年報 第 15 号

2013 年度

Annual Report No.15

2013

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 25 年度中の人事異動 …… 11
東京大学情報基盤センター運営委員会委員名簿 …… 14

予　算 …… 15

収入・支出 …… 15
外部資金 …… 15

補助金等 …… 17

平成 25 年度科学研究費助成事業採択状況 …… 17
平成 25 年度受託研究費受入状況 …… 20
平成 25 年度共同研究費受入状況 …… 21
平成 25 年度政府系委託費受入状況 …… 23
平成 25 年度政府系補助金受入状況 …… 24
平成 25 年度奨学寄附金受入状況 …… 24

PART2 センター活動報告 …… 25

学際情報科学研究体 …… 27

学際情報科学研究体概要 …… 29
学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 …… 31
HPCI（革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ） …… 42
PKI …… 44

その他 …… 47

最先端共同 HPC 基盤施設 …… 49
臺大理論科學研究中心（國立臺灣大學）との研究交流協定
覚書（Memorandum of Understanding）締結 …… 53

PART3 各研究部門 研究活動報告 …… 55

情報メディア教育研究部門 …… 57

情報メディア教育研究部門概要 …… 59

柴山 悦哉 …… 64
ソフトウェアの信頼性とセキュリティに関する研究
田中 哲朗 …… 70
ゲームプログラミングに関する研究
品川 高廣 …… 75
準パススルー型仮想マシンモニタ「BitVisor」の研究
関谷 貴之 …… 81
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
丸山 一貴 …… 87
教育用計算機システムにおける端末及びプリントサービスの利用範囲拡充

学術情報研究部門 …… 91

学術情報研究部門概要 …… 93
中川 裕志 …… 96
統計的機械学習とその応用
佐藤 一誠 …… 104
確率的潜在変数モデルの統計的機械学習に関する研究
–周辺化変分ベイズ法の大規模データへの適用–

ネットワーク研究部門 …… 111

ネットワーク研究部門概要 …… 113
若原 恭 …… 123
ネットワークの機能の高度化と設計・運用・保守・管理の合理化
中山 雅哉 …… 131
広域分散環境の高度基盤技術に関する研究
小川 剛史 …… 135
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 …… 142
SDN を効率的に利用したクラウドと IX の構築に関する研究
中村 文隆 …… 151
コンピューターサイエンス教育の充実と普及
妙中 雄三 …… 154
ブロードバンド無線環境実現にむけた基盤技術の研究
宮本 大輔 …… 162
サイバーセキュリティに関する研究
田崎 創 …… 168
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 …… 175

スーパーコンピューティング研究部門概要 …… 177
中島 研吾 …… 194
大規模並列シミュレーション手法に関する研究、教育
金田 康正 …… 204
スーパーコンピューターに基づく大規模数値計算に関する研究

佐藤 周行 …… 214
検証付き言語処理系とサービス体系におけるセキュリティ保証の研究 Optimization Verifying Compiler, Privilidge Design in Federation Service, and Trust Models in Security
片桐 孝洋 …… 222
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
田浦 健次朗 …… 230
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
大島 聡史 …… 240
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
實本 英之 …… 247
エクストリームスケール高性能計算を対象とした耐故障機能及び支援システム
Balazs Gerofi …… 253
Memory Management Issues on Many-core Processors at the Operating System Level
塙 敏博 …… 263
演算加速機構と通信機構との統合環境に関する研究
松本 正晴 …… 270
適合格子細分化法を用いたマルチスケールシミュレーションに関する研究

学際情報科学研究体 …… 277

伊藤 祥司 …… 279
線形方程式求解アルゴリズムに対する求解品質の改善
佐藤 芳樹 …… 285
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 …… 293

情報メディア教育 …… 295

情報メディア教育支援サービス概要 …… 297
教育用計算機システム運用報告 …… 299
学内組織向けメールサーバ（MAILHOSTING）運用報告 …… 305
WEB PARK サービス運用報告 …… 307
学内組織向け DNS ホスティング運用報告 …… 311
遠隔講義支援サービス運用報告 …… 312
LMS 運用報告 …… 314
部局負担による携帯端末接続環境運用報告 …… 322
その他のサービス運用報告 …… 324

学術情報 …… 327

学術情報概要 …… 329
デジタルコンテンツサービス …… 330
学術情報リテラシー支援 …… 332
図書館関係システム運用・管理 …… 345

ネットワーク …… 347

ネットワーク概要 …… 349

東京大学情報ネットワークシステム（UTnet3）の運用管理 …… 352
セキュリティ対応 …… 363
東京大学情報システム緊急対応チーム（UT-CERT）との連携 …… 366
学内ソフトウェアライセンス …… 368
ハウジングサービス …… 370

スーパーコンピューティング …… 371

スーパーコンピューティング概要 …… 373
スーパーコンピューティング業務 …… 376
講習会 …… 384
シンポジウム・研究会 …… 389
公募型研究プロジェクト …… 393
スーパーコンピュータの企業利用支援 …… 398
スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2013 年） …… 401
その他イベント …… 406

PART5 その他 …… 411

委員会委員等 …… 413
講習会・セミナー …… 417
報道関係一覧 …… 420

巻 頭 言

東京大学情報基盤センター長　中村　宏

2013 年度の東京大学情報基盤センター年報をお届けします。

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います。サービスの提供においては、本学の教育研究のための高度な情報基盤を提供するとともに、全国の研究者に対してもその情報基盤を共同利用・共同研究の形で提供します。研究・教育においては、第２のミッションであるサービス提供・実現の過程で新たな技術・知見を生み出すとともに、これからの情報基盤技術を担う人材を育成します。この研究・教育は、当センターの最先端情報基盤があってこそ可能となるものであり、上記２つのミッションは相互に深い関係を持ち相乗的な効果をあげることを目指しています。

2013 年度も、前任者の石川裕センター長のリーダーシップの下、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ますが、2013 年度に行われた中間評価において JHPCN は A 評価をいただくことができました。JHPCN はまた、文部科学省が推進し、当センターも計算資源を提供する 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)との連携を 2013 年度より始め、全国の研究者にさらに充実した計算資源と共同研究の機会を提供するようになりました。さらに、全く新しい試みとして、当センターは筑波大学計算科学研究センターと連携し、両センターの次期スーパーコンピュータシステムを設計、共同運営・管理するための組織として「最先端共同 HPC 基盤施設」を設置しその活動を開始しました。

海外との連携も進めており、当センターと國立臺灣大學理論科學研究中心 （Center for Advanced Study in Theoretical Sciences, National Taiwan University）は 2014 年 2 月 17 日にハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）及び計算科学・工学分野における基礎的，学術的な共同研究の促進を目的とした研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）を取り交わし、共同研究に着手しました。また、欧州 4 ヶ国と国内の大学・企業等計 9 組織と連携し、様々なサイバー攻撃の迅速な検知と防御及び制御の実現を目的として、プロジェクト NECOMA（Nippon-European Cyberdefense-Oriented Multilayer threat Analysis）を 2013 年 6 月に立ち上げ、共同研究を開始しました。

残念なこともありました。当センター特任講師の金子勇氏が 2013 年 7 月 6 日に永眠されました。2012 年 12 月にスーパーコンピューティング研究部門に着任され、これからという矢先のことであり、さぞかしご本人は無念であったであろうと思います。故人の遺志を継ぎ、さらなるアクティビティの活性化を図る所存です。

本年報が、我々のアクティビティの紹介を通し、新たな共同利用・共同研究につながることを期待しております。皆様からのご意見やご提案をお待ちしております。

最後に、本年報をまとめるにあたり、年報編集委員長の品川高廣先生をはじめとする年報編集委員の皆様に感謝申し上げます。

2014 年 5 月吉日

PART 1

概　況

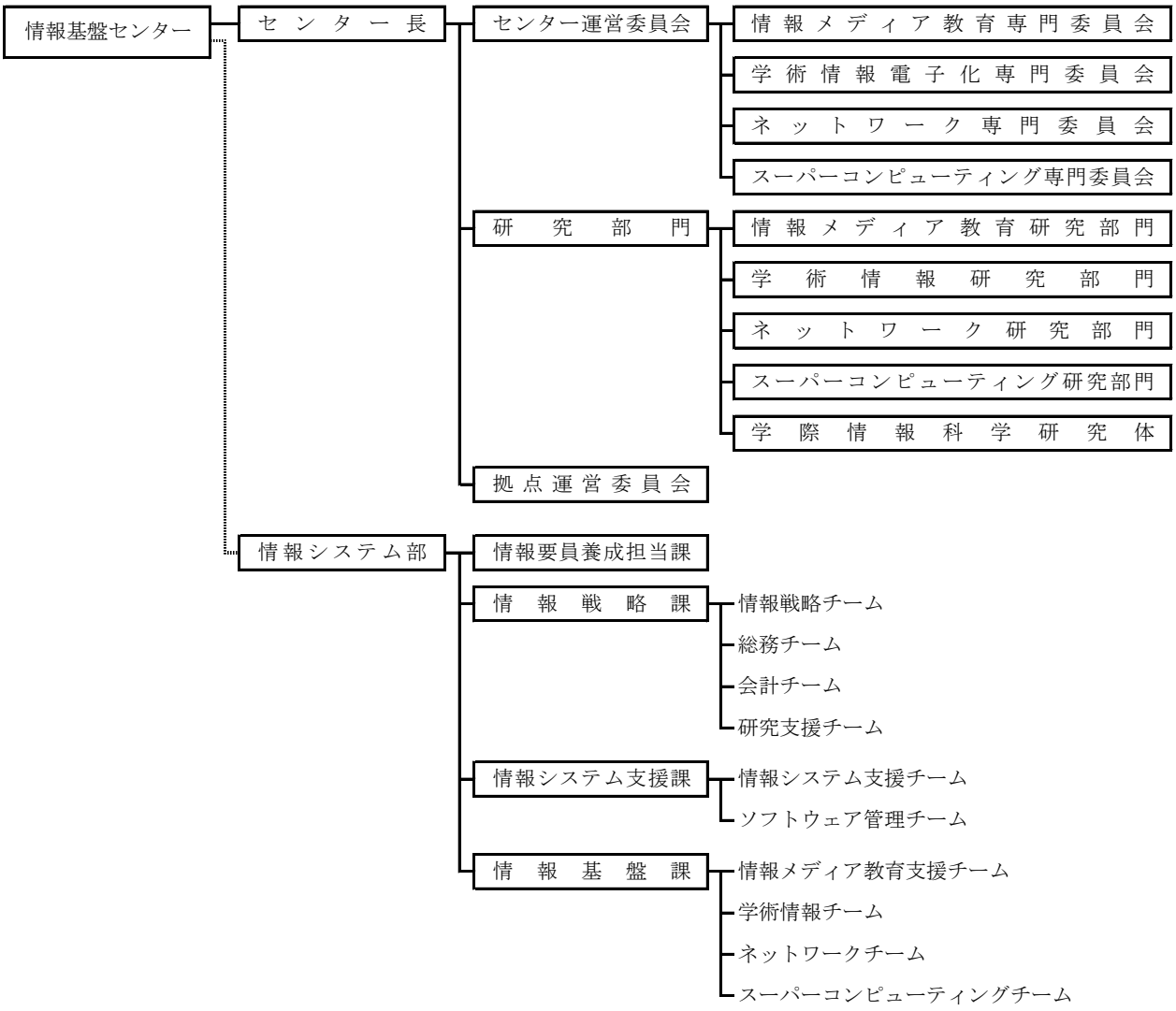
組　織

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　　H26.3.31

	専任	兼務	特任	合計
センター長		1		1
教授	5			5
准教授	7	1	1	9
講師			2	2
助教	7	1	2	10
研究員	1	8		9
事務補佐員	7		1	8
技術補佐員	7			7
合計	34	11	6	51

情報システム部　　H26.3.31

	専任	兼務	特任	合計
事務職員	31	1		32
技術職員	26		1	27
事務補佐員	8			8
技術補佐員	7			7
派遣職員	6			6
合計	78		1	80

教職員

平成 26 年 3 月 31 日現在

情報基盤センター長　　石　川　　裕
（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
客員研究員	丸　山　一　貴

学術情報研究部門

教　授	中　川　裕　志
助　教	佐　藤　一　誠
事務補佐員	吉　冨　美　樹
技術補佐員	牛　丸　太　希
技術補佐員	風　間　正　弘
技術補佐員	佐　野　敦　子

ネットワーク研究部門

教　授	若　原　　恭
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
臨時用務員	吉　澤　文　代

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	金　田　康　正
准教授	佐　藤　周　行
准教授	片　桐　孝　洋

准教授（兼務）	田　浦　健次朗
助　教	大　島　聡　史
助　教	實　本　英　之
助　教（兼務）	Gerofi Balazs
特任准教授	塙　　敏　博
特任講師	松　本　正　晴
客員研究員	黒　川　原　佳
客員研究員	堀　　敦　史
客員研究員	山　本　啓　二
協力研究員	大　野　善　之
協力研究員	亀　山　豊　久
協力研究員	島　田　明　男
協力研究員	畑　中　正　行
事務補佐員	亀　田　文美代
事務補佐員	高　橋　弘　美
事務補佐員	伊　東　雅　美
技術補佐員	思　　敏
技術補佐員	本　山　裕　一
技術補佐員	松　尾　勇　気

学際情報科学研究体

教　授（兼務）	柴　山　悦　哉
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
助　教（兼務）	佐　藤　一　誠
助　教（兼務）	妙　中　雄　三
助　教（兼務）	實　本　英　之
特任准教授	伊　藤　祥　司
特任講師	佐　藤　芳　樹
事務補佐員	福　島　たかね

情報システム部

部　長	井　戸　清　隆
情報要員養成担当課長	貴　志　武　一

情報戦略課

課　長	水　上　順　一

情報戦略チーム

係　長	阿　部　仁　志
係　長	松　村　　光
主　任	今　田　哲　也
事務補佐員	宮　村　美貴子

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
一般職員	中　田　幸　夫
事務補佐員	麦　谷　真　弓

会計チーム

専門員	風　間　　勉
主　査	渡　邉　　康
係　長	海　津　　聡
係　長	平　原　康　道
主　任	木　崎　信　一
主　任	岡　戸　彰　二
事務補佐員	池　田　由　香

研究支援チーム

副課長	新　井　　忠
専門職員	中　村　昇　平
係　長	金　子　伸　一
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

専門職員	清　野　一　男
係　長	佐　野　　徹
係　長	垂　水　美奈子
係　長	長谷川　　聖
一般職員	廣　本　和　哉
事務補佐員	島　田　知　子

ソフトウェア管理チーム

係　長	丹　下　藤　夫
係　長	中　山　仁　史

情報基盤課

課　長	早　野　裕　士

情報メディア教育支援チーム

専門職員	有　賀　　浩
係　長	松　岡　喜美代
係　長	前　田　光　教
係　長	伊　藤　真　之
係　長	石　崎　　勉
係　長	佐々木　　馨
主　任	安　部　達　巳
主　任	松　本　浩　一
主　任	岩　藤　健　弘
技術職員	秋　田　英　範
技術補佐員	加　藤　康　一
技術補佐員	宮　北　美　保
技術補佐員	柏　　芳　美
技術補佐員	竹　尾　朋　子
派遣職員	後　閑　直　子
派遣職員	五　味　由美子
派遣職員	高　谷　智　子
派遣職員	簔　輪　由　佳

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	成　澤　めぐみ
主　任	濱　田　智恵子
一般職員	松　原　　恵
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

係　長	井　爪　健　雄
係　長	下　田　哲　郎
主　任	小　薗　隆　弘
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	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	原　田　　浩
事務補佐員	高　橋　陽　子
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２５年度中の人事異動

情報基盤センター

（転入・昇任・配置換等）

25. 4. 1	松　本　正　晴	スーパーコンピューティング研究部門特任講師／新規採用 （任期　25.4.1～28.3.31）
25. 4. 1	佐　藤　一　誠	学際情報科学研究体助教（兼務）／学術情報研究部門
25. 4. 1	齊　藤　智　之	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規採用
25. 4. 1	岩　切　直　晃	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規採用
25. 6.10	堀　田　俊　樹	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規採用
25. 8. 1	田　崎　　創	ネットワーク研究部門特任講師／新規採用 （任期　25.8.1～28.3.31）
25. 9.17	松　尾　勇　気	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規採用
25.10. 1	佐　藤　芳　樹	学際情報科学研究体特任講師／新規採用 （任期　25.10.1～28.3.31）
25.10. 1	Gerofi Balazs	スーパーコンピューティング研究部門助教（兼務）
25.10. 1	柳　澤　孝　一	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規採用
25.11. 1	飯　村　卓　司	ネットワーク研究部門学術支援専門職員／新規採用
25.11. 1	思　　敏	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規採用
25.11.16	牛　丸　太　希	学術情報研究部門技術補佐員／新規採用
25.11.16	風　間　正　弘	学術情報研究部門技術補佐員／新規採用
25.12. 1	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／新規採用 （任期　25.12.1～30.11.30）
25.12. 1	岩　切　直　晃	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規採用
26. 1.16	佐　野　敦　子	学術情報研究部門技術補佐員／新規採用

（転出・退職等）

25. 4. 1	吉　田　　稔	学術情報研究部門助教／徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部講師へ
25. 4.26	思　　敏	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／辞職
25. 6.22	松　尾　勇　気	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／辞職
25. 7. 6	金　子　　勇	スーパーコンピューティング研究部門特任講師／退職
25. 8. 5	岩　切　直　晃	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／辞職
25. 8. 9	齊　藤　智　之	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／辞職
25. 9.10	堀　田　俊　樹	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／辞職
25.11.30	柳　澤　孝　一	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／辞職
26. 1.31	岩　切　直　晃	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／辞職
26. 3.31	吉　澤　文　代	ネットワーク研究部門臨時用務員／定年退職
26. 3.31	高　橋　弘　美	スーパーコンピューティング研究部門事務補佐員／退職
26. 3.31	思　　敏	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／退職

26. 3.31	本　山　裕　一	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／任期満了
26. 3.31	松　尾　勇　気	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／退職

情報システム部

（転入・昇任・配置換等）

25. 4. 1	藤　田　英　子	情報戦略課総務チーム主査／経済学研究科等事務部主査から
25. 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／情報システム支援課情報システム支援チーム係長から
25. 4. 1	金　子　伸　一	情報戦略課研究支援チーム係長／工学系・情報理工学系等事務部財務課経理チーム係長から
25. 4. 1	石　崎　　勉	情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長／情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長から
25. 4. 1	阿　部　仁　志	情報戦略課情報戦略チーム係長／農学系事務部総務課総務チーム係長から
25. 4. 1	田　川　善　教	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長／東京国立博物館学芸企画部博物館情報課情報管理室専門職員から
25. 4. 1	猿　田　明　奈	情報戦略課研究支援チーム／教育・学生支援部入試課入試企画・広報チームから
25. 4. 1	松　原　　恵	情報基盤課学術情報チーム／附属図書館総務課（文部科学省研修生）から
25. 4. 1	楳　原　衣　恵	情報基盤課学術情報チーム／教養学部等事務部図書課利用者サービス係から
25. 4. 1	長谷川　康　弘	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム技術補佐員／新規採用
25. 5. 1	西　川　恵　美	情報戦略課研究支援チーム事務補佐員／新規採用
25. 7. 1	清　水　隆　志	情報戦略課総務チーム係長／国立文化財機構 本部事務局総務企画課係長(総務・人事担当) (併)東京国立博物館総務部から
25. 7. 1	平　原　康　道	情報戦略課会計チーム係長／宇宙航空研究開発機構契約部相模原契約課主査(係長相当)から
25. 7. 1	佐々木　　馨	情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長／国文学研究資料館管理部学術情報課システム管理係長から
25.10. 1	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／情報基盤課スーパーコンピューティングチーム係長から
25.10. 1	中　山　仁　史	情報システム支援課ソフトウェア管理チーム係長／情報基盤課ネットワークチーム係長から
25.12. 1	井　上　　滋	情報基盤課ネットワークチーム技術補佐員／新規採用

（転出・退職等）

25. 4. 1	植　木　祐　輔	情報戦略課総務チーム専門員／情報学環・学際情報学府専門員へ
25. 4. 1	野　口　陽　生	情報戦略課情報戦略チーム専門職員／法学政治学研究科等専門員へ
25. 4. 1	坂　井　朱　美	情報基盤課情報メディア教育支援チーム主任／東京国立博物館学芸企画部博物館情報課情報管理室専門職員へ
25. 4. 1	高　橋　朝　一	情報戦略課研究支援チーム主任／教養学部等経理課研究支援室主任へ
25. 4. 1	田　口　忠　祐	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主任へ
25. 4. 1	胡　内　奈都子	情報基盤課学術情報チーム主任／附属図書館情報管理課資料契約係主任へ
25. 4. 1	諏　佐　賢　司	情報戦略課研究支援チーム／総合企画部評価分析課大学評価チームへ
25. 7. 1	後　藤　和　彦	情報戦略課総務チーム専門職員／統計数理研究所極地研・統数研統合事務部企画グループ(統数研担当)総務チームリーダー（専門員相当）へ
25. 7. 1	山　口　挙　史	情報戦略課会計チーム主任／国立青少年教育振興機構本部管理部財務課出納係長へ
25. 7. 1	友　西　　大	情報基盤課ネットワークチーム主任／日本学術振興会総務企画部企画情報課システム管理係長へ
25. 9.30	永　岡　陽　香	情報戦略課総務チーム主任／辞職
25.12.31	阿　部　　大	情報基盤課ネットワークチーム技術補佐員／任期満了
26. 3.31	池　田　由　香	情報戦略課会計チーム事務補佐員／辞職
26. 3.31	島　田　知　子	情報システム支援課情報システム支援チーム事務補佐員／任期満了

東京大学情報基盤センター運営委員会委員名簿
任期：平成２５年４月１日～平成２７年３月３１日

平成２５年４月１日

氏　　名	所　属・職　名	適　用
石　川　　裕	情報基盤センター長	規則第3条第1号
金　田　康　正	情報基盤センター・教授	規則第3条第2号
中　川　裕　志	情報基盤センター・教授	規則第3条第2号
若　原　　恭	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
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
近　山　　隆	大学院工学系研究科・教授	規則第3条第3号
佐　藤　隆　夫	大学院人文社会系研究科・教授	規則第3条第3号
星　野　真　弘	大学院理学系研究科・教授	規則第3条第3号
阿　部　　誠	大学院経済学研究科・教授	規則第3条第3号
山　口　和　紀	大学院総合文化研究科・教授	規則第3条第3号
山　口　　泰	大学院総合文化研究科・教授	規則第3条第3号
森　下　真　一	大学院新領域創成科学研究科・教授	規則第3条第3号
須　田　礼　仁	大学院情報理工学系研究科・教授	規則第3条第3号
中　村　　宏	大学院情報理工学系研究科・教授	規則第3条第3号
喜連川　　優	生産技術研究所・教授	規則第3条第3号
山　口　英　男	史料編纂所・教授	規則第3条第3号
古　田　元　夫	附属図書館長	規則第3条第4号

オブザーバー　相田　仁　総長補佐（大学院工学系研究科・教授）

予　算

収入・支出

平成25年度決算額

収入

区　　分	決算額（千円）
奨学寄附金収入	７，２７５
受託研究費等収入	５８７，０８２
自　己　収　入	４８０，７９４
計	１，０７５，１５１

支出

区　　分	決算額（千円）
人　　件　　費	６６７，０８０
物　　件　　費	３，３６１，３８８
計	４，０２８，４６８

外部資金

1)科学研究費補助金(平成25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	１，７００
学術情報研究部門	３	４，２００
ネットワーク研究部門	４	３，０３０
スーパーコンピューティング研究部門	８	１０，５００
学際情報科学研究体	１	１，６００
計	１８	２１，０３０

2)受託研究(平成25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	７８０
学術情報研究部門	１	３，３８０
ネットワーク研究部門	１	５，９００
スーパーコンピューティング研究部門	２	５１，０７７
計	５	６１，１３７

3)共同研究(平成25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	5	７３５
ネットワーク研究部門	3	１，５００
スーパーコンピューティング研究部門	7	２，８７０
計	１５	５，１０５

4)政府系委託費(平成25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	６，１１０
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門	2	５６，８２７
スーパーコンピューティング研究部門	2	４２０，８５２
計	5	４８３，７８９

5)政府系補助金(科学研究費補助金を除く。)(平成25年度)

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門		
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門		
スーパーコンピューティング研究部門	1	１６，０２１
計	1	１６，０２１

6)奨学寄附金(平成25年度)

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門		
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門		
スーパーコンピューティング研究部門	1	７，２７５
計	1	７，２７５

補助金等

平成２５年度　科学研究費助成事業採択状況

研究代表者　准教授　片桐　孝洋
研究種目　基盤研究（B)【一部基金】
研究期間　平成 24～26 年度
研究課題　実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化
研究費　4,100,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　准教授　品川　高廣
研究種目　基盤研究（C)【基金】
研究期間　平成 24～26 年度
研究課題　準パススルー型仮想マシンモニタの研究
研究費　1,300,000 円（平成 25 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 23～25 年度
研究課題　ＤＮＳＳＥＣに対応した広域分散ＤＮＳサービス環境シミュレータの設計と実装
研究費　800,000 円（平成 25 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　1,300,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　助教　妙中　雄三
研究種目　基盤研究（C)【基金】
研究期間　平成 24～26 年度
研究課題　端末密集による無線ＬＡＮ品質低下の改善に関する研究
研究費　900,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　教授　金田　康正
研究種目　基盤研究（C）【基金】
研究期間　平成 24～26 年度
研究課題　科学技術計算に有用な超高速 4 倍長演算に関する研究
研究費　1,100,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　准教授　佐藤　周行
研究種目　基盤研究（C）【基金】
研究期間　平成 23～25 年度
研究課題　認証・権限情報を制御可能なワークフロー特定ドメイン言語システムの研究
研究費　800,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　特任准教授　伊藤　祥司
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　大規模線形方程式の数値解析のための合理的な前処理技法の研究
研究費　1,600,000 円（平成 25 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 24～25 年度
研究課題　相関を持つデータベースに対する差分プライバシーに関する研究
研究費　1,500,000 円（平成 25 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 25～26 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　400,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　助教　佐藤　一誠
研究種目　若手研究（B）【基金】
研究期間　平成 24～25 年度
研究課題　確率的潜在変数モデルを用いた分散学習と統合に関する研究
研究費　1,700,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　助教　大島　聡史
研究種目　若手研究（B）【基金】
研究期間　平成 24～25 年度
研究課題　ＧＰＵプログラム最適化のための指示分を用いた自動チューニング機構の開発
研究費　1,300,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　特任講師　松本　正晴
研究種目　若手研究（B）【基金】
研究期間　平成 25～26 年度
研究課題　磁気プラズマセイル評価に向けたマルチスケール対応プラズマシミュレーション
研究費　400,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　日本学術振興会特別研究員　大岩　秀和
研究種目　特別研究員奨励費
研究期間　平成 24～26 年度
研究課題　ノイズを含むストリームデータ環境における省メモリかつ高速なオンライン学習（受入研究者：中川裕志）
研究費　1,000,000 円（平成 25 年度）

研究分担者　助教　實本　英之
（研究代表者：東京工業大学・松岡聡教授）
研究種目　基盤研究（S）
研究期間　平成 23～25 年度
研究課題　１０億並列・エクサスケールスーパーコンピュータの耐故障性基盤
（分担事項等：エクサスケールシステム障害復旧機構）
研究費　500,000 円（平成 25 年度）

研究分担者　准教授　佐藤　周行
（研究代表者：情報理工学系研究科・須田礼二教授）
研究種目　基盤研究（A）
研究期間　平成 23～25 年度
研究課題　汎用自動チューニング機構を実現するためのソフトウェア基盤の研究
（分担事項等：プログラミング領域、特にアルゴリズム変種）
研究費　900,000 円（平成 25 年度）

研究分担者　　准教授　佐藤　周行
（研究代表者：法政大学・金井敦教授）
研究種目　　基盤研究（B）
研究期間　　平成 24～26 年度
研究課題　　ハイブリッドクラウドにおける動的セキュリティ検知・調停制御技術の研究開発及び構築（分担事項等：セキュリティ検知・可視化・ポリシ調停）
研究費　　1,400,000 円（平成 25 年度）

研究分担者　　准教授　中山　雅哉
（研究代表者：大学院新領域創成科学研究科・斉藤馨教授）
研究種目　　基盤研究（C）
研究期間　　平成 23～25 年度
研究課題　　インターネット森林観察サイトの構築と運用試験
（分担事項等：ライブモニタリングシステムのネットワーク運用の検討）
研究費　　30,000 円（平成 25 年度）

平成２５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　　（独）科学技術振興機構
研究期間　　平成 25～27 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イ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　　780,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　　助教　佐藤　一誠
相手機関名　　（独）科学技術振興機構
研究期間　　平成 25～27 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　　3,380,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　　准教授　関谷　勇司
相手機関名　　（独）情報通信研究機構
研究期間　　平成 24～25 年度
研究課題　　論理的管理仮想化ルータ群の連携機構の実装方法に関する研究開発
研究費　　5,900,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　　教授　中島　研吾
相手機関名　　（独）科学技術振興機構
研究期間　　平成 24～26 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　　47,567,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　　教授　中島　研吾
相手機関名　　（独）科学技術振興機構
研究期間　　平成 24～25 年度
研究課題　　ポストペタスケールコンピューティングのためのヘテロジニアス環境向けアプリケーション開発基盤
研究費　　3,510,000 円（平成 25 年度）

平成２５年度　共同研究費受入状況

研究代表者　　教授　中川　裕志
相手機関名　　日本電気（株）
研究期間　　平成 25 年度
研究課題　　属性自動最適化技術の改良
研究費　　735,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　　教授　中川　裕志
相手機関名　　（株）ネクスト
研究期間　　平成 25 年度
研究課題　　地域密着型メディアにおける情報レコメンデーション
研究費　　0 円（平成 25 年度）

研究代表者　　教授　中川　裕志
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 25 年度
研究課題　　コンテクストを表現する画像特徴量の自動獲得
研究費　　0 円（平成 25 年度）

研究代表者　　教授　中川　裕志
相手機関名　　（株）リクルートキャリア
研究期間　　平成 25 年度
研究課題　　応募・採用活動における情報提供の最適化
研究費　　0 円（平成 25 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 25 年度
研究課題　関係データ解析のための CVB に基づく統計的機械学習技術の研究
研究費　0 円（平成 25 年度）

研究代表者　准教授　中山　雅哉
相手機関名　（独）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 25 年度）

研究代表者　准教授　関谷　勇司
相手機関名　（株）デジタルハーツ
研究期間　平成 25 年度
研究課題　Web サイトへの攻撃防御手法に関する手続き的知識の体系化
研究費　750,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　助教　宮本　大輔
相手機関名　（株）デジタルハーツ
研究期間　平成 25 年度
研究課題　Web サイトへの攻撃防御手法に関する手続き的知識の体系化
研究費　750,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　教授　石川　裕
相手機関名　富士通（株）
研究期間　平成 24～25 年度
研究課題　将来の HPCI システムに関する調査研究のための性能分析と検討
研究費　0 円（平成 25 年度）

研究代表者　教授　石川　裕
相手機関名　（株）日立製作所
研究期間　平成 24～25 年度
研究課題　将来の HPCI システムに関する調査
研究費　0 円（平成 25 年度）

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　(独)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 25 年度）

研究代表者　　教授　中島　研吾
相手機関名　　（独）国立環境研究所地球環境研究センター
研究期間　　平成 25 年度
研究課題　　大量ジョブの効率的な処理方式に関する研究
研究費　　1,600,000 円（平成 25 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 24～26 年度
研究課題　　実行時自動チューニングの研究
研究費　　0 円（平成 25 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 25 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　　500,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　　特任准教授　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 25 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　　770,000 円（平成 25 年度）

平成２５年度　政府系委託費受入状況

研究代表者　　准教授　品川　高廣
相手機関名　　総務省
研究期間　　平成 25 年度
研究課題　　広域分散ベアメタル・クラウド環境のためのハイパーバイザの開発
研究費　　6,110,000 円（平成 25 年度）

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 25～26 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　　54,031,900 円（平成 25 年度）

研究代表者　助教　妙中　雄三
相手機関名　総務省
研究期間　平成 25 年度
研究課題　無線メッシュネットワークのバックボーン帯域向上のためのチャネル多重化及び有効利用技術の研究開発
研究費　2,795,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　教授　石川　裕
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　335,300,000 円（平成 25 年度）

研究代表者　教授　石川　裕
相手機関名　文部科学省
研究期間　平成 24～25 年度
研究課題　レイテンシコアの高度化・高効率化による将来のＨＰＣＩシステムに関する調査研究
研究費　85,551,990 円（平成 25 年度）

平成２５年度　政府系補助金受入状況

研究代表者　教授　石川　裕
相手機関名　文部科学省
研究期間　平成 25 年度
研究課題　研究力強化実現構想
研究費　16,021,050 円（平成 25 年度）

平成２５年度　奨学寄附金受入状況

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　インテル
研究期間　平成 25～27 年度
研究課題　ＵＴベンチマークの最適化
研究費　7,275,100 円（平成 25 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）

PKI

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
- PKI の運用・普及

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准教授および特任講師各 1 名と各研究部門を本務とする教員 9 名であった。

柴山悦哉 (研究体長)	教授 (兼務; 情報メディア教育研究部門)
中島研吾 (副研究体長)	教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
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)
伊藤祥司	特任准教授
佐藤芳樹	特任講師
佐藤一誠	助教 (兼務; 学術情報研究部門)
實本英之	助教 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)
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 44 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、今年度から、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) との連携を始め、44 件の採択課題のうち 31 件は HPCI の課題としても採択されている。

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。また、HPCI の運営に必要となる利用者支援システムなどを整備し、実際の運営も行なった。

PKI: CSI UPKI プロジェクトの「オープンドメイン証明書発行実験」に参加し、従来から行っていたサーバ証明書の発行を継続した。また、無線 LAN ローミングサービス eduroam のテスト運用などにも参加した。

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点

伊藤 祥司　　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。

これまでに認定された拠点数は、単独型拠点 85、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、および超大規模情報システム関連研究分野における技術や知見は、科学技術の飛躍的発展に不可欠であり、我が国の持続的繁栄を支える基盤となる。8 大学の施設から構成されるネットワーク型の拠点では、大規模計算資源を集中的に連携させ、かつ運営委員会を通して、これらの分野の共同利用・共同研究を戦略的に遂行していく。

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

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

日本計算工学会、 日本応用数理学会、 情報処理学会、 電子情報通信学会、

人工知能学会、　言語処理学会、 分子科学会

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

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

ただし、上記は当拠点申請時のコミュニティであったが、当拠点採択後に起きた事業仕分けにより、次世代スーパーコンピュータ開発の位置付けの変更を余儀なくされ、革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（HPCI）や HPCI コンソーシアムが発足した。現状としては、上記のコミュニティのほとんどが HPCI システム構成機関や HPCI コンソーシアム会員となっており、当拠点の活動内容からも、現在の主な研究者コミュニティとはこれら HPCI 系のコミュニティであると捉えている。また、HPCI 系ではない機関であっても、当拠点運営委員、課題審査委員、各構成拠点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 25 年度公募型共同研究の活動内容

平成 25 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。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）こととした。

3.1　主なスケジュール

平成 24 年 11 月 2 日	平成 25 年度拠点共同研究の日程を掲載
平成 24 年 12 月 14 日	平成 25 年度拠点共同研究の募集要項を公開
平成 25 年 12 月 10 日	課題応募受付開始
平成 25 年 1 月 8 日	課題応募受付締切
平成 25 年 3 月 15 日	採否通知
平成 25 年 4 月 1 日	共同研究開始

平成 25 年 7 月 11、12 日　　第 5 回シンポジウム
平成 26 年 3 月 31 日　　共同研究終了
平成 26 年 5 月 12 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 55 件であった。課題審査委員による審査を経て、下表の 44 課題（72 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
* 粉体解析アルゴリズムの並列化に関する研究	片桐孝洋（東京大学）	数	東大
* 鉄鋼材料におけるミクロ組織形成マルチフェーズフィールドシミュレーションの大規模 GPU 計算技術の構築	山中晃徳（東京農工大学）	数	東工大
* 次世代ペタスケール CFD のアルゴリズム研究	佐々木大輔（金沢工業大学）	数情	東北大，名大
* 第一原理プラズマ運動論シミュレーションによるスケール間結合の研究	梅田隆行（名古屋大学）	数	名大，九大
* さまざまなアーキテクチャからなる計算機システムの性能評価と最適化	深沢圭一郎（九州大学）	数情	北大，東北大，東大，東工大，名大，京大，阪大，九大
* GPGPU による地震ハザード評価	青井　真（防災科学技術研究所）	数	東工大
* 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
* 雲マイクロ物理過程と乱流混合輸送との相互作用	後藤俊幸（名古屋工業大学）	数	名大
* 超大規模超並列電子状態計算を中核とした物理・数理・HPC の融合研究	星　健夫（鳥取大学）	数	東大
* 構造物の劣化のモデル化とメンテナンス技術の向上に資する大規模数値解析	中畑和之（愛媛大学）	数	京大
* 大規模フェーズフィールド計算による高精度凝固組織予測システムの構築	高木知弘（京都工芸繊維大学）	数	東工大
* 内点法アルゴリズムの並列計算による超大規模半正定値計画問題の解決	藤澤克樹（中央大学）	数	東工大
* 超並列計算による経済・社会現象のビッグデータ解析	大西立顕（東京大学）	デ	東大
* 球座標系 2.5 次元差分法による地球・火星・月の全球地震波伝播モデリング	豊国源知（東北大学）	数	東北大
* 広域分散ファイルシステムに基づく「ビッグテーブル」型の超大規模データ処理系の構築と機能および性能評価	東田　学（大阪大学）	デネ情	北大，東大，東工大，阪大，九大
* 首都圏における大気乱流の超高解像度・広域数値計算	神田　学（東京工業大学）	数	東工大

＊複数 GPU を用いた格子ボルツマン法による大規模流体・構造連成解析 −卓球競技におけるﾋﾟﾝﾎﾟﾝ玉の軌道の解析−	小野寺直幸 (東京工業大学)	数	東工大
＊巨大地震発生サイクルシミュレーションの高度化	平原和朗 (京都大学)	数	東大，京大
＊超並列宇宙プラズマ粒子シミュレーションの研究	臼井英之 (神戸大学)	数	京大，九大
＊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)	数	東大
＊壁乱流の大規模組織構造の解明がもたらすエネルギー高効率化への貢献	辻　義之 (名古屋大学)	数情	名大
＊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
＊階層分割型数値計算フレームワークを用いた波源から地上構造物までの実地形津波解析	室谷浩平 (東京大学)	数	名大，九大
＊学際大規模共同利用環境を想定したクラウド基盤ミドルウェアの運用性向上に関する研究	杉木章義 (筑波大学)	情	東大
＊地殻変動連続データを用いたスロースリップイベント高精度自動検出アルゴリズムの研究	木村武志 (防災科学技術研究所)	デ	九大
＊フィラー充填系高分子材料の粗視化分子動力学解析の HPC 活用研究	森田裕史 (産業技術総合研究所)	数	北大，東大，東工大，名大
＊輻射流体シミュレーションコードの高速化手法に関する研究	長友英夫 (大阪大学)	数	阪大
＊OpenACC を用いた大規模流体アプリケーションの高速化	松岡　聡 (東京工業大学)	情	東工大
＊災害影響評価のための大規模マルチフィジックス・シミュレータの性能・機能強化	田上大助 (九州大学)	数	名大，九大
＊生体酵素における特異的反応機構の理論的解明	庄司光男 (筑波大学)	数	東大
＊確率的潜在変数モデルの大規模学習アルゴリズム開発	佐藤一誠 (東京大学)	デ	東大
クラウド援用 CAE スキル継承システムに関する研究	奥田洋司 (東京大学)	情	北大，東大
大規模計算機空気冷却風速場の高解像度解析と適応的クラウドロボット技術による実効的な計測融合オペレーション	東田　学 (大阪大学)	数デ	東北大，阪大，九大
次世代スーパーコンピュータ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
核融合炉先進ブランケットデザイン条件における高精度 MHD 熱伝達データベースの構築と乱流モデリング	山本義暢 (山梨大学)	数	東北大
防災・環境のための大規模流体シミュレーションとその可視化	樫山和男 (中央大学)	数	京大
天体活動現象の輻射磁気流体シミュレーション	松元亮治 (千葉大学)	数	東大
大規模シミュレーションによるメタマテリアルを用いたプラズモンポラリトン技術の開発とその応用に関する研究	有馬卓司 (東京農工大学)	数	東北大
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
機能性界面の大規模第一原理計算手法の開発と応用	森川良忠 (大阪大学)	数	東北大

沈み込み帯の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
機械工学分野におけるシミュレーション科学の新展開	滝沢寛之（東北大学）	数	東北大
放射線治療に関する計算機統計学的アプローチ	水田正弘（北海道大学）	デ	北大
分散クラウドシステムにおける遠隔連携技術	棟朝雅晴（北海道大学）	情	北大，東大，東工大，阪大，九大

3.3 拠点シンポジウム

平成 25 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 5 回シンポジウム
開催日時： 平成 25 年 7 月 11 日(木)、12 日(金)
開催場所： THE GRAND HALL(品川)
主な内容： 平成 24 年度採択課題の最終審査（口頭発表 35 件）
平成 25 年度採択課題の研究紹介（ポスター発表 44 件）
参加者数： 193 名（大学 120 名、独法等研究機関 27 名、企業他 46 名）
案内 URL： http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/sympo/5th/

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。

4.1 運営委員会

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。

第 11 回 平成 25 年 7 月 11 日（於：品川 THE GRAND HALL）
主な議題：
1. 平成 24 年度予算決算について
2. 平成 25 年度予算について
3. 平成 26 年度概算要求について
4. 募集要項・課題申込書の見直しについて
5. 拠点の自己点検評価と外部評価について
6. 複数拠点型共同研究課題について
7. 中間評価について
8. HPCI の現況について
9. 計算資源運用方法および利用負担金請求方法等について

第 12 回 平成 25 年 11 月 29 日（於：福岡 リーセントホテル）

主な議題:
1. 平成 26 年度運営委員会・共同研究課題審査委員会の体制について
2. 中間評価について
3. 自己点検について
4. 平成 26 年度共同研究の公募について
5. 研究成果に対する支援について
6. 計算機資源利用について

第 13 回 平成 26 年 2 月 7 日(於:東大センター)
主な議題:
1. 平成 26 年度公募型共同研究の採択について
2. 平成 26 年度運営委員会・共同研究課題審査委員会の体制について
3. 平成 25 年度公募型共同研究成果報告書について
4. HPCI-JHPCN 計算機資源の利用について
5. 構成拠点主催研究会の支援について
6. 研究課題に対する支援について
7. 第 1 回ネットワーク型学際研究シンポジウム
8. 第 6 回拠点シンポジウム

4.2 課題審査委員会

第 8 回 平成 25 年 7 月 12 日(於:品川 THE GRAND HALL)
主な議題:
1. 平成 24 年度実施課題の最終評価について
2. 募集要項・課題申込書の見直しについて
3. 研究課題に対する支援について
4. 課題採択後の共同研究者の削除と追加等について

第 9 回 平成 26 年 2 月 7 日(於:東大センター)
主な議題:
1. 平成 26 年度公募型共同研究課題審査について
2. 平成 26 年度の課題審査委員会体制について
3. 中間審査の見直しについて
4. 平成 25 年度公募型共同研究成果報告書について
5. 構成拠点主催研究会の支援について
6. 研究課題に対する支援について
7. 第 1 回ネットワーク型学際研究シンポジウム
8. 第 6 回拠点シンポジウム

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 26 年度共同研究募集要項、課題申込書の改訂
2) 平成 26 年度共同研究 応募課題審査要領の改訂
3) 各種審査の報告書フォーマット作成、中間審査評価シート作成、審査要領作成
4) 共同研究課題の実施要領作成(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　文部科学省による中間評価

5.1　中間評価の目的と評価の観点

1)　中間評価の目的

『拠点は、研究者コミュニティの意向を踏まえ、我が国全体の学術の振興に特に資するものについて、科学技術・学術審議会研究環境基盤部会における審議を経て、学校教育法施行規則（第143条の3）に基づき文部科学大臣が認定するものであり、国の学術政策として国が一定の関与を行っていくことが求められている。

このため、各拠点の成果や各拠点において研究者コミュニティの意向を踏まえた取組が適切に行われているかなどを確認し、当該拠点の目的が十分達成されるよう適切な助言を行うことで、共同利用・共同研究拠点認定制度の創設目的である、学術研究の基盤強化と新たな学術研究の展開に資することを目的として中間評価を実施する。』（科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会、共同利用・共同研究拠点に関する作業部会による「共同利用・共同研究拠点の中間評価要項」平成 24 年 12 月 14 日から抜粋）

2)　評価の観点

ここでは，上記の中間評価要項に記載されている評価の観点から大項目（〇囲み数字）と各々の中項目（〇の項目）までを抜粋する。

①拠点としての適格性
- 〇研究実績、研究水準、研究環境等に照らし、当該拠点の目的たる研究の分野における中核的な研究施設であると認められるか。
- 〇共同利用・共同研究に必要な施設、設備及び資料等を備えているか。
- 〇共同利用・共同研究に参加する関連研究者に対し、施設の利用に関する技術的支援、必要な情報の提供その他の支援を行うための必要な体制が整備されているか。

②拠点としての活動状況
- 〇全国の関連研究者に対し、共同利用・共同研究への参加の方法、利用可能な施設、設備及び資料等の状況、申請施設における研究の成果その他の共同利用・共同研究への参加に関する情報の提供が広く行われているか。
- 〇多数の関連研究者の参加促進・関係分野への働きかけや大型プロジェクトの企画運営など、関連分野の発展への取組が行われているか。
- 〇拠点の運営に当たり、広く外部の意見を取り入れているか、または、取り入れることできる仕組みとなっているか。
- 〇共同利用・共同研究に多数の関連研究者が参加しているか。
- 〇共同利用・共同研究の課題等の採択に当たり、公平な審査が可能な仕組みが整備されているか。

③拠点における研究活動の成果
- 〇共同利用・共同研究を通じて優れた研究成果が生み出されているか。
- 〇研究活動の成果が地域社会や広く国際社会に対しても貢献できているか。

④関連研究分野及び関連研究者コミュニティの発展への貢献
- 〇関連研究分野や関連研究者コミュニティの発展に貢献できているか。

5.2　中間評価に関するスケジュール

中間評価に向けての事前準備は、実質的には前年度に開催した外部評価の準備から始まっており、平成 24 年 7 月に準備開始し平成 25 年 2 月 13 日に外部評価を実施した。その準備期間には全構成拠点による会合を 4 回開催した[外部評価の実施に関する概要は 2012 年度年報参照]。

外部評価の調書自体が文部科学省中間評価調書案に基づいた様式（第 1 回：平成 24 年 3 月～第 4 回：平成 24 年 10 月にわたる文科省作業部会で作成された中の、第 3 回：平成 24 年 6 月の版を当拠点向けにマイナー修正して使用）であり、平成 22～24 年度の活動状況と実施課題に関する調査結果をまとめた。外部評価の調書は構成拠点ごとに作成し中核拠点が取りまとめ、さらに諸項目において総括する方式で実施し、中間評価調書でもその方式であった。ただし、平成 24 年度実施課題については、外部評価向けの調査段階では年度の途中であったため、年度末（共同研究期間終了のタイミング）にあらためて研究業績の追加調査を行った。

以上の方針と要領の下、実際のスケジュールは下記のとおりであったが、7 月の文科省ヒアリングの直前（7 月 12 日）に、8 構成拠点長と中間拠点関係者による打ち合わせを行った。

平成 24 年 12 月 27 日　文部科学省 研究振興局 学術機関課から依頼
「共同利用・共同研究拠点の中間評価用調書の作成について」

平成 25 年 1 月 15 日　文部科学省 研究振興局 学術機関課 主催
「共同利用・共同研究拠点の中間評価に関する事務担当者向け説明会」

平成 25 年 5 月 17 日　中間評価調書（総括調書＋8 構成拠点調書）を文部科学省へ提出

平成 25 年 7 月 29 日　文部科学省にてヒアリング（30 分間の質疑応答）

平成 25 年 8 月 27 日　中間評価結果通知・公開

5.3　中間評価結果

ネットワーク型拠点の場合、提出調書は総括調書の他に 8 構成拠点の調書であったが、評価結果自体は 1 拠点としての扱いであり構成拠点ごとの個別評価は無い。
中間評価に関する専門委員会は「理工学系（大型設備利用型）」「理工学系（共同研究型）」「医学・生物学系（医学系）」「医学・生物学系（生物学系）」「人文・社会科学系」の 5 つに分かれており、当拠点は「理工学系（大型設備利用型）」に分類された。

○　評価区分（高：S，A，B，C：低）
A：拠点としての活動は概ね順調に行われており、今後、共同利用・共同研究を通じた成果や効果が期待され、関連コミュニティへ貢献していると判断される。

○　評価コメント
共同利用・共同研究拠点として、日本の計算機の基盤技術を支え、国際的にも優れた研究を支援している点が評価できる。
今後は、HPCI（ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ）やスーパーコンピュータを利用する多様な研究分野との連携の在り方について総合的に検討を行うとともに、ネットワーク全体として共通的に取り組む研究課題の設定など、ネットワークを構築したことによるメリットを生かした研究活動を推進することが望まれる。

6　ネットワーク型研究課題推進への取り組み

6.1　企画・検討会

当拠点のネットワーク型という特長を引き出すような共同研究課題について、8 構成拠点全体で事例紹介なども交えて情報交換および検討を行った。

第 1 回　平成 25 年 7 月 12 日（於：THE GRAND HALL（品川））
主な議題：
1) 概要説明
2）各構成拠点の企画検討について
第 2 回　平成 25 年 10 月 15 日（於：東大センターと中心とした TV 会議）
主な議題：
1) 拠点中間評価の結果について
2) 前回の議論について
3) 各構成拠点の企画検討について

最終的に当拠点の主旨に合致した研究課題推進の取りまとめ担当者を決定し、個別に活動していくこととなった。さらに、当拠点の平成 26 年度課題募集要項「1. 共同研究分野」の留意事項③として、

『③ ネットワーク型拠点の特徴を生かして複数拠点の計算機資源を活用しこれらの研究者と連携して取り組む研究課題は特に歓迎します。例えば，広域分散型の大規模情報システム，遠隔可視化，アプリケーションのマルチプラットフォーム実装などに関する複数構成拠点の研究者と計算資源を利活用した共同研究，シミュレーションと可視化などの異なる分野について異なる構成拠点の研究者と協働するタイプの共同研究などが考えられます。』

と明記し、課題採択の審査においても考慮するようにした。

6.2　ネットワーク型学際研究シンポジウム

平成 25 年度は、ネットワーク型拠点の特徴を生かした複数拠点型の共同研究を推奨し拡大することを目的とし、当該年度に採択された課題から 4 名の共同研究課題代表者による講演を行った。また、当拠点と同様のネットワーク型拠点である「物質・デバイス領域共同研究拠点」より 2 名参加頂き、招待講演を賜りパネルディスカッションを行った。

第 1 回ネットワーク型学際研究シンポジウム
開催日時：平成 26 年 3 月 11 日(火)
開催場所：東京大学 弥生キャンパス フードサイエンス棟 2F 中島董一郎記念ホール
主な内容：平成 25 年度採択課題のうち複数拠点型課題の研究紹介（4 件）
物質・デバイス領域共同研究拠点の概要と研究紹介
パネルディスカッション「ネットワーク型研究の目指すもの」
参加者数：49 名（大学 34 名、独法等研究機関 5 名、企業他 10 名）
案内 URL：http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/sympo/1nw/

7　拠点活動に関するその他の取り組み

7.1　経費助成

当拠点で採択され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：
  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、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 25 年度助成実績
  申込み件数:5 件、 採択件数:5 件(発表旅費 2 件、論文掲載料 2 件、会場使用料 1 件)

7.2 構成拠点主催研究会の支援

ネットワーク型の共同研究を推進する取組みの一環として、構成拠点が主催する研究会についてあらたに経費の支援を行うこととした。

- 支援対象:
  各構成拠点主催の研究会および研究打合せについて、開催に際して発生する「旅費」および「会場使用料」が対象である。
- 選考方法
  JHPCN の課題審査委員会にて審査。

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)

實本英之　　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。

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、柏キャンパス（東拠点）に分散して配置されている。なお、本年度より理化学研究所計算科学研究機構（西拠点）に配置されたシステムに関しては理化学研究所計算科学研究機構へ移管された。

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、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。
以下について、スペック表に関しては各システムのノード単体性能である。

2.1.1 本郷地区キャンパス・HITACHI HA8000 スーパーコンピュータ 総計 512 ノード

スペック表

CPU	AMD Opteron Processor 8356(2.3GHz, 4cores)x 4
Memory	32 GB
HDD	250 GB (OS 含む)
Network	Myrinet-10G (10Gbps) x 4

利用量

利用時間	1588792.98 ノード時間
ストレージ使用量	6414 GB
採択課題数	5 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	109368.546 ノード時間
採択課題数	3 件

2.1.3 東拠点・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) HP ProLiant SL390s G7 2U 総計 35 ノード

スペック表

CPU	Intel Xeon Processor X5670(2.93GHz, 6cores) x2
Memory	48GB
HDD	1TB (OS 含む)
GPU	Tesla M2050(32 ノードのみ)
Network	InfiniBand 4xQDR (40Gbps)

利用量

ノード時間	21978.972 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ストレージが存在し、柏キャンパス（東拠点）および理化学研究所計算科学研究機構（西拠点）に配置されている。西拠点のシステムは移管済みである。

ストレージは、東西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。

共用ストレージシステム（東西）	21.5 PB
テープアーカイバ（東西）	80PB
採択課題数	69 件
総利用量（東西）	9833 TB

3 来年度について

HITACHI HA8000 の運用期間終了に伴い、来年度は HA8000 の提供を行わない。これに代えて、現在運用中のスーパーコンピュータ FX10 を提供することとした。また、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」に 2 物理ノードの提供を行う。これは、システムレイヤを含めた先端的広域ソフトウェアの開発・研究に用いられる仮想計算機を用いた計算資源で、東京大学、北海道大学、東京工業大学、九州大学にまたがり、同一ネットワークセグメントを持ちかつ広域に計算資源が分散した環境を実現している。

PKI

佐藤周行

PKI 概要

PKI はプロジェクトとして、CA（認証局）を安定的に運用するための運用技術を、発足以来重要項目として検討してきたが、いくつかの試行錯誤を経て、UT-CA としてキャンパス PKI のための CA を実際に構築し、運用技術を蓄積するために、インソースでの運用でのプロトタイプを構築してきた。

さらに 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安定して運用している。ここにおいても分散 RA 方式を取っている。2014 年 3 月末で参加部局は 12 部局を数え、それを含めサーバ証明書を発行したドメインは 34、運用開始からの審査枚数は 682 枚に及ぶ。

証明書に関係するものの他に、「認証」一般についての係りの中でより一般的なサービスにおけるアイデンティティ管理の重要さを強調している。それには、2010 年度から参加した eduroam でのアイデンティティ管理と、NII が主導する認証フェデレーションでの東大内でのアイデンティティ管理の問題が含まれる。両者とも、学内一般の中で、正しいデザインのもとに行われることが重要である（ことが他大学の例を見るまでもなくわかっている）が、テスト環境の構築とテスト参加を通して学術的な検討を進めている。

1　運用報告

1.1　TRA

http://www.pki.itc.u-tokyo.ac.jp/cerpj/

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。2013 年度末で参加部局は 12 部局を数え、ドメインは 34、累計発行枚数は 873 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。

2013 年度の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)	94
(旧) 本部事務局	40
生産技術研究所	36
理学系研究科	28
情報基盤センター	27
史料編纂所	18
情報学環	13
医学部附属病院	12
数理科学研究科	11
総合文化研究科	9
空間情報科学研究センター	6
医学系研究科・医学部	4
新領域創成科学研究科	3
開始時からの累計	873
アクティブな証明書	301

証明書の運用管理は、いわゆる 2010 年問題や DigiNotar の問題を経て、その専門性が強く意識されるようになった。監査の枠組みを含め、より effective な枠組みをどう構築するかは依然問題である。

1.2 eduroam への参加

ヨーロッパを中心に展開され、2010 年からは北米でも急速に広まっている eduroam に 2010 年テスト参加し、ID を提供した。現在、認証サーバをテスト運用している。この運用の中で発行された ID は 132 を数える。出張先、短期留学先での eduroam の利用が主たる目的であった。

eduroam は、参加者の属する組織の運用ポリシーと訪問先の運用ポリシーのすり合わせに問題を抱えているが、東京大学でもテストのフェーズであるが、本格的に運用を行うことになった。

その他

最先端共同HPC基盤施設

臺大理論科學研究中心（國立臺灣大學）との研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）締結

最先端共同 HPC 基盤施設

石川 裕

1 概要

最先端共同 HPC 基盤施設は東京大学と筑波大学によって運営されている。本施設を中心に筑波大と東大の共同研究により2015年度を目途に共同で設置するスーパーコンピュータシステムの仕様を策定するとともにシステムソフトウェアを開発している。本稿では現在検討中のスーパーコンピュータシステム仕様の概略および東京大で研究開発中のシステムソフトウェアについて報告する。

1.1 背景

2013 年 3 月、筑波大学と東京大学は計算科学・工学及びその推進のための計算機科学・工学の発展に資するため、最先端共同 HPC 基盤施設の設置に合意し協定を締結した。最先端共同 HPC 基盤施設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。筑波大学と東京大学のこの共同基盤施設では、各機関のスーパーコンピュータシステムを、通常はそれぞれのユーザに対するサービスを提供し、ある一定期間、2 つのシステム全体を使った大規模計算を実施することを想定している。これにより、各機関が単独でスーパーコンピュータシステムを保有している場合よりも大規模な計算が可能となる。

設置されるスーパーコンピュータシステムは 2008 年にそれぞれの機関に設置された T2K オープンスーパーコンピュータの思想を継承し、企業が市場に投入しているシステムにとらわれず筑波大と東京大学の共同研究に基づき 2015 年度中に調達手続きを完了する予定である。以降設置予定のスーパーコンピュータシステムを Post T2K と呼ぶ。T2K オープンスーパーコンピュータの調達では、筑波大学、京都大学、東京大学の 3 機関が共同研究の成果として仕様書を策定した。今回の調達では、筑波大学と東京大学が共同でシステム仕様を策定するとともにプログラミング言語環境、数値計算ライブラリ、オペレーティングシステムなどのシステムソフトウェアを研究開発する。本稿ではシステム仕様策定の状況とオペレーティングシステム研究開発について報告する。

1.2 内容

1.2.1 システム仕様策定

T2K オープンスーパーコンピュータは Intel x86 アーキテクチャを基にしたクラスタシステムを基本とした。2020 年までのコモディティ CPU 開発動向を見据えると、60 基以上の CPU コアを有するメニーコアアーキテクチャを要素技術としたメニーコア型 PC クラスタが有望であると判断し、Post T2K は x86 ISA(Instruction Set Architecture)を基にしたメニーコアアーキテクチャを基本とする。消費電力は冷却設備も含めて最大 4MW、設置面積 800m^2、耐荷重 600kg/m^{2}という制限の中で、当初以下の要求事項をまとめた。

- 理論倍精度浮動小数演算性能:20〜30 PFlops
- メモリ B/F 値:0.3、インターコネクト B/F 値:0.03 (T2K マシンと同等)
- 総メモリ容量:0.8〜1 PB

- ストレージ容量:30PB
- システムソフトウェア環境:T2K からのシームレスな移行を支援するソフトウェアスタック

CPU 製品動向を調査していくと、メニーコアにおける B/F 値は期待したほど高くはなく、また、ノード性能は 3TFlops 以上、主記憶容量は 96GB 以上搭載可能となることが予想された。また、2015 年度に利用可能な高速インターコネクト性能は 12.5GB/sec であることからもインターコネクト B/F 値も 1 桁下がってしまう。ノード数は T2K の 10 倍規模の 1 万台前後となる。運用のことを考えると全系で non-blocking fat tree トポロジを用意する必要はない。実運用での使われ方を考慮にしながら non-blocking fat tree で構成されるノード群をグループとし、ファイル I/O 性能を考慮してグループ間およびファイルサーバとのネットワーク性能を検討していくことにした。これら考慮事項を踏まえてシステム構成を検討し資料招請を行った。

1.2.2 オペレーティングシステム研究開発

1 万ノードから構成されるメニーコア型 PC クラスタでは、コア数の増大に伴い次のような課題について検討する必要がある。

- データの局所性と配置
  一般にコアの数が増大するにつれてサーバ系コアに比べてキャッシュ容量や TLB サイズおよびタグ連想度(way 数)、全体演算性能に対するメモリバンド幅、などが小さくなる。例えば、Intel 社 Xeon Phi(Knights Corner)の L1 および L2 キャッシュ容量はそれぞれ 32KB/core, 512 KB/core あるのに対し、Xeon E5-2670v2 (Ivy-bridge)は L1, L2, L3 の3階層あり、容量はそれぞれ 32KB/core、256KB/core、25MB/socket ある。メニーコアの能力を最大限引き出すため、キャッシュや TLB のミスヒット率を下げる必要がある。X86 系アーキテクチャにおいて、TLB のミスヒットはページテーブルを走査することになり(Page walk)複数回のメモリアクセスが発生する可能性があり、ワーキングセットが大きい場合のペナルティは大きくなる。
- 共有資源と排他制御
  カーネル内にはコア間で共有される資源が多く、それら資源の排他制御が必要となる。科学技術計算のようなデータ並列型アプリケーションは SPMD (Single Program Multiple Data)実行モデルが基本である。計算ノード内におけるスレッド並列のスケーラビリティの限界から、ノード内で複数プロセスを生成するアプリケーションがある。このような場合、プロセス群は同時に同じシステムコールを発行する。カーネル内において最大限の並列処理が行われるよう共有資源を管理する必要がある。
- OS ノイズ
  Linux など通常の OS では、複数のカーネルスレッドあるいはシステムデーモンによりファイルやプロセス間通信の非同期処理が実現されている。またバッチジョブシステムやシステム管理情報を収集する目的でデーモンが起動される。これら OS アクティビティによりユーザ実行が妨げられる。本現象は OS ノイズと呼ばれる。SPMD 実行モデルで動作している並列プロセスはローカル計算とノード間通信を繰り返す。OS ノイズによりノード間通信の終了が一番遅いプロセスに律速され実行時間が遅くなる。従来から OS ノイズは問題になっているが、OS ノイズを最小限にする OS 構成法が必要となる。
- 高性能通信機構
  ノード内計算性能が向上する一方でノード間通信性能の向上は限定的である。スケーラビリティを担保するために、MPI 通信ライブラリや XcalableMP などの並列プログラミング言語実行時環境の実装に使われる通信ソフトウェアオーバヘッドを極力なくした低遅延かつ高いスループットを有する通信機構を設計する必要がある。

これら課題に取り組むために、Intel 社製メニーコア CPU である Xeon Phi 上に新しいマイクロカーネル McKernel および低通信機構 LLC (Low-Level Communication)の研究開発を行ってきている。McKernel の構成を図 1 に示す。図において左側の構成を Attached、右側の構成を Builtin と呼んで

いる。Attached 構成は現在の Xeon Phi 上のカーネル構成である。現在の Xeon Phi はホストマシンに PCI Express 経由で接続する方式となっている。将来は通常の Xeon 同様単独でブートできるようになるといわれている。Builtin 構成は現在の Xeon サーバで動作するカーネル構成である。

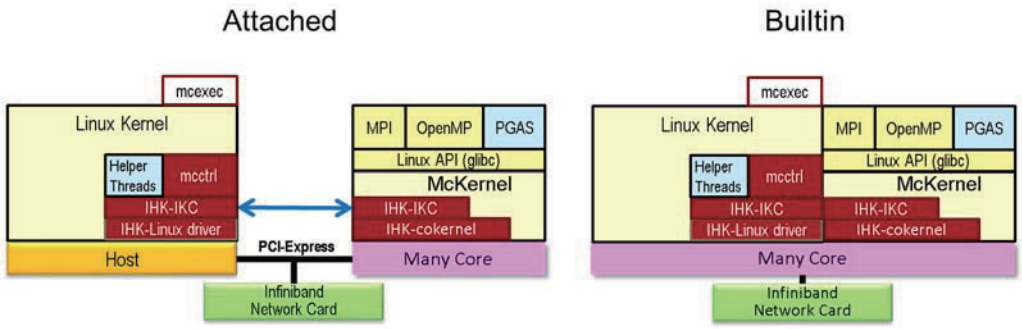
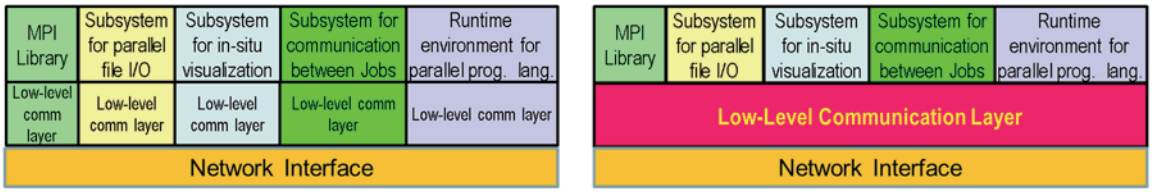


図 1 McKernel 構成

McKernel はアプリケーションが動作しているコアで動作する軽量マイクロカーネルである。McKernel では、メモリ管理、プロセス・スレッド生成、シグナル処理、同期機構、プロセス・スレッドスケジューリングなどコアで動作すべき OS サービスが実装されている。そのほかのサービスは Linux カーネルに委譲することによりすべての Linux API が実装されている。最小限の OS 機能をアプリケーションが動作しているコアで動作させることによりカーネルが使用するメモリ容量を抑えることができ、データの局所性が増し、また OS ノイズも抑えることができる。ファイル I/O の非同期処理、システム管理デーモン、バッチジョブデーモンなどは Linux 側で動作し、McKernel およびアプリケーションに影響を与えない。



従来構成　　LLC が仮定する階層構造

図 2 通信層

図 2 に示す通り LLC 通信層は MPI 通信ライブラリ、並列 I/O、可視化、ジョブ間通信、並列プログラミング言語実行時環境などで必要とされる通信ミドルウェアを提供する層として設計開発を進めている。LLC は Infiniband や富士通社 TOFU ネットワークなどのネットワークハードウェアインターフェイスを隠蔽し LLC ユーザに対してポータビリティを保証する。

1.3　具体的成果

PostT2K 仕様に関しては、システム要件をまとめ、2013 年 7 月 16 日から 2014 年 2 月 28 日までの期間資料招請を行った。その後資料招請に応じた企業のヒアリングを実施した。2014 年度、ヒアリングの結果を踏まえ仕様を決定する。

McKernel および LLC の研究開発の一部は、東京大学情報基盤センターが文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、九州大学、富士通、日立製作所、日本電気が実施した「レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究」において実施された。McKernel の開発では日立製作所、日本電気、富士通の3機関と進めた。McKernel は国際会議 SC13 において配布した。LLC の開発では日本電気と共に仕様書のたたき台および実装を行った。McKernel および LLC の成果を基に日米科学技術協力の一部として米国アルゴンヌ国立研

究所とともに共同研究を今後進めていく予定である。また、Intel 社とは将来のメニーコアアーキテクチャ上のシステムソフトウェアに関して McKernel を基に意見交換を開始した。

2　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 石川裕：PostT2K 構想、第 5 回「学際計算科学による新たな知の発見・統合・創出」シンポジウム、2013 年 11 月

[招待 2] 石川裕：Towards Post-Petascale Computing、京都大学計算科学ユニット第10回研究交流会、2013 年 11 月

査読付論文

[査読付 1] Min Si, Yutaka Ishikawa, and Masamichi Takagi: Direct MPI Library for Intel Xeon Phi co-processors, The 3rd Workshop on Communication Architecture for Scalable Systems (CASS 2013) in conjunction with IPDPS2013, 2013.

[査読付 2] Masamichi Takagi, Yuichi Nakamura, Atsushi Hori, Balazs Gerofi, and Yutaka Ishikawa: Revisiting Rendezvous Protocols in the Context of RDMA-capable Host Channel Adapters and Many-Core Processors, EuroMPI2013, 2013.

公開ソフトウェア

[公開 1] McKernel: Operating System Kernel for Intel Xeon Phi, SC13

その他の発表論文

[発表 1] 石川 裕、堀 敦史、Gerofi Balazs、高木 将通、島田 明男、清水 正明, 佐伯 裕治、白沢 智輝、中村 豪、住元 真司、小田和 友仁「次世代高性能並列計算機のためのシステムソフトウェアスタック」、情報処理学会、2013-OS-125(3)、pp. 1-7、2013.

[発表 2]佐伯 裕治、清水 正明、白沢 智輝、中村 豪、高木 将通、Gerofi Balazs、思 敏、石川 裕、堀 敦史、「ヘテロジニアス計算機上の OS 機能委譲機構」、情報処理学会、2013-OS-125(15)、pp. 1-7、2013.

報道関連

[報道 1] 日本経済新聞社 2013 年 6 月 25 日、「スパコンOS開発、日米が連携　東大や富士通参加」

臺大理論科學研究中心（國立臺灣大學）との研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）締結

東京大学情報基盤センターと臺大理論科學研究中心[1]（Center for Advanced Study in Theoretical Sciences（CASTS），國立臺灣大學（National Taiwan University, NTU））は 2014 年 2 月 17 日にハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）及び計算科学・工学分野における基礎的，学術的な共同研究の促進を目的とした研究交流協定覚書（Memorandum of Understanding）を取り交わしました。

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ます。

最先端の計算機システムは大規模化，アーキテクチャの複雑化により，その性能を引き出すことは一層困難となっています。当情報基盤センターでは次世代のスーパコンピュータシステム上で稼働する，安定で性能の高いアプリケーションの開発支援環境の整備が急務と認識しており，アプリケーション，数値アルゴリズム，計算機システムの研究者が一体となった研究開発を進めています。

臺大理論科學研究中心の研究機関である臺大應用數學科學研究所[2]（Institute of Applied Mathematical Sciences（iAMS））の王偉仲教授（Professor Weichung Wang）等の研究グループと情報基盤センタースーパーコンピューティング研究部門は個人レベルでは 10 年以上の交流があり，2013 年 3 月 26 日～29 日には自動チューニング（Automatic Tuning，AT）に関する日台交流ワークショップ（2013 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance and Scientific Computing[3]（@^{2}-HPSC））を台北で開催するなど，活発な研究交流を実施しています。

王教授等の研究グループと当センターは次世代スーパコンピュータシステムに向けたアプリケーション開発支援環境について同様の価値観を共有しており，より一層の協力を推進するため，特に下記の分野を中心とした研究交流協定覚書を締結した次第です：

- 科学技術計算のための数値計算ライブラリ
- 科学技術計算ベンチマーク
- ポストペタ／エクサスケール環境へ向けた並列プログラミングモデル
- 科学技術計算における自動チューニング
- 並列固有値計算アルゴリズム，直接法及び反復法による並列疎行列計算アルゴリズム

[1] http://www.casts.ntu.edu.tw/

[2] http://www.math.ntu.edu.tw/~iams/

[3] http://www.math.ntu.edu.tw/~wwang/Activities/2013/hpsc/

2014 年 3 月 14･15 日にも 2013 年と同様に HPC における自動チューニングに関する日台交流のための会合（2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing[4]（ATAT））を開催しました。東大情報基盤センターと臺大理論科學研究中心は情報科学，応用数学分野の多岐にわたる多様な研究者を擁しており，今後は協力分野を更に広げることも検討していく予定です。

研究交流協定覚書に署名する石川裕教授（東京大学情報基盤センター長（当時），2014 年 2 月 3 日），Professor Yutaka Ishikawa (Former Director, Information Technology Center, the University of Tokyo, February 3, 2014.)

研究交流協定覚書に署名する林長壽教授（臺大理論科學研究中心主任，2014 年 2 月 17 日），Professor Chang-Shou Lin (Director, Center for Advanced Study in Theoretical Sciences, National Taiwan University, February 17, 2014.)

[4]https://sites.google.com/site/atathpsc/

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
ソフトウェアの信頼性とセキュリティに関する研究

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

丸山 一貴
教育用計算機システムにおける
端末及びプリントサービスの利用範囲拡充

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、客員研究員 1 名が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、2012 年 3 月から稼動を開始した教育用計算機システム ECCS2012 の運用状況に関するデータの収集と解析などを行い、設計上のゴールとして設定した学外サービスやユーザ所有機器との連携による利便性の向上の達成状況の評価を行なった。また、デュアルブート運用を行なう iMac を仮想マシン技術を用いてスケジュール起動する方式に関する研究も行なった。今年度の研究成果発表としては、次のような内容のものを行なった。

- リモートアクセス及びプリントサービスの利用範囲拡充 (丸山)
- iMac での Windows のスケジュール起動 (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。

- 通信プロトコルのソフトウェア実装を対象とした形式検証とテストに関する研究 (柴山)
- Java 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)
- 将棋プログラムの大規模並列実行 (田中)
- 仮想マシンモニタによるシステムイメージの完全性保護 (品川)
- 仮想マシンモニタによるボランティアコンピューティング基盤の実現 (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環境の実現 (品川)
- 仮想マシンモニタによる 2 要素認証方式の実現 (品川)
- 仮想マシンモニタによるクラウドコンピューティング基盤の実現 (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)

このうち「将棋プログラムの大規模並列実行」に関しては、第 2 回将棋電王戦でその研究成果を利用し、教育用計算機システムの一部をなす 666 台の iMac(計 2,664 コア) を含む多数のコンピュータを用いた大規模並列処理を行い、結果的には、将棋のトッププロに勝利することができた。

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、これに関連した技術の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)

情報メディア教育研究部門 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Izuru Kume, Masahide Nakamura, Etsuya Shibayama: A Feature Model of Framework Applications, *Proceedings of IEEE/ACIS International Conference on Software, Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, pp. 511-516, 2013.

[査読付 2] Kuniyasu Suzaki, Toshiki Yagi, Akira Tanaka, Yutaka Oiwa, Etsuya Shibayama: Rollback Mechanism of Nested Virtual Machines for Protocol Fuzz Testing, *Proceedings of ACM Symposium on Applied Computing*, 2014.

[査読付 3] Izuru Kume, Naoya Nitta, Masahide Nakamura, Etsuya Shibayama: A Dynamic Analysis Technique to Extract Symptoms That Suggest Side Effects in Framework Applications, *Proceedings of ACM Symposium on Applied Computing*, Poster, 2014

[査読付 4] Yoshiaki Yamaguchi, Tetsuro Tanaka, Kazunori Yamaguchi: Cylinder-Infinite-Connect-Four except for Widths 2, 6, and 11 is Solved: Draw Proceedings of Computer Games 2013, Yokohama, Aug. 2013.

[査読付 5] 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．軽量ハイパバイザによるシステムイメージの完全性保護．情報処理学会論文誌，第 54 巻，第 12 号，2402-2412 頁，2013年 12 月．

[査読付 6] 関谷 貴之, 松田 源立, 山口 和紀: 情報系学科のカリキュラムの比較, 情報教育シンポジウム SSS2013, pp. 33–40, 2013 年 8 月.

[査読付 7] T. Sekiya and K. Yamaguchi: Tracing Quiz Set to Identify Novices' Programming Misconceptions, Proceedings of the 13th Koli Calling International Conference on Computing Education Research, Koli Calling '13, Koli, FINLAND, pp. 87–95, Nov. 2013.

[査読付 8] K. Maruyama and T. Sekiya, Takayuki: ECCS2012 Makes PCs and Printers in Computer Labs Accessible from Off-campus Environment, Proceedings of the 41st Annual ACM SIGUCCS Conference on User Services, SIGUCCS '13, pp. 105–108, Nov. 2013.

[査読付 9] Kazutaka Maruyama and Takayuki Sekiya : ECCS2012 makes PCs and printers in computer labs accessible from off-campus environment, Proceedings of the 2013 ACM Annual Conference on Special Interest Group on University and College Computing Services, pp.105–108, 2013.

その他の発表論文

[発表 1] 柴山悦哉, 次の 30 年に向けて, コンピュータソフトウェア, 岩波書店, Vol. 30, No. 2, p. 1, 2013 年.

[発表 2] 久米出, 新田直也, 中村匡秀, 柴山悦哉: フレームワークアプリケーションに於ける副作用の兆候を抽出する動的解析手法, 情報処理学会研究会報告, 2013-SE-182(4), pp. 1-8, 2013 年.

[発表 3] 久米出, 中村匡秀, 新田直也, 柴山悦哉: フレームワーク誤用による副作用の可視化手法, 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会ウィンターワークショップ, 2014 年.

[発表 4] 久米出, 新田直也, 中村匡秀, 柴山悦哉: フレームワーク・アプリケーションに於ける予期せぬ副作用の効率的なデバッグに向けて, 信学技報, Vol. 113, No. 489, SS2013-80, pp. 49-54, 2014 年.

[発表 5] 増子直樹, 田中哲朗: 定跡データベースの評価法の提案, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2013-GI-030, No.3, pp. 1-8, 石川, 2013 年 6 月.

[発表 6] 深井 貴明, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．物理マシン間のライブマイグレーション手法の提案．第 127 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 2012-OS-127 巻，情報処理学会，2013 年 12 月.

[発表 7] 品川 高廣, 榮樂 英樹, 松原 克弥．iMac での Windows のスケジュール起動．大学 ICT 推進協議会 2013 年度年次大会，千葉，2013 年 12 月.

[発表 8] 品川 高廣．次世代スーパーコンピュータ向けの軽量な仮想計算機環境の実現に向けた研究開発．学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 5 回シンポジウム，東京，2013 年 7 月.

[発表 9] Daichi Serikawa, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Towards Secure and Efficient Volunteer Computing. 4th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSYS 2013), Singapore, Jul. 2013.

[発表 10] Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Towards agile and elastic bare-metal clouds. The 24th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '13), Pennsylvania, Nov. 2013.

[発表 11] 深井 貴明, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．物理マシン間のライブマイグレーション手法の提案．第 25 回コンピュータシステムシンポジウム，豊洲，2013 年 12 月.

[発表 12] 石井 智也, 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM を用いた 2 段階認証の支援．第 25 回コンピュータシステムシンポジウム，豊洲，2013 年 12 月.

[発表 13] 忠鉢 洋輔, 品川 高廣, 加藤 和彦．Preventing Accidental Data Disclosure in Commodity Operating Systems．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月.

[発表 14] Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Towards agile and elastic bare-metal clouds. 第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013), 熱海, Dec. 2013.

[発表 15] 芹川 大地, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM による軽量な Trusted Computing 環境に関する研究．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月.

[発表 16] 島田 恭平, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM によるデバイスドライバのテスト手法に関する研究．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月.

[発表 17] 深井 貴明, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．物理マシン間のライブマイグレーション手法の提案．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月.

[発表 18] 石井 智也, 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM を用いた 2 段階認証の支援．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月.

[発表 19] 関谷 貴之, 松田 源立, 山口 和紀: LDA と Isomap を用いたカリキュラムの可視化, 人工知能学会 インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング 第 5 回研究会研究発表会予稿集, SIG-AM-05-06, pp. 33–40, 2013 年 10 月.

特記事項

[特記 1] GPS 将棋: 第 23 回世界コンピュータ将棋選手権 3 位, コンピュータ将棋協会, 2013 年 5 月.

[特記 2] 金子知適, 田中哲朗 : 現役プロ棋士に勝ち越したコンピュータ将棋 〜第 2 回電王戦，第 23 回世界コンピュータ将棋選手権速報〜：2. 多数の計算機を活用したゲーム木探索技術の進歩 - 三浦弘行八段と GPS 将棋との対局を振り返って-, 情報処理学会誌, Vol. 54, No. 9, pp. 914-922, 2013 年 9 月.

[特記 3] BitVisor Summit 2 開催（第 25 回コンピュータシステム・シンポジウム 併設イベント），2013 年 12 月，http://www.bitvisor.org/summit2/

報道関連

[報道 1] 日本テレビ 2013 年 4 月 19 日 16:50-17:53「news every」.

[報道 2] NHK 2013 年 4 月 20 日 19:00-19:30 「ニュース 7」.

[報道 3] 朝日新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 38 面: A 級棋士も敗退.

[報道 4] 日経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 30 面: 将棋ソフト、プロ軍団破る.

[報道 5] 産経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 26 面: トップ棋士電脳に完敗.

[報道 6] 産経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 28 面: トップ棋士敗れる.

[報道 7] 朝日新聞 2013 年 4 月 22 日朝刊 1 面: 天声人語.

[報道 8] 読売新聞 2013 年 4 月 22 日朝刊 11 面: 人間 vs ソフト 次の段階へ.

[報道 9] 朝日新聞 2013 年 4 月 23 日夕刊 4 面: 電王戦、将棋界を刺激.

[報道 10] 朝日新聞 2013 年 4 月 24 日朝刊 35 面: 将棋電王戦、二つの発見.

[報道 11] NHK 2013 年 4 月 24 日 14:05-14:55 「情報まるごと」.

[報道 12] 産経新聞 2013 年 4 月 26 日朝刊 6 面: 将棋電王戦: “観戦” 活況、230 万人が興奮共有.

[報道 13] 産経新聞 2013 年 4 月 27 日朝刊 6 面: 電脳はプロ棋士を超えたのか.

[報道 14] FRIDAY2013 年 5 月 10-17 日号: 東大ソフト開発者は「人間と将棋を指したことがない」.

[報道 15] NHK 教育「サイエンス ZERO」7 月 14 日 23:30-24:00: 世界最強!? 人間を超えた人工知能.

[報道 16] 朝日中学生ウィークリー 2014 年 2 月 9 日 19 面: 囲碁 (下) 盤面の勝負で柔道上達/大学でも活用.

ソフトウェアの信頼性とセキュリティに関する研究

柴山 悦哉

1　概要

今日の社会では、重要インフラから小型のデバイスまで、さまざまな機器やシステムがネットワーク化され、ソフトウェアに駆動される形で稼動している。そして、このように社会の隅々にまで浸透した情報システムに　人々の日々の生活がますます強く依存するようになっている。しかも、このような傾向が今後さらに顕著となることが予見される。

一方で、ネットワーク化された情報システムへの依存が強まると、わずかな綻びがネットワーク効果により増幅され、大きな被害に結びつく可能性が高まる。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。システム障害や悪意のある攻撃が、大事故・大事件につながる可能性を無視できない。

そこで、社会の基盤を制御するソフトウェアの信頼性、安定性、セキュリティなどを向上させるための研究活動を以前より行っている。今年度は、昨年度に引き続き、主として以下のような研究を行った。

1. 通信プロトコルのソフトウェア実装を対象とした形式検証とテストのためのネストした仮想マシン環境に関する研究 [査読付 2]

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 [査読付 1, 査読付 3, 発表 2, 発表 3, 発表 4]

最初の項目は、ネットワーク機器やネットワークに接続されたコンピュータで稼働する通信プロトコル処理のソフトウェアを主な対象に、信頼性、安定性、セキュリティなどを向上させるために行なった研究である。基本的な方式としては、厳密かつ網羅的な形式検証とサンプリングに基づくより軽量のソフトウェアテストを組み合わせるものであり、この方式自体は以前から提案しているものである。今年度は、二重にネストした仮想マシンを用いて、通信プロトコルのソフトウェア実装のブラックボックステストを自動化するツールに関する研究を行なった。

2 番目の項目は、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。フレームワークを用いて構築される Java アプリケーションを対象に、ソフトウェアを構成するクラスを、次の 3 種類に分類し、これらの境界を超えるメソッド呼び出しに注目することで、Inversion of Control などのプログラム理解の妨げとなる現象の了解性を高める方式について検討を続けている。

1. フレームワークに属するもの

2. Java の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もの

3. アプリケーション固有のもの

今年度は、それぞれ Hidden Update, Aliasing, Outdated State と呼ばれる副作業の症状を定義し、その分類に基づく分析を進めた。フレームワークアプリケーションの場合、境界内に収まらない副作用が特に問題になる。

これらの研究の他に、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安定化のための作業を行なった。この安定化の対象となったサブシステムは、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) 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が可能となる。

2 通信プロトコルのソフトウェア実装を対象とした形式検証とテストに関する研究

2.1 背景

今日の我々の社会で、インターネットや Web は欠かすことのできない重要な情報インフラの一部となっている。そして、この情報インフラを構成する要素技術として、TCP/IP, HTTP, SSL/TLS などの通信プロトコルは重要なものであり、これら実装が安定動作しないと、多くのトラブルが発生する。

しかし、これらプロトコルの実装が、十分な信頼性を持っているとはとは必ずしも言えない。プロトコルの設計自体に問題が指摘されるケースもあれば、ネットワーク機器やネットワークに接続されたコンピュータで稼働するプロトコル実装のバグが指摘されるケースもある。これらは時に、ネットワーク停止やセキュリティ侵害などを引き起こし、社会基盤としての情報インフラの信頼性、安定性、セキュリティなどに深刻な悪影響を与える。

しかも、実装のミス自体は些細なものであったとしても、結果として発生する問題の影響は、非常に大きくなりうる。たとえば、パケットの構文解析部のバグにより、規約に違反した長さのパケットを受け取った時にネットワーク機器が不調をきたし、本センターのサービスに重大な障害を及ぼしたケースが実在する。

一方で、ソフトウェアの検証あるいは検査を行うための技術は少しずつではあるが進歩しており、定理証明支援系を用いた形式検証、モデル検査、テストケースの自動生成、フォルトインジェクションなどの研究が進んでいる。これらの技術を組み合わせることで、ネットワークプロトコルを実装するソフトウェアの信頼性やセキュリティを向上させることができる可能性がある。

2.2 内容

前節で述べたような検証や検査の技術を組み合わせることで、通信プロトコルのソフトウェア実装の信頼性、安定性、セキュリティを高める方式について、以前から産業技術総合研究所の研究者と共同研究を行なっている。基本的なアイデアは次のようなものである (図 1)。

1. 自然言語等で記述されたプロトコルの仕様 (図 1 では「規格」) を形式的で機械可読な形式に翻訳した形式仕様を作成する。

2. ソースコードが入手可能なプロトコル実装 (図 1 では「実装 (C 言語)」) の形式検証を 1 で得られた形式仕様に基づき行う。

3. 1 で得られた形式仕様から実行可能なプログラムを抽出し、参照実装を得る。

4. 参照実装とテスト対象となる実装 (図 1) では「実装 (バイナリ)」) を対向でつなげてテストを行う。

今年度は、4 の部分で用いるブラックボックス実装のロールバックを含むテストの制御機構に関する研究を進めた。昨年度までに開発した技術を用いて、網羅的なテストのためのテストケースを生成

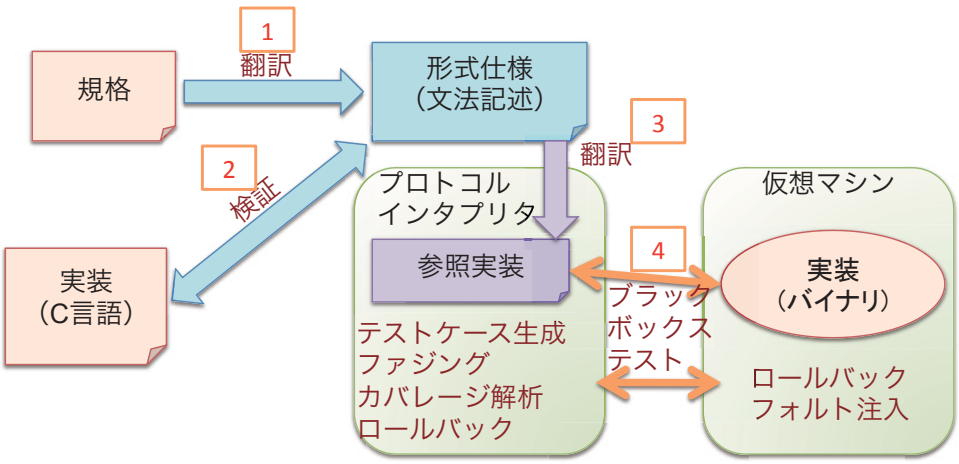


図 1: 全体の構成

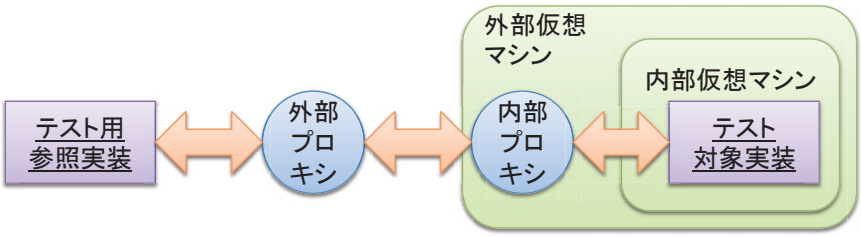


図 2: 二重の仮想化

し、さらにこのテスト制御機構を用いて、バックトラック実行を可能とすることで網羅的なテストを効率的に行なうことができる。

網羅的なテストのためにロールバック機能が重要となるのは、特に SSL/TLS のようなセキュアプロトコルを対象とする場合である。これらのプロトコルは暗号技術を用いるため、乱数に依存している。通常の逐次処理であれば、プログラムの先頭から再実行することで、以前の処理の途中状態を再現することが比較的容易であるが、ハードウェアの乱数生成器を利用するプログラムでは、再実行による状態の再現が不可能である。網羅的なテストのためには、過去の状態の再現ができることが望まれる。

ブラックボックスの実装でも、通常、仮想マシンの中で動かせば、仮想マシンモニタの機能を用いてスナップショットを取ることができる。単純に考えると、このスナップショットから過去の仮想マシンの状態を復元することで、ロールバックが容易に行なえると思うかもしれない。しかし、この方法で復元できるのは 1 台の仮想マシンの状態である。対向で通信する 2 台のコンピュータによるテストの状態を復元するためには、分散スナップショットを取る必要がある。すなわち、2 台のコンピュータとその間のネットワークの状態に関して、矛盾の無いスナップショットが必要になる。ところが、このような状況における仮想マシンのスナップショットイメージの中には、2 台のコンピュータをつなぐネットワークの状態は含まれない。

そこで、ネットワークの状態まで含めた分散スナップショットを取るために、仮想マシンを二重にネストさせ、さらに二つのプロキシを用いる方式を用いた (図 2)。この方式では、ネットワークの状態を図 2 の内部プロキシに持たせ、内部プロキシを外部仮想マシン上で稼働させる。さらに外部プロキシには状態を持たせないようにすることで、外部仮想マシンモニタのスナップショット機能により、ロールバックに必要な状態を取得することが可能となる。なお、今回は、内部仮想マシンモニタとして QEMU、外部仮想マシンモニタとして KVM を用いた。また、内部プロキシと外部プロキシはとも

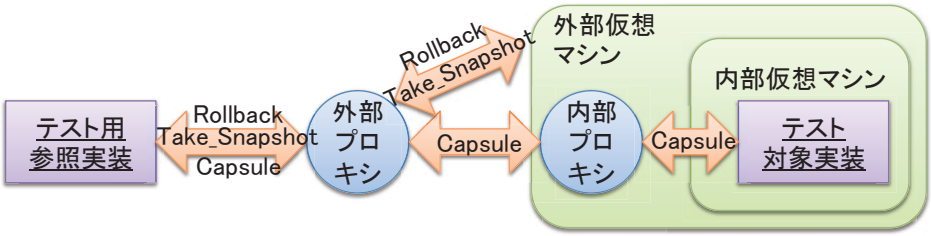


図 3: VTP プロトコル

に Perl を用いて実装した。

さらに、スナップショットとロールバックの制御のためのコマンドとテスト対象となるプロトコルのパケットを多重化し、参照実装とテスト対象の実装の間でやり取りするために、VTP(Virtual Test Protocol) と呼ばれる通信プロトコルを設計した。VTP は次の 3 種類のプロトコルから構成される。

Capsule プロトコル テスト対象となるプロトコルのパケットをカプセル化して送る。

Take_Snapshot プロトコル 分散スナップショットを取るコマンドを送る。返り値として、スナップショットの ID を取得することができる。

Rollback プロトコル スナップショットの ID を指定し、ロールバックによりその指定されたスナップショットの状態に戻すコマンドを送る。

参照実装から送信された Take_Snapshot プロトコルと Rollback プロトコルのパケットは、外部プロキシを経由して外部仮想マシンに転送される。一方、Capsule プロトコルでテスト対象プロトコルの通信をカプセル化したパケットが参照実装から送信されると、外部プロキシと内部プロキシを経由してテスト対象の実装に渡される (図 3)。

このメカニズムを用いた実験を、セキュアプロトコルとして重要な TLS (Transport Layer Security) を対象に、四つのソフトウェア実装 (OpenSSL, CyaSSL, GnuTLS, PolarSSL) に対して行なった。なお、この実証実験に用いたのは、それぞれの実装のハンドシェーク (SSL 証明書の検証部は除く) の処理を行なう部分である。このような選択を行なったのは、セキュアプロトコルとして重要でかつ脆弱性が問題となりやすい箇所が、ハンドシェークの部分に集中的に現れるためである。

実験的なテストの結果、CyaSSL と PolarSSL のバグを発見できた。

2.3 具体的成果

今年度は、以上のような成果について論文にまとめ、ACM の Symposium on Applied Computing で共同研究者が発表を行なった。

3 HPCI の整備

3.1 背景

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

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

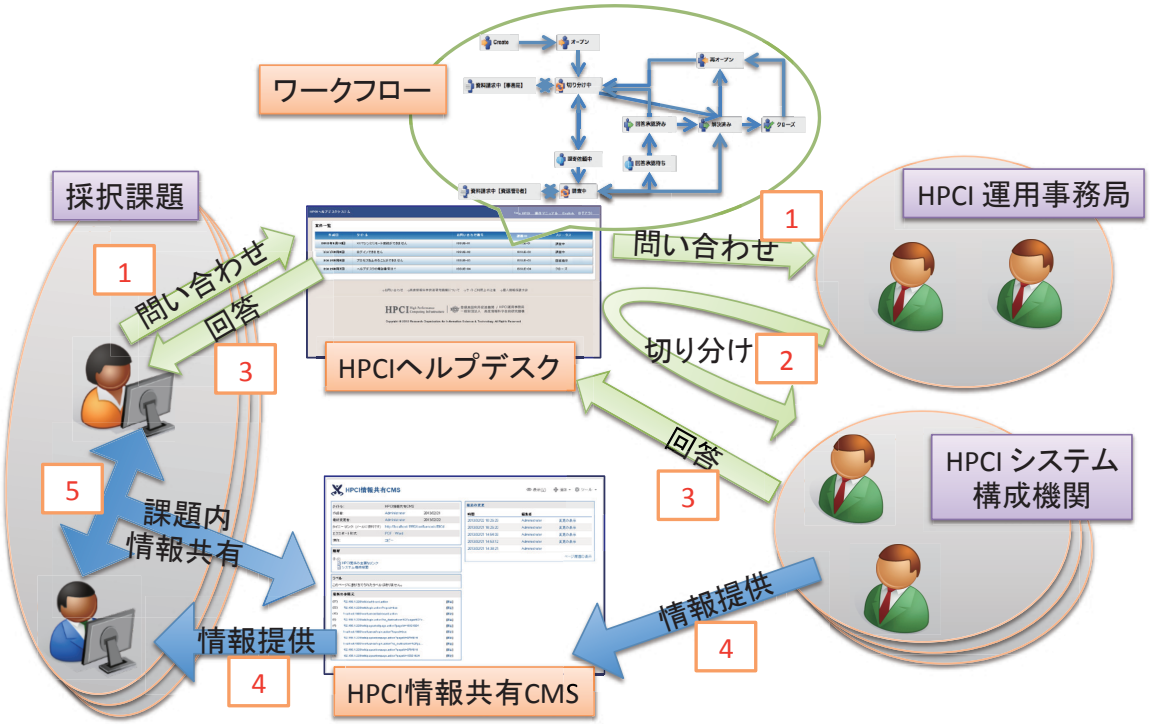


図 4: HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS

た。その結果、複数センターを利用して先端的科学研究を行なう研究者にとって、利用申請、アカウント管理、データ共有などの利便性に問題があった。

3.2 内容

今年度は、文部科学省委託業務「HPCI の運営」により、東京大学では共用ストレージ等の運用と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) の安定化のための作業を行なった。このうち、ヘルプデスクシステムと CMS の安定化を担当した。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 4)。

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、問い合わせを等を行なう。

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。

- メールを用いたヘルプデスクシステム利用時の利便性と安定性の向上
- ログ取得の改善
- パフォーマンスの改善
- セキュリティの改善
- ヘルプデスクシステムのワークフローの見直し
- 非居住者の登録等の例外処理の実現
- 課題終了時におけるコンテンツのエキスポート処理の支援

3.3 具体的成果

ヘルプデスクシステムについては、HPCI 利用者からの年間約 1,900 件の問い合わせの処理や記録のために利用された。情報共有 CMS については、HPCI に採択された全課題のスペース等が作成され、活用されている。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Izuru Kume, Masahide Nakamura, Etsuya Shibayama: A Feature Model of Framework Applications, *Proceedings of IEEE/ACIS International Conference on Software, Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, pp. 511-516, 2013.

[査読付 2] Kuniyasu Suzaki, Toshiki Yagi, Akira Tanaka, Yutaka Oiwa, Etsuya Shibayama: Rollback Mechanism of Nested Virtual Machines for Protocol Fuzz Testing, *Proceedings of ACM Symposium on Applied Computing*, 2014.

[査読付 3] Izuru Kume, Naoya Nitta, Masahide Nakamura, Etsuya Shibayama: A Dynamic Analysis Technique to Extract Symptoms That Suggest Side Effects in Framework Applications, *Proceedings of ACM Symposium on Applied Computing*, Poster, 2014

その他の発表論文

[発表 1] 柴山悦哉, 次の 30 年に向けて, コンピュータソフトウェア, 岩波書店, Vol. 30, No. 2, p. 1, 2013 年.

[発表 2] 久米出, 新田直也, 中村匡秀, 柴山悦哉: フレームワークアプリケーションに於ける副作用の兆候を抽出する動的解析手法, 情報処理学会研究会報告, 2013-SE-182(4), pp. 1-8, 2013 年.

[発表 3] 久米出, 中村匡秀, 新田直也, 柴山悦哉: フレームワーク誤用による副作用の可視化手法, 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会ウィンターワークショップ, 2014 年.

[発表 4] 久米出, 新田直也, 中村匡秀, 柴山悦哉: フレームワーク・アプリケーションに於ける予期せぬ副作用の効率的なデバッグに向けて, 信学技報, Vol. 113, No. 489, SS2013-80, pp. 49-54, 2014 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一環として、2003 年から他研究室と共同でオープンソース将棋プログラムの開発を行っていて、2010 年度から大規模クラスタ環境用の並列探索に関する研究に取り組んでいる。今年度は、研究の集大成として、思考時間が長時間の時に計算機リソースを有効に活用できる並列探索の枠組みを実装し、第 2 回将棋電王戦において将棋のトッププロと対戦して、勝利することができた。[特記 2]。

強くなったコンピュータ将棋の次のテーマとしては、人間の作成した定跡に頼らず自動的に序盤データベースを作成するということがある。これに関しても序盤データベースの評価法に関する提案をおこなった [発表 1]。

2　将棋プログラムの大規模並列実行

2.1　背景

1997 年に、チェスプログラムが初めて人間の世界チャンピオンを破ったが、将棋も同様のレベルに達しつつあり、コンピュータ将棋に関する研究は一番面白い時期を迎えようとしている。

コンピュータ将棋研究の全体的なレベルアップを狙って、公開を前提で将棋プログラムの開発を 2003 年からおこなっている[1]。将棋プログラム名は GPS 将棋で、開発メンバーは田中研究室の卒業生の他に、総合文化研究科の教員、ポスドク、会社員などが加わっている。2013 年度はクラスタ並列化を主なテーマに研究をおこなった。

2.1.1　クラスタ上でのゲーム木探索

主記憶を共有するマルチコアマシン上でスレッドを複数用いて、ゲーム木探索を効率的におこなう手法としては PVS(Principal Variation Splitting) およびその改良の様々な手法が考案され、コンピュータ将棋の分野でも広く使われるようになっている。

一方、主記憶を共有しないクラスタ環境のゲーム木探索への適用は遅れている。これは、マルチスレッドによる並列化と比較して、以下のような不利な点があるためと考えられる。

- 通信遅延
  プロセッサと主記憶上との通信と比較して、別プロセッサ間の通信はスループットが数桁小さいが、通信遅延の方は更に差が大きい。そのため、全体の性能を落とさないためには、細かい通信ではなく、まとまった単位での通信をおこなう必要がある。

- トランスポジションテーブル共有の困難
  合流がある木探索の場合は、トランスポジションテーブルを共有しないと同じノードを重複して

[1] http://gps.tanaka.ecc.u-tokyo.ac.jp/gpsshogi

探索する可能性がある。トランスポジションテーブルの参照、更新は高頻度で発生するので通信のみで実現するとオーバーヘッドが大きい。

- 負荷分散の困難
  通信遅延が大きいため、実行すべきタスクを持たないプロセッサがあり、別のプロセッサに実行可能なタスクが余っていても、タスクの割り当ては瞬時にはおこなわれない。

- 不要な探索の即時中断の困難
  枝刈りの結果、あるノード以下の木を探索することが不要になることもあるが、探索の中断と別のタスクへの割当てが瞬時に行われない。

研究レベルでは、これらの弱点を克服するための有望なアルゴリズムがいくつか発表されているが、多くのプログラムが開発されているコンピュータチェスの世界でもクラスタ並列化は一般的にはなっていない。

将棋における大規模クラスタ並列化には、GPS 将棋が 2010 年度から取り組んでいるが、今年度は研究を更に進展させて、思考時間が長時間の時に計算機リソースを有効に活用できる並列探索の枠組みに取り組んだ。

2.2 内容

2.2.1 GPS 将棋のクラスタ並列化

一般には台数に比例するスピードアップを並列化の目標とすることが多いが、GPS 将棋では、台数の平方根に比例するスピードアップしか実現できない並列化モデルを用いている。

実装を容易にするために図 1 のようなマスター・ワーカーモデルを用いると共に、必要なプロセス数を抑えるための工夫をおこなっている。以下に概要を述べる。

- 一手ごとの探索時間は局面の進行度と持ち時間、経過時間、手数などから決定する。持ち時間が 4 時間で、1 分未満切り捨ての第 2 回電王戦では残り時間が十分ある時は、1 手 3 分 55 秒程度の時間を使う。実際には相手の持ち時間も、相手の手番の局面での探索を行う。

- 新規の局面を探索する時は、短い時間 (制限時間 1 秒) で、PV 候補のいくつかの手について、複数のワー カーを使って並列に探索 (presearch) し、その時の rank(順序) に応じて、子供 ノードにリソース (ワーカー群) の数を調整して割り当てる。これを再帰的におこなう。

- 1 局に渡って対局する時は、1 手指された (自分でも相手でも) 時点で探索木のすべてが無効になるわけではない。有力な手であった場合は、もともと複数のワーカーで探索していたので、それらのワーカーによる探索はそのまま継続させる。その上で、1 手指された結果、到達不能になった局面の探索に割り当てられていたワーカー群を用いて、探索木の拡張をおこなう。これは、コンピュータチェスの世界で optimistic pondering, tree pipeline として提案されている手法である。

- 木の浅いところの「残りの手」が有力そうだと分かった時は、他のノードを探索中だった複数のワーカーを再割り当てして、深く読ませる。

第 2 回電王戦では以下の構成で参加した。

- マスター Xeon X5365(3GHz) x 2, 8core, マスタープログラム (C++) のみを動かす。

- ワーカー
  - Xeon E5-4650 x 4 (32 core) 2 台
  - Xeon X5690 x 2 (12 core) 1 台

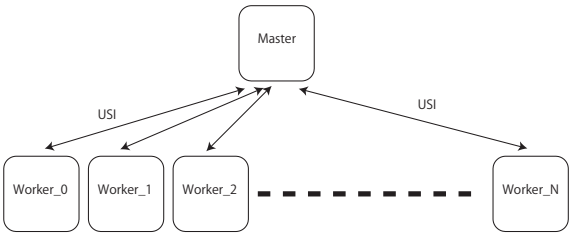


図 1: マスターワーカーモデルによる実現

- Xeon X5680 x 2 (12 core) 1 台
- Xeon X5570 x 2 (8 core) 1 台
- Xeon W3680 (6 core) 1 台
- Xeon X5470 x 2 (8 core) 1 台
- Phenom II X6 1090T (6 core) 2 台
- Opteron 2376 x 2 (8 core) 3 台
- Core i5(2.5GHz), 4 core 666 台

2.3 具体的成果

前節で示す構成でクラスタ並列版で動かした GPS 将棋は 2013 年 3 月から 4 月にかけておこなわれたコンピュータ将棋と将棋のプロ棋士との団体戦、第 2 回将棋電王戦において、大将として 2013 年 4 月 20 日に三浦八段と戦い 102 手で勝利を収めた。将棋自体も、トッププロの一人である三浦八段の得意とする戦型で、GPS 将棋が新手を出してそのまま押し切るという内容だった。

タイトル保持者との対戦は行われていないし、また、1 局の勝敗 (団体戦という枠では 5 局で 3 勝 1 敗 1 分) では統計的に「プロを超えた」、「プロに追いついた」などという主張するには対局数が不足しているが、「コンピュータ将棋がプロ棋士に勝っても不思議はない」、「何年後には確実に人間のトップを超えている」と多くの人に思わせたという意味で、意義のある勝利だった。

将棋電王戦は学術的なイベントではなく[2]、商業的なイベントであり、出演料が出るような関連イベントには協力しなかったが[3]、多くの取材を受けた。

チェスの世界では、1997 年にコンピュータチェス「ディープ・ブルー」が当時の世界チャンピオンを破ったが、対局後に「ディープ・ブルーの指し手の決定には、コンピュータの思考結果だけではなく、人間の手が加わっていたのではないか」というクレームがあった。本対局においては、そのようなことがないように、対局中から、図 2[4]のような探索木を公開した。

電王戦の 2 週間後に、第 23 回世界コンピュータ将棋選手権に参加した。この大会は昨年度優勝したが、今年度は、持ち時間が短いことにより表面化した並列探索の不具合などの問題が出て、表 1, 2 のように 3 位に終わった。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yoshiaki Yamaguchi, Tetsuro Tanaka, Kazunori Yamaguchi: Cylinder-Infinite-Connect-Four except for Widths 2, 6, and 11 is Solved: Draw Proceedings of Computer Games 2013, Yokohama,

[2]第 2 回電王戦に関しては、ルールの制定にコンピュータ将棋協会という大学関係者が主体の団体を関与させるなど一定の考慮はあった。

[3]GPS 将棋自体はオープンソースで公開しているソフトウェアであり、ラインセンスに従って無保証で勝手に使うのは禁止していない。そのため、電王戦関連イベントでもこの条件で利用されただ。

[4]将棋電王戦 2(先手: 三浦八段, 後手: GPS 将棋) 探索木表示 (http://www.tanaka.ecc.u-tokyo.ac.jp/ktanaka/denou2/)

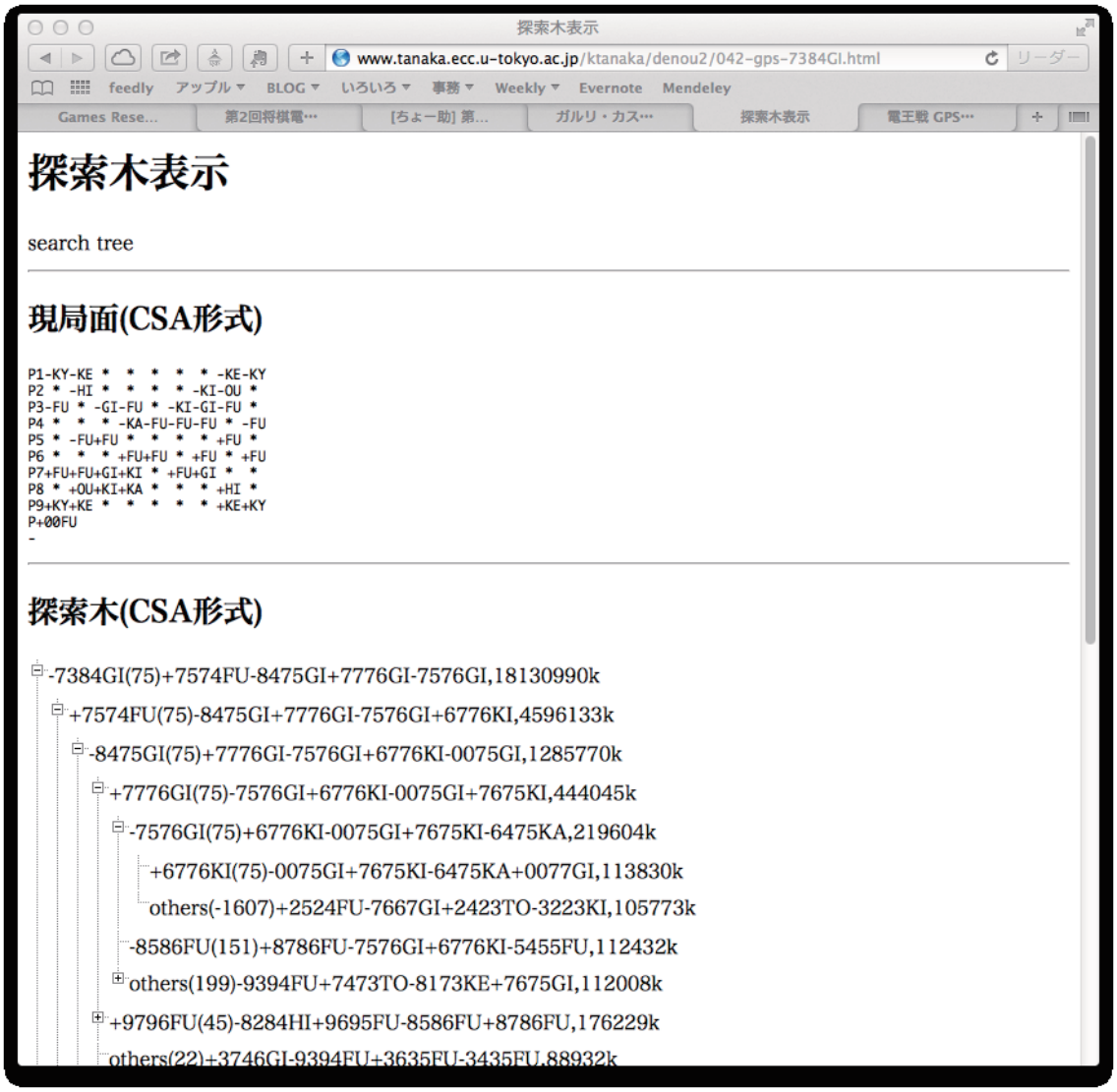


図 2: 将棋電王戦 2 の探索木表示

Aug. 2013.

その他の発表論文

[発表 1] 増子直樹, 田中哲朗: 定跡データベースの評価法の提案, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2013-GI-030, No.3, pp. 1-8, 石川, 2013 年 6 月.

特記事項

[特記 1] GPS 将棋: 第 23 回世界コンピュータ将棋選手権 3 位, コンピュータ将棋協会, 2013 年 5 月.

[特記 2] 金子知適, 田中哲朗 : 現役プロ棋士に勝ち越したコンピュータ将棋 〜第 2 回電王戦, 第 23 回世界コンピュータ将棋選手権速報〜 : 2. 多数の計算機を活用したゲーム木探索技術の進歩 - 三浦弘行八段と GPS 将棋との対局を振り返って-, 情報処理学会誌, Vol. 54, No. 9, pp. 914-922, 2013 年 9 月.

報道関連

[報道 1] 日本テレビ 2013 年 4 月 19 日 16:50-17:53「news every」.

表 1: 世界コンピュータ将棋選手権 2 次予選での GPS 将棋の対戦

	1 回戦	2 回戦	3 回戦	4 回戦	5 回戦	6 回戦	7 回戦	8 回戦	9 回戦
対戦相手	ひまわり	Sunfish	YSS	ponanza	NineDayFever	激指	習甦	Bonanza	ツツカナ
GPS の手番	後手	後手	先手	後手	先手	先手	先手	後手	後手
勝敗	勝	勝	勝	負	勝	勝	勝	勝	負

表 2: 世界コンピュータ将棋選手権決勝での GPS 将棋の対戦

	1 回戦	2 回戦	3 回戦	4 回戦	5 回戦	6 回戦	7 回戦
対戦相手	習甦	ツツカナ	YSS	NineDayFever	激指	ponanza	Bonanza
GPS の手番	先手	先手	後手	後手	後手	先手	後手
勝敗	勝	勝	勝	勝	負	勝	負

[報道 2] NHK 2013 年 4 月 20 日 19:00-19:30 「ニュース 7」.

[報道 3] 朝日新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 38 面: A 級棋士も敗退.

[報道 4] 日経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 30 面: 将棋ソフト、プロ軍団破る.

[報道 5] 産経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 26 面: トップ棋士電脳に完敗.

[報道 6] 産経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 28 面: トップ棋士敗れる.

[報道 7] 朝日新聞 2013 年 4 月 22 日朝刊 1 面: 天声人語.

[報道 8] 読売新聞 2013 年 4 月 22 日朝刊 11 面: 人間 vs ソフト 次の段階へ.

[報道 9] 朝日新聞 2013 年 4 月 23 日夕刊 4 面: 電王戦、将棋界を刺激.

[報道 10] 朝日新聞 2013 年 4 月 24 日朝刊 35 面: 将棋電王戦、二つの発見.

[報道 11] NHK 2013 年 4 月 24 日 14:05-14:55 「情報まるごと」.

[報道 12] 産経新聞 2013 年 4 月 26 日朝刊 6 面: 将棋電王戦: “観戦” 活況、230 万人が興奮共有.

[報道 13] 産経新聞 2013 年 4 月 27 日朝刊 6 面: 電脳はプロ棋士を超えたのか.

[報道 14] FRIDAY2013 年 5 月 10-17 日号: 東大ソフト開発者は「人間と将棋を指したことがない」.

[報道 15] NHK 教育「サイエンス ZERO」7 月 14 日 23:30-24:00: 世界最強!? 人間を超えた人工知能.

[報道 16] 朝日中学生ウィークリー 2014 年 2 月 9 日 19 面: 囲碁 (下) 盤面の勝負で柔道上達/大学でも活用.

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イメージの完全性保護 [査読付 1]

  OS のシステムイメージの完全性保護とを目的として、ファイルシステムを事前に解釈して作成したセキュリティポリシーに基づき、軽量な仮想マシンモニタを用いてシステムファイルを書き込み禁止とすることで、OS が乗っ取られても再起動により元に戻るシステムの研究をおこなった。

- 仮想マシンモニタによるボランティアコンピューティング基盤の実現 [発表 4, 発表 10]

  企業等の科学技術計算を一般ユーザの PC 上で行うボランティアコンピューティングにおいて、情報漏洩や情報破壊、計算結果の改ざんなど、一般ユーザ側と企業側の双方のセキュリティ問題を同時に解決しつつ、オーバーヘッドも低く抑えられる計算基盤を実現した。

- 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 [発表 11]

  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 2 要素認証方式の実現 [発表 7, 発表 13]

  Web サービスへの不正なログインを防止することを目的として、携帯端末等を用いた 2 要素認証の代わりに仮想マシンモニタを用いて単一のデバイスでありながらも、安全にログイン出来るようにするために認証機構について研究をおこなった。

- 仮想マシンモニタによるクラウドコンピューティング基盤の実現 [発表 1, 発表 5, 発表 6, 発表 9, 発表 12]

  高信頼のクラウドコンピューティング環境の実現に向けて、動的仮想化レベル変動技術、ベアメタル・マイグレーション技術、ゼロ・オーバーヘッド仮想化技術などにより、高性能、高セキュリティ、高信頼性、導入容易性などを併せ持った仮想マシンモニタを研究開発した。

- 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 [発表 3]

  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。

- 総務省 先進的通信アプリケーション開発推進事業「広域分散ベアメタル・クラウド環境のためのハイパーバイザの開発」（開発代表者）（平成 25 年 11 月〜平成 26 年 3 月）
- 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）
- 科学研究費補助金基盤研究 (C)（研究代表者）（平成 24 年度〜平成 26 年度）
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）（平成 25 年度）

研究成果は、情報処理学会論文誌に 1 件論文が掲載されたほか、国際会議でのポスター発表を 2 件、国内会議での発表を 3 件、国内会議でのポスター発表を 8 件おこなった。12 月には、第 25 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 2 を企画立案・開催した。本サミットは 2 件の招待講演と 6 件の一般発表で構成し、40 名前後の参加者があった。

さらに、本年度はセキュア OS に関する研究もおこなった [発表 8]。本研究では、セキュア OS におけるポリシー記述の難しさに対応するために、ユーザが直感的に扱えるように適切な抽象度でのポリシー設定を可能にしつつ、OS カーネルにおいて動的に情報を追跡することにより、抽象度の高いポリシーを適切なアクセス制御に変換して実施する仕組みを研究した。

以下、2 章では、仮想マシンモニタによるシステムイメージの完全性保護について、3 章では、仮想マシンモニタによるボランティアコンピューティング基盤の実現について、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の実現について、5 章では、仮想マシンモニタによる 2 要素認証方式の実現について、概要を述べる。

2　仮想マシンモニタによるシステムイメージの完全性保護

2.1　背景

近年、OS のカーネル権限を不正に取得する攻撃が増加している。攻撃者は、カーネルルートキットと呼ばれるソフトウェアを使うことで OS のカーネル権限を取得し、セキュリティソフトウェアを無効にするなどして、カーネル権限での不正アクセスを継続的におこなうことが出来る。

攻撃者は、OS が再起動されても不正アクセスを継続するためには、カーネルルートキットをハードディスク等にインストールして永続化する必要がある。永続化が、システムの基幹部分のファイルであるシステムイメージを改ざんすることでおこなわれた場合、ファイルが隠蔽されたりセキュリティソフトが無効にされたりするため、その検出や除去は非常に困難になる。

カーネル権限を取得する攻撃を防止する手法としては、仮想マシンモニタを用いて OS の外部から監視する手法が研究されている。しかし、OS のファイルシステムのレベルで完全性保護をおこなう

ためには、仮想マシンモニタからファイルシステムを解釈する必要があり、セマンティックギャップと呼ばれる問題を解決する必要がある。

2.2 内容

本研究では、軽量な仮想マシンモニタを用いて、システムイメージの完全性を保護する手法を提案している。ファイルシステムの仕様に基づいて、事前にファイルのデータとメタデータのストレージデバイス内での位置を正確に把握し、書き込み禁止箇所をバイト単位で指定したセキュリティポリシーを作成する。このセキュリティポリシーに基づいて、仮想マシンモニタによりストレージへのアクセスを捕捉してシステムイメージへの書き込みを確実に防止する。仮想マシンモニタの TCB(Trusted Computing Base) のサイズを小さく抑えて安全性を向上させるために、仮想マシンモニタはディスクに対して能動的にはアクセスせず、受動的に書き込みを検査するだけでシステムイメージの完全性を保護できる手法を実現した。

2.3 具体的成果

提案手法に基づいて、仮想マシンモニタとして BitVisor を使用して、OS から透過的にバイト粒度でのストレージ保護を実現するシステムを実装した。また、実際に FAT32 上で動作する WindowsXP を対象として、セキュリティポリシーの作成をおこない、実際にシステムイメージの完全性が保護されていることを確認した。

研究成果は、情報処理学会論文誌に論文として掲載された [査読付 1]。

3 仮想マシンモニタによるボランティアコンピューティング基盤の実現

3.1 背景

ボランティアコンピューティングとは、一般の PC ユーザーがボランティアとして計算資源の余剰分を提供し、企業や研究機関（組織）がその計算資源を用いて計算処理をおこなう仕組みである。組織側は高価なコンピュータを持たずに大規模計算をおこなえるという利点がある。

ボランティアコンピューティングでは、組織側及びボランティア側のそれぞれに問題が存在する。まず組織側にとっては、悪意のあるボランティアが組織側の計算結果などを漏洩・改竄してしまう恐れがある。例えば、重要な計算結果が外部に流出する危険性があるほか、そもそも計算結果が正しいことを保障することが困難である。

ボランティア側にとっては、組織側の計算コードがボランティアの PC 環境を壊してしまう恐れがある。ボランティアコンピューティングでは基本的には組織は信頼できることを想定しているが、組織側の計算コードのバグによってマシン環境が壊されてしまう可能性は否定できない。

3.2 内容

本研究では、信頼できる仮想マシンモニタにより、ボランティアコンピューティングにおける組織側及びボランティア側の双方のセキュリティを実現する手法を提案している。まず、組織が用意した計算結果などの漏洩・改竄を防止するために、計算処理をボランティアの PC 上で動作する仮想マシンモニタの内部でおこなう。仮想マシンモニタは OS よりも高い特権で動作しており、ボランティアの OS 側から VMM 内の計算コードやデータにアクセスすることを防止できる。組織側は、仮想マシンモニタと暗号通信をおこなうほか、仮想マシンモニタ自身が改竄されていないことを検証する。

また、ボランティア側の PC 環境が壊されてしまうことを防止するために、組織側の計算コードは、仮想マシンモニタ内部の保護ドメインでアクセス権が制限して実行する。保護ドメイン内では、あらかじめ割り当てられた資源へのアクセスのみが可能であり、ボランティアのマシン環境を保護する事が出来る。

また、準パススルー型アーキテクチャを活用して、ゲスト OS からハードウェアへのアクセスの大部分をパススルーとしつつ、計算コードに最低限必要な CPU・メモリなどの計算資源の確保と、計算コードの実行環境に対する保護のみを仮想マシンモニタで実現することにより、オーバーヘッドを削減するほか、既存のインストール済みの環境に対する導入を容易にする。

3.3 具体的成果

提案手法に基づいてボランティアコンピューティング基盤のプロトタイプの設計と実装をおこなった。また、本年度は組織側の計算コードのために専用 CPU コアを割り当てる方式を実装した。CPU のホットプラグ機能を利用して、ゲスト OS から CPU コアを一つ hot remove して、組織側の計算のために使用する。専用コアを割り当てることにより、スケジューリングなどシステムの実装が簡便になるほか、ボランティア側と組織側で相互に性能が影響しあうこともなくなるという利点がある。

実装したプロトタイプを用いて予備的な実験をおこなった。モンテカルロ法により円周率計算をおこなうプログラムを実装し、仮想マシンモニタに制御が戻って来るたびに一定回数の計算をおこなうようにした。実験の結果、通常のシステム上で計算した場合には 23.79 秒かかったのに対し、提案システム上では 16.88 秒しかかからなかった。これは、CPU コアを専用に割り当てることで割り込みなどの影響が発生せずに、計算コードのみを全力で実行するようになったためと考えられる。

研究成果は、国際会議 APSys (4th Asia-Pacific Workshop on Systems) や国内会議 DSW 2013（第 11 回ディペンダブルシステムワークショップ）でポスター発表をおこなった [発表 4, 発表 10]。

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提案している。

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。

また、検証対象となるデバイスの状態遷移を監視するために、仮想マシンモニタ内でデバイスの仕様に基づいて状態遷移を監視するオートマトンを動作させる。特定のまれな条件やタイミングで不具合が発生しないことを検証するために、仮想マシンモニタ で指定したタイミングで I/O やレジスタの値を強制的に変更する。これにより、仕様では規定されているものの通常はめったに発生しない状態遷移を意図的に引き起こし、デバイスドライバが正しく動作することを検証する。

4.3 具体的成果

Linux の既知のデバイスドライバのバグとして、ATA デバイスドライバの不具合を用いて、実際にバグが再現するかどうかの実験をおこなった。

このバグは、デバイスがビジー状態であるかどうかを判定するコードに関係するものである。具体的には、特定のコントローラの busy 状態を表す値が、他の種類のコントローラーにおいても busy 状態として処理されているために、デバイスのリセット時に ATA デバイスが初期化出来なくなるというものである。

このバグが再現するように準パススルー型仮想マシンモニタである BitVisor をベースとして、デバイスの状態遷移を変更するシステムを実装して実験をおこなった。その結果、バグのあるカーネルではバグが再現することが確認された。また、他のバグがないバージョンや Windows や FreeBSD など他の OS でも試してみたところ、同様のバグは存在していないことがわかった。

研究成果は、国内会議 DSW 2013（第 11 回ディペンダブルシステムワークショップ）でポスター発表をおこなった [発表 11]。

5 仮想マシンモニタによる 2 要素認証方式の実現

5.1 背景

近年、ログイン時に携帯端末を用いた 2 要素認証を提供する Web サービスが増えている。2 要素認証とは、1 回の認証に 2 つの要素を用いておこなう方式であり、例えば Google ではログイン時のユーザ名とパスワードに加えて、予め登録した携帯端末によって生成されるワンタイムパスワードを入力する方式を提供している。

2 要素認証を用いることにより、仮にユーザ名とパスワードが流出したとしても、もう 1 つの要素となる携帯端末を持っていない限りログインすることが出来なくなるため、不正アクセスの防止として有効な手法である。

しかし、2 要素認証では複数のデバイスを常時用意する必要がある他、紛失や故障などによりデバイスが利用できなくなった場合にログイン出来なくなるなどの問題がある。

5.2 内容

本研究では、2 要素認証を実現する方式として、携帯端末の代わりに仮想マシンモニタを用いる手法を提案している。仮想マシンモニタによりワンタイムパスワードの生成やパスワードの生成に必要な鍵の保護などをおこなうことにより、デバイスが 1 台であっても安全に 2 要素認証を実現することが可能である。

5.3 具体的成果

実際に Google で用いられている TOTP(Time-based One-Time Password) アルゴリズムを仮想マシンモニタ BitVisor の内部で実行できるようにした。アルゴリズムは変更可能にするために、認証用サーバから実行可能ログラムを入手するようにした。また、ワンタイムパスワードを画面の一部に強制的に表示できるようにした。

これらの実装により、実際に Google において 2 要素認証を用いたログインを安全に行えることを確認した。

研究成果は、国内会議 ComSys 2013（第 25 回コンピュータシステムシンポジウム）及び DSW 2013（第 11 回ディペンダブルシステムワークショップ）でポスター発表をおこなった [発表 7, 発表 13]。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．軽量ハイパバイザによるシステムイメージの完全性保護．情報処理学会論文誌，第 54 巻，第 12 号，2402-2412 頁，2013 年 12 月．

その他の発表論文

[発表 1] 深井 貴明, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．物理マシン間のライブマイグレーション手法の提案．第 127 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 2012-OS-127 巻，情報処理学会，2013 年 12 月．

[発表 2] 品川 高廣, 榮樂 英樹, 松原 克弥．iMac での Windows のスケジュール起動．大学 ICT 推進協議会 2013 年度年次大会，千葉，2013 年 12 月．

[発表 3] 品川 高廣．次世代スーパーコンピュータ向けの軽量な仮想計算機環境の実現に向けた研究開発．学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 5 回シンポジウム，東京，2013 年 7 月．

[発表 4] Daichi Serikawa, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Towards Secure and Efficient Volunteer Computing. 4th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSYS 2013), Singapore, Jul. 2013.

[発表 5] Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Towards agile and elastic bare-metal clouds. The 24th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '13), Pennsylvania, Nov. 2013.

[発表 6] 深井 貴明, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．物理マシン間のライブマイグレーション手法の提案．第 25 回コンピュータシステムシンポジウム，豊洲，2013 年 12 月．

[発表 7] 石井 智也, 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM を用いた 2 段階認証の支援．第 25 回コンピュータシステムシンポジウム，豊洲，2013 年 12 月．

[発表 8] 忠鉢 洋輔, 品川 高廣, 加藤 和彦．Preventing Accidental Data Disclosure in Commodity Operating Systems．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月．

[発表 9] Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Towards agile and elastic bare-metal clouds. 第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013), 熱海, Dec. 2013.

[発表 10] 芹川 大地, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM による軽量な Trusted Computing 環境に関する研究．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月．

[発表 11] 島田 恭平, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM によるデバイスドライバのテスト手法に関する研究．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月．

[発表 12] 深井 貴明, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．物理マシン間のライブマイグレーション手法の提案．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月．

[発表 13] 石井 智也, 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦．VMM を用いた 2 段階認証の支援．第 11 回 ディペンダブルシステムワークショップ (DSW 2013)，熱海，2013 年 12 月．

特記事項

[特記 1] BitVisor Summit 2 開催（第 25 回コンピュータシステム・シンポジウム 併設イベント），2013 年 12 月，http://www.bitvisor.org/summit2/

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、学習管理システムの更新に当たっての仕様検討や既存システムに関する情報収集を実施した。更新後のシステムは、2014 年 3 月より ITC-LMS として運用される。

2　計算機科学関連カリキュラムの分析

2.1　背景

情報科学の理論から計算機等のハードウェア、更には各種アプリケーションの応用分野など、大学では「情報系」の学部や学科は多い。しかし、学部や学科の名称は様々で、実際に当該学科で扱われるカリキュラムの内容は多岐にわたるため、ある学科がどのような教育や研究を行っているのかを知るのは容易でない。

そこで、大学等のカリキュラムを把握しやすくするために、講義内容を説明するシラバスの相互関係に従って配置したマップを生成する方法を研究している。マップを可視化することにしたのは、カリキュラムに知識のある人が読み取る事で、その人の知識を活用し、機械的には抽出が困難な情報も読み取れることを期待してる。

マップ生成のための手法としては、確率的な文書モデルである Latent Dirichlet Allocation (LDA) と次元圧縮手法である Isomap を用いている。LDA を用いることで、カリキュラム標準に定義された領域をトピックとして抽出し、抽出したトピックを用いて、学会等が作成したカリキュラム標準の領域に基づくトピック空間の中に、一般のカリキュラムのシラバスを配置することができる。また、Isomap を用いることで、空間中の局所的な関係をできるだけ保存したままで、全体を平面上に射影することができる。

2.2　内容

2013 年度は、情報系の分野の教育や研究を行っている学科をなるべく広く対象として、学科によるカリキュラムの違いを分析した。まず、国内大学の学科について、その名称から情報系の内容を扱っていると推測される 5 つの学科を選び、当該学科のカリキュラムを示すシラバスを Web サイト等から取得した。次に取得したシラバスに用いて、カリキュラムマップを作成した。マップの作成に当っては、情報処理学会によるカリキュラム標準のうち、コンピュータ科学領域の J07-CS と情報システム領域の J07-IS の 2 種類を用いた。その結果、工学の分野で「コンピュータを利用する力を重視する」学科や、理学の分野で「計算機・情報そのものを研究対象とする」学科などの特徴がカリキュラムマップに反映されることが分かった。これによって、マップから学科のカリキュラムの特徴を知ることができる。

2.2.1 手法

次に述べる方法で分析対象となる学科のシラバスを取得した。

1. 最初に国内大学の学科名の一覧として、688 大学 4,513 学科の名称を取得した。

2. 1. で取得した学科について、大学名・学部名・学科名のいずれかに、単語として「情報」「コンピュータ」「ソフトウェア」を含む学科を「情報系」の学科とみなす。前述の学科のうち 412 学科が「情報系」学科であった。

3. 2. の情報系学科から、ランダムに学科を選択して学科単位でのシラバスの取得を試みる。シラバスの取得に当っては、各学科の Web サイトを手動で確認し、サイト内にある当該学科のシラバスを説明する Web ページや、全学的なシラバスデータベース等で公開されている資料を、wget などのツールを使って一括ダウンロードする。2. の情報系学科から、9 個の学科を選択後、シラバスが公開されており、かつツール等を用いて比較的容易にシラバスを取得できたのは 5 つの学科であった。

表 1 に、本研究で分析対象とした 5 つの学科の概要を示す。項番は以後の説明で用いるために独自に設定した記号である。分類は、文部科学省作成の資料に基づいており、対象とした学科が国公立私立のいずれの大学か、またそれぞれの学科の研究及び教育内容がどのように分類されるか (大分類及びその大分類を更に細かく分けた中分類) を示している。学科概要は、各学科の Web サイトで当該学科を説明する文章を抜粋したものである。

なお、今回分析の対象とした表 1 の学科のうち、A 学科と C 学科は学科の Web サイトに、また D 学科は全学的なシラバスのサイトで、HTML ファイルの形式で公開されていたため、シラバスの抽出処理が比較的簡単であった。一方、B 学科と E 学科は、シラバスのデータベースが Web アプリケーションとしてシステム化されていたことで、本研究のようなシラバスの一括取得が容易でなかった。また、今回抽出した情報系の学科の中で分析対象とはしなかった学科のうち、3 学科は全学的なシラバスシステムから学科単位のシラバスを検索或いは取得できなかった。また、1 学科は学部名に「情報」が含まれるものの学科のカリキュラムは建築系の講義が中心であった。

以上の 5 つの学科のシラバスを用いて、以前から研究してきたカリキュラムのマップの生成手法を用いてマップを作成した。カリキュラムに含まれるシラバスに対応する記号の分布全体から、カリキュラムの特徴に注目する「全体的な分析」と共に、マップの中で楕円から大きく外れるなど他とは異な

表 1: 本研究で分析した情報系の学科

項番	分類	学科概要
A	国立 工学 その他	社会的に新たな価値を創造することのできる想像力と企画力を備えたメディア環境設計の専門家を養成する。
B	私立 工学 その他	社会で必要とされるコンピュータを利用する力を重視し、効率的な使い方、便利な使い方を実践的に学ぶ。
C	国立 理学 数学関係	情報処理の根本原理の究明・まったく新しい動作原理の計算機の設計・計算機の新しい使い方の提案というように、計算機・情報そのものを研究対象とする。
D	公立 工学 電気通信工学関係	システム全体の強調と調和を図る幅広い視野と創造的な技術者、研究者を育成。
E	私立 工学 電気通信工学関係	情報ネットワーク技術、情報コミュニケーション技術の先駆的分野を開拓する人材を育成。

る場所に配置された記号に対応するシラバスについて、トピックとの関わりの度合いに注目する「個別的な分析」をすることで、異なる学科のカリキュラムのマップの比較を行う。

2.2.2 実験

情報系のカリキュラムを分析するに当って、分析の基準となる Model Curriculum として情報処理学会が作成したコンピュータ科学領域のカリキュラム標準 J07-CS の BOK(Body of Knowledge) 全体を、そして、マップ生成の基準となる Reference Curriculum として J07-CS の BOK 及び情報処理学会が一般情報教育用の教科書として作成した「情報とコンピューティング」[1] と「情報と社会」[2] を用いた結果を示す。

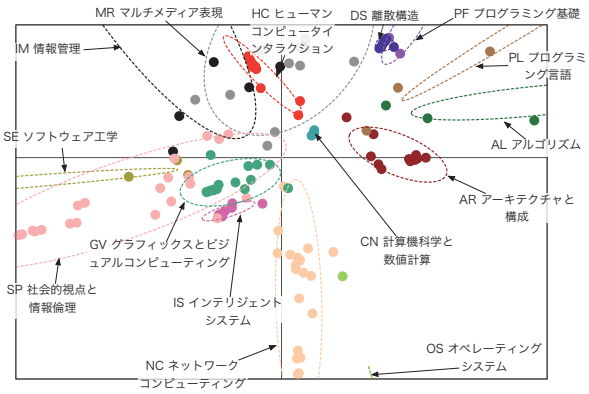
図 1-a は、J07-CS のマップである。マップ中の丸い記号は、Reference Curriculum においてシラバス文書として扱う J07-CS のユニット及び教科書の各節に相当する。Model Curriculum を LDA で処理する際には、「LDA のトピック = J07-CS のエリア」となるように、J07-CS の同一のエリアのユニットに対応するシラバスのテキストに、当該エリアを説明する共通のテキストを含めている。そこで、マップ中の楕円の領域には J07-CS のエリアの名称を示している。マップは高次元の多様体を Reference Curriculumn のシラバスの配置に基づいて 2 次元に射影しているため、軸の意味は大局的に一定ではないが、図 1-a においては、左は人や社会に、右は理論に関するものが多く、上は管理、下はアーキテクチャに関するものが多い。例えば 「SP 社会的視点と情報倫理」の領域は、社会的な視点の内容から左の方に延び、逆に「AL アルゴリズム」や「PL プログラミング言語」の領域は最も右にある。また、「MR マルチメディア表現」は、ディジタル表現のような理論的な内容から、国際的な文字コードなどと、理論と社会の両方を含むことから、左右に跨がっていると考えられる。

図 1 の b–f は、図 1-a の Reference Curriculum を用いて、表 1 の各学科のカリキュラムを Target Curriculum として生成したマップである。

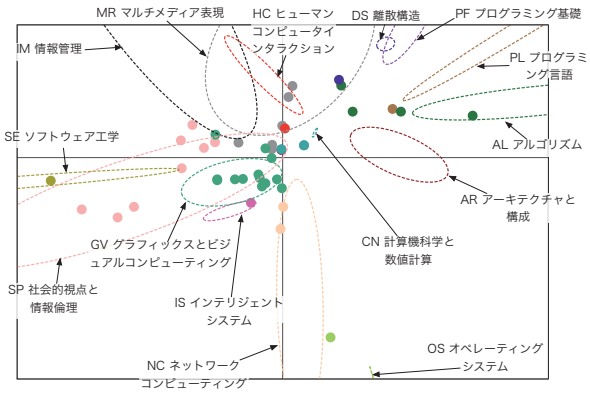
最初に全体的な分析を行う。5 つの学科のマップからは、A 学科、C 学科、D 学科、E 学科において、シラバスが全体的に広く分布しており、J07-CS のエリアの上では幅広い内容を扱ったカリキュラムであることが推測される。A 学科は、全体の中では「PL プログラミング言語」に関わるシラバスが少なく、「GV グラフィックとビジュアルコンピューティング」や「SP 社会的視点と情報倫理」「MR マルチメディア表現」等に関わる講義が多く、メディア環境設計の専門家を育成するとの特徴を反映している。B 学科は全体的には比較的狭い範囲にシラバスが分布しており、右の理論的な内容や下のアーキテクチャに関する内容は少ない。これは B 学科が「コンピュータの利用」を重視していることが反映されている。C 学科は、「AL アルゴリズム」「PF プログラミング」「AR アーキテクチャと構成」「DS 離散構造」のような、図中では右の方にあるエリアの内容が多いが、「SE ソフトウェア工学」や「IM 情報管理」のシラバスが少ない。「理学 数学関係」の学科で、情報科学的側面を表している。D 学科はまさに幅広い分野のシラバスを含むし、E 学科も同様である。公立と私立の違いはあるが、いずれも「工学 電気通信工学関係」の学科であることが共通している。

次に一部のマップについて個別的な分析を行う。ここで注目するシラバスを表 2 に示す。B 学科の図 1-c には、最も関連が強いトピックは「OS オペレーティングシステム」だが、OS の領域から大きく外れたシラバスがある。このシラバスは「UNIX 入門」で OS、SE、PL と同程度に関わりが強いため、SE などの領域に近付いたことが分かる。シラバスには「ディレクトリの操作」や「プログラミング入門」などの用語が見られ、オペレーティングシステムの技術的な詳細ではなく、OS の使い方を重視していることが分かる。C 学科の図 1-d には、最も関連が強いトピックは「AL アルゴリズム」だが、AL の領域から外れた中央付近に配置されたシラバスがある。このシラバスは「知識処理論」で、AL の次には IM や SE との関わりが強いため、AL と IM の間に配置されたことが分かる。シラバスには「大規模高次元データから知識抽出を行うための統計的データ解析の理論、および、テキスト処

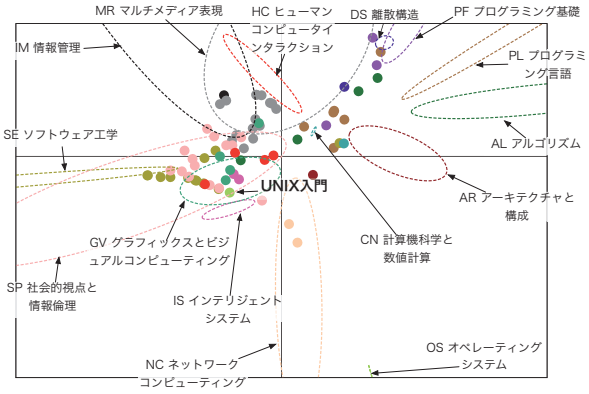
[1] 川合慧監修、河村一樹編著、オーム社、2004 年
[2] 川合慧監修、駒谷昇一編著、オーム社、2004 年



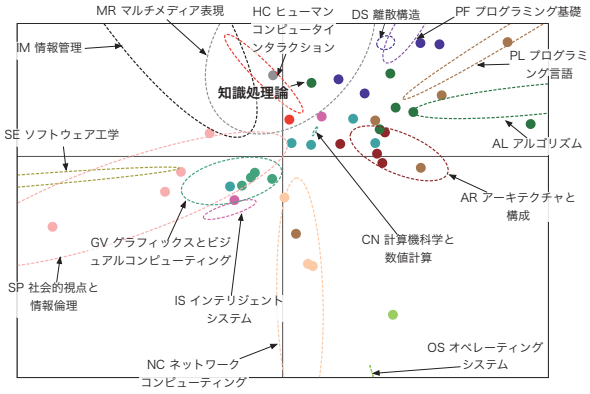
a. J07-CS (Reference Curriculum) のマップ



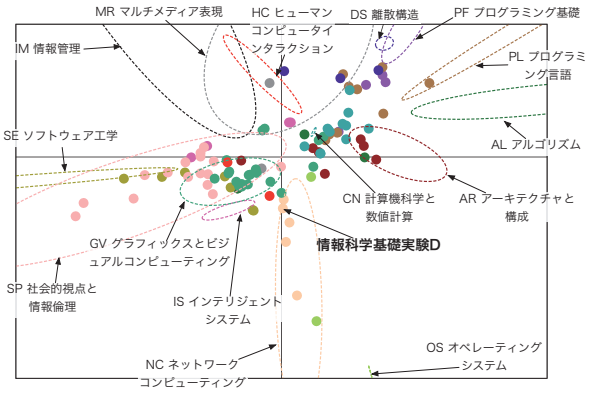
b. A 学科 (国立 工学 その他) のマップ



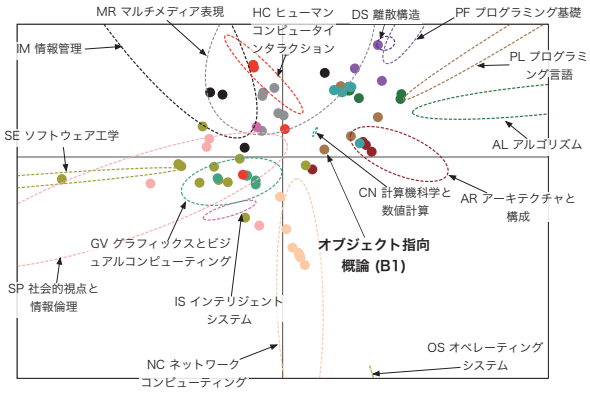
c. B 学科 (私立 工学 その他) のマップ



d. C 学科 (国立 理学 数学関係) のマップ



e. D 学科 (公立 工学 電気通信工学関係) のマップ



f. E 学科 (私立 工学 電気通信工学関係) のマップ

図 1: J07-CS (Reference Curriculum) 及び J07-CS を Reference とする情報系学科のマップ

理や知識処理の基本的な技法に関する講義を行う」とあり、純粋なアルゴリズム論ではなくデータ解析など IM の内容があることが分かる。

このようにカリキュラムマップによる全体的な分析及び個別的な分析によって、カリキュラムや個々のシラバスの特徴が分かり、それは学科概要や学科の分類を反映していると言える。

2.3 具体的成果

他のカリキュラム標準を用いた実験結果と共に、以上の情報系学科のカリキュラムの比較結果について、[査読付 1] として発表して、優秀論文賞を受賞した。カリキュラムマップの生成手法全般も含めた形では、[発表 1] でも発表した。

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

2013 年度は、ツールの部分的な改良や過去のデータの整理が中心であった。

3.3 具体的成果

これまでの成果について、[査読付 2] で発表した。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 関谷 貴之, 松田 源立, 山口 和紀: 情報系学科のカリキュラムの比較, 情報教育シンポジウム SSS2013, pp. 33–40, 2013 年 8 月.

[査読付 2] T. Sekiya and K. Yamaguchi: Tracing Quiz Set to Identify Novices' Programming Misconceptions, Proceedings of the 13th Koli Calling International Conference on Computing Education Research, Koli Calling '13, Koli, FINLAND, pp. 87–95, Nov. 2013.

[査読付 3] K. Maruyama and T. Sekiya, Takayuki: ECCS2012 Makes PCs and Printers in Computer Labs Accessible from Off-campus Environment, Proceedings of the 41st Annual ACM SIGUCCS Conference on User Services, SIGUCCS '13, pp. 105–108, Nov. 2013.

表 2: シラバス例と J07-CS トピックの関係

学科	講義名	関連の強い上位 3 つのトピックと関連度 (%)		
B	UNIX 入門	OS: 14.82	SE: 14.80	PL: 13.05
C	知識処理論	AL: 19.77	IM: 17.22	SE: 14.72

その他の発表論文

[発表 1] 関谷 貴之, 松田 源立, 山口 和紀: LDA と Isomap を用いたカリキュラムの可視化, 人工知能学会 インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング 第 5 回研究会研究発表会予稿集, SIG-AM-05-06, pp. 33–40, 2013 年 10 月.

教育用計算機システムにおける端末及びプリントサービスの利用範囲拡充

丸山 一貴

1　はじめに

情報基盤センター情報メディア教育部門で運用する教育用計算機システムは、以下の各システム（サービス）からなる。

- 端末
- メール
- ファイルサーバ
- プリンタ
- ネットワーク
- 認証

前システムである ECCS2008 で学外（システム外）から利用可能だったのは、これらのうちメールの機能と、端末及びファイルサーバの一部機能に限られていた。ECCS2012 では、導入システムを学外（システム外）からも利用可能として利便性を高めるため、端末の全サービスを利用可能とするリモートアクセスシステムと、学外から及び学外へ印刷可能なプリントサービスを新たに実現した。プリントサービスでは、課金プリントの交通系電子マネーによる決済も導入している。本稿では、運用開始初期におけるこれらの利用状況について報告する。

2　リモートアクセスシステム

ECCS 端末には講義で利用するアプリケーションがインストールされており、また、ごく一般的な市販 PC とは環境が若干異なっている。従って、学生が自習目的で研究室や自宅から、非常勤講師が講義準備のために学外のオフィス等から ECCS 端末を利用できるようにすることが重要であると考えた。ECCS2012 ではリモートアクセスシステムと呼ぶサブシステムを構成し、システム外からの接続専用に 30 台の端末を配置して、ネットワーク経由でサービスを提供している。

図 1 に本システムの構成を示す。演習室で講義に利用される ECCS 端末は iMac であるが、リモートアクセス専用端末はサーバ室内に設置し、コンソールを常時持つ必要がないため、ハードウェアとして Mac mini を利用している。各端末には、HTML5 ベースで実装され、Web ブラウザ経由でリモートデスクトップの機能を提供する Guacamole[1] を導入することで、利用者は特別なクライアントをインストールすることなくサービスを利用できる。セッション管理サーバは利用者の認証を行うとともに、バックエンドにあるリモートアクセス専用端末をプールとして管理しており、新たな接続要求があればプールから 1 台を利用者に割り当て、利用終了した端末があればこれを再起動して再びプールに戻して利用可能にする。

[1] http://guac-dev.org/

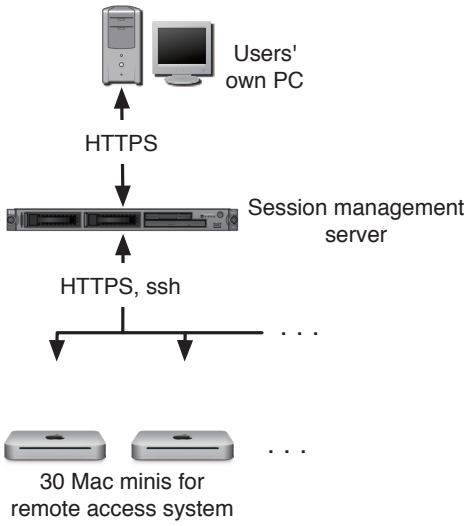


図 1: リモートアクセスシステムの構成

利用者は各自の PC で HTML5 に対応した Web ブラウザを起動し、セッション管理サーバが提供する Web ページに接続する。当該ページでは各自の通信帯域に応じて適切な解像度を選択し、システムのアカウントによりログインするとプールから 1 台が割り当てられ、当該端末が提供する Guacamole のログイン画面が表示される。再度ログインを行うと、通常端末利用時と同じデスクトップ [2] が表示され、講義用アプリケーションの利用やホームディレクトリ内のファイルを使用した作業が可能となる。本稿執筆時点では、HTML5 対応ブラウザの中で Firefox または Chrome のパフォーマンスが優れている。

リモートアクセスシステムは、本来は演習室設置の ECCS 端末と完全に同等の機能を提供するべきであったが、ライセンスの問題により、現在は Mac OS の環境のみを、Microsoft Office を除いた上で提供している。

リモートアクセスを利用しユーザは、ユニーク数で 1584 ユーザ、2012 年 4 月から約 1 年間での通算ログイン時間のトップ 30 は図 2 の通りであった。接続元は学内の IP が約 15%、学外が約 85%となっており、学生の自宅や非常勤講師のオフィスから利用してもらうという目的に則した結果である。同時ログイン数は最大が 8 であり、同時 30 ログインを可能にしたことはやや過大であったことが分かる。Guacamole による接続は zero client で安価であるが、パフォーマンスが高くない。これを改善すればより多くのユーザが利用する可能性があると考えている。

3 プリントサービス

プリントサービスでは、学外リソースとの連携により以下を実現した。

1. 学外で印刷可能とする仕組み
2. 交通系電子マネーによる課金
3. 研究室や自宅等、システム外からの印刷ジョブ送信ー印刷

これらのうち、第 1 と第 3 は、図 3 に示す学外印刷用プリントポータルを介してシステム内外にプリントジョブを流通させることで実現している。ECCS 端末と、第 3 の機能を利用するシステム外クライアント（利用者の研究室や自宅にある PC）にはプリントポータルと連係する仮想プリンタを設定しておき、これに印刷ジョブを送信するとプリントポータルへ送られる仕組みである [3]。学外で印刷する場合は、富士ゼロックスが運営するネットプリントのアカウントを利用者自身が取得し、セブンイレブン店頭のマルチコピー機で操作することにより出力が可能である。

[2] 解像度の違いにより、アイコンの配置等は変わる。

[3] ECCS 端末では、プリントポータル送信後に ECCS 内プリンタでの印刷に変更する場合を考慮して、ECCS 内プリンタへも同時送信可能な設計となっている（図中の (2)）。

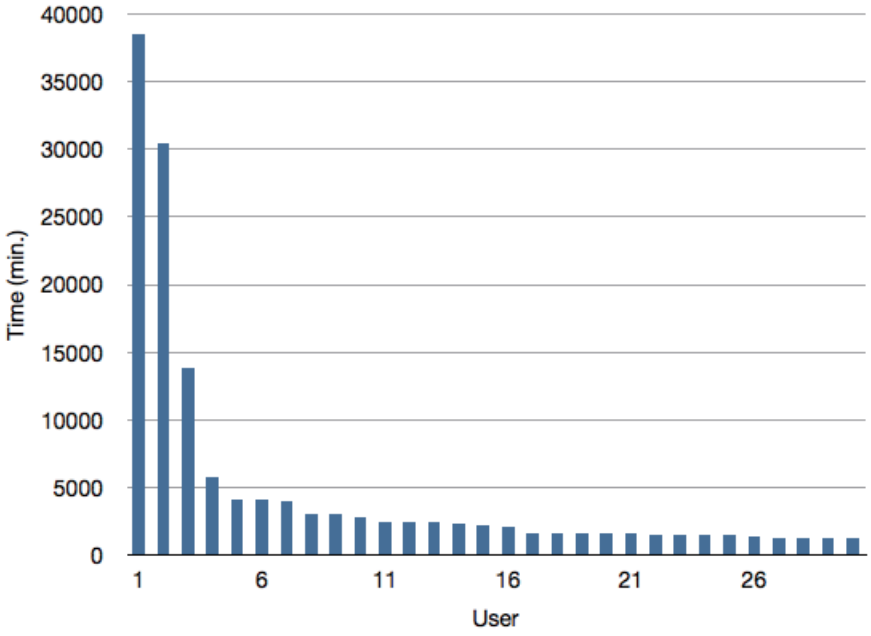


図 2: 合計ログイン時間の上位 30 ユーザ

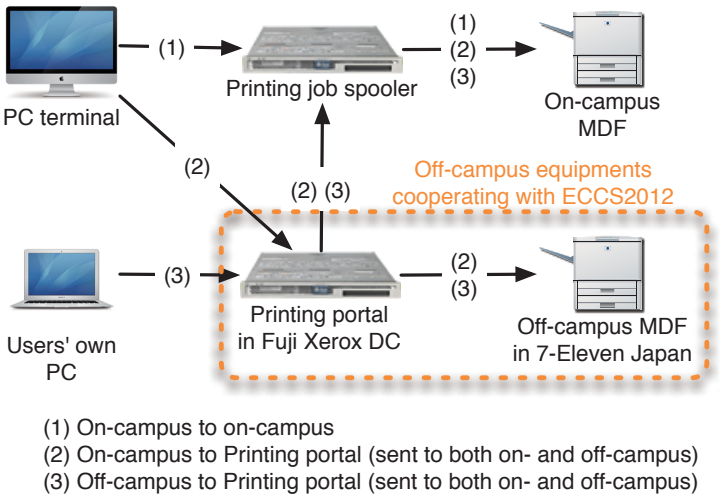


図 3: プリントサービスの構成

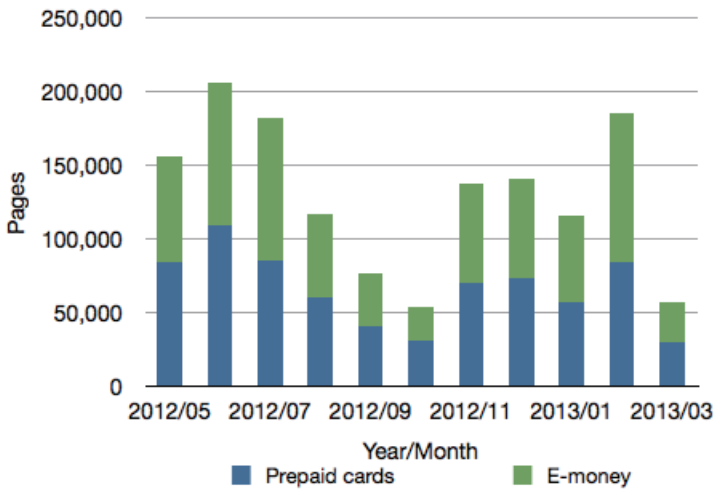


図 4: プリント決済方法の内訳

プリントポータルを介したジョブ送信は、2012 年 3 月から 2013 年 3 月の間に合計 1285 回。そのうち、NPS へのジョブ送信は約 9%であった。学内で印刷する場合に比べ、モノクロで 2 倍の金額であり、学生にはやや使いにくい金額設定のためと考えられる。プリントポータルへの接続元 IP は、約 68%が学内からであり、学生自身が持ち込んだノート PC や、研究室からのジョブ送信である。USB メモリや PC 端末を介さずに印刷可能にした効果が現れている。同時に、学外からのジョブ送信も約 32%となっており、自宅等から印刷ジョブを送信しておき、大学に来てからプリントアウトするという利用スタイルも確立されていると言える。

課金決済については、従来の課金プリントではプリペイドカードに 1000 円のものしかなく使いにくいとの声があったため、商業施設でも利用可能な一般的な決済手段である交通系電子マネーを導入した。電子マネーへのチャージはキャンパス近隣の駅やバスで行う。2012 年 5 月から 2013 年 3 月において、プリペイドカードによる出力が 726,543 ページ、電子マネーによるものが 704,846 ページであり、合計ではプリペイドカードが多い。図 4 の通り、電子マネーによる決済は増えているものの、プリペイドカードの利用も依然として大きな割合を占める。生協でのコピーを目的としてカードを持っているユーザが多いことに加え、1000 円のプリペイドカードが 1050 円分の印刷権を持つといったことも理由の 1 つと考えられる。電子マネーによる決済は便利なものであるが、約半々という傾向は今後もあまり変わらないと考えている。

4 まとめ

本論文では教育用計算機システム ECCS2012 のサブシステムのうち、学外（システム外）にあるリソースと連携する試みとして、リモートアクセスとプリントサービスについて述べた。また、運用開始当初におけるそれぞれの利用状況を紹介した。次期システムの要件を検討するため、今後も継続して利用状況を調査していく。

5 具体的成果

共著で論文を執筆し、国際会議でポスター発表を行った（成果要覧の [査読付 1]）。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Kazutaka Maruyama and Takayuki Sekiya : ECCS2012 makes PCs and printers in computer labs accessible from off-campus environment, Proceedings of the 2013 ACM Annual Conference on Special Interest Group on University and College Computing Services, pp.105–108, 2013.

学術情報研究部門

学術情報研究部門概要

中川 裕志
統計的機械学習とその応用

佐藤 一誠
確率的潜在変数モデルの統計的機械学習に関する研究
—周辺化変分ベイズ法の大規模データへの適用—

学術情報研究部門

概要

中川裕志

1 概要

2013 年度は，主に統計的機械学習とそ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．

- 英語学習者の語彙能力推定を行うアルゴリズム開発およびシステム構築を行った．これらは ACM の査読ジャーナル論文[査読付 1]およびその応用を[発表 1] にて公表した．
- 統計的機械学習のオンライン教師有り学習で分類システムを学習するとき，正則化を使って計算に寄与する素性の少ない分類器を学習する方法として，L2+L0 正則化項を利用した方法[査読付 4]，過去の教師データを正解に導くことに寄与した素性を重視する学習アルゴリズム[発表 4]を発表した．
- オンライン学習では入力データに対しての正解ラベルとして選択した分類枝に対して，その分類についての選択時点での報酬しか分からないという情報が少ない状態での情報源の状態推定を行うマルチアームド・バンディットに関して理論的検討を行った．具体的には，枝選択を変えてはいけない期間すなわちロックアップ期間がある場合の非定常状態を対象にする理論解析を行った．[査読付 1] [査読付 5]
- プライバシー保護データマイニングのうち，暗号化を基礎におく秘密計算において結託攻撃に対する耐性のあるアルゴリズムを考案した．[発表 5]
- プライバシー保護において重要な匿名化の技術に関して，完全な匿名化手法が存在しないことを示し[発表 2]，さらに k-匿名化が濡れ衣という副作用を持つことを示し，解消する方向を提案した．[発表 3]
- ネットワーク構造に潜むコミュニティ構造を、潜在コミュニティ数の推定も含めて抽出する方法として、量子アニーリングに基づく最適化手法を提案し、FX10 による並列計算を行い従来手法よりも高速に抽出できることを示した。[査読付 2]

2 成果要覧

査読付論文

[査読付 1]小宮山 純平 , 佐藤 一誠 , 中川 裕志: ロックアップ期間による制約を考慮した確率的バンディット問題， 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用（TOM）,6(3),pp.11-22 2013 年 12 月

[査読付 2]Issei Sato, Shu Tanaka, Kenichi Kurihara, Seiji Miyashita,Hiroshi Nakagawa: Quantum Annealing for Dirichlet Process Mixture Models with Applications to Network Clustering, Neurocomputing achive, 121, pp.523-531 , Dec. 2013.

[査読付 3] Yo Ehara, Nobuyuki Shimizu, Takashi Ninomoya, Hiroshi Nakagawa: Personalized Reading Support for Second-Language Web Documents. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 4(2) pp. 31.1-31.19. 2013. DOI 10.1145/2438653.2438666,

[査読付 4] Hidekazu Oiwa, Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Novel Sparse Modeling by L2 + L0 Regularization. NIPS2013 DISCML Dec. 2013

[査読付 5] Junpei Komiyama, Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Multi-armed Bandit Problem with Lock-up Periods.The 5th Asian Conference on Machine Learning: ACML2013 (JMLR: Workshop and Conference Proceedings 29). pp.100-115, Canberra, Australia. Nov.13-15, 2013

[査読付 6] Tengfei Ma and Hiroshi Nakagawa: Automatically Determining a Proper Length for Multi-document Summarization: A Bayesian Nonparametric Approach. EMNLP2013(ACL SIGDAT Conference of Emprical Methods on Natural Language Processing),pp.736-749 Seattle, USA. Oct.2013

[査読付 7] Yo Ehara, Issei Sato, Hidekazu Oiwa,and Hiroshi Nakagawa: Understanding seed selection. EMNLP2013 Workshop;TextGraphs-8, Seattle, USA. Oct.18, 2013

その他の発表論文

[発表 1]江原遥，宮尾祐介，中川裕志. リンク予測を利用した語学学習用 SNS 上の友人関係グラフ分析　言語処理学会第 20 回大会　C3-3 札幌，2014/3/19

[発表 2] 板倉陽一郎，伊藤孝一，菊池浩明，高木浩光，高橋克巳，中川裕志，疋田敏朗，廣田啓一，山口利恵，渡辺創:「完全な匿名化」幻想を超えて Beyond the Fantasy of ”Perfect Anonymity”.SCIS 2014 The 31st Symposium on Cryptography and Information Security 3D1-4.Kagoshima, Japan, Jan. 23, 2014. The Institute of Electronics,Information and Communication Engineers

[発表 3] 中川裕志，角野為耶: 滞在場所の k-匿名化と濡れ衣. 情報処理学会.第 62 電子化知的財産・社会基盤研究発表会(EIP 研究会) Vol.2013-EIP-62, No.12.2013 年 11 月

[発表 4]大岩秀和，中川裕志：授かり効果付きオンライン学習. 第 27 回人工知能学会全国大会，1E4-6in，富山，2013 年 6 月(全国大会学生奨励賞)

[発表 5]楊斌，中川裕志：Collusion-Resistant Privacy-Preserving Data Mining. 第 27 回人工知能学会全国大会，3L3-OS-06b-1, 富山，2013 年 6 月

[発表 6] 日向野 達郎，中村 早紀，増田 英孝, 山田 剛一, 清田 陽司, 中川 裕志 ： 機関横断型文献情報 Wiki による著者情報対応付けとその編集支援機能の提案. 第 27 回人工知能学会全国大会，4G1-6in , 富山，2013 年 6 月

[発表 7] 馬 騰飛，佐藤 一誠，中川 裕志 ：A Hybrid Nested/Hierarchical Dirichlet Process for Topic Modeling with Word Differentiation. IBISML 2013 ワークショップ, 東工大，2013 年 11 月

[発表 8] 牛丸 太希，佐藤 一誠，中川 裕志 ：拡張 3 次元 Haar 特徴量を用いたハンドジェスチャー認識. IBISML 2013 ワークショップ, 東工大，2013 年 11 月

[発表 9] 風間 正弘, 佐藤 一誠，中川 裕志 ：ランダムでない欠損値を考慮した推薦システム. IBISML 2013 ワークショップ, 東工大，2013 年 11 月

[発表 10] 石黒 勝彦, 佐藤 一誠 , 上田 修功: 周辺化変分ベイズ法による無限関係モデル推論の検討. IBISML 2013 ワークショップ, 東工大, 2013 年 11 月

特記事項

[特記 1] 中川裕志, 佐久間淳, 神嶌敏弘, 荒井ひろみ. 主催 : 第 27 回人工知能学会全国大会, オーガナイズドセッション「OS-06 情報の保護と中立性に配慮したデータ分析」. 富山, 2013 年 6 月

[特記 2] 佐藤一誠: 混合分布学習の基礎から最先端, 第１６回　講演　（NEC 基幹技術フォーラム）, 2013 年 4 月 4 日

[特記 3] 佐藤一誠: 機械学習入門－データからの知識獲得とその転移－. 第 5 回次世代コンピュータ支援診断ソフトウェア臨床使用・評価プラットフォーム研究会. 2013 年 6 月 16 日

[特記 4] 佐藤一誠: 点過程と機械学習の数理. IBM 豊洲事業所 招待講演, 2013 年 7 月 3 日

統計的機械学習とその応用

中川裕志

1 概要

2013 年度は,主に統計的機械学習とそ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。

- 英語学習者の語彙能力推定を行うアルゴリズム開発およびシステム構築を行った。これらは ACM の査読ジャーナル論文[査読付 1]およびその応用を[発表 1] にて公表した。
- 統計的機械学習のオンライン教師有り学習で分類システムを学習するとき、正則化を使って計算に寄与する素性の少ない分類器を学習する方法として、L2+L0 正則化項を利用した方法[査読付 4]、過去の教師データを正解に導くことに寄与した素性を重視する学習アルゴリズム[発表 4]を発表した。
- オンライン学習では入力データに対しての正解ラベルとして選択した分類枝に対して、その分類についての選択時点での報酬しか分からないという情報が少ない状態での情報源の状態推定を行うマルチアームド・バンディットに関して理論的検討を行った。具体的には、枝選択を変えてはいけない期間すなわちロックアップ期間がある場合の非定常状態を対象にする理論解析を行った。[査読付 1] [査読付 5]
- プライバシー保護データマイニングのうち、暗号化を基礎におく秘密計算において結託攻撃に対する耐性のあるアルゴリズムを考案した。[発表 5]
- プライバシー保護において重要な匿名化の技術に関して、完全な匿名化手法が存在しないことを示し[発表 2]、さらに k-匿名化が濡れ衣という副作用を持つことを示し、解消する方向を提案した。[発表 3]

紙数の関係から以下では、k-匿名化が誘発する濡れ衣という副作用について述べる。

2 k-匿名化と濡れ衣

2.1 背景

2.1.1 濡れ衣の被疑

インターネット上のデータや諸機関が収集した大規模データ(ビッグデータと呼ばれる)については、その有効な利用を巡る議論が活発になされている。しかし、個人に係わる情報である場合、ビッグデータ利用において個人特定をできることがプライバシー保護の観点から問題であることが指摘され、プライバシー保護データマイニングの分野で匿名化手法の研究が進んだ。一方、個人が自身に直接関係しない情報で否定的な事情を疑われること、すなわち濡れ衣の被疑はこれまで見過ごされてきた問題であろう。以下では、このような問題意識から匿名化と濡れ衣の関係について考察する。

2.1.2　濡れ衣の被疑の実例：人名検索

個人 A が濡れ衣を着せられるとは A 以外の人の犯罪行為を A の犯罪とみなされてしまうことであり、法律的には冤罪ということである。だが、濡れ衣を着せられなくても、濡れ衣の被疑は潜在的にもっと多いであろう。濡れ衣被疑で当事者に不利なものとしては以下のような例を容易に想像できる。

- 消費者金融に行ったという濡れ衣。
- ドラッグを買ったのではないかという濡れ衣。

上記 2 例は、就職、婚活で不利になるかもしれない。

- 感染症で病院に行ったのではないかという濡れ衣。当人のせいではないが、職場や友人関係で不利なことがあるかもしれない。

2.1.3　k-匿名化を巡る問題

インターネットやビッグデータにおいて、仮に個人名を消した匿名化を行っても、名前以外の情報（郵便番号、年齢、居住地、性別など。これらは疑似 ID と呼ばれる。）から個人が特定される問題は 2000 年以降さかんに指摘された。その対策として Sweeny によって提案された *k*-匿名化は、事象 S の当事者が一意に識別されないように、事象 S と関係する当事者を含むデータベースに改変を加える方法である。表 1 のようなデータベースを例にして説明する。

このデータベースでは個人識別フィールドの名前は匿名化されている。匿名化された名前(A、B、C、D)を仮名と呼ぶ。誕生日、性別、郵便番号という疑似 ID を組み合わせると仮名と一意の対応が付き、病名が分かる。病名のような個人にとって重要な情報が記載されたフィールドは機微な属性(sensitive feature)が記載されたフィールドだが、ここでは問題事象フィールドと呼ぶことにする。

表 1 データベース

仮名	誕生日	性別	郵便番号	病名
A	21/1/79	男	53715	インフルエンザ
B	10/1/79	女	55410	風邪
C	21/2/83	男	02274	口内炎
D	19/4/82	男	02237	インフルエンザ

もし、別のデータベースで疑似 ID と個人名の対応が分かれば、問題事象フィールドに記載された機微な個人情報である病名が特定されうる。例えば、米国では選挙人名簿が公開されているため、個人特定は 90%に近い確率で可能である。そこで、*k*-匿名化では、疑似 ID の内容のデータの精度を落とすことによって、疑似 ID のデータを組み合わせても、同じ疑似 ID の組み合わせを持つ人が少なくとも *k* 人以上存在するようにして、個人を特定できないようにする。

表 2　2-匿名化

仮名	誕生日	性別	郵便番号	病名
A	*/1/79	*	5****	インフルエンザ
B	*/1/79	*	5****	風邪
C	*/*/83	男	022**	口内炎
D	*/*/82	男	022**	インフルエンザ

例えば、表 2 のように疑似 ID フィールドのデータの一部を*で置き換えると 2 人以下には絞り込めないので 2-匿名性が実現できる。なお、このような改変を行ったとき、データマイニングにおいて、どの程度の有用な情報が取り出せるかは、応用分野依存である。

2.1.4 位置情報の匿名化と危険性

ビッグデータの中でも価値が高いとされているのが個人の行動履歴である。地理的行動履歴は、公共機関の設計や販売戦略に役立つと言われている。しかし、個人情報が流出することの危険性の指摘は既にあり、例えば、2013 年 7 月に JR 東日本が Suica の行動履歴データを匿名化した上で日立製作所を経由して販売するという報道がされたとたんに、反対意見や多くの懸念が SNS などで噴出し、販売計画は中止されている。

したがって、個人の行動履歴などをビッグデータとして活用するための社会的コンセンサスを得るためには、ビッグデータを使った場合の危険の程度、対策などを技術的に把握し、周知することが必須となる。その上で、ビッグデータ利用の社会的コンセンサスに至るのが理想であろう。

位置情報の k −匿名化は位置情報の最小単位を点ではなく領域と考え、その内部に k 人滞在するような広さに領域を拡大することによって実現する。当然、k が大きくなると領域が拡大し、情報の位置精度が劣化する。技術的には領域の形状を工夫することによって k −匿名化を実現して、可能な限り情報の位置精度を確保することが目的になる。

2.2 内容

2.2.1 濡れ衣被疑の構造

既に述べた例のように病院に行ったことが知られることによって感染症の患者であることを疑われる濡れ衣の被疑は、従来、ビッグデータとの関連は注目されてこなかったが、その発生のメカニズムを明らかにしておくことは意味がある。

2.2.2 濡れ衣の形式的記法

濡れ衣とその被疑についての形式的な記法を説明する。

ビッグデータやインターネット上の情報環境では、与えられた情報環境 C において議論を進める必要がある。そこで、ここでは情報環境 C が与えられたとき、個人 X に対して事象 S の当事者である疑いを持つか否かを表わす論理式を

$$\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C) \qquad (1)$$

で表わす。情報環境 C とはビッグデータに含まれる情報、あるいは外部から与えられた情報を意味し、具体例は後に述べる。

与えられた情報環境 C において、X の S を疑う度合い、すなわち主観確率を次式で表わす。

$$p_{sub}(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)) \qquad (2)$$

濡れ衣の被疑を実際受けてしまえば、その被害額や救済法ということが問題になるが、それは法律的ないし社会制度的な問題なので、ここでは扱わない。ビッグデータやインターネット上の情報環境で問題になるのは、式(2)で表わされた主観確率である。しかし、これまでは式(2)の濡れ衣の被疑の主観確率を小さくしようという問題意識は示されてこなかった。

2.2.3 濡れ衣の被疑を誘発する認知の構造

まず、情報環境 C が与えられたとき、事象 S が発生している確率を $p(S|C)$ とする。例えば、インフルエンザの患者の多い病院において、インフルエンザ患者数が通院した 100 人中 3 名ということが C として与えられていたとしよう。すると、通院していた患者がインフルエンザであるという事象 S の確率 $p(S|C) = 0.03$ である。

さて、インフルエンザにかかってしまうと、痛みや熱で苦しんだり、勤務先や学校を 1 週間くらい休んだりしなければならず、損害$L(S)$が発生する。インフルエンザ患者と接触したときうつされてしまう確率をp_{trans}とする。このとき病院に行った人と接触したことによって被る損害額の期待値は

$$\mathrm{E}[L(S)] = p(S|C) \cdot p_{trans} \cdot L(S) \qquad (3)$$

である。一方、少し熱が出たというような状況で病院に行き半日、仕事をしないなどということで発生するインフルエンザ対策コストをCostとする。すると、経済的効果を元に行動するなら式(3)の損害額の期待値 $\mathrm{E}[L(S)]$が Cost より大きければ病院にいくなどの対策を実行するであろう。

したがって、病院に行った人にインフルエンザであると疑う主観確率$p_{sub}(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C))$は、自分に降りかかる損害額の期待値と対策のコストの小さい方を選ぶという最適化をするなら以下の式、あるいは$p(S|C)$を横軸にとった場合は図 1 の階段状の折れ線で示したものになる。

$$\text{if } \mathrm{E}[L(S)] < \mathrm{Cost} \text{ then } p_{sub}\big(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)\big)=0$$
$$\text{otherwsie } p_{sub}\big(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)\big)=1 \qquad (4)$$

もっとも、現実世界では、インフルエンザ罹患確率が小さくても、疑いを持ち対策を実行する人もいれば、インフルエンザ罹患確率が相当大きくても楽観視して対策を行わない人もいる。よって、実際は図 1 のS字に近い曲線で描かれたシグモイド関数風な形になるであろう。

図 1 の$p_{sub}\big(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)\big)$ は病院に行った人がインフルエンザ患者である疑われる主観確率であり、Cを「病院に行った」という文脈情報とする。

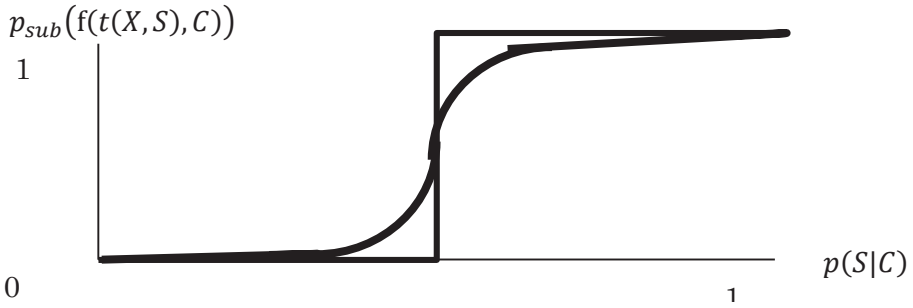


図 1 濡れ衣被疑の主観確率

2.2.4 匿名化と濡れ衣の被疑

匿名化の有力名手法である k-匿名化が誘発する濡れ衣の被疑を説明するために表 3 のデータベースについて考えてみる。

表 3 所在場所のデータベース例

名前	年	性別	住所	N 月 M 日 P 時の所在
一郎	35	男	文京区本郷 XX	K 消費者金融店舗
次郎	30	男	文京区湯島 YY	T 大学
三夫	33	男	文京区弥生 ZZ	T 大学
四郎	39	男	文京区千駄木 WW	Y 病院

最左列は人名だが、これは匿名化されなければならない。2,3,4 列は、疑似識別フィールドと呼ばれ、1~4 列が総合されると、就活や婚活中に人にとっては、最右列の所在地に消費者金融が記載されていることは芳しくない。そこで、名前を A、B、C、D と仮名化し、疑似識別フィールドの情報を粗いものに変更して表 4 のように改変する。こうすると疑似識別フィールドは 4 人とも同じになるので、4-匿名化が実現でき、消費者金融に行った人を特定できない。

表 4　4-匿名化したデータベース

仮名	年齢	性別	住所	N 月 M 日 P 時の所在
A	30 代	男	文京区	K 消費者金融店舗
B	30 代	男	文京区	T 大学
C	30 代	男	文京区	T 大学
D	30 代	男	文京区	Y 病院

事象 S を消費者金融に行ったこととし、情報環境 C を 4 人同一の疑似識別フィールド情報を持つ人がいるとすれば、$p(S|C) = 1/4$であるので、式(3)に示される主観確率で消費者金融に行ったという濡れ衣の被疑を他の 3 人が受けることになる。k-匿名化の k を大きくすると、$p(S|C)$が小さくなるので、事象 S の当事者は特定されにくくなる。同時に濡れ衣を疑われる主観確率は減少するが、濡れ衣の被疑者数も増大する。

2.2.5　濡れ衣の被疑の減少法

図 1 に示された式(2)の$p_{sub}\big(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)\big)$の構造をみると、$p(\mathrm{S}|\mathrm{C}) < \frac{\mathrm{Cost}}{p_{trans}\cdot \mathrm{L}(S)}$ の部分で $p_{sub}\big(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)\big) \ll 1$ となる。$p_{sub}\big(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)\big)$は$p(\mathrm{S}|\mathrm{C})$が十分小さいとき非線形に減少する。すなわち、図 1 に示されたように、$p(\mathrm{S}|\mathrm{C})$に対して階段状あるいはS字型曲線で増加するので、$p(\mathrm{S}|\mathrm{C}) < \frac{\mathrm{Cost}}{p_{trans}\cdot \mathrm{L}(S)}$ となるような大きな k を用いる、換言すれば小さな$p(\mathrm{S}|\mathrm{C})$になるような k-匿名化をすれば濡れ衣被疑の主観確率は0に近づくほどに低減できる。k 人を含む領域中に存在する S の当事者 s が小さくなるように領域の範囲を定めれば$p(\mathrm{S}|\mathrm{C}) = s/k$ が小さくなり、上記の目的を満足する。仮に病院や店にように狭い領域に事象 S の当事者が s_0 人いるなら、後に示す図 2 のようにこの領域を分割して s/k を小さくする領域の構造を求めることが解決策となる。s は「領域の構造」によって決まるので、以後、領域を意識する必要があるときは s(領域の構造)と書く。

2.2.6　濡れ衣の被疑の減少する領域の拡大法

個人が存在した場所の情報からの濡れ衣被疑の主観確率を低減する手法で領域の形状を変化させる場合のヒューリスティックについて述べる。

病院のような特定に施設に滞在した場合は、そもそも施設に滞在した人数が多い。病院そのものに行ったことを隠したい情報とすれば、病院を含む大きな領域を作り k-匿名化するためには、極端に大きな領域を作らなくてはならず、データの利用価値が著しく低下しかねない。そこで、図 2 に示すように、病院を m 個（この図では 4 個）に分割し、分割された病院の一部分に滞在した人数を減らした上で領域の拡大を行う方法が考えられる。 図中の四角形の中には k 人滞在し、病院の滞在者数 s 人のうち、$s/4$ 人だけが一つの領域に入っている。この手法を施設分割あるいはポイント分割ヒューリスティックと呼ぶことにする。

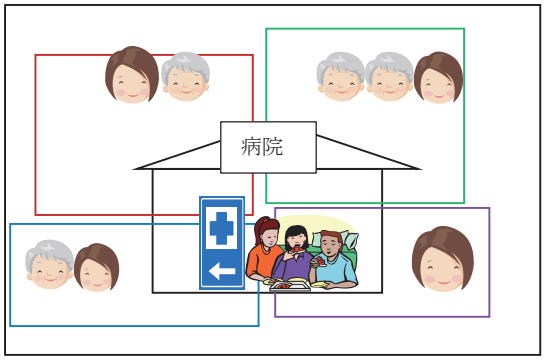


図 2 病院を 4 分割して拡大した領域

ポイントとなる病院、貸し金融店舗、裁判所、警察署、風俗店などを上記のように分割すると、k –匿名化は、まずこれらのポイントを含む k 人以上内部に滞在する k–匿名化の領域を作りことになる。こうして作られた k–匿名化の領域でカバーされていな場所を適当に分割して k–匿名化すればよいので、一種の分割統治型のアルゴリズムになる。ただし、異なるポイントを含む2個以上の k–匿名化領域が重複した場合の処理は工夫が必要であり、今後の課題である。

2.3 具体的成果

2.3.1 最適化問題としての定式化

この節では、2節で述べた濡れ衣被疑の構造の定式化と上で述べた k–匿名化における濡れ衣被疑とその低減方法を、最適化問題として定式化する。

k–匿名化の安全性は k だけで表されているとする。また k 人中、事象 S の当事者を s 人とし、この状態を情報環境 C とする。以下では s の値はデータベースを分析して知られているとしている。

2.3.2 濡れ衣被害総額

まず、k–匿名化の領域内の事象 S に関係しない k–s 人の 1 人当たりの濡れ衣被害額の期待値 $\mathrm{E}[D_f(X,S)]$は次式となる。$B_f(S)$は事象 S の濡れ衣被害額である。

$$\mathrm{E}[D_f(X,S)] = B_f(S)p_{sub}(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C))p(\neg\mathrm{t}(X,S)) \qquad (5)$$

ここで、$p(\neg\mathrm{t}(X,S))$は X が事象 S に関係しない確率だから

$$p(\neg\mathrm{t}(X,S)) = 1 - s/k \qquad (6)$$

よって、式(11)は次のように書ける。

$$\mathrm{E}[D_f(X,S)] = B_f(S)p_{sub}(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C))(1-s/k) \qquad (7)$$

事象 S に関係しない k–s 人が受ける濡れ衣被害総額の期待値$\mathrm{E}[D_{k-s,f}(X,S)]$は次の式のようになる。

$$\begin{aligned}\mathrm{E}[D_{k-s,f}(X,S)] &= (k-s)\mathrm{E}[D_f(X,S)] \\ &= (k-s)B_f(S)p_{sub}(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C))(1-s/k) \\ &= B_f(S)\frac{(k-s)^2}{k}p_{sub}(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),C)) \qquad (8)\end{aligned}$$

次に事象 S の起こった場所を図 2 のように m 分割しよう。すると、s は s/m になり、期待値は事象 S を含む m 個の領域全てで計算しなければならない。よって、事象 S に関連する領域全部における濡れ衣被害総額の期待値$\mathrm{E}[D_{\mathrm{m},k-s,f}(X)]$は次式となる。ただし、主観確率も S の発生確率が低い場合に変更する。これは情報環境 C が変更されたと考えられるので、これを$p_{sub}\left(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),\mathrm{C}(s/m))\right)$と書く。

$$\mathrm{E}\left[D_{\mathrm{m},k-s,f}(X)\right] = E_{m\text{領域}}\left[(k-\mathrm{s}/m)B_f(S)p_{sub}\left(\mathrm{f}(\mathrm{t}(X,S),\mathrm{C}(s/m))\right)\left(1-\frac{s}{mk}\right)\right] \quad (9)$$

2.3.3 k-匿名化による情報損失

次に k-匿名化による情報損失を算定する。これは、事象 Sの当事者の推定では本来、確率1で推定できたものが s/kでしか推定できないので情報量の損失、つまり曖昧さの増加、は 1 人あたり $\log(s/k)$である。また、事象 Sの当事者でない人も同様に考えれば 1 人あたり$\log(1-s/k)$である。情報損失を経済的価値（平たく言えば金額）に換算する比例定数をC_{econ}とする。すると、k-匿名化による情報損失は次式で表され、できるだけ小さくしたい。

$$C_{econ}k\left(\frac{s}{k}\cdot log\left(\frac{s}{k}\right)+\left(1-\frac{s}{k}\right)log\left(1-\frac{s}{k}\right)\right) \quad (10)$$

2.3.4 k-匿名化による場所情報の誤差

k-匿名化された領域の場所は、領域の中心点などが相当すると考えられる。すると、各個人 i の滞在場所は中心点からの距離だけ誤差を持つ。この誤差が引き起こすデータマイニングにおける損失額を Cerr とする。

式(10)の情報損失と滞在場所誤差から生じる損失 Cerr の和がデータマイニングにおける損失となり、以下ではこの 2 つの和をC_{dm}と記す。よって最適化問題は k が予め与えられているなら、領域の構造によって決まるs/mを動かして解く最少化問題になる。

$$minimize_{s(\text{領域構造})}\left[\mathrm{E}\left[D_{\mathrm{m},k-s,f}(X)\right]+\mathrm{E}\left[D_{\mathrm{m},s}(X)\right]+C_{dm}\right]$$
$$\text{subject to} \quad \text{図 2 のような地理的制約条件} \quad (11)$$

これらの最適化問題は k 人のグループを同等に扱っているが、別の事象 S'が関連する隣接する領域群を考慮して最適化する必要がある大規模データに対して、これらの領域の構造を変化させて解く最適化問題の近似解法アルゴリズムの開発は今後の課題である。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 小宮山 純平 , 佐藤 一誠 , 中川 裕志: ロックアップ期間による制約を考慮した確率的バンディット問題, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用（TOM）,6(3), pp. 11-22 2013 年 12 月

[査読付 2] Issei Sato, Shu Tanaka, Kenichi Kurihara, Seiji Miyashita,Hiroshi Nakagawa: Quantum Annealing for Dirichlet Process Mixture Models with Applications to Network Clustering, Neurocomputing achive, 121, pp.523-531 , Dec.2013

[査読付 3] Yo Ehara, Nobuyuki Shimizu, Takashi Ninomoya, Hiroshi Nakagawa: Personalized Reading Support for Second-Language Web Documents. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 4(2) pp. 31.1-31.19. 2013. DOI 10.1145/2438653.2438666,

[査読付 4] Hidekazu Oiwa, Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Novel Sparse Modeling by L2 + L0 Regularization. NIPS2013 DISCML Dec. 2013

[査読付 5] Junpei Komiyama, Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Multi-armed Bandit Problem with Lock-up Periods.The 5th Asian Conference on Machine Learning: ACML2013 (JMLR: Workshop and Conference Proceedings 29). pp.100-115, Canberra, Australia. Nov.13-15, 2013

[査読付 6] Tengfei Ma and Hiroshi Nakagawa: Automatically Determining a Proper Length for Multi-document Summarization: A Bayesian Nonparametric Approach. EMNLP2013(ACL SIGDAT Conference of Emprical Methods on Natural Language Processing),pp.736-749 Seattle, USA. Oct.2013

[査読付 7] Yo Ehara, Issei Sato, Hidekazu Oiwa,and Hiroshi Nakagawa: Understanding seed selection. EMNLP2013 Workshop;TextGraphs-8, Seattle, USA. Oct.18, 2013

その他の発表論文

[発表 1] 江原遥,宮尾祐介,中川裕志: リンク予測を利用した語学学習用 SNS 上の友人関係グラフ分析　言語処理学会第 20 回大会　C3-3 札幌,2014/3/19

[発表 2] 板倉陽一郎,伊藤孝一,菊池浩明,高木浩光,高橋克巳,中川裕志,疋田敏朗, 廣田啓一,山口利恵,渡辺創:「完全な匿名化」幻想を超えて. Beyond the Fantasy of "Perfect Anonymity".SCIS 2014 The 31st Symposium on Cryptography and Information Security 3D1-4.Kagoshima, Japan, Jan. 23, 2014. The Institute of Electronics,Information and Communication Engineers

[発表 3] 中川裕志,角野為耶: 滞在場所の k-匿名化と濡れ衣. 情報処理学会.第 62 電子化知的財産・社会基盤研究発表会(EIP 研究会) Vol.2013-EIP-62, No.12.2013 年 11 月

[発表 4] 大岩秀和,中川裕志:授かり効果付きオンライン学習. 第 27 回人工知能学会全国大会,1E4-6in,富山,2013 年 6 月

[発表 5] 楊斌,中川裕志:Collusion-Resistant Privacy-Preserving Data Mining. 第 27 回人工知能学会全国大会,3L3-OS-06b-1, 富山,2013 年 6 月

[発表 6] 日向野 達郎 中村 早紀 増田 英孝 山田 剛一 清田 陽司 中川 裕志 : 機関横断型文献情報 Wiki による著者情報対応付けとその編集支援機能の提案. 第 27 回人工知能学会全国大会,4G1-6in , 富山,2013 年 6 月

特記事項

[特記 1] 中川裕志,佐久間淳,神嶌敏弘,荒井ひろみ. 主催:第 27 回人工知能学会全国大会,オーガナイズドセッション「OS-06 情報の保護と中立性に配慮したデータ分析」. 富山,2013 年 6 月

確率的潜在変数モデルの統計的機械学習に関する研究 –周辺化変分ベイズ法の大規模データへの適用–

佐藤一誠

1 概要

統計的機械学習は、機械が過去のデータや人の経験から自動的に情報処理方法を学習し、有用な知識の発見や未知の問題解決を行うことを目的としている。機械学習・データマイニングでは、データに潜む「類似性」をモデル化することが重要である。この類似性を統計的に抽象化するために、「潜在変数」と呼ばれる確率変数を導入した確率的潜在変数モデルが近年重要視されている。データ間の類似性を、確率変数として記述し統計的に推定することで確率的変数モデルの学習が定式化される。本研究では、特に学術情報処理の観点から確率的潜在変数モデルの効果的な統計的機械学習理論の構築を目的としている。本研究で扱う統計モデルは、Latent Dirichlet allocation (LDA) という近年最も盛んに研究されているモデルある。特に、LDA の学習手法として state-of-the-art である周辺化変分ベイズ法に関して大規模データへ適用するためのアルゴリズム開発を行った。

周辺化変分ベイズ法を大規模データへ適用する場合の大きな問題点とし、メモリ使用量が非常に高コストであることが挙げられる。例えば、文書データに対して適用する場合、文書中の全単語数を M、潜在変数の次元を T とすると、$\mathcal{O}(NK)$ のメモリ空間を要する。提案するアルゴリズムは、文書数を M、単語の種類数を V とすると $\mathcal{O}(KV)$ とすることができる。もちろん、$V << N$ である。

具体的には、確率的最適化に基づく周辺化変分ベイズ法の逐次学習アルゴリズム開発を行った。特に以下の点で新規性がある。

- ネガティブフィードバック機構を備えた周辺化変分ベイズ法の逐次学習アルゴリズム:
  周辺化変分ベイズ法は、他の学習手法に比べ汎化能力が高いことで知られており、現在の state-of-the-art である。しかし、前述したとおり、メモリ使用量が非常に高コストである。この理由として、各潜在変数の事後確率分布を推定する際に、十分統計量から、1 ステップ前に学習した事後確率分布の情報を削除して学習する必要があるため、1 ステップ前に学習した事後確率分布を覚えておく必要があるためである。これを回避する方法として、十分統計量から 1 ステップ前の事後確率分布を削除せず、近似してしまうということが単純には考えられる。しかし、予備実験の結果、このような近似は汎化能力を低下させることがわかった。この理由として、1 ステップ前の事後確率分布を十分統計量から差し引くという操作が、制御理論におけるネガティブフィードバック機構に相当し、システムを安定させているのではないかと考えられる。つまり、この差し引くという操作を無くしてしまうと、ポジティブフィードバックがかかり、学習データにオーバーフィットしてしまうのではないかと考えられる。本研究では、ネガティブフィードバック機構も備えつつ、1 ステップ前の事後確率分布を保持しておく必要がないメモリ効率に優れたアルゴリズムを提案する。

- 提案アルゴリズムの理論解析:
  周辺化変分ベイズ法は、元々学習データに対して何度も反復を繰り返す一括学習アルゴリズムである。提案アルゴリズムは、学習データを部分的に繰り返し学習しつつ、1 度学習したデータを

捨てていく逐次学習アルゴリズムである。このような学習アルゴリズムが、元の周辺化変分ベイズ法と同様の学習アルゴリズムになっていることを理論的に示す必要がある。本研究では、マルチンゲールの収束定理の下で、周辺化変分ベイズ法と同様のアルゴリズムになっていることを示した。

2 Latent Dirichlet allocation (LDA)

2.1 背景

LDA は、当初、文書の確率的生成モデルとして提案された。各文書にはトピックがあると仮定し、このトピック情報を潜在的変数としてモデル化することで抽出できる。特に LDA では、文書には複数のトピックが存在すると仮定し、そのトピックの分布をモデル化する。これまで、LDA を改良した様々なモデルが提案され（総称してトピックモデルと呼ばれる）、近年の機械学習では、主要な研究分野の一つとなっている。その理由の 1 つとして、トピックモデルが、文書の持つ様々な情報（著者や参照リンクなど）を柔軟にモデル化することができ、また自然言語処理に留まらず、画像処理、音声処理、ソーシャルネットワーク解析、情報検索、情報推薦などさまざまな分野で応用可能であることに起因する。

2.2 定式化

確率的潜在変数モデルでは、潜在変数という確率変数を確率モデルに導入する。LDA の場合、文書中の各単語が、離散値を取る潜在変数をもっており、その潜在変数の値が同じ単語は、同じトピックに属するという仮定 (モデル化) を行う。

文書数を M とする。単語の種類数を V として、単語集合を $\mathcal{V} = \{1, 2, \cdots, V\}$ とする。文書 d の i 番目の単語を $w_{j,i} \in \mathcal{V}$ として、文書長を n_d とする。各単語 $w_{j,i}$ に対応して潜在変数 $z_{j,i}$ を仮定し、離散値 $1, 2, \cdots, T$ をとる。各潜在変数の値は、潜在トピックと呼ばれ、それぞれ単語の出現分布 $\boldsymbol{\phi}_t$ $(t = 1, 2, \cdots, T)$ に対応する。単語の出現分布 $\boldsymbol{\phi}_t = (\phi_{t,1}, \cdots, \phi_{t,V})$ は、$\mathcal{V}$ 上の確率分布で、$\phi_{t,v}$ は、潜在トピック t で単語 v が出現する確率を表す。LDA では、文書は複数のトピックから構成され、その構成比を離散分布として持つ。$\theta_{d,t}$ を、文書 d でトピック t が出現する確率 (文書 d でのトピック t の構成比率) とし、トピック分布を $\boldsymbol{\theta}_d = (\theta_{d,1}, \cdots, \theta_{d,T})$ とする。

以下、LDA における文書の生成過程について説明する。$\boldsymbol{\phi}_t$ や $\boldsymbol{\theta}_d$ は、確率ベクトルであるので、確率ベクトル上の確率分布として、Dirichlet 分布 (Dir$(\cdot)$ と表記) を仮定する。また、単語 $w_{d,i}$ や潜在トピック $z_{d,i}$ は離散値なので、多項分布 (Multi$(\cdot)$ と表記) を生成分布として仮定する。すなわち、

$$\boldsymbol{\theta}_d \sim \text{Dir}(\boldsymbol{\gamma}) \ (d = 1, \cdots, M), \quad \boldsymbol{\phi}_t \sim \text{Dir}(\boldsymbol{\beta}) \ (t = 1, \cdots, T), \tag{1}$$

ここで、$\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1, \cdots, \gamma_T)$ は T 次元ベクトル、 $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \cdots, \beta_V)$ は V 次元ベクトルで、いずれも Dirichlet 分布のパラメータである.

各文書 $d(= 1, \cdots, M)$ において、各単語は以下の生成過程を仮定する。

$$z_{d,i} \sim \text{Multi}(\boldsymbol{\theta}_d) \ (i = 1, \cdots, n_d), \quad w_{d,i} \sim \text{Multi}(\boldsymbol{\phi}_{z_{d,i}}) \ (i = 1, \cdots, n_d). \tag{2}$$

2.3 周辺化変分ベイズ法

LDA では、統計的学習としてベイズ学習を行う。ベイズ学習では、データ集合 D が与えられた下で、潜在変数や他の確率変数の事後確率分布を推定することで統計的な情報を抽出し、データ解析や予測を行う。ただし、この事後確率分布の推定は、我々が扱う大量のデータにおいては計算量的に困難であるため、近似計算を伴う。LDA では、近似手法として、変分ベイズ法やマルコフ連鎖モンテカルロ法が用いられてきたが、近年高精度な近似手法として周辺化変分ベイズ法が提案された。以下、周辺化変分ベイズ法について概要を説明する。

LDA では、事後分布として、$p(\boldsymbol{z}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{w})$ を推定する必要がある。ここで、$\boldsymbol{w} = \{\boldsymbol{w}_d\}_{d=1}^M$、$\boldsymbol{z} = \{\boldsymbol{z}_d\}_{d=1}^M$、$\boldsymbol{\theta} = \{\boldsymbol{\theta}_d\}_{d=1}^M$、$\boldsymbol{\phi} = \{\boldsymbol{\phi}_t\}_{t=1}^T$ とした。しかし、この事後分布は計算量的に困難であるため、変分ベイズ法では、以下の近似分布を推定する。

$$q^*(\boldsymbol{z})q^*(\boldsymbol{\theta})q^*(\boldsymbol{\phi}) = \operatorname{argmin} \mathrm{KL}[q(\boldsymbol{z})q(\boldsymbol{\theta})q(\boldsymbol{\phi})|p(\boldsymbol{z}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{w})]. \tag{3}$$

ただし、$q(\boldsymbol{z}) = \prod_{d=1}^M \prod_{i=1}^{n_d} q(z_{d,i})$、$q(\boldsymbol{\theta}) = \prod_{d=1}^M q(\boldsymbol{\theta}_d)$、$q(\boldsymbol{\phi}) = \prod_{t=1}^T q(\boldsymbol{\phi}_t)$ と独立性を仮定。上記の最適化問題は、近似分布 $q^*(\boldsymbol{z})q^*(\boldsymbol{\theta})q^*(\boldsymbol{\phi})$ が、互いに独立であるように近似 (平均場近似) することによって、解析的に解くことが可能である。

当然、この独立仮定が推定精度に悪影響を及ぼす。そこで、周辺化変分ベイズ法では、まず以下のような定式化を考える。

$$q^*(\boldsymbol{z})q^*(\boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{z}) = \operatorname{argmin} \mathrm{KL}[q(\boldsymbol{z})q(\boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{z})|p(\boldsymbol{z}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{w})]. \tag{4}$$

しかし、この定式化は、計算量的に困難な $q^*(\boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{z})$ を含んでしまっているため、最適化は困難である。そこで、$p(\boldsymbol{z}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{w})$ における $\boldsymbol{\theta}$ と $\boldsymbol{\phi}$ を周辺化 (積分消去) し、すなわち $p(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{w}) = \int\int p(\boldsymbol{z}, \boldsymbol{\theta}, \boldsymbol{\phi}|\boldsymbol{w}) d\boldsymbol{\theta} d\boldsymbol{\phi}$ とし、以下の最適化問題を解くことを考える。

$$q^*(\boldsymbol{z}) = \operatorname{argmin} \mathrm{KL}[q(\boldsymbol{z})|p(\boldsymbol{z}|\boldsymbol{w})]. \tag{5}$$

ただし、$q(\boldsymbol{z}) = \prod_{d=1}^M \prod_{i=1}^{n_d} q(z_{d,i})$ と独立性を仮定。この最適化問題を解析的に解くことができれば、独立性の仮定が変分ベイズ法に比べて緩和されているため、周辺化変分ベイズ法はより高精度な学習アルゴリズムと言える。実際には、この最適化は解析的に解く事ができないが、テイラー展開による近似によって解くことが可能である。

具体的には、テイラー展開の 0 次近似を用いて以下を得る。

$$q(z_{d,i} = t) \propto \frac{\beta + \mathbb{E}[n_{t,w_{d,i}}^{\setminus d,i}]}{V\beta + \mathbb{E}[n_{t,\cdot}^{\setminus d,i}]} (\gamma_t + \mathbb{E}[n_{d,t}^{\setminus d,i}]). \tag{6}$$

ここで、$\delta(w_{d,i} = v)$ を $w_{d,i} = v$ のとき 1、そうでない時は 0 を出力する関数として

$$\mathbb{E}[n_{d,t}] = \sum_{i=1}^{n_d} q(z_{d,i} = t),\ \mathbb{E}[n_{d,t}^{\setminus d,i}] = \mathbb{E}[n_{d,t}] - q(z_{d,i} = t) \tag{7}$$

$$\mathbb{E}[n_{t,v}] = \sum_{d,i} q(z_{d,i} = t)\mathbb{I}(w_{d,i} = v),\ \mathbb{E}[n_{t,v}^{\setminus d,i}] = \mathbb{E}[n_{t,v}] - q(z_{d,i} = t)\delta(w_{d,i} = v) \tag{8}$$

である。

このアルゴリズムは、一見、大胆な近似のように思えるが、実は、α 情報量最小化の観点から導けることを我々は示した。今回提案したアルゴリズムは、この α 情報量最小化による周辺化変分ベイズ法の定式化に基づいている

(6) 式から分かる通り、$q(z_{d,i} = t)$ を更新する際には、各十分統計量から、それまでの $q(z_{d,i} = t)$ を差し引いて更新する必要がある。これは、制御理論におけるネガティブフィードバックと見なすことができるため、この差引の有無を「ネガティブフィードバックの有無」と呼ぶことにする。$q(z_{d,i} = t)$ の更新時に、ネガティブフィードバックを適用するためには、更新する前の $q(z_{d,i} = t)$ を覚えておく必要がある。すなわち、すべての単語 $w_{d,i}$ に対して、$q(z_{d,i} = t)$ の情報を常に保持して置く必要がある。これは、非常にメモリ効率が悪く大規模データへ適用することができない。もっとも単純な方法としては、$\setminus d, i$ をせずに

$$q(z_{d,i} = t) \propto \frac{\beta + \mathbb{E}[n_{t,w_{d,i}}]}{V\beta + \mathbb{E}[n_{t,\cdot}]} (\gamma_t + \mathbb{E}[n_{d,t}]) \tag{9}$$

としてしまうことである。このアルゴリズムをネガティブフィードバック無しのアルゴリズムと呼ぶことにする。最後に実験で示す通り、この方法では汎化能力を低下させてしまう。

3 提案手法

提案手法は、周辺化変分ベイズ法を α 情報量最小化として定式化し、α 情報量最小化問題を逐次最適化アルゴリズムを用いて解くことで導出したものである。まず、α 情報量最小化について説明し、次にその逐次最適化アルゴリズムについて説明する。

3.1 α 情報量最小化としての周辺化変分ベイズ法

準備として α 情報量最小化としての周辺化変分ベイズ法について概説する。

α 情報量は $\alpha \in (-\infty, \infty)$ をパラメータとして確率分布間の情報量を次のように一般化したものである.

$$D_\alpha[p||q] = \frac{\int \alpha p(\boldsymbol{x}) + (1-\alpha) q(\boldsymbol{x}) - p(\boldsymbol{x})^\alpha q(\boldsymbol{x})^{1-\alpha} d\boldsymbol{x}}{\alpha(1-\alpha)}, \tag{10}$$

ここで、重要な点として $p(\boldsymbol{x})$、$q(\boldsymbol{x})$ は正規化されている必要はない。$p = q$ のとき α 情報量は 0 となる。

ここまで述べてきたように、学習アルゴリズムは、ある計算困難な確率分布 $p(\boldsymbol{x})$ ($\boldsymbol{x} = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$) を近似分布 $q(\boldsymbol{x}) = \prod_{i=1}^n q(x_i)$ で近似することが目的となっている。そこで、我々は α 情報量 (10) を目的関数とした最適化問題として学習アルゴリズムの一般化を考える。この時、更新式は以下のように与えられる

$$q(x_i) \propto \mathbb{E}\left[\left(\frac{p(\boldsymbol{x})}{q(\boldsymbol{x}^{\backslash i})}\right)^\alpha\right]^{\frac{1}{\alpha}}_{q(\boldsymbol{x}^{\backslash i})} \tag{11}$$

多くの問題では、この期待値計算は計算困難となる場合が多いが、

$$q(x_i) \propto \mathbb{E}\left[\left(p(x_i|\boldsymbol{x}^{\backslash i})\frac{p(\boldsymbol{x}^{\backslash i})}{q(\boldsymbol{x}^{\backslash i})}\right)^\alpha\right]^{\frac{1}{\alpha}}_{q(\boldsymbol{x}^{\backslash i})}, \tag{12}$$

であることから、 $p(\boldsymbol{x}^{\backslash i})$ を $q(\boldsymbol{x}^{\backslash i})$ と交換して、

$$q(x_i) \propto \mathbb{E}\left[p(x_i|\boldsymbol{x}^{\backslash i})^\alpha\right]^{\frac{1}{\alpha}}_{q(\boldsymbol{x}^{\backslash i})}. \tag{13}$$

とする。この更新式は $\alpha = 1$ の場合、 Belief Propagation (BP) または Expectation Propagation (EP) と呼ばれる手法である。また、この更新式は、次のように局所的に α 情報量を用いた射影と見ることができる。

$$q^*(x_i) = \underset{q(x_i)}{\operatorname{argmin}} D_\alpha[p(x_i|\boldsymbol{x}^{\backslash i})q(\boldsymbol{x}^{\backslash i})||q(\boldsymbol{x})]. \tag{14}$$

次の節では、この射影アルゴリズムと周辺化変分ベイズ法の関係について述べる。

3.2 α 情報量最小化としての周辺化変分ベイズ法

まず、正規化していない近似事後分布分布 $\tilde{q}(z_{d,i})$ を パラメータ $a_{d,t}^{\backslash d,i}$、 $b_{t,v}^{\backslash d,i}$、 $c_t^{\backslash d,i}$ を用いて以下のように定義する。

$$\tilde{q}(z_{d,i} = t) = \frac{b_{t,v}^{\backslash d,i}}{c_t^{\backslash d,i}} a_{d,t}^{\backslash d,i}. \tag{15}$$

これにより、周辺化変分ベイズ法は、上記３つのパラメータ推定として考えることができる。ここで、$\tilde{q}(z_{d,i})$ が $\boldsymbol{b}_v^{\backslash d,i} = \{b_{t,v}^{\backslash d,i}\}_{t=1}^T$ の関数であることを強調する必要がある場合、 表記 $\tilde{q}(z_{d,i}|\boldsymbol{b}_v^{\backslash d,i})$ をしばしば用いることにする. 他のパラメータについても同様である。

更に以下、幾つかの定義を行う。まず、$\tilde{q}^{\backslash b}(z_{d,i}=t) = \tilde{q}(z_{d,i}=t)/b_{t,v}^{\backslash d,i} = \frac{a_{d,t}^{\backslash d,i}}{c_t^{\backslash d,i}}$. また、$b_{t,v}^{\backslash d,i}$ と $n_{t,v}^{\backslash d,i}+\beta$ を交換して $\tilde{q}^{b\to n}(z_{d,i}=t) = (n_{t,v}^{\backslash d,i}+\beta)\tilde{q}^{\backslash b}(z_{d,i}=t)$.

さて、$b_{t,v}^{\backslash d,i}$ に関して、α 情報量最小化を行う。$\alpha=1$ の場合を考えると、

$$\min_{b_{t,v}^{\backslash d,i}} \mathcal{D}_1[\tilde{q}^{b\to n}(z_{d,i})q(\boldsymbol{z}^{\backslash d,i})||\tilde{q}(z_{d,i}|\boldsymbol{b}_v^{\backslash d,i})q(\boldsymbol{z}^{\backslash d,i})]. \tag{16}$$

この最小化問題は、解析的に解くことができて、$b_{t,v}^{\backslash d,i} = \mathbb{E}[n_{t,v}^{\backslash d,i}] + \beta$ が解となる.

同様に, $a_{d,t}^{\backslash d,i} = \mathbb{E}[n_{d,t}^{\backslash d,i}] + \gamma_k$ 及び $c_t^{\backslash d,i} = \mathbb{E}[n_{t,\cdot}^{\backslash d,i}] + V\beta$ が、以下の最小化問題の解として得ることができる。

$$\min_{a_{d,t}^{\backslash d,i}} \mathcal{D}_1[\tilde{q}^{a\to n}(z_{d,i})q(\boldsymbol{z}^{\backslash d,i},\alpha,\boldsymbol{\pi})||\tilde{q}(z_{d,i}|\boldsymbol{a}_d^{\backslash d,i})q(\boldsymbol{z}^{\backslash d,i},\alpha,\boldsymbol{\pi})], \tag{17}$$

$$\min_{c_t^{\backslash d,i}} \mathcal{D}_{-1}[\tilde{q}^{c\to n}(z_{d,i})q(\boldsymbol{z}^{\backslash d,i})||\tilde{q}(z_{d,i}|\boldsymbol{c}^{\backslash d,i})q(\boldsymbol{z}^{\backslash d,i})]. \tag{18}$$

ここで $\boldsymbol{a}_d^{\backslash d,i} = \{a_{d,t}^{\backslash d,i}\}_{t=1}^T$、 $\boldsymbol{c}^{\backslash d,i} = \{c_t^{\backslash d,i}\}_{t=1}^T$ である。

したがって、 $a_{d,t}^{\backslash d,i}$、 $b_{t,v}^{\backslash d,i}$、 $c_t^{\backslash d,i}$ の解を (15) 式の $\tilde{q}(z_{d,i}=t)$ へ代入すると周辺化変分ベイズ法の更新式が得られる。

4 周辺化変分ベイズ法の逐次学習

α 情報量により最小化では、$a_{d,t}^{\backslash d,i}$ は、文書固有のパラメータであり、$c_t^{\backslash d,i}$ は、$c_t^{\backslash d,i} = \sum_v b_{t,v}^{\backslash d,i}$ として求めることができるので、$b_{t,v}^{\backslash d,i}$ を、文書集合に対して逐次的に学習出来れば良い。したがって、$b_{t,v}^{\backslash d,i}$ の逐次学習について説明する。

まず、通常の更新式を考えると、$w_{d,i}=v$ のとき

$$b_{t,v}^{\backslash d,i} = \mathbb{E}[n_{t,v}^{\backslash d,i}] + \beta, \tag{19}$$

である。これは以下のように、ステップサイズ ρ を導入すると固定点反復法として以下のように計算できることを表している。

$$b_{t,v}^{\backslash d,i} \leftarrow (1-\rho)b_{t,v}^{\backslash d,i} + \rho[\mathbb{E}[n_{t,v}^{\backslash d,i}] + \beta] = b_{t,v}^{\backslash d,i} + \rho[\mathbb{E}[n_{t,v}^{\backslash d,i}] + \beta - b_{t,v}^{\backslash d,i}]. \tag{20}$$

次に、十分統計量は

$$\mathbb{E}[n_{t,v}^{\backslash d,i}] = (n_v - 1)\sum_{d',i'\neq d,i} \frac{1}{n_v-1} q(z_{d',i'}=t)\delta(w_{d',i'}=v). \tag{21}$$

であるから、以下の十分統計量

$$\tilde{n}_{t,v}^{\backslash d,i} = n_v^{\backslash d,i} q(z_{d',i'}=t) = (n_v-1)q(z_{d',i'}=t). \tag{22}$$

と交換することで (ここで $(d',i') \not= (d,i)$ は $w_{d',i'}=v$ であるようなサンプルである)、

(20) 式を以下のように近似する。

$$b_{t,v}^{\backslash d,i} \leftarrow b_{t,v}^{\backslash d,i} + \rho[n_v^{\backslash d,i} q(z_{d',i'}=t) + \beta - b_{t,v}^{\backslash d,i}]. \tag{23}$$

ρ に対して特定の条件下で、上記の近似更新式を繰り返し行うことで、α 情報量最小化問題の近似解 $b_{t,v}^{\backslash d,i}$ を得ることを、マルチンゲールの収束定理により示すことができる。$w_{d',i'}$ は、実際には、既に処理済みの学習データである。

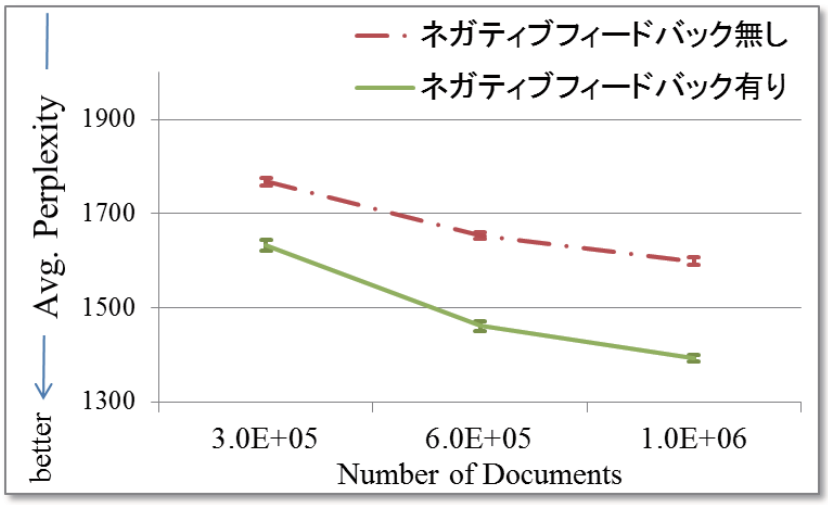


図 1: 実験結果

5 実験結果とまとめ

Pubmed データセット[1]と呼ばれる学術論文のアブストラクト集合に対して、提案手法の実験を行った。文書数 M は 1,000,000(100 万)、語彙数 V は 50,161(およそ 5 万)、総単語数 N は 92,380,343(およそ 9000 万) である。冠詞や機能語のようなストップワードと低頻度語は、学習に悪影響を与えるため削除してある。このような大規模のデータに対して、周辺化変分ベイズ法は、(KN) のメモリ空間を必要とするため適用することはできない。提案手法では、$\mathcal{O}(KV)$ のメモリ空間で済むため適用可能である。ネガティブフィードバック機構の有無で、汎化能力を表す Perpleixty を評価する。$T = 1000$ とした。

図 1 に実験結果を示す。横軸が学習した文書数で、縦軸が Perplexity である。実験結果からも分かる通り、ネガティブフィードバック機構を備えるアルゴリズムは文書数の変化に関わらず、ネガティブフィードバックを備えていないアルゴリズムよりも汎化能力が高いことがわかる。また、ネガティブフィードバック機構を備えることで、30 万文書程度からの学習結果でも、ネガティブフィードバック機構を備えないアルゴリズムが 100 万文書から学習した結果に匹敵することがわかる。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 2]Issei Sato, Shu Tanaka, Kenichi Kurihara, Seiji Miyashita,Hiroshi Nakagawa: Quantum Annealing for Dirichlet Process Mixture Models with Applications to Network Clustering, Neurocomputing, 121, pp.523-531 , 2013.

特記事項

[特記 1] 佐藤一誠: 混合分布学習の基礎から最先端, 第１６回 NEC 基幹技術フォーラム 招待講演, 2013 年 4 月 4 日

[特記 2] 佐藤一誠: 機械学習入門－データからの知識獲得とその転移－. 第 5 回次世代コンピュータ支援診断ソフトウェア臨床使用・評価プラットフォーム研究会 招待講演. 2013 年 6 月 16 日

[特記 3] 佐藤一誠: 点過程と機械学習の数理. IBM 豊洲事業所 招待講演，2013 年 7 月 3 日

[1]https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Bag+of+Words

ネットワーク研究部門

ネットワーク研究部門概要

若原　恭
ネットワークの機能の高度化と設計・運用・保守・管理の合理化

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
SDNを効率的に利用したクラウドとIXの構築に関する研究

中村 文隆
コンピューターサイエンス教育の充実と普及

妙中 雄三
ブロードバンド無線環境実現にむけた基盤技術の研究

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　　若原 恭

情報通信ネットワークは、情報社会の発展とともに、経済・社会・文化等に係わる日々の活動に必要不可欠な社会基盤となった。このようなネットワークへの要求は量的にも質的にも拡大する一方であり、これに応えるため、ネットワーク基盤技術、ネットワーク応用システム、ネットワークセキュリティ技術等に関し、基礎技術から実用技術まで幅広く研究に取り組んでいる。2013 年度の研究の取り組みの概要は以下の通りであり、これらの研究に対し、指導学生の受賞を含め、関連学会等から計 6 件の表彰を受けた。

[1] ネットワーク基盤技術

近年、ノートパソコン、スマートフォン、タブレット端末等の無線端末の急速な発展と普及に伴って無線ネットワークの利用は拡大する一方である。このような無線ネットワークの性能、特に単位時間当たりに授受できる情報量（スループット）を増大可能とする基盤技術について研究を進めた。

無線 LAN 環境において多数の端末が一つの基地局にアクセスする場合、送信情報の衝突が増え、再送の頻発及び再送を含む送信待ち時間の増大によって、スループットが大幅に低下するという基本問題を解決するための検討を行った。その結果、衝突がほとんど発生しない無線端末同士をグループにまとめ、グループ毎に順次アクセス可能とする新しいアクセス制御法を発案し、大幅なスループット向上が達成できることを実証した。無線端末の中継によって情報を授受するマルチホップ無線通信におけるスループットの向上策について検討を行った。その結果、各中継時の送信開始タイミングを適切に制御することによって、衝突や無駄な待ちを回避し、理論的限界近くまでスループットを大幅に改善できることを確認した。

多くの無線端末がメッシュ状の無線リンクで相互接続された無線メッシュネットワークにおいて複数組みの無線端末間で同時に情報授受を行う場合にスループットが著しく劣化するという問題を解決するための技術を検討した。その結果、使用可能な無線チャネルを柔軟に切り替えることによって全チャネルを無駄なく利用可能とし、更にこれらチャネルを無線端末間での情報フローに均等に割り当てることによって無線チャネルを実際の情報送信に徹底的に有効利用する手法を考案した。そして、フローやその方向によって伝送レートが異なる場合等多様な条件下で現場実験を実施し、考案した方法によって総合的なスループットを大幅に向上できることを実証した。

ネットワークの一基本技術はコンピュータ技術であり、その教育の充実は重要な課題である。特に、小規模環境で技術の全体を把握でき、本質をとらえる経験を積み重ねることが肝要である。この認識の下、2012 年 2 月にリリースされたシングルボードコンピュータ Raspberry Pi には、Linux 等の多様な OS が動作するうえ、GPIO 等の外部 I/O 端子が整備されている等の特徴があり、このような教育に極めて適していると判断し、Raspberry Pi に関する教科書を執筆した。

[2] ネットワーク応用システム

無線ネットワークの応用として、道路における車両トラヒックのルートを適切に制御し、車両混雑を回避して所要走行時間の短縮等を図る高度道路交通制御システムの技術確立を進めている。具体的には、そのような制御に必須となる車両の走行速度の的確な予測を行うための新しい手法を考案して詳細に設計し、シミュレーション実験によって、その有効性を評価した。その結果、従来方法に比較

して、予測精度を大幅に向上できることを確認した。

近年、新しいネットワーク技術としてSDN（Software Defined Networking）が注目され、様々なSDNコントローラ、及びそれらコントローラから制御可能なネットワーク機器が利用可能となってきた。一方、プライベートクラウド環境を構築するためのオープンソースソフトウェア、及びそれに付随する多くの技術や製品が入手可能となった。そこで、SDNの活用によって、クラウドに適したネットワークを低コストで実現する技術や手法を開拓するための検討を進めた。特に、クラウド環境において柔軟なネットワークを構築するための要素技術として、SDN技術の適用可能性と規模性を調査し評価して明らかにした。

今日の社会生活では、インターネットに代表される広域分散環境は必要不可欠になっており、気象センサや振動センサ等の様々な小型デバイスや音声・映像を定期的に取得する定点観測装置もネットワークに接続されるようになってきた。その一例として、東京近郊の高校や大学に設置された気象センサで観測される環境情報を用いて都市部特有の短時間強雨（ゲリラ豪雨）の発生状況の把握や防災意識向上のための降雨情報提供システムを構築し、高校や小中学校等の環境教育の授業で活用した。また、気象センサに加え、音声と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進めた。

ネットワークの応用として、コンピュータが生成した仮想物体等の電子情報を現実世界に重畳することによって、直観的に分かりやすく様々な情報を現実世界に提示する拡張現実感（AR: Augmented Reality）技術を活用して日常生活を支援する技術の検討を進めた。まず、視覚と前庭感覚の相互作用によってユーザの歩行を支援するシステムを検討した。例えば、傾斜が急な上り坂を擬似的に緩やかな傾斜に見せ、精神的な疲労感を低減させる方式を検討し、主管評価と客観評価によって、その効果を明らかにした。次に、水中に発生させた気泡に映像を投影しユーザによる気泡の形状制御に応じて映像を動的に変更することによって新しいインタラクションを実現するバブルディスプレイの考案と設計、並びに性能の評価を行った。更に、飛行ロボットの操作に関し、現実空間内に操作内容を重ねて表示することによって、直感的で容易な操作を実現できる技術の検討を進めた。

[３] ネットワークセキュリティ技術

情報通信ネットワークを介した不正アクセスなどセキュリティ脅威が社会的な問題となっている。このような脅威のうち、OSやアプリケーションの新たな脆弱性を攻撃する不正アクセスに対処するため、webサーバへの通常アクセスに紛れて行われる不正アクセス攻撃の具体的な動作を監視してハニーポットに誘導するシステムを仮想マシン環境上で構築する手法について検討を進めた。

近年、様々な分散型サービス妨害攻撃（DDoS）が頻発するようになってきたが、攻撃元の特定や従来のファイアウォール機器での防御は難しい状況にある。そこで、インターネットバックボーンに近い位置にあるネットワーク相互接続システムIX（Internet eXchange）においてDDoS攻撃を効果的に防御する方針に基づき、特にSDN技術の応用を主眼にした防御機構の検討を進めた。

昨今被害が大きくなり社会問題となってきた悪意あるウェブサイトへの対策を検討している。具体的には、ユーザが騙されるまでの思考過程を解明するために、ユーザのどのような生体情報を外部から観測すべきかについて調査を行った。その結果、視線追跡と顔表面温度観測が有力であるとの結論を得た。そして、この結論に基づき、フィッシングサイトを用いて利用者の視線追跡を行い、フィッシング対策の可能性を検討した。

2013年6月から、総務省の日欧ICT協調課題「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」に関し、日欧における大学企業等計9組織と共同で、様々なサイバー攻撃に対し回復力に優れた防御システムの技術確立を目的とした研究開発プロジェクトNECOMAを開始した。そして、脅威の検知や防御のために必要となる多種多様な超多量の観測データを効率良く解析するのに適したデータ格納方法等を検討し、その結果に基づき、観測データ解析基盤を構築した。今後、脅威の予知・検知・解析・防御の研究を進めるために実証実験を推進する計画であるが、その準備の一環として、脅威の予知・検知・解析・防御結果の再現、実時間実験の制御、実験の進行や結果の容易な分析

等を目標として、これまで研究開発してきたエミュレーション技術 DCE（Direct Code Execution）の活用方法を具体的に検討した。また、サイバー脅威の検知・解析・防御及びそれら技術の研究開発に必要となる様々な関連情報の共有と交換を逸早く安全にかつ円滑に進めることが可能で、更に利用者に応じて必要な情報を的確に収集できる新しい仕組みを開発することとし、その中核となる基本部を設計し構築した。

ネットワーク研究部門 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] Zilu Liang, and Yasushi Wakahara: Best Paper Award, XVIII International Conference on Systems Science (ICSS2013), September 2013.

[受賞 2] Zilu Liang, and Yasushi Wakahara： Best Student Paper Award, XVIII International Conference on Systems Science (ICSS2013), September 2013.

[受賞 3] 関谷 勇司: Interop Tokyo 開催 20 回記念表彰 ShowNet 部門, Interop Tokhyo 実行委員会, 2013 年 6 月.

[受賞 4] 田川 真樹, 妙中 雄三, 塚本 和也: 学生奨励賞, 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ 研究会, 2014 年 2 月.

[受賞 5] 廣井 慧, 妙中 雄三, 砂原 秀樹: 学生奨励賞, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 2013 年 5 月.

[受賞 6] 松井 加奈絵, 妙中 雄三, 山形 与志樹, 砂原 秀樹: 学生奨励賞, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 2013 年 5 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] 若原 恭, ヤオ シンルー: マルチホップ無線ネットワークのスループット, 電子情報通信学会技術報告, IN2013–125, pp. 45–50, 2014 年 1 月.

[招待 2] Yuji Sekiya: Challenges and Applications of SDN in Interop Tokyo ShowNet 2013, IEICE Tech. Report, vol. 133, no. 240, IA2013-31, pp. 29–34, 2013 年 10 月, ソウル, 韓国.

[招待 3] 関谷 勇司 : SDN 動向, 第 2 回 SDN/クラウドセミナー, 一般社団法人沖縄オープンラボラトリ, 東京大学, 2013 年 11 月.

[招待 4] Daisuke Miyamoto: Boosting Humans: Protecting the Weakest Link in Information Security, Advanced Industry Data Analysis and Applications Workshop, Department of Computing, Unitec Institute of Technology, Sept. 2013.

著書／編集

[著書 1] 関谷勇司, 佃 昌: SDN の利用シーン 〜Interop で見えた最新のユースケース〜, すべてわかる SDN 大全, 日経 BP マーケティング, pp. 142–147, 2013 年 10 月.

[著書 2] 中村 文隆: ラズベリー・パイで作る手のひら Linux パソコン, CQ 出版社, 2013 年 8 月.

査読付論文

[査読付 1] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: Synchronized Multi-Hop Protocol with High Throughput for an IEEE 802.11 Multi-Hop Wireless Network, Proceedings of IEEE Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT2013), Jun. 2013.

[査読付 2] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Automatic Route Shortening based on Link Quality Classification in Ad Hoc Networks, Proceedings of XVIII International Conference on Systems Science (ICSS2013), Sept. 2013.

[査読付 3] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: Application of Synchronized Multi-Hop Protocol to Time-Variable Multi-Rate and Multi-Hop Wireless Network, Proceed-ings of the 15th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (AP-NOMS2013), Sept. 2013.

[査読付 4] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Urban Traffic Prediction in the Scope of Intelligent Transport System, Proceedings of the 15th Asia-Pacific Network Op-erations and Management Symposium (APNOMS2013), Sept. 2013.

[査読付 5] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: City Traffic Prediction based on Real-time Traffic Information for Intelligent Transport System, Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2013), Oct. 2013.

[査読付 6] Kengo Michishita, Yasushi Wakahara: High Throughput Access Control based on Groups of Visible Terminals for Wireless Network, accepted for presen-tation at International Conference on Wireless Network at World Congress in En-gineering (ICWN2014), Jul. 2014.

[査読付 7] 廣井 慧, 妙中 雄三, 横山 仁, 中谷 剛, 三隅 良平, 中山 雅哉, 砂原 秀樹: 気象センサネットワークを活用した災害情報提供による高校生への防災教育, 情報処理学会, DICOMO2013, pp. 996–1001, 2013 月 7 月.

[査読付 8] Satoru Teramura, Daisuke Miyamoto, Masaya Nakayama: Intercept: A proposal of VM-based High-interaction honypot, インターネットコンファレンス 2013, 2013 年 10 月.

[査読付 9] Kei Hiroi, Yoshihito Seto, Futoshi Matsumoto, Yuzo Taenaka, Hideya Ochiai, Haruo Ando, Hitoshi Yokoyama, Masaya Nakayama, Hideki Sunahara: Accurate and Early Detection of Localized Heavy Rain by Integrating Multivendor Sensors in Various Installation Environments, Proc. of IEEE SENSORS 2013, Nov. 2013.

[査読付 10] Daisuke Miyamoto, Satoru Teramura, Masaya Nakayama: INTERCEPT: High-interaction Server-type Honeypot based on Live Migration, In Proceedings of the 2nd Workshop on Emulation Tools, Methodology and Techniques, Mar. 2014.

[査読付 11] 廣井 慧, 妙中 雄三, 中山 雅哉, 横山 仁, 中谷 剛, 三隅 良平, 砂原 秀樹: 気象観測網を活用した水害向け危険指標生成モデルの提案とその評価, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J96–B, No. 10, pp. 1198–1205, 2013 年 10 月.

[査読付 12] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイにおける水の特性を考慮したインタラクション手法, 情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2013) 論文集, pp. 170–174, 2013 年 7 月.

[査読付 13] Xueting Lin and Takefumi Ogawa: An Estimation Method for Blurring Effect in Augmented Reality, in Proceedings of ACM SIGGRAPH 2013 Posters, ACM, Anaheim, CA, U.S.A., Article 69, July 2013.

[査読付 14] Xueting Lin and Takefumi Ogawa: Blur with Depth: A Depth Cue Method Based on Blur Effect in Augmented Reality, in Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2013), IEEE, Adelaide, Australia, pp. 1–6, Oct. 2013.

[査読付 15] 米澤 和也, 小川 剛史: 飛行ロボット操作性向上のための仮想平面を利用した操作手法, VR 学研報, Vol. 18, No. CS–4, CSVS2013–31, pp. 5–8, 2013 年 12 月.

[査読付 16] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイ：水中の気泡を用いたインタラクティブ映像システム, 情報処理学会論文誌（デジタルコンテンツ）, Vol. 2, No. 1, pp. 16–23, 2014 年 2 月.

[査読付 17] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki : Implementation and Operation of User Defined Network on IaaS Clouds Using Layer3 Overlay, In Proceedings of 3rd International Conference on Cloud Computing over Servicce Science 2013 (CLOSER 2013), May 2013.

[査読付 18] 岡田 和也, 関谷 勇司, 門林 雄基 : SDN を利用した IX の設計に関する一検討, インターネットコンファレンス 2013, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ No.72, ISSN 1341-870X, インターネットコンファレンス 2013 論文集, pp. 43–49, 2013 年 10 月.

[査読付 19] Yuzo Taenaka and Kazuya Tsukamoto: An efficient traffic management framework for multi-channel wireless backbone networks, IEICE Communications Express, Vol. 3 (2014), No. 3, pp. 98-103, 2014.

[査読付 20] Shigeru Kashihara, Takuma Hayashi, Yuzo Taenaka, Takeshi Okuda, and Suguru Yamaguchi: Data Delivery Method Based on Neighbor Nodes ’ Information in a Mobile Ad Hoc Network, The Scientific World Journal, Volume 2014 (2014), Article ID 793171, 12 pages, Feb. 2014.

[査読付 21] Yuzo Taenaka, Shigeru Kashihara, Kazuya Tsukamoto, Suguru Yamaguchi, and Yuji Oie: An Implementation Design of a Cross-Layer Handover Method with Multi-Path Transmission for VoIP Communication, Elsevier Ad Hoc Networks, Volume 13, Part B, pp. 462-475, Feb. 2014.

[査読付 22] Yuzo Taenaka, Kazuya Tsukamoto, Shigeru Kashihara Suguru Yamaguchi, and Yuji Oie: An Implementation Design of a WLAN Handover Method based on Cross-layer Collaboration for TCP Communication, IEICE Transactions on Communications, Vol. E96–B, No. 07, pp. 1716-1726, Jul. 2013.

[査読付 23] Jane Louie Fresco Zamora, Noriyuki Suzuki, Hiroaki Takemoto, Shigeru Kashihara, Yuzo Taenaka, Suguru Yamaguchi: Battery-saving Message Collection Method for Disrupted Communication Service Areas, In proceedings of the 11th annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2014), Las Vegas, Nevada USA, Jan. 2013.

[査読付 24] Shin’nosuke Yamaguchi, Yoshimasa Ohnishi, Kazunori Nishino, Yuzo Taenaka, Yoshimi Fukumura, Hideki Yukawa: The Support of the a Blackboard Based Lecture by High Resolution Video on The Tablet Computer, In proceedings of The Second International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education (ICEEE2013), pp. 64-69, Lodz, Poland, Sept. 2013.

[査読付 25] 廣井 慧, 井上 朋哉, 仲倉 利浩, 妙中 雄三, 加藤 朗, 砂原 秀樹: 定点観測カメラを活用した浸水観 測ネットワーク FloodEye の構築と評価, インターネットコンファレンス 2013, 2013 年 10 月.

[査読付 26] Daisuke Miyamoto, Takeshi Takahashi: Toward Automated Reduction of Human Errors based on Cognitive Analysis, In Proceedings of the 7th International Workshop on Advances in Information Security, Jul. 2013.

[査読付 27] Daniel Câmara, Hajime Tazaki, Emilio Mancini, Mathieu Lacage, Thierry Turletti, and Walid Dabbous: DCE: Test the real code of your protocols and applications over simulated networks, Communications Magazine, IEEE, Mar. 2014.

[査読付 28] Hajime Tazaki, Frédéric Urbani, Emilio Mancini, Mathieu Lacage, Daniel Câmara, Thierry Turletti, and Walid Dabbous: Direct Code Execution: Revisiting Library OS Architecture for Reproducible Network Experiments. In CoNEXT 2013, Santa Barbara, California, Dec. 2013.

[査読付 29] Hajime Tazaki, Emilio Mancini, Daniel Camara, Thierry Turletti, and Walid Dabbous: MSWIM Demo Abstract: Direct Code Execution: Increase Simulation Realism Using Unmodified Real Implementations, In Proceedings of the 11th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access, MobiWac '13, pages 29–32, New York, NY, USA, Nov. 2013, ACM.

公開ソフトウエア

[公開 1] Tomohiro Ishihara, Hajime Tazaki, and Yuji Sekiya: ns-3 Direct Code Execution (DCE) based DNSSEC simulator, http://dnssec.sekiya-lab.info/, March 2014.

特許申請／取得

その他の発表論文

[発表 1] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: Analysis of Synchronized Multi-Hop Protocol and Proposal of Its S_ACK Extension under Time-Variable Multi-Rate and Multi-Hop Wireless Network、電子情報通信学会技術報告, RCS2013–140、pp. 99-一104, 2013 年 8 月.

[発表 2] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Real Time Traffic Prediction in Urban Traf-fic Networks、電子情報通信学会技術報告, ITS2013-13, pp. 27–32, 2013 年 9 月.

[発表 3] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Urban Traffic Prediction based on Spatio-Temporal Correlation, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, BS–7–37, 2013 年 9 月.

[発表 4] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: Application of Synchronized Multi-Hop Protocol to Multi-Hop Wireless Network with Variable Transmission Rates, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, BS–7–8, 2013 年 9 月.

[発表 5] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Proactive Route Guidance System based on Vehicle Ranking, 電子情報通信学会総合大会, BS–1–75, 2014 年 3 月.

[発表 6] 小原 知也, 若原 恭: 早期再送によるアドホックネットワーク上の TCP 転送のグッドプット改善, 電子情報通信学会総合大会, B–6–158, 2014 年 3 月.

[発表 7] 小原 知也, 若原 恭: アドホックネットワークにおける TCP 通信のグッドプットを改善する早期再送, 電子情報通信学会技術研究報告, MoNA2013–76, pp. 119–124, 2014 年 3 月.

[発表 8] 道下 賢吾, 若原 恭: 無線 LAN のスループットの改善を目的とした端末のグループ化とハイブリッドアクセス制御, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2013–272, pp. 555–560, 2014 年 3 月.

[発表 9] 斎藤 馨, 中村 和彦, 渡辺 隆一, 藤原 章雄, 岩岡 正博, 中山 雅哉, 大辻 永, 小林 博樹: インターネット森林観察ウェブサイトの構築, 第 124 回日本森林学会大会, B02, 2013 年 3 月.

[発表 10] 横山 仁, 安藤 晴夫, 瀬戸 芳一, 廣井 慧, 中山 雅哉, 楠 研一, 真木 雅之, 斎藤 勇人, 高橋 日出男: 都市の極端気象観測に向けた地上気象モニタリング (1): 夏季における東京都内の気象特性, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, AAS23–06, 2013 年 5 月.

[発表 11] 瀬戸 芳一, 横山 仁, 安藤 晴夫, 廣井 慧, 中山 雅哉, 楠 研一, 真木 雅之, 斎藤 勇人, 高橋 日出男: 都市の極端気象観測に向けた地上気象モニタリング (2): 都市部で発生する夏季の短時間強雨時における降水量分布と地上風系との関係, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, AAS23–07, 2013 年 5 月.

[発表 12] 斎藤 馨, 藤原 章雄, 中村 和彦, 小林 博樹, 岩岡 正博, 中山 雅哉: 多地点型森林ライブモニタリングシステムの構築, 第 125 回日本森林学会大会, B03, 2014 年 3 月.

[発表 13] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 拡張現実感による床面傾斜提示が歩行者に及ぼす影響, VR 学研報, Vol. 18, No. CS–2, CSVS2013–14, pp. 79–83, 2013 年 6 月.

[発表 14] 王 夢, 小川 剛史: 視覚と聴覚のクロスモーダル知覚を用いた音像定位システムに関する基礎検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013–DCC–4, No. 7, 2013 年 6 月.

[発表 15] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を利用した飛行物体操作手法の提案, VR 学研報, Vol. 18, No. CS–3, CSVS2013–24, pp. 107–112, 2013 年 9 月.

[発表 16] 佐川 俊介, 小川 剛史: SoundROKA: 日常生活における言葉の伝達を視覚的に提示する水槽, エンターテインメントコンピューティング 2013 論文集, pp. 62–63, 2013 年 10 月.

[発表 17] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイの表示性能とインタラクション手法に関する評価, 信学技報, Vol. 113, No. 468, MVE2013–90, pp. 133–138, 2014 年 3 月.

[発表 18] 奥澤 智子, 関谷 勇司 : BGP を用いたデータセンターネットワークの構築, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 113, no. 200, IA2013-16, pp. 1–4, 2013 年 9 月.

[発表 19] 中村 遼, 堀場 勝広, 関谷 勇司 : SDN を用いたクラウドサービスネットワークの実現, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 113, no. 200, IA2013-17, pp. 5–10, 2013 年 9 月.

[発表 20] 長谷川 幹人, 関谷 勇司 : Ethernet OAM/CFM の相互接続の課題とこれから, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 118, no. 200, IA2013-18, pp. 11–15, 2013 年 9 月.

[発表 21] 石原 知洋, 櫨山 寛章, 関谷 勇司 : 失効したルート鍵を持つ DNSSEC 検証サーバの挙動調査と対策についての一考察, 情報処理学会, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2013-IOT-23, No. 5, pp. 1–4, 2013 年 9 月.

[発表 22] Tomohiro Ishihara, Hajime Tazaki, and Yuji Sekiya : Design and Implementation of DNSSEC Simulator using Unmodified Real Implementations, IEICE Tech. Report, vol. 113, no. 240, IA2013-27, pp. 7–12, Oct. 2013.

[発表 23] 藤居 翔吾, 田崎 創, 関谷勇司: MultiPath TCP 適用時のデータセンターネットワークでのフローサイズが与える影響に関する一考察, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 113, no. 364, IA2013-65, pp. 47–52, Dec. 2013.

[発表 24] Hajime Tazaki, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, Youki Kadobayashi: MATATABI: Multi-layer Threat Analysis Platform with Hadoop, In IEICE Technical Report, Vol. 113, No. 502, IEICE-ICSS2013-77, pp. 113–118, Mar. 2014.

[発表 25] Tomohiro Ishihara, Hajime Tazaki, Kazuya Okada, Daisuke Miyamoto, Yuji Sekiya : DNS Traffic Analysis Platform with Hadoop Framework, In IEICE Technical Report, Vol. 113, No. 502, IEICE-ICSS2013-80, pp. 131–135, Mar. 2014.

[発表 26] 和田 祐太郎, 田川 真樹, 塚本 和也, 妙中 雄三: 無線バックボーンネットワークにおける複数チャネル有効利用を目的とした通信制御手法の評価, 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 472, NS2013–271, pp. 549–554, フェニックス・シーガイア・リゾート, 2014 年 3 月.

[発表 27] 田川 真樹, 妙中 雄三, 塚本 和也: 無線メッシュバックボーンネットワークにおける複数チャネルを用いたアップ・ダウンストリーム分離と均等フロー割当手法の設計・実装, 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 443, IA2013–97, pp. 165–170, 山代温泉 瑠璃光, 2014 年 2 月.

[発表 28] 妙中 雄三, 塚本 和也: 無線メッシュバックボーンネットワークのための複数チャネル有効利用手法の検討, 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 443, IA2013–96, pp. 159–164, 山代温泉 瑠璃光, 2014 年 2 月.

[発表 29] 竹本 裕明, Jane Louie Fresco Zamora, 樫原 茂, 妙中 雄三, 高井峰生, 金田 茂, 山口 英: スマートフォンのバッテリ消費モデルの実装について, Scenargie Workshop 2013, ポスター発表, 御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター, 2013 年 12 月.

[発表 30] 竹本 裕明, ジェーン ルイ フレスコ ザモーラ, 樫原 茂, 妙中 雄三, 高井 峰生, 金田 茂, 山口 英: 通信被害地域における要救助者間の情報共有手法の評価と考察, 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 304, MoNA2013–43, pp. 11–16, 熊本大学, 2013 年 11 月.

[発表 31] 樫原 茂, 妙中 雄三, ジェーン ルイ フレスコ ザモーラ, 山口 英: SOScast における現状の問題分析と今後の展開シナリオに関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告書, vol. 113, no. 168, MoNA2013–23, pp. 59-62, 北海道大学, 2013 年 8 月.

[発表 32] 妙中 雄三, 松井 加奈絵, 山形 与志樹: Android 間 PSN を用いたメッセージングアプリケーションの試作・デモ, DTN とその未来に関するワークショップ, 岩手県立大学アイーナキャンパス, 2013 年 5 月.

[発表 33] 廣井 慧, 妙中 雄三, 砂原 秀樹: 水害発生時における災害情報の到達率向上を目的とした情報共通インタフェースの提案, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 弘前大学, 2013 年 5 月.

[発表 34] 妙中 雄三, 松井 加奈絵, 山形 与志樹: 都市のレジリエンス向上を目指したすれ違い通信基盤 (SABA) の試作・動作実験, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 弘前大学, 2013 年 5 月.

[発表 35] 松井 加奈絵, 妙中 雄三, 山形 与志樹, 砂原 秀樹: 都市のレジリエンス向上のためのすれ違い通信型情報伝搬の分析手法の一考察, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 弘前大学, 2013 年 5 月.

[発表 36] Daisuke Miyamoto, Takeshi Takahashi: MILE Working Group, Internet Engineering Task Force, Mar. 2014

[発表 37] 田崎 創, 岡田 和也: NECOMA プロジェクトにおける事例紹介, 大学・高等教育機関におけるサイバーセキュリティ能力向上と体制整備に関するワークショップ, Dec. 2013.

特記事項

[特記 1] 若原 恭: 高校生のための東京大学入門, ジョイントセミナー@東大, 2013 年 8 月.

[特記 2] 若原 恭: 岐高生のための東京大学入門, 岐阜高校：進路意識啓発のための体験プログラム, 2013 年 12 月.

[特記 3] 若原 恭: 情報ネットワークに関する研究事例, 岐阜高校：進路意識啓発のための体験プログラム、2013 年 12 月.

[特記 4] 妙中雄三 (研究代表者), 塚本和也 (九州工業大学大学院、研究分担者), 総務省, 平成 25 年度 SCOPE(電波有効利用促進型研究開発 若手ワイヤレス研究者等育成型フェーズ I) 採択

ネットワークの機能の高度化と設計・運用・保守・管理の合理化

若原　恭

1　概要

情報通信ネットワークは、そのアプリケーションの急速な発展とともに、転送情報量の拡大と品質の向上に加え、安全性を含む機能面の質的な変革も必要となる。このような認識のもと、情報通信に係わる各種リソースの最大限の利活用とネットワーク制御の最適化によって、複雑化・大規模化が進む一方の情報通信ネットワークにおける高度化のあり方を探求し、そのようなネットワークの設計・運用・保守・管理をできる限り合理的なものにすることを目標に研究を進めている。具体的には、以下に示す通り、特に無線ネットワークに係わる諸技術に焦点を当て、理論と実験の両面から研究を進めた。

- 高度道路交通トラヒック制御

無線ネットワークの応用として、各道路における車両トラヒック疎通状況をモニタし、その結果を基に各車両のルートを適切に制御することによって渋滞を回避し、所要走行時間の短縮やエネルギー消費量の削減等を実現する技術を検討している。その中核技術の一つは各道路における車両走行速度の予測法であり、新しい予測法の開拓とシミュレーション実験によって予測精度を大幅に改善できることを実証した。

- 無線 LAN へのアクセスの制御

現在の無線 LAN では特にアクセスする端末が増えると、送受できる総情報量が減少するという基本的な問題がある。この基本問題を解決するため、新しいアクセス制御法を考案し、端末数に依存せず送受可能な総情報量を大幅に増加できることを、シミュレーション実験によって評価確認した。

- マルチホップ無線ネットワークの情報伝送制御

将来のネットワークでは益々無線技術が活用され、無線中継が多段となるマルチホップ無線ネットワークの普及が拡大すると期待されているが、ホップ数が増えるほどホップ間での送信情報の衝突が増えるため情報転送性能が低下する。この問題を解決するため、情報送信のタイミングを制御する方法の検討を進め、理論的限界近くまで情報転送能力を向上可能とした。

- 無線ネットワークの高信頼度情報転送制御

無線ネットワークで信頼度が高い情報転送実現する方法の一つは上位レイヤプロトコルとして TCP を採用することである。しかし、無線端末の移動等によって無線リンクがいったん切断すると情報転送が中断し、その結果情報転送性能が著しく低下してしまう。この問題を解決するため、情報転送の中断を逸早く検知し再送を早期に開始する制御法を考案した。更に、シミュレーション実験を行い、その有効性を評価するとともに優れた情報転送特性を明らかにした。

2　高度道路交通トラヒック制御

2.1　背景

近年の道路交通では、渋滞や事故の増加、周囲環境の悪化等の様々な問題が起きている。このような問題の有望な解決策の一つは、道路交通網や車両の走行状態等に関する情報を基に、各車両に対し適切なルートをリアルタイムで案内することによって、各車両が迅速に目的地に到達でき、無駄な走行や渋滞を回避可能とするルート案内システムの実現である。実際、簡易なルート案内システムは既に実用化されている。しかし、車両の走行状態の把握やルートの最適化等において正確性が十分でないため、現状では最適な制御が実現できていない。そこで、このような制御に必須な技術として、車両速度の予測法に焦点をあて、特に予測精度の改善を目的として検討に取り組んだ。

2.2　内容

道路交通制御の基本目的の一つは目的地に到達するまでの走行時間の短縮にあり、そのような制御ではルート毎の走行時間を予測することが必須で、これには各道路における車両走行速度の予測が必要となる。従来の走行速度の予測は、各道路における車両数のみを使っており、走行先道路の渋滞状況等が考慮されないため、予測精度が悪い場合が少なくなかった。そこで、より正確な速度予測法を実現するため、次に示す原理を考案した。

(1)　　各道路からその下流の各道路に出ていく車両数を、各交差点における信号機の動作を考慮して計算する。

(2) (1)の結果を利用し、各下流道路における車両台数予測値と収容可能車両台数に応じて、当該道路における車両速度を予測する。

これら原理に基づき、各道路における車両速度を予測する具体的な方法を設計して定式化した。特に、当該道路における車両数が大きくは変化していない場合とそうでない場合に分け、前者は直前に測定して得られた速度値を予測値とし、後者では新しい原理に基づいて計算した結果を採用することとした。

2.3　具体的成果

考案した新しい車両速度予測法の精度を評価した結果の一例を表 1 に示す。表 1 で、MAE と MAPE は、以下の式で定義される予測誤差であり、⊿MAE と⊿MAPE は、従来法に比較した改善割合である。また、考案法の後に続く数値は、車両数変化の判定用閾値である。

$$MAE = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}|\hat{X}(t) - X(t)| \qquad MAPE = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\frac{|\hat{X}(t) - X(t)|}{X(t)} \times 100\%$$

（注：$\hat{X}(t)$=時刻 t の予測値、$X(t)$=時刻 t の真値）

このような実験によって得られた評価結果を要約すると以下の通りとなる。

(1) 一般に、予測間隔が小さくなるほど、予測誤差は小さくなる。

(2) 考案した方法の精度は、従来法に比較して、判定用閾値に依らずかなり高い。判定用閾値が 2 の場合最も精度が高く、予測誤差は半分以下となる。そして、誤差 MAPE 自体も常に 20%以下であり、実用性が高い。

以上の研究成果については、国際学会や国内の研究会と大会で論文発表を行った[査読付 2, 4, 5][発表 2, 3, 5]。今後、車両トラヒックの変化、道路ネットワークのトポロジー条件等の影響を評価し、新車両速度予測法の技術確立を図っていく計画である。

表１　予測誤差の例

予測法	MAE	⊿MAE (%)	MAPE (%)	⊿MAPE (%)
従来法	2.89	-	27.2	-
考案法－0	2.19	24.3	19.8	27.1
考案法－0.5	1.60	44.9	14.6	46.1
考案法－1	1.40	51.7	12.9	52.2
考案法－1.5	1.34	53.8	12.9	52.2
考案法－2	1.33	53.9	12.3	54.7
考案法－2.5	1.38	52.2	12.9	52.6
考案法－3	1.62	43.9	14.9	45.0

3　無線 LAN へのアクセスの制御

3.1　背景

近年の無線技術の飛躍的な発展により、無線ネットワークが世界的に広く普及しており、特に電波の使用に際して制限が少ない無線 LAN は日常的に利用されている。このような無線 LAN の多くは IEEE802.11 規格に準拠し、通信方式やアンテナ技術等の研究開発によって伝送速度がかなり向上してきたため、単位時間あたりに授受できる情報量（スループット）も着実に大きくなっている。しかしながら、複数の端末がアクセスする無線 LAN では、電波の衝突や無駄な待ちが発生するため、実際の情報転送量は、理論的な限界値に比較してかなり少なく、利用者の情報転送需要を満たしていない場合が少なくない。そこで、特に複数の無線端末が一つのアンテナにアクセスする無線 LAN において、スループットを大幅に拡大するための新しいアクセス制御技術を開拓することを目標に研究を行った。

3.2　内容

本研究では、まず、多数の無線端末がアクセスする無線 LAN におけるスループットが理論的限界値よりかなり低い理由を分析した。その結果、①一般に端末数が多くなるほど隠れ端末も多くなるため、IEEE の標準アクセス技術 CSMA/CA による衝突回避が十分には機能せず、衝突が増大し、その衝突時間が無駄になること、②衝突した端末はランダム時間待ってから再度アクセスするが、その待ち時間が更に無駄になること、および③ユーザデータ以外の制御情報の授受が多く無駄となる場合があることの３点にあることを確認した。次に、この分析結果を基にし、新しいアクセス制御法の実現を目指し、以下の原理を考案した。

－同時にアクセスする端末を削減するため、全端末をいくつかのグループに分ける。
－各グループには隠れ端末が存在しないようにグループ毎の端末を選択する。
－各グループ内では、これまでと同一の CSMA/CA を適用するが、制御メッセージは最小限に留める。
－同時には一つのグループ内の端末のみが無線 LAN にアクセスする。
－各グループのアクセス時間は、グループ内の端末数に比例させる。

このような原理に基づき、具体的なアクセス制御法を設計し、正しく動作することを確認した。

3.3　具体的成果

考案した原理に基づき設計した端末グループ化アルゴリズムに従ったアクセス制御法の有効性を評価するためシミュレーション実験を行った。その結果の一例を図１に示す。図１の縦軸、横軸は、総スループット、送出すべきユーザデータを保有するアクティブ端末の台数をそれぞれ示す。一般に、アクティブ端末数は、アクセス可能な範囲に存在する端末数の半分以下程度と考えられる。この図から分かるように、既存のアクセス制御法に比較して、考案したアクセス制御法によって、スループットを大幅に向上でき、およそ 1.5 倍程度になる。

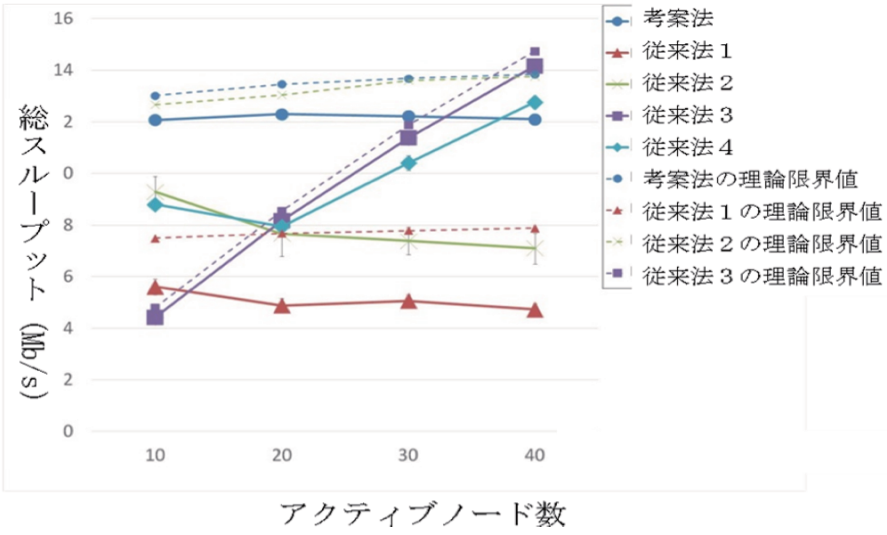


図３　無線 LAN アクセス制御法の効果

以上の研究成果については、電子情報通信学会の研究会で論文発表を行った[発表 8]。また、国際学会 ICWE2014 に論文を投稿し、査読の結果採択が決定した[査読付 6]。

4　マルチホップ無線ネットワークの情報伝送制御

4.1　背景

近年、携帯端末の急速な発展と普及によって、情報通信ネットワークにおける無線の役割は飛躍的に拡大しつつある。しかし、光技術に基づく有線ネットワークに比較して、無線ネットワークには情報伝送容量の制限が厳しいという問題がある。特に、無線通信を連続的に繰り返すマルチホップ無線ネットワークのスループットは極めて低い。そこで、マルチホップ無線ネットワークにおけるスループットの向上を図るための新技術の開拓を進めた。

4.2　内容

昨年度までの研究の結果、送信元端末と宛先端末との間で、１個以上の無線中継端末を介したルートで情報を送受するマルチホップ無線ネットワークにおいて、①伝送誤りが起き得る場合、及び②電波干渉範囲が電波到達範囲より大きくなる場合でも、各端末が出す電波が互いに衝突しないように、３ホップ毎に同期した情報伝送を順次繰り返すように各端末が情報を転送するタイミングを制御する方法を考案した。この方法を拡張することによって、各端末の伝送速度が独立に変化する場合の制御法について検討した。その結果、次の制御原理案を得た。

(1) 3 ホップ以内の端末が電波を出すタイミングについて得られる情報から判断して衝突が発生しないと考えられる場合のみ送信を開始する。
(2) (1)を実現するため、各端末は上流端末が持つそのようなタイミング情報が不十分であると判断した場合は、新たに定義した制御メッセージを使って必要なタイミング情報を伝え、これによって上流端末は衝突を回避して送信を開始する。

これらの原理に基づき、各端末における送信タイミングを制御する新しい方法を設計した。この方法によって、各端末のデータ伝送速度が独立に変化する場合でも、送信が衝突する確率を小さくできる。しかし、定義した新しい制御メッセージによるトラヒックが増大するため、返ってスループットを劣化させる可能性もある。従って、どの程度スループットを向上できるかは、定量的な実験評価を行うことが必要で、実験評価を実施した結果、スループットを総合的に約 4%向上できることが明らかとなり、これは理論的限界値にかなり近いことを確認できた。

4.3 具体的成果

考案した情報転送制御法は、昨年度までの研究成果をも合わせると、伝送誤りがある、電波干渉範囲が電波到達範囲よりもかなり広い、端末或はホップ毎に伝送速度が異なったり変化したりするという実際的な条件下において、理論的な上限に極めて近いスループットを達成できることを実証できた。従って、完成度及び実用性の観点から優れた研究を成し遂げることができた。

これらの研究成果は国際学会や国内の研究会や大会等で論文発表した[招待 1],[査読付 1, 3],[発表 1, 4]。

5 無線ネットワークにおける高信頼度情報転送

5.1 背景

無線ネットワークの利用は拡大する一方であるが、高い信頼度を維持するためには、有線ネットワークと同様に上位レイヤにプロトコル TCP を通常用いる。しかし、無線ネットワークでは、電波衝突や雑音等の影響によって伝送誤りや伝送遅延が少なくないという特徴があり、特に、端末が移動する可能性がある場合に顕著となる。TCP には、このような伝送誤りや遅延の影響を受けると情報転送スループットが大きく低下するという問題がある。そこで、高いスループットを TCP で実現するための新しい情報転送制御法を検討した。

5.2 内容

まず、多数の端末から構成される無線ネットワークにおける TCP 転送のスループット低下の原因を分析した。その結果、無線端末の移動によって通信が一時的に不可能になることがあるが、TCP 転送を担う送信元端末と宛先端末だけでは、このような一時的状況と輻輳状態との区別ができないため、TCP 動作としては輻輳状態と判定してタイムアウトを発生し、送信元端末は送信するデータ量を大幅に低減させるため、スループットが著しく低下することを確認した。次にこの問題を解決する方法を検討し、一時的に通信が不可能となった場合には、タイムアウトが発生する前に、必要であれば、端末間距離が電波の到達可能となるようにルートを設定し直したうえで、データの再送を早期に行う新しい制御法を考案した。具体的には、タイムアウトが発生する十分早い段階でデータの再送を行うため、RTO をタイムアウト時間、α と β を $0<\alpha, \beta<1$ を満たす定数として、以下の２方法を検討した。

制御法１：（RTO×α）時間 ACK が届かなかった場合、直ちにルートを再設定し、ACK を受け取っていないパケットから再送を行う。
制御法２：（RTO×α）時間 ACK が届かずかつ（RTO×α）＞T の場合、又は（RTO×β）時間 ACK が届かなかった場合、直ちにルートを再設定し、ACK を受け取っていないパケットから再送を行う。

ここで、T は、ACK が届くまでの時間の推定値で、TCP において送信元端末から宛先端末までの往復時間を計算する方法と同様にして計算する値である。

5.3 具体的成果

上述した２つの新しい制御方法によって達成できる性能を評価するためシミュレーション実験を行った。実験結果の一例を図２に示す。縦軸はスループット、横軸は実験開始後の経過時間を示す。一般に、既存の TCP でタイムアウトが発生する場合でも、新しい制御法１と２ではその発生を防ぎ、高いスループットを維持できるが、図の例では、制御法１ではタイムアウトが発生するが、制御法２ではその発生を防げた場合の結果を示す。伝送誤りが発生してタイムアウトが発生する状態を異常状態と呼ぶことにすると、１回の異常状態に対し、制御法１と２によって、スループットの低下を回避できることが確認できた。その効果は、ネットワークトポロジー、トラヒック条件、パラメータ（α、β等）に依存するが、いくつかの実験の結果、例えば、制御法１・２によって、100～400 個程度のパケットを多く授受可能となった。これらの成果については、国内で開催された研究会と大会で論文発表を行った[発表 6, 7]。

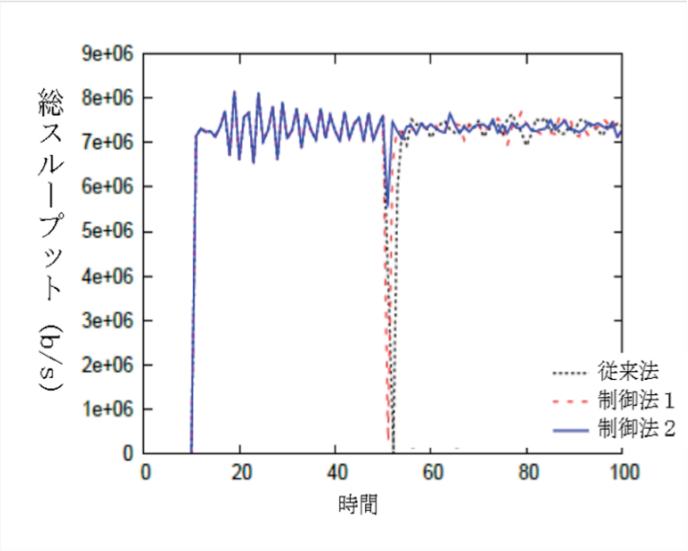


図2 新しい制御法によって達成できるスループットの例

6 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] Zilu Liang, and Yasushi Wakahara： Best Paper Award, XVIII International Conference on Systems Science (ICSS2013), September 2013.

[受賞 2] Zilu Liang, and Yasushi Wakahara： Best Student Paper Award, XVIII International Conference on Systems Science (ICSS2013), September 2013.

招待講演／招待論文

[招待 1] 若原　恭、ヤオ　シンルー：“マルチホップ無線ネットワークのスループット、”電子情報通信学会技術報告 IN2013-125、pp.45-50、2014 年 1 月.

査読付論文

[査読付 1] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: "Synchronized Multi-Hop Protocol with High Throughput for an IEEE 802.11 Multi-Hop Wireless Network", Proceedings of IEEE Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT2013), June 2013.

[査読付 2] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: "Automatic Route Shortening based on Link Quality Classification in Ad Hoc Networks", Proceedings of XVIII International Conference on Systems Science (ICSS2013), September 2013.

[査読付 3] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: "Application of Synchronized Multi-Hop Protocol to Time-Variable Multi-Rate and Multi-Hop Wireless Network", Proceedings of the 15th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS2013), September 2013.

[査読付 4] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: "Urban Traffic Prediction in the Scope of Intelligent Transport System", Proceedings of the 15th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS2013), September 2013.

[査読付 5] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: "City Traffic Prediction based on Real-time Traffic Information for Intelligent Transport System", Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2013), October 2013.

[査読付 6] Kengo Michishita, Yasushi Wakahara: "High Throughput Access Control based on Groups of Visible Terminals for Wireless Network", accepted for presentation at International Conference on Wireless Network at World Congress in Engineering (ICWN2014), July 2014.

その他の発表論文

[発表 1] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: "Analysis of Synchronized Multi-Hop Protocol and Proposal of Its S_ACK Extension under Time-Variable Multi-Rate and Multi-Hop Wireless Network"、電子情報通信学会技術報告、RCS2013-140、pp.99-104、2013 年 8 月.

[発表 2] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: "Real Time Traffic Prediction in Urban Traffic Networks"、電子情報通信学会技術報告、ITS2013-13、pp.27-32、2013 年 9 月.

[発表 3] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: "Urban Traffic Prediction based on Spatio-Temporal Correlation"、電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、BS-7-37、2013 年 9 月.

[発表 4] Xinru Yao, Yasushi Wakahara: "Application of Synchronized Multi-Hop Protocol to Multi-Hop Wireless Network with Variable Transmission Rates"、電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、BS-7-8、2013 年 9 月.

[発表 5] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: "Proactive Route Guidance System based on Vehicle Ranking"、電子情報通信学会総合大会、BS-1-75、2014 年 3 月.

[発表 6] 小原　知也、若原　恭：“早期再送によるアドホックネットワーク上の TCP 転送のグッドプット改善”、電子情報通信学会総合大会、B-6-158、2014 年 3 月.

[発表 7] 小原　知也、若原　恭：“アドホックネットワークにおける TCP 通信のグッドプットを改善する早期再送”、電子情報通信学会技術研究報告、MoNA2013-76、pp.119-124、2014 年 3 月.

[発表 8] 道下　賢吾、若原　恭：“無線 LAN のスループットの改善を目的とした端末のグループ化とハイブリッドアクセス制御”、電子情報通信学会技術研究報告、NS2013-272、pp.555-560、2014 年 3 月.

特記事項

[特記 1] 若原　恭：“高校生のための東京大学入門”、ジョイントセミナー@東大、2013 年 8 月.

[特記 2] 若原　恭：“岐高生のための東京大学入門”、岐阜高校：進路意識啓発のための体験プログラム、2013 年 12 月.

[特記 3] 若原　恭：“情報ネットワークに関する研究事例”、岐阜高校：進路意識啓発のための体験プログラム、2013 年 12 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、気象センサや振動センサといった様々な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様になってきた。

これらの小型デバイスの一例として、東京近郊の高校や大学に設置された小型気象センサで観測される環境情報を用いて都市部特有の短時間強雨 (ゲリラ豪雨) の発生状況の状態把握や防災意識向上のための降雨情報提供システムの構築を行うことで、高校や小中学校などの教育機関で環境教育の授業で活用する研究を行っている。また、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。

一方、Inetrnet が日常の社会生活で不可欠な存在が故に、ネットワークを介した不正アクセスなどが社会的な問題となっている。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) では、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、新たな脆弱性への攻撃の行動を監視する事は困難である。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、ハニーポットシステムに誘導するシステムの VM 環境上での構築手法について研究を行っている。

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や振動センサなどの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ている。

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

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。

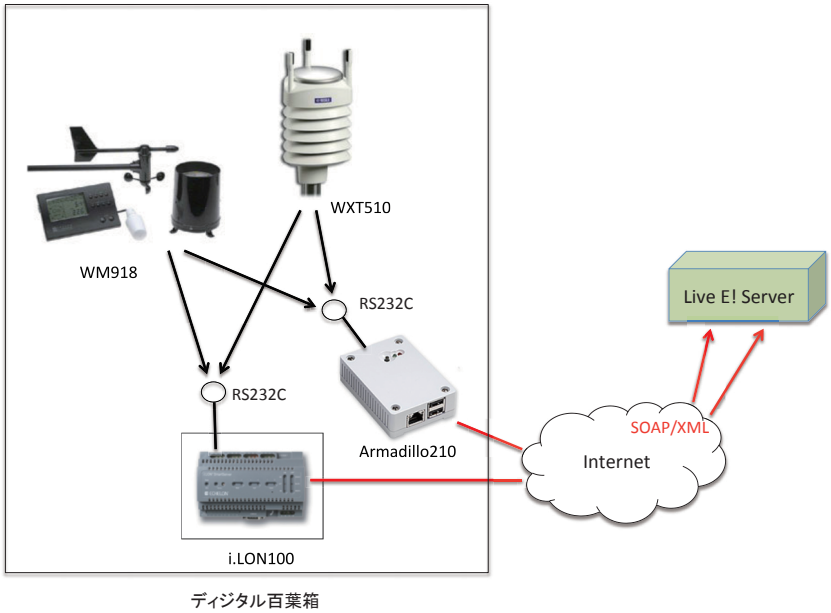


図 1: ディジタル百葉箱の構成

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。

2.3 具体的成果

今年度は、先に述べた小型気象センサを用いて観測された環境情報と気象庁のアメダスや東京都水防災雨量計、大気汚染常時監視測定局の気象データを用いて短時間強雨の発生状況の実態把握のための解析を行い、東京都環境研と共に日本地球惑星科学連合 2013 年大会 [発表 2, 発表 3] ならびに IEEE SENSORS 2013 国際会議 [査読付 3] にて発表を行った。

さらに、短時間強雨に関する防災意識向上のため、センサ等による観測値から危険指標を生成してスマートフォンに提供するプロトタイプシステムの構築を昨年度から行っており、その有効性を示す評価結果を電子情報通信学会論文誌 B にまとめている [査読付 5]。上記に加えて高校生の学校生活に適応した降雨情報提供システムの設計を行い、情報処理学会 DICOMO2013 にて発表を行った [査読付 1]。

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、森林などの同一地点で長期間に

渡って定点観測を行うことで、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活用されている。構築したシステムの概要について日本森林学会大会にて発表を行った [発表 1, 発表 4]。

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

Inetrnet が日常生活で不可欠な存在が故に、ネットワークを介した不正アクセスなどが社会的な問題となっている。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が、未知の攻撃を監視することは困難である。

このため本研究室では、VM (仮想計算機) 環境を利用して、新たな脆弱性への攻撃行動を通常のアクセスから隔離して監視を行うシステムの構築方法について検討を行っている。

3.2 内容

Inetrnet を用いた不正アクセスは、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ためのシステムが用いられているが、無作為に攻撃対象を選ぶ攻撃者の行動を監視できるに限られている。

そこで本研究では、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併設して用意する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について検討を行い、プロトタイプシステムを実装して基本性能の評価を行った。

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では、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ことで、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みを分離して、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ている。本システムを KVM ベースで作成したプロトタイプシステムの実装に関してインターネットコンファレンス 2013 にてポスター発表を行うとともに [査読付 2]、両システムが独立して起動するまでの所要時間などの基本性能の評価を行った結果について EMUTools 2014 国際会議において発表した [査読付 4]。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 廣井慧, 妙中雄三, 横山仁, 中谷剛, 三隅良平, 中山雅哉, 砂原秀樹: 気象センサネットワークを活用した災害情報提供による高校生への防災教育, 情報処理学会, DICOMO2013, pp.996-1001, 2013 月 7 月.

[査読付 2] Satoru Teramura, Daisuke Miyamoto, Masaya Nakayama: Intercept: A proposal of VM-based High-interaction honypot, インターネットコンファレンス 2013, 2013 年 10 月.

[査読付 3] Kei Hiroi, Yoshihito Seto, Futoshi Matsumoto, Yuzo Taenaka, Hideya Ochiai, Haruo Ando, Hitoshi Yokoyama, Masaya Nakayama, Hideki Sunahara: Accurate and Early Detection of Localized Heavy Rain by Integrating Multivendor Sensors in Various Installation Environments, Proc. of IEEE SENSORS 2013, 2013 年 11 月.

[査読付 4] Daisuke Miyamoto, Satoru Teramura, Masaya Nakayama: INTERCEPT: High-interaction Server-type Honeypot based on Live Migration, EMUTools 2014, 2014 年 3 月.

[査読付 5] 廣井慧, 妙中雄三, 中山雅哉, 横山仁, 中谷剛, 三隅良平, 砂原秀樹: 気象観測網を活用した水害向け危険指標生成モデルの提案とその評価, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J96-B, No.10, pp.1198-1205, 2013 年 10 月.

その他の発表論文

[発表 1] 斎藤馨, 中村和彦, 渡辺隆一, 藤原章雄, 岩岡正博, 中山雅哉, 大辻永, 小林博樹: インターネット森林観察ウェブサイトの構築, 第 124 回日本森林学会大会, B02, 2013 年 3 月.

[発表 2] 横山仁, 安藤晴夫, 瀬戸芳一, 廣井慧, 中山雅哉, 楠研一, 真木雅之, 斎藤勇人, 高橋日出男: 都市の極端気象観測に向けた地上気象モニタリング (1): 夏季における東京都内の気象特性, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, AAS23-06, 2013 年 5 月.

[発表 3] 瀬戸芳一, 横山仁, 安藤晴夫, 廣井慧, 中山雅哉, 楠研一, 真木雅之, 斎藤勇人, 高橋日出男: 都市の極端気象観測に向けた地上気象モニタリング (2): 都市部で発生する夏季の短時間強雨時における降水量分布と地上風系との関係, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, AAS23-07, 2013 年 5 月.

[発表 4] 斎藤馨, 藤原章雄, 中村和彦, 小林博樹, 岩岡正博, 中山雅哉: 多地点型森林ライブモニタリングシステムの構築, 第 125 回日本森林学会大会, B03, 2014 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

拡張現実感 (AR: Augmented Reality) 技術とは、コンピュータが生成した仮想物体などの電子情報を現実世界に重畳して、現実世界に直感的に分かりやすく情報を提示するための技術で、多大なマニュアルの参照が必要となる航空機整備のような作業支援や、街中での効果的な広告提示やゲーム、外科手術の支援など様々な分野での応用が期待されている。本研究室では、人々の日常生活を支援することを目的に AR 技術を応用したシステムの構築を進めており、主に、クロスモダリティを応用したインタフェース技術、新しいインタラクションを実現するディスプレイシステム、飛行ロボットの操作インタフェース関する研究に取り組んでいる。

2　拡張現実感におけるクロスモダリティを用いた歩行支援システム

2.1　背景

クロスモーダルな感覚情報提示は、異なる複数の感覚モダリティ間の相互作用により、入力した感覚刺激とは異なる知覚刺激を提示することが可能である。例えば、視聴覚のクロスモーダルにより微細な凹凸の知覚閾値を画像表示によって変化させる研究や、視覚と嗅覚情報を重畳提示することにより味覚を変化させる研究などがある。これらは、人の感覚を直接刺激するもので一種の錯覚とも言え、意味解釈を必要とすることなく人間はシステムが意図した刺激を知覚する。

本研究では、視覚と前庭感覚のクロスモーダルを用いることで、ユーザの歩行を支援するシステムの実現を目指している。具体的には、傾斜の急な上り坂を擬似的に緩やかな傾斜に見せることで、坂道を登った際の精神的な疲労感を低減したり、逆に緩やかな傾斜を急な傾斜に見せることで、普通に登るよりも肉体的な負荷を増加させたりできれば、トレーニングやリハビリなどに応用できると期待している。また、床面を擬似的に左右に傾斜させることで、ユーザが直進しているつもりでも、横方向に擬似的な力を感じることができれば、ナビゲーションなどへの応用が期待できる。

図 1: 擬似傾斜提示システム

図 2: 左右方向の擬似傾斜提示

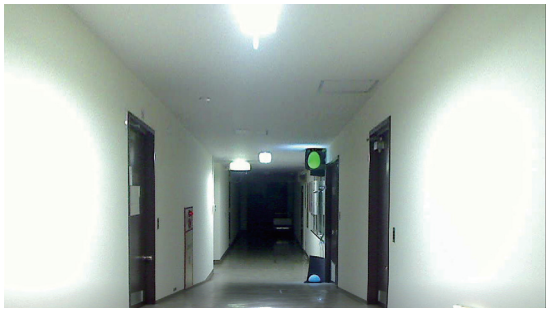


図 3: 進行方向の擬似傾斜提示

本年度は、特に左右方向の擬似的な傾斜および擬似的な坂道提示がユーザの歩行に与える影響の調査を行った。

2.2 内容

2.2.1 拡張現実感技術を用いた擬似傾斜提示

USB カメラから取得したユーザの視点画像に対して、画像処理により擬似的に傾斜させ、ユーザが装着する HMD に提示する。図 1 にプロトタイプの概略図を示す。左右方向の傾斜に関しては、図 2 に示すように、アフィン変換を用いて、視界の鉛直方向は変化させずに水平面だけを傾斜させた。進行方向の傾斜に関しては、図 3 に示すように、廊下の床面と壁面が交わる直線に注目した時の消失点の位置が途中で変化するように画像処理を行い、床面の傾斜が途中で変化しているようなシーンを作成した。

2.2.2 被験者実験

左右擬似傾斜に関して、まず被験者の擬似傾斜に対する知覚の有無による影響も検討するために擬似傾斜の知覚閾値を調査した。HMD に提示する床面の傾斜角度（擬似傾斜角）を徐々に変化させてたところ、傾斜角が 5° から 10° 程度の傾斜でほとんどの被験者が、視界が斜めになっていることに気付くことが分かった。この結果から左右に 20° まで 5° 刻みで傾斜させたシーンをユーザに提示して、廊下の中央を前進するよう指示した。図 4 にあるユーザの移動軌跡を示す。このユーザは傾斜に対して下側にズレながら移動する傾向が見られる。一方、傾斜に対して上側にズレながら移動する傾向が見られるユーザもおり、常に低い方向へユーザが誘導されるわけではないことが分かった。また、全被験者に共通して、傾斜角が 20° の時よりも、5° の時のほうが、廊下の中央線からのズレが大きくなる傾向があることも分かった。

進行方向の擬似傾斜に関しては、擬似的に見せられた坂の昇り降りで、精神的および肉体的な影響があるかどうかを調べるために、アンケートによる主観評価と表面筋電図による客観評価を行った。視覚的な認知傾斜角に関するアンケート結果を図 5 に、内側腓腹筋の%MVC を図 6 に示す。伸縮割合 C とは傾斜を擬似的に見せる際の画像の縮尺を示しており、0.3、0.6、1、1.5、2.0 はそれぞれ、強い下り坂、弱い下り坂、平坦な道 (変形なし)、弱い上り坂、強い上り坂となっており、図 6 は C=1(平坦な道) との比を示している。一次元配置分散分析を行ったところ、視覚認知傾斜角は伸縮割合による傾斜の感じ方に有意差が見られた [$F(4, 40) = 24.58, p < 0.05$]。一方、%MVC は、一元配置分散分析を行ったところ、伸縮割合による効果に有意差は見られなかった。

2.3 具体的成果

左右擬似傾斜提示がユーザ歩行へ与える影響に関する調査については研究成果を、国内研究会 [発表 1] で発表した。

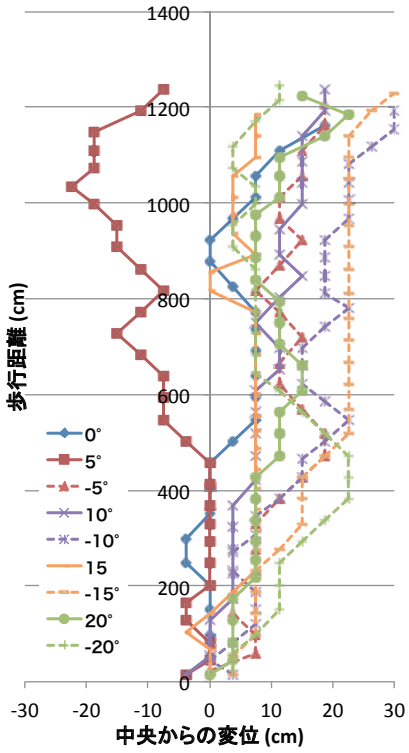


図 4: 被験者の歩行軌跡

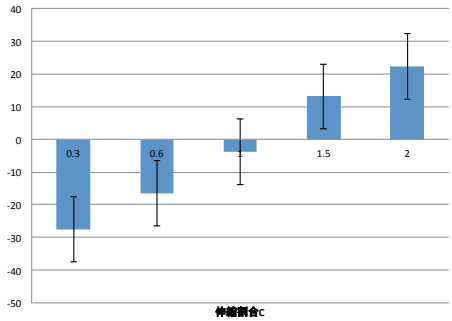


図 5: 視覚による認知傾斜角

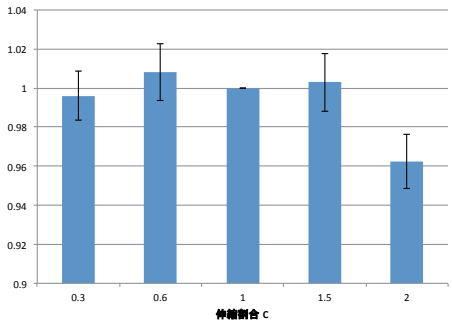


図 6: 内側腓腹筋の筋電位図

本テーマに関連して、視覚と聴覚のクロスモダリティを用いた音像定位に関する研究も進めた。例えば、２つのスピーカからの同じ音を出した場合、人は２つのスピーカの中央から音がなっているように感じる。現実空間の自由な場所に音源があるように音を提示するために、スピーカアレイのような大規模なシステムを利用する手法が提案されているが空間の任意の場所に音像を知覚することは困難である。本研究室では拡張現実感による視覚刺激を用いて、音像の定位を補完する手法を提案し、国内研究会 [発表 2] で発表した。

3　映像とのインタラクションを可能にするバブルディスプレイ

3.1　背景

多様化する情報を提示するために、ユーザの要求に対して、柔軟に形状を変えたり、直感的に操作できるディスプレイが求められている。そこで、水を媒体としたディスプレイが注目を浴びている。水ディスプレイのひとつであるフォグスクリーンは、既にアミューズメント施設などのエンターテイメント分野において実用化されており、水という自然な素材であるためパブリックスペースなどにも受け入れられやすい。また、水独特の波や濡れという現象を用いることで聴覚や触覚を刺激し、マルチモーダルな表現方法も可能となる特徴がある。

本研究では、今までの水ディスプレイとは異なり、水中に発生させた気泡に映像を投影するディスプレイを提案し、プロトタイプの構築を行ってきた。提案システムでは、水をかき混ぜたり、波を起こすといったユーザの行動によって変化する気泡の動きや形状に着目し、気泡の形状変化に対応した画像を提示することでユーザと映像とのインタラクションを可能にしている。

本年度は、気泡の発生箇所を制御する機構の実装とバブルディスプレイの評価を行った。

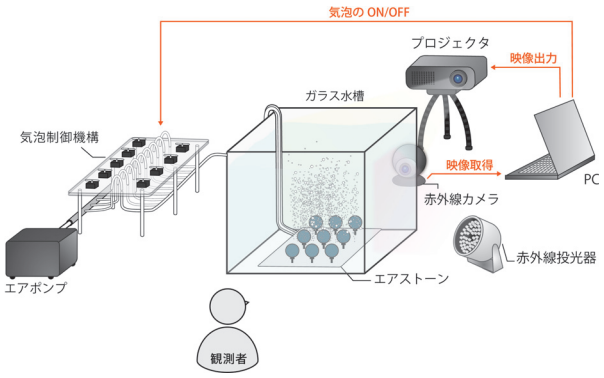


図 7: バブルディスプレイのシステム構成

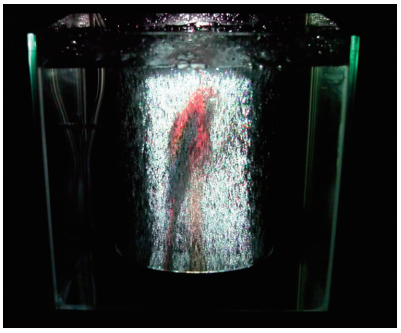


図 8: 気泡への画像投影の例

3.2 内容

3.2.1 バブルディスプレイ

バブルディスプレイのシステム構成と気泡に気泡に映像を投影している様子をそれぞれ図 7、図 8 に示す。一辺 200mm の立方体ガラス水槽に水を入れ、下部に直径 25mm の丸形エアストーンを格子状に 9 個配置した。吐出流量が毎分約 3.2〜5.2 リットルのエアポンプによって空気を送り気泡を発生させている。Arduino MEGA 2560 とサーボモータで構成される気泡制御機構を実装し、気泡の発生制御を行っている。気泡には、水槽背面にある明るさ 12 ルーメンの住友スリーエム社製ポケットプロジェクター MPRO120 を使用して、映像を投影する。水槽側面に設置した赤外線投光器で気泡を照らし、水槽背面に設置した赤外線カメラでリアルタイムに気泡群を撮影、検出している。

3.2.2 バブルディスプレイの性能評価

バブルディスプレイは、既存のディスプレイとは映像提示方法や表示能力が異なるため、従来の映像コンテンツでもバブルディスプレイに対する適正は分かれる。そのため、評価実験によりディスプレイ特性を検証し、適切なコンテンツの指標を示す必要がある。そこで、映像を投影する気泡群の厚さが、ユーザの知覚に与える影響を解像度と視野角に関して調査した。

解像度実験: バブルディスプレイにチェッカパターンを投影し、ユーザが各ブロックを識別できる解像度 (画像解像度) と、チェッカパターンと同じ輝度のグレー画像を提示した場合にグレー画像とチェッカパターンを見分けることができる解像度 (限界解像度) を調べた。実験結果を図 9、10 に示す。被験者平均は、画像解像度が 11ppi、限界解像度が 19.5ppi となり、気泡群の厚さを要因とした一元配置分散分析では有意差は見られなかった。

視野角実験: バブルディスプレイにアルファベット (A, H, O, T, X) をランダムに提示し、アルファベットの可読性がバブルディスプレイを見る方向によって影響をうけるかどうかを調査した。実験結果を図 11 に示す。視野角 60°、80° で気泡群が厚くなるに従い、正答率が下がったが、気泡群の厚さを要因とした一元配置分散分析では有意差は見られなかった。

3.3 具体的成果

映像情報にユーザが直接インタラクションできるディスプレイとして提案しているバブルディスプレイの実装を進め、評価を行った。これらの研究成果を、論文誌 [査読付 5] および国内研究会 [査読付 1] にて発表した。

本テーマに関連して、日常生活における言葉の伝達を視覚的に提示するシステムを開発した。周囲の音に邪魔されて意図したとおりに自分の言葉が相手に伝わらないという状況はよく経験するシーンである。本システムでは、公園や高架下などの騒音の多い自然環境をメタファとしたフィルタを用い

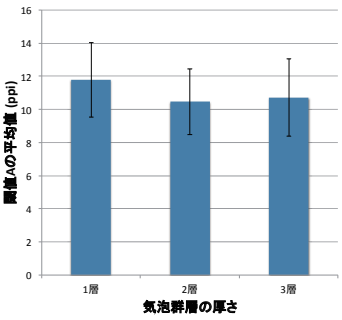


図 9: 画像解像度評価

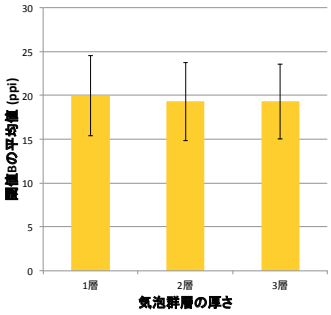


図 10: 限界解像度評価

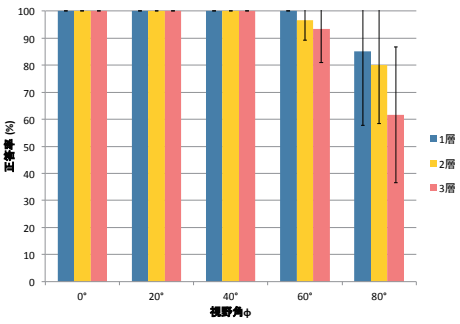


図 11: 視野角評価

て、ユーザが発した言葉がどのように変換されるのかを可視化するインタラクティブシステムである。本研究の成果は、国内研究会 [発表 4] にて発表した。

4　仮想平面を用いた飛行ロボットの操作インタフェース

4.1　背景

ロボット技術の発展によって、工場内のラインで部品を自動運搬するロボットから一般家庭で利用されるお掃除ロボットまで、ロボットの活躍の場は着実に拡がり、一般ユーザであってもロボットに接する機会が増加している。しかし、家庭用に普及しているロボットは、あらかじめ決められたプログラムの動作しか行えず、ユーザの望む柔軟な操作を行うことは簡単ではない。

本研究では、ユーザから見た視点で飛行ロボットを操作するインタフェースに関する研究を進めた。拡張現実感の技術を用いて、現実空間内に直接、操作内容を記述することで、直感的で容易な操作を実現している。

4.2　内容

ロボットの移動経路をレーザポインタで床面に描いて指示する研究があったが、本研究で想定するような空中に浮かぶロボットの移動経路をレーザポインタで描くことはできない。そこで、本研究では拡張現実感の技術を用いて、空間に仮想平面を設置し、その仮想平面上に移動経路を描くインタフェースを構築した。図 12 に提案システムの概略を示す。タブレットを通して見た飛行ロボット上に補助平面を重畳し、この補助平面上で飛行ロボットに対する “離着陸”、“旋回”、“移動”、“動作の中断” を指示する。図 13 に、提案システムにおける操作方法を示す。

移動: ロボットが飛行状態のときに、仮想平面上にロボットの移動ルートを自由曲線で記述する。仮想平面は飛行ロボットを中心に回転でき、平面の頂点や辺をドラッグすることで大きさを変更して、広い範囲での移動指示も可能である。仮想平面を用いた移動ルート指定では、ロボットが障害物により一時的に視認できなくなるような状況でも、移動ルートの指示が可能である。また、飛行ロボットの移動速度は、操作者による移動ルートの記述スピードに対応させ、速く描いたルートは速いスピードで、遅く描いたルートは遅いスピードで移動させる。

離着陸: 着地状態の飛行ロボットに重畳表示した仮想平面上へ上方向のルートを記述することで離陸を指示する。またロボットが飛行状態のときに床面との距離が閾値以下になるまで下方向のルートを記述することにより着陸を指示する。閾値の具体的な値に関しては、操作するロボットの仕様にも影響を受けるため任意に指定できるものとし、仮想平面上に閾値の境界を表示する。

旋回: ロボットが飛行状態のときに、 2 本指のドラッグで鉛直方向を軸に仮想平面を回転させることで、旋回を指示する。

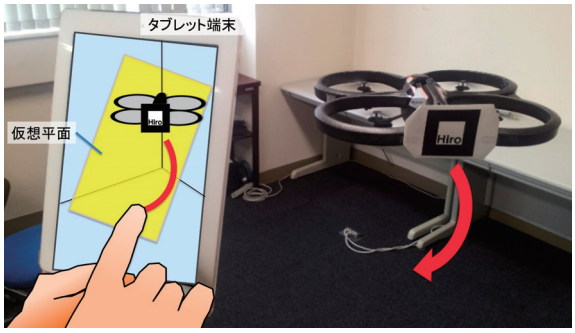


図 12: 飛行ロボット操作システム

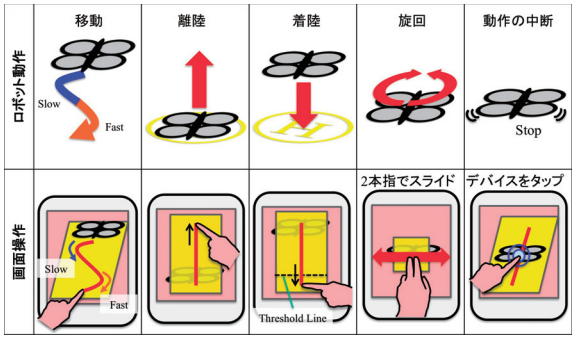


図 13: 制御コマンド

飛行ロボットには、Parrot 社製 AR.Drone 2.0 を採用し、Apple 社製 MacBook Air (OSX 10.8.5) 上で、プログラミング言語に Proccesing 1.5 と ARToolKit を利用して実装した。今回の実装はすべてラップトップ上で行い、飛行ロボットの撮影は Logicool 社製 Web カメラ HD Pro Webcam C920t を用いた。

提案システムでは仮想平面の設定と移動軌跡の描画で飛行ロボットの移動操作を行うことが可能であり直感的な移動指示が可能である。ユーザの視点にも影響を受けないためジョイスティックで操作する場合のような移動方向の齟齬は生じない。また、ユーザの移動を必要としないため、ユーザが移動できない場合でもロボットの操作が可能である。既存手法では、ロボットを視認できなくなると操作（移動）できないシステムが多かったが、提案システムでは移動ルートの指定が完了すれば、障害物によって一時的にロボットをカメラで捉えられなかったとしても移動できる操作方法となっている。

4.3 具体的成果

本年度はラップトップ PC 上でのプロトタイプを実装し、仮想平面を用いた操作インタフェースに関する技術課題を検討した。この研究成果は、国内研究会 [査読付 4, 発表 3] にて発表した。

本研究に関連し、仮想オブジェクトのリアリティの向上を目的として、拡張現実感におけるぼけ効果に基づく奥行き表現に関する研究も進めた。ユーザが拡張された空間を正しく安全に理解するためには、現実物体と仮想物体の位置関係を即座に理解できる環境を構築する必要がある。本研究では、実世界と仮想世界を重畳するための方式であるビデオシースルー方式において、現実環境を撮影するカメラの性能や焦点ずれによるぼけなどの画質劣化を考慮した画像の合成方式を提案し、カメラ画像と CG の画質による整合性問題を解決し、仮想物体と実物体、もしくは仮想物体同士の位置関係の把握を支援している。本研究の成果を国際会議 [査読付 2, 査読付 3] にて発表した。

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイにおける水の特性を考慮したインタラクション手法, 情報処理学会マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2013) 論文集, pp. 170–174, 2013 年 7 月.

[査読付 2] Xueting Lin and Takefumi Ogawa: An Estimation Method for Blurring Effect in Augmented Reality, in Proceedings of ACM SIGGRAPH 2013 Posters, ACM, Anaheim, CA, U.S.A., Article 69, July 2013.

[査読付 3] Xueting Lin and Takefumi Ogawa: Blur with Depth: A Depth Cue Method Based on Blur Effect in Augmented Reality, in Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2013), IEEE, Adelaide, Australia, pp. 1–6, Oct. 2013.

[査読付 4] 米澤 和也, 小川 剛史: 飛行ロボット操作性向上のための仮想平面を利用した操作手法, VR 学研報, Vol. 18, No. CS–4, CSVS2013–31, pp. 5–8, 2013 年 12 月.

[査読付 5] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイ：水中の気泡を用いたインタラクティブ映像システム, 情報処理学会論文誌（デジタルコンテンツ）, Vol. 2, No. 1, pp. 16–23, 2014 年 2 月.

その他の発表論文

[発表 1] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 拡張現実感による床面傾斜提示が歩行者に及ぼす影響, VR 学研報, Vol. 18, No. CS–2, CSVS2013–14, pp. 79–83, 2013 年 6 月.

[発表 2] 王 夢, 小川 剛史: 視覚と聴覚のクロスモーダル知覚を用いた音像定位システムに関する基礎検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013–DCC–4, No. 7, 2013 年 6 月.

[発表 3] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を利用した飛行物体操作手法の提案, VR 学研報, Vol. 18, No. CS–3, CSVS2013–24, pp. 107–112, 2013 年 9 月.

[発表 4] 佐川 俊介, 小川 剛史: SoundROKA: 日常生活における言葉の伝達を視覚的に提示する水槽, エンターテインメントコンピューティング 2013 論文集, pp. 62–63, 2013 年 10 月.

[発表 5] 佐川 俊介, 小川 剛史: バブルディスプレイの表示性能とインタラクション手法に関する評価, 信学技報, Vol. 113, No. 468, MVE2013–90, pp. 133–138, 2014 年 3 月.

SDN を効率的に利用したクラウドと IX の構築に関する研究

関谷 勇司

1 概要

近年、Software Defined Networking (SDN) が新たなネットワーク構築のための技術として注目され、様々な分野への応用が模索されている。この流れを受け、様々な SDN コントローラのオープンソース実装が登場し、ネットワーク機器ベンダーやストレージ機器ベンダーも、自社の機器を SDN コントローラから制御するためのプラグインを配布し始めている。また、OpenStack[1]を代表とした、プライベートクラウド環境を構築するためのオープンソース実装も非常に注目されており、それに付随する技術や製品が多く登場している。すなわち、クラウドと SDN を融合し、クラウドにとって都合の良いネットワークを低コストに実現する技術や手法が求められていると言える。そこで 2013 年度は、クラウド環境において柔軟なネットワークを構築するための要素技術として、SDN 技術の適用可能性と規模性を調査し、まとめた。その成果を本報告書にて述べる。なお、本研究は、中村技術補佐員と共同にて行った。

さらに、同様に SDN 技術を用いた Internet eXchange (IX)の構築に関して述べた。これは、現在のインターネットにてトラフィックの交換に利用されている IX という仕組みに、付加価値を持たせた、より強固なインターネットバックボーンを構築することを目指した IX を構築するための研究である。前述のクラウドと SDN の融合において行った技術調査の結果をもとに、IX にも SDN 技術を適用することで、インターネットバックボーンにより近い位置に存在する IX において、昨今頻繁に発生している大規模 DDoS 攻撃を防御するための仕組みを提供することを目指す。本報告書では、その概要と予備調査に関して述べる。

最後に、サイバーセキュリティ情報を効率的に交換するための研究成果について述べる。本研究は、飯村卓司専門職員と共同で行ったものである。サイバーセキュリティに関する情報は、インターネット上に分散して存在しており、それを統一的に扱う手法は確立されていない。CVE[2] や NVD[3]といった情報収集サイトは存在するが、それぞれのサイトが連携しているわけではなく、かつ即時性という観点からも統一的な指標は有していない。昨今の攻撃は散発的、かつ大規模に行われるものが多発しているため、そのような攻撃に関する情報をいち早く共有するための手法が求められている。そこで本研究では、今現在起こっている攻撃等のインシデントを、管理者同士が即時性を持って安全に情報交換し、かつ自身の手で情報を収集できる環境を構築した。

2 SDN を効率的に用いたクラウドネットワークの構築に関する研究

2.1 背景

本年度では、まず OpenFlow コントローラに代表される、各種 SDN コントローラに関して、定性的評価と定量的評価を行った。これは、現在オープンソースとして存在している SDN コントローラが、

[1] http://www.openstack.org/
[2] http://cve.mitre.org/
[3] https://nvd.nist.gov/

実際にはどの程度の機能や規模性を有しているかを調査することで、現在のクラウド環境を支えるネットワークの構築に利用できるかを判断するためである。

現在、データセンター内部のネットワーク管理や、OpenStack と連携したプライベートクラウド構築時のネットワーク自動設定に関して、SDN 技術が注目されている。その SDN 技術の中でも、標準仕様として確立しつつある OpenFlow は、クラウド関連技術の中でも大きな関心を持たれており、オープンソースで利用できるコントローラやソフトウェアスイッチ実装が登場している。これらはクラウド環境のネットワーク構築を効率化できる可能性がある。クラウド環境を支えるネットワークは、ネットワークの柔軟性を有しつつ、低コストにて構築可能であり、かつ障害時や故障時にも、簡易に対処することが求められている。このひとつの答えとして、従来のネットワークの上にオーバーレイネットワークを構築することで、下位レイヤのネットワーク構成を単純かつ画一的なものにすることができ、柔軟性を損なわないネットワーク構築を実現している。オーバーレイネットワークの構築にあたっては、それ自体が仮想的にソフトウェアで構築されたネットワークであり、SDN コントローラが有効に活用できるとかんがえられる。しかし、どのコントローラ実装がどのような特色を持っており、どのような利用に適しているか等はあまり比較検討されておらず、利用者が OpenFlow コントローラを選ぶにあたっての明確な指針が存在していない。そこで、本調査では、オープンソースの代表的な OpenFlow コントローラに関して、機能面と性能面からの評価を行い、また、OpenFlow コントローラと OpenFlow スイッチを用いてどのような運用が可能なのかを、OpenStack との連携を交えながらその可能性に関して議論を行った。

2.2 内容

本調査で比較する OpenFlow コントローラの概要を表 1 に示す。Trema[4]、Ryu[5]、POX[6]、OpenDaylight[7]の 4 つのコントローラは、それぞれが各言語で OpenFlow メッセージをハンドルするためのライブラリなどを提供する。開発者は、利用したい OpenFlow のバージョンやプログラミング言語に応じてコントローラを選択することができる。現時点では、OpenFlow1.0 に準拠したメッセージ交換については、各コントローラにて対応済みであり、機能的に実現できることに大きな違いはない。そのため、言語やライブラリの利用のしやすさ、また速度や規模性等の定量的な観点から、また、OpenStack と連携するにあたって OpenFlow 以外にクラウドネットワークが必要とする機能を SDN コントローラとして提供しているかという定性的な観点から評価を行った。

定量的評価に関しては、各 OpenFlow コントローラに対して、Packet-In を行うようなパケット処理を発生させ、その性能を測定した。OpenFlow コントローラの基本的な動作は、Packet-In に対して適切な Flow エントリを計算し、そのエントリを Flow-Mod を用いて OpenFlow スイッチに対して投入することである。OpenFlow スイッチは、ポートに受信したパケットに対してマッチする Flow エントリが存在しない場合はコントローラに対してパケットを転送し Flow-Mod を待ち受ける Packet-In と呼ばれる動作をする。つまり、原理的にスイッチに受信される全てのパケットがコントローラに転送される可能性がある。そのため、OpenFlow コントローラが単位時間当たりに Packet-In に対して Flow-Mod を返せる量は(Response per second : rps)、OpenFlow コントローラの性能において 1 つの大きな指標となる。この指標は、OpenFlow を Southbound のプロトコルとして用いる OpenDaylight も同様である。

2.3 具体的成果

まず、それぞれの OpenFlow コントローラに関して、定性的評価の結果を述べる。Trema は、OpenFlow コントローラとしての機能の他に、コントローラ内でテスト用の仮想ネットワークを構成する機能を有する。OpenFlow スイッチやホストから構成される仮想ネットワークを構築することができ、ホストから ping 送信や、OpenFlow スイッチの Flow エントリの確認を行うことができるため、実際に

[4] http://trema.github.io/trema/
[5] http://osrg.github.io/ryu/
[6] http://www.noxrepo.org/
[7] http://www.opendaylight.org/

OpenFlow スイッチを準備することなく、簡易的に OpenFlow 環境のシミュレーションを行うことができる。すなわち、テスト用に OpenFlow スイッチやホストなどを用意することなく、開発者は Trema のみで OpenFlow アプリケーションを実装、試験、デバックすることができる。

Ryu は、多種の OpenFlow のバージョンに対応し、数多くの OpenFlow プロトコルを利用したスイッチとの接続テスト結果を提供している。Ryu Certification というスイッチテストにて、各種の OpenFlow メッセージに対して、スイッチが正しい挙動を示すかというテストを行い、その結果を公開している。他にも、OpenStack のネットワークを制御するコンポーネントである Neutron との連携など、様々な機能を提供する。

OpenDaylight は、Trema や Ryu などの OpenFlow コントローラとは異なり、OpenFlow を含むさまざまな API を通してネットワークを制御するための SDN プラットフォームである。OpenDaylight は、Network Applications Orchestrations & Services、Controller Platform、Southbound Interfaces & Protocol Plugins の 3 つのレイヤーによって構成される。Network Applications Orchestrations & Services はいわゆる Northbound API にあたる部分であり、外部のプログラムと連携するための API を提供する。クラウドオーケストレータなどの外部ソフトウェアは、REST などの Northbound API を通じて OpenDaylight の管理するネットワークを制御することができる。現在のリリースである OpenDaylight Hydrogen の Virtualization Edition で、OpenStack Neutron プラグインが含まれており、OpenStack が OpenDaylight を通じてクラウドネットワークを制御する。

次に、定量的評価に関して述べる。本調査では、Trema、Ryu、POX、そして OpenDaylight について、単位時間当たりに Flow-Mod を返す速度を計測した結果を示す。これによって、各ソフトウェアの OpenFlow メッセージを処理できる限界を示し、どのような Flow エントリをスイッチに投入するかを検討する際の指標となることを目指す。表 1 に、計測で利用した各コントローラのバージョンと処理系を示す。

表 1 : コントローラの動作バージョン

コントローラ	コントローラバージョン	処理系のバージョン
Trema	0.4.6	Ruby 1.9.3p194
Ryu	3.6	Python 2.7.4, PyPy 1.9.0
POX	0.2.0	Python 2.7.4, PyPy 1.9.0
OpenDaylight	1.0	Java 1.7.0_51

また、表 2 に計測に用いた機材を示す。Python 実装である Ryu と POX については、通常の Python による実行に加えて PyPy で実行した場合も計測した。PyPy は Python で記述された Python の処理系であり、通常の Python 処理系に比べて JIT コンパイルによって実行速度を向上させることができる。実験には、OpenFlow 1.0 ベースのベンチマークツールである cbench を用いた。cbench は、OpenFlow スイッチをエミュレーションし、コントローラに対して Packet-In を発生させるツールである。この cbench を用いて大量の Packet-In を発生させ、コントローラが 1 秒間に何回 Flow-Mod を返すことができるかを計測した。

表 2 : 計測に用いた機材

ノード	CPU	メモリ
コントローラノード	Xeon E5-2420 1.9GHz	16GB
cbench ノード	Core i7 3770K 3.5GHz	32GB

各コントローラと OpenDaylight で空の Flow-Mod を返すアプリケーションを用いて計測した結果を図 1 に示す。空の Flow-Mod の場合は Trema が 100krps と最も早く、次いで PyPy を用いた Ryu と Pox、OpenDaylight と続いた。性能としては、最も性能の低い Python で動作させて Pox の場合で約 5000rps である。Packet-In は OpenFlow スイッチがパケットを処理する際にマッチするエントリが存在しない場合に発生する。そのため、最も性能の低かった Pox でも約 5kpps (packet per second) の速

度でマッチしないエントリを処理できるといえる。5kpps は 64byte のショートパケットで約 2.5Mbps 程である。つまり、エントリに存在しない新しいフローのトラフィックには 2.5Mbps 程まで Packet-In で処理できることが分かった。フローエントリのマッチ条件を検討する際には、これの値を 1 つの指標として設計することができるとわかった。

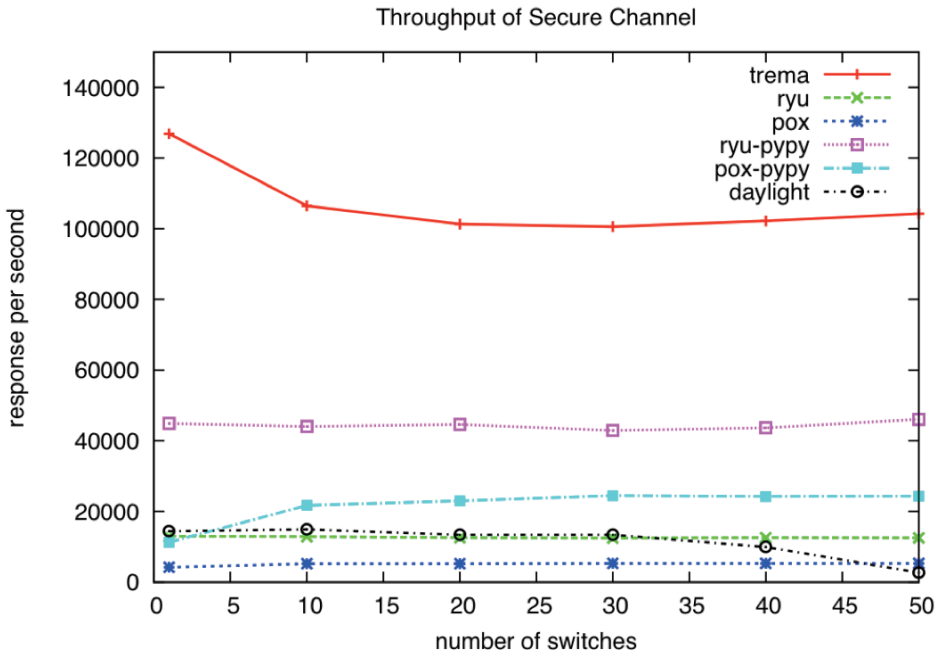


図 1 : 空の Flow-Mod を返す場合の計測結果

3　SDN-IX の設計と構築に関する研究

3.1　背景

IX (Internet eXchange) は、複数の AS (Autonomous System) が相互に接続する場を提供し、AS 間のトラフィックを交換する場を提供している、インターネットの基幹の一部である。IX に接続している各 AS は、境界ルータ間でパスベクトル型の経路制御プロトコルである、BGP (Border Gateway Protocol)を用いて経路を交換し、その経路に基づいてトラフィック交換を行なっている。

現在、この IX は主に経路に基づいたトラフィック交換を行うのが主要な機能であるが、クラウド・コンピューティングの台頭によって、従来の IP アドレスベースの経路制御のみならず、柔軟な経路制御を行いたいという要求が発生している。また、昨今インターネット上における大規模なサービス妨害攻撃が頻発しており、各 ISP やサービス事業者は、攻撃の防御に苦慮している現実がある。

そこで本研究では、インターネットの基幹部に位置する IX において、柔軟なネットワーク制御や分散サービス妨害 (DDoS) 攻撃を防ぐための付加的な機能を提供することを目指す。これにより、あるクラウド内に存在するあるサービスやユーザと、別のクラウド内に存在するサービスやユーザを、オーバレイなどの仮想的な技術を用いることなく、効率的にトラフィック交換するためのパスを形成することが可能となる。また、分散サービス妨害攻撃等も、サービス事業者の入口にて止めるのではなく、より上流の基幹部分にて止めることで、インターネットの帯域資源を無駄に浪費することなく、効率的な防御を行うことが可能になる。

すなわち、本研究はインターネットのトラフィック効率化と資源節約に貢献することができ、かつこれからのインターネットに求められるより高度なトラフィック制御を、IX というインターネットの基幹部にて提供することで、インターネットのセキュリティ確保に貢献できる。

3.2 内容

IX において、クラウドコンピューティングのネットワーク構成をより効率的に行うためには、様々なキーを用いてネットワークの接続を行う必要がある。そのキーとは VLAN 番号であり、VXLAN 番号であり、IP アドレスの範囲であったりする。これらの要素を組み合わせて、あるユーザやサービスと、別のユーザやサービスの間のネットワークを効率的に経路制御するために、SDN 技術を導入した IX が必要となる。ISP やクラウド事業者は IX に接続し、トラフィック交換を行なっている。しかし、このトラフィック交換は通常のインターネット通信に関するトラフィック交換であり、あくまでも IP アドレスをキーとした、従来の経路制御に基づいた経路交換である。そのため、ユーザ間で特定の通信のみを専有接続したい場合には、VPN やオーバレイネットワークといった技術が用いられている。しかし、最も効率的な通信は、IX を経由した直接的な IP パケットの交換である。そこで本研究では、IX に SDN 機能を導入することで、従来の IP アドレスのみならず、様々な値を基準としたトラフィック交換を実現することを目指した。

さらに、昨今のインターネットで頻発しているのが、大規模サービス妨害攻撃である。これは、パケットのソースアドレスを詐称して送信することで、攻撃対象となるサービスに対して大量のトラフィックを送りつけ、ネットワーク帯域を埋め尽くすことで、正常なサービス提供を妨害するという攻撃である。これを防ぐには、現状では攻撃トラフィックをフィルタリングするしか方法がない。しかし、フィルタリングするにあたっても、サービスの入口やサービスを行なっている組織の入口でフィルタリングを行うのでは、サービスを行なっているサーバ自体は守れたとしても、その上流となる組織のネットワーク出入り口を攻撃トラフィックで埋め尽くされてしまうため、結果として正常なサービスを行うことが難しくなる。これは、愉快犯であるか明確な意図による攻撃かに関わらず、インターネットにおいて大規模な攻撃が比較的簡易に実行可能であることを示している。サービスやバックボーンを構築、維持するコストよりも、破壊するコストの方が安いために発生する。すなわち、性善説に基づいて運用されてきたインターネットが、その性質を変革させざるを得ない時期に来ていることを示している。インターネット上の主要なサービスは常に攻撃にさらされており、特に本年度は、DNS reflection attack や NTP reflection attack といった、インターネットのサービスやバックボーン自体を破壊するような攻撃が多く見受けられた。日本のある ISP では、400Gbps を超える攻撃トラフィックが海外から流入し、バックボーンの帯域が大きく圧迫される事例が発生した。このような攻撃は分散型 (DDoS)の攻撃として行われ、攻撃者の特定や従来のファイアウォール機器での防御が難しい攻撃となっている。

そこで SDN 機能を導入した IX を実現することで、インターネットの基幹部にて攻撃トラフィックをフィルタリング、もしくは緩和することが可能となる。

3.3 具体的成果

本年度は、SDN を用いた IX の設計と要素技術となる機能の評価を行った。まず、SDN-IX のシステム概要と動作概要に関して述べる。SDN を用いた SDN-IX のシステム設計概要を図 2 に示す。基本的には SDN-IX コントローラと情報を蓄積するデータベース、実際の制御を行う OpenFlow スイッチから構成される。また、トラフィック制御の手順概要を、図 3 に示す。IX に接続している各 AS の管理者は、SDN-IX コントローラに対して REST API を用いてトラフィック交換のためのキーを入力し、それぞれの接続パス名が一致した場合、条件を相互変換することによってパス結合が行われる。これにより、IX に接続している AS 管理者は、繋ぎたいユーザやサービスを、パス名とトラフィック抽出条件のみを入力することで、パス名が合致すればあとは SDN-IX 側がそれぞれの差異を吸収する形でパス形成を行い、ネットワーク接続を実現することが可能となる。

さらに、このような設計方針でパス制御を実現できるよう、要素技術の評価を行った。要素技術の評価に関しては、前述の SDN を用いたクラウドネットワークの構築に関する研究と重なるため、割愛する。

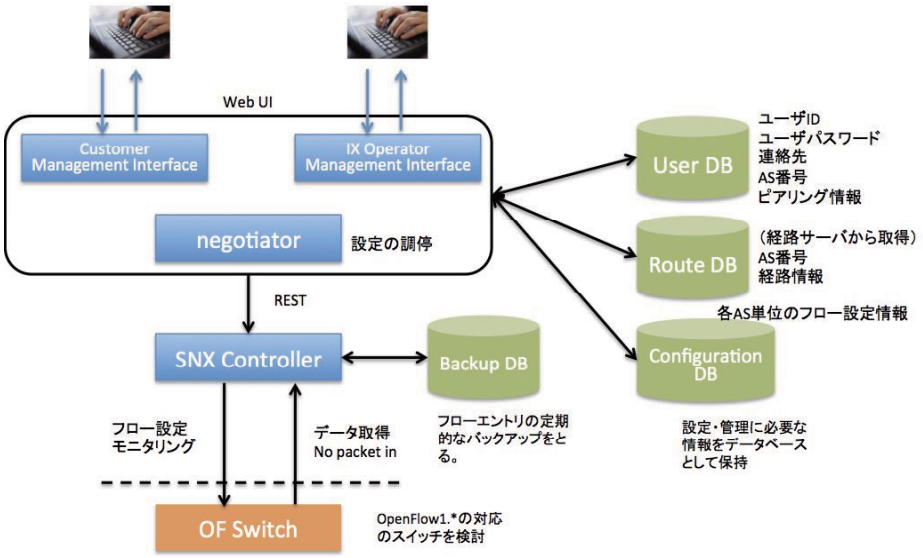


図 2 : SDN-IX システム設計概要

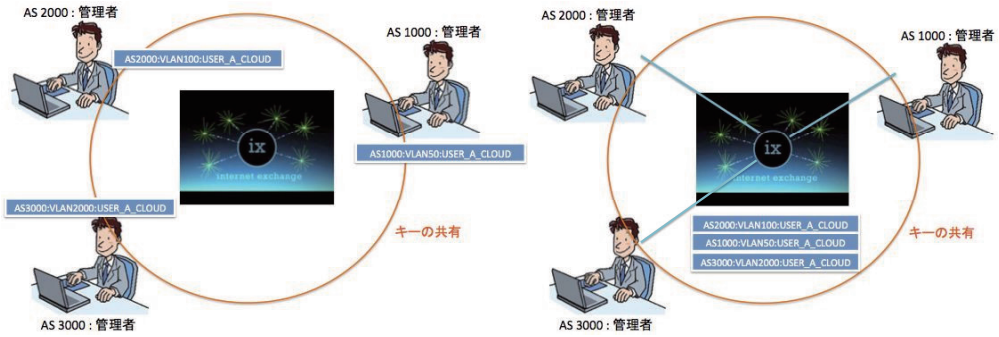


図 3 : 管理者によるパス形成の概要

4　サイバーセキュリティ情報を効率的に交換するための研究

4.1　背景

今日、サイバーセキュリティ情報は様々な手法や様々な場所で取得されている。しかし、それらのサイバーセキュリティ情報を共有する試みはそれほど多くなく、それらサイバーセキュリティ情報の全てを見渡すのは難しい。セキュリティ情報を提供する著名な Web サイトはいくつか存在するが、それらは情報提供に関して連携しているわけでもなく、それぞれの判断で公開時期や深刻さの度合いを決定している。つまり、あるセキュリティ情報がどれだけ即時性をもって入手でき、かつその深刻さがどの程度なのかを判断するのは、基本的に組織の管理者の能力に依存するのが現状である。

そこで本研究では、管理者が必要とするセキュリティ情報を、複数の情報源から容易に閲覧することができ、またその情報が多すぎる場合には、適切な方法での情報のフィルタリングができるシステムを構築した。本研究は、より巧妙化し、迅速な対応が求められるサイバーセキュリティの現状に対して、管理者の情報収集コストを低減させることができるため、インターネットのセキュリティ向上に大きく貢献することができる。

4.2 内容

現状、個々のサイバーセキュリティ情報は、様々な情報源から産出され、提供されている。前述の通り、これらは連携して提供されているわけではなく、その提供時期や内容に関しては、提供サイトの判断で行われている場合が多い。管理者はこれらの情報を集め、適切な判断を行う必要に迫られている。そこで本研究では、散在しているセキュリティ情報を横断的に観測し、余分な情報をフィルタリングすることで、管理者が適切な判断を行う手助けを行うためのシステムを構築した。

セキュリティに関する問題や事象が発生した場合、散在するセキュリティ情報を横断的に観測するためには、次の 2 つの方法が存在する。

1) 管理者が個々の情報源との間で情報を都度やりとりして閲覧を行う
2) 管理者が情報を一箇所に集積して閲覧する

1) の方法は、管理者が個々の情報源からのサイバーセキュリティ情報の取り出し方を把握する必要があり、管理者がどれだけの情報源を把握しているか、また管理者がそれぞれの情報を有機的に連携させて閲覧・検索できるかのといった、管理者の能力に大きく依存する。その一方で、2)に示すように、予め全ての情報を取得しておかなくても良いため情報の転送量や保持にかかるストレージのサイズを削減することができる。

2) の方法は、管理者が事前に情報を収集して閲覧をしやすく加工しておくことで、後からの閲覧・検索に適している。しかし、事前に情報収集を行うにあたって、管理者が多くの情報源を把握している必要があることには変わりなく、かつ特定の事象が発生する前から情報を普遍的に収集しておく必要があるため、情報の転送量や保持にかかるストレージサイズの問題が発生する。

そのため本研究では、「情報源からの情報を縮退して一箇所に集積し、より正確な(多くの)情報を入手する場合には、情報源の示すリンクをたどることで求める情報を取得する」というモデルを実現するためのアーキテクチャを目標とし、システムとして実現した。

4.3 具体的成果

前述の目的を達成するためのシステムとして、NECOMATter というシステムを設計・構築した。これは、Twitter の特徴を受け継ぎ、散在するセキュリティ情報の情報ソースをあらかじめ登録しておくことで、即時性をもってその情報を横断的に俯瞰でき、かつ詳しい情報が必要な場合には、その情報のリンクをたどることができるように構築した。さらに、調べた情報をカスタマイズして集約し、分析することができる管理者専用のダッシュボード環境も提供した。管理者は、集めた情報から次組織に当てはまる情報や必要な対策を分析し、その結果を再度情報源として、他の管理者のために広報することも可能となっている。すなわち、管理者同士が信頼の連携を用いて、情報を分析し合い、その結果を即時に共有することが可能となった。この柔軟な情報取得や連携を実現したのは、NECOMATter のモジュール構成とその設計にある。NECOMATter のモジュール構成図を、図 4 に示す。図にある通り、モジュールとして様々なソースを情報源として組み込むことができ、さらに REST API を提供することで、他のアプリケーションとの連携も容易に実現した。利用例として、セキュリティ情報を閲覧しつつ、管理者同士で情報交換をしながら、情報の詳細を詳細を調査している様子を、図 5 に示す。

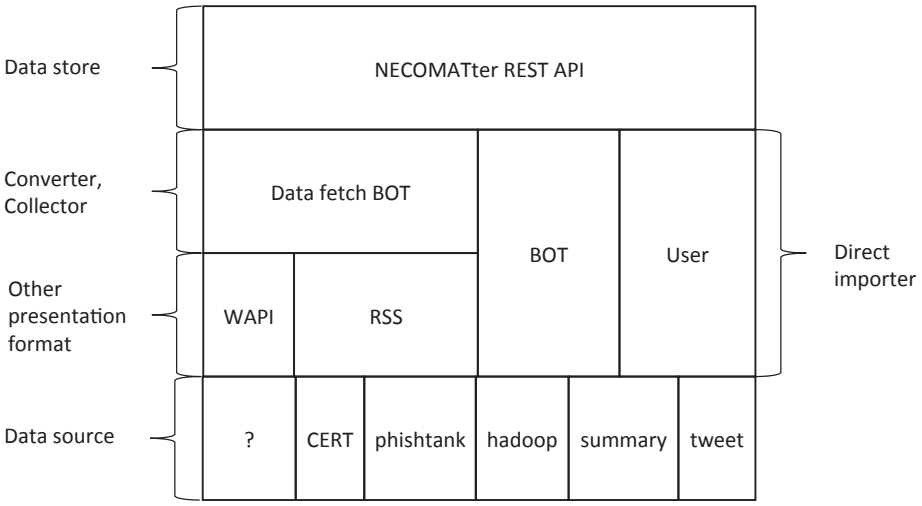


図 4 : NECOMATter のモジュール構成図

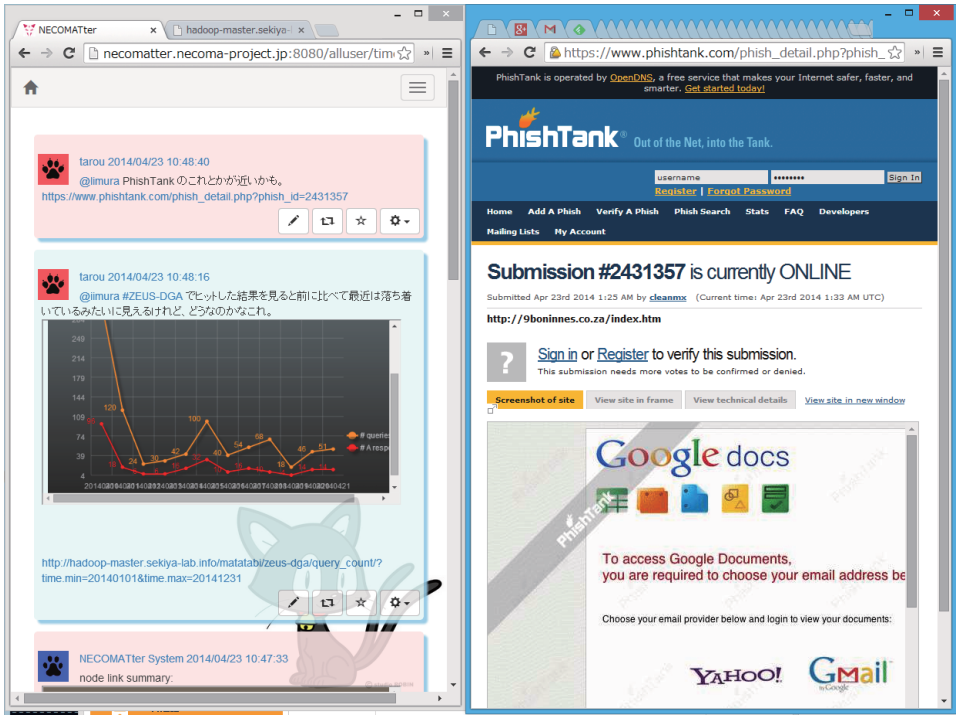


図 5 : NECOMATter の動作例

5　成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 関谷 勇司: Interop Tokyo 開催 20 回記念表彰 ShowNet 部門, Interop Tokhyo 実行委員会, 2013 年 6 月

招待講演／招待論文

[招待 1] Yuji Sekiya: Challenges and Applications of SDN in Interop Tokyo ShowNet 2013, IEICE Tech. Report, vol 133, no 240, IA2013-31, pp29-34, 2013 年 10 月, ソウル, 韓国

[招待 2] 関谷 勇司 : SDN 動向, 第 2 回 SDN/クラウドセミナー, 一般社団法人沖縄オープンラボラトリ, 東京大学, 2013 年 11 月

著書／編集

[著書 1] 関谷勇司, 佃 昌: SDN の利用シーン 〜Interop で見えた最新のユースケース〜, すべてわかる SDN 大全, 日経 BP マーケティング, pp.142-147, 2013 年 10 月

査読付論文

[査読付 1] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki : Implementation and Operation of User Defined Network on IaaS Clouds Using Layer3 Overlay, In Proceedings of 3rd International Conference on Cloud Computing over Servicce Science 2013 (CLOSER 2013), 2013 年 5 月

[査読付 2] 岡田 和也, 関谷 勇司, 門林 雄基 : SDN を利用した IX の設計に関する一検討, インターネットコンファレンス 2013, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ No.72, ISSN 1341-870X, インターネットコンファレンス 2013 論文集, pp. 43 -- 49, 2013 年 10 月

公開ソフトウェア

[公開 1] Yuji Sekiya, Tomohiro Ishihara, and Hajime Tazaki : DNSSEC Simulator, http://dnssec.sekiya-lab.info/, 2013 年 7 月

その他の発表論文

[発表 1] Tomohiro Ishihara, Hajime Tazaki, Kazuya Okada, Daisuke Miyamoto, Yuji Sekiya : DNS Traffic Analysis Platform with Hadoop Framework. In IEICE Technical Report, Vol. 113, No. 502, IEICE-ICSS2013-80, pp.131-135, 2014 年 3 月

[発表 2] Hajime Tazaki, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, Youki Kadobayashi. MATATABI: Multi-layer Threat Analysis Platform with Hadoop. In IEICE Technical Report, Vol. 113, No. 502, IEICE-ICSS2013-77, pp.113-118, 2014 年 3 月

[発表 3] 藤居 翔吾, 田崎 創, 関谷 勇司 : MultiPath TCP 適用時のデータセンターネットワークでのフローサイズが与える得る影響に関する一考察, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 113, no. 364, IA2013-65, pp. 47-52, 2013 年 12 月

[発表 4] Tomohiro Ishihara, Hajime Tazaki, and Yuji Sekiya : "Design and Implementation of DNSSEC Simulator using Unmodified Real Implementations", IEICE Tech. Report, vol. 113, no. 240, IA2013-27, pp. 7--12, 2013 年 10 月

[発表 5] 石原 知洋, 櫨山 寛章, 関谷 勇司 : 失効したルート鍵を持つ DNSSEC 検証サーバの挙動調査と対策についての一考察, 情報処理学会, 研究報告インターネットと運用技術(IOT), Vol. 2013-IOT-23, No. 5, pp. 1--4, 2013 年 9 月

[発表 6] 長谷川 幹人, 関谷 勇司 : Ethernet OAM/CFM の相互接続の課題とこれから, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 118, no. 200, IA2013-18, pp.11--15, 2013 年 9 月

[発表 7] 中村 遼, 堀場 勝広, 関谷 勇司 : SDN を用いたクラウドサービスネットワークの実現, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 113, no. 200, IA2013-17, pp. 5--10, 2013 年 9 月

[発表 8] 奥澤 智子, 関谷 勇司 : BGP を用いたデータセンターネットワークの構築, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 113, no. 200, IA2013-16, pp. 1--4, 2013 年 9 月

コンピューターサイエンス教育の充実と普及

中村　文隆

1　概要

Google 会長の Eric Schmidt が「日本はサイエンスでもイノベーションでもリーダーだが、残念ながらソフトウエアの分野ではリーダーではない。」と語った[1]ように，我が国におけるコンピューターサイエンス教育の充実は，国際的な競争力の観点から考えても重要な課題の一つである．上述の Eric Schmidt の発言は，Google と日本の NPO 法人との協力により，5000 台の Raspberry Pi が日本の ICT 教育のために提供されるというプロジェクトにおけるものであるが，学習において抽象化と具体化を自在に行き来しつつ，高度な応用へとつながる理解と興味を養うためには，全体を把握できるスモールワールドにおいて本質をとらえる経験を積み重ねることが重要な体験の一つであると思われる．マスエデュケーションの文脈で上記の目的を達成することを考えた場合，現実的な問題として教育環境を整備するための費用が低く抑えられることや，学習者が参照することのできる質の良い参考資料の充実などが必要不可欠な条件として考えられる．

筆者はこれまでに，フィジカルコンピューティングプラットフォームの Arduino，グラフィカルな音声処理プログラミング環境 Pure daata，アセンブラ言語 CASL Ⅱ，のそれぞれについて，上記の目的に資するものとしての解説・普及のための書籍を上梓してきたが，昨年度から，2012 年 2 月にリリースされた Raspberry Pi と呼ばれるシングルボードコンピューターをもちいたコンピューターサイエンス教育の普及に努めてきた．本年度は，Raspberry Pi に関するより充実した書籍を執筆するとともに，デジタルサイネージへの Raspberry Pi の応用にフォーカスした書籍を準備した．また，より原理的かつ安価なコンピューターサイエンス教育環境として，NXP セミコンダクターズ社の LPC810 を対象とした書籍の執筆も行った．これらのうち，デジタルサイネージに関するものと，LPC810 を対象としたものについては，出版準備は整っているもののリリースが年度を越えるため，次年度に報告するものとする．

2　Rasbperry Pi

2.1　背景

コンピューターサイエンス教育のプラットフォームとして 2012 年 2 月にイギリスのラズベリー・パイ財団からリリースされたシングルボードコンピューターRaspberry Pi は 2013 年 10 月 31 日までに全世界の累計で 200 万台以上が出荷された．Raspberry Pi は安価ではあるが，Linux をはじめとした多様な OS が動作することや，GPIO や I^2C, UART をはじめとした充実した外部 I/O 端子をもつこともあり，プログラミング教育やフィジカルコンピューティングなどの幅広い用途があり，教育と応用の両面で多くのユーザーを獲得している．

一方で，国内における Raspberry Pi に関する資料については，2013 年時点では総合的な書籍がほとんど見られず，初学者にとってはさまざまな情報源を総合しつつ手探りで活用法を見出すという状況になっていた．

[1] http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20131029/514542/

2.2 内容

上記の背景から，筆者は，Raspberry Pi 単体でのプログラミング学習から，各種情報機器との連携による応用までをコンサイスにまとめた書籍として，「ラズベリー・パイで作る手のひら Linux パソコン」([著書 1])を CQ 出版社から上梓した(図 1).

図 1「ラズベリー・パイで作る手のひら Linux パソコン」表紙

書籍の内容は，Raspberry Pi へのシステムインストールから，使用される OS である Linux の背景と基礎知識，ネットワーク管理の基本的なスキル，フィジカルコンピューティングへの応用と，プログラミング教育への応用までを広く網羅したものである.

本書は 2013 年 8 月 24 日に刊行され，Amazon における「本>コンピュータ・IT>OS>Linux」の分類で図 2 のような販売実績を記録しており，高い需要があることが示されている．図 2 は，1 時間ごとに取得した売上順位の日平均をプロットしたものである.

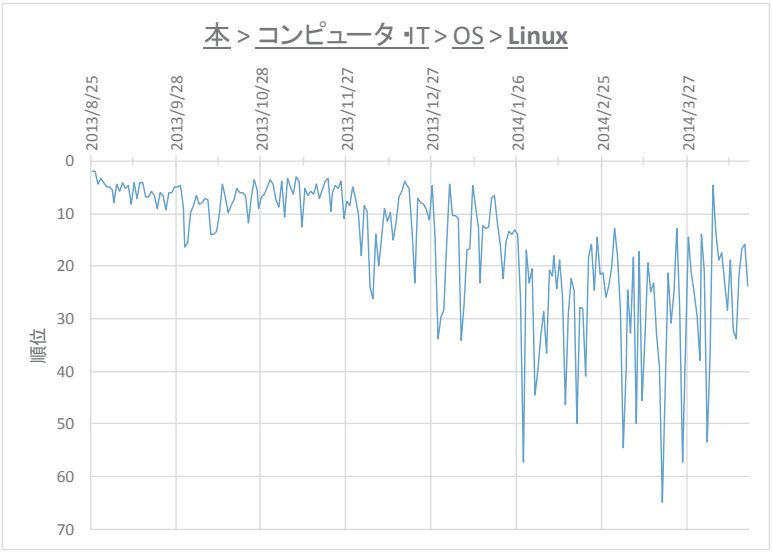


図 2 Amazon における売上順位の推移(日平均)

3 デジタルサイネージと LPC810

3.1 背景

これまで述べてきたように Raspberry Pi は PC と類似する環境をベースとしたプログラミング教育において有力な選択肢となるものであるが，一方で，オペレーティングシステムの稼働が資源的に厳しいマイクロコンピューターにおける開発については Raspberry Pi だけではカバーすることは簡単ではない．そこで，2 において述べた活動の後，マイクロコンピューターを活用したコンピューターサイエンス教育についても考慮することとした．

概要において述べたように，この活動についての成果は 2014 年 4 月以降に公刊される予定であるため，本稿では概要を簡単に述べるにとどめる．

3.2 内容

現在社会的なニーズが高まりつつあるデジタルサイネージについて，Raspberry Pi と，ARM ベースマイクロコンピューターボード mbed を用いて，同一のシステムを異なるプラットフォームで開発する事例を提示することを通して，問題の抽象化習得とシステム構築のスキル向上とを図る書籍を，共同執筆者と分担して執筆した．Raspberry Pi については筆者が担当し，共同執筆者が mbed を使用したシステム開発について執筆を行った．

また，DIP 8 ピンパッケージの 32 ビットマイクロコンピューターである LPC810 について，主記憶 1kB，チップ上の 2 次記憶領域 4kB の極小の環境で，入出力処理や音声処理のプログラミングを実現する事例を通じ，プログラミングの原点を体得することができる書籍の執筆を行った．

これらの活動については，次年度に成果を報告する予定である．

4 成果要覧

著書／編集

[著書 1] 中村 文隆: ラズベリー・パイで作る 手のひら Linux パソコン, CQ 出版社, 2013 年 8 月

ブロードバンド無線環境実現にむけた基盤技術の研究

妙中雄三

1　概要

平成 25 年度は、大容量で広域な無線ネットワーク環境を実現するために、ネットワーク容量の拡張を実現する無線バックボーンネットワーク（WBN）基盤技術の研究を主に行った。また、これまでに継続して実施していたクライアント端末移動時において、良好な品質の無線 LAN を切り替え、利用するハンドオーバ技術の論文化も行った。本報告では、WBN 基盤技術を主に説明し、最後に具体的な成果をまとめる。

2　柔軟なチャネル利用によるネットワーク容量拡張を実現する無線バックボーンネットワーク基盤技術に関する研究

2.1　はじめに

無線メッシュネットワーク（WMN: Wireless Mesh Network）では、一部のアクセスポイント（AP）（IGW: Internet Gateway）が有線接続によるインターネット接続性をもち、全ての AP で無線 LAN のアドホックモードの相互接続による無線バックボーンネットワーク（WBN: Wireless Backbone Network）を構成する。インターネット接続性は、WBN 上でマルチホップ転送を介して供給される。

WMN は、WBN 部分が狭帯域でありながらも広い範囲で無線 LAN 接続を供給する手段として利用された。近年は Machine-to-Machine（M2M）通信やスマートグリッド（スマートメータ通信）、モバイルオフローディング（スマートフォン通信）等の利用拡大に伴い、広範囲でインターネット接続可能とする WMN 技術が再注目されている。センサ機器やスマートメータ、スマートフォンは今後爆発的に増える事が予想され、その通信量も急激に増加する。モバイルデータ通信に限ると、Cisco Visual Networking Index「全世界のモバイル データトラフィックの予測、2013〜2018 年アップデート」において、今後 5 年で 10 倍の通信量増加が予測されている。また、これらの通信はインターネット接続を必要とするため、WBN で収容したトラフィックは IGW へ向けた経路上に大容量通信が集中する事となる。従って、将来の大容量無線ネットワーク実現には、狭帯域であった WBN のネットワーク容量をより柔軟に拡張可能とする技術が必要不可欠である。

既存技術では、全ての制御・データ通信が 1 つのチャネルを経由するため、電波干渉や共有メディアが原因の混雑やフレーム衝突等に起因してネットワーク容量が急激に低下する。共有メディアでは 1 チャネルの通信容量は限られるため、ネットワーク容量拡張には複数チャネルの利用が必須となる。既存研究では、複数チャネルを用いた経路制御やチャネル割当、MAC プロトコルの研究が主に行われている。これらの研究では、隣接 AP 間に複数リンク（チャネル）がある場合に、それら全てを同時に有効利用できない。また、AP 毎にチャネル数の上限がある事から、空きチャネルがある場合でも全ての利用が困難な問題がある。

上記から、ネットワーク容量を拡張するためには、WBN の利用チャネル数を柔軟に切替える技術

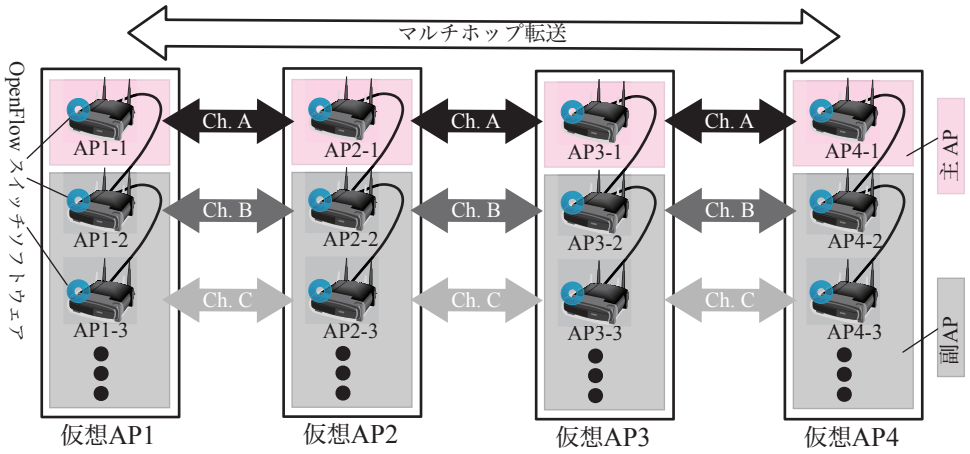


図 1: 複数チャネルを用いた WBN 構成

と複数チャネル構成の WBN 上で全チャネルを有効利用するチャネル利用手法が必要となる。本研究では未使用チャネルを柔軟に活用する、OpenFlow を用いた WBN 制御フレームワークを提案する。また、利用する全チャネルを有効利用する制御手法を提案する。チャネル制御手法では、トラフィックの方向で利用チャネルを決めるアップ・ダウンストリーム分離手法と、チャネル上でフローの数を均等にする均等フロー割当手法を提案する。ただし、均等フロー割当手法は 2 種類のマルチホップ転送方式を含むため、それらも含めて合計 3 種類の手法を提案する。また、1 チャネルで構成する既存の WBN と比較を行うと共に、提案手法 3 つについても相互に比較して有効性評価を行う。なお、平成 25 年度は、提案するチャネル利用手法の有効性を示す事を目的とするため、マルチホップ転送の経路を事前に指定した、2 チャネル 3 ホップの小規模な WBN 環境での研究開発を行う。

2.2 提案手法

2.2.1 複数チャネルを用いた WBN アーキテクチャと制御フレームワーク

本研究では、図 1 に示す仮想 AP（VAP）と VAP を用いた WBN を提案する。図 1 の様に、複数の AP を Ethernet ケーブルでデイジーチェーン型に接続し、AP それぞれが異なるチャネルで WBN を構成する。この有線接続された AP 群を複数チャネル利用する 1 つの VAP として制御する。VAP の中では、デイジーチェーンの 1 台目の AP を主 AP、その他の AP を副 AP と呼ぶ。主 AP のみがクライアント端末の接続を受付け、主・副 AP の両方で異なるチャネル上の WBN を構成する。それぞれの VAP は、パケット送信時に、必要に応じて有線接続を介した AP 間のパケット転送を行う事で、チャネル切替えができる。この WBN 構成において、理想的には各 VAP に AP を数の制限なく追加でき、AP の数で柔軟にチャネル数を増やす事ができる。

次に、上記の WBN 上で複数チャネルを有効に利用するための OpenFlow を用いた、通信制御フレームワークを提案する。前述の通り、この WBN では宛先までの経路（経由する VAP の順番）は既知である事を想定し、その VAP の順番に沿って複数チャネルを有効利用したマルチホップ転送を行う。この通信制御のために、本研究では OpenFlow 技術を利用する。OpenFlow は、トラフィックの制御単位を入力ポートと送信元・送信先 MAC アドレス、送信元・送信先 IP アドレス、TCP/UDP ポート番号の任意の組み合わせで定義したフローとする。また、このフロー定義にマッチするパケットに対して、出力ポートの指定と上記の情報の書き換え操作が可能である。具体的には、OpenFlow にはフローの定義（マッチングルール）と操作（アクション）を決定する OpenFlow コントローラ（OFC）と OFC が決定した定義・操作に応じて実際にパケット処理を行う OpenFlow スイッチ（OFS）が必要となる。本研究では、OFS を全 AP に導入する。それら OFS が起動直後に OFC に接続すると、OFC はフロー

エントリ（マッチングルールとアクションの対）を OFS に送信する。OFS は受け取ったフローエントリを自身が持つフローテーブルに登録する。以降、OFS はフローテーブルの情報に従ってパケット処理を行う。ただし、どのフローエントリにも一致しないパケットが届いた場合は、OFC にそのパケット到着を知らせ（packet_in と呼ぶ）、OFC がそれに応じたフローエントリを OFS に登録する。OFS が OFC に接続した時点と packet_in 時のどちらにおいても、OFC は、当初何もフローエントリを持たないため、2(1).3 節で述べるチャネル利用手法に加えて、WBN 内のマルチホップ転送や VAP 内の有線接続を介したパケット転送等、WBN を構成する上で必要なネットワーク機能全ての検討が必要である。（これらネットワーク機能の検討結果は本研究の本質部分ではないので、報告書では省略する。）以上の様に、OpenFlow による制御フレームワークは、OFC は全 OFS と連携して WBN 上で転送する全フローの動的制御が可能となる。従って、トラフィックに応じて適切な通信制御を行う事でチャネルの利用率を高め、ネットワーク容量の拡張が可能となる。

2.2.2 チャネル有効利用手法

2.2.1 節で説明した、制御フレームワークを用いて、複数チャネルを有効利用する制御手法を提案する。以下に本研究で提案する 3 つの手法についてそれぞれ説明する。

(a) アップ・ダウンストリーム分離手法
2 チャネルの並列利用の有効性確認のため、シンプルな 2 チャネル利用手法を提案する。具体的には、トラフィックの転送方向でフローを定義し、アップ・ダウンストリーム毎に異なるチャネルを割当てることでマルチホップ転送を行う。従って、WBN 上を流れる伝送レートが双方向で同じであれば、2 倍のネットワーク容量が得られる事が予測される。

(b) 均等フロー割当、同一チャネル利用手法
手法 (a) では転送方向で利用チャネルを決めるため、現実のインターネットにある上下のデータ転送量が非対称な通信では片方のチャネルの占有時間が急増し、全てのチャネルを有効利用できない。本手法では、送信元・先の IP アドレスとポート番号の対でフローを定義し、表 1 のように新規フローの packet_in が OFC に届く順番でチャネルを割当てる。つまり、フローの方向によらず、全てのチャネルが利用される。また、そのフローは OFC が決定したチャネルが全ホップで利用され、宛先までマルチホップ転送される．この制御によって、本手法ではトラフィックの方向に偏りがある場合においても、2 チャネルを有効に利用できる事が予測できる。

(c) 均等フロー割当、順次チャネル切替手法
本手法では手法 (b) と同様に OFC への packet_in の到着順でチャネルを割当てる。インターネット上ではフローごとに伝送レートが異なるため、手法 (b) ではチャネル利用が片方に偏ってしまい、全チャネルを有効利用できない。そこで、表 2 に示す様に、ホップを経る度にチャネルを切り替える手法を提案する。この制御では、偏りのあるフローの伝送レートを 2 チャネルに分散する事で、チャネル占有時間が片方のチャネルに集中する事を回避できるため、チャネルの有効利用とネットワーク容量増加が見込まれる。

2.3 性能評価

本節では、2.2.1、2.2.2 節で提案した複数チャネル WBN と複数チャネル有効利用手法を実際の AP へ実装し、性能評価を行う。実験は図 3 に示す、2 チャネル 3 ホップの環境を用いて、提案手法の有効性検証を行った。無線には 100 と 116 チャネルで IEEE802.11a を利用する。各 AP には Stanford の OFS をインストールした。OFC には、trema を使用し、trema 上で提案手法の実装を行った。OFC と PC は VAP に有線接続し、WBN でのチャネル利用制御以外の影響を可能な限り避ける構成とした。

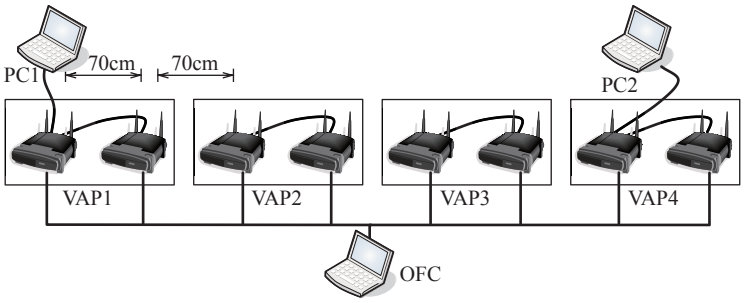


図 2: 実験構成

表 1: 各方向でのスループット (Mbps)

(a) 既存 WBN 実装

方向	最大値	中央値	最小値	平均値
PC1 → PC2	2.82	2.72	2.66	2.74
PC2 → PC1	2.93	2.82	2.70	2.82

(b) 手法 (a)

方向	最大値	中央値	最小値	平均値
PC1 → PC2	8.15	8.06	7.89	8.04
PC2 → PC1	7.69	7.36	7.04	7.34

(i) 既存実装と手法 (a) の比較
本節では、既存実装として経路を固定した 1 チャネル 3 ホップの WBN を用い、2 チャネル利用の最もシンプルな手法 (a) との比較を行う。本実験では、PC1 と PC2 がお互いに 10Mbps の UDP フロー 1 つを 30 秒間送信する。表 1 に方向毎の平均スループット、表 2 に双方向の合計を示す。どちらの手法も双方向ほぼ同等のスループットを得ている。しかし、双方向の合計に着目すると 1 チャネルのみ利用する場合に比べて、手法 (a) が 2 チャネルを使用して、ほぼ 3 倍の結果を得られており、2 チャネル並列利用の有効性が確認できる。また、中央値の時系列変化を調査した所、合計スループットが最小でも 14Mbps であった事から、以降の実験では、本実験環境（2 チャネル 3 ホップ）でパケットロスが発生しない 1 チャネル容量を 7Mbps と想定する。

(ii) 各チャネルのフロー方向の偏りによる評価
実環境では、フロー毎の異なる伝送レートや複数の通信が同時に行われ、通信方向による伝送レートも非対称である。以降の実験は、現実に即した状況を想定した実験を行う。本実験では PC1 から PC2 へ 7Mbps の UDP フローを 2 本、送信し、トラフィック方向に偏りがある状態で行う。2 本目のフローが送信されて 5 秒後から 30 秒間合計の平均スループットを表 3 に示す。手法 (a) では、チャネル利用がフローの向きに対して固定するため、一方向からのみの送信の場合は、2 フローで 1 チャネルのネットワーク容量を共有する事となる。一方、その他の手法はフローの方向に対してチャネル割当が固定されていないため、合計 14Mbps（2 チャネル分のネットワーク容量）のほぼ全てを転送できた。

(iii) 伝送レートの異なるフローとチャネル偏りによる評価
本実験では、フローの方向と伝送レートに偏りがある環境で実験する。まず、PC1 から PC2 へ 1Mbps と 100kbps の UDP フローを交互に 12 本送信し、その後 100kbps の UDP フローを 8 本（合計 14Mbps）送信する。最後のフローを送信してから 30 秒間のスループットを表 4 に示す。手

表 2: 双方向の合計スループット (Mbps)

	最大値	中央値	最小値	平均値
既存 WBN	5.74	5.52	5.41	5.57
手法 (a)	15.73	15.51	14.97	15.38

表 3: フローの偏り (Mbps)

	最大値	中央値	最小値	平均値
手法 (a)	8.44	8.39	8.26	8.39
手法 (b)	14.10	14.10	14.08	14.09
手法 (c)	14.10	14.10	14.08	14.09

法 (b)(c) は、どちらもフロー流入時に 2 チャネルを順番に割当てるため、1Mbps フロー 12 本と 100kbps フロー 4 本（計 12.4Mbps）の集合と 100kbps フロー 16 本（計 1.6Mbps）の集合がそれぞれのホップで同チャネルを経由する。従って、手法 (b) では 12.4Mbps が 3 ホップ全てで同一チャネルを利用するため、最もスループットが小さく、手法 (c) では 2 チャネルをホップ毎に切替える事でチャネル利用が分散され、手法 (b) より良い結果を示している。従って、フローの伝送レートに偏りがある場合において、手法 (c) が有効に複数チャネルを利用可能と言える。

(iv) 制御フレームワークの拡張性評価

本実験では、図 2 に示すトポロジにおいて、VAP 内の AP 数を 3 台に増やし、制御フレームワークの拡張可能性の評価を行う。使用するチャネル利用手法は手法 (b) とする。まず、OpenFlow 制御の有無による通信性能の違いを調査するため、OpenFlow 制御による 1 チャネル 3 ホップの WBN と、固定経路による 1 チャネル 3 ホップのメッシュを準備し、比較実験を行った。実験環境において、PC1 から PC2 へ向けて 10Mbps のフローを送信し、その時のスループットの時系列変化を図 3(a) に示す。図 3(a) より、OpenFlow 制御の有無による性能差が無い事が得られた。次に、チャネル数の増加に伴う、ネットワーク容量の拡張性能を調査する。実験では、PC1 から PC2 へ 1Mbps の UDP フローを送信した。このとき、図 3(a) より、1 チャネルの容量は 8Mbps である事が得られたため（実験は上記実験とは異なる環境で実施したため、上記の 7Mbps とは異なる値となっている）、1 チャネル毎のフロー数は 8（1 チャネル辺り最大 8Mbps）を上限とした。図 3(b) に VAP 内の AP 数が 1、2、3 台（チャネル数 1、2、3）のそれぞれについてスループットの時間変化を示す。図 3 より、チャネル数が増えるに伴って、ネットワーク容量もチャネルの数だけ増加する事がわかる。従って、本研究で提案した制御フレームワークは未使用チャネルを全て有効利用できる可能性が高いと言える。

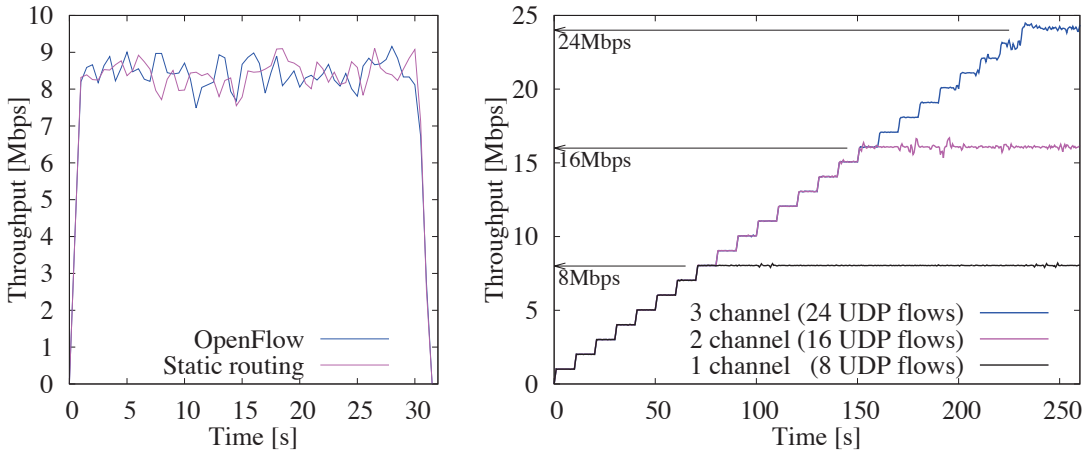
3 具体的な成果

前項で述べた WBN の基盤技術について、WBN 構成技術と制御フレームワークについて、論文誌 [査読付 1] で発表を行った。また、チャネル利用手法の手法提案とその実装詳細、評価の詳細をそれぞれ国内研究会で対外発表を行った [発表 3, 発表 1, 発表 2]。またこの時の発表について、指導学生が学生奨励賞を受賞した [受賞 1]。なお、これらの成果は総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）電波有効利用促進型研究開発 若手ワイヤレス研究者等育成型フェーズ I の採択を受けて実施している [特記 1]。

加えて、継続して実施しているモビリティ技術について、海外の権威ある論文誌 Elsevier Ad Hoc Netowrks に採録される等含めて、論文誌 3 編を対外発表した [査読付 2, 査読付 3, 査読付 5]。他にも、昨

表 4: 伝送レートに偏りがある場合 (Mbps)

	最大値	中央値	最小値	平均値
手法 (b)	10.64	10.35	9.31	10.24
手法 (c)	14.27	13.51	12.88	13.65



(a) OpenFlow 有無の性能差評価　　(b) チャネル数に応じたスループット（Mbps）

図 3: 実験結果

年度より実施しているすれ違い通信に関連する DTN 技術の対外発表を行った [査読付 6, 発表 4, 発表 5, 発表 6, 発表 7, 発表 9, 発表 10]。また、この時の発表について、共同で研究開発を行ってる学生が学生奨励賞を受賞した [受賞 3]。他にも、防災技術とそれに関連する教育や、オンライン教育に関わる技術について対外発表も行っている [査読付 4, 査読付 7, 査読付 8, 査読付 9, 査読付 10, 発表 8]。

4 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: 学生奨励賞, 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会, 2014 年 2 月.

[受賞 2] 廣井慧, 妙中雄三, 砂原秀樹: 学生奨励賞, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 2013 年 5 月.

[受賞 3] 松井加奈絵, 妙中雄三, 山形与志樹, 砂原秀樹: 学生奨励賞, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 2013 年 5 月.

査読付論文

[査読付 1] Yuzo Taenaka and Kazuya Tsukamoto: An efficient traffic management framework for multi-channel wireless backbone networks, *IEICE Communications Express*, Vol. 3 (2014), No. 3, pp. 98–103, 2014.

[査読付 2] Shigeru Kashihara, Takuma Hayashi, Yuzo Taenaka, Takeshi Okuda, and Suguru Yamaguchi: Data Delivery Method Based on Neighbor Nodes' Information in a Mobile Ad Hoc Network, *The Scientific World Journal*, Volume 2014 (2014), Article ID 793171, 12 pages, February 2014.

[査読付 3] Yuzo Taenaka, Shigeru Kashihara, Kazuya Tsukamoto, Suguru Yamaguchi, and Yuji Oie: An Implementation Design of a Cross-Layer Handover Method with Multi-Path Transmission for VoIP Communication, *Elsevier Ad Hoc Networks*, Volume 13, Part B, pp. 462–475, February 2014.

[査読付 4] 廣井慧, 妙中雄三, 中山雅哉, 横山仁, 中谷剛, 隅良平, 砂原秀樹: 気象観測網を活用した水害向け危険指標生成モデルの提案とその評価, 電子情報処理学会論文誌, Vol.J96-B, No.10, pp. 1198–1205, 2013 年 10 月.

[査読付 5] Yuzo Taenaka, Kazuya Tsukamoto, Shigeru Kashihara Suguru Yamaguchi, and Yuji Oie: An Implementation Design of a WLAN Handover Method based on Cross-layer Collaboration for TCP Communication, *IEICE Transactions on Communications*, Vol.E96-B, No.07, pp.1716–1726, July 2013.

[査読付 6] Jane Louie Fresco Zamora, Noriyuki Suzuki, Hiroaki Takemoto, Shigeru Kashihara, Yuzo Taenaka, Suguru Yamaguchi: Battery-saving Message Collection Method for Disrupted Communication Service Areas, In *proceedings of the 11th annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2014)*, Las Vegas, Nevada USA, January 2013.

[査読付 7] Kei Hiroi, Yoshihito Seto, Futoshi Matsumoto, Yuzo Taenaka, Hideya Ochiai, Haruo Ando, Hitoshi Yokoyama, Masaya Nakayama, and Hideki Sunahara: Accurate and Early Detection of Localized Heavy Rain by Integrating Multivendor Sensors in Various Installation Environments, In *proceedings of IEEE SENSORS 2013*, Baltimore, Maryland USA, November 2013.

[査読付 8] Shin'nosuke Yamaguchi, Yoshimasa Ohnishi, Kazunori Nishino, Yuzo Taenaka, Yoshimi Fukumura, Hideki Yukawa: The Support of the a Blackboard Based Lecture by High Resolution Video on The Tablet Computer, In *proceedings of The Second International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education (ICEEE2013)*, pp. 64–69, Lodz, Poland, September 2013.

[査読付 9] 廣井慧, 井上朋哉, 仲倉利浩, 妙中雄三, 加藤朗, 砂原秀樹: 定点観測カメラを活用した浸水観測ネットワーク FloodEye の構築と評価, インターネットコンファレンス 2013, 2013 年 10 月.

[査読付 10] 廣井慧, 横山仁, 妙中雄三, 砂原秀樹: 気象センサネットワークを活用した災害情報提供による高校生への防災教育, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, 2013 年 7 月.

その他の発表論文

[発表 1] 和田祐太郎, 田川真樹, 塚本和也, 妙中雄三: 無線バックボーンネットワークにおける複数チャネル有効利用を目的とした通信制御手法の評価, 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 472, NS2013-271, pp. 549-554, フェニックス・シーガイア・リゾート, 2014 年 3 月.

[発表 2] 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: 無線メッシュバックボーンネットワークにおける複数チャネルを用いたアップ・ダウンストリーム分離と均等フロー割当手法の設計・実装, 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 443, IA2013-97, pp. 165-170, 山代温泉 瑠璃光, 2014 年 2 月.

[発表 3] 妙中雄三, 塚本和也: 無線メッシュバックボーンネットワークのための複数チャネル有効利用手法の検討, 電子情報通信学会術研究報告書, vol. 113, no. 443, IA2013-96, pp. 159-164, 山代温泉 瑠璃光, 2014 年 2 月.

[発表 4] 竹本 裕明, Jane Louie Fresco Zamora, 樫原 茂, 妙中 雄三, 高井 峰生, 金田 茂, 山口 英: スマートフォンのバッテリ消費モデルの実装について, Scenargie Workshop 2013, ポスター発表, 御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター, 2013 年 12 月.

[発表 5] 竹本裕明, ジェーン ルイ フレスコ ザモーラ, 樫原茂, 妙中雄三, 高井峰生, 金田茂, 山口英: 通信被害地域における要救助者間の情報共有手法の評価と考察, 電子情報通信学会術研究報告書, , vol. 113, no. 304, MoNA2013-43, pp. 11-16, 熊本大学, 2013 年 11 月.

[発表 6] 樫原茂, 妙中雄三, ジェーン ルイ フレスコ ザモーラ, 山口英: SOScast における現状の問題分析と今後の展開シナリオに関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告書, vol. 113, no. 168, MoNA2013-23, pp. 59-62, 北海道大学, 2013 年 8 月.

[発表 7] 妙中雄三, 松井加奈絵, 山形与志樹: Android 間 PSN を用いたメッセージングアプリケーションの試作・デモ, DTN とその未来に関するワークショップ, 岩手県立大学アイーナキャンパス, 2013 年 5 月.

[発表 8] 廣井慧, 妙中雄三, 砂原秀樹: 水害発生時における災害情報の到達率向上を目的とした情報共通インタフェースの提案, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 弘前大学, 2013 年 5 月.

[発表 9] 妙中雄三, 松井加奈絵, 山形与志樹: 都市のレジリエンス向上を目指したすれ違い通信基盤（SABA）の試作・動作実験, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 弘前大学, 2013 年 5 月.

[発表 10] 松井加奈絵, 妙中雄三, 山形与志樹, 砂原秀樹: 都市のレジリエンス向上のためのすれ違い通信型情報伝搬の分析手法の一考察, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会, 弘前大学, 2013 年 5 月.

特記事項

[特記 1] 妙中雄三（研究代表者）、塚本和也（九州工業大学大学院、研究分担者）、総務省、平成 25 年度 SCOPE（電波有効利用促進型研究開発 若手ワイヤレス研究者等育成型フェーズ I）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。我々の先行研究では、ユーザがウェブサイトを見て「正規サイトである」「フィッシングサイトである」という判断 (Past Trust Decision, PTD) を行った結果を、既存のヒューリスティクスを用いたフィッシングサイト検知手法に取り入れることを提案してきた。また、また、ユーザによっては彼/彼女らの PTD を用いない場合に精度が向上する場合が確認されており、PTD を活用すべきユーザ、そうでないユーザについて調査を行ってきた。これまでには、「事前知識を検知に役立てることができる」かつ「ページの内容に頼った判断を行っていない」「ウェブサイトの URL に基づいた検知を行える」事ができ、また「ブラウザの表示するセキュリティ情報を注目できる」といった能力を持つ被験者が PTD を活用すべきであるという知見が得られている。

今年度は、フィッシング攻撃にとどまらず人間の過失を防ぐにはどうすればいいかを調査した。また、その結果を受けて、フィッシングサイト対策手法を高度化すべく被検者を募って実験を行った。また、その結果として見つかるフィッシングサイトなどのセキュリティ情報を交換していく際に課題となる問題について研究した。

- 精神状態を観測する生体情報のサーベイ

  フィッシング攻撃は人間を騙すことによって成立する攻撃であるから、この人間が判断に至るまでに内在する思考のパターンを解明することは、フィッシング対策にとって根源的な対策と言える。そこで、人間から観測される生体情報からどの程度まで人間の精神状態を解明できるのかについてサーベイを行った。

- 視線追跡によるフィッシングサイト判定

  サーベイの結果に基づき、エンドユーザの視線追跡からフィッシングサイト対策を行うことを試みる。そこで、ウェブサイトのどのような画面からシグナルを受け取り、真贋判定を行っているのかを調査するべく、被験者を募って実験を行った。ここでは、手続きと観測によって得られた初期解析の結果をまとめる。

- サイバーセキュリティ情報の交換に関する研究

  悪意あるウェブサイトを発見した結果、後にサイバーセキュリティ情報を交換することを考える。このセキュリティ情報交換を扱う標準として IODEF (RFC 5070) が挙げられる。この IODEF に対応するシステムを作成する際、あるいは利用する際には様々な問題点があり、これについてまとめる。

2　精神状態を観測する生体情報のサーベイ

先行研究から「ページの内容に頼った判断を行っていない」「ウェブサイトの URL に基づいた検知を行える」事ができ、また「ブラウザの表示するセキュリティ情報を注目できる」といった能力を、生体情報観測によって考察したい。これを視線解析によって判別できればよいか、そのためには視線、あるいは生体情報というものがどのような目的で観測され、そこから何がわかるのかを調査する必要がある。そこで、フィッシングにとどまらず、人間の過失を防ぐための研究及びその際に役立てられる生体情報についてサーベイを行い、まとめたものを論文として発表した。

2.1　内容

フィッシング攻撃にとどまらず、人的要因による過失は様々な問題の原因と成り得る。この問題の解析は Failure Analysis として知られており、ハードウェア、ソフトウェア、それらの通信ネットワーク、データ、そしてユーザ及びユーザが属する組織といった構成要素によって問題の分類が試みられている。例えば、亀裂などの物理的な故障を防ぐ設計手法からハードウェア不良の対策が行われたり、プログラムのバグを防ぐ開発手法からソフトウェア不良の対策が行われている。人間の過失の原因は様々ではあるが、IT の分野においては技術的要因、組織的要因、そして人的要因によるものが指摘されている。技術的要因は、技術革新があまりにも早く習熟が過度に難しいことによって発生し、組織的要因は組織における IT 操作の手順が不完全であるなどによって発生する。

対象となる人間が、業務に必要な技術や組織の制度を熟知していたかどうかは、人的要因を考える上での大事な視点である。このような技術・制度を知らなかった場合、この問題を解決するのは教育という手法、ひいては自ら教育を受けたいと思う動機となる組織の文化をいかに育むかという領域が研究されている。あるいは、その業務を行うにあたって見えているリスクの認知をいかに正しく行うか、そのために業務の関係者とのコミュニケーションをどのように実践すべきかが研究課題として挙げられる。反対に、技術・制度を知っていたにも関わらず過失が起こることも考えられる。人間の注意力は有限であり、業務を正規の手順ではなく経験則によるショートカットを用いることにより注意力を温存する意志が働く。業務の時間は有限であり、より短時間で仕事を終える方法が好まれる。このような事象の源泉は精神的な高負荷であると考えられる。

この精神的な高負荷により人間がミスをしやすい状況にあるかどうかを研究する方法として、人間の生体情報からストレスを観測する方法が研究されている。そこで、IT の分野でエンドユーザを対象として生体情報を観測することを想定した上で、生体情報の取得に要求項目を設け、これに適した方法を検討することとした。考案した要求項目は、セキュリティの観点から機密性、保全性、可用性について考える。

- 機密性
  精神状態は、個人に属する情報であるため、プライバシー上の取り扱いに注意すべきである。企業などの組織において、ミスをしやすい精神状態の従業員らに危険な仕事を行わせない、といった例が考えられ、その場合において組織と従業員の合意の上で採取するなどの場合が想定される。また、その範囲も特定の部門・部局内においてのみ利用可能であるなどの制約が付与され、どのように使うかは合意の際に明らかにされるべきと考える。

- 保全性
  否定的評価に対する不安（Fear of negative evaluation、FNE) は、否定的な評価を避ける際に過失を隠すなどを引き起こす因子である。例えば、顔の表情から精神状態を把握するような手法は、「苦しい時に笑顔を装う」などの方法により、本当の精神状態が隠匿され取得できない可能性がある。このような状況を防ぐため、安易に隠匿できない生体情報・精神状態の把握が望ましいと考える。

- 可用性
  生体情報の観測により、IT システムのエンドユーザの活動の妨げとならないことが求められる。例えば、重たい器具を装着するなどによる手法は取られるべきではない。また、皮下組織などに針などを突き刺して観測する方式も IT システムを利用する局面においては利用できるとは考え難い。

このような要求項目を鑑みると、保全性の観点からは FNE の影響が高そうな表情認識、ジェスチャー認識は難しいと考える。また、心拍、血圧、脳波 (EEG)、呼吸器を用いる方法は可用性の観点から必ずしも容易ではない。ただし、技術革新によってこのような生体情報が、活動を妨げずに取得できる可能性はある。

有力な方法として、視線追跡及び顔表面温度が挙げられる。特に視線を追跡することによって得られる眼球運動は精神状態と密接に関連していると言われており、とりわけサッケーディック反応、凝視などが注目されている。サッケーディック反応とは、対象物から他の対象物を閲覧しようと視線が移動している運動であり、凝視は対象物を閲覧している状態である。意思決定がされる際にはサッケーディック反応中ではなく凝視状態であることが多く、またサッケーディック中の速度などから人間の精神的な負荷を推測するなどの手法が考案されている。

2.2 具体的成果

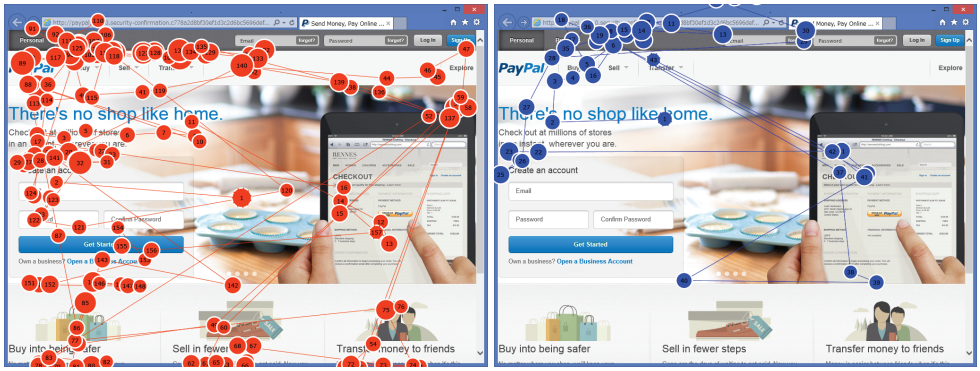
本研究の成果をまとめ、論文 [査読付 2] として投稿し、採択された。

3 視線追跡によるフィッシングサイト判定

サイバーセキュリティを向上するべく、前節でサーベイした生体情報は利用できないだろか。エンドポイントに対するサイバー脅威には、エンドユーザの用いるコンピュータなどの機器を対象とするものだけではなく、エンドユーザそのものを対象とするものがある。例えば、フィッシング詐欺は、銀行などを模した偽物のウェブサイト、いわゆるフィッシングサイトを作成し、エンドユーザに個人情報を入力するよう促すことにより、情報を盗み取る攻撃手段である。これらの攻撃の対策に、NECOMA では、インフラにおいて観測される情報、例えばフィッシングサイトを運営しているホストの IP アドレスが他のサイバー脅威にも利用されていないかなどの分析を行うとともに、エンドポイントにおいて観測される情報の高度化として、人間の認知に踏み込んだ分析を行う。このため、人間がフィッシングサイトに対してどのような行動を行い、認知を行うかを観測する。

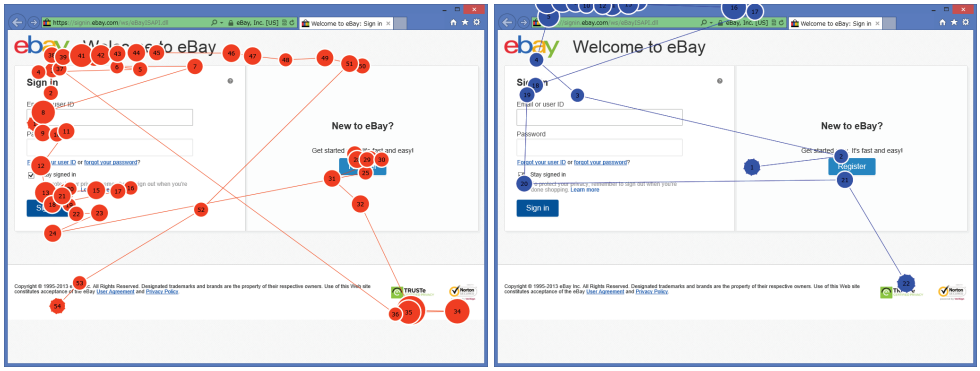
3.1 内容

このデータ収集を遂行するにあたり、プライバシーや個人情報の取り扱いに注意した上での実験を行った。まず、本実験の概要を記載したポスターを東京大学構内掲示板に設置し、被験者を募った。応募があった被験者には、実験の目的として、「セキュリティ技術の研究開発を目的としたウェブサイトを閲覧した際のエンドユーザの挙動の観測」であることを説明し、作業内容として「ウェブサイトの画面を閲覧してもらい、正規のサイトか、あるいは偽サイトかを判定していただきます。またその際に判定基準をアンケート形式でお答えいただきます」と説明した。この実験に関する個人に属する情報として、性別、年代（10 代、20 代、30 代 ·· 60 代以上）、ウェブサイトを見た際の判定結果（正規サイト、偽サイト）、判定基準（ウェブサイトのコンテンツ、アドレスバーに表示される URL、ブラウザの表示するセキュリティ情報、その他、の 4 択）、視線の動き（判定時の目線の動き）を取得し、個人を特定可能な情報は記録しないことを説明した。また、この取得した情報を日欧の研究コンソーシアム間で共有すること、またセキュリティ技術の研究開発を目的とした場合に配布することについて許諾を得た。さらに、欧州における忘れられる権利について対応すべく、個人を特定可能な情報は記録しないものの、将来的に個人情報の解釈が変わる可能性も考慮し、我々の取得した個人に属する



(a) 被検者 1　　(b) 被検者 2

図 1: フィッシングサイト閲覧時の視線追跡



(a) 被検者 1　　(b) 被検者 2

図 2: 正規サイト閲覧時の視線追跡

情報について被験者らが消去依頼を行える旨を説明した。ただし、我々の保存するデータからは個人を特定可能な情報は含まれないため、十分な長さの乱数の文字列を発行して相互に保管しておき、その文字列をもって個別の情報を消去できるようにした。

実験参加者は 25 人であり、そのうち 21 人が男性、4 人が女性であった。また、24 人が 20 代であり、残りの 1 人が 30 代であった。視線追跡結果を図 1、図 2 に示す。図 1 は PayPal のフィッシングサイトであり、図 1a に示す被検者 1 はウェブコンテンツから主に情報を得ていることが予想される。また、図 1b に示す被検者 2 は視線がただちにアドレスバーに移動し、収束している。

図 2 は eBay の正規サイトであり、図 2b に示す被検者 2 はアドレスバー及び EV-SSL 証明書の情報を閲覧し、これらをフィッシングサイトか否かの真贋判定に役立てていることが予想される。図 2a に示す被検者 1 はコンテンツなどから情報を得ていることが予想されるが、フィッシングサイトと正規サイトはブラウザに表示されるウェブサイトの外見にほとんど差はなく、こうして得られた情報は真贋判定において有益であるとは考え難い。

今後はこれらの情報から被験者に適したフィッシングサイトの検知技術を考案する。

4　サイバーセキュリティ情報の交換に関する研究

我々の研究グループは NECOMA プロジェクト [1] に参加しており、東京大学が担当するデータベース及び資源管理手法に関する研究では、セキュリティ情報交換を交換する既存の通信形式に応じたシス

[1] http://www.necoma-project.jp

テム設計を行う必要があった。そこで、インシデント情報共有を行う形式であり RFC 5070 として国際標準化されている Incident Object Description Exchange Format (IODEF) を例とし、その内容を管理可能なシステムの調査及び試作を行うこととした。

4.1 内容

IODEF は XML 形式による表記が可能となっており、システムには各要素にアクセスを行う機能、XML 文書としての妥当性を検証する機能が求められる。幸い、IODEF は XML Schema Document (XSD) を定義してあるため、コードジェネレータを用いることによって IODEF 文書を作成する際に有益なクラスライブラリを自動生成することが可能であると思われた。

そこで、コードジェネレータとして Perl 言語用の XML::Pastor, Ruby 言語用の RXSD、Python 言語用の PyXB、Java 言語用の JAXB、C++言語用の Codesynthesis XSD、C#言語用の XSD.exe をそれぞれ用いてクラスライブラリの生成を行った所、XML::Pastor、RXSD、JAXB において、XSD 書式の複雑性に起因されると思われる問題が発生し、クラスライブラリを生成できないことがわかった。

この回避策として、XSD 形式の文書にデータを投入する一種のシリアライズを行うことによって XML 形式の文書に変換し、さらにこの変換された XML 形式の文書から XSD 文書を作成する、いわば二重変換を行うことによって文書の複雑性を回避できるのではないかと考えた。結果として、標準的な IODEF の XSD 文書では生成できなかった XML::Pastor、RXSD、JAXB においてもクラスライブラリの生成が行えることがわかった。

ただし、IODEF では文書にハイフン記号を含む箇所がある。まずは IODEF 文書であることを表す IODEF-Document 属性、VLAN の名前や番号の管理に用いられる vlan-name 及び vlan-num 要素、そして拡張様式を表す ext-category などの要素にハイフン記号が含まれている。近代的なプログラミング言語ではクラス名にハイフンをつけることが不可能となっており、PyXB 及び Codesynthesis C++の場合はハイフン記号をアンダースコア記号に、JAXB 及び XSD.exe の場合はハイフンを取り除いたクラス名を作成する。これらのコードジェネレータでは名前空間を保持していると考えられ、プログラム内部の IODEF クラスから XML 文書を出力する際に、置換したり取り除いたりしたハイフンが復号される。しかし、XML::Pastor 及び RXSD の場合はハイフン記号がクラス名として残ってしまい、このため生成したクラスライブラリがプログラミング言語から呼び出せない問題があった。幸い、ハイフン記号を用いている箇所が多くないため、XSD 文書ファイル内におけるハイフン記号をアンダースコア記号で置換し、XML 文書を出力する際に再度ハイフン記号に再置換を行うことにより IODEF 文書が作成できることが分かった。

なお、IODEF を利用する際にはどのような点が問題になるかについても、以下のように議論が行われた。

- Impact Class における type 属性
  type 属性は、観測されたインシデントの種類を記入するところである。しかし、例えば我が国における代表的な CERT である JP-CERT/CC ではフィッシングサイト、マルウエア感染、Web 改ざん、DoS(DDoS)、スキャン、制御システムへの攻撃などが分類されている。このうち、フィッシングサイト、スキャン、DoS についてはそれぞれ `social-engineering`、`recon`、`dos` といった値を投入すれば良い。しかし、Web 改ざん、マルウェア感染については対応する項目がないといった問題が議論された。

- NodeRole クラスにおける category 属性
  category 属性は、インシデントが観測されたホストの役割を記入するところであるが、例えば Web メールサービスなどでは `www` もしくは `mail` を選択して入力する必要がある。これについて、例えば `mail` としておきオプションとなる属性で `www` としてはどうかといった議論がなされた。

- DetectTime における情報漏洩
  例えばインシデント番号を 1、2、3…と順番的に設定した場合、IODEF に記載されている `DetectTime` 要素の差分を注目することにより、単位時間あたりに当該組織が受けるインシデントを受ける件数が明らかになる。これについて `AlternativeID` を使ってはどうかといった議論がなされた。

4.2 具体的成果

本研究の成果をまとめ、国際標準化提案 [発表 1] として投稿し、発表を行った。

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Daisuke Miyamoto, Satoru Teramura, Masaya Nakayama: INTERCEPT: High-interaction Server-type Honeypot based on Live Migration, In Proceedings of the 2nd Workshop on Emulation Tools, Methodology and Techniques, March 2014

[査読付 2] Daisuke Miyamoto, Takeshi Takahashi: Toward Automated Reduction of Human Errors based on Cognitive Analysis, In Proceedings of the 7th International Workshop on Advances in Information Security, July 2013

その他の発表論文

[発表 1] Daisuke Miyamoto, Takeshi Takahashi: MILE Working Group, Internet Engineering Task Force, March 2014

[発表 2] 石原 知洋、田崎 創、岡田 和也、宮本 大輔、関谷 勇司: Hadoop を利用した DNS トラヒックのセキュリティ解析をおこなう基盤についての一検討, 電子情報通信学会技術研究報告 信学技報, 2014 年 3 月

[発表 3] 寺村 理、宮本 大輔、中山 雅哉: Intercept : A proposal of VM-based High-interaction honeypot, インターネットコンファレンス（ポスターセッション）, 2013 年 10 月

招待講演／招待論文

[招待 1] Daisuke Miyamoto: Boosting Human: Protecting the Weakest Link in Information Security, Advanced Industry Data Analysis and Applications Workshop, Department of Computing, Unitec Institute of Technology, September 2013

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ている。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、下記 2 点を重点的に 2013 年度は実施した。

1. トラフィックや攻撃などの大規模な観測データ解析基盤構築 (NECOMA 課題 1.1)
2. 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)

2 大規模な観測データ解析基盤 [1]

2.1 背景

日々蓄積される大量のネットワークや計算機上の多種多様の観測データより、効率的に脅威解析するためにはいくつかの要件がある。

- データ量が厖大となっても解析が可能である事
- 解析データの格納方法が画一化されている事

前者はトラフィックデータ、近年攻撃対象として利用される名前解決プロトコル (DNS) などの制御メッセージ記録など、計測したデータの量が多い場合に解析プログラムの実行速度やデータの格納方法などが課題となる。

後者は NECOMA プロジェクトの目指すマルチレイヤ情報の解析を試みる時の解析プログラムの作成を容易にするために、データの格納方法、解析結果の記述方法など、統一化・標準化された仕組みが必要となる。

本研究ではこれらの要件を満たすために、Hadoop と呼ばれるビッグデータ解析ソフトウェアを用いシステムを構築し、マルチレイヤ脅威分析に必要となる解析プログラムの開発を行う。図 1 に示す通り、WIDE ネットワークで接続され、国内大学などの数拠点に配置された計算機を Hadoop クラスタとして構築し、データを格納、解析プログラムの分散実行などを行う事で、課題としていた大規模計測データ解析を可能とする基盤を構築した。

[1] 本研究課題は、NECOMA プロジェクトにおける課題 1.1.4 「データベース及び資源管理手法に関する研究」に該当するものである。

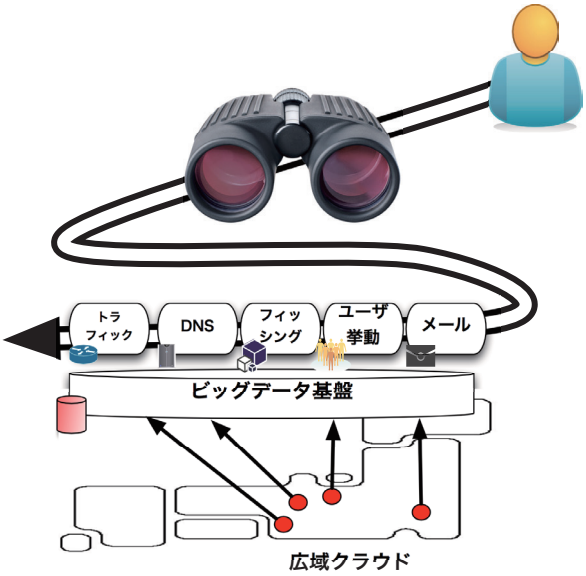


図 1: ビッグデータ解析基盤を利用した NECOMA の目標とするマルチレイヤ脅威分析。

システム構築にあたり、奈良科学技術先端大学 (NAIST)、国立情報学研究所 (NII) のプロジェクト参加メンバと共に、隔週の開発ミーティングを開催し、効果的に問題点の共有・システムの構築を実施した (8 月〜)。また、WIDE 合宿 (9 月) でのシステム設計の議論、テストベッド StarBED を利用したシステムパフォーマンスの検証 (10 月) などを通じて設計を練り、実際に脅威検知・解析が可能となるレベルまでとなった。

2.2 内容

NECOMA プロジェクトで成果の一部として提案しているマルチレイヤ分析は脅威を深く検証する事を可能とするが、この手法は収集データの分量が増加する事による規模の課題や、それらのデータの解析に要する計算資源の増加に対する課題に容易に直面する事が予想される。これらを解決するため、我々はオープンソースソフトウェアの大規模データの分散処理・格納を実現する Hadoop を利用した脅威解析基盤 MATATABI を設計・構築した。

MATATABI は、3 つの要件 1) データサイズの規模確保、2) 解析・処理速度の向上、3) 解析プログラム作成の利便性を満たす事を目的として、我々は図 2 に示すシステムを構築・開発した。

MATATABI は、データストレージ、データ取り込みモジュール、解析モジュールの 3 点から構成され、これらをプロジェクトメンバーらで共有するクラスタ環境にて、2013 年 7 月より運用している。表 1 は現在とり扱っているデータ一覧で、これらを利用し MATATABI では、ボットネット C&C 検知、DNS リフレクション攻撃検知などの解析モジュールを実装し、脅威検知を試み続けている。

表 1: Data conversion into HDFS.

	format	parser	data size (per day)	remark
pcap	as-is	PcapDeserializer	5GB	
netflow	csv	CSV	1.2GB	lzo compressed
sflow	csv	CSV	4.1GB	lzo compressed
DNS querylog	ssv (bind9)	SSV	1.5G	
SPAM email	SSV		4.5MB	

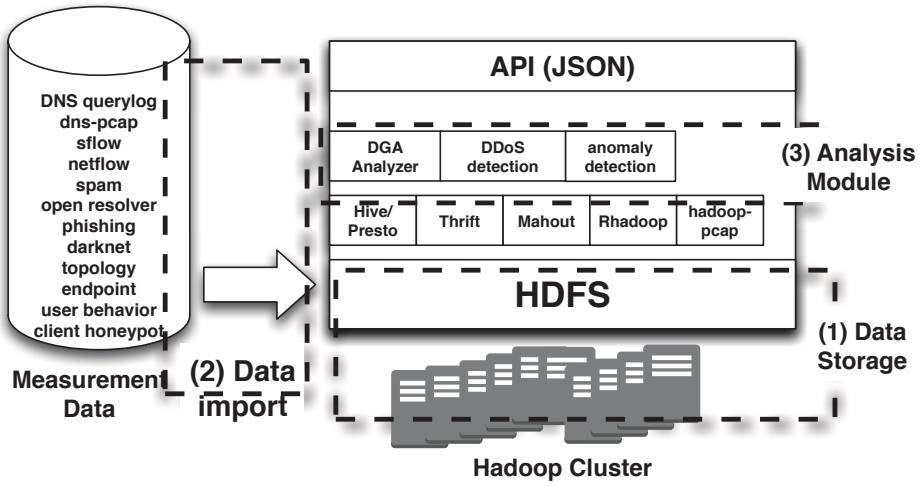
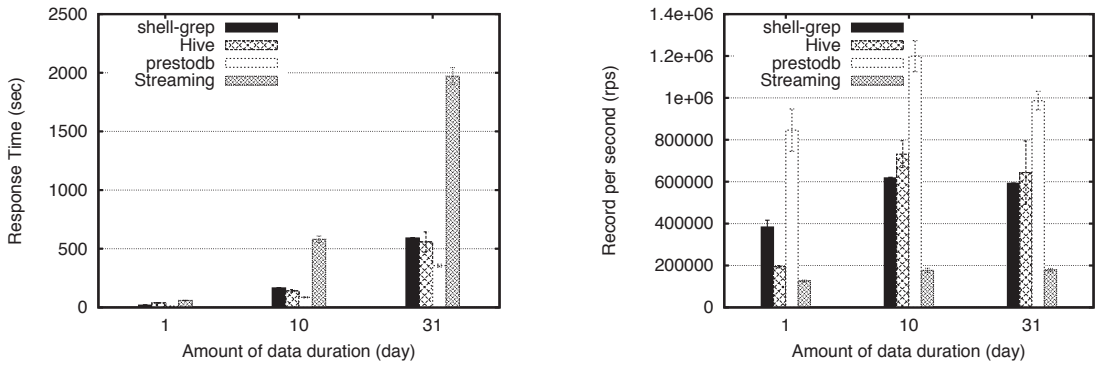


図 2: MATATABI システムの概要

MATATABI の評価として、単純なデータセットによるベンチマーク評価を行った。対象データとして、プレインテキスト形式で記述された、DNS クエリログ、pcap 形式で格納された DNS パケット記述ファイルを用い、1) grep コマンドとシェルスクリプトによる解析、2) SQL ライクな記述で Hadoop 上のファイル (HDFS) を検索可能な Hive と呼ばれるアプリケーションによる解析、3) Hive と同様に SQL ライクな記述でデータ検索可能だが分散処理の異なる Presto-db と呼ばれるアプリケーションによる解析、4) Hadoop streaming の機能を利用した python スクリプト (mapper/reducer) による解析の速度比較を行った。データの検索は、ZeuS と呼ばれるボットネットのドメイン生成アルゴリズムで利用されるドメイン名の正規表現 '[a–z0–9]{32,48}.(ru|com|biz|info|org|net)' に一致するレコードを抽出する事で実施した。

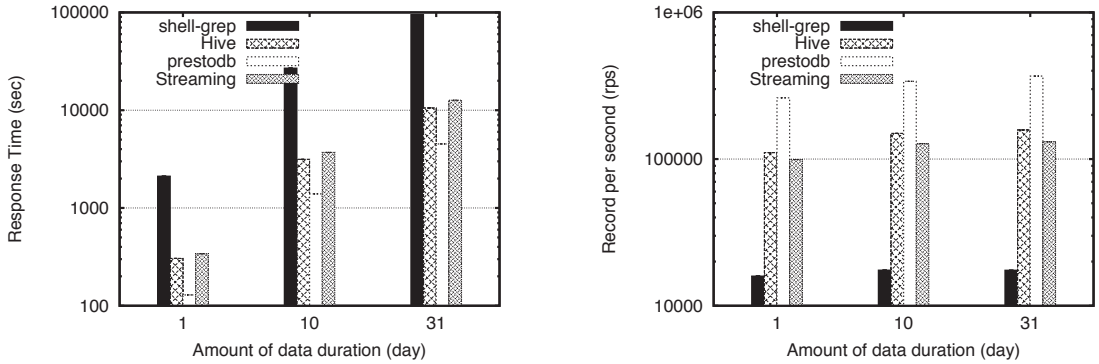
図 3、図 4 にベンチマーク実験結果を示す。プレインテキスト形式のデータでは、Hive と Presto-db ではデータサイズが増加するにつれ、最大 40%の検索速度向上が見られた。また、pcap 形式のデータでは、1 ノードで処理するシェルスクリプトに比べ、Presto-db では約 21 倍近く高速に処理可能であった。



(a) Response time for each data processing as a function of the amount of data (DNS querylog).

(b) Number of record processed per second as a function of the amount of data (DNS querylog).

図 3: プレインテキスト (DNS クエリログ) の解析速度左：データ量に対する検索返答時間、右：データ量に対する単位時間あたりのデータ処理件数



(a) Response time for each data processing as a function of the amount of data (DNS pcap).

(b) Number of record processed per second as a function of the amount of data (DNS pcap).

図 4: バイナリデータ (pcap ファイル) の解析速度左：データ量に対する検索返答時間、右：データ量に対する単位時間あたりのデータ処理件数

MATATABI はそのプロトタイプ実装が完了し、システム運用、データ取り込み、システム増強の検討などを通じ継続的に運用し、脅威分析の基盤として NECOMA プロジェクトにて利用している。この基盤上にて、解析モジュールを拡充させていく事、また解析結果を外部システムと連携させるためのインターフェース (API) などを提供していく事を検討している。

2.3 具体的成果

対外広報活動として、12 月に開催された「大学・高等教育機関におけるサイバーセキュリティ能力向上と体制整備に関するワークショップ」において、NECOMA プロジェクトでの脅威分析の事例として紹介した [発表 5]。各大学の運用・研究者との連携より、新たな脅威分析能力の向上を構築システムを通じて検討している。また、Hadoop 構築システムの検証と、これを利用した DNS トラフィック解析についての成果は、2014 年 3 月開催予定の電子情報通信学会 ICSS 研究会にて発表した [発表 3][発表 4]。

3 脅威分析のための大規模実験基盤の手法検討と実装[2]

3.1 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効である事を示すために、実証実験を実施する事を課題としている。

本研究では、筆者らが提案・設計・実装を行っている Direct Code Execution (DCE) という仕組みを利用して、実証実験における 1) 結果の再現性、2) 仮想環境における実験シナリオ拡大時の実時間制約の除去、3) ネットワークプロトコルのプログラムバグの解析の容易化、を実現するものである。

本年度は 9 月にフランスで行われた NECOMA プロジェクトキックオフミーティングにて、欧州側研究者とともに来年度以降に実施予定の研究課題についての議論、お互いの研究開発・利用している実験設備についての紹介等を実施した。

3.2 内容

ネットワークプロトコルの評価に用いられるネットワークシミュレーションは、実験環境の構築の容易さ、細部の挙動・性能の解析が可能となるなど、研究においては重要なツールとなっている。しか

[2]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。

しながら、その仮想環境での実験により得られる結果が、現実の環境での結果と異なる場合があるという点が問題視されている [3]。

図 5 は、あるネットワーク環境 (図中左) において、TCP と呼ばれる輻輳制御の仕組みをもったプロトコルの性能検証結果が、ネットワークシミュレータ (ns-3) と実環境で動作する Linux オペレーティングシステムとで大幅に異なる事を示しており (図中右)、シミュレーション結果の再現性が乏しい事を表している。

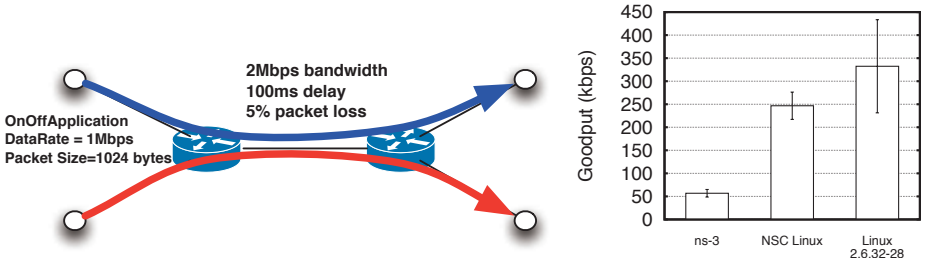


図 5: シミュレーション環境と実環境との TCP 性能検証結果の違い.

これらを解決するために、ネットワークシミュレーションにおけるプロトコル実装の差異改善を目的として、ネットワークシミュレータの拡張機能の設計・開発をした。同様の問題意識を持っていたフランス INRIA を中心とした、ネットワークシミュレータ ns-3 の Direct Code Execution (DCE) 機能の設計・開発を行ってきた。DCE は、実存するプロトコル実装のプログラムコードを改変せずにシミュレーション可能な仕組みを実現し、同時に VM では実現不可能であった規模のネットワーク実験を可能としながら、大規模な実験の精密なパラメタ制御を可能とするものである。

3.3 具体的成果

フランスの研究所 INRIA との共同研究をを通じ、ネットワークシミュレータ ns-3 と Direct Code Execution (DCE) と呼ばれる仮想化手法を元にした、大規模な模擬ネットワーク構築手法について、検討・実装・論文執筆を行った [査読付 2][査読付 1]。更に、関谷准教授が研究代表を努める研究プロジェクト「DNSSEC に対応した広域分散 DNS サービス環境シミュレータの設計と実装」(科研費 基盤研究 (C)(一般)、平成 23-25 年度) にて、上記 DCE を利用したシミュレータ開発を実施し、DNSSEC 導入の障壁となる暗号計算処理コスト検証や、DNS プロトコルを利用した攻撃の再現を通じ対策手法の効果を測定可能とする事で、模擬可能な検証パターンを増やす事に貢献した [発表 2]。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Daniel Câmara, Hajime Tazaki, Emilio Mancini, Mathieu Lacage, Thierry Turletti, and Walid Dabbous. DCE: Test the real code of your protocols and applications over simulated networks. *Communications Magazine, IEEE*, March 2014.

[査読付 2] Hajime Tazaki, Frédéric Urbani, Emilio Mancini, Mathieu Lacage, Daniel Câmara, Thierry Turletti, and Walid Dabbous. Direct Code Execution: Revisiting Library OS Architecture for Reproducible Network Experiments. In *CoNEXT 2013*, Santa Barbara, California, December 2013.

[3] Tazaki et al., DCE cradle: simulate network protocols with real stacks for better realism, `http://dx.doi.org/10.4108/icst.simutools.2013.251586`

[査読付 3] Hajime Tazaki, Emilio Mancini, Daniel Camara, Thierry Turletti, and Walid Dabbous. MSWIM Demo Abstract: Direct Code Execution: Increase Simulation Realism Using Unmodified Real Implementations. In *Proceedings of the 11th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access*, MobiWac '13, pages 29–32, New York, NY, USA, November 2013. ACM.

その他の発表論文

[発表 1] 藤居翔吾, 田崎創, and 関谷勇司. MultiPath TCP 適用時のデータセンターネットワークでのフローサイズが与える影響に関する一考察. In *IEICE Tech. Rep.*, volume 113 of *IA*, pages 47–52, December 2013.

[発表 2] Tomohiro Ishihara, Hajime Tazaki, and Yuji Sekiya. Design and Implementation of DNSSEC Simulator using Unmodified Real Implementations. In *IEICE Tech. Rep.*, volume 133 of *IA*, pages 7–12, October 2013.

[発表 3] H. Tazaki, K. Okada, Y. Sekiya, and Y. Kadobayashi. Matatabi: Multi-layer threat analysis platform with hadoop. In *IEICE Technical Report*, volume 113 of *ICSS2013-77*, pages 113–118, Okinawa, March 2014. Thu, Mar 27, 2014 - Fri, Mar 28 : Meio Univiersity (ICSS, IPSJ-SPT).

[発表 4] T. Ishihara, H. Tazaki, K. Okada, D. Miyamoto, and Y. Sekiya. Dns traffic analysis platform with hadoop framework. In *IEICE Technical Report*, volume 113 of *ICSS2013-77*, pages 131–135, Okinawa, March 2014. Thu, Mar 27, 2014 - Fri, Mar 28 : Meio Univiersity (ICSS, IPSJ-SPT).

[発表 5] 田崎創 and 岡田和也. NECOMA プロジェクトにおける事例紹介. 大学・高等教育機関におけるサイバーセキュリティ能力向上と体制整備に関するワークショッフ, December 2013.

公開ソフトウエア

[公開 1] T. Ishihara, H. Tazaki, and Y. Sekiya. ns-3 Direct Code Execution (DCE) based DNSSEC simulator, http://dnssec.sekiya-lab.info/, March 2014.

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

金田 康正
スーパーコンピューターに基づく大規模数値計算に関する研究

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
耐故障機能及び支援システム

佐藤 周行
検証付き言語処理系とサービス体系における
セキュリティ保証の研究
Optimization Verifying Compiler,
Privilidge Design in Federation Service,
and Trust Models in Security

Balazs Gerofi
Memory Management Issues on Many-core
Processors at the Operating System Level

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

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

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

松本 正晴
適合格子細分化法を用いた
マルチスケールシミュレーションに関する研究

スーパーコンピューティング研究部門

概要

部門長　中島 研吾

1　はじめに

計算科学が、理論、実験に続く「第三の科学」と呼ばれるようになって久しい。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 26 年 3 月現在で 8 名のセンター専任教員（教授：2、准教授：2、助教：2、特任准教授：1、特任講師：1）、1 名の兼任教員（准教授 1）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 HA8000 クラスタシステム（T2K 東大）、Hitachi SR16000/M1（Yayoi）、Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-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　「ポストペタスケールコンピューティングのためのヘテロジニアス環境向けアプリケーション開発基盤」（JST-ANR）

平成 22 年度から、戦略的国際科学技術協力推進事業 （共同研究型） 日本（JST）－フランス（ANR）共同研究「ポストペタスケールコンピューティングのためのフレームワークとプログラミング（FP3C）」の一環として、京都大学 学術情報メディアセンター、筑波大学 計算科学研究センター、東京工業大学学術国際情報センター及びフランス側各機関との国際協力プロジェクトとして実施しており、統合数値計算ライブラリと実行時環境に関する研究から構成される。統合数値計算ライブラリに関する研究では、様々な科学技術手法の様々な処理に対応するライブラリの集合体に基づく科学技術アプリケーション開発基盤を開発し、ポストペタスケール環境における移植性、信頼性の高い科学技術アプリケーションの効率的な開発のためのフレームワークを提供する。実行時環境に関する研究では、マルチコア/メニーコア、GPU やそれらのクラスタ等の計算機システム向けに 1) 高性能通信ライブラリの研究開発、2) GPU、ネットワーク、ファイルシステム、ノードを含む計算資源の故障を検知し、故障をプログラムに通知するための機構の研究開発、を実施し XMP 処理系に統合する。平成 25 年度は最終年度に当たり、研究成果のとりまとめ、公開ソフトウェアの整備を実施し、平成 26 年 3 月にフランスで最終報告会を実施した。

2.2 「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創造研究推進事業（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 25 年度は平成 25 年 11 月に ppOpen-HPC の公開（Ver.0.2.0）を実施し、平成 25 年 12 月には海外からの招待講演者を含めて国際ワークショップ（SPNS 2013（International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation））を開催した。

2.3 「レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究」

本調査研究は文部科学省「将来の HPCI システムのあり方の調査研究（フィージビリティスタディ、FS）」の一環として平成 24～25 年度に実施したプロジェクトである。「将来の HPCI システムのあり方の調査研究」は「今後の HPCI 技術開発に関する報告書」に基づき 10 年後の我が国の社会的・科学的課題の解決という視点から複数（2～3）のシステムを選定し、ハードウェアの技術動向調査、システム設計研究・システムソフトウェアの検討等を行い、5～10 年後の我が国の HPCI システムに必要な技術的知見を獲得することを目的としている。

東京大学情報基盤センターが中心となり、東京大学（情報理工学系研究科）、九州大学、富士通、日立製作所、日本電気とともに取り組んでいる「レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究」では「今後の HPCI 技術開発に関する報告書」で述べられている汎用型プロセッサのアプローチに基づき、広範なニーズに適応する計算環境を提供することを目指す。2018 年に設置面積 2000m^2、消費電力 20MW～30MW という制限下で実現できるシステムの概念設計および研究開発計画をまとめる。東京大学物性研究所、工学系研究科および大気海洋研究所で開発されているアプリケーション群をターゲットアプリケーションとする。すなわち、強相関量子格子モデル計算 ALPS、実空間第一原理分子動力学計算 RSDFT、全球雲解像大気大循環モデル計算 NICAM、超高解像度海洋大循環モデル COCO 等を利用する。平成 25 年度はアプリケーション分野と連携し、更に幅広いアプリケーションのニーズに応える高性能並列実行環境の概念設計を実施した。

2.4 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 25 年度は本施設発足を記念し，「最先端共同 HPC 基盤施設発足記念シンポジウム」を 7 月 24 日に実施した他，資料招請を実施して，仕様書原案の策定に入っている。筑波大学と協力して性能評価ツール，ベンチマークプログラムなどの整備にも着手している。

3 研究活動項目

3.1 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に関する研究

3.2 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 プログラミング環境
- 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

3.3 数値計算ライブラリ・アルゴリズム

Fujitsu FX10、HA8000 クラスタシステム、SR16000/M1 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

3.4 大規模並列シミュレーション

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
- GPU を用いた有限要素法に関する研究
- 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

3.5 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

3.6 省電力分野

- GPU プログラミング環境と省電力化

3.7 学際的分野

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

4 教育活動

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）

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。2013 年度は同講習会を 6 回実施した。

その他、「2013 RIKEN AICS Summer School（平成 25 年 8 月 5 日～9 日）」、「2014 RIKEN AICS Spring School（平成 26 年 3 月 5 日～7 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 24 年 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、3 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 55 課題のうち 44 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 18 課題であった。更にこのうち 10 件は新規採択課題であった。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 24 年度報告会、平成 25 年度採択課題紹介を兼ねた第 5 回シンポジウムは平成 25 年 7 月 11 日（木）・12 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 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。平成 25 年度は、前期 4 件、後期 3 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 25 年度は全部で 8 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 25 年度は先進スーパーコンピューティング環境研究会（Advanced Supercomputing Environment, ASE）（略称：ASE 研究会）を 4 回開催した。

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] Takahiro Katagiri, Cheng Luo, Reiji Suda, Shoichi Hirasawa, Satoshi Ohshima, Best Paper Award in IEEE MCSoC-13, 2013 年 9 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] 中島研吾，ポストペタスケール・エクサスケールシステムへ向けての東京大学情報基盤センターの取組，物性研スパコン共同利用・CMSI 合同研究会（第 4 回 CMSI 研究会），東京大学（柏），2013 年 12 月 10 日

[招待 2] 中島研吾，ポストペタ・エクサスケール時代のアプリケーション開発，弥生研究会「粒子法研究会」，東京大学（本郷），2014 年 3 月 11 日

[招待 3] Nakajima, K., Challenges in Sparse Linear Solvers for Post-Peta/Exascale Systems, Latest Advances in Scalable Algorithms for Large Scale Systems, International Supercomputing Conference (ISC ’13), Leipzig, Germany, 2013.06.09

[招待 4] Nakajima, K., Parallel Geometric Multigrid Method for Large-scale Simulations of 3D Groundwater Flow through Heterogeneous Porous Media, LBNL Seminar, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, 2013.09.13

[招待 5] Nakajima, K., Iterative Linear Solvers for Post-Peta/Exascale Systems, International Workshop on Collaborative Development of Simulation Software of Next Generation (CO-DESIGN), Guilin, China, 2013.10.30

[招待 6] Nakajima, K., Recent Activities in Japan towards Post-Peta/Exascale Systems, Fujitsu Open Petascale Libraries SC13 Workshop, Denver, CO, USA, 2013.11.17

[招待 7] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Ill-conditioned Problems, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (2014 ATAT in HPSC), Taipei, Taiwan, 2014.03.15

[招待 8] Takahiro Katagiri: ppOpen‐AT : Yet Another Directive‐base AT Language, Dagstuhl Seminar 13401, Automatic Application Tuning for HPC Architectures, Schloss Dagstuhl, Leibniz-Zentrum fur Informatik, Dagstuhl, Germany, September, 2013.

[招待 9] 片桐孝洋，黒田久泰：連立一次方程式の反復解法ソルバーにおける並列処理と収束精度の問題について，第 2 回 CMSI 人材育成シンポジウム「大規模計算に伴う数値誤差及び可視化」，2013 年 12 月.

[招待 10] 片桐孝洋：東大 FS におけるアプリケーション最適化と異機種計算機環境での性能評価,「京」における高速化ワークショップ，2013 年 12 月.

査読付論文

[査読付 1] Nakajima, K., Automatic Tuning of Parallel Multigrid Solvers using OpenMP/MPI Hybrid Parallel Programming Models, Lecture Notes in Computer Science 7851, 435-450, 2013

[査読付 2] Nakajima, K., Large-scale Simulations of 3D Groundwater Flow using Parallel Geometric Multigrid Method, Procedia Computer Science 18, 1265-1274, Proceedings of IHPCES 2013 (Third International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks) in conjunction with ICCS 2013, Barcelona, Spain, June 2013

[査読付 3] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Iterative Solvers Based on BILUT(p,d,t), HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC'14), Leipzig, Germany, 2014 (in press)

[査読付 4] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Ka-tagiri and Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of an AMR Framework for FDM Applications, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES 2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS 2014), Procedia Computer Science, 2014. (accepted)

[査読付 5] Shigeaki Tanimoto, Yorihiro Sakurada, Yoshiaki SEKI, Motoi Iwashita, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai, A Study of Data Management in Hybrid Cloud Configuration, Computer Information Science, Vol. 492, 247257, 2013.

[査読付 6] 谷本茂明 , 関良明 , 岩下基 , 佐藤周行 , 金井敦 : ビッグデータを活用したサービスに関するリスクアセスメント , 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J96-A, No. 4, 189194, 2013.

[査読付 7] 西村 健 , 中村 素典 , 山地 一禎 , 佐藤 周行 , 大谷 誠 , 岡部 寿男 , 曽根原 登 : 参加者ごとに異なるポリシーを反映可能な認証フェデレーション機構の実現 , 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No. 6, 14001412, 2013.

[査読付 8] SATO, Hiroyuki, OKABE, Yasuo, NISHIMURA, Takeshi, YAMAJI, Kazutsuna, NAKAMURA, Motonori: Privacy Enhancing Proxies in Attribute Releases: Two Approaches,COMPSAC W(MidArch 2013), 379384, 2013.

[査読付 9] Motonori Nakamura, Takeshi Nishimura, Kazutsuna Yamaji, Hiroyuki Sato, Yasuo Okabe:Privacy Preserved Attribute Aggregation to Avoid Correlation of User Activities Across Shibboleth SPs, COMPSAC W(MidArch 2013), 367372, 2013.

[査読付 10] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Analyzing Distributed Java Applications by Automatic Centralization, COMPSAC W(IEESD & TIP 2013), 691696, 2013.

[査読付 11] Yuuki KAJIURA, Atsushi KANAI, Hiroyuki SATO, Shigeaki TANIMOTO: A Filedistribution Approach to Achieve High Availability and Confidentiality for Data Storage on Multi-cloud, COMPSAC W(SAPSE 2013), 212217, 2013.

[査読付 12] Mario Chapa and Sato Hiroyuki: Performance Model for the Impact of Hardware Characteristics in Accelerated Processing Units, The 19th International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 343349, 2013.

[査読付 13] Shoichi Yoneda, Shun Makino, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Information Security Management System with Physical Security - Improvement of Risk Recognition Function with Multi-sensor ?, 7th International Conference on Project Management (PROMAC), 2013.

[査読付 14] Daisuke Obata, Shigeaki Tanimoto, Shinsuke Matsui, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Business Continuity Planning / Disaster Recovery Configuration for Deployment with Cloud Computing, 7th International Conference on Project Management (PROMAC), 2013.

[査読付 15] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Managing Product Variants by Project Centralization, to appear in 2013 6th International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT 2013), 2013.

[査読付 16] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Improving Automatic Centralization by Version Separation, IPSJ Transactions (PRO) 6(4) 6577, 2013.

[査読付 17] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: A Graph Coloring Based Approach for Project Centralization, Proc. ACM Symp. Applied Computing 2014.

[査読付 18] Reiji Suda, Luo Cheng, Takahiro Katagiri: A Mathematical Method for Online Autotuning of Power and Energy Consumption with Corrected Temperature Effects, Eighth international Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2013) (In conjunction workshop with International Conference on Computational Science, ICCS2013), Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS 2013, Vol.18, pp.1302?1311, June 2013.

[査読付 19] Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Hisayasu Kuroda, Ken Naono, Mituyoshi Igai, Satoshi Ohshima: A Sparse Matrix Library with Automatic Selection of Iterative Solvers and Preconditioners, Eighth international Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2013) (In conjunction workshop with International Conference on Computational Science, ICCS2013), Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS2013, Vol.18, pp.1332?1341, June 2013.

[査読付 20] Takahiro Katagiri, Cheng Luo, Reiji Suda, Shoichi Hirasawa, Satoshi Ohshima: Energy Optimization for Scientific Programs Using Auto-tuning Language ppOpen-AT, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjunction with the IEEE MCSoC-13), pp.123-128, September 2013. (Best Paper Award in IEEE MCSoC-13)

[査読付 21] Takahiro Katagiri, Satoshi Ito, Satoshi Ohshima: Early Experiences for Adaptation of Auto-tuning by ppOpen-AT to an Explicit Method, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjunction with the IEEE MCSoC-13), Proceedings of MCSoC2013, pp.153-158, September 2013.

[査読付 22] Abdelhalim Amer, Naoya Maruyama, Miquel Perics, Kenjiro Taura, Rio Yokota, and Satoshi Matsuoka. Fork-join and data-driven execution models on multi-core architectures: Case study of the FMM. In Supercomputing, pages 255266. Springer, 2013.

[査読付 23] Ting Chen and Kenjiro Taura. A selective checkpointing mechanism for query plans in a parallel database system. In Big Data, 2013 IEEE International Conference on, pages 237245. IEEE, 2013.

[査読付 24] Shinya Hayashi and Kenjiro Taura. Parallel and memory-efficient burrows-wheeler transform. In Big Data, 2013 IEEE International Conference on, pages 4350. IEEE, 2013.

[査読付 25] An Huynh, Jun Nakashima, and Kenjiro Taura. A performance analyzer for task parallel applications based on execution time stretches. In 先進的計算基盤システムシンポジウム予稿集 , 2013. (萌芽論文).

[査読付 26] Jun Nakashima, Sho Nakatani, and Kenjiro Taura. Design and implementation of a customizable work stealing scheduler. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Runtime and Operating Systems for Supercomputers, page 9. ACM, 2013.

[査読付 27] Jun Nakashima and Kenjiro Taura. MassiveThreads: A Thread Library for High Productivity Languages. In Festschrift of Symposium on Concurrent Objects and Beyond: From Theory to High-Performance Computing (to appear as a volume of Lecture Notes in Computer Science), 2012.

[査読付 28] Miquel Perics, Abdelhalim Amer, Kenjiro Taura, and Satoshi Matsuoka. Analysis of data reuse in taskparallel runtimes. In 4th International Workshop on Performance Modeling, Benchmarking and Simulation of High Performance Computer Systems (PMBS13). IEEE, 2013.

[査読付 29] Kenjiro Taura, Takuya Matsuzaki, Makoto Miwa, Yoshikazu Kamoshida, Daisaku Yokoyama, Nan Dun, Takeshi Shibata, Choi Sung Jun, and Jun ' ichi Tsujii. Design and implementation of gxp make — a workflow system based on make. Future Generation Computer Systems, 29(2):662672, 2013.

[査読付 30] 大筒裕之 , 中島潤 , and 田浦健次朗 . タスク並列処理系における cpu の利用効率に着目したスケジューリング手法 . In 先進的計算基盤システムシンポジウム予稿集 , 2013. (萌芽論文).

[査読付 31] 菊地悠平 and 田浦健次朗 . Cellsql: 大規模データ処理のための表計算ソフトウェア . In 先進的計算基盤システムシンポジウム予稿集 , 2013. (萌芽論文).

[査読付 32] Masaharu Matsumoto, Hideyuki Usui, Masanori Nunami, Masao Nakamura and Iku Shinohara: Two-Dimensional AMR-PIC Plasma Simulation for Mini-Magnetosphere of Magnetized Object, Plasma and Fusion Research, Vol.8, 2406132, 2013. (DOI: 10.1585/pfr.8.2406132)

[査読付 33] Hideyuki Usui, Yohei Yagi, Masaharu Matsumoto and Masanori Nunami: Development of Parallelized AMR-PIC Plasma Simulation Code with Dynamic Domain Decomposition, Plasma and Fusion Research, Vol.8, 2401149, 2013. (DOI: 10.1585/pfr.8.2401149)

[査読付 34] 松本正晴、木成郎、奥野喜裕 : 数値計算によるレーザー駆動 MHD 発電の基礎的検討、日本航空宇宙学会論文集、2014. (accepted)

[査読付 35] Hideyuki Usui, Akihide Nagara, Masanori Nunami and Masaharu Matsumoto: Develop-ment of a Computational Module for Block-Based AMR Simulations, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES 2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS 2014), Procedia Computer Science, 2014. (accepted)

[査読付 36] Futoshi Mori, Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance of the FDM simulation of Seismic Wave Propagation using the ppOpen-APPL/FDM library on Intel Xeon Phi Coprocessor, Proceedings of 11th International Meeting High Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014), 2014. (accepted)

[査読付 37] Hideyuki Jitsumoto, Yoshikazu Kamoshida, ”Application-Level Checkpoint/Restart Framework with Optimal Checkpoint Interval”, HPC in Asia Session at ISC13 (Poster Session), June 2013.

[査読付 38] Gerofi, B., Shimada, A., Hori, A., and Ishikawa, Y.: Partially Separated Page Tables for Efficient Operating System Assisted Hierarchical Memory Management on Heterogeneous Architectures. In Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2013 13th IEEE/ACM International Symposium on, May 2013. [best paper nominee]

[査読付 39] Gerofi, B., Shimada, A., Hori, A., Masamichi, T., and Ishikawa, Y.: CMCP: A Novel Page Replacement Policy for System Level Hierarchical Memory Management on Many-cores. In High Performance Distributed Computing (HPDC), ACM International Symposium on, June 2014. [to appear]

[査読付 40] Soma, Y., Gerofi, B., and Ishikawa, Y.: Revisiting Virtual Memory for High Performance Computing on Manycore Architectures: A Hybrid Segmentation Kernel Approach. In Runtime and Operating Systems for Supercomputers (ROSS), ACM International Workshop on, June 2014. [to appear].

[査読付 41] Gerofi, B., Masamichi, T., and Ishikawa, Y.: Exploiting Hidden Non-uniformity of Uniform Memory Access on Manycore CPUs: A Cache-line Latency Aware Memory Allocator. In Euro-Par Parallel Processing (Euro-Par), 20th International Conference on, Aug 2014. [under submission].

公開ソフトウエア

[公開 1] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.

[公開 2] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.

[公開 3] ppOpen-HPC ver.0.2、http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp、2013 年 11 月.

その他の発表論文

[発表 1] 中島研吾, 前処理付きマルチスレッド並列疎行列ソルバー, 情報処理学会研究報告（HPC-139-6），2013 年 5 月 29 日

[発表 2] 中島研吾，片桐孝洋，三次元有限差分法コードの ppOpen-AT による最適化，第 10 回戦略的高性能計算システム開発に関するワークショップ（SDHPC）, ミニアプリセッション－ミニアプリをどう作る，どう使う，どう育てる？－，北九州，2013 年 7 月 30 日

[発表 3] 中島研吾，ポストペタスケールシステムのための並列前処理付き反復法，日本応用数理学会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会（MEPA），2013 年並列／分散／協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ（SWoPP 北九州 2013），2013 年 8 月 1 日

[発表 4] Nakajima, K., ppOpen-HPC and beyond, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013), Tokyo, December 5-6, 2013?

[発表 5] Nakajima, K., Optimization of Communications/Synchronizations for Preconditioned Iterative Linear Solvers, 16th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP14): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part-II of III, Portland, OR, USA, February 18-21, 2014.

[発表 6] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Kengo Nakajima: Preconditioned Iterative Solvers on Many-core Architectures, SIAM PP14, Marriot Portrand Dowtown Waterfront (Portland, Oregon), February 18-21, 2014

[発表 7] 片桐孝洋，大島聡史，中島 研吾，米村崇，熊洞宏樹，樋口清隆，橋本昌人，高山恒一，藤堂眞治，岩田潤一，内田和之，佐藤正樹，羽角博康，黒木聖夫：レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究のためのアプリケーション最適化と異機種計算機環境での性能評価，情報処理学会研究報告 2012-HPC-139，2013 年 5 月.

[発表 8] 片桐孝洋，大島聡史，中島研吾，米村崇，熊洞宏樹，樋口清隆，橋本昌人，高山恒一，藤堂眞治，岩田潤一，内田和之，佐藤正樹，羽角博康，黒木聖夫，安達斉，江口義之：レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究のアプリケーションの異機種環境での評価 ～メニーコア環境を中心に～，情報処理学会研究報告 2014-HPC-147，2014 年 3 月.

[発表 9] 松本正晴、臼井英之、沼波政倫、中島研吾：適合格子細分化手法を用いたプラズマ PIC シミュレーションの開発、2014 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（HPCS2014）、東京、2014 年 1 月.

[発表 10] 大島聡史，片桐孝洋，中島研吾，米村崇，熊洞宏樹，樋口清隆，橋本昌人，高山恒一，藤堂眞治，岩田潤一，内田和之，佐藤正樹，羽角博康，黒木聖夫: レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究におけるアプリケーションの最適化と複数の計算機環境での性能評価，SACSIS2013 - 先進的計算基盤システムシンポジウム -，2013 年 5 月 23 日 (ポスター発表)

[発表 11] 井上 裕貴, 金田 康正: グレースケール画像の曲線による抽出, パターン認識・メディア理解研究会（PRMU）、早稲田大学、2014 年 3 月 14 日、電子情報通信学会、PRMU2013-214、pp. 277-282、2014。(http://www.ieice.org/ken/search/index.php?search_mode=form&year=21&psort=&pskey=code%3APRMU2013-214&ps1=1&ps2=1&ps3=1&ps4=1&ps5=1&layout=&lang=)

[発表 12] 中村素典 , 西村健 , 山地一禎 , 佐藤周行 , 岡部寿男 : 学割サービス実現のための SAML-OpenID ゲートウェイの試作 , IPSJ IOT 研究会 , 2013-IOT-21(28), 17. 弘前 , 2013 年 5 月

[発表 13] Motonori NAKAMURA, Takeshi NISHIMURA, Kazu YAMAJI, Hiroyuki SATO, Yasuo OKABE, Takao YAMASAKI, Tsuyoshi MINAMI, Nat SAIKIMURA: PEOFIAMP: Privacy Enhancements for Open Federated identity/Access Management Platforms, Terena Networking Conference 2013 (Poster), 2013 June 2, Maastricht.

[発表 14] 岡部 寿男 , 佐藤 周行 , 西村 健 , 山地 一禎 , 中村 素典 : 属性提供サーバに対してサービス提供サーバを秘匿する匿名化プロキシ , マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム , 8F-2, 帯広 , 2013 年 7 月 .

[発表 15] 中村 素典 , 西村 健 , 山地 一禎 , 佐藤 周行 , 岡部 寿男 , 山崎 崇生 , 崎村 夏彦 : 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 , マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム , 8F-4, 帯広 , 2013 年 7 月 .

[発表 16] 島岡正基 , 佐藤周行 : 学認における属性交換フレームワーク , コンピュータセキュリティシンポジウム 2013, 486493, 高松 , 2013 年 10 月

[発表 17] Sato, H., Tanimoto, S., Kanai, A.: Dynamic and Fine Grained Control of Policies by XMLed Policy management, 3C2-1, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS), 鹿児島 , 2014 年 1 月

[発表 18] 本間博礼 , 金井敦 , 谷本茂明 , 佐藤周行 : 人物フォーメーションを考慮した危険度定量化手法 , 1A2-4, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS), 鹿児島 , 2014 年 1 月

[発表 19] 菊池尚也 , 金井敦 , 谷本茂明 , 佐藤周行 : 秘密分散を用いた複数クラウドのデータ管理方式 ,3C1-5, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS), 鹿児島 , 2014 年 1 月

[発表 20] 五十嵐綾 , 金井敦 , 谷本茂明 , 佐藤周行 : 秘密分散を用いたセキュリティ強度可変プロトコルの提案 , 3F1-1, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS) , 鹿児島 , 2014 年 1 月

[発表 21] 岡部寿男 , 佐藤周行 , 山地一禎 , 中村素典 : 属性情報と認可条件を相互に秘匿する認証連携プロキシ , 電子情報通信学会 第 88 回インターネットアーキテクチャ研究会 6772, 石川県 , 2014 年 2 月

[発表 22] 横谷 百合 , 金井 敦 , 谷本 茂明 , 佐藤周行 : ダイナミックなクラウド選択のための SLA の XML 化に関する提案 , 情報処理学会　第 158 回 DPS 研究会 , 東京 , 2014 年 3 月

[発表 23] 片桐孝洋，大島聡史，伊東聰 : 陽解法カーネルのための自動チューニング記述言語 ppOpen-AT の新機能について，第 18 回計算工学講演会、OS27：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.18，2013 年 6 月．

[発表 24] 片桐孝洋，尾崎克久，荻田武史，大石進一，高精度行列-行列積アルゴリズムの疎行列演算化による高速化 1，日本応用数理学会行列・固有値問題の解法とその応用部会、2013 年並列／分散／協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ（SWoPP 北九州 2013）、2013 年 7 月．

[発表 25] 片桐孝洋，大島聡史，松本正晴：ppOpen-AT により自動生成された ppOpen-HPC コードにおける自動チューニング機能の性能評価，日本応用数理学会 2013 年度年会、正会員主催 OS: 自動チューニング技術とその周辺，年会予稿集， 2013 年 9 月．

[発表 26] 加藤淳也，河村祥太，竹田宏，片桐孝洋，堀端康善：マルチカラー接触判定格子を用いた粒子接触判定計算の OpenMP による並列化，情報処理学会研究報告 2013-HPC-142，2013 年 12 月．

[発表 27] 片桐孝洋：実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化，第 5 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，2013 年 12 月．

[発表 28] Takahiro Katagiri, Junichi Iwata, and Kazuyuki Uchida: Extreme-Scale Parallel Symmetric Eigensolver for Very Small-Size Matrices Using A Communication-Avoiding for Pivot Vectors, MS34: Auto-tuning Technologies for Extreme-Scale Solvers - Part I of III, February 2014.

[発表 29] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Facilities into Supercomputers in Operation- The FIBER approach and Minimizing Software-stack Requirements -, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, March 2014.

[発表 30] 大島聡史，金子勇, 片桐孝洋: Xeon Phi における SpMV の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (Vol.2013-HPC-140 No.33), SWoPP2013 北九州, 北九州国際会議場, 2013 年 8 月 2 日

[発表 31] 大島聡史, 金子勇, 片桐孝洋: メニーコアアーキテクチャ向けの SpMV 最適化と自動チューニング, 日本応用数理学会 2013 年度年会, アクロス福岡, 2013 年 9 月 10 日

[発表 32] 田浦健次朗 and 中島潤 . 6 種のタスク並列処理系の比較評価 . In IPSJ SIG Notes, volume 2013-HPC-140(16), pages 110, 2013.

[発表 33] 中澤隆久 and 田浦健次朗 . 省メモリでスケーラブルなマージソートアルゴリズム . In IPSJ SIG Notes, volume 2013-HPC-140(2), pages 18, 2013.

[発表 34] An Huynh, Jun Nakashima, and Kenjiro Taura. A performance analyzer for task parallel applications based on execution time stretches. In IPSJ SIG Notes, volume 2013-HPC-140(10), pages 16, 2013.

[発表 35] 臼井英之、梅澤美佐子、松本正晴、西野真木、三宅洋平：プラズマ粒子シミュレーションによる太陽風－小型ダイポール磁場相互作用の解析とその Reiner Gamma 磁場への応用、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張、2013 年 5 月.

[発表 36] 梅澤美佐子、臼井英之、松本正晴、西野真木、三宅洋平：太陽風プラズマと月面局所磁場の相互作用に関する粒子シミュレーション、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張、2013 年 5 月.

[発表 37] Masaharu Matsumoto, Yohei Yagi, Hideyuki Usui and Masanori Nunami: Development of Parallelized Plasma PIC Simulation Code with Adaptive Mesh Refinement, 2013 International Supercomputing Conference (ISC' 13), HPC in Asia Session 10a, Leipzig, Germany, June 2013.

[発表 38] Misako Umezawa, Hideyuki Usui, Masaharu Matsumoto Masaki Nishino and Yohei Miyake: Particle-In-Cell Simulation on the Interactions between the Solar Wind and a Magnetic Anomaly on the Moon, The 11th International School/Symposium for Space Simulations, PF01, Taiwan, July 2013.

[発表 39] Akihide Nagara, Masanori Nunami, Masaharu Matsumoto and Hideyuki Usui: Development of a Module for Adaptive Mesh Refinement Simulation, The 11th International School/Symposium for Space Simulations, PG07, Taiwan, July 2013.

[発表 40] Kazuki Tsuchiya, Masaharu Matsumoto and Hideyuki Usui: Electromagnetic Field Treat-ment in AMR-PIC Code, The 11th International School/Symposium for Space Simulations, PG09, Taiwan, July 2013.

[発表 41] 木成郎、松本正晴、奥野喜裕 : パルスレーザ駆動 MHD 発電機の電磁流体シミュレーション、電気学会新エネルギー・環境研究会、長岡、2013 年 9 月.

[発表 42] Akihide Nagara, Masanori Nunami, Masaharu Matsumoto and Hideyuki Usui: Development of a Computational Module for Adaptive Mesh Refinement Simulations, 23rd International Toki Conference, P2-50, Toki, Nov 2013.

[発表 43] Masaharu Matsumoto: Development of an Adaptive Mesh Refinement Framework for ppOpen-APPL/FDM, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013), Tokyo, Dec 2013.

[発表 44] Hideyuki Usui, Misako Umezawa, Yohei Miyake, Masaharu Matsumoto and Masaki Ni-shino: PIC simulations on plasma response to a meso-scale magnetic dipole, The American Geo-physical Union ’s 46th annual Fall Meeting, P51E-1761, San Francisco, Dec 2013.

[発表 45] Masaharu Matsumoto, Shigeo Takagi and Yoshihiro Okuno: Feasibility Study of a Laser Beamed Magnetohydrodynamic Energy Conversion, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2014, AJCPP-2014-59, Jeju, South Korea, Mar 2014.

[発表 46] 大島聡史，金子勇: メニーコアプロセッサ Xeon Phi の性能評価，情報処理学会 研究報告 (Vol.2013-HPC-139 No.20）, 東京大学柏キャンパス, 2013 年 5 月 30 日

[発表 47] Satoshi Ohshima: Performance Evaluation of SpMV on Current Parallel Processors – CPU vs GPU vs MIC –, HPC in Asia session at ISC’13, Congress Center Leipzig, Leipzig, Jun 17, 2013 (ポスター発表)

[発表 48] 大島聡史: GPU(Kepler) 向けの高速な SpMV 実装について, 下呂温泉ホテルくさかベアルメリア, AT マイクロワークショップ, 2013 年 10 月 30 日

[発表 49] Satoshi OHSHIMA: Fast SpMV Implementation on GPU/Manycore Architectures and its Application, 2013 International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013), Earthquake Research Institute (ERI), The University of Tokyo, December 6, 2013

[発表 50] 大島聡史: GPU プログラム最適化のための指示文を用いたチューニング機構の開発, 第 5 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, 2013 年 12 月 25 日

[発表 51] Satoshi Ohshima: Implementation and Performance Evaluation of SpMV on Modern Parallel Processors, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University (Taipei), March 14, 2014

[発表 52] 實本 英之, 鴨志田良和, ”適切なチェックポイント周期を与えるアプリケーションレベルチェックポイントライブラリ”, 情報処理学会 研究報告 2013-HPC-139(10),1-7, May 2013.

[発表 53] Hideyuki Jitsumoto, Application-Level Checkpoint/Restart Framework with Checkpoint Interval Optimization, International Workshop on Software for Peta-scale Numerical Simulation (SPNS2013), Tokyo, Dec 2013

[発表 54] Hideyuki Jitsumoto, Yuki Todoroki, Mitsuhisa Sato, ”Design and Evaluations of Application Based Fault Tolerance Framework with stencil model”, G8 ESC Workshop at Kobe, Mar 2014.

[発表 55] 原田 浩, 蛯原 純, 藤本 大輔, 實本 英之, 平野 光敏,”東京大学 HPCI 共用ストレージにおけるオープンソースソフトウェアの活用”, AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, ポスター発表 T1A-19, Dec 2013.

[発表 56] 原田 浩, 藤本 大輔, 蛯原 純, 實本 英之, 平野 光敏,”バッチスケジューラ連動型省電力ツールの開発と運用”, AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, ポスター発表 T1A-20, Dec 2013.

[発表 57] 原田 浩, 建部 修見, 平川 学, 藤本 大輔, 蛯原 純, 實本 英之, 宮嵜 洋, 佐島 浩之,”東京大学 HPCI 共用ストレージにおけるオープンソースソフトウェアの活用”, AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, 企画セッション T3G-5, Dec 2013.

[発表 58] Balazs Gerofi: Overview Presentation of Interface for Heterogeneous Kernels and McKernel @ Argonne National Laboratory, Chicago, IL, USA, Dec 2013.

[発表 59] Balazs Gerofi: Design and Implementation Presentation on Interface for Heterogeneous Kernels, McKernel, Hierarchical Memory Management and Hybrid Segmentation Kernel @ Intel Corporation, Santa Clara, CA, USA, Mar 2014.

特記事項

[特記 1] 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 2] 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/13e/

[特記 3] 中島研吾, 科学技術計算･，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/13s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/13w/

[特記 4] 中島研吾, コンピュータ科学特別講義･，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/13s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/13w/

[特記 5] 中島研吾, General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

[特記 6] 中島研吾, Member of Program Committee, The 19th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2013), Boston, MA, USA, 2013

[特記 7] 中島研吾, Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2013), Barcelona, Spain, 2013

[特記 8] 中島研吾, Member of Program Committee, Third International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES) , Barcelona, Spain, 2013

[特記 9] 中島研吾, Member of Research Paper Committee, International Supercomputing Conference (ISC’13), Leipzig, Germany, 2013

[特記 10] 中島研吾, Co-Chair of Technical Papers Committee, 2013 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC13)，Denver, CO, 2013.

[特記 11] 中島研吾, Co-organizer of Mini-Symposium, 16th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP14): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-III, Portland, OR, USA, 2014

[特記 12] 中島研吾, Co-Organizer, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (2014 ATAT in HPSC), Taipei, Taiwan, 2014

[特記 13] 中島研吾, Member of Program Committee, The 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2014), Phoenix, AZ, USA, 2014

[特記 14] 中島研吾, Member of Program Committee, 14th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid 2014), Chicago, IL, USA, 2014

[特記 15] 中島研吾, Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2014), Cairns, Australia, 2014

[特記 16] 中島研吾, Co-Chair, Program Committee, Fourth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES) , Cairns, Australia, 2014

[特記 17] 中島研吾, Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC’14), Leipzig, Germany, 2014

[特記 18] 中島研吾, Chair, Scientific Committee, 11th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014), Eugene, OR, USA, 2014

[特記 19] 中島研吾, Member of International Scientific Committee, 11th World Congress of Computational Mechanics (WCCM 2014) , Barcelona, Spain, 2014

[特記 20] 中島研吾, Member of Program Committee, 16th IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications, Paris, France, 2014

[特記 21] 中島研吾, Member of Program Committee, Euro MPI/Asia 2014, Kyoto, Japan, 2014

[特記 22] 中島研吾, Member of Program Committee, The 20th International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS’14), Hsinchu, Taiwan, 2014

[特記 23] スーパーコンピュータ若手利用者推薦制度 2013 年度（前期）４件（新規 2 件，継続 2 件），2013 年度（後期）３件（新規 2 件，継続 1 件）.

[特記 24] 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 Supercom-puting Environment (ASE) 研究会: 第 14 回 ASE 研究会（2013 年 9 月 25 日（水））、第 15 回 ASE 研究会（2013 年 10 月 23 日（水））、第 16 回 ASE 研究会（2013 年 12 月 4 日（水））、第 17 回 ASE 研究会（2014 年 3 月 6 日（木））の 4 回実施.

[特記 25] 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）: 2013 年 8 月 5 日～6 日、2013 年 9 月 3 日～4 日、2014 年 3 月 11 日～12 日、2014 年 3 月 24 日～25 日 の 4 回実施.

[特記 26] 片桐孝洋, ミニシンポジウム・オーガナイザー，MS34: Auto-tuning Technologies for Extreme-Scale Solvers - Part I of III, Organizers: Takahiro Katagiri (The University of Tokyo, Japan), Osni A. Marques (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), Toshiyuki Imamura (RIKEN, Japan), and Leroy A. Drummond (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), SIAM Conference on Parallel Processing (PP14), Marriott Portland, Downtown Waterfront, Portland, Oregon, USA, February 18-21, 2014.

[特記 27] 片桐孝洋, 国際ワークショップ・オーガナイザー，2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, March 14-15, 2014.

[特記 28] 片桐孝洋, 大島聡史, ACS 論文誌編集委員

[特記 29] 片桐孝洋, 大島聡史, プログラム委員, SACSIS2013 - 先進的計算基盤システムシンポジウム -, 仙台国際センター, 2013 年 5 月 22-24 日

[特記 30] 田浦健次朗, プログラム委員会 分野チェア（プログラミングシステム分野） SC2013

[特記 31] 田浦健次朗, プログラム委員会 HPDC 2013

[特記 32] 田浦健次朗, プログラム委員長 SACSIS2013 先進的計算基盤システムシンポジウム , 仙台国際センター.

[特記 33] 松本正晴, 磁気プラズマセイル評価に向けたマルチスケール対応プラズマシミュレーション、研究代表者、日本学術振興会学術研究助成基金助成金（科研費）、若手研究（B）、2012-2014 年度

[特記 34] 松本正晴, 小型磁気圏と太陽風の相互作用に関する AMR-PIC シミュレーション、研究代表者、2013 年度京都大学電波科学計算機実験装置（KDK）共同利用

[特記 35] 松本正晴, Publicity Chair: International Workshop on Software for Post-Peta Scale Numerical Simula-tion (SPNS2013), Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Dec 2013.

[特記 36] 松本正晴, 太陽磁気活動の大規模シミュレーション、共同研究者、2013 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）公募型共同研究

[特記 37] 松本正晴, ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理 (http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp)、ならびに ppOpen-HPC ver.0.2 ライブラリ群公開へ向けた整備

[特記 38] 大島聡史, Co-Chair, 2013 International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013)，東京大学地震研究所，2013 年 12 月 5-6 日

[特記 39] 大島聡史, PC member, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-13), 国立情報学研究所, 2013 年 9 月 26 日

[特記 40] 大島聡史, プログラム委員会副委員長 (論文担当)/実行委員, HPCS2014 2014 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, 一橋大学 一橋講堂, 2014 年 1 月 7-8 日

[特記 41] 大島聡史, 一般社団法人オープン CAE 学会 理事

[特記 42] 大島聡史, 第 32 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」, 2013 年 8 月 5-6 日, 2013 年 9 月 3-4 日, 2014 年 3 月 11-12 日, 一部の講師を担当

[特記 43] 大島聡史, GTC Japan 2013 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.15 No.5 (2013 年 9 月)

[特記 44] 實本英之, Member of Program Committee, 3rd Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale (FTXS2013), https://sites.google.com/site/ftxsworkshop/home/ftxs-2013 .

[特記 45] SWoPP 北九州 2013 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.15 No.5 (2013 年 9 月)

[特記 46] SC13 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.16 No.1 (2014 年 1 月)

[特記 47] 情報基盤センター広報誌 Digital Life 2013.9 Vol.21 ISC'13 参加報告

[特記 48] 情報基盤センター広報誌 Digital Life 2014.3 Vol.22 SC'13 参加報告

[特記 49] スーパーコンピューティングニュース Vol.16 No.1 SC'13 参加報告

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。並列プログラミングモデルとして、ノード(ソケット)内に OepnMP などのスレッド、ノード(ソケット)間にメッセージパッシング(MPI)を適用する「Hybrid」並列プログラミングモデルを使用した。2012 年度に開発した Coarse Grid Aggregation(CGA)の通信削減版である *h*CGA(Hierarchical CGA, 階層型 CGA)を提案し、また疎行列格納法を変更して、Fujitsu PRIMEHPC FX10(Oakleaf-FX)システム 4,096 ノードを使用した計算、評価を実施した〔招待 3,4,5〕〔査読付 1,2〕〔発表 3,5〕。その他、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〔招待 3〕〔査読付 3〕。

- 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。2012 年度に引き続いて開発を実施し、SC13(Denver, CO, USA)にて成果物の第 2 回公開を実施した〔招待 1,2,6〕〔発表 2,4〕。

- HPC 教育

Fujitsu PRIMEHPC FX10(Oakleaf-FX)システムを使用した HPC 教育プログラム策定、講義、演習を実施した〔特記 1～4〕。

2　大規模問題向け並列多重格子法の開発

2.1　概要

本研究では、図 1 に示すような不均質な多孔質媒体中の三次元地下水流れを並列有限体積法（Finite Volume Method、FVM）によって解くアプリケーションを扱う。対象とする問題は以下に示すような、ポアソン方程式および境界条件である：

$$\nabla \cdot (\lambda(x,y,z)\nabla\phi) = q, \phi = 0 \, at \, z = z_{\max}$$

ここで、ϕは水頭ポテンシャル、$\lambda(x,y,z)$は透水係数で位置座標の関数であり、セル（cell）ごとに異なっている。透水係数は、地質統計学の分野で使用される Sequential Gaussian アルゴリズム〔引用 1〕により発生させた値を使用した（図 1（a））。q は体積フラックスであり、本研究では一様（=1.0）に設定されている。透水係数の最小値、最大値、平均値はそれぞれ 10^{-5}、10^{+5}、10^{0} となるように設定されている。有限体積セルは一辺長さ 1.0 の立方体である。このような問題設定では、条件数が 10^{10} のオーダーとなるような対称、正定な悪条件マトリクスを係数とする線形方程式を解く必要がある。本研究で対象とするモデルは、各々 128^3 セルから構成される同じ不均質場に基づく部分モデルの集合である。したがって、x、y、z 各方向に周期的に同じ不均質パターンが繰り返される。

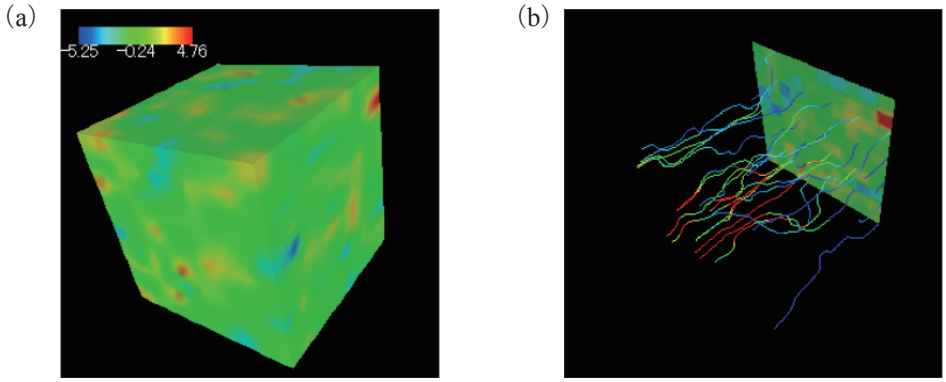


図 1　不均質多孔質媒体中の地下水流れの例、(a) 透水係数分布、(b) 流線

本研究では、ポアソン方程式を有限体積法によって離散化して得られる対称、正定（Symmetric Positive Definite，SPD）な行列を係数行列とする連立一次方程式を、多重格子法（Mulrigrid）による前処理を施した共役勾配法（Conjugate Gradient Method，CG）によって解く。このような前処理付き共役勾配法を MGCG 法〔引用 2,3〕と呼ぶ。残差ノルム|{b}-〔A〕{x}|/|b| が 10^{-12} 未満となるまで反復が繰り返される。本研究では、8 個の「子（children）」セルから 1 個の「親（parent）」セルが生成されるような等方的な幾何学的多重格子法に基づき、格子間のオペレーションとしては、最密格子と最疎格子の間を直線的に動く V サイクル〔引用 2,3〕を採用した。

多重格子法では、各レベルにおける線形方程式を緩和的に計算するための演算子を緩和演算子（smoothing operator，smoother）と呼んでいる。緩和演算子として代表的なものは

Gauss-Seidel 法であり多くの研究で使用されているが、悪条件問題向けには不完全 LU 分解、不完全コレスキー分解が有効である〔引用 2,3〕。本研究では、フィルインを生じない不完全コレスキー分解（IC(0)）を緩和演算子として採用した。IC(0)のプロセス（分解、前進後退代入）は大域的な処理を含むため、並列化は本来困難である。各領域において独立にIC(0)処理を実施するような、ブロック Jacobi 型の局所処理によって並列化は可能であるが、特に悪条件問題の場合、領域数が増えると収束が悪化する。ここで、加法シュワルツ法（Additive Schwartz Domain Decomposition，以下 ASDD）〔引用 2,3〕を組み合わせることにより、並列計算においても安定した解を得ることが可能となる。

OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルで、FVM によるアプリケーションを並列化する場合、領域分割された各領域に MPI のプロセスが割り当てられ、各領域内で OpenMP による並列化が行われる。各領域においては、不完全コレスキー分解のように大域的な依存性を含むプロセスについては、各要素の並べ替え（reordering）により依存性を排除し、並列性を抽出する手法が広く使用されている〔引用 2,3〕。本研究では、並列性が高く悪条件問題に対して安定な CM-RCM 法による並び替えを適用している〔引用 2,3〕。本手法は、Reverse Cuthill-McKee （RCM）法とサイクリックに再番号付けする Cyclic マルチカラー法（cyclic multicoloring，CM）を組み合わせたものである。CM-RCM 法では各「色」内の要素は独立で、並列に計算を実行することが可能である。CM-RCM 法の色数の最大値は RCM におけるレベル数の最大値である。本研究では多重格子法の各レベルにおいて CM-RCM 法を適用している。

2.2 *h*CGA（Hierarchical CGA，階層型 CGA）

〔引用 2〕に示すオリジナル手法では、各 MPI プロセスにおける格子数が 1 となる最も粗い格子レベルで 1 コアに集めて Coarse Grid Solver を適用している。Coarse Grid Solver の問題サイズは領域数（MPI プロセス数）と等しくなる。〔引用 2〕では Coarse Grid Solver としてマルチグリッド（V-cycle）を適用し、収束するまで V-cycle を繰り返している（図 2）。

並列多重格子法では、MPI プロセス数が増加した場合、特に粗いレベルにおける通信によるオーバーヘッドによる低下が懸念されている。〔引用 3〕では、粗いレベルにおけるプロセスを aggregate する CGA 法（Coarse Grid Aggregation）（図 2）により、通信によるオーバーヘッドを削減することを試みた。CGA 法ではオリジナル手法よりも細かい格子レベル（レベル数が少ない場合）で Coarse Grid Solver に移行する。オリジナル手法では Coarse Grid Solver は 1 コアで実行していたが、CGA 法では 1 MPI プロセスに集め、OpenMP によるマルチスレッド並列化を実施している。〔査読付 2〕では更に疎行列格納法を従来の CRS（Compressed Row Storage）から ELL（Ellpack-Itpack）に変更した。ELL-CGA による MGCG 法は CRS 法によるオリジナル手法〔引用 2〕と比較して、Oakleaf-FX 4,096 ノードを使用して弱スケーリングで 13%～35%、強スケーリングで 40%～70%の性能改善を得ることができた。

図 3 は Oakleaf-FX 4,096 ノード（65,536 コア）、HB 8×2 を使用した場合の、ELL 格納形式、CGA 法の効果である。メッシュ数は 17,179,869,184 である。コロン（:）の後の 2 桁整数値は収

束までの反復解法である。CGA 法の適用により Coarse Grid Solver への移行がより細かい格子レベル（レベル数が少ない場合）で実施されるほど反復回数が減少している。CGA 法を適用すると、IC(0)スムージングが 1 MPI プロセス上で実行される割合が増えるため、より収束が安定化するためと考えられる〔引用 3〕〔査読付 2〕。格子レベル＝6 において Coarse Grid Solver へ移行した場合、反復回数は減少するが、Coarse Grid Solver の計算時間が増加するため、格子レベル＝7（最適値）で移行した場合と比較して全体の計算時間は長くなる。

本研究では、更に粗い格子レベルでの通信オーバーヘッドを回避するため、*h*CGA 法（Hierarchical Coarse Grid Aggregation、階層型 CGA 法）（図 4）を提案し、その評価を実施した。*h*CGA 法と従来の CGA 法との相違は 1MPI プロセスによる CGA 法への移行前に複数の MPI プロセスを統合し全体のプロセス数を減少させることにより、通信オーバーヘッドを削減することにある。

図 5 は図 3 に示したのと同じメッシュ数 17,179,869,184 の問題を Oakleaf-FX 4,096 ノード（65,536 コア）、HB 8×2 によって解いた場合の *h*CGA 法の効果である。格子レベル 6 で 4,096 ノードから 128 ノードへ移行し、その後、格子レベル 7 で 1 MPI プロセス（8 コア）に移行することによって CGA 法の最適値と比較して計算時間が短縮されており、*h*CGA 法の有用性が示されている。

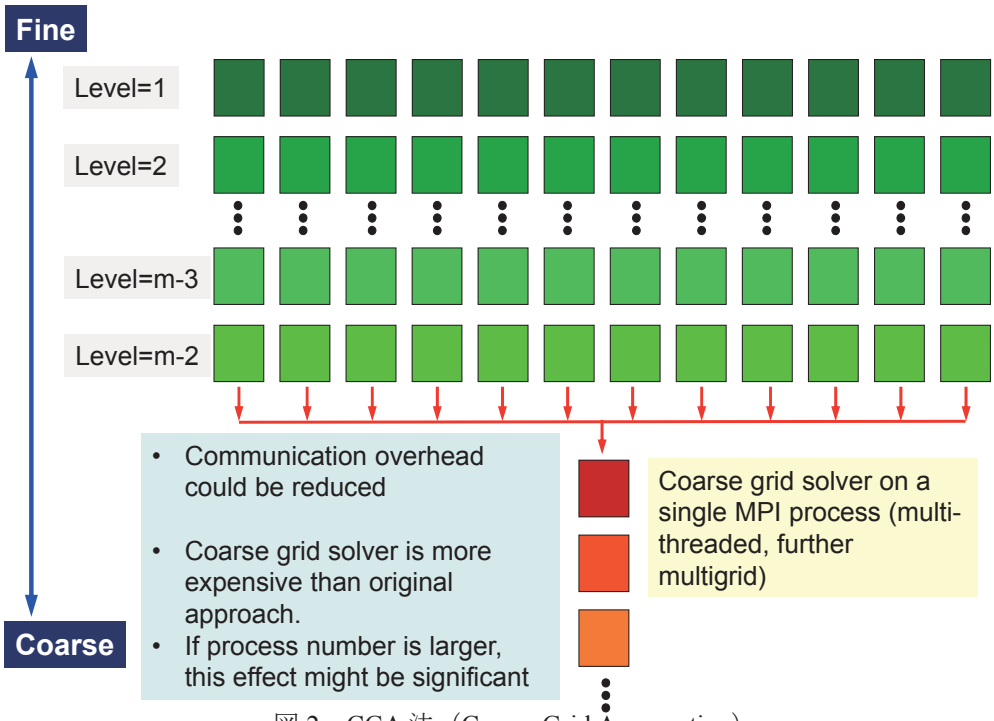


図 2　CGA 法（Coarse Grid Aggregation）

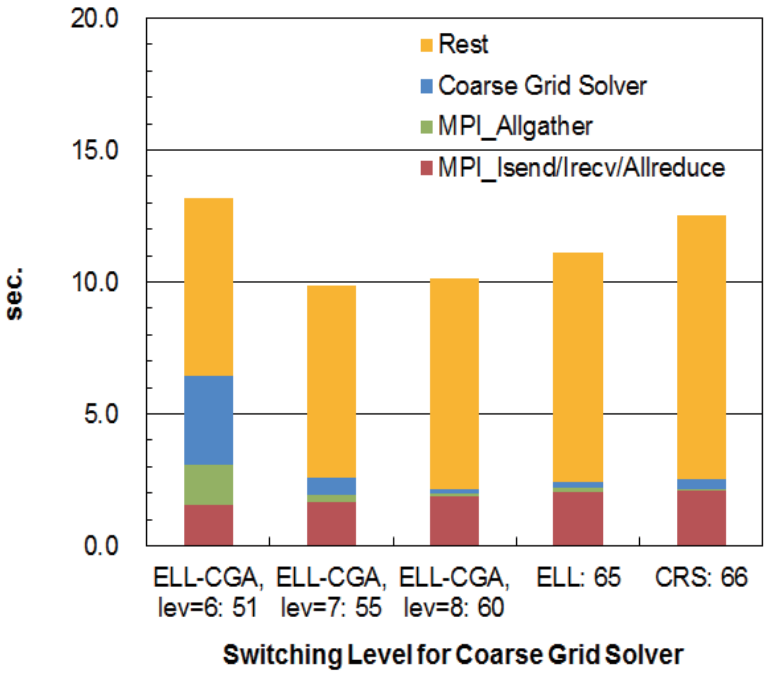


図 3　CGA 法の Oakleaf-FX 4,096 ノード（65,536 コア）での性能，MGCG 法の実行時間（HB 8×2，17,179,869,184 自由度）

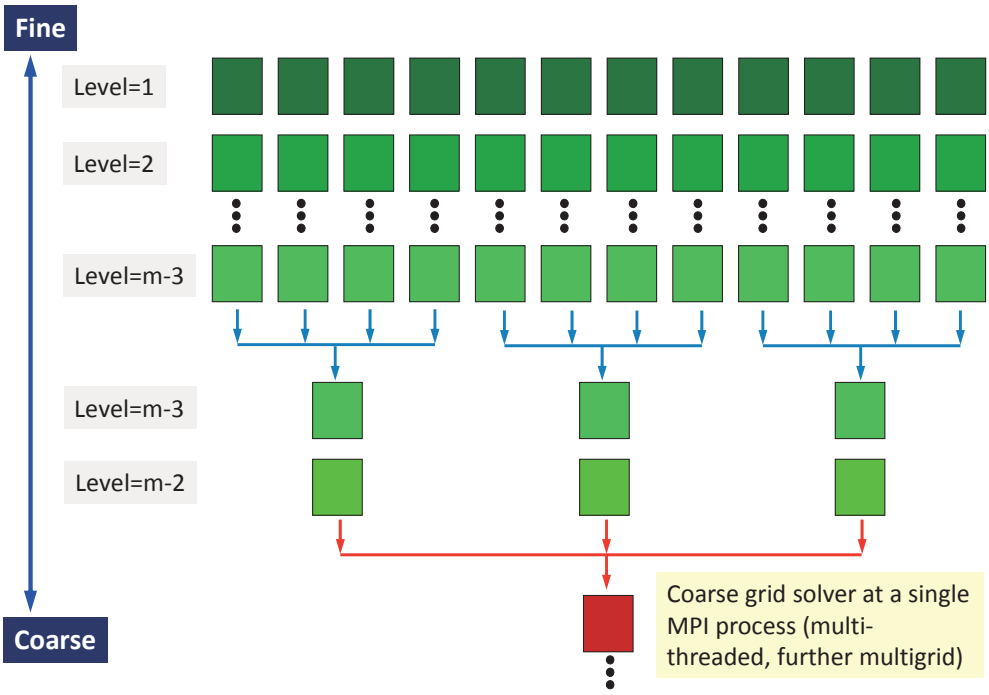


図 4　*h*CGA 法（Hierarchical Coarse Grid Aggregation）

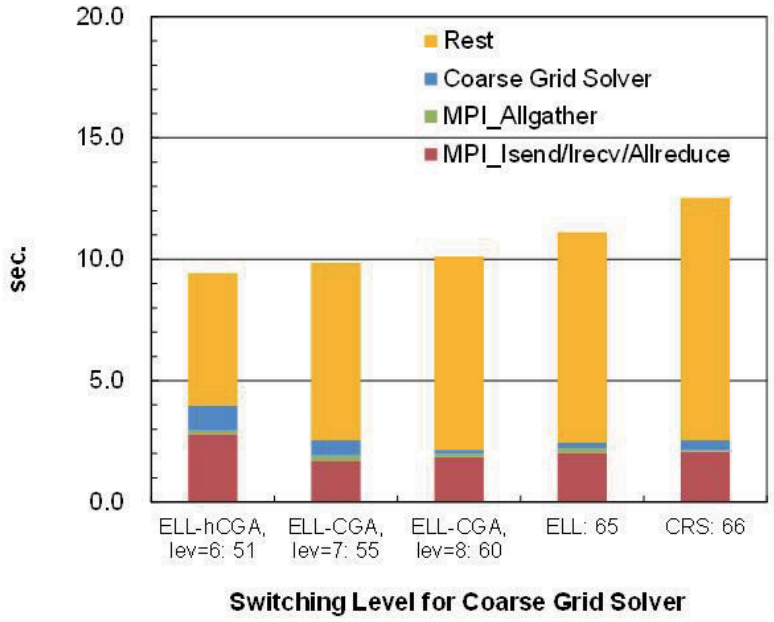


図 5　CGA 法，*h*CGA 法の Oakleaf-FX 4,096 ノード（65,536 コア）での性能，MGCG 法の実行時間（HB 8×2，17,179,869,184 自由度）

3　学際計算科学・工学人材育成プログラム

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〕。2013 年度夏季集中講義として、2013 年 8 月～9 月に 13 回の講義と演習を実施した。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。2013 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。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。2013 年度は合計 47 名の受講者があった。2014 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 2013 年夏・冬学期に実施した〔特記 3, 4〕。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、情報基盤センター教育用計算機システム（ECCS2012）を使用したプログラミングの実習を行なった。題材としては一次元及び三次元弾性静力学を扱った（夏学期：Ⅰ）。更に、冬学期（Ⅱ）では、並列計算プログラミングのためのデータ構造の考え方、並列アルゴリズム、並列プログラムの作成法に関する講義、Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）実習を実施した。2013 年度は夏学期（41 名）と冬学期（15 名）の受講者があった。2014 年度も引き続き開講の予定である。

4 成果要覧

招待講演

〔招待 1〕中島研吾，ポストペタスケール・エクサスケールシステムへ向けての東京大学情報基盤センターの取組，物性研スパコン共同利用・CMSI 合同研究会（第 4 回 CMSI 研究会），東京大学（柏），2013 年 12 月 10 日

〔招待 2〕中島研吾，ポストペタ・エクサスケール時代のアプリケーション開発，弥生研究会「粒子法研究会」，東京大学（本郷），2014 年 3 月 11 日

〔招待 3〕Nakajima, K., Challenges in Sparse Linear Solvers for Post-Peta/Exascale Systems, Latest Advances in Scalable Algorithms for Large Scale Systems, International Supercomputing Conference (ISC'13), Leipzig, Germany, 2013.06.09

〔招待 4〕Nakajima, K., Parallel Geometric Multigrid Method for Large-scale Simulations of 3D Groundwater Flow through Heterogeneous Porous Media, LBNL Seminar, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, 2013.09.13

〔招待 5〕Nakajima, K., Iterative Linear Solvers for Post-Peta/Exascale Systems, International Workshop on Collaborative Development of Simulation Software of Next Generation (CO-DESIGN), Guilin, China, 2013.10.30

〔招待 6〕Nakajima, K., Recent Activities in Japan towards Post-Peta/Exascale Systems, Fujitsu Open Petascale Libraries SC13 Workshop, Denver, CO, USA, 2013.11.17

〔招待 7〕Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Ill-conditioned Problems, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (2014 ATAT in HPSC), Taipei, Taiwan, 2014.03.15

査読付論文リスト

〔査読付 1〕Nakajima, K., Automatic Tuning of Parallel Multigrid Solvers using OpenMP/MPI Hybrid Parallel Programming Models, Lecture Notes in Computer Science 7851, 435-450, 2013

〔査読付 2〕Nakajima, K., Large-scale Simulations of 3D Groundwater Flow using Parallel Geometric Multigrid Method, Procedia Computer Science 18, 1265-1274, Proceedings of IHPCES 2013 (Third International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks) in conjunction with ICCS 2013, Barcelona, Spain, June 2013

〔査読付 3〕Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Iterative Solvers Based on BILUT(p,d,t), HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC'14), Leipzig, Germany, 2014 (in press)

その他発表論文リスト

〔発表 1〕中島研吾, 前処理付きマルチスレッド並列疎行列ソルバー, 情報処理学会研究報告（HPC-139-6）, 2013 年 5 月 29 日

〔発表 2〕中島研吾, 片桐孝洋, 三次元有限差分法コードの ppOpen-AT による最適化, 第 10 回戦略的高性能計算システム開発に関するワークショップ（SDHPC）,ミニアプリセッション－ミニアプリをどう作る, どう使う, どう育てる？－, 北九州, 2013 年 7 月 30 日

〔発表 3〕中島研吾, ポストペタスケールシステムのための並列前処理付き反復法, 日本応用数理学会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会（MEPA）, 2013 年並列／分散／協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ（SWoPP 北九州 2013）, 2013 年 8 月 1 日

〔発表 4〕Nakajima, K., ppOpen-HPC and beyond, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013), Tokyo, December 5-6, 2013

〔発表 5〕Nakajima, K., Optimization of Communications/Synchronizations for Preconditioned Iterative Linear Solvers, 16th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP14): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part-II of III, Portland, OR, USA, February 18-21, 2014

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/13e/

〔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/13s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/12w/

〔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/13s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/12w/

〔特記 5〕General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

〔特記 6〕Member of Program Committee, The 19th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2013), Boston, MA, USA, 2013

〔特記 7〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2013), Barcelona, Spain, 2013

〔特記 8〕Member of Program Committee, Third International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES) , Barcelona, Spain, 2013

〔特記 9〕Member of Research Paper Committee, International Supercomputing Conference (ISC'13), Leipzig, Germany, 2013

〔特記 10〕Co-Chair of Technical Papers Committee, 2013 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC13)，Denver, CO, 2013.

〔特記 11〕Co-organizer of Mini-Symposium, 16th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP14): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-III, Portland, OR, USA, 2014

〔特記 12〕Co-Organizer, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing (2014 ATAT in HPSC), Taipei, Taiwan, 2014

〔特記 13〕Member of Program Committee, The 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2014), Phoenix, AZ, USA, 2014

〔特記 14〕Member of Program Committee, 14th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid 2014), Chicago, IL, USA, 2014

〔特記 15〕Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2014), Cairns, Australia, 2014

〔特記 16〕Co-Chair, Program Committee, Fourth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES) , Cairns, Australia, 2014

〔特記 17〕Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC'14), Leipzig, Germany, 2014

〔特記 18〕Chair, Scientific Committee, 11th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014), Eugene, OR, USA, 2014

〔特記 19〕Member of International Scientific Committee, 11th World Congress of Computational Mechanics (WCCM 2014) , Barcelona, Spain, 2014

〔特記 20〕Member of Program Committee, 16th IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications, Paris, France, 2014

〔特記 21〕Member of Program Committee, Euro MPI/Asia 2014, Kyoto, Japan, 2014

〔特記 22〕Member of Program Committee, The 20th International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS'14), Hsinchu, Taiwan, 2014

引用文献

〔引用 1〕 Deutsch, C.V., Journel, A.G., GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide, Second Edition. Oxford University Press (1998)

〔引用 2〕 Nakajima, K., New Strategy for Coarse Grid Solvers in Parallel Multigrid Methods using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models, ACM Proceedings of PPoPP/PMAM 2012, New Orleans, LA, USA, ACM Digital Library (DOI: 10.1145/2141702.2141713), 2012

〔引用 3〕 Nakajima, K., OpenMP/MPI Hybrid Parallel Multigrid Method on Fujitsu FX10 Supercomputer System, IEEE Proceedings of 2012 International Conference on Cluster Computing Workshops, 199-206, IEEE Digital Library: 10.1109/ClusterW.2012.35, 2012

スーパーコンピューターに基づく大規模数値計算に関する研究

金田　康正

1　概要

2013年度中に行った本研究報告では最大で10頁という制限と研究内容の理解難易度、これまでに在籍していた研究室学生の研究報告用媒体としての位置づけを考慮し、以下にある2種類の項目について研究全体の背景を述べた後、それぞれの研究テーマの説明を行うこととする。

- グレースケール画像の曲線による抽出
- pi.super-computing.org 上での π 並びに関連する情報公開

2　背景

本学における教育における役割として、「工学系研究科電気系工学専攻学生に対する兼担教員としての、同専攻修士・博士学生の研究・教育指導」が主要な役割となっている。ちなみに2013年度は修士2年1名の教育指導を行った。（その他に博士4年1名の学生が在籍しているが、諸般の事情で休学をしていた。）毎回記載している事であるが、情報基盤センターに対する学生定員が情報基盤センターになって初めて措置されたという事。また2008年度からは学生定員が全て工学系研究科に移動となり、合わせて兼担先が、それまでの新領域創成科学研究科から工学系研究科へ移っている事を記録としてここに記しておく。

さて従来から私の研究室の指導方針として、研究テーマは各人の興味に基づき選択させている。また研究効率を考えて、競争的研究資金を獲得せずとも基本的に一人で実施できる（即ち研究費のかからない）研究テーマを選ぶとともに、たとえ時間がかかったとしても誰かが実際に使う（即ち役に立つ）成果物を得る事を心がけている。また大学院の講義において、その点に重心をおいた講義を行うようにしている。本研究報告では研究指導の一環で研究室学生が得た成果を記載することで記録に残しておく、その次に学生が関係しない私が主体的に実施している研究テーマの研究成果を記載するという流れで、2013年度の研究・教育活動報告を以下に記す。

3　研究内容

3.1　グレースケール画像の曲線による抽出

本研究は本研究室修士2年の井上裕貴君が中心に行っていた研究である。電子通信学会パターン認識・メディア理解研究会（PRMU）での発表 [発表1] 原稿を元にこの研究の概要を以下に示す。

3.1.1　はじめに

世の中にはOCRと呼ばれる技術がある。OCRはOptical Character Recognitionの略で日本語では光学文字認識と呼ばれている。これは何らかの方法で取り込んだ画像に対しその中に写っている文字を認識する技術であり、今まで人間が行なっていた読み取りを機械によって自動化することが最大の目的である。デジタル化が始まる前の文章の画像データをデジタル化して整理することや、郵便物の郵便番号を機械的に振り分けることは現在でも広くおこなわれ、実用化されている。

このような文字認識に対し、1998年に発表の手書きの郵便番号（0から9までの数字）の文字を集めたMNIST[1]というデータセットがある。MNISTはニューラルネットワークやSVM（サポートベ

クタマシン）のような機械学習の指標として今日でもよく使われている。その中でも深層ニューラルネットワークは非常に良い成績を残しており [2]、誤り率が 0.23% という高い精度の数字を出している。

これらの手法は文字認識に対して非常に強力な技術である。特に認識精度に関しては比類なき性能を持つ。しかしこれらの技術にとって、“文字” とはあらかじめ与えられる存在であり、既知の画像をそれと視覚的に似ているものに同一と分類しているに過ぎない。

そもそも文字とは筆記具がなぞる軌跡に一定の太さを加えた模様であり、デジタルな文字であってもその模倣にすぎない。つまり文字の状態の本質はその軌跡にあるのであり、その軌跡は有用な情報であると私達は考えている。そこで本研究は文字画像を線として抽出する方法を検討した。

さて文字の軌跡を抽出する研究は既になされており、最も有名なのは細線化処理である [3]。細線化処理は 1bit の画像に対し、画面全体にピクセルを反復的に削除する操作を行うことで、線幅が 1 ピクセルになるようにする方法である。細線化処理自体は直接軌跡を抜き出す技術ではないが、軌跡抽出と同様に文字認識や圧縮に応用ができ、古くから研究がなされてきた。しかし細線化処理では線が交差する点で線が歪んでしまう、細線化した線が文字が中心を通るとは限らない、などの問題が知られている。そのためそれを改善するための案が今までに多数提案されている [4][5]。

画像を細線化することの最大の利点は軌跡の情報が強調されることにある。ところが、細線化自体はあくまで 1bit 画像でしかないため、（もちろん 1bit 画像でも情報として価値はあるが、）軌跡を抽出するときは何らかの手法が必要になる [6]。

細線化処理とそれから軌跡を抽出する手法は優秀であるが、間接的な情報の抽出であるように思える。また細線化処理は基本的に画像を二値化してから行うため画像の情報は減ってしまう。前述の通り細線化処理は古くから研究がなされているが、軌跡を直接抽出する画期的な手法は知られていない。

もちろん細線化を使わない方法であっても様々な手法によって軌跡の抽出方法が提案されている [7][8][9][10]。しかしこれらの多くは文字画像に対しモデルやアルゴリズムを当てはめ、逐次的に軌跡を抽出する方法である。この考え方は合理的であるように思えるが計算コストは高い。

そこで本研究では、統計的な手法である最小二乗法とその応用を用いて軌跡の抽出をおこなう。この方法で画像から複数の曲線を抽出し、それらの曲線で画像の幾何的性質を得ることを目的とした。そのため文字認識としての精度はあまり優先せず、その画像をいかにうまく曲線でなぞることができるかを中心にして考える。なお画像中の線をうまくなぞる手法として Taubin 法が知られているが、本研究では Taubin 法をうまく利用する方法を提案した。

3.1.2 最小二乗法

二次曲線の最小二乗法

最初に最も簡単な例として二次曲線での近似を示す。一般的に二元二次の関数は以下のように記述できる。

$$f(\boldsymbol{x}) = Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F \tag{1}$$

最小二乗法では点列 $\boldsymbol{x}_i = (x_i, y_i),\ i = 1, \ldots, N_p$ に対し、二次関数 $f(x, y)$ を適用し、それらの二乗の総和が最小になるような $\boldsymbol{u} = [\,A\ \ B\ \ C\ \ D\ \ E\ \ F\,]^{\mathrm{T}}$ を決定する。

これを数式にして表現すると以下のようになる。

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} w_i f(\boldsymbol{x}_i)^2 \tag{2}$$

$$\hat{\boldsymbol{u}} = \arg\min_{\boldsymbol{u}} \ J \tag{3}$$

ただしここで w_i はそれぞれの点での重みであり、$w_i \geq 0$、$\sum_{i=1}^{N_p} w_i = 1$ を満たすものとする。

さて式（1）は一般的な二次曲線を確かに表現できているが、係数の次数がずれてしまっている。例えば $x_i = 100$ 程度であるとすると、得られる $\boldsymbol{u}$ において A と D では 100 倍ほどの差が生じている。計算機上で精度を確保するために $\boldsymbol{u}$ の係数の大きさのオーダーが揃える必要があるので、x を x/f_0 と

し、y を y/f_0 とすることによって正規化する。f_0 は x や y と同じ次元の定数である。x/f_0 や y/f_0 が 1 より大きく離れないように f_0 を決定するのがよい。本研究では f_0 は画像の縦と横の大きさのの調和平均とし、これ以降は x や y は f_0 によって正規化したものを用いる。

ここで最小二乗法の式に戻る。式（2）は $\boldsymbol{u}=\boldsymbol{0}$ とすると任意の点列 $\{\boldsymbol{x}_i\}$ に対して $J=0$ となってしまう。このため $\boldsymbol{u}$ を求めるときには最低でも一つは拘束条件を決定することが必要となる。ここでは任意の二次曲線が表現することができる、次のような条件を用いることにする。

$$\|\boldsymbol{u}\|_2^2 = A^2 + B^2 + \cdots + F^2 = 1^{1}$$

関数と係数の表現を決定したところで式（3）を解いて係数 $\boldsymbol{u}$ と誤差の総和 J を導出する。

まず

$$\boldsymbol{\xi}_i = \begin{bmatrix} x_i^2 & x_i y_i & y_i^2 & x_i & y_i & 1 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

とおくことで、$f(\boldsymbol{x}_i) = \boldsymbol{u}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\xi}_i$ となるので式（2）は次のようになる。

$$\begin{aligned} J &= \sum_{i=1}^{n} w_i \left(\boldsymbol{u}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\xi}_i\right)^2 \\ &= \sum_{i=1}^{n} w_i \, \boldsymbol{u}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\xi}_i\boldsymbol{\xi}_i^{\mathrm{T}}\boldsymbol{u} \\ &= \boldsymbol{u}^{\mathrm{T}} M \boldsymbol{u} \end{aligned} \tag{4}$$

ただし M は次のようにおいた。

$$M \equiv \sum_{i=1}^{n} w_i \, \boldsymbol{\xi}_i\boldsymbol{\xi}_i^{\mathrm{T}} \tag{5}$$

また同時に M は対称行列であることが分かる。

式（4）のように表せる J を最小化するための $\boldsymbol{u}$ は、一般固有値問題

$$M\boldsymbol{u} = \lambda N \boldsymbol{u} \tag{6}$$

を満たしている。ただし N は半正値の対称行列で $\boldsymbol{u}^{\mathrm{T}}N\boldsymbol{u}$ は半正値の定数であるとする。

すると誤差の和 J は次のようになる。

$$J = \boldsymbol{u}^{\mathrm{T}}M\boldsymbol{u} = \lambda \boldsymbol{u}^{\mathrm{T}}N\boldsymbol{u} = \lambda$$

したがって J は式（6）の一般固有値問題を解いた時の最小の固有値である [1]。

さて $\boldsymbol{u}^{\mathrm{T}}N\boldsymbol{u} = 1$ の条件は $\|\boldsymbol{u}\|_2^2 = 1$ の言い換えと見ることができる。このとき N が単位行列で $\|\boldsymbol{u}\|_2^2 = 1$ とちょうど同値になり、式（6）は次にようになる。

$$M\boldsymbol{u} = \lambda \boldsymbol{u}$$

したがって求めるべき $\boldsymbol{u}$ は M の絶対最小の固有値をとるときの固有ベクトルである。

n 次曲線の最小二乗法

ここまでは二次曲線を用いていたが、一般的に n 次の曲線の場合でも同様にして解くことができる。基本的なロジックは変わらず、$\boldsymbol{\xi}_i$ が変わるのみである。

$\boldsymbol{\xi}_i$ の k 番目の要素は次のようにする。

$$\xi_k = x_i^a y_i^b$$

ただし整数 a、b は次の条件を満たす。

[1] $\|\boldsymbol{x}\|_2$ は $\boldsymbol{x}$ の ℓ^2 ノルムであり、$\|\boldsymbol{x}\|_2 = \left(\sum_i x_i^2\right)^{1/2}$ である。

[1] λ は常に正になるように $\boldsymbol{u}$ の符号を調整する。

$$a \geq 0,\ b \geq 0,\ a+b \leq n$$

ちなみにこのとき $1 \leq k \leq \frac{1}{2}(n+1)(n+2)$ であるため、$\boldsymbol{\xi}_i$ は $\frac{1}{2}(n+1)(n+2)$ 次のベクトルとなる。

Taubin 法による高精度な近似

最小二乗法に関する手法として非常に精度がよいことで知られる Taubin 法 [11] という手法がある。Taubin 法では式（6）における N を次のようにする。

$$\begin{aligned} N &= \sum_i^{N_p} w_i \|\nabla f(\boldsymbol{x}_i)\|_2^2 \\ &= \sum_i^{N_p} w_i \left\{ \frac{\partial \boldsymbol{\xi}_i}{\partial x} \left(\frac{\partial \boldsymbol{\xi}_i}{\partial x} \right)^{\mathrm{T}} + \frac{\partial \boldsymbol{\xi}_i}{\partial y} \left(\frac{\partial \boldsymbol{\xi}_i}{\partial y} \right)^{\mathrm{T}} \right\} \end{aligned}$$

なぜこのようにするかはある点を真の曲線上の点とその誤差の和であると仮定することにある。そこである点を $\boldsymbol{x}_i = \bar{\boldsymbol{x}}_i + \Delta \boldsymbol{x}_i$ とおく。このとき誤差は平均が 0 で分散が σ の正規分布に従い、x と y は独立であるとすると、$\sum_i \Delta x_i = \sum_i \Delta y_i = 0$、$\sum_i \Delta x_i^2 = \sum_i \Delta y_i^2 = \sigma^2$、$\sum_i \Delta x_i \Delta y_i = 0$ とできる。さらに 3 次以上の誤差は無視するとして、M を計算すると次のようになる。

$$M \approx \bar{M} + \sigma^2 N \tag{7}$$

ここで $\bar{M}$ は $\boldsymbol{x}_i$ を $\bar{\boldsymbol{x}}_i$ に置き換えた式（5）の M である。そして $\bar{\boldsymbol{x}}_i$ は $f(\boldsymbol{x}) = 0$ 上の点なので、次の式が成立する。

$$\bar{M}\boldsymbol{u} = \boldsymbol{0} \tag{8}$$

したがって式（7）と式（8）から次の式が成立する。

$$M\boldsymbol{u} \approx \sigma^2 N \boldsymbol{u}$$

このようにして $\lambda = \sigma^2$ とすれば最小二乗法の式に酷似しており、一般固有値問題に他ならない。さらに λ の最小値をとることで、最も小さい分散 $\hat{\sigma}^2$ を得ることになる。

Taubin 法を文章で説明すると「画像中の点がある曲線から生成されたと仮定し、その点は曲線から一定の正規分布に従った誤差の距離をもつ」ということになる。結果として Taubin 法で近似した曲線はその誤差を許容することになり、画像に沿った曲線に近似できるようになる。この手法は複雑な形状の図形や線が太い画像に対して効果的である。

例として画像を近似を比較したものを図 1 に示す。

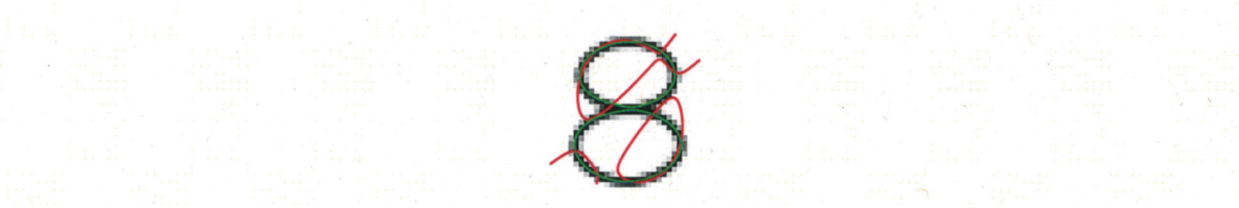


図 1: 最小二乗法と Taubin 法を用いたもので画像を四次曲線で近似した。Taubin 法による曲線の方が画像の線に沿った形状をしている。

3.1.3 画像の分割と低次元の曲線による表現

前節では画像を一つの n 次曲線で抽出する手法を説明した。しかし抽出された曲線から得られるものはその曲線の係数のみであり、曲線の定性的な性質を知るのは困難である。例えば “8” の画像であれば円が二つあるが、四次曲線の係数からその情報を読み取るのは自明ではなく、四次曲線以外ならばなおさらである。そこで画像を低次元の曲線の集合と考えることによって幾何的な性質の抽出をおこなう。本研究では低次元の曲線は楕円と直線が表現できる二次曲線とする。

K-means 法によるクラスタリング

曲線で近似できる画像の分割をするときには二つの方法が考えられる。その一つは画像全体を曲線で近似した上で、その曲線を何らかの方法によって適当に分割する方法、もう一つは画像を分割した上で、分割したした画像を曲線で近似する方法である。本研究では後者の方法を用いて画像の分割と近似をおこなう。

画像を分割するとき非常にシンプルな方法はクラスタリングをおこなう方法である。すなわち画像の点の座標を特徴値をそのまま用いて点の位置情報でクラスタ化する。それで本節ではクラスタリングの手法として有名な K-means 法を用いることにする。

K-means 法は次のような目的関数の最適化により K 個の点列 $S_1, \ldots, S_K$ への分類を行う。

$$\min_{S_1,\ldots,S_K} \sum_{k=1}^{K} \sum_{\boldsymbol{x}\in S_k} w_{\boldsymbol{x}} \|\boldsymbol{x} - \bar{\boldsymbol{x}}_k\|_2^2$$

ただし $w_{\boldsymbol{x}}$ は点 $\boldsymbol{x}$ に対応する重みであり、$\bar{\boldsymbol{x}}_k$ は点列 S_k における重心である。

実際に $K = 2$ で K-means 法によって分類された点列に対し最小二乗法を行い、二次曲線を近似した例を図 2 に示す。

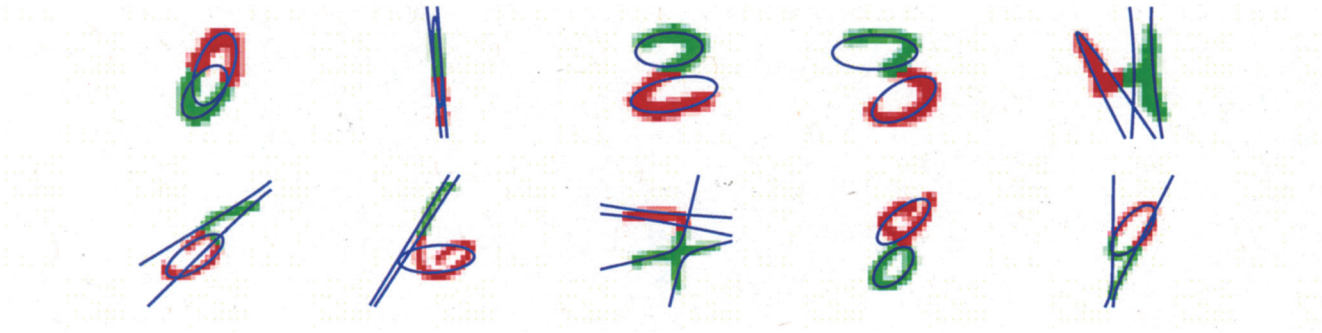


図 2: K-means 法によって手書き文字画像を二次曲線で近似した図。クラスタリングの結果を文字画像の色で示した。

Taubin 法を利用した曲線の抽出

前節の K-means 法では座標値を用いてクラスタリングをおこなったが、文字画像を構成する要素は点の座標でなく点の連なり、すなわち線である。そこで Taubin 法から得られる分散の値を用いて点の連なりを検出することを考える。

画像中の任意の点 $\boldsymbol{x}_1$ がある n 次曲線から生成された点なのかを判断する。一般的に n 次曲線と点の距離は簡単な計算で求めることができない。そのため点との距離を用いてその点が曲線に属しているかを決定するのは困難である。そこである点 $\boldsymbol{x}_1$ が属していなかったときの点列 S_0 と属していたときの点列 $S_1 (= S_0 \cup \{\boldsymbol{x}_1\})$ の両方で Taubin 法による近似をおこない、それらの分散の値を利用して点が属しているかを決定する。

点列 S_0、S_1 から得られる分散をそれぞれ σ_0^2、σ_1^2 とする。このとき点 $\boldsymbol{x}_1$ が曲線に属していることの判断基準として、まず次のようなものがあげられる。

$$\sigma_1 < \sigma_0 \tag{9}$$

しかしこの場合比較的曲線に近い点のみが属してしまい、画像の線の端の部分が含まれにくくなってしまう。そのため後述の手法の結果が安定しにくくなるため、次の判断基準を用いることにする。

$$\frac{N\sigma_1^2}{\chi^2(\alpha/2, N)} < \frac{(N-1)\sigma_0^2}{\chi^2(\alpha/2, N-1)} \tag{10}$$

式（10）の値はそれぞれの分散を χ^2 検定したときの上側信頼限界である。ただし N は集合 S_0 の点列の個数である。信頼区間は 95%両側を用いるものとする。

Taubin 法の近似によるクラスタリング

任意の点がグループに属する点かどうかを決定するために最初の点列 S_0 が必要になる。この点列はある程度の数の点が連なり、曲線の一部になっていることが望ましい。それでそのような点列を探索する方法を考える。

まず Taubin 法で非常に良い近似ができる画像を仮定する。近似できないような画像であれば、そもそも分割した関数の近似もうまくゆかないと考えられるためである。その上で画像全体を Taubin 法で近似した曲線を $f(\boldsymbol{x}) = 0$ とする。

ここで関数 f を $z = f(x, y)$ として 3 次元に拡張して考える。この 3 次元曲面には $\frac{df}{dx} = \frac{df}{dy} = 0$ となる停留点がいくつか存在する。これら停留点を利用して画像の点の連なりを見つける。

その方法は「画像の点がどの停留点に一番近いかを探索し、同じ停留点になった点同士が連なっている点とみなす」ものである。具体的には画像の任意の点の座標 $\boldsymbol{x}_0$ を初期の点として次の式の更新をおこなう。

$$\boldsymbol{x}_{i+1} = \boldsymbol{x}_i - k \begin{bmatrix} \mathrm{sign}\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right)\frac{\partial f}{\partial x} \\ \mathrm{sign}\left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right)\frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

これを繰り返して $\|\boldsymbol{x}_{i+1} - \boldsymbol{x}_i\|_2$ が一定の値以下になるまでおこなう。その最終的な $\boldsymbol{x}_i$ が $\boldsymbol{x}_0$ に対する停留点である。ただし k は更新の倍率でヒューリスティックに決定する。本研究では 1 に設定した。なお、

$$\mathrm{sign}(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x = 0) \\ -1 & (x < 0) \end{cases}$$

である。

その結果画像の点に対応した停留点の点列を得る。これらの停留点を次のような操作でクラスタリングする。

1. 点列の集合を S とする。
2. 点列から一点サンプリングして $\boldsymbol{x}_1$ とする。
3. $S_0 = \{\boldsymbol{x} \mid \|\boldsymbol{x} - \boldsymbol{x}_1\|_2 < \varepsilon\}$ を求める。
4. S から S_0 の要素を取り除く。
5. S が空集合でなければ、(2) に戻る。

(3) の ε について、本研究では先述の点列の更新に用いた $\|\boldsymbol{x}_{i+1} - \boldsymbol{x}_i\|_2$ の閾値の 10 倍とした。

図 3 にクラスタリングを試みた例を示す。画像には円が二つあるものを使用した。仮にこの画像が 4 次で近似できるとわかっているのならば、Taubin 法で円に沿って近似できる。その上でクラスタリングをおこなうと、画像中の左寄りの点は左の極値に、右寄りの点は右の極値に、中央付近の点は中央の鞍点に収束する。最終的に鞍点である中央付近の点は無視し、残り二つの極値に収束したクラスタにより初期状態を推定する。

図 3: Taubin 法による近似を用いたクラスタリングの結果。○点は極値、×点は鞍点である。収束先によって三つのクラスタに分類している。

Taubin 法を利用した画像の分割

3.1.3 節のクラスタの一部を初期の点列 S_0 とし、3.1.3 節の基準を用いて曲線を抽出する方法を提案する。その概要は次のようになる。

1. n 次曲線を用いた Taubin 法によるクラスタリングで、極値に収束したクラスタのうち最も要素数が多いクラスタを集合 S_0 とする。
2. 点列 S_0 を Taubin 法で近似し σ_0^2 を得る。
3. S_0 に含まれない全ての点 $\boldsymbol{x}_i$ に対し、$S_0 \cup \{\boldsymbol{x}_i\}$ を Taubin 法で近似し σ_i^2 を得る。
4. 式（10）を用い、σ_0^2 より分散の上限が小さい σ_i^2 を探索する。
5. それらの点を集合 S_0 に加え（2）に戻る。ただし σ_0^2 より小さい分散がない場合は終了する。
6. これを $n = 2, 3, 4$ に対しておこない、結果の集合 S をそれぞれ S_2, S_3, S_4 とする。
7. その集合に対し、Taubin 法をおこない分散が小さい集合 S_i を一つの曲線とする。
8. これを繰り返しいくつかの曲線を探索し、点列がいずれかの曲線に属するまでおこなう。

この手法を用いてある画像を複数の二次曲線で表現した結果、図 4 の右図のようになった。また式（9）を用いると不安定になってしまうことを示すために実験をおこなった。それぞれの方法で 100 回分析し、二次曲線が 2 本になる回数を測定したところ、式（9）では 37 回、式（10）では 88 回であった。少なくともこの画像においては信頼区間を用いた判断基準が有効であることがわかる。

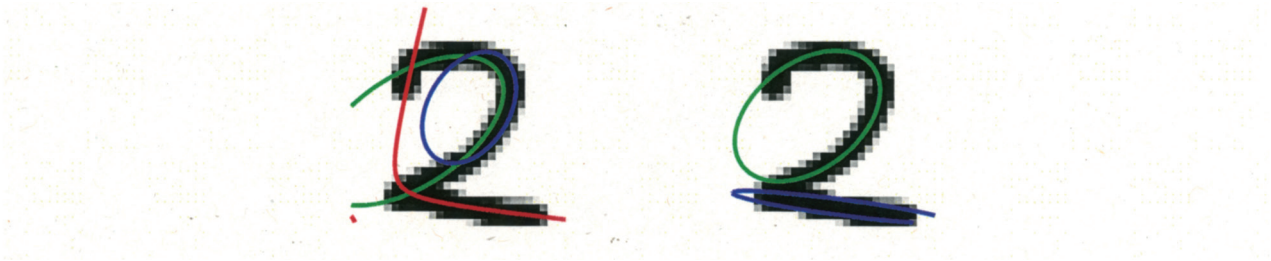


図 4: 左が式（9）を用いたもの、右が式（10）を用いたもの。左は同じ線上に異なる曲線がのることがあり、このようなパターンになってしまう不安定さがある。一方で、信頼区間を利用すると右図のような結果に落ち着き、安定しやすい。

3.1.4 実験

実際に手書き文字のデータセットの MNIST を用い文字認識の実験をおこなう。ここでは、Taubin 法を用いた手法と K-means 法を用いた手法に加えて比較の手法の性能を評価する。

文字認識では何らかの方法で識別する必要があるが、本実験ではカーネルが放射基底関数の SVM を用いる。特徴量として曲線の係数を直接用いることもできるが、ここでは二次曲線の幾何的な性質に関係している次の 4 つの値を用いる。

$$v_1 = 4AC - B^2 \tag{11}$$

$$v_2 = 2A^2 + B^2 + 2C^2 \tag{12}$$

$$\begin{bmatrix} 2A & B \\ B & 2C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \\ E \end{bmatrix} \tag{13}$$

式（11）は楕円らしさ、式（12）は回転不変のスケール、式（13）は二次曲線の中心である。またこれらの特徴値を使うことで、収束が早く、かつ精度がよくなる。

二次曲線一本あたり特徴量は 4 つなので、二次曲線二本で 8 次元の特徴量になる。3.1.3 節の手法では曲線の本数が未知であるため、二次曲線が二本になったもののみを取り扱う。そのため今回は画像の総数は 37935 枚になった。実験結果を表 1 に示す。なお使用した計算機は Intel Core i5-2520M CPU @ 2.50GHz で MATLAB を使用した。また、実験の結果は 5-Fold のクロスバリデーションの平均をとったものである。

表 1: 実験のまとめ。

	Taubin 法	K-means	画像直接
精度	47.3%	52.1%	93.2%
特徴量次元	8 次元	8 次元	784 次元
抽出時間	約 9 時間	106 秒	—
識別時間	435 秒	477 秒	1658 秒

3.1.5 まとめ

本研究は画像から曲線を抽出する研究である。既存研究に Taubin 法と呼ばれる非常に精度の良い手法があるが、これは n 次関数に対して使うものであり、本研究ではいかに画像を分割して曲線を抽出するかを調査した。

今回示す手法により抽出された曲線を用いて MNIST データベースの文字画像の認識をおこなったところ、正答率が 47.3%であった。これは K-means 法を利用した手法よりも低い精度になった。

本研究で文字認識の精度は悪いという結果がでてしまったが、画像の特徴量が少なくなるという点を考慮すれば全く使えないということもないであろう。例えば精度の高い識別をおこなう前に識別の重要度を決定するという用途に使うことができると考えている。

今後の課題

今回特徴量の抽出に時間がかかっているのは 3.1.3 節に示す手法であり、停留点を予測する手法などで反復回数を減らすことの検討が必要である。

またこの手法を手書き文字だけでなく、ロゴのような特殊的な文字に対して応用する方法を考えたい。

3.2 pi.super-computing.org 上での π 並びに関連する情報公開

80 年代に入ってからこれまで 4 半世紀以上に渡り実施してきている円周率計算に関する学問的意義他については、一般向けの啓蒙・報告書 [文献 1] やその報告書中で引用している文献、また一般聴取者向け、また専門家向けの講演で述べており繰り返しとなるので、本報告では省略する。(また関連し、数学定数あるいは数学全般に関する一般教養書（多くは英文）で円周率への言及がある場合は、少なからずこれまでの活動が言及されることがあることをここで指摘しておく。)

さて毎年の年報で報告しているように、1995 年 6 月末から http://www.super-computing.org/ 上で円周率の値、並びに関連する（anonymous ftp による）情報の公開を継続しているが、情報公開開始以降これまでにおおよそ 19 年が経過した事になる。

公開当初に一般公開中のものは 2 億桁までの π と $1/\pi$、並びにそれらに関連する統計値であり、特別な使用同意契約を FAX でやりとりして締結する事で、アクセス可能な期間は最大 1 ヶ月であったが、40 億桁の π 並びに $1/\pi$ がアクセス出来る様になっていた。(さてこの 40 億桁であるが、一般家庭でも購入可能なパソコンに搭載可能な最大主記憶容量が 32GB あるいは 48GB になったこと、また共有メモリーを構成する CPU コア数も 10 に近いものとなったことにより、自宅で計算可能な桁数となった。隔世の感がある。ちなみに 2014 年 4 月時点における、円周率計算桁数は、自宅環境で計算した 10 兆桁が記録されている。ただしこの記録、計算そのものが正しいとの前提においてである。)

当初から計算結果を公開していた www.cc.u-tokyo.ac.jp（sun ws）マシンの不調が度重なった為、2000 年 9 月中旬にサーバーマシンを変更したついでに、40 億桁の π 並びに $1/\pi$ が自由にアクセス出来る様にしていると同時に、要求元情報、総データー転送量等の統計情報を保存している。

この統計情報によると、2012 年度中に転送された総データー量は 2011 年度実績値と比べて約 6 割と大きく減少したが、2013 年度は前年度と比較して大幅に増加し、2010 年度並となった。2007 年度からはアクセス回数、アクセス元アドレス数も同程度の減少となっているが、この減少理由として近

年は、サーバーが不安定だった事、www.super-computing.org の DNS サーバーの不調により、長期間当該 URL へのアクセスが停止していた事等により、何度か（少なからずの期間）サービスを停止してたことによる原因に加え、全体としてアクセスそのものが減少している事によるものであろうと考えている。

計算結果を一般公開しているサーバーは公開以後 20 年近く経過し、老朽化によるサーバー停止が頻発しており、2013 年度中の公開用サーバーと関連する DNS サーバーの更新を最優先で実施することを考えていたが、諸般の事情で機器更新はかなわなかった。

さて 2013 年度中の利用統計は 14,344 サイト（1995 年度は 748 サイト、1996 年度は 2,052 サイト、1997 年度は 5,604 サイト、1998 年度は 9,615 サイト、1999 年度は 16,396 サイト、2000 年度は 15,619 サイト、2001 年度は 15,354 サイト、2002 年度は 25,529 サイト、2003 年度は 35,652 サイト、2004 年度は 60,728 サイト、2005 年度は 64,312 サイト、2006 年度は 73,469 サイト、2007 年度は 81,664 サイト、2008 年度は 70,740 サイト、2009 年度は 71,146 サイト、2010 年度は 48,967 サイト、2011 年度は 29,281 サイト）（DNS に名前が載っているサイトとしては 13,958 サイト（1995 年度は 641 サイト、1996 年度は 1,627 サイト、1997 年度は 4,654 サイト、1998 年度は 8,302 サイト、1999 年度は 14,092 サイト、2000 年度は 13,500 サイト、2001 年度は 13,518 サイト、2002 年度は 21,795 サイト、2003 年度は 29,503 サイト、2004 年度は 46,434 サイト、2005 年度は 54,459 サイト、2006 年度は 62,896 サイト、2007 年度は 71,500 サイト、2008 年度は 60,135 サイト、2009 年度は 60,547 サイト、2010 年度は 41,336 サイト、2011 年度は 24,682 サイト、2012 年度中の利用統計は 16,822 サイト））から総計 39,285 回（1995 年度は 5,012 回、1996 年度は 9,296 回、1997 年度は 16,127 回、1998 年度は 24,495 回、1999 年度は 40,457 回、2000 年度は 41,191 回、2001 年度は 37,188 回、2002 年度は 58,243 回、2003 年度は 67,851 回、2004 年度は 108,379 回、2005 年度は 116,351 回、2006 年度は 129,497 回、2007 年度は 147,086 回、200 8 年度は 134,180 回 、2009 年度は 125,299 回、2010 年度は 116,337 回、2011 年度は 104,648 回、2012 年度は 49,134 回）ファイルがアクセスされ、転送された総データー量は 80,581.7 MB（1996 年度は 6,918MB、1997 年度は 13,880MB、1998 年度は 14,455MB、1999 年度は 22,353MB、2000 年度は 55,392.6MB、2001 年度は 59,866.2MB、2002 年度は 111,082.7MB、2003 年度は 86,500.9MB、2004 年度は 120,464.2 MB、2005 年度は 167,199.9 MB、2006 年度は 126,747.6 MB、2007 年度は 124,604.4 MB、2008 年度は 109,411.6 MB、2009 年度は 122,689.0 MB、2010 年度は 84,028.5 MB、2011 年度は 102,341.4 MB、2012 年度は 58,414.5 MB）と、2012 年度より大幅に増加し 2010 年度並となった。

これらのアクセス元のアドレス（u-tokyo.ac.jp の jp に対応する部分）種別は総計で 103 種類（ar arpa at au ba bd be bg bo br by ca cat ch cl cn co com cr cu cy cz de dk do ec edu ee eg es eu fi fr ge gov gr gt hk hn hr hu id ie il in io is it jo jp ke kg kr kz lt lu ly md mil mk mn mv mx my na net nf ni nl no np nz org pe ph pk pl pr pt py ro rs ru sa se sg sh si sk su th tk tr tt tv tw ua uk us uy ve vn za。なお 1996 年度は 50 種類、1997 年度は 59 種類、1998 年度は 65 種類、1999 年度は 78 種類、2000 年度は 68 種類、2001 年度は 76 種類、2002 年度は 82 種類、2003 年度は 89 種類、2004 年度は 104 種類、2005 年度は 115 種類、2006 年度は 126 種類、2007 年度は 125 種類、2008 年度は 123 種類、2009 年度は 124 種類、2010 年度は 126 種類、2011 年度は 114 種類、2012 年度は 108 種類）と、2004 年度並の水準となった。

4 具体的成果

- 2013 年度は修士 2 年 1 名の学生が研究室に存在し指導を行った。その他に博士 4 年の学生が在籍するが、二年前から病により休学している。
- 2013 年度前期に、工学系研究科で「並列数値処理論」の講義を実施。
- 2013 年 7 月 25 日これまでと同様鶴岡高等専門学校で専攻科学生向けの特別講義を実施。
- 研究室学生の対外発表として電子通信学会パターン認識・メディア理解研究会（PRMU）での発表 [発表 1]。

- これまでと同様大阪大学サイバーメディアセンターの運営委員としての貢献。(都合二回出席)
- 2013 年 11 月 22 日沖縄科学技術大学にて大学院学生に対し、"Computing π Endless challenges for human beings: the story of my pi computation from 1980 onwards ..." と題する講義 (Professional Development Course 1) を実施。
- 2013 年 12 月 17 日、英国ケンブリッジ大学への出張ついでに英国 University of Loughborough にて円周率計算に関する一時間の教員・院生向けの学術セミナー発表を実施。
- 獲得した外部資金として 2012 年度から開始の、科学研究費、基盤研究 (C)、課題番号 24500030、研究課題「科学技術計算に有用な超高速 4 倍長演算に関する研究、研究期間 3 年間。総額 4,100,000 円 (+間接経費 1,230,000 円)。研究開始初年度である 2012 年度は 1,800,000 円 (+間接経費 540,000 円)、二年目の 2013 年度は 1,000,000 円 (+間接経費 300,000 円)。

これらを具体的成果とする。

その他の発表論文

[発表 1] 井上 裕貴, 金田 康正: グレースケール画像の曲線による抽出, パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), 早稲田大学,2014 年 3 月 14 日, 電子情報通信学会,PRMU2013-214,pp. 277-282, 2014.(http:www.ieice.orgkensearchindex.php?search_mode=form&year=21&psort=&pskey=code%3APRMU2013-214&ps1=1&ps2=1&ps3=1&ps4=1&ps5=1&layout=&lang=)

文献関連 (含引用文献)

[文献 1] 金田康正：計算機による円周率計算, 数学文化, pp. 72–83, 日本評論社, Vol. 1, No. 1, 2003.

参考文献

[1] Y. LeCun and C. Cortes, "The mnist database of handwritten digits," 1998.

[2] D. Ciresan, U. Meier, and J. Schmidhuber, "Multi-column deep neural networks for image classification," Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference onIEEE, pp.3642–3649 2012.

[3] L. Lam, S.-W. Lee, and C.Y. Suen, "Thinning methodologies-a comprehensive survey," IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol.14, no.9, pp.869–885, 1992.

[4] X. You and Y.Y. Tang, "Wavelet-based approach to character skeleton," Image Processing, IEEE Transactions on, vol.16, no.5, pp.1220–1231, 2007.

[5] K. Saeed, M. Tabedzki, M. Rybnik, and M. Adamski, "K3m: A universal algorithm for image skeletonization and a review of thinning techniques," International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, vol.20, no.2, pp.317–335, 2010.

[6] J.J. Zou and H. Yan, "Extracting strokes from static line images based on selective searching," Pattern Recognition, vol.32, no.6, pp.935–946, 1999.

[7] C. Lee and B. Wu, "A chinese-character-stroke-extraction algorithm based on contour information," Pattern Recognition, vol.31, no.6, pp.651–663, 1998.

[8] C.-L. Liu, I.-J. Kim, and J.H. Kim, "Model-based stroke extraction and matching for handwritten chinese character recognition," Pattern Recognition, vol.34, no.12, pp.2339–2352, 2001.

[9] Y.-M. Su and J.-F. Wang, "A novel stroke extraction method for chinese characters using gabor filters," Pattern Recognition, vol.36, no.3, pp.635–647, 2003.

[10] V. Pervouchine, G. Leedham, and K. Melikhov, "Three-stage handwriting stroke extraction method with hidden loop recovery," Document Analysis and Recognition, 2005. Proceedings. Eighth International Conference onIEEE, pp.307–311 2005.

[11] G. Taubin, "Estimation of planar curves, surfaces, and nonplanar space curves defined by implicit equations with applications to edge and range image segmentation," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.13, no.11, pp.1115–1138, 1991.

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。2013 年度は特に以下の研究を行った。

1. **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。**特に、GPU 等の自明でない性能モデルを持つものについての各要素に分解して解析したものを統合する手法について研究し、コストのブレークダウンが可能になる性能モデルを構築した。これにより、従来のハードウェアカウンター等を用いたスポットごとの性能解析とボトルネックの発見を効率的にできる方法論を展開することができるようになった。

2. **分散アプリケーションのモデル検証を可能にする Centralization の一般化の研究。**さらに、ネットワークプログラムの検証を可能にするための Centralization を改良する研究を行った。

3. **クラウドを前提としたオンライントラストの研究。**内部統制をクラウドに及ぼすためのクラウドの解析を行った。さらに、PKI 等内部統制のコストの解析を併せて行い、費用対効果について研究を重ねた。さらに、サービス提供側に対し、暗号、スクランブルを効果的に行い、内部統制をサービス側に展開することを試みた。

   加えてトラストを柔軟に運用するために、さまざまな（弱い）エビデンスを集積することで強いトラストを構築するための理論の研究を行った。

4. **認証フェデレーションにおけるプライバシーの研究。**認証フェデレーションの普及のために制度的な問題になる、プライバシー保護についてそれを技術的に担保するための研究開発を行った。具体的に、利用者が IdP に対してプライバシーを主張するための Proxy とその上で

動作するプライバシー保護の可能なプロトコルの研究開発を行った。加えて、サービス提供側の要請であるプライバシーを守りながら、利用者の同一性を保証するためのシステムの研究を行った。

5. **オンライントラストの具体的な構築。**世界的に構築が進むオンラインのトラストフレームワークを日本で運用管理するために、基準の策定、ドキュメンテーション、対外的な交渉に関与した。結果は日本での学術認証フェデレーション「学認」のトラストフレームワーク構築（Open Identity Exchange との共同作業、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 2013 年度は具体的に以下のようにテーマを設定した。

- 情報流の解析結果のセキュリティへの適用
- 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。
- 分散アプリケーションのモデル検証を可能にする Centralization の一般化の研究。

これらの研究は一部科研費「基盤（C)：認証・権限情報を制御可能なワークフロー特定ドメイン言語システムの研究」「基盤 (A):汎用自動チューニングを実現するためのソフトウェア基盤の研究」のもと行われた。

2.3 具体的成果

情報流において、具体的な認証や認可を判断するためのポリシー判断を行うための枠組みを構築した。[発表 6, 発表 11] で成果を発表した。

Java プログラムのプログラム解析、特にネットワークプログラムのモデルチェッキングの可能性を広げるための Centralization の改良を行った。具体的に、異なるバージョンのクライアント、サーバを同時に解析可能にするための名前コンフリクトの解決方法の研究をおこなった。[査読付 6, 査読付 11, 査読付 12, 査読付 13] で成果を発表した。この研究は大学院生である馬雷との共同研究である。

さらに GPU の性能モデルの構築の研究を行った。結果として、計算部分とメモリ転送部分の正確なコスト分解ができるようになり、依然としてメモリ転送が高速化のキーになるという当たり前の事実があらためてうきぼりになった。[査読付 8] で成果を発表した。この研究は大学院生である Mario Chapa 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

科研費「基盤 (C): 認証・権限情報を制御可能なワークフロー特定ドメイン言語システムの研究」および法政大、千葉工大と共同で科研費「基盤 (B): ハイブリッドクラウドにおける動的セキュリティ検知・調停制御技術の研究開発及び構築」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。

さらに、トラストを柔軟に運用するために、さまざまな（弱い）エビデンスを集積することで強いトラストを構築するための理論の研究を行った。

3.3 具体的成果

[査読付 1, 査読付 2, 査読付 7, 査読付 9, 査読付 10, 発表 7, 発表 8, 発表 9] において、内部統制をクラウドに及ぼすための解析を行った。

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

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を行った。今年度は前年の成果物の OSS としての公表準備および成果発表を行った。

4.3 具体的成果

以下のプロトコルの設計および実装を行い、成果発表を行った。

1. Privacy Enhancing Proxy の設計と実装 [査読付 4]
2. 利用者が SAML で提供される仮名性を担保しつつ、サービス提供者がユーザ同一性を確認するための機構の実現 [発表 3, 発表 10]
3. その他 [査読付 3, 査読付 5, 発表 1, 発表 2, 発表 4]

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 の具体的な認定手続きを策定した。

5.3 具体的成果

学認における、LoA1 の具体的な認定手続きの策定手続きに関与した。具体的に、下の Open Identity Exchange によるニュースリリース内での「FICAM LoA1 Assessor Credential」の担当者として働いている。この過程で、日本に適合したリスク評価とリスク管理の研究の必要性が明らかになり、新たな研究テーマとなることが分かった。佐藤は、Open Identity Exchange の Assessor として、学認参加機関の LoA1 評価を行う立場にあり、日本のアカデミアにおけるトラストの構築に積極的に参加している。

なお、日本の大学として初めて、山形大学が 2013 年 8 月に FICAM LoA1 を取得し、構築しているトラストフレームワークが実際に機能するものであることを内外に示した。

さらに、JIPDEC が 2013 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。

以上については以下のように積極的に発言を行っている。

- Hiroyuki Sato as US ICAM LOA 1 LISTED ASSESSORS, in http://openidentityexchange.org/certified-providers (LAD 2014/03/31)
- 佐藤周行他 : ID 運用管理の理想と現実　〜学認アンケートと ID 運用管理事例〜（パネル）, ID&IT Management Conference, 2013.

- 佐藤周行：「日本のアカデミアにおけるトラストの構築　– 認証情報を相手に信用してもらう＋認証情報を利用する相手を信用する –」第 7 回統合認証シンポジウム, 佐賀大学, 2013.
- 佐藤周行, 山地一禎: トラストフレームワーク　利用者の利益を守る／サービス提供者を制御するために, 総務省パーソナルデータの利用・流通に関する研究会 (第 5 回), 2013.
- 佐藤周行: ID パスワードの限界から多要素，IC カード認証の可能性　in アカデミッククラウドを支える学認, Japan Identity and Cloud Summit, 2014.
- 佐藤周行他：自分の属性保証。トラストの攻めと守り、学認アンケートを添えて in Japan Identity and Cloud Summit, 2014.

さらに、宇宙線物理の国際共同プロジェクトである LIGO および KAGRA に対して国際 collaboration を行うためのアイデンティティ管理を提供した。これについては以下に言及がある。

- Jim Basney and Scott Koranda, A Study of Three Aproaches to International Identity Federation for the LIGO Project, Center for Trustworthy Scientific Cyberinfrastructure, 2014.

6　成果要覧

査読付論文リスト

[査読付 1] Shigeaki Tanimoto, Yorihiro Sakurada, Yoshiaki SEKI, Motoi Iwashita, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai, A Study of Data Management in Hybrid Cloud Configuration, Computer Information Science, Vol. 492, 247–257, 2013.

[査読付 2] 谷本茂明, 関良明, 岩下基, 佐藤周行, 金井敦:ビッグデータを活用したサービスに関するリスクアセスメント, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J96-A, No. 4, 189–194, 2013.

[査読付 3] 西村 健, 中村 素典, 山地 一禎, 佐藤 周行, 大谷 誠, 岡部 寿男, 曽根原 登: 参加者ごとに異なるポリシーを反映可能な認証フェデレーション機構の実現, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No. 6, 1400–1412, 2013.

[査読付 4] SATO, Hiroyuki, OKABE, Yasuo, NISHIMURA, Takeshi, YAMAJI, Kazutsuna, NAKAMURA, Motonori: Privacy Enhancing Proxies in Attribute Releases: Two Approaches, COMPSAC W(MidArch 2013), 379–384, 2013.

[査読付 5] Motonori Nakamura, Takeshi Nishimura, Kazutsuna Yamaji, Hiroyuki Sato, Yasuo Okabe: Privacy Preserved Attribute Aggregation to Avoid Correlation of User Activities Across Shibboleth SPs, COMPSAC W(MidArch 2013), 367–372, 2013.

[査読付 6] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Analyzing Distributed Java Applications by Automatic Centralization, COMPSAC W(IEESD & TIP 2013), 691–696, 2013.

[査読付 7] Yuuki KAJIURA, Atsushi KANAI, Hiroyuki SATO, Shigeaki TANIMOTO: A File-distribution Approach to Achieve High Availability and Confidentiality for Data Storage on Multi-cloud, COMPSAC W(SAPSE 2013), 212–217, 2013.

[査読付 8] Mario Chapa and Sato Hiroyuki: Performance Model for the Impact of Hardware Characteristics in Accelerated Processing Units, The 19th International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 343–349, 2013.

[査読付 9] Shoichi Yoneda, Shun Makino, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Information Security Management System with Physical Security - Improvement of Risk Recognition Function with Multi-sensor ?, 7th International Conference on Project Management (PROMAC), 2013.

[査読付 10] Daisuke Obata, Shigeaki Tanimoto, Shinsuke Matsui, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Business Continuity Planning / Disaster Recovery Configuration for Deployment with Cloud Computing, 7th International Conference on Project Management (PROMAC), 2013.

[査読付 11] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Managing Product Variants by Project Centralization, to appear in 2013 6th International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT 2013), 2013.

[査読付 12] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Improving Automatic Centralization by Version Separation, IPSJ Transactions (PRO) 6(4) 65–77, 2013.

[査読付 13] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: A Graph Coloring Based Approach for Project Centralization, Proc. ACM Symp. Applied Computing 2014.

その他の発表論文リスト

[発表 1] 中村素典, 西村健, 山地一禎, 佐藤周行, 岡部寿男: 学割サービス実現のための SAML-OpenID ゲートウェイの試作, IPSJ IOT 研究会, 2013-IOT-21(28), 1–7. 弘前, 2013 年 5 月

[発表 2] Motonori NAKAMURA, Takeshi NISHIMURA, Kazu YAMAJI, Hiroyuki SATO, Yasuo OKABE, Takao YAMASAKI, Tsuyoshi MINAMI, Nat SAIKIMURA: PEOFIAMP: Privacy Enhancements for Open Federated identity/Access Management Platforms, Terena Networking Conference 2013 (Poster), 2013 June 2, Maastricht.

[発表 3] 岡部 寿男, 佐藤 周行, 西村 健, 山地 一禎, 中村 素典: 属性提供サーバに対してサービス提供サーバを秘匿する匿名化プロキシ, マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, 8F-2, 帯広, 2013 年 7 月.

[発表 4] 中村 素典, 西村 健, 山地 一禎, 佐藤 周行, 岡部 寿男, 山崎 崇生, 崎村 夏彦: 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, マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, 8F-4, 帯広, 2013 年 7 月.

[発表 5] 島岡正基, 佐藤周行: 学認における属性交換フレームワーク, コンピュータセキュリティシンポジウム 2013, 486–493, 高松, 2013 年 10 月

[発表 6] Sato, H., Tanimoto, S., Kanai, A.: Dynamic and Fine Grained Control of Policies by XMLed Policy management, 3C2-1, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS), 鹿児島, 2014 年 1 月

[発表 7] 本間博礼, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行:人物フォーメーションを考慮した危険度定量化手法, 1A2-4, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS), 鹿児島, 2014 年 1 月

[発表 8] 菊池尚也, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行:秘密分散を用いた複数クラウドのデータ管理方式, 3C1-5, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS), 鹿児島, 2014 年 1 月

[発表 9] 五十嵐綾, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行: 秘密分散を用いたセキュリティ強度可変プロトコルの提案, 3F1-1, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS) , 鹿児島, 2014 年 1 月

[発表 10] 岡部寿男, 佐藤周行, 山地一禎, 中村素典: 属性情報と認可条件を相互に秘匿する認証連携プロキシ, 電子情報通信学会 第 88 回インターネットアーキテクチャ研究会 67–72, 石川県, 2014 年 2 月

[発表 11] 横谷 百合, 金井 敦, 谷本 茂明, 佐藤周行: ダイナミックなクラウド選択のための SLA の XML 化に関する提案, 情報処理学会　第 158 回 DPS 研究会, 東京, 2014 年 3 月

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、方式、言語、およびライブラリに関する総合的研究。
- 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）。
  - 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）。
  - 超並列計算機に向く固有値ソルバのアルゴリズムおよび実装技術開発**[発表 7]**。
- 次世代スーパーコンピュータの設計に関するフィージビリティ・スタディ（FS）
  - 文部科学省「将来の HPCI システムのあり方の調査研究」に基づき採択された課題「レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究」（平成 24 年度～平成 25 年度）を、東京大学と株式会社富士通を中心としたチームで実施。
  - 2018 年頃設置可能並列システムを汎用型プロセッサからのアプローチで FS を行う。
  - 株式会社日立製作所と共同で、アプリケーション性能予測に関する研究を担当する。対象アプリケーションの最適化と異機種性能評価**[発表 1, 8]**を行った。
- 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
- 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ライブラリの開発（Xabclibプロジェクト）[査読付1, 2]:** 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。本研究は、日立製作所中央研究所との共同研究である。
2. **超省電力数値計算ライブラリの研究**：低電力を実現するシステム上において、数値計算ライブラリレベルで行う省電力化方式の基礎研究である。なお本研究は、JST-CREST、「ULP-HPC：次世代テクノロジのモデル化・最適化による超低消費電力ハイパフォーマンスコンピューティング」(研究代表者: 東京工業大学 松岡聡 教授)の支援により、愛媛大学黒田久泰准教授、東京大学須田礼仁教授との共同研究を発展させたものである**[査読付3]**。
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）[招待1][査読付4][発表2,4,9]**：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。
4. **学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（2010年4月に発足、以降「拠点」とよぶ）の共同研究：**実用アプリケーションにおける並列化、演算高性能化、数値アルゴリズム改良、AT機能の適用の研究である。本研究は、７大学スパコンセンターおよび東工大による拠点の共同研究で行われている。片桐は東大・基盤センター側の研究者として参加し、今まで関連する共同研究は8件に上る。単に事務的・技術提供的な補助ではなく、基盤センターと核融合研究所と共同研究を行った。本研究成果を筆頭著者として発表も行っている。本年度共同研究を行った課題**[発表5]**は、平成25年度の拠点の新規課題に採択されており拠点での共同研究が活発化される。

ATに関連する研究では、情報学の分野で権威のあるセミナーとして知られている、Dagstuhlセミナーへの招待された[**招待1**]。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[**特記4**]、および日本・台湾の共同国際ワークショップの企画[**特記5**]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。さらに本年度は、ATのための言語ppOpen-ATを用いて、電力最適化を行う研究で、Best paper awardを受賞した[**受賞1**]。

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。

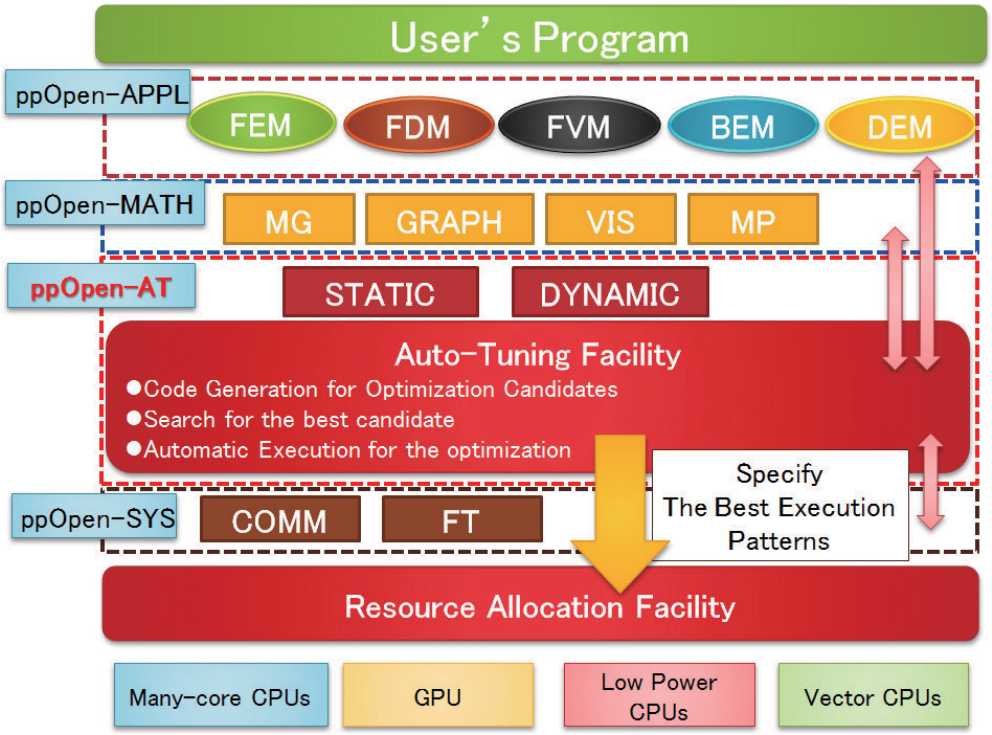


図 1　*ppOpen-HPC* と *ppOpen-AT* の提供機能

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とループ分割、および、式並べ機能のAT方式を開発した。境界要素法 ppOpen-APPL/BEM に向くループアンローリングのAT方式を評価した。現在普及しているマルチコアCPUで、これらAT機能の効果の検証を行った。

（2）本年度の成果：実用的な状況でのATの性能評価、および、いままでの性能評価により明らかとなったAT機能について高度化を行った。また、今後普及すると予想されるメニーコアCPUで、これまでに開発してきたAT機能の有効性を検証した。

ppOpen-APPL / FDM ver.0.2、および ppOpen-AT ver.0.2 を用い、ppOpen-APPL / FDM の主要演算カーネル ppOhFDM_update_stress など、主要 3 カーネルを評価した。メニーコアCPUである Intel Xeon Phi コプロセッサ（CPU: Xeon Phi 5110P (B1 stepping) 1.053 GHz, 60 core）1 ノード用いた。実行形態は native 実行である。ハイブリッド MPI-OpenMP の実行形態で性能評価を行う。表記として、PXTY という表記をする。ここで、X は MPI プロセス数、Y は 1 プロセスから派生する OpenMP スレッド数である。ハイブリッド MPI-OpenMP のAT効果を図 2 に示す。

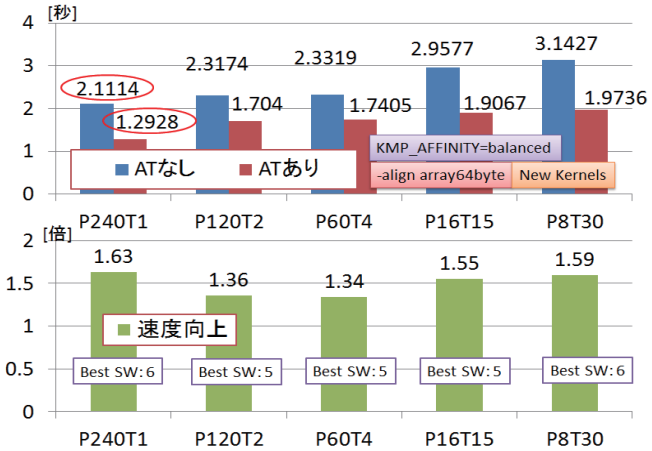


図 2　ppOpen-APPL/FDM におけるＡＴ効果
（ppOhFDM_update_stress カーネル、
Xeon Phi，1 ノード，HT4 実行）

図 2 より、ppOhFDM_update_stress カーネルの AT 効果は、ハイブリッド MPI-OpenMP 実行形態に依存するが、1.34x～1.63x におよぶ。メニーコアCPUにおいても、ATの有効性が示された。

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（2013 年度）

- 工学部共通科目(夏学期・冬学期)において、登録人数合計 52 名、単位取得者数 24 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(2013 年度、前期、後期)[特記 1]
  - 本学、神戸大、早稲田大、から合計7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(2013 年度は 4 回実施(片桐担当分)[特記 3])
  - 講習会全体では、他大学、研究機関、企業を含む、合計 74 名の参加登録があった。
- 先進スーパーコンピューティング環境研究会(ASE 研究会)(2013 年度は 4 回実施[特記 2])
  - 招待講演として、以下の講師を招へいした。
    - 国立台湾大学から王偉仲 教授
    - フランス Maison de la Simulation/CNRS および University Lille 1 から Serge G. Petiton 教授
    - 米国ローレンスバークレー国立研究所から Francois-Henry Rouet 博士
    - フランスボルドー大学から Samuel Thibault 博士
    - 米国ローレンスバークレー国立研究所から Osni Marques 博士
    - 米国サンディエゴ・スーパーコンピュータセンターから Yifeng Cui 博士
  - 参加者合計は 37 名だった。高性能計算分野において活発な最新情報の交換、および、研究者間の交流に貢献した。

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

受賞関連

[受賞 1] Takahiro Katagiri, Cheng Luo, Reiji Suda, Shoichi Hirasawa, Satoshi Ohshima, Best Paper Award in IEEE MCSoC-13, 2013 年 9 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] Takahiro Katagiri: ppOpen-AT : Yet Another Directive-base AT Language, Dagstuhl Seminar 13401, Automatic Application Tuning for HPC Architectures, Schloss Dagstuhl, Leibniz-Zentrum fur Informatik, Dagstuhl, Germany, September, 2013.

[招待 2] 片桐孝洋, 黒田久泰:連立一次方程式の反復解法ソルバーにおける並列処理と収束精度の問題について, 第2回 CMSI 人材育成シンポジウム「大規模計算に伴う数値誤差及び可視化」, 2013 年 12 月.

[招待 3] 片桐孝洋:東大 FS におけるアプリケーション最適化と異機種計算機環境での性能評価, 「京」における高速化ワークショップ, 2013 年 12 月.

査読付論文リスト

[査読付 1] Reiji Suda, Luo Cheng, Takahiro Katagiri: A Mathematical Method for Online Autotuning of Power and Energy Consumption with Corrected Temperature Effects, Eighth international Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2013) (In conjunction workshop with International Conference on Computational Science, ICCS2013), Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS 2013, Vol.18, pp.1302-1311, June 2013.

[査読付 2] Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Hisayasu Kuroda, Ken Naono, Mituyoshi Igai, Satoshi Ohshima: A Sparse Matrix Library with Automatic Selection of Iterative Solvers and Preconditioners, Eighth international Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2013) (In conjunction workshop with International Conference on Computational Science, ICCS2013), Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS2013, Vol.18, pp.1332-1341, June 2013.

[査読付 3] Takahiro Katagiri, Cheng Luo, Reiji Suda, Shoichi Hirasawa, Satoshi Ohshima: Energy Optimization for Scientific Programs Using Auto-tuning Language ppOpen-AT, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjunction with the IEEE MCSoC-13), pp.123-128, September 2013. (Best Paper Award in IEEE MCSoC-13)

[査読付 4] Takahiro Katagiri, Satoshi Ito, Satoshi Ohshima: Early Experiences for Adaptation of Auto-tuning by ppOpen-AT to an Explicit Method, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjunction with the IEEE MCSoC-13), Proceedings of MCSoC2013, pp.153-158, September 2013.

その他の発表論文リスト

[発表 1] 片桐孝洋, 大島聡史, 中島 研吾, 米村崇, 熊洞宏樹, 樋口清隆, 橋本昌人, 高山恒一, 藤堂眞治, 岩田潤一, 内田和之, 佐藤正樹, 羽角博康, 黒木聖夫:レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究のためのアプリケーション最適化と異機種計算機環境での性能評価, 情報処理学会研究報告 2012-HPC-139, 2013 年 5 月.

[発表 2] 片桐孝洋, 大島聡史, 伊東聰:陽解法カーネルのための自動チューニング記述言語 ppOpen-AT の新機能について, 第 18 回計算工学講演会、OS27: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.18, 2013 年 6 月.

[発表 3] 片桐孝洋, 尾崎克久, 荻田武史, 大石進一, 高精度行列-行列積アルゴリズムの疎行列演算化による高速化 1, 日本応用数理学会行列・固有値問題の解法とその応用部会、2013 年並列／分散／協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ (SWoPP 北九州 2013) 、2013 年 7 月.

[発表 4] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴:ppOpen-AT により自動生成された ppOpen-HPC コードにおける自動チューニング機能の性能評価, 日本応用数理学会 2013 年度年会、正会員主催 OS: 自動チューニング技術とその周辺, 年会予稿集, 2013 年 9 月.

[発表 5] 加藤淳也, 河村祥太, 竹田宏, 片桐孝洋, 堀端康善:マルチカラー接触判定格子を用いた粒子接触判定計算の OpenMP による並列化, 情報処理学会研究報告 2013-HPC-142, 2013 年 12 月.

[発表 6] 片桐孝洋:実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化, 第 5 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, 2013 年 12 月.

[発表 7] Takahiro Katagiri, Junichi Iwata, and Kazuyuki Uchida: Extreme-Scale Parallel Symmetric Eigensolver for Very Small-Size Matrices Using A Communication-Avoiding for Pivot Vectors, MS34: Auto-tuning Technologies for Extreme-Scale Solvers - Part I of III, February 2014.

[発表 8] 片桐孝洋, 大島聡史, 中島研吾, 米村崇, 熊洞宏樹, 樋口清隆, 橋本昌人, 高山恒一, 藤堂眞治, 岩田潤一, 内田和之, 佐藤正樹, 羽角博康, 黒木聖夫, 安達斉, 江口義之:レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究のアプリケーションの異機種環境での評価 ～メニーコア環境を中心に～, 情報処理学会研究報告 2014-HPC-147, 2014 年 3 月.

[発表 9] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Facilities into Supercomputers in Operation- The FIBER approach and Minimizing Software-stack Requirements -, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, March 2014.

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 2013 年度(前期)4件(新規 2 件, 継続 2 件), 2013 年度(後期)3件(新規2件, 継続1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 14 回 ASE 研究会(2013 年 9 月 25 日(水))、第 15 回 ASE 研究会(2013 年 10 月 23 日(水))、第 16 回 ASE 研究会(2013 年 12 月 4 日(水))、第 17 回 ASE 研究会(2014 年 3 月 6 日(木))の 4 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):2013 年 8 月 5 日～6 日、2013 年 9 月 3 日～4 日、2014 年 3 月 11 日～12 日、2014 年 3 月 24 日～25 日 の 4 回実施.

[特記 4] ミニシンポジウム・オーガナイザー, MS34: Auto-tuning Technologies for Extreme-Scale Solvers - Part I of III, Organizers: Takahiro Katagiri (The University of Tokyo, Japan), Osni A. Marques (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), Toshiyuki Imamura (RIKEN, Japan), and Leroy A. Drummond (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), SIAM Conference on Parallel Processing (PP14), Marriott Portland, Downtown Waterfront, Portland, Oregon, USA, February 18-21, 2014.

[特記 5] 国際ワークショップ・オーガナイザー, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, March 14-15, 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.

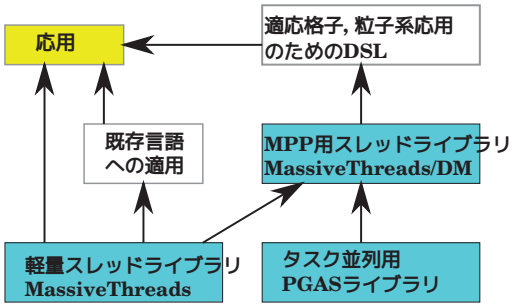


図 1: 高生産・高性能言語ロードマップ

一方, **タスク並列性**をサポートするプログラミングモデルではそのようなアルゴリズムは再帰的な関数で記述された分割統治法により簡潔に記述できる. ワークスティーリングに基づいたスケジューラがそれらを, 計算の粒度を大きく保ったまま自動的に負荷分散する. 我々はそれを大域アドレス空間 (PGAS) と組み合わせて, 分散メモリ計算機でも共有メモリ環境と同様の記述で実行できることを目指している.

以下では本年度までの成果の一部として以下について述べる.

- タスク並列プログラム用のプロファイラ DAG Recorder と，それによる BOTS を用いたタスク並列処理系の比較 (2 節)
- 分散メモリ用タスク並列処理系 MassiveThreads/DM と，Oakleaf FX10 上での大規模実験 (3 節)

2 タスク並列プログラム用のプロファイラ

2.1 背景

タスク並列プログラミングモデルでは，プログラマは並列性の抽出をタスク生成という形で行い，処理系はそれをプロセッサにマッピング（負荷分散）する．これはプログラマの負担を小さくし，負荷が簡単に等分できな不規則な問題に対しても，容易に台数効果が得られるという利点がある.

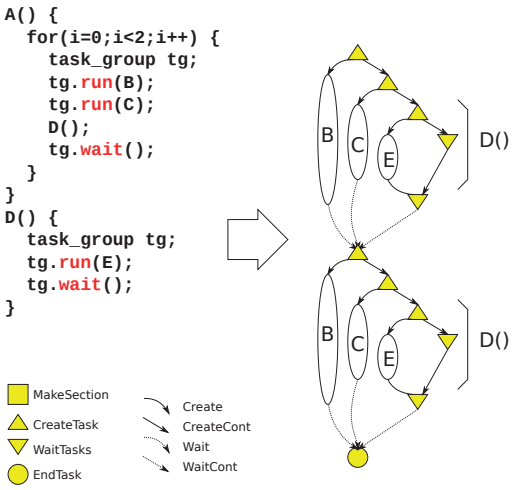


図 2: タスク並列プログラムとその DAG

一方で処理系が負荷分散を決めるため，性能が実行時処理系に依存する割合が大きくなる上，それがプログラマからは理解しづらいという課題もある．例えば以下のような要因で，同じアプリケーションの性能が，処理系やスケジューリングアルゴリズムに依存する．

- タスク生成，タスクの移動，同期などの操作にかかるコストが処理系の品質に依存する．
- タスクの移動に伴ってキャッシュミスの増加し，その度合いも負荷分散アルゴリズムに依存する．

タスク並列プログラムにおいては，プログラマが記述しているのは論理的なタスクであり，それがどうコア上にマップされたかはスケジューラに依存すす．そのためタスク並列プログラムの性能をプログラマに正確に提示するには，逐次プログラムで一般的なホットスポットの提示や，マルチスレッドプログラムで一般的な各コアの状態（アイドル・ビジーなど）の表示だけでは不十分である．論理的な並列度がアプリケーションにどれだけ内在しているか，スケジューラがその論理的な並列度を十分素早くスケジューリングしたか，各論理タスクがどのコア上で実行され，それによって各論理タスクの実行時間がキャッシュミス増加等，影響を受けたかなど「タスク視点」でのプロファイリングが必要である．

2.2 内容

そこで我々はプログラマに見える論理タスクの視点でプロファイリングを行うプロファイラ DAG Recorder を開発した．DAG Recorder の概念は非常に単純で，タスク並列プログラムの実行を詳細に記録した有向グラフをプロファイリング結果として記録する．例えば図 2 のプログラムを実行すると，同図右のような有向グラフが得られる．グラフの各ノードは，タスク並列関係のプリミティブを含まない，アプリケーションコード（仕事）のみの実行を表しており，タスク生成によってそれが分岐し，同期によって合流する．

各ノードには，開始時刻，終了時刻，そのノードを実行したワーカ番号などが記録され，結果として，実行中各時点での実際の並列度（実行中のタスク数），論理的な並列度（実行可能なタスク数）などのプロファイルを DAG から容易に導くことができる．また，スケジューリングが動的（非決定的）であっても，多くのプログラムで DAG 自身は決定的なので，異なるスケジューラや設定（プロセッサ数）の実行を比べることで，各ノードの実行時間の伸びを得ることもできる．各ノードを実行したワーカも記録されているので，それがタスクの移動やスケジューリング順序と関係があるのか，などの解析も行うことができる．

たとえば図 3 は，Barcelona OpenMP Task Suite 中の，FFT を Intel TBB を用いて，48 ワーカで実行した際の，実際の並列度（赤）と，論理的な並列度（青，緑）の時系列である．これを見ると，論理的な並列度が多くあるにも関わらず，実際の並列度が 48 未満という時間が多く存在することがわかる．これは，TBB においては，ひとつのタスクは一旦実行が始まると他のワーカに移動できないことが原因で生ずるもので，これを見ると少

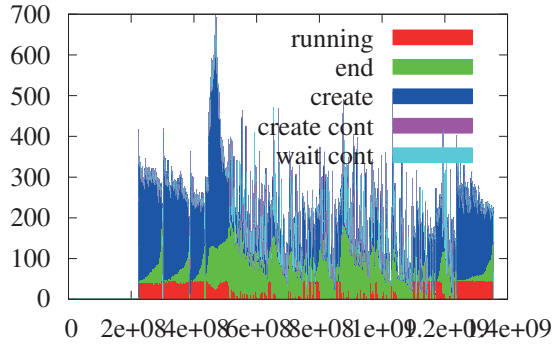


図 3: An example parallelism profile

なくともプログラマは，アプリケーション自身の並列度の少なさ以外の性能ロスがあることを理解することができる．

一般にはこのようなグラフから，台数効果を阻害する要因をいくつかに分類して提示することができる．

並列度の無さ (lack of parallelism): アプリケーションの並列度のなさに起因する部分

スケジューラによる遅延 (scheduler laziness): 実行時処理系のオーバーヘッドやスケジューリングによる，並列度抽出の遅れに起因する部分

仕事量の増加 (work time inflation): キャッシュミスの増加などによる仕事量の増加に起因する部分

また，文字通り全てのノードに対して各種の属性を記録すると，DAG を記録するためのメモリが大量に必要になり，ごく短時間の実行しかプロファイルできない．そこで，あまり重要でないと思われる範囲で DAG の一部を，実行時に縮約する手法を開発した（次の節で詳述する）．

2.3 具体的成果

DAG Recorder を，各種のタスク並列処理系に適用できるよう，移植性の高い方式で実装し，以下のシステムに適用した．

- OpenMP (task, taskwait)
- Intel Threading Building Block (task_group クラス)
- Cilk (spawn/sync)
- MassiveThreads (task_group クラス)
- Qthreads (task_group クラス)
- Nanos++ (task_group クラス)

MassiveThreads, Qthreads, Nanos++は C 言語用のスレッドライブラリであり，我々はその上に Intel Threading Building Block が提供する task_group と同じインタフェースを持つクラスと実装し，DAG Recorder は，そのクラスのメソッドにプロファイリング用 API を挿入することで行っている．

基本的にはタスク並列プリミティブ（タスクの生成や同期）に遭遇するごとに，DAG の新しいノードを割り当て，それを追加する．しかし前述したとおり，全てのプリミティブごとに新しいノードを割り当てると，タスク生成，同期の回数に直接比例したノード数が必要になってしまう．そこで，ある一つのタスク（その子孫タスクを含む）や,「一連のタスク生成＋同期（生成されたタスクの子孫を含む）」が，同一のワーカで実行さ

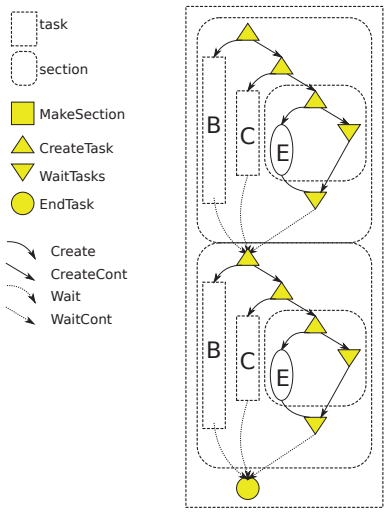


図 4: DAG と，縮約可能な部分グラフ

表 1: 用いたベンチマークプログラム

app	cutoff	other args	tasks	waits	粒度 (cycles)	
Alignment	-	-f prot.100.aa	alignment	4950	1	4856630
FFT	-	-n $((16 * 1024 * 1024))	856336	332049	18593	
Fib	manual	-n 47	1023	1023	10585669	
Floorplan	manual	-f input.20	18245	622	1751613	
Health	manual	-f medium.input	486180	17515985	7943	
Nqueens	manual	-n 13	182	146	38810546	
Sort	-	-n $((128 * 1024 * 1024)) -a 512 -y 512	2883508	1092229	9601	
Sparse LU	-	-n 50 -m 50	11675	100	856284	
Strassen	manual	-n 2048 -x 5 -y 64	2800	400	2356300	
UTS	-	-f tiny.input	14251755	14251756	1044	

れ，かつ実行時間が事前に指定された閾値よりも少ない場合に，それらを表す部分グラフをひとつのノードに縮約する（図 4）．

このようにして，必要なメモリ消費量を大幅に削減することができる．

Barcelona OpenMP Task Suite (BOTS) のすべてのベンチマークを用いて評価を行った．表 1 に各ベンチマークプログラムの諸元を示す．粒度は，タスク並列プリミティブが呼ばれる平均間隔をサイクル数で示している．

図 5 はそれぞれのアプリケーションを DAG Recorder によるプロファイリングを，なし，ありで実行した時間を比較したものである．すべてのアプリケーションで，実用的なオーバーヘッドでプロファイリングを行えている．10 個中 8 個のアプリケーションではオーバーヘッドは 20%以下である．当然のことながらオーバーヘッドはタスク並列プリミティブが呼ばれる頻度（粒度）に関係し，最もオーバーヘッドの大きいかった UTS の粒度は 1000 サイクル程度であった．

表 2 は，グラフの縮約の効果を示している．すべてのノードをそのまま縮約せずに保存した場合のノード数が，all nodes に示されており，最終的に縮約されずに保存されたノード数が actual nodes に示されている．その比はアプリケーションごとに異なり，縮約の効果が低いものでは 0.485 程度，高いものでは約 3 桁の削減になっているものもある．縮約の効果が低いものはそもそも作られたノード数が少なく，逆に言えばひとつのワーカで実行されるタスクの数が少ないのはアプリケーションの性質というべきものである．評価らは，実際に残ったノード数が，作られたノード数には強く依存せず，発生したスチール回数に応じて増えていることが読み取れ，総じて期待通りの動作をしていることがわかる．

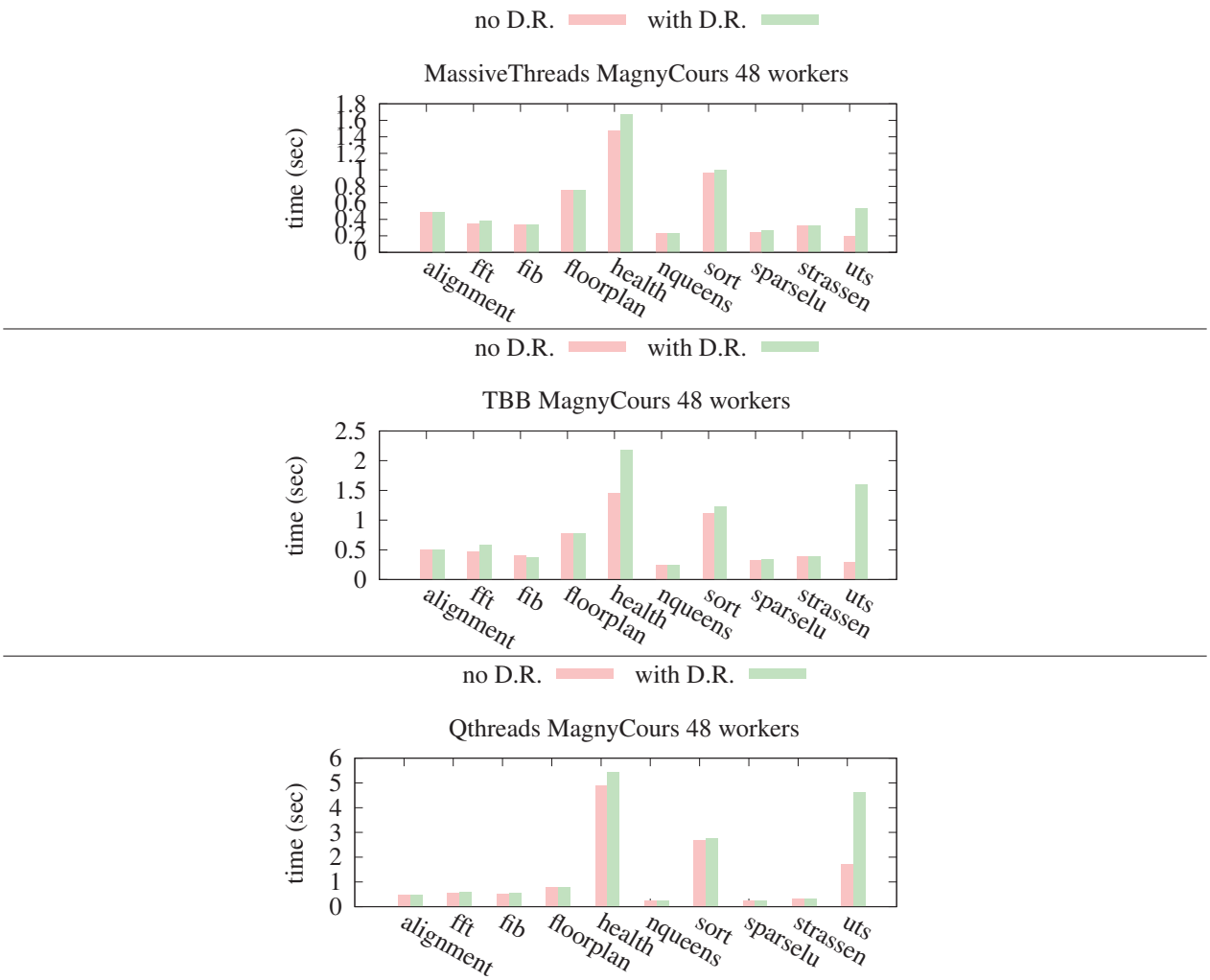


図 5: DAG Recorder のプロファイリングによるオーバーヘッド

表 2: グラフの縮約の効果．実際にメモリ上に残されたノード数と，実行中に作られたすべてのノード数，及びその比

app	actual nodes	all nodes	actual/all	steal
nqueens	407	840	4.85e-01	167
fib	1564	5117	3.06e-01	176
strassen	2517	9202	2.74e-01	932
alignment	9904	14854	6.67e-01	4834
sort	11248	10834984	1.04e-03	1529
floorplan	12231	55981	2.18e-01	4190
sparselu	23550	35227	6.69e-01	11381
fft	34234	3233108	1.06e-02	6080
health	1012512	36490512	2.77e-02	460948
uts	2175251	71258779	3.05e-02	566303

3 分散メモリ用タスク並列処理系

3.1 背景

現在主流の並列プログラミングモデルである MPI は、並列計算機のハードウェアを単純に抽象化したものであり、プログラマは各プロセッサで行う処理と、プロセッサ間の協調動作（通信や同期など）プロセッサ中心の視点で記述する．このようなプログラミングモデルにおいては、データと計算のプロセッサへの割り当てを手動で最適化して，並列計算機の性能を最大限まで引き出すことができる一方で、それらに伴って発生する協調処理をすべてプログラマが記述しなくてはならず，プログラムの生産性が低いという問題点が存在する．特に，非均質な計算で負荷を容易に均等化できないような計算でこの傾向が顕著である（高速多重極展開法，適応格子法など）．また，ノード内の並列度の増加に伴って，1 コアに 1 ランクを割り当てるようないわゆるフラット MPI モデルは，大規模化が困難となっていく．そのためノード内は 1 プロセスでメモリを共有した OpenMP で記述しなくてはならず，ノード間とノード内の並列化を別々のモデルで記述しなくてはならないなど，並列プログラミングに要求されるエフォートがますます大きくなっている．

3.2 内容

そこで我々の研究グループにおいては、分散並列計算機用のタスク並列プログラミングの研究を進めている．タスク並列プログラミングは機能面で言えば動的に作られたタスクの動的負荷分散をサポートするプログラミングモデルである．プログラマは，実行中任意の時点でタスクを生成することができる．並列化は多くの場合，計算全体を再帰的に分割しながらタスクを生成するような形で記述される．処理系による負荷分散は，そのようにして生成されるタスクの入れ子を，なるべく木の根本に近いところで負荷分散することにより，タスク移動のオーバーヘッドや，逐次と比べた際の余分な通信が発生しないことを目指して行われる（ワークスチーリング）．

我々は具体的な処理系として，MassiveThreads/DM を開発している．これは，共有メモリ環境でのタスク並列処理系 MassiveThreads [6] を元に，分散メモリ計算機用に拡張されたもので，

- C 言語からライブラリとして利用可能（C で記述したタスクが，ノード間を移動可能），
- 類似の処理系に見られる，Bag of Tasks に限定されたプログラミングモデルではなく，OpenMP の task プラグマ，Intel TBB の task_group, Cilk の spawn/sync などが実現可能な，fork-join モデルに基づく，

という特徴を持っている．

また，タスク並列処理系では計算が処理系によってノード間を動くことから，分散透明なデータ（大域的なアドレス空間）なしにプログラムを記述することは困難である．そのためのアプローチとして大きく 2 つの方向性が考えられる．ひとつは UPC のように，大域的なデータとローカルなデータを区別し，予測可能なデータ配置を行い，処理系はキャッシュや一貫性の管理などを行わない，いわゆる PGAS に基づくアプローチである．もうひとつは，分散共有メモリのように，キャッシュやその一貫性の管理を処理系が行い，プログラマに共有メモリに近いモデルを提供するものである．タスク並列処理は計算のノードへの配置をプログラマではなく処理系が行うので，大域的なデータとローカルなデータを区別する PGAS 処理系との整合性は悪い．「ローカルなデータ」も，タスクが移動しうるポイントをまたげばローカルであるという保証はない．また，既存の PGAS は SPMD を前提とした，静的なデータの分散のみをサポートしており，計算の動的な移動に合わせてデータを追随させることができない．一方の分散共有メモリは，プログラマから見た透明性も高く，キャッシュによって，タスクの移動にデータが追随するという利点もある．しかし一方で，分散共有メモリをソフトウェアによって実現するとデータアクセスのオーバーヘッドが大きくなりすぎ，ページテーブルなどの機構を用いると通信の単位がページ単位に限定され，フォールスシェアリングによる性能低下や，ページを超えたバルク転送などの最適化が行えないなど，性能上の欠点が大きい．そこで我々は，両者の利点を併せ持つような，動的なデータの移動をサポートする PGAS を，MassiveThraeds/DM とともに開発している．

3.3 具体的成果

本年度末に，Oakleaf FX10 の大規模利用の機会を利用して，ノードをまたがった動的負荷分散のスケーラビリティを大規模な環境で実証した．

実験の目的は，MassiveThreads/DM で採用している「iso-address 法に基づく軽量スレッドのプロセス間マイグレーションを用いた負荷分散方式」について，4800 ノード 76800 コアという大規模な並列環境で正常に動作することを確認し，性能評価を通して高並列環境での課題を明らかにすることである．動作確認と性能評価にあたっては，次の 3 つのベンチマークプログラムを用いて，そのタスク生成性能 (1 秒間あたりのタスク生成数) を計測した．

- 二分木状再帰タスク生成: 指定した再帰レベルまで，各タスクが二つの子タスクを再帰的に生成するベンチマークである．比較的負荷分散が容易なベンチマークであり，処理系の基礎的な負荷分散性能を評価するために用いる．
- Unbalanced Tree Search: 乱数を用いて不規則な状態空間を再帰的に探索するベンチマークである．このベンチマークは，負荷分散性能の評価を目的として作られたもので，近年，タスク並列処理系の評価に広く用いられている．
- N クイーン問題: N クイーン問題を解くベンチマークプログラムであり，BOTS ベンチマークスイートから MassiveThreads/DM 上に移植した．このベンチマークもタスク並列処理系の評価に広く用いられているものである．

また，MassiveThreads/DM を実装するにあたっては，次のソフトウェアを用いている．

- gcc 4.6.1 (オプション: -O3)
- GASNet 1.20.0 (オプション: MPI-conduit, SEGMENT_EVERYTHING)

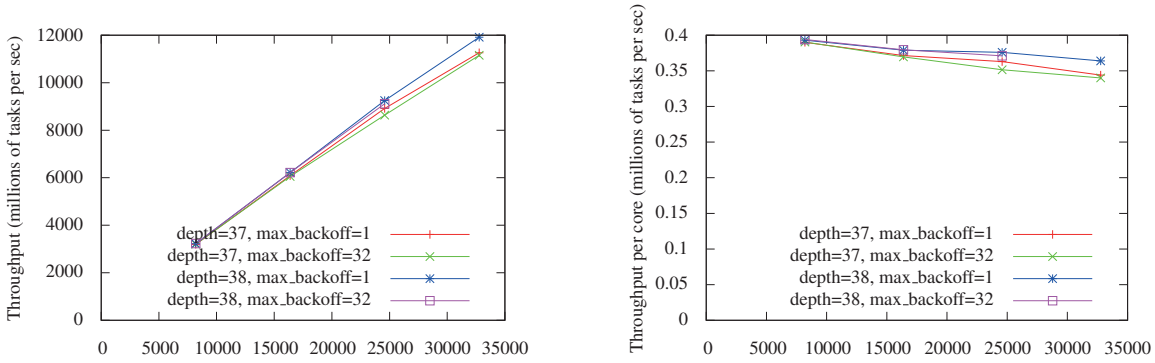
各ベンチマークの評価結果を図 6, 図 7, 図 8 に示す．グラフ凡例中の depth，N は問題規模を示しており，小さな問題サイズとして 32768 コア使用時に 10 秒から 30 秒程度の実行時間となるもの，大きな問題サイズとして 50-100 秒程度のものを選んでいる．また，max_backoff は，ワークスチーリングに失敗したときの exponential backoff の上限を示している (バックオフ時間は，ワークスチーリングに連続で失敗した回数を N_{fail} ($\leq$ max_backoff) , 前回のワークスチーリングにかかった時間を T_{steal} として，rand$(0,1) \times 2^{N_{fail}} \times T_{steal}$ で表わされる).

結果として，各ベンチマークについて，32768 コアまでの動作を確認し，性能についても良好な台数効果が得られていることがわかった．また，パラメータを変化させた場合の傾向については，どのベンチマークについてもほぼ同様に，問題サイズが大きいほど性能が良く，また max_backoff が 32 の場合よりも 1 の場合の方がより良い性能が得られていることが確認できる．小さな問題サイズで性能が劣化しているのは，生成したタスクが全てのプロセッサコアへ拡散し切るまでに数秒程度の時間がかかっており，数十秒程度の問題サイズであれば，実行時間全体に占める (タスクが各プロセッサコアに拡散し切るまでの) アイドル時間の割合が大きくなってしまうためだと考えられる．

一方で，今回の実験では，65536 コアおよび 76800 コアを使用する設定で各ベンチマークプログラムを動作させることができなかった．これは，MassiveThreads/DM の実装に利用している通信ライブラリ GASNet について，初期化処理がスケーラブルでなく，65536 コア使用時には少なくとも 1 時間以上初期化に時間がかかってしまい，実験の継続を断念したことによる．また，32768 コア以下の設定でも，まれに実行途中で “bad AM category” というエラーが出力され，異常終了することを確認している．このエラーは，GASNet の MPI 実装内部で使用されている AMMPI ライブラリにおいて，不適切な引数が与えられた場合に出力されるものであり，GASNet のバグである可能性がある．

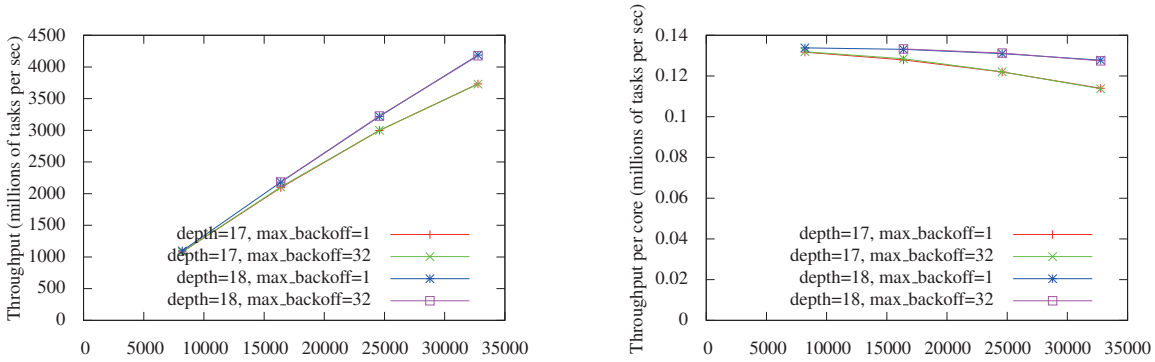
4 基盤センター業務関連活動

- 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



(a) タスク生成性能　　(b) 1 コアあたりのタスク生成性能

図 6: 二分木状再帰タスク生成におけるタスク生成性能



(a) タスク生成性能　　(b) 1 コアあたりのタスク生成性能

図 7: Unbalanced Tree Search ベンチマークにおけるタスク生成性能

- メニーコア型クラスタ導入に伴う仕様策定への参加
- PostT2K の仕様策定への参加
- センター機関誌スーパーコンピューティングニュースで，SC 参加報告の執筆

5　成果要覧

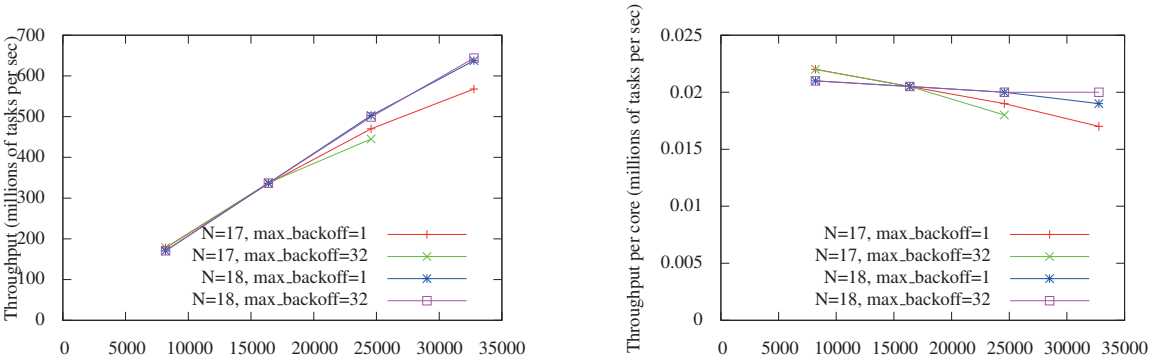
査読付論文

[査読付 1] Abdelhalim Amer, Naoya Maruyama, Miquel Pericàs, Kenjiro Taura, Rio Yokota, and Satoshi Matsuoka. Fork-join and data-driven execution models on multi-core architectures: Case study of the FMM. In *Supercomputing*, pages 255–266. Springer, 2013.

[査読付 2] Ting Chen and Kenjiro Taura. A selective checkpointing mechanism for query plans in a parallel database system. In *Big Data, 2013 IEEE International Conference on*, pages 237–245. IEEE, 2013.

[査読付 3] Shinya Hayashi and Kenjiro Taura. Parallel and memory-efficient burrows-wheeler transform. In *Big Data, 2013 IEEE International Conference on*, pages 43–50. IEEE, 2013.

[査読付 4] An Huynh, Jun Nakashima, and Kenjiro Taura. A performance analyzer for task parallel applications based on execution time stretches. In 先進的計算基盤システムシンポジウム予稿集, 2013. (萌芽論文).



(a) タスク生成性能

(b) 1 コアあたりのタスク生成性能

図 8: N クイーンベンチマークにおけるタスク生成性能

[査読付 5] Jun Nakashima, Sho Nakatani, and Kenjiro Taura. Design and implementation of a customizable work stealing scheduler. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Runtime and Operating Systems for Supercomputers*, page 9. ACM, 2013.

[査読付 6] Jun Nakashima and Kenjiro Taura. MassiveThreads: A Thread Library for High Productivity Languages. In *Festschrift of Symposium on Concurrent Objects and Beyond: From Theory to High-Performance Computing (to appear as a volume of Lecture Notes in Computer Science)*, 2012.

[査読付 7] Miquel Pericàs, Abdelhalim Amer, Kenjiro Taura, and Satoshi Matsuoka. Analysis of data reuse in task-parallel runtimes. In *4th International Workshop on Performance Modeling, Benchmarking and Simulation of High Performance Computer Systems (PMBS13)*. IEEE, 2013.

[査読付 8] Kenjiro Taura, Takuya Matsuzaki, Makoto Miwa, Yoshikazu Kamoshida, Daisaku Yokoyama, Nan Dun, Takeshi Shibata, Choi Sung Jun, and Jun'ichi Tsujii. Design and implementation of gxp make — a workflow system based on make. *Future Generation Computer Systems*, 29(2):662–672, 2013.

[査読付 9] 大筒裕之, 中島潤, and 田浦健次朗. タスク並列処理系における cpu の利用効率に着目したスケジューリング手法. In 先進的計算基盤システムシンポジウム予稿集, 2013. (萌芽論文).

[査読付 10] 菊地悠平 and 田浦健次朗. Cellsql: 大規模データ処理のための表計算ソフトウェア. In 先進的計算基盤システムシンポジウム予稿集, 2013. (萌芽論文).

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] 田浦健次朗 and 中島潤. 6 種のタスク並列処理系の比較評価. In *IPSJ SIG Notes*, volume 2013-HPC-140(16), pages 1–10, 2013.

[発表 2] 中澤隆久 and 田浦健次朗. 省メモリでスケーラブルなマージソートアルゴリズム. In *IPSJ SIG Notes*, volume 2013-HPC-140(2), pages 1–8, 2013.

[発表 3] An Huynh, Jun Nakashima, and Kenjiro Taura. A performance analyzer for task parallel applications based on execution time stretches. In *IPSJ SIG Notes*, volume 2013-HPC-140(10), pages 1–6, 2013.

特記事項

[特記 1] プログラム委員会 分野チェア（プログラミングシステム分野） SC2013

[特記 2] プログラム委員会 HPDC 2013

[特記 3] プログラム委員長 SACSIS2013 先進的計算基盤システムシンポジウム, 仙台国際センター.

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速化に関する研究 昨年に引き続き、主に有限要素法や疎行列ベクトル積を対象としてプログラムの高速化に取り組んだ。今年は計算環境として SPARC64 IXfx、Xeon、MIC(Xeon Phi)、GPU と様々な環境を用いた。また GPU プログラミングにおける性能最適化のためのプログラミング記述 (指示文) に関する研究も実施した。これらの活動の一部は、JST 共同研究プロジェクト「日本－フランス共同研究 ポストペタスケールコンピューティングのためのフレームワークとプログラミング」(研究代表者:佐藤三久教授) 、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) 、科研基盤 A プロジェクト「実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化」(研究代表者:片桐孝洋准教授) 、科研若手 B プロジェクト「GPU プログラム最適化のための指示文を用いた自動チューニング機構の開発」の一部として実施した。得られた成果はシンポジウムや研究会等にて発表した [発表 1, 発表 2, 発表 3, 発表 4, 発表 5, 発表 6, 発表 7, 発表 8, 発表 9]。

次世代スーパーコンピュータの設計に関する活動 将来の HPCI システムに関する調査研究 (フィージビリティ・スタディ、FS) における「レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究」(研究代表者：石川裕教授) に参加し、ターゲットアプリケーションの性能評価に携わった ([発表 10])。

スーパーコンピュータ・高性能計算に関する業務と GPGPU/CAE/HPC の啓蒙や教育などに関する活動 本情報基盤センターにおける計算機システムの仕様策定と導入および運用支援に携わった。ISC'13 および SC13 における各種プロジェクトや情報基盤センターの紹介等の展示活動に参加した。国際会議の運営 [特記 1, 特記 2]、国内シンポジウムの運営 [特記 3, 特記 4]、論文誌編集委員 [特記 5]、学会理事 [特記 6]、その他いくつかの論文査読に協力し、またプログラミング講習会 [特記 7, 特記 8, 特記 9] や広報誌への執筆協力 [特記 10, 特記 11, 特記 12]、スーパーコンピュータシステムの見学対応などの活動も行った。

2 Xeon Phi の性能評価

2.1 背景

半導体プロセスルール縮小ペースが鈍化し消費電力抑制の要求も高まる昨今においては、1 パッケージに複数の計算コアを搭載した並列計算ハードウェアが主流となっている。たとえば既存の CPU の発展形であるマルチコア CPU については、10 以上の計算コアを備えるものも多く用いられるように

表 1: 実験環境

	Xeon E5-2670 (ホスト CPU)	Xeon Phi 5110P (参考)	Preproduction Xeon Phi (実行環境)
コア数、スレッド数	8, 16	60, 240	57, 228
動作周波数	2.6 GHz	1.053GHz	1.10 GHz
搭載メモリ	GDDR3 (64GB)	GDDR5 8GB	GDDR5 5GB
理論演算性能 (DP)	166.4 GFLOPS	1.0108 TFLOPS	1.0032 TFLOPS
理論メモリバンド幅	51.2 GByte/s	320 GByte/sec	320 GByte/sec
コンパイラ・開発環境	icc/ifort 13.1.1	icc/ifort 13.1.1 MPSS 2.1.6720-13	icc/ifort 13.1.1 MPSS 2.1.6720-13

なってきた。シンプルな計算コアを非常に多く (1000 以上) 搭載した GPU(Graphics Processing Unit) の普及と活用もますます進んでいる。

その一方で、既存の CPU よりもやや単純なコアを多数搭載することにより高いピーク性能とプログラマビリティを両立させるメニーコアアーキテクチャも注目を集めている。Intel 社の Knights Corner (Xeon Phi、以下 MIC) は、旧世代のアーキテクチャに基づくシンプルな計算コアを 60 程度搭載し、最大で 240 程度のスレッドを同時に実行することができるハードウェアである。MIC は高い並列度に基づく高いピーク性能を備えているうえに従来の CPU 向けと同様のプログラミング環境 (プログラミング言語、ライブラリ、並列化手法など) が利用できるため、リリース前から大きな注目を集めていた。現在では MIC を多数搭載したスーパーコンピュータも運用され始めている。

本情報基盤センターが現在サービス運用しているスーパーコンピュータはいずれもマルチコア CPU のみを計算ハードウェアに用いたものである。しかしながら今後の HPC の発展について考えた場合、また今後どのようなスーパーコンピュータを用いるかを検討する上では、MIC などの新しい計算ハードウェアについても評価を行うことは重要である。

2.2 内容

MIC 上で幾つかのプログラムを実行し、性能を測定した。また一部の結果については他のハードウェアと性能を比較した。MIC 向けプログラムの作成と実行には、CPU の介在を必要とすることなく MIC のみでプログラムの実行が可能な native モデルを用いている。

STREAM ベンチマーク

STREAM ベンチマークはメモリ転送性能を測定するベンチマークプログラムである。プログラム中で実施する処理の内容によって Copy, Scale, Add, Triad の 4 種類の測定項目がある。転送する配列の大きさ、affinity、メモリアラインメントの調整などにより性能に差が生じる。

DGEMM と HPL ベンチマーク

スーパーコンピュータをランク付けする TOP500 でも用いられている HPL(High Performance Linpack) ベンチマークは、小規模なシステムでも測定可能なベンチマークである。HPL の性能には密行列同士の積和を求める DGEMM の性能が大きく影響する。DGEMM で高い性能を得るにはブロックサイズの最適化が必須である。

GeoFEM ベンチマーク

一様な Cube 型形状を対象とした三次元弾性静解析問題を解くプログラムである。主な性能評価対象は前処理付き CG 法であり、前処理や疎行列ベクトル積がの実行時間が性能に大きく影響する。

2.3 具体的成果

各ベンチマークによって得られた結果 (性能) を示す。実行環境としては Preprodoction Xeon Phi を用いた (表 1)。

STREAM ベンチマーク

affinity 設定やコンパイルオプションなど幾つかのパラメタを最適化して得られた結果を既存の CPU による結果と比較した。結果を図 1 に示す。

実験の結果、MIC のメモリ転送性能は Xeon(SandyBridge-EP) や SPARC64 IXfx と比べると高いことが確認できた。その一方で特にメモリ転送性能が高い CPU の 1 つとして知られている Power7 と比べると大きく劣る結果となった。

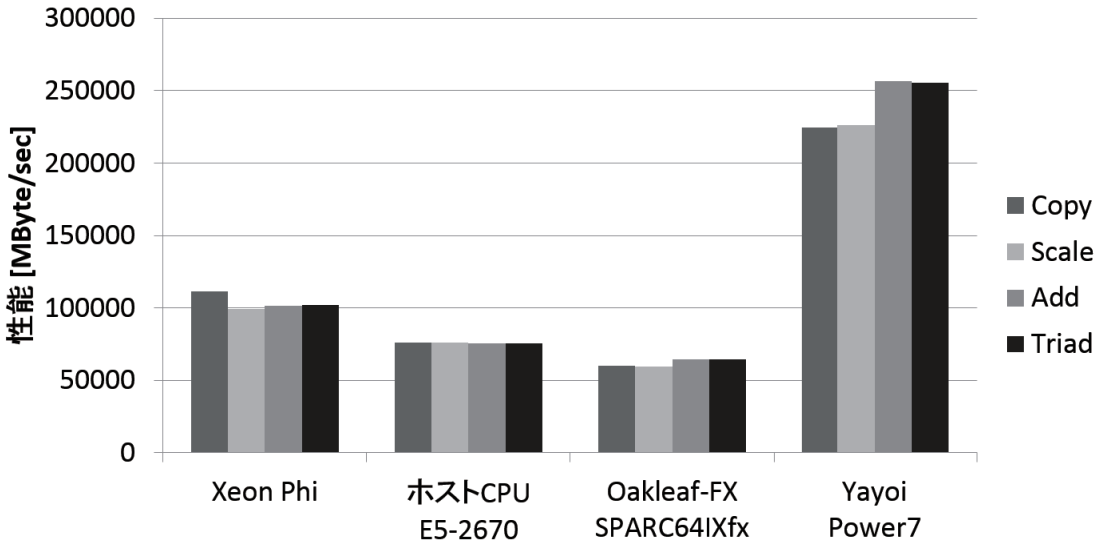


図 1: STREAM の性能

DGEMM と HPL ベンチマーク

問題サイズ N を 10,000 に固定し、ブロックサイズと並列度設定 (プロセス数 x スレッド数) を変えて性能を測定した結果、MIC における HPL ベンチマークの性能は 167.1GFLOPS (N=15,000、ブロックサイズ 48) であることが確認された。この性能は、Xeon CPU における実測性能 184.2GFLOPS (N=60,000、ブロックサイズ 88) と比べて低い性能である。

MIC が高い HPL 性能を得られなかった主な原因は、MIC により良い性能を得やすい大きな行列サイズの DGEMM 以外の部分の性能であると考えられる。すなわち、確かに HPL の性能は DGEMM に大きな影響を受けるが、性能測定の範囲には DGEMM 以外の処理も少なからず含まれている。また DGEMM 自体も大きな行列サイズの計算と小さな行列サイズの計算の両方が含まれており、図 2 に示すように、MIC と CPU による DGEMM の性能を比べると大きな行列サイズの DGEMM では MIC の方が高速となるが、小さな行列サイズでは CPU の方が高速である。以上より、MIC は大きな行列サイズの DGEMM は高速に実行できた一方でその他の部分を高速に実行できず、ベンチマーク全体の性能があまり良くなかったと考えられる。

GeoFEM ベンチマーク

GeoFEM ベンチマークの実行結果 (得られた性能) を他の幾つかの計算機システムにおける結果とあわせて表 2 に示す。問題サイズは、搭載メモリ容量が少ない MIC では 10x10x10、他の CPU では 40x40x40 とした。

実験の結果、MIC は他の多くの CPU と比べて高い性能を達成した。ただしピーク性能に対する割合を見ると MIC の性能は低く、HPL 同様に GeoFEM ベンチマークの全てを MIC で実行してしまったことによる性能低下や、キャッシュサイズの小ささが影響した可能性があると考えられる。なお、メモリ性能が非常に高い Power7 の性能には大きく及ばなかった。

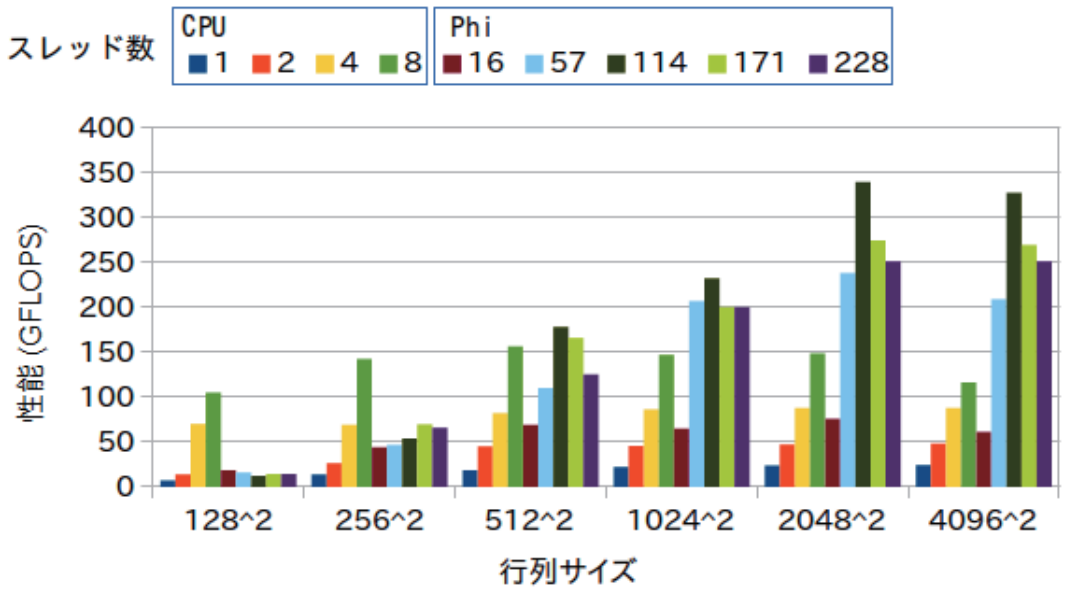


図 2: DGEMM の性能

表 2: GeoFEM の性能

CPU	Preproduction Xeon Phi	E5-2670 (ホストCPU)	Power7 (SR16K/M1)	Opteron8356 (T2K東大)	SPARC64 IXfx (Oakleaf-FX)	SPARC64 VIIIfx (「京」)
動作周波数	1.10 GHz	2.60 GHz	3.83 GHz	2.3 GHz	1.848 GHz	2.0 GHz
1ノードアあたりコア数、スレッド数	57, 228	8, 16	32	16	16	8
ノードあたりGFLOPS	1003.2	166.4	980.5	147.2	236.5	128
STREAM Triad (GB/s)	102	75.7	264.2	20	64.7	43.4
Byte/Flops	0.102	0.455	0.269	0.136	0.274	0.338
LLC/Core (MB)	17.9	16.8	72.7	4.69	16	11
GeoFEM-Cube (GFLOPS)	1.78	10.1	7.41	3.18	6.77	8.59
ピーク性能に対する割合(%)	0.512	2.5	4	2	0.75	0.75

以上のように、MIC は同世代の CPU 群 (除 Power7) と同等以上の性能を得た。そのうえ CPU 向けのプログラムをほとんど修正することなく利用できており、MIC の活用による様々なアプリケーションの高速化が期待される。その一方で、native モデルにより MIC 上でアプリケーション全体を実行すると MIC 上での実行に適さない処理のために全体性能が低下するという問題も露見している。今後は、実装の手間は増えるがプログラム中の任意の部分のみを MIC 上で実行できる offload モデルの活用などについても検討・評価を行うべきである。

3 高速な疎行列ベクトル積および疎行列ソルバーの実装

3.1 背景

疎行列ベクトル積（SpMV）は零要素を多く含む疎行列をベクトルと掛け合わせる問題である。SpMV は前章の GeoFEM ベンチマークにおいても処理に時間のかかる部位となっていたように、多くの科学技術アプリケーションにおいてその性能に大きく影響する計算であり、高速化への要求は大きい。

SpMV は実装方法と対象行列にもよるが、不連続なメモリアクセスを必要とする計算であり、CPU にとっても GPU にとっても高い性能を得にくい計算である。SpMV の計算は密行列の行列ベクトル積と同様のデータ構造や計算方法で行うことも可能であるが、大規模な疎行列を密行列のような方法で

メモリに格納すると計算に不要な要素が多くなり、メモリ効率の低下や性能の低下を招く。そもそもメモリに乗り切らない場合も多い。そのため零要素を削除したデータ構造 (行列格納形式) を用いて計算を行うのが一般的である。しかし格納形式と対象問題の非零要素の配置によっては、計算時に不連続なメモリアクセスが多くなり、キャッシュの効果も得られず高い性能が得られないことも多い。そのため SpMV に関する研究は、CPU・GPU を問わず、行列格納形式と実装方法それぞれの面から盛んに行われている。

3.2 内容

昨年度に引き続き、CPU、MIC、GPU を対象とした SpMV の実装について研究を行った。

行ごとの非零要素数に偏りがある行列に適した GPU 向け SpMV 実装については、昨年に引き続き独自の手法である BSS-PC 法の研究を行った。また CPU、MIC、GPU について、最適化手法や性能の比較も行った。

さらに SpMV のみではなく ICCG 法などの疎行列ソルバーの性能評価や、OpenACC を用いた実装などについても取り組んだ。

3.3 具体的成果

本年度は主に、MIC の SpMV 性能評価と、CPU/MIC/GPU の性能比較・性能分析に取り組んだ。

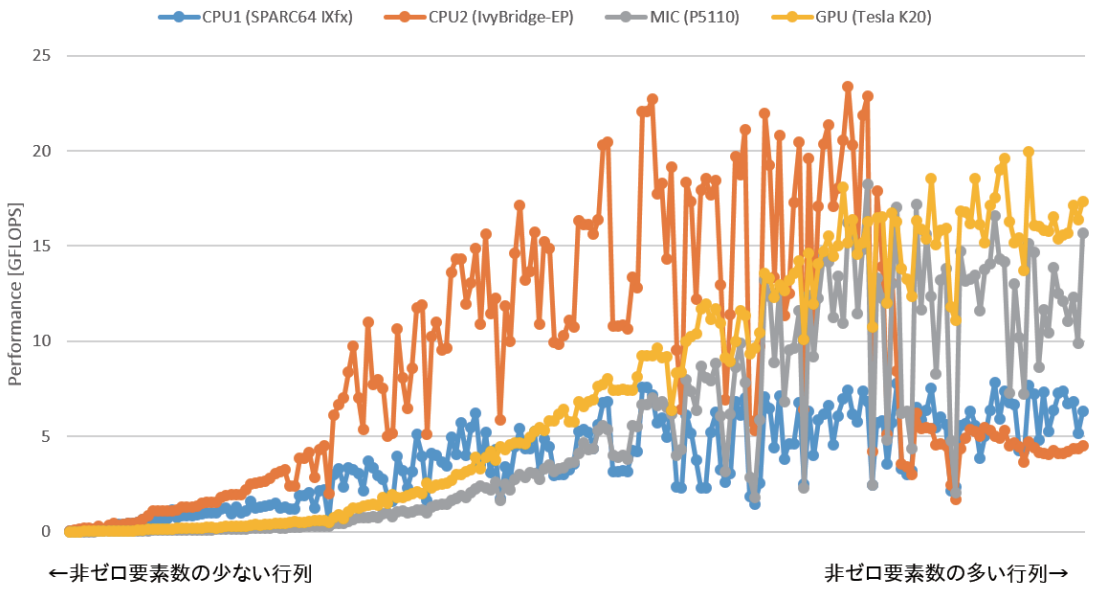


図 3: CPU,GPU,MIC を用いた SpMV の性能

図 3 に各ハードウェアの性能を示す。対象ハードウェアとしては SPARC64 XIfx、Xeon E5-2670 v2 (IvyBridge-EP), Xeon Phi P5110 (Knight Corner), Tesla K20 (Kepler) を用いた。行列格納形式は CRS 形式、計算対象行列はフロリダ行列から 208 の行列を抽出した。測定には同じ計算を 1000 回以上かつ合計時間が 1 秒を越えるように繰り返し実施し、平均値を算出した。各ハードウェアごとに最適化のための性能パラメタがいくつかあるが、図 3 では各ハードウェア・各行列ごとに最も良い性能が得られたもののみを示している。

全体的な傾向として、IvyBridge-EP は非ゼロ要素数の少ない行列において特に性能が高く、非ゼロ要素数が少ない行列においては性能が低い。これは非ゼロ要素数が少ない場合には行列の多くの要素が大容量の L3 キャッシュに収まり、繰り返し計算の際に高い性能が得られたためと考えられる。

SPARC64 IXfx については全体としてあまり高い性能が得られていない一方で、非ゼロ要素数が多い場合には IvyBridge-EP を上回る性能を得た。

MIC と GPU の性能は、非ゼロ要素数が少ない行列においては 2 種類の CPU と比べて高い性能を得られていない一方で、非ゼロ要素数が多い場合には CPU を上回る性能が得られた。

これらの結果を踏まえて、現在は各プロセッサが各行列において最大の性能を得られた際の最適化パラメタについての評価を実施中である。

さらに、ICCG ソルバーの性能評価についても結果の一部を報告する。表 3 に前述の各ハードウェア (GPU のみ Tesla K40 に更新している) における ICCG ソルバーの性能を示す。対象問題の規模は自由度 128x128x128 とし、並列化のためのカラーリング処理には MultiColor 法、Cuthill-Mckee 法、Reverse Cuthill-Mckee 法、Cyclic Multicoloring Reverse Cuthill-Mckee 法を試し、最も実行時間が短かったものを採用した。シーケンシャルリオーダリングの有無による性能についても比較した。得られた性能を比較した結果、MIC の性能が振るわない一方で OpenACC による GPU での実行が良好な性能を得られることがわかった。プログラミングの容易性と得られる性能を考えると、OpenACC による GPU の活用は有効である。また使用言語 (に対応するコンパイラ) の性能は影響に無視できない影響を及ぼすことも確認されており、性能評価の際には考慮する余地があると言えるだろう。

表 3: ICCG 法の実行時間

(a):C 言語版

	実行時間(秒)	1反復あたりの実行時間(ミリ秒)
SPARC64IX fx, OpenMP	6.55	20.93
IvyBridge-EP, OpenMP	5.49	17.66
MIC (P5110), OpenMP	7.24	23.13
GPU (K40), OpenACC	5.25	15.68

(b):Fortran 版

	実行時間(秒)	1反復あたりの実行時間(ミリ秒)
SPARC64IX fx, OpenMP	5.72	18.28
IvyBridge-EP, OpenMP	5.75	18.49
MIC (P5110), OpenMP	6.98	16.46
GPU (K40), OpenACC	-	-

4 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 大島聡史，金子勇: メニーコアプロセッサ Xeon Phi の性能評価，情報処理学会 研究報告 (Vol.2013-HPC-139 No.20），東京大学柏キャンパス, 2013 年 5 月 30 日

[発表 2] Satoshi Ohshima: Performance Evaluation of SpMV on Current Parallel Processors – CPU vs GPU vs MIC –, HPC in Asia session at ISC'13, Congress Center Leipzig, Leipzig, Jun 17, 2013 (ポスター発表)

[発表 3] 大島聡史，金子勇, 片桐孝洋: Xeon Phi における SpMV の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (Vol.2013-HPC-140 No.33), SWoPP2013 北九州, 北九州国際会議場, 2013 年 8 月 2 日

[発表 4] 大島聡史, 金子勇, 片桐孝洋: メニーコアアーキテクチャ向けの SpMV 最適化と自動チューニング, 日本応用数理学会 2013 年度年会, アクロス福岡, 2013 年 9 月 10 日

[発表 5] 大島聡史: GPU(Kepler) 向けの高速な SpMV 実装について, 下呂温泉ホテルくさかべアルメリア, AT マイクロワークショップ, 2013 年 10 月 30 日

[発表 6] Satoshi OHSHIMA: Fast SpMV Implementation on GPU/Manycore Architectures and its Application, 2013 International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013), Earthquake Research Institute (ERI), The University of Tokyo, December 6, 2013

[発表 7] 大島聡史: GPU プログラム最適化のための指示文を用いたチューニング機構の開発, 第 5 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, 2013 年 12 月 25 日

[発表 8] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Kengo Nakajima: Preconditioned Iterative Solvers on Many-core Architectures, SIAM PP14, Marriot Portrand Dowtown Waterfront (Portland, Oregon), Feburuary 18-21, 2014

[発表 9] Satoshi Ohshima: Implementation and Performance Evaluation of SpMV on Modern Parallel Processors, 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University (Taipei), March 14, 2014

[発表 10] 大島聡史，片桐孝洋，中島研吾，米村崇，熊洞宏樹，樋口清隆，橋本昌人，高山恒一，藤堂眞治，岩田潤一，内田和之，佐藤正樹，羽角博康，黒木聖夫: レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究におけるアプリケーションの最適化と複数の計算機環境での性能評価，SACSIS2013 - 先進的計算基盤システムシンポジウム -，2013 年 5 月 23 日 (ポスター発表)

特記事項

[特記 1] Co-Chair, 2013 International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013)，東京大学地震研究所，2013 年 12 月 5-6 日

[特記 2] PC member, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-13), 国立情報学研究所, 2013 年 9 月 26 日

[特記 3] プログラム委員, SACSIS2013 - 先進的計算基盤システムシンポジウム -, 仙台国際センター, 2013 年 5 月 22-24 日

[特記 4] プログラム委員会副委員長 (論文担当)/実行委員, HPCS2014 2014 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, 一橋大学 一橋講堂, 2014 年 1 月 7-8 日

[特記 5] ACS 論文誌編集委員

[特記 6] 一般社団法人オープン CAE 学会 理事

[特記 7] 第 32 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」, 2013 年 8 月 5-6 日, 一部の講師を担当

[特記 8] 第 33 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」, 2013 年 9 月 3-4 日, 一部の講師を担当

[特記 9] 第 34 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」, 2014 年 3 月 11-12 日, 一部の講師を担当

[特記 10] GTC Japan 2013 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.15 No.5 (2013 年 9 月)

[特記 11] SWoPP 北九州 2013 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.15 No.5 (2013 年 9 月)

[特記 12] SC13 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.16 No.1 (2014 年 1 月)

エクストリームスケール高性能計算を対象とした耐故障機能及び支援システム

實本　英之

1　概要

エクストリームスケールの HPC 環境（以降、エクストリームスケール環境）を実現するに当たり、故障に対処する機能は必須となっている。エクストリームスケール環境では、環境を構成する要素が非常に大規模であるため、現在運用されている数十万並列規模の環境と比較し、故障率は飛躍的に高まっている。現在運用されるのアルゴリズムは、故障復旧に必要なコストが大きすぎるため、エクストリームスケール環境の高故障率に耐えられない。このためエクストリームスケール環境に対応するための手法について検討する。また、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。

- 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

  故障対応アルゴリズムのコストを極限まで削減するためには、アプリケーション毎に適したアルゴリズムを適用することが重要である。故障対応アルゴリズムの一つであるチェックポイント／リスタートもアプリケーションからのアドバイスを用いることにより、チェックポイントデータ量、並列プロセスの一貫性保証において最適化が可能になる。しかし、アプリケーションプログラマにとって、ランタイムに変化する実行環境を用いた耐故障パラメータの調整は難しいため、なるべくプロセス間の同期やブロッキングを行わずに効率よく対応するシステムを提案、評価した。

- 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検討した。

2　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

2.1　背景

エクストリームスケールの HPC 環境を実現するに当たり、従来のシステムによる一元的な故障対応アルゴリズムでは不要なコストが大きく、復旧に必要な総コストが平均故障間隔を上回り、プログラ

ムの実行が破綻してしまう。これを防ぐために差分チェックポイントやチェックポイント先の適切な選択、チェックポイント周期の最適化によりシステムによる故障対応を維持したまま、チェックポイントコストを削減するという研究が行われた。これらを元に、故障対応アルゴリズムのコストを極限まで削減するために、アプリケーション毎に適したアルゴリズムを適用すること検討されている。

しかし、このようなアプリケーション毎の最適化は、アプリケーションプログラマに故障対応に関する知識を要求しコストが大きい。このため、故障対応手法の全てではなく、アプリケーション特有の手法部分のみをアプリケーションプログラマにコーディング（アドバイス）させることにより、コーディング負荷の軽減を行う必要がある。特に、故障率やデータ転送時間等の環境によって決まるパラメータを必要とする最適化は、システム側からのサポートを受けながら決定する必要がある。

本研究では、ステンシル構造を用いた反復計算を主とする科学技術計算を対象として、チェックポイント／リスタートを容易に実装するアドバイス・ライブラリを提案する。これは、昨年度おこなった、チェックポイント間隔を最適化するフレームワークをより広範に拡張したものである。また、昨年度の実装したフレームワークの広域評価も行った。

2.2 内容

チェックポイントアルゴリズムを検討するに当たり、対象とするアプリケーションをステンシル構造をもった、反復計算を主とする科学技術計算とした。これは、気象シミュレーション等に利用される科学技術計算では代表的なアプリケーションで、単位時間に対して複数のソルバーによる計算を行い、計算結果を並列ジョブ構成プロセス間で遣り取りしデータを更新、これを元に再び次の時間ステップの計算を行うという構造のものとする。このようなアプリケーションは単位時間を制御変数としたループで構成されている。この制御変数の数値のことを以降反復番号と呼ぶことにする。以上の構造を前提とすることで、一貫性保証を軽量に行いまた、各種最適化パラメータの適応を軽量に行うことが可能となる。

2.2.1 設計／一貫性保証

前述のアプリケーションを対象としたとき、一貫性のあるチェックポイントを作成するためには、全ての並列プロセスが同じ反復番号をもち、送信者がメッセージを送る前かつ受信者がメッセージを受け取る前、もしくは、送信者がメッセージを送った後かつ、受信者がメッセージを受け取った後の位置でプロセスがそれぞれチェックポイントを行えばよい。このような通信構造を用いた手法を Communication Induced Checkpoint という。なお、本手法では、すべての並列ジョブ構成プロセスの反復番号が同じ状態で生み出されたチェックポイントのみが一貫性を持つため、この条件を満たすチェックポイントを出力するまでは前世代のチェックポイントセットを保持しておく必要がある。

2.2.2 設計／最適化結果パラメータの適用

最適化を行った結果を適用する際、すべてのプロセスを同期・停止させるのはコストが大きいため、図 1 の様なシステムを提案する。本システムは、最適化サーバ (図下部の赤線) と並列アプリケーションプログラム (図中 P0-2) および、Fault Resilience Backbone により構成される。Fault Resilience Backbone はアプリケーション、ミドルウェア、ハードウェアを横断的に接続し、情報を送りあうバックボーンである。チェックポイントの手順は具体的には以下の様になる。

1. 並列ジョブ構成プロセス全体、あるいは代表がランタイム情報を測定、Fault Resilience Backbone を用いて最適化サーバーに送る。item 最適化サーバは、実行環境の情報や、プロセスから送られたランタイム情報を元に最適化を行う。最適化結果は Fault Resilience Backbone を通じて各プロセスに伝えられる

2. 各プロセスは新しい最適化情報を用いて、チェックポイント候補地点にてチェックポイントを作成する。その際、チェックポイントには最適化情報を新たに適用したことを示す何らかのフラグ

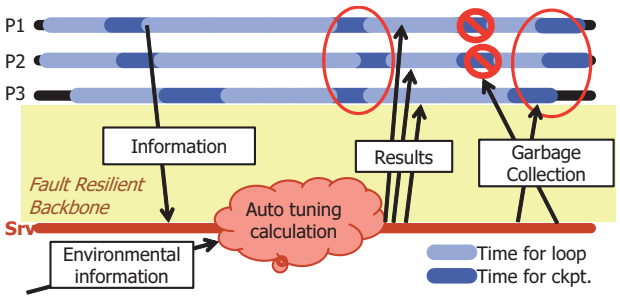


図 1: 提案システムの動作シナリオ

```
int main(){
 int i, data[30];
#pragma MICP init
#pragma MICP enable i, data(0-29)
  for(iter i){
    calculate(i, data);
#pragma MICP ckpt
  }
#pragma MICP disable
#pragma MICP fini
}
```

図 2: 提案システムの利用法

を立てる。

3. 並列プロセスが計算を続行するのと同時に、最適化サーバはフラグを用いたチェックポイントのガベージコレクションを行う。

最適間隔の受信タイミングは各プロセス毎に異なる。このため、図のように一時的に一貫性を満たさないチェックポイント群がとられてしまい、複数の世代のチェックポイントを保持しておく必要がある。常にプログラム上でのチェックポイント位置が決定していることにより、ガベージコレクションは最大でも O(p) (p: プロセス数) で行うことが可能である。また、同じ反復回数のチェックポイント群に一つでも不適なデータが存在する場合、そのチェックポイント群を全て削除できるため、チェックポイントに利用されるストレージサイズは十分チェックポイント間隔が広く、削除が速やかに行われる場合、2 ジェネレーション分に抑えることができる。(最後の一貫性がとれたチェックポインと最新のチェックポイントでガベージコレクションの判定を待っているもの)

2.2.3 実装／実行環境構築

スーパーコンピュータにおいて、最適化サーバ、そのほかの管理サーバと MPI ジョブを連成して実行するようスケジューラに指定するのは難しい。このため、本実装では前節 Parallel Iteration-based Checkpoint レイヤにて MPI ジョブが起動時に自身で管理サーバ群を起動するように実装されている。

1. 各ノードにアサインされる MPI ジョブプロセスのうち 1 プロセスが自動的に管理プロセスになる。

2. 管理プロセスは最適化サーバやアプリ・サーバ間通信手法 (FTB) の構成サーバ起動等を行う。

2.2.4 利用例／チェックポイント間隔の最適化

昨年度、実装したもので、各プロセスが測定した、チェックポイント保存時間、計算時間と、実行環境の故障率を元に最適化サーバが最適なチェックポイント間隔を計算し、チェックポイントすべき反復番号および次のチェックポイントまでのストライドを送るという手法により実現されている（図 5)。ガベージコレクションに用いるフラグは反復回数そのものとなる。本年度は、大規模環境での実行を想定とした本利用例の性能として環境構築のコストを評価した。図 3,4 に管理プロセス・計算プロセスの選択時間 (spawn tool)、FTB の関連サーバ群を起動する時間 (ftb build)、実行開始前の同期時間 (sync proc) の積算を示した。X 軸の nXpY はノード数 X、ノード内プロセス数 Y を示し、Y 軸の単位は秒である。これを見ると、spawn tool の実行時間がプロセス数増大に伴い増加している。spawn tool は MPI_Allreduce, MPI_Gather を使うため、この性能が影響している。これをノード数依存にするような仕組みを考える必要がある。もちろん、事前に各計算ノードに管理プロセスを立ち上げておくことができれば、環境構築のコストはほぼ 0 に削減できると考えている。

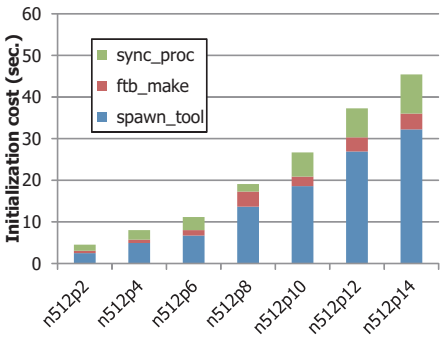


図 3: 環境構築オーバーヘッド（ノード内プロセス数変更）

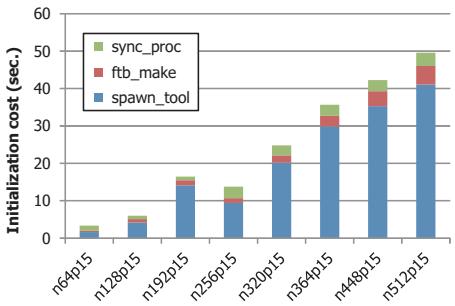


図 4: 環境構築オーバーヘッド（ノード数変更）

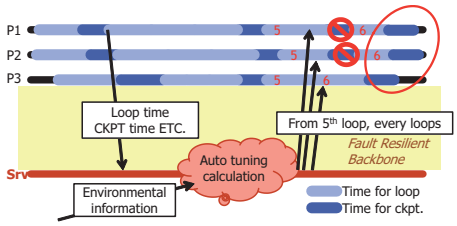


図 5: 提案システムの利用例：チェックポイント最適化

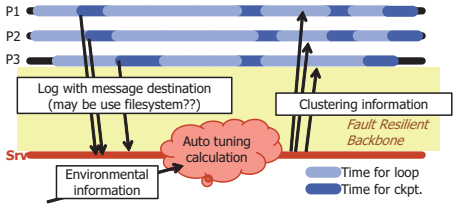


図 6: 提案システムの利用例：グループ最適化

2.2.5 利用例／部分チェックポイントのためのグループ最適化

昨年度から、Uncoordinated/Coordinated 手法を使い分けるためのグルーピング機構の最適化に関する検討を行ってきた。この手法は、Uncoordinated なチェックポイントで発生する大量のログコストを低減するための手法で、プロセスをある程度グループ化し、グループ間ではログベースのチェックポイント、グループ内では Coordinated な手法を用いるというものである。このため、通信量（≒ログコスト）を最適な状態に抑える高速なアルゴリズムが必要であった。昨年度の時点で、ステンシル計算を対象にしたアプリケーションプロセスの地理的配置と形状を利用したアルゴリズム（図 8）を提案しており、性能検証のための実装を行っていた。本年度はより詳細な性能検証と、実際にチェックポインタとして利用するためのシナリオ及び、提案フレームワーク上での実装について検討を行った。この結果、従来の METIS, SCOTCH といった通信エッジ数に依存する手法に対し、ノード数依存かつ計算量の低いアルゴリズムであることを確認できた。実装の検討について前節にある図 6 に示した。

2.3 具体的成果

ステンシル構造をもつ反復計算を主とする科学技術計算を対象として、ランタイム情報を加味した最適化を行うチェックポイント／リスタートを容易に実装するフレームワークを提案、実装した。例示実装である、チェックポイント間隔の最適化について、例示実装と小規模評価の結果を国内研究会 HPC139 にて口頭発表した [発表 1]。また、大規模評価については国際会議 ISC13 併設のワークショップ HPC IN ASIA にてポスター発表 [査読付 1] を、また同様に国際ワークショップである SPNS2013 にて口頭発表を行った [発表 2]。　また、例示実装として新たに Uncoordinated/Coordinated な手法をハイブリッドに行うためのグループ最適化を検討した。加えてグループ最適化アルゴリズムについて詳細な性能比較を行った。これに関しては、気象アプリケーションに関するワークショップ G8ESC にて口頭発表をおこなった [発表 3]。なお、最適化アルゴリズム自体の評価に関しては、2014 年 6 月

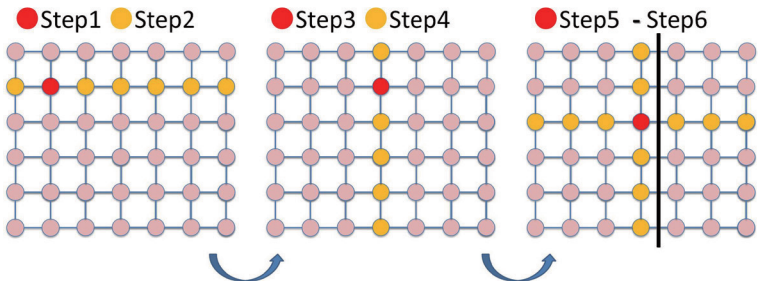


図 7: グループ分割アルゴリズム：まず、プロセスはノード毎にグループ化されている状態から始まる。Step1,2 適当なノードを始点とし、幅を測定する、Step3, 4 幅の中央を定めそこから高さを測定する、Step5, 6 高さの中央を決め、境界で区切る。以降この 2 分法を再帰的に適用する

に国際会議 DSN に併設して行われるワークショップ FTXS2014 に投稿している。

3 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

3.1 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。

3.2 内容

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。

3.3 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、システムを設計した。また、この研究計画を学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) に応募し、採択された。来年度より詳細な設計及び評価を行っていく予定である。

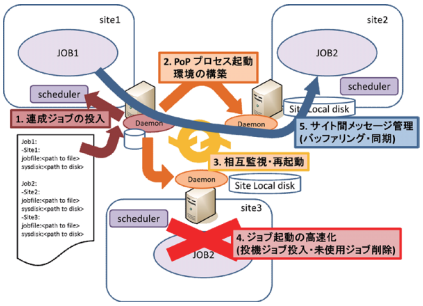


図 8: デーモンと API によるフレームワーク概要

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Hideyuki Jitsumoto, Yoshikazu Kamoshida, "Application-Level Checkpoint/Restart Framework with Optimal Checkpoint Interval", HPC in Asia Session at ISC13 (Poster Session), June 2013.

その他の発表論文

[発表 1] 實本 英之, 鴨志田良和, "適切なチェックポイント周期を与えるアプリケーションレベルチェックポイントライブラリ", 情報処理学会 研究報告 2013-HPC-139(10),1-7, May 2013.

[発表 2] Hideyuki Jitsumoto, Application-Level Checkpoint/Restart Framework with Checkpoint Interval Optimization, International Workshop on Software for Peta-scale Numerical Simulation (SPNS2013), Tokyo, Dec 2013

[発表 3] Hideyuki Jitsumoto, Yuki Todoroki, Mitsuhisa Sato, "Design and Evaluations of Application Based Fault Tolerance Framework with stencil model", G8 ESC Workshop at Kobe, Mar 2014.

[発表 4] 原田 浩, 蛯原 純, 藤本 大輔, 實本 英之, 平野 光敏,"東京大学 HPCI 共用ストレージにおけるオープンソースソフトウェアの活用", AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, ポスター発表 T1A-19, Dec 2013.

[発表 5] 原田 浩, 藤本 大輔, 蛯原 純, 實本 英之, 平野 光敏,"バッチスケジューラ連動型省電力ツールの開発と運用", AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, ポスター発表 T1A-20, Dec 2013.

[発表 6] 原田 浩, 建部 修見, 平川 学, 藤本 大輔, 蛯原 純, 實本 英之, 宮嵜 洋, 佐島 浩之,"東京大学 HPCI 共用ストレージにおけるオープンソースソフトウェアの活用", AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, 企画セッション T3G-5, Dec 2013.

特記事項

[特記 1] Member of Program Committee, 3rd Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale (FTXS2013), https://sites.google.com/site/ftxsworkshop/home/ftxs-2013 .

[特記 2] 情報基盤センター広報誌 Digital Life 2013.9 Vol.21 ISC'13 参加報告

[特記 3] 情報基盤センター広報誌 Digital Life 2014.3 Vol.22 SC'13 参加報告

[特記 4] スーパーコンピューティングニュース Vol.16 No.1 SC'13 参加報告

Memory Management Issues on Many-core Processors at the Operating System Level

- CMCP: A Novel Page Replacement Policy for System Level Hierarchical Memory Management on Many-cores
- Revisiting Virtual Memory for High Performance Computing on Manycore Architectures: A Hybrid Segmentation Kernel Approach
- Exploiting Hidden Non-uniformity of Uniform Memory Access on Manycore CPUs: A Cache-line Latency Aware Memory Allocator

1 Introduction

Balazs Gerofi

The Information Technology Center at The University of Tokyo hosts a 32 nodes high-performance computing cluster which features Intel's latest many-core co-processor, the so-called Intel Xeon Phi (see the architectural overview in Section 2). This document enumerates partially finished as well as ongoing research efforts, which have been carried out using the aforementioned cluster, considering operating system issues related to many-core CPUs. Particularly, we are focusing on memory management and discuss the following three topics in further detail:

- **A Novel Page Replacement Policy for System Level Hierarchical Memory Management on Many-cores [査読付 2]**

  In this work we first show that state of the art page replacement policies, such as approximations of the least recently used (LRU) policy, are not good candidates for hierarchical memory management on massive many-cores due to their inherent cost of remote translation lookaside buffer (TLB) invalidations, which are inevitable for collecting page usage statistics. Building upon our previous proposal, per-core Partially Separated Page Tables (PSPT), in this study we propose *Core-Map Count based Priority* (CMCP) page replacement policy, which exploits the auxiliary knowledge of the number of mapping CPU cores of each page and prioritizes them accordingly. As a result, it can avoid TLB invalidations for page usage statistic purposes altogether and outperform state of the art page replacement policies by up to 38%.

- **Revisiting Virtual Memory for High Performance Computing on Manycore Architectures: A Hybrid Segmentation Kernel Approach [査読付 3]**

  Page-based memory management (paging) is utilized by most of the current operating systems (OSs), however, stores virtual to physical mappings in page tables that also reside in main memory. Because translating virtual to physical addresses requires walking the page tables, which in turn implies additional memory accesses, modern CPUs employ translation lookaside buffers (TLBs) to cache the mappings. Nevertheless, TLBs are limited in size and applications that consume a large amount of memory and exhibit little or no locality in their memory access patterns, such as graph algorithms, suffer from the high overhead of TLB misses.

  This work proposes a new *hybrid kernel design* targeting many-core CPUs, which manages the application's memory space by segmentation and offloads kernel services to dedicated CPU cores where paging is utilized. The method enables applications to run on top of the low-cost segmented memory management while allows the kernel to use the rich features of paging.

- **Exploiting Hidden Non-uniformity of Uniform Memory Access on Manycore CPUs: A Cache-line Latency Aware Memory Allocator [査読付 4]**

  Manycore architectures come with complex on-chip networks for inter-core communication and multiple memory controllers for accessing off-chip RAM modules. Intel's Xeon Phi, boasts up to 60 CPU cores combined with eight memory controllers. Although the chip provides Uniform Memory Access (UMA), we find that there are substantial (as high as 60%) differences in access latencies for different cache lines depending on which CPU core issues the request, resembling Non-Uniform Memory Access (NUMA) architectures. In this study we propose a cache-line latency aware memory allocator, which assigns memory addresses to the requesting CPU cores in a fashion that it minimizes access latencies.

2 Background and Motivation

Although Moore's Law continues to drive the number of transistors per square mm, reducing voltage in proportion to transistor size, so that the energy per operation would be dropping fast enough to compensate for the increased density, is no longer feasible. As a result of such transition, heterogeneous architectures are becoming widespread. In a heterogeneous configuration, multicore processors, which implement a handful of complex cores that are optimized for fast single-thread performance, are accompanied with a large number of simpler, and slower, but much more power-efficient cores that are optimized for throughput-oriented parallel workloads.

The Intel® Xeon Phi™ product family is Intel's latest design targeted for processing highly parallel workloads. The Pre-Production Intel® Xeon Phi™ card, used in cluster at the Information Technology Center at The University of Tokyo, provides a single chip with 60 x86 cores, with each processor core supporting a multithreading depth of four. The chip also includes coherent L1 and L2 caches and the inter-processor network is a bidirectional ring. Currently, the Intel® Xeon Phi™ is implemented on a PCI card, and has its own on-board memory, connected to the host memory through PCI DMA operations. This architecture is shown in Figure 1.

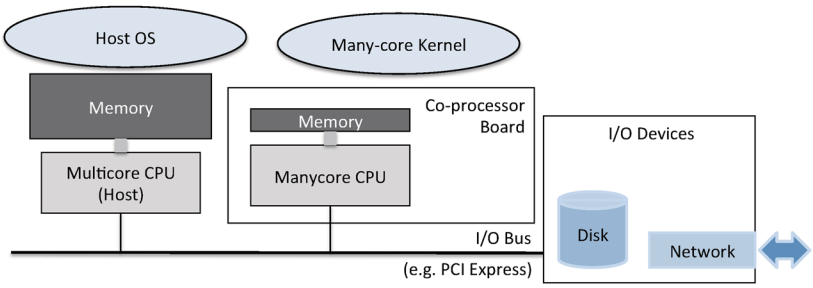


図 1: **Architectural overview of a multicore host computer equipped with a manycore co-processor, connected through PCI Express.**

The on-board memory is faster than the one in the host, but it is significantly smaller. Only 8 Gigabytes on the card, as opposed to hundreds residing in the host machine. The issues discussed in this document are motivated by the following observations:

- The limited on-board memory of the Xeon Phi requires partitioning computational problems

into pieces that can fit into device's RAM. At this time, it is the programmer's responsibility to partition larger computational problems into smaller pieces that can run on a co-processor and achieve high performance by efficiently overlapping computation and communication.

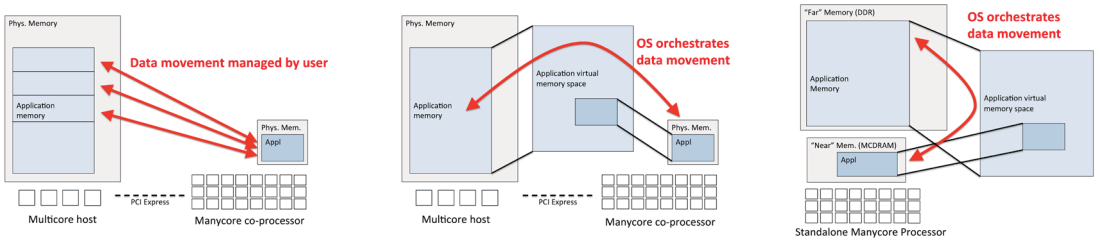
- Although the chip provides Uniform Memory Access (UMA), due to the complex on-chip networks for inter-core communication and multiple memory controllers for accessing off-chip RAM modules (the Xeon Phi boasts up to 60 CPU cores combined with eight memory controllers) we find that there are substantial (as high as 60%) differences in access latencies for different cache lines depending on which CPU core issues the request, resembling Non-Uniform Memory Access (NUMA) architectures.

- Page-based memory management (paging) is utilized by most of the current operating systems (OSs) due to its rich features such as prevention of memory fragmentation and fine-grained access control. Page-based virtual memory, however, stores virtual to physical mappings in page tables that also reside in main memory. Because translating virtual to physical addresses requires walking the page tables, which in turn implies additional memory accesses, modern CPUs (such as the Xeon Phi) employ translation lookaside buffers (TLBs) to cache the mappings. Nevertheless, TLBs are limited in size and applications that consume a large amount of memory and exhibit little or no locality in their memory access patterns, such as graph algorithms, suffer from the high overhead of TLB misses.

3 Hierarchical Memory Management

3.1 Introduction

Current programming models for heterogeneous systems execute applications primarily on the multicore host which in turn offloads highly parallel sections to the co-processor. The small on-board memory requires partitioning computational problems into pieces that can fit into the device's RAM and orchestrate data movement along with computation, which at this time is the programmer's responsibility. This architecture with user managed data movement is shown in Figure 2a.



(a) Manual data movement between the host and manycore co-processor on current heterogeneous architectures. *(Offload model.)*

(b) OS driven data movement between the host and manycore co-processor on current heterogeneous architectures. *(Proposed model.)*

(c) OS driven data movement on future standalone many-core CPUs with multiple levels of memory hierarchy. *(Proposed model.)*

図 2: **Overview of data movement scenarios on current heterogeneous systems and future standalone manycore CPUs with multiple levels of memory hierarchy.**

In the future, however, focus will very likely shift towards the manycore unit itself. Intel has already announced details of its next generation Xeon Phi chip, codenamed *Knights Landing*, which will come in a standalone bootable format and will be equipped with multiple levels of memory

hierarchy[1], called ”near” and ”far” memory, respectively. Similarly, Nvidia has also argued that additional levels of memory hierarchies will be necessary for future massively parallel chips. Keeping this architectural direction in mind, we primarily focus on the manycore unit itself and investigate how the host memory can be utilized from the co-processor's point of view.

Because the Intel® Xeon Phi™ co-processor features a standard memory management unit (MMU), it is capable to provide much larger virtual memory than that is physically available. The operating system can keep track of the physical memory, manage the mapping from virtual to physical addresses, and move data between the card and the host in an application transparent fashion. This proposed OS level data movement on current heterogeneous architectures and future standalone many-cores is shown in Figure 2b and Figure 2c, respectively.

We have already proposed per-core *partially separated page tables* (PSPT) to alleviate the TLB problem of frequent address remappings [査読付 1]. Further investigating co-processor based hierarchical memory management, we are focusing on page replacement policies in this work. We show that state of the art replacement algorithms, such as approximations of the least recently used (LRU) policy, are not good candidates for massive many-cores due to their inherent cost of TLB invalidations required for tracking page usage statistics.

To address this issue, we propose a novel page replacement policy which relies on the auxiliary knowledge of the number of mapping CPU cores for each address obtained from the per-core page tables. Intuitively, pages that are mapped by a large number of CPU cores are likely more important than those mapped by only a few. Furthermore, swapping out such pages requires TLB invalidations on a large number of CPU cores. Therefore, our algorithm prioritizes victim pages based on the number of mapping CPU cores and in turn it can avoid remote TLB invalidations for page usage statistics altogether.

3.2 Design

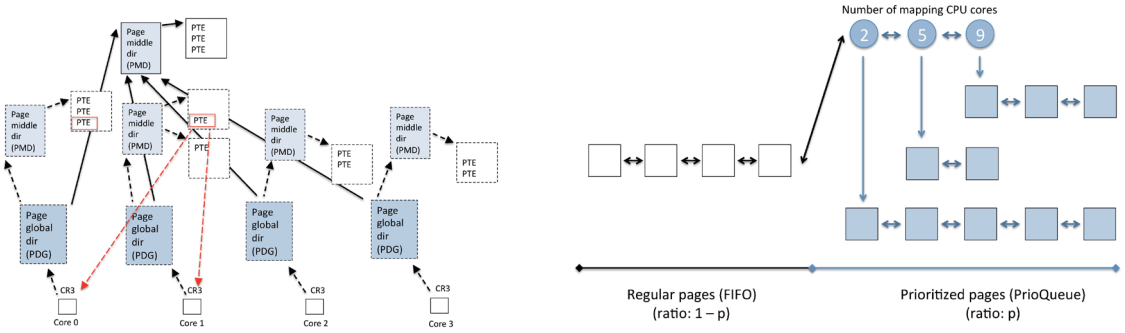
State of the art page replacement algorithms, such as approximations of the LRU policy, aim at minimizing the number of page faults during execution by means of estimating the working set of the application and keeping it in RAM. To estimate the working set, the operating system monitors memory references, relying on the access bit of page table entries. Specifically, the OS scans PTEs checking and clearing the accessed bit in a periodic fashion. In case of the x86 architecture, however, every time the accessed bit is cleared, it is also required to invalidate the TLB entry (on all affected CPU cores) corresponding to the given PTE in order to ensure that the hardware will set the access bit when the page is referenced again.

In order to overcome the aforementioned issue, we propose a novel page replacement policy that exploits the auxiliary knowledge of the number of mapping CPU cores of each memory page, which we gather from the per-core partially separated page tables. Note that such information cannot be obtained from regular page tables due to their centralized book keeping of address mappings.

The high level design of the algorithm, which we call *Core Map Count based Priority replacement* (CMCP), is shown in Figure 3b. Physical pages are separated into two groups, regular pages (left side of the Figure) are maintained on a simple FIFO list, while the priority pages (shown on the right) are held on a priority queue according to the number of mapping CPU cores for each page. (The number of mapping cores is determined by the per-core separated page tables which is shown in Figure 3a.)

When a new PTE is set up by a CPU core, it first consults PSPT to retrieve the number of mapping

[1]The term *multiple levels of memory hierarchy* does not refer to multiple levels of caches in this document.



(a) Per-core Partially Separated Page Tables.

(b) Core-Map Count based Priority Replacement.

図 3: **Overview of per-core partially separated page tables and the core-map count based page replacement algorithm.**

cores for the particular page, and it tries to place the page into the prioritized group. If the ratio of prioritized pages already exceeds the enforced limit and the number of mapping cores of the new page is larger than that for the lowest priority page in the prioritized group, then the lowest priority page is moved to FIFO and the new page is placed into the priority group. Otherwise, the new page goes to the regular FIFO list. The most important thing to notice is that there are no extra remote TLB invalidations involved in the decision process.

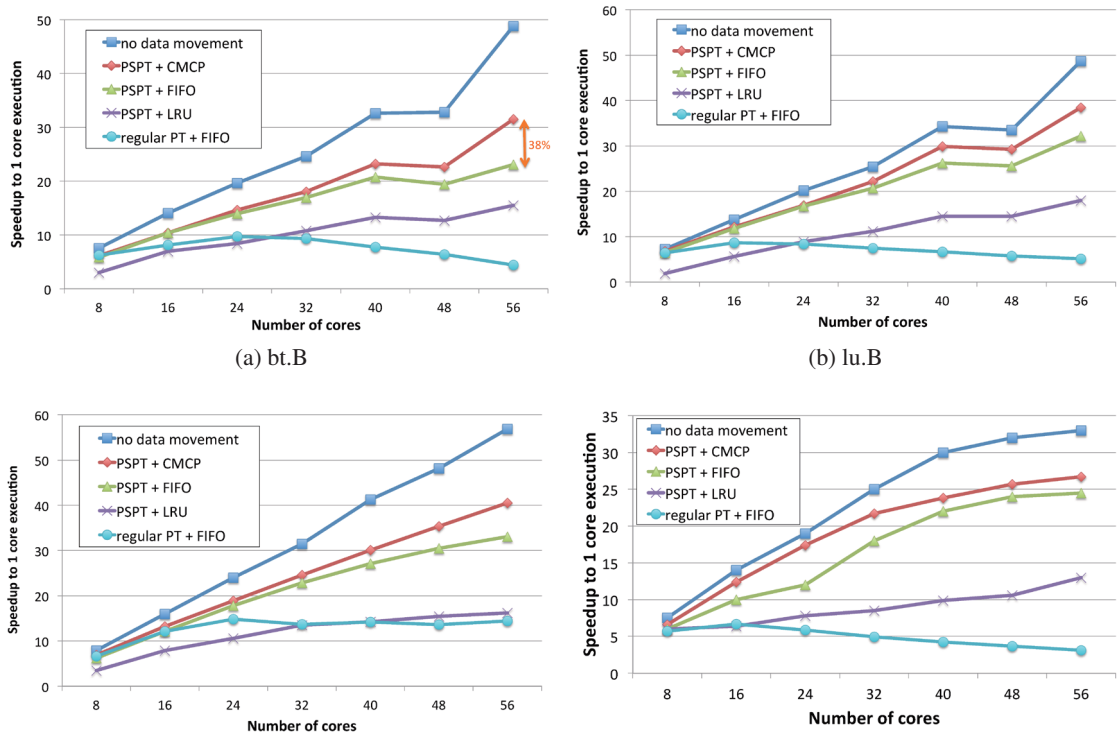
3.3 Experimental Results

This section provides some experimental results assessing the performance of PSPT with/without CMCP. We use the OpenMP version of three representative algorithms from the *NAS Parallel Benchmarks*. Namely, CG (Conjugate Gradient), LU (Lower-Upper symmetric Gauss-Seidel) and BT (Block Tridiagonal) and the *Scalable Computing for Advanced Library and Environment* (SCALE), a stencil computation code for weather and climate modelling developed at RIKEN AICS.

For each benchmark we ran five configurations. First, using regular page tables and providing sufficient physical memory so that data movement does not occur. This is indicated by the legend *no data movement*. We limit physical memory so that FIFO replacement using PSPT achieves approximately half of the performance of the *no data movement* configuration. We measured the performance of FIFO replacement for both regular and partially separated page tables, indicated by *regular PT + FIFO* and *PSPT + FIFO*, respectively. Additionally, we compare the performance of page replacement policies by evaluating the effect of LRU, denoted by *PSPT + LRU*, and Core-Map Count Based replacement, indicated by *PSPT + CMCP*. Results are shown in Figure 4.

The first thing to point out is the fact that there is nothing wrong with regular page tables in case no data movement (and thus no address remapping) is performed by the OS. However, when frequent page faults occur concurrently on several cores, regular page tables hardly scale up to 24 cores, resulting in completely unacceptable performance. In fact, one can observe slowdown in most cases when more than 24 cores are utilized.

On the other hand, partially separated page tables provide relative speed-ups (i.e., scalability) similar to the no data movement configuration. The key observation with regards to page replacement policies is the superior performance of the Core-Map Count based Replacement policy, which consistently outperforms FIFO, yielding 38%, 25%, 23%, and 13% better results when running on 56 CPU cores for BT (Figure 4a), LU (Figure 4b), CG (Figure 4c), and SCALE (Figure 4d), respectively.



(a) bt.B (b) lu.B

(c) cg.B (d) SCALE (sml)

図 4: **Performance measurements of NAS Parallel benchmarks and SCALE (sml) comparing regular page tables and PSPT using various page replacement policies.**

4 Hybrid Segmentation Kernel

4.1 Introduction

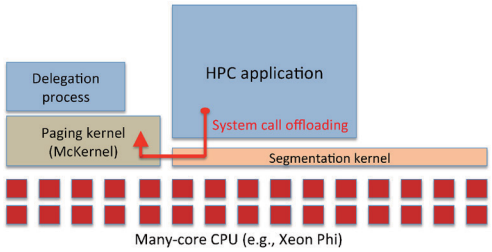
As mentioned earlier in Section 2, due to the limited size of translation lookaside buffers (TLBs), which cache page table entries when paging is used for virtual memory, applications that consume a large amount of memory and exhibit little or no locality in their memory access patterns, such as graph algorithms, suffer from the high overhead of TLB misses.

This work proposes a new hybrid kernel design targeting many-core CPUs, which manages the application's memory space by segmentation and offloads kernel services to dedicated CPU cores where paging is utilized. The method enables applications to run on top of the low-cost segmented memory management while allows the kernel to use the rich features of paging.

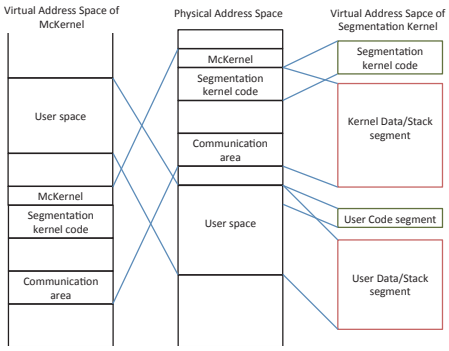
4.2 Design

We introduce a new design of OS kernel in which the main OS kernel runs on paging, but certain applications (those targeting high performance) can be executed using segmentation based memory model. In this design, the OS kernel using paging (paging kernel) works in harmony with another tiny kernel, running on another CPU core, which enables the segmented memory (segmentation kernel). High level overview is shown in Figure 5a.

The segmentation kernel provides a minimalistic execution environment for applications and delegates kernel functions to the paging kernel. Memory mappings of the application is accessible both from the segmentation and the paging kernels, as shown in Figure 5b. Utilizing manycore archi-



(a) Hybrid paging and segmentation kernel architecture.



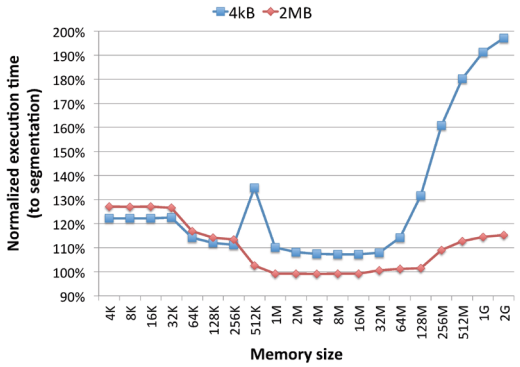
(b) Memory mappings of an application executed by the segmentation kernel.

図 5: **Overview of the hybrid segmentation kernel architecture and the memory mappings between the segmentation and paging kernels.**

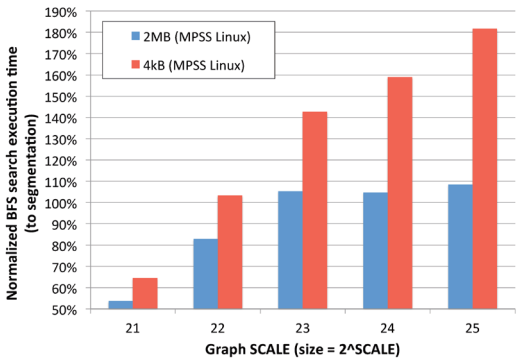
tectures, we use a few cores to execute the paging kernel and the rest of the cores may run over segmentation.

4.3 Experimental Results

All experiments were carried out on Intel's Xeon Phi co-processor. The first measurement we performed is a micro benchmark to assess random memory access performance for which we used a standard code from the HPC Challenge Benchmark (results are shown in Figure 6a). In order to explore the benefits of segmentation on a real application we also evaluated our design using the Graph500 benchmark, for which 6b illustrates the measurements.



(a) Normalized execution time of random access benchmark using 4kB/2MB pages compared to segmentation as the function of memory footprint.



(b) Normalized average execution time of BFS search in Graph500 using 4kB/2MB pages on MPSS Linux compared to segmentation with McKernel as the function of graph scale.

図 6: **Evaluation of segmentation performance over paging on various bechmarks.**

The key observation is that for each benchmark segmentation outperforms paging when a large amount of memory is used. For example, in case of random access is up to 200% and 15% for 4kB and 2MB pages, respectively. Similarly, when using a large enough graph in Grap500, segmentation gives 81% and 9% performance improvements for regular and large pages, respectively.

5 Cache-line Sensitive Memory Allocator

5.1 Introduction

Although manycore CPUs tend to come with complex networks-on-chip (NOC) and with multiple memory controllers, with respect to memory access there are mainly two approaches. Uniform memory access (UMA) architectures provide uniform access latencies for the entire physical memory regardless which CPU core is generating the request, while on the other hand, non-uniform memory access (NUMA) architectures allow explicit differences in terms of memory access latencies depending on the physical address and the CPU core that is accessing it. Despite the fact that the large number of CPU cores and complex on-chip networks make it increasingly difficult to keep access latencies uniform, most of the existing manycore processor do follow the UMA approach for the sake of easy programmability.

The Xeon Phi also provides uniform memory access officially. However, we find that memory access latencies differ significantly depending on which CPU core accesses a given physical address. Access latencies to the same cache line can vary by up to 60% when issuing requests from different CPU cores.

5.2 Design

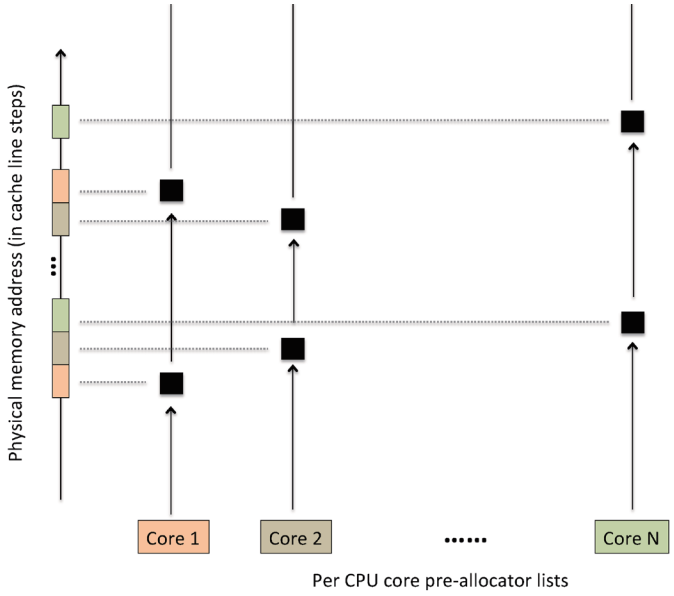


図 7: **Cache line latency aware per-core allocator lists.** *The colored cache lines on the left indicate low latency accesses from the CPU cores denoted by the same color.*

The basic idea of the cache line latency aware allocator is that when memory is requested by the application the runtime system pre-allocates a large chunk of memory and queries the physical addresses of the corresponding pages from the acquired mapping. Once the physical addresses are known, the latency data base is consulted to determine which cache lines have low latency access from CPU cores used by the application and the runtime places the addresses onto the corresponding per-core allocator lists. Although we are explicitly targeting small memory requests in this paper, it is worth mentioning that larger allocations can be still satisfied simply by falling back to the regular glibc memory allocator.

The architecture of the allocator is shown in Figure 7. The colored addresses on the left of the Figure represent cache lines which can be accessed with low latency by the CPU core designated by the same color. The per-core lists hold these addresses (denoted by the black squares) for each application core and memory allocation requests are directly satisfied from these lists.

5.3 Experimental Results

We used the A* algorithm solving the 16 tile puzzle problem to evaluate our proposal, but it is worth noting that our approach could be generally applied to a wide range of Recursive Data Structures (RDSs). All measurements were performed on the Intel Xeon Phi chip. Since we are focusing on the effect of hidden non-uniformity of memory accesses, we simply use different goal states on different CPU cores. This keeps the parallel code simple, because open and closed sets are separated per core, and it also eliminates the possibility of false sharing.

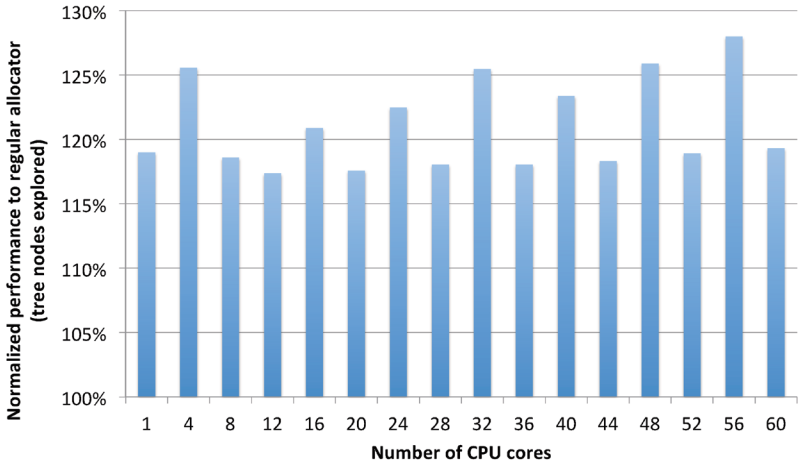


図 8: **Relative performance of the cache line latency aware allocator compared to regular pre-allocation on the A* algorithm solving a 16 tile puzzle.**

We measured the number of graph nodes the algorithm explores in unit time and report the normalized improvement of the cache line aware allocator compared to the regular pre-allocation. Results are indicated by Figure 8, where each measurement was repeated three times and the chart shows the average values. As seen, performance improvement scales from 17% to 28% and varies depending on the number of CPU cores utilized in the application.

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] GEROFI, B., SHIMADA, A., HORI, A., AND ISHIKAWA, Y. Partially Separated Page Tables for Efficient Operating System Assisted Hierarchical Memory Management on Heterogeneous Architectures. In *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2013 13th IEEE/ACM International Symposium on* (May 2013) [best paper nominee].

[査読付 2] GEROFI, B., SHIMADA, A., HORI, A., MASAMICHI, T., AND ISHIKAWA, Y. CMCP: A Novel Page Replacement Policy for System Level Hierarchical Memory Management on

Many-cores. In *High Performance Distributed Computing (HPDC), ACM International Symposium on* (June 2014) [to appear].

[査読付 3] SOMA, Y., GEROFI, B., AND ISHIKAWA, Y. Revisiting Virtual Memory for High Performance Computing on Manycore Architectures: A Hybrid Segmentation Kernel Approach. In *Runtime and Operating Systems for Supercomputers (ROSS), ACM International Workshop on* (June 2014) [to appear].

[査読付 4] GEROFI, B., MASAMICHI, T., AND ISHIKAWA, Y. Exploiting Hidden Non-uniformity of Uniform Memory Access on Manycore CPUs: A Cache-line Latency Aware Memory Allocator. In *Euro-Par Parallel Processing (Euro-Par), 20th International Conference on* (Aug 2014) [under submission].

その他の発表論文

[発表 1] verview Presentation of Interface for Heterogeneous Kernels and McKernel @ Argonne National Laboratory, Chicago, IL, USA (Dec 2013)

[発表 2] esign and Implementation Presentation on Interface for Heterogeneous Kernels, McKernel, Hierarchical Memory Management and Hybrid Segmentation Kernel @ Intel Corporation, Santa Clara, CA, USA (Mar 2014)

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

2013 年 12 月の着任以降，主に以下の研究，および業務を行った。

- 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通信を可能にする，密結合演算加速機構に関する研究を行った [招待 1, 査読付 1, 査読付 4, 発表 1, 発表 2, 発表 3, 発表 4, 発表 6, 発表 8] 。また，2012 年 12 月に行った本研究に関する発表 [1] に対して，情報処理学会山下記念研究賞 [受賞 1] を受賞した。本研究の一部は，筑波大学における文部科学省特別経費「エクサスケール計算技術開拓による先端学際計算科学教育研究拠点の充実」事業，および 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。

- GPU クラスタ向け並列言語 XMP-dev 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 XMP-dev が筑波大学・理研を中心に開発されている。XMP-dev におけるランタイムとして，ヘテロなマルチコア環境のためのランタイムシステムである StarPU を用いた GPU/CPU 動的負荷分散機能を実現する研究を行った [査読付 2, 査読付 3, 発表 7]。

- 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 [発表 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 を用いた場合の実現可能性について調査した。本研究は，NTT アクセスサービスシステム研究所との共同研究として実施した。

- 最先端共同 HPC 基盤施設 (JCAHPC: Joint Center for Advanced High Performance Computing) に関する業務

  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，2013 年 3 月に両大学間で協定が締結され活動を始めている。構築するスーパーコンピュータシステムについての設計・仕様検討を行った。

- 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) 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 資源提供機関として，T2K (HA8000 クラスタシステム)，Oakleaf-FX (FX10 スーパーコンピュータシステム)，および HPCI 共用ストレージ東拠点の運用業務を行った。

以降，密結合演算加速機構に関する研究，および最先端共同 HPC 基盤施設に関する業務について述べる。

2 密結合演算加速機構 (Tightly Coupled Accelerators:TCA) と実証クラスタ HA-PACS/TCA

2.1 背景

近年，GPU (Graphics Processing Unit) を始めとする演算加速機構の持つ高い演算性能とメモリバンド幅に着目し，様々な HPC アプリケーションへの適用が盛んに行われている。また，電力効率の良さにも注目されており，2013 年 11 月の GREEN500 リスト [2] では Top10 を NVIDIA 社 K20 搭載の GPU クラスタが占めた。

演算加速機構はホストに対して IO バスにより接続されるが，このようなシステムでは複数ノードをまたがる演算加速機構間の通信が必要になる。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。特にサイズの小さいデータ転送の場合にレイテンシの増加により顕著な性能低下を引き起こすことが知られている．

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) の開発を行っている。

2.2 内容

TCA の基本的なハードウェア技術としては，PCI Express (以降，PCIe) を応用したものである [3]。8 から 16 ノード程度を TCA で結合し，特にメッセージサイズが小さく低レイテンシを要求するアルゴリズムにこれを適用する。このノードグループをサブクラスタと呼ぶ．全てのノードはベースクラスタと同様 InfiniBand でも結合され，TCA と InfiniBand の階層ネットワークを構成する．特に大規模並列 GPU アプリケーションでは，高速な局所通信と大規模な一般通信とを組み合わせた最適化が可能になると考えられる．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Tesla 版 GPU であり，GPUDirect Support for RDMA[4] (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 [5]。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おり，PEACH2 においてはこれをノード間の通信に拡張する。PEACH2 では PCIe パケットの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 を使用することにより，動作速度やレイテンシの面では大きな制約を受ける一方で，回路を柔軟に変更することができ，機能の改善や，様々な機能追加が後から可能であり，また，制約の中で注意深く設計することにより，十分な性能を得ることができる。

TCA を用いた実証システムとして，HA-PACS/TCA クラスタが 2013 年 11 月に筑波大学計算科学研究センターに導入された。HA-PACS/TCA では図 1 に示す構成を用いている。CPU ソケットから直接 PCIe Gen3 を 40 レーン持つ Intel 社 Xeon E5 (SandyBridge/IvyBridge-EP) プロセッサを前提とする．従って，2 ソケット用いると Gen3 80 レーンを持つ．GPU は従来通りホストに直接接続される．一方，PEACH2 ボードは別の PCIe スロットに接続し，GPU メモリにアクセスする必要がある．この図 1 の

場合にも，全てのデバイスは単一の PCIe アドレス空間に配置され，GPU と PEACH2 の間は CPU に内蔵された PCIe スイッチを介して直接 PCIe プロトコルで通信可能である。

Intel プロセッサにおいては，複数 CPU ソケット間のインタコネクトとして QPI が用いられているが，GPU0 または GPU1 と，GPU2 または GPU3 の間の QPI をまたぐデバイス間通信には性能上問題があり，PEACH2 からのアクセスは図 1 中の GPU0, GPU1 のみに限定することを想定している。

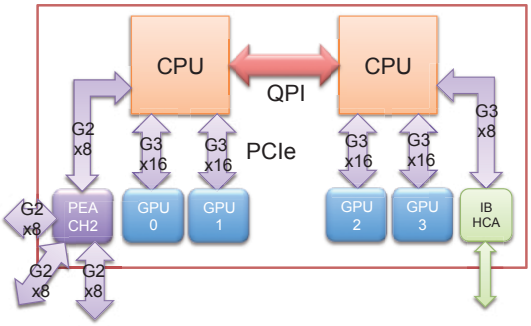


図 1: HA-PACS/TCA におけるノード構成

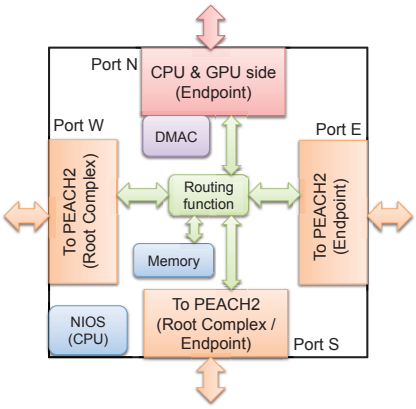


図 2: PEACH2 の構成

PEACH2 チップの構成は図 2 に示すように N(orth), E(ast), W(est), S(outh) の 4 つの PCIe Gen2 x8 ポートを持つ。E ポート, W ポートは，隣接ノードの PEACH2 との間でリングを構成し，S ポートはリング同士を接続するために用いられる。

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 3 に PEACH2 ボードを示す．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 (N ポート) と，左側面には PCIe ケーブルポートが合計 3 個 (E, W, S ポート) 備わっている。

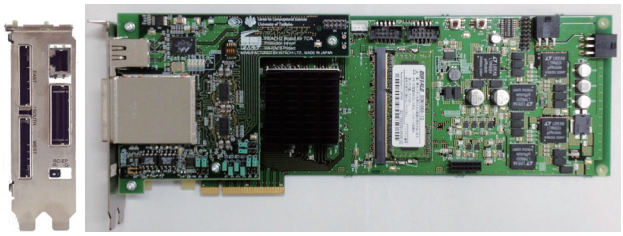


図 3: PEACH2 ボードの写真 (左：パネル面，右：基板面，中央左のヒートシンク下に FPGA が隠れている．)

HA-PACS/TCA は 64 ノードで構成される。図 4 に示すように，各計算ノードには PEACH2 ボードが内蔵され，ボード同士を PCIe 外部接続ケーブルで接続することによって TCA サブクラスタが構成される。現在の構成では，TCA サブクラスタは 16 ノードからなり，HA-PACS/TCA 全体では 4 つの TCA サブクラスタを含む。

図 4: TCA 計算ノード前面 (左)，TCA 計算ノード背面 (右，中央部にあるのが PEACH2 ボード)

2.3 具体的成果

- TCA 向けドライバの開発

  Linux から PEACH2 ボードを利用可能にするためのドライバ，および GDR 機能を実現するためのドライバの開発を継続して行った。以下に必要な基本的な通信機能は完成し，改良を加えている。

- TCA におけるプログラミング環境の開発

  TCA のための API は，NVIDIA から提供されている CUDA 開発環境を基本とし，従来の同一ノード内における GPU 間メモリコピーをノード間に拡張した [発表 1]。実際には，(1) 受信用メモリハンドル登録，(2) リモート書き込みパターンの登録，(3) 送信 (DMA) 実行，(4) 受信確認または受信待ち，の手順になる。ステンシル計算のように同じ通信パターンを繰り返す場合には，各反復中では (3), (4) のみを実行すればよく，オーバヘッドが削減できる。

  また，TCA による通信を支援するプログラミング言語として，PGAS 言語である Xcalable MP の TCA 拡張である，XMP-dev/TCA について検討し実装を行った [発表 2]。

- HA-PACS/TCA における性能評価

  基本性能の測定を行った結果，ping-pong 通信における最小レイテンシは，PIO の場合の CPU 間で 0.8μs, DMA の場合，CPU 間で 1.8μs, GPU 間で 2.3μs の性能が得られた。InfiniBand QDR 上で MVAPICH2-GDR 2.0b による CUDA-aware MPI による場合には，GPUDirect off では 17μs, GPUDirect on でも 6.5μs であり，TCA の方が 2.8 倍以上良い性能を示した。また 64KB 以下のサイズでは TCA の方がレイテンシが低かった。また，通信バンド幅については，CPU 間では 3.5GB/s と理論ピーク性能の 95%以上得られている。GPU 間では 2.7GB/s の性能が得られている。大きなメッセージサイズの場合には，敢えてホストメモリに一旦コピーし，パイプライン処理で送信することによって，CPU 間でのバンド幅に近づけることは可能であると考えられる。ブロック-ストライド転送における性能測定の結果，ブロック転送と同等，あるいはそれ以上の性能を示すことが分かった [発表 4]。

- PEACH2 の機能拡張および PEACH2 を用いたアプリケーション

  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の実装について検討している [発表 3]。また，PEACH2 の機能をタスクレベルパイプライン処理に用いるフレームワークについても検討している [査読付 1, 査読付 4]

3 最先端共同HPC基盤施設 (JCAHPC: Joint Center for Advanced High Performance Computing) に関する業務

3.1 背景

現在国内では，HPCIにより，京コンピュータを始め，国内の情報基盤センター群や附置研究所などがHPCにおける計算資源を提供している。今後も，世界最高水準のHPC基盤を提供し続けるためには，これらの資源提供機関が協力して体制を整えて行く必要がある。

そこで，筑波大学計算科学研究センターと共同で「最先端共同HPC基盤施設」(JCAHPC: Joint Center for Advanced High Performance Computing) を設置し，次期スーパーコンピュータシステムの共同設計開発および共同運転・運営を行う。両センターは，これまでにも京都大学と合わせてT2Kオープンスーパーコンピュータアライアンスにより，T2Kシステムの共同仕様を策定，調達のプロジェクトを行ってきた経緯がある。

3.2 内容

両機関の教職員が中心となって次期スーパーコンピュータシステムの設計を行い，東京大学柏キャンパスの情報基盤センター内に設置、最先端の大規模高性能計算基盤を共同で構築・運営する。

実際のユーザ利用に際しては，東大と筑波大の両センターで，計算資源量によってシステムを案分し，センター毎に，それぞれユーザへのサービス，運用を行う。システムが一体であることで，各センターが個別に導入するのに比べて大規模な計算が可能となるのと同時に，導入コスト・管理コストを削減することができる。

3.3 具体的成果

- 2013年3月：東京大学と筑波大学との間で「計算科学・工学及びその推進のための計算機科学・工学の発展に資するための連携・協力 推進に関する協定」が締結され，その協定の基で最先端共同HPC基盤施設が設置された。
- 7月16日：資料招請の官報公告
- 7月22日：導入説明会
- 7月24日：柏キャンパスにおいて，両センター合同のキックオフシンポジウムを開催
- 2014年2月28日：導入説明会を受けて，各ベンダからの資料提出

この他，定期的に仕様策定のための打ち合わせを行った。ベンダへのヒアリングについても両センターのメンバーが合同で行った。

4 成果要覧

着任した12月以降の成果について示す。

招待講演／招待論文

[招待 1] Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: GPU Cluster with Proprietary Interconnect Utilizing GPU Direct Support for RDMA,GPU Technology Conference 2014, S4383, Mar. 2014.

受賞関連

[受賞 1] 塙 敏博: 2013年度山下記念研究賞，情報処理学会，2014年3月

査読付論文

[査読付 1] Takaaki Miyajima, Takuya Kuhara, Toshihiro Hanawa, Hideharu Amano, and Taisuke Boku: Task Level Pipelining on Multiple Accelerators via FPGA Switch, the 12th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks (PDCN2014), Track 811-026, Feb 2014.

[査読付 2] 小田嶋 哲哉, 朴 泰祐, 塙 敏博, 児玉 祐悦, Raymond Namyst, Samuel Thibault, Olivier Aumage, 佐藤 三久: GPU クラスタ向け並列言語 XMP-dev における GPU/CPU 動的負荷分散機能, 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 (HPCS2014) 論文集, pp. 87–96, 2014 年 1 月.

[査読付 3] Tetsuya Odajima, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Raymond Namyst, Samuel Thibault, Olivier Aumage: Adaptive Task Size Control on High Level Programming for GPU/CPU Work Sharing, International Symposium on Advances of Distributed and Parallel Computing (ADPC 2013) in conjunction with ICA3PP, Lecture Notes in Computer Science Volume 8286, 2013, pp. 59–68, Dec. 2013.

[査読付 4] Takaaki Miyajima, Takuya Kuhara, Toshihiro Hanawa, Hideharu Amano, Taisuke Boku: Task level pipelining with PEACH2: An FPGA switching fabric for high performance computing, International Conference on Field Programmable Technology (FPT2013), Demo paper, pp. 466–469, Dec. 2013.

その他の発表論文

[発表 1] 藤井 久史, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久, 藏増 嘉伸, Mike Clark: GPU 向け QCD ライブラリ QUDA の TCA アーキテクチャによる実装, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-HPC-143(35), pp. 1–7, 2014 年 3 月

[発表 2] 中尾 昌広, 村井 均, 下坂 健則, 田渕 晶大, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久: Tightly Coupled Accelerators アーキテクチャに向けた XcalableMP 拡張, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-HPC-143(34), pp. 1–8, 2014 年 3 月

[発表 3] 久原 拓也, 宮島 敬明, 塙 敏博, 天野 英晴, 朴 泰祐: PEACH2 を用いたノード間通信中の FPGA/GPU 協調動作, 電子情報通信学会技術報告 (VLD/CPSY/SLDM/RECONF 合同研究会), vol. 113, no. 417, CPSY2013-79, pp. 37–42, 2014 年 1 月.

[発表 4] 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐, 佐藤 三久: HA-PACS/TCA システムにおけるマルチノード GPU 間通信性能評価」, Vol. 2014-ARC-208(20), pp. 1–8, 2014 年 1 月.

[発表 5] Hiroaki Umeda, Toshihiro Hanawa, Mitsuo Shoji, and Taisuke Boku: GPU accelerated Fock matrix preparation routine in OpenFMO, 4th AICS symposium, Dec. 2013.

[発表 6] Hisafumi Fujii, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: Evaluation of parallel GPU application using Tightly Coupled Accelerators, 4th AICS symposium, Dec. 2013.

[発表 7] Tetsuya Odajima, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Raymond Namyst, Samuel Thibault, Olivier Aumage: Work Sharing with GPU and CPU on PGAS Programming Language XcalableMP-dev, 4th AICS symposium, Dec. 2013.

[発表 8] Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Toshihiro Hanawa, Mitsuhisa Sato: HA-PACS/TCA, 4th AICS symposium, Dec. 2013.

特記事項

[特記 1] 最先端共同 HPC 基盤施設ホームページ http://jcahpc.jp

参考文献

[1] 塙 敏博，児玉 祐悦，朴 泰祐，佐藤 三久: Tightly Coupled Accelerators アーキテクチャ向け通信機構の予備評価，情報処理学会研究報告 (HOKKE-20)，Vol.2012-ARC-202 No.13/Vol.2012-HPC-137 No.13, pp. 1-8, 2012 年 12 月.

[2] http://www.green500.org/

[3] 塙 敏博，児玉 祐悦，朴 泰祐，佐藤 三久：Tightly Coupled Accelerators アーキテクチャのための通信機構，情報処理学会研究報告 (アーキテクチャ)，Vol. 2012-ARC-201, No. 26, pp. 1–8 (2012).

[4] NVIDIA Corp.: *NVIDIA GPUDirect*. http://developer.nvidia.com/gpudirect.

[5] Hanawa, T., Kodama, Y., Boku, T. and Sato, M.: Interconnect for Tightly Coupled Accelerators Architecture, *IEEE 21st Annual Sympsium on High-Performance Interconnects (HOT Interconnects 21)*, pp. 79–82 (2013).

適合格子細分化法を用いた 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

2013 年度の主な研究実施項目を以下に示す。

- ✓ ppOpen-HPC プロジェクトでは、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 を開発している。本研究は、プロジェクトで提供される ppOpen-APPL ライブラリ群に対して、適合格子細分化（Adaptive Mesh Refinement, AMR）法を導入し、ポストペタスケールの計算機環境においてライブラリの更なる計算性能の向上とマルチスケールシミュレーション手法の確立を目指す。本年度は特に ppOpen-APPL/FDM ライブラリを対象にした AMR フレームワークの開発・評価を行った[査読付き 4、6、公開 1、発表 10]。本フレームワークの特徴として、AMR 機能だけではなく、MPI プロセス並列化に伴い発生する各プロセス間の計算負荷の不均一を是正する機構として動的領域分割（Dynamic Domain Decomposition, DDD）法を実装している。なお本研究は科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業（CREST）領域名「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」、採択課題「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）」の一部として行われている。

- ✓ 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。従来の Full PIC 法はプラズマ中の電子・イオンをともに超粒子として取り扱う手法であり、全粒子の運動論効果を取り入れた第一原理的シミュレーションを行うことができる一方で、電磁場が定義される格子間隔をプラズマの Debye 長程度に設定しなければならず、広い領域を対象としたシミュレーションをすることが難しい。AMR 法を導入することで上記の問題を解決することを目指す。本年度はプラズマ現象過程を想定した物理シミュレーションとして、小型磁気圏-太陽風相互作用に関する AMR-PIC シミュレーションを実施するとともに、その有効性について示した[査読付き 1、2、5、発表 1-6、9、11、12]。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進めている。

- ✓ 3000K 以上の高温燃焼ガスや、それよりもさらに温度が高い10,000K 程度の（弱電離プラズマ状態にある）気体の熱エネルギーを有効に利用するエネルギー変換技術は確立されていない。このような高温作動流体の熱エネルギーを有効に利用する電磁流体エネルギー変換技術の開発を目指し、短時間のパルス的な加熱により生成される高温・高圧の作動流体を利用する電磁流体力学（MHD）発電の実現可能性と有用性に関する数値的研究を行っている。2013 年度はレーザーの集光によって発生する高温・高圧のデトネーション波を対象に数値シミュレーションを行い、その有用性に関する検討を行った[査読付き 3、発表 8、13]。なお本研究は東京工業大学との共同研究として進めている。

以下では ppOpen-APPL/FDM のための AMR フレームワークの開発についての詳細を述べる。

2　ppOpen-APPL/FDM のための AMR フレームワークの開発

2.1　背景

従来提案の有限差分法（FDM）に代表されるステンシル計算アプリケーションにおいて、計算負荷を低減させる一般的な手法として適合格子細分化（AMR）法がある。図 1 に示すように、AMR 法ではシミュレーション内に生起する現象の空間的特性長を各格子点においてモニターし、それに対応した最適な空間分解能をもつ格子システムを局所階層的かつ動的に導入することにより、全体としてマルチスケールシミュレーションを可能にする。一方で我々は ppOpen-HPC プロジェクトの一環として、ppOpen-APPL/FDM の開発を進めている。これはポストペタスケールシステムでの実行に適した、弾性（地震）波動解析用 FDM 計算ライブラリであり、フリーソフトウェアとして公開されている（http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/）。本研究では ppOpen-APPL/FDM ライブラリのための AMR フレームワーク開発し、更なる高性能化を実現することを目的とする。

FDM シミュレーションにおいて高い計算性能を実現するために Message Passing Interface（MPI）を用いた領域分割による並列化が一般的に行われる。これは計算開始時に全体の計算領域をいくつかの小領域に分割し、各プロセッサ（プロセス）へ割り当てることで計算の並列化を行うが、AMR 法では各格子点における物理量の状況によって局所的に格子細分化が行われるため、計算開始時に割り当てた各プロセス間の計算負荷バランスが崩れる可能性がある。このような負荷不均衡は領域分割による並列化の下では計算性能を劣化させる原因の一つとなる。そこで、本研究で開発する AMR フレームワークでは MPI プロセス並列化に伴い発生する各プロセス間の計算負荷の不均一を是正する機構として動的領域分割（DDD）法を実装している。DDD 法ではシミュレーション中に各プロセスの計算負荷をモニターし、図 2 に示すように、負荷バランスが崩れた際には負荷バランスが一定となるように計算領域を再分割しなおすことで計算性能の劣化を防ぐ。

2.2　内容

本 AMR フレームワークでは、複雑な物理現象を解像するために、設定された criteria に従って空間格子が動的かつ局所的に細分化される。AMR 機能は計算コストを低減させる非常に有効な手法である一方で、格子配列の取り扱いが複雑になり非一様となることが問題となる。そこで、本フレームワークでは格子配列に多階層レベルを含む Fully Threaded Tree（FTT）データ構造を採用している。FTT は AMR 格子を効率よく取り扱うための一般的な手法として知られている。本 AMR フレームワークで使われている FTT データ構造の基本的なコンセプトを図 3 に示す。高解像度が必要な領域では、格子間隔が半分の格子データが追加され、また高解像度が不必要となる領域では自動的に

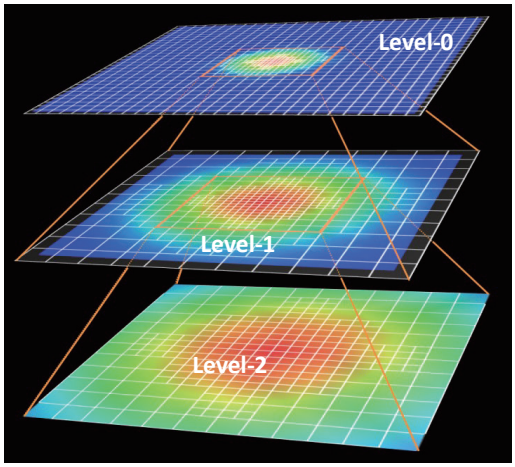


図 1：適合格子細分化の概念図

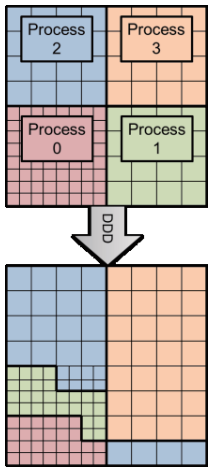


図 2：動的領域分割による負荷不均衡の修正

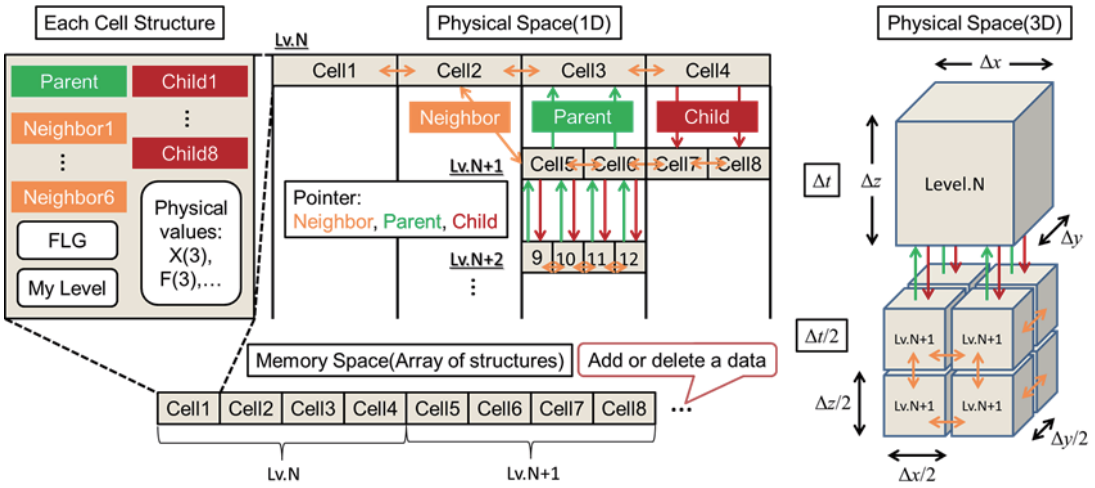


図 3:本 AMR フレームワークの Fully Threaded Tree データ構造。計算領域の各格子セルは構造体変数により構成されており、各格子が有するポインタによって物理空間における隣接接続が保持されている。

削除される。各格子セルは自身のセルに対する neighbor、parent、child セルを指し示すためのポインタを有しており、格子の細分化に伴いこれらのポインタを接続しなおすことで、物理空間における各格子の隣接接続を保つ。本 AMR フレームワークでは各階層間の境界にオーバーラップ領域を設けることで、各階層内での計算が閉じるように設定されている。これにより、親階層に対して子階層は空間格子間隔 Δx だけではなく、時間刻み Δt も 1/2 に設定することが可能となる。つまりこれは、親階層に対して子階層では時間を合わせるために時間ステップ 2 回分の計算を必要とする。子階層で 2 回解いた段階で親階層とのオーバーラップ領域において親階層の格子へ物理量を平均化する一方で、子階層のオーバーラップ領域へは親階層からの線形補間により物理量をコピーすることで、各階層間の物理量を取り扱う。

2.3 具体的成果

図 4 は我々が開発した AMR フレームワークを用いた線形移流方程式のテストシミュレーションの結果を示している。AMR 機能によって細分化される格子の階層は全 4 階層 (Lv.0:粗い格子～Lv.3:細かい格子)に設定されている。ここで、式の離散化には Constrained Interpolation Profile(CIP)法を用いている。移流方程式はもっともポピュラーで単純、かつ基礎的な方程式であり、波動解析や流体解析など数多くの FDM 計算における支配方程式はこの方程式と同型の双曲型偏微分方程式で構成されている。言うまでもなく、線形の移流方程式の一般解は、初期波形が特性速度で平行移動するということがよく知られているが、これを数値的に解くことが単純ではないこともまたよく知られている。図 4 はある特性速度を持つ矩形波が初期条件として計算領域の中央に配置されており、それが右上方向へ伝播する様子を示している。ここで境界条件は周期的境界条件に設定されており、格子の細分化は波形の急勾配領域で行われるように設定されている。細かい格子が波形の移動に伴い動的に構成される様子がわかる。

図 5 に代表的な計算条件(512 MPI プロセス並列時)における 3 次元移流方程式のシミュレーション結果として 1) DDD を導入しない場合(各プロセスが対応する計算領域を固定、青線)と、2) DDD を導入する場合(赤線)の計算時間の変化を示す。DDD を導入しない場合には、各プロセスが担当する計算領域は初期に決めた領域から変化することなく計算中は常に一定としている。この場合、図 5 左より、計算の進展とともに計算時間が大きく変化することがわかる。これは図 4 で示すような矩形波が各プロセスを跨いで伝播する際に、あるプロセスに細かい格子が多く存在する時間と、多プロセスに比較的均等に格子が割り振られる時間が交互に現れることで、計算負荷の集中と緩和が交互に

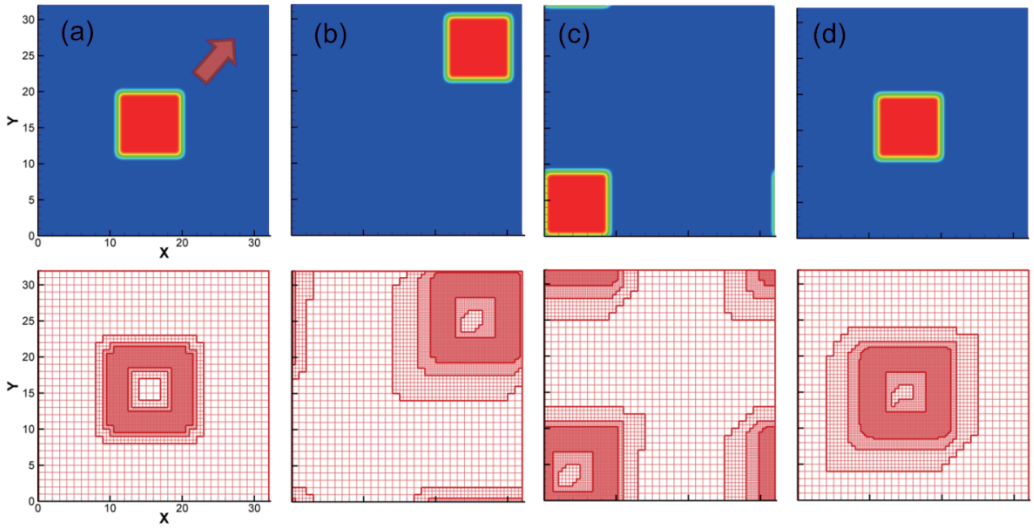


図 4：新たに開発した AMR フレームワークによる移流方程式のシミュレーション例（上：波形のコンター図、下：計算格子）。波形は図中の矢印方向へ伝播し、境界は周期境界条件、急勾配領域を細分化するように AMR criterion を設定。

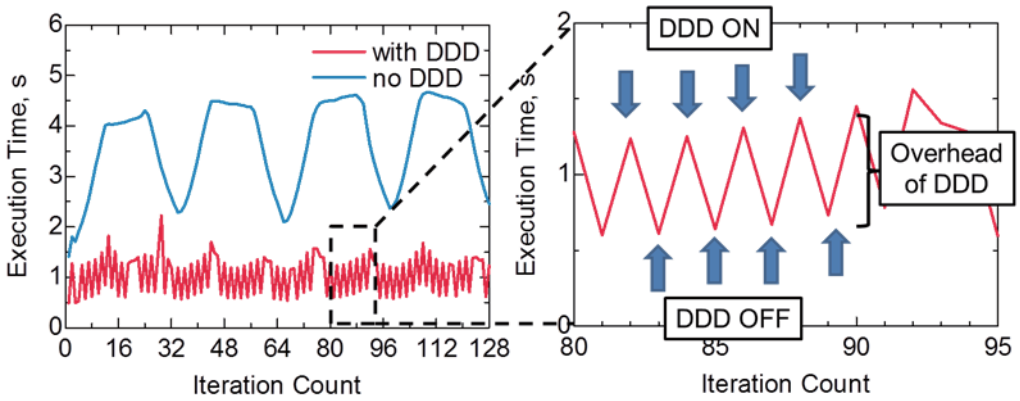


図 5：代表的な計算条件における DDD の有無による毎計算ステップに対する計算時間（512MPI プロセス並列時）

起きることに起因している。つまりこれは、あるプロセスに計算負荷が集中してしまうことによって、他のプロセスが計算待ちの状態に陥り、全体としての計算性能が大きく劣化してしまうことを意味している。一方、DDD を導入することによって、各プロセス間で計算負荷に偏りが生じた際に、負荷バランスが均衡するよう計算領域を動的に再分割し、負荷の偏りによる計算速度の劣化を抑える。その結果として図 5 左に示すように DDD を導入しない場合に比べ DDD を導入することによって計算時間を低減させることができる。これは、全体の計算負荷が均等に各プロセスへ割り振られることによって DDD を導入しない場合に現れる、ある特定のプロセスへの負荷の集中がなくなり、各プロセスが効率よく計算を行うことにより、全体としての計算性能の劣化を抑えることができることを意味している。DDD 機能は常に各プロセス間の負荷の状況を観測しており、設定された DDD criterion に応じて動的に ON/OFF を行う。図 5 右は DDD が ON/OFF 時それぞれの場合における計算時間の違いを示しており、この差が DDD 機能のオーバーヘッドとなるが、これを含めても DDD を導入しない場合と比較して十分に DDD の効果があることがわかる。

3 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Masaharu Matsumoto, Hideyuki Usui, Masanori Nunami, Masao Nakamura and Iku Shinohara: Two-Dimensional AMR-PIC Plasma Simulation for Mini-Magnetosphere of Magnetized Object, Plasma and Fusion Research, Vol.8, 2406132, 2013. (DOI: 10.1585/pfr.8.2406132)

[査読付 2] Hideyuki Usui, Yohei Yagi, Masaharu Matsumoto and Masanori Nunami: Development of Parallelized AMR-PIC Plasma Simulation Code with Dynamic Domain Decomposition, Plasma and Fusion Research, Vol.8, 2401149, 2013. (DOI: 10.1585/pfr.8.2401149)

[査読付 3] 松本正晴、髙木成郎、奥野喜裕:数値計算によるレーザー駆動 MHD 発電の基礎的検討、日本航空宇宙学会論文集、2014. (accepted)

[査読付 4] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Katagiri and Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of an AMR Framework for FDM Applications, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES 2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS 2014), Procedia Computer Science, 2014. (accepted)

[査読付 5] Hideyuki Usui, Akihide Nagara, Masanori Nunami and Masaharu Matsumoto: Development of a Computational Module for Block-Based AMR Simulations, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES 2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS 2014), Procedia Computer Science, 2014. (accepted)

[査読付 6] Futoshi Mori, Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance of the FDM simulation of Seismic Wave Propagation using the ppOpen-APPL/FDM library on Intel Xeon Phi Coprocessor, Proceedings of 11th International Meeting High Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014), 2014. (accepted)

公開ソフトウェア

[公開 1] 森太志、松本正晴、古村孝志: ppOpen-APPL/FDM ver.0.2、http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp、2013 年 11 月

その他の発表論文

[発表 1] 臼井英之、梅澤美佐子、松本正晴、西野真木、三宅洋平:プラズマ粒子シミュレーションによる太陽風ー小型ダイポール磁場相互作用の解析とその Reiner Gamma 磁場への応用、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張、2013 年 5 月.

[発表 2] 梅澤美佐子、臼井英之、松本正晴、西野真木、三宅洋平:太陽風プラズマと月面局所磁場の相互作用に関する粒子シミュレーション、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、幕張、2013 年 5 月.

[発表 3] Masaharu Matsumoto, Yohei Yagi, Hideyuki Usui and Masanori Nunami: Development of Parallelized Plasma PIC Simulation Code with Adaptive Mesh Refinement, 2013 International Supercomputing Conference (ISC' 13), HPC in Asia Session 10a, Leipzig, Germany, June 2013.

[発表 4] Misako Umezawa, Hideyuki Usui, Masaharu Matsumoto Masaki Nishino and Yohei Miyake: Particle-In-Cell Simulation on the Interactions between the Solar Wind and a Magnetic Anomaly on the Moon, The 11th International School/Symposium for Space Simulations, PF01, Taiwan, July 2013.

[発表 5] Akihide Nagara, Masanori Nunami, Masaharu Matsumoto and Hideyuki Usui: Development of a Module for Adaptive Mesh Refinement Simulation, The 11th International School/Symposium for Space Simulations, PG07, Taiwan, July 2013.

[発表 6] Kazuki Tsuchiya, Masaharu Matsumoto and Hideyuki Usui: Electromagnetic Field Treat-ment in AMR-PIC Code, The 11th International School/Symposium for Space Simulations, PG09, Taiwan, July 2013.

[発表 7] 片桐孝洋、大島聡史、松本正晴：ppOpen-AT により自動生成された ppOpen-HPC コードにおける自動チューニング機能の性能評価、日本応用数理学会 2013 年度年会、福岡、2013 年 9 月.

[発表 8] 髙木成郎、松本正晴、奥野喜裕：パルスレーザ駆動 MHD 発電機の電磁流体シミュレーション、電気学会新エネルギー・環境研究会、長岡、2013 年 9 月.

[発表 9] Akihide Nagara, Masanori Nunami, Masaharu Matsumoto and Hideyuki Usui: Development of a Computational Module for Adaptive Mesh Refinement Simulations, 23rd International Toki Conference, P2-50, Toki, Nov 2013.

[発表 10] Masaharu Matsumoto: Development of an Adaptive Mesh Refinement Framework for ppOpen-APPL/FDM, International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation (SPNS2013), Tokyo, Dec 2013.

[発表 11] Hideyuki Usui, Misako Umezawa, Yohei Miyake, Masaharu Matsumoto and Masaki Nishino: PIC simulations on plasma response to a meso-scale magnetic dipole, The American Geophysical Union's 46th annual Fall Meeting, P51E-1761, San Francisco, Dec 2013.

[発表 12] 松本正晴、臼井英之、沼波政倫、中島研吾：適合格子細分化手法を用いたプラズマ PIC シミュレーションの開発、2014 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（HPCS2014）、東京、2014 年 1 月.

[発表 13] Masaharu Matsumoto, Shigeo Takagi and Yoshihiro Okuno: Feasibility Study of a Laser Beamed Magnetohydrodynamic Energy Conversion, Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2014, AJCPP-2014-59, Jeju, South Korea, Mar 2014.

特記事項

[特記 1] 磁気プラズマセイル評価に向けたマルチスケール対応プラズマシミュレーション、研究代表者、日本学術振興会学術研究助成基金助成金（科研費）、若手研究（B）、2012-2014 年度

[特記 2] 小型磁気圏と太陽風の相互作用に関する AMR-PIC シミュレーション、研究代表者、平成 25 年度京都大学電波科学計算機実験装置（KDK）共同利用

[特記 3] Publicity Chair: International Workshop on Software for Post-Peta Scale Numerical Simulation (SPNS2013), Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Dec 2013.

[特記 4] 太陽磁気活動の大規模シミュレーション、共同研究者、平成 25 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）公募型共同研究

[特記 5] ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理 (http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp)、ならびに ppOpen-HPC ver.0.2 ライブラリ群公開へ向けた整備

学際情報科学研究体

伊藤 祥司
線形方程式求解アルゴリズムに対する求解品質の改善

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

線形方程式求解アルゴリズムに対する求解品質の改善

伊藤 祥司

1 概要

2013 年度は、「線形方程式求解アルゴリズムに対する求解品質の改善」の研究として、前処理付き CGS 法に注目し、その従来版と改善版の違いについて解析した。

センター業務関係では、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）における文部科学省の中間評価への対応等を実施した。

2 線形方程式求解アルゴリズムに対する求解品質の改善

2.1 背景

自然現象や工学問題の解明では、数値シミュレーションを用いた解析が盛んである。その過程では、多くの場合、大規模な $n \times n$ の係数行列を持つ線形方程式

$$Ax = b \tag{1}$$

の求解に帰着され、シミュレーションに要する時間の多くがこの計算に費やされる。

線形方程式に対する求解アルゴリズムも、ガウス消去法に代表される“直接法”、一定の求解式を繰り返し実行して解に収束させる“反復法”があり、さらに反復法は“定常反復法”と“クリロフ部分空間法に代表される“非定常反復法”とに分かれる。両反復法とも、解への収束を改善するための“前処理”と呼ばれる技法を併用することが多い。本研究では、現在、クリロフ部分空間(KSP: Krylov subSPace)法に基づく解法を対象としてきており、それらの解法と併用する前処理の影響も併せて議論してきている。ここでは、あらためて、解法と前処理技法とを組み合わせたものを“求解アルゴリズム”と呼ぶことにする。

線形方程式(1)に対して、KSP 法を用いて解く場合、多くの場合、前処理技法を併用する。この前処理の効果とは、大雑把ながら一般的な説明方法に基づくと、係数行列 A に対し、$M \approx A$ となるような前処理行列 M を何らかの方法で生成し、元の線形方程式を

$$\left(M_L^{-1} A M_R^{-1}\right)\left(M_R x\right) = M_L^{-1} b \tag{2}$$

と変換することに基づく。ここで、

$$M = M_L M_R \tag{3}$$

である（(3)ではガウス消去法に基づく LU 分解を用いている）。このとき、前処理変換後の係数行列 $M_L^{-1} A M_R^{-1}$ は単位行列 I に近くなり、性質の良い（解き易い）問題へと変わることが期待される。ここでの前処理変換とは、係数行列の両側から前処理行列を作用させているので“両側前処理変換”とも呼ばれ、$M_L = M, M_R = I$ の場合は“左前処理変換”、$M_L = I, M_R = M$ の場合は“右前処理変換”と呼ばれる。しかし、実際には、(1)から(2)などへの変換自体は行わず、(2)の変換と等価となるように、KSP 法のアルゴリズム中に表れる行列やベクトルを変換して前処理付きアルゴリズムを記述する。すなわち、元々の(1)に対し、“前処理付き KSP 法”を適用して求解する。このとき、前処理に関わる演算は必ずしも(3)の分解を行う必要は無く、前処理付きアルゴリズムの中では、何らかの手段で $u = M^{-1}v$ の演算（前処理演算）を行えば良い。

ところが、従来から国際的にも標準・典型的とされてきている前処理付きアルゴリズムの記述では、数学上の問題点があることが分かった。本研究では、その問題点に対する適正化、言わば、“アルゴリズム記述の品質改善”に成功した[査読付 1]。そして、従来から用いられてきているアルゴリズムでは求解できなかった問題に対して、本提案手法により求解可能となる事例も確認された。本提案手法の適用範囲は、1つの解法に限らず、“双ランチョス系統”と呼ばれる解法群全てに対して適用できるものであり、本研究成果の波及効果は大きい。

2.2 内容

ここ数年間に亘って、双ランチョス系統の KSP 法の中から、CGS 法（Conjugate Gradient Squared method, 自乗共役勾配法）の前処理付きアルゴリズム（PCGS：Preconditioned CGS）の研究に取り組んできている。前年度（2012 年度）の報告書では PCGS アルゴリズムの改善版について説明したが、その論文が 2013 年度に出版された[査読付 1]。今回の報告書では、その論文の中から、前年度の報告書には記載していなかった部分を中心に記述する。

線形方程式(1)の非対称な係数行列 A を転置した行列を係数行列とする双対系（シャドウ系とも呼ばれる）

$$A^T x^{\#} = b^{\#} \tag{4}$$

を導入し、(4)に基づくシャドウ残差ベクトル

$$r_k^{\#} = b^{\#} - A^T x_k^{\#} \tag{5}$$

と線形系(1)の残差ベクトル

$$r_k = b - Ax_k \tag{6}$$

との双直交系を構成する BiCG 法（Bi-Conjugate Gradient method, 双共役勾配法）を基にして、様々な双ランチョス系統のアルゴリズムが提案されてきた。ここで、(5)(6)に表れる添え字 k は反復回数である。双直交性とは、簡単に説明すると、$r_i^{\#}$ と r_j との内積 $\left\langle r_i^{\#}, r_j \right\rangle$ に対し

$$\left\langle r_i^{\#}, r_j \right\rangle \neq 0 \quad (i \neq j) \tag{7}$$

となることであり、k=0 のとき、$\left\langle r_0^{\#}, r_0 \right\rangle \neq 0$ を満たすよう初期シャドウ残差ベクトル $r_0^{\#}$ を与える。

また、KSP 法は、基本演算に現れる漸化式のベクトルを反復更新する度に、解を構成する部分空間が拡張される。その空間を探索するための、線形系における探索方向ベクトル p_k と双対系におけるシャドウ探索方向ベクトル $p_k^{\#}$ の間には、次の双共役性が成り立つ。

$$\left\langle p_i^{\#}, Ap_j \right\rangle \neq 0 \quad (i \neq j). \tag{8}$$

実際の BiCG 法においては、これら双共役と双直交に基づく演算は、アルゴリズム中の各反復において算出される係数 α_k , β_k として表現される。

アルゴリズム 1： BiCG アルゴリズム

$$r_0 = b - Ax_0,$$
$$\left\langle r_0^{\#}, r_0 \right\rangle \neq 0, \text{e.g.}, r_0^{\#} = r_0, \beta_{-1} = 0,$$
$$\text{For } k = 0,1,2,\cdots; \text{Do}$$
$$p_k = r_k + \beta_{k-1} p_{k-1},$$
$$p_k^{\#} = r_k^{\#} + \beta_{k-1} p_{k-1}^{\#},$$
$$\alpha_k = \frac{\left\langle r_k^{\#}, r_k \right\rangle}{\left\langle p_k^{\#}, Ap_k \right\rangle},$$

$$
\begin{aligned}
&x_{k+1} = x_k + \alpha_k p_k,\\
&r_{k+1} = r_k - \alpha_k A p_k,\\
&r^{\#}_{k+1} = r^{\#}_k - \alpha_k A^T p^{\#}_k,\\
&\beta_k = \frac{\left\langle r^{\#}_{k+1}, r_{k+1}\right\rangle}{\left\langle r^{\#}_k, r_k\right\rangle},
\end{aligned}
$$

End Do

一方、CGS 法は、BiCG 法で用いられているベクトルを次のように多項式表現した上で、双直交と双共役に関する演算の等価な変形を行い得られる解法である。CGS 法では A^T に関する演算が現れないことが特長である。

$$r_k = R_k\left(A\right)r_0, \quad p_k = P_k\left(A\right)r_0, \tag{9}$$

$$r^{\#}_k = R_k\left(A^T\right)r^{\#}_0,\ p^{\#}_k = P_k\left(A^T\right)r^{\#}_0. \tag{10}$$

これらの多項式は下記の漸化式を満たす。

$$
\begin{aligned}
&R_0(A) = I,\ \beta_{-1} = 0,\\
&\begin{cases} P_k(A) = R_k(A) + \beta_{k-1}P_{k-1}(A), & k = 0,1,2,\cdots,\\ R_{k+1}(A) = R_k(A) - \alpha_k A P_k(A), & k = 0,1,2,\cdots. \end{cases}
\end{aligned}
$$

以上を用いて、BiCG 法の係数は、以下のとおり CGS 法の係数へと変換され、等価な関係である。

$$\alpha^{\mathrm{BiCG}}_k = \frac{\left\langle r^{\#}_k, r_k\right\rangle}{\left\langle p^{\#}_k, Ap_k\right\rangle} = \frac{\left\langle R_k(A^T)r^{\#}_0, R_k(A)r_0\right\rangle}{\left\langle P_k(A^T)r^{\#}_0, AP_k(A)r_0\right\rangle} = \frac{\left\langle r^{\#}_0, R^2_k(A)r_0\right\rangle}{\left\langle r^{\#}_0, AP^2_k(A)r_0\right\rangle} \equiv \frac{\left\langle r^{\#}_0, r^{\mathrm{CGS}}_k\right\rangle}{\left\langle r^{\#}_0, Ap^{\mathrm{CGS}}_k\right\rangle} = \alpha^{\mathrm{CGS}}_k, \tag{11}$$

$$\beta^{\mathrm{BiCG}}_k = \frac{\left\langle r^{\#}_{k+1}, r_{k+1}\right\rangle}{\left\langle r^{\#}_k, r_k\right\rangle} = \frac{\left\langle R_{k+1}(A^T)r^{\#}_0, R_{k+1}(A)r_0\right\rangle}{\left\langle R_k(A^T)r^{\#}_0, R_k(A)r_0\right\rangle} = \frac{\left\langle r^{\#}_0, R^2_{k+1}(A)r_0\right\rangle}{\left\langle r^{\#}_0, R^2_k(A)r_0\right\rangle} \equiv \frac{\left\langle r^{\#}_0, r^{\mathrm{CGS}}_{k+1}\right\rangle}{\left\langle r^{\#}_0, r^{\mathrm{CGS}}_k\right\rangle} = \beta^{\mathrm{CGS}}_k. \tag{12}$$

前処理付き BiCG（PBiCG : Preconditioned BiCG）アルゴリズムは、(2)の求解と等価となるよう BiCG アルゴリズムを変換する。標準的な PBiCG アルゴリズムは、前処理無し BiCG（アルゴリズム 1）に現れる全ての行列とベクトルの上にチルダを付した上で、

$$
\begin{aligned}
&\tilde{A} \Rightarrow M_L^{-1}AM_R^{-1},\ \tilde{x} \Rightarrow M_R x_k,\ \tilde{b} \Rightarrow M_L^{-1}b,\ \tilde{p}_k \Rightarrow M_R p_k,\ \tilde{r}_k \Rightarrow M_L^{-1}r_k,\\
&\tilde{A}^T \Rightarrow M_R^{-T}A^T M_L^{-T},\ \tilde{p}^{\#}_k \Rightarrow M_L^T p^{\#}_k,\ \tilde{r}^{\#}_k \Rightarrow M_R^{-T}r^{\#}_k
\end{aligned} \tag{13}
$$

と前処理変換して導出される。ここで⇒記号は，各々のチルダ付き行列とベクトルに対する前処理変換を表す。

以上の議論から、数理的には前処理付き CGS も前処理付き BiCG と等価となるべきであるが、従来から国際的にも用いられてきている前処理付き CGS アルゴリズムでは、その等価性が成り立っていない。本研究では、ここに焦点を当てて研究を進めてきており、この問題点に対する改善版 PCGS を[査読付 1]における1つ目の話題として提案し、前年度（2012 年度）の報告書の中では、数値実験における改善版の効果も含めて報告した。

2.3 具体的成果

今年度の報告では、[査読付 1]の 2 つ目の話題について報告する。上記の(9)〜(12)式は前処理無しの系においての記述であったが、前処理系においても同様に扱える。このことを応用して、従来版 PCGS と改善版 PCGS との違いについて、前処理付き BiCG における双直交と双共役の構造に立ち返って解析した。

前処理系における各ベクトルの多項式表現:

$$\tilde{r}_k = R_k\left(\tilde{A}\right)\tilde{r}_0, \quad \tilde{p}_k = P_k\left(\tilde{A}\right)\tilde{r}_0, \tag{14}$$

$$\tilde{r}_k^{\#} = R_k\left(\tilde{A}^T\right)\tilde{r}_0^{\#}, \ \tilde{p}_k^{\#} = P_k\left(\tilde{A}^T\right)\tilde{r}_0^{\#}. \tag{15}$$

前処理変換(13)により導出される PBiCG における双直交演算の構造:

$$\begin{aligned}\left\langle \tilde{r}_k^{\#}, \tilde{r}_k \right\rangle &= \left\langle R_k(\tilde{A}^T)\tilde{r}_0^{\#}, R_k(\tilde{A})\tilde{r}_0 \right\rangle \\ &\Rightarrow \left\langle R_k(M_R^{-T}A^T M_L^{-T})M_R^{-T}r_0^{\#}, R_k(M_L^{-1}AM_R^{-1})M_L^{-1}r_0 \right\rangle \\ &= \left\langle M^{-T}R_k(A^T M^{-T})r_0^{\#}, R_k(AM^{-1})r_0 \right\rangle.\end{aligned} \tag{16}$$

前処理変換(13)により導出される PBiCG における双共役演算の構造:

$$\begin{aligned}\left\langle \tilde{p}_k^{\#}, \tilde{A}\tilde{p}_k \right\rangle &= \left\langle P_k(\tilde{A}^T)\tilde{r}_0^{\#}, \tilde{A}P_k(\tilde{A})\tilde{r}_0 \right\rangle \\ &\Rightarrow \left\langle P_k(M_R^{-T}A^T M_L^{-T})M_R^{-T}r_0^{\#}, (M_L^{-1}AM_R^{-1})P_k(M_L^{-1}AM_R^{-1})M_L^{-1}r_0 \right\rangle \\ &= \left\langle M^{-T}P_k(A^T M^{-T})r_0^{\#}, (AM^{-1})P_k(AM^{-1})r_0 \right\rangle.\end{aligned} \tag{17}$$

改善版 PCGS の前処理変換は、BiCG に対する前処理変換(13)に基づくものであるため、その双直交演算と双共役演算の構造についても、上記の(16)と(17)のとおりである。

一方、従来版 PCGS の前処理変換は、BiCG の前処理変換に置き換えると、

$$\begin{aligned}&\tilde{A} \Rightarrow M_L^{-1}AM_R^{-1}, \tilde{x} \Rightarrow M_R x_k, \tilde{b} \Rightarrow M_L^{-1}b, \tilde{p}_k \Rightarrow M_L^{-1}p_k, \tilde{r}_k \Rightarrow M_L^{-1}r_k, \\ &\tilde{A}^T \Rightarrow M_R^{-T}A^T M_L^{-T}, \tilde{p}_k^{\#} \Rightarrow M_L^T p_k^{\flat}, \tilde{r}_k^{\#} \Rightarrow M_L^T r_k^{\flat}\end{aligned} \tag{18}$$

である。

前処理変換(18)により導出される PBiCG における双直交演算の構造:

$$\begin{aligned}\left\langle \tilde{r}_k^{\#}, \tilde{r}_k \right\rangle &= \left\langle R_k(\tilde{A}^T)\tilde{r}_0^{\#}, R_k(\tilde{A})\tilde{r}_0 \right\rangle \\ &\Rightarrow \left\langle R_k(M_R^{-T}A^T M_L^{-T})M_L^T r_0^{\flat}, R_k(M_L^{-1}AM_R^{-1})M_L^{-1}r_0 \right\rangle \\ &= \left\langle R_k(M^{-T}A^T)r_0^{\flat}, R_k(AM^{-1})r_0 \right\rangle.\end{aligned} \tag{19}$$

前処理変換(18)により導出される PBiCG における双共役演算の構造:

$$\begin{aligned}\left\langle \tilde{p}_k^{\#}, \tilde{A}\tilde{p}_k \right\rangle &= \left\langle P_k(\tilde{A}^T)\tilde{r}_0^{\#}, \tilde{A}P_k(\tilde{A})\tilde{r}_0 \right\rangle \\ &\Rightarrow \left\langle P_k(M_R^{-T}A^T M_L^{-T})M_L^T r_0^{\flat}, (M_L^{-1}AM_R^{-1})P_k(M_L^{-1}AM_R^{-1})M_L^{-1}r_0 \right\rangle \\ &= \left\langle P_k(M^{-T}A^T)r_0^{\flat}, (AM^{-1})P_k(AM^{-1})r_0 \right\rangle.\end{aligned} \tag{20}$$

以上から、改善版 PCGS と従来版 PCGS について、双直交に関しては(16)と(19)の違いがあり、双共役に関しては(17)と(20)の違いがあることが確認された。また、従来版で用いた記号 $r_k^\flat$ と $p_k^\flat$ については、BiCG や改善版 PCGS で用いている双対系の残差ベクトル $r_k^\#$ と探索方向ベクトル $p_k^\#$ に対し、$r_k^\flat = M^{-T} r_k^\#$ 、$p_k^\flat = M^{-T} p_k^\#$ という関係である[査読付 1]。これも、本研究をとおして明らかになった事柄である。

その他にも[査読付1]では、従来版 PCGS の変種アルゴリズム、改善版 PCGS の変種アルゴリズムも導出し、合計 4 種類のアルゴリズム間の関係も解析し、従来版と改善版の構造の違いについても議論している。これらの詳細は[査読付 1]を参照。

最後に今後の展望について述べる。上記の議論で扱った PCGS の他に、従来から用いられてきている典型的な PCGS の一つとして、“左前処理系 PCGS”というものも存在する。この左前処理系と従来版 PCGS は、線形方程式求解において一長一短があるが、両者の長所のみから構成されているアルゴリズムが、本研究で提案した改善版 PCGS（およびその変種）であることも明らかになった。これについては、2012 年度の報告書の中で「その他の発表論文リスト」の

[発表 3] 伊藤祥司, 杉原正顯: 様々な前処理付き CGS 法に対するクリロフ部分空間に注目した解析, 日本応用数理学会 2013 年 研究部会 連合発表会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会セッション, 東洋大学 白山キャンパス（文京区）, 2013 年 3 月.

として挙げているが、2014 年度において、これの本格的な発表を行う。

また、当報告書の[発表 1]として挙げている「日本応用数理学会 2013 年度年会（2013 年 9 月）」の内容は、上記 2012 年度報告書の[発表 3]の研究に次ぐ位置付けの研究成果であり、こちらの本格的な発表は、2014 年度後半～2015 年度頃を予定している。

従来版 PCGS と改善版 PCGS におけるメカニズムの本質については、文献[査読 1]に基づいた本報告の内容に加えて、今後発表する上述の 2 つの研究を経て、ようやく明らかになる見込みである。

3　センター業務への取り組み

3.1　背景

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）を主に担当している。

3.2　内容

2013 年度前半に文科省の中間評価が実施され、それに向けた報告書等の作成を行った。当拠点では 2012 年 7 月から翌 2 月にかけて、外部評価を兼ねて中間評価の準備にも取り組んだ。中間評価の調書自体は、意見招請として前年度から様式案が配布されていたため、外部評価でも、その様式案と評価項目に沿った形で調書を作成した。その他の詳細については、PartII の「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」を参照。

また、当拠点用の Web ツールを整理し、必要に応じてテンプレートなども用意した。

3.3　具体的成果

中間評価の結果は、「A：拠点としての活動は概ね順調に行われており、今後、共同利用・共同研究を通じた成果や効果が期待され、関連コミュニティへ貢献していると判断される。」であり、当拠点の立ち上げ状況については順調だったようである。その他の詳細については、PartII の「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」を参照。

これまでの期間で自作してきた当拠点用の Web ツールをある程度整理し、必要に応じてテンプレートなども用意した。特に、課題採択審査については、限られた時間内で間違いなく作業する必要があるため、使用するツールや環境整備のためのリハーサル環境も用意した。これらにより、いくらか、システムのメンテナンス性や再利用性を高められたと考えている。

4　成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 伊藤祥司, 杉原正顯: 導出過程に着目した CGS 法の前処理付きアルゴリズム, 日本応用数理学会論文誌, 23(2), pp.253-286, 2013.

その他の発表論文リスト

[発表 1] 伊藤祥司, 杉原正顯: 前処理付き BiCG に対する初期シャドウ残差ベクトルの構成方法と前処理系の切り替えについて, 日本応用数理学会 2013 年度年会, アクロス福岡（福岡市）, 2013 年 9 月.

特記事項

[特記 1] 日本応用数理学会「行列・固有値問題とその解法」研究部会 運営委員会委員

[特記 2] 理化学研究所 情報基盤センター 客員研究員

[特記 3] 中央大学理工学部 兼任講師（担当科目：数値解析）

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行っている。

- HPC 向け高水準プログラミング言語 X10 の評価

  ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) アプリケーション向けの新しい並列分散プログラミング言語 X10 の動作を東京大学情報基盤センター Oakleaf-FX 上で確認し、実用に足る並列分散機能が有効か、パフォーマンスはスケールするかなどを明らかにする事を目的とする。

- ステンシル計算向け並列コレクション

  コレクションへの並列反復処理を抽象化できる並列コレクションに対して、分散環境で最適化されたステンシル計算のように、計算領域毎に異なる計算や走査順序を柔軟に定義できる技術開発を目指す。

- HPC 向けユニットテストフレームワーク

  科学技術計算において、最適化に伴うループ分割や計算順序の変更に伴う計算漏れや重複によるバグを防ぐための、計算網羅性及び順序のテストフレームワークの開発を目指す。

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まとめ、及びシンポジウム運営

- Oakleaf-FX を対象とした、ユーザ利便性を向上のためのオープンソースソフトウェア整備の支援

2 HPC向け高水準プログラミング言語X10の評価

2.1 背景

X10 は、2002 年から 2010 年に推進された米 DARPA の HPCS プログラムに基づき、IBM の PERCS プロジェクトの一環で、HPC アプリケーションの生産性向上を目指して開発されたオブジェクト指向プログラミング言語である。X10 が採用する PGAS(Partitioned Global Address Space) プログラミングモデルでは、分散ノード上のメモリ空間が抽象化され、開発者にとってデータの局所性を意識したプ

ログラミングが可能となるプログラミングモデルである (図 1)。MPI のような分散ノード上のメモリに対するデータ転送と計算実行や同期・排他制御を明示的に記述させるような低水準なプログラミングモデルに比べ、それらを高水準に記述できるためプログラムの開発生産性と言った恩恵が得られる。一方、分散ノード上のメモリを透過的に扱う分散共有メモリシステム上で OpenMP やスレッドプログラミングを行う場合とも違い、データ位置を区別し局所性を意識したチューニングも可能である。

X10 において、計算ノード上の実行プロセスは分散透明なプレースとして抽象化され、各プレースに紐付けられたデータに対するアクティビティの割り当てによって並列分散プログラミングを行う。アクティビティは、非同期的に動作する軽量スレッドを抽象化した X10 の実行単位であり、複数のアクティビティを同一のプレースで並列実行たり、一部のコードブロックを別のプレースで同期・非同期実行させる事もできる。一方、プレース間ではメモリ空間は独立しており、あるプレースに属するオブジェクトは、他のプレースから直接参照する事ができない。そのため、プレース間をまたがったデータアクセスは、オブジェクトの遠隔参照、分散配列や不変データを介して行う。また、複数プレース間でのアクティビティ実行のバリア同期を実現するクロック機能も提供されている。

東京大学情報基盤センターのスーパーコンピュータ Oakleaf-FX において、X10 を利用するにはいくつかの課題がある。Oakleaf-FX は富士通社が開発した PRIMEHPC FX10（以下 FX10 と呼ぶ）を 4800 ノード（50 ラック）から構成され、理化学研究所の京に搭載されるプロセッサの後継である SPARC64^{TM}IXfx を採用している。また、計算ノード間が 6 次元メッシュ／トーラスアーキテクチャを採用した Tofu インターコネクトにより接続される。

エンジニアリング上の課題としては、X10 と FX10 は、IBM 社と富士通社が別々に開発したソフトウェアとハードウェアであり、動作サポートが保証される組み合わせでない事が大きい。具体的には、X10 は x86、x86_64 や Power 向けの Linux、Mac, Windows(Cygwin) 向けの Native X10[1]のみサポートしており、FX10 のアーキテクチャ（Linux/SPARC）向けには実行環境が提供されていない。したがって、XRX や X10RT 等の実行環境を FX10 向けに構築する必要がある。一方、逆に Managed X10[2]の実行基盤である Java 環境は、FX10 アーキテクチャ向けには提供されていない。そのため、やはり Java 環境を FX10 のアーキテクチャ(Linux/SPARC) 向けに構築する必要が出てきてしまう。

さらに別の観点として、シンプルな並列構文と分散処理の抽象化を持つ X10 を利用し、Oakleaf-FX の計算性能を十分に活用できるかといった課題もある。例えば、6 次元メッシュ／トーラスアーキテクチャを意識して、X10 のアクティビティのジョブ配置を最適に割り付けられるか、あるいは複数パストランキング、RDMA 通信、Tofu 高機能バリア通信のようなアーキテクチャ固有の機能を利用できるか、が挙げられる。

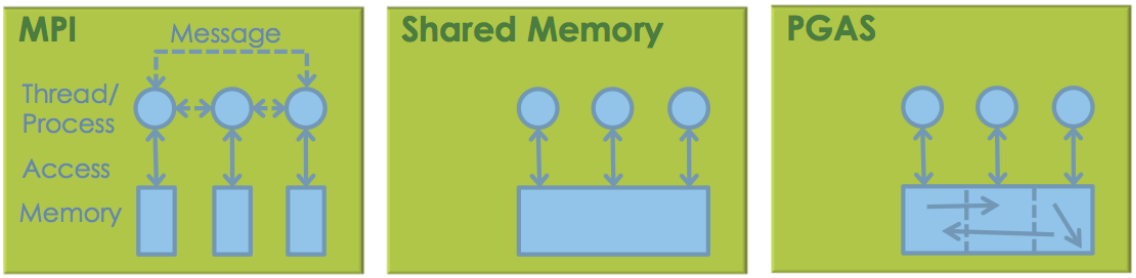


図 1: MPI，分散共有メモリ，PGAS の比較

[1]C++環境
[2]Java 環境

2.2 内容

本課題に取り組むにあたり、まずは X10 を FX10 上に構築する必要があるが、エンジニアリング上の課題があるため、以下の 3 つのアプローチを検討した。

1. Native X10 構築

   FX10 向けの C/C++コンパイラで、X10 をソースコードから構築する。Managed X10 と比較して、高い実行性能を期待できるが、コンパイラやリンカ等のツールチェインの整合性が問題となる可能性がある。

2. Managed X10 構築

   FX10 向けにオープンソースの Java 環境を構築する。Native X10 と比較して、プログラムの実行性能は劣るが、Scala や Fortress のような別の JVM ベースの分散ミドルウェアを活用できるといった副次的な利点もある。一方、もしオープンソースの Java 環境に SPARC 向けの Just-In-Time コンパイラが同梱されておらず、X10 実行がインタプリタに依拠する場合については、現実的に許容できないオーバーヘッドが発生する恐れもある。

3. ハイブリッド X10 開発

   当初、1 及び 2 は実現可能性が低いと考え、図 2 に示すような Native X10 と Managed X10 のハイブリッド環境構築を検討した。ハイブリッド環境では、ベース環境として Managed X10 を採用し、分散ノード上で実行されるリモートコードのみが Native X10 向けにコード変換される。すなわち、通常の PC サーバを Managed X10 を稼働させるクライアント環境とし XRX や X10RT を動作させ、アプリケーションプログラム中の at ブロックで囲まれたリモートコードを Native X10 向けに部分コンパイルする。クライアント環境上で動作する Managed X10 は、リモートコードを実行する際に、FX10 へリモート実行するように処理をディスパッチする。ディスパッチ処理は、Java と C のインタフェースである JNI を利用したり、あるいは別プロセスをフォークしてバッチ処理を起動するようなアプローチが考えられる。当然、C++部分へコンパイルされた X10 コードからの X10 環境へのアクセス、即ち分散配列、グローバル参照へのアクセスや、アクティビティ生成が必要となる。そのために、Native X10 環境の一部（XRX）を FX10 上に構築する必要はあるが、その開発コストは X10 全体の移植と比較すれば小さい。また、リモートコード内でのデータアクセスをデータフロー解析すれば、XRX を移植せずとも、コード変換によるメソッド引数の追加で代用できる可能性もある。しかし、Oakleaf-FX では、Managed X10 環境の動作可能なログインノードと FX10 計算ノードへの通信が、FJMPI のバッチスケジューラに一元管理されているため、リモートコードへのディスパッチはバッチ処理を経由する必要がある。計算ノードとのプロセス間通信が制限されるため、リモートコードとのデータ交換についても、メモリをストレージへ永続化する手間が発生する。

2.3 具体的成果

現在までに、FX10 上での Native X10 構築及び Managed X10 構築が完了した。具体的には、下記の成果が挙げられる。性能評価の詳細はスーパーコンピューティングニュース Vol.15 No.6 (2013 年 11 月) にも掲載した。

1. X10 2.4.0 C++環境 (Native X10) の構築及び性能評価
2. X10 2.4.0 Managed 環境 (Managed X10) の構築及び性能評価
3. OpenJDK 1.6.0_24 インタプリタ及び Server/Client JIT コンパイラ移植及び性能評価

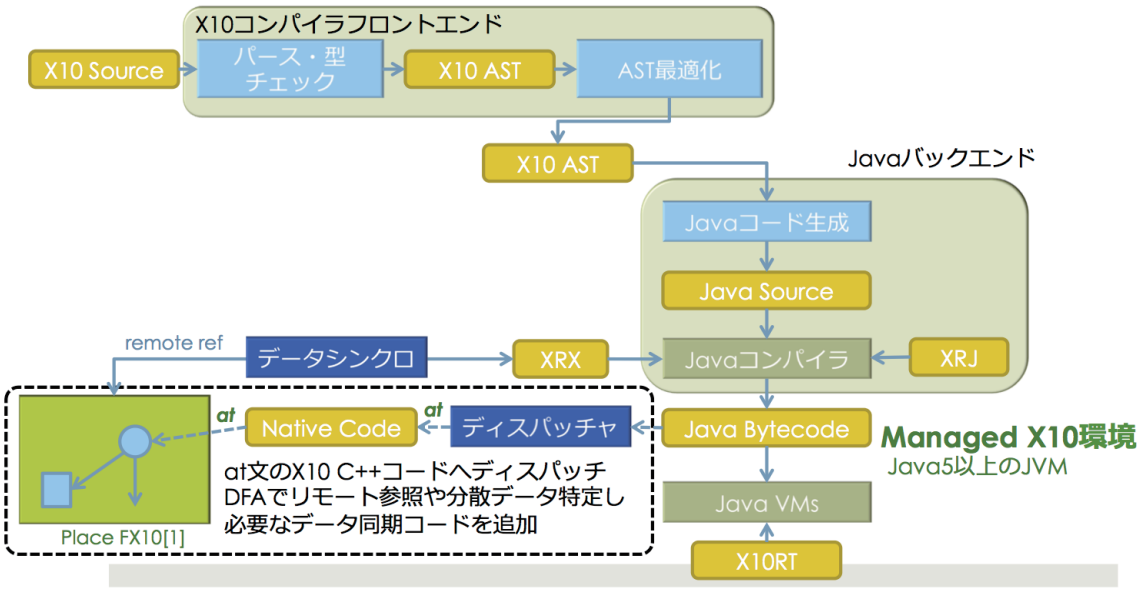


図 2: ハイブリッド X10 環境

4. Tofu 上での OpenMPI Java Bindings 1.7 の構築及び動作確認

これにより、Oakleaf-FX スーパーコンピュータ上では、X10 環境が利用できるだけでなく、Java 環境も利用できるようになった。また、OpenMPI Java Bindings のような、既存の Java ライブラリを活用した Oakleaf-FX の利用も可能となっている。本成果をもとにして、後述する Java を対象とした並列コレクション、ユニットテストフレームワークの研究に着手している。

3 ステンシル計算向け並列コレクション

3.1 背景

Java や Scala に導入された並列コレクションライブラリを用いると、ステンシル計算を簡潔に記述できる可能性がある。並列コレクションを利用した反復処理は、低レベルなループ文ではなく、各セルての計算かリスト内包表記て記述されラムダメソッドのようなコードブロックとして分離されるため処理順序が隠蔽される (ソースコード 1)。そのため、プログラマはタスクスケジューリングの最適化を意識せすにステンシル計算を並列分散化することができる。

```
1  Grid<Cell> grid = new Grid<Cell>(..);
2  do {
3    double max = grid.map(
4      (i,j) -> { double next = (cell[i+1][j] + cell[i-1][j]
5                                + cell[i][j] + cell[i][j+1] + cell[i][j-1])/5;
6                 return next-curr;
7               }).max();
8  } while (max < THREASHOLD)
```

ソースコード 1: 並列コレクションを利用したステンシル計算例

しかし、単純に並列コレクションを利用するだけでは並列分散化したステンシル計算を十分に記述することは難しい。並列分散化されたステンシル計算では全ての配列要素で同一の処理が行われるのではなく、各計算ノードの担当する領域境界点では隣接ノードとの間の袖領域のデータ送受信や同期を実装する必要が出てくる。また、ノード間通信をバックグラウンド化する通信オーバーラップや、

通信回数を削減する時間ブロッキング手法のような最適化を施すためには、コレクション要素間の細やかな実行順序制御も必要となってくる。

3.2 内容

本研究テーマでは、部分処理と部分順序を定義するための部分メソッドディスパッチ (partial method dispatch) を Java 言語に導入する。部分メソッドディスパッチは、データ範囲や実行順序を条件にメソッドを上書きできる述語ディスパッチ (predicate dispatch) を拡張した言語機構である。これによりユーザは、袖領域での部分処理や、中心領域など他の部分領域との実行順序を、メソッド上書き条件として明示的に与えられる。これらの述語は、上書きされるデータ範囲を付加する範囲指定構文と、上書きした部分メソッド間での実行順序を定義するための precedes 構文を用いて記述される。また、同名メソッドの上書きによって走査順序を定義するため、既存の並列コレクションをそのまま再利用することができ、かつ別の上書き条件が実装されたクラスへ容易に切り替えられるようになる。

ソースコード 2 に例を示す。ステンシル計算を実装した calculate メソッド (2-8 行目) に加え、中心領域で呼び出すメソッド (11-13 行目) と、袖領域で呼び出すメソッド (16-22 行目) には、述語としてメソッド引数の範囲が付加されている。これにより、calculate メソッドの引数に応じて、適切な実装が呼び出されるようになる。引数の範囲は、ワイルドカードを利用して、全メソッド呼び出しや、任意の呼び出しを指定できる。また、動的に決定される領域を指定するために仮引数を述語内で扱えるようにし、さらに部分領域間の実行順序を明示的に指定するための precedes 構文も導入した (16 行目)。

```
1  /* default method */
2  double calculate(int i, int j) ⟨[1, MaxX-2], [0, MaxY-1]⟩ {
3    double curr = cell[i][j];
4    double next = (cell[i+1][j] + cell[i-1][j]
5                                + cell[i][j] + cell[i][j+1] + cell[i][j-1])/5
6    cell[i][j] = next;
7    return Math.abs(curr-next);
8  }
9
10 /* central region */
11 double calculate(int i, int j) ⟨MaxX-1, [0, MaxY-1]⟩ > {
12   return default.calculate(i,j);
13 }
14
15 /* shadow region */
16 double calculate(int i, int j) ⟨MaxX-1,?⟩ precedes ⟨MaxX-1, *⟩ {
17   pack(); // 送信データを準備
18   reqs = exchange(...);  // 通信
19   Request.Waitall(reqs); // 同期処理
20   unpack(...); // 受信データを配列へ格納
21   return default.calculate(i,j);
22 }
```

ソースコード 2: 部分領域を指定したステンシル計算例

3.3 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]。また、先行的に行っていた内部メソッドと呼ばれるメソッド自体のモジュラリティを向上させる技術が、国内論文誌に採録されている [査読付 1]。

本研究テーマを発展させた研究は、平成 26 年度科学研究費補助金 (若手研究 (B)) の研究課題「並列コレクション向けモジュール化技術の研究開発」として採択されている。

4 HPC向けユニットテストフレームワーク

4.1 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最適化が施され、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、行列席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を利用した並列分散プログラムにおいては、計算の一部を各計算ノードに割り当てるため、計算空間は更に分割される。

最適化や分散実行は、プログラムの実行性能を高める一方、バグが発生する要因となり得る。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最適化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場合がある。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。しかし、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、膨大なデータを対象にしたり、浮動小数点演算の誤差を考慮する必要があり容易ではない。

4.2 内容

本研究テーマでは、反復的なループ処理を持つ科学技術計算において、分割の正しさを検査する計算範囲テスト(calculation coverage testing)の必要性を追求し、そのツールサポートの開発に取り組んでいる。計算範囲テストとは、最適化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意味する。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。

計算範囲テストの有効性を評価するために、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3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ライクに記述される。まず、最適化前後での計算空間を指定し(14-23行目)、実際に実行してログを収集する(6-11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を検査できる(25-28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) |
16      call(void kernel(int i,int j,int k))
17        && within(NormalGS)}") HUList correct,
18    @HUList("{(i,j,k)|
19      call(void kernel(int i,int j,int k))
20        && cflow(call(dgemm(..))}") HUList squares)
21    @HUList("{(i,j,k)|
22      call(void kernel(int i,int j,int k))
23        && cflow(call(dgemv(..))}") HUList triangles,
24  {
25    HUList nullset = HUList.getNull();
26    assert(correct,is(squares.union(triangles)));
27    assert(nullest,is(squares.intersect(triangles)));
28  } }
```

ソースコード 3: HPCUnit でのテストコード例

4.3 具体的成果

本研究テーマにおいては、提案するテストアプローチについて国際会議論文に投稿中であり、予備的に実装した HPCUnit の成果は共著者として国内学会発表を行っている [発表 3]。

5 センター業務への取り組み

5.1 背景

当センター着任後、10 月より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) の活動の推進及び支援を担当している。例年実施している次年度公募型共同研究の課題審査に加え、昨年度の文部科学省による中間評価の結果から、「ネットワークを構築したことによるメリットを生かした研究活動」を推進するための活動が求められている。また、「ユーザー利便性向上のためのシステムソフトウェア整備」を支援し、Oakleaf-FX への Java 環境の導入を行った。

5.2 内容

1. ネットワーク型学際研究シンポジウムの実施

   ネットワーク型拠点としての特徴を生かした、複数拠点型の共同研究を推奨し拡大することを目的としたシンポジウムを開催し、その企画、準備を 2013 年 1 月より行い、3 月 11 日当日の運営を行った。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」の活動報告を参照されたい。

   シンポジウムの企画にあたっては、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、情報基盤拠点と同様のネットワーク型共同利用共同研究拠点である「物質・デバイス領域共同研究拠点」から講演者を招き、招待講演を実施した。情報基盤拠点側からは、公募型共同研究の内で複数拠点型の課題代表者による講演を実施した。また、ネットワーク型拠点の目指すものを議論するパネルディスカッションを実施した。

2. ユーザ利便性向上のためのシステムソフトウェア整備の支援

   OpenJDK 1.6 及び OpenMPI Java Bindings を FX10 向けに移植し、環境設定や手順書を準備した。また、OpenJDK の互換性テストに関する契約事務も行った。

5.3 具体的成果

1. ネットワーク型学際研究シンポジウムの実施

   情報基盤拠点としては、このようなシンポジウムは初めての取り組みであり、目的に合致した内容と対象とする参加者を具体化するための検討作業を手探りで繰り返し行った。中間評価からシンポジウムまでの準備期間が短かったものの、シンポジウムは 49 名の参加者を集め、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。

2. ユーザ利便性向上のためのシステムソフトウェア整備の支援

   工数や難易度の観点から、困難な作業が危惧されていたが、当該調達に対する落札業者と協議しながら円滑に進めることができた。2014 年度から Java 環境及びその上での MPI を提供できる基盤を整備した。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 平松俊樹, 佐藤芳樹, 千葉滋: 実行速度を考慮した実装法による細粒度でのコード再利用のためのメソッド内メソッド, 情報処理学会論文誌 プログラミング, vol.6, no.2, pp.45-53, 2013.

その他の発表論文

[発表 1] 宗桜子, 佐藤芳樹, 千葉滋: 処理の差異と順序を考慮した並列コレクション向け Java 言語拡張, 第 140 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 2013.

[発表 2] 穂積俊平, 佐藤芳樹, 千葉滋: HPC アプリケーション向け計算網羅性・計算順序をテストするツール, 第 140 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 2013.

[発表 3] 穂積俊平, 佐藤芳樹, 千葉滋科学技術計算における最適化に伴う分割の正しさを検査するユニットテストフレームワーク HPCUnit, 第 16 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2014), 2014.

特記事項

[特記 1] 情報処理学会 ソフトウェア工学研究運営会委員

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　　専門職員　有賀浩

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)： 年度末時点で約 28,000 名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 1,321 台の iMac により、Mac 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用意されており、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 30 名が Mac 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 28 台の複合機を設置し、ECCS の iMac からだけでなく、自宅や研究室の PC から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いる。このプリントサービスは、全国のセブン-イレブンに設置されたマルチコピー機への出力、学内設置複合機での交通系電子マネー (Suica, PASMO など) による決済などにも対応している。

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 495 ドメイン、約 18,000 名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、延ユーザ数は約 46,000 名に達する。

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、1 月末時点で 785 組織が利用している。従来オンプレミスでのサービス提供を行なって来たが、利便性、コストなどを総合的に検討し、今年度の 2 月より外部事業者への委託に切り替えた。

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 24 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、TODAI OCW、TODAI 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、学生証を用いた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むけに行なっている。今年度は 259 の講義で利用された。

従来、学習管理システムとしてオープンソースシステム CFIVE の開発と運用を行ってきたが、CFIVE の利用は今年度の授業までとし、来年度の授業からは新たに導入した ITC-LMS に切り替える。そのための準備作業も今年度行なった。

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 (無線および有線 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。なお、無線 LAN のサービスは今年度で終了し、その代わりとして、utroam 用のアクセスポイントを部局に貸し出すサービスを今年度より開始した。

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

情報メディア教育支援チーム

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。

2013 年度の主な更新は以下の通りである。

Mac 環境

2013 年 7 月 24 日
- AdobeFlashPlayer
- AdobeReader XI
- AdobeReader fontpack(簡体字)
- Firefox 22
- Google Chrome 27
- JavaForOSX 2013_004
- JDK_7u25
- JMP_Pro 10
- JRE_7u25
- Office2011_1436Update
- Safari 6.0.5
- セキュリティアップデート 2013_002
- Thunderbird 17
- VLC 2.0.7

2013 年 10 月 3 日
- AdobeFlashPlayer
- Firefox 24
- Google Chrome 29
- Office2011_1437Update
- セキュリティアップデート 2013_004
- Thunderbird 24

2013 年 12 月 13 日
- AdobeFlashPlayer
- Firefox 25
- Google Chrome 31
- Thunderbird 24
- xcode 4.6.3
- vlc 2.1.1

2014 年 2 月 28 日
- AdobeFlashPlayer
- Google Chrome 33.0.1750.117
- Mathematica 9
- command line tools
- Office update

2014 年 3 月 26 日
- MATLAB 2013b
- STATA/SE 13
- Adobe Reader 11.0.06
- ソフトウェア・アップデート
  Java for OS X 2013-005
  Safari 6.1.2
  セキュリティアップデート 2014-001
- google chrome 33.0.1750.152
- Microsoft Office error reporting 更新
- VLC 2.1.4
- flash player 12.0.0.77
- java 7 update 51 (jre,jdk)

Windows 環境

2013 年 5 月 20 日
- Windows update
- R 作業ディレクトリ変更
- Winbugs 1.4.3
- makalii
- Astrometry of Asteroids
- Mathematica 9.0.1
- firefox 21.0
- Thunderbird 17.0.5
- Google chrome 26.0.1410.64m
- flash player 11.7.700.202(IE9、Firefox)
- VLC 2.0.6
- java 7u21
- adobe reader 中国語簡体字フォントパック
- adobe reader 10.1.7
- sophos 定義ファイル更新、フルスキャン

2013 年 9 月 10 日
- WindowsUpdate
- makalii アンインストール
- JMP Pro 10
- Adobe Reader X 11.0.3
- firefox 23
- googleCrome 28
- thunderbird 17.0.8
- vlc 2.0.7
- jre 7 update 25
- JDK 7 update 25
- flash player 11.8.800.94

- @risk
- Eview 8
- Stata/SE 12 level 09 Jul 2013
- Sophos 定義ファイル更新、フルスキャン

2013 年 11 月 11 日
- Firefox 25
- Thunderbird 24.1.0
- Flash player
- Java 7u45
- Google chrome 30.0.1599.101
- minitab 16

2013 年 11 月 25 日
- windows update

2014 年 1 月 30 日
- Firefox 26
- Thunderbird 24.2.0
- Flash player
- Java 7u51
- Google chrome 32.0.1700.76
- autodesk inventor 不具合修正
- Windows Update

1.2 無線 LAN 実験サービス終了

無線 LAN 実験サービスは、2001 年 7 月から本郷、駒場地区の 5 エリアに無線 LAN ステーションを設置して、教育用計算機システムのユーザ向け実験をおこなってきたが、全学無線 LAN サービス（utroam）の運用開始に伴い、本サービスの AP も utroam の全学的な無線 LAN システム基盤共通化に参加、協力することとした。それに伴い、本実験サービスは 2014 年 3 月末を以って終了した。2014 年 4 月以降は、utroam を利用していただくこととした。

2 講習会開催報告

2.1 新規利用者向け講習会

学部学生、大学院生および研究生が教育用計算機システムの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。

2013 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	650	15	254	2	82
5 月	42	170	6	17	2	11
6 月	24	46	5	7		
7 月	27	49	1	1	2	17
8 月	19	42	1	1		
9 月	17	23	2	2		
10 月	42	252	4	36	4	140
11 月	27	59	1	1		
12 月	17	26	2	3		
1 月	13	16	3	3		
2 月	10	10	1	1		
3 月	12	17	0	0		
合計	292	1360	43	326	10	250

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	法科大学院	法科大学院新入生	245
4 月 2 日	法科大学院	公共政策大学院新入生	55
4 月 5 日	教養学部	学部新入生(文科)	1,301
4 月 6 日	教養学部	学部新入生(理科)	1,852
10 月 4 日	教養学部	PEAK,GPEAK,AIKOM 学生	64

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、2013 年度(各月右側)と 2012 年度(同左側)を載せてある。

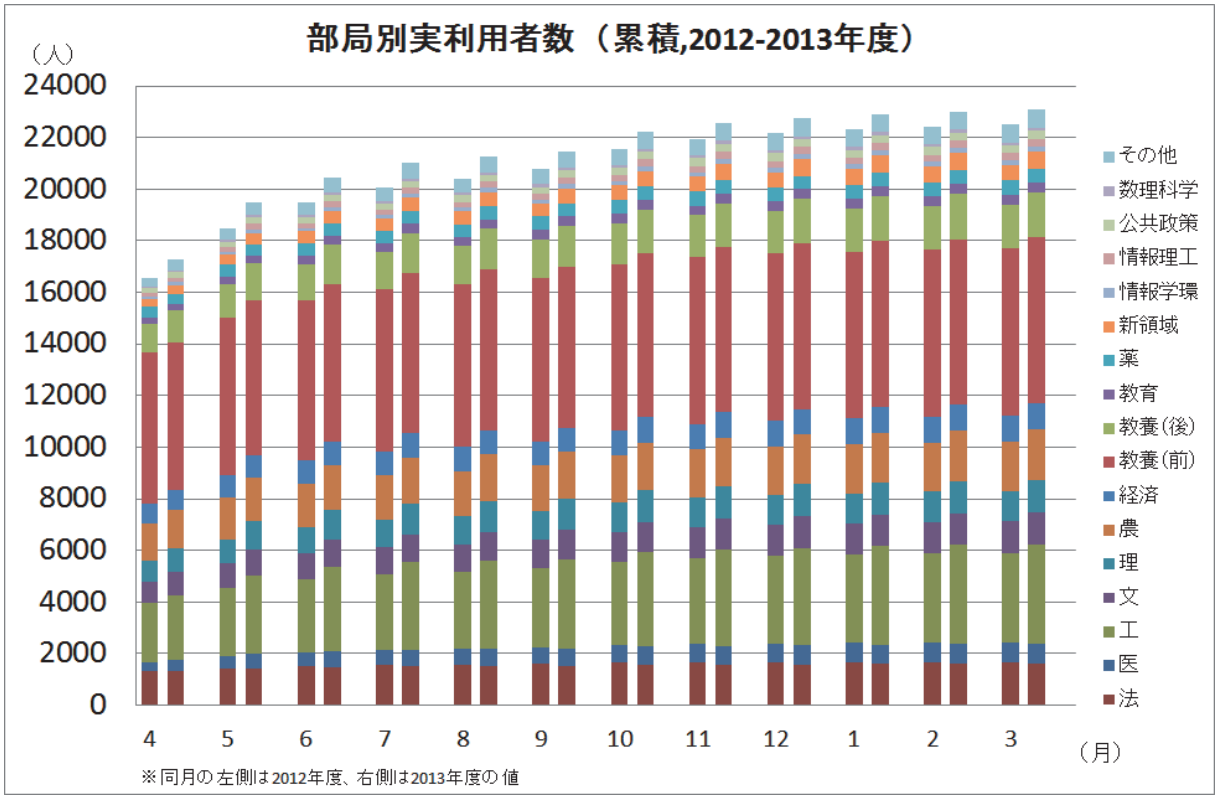


図 1. 部局別実利用者数

3.2　端末利用状況

教育用計算機システムの端末は、本郷地区では情報基盤センター(浅野地区)の演習室に端末を集中配置するとともに、総合図書館、福武ホール、各学部/研究科等の 15 箇所にも端末を分散配置している。駒場地区では、情報教育棟に端末を集中配置し、駒場図書館にも端末を配置している。柏地区は柏図書館に端末を配置している。

これらの配置場所のうち、利用の多い本郷地区の総合図書館と駒場地区の情報教育棟、駒場図書館の利用状況を図 2 から図 7 に示す。図の中で濃い灰色が Mac 環境利用、薄い灰色が Windows 環境利用である。

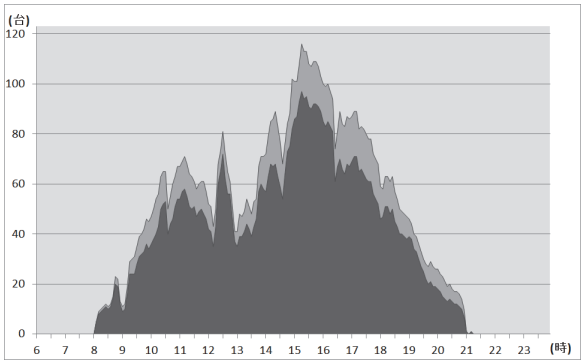


図 2. 駒場情報教育棟 1F 自習室 (124 台)

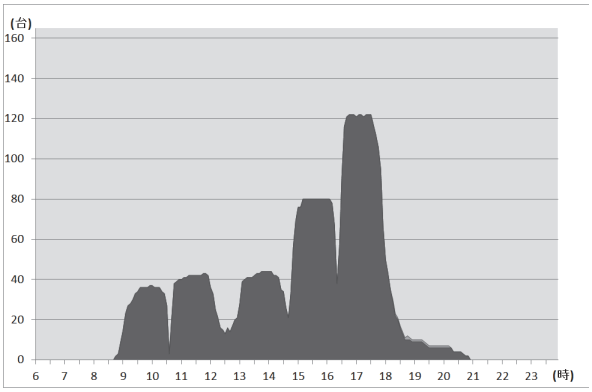


図 3. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 1 (165 台)

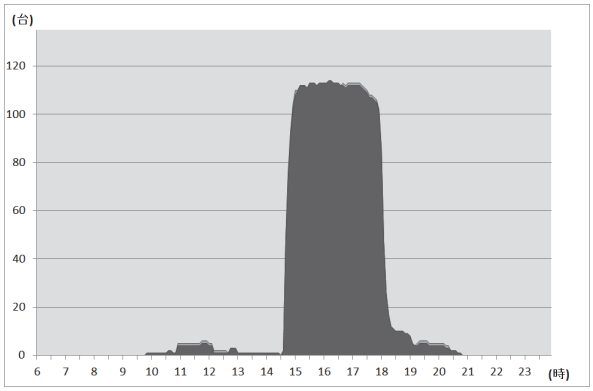


図 4. 駒場情報教育棟 3F 大演習室 2 (135 台)

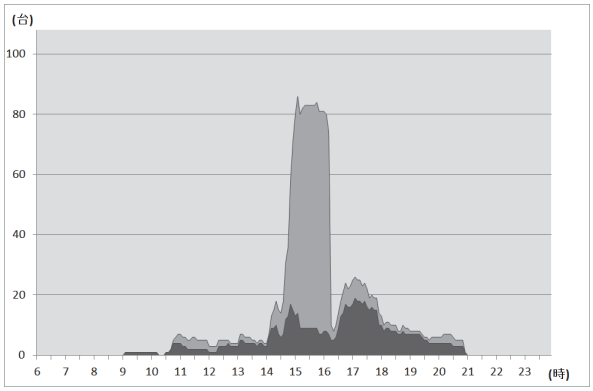


図 5. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 3 (108 台)

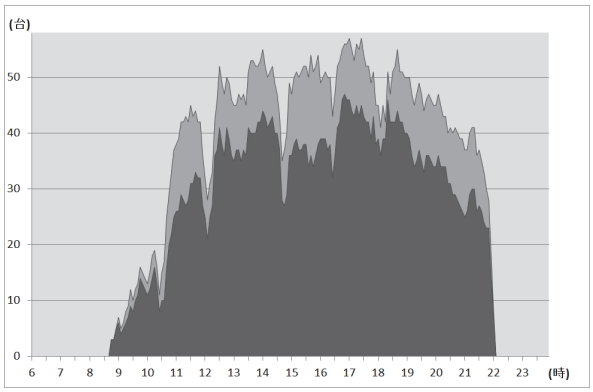


図 6. 駒場図書館 1F メディアパーク (58 台)

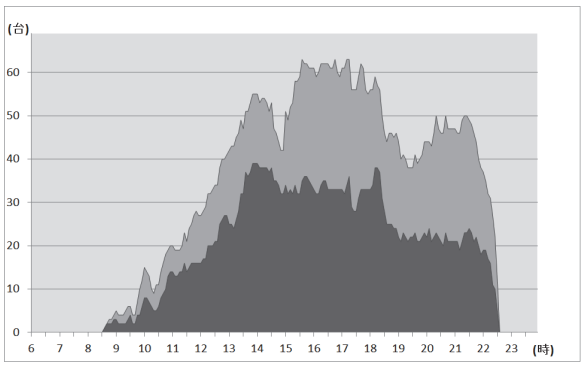


図 7. 総合図書館 2F,3F メディアプラザ 2,3 (69 台)

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	475	349	329	50	999	40	146
5 月	345	203	258	58	317	18	138
6 月	291	131	225	41	168	11	88
7 月	235	123	178	44	116	8	79
8 月	134	70	124	27	54	11	56
9 月	141	85	135	22	87	8	64
10 月	353	119	410	70	328	23	162
11 月	274	78	272	57	154	15	94
12 月	197	64	163	30	89	16	59
1 月	226	75	150	37	86	12	56
2 月	136	64	113	40	78	17	72
3 月	142	122	141	35	85	30	109
合計	2,949	1,483	2,498	511	2,561	209	1,123

学内組織向けメールサーバ(MAILHOSTING)運用報告

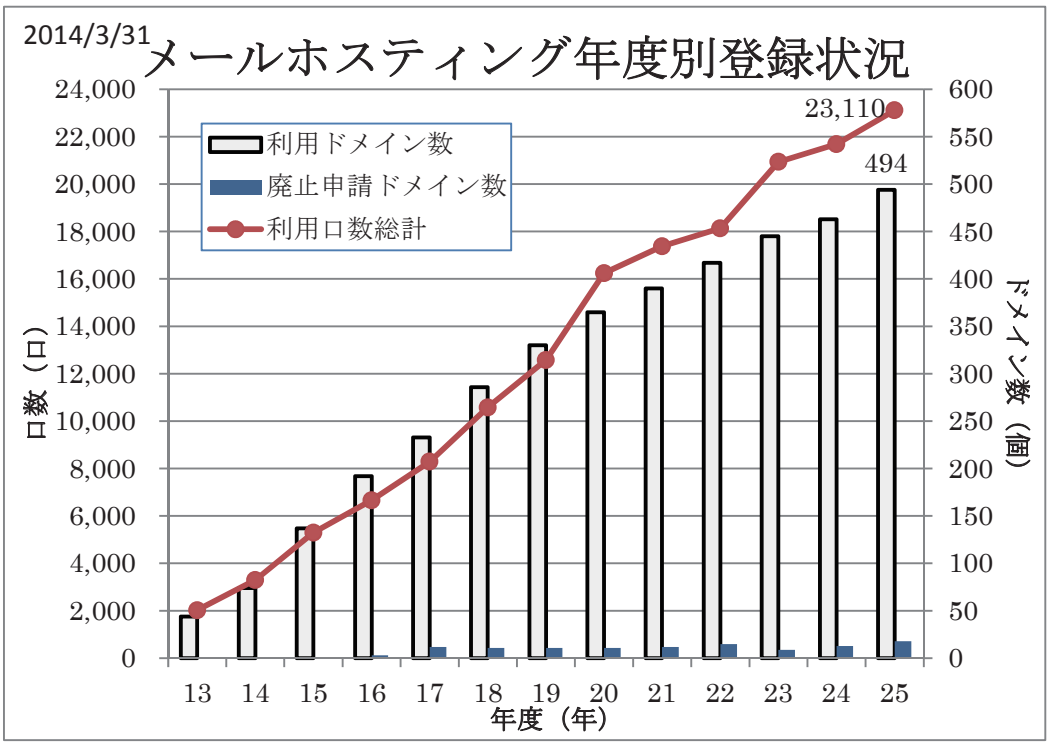
情報メディア教育支援チーム

1　経過

2013 年度は、システム更新等は行っていない。

2　参加組織

2013 年度末時点において、本サービスを利用している組織は、494 組織であり、それらの申し込み口数の合計は 23,110 口である。2012 年度末に比べ、31 組織、1,420 口増加している。



3　利用者管理システム

MAILHOSTING サービスの利用手続きである、新規申請、継続申請、口数変更申請、登録者情報変更、廃止申請の各種情報を利用者自身に入力、更新してもらうための利用者管理システムを 2012 年 3 月から運用を開始し、今年度末で約 2 年間運用を行った。

4　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

2013 年

4 月 30 日　4/29 フィッシングメールに対する注意喚起
5 月 15 日　【利用者向け】迷惑メール隔離リストの対処方法
5 月 15 日　【管理者向け】MailSuite での迷惑メール隔離の管理
5 月 21 日　5/21 システムメンテナンスに伴うドメイン管理インターフェイスの停止について【終了】
6 月 7 日　【管理者向け】ドメイン管理インターフェイスの表示不具合について【終了】
6 月 25 日　6/25 システムメンテナンスに伴うドメイン管理インターフェイスの停止について【終了】
7 月 24 日　メール配送遅延について
11 月 6 日　【MailHosting-M】システム(mh002)の移行【終了】
11 月 18 日　11/18 フィッシングメールに対する注意喚起
11 月 22 日　メールシステムの障害について

2014 年

1 月 30 日　ルート証明書の期限切れ
3 月 5 日　2/8 フィッシングメールに対する注意喚起
3 月 7 日　メーリングリストの利用は口数を消費しますか？

WEB PARK サービス運用報告

情報メディア教育支援チーム

1　概要

2013 年度は、オンプレミスシステムである従来の WEB PARK システムを運用する一方で、2014 年 2 月からサービスを開始した外部事業者への委託による WEB PARK 2014 システムへの調達および移行作業を行った。

2　運用報告

WEB PARK サービスは 2000 年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。2009 年度末に行ったシステム更新後 4 年目の運用となる 2013 年度は、引き続き安定したサービス提供に努めた。

2013 年度に利用を開始した組織数は 37 組織、利用を中止した組織数は 35 組織であった。2013 年 1 月末現在の総利用組織数は 785 組織である。うち、762 組織が新システムへ移行した。利用組織数の変化を図1に、部局別利用組織数を表1に示す。

なお、2013 年 6 月 26 日に行われた第 45 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の適用継続を希望していた 4 組織に対し、制度の適用継続が認められた。

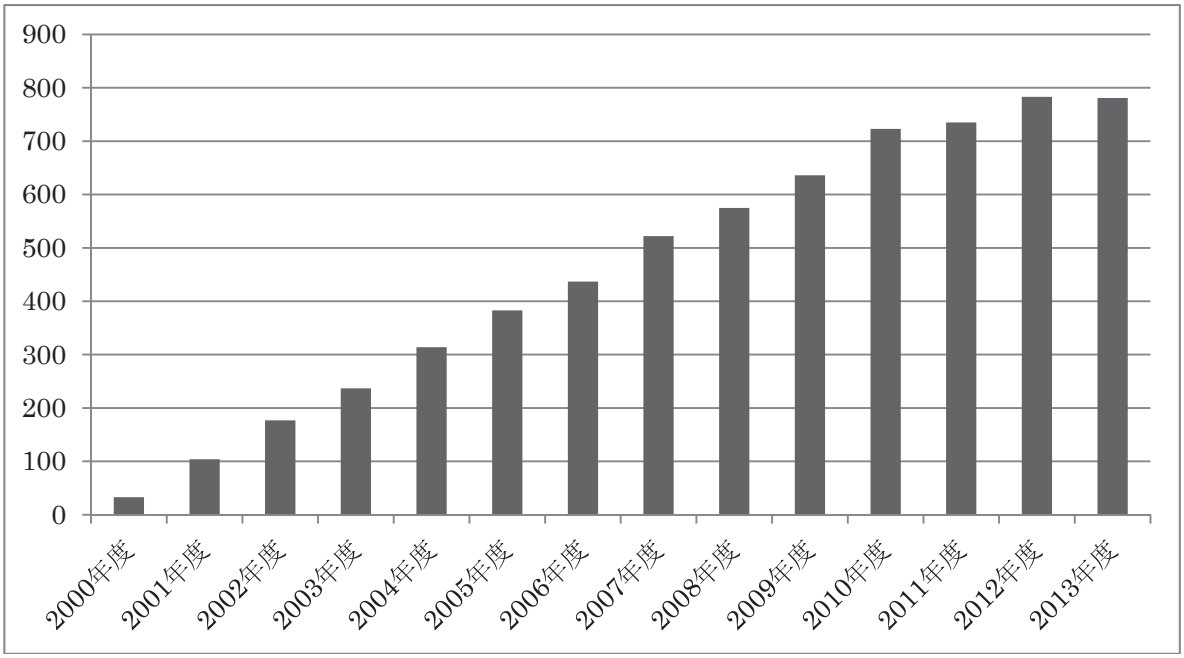


図1　利用組織数

表1　部局別利用組織数(2014 年 1 月末現在)

部局名	利用組織数
法学系研究科／法学部	35
医学系研究科／医学部	38
工学系研究科／工学部	210
文学部	1
理学系研究科／理学部	10
農学生命科学研究科／農学部	130
経済学研究科／経済学部	43
総合文化研究科／教養学部	99
教育学研究科／教育学部	2
薬学系研究科／薬学部	3
新領域創成科学研究科	98
情報理工学系研究科	14
情報学環・学際情報学府	1
公共政策大学院	2
医科学研究所	2
東洋文化研究所	1
社会科学研究所	1
生産技術研究所	5
大気海洋研究所	19
物性研究所	1
先端科学技術研究センター	24
アイソトープ総合センター	1
環境安全研究センター	5
低温センター	1
人工物工学研究センター	3
大学総合教育センター	2
政策ビジョン研究センター	1
情報基盤センター	9
本部	14
機構・委員会等	3
その他	7

3　システム更新

WEB PARK のシステムは導入から 4 年が経過したため、システム更新を行い 2014 年 2 月 3 日より新システムによる WEB PARK 2014 のサービスを開始した。なお、以下の理由により今回より外部委託を利用することとなった。

WEB PARK には、24 時間切れ間なくサービスを提供するという基本的な要求があり、サービス提供中には、不正アクセスによるデータ改ざん・情報漏洩、サーバや設備の不具合等によるサービス停止を最小限に抑える必要がある。そのため、安定稼働を行うには、サーバや設備等の状態について常時監視を行うことが求められる。しかし、センターの限られた人員では、24 時間体制での対応は困難である。

一方、24 時間体制で管理・運用を行なう Web ホスティングサービスが、外部事業者により比較的安価に提供されている。そこで監視業務を含めた Web ホスティングサービスを外部委託することで、WEB PARK のセキュリティ、安定性、可用性の向上を図ることとした。

3.1 システム調達

以下の日程により、システム調達を行った。政府調達の結果、提供事業者は「さくらインターネット株式会社」に決定した。

2013 年 5 月 8 日	第1回仕様策定委員会
2013 年 6 月 6 日	入札公告
2013 年 7 月 29 日	入札締切
2013 年 8 月 2 日	第1回技術審査委員会
2013 年 9 月 2 日	開札
2014 年 2 月 1 日	納入期限

3.2 提供機能

WEB PARK 2014 では、民間事業者 (さくらインターネット株式会社) のレンタルサーバを利用する。センターのサービス名称、さくらのレンタルサーバにおけるサービス名称およびディスク容量上限値は以下のとおりである。

WEB PARK 2014 標準	(スタンダード)	100GB
WEB PARK 2014 大容量	(プレミアム)	200GB

提供される機能は、以下のとおりである。

・主なサーバ環境
  ・OS 環境
    OS: FreeBSD
    ログインシェル: csh (tcsh)、bash
    リモートアクセス: SSHv2 接続 (パスワード、公開鍵認証方式)、sftp、FTP、FTPS
    文字コード: EUC-JP (ujis)
    WEB サーバソフトウェア: Apache 2.2.x
    SSL 利用可能
    アクセス制限: .htaccess により設定可能
    アクセス解析ツール: Webalizer
  ・プログラム、ソフトウェア環境
    Perl 5.14.x
    Ruby 1.8.x
    Python 2.7.x
    PHP 5.2.x、CGI モード
    WordPress (利用者がインストールすることで利用可能)
    Movable Type Open Source (利用者がインストールすることで利用可能)
    XOOPS Cube (利用者がインストールすることで利用可能)
    WAF (SiteGuard) (利用者が設定することで利用可能)
  ・データベース環境
    MySQL 5.5、SQLite （PostgreSQL の利用は不可）
    データベース管理ツール phpMyAdmin

3.3 システム更新作業

以下の日程により、システム更新作業を行った。なお、WEB PARK利用者の移行は希望調査により移行方法および移行時期について2種類に分割した。

(A) 2月3日にセンターがデータを新システムにコピーし、3月末までに旧 WEB PARK の利用を終了する組織
(B) 7月末までに利用組織がデータ移行を完了する組織
(C) WEB PARK 2014 へ移行しない組織

2013年12月20日(金)	旧 WEB PARK の受付終了作業
2014年 1月10日(金)	新 WEB PARK の利用者受付開始
2014年 2月 3日(月)	新 WEB PARK 2014 によるテストサービス開始
2014年 2月20日(木)	新 WEB PARK 2014 による正式サービス開始(DNS設定変更)および旧 WEB PARK の DB 試行サービス終了
2014年7月31日(木)予定	旧 WEB PARK のサービス終了

3.4 利用説明会

以下の日時に利用説明会および個別面談を行った。なお、利用説明会の主会場以外(*)はテレビ会議システムによる中継である。

2013年10月16日(水)10:00-12:00	本郷会場、(*)駒場会場、(*)柏会場
2013年10月22日(火)10:00-12:00	柏図書館、(*)本郷会場、(*)駒場会場
2013年10月29日(火)14:00-16:00	駒場会場、(*)本郷会場、(*)柏会場
2013年10月31日(木)14:00-16:00	本郷会場
2014年2月14日(金)10:00-11:30	本郷会場
2014年2月14日(金)15:00-16:30	柏会場
2014年2月17日(月)10:00-11:30	駒場会場
2014年3月3日(月)	個別面談(駒場)
2014年3月4日(火)	個別面談(駒場)
2014年3月5日(水)	個別面談(駒場)

会場

本郷会場	情報基盤センター1階遠隔講義室
駒場会場	情報教育棟4階遠隔講義室
柏会場	第二総合研究棟3階315会議室
柏図書館	柏図書館1階メディアホール

学内組織向け DNS ホスティング運用報告

情報メディア教育支援チーム

1　経過

2013 年度は、システム更新等は行っていない。

2　参加組織

2013 年度末時点において、24 組織が利用中である。2012 年度末に比べ 3 組織増加した。

3　システム作業等

本年度に行った主なシステム作業等は以下の通りである。

2013 年

8 月　5 日 BIND の脆弱性修正に対応したファームウェアアップデート

4. 広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

2013 年

7 月 11 日　Infoblox の使い方について

7 月 11 日　Infoblox で設定したレコードはどのようにしたらスレーブサーバに反映されるのでしょうか

8 月　5 日　コンテンツサーバのメンテナンス(8/5)【終了】

遠隔講義支援サービス運用報告

情報メディア教育支援チーム

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。2013 年度行った本郷・駒場:遠隔講義室の施設改善は以下のとおりである。

・本郷と駒場の遠隔講義室について、ECCS の無線 LAN 実験サービスが終了し 3 月末に全学無線 LAN サービス(utroam)に切替った。

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。2013 年度は 1 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。2013 年度は 8 件の貸出を行った。

2　サービス統計

2013 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。

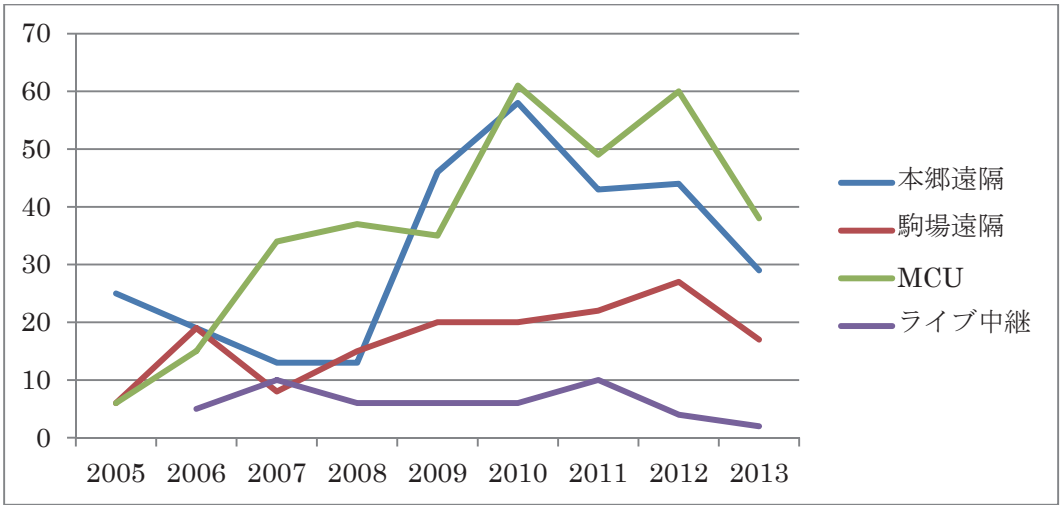


図 1.遠隔講義支援サービス利用数経年変化(2005-2013)

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。

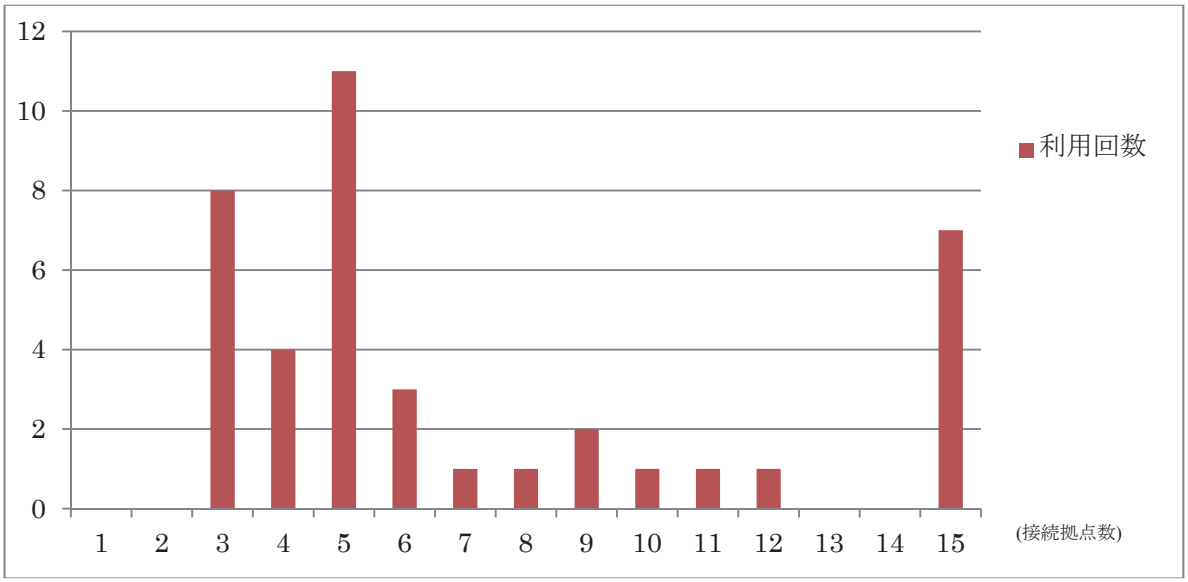


図 2.MCU 接続拠点数別利用頻度(2013)

3　その他

関連 URL http://elearn.itc.u-tokyo.ac.jp/

LMS 運用報告

情報メディア教育支援チーム

1　概要

2013 年度は、CFIVE の運用を行うとともに、2014 年度サービスを開始する新学習管理システムの調達および導入作業を行った。

2　CFIVE 運用報告

CFIVE はプログラムソースを公開している学習管理システムであり、2004 年 4 月より東京大学でのサービスを開始した。サービス開始以来 CFIVE を利用する講義数は順調に増加しており、2005 年度 35 講義、2006 年度 63 講義、2007 年度 104 講義、2008 年度 126 講義、2009 年度 143 講義、2010 年度 157 講義、2011 年度 165 講義、2012 年度 218 講義、2013 年度 259 講義で利用された。2013 年度に改良された機能、利用説明会、利用された講義名等を以下に示す。

なお、2013 年度以前に CFIVE 上に登録されたデータを参照できるように、2014 年 4 月以降もしばらくの間は CFIVE も新規受付なしで運用する予定である。

2.1　機能追加・改善

2013 年度に CFIVE に新たに追加・改善された機能は、以下の通りである。

・ダイレクト URL の不具合修正

2.2　利用説明会

2013 年 9 月 26 日(木) 13:30-15:00 駒場：情報教育棟 3 階大演習室 2
2013 年 9 月 27 日(金) 13:30-15:00 本郷：情報基盤センター1 階大演習室 2

2.3　夏学期の利用

夏学期（2013 年 4 月－2013 年 9 月）に CFIVE を利用した講義は以下の通りである。

1	その他	研究倫理/医療倫理 II	武藤香織　渡邉俊樹
2	その他	研究倫理/医療倫理 I (水 4)	武藤香織　渡邉俊樹
3	その他	東大での『一般情報教育』を体験しよう 2013	萩谷　昌己
4	教養学部後期課程	特殊講義「ヨーロッパ国際政治経済 I 」(水 3)	高橋直樹
5	教養学部後期課程	日本研究特殊講義IV/専門英語(57)(金 3)	アルヴィなほ子
6	教養学部後期課程	行動生態学(水 3)	齋藤慈子
7	教養学部後期課程	情報人文社会科学 III, 総合分析情報学特論 II(火 1)	植田一博
8	教養学部後期課程	情報工学 IV(水 2)	山口 泰
9	教養学部後期課程	情報工学 III(金 3)	山口和紀
10	教養学部後期課程	情報数理科学演習 II(水 5)	山口和紀, 金子知適
11	教養学部後期課程	情報数理科学 II(月 2)	田中　哲朗
12	教養学部後期課程	国際経済政策演習(水 3)	荒巻健二
13	教養学部後期課程	計量社会科学研究 II(火 4)	来島　愛子
14	教養学部後期課程	ラテンアメリカ政治論(金 4)	大串和雄
15	教養学部後期課程	イギリス言語芸術論 I(金 4)	アルヴィなほ子

16	教養学部後期課程	専門英語/テクスト分析演習 II(火 2)	吉国浩哉
17	経済学部	金融システムの諸問題と行政(水 4)	天谷知子
18	理学部	計算数理演習(金 3)	齊藤宣一
19	理学部	計算数学 I(金 4)	一井信吾
20	工学部	グローバル共生基礎論 I(水 5)	岩月　純一・齋藤　希史
21	工学部	社会計量分析 I(火 4./5)I	和田毅
22	工学部	言語情報解析 I/ 言語と人間 I	広瀬友紀
23	工学部	西欧基層文化論 II(水 5)	アルヴィなほ子
24	工学部	実現型プロジェクト2(金 3,4)	松島　潤, 稗方　和夫
25	工学部	実現型プロジェクト1(金 3,4)	松島　潤, 稗方　和夫
26	工学部	物質科学のための計算数理 I(金 3)	岩田潤一
27	工学部	計算機工学概論(火 1)	矢入　健久, 堀　浩一
28	工学部	先端技術と社会特別講義I(木 3)	美馬　秀樹
29	公共政策大学院	エネルギー安全保障(月 5)	田中 伸男
30	公共政策大学院	Globalization and Economic Structural Policy(火 4)	林 良造
31	公共政策大学院	Human Security: Asian Perspectives(金 3)	SHANI, Giorgiandrea
32	公共政策大学院	立法学(月 1)	塩田智明
33	公共政策大学院	租税政策(水 4)	中里　実
34	公共政策大学院	財政法(水 2)	中里　実
35	法学部	Comparative Political Institutions in Asia(水 4)	大森佐和
36	法学部	ローマ法(金 1)	源河　達史
37	法学部	政治学史(月 4,水 1)	川出　良枝
38	法学部	比較政治 II（発展途上国の政治）(月 3)	大串和雄
39	法学部	租税法(月 4,水 1)	中里　実
40	法学部	金融法演習　商事信託法の諸問題(水 5)	小野 傑
41	法学部	政治学(月 2)	加藤 淳子
42	法学部	行政法第1部(月 3,水 1)	交告　尚史
43	法学部	租税法演習(水 4)	中里　実
44	法学部	商法第1部(火 2,金 3)	山下友信
45	法学部	民法第 1 部(月 4,水 5)	加毛明
46	教養学部前期課程	情報(共通)	情報担当講師
47	教養学部前期課程	中級英語(W)Thinking and Writing(水 1)	ペティート　ジョシュア
48	教養学部前期課程	全学自由研究ゼミナール(社会・制度 II)(木 1)	ウィンクラー クリスティアン
49	教養学部前期課程	情報システム利用入門(金 5)	福田 玄明, 金子 知適
50	教養学部前期課程	平和のために東大生ができること(木 6)	岡田　晃枝
51	教養学部前期課程	実践的プログラミング(月 6)	金子 知適, 福田 玄明
52	教養学部前期課程	教養英語 I(水 3)	荒木　純子
53	教養学部前期課程	教養英語 I(水 2)	荒木　純子
54	教養学部前期課程	グローバル時代をどう生きるか(月 5)	真船　文隆
55	教養学部前期課程	学術俯瞰講義「社会と倫理 －＜人間＞の限界を問う」	高橋哲哉、山本芳久
56	教養学部前期課程	学術俯瞰講義 「物質の神秘－その生い立ちから私たちの未来 まで」	小島憲道、永田敬
57	教養学部前期課程	法と社会(木 4)	岩田 太
58	教養学部前期課程	モンゴル語初級(木 5)	木村理子
59	教養学部前期課程	経済 I（金 4)	荒巻健二
60	教養学部前期課程	政治 I(金 4)	高橋直樹
61	教養学部前期課程	情報(金 4)	品川 高廣
62	教養学部前期課程	情報(金 4)	蔡　東生
63	教養学部前期課程	図形科学 II(金 4)	金井崇, 奈尾信英

64	教養学部前期課程	基礎統計(金 3)	岡田　謙介
65	教養学部前期課程	生命科学 I(1)(金 3)	増田建
66	教養学部前期課程	図形科学 II(金 3)	奈尾信英, 金井崇
67	教養学部前期課程	情報(金 3)	金子 知適
68	教養学部前期課程	情報(金 3)	蔡　東生
69	教養学部前期課程	情報(金 2)	垣村 尚徳
70	教養学部前期課程	情報(金 2)	広田 光一
71	教養学部前期課程	情報(金 2)	中村 政隆
72	教養学部前期課程	基礎演習(金 2)	荒巻健二
73	教養学部前期課程	情報(金 1)	広田 光一
74	教養学部前期課程	基礎演習(金 1)	四本　裕子
75	教養学部前期課程	英語二列 R(金 1)	河合祥一郎
76	教養学部前期課程	情報科学概論 I(木 5)	増原英彦
77	教養学部前期課程	情報(木 3)	辰己 丈夫
78	教養学部前期課程	図形科学 II(木 3)	深野暁雄, 舘知宏
79	教養学部前期課程	基礎演習(木 3)	岡田　晃枝
80	教養学部前期課程	情報(木 3)	垣村 尚徳
81	教養学部前期課程	英語二列 C(C)(木 3)	広瀬友紀
82	教養学部前期課程	英語二列(C)(木 3)	菅原克也
83	教養学部前期課程	情報(木 2)	増原 英彦
84	教養学部前期課程	図形科学 II(木 2)	舘知宏, 深野暁雄
85	教養学部前期課程	情報(木 2)	石崎 雅人
86	教養学部前期課程	英語二列R(木 2)	吉国浩哉
87	教養学部前期課程	英語二列C(C)(木 2)	アルヴィなほ子
88	教養学部前期課程	化学基礎(木 1)	ウッドワード・ジョナサン・ロジャー
89	教養学部前期課程	図形科学演習 II(木 1)	山口 泰
90	教養学部前期課程	情報(木 1)	中村 周吾
91	教養学部前期課程	現代国際社会論(水 5)	嘉治美佐子
92	教養学部前期課程	情報(水 4)	中村 政隆
93	教養学部前期課程	図形科学 II(水 4)	川原田寛, 俵 丈展
94	教養学部前期課程	英語二列C(C)(水 4)	アルヴィなほ子
95	教養学部前期課程	英語二列(C)(水 4)	菅原克也
96	教養学部前期課程	情報(水 4)	開　一夫
97	教養学部前期課程	人間行動基礎論(理科生)(水 3)	大久保　街亜
98	教養学部前期課程	図形科学 II(水 3)	俵 丈展, 川原田寛
99	教養学部前期課程	情報(水 3)	日暮 英治
100	教養学部前期課程	情報(水 3)	福永 アレックス
101	教養学部前期課程	情報(水 2)	開　一夫
102	教養学部前期課程	情報(水 2)	米谷 玲皇
103	教養学部前期課程	東洋古典学(金 4)	佐藤浩一
104	教養学部前期課程	国際関係論 I(火 5)	石田 淳
105	教養学部前期課程	英語二列R(火 5)	吉国浩哉
106	教養学部前期課程	情報(火 4)	山口　泰
107	教養学部前期課程	英語二列 C(C)(火 4)	広瀬友紀
108	教養学部前期課程	図形科学 II(火 4)	福田　玄明
109	教養学部前期課程	情報(火 4)	谷川 智洋
110	教養学部前期課程	図形科学 II(火 3)	横山　ゆりか
111	教養学部前期課程	情報(火 3)	美馬 秀樹
112	教養学部前期課程	情報(火 3)	中谷 多哉子

113	教養学部前期課程	情報(火 2)	植田 一博
114	教養学部前期課程	情報(火 2)	萩谷 昌己
115	教養学部前期課程	全学自由研究ゼミナール(心理)(火 1)	四本　裕子
116	教養学部前期課程	心理 I (火 1)	田中　章浩
117	教養学部前期課程	社会I(火 1)	久木元真吾
118	教養学部前期課程	法 I(Tue1)	大澤逸平
119	教養学部前期課程	情報(月 5)	田中 哲朗
120	教養学部前期課程	基礎統計(月 4)	竹内文乃
121	教養学部前期課程	情報(月 4)	河内谷 幸子
122	教養学部前期課程	図形科学 II(月 4)	田中一郎, 柏原 賢二
123	教養学部前期課程	情報(月 4)	田村 肇
124	教養学部前期課程	英語二列 C(C)(月 4)	広瀬友紀
125	教養学部前期課程	政治 I(月 3)	鹿毛利枝子
126	教養学部前期課程	情報(月 3)	柴山 悦哉
127	教養学部前期課程	生命科学 I(月 3)	佐藤直樹
128	教養学部前期課程	情報(月 3)	河内谷 幸子
129	教養学部前期課程	図形科学 II(月 3)	柏原賢二, 田中一郎
130	教養学部前期課程	英語二列 C(C)(月 3)	広瀬友紀
131	教養学部前期課程	プログラム構成論(月 2)	山口和紀
132	教養学部前期課程	物質化学 II(文科生)(月 2)	渡辺　正
133	教養学部前期課程	認知脳科学(月 2)	四本　裕子
134	教養学部前期課程	中国語初級(インテンシヴコース)(月 2 ほか)	王雪萍ほか
135	教養学部前期課程	国際関係論 I(月 2)	古城佳子
136	教養学部前期課程	情報(月 1)	山口 和紀
137	教養学部前期課程	生命科学(月 1)	白髭克彦
138	教養学部前期課程	初修外国語スペイン語(公開講座,履修者以外も全員登録)	スペイン語部会全教員

2.4　冬学期の利用

冬学期(2013 年 10 月－2014 年 2 月)に CFIVE を利用した講義は以下の通りである。

1	教養学部後期課程	言語情報科学特別講義 II(火 4)	広瀬友紀
2	教養学部後期課程	国際金融(土 2)	浅川雅嗣
3	教養学部後期課程	共通英語(24)(養 08A0024)(水 3)	椎名紀久子
4	教養学部後期課程	知覚心理学演習 (水 5)	四本　裕子
5	教養学部後期課程	教養学部統合自然科学学科 (月 2)	四本　裕子
6	教養学部後期課程	情報人文社会科学 I(月 2)	植田一博, 石田英敬, 河口洋一郎, 田中純
7	教養学部後期課程	プログラミング演習Ⅲ(木 2)	山口 泰
8	教養学部後期課程	プログラミング演習 II(月 3)	山口和紀、金子知適
9	教養学部後期課程	情報工学 V(火 3)	山口 泰
10	教養学部後期課程	情報数理科学 I(金 5)	山口和紀
11	教養学部後期課程	総合情報学基礎論 I(水 2)	山口和紀、山口泰、福永アレックス
12	教養学部後期課程	論文指導Ⅱ【北アメリカ研究コース】(火 1)	ロビンズ・ロジャー
13	教養学部後期課程	特殊研究演習 V【イギリス研究コース】/専門英語(42)(月 4)	アルヴィなほ子
14	教養学部後期課程	専門英語(49)(金 3)	高橋直樹
15	教養学部後期課程	食の安全科学(木 2)	中嶋　康博
16	教養学部後期課程	地球環境とバイオマス利用(木 3)	鮫島　正浩
17	教養学部後期課程	言語情報解析 I(火 2)	広瀬友紀
18	教養学部後期課程	言語の認知科学Ⅲ(木 2)	広瀬友紀

19	情報基盤センター	コンピュータネットワーク研修	コンピュータネットワーク研修担当教職員
20	農学部	冬作物管理学(通年)	岡田謙介
21	農学部	国際作物モデル学(火 3)	岡田　謙介
22	農学部	国際食料資源学(月 2)	岡田謙介、小林和彦、黒倉寿
23	農学部	生物統計学(木 1)	岸野洋久
24	農学部	情報工学(木 3)	中村　典裕
25	理学部	計算数学 II(金 4)	一井信吾
26	文学部	知の冒険(月 5)	冨澤かな
27	文学部	社会学特殊講義／「質的」調査研究の諸問題(月 4)	祐成 保志
28	農学部	国際農業開発学セミナー(金 2)	岡田謙介
29	農学部	国際農業開発学演習(木 2)	岡田謙介
30	総合文化研究科	物質科学のための計算数理Ⅱ(金 3)	岩田潤一
31	総合文化研究科	北米・中南米地域文化演習 II(火 5)	和田　タケシ
32	工学部	システム制御工学(火 1)	大和　裕幸
33	工学部	コンピュータ及び演習(水1)	阿久津　好明
34	工学部	プログラミング基礎(金 4,5)	白山晋、鳥海不二夫、小林肇
35	工学部	プログラミング基礎演習(金 5)	川原圭博
36	工学部	ソフトウェア第一/機械ソフトウェア演習(水 4,5)	正宗賢, 高野渉, 杉田直彦
37	公共政策大学院	事例研究(解釈・立案の実践的法律学)(金 1,2)	外山秀行
38	公共政策大学院	(事例研究)エネルギー安全保障と国際機関(月 6)	田中伸男
39	公共政策大学院	事例研究(海洋問題演習 Vb)(月 5)	村上　裕一
40	公共政策大学院	エネルギー安全保障(月 5)	田中伸男
41	公共政策大学院	現代中国の政治と外交(水 4)	高原明生
42	公共政策大学院	Development Economics: Macroeconomic Approach(月 2)	塩路悦朗
43	公共政策大学院	Governance and Development(月 6)	桑島京子
44	公共政策大学院	Comparative Analysis of Japanese Economic Policy-Making Process(火 4)	林　良造
45	公共政策大学院	法制執務の基礎と応用ー法治国家の政策対応(火 6)	外山秀行
46	公共政策大学院	地方自治法(木 2)	太田　匡彦
47	法学政治学研究科	資本市場と公共政策(水 5)	小野 傑
48	法学部	特別講義　現代オセアニアの政治(木 2)	関根政美
49	法学部	現代日本政治(月 2)	谷口 将紀
50	法学部	消費者法(金 1)	道垣内弘人
51	法学部	ローマ法(金 1)	源河　達史
52	法学部	ヨーロッパ政治史(水 4,金 2)	中山　洋平
53	法学部	行政法第2部(水 3,金 1)	交告尚史
54	法学部	民事訴訟法第 3 部(水 1)	松下淳一
55	法学部	民法第3部(月 4,木 2)	米村滋人
56	法学部	民法第 1 部(月 4,水 5)	加毛明
57	教養学部前期課程	テーマ講義「国際機関で働く」(火 5)	荒巻健二、嘉治美佐子、古城佳子、西沢敏郎
58	教養学部前期課程	英語 I 列(水 2)	河合祥一郎
59	教養学部前期課程	モンゴル語初級(木 5)	木村理子
60	教養学部前期課程	共通英語(38)(養 08A0038)(水 5)	ロビンズ・ロジャー
61	教養学部前期課程	情報メディア表現論(木 2)	中村　周吾
62	教養学部前期課程	プログラミング基礎(金 4,5)	鳥海不二夫
63	教養学部前期課程	アクティブラーニングで自然科学を楽しむ	山口和紀
64	教養学部前期課程	テーマ講義(月 2)	岩月　純一
65	教養学部前期課程	情報科学概論 II(木 1)	植田一博、福永 Alex

66	教養学部前期課程	国際関係論Ⅱ（月 2）	岡田　晃枝
67	教養学部前期課程	法・政治（金 4）	岩澤 雄司
68	教養学部前期課程	データ分析 （金 4）	来島　愛子
69	教養学部前期課程	情報科学(金 4)	金子 知適
70	教養学部前期課程	適応行動論（金 3）	齋藤 慈子
71	教養学部前期課程	情報科学(金 3)	大山　恵弘
72	教養学部前期課程	情報科学(金 2)	久野　靖
73	教養学部前期課程	身体運動科学（金1）	中澤公孝
74	教養学部前期課程	情報科学(金 1)	中山 英樹
75	教養学部前期課程	教養英語（木 4）	ペティート ジョシュア
76	教養学部前期課程	情報科学(木 3)	増原 英彦
77	教養学部前期課程	英語二列 R(木 3)	小林　薫
78	教養学部前期課程	英語Ⅰ列(木3)	河合祥一郎
79	教養学部前期課程	情報科学(木 2)	千葉　滋
80	教養学部前期課程	英語二列 R(木 2)	小林　薫
81	教養学部前期課程	法と国家（水 5）	山元一
82	教養学部前期課程	中級英語（LS）(水 5)	椎名紀久子
83	教養学部前期課程	宇宙素粒子物理学のフロンティア(水 4)	岸本 康宏
84	教養学部前期課程	中級英語（LS）(水 4)	椎名紀久子
85	教養学部前期課程	図形科学 I(水 4)	椎名久美子
86	教養学部前期課程	情報科学(水 4)	田中 哲朗
87	教養学部前期課程	教養英語 I（水 3）	荒木　純子
88	教養学部前期課程	教養英語（水 3）	ペティート ジョシュア
89	教養学部前期課程	教養英語 I（水 2）	荒木　純子
90	教養学部前期課程	進化学（水 1）	増田建
91	教養学部前期課程	哲学演習（水 1）	橋本毅彦
92	教養学部前期課程	法 II(水 1)	源河　達史
93	教養学部前期課程	法 II(水 1)	中里　実
94	教養学部前期課程	平和のために東大生ができること（火 5）	岡田　晃枝
95	教養学部前期課程	情報科学(PEAK)(火 4)	垣村 尚徳
96	教養学部前期課程	情報科学(火 4)	山口和紀
97	教養学部前期課程	情報科学(火 2)	山口　泰
98	教養学部前期課程	心理 II（火 1）	工藤恵理子
99	教養学部前期課程	実践的プログラミング（月 6）	金子 知適, 福田 玄明
100	教養学部前期課程	ライティング＆プレゼンテーション(PEAK)（月 5）	ロビンズ・ロジャー
101	教養学部前期課程	駒場で「食」を考える（月 5）	渡邊　雄一郎, 岡田　晃枝
102	教養学部前期課程	法と国際社会(月 5)	西村　弓
103	教養学部前期課程	国際交流論（月 5）	石井梨紗子
104	教養学部前期課程	情報科学(月 5)	伊知地　宏
105	教養学部前期課程	人間行動基礎論(理科生)（月 4）	本吉　勇
106	教養学部前期課程	情報科学(月 4)	伊知地　宏
107	教養学部前期課程	ことばと文学 IV(月 3)	アルヴィなほ子
108	教養学部前期課程	惑星地球科学(月 2)	小河正基
109	教養学部前期課程	システム論 (月 2)	福永 Alex
110	教養学部前期課程	人間行動基礎論（理科生）（月 2）	大久保　街亜
111	教養学部前期課程	中国語初級（インテンシヴコース）（月 2）	王雪萍
112	教養学部前期課程	中級英語(R)(月 2)	ロビンズ・ロジャー
113	教養学部前期課程	全学自由研究ゼミナール 情報システム利用入門(月 1)	垣村 尚徳
114	教養学部前期課程	現代生命科学 II（文科生）（月 1）	永田典子

115	教養学部前期課程	情報科学(月 1)	中尾 彰宏
116	教養学部前期課程	社会教育論 I (月 3)	李 正連
117	教養学部前期課程	社会システム工学基礎(月 3)	白山 晋
118	教養学部前期課程	最適システム設計論(月 1)	大和 裕幸
119	教養学部前期課程	学術俯瞰講義「この国のかたち-日本の自己イメージ」(木 4)	長谷部恭男、福岡安都子
120	教養学部前期課程	学術俯瞰講義 「生命の堅牢性と可塑性」(月 2)	多羽田哲也、水島昇、大杉美穂
121	教養学部前期課程	初修外国語スペイン語(公開講座,履修者以外も全員登録)	スペイン語部会全教員

2.5 組織別の利用状況

開講組織	講義数
教養学部前期課程	158
教養学部後期課程	31
法学部	21
公共政策大学院	16
工学部	14
総合文化研究科	2
農学部	7
理学部	3
経済学部	1
文学部	2
情報基盤センター	1
その他	3
合計	259

2.6 広報

1	ユーザ登録について	2013/5/20
2	SSO の不具合について	2013/6/28
3	平成 25 年度冬学期のコース作成(教職員向け)	2013/9/5
4	CFIVE のサービス終了(2014/3)について	2013/10/1
5	教養前期過程の履修者登録	2013/11/19
6	レポート登録時のシステムエラーについて(学生向け)	2014/1/29
7	学習管理システムの更新について	2014/3/13

3 システム更新

2014 年度より新しい学習管理システム(Learning Management System、LMS)のサービスを開始するため、2013 年度にシステム調達作業を行った。

新学習管理システムには、本学で開発・運用してきた従来の学習管理システム (CFIVE) の 9 年間にわたる知見を活かし、従来にも増して様々な教育活動を支援する機能の充実、より多くの講義での利用を可能とするシステムの導入を目指した。

また、ECCS などのサービスを維持するために、サービスの一部機能を補完するサーバ群などがあり、これらサーバ群は仮想マシン環境基盤上で動作しており、学習管理システム本体も同基盤の上で動作させれば、機器の集約によってハードウェアの運用コストや消費電力削減などの効果が期待されることから、新学習管理システムと一体で調達を行うこととした。

なお、新 LMS の名称は「ITC-LMS」とした。

3.1 システム調達

以下の日程により、システム調達を行った。政府調達の結果、提供事業者は「キヤノン IT ソリューションズ」に決定した。

2013 年 5 月 21 日	第1回仕様策定委員会
2013 年 6 月 4 日	第2回仕様策定委員会
2013 年 7 月 5 日	入札公告
2013 年 8 月 26 日	入札締切
2013 年 8 月 29 日	第1回技術審査委員会
2013 年 9 月 4 日	第2回技術審査委員会
2013 年 9 月 30 日	開札
2014 年 2 月 28 日	納入期限

3.2 提供機能

ITC-LMS は、UTask-Web または ECCS アカウントを使用し、Web システムにより利用するシステムであり、従来の学習管理システム (CFIVE)で提供してきた機能とほぼ同様の機能を提供している。教員は、教材・講義資料の配布、課題の出題とレポートの受領、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。さらに、アンケート、掲示板、通知機能なども提供している。以下の 2 つの新機能を ITC-LMS では提供している。

(1) 通知機能

通知機能とは、教員が作成した教材やテスト、学生が提出したレポートなどを見逃すことを防ぐために、ログイン後の画面に分かりやすく表示したり、更新情報を 1 日 1 回指定したメールアドレスに送信することができる機能である。

(2) データ連携機能

教養学部教務課が運用する UTask-Web で登録された講義及び履修者の情報を、ITC-LMS に自動的に反映させる。これによって、教養学部前期課程の講義を担当される先生方は、事前に情報基盤センターに申請しなくても、ITC-LMS の利用が可能となる (それ以外の講義で ITC-LMS を利用するためには、事前の申請を行う必要がある)。

3.3 利用説明会

以下の日時に教員向け利用説明会を行った。

2014 年 3 月 14 日(金) 14:30-16:30	本郷:情報基盤センター1 階遠隔講義室(主会場) 駒場:情報基盤センター4 階遠隔講義室
2014 年 3 月 19 日(水) 15:15-17:15	駒場:情報基盤センター4 階遠隔講義室(主会場) 本郷:情報基盤センター1 階遠隔講義室

部局負担による携帯端末接続環境運用報告

情報メディア教育支援チーム

1　参加組織

2014 年 3 月現在、携帯端末接続環境を利用している組織は 12 である。有線接続サービスを提供している場所数は 60、口数が 681 であり、無線接続サービスを提供している場所数は 68、アクセスポイント数が 79 である。2013 年度に行った変更作業は以下のとおりである。

2013 年度の新設、移設、廃止等
4 月 8 日 廃止 経済学研究科 赤門総合研究棟 有線 300 口
5 月 23 日 廃止 教養学部 学生会館 無線 7AP
5 月 29 日 廃止 情報学環・学際情報学府　本館 無線 6AP
6 月 5 日 変更 法学政治学研究科 総合教育棟等 有線 822 口→313 口

2　広報

2013 年度に行った主な広報は以下のとおりである。

5 月 31 日 携帯端末接続環境(無線)の障害について
6 月 7 日 全学無線 LAN サービス(utroam)用 AP 提供サービス
8 月 20 日 8/20 携帯端末接続環境(無線)の障害について
11 月 1 日 11/1(金) 携帯端末接続環境(有線・無線)の障害について
11 月 11 日 11/11(月) 携帯端末接続環境(有線・無線)のサービス停止について
11 月 12 日 携帯端末接続環境（無線 LAN）の終了について

3　無線接続サービス終了

2014 年 3 月末をもって無線接続サービスを終了し、2014 年 4 月からは全学無線 LAN サービス(utroam)用 AP 提供サービスを開始する。なお、有線接続サービスについては 2014 年度も引き続き提供する。

無線接続サービス終了に伴い、全学無線 LAN サービス(utroam)用 AP 提供サービスへの移行を希望する組織について 2014 年 2 月に utroam 用アクセスポイントへの移行作業を行った。

移行作業を行ったアクセスポイントは以下のとおりである。

●本郷地区
・第二本部棟 6F 廊下 1、6F 廊下 2、7F 自習室 1、7F 自習室 2
・法学部 3 号館 1F116、2F209、3F 図書事務室、4F 図書閲覧室 、4F402、4F409
・法学部 4 号館 1F 自習室、2F 自習室 1、2F 自習室 2、3F 自習室 1、3F 自習室 2、6F 廊下
・法学政治学系総合教育棟 1F101、1F102、2F203、3F301、3F305、4F401
・農学生命科学図書館 3F 図書室
・総合図書館 4F 閲覧室南側

●駒場地区
・教養学部 2 号館 3F 第 1 共同研究室、4F 第 3 共同研究室、5F 国際社会学図書室
・教養学部 18 号館 2F 大学院学習室

●白金地区
・医科学研究所 1 号館 2F 図書室

その他のサービス　運用報告

情報メディア教育支援チーム

1　その他のサービス

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。

2　部局設置機器の管理

部局設置端末の運用代行申込組織は以下のとおりである。

1 組織、端末数 63 台

3　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 11、合計口数は 250 である。

利用月	部局	口数	内容
5 月	工学系研究科	18	西野研究室実験演習
6 月	新領域創成科学研究科	5	生命科学実験解析学
7 月	経済学研究科	23	評価インセンティブに関わる経済実験
7 月	情報理工学系研究科	50	東大での『一般情報教育』を体験しよう 2013
8 月	大気海洋研究所	41	福島第一原子力発電所事故に係る 環境汚染 シミュレーション講習会
10 月	経済学研究科	31	経済学実験
11 月	情報システム部	11	平成 25 年度コンピュータネットワーク研修
12 月	経済学研究科	15	社会ゲームの理論と実験
12 月	総合文化研究科	15	国際生物学オリンピック派遣生徒特別訓練
12 月	工学系研究科	10	実験演習
2 月	経済学研究科	31	経済学実験

4　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：部局管理の Active Directory（2 組織）、部局管理サーバ、Utask-Web、SNOWBALLS システム

5　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。

なお、駒場については、2014 年 2 月 10 日に行われた第 47 回情報メディア教育専門委員会において、2014 年 3 月末をもってサービスを終了することが了承された。

本郷（福武ホール　教材編集室）　221 件

駒場（情報教育棟　教材作成室）　0 件

6　AP 提供サービス

2001 年から ECCS 無線 LAN 実験サービスの付帯サービスとして提供していた部局負担による携帯端末接続環境を、全学無線 LAN 提供サービス(utroam)対応とするためサービス内容を更新し、2014 年 4 月より新たに AP 提供サービスとして提供する予定である。

それに先駆け、2013 年 10 月から AP 提供サービスの受付を開始した。また、既存の携帯端末接続環境利用部局については情報基盤センターによる機器更新を行うこととし、2013 年 5 月に AP 提供サービスへの移行希望調査を行い、6 部局 28AP が 2014 年 2 月までに機器を更新、AP 提供サービスへ移行した。

学術情報

データベースリーフレット

ネットでアカデミック
学術情報へのアクセスガイド

東京大学 OPAC

学術情報

概要

部門長　中川裕志　　専門職員　本多玄

1　図書館システムの運用管理とサービスの提供

ここで言う「図書館システム」とは、本学図書館室の図書館業務を行う際の業務システム的部分と、その結果蓄積された図書・雑誌の書誌・所在情報を「東京大学 OPAC」を窓口として学内外のユーザの利用に供するためのサービスシステムとしての側面も有するものであり、附属図書館が提供する各種サービスの中核をなすシステムである。それ故、業務の効率化に資することと、サービスにおける利便性を高めることが絶えず求められる。

現在本システムで管理する書誌情報は約 290 万件、所蔵情報は約 886 万件に及んでおり、本学の図書資産台帳としての役割も兼ねている。

また、学内外の他システムとの連携も進めており、2013 年度は附属図書館で導入のディスカバリ・サービスと図書館システムとの連携を目的とした改修を行っている。

2　東京大学機関リポジトリの運用管理と情報発信

本学の研究成果を世界に向けて発信することは本学としても重要なことである。これに資するため附属図書館と連携して「東京大学機関リポジトリ」システムの運用管理を行っており、約 3 万件のコンテンツが登録されている。

また 2013 年度は学位規則の改正により、原則的に博士学位論文は機関リポジトリを通して全文公開することとなったため、研究成果発信の中核的システムとして今後ますます重要な役割を果たすことになろう。

3　学術情報に関するポータルサイトの提供と各種講習会の企画・運営

大学として各種データベースや電子ジャーナル等情報資源整備を行う必要がある一方、ユーザがそれら情報資源の存在を認識し、かつ活用できなければ意味がない。

このため学術情報チームでは自分の目的に合ったデータベースを探すためのポータルサイト「GACoS」を提供するとともに、様々なテーマによる文献探索のための講習会開催、案内冊子・パンフレット等の作成を附属図書館と連携しがら行っている。

4　その他

その他サービスとしては SSL-VPN ゲートウェイによる学外からの電子ジャーナル等へのアクセスサービスや貴重書電子化への協力を行っている。

デジタルコンテンツサービス

デジタル・ライブラリ担当

1　運用報告

1.1　東京大学学術機関リポジトリの構築

東京大学学術機関リポジトリとは、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。2013 年度は、ハーベスティング用メタデータのフォーマット変更に対応した（Junii2.ver3.0）。

(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、2013 年度末には約 30,800 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。著者本人や共著者の許諾はもちろんであるが、学術雑誌掲載論文では出版者の許諾も必要であるため、機関リポジトリへの掲載許諾情報を調査し、必要に応じて学協会等へ個々に許諾の確認を取る作業を行っている。

また、学位規則改正による博士論文のリポジトリでの公表義務化に伴い、関係部署と運用方法を検討し、ガイドライン作成等を行った。

1.2　電子ジャーナルのゲートウェイサービス

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 SSL-VPN Gateway サービスとして実施している。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。2013 年度は、従来からの学生用アカウントに加えて、教職員用アカウントを使った認証方法でも利用できるようになった(認証 GW サービス)。

1.3　東京大学学位論文要旨データベースの構築

学位論文データベースは従来冊子体で刊行されていた「東京大学博士学位論文の内容の要旨と審査結果の要旨」を電子化して公開している。

2013年度は2011年度論文要旨約1,350件の電子化を行った。前年度同様に、提出電子ファイルを全面的に利用し、データベース作成の効率化と経費の削減を図った。

(http://gakui.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/)

1.4　貴重資料の公開支援

例年総合図書館や部局で作成した貴重書の電子ファイルを利用して、web サイトで公開している。2013 年度は数理科学研究科で作成した高木貞治先生自筆ノートを公開した。本ノートは、日本最初の世界的な数学者である高木貞治(東京帝國大学教授 1904-1936)の東京大学数学科での自筆講義ノートあるいは研究ノートと思われるものである。

(http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/takagi/)

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・中国語・韓国語版）を継続的に構築、運用した。

また、検索サービス「TREE(UTokyo REsource Explorer)」が 2014 年度本学に新規導入され学術情報へのアクセスが大きく変化することから、印刷版資料とウェブの情報を連携させて今後の検索サービスの変更等に迅速に対応する方針とし、リニューアルの準備を進めた。リニューアルに伴い、中国語・韓国語版は 2014 年度より英語版に統合となる。

（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のガイドブックとして作成してきた「ネットでアカデミック」については、TREE 導入に伴い、名称を「レポート・論文支援ブック：ここから始めよう」と変更して 2014 年度版から大幅なリニューアルを行うこととした。形態も 40 ページの小冊子から、目次と概要を掲載した 8 ページのリーフレットタイプに変更となる。日本語・英語・中国語・韓国語の 4 か国語版を作成するのは従来のとおり。各項目の本文は日英 2 か国語として GACoS へコーナーを新設し、掲載する。

(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？」

東京大学で利用できるデータベース等のサービスについて、各々の概要や機能を紹介したリーフレット「文献探しのヒント」4 種（日本語・英語版）についても、「レポート・論文支援ブック」へ統合することとして今年度版が最後となった。今後は、問合せが多く、2013 年度に新しく「認証 GW サービス」が開始となった学外アクセスサービスについてのみ、「レポート・論文支援ブック」別冊として 2 種類のアクセスサービスをまとめて説明したリーフレット「自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには？」を発行する。

(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。

また個別の講習会は行わないが需要のある情報として、新聞記事・統計の検索についての参考資料を、教材と同様の形で作成し、GACoS「講習会教材」コーナーへ掲載した。

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 2014」（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。「図書館利用ガイド」についても、TREE 導入に伴い、2014 年度より大幅な改訂となる。

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・中国語・韓国語版）を継続的に運用した。
なお、クイックガイドの中国語・韓国語版については、GACoS のリニューアルに伴い、2013 年度までの公開となる。
(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/literacy.html)

1.2.6　「東大 GACoS ワンポイント講座」

Ustream（録画）による各 3 分間前後の動画教材「東大 GACoS ワンポイント講座」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の情報を発信する「Litetopi（リテトピ）メールマガジン」を、年 25 回発行した。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・説明会等開催報告

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を目的とし、情報探索ガイダンス各コースを開催した。2013 年度は計 154 回開催し、1,975 人の参加があった。

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 11 コース開催した。2013 年度は、利用者の多い無料学術情報検索エンジン Google Scholar を対象とした「Google Scholar 活用法」、文献検索と文献管理の基本 2 コースをまとめた「論文準備ここからスタート！」、卒業・退職予定者のニーズに応える「卒業してからの文献検索・文献管理」、国連機関の情報や資料

検索の初心者向けコース「国連情報の探し方入門」（資料協力：北海道大学附属図書館）の 4 コースを新たに実施した。

コース名	月日	回数	人数	内容
はじめての論文の探し方	4/9, 4/18, 5/8, 5/21	4	46	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
自宅から電子ジャーナルを読むには？	4/11, 4/17, 5/24, 7/19	4	35	学外からも利用できるデータベース、電子ジャーナルの利用手続きやアクセス方法、手続き不要で一般に公開されているデータベースや電子ジャーナルの紹介
論文準備のための文献管理 RefWorks	5/15, 7/29, 9/10, 10/10(文献管理ツールクローズアップデー), 11/20	5	54	RefWorks を使った文献検索結果の保存・整理方法、参考文献リストの自動作成方法
Google Scholar 活用法	6/5, 9/3, 11/8, 1/14	4	57	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。
文献検索早わかり	6/11, 10/9	2	18	図書や電子ジャーナル、雑誌論文、新聞記事など、各種の文献検索方法をコンパクトに紹介。
Web of Science + RefWorks	6/14（自然科学系）,6/14（人文社会科学系）	2	18	Web of Science の検索方法、およびその書誌データを RefWorks に取り込み、参考文献リストを自動作成する方法
論文準備のための文献検索 CiNii Articles と Web of Science	7/10, 9/4, 11/14	3	21	日本語論文の代表的なデータベース CiNii Articles と英語論文の代表的なデータベース Web of Science の基本的な検索方法
論文投稿シミュレーション：JCR と RefWorks を使って	8/29, 10/25	2	7	インパクトファクターを調べて投稿先を決める手がかりの 1 つとし、RefWorks で参考文献リストの作成。文献データの整理～投稿誌の選定～投稿誌の規定に沿った文献リスト自動作成の流れをシミュレーション
論文準備ここからスタート！ (文献検索から文献リスト作成まで) 12/5 は「論文準備はこれで OK」として実施	12/5, 1/22, 2/14, 3/19	4	60	【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
卒業してからの文献検索・文献管理	2/27	1	9	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
国連情報の探し方	3/11	1	4	国連機関の会議資料・プレスリリースな

入門				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
合計		32 回	329 名	

2.2 夜間ガイダンス

昨年度の試行に引き続き、完全予約制夜間ガイダンスを継続して開催した。試行段階では 1 名のみでも開催としていたが、2013 年度は前日までに 3 名以上の参加確定をもって開催することとした。

コース名	月日	回数	人数	内容
論文準備のための文献管理:RefWorks	7/30、10/23	2	5	内容はテーマ別ガイダンスと同じ ※7/30 は予約がなかったため中止
論文投稿シミュレーション:JCR と RefWorks を使って	8/20	1	6	〃
論文準備のための文献検索 CiNii Articles と Web of Science	9/12	1	3	〃
文献検索早わかり	10/8	1	0	〃 ※予約 2 名のため中止
Google Scholar 活用法	11/27, 1/20	2	15	〃
論文準備はこれで OK(文献検索から文献リスト作成まで)	12/10	1	13	〃
卒業してからの文献検索・文献管理	3/13	1	13	〃
合計		7 回(開催予定は 9 回)	55 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	5/10	15:00-16:00	20
	中国語コース	10/15	13:10-14:10	10
		10/15	15:00-16:00	3
合計			3 回	33 名

2.4　外部講師ガイダンス （H24 年度まで「データベースユーザトレーニング」）

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。「文献管理ツール・クローズアップデー」企画のなかでは、EndNote Web から名称および機能が変更となった EndNote basic のセミナーを新たに開催した。

コース名	月日	時間	人数	会場
Westlaw International、Westlaw Japan	5/22	15:30-17:00	12	医学系研究科医療倫理学教室/医学部 3 号館
eol	6/20	15:00-16:00	10	総合図書館
	10/30	14:50-16:20	5	柏図書館
LexisNexis Academic	6/26	15:00-16:00	13	総合図書館
OECD iLibrary	6/28	15:00-16:00	10	総合図書館
SciFinder	7/18	14:50-16:20	13	総合図書館
	10/24	14:50-16:20	11	理学部化学本館
	11/28	14:50-16:30	7	柏図書館
EndNote basic	10/10	13:30-14:30	11	総合図書館
EndNote（ソフトウェア版）	10/10	15:00-16:30	10	総合図書館
国連資料講座：安全保障理事会と国連文書	11/15	15:00-17:00	15	総合図書館
合計	11 回		117 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）

月日	時間	人数	内容
8/9	11:00-12:00	12	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。
8/20	15:00-16:00	11	
合計	2 回	23 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	人数	講習内容	会場
情報学環学際情報学府	4/2（火）	11:30-12:00	105	東京大学 OPAC の講習、JapanKnowledge＋、CiNii Articles、Web of Science の紹介。	福武ホール地下 2 階福武ラーニングシアター
文学部現代文芸論研究室	4/5（金）	15:00-16:30	11	東京大学 OPAC、Literature Resource Center with MLA、CiNii Articles の検索実習(60 分)＋文学部 3 号館図書室ツアー(30 分)。	総合図書館 1 階講習会コーナー、文学部 3 号館図書室

教育学部 RefWorks 講習会	4/16(火)	(学部生) 13:00-14:00	33	RefWorks の講習。(講義形式)	教育学部 156 教室
		(大学院生) 14:50-15:50	26		教育学部 265 ゼミ室
文学部「心理学実験演習 2・3」	4/19(金)	13:10-14:10	24	東京大学 OPAC、Web of Science、PsycINFO、CiNii Articles の検索実習。	文学部 111 教室
教養学部「基礎演習」	4/22(月)	14:50-16:20	20	JapanKnowledge＋、東京大学 OPAC、CiNii Articles の検索実習。	駒場情報教育棟
	4/23(火)	13:00-14:30	21		
	4/25(木)	13:30-14:30	22		
	4/26(金)	10:40-12:10	23		
	4/30(火)	14:50-16:20	25		駒場図書館
	5/1(水)	10:40-12:10	21		駒場情報教育棟
ALESA プログラム(TA 対象)	4/23(火)	15:15-16:15	7	JapanKnowledge＋(英語辞典)、LexisNexis Academic、Web of Science の講習。(講義形式)	駒場ライターズスタジオ
	4/25(木)	15:15-16:15	8		
情報学環・学際情報学府「社会情報学基礎」	4/30(火)	13:00-14:30	14	JapanKnowledge＋、CiNii Articles、Web of Science、RefWorks の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
附属病院リハビリテーション部鍼灸部門	5/2(木)	13:30-14:30	5	医中誌 Web、PubMed の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
理学系研究科生物科学専攻	5/2(木)	15:00-17:00	3	JapanKnowledge＋、PubMed、Web of Science、東京大学 OPAC、RefWorks の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
文学部「Academic Writing」	5/7(火)	13:10-14:10	17	JapanKnowledge＋、東京大学 OPAC、CiNii Articles、Periodicals Index Online、Web of Science の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー

附属病院医療機器管理部	5/20(月)	17:40-19:10	5	医中誌 Web、PubMed、RefWorks の実習。ほか	附属病院入院棟 A 地下 2 階 ME センター
	5/23(木)	17:40-19:10	11		
理学部生物化学科	5/27(火)	13:15-15:20 (15 分休憩)	16	PubMed、Web of Science、東京大学 OPAC、RefWorks の実習。	情報基盤センター(浅野)1 階大演習室 2
附属病院リハビリテーション部	6/12(水)	17:45-18:45	8	医中誌 Web、PubMed、東京大学 OPAC の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
文学部「Academic Writing」	6/25(火)	13:10-14:10	9	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講習]医学系研究科	8/2(金)	13:30-15:00	1	医中誌 Web、PubMed の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
工学部精密工学科	10/3(木)	13:00-14:30	37	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science、Engineering Village の検索実習。	工学部 14 号館 3 階計算機演習室 326 号室
[個人オーダーメイド講習]工学系研究科	10/25(金)	16:00-16:30	1	Google Scholar 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「臨床心理学研究法Ⅱ」	10/28(月)	14:50-16:30	13	CiNii Articles、 医中誌 Web、PubMed、Web of Science、東京大学 OPAC の検索実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
文学部「社会心理学調査実習」	10/30(水)	10:00-11:00(1)	12	2 グループにわかれ JapanKnowledge＋、CiNii Articles、Web of Science、PsycINFO、東京大学 OPAC 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)	13		
文学部「Academic Writing」	11/5(火)	13:10-14:10	13	JapanKnowledge＋、東京大学 OPAC、CiNi Articles、Peri-	総合図書館 1 階講習会コーナー

				odicals Index Online、Web of Science の検索実習。	
教育学研究科「臨床心理学研究法Ⅱ」	11/11(月)	14:50-16:30	13	JCR、RefWorks の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
教養学部イギリス科「特殊研究演習Ⅱ」	11/12(火)	13:00-14:30	8	辞典ツール、新聞記事、英語書籍の検索実習。	駒場情報教育棟
教育学部「教育資料調査演習」	11/18(月)	9:00-10:30	27	国立国会図書館サーチ、東京大学 OPAC、CiNii Articles、ERIC (EBSCOhost)の検索実習。	駒場情報教育棟
教養学部イギリス科「特殊研究演習Ⅱ」	11/19(火)	13:00-14:30	11	CiNii Articles、Web of Science、Historical Abstracts、東京大学 OPAC の検索実習。	駒場情報教育棟
教養学部イギリス科「特殊研究演習Ⅱ」	12/3(火)	13:00-14:30	8	RefWorks の実習。	駒場情報教育棟
文学部「Academic Writing」	1/7(火)	13:10-14:10	11	RefWorks の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
合計 35 回			602 名		

附属図書館・室等との共催講習会

研究科・研究室名など	月日	時間	人数	講習内容	場所
総合図書館留学生ガイダンス OPAC 入門(日本語)	4/4(木)	14:30-15:00	14	東京大学 OPAC、電子ジャーナル、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 OPAC 入門(日本語)	4/9(火)	10:30-11:00	9	東京大学 OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法	総合図書館 1 階講習会コーナー
	4/11(木)	15:00-15:30	12		
	4/17(水)	15:00-15:30	8		

	4/19(金)	15:00-15:30	4		
総合図書館オリエンテーション OPAC 入門(英語)	4/10(水)	15:00-15:30	17	東京大学 OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法	総合図書館 1 階講習会コーナー
	4/18(木)	15:00-15:30	7		
総合図書館留学生ガイダンス OPAC 入門(英語)	4/15(月)	15:00-15:30	5	東京大学 OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法	総合図書館 1 階講習会コーナー
		15:30-16:00	14		
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文献検索講習会:基礎編」	4/15(月)	11:00-12:00	15	東京大学 OPAC、医中誌 Web、Web of Science の講習。(講義形式)	薬学系総合研究棟 10 階 E10 セミナー室
[医学図書館・Global30 共催]※英語コース 「Introduction to Medical Document Databases as Research Tools」(「研究ツールとしての医学文献データベース入門」)	4/17(水)	17:00-18:30	5	東京大学 OPAC、PubMed、Web of Science、RefWorks の実習。	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
	4/19(金)	17:00-18:30	9		
[地震研図書室共催] 「研究者と研究支援者のための文献の探し方@地震研」	4/24(水)	15:00-16:30	23	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science、GeoRef の講習。(講義形式)	地震研 1 号館 3 階会議室
[附属病院看護部・医学図書館共催] 「医学系文献検索早わかり」	4/24(水)	17:30-18:30	21	医中誌 Web、東京大学 OPAC の講習。(講義形式)	附属病院中央診療棟 2・7 階大会議室
	5/10(金)	17:30-18:30	47		
[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」	4/25(木)	10:30-11:40	15	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science、Engineering Village の検索説明。(講義形式)	生産研 As 棟3F 中セミナー室 4
	5/8(木)	15:00-16:10	21		
[理学部生物学図書室共催] 理学部生物学科 A 系(人類学系)	5/7(火)	10:30-11:30	5	JapanKnowledge＋、PubMed、Web of Science、東京大学 OPAC の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
[大学院数理科学研究科図書室共催] 「MathSciNet 講習会」	5/9(木)	14:50-16:20	9	MathSciNet、東京大学 OPAC の実習。	大学院数理科学研究科棟 2 階計算機室

[理学部生物学図書室共催] 理学部生物学科 B 系(基礎生物学系)	5/14(火)	15:00-16:00	20	JapanKnowledge＋、PubMed、Web of Science、東京大学 OPAC の実習。	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」	5/14(火)	12:10-12:45	13	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science、Engineering Village の検索実習(PC 持参者のみ実習)	工 2 号館図書室閲覧室
	5/15(水)		15		
	5/16(木)		21		
[工学・情報理工学図書館共催] 「RefWorks コース」	5/16(木)	13:00-14:00	11	RefWorks の実習。	総合図書館 1 階講習会コーナー
[生産研図書室・先端研図書室共催]「文献管理ツール RefWorks ガイダンス in 駒場 II」	5/17(金)	10:30-11:30	9	RefWorks の講習。(PC 持参者のみ実習)	生産研 As 棟3F 中セミナー室4
[医学図書館共催] 「論文準備のための医学系文献検索」	5/31(金)	第 1 回 15:30-16:30	13	医中誌 Web、PubMed、東京大学 OPAC の実習。	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
		第 2 回 17:30-18:30	12		
[附属病院看護部・医学図書館共催]「医学系文献検索早わかり」	6/5(水)	17:30-18:30	53	医中誌 Web、東京大学 OPAC の講習。(講義形式)	附属病院中央診療棟2・7階大会議室
[柏図書館共催] 「文献検索早わかり」	6/6(木)	15:00-16:15	13	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science の実習。	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[駒場図書館共催] 「自然科学系のための Web of Science + RefWorks」	6/17(月)	10:40-12:10	4	Web of Science、RefWorks の実習。	駒場図書館地下 1 階会議室
[駒場図書館共催] 「人文社会科学系のための Web of Science + RefWorks」	6/17(月)	14:50-16:20	14	Web of Science、RefWorks の実習。	駒場図書館地下 1 階会議室
[柏図書館共催] 「秘書さんのためのはじめての論文の探し方」	6/18(火)	第 1 回 13:30-14:45	5	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science の実習。(同内容で 2 回開催)	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
		第 2 回 15:15-16:30	6		
[薬学図書館共催]	6/24(月)	11:00-12:00	9	PubMed、Web of Sci-	薬学部資料館 4F

「薬学研究のための文献検索上級編 + RefWorks」				ence、RefWorks の実習。	情報室
[柏図書館共催] 「論文準備のための文献管理:RefWorks」	6/27(木)	15:00-16:15	14	RefWorks の実習。	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[医科学研究所図書室共催] 「文献検索早わかり in 医科研」	7/23(火)	15:00-16:20	8	医中誌 Web、PubMed、Web of Science、東京大学 OPAC の実習。	医科学研究所 1 号館 2 階セミナー室
[経済学図書館共催] 「経済学・経営学系のための論文・企業情報の探し方」	8/1(木)	15:00-16:00	11	Business Source Complete、eol の実習。	経済学研究科棟 4 階トレーディング・ラボ
[医学図書館共催] 「医学系文献検索早わかり」	8/22(木)	17:30-18:30	5	医中誌 Web、東京大学 OPAC の講習。(実習形式)	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
	8/27(火)	17:30-18:30	9		
[医科学研究所図書室共催] 論文準備のための文献管理:RefWorks in 医科研	9/5(木)	15:00-16:00	13	RefWorks の実習。	医科学研究所 1 号館 2 階セミナー室
総合図書館留学生ガイダンス OPAC 入門(英語)	10/8(火)	13:15-13:45	9	東京大学 OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法。	総合図書館 1 階講習会コーナー
	10/16(水)	14:30-15:00	10		
		15:00-15:30	11		
	10/21(月)	13:15-13:45	2		
総合図書館留学生ガイダンス OPAC 入門(日本語)	10/17(木)	15:00-15:30	3	東京大学 OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法。	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」(英語)	10/15(火)	12:10-12:50	5	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science、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
	10/16(水)	12:10-12:50	9		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	10/17(木)	12:10-12:45	8	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science、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
	10/18(金)	12:10-12:45	10		

[工学・情報理工学図書館共催] 「RefWorks コース」	10/18(金)	13:00-14:00	0	参加者がいなかったため中止	総合図書館 1 階講習会コーナー
[農学生命科学図書館共催] 「論文準備のための文献検索＆文献管理」(CiNii Articles・Web of Science・RefWorks)	10/23(水)	14:50-16:20	15	CiNii Articles、Web of Science の検索実習および RefWorks の実習。	農学生命科学図書館本館 3F PC 端末室 2
[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」	10/23(水)	15:00-16:10	9	東京大学 OPAC、CiNii Articles、Web of Science、Engineering Village の検索実習(講義形式)	生産研 As 棟3F 中セミナー室4
	10/31(木)	15:00-16:10	5		
[医学図書館共催] 「医学系のための文献管理ツール RefWorks 講習会」	10/31(木)	(第 1 回) 15:30-16:30	4	RefWorks の実習。	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
		(第 2 回) 17:30-18:30	4		
[駒場図書館共催] 「論文準備のための文献検索:CiNii Articles と Web of Science」	11/12(火)	15:10-16:20	4	CiNii Articles、Web of Science の検索実習。	駒場情報教育棟
[柏図書館共催] 「論文投稿シミュレーション:JCR と RefWorks をつかって」	11/13(水)	14:50-16:20	7	JCR と RefWorks の実習。	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
[生産研図書室・先端研図書室共催] 「論文準備のための文献管理:RefWorks」	11/28(木)	15:00-16:10	9	RefWorks の実習。 (持込 PC での実習)	生産研 As 棟3F 中セミナー室4
[医学図書館共催] 「論文準備のための医学系文献検索　医中誌 Web と PubMed」	11/29(金)	(第 1 回) 15:30-16:30	11	医中誌 Web、PubMed、東京大学 OPAC の実習。	医学図書館1F マルチメディアコーナー
		(第 2 回) 17:30-18:30	2		
[駒場図書館共催] 「論文準備のための文献管理:RefWorks」	12/3(火)	15:10-16:20	1	RefWorks の実習。	駒場情報教育棟
[医学図書館共催] 「医学系文献検索早わかり」	12/25(水)	17:30-18:30	5	医中誌 Web、東京大学 OPAC の講習。 (実習形式)	医学図書館 1 階マルチメディアコーナー
	1/7(火)	17:30-18:30	11		
合計 62 回(開催予定 63 回)			692 名		

2.7　セミナー

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新たに開催した。

コース名	月日	時間	参加人数	会場
英語論文セミナー2013　～国際誌に投稿するために知っておきたいこと～	7/5(金)	13:30-16:30	102	総合図書館 3 階大会議室
[柏図書館共催] IEEE Xplore セミナー 論文投稿とキャリア形成	11/5(火)	14:00-16:30	22	柏図書館 1 階　メディアホール
合計 2 回			124 名	

2.8　質問受付ウィーク

文献管理ツールや文献検索に関する疑問に、短時間で個別相談を受け付ける「質問受付ウィーク」を開催した。

月日	受付時間	コース名	参加人数	会場
12/16(月)～12/20(金)	9:30～12:00, 13:00～16:30	【質問受付ウィーク】文献管理ツールや文献検索の個別相談	3	総合図書館3階事務室　学術情報リテラシー担当デスク
合計			3 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）

本年度も通常の図書館業務システム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。毎年行う柏図書館への製本雑誌移管に係るデータ修正に加えて、本年度は部局図書館の移転・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、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。

1.2　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 HP の WebPark2014 への移行と管理

2　講習会・研究会開催報告

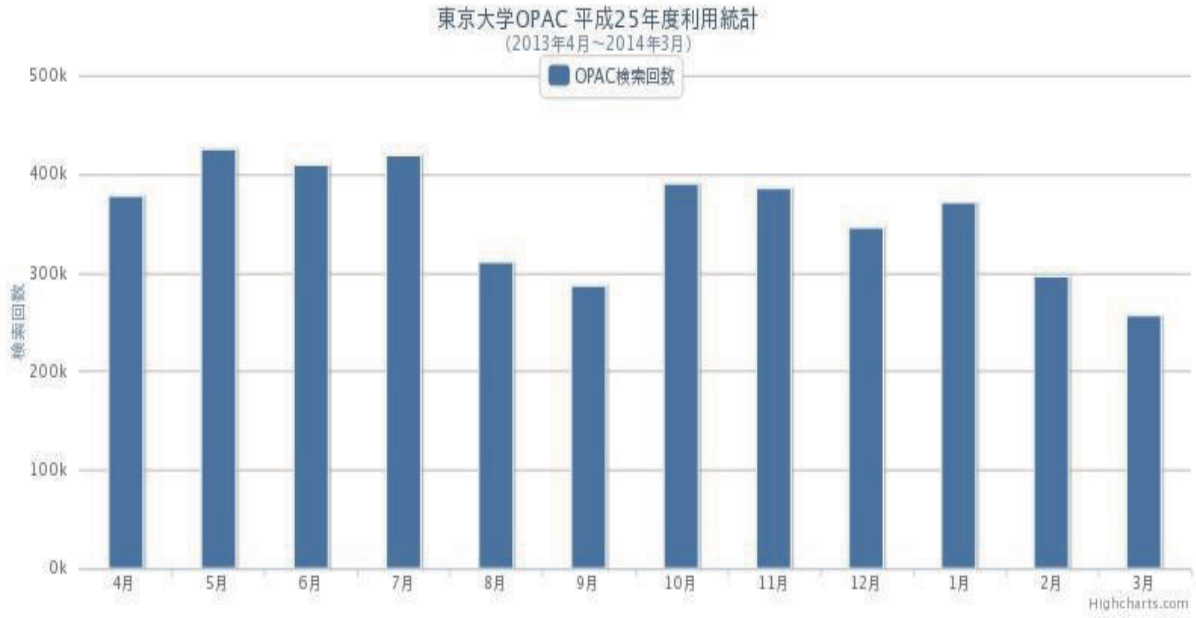
「図書系職員のためのアプリケーション開発講習会」（主催は学術情報研究部門）の事務を行なっており、受講生の募集や各図書館室への案内等を行なっている。

2013 年度は 7 名の受講者があり、全体会合は以下の 2 回行なった。

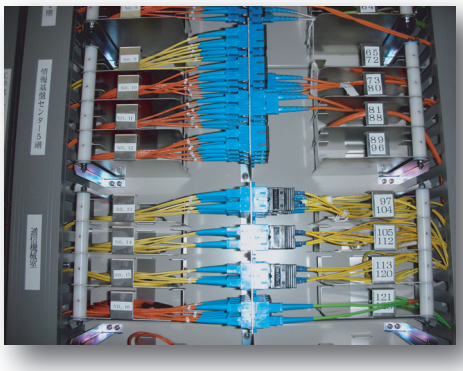
- 企画発表会　2013 年 11 月 12 日
- 成果報告会　2014 年 2 月 20 日

なお、本講習会の成果である「図書館ひっこしらくらくキット（連番くん・見出しちゃん）」が 2013 年度東京大学業務改革総長賞を受賞した。

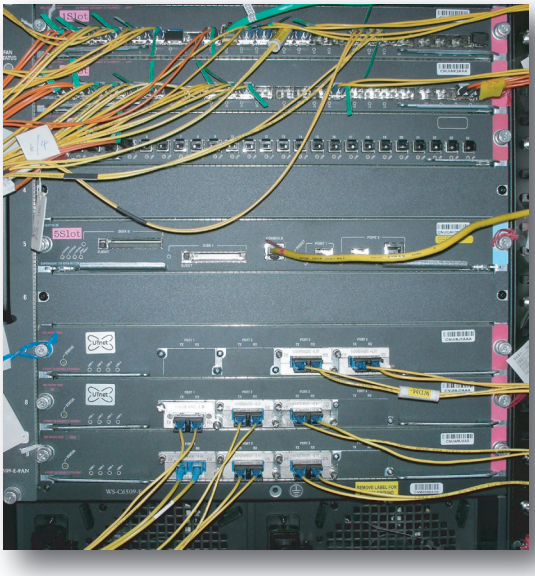
3　サービス統計


東京大学OPAC 平成25年度利用統計
(2013年4月～2014年3月)
OPAC検索回数
検索回数
500k
400k
300k
200k
100k
0k
4月
5月
6月
7月
8月
9月
10月
11月
12月
1月
2月
3月
Highcharts.com

ネットワーク



光ケーブルが集線されているスプライシングボックス



UTnet3の代表的な機器（レイヤ3スイッチ）

ネットワーク

概要

部門長　若原 恭　　係長 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）と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 L3SW について、老朽化したものを更新した。

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のため、2013 年度も 2012 年度に引き続き、L2SW の順次更新を行った。また、学生相談所、柏フューチャーセンターに L2SW を新たに設置した。

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）、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、全学共通無線 LAN サービス（utroam）の運用を引き続き行った。

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等に備えて発電車を用意して主要機器への給電を行った。

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

最近のネットワークにおいてはセキュリティへの対応が必須となっており、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いる。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. ウィルス対策の強化
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。また、新しいウィルス対策ソフトウェアの導入による検知対象範囲の拡大等、ウィルス対策の強化を積極的に進めた。

3. 迷惑メール（SPAM）対策
全学的に激増する SPAM メールに対して、全学的な対策として、本部事務組織と連携協力して、メールサーバ単位での SPAM 対策の運用を実施した。

■ 東京大学情報システム緊急対応チーム（UT-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の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（UT-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行った。

■ 学内ソフトウェアライセンス

学内に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、そのライセンス管理と配布サービスを行った。
また、ソフトウェアダウンロードサイトを用いた運用の検討及び新たに Microsoft のアカデミックセレクトプラスの提供を開始するための準備を進めた。
なお、10 月 1 日付けで、ソフトウェア管理チームが設置されたことにともない、学内ソフトウェアライセンス関係の業務の引き継ぎを行った。

■ ハウジングサービス

空調設備やラックなど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、2013 年度も引き続き実施した。

■ 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。

2013 年　6 月　6 日 第 48 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2013 年　9 月　3 日 第 49 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2013 年 12 月 11 日 第 50 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2014 年　3 月 18 日 第 51 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
・UTnet Meeting の開催及び開催報告
・JPNIC の IP アドレス維持料について
・基幹ネットワークの構成変更について
・共同研究に用いるアドレスブロックの申請について
・病院関係アドレスブロックの貸出について
・工学部新ネットワーク構成変更について
・SINET 関連について

東京大学情報ネットワークシステム（UTnet3）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）と称し、これまでの更新経緯に応じて現在は UTnet3 と呼ばれている。UTnet3 は支線ネットワーク（支線）と基幹ネットワーク（基幹）とから構成されている。支線は、各建物内に設置されたネットワークで、当該部局によって運用管理されている。基幹は、支線の相互接続及び学外との接続のために設置されたネットワークで、情報基盤センターの本ネットワーク部門が運用管理している。本部門では、以下に示す通り、基幹の運用管理に加え、これに関連する業務も含めて取り組んだ。

1.1 基幹ネットワークの運用管理

本郷地区の基幹には、5 ヶ所の HUB サイト（情報基盤センター、電話庁舎、附属図書館、工学部 8 号館、農学部 3 号館）がある。各 HUB サイトにはコア用レイヤ 3 スイッチ（L3SW）を設置し、基幹は情報基盤センターを中心にしたスター型の構成としている。駒場 I 地区、駒場 II 地区、柏地区、白金地区、中野地区の各郊外地区についても、L3SW を設置した 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行った。

－柏地区収容用 L3SW の 10Gbps 接続用 I/F 増強
－キャンパス間接続用 L3SW の電源モジュール容量増強
－中野地区収容用 L3SW の更新
－遠隔研究施設収容用 L3SW の更新

以上の通り、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。基幹のネットワーク構成を図 1 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 2 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 L2SW の 9 割以上は、支線との接続速度がギガビットに対応している。

L2SW について、今年度は 18 台を予防保全のための更新、2 台の新設、2 台の撤去、および機能強化による 1 台の構成変更を行った。また、無線 LAN の AP を給電するための PoE スイッチを 11 台新設した。

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、今年度に行っ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、3 件を廃止した。詳細を表 2 に示す。

(2) UTnet 光ファイバケーブル専用利用

建物間を横断する UTnet 光ファイバケーブル専用利用の変更、及び割当を行った。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)、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。2013 年 9 月には、NTT ドコモのローミングを追加した。

	SSID	通信事業者
1	mobilepoint	ソフトバンクテレコム
2	Wi2 ／ Wi2 club	DATAHOTEL(旧ライブドア) 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 サービスを一括コントロールしているシステムに、ECCS の一部である AP を集約変更し、それらのコントロール業務を担当した。

2 講習会・研究会開催報告

[第 11 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 51 名であった。

・期間 2013 年 10 月 1 日(火)

・場所 工学部武田ホール

プログラムは次のとおり

1. UTnet update	下田哲郎係長
2. セキュリティ報告(ウイルス、迷惑メール)、ソフトウェアライセンス	小薗隆弘主任
3. UT-CERT 報告	中山雅哉准教授
4. ICT インフラ整備専門部会における審議状況の概要	若原恭教授
5. 標的型攻撃の現状と今ある対策	ファイア・アイ株式会社 橋本賢一郎
6. 部局ネットワークの紹介(生産技術研究所)	林周志助教
7. フリーディスカッション	

[平成 25 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 11 名であった。

・期間　2013 年 11 月 12 日（火）～11 月 14 日（木）（3 日間）
・場所　情報基盤センター1階大演習室 2 および1階遠隔講義室

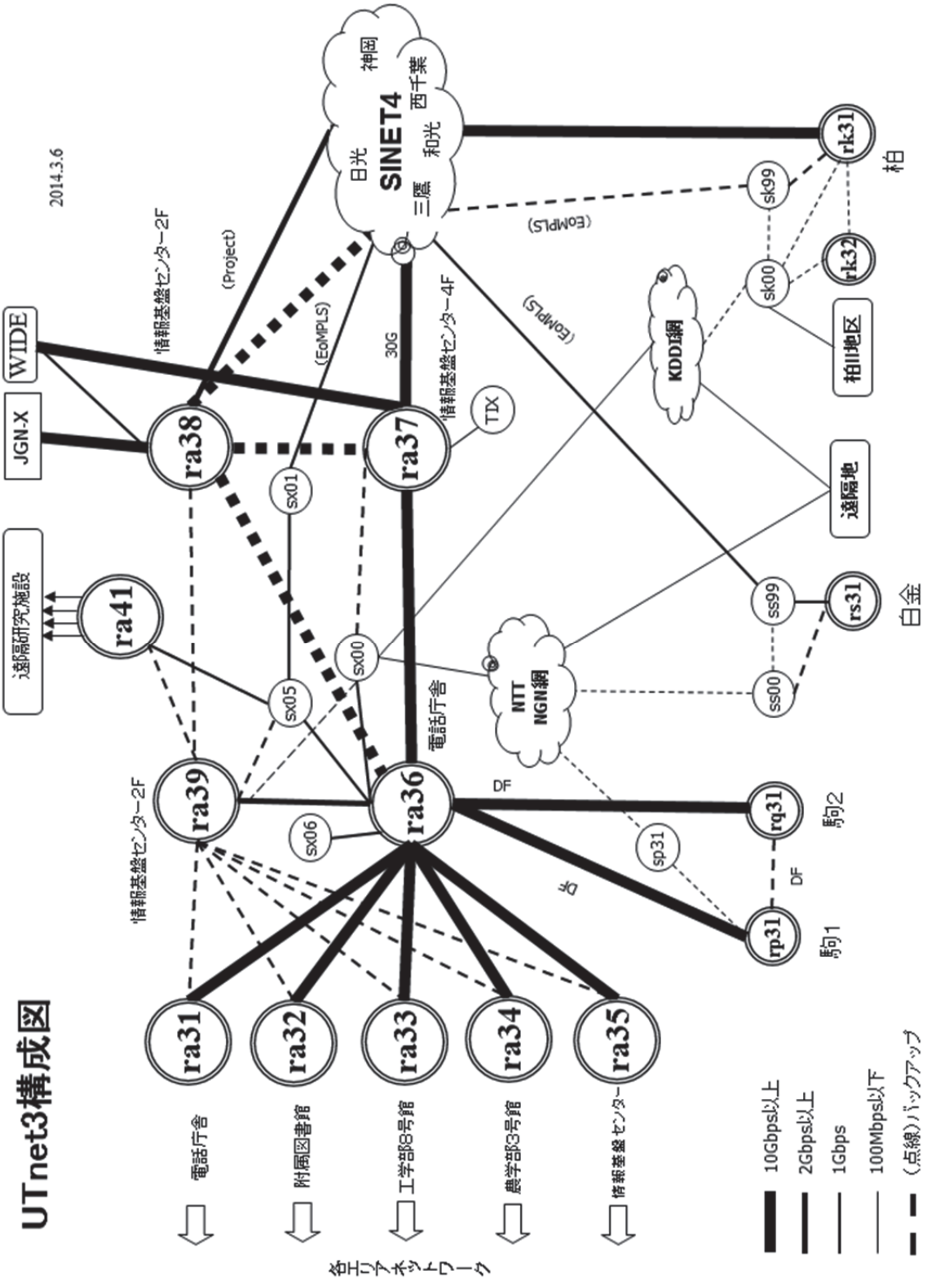
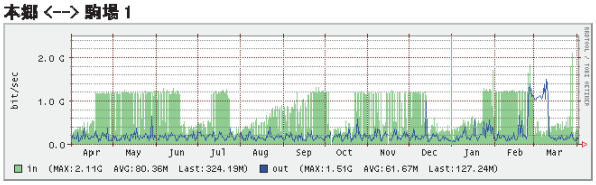


図1　UTnet 基幹構成図

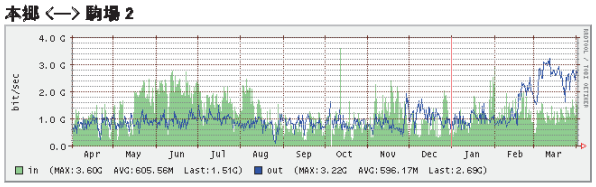
キャンパス間回線トラフィック

本郷 <--> 駒場 1



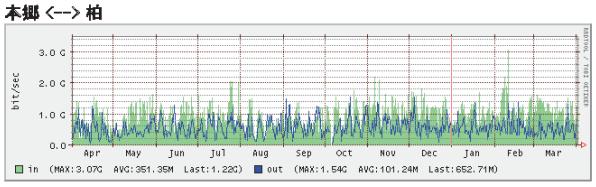
10Gbps MAX

本郷 <—> 駒場 2



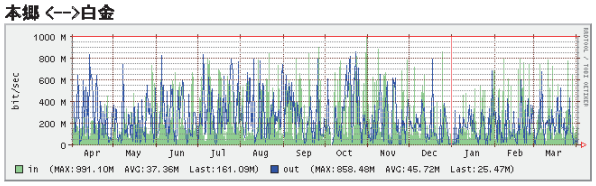
10Gbps MAX

本郷 <--> 柏



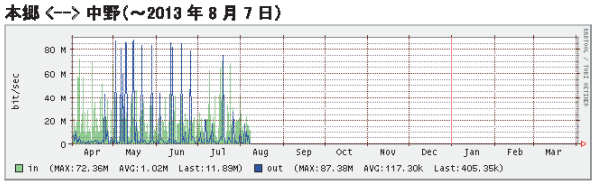
10Gbps MAX:SINET 経由

本郷 <-->白金



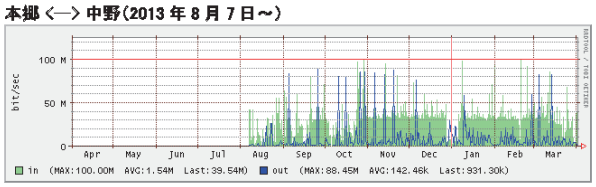
1Gbps MAX:SINET MPLS 経由

本郷 <--> 中野(～2013 年 8 月 7 日)



100Mbps MAX

本郷 <—> 中野(2013 年 8 月 7 日～)



100Mbps MAX

凡例:

1日最大トラフィック(本郷 → 各キャンパス間)

1日最大トラフィック(本郷 ← 各キャンパス間)

図2　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	理学系研究科	電話庁舎庁舎、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
2	情報学環	先端研 56 号館	基幹ネットワークの構成変更
3	理学系研究科	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
4	カブリ数物連携宇宙研究機構	柏地区第 2 総合研究棟	建物間 VLAN の申請
5	本部事務組織	柏図書館	建物間 VLAN の申請
6	情報理工学系研究科		サブネットアドレスの申請
7	本部事務組織	工学部新 2 号館	建物間 VLAN の申請
8	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟、柏図書館	基幹ネットワークの構成変更
9	本部事務組織	広報センター	建物間 VLAN の申請
10	工学系研究科	工学部 9 号館	建物間 VLAN の申請
11	農学生命科学研究科	情報基盤センター	サブネットアドレスの申請
12	農学生命科学研究科	農学部動物病院	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申請
13	情報学環	工学部列品館	建物間 VLAN の申請
14	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟、第2総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
15	地震研究所	地震研究所 1 号館、電話庁舎	基幹ネットワークの構成変更
16	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟、工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更
17	情報理工学系研究科	工学部 8 号館、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
18	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	サブネットアドレスの申請
19	工学系研究科	IML 棟	建物間 VLAN の申請
20	工学系研究科	工学部 8 号館、工学部 9 号館	基幹ネットワークの構成変更
21	情報基盤センター	経済学研究科棟	建物間 VLAN の申請
22	情報基盤センター	学生会館(駒場 1 地区)	建物間 VLAN の申請
23	情報基盤センター	情報学環・学際情報学府	建物間 VLAN の申請
24	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
25	情報基盤センター	教養学部　情報教育棟	建物間 VLAN の申請
26	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
27	情報学環	工学部新 2 号館	建物間 VLAN の申請
28	情報学環	教養学部　アドミニストレーション棟	建物間 VLAN の申請
29	医科学研究所	医科学研究所 1 号館東棟	基幹ネットワークの構成変更
30	情報基盤センター	柏地区第 2 総合研究棟	建物間 VLAN の申請
31	大総センター	医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
32	本部事務組織	山上会館龍岡門別館	建物間 VLAN の申請
33	本部事務組織	第 2 食堂	建物間 VLAN の申請
34	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
35	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
36	工学系研究科	工学部 7 号館	基幹ネットワークの構成変更

37	カブリ数物連携宇宙研究機構	柏地区第 2 総合研究棟	建物間 VLAN の申請
38	保健・健康推進本部	第 2 本部棟、医学部附属病院	基幹ネットワークの構成変更
39	本部事務組織		サブネットアドレスの申請
40	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
41	工学系研究科		基幹ネットワークの構成変更
42	工学系研究科・工学部		サブネットアドレスの割り当て
43	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
44	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
45	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
46	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
47	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟、工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更
48	工学系研究科		基幹ネットワークの構成変更
49	工学系研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
50	本部事務組織	大講堂、山上会館、本部棟、第 2 本部棟、医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
51	本部事務組織	駒場保健センター	建物間 VLAN の申請
52	理学系研究科	先端研 4 号館	建物間 VLAN の申請
53	本部事務組織	御殿下記念館	建物間 VLAN の申請
54	理学系研究科	生産技術研究所	建物間 VLAN の申請
55	本部事務組織	本部棟	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの返却申請
56	本部事務組織	本部棟、大講堂、情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
57	農学系研究科	動物医療センター	建物間 VLAN の申請
58	工学系研究科	工学部 5 号館、工学部 7 号館、工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
59	本部事務組織	柏地区保健センター	建物間 VLAN の申請
60	農学系研究科	動物医療センター	建物間 VLAN の申請
61	本部事務組織	本部棟、医学部 1 号館、角川本郷ビル	建物間 VLAN の申請
62	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
63	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
64	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
65	理学系研究科	工学部 5 号館	建物間 VLAN の申請
66	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
67	総合文化研究科	教養学部 7 号館、情報教育棟	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの返却申請
68	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
69	情報基盤センター	柏地区第 2 総合研究棟	建物間 VLAN の申請
70	理学系研究科	理学部 1 号館別館 A	建物間 VLAN の申請
71	宇宙線研究所	物性研究所	建物間 VLAN の申請
72	情報基盤センター	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
73	新領域創成科学研究科	工学部 13 号館、新領域基盤棟	基幹ネットワークの構成変更
74	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
75	理学系研究科	理学部 1 号館別館 A、電話庁舎	基幹ネットワークの構成変更

76	宇宙線研究所	物性研究所	基幹ネットワークの構成変更
77	医学部附属病院	附属病院管理研究棟	基幹ネットワークの構成変更
78	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
79	情報基盤センター	情報基盤センター	サブネットアドレスの申請
80	大気海洋研究所	大気海洋研究所	建物間 VLAN の申請
81	情報理工学系研究科	工学部 6 号館	建物間 VLAN の申請
82	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟、柏フューチャーセンター	基幹ネットワークの構成変更
83	新領域創成科学研究科	柏フューチャーセンター	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申請
84	本部事務組織	電話庁舎	建物間 VLAN の申請
85	本部事務組織	工学部 1 号館、工学部 6 号館、工学部 14 号館	建物間 VLAN の申請
86	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
87	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	建物間 VLAN の申請
88	本部事務組織	医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
89	大気海洋研究所	大気海洋研究所	建物間 VLAN の申請
90	本部事務組織	旧東京大学出版会	建物間 VLAN の申請
91	法学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
92	総合文化研究科	教養学部 2 号館	建物間 VLAN の申請
93	附属図書館	先端研 15 号館	建物間 VLAN の申請
94	工学系研究科	工学部 13 号館、工学部暫定プレハブ A 棟	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
95	生産技術研究所	生産技術研究所	基幹ネットワークの構成変更
96	農学生命科学系研究科		サブネットアドレスの返却申請

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	ori.u-tokyo.ac.jp	大気海洋研究所	(旧) 海洋研究所	廃止
2	ccsr.u-tokyo.ac.jp	大気海洋研究所	(旧) 気候システム研究センター	廃止
3	iml.u-tokyo.ac.jp	工学系研究科	(旧) インテリジェント・モデリング・ラボラトリー	廃止
4	engineers.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	総合技術本部	新規
5	glafs.u-tokyo.ac.jp	高齢社会総合研究機構	活力ある超高齢社会を共創するグローバル・リーダー養成プログラム	新規
6	gsdm.u-tokyo.ac.jp	公共政策大学院	社会構想マネジメントを先導するグローバルリーダー養成プログラム	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	医科学研究所	起点:ヒトゲノム解析センター 終点:総合研究棟	SM2 芯	新規
2	工学系研究科・工学部	起点:情報基盤センターHUB サイト 終点:工学部 12 号館	GI2 芯	新規
3	情報理工学系研究科	起点:工学部 8 号館 終点:I-REF 棟(旧 IML 棟)	SM2 芯	新規
4	医科学研究所	起点:ヒトゲノム解析センター 終点:総合研究棟	SM2 芯	新規
5	工学系研究科	起点:情報基盤センターHUB サイト 終点:工学部 6 号館	SM1 芯	新規
6	大規模集積システム設計教育研究センター	起点:武田先端知ビル 終点:工学部新 3 号館	SM2 芯	新規
7	医科学研究所	起点:ヒトゲノム解析センター 終点:総合研究棟	SM2 芯	新規
8	本部事務組織	起点:電話庁舎 終点:理学部 1 号館中央、山上会館、大講堂、情報基盤センター、農学部 3 号館、工学部 8 号館、附属病院管理研究棟、本部棟、薬学部本館、附属図書館 HUB サイト 起点:農学部 3 号館 終点:分子細胞生物学研究所、地震研 1 号館 起点:工学部 8 号館 終点:工学部列品館 起点:附属病院管理研究棟 終点:附属病院旧中央診療棟、附属病院中央診療棟、附属病院外来診療棟 起点:附属図書館 HUB サイト 終点:医学部教育研究棟、東洋文化研究所、法文 1 号館法学部、法文 2 号館	GI28 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
1	情報理工学系研究科	2	1	2			1		
2	新領域創成科学研究科	1	1		12		1		1
3	工学系研究科	9	7	1			5	1	
4	農学生命科学研究科	1		5					
5	医学系研究科	1				3			
6	宇宙線研究所	1			3				
7	卒業生室	1					1		
8	知の構造化センター			1			35		
9	素粒子物理国際研究センター	4							
10	人文社会系研究科	3							
11	生産技術研究所	2							
12	本部広報課	1							
13	日本バイ・ディジタルローリング協会	1							
14	総合企画部	1							
15	政策ビジョン研究センター	1							
16	国際本部国際センター	1							
17	経済学研究科	1							
18	教育学研究科	1							
19	環境ホルモン学会	1							
20	株式会社ユーグレナ	1							
21	株式会社東京大学エッジキャピタル	1							
22	一般社団法人日本航空宇宙学会	1							
23	特定非営利活動法人　日本保全学会		2						
24	理化学研究所創発物性科学研究センター		1						
25	ニュークリア・サロン		1						
26	日本ロボット学会		1						
27	日本認知神経科学会		1						
28	独立行政法人情報通信研究機構		1						
29	東大精研会		1						
30	第 24 回クロマトグラフィー科学会		1						
31	新学術領域研究「コンピューティクスによる物質デザイン: 複合相関と非平衡ダイナミクス」研究会		1						
32	情報基盤センター		1						
33	最先端研究開発支援プログラム量子情報処理プロジェクト		1						
34	公益財団法人原子力安全研究協会		1						
35	宇宙開発フォーラム		1						
36	一般社団法人　日本物理学会		1						
37	一般社団法人　日本支承協会		1						
38	一般社団法人　日本原子力学会　原子力安全部会		1						
39	一般財団法人　資源・素材学会　関東支部		1						
40	OFS 日本委員会		1						
41	GPLLI		1						
42	FIRST(最先端研究開発支援プログラム)		1						
43	公共政策大学院			2					
44	公益財団法人　農学会			2					

45	モーターコントロール研究会			1					
46	農業情報学会			1					
47	日本毒性学会			1					
48	独立行政法人　海洋研究開発機構			1					
49	特定非営利活動法人日本 GAP 協会			1					
50	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					
51	ドイツ学術交流会			1					
52	水産生理学研究室（水）および動物育種繁殖研究室（獣）			1					
53	国際コモンズ学会北富士大会学術企画委員会			1					
54	NC-CARP(理学系研究科生物化学専攻)			1					
55	ADMETA 委員会			1					
56	公益社団法人　東京都獣医師会			1					
57	公益財団法人　世界自然保護基金（WWF)ジャパン			1					
58	公益財団法人　国際花と緑の博覧会記念協会			1					
59	物性研究所附属極限コヒーレント光材料学研究センター				1				
60	情報システム部情報戦略課				1				
61	カブリ数物連携宇宙研究機構				1				
62	高齢社会総合研究機構				1				
63	医学部附属病院					2			
64	医学部					2			
65	ライフイノベーション大学院（GPLLI）					1			
66	心療内科					1			
67	化学システム工学専攻						1		
68	NPO 法人大学宇宙工学コンソーシアム						1		
69	情報学環						1		
70	社会基盤工学科						1		
71	総合図書館　総務課							17	
72	人事部							8	
73	研究推進部　研究推進課							1	

セキュリティ対応

セキュリティ担当

1　運用報告

最近のネットワークにおいては、高速な接続性の実現とともに、セキュリティへの対応も重要となっている。本学においてもセキュリティインシデントは日常茶飯事と言っても過言ではないほどに頻繁に発生している。特にコンピュータへの不正侵入の試み、電子メールや Web ページを通じてのウイルス感染は問題で、感染を受けた側の被害はもとより、学内や学外への不正アクセスの踏台となることも珍しくない。しかし、一方で、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。一般論としていえば、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行った。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行った。主に 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の連絡を行った。

また、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行った。

今年度は、2 台の M-8000 の内 1 台をバージョンアップして動作検証を行った。

・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。実際には、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。

なお、近年のトラフィックの増加に伴い、パケットの保存期間が 3 日程度になったため、ストレージを増設して1週間以上保存できるように対処した。

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製品についてサイトライセンス契約を拡大継続することによって、学内への安価な配布サービスを推し進めた。Mac OS（Intel 版 Mac）対応として Sophos Anti-Virus for Mac、及び多言語対応（基本的には留学生向け）として、 Windows OS の簡体中国語と繁体中国語用の Sophos Anti-Virus for Windows の配布サービスも引き続き行った。また、USB メモリ等のウイルス対策用として ESET Smart Security 4.0 （キ

ヤノン IT ソリューションズ）の配布も引き続き行った。更に、昨年度から配布を開始した Symantec Endpoint Protection の Windows 版および Mac 版の配付も引き続き行った。

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行った。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行った。2014 年 3 月末時点での参加数は 14 部局、58 ドメイン、約 11,172 メールアカウントである。

迷惑メール対策システムの振り分け装置の機器の保守期限が切れることおよびソフトウェアのサポートが終了したため、アプライアンスから仮想化システムへの移行を行い、後継のソフトウェアへの移行を行った。

また、隔離サーバについても同時に仮想化システムへの移行を行い、合わせてソフトウェアのバージョンアップも行った。

2013 年度の迷惑メール対策システムの運用状況は図1のとおりである。

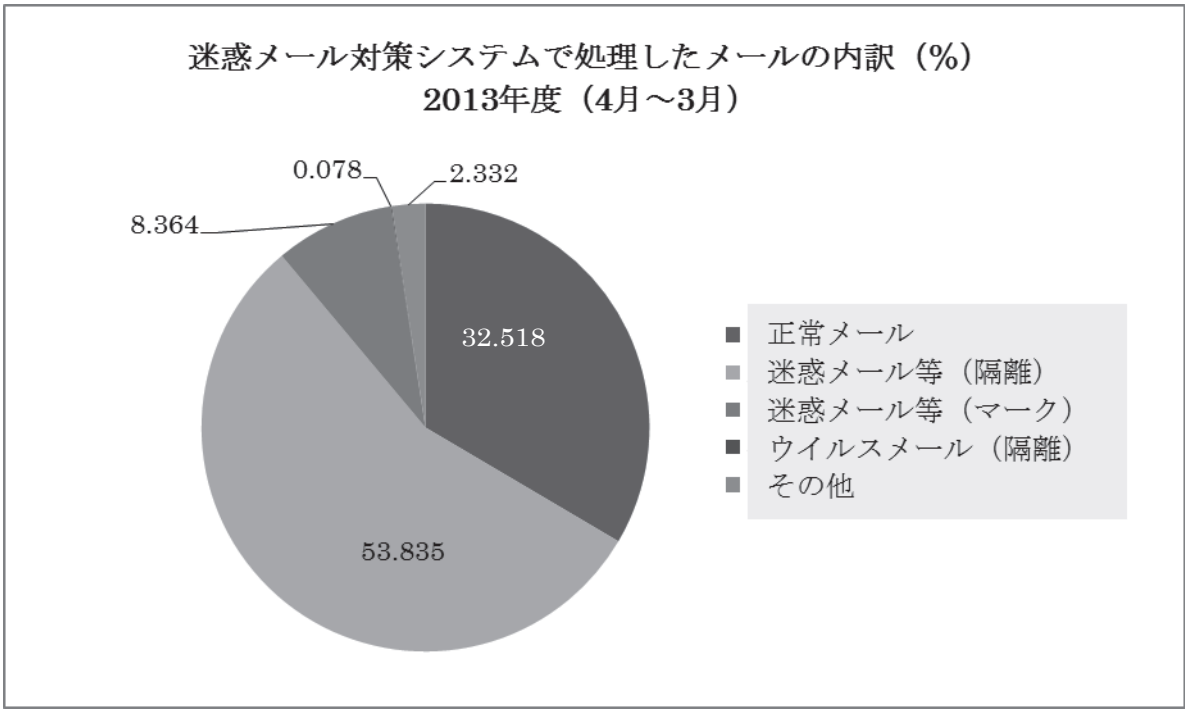


図1　迷惑メール対策システムの運用状況

2　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

2013 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）	69	44	23,399
ウイルスバスター（英語版）	116	26	1,395
Sophos Anti-Virus for Windows	31	18	965
Sophos Anti-Virus for MacOS X	163	33	2,899
ESET Smart Security (Windows)	61	21	2,110
ESET Smart Security (Mac)	1	1	20
Symantec Endpoint Protection (Windows)	19	13	535
Symantec Endpoint Protection (Mac)	26	14	177
Server Protect	42	24	207
InterScan VirusWall	9	7	21
InterScan VirusWall エンタープライズエディション	4	3	8

東京大学情報システム緊急対応チーム（UT-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 UT-CERT(University of Tokyo-Computer Emergency Response Team)から以下の委託業務を受け、UT-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 UT-CERT の web ページへの掲載や東大ポータルでの一斉通知、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行った。
　また、UT-CERT の web サイトについて、リニューアルの準備を進めた。
・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行った。
・セキュリティインシデントの部局 CERT への連絡
　学内と学外との通信の監視や UT-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 の通信の監視や通信情報を、該当する部局 CERT 担当者へメールで連絡を行った。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行った 。
・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行った。
　なお、UT-CERT では、2014 年度にインシデントレポートシステムの更新を予定しており、プログラムの作成に関して、必要な機能の洗い出しや動作確認などを行った。
・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 UT-CERT Meeting での報告を行うとともに、UT-CERT の Web ページ（http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/ut-cert/）に掲載した。
・セキュリティインシデントの当該 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連続している場合は、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 UT-CERT に協力の依頼があった場合、UT-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

2013 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。

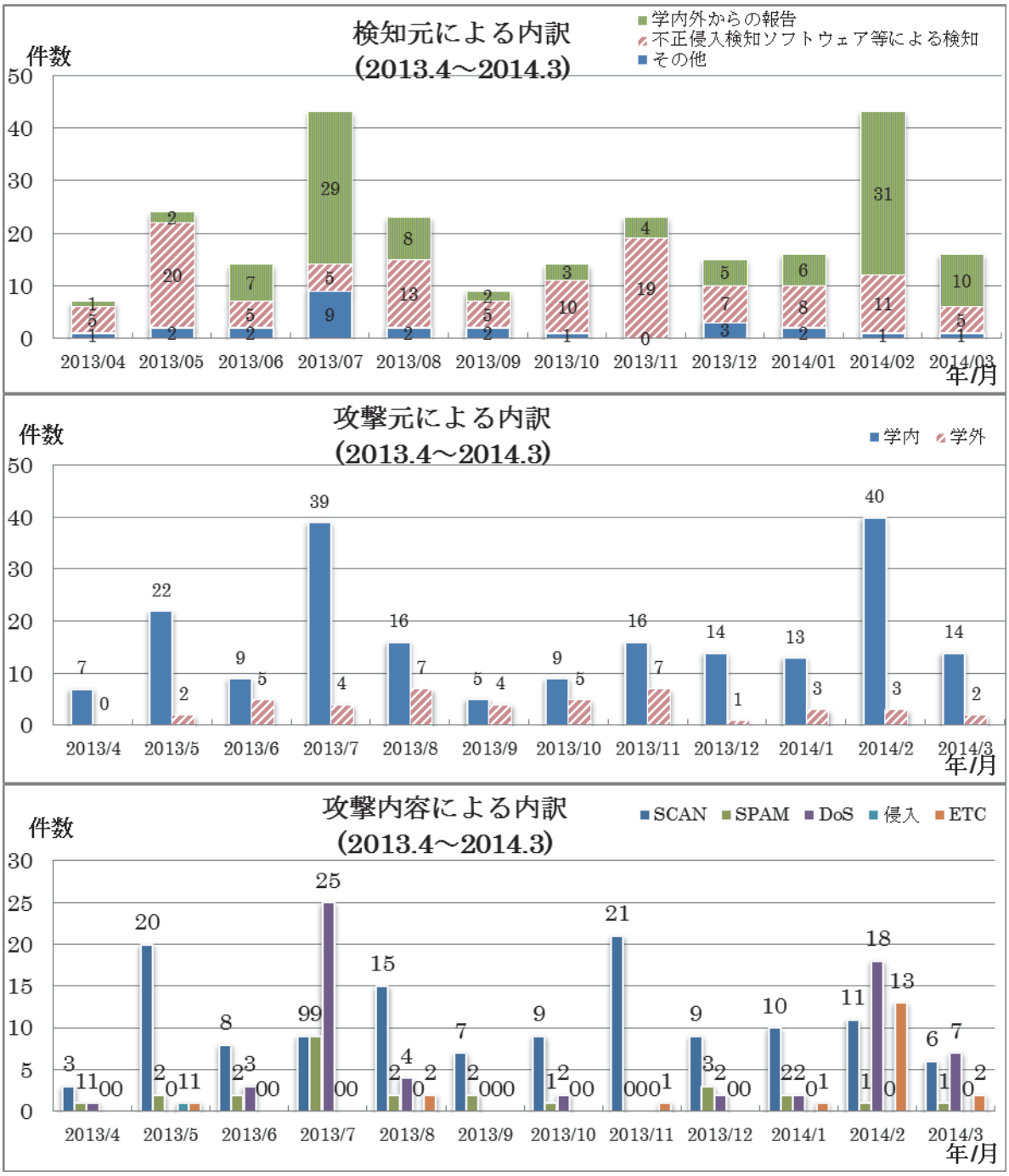


図 1　セキュリティインシデント件数

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のうち、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おり、具体的には、以下の各種ソフトウェアの配布サービスとライセンスの管理を行った。

駒場キャンパスでの LabVIEW の研究目的利用のライセンス提供について検討し、無料ライセンスの提供を行うことにより利用者の拡大を図り、2014 年度からの駒場キャンパス及び遠隔研究施設での提供の目途が立った。

また、Microsoft 製品のアカデミックセレクトプラスの提供についても検討し、昨年度に構築したソフトウェアダウンロードサイトを用いて提供する準備を進めた。

なお、2013 年 10 月 1 日付けで、ソフトウェア管理チームが設置されたことにともない、本サービスの担当をソフトウェア管理チームに移行し、順次、業務の引き継ぎを行った。

表 1 にソフトウェアライセンスの申請状況を示す。表 1 の各ソフトウェアの説明は以下のとおりである。

(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) SAS9
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) Autodesk Education Master Suite
2 次元＆3 次元デザイン教育に必要な、デザイン、シミュレーション、ビジュアライゼーションソフトウェアを、業界を限定せずに横断的に取りそろえた、ライセンスパッケージ。

表 1 ソフトウァライセンスの申請状況

ソフトウェア名	件数	部局数
Creo（旧 Pro/ENGINEER）	24	9
JMP	40	14
SAS9	36	11
MATHEMATICA	152	19
ChemOffice	35	12
LabVIEW	144	15
Autodesk Education Master Suite	10	6

以上の他、次のソフトウェアライセンスの配布や管理を行った。

(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。

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、安定した電源供給および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 2013 年度も引き続き実施した。

また、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行った。

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 30A1 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

スーパーコンピューティング

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
HITACHI HA8000 クラスタシステム
（T2K オープンスパコン（東大版））

スーパーコンピュータ
FUJITSU PRIMEHPC FX10
（Oakleaf-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 ノード、ピーク性能 140.1 TFLOPS）、Hitachi SR16000/M1（Yayoi）（56 ノード、1,792 コア、ピーク性能 54.9 TFLOPS）の他、平成 24 年 4 月から 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）を加えた 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。このうち平成 20 年に運用を開始した HA8000 クラスタシステムは平成 26 年 3 月 10 日を以て運用を終了した。平成 24 年度補正予算による「長時間ジョブ実行用並列スーパーコンピューターシステム 一式」について Fujitsu PRIMEHPC FX10（6 ラック、576 ノード、9,216 コア）の導入が決定した。名称を「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）」として平成 26 年 4 月からサービスを開始する予定である。

HPCI には平成 24 年度に引き続いて T2K オープンスパコン（東大）のうちの 512 ノード（8,192 コア、ピーク性能 75.4 TFLOPS）を供出した（平成 25 年末まで）。実施期間中は 1 グループにより 1 ヶ月単位で全 512 ノードを独占使用することによって、大規模計算、大規模システム利用が可能である。

各システムは順調な稼働を続けている。平成 25 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
- Hitachi HA8000 クラスタシステム（T2K オープンスパコン（東大））
  - 広報活動
- Fujitsu PRIMEHPC FX10（FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-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 25 年度は本施設発足を記念し，「最先端共同 HPC 基盤施設発足記念シンポジウム」を 7 月 24 日に実施した他，資料招請を実施して，仕様書原案の策定に入っている。

3 公募型研究プロジェクトの推進

公募型研究プロジェクトとしては、「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究」、「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」、「大規模 HPC チャレンジ」を実施した。

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 24 年 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、3 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 55 課題のうち 44 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 18 課題であった。更にこのうち 10 件は新規採択課題であった。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 24 年度報告会、平成 25 年度採択課題紹介を兼ねた第 5 回シンポジウムは平成 25 年 7 月 11 日（木）・12 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 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。平成 25 年度は、前期 4 件、後期 3 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 25 年度は全部で 8 課題が採択された。

4 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 25 年度は 2 回の募集を実施し、5 件が採択された。

5 講習会・広報活動

基礎的な並列プログラミング教育を目的とした、国内に例を見ないユニークな取り組みとして「お試しアカウント付きスパコン利用講習会」がある。平成 25 年度は同講習会を 6 回実施した。その他、「2013 RIKEN AICS Summer School（平成 25 年 8 月 5 日～9 日）」、「2014 RIKEN AICS Spring School（平成 26 年 3 月 5 日～7 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。

平成 25 年度は広報誌「スーパーコンピューティングニュース」を 6 回発行した。

6　その他イベント

平成 25 年 10 月 25 日に実施された柏キャンパス一般公開に参加した（10 月 26 日は悪天候のため中止）。また平成 25 年 7 月 16 日には埼玉県立総合教育センターとの共催で平成 23 年度から実施している「先端科学技術にふれる理科研修会」を実施した。

その他、本郷地区、柏地区合わせて 14 件の施設来訪があり、情報交換、施設見学を実施した。

7　参考文献

報道関連

〔報道 1〕日刊工業新聞 2013 年 7 月 23 日 次期スパコン共同で運営管理 筑波大・東大が研究組織

〔報道 2〕日刊工業新聞 Business Line 2013 年 7 月 23 日 筑波大と東大、次期スパコンを共同運営・管理する組織設置

〔報道 3〕日経産業新聞 2013 年 7 月 23 日 東大と筑波大 スパコン共同導入へ 毎秒 30 ペタ、レンタルで

〔報道 4〕ReseMam 2013 年 10 月 15 日 東大柏キャンパス一般公開…スパコンや研究施設見学、ワークショップなど開催

〔報道 5〕WN.com 2013 年 10 月 15 日 東大柏キャンパス一般公開…スパコンや研究施設見学、ワークショップなど開催

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　2013 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、2013 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 FX10 スーパーコンピュータシステムを、本郷キャンパス（本センター）にて Hitachi HA8000 クラスタシステム、Hitachi SR16000 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。このうち HA8000 クラスタシステムは 2014 年 3 月 10 日をもってサービスを終了した。

1.1　2013 年度のサービスに係わる変更

1.1.1　スクリュー冷凍機および空調機更新

センター地階スクリュー冷凍機および 2 階計算機室 1 の空調機を更新した。

工事期間は 7 月～11 月で、この期間のサービス継続のため、SR16000 システムは一時的な移設を実施した。移設に伴うサービス休止は 7 月 26 日～8 月 19 日および 11 月 29 日～12 月 13 日の期間であり、長期に渡るため、利用負担金については負担金表における 1 か月分の減額を行った。また、移設により Gaussian のサイトライセンスが適用対象外となるため、Gaussian 利用希望者について北海道大学の SR16000 システムの代替利用を本センターの負担で行った。

なお、後日冷水ポンプの欠陥が判明し、冷水ポンプおよび電源を含む関連設備の交換工事と試運転のため、SR16000 システムは 1 月 24 日～2 月 10 日の期間にサービスを休止した。この際も希望者に対して北海道大学 SR16000 の代替利用を本センターの負担で行った。

1.1.2　資源提供

HA8000 クラスタシステムは 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）の 6 課題に対し 4 月から 12 月まで、512 ノードの資源提供 を行った。

FX10 スーパーコンピュータシステムは学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点利用の 13 課題に対し 268 ノード（2,315,520 ノード時間）の資源提供を行った。

1.1.3　外部ファイルシステム FEFS 化（FX10 スーパーコンピュータシステム）

FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）は外部ファイルシステムの機能によって性能に影響が出る不具合があるため、外部ファイルシステムを Lustre から FEFS (Fujitsu Exabyte File System) に変更した。これに伴い、外部ファイルシステムのサービスを 7 月 26 日から 8 月 30 日まで休止した。

1.1.4　大規模ノード追加オプションサービス（HA8000 クラスタシステム）

HA8000 クラスタシステムにて 2014 年 1 月、2 月の間、最大 512 ノードを専用キューで利用できる大規模ノード追加オプションサービスを実施した。8 ノード単位（27,500 円 / 月 ）で募集し、1 件（512 ノード、2 ヶ月）の応募があり採択された。

1.2　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）の導入

調達の結果、「長時間ジョブ実行用並列スーパーコンピューターシステム 一式」について Fujitsu PRIMEHPC FX10 の導入が決定した。名称を「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）」として 2014 年 4 月からサービスを開始する予定である。

1.3　教育利用

前年度に引き続き、教育利用のためのシステム提供 (FX10 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 8 件の利用があった。

・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) , (I)」
・東京大学生産技術研究所「実践的シミュレーションソフトウェア開発演習」
・東京大学情報基盤センター「情報システム学特別講義3」
・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」
・東京大学工学部・工学系研究科 (後期)「スパコンプログラミング(1) , (I)」
・東京大学教養学部「全学ゼミナール:スパコンプログラミング研究ゼミ」
・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」
・電気通信大学情報理工学研究科「HPC 基礎論」

2　2014 年度のシステム整備計画

2013 年度に導入が始まった 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）について 2014 年 4 月から正式にサービスを開始する予定である。本システムは最大 576 ノード、最長 168 時間のジョブ実行を可能とする。また、ジョブ実行に際して計算資源（ノード）の予約サービスを検討し、年度内の導入を目指す。

資源提供については Oakleaf-FX と Oakbridge-FX を併せて HPCI の 11 課題に対し 996 ノード（8,605,440 ノード時間）を、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の 7 課題に対し 108 ノード（933,120 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。2013 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 18 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2013 年 7 月 17 日 (水) 15:00～
議題 : ・最先端共同 HPC 基盤施設発足について
・次期スーパーコンピュータシステム調達について
・平成 24 年度補正予算による補助事業について
・お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
・スーパーコンピュータシステム教育利用報告
・スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦報告
・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
・企業利用報告
・非居住者利用の状況
・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

第 19 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2014 年 1 月 9 日 (木) 15:00～
議題 : ・東京大学情報基盤センタースーパーコンピュータシステム利用負担金改正（案）について
・外国人及び海外在住者のスパコン利用について
・最先端共同 HPC 基盤施設に関する報告
・2013～2014 年度の運用について
・FX10 スーパーコンピュータシステムの HPCI 資源提供について
・お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
・スーパーコンピュータシステム教育利用報告
・スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦報告
・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
・企業利用報告
・プログラム相談状況
・システム稼動状況報告
・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　SR16000 システムの別表改正（別表 1,2）

電気料金の値上げ、および消費税率の引き上げに伴い、運用開始当初に想定していた電気料金が利用負担金収入を大幅に上回ることが見込まれることから収支を勘案して値上げの改正を行った。本改正は、2014 年 4 月 1 日より適用する。

	改正前	改正後
パーソナルコース 1	40,000 円/年	50,000 円/年
パーソナルコース 2	160,000 円/年	200,000 円/年
パーソナルコース 3	320,000 円/年	400,000 円/年

4.2　HA8000 クラスタシステムの別表削除（別表 3,4）

HA8000 クラスタシステムは、2014 年 3 月 10 日をもってサービスを終了したため、別表3および別表4を削除した。

4.3　FX10 スーパーコンピュータシステムの別表改正（別表 5,6）

計算資源（ノード）を確保する予約申込制度を導入するにあたって、予約した期間分のノード時間積についてジョブ実行の有無によらずトークンを消費する旨の規定を追加した。また、別表 3 および別表 4 を削除したことに伴い、別表 5 および別表 6 をそれぞれ別表 3、別表 4 とした。なお、本改正は、2014 年 4 月 1 日より適用する。

備考に次の 1 項を加える。

> 5　計算資源を予約する申込においては，予約した期間およびノード数に相当するジョブ実行を行ったものとみなして，トークンを消費するものとする

5 システム利用状況

2013 年度におけるジョブ統計は表 1 ～表 3 のとおりである。FX10 スーパーコンピュータシステムにおいては登録者数が前年度より平均して上回り、稼動率は年度当初こそ 60%台であったが終盤には 80%台後半まで上昇した。また、SR16000 システムの稼動率は年度後半を 70%程度で推移。HA8000 クラスタシステムの稼動率は年度後半を概ね 80%前後で推移し、2014 年 3 月 10 日のサービス終了まで非常に利用されていた。

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

表 1. 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)		ノード稼動率 (%)	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		
201304	1,094	296	8,756 2,259	57,009	2,110.11 1,972.38	23,330,504.69	64.0	23,715,790 518,383,549
201305	891	334	9,659 3,304	86,261	2,046.24 3,177.50	28,403,072.66	66.4	20,099,298 491,147,583
201306	967	333	11,328 3,817	19,432	1,508.87 3,485.00	34,340,956.62	77.1	23,733,872 522,629,051
201307	974	331	12,294 3,124	17,194	2,574.79 3,443.03	35,606,949.13	74.3	24,403,060 576,500,207
201308	1,054	351	8,633 1,779	22,722	1,730.58 2,916.01	22,422,143.68	75.3	26,984,939 649,583,957
201309	1,072	337	12,379 2,531	55,186	2,611.14 2,151.72	37,668,655.25	81.8	30,145,756 764,859,368
201310	1,175	366	14,303 2,858	60,523	4,130.96 2,990.18	36,539,706.00	85.5	31,183,893 862,655,206
201311	1,143	418	15,577 2,895	54,396	5,164.51 3,636.01	33,959,258.79	76.9	31,813,554 912,132,437
201312	1,032	357	12,401 2,407	82,415	3,604.17 2,934.21	39,193,604.89	81.7	35,075,456 907,723,253
201401	1,035	346	12,596 2,844	65,236	3,416.80 3,029.42	42,065,603.80	86.8	35,192,927 959,044,175
201402	1,030	319	11,096 1,792	66,585	4,036.79 2,307.57	36,710,793.00	85.3	36,815,650 985,684,156
201403	1,132	326	12,140 2,194	48,430	4,674.67 4,393.81	39,472,379.71	87.3	32,179,156 924,892,968
合計			141,162 31,804	635,389	37,609.63 36,436.84	409,713,628.22		

(注) ノード稼動率とは 1 ノードが 100% 稼動したと仮定した場合のサービスノードに対する稼動率である。

5.2 HA8000 クラスタシステムのジョブ処理状況

表 2. 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)		ノード稼動率 (%)	/home ファイル使用量 (MB)
			ログイン	NQS	ログイン	NQS		
201304	573	68	1,816	884	354.94	4,346,939.53	66.3	43,482,348
201305	604	79	2,249	2,497	263.27	3,950,509.85	50.2	50,332,671
201306	358	62	1,708	999	234.88	2,256,385.05	45.9	32,704,159
201307	366	67	1,318	1,076	158.03	1,897,251.13	26.5	35,251,176
201308	368	64	1,224	706	334.67	3,628,576.99	67.7	35,264,392
201309	357	74	1,316	1,734	74.27	2,735,484.82	49.4	30,899,464
201310	362	71	1,717	2,205	124.17	6,844,088.43	78.3	27,947,165
201311	365	80	2,026	3,159	189.64	6,958,686.00	75.3	29,012,702
201312	368	75	1,759	2,102	122.25	7,601,405.48	78.9	32,736,942
201401	373	66	1,639	1,780	58.89	6,403,647.54	68.7	33,228,713
201402	377	56	1,692	1,755	134.28	6,320,357.77	77.5	31,239,574
201403	377	57	565	436	44.69	2,288,370.17	82.1	30,075,328
合計			19,029	19,333	2,093.98	55,231,702.76		

(注) ノード稼動率とは 1 ノードが 100% 稼動したと仮定した場合のサービスノードに対する稼動率である。
2014 年 3 月 10 日をもって、サービス終了。

5.3 SR16000 システムのジョブ処理状況

表 3. 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)		ノード稼動率 (%)	/home ファイル使用量 (MB)
			ログイン	NQS	ログイン	NQS		
201304	393	87	2,754	3,025	296.01	378,277.71	57.2	77,808,449
201305	371	87	2,534	2,833	108.08	521,397.04	62.4	66,400,258
201306	374	84	2,633	2,977	124.01	606,556.85	67.0	71,503,754
201307	343	68	2,164	3,003	151.08	504,272.58	64.9	57,877,384
201308	378	65	1,083	1,049	53.35	238,722.06	63.3	57,179,564
201309	379	75	2,503	2,912	149.02	571,793.72	65.5	60,701,112
201310	381	81	2,312	2,742	104.82	673,966.96	70.4	64,562,805
201311	384	90	2,421	2,903	71.74	618,659.60	76.2	63,041,688
201312	388	95	1,545	1,653	69.41	392,721.33	69.5	69,551,244
201401	388	79	2,088	2,266	181.87	531,019.44	71.7	74,677,325
201402	388	79	2,065	2,526	76.74	568,883.08	77.7	75,079,504
201403	391	70	1,931	2,387	78.44	726,162.38	73.1	78,803,945
合計			26,033	30,276	1,464.57	6,332,432.75		

(注) ノード稼動率とは 1 ノードが 100% 稼動したと仮定した場合のサービスノードに対する稼動率である。

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。

	対面相談	E-Mail 相談	合計
2013 年 4 月	1	30 (18)	31
2013 年 5 月	0	35 (13)	35
2013 年 6 月	0	29 (18)	29
2013 年 7 月	0	18 (17)	18
2013 年 8 月	0	16 (8)	16
2013 年 9 月	0	19 (11)	19
2013 年 10 月	1	25 (19)	26
2013 年 11 月	0	31 (27)	31
2013 年 12 月	0	22 (14)	22
2014 年 1 月	0	8 (6)	8
2014 年 2 月	0	23 (19)	23
2014 年 3 月	0	15 (15)	15
小計	2	271 (185)	273

括弧内は FX10 相談件数の内数

6.2　刊行物

2013 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.15　No.3　～　Vol.16　No.2　(2013 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。

2013 年度は、昨年度から引き続き「富士通 PRIMEHPC FX10 チューニング連載講座」を掲載している。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 2012 年度まで開催されていた全国共同利用情報基盤センター研究開発連合発表講演会の発展的解消から、大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 年次大会に新設された HPC テクノロジー企画セッションに場を移して開催されている。

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 2013 年 12 月 18 日 ～ 20 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 共用ストレージの構築と運用」－原田　浩　(発表者)－
・「Oakleaf-FX における低プライオリティーキュー (非優先ジョブクラス) の運用」－山本　和男 (発表者)－

前者は HPCI における共用ストレージの解説および運用状況、性能測定結果について、後者は Oakleaf-FX におけるトークン売り切れ後の利用者救済のために設定した低プライオリティーキューの運用と成果等について報告したものである。

詳しくは、「大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 2013 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

2013 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。

表 1　2013 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 30 回「MPI 応用編：並列有限要素法入門」	2013 年 6 月 11 日～12 日	FX10 スーパーコンピュータシステム	11 人	情報基盤センター主催
第 31 回「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」	2013 年 7 月 2 日～3 日		10 人	
第 32 回「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」	2013 年 8 月 5 日～6 日		14 人	
第 33 回「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」	2013 年 9 月 3 日～4 日		14 人	
第 34 回「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」	2014 年 3 月 11 日～12 日		14 人	
第 35 回「ライブラリ利用：高性能プログラミング初級入門」	2014 年 3 月 24 日～25 日		11 人	

2　お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

2013 年度は本センター主催による初心者向け並列プログラミングを表 1 に示すように 6 回実施した。以下に概要を示す。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/

2.1 第 30 回講習会

2008 年より開始した「MPI 応用編：並列アプリケーション開発入門」では T2K オープンスパコン（東大）を使用し，有限体積法プログラムを MPI によって並列化する手法に関して講義，演習を実施してきた。2012 年 4 月から Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）が運用を開始したのに合わせて，2013 年 3 月に実施した「第 28 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会[2]」では内容を以下のように一新した：

① ターゲットアプリケーションをより実用的な有限要素法プログラムとした
② 従来 2 日間で実施していたのを 1 日で実施することとした
③ 従来は資料を当日印刷して配布していたのを事前にダウンロードできるようにした

日程上，有限要素法そのものに関する詳細な説明は困難であったため，事前に資料を公開して予習してもらい，有限要素法による熱伝導解析プログラムを、MPI を使用して並列化するための手順，特に並列分散データ構造に関する考え方を中心に説明することを中心として実施した。

講習会終了後に受講者から自由に意見を出してもらったところ，2 日間の日程で，有限要素法そのものについては 1 日目に実施し，予備知識がある者は 2 日目（並列化）のみ出席としてはどうかという意見があったため，今回は 1 日目：有限要素法，2 日目：並列有限要素法のようなスケジュールで実施した（表 2）。

表 2 第 30 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
2013 年 6 月 11 日（火）	10:00-11:00	有限限要素法入門	中島研吾
	11:00-12:00	一次元有限要素法（1/2）	中島研吾
	13:00-14:30	一次元有限要素法（2/2）	中島研吾
	14:50-17:30	三次元有限要素法	中島研吾
6 月 12 日（水）	09:30-10:30	FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）	中島研吾
	11:00-12:00	並列有限要素法への道	中島研吾
	13:00-14:00	一次元並列有限要素法	中島研吾
	14:20-16:00	三次元並列有限要素法	中島研吾
	16:00-18:00	質疑，実習	中島研吾

2.2 第 31 回講習会

近年マイクロプロセッサのマルチコア化が進み，様々なプログラミングモデルが提案されている。中でも OpenMP は指示行（ディレクティヴ）を挿入するだけで手軽に「並列化」ができるため，広く使用されており，様々な解説書も出版されている。メモリへの書き込みと参照が同時に起こるような「データ依存性（data dependency）」が生じる場合に並列化を実施するには，適切なデータの並べ替えを施す必要があるが，このような対策は OpenMP 向けの解説書でも詳しく取り上げられることは余り無い。本講習会では，「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，スパコンを使用した実習を実施している。本講習会は 2008 年 12 月に開始し，

[2] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/28/

今回で 6 回目である。これまでは実習に HA8000 クラスタシステム（T2K 東大）を使用していたが，今回初めて FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）を使用した（表 3）。

表 3　第 31 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
2013 年 7 月 2 日（火）	10:00-12:00	ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー（1/2）	中島研吾
	13:00-14:30	同（2/2） OpenMP「超」入門（1/2）	中島研吾
	14:30-15:30	FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）	中島研吾
	16:00-16:30	OpenMP「超」入門（2/2）	中島研吾
	16:30-17:30	オーダリングについて（1/2）	中島研吾
7 月 3 日（水）	09:30-12:00	オーダリングについて（2/2） 並列化実装について（1/2）	中島研吾
	13:00-14:30	並列化実装について（2/2）	中島研吾
	16:00-17:30	質疑，実習	中島研吾

2.3　第 32 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステムを使用した、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 32 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
2013 年 8 月 5 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
8 月 6 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

2.4 第 33 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステムを使用した、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5）。

表 5　第 33 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
2013 年 9 月 3 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
	14:00-15:45	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 4 日（水）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（ファイルシステム、バッチジョブ、make について）（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

2.5 第 34 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステムを使用した、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 34 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
2014 年 3 月 11 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
	14:00-15:45	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 12 日（水）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（ファイルシステム、バッチジョブ、make について）（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 35 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステムを使用した、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。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初めての講習会であった（表 7）。

表 7　第 35 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
2014 年 3 月 24 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
	14:00-15:00	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	15:15-16:15	プログラム実習 I（BLAS）（演習）	片桐孝洋
	16:30-18:00	プログラム実習 II (LAPACK、ScaLAPACK)（演習）	片桐孝洋
3 月 25 日（火）	10:00-10:30	ppOpen-HPC の概要（座学）	中島研吾
	10:30-12:00	ppOpen-APPL/FVM の概要と並列データ構造（座学）	中島研吾
	13:30-14:30	ppOpen-APPL/FVM によるプログラム開発例（座学）	中島研吾
	14:30-15:15	ppOpen-APPL/FVM 実習（実習）	中島研吾
	15:30-18:00	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） • ppOpen-APPL/FDM による弾性波動シミュレーション • 利用方法と実習	森　太志

3　2013 RIKEN AICS HPC Summer School

平成 25 年 8 月 5 日（月）～9 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、「2013 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[3]。

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。

東大情報基盤センターは 8 月 8 日（木）に実施された「数値計算アルゴリズム」を担当し、「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」と同様の内容を 1 日に圧縮して実施した。実習には Fujitsu PRIMEHPC FX10（神戸大）を使用した。

4　2014 RIKEN AICS HPC Spring School

平成 26 年 3 月 5 日（水）～7 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、「2014 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[4]。

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 6 日（木）午後に実施された「並列反復解法」を担当した。実習には Fujitsu PRIMEHPC FX10（神戸大）を使用した。

[3] http://www.aics.riken.jp/jp/outreach/library/event/riken-aics-hpc-summer-school-2013.html
[4] http://www.aics.riken.jp/jp/outreach/library/event/springschool-2014.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　最先端共同 HPC 基盤施設発足記念シンポジウム

2013 年 3 月，筑波大学と東京大学は，計算科学・工学及びその推進のための計算機科学・工学の発展に資するため，最先端共同 HPC 基盤施設（JCAHPC：Joint Center for Advanced High Performance Computing）の設置に合意し，協定を締結した。最先端共同 HPC 基盤施設は，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。

本施設発足を記念し，「最先端共同 HPC 基盤施設発足記念シンポジウム」を 7 月 24 日（水），柏キャンパス図書館メディアホールで開催した。85 名の参加者を迎え，本施設および本施設に設置するスーパーコンピュータの研究開発構想，それぞれの大学の計算科学・計算機科学の取り組みが紹介された。

開催に先立ち，林孝浩 文部科学省計算科学技術推進室長，宇川彰 HPCI コンソーシアム理事長（筑波大学教授），松本洋一郎 東京大学理事・副学長，三明康郎 筑波大学理事・副学長よりご祝辞ならびに挨拶があった。

続いて，「施設の目的・概要の説明」を佐藤三久 施設長（筑波大学計算科学研究センター）より，「PostT2K 構想」を石川裕 副施設長（東京大学情報基盤センター）より発表があった。休憩をはさみ，「筑波大学の取り組み」について朴泰祐（筑波大学計算科学研究センター）より，「筑波大学のアプリの計画・期待」について梅村雅之（筑波大学計算科学研究センター）より，最後に「東京大学の取り組み」について中島研吾（東京大学情報基盤センター）より発表が行われた。

シンポジウムの様子

2　研究会

2.1　概要

2013 年度は表 1 に示すように 4 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　2013 年度に開催した研究会

名称	開催日	参加者数
第 14 回 ASE 研究会	2013 年　9 月 25 日（水）	8 人
第 15 回 ASE 研究会	2013 年 10 月 23 日（水）	8 人
第 16 回 ASE 研究会	2013 年 12 月　4 日（水）	16 人
第 17 回 ASE 研究会	2014 年　3 月　6 日（水）	5 人

2.2　第 14 回 ASE 研究会

2013 年 9 月 25 日（水）17 時 30 分 ～ 18 時 30 分、東京大学情報基盤センター4階遠隔講義室にて、第 12 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）を開催した。

招待講演として国立台湾大学から王偉仲教授をお呼びし、マルチコア CPU と GPU を用いた大規模固有値問題の解法についての講演を行った（表 2）。

表 2　第 14 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Professor Weichung Wang (Institute of Applied Mathematical Sciences, National Taiwan University)	Solving Large-scale Eigenvalue Problems on Multicore CPU and GPU for 3D Photonic Crystal Simulations

王教授の講演は、「Solving Large-scale Eigenvalue Problems on Multicore CPU and GPU for 3D Photonic Crystal Simulations」と題し、結晶素材における光通過特性の解析のための3次元シミュレーションである。このシミュレーションにおいて扱われる、固有値問題の解法がテーマである。対象となる結晶素材の光通過特性をシミュレーションして解析すると、高性能な光通信が行える素材の開発につながるため重要な研究である。

光通過特性を見るためには、素材中の周波数特性を分析するが、その分析には大量の固有値問題を求解する。ところがこの問題は、固有値問題のなかでも一般化固有値問題（generalized eigenvalue problems (GEVP)）に帰着されるため、問題自体が数学的に解くのが難しい。さらに解くためには、計算量も膨大となる。そこで王教授は、対象の物理特性を利用することで、GEVP をより簡単な問題に数学的に帰着させた。かつ、数学的な条件から、要求する固有値の存在箇所のみ計算できるようにした。そのことで、扱う固有値解法うち、著名な反復解法の1つである inverse Lanczos method を用いて、かつ、容易に収束するような問題設定にすることができた。その結果、高速に GEVP の計算ができる手法の提案を行った。

2.3　第 15 回 ASE 研究会

2013 年 10 月 23 日（水）14 時 55 分 ～ 16 時 45 分、東京大学情報基盤センター 4 階遠隔会議室にて、第 15 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）を開催した。

招待講演として フランスの Maison de la Simulation/CNRS および University Lille 1 から Serge G. Petiton 教授をお呼びし、エクサスケールのスーパーコンピュータに向けた、クリロフ部分空間法ベースのアルゴリズムについての講演を行った（表 3）。

表 3　第 15 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Professor Serge G. Petiton (Maison de la Simulation/CNRS, and University Lille 1, Sciences et Technologies)	On the road to Intelligent Krylov-based Methods for Extreme Computing

Petiton 教授の講演は、「On the road to Intelligent Krylov-based Methods for Extreme Computing」で、連立一次方程式や固有値問題の解法によく用いられる、Krylov 部分空間法を用いた反復解法のアルゴリズムに関する講演である。Krylov 部分空間法は、よく用いられている数値解法であるが、アルゴリズムの内部に数学上のパラメタが多数存在する。そのうち、リスタート周期と呼ばれるパラメタは、値が小さすぎると解に収束しなくなり、値が大きすぎると演算量が増加して実行時間がかかりすぎるようになるパラメタである。リスタート周期の適切な値は解くべき行列の数値特性に依存するため、固定的な値を常に使うことができない。

また、Krylov 部分空間法では部分空間を保持するため、ベクトルの直交化処理が必要になる。この直交化処理は計算量が多いため、できるだけ演算量を減らしたうえで、演算精度を保つ工夫が必要になる。そこで Petiton 教授は、不完全直交化という手法を提案し、演算量を落とし高速化する手法を提案した。この不完全直交化には、直交化すべきベクトルの本数という数学上のパラメタがある。この直交化すべきベクトルの本数も、性能を決める要因になる。

以上の数値計算アルゴリズムに存在するパラメタを、解法の実行時に自動調整する汎用的な方式を提案した。この解法のパラメタの自動調整は、自動チューニング分野の主なテーマとして日本を含め、現在、活発に研究されているものである。

2.4　第 16 回 ASE 研究会

2013 年 12 月 4 日（水）13 時 25 分～17 時 30 分、東京大学情報基盤センター 4 階遠隔会議室にて、第 16 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）を開催した。

招待講演として海外から 4 名の研究者の方を招待した（表 4）。まず初めに、米国ローレンスバークレー国立研究所から Francois-Henry Rouet 博士をお呼びし、連立一次方程式の直接解法であるマルチフロンタル法に関する講演を行った。次にフランスのボルドー大学から Samuel Thibault 博士をお呼びし、非均質計算環境向きのタスクスケジューラである StarPU に関する講演を行った。次に、米国ローレンスバークレー国立研究所から Osni Marques 博士をお呼びし、行列計算と CG 法における並列言語 UPC での性能に関する講演を行った。最後に、米国サンディエゴ・スーパーコンピュータセンターから Yifeng Cui 博士をお呼びし、ペタスケールに向けた地震シミュレーションの講演を行った。

表 4　第 16 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Dr. Francois-Henry Rouet (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA)	A parallel multifrontal solver that exploits hierarchically semi-separable representations
Dr. Samuel Thibault (University of	StarPU: leveraging clusters of heterogeneous machines through

Bordeaux, France)	dynamic task scheduling
Dr. Osni Marques (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA)	Performance of UPC Implementations of Matrix Computations and CG
Dr. Yifeng Cui (San Diego Supercomputer Center, USA)	Earthquake Ground Motion Modeling: Petascale and Beyond

招待講演者 4 名の講演内容は、数値アルゴリズム、システムソフトウェア、コンパイラ、アプリケーションと多岐にわたっている。高性能計算の観点から、たいへん興味深い講演内容であった。

2.5 第 17 回 ASE 研究会

2014 年 3 月 6 日（木）16 時 00 分 ～ 17 時 00 分、東京大学情報基盤センター 4 階遠隔会議室にて、第 17 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）を開催した。

招待講演として ETH Zürich から Peter Arbenz 教授をお呼びして、複数の GPU を用いた骨構造の解析に関する講演を行った（表 5）。

表 5　第 17 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Professor Peter Arbenz (ETH Zürich)	Bone Structure Analysis with Multiple GPGPUs

Peter Arbenz 教授の講演は、「Bone Structure Analysis with Multiple GPGPUs」と題し、CTスキャンなどで得られる骨構造の解析を行うシミュレーションについて、モデル化などの数理的側面に加えて、効率の良い分散メモリ並列化のための数値計算アルゴリズム、さらには、データ構造を工夫することによる高速化手法まで、たいへん幅広い対象について講演が行われた。また、近年普及している GPU での実行性能について、CPU での実行性能と比較することも行われていた。

Peter Arbenz 教授の講演は、数値計算アルゴリズムから並列実装手法にいたる広い対象において、効率的な手法を採用して評価をしており、高性能計算の観点から非常に有益な講演であった。

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 25 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 25 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
○	①	粉体解析アルゴリズムの並列化に関する研究	片桐孝洋 (東京大学)	数	
○	①	さまざまなアーキテクチャからなる計算機システムの性能評価と最適化	深沢圭一郎 (九州大学)	数情	北大，東北大，東工大，名大，京大，阪大，九大
○	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	超大規模超並列電子状態計算を中核とした物理・数理・HPC の融合研究	星　健夫 (鳥取大学)	数	
	①	超並列計算による経済・社会現象のビッグデータ解析	大西立顕 (東京大学)	デ	
	②	広域分散ファイルシステムに基づく「ビッグテーブル」型の超大規模データ処理系の構築と機能および性能評価	東田　学 (大阪大学)	デネ 情	北大，東工大，阪大，九大
	①	巨大地震発生サイクルシミュレーションの高度化	平原和朗 (京都大学)	数	京大
○	①	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)	数	
	②	学際大規模共同利用環境を想定した クラウド基盤ミドルウェアの運用性向上に関する研究	杉木章義 (筑波大学)	情	
○	①	フィラー充填系高分子材料の粗視化分子動力学解析の HPC 活用研究	森田裕史 (産業技術総合研究所)	数	北大，東工大，名大
	①	生体酵素における特異的反応機構の理論的解明	庄司光男 (筑波大学)	数	
○	①	確率的潜在変数モデルの大規模学習アルゴリズム開発	佐藤一誠 (東京大学)	デ	
○	①	クラウド援用 CAE スキル継承システムに関する研究	奥田洋司 (東京大学)	情	北大
○	②	次世代スーパーコンピュータ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	天体活動現象の輻射磁気流体シミュレーション	松元亮治 (千葉大学)	数	
	①	沈み込み帯の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
		分散クラウドシステムにおける遠隔連携技術	棟朝雅晴 (北海道大学)	情	北大，東工大，阪大，九大

A　○：H25 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
※　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 25 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。

2012 年 12 月に平成 25 年度の公募型共同研究の課題募集を開始し（1 月 8 日締切）、3 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 55 課題のうち 44 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 17 課題である。9 課題が新規採択課題であり、超大規模数値計算系応用分野以外の課題を 8 課題含んでいるのが特徴である。

また、7 月 11 日（木）・12 日（金）に第 5 回シンポジウムが THE GRAND HALL（品川）で開催され、平成 24 年度に実施された公募型共同研究 35 課題の口頭発表による最終報告および平成 25 年度公募型共同研究に採択された 44 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（平成 24 年 4 月～6 月の試験運転期間中は 1 グループあたり最大 48 時間、全 7 グループを採択した）。
- 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 2013 年度採択課題

第 1 期採択課題（平成 25 年 4 月～7 月実施）

課題名	代表者名	所属
大規模悪条件問題向け並列疎行列ソルバーの性能評価	中島 研吾	東京大学情報基盤センター

第 2 期採択課題（平成 25 年 8 月～11 月実施）

課題名	代表者名	所属
大規模グラフ処理ベンチマーク Graph500 のスケーラブルな探索手法による性能評価	鈴村 豊太郎	東京工業大学情報理工学研究科
太陽対流層グローバル計算による黒点形成過程の研究	堀田 英之	東京大学理学系研究科
改良型 hCGA 法 (Hierarchical Coarse Grid Aggregation) に基づく並列多重格子法ソルバーの性能評価	中島 研吾	東京大学情報基盤センター

第 3 期採択課題（平成 25 年 12 月～平成 26 年 3 月）

課題名	代表者名	所属
固有値ソルバーEigenExa の大規模並列実行時の詳細な性能評価	今村 俊幸	理化学研究所計算科学研究機構
通信削減型 QR 分解アルゴリズムの性能評価	深谷 猛	理化学研究所計算科学研究機構
代数的多重格子法における粗いレベルの領域集約手法の評価	藤井 昭宏	工学院大学情報学部
分散メモリ並列計算機向けタスク並列ランタイムシステムの性能評価	秋山 茂樹	東京大学情報理工学系研究科

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 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。

スーパーコンピュータを利用することで学術的にインパクトがある成果を創出できると期待される点、大規模計算、テーマの重要性、既発表文献の観点から以下の課題を採択した。

3.1　2013 年（前期）採択課題

2013 年（前期）は、FX10 スーパーコンピュータシステムを用いた課題を受け付け、採否を決定した。

課題名	代表者名	所属
高性能バルク熱電変換材料の第一原理格子熱伝導解析	志賀 拓麿	東京大学工学系研究科
ソーラー水素等製造プロセス技術開発のためのデータ同化シミュレーション手法の開発と応用	佐藤 大介	東京大学工学系研究科
超並列環境向け固有値計算プログラムの性能予測モデルの開発	深谷 猛	神戸大学システム情報学研究科
大規模連立一次方程式における精度保証付き数値計算の実装と評価	森倉 悠介	早稲田大学基幹理工学研究科

3.2　2013 年（後期）採択課題

2013 年（後期）は、FX10 スーパーコンピュータシステムを用いた課題を受け付け、採否を決定した。

課題名	代表者名	所属
大規模並列化量子モンテカルロ法の開発と冷却ボーズ原子系のシミュレーション	正木 晶子	東京大学物性研究所
相変化現象の大規模分子動力学解析	James Cannon	東京大学工学系研究科
高性能バルク熱電変換材料の第一原理格子熱伝導解析	志賀 拓麿	東京大学工学系研究科

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 25 年度企業利用

平成 25 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 25 年度 10 月利用開始の公募では、利用資格者審査の結果、2 社が採択された。

平成 25 年度は、10 月および平成 26 年 4 月利用開始の 2 回の課題公募を実施した。10 月利用開始の公募では、新規に 2 社応募があり、利用資格者審査の結果、採択された。平成 26 年 4 月利用開始の公募では、平成 25 年度からの継続となる 3 社および新規の 1 社より応募があり、いずれも採択された。

（FX10 スーパーコンピュータシステム）

●平成 25 年度第一回公募（平成 25 年 4 月以降利用開始）
- ➢ 申請 3 件（内継続課題 3 社）
- ➢ 採択 3 件（内継続課題 3 社）
  - ✧ 富士通アドバンストテクノロジ株式会社
    - ● 「情報機器における大規模熱流体・構造解析」
  - ✧ 富士通研究所
    - ● 「大規模計算による次世代デバイス材料開発」
  - ✧ 数値フローデザイン
    - ● 「NuFD/FrontFlowRed 複雑地形および実在市街地を対象とする大規模非定常計算」

●平成 25 年度第二回公募（平成 25 年 10 月以降利用開始）
- ➢ 申請 2 件（内継続課題 0 社）
- ➢ 採択 2 件（内継続課題 0 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」
  - ✧ パナソニック株式会社
    - ● 「次世代エネルギーデバイス材料の開発」

●平成 26 年度第一回公募（平成 26 年 4 月以降利用開始）
- ➢ 申請 4 件 （内継続課題 3 社）
- ➢ 採択 4 件 （内継続課題 3 社）
  - ✧ 富士通アドバンストテクノロジ株式会社
    - ● 「情報機器における大規模熱流体・構造解析」
  - ✧ 富士通研究所
    - ● 「大規模計算による次世代デバイス材料開発」
  - ✧ 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」

✧ 三菱電機株式会社

- 「FrontFlow/blue による空調機器の大規模流体シミュレーション」

1.4 平成 25 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 25 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」

以上

スーパーコンピューター利用による研究成果報告（2013 年）

スーパーコンピューティングチーム

1　大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10

2013 年 (2013 年 1 月～2013 年 12 月) における、大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10 の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

1.1　論文

【計算基礎】

1. Takahiro Katagiri, Takao Sakurai, Mitsuyoshi Igai, Satoshi Ohshima, Hisayasu Kuroda, Ken Naono and Kengo Nakajima: Control Formats for Unsymmetric and Symmetric Sparse Matrix-vector Multiplications: Springer Lecture Notes in Computer Science, Springer, Volume 7851, pp.236-248.
2. Takahiro Katagiri, Pierre-Yves Aquilanti, and Serge Petiton: A Smart Tuning Strategy for Restart Frequency of GMRES(*m*) with Hierarchical Cache Sizes: Springer Lecture Notes in Computer Science, Springer, Volume 7851, pp.314-328.
3. T. Sakurai, T. Katagiri, H. Kuroda, K. Naono, M. Igai, S. Ohshima: A Sparse Matrix Library with Automatic Selection of Iterative Solvers and Preconditioners: Eighth international Workshop on Automatic Performance Tuning (iWAPT2013) (In conjunction workshop with International Conference on Computational Science, ICCS2013), Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS 2013, Volume 18, pp.1332–1341.
4. Takahiro Katagiri, Satoshi Ito, Satoshi Ohshima: Early Experiences for Adaptation of Auto-tuning by ppOpen-AT to an Explicit Method: Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjunction with the IEEE MCSoC-13), Proceedings of MCSoC2013, pp.153-158.
5. 片桐孝洋, 大島聡史, 中島研吾, 米村崇, 熊洞宏樹, 樋口清隆, 橋本昌人, 高山恒一, 藤堂眞治, 岩田潤一, 内田和之, 佐藤正樹, 羽角博康, 黒木聖夫: レイテンシコアの高度化・高効率化による将来の HPCI システムに関する調査研究のためのアプリケーション最適化と異機種計算機環境での性能評価: 情報処理学会研究報告 2012-HPC-139.
6. 片桐孝洋, 大島聡史, 伊東聰: 陽解法カーネルのための自動チューニング記述言語 ppOpen-AT の新機能について: 計算工学講演会論文集, Vol.18.
7. 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: ppOpen-AT により自動生成された ppOpen-HPC コードにおける自動チューニング機能の性能評価: 日本応用数理学会年会予稿集.
8. 加藤淳也, 河村祥太, 竹田宏, 片桐孝洋, 堀端康善: マルチカラー接触判定格子を用いた粒子接触判定計算の OpenMP による並列化: 情報処理学会研究報告 2013-HPC-142.

【社会・安全システム科学】

9. Guo, Y., K. Koketsu and T. Ohno: Analysis of the rupture process of the 1995 Kobe earthquake using a 3D velocity structure: Earth Planets Space, 65, 1581-1586.

【応用物理学】

10. Kazuhiro Shimada, Shigefusa F. Chichibu, Masahiro Hata, Hiroyuki Sazawa, Tomoyuki Takada, Takayuki Sota: Electronic structure and spontaneous polarization in $Sc_xAl_yGa_{1-x-y}N$ alloys lattice-matched to GaN: A first-principles study: Jpn. J. Appl. Phys., IOP Publishing, 52, 8, 08JM04.
11. Kazuhiro Shimada, Naomichi Takahashi, Yoshiaki Nakagawa, Tomoyasu Hiramatsu, and Hitoshi Kato: Nonlinear characteristics of structural properties and spontaneous polarization in wurtzite $Mg_xZn_{1-x}O$: A first-principles study: Phys. Rev. B, American Physical Society, 88, 7, 075203.

【物理学】

12. Tomotaka Oroguchi, Masayoshi Nakasako: Three-dimensional structure determination protocol for non-crystalline biomolecules using x-ray free-electron laser diffraction imaging: Physical Review E, American Physical Society, Vol. 87, Issue 2, p. 022712.

【地球惑星科学】
13. Kosuke Ito, Chun-Chieh Wu: Typhoon-Position-Oriented Sensitivity Analysis. Part I: Theory and Verification: Journal of the Atmospheric Sciences, American Meteorological Society.
14. Kazuya Kusahara, Hiroyasu Hasumi: Modeling Antarctic ice shelf responses to future climate changes and impacts on the ocean: Journal of Geophysical Research Oceans, AUG, 118, 2454-2475.

【機械工学】
15. 横山博史, 飯田明由: 低マッハ数の角柱周りの流れにおける空力音源: 日本機械学会論文集 B 編, 日本機械学会.
16. K. MUROTANI, G. YAGAWA, J. B. Choi: Adaptive finite element analysis using hierarchical mesh and its application to crack propagation problem: Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Elsevier, 253, 1, pp.1-14.
17. Murotani, K., Sugimoto, S., Kawai, H., and Yoshimura, S.: The hierarchical domain decomposer with the parallel mesh refinement function for the more than billions of DOFs scales analyses: International Journal of Computational Methods, World Scientific.
18. H. Yokoyama, K. Kitamiya, and A. Iida: Flows around a cascade of flat plates with acoustic resonance: Physics of Fluids, AIP Publishing LLC, 25, 106014, 1-22.
19. 横山博史, 北宮克哉, 飯田明由: 一様流中におかれた平板列からの音響共鳴を伴う空力音: 日本機械学会論文集, 日本機械学会, 79, 804, 1419-1433.

【総合工学】
20. Takero Yoshida, Chang-Kyu Rheem: SAR Image Simulation in the Time Domain for Moving Ocean Surfaces: Sensors, MDPI, 13, 4, pp. 4450-4467.

1.2 口頭・ポスター発表

【計算基礎】
21. 金山寛, A.M.M. Mukaddes, 荻野正雄, 杉本振一郎, 塩谷隆二: 静磁場問題の領域分割解法向け前処理の検討: 日本応用数理学会 2013 年度年会.
22. 杉本振一郎, 荻野正雄, 塩谷隆二: 複素数を用いる並列有限要素法解析ソルバの実装と高速化の取り組み: 電気学会 静止器・回転機合同研究会, 電気学会 静止器・回転機合同研究会資料, pp.41-44.
23. 杉本振一郎, 藤井秀樹, 吉村忍: 磁場-構造並列連成解析システムによる簡易 MRI モデルの解析: 第 18 回計算工学講演会, 第 18 回計算工学講演会講演論文集.
24. 杉本振一郎, 藤井秀樹, 吉村忍: 磁場-構造並列連成解析システムの開発: 日本機械学会第 26 回計算力学講演会, 日本機械学会第 26 回計算力学講演会論文集.
25. 杉本振一郎, 荻野正雄: 複素数を用いる並列有限要素法解析ソルバの実装と高速化: 日本機械学会第 26 回計算力学講演会, 日本機械学会第 26 回計算力学講演会論文集.
26. Amane TAKEI, Kohei MUROTANI, Shin-ichiro SUGIMOTO, Masao OGINO and Shinobu YOSHIMURA: Large-scale Analyses of Electromagnetic Fields using Numerical Human Body Models: The 19th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG2013).
27. Hiroshi KANAYAMA, Masao OGINO and Shin-ichiro SUGIMOTO: A unified preconditioner construction for engineering problems: 22nd International Conference on Domain Decomposition Methods (DD22).
28. Shin-ichiro SUGIMOTO, Hideki FUJII and Shinobu YOSHIMURA: Magnetic-Structural Parallel Coupled Analysis with the Coupler: 32nd JSST Annual Conference (JSST2013) International Conference on simulation Technology.
29. Shin-ichiro SUGIMOTO, Masao OGINO and Ryuji SHIOYA: Implementation and Acceleration of the Domain Decomposition Method with Complex Data Types: 5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics & 4th International Symposium on Computational Mechanics (APCOM & ISCM 2013).
30. Hiroshi KANAYAMA, Masao OGINO and Shin-ichiro SUGIMOTO: A Preconditioner Construction for Magnetostatic Problems: 5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics & 4th International Symposium on Computational Mechanics (APCOM & ISCM 2013).
31. 片桐孝洋, 尾崎克久, 荻田武史, 大石進一: 高精度行列-行列積アルゴリズムの疎行列演算化による高速化: 日本応用数理学会行列・固有値問題の解法とその応用部会, 2013 年並列／分散／協調処理に関する『北九州』サマー・ワークショップ（SWoPP 北九州 2013）.
32. Takahiro Katagiri: ppOpen‐AT：Yet Another Directive‐base AT Language: Dagstuhl Seminar 13401, Automatic Application Tuning for HPC Architectures, Schloss Dagstuhl, Leibniz-Zentrum fur Informatik.

33. 片桐孝洋: 東大 FS におけるアプリケーション最適化と異機種計算機環境での性能評価: 「京」における高速化ワークショップ.
34. 片桐孝洋: 実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化: 第 5 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.

【社会・安全システム科学】

35. 郭雨佳, 纐纈一起, 大野大地: 三次元速度構造を考慮した 1995 年兵庫県南部地震の震源過程解析: 日本地球惑星科学連合 2013 年大会.

【応用物理学】

36. Kazuhiro Shimada, Tomoyasu Hiramatsu, and Hitoshi Kato: Phonon Deformation Potential Constants of Wurtzite ZnO: A First-Principles Study: 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia Abstract DVD, 18p-PM1-3.

【物理学】

37. 後瀉敬介, 袖山慶太郎, 奥野幸洋, 館山佳尚: 第一原理分子動力学計算によるリチウムイオン二次電池電解液及び添加剤の分解反応解析: 第 16 回 理論化学討論会, 第 16 回 理論化学討論会 予稿集, 2P05.
38. 合田義弘, 見澤英樹, 土浦宏紀, 常行真司: ネオジム磁石主相–酸化物相界面の第一原理計算: 日本金属学会 2013 年度春季大会.
39. 見澤英樹, 合田義弘, 土浦宏紀, 常行真司: $Nd_2Fe_{14}B$ 焼結磁石における主相-Nd 酸化物相界面構造の第一原理計算: 日本物理学会第 68 回年次大会.

【機械工学】

40. 室谷浩平, 越塚誠一, 玉井佑, 山田祥徳, 柴田和也, 三目直登, 吉村忍, 田中覚, 長谷川恭子, 藤澤智光: 粒子系シミュレーション並列化フレームワークを用いた東日本大震災を模擬した石巻の実地形津波解析: HPCS2013.
41. 室谷浩平: 階層構造を用いた効率的な連続体力学シミュレーション: Numerical Methods for Science and Engineering.
42. Hiroshi Yokoyama, Katsuya Kitamiya and Akiyoshi Iida: ACOUSTIC RADIATION WITH RESONANCE IN FLOWS AROUND A CASCADE OF FLAT PLATES: 20th international congress on sound and vibration, Proceedings of 20th international congress on sound and vibration, 1-8.
43. Hiroshi Yokoyama, Taishi Shinohara, Masashi Miyazawa and Akiyoshi Iida: Acoustic Radiation in Flows around a Trailing Edge with an Upstream Kink Shape: Inter-Noise, Proceedings of Inter-Noise, pp.1-10.
44. Hiroshi Yokoyama, Hiroshi Odawara, and Akiyoshi Iida: Direct Simulation of Effects of Free-stream Turbulence on Cavity Tone: Inter-Noise, Proceedings of Inter-Noise, pp.1-10.
45. A. Takei, K. Murotani, S. Sugimoto, M. Ogino, S. Yoshimura: Large-scale analyses of electromagnetic fields using numerical human body models: COMPUMAG2013.
46. Kohei MUROTANI, Seiichi KOSHIZUKA, Tasuku TAMAI, Kazuya SHIBATA, Naoto MITSUME, Shinobu YOSHIMURA, Satoshi TANAKA, Kyoko HASEGAWA and Toshimitsu FUJISAWA: Large-scale Tsunami Analysis with Floating Objects Using Hierarchical Domain Decomposition Explicit MPS Method: JSST 2013 International Conference on Simulation Technology.
47. Kentaro Tanaka, Satoshi TANAKA, Kyoko HASEGAWA, Kohei Murotani, Seiichi Koshizuka: Translucent Visual Analysis of Large Scale 3D Point Data Generated by Particle Fluid Simulation of Tsunami Water: JSST 2013 International Conference on Simulation Technology.
48. 室谷浩平, 武居周, 吉村忍, 越塚誠一: ボクセルデータを用いた階層型領域分割法のための有限要素メッシュデータ構造の生成法--数値人体モデルを用いた有限要素電磁界解析の適用例--: 日本応用数理学会 2013 年度年会.
49. 室谷浩平, 越塚誠一, 金山寛, 安重晃, 藤澤智光, 玉井佑, 柴田和也, 三目直登, 吉村忍: 津波波源から浅水波方程式を用いて生成した入力境界条件による MPS 法市街地遡上解析: 日本機械学会 第 26 回計算力学講演会（CMD2013）.
50. A. Takei, K. Murotani, and M. Ogino: Parallel finite element analysis for microwave frequency electromagnetic fields using numerical human models: APCOM & ISCM 2013.
51. Kohei MUROTANI, Seiichi KOSHIZUKA, Kazuya SHIBATA, Tasuku TAMAI, Naoto MITSUME, Shinobu YOSHIMURA, Satoshi TANAKA, Kyoko HASEGAWA, and Toshimitsu FUJISAWA: Large-scale parallel realistic tsunami analysis with floating objects on Ishinomaki city using hierarchical domain decomposition explicit MPS method: APCOM & ISCM 2013.
52. Genki Yagawa, Masao Yokoyama, Kohei Murotani: How Should We Deal with Surface Properties of Plunging Body to Calculate Water Splash?: APCOM & ISCM 2013.

53. 柴田和也, 政家一誠, 越塚誠一, 室谷浩平, 宋学敏, 玉井佑, 谷澤克治: 楕円粒子と双方向の重合粒子を用いた粒子法による海水打ち込みの数値解析: 日本船舶海洋工学会講演会論文集.
54. 塩谷隆二, 荻野正雄, 河合浩志, 室谷浩平: エクサスケールに資する階層分割型数値計算ライブラリ開発: HPCI 利用中間報告会.

1.3 受賞情報

55. 草原和弥: 南極棚氷融解の数値モデリング: 笹川科学研究奨励賞, 日本科学協会.

2 超並列型スーパーコンピューターHA8000 クラスタシステム

2013 年 (2013 年 1 月～2013 年 12 月) における、超並列型スーパーコンピューターHA8000 クラスタシステムの利用による研究成果報告については以下のとおりである。

2.1 論文

【物理学】
56. Sho Ozaki, Shoichi Sasaki: Lüscher's finite size method with twisted boundary conditions: an application to J/ψ-ϕ system to search for narrow resonance: Physical Review D, American Physical Society, 87, 014506.
57. 芝口友隆, 池口満徳, 佐藤衛: X 線溶液散乱と分子動力学シミュレーションで探るタンパク質の構造揺らぎ: 日本結晶学会誌, 日本結晶学会, Vol. 51, No. 1, pp. 24-31.

2.2 口頭・ポスター発表

【機械工学】
58. 室谷浩平, 越塚誠一, 玉井佑, 山田祥徳, 柴田和也, 三目直登, 吉村忍, 田中覚, 長谷川恭子, 藤澤智光: 粒子系シミュレーション並列化フレームワークを用いた東日本大震災を模擬した石巻の実地形津波解析: HPCS2013.
59. 室谷浩平: 階層構造を用いた効率的な連続体力学シミュレーション: Numerical Methods for Science and Engineering.

3 大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム SR16000

2013 年 (2013 年 1 月～2013 年 12 月) における、大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム SR16000 の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

3.1 論文

【物理学】
60. H. Nakada: Semi-realistic nucleon-nucleon interactions with improved neutron-matter properties: Physical Review C, American Physical Society, 87, 1, 014336.
61. H. Nakada, T. Inakura and H. Sawai: Crossover from skin mode to proton-neutron mode in E1 excitations of neutron-rich nuclei: Physical Review C, American Physical Society, 87, 3, 034302.
62. H. Nakada, K. Sugiura and J. Margueron: Tensor-force effects on single-particle levels and proton bubble structure around the Z or $N=20$ magic number: Physical Review C, American Physical Society, Vol. 87, No. 6, 067305.

【地球惑星科学】

63. Lebonnois, S, Lee, C, Yamamoto, M and coauthors: Models of Venus Atmosphere: ISSI Scientific Report Series (Towards Understanding the Climate of Venus Applications of Terrestrial Models to Our Sister Planet), Springer, vol. 11, 129-156.
64. L. S. Urakawa, J. A. Saenz, and A. M. Hogg: Available potential energy gain from mixing due to the nonlinearity of the equation of state in a global ocean model: Geophysical Research Letters, American Geophysical Union, Vol.40, pp.2224-2228.

【総合工学】

65. Ryosuke Yano, Kojiro Suzuki and Hisayasu Kuroda: Autocorrelation of density fluctuations for thermally relativistic fluids: Physical Review D, APS, 88, 025014.

3.2 口頭・ポスター発表

【地球惑星科学】

66. 山本勝, 高橋正明: 金星中層大気 GCM 中の極渦の構造について: 第 62 回理論応用力学講演会, 第 62 回理論応用力学講演会講演論文集.

【総合工学】

67. Yuya Ohmichi, Kojiro Suzuki: Three-Dimensional Numerical Simulation of Gortler Vortices in Hypersonic Compression Ramp: 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Conference Proceedings (AIAA Paper).
68. Katsutoshi Hamasaki, Kojiro Suzuki: Numerical Analysis on Unsteady Lift Coefficient of Corrugated Wing Section in Low Reynolds Flow: 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting, 2013-0506.
69. Katsutoshi Hamasaki, Kojiro Suzuki: Numerical Analysis on Unsteady Nonlinear Characteristics of Low Reynolds Number Flows toward Wing Design for Mars Plane: The 29th International Symposium on Space Technology and Science, 2013-e-19.

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　平成 25 年度先端科学技術にふれる理科研修会（埼玉県立総合教育センター）

2010 年より情報基盤センターは埼玉県立総合教育センター，埼玉県のスーパーサイエンスハイスクール（SSH）指定校（埼玉県立春日部高等学校，同 大宮高等学校等）と協力して，高校生向けセミナー・スパコンプログラミング講習会，高校の理数系教員向け研修などを実施してきた〔1,2,3,4〕。

2011 年，2012 年 7 月に引き続いて，埼玉県立総合教育センターの依頼により，2013 年 7 月 16 日（火）に情報基盤センター（柏）で「平成 25 年度先端科学技術にふれる理科研修会」を埼玉県のスーパーサイエンスハイスクール（SSH）指定校を中心とした高等学校及び小・中学校の理数系教員を対象として実施した。以下のような 3 部構成で実施した。出席者は 19 名（高校教員 15 名，中学校教員 1 名，小学校教員 2 名，総合教育センター1 名）であった。

（第 1 部）講演・見学
13:00〜13:30　計算科学とスーパーコンピュータ，情報基盤センター紹介
　　中島研吾（情報基盤センター・教授）
13:35〜14:05　Oakleaf-FX（富士通 PRIMEHPC FX10）見学
　　大島聡史（情報基盤センター・助教）

（第 2 部）講演
14:15〜15:00　先端科学技術と教育
　　中島研吾（情報基盤センター・教授）
15:00〜16:00　スーパーコンピューティングによるものづくり設計プロセスへの貢献
　　奥田洋司（大学院新領域創成科学研究科・教授）

（第 3 部）ディスカッション他
16:00〜16:55　今後の教育活動への応用
　　山田正則（埼玉県立総合教育センター・指導主事）

第 1 部では，計算科学入門，センター紹介に引き続き， Oakleaf-FX（富士通 PRIMEHPC FX10）を見学してもらった。

第 2 部の講演では，昨年度に引き続き「スパコンを教育，人材育成に取り入れている事例を紹介してほしい」というリクエストがあったため，実際に本学で実施している HPC 教育プログラムについて紹介した。講演のもう一件は奥田教授による「スパコンのものづくり設計プロセスへの貢献」ということで，これまでの講演〔1,2,3,4〕とは少し異なった題材で，興味を持った参加者も多かったようである。

第 3 部は余り時間が無かったが，主に質疑とディスカッションを実施した。

参加者のアンケートによると，スパコンが様々な分野で有効に活用されていることを知って有意義であったという意見が多かった。是非生徒たちに実際にスパコンを使った様々な科学技術シミュレーションを体験させたいようなコメントもあった。

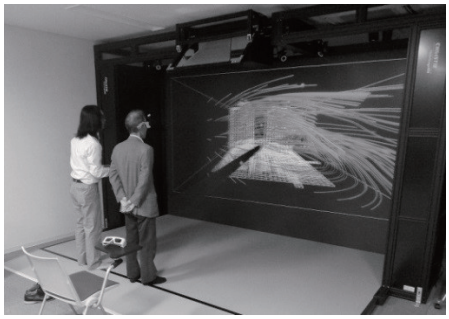
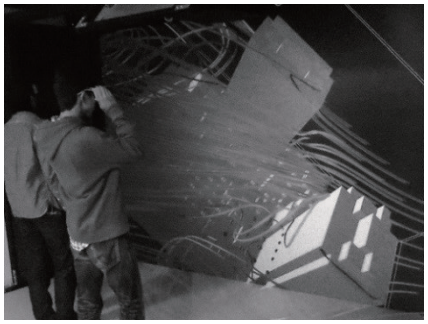
写真：講演（左），Oakleaf-FX 見学会（右）の一コマ

参考文献
〔1〕 「スーパーコンピュータの最前線を体験しよう（高校生向けスパコンセミナーの開催）」，スーパーコンピューティングニュース，Vol.12-5，東京大学情報基盤センター（2010）
〔2〕 「高校生のためのお試しアカウント付き並列プログラミング講習会（試行）実施報告」，スーパーコンピューティングニュース，Vol.12-5，東京大学情報基盤センター（2010）
〔3〕 平成 23 年度先端科学技術にふれる理科研修会（埼玉県立総合教育センター），Vol.13-5，東京大学情報基盤センター（2011）
〔4〕 平成 24 年度先端科学技術にふれる理科研修会（埼玉県立総合教育センター），Vol.14-5，東京大学情報基盤センター（2012）

2　東京大学柏キャンパス一般公開 2013

2013 年 10 月 25 日（金），柏キャンパスにおいて「東京大学柏キャンパス一般公開 2013（知りたい！触れたい！科学の世界）」が開催され，情報基盤センターは「柏から科学のフロンティアを拓く」のテーマで参加した。今年度はスーパーコンピュータ『Oakleaf-FX』見学のガイドツアーの実施を 30 分ごと 5 回としたことで，昨年度の 1 時間ごと 3 回と比べて，少人数で本センター教員の説明を聞くことができるようになったため，参加者が熱心に質問する様子がうかがえた。また，今回はスーパーコンピュータの仕組みから研究成果，求める人材まで，スパコンの世界をわかりやすく紹介するビデオ映像「スーパーコンピューティングへの招待」（約 25 分間）を制作し，３階会議室で上映した。台風の影響で 2 日目のイベントは中止となったが，それでもスーパーコンピュータ見学者 104 名（うちガイドツアー参加者 75 名），三次元可視化システム体験の参加者 40 名と多くの方が来場した。

スーパーコンピュータ『Oakleaf-FX』見学 の様子（説明員：片桐准教授，大島助教，實本助教）

三次元可視化システム体験の様子（説明員：松本特任講師）

3　来訪者の状況

平成 25 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 25 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	2013年 4月1日	鹿島建設株式会社 ITソリューション部	2	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
2	4月17日	Universiti Tekinologi PETRONAS（マレーシア）	12	情報交換，施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
3	5月16日	台湾NCHC Central Weather Bureau（CWB）（台湾） Instituto Tecnologico y de Energias Renovables S.A., ITER（スペイン）	15	情報交換，施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
4	5月23日	HPC Wales（英国）	9	情報交換，施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
5	6月4日	千葉県立 柏の葉高等学校	23	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
6	7月16日	埼玉県立 総合教育センター	19	平成25年度先端科学技術にふれる理科研修会	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
7	7月26日	気象庁	17	情報交換，施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
8	8月5日	大阪府立 天王寺高等学校	47	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
9	8月8日	千葉県高等学校 教育研究会数学部会	48	施設見学，教員研修	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
10	9月9日	Total（フランス）	6	情報交換，施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
11	9月19日	Toyota Kirloskar Motor Private Ltd.（インド）	22	情報交換，施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）

12	10月25日	柏市商工会議所	6	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
13	11月27日	インドネシアBMKG	8	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）
14	2014年1月22日	ガリシアスパコンセンター（CESGA）（スペイン）	8	情報交換，施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10（Oakleaf-FX）

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	学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点　共同研究課題運営委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	東京大学　情報倫理委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	東京大学　情報倫理審査専門委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	独立行政法人日本学術振興会　「セキュリティの確保を前提とした地球規模情報システム」に関する研究開発専門委員会委員	24. 4. 1～27. 3.31
	公益財団法人りそな中小企業振興財団　「中小企業優秀新技術・新製品賞」専門審査委員会委員	24. 9. 1～25. 8.31
	東京大学教養学部　非常勤講師	25. 4. 1～25. 9.30
	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	25. 4. 1～26. 3.31
	日本学術会議　連携会員	25. 4. 1～26. 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	25. 4. 1～27. 3.31
	独立行政法人科学技術振興機構　領域アドバイザー（研究領域「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」）	25. 6.19～26. 3.31
	公益財団法人りそな中小企業振興財団　「中小企業優秀新技術・新製品賞」専門審査委員会委員	25. 9. 1～26. 8.31
	情報セキュリティ大学院大学　客員教授	25.10. 1～26. 4. 1
田中　哲朗	東京大学教養学部　非常勤講師	25. 4. 1～25. 9.30
	東京大学教養学部　非常勤講師（全学体験ゼミナール）	25. 4. 1～25. 9.30
	東京大学情報システム戦略会議　ICT インフラ整備専門部会　部会員	25. 4. 1～26. 3.31
	東京大学情報システム戦略会議　utroam-TF（タスクフォース）　委員	25. 4. 1～26. 3.31
	東京大学教養学部　非常勤講師	25.10. 1～26. 3.31
	東京大学教養学部　非常勤講師（全学体験ゼミナール）	25.10. 1～26. 3.31
品川　高廣	一般社団法人情報処理学会　会誌編集委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	東京大学教養学部　非常勤講師	25. 4. 1～25. 9.30
	東京大学理学部　非常勤講師	25. 4. 1～25. 9.30
	一般社団法人情報処理学会　システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究運営委員会運営委員	25. 4. 1～27. 3.31
関谷　貴之	専修大学　非常勤講師	25. 4. 1～26. 3.31
	東京学芸大学　非常勤講師	25. 4. 9～26. 3.20
中川　裕志	東京大学　評価実施委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	東京大学駒場図書館　運営委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	東京大学柏図書館　運営委員会委員	24. 4. 1～27. 3.31
	東京大学工学部　非常勤講師	25. 4. 1～25. 9.30
	東京大学情報システム戦略会議　ICT 人材強化育成 WG 主査	25. 5.24～26. 3.31

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算盤技術の創出・体系化」研究者	25.10.　1～29.　3.31
若原　　恭	東京大学　情報セキュリティ委員会委員	24.　4.　1～26.　3.31
	東京大学　バリアフリー支援室本郷支所長	24.　4.　1～26.　3.31
	独立行政法人情報処理推進機構　情報処理技術者試験委員	24.　4.　1～26.　3.31
	一般社団法人電子情報通信学会　人や社会と共生するシステムを実現するネットワークソフトウェア論文特集編集委員	24.　8.30～25.　8.　1
	一般社団法人電子情報通信学会　通信ソサイエティフェロー推薦委員会委員	25.　3.　5～25.　9.18
	東京大学　評価支援室員	25.　4.　1～26.　3.31
	東京大学情報システム戦略会議　ICT インフラ整備専門部会　部会長	25.　4.　1～26.　3.31
	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
中山　雅哉	一般社団法人電子情報通信学会　インターネット技術とその応用特集編集委員会委員	24.　6.　5～25.　6.　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ネットワーク運営連携本部ネットワーク作業部会委員	25.　4.　1～26.　3.31
	東京大学情報システム戦略会議　ICT インフラ整備専門部会　部会員	25.　4.　1～26.　3.31
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所学術情報ネットワーク運営・連携本部　高等教育機関における情報セキュリティポリシー推進部会委員	25.　9.18～26.　3.31
小川　剛史	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委員	24.　4.　1～26.12.31
	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
	東京大学文学部　非常勤講師	25.　4.　1～26.　3.31
	東京大学情報システム戦略会議　ICT インフラ整備専門部会　部会員	25.　4.　1～26.　3.31
	東京大学情報システム戦略会議　utroam-TF（タスクフォース）　主査	25.　4.　1～26.　3.31
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　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	24.　5.26～25.　5.25
	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
	慶應義塾大学 SFC 研究所　上席所員（訪問）	25.　4.　1～26.　3.31
	東京大学理学部　非常勤講師	25.10.　1～26.　3.31

妙中　雄三	一般社団法人電子情報通信学会　情報ネットワーク研究専門委員会専門委員	23. 5.28～25. 5.24
	東京大学情報システム戦略会議　utroam-TF（タスクフォース）委員	25. 4. 1～26. 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	25. 5.25～27. 5.24
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
中島　研吾	東京大学物性研究所附属物質設計評価施設　スーパーコンピュータ共同利用委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	東京大学物性研究所附属物質設計評価施設　スーパーコンピュータ共同利用課題審査委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	京都大学学術情報メディアセンター　スーパーコンピュータシステム共同研究企画委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	筑波大学計算科学研究センター　共同研究委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点　共同研究課題審査委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	京都大学学術情報メディアセンター　全国共同利用運営委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	一般社団法人日本計算工学会　評議員	24. 6. 1～25. 5.31
	東京大学理学系研究科　非常勤講師	25. 4. 1～25. 9.30
	東京大学　柏キャンパス共同学術経営委員会委員	25. 4. 1～26. 3.31
	独立行政法人理科学研究所計算科学研究機構　客員主管研究員	25. 4. 1～26. 3.31
	一般社団法人日本応用数理学会　代表会員	25. 4. 1～26. 3.31
	東京大学物性研究所　次世代スパコン戦略機関　プログラム分野２「計算物質科学イニシアチブ」（１）スパコン連携小委員会委員	25. 4. 1～26. 3.31
	東京大学フューチャーセンター推進機構　運営委員会委員	25. 4. 1～27. 3.31
	東京大学工学部　非常勤講師	25.10. 1～26. 3.31
金田　康正	大阪大学サイバーメディアセンター　運営委員会委員	24. 4. 1～26. 3.31
	鶴岡工業高等専門学校　非常勤講師	25. 4. 9～25. 9.30
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	24. 5.26～26. 5.25
	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ネットワーク運営連携本部認証作業部会委員	25. 4. 1～26. 3.31
	一般社団法人日本情報経済社会推進協会　平成 25 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」構築のための実証事業）ID 連携トラストフレームワーク検討委員会委員	25. 9. 2～26. 3.31
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所学術情報ネットワーク運営・連携本部　高等教育機関における情報セキュリティポリシー推進部会委員	25. 9.18～26. 3.31

	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所学術認証運営委員会	25. 9.18～26. 3.31
	佐賀大学　「第７回統合認証シンポジウム」講師	25.12. 6～25.12. 6
片桐　孝洋	電気通信大学　非常勤講師	25. 4. 1～25. 9.30
	東京大学工学系研究科　非常勤講師	25. 4. 1～26. 3.31
	東京大学　柏キャンパス・リエゾン室室員	25. 4. 1～26. 3.31
	一般社団法人日本応用数理学会　代表会員	25. 4. 1～26. 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	25. 4. 1～26. 3.31
	独立行政法人理化学研究所　客員研究員	25. 4. 1～28. 3.31
	東京大学教養学部　非常勤講師	25.10. 1～26. 3.31
	一般財団法人高度情報科学技術研究機構　『「京」における高速化ワークショップ』講師	25.12.18～25.12.18
大島　聡史	東京大学　柏キャンパス・アメニティ室室員	25. 4. 1～26. 3.31
	一般社団法人情報処理学会　論文誌コンピューティングシステム編集委員会編集委員	25. 4. 1～27. 3.31
	一般社団法人　オープン CAE 学会　理事（非常勤）	25. 6.21～26. 6.30
塙　　敏博	文部科学省研究振興局　技術参与	25.12. 1～26. 3.31
	筑波大学計算科学研究センター　共同研究員	25.12. 1～26.11.30
伊藤　祥司	独立行政法人理化学研究所　客員研究員	25. 4. 1～28. 3.31
	中央大学　非常勤講師	25. 9.21～26. 3.31
佐藤　芳樹	東京大学情報理工学系研究科　非常勤講師	25.11. 1～26. 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.36
第5回	7/11-12	
・拠点ネットワーク型学際研究シンポジウム		p.40
第1回	3/11	
・コンピュータ・ネットワーク利用セミナー		p.354
（第81回）「平成25年度コンピュータネットワーク研修(東京大学技術職員研修)」講義	11/12-14	

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.301
本郷キャンパス	情報学環・福武ホール	4/1-8/9(平日), 8/19-12/26(平日), 1/7-3/31（平日） 合計292回	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/1, 4/2, 4/3, 4/4, 4/5, 4/8, 4/9, 4/10, 4/11, 4/12, 4/16, 4/18, 4/22, 4/24, 4/26, 5/1, 5/7, 5/13, 5/17, 5/23, 5/29, 6/10, 6/20, 6/26, 7/5, 8/6, 9/25, 10/7, 10/15, 10/23, 10/31, 11/18, 12/3, 12/18, 1/10, 1/30, 2/24	
柏キャンパス	柏図書館	4/25, 5/10, 7/4, 10/10, 10/25	
出張講習会		4/1, 4/2, 4/5, 4/6, 10/4	
・システム利用説明会			p.314
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/27, 3/14	
駒場キャンパス	情報教育棟	9/26, 3/19	
・相談員説明会			
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/9, 10/7	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/10, 10/8	

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.334
はじめての論文の探し方	4/9, 4/18, 5/8, 5/21	
自宅から電子ジャーナルを読むには？	4/11, 4/17, 5/24, 7/19	
論文準備のための文献管理RefWorks	5/15, 7/29, 9/10, 10/10, 11/20	
Google Scholar活用法	6/5, 9/3, 11/8, 1/14	
文献検索早わかり	6/11, 10/9	
Web of Science+RefWorks	6/14（自然科学系）,6/14（人文社会科学系）	
論文準備のための文献検索CiNii ArticlesとWeb of Science	7/10, 9/4, 11/14	
論文投稿シミュレーション：JCRとRefWorksを使って	8/29, 10/25	
論文準備ここからスタート！(文献検索から文献リスト作成まで)12/5は「論文準備はこれでOK」として実施	12/5, 1/22, 2/14,3/19	
卒業してからの文献検索・文献管理	2/27	
国連情報の探し方入門	3/11	
・夜間ガイダンス		p.335
論文準備のための文献管理：RefWorks	7/30（中止）,10/23	
論文投稿シミュレーション：JCRとRefWorksを使って	8/20	
論文準備のための文献検索 CiNii ArticlesとWeb of Science	9/12	
文献検索早わかり	10/8（中止）	
Google Scholar活用法	11/27, 1/20	
論文準備はこれでOK (文献検索から文献リスト作成まで)	12/10	
卒業してからの文献検索・文献管理	3/13	
・留学生向け情報探索ガイダンス		p.335
韓国語コース	5/10	
中国語コース	10/15（同日2回開催）	
・外部講師による講習会　（H24年度まで「データベースユーザトレーニング」）		p.336
Westlaw International、Westlaw Japan	5/22	
eol	6/20, 10/30（柏図書館）	
LexisNexis Academic	6/26	
OECD iLibrary	6/28	
SciFinder	7/18, 10/24(理学部),11/28（柏図書館）	
EndNote basic	10/10	
EndNote（ソフトウェア版）	10/10	
国連資料講座：安全保障理事会と国連文書	11/15	
・秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会	8/9, 8/20	p.336
・出張・オーダーメイド講習会		p.336
オーダーメイド講習会 学際情報学府、教養学部／総合文化研究科、 理学部/理学系、文学部／人文社会系、 教育学部／教育学研究科、医学系、工学部／工学系、 附属病院	 4/2, 4/5, 4/16, 4/19, 4/22, 4/23, 4/25, 4/26, 4/30, 5/1, 5/2, 5/7, 5/20, 5/23, 5/27, 6/12, 6/25, 8/2, 10/3, 10/25, 10/28, 10/30, 11/5, 11/11, 11/12, 11/18, 11/19, 12/3, 1/7	

附属図書館・室等との共催講習会 文学部図書室、総合図書館、農学生命科学図書館、 工学・情報理工学図書館、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、附属病院看護部、 理学部生物学図書室、地震研究所図書室、 医学図書館、駒場図書館、柏図書館、 大学院数理科学研究科図書室、医科学研究所図書室、 理学部化学図書室、薬学図書館、病院看護部、 経済学図書館	4/4, 4/9, 4/10, 4/11, 4/15, 4/17, 4/18, 4/19, 4/24, 4/25, 5/7, 5/8, 5/9, 5/10, 5/14, 5/15, 5/16, 5/17, 5/31, 6/5, 6/6, 6/17, 6/18, 6/24, 6/27, 7/23, 8/1, 8/22, 8/27, 9/5, 10/8, 10/15, 10/16, 10/17, 10/18, 10/21, 10/23, 10/31, 11/12, 11/13, 11/28, 11/29, 12/3, 12/25, 1/7	p.339

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.353
第11回	10/1	

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.384
第30回	6/11-12	
第31回	7/2-3	
第32回	8/5-6	
第33回	9/3-4	
第34回	3/11-12	
第35回	3/24-25	
・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.390
第14回	9/25	
第15回	10/23	
第16回	12/4	
第17回	3/6	
・その他		
平成25年度先端科学技術にふれる理科研修会	7/16	p.406
最先端共同 HPC 基盤施設発足記念シンポジウム	7/24	p.389
学部生向けプログラミング講習会	1/17	

報道関係一覧

情報メディア教育研究部門

[報道 1] 日本テレビ 2013 年 4 月 19 日 16:50-17:53「news every」.

[報道 2] NHK 2013 年 4 月 20 日 19:00-19:30 「ニュース 7」.

[報道 3] 朝日新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 38 面: A 級棋士も敗退.

[報道 4] 日経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 30 面: 将棋ソフト、プロ軍団破る.

[報道 5] 産経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 26 面: トップ棋士電脳に完敗.

[報道 6] 産経新聞 2013 年 4 月 21 日朝刊 28 面: トップ棋士敗れる.

[報道 7] 朝日新聞 2013 年 4 月 22 日朝刊 1 面: 天声人語.

[報道 8] 読売新聞 2013 年 4 月 22 日朝刊 11 面: 人間 vs ソフト 次の段階へ.

[報道 9] 朝日新聞 2013 年 4 月 23 日夕刊 4 面: 電王戦、将棋界を刺激.

[報道 10] 朝日新聞 2013 年 4 月 24 日朝刊 35 面: 将棋電王戦、二つの発見.

[報道 11] NHK 2013 年 4 月 24 日 14:05-14:55 「情報まるごと」.

[報道 12] 産経新聞 2013 年 4 月 26 日朝刊 6 面: 将棋電王戦: “観戦” 活況、230 万人が興奮共有.

[報道 13] 産経新聞 2013 年 4 月 27 日朝刊 6 面: 電脳はプロ棋士を超えたのか.

[報道 14] FRIDAY2013 年 5 月 10-17 日号: 東大ソフト開発者は「人間と将棋を指したことがない」.

[報道 15] NHK 教育「サイエンス ZERO」7 月 14 日 23:30-24:00: 世界最強!? 人間を超えた人工知能.

[報道 16] 朝日中学生ウィークリー 2014 年 2 月 9 日 19 面: 囲碁 (下) 盤面の勝負で柔道上達/大学でも活用.

スーパーコンピューティング部門

[報道 1] 日刊工業新聞 2013 年 7 月 23 日 次期スパコン共同で運営管理 筑波大・東大が研究組織

[報道 2] 日刊工業新聞 Business Line 2013 年 7 月 23 日 筑波大と東大、次期スパコンを共同運営・管理する組織設置

[報道 3] 日経産業新聞 2013 年 7 月 23 日 東大と筑波大 スパコン共同導入へ 毎秒 30 ペタ、レンタルで

[報道 4] ReseMam 2013 年 10 月 15 日 東大柏キャンパス一般公開…スパコンや研究施設見学、ワークショップなど開催

[報道 5] WN.com 2013 年 10 月 15 日 東大柏キャンパス一般公開…スパコンや研究施設見学、ワークショップなど開催

最先端共同HPC基盤施設

[報道 1] 日本経済新聞社 2013 年 6 月 25 日「スパコン OS 開発、日米が連携 東大や富士通参加」

東京大学情報基盤センター年報

2013 年度（第 15 号）

編　集

東京大学情報基盤センター年報編集委員会

編集委員長　品川 高廣

編集委員　小川 剛史、大島 聡史、佐藤 芳樹、新井　忠、平野 光敏、本多　玄、藤田 英子、中村 昇平、井爪 健雄、丸山　忍、中田 幸夫、清水 隆志

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

2014 年 7 月発行

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO