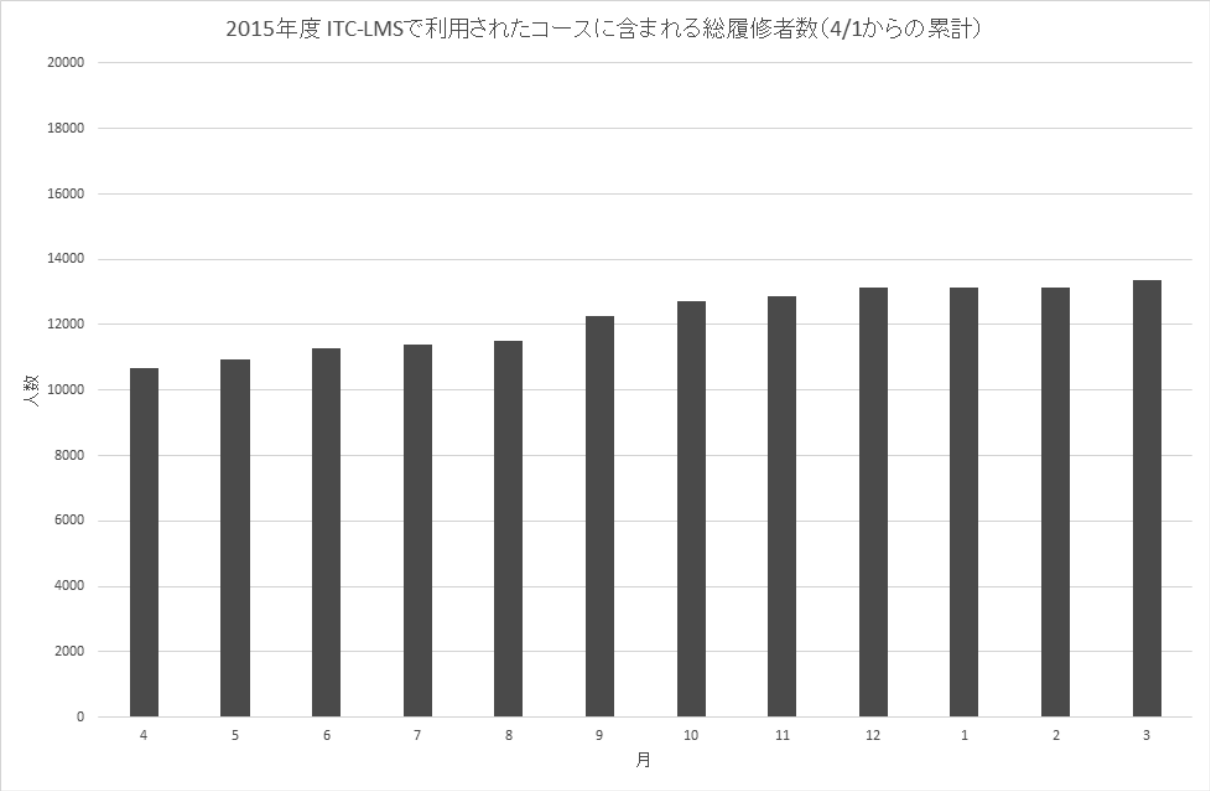


図 2. ITC-LMS 利用されたコースに登録されている学生数の総計

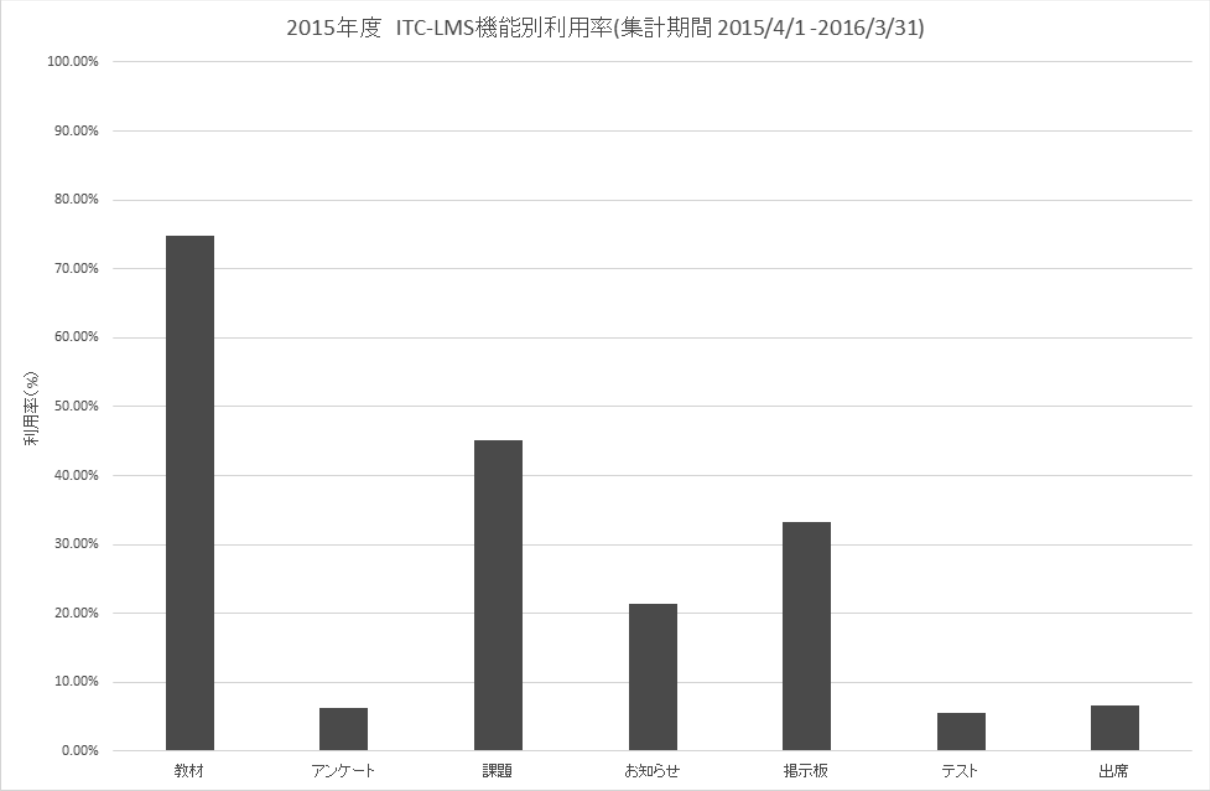


図 3. ITC-LMS 機能別利用率(2015 年度)

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)	550
教養学部	125
総合文化研究科	89
法学部	44
工学部	42
公共政策学教育部	35
文学部	20
工学系研究科	20
法学政治学研究科	19
理学部	15
学際情報学府	14
農学部	13
人文社会系研究科	7
農学生命科学研究科	7
経済学部	5
教育学部	5
情報理工学系研究科	3
教育学研究科	2
経済学研究科	2
理学系研究科	2
新領域創成科学研究科	2
情報基盤センター	2
数理科学研究科	1

表 1. 2015 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
6 月	新領域創成科学研究科	12	生命科学実験解析学 演習
6 月	附属図書館	4	2015 年度柏図書館データベース講習会
6 月	経済学研究科	31	経済学実験
8 月	医学部附属病院	60	国立大学病院向け経営分析システム A#操作説明会
9 月	経済学研究科	29	「社会ゲームの理論と実験」経済学実験
10 月	経済学研究科	31	経済学実験
11 月	法学政治学研究科	25	政治学における行動実験
11 月	経済学研究科	31	経済学実験
12 月	情報学環	15	国際生物オリンピック派遣生徒向け統計学講習会
1 月	情報基盤センター	7	平成 27 年度コンピュータネットワーク研修

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）　254 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。

法学政治学研究科	27 台	公共政策学連係研究部	2 台
総合図書館	1 台	農学生命科学研究科	16 台
教育学研究科	2 台	総合文化研究科	5 台
医学系研究科	4 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　本多玄

1　図書館システムの運用管理とサービスの提供

1.1　図書館システムのリプレイス対応

「附属図書館学術情報システム」（図書館システム）は全学の図書館室が利用する図書館業務システムであるとともに、OPAC、MyOPAC 等のサービスを利用者に提供するシステムである。

現行のシステムは 2016 年 7 月に更新時期を迎えることから、次期システムの調達に向けて仕様の検討等を行い、次期システムを決定した。引き続き図書館と連携しながら、新システム稼働に向けて業者と調整を行っている。

1.2　MyOPAC の認証基盤との連携

懸案であった MyOPAC の本学認証基盤との連携を 2016 年 3 月 1 日からスタートさせた。

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 2,600 件コンテンツが増加し、約 34,300 件のコンテンツが登録されている。

また、リポジトリの運用規則の検討を図書館と行っている。

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

学外から電子ジャーナルやデータベースを利用できる「SSL-VPN Gateway サービス」／「認証 GW サービス」の運用管理を行っているが、2016 年度は学内認証サービスの UTokyo Account (東京大学アカウント)への統合に対応するため、関連部署と調整しながら様々な対応を行った。

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構築

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。

(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、2015 年度末には約 34,200 件の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、110 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、大日本海志編纂資料のデータ修正、平賀譲デジタルアーカイブのサイトのシステム更新を行った。

学術情報リテラシー支援

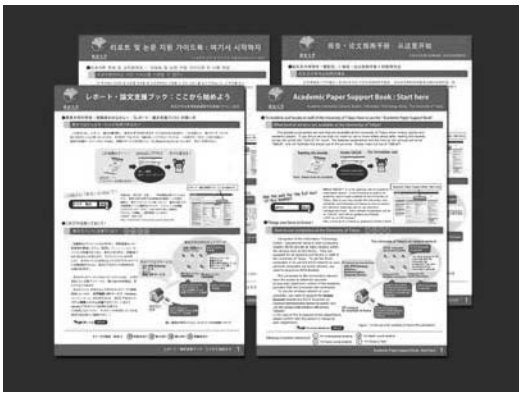
学術情報リテラシー担当

1　運用報告

1.1　情報探索ポータルサイト GACoS(Gateway to Academic Contents System)の運用

電子的な学術情報にアクセスするためのポータルサイトとして、GACoS（日本語・英語版）を継続的に構築、運用した。

（http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/）



1.2　リテラシー支援資料の作成･改訂

1.2.1　「レポート・論文支援ブック」

東京大学における文献収集やレポート・論文執筆のガイドブックとして、「レポート・論文支援ブック:ここから始めよう」を発行した。日本語・英語・中国語・韓国語の4か国語版を作成し、PDF 版を GACoS に掲載した。

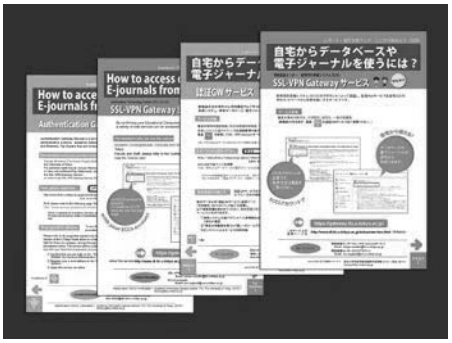
冊子版は 8 ページの簡易な内容となっており、詳しい内容は、日本語・英語 2 か国語で GACoS に掲載した。GACoS 掲載の内容については、随時新しい情報を追加・改訂している。

(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/supportbook.html)

1.2.2　リーフレット「自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには？」

「レポート・論文支援ブック:ここから始めよう」の別冊として、SSL-VPN Gateway サービスと認証 GW サービスについて紹介した「自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには？」を発行した。日本語・英語の 2 か国語版を作成し、PDF 版を GACoS に掲載した。

(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/supportbook.html)



1.2.3　その他のリーフレット、案内資料

データベース検索関連情報として、学生利用者の学外アクセスに必要となる ECCS アカウントの取得（日本語・英語・中国語・韓国語版）や、学内無線 LAN の案内用リーフレット（日本語版・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 2016」（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. 243 から No. 264 まで発行した。バックナンバーは GACoS 上で公開を行っている。

1.4 Twitter の発信

講習会・セミナーの広報ツール、また完全予約制講習会の開催確定通知やデータベースの一時的なメンテナンス情報などをタイムリーに通知する手段として、Twitter の発信を行った。

2 講習会・セミナー等開催報告

データベース等の電子的学術資料を学習・教育・研究に効率的に利用してもらうこと、及びレポート・論文執筆の支援を目的とし、情報探索ガイダンス各コースを開催した。

2.1 テーマ別ガイダンス

1 つのテーマについて検索実習を交えながら解説する、テーマ別ガイダンスを 10 コース開催した。2015 年度は、個別に講習していた検索ツールを比較しながら 30 分で実習する「比べる!検索ツール」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	4/3、4/9、4/21、5/19、5/29、6/9、6/24、7/3、9/8、9/25、10/14、10/29、1/26、2/12、2/16	15	176	【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。
RefWorks ミニ講座(昼休み or 朝 30 分)	4/6、4/22、4/24、5/18、5/26、12/4、12/15	7	55	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)	5/19、5/29	2	21	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。
Google Scholar 活用法	7/28	1	12	Google Scholarの検索のコツや、検索結果画面の見方、Google Scholar で見つけた論文の入手方法を説明。その他のおすすめデータベース等を紹介。

RefWorks 講習会(文献管理ツールクローズアップ Days)	10/1	1	9	文献管理ツールクローズアップ Days の一コマで、RefWorks 講習会を実施。
就活の味方「eol」ミニ講座(昼休み 20 分)	10/15、10/20、10/30、11/5、11/11、11/27	6	45	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。
国連情報の探し方入門	11/6	1	3	国連機関の会議資料・プレスリリースなど Web 上にある国連情報の探し方や、総合図書館国際資料室にある紙の国連資料の探し方を解説する、初心者向けのコース。
論文投稿シミュレーション:JCR と RefWorks を使って	11/19、11/25	2	3	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。
比べる！検索ツール どんな時にどれ使う?(昼休み or 朝 30 分)	12/8、12/9	2	5	新コース。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。
卒業してからの文献検索・文献管理	1/14、1/19、3/11	3	14	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		40 回	343 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	7/16、8/7、10/21(中止)、11/13、3/17	5	42	Web of Science の基本的な検索方法と文献管理ツール RefWorks の実習。(10/21 は予約者 1 名のため中止)
論文準備のための文献管理:PubMed &RefWorks	9/16	1	7	PubMed の検索方法と文献管理ツール RefWorks の実習。
論文投稿シミュレーション:JCR と RefWorks を使って	12/10、2/19	2	11	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。
合計		7 回(開催予定は 8 回)	60 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。

コース名		月日	時間	人数
留学生向け情報探索ガイダンス	韓国語コース	5/27	15:00-16:00	4
	中国語コース	10/9	13:10-14:10	22
		10/9	15:00-16:00	18
合計 3 回				44 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。2015 年度は、4 図書館・室との共催で、工学系のツールをまとめて講習する「工学系のための論文準備ここからスタート」を各キャンパスで開催した。また、研究分析ツールについても SciVal は昨年度に引き続き、InCites は新たに講習会を開催した。

コース名	月日	時間	参加人数	会場
LexisNexis Academic で海外のニュースやビジネス情報を検索するには？ (10/8 は法学部研究室図書室共催)	6/3	15:00-16:15	10	総合図書館 1 階講習会コーナー
	10/8	15:00-16:30	6	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	6/5	15:00-16:15	20	総合図書館 1 階講習会コーナー
工学系のための論文準備ここからスタート Engineering Village/ ScienceDirect/Mendeley 講習会 (工学・情報理工学図書館、柏図書館、生産技術研究所図書室、先端科学技術研究センター図書室共催)	6/3	12:15-13:45	17	工 2 号館図書室(講義形式)
	6/4	14:55-16:40	9	総合図書館 1 階講習会コーナー
	6/22	15:00-16:30	6	柏図書館 1 階コンファレンスルーム(講義形式)
	6/25	15:00-16:30	9	生産技術研究所中セミナー室 4(講義形式)
研究戦略:研究力の測り方、伸ばし方 ESI/InCites	7/1	15:00-16:30	18	総合図書館 1 階ミニレクチャールーム
研究戦略:研究力の測り方、伸ばし方 SciVal/Pure	7/10	15:00-16:30	13	総合図書館 1 階ミニレクチャールーム
SpringerMaterials 講習会 (柏図書館、物性研究所図書室共催)	9/24	15:00-16:00	6	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
EndNote 講習会　文献管理ツールクローズアップ Days	10/1	15:00-16:30	6	総合図書館 1 階講習会コーナー

Mendeley 講習会　文献管理ツールクローズアップ Days	10/2	10:30-12:00	12	総合図書館 1 階講習会コーナー
		15:00-16:30	9	
SciFinder で化学分野の情報検索をするには？ (10/9 は柏図書館共催)	10/6	15:00-16:30	8	総合図書館 1 階講習会コーナー
	10/9	15:00-16:30	4	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
海外の法情報を検索するには？ Lexis.com/ Lexis Asia Plus (法学部研究室図書室共催)	10/8	13:00-14:30	8	総合図書館 1 階講習会コーナー
WestlawNext 講習会 (法学部研究室図書室共催)	11/12	13:15-14:30	8	総合図書館 1 階講習会コーナー
Mendeley 講習会 in 駒場 (駒場図書館共催)	11/25	15:00-16:30	13	駒場図書館会議室
Mendeley 講習会 (10:30 開始の回はオーダーメイド)	2/24	10:30-12:30	7	総合図書館 1 階講習会コーナー
		15:00-16:30	10	総合図書館 1 階講習会コーナー
合計		20 回	199 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
7/24	11:00-12:00	15	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。
8/25	15:00-16:00	17	
合計 2 回		32 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	会場
情報学環学際情報学府	4/7(火)	13:00-14:00	68	JapanKnowledge Lib、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE の紹介。	福武ホール地下 2 階福武ラーニングシアター

文学部「心理学研究室」	4/10(金)	14:00-15:00	24	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」	4/24(金)	16:50-18:35	17	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
理学部生物化学科	4/27(月)	13:15-15:30 (10 分休憩)	18	PubMed、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	浅野情報基盤センター 演習室 2
医学系研究科看護管理学分野	4/28(火)	9:30-11:00	8	Web of Science Core Collection、PubMed、TREE、RefWorks の検索実習。(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	4/28(火)	13:00-14:30	7	JapanKnowledge Lib、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習	総合図書館 1 階講習会コーナー
初年次ゼミナール文科 秋草先生	4/30(木)	10:25-11:25	18	Artemis Literary Sources、RefWorks の実習。(TREE、LexisNexis Academic、ざっさくプラスの紹介)	駒場 KALS
	5/8(金)	9:05-10:05	19		
	5/13(水)	13:30-14:30	17		
文学部「Academic Writing」	5/12(火)	13:10-14:10	15	TREE、JapanKnowledge Lib、CiNii Articles, Periodicals Index Online、Web of Science Core Collection の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
	6/23(火)	13:10-14:10	10	RefWorks の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー

[個人オーダーメイド]医科学研究所	5/19(火)	10:00-11:30	1	医中誌 Web、PubMed の検索方法	総合図書館 1 階講習会コーナー
東大クイズ研究会	5/28(木)	15:00-16:30	5	言葉・事柄や人物情報の調べ方、あるテーマに関する本を探す、新聞記事の探し方の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
教育学研究科 北村ゼミ	6/5(金)	9:00-10:00	8	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、ERIC、RefWorks の実習	総合図書館 1 階講習会コーナー
工学系研究科都市工学科	6/12(金)	13:30-15:00	17	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	工学部 14 号館 2 階 144 講義室
工学部精密工学科	9/24(木)	13:00-14:15	42	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
文学部「社会心理学調査実習」	9/29(火)	10:00-11:00(1)	12	2 グループにわかれ 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 1 階講習会コーナー
		11:10-12:10(2)	12		
文学部「Academic Writing」	10/13(火)	13:10-14:10	8	JapanKnowledge Lib、TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
	11/10(火)	13:10-14:10	8	RefWorks の使い方	
教育学部「教育資料調査演習」	12/3(木)	16:50-18:35	26	TREE、CiNii Articles、ERIC(EBSCOhost)、国立国会図書館サーチの検索実習。	駒場情報教育棟 4F 中演習室 2
[個人オーダーメイド]医学系研究科	3/10(木)	10:00-11:00	1	RefWorks の使い方	総合図書館 1 階講習会コーナー
合計 22 回			361 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	会場
総合図書館留学生ガイダンス「本や論文の探し方」(日本語)	4/2(木)	14:30-15:00	11	TREE、自宅からの利用方法	総合図書館1階講習会コーナー
総合図書館オリエンテーション「はじめての本や論文の探し方」(日本語)	4/8(水)	10:30-11:00	19	TREE、自宅からの利用方法	総合図書館1階講習会コーナー
	4/9(木)	15:00-15:30	17		
	4/9(木)	15:30-16:00	7		
	4/10(金)	10:30-11:00	19		
	4/10(金)	11:00-11:30	5		
	4/13(月)	15:00-15:30	10		
総合図書館オリエンテーション「Searching for books and papers」(英語)	4/6(月)	15:00-15:30	21	TREE、自宅からの利用方法	総合図書館1階講習会コーナー
	4/6(月)	15:30-16:00	12		
	4/7(火)	15:00-15:30	17		
	4/7(火)	15:30-16:00	10		
[生産研図書室・先端研図書室共催]「文献検索早わかり in 駒場 II」	4/20(月)	15:00-16:30	19	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 An 棟 3F 中セミナー室 4
	5/15(金)	15:00-16:30	16		
	5/25(月)	10:30-12:00	10		
[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」	4/30(木)	第1回 13:30-14:30	13	医中誌 Web、PubMed、TREE の検索実習。	医学図書館1階マルチメディアコーナー
		第2回 15:30-16:30	11		
		第3回 17:30-18:30	16		
[駒場図書館共催] RefWorks ミニ講座	5/8(金)	12:20-12:50	3	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	5/13(水)	15:10-16:40	12	CiNii Articles、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	駒場図書館地下1階会議室
[理学部生物学科図書室共催] 理学部生物学科系 B 系(基礎生物学系)	5/14(木)	15:00-16:00	26	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

[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)	5/20(水)	10:30-11:30	4	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」	5/20(水)	12:15-12:50	8	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
	5/21(木)		9		
[工学・情報理工学図書館共催] 「RefWorks コース」	5/20(水)	12:50-13:15	6	RefWorks の講習(講義形式)	工 2 号館図書室閲覧室
	5/21(木)		8		
[大学院数理科学研究科図書室共催] 「MathSciNet 講習会」	5/25(月)	15:00-16:15	7	MathSciNet、TREE、RefWorks の実習。	数理科学研究科棟 2 階計算機室
[農学生命科学図書館共催] 論文準備ここからスタート in 農学生命科学図書館	6/1(月)	15:00-16:30	24	PubMed、TREE、RefWorks の実習。	農学生命科学図書館 3F PC 端末室 1
[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」	6/2(火)	14:00-15:15	9	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
[柏図書館共催] 「論文準備ここからスタート in 柏」(日本語文献編)	6/10(水)	15:00-16:30	8	TREE、CiNii Articles、RefWorks の実習。	柏図書館 1 階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」(英語文献編)	6/18(木)	15:00-16:30	6	TREE、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[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」	6/16(火)	15:00-16:00	9	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
[駒場図書館共催] 「論文準備ここからスタート in 駒場」	6/17(水)	10:30-12:00	3	TREE、Web of Science Core Collection、RefWorks の実習。	駒場図書館地下 1 階会議室

[駒場図書館共催] 「RefWorks ミニ講座」	6/17(水)	12:20-12:50	5	RefWorks の実習。	駒場図書館地下 1 階会議室
[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」	7/8(水)	15:00-16:30	14	医中誌 Web、PubMed、Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	医科学研究所 1 号館 2 階セミナー室
	7/30(木)	15:00-16:30	7		
[生産研図書室・先端研図書室共催] 「秘書さんのためのはじめての論文の探し方 in 駒場 II」	7/17(金)	15:00-16:00	16	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
	7/22(水)		9		生産技術研究所 As 棟3F 中セミナー室 4
[柏図書館共催] 「Google Scholar 活用法＋RefWorks in 柏」	7/23(木)	15:00-16:20	6	Google Scholar、RefWorks の実習。	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文献検索(基礎編)」	9/4(金)	15:00-16:00	16	医中誌 Web、Pubmed、TREE の検索実習	薬学部資料館 4F 情報室
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)	9/4(金)	14:30-15:00	15	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 「はじめての本や論文の探し方」(日本語)	9/10(木)	15:00-15:30	4		
	9/15(火)	10:30-11:00	7		
総合図書館 Library Tour 「Searching for books and papers」(英語)	9/25(金)	15:00-15:30	2	TREE、自宅からの利用方法。	総合図書館 1 階講習会コーナー
	9/28(月)	10:30-11:00	2		
[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」	9/25(金)	第 1 回 17:00-18:00	6	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
	9/30(水)	第 2 回 17:30-18:30	10		
[農学生命科学図書館共催] 「論文準備ここからスタート in 農学生命科学図書館」	10/7(水)	10:30-12:00	10	Web of Science Core Collection、TREE、RefWorks の実習。	農学生命科学図書館本館 3F PC 端末室 1
[生産研図書室・先端研図書室共催] 「論文準備ここからスタート in 駒場 II」	10/16(金)	15:00-16:30	3	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習、RefWorks の実	生産研 An 棟4F 中セミナー室 1
	10/28(火)	10:30-12:00	予約なしのため中止		生産研 As 棟3F 中セミナー室 4

				習。(持込 PC による実習形式)	
[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)	10/20(火)	12:15-12:50	14	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(水)	12:15-12:50	14		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	10/22(木)	12:15-12:50	7	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習。(講義形式+持込 PC での実習)	工 2 号館図書室閲覧室
	10/23(金)	12:15-12:50	9		
[工学・情報理工学図書館共催] 「RefWorks コース」	10/22(木)	12:50-13:15	6	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
	10/23(金)	12:50-13:15	4		
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文献検索講習会 (上級編)」	12/2(水)	15:00-16:00	7	Web of Science コアコレクション、RefWorks の実習	薬学部資料館 4F 情報室
[駒場図書館共催] 「論文準備ここからスタート in 駒場図書館」	12/3(木)	13:10-14:40	4	TREE、Web of Science コアコレクション、RefWorks の実習	駒場図書館会議室
[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」	1/20(水)	9:15-10:15	3	PubMed、TREE の検索実習	農学生命科学図書館本館3F PC 端末室 1
	1/21(木)		7		
合計 58 回(開催予定は 59 回)			582 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
4/14(火)1限、3限、4限 計3回	327	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
4/15(水)2限、3限、4限 計3回	321		
4/16(木)2 限、3限 計2回	211		
4/17(金)1限、3限、4限 計3回	274		
4/20(月)4限 計1回	118		
合計 12 回	1251 名		

※参加人数はアンケート記入数でカウント

[理科]（授業は 100 クラス開講、1862 名受講）

月日	参加人数※	講習内容	会場
4/21(火)1限、3限、4限	154	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 DVD をみながら実習。	駒場 21 KOMCEE West レクチャーホールほか
4/22(水)2限、3限、4限	48		
4/23(木)2 限、3限	142		
4/24(金)1限、3限、4限	170		
4/27(月)4限	56		
4/28(火)1 限、3 限、4 限	145		
4/30(木)2 限、3 限	40		
5/1(金)1 限、3 限、4 限	99		
5/7(木)2 限、3 限、4 限	198		
5/11(月)4 限	87		
5/19(火)1 限	17		
合計	1156 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
IOP 論文投稿セミナー （工学・情報理工学図書館、理学系研究科・理学部図書室共催）	6/29(月)	13:30-16:15	38	工 6 号館セミナー室 AD
英語論文はこわくない 駒場ライターズスタジオ in 本郷 特別出張講座	11/9(月)	15:00-17:00	40	共同利用棟 3 階会議室 1
	11/17(火)	10:00-12:00	37	
英語論文執筆セミナー Strategy and Tips for Writing a High-quality Research Paper （医学図書館共催）	12/7(月)	15:00-17:00	99	医学図書館 3F333 会議室
Scientific Data セミナー （医学図書館共催）	3/8(火)	15:00-16:30	29	医学図書館 3F333 会議室
合計 5 回			243 名	

2.9 ECCS 新規利用者講習会福武追加プログラム

ECCS 新規利用者講習会の後 10 分程度（12:50～13:00）、自宅からデータベースや電子ジャーナルを利用する方法について説明するプログラムを開催した。

月日	参加人数	会場
6/8、6/15、6/22、7/6、7/13、7/27、8/3、8/10、8/24、8/31、9/7、9/14、9/28、10/5、10/19、10/26、11/2、11/16、11/30、12/14、12/21、1/18、1/25、2/1		福武ホール地下 1 階実習室
合計 24 回	79 名	

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
[医学図書館] テキスト提供(データ)オーダーメイド(成人看護学分野)	4/23(木)	10:30-12:00	5	医中誌 Web、PubMed、TREE、EndNote basic の検索実習	医学図書館グループ学習室
[医学図書館] テキスト提供(データ)(予防看護学講座)	4/27(月)	10:30-12:00	5		
[医学図書館共催] テキスト提供(データ) (健康科学・看護学専攻　地域看護学分野)	6/4(木)	13:00-14:30	3	医中誌 Web、PubMed、TREE、EndNote basic の検索実習	医学図書館グループ学習室
[農学生命科図書館図書館ツアーへのテキスト提供] (プリント) 「Library Tour in English」 (英語)	9/9(水)	13:30-14:10	9	『First steps to search for books and papers @UTokyo』	農学生命科学図書館
	9/18(金)	9:30-10:10	6		
[柏図書館] テキスト・台本提供(データ) そうだったのか！情報探索～はじめての本や論文の探し方@東京大学柏図書館	11/17(火)～20(金) (4 回)	12:20-12:50	8	『はじめての本や論文の探し方』	柏図書館 1 階コミュニティサロン
	11/24(火)～27(金) (4 回)	13:30-14:30	0		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・台本提供(データ) First steps to search for books and papers @UTokyo(英語)	12/8(火)	13:30-14:30	1	『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・台本提供(データ) 「就活の味方 eol ミニ講座 in 柏」	1/13(水) 1/22(金) (2 回)	12:30-12:50	19	『就活の味方 eol ミニ講座』	柏図書館 1 階コミュニティサロン

［柏図書館］ テキスト・台本提供(データ) 「文献管理の味方 RefWorks ミニ講座 in 柏」	1/14(木) 1/29(金) (2 回)	12:30−12:50	9	『RefWorks を使うには』	柏図書館 1 階コミュニティサロン
［柏図書館］ テキスト・台本提供(データ) 「修了・退職してからの文献検索・文献管理」	2/5(金) 2/17(水) (2 回)	12:20−12:50	16	『卒業してからの文献検索・文献管理』	柏図書館 1 階コンファレンスルーム
合計 20 回			81 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なっている。

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。2015 年度は以下の業務の実施とともに、2016 年度のシステムリプレイスの調達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

2015 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なった。さらに毎年行な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なっている。

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・動作検証等を行なっている。

1.1.2　次期図書館システムの調達

2016 年 7 月に「附属図書館学術情報システム」 のリプレイスを控えていることから、以下の日程で調達を行なった。

また、前年度に引き続き附属図書館業務別部会と連携し、システムリプレイスに向けて次期図書館システムの仕様書の検討を行なった。

2015 年 2 月 17 日　第 1 回仕様策定委員会
2015 年 5 月 11 日　資料招請官報公示
2015 年 5 月 21 日　導入説明会
2015 年 8 月 5 日　第 2 回仕様策定委員会
2015 年 9 月 25 日　第 3 回仕様策定委員会
2015 年 10 月 13 日 意見招請官報公示
2015 年 10 月 19 日 仕様書原案説明会
2015 年 12 月 4 日　入札公告官報公示
2015 年 12 月 9 日　入札説明会
2016 年 1 月 28 日　技術審査委員会
2016 年 2 月 19 日　開札

技術審査及び開札の結果、日本電気株式会社に決定した。

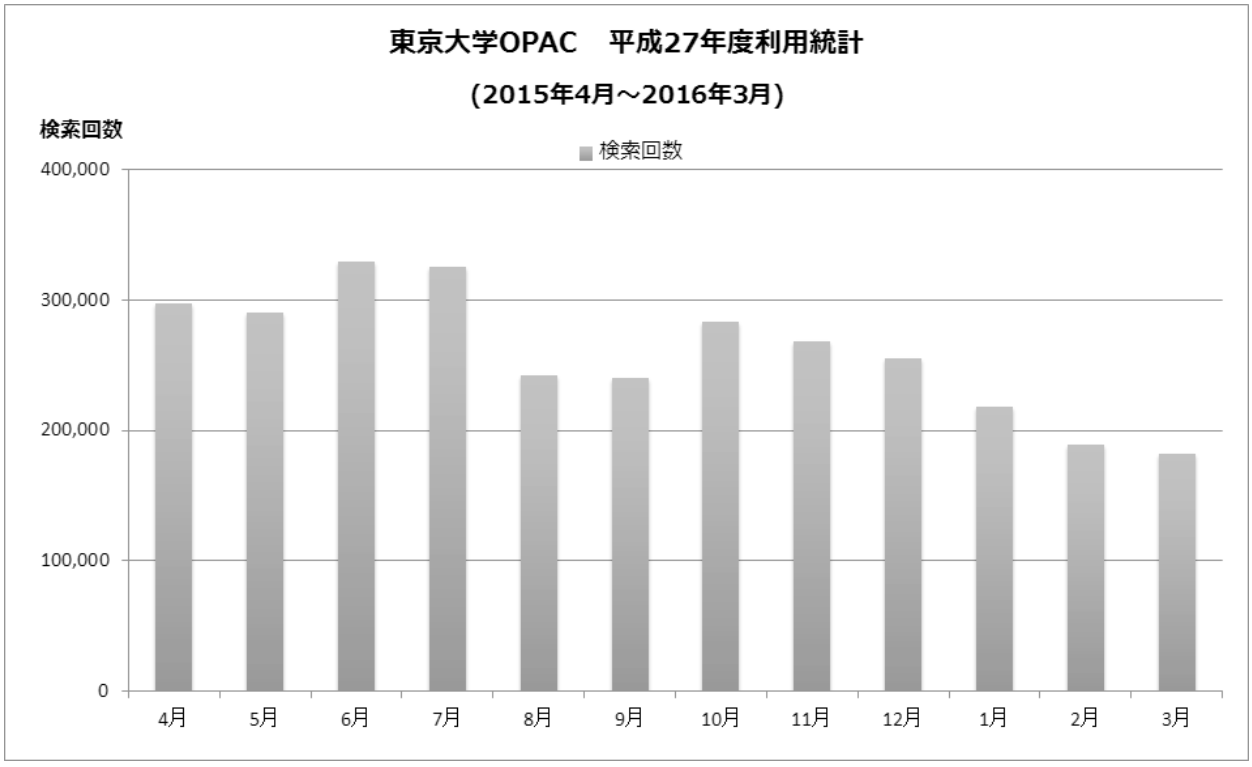
1.1.3　学術認証フェデレーションとの連携

東京大学で 2014 年 10 月に学術認証フェデレーションが導入されたのに伴い、図書館システムでも連携対応することになった。具体的には、MyOPAC のログイン ID・パスワードを学認と共通化することになる。昨年度は評価環境における連携の動作確認を行なった。本年度は本番環境での動作確認及び各方面との調整を進め、2016 年 3 月から本番環境への学認連携を開始している。

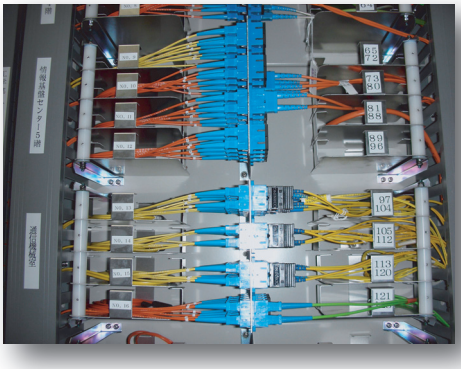
1.2　その他の図書館関係サーバ等

- 附属図書館 Web サーバの管理
- 附属図書館職員用 Wiki の管理
- 「図書系職員のためのアプリケーション開発講習会」の開発・成果公開用サーバの管理
- 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

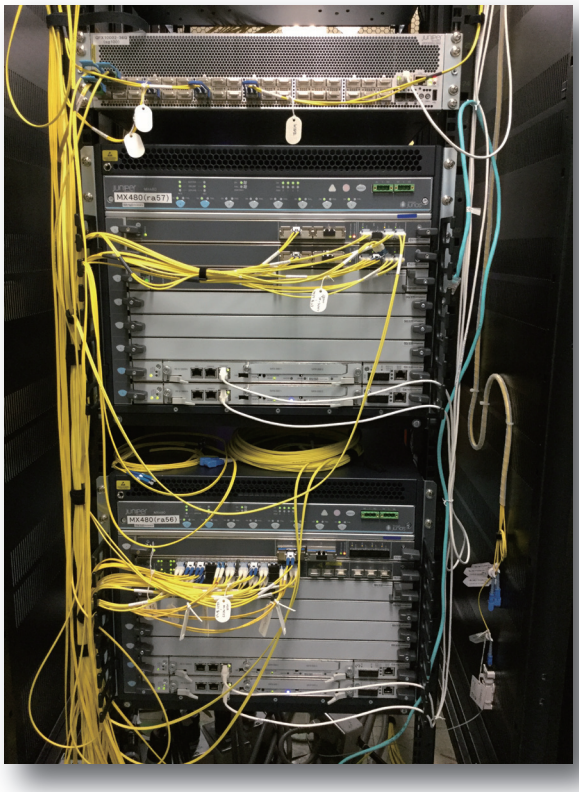
2　サービス統計



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　　専門職員 井爪 健雄

■東京大学情報ネットワークシステム（UTNET3）の運用管理

本学の情報ネットワークシステム UTNET3(University of Tokyo network system 3)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。

なお、UTNET が接続している広域網である国立情報学研究所が提供する SINET が 2015 年度末に SINET4 から SINET5 へ移行した。これに伴い、対外接続用 IP ルータの導入及び SINET5 接続用回線（SINET 共同調達）と本郷柏間接続回線の導入を実施した。これに伴い、本郷キャンパスは SINET と 100Gbps で接続された。

また、上記、機器・回線の入れ替えに伴い、ネットワークの通信断が最小限となるよう UTNET 基幹部の構成の見直し及び接続変更を実施した。

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、2015 年度も 2014 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

UTNET3 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。

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 との接続が 100Gpbs に増強されることに備えて、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。

■ 東京大学情報システム緊急対応チーム（UTokyo-CERT）との連携

UTNET3 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、2015 年度も引き続き実施した。

■ その他

2016 年度の運用開始を目指して導入が進められている東京大学教育無線 LAN に関して、情報システム本部や他部門と協力して設置導入作業を実施した。

2016 年 1 月 7 日の規則改正により、「UTnet」の名称を「UTNET」に変更した。

■ 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。

2015 年　6 月　2 日 第 56 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2015 年　9 月 15 日 第 57 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2016 年　3 月 16 日 第 58 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
・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
・UTnet の名称変更について
・規則改定について

東京大学情報ネットワークシステム（UTNET）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 3 月末以降は UTNET3 から UTNET4 へと更改する。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。

また、本学の対外ネットワークの一つである、学術情報ネットワーク（SINET）が、SINET4 から SINET5 へ大規模に更新されたことに伴い、SINET5 と 100GbE 接続するための機器と回線を調達した。

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 10GbE 接続用 I/F 増強（ヒトゲノム解析センター設置）
－IP コアルータ（100GbE 対応）の導入
－本郷地区～柏地区向けキャンパス間専用回線（20Gbps）の導入
－SINET5 アクセス回線・東京大学対外接続用専用回線（120Gbps）の導入
－SINET5 アクセス回線・白金地区接続用専用回線（40Gbps）の導入
－SINET5 アクセス回線・神岡地区接続用専用回線（10Gbps）の導入
－UTNET の対外接続を SINET4 から SINET5 へ切換

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 更新作業については、次年度に見送ることにした。

更新前の基幹ネットワーク構成を図 1 に、更新後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 24 台を予防保全のための更新、3 台の新設、5 台の撤去、建物改修完了に伴う 1 台の再設置、機能強化による 1 台の構成変更を実施した。

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、3 件を新規に割り当て、1 件を継続した。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。

(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

本学の教育活動スペースに無線 LAN 設備を全学的に導入する調達において、設計・構築業務を担当した。

2　講習会・研究会開催報告

[第 13 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　2015 年 10 月 20 日（火）
・場所　理学部小柴ホール

プログラムは次のとおり

1	UTnet update 2015	下田哲郎係長
2	ウイルス対策ソフト/ソフトウェアライセンス	井爪健雄専門職員
3	UTokyo-CERT 報告	中山雅哉准教授／ 総合文化研究科　石原知洋特任助教
4	標的型攻撃の動向と対策方法	株式会社インターネットイニシアティブ　平野栄士
5	セキュリティ対策について	宮本大輔助教
6	SINET UPDATE	国立情報学研究所　小薗隆弘係長
7	フリーディスカッション	宮本大輔助教

[平成 27 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 7 名であった。

・期間　2016 年 1 月 19 日（火）～1 月 21 日（木）（3 日間）
・場所　情報基盤センター1階遠隔講義室

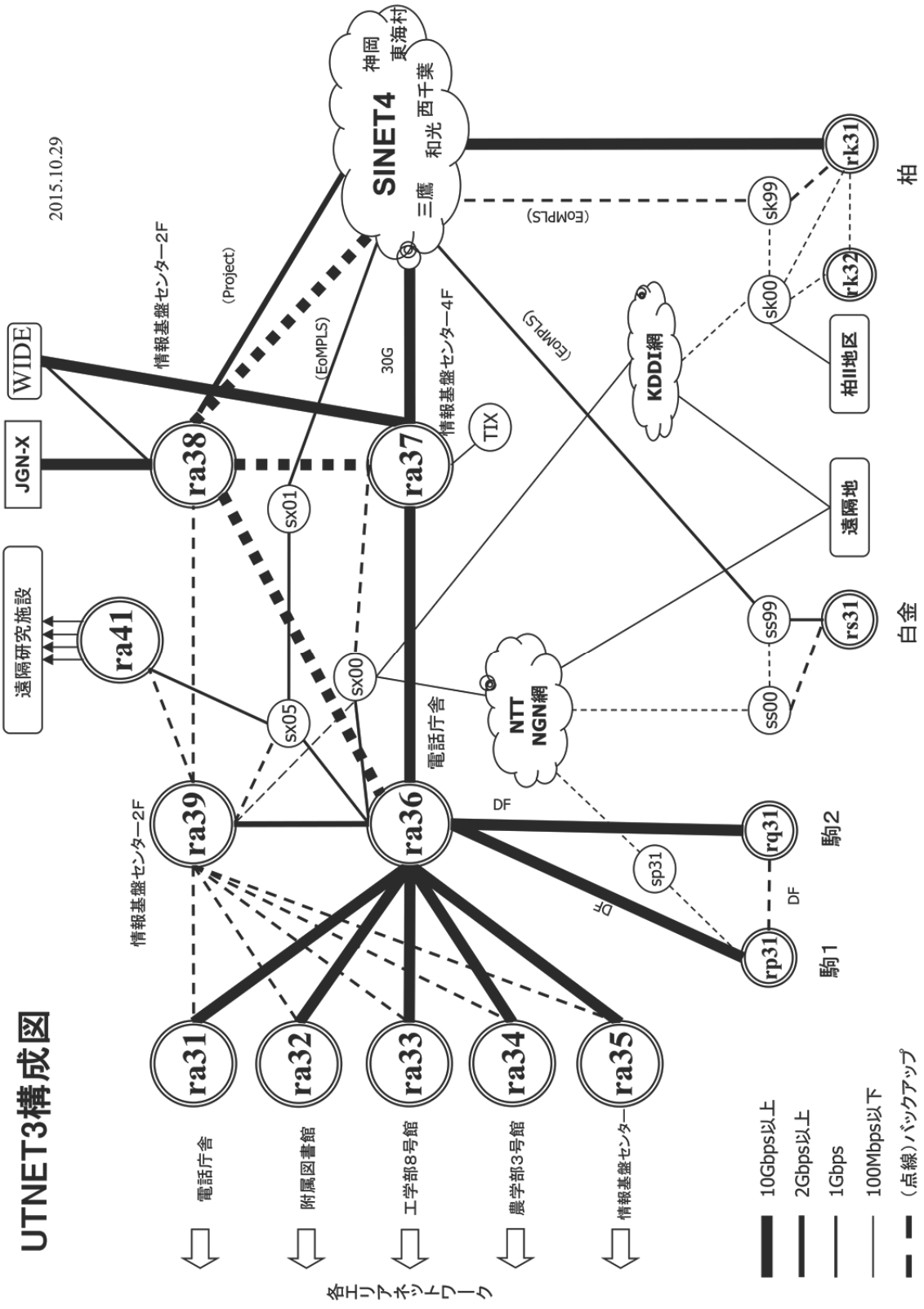


図 1 UTNET3 基幹構成図

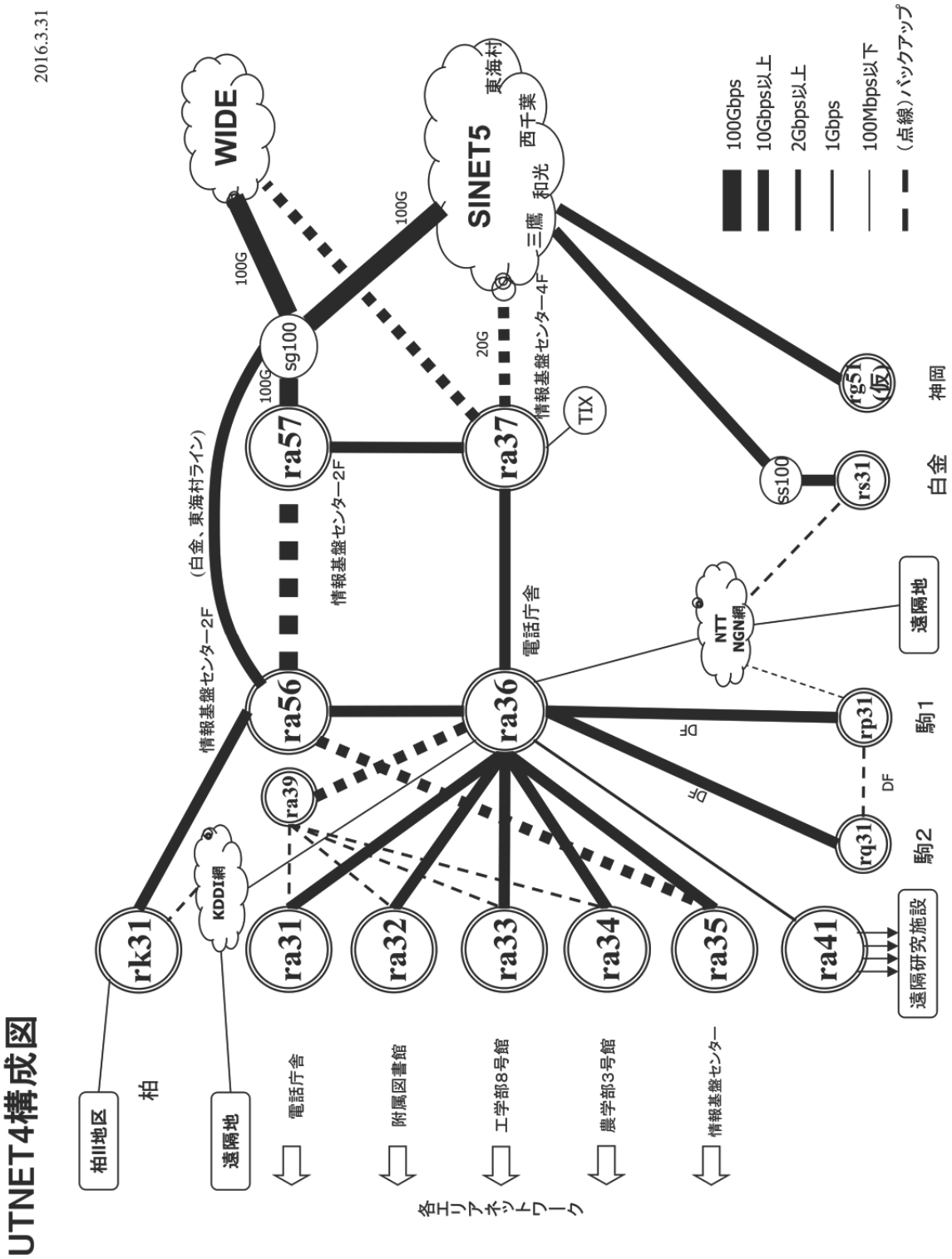


図 2 UTNET4 基幹構成図

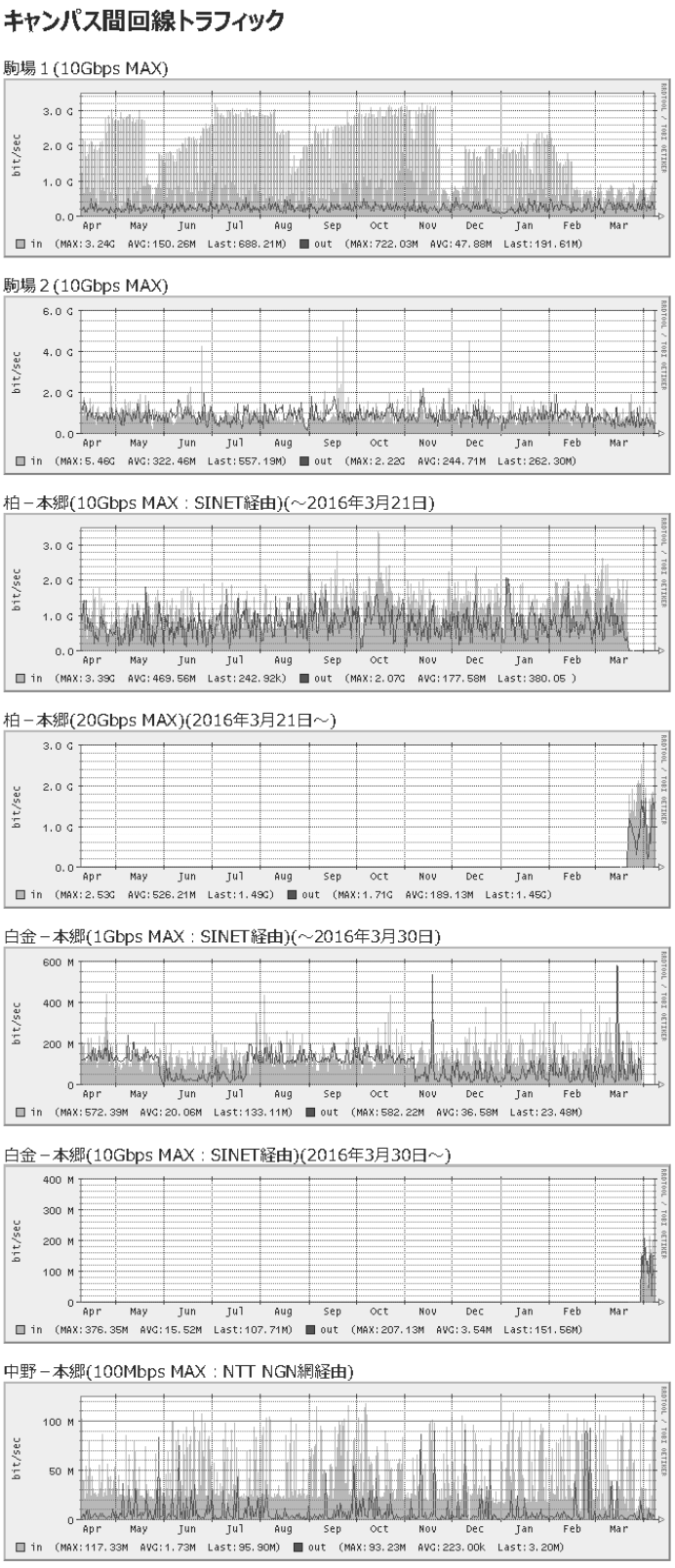


図 3 UTNET のキャンパス間トラフィック

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		基幹ネットワークの構成変更
2	本部事務組織	保健センター駒場支所	建物間 VLAN の申請
3	低温センター	低温センター	建物間 VLAN の申請
4	低温センター	低温センター	建物間 VLAN の申請
5	低温センター	低温センター	建物間 VLAN の申請
6	本部事務組織	低温センター	建物間 VLAN の申請
7	カブリ数物連携宇宙研究機構	数物連携宇宙研究機構棟	建物間 VLAN の申請
8	総合文化研究科	教養学部 102 号館	建物間 VLAN の申請
9	総合文化研究科	教養学部 102 号館	建物間 VLAN の申請
10	人文社会系研究科	法文 2 号館	建物間 VLAN の申請
11	農学生命科学研究科		サブネットアドレスの返却
12	本部事務組織	医科学研究所 1 号館東棟	建物間 VLAN の申請
13	本部事務組織	医科学研究所 3 号館	建物間 VLAN の申請
14	本部事務組織	旧ゲノム解析センター	建物間 VLAN の申請
15	本部事務組織	ヒトゲノム解析センター	建物間 VLAN の申請
16	本部事務組織	大講堂	建物間 VLAN の申請
17	人文社会系研究科	法文 2 号館	建物間 VLAN の申請
18	新領域創成科学研究科	柏の葉キャンパス駅前サテライト	建物間 VLAN の申請
19	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
20	新領域創成科学研究科	柏総合研究棟	建物間 VLAN の申請
21	情報学環	ダイワユビキタス学術研究館、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
22	本部事務組織	薬学系総合研究棟	建物間 VLAN の申請
23	新領域創成科学研究科	柏総合研究棟	建物間 VLAN の申請
24	医科学研究所	医科学研究所 1 号館東棟	建物間 VLAN の申請
25	医科学研究所	旧ゲノム解析センター	建物間 VLAN の申請
26	医科学研究所	ヒトゲノム解析センター	建物間 VLAN の申請
27	情報基盤センター	附属図書館	建物間 VLAN の申請
28	情報基盤センター	附属図書館	建物間 VLAN の申請
29	情報学環	情報学環(図書館団地)、福武ホール、工学部 2 号館新棟、ダイワユビキタス学術研究館、先端研 56 号館	基幹ネットワークの構成変更
30	医学系研究科	医学部 2 号館	基幹ネットワークの構成変更
31	農学生命科学研究科	農学部 7 号館 B 棟	建物間 VLAN の申請
32	農学生命科学研究科		サブネットアドレスの返却
33	物性研究所	物性研究所本館	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り当て申請
34	史料編纂所	史料編纂所	基幹ネットワークの構成変更
35	法学政治学研究科	法学政治学系総合研究棟	建物間 VLAN の申請
36	柏共通事務		サブネットアドレスの返却
37	本部事務組織	保健センター駒場支所	建物間 VLAN の申請
38	農学生命科学研究科	工学部 12 号館	建物間 VLAN の申請
39	農学生命科学研究科	分子細胞学研究所	建物間 VLAN の申請
40	本部事務組織	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの割り当て申請
41	生産技術研究所	生産技術研究所、柏の葉キャンパス駅前サテライト	基幹ネットワークの構成変更
42	総合文化研究科	教養学部 17 号館	建物間 VLAN の申請
43	総合文化研究科	教養学部第 1 体育館	建物間 VLAN の申請
44	工学系研究科	工学部 5 号館、工学部 7 号館	建物間 VLAN の申請
45	農学生命科学研究科	分子細胞学研究所	建物間 VLAN の申請
46	総合文化研究科	教養学部 6 号館	建物間 VLAN の申請
47	総合文化研究科	教養学部 6 号館	建物間 VLAN の申請
48	工学系研究科	工学部列品館	基幹ネットワークの構成変更

49	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
50	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
51	本部事務組織	情報基盤センター、本部棟	基幹ネットワークの構成変更
52	人文社会系研究科	文学部法文 1 号館、法文 2 号館	基幹ネットワークの構成変更
53	宇宙線研究所	神岡宇宙素粒子研究施設	基幹ネットワークの構成変更
54	工学系研究科	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
55	工学系研究科		サブネットアドレスの返却
56	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割り当て申請
57	工学系研究科		サブネットアドレスの返却
58	医学部附属病院	附属病院管理研究棟、柏第 2 総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
59	工学系研究科	工学部 6 号館、工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更
60	農学生命科学研究科	農学部 1 号館	基幹ネットワークの構成変更
61	本部事務組織		サブネットアドレスの返却
62	本部事務組織	柏福利厚生新棟	基幹ネットワークの構成変更
63	医学系研究科	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
64	人文社会系研究科	文学部法文 1 号館、法文 2 号館、文学部 3 号 館、赤門総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
65	宇宙線研究所	神岡宇宙素粒子研究施設	基幹ネットワークの構成変更
66	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	基幹ネットワークの構成変更
67	カブリ数物連携宇宙研究機構	物性研究所	基幹ネットワークの構成変更
68	本部事務組織		サブネットアドレスの割り当て
69	理学系研究科	附属病院分子ライフイノベーション棟	建物間 VLAN の申請
70	本部事務組織	理学部プレハブ研究 A 棟	建物間 VLAN の申請
71	地震研究所	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
72	医科学研究所	医科研附属病院 B 棟	建物間 VLAN の申請
73	医学部附属病院	医科研附属病院 B 棟	建物間 VLAN の申請
74	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
75	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請

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	aviation.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	航空イノベーション総括寄付講座	新規
2	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
3	utac.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東京大学アカウント	新規
4	cert.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東京大学情報システム緊急対応チーム	新規

表 3 UTnet 光ファイバケーブル専用利用の変更及び割当

項番	申請部局	利用区間	種類	
1	本部事務組織	起点：電話庁舎 終点：御殿下グラウンド	GI2 芯	新規
2	医学系研究科	起点：情報基盤センター 終点：医学部 2 号館	SM4 芯	新規
3	本部事務組織	起点：電話庁舎 終点：本部棟地下 1 階	SM2 芯	新規
4	工学系研究科	起点：情報基盤センター 終点：工学部 6 号館	SM2 芯	新規
5	工学系研究科	起点：情報基盤センター 終点：工学部 6 号館	SM2 芯	新規
6	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	総合図書館	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					4				
2	大学院工学系研究科	20	11	1		1	8		1	
3	大学院情報理工学系研究科	2	2	1			3			
4	大学院新領域創成科学研究科	1	2		13		1			
5	大学院農学生命科学研究科			5						7
6	大学院薬学系研究科	3	1							
7	大学院理学系研究科	2								
8	大学院人文社会系研究科	1								
9	大学院教育学研究科	1					1			
10	医学部附属病院	3				7				
11	情報学環・学際情報学府	1							1	
12	公共政策大学院	1		2		2				
13	大気海洋研究所			2						
14	東洋文化研究所	1								
15	物性研究所	3	1					1		
16	宇宙線研究所				6					
17	生産技術研究所	1								
18	地震研究所		1							
19	情報基盤センター	1								
20	大学総合教育研究センター	2		1						
21	大規模集積システム設計教育研究センター		1							
22	政策ビジョン研究センター	2		1					1	
23	空間情報科学研究センター	1								
24	人工物工学研究センター		1							
25	低温センター		1							
26	生物生産工学研究センター			1						
27	知の構造化センター			1						
28	国際本部 国際センター柏オフィス(柏 IO)							7		
29	卒業生室						1			
30	フォトンサイエンス研究機構			1						
31	高齢社会総合研究機構	2	1							
32	地球観測データ統融合連携研究機構			2						
33	総括プロジェクト機構航空イノベーション総括寄付講座	1								
34	将来航空推進システム技術創成社会連携講座			1						
35	CREST シンポジウム		1							
36	IEEE CSCN 2015		1							
37	IEEE SSCS		1							
38	MPLS JAPAN 2015		1							
39	International Nano-Optoelectronics Workshop 2015(iNOW2015)		1							
40	Tokyo RNA club		1							
41	IPPC/IPPCS			1						1

42	NPO 法人 大学宇宙工学コンソーシアム	1	1							
43	一般財団法人 電力中央研究所		1							
44	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会		1							
45	一般社団法人 日本原子力学会		1							
46	一般社団法人 日本保全学会		1							
47	一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会									1
48	一般社団法人 日本建築構造技術者協会			2						
49	一般財団法人 ダム技術センター	1								
50	公益社団法人 計測自動制御学会	1								
51	公益財団法人 日本地震工学会			1						
52	公益財団法人 日本自然保護協会			1						
53	公益社団法人 日本測量協会			1						
54	公益財団法人 本田財団			1						
55	国立研究開発法人 科学技術振興機構 バイオサイエンスデータベースセンター			2						
56	国立研究開発法人 理化学研究所		1							1
57	国立研究開発法人 情報通信研究機構		1							
58	独立行政法人 日本学術振興会	1	2	1						
59	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所		1	1						
60	自然科学研究機構 分子科学研究所 計算分子科学研究拠点(TCCI)		1							
61	特定非営利活動法人 大学宇宙工学コンソーシアム(UNISEC)		1							
62	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						
63	「新学術領域」ゲノム・遺伝子相関			1						
64	Olaf Blanke 博士講演会実行委員会		1							
65	ST マイクロエレクトロニクス株式会社		1							
66	TEDxUTokyo 実行委員会		1							
67	大阪大学大学院基礎工学研究科						1			
68	神奈川胎児エコー研究会		1							
69	金森シンポジウム実行委員会		1							
70	株式会社 一条工務店			2						
71	株式会社 ペット・ベット			1						
72	環境ホルモン学会	1								
73	キッコーマンバイオケミファ(株)			1						
74	国際獣疫事務局アジア太平洋地域事務所									2
75	国立医薬品食品衛生研究所			1						
76	資源・素材学会 関東支部		1							
77	新学術領域研究「新生鎖の生物学」			1						
78	生体機能制御学分野					1				
79	全国 1 級造園施工管理技士の会(一造会)									1
80	創薬等支援技術基盤プラットフォーム 解析拠点									1
81	日本 HACCP トレーニングセンター									1
82	日本安全性薬理研究会			1						
83	日本血液浄化技術学会					1				
84	日本生態学会 関東地区会									1
85	日本脳科学関連学会連合					1				

86	日本バイディジタル O-リングテスト医学会	1								
87	日本ロボット学会		1							
88	農業情報学会			1						
89	農業生物資源研究所			1						
90	文部科学相科学研究費補助金･新学術「RNA タクソノミ」領域									1
91	ライフイズテック株式会社		2							

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。

・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。2016 年 3 月末時点での参加数は 14 部局、58ドメイン、10,652 メールアカウントである。

昨今の標的型攻撃メールの増加に伴い、添付ファイルでの感染を防ぐために、利用者からの要望により特定の添付ファイルを隔離する設定を実施した。

2015 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。

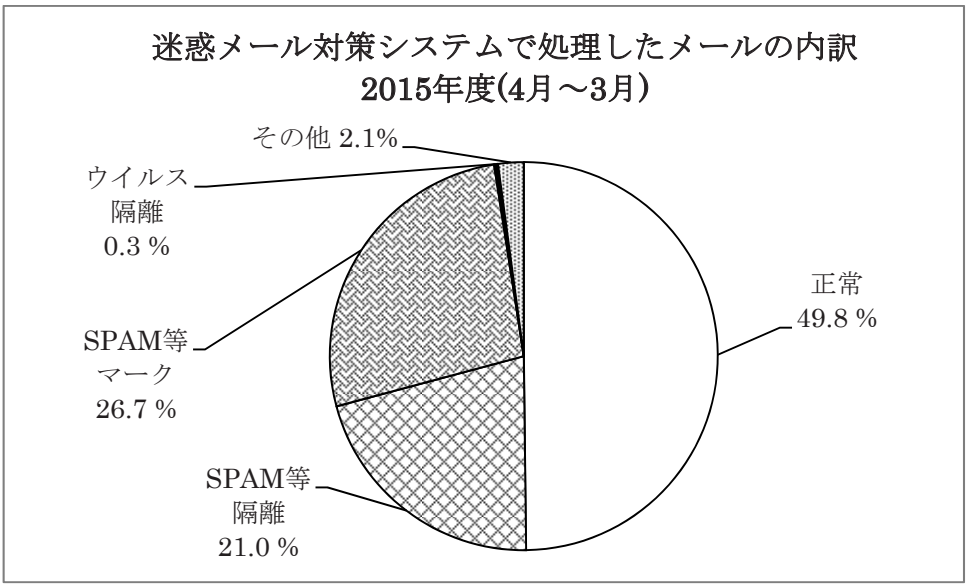


図1　迷惑メール対策システムの運用状況

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 に増強されることに備えて、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　講習会・研究会開催報告

（東京大学情報ネットワークシステム（UTNET3）の運用管理の 2. を参照）

3　サービス統計

2015 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）	717	43	14,730
ウイルスバスター（英語版）	120	21	590
Sophos Anti-Virus for Windows	27	14	886
Sophos Anti-Virus for MacOS X	167	30	2,524
ESET Smart Security (Windows)	63	22	512
ESET Smart Security (Mac)	3	3	101
Symantec Endpoint Protection (Windows)	34	18	489
Symantec Endpoint Protection (Mac)	38	20	245
Server Protect	35	21	180
InterScan VirusWall	6	6	13
InterScan VirusWall エンタープライズエディション	1	1	1

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、UTNET3 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。

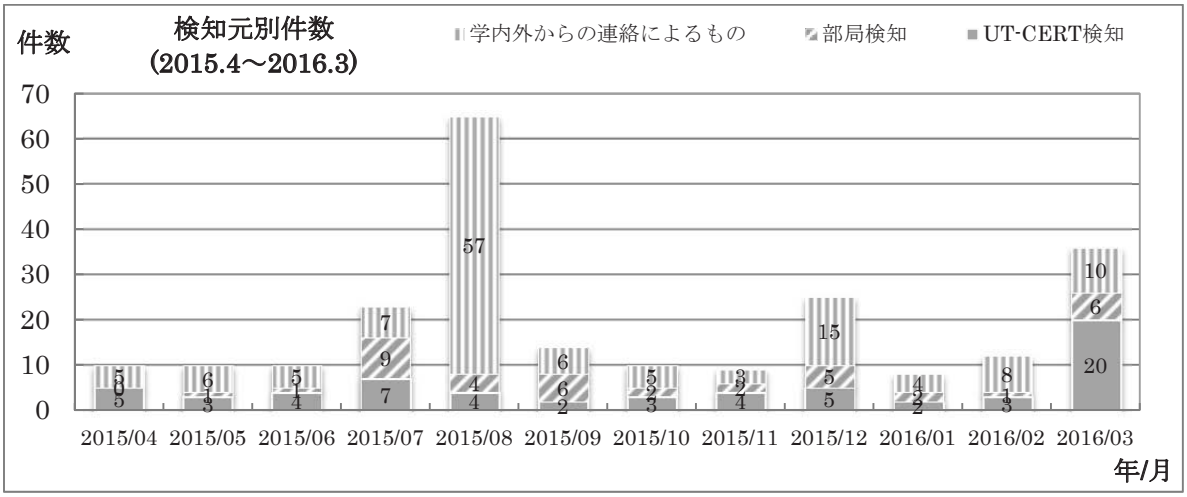
・セキュリティ関連情報の収集と学内への注意喚起等
　メーカやセキュリティ情報サイト等から、セキュリティの脆弱性やウイルスに係わる情報を収集し、情報基盤センターと UTokyo-CERT の web ページへの掲載や東大ポータルでの一斉通知、及び部局 CERT への電子メールでの通知によって、セキュリティ対応に関する注意喚起を実施した。
・学内と学外との通信におけるネットワークを介したインシデントの監視
　IDS や異常トラフィック監視システムで学内と学外との通信を監視し、セキュリティインシデントの検知を実施した。
・セキュリティインシデントの部局 CERT への連絡
　学内と学外との通信の監視や 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　講習会･研究会開催報告

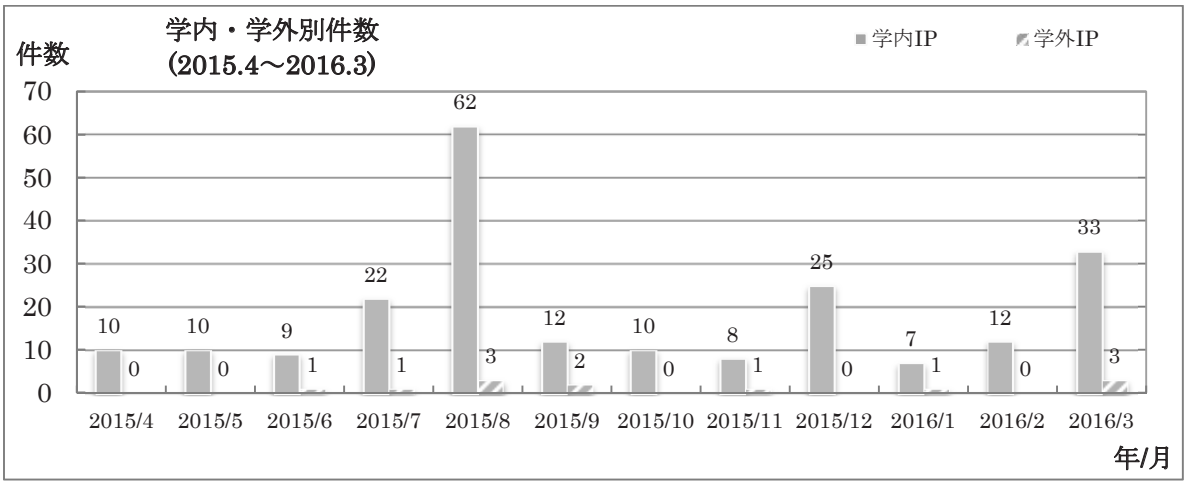
（東京大学情報ネットワークシステム（UTNET3）の運用管理の 2. を参照）

3　サービス統計

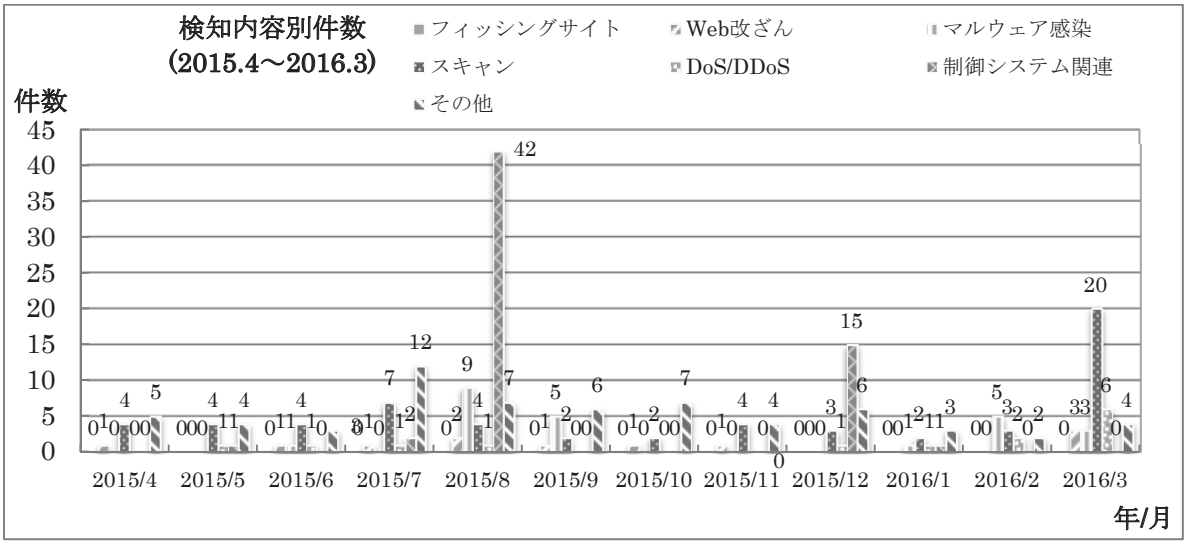
2014 年度のセキュリティ対策で扱ったインシデント件数は図1のとおりである。



※「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。



※「学内・学外別件数」は、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ある。



※「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。

図1　セキュリティインシデント件数

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は、ソフトウェアダウンロードサイトを用いて提供を開始した。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	24	9
JMP Pro	41	13
SAS	26	9
MATHEMATICA	159	21
ChemOffice	38	9
LabVIEW	206	17

表2 Microsoft Academic Select Plus の申請状況

ソフトウェア名	申請件数	部局数
Office Professional Plus 2016 32bit	5	3
Office Professional Plus 2016 64bit	8	4
Office Professional Plus 2013 32bit	6	3
Office Professional Plus 2013 64bit	9	6
Office Standard 2016 64bit	3	2
Office Standard 2013 64bit	3	2
Office for Mac Standard 2016	7	6
Office for Mac Standard 2011 with Service Pack 3	4	2
Windows 10 Pro 64bit	2	1
Windows 8.1 Pro 64bit	1	1
Windows 7 Professional with SP1 32bit	1	1
Windows 7 Professional with SP1 64bit	2	2
Windows Server Standard	5	5
Windows Server CAL(User CAL)	1	1
Windows Server CAL(Device CAL)	1	1

2 講習会・研究会開催報告

（東京大学情報ネットワークシステム（UTNET3）の運用管理の 2. を参照）

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2015 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
5 部局	4 本	3 本

PKI

PKI 担当

1　運用報告

NII が主導している CSI UPKI プロジェクトが開始した「オープンドメイン証明書発行実験」に参加し、パブリックサーバ証明書発行のための学内の体制を構築した。

ここにおいても分散 RA 方式を取っている。2014 年度末で参加部局は 13 部局を数え、累計発行枚数は 1379 枚に及ぶ。

東大は、学内体制として TRA を立ち上げ、CP/CPS を公開した上で、可能ならば発行にともなう審査を部局に委譲するモデルを取っている。これは従来からあった UTNET が安定して運用されていることに大きく依存するモデルであった。

この運用モデルは成功し、参加部局の広がりが見られるようになった。

なお、パブリックサーバ証明書発行が NII で正式なサービス事業となり、2015 年 2 月から、それを受ける形で、東京大学でもネットワークの正式なサービスとしてスタートした。

2016/3/31 における部局別発行枚数の統計は以下のとおりである。

部局	枚数（アクティブ）
TRA (直接審査・発行)	106
(旧)本部事務局	55
生産技術研究所	42
史料編纂所	37
情報基盤センター	26
理学系研究科	25
総合文化研究科	22
医学部附属病院	19
数理科学研究科	10
情報学環	16
物性研究所	8
新領域創成科学研究科	7
医学系研究科・医学部	6
空間情報科学研究センター	4
開始時からの累計	1,379
アクティブな証明書	385

スーパーコンピューティング

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　平野 光敏

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 HA8000 クラスタシステム（T2K オープンスパコン（東大））（952 ノード、15,232 コア、ピーク性能 140.1 TFLOPS）が平成 26 年 3 月に運用を終了し、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）に加えて、平成 26 年 4 月からは 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）の 3 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。Oakbridge-FX は最大 168 時間までのジョブ実行が可能である（Oakleaf-FX は最大 48 時間）。Oakleaf-FX、Oakbridge-FX はログインノード、ファイルシステム、ジョブ実行等完全に独立した別個のシステムであるが、ノード時間（トークン）については共通とし、同じポリシーで消費している。

HPCI には平成 26 年度に引き続いて Oakleaf-FX、Oakbridge-FX を提供し、合計 675.7 ノード年のノード時間（10,811 コア年、ピーク性能 159.8 TFLOPS 相当）を拠出した。

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 86%を超える利用率を達成した月もあった。平成 27 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）：

- 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　ポスト T2K に向けて：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。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。

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 E5-26951（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 日に全システムの運用を開始する予定である。

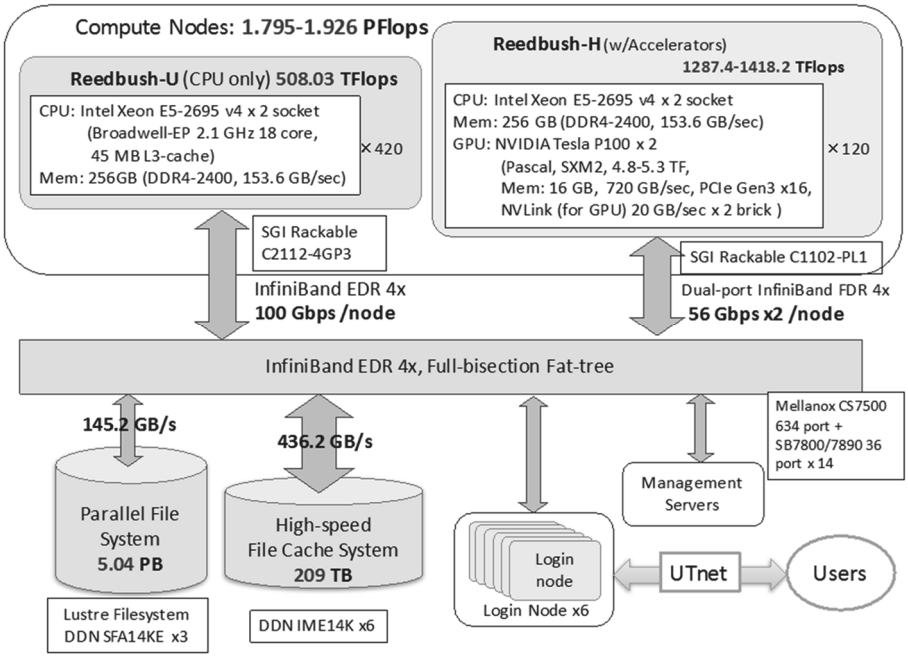


図 1　データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータシステム（Reedbush）概要

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 26 年 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、同 27 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 51 課題のうち 35 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 14 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 26 年度報告会、平成 27 年度採択課題紹介を兼ねた第 7 回シンポジウムは平成 27 年 7 月 9 日（木）・10 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 27 年度は、前期 2 件、後期 2 件、インターン 2 件、グループコース 1 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 27 年度は全部で 3 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）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 27年度は 2 回の募集を実施し、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 27 年度は同講習会を 10 回実施した。その他、「2015 RIKEN AICS HPC Summer School（平成 27 年 8 月 18 日～22 日）」、「2016 RIKEN AICS HPC Spring School（平成 28 年 3 月 8 日～10 日）」（主催：理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学大学院システム情報学研究科、東京大学情報基盤センター）ではプログラム策定、実行に貢献した。

また「臺大數學科學中心 科學計算冬季學校（Short Course for Scientific Computing（SC4SC 2016））邁向 Petascale 高速運算，Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」（共催：臺大數學科學中心（Taida Institute for Mathematical Sciences，TIMS），東京大学情報基盤センター他）（平成 28 年 2 月 15 日～18 日，國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU））で開催した。

平成 27 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 27 年 10 月 23 日・24 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 11 件の施設来訪があり、情報交換、施設見学を実施した。

8　参考文献

報道関連

［報道1］マイナビニュース 2015 年 12 月 30 日 SC15 - 日本の大学に見る論文発表と出展ブース

［報道2］マイナビニュース 2016 年 1 月 20 日 - 2 月 1 日【連載】ムーアの法則は終わるのか? - ポストムーアの時代を考える

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　2015 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ーシステムのサービスについて、2015 年度のシステム整備状況を以下に述べる。

前年度に引き続き柏キャンパス（第二総合研究棟）にて Fujitsu PRIMEHPC FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）を、本郷キャンパス（本センター）にて Fujitsu PRIMEHPC 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/M1 システムの合計 3 式のスーパーコンピューターの運用を行った。

1.1　2015 年度のサービスに係わる変更

1.1.1　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 9 課題に対し 675.7 ノード/年（5,838,000 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 176 ノード/年（1,520,640 ノード時間）の資源提供を行った。

1.2　教育利用

前年度に引き続き、教育利用のためのシステム提供 (FX10 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 10 件の利用があった。

・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」
・工学院大学情報学部コンピュータ科学科「並列計算システム」
・東京大学理学系研究科「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)」
・東京大学教養学部「スパコンプログラミング研究ゼミ(駒場、全学自由研究ゼミナール)」
・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」
・臺灣大學數學科學中心「Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」

2　2016 年度のシステム整備計画

新システムの導入について、以下の 2 システムを予定している。
・メニーコア型大規模スーパーコンピュータシステム（第 1 期 2016 年 10 月、第 2 期 12 月運用開始）
・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（2016 年 7 月運用開始）

資源提供について、FX10 スーパーコンピュータシステムの Oakleaf-FX および Oakbridge-FX を併せて、HPCI の 10 課題に対し 660 ノード/年（5,702,400 ノード時間）を、JHPCN の 10 課題に対し 168 ノード/年（1,451,520 ノード時間）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。2015 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 21 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2016 年 1 月 15 日 (金) 10:00～
議題 : ・スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦　実施要領の改正について
・企業利用にかかる利用負担金の改正について
・スーパーコンピューターシステム利用規程 補則の改正について
・メニーコア型大規模スーパーコンピュータシステム調達に関する報告
・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
・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
・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
・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
・システム稼働状況報告
・その他

4　スーパーコンピューターシステム利用規程の改正

4.1　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についてグループコースを新設し 2015 年度に試行、2016 年度から正式な制度として実施すること、および 2016 年度より学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）活動の一環である萌芽型共同研究として実施する旨の改正を行った。

4.2　企業利用にかかる利用負担金の改正

企業利用の運営にかかる広報や人件費などの費用の負担が従来より大幅に軽減されていること、および企業利用の更なる促進を図るため値下げの改正を行った。本改正は、2016 年 4 月 1 日より適用する。

	改正前	改正後
グループコース	1,400,000 円/年	600,000 円/年
トークン追加	116,600 円/年	50,000 円/年

4.3　補則の改正

グループコースにおいて、代表者以外の利用者との共同研究契約または請負契約関係についても利用資格第5号の根拠として認めること、および HA8000 クラスタシステムのサービス終了、若手・女性利用者推薦の制度変更に伴う改正を行った。

5　システム利用状況

2015 年度におけるジョブ統計は表 1 ～表 3 のとおりである。それぞれの利用率について、FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）においては概ね 80%前後の高い利用率を維持し、2015 年 11 月には 86.5% に達した。一方、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）においては 4 月を除き 60%から 80%前後で推移し良好であった。SR16000 システムの利用率も平均 60%程度で推移し良好であった。

5.1　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 1. 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		
201504	1,130	354	8,408 1,775	28,409	1,537.68 963.80	27,570,920.34	79.0	37,414,747 917,889,866
201505	1,378	429	9,949 2,171	34,558	1,924.79 1,070.55	38,187,096.49	79.3	42,485,861 926,154,639
201506	1,366	488	12,311 3,055	91,654	5,375.50 1,810.75	35,518,245.39	79.4	44,312,904 936,312,739
201507	1,323	437	12,271 3,231	82,972	3,334.13 2,442.12	39,280,497.69	83.4	44,889,698 979,228,464
201508	1,328	329	7,057 2,097	28,084	1,875.68 1,663.65	21,004,854.00	76.6	46,342,171 916,250,984
201509	1,417	360	10,390 2,592	43,233	2,323.01 1,691.32	36,487,230.48	80.1	47,126,907 995,299,439
201510	1,284	369	11,923 2,680	86,559	3,163.61 1,299.48	34,095,249.47	80.6	48,863,539 981,443,681
201511	1,321	347	11,394 4,205	42,858	2,635.67 1,211.79	39,922,779.98	86.5	51,793,185 1,024,308,041
201512	1,271	349	9,994 3,135	45,470	2,577.02 1,416.89	37,900,118.61	82.2	53,988,687 1,069,136,006
201601	1,291	316	9,384 5,597	61,606	2,424.73 1,273.86	32,352,025.93	70.0	54,167,975 1,058,409,417
201602	1,280	369	9,535 2,877	42,884	2,770.37 734.00	28,342,696.10	67.1	54,516,412 1,065,003,861
201603	1,340	313	8,047 1,675	24,807	2,577.70 758.57	36,336,191.01	79.7	42,207,405 740,589,468
合計			120,663 35,090	613,094	32,519.89 16,336.78	406,997,905.49		

5.2 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 2. 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)/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		
201504	1,130	44	453 32	622	20.01 43.63	1,914,816.25	42.9	394,581 52,435,032
201505	1,378	47	814 18	1,317	76.46 1.13	3,186,081.79	56.6	404,785 37,326,190
201506	1,366	35	578 48	1,449	26.61 1.97	4,522,407.50	73.1	408,985 41,253,995
201507	1,323	43	466 152	1,328	50.69 13.49	4,037,035.28	68.6	379,690 54,730,683
201508	1,328	36	394 39	1,240	6.82 0.45	2,889,153.05	73.6	381,673 57,302,979
201509	1,417	38	428 14	826	23.65 0.11	3,192,702.36	59.6	406,353 27,846,645
201510	1,284	40	568 83	636	16.45 20.73	4,018,608.47	80.4	428,036 37,526,984
201511	1,321	33	458 8	525	7.50 0.01	4,695,587.18	84.7	432,955 44,934,099
201512	1,271	33	468 19	934	9.78 0.62	4,121,691.78	67.8	444,111 32,705,474
201601	1,291	33	461 126	333	22.74 24.20	3,469,807.90	60.5	454,189 35,193,274
201602	1,280	46	502 14	491	19.44 8.68	4,331,833.13	82.9	452,612 34,774,322
201603	1,340	43	626 11	518	44.16 0.02	4,763,771.35	81.1	430,575 47,515,168
合計			6,216 564	10,219	324.31 115.04	45,143,496.04		

5.3 SR16000 システムのジョブ処理状況

表 3. 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		
201504	376	45	1,104	5,910	24.60	407,489.36	62.0	62,462,611
201505	367	52	1,288	2,926	13.27	374,301.97	44.6	66,746,217
201506	369	58	1,965	2,997	64.04	468,459.26	57.9	65,789,195
201507	371	60	2,047	3,692	90.32	536,112.06	58.8	69,884,301
201508	371	52	1,542	2,305	79.39	459,603.17	72.7	58,841,194
201509	369	59	1,891	2,545	135.13	573,775.64	73.2	57,948,428
201510	376	57	2,041	2,955	62.72	508,474.84	65.6	57,058,205
201511	378	57	2,611	2,689	70.71	581,874.40	65.0	59,508,408
201512	380	63	2,307	2,792	116.86	537,838.50	58.0	61,745,382
201601	381	50	1,611	2,174	88.18	567,884.02	54.7	61,114,127
201602	381	47	1,264	1,970	54.60	563,993.59	57.6	63,895,974
201603	386	45	1,355	1,947	65.86	481,855.64	42.4	67,569,774
合計			21,026	34,902	865.68	6,061,662.45		

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受け付けているが、オープンフロアサービスを行っていないため、プログラム相談員を常設せず、事前予約により本センター教職員の面談による対応を行っている。また、以前と同様に E-Mail による相談も受け付けている。

表 4. プログラム相談件数

	対面相談	E-Mail 相談	合計
2015 年 4 月	0	18 (18)	18
2015 年 5 月	0	4 (4)	4
2015 年 6 月	0	12 (12)	12
2015 年 7 月	0	12 (10)	12
2015 年 8 月	0	3 (0)	3
2015 年 9 月	0	14 (13)	14
2015 年 10 月	0	22 (21)	22
2015 年 11 月	0	17 (15)	17
2015 年 12 月	0	6 (5)	6
2016 年 1 月	0	7 (7)	7
2016 年 2 月	0	7 (6)	7
2016 年 3 月	0	3 (2)	3
小計	0	125 (113)	125

括弧内は FX10 相談件数の内数

6.2 刊行物

2015 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.17 No.3 ～ Vol.18 No.2 (2015 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。

2015 年度はユーザからの成果報告を計 5 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 2015 年 12 月 2 日 ～ 4 日 に開催され、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）
・「HPCI 共用ストレージの ITIL 視点での運用分析」
　－中　誠一郎　(発表者)－

本論文は HPCI 共用ストレージの大規模なシステム障害の再発防止策一環として Information Technology Infrastructure Library の視点での運用分析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) 2015 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

2015 年度は表 1 に示すような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）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他に例が無い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 を持参してもらい、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。受講者は、これまでは、スパコンの利用資格者（学生、教育機関・研究機関教職員）に限定してきたが、2008 年 10 月より、社会貢献の一環として企業ユーザーもスパコン利用が可能となっており、企業ユーザーも講習会を受講できるようになった。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

2015 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 10 回実施した。以下に概要を示す。本年度からは「OpenFOAM 初級入門」を新規開講するとともに，「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門 : Hybrid 並列プログラミングモデルへの道」を改組して，OpenACC に関する内容も加えて「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」とした。

また，本年度は初めて学外で講習会を実施した（第 50 回）。詳細はホームページを参照されたい [1]。

[1] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/

表 1　2015 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 45 回「OpenFOAM 初級入門」	2015 年 5 月 18 日	Oakleaf-FX（FX10 スーパーコンピュータシステム）	24	※ B
第 46 回「MPI 応用編：並列有限要素法とハイブリッド並列プログラミング」	2015 年 5 月 26 日～27 日		15	※ A
第 47 回「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」	2015 年 6 月 17 日～18 日		15	※ A
第 48 回「ライブラリ利用：高性能プログラミング初級入門」	2015 年 9 月 1 日～2 日		7	※ A
第 49 回「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」	2015 年 9 月 7 日～8 日		11	※ A
第 50 回「OpenFOAM 初級入門」in 金沢	2015 年 9 月 14 日		8	※ B 金沢工業大学　扇が丘キャンパス
第 51 回「OpenFOAM 初級入門」	2015 年 10 月 22 日		11	※ B
第 52 回「ライブラリ利用：高性能プログラミング初級入門」	2016 年 2 月 3 日～4 日		6	※ A
第 53 回「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」	2016 年 3 月 7 日～8 日		9	※ A
第 54 回「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」	2016 年 3 月 22 日～23 日		9	※ A

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

2.1　第 45 回講習会

2015 年度からの新企画である「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 PRIMEHPC FX10）使用）を実施した（表 2）。

表 2　第 45 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
2015 年 5 月 18 日（月）	10:30-11:30	FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）	片桐孝洋
	11:30-12:00	OpenFOAM 概要	今野雅
	13:00-14:30	OpenFOAM 演習 I（キャビティ流れ）	今野雅

2015 年 5 月 18 日（月）	14:45-16:15	OpenFOAM 演習 II（ダムブレイク流れ・並列計算）	今野雅
	16:30-17:30	OpenFOAM 演習 III（チャンネル流れ・並列性能評価）	今野雅

2.2 第 46 回講習会

「MPI 応用編：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 3 第 46 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
2015 年 5 月 26 日（火）	10:00-12:30	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	中島研吾
5 月 27 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

2.3 第 47 回講習会

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、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 4）。

表 4 第 47 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
2015 年 6 月 17 日（水）	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	片桐孝洋
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	片桐孝洋
6 月 18 日（木）	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）	片桐孝洋
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III（演習）	片桐孝洋

2.4 第 48 回講習会

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、数値計算ライブラリ利用による基礎的な高性能プログラミングの講習会を実施した。並列処理の基礎概念の説明、数値計算ライブラリの解説、簡単な数値計算プログラムによるライブラリ利用の実習を実施した（表 5）。本講習会は、東京大学情報基盤センターを中心として、東京大学大気海洋研究所、東京大学地震研究所、京都大学、および海洋研究開発機構で開発をしている数値計算ミドルウェア ppOpen-HPC の成果物の実習を行う講習会である。

表 5　第 48 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
2015 年 9 月 1 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	片桐孝洋
	14:00-15:30	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	15:45-17:30	プログラム実習 I （BLAS）(演習)	片桐孝洋
9 月 2 日（水）	10:30-12:30	プログラム実習Ⅱ（LAPACK、ScaLAPACK）(演習)	片桐孝洋
	14:00-15:00	ppOpen-HPC の概要（座学）	松本正晴
	15:15-17:45	差分法による弾性波動並列シミュレーション（ppOpen-APPL/FDM)（演習）	松本正晴

2.5 第 49 回講習会

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、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 6）。

表 6　第 49 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
2015 年 9 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	片桐孝洋
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	片桐孝洋
9 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）	片桐孝洋
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III（演習）	片桐孝洋

2.6 第 50 回講習会

「OpenFOAM 初級入門 in 金沢」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 PRIMEHPC FX10）使用）を実施した（表 7）。

表7　第 50 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
2015 年 9 月 14 日（月）	10:00-11:00	FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）	片桐孝洋
	11:00-11:30	OpenFOAM 概要	今野雅
	12:30-14:00	OpenFOAM 演習 I（キャビティ流れ）	今野雅
	14:15-15:45	OpenFOAM 演習 II（ダムブレイク流れ・並列計算）	今野雅
	16:00-17:00	OpenFOAM 演習 III（チャンネル流れ・並列性能評価）	今野雅

2.7　第 51 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 8）。

表 8　第 51 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
2015 年 10 月 22 日（木）	10:30-11:30	FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）	片桐孝洋
	11:30-12:00	OpenFOAM 概要	今野雅
	13:00-14:30	OpenFOAM 演習 I（キャビティ流れ）	今野雅
	14:45-16:15	OpenFOAM 演習 II（ダムブレイク流れ・並列計算）	今野雅
	16:30-17:30	OpenFOAM 演習 III（チャンネル流れ・並列性能評価）	今野雅

2.8　第 52 回講習会

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、数値計算ライブラリ利用による基礎的な高性能プログラミングの講習会を実施した。並列処理の基礎概念の説明、数値計算ライブラリの解説、簡単な数値計算プログラムによるライブラリ利用の実習を実施した（表 9）。本講習会は、東京大学情報基盤センターを中心として、東京大学大気海洋研究所、東京大学地震研究所、京都大学、および海洋研究開発機構で開発をしている数値計算ミドルウェア ppOpen-HPC の成果物の実習を行う講習会である。

表 9　第 52 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
2016 年 2 月 3 日（水）	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	片桐孝洋
	14:00-15:30	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	15:45-17:30	プログラム実習 I （BLAS）(演習)	片桐孝洋

2016 年 2 月 4 日（木）	10:30-12:30	プログラム実習Ⅱ（LAPACK、ScaLAPACK）(演習)	片桐孝洋
	14:00-15:00	ppOpen-HPC の概要（座学）	松本正晴
	15:15-17:45	差分法による弾性波動並列シミュレーション（ppOpen-APPL/FDM)（演習）	松本正晴

2.9 第 53 回講習会

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、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 10）。

表 10　第 53 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
2016 年 3 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	片桐孝洋
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	片桐孝洋
3 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）	片桐孝洋
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III（演習）	片桐孝洋

2.10 第 54 回講習会

第 54 回講習会「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」は 2015 年度からの新企画である。

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（表 11）。

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 によって並列化した事例を紹介した。本年度は座学のみであったが，次年度からは実習も取り入れて実施する予定である。

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
2016 年 3 月 22 日（火）	09:30-12:00	ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー（1/2）	中島研吾

2016 年 3 月 22 日（火）	13:00-14:30	ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー（1/2）	中島研吾
	14:45-16:30	OpenMP 入門＋Oakleaf-FX ログイン	中島研吾
	16:45-17:30	オーダリング（2/2）	中島研吾
3 月 23 日（水）	09:30-12:00	オーダリング（2/2）	中島研吾
	13:00-14:45	OpenMP 並列化	中島研吾
	15:00-17:30	OpenACC 入門	大島聡史・星野哲也

3　並列プログラミング講習会

第 1 回並列プログラミング講習会（座学「並列プログラミング入門」in 金沢）を，東京大学情報基盤センター，PC クラスタコンソーシアム（実用アプリケーション部会）共催で，2015 年 9 月 12 日（土）に富士通株式会社北陸支社で実施した（表 12）。

並列処理プログラミングの初心者を対象とした、プログラム高速化の基礎、OpenMP の基礎、および、MPI の基礎の座学講習会である。本講習会は、OpenMP や MPI の機能のうち，よく利用される機能，実用でよく生じる利用と性能の観点での問題，および，近年の CPU におけるチューニングで問題となった事例について講習した。また、エクサスケールコンピューティングに向けて必須となる Hybrid 並列化手法(MPI と OpenMP を用いた並列化)に向けた入門的な解説も実施した。受講者は 12 名であった。

表 12　第 1 回並列プログラミング講習会（座学「並列プログラミング入門」in 金沢）スケジュール

開催日	時　間	内　容	講　師
2015 年 9 月 12 日（土）	10:30-12:30	プログラム高速化の基礎	片桐孝洋
	13:00-14:30	並列処理と MPI の基礎	片桐孝洋
	14:45-16:15	OpenMP の基礎	片桐孝洋
	16:30-18:00	Hybrid 並列化技法（MPI と OpenMP の応用編)とプログラム高速化の応用	片桐孝洋

4　臺大數學科學中心 科學計算冬季學校（Short Course for Scientific Computing（SC4SC 2016））邁向 Petascale 高速運算，Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters

4.1　背 景

2016 年 2 月 15 日（月）～18 日（木）に國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU）[2]で開催された「臺大數學科學中心 科學計算冬季學校（Short Course for Scientific Computing（SC4SC 2016））邁向 Petascale 高速運算，Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」[3]（共催：臺大數學科學中心（Taida Institute for Mathematical Sciences，TIMS）[4]，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。

[2] http://www.ntu.edu.tw/
[3] https://sites.google.com/site/school4scicomp/2016-a-winter/
[4] http://www.tims.ntu.edu.tw/

東京大学情報基盤センターと TIMS の上部組織である臺大理論科學研究中心（Taida Center for Advanced Study in Theoretical Sciences（CASTS））[5]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 [6]。2015 年に実施した SC4SC 2015 はその MOU に基づき，TIMS の王偉仲教授（Professor Weichung Wang）[7]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 Oakleaf-FX（Fujitsu PRIMEHPC FX10）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 FX10（Oakleaf-FX, Oakbridge-FX, 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 月に締結した MOU がこれに相当する）
- 平和目的の利用である
- 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，FX10 グループ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。FX10 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 年に実施した SC4SC 2015 に続いて 2 回目の試みである。

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），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 FX10 アカウントを付与した。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 FX10 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 FX10 の

[5] http://www.casts.ntu.edu.tw/
[6] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/VOL16/No2/11_MOU201403.pdf
[7] http://www.math.ntu.edu.tw/~wwang/
[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/
[11] http://science.ncu.edu.tw/
[12] http://www.itc.u-tokyo.ac.jp/blog/2015/08/19/post-934/

使用が可能であるが，今回は復習時間を充分にとらせたいという王偉仲教授の要望もあり，終了後 2 週間継続して使用可能とした。

最終的には 67 名の申込があり（うち NTU：57 名，NCU：10 名），67 名のうち 54 名が学生（学部：13 名，大学院（修士）：29 名，大学院（博士）：12 名）であった。

4.2 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。

SC4SC 2015 と比較して，基礎的な内容となっており，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 SC4SC 2015 でも扱った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 15 日（月））

- スーパーコンピューティングへの招待（中島）
- FX10 システム（Oakleaf-FX）へのログイン（片桐）
- OpenMP 並列プログラミング（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

2 日目（2 月 16 日（火））

- MPI/OpenMP ハイブリッド並列プログラミング（片桐）
  - ノン・ブロッキング MPI 関数と通信隠蔽手法
  - 並列化演習
    - 行列－ベクトル積
    - 固有値問題におけるべき乗法
    - 行列－行列積
    - 完全分散版の行列－行列積

3 日目（2 月 17 日（水））

- 有限体積法による三次元ポアソン方程式ソルバー（中島）
  - クリロフ部分空間法，共役勾配法（Conjugate Gradient，CG）のアルゴリズム
  - CRS（Compressed Row Storage）による疎行列格納法
- 有限体積法アプリケーションの OpenMP による並列化（中島）

4 日目（2 月 18 日（木））

- 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
- 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）

[13] http://www.kata-lab.itc.u-tokyo.ac.jp/class-matrNTU2016.htm
[14] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2016/
[15] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/53/

余談ながら，当地は春節（旧正月，2016 年は 2 月 8 日）休み明けの最初の週である。NTU の新学期は 2 月 22 日に開始とのことであり，集中講義実施時期としては適切であった（昨年は春節前の休暇時期に実施）。今回は NTU の受講者にレポート課題を課して，合格者に（NTU の）単位を与えることも事前に王教授とは相談していたのであるが，NTU のルールで公式な学期中でない場合は単位を付与できないということが判明し，これは今後の課題である。

講義・実習を実施した天文數學館，手前に見える池は酔月湖と呼ばれている

王偉仲教授（NTU），片桐，中島，黄楓南教授（NCU）（左より）

講義風景

4.3 感想等

全ての説明資料の英語化，Fortran 版と C 版のプログラムと説明資料の準備，FX10 でのテストなどを実施する必要があった．前半部は，片桐が東京大学工学部共通科目「スパコンプログラミング（I）および（1）」で作成した資料をもとに，教材の全てを新規に英語化したものである。後半部は 2015 年に作成したものをほぼ使用することができたため，実質は 7 日程度を要した。

受講者は学部学生から若手教員まで幅広かった。実際の受講者は 49 名で，40 名程度が最後まで非常に熱心に聴講してくれた。これは 2015 年にも感じたことであるが，受講者は講義の内容を全般的に良く理解しており，積極的に的確な質問をしてくるのには改めて驚いた。貴重な機会を有効に利用したいという受講者の強い気持ちの表れだったのかも知れない。教える側からもそのような熱意，手応えを充分に感じ取ることができ，非常に楽しく過ごすことができた。

講義・実習は図 3 に示すような計算機室で実施した。それぞれの「島」には所属が近い知り合い同志が座って受講していたようだが，実習のときには互いに助け合って，先に終わった人は他の人の様子を見てやるなど，普段の本学での講義・実習ではあまりお目にかかれない光景に昨年に引き続いてしばしば遭遇した。

前半の MPI と OpenMP を用いた並列化の講義と演習は，本年度初めて行った講義と演習であったため，どのような質問が出るか興味深かった。特に，東京大学の共通科目の受講生の反応の違い

に興味があった。結果は，既に指摘した的確な質問に加え，計算機ハードウェアとプログラミングの原理を理解していないと質問できないような「高度な」質問がいくつか出たため，大変驚いた。また，並列化の基礎知識がないと並列プログラミング自体が難しいのだが，受講生は自ら考えた上で，自分の考え（並列化時の挙動）が正しいか確認する質問も多く出た。このような質問自体も普段の講義ではほとんどなく，大変興味深い反応であった。

王偉仲教授のコメントによると，全体的に受講生は内容に非常に興味を持って集中力を切らすことなく与えた演習課題に取り組んでいるということであった。また，本 MPI 演習の講義資料は独自で学習できるように，具体的な入力コマンド，基本的な並列化方針，および概念図を記載してあるが，それが良いということも指摘してくれた。そのため，MPI を利用した基本的な並列化プログラミングの習得に寄与したものと信じている。

SC4SC 2016 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。

5 2015 RIKEN AICS HPC Summer School

平成 27 年 8 月 17 日（月）～21 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、「2015 RIKEN AICS Summer School」（主催：理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学大学院システム情報学研究科、東京大学情報基盤センター）が開催された [16]。

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 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 [17]」で実施している内容を元にスケジュールを作成した。平成 27 年度も平成 26 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。

6 2016 RIKEN AICS HPC Spring School

平成 28 年 3 月 8 日（火）～10 日（木）、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、「2016 RIKEN AICS Spring School」（主催：理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学大学院システム情報学研究科、東京大学情報基盤センター）が開催された [18]。

本スプリングスクールは，平成 25 年度からの試みであり，サマースクールと比べるとややアドバンストな内容で，並列数値アルゴリズムの詳細も含めた解説と演習を実施した。

東大情報基盤センターは 3 月 8 日午後，3 月 9 日に実施された「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門（内容は 2.10 で述べた第 54 回講習会の内容（OpenACC 関連部分を除く）とほぼ同じ）」を担当した。実習には Fujitsu PRIMEHPC FX10（神戸大）を使用した。

[16] http://www.aics.riken.jp/library/event/riken-aics-hpc-summer-school-2015.html
[17] http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/15e/
[18] http://www.aics.riken.jp/jp/outreach/library/event/springschool16.html

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 「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム New Frontiers of Computer & Computational Science towards Post Moore Era

2015 年 12 月 22 日（火）に東京大学武田先端知ホールにおいて「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム（共催：東京工業大学学術国際情報センター，東京大学情報基盤センター，協賛：北海道大学情報基盤センター，九州大学情報基盤センター，理化学研究所計算科学研究機構，科学技術振興機構 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」，学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN））が開催された。

1960 年代に米インテル社の創業者ムーアが唱えた「ムーアの法則（LSI 上の複雑さ≒トランジスタ数は毎年指数的に増加する）」による CPU 性能の指数的な向上がこの数十年間持続され，科学技術の発展，社会インフラの充実に大きく貢献してきた。しかし，近年リソグラフィーの微細化技術に限界，形成されるトランジスタの微細化による物性的問題等が相俟って，ムーアの法則が 2025-2030 年頃に終焉すると予測されており，それはトランジスタあたりの電力が一定となり，計算性能（FLOPS）の伸びが停止することを意味している。 そのようなポストムーア時代において高性能計算技術の持続的発展を図るためには，幅広い分野の専門家の緊密な協力の下に，現状のスパコンに代表される計算性能（FLOPS）中心の性能向上技術からデータ移動（BYTES）中心に転換する新たな体系を築くことが必要である。

本シンポジウムでは，国内外の 3 名の招待講演者も含めて，デバイス，アーキテクチャ，システムソフトウェア，アルゴリズム，アプリケーションの各分野の専門家が一堂に会し，ポストムーア時代における様々な技術的問題点について議論することを目的として実施した。「ポストムーア」というとどうしてもデバイス技術に注目が集まりがちであったが，本シンポジウムが契機となって，ポストムーア時代に向けた分野間協力，国際協力の進展とともに，高性能計算の一般的原理を目指す，計算機科学・計算科学を融合した新たな学術領域の形成につながることを強く期待するものである。

本シンポジウムのプログラムを表 1（次頁）に示す。 3 名の招待講演（黒田忠広教授（慶應義塾大学理工学部），Richard Vuduc 准教授（ジョージア工科大学），若林一敏氏（NEC））の他，
来賓を代表して工藤雄之氏（文部科学省計算科学技術推進室長）からもご挨拶を頂いた。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・アルゴリズムに関する講演の他，パネルディスカッションも実施した。

当日は年末にもかかわらず全部で 160 名を超える参加者があり，準備した席が足りなくなるほどの盛況ぶりだった。当日の発表資料はウェブページ[1]から随時公開していく予定である。

[1] http://www.cspp.cc.u-tokyo.ac.jp/p-moore-201512/

表 1　「ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開」シンポジウム　プログラム
http://www.cspp.cc.u-tokyo.ac.jp/p-moore-201512/

セッション 1	座長：中島研吾（東京大学）
10:00-10:15	松岡 聡（東京工業大学）（主催者挨拶） 工藤雄之 室長（文部科学省計算科学技術推進室）（来賓挨拶）
10:35-11:15	招待講演「ポストムーアのデバイス展望」 黒田忠広 教授（慶應義塾大学理工学部）
セッション 2	天野英晴（慶應義塾大学）
11:15-12:00	「ポストムーアのアーキテクチャ」 天野英晴（慶應大），井上弘士（九州大），工藤知宏（東大），塙敏博（東大）
セッション 3	座長：松岡 聡（東京工業大学）
13:00-13:40	招待講演「第三のコンピュータの可能性」若林一敏 氏（NEC）
13:40-14:25	「ポストムーアのシステムソフトウェア」 田浦健次朗（東大），松岡 聡（東工大），丸山直也 （理研）， 遠藤敏夫（東工大）
セッション 4	座長：中島研吾（東京大学）
14:45-15:25	招待講演「Is There Life After Moore for Computational Science?」 Richard Vuduc 准教授 （ジョージア工科大学）
15:25-16:10	「ポストムーアのアプリケーション，アルゴリズム」 岩下武史（北大），片桐孝洋（東大），中島研吾（東大）
セッション 5	パネルディスカッション「ポストムーアに向けた研究開発の展望」 モデレータ：丸山直也（理化学研究所）
16:30-17:30	パネリスト：石井康雄（ARM）, 市村強（東大）, 片桐孝洋（東大）， 近藤正章（東大）, 佐野健太郎（東北大）
17:30-17:40	クロージング：松岡 聡（東京工業大学）

招待講演：黒田忠広 教授

招待講演：若林一敏 氏

招待講演：RichardVuduc 准教授

会場の様子

2　学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第7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 9 日（木）・10 日（金）に「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 7 回シンポジウム」を THE GRAND HALL（品川）で開催した。当日は 167 名の参加者（大学 109 名、独法等研究機関 24 名、企業他 34 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 26 年度に実施された公募型共同研究 34 課題の口頭発表による最終報告および平成 27 年度公募型共同研究に採択された全 35 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。

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

会場の様子

ポスター発表の様子

3　研究会

3.1　概要

2015 年度は表 1 に示すように 2 回の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）を開催した。

表 1　2015 年度に開催した研究会

名称	開催日	参加者数
第 20 回 ASE 研究会	2015 年 10 月 16 日（金）	17 人
第 21 回 ASE 研究会	2015 年 12 月 2 日（水）	19 人

3.2　第 20 回 ASE 研究会

2015 年 10 月 16 日（金）13:00～18:00、東京大学情報基盤センター（浅野地区）４階遠隔会議室にて、第 20 回先進スーパーコンピューティング環境研究会（ASE 研究会）が開催されました。本研究会は、科学技術振興機構戦略的創造推進事業 CREST「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：中島研吾（東京大学情報基盤センター））との共催でした。（表 1）。

表 1　第 20 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Dr. Ichitaro Yamazaki (テネシー大学ノックスビル校、米国)	MAGMA: Matrix Algebra on GPU and Multicore Architectures
深谷猛　助教 （北海道大学情報基盤センター）	The CholeskyQR2 algorithm and its applications
Dr. Patrick Sanan （Universita della Svizzera Italiana, スイス連邦）	Aggressive accelerator-enabled local smoothing via incomplete factorization, with applications to preconditioning of Stokes problems with heterogeneous viscosity structure
岩下武史　教授 （北海道大学情報基盤センター）	Error correction method for a sequence of linear systems
王偉仲　教授 （国立台湾大学、台湾）	Photonic Bandgap Optimization via Surrogate Assisted Tuning with Low- and High-Fidelity Simulations
荻田武史　准教授 （東京女子大学）	Refinement of Symmetric Eigenvalue Decomposition

米国テネシー大学の Ichitaro Yamazaki 博士の講演は、MAGMA という数値計算ライブラリ開発プロジェクトの講演であった。MAGMA プロジェクトは、GPU (Graphics Processing Units) や Intel Xeon Phi などのマルチコア型 CPU に対する効率の良い QR 分解などの基本行列演算ライブラリを開発するプロジェクトである。HPC 分野の研究開発プロジェクトとして、世界的に注目されているプロジェクトの一つである。Yamazaki 博士の講演では、最新のアルゴリズム紹介を含む、数値計算ライブラリ性能について発表された。

北海道大学の深谷猛助教の講演は、基本行列計算の代表的な処理として QR 分解があるが、演算効率の高い Cholesky QR 分解に関する最新アルゴリズムの紹介と、その性能評価に関する講演であった。

スイス Universita della Svizzera Italiana の Patrick Sanan 博士の講演は、収束性の高い数値解法であるマルチグリッド法に関連する処理を前処理として用いる連立一次方程式の解法について実問題に応用することを目的とし、高い並列効率のアルゴリズムの構築に関する講演であった。

北海道大学の岩下武史教授の講演は、連立一次方程式の系列に関する誤差修正の新しいアルゴリズムの提案に関する講演であり、いくつか実性能が示された。

国立台湾大学の王偉仲教授の講演は、結晶などの構造解析に必要な固有値問題の効率の良いアルゴリズムと、自動性能チューニング（AT）に用いられる性能モデルの1つであるサロゲーションモデルに関する講演であった。

東京女子大学の荻田武史准教授の講演は、演算精度を保証する精度保証分野の研究発表である。近年開発している、対称固有値分解へ適用できる最新アルゴリズムの講演であった。

3.3　第 21 回 ASE 研究会

2015 年 12 月 2 日（水）13:00～18:05、東京大学情報基盤センター（浅野地区） 4 階遠隔会議室にて、第 21 回先進スーパーコンピューティング環境研究会（ASE 研究会）が開催されました。国外から 3 人、国内から 1 人の講演者を招聘し、数値アルゴリズム、自動チューニングなど HPC（High-Performance Computing）に関する様々な分野について議論した。また、若手・女性利用者推薦制度 H27 年度採択課題の採択者の発表も行われた（表 2）。

表 2　第 21 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Dr. Achim Basermann （German Aerospace Center (DLR), ドイツ）	The Highly Scalable Iterative Solver Library PHIST
Edmond Chow　准教授 （ジョージア工科大学、米国）	Preconditioning for Parallel Computers
王偉仲　教授 （国立台湾大学、台湾）	High-Performance Linear System and Eigenvalue Solvers for Frequency Domain Photonic Device Simulations
Yuka Kobayashi 氏 （東京女子大学　博士課程）	Accurate and efficient algorithms for solving ill-conditioned linear systems
（若手・女性利用者推薦） Naoya Nomura 氏 （工学院大学　修士課程）	Performance analysis of SA-AMG method by setting near-kernel vectors
（若手・女性利用者推薦） Hiroto Imachi 氏 （鳥取大学　博士課程）	Quantum Wave-packet Dynamics Simulation Solvers and Their Performance on Oakleaf-FX10

海外からの講演者として、ドイツの German Aerospace Center (DLR)から、Achim Basermann 博士により、「The Highly Scalable Iterative Solver Library PHIST」と題した講演がなされた。この講演は、German Research Foundation (DFG)による、ESSEX (Equipping Sparse Solvers for Exascale)プロジェクトに関するもので、エクサスケール環境に向けた数値計算ソルバーに関する講演である。

次に、米国ジョージア工科大学の Edmond Chow 准教授による「Preconditioning for Parallel Computers」と題した講演があった。本講演は、並列反復解法の前処理に関するものである。厳密な前処理に基づく実装では並列性能が無く、近年のマルチコア計算機で性能向上が望めないという欠点が知られている。そこで Chow 准教授は、並列性能を高め、かつ非同期に計算可能な、新しい前処理方式の提案を行っている。実際の並列計算機を用いてその有効性を検証している。

次に、国立台湾大学の王偉仲教授により「High-Performance Linear System and Eigenvalue Solvers for Frequency Domain Photonic Device Simulations」と題した講演がなされた。本講演では、光デバイスのシミュレーションにおいて現れる数値計算手法の話題で、特に固有値ソルバーにおける効率の良い計算手法と、近年のよく使われている GPU における効率的な実装に関する講演であった。

一方、若手の招待講演者として、東京女子大学の博士課程学生の小林由佳氏による「Accurate and efficient algorithms for solving ill-conditioned linear systems」と題した講演があった。この講演では、解きにくい連立一次方程式の行列（悪条件行列）に対する、演算精度を保証する数値手法の提案である。実際に精度保証の数値計算手法を実装するためには、効率の良い実装が必要である。そこで、BLAS と呼ばれる線形代数副プログラム集を用いた実装法を示し、かつ、性能評価をおこなった発表がなされた。

一方、若手・女性利用者推薦制度 H27 年度採択課題の採択者による招待講演では、まず工学院大学の修士課程の学生である野村直也氏による「Performance analysis of SA-AMG method by setting near-kernel vectors」の講演があった。幾何マルチグリッド法による効率の良い並列実装方式の開発の研究で、問題特性であるメッシュ情報を利用し、収束性のよい実装方式の提案が行われた。

最後に同制度の採択者で、鳥取大学の博士課程学生の井町宏人氏により、「Quantum Wave-packet Dynamics Simulation Solvers and Their Performance on Oakleaf-FX10」と題する講演がなされた。この講演では、大規模分子構造計算においては効率の良い固有値ソルバーが必要だが、固有

値ソルバーの性能評価を FX10 スーパーコンピュータシステムで行った結果の紹介と、また、反復解法を用いる実装手法についての検討を行った。

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 27 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 27 年度採択課題（東大分）

A	B	研究課題名	研究課題代表者（所属）	研究分野（※）	他大学
		大規模データ系の VR 可視化解析を効率化する多階層精度圧縮数値記録(JHPCN-DF)の実用化研究	萩田克美（防衛大学校）	数	北大, 東北大, 東工大, 名大, 京大, 阪大, 九大
○	①	時間並列化アルゴリズムの新しい方向性と実用例の探索	萩田克美（防衛大学校）	数	名大, 九大
○		Xeon Phi・ベクトル計算機への FDTD コードと電磁流体コードの最適化手法の研究	深沢圭一郎（京都大学）	情	北大, 東北大, 京大, 九大
○	①	行列分解のタイルアルゴリズムの高並列環境における最適化	鈴木智博（山梨大学）	数	
	①	太陽磁気活動の大規模シミュレーション	横山央明（東京大学）	数	
○	①	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	安藤嘉倫（名古屋大学）	数	名大
	①	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
○	①	社会・経済データの実証分析	大西立顕（東京大学）	デ	
○		計算資源の連携を目指した将来のサイエンスビッグデータ共有機構の開発	松岡聡（東京工業大学）	デネ情	北大, 東工大, 九大
○	①	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
	①	次世代降着円盤シミュレータの開発	松元亮治（千葉大学）	数	
	①	科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証	實本英之（東京大学）	数情	北大, 東工大, 九大

○	②	次世代スーパーコンピューター向けの軽量な仮想計算機環境の実現に向けた研究開発	品川高廣 (東京大学)	情	
○	①	超大規模シミュレーションのためのアーキテクチャ特性を考慮した通信削減技術	遠藤敏夫 (東京工業大学)	数	北大, 東北大, 東工大

A ○：H27 年度新規採択課題
B ①：Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX) 利用課題、②：Fujitsu PRIMERGY RX200 利用課題
※ 研究分野の略称
数：超大規模数値計算系応用分野、デ：超大規模データ処理系応用分野、
ネ：超大容量ネットワーク技術分野、情：超大規模情報システム関連研究分野

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 27 年度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)。

① Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX)
採択各課題に 12 ノードまたは 24 ノード×1 年相当のトークンが与えられる。優先ノード数は課題採択数によって変動する (最大で 24 ノード×課題採択数)。

② Fujitsu PRIMERGY RX200 (26 ノード, 312 コア)
OS、仮想マシンモニタ等の研究開発を含む利用を想定している。OS, 仮想マシンモニタを含むすべてのソフトウェアを利用者が準備し、利用者の責任でインストール、管理、運用する必要がある。

2014 年 11 月に平成 27 年度の公募型共同研究の課題募集を開始し (2015 年 1 月 9 日締切)、2015 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 51 課題のうち 35 課題が採択された。表 1 は、東京大学情報基盤センターと共同研究を行う 14 課題である。そのうち、超大規模数値計算系応用分野の 5 課題と、それ以外の分野の 4 課題の合計 9 課題が新規採択であった。

また、2015 年 7 月 9 日(木)・10 日(金)に第 7 回シンポジウムが THE GRAND HALL(品川)で開催され、平成 26 年度に実施された公募型共同研究 34 課題の口頭発表による最終報告および平成 27 年度公募型共同研究に採択された 35 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毎月実施してきており、平成 22 年度からは HA8000 クラスタシステム（T2K オープンスパコン（東大））の 512 ノード（8,192 コア、ピーク性能 75.4　TFLOPS）を 24 時間占有できる「HA8000 クラスタシステム 512 ノードサービス」を公募型プロジェクトとして毎月実施し、大きな成果をあげた。更に平成 23 年度は学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の研究課題とも連携し、より共同研究プロジェクトとしての色彩を強めた、HA8000 クラスタシステム「512 ノード利用大規模 HPC 研究」として実施した。

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」を実施しており、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 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 2015 年度採択課題

第 1 期採択課題（平成 27 年 4 月～7 月実施）

採択課題なし

第 2 期採択課題（平成 27 年 8 月～11 月実施）

課題名	代表者名	所属
非巡回有向グラフの最適構造探索並列アルゴリズムの研究	玉田　嘉紀	東京大学 情報理工学研究科

第 3 期採択課題（平成 27 年 12 月～平成 28 年 3 月）

課題名	代表者名	所属
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	大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所
MPI-3 仕様に準拠した通信ライブラリ適用によるパイプライン通信削減型 hCGA 法による並列多重格子法ソルバーの最適化および性能評価	中島　研吾	東京大学 情報基盤センター

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予定である。

3.1　2015 年（前期）採択課題

2015 年（前期）は、FX10 スーパーコンピュータシステム、GPU クラスタ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
ポスト「京」100 ナノ電子状態計算むけの超並列行列ソルバー開発	井町 宏人	鳥取大学 工学研究科	FX10
ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの最適化に関する研究	大島 聡史	東京大学 情報基盤センター	GPU

3.2　2015 年（インターン）採択課題

2015 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
所得格差が子供の健康行動に与える影響についての３階層モデルによる推定	宮本 かりん	東京大学 医学系研究科	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 2015 年（後期）採択課題

2015 年（後期）は、FX10 スーパーコンピュータシステム、GPU クラスタ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
ポスト「京」100 ナノ電子状態計算むけの超並列行列ソルバー開発	井町 宏人	鳥取大学 工学研究科	FX10
ppOpen-AT を用いた OpenACC プログラムの最適化：全体最適化と指示文拡張に向けて	大島 聡史	東京大学 情報基盤センター	GPU

3.4 2015 年（グループコース）採択課題

2015 年（グループコース）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
粒子法を用いた複雑な表面を持つの大規模並列計算	桶作 愛嬉	東京大学 理学部	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、産業界における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、その利用が進んでいない。また、企業におけるスーパーコンピュータ（スパコン）導入の動きは必ずしも旺盛ではない。その理由として、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ような機会がないために、費用対効果を検討できないということもあげられる。さらに多くの現場では、計算シミュレーションの方法論が浸透していないということもあげられる。

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の企業への開放を拡大する方針を打ち出している。

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資源は、FX10 スーパーコンピュータシステム（平成 24 年 4 月から提供）の全資源の 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。企業利用では、FX10 スーパーコンピュータの 12 ノードを 1 単位とし、企業が必要なノード数を決定する。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ものである。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場合に、本支援を終了する。ASP 事業者においては、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 27 年度企業利用

平成 27 年 4 月利用開始の公募では、利用資格者審査の結果、3 社が採択された。また、平成 27 年度 10 月利用開始の公募は、提案企業がありませんでした。

平成 27 年度は、10 月および平成 28 年 4 月利用開始の 2 回の課題公募を実施した。平成 28 年 4 月利用開始の公募では、平成 27 年度からの継続となる 1 社の応募があり採択された。

（FX10 スーパーコンピュータシステム）

●平成 27 年度第一回公募（平成 27 年 4 月以降利用開始）
- ➢ 申請 3 件（内継続課題 3 社、ただし 2 社は新規課題として再審査の上で採択）
- ➢ 採択 3 件（内継続課題 3 社、ただし 2 社は新規課題として再審査の上で採択）
  - ✧ 富士通アドバンストテクノロジ株式会社
    - ● 「筐体レベル一括構造解析の技術開発」
  - ✧ 富士通研究所
    - ● 「高精度特性予測による新規デバイス材料開発」
  - ✧ 株式会社ブリヂストン
    - ● 「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 27 年度第二回公募（平成 27 年 10 月以降利用開始）
- ➢ 申請 0 件

●平成 28 年度第一回公募（平成 28 年 4 月以降利用開始）
- ➢ 申請 1 件 （内継続課題 1 社）
- ➢ 採択 1 件 （内継続課題 1 社）
  - ✧ 株式会社ブリヂストン
    - ● 「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」

1.4 平成 27 年度企業利用関連の教員との共同研究

企業利用の推進の一環として、センター教員との共同研究も行っている。センター教員との共同研究は、年間数件程度を予定しており、共同研究契約を締結することにより、スーパーコンピュータを利用することができる。

●平成 27 年度　教員との共同研究

✧ 新日鐵住金株式会社 （担当教員：片桐孝洋 准教授）
- 「非構造格子流体解析コードの大規模・高速化対応」

✧ 鹿島建設株式会社 （担当教員：片桐孝洋 准教授）
- 「OpenFOAM の行列解法の高速化および数値計算に関する研究」

以上

スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2015 年）

スーパーコンピューティングチーム

1 FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX, Oakbridge-FX）

2015 年 (2015 年 1 月～2015 年 12 月) における、FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX, Oakbridge-FX) の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

1.1 論文

【計算基盤】

1. Shigeki Akiyama, Kenjiro Taura: Uni-Address Threads: Scalable Thread Management for RDMA-based Work Stealing: Proceedings of the 24th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC'15), ACM, pp.15-26.

【ナノ・マイクロ科学】

2. T. Tsuru and D. C. Chrzan: Effect of Solute Atoms on Dislocation Motion: An Electronic Structure Perspective: Scientific Reports, Nature Publishing Group, in print.

【計算科学】

3. Takashi Ikeda, Shinichi Suzuki, Tsuyoshi Yaita: Characterization of Adsorbed Alkali Metal Ions in 2:1 Type Clay Minerals from First-Principles Metadynamics: The Journal of Physical Chemistry A, American Chemical Society, Vol.119, No.30, pp.8369-8375.

【物理学】

4. Masayuki Wakayama, Teiji Kunihiro, Shin Muroya, Atsushi Nakamura, Chiho Nonaka, Motoo Sekiguchi, and Hiroaki Wada: Lattice QCD study of four-quark components of the isosinglet scalar mesons: Significance of disconnected diagrams: Physical Review D, American Physical Society, Vol.91, 094508.
5. J. Terasaki: Many-body correaltions of QRPA in nuclear matrix elements of double-beta decay: AIP Conference Proceedings, American Institute of Physics, Vol.1686, 020025-1 -4.

1.2 口頭・ポスター発表

【計算基盤】

6. 入江 純, 村田 陸, 藤井 昭宏, 田中 輝雄, 片桐 孝洋: 自動チューニング基盤 ppOpen-AT 上での標本点逐次追加型複数パラメータ同時推定機能の実現: 第 148 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会: 情報処理学会研究報告 2015-HPC-148.
7. Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto: Towards Auto-tuning for the Finite Difference Method in Era of 200+ Thread Parallelisms: Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2015, Proceeding of ACSI2015.
8. Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning of Scientific Codes for Many-core Architectures in Era of Exaflops: 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT2015).
9. Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Towards Auto-tuning in the Era of 200+ Thread Parallelisms --- FIBER Framework and Minimizing Software Stack: SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15).
10. 大島聡史, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 中島研吾, 黒田久泰, 直野健, 猪貝光祥: 動的な並列実行機構を用いた SpMV 実装の性能評価: 情報処理学会 HPC 研究会 第 148 回 HPC 研究発表会: 情報処理学会 研究報告 HPC-148.
11. Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Optimization of Preconditioned Iterative Linear Solvers Using OpenMP/OpenACC on GPU and MIC: 2015 SIAM Conference on Computational Science and Engineering.

12. 大島聡史: Implementation of Sparse Matrix Solver on Modern Parallel Architectures: Sapporo Summer HPC Seminar 2015.
13. Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Implementation and Performance of ICCG solver on GPU using OpenACC: IWACOM-III (The 3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics).
14. Satoshi OHSHIMA, Masaharu MATSUMOTO, Takahiro KATAGIRI, Toshihiro HANAWA, Kengo NAKAJIMA: Comparing the Implementation and Performance of ICCG solver using OpenMP and OpenACC: HPC in Asia session at ISC'15.

【社会・安全システム科学】

15. 郭雨佳, 纐纈一起, 三宅弘恵: 長周期地震動に対する構造および震源起因の付加体効果: 日本地球惑星科学連合大会.
16. 郭雨佳, 纐纈一起, 三宅弘恵: 海域記録を用いた長周期地震動のための付加体速度構造モデルの検証: 日本地震学会秋季大会.

【計算科学】

17. 池田隆司: 第一原理分子動力学シミュレーションによる粘土鉱物の層間水の研究 II: 日本物理学会第 70 回年次大会: 日本物理学会講演概要集: 3337.

【物理学】

18. J. Terasaki: Effects of nuclear many-body correlation on neutrinoless double-beta decay in quasiparticle random-phase approximation: Symposium on quarks to universe in computational science (QUCS2015).
19. J. Terasaki: Proton-neutron pairing correlation in double-beta decay: 2nd international workshop & 12th RIBF discussion on neutronon-proton correlations.

【材料化学】

20. 田澤晴列, 島広志: 粗視化分子動力学法を用いたフィラー充填系ゴムの大変形シミュレーションに関する研究: 日本ゴム協会 2015 年年次大会.

【機械工学】

21. 谷口 達也, 中川 慎二, 上坂 博亨, 伊藤 宗康, 佐藤 弘規: たらい式水車の気液混相流解析（羽根枚数の影響について）: 日本機械学会北陸信越支部 第 52 期総会・講演会: 日本機械学会北陸信越支部第 52 期総会・講演会 予稿集: 1116.

【総合工学】

22. Adrean Webb: Progress on a 20-Year High-Resolution Wave Resource Assessment of Japan: International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting.
23. Adrean Webb: Update on a 20-Year High-Resolution Wave Resource Assessment of Japan: The Oceanographic Society of Japan: Fall Meeting.
24. Adrean Webb: The role of wave-current interactions in marine renewable energy near Japan: Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.
25. Adrean Webb: The role of wave-current interactions in marine renewable energy near Japan: International Workshop on Modeling the Ocean.
26. Adrean Webb: Progress on a 20-Year High-Resolution Wave Resource Assessment of Japan: The Oceanographic Society of Japan: Spring Meeting.
27. 前山伸也: 有限ベータ値プラズマにおける電子／イオン系乱流: 第 4 回 IFERC-CSC 研究会.
28. 前山伸也: 「京」を用いたマルチスケール核融合プラズマ乱流シミュレーション: 第 26 回 CCSE ワークショップ.

【生物科学】

29. Hisashi Ishida: Free-energy landscapes of the translocation of a substrate in four proteasome - activator complexes analyzed using molecular dynamics simulations: The 59th Annual Meeting of Biophysical Society.

1.3 著書

30. 岩下 武史, 片桐 孝洋, 高橋 大介: スパコンを知る：その基礎から最新の動向まで: 東京大学出版会.

1.4 受賞情報

31. Adrean Webb: The role of wave-current interactions in marine renewable energy near Japan: Best Presentation Award: Third Place, International Workshop on Modeling the Ocean.
32. Adrean Webb: Outstanding Young Scientist Award: First Place, International Workshop on Modeling the Ocean.

2 SR16000/M1 システム(Yayoi)

2015 年 (2015 年 1 月～2015 年 12 月) における、SR16000/M1 システム(Yayoi) 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

【物理学】

33. H. Nakada and T. Inakura: Effects of three-nucleon spin-orbit interaction on isotope shifts of Pb nuclei: Physical Review C, American Physical Society, 91, 2, 021302(R).
34. H. Nakada: Further evidence for three-nucleon spin-orbit interaction in isotope shifts of nuclei with magic proton numbers: Physical Review C, American Physical Society, 92, 4, 044307.
35. T. Inakura and H. Nakada: Constraining the slope parameter of the symmetry energy from nuclear structure: Physical Review C, American Physical Society, 92, 6, 064302.

【総合工学】

36. Yamashita, R. and Suzuki, K.: Full-Field Simulation for Sonic Boom Cutoff Phenomena: Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.58, No.6, pp.327-336.

2.2 口頭・ポスター発表

【総合工学】

37. Yamashita, R. and Suzuki, K.: Rise Time Prediction of Sonic Boom by Full-Field Simulation with Thermal Nonequilibrium: 33rd AIAA Applied Aerodynamics Conference, AIAA Paper, 2015-2583.

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 2015

柏キャンパスでは 10 月 23 日（金）、24 日（土）の 2 日間、「東京大学柏キャンパス一般公開 2015（輝く科学、柏から。）」が開催され、情報基盤センターでは恒例のスーパーコンピュータ「Oakleaf-FX」ガイドツアー、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」を行った。今年度は宇宙線研究所長梶田隆章教授のノーベル賞受賞も相まって、例年になく来場者数が多く、間近に見るスーパーコンピュータや 3 次元映像に興味、関心をもった子どもたちや学生が将来、世界的な研究者や技術者として活躍することに期待したい。開催 2 日間は好天にも恵まれ、スーパーコンピュータ見学者は 660 名（1 日目 194 名、2 日目 466 名）、うちガイドツアー参加者 272 名（1 日目 55 名、2 日目 217 名）、三次元可視化システム体験の参加者は 227 名（1 日目 49 名、2 日目 178 名）と例年を大幅に上回った。

スーパーコンピュータ「Oakleaf-FX」見学の様子
（説明員：中島教授、大島助教、塙特任准教授）

三次元可視化システム体験の様子（説明員：松本特任講師、片桐准教授）

2　来訪者の状況

平成 27 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 27 年度スーパーコンピュータ関連施設来訪者の概要

	来訪日	団体名	人数	来訪目的	見学内容
1	4月3日	文部科学省参事官（情報担当）、文部科学省職員	6	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakbridge-FX），Hitachi SR16000
2	4月7日	文部科学省参事官（情報担当）、文部科学省職員	6	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
3	5月15日	JSTさくらサイエンス高校生招聘特別プログラム	35(35)	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakbridge-FX），Hitachi SR16000
4	7月14日	大気海洋研究所デリー大学（インド）	4(2)	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
5	8月4日	福岡県立筑紫丘高等学校	19	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
6	8月23日	岡山学芸館清秀中学校・高等部	37	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
7	10月16日	大気海洋研究所（海中海底工学フォーラム参加者）	42	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
8	10月19日	トヨタ自動車株式会社	11	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
9	10月28日	インテル・アジアパシフィック・ジャパン・インフルエンサー・ソリューションズ・グループ（ＨＰＣ）	5	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）

10	12月7日	国際協力機構　沖縄国際センター（研修員ミャンマー）	19(15)	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakbridge-FX），Hitachi SR16000
11	12月9日	HPC Center, NIC,SJTU（上海交通大学）	8(8)	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakbridge-FX），Hitachi SR16000

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
	独立行政法人科学技術振興機構　国際科学技術共同研究推進事業（戦略的国際共同研究プログラム）研究主幹	26. 8. 1～28. 3.31
	日本学術会議　日本学術会議会員	26.10. 1～30. 9.30
	東京大学教養学部　非常勤講師	27. 4. 1～27. 8.31
	独立行政法人理化学研究所　客員主管研究員	27. 4. 1～28. 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	27. 4. 1～28. 3.31
	一般社団法人大学 ICT 推進協議会　大学 ICT 推進協議会研究員	27. 4. 1～28. 3.31
	東京大学情報システム本部　情報システム部戦略会議 ICT サービス統合化専門部会部会長	27. 4. 1～28. 3.31
	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
	公益財団法人りそな中小企業振興財団／株式会社日刊工業新聞社「中小企業優秀新技術・新製品賞」専門審査委員会委員	27. 9. 1～28. 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
	情報セキュリティ大学院大学　客員教授	27.10. 1～28. 3.31
田中　哲朗	東京大学教養学部　非常勤講師	27. 4. 1～27. 8.31
	東京大学情報システム本部　情報システム戦略会議 ICT インフラ整備専門部会会員	27. 4. 1～28. 3.31
	東京大学教養学部　非常勤講師	27. 9. 1～28. 3.31
品川　高廣	東京大学理学部　非常勤講師	27. 4. 1～27. 7.31
	東京大学教養学部　非常勤講師	27. 4. 1～27. 8.31
	東京大学工学部　非常勤講師	27. 9. 1～28. 3.31
関谷　貴之	東京大学情報システム本部　情報システム部戦略会議 ICT サービス統合化専門部会部会員	27. 4. 1～28. 3.31
	専修大学　非常勤講師	27. 4. 1～27. 9.17 27. 9.18～28. 3.31
	東京学芸大学　非常勤講師	27. 4. 7～27. 9.30
中川　裕志	東京大学工学部　非常勤講師	27. 4. 1～27. 8.31
	東京大学柏図書館　運営委員会委員	27. 4. 1～30. 3.31
	国立研究開発法人産業技術総合研究所　客員研究員	27. 8. 1～29. 3.31
	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	27. 8.20～28. 3.31
	株式会社 Faber & Technology　技術アドバイザー	27.12. 1～28.11.30
佐藤　一誠	独立行政法人科学技術振興機構　戦略的創造研究推進事業（さきがけ）「ビッグ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」の研究者	25.10. 1～29. 3.31

委員会委員等

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
工藤　知宏	東京大学情報システム本部　情報システム戦略会議 ICT インフラ整備専門部会会長	27. 4. 1～28. 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
	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	27. 9.28～28. 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	27.11. 1～28. 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
中山　雅哉	東京大学情報システム本部　情報システム戦略会議 ICT インフラ整備専門部会会員	27. 4. 1～28. 3.31
	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
	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	27. 9.28～28. 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
	東京大学文学部　非常勤講師	27. 4. 1～28. 3.31
	東京大学情報システム本部　情報システム戦略会議 ICT インフラ整備専門部会会員	27. 4. 1～28. 3.31
	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
関谷　勇司	一般社団法人電子情報通信学会　Communications Express 編集委員	23.12. 1～27.11.30
	一般社団法人電子情報通信学会　IEICE Communications Express 編集委員	24. 5.26～27. 5.31
	WIDE プロジェクト　ボードメンバー	26. 3.13～28. 3.31
	慶應義塾大学　SFC 研究所上席所員	27. 4. 1～28. 3.31
	東京大学理学部　非常勤講師	27. 9. 1～27.12.31
	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	27. 9.28～28. 3.31
	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
中村　文隆	法政大学　非常勤講師	27. 4. 1～27. 9.30
	法政大学　非常勤講師	27.10. 1～28. 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	25. 5.25～27. 5.24

	会	
	WIDE プロジェクト　ボードメンバー	26. 3.13～28. 3.31
	慶應義塾大学　SFC 研究所上席所員	27. 4. 1～28. 3.31
	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
	奈良先端科学技術大学院大学　副指導教員	27. 9.29～28. 3.31
宮本　大輔	一般社団法人電子情報通信学会　ネットワークソフトウェア研究会運営委員	25. 4. 1～27. 4.30
	一般社団法人電子情報通信学会　「ネットワークウェア技術とその応用」小特集編集委員会編集委員	26. 7.25～27. 4. 1
	独立行政法人情報通信研究機構　協力研究員	27. 4. 1～28. 3.31
	国際会議 DMC　プログラム委員	27. 7. 1～28. 3.31
	国際学会　AsiaJCIS2016　プログラム委員	27.10.29～28. 8. 5
	国際会議　Sec-VirtNet2016　プログラム委員	28. 2. 1～28. 2.29
田崎　　創	The Workshop on ns-3 (WNS3) 2015　Technical Program Committee Co-Chairs	26.12. 1～27. 5.15
	インターネットコンファレンス 2015 実行委員会　プログラム委員	27. 4. 1～28. 3.31
	一般社団法人電子情報通信学会　ネットワークシステム研究専門委員会専門委員	27. 6. 4～28. 3.31
中島　研吾	京都大学学術情報メディアセンター　京都大学学術情報メディアセンター全国共同利用運営委員会委員	26. 4. 1～28. 3.31
	東京大学物性研究所　物性研究所付属物質設計評価施設スーパーコンピュータ共同利用委員会委員	26. 4. 1～28. 3.31
	京都大学学術情報メディアセンター　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共同研究企画委員会委員	26. 4. 1～28. 3.31
	筑波大学計算科学研究センター　筑波大学計算科学研究センター共同研究委員会委員	26. 4. 1～28. 3.31
	東京大学キャンパス計画室　東京大学キャンパス計画室柏地区部会委員	26. 4. 1～28. 3.31
	一般社団法人日本計算工学会　理事	26. 5.20～28. 5.20
	東京大学大学院理学系研究科　非常勤講師	27. 4. 1～27. 9.30
	東京大学　柏キャンパス共同学術経営委員会委員	27. 4. 1～28. 3.31
	独立行政法人理化学研究所　客員主管研究員	27. 4. 1～28. 3.31
	一般社団法人日本応用数理学会　代表会員	27. 4. 1～28. 3.31
	東京大学物性研究所　次世代スーパーコンピュータ戦略プログラム分野２　計算物質科学イニシアティブ　スパコン連携小委員会委員	27. 4. 1～28. 3.31
	北海道大学情報基盤センター　共同利用・共同研究委員会委員	27. 4. 1～29. 3.31
	東京大学工学部　非常勤講師	27. 9. 1～28. 3.31
佐藤　周行	一般社団法人情報処理学会　SC 22/Fortran WG 小委員会委員	24. 4. 1～28. 3.31
	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専門委員	26. 6. 5～28. 6.30
	一般社団法人情報処理学会　論文誌ジャーナル『Applications and	26.10.17～27. 6.15

委員会委員等

	the Internet in Conjunction with Main Topics of COMPSAC 2014』特集号編集委員	
	国際会議 COMPSAC Symposium on Novel Applications and Technology Advances in Computing General Chair	26.11.14～27. 7. 5
	一般社団法人電子情報通信学会 Special Section on the Architectures, Protocols, and Applications for the Future Internet 編集員委員会編集委員	27. 3. 5～28. 1. 1
	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特集号編集委員会編集委員長	27. 4. 3～28. 8.15
	International Journal of Handheld Computer Research 編集委員	27. 4. 7～28. 3.31
	国際会議 CANDAR (International Symposium on Computing and Networking) トラックチェア	27. 4.23～28. 7.31
	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委員会委員	27. 7.13～28. 3.31
	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
	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･連携本部認証作業部会委員同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	27. 9.28～28. 3.31
	一般財団法人日本情報経済社会推進協会 平成 27 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検討委員会委員	27.10. 1～28. 3.31
	国際学会 IEEE 雑誌「IT Professional」編集委員	27.11.24～28.11.23
片桐 孝洋	独立行政法人理化学研究所 客員研究員	25. 4. 1～28. 3.31
	東京大学 柏キャンパス・リエゾン室室員	27. 4. 1～28. 3.31
	東京大学大学院工学系研究科 非常勤講師	27. 4. 1～28. 3.31
	一般社団法人日本応用数理学会 代表会員	27. 4. 1～28. 3.31
	東京工業大学学術国際情報センター 共同利用専門委員会委員	27. 4. 1～28. 3.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	27. 9. 1～28. 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	27. 6. 1～28. 3.31
塙 敏博	筑波大学計算科学研究センター 客員准教授	27. 4. 1～28. 3.31
大島 聡史	東京大学 柏キャンパス・アメニティ室室員	27. 4. 1～28. 3.31
	文部科学省 技術参与	27. 4. 1～28. 3.31
	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
佐藤 芳樹	東京大学大学院情報理工学系研究科 非常勤講師	27. 4. 1～28. 3.31
	一般社団法人情報処理学会 プログラミング研究運営委員会運営委員	27. 4. 1～28. 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.33
第7回		7/9-10	
・コンピュータ・ネットワーク利用セミナー			p.330
（第83回）「平成27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		1/19-21	

2. 情報メディア教育研究部門・情報メディア教育支援チームによるもの

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.288
本郷キャンパス	情報学環・福武ホール	4/1-8/12(平日), 8/20-12/26(平日),1/5-2/9, 2/15-3/31（平日）合計531回	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 16, 20, 22, 24, 30 5/8, 11, 15, 21, 27 6/5, 11, 19, 23, 7/3, 8, 17 ,8/3, 20, 9/1, 9, 15, 24, 30 10/6, 14, 20, 28, 11/4, 10, 18, 24, 12/2, 8, 16, 22 1/6, 14, 20, 28, 2/2, 10, 3/9, 24	
柏キャンパス	柏図書館	4/14(2回), 23(2回), 10/16(2回)	
出張講習会		4/1(2回), 4/2(2回), 4/3(2回), 4/8, 8/20, 9/7(2回), 10/1, 7, 8, 16	
・システム利用説明会			p.298
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/2, 3/17	
駒場キャンパス	情報教育棟	9/1, 3/16	
・相談員説明会			
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/8, 9/15	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/7, 9/15	

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	4/3、4/9、4/21、5/19、5/29、6/9、6/24、7/3、9/8、9/25、10/14、10/29、1/26、2/12、2/16	
RefWorks ミニ講座(昼休みor朝30分)	4/6、4/22、4/24、5/18、5/26、12/4、12/15	
はじめての本や論文の探し方(昼休み30分)	5/19、 5/29	
Google Scholar活用法	7/28	
RefWorks 講習会(文献管理ツールクローズアップDays)	10/1	
就活の味方「eol」ミニ講座（昼休み20分）	10/15、10/20、10/30、11/5、11/11、11/27	
国連情報の探し方入門	11/6	
論文投稿シミュレーション：JCRとRefWorksを使って	11/19、11/25	
比べる！検索ツール　どんな時にどれ使う？(昼休みor朝30分)	12/8、12/9	
卒業してからの文献検索・文献管理	1/14、1/19、3/11	
・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	7/16、8/7、10/21(中止)、11/13、3/17	
論文準備のための文献管理：PubMed&RefWorks	9/16	
論文投稿シミュレーション：JCRとRefWorksを使って	12/10、2/19	
・留学生向け情報探索ガイダンス		p.310
韓国語コース	5/27	
中国語コース	10/9(同日2回開催)	
・外部講師による講習会		p.310
LexisNexis Academicで海外のニュースやビジネス情報ををを検索するには？	6/3、10/8	
OECDの出版物や統計を探すには？OECD iLibrary講習会	6/5	
工学系のための論文準備ここからスタートEngineering Village/ScienceDirect/Mendeley講習会	6/3(工2号館)、6/4(総合図書館)、6/22(柏)、6/25(生産研)	
研究戦略：研究力の測り方、伸ばし方 ESI/InCites	7/1	
研究戦略：研究力の測り方、伸ばし方 SciVal/Pure	7/10	
SpringerMaterials講習会	9/24(柏)	
Endnote講習会　文献管理ツールクローズアップDays	10/1	
Mendeley講習会　文献管理ツールクローズアップDays	10/2(同日2回開催)	
SciFinderで化学分野の情報検索をするには？	10/6、10/9(柏)	
海外の法情報を検索するには？Lexis.com/ Lexis Asia	10/8	
WestlawNext講習会	11/12	
Mendeley講習会 in 駒場	11/25	
Mendeley講習会	2/24(同日2回開催)	
・秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会	7/24, 8/25	p.311
・出張・オーダーメイド講習会		p.311
オーダーメイド講習会 学際情報学府、文学部、理学部、医学系研究科、教養学部、医科学研究所、東大クイズ研究会、教育学研究科/教育学部、工学系研究科/工学部	4/7、4/10、4/24、4/27、4/28、4/30、5/8、5/12、5/13、5/19、5/28、6/5、6/12、6/23、9/24、9/29、10/13、11/10、12/3、3/10	

附属図書館・室等との共催講習会		
総合図書館、生産研図書室、先端研図書室、医学図書館、駒場図書館、理学部生物学科図書室、工学情報理工学図書館、大学院数理科学研究科図書室、柏図書館農学生命科学図書館、地震研図書室、経済学図書館、医科学研究所図書室、薬学図書館、	4/2、4/6、4/7、4/8、4/9、4/10、4/13、4/20、4/30、5/8、5/13、5/14、5/15、5/20、5/21、5/25、6/1、6/2、6/10、6/16、6/17、6/18、7/8、7/17、7/22、7/23、7/30、9/4、9/10、9/15、9/25、9/28、9/30、10/7、10/16、10/20、10/21、10/22、10/23、10/28、12/2、12/3、1/20、1/21	
・初年次ゼミナール		p.317
文科	4/14、4/15、4/16、4/17、4/20	
理科	4/21、4/22、4/23、4/24、4/27、4/28、4/30、5/1、5/7、5/11、5/19	
・セミナー		p.318
IOP論文投稿セミナー	6/29	
英語論文はこわくない 駒場ライターズスタジオ in本郷 特別出張講座	11/9、11/17	
英語論文執筆セミナー Strategy and Tips for Writing a High-quality Research Paper	12/7	
Scientific Data セミナー	3/8	
・ECCS新規利用者講習会福武追加プログラム	6/8、6/15、6/22、7/6、7/13、7/27、8/3、8/10、8/24、8/31、9/7、9/14、9/28、10/5、10/19、10/26、11/2、11/16、11/30、12/14、12/21、1/18、1/25、2/1	p.318
・テキスト協力	4/23、4/27、6/4、9/9、9/18、11/17、11/18、11/19、11/20、11/24、11/25、11/26、11/27、12/8、1/13、1/14、1/22、1/29、2/5、2/17	p.319

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13回	10/20	

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.363
第45回	5/18	
第46回	5/26-27	
第47回	6/17-18	
第48回	9/1-2	
第49回	9/7-8	
第50回	9/14	
第51回	10/22	
第52回	2/3-4	
第53回	3/7-8	
第54回	3/22-23	
・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.377
第20回	10/16	

第21回	12/2	
・その他		
2015 RIKEN AICS HPC Summer School	8/17-21	p.373
2016 RIKEN AICS HPC Spring School	3/8-10	p.373

報道関係一覧

スーパーコンピューティング部門

[報道 1] マイナビニュース 2015 年 12 月 30 日 SC15 - 日本の大学に見る論文発表と出展ブース

[報道 2] マイナビニュース 2016 年 1 月 20 日 - 2 月 1 日 【連載】ムーアの法則は終わるのか? - ポストムーアの時代を考える

東京大学情報基盤センター年報

2015 年度（第 17 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　　大島　聡史
編集委員　　品川　高廣、小川　剛史、五十嵐　亮、
松本　康男、中村　昇平、村上　晋司、井爪　健雄、宮嵜　洋、
落合　弘樹、清水　隆志、末永　幸加

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

2016 年 7 月発行

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO