年報 第 13 号

2011 年度

Annual Report No.13

2011

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 23 年度中の人事異動 …… 11
東京大学情報基盤センター運営委員会委員名簿 …… 13

予　算 …… 14

収入・支出 …… 14
外部資金 …… 14

補助金等 …… 16

平成 23 年度科学研究費助成事業採択状況 …… 16
平成 23 年度受託研究費受入状況 …… 19
平成 23 年度共同研究費受入状況 …… 19
平成 23 年度政府系委託費受入状況 …… 22
平成 23 年度政府系補助金受入状況 …… 22
平成 23 年度奨学寄附金受入状況 …… 22

PART2 センター活動報告 …… 23

学際情報科学研究体 …… 25

学際情報科学研究体概要 …… 27
学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 …… 29
e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進
　および HPCI 構築 …… 37
PKI …… 41

その他 …… 45

東日本大震災後の消費電力削減のための試み …… 47

PART3 各研究部門 研究活動報告 …… 51

情報メディア教育研究部門 …… 53

情報メディア教育研究部門概要 …… 55
柴山 悦哉 …… 59
　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 …… 65
ゲームプログラミングに関する研究
品川 高廣 …… 71
準パススルー型仮想マシンモニタ「BitVisor」の研究
関谷 貴之 …… 80
教育支援システムの開発と運用―カリキュラム分析 他―
丸山 一貴 …… 88
Web 検索結果ページの改善と教育用計算機システムの設計

学術情報研究部門 …… 95

学術情報研究部門概要 …… 97
中川 裕志 …… 105
統計的機械学習とその応用
杉本 雅則 …… 112
アダプティブセンサアレイを用いた音響イメージング
吉田　稔 …… 119
テキストマイニングの基盤技術・応用技術に関する研究―テキストマイニングによる機器異常診断支援―
佐藤 一誠 …… 125
確率的潜在変数モデルの統計的学習理論に関する研究―ネットワークデータへの応用―
清田 陽司 …… 131
組織間の「緩やかな連携」が生み出す価値

ネットワーク研究部門 …… 139

ネットワーク研究部門概要 …… 141
若原　恭 …… 146
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 …… 153
広域分散環境の高度基盤技術に関する研究
小川 剛史 …… 158
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 …… 164
広域分散クラウドを支える要素技術とネットワーク性能に関する研究
中村 文隆 …… 174
マイクロコンピューティングと情報処理技術教育環境
妙中 雄三 …… 178
無線ネットワークでの品質改善に関する研究
宮本 大輔 …… 185
悪意あるウェブサイトの対策に関する研究

スーパーコンピューティング研究部門 …… 191

スーパーコンピューティング研究部門概要 …… 193
中島 研吾 …… 208
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 …… 215
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 …… 225
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 …… 231
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 …… 240
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
黒田 久泰 …… 248
シームレス高生産・高性能プログラミング環境―高効率・高可搬性ライブラリの研究開発―
大島 聡史 …… 251
GPU を用いた高性能計算に関する研究
實本 英之 …… 259
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
横手 靖彦 …… 267
DEOS Runtime Environment に関する研究・開発
松野 裕 …… 271
システムのディペンダビリティ保証のためのツールとプロセスの構築
稲岡 創 …… 278
大規模分子動力学シミュレーションによる気液混相流の研究―計算機シミュレーションによる沸騰流の再現に向けて―
鴨志田 良和 …… 285
並列アプリケーションと共存可能な細粒度モニタリングに関する研究
藤田 肇 …… 291
ディペンダブルな単一システムイメージ OS
林 雅江 …… 297
ポストペタスケールを目指した統合数値計算ライブラリの開発
伊東 聰 …… 303
ポストペタスケール計算機環境におけるシミュレーションソフトウェアの開発環境に関する研究

学際情報科学研究体 …… 309

伊藤 祥司 …… 311
線形方程式求解アルゴリズムに対する求解品質の改善、および、センター業務への取り組み

PART4 各部門 教育・サービス活動報告 …… 317

情報メディア教育部門 …… 319

情報メディア教育部門概要 …… 321
教育用計算機システム運用報告 …… 323
学内組織向けメールサーバ（MAILHOSTING）運用報告 …… 336
WEB PARK サービス運用報告 …… 338
学内組織向け DNS ホスティング運用報告 …… 340
遠隔講義支援サービス運用報告 …… 341
CFIVE 運用報告 …… 347

部局負担による携帯端末接続環境運用報告 …… 353
その他のサービス運用報告 …… 354

図書館電子化部門 …… 355

図書館電子化部門概要 …… 357
デジタルコンテンツサービス …… 358
学術情報リテラシー支援 …… 360
図書館関係システム運用・管理 …… 372

ネットワーク部門 …… 375

ネットワーク部門概要 …… 377
東京大学情報ネットワークシステム（UTnet3）の運用管理 …… 380
セキュリティ対応 …… 391
東京大学情報システム緊急対応チーム（UT-CERT）との連携 …… 394
学内ソフトウェアライセンス …… 396
ハウジングサービス …… 397

スーパーコンピューティング部門 …… 399

スーパーコンピューティング部門概要 …… 401
スーパーコンピューティング業務 …… 405
講習会 …… 412
シンポジウム・研究会 …… 420
研究プロジェクト …… 424
スーパーコンピュータの企業利用支援 …… 429
スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2011 年） …… 432
その他イベント …… 436

PART5 その他 …… 439

委員会委員等 …… 441
講習会・セミナー …… 444
報道関係一覧 …… 447

巻 頭 言

東京大学情報基盤センター長　石川　裕

2011 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、情報メディア教育部門、図書館電子化部門、ネットワーク部門、スーパーコンピューティング部門の 4 部門と、4 部門を横断的に機能する学際情報科学研究体から構成される研究・教育・サービスの 3 つの役割を有する組織です。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 2011 年度活動として大きな事柄について簡単に紹介させていただきます。

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災以降の電力事情悪化に対応するために、スーパーコンピューティング部門におけるスパコン調達をやり直しました。当初の仕様は、TCO（Total Cost of Ownership）の考えに基づき、電気代も含めた 6 年間の運用コストと当センターが必要とする計算資源のバランスを考えて策定されていました。しかし震災後は使用する電力量を可能な限り抑えながらも共同利用・共同研究拠点である我が情報基盤センターのミッションを鑑み、国内の研究者が必要とする計算資源を提供するという観点から仕様の見直しを行いました。その結果、当初の最大許容電力量を 40%以上削減（2.6MVA から 1.4MW）して再度調達プロセスをやり直しました。当初の導入予定よりも 3 か月ほど遅れての調達になりましたが、無事 2011 年度内に調達を終了し、2012 年度から運用を開始することができました。また、昨年度は、2010 年度に引き続き、文部科学省最先端研究基盤事業「e–サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進」を進めると共に、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）を構築する目的で、文部科学省委託業務「HPCI の詳細仕様に関する調査検討」を関係する情報基盤センター群とともに進めました。これらにより、HPCI ユーザに対して、2012 年秋に共用が開始される京コンピュータ、情報基盤センター群等に設置されているスーパーコンピュータ群および共有ストレージの利便性を高めた先端基盤を提供する基礎工事が終了した状況と言えるでしょう。

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

最後に、本年報をまとめるにあたり、年報編集委員長の小川剛史先生をはじめとする年報編集委員の皆様の努力に感謝申し上げます。

2012 年 5 月吉日

PART 1

概　況

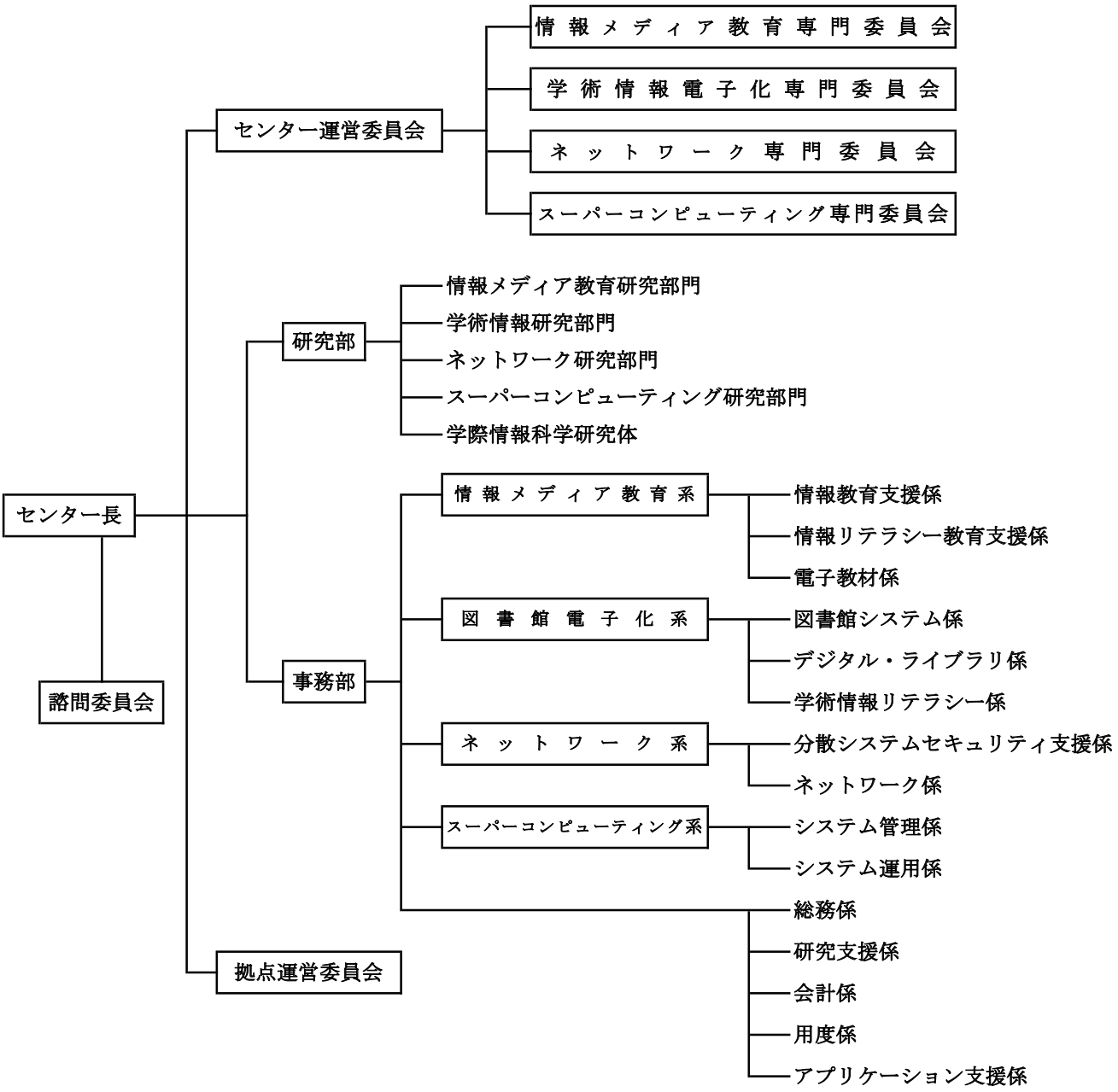
組　織

予　算

補助金等

組　織

組織図



職員数

H24.3.31

	専　任	兼　務	特　任	合　計
センター長		1		1
教　　授	5		1	6
准　教　授	8	2	1	11
講　　師			3	3
助　　教	9		4	13
研　究　員		3		3
事務職員	24			24
技術職員	24		1	25
事務補佐員	12		1	13
技術補佐員	13		1	14
派遣職員	4			4
合　　計	99	6	12	117

教職員

平成 24 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

情報メディア教育研究部門

教　授	柴　山　悦　哉
准教授	田　中　哲　朗
准教授	品　川　高　廣
助　教	関　谷　貴　之
助　教	丸　山　一　貴

学術情報研究部門

教　授	中　川　裕　志
准教授	杉　本　雅　則
助　教	吉　田　　稔
助　教	佐　藤　一　誠
特任講師	清　田　陽　司
事務補佐員	吉　冨　美　樹
事務補佐員	山　崎　弘　美

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
客員研究員	加　藤　　朗
事務補佐員	川　崎　しのぶ
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
准教授（兼務）	黒　田　久　泰
助　教	大　島　聡　史
助　教	實　本　英　之
特任教授	横　手　靖　彦
特任講師	松　野　　裕
特任講師	稲　岡　　創
特任助教	鴨志田　良　和
特任助教	藤　田　　肇
特任助教	林　　雅　江
特任助教	伊　東　　聰
客員研究員	堀　　敦　史
客員研究員	山　本　啓　二
特任専門職員	原　田　　浩
学術支援専門職員	山　内　久　典
事務補佐員	亀　田　文美代
事務補佐員	高　橋　弘　美
派遣職員	蒲　地　　穣

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）	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）	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（兼務）	清　田　陽　司
特任助教（兼務）	鴨志田　良　和
事務補佐員	福　島　たかね

事務部

事務長	根岸　茂
副事務長（研究支援担当）	西澤明生
副事務長（業務担当）	早野裕士
専門員（総務担当）	植木祐輔
専門員（財務・研究協力担当）	風間　勉
専門員	本多　玄
主　査（会計担当）	渡邉　康
主　査（スーパーコンピューティング担当）	平野光敏
専門職員（総務担当）	後藤和彦
専門職員（研究支援担当）	中村昇平

総務係

係　長（兼務）	後藤和彦
専門職員	岩崎直樹
主　任	宮地　亨
主　任	柳川圭介
一般職員	中田幸夫
事務補佐員	麦谷真弓

研究支援係

専門職員（研究支援担当）	中村昇平
主　任	高橋朝一
一般職員	諏佐賢司

会計係

主　査（会計担当）	渡邉　康
主　任	木崎信一

用度係

係　長	大　橋　公一郎
主　任	岡　戸　彰　二
主　任	山　口　挙　史
事務補佐員	池　田　由　香

アプリケーション支援係

係　長（兼務）	早　野　裕　士
技術職員	永　岡　陽　香

［情報メディア教育系］　チーフ　有　賀　　浩

情報教育支援係

係　長	有　賀　　浩
技術職員	松　本　浩　一
技術職員	安　部　達　巳
技術補佐員	宮　北　美　保
派遣職員	後　閑　直　子
派遣職員	竹　尾　朋　子
派遣職員	岡　野　珠　子

情報リテラシー教育支援係

係　長	松　岡　喜美代
専門職員	前　田　光　教
技術職員	秋　田　英　範

電子教材係

係　長	伊　藤　真　之
主　任	坂　井　朱　美
主　任	岩　藤　健　弘
技術補佐員	加　藤　康　一

［図書館電子化系］　チーフ　本　多　　玄

図書館システム係

係　長（兼務）	本　多　　玄
専門職員	小　松　陽　一
一般職員	田　口　忠　祐

デジタル・ライブラリ係
係　長　　吉　田　幸　苗
一般職員　　胡　内　奈都子

学術情報リテラシー係
係　長　　成　澤　めぐみ
主　任　　濱　田　智恵子
一般職員　　笹　原　可　恵
事務補佐員　　芳　賀　里　歩

［ネットワーク系］　チーフ　早　野　裕　士
専門職員　　中　山　仁　史

分散システムセキュリティ支援係
係　長　　井　爪　健　雄
主　任　　小　薗　隆　弘
技術補佐員　　阿　部　　大

ネットワーク係
係　長　　下　田　哲　郎
技術職員　　友　西　　大

［スーパーコンピューティング系］　チーフ　平　野　光　敏
専門職員　　丹　下　藤　夫

システム管理係
係　長　　宮　嵜　　洋
専門職員　　小　川　大　典
専門職員　　佐　島　浩　之
事務補佐員　　高　橋　陽　子

システム運用係
係　長　　石　崎　　勉
技術職員　　佐　藤　孝　明

平成２３年度中の人事異動

（転入・昇任・配置換等）

23. 4. 1	品　川　高　廣	情報メディア教育研究部門准教授／新規
23. 4. 1	佐　藤　一　誠	学術情報研究部門助教／新規
23. 4. 1	宮　本　大　輔	ネットワーク研究部門助教／新規
23. 4. 1	伊　東　　聰	スーパーコンピューティング研究部門特任助教／新規（任期　23.4.1～25.3.31）
23. 4. 1	西　澤　明　生	副事務長（研究支援担当）／主査（研究支援担当）から
23. 4. 1	植　木　祐　輔	専門員（総務担当）／先端科学技術研究センター事務部企画調整チーム専門員から
23. 4. 1	渡　邉　　康	主査（会計担当）／大学院人文社会系研究科事務部財務・研究支援チーム主査から
23. 4. 1	成　澤　めぐみ	学術情報リテラシー係長／附属図書館事務部情報管理課資料管理係長から
23. 4. 1	井　爪　健　雄	分散システムセキュリティ支援係長／放送大学学園教育研究支援部情報推進課ネットワーク係長から
23. 4. 1	諏　佐　賢　司	研究支援係／文部科学省研修生から
23. 4. 1	胡　内　奈都子	デジタル・ライブラリ係／お茶の水女子大学図書・情報チーム資料管理係から
23. 4. 1	渡邉　　かがり	総務係特任専門職員／新規
23. 4. 1	柏　　芳　美	電子教材係技術補佐員／新規
23. 4. 1	柳　川　圭　介	総務係主任／総務係から
23. 4. 1	高　橋　朝　一	研究支援係主任／研究支援係から
23. 4. 1	濱　田　智恵子	学術情報リテラシー係主任／学術情報リテラシー係から
23. 4. 1	小　薗　隆　弘	分散システムセキュリティ支援係主任／分散システムセキュリティ支援係から
23. 4. 1	岩　藤　健　弘	電子教材係主任／電子教材係から
23. 5. 1	伊　東　雅　美	スーパーコンピューティング研究部門事務補佐員／新規
23. 6. 1	福　島　たかね	学際情報科学研究体事務補佐員／新規
23. 7. 1	杉　本　雅　則	学術情報研究部門准教授／工学系研究科准教授から
23. 7. 1	関　谷　勇　司	ネットワーク研究部門准教授／ネットワーク研究部門講師から
23. 7. 1	中　村　昇　平	専門職員（研究支援担当）／文部科学省大臣官房国際課専門職／(併)内閣府独立行政法人国立公文書館アジア歴史資料センター事業第二係長から
23. 7. 1	山　崎　弘　美	学術情報研究部門事務補佐員／新規
23. 7. 1	吉　澤　文　代	ネットワーク研究部門臨時用務員／新規

23. 7. 1	早　野　裕　士	アプリケーション支援係長（兼務）
23. 7. 1	有　賀　　浩	情報教育支援係長／電子教材係長から
23. 7. 1	伊　藤　真　之	電子教材係長／情報教育支援係専門職員から
23. 7. 1	松　本　浩　一	情報教育支援係／ネットワーク係から
23. 9. 1	芳　賀　里　歩	学術情報リテラシー係事務補佐員／新規
23.10. 1	原　田　　浩	スーパーコンピューティング研究部門特任専門職員／新規
23.12. 1	片　桐　孝　洋	スーパーコンピューティング研究部門准教授／新規
23.12. 1	岩　崎　直　樹	専門職員／公立学校共済組合総務部情報システムセンターシステム管理班主査（総括）から
23.12. 1	井　上　直　子	スーパーコンピューティング研究部門技術補佐員／新規
24. 1. 1	笹　原　可　恵	学術情報リテラシー係／新規

（転出・退職等）

23. 4. 1	大　塚　浩　一	副事務長／生産技術研究所総務課人事・厚生チーム副課長へ
23. 4. 1	小　村　　昇	専門職員（会計担当）／JAXA 財務部財務サブマネージャ（併）宇宙科学研究所科学推進部へ
23. 4. 1	森　田　美由紀	学術情報リテラシー係長／農学系事務部総務課図書チーム専門員へ
23. 4. 1	椿　山　惣一郎	分散システムセキュリティ支援係長／放送大学学園教育研究支援部情報推進課ネットワーク係長へ
23. 4. 1	上　杉　将　史	研究支援係長／国立大学財務・経営センター総務部施設助成課管理係長へ
23. 4. 1	小野澤　さわ子	デジタル・ライブラリ係主任／工学系事務部情報図書課情報サービスチーム主任へ
23. 7. 1	増　田　　均	情報教育支援係長／日本学術振興会総務部企画情報課課長代理へ
23. 7. 1	岩　崎　直　樹	アプリケーション支援係長／公立学校共済組合総務部情報システムセンターシステム管理班主査（総括）へ
23.11.30	片　桐　孝　洋	スーパーコンピューティング研究部門特任准教授／辞職
23.12.31	笹　原　可　恵	学術情報リテラシー係事務補佐員／辞職
24. 3.31	横　手　靖　彦	スーパーコンピューティング研究部門特任教授／任期満了
24. 3.31	松　野　　裕	スーパーコンピューティング研究部門特任講師／任期満了
24. 3.31	清　田　陽　司	学術情報研究部門特任講師／任期満了
24. 3.31	根　岸　　茂	事務長／定年退職
24. 3.31	笹　原　可　恵	学術情報リテラシー係／任期満了
24. 3.31	芳　賀　里　歩	学術情報リテラシー係事務補佐員／任期満了
24. 3.31	井　上　直　子	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

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２３年４月１日～平成２５年３月３１日

平成２３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
新　井　富　雄	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
杉　原　正　顯	大学院情報理工学系研究科・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
喜連川　　優	生産技術研究所・教授	規則第3条第3号
林　　譲	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　瀧田　正人　総長補佐（宇宙線研究所・准教授）

予　算

収入・支出

平成23年度決算額

収入

区　　分	決算額（千円）
奨学寄附金収入	２，０００
受託研究費等収入	３，１７８，８９４
自　己　収　入	３６０，３０５
計	３，５４１，５９９

支出

区　　分	決算額（千円）
人　　件　　費	５６６，１９８
物　　件　　費	４，２１５，９３５
計	４，７８２，１３３

外部資金

1)科学研究費補助金(平成23年度)

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門	２	５，３３０
学術情報研究部門	５	２２，０２０
ネットワーク研究部門	３	６，５５２
スーパーコンピューティング研究部門	７	１０，５３０
計	１７	４４，４３２

2)受託研究(平成23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	４１
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	３	１３６，４９２
計	４	１３６，５３３

3)共同研究(平成23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	4	3，900
ネットワーク研究部門	3	525
スーパーコンピューティング研究部門	7	1，900
計	14	6，325

4)政府系委託費(平成23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	2	67，604
計	2	67，604

5)政府系補助金(科学研究費補助金を除く。)(平成23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	2，924，000
計	1	2，924，000

6)奨学寄附金受入(平成23年度)

内　　訳	受入件数	受入額（千円）
情報メディア教育研究部門		
学術情報研究部門	1	2，000
ネットワーク研究部門		
スーパーコンピューティング研究部門		
計	1	2，000

補助金等

平成２３年度　科学研究費助成事業採択状況

研究代表者	教授　中川　裕志
研究種目	基盤研究（A）
研究期間	平成 21～23 年度
研究課題	機械学習によるロングテール現象の解決方法に関する研究
研究費	14,560,000 円（平成 23 年度）

研究代表者	准教授　片桐　孝洋
研究種目	基盤研究（B）
研究期間	平成 21～23 年度
研究課題	メニーコア・超並列時代に向けた自動チューニング記述言語の方式開発
研究費	4,160,000 円（平成 23 年度）

研究代表者	准教授　杉本　雅則
研究種目	基盤研究（B）
研究期間	平成 22～24 年度
研究課題	ロボットと拡張現実手法を融合したテーブルトップ協調学習支援環境の構築と評価
研究費	5,200,000 円（平成 23 年度）

研究代表者	教授　金田　康正
研究種目	基盤研究（C）
研究期間	平成 21～23 年度
研究課題	科学技術計算に有用な高速 4 倍長演算に関する研究
研究費	1,300,000 円（平成 23 年度）

研究代表者	准教授　小川　剛史
研究種目	若手研究（B）
研究期間	平成 22～23 年度
研究課題	モバイルセンサネットワークにおけるプッシュ型放送を用いたデータ収集・管理方式
研究費	1,950,000 円（平成 23 年度）

研究代表者	助教　吉田　稔
研究種目	若手研究（B）

研究期間　平成 22～23 年度
研究課題　テキスト中の数値表現からの知識発見に関する研究
研究費　1,040,000 円（平成 23 年度）

研究代表者　准教授　品川　高廣
研究種目　若手研究（B）
研究期間　平成 22～23 年度
研究課題　仮想化技術による分散ストレージ管理基盤
研究費　1,820,000 円（平成 23 年度）

研究代表者　助教　妙中　雄三
研究種目　研究活動スタート支援
研究期間　平成 22～23 年度
研究課題　個別管理されたアクセスポイント群における ＷｉＦｉエリア制御に関する研究
研究費　1,482,000 円（平成 23 年度）

研究代表者　日本学術振興会特別研究員　松島　慎
研究種目　特別研究員奨励費
研究期間　平成 23～24 年度
研究課題　データストリーム環境におけるオンライン学習アルゴリズムの研究（受入研究者：中川裕志）
研究費　700,000 円（平成 23 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　1,690,000 円（平成 23 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　3,120,000 円（平成 23 年度）

研究代表者　助教　丸山一貴
研究種目　若手研究（B）【基金】

研究期間　平成 23～24 年度
研究課題　視覚的コンテキストによる検索結果の提示とナビゲーション
研究費　3,510,000 円（平成 23 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 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　1,300,000 円（平成 23 年度）

研究分担者　教授　中島　研吾
（研究代表者：電気通信大学・今村俊幸准教授）
研究種目　基盤研究（B）
研究期間　平成 23 年度
研究課題　マルチコア複合環境を指向した適応型自動チューニング技術（分担事項等：適応型自動チューニング機能＋前処理付反復法ソルバの開発）
研究費　650,000 円（平成 23 年度）

研究分担者　准教授　片桐　孝洋
（研究代表者：電気通信大学・今村俊幸准教授）
研究種目　基盤研究（B）
研究期間　平成 23 年度
研究課題　マルチコア複合環境を指向した適応型自動チューニング技術（分担事項等：固有地ソルバのチューニング・適応型チューニング方式の研究）
研究費　650,000 円（平成 23 年度）

研究分担者　特任准教授　伊藤　祥司
（研究代表者：理化学研究所・姫野龍太郎センター長）
研究種目　基盤研究（B）
研究期間　平成 23 年度
研究課題　マルチプラットフォームの大規模数値シミュレーションを支援するフレームワークの構築（分担事項等：数値計算アルゴリズム性能評価とデータ処理方式開発）
研究費　780,000 円（平成 23 年度）

研究分担者　准教授　杉本　雅則

（研究代表者：神戸大学・武田義明教授）
研究種目　基盤研究（B）
研究期間　平成 23 年度
研究課題　位置計測技術を応用してフル・ボディ・インタラクションを実現した環境問題学習ゲーム（分担事項等：システム開発・評価）
研究費　520,000 円（平成 23 年度）

平成２３年度　受託研究費受入状況

研究代表者　教授　石川　裕
相手機関名　（独）科学技術振興機構
研究期間　平成 23 年度
研究課題　並列・分散型組込みシステムのためのディペンダブルシングルシステムイメージ OS
研究費　85,662,200 円（平成 23 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 23 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　37,830,000 円（平成 23 年度）

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 23 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　13,000,000 円（平成 23 年度）

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 23 年度
研究課題　高セキュリティを実現する仮想マシンモニタ（ＢｉｔＶｉｓｏｒ）の実用化検証
研究費　41,600 円（平成 23 年度）

平成２３年度　共同研究費受入状況

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　（独）国立環境研究所地球環境研究センター
研究期間　平成 23 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 23 年度）

研究代表者　教授　中川　裕志
相手機関名　ソニー（株）システム技術研究所
研究期間　平成 23 年度
研究課題　自然言語処理による知識抽出技術の研究
研究費　2,000,000 円（平成 23 年度）

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　大成建設（株）技術センター
研究期間　平成 22～23 年度
研究課題　地下多相流体挙動解析の並列計算手法に関する技術開発
研究費　0 円（平成 23 年度）

研究代表者　教授　中島　研吾
相手機関名　AQALINC RESERCH LIMITED
研究期間　平成 22～23 年度
研究課題　Development of parallel iterative solvers for FEMWATER
研究費　0 円（平成 23 年度）

研究代表者　教授　石川　裕
相手機関名　（独）理化学研究所
研究期間　平成 22～23 年度
研究課題　次世代スーパーコンピュータにおける高度利用環境の構築
研究費　0 円（平成 23 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 22～23 年度
研究課題　高性能高可搬性ライブラリに関する研究
研究費　0 円（平成 23 年度）

研究代表者　教授　石川　裕
相手機関名　（株）富士通研究所
研究期間　平成 22～23 年度
研究課題　単一実行時環境に関する研究

研究費　0円（平成23年度）

研究代表者　准教授　片桐　孝洋
相手機関名　（株）アールフロー
研究期間　平成23～24年度
研究課題　粉体解析の高度並列化に関する研究
研究費　300,000円（平成23年度）

研究代表者　教授　中川　裕志
相手機関名　（株）日立製作所
研究期間　平成23年度
研究課題　テキストベース保守履歴情報処理手法の研究
研究費　1,500,000円（平成23年度）

研究代表者　助教　宮本　大輔
相手機関名　（独）情報通信研究機構
研究期間　平成23～24年度
研究課題　人間の弱点を守るサイバーセキュリティの研究
研究費　0円（平成23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23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23年度）

研究代表者　助教　妙中　雄三
相手機関名　（株）ＮＴＴＰＣコミュニケーションズ
研究期間　平成23～24年度
研究課題　高機能無線メッシュルータのプロトタイプ開発に関わる研究
研究費　525,000円（平成23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
研究費　0円（平成23年度）

研究代表者　准教授　杉本　雅則
相手機関名　（独）情報通信研究機構・ホンダエンジニアリング（株）

研究期間　　平成 22～23 年度
研究課題　　超音波を用いた位置認識システム
研究費　　400,000 円（平成 23 年度）

平成２３年度　政府系委託費受入状況

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 23 年度
研究課題　　シームレス高生産・高性能プログラミング環境
研究費　　37,288,500 円（平成 23 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 23 年度
研究課題　　ＨＰＣＩの詳細仕様に関する調査検討
研究費　　30,316,000 円（平成 23 年度）

平成２３年度　政府系補助金受入状況

研究分担者　　教授　石川　裕
相手機関名　　文部科学省
研究期間　　平成 23 年度
研究課題　　ｅサイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進
研究費　　2,924,000,000 円（平成 23 年度）

平成２３年度　奨学寄附金受入状況

研究分担者　　准教授　杉本　雅則
相手機関名　　公益財団法人ＮＳＫメカトロニクス技術高度化財団
研究期間　　平成 23 年度
研究課題　　メカトロニクス技術の研究助成のため
研究費　　2,000,000 円（平成 23 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

e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの
高度利用促進およびHPCI構築

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、部門を横断する形で 2010 年 10 月より活動を開始した組織であり、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 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)
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)
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)
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
清田陽司	特任講師 (兼務; 学術情報研究部門)
妙中雄三	助教 (兼務; ネットワーク研究部門)
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)
鴨志田良和	特任助教 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)

この PART では、学際情報科学研究体として今年度行なった以下の活動について報告する。各教員の研究成果等については、各研究部門の活動報告のページをご覧いただきたい。

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点: 情報基盤センターは、8 大学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拠点として活動している。今年度は 8 大学全体で 39 件の公募型研究課題を採択し、共同研究を実施した。

e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進: 大容量ストレージ、データ解析と可視化のためのクラスタ群などを整備し、若手・女性研究者を対象とした課題公募と資源提供を行った。

革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI): 「京」コンピュータを中心に大学のスーパーコンピュータなどを連携して利用するためのインフラである HPCI が、2012 年度秋より本格運用される予定である。そのために必要となる運用手順や支援システムなどに関する詳細仕様の検討を行った。

PKI: CSI UPKI プロジェクトが新たに開始した「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、情報基盤センターが運営する SSL-VPN 試行サービスにも協力した。さらに、認証フェデレーションの GakuNin、無線 LAN ローミングサービスの Eduroam などの実験にも参加した。

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点

伊藤 祥司　　研究支援係

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

本節では、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、平成 20 年度が単独型 7 件、平成 21 年度が単独型 70 件、ネットワーク型 3 件、平成 22 年度が単独型 4 件である。

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

本章のタイトルでもある「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」が正式名称であり、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。

2.3 拠点の目指す役割

本ネットワーク型組織は、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、神戸に開設される次世代スーパーコンピュータ拠点に対して、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、次世代スーパーコンピュータが想定していない超大規模データ処理系応用分野においては、スーパーコンピュータを利用した学際共同研究を推進するという大きな役割を果たす。

2.4 拠点形成の必要性

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

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

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

日本計算工学会、 日本応用数理学会、 情報処理学会、 電子情報通信学会、
人工知能学会、 言語処理学会

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 計算力学部門、 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、 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、 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、
分子科学会、 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

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、国内では唯一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 23 年度公募型共同研究の活動内容

平成 23 年度の活動内容は以下のとおり。

3.1 主なスケジュール

平成 22 年 11 月 2 日	平成 23 年度拠点共同研究の日程を掲載
平成 22 年 12 月 10 日	平成 23 年度拠点共同研究の募集要項を公開
平成 23 年 1 月 7 日	課題応募受付開始
平成 23 年 2 月 10 日	課題応募受付締切
平成 23 年 3 月 11 日	採否通知
平成 23 年 4 月 1 日	共同研究開始
平成 23 年 7 月 14, 15 日	第 3 回シンポジウム
平成 24 年 3 月 15 日	共同研究終了
平成 24 年 5 月 15 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 41 件であった。課題審査委員による審査を経て、下表の 39 課題(69 共同研究拠点)が採択された。

研究課題名の冒頭に* が付いた課題は平成 23 年度の負担金免除課題を表す。
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
高精度行列-行列積アルゴリズムにおける並列化手法の開発	片桐孝洋 (東京大学)	数	東大
炭化水素系燃料の超音速乱流燃焼の数値シミュレーション	滝田謙一 (東北大学)	数	東北大
GPGPU の地震ハザード予測シミュレーションへの適応性評価	青井　真(防災科学技術研究所)	数	東工大
マルチフィジックスおよび最適化問題に向けたハイパフォーマンス計算力学	樫山和男 (中央大学)	数	京大
超並列分子軌道法プログラム OpenFMO の性能評価と高性能化	南　一生 (理化学研究所)	数	九大
次世代ジオスペースシミュレーション拠点の構築	荻野竜樹 (名古屋大学)	数 ネ情	東大, 名大, 九大
生体分子の大規模分子動力学計算に対する時系列解析の新展開	戸田幹人 (奈良女子大学)	デ	九大
MHD ダイナモシミュレーションとその可視化	陰山　聡 (神戸大学)	数	東大
精度保証付き多倍長並列演算環境の構築と計算機援用解析への展開	山本野人 (電気通信大学)	数	九大
宇宙物理学を対象とする GPGPU 磁気流体シミュレーションのさらなる開拓と普及	村主崇行 (京都大学)	数	東工大
都市圏レベルの交通・都市システム評価モデル（活動・交通行動マイクロシミュレーション及び情報可視化）の開発	森川高行 (名古屋大学)	数	名大
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, 九大
CIP-基底関数法に基づく偏微分方程式汎用数値解法の高度化	内海隆行(山口東京理科大学)	数	北大
高並列海洋モデルの開発を通した海洋循環のプロセス研究	羽角博康 (東京大学)	数	東大
移動境界問題の大規模流体シミュレーションと動的負荷分散の評価	高橋公也 (九州工業大学)	数	九大
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
量子 i.i.d.状態のシミュレーション	坂下達哉 (電気通信大学)	数	東大
環オホーツク圏を中心とした大気・海洋シミュレーション	中村知裕 (北海道大学)	数	北大
超高エネルギーガンマ線連星系における相互作用と高エネルギー放射	岡崎敦男 (北海学園大学)	数	北大

粗視化分子動力学法による高分子系シミュレーション基盤の計算機科学的高度化検討	萩田克美 (防衛大学校)	数情	北大，東大，名大，阪大
電子情報の大学間相互保持に向けた遠隔バックアップ技術の研究	西村浩二 (広島大学)	情	九大
次世代ペタスケール CFD のアルゴリズム研究	中橋和博 (東北大学)	数情	東北大，名大，阪大
原子衝突による材料科学のための大規模シミュレーション基盤	青木学聡 (京都大学)	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
* マルチパラメータサーベイ型シミュレーションを支える システム化技術に関する研究	奥田洋司 (東京大学)	数デ情	北大，東北大，東大，東工大，名大，京大，阪大，九大
計測融合オペレーション実現のための大規模計算機空気冷却風速場の実時間解析	松岡　浩 (理化学研究所)	数デ情	東北大，阪大，九大
雲マイクロ物理解明のための計算科学的基盤構築	後藤俊幸(名古屋工業大学)	数	名大
並列 GPU を用いた大規模地震波伝播シミュレーション	竹中博士 (九州大学)	数	東工大
* 学術グリッド基盤の構築・運用技術に関する研究	合田憲人(国立情報学研究所)	情	北大，東北大，東大，東工大，名大，京大，阪大，九大
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
災害影響評価のための大規模マルチフィジックス・シミュレータの構築	田上大助 (九州大学)	数	九大
市街地における建築・都市環境の総合数値予測	坂本雄三 (東京大学)	数	東大
3次元有限要素法による光導波路解析の高速化と最適設計に関する検討	辻　寧英 (室蘭工業大学)	数	北大
陰的時間積分法による核融合プラズマの 非線形 MHD シミュレーションの高速化に関する研究	佐藤雅彦(核融合科学研究所)	数	東大
グリッドデータファームによる大規模分散ストレージの構築とサイエンスクラウド技術の研究	村田健史(情報通信研究機構)	数デネ情	東北大，名大阪大，九大
超並列宇宙プラズマ粒子シミュレーションの研究	大村善治 (京都大学)	数	京大
毛細血管流までを再現する冠循環マルチスケールシミュレーション	久田俊明 (東京大学)	数	東大
負荷バランスや通信性能が予測困難な状況を想定した集団通信アルゴリズムの動的選択技術に関する研究	黒川原佳 (理化学研究所)	情	九大
核融合・基礎プラズマの超並列シミュレーションに関する研究	岸本泰明 (京都大学)	数	京大

3.3 拠点シンポジウム

平成 23 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 3 回シンポジウム
開催日時: 平成 23 年 7 月 14 日(木), 15 日(金)
開催場所: THE GRAND HALL（品川）
主な内容: 平成 22 年度採択課題の最終審査（口頭発表）
平成 23 年度採択課題の研究紹介（ポスター発表）
参加者数: 220 名（大学 134 名、独法等研究機関 27 名、企業他 59 名）
案内 URL: http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/sympo/3nd/

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。公募課題の審議については課題審査委員会が実施する。

第 5 回 平成 23 年 7 月 15 日
主な議題:
1. 平成 22 年度予算決算について
2. 平成 23 年度予算について
3. 平成 24 年度の課題審査委員会体制について
4. 平成 24 年度の拠点運営委員会体制について
5. 実施要領の検討について
6. HPCI と拠点との課題の棲み分けについて
7. 平成 24 年度の拠点共同研究の方向性探索と募集要項案についての意見交換
8. 拠点の自己点検評価と外部評価について

第 6 回 平成 23 年 11 月 11 日
主な議題:
1. HPCI の現況について
2. 平成 24 年度の運営委員会体制について
3. 平成 24 年度の課題審査委員会体制について
4. 規則改正と共同研究課題実施要領について
5. 平成 24 年度の課題募集要項について
6. 拠点の自己点検評価と外部評価について

第 7 回 平成 24 年 3 月 7 日
主な議題:
1. 平成 24 年度の課題審査委員会体制について
2. 平成 24 年度公募型共同研究の採択について
3. 平成 24 年度公募型共同研究成果報告書について

4. 課題代表者の所属について
5. 共同研究課題の実施要領の改正について
6. HPCI の現況について
7. 拠点の自己点検評価と外部評価について
8. 平成 24 年度実施計画について
9. 第 4 回拠点シンポジウム

4.2 課題審査委員会

第 4 回 平成 23 年 7 月 14 日
主な議題:
1. 平成 22 年度実施課題の最終評価について
2. 平成 24 年度の課題審査委員会体制
3. 実施要領の検討について
4. HPCI と拠点との課題の棲み分け
5. 平成 24 年度の拠点共同研究の方向性探索と募集要項案についての意見交換

第 5 回 平成 24 年 3 月 7 日
主な議題:
1. 平成 24 年度の課題審査委員会体制について
2. 平成 24 年度公募型共同研究課題審査について
3. 共同研究課題審査委員会規則について
4. 共同研究課題実施要領について
5. 採択課題代表者の年間の報告について

その他にも、随時、メールにて下記作業も行った。主に、課題審査委員長と中核拠点担当者にて検討・調整の後、課題審査委員会 ML にて協議した。
1) 平成 24 年度共同研究募集要項、課題申込書の改訂
2) 平成 24 年度共同研究 応募課題審査要領の改訂
3) 中間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) 最終審査の報告書フォーマット作成、最終審査評価シート作成、審査要領作成

4.3 拠点活動に関するその他の取り組み

1) 東日本大震災後の対応
ネットワーク型拠点として 8 つの構成拠点から形成されているため、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災では、拠点間で連携し計算機リソースを特別配分していただくよう、中核拠点としての取りまとめも行った。

2) 拠点 Web ページ[http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/]の整備
前年度に構築しているが、共同研究の案内に留まらず、各拠点からの情報発信や研究成果紹介のページを目指して継続的に更新している。特に、各構成拠点における研究内容紹介のページを充実させ、構成拠点の個々の研究者のアクティビティもアピールしている。また、英語版のページも用意した。拠点関係のファイル提出(アカウント認証によりログインする)の頻度から、Web サーバのセキュリティ向上の主旨で、Web サーバを外部業者のレンタルサーバへ移行し、SSL サーバとしてサーバ証明書も取得した。

3)英文パンフレットと英語ポスター作成
4 ページ(表紙含む)構成の英文パンフレットと SC11 で展示するポスターA1 サイズ2枚を作

成した。その際に、当拠点の活動をイメージするイラスト等も作成し、Web ページにも掲載している。

e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進および HPCI 構築

實本　英之　鴨志田 良和　研究支援係　システム管理係　システム運用係

1　プロジェクト概要

e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進プロジェクトはわが国の科学技術をより強化し、研究分野や国・地域を越えた連携を推進するためのパラダイムシフトを可能とする基盤設備の充実を図るプロジェクトである。主として、気象シミュレーションやゲノム解析等の研究成果創出、HPCI 構築事業への寄与、そして基盤設備の充実と資源優先利用枠の創設から若手・女性研究者の研究環境改善を行った。なお、e-サイエンス事業で利用した資源環境は、引き続き HPCI 構築事業へと利用される予定である。一方 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。この研究開発基盤は、次世代スーパーコンピュータ「京」を中核とし、「京」と国内の計算資源を連携して利用するためのもので、計算資源を所有する機関やユーザコミュニティ機関等からなるコンソーシアムの主導によって構築され、「京」の共用が始まる 2012 年 11 月からの運用を予定している。本センターも計算資源提供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いる。

2　e-サイエンス事業

2.1　資源環境

- 東拠点・ストレージシステム

  HPCI ストレージ共有の中核となるシステム。
  HDD 部分容量: 6.3PB + 5.5PB
  テープ部分容量: 20PB

- 東拠点・データ解析・可視化システム

  「京」と連携する小規模な計算処理システム、および処理結果の出力装置
  ノード: Fujitsu PRIMERGY RX200S6 87 ノード
  CPU: Intel X5680(3.33GHz) × 2 × 87 (1044core)
  Memory: 96GB × 87 (8.35TB)　**HDD**: 600GB × 87
  Network: InfiniBand 4xQDR (40Gbps), 1000Base-T (1Gbps)

- 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

  「京」と連携する小規模な計算処理システム、GPGPU 目的の nVidia Tesla を備える
  ノード: HP ProLiant SL390s G7 2U 35 ノード
  CPU: Intel X5670(2.93GHz) × 2 × 35 (560core)
  Memory: 48GB × 35 (1.7TB)　**HDD**: 1TB × 35
  GPU: Tesla M2050 × 32　**Network**: InfiniBand 4xQDR (40Gbps), 1000Base-T (1Gbps)

- 西拠点・ストレージシステム

  HPCI ストレージ共有の中核となるシステム。
  HDD 部分容量: 10PB + 10PB
  テープ部分容量: 60PB

- 西拠点・データ解析システム

  「京」と連携する小規模な計算処理システム
  ノード: JCS 2USBLH6 22 台 88 ノード (4 ノード/台)
  CPU: Intel X5670(2.93GHz) × 2 × 88 (1056core)
  Memory: 96GB × 88 (8.45TB)　**HDD**: 292GB × 20 + 146GB × 68
  Network: InfiniBand 4xQDR (40Gbps), 1000Base-T (1Gbps)

- 西拠点・可視化システム 3D ディスプレイや音響機器等の出力装置

2.2 若手・女性研究者利用／研究支援

前述の目的の元、二回に渡り若手・女性研究者を対象として課題を公募し、資源提供を行った。第一回の利用に関しては、理化学研究所計算科学研究機構にて成果発表会を行った。第二回に関しては次年度に同様の成果発表会を行う予定である。採択課題は、表 1 に示した。

- Winter School:第一回・若手女性研究者向け並列コンピュータ＆ストレージ利用発表会
  2 月 27 日〜2 月 28 日
  http://pslogin.cspp.cc.u-tokyo.ac.jp/escience/publicinvitation/42.html

3 HPCI 構築基本仕様

昨年度は、HPCI 準備段階コンソーシアムでの検討を踏まえ、HPCI の整備に必要な機能を明確にし、HPCI の基礎的な仕様をまとめた。本仕様は最終的に全てのインフラが継続的に運用できることも意識したものになっており、運用手順やドキュメントの整備などを含んだものになっている。本年度は、昨年検討された仕様をさらに詳細に検討し、構築・運用マニュアルを整備を行った。また各資源提供機関において、認証基盤の構築（Phase1 構築）を行った。

各種検討・構築作業は 1) 認証基盤、2) 利用支援、3) ストレージ共有、4) ネットワーク基盤、5) 先端ソフトウェア運用基盤の 5 つのサブワーキンググループに分かれている。このうち、本センターでは、とくにユーザ管理支援に関する詳細仕様策定について、加えてプロジェクト全体の総合的推進を行った。作業に際し、共同事業参画機関である国立情報学研究所と共に、協力機関として、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、筑波大学、および「京」運用機関である理化学研究所計算科学研究機構と連携した。

3.1 サブワーキンググループにおける活動

ユーザ管理支援に関する詳細仕様策定として、昨年度おこなった、計算資源群の利用認可に必要となる事務手続きフロー、アカウンティング、障害対応などのユーザ利用管理支援に必要となるソフトウェア整備および運用に関しての調査検討を元に、ヘルプデスクの構築・運用手順の検討およびマニュアル整備を行った。また、ストレージ共有サブ WG、先端ソフトウェア運用基盤サブ WG においても、詳細仕様検討、マニュアル作成の補助を行った。

表 1: 若手・女性研究者利用／研究支援　採択課題

第一回

遠里 由佳子	実数型遺伝的アルゴリズムによる大規模代謝モデルのパラメータ分析と最適化
林　雅江	メニーコアクラスタ環境に適した領域分割手法の開発
伊賀　晋一	気象数値シミュレーションモデルにおける grid refinement 手法の開発
大野　善之	大規模高性能計算における many small I/O の高効率化の研究
白川　知之	5d 遷移金属酸化物の電子状態計算
中谷　洋一郎	大規模エピゲノム解析と複数ゲノム配列の比較に基づく進化解析
小林　千草	カルシウムポンプにおけるイオン輸送機構の解析
山本　啓二	エクサスケールに向けた並列ファイルシステムの研究
Andrei Pisliakov	Molecular Dynamics Simulations of Nitric Oxide Reductases
中村　朋健	XcalableMP-IO の性能評価，および，XcalableMP でサポートするファイルの選定

第二回

城地　保昌	SACLA と大型計算機施設の融合利用による生体超分子構造解析に向けた実証実験
山地　一代	大気物質輸送モデルによる東アジア地域大気汚染のマルチスケールシミュレーション
清木　達也	降水によるエアロゾル除去過程のモデリング
安井　隆	単一実行時環境に必要なファイル I ／ O 系ミドルウェアの開発
緑川　博子	グローバルビューを持つ並列 API と並列処理実行システムの設計と構築
萩田　克美	超大規模系における高分子緩和モードの時間相関解析のＨＰＣ効率化に関する検討
伊賀　晋一	気象数値シミュレーションモデルにおける grid refinement 手法の開発２
吉永　一美	高スケーラブルな MPI 通信基盤の実現に関する研究
宮本　佳明	大気―海洋境界における物理過程のモデル化と大気大循環モデルへの適用
池田　恒平	高解像度化学輸送モデルを用いた春季東アジアにおける越境大気汚染の定量化
清水　森人	並列計算機による医療用リニアック高エネルギー X 線の高精度線量計算
吉田　龍二	最適な力学コア開発を目指した正 20 面体格子気候モデルのモデル間比較
品川　高廣	次世代スパコン向けの軽量な仮想計算環境の実現に向けた研究開発

3.2　Phase1 認証基盤環境構築

利用支援・認証基盤サブ WG が中心となりの Phase1 環境構築を行った。このために複数回の会議を行った。これの達成に基づき、HPCI の暫定運用フローを実現する Phase2 暫定運用環境構築を 3 月末より開始した。

- 会議日程
  2011 年 5 月 17 日、6 月 16 日、7 月 21 日、8 月 22 日、10 月 21 日
  2012 年 3 月 1 日

3.3　プロジェクトの総合的推進

協力機関と共にサブ WG をもうけ、昨年度作成した基本仕様を元に、マニュアルの整備を行った。この構築・運用マニュアルの検討、および告知のためにそれぞれ二回の合宿と中間報告・意見交換会を行った。

- 合宿日程
  2011 年 8 月 4〜5 日、2012 年 1 月 12〜13 日

- 会議日程
  2011 年 4 月 4 日、4 月 11 日、10 月 20 日
- HPCI システム基盤詳細設計中間報告＆意見交換会
  2011 年 10 月 21 日
  http://hpci.cc.u-tokyo.ac.jp/pub/hpci-workshop/1st.html
- 第二回 HPCI システム基盤詳細設計中間報告＆意見交換会
  2012 年 2 月 17 日
  http://hpci.cc.u-tokyo.ac.jp/pub/hpci-workshop/2nd.html

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。2012 年 3 月末で参加部局は 11 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 28、運用開始からの審査枚数は 575 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さらに、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。さらに、学内の機関が LIGO プロジェクトに参加して国際連携を行うときの基盤を提供している。

1　運用報告

1.1　UT-CA

http://www.pki.itc.u-tokyo.ac.jp/UT_CA-top.html

1.2　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。2012 年 3 月末で参加部局は 11 部局を数え、サーバ証明書を発行したドメインは 28、累計発行枚数は 575 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。2011 年度は新たに 3 部局が参加している。

2009 年末より、EV 証明書の発行権利を購入し、学内にサービスすることとなっていたが、そのサービスを終了した。

2011 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)	63
生産技術研究所	37
本部事務局	35
史料編纂所	29
情報基盤センター	24
理学系研究科	23
情報学環	11
数理科学研究科	9
医学部附属病院	6
空間情報科学研究センター	6
総合文化研究科	6
新領域創成科学研究科	4
開始時からの累計	575
アクティブな証明書	253

1.3 認証フェデレーション

Shibboleth を利用した SSO への対応として、国立情報学研究所が主導する GakuNin にテスト参加し、Shibboleth のテスト運用を積極的に行った。

さらに、テスト環境を使って、国際重力波観測プロジェクトである LIGO の東大側で必要な ID の発行を支援した。

さらに、日本のフェデレーションにおけるオンライントラストの構築の一部を担った。具体的には、米国 NiH の運用するデータベースを提供する協定のための交渉において、GakuNin のセキュリティや運用ポリシーの見直しに意見を述べた。

1.4 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 14、部局の数は 4 つを数える。出張先での Eduroam の利用が主たる目的だと考えられる。学内での Eduroam の電波は livedoor-eduroam のものを利用し、現在山上会館で利用可能である。

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、それが実用的なレベルで解決されれば十分利用可能であると考えている。

1.5 SSL-VPN 試行サービス

図書館のもつ電子ジャーナルを ECCS の運用管理する ID 体系でサービスしている。理工系にとどまらず、広い分野でアクセスがなされている。2008 年度からはサービス可能な電子ジャーナルの数が大幅に増え、主だったところがサービス対象になり、利用が増大している。運用に対して、PKI プロジェクトは主にセキュリティの観点から関与している。ID を提供する参加 LDAP として、新たに新領域が加わった。

その他

東日本大震災後の消費電力削減のための試み

東日本大震災後の消費電力削減のための試み

TSCP 推進委員会　スーパーコンピューティング部門

情報基盤センターの運用するスーパーコンピュータシステムは空調も含めて 2011 年 3 月時点で約 2MW 弱の電力を消費しており、センター全体の電力消費量の 90%以上を占めている。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災後、全学電力危機対策会議における決定に従い、消費電力削減のための様々な試みを実施した。

基本的には 1,000 人を超える利用者を有する HA8000 クラスタシステム（T2K）をできるだけフル稼働させ、リプレースを 2011 年 10 月に控え、電力効率の比較的低い SR11000 の稼働ノード数を減らすことで対応した。計算資源不足分については類似アーキテクチャのシステムを運用している北海道大学、九州大学の協力を得て、一部の利用者に対しては当情報基盤センターが負担金を全額負担して、これら 2 大学のシステムを利用していただいた。具体的には図 1 に示すようなスケジュールで運転を実施した。

- 3 月 12 日～25 日の間は全システム運用中止
- 3 月 25 日から運転再開、HA8000 は全系、SR11000 は 128 ノードのうち 24 ノード縮退運転
- 6 月 2 日から SR11000 も全 128 ノード運転再開
- 7 月 12 日から再び SR11000 の運用ノード数を 64 ノードに縮退運転
- 8 月 8 日～22 日の 2 週間の間、全システム運用中止（通常は 1 週間）
- 10 月 3 日より SR16000 運用開始
- 10 月 14 日に SR11000 運用停止、撤去

HA8000 の消費電力は図 2 に示すように 2010 年度と 2011 年度で大きな差は無いが、SR11000 に関しては、図 3 に示すように、縮退運転による消費電力削減の効果が顕著であり、更に SR16000 の導入によって更に消費電力が低下している。SR11000 と SR16000 を比較すると、ピーク演算性能は 18.8 TFLOPS から 54.9 TFLOPS へ約 3 倍弱増加しているが、空調も含めた消費電力量は 35% 程度に低下している。消費電力当りの演算能力に換算すると 8.34 倍と非常に効率が高くなっている。

結果的に図 4 に示すように、10 月以降は消費電力が前年度同時期と比較して大幅に低下している。具体的な削減量をまとめると以下のようになる。

- 2011 年 5 月末（SR11000 縮退運転（24 ノード））：前年比 25 %削減
- 2011 年 7 月末（SR11000 縮退運転（64 ノード））：前年比 20 %削減
- 2011 年 10 月末（SR16000 に完全リプレース後）：前年比 30 %削減

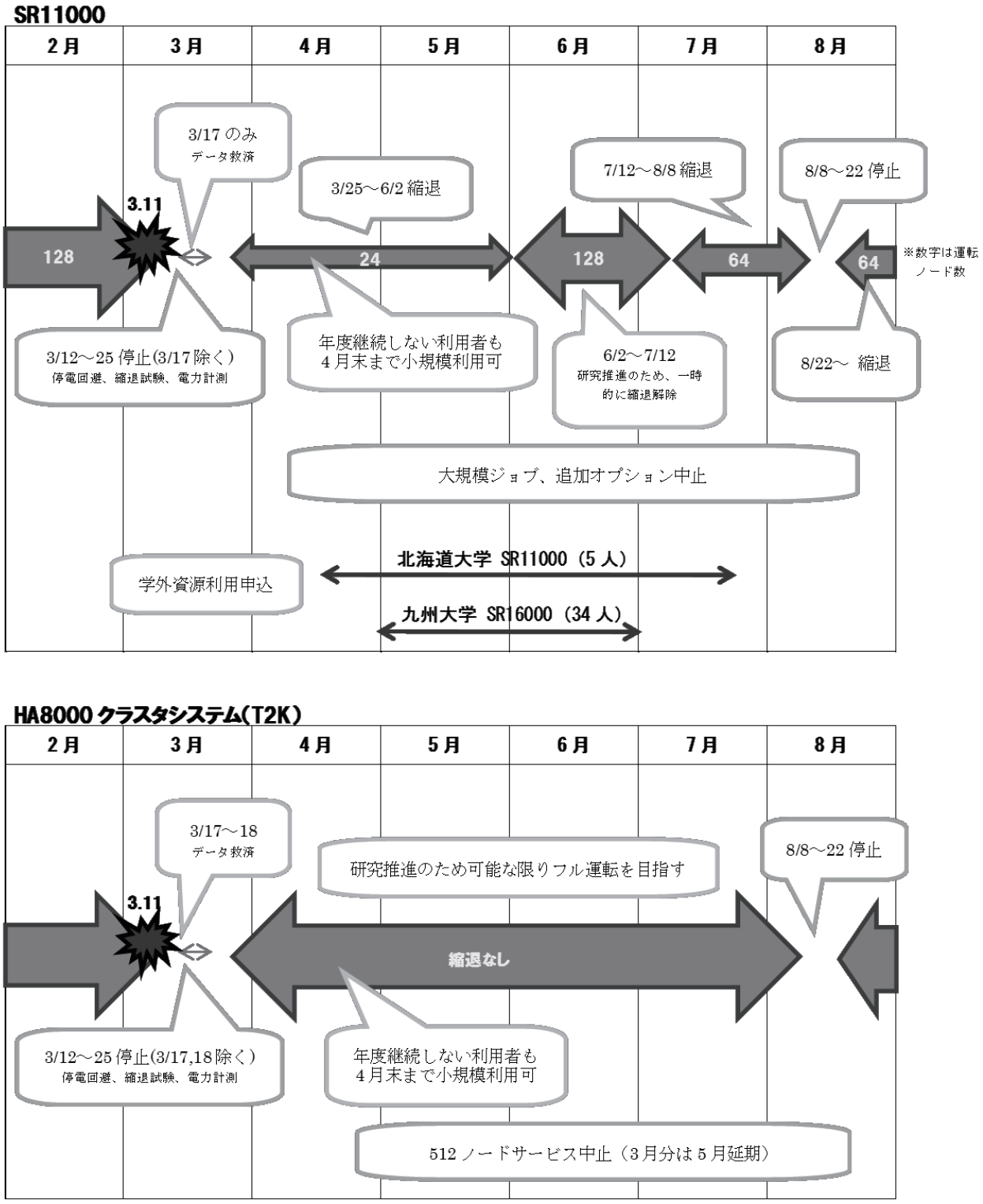


図 1　東日本大震災後のスーパーコンピュータシステム運転状況

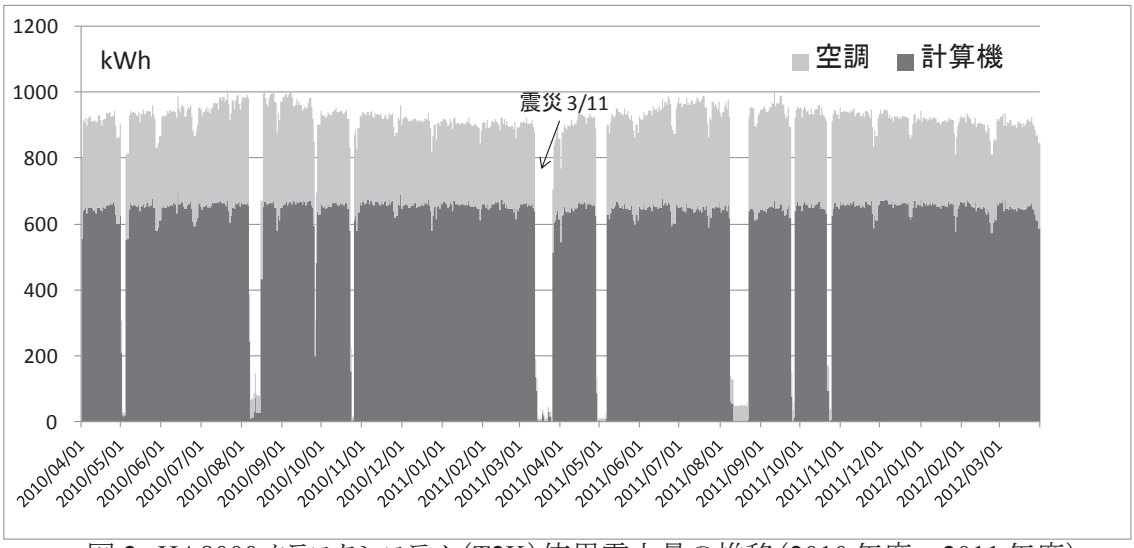


図 2　HA8000 クラスタシステム（T2K）使用電力量の推移（2010 年度～2011 年度）

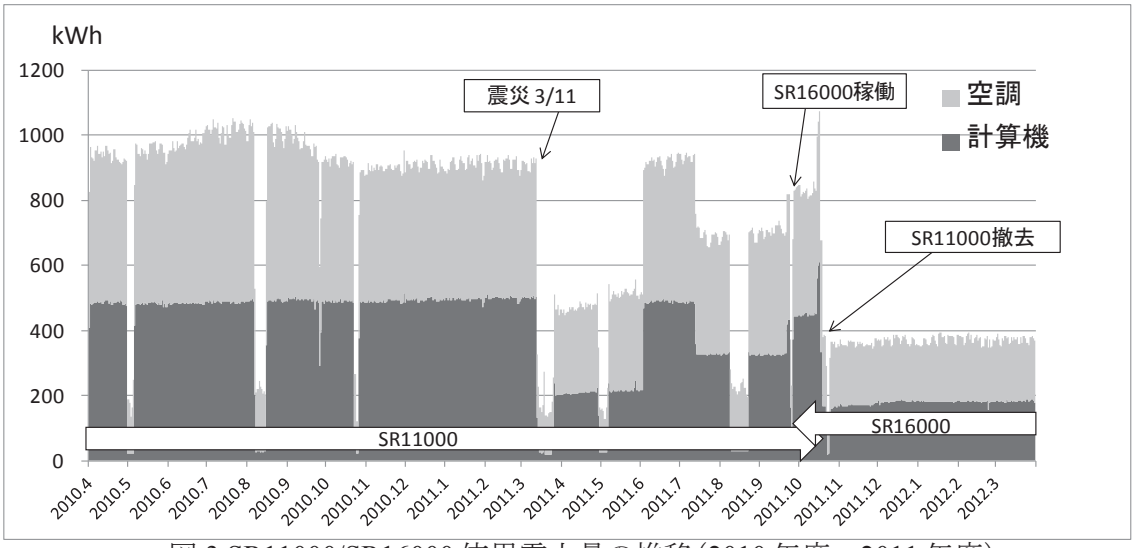


図 3 SR11000/SR16000 使用電力量の推移（2010 年度～2011 年度）

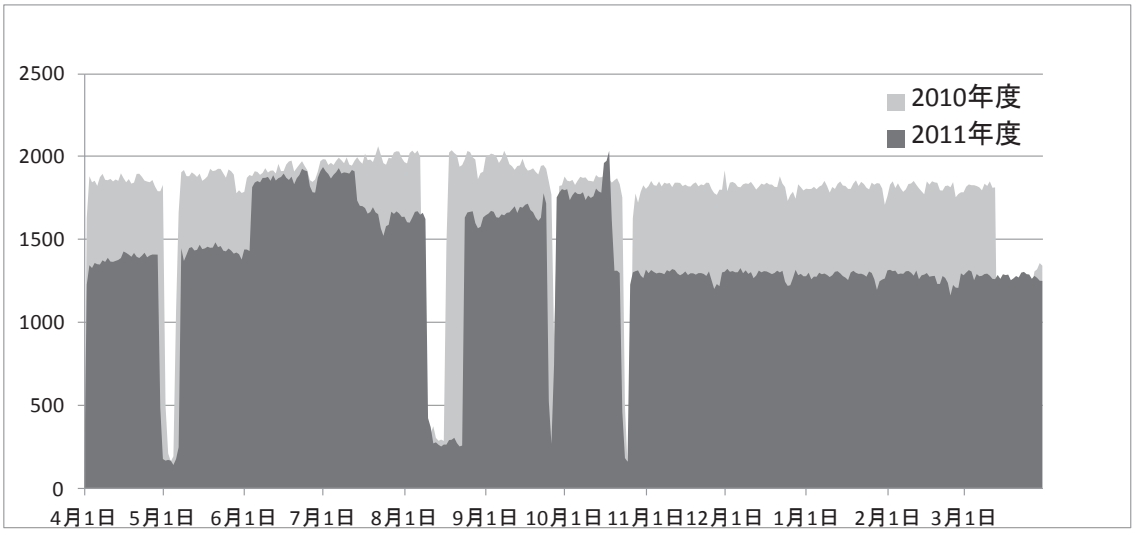


図 4　2010 年度～2011 年度電力量比較

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
教育支援システムの開発と運用
—カリキュラム分析 他—

丸山 一貴
Web 検索結果ページの改善と教育用計算機システムの設計

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は、情報メディア教育部門の研究部門であり、今年度は、教授 1 名、准教授 2 名、助教 2 名が在籍して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: 情報メディア教育部門が業務として運用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、教育用計算機システム ECCS の更新にあたり、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、省電力、災害時のサービス継続性の向上、システム管理運用コストの抑制などのゴールを設定し、それを達成するための設計を行った。そして、その学術的な成果を発表するとともに、報道機関向けの説明も行った。

情報システムの構成や開発に関連した研究: 情報メディア教育部門が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。今年度は以下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透過的ネットワークブート方式 (品川)
- 仮想マシンモニタによる透過的 VPN 障害回復方式 (品川)
- 仮想マシンモニタによるバックグラウンド暗号化 (品川)
- 仮想マシンモニタによるストレージアクセスの高速化 (品川)

情報メディアの使い勝手の向上と教育支援に関連した研究: 情報メディア教育部門では、約 4 万人のエンドユーザを対象に情報基盤を提供している。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。

- カリキュラム分析 (関谷)
- プログラミング能力の分析 (関谷)
- Web 検索結果ページの改善 (丸山)

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

- 入玉指向の将棋プログラムの作成 (田中)

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] Yoshiaki Yamaguchi, Kazunori Yamaguchi, Tetsuro Tanaka, Tomoyuki Kaneko: Infinite-Connect-Four is Solved: Drawn, Proceedings of Advances in Computer Games 13, Tilburg, Nov. 2011.

[査読付 2] 金子知適, 田中哲朗: GPS 将棋とテキストプロトコルによる大規模将棋ソフトウェアの組み立て, コンピュータソフトウェア, Vol. 29, No. 1, pp. 75-81, 2012 年 2 月.

[査読付 3] 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦: 仮想マシンモニタによる透過的ネットワークブート方式, 情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム, 第 4 巻, 第 4 号, pp228-245, 2011 年 10 月.

[査読付 4] Yohei Matsuhashi, Takahiro Shinagawa, Yoshiaki Ishii, Nobuyuki Hirooka, Kazuhiko Kato: Transparent VPN Failure Recovery with Virtualization, Future Generation Computer Systems, Elsevier, Vol. 28, No. 1, pp. 78-84, Jan. 2012.

[査読付 5] Yoshihiro Oyama, Tran Giang, Yosuke Chubachi, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: Detecting Malware Signatures in a Thin Hypervisor, In Proceedings of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2012), pp. 1807-1824, Mar 2012.

[査読付 6] Yushi Omote, Yosuke Chubachi, Takahiro Shinagawa, Tomohiro Kitamura, Hideki Eiraku, Katsuya Matsubara: Hypervisor-based Background Encryption, In Proceedings of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2012), pp. 1829-1836, Mar. 2012.

[査読付 7] 関谷 貴之, 山口 和紀: カリキュラム標準 J07-CS と CC2001CS の比較に関する報告, 情報教育シンポジウム SSS2011, pp.3–10, 2011 年.

[査読付 8] Yamamoto, M., Sekiya, T., and Yamaguchi, K.: Relationship between Programming Concepts Underlying Programming Skills, ITHET 2011, Proceedings of 10th International Conference on Information Technology Based Higer Education and Training, PS7-1, Kusadasi, Turkey, 2011.

[査読付 9] Kazutaka Maruyama, Masato Igeta, Minoru Terada: Search Engine Result Page with Visual Context and Already Rendered Snippets, In Proceedings of the 7th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST2011), pp.340–345, 2011.

[査読付 10] 大井 彩香, 寺田 実, 丸山 一貴: Web ページの分類と閲覧時間を利用したコンテンツフィルタリング, 情報処理学会・電子情報通信学会 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011) 講演論文集 (第 4 分冊), RO-007, pp.137–140, 2011.

[査読付 11] 太田 侑介, 寺田 実, 丸山 一貴: Twitter におけるリツイート経路の重ね合わせによるユーザ発見支援, 情報処理学会・電子情報通信学会 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011) 講演論文集 (第 4 分冊), RM-008, pp.73–76, 2011.

その他の発表論文

[発表 1] 柴山悦哉: ソフトウエアの時間, 情報処理, Vol. 52, No. 6, pp. 650–652, 2011 年.

[発表 2] 合田憲人, 東田学, 漆谷重雄, 天野浩文, 坂根栄作, 小林克志, 青木道宏, 柴山悦哉, 石川裕: 広域分散環境を提供する HPCI ネットワーク・認証・ユーザ管理支援基盤の設計, 情報処理学会研究報告, 2011-HPC-130(69), pp. 1–8, 2011 年 7 月.

[発表 3] 柴山悦哉: 高等教育機関における OSS の活用と今後の展望, 大学 ICT 推進協議会年次大会, 2011 年 12 月.

[発表 4] 柴山悦哉: ネクスト情報「学」爆発, パネルディスカッション, 国際シンポジウム「情報爆発を越えて」, 2012 年 1 月.

[発表 5] 久米出, 柴山悦哉: オブジェクト指向フレームワークの内部挙動を抽象化する実行モデル, 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, 2012 年 1 月.

[発表 6] 久米出, 柴山悦哉: トレース解析手法を利用した逸脱コードの特定, 情報処理学会研究報告, 2012-SE-175(13), pp. 1-10, 2012 年 3 月.

[発表 7] 柴山悦哉: ソフトウェアセキュリティ研究チームの活動報告, 情報セキュリティ研究センター最終報告会, 2012 年 3 月.

[発表 8] 山口慶晃, 山口和紀, 田中哲朗, 金子知適: 箱積みが最善引き分けの証明の別解, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2011-GI-26, No.12, pp. 1-8, 松江, 2011 年 7 月.

[発表 9] 滝瀬竜司, 田中哲朗: 入玉指向の将棋プログラムの作成, 第 16 回ゲーム・プログラミングワークショップ 2011, pp. 25-31, 箱根, 2011 年 11 月.

[発表 10] 田中哲朗: 完全プレイのためのデータベースのサイズの削減, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2011-GI-27, No.12, pp. 1-6, 東京, 2012 年 3 月.

[発表 11] 大久保 諒、品川 高廣，加藤 和彦: VMM による SSD のランダム書き込み性能の改善, 第 117 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 2011-OS-117 巻，第 12 号，情報処理学会，2011 年 4 月.

[発表 12] 丸山 一貴, 関谷 貴之: 学外システム連携による教育用計算機システムプリントサービス, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-IOT-16, No.9, 2012.

[発表 13] 猪俣 順平, 寺田 実, 丸山 一貴: PAD を利用したパズル型プログラミング学習システム, 情報処理学会・電子情報通信学会 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011) 講演論文集 (第 3 分冊), K-005, pp.717–720, 2011.

[発表 14] 前田 光教, 丸山 一貴: 学内組織向け DNS ホスティングサービスの運用, 大学 ICT 推進協議会 2011 年度年次大会論文集, pp.307–310, 2011.

[発表 15] 丸山 一貴, 関谷 貴之: 学外システム連携による教育用計算機システムプリントサービス, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-IOT-16, No.9, 2012.

公開ソフトウエア

[公開 1] 田中哲朗, 金子知適, 森脇大悟, 副田俊介, 林芳樹, 竹内聖悟: osl-for-csa (バージョン 0.8), コンピュータ将棋協会コンピュータ将棋選手権使用可能ライブラリ, 2012 年 1 月.

[公開 2] 田中哲朗, 金子知適, 森脇大悟, 副田俊介, 林芳樹, 竹内聖悟: gpsshogi-for-csa (バージョン 0.8), コンピュータ将棋協会コンピュータ将棋選手権使用可能ライブラリ, 2012 年 1 月.

[公開 3] BitVisor 1.2, http://www.bitvisor.org/, 2011 年 10 月

特許申請／取得

[特許 1] 品川 高廣, 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 北村 朋宏, 榮樂 英樹, 松原 克弥: 情報処理装置及びプログラム, 特願 2012-066264, 国立大学法人東京大学・株式会社イーゲル, 2012 年 3 月.

特記事項

[特記 1] GPS 将棋: 第 21 回世界コンピュータ将棋選手権 6 位, コンピュータ将棋協会, 2011 年 5 月.

[特記 2] GPS 将棋: Computer Olympiad 2011 将棋部門優勝, ICGA, 2011 年 11 月.

[特記 3] 田中哲朗: ゲーム情報学: 0. 編集にあたって, 情報処理学会誌, Vol. 53, No. 2, pp. 100-101, 2012 年 2 月.

報道関連

[報道 1] 週刊新潮 2011 年 6 月 2 日号: サイエンス宅配便.

[報道 2] フジテレビ 2011 年 6 月 14 日「たけしのコマ大数学科」.

[報道 3] クラウド Watch: 純国産・オープンソースの仮想マシンモニター「BitVisor」最新版公開, 2011 年 11 月 8 日.

[報道 4] マイナビニュース,「自動化」がカギ! クラウド時代のクライアント管理術 (3) 東京大学が Mac & Windows 混在 PC 1,321 台を Kaseya で管理: http://news.mynavi.jp/series/Kaseya/003/index.html, 2012.

[報道 5] 日経コンピュータ 2012 年 3 月 15 日号, ホットニュース: 「NEC が東大の教育用システムを構築、受注額 7 億円超」のタイトルで ECCS2012 での新しい取り組みを紹介, pp.12, 2012.

[報道 6] PC Online, 東京大学情報基盤センター、学生・教職員用の新情報システムを披露: http://pc.nikkeibp.co.jp/article/news/20120323/1044562/, 2012.

[報道 7] ITmedia エンタープライズ, 1321 台の iMac をブートキャンプ、東大が構築した新「教育用計算機システム」: http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1203/23/news073.html, 2012.

[報道 8] マイナビニュース, 東大情報基盤センターが教育用計算機システム刷新、NEC/EMC 製品を採用: http://news.mynavi.jp/news/2012/03/26/005/, 2012.

[報道 9] ZDNet Japan, 東京大学情報基盤センター、教育用システム稼働--iMac1300 台導入: http://japan.zdnet.com/os/case-study/35015464/, 2012.

[報道 10] RBB TODAY, 東京大学情報基盤センター、教育用計算機システムを刷新……NEC と EMC がシステム構築: http://www.rbbtoday.com/article/2012/03/23/87580.html, 2012.

[報道 11] 日刊工業新聞ニュース, ＮＥＣ、東大のシステムを構築－２拠点でデータ複製: http://www.asahi.com/digital/nikkanko/NKK201203260018.html, 2012.

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

今日の社会は情報技術に強く依存している。重要インフラを含む社会の構成要素の多くの部分が、コンピュータに制御されており、さらに通信ネットワークに接続されている。そのため、コンピュータやネットワーク機器の制御ロジックを記述するソフトウェアの信頼性やセキュリティに問題があると、大きな事件・事故につながる可能性がある。

そこで、このようなソフトウェアの重要性に鑑み、ソフトウェアの信頼性やセキュリティ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、主としてプロトコルやインタラクションの界面で発生する問題に着目し、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に関する研究 [発表 7]
2. 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 [発表 5, 発表 6]

最初のものは、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ソフトウェアで、通信プロトコルを処理するものを対象に、信頼性やセキュリティを向上させるために行った研究である。このために、厳密性と網羅性を特長とする形式検証とサンプリングに基づくより軽量の手法であるソフトウェアテストを組み合わせた技法を構想し、この構想に沿った形で各要素技術の研究を行った。なお、この研究は、情報通信研究機構委託研究開発課題「通信プロトコルとその実装の安全性評価に関する研究開発 — 形式手法によるプロトコル実装の検証技術と形式仕様に基づく網羅的ブラックボックス検査技術の開発」の代表者として、産業技術総合研究所情報セキュリティ研究センターにおいて行ったものである。

2 番目のものは、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。既在ソフトウェアの改修等を行う時に使うことを想定しており、特に、副作用を伴うオブジェクト間インタラクションの理解支援に重点をおいている。システム開発は以前から行っており、今年度は、事例研究を中心に据えた。具体的には、アプリケーションフレームワークを用いて構築された Java アプリケーションで、アプリケーション側からフレームワーク側のメソッドを呼び出す際に不整合があるケースを対象とし、原因箇所をインタラクティブに発見しようと試みるユーザに対して情報提示を行う方式について検討を行った。

これらの他に、今年度は、2012 年度秋から本格運用が開始される予定の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) の構築に向けて、ユーザ管理支援の詳細仕様の検討を行った [発表 2]。これは、全国に分散配置され、従来は個別に運用・利用されていたスーパーコンピュータや大規模ストレージを、シングルサインオンで連携して利用可能とするためのものである。そのために、申請、登録、運用、年度末の各フェーズでの手順や利用シナリオを検討した。また、ヘルプデスクシステムとコンテンツ管理システム (CMS) については、仮構築も行った。なお、この項目は、文部科学省委託「HPCI の詳細仕様に関する調査検討」により行ったものである。

表 1: 検証・検査方式のトレードオフ

	定理証明支援系による形式検証	モデル検査	ソフトウェアテスト
手法	数学的証明	抽象化と網羅探索	サンプリング
目的	正しさの保証	正しさの保証 バグの発見	バグの発見
対象	モデル ソースコード	モデル ソースコード	実行時の挙動
スケーラビリティ	低い	中くらい	高い
仕様の自由度	高い	低い	中くらい

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

インターネットや Web は、今日の我々の社会において不可欠なインフラとなっている。TCP/IP, HTTP, SSL などの主要な通信プロトコルの重要性を疑う者はもはやいないであろう。しかし、これらのプロトコルが実行されるとき、社会的要請に応えるに十分な信頼性が伴っているとは限らない。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。そのうちの少なくとも一部は、ネットワーク停止やセキュリティ侵害など、社会基盤の信頼性やセキュリティに深刻な影響を与えるものである。

ネットワークプロトコル設計の正当性や妥当性を検証するための研究は、以前から多くの研究者により行われている。一方、ネットワークプロトコルを実装するソフトウェアの正しさに関する研究は、それに比べればはるかに遅れている。設計と実装のギャップは意外に大きく、たとえば、パケットの構文解析部のバグ程度でも、重大事故に結びつくケースが少なくない。規約に違反した長さのパケットを受け取った結果として、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が発生したケースも現に存在する。

一方、近年、ソフトウェアの検証あるいは検査を行うための技術として、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。

ソフトウェアの正当性を示すために現在または近い将来に利用可能な技術には、一長一短がある (表 1 参照)。高度な厳密性と広範囲の仕様を対象にできるという意味では、機械的な定理証明に基づく形式検証方式が最も優れている。しかし、この方式は人的な負担が重く、スケーラビリティに難がある。すなわち、高度な技能を持ったエンジニアを必要とする上に、一人のエンジニアが検証できるソフトウェアのサイズはあまり大きくない。一方、サンプリングを基本とするソフトウェアテストは、網羅性という点で形式検証には及ばないが、自動化できる部分が多く、サイズの大きなソフトウェアにも適用できる。さらに、ブラックボックステストであれば、ソースコードが秘匿された場合でもある程度の検査が可能となる。以上のような事情があるので、実用上は、これらの方式の短所を補い合い、長所を活かすような形で組合わせて利用することが重要となる。

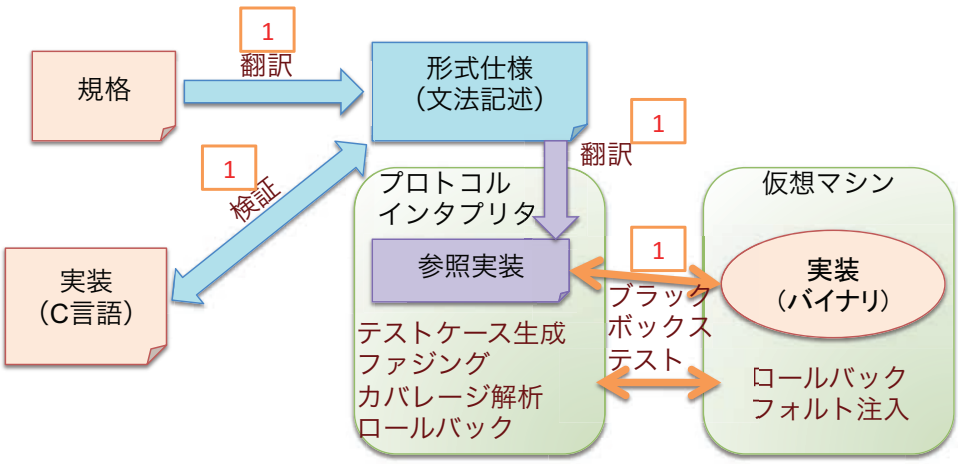


図 1: 統合方式の概要

2.2 内容

前節で説明したように各方式にはトレードオフがあること、形式検証やテストの際に参照すべき仕様自体が形式的な形では通常与えられていないこと、ソフトウェアテストの際には挙動を細かく観察する手法が必要なことなどを考慮し、基本的な枠組みを考案し、さらにその枠組みの中で要素技術の開発を行った。

まず、以下のような方針で統合的なソリューションを考案することとした。

- 厳密性を重んじる箇所には形式手法を適用する。
- 形式手法の適用可能範囲には量的限界があるので、限界を超える部分については、ソフトウェアテストの手法を用いる。
- ソフトウェアテストの網羅性を高めるために、テストケースの網羅的自動生成を可能な範囲で試みる。
- ソフトウェアテスト時の実行結果の確認についても、可能な範囲で自動化を試みる。

以上の方針を具体化し、次のような統合方式を考案した (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。

RFC などのプロトコル定義は、パケットの構文規則などの形式的に記述しやすい部分を除くと、自然言語で記述される場合が多い。一方、形式的な手法を用いたり、コンピュータによる自動化を促進するためには、まずは、機械可読な定義が必要になる。このギャップについては、自動的に埋める方法がない。これは仕方がないので、1 の過程では、自然言語で書かれた規格文書を人間が解釈し、形式仕様に人手で翻訳することとした。

2 については、産業技術総合研究所のチームにより、以前から C 言語やアセンブリ言語で記述した低レベルプログラムにも適用可能な検証方式に関する研究が進められていた。定理証明支援系の Coq を用いて、分離論理 (separation logic) に基づく言語モデルが構築されている。今年度は、以下のような点で改善を行った。

- 通信プロトコルのパケットでは、ヘッダー等にパケットの長さやレイアウトに関する情報を埋め込むことがよくある。このようなデータ構造をうまく扱うために、依存型の概念を用いた記述体系を考案し、その実装を Coq 上で行った。さらに事例研究として、TLS の仕様の一部に対して適用を行った。

- C 言語の仕様には、コンパイラ実装に依存する箇所が多々ある。そして実際に世の中で使われているプログラムの中には、特定のコンパイラを仮定している (すなわちポータブルでない) ものが少なくない。そこで、たとえば、エンディアンの違いによる挙動の違いを扱えるような方式を考案した。

3 は、形式仕様からのプログラム抽出に相当する過程である。ただし、今年度のところは、比較的抽出が行いやすい仕様をベースに作業を行った。

4 でのテストのために、以下のような技術やアイデアが盛り込まれている。

- 1 の仕様から、プロトコル仕様に適合するパケット列のサンプルと適合しないパケット列のサンプルを、テスト入力として自動生成する機能: これにより、正常系のみならず異常系のテストも行うことができる。

- テスト対象となる実装を仮想マシン内で動かし、実行時における OS のメモリやドライバの状態についても、仮想マシンモニタの機能を用いてモニタリングする機能: これにより、ネットワークを流れるパケットを観測するだけでなく、実装の内部状態まで観測することができるようになり、不整合を検知できる可能性が高まる。

- お互いに対向する参照実装のインタプリタと仮想マシンが協調・連携し、TCP/IP レベルのコネクションを保ったまま、両者の状態をロールバックする機能: これにより、プロトコルの状態遷移に枝分かれがあるような場合でも、バックトラックを繰り返しながら網羅的にテストを行うことができる。暗号プロトコルでよく用いられる (擬似) 乱数生成に依存したプログラムにおいても、矛盾なくロールバックが可能となっている。

2.3 具体的成果

暗号プロトコルとして著名な TLS プロトコルの仕様の一部を対象に事例研究を行い、その知見に基づく形で、以下のような成果を得た。

- プロトコルのパケット形式と状態遷移規則を形式的に記述する言語の設計とその言語を用いた記述事例

- C 言語コンパイラの実装に挙動が依存するような低レベルプログラムをも対象とする C 言語プログラム検証方式

- 対向する参照実装のインタプリタと連携して、仮想マシンの状態をロールバックし、さまざまなブランチを効率的にテスト可能とする仮想マシンベースのテスト環境

3 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

3.1 背景

近年のアプリケーション開発では、オブジェクト指向アプリケーションフレームワークを利用することがよくある。一般に、アプリケーションフレームワークを利用する際には、定められたメソッドの呼び出し手順や制約を守る必要がある。ところが、そのような取り決めに反するコードが作成されるケースが少なくない。原因としては、プログラマによるフレームワークの理解が不十分なこともあれば、単純な勘違いもある。これらの取り決めのうちの一部は、Java の型チェックなどで適合性を判定できるが、それ以外のものについては、自動検査は困難である。

このような取り決め違反によりアプリケーションが異常な挙動を示したとき、ソースコード上で問題のある箇所を特定するのは容易でない場合が多い。これは原因から症状に至る依存関係の解読が難しいためであり、主として以下のような事情による。

制御フローの複雑さ: オブジェクト指向アプリケーションフレームワークを用いるプログラムでは、アプリケーション側とフレームワーク側の双方から、相手側で定義されたメソッドが呼び出される。そのため、呼び出しが一方向に定まる古典的なライブラリに比べ、呼び出し関係は複雑になる。しかも、多くのプログラマにとって、フレームワークの内側はブラックボックスである。したがって、たとえば、アプリケーション側が引数として渡したオブジェクトのインスタンス変数を、フレームワーク側が変更するようなケースを追跡するのは容易ではない。

データフローの複雑さ: 一般に、オブジェクト指向プログラミングでは、プログラム中のどこかでインスタンス変数の値を更新した影響が、遠く離れた箇所に及ぶことがある。たとえば GUI を例にとると、あるボタンやメニューに対する操作がアプリケーションの状態を変更し、後続の処理に影響を与えることはよくある。このような副作用を伴うインタラクションが頻繁に発生するため、症状の原因を追いかけるためには、データフローを逆向きに追う必要がある。これは通常のデバッガ等を用いても困難な作業となる可能性が高い。

3.2 内容

アプリケーション側からフレームワーク側のメソッドを誤った方法で呼び出し、アプリケーションフレームワークの取り決めを逸脱するようなケースで、しかも直接的な症状がフレームワーク内のコードで発生するような状況を対象とした事例研究を行った。そして、症状の原因となった操作 (インスタンス変数への代入等) を追跡する方式の有効性を評価した。

前節で述べたような事情があるため、フレームワーク内で症状が発生すると、通常のデバッガ等のツールを用いたとしても、処理の流れを追跡するのは容易でない。なお、フレームワークの設計や実装に原因があるケースについては、この研究の対象外とする。すなわち、フレームワークの実装は正しく、フレームワーク内で例外等の異常な症状が発生したとしても、その原因はアプリケーション側にあることを前提とする。

この事例研究のために、プログラミング言語としては Java、アプリケーションフレームワークとしては GEF(Graphical Editing Framework) を用いた。GEF は、Eclipse で利用されているグラフィカルエディタのためのフレームワークである。そして、事例アプリケーションとしては GEFDemo を用い、UML クラス図形の編集時に例外が発生するバグの原因追跡を行った。なお、このバグの原因は、例外発生時点で既に実行を終了しているメソッド内にあるため、バックトレースを追うだけでは見つけることができないタイプのものである。

このような事例に対応するために、以下のようなトレースの生成と解析に基づく手法を採用した。

1. アプリケーションを構成する Java バイトコードにインストゥルメンテーションを施し、制御フローやデータフローなどを再現するために必要な情報を含む各種イベントのトレースを、実行時に生成・記録する。

2. 1 で取得したトレースのうち、重要な箇所に焦点をあて、それ以外の箇所は抽象化して表示する。この抽象化の制御については、簡単なヒューリスティックスを用いる。また、ユーザの指示により、焦点をあてる箇所を変更する。

1 で取得される情報は、基本的にはスライシングと類似のものであり、その分量は通常膨大となる。原理的な意味では、ソースコード上で症状の発生した箇所からその原因の箇所まで辿るために必要な情報を含んでいるが、人間がそのすべてを眺めるのは不可能と考えた方が良い。そこで、情報提示の手法が重要となる。この研究では、初期状態において、以下のような方針でユーザに対する情報の提示を行う。

- コールグラフ上で例外等が発生した箇所までのパスは表示する。
- フレームワークやシステム組込みのメソッドの内側で閉じた状態は隠蔽する。

そして、フレームワークや組込みメソッドの外部から観測可能な状態のみを参照することにより、依存グラフを遡ることで、目的の箇所を探索する。

3.3 具体的成果

共に第三者が開発したアプリケーションフレームワークである GEF とそれを用いたアプリケーション GEFDemo を対象に、アプリケーションフレームワークの取り決めに反する箇所をソースコード上で特定する事例を通じて手法の有効性を確認した。

4 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 柴山悦哉: ソフトウエアの時間, 情報処理, Vol. 52, No. 6, pp. 650–652, 2011 年.

[発表 2] 合田憲人, 東田学, 漆谷重雄, 天野浩文, 坂根栄作, 小林克志, 青木道宏, 柴山悦哉, 石川裕: 広域分散環境を提供する HPCI ネットワーク・認証・ユーザ管理支援基盤の設計, 情報処理学会研究報告, 2011-HPC-130(69), pp. 1–8, 2011 年 7 月.

[発表 3] 柴山悦哉: 高等教育機関における OSS の活用と今後の展望, 大学 ICT 推進協議会年次大会, 2011 年 12 月.

[発表 4] 柴山悦哉: ネクスト情報「学」爆発, パネルディスカッション, 国際シンポジウム「情報爆発を越えて」, 2012 年 1 月.

[発表 5] 久米出, 柴山悦哉: オブジェクト指向フレームワークの内部挙動を抽象化する実行モデル, 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, 2012 年 1 月.

[発表 6] 久米出, 柴山悦哉: トレース解析手法を利用した逸脱コードの特定, 情報処理学会研究報告, 2012-SE-175(13), pp. 1-10, 2012 年 3 月.

[発表 7] 柴山悦哉: ソフトウェアセキュリティ研究チームの活動報告, 情報セキュリティ研究センター最終報告会, 2012 年 3 月.

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る [査読付 2]。昨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み、いくつかの大会に入賞する強さのクラスタ並列版プログラムを作成した。

他にも、入玉指向の将棋プログラムの作成 [発表 2]、Connect4 というゲームの盤面サイズを無限に広げたゲームの解析 [査読付 1, 発表 1]、強解決済みのゲームの完全プレイのためのデータベース削減 [発表 3] などゲームプログラミング関連の研究をおこなった。

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 [公開 1, 公開 2]。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学生の他に、総合文化研究科の教員、学生、会社員などが加わっている。2011 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。

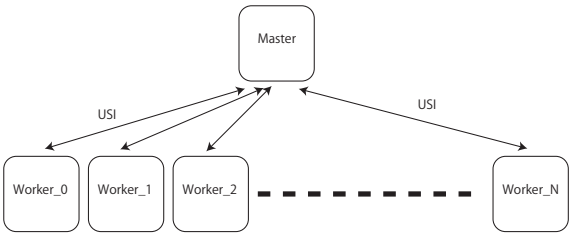


図 1: マスターワーカーモデルによる実現

- 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 将棋が昨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、耐故障性の向上や探索の効率化に取り組んだ。

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。

- 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。昨年度まではワーカー 1 つに複数の PV を探索させていたが、複数のワーカーを使うことにより、この段階でより深い読みをおこなうことが可能になった。

- 残り時間が少ない場合は実現確率のみで候補手を生成する。

- 親から渡される「ワーカー群」のサイズが 1 になったら 1 ワーカーで残り時間いっぱいそのノードを探索させる。

- 「残りの手」は 1 ワーカーで探索をおこなう。

第 21 回世界コンピュータ選手権に以下の構成で参加した。

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

- ワーカー

表 1: 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	YSS	ボンクラーズ	Blunder	ponanza	激指	習甦	Bonanza
GPS の手番	後手	後手	先手	先手	先手	後手	先手
勝敗	負	負	勝	負	勝	負	勝

- Xeon X5570(2.93GHz) x 2, 8core 41 台
- Xeon X5470(3.33GHz) x 2, 8core
- Xeon X5365(3.00GHz) x 2, 8core
- Opteron 2376 (2.3GHz) x 2, 8 core 4 台
- Xeon W3680(3.33GHz), 6 core
- Core 2 Quad Q9650(3.00GHz), 4 core
- Core 2 Quad Q9550(2.83GHz), 4 core
- Core 2 Quad Q6700(2.66GHz), 4 core
- Phoenom II X4 965(3.4GHz), 4 core
- Core 2 duo (2GHz), 2 core 208 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 将棋の第 21 回世界コンピュータ将棋選手権における成績は表 1 に示すように、3 勝 4 敗で 6 位に終わった。

11 月に参加した Computer Olympiad 将棋部門では、有力プログラムの参加は少なかったが、第 21 回世界コンピュータ将棋選手権 2 位となった Bonanza を破って優勝した [特記 2]。

3 入玉指向の将棋プログラムの作成

3.1 背景

対コンピュータ将棋戦略を研究しているアマチュア強豪の多くが、コンピュータ将棋の苦手な展開がいくつかあることを指摘している。そこで指摘されている展開の一つが入玉絡みの展開である。

自分の玉を敵陣 (相手側の 3 段以内) に移動する入玉と言う。入玉して成駒で周りを固めると、敵から詰まされにくくなるので有利になる。両方の玉が入玉すると、両者共に相手玉を詰ますことができなくなり、勝負が終わらなくなるので、駒の点数を計算して、それによって勝敗および持将棋 (引き分け) を判定する。

コンピュータ将棋の特徴を決めるのは評価関数と探索だが、コンピュータ将棋が入玉絡みの局面を苦手としている原因としては、入玉絡みの局面の評価関数が適切でないことがあると指摘されている。図 2 は、先手勝勢だがオープンソースの強豪将棋プログラムとして知られる Bonanza は後手良しと判断する。

3.2 内容

Bonanza の最新版 (Bonanza version 6) では、評価関数の特徴として玉を含むすべての 3 駒の関係 (駒の種類と座標) を用いていて、これらの特徴に対応する重みパラメータを入れるファイル中の重みパラメータ数は約 9300 万個にもなっているが、これだけの数の特徴を用いた評価関数でも、入玉が絡む局面の評価を適切に行うことができないと考えられる。

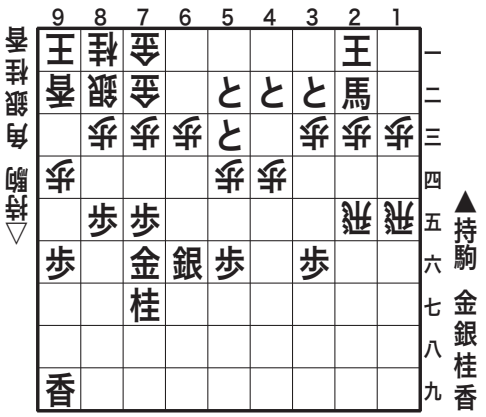


図 2: 先手勝勢だが Bonanza が後手良しと判断する局面

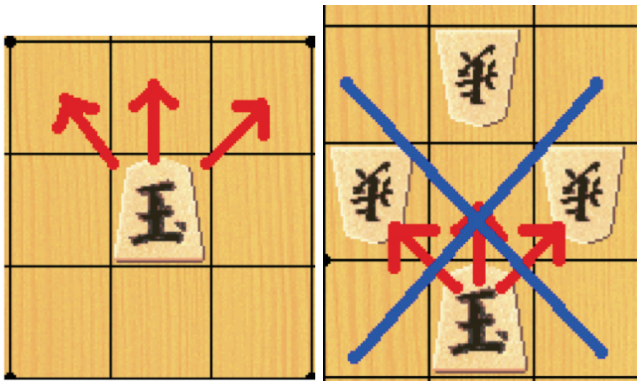


図 3: 入玉ステップ数計算のための玉の動き

そこで、入玉可能性の高い局面を検出する特徴である「入玉ステップ数」を以下のような探索によって求め、その重みパラメータを学習によって決定した評価関数を用いる方法を提案する。

- 図 3 左のように入玉側の指し手は玉が前、または斜め前に移動する手のみ
- 図 3 右のように移動の際に相手の駒は取らない (移動できるのは空きマスのみ)。また、敵の利きのある地点には移動しない。
- 敵側は何も指さない。

このルールで許された動きだけをおこなって、入玉ができない時は、「入玉ステップ数」を ∞ とし、入玉できる時は玉側が必要な手数を「入玉ステップ数」とし、既に入玉済みの時は、「入玉ステップ数」は 0 と定義する。

この特徴を加えて、Bonanza 本来の特徴に関する重みパラメータは変更せずに、「入玉ステップ数」の値の 0 ～ 6 に対応する 7 つの重みパラメータだけを変更するように Bonanza の学習プログラムを修正して、プロの棋譜と将棋倶楽部 24 の棋譜集の棋譜計 525119 棋譜の中から、入玉して勝った 7822 棋譜中の 6000 局の勝ったプレイヤの着手だけを教師として、パラメータ学習をおこなった。「入玉ステップ数」が ∞ の時の重みパラメータは 0 に固定した。

表 2: 「入玉ステップ数」の重みパラメータ

入玉ステップ数	0	1	2	3	4	5	6
重みパラメータ	304	269	239	141	113	24	23

表 3: 対戦結果

プログラム	先手番			後手番			勝率	入玉勝率 (%)
	勝ち (入玉)	負け	引き分け	勝ち (入玉)	負け	引き分け		
BonanzaStd	256(13)	235	9	235(7)	256	9	0.5	2
EkingStep	130(16)	116	4	136(13)	108	6	0.532	5.8

得られた重みパラメータを表 2 に示す。駒割に換算すると、歩 1 枚の重みが 87 となっているので、入玉した状態の価値は約歩 3.5 枚と学習されたことが分かる。

3.3 具体的成果

提案する手法の有効性を確認するために、以下の条件で、提案手法のプログラム (EkingStep) と標準の Bonanza(BonaznaStd) 対戦実験をおこなった。

- 相手時間を使用した先読み (ponder) は用いない。
- 思考ノード数を 250000(用いた計算機では一秒程度の思考時間に相当) に制限。
- 評価値が手番のプレイヤにとって、-5000 を下回った時に投了
- 総手数が 2048 手になったら引き分けとする。
- 先手、後手それぞれ　250 局の計 500 局対戦

結果を表 3 に示す。表 3 のように、BonanzaStd 同士の場合の入玉勝率が 2% なのに対して、EkingStep は 5.8%の入玉勝率を達成した。EkingStep の入玉勝率が BonanzaStd の入玉勝率を上回ることは、フィッシャーの正確確率検定により有意性を確認できた。一方、勝率は先手番、後手番共に 5 割を上回ったが、カイ二乗検定によって有意性が言えるほどの差は出ていない。「入玉指向の将棋プログラムを作成する」という目的は果たしたが、それ「強い将棋プログラムを作成する」につなげるのが今後の課題として残っている。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Yoshiaki Yamaguchi, Kazunori Yamaguchi, Tetsuro Tanaka, Tomoyuki Kaneko: Infinite-Connect-Four is Solved: Drawn, Proceedings of Advances in Computer Games 13, Tilburg, Nov. 2011.

[査読付 2] 金子知適, 田中哲朗: GPS 将棋とテキストプロトコルによる大規模将棋ソフトウェアの組み立て, コンピュータソフトウェア, Vol. 29, No. 1, pp. 75-81, 2012 年 2 月.

その他の発表論文

[発表 1] 山口慶晃, 山口和紀, 田中哲朗, 金子知適: 箱積みが最善引き分けの証明の別解, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2011-GI-26, No.12, pp. 1-8, 松江, 2011 年 7 月.

[発表 2] 滝瀬竜司, 田中哲朗: 入玉指向の将棋プログラムの作成, 第 16 回ゲーム・プログラミングワークショップ 2011, pp. 25-31, 箱根, 2011 年 11 月.

[発表 3] 田中哲朗: 完全プレイのためのデータベースのサイズの削減, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, Vol.2011-GI-27, No.12, pp. 1-6, 東京, 2012 年 3 月.

公開ソフトウエア

[公開 1] 田中哲朗, 金子知適, 森脇大悟, 副田俊介, 林芳樹, 竹内聖悟: osl-for-csa (バージョン 0.8), コンピュータ将棋協会コンピュータ将棋選手権使用可能ライブラリ, 2012 年 1 月.

[公開 2] 田中哲朗, 金子知適, 森脇大悟, 副田俊介, 林芳樹, 竹内聖悟: gpsshogi-for-csa (バージョン 0.8), コンピュータ将棋協会コンピュータ将棋選手権使用可能ライブラリ, 2012 年 1 月.

特記事項

[特記 1] GPS 将棋: 第 21 回世界コンピュータ将棋選手権 6 位, コンピュータ将棋協会, 2011 年 5 月.

[特記 2] GPS 将棋: Computer Olympiad 2011 将棋部門優勝, ICGA, 2011 年 11 月.

[特記 3] 田中哲朗: ゲーム情報学: 0. 編集にあたって, 情報処理学会誌, Vol. 53, No. 2, pp. 100-101, 2012 年 2 月.

報道関連

[報道 1] 週刊新潮 2011 年 6 月 2 日号: サイエンス宅配便.

[報道 2] フジテレビ 2011 年 6 月 14 日「たけしのコマ大数学科」.

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（もしくはハイパーバイザ）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を安全かつ容易に実現できるといった利点があることから、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。

平成 23 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 4 つのテーマに関して研究成果の発表を行った。

- 仮想マシンモニタによる透過的ネットワークブート方式 [査読付 1]

  任意の OS を修正や特別な設定なしでネットワークブートを可能にしつつ、ローカルブートと同等の性能や機能、使い勝手を実現することを可能にした。

- 仮想マシンモニタによる透過的 VPN 障害回復方式 [査読付 2]

  ネットワークや VPN サーバに障害が発生しても、クライアント・サーバ間の TCP 接続が切断されることなく、VPN 接続を継続して行える機能を OS から透過的に実現することを可能にした。

- 仮想マシンモニタによるバックグラウンド暗号化 [査読付 4]

  仮想マシンモニタによる暗号化を導入する際に、既存の OS をインストール済みの PC に対して、暗号化の完了を待つことなくすぐに使い始めることができるシステムの実現を可能にした。

- 仮想マシンモニタによるストレージアクセスの高速化 [発表 1]

  仮想マシンモニタでストレージのセクタの配置変換をおこない、任意の OS のストレージ・アクセスを高速化する機能を実現した。

これらの研究は、以下の競争的研究資金による支援によりおこなった。

- 総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）ICT イノベーション促進型研究開発
  「ディペンダブルな自律連合型クラウドコンピューティング基盤の研究開発」
  連携研究者（研究代表者：筑波大学 加藤和彦）
- JST 研究成果最適展開支援事業（A-STEP） フィージビリティスタディ【FS】ステージ
  シーズ顕在化タイプ「高セキュリティを実現する仮想マシンモニタ（BitVisor）の実用化検証」
  研究責任者（企業責任者：株式会社イーゲル 松原克弥）
- 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) 「仮想化技術による分散ストレージ管理基盤」
  研究代表者

総務省 SCOPE による研究成果の一部は、国際論文誌に掲載された [査読付 2] ほか、電気通信大学の大山准教授と共著で国際会議での発表をおこなった [査読付 3]。JST の A-STEP による研究成果の一部は、オープンソースとしてソフトウェアの公開をおこなった [公開 1]。また、共同研究をおこなっている株式会社イーゲルからプレスリリースをおこない、その内容が株式会社 Impress Watch の Web サイト「クラウド Watch」で紹介された [報道 1]。また、共同で特許出願をおこない [特許 1]、その内容を国際会議で発表した [査読付 4]。科学研究費補助金若手研究 (B) による研究成果は、国内論文誌に掲載された [査読付 1]。また、この論文の元となった国内シンポジウムでの発表が評価され、第一著者の学生が情報処理学会 2011 年度コンピュータサイエンス領域奨励賞を受賞した。また、当該学生は本受賞などが評価され、筑波大学のコンピュータサイエンス専攻長表彰も受賞している。

2 仮想マシンモニタによる透過的ネットワークブート方式

2.1 背景

近年、ネットワークブート方式のシンクライアントが広く普及している。ネットワークブート方式とは、OS やアプリケーションなどソフトウェア資源をサーバに置き、クライアント端末からネットワーク経由で読み込んで起動する方式である。ネットワークブート方式の利点としては、ソフトウェア資源をサーバで集中管理することにより、管理コストを削減できる点が挙げられる。例えば、OS やアプリケーションのインストールやアップデート、セキュリティパッチの適用、バックアップ、障害復帰などのシステム管理作業をサーバで完結させることができるため、クライアント端末を個々に管理しなくてもよい。こうした利点が着目され、ネットワークブート方式のシンクライアントは多くの企業や教育機関などで導入されている。

本研究の目的は、ソフトウェア資源はサーバで集中管理しつつ、クライアント端末ではなるべく通常の PC と同等の環境を提供できるシステムの実現である。例えば、管理者にとっては、既存の OS やアプリケーションが特別な設定をせずに、通常の PC と同様に動作すると管理が容易になる。また、ユーザにとっては、クライアント端末の内蔵機器や周辺機器が通常の PC と同様に機能すると便利である。さらに、実行速度や応答性などの点でも、なるべく通常の PC と同等であることが望ましい。すなわち、(1) 動作環境、(2) 機能、(3) 性能の三つの観点で、ユーザや管理者及びソフトウェアから透過的なシステムの実現を目指している。

ネットワークブート方式では、OS やアプリケーションがクライアント端末で動作するため、通常の PC と同等の環境を実現することは比較的容易である。しかし、従来のシステムでは、サーバのストレージにアクセスするために、OS に依存した方式や複雑な設定が必要になり、必ずしも通常の PC と同様の動作環境は実現していない。また、クライアント端末で仮想マシンモニタを動作させ、ゲスト OS が通常の PC と同様の方式でストレージにアクセスできる方式も提案されているが、従来の仮想マシンモニタでは計算機全体が仮想化されるため、クライアント端末の内蔵機器や周辺機器を通常の PC と同様に活用することは難しい。また、仮想化により様々なオーバーヘッドが生じるなど、機能や性能の点で必ずしも透過的でない。

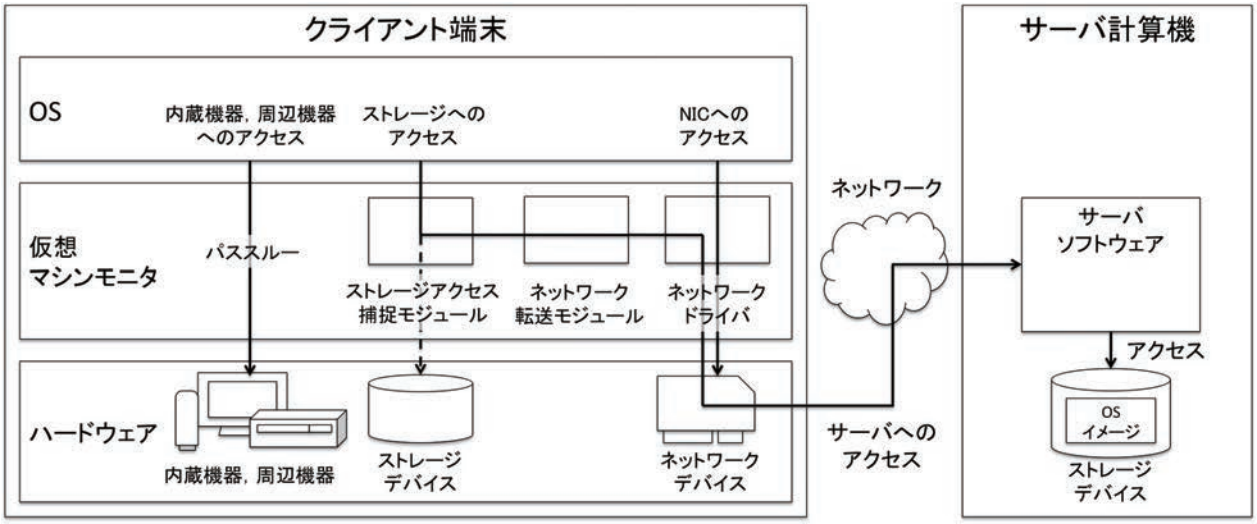


図 1: 透過的ネットブート方式の概要

2.2 内容

本研究では、仮想マシンモニタを用いた透過的なネットワークブート方式を提案している。OS が通常の PC と同様の方式でサーバのストレージにアクセスできるようにするために、仮想マシンモニタでストレージデバイスへのアクセスを捕捉し、ネットワークを介したサーバへのアクセスに変換する。これにより、既存の OS を一切改変せずにネットワークブートすることが可能になる。また、クライアント端末の機能を通常の PC と同様に使えるようにするために、ストレージとネットワーク以外のデバイスへのアクセスは基本的にパススルーとする。これにより、OS はクライアント端末の内蔵機器や周辺機器に直接アクセスして、通常の PC と同様に機能させることが出来る。

図 1 に提案方式の概要を示す。提案方式では、クライアント端末上に仮想マシンモニタを配置し、サーバの OS イメージをネットワーク経由でブートする。透過的なネットワークブートを実現するために、仮想マシンモニタでゲスト OS からストレージへのアクセスを捕捉し、それをネットワーク経由でサーバへ転送する。図 1 では、OS における「ストレージへのアクセス」が、仮想マシンモニタ内の各モジュールやドライバ及びネットワークデバイスを経由して、「サーバへのアクセス」に変換されている様子を示している。

一方、機能面と性能面での透過性を得るために、ネットワークブートに使用するストレージ及びネットワーク以外のデバイスは基本的にパススルーとし、ゲスト OS に直接操作させる。図 1 では、「内蔵機器」や「周辺機器」へのアクセスがパススルーになっている。通常の PC クライアント端末上で動作する OS は元々1 つであるため、仮想マシンモニタ上でもゲスト OS は 1 つだけ動作させる。これにより、ゲスト OS 間のスケジューリングやリソース管理などを省いて仮想化のオーバヘッドが抑えられるほか、ゲスト OS が通常の PC と同様に内蔵機器や周辺機器にアクセスできるため、機能面や性能面での透過性が向上する。

提案方式の実装は、準パススルー型の仮想マシンモニタである BitVisor をベースにおこなった。OS からストレージへのアクセスを透過的にするために、ATA デバイスへのアクセスを捕捉する機能を実装した。また、ストレージへのアクセスをネットワーク経由で行うために、ATA デバイスへのアクセスを AoE（ATA over Ethernet）プロトコルに変換する機能と、ネットワークデバイスである Intel Pro 1000 経由で AoE プロトコルのパケットを送受信する機能を実装した。仮想化によるオーバーヘッドを削減するために、ATA デバイスは完全には仮想化せず、必要最小限のアクセスのみを捕捉することで上記の機能を実現した。

2.3 具体的成果

実装したシステムの動作確認により、通常の PC 向けの既存の Linux ディストリビューション（Debian）を一切改変することなく、そのままネットワークブートできることを確認した。また、USB デバイスなどをクライアント端末に接続して通常の PC と同様に利用できることも確認した。性能評価により、OS をローカルディスクから起動した場合と比べて、提案方式では起動時間が 7 秒程度増加するものの、BitVisor 上で OS をローカルディスクから起動した場合と比べると 7 秒程度短縮されることが分かった。研究成果は、情報処理学会 ACS 論文誌に掲載された [査読付 1]。

3 仮想マシンモニタによる透過的 VPN 障害回復方式

3.1 背景

コンピュータ資源への要求の増大に伴い、クラウド・コンピューティングという形態によってインターネット経由でサービスを提供する仕組みが普及しつつある。クラウド・サービスは個人向けのサービスだけではなく、様々な法人向けのサービスも提供するようになってきていることから、クライアントとクラウド間のセキュリティを確保することの重要性もますます大きくなってきている。VPN（Virtual Private Network）接続は、暗号と認証の技術を用いることでインターネット経由で安全な通信路を構築できることから、ネットワークのセキュリティを確保する上で重要な技術である。実際、法人向けサービスを VPN 経由で提供するクラウドベンダーもいくつか登場している。

しかし、VPN 接続経由でサービスを提供した場合、VPN 生涯が発生するとクライアントはクラウドのサービスを利用することが出来なくなってしまう。VPN において生じる障害は二つに大別される。一方はネットワークレイヤに起因する障害であり、クライアントからクラウドまではそもそもネットワークレイヤで到達できない。もう一方は VPN レイヤ自身に起因する障害であり、双方のノードがネットワークレイヤで到達可能であっても、クラウドのサービスを利用できない。いずれの場合においても、クライアントは同じ VPN サーバに再接続を試みるか、別の VPN サーバに接続しなおすことで、VPN 接続を回復することができる。しかし、VPN 再接続には VPN クライアントの再起動などユーザの層が必要であったり、再接続によって IP アドレスが変わってしまうために、確立中の TCP 接続が切断されてしまうなどの問題が生じる可能性がある。

VPN の可用性向上を図る手法として、VPN 機器の多重化がある。この手法は、VPN 機器に障害が生じた際に、スタンバイ状態にある他の VPN 機器に切り替えるものである。しかし、VPN 機器の多重化だけではネットワークレイヤで生じる障害には対応できないほか、VPN 切り替えを行うことでサーバがクライアントを一意に識別できなくなり、クライアント・サーバ間の通信が切れてしまう。また、VPN 障害の検知や VPN 切り替えに係る対応はクライアントの OS やアプリケーションから透過でない。クライアントとクラウド間で専用線を用いることにより、ネットワークの可用性を向上することが可能であるが、各クライアントごとに専用線を用意することは非常にコストが大きい。本研究の目標は、ソフトウェア的な手法によりプラットフォームとして透過的に VPN 障害の影響を軽減する仕組みを実現することで、VPN 接続の可用性を向上させることである。

3.2 内容

本研究では、仮想化技術により VPN 障害をユーザや OS から隠蔽して、透過的に VPN 障害から回復する仕組みを提案している。本方式では、透過性を実現するために、仮想マシンモニタの層で VPN 接続の確立や VPN 障害の検出をおこなう。また、VPN サーバやネットワークの障害の影響を軽減するために、VPN サーバを地理的に分散して配置し、それらを専用線でクラウド内のサーバと接続する。これにより、クライアントは分散配置された複数の VPN サーバの中から、ネットワーク的に到達可能かつ利用可能なものを一つでも見つけ出せれば VPN 接続経由でクラウド内のサーバにアクセスすることが出来るようになるため、可用性を向上させることが出来る。IP アドレスが変更された場合の

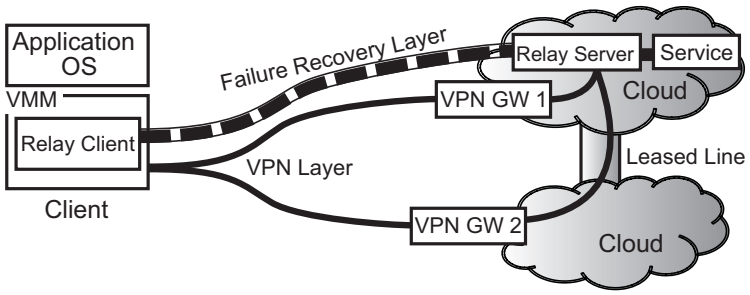


図 2: 仮想マシンモニタによる透過的 VPN 障害回復方式の概要

影響を軽減するために、パケット中継システムを新たに導入して、クライアントとサーバでやり取りされる IP パケットをカプセル化し、TCP 接続が切断されないようにする。

図 2 に提案方式の概要を示す。クライアントは、インターネット経由で VPN GW1 または VPN GW2 に接続して、クラウド・サービスを利用する。VPN GW1 と VPN GW2 は地理的に分散して配置されており、インターネットの途中の経路で障害が発生したり、災害などで物理的な障害が発生した場合でも、いずれかの VPN サーバに接続できればクラウド・サービスにアクセス可能である。VPN GW の数を増やすことにより、可用性の向上が見込まれる。複数の VPN GW はクライド・ベンダーが用意した専用線で接続されており、どの VPN GW に接続しても同等のサービスを受けられる。クライアントの VMM（Virtual Machine Monitor: 仮想マシンモニタ）内とクラウド内には、それぞれ Relay Client 及び Relay Server を配置して、IP アドレスの変更を隠蔽することで、ネットワーク経路が変わっても TCP 接続を維持できるようにする。

提案方式を、BitVisor をベースにして実装した。BitVisor が既に内蔵している IPsec による VPN 接続機能に加え、ICMP プロトコルによりネットワークの状態を監視する障害検出モジュールと、新たな VPN 接続先を探して再接続を行う VPN 切り替えモジュールを実装した。再接続を開始するまでの時間の決定には、Jacobson のアルゴリズムにより決定した RTT(Round Trip Time) をベースに見積もった RTO(Retransmission Time Out) を利用している。また、クライアントの BitVisor 内とサーバ側とで連携して IP パケットのカプセル化を行うパケット中継機構を実装した。

3.3 具体的成果

実際に国内にあるデータセンターを用いて提案方式の評価をおこなった。東京、横浜、福岡の 3 カ所にある富士ソフト社のデータセンターを利用して、それぞれ VPN サーバを配置し、各データセンター間を JGN2plus やフレッツ網などを介した VPN 接続により仮想的な専用線で接続した。提案システムから接続して、仮想的にネットワークに障害を発生させたところ、自動的に VPN 接続先が切り替わり、切り替え前後で TCP 接続のスループットがが 3.2 秒以内に回復することを確認した。研究の成果は、Elsevier 社の Future Generation Computer Systems 誌に掲載された [査読付 2]。

4 仮想マシンモニタによるバックグラウンド暗号化

4.1 背景

近年の調査によると、毎年ノート PC の 10%に盗難や紛失が発生している。情報漏えいを防止するために、多くの企業はコンピュータのディスク暗号化を導入している。BitLocker などに代表される OS ベースの完全ディスク暗号化が数多く提供されており、それらはシンプルかつ迅速に導入できることなどから、実際に様々な状況で取り入れられている。一方、仮想マシンモニタで暗号化をおこなう方式は、OS でおこなう方式と比べて安全性が高い、起動用も含めた OS のディスク領域の全てを暗号化できる、特定の OS に依存せず共通のプラットフォームで暗号化を導入できるといった利点があり、

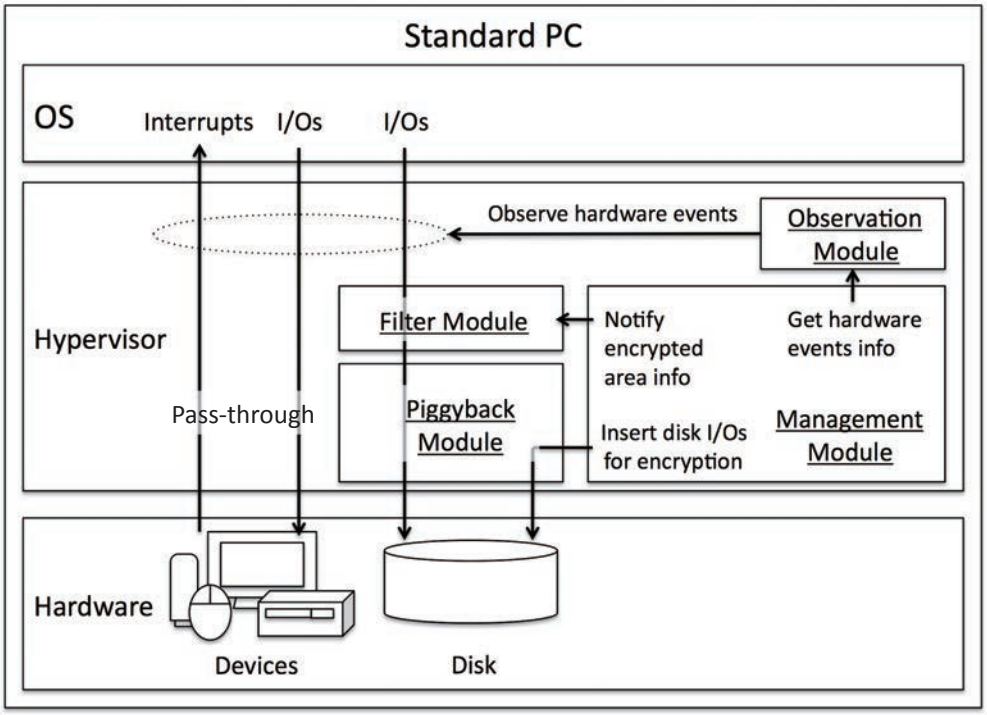


図 3: 仮想マシンモニタによるバックグラウンド暗号化の概要

近年様々な方式が提案されている。しかし、OS ベースの方式と違って、仮想マシンモニタ方式の導入コストはあまり議論されていない。

多くの OS ベースの暗号化方式では、ディスク全体の暗号化を待つことなく PC を利用することが出来るバックグラウンド暗号化方式を提供している。しかし、仮想マシンモニタで暗号化をおこなう方式では、バックグラウンド暗号化に対応しておらず、ユーザは暗号化の終了を待たなければならない。また、OS ベースの方式では通常アプリケーションと同様に容易にインストールできるのに対し、仮想マシンモニタでおこなう方式を既存のシステムに導入するためには、様々な面倒で時間のかかる作業が必要である。初期導入時であっても、従来の仮想マシンモニタの導入には通常の OS と同様のコストがかかるほか、暗号化された仮想マシンモニタベースのシステム上に通常の OS のインストールをおこなうと、仮想化と暗号化のオーバーヘッドによってインストールの時間が非常に長くかかってしまう。

バックグラウンド暗号化を実用的におこなうためには、ユーザの操作に対する影響を最小限にとどめつつ暗号化を速やかに行うために、OS に挙動を注意深く監視して、暗号化の速度を適切に調整することが不可欠である。しかし、OS の挙動を仮想マシンモニタから監視することは、OS 自身で監視する場合と比べて困難である。これは、仮想マシンモニタからは、OS とハードウェアの間の低レベルのやり取りしか監視することが出来ないため、OS 上で何が行われているかといった意味情報が失われてしまうためである。更に、P2V と呼ばれる物理環境を仮想環境に移行する非常にコストのかかる操作を避けるためには、既存のディスクイメージや OS の設定と互換性のある形でバックグラウンド暗号化を導入する必要がある。従来の仮想マシンモニタでは、このような形でバックグラウンド暗号化をサポートすることは困難であった。

4.2 内容

本研究では、仮想マシンモニタによるバックグラウンド暗号化方式を提案している。この方式では、既存のシステムに対して完全ディスク暗号化を即座に導入することを可能にしている。効率の良いバッ

クグラウンド暗号化を実現するために、仮想マシンモニタでディスク I/O やキーボード・マウス I/O、外部割込みなど低レベルのイベントを監視して、OS の挙動を正しく推定し、暗号化の速度を適切に調整する。また、P2V 操作を不要にして既存の OS がインストール済みのシステムに容易に導入できるようにするために、準パススルー型の仮想マシンモニタを用いて、ゲスト OS からディスクへの I/O を横取りして透過的に暗号化・復号をおこないつつ並行して、仮想マシンモニタからディスクアクセスをおこなって、未暗号化セクタの読み込み・暗号化・書き込みをゲスト OS と競合しないように適切なタイミングでおこなう。

図 3 に、提案方式の概要を示す。提案方式は Observation Module、Filter Module, Piggyback Module, Management Module の 4 つのモジュールから構成される。Observation Module はゲスト OS の挙動を推定する。キーボードやマウス I/O、外部割込みなどの情報を記録した上で、それらをハードウェアにそのまま伝える（パススルーする）。これらの I/O の頻度はゲスト OS の挙動と密接に関連しているため、これらを監視することでゲスト OS の挙動を高い精度で推定することが出来る。Filter Module はゲスト OS とディスクとの間のデータ転送を横取りして、暗号化・復号をおこなう。バックグラウンド暗号化の進行中には、ディスク上のセクタには暗号化されたものとまだされていないものが混在している。暗号化されたセクタへの読み書き時には、仮想マシンモニタでその内容を横取りし、適宜暗号化・復号処理をおこなう。一方、まだ暗号化していないセクタは、そのまま通過させる。

Piggyback Module は未暗号化セクタを仮想マシンモニタから読み書きする。ゲスト OS からディスク I/O へのアクセス要求の合間をぬって、仮想マシンモニタ自身からのディスクアクセス要求も実行できるようにする。これは、ハードウェア・デバイスのインターフェイスの仕様に従って、ゲスト OS に干渉しないように適切なタイミングで実施することにより、ゲスト OS は暗号化前と全く同じような構成でディスクアクセスを継続することが出来る。Management Module は全体的なバックグラウンド暗号化のプロセスを管理する。Observation Module からゲスト OS の挙動に関する情報を入手し、バックグラウンド暗号化の速度やタイミングを調整する。ゲストに干渉しないタイミングで Piggyback Module を用いてディスク I/O をおこない、ディスク領域の暗号化をおこなう。また、進捗状況を Filter Module に伝えて、ゲスト OS に対して正しく復号したデータを渡せるようにする。

ゲスト OS がシャットダウン／リブートやサスペンド／リジュームした場合にも、暗号化の進捗状況を正しく維持できるようにするために、これらのイベントが発生した時には Management Module が進捗状況をディスクに保存する。仮想マシンモニタは、これらの状況に関する情報や仮想マシンモニタ自身の実行イメージを格納するために、ディスク上の使われていない領域を活用する。この領域はゲスト OS からはアクセスできないように仮想マシンモニタでアクセス制御をおこなう。

4.3 具体的成果

Windows 7 上で PCMark Vantage というベンチマークソフトを用いた実験をおこない、バックグラウンド暗号化を実行中であってもゲスト OS の性能には大きな影響を与えないことを確認した。ゲスト OS のシーケンシャルディスクアクセス性能に与える影響は、最大でも 24%程度に抑えることが出来た。また、ディスク暗号化のスループットは 1.02GB/min 程度であり、これは他のバックグラウンド暗号化システムと比べてもそん色ない性能が実現できていることが分かった。研究成果は、国際会議 ACM SAC 2012 で発表した [査読付 4]。

5 仮想マシンモニタによるストレージアクセスの高速化

5.1 背景

近年、ハードディスク (HDD: Hard Disk Drive) に代わるストレージデバイスとして SSD(Solid-State Drive) が注目されている。SSD は NAND フラッシュメモリを用いたストレージであり、データの読み書きの為にハードディスクにおける磁気ヘッドのような機構を持たない。このため SSD においては目

的セクタまで磁気ヘッドを動かすシーク時間が発生しないため、ランダムリード性能が HDD より非常に高いという利点が存在する。

しかし SSD はデータの保存に NAND フラッシュメモリを使用している為、ランダムライト性能がシーケンシャルライト性能と比較して極端に低いという特徴がある。ランダムライトの性能低下の理由は、シーケンシャルライトと比較して、本来の書き込み対象では無いデータに対しての内容の退避、消去、新規書き込みといった操作が必要になることにある。この問題は、フラッシュメモリに対する書き込み処理が既存データに対する上書き処理が行えない事と、データ書き込みと消去の処理の対象となるデータサイズに差異がある事に起因している。

SSD のランダムライト性能改善に関連する既存研究として、ハードウェア内部のコントローラを改善する手法が存在するが、この手法を適用したコントローラを採用する SSD の高速化に限られてしまう。また、デバイスドライバレベルでランダムライトのコストを低減する手法も提案されているが、OS への修正を要することになってしまう。

5.2 内容

本研究では仮想マシンモニタを用いて、SSD のランダムライト性能の高速化を図っている。仮想マシンモニタを用いて性能改善を行うことによって、SSD の NAND コントローラといったハードウェアの性能に関係無く性能を向上することができる。また、デバイスドライバの追加といった OS 側への修正を要さず、かつ OS の種類に依存することなくランダムライト性能の向上を図ることが可能となる。

本システムでは、ランダムライトをシーケンシャルライトに変換することで、オーバーヘッドの大きいランダムライトの直接的な実行を避ける事で高速化を実現する。具体的には、SSD に対してランダムライトが発生した際に、データの書き込み先アドレスを書き換えることによりシーケンシャルライトが実行されるよう変換する。ランダムライトの検出は、書き込みデータのサイズを検査する事によって行う。書き込みデータサイズが十分に大きい場合、SSD 内部ではシーケンシャルライトが実行されると判断し、書き込まれるデータの配置変換を行わない。対してデータサイズの小さな書き込みの場合にはランダムライトが発生していると判断し、配置変換を実行する。また提案システムでは、配置変換されたデータに対する正常なアクセスを可能にする。そのため本システムでは、変換前の書き込み先アドレスと、配置変換されたデータを参照する為に必要な情報を示すマッピングテーブルを保持する。

本研究では、準パススルー型仮想マシンモニタである BitVisor をベースにしてストレージのセクタの配置変換を実装した。BitVisor が持つ ATA 準パススルードライバを改変して、OS のデバイスドライバによって発行された I/O をフックし、セクタ・アドレスを変換する機能や変換テーブルを管理する機能などを追加することで実装を行った。

5.3 具体的成果

提案システムの効果を検証する為ディスク I/O ベンチマークを測定して、提案システムによって SSD のランダムライト性能の高速化が行われる事を確認した。ディスク I/O ベンチマークを測定するにあたり、Iozone を用いて二種類の SSD に対してランダムライト性能の測定を行った。ベンチマーク実行環境として、OS を直接起動する場合と機能追加が行われていない BitVisor を用いる場合、そして提案システムを導入した BitVisor を用いる場合において測定を行った。これは BitVisor を用いる事によるオーバーヘッドの検証と、提案システムによるランダムライト性能改善の効果を測定するためである。実験結果として提案システムを導入した場合、小データサイズのランダムライトが高速化され、SSD のハードウェア性能によっては OS を直接起動した場合の性能と比較し最大 8 倍程度の高速化が実現できることを確認した。

6 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦: 仮想マシンモニタによる透過的ネットワークブート方式, 情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム, 第 4 巻, 第 4 号, pp228-245, 2011 年 10 月.

[査読付 2] Yohei Matsuhashi, Takahiro Shinagawa, Yoshiaki Ishii, Nobuyuki Hirooka, Kazuhiko Kato: Transparent VPN Failure Recovery with Virtualization, Future Generation Computer Systems, Elsevier, Vol. 28, No. 1, pp. 78-84, Jan. 2012.

[査読付 3] Yoshihiro Oyama, Tran Giang, Yosuke Chubachi, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato: Detecting Malware Signatures in a Thin Hypervisor, In Proceedings of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2012), pp. 1807-1824, Mar 2012.

[査読付 4] Yushi Omote, Yosuke Chubachi, Takahiro Shinagawa, Tomohiro Kitamura, Hideki Eiraku, Katsuya Matsubara: Hypervisor-based Background Encryption, In Proceedings of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2012), pp. 1829-1836, Mar. 2012.

公開ソフトウエア

[公開 1] BitVisor 1.2, http://www.bitvisor.org/, 2011 年 10 月

特許申請／取得

[特許 1] 品川 高廣, 忠鉢 洋輔, 表 祐志, 北村 朋宏, 榮樂 英樹, 松原 克弥: 情報処理装置及びプログラム, 特願 2012-066264, 国立大学法人東京大学・株式会社イーゲル, 2012 年 3 月.

その他の発表論文

[発表 1] 大久保 諒、品川 高廣，加藤 和彦: VMM による SSD のランダム書き込み性能の改善, 第 117 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 2011-OS-117 巻，第 12 号，情報処理学会，2011 年 4 月.

報道関連

[報道 1] クラウド Watch: 純国産・オープンソースの仮想マシンモニター「BitVisor」最新版公開，2011 年 11 月 8 日.

教育支援システムの開発と運用 —カリキュラム分析 他—

関谷 貴之

1 概要

教育を支援するシステムとして、教育用計算機システムと学習管理システム CFIVE に関する開発と運用を行っている。また、講義のシラバスを用いてカリキュラムを分析する研究を行っている。その他、プログラミング能力 (スキル) の分析などを行っている。

2 カリキュラム分析

2.1 背景

シラバスに含まれる単語の分布を分析して可視化することで、カリキュラムの分析に活用するための研究を行っている。

大学等の高等教育機関はシラバスや年間授業計画の概要などを公表することが求められるようになった。従って、カリキュラムを分かりやすく比較可能な形で公開することが以前にも増して重要になっている。しかし、学習内容を取捨選択して、系統的に教育するカリキュラムを設計することは専門家にとっても容易ではない。そこで、学会が、カリキュラムの模範となるカリキュラムモデルを提案することがある。

例えば、ACM と IEEE は計算機科学分野にかかわるカリキュラムの模範的なモデルを古くから提案している。例えば、2001 年には Computing Curricula 2001 Computer Science (CC2001CS) を公開しており、2008 年にも CC2001CS を改訂した Computer Science Curriculum 2008 (CS2008) を発表している。一方、国内では、情報処理学会が CC2001 を参考にした上で多数の変更と追加を加えた独自のものとして、コンピュータ科学カリキュラム標準 J07-CS を提案している。

情報科学技術の発展の速さを考えると、学会も世の中の変化に追従してなるべく早くカリキュラムのモデルを更新しなければならないが、提案されているカリキュラムモデルは過去のものと比べてどの程度変化しているかは注目に値する。

2.2 内容

2011 年度は、Latent Dirichlet Allocation(LDA) と Isomap を用いたカリキュラム分析手法を応用して、異なるカリキュラム標準 CC2001CS と J07-CS の相違点を分析した。

2.2.1 カリキュラム分析手法

カリキュラム分析にあたっては、次の 3 種類のカリキュラムを導入する。ここでは、カリキュラムはシラバスの集合と定義する。

Target Curriculum $C_{\mathbf{target}}$：本手法を用いて分析するカリキュラム。

Model Curriculum $C_{\mathbf{model}}$ ： Target Curriiculum が対象とする学問分野を広くカバーする標準的かつ模範的なカリキュラム。

Reference Curriculum $C_{\mathbf{ref}}$ ：Target Curriculum の分析にあたって比較基準となるカリキュラム。

カリキュラムの分析は次の 3 つのステップによって実施する。

Step 1: Model Curriculum からのトピックの抽出
標準的なカリキュラム C_{model} を LDA で分析することで、当該学問分野におけるトピックの生成モデルを推定する。以降の Step では、この生成モデルを固定して、分析対象となるカリキュラムの標準的なトピック空間として用いる。

Step 2: Reference Curriculum を用いた基準となるマップの生成
まず Step 1 の生成モデルを利用して、C_{ref} の各シラバスのトピック空間内の位置を LDA で推定する。これにより、C_{ref} の全シラバスを、基準となるトピック空間に配置する。しかし、トピック空間は T 次元の空間であり、このままでは、カリキュラムの全体構造を把握することが困難である。そこで本研究では、高次元空間内でのシラバスの分布がなるべく保たれるように、多様体構造を保持したままこれを広げるようにして次元を縮退する手法である Isomap を用いる。

この結果、C_{ref} のシラバスを二次元平面上に展開したカリキュラムのマップが得られる。

Step 3: Target Curriculum のマップへの投影
最初に、Step 2 と同様に生成モデルに基づいて、C_{target} の各シラバスを LDA で推定する。これによりトピック空間に C_{target} が配置される。

次に、各シラバスを、 Step 2 で求めたマップに投影する。この結果、C_{target} の全てのシラバスが、Step 2 で求めた C_{ref} のマップと同一の二次元平面上に投影され、異なるカリキュラムを同一のマップ上で比較できる。

2.2.2 カリキュラム標準の比較方法

カリキュラム標準 CC2001CS と J07-CS においては、対象とする分野全体を、Knowledge Area やエリア[1]と呼ぶ十数個のまとまりに分けている。そこで、このエリア同士が似ているか否かを判断する。

異なるカリキュラム標準をそれぞれ Model Curriculum として用いて、あるカリキュラムを Target Curriculum として分析するならば、当該シラバスを基準として、カリキュラム標準のエリア 同士を比較できる。

また、トピック空間の基準となるそれぞれのトピックについては、文書に含まれる単語との関連の強さが LDA の処理結果として得られる。ここで、トピックはカリキュラム標準のエリアと一致するように調整していることから、エリアを特徴付ける単語が明らかになる。カリキュラム標準 C_A のエリア K_A と関係の強い単語の集合と、対応するカリキュラム標準 C_B のエリア K_B と関係の強い単語の集合は、K_A と K_B の内容が近ければ、ほぼ一致することが期待される。つまり、カリキュラム標準の比較手法は以下の通りである。

1. カリキュラム標準 C_A を Model Curriculum として、2.2.1 節の Step 1 を実施する。これによって、C_A の各エリアに対応する LDA のトピック、つまり C_A のエリアに関わる単語の集合を得る。

2. あるカリキュラム C を Target Curriculum として、2.2.1 節の Step 3 を実施する。これによって、C_A のエリアと C のシラバスとの関係を得る。

[1]以下では、特に一方のカリキュラム標準について言及する場合を除き、いずれも「エリア」と表記する。

3. カリキュラム標準 C_B を Model Curriculum として、また 2 で用いたのと同じカリキュラム C を Target Curriculum として、上記の 1,2 を実施する。これによって C_B の各エリアに関わる単語の集合と、C_B のエリアと C のシラバスとの関係を得る。

4. 上記 1, 3 の結果から以下の 2 つについて評価する。

   A. 関連の強い単語に基づくエリアの比較 C_A と C_B において、互いに関連があるそれぞれのエリアに対応する単語の集合が一致するか。

   B. 関連の強いシラバスに基づくエリアの比較 C のシラバスで最も強く関連のあるエリアが、C_A と C_B で一致するか。

2.2.3 実験

CC2001CS は、計算機科学の分野を 14 個の Knowledge Area に分類した上で、個々の Area には約 10 個程度の Knowledge Unit を定義している。この Unit が計算機科学分野の大学生が学習すべき内容に相当する。

一方、J07-CS は、国内の多くの理工系情報学科を想定する一方で、特に米国カリキュラムモデル CC2001CS との整合性を考慮し、かつ日本の科学技術の特長と独自性を活かすべく提案された内容になっている。計算機科学分野を 15 のエリアに分けた上で、さらにユニットという単位に分ける点は、CC2001CS と同様である。個々のエリアは J07-CS と CC2001CS はほぼ一対一対応するものの、CC2001CS に無い「MR: マルチメディア表現」というエリアが J07-CS では設けられている。エリア毎の対応関係を表 1 に示す。

なお、J07-CS の分析にあたっては、テキストから単語を抽出する際に形態素解析ツール mecab を用いて、名詞のみを抽出した。形態素解析に用いる辞書は特に変更していない。一方、CC2001CS の分析にあたっては、英文の分かち書きに基づいて単語を抽出し、stop word の除去 と stemming を行っている。

A. 関連の強い単語に基づくエリアの比較

J07-CS の各単語について、CC2001CS の上位 20 語の中に同じ意味を持つと考えられる英単語がある場合はそれを太字で示している。これより J07-CS の単語上位 20 個には CC2001CS の単語 6 個があり、特に J07-CS の上位 10 語のみに絞ると 2 語が含まれている。

同様に他のエリアについても単語の一致を調べた結果と、エリア毎の単語の一致個数の平均を表 2 に示す。数字を太字で示しているのは、全てのエリアの平均よりも一致する語が少ない場合である。あるエリアについて、上位 20 語と 10 語の両方が平均より少ない場合、エリアのタイトルも太字で示している。 ここから一致する単語が少ないエリアとして、DS:離散構造, AL:アルゴリズム, HC:ヒューマンコンピュータインタラクション, IM:情報管理, SP:社会的視点と情報倫理は J07-CS と CC2001CS とで内容が異なると考える。

B. 関連の強いシラバスに基づくエリアの比較

国内のある大学の学科の情報系のカリキュラムを Target Curriculum として分析した。但し、CC2001CS は英語で、分析対象の学科のカリキュラムは日本語で記述されていることから、分析にあたってはカリキュラムの内容を英訳する必要がある。そこで、今回の実験では、Google 翻訳[2]を用いて、学科のカリキュラムを英訳し、その結果を用いて CC2001CS と比較している。表 3 に、各シラバスと最も関係が強いエリア を示す。12 個の内 9 個の講義シラバスで最も関係の強いトピックが一致している。この結果から以下の点が推測される。

- あるシラバスについて、J07-CS と CC2001CS とでエリアが一致しない場合、そのエリア は内容が異なる。→ HC:ヒューマンコンピュータインタラクション、CN:計算科学と数値計算

[2] http://translate.google.com/

表 1: J07-CS と CC2001CS との比較

	J07-CS	CC2001CS	J07-CS から見た CC2001CS との違い
DS	離散構造	Discrete Structures	“set theory,” “graph theory,” “combinatorics” のような専門用語が少ない。CC2001CS DS の 6 つの Unit と AL の一部 “AL7. Automata theory” が含まれる。
PF	プログラミングの基礎	Programming Fundamentals	ほぼ同内容。
AL	アルゴリズム	Algorithms and Complexity	“Floyd’s Algorithms,” “PRAM (Parallel Random Access Machine)” などの具体的用語が CC2001CS に比べてやや少ない。「主成分分析」などを説明する「AL9 データ分析アルゴリズム」等の独自のユニットあり。
AR	アーキテクチャと構成	Architecture and Organization	ほぼ同内容。
OS	オペレーティングシステム	Operating Systems	“Scripting (OS12)” が無い。「分散ファイルシステム」や「セキュアオペレーティングシステム」などの新しい用語がある。全体の説明やユニット構成は大体近い。
NC	ネットワークコンピューティング	Net-Centric Computing	全体の説明やユニット構成は大体近い。但し、“Compression and decompression (NC7)” や “Multimedia data technologies (NC8)” のマルチメディア関連の記述が異なる。
PL	プログラミング言語	Programming Languages	「PL8 論理型言語」や「PL9 スクリプト言語」という独自のユニットが含まれる違いがある。
HC	ヒューマンコンピュータインタラクション	Human-Computer Interaction	エリア全体の説明で “interactive software,” や “user interface” 等の具体的用語が少ない。個々のユニットの記述は同様。
MR	マルチメディア表現	—	
GV	グラフィックスとビジュアル・コンピューティング	Graphics and Visual Computing	全体としては CC2001CS を踏襲しているが、「メタボール」や「ボクセル」などの用語や、ユニット「GV3 2 次元画像の生成と加工」が含まれることが独自。
IS	インテリジェントシステム	Intelligent Systems	「SVM」「PAC 学習」等を含むユニット「IS8 機械学習のニューラルネット」 がより詳しい。全体的には CC2001CS に近い。
IM	情報管理	Information Management	オブジェクト指向モデルの「継承」や「カプセル化」、トランザクションに関する「ACID 特性」のような、具体的な用語を多く含むが、全体としては同様の内容。
SP	社会的視点と情報倫理	Social and Professional Issues	ユニットの構成はほぼ同様。“International issues” が無いが「情報関連法」や「P2P」が加わるなど、国内事情に合わせて調整。また、エリア全体の説明が非常に簡潔。
SE	ソフトウェア工学	Software Engineering	エリア全体の説明が要約されている一方で、「リファクタリング」や「アジャイル開発」などの用語が追加。ただし、ユニットの構成など全体としてはほぼ同様。
CN	計算科学と数値計算	Computational Science and Numerical Methods	ユニット構成はほぼ同様だが、エリア全体の説明で “Molecular dynamics” など適用範囲の具体例が省略されていたり、各ユニットで “Markov models and chains,” “Petri nets” などの具体的用語が含まれていない。

表 2: J07-CS の各エリアの単語集合の内 CC2001CS と一致する個数

エリア	上位 20 語	上位 10 語
DS: 離散構造	**6**	**2**
PF: プログラミングの基礎	10	6
AL: アルゴリズム	**6**	**3**
AR: アーキテクチャと構成	**9**	6
OS: オペレーティングシステム	10	6
NC: ネットワークコンピューティング	10	6
PL: プログラミング言語	10	8
HC: ヒューマンコンピュータインタラクション	**7**	**5**
MR: マルチメディア表現	-	-
GV: グラフィックスとビジュアル・コンピューティング	11	**5**
IS: インテリジェントシステム	15	6
IM: 情報管理	**9**	**5**
SP: 社会的視点と情報倫理	**9**	**5**
SE: ソフトウェア工学	12	7
CN: 計算科学と数値計算	**9**	6
平均	9.5	5.4

- あるシラバスについて、J07-CS と CC2001CS とでエリアが一致する場合、そのエリアは内容が類似している。→ DS:離散構造、PF:プログラミングの基礎、OS:オペレーティングシステム、GV:グラフィックスとビジュアル・コンピューティング、SP:社会的視点と情報倫理、SE:ソフトウェア工学

C. テキストとしての比較

「A. 関連の強い単語に基づくエリアの比較」と「B. 関連の強いシラバスに基づくエリアの比較」の分析結果の差異について検討する。

まず、表 1 の最右列には、J07-CS と CC2001CS の各エリア全体を説明する文章と、そのエリアに属するユニットでトピックや学習成果として挙げられている内容とを、著者らが読み取って比較した結果を示している。その結果、全体の説明やユニットの内容が異なるエリアとしては、DS:離散構造、AL:アルゴリズム、PL:プログラミング言語、HC: ヒューマンコンピュータインタラクション、SP:社会的視点と情報倫理, GV:グラフィックスとビジュアル・コンピューティング, CN:計算科学と数値計算が挙げられる。

表 4 は、J07-CS と CC2001CS とで、対応するエリアがよく一致しているかそれとも異なっているかについて、A と B で示した分析結果と、著者らの判断結果とをまとめたものである。一致すると考えられる場合「○」、異なると考えられる場合は「△」、判断できない場合は「–」としている。

例えば DS は、単語による評価結果より J07-CS と CC2001CS とが異なると判断され、テキストを見るとエリア全体の説明やユニットに違いがあることが分かった。CC2001CS DS には無い「文脈自

表 3: 各シラバスと関係が強いエリア

シラバス名	J07-CS	CC2001CS
c01:複合系計画論 II	SP 0.346	SP 0.250
c02:情報システム科学 I	DS 0.501	DS 0.258
c03:情報システム科学 II	SE 0.211	SE 0.273
c04:情報システム科学 III	OS 0.292	OS 0.264
c05:情報システム科学 IV	**HC** 0.193	GV 0.179
c06:情報システム科学 V	GV 0.582	GV 0.701
c07:情報システム科学実習 I	PF 0.347	PF 0.260
c08:システム基礎科学実験 I	**AL** 0.200	IM 0.227
c09:システム基礎数学 III	DS 0.411	DS 0.232
c10:システム数理演習	**CN** 0.402	AL 0.187
c11:システム理論 II	AL 0.231	AL 0.343
c12:システム理論演習	DS 0.522	DS 0.353

由言語」などを扱うユニットが、J07-CS に含まれており、その結果としてエリアを特徴付ける単語として「言語」などが得られている。

単語かシラバスのいずれかの方法で内容が異なると推測したエリアは、テキストの上でも内容が異なり、今回の手法が、カリキュラム標準の相違点の分析において参考にできると考えられる。

2.3 具体的成果

LDA を用いたカリキュラム分析手法を応用して、カリキュラム標準を比較する手法を示した。その成果を [査読付 1] で発表して論文賞を受賞した。

3 プログラミング能力の分析

3.1 背景

プログラミング教育を支援する上では、初学者がどのようにプログラムを作成できるようになるのか、どのような問題で躓くのかを分析した上で、教育方法を検討する必要がある。しかし、分析のために学生に多くの課題を与えたりすることは、学生にとっても教員にとっても大きな負担となる。そこで本研究では、定期試験においてプログラミングに関わる各種のスキルや概念に対応する設問を用意し、各設問の得点結果を統計的に処理する事でスキルや概念間の関係を分析することを試みている。

表 4: J07-CS と CC2001CS との比較

	A. 単語	B. シラバス	C. テキスト
DS	△	○	△
PF	–	○	○
AL	△	–	△
AR	–	–	○
OS	–	○	○
NC	–	–	△
PL	–	–	△
HC	△	△	△
MR	–	–	–
GV	–	○	△
IS	–	–	○
IM	△	–	○
SP	△	○	△
SE	–	○	○
CN	–	△	△

3.2 内容

コンピュータ科学教育に関するカンファレンス ITiCSE 2001 の McCracken らのワーキンググループは、プログラミングに関わるスキルとして、プログラムの流れを追うスキル (Trace)、プログラムの意味を説明するスキル (Explain)、与えられたメソッドを用いてプログラムを組み立てるスキル (Writing) などを提案している。

本研究では McCracken らのスキルに加えて、既存のプログラムを与えられた要件に合わせて修正するスキル (Modification) と一からプログラムを作成するスキル (Programming) を提案し、各スキルに合わせた設問で構成されるプログラミング能力を測る筆記試験を作成した。各設問では、条件分岐 (if 文) を扱っているか、ループ構造 (for や while) を含むかなど、プログラミングスキルとは別に、プログラム構成要素による違いも有る。そこで、試験の解答結果を統計的に処理することで、スキル間の関係だけでなく、構成要素同士の関係も得られる。

上記の試験を、プログラミング初心者である約 80 名の大学生に対して実施した。事前に被験者は、Ruby による初歩的なプログラミングの授業を約 3ヶ月 (11 回) 受講している。被験者の成績を、スキル毎と構成要素毎得点の相関や四分位で分けた人数分布から、以下のような知見が得られた。

- Modification や Programming が、他のスキルとは異なるスキルである。
- ループよりも条件分岐の方が、初学者には難しい。
- ループや条件分岐が二重化されると、初学者にはよりいっそう難しくなる。

3.3 具体的成果

研究で明らかになった知見を [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, 山口 和紀: カリキュラム標準 J07-CS と CC2001CS の比較に関する報告, 情報教育シンポジウム SSS2011, pp.3–10, 2011 年.

[査読付 2] Yamamoto, M., Sekiya, T., and Yamaguchi, K.: Relationship between Programming Concepts Underlying Programming Skills, ITHET 2011, Proceedings of 10th International Conference on Information Technology Based Higer Education and Training, PS7-1, Kusadasi, Turkey, 2011.

その他の発表論文

[発表 1] 丸山 一貴, 関谷 貴之: 学外システム連携による教育用計算機システムプリントサービス, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-IOT-16, No.9, 2012.

Web 検索結果ページの改善と教育用計算機システムの設計

丸山 一貴

1　背景

検索エンジンによる結果提示は、検索にヒットしたページの (1) タイトル、(2)URL、(3) 文字ベースのスニペットからなる。ユーザは検索結果ページ（SERP）で示された各ページが自分の所望の情報を含むかを、これら 3 つの情報に基づいて判断し、クリックするかどうかを決める。一般的な検索エンジンが提示する文字ベースのスニペットは、1 つのページに関する情報を限られたスペースで示すという制約がある。一方で、1 つのページにはキーワードが複数現れるし、それぞれの出現箇所では異なる話題を扱っている可能性もあるため、検索エンジンユーザに文字ベースのスニペットで適切に情報を与えることは自ずから限界がある。また、ユーザが本来欲していたのは「知りたい情報が書いてあるかもしれない Web ページ」ではなく「Web ページに書いてある情報そのもの」であるはずである。

2　内容

本研究では、我々は Visual Patch（以下、VP）と呼ぶ「視覚的コンテキストに基づくスニペット」を提案する。これは Web ページを実際にレンダリングし、検索キーワード付近をトリミングして提示するものである。これにより、ページという単位ではなく、ページの中の具体的な情報という単位で検索結果を提示できることができる（図 1）。

この例では (1) 列の左と中央、(2) 列の中央に所望の情報である approval rating が表示されていることが分かる。図にある 9 個の VP は全てキーワードを含んでいるが、注目すべきものがすぐに分かることが重要である。

2.1　実装

図 1 の SERP を実現するために実装したシステムの構成図を図 2 に示す。システムは大きく以下 3 つの部分に分かれている。

- ユーザとのインタラクションを行うクライアント側
- ページをレンダリングして VP を生成し、SERP を作るサーバ側
- 検索キーワードから検索結果として URL のリストを返す Yahoo!の検索 API

クライアント側とサーバ側にはいずれも、我々が開発したアドオンを組み込んだ Firefox があり、VP の生成や VP をクリックしたときの表示において自動的なナビゲーションを行うよう設定されている。ユーザがシステムにページ検索キーワードと VP キーワードを入力して検索すると、図中の (8) で示したステップが実行されて図 1 の結果が提示される。ユーザが特定の VP をクリックすると、(9) 及び (10) が実行され、該当ページの該当箇所がクライアント側のブラウザに表示される。

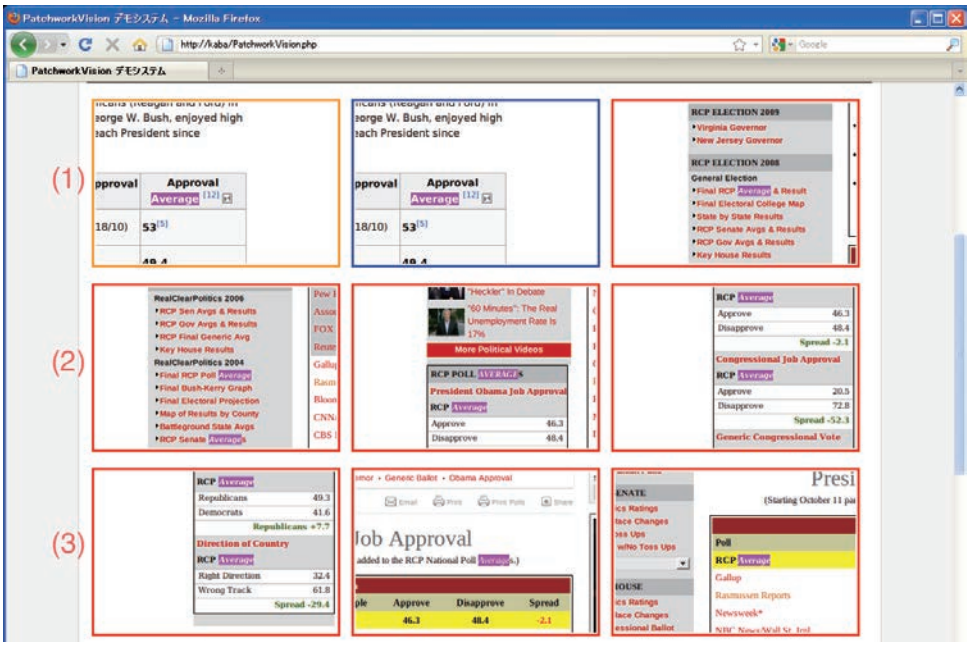


図 1: Visual Patch のみによる SERP。ページ検索キーワードは “obama approval rating” 、VP キーワードは “average” とした例。

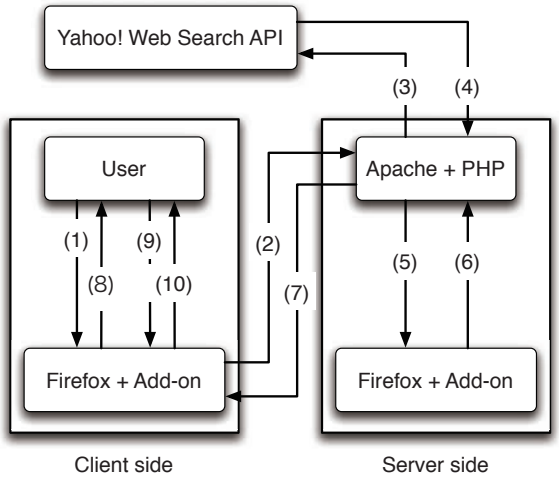


図 2: 試作システムの構成

試作システムではユーザへのレスポンスタイムを長くしすぎないために、ステップ 5 でサーバ側 Firefox に渡す URL を検索結果の上位 10 個に制限している。サーバ側 Firefox は 10 個の URL をレンダリングした上で VP キーワードを探して VP を生成する。現在は CPU に Intel Core i7 2.8GHz、メモリ 4GB 搭載のコンピュータをサーバとして使用しているが、SERP の表示には 15 秒程度を要しており、VP 生成手法の改善と並列化、レンダリングしたページの情報をキャッシュに残す等の高速化が必要である。

2.2 定性評価

予備実験として学生 9 名に検索タスクを実行してもらい、定性的な評価を行った。SERP で視覚的な情報が得られることや、探している情報が具体的な場合には有効であるというポジティブな意見があった一方で、VP キーワードの入力が煩雑であるとか、ページ検索キーワードの選択によってはごく少数の結果しか得られないといった指摘も見られた。

VP キーワードは、短期的にはページ検索キーワードのうち末尾のものを自動的に割り当てるという方法がある。一方、複数の単語で検索した場合にそれぞれの単語を含む VP をどのようにレーティングして表示順序を制御するか検討する必要がある。多量の VP を表示する場合にはコンテンツによるクラスタリングが重要になると考えられ、この問題は、より長期的にはその表示方法において検討すべき課題の 1 つである。

ページ検索キーワードによって結果が少なくなってしまう問題は、現在の実装と処理時間の問題に起因している。サーバ上で単一のブラウザによって VP を処理している方式を並列化することで、より多数のページを処理できるものと考えられる。

2.3 具体的成果

共著で論文を執筆し、国際会議で登壇発表を行った（成果要覧の [査読付 1]）。

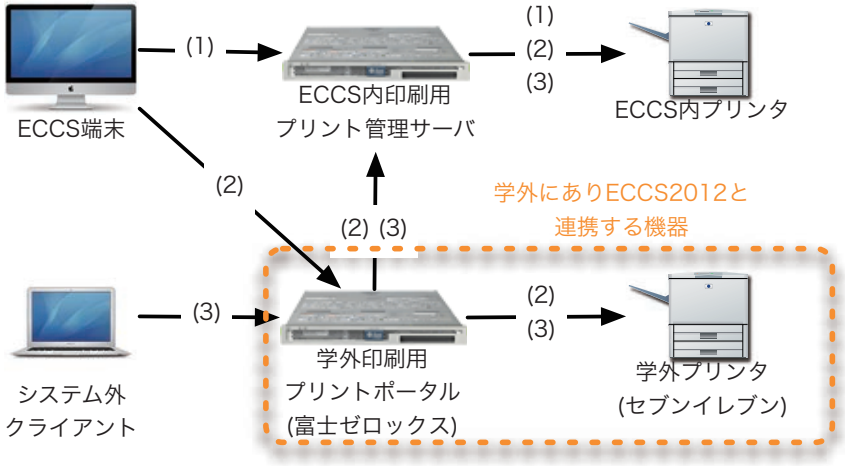
3 教育用計算機システムの設計

3.1 背景

情報基盤センターの教育用計算機システム（以下、ECCS という）は教養学部における前期課程教育（全科類で必修）、各学部 / 研究科における専門課程教育のための環境を提供している。ECCS には演習室や各部局に分散配置する端末、これらを利用するユーザのためのメールシステムがあり、加えて学内各組織のメールサーバを代行運用するメールホスティングサービスがあり、学内の全ての構成員の教育活動を支援している。端末は約 1,300 台、端末を利用するユーザは登録者数約 40,000 人、実利用者数約 22,000 人、メールホスティングサービスのユーザ数約 26,000 人という大規模システムであるだけでなく、教育・研究・業務遂行上で重要なメールシステムを含むことから、授業時間帯のみならず 24 時間 365 日の安定したサービス提供が求められている。

ECCS の端末に対する学内需要は依然として高く、利用者数は大学院生や教員を中心に増加傾向にある。メールホスティングサービス利用者数も引き続き増え続けており、システムの重要性は高まっている。一方で、システム運用の担当者数は変化がなく、予算は縮減の傾向にあり、サービスレベルを維持しながら、少人数でより効率よく運用できるシステムが望まれている。

2012 年 3 月にシステム更新を行い、ECCS2012 を導入した。今回の更新ではこれまで運用してきたシステムでの経験を活かしつつ、授業担当教員の要求への柔軟な対応や学外サービスとの連携、学生が所有する機器からのシステム利用支援、システム全体での機器及び管理コストの低減と省電力化を目指した。



(1) システム内から，システム内のみへ印刷するジョブ
(2) システム内から，ネットプリント用仮想プリンタへ送信したジョブ
(3) システム外から，ECCS専用プリンタドライバで送信したジョブ

図 3: ECCS2012 におけるプリントジョブの流れ

3.2 内容

ECCS2012 では様々な取り組みを行ったが、ここでは主要な 5 点について述べる。

3.2.1 デュアルブートを利用した端末の一本化

従来は Unix 端末としての Apple 社製 iMac と、Windows 端末としての NEC 社製 Express を別々の演習室に整備して、教員は講義内容に応じてこれらを使い分ける必要があった。ECCS2012 ではハードウェアを iMac に統一し、Mac OS と Windows のデュアルブート環境を構築することによりこの問題を解決した。

これに伴って、従来の NetBoot 方式による集中管理から、ローカル起動方式と管理ツールによる集中管理に移行した。端末 OS の管理方法がこれまでと変更されるが、複数のツールにより柔軟性を高めた構成としている。

3.2.2 システム外からの端末利用

システム外から端末環境を利用する場合、従来はコマンドラインでしか利用することができなかったが、ECC2012 では Mac OS のデスクトップ環境を利用可能とした。非常勤講師が教材を準備する場合や、学生が自宅から自習する場合の利便性を高めることで、学習の機会をより広く提供することを可能とした。

3.2.3 プリントサービスの利便性向上

プリンタ台数を 41 台から 28 台に大幅削減する一方で、利用者の利便性を高めるために、端末から送信した印刷ジョブを学外のプリンタでも出力可能なシステムとした。ECCS2012 では富士ゼロックス社のネットプリントサービスと連携することにより、システム内のプリンタに印刷するのと同様に全国のセブンイレブン店舗へ印刷ジョブを送り、出力結果を得ることができる。逆に、研究室や自宅のようなシステム外のコンピュータから、システム内のプリンタへ印刷ジョブを送ることも可能としている（図 3）。利用者の利便性向上のみならず、ECCS のプリンタの利用機会を高めることで東京大学全体としてのプリンタへの投資を効率化することに寄与する。

ECCS ではプリンタ出力にかかる費用を利用者に課金しているが、決済方法として従来のプリペイドカードだけでなく交通系電子マネーも利用可能とした。これにより、少額利用をしようとする利用

者の利便性を向上したと言える。

3.2.4 データの自動階層化とレプリケーションによるバックアップ

フラッシュのような高速だが高価なドライブと、SATA のような低速だが大容量のドライブ、これらの中間に位置する FC ドライブを組み合わせて利用することで、アクセス速度を向上しながら低消費電力化を達成する仕組みを導入した。この仕組みではブロックごとのアクセス頻度を解析しており、頻繁にアクセスされるブロックは高速なドライブへ、アクセス頻度が低いブロックは低速なドライブへ自動的に移動する。ECCS 端末のように講義時間割によって利用者が入れ替わるようなシステムでは有効に機能することが期待される。

従来のシステムでは、ファイルサーバのバックアップジョブが夜間に終了しない場合があることや、バックアップデータも同じサーバ室に保管していたため、建屋自体が機能を停止するような災害に脆弱であるという問題があった。ECCS2012 では主ファイルサーバを駒場に、副ファイルサーバを本郷に設置し、主ファイルサーバから副ファイルサーバに最短 10 分間隔でレプリケーションを行う構成とした。ECCS のファイルサーバではバックアップデータの世代管理が不要であったことにより、この構成で前述の問題を解決した。

3.2.5 シングルサインオンの導入とユーザ管理システムの刷新

端末で Web メールや学習管理システム（CFIVE）を利用する際、従来は端末ログインに加えて各 Web システムでのログインが必要となっていた。ECCS2012 では、端末でこれら Web システムを利用する際には個別のログインを不要とするシングルサインオンを実現している。

また、従来は完全に内製していたユーザ管理システムを、(1) 商用システムの標準機能、(2) カスタマイズ部分、(3) 内製が必要な部分に分割して再構築した。これにより業務フローに合わせた柔軟性を維持しながら、業務担当者の運用コスト削減を実現している。

3.3 具体的成果

プリントサービスの設計と構成について、発表を行った（成果要覧の [発表 3]）。プレスリリースの発表及び見学会を開催するとともに、取材対応を行った（成果要覧の [報道 1]、[報道 2]、[報道 3]、[報道 4]、[報道 5]、[報道 6]、[報道 7]、[報道 8]）。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Kazutaka Maruyama, Masato Igeta, Minoru Terada: Search Engine Result Page with Visual Context and Already Rendered Snippets, In Proceedings of the 7th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST2011), pp.340–345, 2011.

[査読付 2] 大井 彩香, 寺田 実, 丸山 一貴: Web ページの分類と閲覧時間を利用したコンテンツフィルタリング, 情報処理学会・電子情報通信学会 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011) 講演論文集 (第 4 分冊), RO-007, pp.137–140, 2011.

[査読付 3] 太田 侑介, 寺田 実, 丸山 一貴: Twitter におけるリツイート経路の重ね合わせによるユーザ発見支援, 情報処理学会・電子情報通信学会 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011) 講演論文集 (第 4 分冊), RM-008, pp.73–76, 2011.

その他の発表論文

[発表 1] 猪俣 順平, 寺田 実, 丸山 一貴: PAD を利用したパズル型プログラミング学習システム, 情報処理学会・電子情報通信学会 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011) 講演論文集 (第 3 分冊), K-005, pp.717–720, 2011.

[発表 2] 前田 光教, 丸山 一貴: 学内組織向け DNS ホスティングサービスの運用, 大学 ICT 推進協議会 2011 年度年次大会論文集, pp.307–310, 2011.

[発表 3] 丸山 一貴, 関谷 貴之: 学外システム連携による教育用計算機システムプリントサービス, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-IOT-16, No.9, 2012.

報道関連

[報道 1] マイナビニュース,「自動化」がカギ! クラウド時代のクライアント管理術 (3) 東京大学が Mac & Windows 混在 PC 1,321 台を Kaseya で管理: http://news.mynavi.jp/series/Kaseya/003/index.html, 2012.

[報道 2] 日経コンピュータ 2012 年 3 月 15 日号, ホットニュース: 「NEC が東大の教育用システムを構築、受注額 7 億円超」のタイトルで ECCS2012 での新しい取り組みを紹介, pp.12, 2012.

[報道 3] PC Online, 東京大学情報基盤センター、学生・教職員用の新情報システムを披露: http://pc.nikkeibp.co.jp/article/news/20120323/1044562/, 2012.

[報道 4] ITmedia エンタープライズ, 1321 台の iMac をブートキャンプ、東大が構築した新「教育用計算機システム」: http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1203/23/news073.html, 2012.

[報道 5] マイナビニュース, 東大情報基盤センターが教育用計算機システム刷新、NEC/EMC 製品を採用: http://news.mynavi.jp/news/2012/03/26/005/, 2012.

[報道 6] ZDNet Japan, 東京大学情報基盤センター、教育用システム稼働–iMac1300 台導入: http://japan.zdnet.com/os/case-study/35015464/, 2012.

[報道 7] RBB TODAY, 東京大学情報基盤センター、教育用計算機システムを刷新……NEC と EMC がシステム構築: http://www.rbbtoday.com/article/2012/03/23/87580.html, 2012.

[報道 8] 日刊工業新聞ニュース, ＮＥＣ、東大のシステムを構築－２拠点でデータ複製: http://www.asahi.com/digital/nikkanko/NKK201203260018.html, 2012.

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

杉本 雅則
アダプティブセンサアレイを用いた音響イメージング

吉田　稔
テキストマイニングの基盤技術・応用技術に関する研究
― テキストマイニングによる機器異常診断支援 ―

佐藤 一誠
確率的潜在変数モデルの統計的学習理論に関する研究
-ネットワークデータへの応用-

清田 陽司
組織間の「緩やかな連携」が生み出す価値

学術情報研究部門

概要

部門長　中川裕志

学術情報研究部門は、情報検索、情報抽出、データマイニング、統計的機械学習、テキスト処理の研究を行っている。平成 23 年度は、教授 1 名、准教授 1 名、助教 2 名、特任講師 1 名、また大学院生としては情報理工学系研究科博士課程 5 名、修士課程 4 名、学際情報学府博士課程 2 名修士課程 5 名、工学系研究科博士課程 4 名、修士課程 5 名（研究生 3 名）が在籍し、具体的には以下にあげるような研究を行なった。この結果、査読論文 36 件、特許申請 1 件、招待講演等 8 件、受賞 1 件、その他発表 21 件、特記事項 18 件、報道 1 件の成果をあげた。

1　研究内容

1.1　統計的機械学習

本年度の統計的機械学習の研究としては、教師ありデータと未知データを組み合わせて正行列分解に適用して知識獲得する手法[査読付 1,7]を提案した。教師ありオンライン学習としては、特徴の出現回数に応じた L1 正則化により重要な素性が削除されないようにするアルゴリズム[査読付 3,6]を発表し、情報処理学会から受賞した[受賞 1]。学習者の語彙量を推定する英語読解支援システムの開発した[査読付 2] [発表 4]。量子力学のトンネル効果にヒントを得た探索範囲の広い教師なし学習アルゴリズムを提案した[発表 1]。 テキストマイニングにおいては、プラント機器の異常レポートから診断情報を抽出する手法[発表 3]の提案と評価、Twitter1 年半分のテキストから風邪の流行予測を行うアルゴリズムの提案と評価[発表 5,6]、新聞記事からの時系列な市場予測[発表 7, 8, 9]を行った。また、特許テキストからの辞書自動獲得についての調査研究をおこなった[特記 1]。

情報ナビゲーションに関しては、図書館システムの将来像を検討し[招待 2, 7] [特記 4, 5] [報道 1]、これらの一部は図書館総合展で展示発表した[招待 6]。

1.2　音響イメージング

音響イメージングにおいて，高速かつ高画質のイメージング技術を確立すれば，ロボットビジョン，海底資源探査，医療など，広い分野での応用が期待される．今年度は，イメージング手法についての理論と実装の両面から研究を進めた．理論面では，受信センサアレイを用い，CT (computer tomography)等でも用いられる逆投影法(back propagation)によるイメージング手法を提案し，その理論的解析および従来のビームフォーミングによるイメージング手法との比較検討，さらには逆畳み込みフィルタ(deconvolution filter)の効果について，シミュレーションを通して明らかにした[査読付 12, 24,35].

実装面では，マルチキャリアの音響信号および合成送信開口の手法を用いることで，実時間でのイメージングシステムを構築した．ノイズ低減のための送信信号のパラメータを最適化することで，取得される画質の改善と高速化を実現した．さらに，独自に開発した 3 次元イメージング用デバイスに用いられている送受信機の振幅および位相特性を補償することで，さらなる画質向上が可能であることを示した[査読付 13,25,26,36].

2　学術情報研究部門 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 清田陽司 ： 世の中を変える「仕組み」を創り出すための人生戦略，京都大学工学部情報学科計算機工学コース科目「情報と職業」，京都大学吉田キャンパス，京都市，2011 年 4 月.

[招待 2] 清田陽司 :曖昧な情報ニーズの具体化を目的とした情報ナビゲーション技術の研究, TP&D フォーラム 2011（整理技術・情報管理等研究集会）, 熱海金城館, 静岡県熱海市, 2011 年 8 月.

[招待 3] 清田陽司 ： Hadoop による大規模データ処理 , 平成 23 年度 QBP ワークショップ, 九州インターネットプロジェクト主催 , 神湊スカイホテル , 福岡県宗像市, 2011 年 10 月.

[招待 4] 清田陽司 : Why Hadoop?－情報インフラとしての Hadoop の性質－, WebDB Forum 2011 特別セッション 1「Hadoop による大規模データ解析」, 工学院大学新宿キャンパス, 東京都, 2011 年 11 月.

[招待 5] 清田陽司 ： 地域密着型情報サービスにおけるレコメンデーション技術の研究開発, WebDB Forum 2011 技術報告セッション , 工学院大学新宿キャンパス , 東京都, 2011 年 11 月

[招待 6] 清田陽司 ： ネクスト・リッテル研究所のこれまで・これから ， 第 13 回図書館総合展/学術情報オープンサミット 2011 フォーラム企画「アカデミックとリアルの谷を超える道」，株式会社ネクスト主催，横浜市，2011 年 11 月．(Ustream: http://www.ustream.tv/recorded/18443150, 開催レポート : http://2011.libraryfair.jp/node/279)

[招待 7]清田陽司 ： ヒトと社会が大規模データ処理に求めていることは何か？, マイニングナイト，アカデミック・リソース・ガイド株式会社主催，さくら WORKS＜関内＞, 横浜市, 2011 年 11 月.

[招待 8] 清田陽司 ： パネルディスカッション【 Real + Internet + Technology】, 第 4 回楽天研究開発シンポジウム , 楽天技術研究所主催, 楽天タワー 2 号館, 東京都, 2011 年 11 月.

受賞関連

[受賞 1] 情報処理学会コンピュータサイエンス領域奨励賞 : 大岩秀和（中川が大学院にて指導）数理モデル化と問題解決研究発表会 MPS10-82-D, 2011 年.

査読付論文

[査読付 1] Shingo Takamatsu, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Reducing Wrong Labels in Distant Supervision for Relation Extraction. *ACL 2012*(*Association of Computational Lingusitics*). Jeju, Korea on July 8-14, 2012 (accepted as oral presentation).

[査読付 2] Yo Ehara, Nobuyuki Shimizu, Takashi Ninomoya, Hiroshi Nakagawa: Personalized Reading Support for Second-Language Web Documents. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2010. (accepted).

[査読付 3] 大岩秀和，松島慎，中川裕志 ： 特徴の出現回数に応じた L1 正則化を実現する教師ありオンライン学習手法．情報処理学会論文誌，Vol.50 TOM 4(3). pp.84-93. 2011 年 7 月.

[査読付 4] 森井正覚，佐久間淳，佐藤一誠，中川裕志 : 統合したグラフのプライバシ保護リンク解析．情報処理学会論文誌, Vol.50 TOD 4(2). pp.52-60. 2011 年 5 月.

[査読付 5] Bing Yang, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Secure Clustering in Private Networks. *11th IEEE International Conference on Data Mining*(ICDM), pp.894-903. Vancouver, Canada. Dec.11-14, 2011

[査読付 6] Hidekazu Ooiwa, Shin Matsushima, Hiroshi Nakagawa : Probabilistic Frequency-aware Truncated methods for Sparse Online Learning. *The European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases* (ECML PKDD 2011) , Springer Lecture Notes Artificial Intelligence (LNAI)6911, ECML PKDD , Part II . pp.533-548, Athens, Greek. Sept. 9, 2011

[査読付 7] Shingo Takamatsu, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa. " Probabilistic Matrix Factorization Leveraging Contexts for Unsupervised Relation Extraction". *PAKDD2011*, Springer Lecture Notes Artificial Intelligence (LNAI)6634, Part I. pp.87-99, Shenzhen, China. May. 2011.

[査読付 8]Sugimoto, M., Fujita, T., Mi, H., Krzywinski, A.: RoboTable2: A Novel Programming Environment using Physical Robots on a Tabletop Platform, *ACM Computers in Entertainment* (2012, to appear).

[査読付 9] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: A Novel Template-Based Automatic Rigging Algorithm for Articulated-Character Animation, *Computer Animation and Virtual Worlds* (2012, to appear).

[査読付 10] 藤田 智樹, 米 海鵬, 杉本 雅則: テーブルトップ環境における新しいロボットプログラミング手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 3, pp.1101-1109 (2012).

[査読付 11] Mi, H., Krzywinski, A., Fujita, T., Sugimoto, M: RoboTable: An Infrastructure for Intuitive Interaction with Mobile Robots in a Mixed Reality Environment, *Journal of Advances in Human-Computer Interaction,* Volume 2012, ID 301608, 10 pages (2012).

[査読付 12] Mizutani, M., Ito, I., Sugimoto, M., Hashizume, H.: TSaT-MUSIC: A Novel Algorithm for Rapid and Accurate Ultrasonic 3D Localization, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2011**:**101 (doi:10.1186/1687-6180-2011-101).

[査読付 13] Ito, T., Sugimoto, M., Hashizume, M.: Evaluation of Acoustic Imaging System using Correlation Division in Synthetic Transmit Aperture with Multicarrier Signals, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences,* Vol. E94-A, No. 10, pp. 1907-1919 (2011).

[査読付 14] Sugimoto, M.: A Mobile Mixed Reality Environment for Children's Storytelling using a Handheld Projector and a Robot, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, No.4, Vol.3, pp.249-260 (2011).

[査読付 15] Siriborvornratanakul, T., Sugimoto, M.: ipProjector: A Vision-Based Framework for Unsupervised Ubiquitous Object Augmentation Using a Portable Projector-Camera System, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing,* Volume 2011 (2011), Article ID 572596, 17 pages, (doi: 10.1155/2011/572596).

[査読付 16] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: A Novel Framework for 3D Computer Animation Systems for Nonprofessional Users Using an Automatic Rigging Algorithm, In *Proceedings of IEEE ICME 2012*, Melbourne, Australia (2012, to appear).

[査読付 17] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: Automatic Rigging Algorithm for 3D Character Animation, In *Proceedings of SIGGRAPH ASIA 2011*, Hong Kong 2011. .

[査読付 18] Siriborvornratanakul, T., Sugimoto, M.: Cooperative Personal Projection Using Multiple DLP Projectors In *Proceedings of SIGGRAPH ASIA 2011*, Hong Kong 2011.

[査読付 19] Mi. H., Sugimoto, M.: HATs: Interact Using Height-Adjustable Tangibles in Tabletop Interfaces, In *Proceedings of ACM ITS 2011*, Kobe, Japan, pp. 71-74, November, 2011. (http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2071423.2071436)

[査読付 20] Ali, A., Kunz, A., Sugimoto, M. , Fjeld, M.: Dual Mode IR Position and State Transfer for Tangible Tabletops, In *Proceedings of ACM ITS 2011*, Kobe, Japan, pp.268-269, November, 2011.

[査読付 21] Sangsuriyachot, N., Mi, H., Sugimoto, M.: Novel Interaction Techniques by Combining Hand and Foot Gestures on Tabletop Environments, In *Proceedings of ACM ITS 2011*, Kobe, Japan, pp. 278-279, November, 2011.

[査読付 22] Sugimoto, M., Fujita, T., Mi, H.: RoboTable2: A Novel Programming Environment using Physical Robots on a Tabletop Platform, In *Proceedings of ACM ACE2011*, Lisbon, Portugal, November, 2011.

[査読付 23] Nakamura, S., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Measuring Phase Characteristics of Ultrasonic Microphones for Accurate Ultrasonic Localization Systems, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 24] Mizutani, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: 3D Reconstruction from Adaptive Matrix Microphone Array Signals using Back Projection Algorithm, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 25] Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: A Robust Doppler Ultrasonic 3D-imaging System with MEMS Microphone Array and Configurable Processor, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 26] Laokulrat, N., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Synthetic Transmit Aperture 3D Image Reconstruction Using 2D Transmitter Array, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 27] Nakamura, S., Sato, T., Terabayashi, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: An Accurate and Compact 3D Positioning System for a Moving Target by Integrating Extended Phase Accordance Method and Particle Filter, In *Proceedings of IEEE IPIN 2011*, Guimaraes, Portugal, September 2011.

[査読付 28] Sato, T., Nakamura, S., Terabayashi, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Design and Implementation of a Robust and Real-time Ultrasonic Motion-capture System, In *Proceedings of IEEE IPIN 2011*, Guimaraes, Portugal, pp.1-6, September 2011.

[査読付 29] Mi, H., Sugimoto, M.: Design, Implementations and Applications of Bidirectional Tangible Interfaces in a Tabletop Computing Platform, In *UbiComp 2011 Workshop on the Role of Design in UbiComp Research and Practice*, Beijing, China, September 2011 (http://211.151.90.25/ubicomp2011/ dates.html)

[査読付 30] Deguchi, A., Takeda, Y., Kusunoki, F., Tanaka, M., Inagaki, S., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Development and Evaluation of a Digital Environmental Learning Game for Children, In *Proceedings of ESERA2011*, Lyon, France, September 2011.

[査読付 31] Kusunoki, F., Takeda, Y., Tanaka, M., Yamaguchi, E., Deguchi, A., Kamiyama, S., Inagaki, S., Sugimoto, M.: Evaluation of the User Interface Design on Vegetation Interaction Game for Children, In *Proceedings of ACM VINCI 2011*, Hong Kong, China, August 2011.

[査読付 32] Deguchi, A., Kusunoki, F., Takeda, Y., Tanaka, M., Inagaki, S., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Improvement and Evaluation of Vegetation Interaction Game, In *Proceedings of IADIS GET 2011*, Rome, Italy, pp. 114-118, July 2011.

[査読付 33] Deguchi, A., Kusunoki, F., Inagaki, S., Takeda, Y., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Vegetation Interaction Game: Digital SUGOROKU to Learn Vegetation Succession for Children, In *Proceedings of CSCL 2011*, Hong Kong, China, pp.896-897, July 2011

[査読付 34] Sugimoto, M., Dao, V.N., Seki, E.: An Adaptive Projection Technique for Monochromatic Non-flat Surfaces using a Handheld Projector-Camera System, In *Proceedings of Mobile and Personal Projection 2011*, Vancouver, Canada, May 2011. (http://www.mhci.uni-due.de/mp2/pdf/sugimoto _mp2.pdf).

[査読付 35] Mizutani, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Acoustic Imaging Reconstruction from Adaptive Microphone Array Signals using Back Projection, In *Proceedings of 31st International Acoustical Imaging Symposium (AI-31)*, Warsaw, Poland, April 2011 (in press).

[査読付 36] Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: MEMS Microphone Array and Signal Pocessor for Realtime Acoustic Object Detection, In *Proceedings of 31st International Acoustical Imaging Symposium (AI-31)*, Warsaw, Poland, April 2011 (in press).

公開ソフトウェア

なし

特許申請／取得

[特許 1] 距離測定方法及びレーダー装置, 特許出願 2012-036383（2012 年 2 月 22 日）, 国内, 出願中.

その他の発表論文

[発表 1] 佐藤 一誠, 栗原 賢一, 田中 宗, 宮下 精二, 中川 裕志: 量子アニーリングによる無限混合モデルの並列最適化(機械学習とその応用)電子情報通信学会技術研究報告. IBISML, 情報論的学習理論と機械学習 111(87). pp.111-117. 2011 年 6 月.

[発表 2] 佐藤 一誠, 中川 裕志: 階層 Pitman-Yorトピックモデル(一般講演(学習の理論),機械学習とその応用)電子情報通信学会技術研究報告. IBISML, 情報論的学習理論と機械学習 110(76). pp.33-39. 2010 年 6 月.

[発表 3] 吉田 稔, 中川 裕志 , 渋谷 久恵, 前田 俊二 : テキストマイニングによる機器異常診断支援の試み: 第 4 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（第 10 回日本データベース学会年次大会）F5-4, 2012 年 3 月.

[発表 4] 江原遥, 佐藤一誠, 中川裕志:ブートストラップ法のための能動学習. 言語処理学会第 18 回年次大会. F1-1. 2012 年 3 月.

[発表 5] 谷田和章, 荒牧英治, 佐藤一誠, 吉田稔, 中川裕志: ソーシャルメディアによる風邪流行の予測. 言語処理学会第 18 回年次大会. A3-5. 2012 年 3 月.

[発表 6]谷田和章, 荒牧英治, 佐藤一誠, 吉田稔, 中川裕志: Twitter による風邪流行の推測, 人工知能学会情報編纂研究会第 6 回研究会, 東京, 2011 年 10 月.

[発表 7] 松井藤五郎, 石田智也, 中嶋啓浩, 和泉潔, 吉田稔, 中川裕志: 新聞記事を対象とした時系列テキスト分析による市場予測, 第 7 回人工知能学会ファイナンスにおける人工知能応用研究会（SIG-FIN）, 2011 年 10 月.

[発表 8] 吉田稔, 中川裕志, 石田智也, 中嶋啓浩, 松井藤五郎, 和泉潔, 池田翔, 本多隆虎, ニュース記事クラスタリングによる取引高予測の試み, 人工知能学会第 25 回全国大会, 2H1-OS18-7, 盛岡,2011 年 6 月.

[発表 9] 和泉潔, 池田翔, 石田智也, 中嶋啓浩, 松井藤五郎, 吉田稔, 中川裕志, 本多隆虎: テキスト分析による業種別平均株価の動向推定, 人工知能学会第 25 回全国大会, 2H1-OS18-6, 盛岡, 2011 年 6 月.

[発表 10]日向野達郎 , 増田英孝 ,清田陽司 , 中川裕志 : MediaWiki を利用した機関横断型文献情報統合システム , 第 20 回 Web インテリジェンスとインタラクション研究会 (電子情報通信学会 SIGWI2),サン・リフレ函館 , 北海道函館市, 2011 年 9 月.

[発表 11]日向野達郎 , 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～コミュニティベースのメタデータ対応付けの試み～ , 第 22 回 Web インテリジェンスとインタラクション研究会 (電子情報通信学会 SIG-WI2), 中央大学後楽園キャンパス , 東京都, 2012 年 3 月.

[発表 12]垣内 紀明, 杉本 雅則, 尾崎 憲幸, 菅原 良一:幾何光学モデルに基づくフロントガラス状の雨滴検出, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM)研究会, 東工大, 東京 (2012 年 3 月).

[発表 13] 中村 成希, 井上 裕貴, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:位相一致法を用いた光学的距離測定手法の設計と実装, 電子情報通信学会信号処理研究会, 新潟大学, 新潟 (2012 年 3 月).

[発表 14] 成川 弘樹, パントゥオング ナタポン, 杉本 雅則:物理的なキャラクターを操作することによるアニメーション生成, 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 東海大学高輪キャンパス, 東京 (2012 年 3 月).

[発表 15] 井上 裕貴, 中村 成希, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:高速変調光を用いた高速高精度測距手法の実装と評価, 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 東海大学高輪キャンパス, 東京 (2012 年 3 月).

[発表 16] 橋爪 宏達, 杉本 雅則:超音波チョッパ・レーダーの提案, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 17] 蟹江 教佳, 中村 成希, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:単眼カメラと超音波による高精度三次元位置認識手法, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 18] Laokulrat, N., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Improvement of Synthetic Transmit Aperture 3D Acoustic Imaging Using Compensation of Transmitter's Radiation Pattern, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 19] 水谷 享平, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:1 次元センサアレイを用いた超音波画像化における Deconvolution Filter の基礎検討, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 20] Laokulrat, N., Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Evaluation of Synthetic Transmit Aperture 3D Acoustic Imaging Using 2D Transmitter Array, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(USE 2011), Kyoto University, Kyoto, November, pp.309-310 (2011).

[発表 21] サンスリヤチョット ナタポル, 米 海鵬, 杉本 雅則: 手および足ジェスチャを組み合わせることによるテーブルトップ環境での新しいインタラクション手法の提案, エンタテインメントコンピューティング 2011, 日本科学未来館, 東京 (2011 年 10 月).

特記事項

[特記 1] 平成 23 年度特許文献の機械翻訳のための辞書データ整備に関する調査報告書 (特許庁:特許文献の機械翻訳のための辞書データ整備に関する調査委員会:委員長) . 2012 年 3 月

[特記 2] 佐藤一誠: 確率的生成モデル最前線—Statistical Machine Learning, Topic Modeling and Bayesian Nonparametrics—, DEIM2012 チュートリアル講演, 神戸, 2012 年 3 月 03 日.

[特記 3] 佐藤一誠: 統計的機械学習における量子アニーリング, 講演:情報統計力学の最前線-情報と揺らぎの制御の物理学を目指して-, 京都, 2012 年 3 月 23 日.

[特記 4] 清田陽司 , 岡本真ほか : 『図書館』の未来を探る勉強会マイニング探検会 (マイタン), 2010 年 4 月～. http://www.mi-tan.jp/

[特記 5] 株式会社ネクスト : 第 13 回図書館総合展「マイニング探検会」メンバー成果物ポータル , 2011 年 11 月. http://littel-lab.next-group.jp/mitan.html

[特記 6] Sugimoto, M.: Policy, Practices and Research on WMUTE/DIGITEL in Formal and Informal Learning Contexts, *IEEE DIGITEL 2012 Panel*, Takamatsu, Japan (panelist).

[特記 7] 杉本 雅則: スウェーデン滞在記, 人工知能学会誌, Vol. 26, No. 6, pp.692-693, 2011.

[特記 8] Sugimoto, M.: *Adding New Dimension to Mobile and Tabletop Systems*, Invited Lecture, University of Bergen, Bergen, Norway, September, 2011.

[特記 9] Sugimoto, M.: *Adding New Dimension to Mobile and Tabletop Systems*, Invited Lecture, University of Oslo, Oslo, Norway, September, 2011. (http://www.uv.uio.no/intermedia/english/research/news-and-events/events/guest-lectures/sugimoto.html)

[特記 10] Sugimoto, M.: *An Localization Technique for Smart and Secure Environments*, Public Lecture, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, September, 2011. (http://www.chalmers. se/ait/EN/news-events/event-section/guest-talks-in6833)

[特記 11] Sugimoto, M.: *Adding New Dimension to Mobile and Tabletop Systems*, Public Lecture, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, September, 2011. (http://www.chalmers.se/ait/EN/ news-events/event-section/guest-talks-in2206)

[特記 12] Sugimoto, M.: *Communicating Research: From Idea to Prototype to Paper ～from my experiences ～,* PhD Workshop in Multimodal UIs, Augmented Reality, Handheld & Tabletops, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, September, 2011. (http://www.ait.gu.se/english/current/news/newsdetail/?languageId=100001&contentId=1039185&disableRed-rect=true&returnUrl=http%3A%2F%2Fwww.ait.gu.se%2Faktuellt%2Fnyheter%2Ffulltext%2F%2Fworkshop-kring-interaktionen-mellan-det-digitala-och-det-fysiska-samlar-forskare-och-studenter.cid1039185)

[特記 13] 特集「若手研究者が選ぶ学会で見つけた注目研究」:送受信信号処理により, 音響計測の精度向上:超音波テクノ 2011 年 5-6 月号, pp.32-33.

[特記 14] ダオ ヴィンニン:A 3D Acquisition Technique in Dynamic Environments Using Structured Light Patterns, 特集「研究会推薦博士論文速報」,情報処理 53 巻 3 号, 2012.

[特記 15] Sugimoto, M.: Rapid and Precise Localization Methods for Interaction Technology, *INRIA-Univ. of Tokyo GCOE Symposium on Information Technologies*, Paris-Rocquencourt, France, January 2012.

[特記 16] Sugimoto, M.: Ultrasound Localization and Imaging, In *Proceedings of International Symposium on Secure Life Electronics*, Tokyo, Japan, January 2012.

[特記 17]「両面タッチの試作品 HybridTouch (東京大学杉本研究室)」:タッチパネルがわかる本, オーム社, p.79, 2011.

[特記 18] 杉本 雅則:携帯プロジェクタカメラシステムを用いたモバイルヒューマンインタフェースのための幾何学補正手法,画像ラボ, Vol. 22, No.8, pp. 54-59 (2011).

報道関連

[報道 1] 国立国会図書館: CiNii 登録論文から自分好みの論文を表示できる「俺 CiNii」, カレントアウェアネス -R, 2011 年 11 月. http://current.ndl.go.jp/node/19501

統計的機械学習とその応用

中川 裕志

1 概要

2011 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。

- 機械学習におけるブートストラップ法を応用して、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。[査読付 2] [発表 4]
- Twitter の記事（ツイート）1 年間分を用いて、風邪の流行予測を行う数理モデル化と実験評価を行った。風邪の流行度合いは風邪薬販売量で近似する。ツイートからは、風邪の流行に相関が高い単語を抽出する。ツイートから抽出する単語は多くなると処理が重くなってしまうため、小数だが有力な単語集合を選択するアルゴリズムが求められる。そこで、最小冗長性最大関連性(minimum Redundancy Maximum Relevancy)という数理モデルとビームサーチを組み合わせた結果、抽出した 4 単語によって従来よりも高い予測性能を得た。[発表 5]
- 非負行列分解(Nonnegative Matrix Factorization)を用いた知識抽出手法を開発した。抽出されるのは、たとえば（人物、生誕地）のような情報の組を特定するための言語表現である。この例だと、”XX be born in YY”あるいは、”XX’s birth place is YY”というような表現である。非負行列分解は統計的機械学習において最近使われ始めている技術であり、この研究では Wikipedia（英文）を対象データとして用いた。この成果は機械学習ないし自然言語処理の難関国際会議で論文が採択された。[査読付 7] [査読付 1]
- 統計的機械学習においては、教師データ（入力と正しい分類の対）を用いて,データの各素性の重みを成分とする重みベクトル **w** によって入力ベクトル **x** があるカテゴリに分類されれば $\mathbf{x}^T\mathbf{w}>0$ 分類されなければ $\mathbf{x}^T\mathbf{w}<0$ となるような重みベクトル **w***を以下の最適化問題で求める。

  $$\mathbf{w}^* = \mathrm{argmin}_{w}\,(\text{損失}(\mathbf{x},\mathbf{w},\text{正しい分類}) + \text{正則化項}(\mathbf{w}))$$

  損失は 2 乗誤差あるいはヒンジ誤差などである。正則化項は **w** が不必要に複雑になることを避ける目的で導入された。従来、正則化項には解析の容易さから 2 乗ノルム(L2 ノルム)が用いられたが、最近はより強力に複雑さを低減させる各素性値の絶対値の和で表されるノルム(L1 ノルム)も用いられ始めた。ただし、L1 ノルムを正則化項に用いると、素性の重みをゼロ化する力が強すぎて、**w** の重要な成分までゼロにしてしまう傾向がある。我々は、この L1 ノルム正則化の問題点を緩和する数理モデルを考案し、高い分類性能と **w** の簡素さを両立させることに成功した。重要なポイントは、学習において不安定な変化が多い成分のみを素性の重みをゼロにすることである。より具体的には L1 ノルムの各素性対応する重みに、その重みの変化回数を乗ずる。この結果、少ない素性で高い予測性能を持つ学習器 **w** を構成できた。この結果は機械学習分野の難関国際会議で論文が採択さた。[査読付 3] [査読付 6]

- プライバシー保護データマイニングは、データベースに格納されているプライベートなデータの流出を防いだうえで、データベースからデータマイニングを行う技術として 2000 年代に入って発展してきた技術である。この技術についていくつかの重要な成果をあげた。[査読付 4] [査読付 5]

紙数の関係から、以下では、プライバシー保護データマイニングについて述べる。

2 プライバシー保護データマイニング

この省では、まず 2.1.1 でプライバシー保護データマイニング(以下では PPDM と略記する)の概念および社会的要請について説明し、2.1.2 で PPDM の３種類のカテゴリーの技術の概略を説明する。続いて、2.2 では我々が提案した暗号化を利用した PPDM をネットワークデータに応用するアルゴリズムについて説明する。

2.1 背景

2.1.1 社会的要請

社会的要請は 2 つの側面に分けるとよい。

第 1 の側面　複数の機関が保持するデータベースを統合してデータマイニングを行うと社会で役立つことが多い。例えば、複数の病院がインフルエンザなどの感染病患者のデータを統合してデータマイニングすると、流行が酷い地域、流行が懸念される地域、年齢層など予防に役立つ情報が得られるだろう。しかし、感染者のデータは患者の個人情報であり他機関に流出してはならない。患者名を消去して匿名化すればよいと思われるかもしれないが、Sweeney は[1]で次のような反例を挙げている。米国マサチューセッツ州では、個人名、生年月日、性別、郵便番号からなる選挙人名簿を公開している。生年月日、性別、郵便番号の組み合わせを見ると多くの場合、個人がユニークに特定できる。したがって、病院のカルテにおいて生年月日、性別、郵便番号が記載されていれば、かりに匿名化されていても個人の病歴が漏洩するという問題がある。

第 2 の側面　ビッグデータが情報処理の対象として強く認識されている現在、それをデータマイニングなどによって最大限に活用したいという状況である。しかし、一方で、ビッグデータには個人情報も大量に含まれるため、データマイニングで個人情報が漏洩する危険性がある。例えば、データベース全体は公開しないが，データベースへの質問によって，質問の条件を満たすデータの件数を答と質問者に返す情報検索サービスについて考えてみよう。この場合の危険性として，以下のような例が考えられる。すなわち，ある病院の病歴データベースに対する質問が「エイズの感染者数」であり，来院患者が１名増えた前後で，この質問を繰り返し，答えが１名増えていれば，その時刻に来院した新規患者がエイズであることが暴露されてしまう。つまり，データベースの時間的変化分(以下では差分と呼ぶ。)の情報が漏洩する危険がある。したがって、ここでの問題は、個人のプライバシーに係わる情報を保護した上でのデータマイニングという要請として認識できる。

2.1.2 分類

上記の社会的要請に応える技術として 2000 年代に入り発展してきたのがプライバシー保護データマイニング(以下では PPDM と略記する)である。データマイニングは個々人の個人情報を直接参照したり公開したりするものではない。使われる結果はあくまでもデータベースにおける大量の個人情報を統計処理した結果である。ただし，その処理の過程で個々人の個人情報が漏洩しないようにするための技術が PPDM である。

PPDM には大別して、情報源のデータベースを改変する方法、データベースへの質問に対する応答に雑音を加算する方法、暗号技術を利用する方法がある。以下で、その各々について説明する。

(a)情報源のデータベースを改変する PPDM

前述の米国マサチューセッツ州での個人情報漏洩のようなタイプの問題を回避し，かつデータベース全体を公開してデータマイニングを行う方法として k-匿名化という方法が提案された。

k-匿名化では，生年月日，性別，郵便番号の情報の精度を落とすことでプライバシー漏洩に対処する。例えば，生年月日は生年月だけにして日は消去する(例：1987 年 6 月 5 日→1987 年 6 月)，あるいは郵便番号は下の何桁かを公開しない(例：113-8534→113-8***)，など。このように情報の精度を落とすようにデータベースを改変し，データベース上で同一の(生年月日，性別，郵便番号)を持つ人が少なくても k 人存在するようにする。この方法によって個人の完全な特定を防ぐ一方で，少々性能は落ちるにしてもデータマイニングは可能にするのが，k-匿名化である。

k-匿名化の応用について述べる。病歴の場合，このようなデータマイニングによって複数の病院が共同して感染症の発生地域などを絞り込めるなどの効果が期待される。また，最近は GPS や IC タグを用いて個人の行動履歴情報が収集できるようになってきている。個人の時刻毎の居場所はプライバシー情報であるので，そのままでは使いにくい。また，情報提供者がオプトインしてくれにくい。そこで，居場所の情報の精度を落とすことによって k-匿名化を行ってオプトインしてもらい，行動履歴をビジネス，安心安全あるいは買い物やレストランの案内に役立てようという試みが可能になる。

(b)データベースへの質問に対する応答に雑音を加算する PPDM

データベース全体は公開しないが，データベースへの質問によって，質問の条件を満たすデータの件数を答と質問者に返す情報検索サービスにおける前述の病院へ来た患者がエイズであることが漏洩する問題について考えてみよう。差分プライバシー[2]はこのようなデータベースの差分が漏洩するリスクを回避する数理モデルである。上記のようなデータベースへの質問への答の人数に適当な雑音を加算した結果を質問者への返す答とする。例えば，データベースからの答の人数が 100 名だった場合，雑音として－3 名し 97 名，あるいは雑音として＋2 名して 102 名などという答を質問者に返す。

もう少し正確に定義すると次のようになる。データベース D に新たに 1 個のデータが追加され D1 となったとする。同じ質問を D にした場合の答と D1 にした場合の答だけを見て比較しても，D と D1 のどちらのデータベースを使って出した答かを判別できる確率を予め定められた値より小さくするように，上記の例のような雑音を加算する仕掛けである。雑音が大きければ判別できる確率は小さくなる。すなわちプライバシー保護は強くなるが，データベース検索結果の精度は落ち，データマイニングの結果に悪影響を及ぼす。データベース検索結果の精度を上げたければ，雑音を小さくすればよいが，差分のプライバシーの保護が弱くなる。そこで，データベースにおける差分プライバシーの設計は，プライバシー漏洩のリスクを一定範囲内に抑えたうえで，検索結果の精度を最大化することになる。実際の利用にあたっては，漏洩リスクに対してデータベース内容に寄与した個人がオプトインしないといけない。

PPDM 技術に対する実用の局面においては、個人の行動履歴や健康に関する情報，すなわち自己情報コントロール権の確保が個人情報保護の前提である。一方，自己情報は社会的，経済的価値を持つ。例えば，個人の行動履歴も大人数について集めれば，公共交通システムの設計，公共安全，あるいは商品情報の提供などビジネスチャンスに結びつく。一歩進めれば，自己情報は財産価値を持つこともあるわけで，自己情報コントロール権とは，漏洩や不本意な開示に対する防衛機能の確保した上での個人的あるいは社会的な有効利用の面を考えていくことができる権利という側面が出てきている。翻ってみれば，協調フィルタリングは商品購買サイトにオプトインしている状態であり，自分の行動履歴情報の利用に関する社会的認知が進んできている現状は理解しておく必要がある。

(c)暗号技術を利用する PPDM

複数の組織の間で、各々が保持するデータベースを統合してデータマイニングを行えば、社会的背景の第 1 の側面で述べたように有用な結果が得られる。しかし、各組織とも自組織の保持するデータベースは他の組織に開示したくない。暗号化すれば開示してもデータベースの内容が漏洩しないが、データマイニングの計算がそのままではできない。幸いなことに、公開鍵暗号の一種である準同型性公開鍵暗号を用いると、暗号化したままでも加算が可能である。すなわち、

Enc(X)*Enc(Y)=Enc(X+Y)　　(ただし、Enc(Z)とは元データ Z の暗号化の結果である)

という関係が成立する。この関係を繰り返し使えば暗号化したままで乗算も可能である。しかし、加算、乗算を使って計算した結果も秘密鍵で復号しないと結果を得ることができない。そこで、暗号技術を利用する PPDM では、準同型性公開鍵暗号を利用し、さらに雑音データを適宜加算する、あるいは元データをいくつかにランダムに分解して別組織が共有した上で種々に計算を行う手法(ランダムシェアと呼ばれる)を組み合わせた分散したデータベースの間での計算プロトコルを開発してきた。一例として Alice の持つベクトル $\boldsymbol{x}$ と Bob の持つベクトル $\boldsymbol{y}$ の内積を計算するプロトコルを以下に示す。

Alice		Bob
公開鍵 pk を生成	pk を Alice から Bob に送る	
$c_i = \mathrm{Enc}_{\mathrm{pk}}(x_i)$ $(i = 1,\ldots,d)$	c_i を Alice から Bob に送る	$w_i = c_i^{yi}$ $(i = 1,\ldots,d)=\mathrm{Enc}((\boldsymbol{x}^{\mathrm{A}})^T \boldsymbol{y}^{\mathrm{B}})$
		乱数 r^{B} を生成
$\mathrm{Dec}_{\mathrm{sk}}(w') = (\boldsymbol{x}^{\mathrm{A}})^T \boldsymbol{y}^{\mathrm{B}} - r^{\mathrm{B}}$	w'を Bob から Alice に送る	$w' = w * \mathrm{Enc}_{\mathrm{pk}}(-r^{\mathrm{B}})$

準同型性公開鍵暗号を利用した内積計算プロトコル

この状態で、Alice は$(\boldsymbol{x}^{\mathrm{A}})^T \boldsymbol{y}^{\mathrm{B}} - r^{\mathrm{B}}$を知り、Bob は r^{B}を知っている、すなわち$(\boldsymbol{x}^{\mathrm{A}})^T \boldsymbol{y}^{\mathrm{B}}$が Alice と Bob にランダムシェアされているので、両者がこの二つを交換して加算すれば内積$(\boldsymbol{x}^{\mathrm{A}})^T \boldsymbol{y}^{\mathrm{B}}$は共有できるが、それ以外の情報は共有されない。

このようなプロトコルを開発することによって、平均や分散はもちろん、K-means や EM アルゴリズムの暗号化したままでの分散する組織間でのデータベース全体に対して計算できることが知られている[3]。

2.2　内容

2.2.1　ネットワーク構造への応用

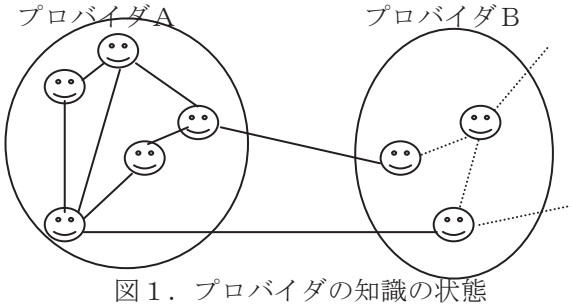


図１．プロバイダの知識の状態

上記の背景に述べた PPDM のうち、我々は暗号化を利用した PPDM をネットワークデータに応用するアルゴリズムを考案した。右の図のような例で問題を説明する。複数のネットワークプロバイダが存在し、各プロバイダは自分の顧客間のアクセス頻度は知っている。他のプロバイダに関しては、自分の顧客と他のプロバイダの顧客間のアクセス頻度は知っているが、他のプロバイダの顧客間のアクセス頻度は知らないとする。つまり、図１の例だと、プロバイダＡは実線の部分についてはアクセス頻度を知っているが点線の部分については知らない。

スペクトラルランキング

スペクトラルランキングとはページランクや HITS アルゴリズムのようなアルゴリズムであり、この例では、各顧客の重要度を計算することに相当する。

ここで、各プロバイダは自分のアクセス頻度の知識を他のプロバイダに漏らすことなく、ネットワークの顧客全体に対する接続行列の主固有ベクトルを計算するスペクトラルランキングのアルゴリズムを設計した。このアルゴリズムを応用すると各顧客のページランクを求めることもできる。

主固有ベクトルの計算には以下の更新式で計算するベキ乗法を用いる。

xは各次元が顧客に対応するベクトル。Pは要素$P_{i,j}$が顧客i, j間のアクセス頻度を表す行列

初期値として$\sum_i x_i^{(0)} = 1$　として以下の更新式を繰り返す

$$\left(x^{(t)}\right)^T \leftarrow \left(\bar{x}^{(t-1)}\right)^T P, \quad \bar{x}^{(t)} \leftarrow \frac{x^{(t)}}{\left\|x^{(t)}\right\|}$$

ベキ乗法の更新式

この繰り返し計算においてベクトル x と行列 P の積などの計算で、前記の準同型性公開鍵暗号を利用した内積計算プロトコルに類似したアルゴリズムを用いることにより、各プロバイダは自分の顧客間のアクセス頻度を他のプロバイダに知られることなく固有ベクトル x を計算できる[査読付 4]。

クラスタリング

図1に描かれた状況において、顧客同士のアクセス状態（あるいは接続状況）に応じたクラスタリングを行う PPDM アルゴリズムも提案した[査読付 5]。以下にクラスタのモデルを示す。

Rはi, j成分が顧客i, j間のアクセスの有無を1,0で表す行列、γはハイパーパラメタ

a, bはクラスタ、　n_aはクラスタa中の顧客数、nは全顧客数

Nはクラスタ集合、Cはクラスタ数

$m(a,b)$はクラスタaとbの顧客間でのアクセスのあるペア数

$M(a,b)$はクラスタaとbの顧客間でのアクセスのないペア数

$Beta$はベータ関数

z_iは顧客iが属するクラスタを示す隠れ変数、とするとき以下の関係が成立する。

$$\Pr(\mathbf{R} \mid \mathbf{z}) = \prod_{a,b \in N} \frac{Beta(m(a,b)+\alpha, M(a,b)+\beta)}{Beta(\alpha,\beta)}$$

$$\Pr(z_i = a \mid \mathbf{z}_{-i}) = \frac{n_a + \gamma}{n - 1 + C\gamma}$$

$$\Pr(z_i \mid \mathbf{R}, \mathbf{z}_{-i}) \propto \Pr(\mathbf{R} \mid \mathbf{z}) \Pr(z_i \mid \mathbf{z}_{-i})$$

クラスタリングのモデル化

このモデル化において各顧客が属するクラスタを表す行列 R を計算する方法としてはギッブスサンプリングを用いる。ただし、$R(a,b)$をプロバイダ間でランダムシェアし、プロバイダ間でのデータの授受は準同型性公開鍵暗号によって暗号化することによってプロバイダ間での顧客情報の漏洩は起こらないようなクラスタリングを行う PPDM プロトコルを開発した。詳細は[査読付 5]に示されている。

意義および今後の展望

ここで述べたような暗号技術を利用する PPDM プロトコルは、従来、暗号化および復号化にかかる計算時間が長く実用的ではないと思われてきた。しかし、昨今では筑波大で暗号化した化学式の検索手法、日立ではクラウド上で暗号化したデータの検索手法が開発され、徐々に実用化に向かって動き出している。我々の研究もその方向への技術的寄与となる可能性がある。

参考文献

[1] Sweeney, L. *k*-Anonymity: A Model for Protecting Privacy. International Journal on Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, 2002.
[2] C. Dwork: Differential privacy. In *ICALP2006, Springer Lecture Notes on Computer Science*, vol. 4052. 1-12. 2006.
[3] J. ヴァイダヤ，Y.M. ズー，C.W. クリフトン(嶋田 茂 , 清水 將吾訳): プライバシー保護データマイニング（シュプリンガー・ジャパン）, 2010

3　成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 情報処理学会コンピュータサイエンス領域奨励賞 : 大岩秀和（中川が大学院にて指導）数理モデル化と問題解決研究発表会 MPS10-82-D, 2011 年.

査読付論文

[査読付 1] Shingo Takamatsu, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Reducing Wrong Labels in Distant Supervision for Relation Extraction. ACL 2012(Association of Computational Lingusitics). Jeju, Korea on July 8-14, 2012 (accepted as oral presentation).

[査読付 2] Yo Ehara, Nobuyuki Shimizu, Takashi Ninomoya, Hiroshi Nakagawa: Personalized Reading Support for Second-Language Web Documents. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2010. (accepted).

[査読付 3] 大岩秀和，松島慎，中川裕志 ： 特徴の出現回数に応じた L1 正則化を実現する教師ありオンライン学習手法．情報処理学会論文誌，Vol.50 TOM 4(3). pp.84-93. 2011 年 7 月.

[査読付 4] 森井正覚，佐久間淳，佐藤一誠，中川裕志 : 統合したグラフのプライバシ保護リンク解析．情報処理学会論文誌, Vol.50 TOD 4(2). pp.52-60. 2011 年 5 月.

[査読付 5] Bing Yang, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Secure Clustering in Private Networks. 11th IEEE International Conference on Data Mining(ICDM), pp.894-903. Vancouver, Canada. Dec.11-14, 2011

[査読付 6] Hidekazu Ooiwa, Shin Matsushima, Hiroshi Nakagawa : Probabilistic Frequency-aware Truncated methods for Sparse Online Learning. The European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD 2011) , Springer Lecture Notes Artificial Intelligence (LNAI)6911, ECML PKDD , Part II . pp.533-548, Athens, Greek. Sept. 9, 2011

[査読付 7] Shingo Takamatsu, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa. “ Probabilistic Matrix Factorization Leveraging Contexts for Unsupervised Relation Extraction”. PAKDD2011, Springer Lecture Notes Artificial Intelligence (LNAI)6634, Part I. pp.87-99, Shenzhen, China. May. 2011.

その他の発表論文

[発表 1] 佐藤 一誠, 栗原 賢一, 田中 宗, 宮下 精二, 中川 裕志: 量子アニーリングによる無限混合モデルの並列最適化(機械学習とその応用)電子情報通信学会技術研究報告. IBISML, 情報論的学習理論と機械学習 111(87). pp.111-117. 2011 年 6 月.

[発表 2] 佐藤 一誠, 中川 裕志: 階層 Pitman-Yor トピックモデル(一般講演(学習の理論),機械学習とその応用)電子情報通信学会技術研究報告. IBISML, 情報論的学習理論と機械学習 110(76). pp.33-39. 2010 年 6 月.

[発表 3] 吉田 稔, 中川 裕志 , 渋谷 久恵, 前田 俊二 : テキストマイニングによる機器異常診断支援の試み: 第 4 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム（第 10 回日本データベース学会年次大会）F5-4, 2012 年 3 月.

[発表 4] 江原遥, 佐藤一誠, 中川裕志:ブートストラップ法のための能動学習. 言語処理学会第 18 回年次大会. F1-1. 2012 年 3 月.

[発表 5]谷田和章,荒牧英治,佐藤一誠,吉田稔中川裕志: ソーシャルメディアによる風邪流行の予測. 言語処理学会第 18 回年次大会. A3-5. 2012 年 3 月.

特記事項

[特記1] 平成23年度特許文献の機械翻訳のための辞書データ整備に関する調査報告書 (特許庁：特許文献の機械翻訳のための辞書データ整備に関する調査委員会：委員長) . 2012年3月

アダプティブセンサアレイを用いた音響イメージング

杉本　雅則

1　概要

われわれのグループでは、ヒューマンコンピュータインタラクションと計測技術に関する研究をこれまでに行っている。本稿では、計測技術研究の1つとして進めてきた音響イメージングについて述べる。カメラでは取得できない体内や水中のターゲット位置や形状取得において、音響イメージングは極めて有用な技術である。また、空気中においても自動車のバックソナー等に実際に応用されている。本稿では、アダプティブセンサアレイを用いることによる新しいイメージングアルゴリズムを提案する。そして、従来手法との比較について述べる。

2　アダプティブセンサアレイを用いた音響イメージング

2.1　内容

従来の超音波イメージング手法では、空間に対するスキャンによりイメージを得る。一般には、適応的マイクロホンアレイなどを用いて回転方向にスキャンを行うビームフォーミング が用いられる。ビームフォーミング には多くの種類があり、例えばサイドローブの寄与を最小化する Capon 法などが有名である。近年では固有値解析に基づく MUSIC 法を応用する手法も提案されている。しかし、これらアプローチはスキャンに基づくという点で全て共通であり、最終的に得られる画像の精度には限界がある。そこで、本研究では、従来 CT(Computer Tomography) などで用いられてきた逆投影アルゴリズムを超音波イメージングに導入する。

以下では、極座標空間における音場分布を $f(u,r)$ と表す。ただし $u=\sin\theta$ であり、 θ は $y=r\cos\theta$ 、$x=r\sin\theta$ を満たす値である。最初に受信信号からマッチドフィルタを用いたパルス圧縮を行い、信号強度の時間分布 $p(t)$ を求める。音速 c が場所によらず一定であると仮定すると、時刻 t における受信信号強度は、センサから距離 ct 離れた位置における音場の線積分となる。つまり、

$$p(t)=\int_{-1}^{1} f(u,ct)du$$

が成り立つ。ただし、受信センサが原点 $(0,0)$ に固定されているとする。ここで $\varphi=\pi/2$ と置くと、上式は以下のように書ける。

$$p(t)=\iint_{-\infty}^{\infty} f(u',r')\delta(u'\cos\varphi+r'\sin\varphi-s)du'dr' \quad (s=ct)$$

一方、図1において $f(u,r)$ に対する投影 $g(s,\varphi)$ は直線 $s=u\cos\varphi+r\sin\varphi$ 上での線積分であり、以下の式で知られる Radon 変換である。

$$g(s,\varphi)=\iint_{-\infty}^{\infty} f(u',r')\delta(u'\cos\varphi+r'\sin\varphi-s)du'dr'$$

よって、

$$p(t)=g(ct,\pi/2)$$

となり、信号強度の時間分布 $p(t)$ は投影方向 $\varphi = \pi/2$ からの投影データであることが分かる。

他の投影方向からの投影データは、原点に無いセンサにおける受信データから得られる。今、センサが直交座標空間で $(x, y) = (d, 0)$ に配置されていると仮定する。このとき受信信号強度の時間分布の値 $p_d(t)$ は点 $(x, y) = (d, 0)$ を中心とし、$y > 0$ を満たす半径 ct の半円上の音場の線積分となる。すなわち、以下の式で表される半円である。

$$(x-d)^2 + y^2 = (ct)^2 \quad (y > 0)$$

図2のように角度 θ_0, θ_d および距離 r_0, r_d を設定すると、上式は極座標空間で以下のように表せる。

$$u = \sin(\theta_0 + \theta_d), \quad r = r_d = (ct + d\sin\theta_0)/\cos\theta_d \quad (-1 < u < 1)$$

センサの原点との距離 $|d|$ が音源との距離 ct に比べて非常に小さい($|d| << ct$)場合、受信波が平面波であると仮定できる。このとき、$\theta_d \approx 0$ と近似すると、

$$r = ct + du \quad (-1 < u < 1)$$

とできる。上式を極座標空間 (u, r) 上に描画すると、図 3 のように傾き d の直線になる。よって $p_d(t)$ は $f(u, r)$ の投影となり、以下の式が成り立つ。

$$p_d(t) = g(s, \varphi)$$

投影の方向を表す値 φ は、図 3 より $\varphi = \pi/2 + \tan^{-1} d$ となる。このように投影方向がセンサの位置 d によって変化するので、あらゆる位置 $(x, y) = (d, 0)$ にセンサを配置することによって、複数の方向からの投影データを得ることが可能となる。しかし d の値は有限であるため、$\varphi \neq 0$ である。そこで、$\varphi = 0$ であるような投影データを得るために信号強度の角度分布を用いる。

信号強度の時間分布と同様に考えると、信号強度の角度分布 $p_a(u)$ は、

$$p_a(u) = \int_0^\infty f(u, r)dr$$

となる。これは角度 $u = \sin\theta$ における信号強度 $p_a(u)$ は、到来方向が θ であるような音場の線積分であることを表している。上式より、$p_a(u)$ は $\varphi = 0$ における投影であり、以下の式が成り立つ。

$$p_a(u) = g(s, 0)$$

以上より、理論的には $\varphi = [0, \pi]$ における投影データを得ることができる。

2.2 具体的成果

提案手法を用いて、音場分布を推定するコンピュータシミュレーションによる実験を行った。送信信号には、パルス幅が 4 ms、初期周波数 30 kHz、終了周波数 100 kHz のチャープ信号を用いた。センサアレイは 128 素子のセンサが 5 mm 間隔で並んでいるものを想定した。SN 比は 20 dB とした。また、3 つの点音源が離散的に分布している音場を設定した。

シミュレーション結果を図 4、5 に示す。図 4 が得られた像全体で、図 5 が $(u, r) = (0.50, 1.02)$ 付近を拡大した画像である。これらの図より、設定した音源の位置に像が生じていることが確認できた。

次に、従来手法であるビームフォーミングを用いたシミュレーションを行った。結果の拡大図を図 6 に示す。シミュレーションを通して、提案手法が従来手法に比べて良い角度分解能を持つことが示せた。

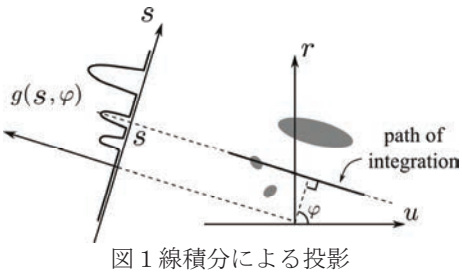


図 1 線積分による投影

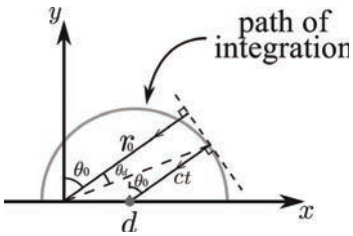


図 2　積分経路

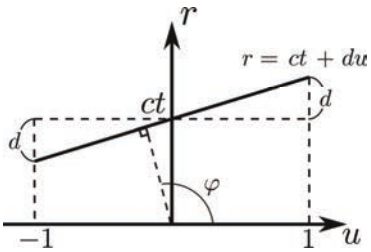


図 3　極座標空間での積分経路

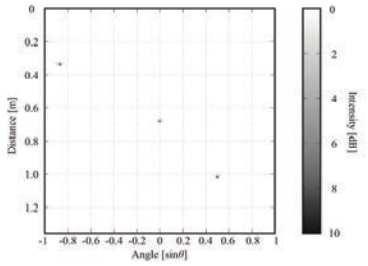


図 4　シミュレーション結果
（提案手法）

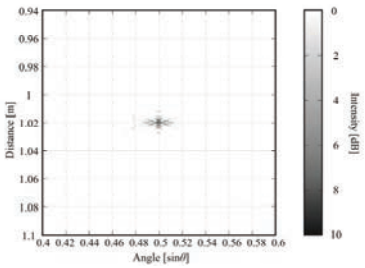


図 5　シミュレーション結果
（提案手法、拡大図）

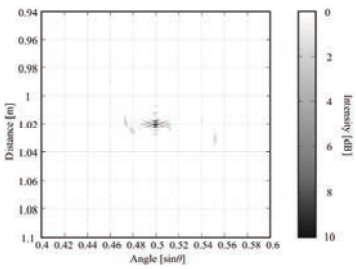


図 6　シミュレーション結果
（従来手法、拡大図）

3　成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Sugimoto, M., Fujita, T., Mi, H., Krzywinski, A.: RoboTable2: A Novel Programming Environment using Physical Robots on a Tabletop Platform, *ACM Computers in Entertainment*, Vol.10 (2012, to appear).

[査読付 2] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: A Novel Template-Based Automatic Rigging Algorithm for Articulated-Character Animation, *Computer Animation and Virtual Worlds*, Vol. 23 (2012, to appear).

[査読付 3] 藤田 智樹, 米 海鵬, 杉本 雅則: テーブルトップ環境における新しいロボットプログラミング手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 3, pp.1101-1109 (2012).

[査読付 4] Mi, H., Krzywinski, A., Fujita, T., Sugimoto, M: RoboTable: An Infrastructure for Intuitive Interaction with Mobile Robots in a Mixed Reality Environment, *Journal of Advances in Human-Computer Interaction,* Volume 2012, ID 301608, 10 pages (2012).

[査読付 5] Mizutani, M., Ito, T., Sugimoto, M., Hashizume, H.: TSaT-MUSIC: A Novel Algorithm for Rapid and Accurate Ultrasonic 3D Localization, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2011**:**101 (doi:10.1186/1687-6180-2011-101).

[査読付 6] Ito, T., Sugimoto, M., Hashizume, M.: Evaluation of Acoustic Imaging System using Correlation Division in Synthetic Transmit Aperture with Multicarrier Signals, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences,* Vol. E94-A, No. 10, pp. 1907-1919 (2011).

[査読付 7] Sugimoto, M.: A Mobile Mixed Reality Environment for Children's Storytelling using a Handheld Projector and a Robot, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, No.4, Vol.3, pp.249-260 (2011).

[査読付 8] Siriborvornratanakul, T., Sugimoto, M.: ipProjector: A Vision-Based Framework for Unsupervised Ubiquitous Object Augmentation Using a Portable Projector-Camera System, *EURASIP*

Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2011 (2011), Article ID 572596, 17 pages, (doi: 10.1155/2011/572596).

[査読付 9] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: A Novel Framework for 3D Computer Animation Systems for Nonprofessional Users Using an Automatic Rigging Algorithm, In *Proceedings of IEEE ICME 2012*, Melbourne, Australia (2012, to appear).

[査読付 10] Pantuwong, N., Sugimoto, M.: A Fully Automatic Rigging Algorithm for 3D Character Animation, In *Proceedings of SIGGRAPH ASIA 2011*, Hong Kong, December, 2011. (http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2073337)

[査読付 11] Siriborvornratanakul, T., Sugimoto, M.: Cooperative Personal Projection Using Multiple DLP Projectors, In *Proceedings of SIGGRAPH ASIA 2011*, Hong Kong, December, 2011. (http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2073329)

[査読付 12] Mi. H., Sugimoto, M.: HATs: Interact Using Height-Adjustable Tangibles in Tabletop Interfaces, In *Proceedings of ACM ITS 2011*, Kobe, Japan, pp. 71-74, November, 2011.

[査読付 13] Ali, A., Kunz, A., Sugimoto, M., Fjeld, M.: Dual Mode IR Position and State Transfer for Tangible Tabletops, In *Proceedings of ACM ITS 2011*, Kobe, Japan, pp.268-269, November, 2011.

[査読付 14] Sangsuriyachot, N., Mi, H., Sugimoto, M.: Novel Interaction Techniques by Combining Hand and Foot Gestures on Tabletop Environments, In *Proceedings of ACM ITS 2011*, Kobe, Japan, pp. 278-279, November, 2011.

[査読付 15] Sugimoto, M., Fujita, T., Mi, H.: RoboTable2: A Novel Programming Environment using Physical Robots on a Tabletop Platform, In *Proceedings of ACM ACE2011*, Lisbon, Portugal, pp.1-8, November, 2011. (http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2071423.2071436)

[査読付 16] Nakamura, S., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Measuring Phase Characteristics of Ultrasonic Microphones for Accurate Ultrasonic Localization Systems, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 17] Mizutani, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: 3D Reconstruction from Adaptive Matrix Microphone Array Signals using Back Projection Algorithm, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 18] Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: A Robust Doppler Ultrasonic 3D-imaging System with MEMS Microphone Array and Configurable Processor, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 19] Laokulrat, N., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Synthetic Transmit Aperture 3D Image Reconstruction Using 2D Transmitter Array, In *Proceedings of IEEE IUS 2011*, Orlando, FL, October 2011.

[査読付 20] Nakamura, S., Sato, T., Terabayashi, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: An Accurate and Compact 3D Positioning System for a Moving Target by Integrating Extended Phase Accordance Method and Particle Filter, In *Proceedings of IEEE IPIN 2011*, Guimaraes, Portugal, September 2011.

[査読付 21] Sato, T., Nakamura, S., Terabayashi, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Design and Implementation of a Robust and Real-time Ultrasonic Motion-capture System, In *Proceedings of IEEE IPIN 2011*, Guimaraes, Portugal, pp.1-6, September 2011. (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6071907)

[査読付 22] Mi, H., Sugimoto, M.: Design, Implementations and Applications of Bidirectional Tangible Interfaces in a Tabletop Computing Platform, In *UbiComp 2011 Workshop on the Role of De-*

sign in UbiComp Research and Practice, Beijing, China, September 2011 (http://211.151.90.25/ubicomp2011/dates.html)

[査読付 23] Deguchi, A., Takeda, Y., Kusunoki, F., Tanaka, M., Inagaki, S., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Development and Evaluation of a Digital Environmental Learning Game for Children, In *Proceedings of ESERA2011*, Lyon, France, September 2011.

[査読付 24] Kusunoki, F., Takeda, Y., Tanaka, M., Yamaguchi, E., Deguchi, A., Kamiyama, S., Inagaki, S., Sugimoto, M.: Evaluation of the User Interface Design on Vegetation Interaction Game for Children, In *Proceedings of ACM VINCI 2011*, Hong Kong, China, August 2011.

[査読付 25] Deguchi, A., Kusunoki, F., Takeda, Y., Tanaka, M., Inagaki, S., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Improvement and Evaluation of Vegetation Interaction Game, In *Proceedings of IADIS GET 2011*, Rome, Italy, pp. 114-118, July 2011.

[査読付 26] Deguchi, A., Kusunoki, F., Inagaki, S., Takeda, Y., Yamaguchi, E., Sugimoto, M.: Vegetation Interaction Game: Digital SUGOROKU to Learn Vegetation Succession for Children, In *Proceedings of CSCL 2011*, Hong Kong, China, pp.896-897, July 2011

[査読付 27] Sugimoto, M., Dao, V.N., Seki, E.: An Adaptive Projection Technique for Monochromatic Non-flat Surfaces using a Handheld Projector-Camera System, In *Proceedings of Mobile and Personal Projection 2011*, Vancouver, Canada, May 2011. (http://www.mhci.uni-due.de/mp2/pdf/sugimoto _mp2.pdf).

[査読付 28] Mizutani, K., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Acoustic Imaging Reconstruction from Adaptive Microphone Array Signals using Back Projection, In *Proceedings of 31st International Acoustical Imaging Symposium (AI-31)*, Warsaw, Poland, April 2011 (in press).

[査読付 29] Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: MEMS Microphone Array and Signal Pocessor for Realtime Acoustic Object Detection, In *Proceedings of 31st International Acoustical Imaging Symposium (AI-31)*, Warsaw, Poland, April 2011 (in press).

解説

[解説 1] 杉本 雅則:携帯プロジェクタカメラシステムを用いたモバイルヒューマンインタフェースのための幾何学補正手法,画像ラボ, Vol. 22, No.8, pp. 54-59 (2011).

その他の発表論文

[発表 1] 垣内 紀明, 杉本 雅則, 尾崎 憲幸, 菅原 良一:幾何光学モデルに基づくフロントガラス状の雨滴検出,情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM)研究会, 東工大, 東京 (2012 年 3 月).

[発表 2] 中村 成希, 井上 裕貴, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:位相一致法を用いた光学的距離測定手法の設計と実装, 電子情報通信学会信号処理研究会, 新潟大学, 新潟 (2012 年 3 月).

[発表 3] 成川 弘樹, パントゥオング ナタポン, 杉本 雅則:物理的なキャラクターを操作することによるアニメーション生成, 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 東海大学高輪キャンパス, 東京 (2012 年 3 月).

[発表 4] 井上 裕貴, 中村 成希, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:高速変調光を用いた高速高精度測距手法の実装と評価, 電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 東海大学高輪キャンパス,東京 (2012 年 3 月).

[発表 5] 橋爪 宏達, 杉本 雅則:超音波チョッパ・レーダーの提案, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 6] 蟹江 教佳, 中村 成希, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:単眼カメラと超音波による高精度三次元位置認識手法, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 7] Laokulrat, N., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Improvement of Synthetic Transmit Aperture 3D Acoustic Imaging Using Compensation of Transmitter's Radiation Pattern, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 8] 水谷 享平, 杉本 雅則, 橋爪 宏達:1 次元センサアレイを用いた超音波画像化における Deconvolution Filter の基礎検討, 電子情報通信学会超音波研究会, 日野, 東京 (2012 年 2 月).

[発表 9] Laokulrat, N., Maeda, Y., Sugimoto, M., Hashizume, H.: Evaluation of Synthetic Transmit Aperture 3D Acoustic Imaging Using 2D Transmitter Array, 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム(USE 2011), Kyoto University, Kyoto, November, pp.309-310 (2011).

[発表 10] サンスリヤチョット ナタポル, 米 海鵬, 杉本 雅則: 手および足ジェスチャを組み合わせることによるテーブルトップ環境での新しいインタラクション手法の提案, エンタテインメントコンピューティング 2011, 日本科学未来館,東京 (2011 年 10 月).

特許

[特許 1] 距離測定方法及びレーダー装置,特許出願 2012-036383(2012 年 2 月 22 日), 国内,出願中.

特記事項

[特記 1] Sugimoto, M.: Policy, Practices and Research on WMUTE/DIGITEL in Formal and Informal Learning Contexts, *IEEE DIGITEL 2012 Panel*, Takamatsu, Japan (panelist).

[特記 2] 杉本 雅則: スウェーデン滞在記, 人工知能学会誌, Vol. 26, No. 6, pp.692-693, 2011.

[特記 3] Sugimoto, M.: *Adding New Dimension to Mobile and Tabletop Systems*, Invited Lecture, University of Bergen, Bergen, Norway, September, 2011.

[特記 4] Sugimoto, M.: *Adding New Dimension to Mobile and Tabletop Systems*, Invited Lecture, University of Oslo, Oslo, Norway, September, 2011. (http://www.uv.uio.no/intermedia/english/research/news-and-events/events/guest-lectures/sugimoto.html)

[特記 5] Sugimoto, M.: *An Localization Technique for Smart and Secure Environments*, Public Lecture, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, September, 2011. (http://www.chalmers. se/ait/EN/news-events/event-section/guest-talks-in6833)

[特記 6] Sugimoto, M.: *Adding New Dimension to Mobile and Tabletop Systems*, Public Lecture, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, September, 2011. (http://www.chalmers.se/ait/EN/ news-events/event-section/guest-talks-in2206)

[特記 7] Sugimoto, M.: *Communicating Research: From Idea to Prototype to Paper ～from my experiences ～*, PhD Workshop in Multimodal UIs, Augmented Reality, Handheld & Tabletops, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, September, 2011. (http://www.ait.gu.se/english/current/news/newsdetail/?languageId=100001&contentId=1039185&disableRed-rect=true&returnUrl=http%3A%2F%2Fwww.ait.gu.se%2Faktuellt%2Fnyheter%2Ffulltext%2F%2Fworkshop-kring-interaktionen-mellan-det-digitala-och-det-fysiska-samlar-forskare-och-studenter.cid1039185)

[特記 8] 特集「若手研究者が選ぶ学会で見つけた注目研究」:送受信信号処理により,音響計測の精度向上:超音波テクノ 2011 年 5-6 月号, pp.32-33.

[特記 9] ダオ ヴィンニン:A 3D Acquisition Technique in Dynamic Environments Using Structured Light Patterns, 特集「研究会推薦博士論文速報」,情報処理 53 巻 3 号, 2012.

[特記 10] Sugimoto, M.: Rapid and Precise Localization Methods for Interaction Technology, *INRIA-Univ. of Tokyo GCOE Symposium on Information Technologies*, Paris-Rocquencourt, France, January 2012.

[特記 11] Sugimoto, M.: Ultrasound Localization and Imaging, In *Proceedings of International Symposium on Secure Life Electronics*, Tokyo, Japan, January 2012.

[特記 12]「両面タッチの試作品 HybridTouch (東京大学杉本研究室)」:タッチパネルがわかる本, オーム社, p.79, 2011.

テキストマイニングの基盤技術・応用技術に関する研究 — テキストマイニングによる機器異常診断支援 —

吉田 稔

1 概要

今年度は、昨年度に引き続き、大量のテキストデータを活用するための**テキストマイニング**について、以下の研究を行った。本稿では、このうち「テキストマイニングによる機器異常診断支援の研究」に関して、詳細に解説を行う。

- テキストマイニングによる機器異常診断支援の研究 [発表 1]

  機器メンテナンスレポートを対象にテキストマイニングを行い、将来の機器異常診断に役立てるための研究を行った。

- Twitter での頻出語と風邪流行の関連性の研究 [発表 2][発表 3]

  テキストと時系列データとの関連性に関する研究の一環として、Twitter での単語出現頻度の時系列上の推移と、風邪薬販売量の時系列上の推移との関連性を分析する研究を行った。

- 株価とテキストの関連分析に関する研究 [発表 4][発表 5][発表 6]

  企業に関するニュース記事と、その企業の株価等の指標の関連を分析する研究。本年度は、トピックモデルを用いた記事のクラスタリングと、その取引高・株価予測への応用について研究した。

- テキスト中の数値表現検索システムに関する研究

  テキスト中の数値表現を対象としたテキストマイニングシステムの研究。本年度は、数値を含む文字列に対して検索支援を行う手法について、より大きなコーパスに対する処理の高速化を行った。

- Web 文書構造の解析

  Web 文書のレイアウトを解析し、文書構造を抽出する研究。本年度は、レイアウトに対する新たな確率モデルの実装、およびパラメータ推定の高速化を行った。

- 同義語・類義語抽出に関する研究 [特記 1]

  テキストから自動的に同義語・類義語を抽出するための研究。本年度は、検索システムの維持管理の他、解説記事の執筆を行った。

2 テキストマイニングによる機器異常診断支援の試み

設備機器運用の際に電子的に蓄積された管理レポートを、実際の機器運用に役立てるための、テキストマイニング技術を応用した支援システムの構築について報告する。提案システムは、文書集合をトピックモデルにより分析し、各トピックの要約を提示することで、文書全体を俯瞰することを補助する。

2.1 背景

本研究で対象とする機器には、各種センサーにより検知された値に基づき異常を知らせる警報が装備されており、この警報が発せられた場合、担当者が、当該機器のメンテナンスを行う。マイニング対象とするのは、この機器のメンテナンスの際に蓄積される業務レポートテキストデータである。

各テキストデータには、「具体的にどのような状況であったか」、また、「それに対してどのように対処を行ったか」がテキストで記述されているため、これらを自動的にマイニングすることで、「過去にどのような事象が起こり、それに対してどのような対策を講じたか」を俯瞰することが可能となり、将来のメンテナンスをより効率的に行えることが期待できる。

レポートは、主に、様々な**事象**（「どんな種類の警報が鳴っているのか」「どんな原因が推測されるか」「どんな種類の対処法を取ったか」等）が混合されてできており、これらが組み合わさって一つの**シナリオ**となる。（「警報 A が鳴る」→「原因 B を推測」→「対処法 C を適用」、等。）本研究では、「文書集合中にどのような事象が記述されているか」という「事象のマイニング」と、「実際のイベントで、それらの事象がどのように組み合わさっているのか」という「シナリオマイニング」の２つの側面からのテキストマイニングを行うシステムを提案する。

2.2 内容

提案システムは、近年普及の著しい**トピックモデル**と、自然言語処理分野で盛んに研究される**文書要約技術**を組み合わせることで、効率的な文書集合の俯瞰を可能とする。トピックモデルとしては、近年広く用いられる Latent Dirichlet Allocation (LDA) を，文書クラスタリングに応用できるよう拡張した **Dirichlet-Enhanced Latent Semantic Analysis** (以下，DELSA) と呼ばれるモデルを用いる。DELSA を用いることで、それぞれの**事象を「単語トピック」**として、また、それぞれの**シナリオを「文書トピック」**として推測できる。

より具体的には、提案システムは、

- DELSA により、各文書の文書トピック（クラスタ）、及び、各単語の単語トピック（クラスタ）を同時に推定する
- 各トピックを、文書要約技術により俯瞰する

という２段階の処理を行うシステムである。

2.2.1 問題設定及び使用データ

入力として、文書コレクション $\mathcal{D} =< d_1, d_2, \cdots, d_n >$ が与えられるとする。このとき、d_i には、それに付随する木構造 t_i が与えられている。各 t_i は、d_i 中の各文節の依存構造グラフであり、文節間の依存構造と、文節および、それを単語分割及び形態素解析した結果の単語リストを保持する。例えば、d_i が「問題発生した機器について復帰完了した」という一文であった場合、その依存構造木[1]は、(“復帰完了した”, (“機器について”, (“問題発生した”))) となり、各ノード（文節）にはさらに、それを形態素解析した結果の単語リストが付随する。

本研究で使用するデータセットは、表形式で提供されており、テキスト本文のほかに、警報の種類、警報の起こった日付等のデータが付与されている。テキスト本文には、状況および対応の様子が記述されており、多くの場合は時系列に沿って文が並んでいる。また、本文に加え、「アラーム」や「対策」といった列があり、それぞれ、どの警報が鳴ったのか、および、どのような対策が行われたのかがまとめられている。提案システムでは、各文に対し単語分割・形態素解析および依存構造解析を行

[1]本稿では、各木構造は S 式で表現する。

う。本研究では、形態素解析の結果を利用し、各文から名詞のみを取り出し[2]、後述のトピックモデル及び木構造マイニングの対象とする。

以下、具体的な手法について解説する。手法は、「STEP-1: DELSA によるトピック推定」と、「STEP-2: 各トピックの要約」の２段階に分かれ、STEP-1 の結果としてギブスサンプリングによって得られる各単語の単語トピック番号、および各文書の文書トピック番号が出力され、STEP-2 の入力として与えられる。

2.2.2 トピックモデルによる単語・文書トピックの推定

Latent Dirichlet Allocation (LDA) LDA は，文書等の，スパースなベクトルを効率良くモデル化するための生成的確率モデルである．LDA においては，文書中の各単語は，**トピック**から生成されると仮定される．ここでトピックとは，単語の出現確率を表す分布（多項分布）であり，例えば，電気に関するトピックは「電圧」や「kV」といった単語に高い確率を与える分布，対策一般に関するトピックは「推定」や「対策」といった単語に高い確率を与える分布として表現される．LDA を用いることにより，文書中の各単語に対し，その単語がどのトピックから生成されたかの推定値（トピックの番号）を与えることができる．

Dirichlet-Enhanced Latent Semantic Analysis (DELSA) LDA においては，各文書に一つずつ**トピック分布**（＝各トピックの出現確率を表す多項分布）が与えられるが，このトピック分布は，単一の**ディリクレ分布**から，それぞれ独立に生成される．DELSA では，このディリクレ分布の代わりに，**ディリクレ分布を基底として持つディリクレ過程**を用いて，各文書のトピック分布を生成する．ディリクレ過程は，離散確率分布を生成する確率分布（確率分布の確率分布）であり，基底分布と呼ばれる分布（この場合，ディリクレ分布）から，可算無限個のサンプル（この場合，ディリクレ分布からのサンプル，すなわち，多項分布）と，その混合比を生成することができる[3]．すなわち，この場合，ディリクレ分布から可算無限個のトピック分布が，その混合比とともに生成されることになる．その後，混合比にしたがって，各文書のトピック分布が選ばれる．

DELSA における文書の生成過程を，以下に示す．

1. ディリクレ過程から，可算無限個のトピック分布と，その混合比を生成.

2. 各文書毎に，1. で得られた混合トピック分布（＝混合多項分布, Multinomial Mixture）の中から，トピック分布を一つ選ぶ.

3. 文書内の各単語のトピックを，得られたトピック分布（＝多項分布）からサンプルする．

4. 各単語を，その単語に割り当てられたトピック（＝単語比率を表す多項分布）から生成する．

上記第 2 ステップで，各文書毎にトピック分布が一つ選ばれるが，このとき，同一のトピック分布が選ばれた文書は，同一の話題に属すると考えることができる．すなわち，同一のトピック分布が割り当てられた文書同士を同一のクラスタにまとめることで，文書クラスタリングを行うことができる．このように，DELSA では,「各単語に割り当てられるトピック（＝単語分布）を推定することによる単語クラスタリング」と「各文書に割り当てられるトピック分布を推定することによる文書クラスタリング」を同時に行うことができる．

[2]本研究で対象としている機器異常診断レポートにおいては、「見る」「食べる」等の一般的な動詞の頻度は少なく、「実施する」「調査する」等の、「サ変名詞＋する」形式の表現が多かった。このため、名詞だけを取得すればマイニングに十分なデータが得られると判断した。

[3]このとき，混合比（各サンプルの確率分布）は，基底分布と似た分布となる．

2.2.3 要約によるトピック俯瞰

DELSA は、単語トピック、文書トピックを同時に推定するモデルである。これは、本研究で提案するシステムにおいて、単語の側面と、文書の側面という 2 つの視点から文書集合を要約できることを意味する。本節では、実際にこれらのトピックを要約表示する手法について説明する。

単語クラスタ（トピック）の要約　通常、トピックモデルにおいて、得られた単語トピックの性質を俯瞰するためには、各トピックにおける確率上位の単語を列挙することが広く行われている。これに類似した結果が得られる手法として、「ギブスサンプリングにより各単語にトピックラベルを付け、それを集計し、各トピックの頻出単語を列挙する」という手法も取ることができる。本研究では、後者の手法を用い、各単語トピック毎に頻出単語リストを表示することで、単語トピックの要約とする。

文書クラスタ（トピック）の要約　文書クラスタにおいては、各クラスタが「単語の分布」ではなく「トピックの分布」で表現されているため、「確率の高いトピックを列挙する」という方法では、間接的な表現方法となり、直感的にわかりづらい表現となってしまう。

また、単語トピックと同様に、「ギブスサンプリングにより各文書にトピックラベルを付け、それを集計し、各トピックの頻出文書を列挙する」という手法も考えられるが、これも、そのままでは文書トピックに適用することは困難である。何故なら、文書集合中で「全く同一の文書」が出現することは稀であり、同一の文書が出現しなければ、各文書の頻度はすべて 1 となり、集計しても文書トピックを特徴づけることが困難であるからである。

このため、本研究では、トピックを**文書要約**により俯瞰する手法を提案する。これは、各文書トピックにおいて、そのトピックラベルを付与された文書を集めてクラスタを作り、そのクラスタに対し、文書要約の技術を適用することで、クラスタ、ひいてはトピックを代表するような文字列を得ることを目的とする。

本研究では、クラスタから、それをできるだけ代表するような文書を数個選び、それをクラスタの要約として表示する「選択による要約」と、各文書をより簡潔に表現する「圧縮による要約」の 2 種類の要約を考える。

文書選択による要約　文書選択による要約には、文書要約において広く用いられる手法である、MMR (Maximum Marginal Relevance) を使用する。MMR は、以下の式で定義されるスコアである。

$$MMR(x, A) = \lambda sim(x, q) - (1 - \lambda)\max_{y \in A} sim(x, y)$$

この MMR スコアが高い文書を順に選択していく。ここで、x は評価対象の文書、A は既に選択された要約の集合である。ここで q はクエリ（何らかの理想とする文書）であるが、本研究では、これをクラスタの重心とする。

文圧縮による要約では、木構造マイニングを文書集合 D に適用することにより、頻出木構造を取得する。ここで頻出木構造とは、D 中の依存構造木の集合で、しきい値（現在は 2）以上の回数出現する部分木構造のことである。[4]

問題設定の項で述べたとおり、各文には依存構造木 t_i が付随している。依存構造木の各ノードは、文節を表しており、エッジは文節どうしの依存関係を表す。さらに、文書内の複数文を一つの木で表すことにより、頻度の高い**イベント連鎖**を取得できるようになる。例えば、「警報 A が発生」「装置 B を修復」という表現が共に出現する文書が多かった場合、「((発生, (警報 A)) (修復, (装置 B)))」という木構造の頻度が高い、という事象としてマイニングできることになる。頻出木構造の取得には、一般的に用いられる FREQT アルゴリズムを用いる。

[4]ただし、レポートの中には、全く同じ長文が重複して登場することがあり、このとき、頻出木構造の種類が非常に多くなり、スコア付けに悪影響を及ぼすことがあるため、木構造のサイズに上限（現在は 7）を設けている。

その後、頻出木構造に基づき、D 中の依存構造木における各文節をスコア付けする。現在のシステムでは、各頻出木構造 t に、以下のスコアを付与する。

$$score(t) = |t| \cdot \log(freq(t))$$

ここで $|t|$ は、木構造 t のノード数を表す。各文節 c のスコアは、c を含む木構造ののスコアのうち、最大のものを、その文節のスコアとして定義する。

この文節のスコアに基づき、システムは、各構文木の木構造の根から、与えられた文長を超えないように、再帰的に子ノードを探索していく。各ノードは各文節に対応しており、ノードの探索は、スコアの高い文節に対応するノードから優先的に行われる。与えられた文長を超えた時点で探索は打ち切られ、それまで辿られたノードから文を生成する。

依存構造木からの要約文の生成は、日本語の依存構造が、「前の文節から後の文節にかかる」および「依存関係が交差しない」という性質を持つことから、自明に行うことができる。

2.3 具体的成果

生成された要約の評価には、一般的に用いられる **ROUGE スコア**を用いた。ROUGE スコアとは、何らかの正解（**参照要約**と呼ばれる）を準備し、その要約の再現率をもとに機械生成要約の良さを評価する手法であり、ROUGE-N スコアは、以下で定義される。

$$\frac{\sum_{x \in s_r} \min(freq(x, s_m), freq(x, s_r))}{\sum_{x \in s_r} freq(x, s_r)}$$

ここで、s_m は、機械生成による要約、 s_r は参照要約、$x \in s$ は、x が s の部分として含まれる N グラム（N 単語連接）であることを示し、$freq(x, s)$ は、x の s 中に含まれる頻度を表す。

本研究では、レポート中の表形式における「アラーム」列および「対策」列を擬似的な参照要約として用いる。これらの列には、どのような問題が起こったか（どのようなアラームが反応したか）および、起こった問題に対してどのような対策を採ったかが簡潔に記述されており、本文中の問題および対策記述部分が、より簡潔な形で示されていると考えられる。我々は、各レポートについて、この「アラーム」列と「対策」列を参照要約とし、クラスタ上位 k 個のテキストが、クラスタ中の各レポートにおける参照要約をどれほど再現できたかを、レポート毎に ROUGE スコアで計算する。その後、これらの ROUGE スコアを平均することで、システム全体のスコアとする。

文圧縮の際は、文字数の上限値 L を設定し、文の長さが L を超えるまで、ルートノードから開始し、子のノードに相当する文節を順次選択していく。このさい、文節にスコアが与えられている場合、最もスコアの高い文節を選択し、そうでない場合はランダムに文節を選択する。実験では、$L = 25$ とし、また、MMR のパラメータ λ は、$\lambda = 0.5$ と設定した。

文圧縮の精度を調べるため、提案手法（部分木の抽出による手法, 表中 “TREE”）と、ランダムに文節を選択する手法 (表中 “RANDOM”) を比較する。また、文書選択手法には MMR を用いるが、比較対象として、ランダムに文書を選択する手法 (表中「ランダム」) と、参照要約を見て最も ROUGE スコアを上昇させる文書を選ぶ手法（表中「オラクル」）を用いた。

表 1 に結果を示す。MMR による代表文書抽出は、Top-1 ではランダムとオラクルの平均程度の値を示したが、Top-5 まで文書を増やすにつれ、オラクルとの差が拡大している。このため、複数文書の選択において、MMR よりもより効率的な手法を用いる必要があると考えられる。文圧縮による要約抽出は、“TREE” と “RANDOM” の差がある程度観察され、木構造による文圧縮の効果が見られた。

表 1: 10 回試行による平均の ROUGE-1 スコア（単位：%）。Top-k は上位 k 件のテキストを使用したことを示す。TREE は木構造マイニングによる文圧縮、RANDOM は乱数による文圧縮を示す。

Algorithm	Top-1	Top-2	Top-3	Top-4	Top-5
文書選択：MMR					
TREE	24.53	34.22	39.13	42.67	45.38
RANDOM	21.66	31.23	35.87	39.84	42.48
文書選択：ランダム					
TREE	12.81	21.80	29.43	33.76	37.90
RANDOM	10.76	18.71	24.45	29.13	32.70
文書選択：オラクル（理想値）					
TREE	36.13	48.14	54.72	59.02	62.03
RANDOM	34.88	46.95	53.47	57.71	60.73

3 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 吉田稔, 中川裕志, 渋谷久恵, 前田俊二: テキストマイニングによる機器異常診断支援の試み, 第 4 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2012), F5-4, 神戸, 2012 年 3 月.

[発表 2] 谷田和章, 荒牧英治, 佐藤一誠, 吉田稔, 中川裕志: ソーシャルメディアによる風邪流行の予測, 言語処理学会 第 18 回年次大会, 広島, 2012 年 3 月.

[発表 3] 谷田和章, 荒牧英治, 佐藤一誠, 吉田稔, 中川裕志: Twitter による風邪流行の推測, 人工知能学会情報編纂研究会第 6 回研究会, 東京, 2011 年 10 月.

[発表 4] 松井藤五郎, 石田智也, 中嶋啓浩, 和泉潔, 吉田稔, 中川裕志: 新聞記事を対象とした時系列テキスト分析による市場予測, 第 7 回 人工知能学会 ファイナンスにおける人工知能応用研究会（SIG-FIN）, 2011 年 10 月.

[発表 5] 吉田稔, 中川裕志, 石田智也, 中嶋啓浩, 松井藤五郎, 和泉潔, 池田翔, 本多隆虎, ニュース記事クラスタリングによる取引高予測の試み, 人工知能学会第 25 回全国大会, 2H1-OS18-7, 盛岡, 2011 年 6 月.

[発表 6] 和泉潔, 池田翔, 石田智也, 中嶋啓浩, 松井藤五郎, 吉田稔, 中川裕志, 本多隆虎: テキスト分析による業種別平均株価の動向推定, 人工知能学会第 25 回全国大会, 2H1-OS18-6, 盛岡, 2011 年 6 月.

特記事項

[特記 1] Minoru Yoshida, Hiroshi Nakagawa, Akira Terada: On-demand Synonym Extraction Using Suffix Arrays, Chapter in Book: Information Extraction from the Internet, Nan Tang (editor), iConcept Press, pp. 73-87, 2011.

確率的潜在変数モデルの統計的学習理論に関する研究 –ネットワークデータへの応用–

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、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。

本稿では、「確率的潜在変数モデルの学習に関してネットワークデータに関する応用の研究」に関して説明する。本稿で扱う問題は、いずれもネットワークデータのクラスタリングである。ここで、ネットワークデータのクラスタリングとは、各ノードをそのリンク関係から、いくつかのグループに分けることである。例えば、ソーシャルネットワークデータやWebリンク解析では、コミュニティとしていくつかのグループに分けられる。また、学術情報処理では、論文間の参照関係や共著者関係をネットワークデータとして記述されることが多いため、このようなネットワークデータ解析は重要であると考えられる。本稿では、以下の2つの研究について説明する。

- 確率的並列探索アルゴリズムによる学習の効率化 [発表 3]:
  ネットワークデータのクラスタリング結果を複数のプロセスによって探索するアルゴリズムを開発した。この研究では、量子情報処理技術の知見を活かし、量子揺らぎを学習アルゴリズムに導入するすることで、並列学習アルゴリズムを理論的に導出した。また、適用したネットワークデータの確率的潜在変数モデルでは、クラス数を指定する必要がなく、データに合わせて自動的に決定される。さらに、本手法は、ネットワークデータに限らず、一般的な確率的潜在変数モデルに適用可能である。

- プライベートネットワークデータのクラスタリングアルゴリズム開発 [査読付 1]:
  ネットワークデータは、なんらかの関係を表現している場合が多く、このような関係データは、個人情報として外部に公開するのが望ましくない場合がある。ソーシャルネットワークデータにおいても、友人関係のみ公開し、外部からはその関係性を見せないユーザーも存在する。会社などの取引関係もネットワークデータとして見ると、その関係を非公開にしたいニーズは予想される。本研究では、各ノードのリンク情報のプライバシーを保護した状態で、全体のネットワークデータのクラスタリングを可能にするアルゴリズムを開発した。

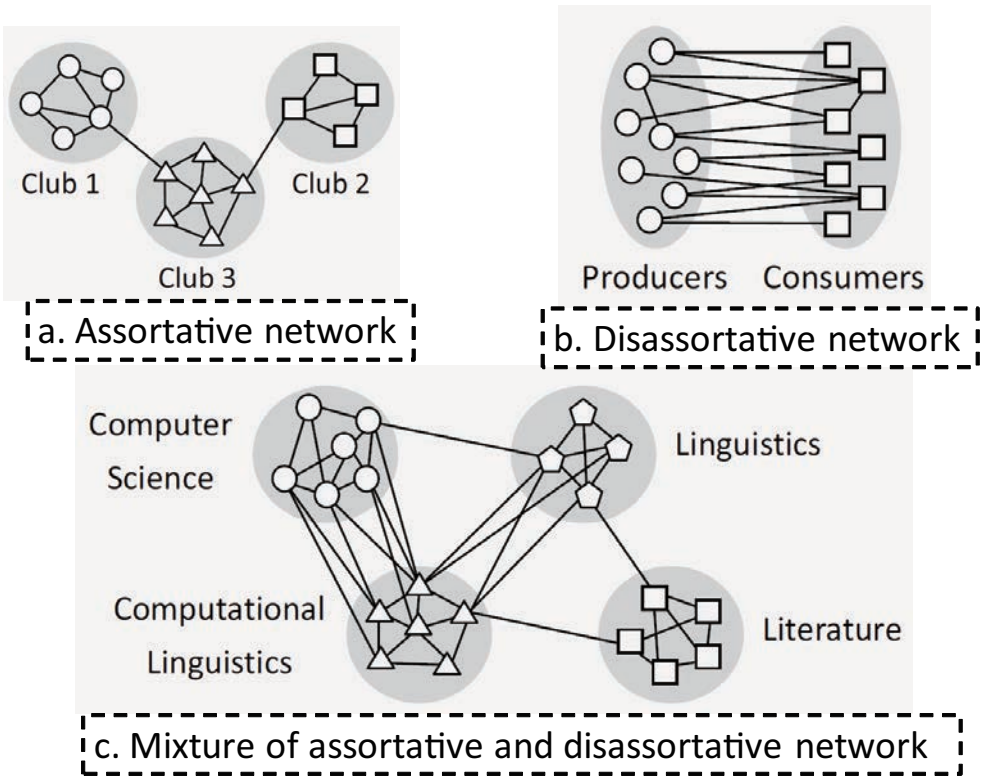


図 1: ネットワークデータの例

2　確率的潜在変数モデルによるネットワークデータクラスタリング

2.1　背景

現在、企業、研究所、大学、Web など至る所で蓄積されている多種多様なデータは、エンティティ間の関係をリンクによって表現することによってネットワーク構造を為している場合が多い。このようなネットワークデータから有用な知識を取り出す手法としてクラスタリング技術がある。ネットワークデータのクラスタリングは、リンク構造が類似したノードをまとめることで、コミュニティ抽出や概念的な関係抽出 (機械学習分野は最適化分野と確率・統計分野との結びつきが強い、など) を可能にする。学術情報分野は、特にネットワークデータとの結びつきが強いと考えられるため、本研究では、効率的なアルゴリズムの開発及びプライバシーの観点からネットワークデータのクラスタリング技術を向上させることを目的とする。

2.2　内容

ここでは確率的潜在変数モデルによってネットワークデータをクラスタリングする基本的な枠組みについて説明する。まず、ネットワークデータの構造に関して図 1 を用いて説明する。ネットワークデータは、主に Assortative network と b. Disassortative network という二つの構造が考えられる。Assortative network では、グループ間での結びつきが強いネットワークでソーシャルネットワークなどに良く見られる構造である。Disassortative network では、種類の異なるノード間の関係を表したネットワークで、ユーザーの購買データなどに見られる構造である。類似した構造として、二部グラフ構造があるが、同じ種類を持つノード間でのリンクがあってもよいため、二部グラフ構造を内包していると考えても良い。さらに、この両者の混合ネットワーク (図 1 c) も考えられる。学術分野間の関係は主にこのような混合グラフの構造をしていると考えられる。通常、ネットワークデータをクラスタリングする場合は、(1) リンクし合ってているノード同士をまとめる (a に有効)、(2) リンクしている相手が同

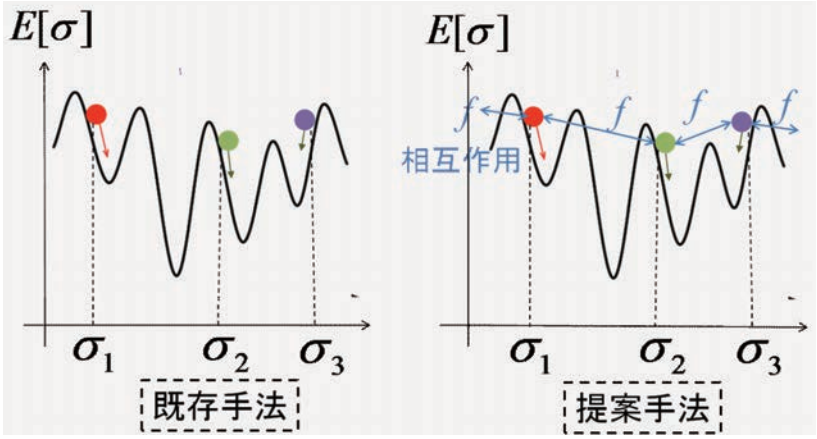


図 2: 提案手法の概略:目的関数 $E[\sigma] = -\log p(\sigma|D)$ とした場合、目的関数の値が最も低い状態 σ^* が最適解である。従来、初期状態の異なる複数のプロセスを独立に走らせて探索するのに対し、提案手法では、相互作用関数 f を導入して非独立に探索を行う。

じノードであるノード同士をまとめる (b に有効)、といったようにネットワーク構造によって、手法を変える必要があるが、本研究では、ネットワーク構造を意識せずに、また混合モデルも扱えるように、この 3 つの構造を統一的に扱うことができる確率的潜在変数モデルに関する学習を扱っている。

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。ネットワークデータの場合、各ノードが、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ノードは、同じクラスに属するという仮定 (モデル化) を行う。例えば、4 つのノードに対して, それぞれノード 1,2,3,4 の潜在変数を $\sigma = (z_1, z_2, z_3, z_4)$ とする。$\sigma = (1, 2, 2, 1)$ と推定された場合、ノード 1,4 がクラス 1 に属し、ノード 2,3 が、クラス 2 に属すると知ることができる。このような推定は、ネットワークデータ D が与えられた下での、条件付確率確率 $p(\sigma|D)$ を最大にする σ を求めることに対応しており、具体的には以下のような最適化問題に帰着される。

$$\sigma^* = \underset{\sigma}{\operatorname{argmax}} \log p(\sigma|D) \tag{1}$$

このような最適化問題に対して、本研究では「並列化」と「プライバシー保護」という観点で新たなアルゴリズム開発を行った。これらについて次節から説明する。

3 確率的並列探索アルゴリズムによる学習の効率化 [発表 3]

3.1 背景

一般に確率的潜在変数モデルでは、最適化問題 (1) に多くの局所最適解があり、大域解を得るのが難しい。したがって、近似アルゴリズムを用いる必要がある。本研究で扱う近似アルゴリズムは、確率的な探索アルゴリズムである。この手法では、解の候補を探索する際に必ずしも目的関数の値が良くなる方向へ探索するわけではなく、確率的な振る舞いを導入することで局所解から抜け出しより良い局所最適解を見つける手法である。本研究では、この古典的な確率的揺らぎに対して量子揺らぎを導入することで、局所解問題に対してより効率的な探索手法を提案する。ここで重要な点は、この量子揺らぎの導入を、実際には複数プロセスの並列探索アルゴリズムによって近似できることを数学的に導出した点である。具体的な導出については論文を参照していただくとして、本稿では直感的な説明を優先する。

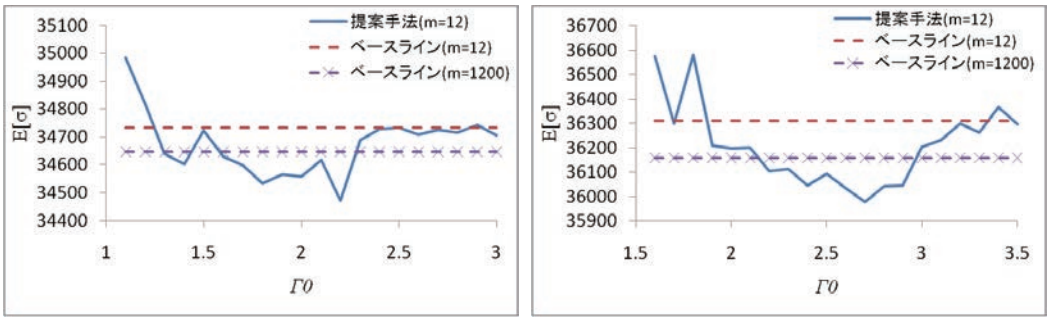


図 3: 実験結果:横軸は相互作用関数 f を制御するパラメータ Γ_0 で、Γ_0 が大きいほど f の効果が弱まる。縦軸は目的関数 $E[\sigma] = -\log p(\sigma|D)$ であるため、低いほど最適解に近く性能がよいことを表す。ベースラインは、シミュレーテッドアニーリングによる手法で、m は並列数である。

3.2 内容

局所解を含む問題では、初期値 (今回の場合は初期クラス) を変えた m 個のプロセスを走らせ、最も確率の高い σ を解とすることが通常行われる。このように従来の手法では、m 個のプロセスを独立に走らせるのに対し、本手法では、相互作用させながら探索を行う。m 個の各プロセスが取る潜在変数の値 (クラス分けの状態) を $(\sigma_1, \sigma_2, \cdots, \sigma_m)$ とする。つまり、σ_j は、j 番目のプロセスにおけるクラス割り当ての状態を表す。相互作用付探索は、以下の最適化問題を解くアルゴリズムとして導出される。

$$(\sigma_1^*, \sigma_2^*, \cdots, \sigma_m^*) = \underset{(\sigma_1,\sigma_2,\cdots,\sigma_m)}{\operatorname{argmax}} \log p(\sigma_1, \sigma_2, \cdots, \sigma_m|D) \tag{2}$$

$$= \underset{(\sigma_1,\sigma_2,\cdots,\sigma_m)}{\operatorname{argmax}} \sum_{j=1}^{m} \log p(\sigma_j|D) + f \cdot R(\sigma_1, \cdots, \sigma_m) \tag{3}$$

$R(\sigma_1, \cdots, \sigma_m)$ は状態間の類似度を示す関数、f は量子効果を表す相互作用関数で、モデルの構造とは無関係に各々数学的に導出することができるが、ここでは具体的な関数の式は省略する。$R(\sigma_1, \cdots, \sigma_m)$ は、実際には m 個の状態に関する制約を表現しているため、最適化問題 (3) は、最適化問題 (1) を複数組み合わせた時の制約付最適化問題としてみることができる。f が 0 の場合は、複数の最適化問題 (1) を独立に解くことに相当し、従来の古典的な手法と一致する。このため本手法は従来の手法を従来の手法を内包し、関数 f と R によって拡張した手法である。(ここで、関数 f と R は数学的に導出した関数であることに注意されたい)

量子揺らぎとの関係で説明すると、$(\sigma_1, \sigma_2, \cdots, \sigma_m)$ は、潜在変数 σ が m 個の値を同時に取った状態を表現している。つまり、潜在変数の重ね合わせに対する確率分布を $p(\sigma_1, \sigma_2, \cdots, \sigma_m|D)$ によって定式化している。この確率分布は、実際に量子系に拡張した確率分布に対し $O(1/m)$ で抑えていることを示すことができる。量子効果を制御する f は、重ね合わせにおける揺らぎを制御しており、f が大きいと R の影響が強くなり、複数の状態間の類似性が高い状態ほど確率が高くなるような確率分布になっている。このように f をハイパーパラメータとして重ね合わせの揺らぎの制御し、制約付最適化問題を確率的探索により解くことで量子揺らぎを導入した確率的探索手法を導出した。

図 3 に、学術情報ネットワークデータを用いた実験結果を示す。実験には、Netscience[1] と呼ばれる共著者ネットワークデータ (ノード数:1,589) と Citeseer の論文参照ネットワークデータ[2](ノード数:2,110) を用いた。実験結果により、提案手法は $m = 12$ のプロセス数であったとしても、量子効果を表すパ

[1] http://www.casos.cs.cmu.edu/computational_tools/datasets/external/netscience/
[2] http://www.cs.umd.edu/projects/linqs/projects/lbc/index.html

ラメータ Γ_0 を調節することで、$m = 1,200$ の従来手法よりもより最適な解を見つけることができることが確認された。

4 プライベートネットワークデータのクラスタリング [査読付 1]

4.1 背景

ネットワークデータとして表現されているデータには、第三者へ知られたくない多くの個人情報が含まれているため、このようなネットワークデータに対し、プライバシーを保護しつつ分析する技術が重要とされている。一般に、有用な情報を取り出すためには、ネットワーク全体を解析する必要がある。例えば、ネットワークデータを用いてコミュニティ抽出を行う場合は、ネットワーク全体を公開し、クラスタリング技術を適用する必要がある。本研究では、ネットワーク全体の構造を公開することができない場合に、そのネットワーク全体の構造に対してクラスタリング技術を適用する手法を提案する。

4.2 内容

各ノードは、それぞれ自分がどのノードに対してリンクを持つかという情報のみを持っている。つまり、相手のノードの他のノードへのリンク情報は非公開である。このようなネットワークを、我々はプライベートネットワークと呼ぶことにする。プライベートネットワークでは、ノード間のコミュニケーションは、リンクがあるノード同士のみ行うことができるとする。例えば、各々の携帯電話の通話履歴の場合、ノードが携帯電話、通話情報がリンクであり、各ノードは、他の携帯電話の通話履歴情報はわからない。このような状況で、全体のネットワーク構造に対してクラスタリングすることが本研究の目的である。公開される結果は、自分がどのクラスター（コミュニティー）に属するかであり、他のノードがどのコミュニティーに属するかはわからない。これにより、自分のクラスターと同じクラスターに属するノードに関する統計的なデータ (例えば、平均次数など) をプライベートネットワーク上で計算することができる。

本研究で扱う確率的潜在変数モデルは、前節と同様に、適用するネットワークデータが Assortative network か Disassortative network のどちらかであるかを予め知る必要はなく、両者の混合ネットワークに関しても適用可能である。これは、プライベートネットワークに対する解析では、全体の構造が予めわからないため、このようなネットワークデータの構造に対する非依存性は重要である。提案手法の概略は以下の通りである。まず、中央サーバーを 1 つ用意する。この中央サーバーが保持している情報は、クラス間のリンク数で、例えば、クラス 1 に属するノードとクラス 2 に属するノード間でのリンク数は $n_{1,2}$ であるという情報を保持している。この情報は、中央サーバーのみ知ることができ、非公開である。ポイントは、この中央サーバーの持つクラス間リンク数を用いることで、各ノードのクラス割り当て確率が計算できる点である。提案手法は、主に次の 2 つステップで構成される:

1. Private Sampling:各ノードのクラスを確率分布に従い割り当てる。これは中央サーバーの持つクラス間リンク数により可能で、サーバーとノード間では Random Share と呼ばれる暗号化ツールを用いることで、各ノードがサーバーの持っているクラス間リンク数の具体的な値を知らなくても正確に確率分布を知ることができる。

2. Private Accumulation:中央サーバーでクラス間リンク数を集計する。中央サーバーには、各ノードがどのクラスに割り当てられているかと言う情報は秘密にするため、暗号化ツールを用いて、各ノードが現在割り当てられているクラス情報を中央サーバーや他のノードに漏らさずに、クラス間リンク数を集計する。

上記を繰り返すことで、プライベートネットワークデータでのクラスタリングが可能になる。図 4 に、提案手法によるプライベートネットワークデータのクラスタリング結果を示す。この実験では、各ノー

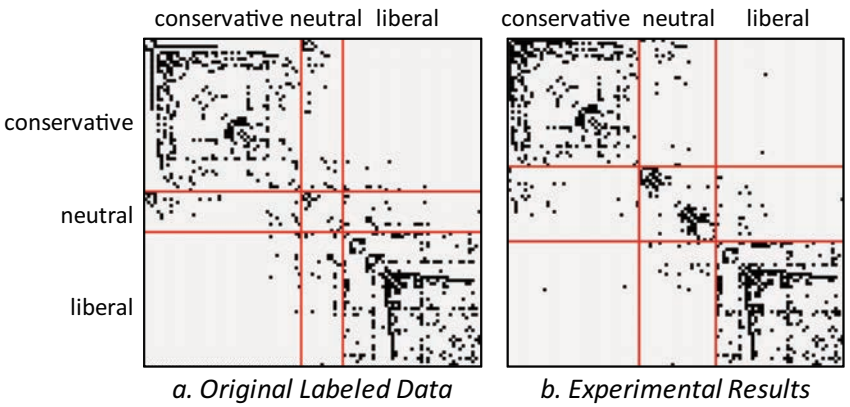


図 4: プライベートネットワークデータのクラスタリング例: a は、データに付加されていたラベルを元にしたクラスタリング結果。b は、提案手法によるクラスタリング結果。

ドは、US politics に関する書籍で、リンクは、共購買履歴により張られているネットワークデータを用いた。ある二つの書籍間にリンクが張られている場合、その二つの書籍は同じユーザーに購入されている割合が高いことを意味する。各書籍には、「conservative, neutral liberal」のラベルが付与されているため、本研究ではクラス数を 3 として実験を行った。書籍の数は 105 冊 (ノード) である。クラスの一致率を計算したところ 86%であった。また、計算時間は Pentium Core2 Duo CPUs, 2.67 HHz 2GB メモリで、136 秒程度であった。

本研究により、プライベートネットワーク上でのクラスタリングが可能となった。問題点として、計算量がクラス数の 2 乗に依存する点が挙げられる。今後は、この点を改善していく予定である。

5 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Bin Yang, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Secure Clustering in Private Networks, pp.894-903, IEEE 11th International Conference on Data Mining, Canada, 2011/12.

その他の発表論文

[発表 1] 谷田和章, 荒牧英治, 佐藤一誠, 吉田稔, 中川裕志: ソーシャルメディアを用いた風邪薬販売量の予測, 言語処理学会 第 18 回年次大会, 広島, 2012 年 3 月.

[発表 2] 谷田和章, 荒牧英治, 佐藤一誠, 吉田稔, 中川裕志: Twitter による風邪流行の推測, 人工知能学会情報編纂研究会第 6 回研究会, 東京, 2011 年 10 月.

[発表 3] 佐藤一誠, 栗原賢一, 田中宗, 宮下精二, 中川裕志:量子アニーリングによる無限混合モデルの並列最適化, 情報論的学習理論と機械学習研究会, 東京, 2011 年 6 月.

特記事項

[特記 1] 佐藤一誠: 確率的生成モデル最前線 —Statistical Machine Learning, Topic Modeling and Bayesian Nonparametrics—, DEIM2012 チュートリアル講演, 神戸, 2012 年 3 月 03 日.

[特記 2] 佐藤一誠: 統計的機械学習における量子アニーリング, 講演 : 情報統計力学の最前線-情報と揺らぎの制御の物理学を目指して-, 京都, 2012 年 3 月 23 日.

組織間の「緩やかな連携」が生み出す価値

清田　陽司

1　概要

多くの職業人は、それぞれの持つ専門性を生かした仕事に日々取り組んでいるが、専門性の根源は、理論によって体系化された知識と方法の集合体、すなわちアカデミックの世界に存在する学問体系にある。研究者はそれぞれが所属する専門領域の知識体系に基づいて日々の研究活動を行っているし、図書館に関わるスタッフに必要とされる知識や技術は、図書館情報学という学問領域によって体系化され、正統性の裏付けがなされている。専門性を生かした仕事をしている限りは、私たちはアカデミックの世界と無縁でいることは難しい。

一方で、専門性を生かした仕事には、現実世界との接点も必ず存在する。大学に在籍する研究者であっても、研究を遂行するためには、予算の獲得やスタッフ・学生の募集など、さまざまな現実の課題をクリアしていくことが求められる。図書館に関わるスタッフであれば、来館してくるさまざまな人々のニーズに応えていく必要があるし、場合によっては日々発生するトラブルへの対処も求められる。もちろん、対処しなければならない現実の課題の大半は、組織内で共有されている知識やシステムによって対処可能であり、それが専門性をもつ職業人の多くが組織に帰属する理由となっている。

しかし、職業人が現実世界に影響を与える方向に専門性を生かしていくことを目指したときには、壁を感じることが多いように感じる。例えば、大学の研究活動の成果を社会に還元していくことを目指す場合には、ビジネスモデルの構築などはもちろんのこと、民間企業などの外部組織との連携を図っていく必要があるが、利益相反や秘密保持の課題などをクリアしていく必要がある。また、個々の図書館におけるメタデータ整備やレファレンス事例の集積の価値をさらに生かそうとすれば、組織間での情報交換が重要になるが、組織同士で連携関係を構築・維持するには高いコストがかかる。

本稿では、組織間で個人の活動をベースとした緩やかな連携関係を構築することで、専門性の価値を現実世界に影響を与える方向で生かしていくための新たな方法論を生み出していくことを目指した活動を紹介する。第 2 節では、図書館や出版業界など、学術情報流通に携わる人々を対象とした勉強会「マイニング探検会」の活動における成果物を紹介する。第 3 節では、さまざまな学術機関によって独自に作成されているメタデータを緩やかにつなぐための Wiki システムの研究を紹介する。

2　図書館の未来を探る勉強会「マイニング探検会」の活動

2.1　背景

マイニング探検会（通称マイタン）は、図書館や出版業界など、知識情報産業に携わる参加者を中心として、情報マイニング技術にフォーカスして新たな図書館の未来を探ることを目的とした勉強会である[特記 1]。アカデミック・リソース・ガイド株式会社の岡本真氏と清田の両名を発起人として 2010 年 4 月に発足し、概ね月 1 回のペースで開催している。マイニング探検会の開催にあたっては、東京大学情報基盤センター学術情報研究部門、および株式会社ネクストの研究開発拠点であるリッテル研究所の協力を得ている。

マイニング探検会では、毎年 11 月に横浜にて開催される図書館総合展での成果発表を目標として、2011 年 4 月頃より準備を進めてきており、2011 年 7 月末に神奈川県真鶴町で 2 泊 3 日の開発

合宿を開催し、4 チームに分かれて持ち寄ったアイディアをもとにアプリケーションの開発に取り組んだ。この開発合宿は、「共生プログラミング」[1]という開発手法の実践として行った。

2.2 内容

本節では、開発合宿に参加した 4 チームのうち、「Ref.Master チーム」「ブクリスチーム」「俺 CiNii チーム」の 3 チームの成果を紹介する。本開発合宿には、マイニング探検会のメンバーのうち 10 名が参加した。また、株式会社ネクスト リッテル研究所のメンバー5 名がエンジニアとして参加した。

本開発合宿で実践した「共生プログラミング」という開発手法は、サービスの提供者・エンジニア・ユーザの立場の違いを超えて、課題を共有する人同士が集まり、互いの専門性を生かして相互に貢献し、具体的な解決策を創造し、実際に動くものを作るものであると定義されている。今回は、主にマイニング探検会メンバーはサービスの提供者やユーザ、リッテル研究所のスタッフがエンジニアとしての役割を担当したが、メンバーによってはエンジニアリングのスキルを持っている方もいて、必ずしも役割は固定したものではない。また、2 泊 3 日の合宿の最終日にはいったん各チームからの成果発表会を行ったが、合宿終了後も各チームのメンバーが自主的に集まり、完成度を上げる取り組みを行った。

2.2.1 「Ref.Master」チーム

Ref.Master は、レファレンスサービスを支援することを目的としたレファレンスのスキル向上ツールであり、三津石智巳氏（筑波大学）が中心となって開発を行った。具体的には、レファレンス協同データベースの API をデータソースとして利用した Web ベースのゲームアプリとして開発しており、ユーザに「楽しみながら」レファレンスに必要なスキルを身につけてもらうことを狙いとしている。ユーザは、「遊びながら」レファレンスに必要なキーワードやレファレンス資料を手軽に学習することができる。また、ユーザのモチベーションを維持するための工夫としてレファレンスレベルという概念を持たせており、学習達成率に応じてレベルアップしていく仕組みを実装している。

合宿では、限られた時間でレファレンス演習用ツールを実現するため、可能な限りシンプルな実装を心がけた。具体的には、本質的な以下の機能に絞り込むことで、開発に要する工数を最小限に抑えることと、ユーザにシステムのコンセプトが伝わることを両立させた。

- OpenID による認証
  今回は独自のログイン機構は実装せず、OpenID による認証の仕組みを採用した。ユーザは、アカウント取得の煩雑な手続きを経ることなく、FaceBook、Google、Twitter などの既存の Web サイトのアカウントを利用することで、Ref.Master を継続的に利用することができる。
- ユーザ用ポイントデータ管理
  Ref.Master には、他の多くのゲームアプリと同様に、ユーザがゲームを遊んだ実績をポイントとして管理している。ポイントがたまっていくことで、ユーザのレベルは「図書館採用」→「見習い司書」→…→「トップレファレンサー」と上がっていく。
- ジャンルに絞った事例選択
  レファレンス協同データベースの回答事例には日本十進分類（NDC）が付与されていることを利用し、ユーザに 10 ジャンル（NDC の最上位層の 10 カテゴリに相当）のうち遊びたい一つのジャンルを毎回選択させることで、ユーザは学びたいジャンルを絞り込んで遊ぶことができる。

Ref.Master のデモ画面を図 1 に示す。Ref.Master にログインすると、NDC 最上位層に相当する 10 カテゴリとそれぞれのカテゴリの現在のレベルが表示される。ここで、例えば遊びたいジャンルとして「総記」を選択すると、総記分野についての質問とライブラリアンの回答にあわせて、ライブラリアンが検索に利用したキーワードが 4 択問題として出題される。一定の問題数を回答し、正解率が一定のレベルをクリアすると、上のレベルに昇格できる。

---

[1] 1)　財団法人ハイパーネットワーク研究所. ハイパーネットワーク 2011 ワークショップ. http://www.hyper.or.jp/staticpages/index.php/ws2011detail (accessed: April. 15th, 2012).

図 1　Ref.Master の出題画面

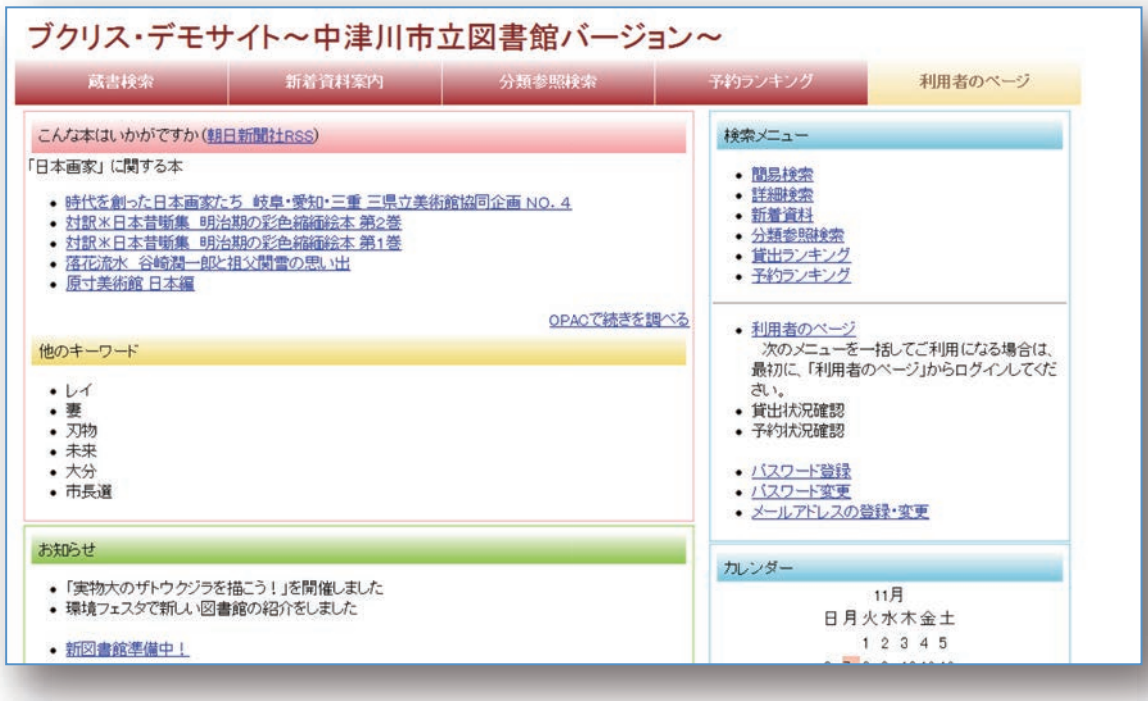


図 2　ブクリスのデモサイト（中津川市立図書館バージョン）

2.2.2 「ブクリス」チーム

ブクリスは、主に図書館の Web サイトを訪問するユーザを対象として、「旬の話題」のブックリストを自動的に生成・提示するシステムであり、関戸麻衣氏（国立情報学研究所）が中心となって開発を行った。本との出会いを求めて図書館の Web サイトを訪れるユーザにとって、OPAC への検索キーワード入力を求めるのはハードルが高すぎることがあるという問題意識が、開発の出発点である。多くの公共図書館で実際に使ってもらうことを目標に開発している。

館種を問わず、多くの図書館の Web サイトでは、主に蔵書を検索するというユーザのニーズに応えているものの、新しい本との出会いを求めて Web サイトを訪れるユーザにとって、最初にキーワードの入力を求められるのはハードルが高い。すなわち、現在の標準的な図書館 Web サイトの作り方では、一部のユーザのニーズに十分応えられていない可能性がある。

そこで、新聞社のニュースサイトなどの情報源から「旬の話題」を抽出し、OPAC を検索することで自動的にブックリストを定期的に生成するシステムを実現し、本との出会いを求めるユーザのニーズに応えることを目標として開発したのが「ブクリス」である。ブクリスの中津川市立図書館の Web サイトへの導入イメージを図 2 に示す。「こんな本はいかがですか」の欄に、新聞社ニュースサイトの RSS フィーダーを利用して抽出された「旬のキーワード」のうち、ランダムで選択されたキーワード（図中では「日本画家」）について、中津川市立図書館の OPAC での検索結果をブックリストとして表示している。ブクリスのシステムは、新聞社の RSS から得られたキーワードを CiNii API のヒット件数でフィルタリングするとともに、各図書館の OPAC 検索結果の情報を Nota, Inc.社が提供するカーリルローカルの API によって得ている。

2.2.3 「俺 CiNii」チーム

俺 CiNii は、「自分好みの論文探しをスパッっと支援」することをコンセプトとし、CiNii の新着論文リストから自動的に自分のニーズに合った論文だけを抽出するフィルタを簡単に作成することができるシステムであり、日髙崇氏（スタジオ・ポッド SD）が中心となって開発を行った。機械学習アルゴリズムの一種である Support Vector Machines（SVM）を採用し、満足できるフィルタリング精度を実現している。

SVM は教師あり学習アルゴリズムであり、人手で作った教師用データ集合が必要となる。今回は、「自分にとって興味のある論文」を「正例」クラス、そうでない論文を「負例」クラスに割り当て、多次元ベクトル化するための素性（機械学習の手がかり）として、論文の「著者名」そのもの、および「タイトル」を MeCab によって形態素解析して抽出される自立語を利用することとした。

限られた時間内で実装および実証実験を完了させるため、開発言語としては MeCab および SVM パッケージがすでに存在する Perl を採用した。また、あえて高度な汎用性は持たせず、CiNii の文献のみを対象とし、学習および判定に機能を絞った Perl モジュールを作成した。

俺 CiNii のユーザインタフェースを図 3 に示す。アカウントを作成してログインすると、図 3 に示すように CiNii の新着論文が表示される。ここで、「正例」「負例」にあたる情報を、「気に入った！」「いまひとつ」というボタンのいずれかをクリックすることでシステムに入力することができる。その後、「訓練開始」ボタンをクリックすることで、SVM による学習が行われる。なお、正例、負例の論文の NAID（NII 論文 ID）のリストを TSV で作成し、一括アップロードすることもできる。判定結果は、同じく図 3 の画面において、右側の青い棒グラフによって表示されている。グラフが長いほど、正例である可能性が高いことを示している。

2.3 具体的成果

上記に述べた 3 チームの成果物については、2011 年 11 月に横浜にて開催された図書館総合展のフォーラム企画[招待 6]として成果発表会を行い、約 150 名の参加者を集めたほか、Ustream 中継も行った。また、会場併設のブースにおいてマイニング探検会メンバーによるデモを行い、多数の来場

図 3　俺 CiNii のスクリーンショット

者に成果をアピールした。Twitter などで多くの反響を得たほか、国立国会図書館「カレントアウェアネス-R」にて俺 CiNii が取り上げられた[報道 1]。今回の成果物は、Web サイトでの公開も行っている[特記 2]。

3　メタデータ連携 Wiki

3.1　背景

現在Web 上には、「CiNii」や「J-GLOBAL」等の、Web 上で閲覧することのできる論文や書籍等の文献検索サイトが存在している。しかし、それぞれ独立した機関によってメタデータが管理されているため、複数のサイトを横断的に検索することができない。そのため、網羅的に文献を探しているユーザにとっては、複数のサイトで検索を繰り返す必要があり、非常に手間がかかってしまう。

例えば、「CiNii」の著者情報のページから他機関のサービスである「J-GLOBAL」へのリンクは存在しているが、あくまで「J-GLOBAL」でその著者の名前を検索した結果のページへのリンクであり、直接「J-GLOBAL」の著者情報ページへリンクされているわけではない。これはCiNiiの運営機関である国立情報学研究所と、J-GLOBALを運営している科学技術振興機構が、それぞれ所有している情報に対して独自に割り当てている識別番号（論文ID や著者ID 等）が、互いに対応付けられていないために起こる問題である。

また、著者データベースでは著者の所属の変更や、結婚などの理由による姓名の変更によって発生する重複レコードや同姓同名の複数の人物のレコードを機械的に判別し修正することは難しい。そこで人手による修正が必要になってくるがここでもいくつかの問題がある。一例として「CiNii」では、重複レコードが存在していることに気づいたユーザによる「同一人物の報告」という機能が存在する。しかし、ユーザによる報告の後、機関の人間が確認し報告が正しければ修正を行うというように、間違いの発見から修正まで時間がかかってしまうという問題がある。他のサイトにおいては、著者情報

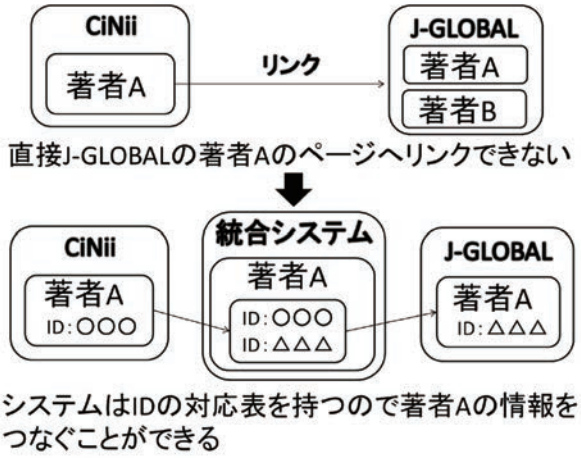


図 4　ID 統合の概念図

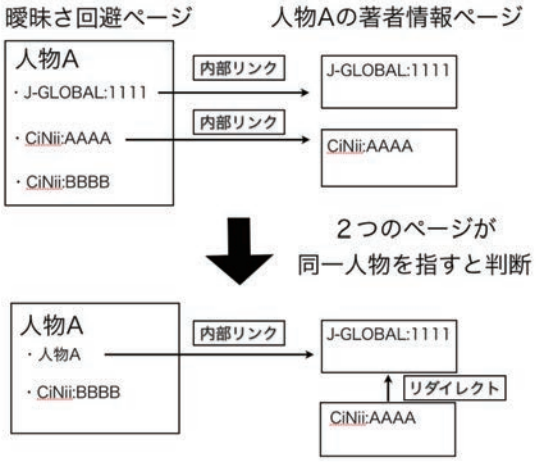


図 5　対応づけのイメージ

の修正をユーザが行うことができても著者本人の情報のみであり、他の著者情報の間違いを発見しても修正することができないので、著者本人が間違いに気づくまで情報が間違ったままとなっているのが現状である。

3.2　内容

本研究では、それぞれの機関のメタデータに割り当てられている ID に着目し、同じ種類の情報同士の ID の対応付けを行うことでサイトを統合するシステムを、MediaWiki を利用して構築することを提案している。

図 4 に ID 統合の概念図を示す。図 4 に示すように、従来の文献検索サイトは一方向のハイパーリンク等のつながりがあるのみだが、本システムは各機関の ID を対応付けることで間接的にサイトをつなぐ。本研究では、まず機関の所有するメタデータのうち、主に著者情報を対象として MediaWiki 上で対応付けを行う。

本研究では、MediaWiki の適切なフォーマットを設計するとともに、各文献サイト上のメタデータを、研究者情報ページを出発点としてスクレイピングにより機械的に収集するとともに、MediaWiki に対応した編集 bot によって MediaWiki ページの機械的な作成を行うシステムを構築した。Bot によって生成する MediaWiki ページのタイトルは、そのサイトにおける ID を採用している。例として「J-GLOBAL」における著者「増田英孝」の ID は「200901009424739052」である。この場合ページタイトルは「J-GLOBAL:200901009424739052」となる。このようにページを作成していき、同姓同名の著者のページをその人物名の曖昧さ回避ページに一覧としてまとめる。

さらに、各サイトから収集したメタデータが Wiki に追加された段階では、各サイト間の対応付けがなされていないので、同一著者のページを対応付ける。自動名寄せ技術の適用を想定しているものの、現時点ではこの作業を人手で行っている。図 5 に対応付けのイメージを示す。編集者は、曖昧さ回避ページにまとめられた著者情報ページ内の論文の一覧や、所属、研究分野、研究キーワード等の情報をもとに同一人物であるかの判断を行い、同一人物であった場合にはページ同士をリダイレクト関係にする。このような対応付けを行なっていくことで最終的に曖昧さ回避ページは、同名の異なる人物の区別をするためのページとして機能する。

3.3　具体的成果

現時点で、MediaWiki (http://wiki.mi-tan.jp/) 上で東京電機大学の教員約 300 名についてのページを作成し、名寄せ作業を進めている。また、上述のマイニング探検会に参加しているメタデータ作成担当者からの意見をもらってフォーマット設計に反映させている。研究の進捗については、2011 年 9 月および 2012 年 3 月の WI2 研究会にて発表を行った[発表 1][発表 2]。

4 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 清田 陽司: 世の中を変える「仕組み」を創り出すための人生戦略, 京都大学工学部情報学科計算機工学コース科目「情報と職業」, 京都大学吉田キャンパス, 京都市, 2011 年 4 月.

[招待 2] 清田 陽司: 曖昧な情報ニーズの具体化を目的とした情報ナビゲーション技術の研究, TP&D フォーラム 2011（整理技術・情報管理等研究集会）, 熱海金城館, 静岡県熱海市, 2011 年 8 月.

[招待 3] 清田 陽司: Hadoop による大規模データ処理, 平成 23 年度 QBP ワークショップ, 九州インターネットプロジェクト主催, 神湊スカイホテル, 福岡県宗像市, 2011 年 10 月.

[招待 4] 清田 陽司: Why Hadoop? －情報インフラとしての Hadoop の性質－, WebDB Forum 2011 特別セッション 1「Hadoop による大規模データ解析」, 工学院大学新宿キャンパス, 東京都, 2011 年 11 月.

[招待 5] 清田 陽司: 地域密着型情報サービスにおけるレコメンデーション技術の研究開発, WebDB Forum 2011 技術報告セッション, 工学院大学新宿キャンパス, 東京都, 2011 年 11 月

[招待 6] 清田 陽司: ネクスト・リッテル研究所のこれまで・これから, 第 13 回図書館総合展/学術情報オープンサミット 2011 フォーラム企画「アカデミックとリアルの谷を超える道」, 株式会社ネクスト主催, 横浜市, 2011 年 11 月. (Ustream: http://www.ustream.tv/recorded/18443150, 開催レポート: http://2011.libraryfair.jp/node/279)

[招待 7] 清田 陽司: ヒトと社会が大規模データ処理に求めていることは何か？, マイニングナイト, アカデミック・リソース・ガイド株式会社主催, さくら WORKS＜関内＞, 横浜市, 2011 年 11 月.

[招待 8] 清田 陽司: パネルディスカッション【Real + Internet + Technology】, 第 4 回楽天研究開発シンポジウム, 楽天技術研究所主催, 楽天タワー2 号館, 東京都, 2011 年 11 月.

その他の発表論文

[発表 1] 日向野 達郎, 増田 英孝, 清田 陽司, 中川 裕志: MediaWiki を利用した機関横断型文献情報統合システム, 第 20 回 Web インテリジェンスとインタラクション研究会(電子情報通信学会 SIG-WI2), サン・リフレ函館, 北海道函館市, 2011 年 9 月.

[発表 2] 日向野 達郎, 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 ～コミュニティベースのメタデータ対応付けの試み～, 第 22 回 Web インテリジェンスとインタラクション研究会(電子情報通信学会 SIG-WI2), 中央大学後楽園キャンパス, 東京都, 2012 年 3 月.

特記事項

[特記 1] 清田 陽司, 岡本真ほか:『図書館』の未来を探る勉強会 マイニング探検会(マイタン), 2010 年 4 月～. http://www.mi-tan.jp/

[特記 2] 株式会社ネクスト: 第 13 回図書館総合展「マイニング探検会」メンバー成果物ポータル, 2011 年 11 月. http://littel-lab.next-group.jp/mitan.html

報道関連

[報道 1] 国立国会図書館: CiNii 登録論文から自分好みの論文を表示できる「俺 CiNii」, カレントアウェアネス-R, 2011 年 11 月. http://current.ndl.go.jp/node/19501

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
広域分散クラウドを支える要素技術と
ネットワーク性能に関する研究

中村 文隆
マイクロコンピューティングと情報処理技術教育環境

妙中 雄三
無線ネットワークでの品質改善に関する研究

宮本 大輔
悪意あるウェブサイトの対策に関する研究

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ている。このようなネットワークへの要求は拡大する一方であり、これに応えるため、ネットワークの構築と運用、ネットワーク応用システム、及び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。2011 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、総務省や関連学会等から計 7 件の表彰を受けた。

ネットワークの構築と運用に関しては、複数の無線ノードを中継するマルチホップ無線ネットワーク、ルータや基地局等のインフラ設備を必要としないアドホックネットワークやセンサーネットワーク、同報性や広域性等の特長を持ち大震災にも強い衛星インターネット等が今後の本格的なユビキタス社会において益々重要になるとの考えから、それらに係わる基本課題の解決から実用化まで目指して取り組んだ。

マルチホップ無線ネットワークは、今後の本格的ユビキタス社会では基本であり重要な位置付けを占めるものと考えられるが、一般に情報転送スループットが極めて低いという問題がある。そこで、スループットを徹底的に分析し、その低下の原因が複数の無線リンクにおける情報転送の衝突、及び衝突の繰り返しによる転送待ち時間の急激な増大にあることを明らかにした。そして、このような情報転送の衝突を回避するとともに、複数ホップ間で同期した情報転送を可能とするための制御法を考案し、実験によりその有効性を実証した。一方、マルチホップ無線ネットワークにおいては転送品質が一般に低下するという問題もある。そこで、無線メッシュネットワークを実際に構築し、実機を用いた現場試験を行って転送品質の動的特性を評価した。更に、無線ネットワークでは、電波伝搬状況や転送トラヒック状況に依存してスループットが一般に大きく変化する。そこで、広く普及している情報転送プロトコル TCP を前提とし、アプリケーションから TCP を適切に制御することによってスループットを向上させる手法について検討を進めた。

アドホックネットワークについては、複数のノードから構成される情報転送ルートが、ノードの移動によって冗長になるという問題を解決するため、SVM(Support Vector Machine) を応用した学習機能によってルーティングを実現する方法を考案し、シミュレーション実験によって、情報転送ルートの障害時の修復を含め、冗長部分の除去が適切に実現できることを実証した。

センサーネットワークについては、東日本大震災で被災した岩手県大槌町の大気海洋研究所に気象センサー、マイク及びカメラを設置し、衛星を介して本郷/柏キャンパスで映像/音声/気候情報のアーカイブを行うとともに、現地のサウンドスケープ情報を配信することで被災地の復興状況を遠隔地からでも体感できる環境の提供を行った。更に、衛星を用いたインターネット接続環境の大きな特徴の一つは同報性であり、IP マルチキャスト機能の実現が特に有効である。そこで、宇宙航空研究開発機構 JAXA と情報通信研究機構 NICT が共同開発した「きずな衛星」を用いて、IP マルチキャスト機能の実現方法の検討と実証実験を行った。

昨今、特定のサーバを持たず各ノードが対等な役割を持つ P2P(Peer to Peer) アプリケーションの利用がネットワーク上で増え続けている。そのような一例としてオンラインネットワークゲームが有力

視されている。しかし、ゲーム情報が利用者のノードに格納されることになるため、ゲーム情報の悪用の恐れが出てくる。この問題に対処するため、ゲーム情報の悪用を詳細に分析して体系的に整理し、その結果に応じてゲーム情報を３種類に分割して、それぞれを異なる利用者ノードで分散管理するとともに、ゲームの進行に伴って必要となる処理も適切に分散させる方法を考案した。そして、この分散管理法によってゲーム情報の悪用を防御できることを理論的に証明した。

ネットワークの応用システムとして、クラウドの利用が最近急速に拡大している。特に、企業内の業務フローを変更することなく業務システムを移行可能な IssS(Infrastructure as a Service) が急速に展開されている。しかし、セキュリティや信頼性の確保・維持等が深刻な課題となっており、クラウド利用の大きな障害となっている。そこで、IaaS 環境を前提として、低コスト化による競争力維持とセキュリティ・性能面における信頼性確保による優位化を想定して、オープンソース仮想化基盤のネットワーク技術に関して、性能、導入・運用コスト、機能の観点から評価と分析を行った。その結果、現在の IaaS クラウドサービスは、広域分散した拠点間でのリソース共有や障害回避というクラウドならではの特性を十分活かしたサービスとなっていないことを明らかにした。そこで、クラウドの特性を活かし、拠点レベルでのリソース共有と障害回避を目指した広域分散クラウドの設計と構築の方法について検討を進めた。

昨今スーパーコンピュータやクラスタ型 PC などの多様なコンピュータ資源がネットワークを介して接続され、どこからでも利用できる環境が整ってきたが、これらコンピュータ資源を有効に活用するためには、ネットワークや個々のコンピュータの特性を熟知している必要があり、実際には効率的な利用が困難な状況にある。このため、実行するプログラムに応じて、適切なコンピュータ資源にタスクを自動的に割り当てて分散処理することが可能なミドルウェアの研究開発を行った。更に、研究開発したミドルウェアを用いて、大規模インターネット実証実験環境 StarBED と T2K スーパーコンピュータを、新世代通信網テストベッド JGN-X 網を用いて相互利用する環境を構築し、実証実験により性能評価を行った。

ネットワークの応用システムは極めて豊富になっており、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して、現実世界に直観的に分かりやすく情報を提示する拡張現実感（AR:Augmented Reality）技術を活用したシステムの検討を進めた。具体的には、ユーザの体の上を仮想物体が動き回る際の触覚を提示可能とすることを目指し、視覚と触覚を融合した刺激の提示手法を考案し、少数の振動モータで広範囲に触覚を提示するための手法を実現するため、(1) 振動モータを結ぶ線分外へ触知覚位置を転移させる条件、振動モータ数の削減が触知覚に与える影響、(2) 刺激部位による触知覚の差異の明確化等に関して、実験を含めて検討を進めた。

ネットワークの一基本技術はコンピュータ技術であり、技術的基礎に裏付けされた技術者の育成は今後益々重要となる。そのような意識の下、特定のメーカや機種に依存せず、必要最小限の仕様をもつコンピュータアーキテクチャとして、情報処理推進機構 IPA が定義する仮想コンピュータ COMET とアセンブラ言語 CASL をターゲットとするシミュレータを開発し公開した。このシミュレータには、現実のマイクロコンピュータ環境における開発の理解と学習にも役立つよう、実機を模した拡張入出力機能を具備している等の特長がある。

昨今、悪意のあるサイトが、ネットワークセキュリティの観点で大きな脅威となっている。このようなサイトでは、マルウェアをダウンロードさせて感染させたり、フィッシング攻撃によって利用者の個人情報を窃盗したりする等、大きな被害をもたらしている。このようなサイトへの対策を目的として、サイトを解析することによって悪意の有無を判断する方針の下、抽象構文木を応用してサイトのプログラムの類似性を分析する方法について実験的に検討を進めた。また、フィッシング対策システムの試験や改善を効率よく実施するため、フィッシングサイトの再現の試みを行った。

成果要覧

受賞関連

[受賞 1] Zilu Liang, Yuzo Taenaka, Takefumi Ogawa, and Yasushi Wakahara: 研究奨励賞, 電子情報通信学会ネットワークソフトウェア研究会, 2012 年 1 月.

[受賞 2] 中山雅哉: 平成 23 年度「情報通信月間」関東総合通信局長表彰, 関東総合通信局, 2011 年 6 月 1 日.

[受賞 3] 藤井裕士, 小川剛史: MVE 賞, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2011 年 10 月.

[受賞 4] 藤井裕士, 小川剛史: ヒューマンコミュニケーション賞, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ, 2011 年 12 月.

[受賞 5] 新島有信, 小川剛史: 優秀発表賞, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, 2011 年 12 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] 藤井裕士, 小川剛史: 色盲者支援のための混同線理論に基づく認識困難領域検出, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループシンポジウム, 2011 年 12 月.

[招待 2] 関谷勇司: ShowNet に見た IPv4 枯渇対策と IPv6 移行技術の可能性, Move Innovation A10 Forum2011 IPv4 枯渇対策/IPv6 移行セミナー, A10 ネットワークス株式会社, 東京コンファレンスセンター品川, 2011 年 9 月.

[招待 3] 関谷勇司: 広域分散型クラウドとそれを支えるネットワーク技術の最新動向 〜WIDE Pro-ject 大学間クラウドと ShowNet の事例から〜, 第二回事業継続 IT ソリューションセミナー 2011, 株式会社ナノオプトメディア, 東京ミッドタウン, 2011 年 9 月.

[招待 4] 関谷勇司: IaaS クラウドを構築するソフトウェア技術 〜 WIDE クラウドを事例として 〜, 日本ソフトウェア科学会コンピュータソフトウェア (採録通知受領済).

著書／編集

[著書 1] 中村文隆: シミュレータで理解しながら習得するアセンブラ言語 CASL, CQ 出版社, 2012 月 3 月.

査読付論文

[査読付 1] 山崎健生, 宮本大輔, 中山雅哉: C++ 用タスクマッピングライブラリの実装と異種混合環境での評価, 情報処理学会 HPCS2012, pp.15–22, 2012 年 1 月.

[査読付 2] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Influence Analysis of Visual Stimuli on Localization of Tactile Stimuli in Augmented Reality, Proc. of The 19th IEEE Virtual Reality Conference (VR2012), Orange County, CA, USA, pp.105–106, Mar. 2012.

[査読付 3] 新島有信, 小川剛史: 拡張現実感における視覚刺激と触覚刺激の提示位置の距離が触知覚位置に与える影響, VR 学研報, Vol.16, No.CS–4, CSVC2011–54, pp.11–14, 2011 年 12 月.

[査読付 4] Yanjue Xu and Yuji Sekiya: Scheme of Resource Optimization using VM Migration for Federated Cloud, Proceedings of Asia Pacific Advanced Network, ISSN 2227-3026, pp.36–44, New Delhi, Aug. 2011.

[査読付 5] 石原知洋, 関谷勇司, 村井純: DNS における認証情報管理手法の提案, 日本ソフトウェア科学会コンピュータソフトウェア, Vol.28 (2011) , No.4, pp.97–107, 2011 年 11 月.

[査読付 6] Blanc Gregory, Daisuke Miyamoto, Mitsuaki Akiyama, Youki Kadobayashi: Characterizing Obfuscated JavaScript using Abstract Syntax Trees: Experimenting with Malicious Scripts, In Procedings of the 8th International Symposium on Frontiers of Information Systems and Network Applications (FINA), Mar. 2012.

公開ソフトウエア

[公開 1] 中村文隆: CASL シミュレータ CC22, Version 1.00, 2012 年 3 月.

その他の発表論文

[発表 1] Zilu Liang, Yuzo Taenaka, Takefumi Ogawa, and Yasushi Wakahara: Automatic Route Shortening for Performance Enhancement in Ad Hoc Wireless Networks, 13th Network Software (NWS) Conference, Kushiro, Hokkaido, Japan, June 2011.

[発表 2] Zilu Liang, Yuzo Taenaka, Takefumi Ogawa, and Yasushi Wakahara: Automatic Route Shortening Based on Support Vector Machine in Wireless Ad Hoc Networks, in Proceedings of IEICE Society Conference, Sapporo, Hokkaido, Japan, Sep. 2011.

[発表 3] Yasushi Wakahara, Takefumi Ogawa, Yuzo Taenaka, and Zilu Liang: Route Maintenance for Mobile Ad Hoc Network (MANET), in Proceedings of the International Symposium on Secure-Life Electronics, Tokyo, Japan, Jan. 2012.

[発表 4] 山崎弘太郎, 妙中雄三, 若原 恭: P2P Massively Multi-player Online Role Playing Game におけるゲーム情報の悪用を防ぐ分散管理手法の提案と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, IN2011–150, pp.79–84, 2012 年 3 月.

[発表 5] Zilu Liang, Yuzo Taenaka, and Yasushi Wakahara: Applying Support Vector Machine to Automatic Route Shortening in Wireless Ad Hoc Networks, 電子情報通信学会・総合大会, BS–3–40, pp.S–77–S–78, 2012 年 3 月.

[発表 6] Marat Vyshegorodtsev, Daisuke Miyamoto, and Yasushi Wakahara: Governance-free secure domain naming system, 電子情報通信学会・総合大会, BS–3–3, pp.S–5–S–6, 2012 年 3 月.

[発表 7] 山崎健生, 中山雅哉: C++用タスク割り当てライブラリ tpdplib の T2K オープンスーパーコンピュータ上での実装と NPB による評価, 情報処理学会 HPC 研究会, Vol.2011–HPC–129, No.26, pp.1–8, 2011 年 5 月.

[発表 8] 中山雅哉, 朴澤佐智子: きずな衛星を用いた IP マルチキャスト機能実験, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2012 年 2 月.

[発表 9] 斎藤馨, 中山雅哉, 小林博樹, 中村和彦, 藤原章雄: 大槌サウンドスケープ配信, 電子情報通信学会総合大会 2012, BS–6–2, 2012 年 3 月.

[発表 10] 新島有信, 小川剛史: 拡張現実感における視覚刺激を利用した上肢への触覚提示手法に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.479, MVE2011–117, pp.127–132, 2012 年 3 月.

[発表 11] 新島有信, 小川剛史: 拡張現実感における仮想物体の動きが触知覚に与える影響に関する一考察, VR 学研報, Vol.16, No.CS–1, CSVC2011–7, pp.37–42, 2011 年 4 月.

[発表 12] Keiichi Shima, Yuji Sekiya and Katsuhiro Horiba: Network Portability Requirements and Models for Cloud Environment, draft-shima-clouds-net-portability-reqs-and-models-01, Internet Engineering Task Force, Oct. 2011.

[発表 13] 関谷勇司: インターネット新技術の標準化動向, インターネットウィーク 2011, IP meeting 2011, 富士ソフトアキバプラザ, 2011 年 12 月.

[発表 14] Yuji Sekiya: Overview of the Researches in ITC, CNRS / U-TOKYO GCOE Symposium, Paris, France, Jan. 2012.

[発表 15] Yuji Sekiya: Challenges for Large Distributed Inter-IaaS Cloud –WIDE Cloud –, 4th EU-Japan Symposium on the New Generation Network and the Future Internet, Tokyo, Jan. 2012.

[発表 16] 関谷勇司: 広域分散クラウドへの挑戦と課題, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol.111, No.375, IA2011–63, pp.49–54, 2012 年 1 月.

[発表 17] 妙中雄三, 勝間田賀章, 無線メッシュルータ試作機のフィールド実験の報告, 電子情報通信学会 2012 総合大会, B–7–62, 岡山大学, 2012 年 3 月.

[発表 18] 宮本大輔, ブラングレゴリー, 秋山満昭: 抽象構文木を用いた Javascript ファイルの分類に関する一検討, コンピュータセキュリティシンポジウム, 2011 年 10 月.

[発表 19] ブラングレゴリー, 秋山満昭, 宮本大輔, 門林雄基: 難読化されたスクリプトにおける特徴的な構文構造のサブツリー・マッチングによる同定, コンピュータセキュリティシンポジウム, 2011 年 10 月.

[発表 20] Daisuke Miyamoto: Anti Phishing and Web Security Technologies, INRIA-U.Tokyo GCOE Symposium on Information Technologies, Jan. 2012.

[発表 21] 宮本大輔, 妙中雄三: PhishCage: Reproduction of Fraudulent Websites in the Emulated Internet, GCOE セキュアライフ・エレクトロニクス報告会, 2012 年 3 月.

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激な発展とともに、転送情報量の拡大と品質の向上に加え、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。

- マルチホップ無線ネットワークの情報転送制御

ノートパソコンやスマートフォンの発展に伴って無線ネットワークの利用は増大する一方である。しかし、一般に無線ネットワークでは情報転送容量の制限が厳しく、特に、マルチホップの無線ネットワークでは情報転送スループットが極めて小さい。そこで、この問題を解決するため、情報転送スループットが小さい原因を詳細に分析して定量的に明らかにし、情報転送スループットを大幅に改善できる新しい情報転送制御法の考案と検討を進めた。

- アドホックネットワークの運用制御

主として移動可能な無線ノードから構成されるアドホックネットワークは、本格的なユビキタス社会において必須になると考えられている。そのようなアドホックネットワークでは、運用に係わる多くの基本技術が課題として山積している。そのうち、ノードの移動によってルートが冗長になった場合に冗長部分を削除することによってルートを短縮する方法について検討を進めた。特に、SVM(Support Vector Machine)を適用することによって、ノード移動の特性と独立で効率よいルート短縮法の検討を進めた。

- P2P ネットワークの管理

インターネットの大きなアプリケーションの一つとしてオンラインゲームが急速に普及している。オンラインゲームの現在のアーキテクチャはサーバ・クライアント型であるが、利用者の増大に伴いサーバの負荷が過大となるため、利用者が処理を負担する P2P（Peer-to-Peer）ネットワーク型が有望と考えられる。しかし、P2P 型オンラインゲームでは、各利用者によるゲーム情報の悪用や不正操作の可能性が生じるため、その対策が必須となる。そこで、ゲーム情報の悪用を防ぐ分散管理処理法について検討を進めた。

2　マルチホップ無線ネットワークの情報転送制御

2.1　背景

21 世紀に入って、ノートパソコンを用いた無線 LAN やスマートフォンを用いた携帯ネットワーク等、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転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情報転送スループットは極めて低い。マルチホップ無線通信は、無線中継装置や無線センサー等の固定された無線ノードから構成されるメッシュネットワーク、車両搭載の無線端末や利用者が持ち運ぶスマートフォン等の移動可能な無線端末から構成されるアドホックネットワーク等において必須となるため、今後のユビキタス社会において益々需要が増大するものと考えられている。

このようなマルチホップ無線ネットワークにおける情報転送スループットについては、隠れ端末問題やさらし端末問題のように、ホップ数が２以下に限定された複数の同時通信での分析や研究は少なくないが、ホップ数が３以上の場合についての研究はほとんど行われてこなかった。そこで、本研究では、主にホップ数が３以上のマルチホップ通信における情報転送スループットの分析とその限界の原因を分析し、スループットの拡大を図るための新技術の開拓を進めた。

2.2　内容

本研究で対象とするマルチホップ無線ネットワークでは、与えられた送信元無線ノードと宛先無線ノードとの間で、複数の無線中継ノードを介したルートで情報を送受するものとし、これら中継ノード数は必要最小限であるものとする。即ち、これらのノードは、そのルート上では隣のノードにのみ直接情報を転送できるものとする。また、簡単化のため、各ホップの無線リンクにおける情報伝送速度は同一と仮定し、各ノードの無線伝送は無指向性で、伝送範囲と干渉範囲は等しいものとする。更に、利用できる無線チャネル数は１とし、転送すべき情報は十分多いものとする。

このようなマルチホップ無線ネットワークの情報転送スループットは、ホップ数が３以上の場合、理論的には、各ホップにおける情報伝送速度の 1/3 以下になる。図１にマルチホップ無線ネットワークの例を示す。図１の無線ネットワークは n+1 個の無線ノード $N_0 \cdots N_n$ から構成され、ノード N_0 から順にノード N_i(i=1, …, n−1)を経由してノード N_n に情報を送るものとする。ノード N_i がノード N_{i+1} に情報を伝送するとき、その情報の電波はノード N_{i-1} にも届く。即ち、ノード N_i がノード N_{i+1} に情報を転送している間は、干渉を回避するため、ノード N_{i-2} から N_{i-1}、N_{i-1} から N_i、N_{i+1} から N_{i+2}、N_{i+2} から N_{i+3} への各転送はできない。しかし、例えば、ノード N_{i+3} から N_{i+4} に送ることはできる。つまり、３無線リンクおきに同時に情報転送ができる。このように、３ホップ以上のマルチホップ無線ネットワークの情報転送スループットは、１ホップの伝送速度の高々1/3 となる。実際には、確実に干渉回避するために一切情報を送らないガード時間や伝送制御のための特別な時間も必要で、実際の情報転送に費やされる時間の割合は 1/3 より小さくなり、現実に達成できるスループットは、この理論値よりも更に小さくなる。

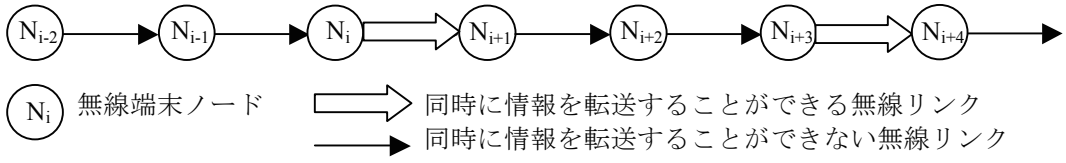


図１　複数のノードから構成されるマルチホップ無線ネットワーク

現在広く採用されている無線ネットワークの規格として IEEE802.11 標準がある。この規格に基づいて、図１の無線ネットワークで各無線リンクの伝送速度が 6Mb/s の場合の情報転送シミュレーション実験を行い、情報転送時間の割合とスループット等を測定した。その結果の概要を表１に示す。

表１　マルチホップ無線ネットワークにおける情報転送時間の割合とスループット

ホップ数	2	3	4	5
情報転送時間の割合（%）	54.63	48.39	42.00	45.61
スループット（Mb/s）	2.48	1.48	1.10	0.99

表１から分かるように、ホップ数が多くなると、情報を転送している時間の割合が小さくなって半分以下となりスループットも低下する。その原因を分析したところ、ホップ数が増えると転送情報の衝突とその対応のための再送が増え、また衝突回避のための待ち時間が増大することであると判明した。そこで、これら転送情報の衝突を回避し、また衝突回避のための待ち時間を削減する方法を検討し、以下に述べる２つの方法を考案した。

第１の方法は、情報を受け取ったノードが直ちに次のノードに転送できるようにするため、その間の待ち時間を 0 とする。他のノードの待ち時間は通常の制御のままとして最少待ち時間以上とする。

第２の方法は、第１の方法によって優先扱いされたノードの情報転送から３ホップ離れた無線リンクでも同時に情報転送を行うようにするため、新しい制御メッセージを定義し、その情報転送の開始タイミングを、それが必要な無線ノードに通知するものである。

以上の２つの方法によって、理論的には、図２に示すように、３ホップ毎に同時並行的に情報転送を順次繰り返すことが可能になり、スループットを最大化することが可能となる。

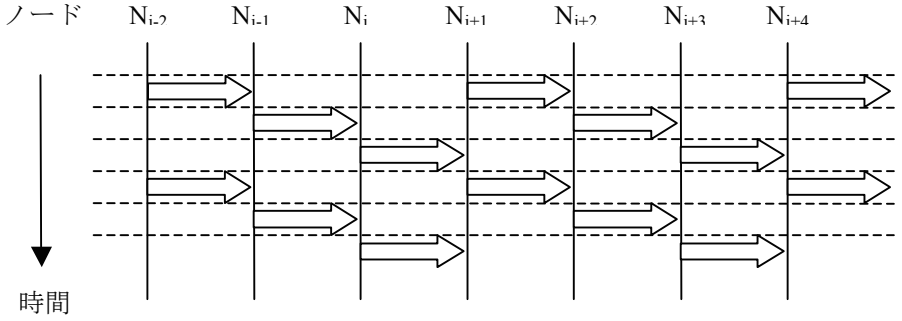


図２　マルチホップ無線ネットワークにおける逐次同時情報転送

2.3　具体的成果

前節で述べた新しい情報転送制御法の効果を明確に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３に示す。この図から分かるように、考案した方法には以下の特長があることを実証できた。

- ホップ数の増加に従ってスループットが減少するが、ホップ数が 3 以上ではほぼ一定となり、減少することはない。
- IEEE802.11 標準に基づく既存の方法に比較して、ホップ数が多くなるほど、スループット改善効果が大きく、ホップ数が 4，5 に場合、それぞれ 2 倍，2.5 培程度に増大できる。
- 理論的な限界に近いスループットを達成できる。

なお、これらの研究成果は平成 24 年度早々に電子情報通信学会の研究会で発表する予定とし、そのための論文原稿の執筆を進めた。

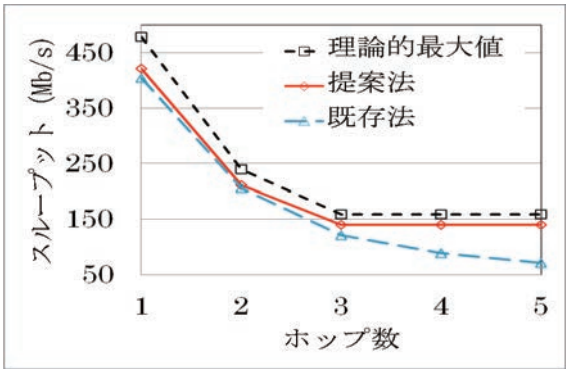


図３　提案法によるスループットの改善効果

3　アドホックネットワークの運用制御

3.1　背景

アドホックネットワーク MANET(Mobile Ad-hoc Network)は、ルータやアクセスポイント等のインフラ設備を用いることなく、主として移動可能な無線端末ノードから一時的に構成されるネットワークである。近年研究が活発になってきているが、未解決の基本的な技術課題も多く、その一つとして、ノードの移動によって適切な情報転送ルートの維持が困難になるという問題がある。特に、情報転送ルート内のノードの一部が冗長となってしまうことがある。このような場合、無駄なノードを削除してルートの適切化を図ることが考えられるが、これまでの研究ではノードの削除によってルートの切断の可能性が高くなり、総合的には情報転送能力の低下や転送品質の劣化を招くことがあった。そこで、このような問題を解決するため新しいルート適切化の検討を進めた。

3.2　内容

一般に MANET においては、２個のノード間での情報授受を実現するため、直接電波が届かない場合には、他のノードを中継する情報転送ルートに従ってパケット単位で情報を転送する。図４はそのようなルートの例を示すもので、ノード S,D はそれぞれ送信元ノード、宛先ノードで、ノード A,B,C は中継ノードを表す。つまり、情報転送ルートは{S→A→B→C→D}となる。図４で、もしノード S が移動してノード B に直接情報を送ることができるようになると、ノード A による中継は不要となり、このルートは{S→B→C→D}に短縮化できる。しかし、その後ノード S がノード B から離れて、再度ノード A の中継が必要となる場合がある。このような場合、ルートを短縮せず、ノード A を中継するルート{S→A→B→C→D}を維持し続けることによって、ルートの変更に伴う情報転送品質の劣化を避けることができる。即ち、ルートの短縮化は必ずしも適切とは限らない。

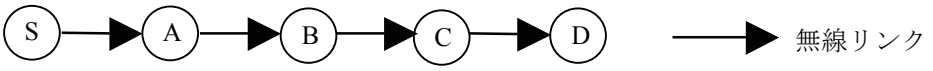
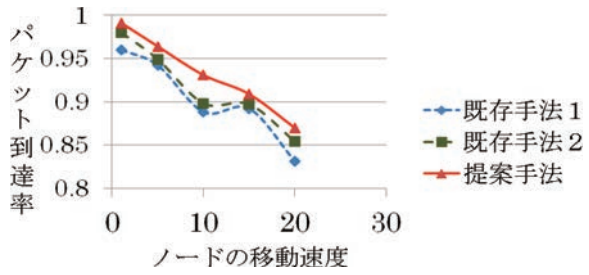


図４　複数のノードと無線リンクから構成される情報転送ルートの例

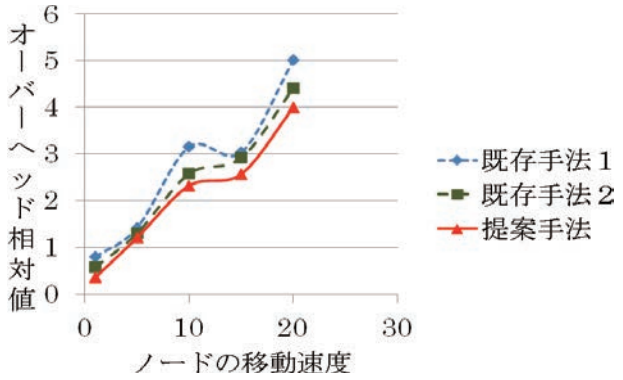
ルートの短縮が好ましいか否かは、ノード位置の相対的な関係の変化、つまりノードの移動に依存するため、その判定条件を定式化することは容易でない。そこで、機械学習を利用することとした。具体的には、サポートベクトルマシン SVM を応用して、ルート短縮を好ま

しいルート短縮と好ましくないルート短縮の２クラスに分類させることとした。SVM への入力となるパラメータには、関係する無線リンクの距離を用いた。

SVM を応用したこのルート短縮法の効果を明確に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５に示す。図５から分かるように、この方法によって、送信ノードが送出したパケットのうち宛先ノードに届く割合を示すパケット到達率を改善できるとともに、ルートを維持するために必要な制御のための情報量を削減できることが明らかとなった。



(a) パケット到達率



(b) オーバーヘッド（相対値）

図５　シミュレーションによる提案手法の比較評価結果の例

3.3　具体的成果

前節で述べたルート短縮法は、機械学習をネットワークのルーティング制御に応用するという点でオリジナリティが高く、今後の期待が大きいアドホックネットワーク MANET が現在抱えている一つの基本問題の解決を目指すもので、その有効性も明らかにできた。具体的には、パケット到達率を改善させることが可能で、更に制御パケットのトラヒックオーバーヘッド量の削減、パケット転送遅延時間の短縮等の効果を達成でき、総じてパケット転送に係わる通信品質の向上が図れることを定量的に実証した。このような成果に関し、電子情報通信学会の研究会・大会等において論文発表やポスター発表等を行い、研究奨励賞及び学術奨励賞を受賞した。[発表 1, 2, 3, 5]。

4　P2P ネットワークの管理

4.1　背景

近年オンラインネットワークゲームの普及が拡大しており、中でも MMORPG(Massive Multi-player Online Role Playing Game)の利用が爆発的に増大している。現在の MMORPG のアーキテクチャはサーバ・クライアント型であり、利用者が増えるほどサーバの負荷が増大し

コストがサーバに集中するという問題がある。これを解決するため P2P(Peer-to-Peer)アーキテクチャによって MMORPG を実現する方式の研究が進んでいる。しかし P2P 型の MMORPG では、各プレーヤがゲーム情報を管理するため不正行為が容易にできてしまう。不正行為対策の研究も始まってはいるが、ゲーム情報の悪用についてはまったく研究されておらず、悪用の明確化や整理すら行われていない。そこで、P2P-MMORPG におけるゲーム情報の悪用を明らかにして整理するとともに、その対策としてゲーム情報の分散管理法の検討を進めた。

4.2 内容

MMORPG は、多数の利用者がプレーヤとなってそれぞれ一つのプレーヤキャラクタ（PC: Player Character）を操作し、一つの仮想世界（VE: Virtual Environment）の中で他のプレーヤと協力したり敵対したりして、冒険・宝物取得・採掘・戦闘・取引等の活動を行い、予め設定された目標を達成していくゲームである。PC に加え、サーバが制御するキャラクタ(NPC: Non Player Character)、PC や NPC によって利用される様々なオブジェクト（object）がある。これらをまとめて entity と総称する。ゲームの実現には、仮想世界の維持に加え、entity ごとの攻撃力、防御力、現在位置等のゲーム情報を管理し、ゲームの進行に伴ってゲーム情報を更新していくことが必要である。

ゲーム情報には、仮想世界を管理するための VE 情報、及び entity を管理するための stats 情報がある。VE 情報は全プレーヤにオープンであり悪用の対象にはならない。stats 情報は entity の属性を表すもので、表１の通り、位置情報、識別情報、生成情報、及び性質情報の 4 種に分類できる。Stats 情報は、プレーヤの操作内容やゲームの進行に伴って変化し、その都度プレーヤに通知する必要がある。

表１　stats 情報の分類

分類	PC	NPC	object
位置情報	現在エリア、現在位置		
識別情報	名前、ID、アバタ、IP アドレス		
		種類 ID	
生成情報		生成時刻、生存期間	
性質情報	攻撃力、攻撃命中率、防御力		効果
	現在体力、体力の最大値		
	所有 object		

ゲーム情報の悪用の可能性について網羅的に詳細に検討し分析した結果、次の２種類に整理できた。

(a)対戦上有利か不利かの判断への stats 情報の利用

(b)object の取得の判断への stats 情報の利用

(a)の stats 情報には PC と NPC の性質情報があり、実際に悪用が可能となるためには、そのような stats 情報が対戦相手のものである必要があり、対戦相手の PC,NPC を特定できるか相手の位置を把握できる必要があるため、対応する識別情報または位置情報が必要となる。一方、(b)の stats 情報には object の識別情報、生成情報、性質情報が含まれ、実際に悪用が可能になるためには、(a)と同様、その stats 情報の識別情報または位置情報が必要となる。

以上から、悪用が可能となるための条件は、同じ entity に関する識別情報と生成情報、位置情報、性質情報の３種の情報のうち２種以上を取得することと結論付けられる。従って、

stats 情報の悪用を防ぐ方法として、stats 情報を識別情報と生成情報、位置情報、性質情報の３種に分割し、それぞれを異なるプレーヤで分散管理する方法を考案し設計した。

これら stats 情報の更新では、一時的にせよ２種以上の stats 情報をプレーヤが取得できることを避ける必要がある。このため、stats 情報とそれを管理するプレーヤの識別情報を関連付けするという機能のみを持つ特別な管理者として AM(Association Manager)を定義し、stats 情報の更新等複数種類の stats 情報にまたがる処理は、AM が仲介することにする。これによって、プレーヤが単独で複数種類の stats 情報を得てゲーム情報を悪用することを防ぐことが可能となる。

4.3 具体的成果

以上で示した分散管理手法によって、これまでの研究ではまったく実現できなかったゲーム情報の悪用を防ぐことが可能で、オリジナリティの高い技術である。この分散管理手法については、電子情報通信学会の研究会で理論的な検討結果を発表した[発表 4]。一方、この分散管理手法では各プレーヤの処理負荷が増大するため、ゲーム機能のリアルタイム性についての評価や条件を明確化する必要があり、今後の検討課題と位置付けている。

5 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] Z. Liang, Y. Taenaka, T. Ogawa, and Y. Wakahara: 研究奨励賞, 電子情報通信学会ネットワークソフトウェア研究会, 2012 年 1 月.

その他の発表論文リスト

[発表 1] Z. Liang, Y. Taenaka, T. Ogawa, and Y. Wakahara, Automatic Route Shortening for Performance Enhancement in Ad Hoc Wireless Networks, 13th Network Software (NWS) Conference, Kushiro, Hokkaido, Japan, June 2011.

[発表 2] Z. Liang, Y. Taenaka, T. Ogawa, and Y. Wakahara, Automatic Route Shortening Based on Support Vector Machine in Wireless Ad Hoc Networks, in Proceedings of IEICE Society Conference, Sapporo, Hokkaido, Japan, Sep. 2011.

[発表 3] Y. Wakahara, T. Ogawa, Y. Taenaka, and Z. Liang, Route Maintenance for Mobile Ad Hoc Network (MANET), in Proceedings of the International Symposium on Secure-Life Electronics, Tokyo, Japan, Jan. 2012.

[発表 4] 山崎弘太郎, 妙中雄三, 若原 恭, P2P Massively Multi-player Online Role Playing Game におけるゲーム情報の悪用を防ぐ分散管理手法の提案と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, IN2011-150, pp.79-84, 2012 年 3 月.

[発表 5] Z. Liang, Y. Taenaka, and Y. Wakahara: Applying Support Vector Machine to Automatic Route Shortening in Wireless Ad Hoc Networks, 電子情報通信学会・総合大会, BS-3-40, pp.S-77-S-78, 2012 年 3 月.

[発表 6] M. Vyshegorodtsev, D. Miyamoto, and Y. Wakahara: Governance-free secure domain naming system, 電子情報通信学会・総合大会, BS-3-3, pp.S-5-S-6, 2012 年 3 月.

広域分散環境の高度基盤技術に関する研究

中山雅哉

1　概要

Internet に代表される広域分散環境は、今日の社会生活に不可欠な存在となっている。これまでは、コンピュータをノードとしてネットワークを構成することが中心であったが、最近では、気象センサーや振動センサー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。これら小型デバイスから得られる情報は、社会生活における安心情報や環境教育などの素材としても活用されるようになってきた。

東京大学は、秩父演習林において長期間の定点観測映像アーカイブを保有しており、これらを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方法について検討が進められている。これらの研究で培われた定期的な定点観測映像のアーカイブ技術を用いることで、東日本大震災で被災した岩手県大槌町の大気海洋研究所に気象センサ、ステレオマイクや web カメラを設置し、衛星インターネットを介して本郷/柏キャンパスで映像/音声/気候情報のアーカイブを行うとともに、現地のサウンドスケープ配信を行うことで被災地の復興状況を遠隔地からでも体感できる環境の提供を行っている。

この様に、広域災害が発生した場合や山間部などでは地上インフラネットワークが提供されないことが多く、衛星を用いたインターネット接続環境の提供が重要な役割を果たすことになる。衛星を用いたインターネット接続環境では、同報性が大きな特徴であり、IP マルチキャスト機能の実現が特に有効である。そこで、JAXA と NICT が共同開発した「きずな衛星」を用いて、同機能の実現方法の検討と実証実験を行った。

また、Internet には、スーパーコンピュータやクラスタ型 PC などの多様な計算機資源が接続され、どこからでもネットワークを介して利用できる環境が整ってきたが、複数の計算機資源を有効に活用するためには、ネットワークや個々の計算機の特性に関して利用者が熟知している必要があり、実際には効率的な利用が困難な状況にある。このため、実行するプログラムに応じて、適切な計算機資源にタスクを分散処理してくれるミドルウェアの研究開発を行った。研究開発したミドルウェアを用いて、StarBED と T2K スパコンを JGN-X 網を用いて相互利用する環境を構築し、実証実験により性能評価を行った。

本研究室では、上述したように広域分散環境における高度基盤技術に資する基礎技術の確立を中心とした各種の研究に取り組んでいる。

2　小型センサーや定点観測映像の活用に関する研究

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ーや振動センサーなどの様々な小型センサー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ーは、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。

これまでは、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、ゲリラ豪雨やヒートアイランド現象などの都市部特有の現象を観測し可視化する方法の検討を進めてきた。

また、新領域創成科学研究科では、秩父演習林に設置された定点観測装置を用いて 15 年以上に渡って観測が続けられており、これらの映像アーカイブを用いた遠隔授業を大学と小中学校を結んで環境教育の授業実践を通じて活用方法の検討が行われてきた。

これらの研究で培われた技術を組み合わせることで本年の研究を行った。

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」を小型センサーとして用い、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。

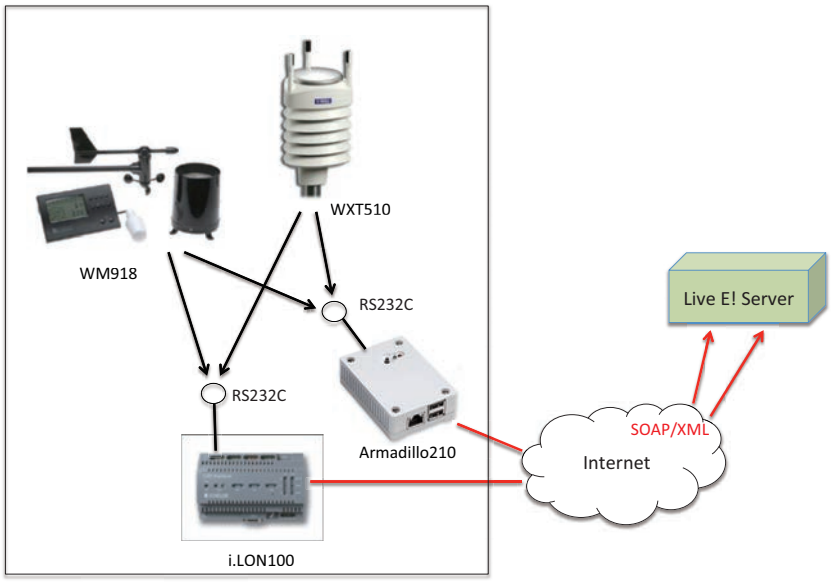


図 1: ディジタル百葉箱の構成

また、新領域創成科学研究科では、秩父演習林内にビデオカメラを用いた定点観測装置を設置して、15 年以上に渡って観測が続けられている CyberForest プロジェクトが行われている。この映像アーカイブを用いて、大学と小中学校を結んだ環境教育の遠隔授業の実践が行われ、観測映像等の活用方法の検討が進められている。

本年度は、これらの研究で培われた技術を組み合わせ、東日本大震災で被災した岩手県大槌町の大気海洋研究所に気象センサ、ステレオマイクや web カメラを設置して、衛星インターネットを介して本郷/柏キャンパスで映像/音声/気候情報のアーカイブを行うとともに、現地のサウンドスケープ配信を行うこととした (図 2)。

図 2: サウンドスケープ配信システムの構成

これにより被災地の復興状況を避難場所などの遠隔地からリアルタイムに体感できる環境を提供できる状態となった。

2.3 具体的成果

本研究に関して、電子情報通信学会総大会において発表を行った [発表 3]。

この研究は、東京大学の復興支援プロジェクトの一つとして位置づけられており、被災により浜を離れて避難生活する被災者の精神的よりどころとして役立っている。

3 きずな衛星の機能評価に関する研究

3.1 背景

JAXA と NICT で共同開発された「きずな衛星」は、Ka 帯を用いた通信衛星で、ATM ベースバンド交換機 (ABS) を搭載しており最大 155Mbps の通信を行う機能を有した衛星で、2008 年 2 月 23 日に種子島宇宙センターから打ち上げられた。

衛星開発機関 (JAXA および NICT) では、衛星の基本機能の有効性を検証する実証実験が行われてきた。

本研究は JAXA における招聘研究員として実施した基本実験に関してまとめたものである。

3.2 内容

「きずな衛星」は、「e-Japan 重点計画」に基づいて研究開発された世界最高水準の高度情報ネットワークの形成を目指して開発された衛星で、将来の情報ネットワークの更なる高速・大容量化を想定して構築されたものである。

打ち上げ後、衛星開発機関 (JAXA および NICT) では、衛星の基本機能の有効性を検証するための

様々な実証実験が行われてきた。これらの検証には、衛星の搭載機器の健全性確認を行う実験の他に、衛星を用いた通信応用実験も多く含まれている。

特に衛星通信は、広域性・同報性・耐災害性を持つため、教育、医療、災害対策などの各分野での衛星利用の実証実験が行われてきた。例えば、日本と東南アジアの国を結んだ遠隔教育利用や、本島と離島の医療機関を結んだ遠隔医療、東日本大震災における災害対策本部間での情報交換などでの活用に用いられてきた。

衛星の同報性の特徴を活かすために「きずな衛星」には、搭載交換機 (ABS) 上で情報を複製するマルチキャスト機能を有しているが、インターネット上のルータで実現されている IP マルチキャスト機能とは異なる方式であるため、本研究では、ABS の持つマルチキャスト機能を用いた IP マルチキャスト機能の検証実験を行ったものである。

3.3 具体的成果

「きずな衛星」では、接続相手先の端末の ARP 情報を各地球局に設定することで、ARP などのブロードキャスト通信が衛星間で行われることを削減する工夫がなされている。この機能のため、マルチキャスト Ethernet フレームも同様に ARP 情報の設定を行わなければ衛星間の通信として扱われないこととなる。そこで、IP マルチキャストアドレス宛の Ethernet フレームや PIM などの router 間でのマルチキャスト通信に対する ARP 情報を各地球局に記載するとともに、衛星に搭載されている ABS マルチキャスト機能を有効にすることで、IP マルチキャスト機能を実現できることを示した [発表 2]。

4 並列分散処理の動的タスク割当て技術に関する研究

4.1 背景

Internet には、スーパーコンピュータやクラスタ型 PC などの多様な計算機資源が接続される様になり、どこからでもネットワークを介して利用できる環境が整ってきた。

しかし、最近の計算機は、マルチコア CPU を複数台搭載した機種も多くなり、並列分散処理を行うプログラムを利用者が記述して、複数の計算機資源を有効に活用するためには、それぞれの計算機の特性やネットワークに関して熟知している必要があり、場合によっては、利用できる計算機資源の特性に合わせて、プログラムの構成方法も変更する必要がある。

新たにコア数や CPU 数が大きな計算機が開発される度に、その計算機の特性に合わせてユーザがプログラムを変更しなければならない事態は、著しく生産効率の低下を招くことになる。

そこで、利用者が記述したプログラムを複数の計算機資源が利用可能な環境で実行するにあたり、その処理タスクの適正に応じて適切な計算機資源に処理タスクを分散処理してくれる様な機構が必要であると思われる。

4.2 内容

本研究では、C++ 言語の次期標準 (C++0x) において標準ライブラリとして導入されるスレッドライブラリと同様にして、明示的なタスク割当てを行うことができるライブラリの開発を行った。

開発したライブラリ (PDPTL: Parallel and Distributed Processiong Template Library) では、タスクの割当てをデータの割当てと同様に階層化し、計算素子 (PE: Processing Element) の確保・タスク割当て・アルゴリズム処理を分離して設計できるようにした。このため、利用者が明示的に PE の割当てを意識したプログラムを記述できる一方で、計算機の構造を意識しないでシステムに自動的なタスク割当てを任せることも可能な構成をとることができる。

本年は、これまでに実装を進めてきた PDPTL ライブラリを用いて実際の複合計算機環境での性能評価実験などを行った。

4.3 具体的成果

まず、開発した PDPTL ライブラリの基本性能を確認するため NPB (NASA Advanced Supercomputing Parallel Benchmark) Ver3.3.1 の中から IS と EP を実装し、T2K スパコン (4core 4CPU: OS RedHat Enterprise Linux 5) 上で UPC の実装と比較評価を行った。この結果、両者はほぼ等価の性能を得ることが明らかとなった [発表 1]。

また、分散した位置にある複数の計算機環境における負荷分散の効果を確認するために、StarBED の計算ノード (6 core 2CPU: OS Debian 6.02) 5 台と T2K スパコンの計算ノード (4core 4CPU: OS RedHat Enterprise Linux 5) 4 台に研究室内のパソコン (4core 1CPU: OS ubuntu 10.04LTS) 2 台を JGN-X 網を用いて相互利用し、簡単な計算プログラムを用いてタスクマッピングアルゴリズムの負荷分散の効果を調べる実験を行った [査読付 1]。この結果、各タスクの実行時間を動的に検証する方式を用いることで処理性能の異なる各計算ノードを有効に活用する負荷分散を実施できることが検証された。

今後、利用者が作成した負荷の異なる実システムにおいても、利用できる計算機の構造を意識しないでライブラリの持つ機能で自動的にタスク割当てを任せた場合に、適切な計算機資源の割当てが行われるかの検証を進めたい。

5 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 中山雅哉: 平成 23 年度「情報通信月間」関東総合通信局長表彰, 関東総合通信局, 2011 年 6 月 1 日.

査読付論文

[査読付 1] 山崎健生, 宮本大輔, 中山雅哉: C++ 用タスクマッピングライブラリの実装と異種混合環境での評価, 情報処理学会 HPCS2012, pp.15-22, 2012 年 1 月.

その他の発表論文

[発表 1] 山崎健生, 中山雅哉: C++用タスク割り当てライブラリ tpdplib の T2K オープンスーパーコンピュータ上での実装と NPB による評価, 情報処理学会 HPC 研究会, Vol.2011-HPC-129, No.26, pp.1-8, 2011 年 5 月.

[発表 2] 中山雅哉, 朴澤佐智子: きずな衛星を用いた IP マルチキャスト機能実験, 電子情報通信学会 IA 研究会, 2012 年 2 月.

[発表 3] 斎藤馨, 中山雅哉, 小林博樹, 中村和彦, 藤原章雄: 大槌サウンドスケープ配信, 電子情報通信学会総合大会 2012, BS-6-2, 2012 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、多くのマニュアル参照を必要とする航空機整備のような作業の支援や、街中での効果的な広告やゲーム、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。筆者は、人々の日常生活を豊かにすることを目的にAR 技術を応用したシステムの構築を進めており、主に、インタフェース技術、実空間認識技術に関する研究を行っている。

2　拡張現実感における視触覚融合型インタフェース

2.1　背景

AR 技術を用いた従来のアプリケーションでは、ユーザに対して正確に情報を伝えるために、仮想物体と現実世界の幾何学的な整合性を保つことが重要とされ、これまでにカメラの位置・姿勢を推定するための様々な手法が提案されてきた。一方、ユーザの仮想物体に対するインタラクションのリアリティを向上させるために、ユーザに触覚フィードバックを与える研究も盛んに行われるようになってきており、例えば、ユーザが仮想物体を叩いたときの衝撃や仮想物体がユーザの体の上を動くときの感覚の実現を目的とした研究が存在する。しかし、これまでに提案されているシステムでは、ユーザに対して触覚を提示できる場所がデバイスを装着している場所に限定されていることが多く、ユーザの体の上を自由に動き回る仮想物体からの触覚を提示するには全身にデバイスを装着しなければならないなど多くの問題があった。本研究では、多数の触覚デバイスを装着しなくても、図 1 に示すような、ユーザの体の上を仮想物体が動き回る際の触覚を提示できるシステムの構築を目指し、視覚と触

図 1: アプリケーション例（仮想ペットのイメージ図）

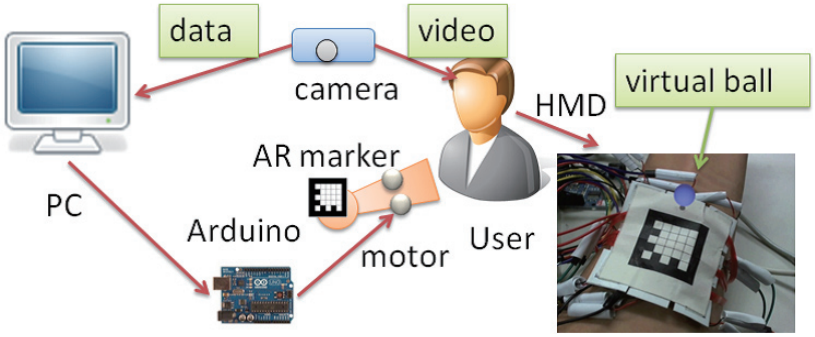


図 2: 実験環境

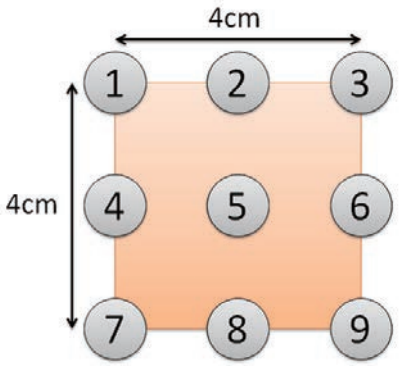


図 3: モータ配置

覚を融合した刺激の提示手法について検討している。これまでに、2 個の振動モータ間の線分上で視覚刺激と触覚刺激を異なる位置に提示すると視覚刺激によって振動刺激の知覚位置が転移すること、また、提示する仮想物体の移動方向によって視覚刺激の影響力が変化することを示した。

本年度は、少数の振動モータで広範囲に触覚提示するための手法を実現するため、以下の 3 点について検討を進めた。

- 振動モータを結ぶ線分外へ触知覚位置を転移させる条件
- 振動モータ数の削減が触知覚に与える影響
- 刺激部位による触知覚の変化

2.2 振動モータの線分外へ触知覚位置を転移させる条件

2 個の振動モータを結ぶ線分上であれば、ファントムセンセーションによる振動刺激と視覚刺激（仮想物体）の提示位置が異なっている場合に、ユーザの触知覚位置は振動刺激位置ではなく、視覚刺激位置に一致もしくは近くなる傾向があるという知見が得られていたが、これは振動モータ設置位置、振動刺激位置、視覚刺激位置がすべて同一直線上に並んでいる条件での結果であり、これだけでは振動モータを削減することは困難である。そこで、これらの位置が同一直線上に並ばない場合でも、ユーザの触知覚位置を視覚刺激位置に近づけることが可能であるかを検証する実験を行った。具体的には、視覚刺激位置方向へ触知覚位置を転移させることが可能な視覚提示位置と触覚提示位置の距離を調べた。

実験環境を図 2 に示す。被験者は利き腕ではない前腕中央内側に 9 個の振動モータを 2cm 間隔で格子上に配置する (図 3)。振動モータを設置した部位をカメラで撮影し、ARToolKit を用いて HMD のモニタ上で仮想ボールを重畳表示する。振動モータに与える電圧は Arduino で PWM 制御する。同時に振動するモータ数は 1 個、または 2 個とする。

2.2.1 実験手順

振動モータの振動パタンは 1 個のモータのみを振動させる場合の 9 通りと 2 個のモータを選択して振動させる場合の 36 通りの合計 45 通りとなる。触覚提示位置は、振動モータ 1 個が振動している場合はその振動モータの位置とし、2 個が振動している場合はファントムセンセーションにより 2 個の振動モータの中間の位置とする。各振動モータに与える電圧は 3V で、その際の振動数は約 200Hz となる。触覚提示に合わせて視覚刺激として半径 5mm の青い仮想ボールを提示する。仮想ボールは高さ 1cm で 1 秒間隔で跳ねており、視覚提示位置は図 3 の 1 から 9 の 9 箇所とした。視覚提示位置と触覚提示位置はランダムに決定する。

被験者は HMD を通して自分の腕を見ながら震えていると感じた振動位置にマウスポインタを合わせてマウスをクリックすることで回答し、その回答位置を触知覚位置とする。1 回ごとに触知覚位置

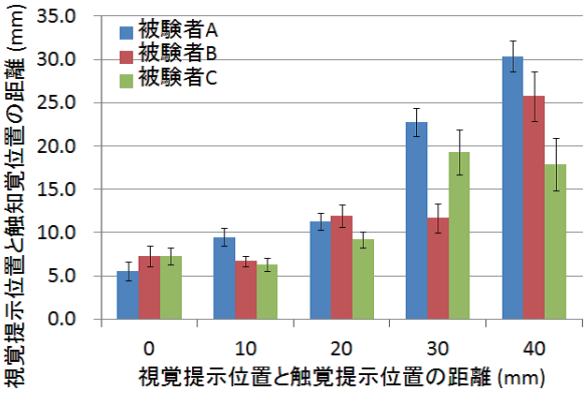


図 4: 視覚提示位置と触覚提示位置および触知覚位置の関係

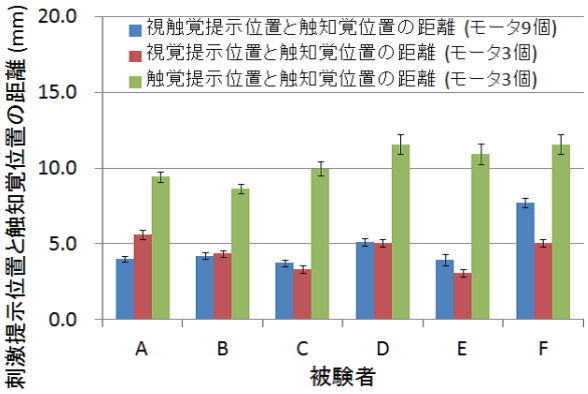


図 5: モータ数削減による触知覚の変化

と触覚提示位置の距離を測定する。振動モータは被験者が回答するまで 1 秒間隔で振動と停止を繰り返し、回答後は次にランダムに選ばれたモータが同様に 1 秒間隔で振動する。試行回数は 500 回とする。なお、被験者にはそれぞれの提示位置関係について何も伝えていない。

2.2.2 実験結果と考察

図 4 に被験者 3 名の実験結果を示す。視覚提示位置と触覚提示位置の距離が 0mm, 10mm, 20mm, 30mm, 40mm の場合の測定データを抽出し、それぞれの場合の視覚提示位置と触知覚位置の平均距離を縦軸で示している。測定結果より、常に、ユーザの触知覚位置は、触覚提示位置よりも視覚提示位置に近く、特に視覚提示位置と触覚提示位置の距離が 20mm 以内の場合、触知覚位置はほぼ仮想ボール付近となった。

2.3 振動動モータ数の削減が触知覚に与える影響

利用する振動モータを限定しても、視覚刺激位置を触知覚位置とできるかどうかを検証するための実験を行った。実験環境は 2.2 節と同じである。

2.3.1 実験手順

2.2 節と同様に 9 個の振動モータを使って触覚を提示する場合と、利用するモータを図 3 の 4, 5, 6 に限定して触覚を提示する場合の実験を行い、結果に違いがあるかないかを検証する。仮想ボールは提示場所を 45 箇所からランダムに選択する。9 個の振動モータを利用する場合は、触覚提示位置と視覚提示位置と一致するように、3 個の振動モータしか利用しない場合は、視覚提示位置と触覚提示位置が最短となるように振動モータを選択して振動させる。回答については 2.2 節と同様の方法で回答させることとした。被験者は 20〜30 歳台の 5 名である。試行回数は 200 回ずつとした。

2.3.2 実験結果と考察

実験結果を図 5 に示す。振動モータを 9 個使用した場合と振動モータを 3 個使用した場合での視覚提示位置または触覚提示位置と触知覚位置の距離を縦軸で示す。各被験者ともモータ 3 個の場合に、触覚提示位置よりも視覚提示位置付近を回答している傾向が見られた。また、モータ数が 9 個の場合と同程度の精度で視覚提示位置を回答している傾向が見られた。それぞれの被験者についてモータ数の違いによる有意差があるかについて t 検定を行ったところ、被験者 A は $t=-4.30$, $p<0.05$ となり有意水準 5%で有意差があったが、その他の被験者では有意差が見られなかったか 3 個の場合の方が精度が高くなっていた。したがって、視覚提示位置と触覚提示位置の距離を適切に保ちながら視覚刺激を提示する場合は、振動モータ数を削減しても触知覚精度に影響を与えないと言える。

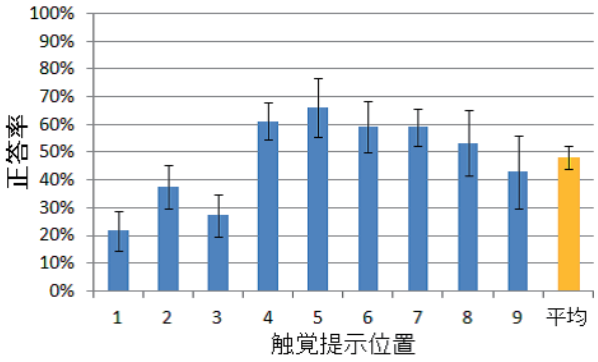


図 6: 前腕の触知覚精度

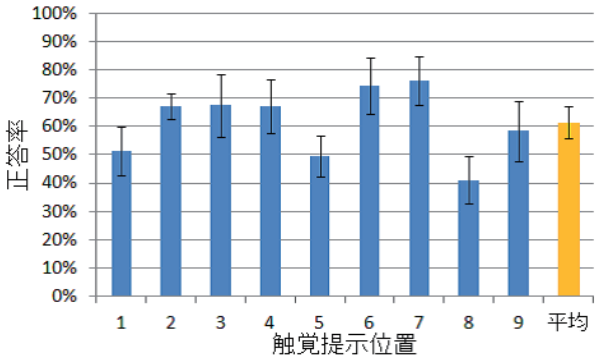


図 7: 手のひらの触知覚精度

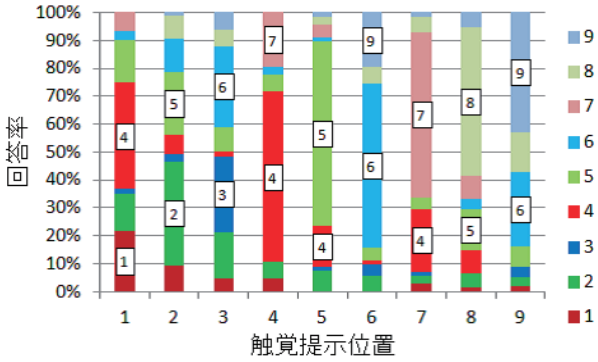


図 8: 前腕の回答率

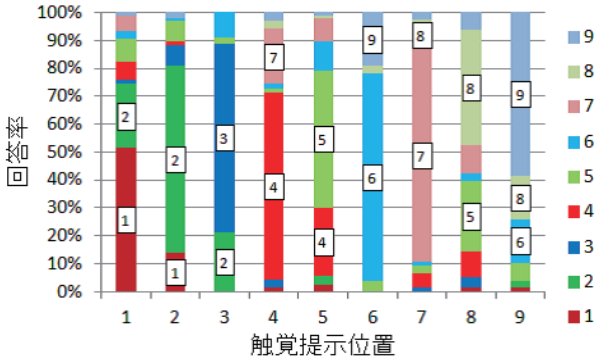


図 9: 手のひらの回答率

2.4 刺激部位の違いによる触知覚の変化

一般に、手のひらは前腕よりも刺激に対して敏感であり空間解像度が高いことが知られている。手のひらにおいても、前腕のように触知覚の位置を転移させることができるのかを検証する。

2.4.1 実験手順

まず、仮想ボールを表示しない条件の下、9 個の振動モータから 1 個をランダムに選択して振動させ、振動しているモータを被験者が正しくが認識できるかどうかを、前腕と手のひらで調べた。次に、手のひらにおいても前腕と同様に、視覚刺激の影響を受けて触知覚位置が変化するかを検証した。

仮想ボールの提示位置は図 3 の 1 から 9 とし、視覚提示位置と触覚提示位置の距離は 0mm または 20mm とする。各触覚提示位置における視覚提示位置は先の実験結果の中で誤答率が高いものを抽出して設定する。例えば、触覚提示位置が 2 の場合、視覚提示位置と触覚提示位置が一致している場合として仮想ボールを 2 の位置に提示し、x 軸方向に 20mm ずれた場合として 1 の位置に提示し、y 軸方向にずれた場合として 5 の位置に提示する。各触覚提示位置および視覚提示位置における被験者の触知覚位置を測定する。被験者は 20〜30 歳台の 6 名である。試行回数は 200 回とする。

2.4.2 実験結果と考察

前腕と手のひらでの正答率測定の結果を図 6、7 に示す。横軸の振動モータの番号は図 3 に対応しており、縦軸は正答率を表している。前腕においては、中央部の振動モータ位置 (4, 5, 6) は正答率が 60%と高く、手首側の振動モータ位置 (1, 2, 3) は正答率が 20–30%と低くなっている。全体の平均正答率は約 50%である。一方、手のひらにおいては、全体的に高い正答率を示しており、特に小指の付け根付近の 3 の位置や親指の付け根付近の 7 の位置では 70%を超える正答率となっている。全体の平均正答率は約 60%となっており、前腕よりも高い値である。これは前腕よりも手のひらの方が空間分解

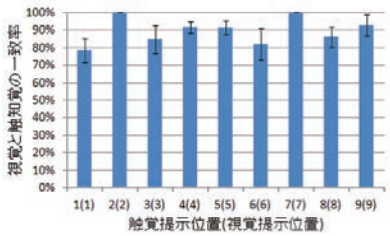


図 10: 視覚提示位置と触知覚位置の一致率 (距離:0mm)

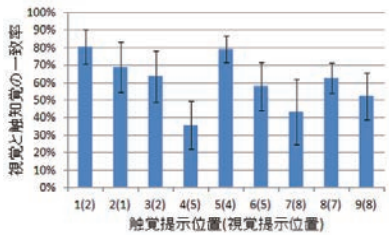


図 11: 視覚提示位置と触知覚位置の一致率 (距離:x 軸方向に 20mm 差)

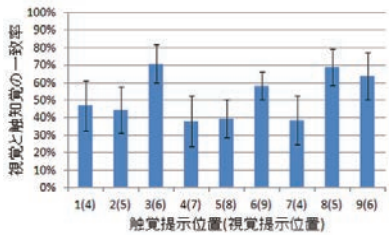


図 12: 視覚提示位置と触知覚位置の一致率 (距離:y 軸方向に 20mm 差)

能が高いことに起因すると考えられる。手のひらと前腕での平均正答率に有意差があるかを調べるために片側 t 検定を行ったところ、$t=-1.82, p<0.05$ となり、有意水準 5%で有意差があった。また、各触覚提示位置における回答位置の割合について示したものが図 8 および図 9 である。前腕では、y 軸方向 (1, 4, 7 の方向) に間違える傾向が見られた。一方、手のひらでは上部の指の付け根 (1–3) とそれ以外 (4–9) で誤答関係がほとんど見られないことから、指の付け根とそれ以外では振動の感じ方が大きく異なると言える。

視覚提示位置と触知覚位置の距離について、視覚提示位置と触覚提示位置が一致した場合を図 10、視覚提示位置と触覚提示位置が x 軸方向に 20mm ずれている場合を図 11、視覚提示位置と触覚提示位置が y 軸方向にずれている場合を図 12 に示す。視覚提示位置と触覚提示位置が一致している場合は 80–100%の高い確率で触知覚位置も一致している。一方、x 軸方向または y 軸方向に 20mm の距離をおいて仮想ボールを提示した場合、40–80%の確率で視覚提示位置を触知覚していることがわかった。触覚提示位置によって視覚提示位置と触知覚位置の一致率にばらつきがあり、また、x 軸と y 軸のどちらの方向にずれているかという視覚提示位置と触覚提示位置の位置関係によっても一致率が変化することがわかった。位置関係によって一致率に有意な差が生じるかを調査するために片側 t 検定を行ったところ、触覚提示位置 1 のとき $t=1.93, p<0.05$、触覚提示位置 5 のとき $t=2.43, p<0.05$ となり有意水準 5%で有意差があった。その他の位置では有意差は見られなかった。触覚提示位置 1, 5, 8 は視覚提示位置と触知覚位置の一致率が高く、触覚提示位置 4, 7 は視覚提示位置と触知覚位置の一致率が低いことから、先の実験で誤答率が高い位置ほど視覚刺激の影響を受けて触知覚している傾向があった。したがって、視覚提示位置を触知覚させる場合は、触知覚位置が混同しやすい位置や方向に視覚刺激を提示することが効果的だと考えられる。

2.5 具体的成果

視覚刺激を積極的に触覚刺激位置とは異なる位置に提示することで、振動モータおよび触覚刺激位置と同一直線上でなくても、視覚刺激位置に触知覚させることができ、振動モータ数を削減しても視覚による触錯覚が実現できる可能性が確認された。また精度に違いはあるが、手のひらと前腕のどちらでも同様の結果を得た。これらの研究成果は、国際会議 [査読付 1]、国内シンポジウム [査読付 2]、国内研究会 [発表 1, 発表 2] にて発表し、国内シンポジウムでは優秀発表賞 [受賞 3] を受賞した。

また本研究に関連して、色盲者支援のためのウェアラブルインタフェースに関する研究を行ってきたが、本年度は 2 度表彰 [受賞 1, 受賞 2] され、招待講演 [招待 1] も行った。

3 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 藤井 裕士, 小川 剛史: MVE 賞, 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2011 年 10 月.

[受賞 2] 藤井 裕士, 小川 剛史: ヒューマンコミュニケーション賞, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループ, 2011 年 12 月.

[受賞 3] 新島 有信, 小川 剛史: 優秀発表賞, 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, 2011 年 12 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] 藤井 裕士, 小川 剛史: 色盲者支援のための混同線理論に基づく認識困難領域検出, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーショングループシンポジウム, 2011 年 12 月.

査読付論文

[査読付 1] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Influence Analysis of Visual Stimuli on Localization of Tactile Stimuli in Augmented Reality, Proc. of The 19th IEEE Virtual Reality Conference (VR2012), Orange County, CA, USA, pp.105–106, Mar. 2012.

[査読付 2] 新島 有信, 小川 剛史: 拡張現実感における視覚刺激と触覚刺激の提示位置の距離が触知覚位置に与える影響, VR 学研報, Vol.16, No.CS–4, CSVC2011–54, pp.11–14, 2011 年 12 月.

その他の発表論文

[発表 1] 新島 有信, 小川 剛史: 拡張現実感における視覚刺激を利用した上肢への触覚提示手法に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.479, MVE2011–117, pp.127–132, 2012 年 3 月.

[発表 2] 新島 有信, 小川 剛史: 拡張現実感における仮想物体の動きが触知覚に与える影響に関する一考察, VR 学研報, Vol.16, No.CS–1, CSVC2011–7, pp.37–42, 2011 年 4 月.

広域分散クラウドを支える要素技術と ネットワーク性能に関する研究

関谷 勇司

1 概要

本年度は、昨年度に引き続いて、クラウドコンピューティングに関連する要素技術の研究を行った。特に、広域分散クラウドにおいて、リソースの配分や冗長性・可用性を高めるための要素技術に関する広域分散クラウドを実現するための要素技術に関する実証実験を行った。また、クラウドのひとつのサービス形態である IaaS に関して、そのネットワーク性能を向上させるための基礎技術に関する分析調査を行った。それらについて、概要をまとめる。

- **広域分散クラウドのための要素技術研究**

  広域分散クラウドの実証実験を通じて、クラウドが従来のホスティングやハウジングとは異なり、規模性や即時性を有した真のクラウドとして構築・運用されるために必要とされる要素技術に関する研究を行った。具体的には、クラウド間におけるリソース管理技術や、広域クラウドに適した分散ファイルシステム、ならびにネットワークの移動透過性に関する研究を、実証実験を通じた実ユーザ環境にて行った。

- **仮想化環境におけるネットワーク性能向上に関する研究**

  クラウドサービスの一形態である IaaS において、ユーザが利用する VM のネットワーク性能を向上させるための技術研究を行った。具体的には、既存のネットワーク提供方式に対する調査と性能計測を行い、どこが性能のボトルネックになっているか分析を行った。その分析に基づき、IaaS クラウドにおけるネットワークの利用手法とその性能のトレードオフを分析し、明確にした。

2 広域分散クラウドのための要素技術研究

2.1 背景

近年クラウドコンピューティングというキーワードが多用されており、様々なサービスや製品に「クラウド」という単語が用いられている。クラウドコンピューティングの定義は、Technical Report No. UCB/EECS-2009- 28[1]によると、必要なときに必要なリソースを即時に利用することができ、ユーザからの要求に応じてあたかも無限であるかのようなリソース提供をできるサービスであると定義されている。その典型的な例が Amazon EC2[2]や Google App Engine[3]といったクラウドサービスである。Amazon EC2 は、IaaS (Infrastructure as a Service)と呼ばれるサービス形態であり、ユーザに対して仮想マシン(VM)と呼ばれるリソースを提供するクラウドである。一方、Google App Engine は PaaS (Plat-

[1] M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. D. Joseph, R. H. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. A. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica, and Matei Zaharia, “Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Comput- ing”, EECS Department, University of California, Berkeley, Technical Report No. UCB/EECS-2009- 28, February 2009

[2] Amazon Web Services LLC, “Amazon Elas- tic Compute Cloud (Amazon EC2)”, http://aws. amazon.com/jp/ec2/

[3] Google, “Google App Engine - Google Code”, http://code.google.com/intl/ja/appengine/

form as a Service)と呼ばれるサービス形態であり、ユーザに対してアプリケーション構築のための演算処理とストレージ資源を制御するための API を提供するサービスである。

様々なクラウドサービスの中で、IaaS はクラウドサービスの基盤となるサービス形態となっており、多くのユーザに利用されている。これは、PaaS や SaaS (Software as a Service)といったクラウドサービスも IaaS の上に構築されている場合が多く、また、クラウド以前からのサービスである VPS (Virtual Private Server)サービスを利用してシステムを構築してきたユーザにとっては、システムをクラウドに移行するにあたって、いきなり PaaS を利用するよりも IaaS を利用した方が移行しやすいという理由があげられる。しかし、現在の多くの IaaS クラウドは、従来の VPS の代替サービスとして利用されている場合が多く、クラウドとしての特色や利点を生かしたサービスが提供されているとは言えない。リソースの動的な融通や即時性、さらに耐障害性といった、クラウドだからこそ生まれるはずの利点を活用している IaaS サービスは数少ない。そこで本研究では、リソースの融通とサービスの即時性、ならびに拠点レベルの耐障害性を兼ね備えた広域分散 IaaS クラウドの構築と運用に必要となる要素技術に関する研究開発を行い、かつそれら技術を用いて実際に広域分散 IaaS クラウドを構築することで、実証実験を行った。

2.2 内容

本研究では、広域分散クラウドの有用性を実証するために、WIDE Cloud と呼ばれる広域分散クラウドを設計ならびに構築した。WIDE Cloud は、大学間ならびに一部商用データセンターに構築したプライベートクラウド同士を連結し、インタークラウドとして構成された広域分散クラウドのテストベッドである。WIDE Cloud を構成する拠点の概要を図 1 に示す。WIDE Cloud は国内に 7 拠点、国外に 2 拠点から構成される広域分散 IaaS クラウドであり、それぞれの地点で独立したプライベートクラウドとして構成されている。プライベートクラウド同士を連結し、CPU 資源、ストレージ資源、ネットワーク資源といったリソースを提供しあうことで、相互乗り入れを可能とした広域分散 IaaS クラウドを構成している。

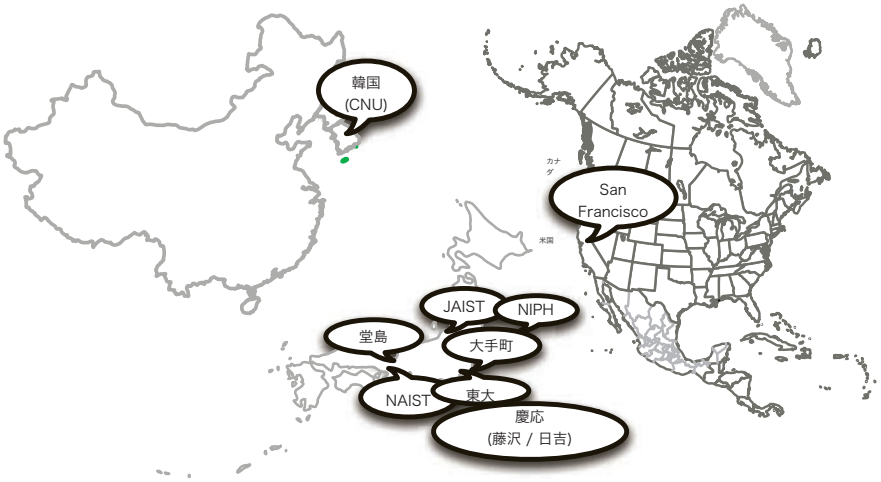


図 1 : WIDE クラウド拠点図

相互接続されたリソースを管理するために、本研究では独自にクラウドコントローラを開発した。実証実験を行うにあたっては、WIDE Cloud 参加組織や WIDE Project[4]メンバーに対してアカウントを発行することで、実ユーザを用いたリソースの融通や可用性向上のための実証実験を行なった。また、WIDE Cloud は、オープンソースソフトウェアを用いて構築されている。これは、リソースの融通や可用性向上のための実証実験を行うためには、その基盤となるハイパーバイザーや周辺ライブラリに

[4] Widely Integrated Distributed Environment (WIDE) Project, “WIDE Pro ject”, http://www. wide.ad.jp/

手を入れて分散ファイルシステムやネットワーク移動透過性を実現する必要があるためである。WIDE Cloud を構成するソフトウェアを図 2 に示す。

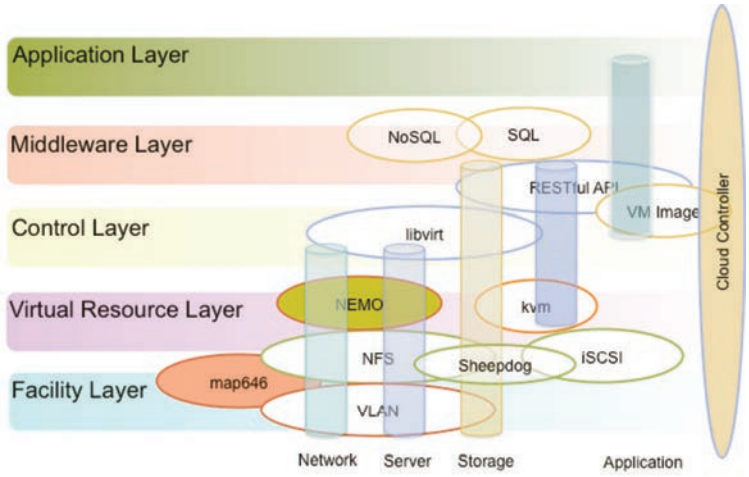


図 2 : WIDE Cloud 構成技術

IaaS の基盤となるハイパーバイザーは、KVM[5]と Xen[6]を用いて構築されている。ストレージは、NFS、iSCSI、sheepdog[7]、Ceph[8]を用いて VM に提供されている。VM が利用するネットワークは、VLAN による拠点間接続、L2TPv3[9]を利用したトンネル接続、ならびに NEMO[10]を利用したモバイルルータ技術を用いて提供されている。また、これらリソースの制御には libvirt[11]を用いており、証明書ベースの認証にて各拠点のリソース制御を行なっている。これらの技術ならびにソフトウェアを用いて、ユーザに対してリソースの柔軟性を有し、かつ可用性に優れた IaaS クラウドを提供することに挑戦している。

WIDE Cloud では、拠点間におけるリソースの柔軟な組み合わせによるユーザへの VM 提供、ならびに拠点レベルでの障害にも対応できる耐障害性と可用性の向上を目指している。ストレージの冗長性に関しては、sheepdog や Ceph といった分散ファイルシステム技術を導入し、検証を行なっている。Sheepdog は IP マルチキャストを使ったノード管理を行うため、広域インターネットでの IPv6 マルチキャストを用いてクラスタを構成し、VM に対するストレージ提供を行なっている。Sheepdog や Ceph といった分散ファイルシステムを利用することで、単一ストレージ機器が故障した場合にも、データの完全性を保証することができる。さらに、複数の拠点にある多数のストレージ機器を組み合わせてクラスタを構成することにより、拠点単位の電源障害やネットワーク障害にも対応することのできる VM ストレージを構成することが可能となる。

VM が利用するネットワークに関しては、L2TPv3 を利用した静的な IP トンネルと、NEMO を利用したネットワークセグメント移動によって提供されている。NEMO を利用することで、VM は各拠点のネットワークを自由に他拠点に持ち運ぶことが可能となり、柔軟なネットワークの利用が可能となる。NEMO によるネットワークセグメント提供の概要を図 3 に示す。

---

[5] A. Kivity, Y. Kamay, D. Laor, U. Lublin, and A. Liguori, “kvm: the Linux Virtual Machine Mon- itor”, Proceedings of the Ottawa Linux Symposium 2007, pp.225–230, Ottawa, Canada, June 2007
[6] B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, I. Pratt, A. Warfield, P. Barham, and R. Neuge- bauer, “Xen and the Art of Virtualization”, SOSP ’03 Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles, New York, U.S.A., October 2003
[7] Kazutaka Morita, Tomonori Fujita, and Satoshi Moriai, “Sheepdog: Distributed Storage System for QEMU”, KVM Forum 2010, Boston, U.S.A., Au- gust 2010
[8] Sage Weil and Scott A. Brandt and Ethan L. Miller and Darrell D. E. Long and Carlos Maltzahn, “Ceph: A Scalable, High-Performance Distributed File System”, Proceedings of the 7th Conference on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '06), November 2006
[9] J. Lau, Ed. , and M. Townsley, Ed., “Layer Two Tunneling Protocol - Version 3 (L2TPv3)”, Internet Engineering Task Force, Request for Comments 3931
[10] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, “Network Mobility (NEMO) Basic Sup- port Protocol”, The Internet Society, Request for Comments 3963, January 2005
[11] M. Bolte, M. Sievers, G. Birkenheuer, O. Niehorster, and A. Brinkmann, “Non-intrusive vir- tualization management using libvirt”, Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe, pp.574–579, Dresden, Germany, Mar 2010

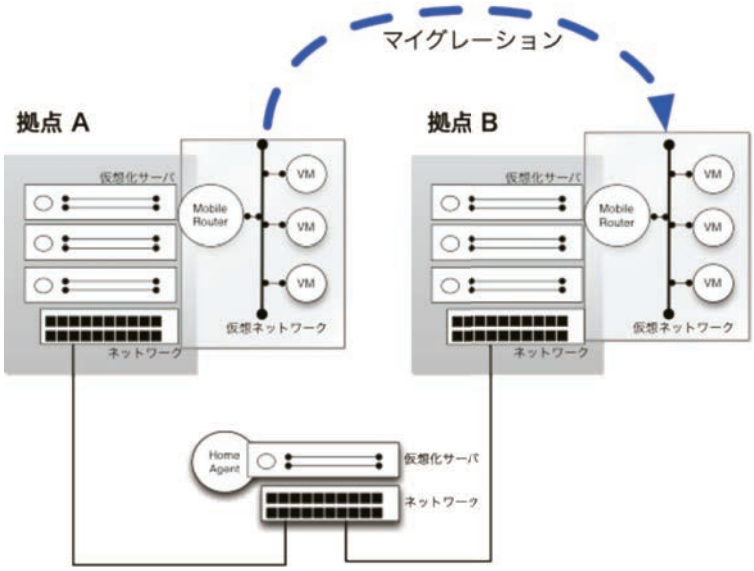


図 3 : NEMO によるネットワーク移動透過性の提供

ユーザ VM が利用するネットワークは、NEMO を用いたモバイルルータ VM によって提供され、ユーザ VM が拠点間を移動する場合には、モバイルルータも同時に移動する。これによって、ユーザ VM が特定の拠点のネットワークを利用していた場合でも、そのネットワークを他拠点に動的に移動させることが可能となり、ユーザ VM に対してネットワーク移動透過性を提供することが可能となっている。

さらに、WIDE Cloud においては、ユーザ VM に提供されるネットワークは基本的に IPv6 のみとなっている。ユーザ VM が IPv4 を利用する場合には、map646[12]と呼ばれる IPv4/IPv6 トランスレータを用いて、VM に対して IPv4 の接続性を提供する。このトランスレーションは、クラウド内部のネットワークと外部ネットワークとの接続点において行われ、IPv4 アドレスを IPv6 アドレスの下位 64bit に埋め込むことによって、ステートレスな変換を実現している。そのため、ネットワークの出口は複数点に設置することが可能であり、ユーザ VM からの通信は、常にネットワーク的に一番近い出口からインターネットに出ていく形態を実現している。

拠点間での使用リソースに関する制御は、独自実装である WCC (WIDE Cloud Controller)[13]を用いて実現した。このコントローラでは、各拠点のプライベートクラウドから、CPU、メモリ、ストレージ、ネットワークといったリソースの利用状況をモニタリングすることで、各拠点において利用可能なリソースの量を取得する。さらに、各拠点の管理者は、他拠点に供出可能なリソース量を自身で定義することができ、自組織のプライベートクラウドのために使うリソースと、他組織のユーザに供出するリソースの配分を決定することができる。このリソース供出と共有の仕組みに関しては、著者らの論文[招待 1][招待 2][査読付 2][発表 1]にて述べられている。これら分散ファイルシステム技術やネットワーク移動透過性技術、ならびに VM レプリケーション技術を用いて、拠点単位の障害にも耐えることのできる IaaS クラウドの構築を目指した実証実験を行なっている。ネットワーク移動透過性に関しては動作検証も済み、実際の WIDE Cloud の運用に導入されている。また、分散ファイルシステムに関しても、sheepdog を主として広域 IP マルチキャストを用いた実証実験を行なっており、近く実運用に導入する予定となっている。VM レプリケーション技術に関しては、ネットワーク移動透過性を保ったままの VM ライブマイグレーションとの共存のために、モバイルルータ VM も同様にレプリケーションしておかなければならないため、その動作速度や使用するリソースの観点から、まだ実運用への導入に至っていない。

[12] Keiichi Shima, “map646 IPv6/IPv4 Translator”, https://github.com/ keiichishima/map646
[13] WIDE Cloud WG, “WIDE Cloud Controller”, https://wcc.wide.ad.jp/

2.3 具体的成果

本研究では、クラウドが持つ本当の特性を生かした、広域分散クラウドの実現に関する挑戦と、実現のための技術課題について述べた。従来のホスティングや VPS サービスと異なり、クラウドは柔軟なリソース管理と耐障害性、高可用性を実現する可能性を持っている。その特性を生かすためには、図 4 に示すような、広域分散クラウドを実現するためのさらなる技術開発と実証実験が必要となる。

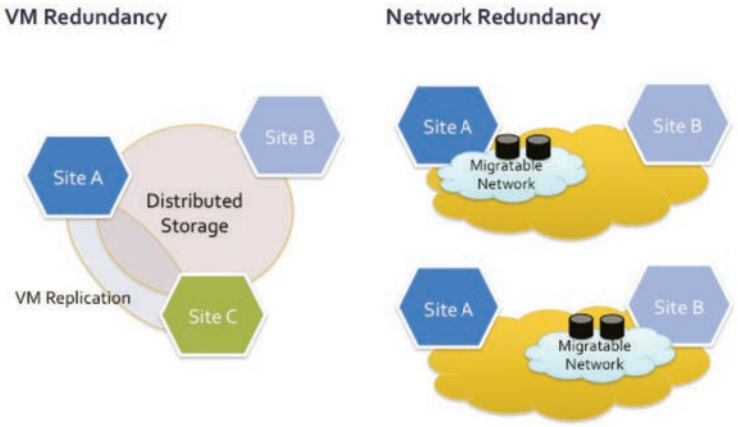


図 4 : 広域分散クラウドに必要とされる要素技術

また、柔軟なリソース提供を実現するためには、リソースを自組織分と共用分にわけて拠点間で共有するための仕組みが必要である。これら技術課題を解決することで、クラウドの特性を最大限に生かした真の広域分散クラウドが実現できる。WIDE Cloud では、これら技術課題の解決を目指し、さらなる実証実験と研究開発を、実ユーザとともに進めていく。

3 仮想化環境におけるネットワーク性能向上に関する研究

3.1 背景

近年，経済危機や自然災害，エコ/グリーンへの意識の高まり等を背景として，企業によるクラウドサービス利用が進展している。日本国内においても，企業がこれまで自社内あるいはホスティングにて運用してきた業務システムをクラウドに移行する動きが加速しており，クラウドサービス事業者が SaaS（Software as a Service）や PaaS（Platform as a Service），IaaS（Infrastructure as a Service）といった様々な形態のサービスを提供している。中でも，社内の業務フローを変更すること無く，これまでの業務システムを移行することが可能な IaaS サービスが数多く展開されている。このような IaaS サービス市場においては，コンピューティングリソース貸与という基本価値の点において事業者間で差別化が難しいことから，価格競争に陥り易い。個々の事業者は，スケールメリットや自動化によるコスト削減を推進して競争力を維持すると共に，サービスデプロイ時間の短縮やシステム構築支援機能の提供による優位化を模索している。

一方このようなクラウドサービスにおいては，セキュリティや性能といった信頼性確保が大きな課題となっており，クラウド利用の障害となっている。事業者は多数の利用者を同一物理インフラに収容して低コスト化を図っており，信頼性はベストエフォートで提供することが通例となっているためである。特に，仮想化されたコンピューティングリソースを繋ぎ合わせるクラウドネットワークにおいては，セキュリティや性能等の観点での通信分離と，低コスト化の両立，それらを実現するための通信のモニタリングが重要である。低コスト化の観点においてはオープンソースのサーバ仮想化技術が注目されており，IO 多重化や仮想スイッチ等，ネットワークについてもオープンソースで利用可能な環境が整いつつあるが，セキュリティや性能等の観点での通信の分離やモニタリング等については，まだ評価や課題の洗い出しが必要な段階である。

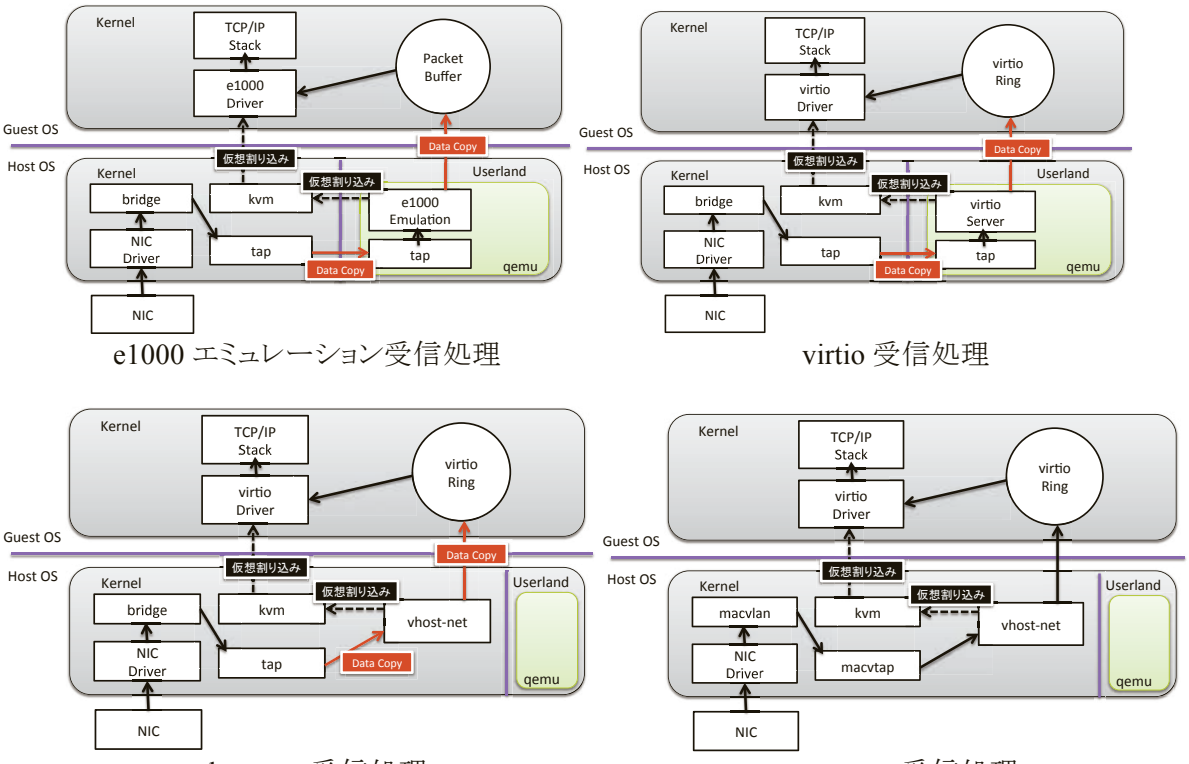
そこで本報告では，IaaS インフラにおける，低コスト化による競争力維持と，セキュリティや性能といった信頼性確保による優位化を想定し，オープンソース仮想化基盤のネットワーク技術について性能，導入・運用コスト，機能の観点で評価及び分析を行なった結果を報告する。

3.2 内容

IaaS クラウドを構築するための要素技術として、VMware や Xen、kvm といったソフトウェアが用いられる。これらのソフトウェアは、仮想化技術を用いて VM (Virtual Machine) を構築することができ、IaaS クラウドを構築するための基盤技術となっている。これらソフトウェアでは、VM にネットワークを提供するための様々な技術や手法が用意されており、これら技術や手法を組み合わせることによって 、VM に多様なネットワークを提供することが可能となっている。IaaS の基本性能を向上させるためには、その構成要素のひとつであるネットワークの性能を正しく把握することが必要であり、そのためには VM にネットワークを提供するための各種技術や手法を正しく把握することが必要である。

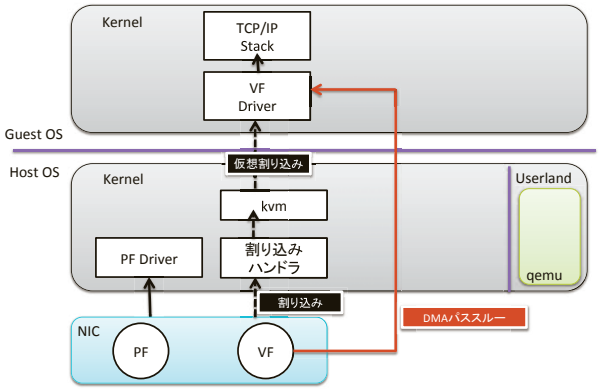
本研究では、VM からネットワークを利用するにあたっての標準的手法となっている以下の手法に関して、その方式と性能に関しての調査と評価を行った。図 5 に、それぞれの方式における受信処理の流れを示す。

- e1000 エミュレーション
- virtio
- vhost-net
- macvtap
- SR-IOV



e1000 エミュレーション受信処理　　virtio 受信処理

vhost-net 受信処理　　macvtap 受信処理



SR-IOV 受信処理

図 5 : VM からのネットワーク利用手法の比較

3.3 具体的成果

VM からネットワークを利用するにあたっての各種手法の性能評価については、以下が実験にて得られた結果となる。

```
vhost-net ≒ macvtap > SR-IOV > virtio >> e1000
```

しかし、これらの方式のうち macvtap と SR-IOV に関しては、IPv6 において通信に不具合が発生するという現象が見られた。これは、IPv6 は隣接するホストの発見に NDP (Neighbor Discovery Protocol)という、マルチキャストを利用したプロトコルを用いており、VM がそれぞれ特定のマルチキャストグループに参加する必要がある。しかし、VM が利用する仮想 NIC から、物理 NIC に対するマルチキャストフィルタの更新が不完全であり、結果として近隣ホストを発見することができず、通信ができないと考えられる。IaaS のサービスとしては、IPv6 はまだ発展途上であり、実用上問題が発生するとは考えにくいが、その他のプロトコルが透過的に通信できるという保証もなく、かつ数年後に IPv6 導入が必要となる可能性を考えると、現時点では macvtap と SR-IOV を積極的に導入する利点は少なく、vhost-net が最良であると考えられる。

その一方で、macvtap は vhost-net よりもほんのわずかながら高い性能を示している。これは、vhost-net に比べてカーネル空間でのメモリコピーが少ないために現れる性能差であると考えられる。そのため、VM 数が増加した場合には、より優位な性能差となって現れる可能性がある。

また、SR-IOV はそのほとんどの制御をハードウェアレベルで行うため、VM でのネットワーク通信が増えた場合にも、CPU に与える影響が少ないと考えられる。今回の計測においても、SR-IOV 以外の方式の場合は、netperf によってトラフィックを計測している間はホスト OS 側での kvm プロセスの CPU 利用率、もしくは vhost-net プロセスの CPU 利用率が優位に向上していた。しかし、SR-IOV の場合は、kvm プロセスの CPU 利用率は 30%前後であり、ネットワーク I/O に関する部分はハードウェアで処理されることが証明された。つまり、VM 数が増加すればするほど、SR-IOV の利点が生かされ、VM のネットワーク性能の劣化が少ないと考えられる。

それぞれの通信方式と通信形態によるネットワーク性能の差異について、XXX にまとめた。HOST => 複数 VM に対して計測した結果は、それぞれの VM に対する計測値のうち、最も悪い結果を代表値として用いた。縦軸はネットワーク性能を Mbps として表し、横軸は通信方式を示す。

HOST => 4VM と 4VM => HOST、ならびに HOST => VM と VM => HOST を比べると、VM は受信処理に弱く、送信処理に強いことがわかる。これは、2 章にて述べた e1000 エミュレーションや virtio の内部構造からもわかる通り、受信の方が仮想割り込み等の処理負荷が大きいためであると考えられる。また、HOST => VM、HOST => 2VM、HOST => 4VM だけを比べたグラフを、XXX に示す。HOST => VM と HOST => 2VM では VM 単位の性能変化はわずかであるのに対し、HOST => VM と HOST => 4VM では大きな性能変化があることがわかる。4VM に対する通信は、性能がほぼ

1/4 になっており、ホスト OS における VM からのネットワーク I/O 性能が、頭打ちになっていることがわかる。実験に用いたハイパーバイザーの CPU が 4 コアであったため、ホスト OS 自身の制御も含めると、4VM それぞれを独自のコアに割り当てることが不可能となっている。これが性能に大きな影響を与えていることも考えられるが、さらなる分析が必要である。

最後に、どの通信方式にも共通して言えることであるが、VM 環境では物理環境に比べ、通信帯域のゆらぎが多く発生する。ここで言うゆらぎとは、時間単位における通信量の差である。VM での通信の場合は、どの単位時間をとっても通信量が平滑化されているわけではなく、その時々の処理状況に応じて、一気に送受信されたり、送受信されずにキューにたまっていたりする時間が存在する。これは、SR-IOV を除けばパケットの送受信がネットワークカードへの直接割り込みにて実現されるわけではないため、ある程度ソフトウェアポーリング的な処理になり、そのポーリング間隔によってパケットが処理されるタイミングが異なるためであると考えられる。これは VM という技術を利用している以上、避けられない特性なのかもしれないが、IaaS クラウドのパフォーマンス向上のためには、さらなる調査と分析が必要となる。

本研究では、IaaS クラウドにおいて VM にネットワークを提供するための様々な手法について分析を行った。その結果、性能面、導入・運用コスト面、機能面からの分析を行うことができ、現時点での最良の組み合わせと、そのトレードオフを示すことができた。本研究成果を用いることで、IaaS 構築にあたってのサービス指針に基づいた最適な技術の組み合わせと運用方法を容易に選定することができる。

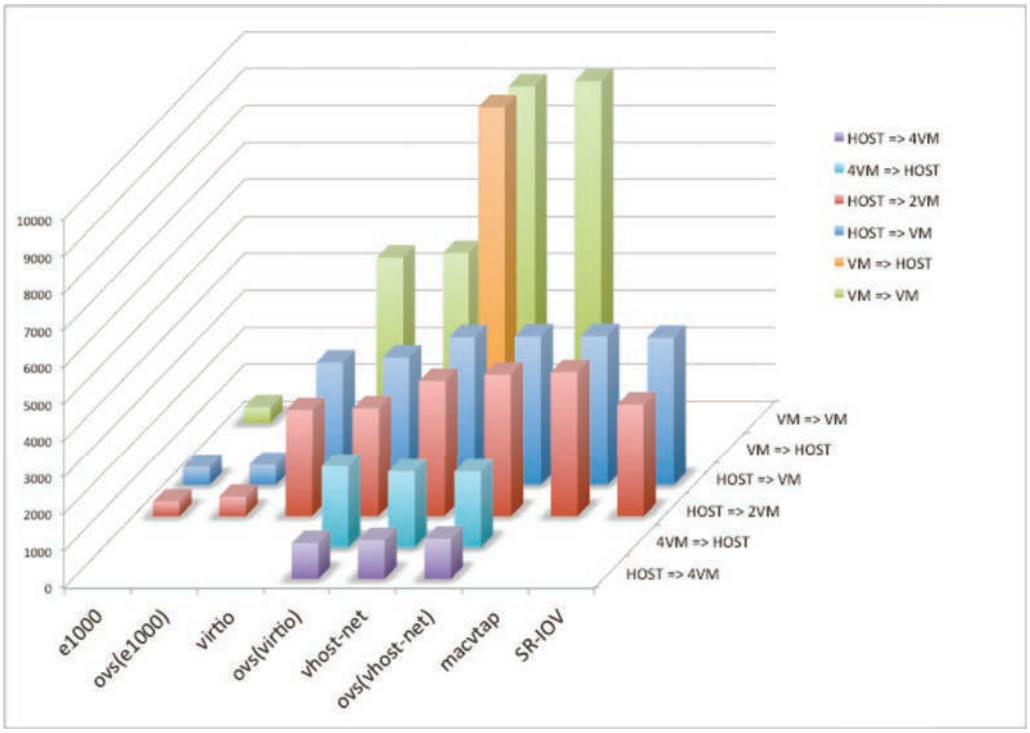


図 6 : 通信方式と通信形態による性能差

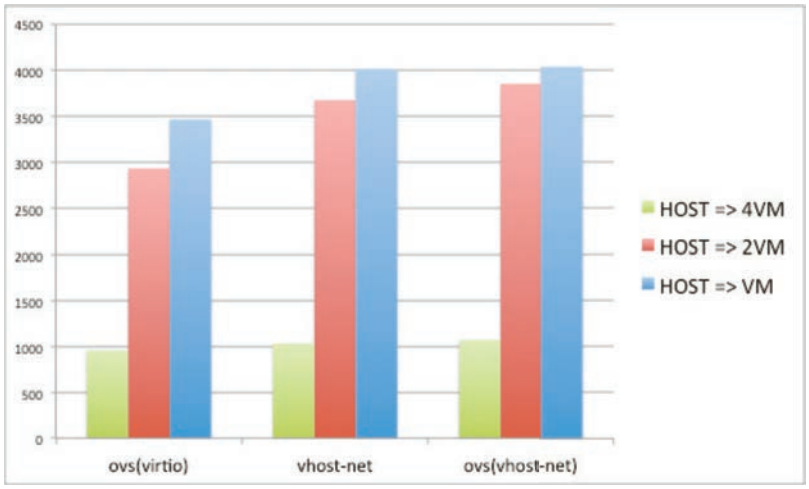


図 7 : HOST => VM の性能変化

4 成果要覧

本年度は、クラウドコンピューティングにおいてその冗長性や可用性を高めるための要素技術に関する研究を行った。特に、実証実験に基づいた広域分散クラウドでの分散ストレージやネットワーク移動透過性の検証と研究開発を行い、実ユーザをターゲットとした運用を通じて、技術の評価を行った。その結果、拠点単位の障害にも耐えうる高可用性を有した広域分散クラウドを実現するためには、ストレージ技術やネットワーク技術において、要素技術のさらなる研究開発が必要であることがわかった。

また、IaaS クラウドにおいてユーザが用いるネットワーク性能を最大化するための要素技術の検証と分析を行った。クラウドにおいては、ユーザはネットワークを用いた通信を行うことが前提であり、単に計算を行うにあたっても、VM 間もしくは VM 内部にてネットワーク I/O が発生する。そのため、VM が利用するネットワークの性能は、そのまま VM 自身の性能としてユーザに直接影響を与える。すなわち、VM が用いるネットワークの性能を向上させることは、VM 自身の性能を向上させることであり、そのための技術開発が必要とされている。本年度は、VM への各種ネットワーク提供技術に関して計測と分析を行い、そのボトルネックと機能とのトレードオフを明確化した。

来年度以降も、従来のホスティングやハウジング、もしくはグリッドコンピューティングとは異なり、クラウドをクラウドとして構築・運用するために必要となる要素技術の研究開発と実証実験を継続して行なっていく所存である。

招待講演／招待論文

[招待 1] 関谷 勇司 : IaaS クラウドを構築するソフトウェア技術 〜 WIDE クラウドを事例として 〜, 日本ソフトウェア科学会コンピュータソフトウェア (採録通知受領済)

[招待 2] 関谷 勇司 : 広域分散型クラウドとそれを支えるネットワーク技術の最新動向 〜WIDE Project 大学間クラウドと ShowNet の事例から〜, 第二回事業継続 IT ソリューションセミナー 2011, 株式会社ナノオプトメディア, 東京ミッドタウン, 2011 年 9 月

[招待 3] 関谷 勇司 : ShowNet に見た IPv4 枯渇対策と IPv6 移行技術の可能性, Move Innovation A10 Forum2011 IPv4 枯渇対策/IPv6 移行セミナー, A10 ネットワークス株式会社, 東京コンファレンスセンター品川, 2011 年 9 月

査読付論文

[査読付 1] 石原 知洋, 関谷 勇司, 村井 純 : DNS における認証情報管理手法の提案, 日本ソフトウェア科学会コンピュータソフトウェア, Vol. 28 (2011) , No. 4, pp.97--107, 2011 年 11 月

[査読付 2] Yanjue Xu and Yuji Sekiya : "Scheme of Resource Optimization using VM Migration for Federated Cloud", Proceedings of Asia Pacific Advanced Network, ISSN 2227-3026, pp.36--44, New Delhi, August 2011.

その他の発表論文

[発表 1] 関谷勇司 : 広域分散クラウドへの挑戦と課題, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 111, no. 375, IA2011-63, pp. 49-54, 2012 年 1 月

[発表 2] Yuji Sekiya : Challenges for Large Distributed Inter-IaaS Cloud --WIDE Cloud --, 4th EU-Japan Symposium on the New Generation Network and the Future Internet, Tokyo, January 2012.

[発表 3] Yuji Sekiya : Overview of the Researches in ITC, CNRS / U-TOKYO GCOE Symposium, Paris, France, January 2012.

[発表 4] 関谷 勇司 : インターネット新技術の標準化動向, インターネットウィーク 2011, IP meeting 2011, 富士ソフトアキバプラザ, 2011 年 12 月

[発表 5] Keiichi Shima, Yuji Sekiya and Katsuhiro Horiba : Network Portability Requirements and Models for Cloud Environment, draft-shima-clouds-net-portability-reqs-and-models-01, Internet Engineering Task Force, October, 2011.

マイクロコンピューティングと情報処理技術教育環境

中村　文隆

1　概要

基本情報処理技術者試験において出題される仮想計算機 COMETⅡ、およびアセンブラ言語 CASLⅡのシミュレータ CC22 を開発した。シミュレータ CC22 は、独立行政法人 情報処理推進機構(IPA)の策定する計算機・言語の仕様に完全に準拠しつつ、仕様の未定義部分を活用し、現実のマイクロコンピュータ環境における開発の理解と習得にも役立つよう、実機を模した拡張入出力機能を備えている。開発したシミュレータを用い、アセンブラ言語 CASLⅡ、およびアセンブラ言語を理解するために必要とされる基礎的な離散数学の習得を目標とした書籍を上梓した。

2　CASLⅡシミュレータの開発

2.1　背景

IT 技術は産業・科学から日常生活に至るまでの広い範囲に浸透し、その処理内容は多様化、複雑化するとともに、社会のニーズに合致した新たなサービスへの迅速な対応が求められている。そのような中で、確固とした技術的基礎に裏付けされたエンジニアの継続的な育成はこれまで以上に重要な事項である。

現在、システム開発においては、たとえば C 言語や Java 言語などの高級言語が用いられることが一般的になっているが、高級言語から生成される機械語コードがどのようなアーキテクチャで実行されるかという知識は技術的な基礎づけとして重要であり、適度な時間と労力でアセンブラ言語の運用を行うことのできる環境を用意することで、高級言語の運用においてもより深い理解と洞察を得ることにつながると考えられる。また、組み込みシステムなど小規模のシステムにおいては、CPU の処理能力や記憶領域などのシステム資源の制約から、十分な抽象度をもった開発環境を利用することが困難となることがある。実機の実装を伴わずに組み込みシステムにおける処理の本質を理解することのできる環境があれば、そのような環境における開発力を養うことに資するものと考えられる。

2.2　内容

上記の背景から、特定の機種に依存せず、かつ必要最小限の仕様をもつコンピュータアーキテクチャとして、IPA の定義する仮想計算機 COMETⅡ、および、アセンブラ言語 CASLⅡをターゲットとし、組み込みシステムの理解に必要な最小限の拡張を施したシミュレータ CC22[公開 1]を開発した。シミュレータのプラットホームは、普及度を考慮して Windows OS を選択した。

シミュレータ CC22 は、

1. COMETⅡ用 OS
2. アセンブラソースエディタ
3. CASLⅡアセンブラ・リンカ
4. 実行トレース
5. 図形描画装置
6. ボタン入力装置

7. LCD 表示装置

を備える。

1.～3.は IPA による COMET Ⅱ・CASL Ⅱ の仕様に完全に準拠している。従来から存在するシミュレータにおいては、IPA による定義を独自に変更しているものもみうけられるが、CC22 では定義の存在する部分については完全に準拠していることが特長である。4.～7.は CC22 において独自に拡張したものであり、IPA 仕様においてシステム実装に任されている項目、および、未定義とされている領域を使用した実装となっている。なお、CC22 は、次に述べる書籍に付属したものとして公開を行っている。

このシミュレータ CC22 を用い、アセンブラ言語 CASL Ⅱ と、アセンブラ言語を習得するための基礎知識、および、組み込みシステムにおける処理についての書籍「シミュレータで理解しながら習得するアセンブラ言語 CASL Ⅱ」[著書 1]を執筆した。

第 1 章 シミュレータの使い方
第 2 章 アセンブラの基本
第 3 章 応用編
第 4 章 基礎知識
第 5 章 シミュレータ CC22 の仕様

同書の内容は上記のとおりであり、アセンブラ言語、離散数学、組み込みシステムについての基本的な知識について述べられている。

2.3 具体的成果

図 **1** は CC22 のメインウィンドウであり、アセンブラソース、主記憶内容、スタック領域、レジスタ内容、標準入出力装置、などが表示される。CC22 は実行トレースの機能をもち、機械語命令実行時にソースファイルの対応位置をリアルタイムに表示することができる。

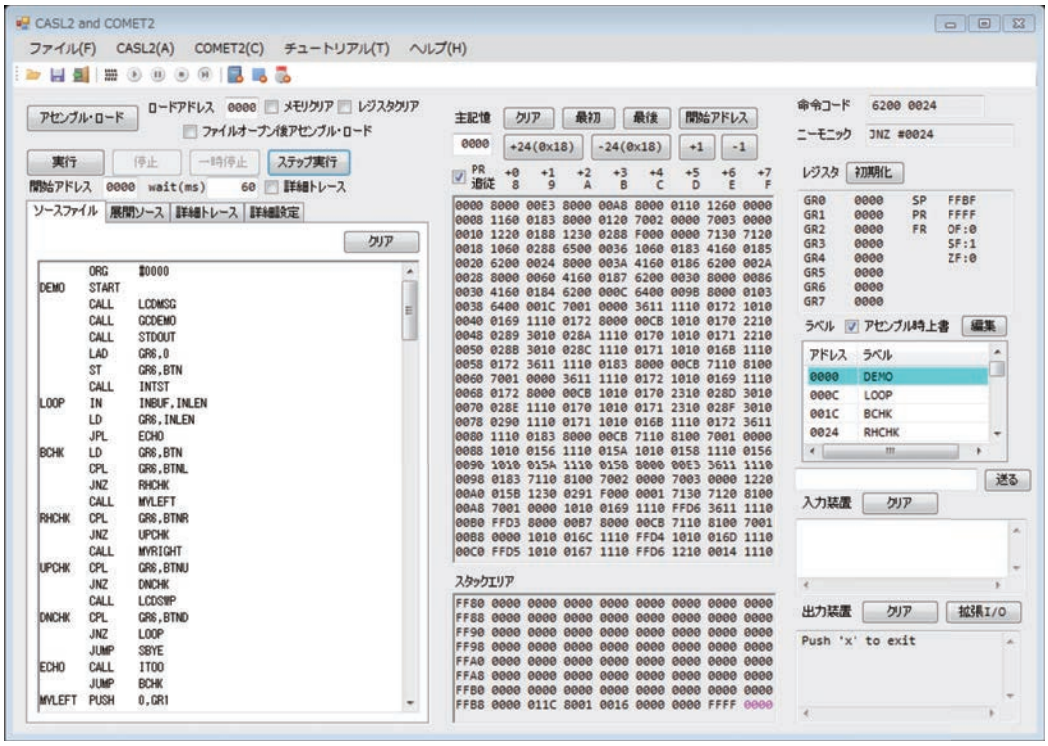


図 1 シミュレータ CC22 メインウィンドウ

図 **2** は CC22 において拡張 I/O 機能として実装された入出力装置を含む拡張 I/O パネルである。下部の「(標準仕様)」の記載が付されている領域は IPA の仕様に定義されている標準入出力装置である。

CC22 は拡張実装として、256 ドット×192 ドット、4096 色の描画装置、16 文字×2 行(内部バッファ 80 文字)の LCD 描画装置、4 ボタンのボタン入力装置、の 3 つを備え、メモリマップド I/O による外部機器の制御、割り込みによる外部入力の取得を行うことができる。これらの拡張は、組み込みシステムにおいて必要となる典型的な処理を実装したものである。

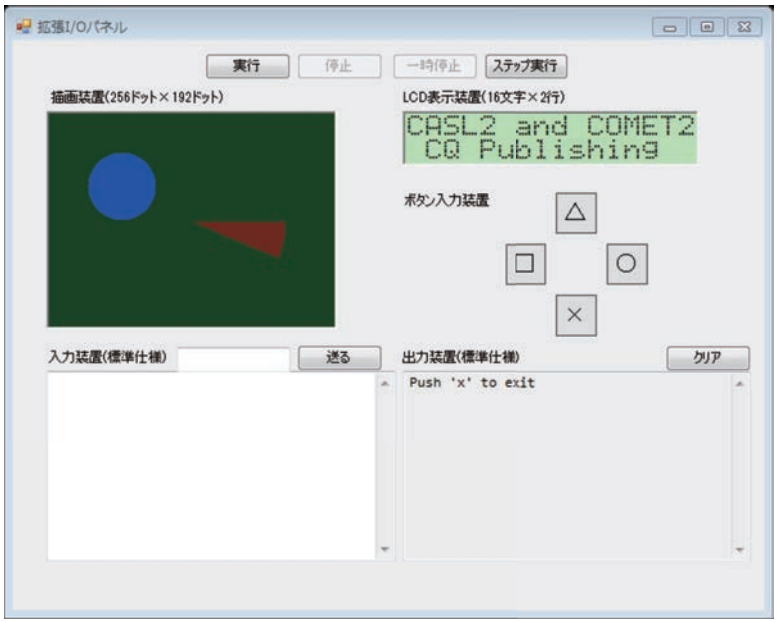


図 2 CC22 拡張 I/O パネル

図 3 は CC22 における実行時の詳細トレース結果を表示するウィンドウであり、プログラムレジスタ、機械語オペコード、オペランド、汎用レジスタ GR0～GR7、スタックポインタ、フラグレジスタ、の内容と、各行の逆アセンブル結果を保持している。

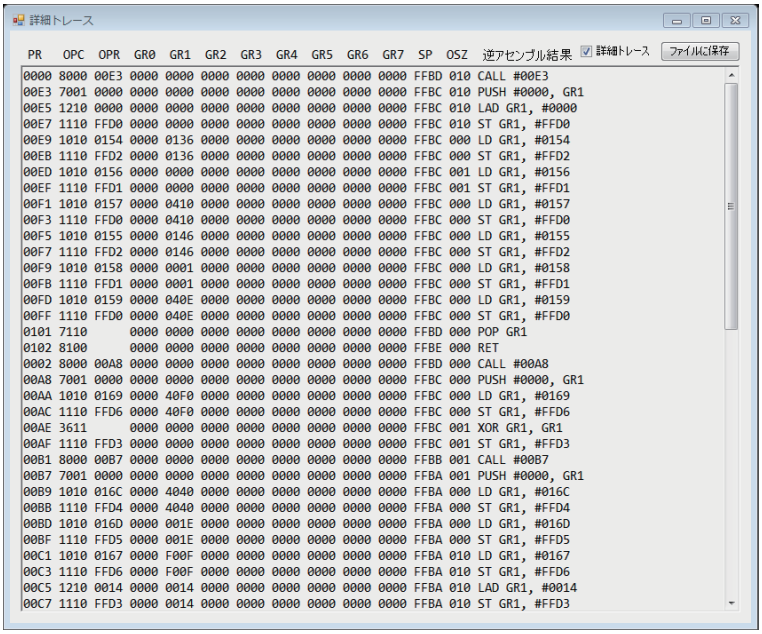


図 3 CC22 実行トレースウィンドウ

3　成果要覧

著書／編集

[著書 1] 中村 文隆: シミュレータで理解しながら習得するアセンブラ言語 CASLⅡ, CQ 出版社, 2012 年 3 月.

公開ソフトウェア

[公開 1] 中村 文隆: CASLⅡシミュレータ CC22, Version 1.00, 2012 年 3 月.

無線ネットワークでの品質改善に関する研究

妙中 雄三

1　概要

無線 LAN は無線通信であるという特性上、広いエリアで利用される事が期待されている。また一方で、災害時やスマートフォン利用による通信需要の増加並びにコンテンツ容量の増加に伴って、高速・大容量通信が求められている。これらの相反する要求を満たすためにはアンテナや信号処理、符号方式等での基礎技術に加えて、ネットワーク技術による対策が検討されている。本研究では、このネットワーク技術における通信品質の改善並びにカバー範囲の拡大を対象とし、下記の 2 点について検討を行っている。

- 無線 LAN への端末集中時の通信効率化の検討
- 無線メッシュネットワークの規模性と通信品質調査のためのフィールド実験

2　無線 LAN への端末集中時の通信効率化の検討

2.1　背景

現在、スマートフォンが爆発的に普及し、携帯電話の生成するデータ通信が急増している。スマートフォンが消費するデータ通信量は携帯電話網の容量を超える勢いで成長しており、携帯電話会社各社により、無線 LAN へのデータ通信のオフロードが推進されている。つまり、スマートフォンは極力携帯電話網を使わず、無線 LAN を経由してデータ通信を行う仕様となった。その結果、無線 LAN が設営されている場所では、全てのスマートフォンが通信を自動的にオフロードするため、アクセスポイントに大量のアソシエーションとデータ通信が集中するという現象が発生している。

また、昨年発生した東日本大震災では、3G 回線や衛星回線を上流としたインターネット接続が避難所で供給され、共有の PC での利用に加えて、無線 LAN 接続が避難所で提供された。東日本大震災では、被災地情報や生活に必要な情報が SNS（Twitter や mixi、facebook 等）で流通し、消息確認が web サイト（Google Person Finder 等）を通して行われ、インターネット接続が災害時に重要な役割を果たす事が実証されている。将来、大都市直下型の大地震が発生する事も予想されており、災害時のインターネット接続を展開するに際して、東日本大震災時以上に大量の被災者が避難所の無線 LAN を使用する事が想定される。

上記のように日常から緊急時まで無線 LAN に端末が集中するという状況が発生している。一つの無線 LAN に端末が集中すると、共有メディアを使用している事から、各端末のメディア専有時間が短くなりそれぞれの通信帯域が減少してしまう。加えて、端末集中が進むと専有時間は端末数に比例せず、全ての端末が通信不能となってしまう。本研究では、通信不能となる端末数（収容可能端末数）を増やす手法をネットワーク技術の視点から検討する。収容可能端末数はデータ通信の形態に応じて異なり、本研究では端末としてはスマートフォンを想定し、web ブラウジングや各種モバイルアプリケーションが TCP 通信を行う上での収容数の向上を対象とする。

2.2 端末密集環境での品質低下・通信不能原因の検討

端末密集による通信品質の低下は MAC レイヤの制御に起因する問題と MAC レイヤ及び TCP 両方の制御に起因する問題があると予測している。本報告書では、それらについての予備検討の内容を紹介する。まず、1 つ目の問題について説明する。無線通信は空間を経由する電波を用いた通信であるためメディアの信頼性が低く、IEEE802.11 の無線 LAN では MAC プロトコルによるフレームの再送処理で信頼性の低いメディアでのデータ通信を実現している。また、無線通信の共有メディアという特徴から、無線 LAN では CSMA/CA を用いたランダムアクセス手法を用いている。これらの仕組みにより、通信が集中しない場合には CSMA/CA を用いたフレーム送信がフレーム衝突を避け、再送が低いメディア品質の補完を実現し、これらを組み合わせる事で良好なデータ通信を実現している。しかしながら、通信が集中すると、CSMA/CA でバックオフが頻繁に発生し、フレーム衝突で再送が起き、バックオフを繰り返す事で本来使用できる時間を浪費する結果となり、通信の増加以上の品質低下につながり、収容可能端末数が限られてしまう。

上記に加えて、2 つ目の問題が起きる。TCP では、エンド間での信頼性の高い通信を実現するために、データパケットの送信制御を行う。具体的には、データ受信者が受け取ったパケットについて確認応答（ACK）を送信者に送り、送信者は受け取った ACK に応じて順次新しいデータをパケットとして送信する。一定期間受信者からの ACK が届かない時には該当するデータパケットが損失したと扱い（タイムアウト）、送信者がデータパケットを再送する。よって、無線 LAN を使用する環境では無線区間での信頼性向上・衝突回避のためのメカニズムが動き、さらにエンド端末間でも信頼性向上のための制御が行われる。その結果、無線 LAN 区間でバックオフや再送を繰り返している間に TCP の再送が行われてしまい、冗長なパケット送信が発生し、そのパケットの送信のための無線専有時間が必要となる。さらに、複数の通信が行われている環境では無線区間の混雑によりパケット損失やタイムアウトが発生することで、それぞれの TCP コネクションのウインドウサイズが小さくなる。それに伴い、無線区間の混雑は解消するが、混雑しない状態になった事によって TCP コネクションすべてでウインドウサイズが増やされる事になる。この制御により、無線区間の混雑とその解消が繰り返される事になり、無線メディアの利用効率が下がってしまう。

2.3 通信効率向上へのアプローチとまとめ

本節では前節で取り上げた品質低下の問題を解決するアプローチを検討する。まず、現状の無線 LAN 規格に則り、通信効率を最大限向上させる事で収容可能端末数を増やす手段を考える。前述の通り、無線 LAN を経由して TCP 通信を行うと、無線 LAN でのフレーム送信制御と TCP での通信制御がそれぞれ独立に働くために通信品質が低下する。そこで、MAC プロトコルの制御状況を利用した、TCP 制御手法を検討する。そのために、無線 LAN のアクセスポイントで TCP コネクションを透過的に終端し、無線区間のエンド間での TCP 制御を取り入れる。その結果、無線送信を制御している MAC レイヤの状態を収集する事ができるようになり、通信量と制御状態に応じてウインドウサイズの過度な増減を抑制し、無線メディアの帯域をできる限り効率的に利用できる手法を検討する予定である。

また、メディアの利用効率が高い状態における収容端末数の増加を目指して、ユーザが体感する品質を利用する手法も検討している。web ブラウジングでは web ページを読み込み始めてから表示されるまでの時間に対して、品質が低下したと感じるまでにある程度の許容遅延が存在する。そのため、その許容遅延より十分に短い時間で通信を行うコネクションを許容遅延よりやや短い時間程度まで制御する。それによって生じたメディアの空きを、他のコネクションでのデータ送信に利用する事で、収容端末数の増加することを想定している。今後は上記の検討内容を実証するとともに、対策手法の設計を行う。なお、上記の議論は次年度開催の研究会へ投稿中である。

表 1: 使用機材一覧

(a) レイヤ 2 メッシュ

機材名	役割
Cisco AIR-2125-K9	無線 LAN コントローラ 1 台
Cisco AIR-1262N-Q-K9	無線 LAN アクセスポイント 10 台
Cisco AIR-PWRIJN4	PoE アダプタ
Cisco WS-C3560CG-8PC-S	PoE スイッチ

(b) レイヤ 3 メッシュ

機材名	役割
NTTPC コミュニケーションズ MR1200	無線 LAN アクセスポイント 10 台（カスタマイズ済み OpenWRT）

3 無線メッシュネットワークの規模性と通信品質調査のためのフィールド実験

3.1 背景

無線 LAN を広域面展開する技術として無線メッシュネットワークが有望と考えられている。また、昨年度の東日本大震災のような大災害時において、既存の通信設備が大きな損壊を受けた場合の通信インフラの代替手段としても有用だと考えられている。しかしながら、現実に無線 LAN を面展開する場合には、有線ネットワークを敷設する事が多く、利用者が接続するアクセス網のラスト 1 ホップのみ無線 LAN で提供されることがほとんどである。災害時においても、衛星リンクを外部接続回線として、衛星通信機器より延びたケーブルにアクセスポイントを接続し、ラスト 1 ホップを無線 LAN で提供する事が多かったと報告されている。

無線メッシュネットワークが面展開の技術として優れ、設置や管理が容易に行えると認知されているものの、前述の通りその技術を実際の運用で利用する場面はほとんど存在しない。技術としての標準化は現在も進んでいるが、実際の環境で使える無線通信技術とするためには、通信性能の限界を知り、管理運用するための技術の確立が重要である。ここでは運用や実績を重ねるための第一弾として、2012 年 3 月 5 日から 8 日にかけて開催された WIDE プロジェクトの合宿研究会において、レイヤ 2 とレイヤ 3 のメッシュネットワークを研究会参加者のインターネット接続用インフラとして提供するフィールド実験を行った結果を報告する。

3.2 使用機材

研究会ではレイヤ 2 とレイヤ 3 のメッシュネットワークのそれぞれに対して、異なる機材を利用した。表 1 に示す通り、レイヤ 2 はシスコシステムズ社製の無線 LAN コントローラによる制御を用いたもの、レイヤ 3 は NTTPC 社製の OpenWRT（Linux）ベースでそれぞれの機器が独立して動作するものを利用した。

3.3 設定パラメータ

3.3.1 レイヤ 2 メッシュネットワーク

シスコシステムズ社製のメッシュネットワークは無線 LAN コントローラの設定を行う事で、無線 LAN コントローラがすべてのアクセスポイントの設定を行う形となる。レイヤ 2 メッシュネットワークではバックホール側のチャネルを IEEE802.11a の 5Ghz 帯を用い、シングルバンドの場合は 36ch、チャネルボンディングを利用する場合は 36 と 40ch を利用した。レイヤ 2 メッシュネットワークを構築

維持するためのプロトコルはシスコシステムズ社独自開発の AWPP（Advanced Wireless Path Protocol）を用いた。なお、利用者が接続する無線 LAN は IEEE802.11g の 2.4Ghz 帯を用い、コントローラによる自動設定とした。

3.3.2 レイヤ 3 メッシュネットワーク

NTTPC 社製の機材は、OpenWRT によるメッシュネットワークであり、各アクセスポイントへの設定作業が必要であった。バックホール側のチャネルは IEEE802.11n の 5Ghz 帯で 36ch を使用した。レイヤ 3 メッシュネットワークを構築位時するためのプロトコルはオープンソースで開発されている OLSRv2 を用いた。なお、利用者が接続する無線 LAN は IEEE802.11g の 2.4Ghz 帯を用い、アクセスポイント設置時に隣接アクセスポイントで同一チャネルを利用しない様に割り当てた。

3.4 トポロジ構成と推移

レイヤ 2、レイヤ 3 メッシュネットワークの実験はそれぞれ異なる時間帯に行った。図 1 はそれぞれ、3 月 5 日 20:00 時点でのレイヤ 2 メッシュネットワークと、3 月 6 日 12:00 時点でのレイヤ 3 メッシュネットワークのトポロジ情報を示す。

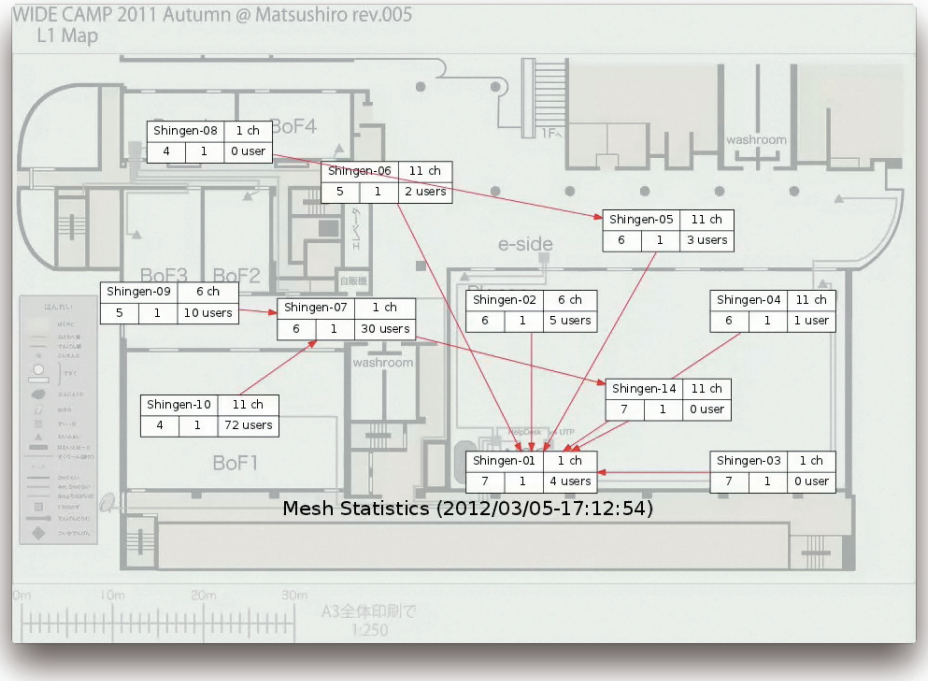
図 1(a) 中の赤い矢印はレイヤ 2 メッシュネットワークの出口に向かってリンクを確立しているノードの関係を示す。矢印の先が上流（インターネット側）になる。図 1(b) 中の赤い矢印は、レイヤ 3 メッシュルータの next hop 情報を示す。また灰色の矢印は、ルータの経路表 に登録されていないが、近隣ノードとして認識しているノードの関係を示す。

本運用で用いた レイヤ 2 メッシュネットワークを構成する技術では、OLSRv2 を用いた レイヤ 3 メッシュネッ トワークよりもトポロジがシンプルに構成されていた ことがわかる。これは、AWPP を用いたメッシュネットワークの運用では、各ノードは無線 LAN コントローラに向かうトンネルリンクを作成するようにトポロジが構成されるためである。トンネルリンクの構成には CAPWAP が用いられている。利用者端末のトラフィックは一旦インターネットゲートウェイ（図中 AP-01）へトンネルされた後、最終宛先へ向けて転送される。これに対して、レイヤ 3 メッシュネットワークはそれぞれのメッシュルータが対等な立場でトポロジを構成する。それぞれのルータは、自分が管理する利用者向けサブネットの経路情報を広告する。ネットワーク内のリンク品質、最終目的アドレスまでのホップ数などから OLSRv2 の経路選択アルゴリズムに従って経路表が作成される。今回、インターネットへの経路は、デフォルト経路として AP-01 より広告された。利用者端末からのトラフィックは、メッシュネットワーク内であればインターネットゲートウェイを経由することなく、そのときの最短と思われる経路を通って転送される。

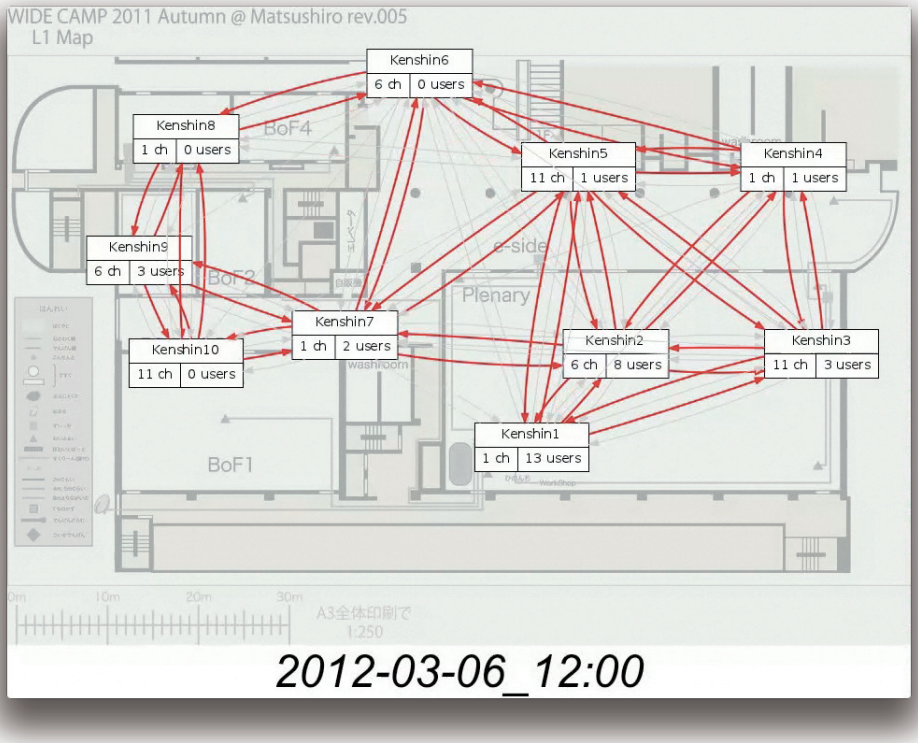
時系列の変化を比較するとレイヤ 2 メッシュネットワークの方がトポロジ変化が少なく安定しているように見える。経路の変化は利用者の通信の切断などに繋がるため、少ない方がよい事は間違いないが、無線の場合は周りの環境や人の動きによってリンクの品質が大きく変化するため、最適な経路探索と安定したトポロジ構成のトレードオフが重要である。

3.5 帯域計測

構築したメッシュネットワーク上で、iperf を用いた TCP 性能計測を実施した。図 2(a) はレイヤ 2 メッシュネットワーク上での結果を示したものである。レイヤ 2 メッシュネットワークでは、メッシュノード単体での計測ができなかったため、2 台のクライアント端末を用いて計測している。1 台を無線 LAN コントローラが接続しているスイッチと同じスイッチに有線にて接続し、もう 1 台を移動させながら計測した。たとえば、7 の右端の値は、2 台目のクライアント端末を AP-10 に接続して計測した場合を示している。図中の “UP” はメッシュネットワークの末端方面からインターネットゲートウェイに向かう方向に iperf を実行 (末端方面が iperf クライアント、ゲートウェイ方面が iperf サーバ) した場合で、“DOWN” は逆方向を意味する。

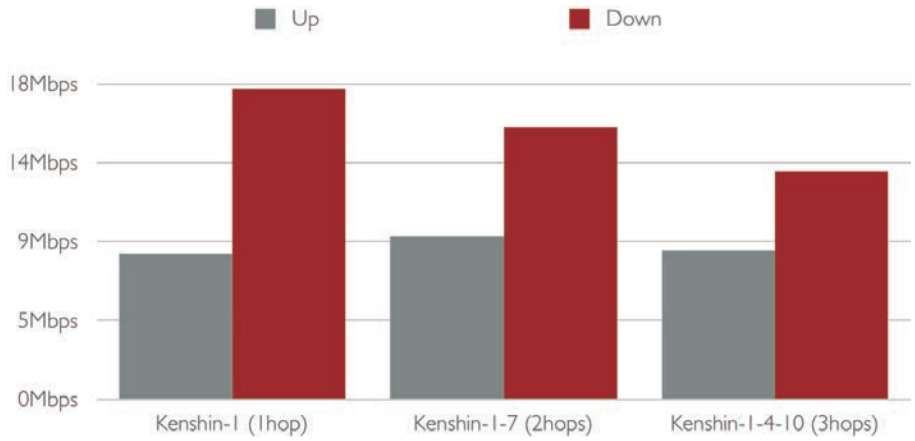


(a) レイヤ 2 メッシュネットワーク

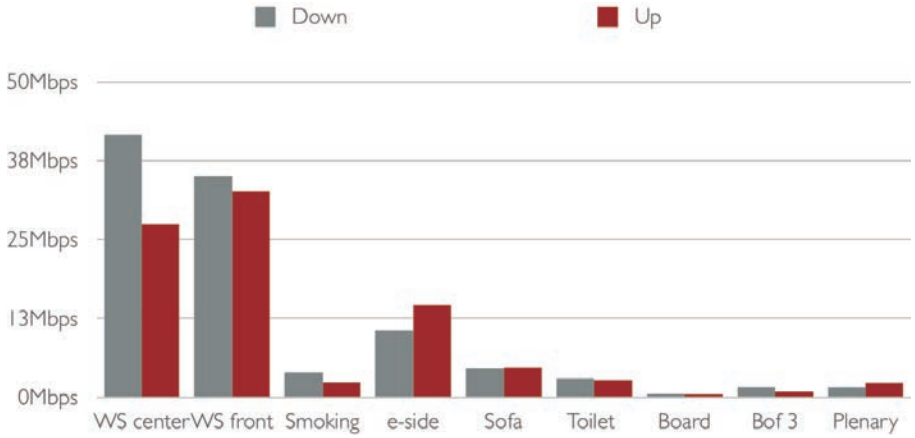


(b) レイヤ 3 メッシュネットワーク

図 1: トポロジ構成



(a) レイヤ 2 メッシュネットワーク



(b) レイヤ 3 メッシュネットワーク

図 2: 帯域計測結果

レイヤ 2 メッシュネットワークでは、メッシュネットワークを運用したときに見られる、ホップ数の増加に伴う性能の低下も確認できる。ただし、図 2(a) の AP-9-8-5-1 の例のように、例外的に想定される性能よりも高い性能がでていることもある。これは環境的な要因ではないかと考えている。

図 2(b) にレイヤ 3 メッシュネットワークの帯域測定結果を示す。レイヤ 3 メッシュネットワークの測定では、レイヤ 2 の場合と異なりクライアントノードは利用していない。メッシュルータ自体 iperf を実行しているため、レイヤ 2 の場合と若干環境が異なる。具体的には AP-1 と他のアクセスポイントの間で iperf を実行している。図中の “UP” はメッシュの末端で iperf クライアントを、AP-1 で iperf サーバを実行した場合の値、“DOWN” はに対して iperf に対してそれぞれ図からわかる通り、レイヤ 2 で用いた技術と比較して、ホップ数が増えた場合の帯域の現象度合いが急激であることがわかる。

3.6 まとめ

現在我々は無線によるインターネット延伸を実現するための運用経験を重ね、何がそれを阻害する要因となっているのかを調査している段階である。その一環として、今回我々は 2 種類の異なる無線メッシュネットワークを用いた会議ネットワークの運用を試みた。

どちらの技術を用いた場合でもメッシュネットワーク自体を構築することはできたが、性能や安定性の面で差が生じた。製品として販売されているレイヤ 2 メッシュネットワークはトポロジの時間変化を見る限り、レイヤ 3 メッシュネットワークよりも安定していた。帯域は 5 ホップのときに 1Mbps と、一般的なアクセスポイントとして運用した場合と比較すると大きく落ちている。この値は、現実

的な環境での製品レベルの性能として一定の指標となると考えられる。レイヤ 3 メッシュネットワークでは、ひとつのメッシュルータが収容できる利用者数の上限が小さく、20 名程度を頭に急激に安定性が落ちていく事が観測されている。これは、使用している無線チップセットの性能や、ハードウェア構成に依存している部分が大きいと予想され、安価な無線ルータを構築する際の問題点のひとつと考えられる。また、ホップ数を増やしたときの帯域の減衰は、レイヤ 2 の時と比較してより急激であることもわかった。これらの問題を解決できない限り、無線メッシュネットワークが既存の有線延伸とアクセスポイントを置き換えることはできないと考えられる。

その他の発表論文

[発表 1] 妙中雄三, 勝間田賀章. 無線メッシュルータ試作機のフィールド実験の報告. 電子情報通信学会 2012 総合大会, B-7-62, 岡山大学, 2012 年 3 月.

[発表 2] [2] 山崎弘太郎, 妙中雄三, 若原恭. P2P Massively Multi-player Online Role Playing Game におけるゲーム情報の悪用を防ぐ分散管理手法の提案と評価. 電子情報通信学会技術研究報告書, IN2011-150, 宮崎シーガイア, 2012 年 3 月.

悪意あるウェブサイトの対策に関する研究

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。とりわけ、マルウェア感染を引き起こすウェブサイト、個人情報を盗むウェブサイトについて下記に示す対策手法の研究を行った。

- 悪意を含むスクリプトの類型化の研究

  エンドユーザのコンピュータをマルウェアに感染させる Drive-by-Download 攻撃が猛威を奮っている。この攻撃は悪意のあるウェブサイトを介して実行されており、この悪意の内容を解析する必要性が高まっている。しかし、これらのウェブサイトは Javascript を用いて難読化された状態で記述されることが多く、問題の対策への大きな妨げとなっている。この解析を効率的に行うため、本研究では抽象構文木を使ったプログラムの類似性を測定する研究に着目する。そして、抽象構文木に基づいて生成する Fingerprint を指標として用い、マルウェア対策のための研究用データセットから抽出した Javascript コードの比較及び分類を試み、この結果を分析する。

- フィッシングサイトの再現研究

  フィッシング攻撃は、偽りのウェブサイトを設置してインターネットを利用するエンドユーザに機密情報を送信させることを目的とする攻撃である。近年、フィッシング攻撃に用いられる手法は多様化し、フィッシング攻撃の対策手法にも高度化が求められている。本論文では、高度なフィッシングサイト検知システムの検証基盤の作成を試みる。

2 悪意を含むスクリプトの類型化の研究

2.1 背景

ウェブサイトに含まれている悪意について、その内容を解析する必要性が高まっている。本来、ウェブサイトは HTML 文法で記述されており、その解析は容易と思われてきた。しかし近年は Javascript に代表されるスクリプト言語によってウェブサイトを難読化する技術が普及している。悪意のあるウェブサイトもこのような難読化技術を採用する傾向があり、解析は困難なものとなりつつある。

そこで我々の研究グループは、難読化された Javascript に使われた難読化手法の特定を目的とする。難読化技術も多様であるとされているが、仮に複数のソースコードが同じ手法によって難読化されていた場合、その難読化されたソースコードは何らかの類似性を持つのではないかと考えられる。そこで、我々はプログラムのソースコードの類似性を発見する研究領域に着目した。この分野の先行研究は、複数のソースコードの類似性を何らかの指標によって計測することにより、ソースコードの盗用を発見するために用いられている。

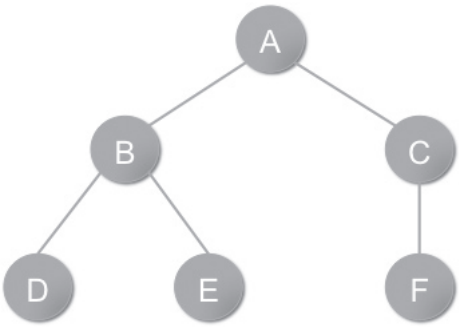


図 1: AST の例

クラスタ	サンプル数	類似性
1	5	(584, 1.00)
2	5	(806, 1.00)
3	4	(588, 1.00)
4	1	-
5	2	(194, 0.98)
6	1	-
7	1	-
8	23	(612, 1.00)
9	23	(829, 1.00)
10	109	(6.33, 0.15)

表 1: 研究用データセットのクラスタ分析結果

2.2 内容

本研究では Javascript コードの抽象構文木の Fingerprint を用いて解析する手法に着目する。この構造の類似性を調べることにより、難読化技術の特定、あるいはファイルに含まれる悪意の内容を調査できるかについて、実験を通じた検討を行う。

マルウェア解析ワークショップが用意する検体をデータセットとして用い、Javascript を含んでいると思わしき 252 ファイルを個別に保存した。これらのうち、78 ファイルはその内容が全く同じものであったため、残りの 174 ファイルを用いて分析を行う。まず、参考文献 [発表 2] に示す通り、プログラム言語 Ruby のライブラリである johnson、nokogiri を使い Javascript コードの構文解釈を行い、図 1 に示すような中小構文木 (AST) への置換を行う。さらに、Chilowicz らが 2009 年に提案した Fingerprint 作成手法により、AST Fingerprint (ASTF) を作成する。

複数の ASTF の類似性を評価する手法について、本研究では ASTF の最も高い重みを調べる。しかし、木構造のノード数が増えた場合、全体的には一致していなくても重みが高くなる可能性がある。反対に、少ない重みの部分木が多数一致しているような木構造の場合、全体的には一致していても重みが低くなる可能性がある。この点を考慮し、全体的な一致率についても同様に調べ、この 2 つ (重み, 一致率) の値を類似性の指標として用いることとした。

本データセットにおける 174 ファイルから得られた ASTF の一意な値を調べたところ、1826 種類の ASTF が得られた。次に、この ASTF から特徴変数を抽出し、クラスタリングによる分類を試みる。まずデータセット全体で一意な ASTF を調べ、その個数を特徴変数の数とする。ここで、任意の $\mathrm{ASTF_i}$ に対し、各ファイル毎の ASTF における $\mathrm{ASTF_i}$ の出現回数 n_i を調べる。この値に、$\mathrm{ASTF_i}$ の重み w_i を乗算した値を、特徴変数の値とする。仮に $\mathrm{ASTF_i}(1 \leq \mathrm{i} \leq 1826)$ の重み w_i が 10 とすると、任意のファイルに $\mathrm{ASTF_i}$ に該当するノードが 3 箇所発見された場合、ファイルの特徴変数の値は 30 $(= 10 \times 3)$ となる。

このように値を計算し、174 行 1826 列からなる特徴ベクトルを得て、EM 法によるクラスタ分析を行った。なお、今回の実験ではクラスタ数を 10 とした。分析結果を表 1 に示す。クラスタ 10 を除き、複数のファイルが分類されているクラスタでは、そのクラスタ内におけるファイル間の類似性が高くなっている。なお、ASTF によらず直接ファイルの内容を目視し、またブラウザのレンダリングエンジンにより動的解釈した結果を観測したが、このファイル群の内容及び悪意の内容も類似していることが確認された。例えばクラスタ 5 に分類された 2 個のファイルは、符号化されたデータを `getElementByID` メソッドを通じて HTML 文書から取得、この内容を解釈し、新たな JavaScript コードを出力するという内容であった。この出力結果も似通っており、内容はどちらも Drive-by-Download 攻撃を行うものであった。なお、クラスタ間については、類似性はあまり発見されなかった。ただし、クラスタ 1 とクラスタ 8、クラスタ 2 とクラスタ 9 では、それぞれ類似性が (418, 0.83) と (469,0.96) となり、似通っていた。クラスタ 1 で用いられている関数名と、クラスタ 8 で用いられている関数名にも一致する箇

所がみられた。また、クラスタ 2 とクラスタ 9 では同じライブラリを用いている様子が見られた。

2.2.1 具体的成果

本研究の成果をまとめ、2011 年におけるマルウェア解析人材育成ワークショップにおいて [発表 1]、[発表 2] として投稿した。また、この内容を組み合わせたものについて、[査読付 1] として投稿し、再録された。

3 フィッシングサイトの再現研究

3.1 背景

近年、フィッシング攻撃に対する対策技術の重要性が高まっている。フィッシング攻撃とは、インターネットを利用するエンドユーザを騙すことにより、ユーザの個人情報を盗む攻撃である。フィッシング攻撃を行う攻撃者はエンドユーザのメールアドレスを収集し、このメールアドレスに銀行などを装った偽りの電子メールを送信する。このメールは、銀行や電子商取引サイトと全く同じ外観をもつ偽のウェブサイトにエンドユーザを誘導するのが目的である。攻撃者は、騙されたエンドユーザがウェブサイトに入力した個人情報を盗み取り、悪用を行う。この偽のウェブサイトはフィッシングサイトと呼ぶ。

こうした問題に対し、フィッシングサイトを検知し、エンドユーザに報告するシステムの研究が行われている。しかし、フィッシングサイトは、サイトが作成されてから消滅するまでの期間が数時間程度であることが知られており、検知システムを評価するのに十分な量のフィッシングサイトを観測することは難しい。また、フィッシングサイトを作成する手口は次から次に変わることが知られている。このため、一つのフィッシングサイト検知手法が提案されたとしても、その手法の有効性が現在出現しているフィッシングサイトについてのみ有効なのか、普遍的に有効なのかを評価できない。こうした問題を解決するため、現存しているフィッシングサイトだけでなく、過去に出現したフィッシングサイトを保存し、活用する方法が考えられる。

3.2 内容

本研究ではインターネットにおけるトポロジをテストベッド上に再現する技術である模倣インターネットに着目する。模倣インターネットは、インターネット規模のアプリケーションやプロトコルを検証する目的で開発されたものである。このような技術は、実際にインターネットにおいて有効性を試すことが理想ではあるが、インターネットは様々な組織によって独立して運用されており、検証のための操作や観測を行うことは極めて困難である。このため、テストベッド空間にインターネットを再現するというアプローチによって、アプリケーションやプロトコルの検証が進められている。この技術を活用し、本研究では、取得したフィッシングサイトを模倣インターネット上に再現するシステムを実現する。

3.2.1 動作概念

模倣インターネットに取得したフィッシングサイトを再現するにあたり、本研究では Phishtank とフィッシング対策協議会から URL の提供を受けた。Phishtank は、フィッシングサイト検知の研究に頻繁に利用されるサービスであり、フィッシングサイトの URL を共有できるサービスである。このサイトを定期的に監視し、新規に登録された URL の有無を調査する。次に、この URL に示されるウェブサイトのコンテンツを、ウェブクローラを用いて取得する。ただし、フィッシングサイトに見られる悪意あるウェブサイトはコンテンツの内容が難読化されており、一般的なウェブクローラではコンテンツをクロールできるとは限らない。そこで、広く用いられているブラウザである Microsoft 社の Internet Explorer のレンダリングエンジンを用いたブラウザを開発し、本ブラウザを操作してウェブコンテンツをクロールし、プロキシサーバにおいてコンテンツを保存する方式を採用した。

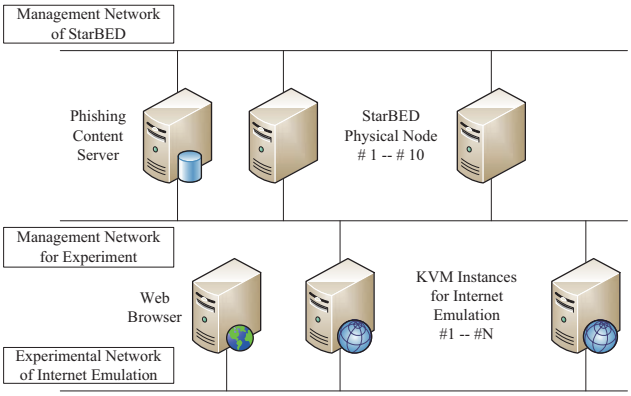


図 2: 再現実験の構成図

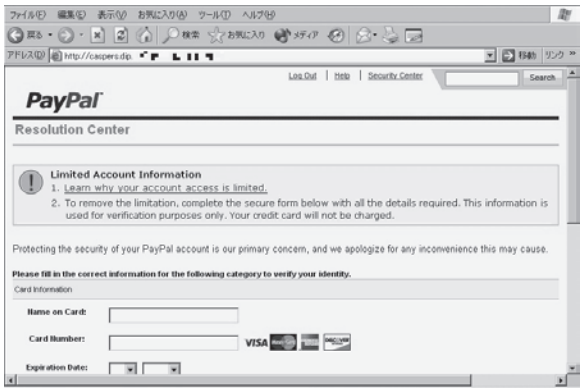


図 3: 再現されたフィッシングサイト

フィッシングサイトの模倣インターネットにおける再現において、ウェブブラウザの送信する HTTP リクエストは、フィッシングサイトが存在した AS を担当する模倣イターネット上のノードに到達するべきである。フィッシングサイトの URL スキームにおけるホスト部がドメイン名で記述されている場合、名前解決が行われる。この名前解決を行う DNS サーバは、実際にフィッシングサイトが存在していた AS に該当する模倣インターネット上のノードの IP アドレスを応答する。このため、フィッシングサイトを記録する際に、IP アドレスや AS 番号についての情報も併せて記録することとした。また、フィッシングサイトのホスト部が IP アドレスである場合は、この IP アドレスが属する AS に該当する模倣インターネット上のノードに、当該 IP アドレスをエイリアス IP として設定することで解決した。

3.2.2 フィッシングサイトの再現実験

2011 年 11 月に北陸 StarBED 技術センターにあるテストベッドである「StarBED」の PC ノードを 11 台利用し、フィッシングサイトの再現実験を行った。実験の構成図を図 2 に、手順を以下に示す。

1. 図 2 の通り、StarBED 物理ノード 10 台にフィッシングサイトを再現する模倣インターネット用の VM インスタンスを合わせて 100 台分稼働させる。
2. StarBED ノード 1 台にフィッシングサイト閲覧用の VM インスタンスを 1 台分稼働させる
3. 保存してあるフィッシングサイトのデータベースを、フィッシングサイト再現用データベースに移植する。
4. テストベッド生成ツール AnyBed[1] により、日本国内において相互している相手の数の多い上位 100 AS のトポロジを作成する。
5. フィッシングサイトが発見された AS が、手順 4 で選択した 100AS に含まれている観測する。
6. データベースには存在しているが、TOP 100 には含まれない AS の番号をピックアップする。今回の実験では 5 つの AS が該当した。
7. AnyBed により、日本国内の上位 95AS と、フィッシングサイトのある 5AS の合計 100AS をリスト化し、このリストを基にトポロジを生成する。
8. 作成したトポロジに含まれている AS の個数が 100 個であるかを調べる。今回の実験では離れ小島問題もあり 99 個の AS しか発見できなかった。そこで、含まれなかった AS のリンクを持つ 1AS を加え、先ほどのフィッシングサイトが発見された 5AS と日本国内の上位 94AS によるトポロジを作成することで 100AS の環境を実現した。

[1] http://sourceforge.net/projects/anybed/

9. フィッシングサイトのFQDNに対してDNS正引きを行うと、実際のインターネットにおけるフィッシングサイトが発見されたASと同じ番号のASに誘導されるよう、フィッシングサイト再現用DNSサーバのDNSレコードを設定する。

10. 模倣インターネット用の各ノードでHTTPサーバを起動し、フィッシングサイトを再現する。

手順4では、日本国内に絞ってAS隣接構造を再現することとした。しかし、フィッシングサイトはボットネット内のエンドユーザのPCに存在することが多いとされており、そうしたPCはネットワークの中心部に位置するASではなく、末端のASに属することが多い。このため、末端のASだけでネットワークトポロジを作成しようとすると、そのASとASの橋渡しを行うトランジットASの部分が欠けるという、いわゆる離れ小島問題が発生した。2011年の11月の実験ではこの問題を手順8の通り、接続相手の多い100ASではなく94AS、フィッシングサイトが発見された5AS、そしてその橋渡しとなる1ASを取り入れた100ASでの実験環境とすることで解決を試みた。

2012年1月に行われた実験では、このような問題の対策として、日本国内及び近隣の469ASすべてを模倣インターネットに射影することを考えた。先行実験と同様に11台のPCノードを利用し、そのうち1台にフィッシングサイト再現データベース、DNSサーバ、HTTPサーバを稼動し、10台に各47台のVMインスタンスを稼働させた。これより、離れ小島問題が解決できることを確認した。再現されたフィッシングサイトの数は、2011年9月から2012年11月に観測された58200サイトのうち、日本国内のASに発見された835サイトであった。ただし、フィッシングサイトの報告に重複もみられ、実際には774サイトが確認された。ウェブサイトを正しく取得できなかったものを除いては、図3に示す通り再現できることを目視によって確認した。

なお、実際のインターネットにおけるフィシングサイト検知ツールが、模倣インターネット内においても動作するか否かの懸賞も行った。フィッシングサイト検知ツールとして著名なCANTINAを独自に実装し、模倣インターネット内で動かすことを試みたところ、10行程度の書き換えが必要だった。書き換えが必要なものについては、フィッシングサイトの内容ではなく、フィッシングサイトのドメイン名の登録情報や、キーワードを自然言語抽出したものを検索エンジンに入力した際の検索結果、という言わば外部からの入力といったものであった。こうした内容を模倣インターネット内にデータベースとして持ち込み、プログラムにおける調査箇所をこのデータベースから応答することで解決した。

3.3 具体的成果

本研究の成果をまとめ、INRIA東京大学シンポジウム[発表5]、GCOEシンポジウム[発表6]として発表した。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付1] Blanc Gregory, Daisuke Miyamoto, Mitsuaki Akiyama, Youki Kadobayashi: Characterizing Obfuscated JavaScript using Abstract Syntax Trees: Experimenting with Malicious Scripts, In Proceedings of the 8th International Symposium on Frontiers of Information Systems and Network Applications (FINA), March 2012.

その他の発表論文

[発表1] 宮本 大輔, ブラン グレゴリー, 秋山 満昭: 抽象構文木を用いたJavascriptファイルの分類に関する一検討, コンピュータセキュリティシンポジウム、2011年10月.

[発表 2] ブラン グレゴリー, 秋山 満昭, 宮本 大輔, 門林 雄基: 難読化されたスクリプトにおける特徴的な構文構造のサブツリー・マッチングによる同定, コンピュータセキュリティシンポジウム, 2011 年 10 月.

[発表 3] 山崎 健生, 宮本 大輔, 中山 雅哉: C++用タスクマッピングライブラリの実装と異種混合環境での評価, ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、2012 年 1 月.

[発表 4] Marat Vyshegorodtsev, Daisuke Miyamoto, Yasushi Wakahara: Governance-free secure domain naming system, 電子情報通信学会総合大会, 2012 年 3 月.

[発表 5] Daisuke Miyamoto: Anti Phishing and Web Security Technologies, INRIA-U.Tokyo GCOE Symposium on Information Technologies, January 2012.

[発表 6] 宮本 大輔, 妙中 雄三: PhishCage: Reproduction of Fraudulent Websites in the Emulated Internet, GCOE セキュアライフ・エレクトロニクス報告会 2012 年 3 月.

スーパーコンピューティング研究部門

スーパーコンピューティング研究部門概要

中島 研吾
大規模並列シミュレーション手法に関する研究、教育

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

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

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

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

黒田 久泰
シームレス高生産・高性能プログラミング環境
―高効率・高可搬性ライブラリの研究開発―

大島 聡史
GPUを用いた高性能計算に関する研究

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

横手 靖彦
DEOS Runtime Environment に関する研究・開発

松野　裕
システムのディペンダビリティ保証のための
ツールとプロセスの構築

稲岡　創
大規模分子動力学シミュレーションによる気液混相流の研究
ー計算機シミュレーションによる沸騰流の再現に向けてー

鴨志田 良和
並列アプリケーションと共存可能な
細粒度モニタリングに関する研究

藤田　肇
ディペンダブルな単一システムイメージ OS

林　雅江
ポストペタスケールを目指した統合数値計算ライブラリの開発

伊東　聰
ポストペタスケール計算機環境における
シミュレーションソフトウェアの開発環境に関する研究

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、2012 年 3 月現在で 12 名のセンター専任教員（教授:2、准教授:2、助教:2、特任講師:2、同助教:4）、3 名の兼任教員（特任教授 1, 准教授 2）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から博士課程 3 名、修士課程 4 名の合計 7 名が在籍している。

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ーシステム（SR11000/J2、HA8000 クラスタシステム、SR16000/M1）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　並列・分散型組込みシステムのためのディペンダブルシングルシステムイメージ OS（JST CREST）

2006 年度から、科学技術振興機構戦略的想像研究推進事業（JST CREST）「実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル・オペレーティングシステム」研究領域（DEOS）において、ディペンダブルな並列分散 OS 機構・ディペンダブルシステム構築手法について研究を行っている。

2.2　「シームレス高生産・高性能プログラミング環境」（文部科学省）

2008 年度から、次世代 IT 基盤構築のための研究開発「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」（文部科学省）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と共同で研究開発を進めている「シームレス高生産・高性能プログラミング環境」では、研究室レベルで使用されている PC クラスタから HA8000 クラスタシステムに相当する大規模クラスタ、次世代スーパーコンピュータまでをシームレスに利用できるためのシステムソフトウェアの開発を行なっており、学術的な成果のみならず、HA8000 クラスタシステムの運用にあたっても有用な成果が得られている。

2.3 「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)

2010 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)ーフランス(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。

2.4 「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境(ppOpen-HPC)」(JST CREST)

2011 年度から、科学技術振興機構戦略的想像研究推進事業(JST CREST)「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」研究領域において、東京大学各部局(大気海洋研究所、大学院情報学環、人工物工学研究センター)、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。

3 研究活動項目

3.1 計算機システムソフトウェア

- 耐故障アルゴリズムの比較フレームワーク
- システムのディペンダビリティ保証のためのツールとプロセスの構築
- MPI3.0 における耐故障仕様の検討・調査
- 分散ワークフロー処理系に関する研究
- 分散ファイルシステムに関する研究
- 効率的な細粒度モニタリングに関する研究

3.2 ディペンダブル OS

- システムのディペンダビリティ保証のためのツールとプロセスの構築
- Dependability ベンチマークツールとのツールチェーン
- ディペンダブルな単一システムイメージ OS
- サーバのダウンタイムを短縮する投機的 SYN パケット受信機構
- DS-Bench: ディペンダビリティ計測ベンチマークのためのフレームワーク

3.3 プログラム開発環境

- プログラムの性能改善のためのコンパイラ最適化の理論の研究
- 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に関する研究

3.4 数値計算ライブラリ・アルゴリズム

SR110000/J2、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に関する研究
- ソフトウェア自動チューニング研究
- GPU を用いたアプリケーション高速化に関する研究
- 高効率・高可搬性ライブラリの研究開発
- 超並列高性能数値計算ライブラリ研究開発
- ヘテロジニアス環境のための統合数値計算ライブラリの開発
- 並列多重格子法アルゴリズムに関する研究
- マルチコア／メニーコアクラスタ環境に向けた大規模有限要素解析のための ILU(k) 前処理付き反復解法の並列化
- GPU を用いた疎行列ベクトル積に関する研究

3.5 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。

- 将棋における合議への集団学習の適用
- Lenard-Jones 粒子系の衝撃波管のシミュレーション
- Lenard-Jones 粒子系による沸騰のシミュレーション
- 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、領域分割手法に関する研究
- 大規模並列形状処理に関する研究

3.6 セキュリティ関連分野

- オンライントラストの研究
- Graded Trust の研究
- セキュリティの対費用効果の検討

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。工学系、理学系、情報理工学系、新領域創成科学の各研究科との緊密な協力のもと、2008 年度から学部・修士課程を中心としたカリキュラム策定のためのワーキンググループを組織している。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 3 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。2011 年度は同講習会を 9 回実施した。

5　共同研究プロジェクトの推進

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利用者推薦」を実施した。
2010 年 4 月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する 8 大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点が正式に発足し、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。

2010 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 41 課題のうち 39 課題が採択された。東大情報基盤センターと共同研究を行うのはこのうち 14 課題である。このうち 3 件は新規採択課題である。平成 22 年度報告会，平成 23 年度採択課題紹介を兼ねた第 3 回シンポジウムは 2011 年 7 月 14 日（木）・15 日（金）に THE GRAND HALL（品川）で開催された。

「スーパーコンピュータ若手利用者推薦」は、概ね45 歳以下の若手研究者（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。2011 年度は、前期 4 件、後期 6 件（うち 3 件は前期よりの継続）の合わせて 10 件の課題を採択した。

6　広報・研究会活動

業務部門と協力して、広報誌「スーパーコンピューティング」を 6 回発行した。

部門の研究活動として、2010 年度は先進スーパーコンピューティング環境研究会（Advanced Supercomputing Environment, ASE）（略称：ASE 研究会）を 2 回開催した。

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] 片桐孝洋：平成 23 年度　文部科学大臣表彰　若手科学者賞　受賞，業績名「ソフトウェア自動チューニングの研究」，2011 年 4 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Petascale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), International Workshop on Collaborative Development of Simulation Software of Next Generation (CO-DESIGN), Beijing, China, 2011.

[招待 2] 横手　靖彦：ディペンダブルシステムの実行環境, ET2011 スペシャルセッションオープンシステムディペンダビリティが世界を変える～変化しつづけるシステムのサービス継続と説明責任の全うを目指して～, 2011 年 11 月.

[招待 3] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Description Language to Heterogeneous Computing Environment, Fifth International Workshop on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP 2011) (Affiliated to ICFP 2011, Sponsored by ACM SIGPLAN), September 2011.

[招待 4] Yutaka Matsuno, D-Case Editor: A Typed Assurance Case Editor, OSADL 13th Real-Time Linux Workshop, Czech Technical University in Prague, Czech, Oct 2011.

[招待 5] Yutaka Matsuno, D-Case Editor: A Free Assurance Case Editor, OSADL session in Embedded World, Nuremberg, Germany, March 2012.

[招待 6] Yutaka Matsuno, DEOS and D-Case for Open Systems Dependability. Presented at RTES Forum, Open Group Conference, San Francisco, USA, Jan 2012.

[招待 7] システムのディペンダビリティ、安全性保証の現在, 松野裕, 田口研治, SICE セミナー, 計測自動制御学会, 産総研臨海副都心センター, 2011 年 11 月.

[招待 8] 児玉祐悦，丸山直也，近藤正章，建部修見，實本英之，岩下武史.10 年後の大学計算機センターの計算機　－－その仕様と課題について－－, T2K シンポジウム 2011, パネルディスカッション, November, 2011.

[招待 9] 實本英之、スパコン耐故障１０１～エクサスケールにむけて、日本応用数理学会　2011 年若手の会　単独研究会, December, 2011.

[招待 10] 林雅江: マルチコアクラスタ環境における拡張階層型領域間境界分割に基づく有限要素アプリケーションの OpenMP/MPI ハイブリッド並列化，日本応用数理学会「若手の会」単独研究会，早稲田大学西早稲田キャンパス (理工キャンパス)，2011 年 12 月.

著書／編集

[著書 1] Yasuhiko Yokote: Runtime Environment for DEOS Process and Architecture (Chapter 6 and others), in Mario Tokoro, ed.: Open Systems Dependability - Dependability Engineering for Ever-Changing Systems, CRC Press, 2012.

査読付論文

[査読付 1] 中島研吾，マルチコア時代の並列前処理手法，京都大学数理解析研究所講究録 1733，1-10，2011.

[査読付 2] 中島研吾，東京大学における「学際計算科学・工学人材育成プログラム」，ハイパフォーマンスコンピューティング技術の進展と計算科学への展開，応用物理第 80 巻 7 号，585-589，2011.

[査読付 3] Nakajima, K., New Strategy for Coarse Grid Solvers in Parallel Multigrid Methods using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models, ACM Proceedings of PPoPP/PMAM 2012, ACM Digital Library (DOI: 10.1145/2141702.2141713), 2012.

[査読付 4] Satoshi OHSHIMA, Masae HAYASHI, Takahiro KATAGIRI, Kengo NAKAJIMA, Implementation and Evaluation of 3D Finite Element Method Application for CUDA, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2012), Kobe, Japan, 2012. （採録決定済み）

[査読付 5] Masae Hayashi, Kengo Nakajima: OpenMP/MPI Hybrid Parallel ILU(k) Preconditioner for FEM Based on Extended Hierarchical Interface Decomposition for Multicore Clusters, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science(VECPAR2012), Kobe, Japan(2012). (to appear)

[査読付 6] 片桐孝洋，佐藤雅彦：疎行列-ベクトル積におけるブロック化 BSS 法と高スレッド並列環境での性能評価，情報処理学会論文誌：ACS，Vol.4，No.3 ，pp. 1-8，2011 年 5 月.

[査読付 7] 坂下達哉，片桐孝洋，長岡浩司：量子 i.i.d. 状態の仮説検定に関する数値的手法とその誤差分析，情報処理学会論文誌：ACS，Vol.4，No.4，pp. 214-227，2011 年 10 月.

[査読付 8] 伊藤祥司，片桐孝洋，櫻井隆雄，猪貝光祥，大島聡史，黒田久泰，直野健 : BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善，２０１２年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学論文集ＨＰＣＳ２０１２，ＨＰＣＳ２０１２論文集，2012 年 1 月.

[査読付 9] 伊藤祥司，片桐孝洋，櫻井隆雄，猪貝光祥，大島聡史，黒田久泰，直野健 : BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善，情報処理学会論文誌：ACS，2012 年．印刷中.

[査読付 10] Ting Chen and Kenjiro Taura. ParaLite: supporting collective queries in database system to parallelize user-defined executable. In CCGrid, 2012. (to appear)

[査読付 11] Nan Dun and Kenjiro Taura. An empirical performance study of chapel programing language. In International Workshop on High-Level Parallel Programming Models and Supportive Environments. (to appear)

[査読付 12] Kentaro Hara and Kenjiro Taura. Half-process: A process partially sharing its address space with other processes. IPSJ Journal of Information Processing, 20(1):1–15, 2011.

[査読付 13] Kentaro Hara and Kenjiro Taura. Parallel computational reconfiguration based on a PGAS model. IPSJ Journal of Information Processing, 20(1):1–14, 2011.

[査読付 14] Katsuaki Ikegami and Kenjiro Taura. Design and implementation of a high productivity language with communication aggregation for parallel scientific computation. 情報処理学会論文誌プログラミング（PRO）, 5(1):17–25, 3 2012. (to appear)

[査読付 15] 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, (0):in press, 2011.

[査読付 16] 原健太朗, 中島潤, and 田浦健次朗. アドレス空間の大きさに制限されないスレッド移動を実現する PGAS 処理系. 情報処理学会論文誌, 4(1):27–65, 2011.

[査読付 17] 中島潤 and 田浦健次朗. 高効率な I/O と軽量性を両立させるマルチスレッド処理系. 情報処理学会論文誌 プログラミング (PRO), 4(1):13–26, 2011.

[査読付 18] 堀内美希 and 田浦健次朗. 広域分散ファイルシステムのための適応的な先読み手法. In SACSIS, 2012. (to appear)

[査読付 19] 林伸也, 浦晃, 三輪誠, 田浦健次朗, and 近山隆. 自己対戦棋譜を利用した半教師あり学習による将棋の評価関数の学習. In 第 16 回ゲームプログラミングワークショップ, 2011.

[査読付 20] Yutaka Matsuno, Kenji Taguchi, Yoshihiro Nakabo, Akira Ohata, Iterative and Simultaneous Development of Embedded Control Software and Dependability Case, Workshop on Dependable Systems of Systems, Sep 2011, University of York, York UK.

[査読付 21] Yutaka Matsuno, Makoto Takeyama, Jin Nakazawa, Dependability Case for Open Systems Lifecycle, Proceedings of Inconsistency Robustness, Aug 2011, Stanford University, California USA.

[査読付 22] Hajime Fujita, Yutaka Matsuno, Toshihiro Hanawa, Mitsuhisa Sato, Shinpei Kato, Yutaka Ishikawa: ”DS-Bench Toolset: Tools for Dependability Benchmarking with Simulation and Assurance”, The 42nd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2012), Jun 2012 (to appear).

[査読付 23] Hajime Inaoka, Satoshi Yukawa, and Nobuyasu Ito: Scaling relation and regime map of explosive gas-liquid flow of binary Lennard-Jones particle system, Physica A, Vol. 391, pp.423–438, Feb.2012.

[査読付 24] Hajime Fujita, Yutaka Ishikawa: ”Anytime Available Single IP Address Cluster”, The 13th IEEE International High Assurance Systems Engineering Symposium (HASE 2011), pp. 168—173, Nov 2011 .(Short Paper))

[査読付 25] 後藤和哉，志賀淳二，林雅江，沖田泰良，奥田洋司，アセンブリ構造解析のための多点拘束前処理付き並列反復解法，日本機械学会論文集 (A 編) (掲載予定).

公開ソフトウエア

[公開 1] cpulock: a small utility to exclusively assign cpus to processes. http://code.google.com/p/cpulock/.

[公開 2] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.

[公開 3] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.

[公開 4] ParaTrac: Make your analysis of data-intensive applications easier and more effective. http://code.google.com/p/paratrac/.

[公開 5] SSHFS-MUX: Have fun with your data and let sshfs-mux/gmount rock! http://code.google.com/p/sshfsmux/.

[公開 6] textshot: a very simple csv-like format and its converter to slog2 format for event visualization using jumpshot-4. http://code.google.com/p/textshot/.

特許申請／取得

[特許 1] 横手 靖彦、所 眞理雄、山本 修一郎、松野 裕: ディペンダビリティ維持装置、ディペンダビリティ維持システム、ディペンダビリティ維持装置の制御方法、制御プログラムおよびそれを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体, 特願 2011-177322, 国際出願移行, 2011 年 08 月 12 日.

[特許 2] 横手 靖彦、所 眞理雄、山本 修一郎、松野 裕: ディペンダビリティ維持装置、ディペンダビリティ維持システム、ディペンダビリティ維持装置の制御方法、制御プログラムおよびそれを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体, PCT-JP2011-076219, 34 条補正中, 2011 年 11 月 14 日.

その他の発表論文

[発表 1] 中島研吾，佐藤正樹，古村孝志，奥田洋司，岩下武史，阪口 秀 「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」，情報処理学会研究報告（HPC-130-44），2011.

[発表 2] Nakajima, K., Hayashi, M., Ohshima, S.: Infrastructure for Application Development on Heterogeneous Parallel Computers, 7th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2011): Creating the Next Generation of High Performance Numerical Computing Capabilities Part-III of IV, Vancouver, Canada, 2011.

[発表 3] 中島研吾，林雅江，大島聡史，階層型領域間境界分割に基づくハイブリッド並列プログラミングモデル向け前処理手法，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），2011 年並列／分散／協調処理に関する 『鹿児島』サマー・ワークショップ（SWoPP 鹿児島 2011），2011.

[発表 4] Nakajima, K.: ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Petascale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), ATRG (Automatic Tuning Research Group) Open Academic Session, Tokyo, Japan, 2012.

[発表 5] Nakajima, K.: Coarse Grid Solvers in Parallel Multigrid Methods using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models, 15th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP12): Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Scalable Manycore Systems Part-III of IV, Savannah, Georgia, USA, 2012.

[発表 6] 大島聡史, 實本英之, 鴨志田良和, 片桐孝洋, 田浦健次朗, 中島研吾: 大規模 SMP 並列スーパーコンピューター (HITACHI SR16000 モデル M1) の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-133), 3 月 19 日発行, 有馬ビューホテルうらら, 3 月 26-27 日, 2012 年.

[発表 7] Takahiro Katagiri, Satoshi Ito, Satoshi Ohshima, Kengo Nakajima, Yoshikazu Kamoshida, Hideyuki Jitsumoto: Development of ppOpen-AT –An Auto-tuning Description Language for ppOpen-HPC–, 2nd AICS International Symposium-Computer and Computational Sciences for Exascale Computing, March 2012. (A Poster)

[発表 8] Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Ken Naono, Kengo Nakajima, Satoshi Ohshima, Shoji Itoh, Hisayasu Kuroda, Mitsuyoshi Igai: Evaluation of Numerical Policy Function on Generalized Auto-Tuning Interface OpenATLib, SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), MS6:Towards Smart Auto-tuning for HPC–The State-of-the-art of Auto-tuning Technologies and Future Directions - Part I of III, Hyatt Regency Savannah(Savannah, Geogia), Feb. 15-17, 2012.

[発表 9] Satoshi OHSHIMA, Masae HAYASHI, Takahiro KATAGIRI, Kengo NAKAJIMA: Implementation of FEM application on GPU, SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), MS47 Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Scalable Manycore Systems - Part IV of IV, Hyatt Regency Savannah(Savannah, Geogia), Feb. 15-17, 2012.

[発表 10] 大島聡史，實本英之，鴨志田良和，片桐孝洋，田浦健次朗，中島研吾: 大規模 SMP 並列スーパーコンピューター (HITACHI SR16000 モデル M1) の構成と性能, HPCS2012, 名古屋大学 豊田講堂 シンポジオンホール, 1 月 24-26 日, 2012 年. （ポスター発表）

[発表 11] 櫻井隆雄, 片桐孝洋, 直野健, 黒田久泰, 中島研吾, 猪貝光祥, 大島聡史, 伊藤祥司: 自動チューニングインターフェース OpenATLib における自動チューニング機能の評価, 2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ（SWoPP 鹿児島 2011）, 情報処理学会 研究報告 (HPC-130), 7 月 20 日 発行, かごしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), SWoPP2011, 7 月 27-29 日, 2011 年.

[発表 12] 林雅江, 大島聡史, 中島研吾: ヘテロ環境を目指した拡張階層型領域分割法に基づく高次フィルイン前処理手法の高速化, 2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ（SWoPP 鹿児島 2011）, 情報処理学会 研究報告 (HPC-130), 7 月 20 日 発行, かごしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), SWoPP2011, 7 月 27-29 日, 2011 年.

[発表 13] 大島聡史, 林雅江, 片桐孝洋, 中島研吾: 三次元有限要素法アプリケーションにおける行列生成処理の CUDA 向け実装, 2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ（SWoPP 鹿児島 2011）, 情報処理学会 研究報告 (HPC-130), 7 月 20 日 発行, かごしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), SWoPP2011, 7 月 27-29 日, 2011 年.

[発表 14] 林 雅江，中島研吾: マルチコアクラスタ環境における拡張階層型領域分割に基づく有限要素法，計算工学会，第 16 回計算工学講演会, 東京大学柏キャンパス， 2011 年 5 月.

[発表 15] 林 雅江，　中島研吾:階層型領域間分割による ILU(k) 前処理付き反復解法の MPI/OpenMP ハイブリッド並列化,「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進」Winter School 第一回若手女性研究者向け並列コンピュータ＆ストレージ利用発表会, 理化学研究所計算科学研究機構，2012 年 2 月.

[発表 16] 鈴木 洋平, 三輪 誠, 金田 康正: 合議のための多様な将棋プレイヤの集団学習, 第 16 回ゲームプログラミングワークショップ, pp. 17-24, 2011.

[発表 17] 馬 雷, 佐藤周行: An Annotated Type System for Inlining, 情報処理学会プログラミング研究会 PRO-84, 2011.

[発表 18] Sato, Hiroyuki: Trust Engineering in Distributed ICT Environments, 2-30, Proceedings of International Symposium of Secure-Life Electronics – Advanced Electronics and Information Systems for Quality Life and Society, 2-30, 2012.

[発表 19] 鶴宙史, 佐藤周行: 依存条件グラフの解析による制御フロー予測の厳密化, 情報処理学会プログラミング研究会 PRO-87, 2012.

[発表 20] Tran Quang, 佐藤周行: MapReduce におけるプライバシーの手法の提案, 2D1-5E, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2012), 2012.

[発表 21] Takahiro Katagiri，Masahiko Sato：An Auto-tuning Method for Run-time Data Transformation for Sparse Matrix-Vector Multiplication，2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ（SWoPP 鹿児島 2011），情報処理学会研究報告 HPC-130，2011 年 7 月.

[発表 22] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Language of Numerical Libraries in Heterogeneous Computing Era , SIAM ICIAM 2011-7th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, MS335, Creating the Next Generation of High Performance Numerical Computing Capabilities - Part I of IV (Organizer: Michael A. Heroux, Sandia National Laboratories, USA, Kengo Nakajima, University of Tokyo, Japan, Serge G. Petiton, CNRS/LIFL and INRIA, France), July 2011.

[発表 23] 片桐孝洋：自動チューニング記述専用言語 ppOpenAT/Static の開発，日本応用数理学会 2011 年度年会，正会員主催 OS ／自動チューニング，予稿集，pp.187-188、2011 年 9 月.

[発表 24] 片桐孝洋：実行時にデータ構造変換を行う疎行列ベクトル積の自動チューニング方式，大規模計算コロキウム，2011 年 9 月.

[発表 25] 片桐孝洋：疎行列反復解法ライブラリにおける実行時自動チューニングの挑戦　－疎行列データ構造変換を例にして－，第 4 回大規模計算ワークショップ ～ マルチプラットフォームの大規模数値シミュレーションを支援するフレームワークの構築 ～，2011 年 9 月.

[発表 26] 片桐孝洋：ppOpen-AT：ポストペタスケール時代の数値シミュレーション基盤ソフトウェア ppOpen-HPC のための自動チューニング基盤，京都大学数理解析研究所研究集会「科学技術計算における理論と応用の新展開」，2011 年 10 月.

[発表 27] 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スレッド並列化と ABCLibScript への機能実装，情報処理学会研究報告 HPC-133 ，2012 年 3 月.

[発表 28] Takahiro Katagiri: Xabclib and OpenATLib Ver.1.0: A Fully Auto-tuned Sparse Iterative Library and Its Auto-tuning Interfaces, International Workshop on Peta-Scale Computing Pro-gramming Environment, Languages and Tools (WPSE 2012), February 2012.

[発表 29] 片桐孝洋：アプリケーションで働く小人を見つけられるか？ ～数値計算ライブラリによる抽象化の挑戦～，第 74 回情報処理学会全国大会，セッション「エクサスケールコンピューティングへ向けたソフトウェア技術開発ロードマップ」，2012 年 3 月.

[発表 30] 片桐孝洋：ppOpen-AT：ポストペタスケール時代の数値シミュレーション基盤ソフトウェア ppOpen-HPC のための自動チューニング基盤，京都大学数理解析研究所研究集会「科学技術計算における理論と応用の新展開」，京都大学数理解析研究所講究録，2012 年，印刷中.

[発表 31] Ting Chen and Kenjiro Taura. Supporting Collective Queries in Database System for Data-intensive Workflow Applications. In Summerer Workshop on Parallel Processing, 7 2011.

[発表 32] Kenjiro Taura. MassiveThreads: a thread library for massively parallel machines. In Workshop on Trends in High Performance Distributed Computing.

[発表 33] 加辺友也 and 田浦健次朗. PARP: プロファイル比較に基づく並列アプリケーションの性能解析. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（SWoPP2011）, 2011.

[発表 34] 河野瑛 and 田浦健次朗. 重心ボロノイ分割を用いた並列粒子法のための動的負荷分散法. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（SWoPP2011）, 2011.

[発表 35] 秋山茂樹, 中島潤, and 田浦健次朗. 大域アドレス空間に基づく細粒度マルチスレッド処理系. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（SWoPP2011）, 2011.

[発表 36] 池上克明 and 田浦健次朗. 並列科学技術計算に対して自動的な通信の集約を行う高い生産性を持つ言語の設計と実装. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（SWoPP2011）, 2011.

[発表 37] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (1). スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 1 月 2011.

[発表 38] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (2) 並列性の記述. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 5 月 2011.

[発表 39] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (3) ゲーム木探索. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 7 月 2011.

[発表 40] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (4) ゲーム木探索の並列化. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 9 月 2011.

[発表 41] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (5) 分子動力学シミュレーション. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 11 月 2011.

[発表 42] 堀内美希 and 田浦健次朗. Mogami: 高遅延環境において広帯域を達成する分散ファイルシステム. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（SWoPP2011）, 2011.

[発表 43] 鴨志田良和, 田浦健次朗: 細粒度モニタリングとトレースログを使用した並列アプリケーションの遅延原因の特定, 信学技報, vol. 111, no. 163, CPSY2011-23, pp. 85-88, 鹿児島, 2011 年 7 月.

[発表 44] Makoto Takeyama, Kenji Taguchi, Yutaka Matsuno, Mechanizing Assurance Cases, Presented in System Assurance Task Force, OMG Technical Meeting, Sep 2011

[発表 45] Luke Emmet, Yutaka Matsuno, Assurance Case Repository Whitepaper (Draft), Presented in System Assurance Task Force, OMG Technical Meeting, Sep 2011

[発表 46] Yutaka Matsuno, Dependability Case for Open Systems Lifecycle, presented in RTES Forum, Open Group Conference, San Diego, USA, Jan 2012.

[発表 47] 稲岡　創, 伊藤　伸泰: レナードジョーンズ粒子系による衝撃波管のシミュレーション, 日本物理学会２０１１年秋季大会, 富山大学五福キャンパス, 2011 年 9 月.

[発表 48] 伊藤　伸泰, 稲岡　創, 湯川　諭: 爆発現象の非平衡分子動力学シミュレーション, 第 2 回計算統計物理学研究会, 金沢大学角間キャンパス, 2011 年 9 月.

[発表 49] Hajime Inaoka and Nobuyasu Ito: Scaling relation of Lennard-Jones shock tube, 21th ACP Workshop, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Apr.2010.

[発表 50] Hajime Inaoka, Satoshi Yukawa, and Nobuyasu Ito: Molecular dynamics simulation of gas-liquid flow of a binary Lennard-Jones particle system, International Symposium on Complex Systems 2011 – Perspectives on the Legacy of Torahiko Terada –, Koshiba Hall, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Dec. 2011.

[発表 51] 稲岡　創, 伊藤　伸泰: レナードジョーンズ粒子系による沸騰のシミュレーション, 日本物理学会第６７回年次大会, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス, 2012 年 3 月.

[発表 52] 長塚郁, 大島聡史, 平澤将一, 近藤正章, 本多弘樹: 複数 GPU 向けの CUDA コードを生成する OpenMP 処理系の提案, 情報処理学会 研究報告 (HPC-133), 3 月 19 日発行, 有馬ビューホテルうらら, 3 月 26-27 日, 2012 年.

[発表 53] 大島聡史: SC11 報告, オープン CAE シンポジウム 2011, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 12 月 1-2 日, 2011 年. （短時間口頭発表のみ）

[発表 54] 大島聡史: 未踏ユースから育ったタレントたち【PART 1　若い未踏クリエータからのメッセージ】: 13. 発掘し，育成し，つなぐ場所, 情報処理学会会誌 Vol.52 No.12 12 月 p.1496, 2011 年. （学会誌への寄稿）

[発表 55] 大島聡史: Implementation of 3D FEM program on GPU, 第 10 回 ASE 研究会, 東京大学情報基盤センター, 10 月 13 日, 2011 年.

[発表 56] 大島聡史: 最新の並列計算事情と CAE, オープン CAE ワークショップ 2011, 東京大学, 6 月 26 日, 2011 年.

[発表 57] 大島聡史: 富士通 PRIMEHPC FX10 チューニング連載講座　1. ハードウェア概要, スーパーコンピューティングニュース, Vol.14 No.2, 3 月, 2012 年.

[発表 58] 大島聡史: HITACHI SR16000/M1 チューニング講座 1. ハードウェア概要, スーパーコンピューティングニュース, Vol.14 No.1, pp.21-24, 1 月, 2012 年.

[発表 59] 鴨志田良和: システムソフトと自動チューニング, 日本応用数理学会 2011 年会, 京都, 2011 年 9 月.

[発表 60] Yoshikazu Kamoshida: Jitter Quantification on a Supercomputer in Operation, 11th Advanced Supercomputing Environment (ASE) Seminar, Tokyo, Mar 2012.

[発表 61] Yutaka Matsuno, Kenji Taguchi, Yoshihiro Nakabo, Akira Ohata, Assuring Dependability of Consumer Devices: Automobiles, Consumer Robots, Smart Houses, Avionics, etc., OMG White Paper, System Assurance Task Force, OMG, Sep 2011.

[発表 62] 實本英之、建部修見、佐藤仁、石川裕. 広域分散環境を提供する HPCI システムソフトウェア基盤の設計概要と共有ストレージ構築, 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング,2011-HPC-130,67,pp1-6, July 2011.

[発表 63] 滝澤真一朗、棟朝雅晴、宇野篤也、小林泰三、實本英之、松岡聡、石川裕. 広域分散環境を提供する HPCI 先端ソフトウェア運用基盤の設計, 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング,2011-HPC-130,68,pp1-7, July 2011.

[発表 64] 實本英之、VM を考慮したジョブスケジューリングシステムの開発、アカデミッククラウドシンポジウム 2011 @北海道大学、口頭発表、August 2011.

[発表 65] 轟 侑樹, 藤田 肇, 石川 裕: 「ハイバネート中の仮想マシンに対する透過的アクセス機構」, 処理学会研究報告 (OS-118 SWoPP 2011), ul 2011.

[発表 66] 藤原 祐二, 藤田 肇, 石川 裕: 「耐故障分散ロック機構の設計と検証」, 情報処理学会研究報告 (OS-118 SWoPP 2011), Jul 2011.

[発表 67] Satoshi Ito, Kazuya Goto, Kenji Ono: Automatically optimized core mapping for subdomains of parallel finite element method on multicore parallel environments, Parallel CFD 2011, Barcelona, May 2011.

[発表 68] 伊東聰: リコーダー頭部管の数値流体シミュレーション, 日本流体力学界, 第 25 回数値流体力学シンポジウム, 大阪, 2011 年 12 月.

特記事項

[特記 1] 中島研吾: 「実用アプリの加速のために何が必要か：PC クラスタコンソーシアムに何ができるか」，第 11 回 PC クラスタシンポジウム，2011.

[特記 2] 中島研吾: General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics).

[特記 3] 中島研吾: Associate Editor， SIAM Journal for Scientific Computing.

[特記 4] 中島研吾: Member of Program Committee, The Eighteenth International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS11), 2011.

[特記 5] 中島研吾: 日本計算工学会第 16 回計算工学講演会 実行委員, 2011.

[特記 6] 中島研吾: Vice-Chair, Local Organizing Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2011), 2011.

[特記 7] 中島研吾: Co-chair, Program Committee, First International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES), 2011.

[特記 8] 中島研吾: Member of Research Paper Committee, International Supercomputing Conference (ISC’11), 2011.

[特記 9] 中島研吾: Co-organizer of Mini-Symposium, 2011International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2011), “Creating the next generation of high performance numerical computing capabilities”, 2011.

[特記 10] 中島研吾: Member of Program Committee, the 14th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE 2011), 2011.

[特記 11] 中島研吾: Vice-Chair, Euro-Par 2011, Topic 15: High Performance and Scientific Applications, 2011.

[特記 12] 中島研吾: Member of Technical Papers Committee, 2011 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC11)，2011.

[特記 13] 中島研吾: Member of Program Committee, The 18th International Conference on High Performance Computing (HiPC), 2011.

[特記 14] 中島研吾: Co-organizer of Mini-Symposium, SIAM 15th Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP10)，”Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Scalable Manycore Systems Part I-IV”, 2012.

[特記 15] 中島研吾: Member of International Scientific Committee, 10th World Congress of Computational Mechanics (WCCM 2012) , 2012.

[特記 16] 中島研吾: Secretary General, Organizing Committee, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2012), 2012.

[特記 17] 中島研吾: Member of Program Committee, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2012), 2012.

[特記 18] 中島研吾: Member of Program Committee, The Nineteenth International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS12), 2012.

[特記 19] 中島研吾: Vice-Chair, Euro-Par 2012, Topic 15: High Performance and Scientific Applications, 2012.

[特記 20] 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 21] 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/11e/.

[特記 22] 中島研吾: 科学技術計算 I・II，東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/11s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/11w/.

[特記 23] 中島研吾: コンピュータ科学特別講義 I・II，東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/11s/，http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/11w/.

[特記 24] 中島研吾, 片桐孝洋, 大島聡史, 鴨志田良和, 伊東聰, 林雅江: お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 : 2011 年 6 月 8 日～9 日、2011 年 9 月 6 日～7 日、2011 年 12 月 21 日～22 日、2012 年 2 月 21 日～22 日，2012 年 3 月 21 日～22 日 の 5 回実施.

[特記 25] 片桐孝洋: スーパーコンピュータ若手利用者推薦制度 2011 年度（前期）５件（新規５件，継続０件），2011 年度（後期）６件（新規３件，継続３件）.

[特記 26] 片桐孝洋: 東京大学情報基盤センタースーパーコンピューティング部門主催， Advanced Supercom-puting Environment (ASE) 研究会: 第 10 回 ASE 研究会（2011 年 10 月 13 日（木））、第 11 回 ASE 研究会（2012 年 3 月 16 日（金））、の 2 回実施.

[特記 27] 片桐孝洋: ミニシンポジウム･オーガナイザー，SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), Towards Smart Auto-tuning for HPC–The State-of-the-art of Auto-tuning Technologies and Future Directions, Savannah, GA, USA, February 2012.

[特記 28] 松野裕: DS-Bench/TEST_ENV/D-Case 統合デモ、D-RE デモ、D-Case デモ、ET2011、横浜、2011 年 11 月.

[特記 29] 松野裕: 変化し続けるシステムのディペンダビリティ合意形成とツール, ET2011 スペシャルセッション C-7-2, ET2011, 横浜, 2011 年 11 月.

[特記 30] 大島聡史: プログラム委員会副委員長（広報、ポスター担当）, HPCS2012 2012 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, 名古屋大学 豊田講堂 シンポジオンホール, 1 月 24-26 日, 2012 年.

[特記 31] 大島聡史: 理事, オープン CAE 学会, 2011 年.

[特記 32] 大島聡史: プログラム委員, SACSIS2011 先進的計算基盤システムシンポジウム, 秋葉原コンベンションホール（秋葉原クロスフィールド ダイビル）, 5 月 25-27 日, 2011 年.

[特記 33] 鴨志田良和: 学術グリッド基盤の構築・運用技術に関する研究 共同研究者, 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, 2011 年.

[特記 34] 鴨志田良和: マルチパラメータサーベイ型シミュレーションを支えるシステム化技術に関する研究 共同研究者, 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, 2011 年.

[特記 35] 鴨志田良和: 高並列海洋モデルの開発を通した海洋循環のプロセス研究 共同研究者, 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, 2011 年.

[特記 36] 鴨志田良和: 市街地における建築・都市環境の総合数値予測 共同研究者, 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, 2011 年.

[特記 37] 藤田肇: OS Supported Dependable Single IP Address Cluster, 東京大学学位論文, 博士 (情報理工学), 平成 24 年 3 月.

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:

- 並列プログラミングモデルに関する研究

近年プロセッサのマルチコア化が進み、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が再び脚光を浴びている。多重格子法を中心として、T2K オープンスパコン(東大)を使用して様々な Hybrid 並列プログラミングモデルの評価、最適化を実施した[査読付 1,3][発表 5]。

- 並列前処理手法、領域分割手法に関する研究

科学技術シミュレーションにおいて、有限要素法等の離散化を使用して得られる大規模疎行列を係数行列とする連立一次方程式を、並列計算機上で反復法によって解く場合の前処理手法、領域分割手法について研究を実施した。実問題において得られる悪条件な行列では適切な前処理手法、領域分割手法の選択が重要である。有限要素法における悪条件問題を中心に、問題、要素の特性に基づいた前処理・領域分割手法(選択的 Fill-in、選択的オーバーラップ)を提案し、様々な実問題における検証を実施したほか、Hierarchical Interface Decomposition (HID)の実問題向け拡張に関する研究を実施した [発表 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。[招待 1] [発表 1,2,4]。

- HPC 教育

「学際計算科学・工学人材育成」委員会（委員長：松本洋一郎副学長）の活動の一環として全学的な HPC 教育プログラムの策定を実施したほか、講義、演習を実施した[査読付 1] [特記 20～23]。

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環境　ppOpen-HPC

2.1　概要

本研究では、ホスト CPU とアクセラレータによるヘテロジニアスなアーキテクチャによる計算ノードを有するポストペタスケールシステムを想定し、その処理能力を充分に引き出す科学技術アプリケーションの効率的な開発、安定な実行に資する「自動チューニング機構を有するオープンなアプリケーション開発・実行環境（ppOpen-HPC，pp＝post-petascale）」の研究開発を行う[招待 1] [発表 1,2,4]。離散化手法としては、大規模シミュレーションに適した有限要素法（FEM）、差分法（FDM）、有限体積法（FVM）、境界要素法（BEM）、個別要素法（DEM）に限定し、各手法の特性に基づきハードウェアに依存しない共通インタフェースを有するアプリケーション開発用ライブラリ群、耐故障機能を含む実行環境を実現する。ppOpen-HPC は：

- ppOpen-APPL：　各手法に対応した並列プログラム開発のためのライブラリ群
- ppOpen-MATH：　各離散化手法に共通の数値演算ライブラリ群
- ppOpen-AT：　科学技術計算のための自動チューニング（AT）コンパイラ
- ppOpen-SYS：　ノード間通信、耐故障機能に関連するライブラリ群

から構成される。ユーザープログラムから ppOpen-APPL、ppOpen-MATH、ppOpen-SYS のライブラリ群を呼び出し、自動チューニングコンパイラ ppOepn-AT を使用することによって、ハイブリッド並列化・CUDA・OpenCL 等に煩わされることなく、またハードウェアに依存したチューニング、ホスト CPU～アクセラレータ間の負荷分散等を考慮することなく、ポストペタスケールシステムに対して最適化された耐故障機能をもつアプリケーションを容易に開発できる。また、最適化されたライブラリ群が自動的に生成される。メモリアクセス最適化、資源配分に関するハードウェア依存のチューニングのプロセスを ppOpen-AT に集約することにより、計算機環境が変化しても、 ppOpen-AT の変更によって対応できる。本研究の成果は、平成 26 年度以降に東京大学情報基盤センターに導入予定の数十ペタフロップス（PF）級システム上で検証、改良、更に公開し、大規模シミュレーションによる計算科学の進歩に貢献する。更に改良を進めることによって、エクサスケールシステムにおけるアプリケーション開発・実行環境へと発展させていくことを目標とする。

平成 23 年度は、平成 24 年 9 月初旬に予定されている第一回公開を目指した研究開発を実施した。第一回公開では、ppOpen-APPL、ppOpen-AT が様々なマルチコア、GPU 環境で稼働することを

検証するための ppOpen-APPL、ppOpen-MATH/VIS、ppOpen-AT/STATIC について最低限の機能を満足する機能の公開を実施する予定である。

2.2 ppOpen-APPL

ppOpen-APPL については、まず各離散化手法における必要データ、内容、格納形式等について整理、検討を実施し、共通入出力インタフェースの設計を実施し、netCDF フォーマットをベースとしたファイルフォーマットとすることに決定した。netCDF をベースとすることでベクトルデータの記述しやすさと任意データへのアクセス性、ユーザへの親和性も兼ね備えることが期待できる [5]。

本年度は ppOpen-APPL の①データ入出力、②領域間通信、③簡易領域分割ユーティリティ、④係数マトリクス生成部・陽解法ソルバー、⑤離散化手法の特性を考慮した前処理付き反復法等の各機能の設計、実装を行うとともに、ppOpen-AT の評価用プログラムの開発、実装を行った:

ppOpen-APPL/FEM、ppOpen-APPL/FVM、ppOpen-APPL/DEMについては、本チームの各メンバーが開発した既存のフレームワーク（HEC-MW、HPC-MW、DEMIGLACE）に基づき、各機能の設計、アルゴリズム開発、実装、動作確認、大規模問題への適用を実施した。差分法、境界要素法については各機能のモジュール化を検討し、各機能の基本設計、プロトタイプ開発を行うとともに、ppOpen-ATに資することを目的として、実アプリケーションを使用した高速化、最適化に関する検討を実施した。

2.3 ppOpen-MATH

ppOpen-MATH/MP は、複数のアプリケーションを結合し、大規模データ転送、変換を実施する弱連成のためのカップリングツールの開発である。本年度はツールの開発に向けて、カップラーの検討とマッピングツールの開発、大気海洋モデル（NICAM、COCO）を用いた結合試験を行った。多重格子法ライブラリ ppOpen-MATH/MG については、粗い格子レベルにおけるソルバーの収束性改善、通信量削減に関する検討を実施した[査読付 1,3] [発表 5]。並列可視化ライブラリ ppOpen-MATH/VIS については、一様差分格子を対象としたリアルタイム可視化処理ライブラリのプロトタイプを実施した。

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」[査読付 2] [特記 20]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 21]。2011 年度夏季集中講義として、2011 年 9 月に 8 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。

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 T2K オープンスパコン（東大）を使用したプログラミング実習を実施した。2011 年度は合計 48 名の受講者があった。2012 年度は 2012 年 4 月 2 日より稼働を開始した FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）を使用して、2012 年 9 月に集中講義として実施する。

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 2011 年夏・冬学期に実施した[特記 22, 23]。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（ECCS2008）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、T2K オープンスパコン（東大）実習を実施した。

有限要素法は計算機と深い関係にあり、計算機の発展とともに進歩してきた分野であるが、本学の各学部、研究科において実施されている有限要素法関連の講義は、理論、アルゴリズムに関する教育が中心で、プログラミングまでカバーしているものはほとんどない。また、有限要素法は最終的には疎行列を係数とする大規模な連立一次方程式を解くことに帰着されるため、疎行列を係数とする行列解法と密接な関係を持っている。有限要素法を学ぶためには、背景となる物理、変分法などの基礎的な理論の他に、疎行列解法、特にプログラミングのためには疎行列の係数格納法に習熟することが不可欠であるが、疎行列解法まで含んだ教育を実施している講義はない。本講義は有限要素法そのものだけでなく、連立一次方程式解法についても学習できる非常にユニークな試みである。大規模並列シミュレーションにおいては、科学・工学と数理科学、計算機科学の専門家の密接な協力が必要である。本講義は、単に並列アプリケーション開発技術を習得するだけでなく、特に数理情報学専攻の学生がアプリケーション側のニーズを把握し、両分野の融合領域を開拓する問題意識を育てることを目的としている。2011 年度は夏学期（50 名）と冬学期（14 名）の受講者があった。2012 年度も引き続き開講の予定である。冬学期講義では 2012 年 4 月 2 日より稼働を開始した FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）を使用する予定である。

4　成果要覧

招待講演

[招待 1] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Petascale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), International Workshop on Collaborative Development of Simulation Software of Next Generation (CO-DESIGN), Beijing, China, 2011.

査読付論文リスト

[査読付 1]中島研吾, マルチコア時代の並列前処理手法, 京都大学数理解析研究所講究録 1733, 1-10, 2011.

[査読付 2] 中島研吾, 東京大学における「学際計算科学・工学人材育成プログラム」, ハイパフォーマンスコンピューティング技術の進展と計算科学への展開, 応用物理第 80 巻 7 号, 585-589, 2011.

[査読付 3] Nakajima, K., New Strategy for Coarse Grid Solvers in Parallel Multigrid Methods using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models, ACM Proceedings of PPoPP/PMAM 2012, ACM Digital Library (DOI: 10.1145/2141702.2141713), 2012.

その他発表論文リスト

[発表 1] 中島研吾, 佐藤正樹, 古村孝志, 奥田洋司, 岩下武史, 阪口 秀「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」, 情報処理学会研究報告（HPC-130-44）, 2011.

[発表 2] Nakajima, K., Hayashi, M., Ohshima, S.: Infrastructure for Application Development on Heterogeneous Parallel Computers, 7th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2011): Creating the Next Generation of High Performance Numerical Computing Capabilities Part-III of IV, Vancouver, Canada, 2011.

[発表 3] 中島研吾, 林雅江, 大島聡史, 階層型領域間境界分割に基づくハイブリッド並列プログラミングモデル向け前処理手法, 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）, 2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ（SWoPP 鹿児島 2011）, 2011.

[発表 4] Nakajima, K.: ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post-Petascale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), ATRG (Automatic Tuning Research Group) Open Academic Session, Tokyo, Japan, 2012.

[発表 5] Nakajima, K.: Coarse Grid Solvers in Parallel Multigrid Methods using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models, 15th SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP12): Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Scalable Manycore Systems Part-III of IV, Savannah, Georgia, USA, 2012.

特記事項

[特記 1]「実用アプリの加速のために何が必要か:PC クラスタコンソーシアムに何ができるか」, 第 11 回 PC クラスタシンポジウム, 2011.

[特記 2] General Council Member , IACM (International Association for Computational Mechanics)

[特記 3] Associate Editor, SIAM Journal for Scientific Computing

[特記 4] Member of Program Committee, The Eighteenth International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS11), 2011.

[特記 5] 日本計算工学会第 16 回計算工学講演会 実行委員, 2011.

[特記 6] Vice-Chair, Local Organizing Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2011), 2011.

[特記 7] Co-chair, Program Committee, First International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES), 2011.

[特記 8] Member of Research Paper Committee, International Supercomputing Conference (ISC'11), 2011.

[特記 9] Co-organizer of Mini-Symposium, 2011International Council for Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2011), "Creating the next generation of high performance numerical computing capabilities" , 2011.

[特記 10] Member of Program Committee, the 14th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE 2011), 2011.

[特記 11] Vice-Chair, Euro-Par 2011, Topic 15: High Performance and Scientific Applications, 2011.

[特記 12] Member of Technical Papers Committee, 2011 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC11), 2011.

[特記 13] Member of Program Committee, The 18th International Conference on High Performance Computing (HiPC), 2011.

[特記 14] Co-organizer of Mini-Symposium, SIAM 15th Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (PP10), ”Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Scalable Manycore Systems Part I-IV”, 2012.

[特記 15] Member of International Scientific Committee, 10th World Congress of Computational Mechanics (WCCM 2012) , 2012.

[特記 16] Secretary General, Organizing Committee, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2012), 2012.

[特記 17] Member of Program Committee, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2012), 2012.

[特記 18] Member of Program Committee, The Nineteenth International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS12), 2012.

[特記 19] Vice-Chair, Euro-Par 2012, Topic 15: High Performance and Scientific Applications, 2012.

[特記 20] 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 21] 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/11e/

[特記 22] 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/11s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/11w/

[特記 23] 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/11s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/11w/

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

2011 年度中に行った本研究報告では最大で 10 頁という制限を考えて、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。

- 将棋における合議への集団学習の適用
- 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に対する兼担教員としての、同専攻修士・博士学生の教育指導」も、前者に劣らず主要な役割となっている。ちなみに 2011 年度は博士 4 年 1 名、修士 2 年 1 名、修士 1 年 1 名、計 3 名の教育指導を行った。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。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し、その次に学生が関係しない研究テーマの研究成果を記載するという流れで、2011 年度の研究・教育活動報告を以下に記す。

3　研究内容

3.1　将棋における合議への集団学習の適用

本研究は本研究室修士 1 年の鈴木洋平君が中心に行った研究であり、第 16 回ゲームプログラミングワークショップの発表にて「ゲームプログラミングワークショップ研究奨励賞」を受けた。

3.1.1　概要

近年疎結合並列環境を用いた将棋プレーヤーの判断決定の方法として合議が注目されている。合議とは複数の将棋プレーヤーの判断を統合することによって最終的な指し手を決定する枠組みのことである。合議は比較的単純な実装方法で並列化を実現でき、多数決により判断ミスの少ない強い将棋プレーヤーを生成できるという利点がある。小幡らは将棋プログラム Bonanza に乱数合議と呼ばれる手法を用いることによって、従来の Bonanza に有意に勝ち越すプレーヤーを生成することに成功した[1]。なお乱数合議とは、将棋プレーヤーが持つ評価関数の評価値を乱数により変化させることで複数の判断を生成し、それらを用いた多数決などで最終的な指し手を決定する手法をいう。

本研究は将棋プログラムにおけるこの合議という手法に機械学習の一手法である集団学習を適用し、強力かつ調整や分析が容易な将棋プログラムを生成することを目的としている。具体的には様々な集

[1] http://homepage1.nifty.com/ta_ito/ito-lab/gougi/gougi.html

団学習手法を合議に適用し比較検討することで、強い将棋合議プレーヤーに必要なものは何か、将棋プレーヤーの集団の中で何が起こっているのかを明らかにする研究である。

3.1.2 合議のための多様な将棋プレーヤーの集団学習

背景：

機械学習系、人工知能系の学会において様々な集団学習手法が議論されており、近年注目を集めている集団学習を効果的にする方法の一つがプレーヤーの多様性に注目した集団学習である。一般に集団学習は集団を構成する一つ一つのプレーヤーが多様であるほうが効果的であると言われている。そこでプレーヤーを学習する段階においてそれぞれのプレーヤーが異なるものになるよう学習を調整する手法が提案され、クレジットカードの査定に関する回帰問題に適用した実験ではその効果が実証されている。

将棋プログラムにおいて、ボナンザメソッドと呼ばれる棋譜を用いた評価関数のパラメータの学習が一般的に行われている。評価関数とは局面の優劣を数値で表す関数のことで、これが優れているかどうかで先読みの精度が変わる。棋譜を機械学習における教師例とみなせば集団学習手法の将棋に対する適用は可能である。将棋に対して集団学習を適用すれば評価関数の値を乱数ではなく、学習の枠組みの中で変化させることが可能になる。

本研究では合議の各プレーヤーの多様性に注目しながら将棋プログラムに集団学習を適用し、強力な将棋プレーヤーを生成する方法について提案する. 具体的には Bagging に加え合議を構成する各プレーヤーの分散を考慮した特別な目的関数を用いて多様性が増すようにしながら複数のプレーヤーを作成し、合議させる方法を提案する。

関連研究：

- 乱数合議とは複数の将棋プレーヤーの判断を統合する合議手法の一つであり、単一の思考プログラムを用いて複数のプレーヤーを作りたいときに有効な合議の実現法である。複数のプレーヤーを生成する方法は、将棋プログラムにおける評価関数の探索局面に対する評価値を個々のプレーヤーごとに異なる乱数系列を与えることによって変化させ、各プレーヤーのゲーム木探索の結果を異なるものにするというものである。評価関数に与える乱数は正規分布 $\mathrm{N}(0, \mathrm{D}^2)$ にしたがって生成し、局面のハッシュキーに割り当てる。これにより個々のプレーヤーの評価関数は同じ局面に対しては常に同じ評価値を算出する。このようにして生成された複数のプレーヤーによる多数決 (あるいは最も高い評価値を算出したプレーヤーの指し手) で指し手を決定する。
  小幡らは Bonanza に対しこの乱数合議法を適用し、一手あたりのノード数を固定した上で単一の通常の Bonanza と対戦させ、合議のプレーヤー数や正規乱数の分散値によっては有意に通常の Bonanza に対し勝ち越すことを確認した。

- 集団学習とは機械学習手法の一つであり、複数の判別を行うユニット (以降は判別器と呼ぶ) を生成し、それらの判断を統合した上で最終的な判断を生成する手法のことである。手順として、まず学習の段階において複数の判別器を異なる手段により学習することで生成する。次に実際の問題に対する判断を生成する際複数の判別器による出力を適当なルールによって統合し、最終的な判断を行う。
  複数の判別器を利用する利点はいくつか存在するがそのうちの三点を述べる。一つは 異なる複数の意見を統合することで単一の判別器では誤ってしまうような場面を避けられる可能性があることである。例えば 5 つのそれぞれが異なる判別器を用意し、それらの出力を多数決することによって最終的な出力を決定するとする。すると 3 つ以上の判別器が誤判別を行わない限りは最終的な出力が誤りになることはないので出力が安定する。二点目の利点は複雑な標本空間を分割し、各プレーヤーに割り当てることが可能な点である。三点目の利点は個々のプレーヤーの欠点を補

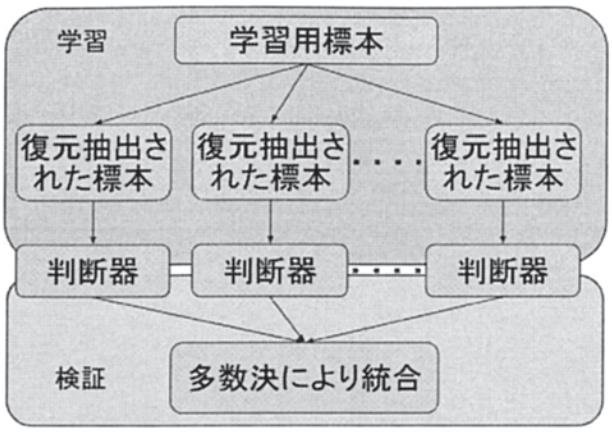


図 1: Bagging の仕組み

い合うことができる点である。
集団学習の手法を設計する際考慮すべき点は主に二つある。どのように異なる複数の判別器を生成するか、どのように生成された各判別器の出力を統合し最終的な出力にするかの二点である。これらの観点から考え出された様々な集団学習手法が現在提案されているが、Bagging もそのような手法の一つである。

- Bagging とは Bootstrap Aggregating の略であり、ブートストラップ法により生成された分類器を結合するというアルゴリズムである。その手順は (図 1) のようになる。ブートストラップ法とは与えられた学習用標本集合から複数の標本集合の複製を生成する手法である。具体的には与えられた標本集合から重複を許して標本のサンプリングを行い、新たな標本集合を構成する。つまり元の標本集合の標本が何度も新しい標本集合の要素に選ばれてしまう可能性がある一方で、逆に一度も選ばれない標本があるかもしれない。この方法によって少し異なる複数の標本が得られる (図 1 の復元抽出された標本)。それらを用いてそれぞれ判別器を学習を行い、その結果生成された複数の分類器の出力を多数決により統合する。単純に感じられるが、この方法によって多くの場合単一の判別器よりも高い精度が得られる。理由として学習結果の分散が減ることが挙げられる。ここで分散とは判別器の学習に用いる標本の違いが生成される判別器にどの程度影響してしまうかを表す。一般に Bagging は不安定な学習プログラムに有効であるとされているのもこの理由からである。また学習用データの少ない場合も、ブートストラップ法によりデータサイズを維持したまま複数の学習用標本集合を生成できるので、Bagging が有用である。

- Negative Correlation Learning(NCL) とは最急降下法による学習において特別な目的関数を用いた学習を行うことで、生成される複数の判別器の多様性に注目した学習を行うという、集団学習手法の一つである。 Bagging では異なる判別器が生成されるかどうかは復元抽出による学習標本の違いに依存したが、NCL では明示的に学習において判別器が多様になるよう調整する。 NCL の手順は以下のようになる。はじめに複数の判別器 (以後アンサンブルと呼ぶ) の出力 $\hat{f}$ を式 (1) のように表現する。

$$\hat{f}(k) = \frac{1}{\mathrm{M}} \sum_{i=1}^{\mathrm{M}} \hat{f}_i(k) \tag{1}$$

ここで M はアンサンブルを構成する判別器の数、$\hat{f}_i(k)$ は i 番目の判別器の k 番目の訓練用標本に対する出力を表す。次に最急降下法で個々の判別器を学習する際に用いる損失関数を式 (2)、式

(3) のように定義し、式 (2) を最少化することを考える。

$$e_i(k) = \frac{1}{2}(\hat{f}(k) - c(k))^2 + \lambda p_i(k) \tag{2}$$

$$p_i(k) = -(\hat{f}_i(k) - \hat{f}(k))^2 \tag{3}$$

ここで $c(k)$ は k 番目の訓練標本に対する教師例、$p_i(k)$ はアンサンブルの分散が小さいことに関するペナルティ、λ はペナルティの影響度を意味する係数を表している。λ が大きくなるほど個々の判別器の精度は落ちるが判別器の多様性は増すというトレードオフが存在する。
以上のように目的関数を定義し学習を行うことによって多様性に注目した集団学習を実現している。NCL をニューラルネットワークに適用した場合、扱う問題や条件によっては Bagging などの代表的な集団学習手法に勝る結果が得られている。

3.1.3 内容

- 将棋プログラムに対する Bagging の適用
  集団学習はアルゴリズムの設計に際し、学習用標本数、プレーヤー数、個々のプレーヤーの複雑さ、モデルの多様性、個々の学習用標本の重要度、判断を統合する方法など様々な観点が存在し、それらのパラメーターの調整の手法が議論されている。パラメーターの多さはアンサンブルの設計が複雑で曖昧になる危険をはらんでいる。しかし調整する部分が多いことから、設計の目的に沿ったアンサンブルの調整を行うことが比較的容易にできる。さらに Boosting など手法によっては統計学的な観点から学習の精度の向上について議論することができる。将棋プログラムに関する疎結合な並列化手法である合議の既存手法はアンサンブルの調整が困難であった。例えば乱数合議は調整の際工夫できる部分はどのような乱数を生成するか、どのように判断を統合するのか程度であるが、乱数とアンサンブルの強さを関連付けて説明することは困難であると考えられる。
  近年将棋プログラムの評価関数を生成する際、ボナンザメソッドと呼ばれる熟練者の棋譜を教師例とする学習を行うことが一般的であり、集団学習を将棋プログラムに適用することは可能である。さらに適切な設計方法を用いて集団学習を調整することができれば、より強力な合議プレーヤーが生成できる可能性が高い。
  本研究では学習用の棋譜を用いて集団学習の代表的手法である Bagging による学習を行い複数の評価関数を生成し、その結果得られたプレーヤーを用いて合議をする手法を提案した。さらに集団学習による合議の調整の一例としてプレーヤーの多様性に注目した学習について提案した。具体的には用意された棋譜から、個々のプレーヤーに対して重複を許して決まった数の棋譜を抽出する。抽出された棋譜を用いてプレーヤーの評価関数をボナンザメソッドを用いて学習する。これを必要なプレーヤーの数だけ繰り返すことによって複数の異なるプレーヤーを生成する。実際に対戦を行う際は生成されたプレーヤーを用いて多数決を行い、最も支持された指し手を最終的な指し手とする。
  本提案手法では集団学習における標本の単位を一棋譜としたが、標本の単位を棋譜の中の一つ一つの局面、一つの局面に対する候補手、といったように細かくすることも可能である。しかし標本が細かくなりすぎること、学習の際の処理が複雑になることから、本提案手法では標本の最小単位を棋譜とした。

- 将棋プログラムに対する NCL の適用
  将棋プログラムに Bagging を適用した上でさらに生成される複数のプレーヤーの多様性が増すように学習を調整する。一般に将棋プログラムの学習に用いる目的関数は式 (4) のようになり、これを最小化するように学習することを考える。

$$J(P_0, P_1, ..., P_{N-1}, \boldsymbol{v}) = \sum_{n=0}^{N-1} l(P_n, \boldsymbol{v}) \tag{4}$$

ここで $J(P_0, P_1, ..., P_{N-1}, \boldsymbol{v})$ は評価関数を学習する際の目的関数で、$\boldsymbol{v}$ はその重みである。P_n は学習の際に探索する候補手を、N はその候補手の数を表す。$l(P_n, \boldsymbol{v})$ は局面における候補手と棋譜の手の評価値の違いの度合いを測る関数である。この目的関数を評価関数の重みベクトル $\boldsymbol{v}$ に関して偏微分し、得られた傾斜を用いて評価関数の重みを更新する。

本研究ではこの目的関数にプレーヤーの多様性に関する項を加えることによって合議プレーヤーをさらに強力にする方法を模索する。通常の NCL では式 (2)、式 (3) のように、アンサンブルの各プレーヤーの多様性が増すように各判別器の訓練標本に対する出力の分散をペナルティ項として用いていた。しかし将棋プログラムは、各プレーヤーの正確な出力（つまり評価値や、指し手）を導出するためにゲーム木を用いた探索を行なわなければならず、これをアンサンブルを構成している各プレーヤーに対し行えば膨大な計算量が必要になる。浅い探索や局面の静的評価を用いて式 (3) のようなペナルティ項を導入することはできるが、今回は簡単のためこれまで学習した評価関数との距離をペナルティとした。以上のように本提案手法は正確には NCL と異なる。以降は、区別のため本稿の手法を Model-based NCL(MNCL) と記す。

学習の手順としては以下のようになる。まずブートストラップ法による復元抽出により一番目の評価関数を学習するための標本を用意し、式 (4) の目的関数に従い評価関数を学習する。二番目以降の評価関数を生成する際にも同じように復元抽出により学習用標本を用意するが、学習の際には式 (5) で表されるような目的関数を用いて評価関数を学習する。

$$J_i(P_0, P_1, ..., P_{N-1}, \boldsymbol{v_i}) = \sum_{n=0}^{N-1} l(P_n, \boldsymbol{v_i}) - \frac{\lambda}{2(i-1)} \sum_{j=1}^{i-1} (\boldsymbol{v_i} - \boldsymbol{v_j})^T (\boldsymbol{v_i} - \boldsymbol{v_j}) \tag{5}$$

ここで $J_i(P_0, P_1, ..., P_{N-1}, \boldsymbol{v_i})$ は評価関数を学習する際の目的関数で、$\boldsymbol{v_i}$ はその重みである。式 (5) の 2 番目の項は重み同士の距離に関する項であり、λ それをどの程度重視するかを表す係数である。式 (5) の目的関数を $\boldsymbol{v_i}$ について偏微分すると式 (6) のようになる。

$$\nabla_{\boldsymbol{v_i}} J_i(P_0, P_1, ..., P_{N-1}, \boldsymbol{v_i}) = \nabla_{\boldsymbol{v_i}} (\sum_{n=0}^{N-1} l(P_n, \boldsymbol{v_i})) - \lambda(\boldsymbol{v_i} - \overline{\boldsymbol{v}}) \tag{6}$$

$\overline{\boldsymbol{v}}$ は $i-1$ 番目までの評価関数の重みを平均したものである。この式を評価関数の更新の際に用い、二番目以降のプレーヤーの評価関数を以前に生成された評価関数からの距離が離れるように学習する。その結果得られた複数のプレーヤーを用いて実際の対戦において多数決合議を行い、指し手を決定する。

3.1.4 具体的成果

評価設定：

- 学習の設定

  本手法の有用性を示すために将棋プログラム「激指[2]」を用いて実験を行った。激指は第 20 回世界コンピュータ選手権において優勝を収めている、トップレベルの将棋プログラムの一つである。本研究でプレーヤーを学習する際は激指において用いられている評価関数の特徴を用いる。学習前の評価関数の重みの初期値は単純な駒割りの値（例えば、持ち歩の価値は 100 とする、など）のみとし、これに対し学習を行うことによって性能評価を行った。

  本提案手法では評価関数の学習にボナンザメソッドを用いている。ボナンザメソッドは熟練者の棋譜を元に評価関数のパラメーターを調整する方法である。棋譜中の各局面において正解となる熟練者の手とそれ以外の候補手が存在する。それぞれの候補手についてゲーム木を探索した結果得られた評価値について熟練者の手がその他の候補手よりも高く評価されるように、式 (4) の目的

[2] http://www.logos.t.u-tokyo.ac.jp/ gekisashi/

初期パラメーター:
学習に用いる棋譜の絶対数N、学習に用いる棋譜ののべ数M、プレーヤー数P、各プレーヤーに共通な学習に用いる棋譜数K($< M$)

学習:

1. 熟練者の棋譜N棋譜からM棋譜を復元抽出する。
2. すべてのプレーヤーに共通な学習
   (a) M棋譜のうちK棋譜を使用
   (b) ボナンザメソッドを用いた学習によって評価関数を一つ生成する。
3. 各プレーヤーによって異なる学習
   (a) (M-K) 棋譜を使用
   (b) 各プレーヤーの評価関数を $\frac{M-K}{P}$ 棋譜を用いて学習する。このとき初期値は (2) の際に生成された評価関数とする。

テスト:

- 学習の結果得られたP個のプレーヤーがそれぞれ探索によって指し手を決定。それらをもとに多数決によって最終的な指し手を決定。

図 2: 将棋への Bagging の適用の手順

関数の評価関数の重みに関する傾斜を用いてパラメーターの調整を行う。本提案手法ではボナンザメソッドによる学習の際のゲーム木の探索深さを 6 として実験を行っている。また学習用に熟練者の棋譜 20,000 棋譜を用意し、学習に用いる棋譜の数をのべ 40,000 棋譜とする。つまり 20,000 棋譜から 40,000 棋譜を復元抽出して学習実験を行う。このように学習用の棋譜数を固定する理由は計算量をなるべく公平にするためである。

- 対戦実験の設定
  対戦の初期局面は用意したテスト用棋譜の最初の 30 手が進行した後の局面とし、ひとつの初期局面に対し先手後手を入れ替えて対戦することを繰り返し勝率を求めた。一手あたりの持ち時間は 3 秒に固定した。

- 比較用の単一のプレーヤーの生成
  集団学習と通常の学習の精度を比較するためボナンザメソッドを用いて 40,000 棋譜を学習し、単一のプレーヤーを用意した。以降この単一のプレーヤーを単に比較手法と呼ぶ。

将棋への Bagging の適用：
激指に Bagging を適用して学習を行い得られた合議プレーヤーの精度を確かめた。手順は図 2 のようになる。本実験では比較手法と同じようにN=20,000、M=40,000 として実験を行う。さらにプレーヤー数P=10 とした。プレーヤー数も集団学習において重要な要素といえるが、本提案手法は学習用標本と学習の目的関数を調整することによって合議を強化することを目的としているので、今回は固定した。プレーヤー数を 10 に固定した理由は図 2 におけるプレーヤーあたりの学習用棋譜数の計算がやりやすいため、及びあまりプレーヤー数が少なすぎないためである。

表 1: Bagging により生成した合議プレーヤーの単一プレーヤーに対する勝率

K の値	0	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000
プレーヤーが個別に学習する棋譜数	4,000	3,500	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	500
各プレーヤーの学習した棋譜数の合計	4,000	8,500	13,000	17,500	22,000	26,500	31,000	35,500
比較手法に対する勝率	45.6%	50.0%	47.8%	56.4%	51.8%	**58.1%**	53.1%	52.7%

通常の Bagging 手法では図 2 の (2) の部分が存在しない。つまり復元抽出により得られた標本を単にプレーヤー数で等分しそれぞれの学習にあてる。将棋プログラムに Bagging を適用するにあたってすべてのプレーヤーに共通で学習する部分を導入した理由は各プレーヤーが学習に用いる棋譜数にある。今回比較手法は 40,000 棋譜を学習に用いているが、集団学習手法では一つのプレーヤーを学習するために必要な棋譜数が比較手法に比べて極端に少なくなってしまう。例えば K=0 とした場合、一つのプレーヤーの学習に用いる棋譜数は $40,000/10 = 4,000$ 棋譜とあまりに少ない棋譜数になってしまう。一方 K=20,000 とした場合一つのプレーヤーあたりの学習用棋譜数は $20,000 + (40,000 - 20,000)/10 = 22,000$ となり評価関数を学習するのに十分な棋譜数が得られる。

以上のような手法を用いて学習を行い生成された合議プレーヤーと比較手法の対戦実験を行った。K の値を変化させてそれぞれ学習を行った。その結果得られた合議プレーヤーと、比較手法を 200 局対局させた結果を表 1 に示す。太字は危険度 0.05 の二項検定で有意に勝ち越していることを意味する。

実験の結果 K=25,000 のとき比較手法に有意に勝ち越すことがわかった。K の値が小さいときには比較手法に負け越しているが、これはプレーヤーあたりの学習棋譜数が少ないことが原因と考えられる。また、K=30,000、K=35,000 など、K の値が大きい場合にも勝率が下がる傾向がみられるが、これは各プレーヤーが個別に学習する棋譜の数が少なくなり、結果生成される複数のプレーヤーの多様性が落ち、すべてのプレーヤーが同じような判断しか行わなくなったことが理由と考えられる。

最も比較手法に対する勝率が高かった K=25,000 の場合について、乱数合議と対戦実験を 500 局おこなった。すると、勝率は 51.3% となった。このことから、Bagging を将棋プログラムに適用して合議を行えば、乱数合議に有意に勝ち越すとはいえないものの、互角に戦うことができることがいえる。

将棋プログラムへの MNCL の適用：
将棋プログラムの集団学習を、さらにプレーヤーの多様性に注目するよう調整することで強化を試みる。手順は図 3 のようになる。基本的には図 2 と同じだが、学習の (3) の段階で用いる目的関数を通常の式 (4) ではなく、式 (5) に従うものとしている。すなわち、各プレーヤーの評価関数の重み同士の距離が離れるように学習するようにする。

パラメーター調整の際に重要になるパラメーターは式 (5) において評価関数の分散に関するペナルティ項に乗じられている係数 λ である。本実験では表 1 の実験で設定した各 K 値について $\lambda = 10^{-5}$、10^{-6} の場合で学習し、比較手法との対戦実験を行った。本来 λ の値の決定は繊細で困難な作業であるが、本提案手法では大体の値を設定し λ 値の導入により合議に何がもたらされるのかを注目することに重点を置く。$\lambda = 10^{-5}$、10^{-6} に設定した理由は、$\lambda = 10^{-4}$ とすると評価関数が極端にお互いの距離をとるように学習してしまい評価関数のパラメーターが発散してしまうので有効な値とはいえず、まだ $\lambda = 10^{-7}$ では更新への影響がほとんどないと考えたためである。対戦実験は持ち時間 3 秒で各 200 局行った。結果を表 2 に示す。太字は有意に勝ち越していることを意味する。

K=15,000 より大きい場合は $\lambda = 10^{-5}$、10^{-6} の条件のどちらかで常に同じ条件の Bagging 手法より比較手法に対し勝ち越している。特に K=25,000、$\lambda = 10^{-6}$ で学習を行った際には 62.1%の勝率で比較手法に勝ち越している。逆に K の値が小さいときは大きく負け越すことが多い。これは合議を構成する各プレーヤーの評価関数の重みの距離が離れるように多くの棋譜を学習し続けた結果、パラメーターが大きく発散してしまった結果であると考えられる。　$\lambda = 10^{-5}$ として学習を行った場合大き

初期パラメーター:
学習に用いる棋譜の絶対数N、学習に用いる棋譜ののべ数M、プレーヤー数P、各プレーヤーに共通な学習に用いる棋譜数K($< M$)、プレーヤーの分散の程度を決定する係数λ

学習:

1. 熟練者の棋譜N棋譜からM棋譜を復元抽出する。
2. すべてのプレーヤーに共通な学習
   (a) M棋譜のうちK棋譜を使用
   (b) ボナンザメソッドを用いた学習によって評価関数を一つ生成する。
   (c) 通常の目的関数を用いて学習する。
3. 各プレーヤーによって異なる学習
   (a) (M-K) 棋譜を使用
   (b) 各プレーヤーの評価関数を$\frac{M-K}{P}$棋譜を用いて学習する。このとき初期値は(2)の際に生成された評価関数とする。
   (c) プレーヤーの多様性に関する項を加えた目的関数を用いて学習をする。多様性の度合いをλによって調整する。

テスト:

- 学習の結果得られたP個のプレーヤーがそれぞれ探索によって指し手を決定。それらをもとに多数決によって最終的な指し手を決定。

図3: 将棋へのMNCLの適用の手順

く合議プレーヤーが強力になることはないが、K=30,000,K=35,000など各プレーヤーが共通に学習する棋譜数が多い場合は同じ条件のBagging手法や$\lambda = 10^{-6}$の場合より高い勝率になった。これはプレーヤーが個別に学習する棋譜の少なさをλを大きく設定し強く評価関数を分散させることで補ったと考えられる。

最も比較手法に対する勝率が高かったK=25,000、$\lambda = 10^{-6}$の場合について、乱数合議と対戦実験をおこなった。条件は持ち時間3秒で500局とした。すると勝率は56.3%となった。これは危険度0.05の二項検定で有意に勝ち越している。このことから将棋プログラムにプレーヤーの多様性に注目しつつ集団学習を適用すると、パラメータ調整によっては既存の合議手法にも有意に勝ち越すようなプレーヤーを生成することができるといえる。比較手法、乱数合議、Baggingによる集団学習、MNCLによる集団学習が持ち時間3秒で500局対局したときの勝率を表3にまとめる。この表からもMNCLを用

表2: MNCLにより生成した合議プレーヤーの単一プレーヤーに対する勝率

Kの値	0	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	35,000
プレーヤーが個別に学習する棋譜数	4,000	3,500	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	500
各プレーヤーの学習した棋譜数の合計	4,000	8,500	13,000	17,500	22,000	26,500	31,000	35,500
$\lambda = 10^{-5}$	40.8%	55.1%	44.9%	51.0%	52.1%	52.9%	56.1%	53.7%
$\lambda = 10^{-6}$	45.2%	42.3%	52.8%	**58.0%**	52.1%	**62.1%**	50.8%	42.9%

表 3: 各手法の比較 (ヘッダ行の手法に対する勝率)

	比較手法	乱数合議	Bagging	MNCL
比較手法		39.9%	41.7%	37.6%
乱数合議	**60.1%**		48.7%	43.7%
Bagging	**58.3%**	51.3%		44.5%
MNCL	**62.4%**	**56.3%**	**55.5%**	

いた集団学習手法が強力であることがわかる。

3.1.5 まとめ

本研究ではプレーヤーの多様性に着目し特別な目的関数を用いつつ将棋プレーヤーの学習に集団学習手法を適用し、合議プレーヤーを生成する手法の提案をおこなった。実験でははじめに Bagging を将棋プログラムの学習に対し適用して合議プレーヤーを生成し、既存のボナンザメソッドによる学習によって生成された単一プレーヤーや乱数合議との比較を対戦実験によりおこなった。さらに Negative Correlation Learning の考え方を Bagging による将棋の集団学習に導入することによって生成された合議プレーヤーを対戦実験によって既存手法と比較した。実験の結果表 3 に示した通りよく調整された Bagging による合議は乱数合議と同等の強さを持つこと、Bagging による集団学習にさらに Negative Correlation Learning の考え方を用いて調整した合議は単一プレーヤーと乱数合議の双方に有意に勝ち越すことを確認した。本稿の結果は集団学習により強い合議プレーヤーを生成できることを意味し、今後様々な集団学習を用いた評価関数の学習が期待される。

3.2 pi.super-computing.org 上での π 並びに関連する情報公開

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 17 年が経過した。公開当初に一般公開中のものは 2 億桁までの π と 1/π、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/π がアクセス出来る様になっていた。しかしそれまで公開していた 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/π 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、2011 年度中に転送された総データー量は 2010 年度実績値と比べて約 3 割増加し、2008 年度と同じレベルまでに回復している。しかし利用サイト数は 2010 年度からさらに減少し、DNS に名前が載っているサイト数も減少している。なぜこのような不思議な統計となっているのかは分からない。

なお計算結果を一般公開しているサーバーは公開以後１０年以上が経過し、老朽化が心配である。2012 年度（以降）に競争的研究資金が獲得できたなら、公開用サーバーの更新を最優先で実施予定としている。

さて 2011 年度中の利用統計は 29,281 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）（DNS に名前が載っているサイトとしては 24,682 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)) から総計 104,648 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) ファイルがアクセスされ、転送された総データー量は 102,341.4 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) 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 114 種類 (ac ae aero ag al ar arpa at au ba bd be bg biz bo br by ca cat cc ch cl cn co com cr 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 info int ir is it jo jp kg kr lt lu lv ma mc md mil mk mobi mt museum mx my mz na net ni nl no nu nz org pe pf ph pk pl pt py ro rs ru sa se sg si sk su tc th to tr tt tv tw ua ug uk us uy ve vn ye 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) と、2005 年度並の水準となった。

4 具体的成果

- 2011 年度は博士 4 年 1 名、修士 2 年 1 名、修士 1 年 1 名の学生が研究室に存在し、指導を行った。ただし修士 2 年の学生は修士論文の完成に至らなかった。また博士 4 年の学生は 2011 年度も研究成果を挙げることはできなかった。
- 2012 年 6 月 25 日の発刊に向けた日本におけるスーパーコンピューターに関する本の執筆を終了。
- 鶴岡高等専門学校における特別講義の実施。
- 研究室学生の (対外) 発表として第 16 回ゲーミングワークショップへの発表 [発表 1] と、その時の発表における授賞「ゲームプログラミングワークショップ研究奨励賞」。
- 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。
- 2011 年 5 月 4 日の NHK 総合で放送された「しびれるテレビ」への出演によるアウトリーチ活動。
- 2011 年 11 月 16 日の衆議院決算監視委員会における「事業仕分け」への民間参考人としての意見陳述。
- 獲得した外部資金として 2009 年度から開始の、科学研究費、基盤研究 (C)、課題番号 21500031、研究課題「科学技術計算に有用な高速 4 倍長演算に関する研究」、研究期間 3 年間。総額 3,400,000 円 (+間接経費 1,020,000 円)。最終年度である 2011 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] 鈴木 洋平, 三輪 誠, 金田 康正: 合議のための多様な将棋プレイヤの集団学習, 第 16 回ゲームプログラミングワークショップ, pp. 17-24, 2011.

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。2011 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、インライン展開における性能向上と、適用のロジックを検討することで、インライン適用そのものを見直すことが必要になることを示し、一部結果を示した。

2. オンライントラストの研究。トラスト構築は、セキュリティドメインにおいて決定的に重要になってきた。特に、最近利用シナリオがさかんに議論されているクラウドでは、従来の仮定がそのまま適用できず、「統制」の概念を拡張することが必須である。ここでは、まずクラウドにおけるトラストを明らかにし、さらに内部統制をクラウドにまで拡張するための方法を示すことでトラストをクラウドに拡張することを提案した。さらに、トラストが階層を成しているときに、そのトラストを「渡り歩く」ためのシステムを提案した。

3. Graded Trust の研究。ID の LoA は、強固かつ合理的な認証基盤を構築する上で必須の研究対象である。さらに、これを拡張することで、トラストそのものも階層を構築することで、合理的なコストでトラスト構築をすることが可能になる。ここでは、まず PKI のパス検証においてトラストを階層化することで検証のコストを下げる枠組みの提示に成功した。加えて、PKI で問題になる運用コストを各階層で合理化するためにコスト構造の分析を行うことに成功した。これら階層化の考えは、実世界においても、たとえば TFPAP への対応を日本で検討するときもその有用性が実証された。

4. セキュリティの対費用効果の計算。セキュリティ対策に必須となるリスク分析を費用と絡めて評価に利用するための方法論を研究した。特に、運用費用が問題になる PKI について、新しい方法論を提案することが出来た。

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 2011 年度は具体的に以下のようにテーマを設定した。

- インライン展開を対象とした、最適化適用ロジックの再構築

インライン展開は、古くからある最適化であり、効果が期待される原因も下記のものといわれている。

1. コードの実行時間の短いものについては、関数コールのオーバヘッドの削減による効果
2. 引数の性質を利用して、定数伝播、コピー伝播などがさらに促進されることによる効果
3. アーキテクチャに関係してくるものでは、命令スケジューリングの効率化、レジスタの効率的な利用などの促進

この研究では 3. は考慮しないことにする。

しかし、従来のインライン展開の適用ロジックは 1. のみを対象としており、特に 2. については、手で適用した場合のさらなる最適化の可能性を示唆するのみであって、実際にこれを考慮した適用ロジックの研究はほとんどなされていない。

つまり、インライン展開については、適用のためのロジックが不十分であるために、適用の効果について十分な知見が得られていないというのが現状であった。これは性能モデルを論じる以前の状態である。しかも、「さらに促進」されることは、他の最適化のメニューに大きく依存するので、言語処理系全体を考慮の対象に入れなければならないことがわかった。

そこで、研究としては、適用ロジックとして以下のものを提案した

- インライン展開の結果、最適化が「さらに促進」される可能性の高い「定数」が引数とした与えられているコードを対象にインライン展開の適用の可否を定める。
- インライン展開の障害になる条件判定の精度を向上させる。

インライン展開の性能向上の予測は難しい。今年度は定量的な評価を一部あきらめ、従来の方針に従って、解析の精度を上げることを目的とした。

2.3 具体的成果

[発表 1] において、関数コールそれぞれについて、引き数のバインドがいつ起こるかの解析を行い、定数とのバインドが起きていれば、インライン展開の効果が高いという判断基準を精密化した。解析のためには、従来行われてきた binding time 解析のための effect システムを拡張した。

また、[発表 3] において、条件文判定をその後の実行に活かすための条件の伝播のための解析ツールを構成した。結果として、symbolic execution を含むより精密な解析が出来るようになった。

プログラム解析は情報流解析の形でセキュリティ解析に適用できることはわかっているが [発表 4] において、MapReduce のセキュアな実行に適用した。

3 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

われわれは、クラウドにおけるトラストを構築することで、セキュリティの問題を解決することを試みた。具体的には、クラウド上のトランザクションとデータのセキュリティを保証するためにデータの暗号化に加えて、暗号化の鍵管理を従来の内部統制下におくこと、トランザクションは、認証によって保護し、認証そのものを従来の内部統制下におくことを提案した。これによって、「内部統制」を組

織の外に拡張することが可能になる。クラウドベンダも、この拡張を実装することで、SLA を超えたセキュリティをユーザに提供できることを示した。

3.3 具体的成果

クラウドにおけるセキュリティの概念を整理した上で、漠然としたクラウドでのセキュリティ上の不安を明らかにした。さらに [発表 2] と [査読付 1] において、それを解決するために内部統制をクラウドまで拡張させるための技術的な提案を行った。他には内部統制の概念をそのままにして ISO27002 (Best Practice) を適用させる試みがあるが、われわれの提案は、内部統制を拡張する技術的な方策を提示することでより具体的になっている。

さらに、[査読付 5] において、トラストどうしの連携が可能になる認証方式を Shibboleth 上に構築した。

4 Graded Trust の研究

4.1 背景

認証基盤で、ID のライフサイクル管理は基本的なものである。その構築において NIST の基準にも見られるように、「ID の保証基準」を定め、それによってコンテンツへのアクセスを制御する技術が一般的になってきた。この背景には、合理的なコストでセキュリティを担保することへの強い要請がある。

PKI プロジェクトで実施しているクライアント証明書発行のための UTCA と、サーバ証明書発行審査のための TRA は、強い認証強度をもつように CP/CPS を作成し、実際に運用しているにもかかわらずその認知度は一般的ではない。これはひとつには監査その他標準的な認証強度の認定プロセスを経ていないことが原因であるが、もうひとつには認証強度の criteria が定められていないことも原因としてあげられる。

さらに、現在では上記 LoA を超え、トラストそのものにグレードをつけることも現実的になっている。グレードをつけることにより、各階層内で合理的なコストで運用を行えば、結果としてトラストとコストが両立することが可能になる。

4.2 内容

この研究では、認証強度の criteria を定めるための評価軸を固定した後にトラストに階層を作り、階層ごとにパス検証が可能になる枠組みを提示した。具体的に証明書のパス検証を拡張する枠組を研究した。

階層を作成するのは、各階層において信用度に差をつけ、信用度に応じた運用コストを割り当てるのが目的である。従来から問題になっていた PKI の高コスト構造を是正することができる。ここでは、運用コストを具体的に計算するための PKI の運用コスト構造を分析した。

さらに、これらのアイデアはパス検証や PKI の運用のみに適用されるものではなく、一般的にたとえばアメリカ TFPAP のような枠組みとしても定着化が図られている。NiH のようなアメリカの連邦局のサービスを利用しようとすると、これらへの対応が求められる。今年度の後半、NII が主導する認証フェデレーション GakuNin が NiH のサービスを利用可能にするための交渉に参加し、階層に応じた運用の合理化を検討することが必要になった。このように、この研究は実世界でも応用されていることが明らかになった。

4.3 具体的成果

[査読付 3] において、組織間で合理的なコストで信用を構築するために、証明書のパス構築の概念拡張を試みた。この論文は、オンライントラストで今や普通に行われている保証レベルが PKI でも構築可能であることを示すものであり、PKI 運用のコストの問題を一部解決するものとして期待される。

PKI のコスト構造の分析は [査読付 2] や [査読付 4] においてなされた。

5　セキュリティの対費用効果の計算

5.1　背景

クラウド等、コストの低い情報サービスの利用が一般的になっているが、セキュリティ上の問題が指摘されている。一方、十分なリスク分析に基づいてセキュリティに関するコストを最小化することは常に求められている。しかし、コスト計算の具体的な方法として一般的なものと、クラウド等が出現して変わってしまった現実との間にはギャップがあり、それを埋めることなしには合理的な判断は難しい。

特に、アメリカの Consumer Privacy Bill of Rights（2012 年 2 月）に見られるように、この手の分野における権利意識の高まりは無視できず、慎重な対応が求められる。

5.2　内容

これを受けて、データがセキュリティの要請に応じてトランスペアレントにプライベートクラウドとパブリッククラウドを行き来するモデルやそのコスト計算、また、パブリッククラウド上で適用できるセキュリティ手法の開発を行った。また、従来のリスク分析の公式を見直した。

5.3　具体的成果

[査読付 7] において、データのトランスペアレントな移動を可能にした場合の問題点の指摘をおこない、[査読付 8] で、簡易的な擾乱手法をパブリッククラウドに適用した効果を考察した。

さらに、[査読付 6] において、セキュリティ投資費用効果を考慮した新しいリスク公式を提案した。

6　成果要覧

査読付論文

[査読付 1] SATO Hiroyuki., Kanai Atsushi, Tanimoto Shigeaki: Building a Security Aware Cloud by Extending Internal Control to Cloud, Proceedings of 10th IEEE International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS 2011), 323–326, 2011.

[査読付 2] Shigeaki Tanimoto, Manami Hiramoro, Motoi Iwashita, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Risk Management on the Security Problem in Cloud Computing, Proceedings of Conference on Computers, Networks, Systems and Industrial Engineering (CNSI 2011), 147–152, 2011.

[査読付 3] SATO Hiroyuki, KUBO Akira.: Graded Trust of Certificates and its Management with Extended Path Validation, Journal of Information Processing, vol. 19, 263–273, 2011.

[査読付 4] Shigeaki Tanimoto, Masahiko Yokoi, Hiroyuki Sato, tsushi Kanai: Quantifying Cost Structure of Campus PKI, Proceedings of 11th IPSJ/IEEE International Symposium on Applications and the Internet (SAINT), MIDARCH 2011, 315–320, 2011.

[査読付 5] SATO Hiroyuki, NISHIMURA Takeshi: Federated Authentication in a Hierarchy of IdPs by using Shibboleth, Proceedings of 11th ISPJ/IEEE International Symposium on Applications and the Internet (SAINT), MIDARCH 2011, 327–332, 2011.

[査読付 6] SATO Hiroyuki: A New Formula of Information Security Risk Analysis that takes Risk Improvement Factor into Account, Proceedings of IEEE 3rd International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust, 1243–1248, 2011.

[査読付 7] 藤巻文孝，金井敦，斉藤典明，谷本茂明，佐藤周行: 情報資産価値を用いた最適保存先決定手法, 情報処理学会 第 19 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2011), 200–207, 2011.

[査読付 8] Tatsuya Miyagami, Atsushi Kanai, Noriaki Saito, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato: Alternation methodology of schedule information on public cloud for preserving privacy, Proceedings of IARIA International Conference on Digital Society, 132–139, 2012.

その他の発表論文

[発表 1] 馬 雷, 佐藤周行: An Annotated Type System for Inlining, 情報処理学会プログラミング研究会 PRO-84, 2011.

[発表 2] Sato, Hiroyuki: Trust Engineering in Distributed ICT Environments, 2-30, Proceedings of International Symposium of Secure-Life Electronics – Advanced Electronics and Information Systems for Quality Life and Society, 2-30, 2012.

[発表 3] 鶴宙史, 佐藤周行: 依存条件グラフの解析による制御フロー予測の厳密化, 情報処理学会プログラミング研究会 PRO-87, 2012.

[発表 4] Tran Quang, 佐藤周行: MapReduce におけるプライバシーの手法の提案, 2D1-5E, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS 2012), 2012.

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ができるソフトウェア（ソフトウェア自動チューニング）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による研究開発）。
  - 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そのための自動チューニング機構の開発（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。
- 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（以降、単に自動チューニング、ATとよぶ）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。2011 年度の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（E-サイエンスプロジェクト）[招待1][査読付3, 4][発表1, 3, 10, 11]:** 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。成果1、成果2の研究は、文部科学省、e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発、「シームレス高生産・高性能プログラミング環境」、サブテーマ「高生産高可搬性ライブラリに関する研究」（研究代表者：石川裕教授）の一環で行われた。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である。
3. **ポストペタスケール時代における数値計算ミドルウェアおよびそのためのAT言語の開発（ppOpen-HPCおよびppOpen-ATプロジェクト）[発表5, 8,12,14]**：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、自動チューニング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、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論文発表も行っている[査読付1, 2][発表9]。

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[特記4]を実施している。海外においてもAT研究の情報を発信し続けている。また、本年度は、10年来にわたる自動チューニング研究が評価され、文部科学大臣表彰 若手研究者賞を受賞した[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、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。

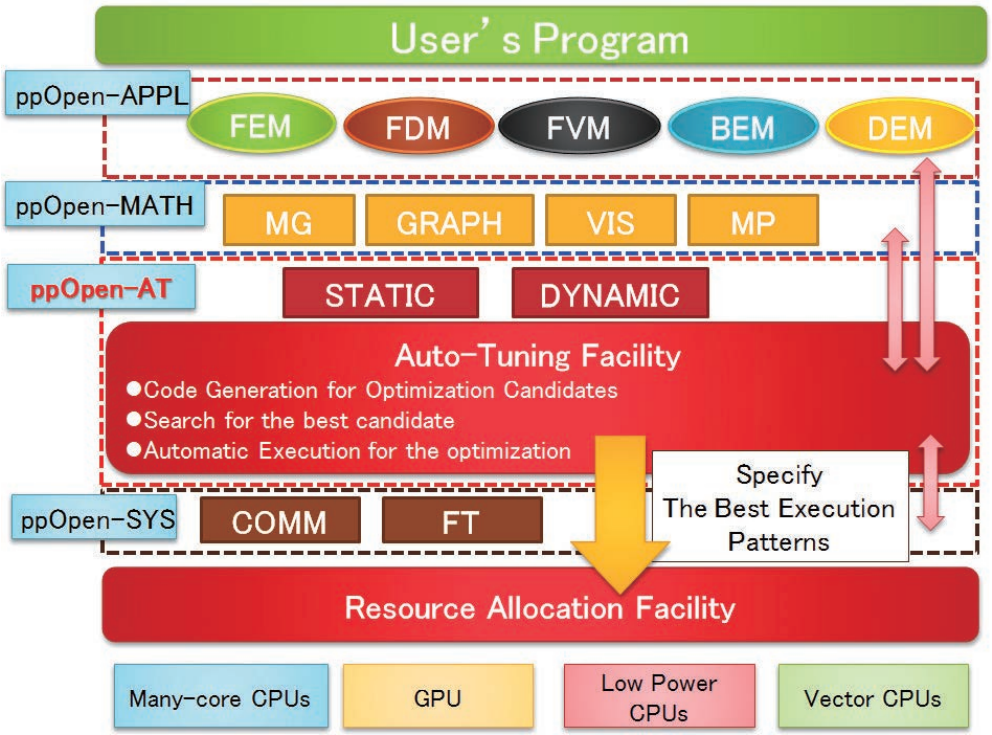


図 1　*ppOpen-HPC* と *ppOpen-AT* の提供機能

（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―ここでは CPU と GPU 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。*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。*ppOpen-APPL* の原始コード（C、C++、Fortran90）が対象である。

ppOpen-AT は以下の機能をもつ：(1) オリジナルの C、C++、Fortran90 コードから自動生成された CUDA もしくは OpenCL コードに対する最適化機能；(2) DEM、FDM、および BEM のコードに対し特定のディレクティブを使うことによる GPU コード生成機能；

3.3 具体的成果

（１）拡張機能：ループ融合（ループ 1 重化，もしくは 2 重化）とループ分割

本年度に新規開発した機能（既存研究の ABCLibScript に対する拡張機能）を説明する。

想定するアプリケーションは，有限差分法(FDM)である。そのうち、陽解法のコードに焦点を当て AT 機能を設計した。陽解法では、問題次元数からなるループ中にメッシュ状で構成された問題場に対する演算を記述するのがふつうである。この演算は、注目点の前後・左右・上下など局所的で、かつ規則的な計算パターン（ステンシル演算）になる。このステンシル演算を実装するにあたり、ループ中の演算式をどのように記載するかはユーザに一任される。どのような書き方が最も高速となるかは計算機ハードウェアや問題サイズに依存する。

大別して 2 通りの方針がある：(1)ループのオーバーヘッドを減らす目的で構成ループ数を最小化する方法。反面、ループ中の演算式が多くなる；(2)高い演算効率を達成するためループ中の演算式を減らす方法；

メモリ→レジスタのデータ転送能力が高いベクトル計算機では、(1)の実装が高速となる。一方、スカラ計算機での実行では、計算機ハードウェアの制約からレジスタ数を超えた演算をループ中に記載するとレジスタからデータが溢れる。そのため、メモリにデータを書き戻すレジスタ・スピルが生じて性能が劣化する。つまり(1)の方針で実装されたコードは、スカラ計算機ではレジスタ・スピルが頻発し性能を劣化させる。

(1)の方針を取らなくても、ループ中に記載すべき適切な演算量はハードウェア制約のため、新しい計算機環境で最適となるコードを事前に作成することはできない。そこでループ分割する AT 機能が有効になる可能性がある。

スレッド並列化をする状況を考えよう。通常は最外ループをスレッド並列化する。その際、最外ループのループ長がスレッド実行数より小さいとスレッド並列化の効果を奏さない。たとえば、3次元問題の形状が（NX=32 NY=16, NZ＝8）を考える。最外ループが NZ のサイズのとき、最外側ループをスレッド並列化すると 8 並列までしか並列性が無いので、8 スレッドを超える実行ではスレッド並列化の効果が期待できない。この状況を避けるため、たとえば、3 重ループを 1 重化してループ長を長くすると 8 スレッドを超えてスレッド並列化の効果が期待できる。先の例では，8*16*32=4096 の長さに拡張することができる.

以上の議論から本年度は、(1)ループ融合（ループ 1 重化，もしくは 2 重化）；（２）ループ分割；（３）（１）（２）の双方；が容易に指定できるディレクティブと、コード自動生成のためのプリプロセッサを開発した。

（２）予備評価結果

東京大学の古村教授から頂いた地震シミュレーションコードにおいて、あるカーネルをサンプルとして使用した。(1)節で示した AT 機能を有する *ppOpen-AT* の性能評価を行った。自動生成されるコードは以下の 7 種である:

#1 : 元の 3 重ループ;#2: I-ループでループ分割;#3: J-ループでループ分割;#4: K-ループでループ分割;#5: #2 に対するループ融合;#6: #1 に対する 1 重ループ化;#7 : #1 に対する 2 重ループ化;

また、利用した計算機環境は以下である:

- 東京大学情報基盤センターの HITACHI SR16000/M1 の 1 ノード(Power7 (3.83 GHz), 32 コア)
- 1 コア辺り 30.64 GFLOPS、1 ノード当たり 980.48 GFLOPS、200GB メモリ。
- 日立最適化 Fortran90 コンパイラを利用。OpenMP による並列化を指定。
- 32 スレッドを超えるスレッド実行は SMT (Simultaneous Multi-Threading)実行となり、1 コア当たり 2 スレッドが割り当てられる。最大 64SMT 実行が可能。
- 32 スレッドまでは 1 物理コアあたり 1 スレッドを指定(HF_BINDPROC_STRIDE=2)
- メモリアフィニテイは局所化(MEMORY_AFFINITY=MCM)を指定

図2に結果を載せる.

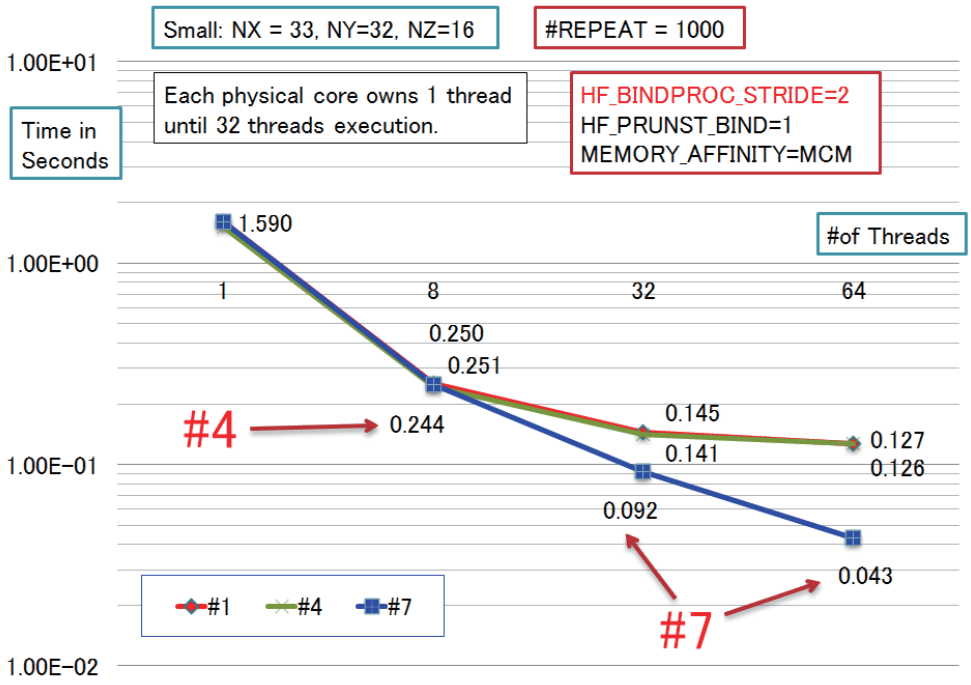


図 2 *ppOpen-AT* の新機能の効果（HITACHI SR16000/M1）

図 2 から、8 スレッドまでは#4 のコードが最速であるが, 8 スレッドを超えると#7 のコードが最速となる。この理由は、最外ループは NZ のサイズである 16 の並列性しかないため、8 スレッドを超える場合に 1 重ループ化した#1 が高速となるからである。図2より、スレッド数に応じて最適なコードを切り替える AT が必要であることが示された。元のコードに対する1重ループ化されたコードの速度向上率は約 3 倍に達する。この問題サイズに関しては、高スレッド実行時にループ 1 重化する効果はとても大きい。

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 T2K オープンスパコン(東大版)4 ノード(64 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利用者推薦**(2007 年 10 月から実施)
  - **概要:**概ね 45 歳以下の若手研究者(学生を含む)を対象とした利用者向けのスーパーコンピュータ若手利用者推薦(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。

- **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(2011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 45 名、単位取得者数 20 名を達成した。
  - 教養学部の全学ゼミにおいては、登録 3 名、合格 1 名であった。
- スーパーコンピュータ若手利用者推薦(試行)(2011 年度、前期・後期)[特記 1]

- 本学、山梨大学、近畿大学、横浜国立大学、神戸大学、筑波大学、名古屋大学、から合計11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(2011 年度は 5 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178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)(2011 年度は 2 回実施[特記 2])
  - 招待講演として、以下の講師を招へいした。
    - ETH Zurich から Markus Püschel 教授
    - University of Lille, CNRS / LIL and INRIA から Serge G. Petiton 教授
  - 参加者合計は 37 名に達した。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

- (大規模利用サービス)事業終了に関する業務補助
- 東京大学情報基盤センターにおける企業利用者に対する業務

6 成果要覧

受賞関連

[受賞 1] 片桐孝洋:平成 23 年度　文部科学大臣表彰　若手科学者賞　受賞, 業績名「ソフトウェア自動チューニングの研究」, 2011 年 4 月.

招待講演／招待論文

[招待 1] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Description Language to Heterogeneous Computing Environment, Fifth International Workshop on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP 2011) (Affiliated to ICFP 2011, Sponsored by ACM SIGPLAN), September 2011.

査読付論文リスト

[査読付 1] 片桐孝洋, 佐藤雅彦:疎行列-ベクトル積におけるブロック化 BSS 法と高スレッド並列環境での性能評価, 情報処理学会論文誌:ACS, Vol.4, No.3 , pp. 1-8, 2011 年 5 月.

[査読付 2] 坂下達哉, 片桐孝洋, 長岡浩司:量子 i.i.d.状態の仮説検定に関する数値的手法とその誤差分析, 情報処理学会論文誌:ACS, Vol.4, No.4, pp. 214-227, 2011 年 10 月.

[査読付 3] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野健:BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, 2012年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学論文集HPCS2012, HPCS2012論文集, 2012 年 1 月.

[査読付 4] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野健:BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, 情報処理学会論文誌:ACS, 2012 年. 印刷中.

その他の発表論文リスト

[発表 1] Takahiro Katagiri, Masahiko Sato:An Auto-tuning Method for Run-time Data Transformation for Sparse Matrix-Vector Multiplication, 2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ(SWoPP 鹿児島 2011), 情報処理学会研究報告 HPC-130, 2011 年 7 月.

[発表 2] 大島聡史, 林雅江, 片桐孝洋, 中島研吾:三次元有限要素法アプリケーションにおける行列生成処理の CUDA 向け実装, 2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ(SWoPP 鹿児島 2011), 情報処理学会研究報告 HPC-130, 2011 年 7 月.

[発表 3] 櫻井隆雄, 片桐孝洋, 直野健, 黒田久泰, 中島研吾, 猪貝光祥, 大島聡史, 伊藤祥司:自動チューニングインターフェース OpenATLib における自動チューニング機能の評価, 2011 年並列／分散／協調処理に関する『鹿児島』サマー・ワークショップ(SWoPP 鹿児島 2011), 情報処理学会研究報告 HPC-130, 2011 年 7 月.

[発表 4] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Language of Numerical Libraries in Heterogeneous Computing Era , SIAM ICIAM 2011-7th International Congress on Industrial and Applied Mathematics, MS335, Creating the Next Generation of High Performance Numerical Computing Capabilities - Part I of IV (Organizer: Michael A. Heroux, Sandia National Laboratories, USA, Kengo Nakajima, University of Tokyo, Japan, Serge G. Petiton, CNRS/LIFL and INRIA, France), July 2011.

[発表 5] 片桐孝洋:自動チューニング記述専用言語 ppOpenAT/Static の開発, 日本応用数理学会 2011 年度年会, 正会員主催 OS／自動チューニング, 予稿集, pp.187-188、2011 年 9 月.

[発表 6] 片桐孝洋:実行時にデータ構造変換を行う疎行列ベクトル積の自動チューニング方式, 大規模計算コロキウム, 2011 年 9 月.

[発表 7] 片桐孝洋:疎行列反復解法ライブラリにおける実行時自動チューニングの挑戦 ー疎行列データ構造変換を例にしてー, 第 4 回大規模計算ワークショップ ～ マルチプラットフォームの大規模数値シミュレーションを支援するフレームワークの構築 ～, 2011 年 9 月.

[発表 8] 片桐孝洋:ppOpen-AT:ポストペタスケール時代の数値シミュレーション基盤ソフトウェア ppOpen-HPC のための自動チューニング基盤, 京都大学数理解析研究所研究集会「科学技術計算における理論と応用の新展開」, 2011 年 10 月.

[発表 9] 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スレッド並列化と ABCLibScript への機能実装, 情報処理学会研究報告 HPC-133 , 2012 年 3 月.

[発表 10] Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Ken Naono, Kengo Nakajima, Satoshi Ohshima, Shoji Itoh, and Hisayasu Kuroda, Mitsuyoshi:Evaluation of Numerical Policy Function on Generalized Auto-Tuning Interface OpenATLib, SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), MS6:Towards Smart Auto-tuning for HPC--The State-of-the-art of Auto-tuning Technologies and Future Directions - Part I of III, February 2012.

[発表 11] Takahiro Katagiri: Xabclib and OpenATLib Ver.1.0: A Fully Auto-tuned Sparse Iterative Library and Its Auto-tuning Interfaces, International Workshop on Peta-Scale Computing Programming Environment, Languages and Tools (WPSE 2012), February 2012.

[発表 12] Takahiro Katagiri, Satoshi Ito, Satoshi Ohshima, Kengo Nakajima, Yoshikazu Kamoshida, Hideyuki Jitsumoto: Development of ppOpen-AT --An Auto-tuning Description Language for ppOpen-HPC--, 2nd AICS International Symposium-Computer and Computational Sciences for Exascale Computing, March 2012. (A Poster)

[発表 13] 片桐孝洋:アプリケーションで働く小人を見つけられるか？ ～数値計算ライブラリによる抽象化の挑戦～, 第 74 回情報処理学会全国大会, セッション「エクサスケールコンピューティングへ向けたソフトウェア技術開発ロードマップ」, 2012 年 3 月.

[発表 14] 片桐孝洋:ppOpen-AT:ポストペタスケール時代の数値シミュレーション基盤ソフトウェア ppOpen-HPC のための自動チューニング基盤, 京都大学数理解析研究所研究集会「科学技術計算における理論と応用の新展開」, 京都大学数理解析研究所講究録, 2012 年, 印刷中.

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 2011 年度(前期)5件(新規5件, 継続0件), 2011 年度(後期)6件(新規3件, 継続3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 10 回 ASE 研究会(2011 年 10 月 13 日(木))、第 11 回 ASE 研究会 (2012 年 3 月 16 日(金))、の 2 回実施.

[特記 3] お試しアカウント付き並列プログラミング講習会(片桐担当分のみ):2011 年 6 月 8 日～9 日、2011 年 9 月 6 日～7 日、2011 年 12 月 21 日～22 日、2012 年 2 月 21 日～22 日, 2012 年 3 月 21 日～22 日 の 5 回実施.

[特記 4] ミニシンポジウム・オーガナイザー, SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), Towards Smart Auto-tuning for HPC--The State-of-the-art of Auto-tuning Technologies and Future Directions, Savannah, GA, USA, February 2012.

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 はじめに

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.

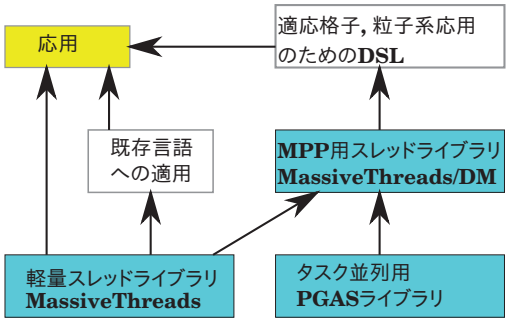


図 1: 高生産・高性能言語ロードマップ

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.

- 1 ノード内で, Pthread 互換な API で低いオーバーヘッドと高いスケーラビリティを達成する軽量スレッドライブラリ MassiveThreads の実装と公開 (2 節)
- MassiveThreads による高性能な行列積 (3 節)
- MassiveThreads による, 横田らによる ExaFMM の並列化 (4 節)

2 MassiveThreads 軽量スレッドライブラリ

MassiveThreads は, Pthreads と互換の API を持ちながら, 非常に低いオーバーヘッドでスレッドを生成できるライブラリである[1]. 表 1 に, 各種処理系におけるタスク (スレッド) の生成および終了にかかる時間を示す. この中

[1] http://code.google.com/p/massivethreads/

表 1: タスク生成・終了時間

処理系	タスク生成・終了時間 (ns)
MassiveThreads	71.9
Cilk	24.1
Qthreads	860.8
Nanox	923.8
TBB	88.6

で, Cilk は fork-join 並列性のみをサポートしており, かつ専用のプリプロセッサもしくはコンパイラが必要である. その他の処理系はすべて, 通常の C/C++コンパイラと組み合わせて用いる純粋なライブラリである.

Cilk と MassiveThreads の負荷分散・スケジューリング方式はほぼ同じで, 負荷分散はコア (ワーカ) 間のワークスティーリングに基づいて行われる. 各コア内では, work-first, LIFO に基づくスケジューリングを行い, 負荷分散が行われない限り, 各コアでは, スレッド生成があたかも単なる関数呼び出しであったかのような順序で計算が実行される. この性質により, ワークスティーリング方式は再帰的な分割統治法の実行に極めて効果的である.

3 密行列積での評価

3.1 密行列積のタスク並列処理系での記述

密行列積 $C = AB$ は, A を $M \times K$, B を $K \times N$ の行列としたときに, 最も単純には以下の 3 重ループで表現できる計算である.

```
for (i = 0; i < M; i++)
  for (j = 0; j < N; j++)
    for (k = 0; k < K; k++)
      c[i][j] += a[i][k] * b[k][j];
```

計算量が $2MNK$ flops, 参照データ量が $(MK + KN + MN)$ であり, $M \approx N \approx K$ ならば前者が $O(N^3)$, 後者が $O(N^2)$ で, その比が $O(N)$ となる. 別の言葉で言えば, 同一の要素が $O(N)$ 回, 計算に利用されていることになり, データの再利用が頻繁に行われる. そのためメモリへの負担が少なく, CPU 律速なカーネルとして知られている.

しかしながら実際にこれを高性能につなげるには, ある要素が一旦アクセスされたら, それがキャッシュやレジスタから追い出される前に多数回再利用されるように, 計算を順序付けてやる必要がある. 例えば上記の単純な ijk ループでは, 最内ループで $(2K + 1)$ 要素の参照と $2K$ flops の計算が行われ, ここでは計算/参照データ比はほぼ 1 である. $(2K + 1)$ 要素が L1 キャッシュにおさまらなければ, L1 キャッシュでのデータの再利用は一切おこらならないことになる.

データを再利用するためには内側のループでも, 計算/参照データ比が高くなるようにループを変形する必要があり, 通常これを**ブロッキング**と呼んでいる. ブロッキングの実現 (コーディング) には様々な方法がある. 一つはループをさらに多重化して, 内側のループで計算/参照データ比を高く保つ. 例えば以下のように

```
for (ii = 0; ii < M; ii += B)
  for (jj = 0; jj < N; jj += B)
    for (kk = 0; kk < K; kk += B)
      for (i = ii; i < ii + B; i++)
        for (j = jj; j < jj + B; j++)
          for (k = kk; k < kk + B; k++)
            c[i][j] += a[i][k] * b[k][j];
```

すると, 内側の 3 重ループでの計算量 $= 2B^3$ flops, 参照データ量 $= 3B^2$ 要素となる. $3B^2$ 要素があるレベルのキャッシュに収まるように B を選べば, 内側の 3 重ループで同一要素が $O(B)$ 回再利用される.

このようなループの書き換えをキャッシュの各レベルに応じて行おうとすると, 煩雑な作業が必要で, プログラムの移植性も損なわれる. さらにそれを並列化するには, $c[i][j]$ への書き込みの競合も考慮した分割が必要で,

分散メモリ上での並列化はさらに煩雑になる.

ブロッキングのもうひとつの表現方法は再帰呼び出しを用いることで, 行列積を, 小行列の積に再帰的に分割していく. これだけで, あらゆる階層のキャッシュに対するブロッキングの効果が自然に得られる. これは再帰的な関数を用いて自然に記述することが出来, さらにタスク並列処理系を用いればそれを自然に並列化することもできる. 以下はこの考えに基づいた行列積 (逐次版) であり, ポイントは, 再帰呼び出しをもちいて行列積を分割する際, 常に M, N, K のうち最大のものを分割するようにすることである. このようにすることで各行列の縦横比が 1 に近く保たれ, 関数 mm の呼び出しは常に高い計算/参照データ量比を保つことができる.

```
/* C += A * B を計算
   A : MxK, B : KxN, C : MxN */
void mm(int M, int N, int K,
        real * A_, real * B_, real * C_) {
  if (M + K + N <= THRESHOLD) {
    mm_leaf(M, N, K, A_, B_, C_, alpha);
  } else if (M >= K && M >= N) { // A を上下に分割
    int M0 = M/2; int M1 = M - M0;
    mm(M0, N, K, A_,       B_,  C_);
    mm(M1, N, K, &A(M0,0), B_, &C(M0,0));
  } else if (N >= K) {            // B を左右に分割
    int N0 = N/2; int N1 = N - N0;
    mm(M, N0, K, A_,  B_,        C_);
    mm(M, N1, K, A_, &B(0,N0), &C(0,N0));
  } else {  // A を左右, B を上下に分割
    int K0 = K/2; int K1 = K - K0;
    mm(M, N, K0, A_,        B_,      C_);
    mm(M, N, K1, &A(0,K0), &B(K0,0), C_);
  }
}
```

なお, 上記では M, N, K を再帰呼び出し時に (奇数の場合の端数を除き) 半分にしているが, 実際にはリーフにおける処理 mm_leaf において, M, N, K が 4 や 8 の倍数であることが望ましいため, 実際には再帰呼び出しに与えられる行列の大きさ (M を分割した場合, $M0$ と $M1$) のうち, 少なくともひとつが適当な数の倍数 (ここでは 32) になるようにしている.

タスク並列処理系はこのような再帰的な関数を極めて簡潔に並列化できる. M, N を分割した場合に C への書き込みの競合がおこらないため, それらの場合に二つの再帰呼び出しを並列に行うだけである. 以下は C++のクロージャと, Intel TBB を用いた記述であるが, MassiveThreads を用いて, これと同一の API を実装しているため, MassiveThreads においても以下と全く同じ記述が可能である.

```
/* C += A * B を計算
   A : MxK, B : KxN, C : MxN */
void mm(int M, int N, int K,
        real * A_, real * B_, real * C_) {
  if (M + K + N <= THRESHOLD) {
    mm_leaf(M, N, K, A_, B_, C_, alpha);
  } else if (M >= K && M >= N) {
    int M0 = M/2; int M1 = M - M0;
    task_group tg;
    tg.run([=] { mm(M0, N, K, A_,       B_,  C_) });
    mm(M1, N, K, &A(M0,0), B_, &C(M0,0));
    tg.wait();
  } else if (N >= K) {
    int N0 = N/2; int N1 = N - N0;
    task_group tg;
    tg.run([=] { mm(M, N0, K, A_,  B_,        C_) });
    mm(M, N1, K, A_, &B(0,N0), &C(0,N0));
    tg.wait();
  } else {
    int K0 = K/2; int K1 = K - K0;
    mm(M, N, K0, A_,        B_,      C_);
```

```
      mm(M, N, K1, &A(0,K0), &B(K0,0), C_);
    }
  }
```

3.2 性能評価

6 コア 4 ソケット (合計 24 コア, 48 ハードウェアスレッド), 2.0GHz の Nehalem ノードでの性能が図 2 である. このマシンの理論上のピーク性能は, 8 (flops/cycle) × 2.0GHz × 24 = 384 GFLOPS である. 上記プログラムで再帰をやめるための閾値 THRESHOLD は 96 で, $M = N = K = 32$ 程度でリーフにおける処理が呼び出されることが多くなる. 作られるタスク数はおよそ $MN/1024$ で, $M = N = K = 2000$ のとき 4000, $M = N = K = 4000$ のとき 16000 程度である.

ピーク性能に比べると 60%強程度であるが, 台数効果としてはほぼリニアに出ており, ピーク性能とのギャップはリーフの性能がそのまま反映されているものである.

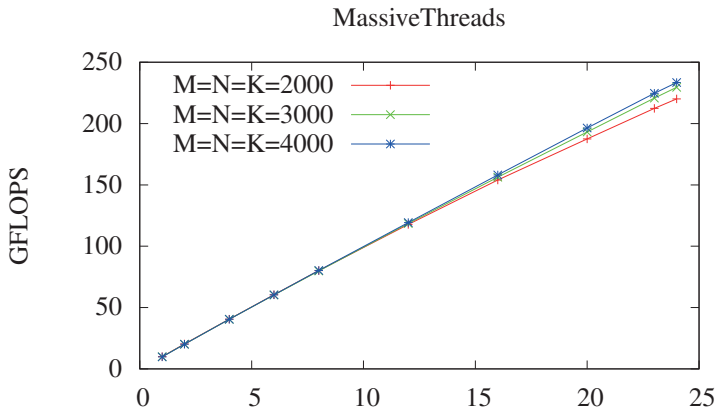


図 2: 密行列積 (単精度) の評価

4 ExaFMM への適用

4.1 FMM のタスク並列処理系による記述

FMM は粒子間に働く遠距離力を高速に計算する手法であり, その基本的なアイデアは, 空間内のある部分に存在する多数の点が及ぼす力を, 一つの場の力として一度に計算するところにある. ExaFMM は横田らによって開発されている[2] オープンソースの高速多重極子展開法 (Fast Multipole Method; FMM) の, 高速な実装である.

その本質的な部分は以下のような再帰的な関数によって, 簡潔に表現することができる.

```
// calc force to all particles in C1 by all particles in C2
1: traverse(cell C1, cell C2) {
2:     if (C1 and C2 are leaves) do_leaf(C1, C2);
3:     else if (can_approximate(C1, C2)) approximate(C1, C2);
4:     else if (C1 is larger) {
5:       for each child c of C1 {
6:         traverse(c, C2);
7:       }
8:     } else {
9:       for each child c of C2 {
10:        traverse(C1, c);
11:      }
12:    }
13: }
```

[2]https://bitbucket.org/exafmm/exafmm

ここで, C1, C2 は空間内のある矩形 (3 次元の場合は直方体) 領域を表すデータ構造である. 2 行目は C1, C2 がこれ以上細分化できないリーフである場合 (通常 FMM では, ある一定数以下の粒子を持つ領域をリーフとする) で, 3 行目は両者の力が近似可能な場合で, C1, C2 間の距離がそれら大きさに比べて十分大きいときに発動される.

それ以外の場合, C1 と C2 のどちらが大きいかによって大きいほうの領域を分割して再帰的に計算する. 例えば C1 を分割した場合, C1 を分割した各領域と, C2 との相互作用を計算する.

FMM もこのような再帰的な構造を持っているため, タスク並列処理系を用いれば極めて容易に並列化・負荷分散できる. 本質的には, 以下のように, C1 を分割したケースで再帰呼び出しを並列に行うだけである.

```
// calc force to all particles in C1 by all particles in C2
1: traverse(cell C1, cell C2) {
2:     if (C1 and C2 are leaves) do_leaf(C1, C2);
3:     else if (can_approximate(C1, C2)) approximate(C1, C2);
4:     else if (C1 is larger) {
4+:      task_group tg;
5:       for each child c of C1 {
6':        tg.run([=] { traverse(c, C2); });
7:       }
7+:      tg.wait();
8:     } else {
9:       for each child c of C2 {
10:        traverse(C1, c);
11:      }
12:    }
13: }
```

変更点は, 4+, 6' 7+と記された行である. なお, 上記のプログラムは, C2 が C1 へ及ぼす力を計算して, その結果を C1 (のみ) に書きこむ. すなわち C2 の更新は別途 traverse(C2, C1) という呼び出しによって行われる. 従って 5 行目のループは並列化しても競合は生じないが, 9 行目はそのままでは並列化出来ない.

4.2 性能

6 コア 4 ソケット (合計 24 コア, 48 ハードウェアスレッド), 2.0GHz の Nehalem ノードを用い, 上記 traverse 部分の台数効果を計測した結果が図 3 である. thresh は再帰呼び出しを並列に行うか否かの閾値で, thresh= 0 はすべての再帰呼び出しを並列に行うことに相当し, thresh= 100000000 は決して並列に行わないことに相当する. この簡便な記述で良好な台数効果が得られていることがわかる.

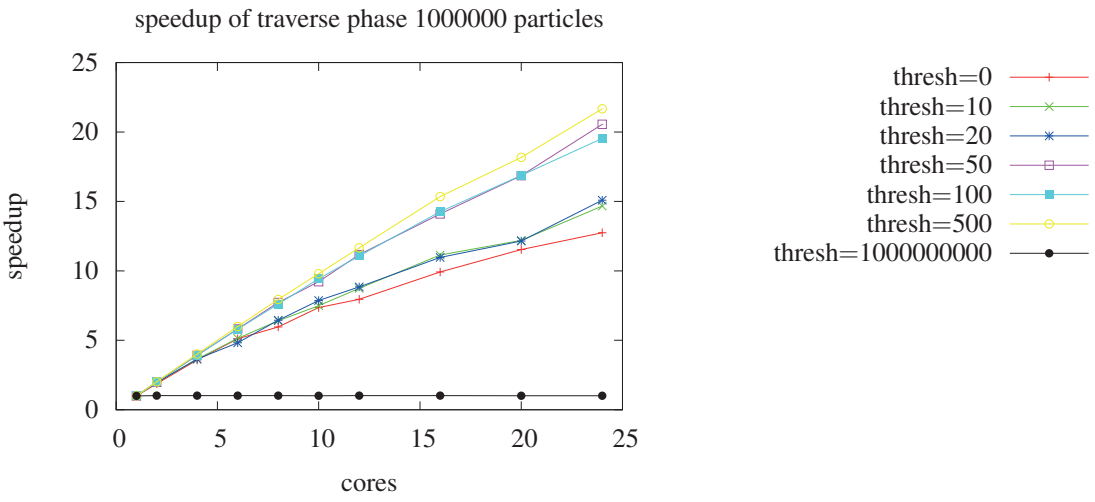


図 3: ExaFMM の台数効果

FMM には traverse 以外にも木構造の生成や, 力の計算の前処理・後処理のフェーズが存在する. それらの処理時間の内訳を示したものが図 4 である. traverse 部分の台数効果が良好でも, 全体の台数効果は, 現在まだ並列化されていない部分の性能に律速されていることが明らかである.

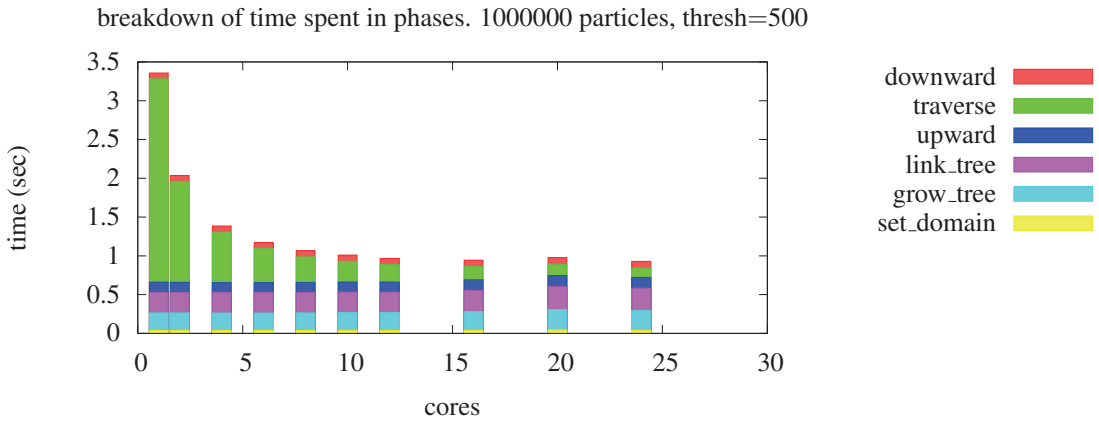


図 4: ExaFMM の台数効果

それらは一般に費用対効果という面では traverse よりも費用が大きいが, それらの部分の並列化も再帰的な記述を用いて自然に行えるため, 今後実証していく予定である.

5 展望: MPP 上での PGAS およびタスク並列処理

これまでのところ, 1 ノード内の共有メモリを用いた環境で, 良好な記述性と高い絶対性能を実証することができた. 今後の目標は同様な記述とスケーラビリティを, より大規模な, 分散メモリ環境でも実証していくことにある. そのための第一歩として, C 言語で書かれたスレッドをノード間で移送可能なワークスティーリング処理系を実装し, その初期評価が完了している. 大域アドレス空間を実現する処理系として, 大域アドレス空間内の領域の一部分, プロセスのローカルなアドレス空間にアドレス間のオフセットを保ったままマップすることができる処理系を設計している. これにより大域データへのアクセスを少ない追加記述と, 少ないオーバーヘッドで行えることを目指している.

無論, 性能面ではノード間の通信性能とノード間の通信性能は, オーバーヘッド, 遅延, バンド幅, すべての面で一桁近くないしそれ以上の違いがあるため, 全く同じワークスティーリング方式がスケールするとは考えられない. しかしながら「計算/参照データ比」が高い分割を行うという, アルゴリズム設計上の原則自体は, 現在の計算機においては普遍的な原則と言ってよく, 環境のパラメータが変わったからと言って変化するものではない. よって我々は, このようなスタイルでの記述をプログラマに要請, あるいは処理系の「デフォルト」の計算分割方式としつつ, あとは無駄のない計算配置や通信を行う処理系を実装することで, 初期の目標の達成に大きく貢献でると考えている.

6 基盤センター業務関連活動

- 2010 年末より, センター機関誌スーパーコンピューティングニュースへ, 連載記事を執筆した (高生産言語を使いこなす: [発表 7, 発表 8, 発表 9, 発表 10, 発表 11]). 並列プログラムを記述する選択肢として有望でありながら, 必ずしも多くのユーザに馴染みのないものを含め, 多数の言語 (UPC, X10, Chapel, Cilk, TBB, OpenMP, MPI) を, 実際に動作検証を行った上で比較・解説した. ユーザへの一般的な啓蒙記事としてとともに, HA8000 上での設定方法などの情報を含む記事になっている (総計 117 ページ).

- 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, PC クラスタシステム (HA8000) 運用に関わる業務活動への参加, 新 SMP (SR16000), 新 MPP (FX10) の仕様策定, 運用案策定に参加した.

- それに伴う各種会議 (部門会議, 仕様策定ワーキンググループ, 運用案策定ワーキンググループ) などへ, 講義などとの重複がない限り参加し, 各種案の策定に参加した.

7 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Ting Chen and Kenjiro Taura. ParaLite: supporting collective queries in database system to parallelize user-defined executable. In *CCGrid*, 2012. (to appear).

[査読付 2] Nan Dun and Kenjiro Taura. An empirical performance study of chapel programing language. In *International Workshop on High-Level Parallel Programming Models and Supportive Environments*. (to appear).

[査読付 3] Kentaro Hara and Kenjiro Taura. Half-process: A process partially sharing its address space with other processes. *IPSJ Journal of Information Processing*, 20(1):1–15, 2011.

[査読付 4] Kentaro Hara and Kenjiro Taura. Parallel computational reconfiguration based on a PGAS model. *IPSJ Journal of Information Processing*, 20(1):1–14, 2011.

[査読付 5] Katsuaki Ikegami and Kenjiro Taura. Design and implementation of a high productivity language with communication aggregation for parallel scientific computation. 情報処理学会論文誌プログラミング（*PRO*, 5(1):17–25, 3 2012. (to appear).

[査読付 6] 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*, (0):in press, 2011.

[査読付 7] 原健太朗, 中島潤, and 田浦健次朗. アドレス空間の大きさに制限されないスレッド移動を実現する PGAS 処理系. 情報処理学会論文誌, 4(1):27–65, 2011.

[査読付 8] 中島潤 and 田浦健次朗. 高効率な I/O と軽量性を両立させるマルチスレッド処理系. 情報処理学会論文誌 プログラミング *(PRO)*, 4(1):13–26, 2011.

[査読付 9] 堀内美希 and 田浦健次朗. 広域分散ファイルシステムのための適応的な先読み手法. In *SACSIS*, 2012. (to appear).

[査読付 10] 林伸也, 浦晃, 三輪誠, 田浦健次朗, and 近山隆. 自己対戦棋譜を利用した半教師あり学習による将棋の評価関数の学習. In 第 *16* 回ゲームプログラミングワークショップ, 2011.

公開ソフトウエア

[公開 1] cpulock: a small utility to exclusively assign cpus to processes. http://code.google.com/p/cpulock/.

[公開 2] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.

[公開 3] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.

[公開 4] ParaTrac: Make your analysis of data-intensive applications easier and more effective. http://code.google.com/p/paratrac/.

[公開 5] SSHFS-MUX: Have fun with your data and let sshfs-mux/gmount rock! http://code.google.com/p/sshfsmux/.

[公開 6] textshot: a very simple csv-like format and its converter to slog2 format for event visualization using jumpshot-4. http://code.google.com/p/textshot/.

その他の発表論文

[発表 1] Ting Chen and Kenjiro Taura. Supporting Collective Queries in Database System for Data-intensive Workflow Applications. In *Summerer Workshop on Parallel Processing*, 7 2011.

[発表 2] Kenjiro Taura. MassiveThreads: a thread library for massively parallel machines. In *Workshop on Trends in High Performance Distributed Computing*.

[発表 3] 加辺友也 and 田浦健次朗. PARP: プロファイル比較に基づく並列アプリケーションの性能解析. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（*SWoPP2011*）, 2011.

[発表 4] 河野瑛 and 田浦健次朗. 重心ボロノイ分割を用いた並列粒子法のための動的負荷分散法. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（*SWoPP2011*）, 2011.

[発表 5] 秋山茂樹, 中島潤, and 田浦健次朗. 大域アドレス空間に基づく細粒度マルチスレッド処理系. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（*SWoPP2011*）, 2011.

[発表 6] 池上克明 and 田浦健次朗. 並列科学技術計算に対して自動的な通信の集約を行う高い生産性を持つ言語の設計と実装. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（*SWoPP2011*）, 2011.

[発表 7] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (1). スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 1 月 2011.

[発表 8] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (2) 並列性の記述. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 5 月 2011.

[発表 9] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (3) ゲーム木探索. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 7 月 2011.

[発表 10] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (4) ゲーム木探索の並列化. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 9 月 2011.

[発表 11] 田浦健次朗. 高生産言語を使いこなす (5) 分子動力学シミュレーション. スーパーコンピューティングニュース 東京大学情報基盤センター, 11 月 2011.

[発表 12] 堀内美希 and 田浦健次朗. Mogami: 高遅延環境において広帯域を達成する分散ファイルシステム. In 並列／分散／協調処理に関するサマーワークショップ（*SWoPP2011*）, 2011.

シームレス高生産・高性能プログラミング環境
— 高効率・高可搬性ライブラリの研究開発 —

黒田　久泰

1　概要

2008 年度から文部科学省の次世代 IT 基盤構築のための研究開発「e−サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発」で採択された課題「シームレス高生産・高性能プログラミング環境（研究代表者：石川裕教授）」に取り組んでいる。本課題の目標は、PC クラスタからスーパーコンピューターまでをプログラムを改変せずに各環境で最適に実行するためのシステムソフトウェアを開発することである。サブテーマとして「高性能並列プログラミング言語処理系の研究開発」、「高生産並列スクリプト言語の研究開発」、「高効率・高可搬性ライブラリの研究開発」があり、私は「高効率・高可搬性ライブラリの研究開発」に関連して自動チューニング機構を含む数値計算ライブラリの開発に取り組んでいる。

2　高効率・高可搬性ライブラリの研究開発

2.1　背景

数値計算ソフトウェアの開発において、性能チューニングコストの増大が問題となっている。これは、一口に計算機といっても、PC クラスタからスーパーコンピューターまで様々なアーキテクチャー毎に性能チューニングを行わなくてはならないからである。また、実行時に与えられるデータセットの内容によっては、最適な数値計算アルゴリズムや実装方式の選択を行うことで、そのためのオーバーヘッドを加味してもなお大幅な速度向上が得られる可能性もある。そのため、自動チューニング機構を含む数値計算ライブラリの役割は大きい。また、これまでの自動チューニング機能付きライブラリでは、汎用的なユーザーインターフェースが存在していなかったので、自動チューニング機能の再利用性が低く、開発コストが増大する傾向にあった。そこで、ライブラリ開発者やユーザー自身が自動チューニング機能付きライブラリを容易に開発したり、機能を追加したりできるような API を提供することの意味は大きい。

2.2　内容

汎用的自動チューニングAPIとしてOpenATLibの設計及び開発を行っている。OpenATLibは数値計算ライブラリにおけるAT機能を規格化してAPI化し、その参照実装を提供することを目的としている。2008年度にはOpenATLib α 版を開発、2009年度に開発したOpenATLib β 版では、新たにユーザーからのAT方針の指定機能である数値計算ポリシーの設定が可能となった。2010年度は、さらに下記の機能を備えたOpenATLib 2011を開発している。

・マルチスレッド動作のためのスレッドセーフへの対応
・連立一次方程式の反復解法であるBiCGStab法への対応
・固有値問題の解法であるArnoldi法への対応
・BSS法のスキャンベクトル長の動的変更機能

・自動チューニングを行わないオプションの導入
・内部関数の充実
・実行時間、反復回数等の取得インターフェースの追加

OpenATLibを利用した数値計算ライブラリをXabclibと呼んでいるが、現在、疎行列に対する対称標準固有値問題の解法であるリスタート付きLanczos法、非対称標準固有値問題の解法であるリスタート付きArnoldi法、連立一次方程式の解法であるGMRES(m)法とBiCGStab法が実装済となっている。そして、2011年度は下記に示すような機能強化を行った。

(1) OpenATLibの機能強化

(a) 行列−ベクトル積自動チューニング機能の強化

非対称行列向け行列−ベクトル積自動チューニング機能OpenATI_DURMVにおけるSegmented Scan方式について、Segment Vectorの本数を示すパラメータを自動設定する機能の実装

(b) リスタート周期自動チューニング機能の強化

リスタート周期自動チューニング機能OpenATI_DAFRTにおいてリスタート周期が小さいと判断された場合にリスタート周期に加算する値を示すパラメータを外部から指定可能とする機能の実装

(c) 数値計算ポリシー機能の強化

(c-1) ライブラリ利用者の要求するメモリ使用量、最大演算時間、出力される近似解の精度およびそれらの優先順位の入力を受け付ける機能

(c-2) 上記入力に従い、ライブラリのパラメータおよび実装方式が自動選択される機能

(c-3) 最大演算時間を越えた際に演算を打ち切り、その時点の近似解を出力する機能

(c-4) 連立一次方程式解法についてソルバを自動選択する機能

(c-5) 連立一次方程式解法について前処理を自動選択する機能

(2) Xabclibの機能強化

(a) Xabclib_GMRES、Xabclib_BiCGSTABの前処理機能強化

ILUT前処理の実装

(b) Xabclib_BiCGSTABの機能強化

積型反復解法の実装

2.3 具体的成果

OpenATLib 及びそれを用いて実装された自動チューニング機能付き数値計算ライブラリ Xabclibは下記サイトにて公開中である。

http://www.abc-lib.org/Xabclib/

また、前処理付き BiCGStab 法の改善アルゴリズムを提案した。具体的には、前処理付き BiCG 法に CGS 法の導出手順を適用すると、CGS 法の合理的な前処理付きアルゴリズムが構成される。この手法を前処理付き BiCGStab 法へと拡張するに当たり、BiCGStab 法に現れる MR 演算に対し論理面からの新たな考察を行い、適用できることを示した。本提案アルゴリズムが従来の前処理付き BiCGStab 法よりも合理的であること、及び、数値実験により本提案の有効性を示した。[査読付 1, 2]

3　成果要覧

査読付論文リスト

[査読付1] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野健:BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, 2012 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(HPCS2012)論文集, 2012 年 1 月.

[査読付 2] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野健:BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム, 2012 年. 印刷中.

その他の発表論文リスト

[発表 1] 櫻井隆雄, 片桐孝洋, 直野健, 黒田久泰, 中島研吾, 猪貝光祥, 大島聡史, 伊藤祥司:自動チューニングインターフェース OpenATLib における自動チューニング機能の評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-HPC-130, No.43, 2011 年 7 月.

[発表 2] Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Ken Naono, Kengo Nakajima, Satoshi Ohshima, Shoji Itoh, Hisayasu Kuroda, and Mitsuyoshi Igai: Evaluation of Numerical Policy Function on Generalized Auto-Tuning Interface OpenATLib , SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), MS6:Towards Smart Auto-tuning for HPC--The State-of-the-art of Auto-tuning Technologies and Future Directions - Part I of III, Feb. 2012.

GPU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。

GPUを用いたプログラム高速化に関する研究 GPUを用いたプログラム高速化に取り組んだ。具体的には、昨年度に引き続き、主に有限要素法と疎行列ベクトル積に取り組んだ [査読付 1, 発表 13]。本活動の一部は、文部科学省 e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの研究開発「シームレス高生産・高性能プログラミング環境」 サブテーマ「高生産高可搬性ライブラリに関する研究」（研究代表者：石川裕教授）、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) および JST CREST プロジェクト「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境」(研究代表者：中島研吾教授) の一部として行っている。4 月には共同研究プロジェクトの一環としてフランス側拠点の 1 つであるボルドー大学に 2 週間滞在し、実行時フレームワーク (StarPU) についての研究を行った。なお、これらの各プロジェクトにおいては GPU と直接は関係のない部分についても研究活動に参加している。

GPUプログラミング環境に関する研究 昨年度に引き続き GPU プログラミング環境の作成に取り組んだ。具体的には、昨年に引き続き GPU 向けの OpenMP 処理系 OMPCUDA の研究に取り組んだ [発表 2]。本活動の一部は JST CREST プロジェクト「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：松岡聡教授）の一部として行っている。

スーパーコンピュータに関する業務と GPGPU/CAE/HPC の啓蒙や教育などに関する活動 情報基盤センターにおけるスーパーコンピュータの仕様策定・導入および運用支援に関わり、新スーパーコンピュータシステムの導入に際してはスーパーコンピューティングニュースにおける記事の執筆 [発表 16, 発表 17] や国内研究会における報告 [発表 1, 発表 6] を行った。また ISC'11 および SC11 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。計算機システム利用促進/新規利用者開拓および HPC 教育活動の一環として並列プログラミング講習会にて一部の講義を担当した [特記 2, 特記 3]。プログラム委員 [特記 1, 特記 5] や理事 [特記 4] として CAE/HPC に関する活動を行った。学会誌の特集記事へ寄稿を行った [発表 8]。

本報告の残りの部分では GPU を用いたプログラム高速化に関する研究について記述する。

2 GPUを用いた有限要素法

本年度は、昨年度に引き続き、主に有限要素法と疎行列ベクトル積の GPU 化に取り組んだ。本章では GPU を用いた高性能計算の背景および有限要素法アプリケーションの GPU 化について記し、次章では疎行列ベクトル積の GPU 化について記す。

2.1 背景

GPU(Graphics Processing Unit) は高度な画像処理のために発展してきたハードウェアである。CPU に対する GPU の主な長所としては、並列処理による高い演算性能を持つことや、消費電力あたりや占有体積あたりの演算性能が CPU よりも高いことがあげられる。また製品のグレードにも依存するが安価な価格 (CPU と同程度の価格) で容易に入手できることがあげられる。そのため科学技術計算用・HPC(High Performance Computing) 用の計算ハードウェアとして近年高い注目を集めている。またスーパーコンピュータに対する GPU の搭載も進んでおり、2011 年 11 月のスーパーコンピュータランキング TOP500 では上位 5 システム中の 3 システムが計算の高速化を目的として GPU を搭載している。GPU を用いた汎用演算は GPGPU(General-Purpose computation using GPUs) や GPU コンピューティングと呼ばれており、近年の HPC 分野において大きな注目を集めているトピックの一つとなっている。

現在、本情報基盤センターが運用しているスーパーコンピュータはいずれも GPU を搭載したシステムではない。しかし電力や設置面積の制限の中で高性能なシステムを構築する上では GPU 等の CPU と比べて並列演算性能の高いハードウェア（アクセラレータ）の活用は重要性を増してきている。ポスト T2K や ExaFLOPS スーパーコンピュータに向けてという意味でも、本情報基盤センターにおいて GPGPU に関する研究および情報発信を行うことには意義がある。

GPU は様々な対象問題において CPU を超える性能を発揮しているが、万能のハードウェアではない。GPU は既存の CPU とは異なる特徴を持つアーキテクチャを採用しており、

- 高い並列性を持つ
- 分岐処理が少ない
- 浮動小数点演算が多い
- 連続メモリアクセスが多い

以上のような特徴を持つプログラムにおいては特に高い性能を得やすい一方で、特徴にあわないプログラムにおいては非常に低い性能となることもある。そのため全てのプログラムが GPU によって高速化できるわけではなく、GPU を用いてプログラムの高速化を行うためには、GPU 向けに新たなアルゴリズムの開発や実装の工夫をすること、GPU 向けに最適化パラメタを調整すること、対象問題の性質にあわせて CPU と GPU を使い分けることなどが必要である。

有限要素法 (Finite Element Method, FEM) は、解析領域全体を節点 (離散点) で構成される要素とよばれる微小領域に分割して扱う計算法であり、構造力学をはじめとする様々な分野で用いられている。FEM 本体の計算は、係数行列の生成と線形方程式ソルバによる連立一次方程式の求解に大部分が費やされ、特に線形方程式ソルバ部分が非常に大きな割合を占める。線形方程式ソルバとしては、係数行列が疎であることから反復解法が用いられ、また行列の定値対称性から共役勾配法 (Conjugate Gradient Method, CG 法) の適用が一般的であり、前処理と合わせて適用されることが多い。GPU を用いた FEM の高速化に関する研究も数多く行われている。

2.2 内容

本テーマは昨年度より継続して研究を続けているテーマであり、線形方程式ソルバ (CG 法) と係数行列生成を中心に、GPU を用いた FEM アプリケーションの高速化に取り組んでいる。昨年度は 1GPU を用いた CG 法と係数行列生成の高速化に取り組んだ。本年度は昨年度の内容を引き継ぎ発展させたうえで、さらに以下の内容に取り組んだ：

1. 1GPU を用いた FEM アプリケーション全体の高速化
2. 複数 GPU を用いた CG 法と係数行列生成の高速化
3. StarPU を用いた実装

1GPU を用いた FEM アプリケーション全体の高速化

FEM アプリケーションの実行時間の多くは CG 法と係数行列生成によって占められるため、昨年度の研究においてはこれら 2 つの処理の高速化を行った。本年度はこれら 2 つの処理の高速化をさらに進めたうえで、FEM アプリケーション全体の高速化に向けてさらなる GPU 化を行った。

本研究では GeoFEM プログラムをベースに GPU 化実装を行っており、その特性上、係数行列が 3x3 の小行列から構成される。そのため GPU を用いて高速に計算を行うためには 3x3 行列を効率よく扱う必要がある。

GPU を用いた CG 法の実装においては 3x3 行列が GPU 上の高速な共有メモリ上でさらに適切に計算されるように最適化を行うことで性能向上を目指した。特に CG 法の中でも多くの実行時間を占める疎行列ベクトル積（SpMV）を中心に GPU に適したメモリアクセスが行えるような実装を行った。GPU により高い性能を得るためには、GPU 内部の演算器が 32 並列単位での処理に適していることや GPU が高速にメモリアクセスできる条件を考慮して 3x3 行列を演算器に割り当てることが重要である。これは昨年度にも行っていた最適化であり、今年度は割り当てパターンによる性能変化の確認等が中心となった。

また係数行列生成については、処理の中に GPU が得意でない探索処理が含まれている。昨年度の実装では探索処理を CPU が担当する実装とした。本年度の実装では、計算カーネルが小さく保たれることと CPU-GPU 間の通信が減ることによる性能向上を目指して探索処理も GPU が担当する実装とした。ただし、いずれについても係数行列生成処理の序盤で行われるグラフの色分けに処理については CPU が行っている。

さらに、昨年度行った実装においては、GPU 上で係数行列生成処理によって生成された行列は一度 CPU へと書き戻され、CPU 上で境界条件処理が施されたうえで、改めて GPU へ転送されてから CG 法による求解が行われていた。そこで境界条件処理も GPU 上で行えるようにした。境界条件処理やその前後における CPU-GPU 間の転送時間は FEM アプリケーション全体の実行時間と比べて大きなものではないが、より多くの範囲を GPU 上で処理できるようにすることは今後複数の GPU を用いたり CPU と GPU による最大性能を得ることを考える上では重要である。

複数 GPU を用いた CG 法と係数行列生成の高速化

GPU の利用形態としては、PCI-Express バスを介してホスト計算機と接続された状態で利用されるのが一般的である。PCI-Express バスは 1 つのホスト計算機に対して複数本搭載することが可能であり、1 ホストに対して複数の GPU を搭載し利用することで 1GPU を用いた場合よりも高い演算性能を得ることが可能となる。ただし、GPU 間のデータ通信がオーバーヘッドとなったり、CPU が GPU を制御するコストが上昇したり、PCI-Express バスの制限があったりといった理由により大きな性能向上を得られないこともあることが知られている。

本研究では 1 ホストに複数 GPU（具体的な実行環境としては 2GPU）を搭載した環境を対象として、CG 法と係数行列生成のそれぞれを複数 GPU 化した。CG 法については、通信や負荷バランスの最適化についてさらに考慮する余地はあるものの、単純に各計算を複数 GPU に分散させて性能向上を得ることができた。一方で係数行列生成についてはグラフ分割問題を解くなどせねば最適な問題分割、余計な使用メモリ容量の小さい問題分割が不可能であり、現時点では効率の良くないシンプルな実装を行うにとどまっている。

StarPU を用いた実装

StarPU は共同研究プロジェクトに参加しているフランス ボルドー大/INRIA のグループが中心となって開発している実行時フレームワークである。StarPU は独自のクラスや関数からなるインターフェイスを提供しており、インターフェイスに従ってプログラムを記述すれば対象の処理を計算環境に存在する CPU と GPU に適切に振り分けて実行させることができる。

本研究で用いている FEM アプリケーションを StarPU を用いて実行させようとしたところ、十分な性能を得るためには 3x3 行列の分割などにおいて StarPU のインターフェイスでは不十分な点があるこ

表 1: 実験環境

CPU	Xeon W3520, 2.67GHz 4 コア (× 1)
メインメモリ容量	12GB
GPU	Tesla C2050, 1.15GHz 448 CUDA コア (× 2)
GPU メモリ容量	1GPU あたり 3GB
GPU 接続	PCI Express Gen.2 x16
コンパイラ・開発環境	CUDA toolkit 4.0, gcc version 4.4.4

とが判明した。そこで、StarPU に対する修正を行った。本年度に実装した範囲では FEM アプリケーション全体を高速実行するためには不十分であり、今後さらなる改良が必要である。

2.3 具体的成果

それぞれの実装について、表 1 の環境を用いて性能評価を行った。対象問題の問題サイズについてはメモリ容量の都合などにより節点数 80^3 もしくは 100^3 とした。

1GPU を用いた FEM アプリケーション全体の高速化 に関する性能評価結果を図 1 に示す。GPU を用いることで特に CG 法の性能が大きく向上していることがわかる。また係数行列生成についても CG 法と比べると効果が小さいが性能の向上が得られている。境界条件処理の GPU 化については、CPU による境界条件処理自体の実行時間が短いため全体の実行時間に対する影響は小さいが、CPU-GPU 間のデータ転送が不要になったことにより CG 法や係数行列生成の実行時間もわずかながら短くなっている。

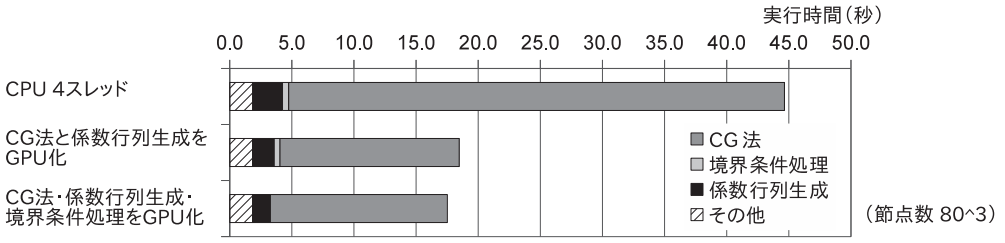


図 1: 1GPU を用いた FEM アプリケーションの性能（実行時間）

複数 GPU を用いた CG 法と係数行列生成の高速化 については、図 2 にそれぞれ 1GPU および 2GPU で実行した際の実行時間を示す。いずれも問題の分割や統合時間も含めた実行時間を示している。それぞれ 2GPU を用いることにより 1GPU よりも実行時間が短縮できているものの、処理の全ての部分を 2GPU 化できているわけではないことや問題の分割・統合時間が含まれていることから、実行時間が半分近くまで短縮できているわけはない。さらなる最適化の余地があるだろう。

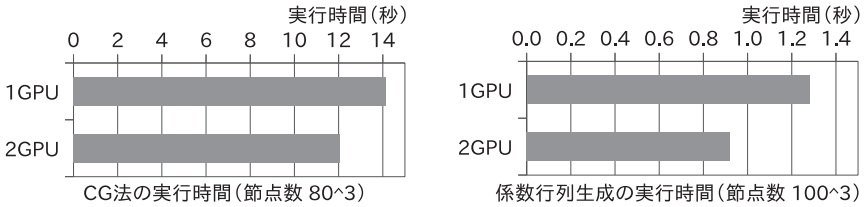


図 2: 2GPU による性能（実行時間）

StarPU を用いた実装については図 3 に 1CPU+1GPU 環境における性能を示す。残念ながら現状の実装では通信オーバーヘッドなどによる性能上の問題があり、良い性能が得られていない。

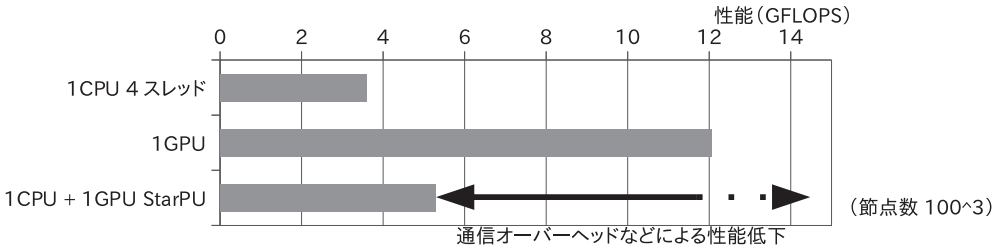


図 3: StarPU を用いた性能（GFLOPS）

3 GPU を用いた疎行列ベクトル積

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 FEM アプリケーションにおいてアプリケーション中で最も時間のかかる処理として高速化の対象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 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。しかし大規模な疎行列を単純に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。そのため零要素を削除して格納したデータ構造を用いて計算を行うのが一般的である。しかしデータ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。

GPU は不連続なメモリアクセスを苦手としているハードウェアであり、基本的には SpMV に適していない。しかしながら SpMV はデータ格納形式と対象問題の非零要素の配置によっては連続アクセスが多くなり並列性も確保しやすい計算である。さらに、CPU にとっても効率よく計算しにくい計算であることから、GPU を用いることで CPU よりも高い性能が得られることも多い。そのため GPU を用いた SpMV についての研究は盛んに行われている。

3.2 内容

本研究では特に行ごとの非零要素数に偏りがある行列に適した SpMV の高速化に取り組んでいる。本年度は昨年度に引き続き、特定形状の行列において特に高い性能が期待できる独自の疎行列ベクトル積計算法 IBSS(Indexed Branchless Segmented Scan) 法の研究を行った。

IBSS 法は既存の手法である Segmented Scan 法および Branchless Segmented Scan 法をもとにした手法である。広く用いられている疎行列データ格納形式である CRS(Compressed Row Storage) 形式を用いた行列ベクトル積は、行ごとに計算を行うという単純な並列化によって容易に性能向上が可能である。しかし並列実行の単位が行ごとであるため、例えば特定のいくつかの行のみ非零要素が多いような行ごとの非零要素の数に偏りがある行列については、並列化を行っても良い性能を得ることができない。

Segmented Scan 法は計算対象の行列を固定長のセグメントに分割して計算する手法であり、性能が行列形状の影響をあまりうけないという特徴を持つ。Branchless Segmented Scan 法は Segmented Scan 法をマルチコア CPU 向けに改良した手法であり、基本的なアイディアは Segmented Scan 法と同様で

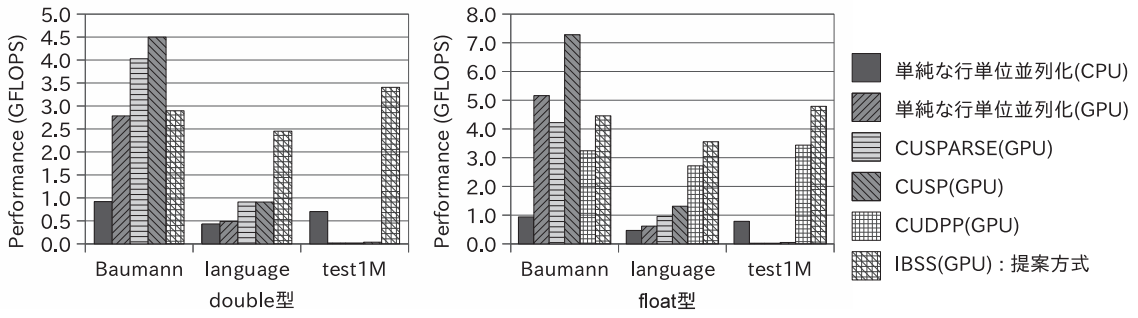


図 4: IBSS 法の性能

行列名称	一辺の長さ	非ゼロ要素数	非ゼロ要素の偏り
Baumann	112211	748331	均等
language	399139	1216334	偏りが大きい
test1M	1000000	1999999	偏りが極めて大きい

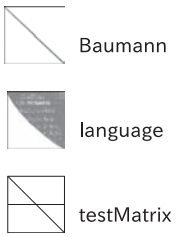


図 5: 行列の形状

ある。IBSS 法はこれらの手法をもとにして GPU 向けに開発している手法であり、計算対象の行列に関する形状情報を計算前に用意しておくことで GPU による高速計算を可能としている。

本提案手法は形状情報の算出時間がオーバーヘッドとなり得るが、形状情報は行列形状 (非零要素の配置) にのみ依存するため、同じ非零要素配置の行列についての計算を繰り返す場合には再利用することが可能である。そのため反復計算を行う場合にはオーバーヘッドの影響も小さくなることが期待できる。

3.3 具体的成果

本年度は主に細かなパラメタ調整等による性能改善を行った。

図 4 に IBSS 法の性能を示す。実行環境としては「GPU を用いた有限要素法」同様に表 1 の環境を用いた。グラフの横軸には用いた疎行列の名称を、縦軸には性能 GFLOPS を示している。計算対象の疎行列としては、Baumann と language については Florida Sparse Matrix Collection に含まれる行列を、testMatrix については IBSS 法の効果を確かめるために恣意的に作成した行列を用いた。各行列の非零要素の配置は図 5 に示すとおりであり、それぞれ、各行の非零要素数に大きなばらつきがない行列、各行の非零要素数にある程度大きなばらつきがある行列、各行の非零要素数に非常に大きなばらつきがある行列の代表例として用いている。

性能比較対象として、単純な行単位の並列化を行ったものや、既存のライブラリ (CUSPARSE, CUSP, CUDPP) でも性能を測定して比較した。GPU を用いた計算については CPU-GPU 間の実行時間を除外している。性能比較の結果、IBSS 法は行列の形状による性能の変化が他の手法よりも小さく、各行毎の非零要素数に大きなばらつきがある行列において他の実装よりも良い性能が得られることが確認できた。

IBSS 法についてはさらにいくつかのパラメタについて最適化作業を進めており、成果が得られている。(まだ論文化していない成果が含まれるため詳細は割愛する。) また今回は測定範囲に含めていない形状情報算出処理の高速化、形状情報算出処理と計算のオーバーラップ、複数 GPU 化などの発展的なアイディアや課題が挙がっている。次年度はこれらの実装や評価を進める予定である。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Satoshi OHSHIMA, Masae HAYASHI, Takahiro KATAGIRI, Kengo NAKAJIMA: Implementation and Evaluation of 3D Finite Element Method Application for CUDA, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2012), Kobe, Japan, 2012. （採録決定済み）

[査読付 2] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野健: BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, 情報処理学会論文誌:ACS, 2012 年.（採録決定済み）

[査読付 3] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野健: BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, HPCS2012 2012 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, 名古屋大学 豊田講堂 シンポジオンホール, 1 月 24-26 日, 2012 年.

その他の発表論文

[発表 1] 大島聡史, 實本英之, 鴨志田良和, 片桐孝洋, 田浦健次朗, 中島研吾: 大規模 SMP 並列スーパーコンピューター (HITACHI SR16000 モデル M1) の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-133), 3 月 19 日発行, 有馬ビューホテルうらら, 3 月 26-27 日, 2012 年.

[発表 2] 長塚郁, 大島聡史, 平澤将一, 近藤正章, 本多弘樹: 複数 GPU 向けの CUDA コードを生成する OpenMP 処理系の提案, 情報処理学会 研究報告 (HPC-133), 3 月 19 日発行, 有馬ビューホテルうらら, 3 月 26-27 日, 2012 年.

[発表 3] Takahiro Katagiri, Satoshi Ito, Satoshi Ohshima, Kengo Nakajima, Yoshikazu Kamoshida, Hideyuki Jitsumoto: Development of ppOpen-AT –An Auto-tuning Description Language for ppOpen-HPC–, 2nd AICS International Symposium-Computer and Computational Sciences for Exascale Computing, March, 2012. （ポスター発表）

[発表 4] Takao Sakurai, Takahiro Katagiri, Ken Naono, Kengo Nakajima, Satoshi Ohshima, Shoji Itoh, Hisayasu Kuroda, Mitsuyoshi Igai: Evaluation of Numerical Policy Function on Generalized Auto-Tuning Interface OpenATLib, SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), MS6:Towards Smart Auto-tuning for HPC–The State-of-the-art of Auto-tuning Technologies and Future Directions - Part I of III, Hyatt Regency Savannah(Savannah, Geogia), Feb. 15-17, 2012.

[発表 5] Satoshi OHSHIMA, Masae HAYASHI, Takahiro KATAGIRI, Kengo NAKAJIMA: Implementation of FEM application on GPU, SIAM Conference on Parallel Processing (PP12), MS47 Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Scalable Manycore Systems - Part IV of IV, Hyatt Regency Savannah(Savannah, Geogia), Feb. 15-17, 2012.

[発表 6] 大島聡史，實本英之，鴨志田良和，片桐孝洋，田浦健次朗，中島研吾: 大規模 SMP 並列スーパーコンピューター (HITACHI SR16000 モデル M1) の構成と性能, HPCS2012, 名古屋大学 豊田講堂 シンポジオンホール, 1 月 24-26 日, 2012 年. （ポスター発表）

[発表 7] 大島聡史: SC11 報告, オープン CAE シンポジウム 2011, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 12 月 1-2 日, 2011 年. （短時間口頭発表のみ）

[発表 8] 大島聡史: 未踏ユースから育ったタレントたち【PART 1　若い未踏クリエータからのメッセージ】: 13. 発掘し，育成し，つなぐ場所, 情報処理学会会誌 Vol.52 No.12 12 月 p.1496, 2011 年.（学会誌への寄稿）

[発表 9] 大島聡史: Implementation of 3D FEM program on GPU, 第 10 回 ASE 研究会, 東京大学情報基盤センター, 10 月 13 日, 2011 年.

[発表 10] 中島研吾, 林雅江, 大島聡史: 階層型領域間境界分割に基づくハイブリッド並列プログラミングモデル向け前処理手法, 日本応用数理学会, かごしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), 7 月 27-29 日, 2011 年.

[発表 11] 櫻井隆雄, 片桐孝洋, 直野健, 黒田久泰, 中島研吾, 猪貝光祥, 大島聡史, 伊藤祥司: 自動チューニングインターフェース OpenATLib における自動チューニング機能の評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-130), 7 月 20 日 発行, かごしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), SWoPP2011, 7 月 27-29 日, 2011 年.

[発表 12] 林雅江, 大島聡史, 中島研吾: ヘテロ環境を目指した拡張階層型領域分割法に基づく高次フィルイン前処理手法の高速化, 情報処理学会 研究報告 (HPC-130), 7 月 20 日 発行, かごしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), SWoPP2011, 7 月 27-29 日, 2011 年.

[発表 13] 大島聡史, 林雅江, 片桐孝洋, 中島研吾: 三次元有限要素法アプリケーションにおける行列生成処理の CUDA 向け実装, 情報処理学会 研究報告 (HPC-130), 7 月 20 日 発行, かごしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), SWoPP2011, 7 月 27-29 日, 2011 年.

[発表 14] Nakajima, K., Hayashi, M., Ohshima, S.: Infrastructure for Application Development on Heterogeneous Parallel Computers, 7th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2011): Creating the Next Generation of High Performance Numerical Computing Capabilities Part-III of IV, Vancouver, Canada, July 18-22, 2011.

[発表 15] 大島聡史: 最新の並列計算事情と CAE, オープン CAE ワークショップ 2011, 東京大学, 6 月 26 日, 2011 年.

[発表 16] 大島聡史: 富士通 PRIMEHPC FX10 チューニング連載講座　1. ハードウェア概要, スーパーコンピューティングニュース, Vol.14 No.2, 3 月, 2012 年.

[発表 17] 大島聡史: HITACHI SR16000/M1 チューニング講座 1. ハードウェア概要, スーパーコンピューティングニュース, Vol.14 No.1, pp.21-24, 1 月, 2012 年.

特記事項

[特記 1] プログラム委員会副委員長（広報、ポスター担当）, HPCS2012 2012 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, 名古屋大学 豊田講堂 シンポジオンホール, 1 月 24-26 日, 2012 年.

[特記 2] 講習会の一部を担当, 第 18 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門：Hybrid 並列プログラミングモデルへの道」, 東京大学 浅野キャンパス 情報基盤センター, 12 月 6-7 日, 2011 年.

[特記 3] 講習会の一部を担当, 第 17 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 「MPI 応用編：並列アプリケーション開発入門」, 東京大学 柏キャンパス 第 2 総合研究棟, 11 月 8-9 日, 2011 年.

[特記 4] 理事, オープン CAE 学会, 2011 年.

[特記 5] プログラム委員, SACSIS2011 先進的計算基盤システムシンポジウム, 秋葉原コンベンションホール（秋葉原クロスフィールド ダイビル）, 5 月 25-27 日, 2011 年.

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

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。並列アプリケーションの耐故障機能に関しては、先進的な幾つかの数十万並列規模の環境において運用が始まっているが、ここで利用されているアルゴリズムは、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。

- 耐故障アルゴリズムの比較フレームワーク

  エクストリームスケール環境において、軽量な対故障アルゴリズムは必要不可欠であるが、提案されている耐故障アルゴリズムのコストは、アプリケーションの構成やハードウェア実装、実行時環境により違いがある。このため、これらのコンポーネントをパラメータとして受け入れ、耐故障アルゴリズムを評価、モデル化するための比較フレームワークを作成した。本研究の一部は、米国の NCSA UIUC(National Center for Supercomputing Application at the University of Illinois Urbana-Champaign) の Franck Cappello 教授の下に 2ヶ月間滞在して行った。

- MPI3.0 における耐故障仕様の検討・調査

  並列計算のデファクトスタンダードミドルウェアである MPI には耐故障に関する仕様がなく、エクストリームスケール環境での実行に耐えない。このため、MPI3.0 仕様では耐故障機能を実装することになり、これに関して仕様策定会議に参加し、検討／情報収集を行った。

また、上記の他にも HPCI の基礎技術およびストレージ関する発表、および耐故障機能に関する技術紹介の講演を行った。また、次世代エクストリーム環境についてのパネル討論にシステムソフトウェアの面から討論者として参加した。

2　耐故障アルゴリズムの比較フレームワーク

2.1　背景

エクストリームスケールのスーパーコンピュータを構成する要素の数は、ハードウェア/ソフトウェア共に増大していくと考えられ、これらの要素を利用して実行される大規模アプリケーションの故障率は全ての要素の故障率の総和として増大していく傾向にある。加えて、各要素自身の故障率も増加傾向にあり、例として、ハードウェアにおいては、エクストリームスケールを実現する為の部品の高集積化や微細化、低電力化などが、故障率の増加につながっている。こうした結果、エクストリームス

ケールの並列性を持つアプリケーションの平均故障間隔 (MTBF: Mean Time Before Failure) または平均中断間隔 (MTTI:Mean Time To Interrupt) は極めて短くなり、35 から 39 分になるとの試算もある。

このような環境において正常にアプリケーションを実行するためには耐故障技術が必要不可欠であり、これまでに故障検知/伝播、故障復旧といった技術について、様々な研究が行われている。ハードウェア分野では ECC や冗長実行を利用した耐故障が主として提案され、実際に利用されている。ソフトウェア分野では、正常実行時にアプリケーションの状態を保存しておき、故障発生時に保存した状態から再開するチェックポイント/リスタートを主とし、冗長実行、学習による故障予測と予防復旧などがある。これに加え、並列アプリケーションにおいては、構成プロセスの持つ冗長イメージの一貫性保証アルゴリズムについて多くの提案がある。

システムレベルの耐故障実装はアプリケーションユーザに故障情報を隠蔽し、プログラムの変更なしに耐故障機能を実現できるという特徴から、従来の主流であった。しかしながら、故障範囲や、復旧に必要な情報の限定が不完全であり、不要なコストが発生する。エクストリームスケールを迎えるに当たり、これらの不要コストの累積が、耐故障技術を破綻させる場合がある。例としてチェックポイント/リスタートについて、チェックポイントは安定したストレージへ保存する必要があり、その代表例が共有ストレージであるが、盲目的にアプリケーションイメージを共有ストレージに保存する手法では、アプリケーション規模に応じてチェックポイントサイズが増大し、ノード数も膨大なため、チェックポイント保存時間がシステムの MTBF を上回ってしまい、耐故障機能が破綻することになる。

これに対応するために、システムレベル耐故障機能を、アルゴリズムレベルで洗練し、エクストリームスケールの計算環境に耐えうるものにするという提案が行われている。しかしながら、これらの提案はそれぞれ、アプリケーションの種類、実行環境、および頻発する故障種等によって有利・不利があり、最適な提案アルゴリズムを使い分ける必要がある。このため、耐故障アルゴリズムを比較し、モデル化することが必要だが、従来のように並列化ミドルウェアに特定の耐故障アルゴリズムを適用したものをそれぞれ比較すると、耐故障アルゴリズムがミドルウェア実装に依存することで正しい評価が行えない。また、耐故障並列化ミドルウェアの開発は難度が高く、様々な耐故障アルゴリズムを容易に比較することができない。

このため、耐故障アルゴリズムをコンポーネント化し、実行環境、並列化ミドルウェア、アプリケーションから切り離すことによって耐故障アルゴリズム自身を精度良く比較するフレームワークを構築した。本フレームワークは現状では、チェックポイント/リスタートアルゴリズムを対象とする。また、実装を容易にするために、故障発生によるプログラムの停止、およびリスタートにかかるコストをアプリケーションプロセスのウェイトとしてシミュレーションする。このため、実際にはアプリケーションプロセスを異常終了する必要がなく、並列化ミドルウェアに大きな変更を必要としない。このため、耐故障アルゴリズムの実装難度を大きく下げることができる。また、NCSA の Franck Cappello 氏の協力の下、幾つかの耐故障アルゴリズムをコンポーネント実装し、性能コストの比較を行った。

2.2 設計

2.2.1 概要と動作シナリオ

提案フレームワークはアプリケーションプロセスと、プロセスマネージャから成る。このプロセスマネージャは並列化ミドルウェア初期化時に生成され、アプリケーションプロセスのプロセス停止の開始/終了をシグナルとして命令することにより、故障状態をシミュレートする（図 1）。アプリケーションプロセス側は初期化時のプロセスマネージャ生成と特定シグナルがきたときにプロセスウェイトを開始、終了するシグナルハンドラの追加のみが通常のアプリケーション実行に比したときの改変となる。チェックポイントを行うときの動作例は以下の様になる。

1. Rank0 のマネージャが特定時間にチェックポイントを開始せよという記述をシナリオファイルから読み込む

2. 他のランクにイベントを伝えるとともに、チェックポイントにかかるコストの計算を行う
3. アプリケーションプロセスに停止シグナルを送るとともに、上で計算したコスト時間後に再開シグナルを発行するタイマを生成する
4. 次のシナリオをファイルから読み込み、処理を行いつつ、タイマが規定時間に達したら再開シグナルをアプリケーションプロセスに送る

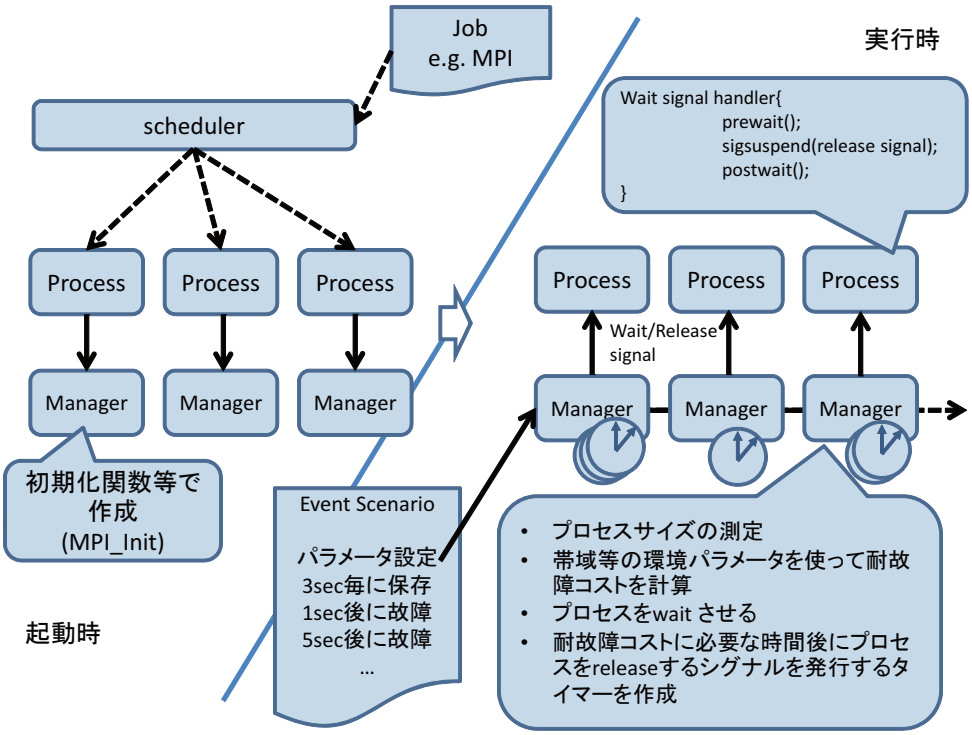


図 1: 耐故障フレームワーク動作シナリオ

2.2.2 耐故障アルゴリズムコンポーネント

並列チェックポイントは、複数プロセスのチェックポイントを一貫性の取れた状態で保存する必要がある。これは、チェックポイントから、故障した場所まで再実行するときに非決定性をもつイベントによる各プロセス間の因果関係の矛盾を生じさせないためで、基本的には以下の 2 種のスタンスが存在する。

Coordinated Checkpoint 全てのプロセスが、非決定イベントを含まない区間の間にチェックポイントを取るもの。ナイーブな実装では、全てのプロセスを同期し、プロセス間の通信路を完全にドレインした後、チェックポイントを取るという手法となる。

Uncoordinated Checkpoint おのおののプロセスが勝手なタイミングでチェックポイントを取り、故障発生時に取得しておいたチェックポイント群から因果関係が保たれるようなチェックポイントを選ぶ手法。依存関係によっては、因果関係を保つラインが実行開始時点まで遡っていくことがある。このように復旧ラインが遡っていく現象をドミノ・エフェクトといい、本手法の大きな弱点と成っている。

さらに、これらと組み合わせて用いる手法として代表的な物がロギングである。平常の実行時に通信メッセージのステータス（送信元、受信先、メッセージの内容等）をログに残すことにより、非決定性のイベントを強制的に決定したイベントに変更することができる。

最低限、この 3 つの手法を組み合わせた耐故障アルゴリズムを本フレームワーク上で記述できるように、耐故障アルゴリズムコンポーネントを以下の要素に分割定義した。

トリガーイベント定義 シナリオファイルに記述されるイベントの種類と、そのハンドラの定義。例としては、チェックポイントシグナルや故障発生シグナルがどのようなコマンドでシナリオファイルに記述されているか及び、外部から与えられたときに何を実行するかを定義する。

プロセス停止処理定義 プロセス側がウェイト前、後に行う動作を定義する。チェックポイント後のプロセス同期や、実験結果の計測・出力等に用いる

メッセージマネージメント 通信関数のラッパ関数として与えられる。メッセージのロギングや通信回数の測定に利用する。また、メッセージのドレイン処理等もここに記述する。

2.3 実装

2.3.1 フレームワーク

本フレームワークは MPI に試験実装した。これは、MPI が並列化のデファクトスタンダードなミドルウェアであり、さらに他の多くの並列化ミドルウェアが下位レイヤに MPI を利用していることが多いためで、この特徴により、多くの並列アプリケーションをサポートすることができる。さらに、MPI 仕様に含まれる API ラッパ層、PMPI を用いることにより、一般的な運用スーパーコンピュータ環境においても、特別な管理者側の対応を必要とせずに利用することができる。図 2 は本フレームワークのレイヤ構成である。FTSIM ABFT Module の部分は、アプリケーションレベルの耐故障機能定義を行う部分で、現在検討中である。

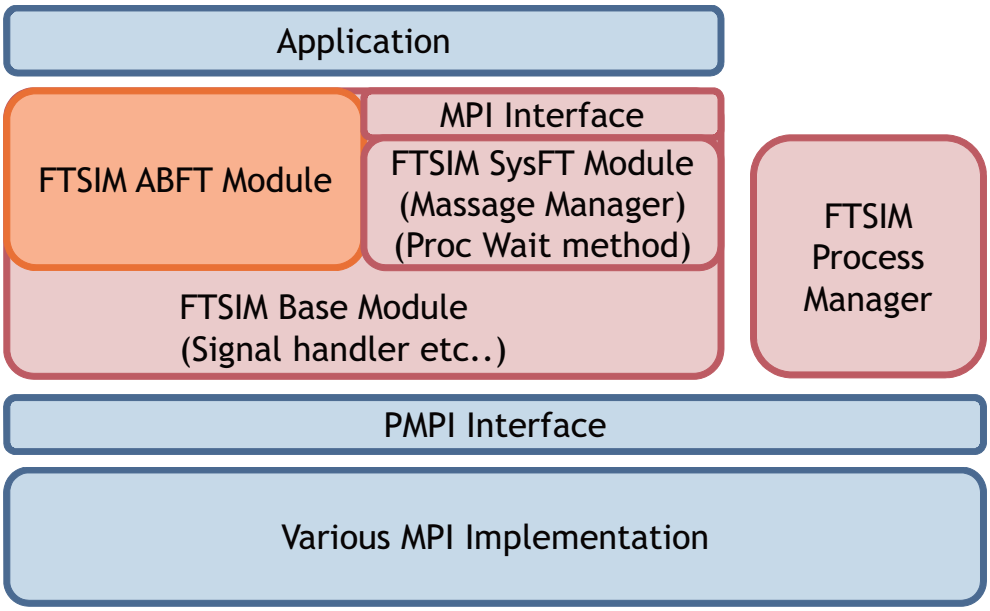


図 2: FTSIM:耐故障フレームワークレイヤ構造

2.3.2 耐故障アルゴリズムコンポーネント

本フレームワークを用いて、以下の 3 つの耐故障アルゴリズムの実行コスト比較を行った。それぞれのアルゴリズムはチェックポイントを行うが、その保存先はローカルディスク、および共有ディスクのどちらかを選択できる。以下ではローカルディスクに保存する場合の実装を説明する。各種数式は以下を示す: $C_{checkpoint}$: チェックポイントにかかる時間、 $C_{restart}$:リスタートにかかる時間、B: ロー

表 1: NPB CG/EP CLASS=D 32 プロセス

(sec.)	UN	UNCL	CO	故障無し
CG	2179	1708	1467	1200 程度
EP	301	333	348	280 程度

カルディスクのバンド幅、S: 1 プロセスのメモリサイズ、T: 再開するチェックポイントから故障が起きるまでに経過した時間

Coordinated Checkpoint with Reliable Network(CO) 全てのプロセスで同期的にチェックポイントを取得する手法である。ネットワークのドレインは行わず、リスタート後に送受信バッファをチェックして不足分を再送する仕組みを持っていると仮定する (Reliable Network)。これは、ある種のロギングと考えることができ、チェックポイントを同期的に行っている間の非決定性イベントを強制的に決定性イベントに変換する意味を持つ。リスタート時には、全てのプロセスがチェックポイントまで戻ってから再実行される。各コストは $C_{checkpoint} = S/B, C_{restart} = S/B + T$ となる。

Uncoordinated Checkpoint with Message Logging(UN) 全てのプロセスがそれぞれのタイミングでチェックポイントを取りながら、全てのメッセージをロギングしておく手法。ロギングにより、Uncoordinated 手法の弱点となるドミノエフェクトを防止できる。しかし、全てのメッセージをロギングするため、メモリ領域への圧迫や、ログ書き出しコストが問題になる。リスタート時は故障プロセスのみがチェックポイントに戻り、さらに再実行中の通信にかかる時間 (Com) はログから直接読み込むのでほぼ 0 に短縮可能とする。チェックポイントのタイミングは、今回は全てのプロセスが同時に行うとした。各コストは $C_{checkpoint} = S/B, C_{restart} = S/B + T - Com$ となる。

Uncoordinated Checkpoint with Clustering Message Logging (UNCL) NCSA Franck Cappello 氏のチームが提唱する、軽量並列チェックポイントアルゴリズムで、上記 UN を拡張している。UN の弱点は、ロギングコストが膨大になることだが、アプリケーションプロセスをグルーピング、グループ内は Coordinated な手法、グループ外は Uncoordinated な手法を利用し、グループ間通信のみをロギングすることによりロギングコストの軽減を行う。グループ間通信に利用した時間を Com_g としたとき、各コストは $C_{checkpoint} = S/B, C_{restart} = S/B + T - Com_g$ となる。

以上のコストモデルを考えると、予測される性能は、平均的には $CO < UNCL < UN$ になると考えられる。以降の評価では、Uncoordinated な手法における、部分リスタートによる全体フローへの影響と、UNCL, UN 間の性能変化を確認することを目的とした。

2.4 評価

前節で解説した 3 種の耐故障アルゴリズムに対して、NAS Parallel Benchmark に含まれる代表的な 5 つの計算手法 (CG/EP/FT/LU/MG CLASS=D) を適用し、32 プロセスの並列実行時間を測定した。実行機会の都合により CG のみが 5 実行の平均となっている。平均故障間隔はジョブ全体で 100 秒、チェックポイント間隔は 50 秒に設定されており、ローカルディスクの帯域は 250MB/s(一般的な SSD の速度) とした。うち、CG, EP についての結果が表 1 である。CG は通信回数の多いプログラムであり、逆に EP は通信回数がほぼ 0 のプログラムである。

これを見ると、EP は殆ど同じ時間になっているのに対し、CG は予想に反して、性能が $UN < UNCL < CO$ と成ってしまっている。この原因に関して、当初は部分リスタートによる通信タイミングのずれが影響するのではないかと考えていたが、本シミュレーションでは図 3 に示すとおり、UN は、CO より定性的に実行時間が同じ、もしくは少なくなることが分かる。UN の場合、健全なプロセスが故障プロセスと通信をする予定であったとしても、その受信時刻は、CO を使ったときに受信時

刻と同時か、短くなるからである。この性能見積もりの食い違いに関しては引き続き調査を続ける予定である。

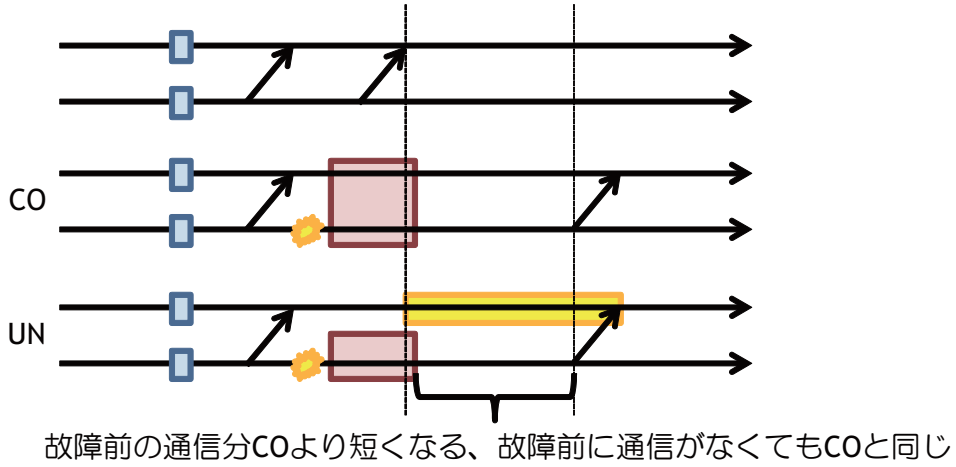


図 3: CO と UN におけるリスタートの違い：右側に行くほど時間が経過し、最初の四角はチェックポイントをロードするのにかかる時間、UN の二つ目の四角は、プロセスが通信を待ってウェイトする時間を示す。

2.5 具体的成果

エクストリームスケール計算環境に対応した、耐故障アルゴリズムを比較・モデル化し、自動チューニングの足がかりとするための、比較フレームワークを構築した。これに伴い、代表的なチェックポイントアルゴリズムとエクストリームスケール計算環境のために拡張したチェックポイントアルゴリズムをコンポーネントとして実装し、比較した。この結果に関しては、より深い考察が必要で、パラメータや計算規模を変えながら検証を続ける予定である。

3 MPI3.0 における耐故障仕様の検討・調査

3.1 背景

並列計算のデファクトスタンダードミドルウェアである MPI には耐故障に関する仕様がなく、エクストリームスケール環境での実行に耐えない。これに対して、FT-MPI, MPICH-V, OpenMPI 等の独自拡張による耐故障 MPI が研究された。これらを総括し、さらに仕様としての最低限度の機能と実装可能性を検討した結果、アプリケーションレベルの耐故障関数群を MPI3.0 に含めることとした。本テーマではこの耐故障関数群の検討に参加し、そこで決定した内容について簡単に紹介する。しかしながら本関数群は未だ検討中であり、ここで紹介する内容はあくまでも暫定的なものである。

3.2 内容

MPI3.0 の耐故障機能は Fail-Stop モデル、アプリケーションレベル耐故障を対象としており、昨年度までに策定していた Run-Through Stabilization の仕様に関して、ワーキンググループから策定委員会全体への提案を初夏に行った。結果として、あまりにも提案された仕様が複雑すぎたうえ、実装難度も高く、実現性が低いのではないかという話になり、再度新たな手法を考えることなり、新たに User-Level Failure Mitigation という提案が行われ、Run-Through Stabilization の議論は一度停止することとなった。結果、故障復旧手法は 1) 故障検知と周知 (User-Level Failure Mitigation)、2) プロセスの復旧 (Process

Recovery) からなる。また、これを補助するために、構成プロセスの状態を保持する Process State という状態変数がある。

3.2.1 Process State

MPI3.0 では構成プロセスごとに Process State という状態変数を新たに追加しており、通常状態 (MPI_RANK_STATE_OK)、未承認故障状態 (MPI_RANK_STATE_FAILED)、承認済み故障状態 (MPI_RANK_STATE_NULL)、復旧状態 (MPI_RANK_STATE_RESTORING)、復旧終了状態 (MPI_RANK_STATE_RESTORED)、グループ未参加状態 (MPI_RANK_STATE_UNJOINED) が設定されている。すでに故障していることが確認されている承認済み故障状態のプロセスに対する通信を行った場合、なにもせず通信成功を返すことにより通信のブロックを回避し復旧処理を行うことができる。

3.2.2 User-Level Failure Mitigation

本仕様は、今まで非同期にこだわっていた故障検出を、必要なときは同期的に行うことにより、これまでの耐故障仕様を簡略化したものである。基本的に、エラーは MPI 関数からの返値として与えられ、MPI 関数が集団通信であった場合を含め、通信中にエラーが起こった場合にはその結果が通信に関わった全プロセスへ同期される仕組みである。つまり、MPI 関数からエラーコードが帰らない場合は必ず正しい通信ができている状態であるということが、以前までに提案されていた仕様と違う部分である。また、もし通信中にエラーが出たとしても、エラーが発生した通信路以外の部分は最大限利用可能にすることが要求される。これは復旧時に MPI 通信関数を利用可能とするためである。

本実装のコストは未だ正確なものが分かっていないため、今後は試験実装とコスト確認が行われる予定である。また、RMA, FileI/O の対応に関しては、まだ研究途上分野ということでサポート外の状態になっている。

3.3 具体的成果

並列プログラミングのデファクトスタンダードとなっている MPI の耐故障機能は必須である。アプリケーションレベル耐故障コーディングの容易化の研究においても下請けの通信ミドルウェアとして利用されることを想定する必要がある。横断的で効率の良い故障復旧を行う為には、アプリケーションとミドルウェアの協調は不可欠であり、ミドルウェアの検討を通じ、情報を得たこと、およびアプリケーションで利用したい耐故障機能を議論にかけ標準仕様としてまとめていることが成果である。MPI Forum Home Page[1]にて、まとめられた成果や検討事項を確認することができる。

4 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 児玉祐悦，丸山直也，近藤正章，建部修見，實本英之，岩下武史.10 年後の大学計算機センターの計算機 ――その仕様と課題について――, T2K シンポジウム 2011, パネルディスカッション, November, 2011.

[招待 2] 實本英之、スパコン耐故障１０１〜エクサスケールにむけて、日本応用数理学会 2011 年若手の会 単独研究会, December, 2011.

その他の発表論文

[発表 1] 實本英之、建部修見、佐藤仁、石川裕. 広域分散環境を提供する HPCI システムソフトウェア基盤の設計概要と共有ストレージ構築, 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング,2011-HPC-130,67,pp1-6, July 2011.

[1] http://www.mpi-forum.org/

[発表 2] 滝澤真一朗、棟朝雅晴、宇野篤也、小林泰三、實本英之、松岡聡、石川裕. 広域分散環境を提供する HPCI 先端ソフトウェア運用基盤の設計, 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング,2011-HPC-130,68,pp1-7, July 2011.

[発表 3] 實本英之、VM を考慮したジョブスケジューリングシステムの開発、アカデミッククラウドシンポジウム 2011 ＠北海道大学、口頭発表、August 2011.

DEOS Runtime Environment に関する研究・開発

横手　靖彦

1　概要

DEOS アーキテクチャに準拠した実装としての DEOS Runtime Environment に関する研究・開発を実施した。

2　DEOS Runtime Environment（D-RE）

2.1　背景

D-RE は DEOS プロセスを実現するための DEOS アーキテクチャにおけるランタイム環境（DEOS Runtime Environment）として研究を進めた。

2.2　内容

図1記載の DEOS プロセスの要諦は(1)変化対応サイクルと障害対応サイクルの同時存在であり、(2)目的・環境変化対応サイクルにおけるステークホルダ間のディペンダビリティに関する合意された要求を D-Case に記述している点であり、(3)障害対応サイクルにおける障害発生時の迅速対応や障害発生の未然回避を D-Case に基づいて遂行できる点であるとした。D-Case を設計図とするなら、その実現形態が D-RE であり、そこにはステークホルダの合意された要求が反映されている。しかし、ステークホルダの要求は各種環境の変化を要因として変化するので、ある時点で合意された D-Case は別の時点では変化していることになる。この D-Case の変化に D-RE は対応する必要がある。

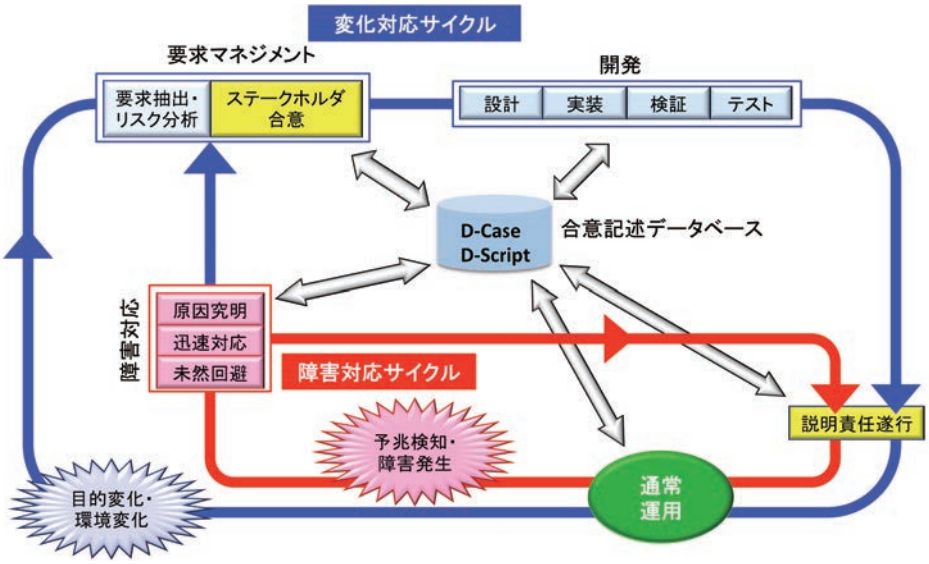


図 1：DEOS プロセス

D-RE の実装を複数のハードウェアプラットフォームに対応させるためにはアーキテクチャの定義が必要であるので当該アーキテクチャの研究を行った。当該アーキテクチャは DEOS プロセスを実現しなくてはいけない。そこで、我々は商品やサービスのライフサイクル全体に関わるアーキテクチャとして図2に示す DEOS アーキテクチャを開発した。当該アーキテクチャ図に於いては D-RE はランタイム環境を提供する。

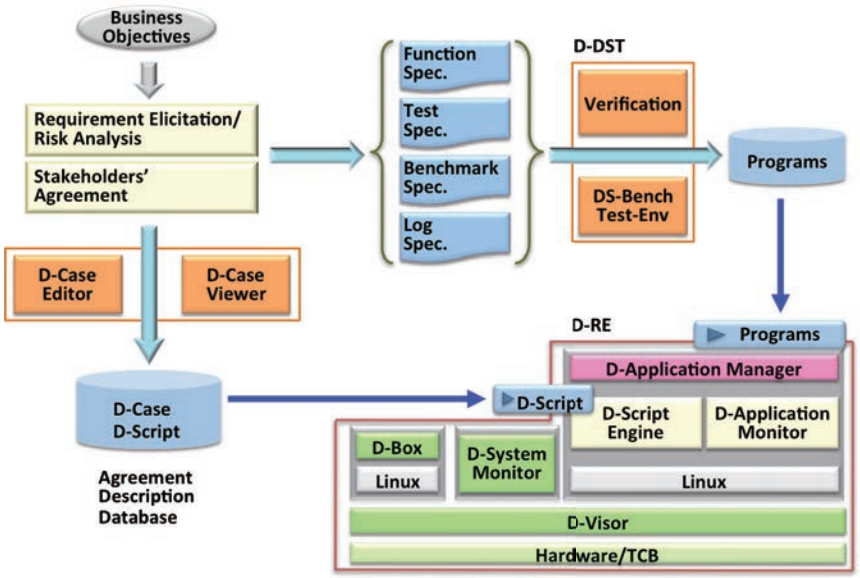


図 2：DEOS アーキテクチャ

図3に D-RE のソフトウェア構造を示す。

動作監視：D-Case に記述された対象システムがステークホルダによる合意通りに運用され稼働しているかを監視する。その際に「合意通り」を裏付けるデータを収集する必要がある。ステークホルダは D-Case モニタノードとして監視ポイントを記載している。すなわち、ステークホルダはそれら監視ポイントをオープンシステムズディペンダビリティ実現の為には重要であるとして合意している。本稿ではモニタノードで収集されたデータをエビデンスと呼び、ステークホルダの説明責任遂行の際のデータとする。

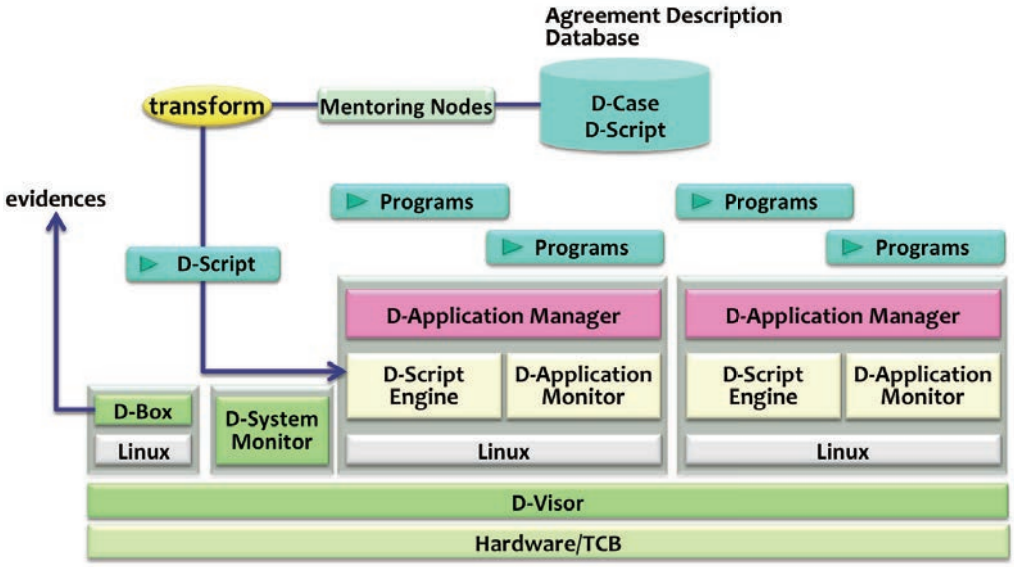


図 3： D-RE ソフトウェア構成

再構成:D-Case の変化に対応するために実行環境を再構成する。その為には、システム構成要素を隔離する機能が必要である。障害発生時には障害部位を隔離し、他の部位に影響を与えないようにする。隔離の仕方や再構成の仕方は対象部位により、また実行状況により異なり、実行時の柔軟性が要求されるので、次に述べるスクリプトが必要になる。

スクリプト:システム再構成時には対象毎に異なる再構成手順を実行し、動作監視時にはモニタノードに対応して監視手順とエビデンス収集手順を実行する。これらの実行手順を記述したプログラムをスクリプトと呼ぶ。実行環境にはこのスクリプトを安全・確実に実行する必要がある。

記録:動的監視により得られたエビデンス、再構成の記録、スクリプトの実行記録を始め、OSD 実現に有益な情報を記録する。これらの記録は、アクセス管理、暗号化、改竄検出を行い、情報の整合性を守る必要がある。

セキュリティ機能:動作監視、再構成、スクリプト、そして記録機能を安全に実行するためにセキュリティ機能が必要となる。

ライフサイクル管理:D-RE 上の動作するアプリケーションのライフサイクルを管理する。

2.3 具体的成果

D-RE のリファレンス実装では、前記機能を実現する構成要素を組み込むことになる。

上記D−REソフトウェア構成を Symphony 社の KnowledgeLine アプリケーション[1] に組み込むことで、DEOS プロセスにおける変化対応サイクルと障害対応サイクルを支援するランタイム環境を構築した。変化対応サイクルにおいては KnowledgeLine が備えるドキュメント管理、およびプロジェクト管理機構を利用し対象システムとしての KnowledgeLine アプリケーションのディペンダビリティ要求に関する議論を進める。一方、障害対応サイクルにおいては、D−RE対応のために拡張した機構(D-KL を呼ぶ)を利用することで、KnowledgeLine アプリケーション自身のディペンダビリティ要求を満たすように上記D−RE基本動作を実行する。本アプリケーションにより、DEOS プロセスが有効に機能することが示された。また、本アプリケーションは残りの DEOS プロジェクト推進における DEOS プロセス実験環境として利用される。図4にアプリケーションのスナップショットを示す。

図 4 : D-KL スナップショット

[1] http://www.symphonies.jp/cgi-bin/WebObjects/11863105199.woa/wa/read/129b53b99c9/

3　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 横手　靖彦:ディペンダブルシステムの実行環境, ET2011 スペシャルセッションオープンシステムディペンダビリティが世界を変える～変化しつづけるシステムのサービス継続と説明責任の全うを目指して～, 2011 年 11 月

著書／編集

[著書 1] Yasuhiko Yokote: Runtime Environment for DEOS Process and Architecture (Chapter 6 and others), in Mario Tokoro, ed.: Open Systems Dependability - Dependability Engineering for Ever-Changing Systems, CRC Press, 2012.

特許申請／取得

[特許 1] 横手 靖彦、所 眞理雄、山本 修一郎、松野 裕: ディペンダビリティ維持装置、ディペンダビリティ維持システム、ディペンダビリティ維持装置の制御方法、制御プログラムおよびそれを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体, 特願 2011-177322, 国際出願移行, 2011 年 08 月 12 日

[特許 2] 横手 靖彦、所 眞理雄、山本 修一郎、松野 裕: ディペンダビリティ維持装置、ディペンダビリティ維持システム、ディペンダビリティ維持装置の制御方法、制御プログラムおよびそれを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体, PCT-JP2011-076219, 34 条補正中, 2011 年 11 月 14 日

システムのディペンダビリティ保証のための ツールとプロセスの構築

松野 裕

1 概要

本研究は、システムのディペンダビリティ保証を補助するためのツールおよびプロセスの研究開発を目的として行っている。JST CREST 「実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル・オペレーティングシステム」研究領域（DEOS プロジェクト) における、「並列・分散型組込みシステムのためのディペンダブルシングルシステムイメージ OS (研究代表者: 石川裕情報基盤センター長)」課題において、2010 年度より行っている。以下の活動は、DEOS プロジェクト内のサブチームである、東大、慶大、産総研、富士ゼロックス, JST からの研究者よりなる D-Case/Metrics チームという、システムのディペンダビリティの保証・評価に関する研究チームのリーダーとして行ったものである。

システムのディペンダビリティ保証のための手法として近年イギリスなどで注目されている Assurance Case に着目し、Assurance Case の記述支援を行なうためのツールおよびプロセスの開発、およびエレベータなどの組み込みシステムを例にした Assurance Case 記述実験を行っている。また研究開発成果の国際規格標準化を目指して、Object Management Group (OMG), Open Group などの国際規格化団体に参加し、Assurance Case における型の導入やパターンの形式化など、我々独自の提案を行ってきた。

今年度の研究開発内容は以下である。

- Assurance Case 記述ツール「D-Case Editor」開発。D-Case とは、DEOS プロジェクトで開発されている、型やパターンなどによって拡張された Assurance Case である。D-Case Editor は、DEOS プロジェクトで開発中の OS などとツールチェーンを成すことにより、開発者、運用者などがシステムのディペンダビリティ情報を容易に記述、参照できるよう、補助を行なうことを目的として開発している。

- D-Case 記述プロセスの開発、標準化。システムライフサイクルのどのようなときに、誰が、誰にディペンダビリティの保証を行なうかなどの手順のプロセス化を行っており、OMG, Open Group などで、Assurance Case Process として提案中である。

- DS-Bench/D-Cloud とのツールチェーン。これまで DEOS 石川チームおよび筑波大学の佐藤三久チームで研究開発を行なってきたディペンダビリティベンチマークツールとのツールチェーンを構築した。

2 システムのディペンダビリティ保証のためのツールとプロセスの構築

2.1 背景

Assurance Case とは、主にイギリスなど欧米において、Safety critical なシステムを開発運用する際に、認証機関に提出することが義務付けられるほどに普及している、システムの安全性などを議論するための文書一式である。Case とは法廷用語の「根拠」を意味する。システムの安全性 (Safety) を議論す

る場合は Safety Case、ディペンダビリティなどを議論する場合は、Dependability Case などと呼ばれる。その基本構造は木構造であり、議論すべきゴール（システムの安全性など）をトップに置き、それをサブゴールに分割することにより詳細化する。詳細化されたサブゴールは、最終的に、エビデンスによって保証される。図 1 に基本構造を示す。

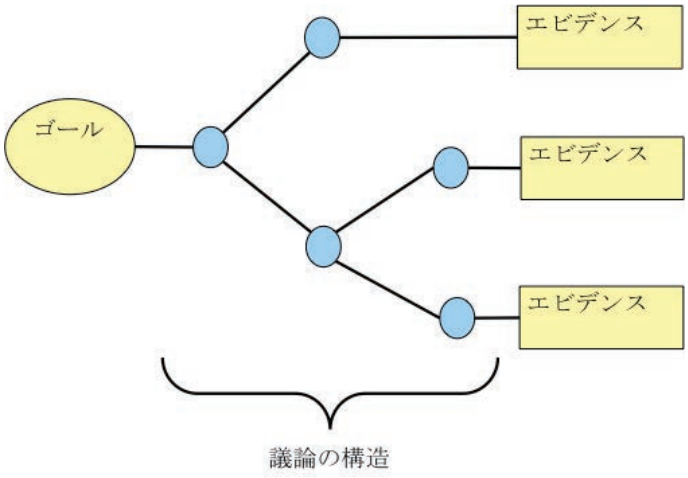


図 1: Assurance Case の基本構造

Assurance Case は、その木構造を明示的に示し議論しやすくするために、グラフィカルな記法でしばしば書かれる。主要な記法は、イギリスの York 大学で開発された Goal Structuring Notation (GSN) と、イギリス Adelard 社で開発された Claim, Argument, Evidence (CAE) である。GSN を用いた簡単な Assurance Case を図 2 に示す。

図２において、議論すべきトップゴールは「C/S Logic では欠陥が生じない」である。もちろん、すべての欠陥が生じないことは保証できないので、ここでは、リスク分析の結果から得られた、２つの欠陥 A, B について議論している。トップゴールにつけられた、丸みがついた長方形のノードは、コンテキストノードと呼ばれ、ゴールを議論する際の環境情報が記述される。ゴールの下につく、平行四辺形のノードは、ストラテジと呼ばれ、そのゴールを分割する際の理由が記述される。ここでは、欠陥 A, B を分けて議論することが記述されている。ストラテジの下のゴールは、欠陥 A, B についてであり、欠陥 A は、FTA 解析の結果によるエビデンス（楕円形のノード）によって、保証されている。一方、欠陥 B に関するゴールに与えられた菱形のノードは、欠陥 B に対してエビデンスが現時点では与えられていないことを示している。

Assurance Case が普及した背景には、1988 年におきた、死者 167 名を出した北海油田事故など近年イギリスで発生した深刻な障害がある。単にシステムの開発や運用を手順通りにするだけでなく、その開発や運用で、なぜシステムが安全になるのか、エビデンスをもとに議論する必要性がイギリスで広く認識された。以後原子力発電所など、Safety Critical なシステムの開発運用においては、Safety Case の記述が義務付けられるようになった。Safety Case に関しては、特にイギリス York 大学の Tim Kelly らのグループによる研究が有名であり、GSN を用いて、どのようにより安全性を確かにできるような Safety Case を記述できるのか、リスク分析手法などとの組み合わせ、複雑なシステムにおける記述の検討などにより、活発に行われている。Assurance Case ツールの数は現在それほど多くはない。Aderald 社で開発されている ASCE ツールが最も広く使われている。Assurance Case の重要性が高まるにつれて、いくつかの Assurance Case ツールが開発されている。

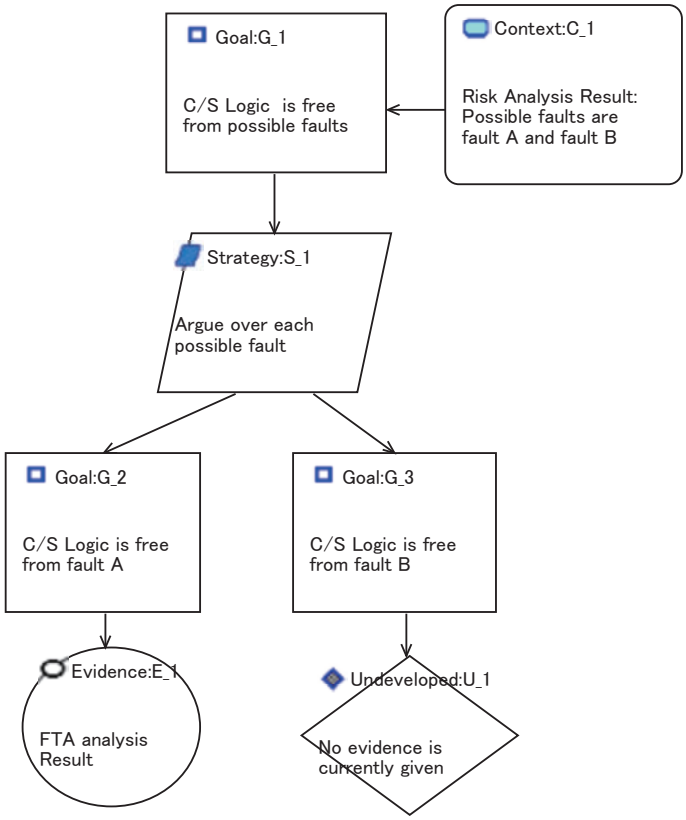


図 2: GSN で書かれた Assurance Case の例

2.2 内容

2.2.1 ディペンダビリティ保証ツール研究開発

図 3 に、開発中の D-Case Editor のスナップショットを示す。D-Case Editor は、Eclipse GMF 上で開発されている。利用者は、GSN のノードを選択し、キャンパスに貼り、リンクをすることにより記述を行なう。本年度は特に後述する DS-Bench/D-Cloud とのツールチェーン構築を行った。

2.2.2 D-Case 記述プロセスの開発、標準化

D-Case 記述プロセスの提案を行い、OMG、Open Group で標準化の提案を行った。また、D-Case の形式やレポジトリの標準化の提案を行った。[発表 3, 招待 3, 発表 1, 発表 2]。

2.3 具体的成果

査読付きの国際ワークショップ発表を 2 件行った [査読付 1, 査読付 2]。

D-Case Editor は、フリーウエア公開したことにより、組込みシステムのワークショップなどで招待講演を行った [招待 1, 招待 2, 招待 4]。企業、研究機関などからの問い合わせなどをいくつか受けた。

DEOS プロジェクトで開発中のアーキテクチャとの連携のための仕組みを発明し、国際特許出願を行った [特許 1, 特許 2]。この仕組みを、ET2011 においてデモ、講演を行った [特記 1]。

国際規格標準化に関して、OMG、Open Group において、D-Case Editor、D-Case に関する発表を行い、広く認知を得た。Open Group のエンタープライズ・アーキテクチャのプロセスである TOGAF に D-Case 記述プロセスの組み込みを進めることになった [招待 3, 発表 3]。

OMG において、トヨタの大畠明氏、産総研の田口研治氏、中坊嘉宏氏らと、介護ロボットなどの消費者機械の開発プロセスに関する標準化の提案を行い、ホワイトペーパーを提出した [発表 4]。こ

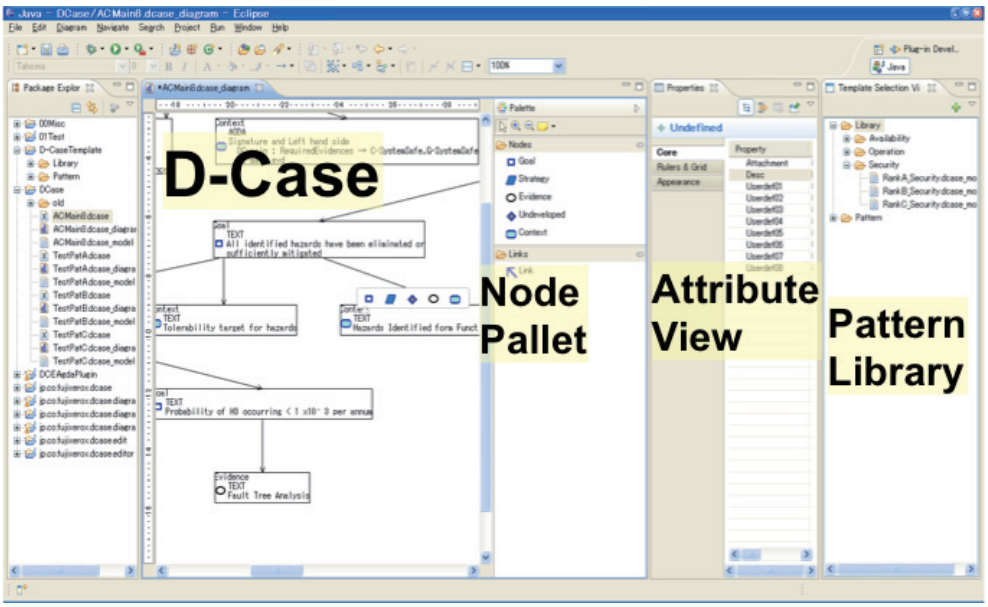


図 3: D-Case Editor のスナップショット

の中には、D-Case 記述プロセスが入る予定である。この標準化のための委員会が IPA SEC において立ち上がり、委員として参加し DEOS, D-Case の標準化を進めた。

3 Dependability ベンチマークツールとのツールチェーン

システムのディペンダビリティを保証するため、ベンチマークテストの結果などを D-Case においてエビデンスとして用いるためのツールセット DS-Bench を藤田肇特任助教、塙敏弘筑波大准教授、富士ゼロックス上野肇氏らと開発した [査読付 3]。本稿では D-Case Editor の部分を主に示す。DS-Bench の詳細については藤田特任助教の報告に詳しい。図 4 に DS-Bench Toolset の概要を示す。DS-Bench Toolset は先述した D-Case Editor と、ディペンダビリティベンチマークをするための、ベンチマークやアノーマリーツールなどを管理する DS-Bench ツール、実機や Virtumal Machine 上で障害などをシミュレーションする D-Cloud ツールよりなりたつ。DS-Bench Toolset の利用者は、まず D-Case Editor でシステムのディペンダビリティを記述する。詳細化していくなかで、必要となるエビデンスとして、ベンチマークを実行する。DS-Bench Toolset では、D-Case Editor から DS-Bench を呼び出し、DS-Bench から D-Cloud を実行し、障害をシミュレーションすることにより、システムが障害から自動復旧できることなどを、開発時のテスト段階で保証する。図 5 に Wiki システムを対象として記述した Assurance Case の一部分を示す。この部分は、Wiki システム内の一つのウエブサーバがダウンしても、要求されるディペンダビリティが保たれることを議論している。左の部分木は、シミュレーション設定の妥当性に関する議論であり、右の部分木が、実際に一つのウエブサーバがダウンするシミュレーションを行い、その結果を登録している。図 5 では、サーバが一つダウンしても、レスポンスタイムが、3000 ミリ秒以内であるというディペンダビリティ要件を、実際のシュミレーション結果 (664.0 ミリ秒) をエビデンスとして保証している。図中のエビデンスが青くなっているのは、要件が満たされていることを示している。

3.1 具体的成果

DS-Bench Toolset における D-Case Editor の役割は、ベンチマーク結果が、ディペンダビリティを保証するためのエビデンスであることを示すことである。[査読付 3] がディペンダビリティ分野で歴史のある DSN(Dependable System Netowork) 学会に採択されたことは、ディペンダビリティの分野におい

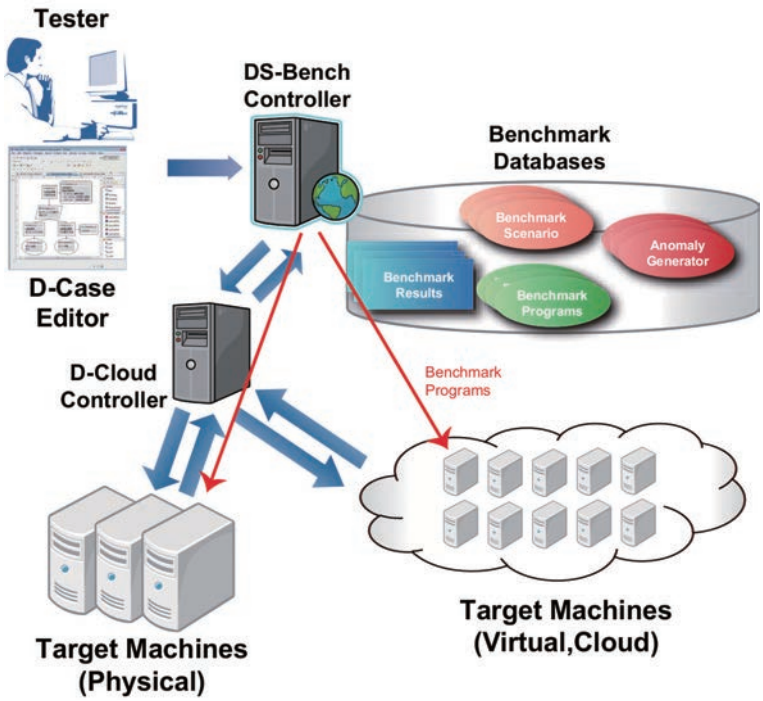


図 4: DS-Bench Toolset [査読付 3] の概要

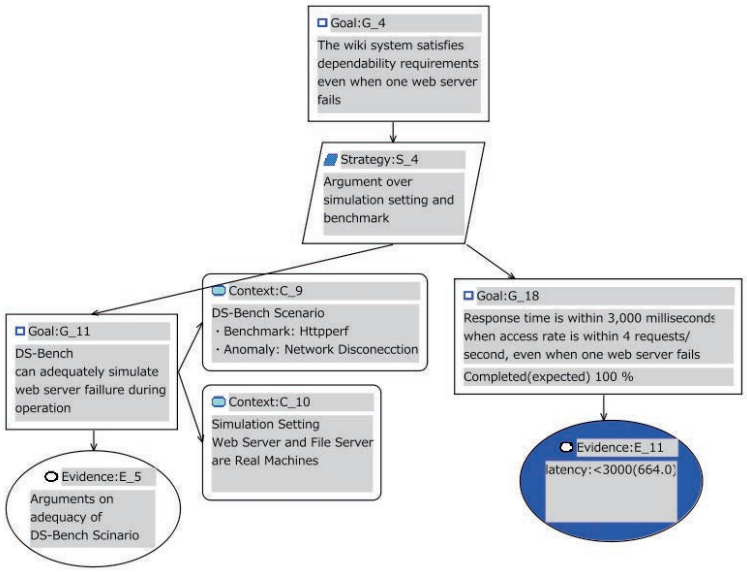


図 5: エビデンスとして用いられるベンチマーク結果 [査読付 3]

ても、ベンチマーク結果などをエビデンスとして、システム全体のディペンダビリティを議論することの重要性が認識されはじめていることのあらわれであると考える。

4　成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] Yutaka Matsuno, D-Case Editor: A Typed Assurance Case Editor, OSADL 13th Real-Time Linux Workshop, Czech Technical University in Prague, Czech, Oct 2011

[招待 2] Yutaka Matsuno, D-Case Editor: A Free Assurance Case Editor, OSADL session in Embedded World, Nuremberg, Germany, March 2012.

[招待 3] Yutaka Matsuno, DEOS and D-Case for Open Systems Dependability. Presented at RTES Forum, Open Group Conference, San Francisco, USA, Jan 2012.

[招待 4] システムのディペンダビリティ、安全性保証の現在, 松野裕, 田口研治, SICE セミナー, 計測自動制御学会, 産総研臨海副都心センター, 2011 年 11 月

査読付論文

[査読付 1] Yutaka Matsuno, Kenji Taguchi, Yoshihiro Nakabo, Akira Ohata, Iterative and Simultaneous Development of Embedded Control Software and Dependability Case, Workshop on Dependable Systems of Systems, Sep 2011, University of York, York UK

[査読付 2] Yutaka Matsuno, Makoto Takeyama, Jin Nakazawa, Dependability Case for Open Systems Lifecycle, Proceedings of Inconsistency Robustness, Aug 2011, Stanford University, California USA

[査読付 3] Hajime Fujita, Yutaka Matsuno, Toshihiro Hanawa, Mitsuhisa Sato, Shinpei Kato, Yutaka Ishikawa, DS-Bench Toolset: Tools for Dependability Benchmarking with Simulation and Assurance, DSN, June 2012, to appear.

その他の発表論文

[発表 1] Makoto Takeyama, Kenji Taguchi, Yutaka Matsuno, Mechanizing Assurance Cases, Presented in System Assurance Task Force, OMG Technical Meeting, Sep 2011

[発表 2] Luke Emmet, Yutaka Matsuno, Assurance Case Repository Whitepaper (Draft), Presented in System Assurance Task Force, OMG Technical Meeting, Sep 2011

[発表 3] Yutaka Matsuno, Dependability Case for Open Systems Lifecycle, presented in RTES Forum, Open Group Conference, San Diego, USA, Jan 2012.

[発表 4] Yutaka Matsuno, Kenji Taguchi, Yoshihiro Nakabo, Akira Ohata, Assuring Dependability of Consumer Devices: Automobiles, Consumer Robots, Smart Houses, Avionics, etc., OMG White Paper, System Assurance Task Force, OMG, Sep 2011.

特許申請／取得

[特許 1] 横手 靖彦、所 眞理雄、山本 修一郎、松野 裕: ディペンダビリティ維持装置、ディペンダビリティ維持システム、ディペンダビリティ維持装置の制御方法、制御プログラムおよびそれを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体, 特願 2011-177322, 国際出願移行, 2011 年 08 月 12 日

[特許 2] 横手 靖彦、所 眞理雄、山本 修一郎、松野 裕: ディペンダビリティ維持装置、ディペンダビリティ維持システム、ディペンダビリティ維持装置の制御方法、制御プログラムおよびそれを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体, PCT-JP2011-076219, 34 条補正中, 2011 年 11 月 14 日

特記事項

[特記 1] DS-Bench/TEST_ENV/D-Case 統合デモ、D-RE デモ、D-Case デモ、ET2011、横浜、2011 年 11 月

[特記 2] 松野裕, 変化し続けるシステムのディペンダビリティ合意形成とツール, ET2011 スペシャルセッション C-7-2, ET2011, 横浜, 2011 年 11 月

大規模分子動力学シミュレーションによる気液混相流の研究 ー計算機シミュレーションによる沸騰流の再現に向けてー

稲岡　創

1　概要

沸騰現象を伴う気液混相流は、熱機関やエネルギー輸送など、我々の生活にとって工学的に重要な応用がなされている現象である。しかし、沸騰は液相から気相への相転移を伴う非平衡現象であり、また、液相が破砕して液滴を形成する現象は強い非線形性を伴う現象である。このような非平衡非線形現象の理論は未完成であり、沸騰流の振舞について理解し正確に予測することは、現在知られている物理理論では不可能である。

このような状況においては計算機シミュレーションによる研究の進展が望まれるのであるが、これまでに広く行われている方法を用いた沸騰流のシミュレーションには次のような問題がある。即ち、現在広く行われている気液混相流のシミュレーションは、気体や液体を連続体として取り扱い、気相ー液相間の質量や熱の移動などに関する方程式と Navier-Stokes 方程式などの流体方程式とを連立させて数値的に解くことで行われている。しかし、気液界面におけるエネルギーや質量の移動の方程式は、局所平衡や線形非平衡を仮定して導出されたものがほとんどであり、沸騰流のような強い非平衡や非線形性を生ずる現象に対してこれらを適用可能であるか否かは不明である。

そこで、筆者らは流体を分子に相当する粒子の集合で構成し、それら全ての粒子の運動を分子動力学法により計算することで沸騰現象を伴う複雑な気液混相流を再現する研究を行っている。この研究により、沸騰流の理解に繋がる気液混相流に関する新たな知見の獲得を目指す。また、沸騰流に限らず、非線形非平衡現象についての一般的な物理学の確立への貢献も視野に入れている。そのような研究の一環として、本年度は Lennard-Jones 粒子によって構成された衝撃波管モデルに見られるスケーリング関係についての研究と、Lennard-Jones 粒子からなる液体の加熱による沸騰現象の再現を行った。

尚、本研究は工学系研究科物理工学専攻の伊藤伸泰准教授が提案し、２００８年にサウジアラビア・アブドラ王立科学技術大学の Global Research Partnership Investigators 賞に選ばれたプロジェクト「アボガドロ数への挑戦ー非平衡現象の計算統計物理学ー」の一環として行われている。このため、このプロジェクトのために購入された日立製作所製 SR16000/L1 の運用管理、プロジェクトに関係する研究を行っている大学院生に対する指導、プロジェクトに必要な外部計算資源の確保、なども筆者の業務に含まれている。

2　Lennard-Jones 粒子系の衝撃波管のシミュレーション

2.1　背景

概要で述べたように、沸騰流のような複雑な気液二相流の計算機シミュレーションを連続流体力学に基づいて行った場合、得られる結果の妥当性に疑問が残る。我々の研究のような分子動力学法によるシミュレーションでは、全ての粒子の運動を Newton 力学によって決定するため、恣意的な仮定の入り込む余地がほとんどなく、自然界で起こる現象を忠実に再現することが可能になると期待できる。しかしこの方法には流体運動のシミュレーションのために膨大な数の粒子の運動を計算しなければな

らない、という問題があり、現在のスーパーコンピュータを用いても沸騰流のシミュレーションを行うのは困難であると考えられる。そこで昨年度まで我々は、沸騰流のシミュレーションを行う前段階の課題として、膨張減圧によって気化しやすい流体と液化しやすい流体の混合物を作り、これが膨張減圧する際に生ずる複雑な気液二相流の性質を大規模分子動力学シミュレーションにより研究してきた。その結果、粒子数密度、流速、温度、圧力などの局所的物理量 Q を計測し、これを流れの方向に沿って測った位置 z と時間 t の関数 $Q(z,t)$ として表したとき、この関数は系内で液滴形成などの非平衡現象が起こらない場合には、

$$Q(z,t) = F(t/z) \tag{1}$$

のようなスケーリング関係を示すことが明らかとなった。ここで $F(\zeta)$ はスケーリング関数であり、$Q(z,t)$ のような関数を物理量 Q のプロファイル関数と呼ぶ。逆に、系内で何らかの非平衡現象が生ずる場合には、このスケーリング関係が破れることが予想されたのであるが、昨年度までの研究では、スケーリング関係を大きく破るような現象は観測されなかった。

そこで、本年度前半はこのスケーリング関係の破れを生ずる実例を Lennard-Jones 粒子によって構成した衝撃波管のシミュレーションにより探索し、非平衡現象の存在とスケーリング関係の破れの関係を実証する研究を行った。

2.2 内容

研究に用いたモデルは系内の流体を Lennard-Jones ポテンシャル

$$\phi(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12} \quad \left(\frac{\sigma}{r}\right)^{6} \right] + \phi_0 \tag{2}$$

を通じて二体相互作用する粒子の集合で構成する。ここで r は粒子間の距離である。ϵ と σ は定数であり、このモデルでは共に 1 に設定されている。実際のシミュレーションでは、遠く離れた粒子間の相互作用まで計算すると計算量が多くなりすぎるので、適当なカットオフ距離を設定し、この距離以上の相互作用を無視するようにする。式 (2) 中の ϕ_0 はカットオフ距離 r_0 で $\phi(r_0)$ がゼロとなるよう加えられる定数である。筆者らの研究ではカットオフ距離 r_0 として $r_0 = 2.5$ を用いた。系内の粒子は近隣の粒子や系の境界にある壁面からの力を受けながら運動する。即ち、系は Hamiltonian

$$H = \sum_i \frac{1}{2}|\boldsymbol{p}_i|^2 + \sum_{i\ j(i<j)} \phi(|\boldsymbol{q}_i \quad \boldsymbol{q}_j|) + H_W \tag{3}$$

に従って時間発展する。式 (3) で $\boldsymbol{p}_i$、$\boldsymbol{q}_i$ はそれぞれ i 番目の粒子の運動量、位置を表している。第 1 項の和は系内の全ての粒子についてとられ、第 2 項の和は全ての粒子ペアについてとられる。第 3 項

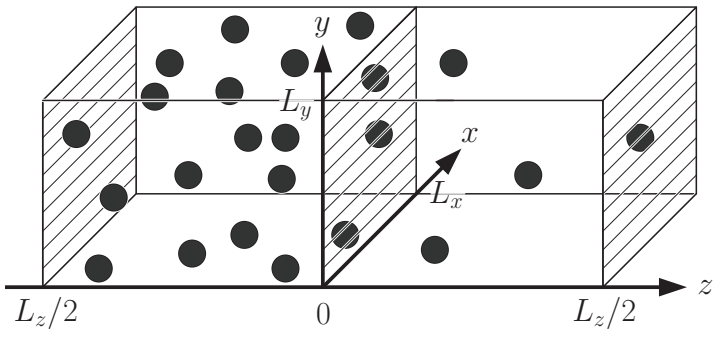


図 1: シミュレーションを行う系の模式図

は系内の粒子と壁面など系の構造物との相互作用を表す。第 1 項の形から分かるように、系内の全ての粒子の質量は 1 と設定されている。シミュレーションでの系の時間発展は各粒子についての運動方程式を数値積分することにより行われる。

シミュレーションは図 1 のような衝撃波管状の系を用いて行われる。この管状の系の両端には、粒子が漏れ出さないようにポテンシャル障壁が設けられている。初期状態では管の中央部にもポテンシャル障壁が設けられており、この障壁一方の側、即ち図 1 の左側には Lennard-Jones 粒子が密度 0.5 で、他方の側には密度 0.01 で封入されている。封入した粒子を一定温度に保ち熱平衡状態を実現した後、中央の障壁を取り除く。すると、高密度部の Lennard-Jones 粒子が爆発的に減圧膨張しながら低密度部に流れ込む。この爆発流の圧力を各部で測り、管の方向に沿って測った位置 z と減圧の開始時点から測った時刻 t の関数 $P(z,t)$ として表す。尚、シミュレーションの規模を表す系内の粒子数は最大 3600 万粒子程度となっている。

2.3 具体的成果

多くの気体力学の教科書では、衝撃波の伝播を考察するために理想気体の衝撃波管モデルが紹介されている。理想気体の衝撃波管の場合には式 (1) のスケーリング関係が成立することが知られている。議論の出発点として、先ず、この事実について確認する。

系内の質量、運動量、エネルギーの保存則は、それぞれ、

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u) = 0, \tag{4}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\{\rho u\} + \frac{\partial}{\partial z}\{\rho u^2 + P\} = 0, \tag{5}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left\{\frac{1}{2}\rho u^2 + U\right\} + \frac{\partial}{\partial z}\left[\left\{\frac{1}{2}\rho u^2 + U + P\right\} u\right] = 0 \tag{6}$$

と記述される。これらの式中、ρ、u、P、U はそれぞれ、質量密度、流速、圧力、内部エネルギー密度のプロファイル関数である。ここで、次のふたつのベクトル X と F を導入する。

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho u^2/2 + U \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$F = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + P \\ (\rho u^2/2 + U + P)u \end{bmatrix} \tag{8}$$

これらのベクトルを用いると、保存則の式 (4)–(6) は

$$\frac{\partial X}{\partial t} + A(X)\frac{\partial X}{\partial z} = 0 \tag{9}$$

と書き替えられる。ここで $A(X)$ は

$$A_{ij}(X) = \frac{\partial f_i(X)}{\partial x_j} \tag{10}$$

を要素とする行列である。行列 $A(X)$ の固有値が全て互いに異なる場合、式 (9) は放物型微分方程式系を成し、式に現れる物理量のプロファイル関数は式 (1) のスケーリング関係を示すことが知られている。

ところが、上記の式 (9) の導出には非常に重要な仮定が必要となる。そもそも、保存則の式 (4)–(6) には 4 つの変数、即ち、ρ、u、P、U が登場する。しかし、保存則の式は 3 つしかないため、このままではこの方程式の解は決まらない。そこで、気体力学の教科書で理想気体の衝撃波管について論ず

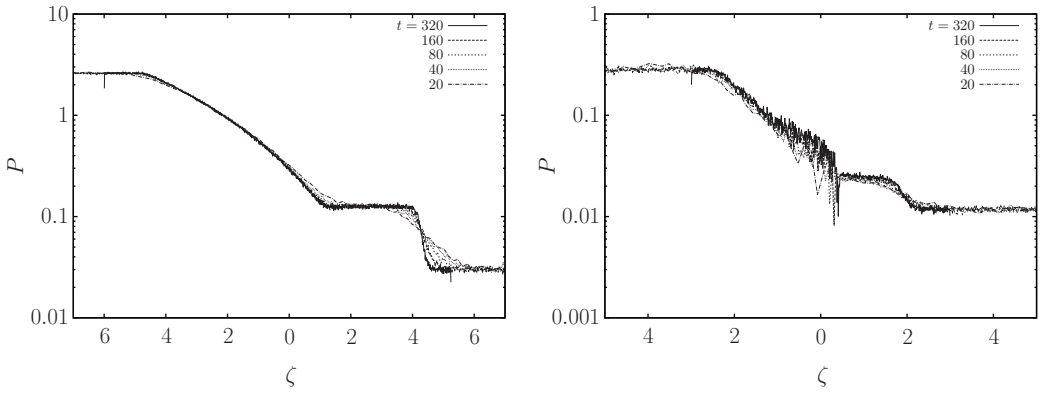


図 2: 圧力のプロファイル関数

る場合には、圧力 P と内部エネルギー密度 U が質量密度 ρ と温度 T の関数であることが仮定される。この仮定の下では、保存則の式に登場する変数は ρ、u、T の 3 つとなり、原理的には式 (4)–(6) の解を定めることができる。圧力 P と内部エネルギー密度 U が質量密度 ρ と温度 T の関数となることは、系内で平衡系の物理学が有効であることを意味する。実際、$P(\rho, T)$ は状態方程式であり、気体定数を R とすると、分子量 M の理想気体の場合 $P(\rho, T) = \rho RT/M$ である。また、内部エネルギー密度は同じ理想気体の場合 $U(\rho, T) = \frac{3}{2}\rho RT/M$ である。Lennard-Jones 粒子の場合、$P(\rho, T)$ と $U(\rho, T)$ の関数形は理想気体の場合のように単純ではないと考えられるが、平衡系の物理学が有効である場合には P と U が ρ と T の関数となることに変わりはない。

一方、Lennard-Jones 粒子の場合、理想気体の場合とは異なり、減圧によって系内に気泡や液滴の形成のような非平衡現象が生じ得る。そのような場合、系内で平衡系の物理学はもはや有効ではなく、P や U が ρ と T のみの関数となるとは限らない。例えば、液滴の形成には、液滴が互いに合体してより大きな液滴を形成する過程が含まれるが、液滴の合体には時間がかかるため、圧力 P は時間 t の関数ともなる可能性がある。そのような場合、式 (9) はもはや放物型微分方程式系とはならないため、スケーリング関係に破れが生じる。このように、衝撃波管の問題でスケーリング関係の破れを観測することで、平衡系の物理学が有効とはならない非平衡現象の発現を確認することができると考えられる。

Lennard-Jones 粒子系による衝撃波管のシミュレーションでは、粘性の効果や液滴の形成の効果によるスケーリング関係の破れが観測される。図 2 にシミュレーションの結果得られた圧力のプロファイル関数の例を示す。図では時刻 $t = 20$、40、80、160、320 で観測した圧力を時刻とスケールされた位置 $\zeta = z/t$ の関数 $P(\zeta, t)$ としてプロットしている。このため、スケーリング関係が成立していれば、全ての時刻のプロファイル関数は 1 つの曲線上に重なる筈である。図 2 左側はシミュレーションの初期温度が $T = 3.0$ のものである。$\zeta = 4.0$ の付近に低密度領域中を進行する衝撃波があり、この部分で粘性の効果によるスケーリング関係の破れが見られる。図 2 右側は初期温度が $T = 1.2$ のものであり、$\zeta = 2.0$ 付近に衝撃波がある。衝撃波の付近には粘性の効果による若干のスケーリング関係の破れが見られる。$T = 1.2$ の場合には粘性の効果に加え、減圧による温度低下で液滴の形成が起こるため、$\zeta =$ 1.0〜0.0 の付近でスケーリング関係の破れが見られる。これらの粘性の効果や液滴の形成の効果は、共に、状態方程式のような平衡系の物理学のみでは記述できないものである。

このように平衡系の物理学が有効性を失うような現象が発現する部分では、スケーリング関係の破れが生じることを分子動力学シミュレーションで確認することができた。この研究の結果については [発表 1] で発表を行った。

3 Lennard-Jones 粒子系による沸騰のシミュレーション

3.1 背景

前章の背景で述べたように、我々の目標は分子動力学モデルを用いて沸騰流を再現する計算機シミュレーションを行うことなのであるが、これには莫大な計算力が必要となる。そこで昨年度まで、２種類の粒子の混合物が減圧膨張する際に生じる気液二相流の性質について大規模分子動力学シミュレーションによる研究を行ってきた。これは、２種類の粒子を用いたほうが、液相からの気相の分離が起こりやすく、気液二相流を作りやすいためである。しかし、現実の沸騰現象では、例えば水などの沸騰の場合、１種類の分子の集合からなる液体が加熱されることによって液相から気相への相転移が連続的に起こり、生じた気相が気泡となって液相から分離する。このため、沸騰流の再現のためには、１種類の粒子からなる液体を加熱することによって沸騰を再現する技術の確立が必要と考えられる。

以上の理由から本年度後半では、１種類の Lennard-Jones 粒子からなる液体の加熱による連続的な沸騰のシミュレーションを試みた。

3.2 内容

シミュレーションは前章の衝撃波管のシミュレーションと同様、Lennard-Jones 粒子の集合で系内の液体と気体を構成する。任意の粒子ペア間の相互作用は式 (2) の Lennard-Jones ポテンシャルで与えられ、系の時間発展は運動方程式を数値積分することで行われる。シミュレーションを行う系の構成を図３に示す。系の外形は薄い板状であり、系内の粒子には下向きに重力が作用する。このため、この系の Hamiltonian は式 (3) に重力の効果を加えた

$$H = \sum_i \frac{1}{2}|\boldsymbol{p}_i|^2 + \sum_{i\,j(i<j)} \phi(|\boldsymbol{q}_i \quad \boldsymbol{q}_j|) + H_W + \sum_i \boldsymbol{g} \quad \boldsymbol{q}_i \tag{11}$$

となる。最後の項が各粒子に作用する重力を記述し、$\boldsymbol{g}$ は下向きの重力加速度を表すベクトルである。系の底の部分には、Lennard-Jones 粒子を格子状に並べて固体を模した構造物があり、この中に高温の Langevin 熱浴が置かれている。また、系の上部には蒸気となった Lennard-Jones 粒子を吸収して取り除くための構造が配置されている。ここで取り除かれた粒子は冷却され、系の底面の端の部分から系内に戻される。

初期状態では、深さ 300 まで密度 0.7 で Lennard-Jones 粒子を詰め込み、系全体を Langevin 熱浴に接触させて温度を 1.0 に保つ。この状態で系の緩和を 1000 程度の時間行った後、系全体に接触してい

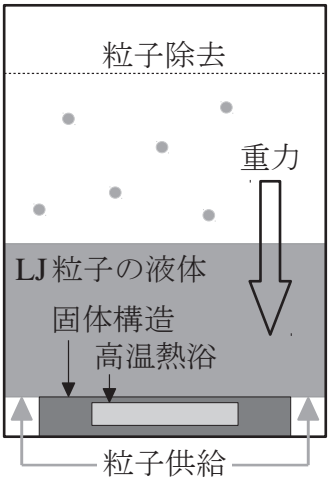


図 3: シミュレーションを行う系の模式図

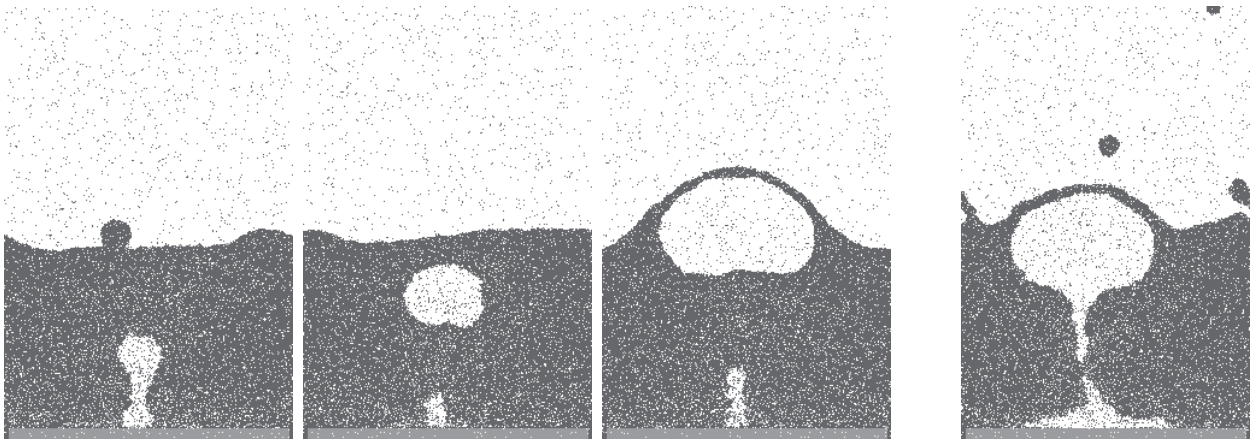


図 4: シミュレーションにより再現された核沸騰と膜沸騰

た Langevin 熱浴を取り除き、固体構造内の Langevin 熱浴を作動させる。すると、Langevin 熱浴から供給される熱は、周囲の固体構造を介して固体構造に接触している部分の Lennard-Jones 液体に伝わる。Langevin 熱浴の温度が高く、十分な熱が Lennard-Jones 液体に伝われば、液体は気体に相転移し気泡を作る。このようにして連続的に気泡生成が行われれば、沸騰のシミュレーションとしては成功である。このシミュレーションの規模は 66 万粒子程度である。

3.3 具体的成果

重力場中で液体を加熱することで起こる沸騰はプール沸騰と呼ばれ、水中に熱源を沈め加熱することで数多くの実験が行われてきた。その結果、熱源の温度の違いによって、核沸騰と膜沸騰の少なくとも２種類の沸騰様式が見られることが広く知られている。核沸騰と膜沸騰の間には遷移沸騰と呼ばれる沸騰様式も存在するが、これは不安定な様式で、熱源の温度を注意深く管理しなければ観測することができないとされている。従って、沸騰のシミュレーションを行う際には、核沸騰と膜沸騰の２種類の沸騰様式の再現が最初の目標となる。

図３で示した系では、系の底部での液体の飽和温度が 1.009 程度となるため、高温熱浴の温度がこれより高い場合に Lennard-Jones 液体は沸騰する。熱浴の温度と飽和温度の差を過熱度と呼び、過熱度が小さい状態から大きい状態に移るにつれて、対流熱伝導、核沸騰、遷移沸騰、膜沸騰、と系内で発現する現象は変化する筈である。図４にシミュレーション結果の例を示す。図４の左側の３枚の図は高温熱浴の温度が 1.06 の場合の系の様子を時刻 12000、13000、14000 で描いたものであるが、固体構造の表面付近に気泡核が形成され、これが膨張することで大きな気泡となる様子が見られる。図４の右側の１枚の図は高温熱浴の温度が 1.30 の場合の系の様子を時刻 17000 で描いたものである。この場合には、左側の温度 1.06 の場合とは異なり、熱源のある固体構造表面が気体に覆われており、この気体の膜から気泡が成長していく様子が見られる。このように、このシミュレーションでは熱源の温度により、少なくとも核沸騰と膜沸騰の２種類の沸騰様式が再現できる。核沸騰と膜沸騰が確認できる温度の間の温度では、遷移沸騰らしき沸騰様式も見られるのであるが、今のところまだはっきりとしない。遷移沸騰の存在について確認するためには沸騰曲線と呼ばれる、過熱度と熱源からの熱流束の関係を描いたグラフが必要となるのであるが、シミュレーションの結果、図３に示した系の構成では熱流束を正確に測ることができないことが明らかとなった。このため、沸騰曲線の再現を含む、シミュレーションによる沸騰の定量的な研究は、今後の課題として残されている。この研究の結果については [発表 5] で発表を行った。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Hajime Inaoka, Satoshi Yukawa, and Nobuyasu Ito: Scaling relation and regime map of explosive gas-liquid flow of binary Lennard-Jones particle system, Physica A, Vol. 391, pp.423–438, Feb.2012.

その他の発表論文

[発表 1] 稲岡　創, 伊藤　伸泰: レナードジョーンズ粒子系による衝撃波管のシミュレーション, 日本物理学会２０１１年秋季大会, 富山大学五福キャンパス, 2011 年 9 月.

[発表 2] 伊藤　伸泰, 稲岡　創, 湯川　諭: 爆発現象の非平衡分子動力学シミュレーション, 第２回計算統計物理学研究会, 金沢大学角間キャンパス, 2011 年 9 月.

[発表 3] Hajime Inaoka and Nobuyasu Ito: Scaling relation of Lennard-Jones shock tube, 21th ACP Workshop, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Apr.2010.

[発表 4] Hajime Inaoka, Satoshi Yukawa, and Nobuyasu Ito: Molecular dynamics simulation of gas-liquid flow of a binary Lennard-Jones particle system, International Symposium on Complex Systems 2011 – Perspectives on the Legacy of Torahiko Terada –, Koshiba Hall, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Dec.2011.

[発表 5] 稲岡　創, 伊藤　伸泰: レナードジョーンズ粒子系による沸騰のシミュレーション, 日本物理学会第６７回年次大会, 関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス, 2012 年 3 月.

並列アプリケーションと共存可能な細粒度モニタリングに関する研究

鴨志田 良和

1 概要

計算ノードの統計情報やアプリケーションの性能情報を取得するモニタリングシステムを軽量化し、高頻度で情報収集することで、アプリケーションの性能問題のトラブルシューティングや動的な自動チューニングに役立てることが可能になるため、効率的な細粒度モニタリングに関する研究を行っている。また、情報基盤センターにおけるスパコンの導入及び運用支援を行っている。具体的には、以下の項目について実施した。

- 効率的な細粒度モニタリングに関する研究

  アプリケーションのログ情報と、低負荷な方法で細粒度に取得したモニタリング情報を元に、並列アプリケーションの遅延原因となるプロセスの推定と遅延の影響の定式化を行った [発表 1]。また、この細粒度モニタリングについての性能評価を行った [発表 3]。細粒度モニタリングを含むシステムソフトウェアの、自動チューニングへの応用について調査を行った [発表 2]。

- スパコン運用支援

  本センターのスーパーコンピューティング部門でサービスを提供する SR11000、HA8000 クラスタシステム、SR16000 の各種運用支援を行った。さらに、スパコン利用促進のため、スパコン講習会 [特記 1] での講義の実施に貢献した。また、学際情報科学研究体の一員として、HPCI 基本仕様検討会議での議論や、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の共同研究プロジェクトへの参加をした。

2 効率的な細粒度モニタリングに関する研究

2.1 背景

クラスタベースの大規模分散計算環境において、計算ノードの統計情報やアプリケーションの性能情報を取得するモニタリングシステムを実行する場合、取得できる情報の細かさとアプリケーションに及ぼす性能劣化はトレードオフの関係にある。より細かい情報をより少ない性能劣化で取得することが可能になればモニタリングシステムを、アプリケーションの性能問題のトラブルシューティングや動的な自動チューニングに役立てることが可能になるため、効率的な細粒度モニタリングに関する研究を行っている。

大規模な並列アプリケーションの性能を低下させる要因の一つとしてジッタ問題が知られている。この問題を図で示したものが、図 1 である。図 1 は、定期的に同期を行う並列計算が進んでいく様子を示したものである。各計算ノードは一定時間の計算フェーズ (白) を実行した後、同期フェーズ (グレー) に入り、同期が終わると再び計算フェーズに入る。図 1(0) のようにこの 2 つのフェーズだけが繰り返されるのが、理想的であるが、実際はそうならない。OS 上で動作している、各種のデーモン

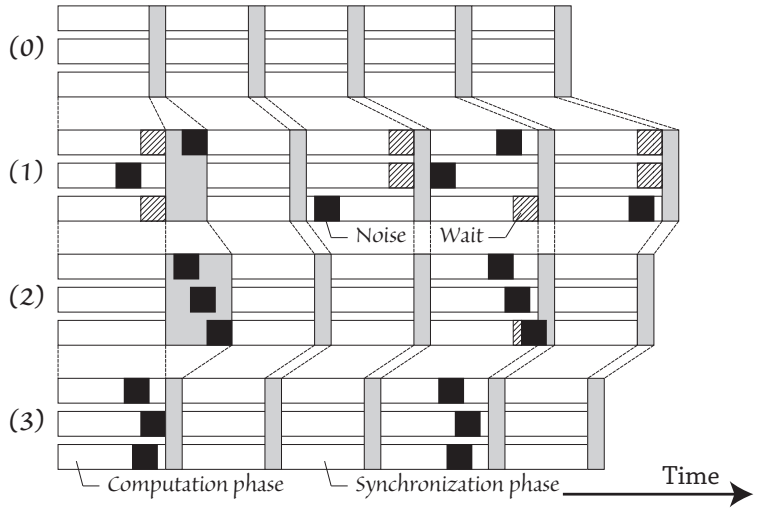


図 1: ノイズが並列アプリケーションに与える影響

プロセスなどのノイズ (黒) があると、一部の計算ノードの計算フェーズが遅延されるため、他の計算ノードで同期のための待ち時間 (斜線) が発生する。ノイズが各計算ノードでばらばらに発生した場合 (図 1(1))、多くの計算フェーズが遅延されるため、全体の計算時間もその分遅延されることになる。また、同期フェーズ中にノイズが発生した場合は、同期処理が連鎖的に遅延する場合 (図 1(2)) も考えられる。このような問題への対処の仕方の一つとして、ノイズを計算ノード間で同期させることが知られている。ノイズが同期して発生した場合 (図 1(3))、無駄な待ち時間が減り、全体の計算時間への影響も少なくなる。

本研究では、OS 上で実行されている、アプリケーション以外のプロセスについて、それぞれがアプリケーションの遅延に対してどの程度影響しているかを明らかにすることを目標にする。このために計算ノードの各プロセスの情報を取得する細粒度のモニタリングシステムが必要となる。細粒度モニタリングは情報収集の CPU 負荷を軽減するのに加えて、モニタリング自体が並列アプリケーションを大きく遅延させないよう、並列計算におけるジッタ問題にも対応する必要がある。

このため、上に述べたような軽量化を適用したモニタリングシステムを実装し、その性能評価を行った。

2.2 内容

本研究で対象とするモニタリングシステムは、計算ノード上で動いている、アプリケーション以外のプロセスに関する情報を取得する。この情報取得は、ナイーブな方法で実装すると 1 回の情報取得あたり 20 ミリ秒程度の時間が掛かる。例えば 100 万程度の自由度を持つ 3 次元静弾性問題を有限要素法で解く場合、CG 法の 1 回の反復にかかる時間は 10 から数百ミリ秒である。1 反復ごとの情報取得を考えると、ナイーブな方法では、負荷が高すぎる。よって、より高頻度のモニタリングには適した、別の方法で情報取得を行う必要がある。

以下に、プロセススキャンの効率化の方法を説明した後、ジッタ問題を回避するためのモニタリングシステムの計算ノード間での同期方法について述べる。そして、プロセスの活性度に着目したさらなる効率化の方法について述べた後、性能評価について述べる。

2.2.1 プロセススキャンの効率化

proc ファイルシステムを用いたプロセス情報の取得はプロセスごとにファイルの `open`, `read`, `close` を行う必要があり、これらの処理が遅いため、効率が悪い。Linux システムでは、ユーザプロセスが利用できるプロセス情報の取得方法は他にもあり、こちらを使用することで情報取得を高速化

表 1: Taskstats API を用いたプロセススキャンの性能

CPU	GHz	Kernel	Taskstats per task (μs)	Ps per task (μs)	Speedup
Intel Core i7 965	3.20	2.6.28	3.99	81	20.3
AMD Opteron 2380	2.50	2.6.26	3.13	77	24.6
Intel Xeon E5530	2.40	2.6.26	3.18	53	16.7
Intel Xeon E5410	2.33	2.6.26	3.78	79	20.9
Intel Core 2 6400	2.13	2.6.26	4.81	90	18.7
AMD Opteron 8356	2.30	2.6.18	3.01	74	24.6

することが可能である。それが、Linux のプロセスアカウンティング機能の一部である、Taskstats インタフェースである。このインタフェースは、netlink ソケット (Linux カーネルとユーザ空間の通信を、ソケット通信を用いて行うインタフェース) を利用して、プロセス ID(またはタスク ID) を指定してリクエストを送り、そのプロセスに関する情報をレスポンスとして受け取る API を提供している。この API で取得できる情報には、例えば、使用 CPU 時間 (Kernel 2.6.18 以降で利用可能)、コマンド名、実行ユーザ・グループ ID、実行開始時刻、ページフォルトの回数、I/O を行った回数・バイト数 (Kernel 2.6.19 以降で利用可能) などがある。

この API を使用した場合、`ps` コマンドと同様に、proc ファイルシステムのみを使用して情報を取得した場合と比較して 15 から 20 倍程度の高速化を達成できる (表 1)。

2.2.2 エージェントの同期

モニタリング用のプロセス (エージェント) を同期させる方法としては、各計算ノードでローカル時計を元に同期する方法と計算中に実行される同期型通信に合わせてエージェントを起動する方法を検討した。後者は、MPI 等の、アプリケーションの実行モデルに合わせた実装をする必要があるが、モニタリング用に別プロセスを起動する必要がなく、また、MPI 関数の呼び出し時刻等のアプリケーション固有の情報も取得が可能であるという特徴がある。後述の性能評価では、後者の方法を使用した。

2.2.3 プロセスによる情報取得頻度の変更

情報取得の頻度を上げていくと、スキャンのたびに取得される統計値が前回から変化していない可能性も上がっていく。したがって、値が変化する可能性が高いプロセスのみを高頻度で調べることで、全体の負荷を低く保ちつつ高精度な情報を取得することが可能になる。

このために、統計値の時間変化を元に、プロセスを以下の 3 種類に分類する。

- 活性プロセス
  ジョブ実行中にもスケジュールされ、ある程度の CPU 資源を使用する可能性があるプロセス
- 低活性プロセス
  ジョブ実行中には資源を使用する可能性が低いプロセス
- 非活性プロセス
  プロセスが生成されてから相当の時間 ($T_{inactive}$) が経過しており、現在まで、ほとんど資源を使用されたことがないプロセス

活性プロセスについては高頻度で (`short_interval` ごとに) 情報取得を行い、低活性プロセスについては低頻度で (`long_interval` ごとに) 情報取得を行う。また、非活性プロセスについてはプロセススキャンから除外し、情報取得を行わない。非活性プロセスで、情報取得を行った際に統計値に変化があったプロセスについては、活性プロセスへ昇格させる。

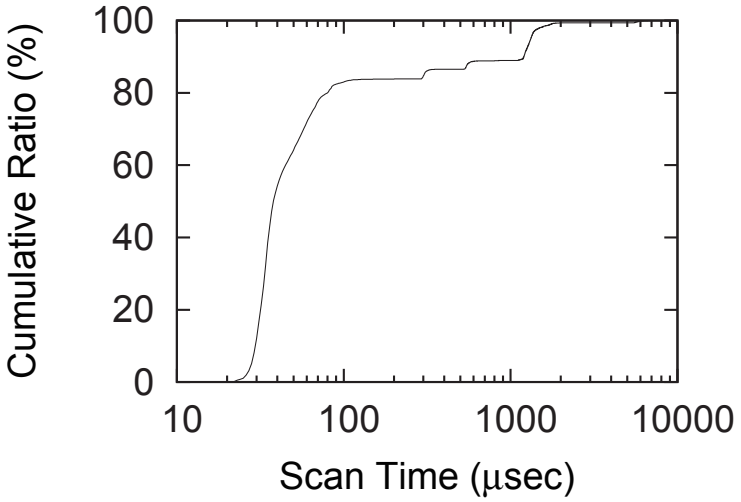


図 2: プロセススキャン時間の分布

2.2.4 性能評価

実験環境に東京大学 HA8000 クラスタシステムを使用し、性能評価を行った。CPU は Quad core Opteron (Barcelona) 2.3GHz x 4 sockets、メモリは 32GB、OS は、RHEL5 (Kernel 2.6.18) で、使用した計算ノードは 16 ノードである。アプリケーションは、各計算ノードで 16 プロセス、合計 256 プロセスで動作し、各プロセスは約 120 ミリ秒のローカル計算を行った後、全体の同期通信を MPI_Allreduce を用いて行う、ベンチマークプログラムである。

以下の評価では、$T_{inactive}$ は 3 時間として、3 時間以上前に生成され、使用した CPU 時間が 0 のプロセスを、非活性プロセスとした。また、`long_interval` には 8 反復 (約 1 秒)、`short_interval` には 1 反復 (約 120 ミリ秒) を設定し、アプリケーションが同期通信を行うタイミングでプロセススキャンの処理を実行した。これらのパラメータは実行するアプリケーションや、取得したい情報の精度に基づいて変化させる必要があると思われるが、パラメータを自動的に決定する方法について今後研究を進める予定である。

アプリケーションの繰り返しの回数は 1024 回としたため、実行時間は約 2 分である。今回の実験環境では 1 分程度の間隔で動作するデーモンプロセスを予め活性プロセスとして認識しておくため、1 分間の間隔を空けた 2 回の全プロセスのスキャンを実行した後にアプリケーションの実行を開始した。

実行の結果、プロセススキャンにかかった時間の分布を、図 2 に示す。グラフからは最初の 2 回のスキャン (15 ミリ秒程度) は除いてある。横軸は時間で、縦軸は横軸で示される時間以内で終了したスキャンの割合である。図より、約 83%が 100 マイクロ秒以内に終了していることが分かる。平均は約 235.2 マイクロ秒であった。ナイーブな方法と比較すると約 2 ケタの高速化が実現できている。

2.2.5 遅延原因プロセスの推定

遅延原因の推定問題は、以下の情報が与えられると仮定して、各ノイズプロセスがアプリケーションの実行時間遅延にどの程度影響しているかを推定する問題である。

- アプリケーションで同期通信を行った時刻
- 連続する 2 回の同期通信の間の、理想的な実行時間と実際の実行時間
- ノイズプロセスの実行が開始した時刻と実行時間

上記の情報が全て正確に与えられるなら、ある連続する 2 回の同期通信の間での理想的な実行時間と実際の実行時間を D とするとき、その間に実行されたノイズプロセス x の遅延への影響 C_x は、

$$C_x = D \times (x \text{の実行時間})/(\text{その間の全ノイズプロセスの実行時間})$$

のように表せる。しかし、上の仮定が全て満たされることはなく、単純には各ノイズプロセスの遅延への影響を求めることはできない。理想的な実行時間については、アプリケーションの各繰り返しの時間は一定である仮定の下では、上の理想的な実行時間は、繰り返しの時間の最小値に近似できる。しかし、ノイズプロセスの実行タイミングについては、Linux カーネルではプロセスの CPU 時間の統計は 4 ミリ秒単位で保持されており、例えば 1 度に 4 ミリ秒の時間が使用されたのか、適当な間隔で 1 ミリ秒ずつ 4 回使用されたのかを正確に判別することはできない。したがって、OS が提供するプロセスの CPU 時間情報の精度も十分とはいえず、ポーリングベースのモニタリングになるため、ノイズプロセスの実行タイミングも正確には測定できない。このため、プロセスが使用した CPU 時間の分布を推定する必要がある。これまで、幾つかの単純な分布モデル (統計値カウンタが変化する直前に単位時間の負荷が発生したという考え方や、前回カウンタが変化した時から今回までの間に、均等に負荷が発生したという考え方など) で、どの程度正確に推定できるかを検討してきたが、今後も継続的に研究をすすめる必要がある。

2.3 具体的成果

上記の、軽量なモニタリング手法についての研究について [発表 1, 発表 3] において発表を行った。また、このモニタリング手法を含む、システムソフトウェアを自動チューニングへ応用する研究の構想について [発表 2] で発表を行った。

3 スパコン運用支援

3.1 背景

2008 年 6 月より運用開始した HA8000 クラスタシステムは、PC クラスタベースのシステムであり、無料の試行期間の利用者に対して行ったアンケートによれば、半数が本学のスーパーコンピュータの利用経験がなく、さらにその半数はスーパーコンピュータ自体の利用経験がない利用者である。また、2011 年 10 月より運用開始した SR16000 システムは、これまでの SR11000 システムの利用者からの継続性を考慮して運用を行う必要がある。このような新規利用者を含むスパコン利用者の利用実態を把握し、幅広い利用者の新規開拓とシステム運用の改善を継続的に行っていくことが重要である。

3.2 内容

日常的にスパコンシステムの運用支援を行っている中で、特に以下に挙げる活動などを継続的に実施している。

- 質問対応
  SR11000、HA8000、SR16000 の利用方法等に関する相談・質問への対応
- スパコン仕様検討
  今後のスパコン調達に必要となる情報収集並びに仕様検討
- 広報・利用促進
  学会等でのスパコン及び部門の研究成果の周知、また、講習会、広報誌を通してスパコンの効率的な利用方法の案内
- HPCI 環境構築
  HPCI のシステム構成機関の一員としての、2012 年度の本格利用開始に向けた一連の作業

3.3 具体的成果

相談・質問については他の教職員と協力し、迅速かつ正確な対応を行うことに務めた。また、部門内で使用している相談・質問管理システムに全文検索エンジンを導入し、情報の検索性を向上させた。

2012 年 4 月から運用が開始される Oakleaf-FX10 システムの仕様検討並びに運用の詳細についての検討を行った。

スパコン利用促進のため、広報誌スパコンニュースでの情報発信及びスパコン講習会 [特記 1] での講義を行った。また、ISC'11、SC'12 での Exhibition においてスパコン及び部門での研究の紹介を行った。

HPCI については、全国共同利用施設であるスパコンセンターを設置する 7 大学と筑波大学、東京工業大学、国立情報学研究所による連携のもと、学際大規模情報基盤 共同利用・共同研究拠点の共同研究 [特記 2] として位置づけ、環境構築及び試験を行った。また、HPCI の詳細仕様検討会議に参加し、HPCI の仕様についての議論を行った。

また、HPCI 環境構築以外にも学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の共同研究プロジェクトに、学際情報科学研究体の一員として複数のプロジェクト [特記 2, 特記 3, 特記 4, 特記 5] に関わってきた。

4 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] 鴨志田良和, 田浦健次朗: 細粒度モニタリングとトレースログを使用した並列アプリケーションの遅延原因の特定, 信学技報, vol. 111, no. 163, CPSY2011-23, pp. 85-88, 鹿児島, 2011 年 7 月.

[発表 2] Yoshikazu Kamoshida: システムソフトと自動チューニング, 日本応用数理学会 2011 年会, 京都, 2011 年 9 月.

[発表 3] Yoshikazu Kamoshida: Jitter Quantification on a Supercomputer in Operation, 11th Advanced Supercomputing Environment (ASE) Seminar, Tokyo, Mar 2012.

特記事項

[特記 1] お試しアカウント付き並列プログラミング講習会: 2011 年 6 月, 2011 年 9 月, 2012 年 3 月.

[特記 2] 学術グリッド基盤の構築・運用技術に関する研究 共同研究者, 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, 2011 年.

[特記 3] マルチパラメータサーベイ型シミュレーションを支えるシステム化技術に関する研究 共同研究者, 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, 2011 年.

[特記 4] 高並列海洋モデルの開発を通した海洋循環のプロセス研究 共同研究者, 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, 2011 年.

[特記 5] 市街地における建築・都市環境の総合数値予測 共同研究者, 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, 2011 年.

ディペンダブルな単一システムイメージOS

藤田肇

1 概要

本研究はJST CRESTのプロジェクト「実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル・オペレーティングシステム」の一部として、ディペンダブルな並列・分散システムの構築を目指したものである。平成23年度には、平成22年度に引き続き、以下の研究開発を行った。

- ブロードキャスト型単一IPアドレスクラスタにおいて、サーバのダウンタイムを短縮する投機的SYNパケット受信機構の研究開発。
- TCPで通信を行うクライアント-サーバ系において、サーバアプリケーションの状態をクライアント側に保存し、サーバ障害時にはこの状態を利用してサーバアプリケーションの動作状態を復元するクライアントサイドチェックポインティング機構の研究開発。
- システムのディペンダビリティを計測し記録するための、ベンチマーク実行フレームワークDS-Benchの研究開発。

本報告では、これらのうち、投機的SYNパケット受信機構及びDS-Benchについて報告する。

2 サーバのダウンタイムを短縮する投機的SYNパケット受信機構

2.1 背景

インターネット上のサーバを高性能化・高信頼化するために、複数の計算機を1つのサーバのように見せて運用する手法が用いられている。筆者は特に、複数の計算機に単一のIPアドレスを与える単一IPアドレスクラスタについての研究を行っている。

単一IPアドレスクラスタサーバでは、あるサーバノードに故障が発生した場合、このノードをクラスタから除外し、それ以降のクライアントからのリクエストを生き残ったノードで処理することによって、故障をクライアント側のユーザに対して隠蔽できるとされている。しかし実際には、故障が発生してから故障ノードが除外されてクラスタが再構成されるまでの期間があり、この期間にはサーバノードが故障していることがクライアントから観測できてしまう可能性がある。クライアントがサーバに対してTCP接続を開始しようとするとき、その接続が故障サーバに割り当てられたとすると、当然ながら接続は成功しない。

TCPは通信相手ホストから返答がない場合、一定時間待った後に再度通信を試みるため、故障サーバがすみやかにクラスタから除外されれば、この接続はやがて成功することになる。ただしその場合、クライアントが一定時間待った後に再送するまでの待ち時間が発生してしまう。これは、WindowsやLinuxといった典型的なクライアントOSでは最低3秒程度であり[1]、この間ユーザは待たされること

[1]ただし、最近リリースされたLinuxカーネル3.1からは1秒に引き下げられた。

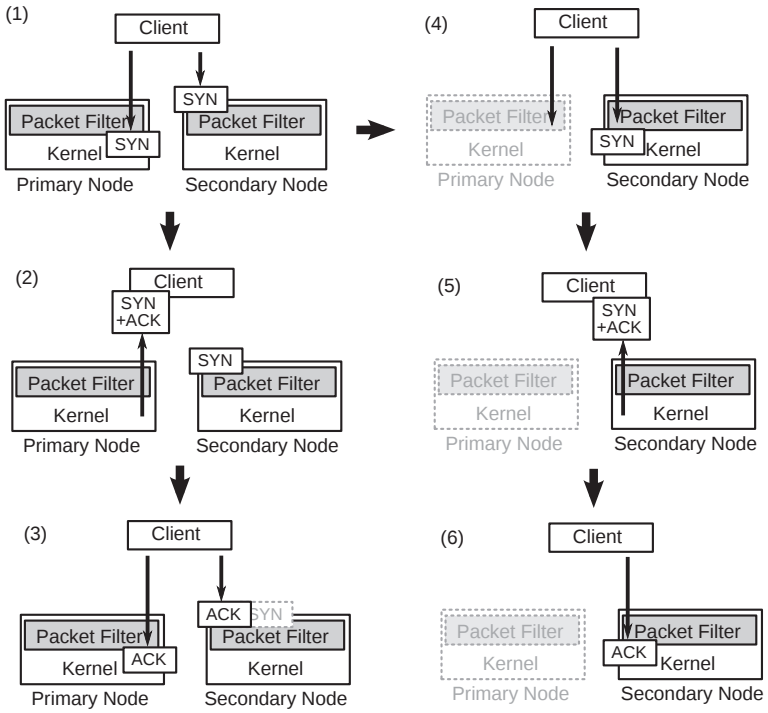


図 1: SSPA の動作概要

になる。また、このダウンタイムを短縮するために、ノードの生存確認を頻繁に行ったとすると、生存確認パケットの送受信が頻繁に発生し、通常時の負荷を上げてしまうことになる。

2.2 内容

そこで、サーバ故障があってもクライアント側のユーザが体感する TCP 接続確立までの所要時間を短く保つための機構、投機的 SYN パケット受信機構 (SSPA: Speculative SYN Packet Acceptance) を提案した。この機構は、応答の遅いサーバノードにかわり他のノードが投機的に応答を返すことにより、サーバノード故障時にユーザが体感する遅延を大幅に削減するものである。

SSPA 機構はブロードキャスト型と呼ばれる単一 IP アドレスクラスタを前提に設計されている。ブロードキャスト型単一 IP アドレスクラスタは、クライアントからサーバに向かうすべてのパケットを全サーバノードにブロードキャストされるように設定し、クラスタ中の 1 ノードがそれに返答を返すことによって単一 IP アドレスクラスタを実現するものである。この方式では、ブロードキャストによって、全ノードがクライアントからの入力パケットの内容を共有することができる。

SSPA では、まずクラスタのサーバノードの中から、ある TCP 接続に対してプライマリノードとセカンダリノードの 2 つを決定する。名前の通り、通常時はプライマリノードがこの接続に対して応答し処理を行う。万が一プライマリノードが故障している場合には、セカンダリノードがかわってクライアントに返答を返し、処理を行う。SSPA の特徴は、セカンダリノードが投機的にプライマリノードの故障を推測し、返答を行うという点である。これにより短時間での応答が可能になる。

2.2.1 SSPA の動作概要

SSPA の動作概要を図 1 に示す。故障がない通常時、クライアントからの TCP 接続開始要求 (SYN ビットの立った TCP パケット、以下 SYN パケット) がプライマリノード、セカンダリノード双方に同時に配送される (図 1 (1))。各サーバノードには SSPA 機構を実現するためのカーネルモジュールが配置されており、これがパケットフィルタの機能を果たす。プライマリノードではこのパケットは即座にカーネル内のネットワークプロトコルスタックへと渡されるが、セカンダリノードにおいては、こ

のパケットは一旦パケットフィルタに補足され、しばらく保持される。プライマリノードでは、ネットワークプロトコルスタックがSYNパケットを受信し、それに対する応答としてSYNビットとACKビットの立ったパケット(SYN+ACKパケット)を送信する(図1 (2))。これはTCPの仕様で定められた挙動である。サーバからのSYN+ACKパケットを受け取ったクライアントは、これに対してACKを返してくる(図1 (3))。これをプライマリノードが受信すると、TCP接続が確立される。このとき、このACKパケットはセカンダリノードにも届いており、このACKを見ることによって、セカンダリノードはプライマリノードが動いていて、クライアントにSYN+ACKを返したということを知ることができる。なぜならば、他のノードがクライアントにSYN+ACKを返答しない限り、クライアントからACKが来ることはないからである。よってセカンダリノードが保持していたSYNパケットはもはや不要であるので、SYNパケットは破棄される。

一方プライマリノードが故障している場合、プライマリノードがSYN+ACKを返さないので、そのままではクライアントからACKが来ることはない。セカンダリノードは、クライアントからのACKの到着を一定時間待ち、その間にACKが来なければ、セカンダリノードが応答していないとみなしてパケットフィルタに保持しておいたSYNパケットを通過させ、ネットワークプロトコルに受信させる(図1 (4))。これ以降、セカンダリノードがSYN+ACKを返し(図1 (5))、それに対してクライアントが応答する(図1 (6))。セカンダリノードがACK到着を待つ時間を調整することにより、クライアントが観測する接続遅延を調整し短縮することが可能となる。

2.2.2 投機失敗時への対応

SSPAでは、セカンダリノードはACKが到着しないことをもってプライマリノードの故障を判断している。この方式は、セカンダリノードに対して能動的な生存確認を行わないため、生存確認に起因する負荷を低く抑えることができる一方、パケットロスや、処理の一時的な遅延によってプライマリノードの故障を誤判定する可能性がある。誤判定が起きた場合、プライマリノード、セカンダリノードの双方が同時にSYN+ACKパケットを返送する事態となる。このような事態への対処として、それぞれのノードのパケットフィルタにおいて、出て行ったSYN+ACKパケットのシーケンス番号と、返ってきたACKのACK番号とを比較する。自分の送ったSYN+ACKへの応答ならば、ACKの番号はSYN+ACKのシーケンス番号より1だけ大きいものになっているはずである。そうでない場合、他のノードが送ったSYN+ACKに対する応答のACKが来たということであり、自分はこれ以上通信を続けるべきでないと判断できる。また、2つのノードが送り出すSYN+ACKのシーケンス番号がたまたま一致、ないし近い値になるとこの判別が機能しなくなる場合があるので、2つのシーケンス番号がなるべく離れた値となるよう、パケットフィルタにおいてシーケンス番号の書き換えを行う。

2.2.3 評価

提案機構がサーバ故障に対して有用であることを示すため、クラスタサーバに故障を発生させる評価実験を行った。クラスタサーバはHTTPサーバを実行し、1台のサーバノードを故障させたときにクライアントで観測される遅延がどれくらいになるかを計測した。サーバノードとして、組み込みサーバPlat'Home OpenBlockS 266を4台使用した。サーバノードは単一IPアドレスクラスタを構成し、クラスタの構成法として、2種類の構成を比較した。

SSPA 提案手法。セカンダリノードはACKの到着を200ms待つ。クライアントのIPアドレス/ポート番号をもとにしたハッシュ値により、そのコネクションに対するプライマリノード/セカンダリノードを決定する。

NoSSPA 提案手法を用いないブロードキャスト型単一IPアドレスクラスタ。SSPAにおいてプライマリノードを決定するのと同じ手法で、あるコネクションに対する担当ノードを決定する。

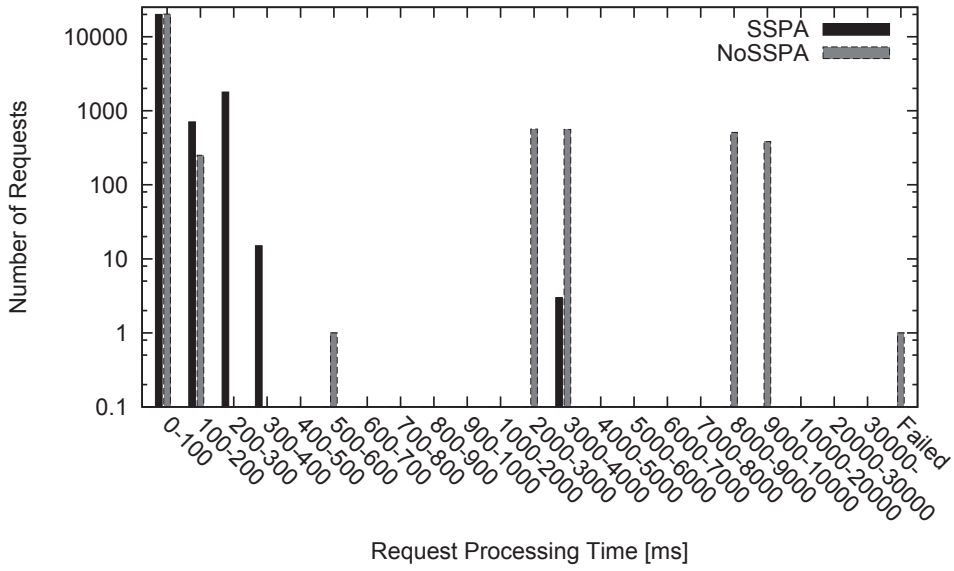


図 2: 故障注入試験の結果 (Heartbeat Low)

また、サーバノードの状態を監視し、故障ノードが確認されたらそのノードを除外してクラスタを再構成するため、クラスタ監視ツール Heartbeat を利用した。NoSSPA では Heartbeat が動かない限り、ノードの故障を検知してクラスタを再構成することができない。また、SSPA においても、2 台以上のノード故障に対応できない場合があること、プライマリノードが故障している状況では最低 200ms の余計な遅延が発生することから、故障発生後何らかのタイミングでクラスタを再構成する必要があるため、Heartbeat を用いる。

Heartbeat の設定として、Low および High の 2 種類を用いた。これらは Heartbeat がノードの状況を確認する間隔が異なり、Low では生存確認パケット (heartbeat) を 2 秒ごとに送出し、6 秒間このパケットが確認できないノードを故障と判定する。High ではこれらの値はそれぞれ 0.5 秒、1.5 秒となる。

実験結果を図 2 および図 3 に示す。これは、各リクエストが完了までに要した時間をヒストグラムとしたものである。SSPA では、ほぼ全てのリクエストが 400ms 以内に完了している一方、NoSSPA では 3000ms 近辺や 9000ms 近くの遅延を観測したリクエストが多数見られる。NoSSPA では、Heartbeat の間隔を頻繁にすることにより高遅延を観測するリクエスト数を削減することができ、特に 9000ms 近いレイテンシを観測するリクエストはなくすことができるものの、依然として 3000ms 程度のレイテンシは観測される。これにより、提案機構 SSPA を用いることによってサーバノード故障時にクライアントから観測される遅延を低く抑えられていることがわかる。

2.3 具体的成果

研究成果を論文としてまとめ、国際会議で発表を行った [査読付 1]。また、この研究成果も含め、これまで単一 IP アドレスクラスタサーバに関して行なってきた研究成果を学位論文としてまとめた [特記 1]。

3 DS-Bench: ディペンダビリティ計測ベンチマークのためのフレームワーク

3.1 背景

情報システムは複雑化する一方、社会における役割はますます高くなっているため、情報システムは高いディペンダビリティを持つことが求められる。開発中のシステムが必要なディペンダビリティ要

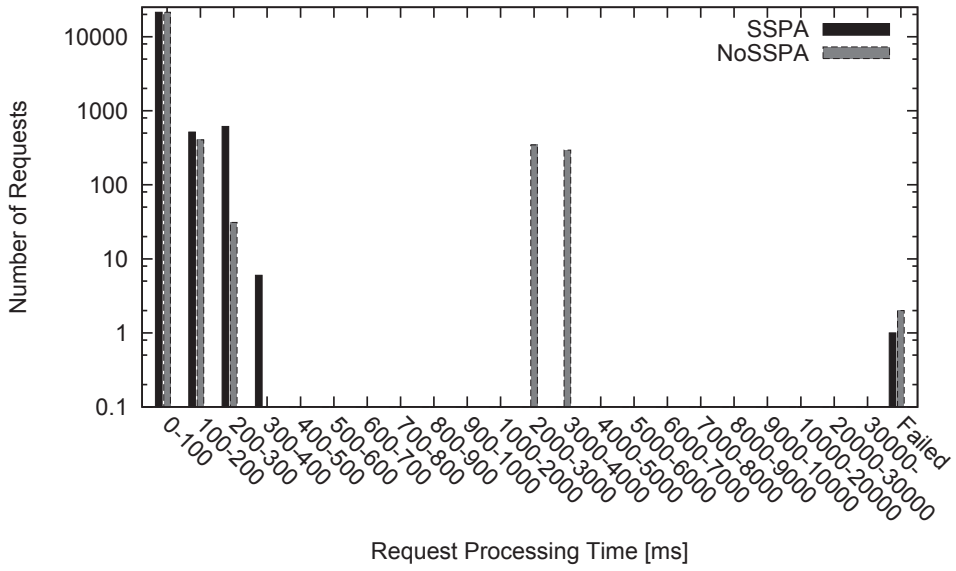


図 3: 故障注入試験の結果 (Heartbeat High)

件を満たすかどうかを確かめるためにベンチマークやテストが行われるが、高いディペンダビリティを確保するためには様々な要素を考慮する必要がある。まずはじめに、システムが異常状態においても正しい振る舞いをするかどうか、種々の異常状態を作り出した上でテストを行わなければならない。また、対象とするシステムごとに必要とされる要件は異なるので、必要に応じた様々なベンチマークプログラムを実行できなければならない。

3.2 内容

システムのディペンダビリティ計測を行うためのベンチマーク実行フレームワーク DS-Bench の研究開発を行った。DS-Bench はベンチマークの実行と結果の管理を行うためのフレームワークである。DS-Bench は、ユーザが作成したベンチマークシナリオに基づいてベンチマークを実行する。シナリオには、ベンチマークを実行するターゲットマシン、実行するベンチマークの開始時刻、さらには異常状態を模擬するための Anomaly load の実行タイミングなどを指定する。DS-Bench の web インタフェース画面イメージを図 4 に示す[2]。

DS-Bench は単独で動作するのではなく、筑波大学で開発された D-Cloud と連携して動作する。D-Cloud はベンチマークターゲットとなる物理マシンおよび仮想マシンを管理し、DS-Bench の要求に応じて必要な計算資源の割り当てを行う他、電源断、ネットワークリンク断といった、マシン外部に変化を起こす異常状態の生成を行う。また、D-Cloud が提供する仮想マシン (FaultVM) は、メモリのデータ化け等、実際のハードウェアでは起こすことが難しい故障を模擬する。また、DS-Bench は D-Case Editor と連携する機能も備えている。D-Case はディペンダビリティ要件に関するステークホルダー間の議論をまとめた文書であり、D-Case Editor その作成を支援するツールである。D-Case Editor のユーザは Editor から現在ディペンダビリティを議論している対象システムに対して行うベンチマークを選択し、実行することができる。得られたベンチマーク結果は Editor に返され、システムがディペンダビリティ要件を満たしたかどうかが D-Case に証拠として記録される。D-Case および D-Case Editor については、スーパーコンピューティング研究部門 松野特任講師の報告に詳しい。

DS-Bench 及び関連するツール群は CREST プロジェクトのもと、東京大学、筑波大学、および富士ゼロックス株式会社によって共同開発された。筆者は DS-Bench のユーザインタフェースや、他のツー

[2]画面は開発段階のもので、最新版とは細部が異なる。

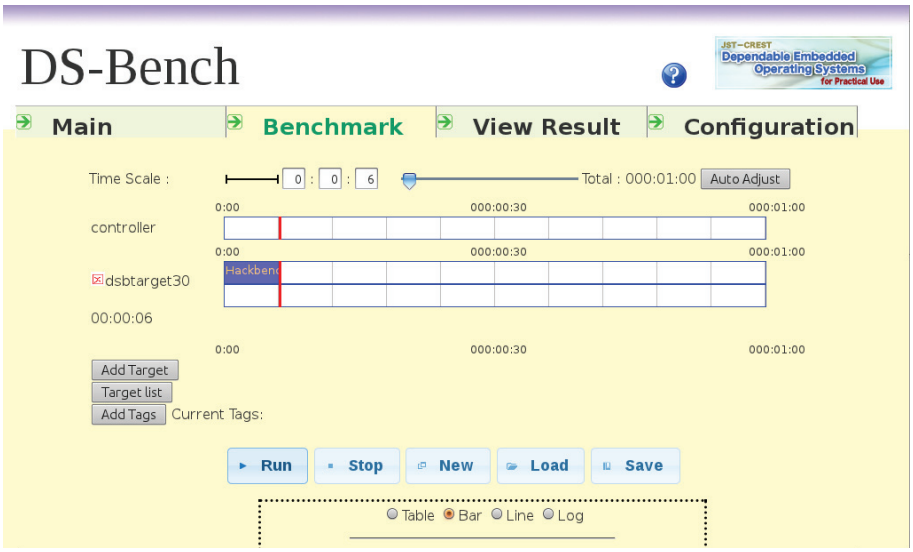


図 4: DS-Bench 画面イメージ

ルとの通信プロトコルの設計を担当した。

3.3 具体的成果

DS-Bench 及び関連ツール群について、Embedded Technology 2011 でデモを行った。また、DS-Bench 及び関連ツール群について論文を執筆して国際会議に投稿し、採録が決定した [査読付 2]。2012 年 6 月に発表予定である。また、開発したツール群はソフトウェアパッケージとしてまとめ、一般公開する予定である。

4 成果要覧

査読付論文

[査読付 1] Hajime Fujita, Yutaka Ishikawa, Anytime Available Single IP Address Cluster, The 13th IEEE International High Assurance Systems Engineering Symposium (HASE 2011), pp. 168–173, Nov 2011 (Short Paper)

[査読付 2] Hajime Fujita, Yutaka Matsuno, Toshihiro Hanawa, Mitsuhisa Sato, Shinpei Kato, Yutaka Ishikawa, DS-Bench Toolset: Tools for Dependability Benchmarking with Simulation and Assurance, The 42nd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN 2012), Jun 2012 (to appear)

その他の発表論文

[発表 1] 轟 侑樹, 藤田 肇, 石川 裕, ハイバネート中の仮想マシンに対する透過的アクセス機構, 情報処理学会研究報告 (OS-118 SWoPP 2011), Jul 2011

[発表 2] 藤原 祐二, 藤田 肇, 石川 裕, 耐故障分散ロック機構の設計と検証, 情報処理学会研究報告 (OS-118 SWoPP 2011), Jul 2011

特記事項

[特記 1] 藤田 肇, OS Supported Dependable Single IP Address Cluster, 東京大学学位論文, 博士 (情報理工学), 平成 24 年 3 月

ポストペタスケールを目指した統合数値計算ライブラリの開発

林 雅江

1 概要

科学技術振興機構 戦略的国際科学技術協力推進事業 (共同研究型)「日本ーフランス共同研究」「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」(佐藤三久教授（筑波大学)) における本学担当分「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アプリケーション開発基盤 (以下 FP3C)」の一部として，統合数値計算ライブラリの開発に従事している．本研究では，有限要素法 (FEM), 有限体積法 (FVM)，差分法 (FDM) といった離散化手法に基づく科学技術計算手法を対象に，multi/many-core，GPGPU やそれらのクラスタ等で構成されるヘテロジニアス環境において，高性能かつ高い移植性や信頼性を有する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の提供を目指している．特に，実問題において得られる悪条件な行列には反復解法を適用する場合，適切な前処理の実施が不可欠であり，構造解析等における悪条件行列に対して効果的な前処理手法である ILU 前処理のロバストかつ高性能な並列化は重要である．そのロバストな並列化手法として Hierarchical Interface Decomposition(HID) があり，fill-in 付き ILU 前処理手法の並列化に適用させた提案手法が Extended HID である．従来手法であるマルチカラー等によるオーダリング手法と共に実問題に適用し，ロバスト性や並列性能等について並列手法間での違いを比較した [発表 1, 発表 2]．さらに，本年度は HID に基づく並列 ILU(k) 前処理付き反復解法を，マルチコアクラスタ環境へ展開した．マルチコアクラスタ環境においては，ノード内に OpenMP などのスレッド，ノード (ソケット) 間に MPI などのメッセージパシングを適用する Hybrid 並列プログラミングモデルの適用が注目されている．本研究では，HID をベースとした階層的な並列化を実装することで Hybrid 並列化を行った．各部分領域での並列化手法には，HID を始めマルチカラー等のオーダリング手法が選択肢として挙げられるが，適用する並列化手法の違いについてロバスト性や並列性能等を比較・検証した [査読付 1]．本報告書では，ILU(k) 前処理付き反復解法のマルチコアクラスタ環境における Hybrid 並列化について報告する．

2 マルチコア／メニーコアクラスタ環境に向けた大規模有限要素解析のための **ILU(k)** 前処理付き反復解法の並列化

2.1 背景

FEM, FVM, FDM 等の離散化手法を用いた場合，最終的に帰着する連立一次方程式の係数行列は疎行列となることから，演算量・メモリ容量の観点より，反復解法の適用が一般的である．反復解法の収束特性は係数行列の固有値分布に依存するため，実用的な問題に適用するためには前処理を施すが，悪条件問題になればその適用が不可欠である．Block Jacobi 型前処理は，領域外からの影響を無視することによって，前処理が局所化されることから，並列計算を行う場合に広く利用される．しかしながら，本来の大域的な計算となる前処理の演算を無視するため，領域数が増えるほどその効果が弱まり，反

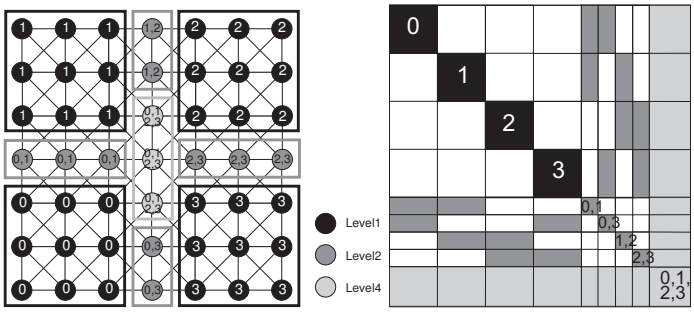


図 1: (左) 二次元九点差分格子を HID によって四領域に分割した例．(右)HID では，分割およびレベル付けされた後，各節点は属するコネクタのレベル順が低い方から番号付けされる．並び替えられた節点のコネクティビティを元に係数行列を生成すると，図のようなブロック構造が現れる．これにより，ILU(0)/IC(0) は各レベル内で並列に実行することができ，かつ，レベルの順に処理してゆく事で，局所 ILU 前処理にくらべ，より完全な分解計算・前進後退代入が実行できる．

復回数が著しく増加する場合がある．従って，効果的な前処理手法を検討する上で，領域分割手法についても同時に工夫してゆくことが肝要である．Multi/many-core 環境における効果的な並列前処理手法を開発してゆく上で，本研究が注目している領域分割手法が，階層型領域間境界分割 (Hierarchical Interface Decomposition, HID) 法である．HID 法は，直接解法の解法中に生じる Fill-in を最小限にすることを目的に行う Fill-reducing Ordering やその並列化手法として用いられる Nested Deissection 法 (以下 ND 法) をより厳密に行うものである．HID 法では第一段階として，有限要素メッシュの節点とコネクティビティ情報から構成されるグラフを互いに共通部分を持たない節点の集合 (connector) とそれを隔てる separator に分解する．この段階でできる節点の集合を「レベル 1 のコネクタ (C^1)」と呼ぶ．各 C^1 は部分領域 (Sub-domain) に当たる．HID では，C^1 に含まれなかった残りの節点 (separator) に対しても再帰的に分割処理を実施し，separator とそれによって隔てられる connector へと分割する．こうして分割を繰り返してゆく際，各節点にレベルが割り振られてゆく．あるコネクタに属する節点のレベルは，その節点がいくつの部分領域すなわち C^1 と共有節点を持つかを表す．すなわち，レベル k の connector(C^k, $k > 1$) は，k 個の部分領域と共有節点を持つ．同レベルの異なる connector に属する節点は互いに結合することはなく，あるレベル k の connector はより高いレベル $l(> k)$ の connector によって隔てられる．図 1 左は，二次元 9 点差分格子を 4 領域に分割する場合の例である．各節点に記される数字 (key と呼ばれる) は，各節点がどの部分領域 (レベル 1 のコネクタ，C^1) と結合しているかを示す．key の数がその節点のレベルに対応する．HID では，各節点が低いレベルのコネクタに属する節点から順に番号付けがなされる．その結果，並び替えられた節点のコネクてビティを元に生成された全体マトリクスは図 1 右に示すようにブロック構造を有する．同レベルに属するコネクタ同士は直接隣接しないため，このようなブロック構造によって ILU(0)/IC(0) 前処理やガウスザイデル等の計算プロセスを並列化することができ，レベル順に処理してゆく事で Block Jacobi 型の局所並列前処理と比較してより完全な前進後退代入が実現できる．

HID によるレベル順のリオーダリングによって，ILU(0)/IC(0) 前処理を並列化ができる．ただし，このままでは，領域外の節点からの高次 fill-in を考慮する事ができないため，悪条件問題では必ずしも安定ではない．そこで，HID 法を基にした並列 ILU/IC 前処手法において，領域外の節点からの高次 fill-in の影響を考慮可能としたものが Extended HID 法である．Extended HID 法は，領域外からの節点の影響をセパレータの厚みを拡張することで考慮可能とする．簡単な例で説明すると，図 2 左上で示すのは，二次元九点差分格子を HID によって二分割した場合であり，二つの部分領域 (黒点で示す C^1 の領域) とそれらを隔てる C^2(灰色点) が現れる．この際，各プロセスへの節点の割当は左上図の実線で示すようなものとなる．実線で示される各プロセスに割り当てられた節点は「内点」と呼ばれる．

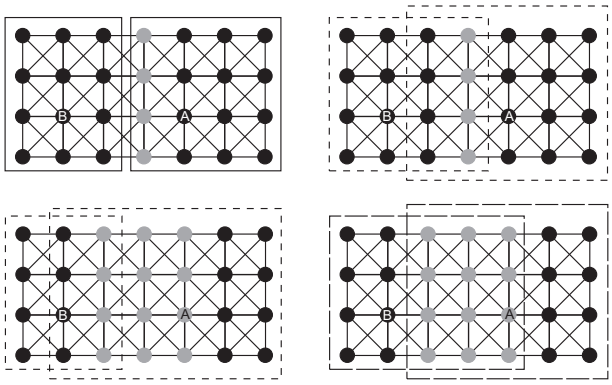


図 2: (左上) 二次元九点差分格子を HID によって二分割した場合と，各プロセスへの節点の割当．(右上) 並列計算のため，内点に加え互いに一層のオーバラプさせた節点が各プロセスに与えられる．(左下) Extended HID によって C^2 の厚みを拡張．(右下) C^2 の拡張によって考慮可能となる fill-in の範囲．

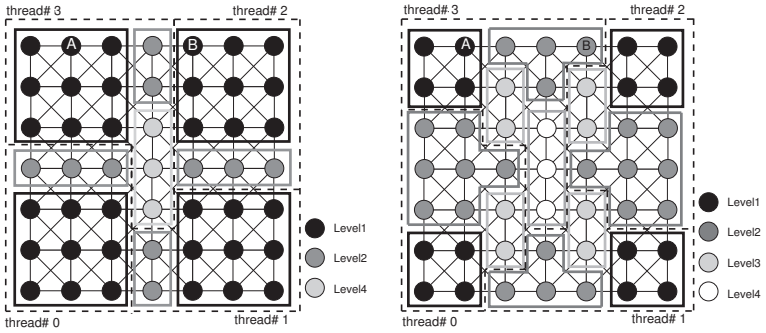


図 3: (左)　HID によって二次元九点差分格子を分割する例．(右) Extended HID によって同格子を分割する例．C^2 を厚くすることで，A 点において B 点からの影響を考慮可能とする．図中の点線は，OpenMP 等で並列計算する際に各スレッドに割り当てる分割例を示す．

図 2 右上では，並列計算をするため，各プロセスに分配される節点や要素の情報 (分散メッシュ) の範囲を示す．割り当てられた内点に加え，互いに一層オーバラップさせた分の節点が与えられる．オーバラップさせたことによって含まれる他プロセスの内点は「外点」と呼ばれる．各プロセスに与えられる．こうした分散メッシュの下で，フィルインを考慮しようとした場合，たとえば番号付けにも因るが，節点 A において節点 B から生じる 2 次のフィルインが生じるとし，その影響を考慮しようとしても節点 A と節点 B は互いに異なるプロセスに含まれるため考慮不可能である．そこで，オーバラップをより深くするという手段が考えられる．単純に，オーバーラップを一層増やせば，各プロセスに A,B の二点が含まれるので，二点間の影響は考慮可能にはなるのだが，A と B は同一レベルにあるため，各プロセスで同時に処理されることになる．そのため A 点を計算する際の B 点の値は最新のものではない．そこで，図 2 左下で示すように C^2 の厚みを拡張させる (点線は C^2 の厚みを拡張した場合に各プロセスに与えられる分散メッシュを示す)．すると，A と B はレベルが異なるため，レベル 2 に含まれる節点 A の計算を行う際，レベル 1 に含まれる B の計算はすでに済んでいるはずであるため，B 点からの影響が最新の計算結果をもちいて考慮可能となる．図 2 右下の破線は，ILU 分解における考慮可能となる演算がの範囲を示す．図 3 では C^2 領域の厚みを 3 層にすることで，隣接領域からの 2 次の fill-in を考慮しようとする例である．Extended HID 法では，前処理で設定する fill-in レベルに応じて，separator の厚みを調節する．

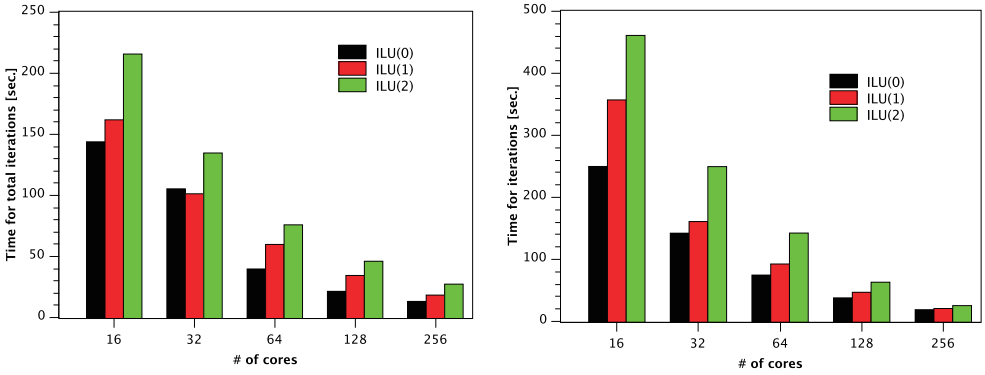


図 4: 問題規模 (100^3 要素) を固定し Hybrid 4x4 の並列プログラミングモデルの下でノード数を増加させていった場合の全反復にかかった計算時間の変化．左が HID-HID による並列化をした場合，右が HID-MC による並列化をした場合.

2.2 内容

ノード (ソケット) 間の並列化には HID に基づく領域分割法を適用し，ノード内の並列化にあたる各部分領域における並列化には，各分散データにおける C^1 に対して再度 HID あるいは Extended HID を実施してスレッド間で分散する場合とマルチカラーオーダリングを実施してスレッド間で分散する場合の二つの方針を用い，二者を比較した．前者を HID-HID とよび，後者を HID-MC と呼ぶ．Hybrid 並列化の実装についてはノード内では OpenMP によるスレッド，ノード (ソケット) 間では MPI を利用した．有限要素法による立方体形状における三次元静的弾性問題を例題とし，HID-HID と HID-MC の二つの方針に従って Hybrid 並列化された ILU(k) 前処理付き反復解法を適用し，fill-in レベルを変えた場合の収束性，ロバスト性，並列性能を比較した．HID-HID を用いる場合，fill-in レベルに応じて C^2 の厚みが拡張されるが，HID-MC においては，fill-in レベルに応じて色塗りのルールを厳しくしてゆく．fill-in レベルが 1 の時は隣接節点の隣接まで，fill-in レベル 2 の時は隣接節点の隣接の隣接まで含めて色分けルールを適用する．従って，fill-in レベルが上がるほど必要な色数は多くなる．反復解法には，GPBiCG 法 (Generalized Product-type method based on BiCG) を使用した．実験環境には T2K オープンスパコン (東大)(T2K(東大)) を使用した．T2K(東大) は，cc-NUMA(Cache-CoherentNUMA) アーキテクチャに基づき AMD quad-core Opteron(2.3GHz) 4 ソケット，合計 16 コアから構成されていることから，one process/socket, one thread/core となる 4x4 Hybrid プログラミングモデル (4 process/node，4 thread/process) を適用しストロングスケーリングによる性能評価を実施した．問題サイズを 100^3 要素 (約 300 万自由度) に固定し，16 ノード (256 コア) までノード数 (コア数) を増やしていった場合で計算時間を図 4 に示す．HID-HID と HID-MC は同様なスケーラビリティを示すが，全般的に HID-HID の法が計算時間が短い．図 5 と図 6 にて，同実験における収束までにかかった反復回数と ILU(1), ILU(2) を実施した場合の一プロセスあたりの fill-in 数を示す．これらの結果より，HID-HID を用いた方が収束までにかかる反復回数が短く，fill-in の数も少ないことがわかる．HID-HID を用いた場合の方が，収束性がよく，fill-in も少ないため結果として計算時間が短くなる．一方，問題サイズおよびプロセス数を一定とした場合に 1 プロセスあたりのスレッド数 1 から 16 まで変化させた場合について HID-HID と HID-MC を比較した．ここでの問題サイズは，を 80^3 要素 (約 160 万自由度) でプロセス数は 8 とした．この場合でも HID-HID の方が収束性がよく，HID-MC はの反復回数は HID-HID を常に上回った．ただし，HID-MC の場合には，スレッド増加に対する反復回数の増加（収束性の悪化）がほとんどなく，1 プロセスあたりのコア数が増えた場合には HID-HID に対してよりロバストな並列化手法になりうることが示された．

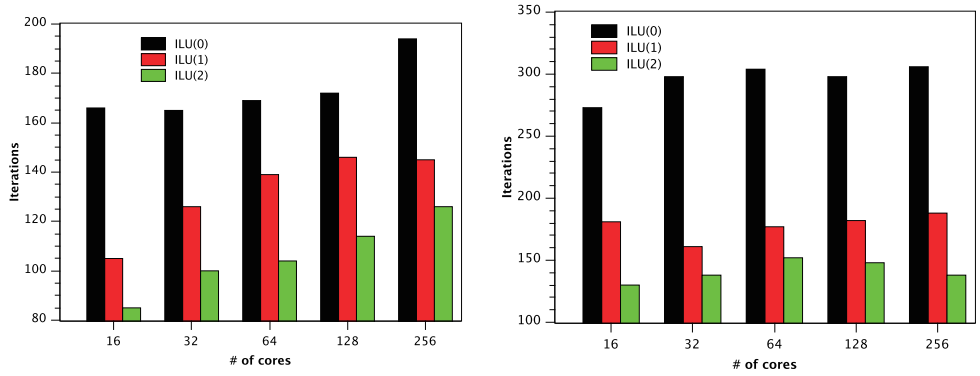


図 5: 問題規模 (100^3 要素) を固定し Hybrid 4x4 の並列プログラミングモデルの下でノード数を増加させていった場合の反復回数の変化．左が HID-HID による並列化をした場合，右が HID-MC による並列化をした場合.

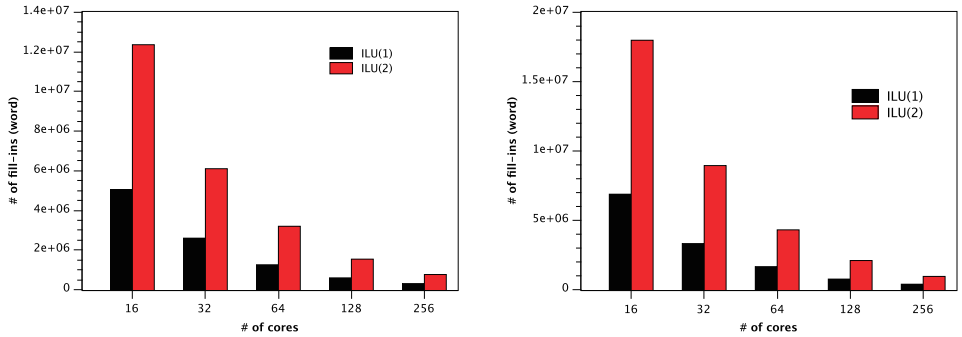


図 6: HID-HID および HID-MC によって並列 ILU(1) 前処理，並列 ILU(2) 前処理を実施した場合に生じた一プロセス当たりの fill-in 数の比較．問題規模 (100^3) に固定し Hybrid4x4 の下でノード数を増加させる．左が HID-HID による並列化をした場合，右が HID-MC による並列化をした場合.

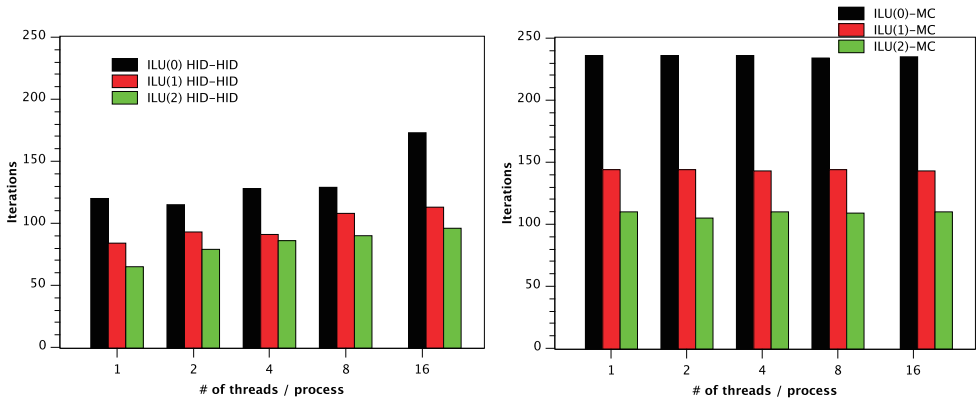


図 7: 80^3 要素の例題において MPI プロセス数は固定し，一プロセスあたりのスレッド数を変化させた場合の並列 ILU(k) 前処理付き GPBiCG 法で収束までに要した反復回数．左が HID-HID による並列化した場合，右が HID-MC による並列化をした場合.

2.3 具体的成果

実問題における悪条件な係数行列を持つ線形方程式の反復解法に不可欠な ILU(k) 前処理のマルチコアクラスタ環境向け Hybrid 並列化手法について，実装および評価を行った．ILU(k) 前処理をロバストに並列化させる手法として HID/Extended HID 法をベースに二つの Hybrid 並列化アルゴリズムを用い二者を比較した．共に，実験に使用した 256 コアまで並列化効果を得たが，コア数の小さいうちは HID-HID の方が収束性がよく fill-in の発生率が小さいことから計算コストが小さく，コア数が大きくなると HID-MC の方がよりロバストな並列化手法になりうることを示した．本研究成果 VecPar2012 の発表論文として採択され，2012 年 7 月に発表予定である．

3 成果要覧

招待講演／招待論文

[招待 1] 林雅江: マルチコアクラスタ環境における拡張階層型領域間境界分割に基づく有限要素アプリケーションの OpenMP/MPI ハイブリッド並列化，日本応用数理学会「若手の会」単独研究会，早稲田大学西早稲田キャンパス (理工キャンパス)，2011 年 12 月．

査読付論文

[査読付 1] Masae Hayashi, Kengo Nakajima: OpenMP/MPI Hybrid Parallel ILU(k) Preconditioner for FEM Based on Extended Hierarchical Interface Decomposition for Multicore Clusters, 10th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science(VECPAR2012), Kobe, Japan(2012) (to appear)

[査読付 2] 後藤和哉，志賀淳二，林雅江，沖田泰良，奥田洋司，アセンブリ構造解析のための多点拘束前処理付き並列反復解法，日本機械学会論文集 (A 編) (掲載予定)

その他の発表論文

[発表 1] 林 雅江，中島研吾: マルチコアクラスタ環境における拡張階層型領域分割に基づく有限要素法，計算工学会，第 16 回計算工学講演会, 東京大学柏キャンパス， 2011 年 5 月．

[発表 2] 林 雅江，大島聡史，中島研吾 : ヘテロ環境を目指した拡張階層型領域間分割に基づく高次フィルイン前処理手法の高速化 ，2011 年並列／分散／協調処理にかんする「鹿児島」サマー・ワークショップ (SWoPP2011)，かごしま県民センター，情報処理学会研究報告 2011-HPC-130, No.5，2011 年 8 月．

[発表 3] 林 雅江， 中島研吾:階層型領域間分割による ILU(k) 前処理付き反復解法の MPI/OpenMP ハイブリッド並列化,「e-サイエンス実現のためのシステム統合・連携ソフトウェアの高度利用促進」Winter School 第一回若手女性研究者向け並列コンピュータ＆ストレージ利用発表会，理化学研究所計算科学研究機構，2012 年 2 月．

ポストペタスケール計算機環境におけるシミュレーションソフトウェアの開発環境に関する研究

伊東 聰

1 概要

本研究は、科学技術研究機構 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」、H23 年度採択課題「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。本年度行った研究は主に以下の二つである。

- ppOpen-HPC の基礎設計

  本年度は ppOpen-HPC の I/O システム、データ構造、およびファイルフォーマットに関する基礎設計を行った。ファイルフォーマットに関しては大規模ファイル中の任意データへのアクセス性、離散化手法に依存しない汎用且つ簡易なフォーマットである netCDF をベースとしたフォーマットに決定した。

- ppOpen-AT 導入を目指した OpenFOAM の高速化

  ppOpen-HPC の特徴の一つは自動チューニング機構である。マルチコア、深いメモリ階層、GPGPU などのアクセラレータなど、複雑化するスーパーコンピュータ上で高いパフォーマンスを実現するにはハードウェアごとの最適化が欠かせないが、開発者への技術的・時間的負担が大きい。自動チューニング機構はその負担を大幅に軽減できる。本研究では OpenFOAM を対象に、自動チューニング機構の組み込みに関する研究を行った。

本報告では OpenFOAM の高速化に関する記述を行う。

2 OpenFOAM の高速化

2.1 背景

流体解析は工学上の重要分野であり、ポンプなどの流体機械、自動車などの高速移動車両、旅客機などの航空機など、その解析対象は多岐にわたる。一般に、数値流体解析の計算負荷は大きいため、スーパーコンピュータを用いた計算が主流であったが、計算機性能の向上によって PC クラスタ等を用いた計算も可能になりつつある。また、環境流体のような複合領域における流体解析の需要も高まりつつある。

数値流体解析では、対象とする現象（密度、粘性、スケール、etc）に合わせて適切なアルゴリズム、境界条件処理を実装する必要がある。そのため、実装の難しいこれらの処理を行うに足るプログラミング能力と解析対象に対する深い理解の両方が必要であり、これまで CFD の専門家以外がコードの開発と解析を行うことは困難であった。

このような背景から、近年 OpenFOAM は注目を集めている。OpenFOAM(Open source Field Operation And Manipulation) はフリーのオープンソース CFD ツールキットである。偏微分方程式を平易な記述

```
register const label nCells = diag().size();
for (register label cell=0; cell<nCells; cell++)
{
    ApsiPtr[cell] = diagPtr[cell]*psiPtr[cell];
}

register const label nFaces = upper().size();
for (register label face=0; face<nFaces; face++)
{
    ApsiPtr[uPtr[face]] += lowerPtr[face]*psiPtr[lPtr[face]];
    ApsiPtr[lPtr[face]] += upperPtr[face]*psiPtr[uPtr[face]];
}
```

図 1: The partial source of SpMV

法で定義でき、離散化次数、乱流モデル、境界条件などの機能が豊富なため、CFD コード開発の経験の少ないものでも容易にコード開発を行うことが可能である。利用者、適用範囲の拡大と共に大規模解析への要望が増えており、速度面での問題が指摘されてきている。

2.2 内容

本研究テーマでは、OpenFOAM への自動チューニング機構（Auto-tuning:AT）組み込みを念頭に、手動による高速化と AT 化の検討を行った。

まずはじめに、OpenFOAM における処理負荷の高い部分の洗い出しを行った。OpenFOAM には実装済みのアプリケーションが多数存在するが、本報告ではその中で最も使用頻度・汎用性の高い非圧縮流体解析コード（icoFoam）を対象とした。icoFoam では分離型解法の一種である PISO 法を採用している。PISO ではタイムステップループ中で流速と圧力に対して線形代数ソルバーを呼び出している。処理時間の大部分はこのソルバー部分（特に圧力に関する求解部分）が占めており、これは他の一般的な非圧縮流体解析コードと同様である。

ソルバー部分で処理時間の大きい部分は前処理および行列ベクトル積である。ここでは行列ベクトル積部分の高速化について説明する。行列ベクトル積演算は BLAS における Lv2 演算である。OpenFOAM の離散化手法は有限体積法をベースとしているため、行列は疎行列である。疎行列ベクトル積（SpMV）は Byte/Flop 値が高い演算ではないので、レジスタ・キャッシュを有効利用する演算順序・データ構造の採用が有効である。図 1 に SpMV 部分のソースプログラムを示す。

SpMV 部分で採用されている行列データの格納形式は LDU 分解された COO 形式である。本形式は汎用的かつ容易な格納方法であるが、間接参照が多く演算性能の観点からは望ましいものとは言えない。

2.3 具体的成果

2.3.1 チューニング結果

SpMV 高速化のためには、間接参照数の低減とデータの連続アクセスを担保することが重要である。そこで，各種行列格納形式に対するベンチマークを行い、OpenFOAM における行列演算性能の変化を調べた。テストした形式は表 1 の通りである。

実行環境は T2K、各ケースに対して OpenFOAM チュートリアルの cavity モデルから計算格子数を 10,000、 40,000、 90,000、 160,000、 250,000 の 5 パターンに変化させて実行時間を測定した。測定

表 1: Test case for SpMV

Case	内容
Original	OpenFOAM 標準形式（COO）
UrollX	Original に対して X 段のアンローリング
CRS	LDU 分離型 CRS 形式
CRS2	LDU 統合型 CRS 形式
FDS	5 重対角専用形式

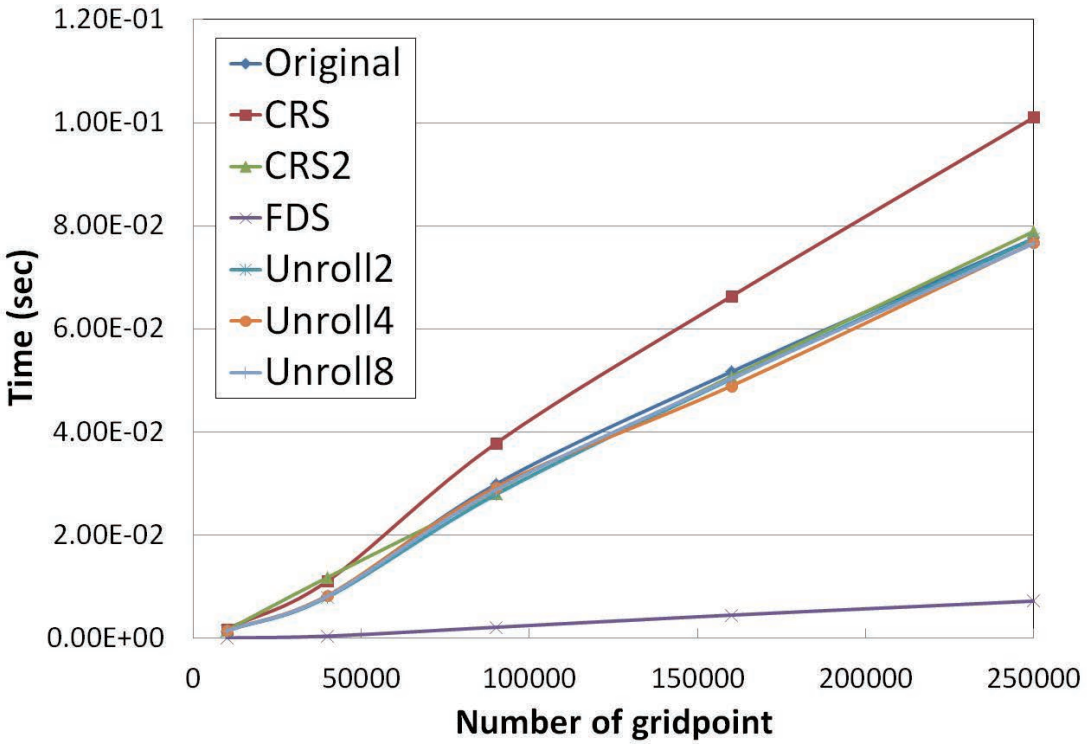


図 2: SpMV Time for each data structure

結果を図 2 に示す。

今回のテストでは 1 コアのみを用いたシリアル実行での性能比較となっている。CRS（LDU 分離型）はほぼすべてのケースにおいてかなりの性能劣化が見られた。これは行列成分を LDU に分解しており、本テストケースでは 1 行当たりの非ゼロ成分数が 1 あるいは 2 しかなく、間接参照数が COO とほぼ変わらないにもかかわらず、演算のプロシージャが 3 倍になっているためである。CRS2 や Uroll についてはデータサイズによって若干の違いはあるものの、性能的に大きな違いは見られなかった。一方、FDS はすべてのデータサイズにおいて際立ってよい結果となった。これは、テストデータが構造格子状態であり、5 重対角に分解することによって行列データとベクトルデータの双方が連続アクセスできるようになるため、メモリアクセスが飛躍的に改善されたためである。

表 2、3 に FDS および CRS2 形式における COO 形式からの変換時間、演算時間、演算速度の計測結果を示す。データ変換に要する時間は CRS2 の場合で SpMV3〜4 回分，FDS では 1〜2 回分であり、全体の反復回数と変換後の演算性能を考慮すれば十分小さいといえる。

データ構造を FDS に変換することで、オリジナルの演算性能の 10 倍程度の高速化が達成された。一方、表 2 から Flops 値を確認すると、最大性能（格子点数 10,000 の場合）で 1.1GFlops、それ以外

表 2: Measurement result of SpMV(FDS)

d.o.f.	Convert(sec)	SpMV(sec)	Total(sec)	GFlops
10000	1.334E-04	7.998E-05	2.134E-04	1.125E+00
40000	9.791E-04	4.492E-04	1.428E-03	8.013E-01
90000	3.357E-03	2.163E-03	5.521E-03	3.743E-01
160000	6.045E-03	4.519E-03	1.056E-02	3.186E-01
250000	9.493E-03	7.243E-03	1.673E-02	3.106E-01

表 3: Measurement result of SpMV(CRS2)

d.o.f.	Convert(sec)	SpMV(sec)	Total(sec)	GFlops
10000	4.140E-03	1.612E-03	5.753E-03	5.881E-02
40000	3.907E-02	1.185E-02	5.092E-02	3.374E-02
90000	9.200E-02	2.813E-02	1.201E-01	3.134E-02
160000	1.667E-01	5.079E-02	2.175E-01	3.099E-02
250000	2.612E-01	7.893E-02	3.401E-01	3.095E-02

のデータサイズが大きいものでは概ね 300MFlops しか出ていない。T2K の CPU1 コアあたりの理論演算性能は 9.2GFlops であり、ピーク性能の 3〜10 機構がうまく働いていないことと推測される。

T2K は SSE3 命令をサポートしているが、コンパイルオプションによる SSE3 命令発行はうまく機能しなかった。そこで FDS の演算部分について、直接 SSE3 命令を使ったプログラムに書き換えることで SIMD 化を試みた[1]。図 3 に SSE3 命令を用いて書き換えた，FDS 行列ベクトル積プログラムのソースを示す。

x0〜x6 は xmm レジスタ変数である。倍精度変数の演算を行うため、xmm レジスタのデータ型は__m128d となっている。__m128d 型はパックド型と呼ばれる SSE 命令用データ型の一つであり、倍精度変数 (64bit) 二つで一つのデータとして扱うデータ型である。図 3 では A1*PSI+A2*PSI という演算を、2 カラム分一度に行っている。そのため、for 文のループカウンタは 2 個ずつ進んでいる。SIMD 化したもの (以下，FDSintr) に対し、格子点数 10,000 と 250,000 の 2 ケースについて演算性能を測定した。格子点数 10,000 で約 4.12GFlops（対ピーク 44.8%）、250,000 で 0.89GFlops（対ピーク 9.67%）となり、FDS に対して 3〜4 倍高速化された。

2.3.2 自動チューニングの方針

T2K 上での単体性能向上としては、n 重対角用データ構造 FDS によってオリジナルコードが 10 倍程度早くできることを確認した。また、FDS を SSE 化することができればピーク性能の最大 45 構造格子の場合しか利用できない。

OpenFOAM では FVM を用いた非構造格子を扱えるが、対象の多くが流体解析であり snappyHexMesh を介して生成される計算格子は大部分が構造格子的配置となる。そこで、FDS は構造格子の場合にしか使用できないことを勘案し，FDS と CRS によるハイブリッドフォーマットを検討している。OpenFOAM の計算格子情報から両者の切り分けは容易であり、インプットデータに基づいて AT 機構により最適なデータ構造を選択することが可能である。

本研究では単体性能に関する高速化および AT に関する検討を行ったが，OpenMP を用いたスレッド並列は本研究の内容とは別に実施可能であり、両者を組み合わせることでさらなる高速化が見込まれる。

[1]CRS2 他の形式に関しては、間接参照が入っているため SIMD 化に不向きである。

```
for (register label cell=1; cell<nCells-1; cell+=2)
{
    x0 = _mm_load_pd(A1+cell);
    x1 = _mm_load_pd(PSI+cell-1);
    x2 = _mm_load_pd(A2+cell);
    x3 = _mm_load_pd(PSI+cell+1);
    x4 = _mm_mul_pd(x0,x1);
    x5 = _mm_mul_pd(x2,x3);
    x6 = _mm_add_pd(x4,x5);
    _mm_store_pd(AP,x6);
}
```

図 3: The partial source of SSE3-FDS

3 成果要覧

その他の発表論文

[発表 1] Satoshi Ito, Kazuya Goto, Kenji Ono: Automatically optimized core mapping for subdomains of parallel finite element method on multicore parallel environments, Parallel CFD 2011, Barcelona, May 2011.

[発表 2] 伊東聰: リコーダー頭部管の数値流体シミュレーション, 日本流体力学界, 第 25 回数値流体力学シンポジウム, 大阪, 2011 年 12 月.

特記事項

[特記 1] 一部講習会の講師を担当, 第 17 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 応用編：並列アプリケーション開発入門」, 東京大学 柏キャンパス 第 2 総合研究棟, 11 月 8 日-9 日, 2011 年.

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、
および、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、および、センター業務への取り組み

伊藤 祥司

1 概要

2011 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、下記を実施した。

1) 前処理付き CGS 法（残差ノルム最小演算を伴わない解法）に対する改善
   従来から用いられている前処理付き CGS（PCGS）法のアルゴリズムの問題点に対し、アルゴリズムの数理構造面の合理的な改善を行った。数値実験においても、従来版では求解できなかった問題でも、当改善版により求解可能となった事例を確認した[発表 2][発表 3]。
2) 前処理付き BiCGStab 法（残差ノルム最小演算を伴う解法）に対する改善
   上述の PCGS 法のアルゴリズム改善から派生する研究である。CGS 法には MR（Minimum Residual norm、残差ベクトルのノルム最小化）演算が無く、BiCGStab 法には MR 演算があるため、MR 演算を伴う前処理付きアルゴリズムに対する拡張を行った。2011 年度の研究成果は[査読付 1][査読付 2][発表 1]にて報告し、e-Science プロジェクトで開発している Xabclib にも実装された。

センター業務関係では、

1) 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）における作業効率の改善
2) エンドユーザ教育関連

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

自然現象や工学現象の解明では、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。

ところが、線形方程式の求解アルゴリズムには様々なものが存在し、対象とする問題の性質によっては、その性能が十分に発揮されないような場合や数値解が得られない場合もある。さらに、アルゴリズムの実効性能などに関しては、理論面だけでは分析し切れないことも少なく無い。これまでに、このような観点から求解アルゴリズムに対する体系的な性能評価と特性分析が行なわれ、そこで得られた数値計算結果のデータ分析をとおして新しい知見が見出されてきている。

また、現在、実現に向けて研究開発が進んでいるペタスケールやエクサスケールコンピューティングでは、超並列計算により大規模な問題の求解が行なわれる。しかし、そのような状況においても、逐次計算の時点で、求解アルゴリズム面での安定求解に深く関係する問題点が潜む。数理的に不適切な記述を含んでいるアルゴリズムのままでは、高度なアーキテクチャを用いた超並列化やグリッドコンピューティング、あるいは、計算コードを高性能化したとしても求解させることは難しい。さらに、

それら問題点に並列計算の段階で直面したり、高度な計算コードの性能向上を図った後で直面した場合には、そこでの問題解決は逐次計算の場合と比較して遥かに複雑である。したがって、逐次計算の段階で既に潜在する“求解品質”を大きく揺さぶる問題点の発見と解決が非常に重要である。その一手段としても、工学的な方法論により、品質管理（QC: Quality Control）手法などに基づいた体系的な性能評価や特性分析の研究が欠かせない。

このような観点から、線形方程式求解アルゴリズムに対する“体系的性能評価と特性分析”が重要であり、それをとおして見つかった問題点や事象の解析がアルゴリズムの改善へと発展した。

2.2 内容

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、$K \approx A$ となるような前処理行列 K を何らかの方法で生成し、元の線形方程式を

$$\left(K_L^{-1} A K_R^{-1}\right)\left(K_R x\right) = K_L^{-1} b \tag{2}$$

と変換することに基づく。ここで、

$$K = K_L K_R \tag{3}$$

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、変換後の係数行列 $K_L^{-1} A K_R^{-1}$ 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。従来からの定義に基づくと、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”とも呼ばれ、$K_L = K, K_R = I$ の場合は“左前処理”、$K_L = I, K_R = K$ の場合は“右前処理”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 $u = K^{-1}v$ の演算（前処理演算）を行えば良い。

前年度の研究成果では、前処理方向とアルゴリズム中で記述されている残差ベクトルとの関係と、それに対する収束判定の表現方法について議論した[発表 4]。その議論を様々な前処理系や様々なアルゴリズムに拡張し体系化していく中で、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。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、その波及効果ははかり知れない。

今年度は、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を取り上げ、論理構造を分析した。さらに、前処理付き CGS（PCGS: Preconditioned CGS）法の議論を、前処理付き BiCGStab 法にも応用し、両アルゴリズム間の数理構造の特徴についても議論した。

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、$r_i^{\#}$とr_jとのスカラー積$\left\langle r_i^{\#}, r_j \right\rangle$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。双ランチョス系統の代表的な解法が CGS 法、BiCGStab 法であり、その他、BiCGStab(ell)法、GPBiCG 法なども様々な数値シミュレーションで用いられている。

2.3 具体的成果

2.3.1 前処理付き CGS 法に対する改善

従来の PCGS 法では、双対系における前処理変換が非合理的であり、それを改善し、アルゴリズム記述上の演算量も増やさないことに成功した。これは前処理系における双直交性の改善に相当す。表1のとおり，従来版 PCGS 法では様々な前処理演算 A～D を併用しても求解不可能であった問題に対し，我々の改善版（ここでは図1の改善版 PCGS①のアルゴリズムを指す）により求解可能となった．図1は「表1：求解問題2」の「前処理 A」について，解への収束を示すグラフであり，改善版では正常に収束している様子が分かる。さらに、従来版 PCGS から容易に改変できる改善版 PCGS②も開発した。

表１．従来版 PCGS 法と我々の改善版の実例

● 求解問題１に対する結果（前処理無しでは「B.D.」）

	前処理 A	前処理 B	前処理 C	前処理 D
従来版	B.D.	B.D.	B.D.	B.D.
改善版	**収束**	**収束**	**収束**	**収束**

● 求解問題２に対する結果（前処理無しでは「収束せず」）

	前処理 A	前処理 B	前処理 C	前処理 D
従来版	収束せず	収束せず	B.D.	収束せず
改善版	**収束**	収束せず	B.D.	**収束**

※ B.D.（ブレークダウン）とは，主に，反復中の除算で分母が 0 となり演算が破綻することを指す．双直交性も関係する現象である．

これらの研究成果は、[発表 2][発表 3]として、研究の途中経過を報告してきている。今後は、従来版 PCGS も含め、アルゴリズムの論理構造を解析した上で、あらためて研究成果を発表していく予定である。このような数理構造に着目した上での前処理付きアルゴリズムの改善は、求解問題の特性と求解アルゴリズムの特性の両方に対し本質的な影響をもたらすため、プログラムの並列化など高性能計算とは性格の異なる研究成果でもある。当改善は、双ランチョス系の前処理付きアルゴリズム全般に同様の効果をもたらすと期待できる。

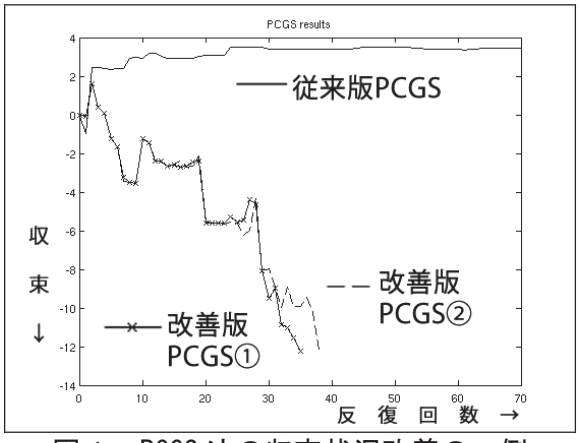


図１．PCGS 法の収束状況改善の一例

2.3.2　前処理付き BiCGStab 法に対する改善

上述した PCGS 法や、その基となる PBiCG（前処理付き BiCG）法の共通した特徴として、前処理変換方向が両側・左・右のいづれであっても、最終的に得られる前処理付きアルゴリズムは同じものである（我々の研究の中では“一致性”と呼んでいる）．一方で、BiCGStab 法をはじめとする多くの解法では、BiCG 法の双直交性の他に、線形系に対する MR（Minimum Residual norm、残差ベクトルのノルム最小化）演算：

$$\omega_k = \frac{\left(As_k, s_k\right)}{\left(As_k, As_k\right)} \tag{8}$$

や MR 演算を拡張した演算を伴い、この部分については一致性が無い。

PCGS での改善の議論は、双対系の前処理変換に対する改善であり PBiCG 法との一致性を前提としているため、PBiCGStab 法のような一致性を有していないアルゴリズムに対しては、あらためて議論する必要がある。このような観点で、右前処理変換であれば、PBiCG 法から PBiCGStab 法の導出も PCGS 法での改善方法も合理的に当てはめることができ、さらに、従来版からの PBiCGStab 法のアルゴリズム記述上の演算量も増やさずに改善できることを確認した。

ここまでの研究成果は、[査読付 1][査読付 2][発表 1]にて報告し、e-Science プロジェクトで開発している Xabclib にも実装された。

今後は、前処理系と一致性有無の数理構造に着目した解析へと研究展開する予定である。

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。また、当センターのエンドユーザ教育の一環として、“お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用：高性能プログラミング初級入門」”の講習会を部分的に担当している。

3.2　内容

(1) 情報基盤拠点における作業効率の改善

当拠点事業では、課題代表者（各年度 40 名程度）と課題審査委員（17 名）とのファイルのやりとりの回数が多いため、極力、プログラムで対応することが必須である。

例えば、共同研究の課題採択と採択後の課題に対しては、

1) 応募課題の審査とその審査環境整備、継続課題に対しては前年度の報告書等の参照環境を整備
2) 各研究課題の概要を入力
3) 当該年度のシンポジウムにてポスター発表（ポスター印刷は拠点側で実施）
4) 中間報告書提出とその中間審査
5) 共同研究期間終了後の最終報告書提出と翌年度のシンポジウムで最終報告とその最終審査

の各々でファイルのやり取りやファイル受信確認のメール送信等が生ずるため、これらを円滑に行うためのシステム環境を整備する必要がある。

前年度では、課題 ID、委員 ID 等を決め、それら ID に基づく認証用アカウントを準備し、関係者全員に配布の上、ファイル提出等を実施した。今年度は、さらに手作業を減らすよう、各プロセスに対応するプログラムを再利用可能（様々なイベントに対応可能）なモジュールとして整えた。また、拠点の Web ページ自体も動的生成するよう作り変えた。

(2) エンドユーザ教育関係

“お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用：高性能プログラミング初級入門」”にて、疎行列線形方程式向けライブラリを用いた講習会を行っている。ここで用いているライブラリは、2、3 節で述べた研究でも使用しているものであり、本人の使用経験に基づいた内容で講習会を実施した。また、そのライブラリを用いた研究成果の一部には、数値計算の基本事項（しかし、従来から体系付けて議論されていない、盲点ともなっていた話題）に当たるものもあり、講習会の中でも取り上げて解説している。

3.3 具体的成果

(1) 情報基盤拠点における作業効率の改善

平成 22 年度の最終報告書提出では、研究代表者各自の ID で Web ページにログインし、ファイル提出すると、自動的に「最終報告書受領」の旨の受信メールが発送され、提出ファイル名自体も一般公開や最終審査用に名前付け（JHPCN10-${課題 ID}_FinalRep.pdf）されるようにした。この一連の処理は、研究紹介ポスターや中間報告書の提出でも同様であるため、今年度は、Web プログラムの所定のパラメタ値に処理種別を示す値を設定するだけで、サーバ上のファイル名、メール本文やタイトルの項目も全て切り替わるようにした。現状では、課題代表者向けのページに対し、このシステムを実装しているが、次年度では、課題審査委員向けのページに対してもこのようなシステムへ変更する予定である（現状では、課題審査委員のページは、手作業も含む半自動化による切り替えである。背景としては、拠点の初年度の研究課題に対しては、年間のイベントの実施スタイルが確定していなかったが、2 年目からようやく落ち着いてきたためである）。

また、前年度においては、シンポジウムのページを動的に生成し、講演プログラム部分の「課題名」、「研究代表者名」、「所属情報」は、php コードにて Web サーバ上のデータベースを参照する方式へ変更した。今年度は、拠点のホームページ自体もそのような方式に変更した。具体的には、「採択課題」ページと、そこからリンクされている「Abstract & Reports」のページである。さらに、頻繁な更新や定型的な記述の多い、「トップページ」の最新情報欄、「構成拠点の案内と研究テーマ」のページも同様の仕組みにした。例えば、トップページの最新情報の各項目は、「案内表示する事柄」、「リンク先の URL」、「リンク元の LABEL」のパラメタに値を設定したファイル（ファイル名は Web 掲載日）を作成し、トップページにて所定の関数の引数として指定すれば、自動的に table 形式で「最新情報」欄が生成される。これにより、html 記述の冗長な作業が減った。

(2) エンドユーザ教育関係

上述の講習会を 2012 年 12 月 22 日と 2012 年 2 月 22 日の 2 回実施した。

内容は実習形式であり、筆者のこれまでの各種授業実施経験（情報処理実習、UNIX 入門、数値計算法：全て筑波大学にて学部生対象の授業実績あり。UNIX 入門と数値計算法は自作テキストと自作実習例題を使用）にも基づき、講習会テキストを作成の上、OJT 方式で実施した。

4　成果要覧

招待講演

[招待 1] 伊藤祥司: 反復解法ライブラリを使って連立 1 次方程式を解いてみよう, 神戸大学計算科学セミナー, 神戸大学(神戸市), 2011 年 7 月.

査読付論文

[査読付 1] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野 健: BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, 2012 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(HPCS2012), pp.117-126, 名古屋大学(名古屋市), 2012 年 1 月.

[査読付 2] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野 健: BiCGStab 法の前処理付きアルゴリズムに対する改善, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム (ACS38), (採録決定).

公開ソフトウェア

[公開 1] Shoji Itoh: SESNA: Survey and Evaluation System for Numerical Algorithms, http://sesna.jp/ .

その他の発表論文リスト

[発表 1] 伊藤祥司, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 猪貝光祥, 大島聡史, 黒田久泰, 直野 健, 中島研吾: 前処理付き BiCGStab 法の問題点に対する改良, 第 16 回計算工学講演会, 東京大学柏キャンパス, 2011 年 5 月.

[発表 2] 伊藤祥司, 杉原正顯: 導出過程に着目した前処理付き CGS 法の適切なアルゴリズム, 2011 年並列／分散／協調処理に関する「鹿児島」サマー・ワークショップ(SWoPP 鹿児島 2011), かごしま県民交流センター, 2011 年 7 月.

[発表 3] 伊藤祥司: 導出過程に着目した前処理付き CGS 法のアルゴリズム, 平成23年度国立情報学研究所共同研究集会「大規模疎行列を係数行列に持つ悪条件線形方程式に対する高速な数値計算法に関する研究」, 国際高等セミナーハウス(軽井沢), 2011 年 8 月.

[発表 4] 伊藤祥司: 数値計算アルゴリズムに対する体系的な性能評価と特性分析, 平成23年度国立情報学研究所共同研究集会「大規模疎行列を係数行列に持つ悪条件線形方程式に対する高速な数値計算法に関する研究」, 国立情報学研究所(千代田区), 2012 年 3 月.

特記事項

[特記 1] 情報処理学会 ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 運営委員会委員

[特記 2] 情報処理学会 論文誌コンピューティングシステム 編集委員会委員

[特記 3] 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 4] 理化学研究所 情報基盤センター 客員研究員

[特記 5] 数値解析, 中央大学理工学部 兼任講師

[特記 6] ハイパフォーマンスコンピューティング, 東京電機大学理工学部 非常勤講師

PART 4

各部門

教育・サービス活動報告

情報メディア教育部門

図書館電子化部門

ネットワーク部門

スーパーコンピューティング部門

情報メディア教育部門

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）

情報メディア教育部門
概要

部門長　柴山悦哉　　**情報教育支援係長　有賀浩**

情報メディア教育部門の主要なミッションは、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することである。そして、これに付随する管理運用、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。今年度は、3 月に教育用計算機システムのリプレースが行われ、クライアント、サーバ、プリンター、ネットワーク機器などが刷新された。

現在提供中のシステムやサービスには以下のようなものがある。これらは、研究室、学科、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管理運用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、ネットワーク経由で最大 30 名が同時に 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 445 ドメイン、約 17,000 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 45,000 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、年度末時点で 735 組織が利用している。

DNS ホスティング： 学内組織を対象とした DNS ホスティングサービスを提供しており、年度末時点で 19 組織が利用している。昨年度までは無料の実験サービスという位置づけだったが、今年度より有料の正式サービスとなった。

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、UTOCW, TODAI TV, 卒業式中継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。

CFIVE： 講義支援のためのオープンソースシステムとしてCFIVEの開発と運用を行っており、学生証を用いた出欠管理、課題の出題とレポートの提出、教材のオンライン配信、クイズの出題と回答、掲示板などを支援する機能を提供している。今年度は165の講義で利用された。

遠隔講義支援: テレビ会議システムを備えた遠隔講義室、多地点接続装置などを用意しており、遠隔講義や遠隔会議に利用されている。

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)と同様の機器の一部を部局が負担し、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要している。

その他のサービス: 部局設置機器の管理代行、認証情報の提供、大判プリンターのサービスなどを提供している。このうち認証情報に関しては、SSL-VPNなどのセンターサービスの他に、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

情報教育支援係　　情報リテラシー教育支援係

1　運用報告

1.1　ECCS2008 の運用

1.1.1　Mac(iMac、Xserve)

2012 年 2 月までの間は旧システム(ECCS2008)を前年度に引き続き運用した。ECCS2008 は標準端末として iMac 端末(1,176 台)を設置していた。iMac 端末はブートサーバ(Apple Xserve)から OS(Mac OS X)のイメージを読み込んで起動していた。1 台のブートサーバは iMac 端末 30 数台を制御し、33 台(駒場 20 台、本郷 13 台)のサーバを設置していた。また、iMac 端末にインストールしていた Parallels Desktop というソフトウェア上で Windows Vista を起動し、Windows 環境を利用することができた。

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。

2011 年度の主な更新は以下の通りである。

iMac 端末(Mac 環境)

2011 年 4 月 8 日 iMac 端末のシステム更新
- Xcode 3.2.6
- Java for mac 1.0
- Safari 5.0.4
- iTunes 10.2.1
- MacOSX 10.6.7
- iDVD 7.1.1
- Mathematica 8、ライセンス更新
- JMP9
- Adobe Reader 10.0.2
- Firefox 3.6.16
- Adobe flash player 10.2.153.1
- Thunderbird 3.1.9

2011 年 4 月 15 日 iMac 端末のシステム更新
- Microsoft Office 2011 インストール
- Microsoft Office 2008 削除

2011 年 5 月 24 日 iMac 端末のシステム更新
- iTunes 10.2.2
- Safari 5.0.5
- セキュリティアップデート 2011-002
- SnowLeopard フォントアップデート 1.0
- MODELLER 9.9
- Firefox 3.6.17
- Adobe Flash player 10.3.181.14

-Thunderbird 3.1.10
-Adobe Reader 10.0.3
-Microsoft Office 2004 更新プログラム 11.6.3
-Microsoft Office 2011 14.1.1 update
-Flip4Mac 2.3.8.1
-JMP 9.0.2、ライセンス更新

2011 年 7 月 6 日 iMac 端末のシステム更新
-MacOSX 10.6.8
-AirMac ユーティリティ 5.5.3
-iTunes 10.3
-R 2.13.0
-Firefox 3.6.18
-Adobe Flash Player 10.3.181.34
-Thunderbird 3.1.11
-Adobe Reader X 10.1.0
-Microsoft Office 2011 14.1.2 update
-Microsoft Office 2004 11.6.4 更新プログラム
-Google Chrome 12.0.742.112 新規インストール
-Scifinder scholar 2007 削除

2011 年 9 月 15 日 iMac 端末のシステム更新
-Parallels Desktop update build9376
-Safari 5.1
-iDVD 7.1.2
-iTunes 10.4.1
-MacOSX 10.6.8 追加アップデート 1.0
-Java for Mac OS X 10.6 update5 1.0
-Firefox 3.6.22
-Firefox 6.0.2
-Adobe flash player 10.3.183.7
-Thunderbird 3.1.14
-Thunderbird 6.0.2
-Google Chrome 13.0.782.220
-Adobe photoshop element 4　削除

2011 年 10 月 5 日 iMac 端末のシステム更新
-セキュリティアップデート　2011-005
-Adobe Reader 10.1.1
-Firefox 3.6.23
-Firefox 7.0.1
-Google chrome 14.0.835.186
-Adobe flash player 10.3.183.10
-Microsoft Office 2004 11.6.5 更新プログラム
-Microsoft Office 2011 14.1.3 Update
-Thunderbird 3.1.15
-Thunderbird 7.0
-MATLAB2010b 削除
-MATLAB2011b インストール

2011 年 11 月 18 日 iMac 端末のシステム更新
- Safari 5.1.1
- iTunes 10.5.1
- セキュリティアップデート 2011-006
- Java for Mac OSX 10.6 アップデート
- mi 2.1.11r1
- Google chrome 15.0.874.120
- flash player 11.1.102.55
- Thunderbird 3.1.16
- Thunderbird 8.0
- Firefox 3.6.24
- Firefox 8.0

2012 年 1 月 26 日 iMac 端末のシステム更新
- Safari 5.1.2
- iTunes 10.5.3
- Firefox 3.6.25
- Firefox 9.0.1
- Google chrome 16.0.912.77
- Thunderbird 3.1.17
- Thunderbird 9.0.1
- Microsoft Office 2004 11.6.6 更新プログラム
- Microsoft Office 2011 14.1.4 update
- Adobe Reader X 10.1.2

iMac 端末(Windows 環境)

2011 年 5 月 17 日 iMac 端末の Windows 環境のシステム更新
- Java 1.6.0_24
- ウイルスバスター2010　定義ファイル更新、フルスキャン
- Firefox 3.6.17
- Adobe Flash Player 10.2.159.1
- Windows Update
- Thunderbird 3.1.10

2011 年 7 月 5 日 iMac 端末の Windows 環境のシステム更新
- Java 1.6.0_26
- Windows Update
- Adobe Reader X 10.1.0
- Adobe Flash Player 10.3.181.26
- Firefox 3.6.18
- R 2.13.0
- ウイルスバスター2010　定義ファイル更新、フルスキャン
- Thunderbird 3.1.11
- Adobe Flash Player 10.3.181.34

2011 年 9 月 15 日 iMac 端末の Windows 環境のシステム更新
- Windows Update
- Firefox 3.6.22
- Firefox 6.0.2
- Adobe Flash Player 10.3.183.7

-Thunderbird 3.1.14
-Thunderbird 6.0.2
-ウイルスバスター2010　定義ファイル更新、フルスキャン
-Parallels tools アップデート
-Norton Security scan 削除

2011 年 10 月 28 日 iMac 端末の Windows 環境のシステム更新
-Windows Update
-Adobe Reader X 10.1.1
-Firefox 3.6.23
-Firefox 7.0.1
-Thunderbird 3.1.15
-Thunderbird 7.0.1
-Adobe Flash Player 11.0.1.152
-Java 1.6.0_29
-ウイルスバスター2010　定義ファイル更新、フルスキャン

2012 年 1 月 31 日 iMac 端末の Windows 環境のシステム更新
-Windows Update
-Firefox 9.0.1
-Firefox 3.6.25
-Adobe Flash Player 11.1.102.55
-Thunderbird 9.0.1
-Thunderbird 3.1.17
-Adobe Reader X 10.1.2
-ウイルスバスター2010 定義ファイル更新、フルスキャン

1.1.2　CAD 端末

CAD 端末は、CAD のアプリケーションを必要とする講義などで用いることを想定した WindowsVista ネットブート型シンクライアントシステムの端末であり、本郷・駒場に合計 186 台設置していた。

ディスクイメージファイルの更新は OS のセキュリティアップデート、ウイルス対策ソフトのパターンファイル、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た。

2011 年度の主な更新は以下の通りである。

CAD 端末

2011 年 4 月 12 日 CAD 端末のシステム更新
-ウイルスバスター2010　定義ファイル更新、フルスキャン
-Mathematica 8　ライセンス更新
-Firefox 3.6.16
-Adobe Flash Player 10.2.153.1

2011 年 5 月 18 日 CAD 端末のシステム更新
-Windows Update
-Firefox 3.6.17
-Adobe Flash Player 10.3.181.14
-Thunderbird 3.1.10
-VLC 1.1.9
-ウイルスバスター2010　定義ファイル更新、フルスキャン

2011年7月19日 CAD端末のシステム更新
- Windows Update
- Java 1.6.0_26
- ffdshow rev3154
- R 2.13.0
- Adobe Flash Player 10.3.181.34
- Firefox 3.6.18
- Thunderbird 3.1.11
- Adobe Reader 10.1.0
- VLC 1.1.10
- JMP 9.0.2
- ウイルスバスター2010　定義ファイル更新、フルスキャン

2011年10月4日 CAD端末のシステム更新
- Windows Update
- Quick Time 7.7
- Adobe Reader 10.1.1
- Firefox 3.6.23
- Firefox 7.0.1
- Thunderbird 3.1.15
- Thunderbird 7.0
- Adobe Flash Player 10.3.183.10
- VLC メディアプレイヤー 1.1.11
- ウイルスバスター 定義ファイル更新、フルスキャン
- MATLAB2010b 削除

2011年12月1日 CAD端末のシステム更新
- Windows Update
- Java 1.6.0_29
- QuickTime 7.7.1
- Firefox 3.6.24
- Firefox 8.0.1
- Thunderbird 3.1.16
- Thunderbird 8.0
- Adobe Flash Player 11.1.102.55
- WinSCP 4.3.5
- ウイルスバスター 定義ファイル更新、フルスキャン

2012年2月1日 CAD端末のシステム更新
- Windows Update
- Adobe Reader X 10.1.2
- Firefox 3.6.25
- Firefox 9.0.1
- Thunderbird 3.1.17
- Thunderbird 9.0.1
- ウイルスバスター2010 定義ファイル更新、フルスキャン

1.2　新しい教育用計算機システム(ECCS2012)について

1.2.1　システム更新の経緯

2012 年 3 月に教育用計算機システムの更新を行った。以下にその経緯について述べる。

(仕様検討)

情報メディア教育専門委員会の下に「教育用計算機システム導入作業部会」が組織され、2010 年 11 月 15 日、12 月 20 日に同部会を開き、センターホームページで集計した「ECCS に関するアンケート」の結果、および同年 9 月 16 日、17 日に開催した公聴会での意見等を参考に、次期システム案の大枠について検討した。

(資料提供招請の公示)

2011 年 1 月 6 日　資料提供招請の官報公示をした。

(導入説明書の作成)

教育用計算機システム導入作業部会での検討結果を受け、導入説明書を作成した。

(導入説明会)

1 月 14 日　導入説明会を開催した。

(仕様策定委員会)

教育用計算機システム仕様策定委員会を設置して、3 月 22 日、4 月 4 日、4 月 13 日、5 月 18 日、6 月 13 日、7 月 1 日、8 月 3 日の 7 回開催し、次期システムの仕様書を作成した。

(仕様書案の説明会)

4 月 28 日　仕様書案について説明会を行った。

(入札の公示)

7 月 11 日　入札の官報公示をした。

(入札説明会)

7 月 15 日　次期システムの仕様書の説明、および事務手続きの説明を行った。

(入札)

9 月 8 日　入札締切

(技術審査委員会)

教育用計算機システム技術審査委員会が 9 月 13 日、9 月 21 日に行われ、入札に参加した 2 社の提案を合格とした。

(開札)

9 月 30 日　日本電気株式会社(NEC)が落札した。

(納入)

2012 年 2 月 29 日　納入期限

3 月 1 日から新教育用計算機システム(ECCS2012)によるサービスを開始した。

1.2.2　ECCS2012 システム利用説明会

教育用計算機システムを利用して授業を行う教員、ティーチングアシスタントと分散配置端末管理者・担当責任者を対象に、新システムの利用説明会を本郷・駒場の両会場で開催した。

本郷: 3 月 19 日(月)　13:30～15:20　情報基盤センター1F 大演習室 2

駒場: 3 月 21 日(水)　15:10～17:00　情報教育棟 3 階大演習室 2

また、この説明会では教育用計算機システムの一部として運用している学習管理システム CFIVE の説明も行った。

1.2.3　ECCS2012 の概要

ECCS2012 の概要について紹介する。

【端末】

・21.5 インチ Apple iMac(1321 台)

・Mac OS X 10.7 と Microsoft Windows 7 の両方が動作

・Intel Core i5 2.5GHz クワッドコア
・メモリ 4GB
・ハードディスク 500GB
・DVD±R DL、DVD±RW、CD-RW 対応光学ドライブ
・1920 x 1080ドット 21.5 インチ
・Happy Hacking Keyboard Lite2 for Mac 日本語配列
・縦横スクロール可能な 3 ボタンレーザー式マウス(エレコム M-LS6ULSV)

ECCS2008 との相違
・端末の一本化と台数減少(1362 台→1321 台)
・端末一本化により演習室の有効活用が可能に
・ハードディスクからの OS 起動
OS のアップデート等は専用ソフト Kaseya での集中管理
・CPU 速度はコア単体で向上(Core2 Duo 2.0GHz(iMac 端末)、2.4GHz(CAD 端末)→Core i5 2.5GHz)、コア数は 2 倍(2→4)
・メモリは倍増(2GB → 4GB)
・画面サイズが 20 インチ(1680 x 1050ドット)から 21.5 インチ(1920 x 1080ドット)に

【ソフトウェア】
・プログラミング言語環境
C/C++言語、Java 言語、Ruby 言語が Mac、Windows 環境で利用可能
Fortran 言語が Mac 環境で利用可能
・統計処理ソフトウェア
JMP が Windows、Mac 環境で利用可能(別調達)
・数式処理ソフトウェア
Mathematica が Mac、Windows 環境で利用可能
・CAD ソフトウェア
AutoCAD Inventor、3ds max が Windows 環境で利用可能(別調達)
・オフィスアプリケーション
MS-Office が Windows、Mac 環境で利用可能
・ウイルス対策ソフト
Sophos Anti-Virus が Windows、Mac 環境で利用可能 (別調達)
・Unix フリーソフト
Mac 環境で、可能な限り ECCS2008 と同様の Unix フリーソフトを提供
・部局負担による導入ソフト
MATLAB、TSP、OxMetrix、Stata

ECCS2008 との相違
・SAS の利用者が少ないため導入しない
・Photoshop Elements は導入せず、gimp 等のフリーソフトで代用
・MS-Office、プログラミング言語等は Windows 環境にも用意
・Mac 環境でもウイルス対策ソフトを導入

【プリンタ】
・フルカラーデジタル複合機(富士ゼロックス ApeosPort-IV C4470 PFS) 28 台
・スキャナー、コピー機能の提供
・A3、A4 用紙利用可能

・印刷速度は ECCS2008 の主力機(IPSiO CX3500)の 2 倍以上
・プリペイドカードおよび電子マネー(Suica 及び PASMO が利用可能)に対応した課金
・USB メモリの PDF、TIFF、JPEG、Word、Excel、PowerPoint ファイルを印刷可能
・研究室や自宅の PC からも、システム内の複合機に出力可能
・オンデマンドネットプリントサービスを利用して、端末からセブンイレブン店舗設置のプリンタへも出力可能

ECCS2008 との相違
・利用の少ないプリンタは廃止(41 台→28 台)
・全台を A3 での印刷可能な複合機に
・プリペイドカードは生協設置のコピー機と共通化
・ポストペイ方式は利用者が少ないため廃止

【リモートアクセスシステム】
・システム外部から Mac OS X の GUI 環境を利用するためのシステムを導入
　同時に 30 人が利用可能
　VNC を使うので、Mac OS X 以外の PC からの利用も可能
・Windows に関してはライセンスの関係でリモートアクセス環境は導入しない

ECCS2008 との相違
・ECCS2008 では ssh で入るだけの Unix サーバ 3 台のみ

【ファイル転送サーバ】
・システム外部から WebDAV により、システムのホームディレクトリにアクセスするためのサーバ
・ソフトウェアは North Grid Proself Enterprise Edition
　同時に 400 人が利用可能

ECCS2008 との相違
・ECCS2008 では Unix サーバに scp 等でアクセス

【ファイルサーバ】
・EMC Symmetrix VMAX(駒場)、VNX5700(本郷)
・総容量 60TB で現システムの約 1.5 倍
・スナップショットの活用
　誤って削除したファイルを、ユーザ操作によりスナップショットから復元可能
・SSD/FC/SATA を併用
　高速化と低消費電力化の期待
・本郷、駒場での冗長構成
　障害や災害時のリカバリが可能

ECCS2008 との相違
・ホームディレクトリが Mac 環境と Windows 環境とで分離
・互いの環境のホームディレクトリはファイル転送サーバ経由で読み書き可能

【メールシステム】
・DEEPSoft MailSuite(ECCS2008 と同じ)
・メールホスティングと一体で、2012 年 9 月から稼働(それまでは ECCS2008 のメールシステム)

ECCS2008 との相違
・メールホスティングに関しては、Mailhosting-M と Mailhosting-D の 2 種類のシステムから一本化
・メールホスティングのメーリングリスト機能は Mailman から MailSuite に移行(自身のドメインで運用可能)

【ネットワークデバイス】
・基幹スイッチは Brocade MLXe-4、TurboIron 24X
・エッジスイッチは NEC QX-S5250P
・Palo Alto Networks PA-5020 を用いた NAT によるインターネット接続

ECCS2008 との相違
・基幹スイッチ間の通信をすべて 10Gbps 化

【その他】
・シングルサインオンにより、端末にログインすると教育用計算機システムと連携した Web サービス(MailSuite、CFIVE 等)での認証を不要にする仕組みを導入
・各種サーバを仮想化し、耐故障性を向上

2 講習会開催報告

2.1 新規利用者向け講習会

学部学生、大学院生および研究生が教育用計算機システムの利用を新規に申し込む際には、新規利用者向け講習会を受講する必要がある。本講習会については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行っている。

2011 年度の実施状況は以下の通りである。

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	
	情報基盤センター		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	開催数	受講者数
4 月	3	95	40	490	13	197	2	135
5 月			36	202	5	17	1	25
6 月			44	67	5	10		
7 月			40	46	2	6		
8 月			36	24	2	2		
9 月			37	56	2	3		
10 月			40	232	4	23	2	30
11 月			40	60	4	6		
12 月			35	49	2	2		
1 月			36	31	2	1		
2 月	2	7			1	0		
3 月			42	14	2	3		
合計	5	102	426	1,271	44	270	5	190

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	223
4 月 6 日	教養学部	学部新入生(文科)	1,279
4 月 7 日	教養学部	学部新入生(理科)	1,819
10 月 5 日	教養学部	AIKOM 学生	18

3 サービス統計

3.1 部局別実利用者数

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、2011 年度(各月右側)と 2010 年度(同左側)を載せてある。

注:システム更新があったため、2011 年 2 月、3 月のデータは不掲載とした。

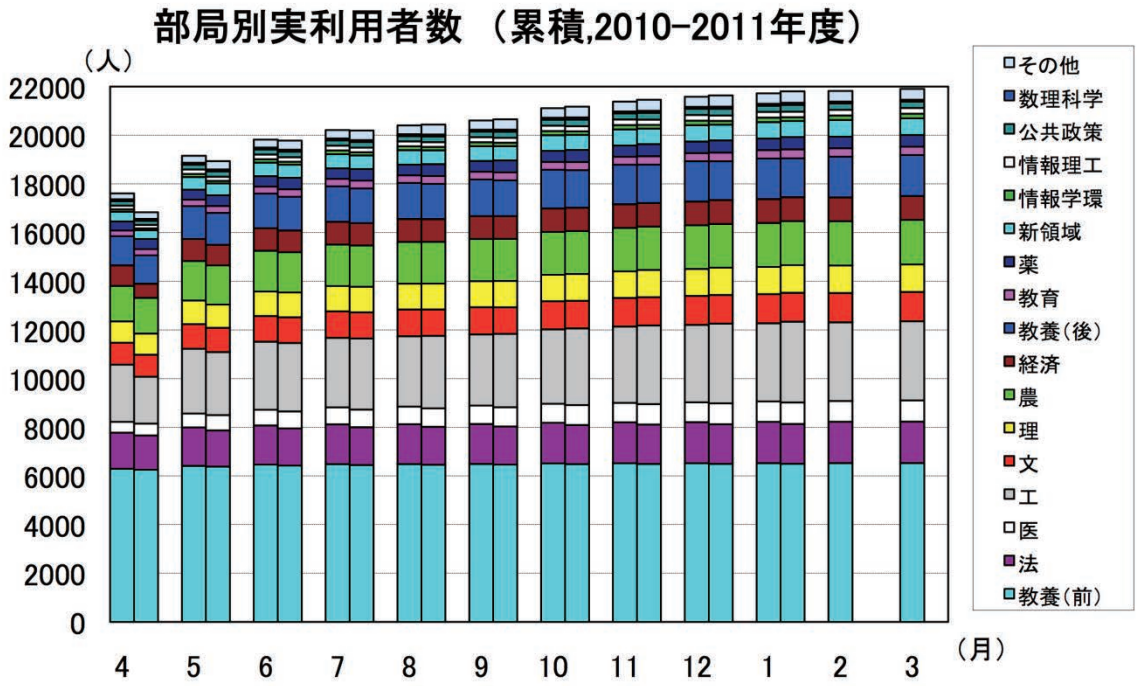


図 1. 部局別実利用者数

3.2　端末利用状況

教育用計算機システムの端末は本郷、駒場、柏の各キャンパスに配置している。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、利用の多い本郷の総合図書館と駒場の情報教育棟、駒場図書館の iMac 端末(ECCS2008)利用状況を図 2 から図 6 に示す。

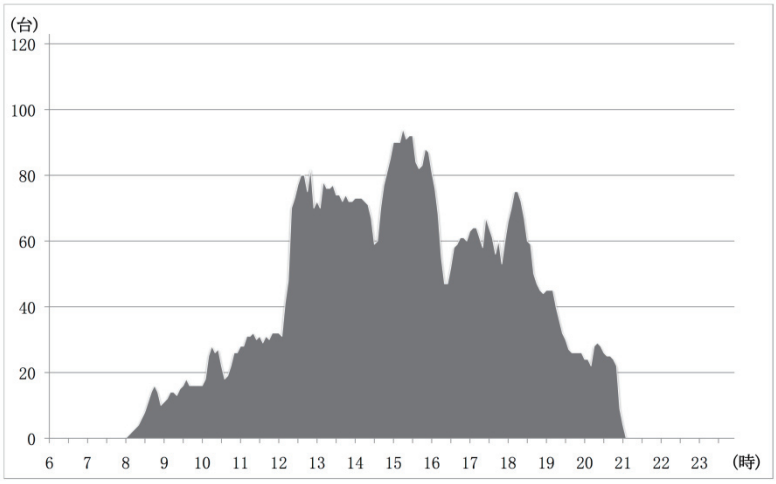


図 2. 駒場情報教育棟　1F 自習室 (123 台)

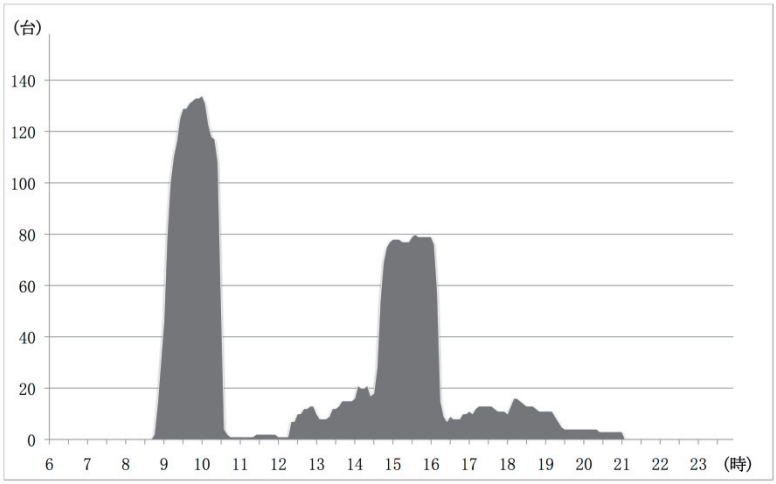


図 3. 駒場情報教育棟　2F 大演習室 1 (158 台)

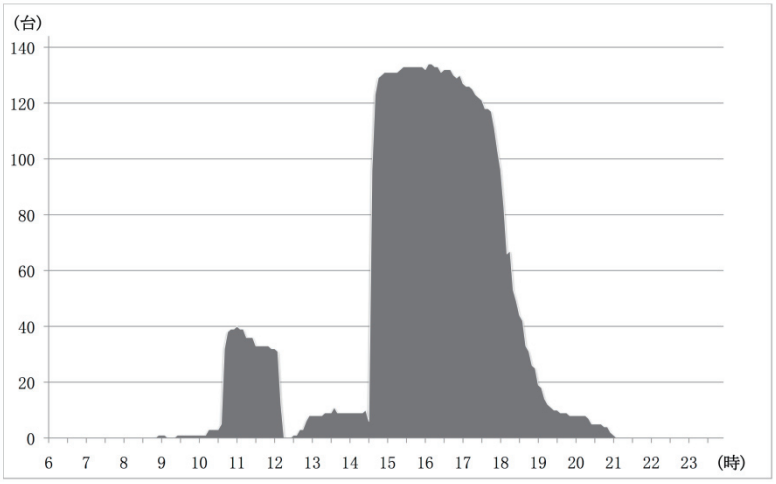


図 4. 駒場情報教育棟　3F 大演習室 2 (144 台)

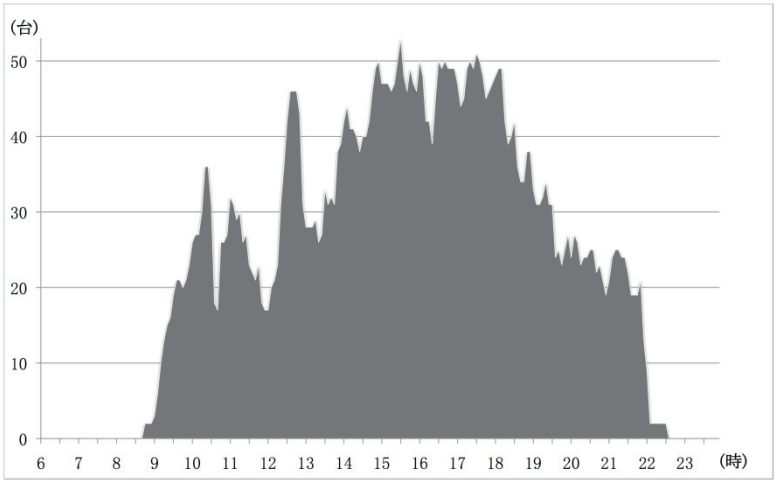


図 5. 駒場図書館　1F-メディアパーク (53 台)

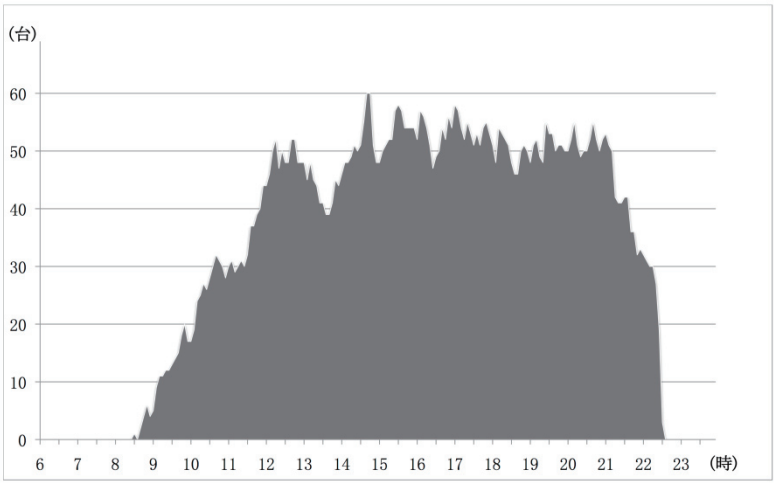


図 6. 総合図書館 2F-メディアプラザ 2、3F メディアプラザ 3 (69 台)

3.3　利用者対応

利用者への対応について、窓口件数、電話対応件数、メールによる対応件数を表 3. に示す。

表 2. 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	407	311	320	7	893	33	201
5 月	1207	173	232	10	846	34	214
6 月	556	108	182	5	298	21	101
7 月	341	90	161	7	171	10	79
8 月	188	74	121	5	82	13	84
9 月	232	93	142	25	106	11	58
10 月	391	84	232	31	263	8	93
11 月	257	52	172	24	119	11	76
12 月	230	68	155	24	62	12	100
1 月	228	47	139	22	67	17	141
2 月	206	108	96	38	22	28	120
3 月	213	166	184	60	87	39	141
合計	4,456	1,374	2,136	258	3,016	237	1,408

学内組織向けメールサーバ(MAILHOSTING)運用報告

情報教育支援係　　情報リテラシー教育支援係

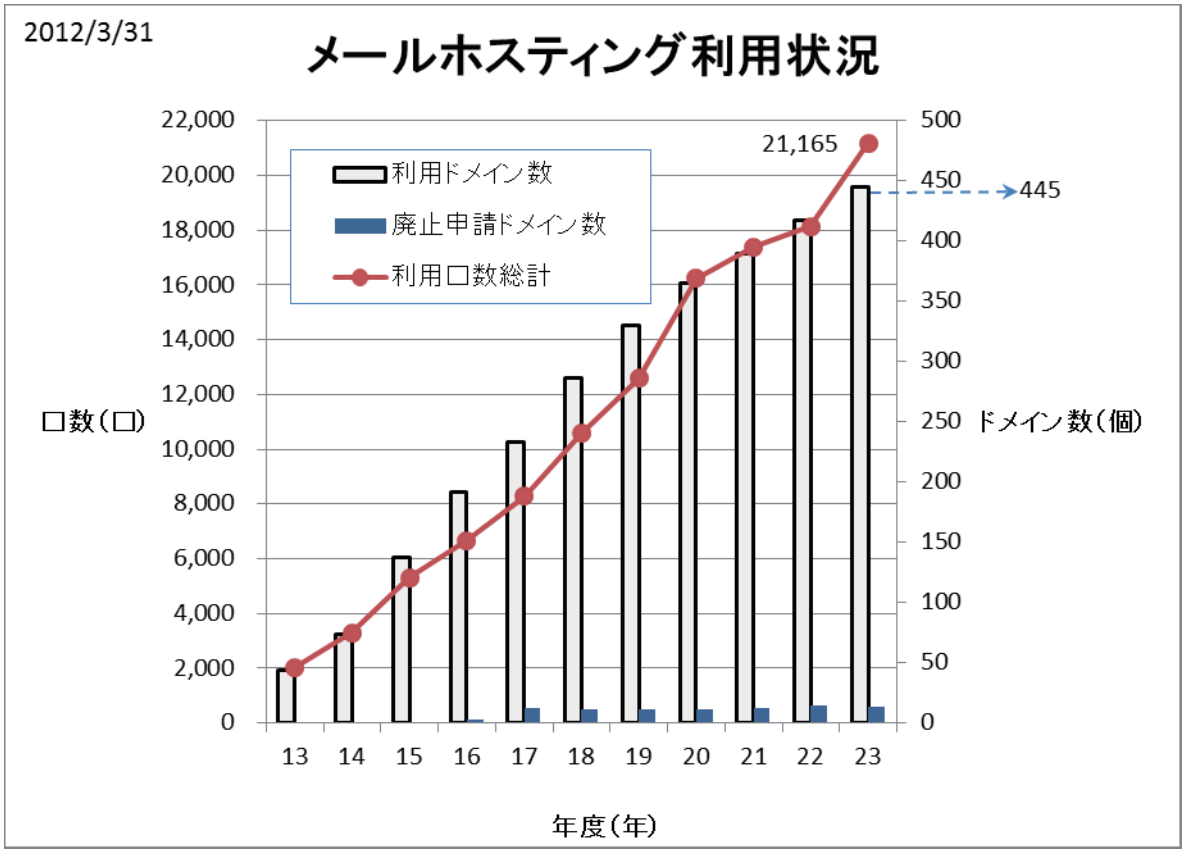
1　経過

学内組織向けメールサーバ(MAILHOSTING)の更新については、教育用計算機システム(ECCS2012)の調達に含めることとしている。ただし、MAILHOSTING については、2012 年 7 月から 8 月にかけてシステムの移行を行う予定である。このため、2011 年度は、調達を除きシステムに係る大きな作業は発生しなかった。システム更新の日程については、「教育用計算機システム運用報告」の「1.2 新しい教育用計算機システム(ECCS2012)について」を参照されたい。

利用負担金免除制度の適用継続を希望していた 3 組織に対して、2011 年 6 月 21 日 第 39 回情報メディア教育専門委員会において、制度の適用継続が認められた。

2　参加組織

2011 年度末時点において、本サービスを利用している組織は、445 組織であり、それらの申し込み口数の合計は 21,165 口である。2010 年度末に比べ、28 組織、3,030 口増加している。



3　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。

メールホスティングM

2011 年

4 月 14 日　4 月 14 日(木) Active!mail のバージョンアップ作業
4 月 20 日　東北地方太平洋沖地震に関連した節電対策および東京電力輪番停電への ECCS サービス対応状況
7 月 29 日　東北地方太平洋沖地震に関連した節電対策によるメールサーバの運用について
7 月 29 日　東北地方太平洋沖地震に関連した節電対策のための ECCS の部分停止について 2011-03
10 月 25 日　新メールホスティングシステムについて

2012 年

1 月 26 日　SPAMBlock のメンテナンス作業
2 月 20 日　2 月 16 日(木)SPAMBlock のメンテナンス作業
3 月　6 日　ユーザのフォルダ割当量をなくしたい
3 月 23 日　antispam の障害について
3 月 26 日　メールサーバのサーバ証明書の有効期限切れについて
3 月 29 日　(3/29)メールサーバのメンテナンスについて

メールホスティングD

2011 年

4 月 20 日　東北地方太平洋沖地震に関連した節電対策および東京電力輪番停電への ECCS サービス対応状況
7 月 29 日　東北地方太平洋沖地震に関連した節電対策のための ECCS の部分停止について 2011-03
7 月 29 日　東北地方太平洋沖地震に関連した節電対策によるメールサーバの運用について
8 月　1 日　メールの送受信障害
8 月 30 日　8/30(火) IMAP サーバの緊急メンテナンス
9 月　1 日　9/1(木) IMAP サーバの緊急メンテナンス
9 月　2 日　MailSuite での HTML メールの表示設定
9 月　2 日　MailSuite の不具合修正とマルチパートメールの表示変更
10 月 25 日　新メールホスティングシステムについて

2012 年

3 月 23 日　antispam の障害について
3 月 26 日　メールサーバのサーバ証明書の有効期限切れについて
3 月 30 日　申請方法について一時アカウントの発行状況は 9 申込み、合計口数 269

WEB PARK サービス運用報告

電子教材係

1　運用報告

WEB PARK サービスは 2000 年度から開始した学内組織向けの Web ホスティングサービスである。2009 年度末に行ったシステム更新後2年目の運用となる 2011 年度は、引き続き安定したサービス提供に努め、システムの運用管理及びサービス関連業務としてセミナーの開催を行った。

2　利用組織数

2011 年度に利用を開始した組織数は 45、利用を中止した組織数は 33 であった。2012 年 3 月末現在の総利用組織数は 735 である。利用組織数の変化を図1に示す。

なお、2011 年 6 月 21 日に行われた第 39 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。

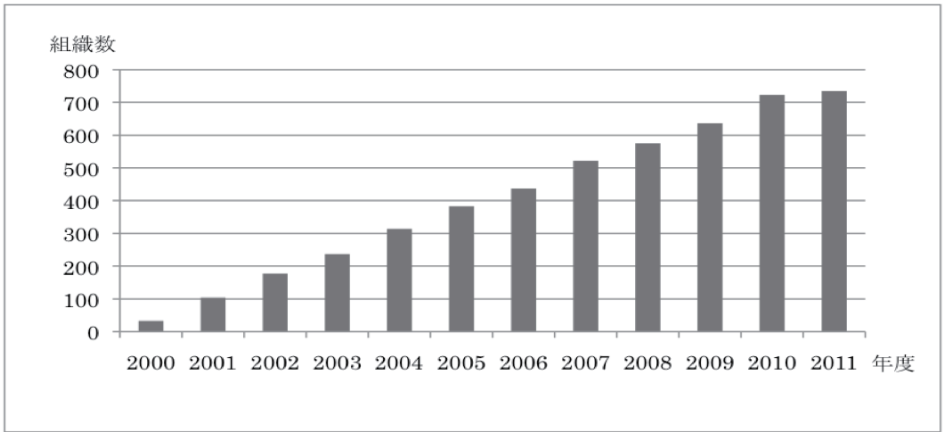


図1　利用組織数

部局別利用組織数を表1に示す。

表1　部局別利用組織数（2012 年 3 月末現在）

部局名	利用組織数
法学系研究科／法学部	39
医学系研究科／医学部	37
工学系研究科／工学部	207
理学系研究科／理学部	12
農学生命科学研究科／農学部	108
経済学研究科／経済学部	32
総合文化研究科／教養学部	84
教育学研究科／教育学部	3
薬学系研究科／薬学部	1
新領域創成科学研究科	93
情報理工学系研究科	10

公共政策大学院	1
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	3
大気海洋研究所	17
先端科学技術研究センター	18
低温センター	1
アイソトープ総合センター	2
環境安全研究センター	3
留学生センター	1
人工物工学研究センター	1
生物生産工学研究センター	2
アジア生物資源環境研究センター	9
医学教育国際協力研究センター	1
情報基盤センター	7
機構・委員会等	33
その他	6

3　セミナー開催報告

学内の教職員や学生を対象に Web ページ作成のためのセミナーを開催した。テーマは Web デザインと Web ページ作成ツールの使い方に分け、基本編と実践編の各 2 回を実施した。また、基本編では WEB PARK サービスについても紹介した。

・Web ページ作成 基本編
　開催日時　2011 年 5 月 17 日(火) 13:00-17:00
　テーマ　・Web デザインの原則 -美しく見やすいビジュアルデザイン要素-
　　株式会社フォーイーチ 廣作拓郎 氏
　　・Web ページ作成ツール
　　本郷 PC 塾 中村 徹 氏
　　・WEB PARK サービスの概要
　　情報基盤センター 丸山一貴
　参加人数　118 名（本郷 98 名、駒場 20 名）

・Web ページ作成 実践編
　開催日時　2011 年 11 月 8 日(火) 13:00-15:00
　テーマ　Web ページ作成実践編 -デザイン制作の流れ-
　　株式会社フォーイーチ 廣作拓郎 氏
　参加人数　44 名（本郷 34 名、駒場 10 名）

　開催日時　2011 年 11 月 9 日(水) 10:00-15:00
　テーマ　Web ページ作成実践編 -作成ツール-
　　本郷 PC 塾 中村 徹 氏
　参加人数　25 名

関連 URL： http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/

学内組織向け DNS ホスティング運用報告

情報教育支援係　　情報リテラシー教育支援係

1　経過

2010 年 10 月 8 日に行われた第 37 回情報メディア教育専門委員会にて正式サービス化が認められ、2011 年度より利用負担金を徴収することとなった。
なお、2011 年度は、システムの更新等は行っていない。

2　参加組織

2011 年度末時点において 19 組織が利用中である。

3　広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。
2011 年
4 月 20 日　東北地方太平洋沖地震に関連した節電対策および東京電力輪番停電への ECCS サービス対応状況
6 月　9 日　コンテンツサーバの緊急メンテナンス(6/9)
6 月 24 日　DNS サーバの緊急メンテナンス
7 月 12 日　コンテンツサーバの緊急メンテナンス(7/12)
7 月 19 日　デバイスマネージャーが起動しない
7 月 19 日　DNS ホスティングサービスの年度継続について
11 月 22 日　コンテンツサーバの緊急メンテナンス(11/22)
2012 年
2 月 14 日　DNS ホスティングを利用する際に、上位ドメインで設定する NS レコード

4　大学 ICT 推進協議会 2011 年度年次大会での発表

2011 年 12 月 7 日～9 日に、大学 ICT 推進協議会主催により福岡市で行われた、大学 ICT 推進協議会 2011 年度年次大会において、前田専門職員が「学内組織向け DNS ホスティングサービスの運用」について発表を行った。

遠隔講義支援サービス運用報告

電子教材係

1　運用報告

2011 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。

	会議等(回数)	講義等(講座数)
1)　本郷 情報基盤センター413 遠隔講義室	28	15
2)　駒場 情報教育棟 E49 遠隔講義室	14	8
3)　貸出用テレビ会議システム	1	—
4)　MCU:テレビ会議システム多地点接続制御装置	45	4
5)　インターネットライブ中継	5	5

以下にその詳細を記す。

2　IP 遠隔会議システム

2.1　会議等利用状況 (学外接続利用のみ抜粋)

2.1.1　本郷 情報基盤センター413 遠隔講義室

2011 年 04 月 26 日(火) 18:30-20:00 情報基盤センター　丸山 一貴
2011 年 05 月 11 日(水) 10:00-12:00 情報基盤センター　関谷 勇司
2011 年 05 月 12 日(木) 16:20-18:00 新領域創生科学研究科　杉田 精司
2011 年 05 月 13 日(金) 10:00-12:00 情報基盤センター　関谷 勇司
2011 年 05 月 18 日(水) 13:00-15:30 情報基盤センター　丸山 一貴
2011 年 06 月 07 日(火) 10:00-12:00 情報基盤センター　中山 雅哉
2011 年 06 月 16 日(木) 16:20-18:00 新領域創生科学研究科　杉田 精司
2011 年 06 月 29 日(水) 15:30-18:00 情報基盤センター　柴山 悦哉
2011 年 07 月 13 日(水) 12:00-18:00 情報基盤センター　西澤 明生
2011 年 07 月 14 日(木) 11:00-18:00 情報基盤センター　関谷 勇司
2011 年 08 月 10 日(水) 11:00-16:00 情報基盤センター　鴨志田 良和
2011 年 08 月 26 日(金) 10:00-12:00 情報基盤センター　小川 剛史
2011 年 08 月 26 日(金) 15:00-18:00 情報基盤センター　中山 雅哉
2011 年 08 月 30 日(火) 15:00-17:00 情報基盤センター　坂井 朱美
2011 年 09 月 02 日(金) 13:00-15:00 大規模集積システム設計教育研究センター　落合 秀也
2011 年 09 月 13 日(火) 10:30-12:00 情報基盤センター　中山 雅哉
2011 年 09 月 16 日(金) 12:30-18:00 生産技術研究所　山本 成一
2011 年 10 月 13 日(木) 14:00-18:00 情報基盤センター　片桐 孝洋
2011 年 10 月 14 日(金) 10:00-12:00 情報基盤センター　宮本 大輔
2011 年 10 月 14 日(金) 15:30-18:00 情報基盤センター　柴山 悦哉
2011 年 10 月 27 日(木) 09:00-18:00 情報基盤センター　若原 恭
2011 年 10 月 28 日(金) 12:00-16:00 情報基盤センター　大橋 公一郎

2011 年 11 月 02 日(水) 13:00-18:00 総合研究博物館　宮本 英昭
2011 年 11 月 30 日(水) 13:00-14:30 情報基盤センター　丸山 一貴
2012 年 02 月 01 日(水) 09:00-18:00 総合研究博物館　宮本 英昭
2012 年 02 月 02 日(木) 09:00-18:00 総合研究博物館　宮本 英昭
2012 年 02 月 24 日(金) 14:00-16:00 情報基盤センター　諏佐 賢治
2012 年 03 月 16 日(金) 12:30-18:00 情報基盤センター　片桐 孝洋

2.1.2　駒場情報教育棟 E49 遠隔講義室

2011 年 04 月 20 日(水) 16:50-18:30 総合文化研究科　増原 英彦
2011 年 04 月 27 日(水) 16:50-18:30 総合文化研究科　増原 英彦
2011 年 05 月 25 日(水) 16:20-18:30 総合文化研究科　増原 英彦
2011 年 06 月 29 日(水) 16:20-18:30 総合文化研究科　増原 英彦
2011 年 07 月 20 日(水) 16:20-18:30 総合文化研究科　増原 英彦
2011 年 10 月 26 日(水) 17:50-18:00 総合文化研究科　増原 英彦
2011 年 11 月 21 日(月) 12:30-15:00 総合文化研究科　伊藤 元己
2011 年 11 月 30 日(水) 17:50-18:00 総合文化研究科　増原 英彦
2011 年 12 月 21 日(水) 17:50-18:00 総合文化研究科　増原 英彦
2012 年 01 月 25 日(水) 17:50-18:00 総合文化研究科　増原 英彦
2012 年 01 月 25 日(水) 08:30-09:00 大総センター　藤原 毅夫
2012 年 01 月 30 日(月) 13:00-18:00 大総センター　藤原 毅夫
2012 年 02 月 02 日(木) 12:30-15:00 総合文化研究科　伊藤 元己
2012 年 02 月 14 日(火) 17:50-19:00 総合文化研究科　増原 英彦

2.2　講義等利用状況

2.2.1　本郷 情報基盤センター413 遠隔講義室

2011 年 04 月 11 日 - 2011 年 07 月 11 日　毎週月曜日 13:00-14:45
新領域創成科学研究科　先端エネルギー工学輪講
本郷遠隔講義室 - 柏キャンパス

2011 年 04 月 11 日 - 2011 年 07 月 11 日　毎週月曜日 16:20-18:00
新領域創成科学研究科　複雑理工学輪講
本郷遠隔講義室 - 柏キャンパス

2011 年 05 月 19 日(木)、20 日(金)　09:30 - 17:00
情報基盤センター　スーパーコンピューティング部門
「MPI 応用編：並列アプリケーション開発入門」

2011 年 06 月 08 日(水)、09 日(木)　10:00 - 17:00
情報基盤センター　スーパーコンピューティング部門
「MPI 基礎：並列プログラミング初級入門」

2011 年 06 月 30 日(木)、07 月 01 日（金）　10:00 - 17:30
情報基盤センター　スーパーコンピューティング部門
「お試しアカウント付き並列プログラム講習会」

2011 年 07 月 06 日(水)、07 日(木) 9:00-18:00
情報基盤センター スーパーコンピューティング部門
「筑波大学 HPC サマーセミナー遠隔講義」

2011 年 09 月 06 日(火)、07 日(水) 10:00 - 17:00
情報基盤センター スーパーコンピューティング部門
「お試しアカウント付き並列プログラム講習会」

2011 年 10 月 28 日 - 2012 年 01 月 13 日 毎週金曜日 10:15-11:55
工学系研究科 融合情報学輪講 I・II
本郷遠隔講義室 - 柏キャンパス

2011 年 10 月 03 日 - 2012 年 02 月 27 日 毎週月曜日 13:00-14:45
新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学輪講
本郷遠隔講義室 - 柏キャンパス

2011 年 10 月 03 日 - 2012 年 02 月 06 日 毎週月曜日 16:20-18:00
新領域創成科学研究科 複雑理工学輪講 I
本郷遠隔講義室 - 柏キャンパス

2011 年 10 月 20 日(木) 16:20-18:00
新領域創成科学研究科 複雑理工学輪講 II
本郷遠隔講義室 - 柏キャンパス

2011 年 12 月 6 日(火)、 7 日(水) 10 : 00 - 17 : 30
情報基盤センター スーパーコンピューティング部門
「お試しアカウント付き並列プログラム講習会」

2011 年 12 月 21 日(水)、22 日(木) 10 : 30 - 17 : 00
情報基盤センター スーパーコンピューティング部門
「お試しアカウント付き並列プログラム講習会」

2012 年 02 月 21 日(火)、22 日(水) 10:30 - 17:00
情報基盤センター スーパーコンピューティング部門
「お試しアカウント付き並列プログラム講習会」

2012 年 03 月 21 日(水)、22 日(木) 10:00 - 17:00
情報基盤センター スーパーコンピューティング部門
「お試しアカウント付き並列プログラム講習会」

2.2.2 駒場情報教育棟 E49 遠隔講義室

2011 年 04 月 19 日～2011 年 07 月 12 日 毎週火曜日 09:00-10:30
総合文化研究科 情報システム科学 V・総合分析情報学持論 II
駒場遠隔講義室 - 本郷情報学環

2011 年 04 月 11 日− 2011 年 04 月 18 日 毎週月曜日 09:20−12:30
教養学部前期課程 学術俯瞰講義「青い鳥」はいるかー経済学で考える
駒場遠隔講義室 - 駒場 18 号館ホール

2011 年 10 月 12 日 - 2012 年 01 月 11 日　毎週水曜日 16:20-17:50
教養学部前期課程　LAP 東京大学－南京大学同時開催テーマ講義
駒場遠隔講義室 - 南京大学

2011 年 10 月 17 日– 2012 年 01 月 31 日　毎週月曜日 10:40-12:10
教養学部前期課程　学術俯瞰講義　正義を問い直す
駒場遠隔講義室 - 駒場 18 号館ホール

2011 年 10 月 12 日 - 2012 年 01 月 25 日　毎週水曜日 16:20-17:50
教養学部前期課程　テーマ講義「記憶と記録」
駒場遠隔講義室 - 南京大学

2011 年 12 月 22 日(木)　14:00-18:00
教養学部前期課程　モンゴル語　初級・中級
駒場遠隔講義室 - モンゴル国立大学

2011 年 12 月 22 日(木)　18:00-20:00
南京大学集中講義「変容」プレ講演
駒場遠隔講義室 - 南京大学

2012 年 1 月 31 日(火)　7:00-11:00
教養学部前期課程　学術俯瞰講義補講
駒場遠隔講義室　-　ハーヴァード大学

2.3　貸出用テレビ会議システム

2012 年 03 月 13 日(火) - 03 月 26 日(月)　薬学系研究科　津谷喜一郎　会議
テレビ会議システム Sony PCS-TL50 1台、データソリューションボックス 1 台

3　MCU サービス

3.1　会議等利用状況

2011 年 04 月 11 日(月) 12:00-16:00 情報理工学系　江崎 浩(慶応大、名大、奈良先端大、他)　10 地点
2011 年 04 月 12 日(火) 13:00-17:00 情報基盤センター　関谷 勇司(名大、奈良先端大、慶応、他)　6 地点
2011 年 04 月 21 日(木) 17:30-20:00 情報基盤センター　柴山 悦哉(情基、法政大、筑波大)　3 地点
2011 年 04 月 26 日(火) 15:00-18:30 情報基盤センター　関谷 勇司(名大、奈良先端大、慶応、他)　6 地点
2011 年 04 月 27 日(水) 17:00-19:00 情報基盤センター　石川 裕(情基、産総研、他)　4 地点
2011 年 05 月 10 日(火) 13:00-16:30 情報基盤センター　関谷 勇司(名大、奈良先端大、慶応、他)　7 地点
2011 年 05 月 17 日(火) 09:00-19:00 新領域創成科学研究科　杉田 精司　4 地点
2011 年 05 月 19 日(木) 17:30-20:00 情報基盤センター　柴山 悦哉(情基、法政大、関西学院大)　3 地点
2011 年 05 月 24 日(火) 13:00-16:30 情報基盤センター　関谷 勇司(名大、奈良先端大、慶応、他)　7 地点
2011 年 06 月 13 日(月) 09:00-13:00 情報基盤センター　関谷 勇司(名大、奈良先端大、慶応、他)　8 地点
2011 年 06 月 23 日(木) 08:50-12:30 本部国際企画課　二宮 宣明(本部、新領域、北京、他)　6 地点
2011 年 07 月 01 日(月) 09:00-13:00 情報基盤センター　関谷 勇司(情理、名大、慶応、他)　9 地点
2011 年 07 月 21 日(木) 08:50-12:30 本部国際企画課　大西 由美子(本部、医科研、北京、他)　5 地点
2011 年 07 月 22 日(火) 12:30-16:00 情報基盤センター　関谷 勇司(情理、名大、慶応、他)　9 地点

2011 年 08 月 11 日(木) 12:00-18:00 情報基盤センター　関谷 勇司(情理、名大、慶応、他) 9 地点
2011 年 08 月 26 日(金) 15:00-18:00 情報基盤センター　中山 雅哉(情基、広島大、上智大、他) 6 地点
2011 年 08 月 31 日(水) 09:00-19:00 情報基盤センター　関谷 勇司(情理、名大、慶応、他) 9 地点
2011 年 09 月 08 日(木) 08:50-12:30 本部国際企画課　大西 由美子(本部、医科研、北京、他) 5 地点
2011 年 09 月 16 日(金) 12:30-19:30 生産技術研究所　山本 成一(情基、法政大、北陸先端大、他) 8 地点
2011 年 10 月 04 日(火) 09:00-16:00 情報基盤センター　関谷 勇司(情理、名大、奈良先端、他) 9 地点
2011 年 10 月 12 日(水) 12:30-17:00 理学系研究科　山本 智(京大、台湾、オランダ、他) 6 地点
2011 年 10 月 14 日(金) 10:00-17:00 大規模集積　落合 秀也(情理、名大、奈良先端、他) 9 地点
2011 年 10 月 19 日(水) 16:30-21:00 理学系研究科　佐藤 将春 4 地点
2011 年 10 月 25 日(火) 10:00-14:00 大規模集積　落合 秀也(情理、慶応大、北陸先端、他) 12 地点
2011 年 11 月 02 日(水) 13:00-18:00 総合研究博物館　宮本 英昭(天文台、千葉工大、岡山大、他) 4 地点
2011 年 11 月 10 日(木) 08:50-12:30 本部国際企画課　大塚 真衣(本部、医科研、北京、他) 5 地点
2011 年 11 月 15 日(火) 09:00-16:00 大規模集積　落合 秀也(情理、共愛大、北陸先端、他) 12 地点
2011 年 12 月 02 日(金) 15:00-21:00 大規模集積　落合 秀也(情理、名大、NICT、他) 14 地点
2011 年 12 月 08 日(木) 08:50-12:30 本部国際企画課　大塚 真衣(本部、新領域、北京、他) 5 地点
2011 年 12 月 15 日(木) 14:00-18:00 本部国際交流課　上村 桜子(本部、東北大、九州大、他) 4 地点
2011 年 12 月 26 日(月) 12:00-17:00 大規模集積　落合 秀也(情理、慶応大、NICT、他) 14 地点
2012 年 01 月 12 日(月) 08:50-12:30 本部国際企画課　大塚 真衣(本部、柏、北京、他) 5 地点
2012 年 01 月 16 日(月) 15:00-20:00 大規模集積　落合 秀也(工学部、名大、奈良先端、他) 16 地点
2012 年 01 月 17 日(火) 09:00-14:00 大規模集積　落合 秀也(情理、慶応大、NICT、他) 15 地点
2012 年 01 月 30 日(月) 16:00-21:00 情報基盤センター　関谷 勇司 6 地点
2012 年 02 月 01 日(水) 09:00-18:00 総合研究博物館　宮本 英昭 7 地点
2012 年 02 月 02 日(木) 09:00-18:00 総合研究博物館　宮本 英昭 7 地点
2012 年 02 月 07 日(火) 13:30-18:00 本部国際企画課　豊木 麻起子(本部、立命館大、九州大、他) 4 地点
2012 年 02 月 09 日(木) 10:00-13:30 本部国際企画課　大塚 真衣(本部、北京、インド、他) 6 地点
2012 年 02 月 15 日(水) 13:00-18:00 大規模集積　落合 秀也(情理、慶応大、NICT、他) 15 地点
2012 年 02 月 17 日(金) 09:00-20:00 大規模集積　落合 秀也 6 地点
2012 年 02 月 27 日(月) 12:00-18:00 大規模集積　落合秀也(情報理工、奈良先端、慶応、他) 15 地点
2012 年 03 月 08 日(木) 10:00-14:00 本部国際化推進学部入試担当室　谷井 賢治(本部、柏、インド、他) 6 地点
2012 年 03 月 19 日(月) 13:00-15:00 本部国際部交流課　木谷 由佳(本部、インド、他) 6 地点
2012 年 03 月 29 日(木) 12:00-18:00 大規模集積　落合 秀也(情報理工、名大、北陸先端、他) 15 地点

3.2　講義等利用状況

2011 年 10 月 05 日(水) 09:45-12:00 新領域創成科学研究科　小野 亮(新領域、工学部) 2 地点
2012 年 03 月 07 日(水) 09:00-19:00 新領域創成科学研究科 小柴公也(全て新領域) 4 地点
2012 年 03 月 08 日(木) 09:00-19:00 新領域創成科学研究科 小柴公也(全て新領域) 4 地点
2012 年 03 月 09 日(金) 09:00-19:00 新領域創成科学研究科 小柴公也(全て新領域) 4 地点

4　インターネットライブ中継

2011 年度 夏学期 毎週月曜日 10:30-12:10 全 13 回中 8 回
学術俯瞰講義「青い鳥」はいるかー経済学で考える
(配信範囲: 学内のみ)

2011 年度 夏学期 毎週水曜日 16:20-17:50 全 13 回中 10 回
学術俯瞰講義 「かたち」と「はたらき」の生物進化ー偶然か必然か
(配信範囲: 学内のみ)

2011 年度 冬学期 毎週月曜 10:30-12:10 全 13 回
学術俯瞰講義「正義を問い直す」
(配信範囲: 学内のみ)

2011 年度 冬学期 毎週水曜日 16:20-17:50 全 13 回
学術俯瞰講義 「国境なき数学ーことばを越えて社会とともに」
(配信範囲: 学内のみ)

2011 年 9 月 27 日(火) 10:00-11:10 安田講堂
平成 23 年度 東京大学秋季学位記授与式・卒業式
(配信範囲: 制限なし)

2011 年 10 月 4 日(火) 10:00-11:10 安田講堂
平成 23 年度 東京大学秋季入学式
(配信範囲: 制限なし)

2011 年 12 月 21 日(水) 14:30-18:10 山上会館
本部防災訓練
(配信範囲: 制限なし)

2012 年 2 月 8 日(火) 11:00-12:00 本部棟 12 階第会議室
本部広報課記者会見
(配信範囲: 制限なし)

2012 年 03 月 16 日(水) 13:30-16:00 薬学部総合研究棟講堂
杉山教授最終講義
(配信範囲: 制限なし)

2012 年 03 月 22 日(木)、23 日(金) 09:00-12:30 安田講堂
平成 23 年度 東京大学学位記授与式・卒業式
(配信範囲: 制限なし)

5 その他

関連 URL http://elearn.itc.u-tokyo.ac.jp/

CFIVE 運用報告

電子教材係

1　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 講義で利用された。2011 年度に改良された機能、利用された講義名等を以下に示す。

1.1 機能追加・改善

2011 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。

＜追加機能＞
- ・出済みテストの問題・回答参照機能
- ・課題コメント一括登録

＜機能改善＞
- ・課題・教材のインポート障害修正
- ・テストの文字化け対応
- ・掲示板削除権限追加

1.2ECCS の変更に伴う機能追加・改善

2012 年 3 月に CFIVE の認証基盤である ECCS の学生ユーザ ID 変更（共通 ID)に伴い機能修正を行った。

＜追加機能＞
- ・ユーザ名の表示
- ・ユーザ一覧帳票の作成
- ・IC カードリーダを使った出席データ登録
- ・学内ネットワークからのシングルサインオン（2012 年度夏学期中に提供予定）

＜機能改善＞
- ・ユーザ ID、ユーザ名の定義変更
- ・出力帳票のユーザ名追加
- ・ユーザ ID 検索機能の修正
- ・WebDAV の修正
- ・ユーザ名によるユーザ追加

1.3 ハンディターミナルの代替機能開発

本部情報システム部と共同で Windows 環境での IC カード読取プログラムを開発した。2012 年度より CFIVE での出席登録に活用予定である。

2　講習会・研究会開催報告

システム利用説明会

2011 年 9 月 29 日(木) 13:30-15:00 本郷；情報基盤センター1 階大演習室 2

2011 年 10 月 4 日(火) 15:00-16:30 駒場：情報教育棟 3 階大演習室 2

2012 年 3 月 19 日(月) 13:30-15:20 本郷:情報基盤センター1 階大演習室 2
2012 年 3 月 21 日(水) 15:10-17:00 駒場:情報教育棟 3 階大演習室 2

3　サービス統計

3.1 夏学期での利用

夏学期(2011 年 4 月－2011 年 9 月)に CFIVE を利用した講義は以下の通りである。

1	公共政策大学院	Globalization と経済構造政策(木 2)	林良造
2	教養学部後期課程	アメリカ宗教文化論(木 5)	ロビンズ、ロジャー
3	教養学部前期課程	グローバル時代をどう生きるか(月 5)	岡田晃枝
4	教養学部前期課程	テスト(広瀬友紀)	広瀬友紀
5	教養学部前期課程	はいぱーワークブック (全員登録)	はいぱーワークブックプロジェクト
6	教養学部前期課程	プログラム構成論(火 5)	山口和紀
7	教養学部後期課程	ラテンアメリカ政治(金 4)	大串和雄
8	教養学部後期課程	英語(作文)(13)(火 2)	ロビンズ、ロジャー
9	教養学部前期課程	英語二列(C)(火 3)	奥聡一郎
10	教養学部前期課程	英語二列(C)(火 4)	奥聡一郎
11	教養学部前期課程	英語二列C(C)(月 3)	広瀬友紀
12	教養学部前期課程	英語二列C(C)(月 4)	広瀬友紀
13	教養学部前期課程	英語二列C(C)(木 3)	広瀬友紀
14	教養学部前期課程	英語二列C(C)(木 4)	広瀬友紀
15	教養学部前期課程	英語二列 C(火 3)	三宮郁子
16	教養学部前期課程	英語二列 C(火 4)	河合祥一郎
17	教養学部前期課程	英語二列 C(火 4)	三宮郁子
18	教養学部前期課程	英語二列 R(R)(金 1)	荒木純子
19	教養学部前期課程	英語二列 R(R)(金 2)	荒木純子
20	教養学部前期課程	英語二列R(月 4)	藤田祐
21	教養学部前期課程	英語二列R(月 5)	藤田祐
22	教養学部前期課程	英語二列 R(木 2)	小林薫
23	教養学部前期課程	英語二列 R(木 2)	河合祥一郎
24	教養学部前期課程	英語二列 R(木 3)	河合祥一郎
25	教養学部前期課程	英語二列 R(木 3)	小林薫
26	教養学部前期課程	学術俯瞰講義「かたち」と「はたらき」の生物進化 －偶然か必然か(水 5)	福田裕穂、塚谷裕一、永田敬
27	教養学部前期課程	学術俯瞰講義「青い鳥」はいるか－経済学で考える(月 2)	松井彰彦、竹野太三
28	教養学部前期課程	基礎演習(水 2)	荒巻健二
29	教養学部前期課程	近現代史1(木 4)	伊熊幹雄
30	経済学部	金融システムの諸問題と行政(水 4)	石田晋也
31	工学部	計算機工学概論(火 1)	矢入健久/堀浩一
32	理学部	計算数理演習(金 3)	齊藤宣一
33	教養学部後期課程	計量社会科学(月 2)	来島愛子
34	教養学部前期課程	現代国際社会論(水 5)	東大作
35	教養学部前期課程	国際関係論 I (火 5)	古城佳子
36	教養学部後期課程	国際金融(土 1)	中尾武彦
37	教養学部後期課程	国際経済政策演習(水 3)	荒巻健二
38	教養学部前期課程	災害と情報:災害大国を生き抜く(火 2)	目黒公郎
39	教養学部前期課程	社会 I(金 4)	和田毅
40	教養学部前期課程	初修外国語スペイン語(公開講座,CFIVE 登録者全員登録)	スペイン語部会全員

41	教養学部前期課程	情報(火 2)	植田一博
42	教養学部前期課程	情報(火 2)	開一夫
43	教養学部前期課程	情報(火 3)	中谷多哉子
44	教養学部前期課程	情報(火 3)	美馬秀樹
45	教養学部前期課程	情報(火 4)	山口和紀
46	教養学部前期課程	情報(火 4)	品川高廣
47	教養学部前期課程	情報(金 1)	増原英彦
48	教養学部前期課程	情報(金 2)	中村政隆
49	教養学部前期課程	情報(金 2)	広田光一
50	教養学部前期課程	情報(金 3)	蔡東生
51	教養学部前期課程	情報(金 3)	福永アレックス
52	教養学部前期課程	情報(金 4)	蔡東生
53	教養学部前期課程	情報(金 4)	谷川智洋
54	教養学部前期課程	情報(月 1)	玉井哲雄
55	教養学部前期課程	情報(月 3)	河内谷幸子
56	教養学部前期課程	情報(月 3)	笹田耕一
57	教養学部前期課程	情報(月 4)	田村肇
58	教養学部前期課程	情報(月 4)	柴山悦哉
59	教養学部前期課程	情報(月 5)	田中哲朗
60	教養学部前期課程	情報(水 2)	原田至郎
61	教養学部前期課程	情報(水 2)	開一夫
62	教養学部前期課程	情報(水 3)	日暮栄治
63	教養学部前期課程	情報(水 3)	藤垣裕子
64	教養学部前期課程	情報(水 4)	原田至郎
65	教養学部前期課程	情報(水 4)	藤垣裕子
66	教養学部前期課程	情報(木 1)	中野公彦
67	教養学部前期課程	情報(木 2)	山口泰
68	教養学部前期課程	情報(木 2)	中野公彦
69	教養学部前期課程	情報(木 3)	中村政隆
70	教養学部前期課程	情報(木 3)	辰己丈夫
71	教養学部前期課程	情報システム利用入門(金 5)	玉井哲雄金子知適
72	教養学部前期課程	情報科学概論 I(火 5)	増原英彦
73	教養学部前期課程	図形科学 II(火 3)	加藤道夫・奈尾信英
74	教養学部前期課程	図形科学 II(火 4)	奈尾信英・加藤道夫
75	教養学部前期課程	図形科学 II(金 3)	堤江美子/横山ゆりか
76	教養学部前期課程	図形科学 II(金 4)	横山ゆりか/堤江美子
77	教養学部前期課程	図形科学 II(月 3)	田中一郎、道川隆士
78	教養学部前期課程	図形科学 II(月 4)	道川隆士/田中一郎
79	教養学部前期課程	図形科学 II(水 3)	金井崇/柏原賢二
80	教養学部前期課程	図形科学 II(水 4)	柏原賢二, 金井崇
81	教養学部前期課程	図形科学 II(木 2)	深野暁雄/舘知宏
82	教養学部前期課程	図形科学 II(木 3)	舘知宏/深野暁雄
83	教養学部前期課程	図形科学演習 II(木 1)	山口泰
84	教養学部後期課程	数理情報学 I 演習(金 3)	齊藤宣一
85	教養学部前期課程	生命科学 I(金 4)	豊島陽子
86	教養学部前期課程	生命科学 I(月 3)	佐藤直樹
87	工学部	先端技術と社会特別講義I(木 3)	美馬秀樹

88	教養学部前期課程	地球環境論(木 5)	丸山康司
89	法学部	比較政治Ⅱ(発展途上国の政治)(水 1)	大串和雄
90	教養学部前期課程	平和のために東大生ができること(火 6)	岡田晃枝
91	教養学部後期課程	平和プロセスと国際協力Ⅱ:人間の安全保障と平和構築(火 4)	東大作
92	教養学部前期課程	法と社会(木 4)	岩田太
93	教養学部前期課程	倫理Ⅰ(火 1)	山本芳久

3.2 冬学期での利用

冬学期(2011 年 10 月－2012 年 2 月)に CFIVE を利用した講義は以下の通りである。

1	公共政策大学院	CaseStudy (月 5)	長谷川榮一
2	公共政策大学院	ComparativeAnalysisofJapaneseEconomicPolicy-MakingProcess(火 5)	林良造
3	公共政策大学院	SelectedTopicsinEnergyPolicy(火 2)	日下一正
4	教養学部後期課程	アメリカ思想テクスト分析(火 3)	タッカーリー
5	教養学部前期課程	コンピュータ及び演習(水 1)	阿久津好明
6	教養学部後期課程	システム数理Ⅱ(水 2)	山口泰
7	教養学部後期課程	システム理論Ⅰ(月 3)	福永アレックス
8	教養学部前期課程	システム論(月 2)	福永アレックス
9	工学部	ソフトウェア第一/機械ソフトウェア演習(水 4/5)	広田光一/杉田直彦
10	教養学部前期課程	データ分析(金 4)	来島愛子
11	教養学部前期課程	テクスト分析(金 4)	アルヴィなほ子
12	教養学部前期課程	はいぱーワークブック(全員登録)	はいぱーワークブックプロジェクト
13	工学部	プログラミング基礎(金 4/5)	稗方和夫
14	工学部	プログラミング基礎演習(金 5)	ダヌシカボレガラ
15	教養学部前期課程	モンゴル語初級(木 5)/中級(木 4)	木村理子
16	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)	早戸良成
17	教養学部前期課程	英語1(水 2)	武田将明
18	教養学部前期課程	英語1(水 3)	武田将明
19	教養学部前期課程	英語二列(P)(火 3)	奥聡一郎
20	教養学部前期課程	英語二列(P)(火 4)	奥聡一郎
21	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(P)(火 3)	広瀬友紀
22	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(P)(金 1)	荒木純子
23	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(P)(金 2)	荒木純子
24	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(P)(金 3)	広瀬友紀
25	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(P)(木 2)	広瀬友紀
26	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(P)(木 3)	広瀬友紀
27	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(PA)(金 3)	片山晶子
28	教養学部前期課程	英語二列Ｐ(PA)(木 2)	片山晶子
29	教養学部前期課程	英語二列P(火 2)	河合祥一郎
30	教養学部前期課程	英語二列P(火 3)	河合祥一郎
31	教養学部前期課程	英語二列 R(木 2)	小林薫
32	教養学部前期課程	英語二列 R(木 3)	小林薫
33	教養学部前期課程	学術俯瞰講義「国境なき数学」(水 5)	室田一雄、坪井俊
34	教養学部前期課程	学術俯瞰講義「正義を問い直す」(月 2)	井上達夫、森政稔
35	教養学部前期課程	近現代史Ⅱ(木 4)	伊熊幹雄
36	教養学部前期課程	経済Ⅱ(金 4)	荒巻健二
37	教養学部後期課程	計算機実習(水 3)	森一将
38	法学部	現代日本政治(金 2)	谷口将紀

39	教養学部前期課程	言語生態論(金 5)	岩月純一
40	教養学部前期課程	国際関係論Ⅱ(木 5)	岡田晃枝
41	教養学部後期課程	国際経済理論演習(水 3)	荒巻健二
42	教養学部前期課程	試験利用	ボイクマン総子
43	公共政策大学院	事例研究(資本市場と公共政策)(水 5)	小野傑、天谷知子
44	教養学部前期課程	社会教育論Ⅰ(月 4)	牧野篤/李正連
45	教養学部前期課程	初修外国語スペイン語(公開講座/CFIVE 登録者全員登録)	スペイン語部会全教員
46	教養学部後期課程	情報システム科学 V(火 2)	山口泰
47	教養学部後期課程	情報システム科学実習Ⅱ(水 5)	山口和紀/金子知適
48	教養学部前期課程	情報科学(火 4)	山口和紀
49	教養学部前期課程	情報科学(金 3)	大山恵弘
50	教養学部前期課程	情報科学(金 4)	山口泰
51	教養学部前期課程	情報科学(月 4)	玉井哲雄
52	教養学部前期課程	情報科学(水 4)	田中哲朗
53	教養学部前期課程	情報科学(木 3)	増原英彦
54	教養学部前期課程	情報科学概論Ⅱ(木 5)	玉井哲雄
55	農学部	情報工学(木 3)	中村典裕
56	教養学部前期課程	心理Ⅱ(火 1)	長谷川壽一
57	教養学部前期課程	図形科学Ⅰ(金 2)	佐久田博司
58	教養学部前期課程	図形科学Ⅰ(木 2)	椎名久美子
59	教養学部前期課程	政治Ⅱ(金 4)	鹿毛利枝子
60	教養学部前期課程	生物統計学(月 4)	岸野洋久
61	教養学部前期課程	地域生態学(水 1)	梅本亨
62	公共政策大学院	中小企業政策(1)(水 3)	長谷川榮一
63	教養学部後期課程	中東近現代史Ⅰ(金 3)	森まり子
64	教養学部前期課程	適応行動論(月 2)	長谷川壽一
65	教養学部後期課程	特殊研究演習Ⅱ(アメリカ環境論演習)(火 2)	小塩和人
66	教養学部後期課程	特殊講義「軍縮と安全保障」(木 2)	美根慶樹
67	教養学部前期課程	日本国憲法(水 5)	山元一
68	教養学部前期課程	平和のために東大生ができること(火 6)	岡田晃枝
69	教養学部後期課程	米州地域文化論Ⅰ／米州関係論(集中講義)	ドボルザーク、グレッグ
70	教養学部前期課程	法Ⅱ(水 1)	西村弓
71	工学部	北米・中南米地域文化演習Ⅰ(水 5)	和田毅
72	教養学部前期課程	惑星地球科学1(月 2)	小河正基

3.3 組織別の利用状況

開講組織	講義数
教養学部前期課程	129
教養学部後期課程	19
工学部	6
公共政策大学院	6
法学部	2
経済学部	1
農学部	1
理学部	1
合　計	165

3.4 広報

1	CFIVE のログイン	2011/4/7
2	レポートのファイル名に関しての注意（学生向け）	2011/5/20
3	テスト実施時の注意（学生向け）	2011/6/1
4	テスト中断時の注意（学生向け）	2011/6/21
5	節電対応について	2011/6/24
6	レポート提出のトラブル（学生向け）	2011/7/21
7	システム障害のお詫び	2011/7/22
8	システム停止 8 月 22 日(月)10:00-17:00	2011/8/5
9	8/22 システム改善を行いました	2011/8/23
10	CFIVE の学期設定を冬学期に変更しました	2011/9/1
11	システム利用説明会（本郷 9/29、駒場 10/4）の開催（教職員、TA 向）	2011/9/1
12	CFIVE システム停止(3/1～)のお知らせ	2011/10/20
13	システム停止(3/12-16)のお知らせ	2012/2/6
14	学生ユーザ ID の変更について	2012/2/6
15	「システム利用説明会(本郷 3/19 駒場 3/21)」開催のお知らせ	2012/2/10
16	システム更新を行いました	2012/3/18
17	平成 24 年度夏学期のコース作成(教職員向け)	2012/3/26

部局負担による携帯端末接続環境運用報告

情報教育支援係　　情報リテラシー教育支援係

1　参加組織

2012 年 3 月現在、携帯端末接続環境を利用している組織は 13 である。有線接続サービスを提供している場所数は 92、口数が 1455 であり、無線接続サービスを提供している場所数は 74、アクセスポイント数が 84 である。2011 年度に行った変更作業は以下のとおりである。

2011 年度の新設、移設、廃止等
4 月 11 日 増設 経済学研究科 赤門総合研究棟 閲覧室等 有線 80 口
8 月 26 日 移設 情報学環・学際情報学府 工学部 2 号館内別室へ移設 無線 1AP
8 月 26 日 廃止 情報学環・学際情報学府 暫定アネックス 無線 3AP
3 月 16 日 廃止 理学系研究科 理学部 1 号館 無線 2AP

2　広報

2011 年度に行った主な広報は以下のとおりである。

5 月 10 日 柏図書館の教育用計算機システムのサービス停止について
8 月 4 日 本郷地区 UTnet メンテナンスに伴うサービス停止のお知らせ
10 月 19 日 UTnet 停止に伴う ECCS サービス停止のお知らせ
10 月 23 日 有線/無線 LAN システム Web 認証の障害について
3 月 12 日 携帯端末接続環境(無線)の障害について

その他のサービス　運用報告

情報教育支援係　　情報リテラシー教育支援係　　電子教材係

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）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、ブートサーバ 3 台、端末数 93 台、プリンタ 2 台、プリンタ管理端末 2 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 4、合計口数は 91 である。

利用月	部局	口数	内容
12 月	本部	14	平成 23 年度コンピュータネットワーク研修
12 月	総合文化研究科	15	国際生物学オリンピック派遣生徒特別訓練
1 月	経済学研究科	31	経済学実験
1 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：4

対象：部局管理の Active Directory（2 組織）、部局管理サーバ、Utask-Web

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。

本郷（福武ホール　教材編集室）　59 件

駒場（情報教育棟　教材作成室）　8 件

図書館電子化部門

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

図書館電子化部門

概要

専門員　本多　玄

図書館電子化部門は

- 本学の学生・教職員の学習・教育・研究活動にとって必要不可欠な学術情報をデジタルコンテンツとして提供すること
- 本学で日々生産・蓄積される研究成果を電子化し、社会に向けて発信すること
- 電子的学術情報資源を利用者が充分に利活用できるよう、講習会等による情報リテラシー支援を行なうこと

を目的としており、「図書館システム係」「デジタル・ライブラリ係」「学術情報リテラシー係」の3係が附属図書館とも連携しながら事業を行なっている。図書館電子化部門が提供しているサービス・事業の主なものは以下である。

- 東京大学 OPAC
- GACoS
- 「ネットでアカデミック」等の発行
- 各種講習会、情報探索ガイダンス等の実施
- 東京大学学術機関リポジトリ（UT Repository）
- 学位論文データベース
- 電子ジャーナル・ブック等の利用環境整備
- 貴重書電子化

2011 年度は上記に関連して以下の事業を行なった。

- システム改修による新図書館システムの運用安定化
- 各種サーバの更新
- リポジトリシステムのバージョンアップ、コンテンツ登録
- 学位論文データベースへのコンテンツ登録
- 電子ジャーナル等利用環境の統合作業
- 貴重書電子化
- 情報探索・データベース講習会の実施
- 「ネットでアカデミック」や「図書館利用ガイド」等印刷出版物の内容改訂
- 「GACoS」の内容メンテナンスやメールマガジン「Litetopi」の発行

デジタルコンテンツサービス

デジタル・ライブラリ係

1　運用報告

1.1　東京大学学術機関リポジトリの構築

東京大学学術機関機関リポジトリ～UT Repository～とは、東京大学で生産されたさまざまな研究成果を電子的な形態で集中的に蓄積・保存し、学内外に公開することを目的としたインターネット上の発信拠点である。2004 年度から附属図書館と連携し学術機関リポジトリの構築を行い、2006 年 4 月 1 日から「東京大学学術機関リポジトリ(UT Repository)」としてサービスを開始した。
(http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/)

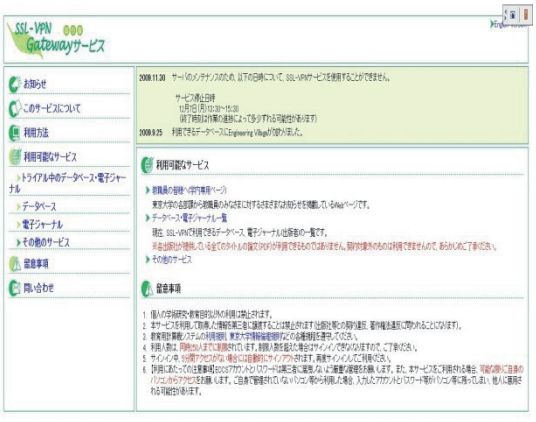
2011 年度は、基本的に内部で紀要論文等の電子化を行う一方で、国立情報学研究所の学術機関リポジトリ構築連携支援事業の枠組みで「博士論文発信支援パッケージ開発プロジェクト」を実施、一定の成果を収めている。また、国立国会図書館による博士論文の電子化事業にも協力し、2012 年 3 月現在で 549 件登録している。

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、3 月末には約 27,000 件のデータを公開しており、前年度以前と比較しても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た。

1.2　電子ジャーナルのゲートウェイサービス



ゲートウェイとして、SSL-VPN Gateway サービス(試行版)を実施、3 月末現在で約 90 件のデータベースや電子ジャーナルのパッケージに、外部から当該ゲートウェイを介してアクセス可能である。

電子ジャーナルの提供を円滑に行うため、本学が契約する電子ジャーナル及びフリーの電子ジャーナルのリンク管理ソフトをバックボーンとしたポータルサイト「E-Journal Portal」の学内へのサービスを行っている。なお、

従来、職員によって構築・維持管理されてきた電子ジャーナルリンク集データベースは、上記ポータルサイトに統合されることとなった。

（http://www.lib.u-tokyo.ac.jp/ext/ejportal/）

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ものである。

2011 年度は 2009 年度論文要旨約 1,300 件の電子化を行った。昨年度同様に、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

毎年、総合図書館で作成した貴重書の電子ファイルをサーバ上にアップロードし、web サイトを作成して、ネット上に公開している。今年度は下記の資料を公開した。

1.4.1　紀州熊野浦諸鯨之圖

本書は、一帖の中に内容・紙質が異なる三種の資料が見られる。また資料の継ぎ目には、それぞれ旧蔵者田中芳男氏の筆とみられる付箋があることから、恐らく巻子などの体裁で別々に存在した3つの資料を氏が合冊し折本として製本したものと思われるが、資料相互の関係性は不明である。一つ目の資料では、鯨のほか、サメ、イルカ、マンボウまで紹介されているが、その末尾に「享保八年卯年御尋に付紀州熊野浦二分口役所において吟味之上書指上げ候魚之図　干時享保十五歳戌初夏写之」との識語があるため、これが折本の題箋が指す『紀州熊野浦諸鯨之圖』に相当すると思われる。総合図書館所蔵。

(http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/kujira/)

学術情報リテラシー支援

学術情報リテラシー係

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。
（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　「ネットでアカデミック」

東京大学における文献収集のガイドブック「ネットでアカデミック 2012」（日本語・英語・中国語・韓国語版）を作成し、各データベースの契約状況及びバージョンアップ等に対応した内容に改訂した。また、PDF 版を GACoS 上で公開した。
(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/net.html)

1.2.2　リーフレット「文献探しのヒント」

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 4 種（日本語・英語版）を作成した。平成 23 年度は実際の画面操作に沿った、よりスムーズな画面構成とするなどの軽微な改訂を行い、PDF 版を GACoS 上で公開した。
(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/literacy.html)

リーフレット「文献探しのヒント」4 種類は次のとおり。

① 目的に合ったデータベースを探すには？（GACoS）
② データベースの検索結果で本文へのリンクが無かったら？（UT Article Link）
③ 本や雑誌論文を入手するには？（東京大学 OPAC）
④ 自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには？（SSL-VPN Gateway サービス）

1.2.3　「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 2012」（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。情報検索に係るページについては当係が担当となり、内容改訂を行った。

1.2.4　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を改訂し、新たに中国語版・韓国語版を作成した。
また、MyOPAC のパスワード登録についてのガイドも新たに作成した。
クイックガイド 7 種類は以下のとおり。

・目的に合ったデータベースを探すには？
・自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには？
・「UT Article Link」はどう使うの？
・電子ジャーナルで論文を入手するには？
・これを使えば探せます！
・参考文献リストの見かた
・かんたん！ MyOPAC のパスワード新規登録の手順
（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 24 回発行した。購読登録者は約 2000 人となった。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、また講習会の臨時開催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・説明会開催報告

2.1　情報探索ガイダンスの実施概要

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。平成 23 年度は計 171 回開催し、1,761 人の参加があった。

2.1.1　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 16 コース開催した。平成 23 年度は、バージョンアップで操作性が大きく変わった Web 版文献管理ツール RefWorks と利用頻度の高いデータベースの文献検索を組み合わせたコースのバリエーションを増やし、また論文投稿までの流れをテーマとした「論文投稿シミュレーション」等の講習会を新たに開催した。

コース名	月日	回数	人数	内容
自宅から検索するには?	4/11, 5/13, 10/5, 12/20, 3/23	5	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
はじめての論文の探し方	4/22, 4/26, 5/19, 10/12, 12/8, 1/11,	6	68	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
RefWorks を使うには？	5/12（人文社会科学系）, 5/24	10	83	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

	(自然科学系), 6/8, 7/19, 10/20, 11/18, 12/16, 1/24, 2/15, 3/13			成方法
知っておきたい検索のコツ	5/25, 2/10	2	15	論理演算、前方一致検索、フレーズ検索、シソーラス利用等、知っておくと便利な検索方法を紹介
Web of Science + EndNote Web 入門	6/10(2 回開催、人社系/自然系), 6/17 (人社系), 7/12 (人社系), 7/14(自然系)	5	42	Web of Science の検索方法、およびその書誌データを EndNote Web に取り込み、参考文献リストを自動作成する方法
文献検索早わかり	7/6, 11/22	2	14	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
はじめての Web of Science	7/8, 12/13	2	10	Web of Science の基本的な検索方法
医学・生命科学系のための文献検索 + RefWorks 入門 (※)	7/29	1	11	医中誌 Web、PubMed の基本的な検索方法、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
東大 OPAC + RefWorks 入門 (※)	8/10, 9/7	2	19	東大 OPAC の基本的な検索方法、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
Web of Science + RefWorks 入門 (※)	9/14 (自然系), 9/22 (人社系) (※※)	2	15	Web of Science の基本的な検索方法、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
CiNii で国内論文検索+ RefWorks 入門	9/28	1	3	CiNii の基本的な検索方法、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
EndNote Web を使うには？	10/21	1	5	EndNote Web 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
Web of Science 応用編＆インパクトファクターミニ講座	11/29	1	4	Web of Science の応用的な検索方法、およびインパクトファクターの調べ方とその読み取り方
はじめての医学系論文の探し方	1/19, 3/16	2	4	医中誌 Web、PubMed の基本的な検索方法
CiNii Articles & Web of Science: 文献検索入門 (※)	2/7, 3/21	2	10	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	2/16	1	9	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
合計		45 回	347 名	

※新規コース

※※9/22 は台風のため、9/21 から順延で開催

2.1.2 留学生向け情報探索ガイダンス

留学生を対象に韓国語および中国語コースを開催した。外国人講師が講習を担当し、両コースともに定員を超える受講者があった。

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	5/13	15:00-16:00	18
	中国語コース	10/19	15:00-16:00	39
合計			2 回	57 名

2.1.3 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、大幅なリニューアルのあったデータベースを対象として開催した。また、初の試み「文献管理ツール・クローズアップデー」企画として、従来から要望の多かったソフトウェア版ツール EndNote のセミナーを開催した。

コース名	月日	時間	人数	会場
ProQuest	6/8(水)	14:10-15:10	15	総合図書館
eol	6/15(水)	15:00-16:30	7	総合図書館
	11/10(木)	15:00-16:15	12	柏図書館
SciFinder	6/21(火)	14:50-16:20	9	柏図書館
	6/24(金)	14:30-16:00	14	総合図書館
	10/25(火)	15:00-16:30	12	理学部
	1/11(水)	10:00-12:15	6	医学部
D1-Law.com	6/27(月)	15:00-16:00	4	総合図書館
OECD iLibrary	7/21(木)	13:30-14:30	10	総合図書館
Business Source Complete	7/27(水)	13:30-14:30	15	総合図書館
NetLibrary	9/13(火)	15:00-16:00	12	総合図書館
国連資料	11/2(水)	15:30-17:00	15	総合図書館
	11/9(水)	14:00-17:00	11	総合図書館
MathSciNet	12/9(金)	16:30-17:30	3	数理科学研究科
	12/15(木)	15:00-16:00	10	数理科学研究科
EndNote	3/13(火)	15:20-16:00	21	総合図書館
	3/13(火)	16:30-17:10	10	総合図書館
合計	17 回		186 名	

2.1.4 秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会

研究補助従事者を主対象として夏期に開催した。また試行的に講習内容へ文献管理ツール RefWorks を追加し、内容を拡充した。

月日	時間	人数	内容
8/5(金)	15:00-16:30	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。およびそれらの書誌データをRefWorksに取り込み、参考文献リストを自動作成する方法
8/9(火)	10:30-12:00	5	
8/26(金)	15:00-16:30	8	
合計	3回	25名	

2.1.5 出張・オーダーメイド講習会

利用者(教員、学生等)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。各部局図書館・室等との共催講習会、ゼミや研究室単位の出張講習、個人単位の講習のいずれもが増加した。初めての試みとして、医科学研究所図書室との共催による白金キャンパスでの出張講習会を開催した。また図書館以外との共催として附属病院看護部と、看護師を対象とした講習会も行った。

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
個人オーダーメイド	4/14(木)	9:30-10:30	2	RefWorks, EndNote Web	総合図書館講習会コーナー
情報学環学際情報学府	4/18(月)	11:30-12:00	103	JapanKnowledge+、OPAC、電子ジャーナル、CiNii 、Web of Science 等	福武ホール ラーニングシアター
教養学部「基礎演習」	4/18(月)	14:40-16:10	24	JapanKnowledge+、OPAC、Webcat Plus、CiNii 等	駒場情報教育棟
	4/27(水)	11:10-12:10	22		
	4/28(木)	13:00-14:30	25		
文学部現代文芸論	4/21(木)	10:20-12:00	10	OPAC、LRC、CiNii、文学部図書室ツアー等	総合図書館講習会コーナー
医学部「社会調査実習」	4/21(木)	13:30-15:00(1)	15	OPAC、医中誌Web、CiNii、PubMed、Web of Science、総合図書館・医学図書館ツアー等	総合図書館講習会コーナー
		15:05-16:35(2)	15		
理学部生物化学科	4/25(月)	13:30-15:10	24	PubMed, Web of Science、OPAC、RefWorks	情報基盤センター(浅野) 1階大演習室2
個人オーダーメイド	5/2(月)	15:00-16:00	1	Web of Science、RefWorks	総合図書館講習会コーナー
農学生命科学研究科農学国際専攻国際森林環境学研究室	5/9(月)	15:00-16:30	13	CiNii, Web of Science、OPAC、新聞記事DB、RefWorks	農学生命科学図書館3階PC端末室
総合文化研究科「西欧基層文化論II」	5/24(火)	14:50-16:00	3	Oxford Dictionary of National Biography、Oxford English Dic-	駒場図書館地下1階会議室

				tionary、ECCO、LRC、Project MUSE、OPAC、新聞記事DB、RefWorks	
文学部「Academic Writing Introductory」	5/26(木)	17:00–18:00	6	JapanKnowledge+、OPAC、CiNii、Web of Science、PIO 等	総合図書館講習会コーナー
	11/17(木)	15:00–16:00	9		
医学部「社会調査実習」	5/30(月)	10:00–11:00(1)	13	RefWorks	総合図書館講習会コーナー
		11:15–12:15(2)	12		
個人オーダーメイド	6/13(月)	9:30–10:45	2	RefWorks、EndNote Web	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	6/22(水)	11:00–12:20	1	PubMed、Web of Science、BIOSIS、OPAC、RefWorks	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	6/23(木)	14:00–16:10	8	学位論文、CiNii、Web of Science、Lexis.com、Westlaw International、RefWorks、EndNote Web	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	6/29(水)	10:00–10:50	1	Web of Science、OPAC、ProQuest Dissertations&Thesis	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	6/29(水)	14:30–16:00	1	OPAC、RefWorks、Web of Science、eol	総合図書館講習会コーナー
教育学部 比較教育社会学コース	7/19(火)	12:00–13:30	5	CiNii、Web of Science、ERIC、SocINDEX、OPAC、RefWorks	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	7/27(水)	10:00–12:00	1	CiNii、Web of Science、ERIC、SocINDEX、LRC、RefWorks	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	8/9(火)	14:00–16:00	1	OPAC、医中誌 Web、PubMed、Web of Science、CiNii、朝日新聞「聞蔵 II」、RefWorks	総合図書館講習会コーナー
工学部精密工学科「精密工学輪講」	10/6(木)	13:00–14:30	42	OPAC、CiNii、Web of Science、Engineering Village	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	10/13(木)	13:20–14:00	1	RefWorks	総合図書館講習会コーナー
文学部社会心理学調査実習	10/26(水)	10:00–11:00(1)	12	JapanKnowledge＋、CiNii、Web of Science、PsycINFO、OPAC、＋総合図書館/文学部図書館ツアー	総合図書館講習会コーナー
		11:10–12:10(2)	13		
個人オーダーメイド	10/26(水)	14:00–15:00	1	RefWorks、PubMed、医中誌 Web 等	総合図書館講習会コーナー
教育学部「教育資料調査演習」	11/14(月)	9:00–10:30	25	NDL-OPAC、OPAC、CiNii、ERIC 等	駒場情報教育棟中演習室 2
総合文化研究科北米・中南米地域文化演習（Ⅰ）	11/16(水)	16:20–17:50	6	EndNote Web	駒場情報教育棟中演習室 2
個人オーダーメイド	11/29(火)	9:40–10:40	1	医学系文献検索と文献入手方法	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	12/12(月)	13:30–15:00	1	経済学系文献検索と文献入手方法	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	1/10(火)	9:30–11:00	1	RefWorks	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	1/30(月)	15:00–16:00	2	RefWorks	総合図書館講習会コーナー
個人オーダーメイド	1/31(火)	16:00–17:00	1	CNKI、ProQuest Dis、CiNii	総合図書館講習会コーナー
	合計	36 回	423 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）	4/6(水)	14:30–15:30	13	OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法	総合図書館講習会コーナー
	10/6(木)	10:15–10:45	7		

総合図書館留学生ガイダンス OPAC 入門(英語)	4/13(水)	14:30–15:00	10	OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法	総合図書館講習会コーナー
	10/11(火)	14:30–15:00	9		
		15:00–15:30	7		
	10/13(木)	10:15–10:45	19		
	10/14(金)	13:15–13:45	10		
		13:45–14:15	10		
	10/25(火)	16:00–16:30	4		
総合図書館 OPAC 入門(日本語)	4/12(火)	11:00–11:30	14	OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用方法	総合図書館講習会コーナー
	4/12(火)	11:30–12:00	15		
	4/14(木)	13:00–13:30	13		
	4/18(月)	15:00–15:30	9		
	4/20(水)	12:00–12:30	11		
	4/22(金)	17:00–17:30	0		
	4/26(火)	13:00–13:30	5		
	5/23(月)	13:00–13:30	2		
総合図書館 OPAC 入門(英語)	4/13(水)	13:00–13:30	5	OPAC、電子ジャーナル、自宅からの利用	総合図書館講習会コーナー

	4/19(火)	13:00–13:30	9	方法	
柏図書館「新 OPAC 講習会」	4/15(金)	13:30–14:20	20	OPAC、CiNii	柏図書館メディアホール
	4/15(金)	15:00–15:50	15		
理学部生物学図書 理学部生物学専攻(動植)	5/6(金)	13:00–14:00	19	JapanKnowledge＋、PubMed、Web of Science、OPAC	総合図書館講習会コーナー
理学部生物学図書室 理学部生物学専攻(人類)	5/24(火)	10:30–11:30	4	JapanKnowledge＋、PubMed、Web of Science、OPAC	総合図書館講習会コーナー
工学・情報理工学図書館 工学系・情報理工学系 文献検索早わかりコース	5/16(月)	12:00–12:50	7	OPAC、CiNii、Web of Science、Engineering Village	工 2 号館図書室グループ学習室
	5/17(火)	12:00–12:50	11		
	5/18(水)	12:00–12:50	10		
	5/19(木)	12:00–12:50	12		
	5/20(金)	12:00–12:50	14		
	5/20(金)	15:00–15:50	10		
	10/20(木)	12:00–12:50	9		
	10/21(金)	12:00–12:50	4		
工学・情報理工学図書館 工学系・情報理工学系 文献管理ツール RefWorks コース	5/16(月)	13:00–14:00	7	RefWorks	工 2 号館図書室グループ学習室
	10/20(木)	13:00–14:00	5		
工学・情報理工学図書館	5/18(水)	13:00–14:00	11	EndNote Web	工 2 号館図書室グループ学習室

「工学系・情報理工学系 文献管理ツール EndNote Web コース	10/21(金)	13:00–14:00	7		
柏図書館 はじめての論文の探し方	5/27(金)	13:30–14:30	20	文献リストの読み取り方、OPAC、Web of Science、CiNii	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
	11/4(金)	15:00–16:15	6		
柏図書館 自然科学系のための RefWorks(11/24 は RefWorks を使うには？のタイトルで開催)	5/27(金)	15:00–16:00	11	RefWorks	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
	11/24(木)	15:00–16:15	11		
医学図書館 医学系のための RefWorks 講習会	5/31(火)	16:00–17:00	21	医学系向け RefWorks	医学図書館 1F マルチメディアコーナー
	2/29(水)	16:00–17:00	6		
駒場図書館 人文社会科学系のための RefWorks 入門	6/13(月)	13:15–14:15	15	人文社会科学系向け RefWorks	駒場図書館地下 1 階会議室
駒場図書館 人文社会科学系のための Web of Science＋EndNote Web 入門	6/13(月)	14:40–16:10	14	人文社会科学系向け Web of Science、EndNote Web	駒場図書館地下 1 階会議室
駒場図書館 自然科学系のための RefWorks 入門	6/14(火)	13:15–14:15	6	自然科学系向け RefWorks	駒場図書館地下 1 階会議室
駒場図書館 自然科学系のための Web of Science＋EndNote Web 入門	6/14(火)	14:40–16:10	9	自然科学系向け Web of Science、EndNote Web	駒場図書館地下 1 階会議室
柏図書館 はじめての Web of Science	6/16(木)	15:00–16:00	6	初心者向け Web of Science	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
	11/15(火)	15:00–16:15	5		
柏図書館 「自然科学系のための Web of Science＋EndNote Web 入門」	6/20(月)	14:50–16:20	6	自然科学系向け Web of Science と EndNote Web	柏図書館 1 階コンファレンスルーム

農学生命科学図書館 農学生命科学系のための レポート&論文作成対策講習会	6/28(火)	14:00–15:00	13	第 1 部: 医中誌 Web、PubMed	農学生命科学図書館 3 階 PC 端末室
		15:15–16:00	19	第 2 部: EndNote Web	
	11/8(火)	15:00–16:00	9	第 1 部:医中誌 Web、PubMed	
		16:15–17:00	13	第 2 部:RefWorks	
医学図書館 Global30 ″Intoroduction to Medical document Databases as reserch tools″ (English Session)	6/30(木)	[Basic course] 16:30–17:15	6	OPAC、PubMed、Web of Science、RefWorks	医学図書館マルチメディアコーナー
		[Advanced course] 17:20–18:15	6		
	11/25(金)	[Basic course] 16:30–17:15	2		総合図書館講習会コーナー
		[Advanced course] 17:20–18:20	2		
柏図書館 秘書さんのためのはじめての論文の探し方 in 柏	8/2(火)	12:50–14:20	15	OPAC、CiNii、Web of Science、RefWorks	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
		14:50–16:20	14		
医科学研究所図書室 文献検索早わかり in 医科研	8/4(木)	15:15–16:30	16	医中誌 Web、PubMed, Web of Science、OPAC(講義形式)	医科学研究所 1 号館 2 階セミナー室
工学・情報理工学図書館 Database Training Course(英語)	10/18(火)	12:00–12:50	25	OPAC、Web of Science、Engineering Village、CiNii(講義形式)	工 2 号館 3 階電気系会議室 1
	10/19(水)	12:00–12:50	26		

柏図書館 Kashiwa Library Online Services Seminar(英語)	11/2(水)	15:00–16:20	11	OPAC、柏図書館の利用案内	柏図書館 1 階ラーニングサポートサービス
地震研究所図書室 研究者と研究支援者のための文献の探し方+新 RefWorks2.0@地震研	11/11(金)	14:00–15:30	8	OPAC、Web of Science、GeoREf、CiNii、新聞記事、RefWorks(講義形式)	地震研究所 1 号館 3 F セミナー室
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 はじめての論文の探し方 in 駒場 II	12/15(木)	15:30–16:30	21	文献リストの読み取り方、OPAC、Web of Science、CiNii(講義形式)	駒場 II キャンパス生産技術研究所 An 棟 4 F　小セミナー室 1(An403)
附属病院看護部 医学系文献検索早わかり	1/27(金)	10:00–11:00	14	医中誌 Web、OPAC	総合図書館講習会コーナー
	2/9(木)	10:00–11:00	12		
	2/21(火)	10:00–11:00	9		
	3/9(金)	10:00–11:00	9		
	合計	68 回	723 名		

図書館関係システム運用・管理

図書館システム係

1　運用報告

図書館システム係では、「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。本年度は昨年度にリプレイスした「附属図書館学術情報システム」の運用安定化のための改修、その他の図書館関係サーバの機種更新等を行なった。

1.1　附属図書館学術情報システムの運用管理

附属図書館学術情報システムは 2011 年 3 月 22 日から新システムが稼動したが、その基本はパッケージシステムであり、本学独自のサービスや図書館業務での使用に際し合理的とは言えない部分について附属図書館と調整しながら改修要求を行なっている。

また、通常の図書館業務システム画面からでは処理困難な各種データの一括登録・変更や削除処理について図書館側の要望に沿って作業を行なった。

なお、パッケージシステムとしての定期的アップデートもあるため、テスト環境での事前評価も附属図書館業務別部会の協力を得ながら実施している。

1.2　その他の図書館関係サーバの運用管理

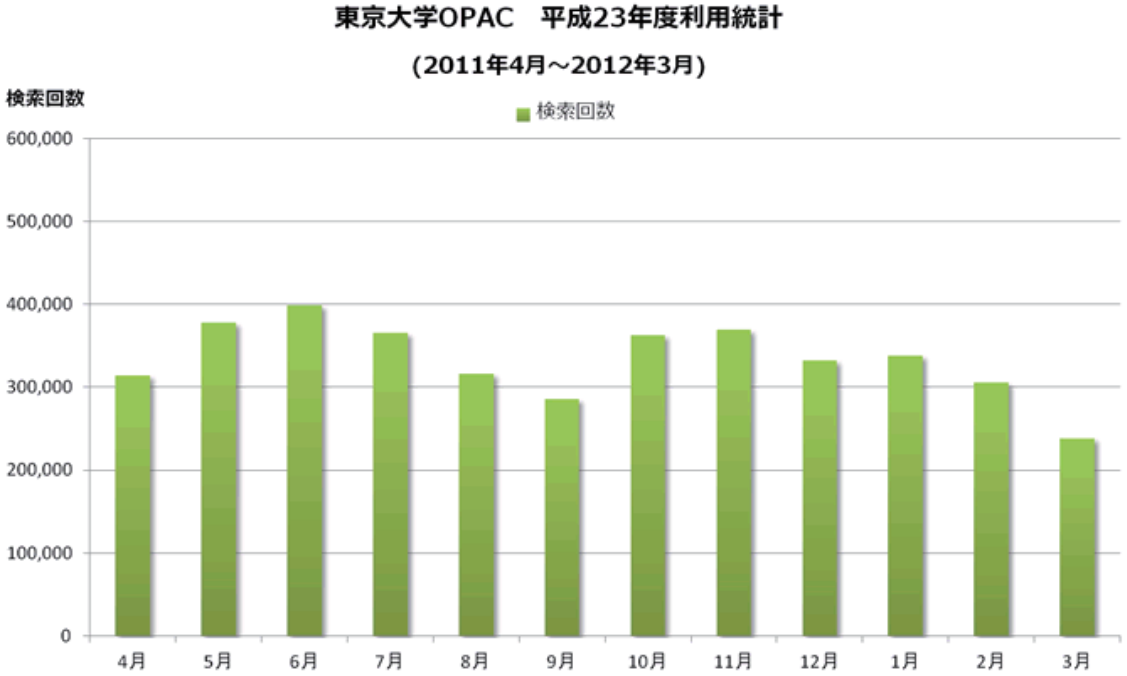
図書館システム係では、附属図書館の Web サーバ、全学の図書系職員のための Wiki サーバ、原簿サーバ等の管理も行なっている。このうち 2011 年度は附属図書館 Web サーバと Wiki サーバについてはハードウエア及び OS の更新を行なうとともに、セキュリティ面も従来より強化した。

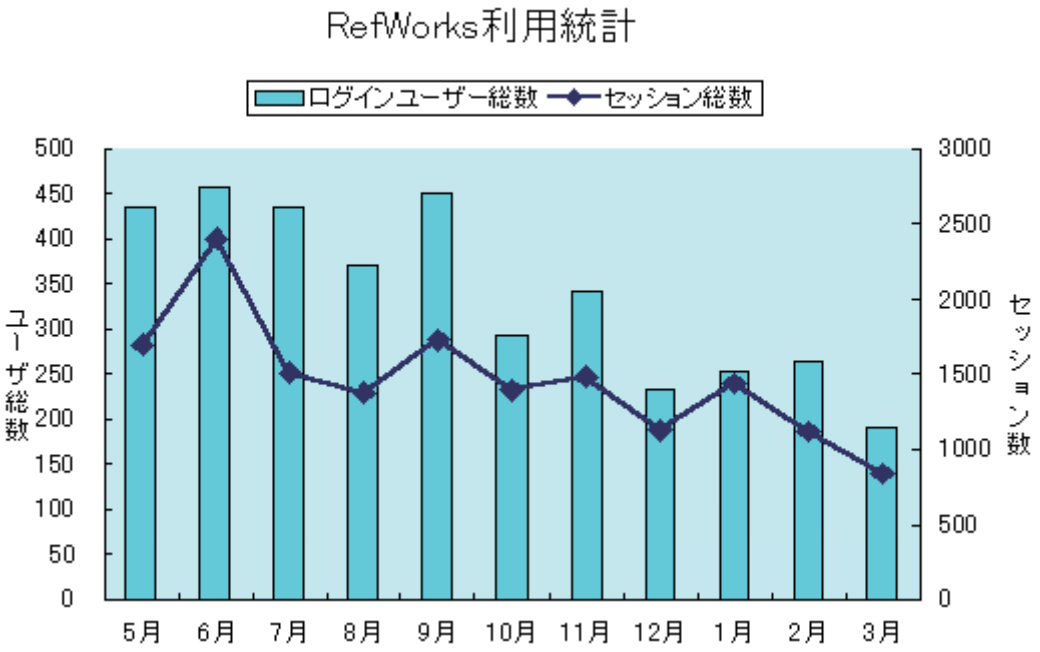
1.3　その他の業務

以下について日常的に対応を行なっている。

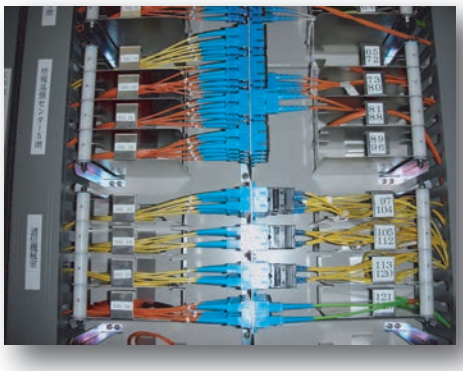
- 図書館 VLAN、総合図書館内支線 LAN の IP アドレス管理業務
- 総合図書館内ネットワーク障害やインシデントの調査・対応
- メールホスティング・サービスにおける図書館ドメイン内の管理

2　サービス統計

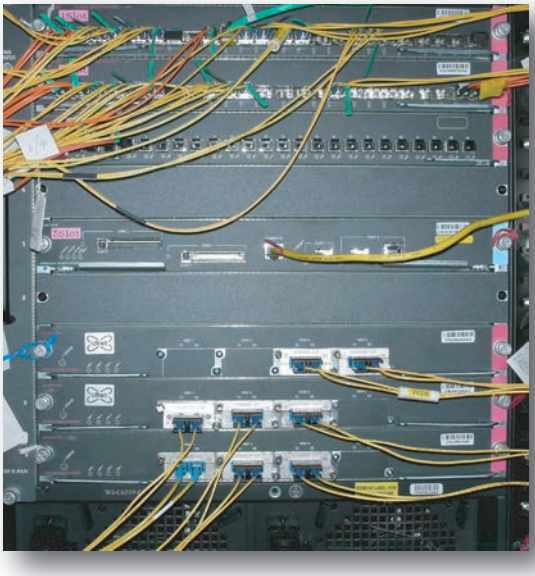

東京大学OPAC　平成23年度利用統計
(2011年4月～2012年3月)
検索回数
検索回数
600,000
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
0
4月
5月
6月
7月
8月
9月
10月
11月
12月
1月
2月
3月


RefWorks利用統計
ログインユーザー総数
セッション総数
ユーザ総数
セッション数
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
5月
6月
7月
8月
9月
10月
11月
12月
1月
2月
3月

ネットワーク部門



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）

ネットワーク部門

概要

部門長　若原 恭　　副事務長　早野裕士

■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本ネットワーク部門は、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 相互間の信頼性向上、対外回線の増強等を実施した。

2．基幹ネットワークと支線ネットワークとの接続
各建物にレイヤ 2 スイッチ（L2SW）を設置し、基幹の L3SW と支線を接続しているが、ネットワーク利用の増大への対応と高機能化のため、2011 年度も 2010 年度に引き続き、L2SW の順次更新を行った。また、新設された本郷キャンパスの伊藤国際学術研究センター、生命科学総合研究棟、弥生講堂・アネックス、駒場Ⅰキャンパスの理想の教育棟、駒場Ⅱキャンパスの第 2 管理棟に L2SW を設置した。

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．遠隔地施設接続
本部情報システム部（学務システム）を公衆イーサ網で UTnet 接続した。

6．無線 LAN サービス
山上会館、武田先端知ビル内の武田ホール、弥生講堂・一条ホール、柏地区の柏図書館内メディアホール、医学部教育研究棟14階　鉄門記念講堂、ならびに、新規に弥生講堂・アネックス、工学部1号館、工学部11号館において、無線 LAN サービスを提供した。また、キャンパスの様々な場所で利用できる全学共通無線 LAN サービス（utroam）を試行的に運用した。

7．その他関連業務

全学法定点検のための停電措置による基幹のギガビットスイッチ(L3)の停止を回避するために HUB サイト内に設置している無停電電源装置(UPS:Uninterruptible Power Supply)のバッテリー増強ならびに無停電電源装置の遠隔監視システムの追加、ならびに、計画停電や節電に備えた仮設発電機の設置をした。また、ドメイン名の割り当て、DNS(Domain Name System)のサービス、UTnet 光ファイバケーブル専用利用の各業務に取り組んだ。

■セキュリティ対応

最近のネットワーク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導入して監視し、その結果に応じて必要な対処を実施した。

2. ウィルス感染への対応
メールや Web ページ等を通してのウィルス感染に関する対策として、情報基盤センターでは、適切なウィルス対策ソフトウェア製品を学内利用者の希望に応じて配布し、予防に役立てた。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(L3)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。

■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、2011 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下記のとおり行われた。
2011 年 5 月 25 日 第 40 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2011 年 7 月 28 日 第 41 回情報基盤センターネットワーク専門委員会

2011 年 10 月 26 日 第 42 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
2012 年 1 月 16 日 第 43 回情報基盤センターネットワーク専門委員会
主な検討事項および承認事項
・基幹ネットワークの構成変更について
・ドメイン申請について
・歴史的 PI アドレスへの課金案について
・UTnet 負担金について
・遠隔地の接続状況について

東京大学情報ネットワークシステム（UTnet3）の運用管理

ネットワーク係

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。

- 対外接続用ルータ（副）の機能増強（CPU 増強、10Gbps（以下、Gbps を G と略す）I/F 増強、 1G I/F 増強）
- ダークファイバ（DF）の中継局を対象とした、商用 VPN 網を用いた遠隔監視網の設置

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）当初には L2SW を約 200 台設置した。以来、撤去や新設で台数の増減はあったものの、現在では約 230 台の L2SW を設置している。これらの L2SW は老朽化したものから優先的に更新しており、支線との接続速度がギガビットに対応した機種を配置している。また、更新時の I/F 使用量に応じて、I/F 数の少ない省電力機種を中心に設置している。今年度は 34 台の L2SW を更新し、11 台を新設、3 台を撤去した。

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、部局や研究室と同一のサブネットを 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 キャンパス間接続及び対外ネットワーク接続

以下の通り、学内キャンパス間接続及び対外ネットワークとの接続に関して、高機能化・高速化を行った。

－本郷～駒場 I 地区間の DF 回線において、1G の波長多重伝送装置（WDM）を 10G の WDM に交換し、2G（1Gx2 チャンネル）だった帯域を 20G（10Gx2 チャンネル）に増速
－本郷～柏地区間の DF 回線において、既設の WDM に 10G インタフェースを 2 チャンネル増設し、帯域を 40G（10Gx4 チャンネル）に増速

1.5 遠隔地接続

以下の通り、遠隔研究施設等の接続構成変更を行った。

－2011 年 9 月に、新世代網（NGN）の親回線にあたる情報基盤センターの 100Mbps を 500Mbps に増速
－2011 年 12 月に、データセンタに移設した学務システムを NGN（100Mbps）にて新規接続

1.6 その他関連業務

(1)ドメイン名の割当等

ネットワーク専門委員会の承認を経て、3 件を新規に割り当て、1 件を廃止した。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

運用方法の見直しを行い、SSID を一本化して WEB で ID 認証する統合管理方式での本格運用を始めた。また、工学部共通講義室等のうち、1 号館、11 号館についても、無線 LAN サービスを展開した。それらの部局別の申請利用状況を表 4 に示す。

(4)非常時の停電対策

東日本大震災以降の電力不足に伴う東京電力の計画停電、もしくは夏の大停電事故に備え、UTnet を継続運用できるように、仮設発電機（リース）を情報基盤センターに設置して、必要な機器に給電できる体制を整えた。非常時には、最小限のネットワーク機器構成で運用できるよう備えたが、非常には至らなかった。また、本郷地区の各 HUB サイト、各郊外地区に設置している L3SW は、日常的に UPS 経由で給電されており、常設発電機で連続給電される拠点を除き、約 4 時間程度までならばバッテリから連続給電される。

2 講習会・研究会開催報告

[第 9 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 57 名であった。

・期間 2011 年 10 月 31 日（水）
・場所 理学部小柴ホール

プログラムは次の通り

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）		井爪健雄係長
3. UT-CERT 報告	数理科学研究科	一井信吾准教授
4. 全学共通無線 LAN サービス（utroam）	新領域創成科学研究科	藤枝俊輔助教
5. SINET4 and the Great East Japan Earthquake	国立情報学研究所	蓑毛堅一郎係長
6. フリーディスカッション		

[平成 23 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 14 名であった。

・期間　2011 年 12 月 13 日(火)～12 月 15 日(木)(3 日間)
・場所　情報基盤センター1階小演習室 1 および4階遠隔講義室

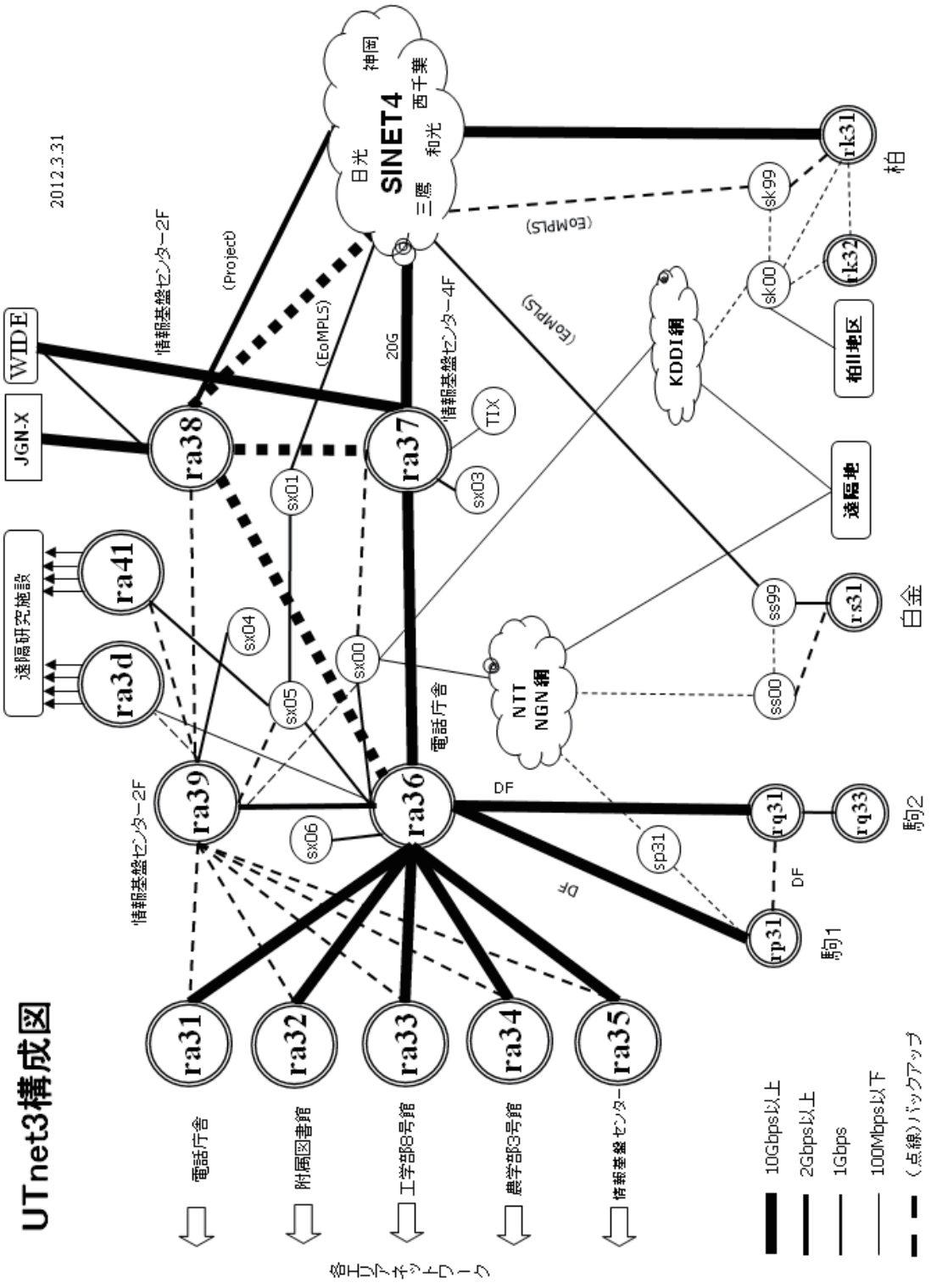


図1　UTnet 基幹構成図

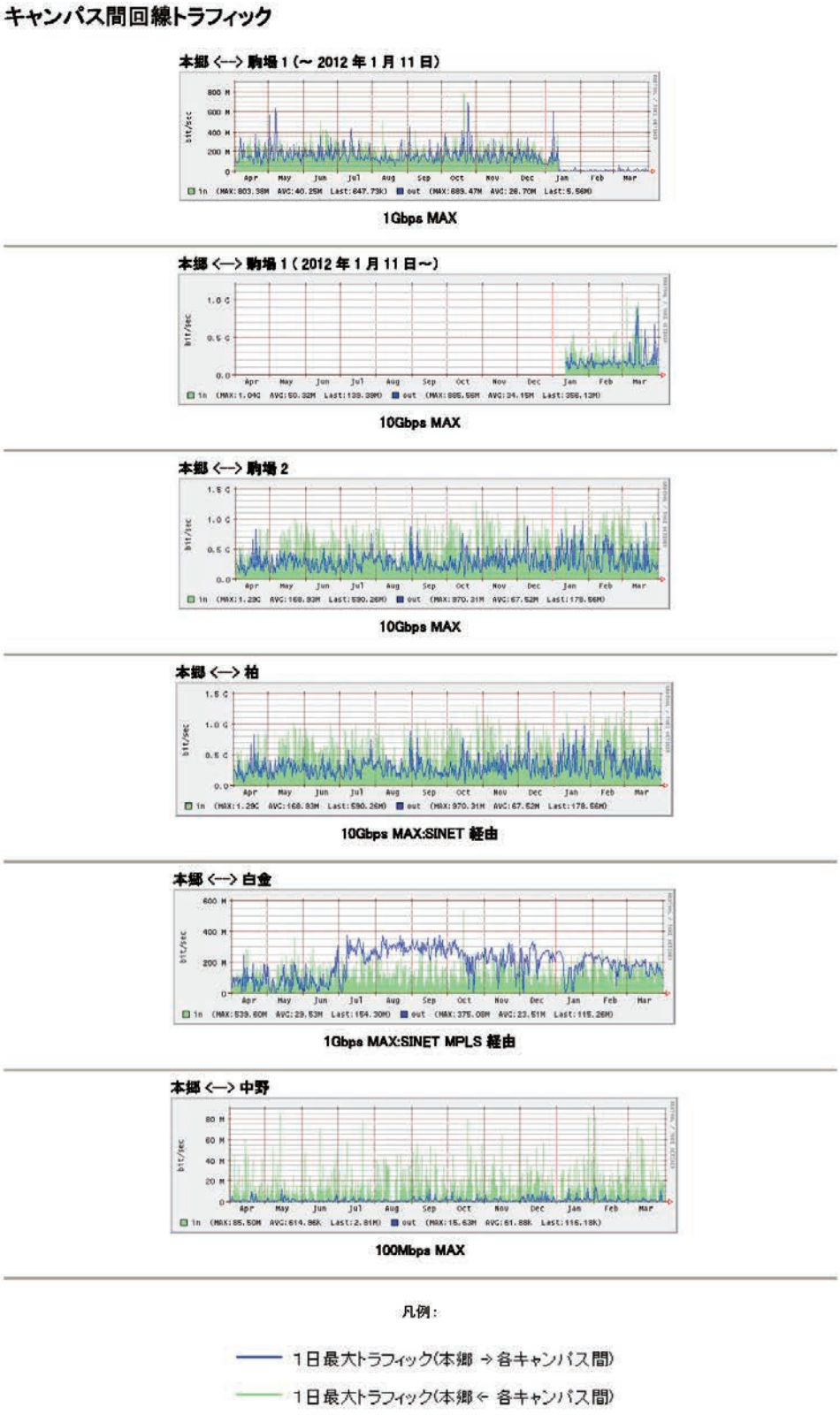


図2　UTnet のキャンパス間トラフィック

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	本部事務組織	工学部 13 号館	建物間 VLAN の申請
2	大学院医学系研究科	医学部総合中央館、附属病院管理研究棟	基幹ネットワークの構成変更
3	大学院情報学環	通信機器室、地震研 1 号館	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
4	本部事務組織	情報基盤センター、大講堂、新領域基盤棟、本郷第一ビル	建物間 VLAN の申請
5	大学院総合文化研究科	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
6	宇宙線研究所	情報基盤センター、宇宙線研究所	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
7	本部事務組織	受変電設備棟	建物間 VLAN の申請
8	大学院工学系研究科	工学部列品館	基幹ネットワークの構成変更
9	大学院情報理工学系研究科	理学部 1 号館別館 A 棟、理学部 7 号館	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
10	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
11	大学院総合文化研究科	教養学部 2 号館	建物間 VLAN の申請
12	大学院工学系研究科	工学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
13	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
14	本部事務組織	医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
15	生産技術研究所	生産技術研究所	サブネットアドレスの申請
16	情報基盤センター	第 2 総合研究棟	建物間 VLAN の申請
17	大学院総合文化研究科	教養学部 16 号館	建物間 VLAN の申請
18	大学院情報理工学系研究科	理学部 7 号館	建物間 VLAN の申請
19	大学院総合文化研究科	数理科学研究科棟	建物間 VLAN の申請
20	大学院総合文化研究科	教養学部[1,18]号館、教養学部 900 番教室、教養学部学生会館、駒場ファカルティハウス	建物間 VLAN の申請
21	大学院総合文化研究科	数理科学研究科棟	建物間 VLAN の申請
22	大学院工学系研究科	第 2 総合研究棟	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
23	本部事務組織	駒場第 2 キャンパス第 2 管理棟	基幹ネットワークの構成変更
24	大学院総合文化研究科	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
25	柏地区共通事務センター	柏地区設備センター	建物間 VLAN の申請
26	大学院総合文化研究科	駒場コミュニケーションプラザ北館	建物間 VLAN の申請
27	大学院総合文化研究科	情報教育棟、アドミニストレーション棟	基幹ネットワークの構成変更
28	大学院総合文化研究科	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
29	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
30	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
31	大学総合教育研究センター	薬学部本館、本部アネックス	建物間 VLAN の申請
32	本部事務組織	薬学部本館	建物間 VLAN の申請
33	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
34	大学院情報学環	先端研 4 号館	建物間 VLAN の申請
35	大学院総合文化研究科	理想の教育棟	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申請
36	本部事務組織	本部棟	サブネットアドレスの申請
37	東洋文化研究所	医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
38	大学院総合文化研究科	理想の教育棟	建物間 VLAN の申請

39	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
40	情報基盤センター	総合研究博物館	建物間 VLAN の申請
41	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
42	本部事務組織	本部アネックス	建物間 VLAN の申請
43	情報基盤センター	情報学環暫定アネックス	建物間 VLAN の申請
44	大学院情報学環	情報学環暫定アネックス	建物間 VLAN の申請
45	大学院情報学環	第 2 本部棟、総合図書館、法学部 1 号館、情報学環暫定アネックス	基幹ネットワークの構成変更
46	大学院情報学環	本部棟、第 2 本部棟、情報学環・学際情報学府、地震研 1 号館	基幹ネットワークの構成変更
47	大学院工学系研究科	工学部列品館	基幹ネットワークの構成変更
48	医科学研究所	医科学研究所 2 号館	建物間 VLAN の申請
49	大学院情報学環	本部棟	建物間 VLAN の申請
50	大学院情報学環	地震研 1 号館、情報学環・学際情報学府	建物間 VLAN の申請
51	大学院情報学環	情報学環・学際情報学府	建物間 VLAN の申請
52	大学院工学系研究科	工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更
53	大学院情報学環	情報学環・学際情報学府	建物間 VLAN の申請
54	大学院工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
55	医学部附属病院	附属病院管理研究棟	建物間 VLAN の申請
56	本部事務組織	教養学部身体運動科学研究棟	建物間 VLAN の申請
57	ICT インフラ整備専門部会	情報基盤センター	サブネットアドレスの申請
58	物性研究所	物性研究所	基幹ネットワークの構成変更
59	ICT インフラ整備専門部会	情報基盤センター、通信機器室、小石川植物園、工学部 8 号館、情報教育棟、理想の教育棟、生産技術研究所、新領域基盤棟	建物間 VLAN の申請
60	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
61	大学院総合文化研究科	教養学部 7 号館	建物間 VLAN の申請
62	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
63	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
64	東洋文化研究所	医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
65	東洋文化研究所	総合図書館	サブネットアドレスの申請
66	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
67	情報基盤センター	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
68	本部事務組織	山上会館	建物間 VLAN の申請
69	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
70	大学院工学系研究科	工学部列品館	建物間 VLAN の申請
71	東洋文化研究所	東洋文化研究所	基幹ネットワークの構成変更
72	本部事務組織	本部棟、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
73	大学院情報理工学系研究科	工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更
74	大学院総合文化研究科	教養学部身体運動科学研究棟	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
75	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
76	情報基盤センター	情報教育棟	サブネットアドレスの申請
77	本部事務組織	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN の申請
78	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
79	本部事務組織	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN の申請

80	分子細胞生物学研究所	生命科学総合研究棟 B	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
81	情報基盤センター	総合図書館、薬学系総合研究棟、柏図書館、教育学部、福武ホール、法文 1 号館(法学部・文学部)、法文 2 号館、医学部総合中央館、通信機器室、工学部 6 号館	基幹ネットワークの構成変更
82	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
83	生産技術研究所	国立情報学研究所千葉分館	基幹ネットワークの構成変更
84	大学院法学政治学研究科	伊藤国際学術研究センター	建物間 VLAN の申請
85	大学院総合文化研究科	情報教育棟、理想の教育棟	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申請
86	先端科学技術研究センター	総合図書館	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
87	本部事務組織	第 2 本部棟、医学部 2 号館	建物間 VLAN の申請
88	大学院農学生命科学研究科	生命科学総合研究棟 B	建物間 VLAN の申請
89	ICT インフラ整備専門部会	情報基盤センター	サブネットアドレスの申請
90	大学院理学系研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
91	情報基盤センター	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
92	大学院工学系研究科	工学部 12 号館	建物間 VLAN の申請
93	大学院経済学研究科	経済学研究科棟	建物間 VLAN の申請
94	情報基盤センター	情報基盤センター、第 2 総合研究棟	建物間 VLAN の申請
95	大学院総合文化研究科	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
96	医学部附属病院	附属病院管理研究棟、医学部教育研究棟、医科学研究所総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
97	大学院理学系研究科	通信機器室	サブネットアドレスの申請
98	大学院工学系研究科	工学部新 2 号館、工学部 8 号館、工学部列品館、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
99	分子細胞生物学研究所	分子細胞生物学研究所	基幹ネットワークの構成変更及びサブネットアドレスの申請
100	大学院総合文化研究科	教養学部 3 号館	建物間 VLAN の申請
101	情報基盤センター	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
102	ICT インフラ整備専門部会	情報基盤センター、通信機械室、情報学環・学際情報学府、東洋文化研究所、経済学研究科棟、伊藤国際学術研究センター、工学部新 2 号館、小石川植物園、本郷第一ビル、教養学部[1,11,13,102]号館、教養学部 900 番教室、アドミニストレーション棟、情報教育棟、駒場ファカルティハウス、理想の教育棟、生産技術研究所、新領域基盤棟	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
103	大学院総合文化研究科	情報教育棟	建物間 VLAN の申請
104	本部事務組織	情報基盤センター、	建物間 VLAN の申請
105	大学院農学生命科学研究科	生命科学総合研究棟 B	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
106	大学院情報理工学系研究科	理学部 7 号館	サブネットアドレスの申請
107	大学院理学系研究科	通信機械室	建物間 VLAN の申請
108	大学院工学系研究科	工学部 6 号館	建物間 VLAN の申請
109	情報基盤センター	経済学研究科棟	建物間 VLAN の申
110	大学院工学系研究科	工学部 8 号館	基幹ネットワークの構成変更

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	fc.u-tokyo.ac.jp	フューチャーセンター推進機構	フューチャーセンター推進機構	新規
2	hsp.u-tokyo.ac.jp	海洋基礎生物学研究推進センター	海洋基礎生物学研究推進センター	新規
3	cbri.u-tokyo.ac.jp	創薬オープンイノベーションセンター	(旧)生物機能制御化合物ライブラリー機構	廃止
4	platinum.u-tokyo.ac.jp	大学院工学系研究科	「プラチナ社会」総括寄付講座	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	人工物工学研究センター	柏地区総合研究棟 – 物性研究所	SM2 芯	新規
2	人工物工学研究センター	柏地区総合研究棟 – 柏プレハブ研究 A 棟	SM4 芯	新規
3	新領域創成科学研究科	柏地区総合研究棟 – 物性研究所	SM2 芯	新規
4	情報基盤センター	第2総合研究棟 – 物性研究所	SM2 芯	新規
5	情報基盤センター	第2総合研究棟 – 柏地区総合研究棟	SM8 芯	新規
6	大学院工学系研究科	理学部1号館 – 工学部 6 号館	SM2 芯	新規
7	本部事務組織	通信機器室 – 総合図書館	GI2 芯	新規
8	情報基盤センター	情報基盤センター – 総合図書館	SM4 芯	新規
9	経済学研究科	経済学研究科棟 – 赤門総合研究棟	SM2 芯	新規
10	経済学研究科	経済学研究科棟 – 赤門総合研究棟	GI2 芯	廃止
11	本部事務組織	山上会館 – 山上会館龍岡門別館	SM2 芯	新規
12	情報基盤センター	第2総合研究棟 – 柏地区総合研究棟	SM8 芯	廃止
13	情報基盤センター	情報教育棟 – 教養学部 15 号館	SM2 芯	新規
14	情報基盤センター	第2総合研究棟 – 物性研究所	SM4 芯	新規
15	情報基盤センター	情報教育棟 – 駒場図書館	SM4 芯	新規
16	大学院理学系研究科	理学部 1 号館 – 理学部旧 1 号館	GI2 芯	廃止
17	先端科学技術研究センター	先端研 4 号館 – 生産技術研究所 C 棟	GI2 芯	廃止
18	大学院医学系研究科	起点:医学部教育研究棟 終点:医学部[1,3,5]号館、医学部 3 号館別館、医学部総合中央館、生命科学実験棟	各 GI2 芯	新規
19	大学院医学系研究科	医学部教育研究棟 – 医学部 2 号館	GI4 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	向ヶ岡ファカルティハウス	工学部
1	地球観測データ統融合連携研究機構			1				
2	知の構造化センター	1		1			2	2
3	産学連携本部	1						1
4	卒業生室							1
5	保健・健康推進本部				1			
6	国際部			1				
7	人事部	1						
8	資産管理部						1	
9	人工物工学研究センター				2			
10	情報基盤センター	1						
11	素粒子物理国際研究センター			1				
12	医学系研究科	1				8		
13	医学部附属病院	1				1		
14	工学系研究科	5	11	1				8
15	人文社会系研究科			1				
16	農学生命科学研究科			3				
17	総合文化研究科	1						
18	教育学研究科	2					1	
19	新領域創成科学研究科	1	2	2	5			1
20	情報理工学系研究科	1	2					1
21	情報学環	1	1	1				
22	公共政策大学院	2						
23	東洋文化研究所			1				
24	社会科学研究所	2					1	
25	生産技術研究所	1	1					
26	史料編纂所	1						
27	分子細胞生物学研究所			1				
28	宇宙線研究所	1			2			
29	物性研究所				1			
30	柏地区共通事務センター				1			
31	東大 GCOE「セキュアライフ・エレクトロニクス」		1					
32	東大 GCOE「学融合に基づく医療システムイノベーション」		1					
33	東大 GCOE「世界を先導する原子力教育研究イニシアティブ」			1				
34	日本航空宇宙学会	1						
35	CMO ワールドワイド株式会社	1						
36	GITA-JAPAN	1						
37	三満日会	1						
38	有人宇宙システム株式会社	1						
39	日本ウォータージェット学会	1						
40	理化学研究所	1	1					

41	宇宙開発フォーラム実行委員会		1					
42	株式会社三菱総合研究所		1					
43	MPLS JAPAN		1					
44	科学技術振興機構		1					
45	WIDE プロジェクト		1					
46	東京大学学生国際交流機構		1					
47	文部科学省研究振興局		1					
48	大阪大学		1					
49	奈良先端科学技術大学院大学		1					
50	エネルギー総合工学研究所		1					
51	地盤学会		1					
52	日本保全学会		1					
53	物質・材料研究機構		1					
54	宇宙航空研究開発機構			1				
55	日本折紙学会			1				
56	ACM CoNEXT 2011 実行委員会			1				
57	地籍問題研究会			1				
58	日本加圧トレーニング学会					2		
59	日本ペインクリニック学会					1		
60	中山間地域フォーラム						1	
61	国際研究型大学連合						1	
62	資源・素材学会							1

セキュリティ対応

分散システムセキュリティ支援係

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、以下の通り、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。また、P2P 通信の監視を行い、P2P 通信情報を各部局のセキュリティ担当者宛に電子メールでの連絡を行った。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。

・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。

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、これらのウイルス対策ソフトウェアに加えて、新たに Symantec Endpoint Protection の Windows 版および Mac 版の配付を開始した。

1.3 迷惑メール（SPAM メール）対策

全学的な迷惑メール対策システムの運用を行った。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。2012 年 3 月末時点での参加数は 65 ドメイン、約 11,151 メールアカウントである。

9 月に実施された法定点検に伴う計画停電時に UPS の障害により予期せぬ電源断が発生し、隔離サーバのデータベースが破損する障害が発生し、約 5 ヶ月間隔離メールの閲覧ができない状況が続いた。また、3 月には、迷惑メール検知装置のバグにより、メールの配信が約半日ほど滞り、一部のメールが消えてしまうトラブルが発生した。

これらの障害に対応するための対策として、隔離サーバの自動バックアップ対応等の検討を行い、次年度導入に向けての検討を進めた。また、迷惑メール対策システムの迷惑メール検知装置を1台追加して3台構成での運用を開始した。

2011 年度の迷惑メール対策システムの運用状況は図1の通りである。

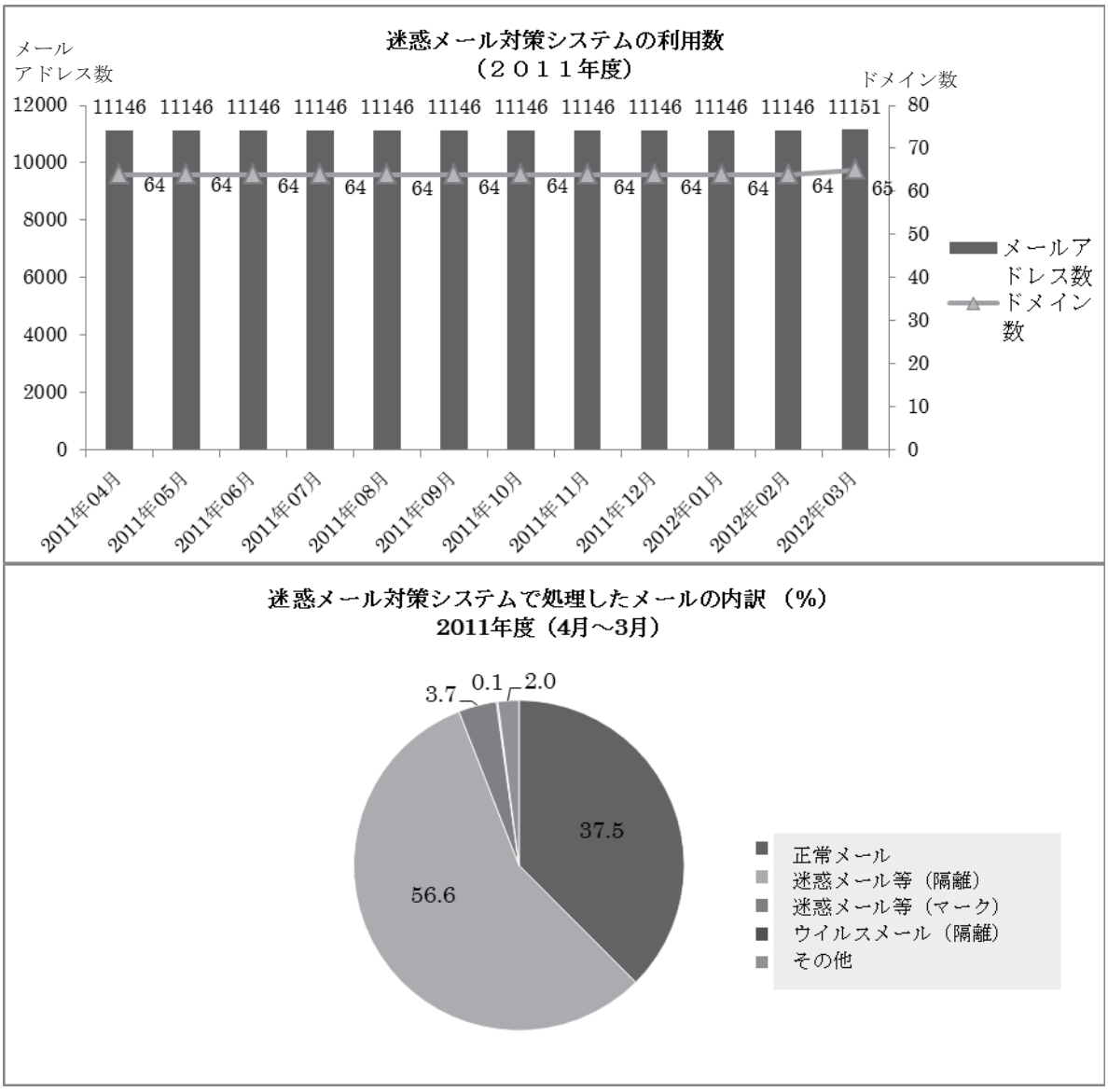


図1　迷惑メール対策システムの運用状況

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

2011 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の通りである。

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2011（日本語版）	688	44	26,138
ウイルスバスター2011（英語版）	107	27	1,258
Sophos Anti-Virus for Windows	29	17	179
Sophos Anti-Virus for Mac OS X	124	28	1,872
ESET Smart Security 4.0	44	16	2,100
Symantec Endpoint Protection (Windows)	3	3	16
Symantec Endpoint Protection (Mac)	1	1	1
Server Protect	49	23	192
InterScan VirusWall	8	7	16
InterScan VirusWall エンタープライズエディション	4	3	10

東京大学情報システム緊急対応チーム（UT-CERT）との連携

分散システムセキュリティ支援係

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。
・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。
・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 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 機器でネットワーク遮断した。
・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

2011 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。

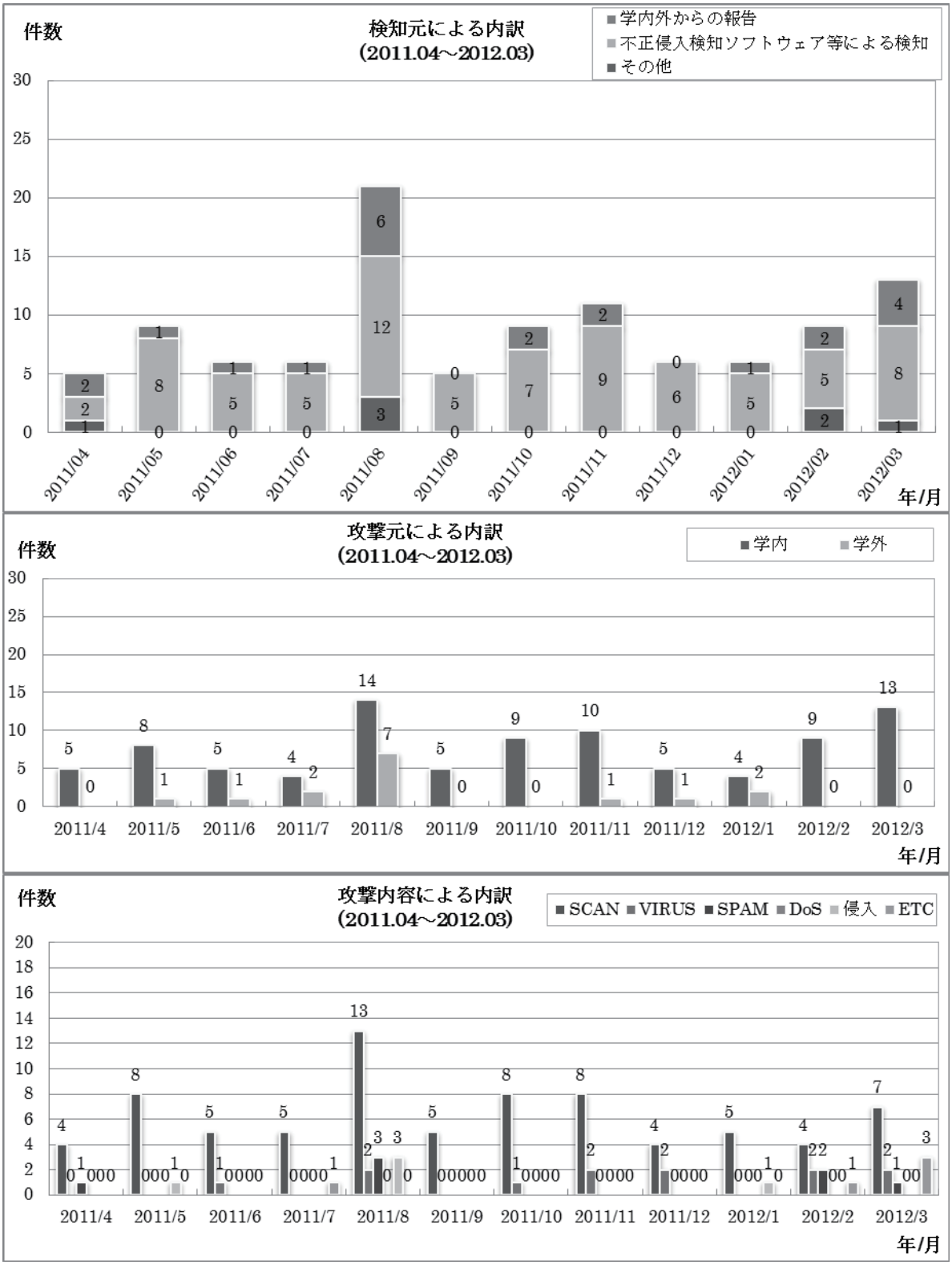


図 1　セキュリティインシデント件数

学内ソフトウェアライセンス

分散システムセキュリティ支援係

1　運用報告

学内での研究教育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。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)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。

表1 ソフトウェアライセンスの申請状況

ソフトウェア名	件数	部局数
Pro/ENGINEER	２２	１０
JMP	３３	１５
SAS9	４９	１２
MATHEMATICA	１５４	１８
ChemOffice	３２	１２
LabVIEW	１０５	１５

以上の他、次のソフトウェアライセンスの配付や管理を行った。

(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。

ハウジングサービス

分散システムセキュリティ支援係　　ネットワーク係

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 2010 年 10 月から開始しているが、2011 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。

提供設備等は以下のとおりである。
(1) 19 インチラック（2 種類:フルラック（24U）、ハーフラック(20U)）
(2) 電源（AC100V 30A/ラック）
(3) 空調
(4) ネットワーク（UTnet への接続）

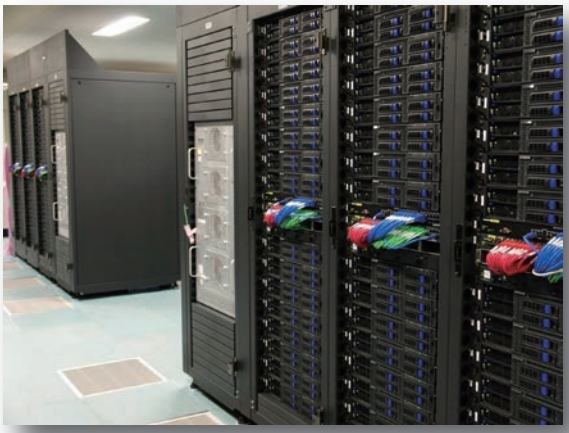
表1にハウジングサービスの利用状況を示す。

表1　ハウジングサービス利用状況

利用部局数	19 インチフルラック	19 インチハーフラック
4部局	6本	3本

スーパーコンピューティング部門

スーパーコンピュータ
HITACHI SR16000 モデル M1



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））

ベクトル並列型スーパーコンピュータ
HITACHI SR11000 モデル J2

スーパーコンピューティング部門

概要

部門長　中島 研吾　　主査　平野 光敏

1　スーパーコンピュータシステムの運用及び東日本大震災対応

スーパーコンピューティング部門では、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。

当部門では HITACHI SR11000/J2（128 ノード、2,048 コア、ピーク性能 18.84 TFLOPS）、HITACHI HA8000 クラスタシステム（T2K オープンスパコン（東大））（952 ノード、15,232 コア、ピーク性能 140.1 TFLOPS）の 2 システムを有している。2010 年度末の稼働率はともに約 80%であり、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。

2005 年 3 月より稼働を開始した SR11000/J2 は 2011 年 10 月に、HITACHI SR16000/M1（Yayoi）（56 ノード、1,792 コア、ピーク性能 54.9 TFLOPS）にリプレースされた。SR11000 と SR16000 を比較すると、ピーク演算性能は 18.8 TFLOPS から 54.9 TFLOPS へ約 3 倍弱増加しているが、空調も含めた消費電力量は 35%程度に低下している。消費電力当りの演算能力に換算すると 8.34 倍と非常に効率が高くなっている。

また 2012 年 4 月からは 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）が運用を開始する予定である。

2008 年 6 月より稼働した HA8000 クラスタシステムは、順調な稼働を続けている。2011 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:

- SR11000/J2
  - 広報活動
- SR16000/M1
  - 広報活動
- HA8000 クラスタシステム
  - 研究プロジェクトの推進
  - HA8000 クラスタシステム「512 ノード利用大規模 HPC 研究」先端的大規模計算利用サービス
  - 企業ユーザー利用支援
  - 講習会
  - 広報活動

情報基盤センターの運用するスーパーコンピュータシステムは空調も含めて 2011 年 3 月現在で約 2MW 弱の電力を消費しており、センター全体の電力消費量の 90%以上を占めている。2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災後、全学電力危機対策会議における決定に従い、消費電力削減のための様々な試みを実施した。

基本的には 1,000 人を超える利用者を有する HA8000 クラスタシステム（T2K）をできるだけフル稼働させ、電力効率の比較的低い SR11000 の稼働ノード数を減らすことで対応した。計算資源不足分については類似アーキテクチャのシステムを運用している北海道大学、九州大学の協力を得て、一部の利用者に対しては当情報基盤センターが負担金を全額負担して、これら 2 大学のシステムを

利用していただいた。更に 2011 年 10 月からは電力効率に優れた SR16000 の導入により以下のように大幅に消費電力の削減を実現できた。

- 2011 年 5 月末（SR11000 縮退運転（24 ノード））：前年比 25 %削減
- 2011 年 7 月末（SR11000 縮退運転（64 ノード））：前年比 20 %削減
- 2011 年 10 月末（SR16000 に完全リプレース後）：前年比 30 %削減

2　研究プロジェクトの推進

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利用者推薦」を実施した。

2010 年 4 月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する 8 大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点が正式に発足し、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。

2010 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 41 課題のうち 39 課題が採択された。東大情報基盤センターと共同研究を行うのはこのうち 14 課題である。このうち 3 件は新規採択課題である。平成 22 年度報告会、平成 23 年度採択課題紹介を兼ねた第 3 回シンポジウムは 2011 年 7 月 14 日（木）・15 日（金）に THE GRAND HALL（品川）で開催された。

「スーパーコンピュータ若手利用者推薦」は、概ね45 歳以下の若手研究者（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。2011 年度は、前期 4 件、後期 6 件（うち 3 件は前期よりの継続）の合わせて 10 件の課題を採択した。

3　HA8000 クラスタシステム「512 ノード利用大規模 HPC 研究」

2010 年度から「512 ノードサービス」を開始したが、2011 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。1 ヶ月に 1 件の実施、年 3～4 回の募集を予定していたが、東日本大震災の影響もあり、実質的に 2011 年 12 月～2012 年 3 月を対象とした 1 回分の募集に留まった。3 件の応募があり 3 件が採択された。

4　企業ユーザー利用支援

2008 年度から、大規模高性能並列計算によるイノベーションと科学技術の発展に寄与することを目的として、HA8000 システムの資源のうち最大 10%までを企業利用に有償で提供することとし、利用規程の変更を含む制度の改定を実施し、2008 年 10 月より企業利用支援の制度を開始した。2011 年度は、4 月利用開始の公募では前年度から利用継続の 3 社の応募があり、いずれも採択された。この他新規課題の公募を 2 回（10 月、1 月利用開始）実施したが応募は無かった。

2012 年度からは企業利用サービスは 2012 年 4 月に試験運用を開始する FX10 スーパーコンピュータシステムへ全面移行する。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。2012 年 4 月利用開始の公募では 8 社の応募があり、7 社が採択された。

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。2011 年度は同講習会を 9 回実施した。2011 年 8 月 1 日～5 日に開催された「2011 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）ではプログラム策定、実行に貢献する他、教育利用の一環として計算資源（HA8000 クラスタシステム 4 ノード）を提供した。

2011 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　利用規程改正、利用負担金

2011 年度は、新システム（SR16000、FX10）の導入に伴い、「東京大学情報基盤センタースーパーコンピューターシステム利用規程」の改正と実施要領、補則制定を実施し、スーパーコンピューティング専門委員会（第 14 回（2011 年 10 月 12 日）、第 15 回（2012 年 1 月 30 日））での審議を経て同日より発効している。2012 年度よりは、従来異なる体系が適用されていた「大学等」、「公共機関等」の負担金体系が統一され、「大学・公共機関等」となり、従来の「大学等」の負担金が適用されることになった。

7　参考文献

報道関連

[報道 1] 日経産業新聞　2011 年 11 月 15 日　スパコン「京」商用機納入富士通、東大に 50 億円で

[報道 2] 産経新聞　2011 年 11 月 15 日　「京」世界連覇　スパコン大国復権に弾み　富士通、東大から普及機受注

[報道 3] 日本経済新聞　2011 年 11 月 15 日　商用初号機を東大に納入へ　富士通、50億円で受注

[報道 4] 日刊工業新聞　2011 年 11 月 15 日　東大からスパコン受注　富士通「京」との互換性生かす

[報道 5] ITmedia ニュース　2011 年 11 月 15 日　富士通の新スパコン、東大情報基盤センターから受注

[報道 6] msn 産経ニュース　2011 年 11 月 15 日　富士通が東大スパコン受注「京」の普及機で初の受注

[報道 7] asahi.com　2011 年 11 月 15 日　富士通、東大からスパコン受注

[報道 8] Yahoo!JAPAN　ニュース 2011 年 11 月 16 日　富士通、商用スパコン「PRIMEHPC FX10」を東京大学情報基盤センターへ

[報道 9] MENAFN News　2011 年 11 月 16 日　Fujitsu Receives News Supercomputer System Order from University of Tokyo

[報道 10] Forbes　2011 年 11 月 16 日　Fujitsu Sells Petaflops Supercomputer to University of Tokyo

[報道 11] 日刊工業新聞　2011 年 11 月 28 日　日立製作所、東大に納入したスパコンが本格稼働

[報道 12] 日経産業新聞　2011 年 11 月 29 日　日立製作所、東大で能力 6 倍スパコン稼働

[報道 13] ITmedia 2011 年 11 月 25 日 東大情報基盤センター、日立製スパコンの本格稼働をスタート

[報道 14] RBBToday 2011 年 11 月 25 日 東京大学情報基盤センター、「大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム」を本格稼働

スーパーコンピューティング業務

システム管理係　　システム運用係

1　2011 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、2011 年度中に行ったシステム整備状況を以下に述べる。

2011 年 3 月に発生した東日本大震災の影響による、大規模な電力不足等に対応すべく、既存のスーパーコンピューターシステム (HA8000 クラスタシステム、SR11000 システム) は一部サービスの停止、縮退運転を行うなどの対応を行いながら、利用者サービスを継続して行った。

SR11000 システムは導入から 6 年以上が経過したことから、従来の利用者サービスを継続するだけでなく、京速コンピュータ「京」の利用に向けた開発環境の整備、人材育成などの利用目的を満たすべく、2 式のスーパーコンピューター (「大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム」、「大規模超並列スーパーコンピューターシステム」) の導入を計画、調達作業を実施した。

調達の結果、「大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム」については、HITACHI SR16000/M1 の導入が決定し、2011 年 10 月より試験運転、同 11 月 25 日より正式運用を開始した。また、「大規模超並列スーパーコンピューターシステム」は Fujitsu PRIMEHPC FX10 の導入が決定し、2012 年 4 月 2 日より試験運転を開始する予定である。

1.1　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 (HA8000 クラスタシステム) を無料で行い、並列プログラミング教育として 10 件の利用があった。

・東京大学工学部・工学系研究科 (前期)「スパコンプログラミング(1) , (I)」
・東京大学工学部・工学系研究科 (後期)「スパコンプログラミング(1) , (I)」
・東京大学情報理工学系研究科「科学技術計算 Ⅰ , コンピュータ科学特別講義Ⅰ」
・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」
・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」
・「2011 RIKEN AICS HPC Summer School」
・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」
・電気通信大学情報理工学研究科「ハイパフォーマンスコンピューティング基礎論」
・CMSI 若手技術交流会[第四回]「高並列化計算のためのHPCアーキテクチャの基礎」
・東京大学理学系研究科「解析力学・量子力学Ⅰ」

2　2012 年度のシステム整備計画

2012 年度は、HA8000 クラスタシステムに加え、SR11000 システムの後継システムとして導入した、SR16000 スーパーコンピューターシステムおよび FX10 スーパーコンピューターシステムの 3 式で利用者サービスを行う予定である。

HA8000 クラスタシステムは、FX10 スーパーコンピューターシステムが導入予定であることから、一部サービスの移行、夏以降に予定されている HPCI への資源提供が予定されている。

FX10 スーパーコンピューターが導入されることから、従来 HA8000 クラスタシステムで行ってきた、教育利用や企業利用などの利用者サービスの一部を FX10 スーパーコンピューターシステムで実施する予定である。また、大規模なジョブが常時実行できる、定期的にシステム全体を利用可能とするサービスも実施する予定である。

SR16000 システムは、利用者から要望のあったジョブクラス制限値を一部見直す他は、2011 年度と同様のサービスを継続して実施する予定である。

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。2011 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 14 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2011 年 9 月 14 日 (水) 13:00 ～

議題 :
- 大規模 SMP 並列スーパーコンピューターの運用(案)および利用負担金(案)について
- 東京大学情報基盤センタースーパーコンピューターシステム利用規程の改定について
- 東日本大震災後のスーパーコンピューターシステム運転状況について
- 大規模超並列スーパーコンピューターシステムの調達状況について
- HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)および e サイエンス補助金事業の現状について
- 柏キャンパス第 2 総合研究棟竣工について
- お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
- 「平成 23 年度先端科学技術にふれる理科研修会」(7 月 13 日)実施報告
- 計算科学研究機構「2011 RIKEN AICS HPC Summer School」(8 月 1～5 日)報告
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点報告
- 平成 22 年度先端的大規模計算利用サービス成果報告会(7 月 14～15 日)
- 平成 22 年度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
- システム稼動状況報告
- その他

第 15 回スーパーコンピューティング専門委員会

日時 : 2012 年 1 月 30 日 (月) 10:15 ～

議題 :
- 2012 年度のスーパーコンピュータシステムの運用について
- HA8000 クラスタシステムの HPCI 提供資源拠出について
- FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)の運用 (案) について
- 2012 年度の企業利用について
- 東京大学情報基盤センタースーパーコンピューターシステム利用規程の改定について
- スーパーコンピュータシステム更新の経緯について
- HPCI コンソーシアムの準備状況について
- 第 18 回全国共同利用情報基盤センター長会議報告
- HA8000 クラスタシステム 512 ノードサービス報告
- お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
- プログラム相談状況

・システム稼動状況報告
・その他
　機関連携による高性能計算基盤について
　情報基盤センターを取り巻く諸情勢について
　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）
　新スーパーコンピュータ披露式典について

4　スーパーコンピューターシステム利用規程の改正

2012 年 4 月 2 日より、FX10 スーパーコンピュータシステム（Oakleaf-FX）の試験運転を開始し、7 月には正式サービスを開始する。これに伴う利用負担金の制定とサービス内容の変更、利用者の利便性向上の目的で、東京大学情報基盤センタースーパーコンピューターシステム利用規程の別表および実施要領を改正した。主な改正点は以下の通り。（2012 年 1 月 30 日改正、4 月 1 日施行）

4.1　FX10 スーパーコンピュータシステムの利用負担金制定（別表 5,6*）

前払い従量制のトークン方式を採用した。ジョブの実行ごとにトークンを消費する課金方式で、実行に要したノード時間積で管理する。従来の負担金制度は申込時点で利用可能なノード数を制限するものだが、本方式により申込ノード数を超えたジョブの実行が可能となる。

FX10 スーパーコンピュータシステム	負担金　（割当トークン量（年間）） 大学・公共機関等	企業
パーソナルコース 1	120,000 円/年（ 25,920 ノード時間）	
パーソナルコース 2	250,000 円/年（ 51,840 ノード時間）	
グループコース（12 ノード）	500,000 円/年（103,680 ノード時間）	1,400,000 円/年 （103,680 ノード時間）

4.2　大学等、公共機関等の利用負担金額区分の統合（別表 1～4*）

「公共機関等」（規程第 3 条第 3 号）の負担金区分について「大学等」（規程第 3 条第 1 号、第 2 号、第 4 号および第 6 号）と同一の金額とし、「大学・公共機関等」に統合した。なお、「大学・公共機関等」は、以下の各号の利用資格者に適用する。

1. 大学、高等専門学校及び大学共同利用機関の教職員および学生
2. 文部科学省所管の独立行政法人に所属し、専ら研究に従事する者
3. 学術研究及び学術振興を目的とする国又は地方公共団体が所管する機関に所属し、専ら研究に従事する者
4. 学術研究を目的とする機関で東京大学情報基盤センター長が認める機関に所属し、専ら研究に従事する者
6. 科学研究費補助金等の交付を受けて学術研究を行う者

* http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/application/kitei/

SR16000 システム	**新負担金**	旧負担金	
	大学・公共機関等	大学等	公共機関等
パーソナルコース 1	**40,000 円/年**	40,000 円/年	80,000 円/年
パーソナルコース 2	**160,000 円/年**	160,000 円/年	320,000 円/年
パーソナルコース 3	**320,000 円/年**	320,000 円/年	640,000 円/年

HA8000 クラスタシステム	**新負担金**	旧負担金		
	大学・公共機関等	大学等	公共機関等	企業
パーソナルコース 1	**95,000 円/年**	95,000 円/年	190,000 円/年	
パーソナルコース 2	**130,000 円/年**	130,000 円/年	260,000 円/年	
パーソナルコース 3	**190,000 円/年**	190,000 円/年	380,000 円/年	
パーソナルコース 4	**260,000 円/年**	260,000 円/年	520,000 円/年	
パーソナルコース 5	**380,000 円/年**	380,000 円/年	760,000 円/年	
専用キュー (8 ノード)	**850,000 円/年**	850,000 円/年	1,700,000 円/年	2,400,000 円/年
ノード固定 (8 ノード)	**1,275,000 円/年**	1,275,000 円/年	2,125,000 円/年	

4.3 年度途中からの利用開始、年度途中での利用終了（別表 2,4,6*）

年間を通じて利用することを前提に作成された従来の「利用開始・終了月別利用負担金」を改め、年度の途中から数か月単位での利用を可能とする「月数別利用負担金」を制定した。

4.4 実施要領の整備

2012 年度サービス体系に合せて、下記、実施要領の制定および改正を行った。

- トライアルユース（グループコース、企業） 実施要領
- トライアルユース（グループコース、大学・公共機関） 実施要領
- トライアルユース（パーソナルコース） 実施要領
- 企業利用 実施要領
- 大規模 HPC チャレンジ 実施要領
- スーパーコンピューター教育利用 実施要領
- スーパーコンピューター若手利用者推薦 実施要領

5 システム利用状況

2011 年度におけるジョブ統計は表 1 ～表 3 のとおりである。HA8000 クラスタシステムについては、今年度も多数の利用者に利用されていた。SR11000 システムでは、東日本大震災の影響により、システム停止やノード縮退等を行ったため、年度前半については稼動率がやや低下したものの、サービス終了時まで高い利用状況であった。また、SR16000 スーパーコンピューターシステムでは、試験運転から正式サービス開始と、順調に利用が増加している。

5.1 SR11000 システム (AIX 5L) 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	TSS 件数	NQS 件数	CPU 時間		ノード稼動率 (%)	/batch ファイル使用量 (MB)
					sr11000-s (時間)	NQS (時間)		
201104	468	134	2,156	2,395	64.82	103,421.05	41.9	12,698,124
201105	382	122	2,325	1,254	58.59	135,322.04	61.6	9,949,244
201106	382	134	3,447	5,564	135.58	544,943.06	41.1	10,763,425
201107	386	120	3,033	2,841	91.82	511,338.47	52.9	11,288,839
201108	386	107	1,911	1,530	82.10	300,349.89	76.9	11,678,572
201109	388	132	3,123	2,196	133.65	475,202.45	75.6	10,620,505
201110	388	158	1,807	1,068	107.13	236,083.71	77.1	8,768,692
合計			17,802	16,848	673.69	2,306,660.67		

(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	TSS 件数	NQS 件数	CPU 時間		ノード稼動率 (%)	/home ファイル使用量 (MB)
					ログイン (時間)	NQS (時間)		
201104	1,370	286	7,593	15,769	617.05	5,523,619.91	75.2	142,623,573
201105	1,183	275	6,952	13,966	1,066.79	4,584,397.04	70.7	113,567,702
201106	1,241	297	8,437	19,088	773.97	5,675,411.15	76.0	119,517,095
201107	1,240	297	7,345	19,930	628.94	5,935,963.47	76.1	117,333,579
201108	1,263	270	4,888	12,498	474.41	3,007,255.36	75.2	126,086,904
201109	1,288	290	7,907	14,319	848.14	5,365,940.48	80.1	125,422,006
201110	1,296	298	7,595	15,051	680.02	5,914,978.42	82.9	140,137,211
201111	1,280	283	8,587	19,600	1,060.99	6,375,625.38	85.5	141,281,290
201112	1,283	343	8,235	19,451	1,088.61	6,826,319.07	85.8	143,441,768
201201	1,355	290	8,380	19,281	1,269.19	6,506,297.03	81.6	144,648,575
201202	1,372	332	7,502	19,289	1,004.38	5,732,296.74	78.5	140,534,489
201203	1,386	261	5,690	21,373	1,106.85	6,230,672.36	76.8	135,228,130
合計			89,111	209,615	10,619.34	67,678,776.41		

(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。

5.3 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	TSS 件数	NQS 件数	CPU 時間		ノード稼動率 (%)	/home ファイル使用量 (MB)
					ログイン (時間)	NQS (時間)		
201110	405	126	2,481	3,722	72.73	159,342.68	26.2	4,826,946
201111	419	111	2,754	7,503	52.42	296,541.93	39.3	6,339,188
201112	342	109	5,105	10,103	99.42	829,344.68	72.5	11,927,558
201201	347	100	4,348	14,766	188.60	818,944.00	70.0	18,489,147
201202	350	113	4,939	7,031	736.00	782,354.96	74.1	23,984,061
201203	360	99	5,704	6,584	1,437.45	922,422.66	78.0	25,475,948
合計			25,331	49,709	2,586.62	3,808,950.91		

(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
2011 年 4 月	0	19	19
2011 年 5 月	0	8	8
2011 年 6 月	0	9	9
2011 年 7 月	2	4	6
2011 年 8 月	0	14	14
2011 年 9 月	0	19	19
2011 年 10 月	2	31	33
2011 年 11 月	0	19	19
2011 年 12 月	0	16	16
2012 年 1 月	0	4	4
2012 年 2 月	0	12	12
2012 年 3 月	0	13	13
小計	4	168	172

6.2 刊行物

2011 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.13 No.3 ～ Vol.14 No.2 (2011 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。

2011 年度は、昨年度から引き続き「連載講座:高生産並列言語を使いこなす」を掲載し、Vol. 14 No.1 (2012 年 1 月) 号からは「HITACHI SR16000/M1 および富士通 PRIMEHPC FX10 チューニング連載講座」を新連載している。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。

また従来から発行しているものには、以下のものがある。

・ HA8000 クラスタシステム 利用の手引き 第 2 版 (2009.3)

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、全国共同利用情報基盤センター長会議のもとに研究開発連合発表会講演会が毎年開催されている。

7.1 第 33 回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

東京大学情報基盤センターの当番のため、2011 年 11 月 21 日 (月) に山上会館大会議室(2階)にて、第 33 回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を開催した。

本講演会は日々急激に進展するスーパーコンピューターを中心とした計算機、ソフトウェア及びネットワークに関する最新の技術について知識・サービスの発表・討議を行い、情報基盤センター群相互の情報交換を図るものである。

＜本センターの研究開発論文＞
(東京大学情報基盤センター)
・「東日本大震災後のスーパーコンピュータの運用とその影響」 －小川 大典 (発表者)－

東日本大震災後の電力不足の中、縮退運転や学外資源利用等のスーパーコンピューターシステムの運用に関する工夫、次期システムの設置場所の変更や仕様変更等の調達への影響について報告したものである。

詳しくは、「研究開発論文集 No.33 平成 23 年 11 月全国共同利用情報基盤センター」(P33 ～ P40)をご覧願いたい。

講習会

研究支援係　　システム管理係　　システム運用係

1　概要

2011 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（HA8000 クラスタシステム）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 1:2011 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 13 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 応用編:並列アプリケーション開発入門」	2011 年 5 月 19 日～20 日	HA8000 クラスタシステム	21 人	情報基盤センター主催
第 14 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」	2011 年 6 月 8 日～9 日		23 人	
第 15 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門:Hybrid 並列プログラミングモデルへの道」	2011 年 6 月 30 日～7 月 1 日		21 人	
第 16 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」	2011 年 9 月 6 日～7 日		12 人	
第 17 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 応用編:並列アプリケーション開発入門」	2011 年 11 月 8 日～9 日		12 人	
第 18 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門:Hybrid 並列プログラミングモデルへの道」	2011 年 12 月 6 日～7 日		16 人	

第 19 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用:高性能プログラミング初級入門」	2011 年 12 月 21 日～22 日	HA8000 クラスタシステム	7 人	情報基盤センター主催
第 20 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「ライブラリ利用:高性能プログラミング初級入門」	2012 年 2 月 21 日～22 日		6 人	
第 21 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」	2012 年 3 月 21 日～22 日		14 人	
CCS HPC サマーセミナー2011	2011 年 7 月 6 日～7 日	―	3 名（東大会場）	筑波大学計算科学研究センター主催
2011 RIKEN AICS HPC Summer School	2011 年 8 月 1 日～5 日	HA8000 クラスタシステム	44 人	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、主催
CMSI 若手交流会[第四回]「高並列化計算のための HPC アーキテクチャの基礎」	2012 年 2 月 1 日	HA8000 クラスタシステム	46 人	計算物質科学イニシアティブ（CMSI）主催

2 お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

2011 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 9 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]。

2.1 第 13 回講習会

HA8000 クラス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。本講習会では、有限体積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講義・実習を実施した。

[1] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/

表 2：第 13 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
2011 年 5 月 19 日（木）	10:00-12:00	• はじめに ➢ 本講習会の概要 ➢ T2K オープンスパコン（東大）について ➢ T2K オープンスパコン（東大）へのログイン	中島研吾
	13:00-16:00	• 並列アプリケーション開発入門（I） ➢ 並列プログラミングの学び方 ➢ 有限体積法 ➢ 1CPU 用計算プログラム eps_fvm ➢ 演習	中島研吾
	16:15-17:30	• 並列アプリケーション開発入門（II） ➢ 並列分散メッシュデータ ➢ 領域分割 ➢ MPI 超入門	中島研吾
5 月 20 日（金）	09:30-12:00	• 並列アプリケーション開発入門（II）（続き）	中島研吾
	13:00-17:00	• 並列アプリケーション開発入門（III） ➢ 並列 FVM コードの開発 ➢ T2K オープンスパコンとスケーラビリティ ➢ 実習	中島研吾

2.2　第 14 回講習会

HA8000 クラス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 3：第 14 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
2011 年 6 月 8 日（水）	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	片桐孝洋
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	片桐孝洋
6 月 9 日（木）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（分割コンパイル）（演習）	鴨志田良和
	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

2.3　第 15 回講習会

HA8000 クラス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。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義・実習を実施した。またマルチコアクラスタ向けの並列プログラミングとして注目されている Hybrid 並列プログラミングモデルについても最新の動向を紹介した。

表 4：第 15 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
2011 年 6 月 30 日（木）	10:30-12:00	設定、T2K オープンスパコンについて	中島研吾
	13:00-15:00	ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー	中島研吾
	15:15-16:45	OpenMP「超」入門	中島研吾
	16:45-17:30	オーダリングについて	中島研吾
7 月 1 日（金）	10:00-12:30	オーダリングについて（続き）	中島研吾
	13:30-15:30	並列化実装について	中島研吾
	15:45-17:00	最新研究事例の紹介、実習、質疑	中島研吾

2.4　第 16 回講習会

HA8000 クラス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：第 16 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
2011 年 9 月 6 日（火）	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	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 7 日（水）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（分割コンパイル）（演習）	鴨志田良和
	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 17 回講習会

HA8000 クラス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。本講習会では、有限体積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講義・実習を実施した。（柏キャンパスにて開催）

表 6：第 17 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
2011 年 11 月 8 日（火）	10:30-12:30	• はじめに ➢ 本講習会の概要 ➢ T2K オープンスパコン（東大）について ➢ T2K オープンスパコン（東大）へのログイン	大島聡史
	13:30-16:00	• 並列アプリケーション開発入門（1） ➢ 並列プログラミングの学び方 ➢ 有限体積法 ➢ 1CPU 用計算プログラム eps_fvm ➢ 演習	伊東聰
	16:15-17:30	• 並列アプリケーション開発入門（2） ➢ MPI 超入門 ➢ 実習	大島聡史

11 月 9 日（水）	10:30-12:30	• 並列アプリケーション開発入門（3） ➢ 並列分散メッシュデータ ➢ 領域分割	伊東聰
	13:30-17:30	• 並列アプリケーション開発入門（4） ➢ 並列 FVM コードの開発 ➢ T2K とスケーラビリティ ➢ 実習	伊東聰 大島聡史

2.6 第 18 回講習会

HA8000 クラス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。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義・実習を実施した。またマルチコアクラスタ向けの並列プログラミングとして注目されている Hybrid 並列プログラミングモデルについても最新の動向を紹介した。

表 7：第 18 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
2011 年 12 月 6 日（火）	10:30-12:00	設定、T2K オープンスパコンについて	大島聡史
	13:00-15:00	ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー	林雅江
	15:15-16:45	OpenMP「超」入門	大島聡史
	16:45-17:30	オーダリングについて	林雅江
12 月 7 日（水）	10:00-12:30	オーダリングについて（続き）	林雅江
	13:30-15:30	並列化実装について	林雅江
	15:45-17:30	最新研究事例の紹介、実習、質疑	大島聡史

2.7 第 19 回講習会

HA8000 クラス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。

表 8：第 19 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
2011 年 12 月 21 日（水）	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	片桐孝洋
	14:00-15:00	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	15:15-17:00	プログラム実習Ⅰ（BLAS）（演習）	片桐孝洋
12 月 22 日（木）	10:30-12:30	プログラム実習Ⅱ(LAPACK、ScaLAPACK)（演習）	片桐孝洋
	14:00-15:30	プログラム実習Ⅲ（Lis）（演習）	伊藤祥司
	15:45-17:00	線形代数の基礎（座学）	伊藤祥司

2.8 第 20 回講習会

HA8000 クラス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。

表 9：第 20 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
2012 年 2 月 21 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
	14:00-15:00	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	15:15-17:00	プログラム実習 I（BLAS）（演習）	片桐孝洋
2 月 22 日（水）	10:30-12:30	プログラム実習Ⅱ(LAPACK、ScaLAPACK)（演習）	片桐孝洋
	14:00-15:30	プログラム実習Ⅲ（Lis）（演習）	伊藤祥司
	15:45-17:00	線形代数の基礎（座学）	伊藤祥司

2.9　第 21 回講習会

HA8000 クラス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 10：第 21 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
2012 年 3 月 21 日（水）	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	片桐孝洋
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本（座学）	片桐孝洋
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I（演習）	片桐孝洋
3 月 22 日（木）	10:00-12:30	プログラミングの基礎（分割コンパイル）（演習）	鴨志田良和
	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

3　2011 RIKEN AICS HPC Summer School

2011 年 8 月 1 日（月）～5 日（金）、理化学研究所（理研）計算科学研究機構（Advanced Institute for Computational Science, AICS）において、「2011 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。

本セミナーは、「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「京」が設置される理研計算科学研究機構（兵庫県神戸市）で開催された。

サマースクールの内容は、表 11 からもわかるように、これまで当センターで実施してきた「お試しアカウント付き講習会」の内容に基づいている。実習には東大の HA8000 クラスタシステムを使用した。

表 11：2011 RIKEN AICS Summer School の概要

8 月 1 日（月）				
	12:30-13:00	受付		
第 1 部 はじめに	13:00-13:45	講演	はじめに，計算科学研究機構の概要	平尾公彦（理化学研究所・計算科学研究機構長）
	13:45-14:45	講演	スーパーコンピュータの拓く計算科学の歴史・現状・展望	小柳義夫（神戸大学）
	15:00-15:30	講演	本サマースクールの概要	中島研吾（東京大学情報基盤センター）
	15:30-17:00	実習	実習環境の概要とログイン	片桐孝洋（東京大学情報基盤センター）
	17:00-18:00	見学	計算科学研究機構の見学	横川三津夫（理化学研究所）

8 月 2 日（月）				
第 2 部 MPI 基礎	09:00-10:45	座学	並列プログラミングの基本	片桐孝洋（東京大学情報基盤センター）
	11:00-12:00	実習	MPI プログラミング実習 1	
	13:30-15:30	実習	MPI プログラミング実習 2	
	15:45-17:45	実習	MPI プログラミング実習 3	

8 月 3 日（水）				
第 3 部 MPI 応用	09:00-10:30	座学 実習	並列アプリケーション開発入門（Ⅰ）（有限体積法）	中島研吾（東京大学情報基盤センター）
	10:45-12:15			
	13:30-15:30	座学 実習	並列アプリケーション開発入門（Ⅱ）（並列データ構造，領域分割）	
	15:45-17:45			

8 月 4 日（木）				
第 3 部 MPI 応用	09:00-10:30	座学 実習	並列アプリケーション開発入門（Ⅲ）（並列有限体積法）	中島研吾（東京大学情報基盤センター）
	10:45-12:15	実習	スケーラビリティ阻害要因：通信およびファイル I/O	石川裕（東京大学情報基盤センター長・理化学研究所）
第 4 部 OpenMP 基礎・応用	13:30-15:30	座学 実習	ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー	中島研吾（東京大学情報基盤センター）
	15:45-18:00	座学 実習	OpenMP 超入門，オーダリングについて	

8 月 5 日（金）				
第 4 部 OpenMP 基礎・応用	09:00-12:00	座学 実習	オーダリングについて （続き）	中島研吾（東京大学情報基盤センター）
	13:15-15:15	座学 実習	並列化実装について	
	15:30-17:00	座学	Hybrid 並列プログラミングモデル	

4　T2K 連携セミナー・その他の講習会

2011 年 7 月 6 日～7 日、筑波大学が主催する T2K オープンスパコンに関連するセミナーおよび講習会（公開講座）「CCS HPC サマーセミナー2011」について、連携の一環として、東京大学情報基盤センター遠隔講義室を東大会場として使用した。

2012 年 2 月 1 日（水）、東北大学金属材料研究所講堂にて、CMSI 若手技術交流会［第四回］「高並列化計算のための HPC アーキテクチャの基礎」（主催：計算物質科学イニシアティブ（CMSI: Computational Materials Science Initiative））が開催された。CMSI 若手技術交流会は、計算科学、物質科学の分野で活躍されている研究者を中心に運営されており、(1) 並列計算技術の積極的な活用とさらなる発展、(2) 各分野で発展してきた強力な計算技術・理論的手法を分野を超えて共有すること、(3) これらを通じた異分野間の相互発展、を目指して活動している。特に、京速コンピュータ「京」のように、8 万以上の CPU（ノード）から構成される超並列計算機を有効活用するためには、高い並列化効率と実行効率が要求される。計算機科学と物質科学の力を合わせることで、科学計算の可能性を広げ、新たな研究土台を生み出す技術交流を指向している。以上の背景を鑑み、高並列計算を推進していくために、プロセッサやアーキテクチャを理解することが必要になっている。そこで今回は、2 人の専門家を講師に招き、基礎から最近の動向を講義することを目的に、本セミナーは企画された。当センターからは、片桐准教授が数値計算ライブラリの利用、および複数 CPU 最適化の演習のための講師として参加した。

シンポジウム・研究会

研究支援係　　システム管理係　　システム運用係

1　T2K シンポジウム

筑波大学、東京大学、京都大学の 3 大学の連携により進められてきた「T2K Open Supercomputer Alliance」のもと、各大学における T2K オープンスパコンの運用開始から 3 年を迎え、様々なアプリケーションが実行され、大規模 PC クラスタの運用経験も蓄積されている。

T2K Open Supercomputer Alliance では、これまで 5 回のシンポジウムを各拠点で実施してきたが、2011 年 11 月 30 日（水）に第 6 回目となるシンポジウム「T2K シンポジウム 2011＠京大」を京都大学百周年時計台記念館・百周年記念ホールで開催した。本シンポジウムでは、T2K の最近の活動の中から、2012 年に各大学に導入予定の新たなスーパーコンピュータシステムと、最終年度を迎えた e-Science プロジェクト「シームレス高生産・高性能プログラミング環境」について報告した。また、「戦略的高性能計算システム (SDHPC)」を中核的な立場で推進されている若手研究者の方々をお迎えして、SDHPC と大学スパコンの関わりについてのパネルディスカッションを実施した。

合計 95 名（大学関係 43 名、研究機関 6 名、企業・その他 46 名）の参加者があり盛況のうちに終了した。プログラムは表 1 の通りである。

表 1:T2K シンポジウム 2011＠京大　プログラム

第 1 部		
13:00～13:05	開会挨拶	美濃導彦（京都大学情報環境機構長）
13:05～13:10	来賓挨拶	林孝浩 氏（文部科学省情報課計算科学技術推進室室長）
13:10～13:30	T2K と我が国の HPC の動向	中島浩（京都大学）
13:30～14:30	T2K の新たなスーパーコンピュータシステム	朴泰祐（筑波大学） 中島研吾（東京大学） 中島浩（京都大学）
第 2 部		
15:00～16:00	e-Science プロジェクト「シームレス高生産・高性能プログラミング環境」成果報告	石川裕（東京大学） 片桐孝洋（東京大学） 中尾昌広（筑波大学） 平石拓（京都大学）
16:00～17:30	パネルディスカッション：10 年後の大学計算機センターの計算機 －－その仕様と課題について－－	児玉祐悦（筑波大学） 丸山直也（東京工業大学） 近藤正章（電気通信大学） 建部修見（筑波大学） 實本英之（東京大学） 岩下武史（京都大学）
17:30～17:35	閉会挨拶	中島浩（京都大学）

2 研究会

2.1 概要

2011 年度は表 2 に示すように 2 回の先進スーパーコンピューティング環境研究会(Advanced Supercomputing Environment、ASE)(略称:ASE 研究会)を開催した。

表 2:2011 年度に開催した研究会

名称	開催日	参加者数
第 10 回 ASE 研究会	2011 年 10 月 13 日(木)	13 人
第 11 回 ASE 研究会	2012 年 3 月 16 日(金)	24 人

2.2 第 10 回 ASE 研究会

2011 年 10 月 13 日(木)15 時 00 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 10 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 Zurich から Markus Püschel 教授を招へいし、自動チューニングと機械学習に関する講演を行った。また国内から、工学院大学の藤井昭宏 講師、筑波大学の山崎育朗氏による、数値計算アルゴリズムにおける自動チューニングの講演を行い、活発な議論が行われた。プログラムを表 3 に示す。

表 3 : 第 10 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Professor Markus Püschel (Computer Science,ETH Zurich, Switzerland) (招待講演)	Automatic Performance Tuning and Machine Learning
Professor Akihiro Fujii (Kogakuin University) Mr. Osamu Nakamura (Sumitomo Metal Industries) (招待講演)	Automatic tuning for Algebraic Multigrid solver for Fluid analysis
Mr.Ikuro Yamazaki Professor Hiroto Tadano Professor Tetsuya Sakurai (Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba) (招待講演)	A parameter selection for a preconditioner using a cutoff for Krylov subspace methods
Satoshi Ohshima (ITC, The University of Tokyo)	Implementation of 3D FEM program on GPU
Masae Hayashi (ITC, The University of Tokyo)	OpenMP/MPI Hybrid Parallel FEM Based on Extended Hierarchical Interface Decomposition for Multi-core Clusters

Püschel 教授の講演は、「Automatic Performance Tuning and Machine Learning」と題し、自動チューニングの重要性などの背景に始まり、自動チューニングへ機械学習を適用した事例紹介に至る大変興味深い講演だった。特に、自動チューニングを行うことは「探索」処理に位置づけられることが多いが、Püschel 教授の講演では、自動チューニングはコンパイラやプログラマを助けるためのツールが本来の意味であり探索はコスト高である。それゆえ、機械学習を適用する解を示すという主張は明快であり、わかりやすいものだった。Püschel 教授らが行ってきた信号処理(FFT)の自動チューニングに関するプロジェクト Spiral における自動チューニングの位置づけも大変興味深かった。

2.3 第 11 回 ASE 研究会

2012 年 3 月 16 日(月)13 時 00 分～17 時 25 分、東京大学情報基盤センター3 階大会議室にて、第 11 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、University of Lille, CNRS / LIL and INRIA の Serge G.Petiton 教授を招聘し、クリロフ部分空間法の自動チューニングに関する講演を行った。また、平成 23 年度前期 若手利用者推薦 成果報告会も行った。プログラムを表 4 に示す。

表 4：第 11 回 ASE 研究会　プログラム

講演者	講演タイトル
Professor Serge G. Petiton (University of Lille, CNRS / LIL and INRIA) (招待講演)	Toward future smart auto-tuned Parallel Krylov methods and programming for Exascale Computing
Junichiro Shiomi (Department of Mechanical Engineering, The University of Tokyo)	Calculations of phonon transport in semiconductors based on first principles
Kimio Kuramitsu (Yokohama National University)	A scripting language design and implementation for HPC computing
宮下秀樹 (山梨大学大学院　医学工学総合教育部)	クラスタシステムにおける高速な特異値分解のための前処理、後処理の実装
Hidetaka Muguruma Yuichi Tsujita (Department of Electronic Engineering and Computer Science, Faculty of Engineering, Kinki University)	Study of A Pipelined Processing for High Throughput Collective MPI-IO
Yoshikazu Kamoshida (ITC, The University of Tokyo)	Jitter Quantification on a Supercomputer in Operation
Takahiro Katagiri (ITC, The University of Tokyo)	New Auto-tuning Functions and Its Effect of Xabclib and OpenATLib Ver.1.0

Petiton 教授の講演は、「Toward future smart auto-tuned Parallel Krylov methods and programming for Exascale Computing」と題し、近年、数値計算アルゴリズムやライブラリの研究開発で注目されている自動チューニング（Auto-tuning，AT）技術の発表だった。疎行列反復解法のうち、最も強力、かつ有効な方法の 1 つである GMRES(m)法に対し、新しい AT 方式を適用した研究の紹介がなされた。今後の AT 研究の方向性として、さまざまな AT に必要となるパラメタを、数値解析上や計算機ハードウェア上の情報から、適切に、かつ実行時に調整する Smart Tuning という AT フレームワークを提案した。この方法では、今後来たる計算資源が有り余るような状況において対象を複数同時実行する場合、よさそうなパラメタを動的に交換しあい、実行ごとに高速化・安定化されていく AT フレームワークが示された。

研究プロジェクト

研究支援係　　システム管理係　　システム運用係

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 23 年度採択課題

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。

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 23 年度採択課題（東大分）

	課題名	分類	代表者名 （所属）	他大学
○	高精度行列 - 行列積アルゴリズムにおける並列化手法の開発	数	片桐孝洋 (東京大学)	
	次世代ジオスペースシミュレーション拠点の構築	数ネ情	荻野竜樹 (名古屋大学)	名大、九大
	MHD ダイナモシミュレーションとその可視化	数	陰山聡 (神戸大学)	
○	分散クラウドシステムにおける遠隔連携技術	情	棟朝雅晴 (北海道大学)	北大、東工大、九大
	高並列海洋モデルの開発を通した海洋循環のプロセス研究	数	羽角博康 (東京大学)	
	巨大地震発生サイクルシミュレーションの高度化	数	平原和朗 (京都大学)	京大
○	量子 i.i.d.状態のシミュレーション	数	坂下達哉 (電気通信大学)	
	粗視化分子動力学法による高分子系シミュレーション基盤の計算機科学的高度化検討	数情	萩田克美 (防衛大学校)	北大、名大、阪大
	天体活動現象の輻射磁気流体シミュレーション	数	松元亮治 (千葉大学)	
＊	マルチパラメータサーベイ型シミュレーションを支えるシステム化技術に関する研究	数デ情	奥田洋司 (東京大学)	全 8 大学
＊	学術グリッド基盤の構築・運用技術に関する研究	情	合田憲人 (国立情報学研究所)	全 8 大学
	市街地における建築・都市環境の総合数値予測	数	坂本雄三 (東京大学)	
	陰的時間積分法による核融合プラズマの非線形 MHD シミュレーションの高速化に関する研究	数	佐藤雅彦 (核融合科学研究所)	
	毛細血管流までを再現する冠循環マルチスケールシミュレーション	数	久田俊明 (東京大学)	

注：　○：平成 23 年度新規採択課題、＊：負担金免除課題
　　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 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し(2011 年 2 月 10 日締切り)、2011 年 3 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 41 課題のうち 39 課題が採択された。表 1 は東大情報基盤センターと共同研究を行う 14 題である。平成 22 年度報告会、平成 23 年度採択課題紹介を兼ねた第 3 回シンポジウムは 2011 年 7 月 14 日(木)・15 日(金)に THE GRAND HALL(品川)で開催された。

課題採択グループのうちスーパーコンピュータを利用するグループは HA8000 クラスタシステムの最大 64 ノード専用キューを利用できる。

2 HA8000 クラスタシステム「512 ノード利用大規模 HPC 研究」

2.1 背 景

東京大学情報基盤センターの超並列型スーパーコンピュータ「HA8000 クラスタシステム(T2K オープンスパコン(東大))」は合計 15,000 コア以上を有している。そのうち同時利用可能な最大単位は 512 ノード(8,192 コア)で、国内で一般に利用可能なコア数としては最大級である。

人類は 2008 年から 10 万以上のコアを有する計算機を使用したペタスケール・コンピューティングの時代に突入した。現在我が国で開発されている「次世代スーパーコンピュータ(次世代スパコン)」も数十万コアを有するシステムになると考えられ、少なくとも 1 万コアくらいで練習しておく必要があろう。

当センターの重要なミッションの一つは「次世代スパコン」への橋渡しであり、「次世代スパコン」を利用するユーザーの育成である。そのためには、できるだけ多くのコア数を利用できるサービスを提供することが重要である。

これまで、当センターでは月末の週末に 256 ノード(4,096 コア)を利用できるサービス M256 を実施してきた。これは一回最長 6 時間までのジョブに限られている。また、4,096 コアは「地球シミュレータ(第一世代)」の最大利用可能プロセッサ数と同じであり、実は、日本の大規模計算機利用者にとっては決して大きな数字ではない。512 ノード、8,192 コアはその 2 倍ではあるが、「次世代スパコン」利用に備えるために最低限必要な計算機資源と言うことができる。

HA8000 クラスタシステムについては、「試行期間限定 HPC 特別研究プロジェクト(2008 年 6 月～9 月)」で 512 ノードサービスを実施した実績があり、応募 29 グループから厳選された 10 グループによりレベルの高い成果が得られた(スーパーコンピューティングニュース Vol.11 特集号 2「特集:試行期間限定 T2K オープンスパコン(東大)HPC 特別プロジェクト」参照[1])。この 10 件の課題を通して得られた経験は、その後のシステム運用にも多いに貢献している。また、このサービスは大変好評で、経験者からは再開を望む声が多く上がっていたため、2010 年度から「HA8000 クラスタシステム 512 ノードサービス[2]」として再開し、2010 年度は全部で 11 件の課題が採択された。

2011 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。

2.2 概 要

実施要項は以下の通りである:

- 1 ヶ月に一回、月末処理前の木曜日 09:00～金曜日 09:00 までの 24 時間の間、A512 系を利用して実施する。

[1] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/VOL11/special2/
[2] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/service/512node/

- 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。年 3～4 回課題を募集し、各月に 1 グループ採用を原則とする。2011 年度は表 1 に示す 3 回の募集を予定している(申込状況によっては変更の可能性がある)。
- 応募資格を現ユーザーに限定せず、広く参加者を募集する。
- 利用者には報告書を提出していただき、「スーパーコンピューティングニュース」記事として出版させていただく。

年 3～4 回の募集を予定していたが、東日本大震災の影響もあり、実質的に 2011 年 12 月～2012 年 3 月を対象とした 1 回分の募集に留まった(表 1)。

表２：HA8000 クラスタシステム「512 ノード利用大規模 HPC 研究」募集スケジュール (2011 年度)

実施時期	募集締切	審査	採択通知
2011 年 4～7 月 (4 回)	2011 年 3 月上旬	2011 年 3 月中旬	2011 年 3 月下旬
2011 年 8～11 月 (4 回)	2011 年 7 月上旬	2011 年 7 月中旬	2011 年 7 月下旬
2011 年 12 月～ 2012 年 3 月 (4 回)	2011 年 12 月上旬	2011 年 12 月中旬	2011 年 12 月下旬

2.3 採択課題

2011 年度の採択課題を以下に示す:

第 3 回募集(3 件中 3 件採択)

課題名	代表者名	所属
並列多重格子法における通信レイテンシ削減に関する研究	中島 研吾	東京大学情報基盤センター
細粒度マルチスレッド処理系の大規模並列計算機における性能評価	秋山 茂樹	東京大学大学院情報理工学系研究科
グラフ分割に基づく領域分割法の大規模計算における性能測定	伊東 聰	東京大学情報基盤センター

2.4 2012 年度の予定

HA8000 クラスタシステムを使用した「512 ノード利用大規模 HPC 研究」は平成 23 年度で終了し、2012 年 4 月 2 日より試験運転を開始する FX10 スーパーコンピュータシステムの全計算ノード (4,800 ノード、ピーク性能 1.13PFLOPS) を一回最大 24～48 時間占有可能な「大規模 HPC チャレンジ」へ移行する予定である。

3 スーパーコンピュータ若手利用者推薦

当センターでは、概ね 45 歳以下の若手研究者(学生を含む)を対象とした利用者向けの、スーパーコンピュータ若手利用者推薦(以降、若手推薦)による課題の公募を開始する。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。

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 2011 年（前期）採択課題

採択課題①

課題名	熱電変換材料の第一原理フォノン伝導解析
代表者	塩見 淳一郎
所　属	東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻

採択課題②

課題名	クラスタシステムにおける高速な特異値分解のための前処理、後処理の実装
代表者	宮下 秀樹
所　属	山梨大学大学院 医学工学総合教育部 コンピュータ・メディア工学専攻

採択課題③

課題名	カーネルログ解析によるオンライン障害解析機構の提案
代表者	菅谷 みどり
所　属	横浜国立大学 未来情報通信医療社会 基盤センター

採択課題④

課題名	HPC 向けスクリプト言語設計と実装
代表者	倉光 君郎
所　属	横浜国立大学大学院 工学研究院

3.2 2011 年（後期）採択課題

採択課題①

課題名	ブロックヤコビ法による超並列固有値計算プログラムの開発
代表者	高橋 佑輔
所　属	神戸大学大学院 システム情報学研究科

採択課題②

課題名	金属酵素における反応機構の理論的解明
代表者	庄司 光男
所　属	筑波大学 数理物質科学研究科

採択課題③

課題名	広域 - 高精細数値モデルを用いた冬季モンスーン擾乱のマルチスケール解析
代表者	前島 康光
所　属	名古屋大学 地球水循環研究センター

採択課題④

課題名	クラスタシステムにおける高速な特異値分解のための前処理、後処理の実装
代表者	宮下 秀樹
所　属	山梨大学大学院 医学工学総合教育部

採択課題⑤

課題名	カーネルログ解析によるオンライン障害解析機構の提案
代表者	菅谷 みどり
所　属	横浜国立大学 未来情報通信医療社会 基盤センター

採択課題⑥

課題名	HPC 向けスクリプト言語設計と実装
代表者	倉光 君郎
所　属	横浜国立大学大学院 工学研究院

スーパーコンピュータの企業利用支援

研究支援係

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、HA8000 クラスタシステム、または、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、HA8000 クラスタシステムの 8 ノード、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ので、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 23 年度企業利用

平成 23 年度は 10 月、1 月、平成 24 年度 4 月利用開始の 3 回の課題公募を実施した。4 月利用開始の公募では、平成 22 年度までに利用していた 3 社が継続して応募し、新規の応募はなかった。10 月、1 月利用開始の公募では、新規の応募はなかった。

平成 24 年 4 月利用開始の公募では、HA8000 クラスタシステムでの企業利用を終了し、利用内規を整備した上で、平成 24 年 4 月に運用開始となる FX10 スーパーコンピュータシステムを用いた課題公募を実施した。平成 24 年 4 月～6 月は試験運転期間とし、審査の上で無償で利用ができる。7月から正式な運用開始となる。

8 社から応募があり、利用資格者審査の結果 7 社が採択された。この内 2 社は、HA8000 クラスタシステムの有償利用から、FX10 スーパーコンピュータシステムへの適用提案に変更した上での移行となる。

（HA8000 クラスタシステム）

- 平成 23 年度第 2 回公募（4 月以降利用開始）
  - 申請 3 件（うち継続申請 3 件）
  - 採択 3 件（うち継続課題 3 件）
    - ✧ みずほ情報総研株式会社　サイエンスソリューション部
      - 「大規模流体解析サービス“MIZUHO FLOW STATION”」
    - ✧ 富士通アドバンストテクノロジ株式会社　HPC 適用推進センター・富士通株式会社
      - 「情報機器における大規模流体解析」
    - ✧ NEC ソフト株式会社　ニューソリューション事業部　エンジニアリング SI グループ
      - 「科学技術計算 ASP サービス」
- 平成 23 年度第 3 回公募（10 月以降利用開始）
  - 申請なし

（FX10 スーパーコンピュータシステム）

- 平成 24 年度第 1 回公募（平成 24 月 4 月以降利用開始）
  - 申請 8 件（うち継続課題 2 社）
  - 採択 7 件（うち継続課題 2 社）
    - ✧ みずほ情報総研株式会社　サイエンスソリューション部
      - 「大規模流体解析サービス“MIZUHO FLOW STATION”」
    - ✧ 富士通アドバンストテクノロジ株式会社　HPC 適用推進センター・富士通株式会社
      - 「情報機器における大規模熱流体・構造解析」
    - ✧ 株式会社アスムス

- 「大規模第一原理計算のコード検証と並列化チューニング」

✧ 株式会社ヴァイナス　技術部
- 「超大規模反復解法の機能向上」

✧ 株式会社クロスアビリテイ
- 「フラグメント分子軌道法およびエネルギー表示法を活用した並列自由エネルギー計算」

✧ 株式会社アライドエンジニアリング
- 「FX10 における大規模構造解析システムのハイブリッド並列化の検証」

✧ 株式会社数値フローデザイン
- 「NuFD/FrontFlowRed 燃焼解析コードの超並列化技術に関する基礎検証」

スーパーコンピュータ利用による研究成果報告（2011 年）

スーパーコンピューティング部門

1　ベクトル並列型スーパーコンピュータ SR11000

2011 年(2011 年 1 月～2011 年 12 月)における、ベクトル並列型スーパーコンピュータ SR11000 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

【地球惑星科学】

1. Endoh, Takahiro, Hiroyuki Tsujino, and Toshiyuki Hibiya: The effect of Koshu Seamount on the formation of the Kuroshio large meander south of Japan: Journal of Physical Oceanography, 41, 9, 1624-1629.
2. T. Yamamoto: A numerical simulation for the omega band formation: Journal of geophysical research, American Geophysical Union, 116, A02207.

【建築学】

3. Bu Z, Kato S.: Wind-induced ventilation performances and airflow characteristics in an areaway-attached basement with a single-sided opening: Building and Environment, Elsevier, Vol.46, No.4, pp.911-921.
4. Bu Z, Kato S.: Probability analysis of wind-driven natural ventilation potential in areaway-attached basements: ASHRAE HVAC & R Research, Taylor & Francis.

【総合工学】

5. R. Yano and K. Suzuki: Kinetic analysis of thermally relativistic flow with dissipation: Physical Review D, APS, 83, 023517.
6. Ryosuke Yano and Kojiro Suzuki: Kinetic description of finite-wall catalysis for monatomic molecular recombination: Phys. Fluids, AIP, 23, 11, 117101.

1.2　口頭・ポスター発表

【地球惑星科学】

7. 遠藤貴洋, 辻野博之, 日比谷紀之: 黒潮大蛇行の形成に膠州海山が果たす役割: 日本海洋学会春季大会.

2　超並列型スーパーコンピュータ　HA8000 クラスタシステム

2011 年(2011 年 1 月～2011 年 12 月)における、超並列型スーパーコンピュータ 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

【情報学】
8. 櫻井隆雄, 片桐孝洋, 直野健, 黒田久泰, 中島研吾, 猪貝光祥, 大島聡史, 伊藤祥司: 自動チューニングインターフェース OpenATLib における自動チューニング機能の評価: 情報処理学会研究報告 HPC-130.
9. 片桐孝洋: 自動チューニング記述専用言語 ppOpenAT/Static の開発: 日本応用数理学会 2011 年度年会予稿集, pp.187-188.
10. 六車英峰, 吉永一美, 辻田祐一, 堀敦史, 並木美太郎, 石川裕: パイプライン型 Two-Phase I/O の Lustre における性能評価: 情報処理学会研究報告, 情報処理学会, vol.132, No.35.

【物理学】
11. 河井博紀, 菊川芳夫: Lattice study of N=2 Landau-Ginzburg model using a Nicolai map: Physical Review D, American Physical Society, Vol.83, Issue 7, 074502.
12. Taichi Kosugi, Takashi Miyake, Shoji Ishibashi, Ryotaro Arita and Hideo Aoki: First-principles structural optimization and electronic structure of the superconductor picene for various potassium doping levels: Physical Review B, 84, 214506(1-8).
13. Taichi Kosugi, Takashi Miyake, Shoji Ishibashi, Ryotaro Arita, and Hideo Aoki: Ab initio electronic structure of solid coronene: Differences from and commonalities to picene: Physical Review B, 84, 020507(1-4).
14. Taichi KOSUGI, Takashi MIYAKE, and Shoji ISHIBASHI: Slab Thickness Dependence of Rashba Splitting on Au(111) Surface: First-Principles and Model Analyses: J. Phys. Soc. Jpn., 80, 074713(1-7).

【地球惑星科学】
15. Ohtani, M., K. Hirahara, Y. Takahashi, T. Hori, M. Hyodo, H. Nakashima, and T. Iwashita: Fast computation of quasi-dynamic earthquake cycle simulation with Hierarchical Matrices: Procedia Computer Science, Elsevier, Vol 4, 1456-1465.
16. Kazuya Kusahara, Hiroyasu Hasumi and Guy D. Williams: Impact of the Mertz Glacier Tongue calving on dense water formation and export: Nature Communications, NPG, doi:10.1038/ncomms1156.
17. Y. Hoshika, T. Hajima, Y. Shimizu, M. Takigawa, K. Omasa: Estimation of stomatal ozone uptake of deciduous trees in East Asia: Annals of Forest Science, EDP Sciences.
18. Masaru Yamamoto: Microscale simulations of Venus' convective adjustment and mixing near the surface: thermal and material transport processes: Icarus, 211, 993-1006.
19. Kazuya Kusahara, Hiroyasu Hasumi and Guy D. Williams: Dense shelf water formation and brine-driven circulation in the Adlie and George V Land region: Ocean Modelling, Elsevier, 37, 122-138.
20. 深沢圭一郎, 梅田隆之, R. J. Walker, 荻野瀧樹, 湯元清文: HA8000 を用いた土星磁気圏の高解像度電磁流体シミュレーション: ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム論文集, pp. 157-162.
21. T. Umeda, T. Kimura, K. Togano, K. Fukazawa, Y. Matsumoto, T. Miyoshi, N. Terada, T. K. M. Nakamura, T. Ogino: Vlasov simulation on the interaction between solar wind and a dielectric body: Physics of Plasmas, American Institute of Physics, Vol.18, No.1, 012908_1-7.

【応用物理学・工学基礎】
22. K. Shimada, A. Zenpuku, K. Fujiwara, K. Hazu, S. F. Chichibu, M. Hata, H. Sazawa, T. Takada, and T. Sota: Spontaneous polarization and band gap bowing in YxAlyGa1-x-yN alloys lattice-matched to GaN: Journal of Applied Physics, American Institute of Physics, 110, 7, Art. No. 074114.
23. 大西立顕, 高安秀樹, 高安美佐子: 企業間取引ネットワークの role 解析: 統計数理研究所共同研究リポート, 259, 7, pp.55-59.
24. Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Chihiro Shimizu, Tsutomu Watanabe: POWER LAWS IN REAL ESTATE PRICES DURING BUBBLE PERIODS: CARF Working Paper, December 2011, F-263.

2.2 口頭・ポスター発表

【情報学】

25. Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Description Language to Heterogeneous Computing Environment: Fifth International Workshop on High-level Parallel Programming and Applications (HLPP 2011), Proceedings of the fifth international workshop on High-level parallel programming and applications.
26. Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning Language of Numerical Libraries in Heterogeneous Computing Era: SIAM ICIAM 2011-7th International Congress on Industrial and Applied Mathematics.
27. Takao Sakurai, Ken Naono, Takahiro Katagiri, Hisayasu Kuroda, Kengo Nakajima, Satoshi Ohshima, Shoji Itoh, Mitsuyoshi Igai: Development of Xabclib: A Sparse Iterative Solver with Numerical Computation Policy Interface: SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE11), MS55, Advanced Performance Auto-tuning for Computer Systems and Numerical Libraries - Part II of II.
28. Susumu Yamada, Toshiyuki Imamura, Masahiko Machida: Parallelization Design on Multi-core Platforms in Density Matrix Renormalization Group toward 2-D Quantum Strongly-correlated Systems: SC11, the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Proceedings of SC11.
29. 山崎健生, 中山雅哉: 並列分散処理環境におけるタスク割り当てライブラリ の設計と C++での実装と評価: HPCS2011, HPCS2011 シンポジウム論文集, p.82.
30. 山崎健生, 中山雅哉: C++用タスク割り当てライブラリ tpdplib の T2K オー プンスーパーコンピュータ上での実装と NPB による評価: ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, HPC-129.
31. Ryusuke Kenmochi, Takashi Nakakuki, Mariko Okada, Chiharu Ishii: Particle simulation of epidermal growth factor receptor in prostate cancer cells: 18th IFAC World Congress, Proc. of the 18th IFAC World Congress (accepted).

【天文学】

32. 松本倫明: 陰解法を用いた磁場の散逸過程の数値解法: 日本天文学会 2011 年秋季年会, 日本天文学会 2011 年秋季年会講演予稿集, P58b.

【物理学】

33. T. Abe, P. Maris, T. Otsuka, N. Shimizu, Y. Utsuno, and J. P. Vary: Benchmark calculation of no-core Monte Carlo shell model in light nuclei: International Symposium on New Faces of Atomic Nuclei, AIP Conf. Proc. Vol. 1355, pp.173-176.
34. 今井剛樹, 若林克法, Manfred Sigrist: 多バンド超伝導体 Sr2RuO4 のエッジ状態における磁気的性質と輸送特性: 日本物理学会, 日本物理学会概要集, 692.

【地球惑星科学】

35. 遠藤貴洋: RIAMOM への semi-prognostic 法の導入: 北海道大学低温科学研究所共同利用研究集会「宗谷暖流を始めとした対馬暖流系の変動メカニズム」.
36. 梅田隆行, 深沢圭一郎, 成行泰裕: 無衝突プラズマの超並列ブラソフシミュレーション: 2011 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.
37. 梅田隆行: 無衝突プラズマの超並列ブラソフシミュレーション: 次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム 2010.

【応用物理学・工学基礎】

38. 大西立顕, 高安秀樹, 高安美佐子: 企業間の取引関係にみられるネットワーク構造: 統数研研究会「社会物理学の展望」.
39. 大西立顕, 高安秀樹, 伊藤隆敏, 橋本優子, 渡辺努, 高安美佐子: 連検定を用いた市場価格変動の相関の検出: 平成 22 年度統数研研究会「経済物理学とその周辺」第 2 回研究会.
40. 大西立顕, 水野貴之, 清水千弘, 渡辺努: 住宅価格と土地価格にみられるバブルの特徴: 日本物理学会第 66 回年次大会, 日本物理学会講演概要集 第 66 巻第 1 号第 2 分冊, pp.328.
41. Takaaki Ohnishi, Hideki Takayasu, Takatoshi Ito, Yuko Hashimoto, Tsutomu Watanabe, Misako Takayasu: A comprehensive directional motion analysis of market fluctuations: International Conference on Econophysics 2011.
42. Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Chihiro Shimizu, Tsutomu Watanabe: Detection of bubbles in Japanese house prices: International Workshop on Coping with Crises in Complex Socio-Economic Systems 2011.
43. Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Chihiro Shimizu, Tsutomu Watanabe: Characteristics of bubble in house price distribution of Japan: International Conference on Statistical Physics (SigmaPhi 2011).

44. Takaaki Ohnishi, Hideki Takayasu, Takatoshi Ito, Yuko Hashimoto, Tsutomu Watanabe, Misako Takayasu: Recurrence interval analysis of high-frequency returns on foreign exchange: European Conference on Complex Systems 2011.
45. 大西立顕, 高安秀樹, 伊藤隆敏, 橋本優子, 渡辺努, 高安美佐子: 連からみた外国為替レートのゆらぎ特性: 日本物理学会 2011 年秋季大会, 日本物理学会講演概要集 第 66 巻第 2 号第 2 分冊, pp.226.
46. 大西立顕, 高安秀樹, 高安美佐子: 取引ネットワークにおける企業のページランクと成長: 日本物理学会 2011 年秋季大会, 日本物理学会講演概要集 第 66 巻第 2 号第 2 分冊, pp.276.
47. 大西立顕: 大規模情報コンテンツによる不動産バブルの検出: 「大規模情報コンテンツ時代の高度 ICT 専門職業人育成」事業 第 1 回シンポジウム.
48. Takaaki Ohnishi, Takayuki Mizuno, Chihiro Shimizu, Tsutomu Watanabe: On the evolution of the house price distribution: the 58th World Statistics Congress of the International Statistical Institute (ISI).
49. 大西立顕: 金融市場の非定常ゆらぎ: ワークショップ「複雑系ゆらぎデータの分析と制御：脳から社会まで」.
50. 大西立顕: 企業間取引ネットワークにみられる数理構造: 京都大学 GCOE 知識グリッドコアセミナー.

【機械工学】

51. Yuuki Watanabe, Akihisa Konno: Investigation of effect of flow and channel condition against brash ice channel resistance: The 26th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Proceedings of The 26th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, 103-109.
52. Miura, T., Matsubara, K. and Sakurai, A.: Flow Visualization of Turbulent Structure in a Channel with a Single Rib: The 11th Asian Symposium on Visualization, Proceedings of The 11th Asian Symposium on Visualization, 07-13(6pp.).

2.3 受賞情報

53. 山田進, 五十嵐亮, 奥村雅彦, 今村俊幸, 町田昌彦: 量子多体系・高精度シミュレーションの研究開発：密度行列繰り込み群法の超並列化と大規模計算: ベストオーサー賞（論文部門）, 日本応用数理学会.
54. 片桐孝洋: ソフトウェア自動チューニングの研究: 平成 23 年度文部科学大臣表彰若手科学者賞, 文部科学省.

その他イベント

研究支援係　　システム管理係　　システム運用係

1　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）

2010 年 7 月 14 日に、情報基盤センター主催による高校生向けスパコンセミナー「スーパーコンピュータの最前線を体験しよう！」[1]が開催され、埼玉県立春日部高等学校、同 大宮高等学校、開成高等学校の 3 校から、引率教員も含めて合計 89 名が参加した。講演会終了後、各校の先生方との意見交換の機会があった。高校生たちにとっては大変貴重な体験だったようで、最初の試みとしてはまずまずの成功であった。先生方からは、生徒達のニーズに応えるためには、「教員に対する教育」がむしろ重要であるという意見があった。また、この意見交換会を通じて、高校生向け並列プログラミング講習会の話が持ち上がり、8 月 23 日～25 日に 3 高校の生徒 10 名（教員 2 名）を対象とした講習会[2]を早速実施した。

2011 年 7 月 13 日に情報基盤センター（浅野）で開催された「平成 23 年度先端科学技術にふれる理科研修会」は、昨年 7 月の意見交換会での要望を受けて、埼玉県立総合教育センターの依頼により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の理数系教員を対象として実施したものである。以下のような 3 部構成で実施した。出席者は 15 名（高校教員 12 名、総合教育センター3 名）であった。

（第 1 部）講演・見学
13:00～13:40　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（スーパーコンピューティング研究部門））
13:45～14:00　T2K オープンスパコン（東大）見学
　　鴨志田良和（情報基盤センター・特任助教（同上））
（第 2 部）講演
14:05～15:05　気候変動予測シミュレーションの現状とこれから
　　羽角博康（大気海洋研究所・准教授）
15:15～16:15　コンピュータの中に『物質』をつくる
　　－シミュレーションを使った物質科学研究の最前線－
　　常行真司（大学院理学系研究科・教授（物理学専攻））
（第 3 部）ディスカッション他
16:15～16:55　今後の教育活動への応用
　　久保健丸（埼玉県立総合教育センター・指導主事）
16:55～17:00　閉会挨拶
　　小川　剛（埼玉県立総合教育センター・指導主事）

[1] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/publication/news/VOL12/No5/201009_SSH.pdf
[2] http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/publication/news/VOL12/No5/201009_otameshi-rev1.pdf

3 つの講演、講演者も交えたディスカッションでは活発な議論が交わされた。高校の教育現場でのシミュレーション教育の実態についても紹介された。現状では、高校生の教材として使えるような日本語のフリーソフトウェアが無く、中々難しいということである。昨年のセミナーに引率教員として参加した出席者も居り、「高校の教員が教えるよりも、やはり大学から専門家に来てもらって話をしていただいた方が迫力がある」というような意見もあった。

埼玉県は県内に 8 つの SSH 指定校を有し、県立総合教育センターを中心に今後も計算科学教育に取り組んでいくとのことである。

昨年の紹介記事でも述べたが、情報基盤センターとしては、高校生の段階で「スパコンが新しい科学的発見に役立つ」という認識を身につけてもらうことが、日本と世界の科学技術の発展に貢献するとともに、センタースパコンの利用者拡大にもつながることから、埼玉県の取り組みには積極的に協力していただきたいと考えている。

常行教授、羽角准教授には、今回の催しの趣旨に賛同いただき、ご多忙中にもかかわらず講演を引き受けていただいた。この場を借りて篤く御礼申し上げたい。今回のような試みはセンタースパコンのユーザーを中心とした学内外の研究者の協力が重要であり、学内の体制整備に引き続き取り組むことが重要である。

写真:ディスカッション(左)、T2K オープンスパコン見学会(右)の一コマ

2 Lawrence Livermore National Laboratory 副所長ら来訪

我が国における HPC 事情視察のための来日中の米国 Lawrence Livermore National Laboratory(以下 LLNL)の幹部が 2012 年 2 月 23 日(木)に情報基盤センター(柏キャンパス)を訪問した。訪問者は、以下の 3 名である:

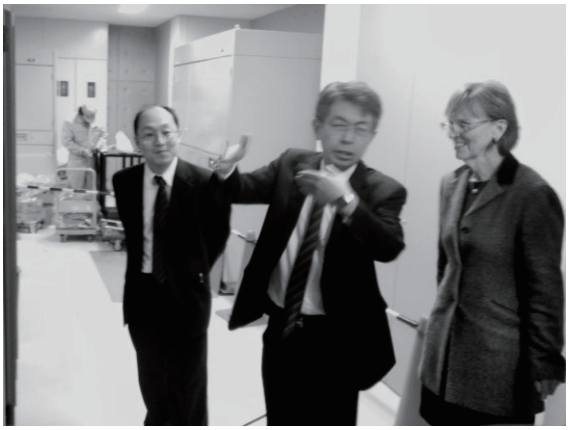
- Ms. Dona L. Crawford(Associate Director, Computation Directorate)
- Mr. John Grosh(Deputy Associate Director, Computation Directorate)
- Dr. Frederick H. Streitz(Director, Institute for Scientific Computing Research)

LLNL の紹介のあと、情報基盤センターにおけるスーパーコンピュータ導入の現状、研究活動紹介、施設見学を実施し、情報交換・意見交換を実施した。

LLNL は米国エネルギー省(US Department of Energy, DOE)配下の国立研究所として HPC 分野では最もアクティビティの最も高い研究所の一つであり、ASCI White、Blue Gene/L などのスーパーコンピュータを導入・稼働させて来た実績がある。現在は Sequoia(ピーク性能 20 PFLOPS 級、IBM Blue Gene/Q ベース)の導入を実施中であり、完成・稼働の暁には TOP 500 の上位を占めることは間違いない。

またマルチグリッド法を中心とした大規模並列計算機向け数値アルゴリズムの研究開発においても世界をリードしており、hypre などのライブラリを公開している。様々な研究機関との共同研究の他、最近は企業利用も開始したということであり、当センターにおける企業利用への取り組みについても熱心な質疑があった。また当センターにおける研究活動、特に自動チューニング（Automatic Tuning、AT）分野の研究、当センターのアメリカを中心とした国際的な研究協力活動についても様々な議論があった。

当情報基盤センターと LLNL とはこれまで組織的な交流が無かったが、今後は情報交換・意見交換を積極的に実施していこうということで閉会となった。



写真：意見交換（左）、石川センター長から説明を受ける Crawford LLNL 副所長（右）

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	社団法人情報処理学会 調査研究運営委員会委員	22. 5.31～23. 6. 2
	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	22. 9. 1～24. 8.31
	学際大規模情報基盤共同拠点・共同研究拠点 運営委員会委員	23. 1. 1～24. 3.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	23. 4. 1～23. 9.30
	独立行政法人産業技術総合研究所 招へい研究員	23. 4. 1～24. 3.31
	日本ソフトウェア科学会 理事	23. 4. 1～24. 3.31
	東京大学 キャンパス計画室員	23. 4. 1～25. 3.31
	情報セキュリティ大学院大学 客員教授	23.10. 1～24. 3.31
田中 哲朗	東京大学教養学部 非常勤講師	23. 4. 1～24. 3.31
品川 高廣	筑波大学生命領域学際研究センター 客員研究員	23. 4. 1～24. 3.31
	東京大学キャンパス計画室 交通計画部会地区ワーキング・グループ委員	23. 4. 1～25. 3.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	23. 4. 1～23. 9.30
	東京工業大学 非常勤講師	23.10. 1～24. 3.31
関谷 貴之	専修大学 非常勤講師	23. 4. 1～24. 3.31
	東京学芸大学 非常勤講師	23. 4. 6～24. 3.23
丸山 一貴	早稲田大学 非常勤講師	23. 4. 1～24. 3.31
	桜美林大学 非常勤講師	23. 4. 1～24. 3.31
	電気通信大学 非常勤講師	23.10. 1～24. 3.31
中川 裕志	東京大学柏図書館 運営委員会委員	21. 4. 1～24. 3.31
	東京大学駒場図書館 運営委員会委員	22. 4. 1～24. 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	22. 4. 1～24. 3.31
	東京大学大学院工学系研究科 非常勤講師	23. 4. 1～23. 9.30
	社団法人人工知能学会 評議員	22. 8. 1～24. 6.30
	東京大学キャンパス計画委員会 本郷地区部会委員	22.11. 1～24. 3.31
	東京大学大学院工学系研究科 非常勤講師	23. 4. 1～23. 9.30
	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	23. 4. 1～25. 3.31
	一般財団法人日本特許情報機構 特許文献の機械翻訳のための辞書整備に関する調査委員会委員	23.11.28～24. 2.29
杉本 雅則	東京大学工学部 非常勤講師	23. 7. 1～24. 3.31
清田 陽司	言語処理学会 編集委員	22.10. 1～24.10.31
若原　恭	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	23. 4. 1～24. 3.31
	東京大学情報セキュリティ委員会委員	22. 4. 1～24. 3.31
	社団法人電子情報通信学会 ネットワークソフトウェア技術とその応用特集号編集委員	22. 7.29～23. 4. 1
	東京大学バリアフリー支援室員	23. 4. 1～25. 3.31
	社団法人電子情報通信学会 人・社会を支えるネットワーク・ソフトウェア技術とその応用特集編集委員	23. 6.20～24. 4. 1

	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	23.12.14～24. 5.14
中山 雅哉	株式会社日本レジストリーサービス 地域型 JP ドメイン名再構築検討部会チェア	22. 5. 1～23. 4.30
	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 招聘職員	23. 4. 1～24. 3.31
	独立行政法人情報・システム研究機構 学術情報ネットワーク作業部会委員	23. 4. 1～24. 3.31
小川 剛史	東京大学文学部 非常勤講師	23. 4. 1～24. 3.31
	日本バーチャルリアリティ学会 論文委員会委員	23. 4. 1～25. 3.31
関谷 勇司	慶應義塾大学 SFC 研究所 上席所員	23. 4. 1～24. 3.31
	東京大学大学院情報理工学系研究科 非常勤講師	23.10. 1～24. 3.31
	東京大学理学部 非常勤講師	23.10. 1～24. 3.31
	社団法人電子情報通信学会 Communications Express 編集委員	23.12. 1～27.11.30
妙中 雄三	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委員	23. 5.28～25. 5.31
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	22. 4. 1～24. 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	22. 4. 1～24. 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	22. 4.23～24. 3.31
	一般社団法人日本計算工学会 評議員	22. 6.23～24. 5.31
	東京大学キャンパス計画室 柏地区部会員	22.11. 1～24. 3.31
	東京大学大学院理学系研究科 非常勤講師	23. 4. 1～23. 9.30
	東京大学フューチャー推進機構 運営委員会委員	23. 4. 1～25. 3.31
	筑波大学計算科学研究センター 並列プログラミング言語検討委員会委員	23. 4. 1～24. 3.31
	独立行政法人理化学研究所 客員主管研究員	23. 4. 1～24. 3.31
	東京大学物性研究所 計算物質科学イニシアティブ関係委員	23. 4. 1～24. 3.31
	日本応用数理学会 評議員	23. 5.23～24. 3.31
	独立行政法人理化学研究所 HPCI 検討委員会・人材育成検討ワーキンググループ委員	23. 9. 6～24. 3.31
金田 康正	大阪大学サイバーサイエンスセンター 運営委員会委員	22. 4. 1～24. 3.31
	鶴岡工業高等専門学校 非常勤講師	23. 4. 5～23. 9.30
	独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター スーパーコンピュータ研究利用専門委員会委員	23. 9. 9～24. 3.31
佐藤 周行	独立行政法人情報・システム研究機構 学術情報ネットワーク運営・連携本部認証作業部会委員	23. 6.28～24. 3.31
	エクスジェン・ネットワークス株式会社 ID&IT Management Conference2011 講師	23. 9.14～23. 9.16
片桐 孝洋	独立行政法人理化学研究所 客員研究員	23. 4. 1～24. 3.31
	日本応用数理学会 JSIAM Letters 編集委員会委員	23. 4. 1～24. 3.31
	日本応用数理学会 行列・固有値問題とその解法研究部会幹事	23. 4. 1～24. 3.31

	独立行政法人理化学研究所計算科学研究機構 2011 RIKEN AICS HPC Summer School 講師	23. 8. 1～23. 8. 5
	東京大学大学院工学系研究科 非常勤講師	23. 4. 1～24. 3.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	23. 4. 1～24. 3.31
松野　裕	独立行政法人情報処理推進機構 統合系システム・ソフトウェア信頼性基盤整備推進委員会委員	23.12. 6～24. 3.31
大島 聡史	一般社団法人オープン CAE 学会 理事(非常勤)	23. 6.26～24. 6.25
伊藤 祥司	一般社団法人情報処理学会 HPCS2012 プログラム委員	23. 9. 1～24. 1.31
	中央大学 非常勤講師	23.10. 1～24. 3.31
	独立行政法人理化学研究所 客員研究員	23. 4. 1～24. 3.31
	東京電機大学 非常勤講師	23. 4.15～23. 9.15

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.34
第3回	7/14	
・Winter School: 若手女性研究者向け並列コンピュータ＆ストレージ利用発表会		p.38
第1回	2/27-28	
・HPCIシステム基盤詳細設計中間報告＆意見交換会		p.40
第1回	10/21	
第2回	2/17	
・コンピュータ・ネットワーク利用セミナー		
（第74回）Web ページ作成 - デザイン・作成ツール -	5/17	p.339
（第75回）Webページ作成実践編－デザイン－	11/8	
（第76回）Webページ作成実践編－作成ツール－	11/9	
（第77回）「平成23年度コンピュータネットワーク研修（東京大学技術職員研修）」講義	12/13-15	p.382

2. 情報メディア教育部門によるもの

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.331
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/6, 4/8 4/11, 2/3, 2/27	
	情報学環・福武ホール	4/1-8/10（平日）, 8/18-12/27（平日）, 1/5-31（平日）, 3/1-30（平日）　合計426回	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/1, 4/4, 4/5, 4/6, 4/7, 4/8, 4/11, 4/12, 4/14, 4/18, 4/20, 4/22, 4/27, 5/6, 5/12, 5/18, 5/24, 5/30, 6/3, 6/9, 6/15, 6/21, 6/27, 7/5, 7/20, 8/2, 8/19, 9/5, 9/22, 10/3, 10/11, 10/19, 10/27, 11/4, 11/14, 11/22, 11/30 12/8, 12/16, 1/12, 1/24, 2/6, 3/6, 3/21	
柏キャンパス	柏図書館	4/26, 5/11, 10/12	
出張講習会		4/1, 4/6, 4/7, 10/5	
・システム利用説明会			p.328
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/29, 3/19	
駒場キャンパス	情報教育棟	10/4, 3/21	
・相談員説明会			
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/14, 10/7	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/13, 10/7	

3. 図書館電子化部門によるもの

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.361
自宅から検索するには？	4/11, 5/13, 10/5, 12/20, 3/23	
はじめての論文の探し方	4/22, 4/26, 5/19, 10/12, 12/8, 1/11	
RefWorksを使うには？	5/12, 5/24, 6/8, 7/19, 10/20, 11/18, 12/16, 1/24, 2/15, 3/13	
知っておきたい検索のコツ	5/25, 2/10	
Web of Science+ EndNote Web入門	6/10（同日2回開催）, 6/17, 7/12, 7/14	
文献検索早わかり	7/6, 11/22	
はじめてのWeb of Science	7/8, 12/13	
医学・生命科学系のための文献検索+ RefWorks入門	7/29	
東大OPAC+ RefWorks入門	8/10, 9/7	
Web of Science+ RefWorks入門	9/14, 9/22	
CiNiiで国内で論文検索+ RefWorks入門	9/28	
EndNote Webを使うには？	10/21	
Web of Science（応用編）&インパクトファクターミニ講座	11/29	
はじめての医学系論文の探し方	1/19, 3/16	
CiNii Articles & Web of Science:文献検索入門	2/7, 3/21	
論文投稿シミュレーション：JCRとRefWorksを使って	2/16	
・留学生向け情報探索ガイダンス		p.363
韓国語コース	5/13	
中国語コース	10/19	
・情報探索ガイダンス（データベースユーザートレーニング）		
ProQuest	6/8	
eol	6/15, 11/10（柏図書館）	
SciFinder	6/21（柏図書館）, 6/24, 10/25（理学部化学図書室）, 1/11（医学系研究科）	
D1-Law.com	6/27	
OECD iLibrary	7/21	
Business Source Complete	7/27	
NetLibrary	9/13	
国際連合　国連文書の基礎知識 / 国連と人権	11/2, 11/9	
MathSciNet	12/9（数理研図書室）, 12/15（数理研図書室）	
EndNote　入門編・上級編	3/13（同日2回開催）	
・秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会	8/5, 8/9, 8/26	
・出張・オーダーメイド講習会		p.364
オーダーメイド講習会 学際情報学府、総合文化研究科、教養学部、 文学部／人文社会系、医学系、理学部、 工学部／工学系、法学政治学研究科、 農学生命科学研究科、教育学部	4/14, 4/18, 4/21, 4/25, 4/27, 4/28, 5/2, 5/9, 5/24, 5/26, 5/30, 6/13, 6/22, 6/23, 6/29, 7/19, 7/27, 8/9, 10/6, 10/13, 10/26, 11/14, 11/16,11/17, 11/29, 12/12, 1/10, 1/30, 1/31	

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、理学部生物学図書室、工学・情報理工学図書館、医学図書館、駒場図書館、柏図書館、農学生命科学図書館、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、地震研究所図書室、医科学研究所図書室、附属病院看護部	4/6, 4/12, 4/13, 4/14, 4/15, 4/18, 4/19, 4/20, 4/22, 4/26, 5/6, 5/16, 5/17, 5/18, 5/19, 5/20, 5/23, 5/24, 5/27, 5/31, 6/13, 6/14, 6/16, 6/20, 6/28, 6/30, 8/2, 8/4, 10/6,10/11, 10/13, 10/14, 10/18, 10/19, 10/20, 10/21, 10/25, 10/26, 11/2, 11/4, 11/8, 11/11, 11/15, 11/24, 11/25, 12/15, 1/27, 2/9, 2/21, 2/29, 3/9	

4. ネットワーク部門によるもの

講習会・セミナー名	開 催 日	参照頁
・UTnet Meeting		p.381
第9回	10/31	

5. スーパーコンピューティング部門によるもの

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.412
第13回	5/19-20	
第14回	6/8-9	
第15回	6/30-7/1	
第16回	9/6-7	
第17回	11/8-9	
第18回	12/6-7	
第19回	12/21-22	
第20回	2/21-22	
第21回	3/21-22	
・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.421
第10回	10/13	
第11回	3/16	
・その他		
CCS HPCサマーセミナー2011 東京会場（遠隔）	7/6-7	p.419
平成23年度先端科学技術にふれる理科研修会	7/14	p.436
2011 RIKEN AICS HPC Summer School	8/1-5	p.417
CMSI若手交流会[第四回] 「高並列化計算のためのHPCアーキテクチャの基礎」	2/1	p.419

報道関係一覧

情報メディア教育研究部門

[報道 1] 週刊新潮 2011 年 6 月 2 日号: サイエンス宅配便.

[報道 2] フジテレビ 2011 年 6 月 14 日「たけしのコマ大数学科」.

[報道 3] クラウド Watch 2011 年 11 月 8 日: 純国産・オープンソースの仮想マシンモニター「BitVisor」最新版公開.

[報道 4] マイナビニュース:「自動化」がカギ! クラウド時代のクライアント管理術(3) 東京大学が Mac ＆Windows 混在 PC 1,321 台を Kaseya で管理, http://news.mynavi.jp/series/Kaseya/003/index.html, 2012.

[報道 5] 日経コンピュータ 2012 年 3 月 15 日号, ホットニュース:「NEC が東大の教育用システムを構築、受注額 7 億円超」のタイトルで ECCS2012 での新しい取り組みを紹介, pp.12, 2012.

[報道 6] PC Online, 東京大学情報基盤センター、学生・教職員用の新情報システムを披露: http://pc.nikkeibp.co.jp/article/news/20120323/1044562/, 2012.

[報道 7] ITmedia エンタープライズ, 1321 台の iMac をブートキャンプ、東大が構築した新「教育用計算機システム」: http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/1203/23/news073.html, 2012.

[報道 8] マイナビニュース, 東大情報基盤センターが教育用計算機システム刷新、NEC/EMC 製品を採用: http://news.mynavi.jp/news/2012/03/26/005/, 2012.

[報道 9] ZDNet Japan, 東京大学情報基盤センター、教育用システム稼働--iMac1300 台導入: http://japan.zdnet.com/os/case-study/35015464/, 2012.

[報道 10] RBB TODAY, 東京大学情報基盤センター、教育用計算機システムを刷新・・・・・NEC と EMC がシステム構築: http://www.rbbtoday.com/article/2012/03/23/87580.html, 2012.

[報道 11] 日刊工業新聞ニュース, NEC、東大のシステムを構築－2拠点でデータ複製: http://www.asahi.com/digital/nikkanko/NKK201203260018.html, 2012.

学術情報研究部門

[報道 1] 国立国会図書館: CiNii 登録論文から自分好みの論文を表示できる「俺 CiNii」, カレントアウェアネス -R, 2011 年 11 月. http://current.ndl.go.jp/node/19501.

スーパーコンピューティング部門

[報道 1] 日経産業新聞 2011 年 11 月 15 日 スパコン「京」商用機納入富士通、東大に 50 億円で.

[報道 2] 産経新聞 2011 年 11 月 15 日 「京」世界連覇 スパコン大国復権に弾み 富士通、東大から普及機受注.

[報道 3] 日本経済新聞 2011 年 11 月 15 日 商用初号機を東大に納入へ 富士通、50億円で受注.

[報道 4] 日刊工業新聞 2011 年 11 月 15 日 東大からスパコン受注 富士通「京」との互換性生かす.

[報道 5] ITmedia ニュース 2011 年 11 月 15 日 富士通の新スパコン、東大情報基盤センターから受注.

[報道 6] msn 産経ニュース 2011 年 11 月 15 日 富士通が東大スパコン受注「京」の普及機で初の受注.

[報道 7] asahi.com 2011 年 11 月 15 日 富士通、東大からスパコン受注.

[報道 8] Yahoo!JAPAN ニュース 2011 年 11 月 16 日 富士通、商用スパコン「PRIMEHPC FX10」を東京大学情報基盤センターへ.

[報道 9] MENAFN News 2011 年 11 月 16 日 Fujitsu Receives News Supercomputer System Order from University of Tokyo.

[報道 10] Forbes 2011 年 11 月 16 日 Fujitsu Sells Petaflops Supercomputer to University of Tokyo.

[報道 11] 日刊工業新聞 2011 年 11 月 28 日 日立製作所、東大に納入したスパコンが本格稼働.

[報道 12] 日経産業新聞 2011 年 11 月 29 日 日立製作所、東大で能力 6 倍スパコン稼働.

[報道 13] ITmedia 2011 年 11 月 25 日 東大情報基盤センター、日立製スパコンの本格稼働をスタート.

[報道 14] RBBToday 2011 年 11 月 25 日 東京大学情報基盤センター、「大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム」を本格稼働.

東京大学情報基盤センター年報

2011 年度（第 13 号）

編　集

東京大学情報基盤センター年報編集委員会

編集委員長　　小川 剛史

編集委員　　品川 高廣、杉本 雅則、大島 聡史、伊藤 祥司、早野 裕士、
西澤 明生、平野 光敏、植木 祐輔、本多　玄、有賀　浩、
柳川 圭介、中田 幸夫、永岡 陽香

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

2012 年 7 月発行

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO