## 年報 第 16 号

2014年度

Annual Report No.16 2014



東京大学情報基盤センター

Information Technology Center
The University of Tokyo

### 目 次

巻	頭言	<b>\$</b>	1
PAF	RT1	Ⅰ 概 況	3
組	織	数····································	5
	組織	<b>数図 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·</b>	5
	職員	····· ]数·······	5
	教職	皱員 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	6
	平成	┆ 26 年度中の人事異動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
	東京	京大学情報基盤センター運営委員会委員名簿・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	14
予	算	· •	15
	口 入	<b>、・</b> 支出・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15
		、	
1-1			
補		÷ 等······	
		戈 26 年度科学研究費助成事業採択状況 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
		戈 26 年度受託研究費受入状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
		戈 26 年度共同研究費受入状況 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
		戈 26 年度政府系委託費受入状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	平成	戈 26 年度奨学寄附金受入状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	23
PAF	RT2	2 センター活動報告	25
学	際情	- 青報科学研究体 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	27
	学際	· 禁情報科学研究体概要····································	29
		際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点······	
		CI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ) ‥‥‥‥	
	PKI ·	[	41
そ	の他	<u>Б</u>	43
	臺大	大數學科學中心 科學計算冬季學校(Short Course for Scientific Computing(SC4SC	7
		5)) · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
PAH	₹13	3 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
		Bメディア教育研究部門概要······	
	柴山	□ 悦哉 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	58
		情報システムの信頼性と安全性に関する研究	

	田中	哲朗64
		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 · · · · · · · · · · · · · · · · 74
		計算機科学関連カリキュラムの分析及び
		初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答の分析
ᄣ	<b>分</b> 工 小主 3	ध्या र्फ भ्रा १९
子		級研究部門············ 81
		青報研究部門概要
	中川	裕志 · · · · · · · · · 87
		統計的機械学習とプライバシー保護技術
	佐藤	一誠 · · · · · · · 93
		入力のサイズに依存しない大規模ベイズ学習に関する研究
	荒井	ひろみ・・・・・・99
		プライバシを保護したデータ収集及び利用
ネ	ットロ	フーク研究部門······ 105
		トワーク研究部門概要・・・・・・・・・・・・・・・・107
	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 · · · · · · · · 128
		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 · · · · · · · 138
		新たなネットワークサービスアーキテクチャの実現に向けた研究
	中村	文隆······148
		組込みコンピュータを活用した情報教育
	妙中	雄三 · · · · · · · · 150
		大容量モバイル通信環境実現にむけた基盤技術の研究
	宮本	大輔 · · · · · · · 156
		サイバーセキュリティに関する研究
	田崎	創 · · · · · · · · · · · · · · · · 163
		マルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発
ス	<b>−</b> /パ-	ーコンピューティング研究部門
		パーコンピューティング研究部門概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
		研吾・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	十局	
	田油	大規模並列シミュレーション手法に関する研究、教育 健次朗・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・201
	田佣	海生産・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
	从故	周午 ・ 尚性能业列フログフミング 言語・アーダ処理フレームリーグの研究 周行・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・209
	江膝	
		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	<sup>-</sup> 桐 孝洋····································	16
	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	
近	f藤 正章·······2	24
	高性能・省電力計算システムに関する研究開発	
<del>,</del>	て島 聡史・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	30
ri.	様々な並列計算ハードウェアを用いた高性能計算に関する研究	0.0
其	[本 英之····································	38
الملا	エクストリームスケール高性能計算を対象とした耐故障機能及び支援システム	4.0
培	新 戦 時・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	40
*/	演算加速機構と地間機構との拠点環境に関する明光   本 正晴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	۲3
′I <del>.</del> /	大規模マルチスケールシミュレーション手法に関する研究	00
	<b>情報科学研究体</b> ····································	
伊	ヲ藤 祥司・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	65
	線形方程式求解のための双ランチョス系解法の前処理付きアルゴリズムに対する	
	改善とその解析	
섬	E藤 芳樹······2	73
	HPC のためのソフトウェアモジュール化技術、及び、センター業務への取り組み	
PAR	<b>「4 教育・サービス活動報告</b> ····································	83
1 4-		
	∖メディア教育 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
	f報メディア教育支援サービス概要······2	
	女育用計算機システム運用報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	た内組織向けメールサーバ(MAILHOSTING)運用報告 ······2	
	/EB PARK サービス運用報告 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
	性内組織向け DNS ホスティング運用報告 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
	極隔講義支援サービス運用報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3	
	MS 運用報告 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
4	この他のサービス運用報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	07
学術	· <b>情報······</b> 3	09
当	<sup>生</sup> 術情報概要······3	11
ラ	· ジタルコンテンツサービス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3	12
学	全術情報リテラシー支援・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	14
2	書館関係システム運用・管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3	27
ネッ	トワーク	29
オ	<ul><li>ベットワーク概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3</li></ul>	31
	夏京大学情報ネットワークシステム(UTnet3)の運用管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	?キュリティ対応・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
東	夏京大学情報システム緊急対応チーム (UT-CERT) との連携3	50
	些内ソフトウェアライセンス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
)	、 ウジングサービス・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	55

スーパーコンピューティング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・357
スーパーコンピューティング概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・359
スーパーコンピューティング業務・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・362
講習会 · · · · · · · · · · · · · · · · · 373
シンポジウム・研究会・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・380
公募型研究プロジェクト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・384
スーパーコンピュータの企業利用支援・・・・・・・・・・・・・・・・・・・389
スーパーコンピュータ利用による研究成果報告(2014年) ・・・・・・・・・・392
その他イベント・・・・・・・395
PART5 その他······397
委員会委員等······399
講習会・セミナー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・403
報道関係一覧・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・406

### 巻 頭 言

### 東京大学情報基盤センター長 中村 宏

2014年度の東京大学情報基盤センター年報をお届けいたします。

当センターは、情報メディア教育研究部門、学術情報研究部門、ネットワーク研究部門、スーパーコンピューティング研究部門の 4 研究部門と、それらを横断し機能する学際情報科学研究体から構成される組織であり、研究・教育ならびにサービスの提供をミッションとしております。2014 年度も教職員が一丸となってセンターのアクティビティの活性化が図られました。各部門の活動報告はそれぞれの報告に譲るとして、センター全体の大きな事柄について簡単に紹介させていただきます。

当センターは、全国 8 大学の情報基盤系共同利用センターから構成される学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (略称: JHPCN) において中核拠点の役割を担っております。JHPCN では公募型の学際共同研究活動を推進・支援しておりますが、2014年度は、ネットワーク型という我々の拠点の特長を活かすべく、複数の構成拠点の協働による共同研究という新しい試みを開始いたしました。この JHPCN は、文部科学省が推進し当センターも計算資源を提供する HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)との連携を行っており、全国の研究者にさらに充実した計算資源と共同研究の機会を提供しております。

海外との連携も進めております。当センターは國立臺灣大學理論科學研究中心(Center for Advanced Study in Theoretical Sciences, National Taiwan University)の間で研究交流協定覚書 (Memorandum of Understanding) を取り交わしております。この協定に基づき、2014 年度は國立臺灣大學において当センターの Oakleaf-FX を用いる講習会を開催いたしました。このような講習会を海外で実施するのは当センターとしては初の試みであります。海外での実施には入念な確認と準備を必要としましたが、国際的な共同研究への礎を築くことができました。

本年報が、我々のアクティビティの紹介を通し、新たな共同利用・共同研究につながることを期待しております。皆様からのご意見やご提案をお待ちしております。 最後に、本年報をまとめるにあたり、年報編集委員長の小川剛史先生をはじめとする年報編集委員の皆様に感謝申し上げます。

2015年5月吉日

## PART 1

# 概 況

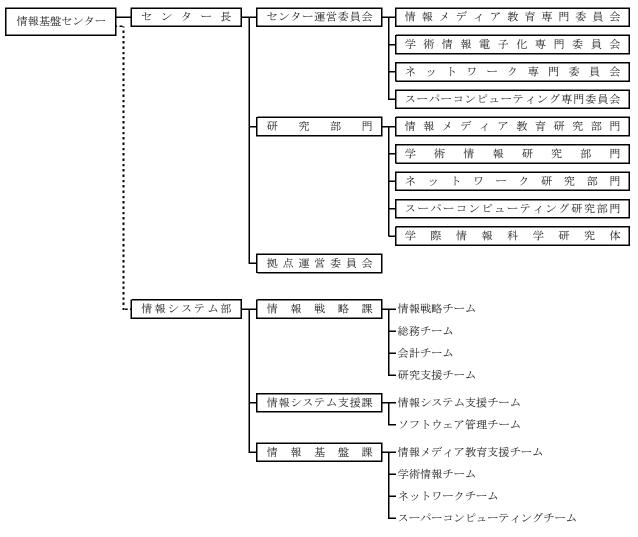
組織

予 算

補助金等

### 組織

### 組織図



備考:情報基盤センターに事務部門はなく、情報システム部が行っている。

### 職員数

情報基盤	センク	マー
------	-----	----

H27.3.31

112 IV 22 77 7				112
	専 任	兼務	特 任	合 計
センター長		1		1
教 授	5			5
准 教 授	7	2	2	11
講師			3	3
助教	7			7
研 究 員	1	2		3
事務補佐員	5		1	6
技術補佐員	2			2
合 計	27	5	6	38

情報システム部

H27 3 31

				1121.0.01
	専 任	兼務	特 任	合 計
事務職員	28	1		29
技 術 職 員	25		1	26
事務補佐員	8			8
技術補佐員	7			7
派遣職員	7			7
合 計	75		1	77

### 教職員

平成 27 年 3 月 31 日現在

情報基盤センター長 中村 宏

(情報理工学系研究科教授)

秘書(特任専門職員)渡 邉 かがり

#### 研究部門

情報メディア教育研究部門

教 授柴 山 悦 哉准教授田 中 哲 朗准教授品 川 高 廣助 教関 谷 貴 之

#### 学術情報研究部門

教授中川裕志助教佐藤一誠助教荒井ひろみ事務補佐員吉冨美樹技術補佐員佐野敦子

### ネットワーク研究部門

教 授 恭 若 原 中山雅哉 准教授 准教授 小川剛史 准教授 関 谷 勇 司 中村 助教 文 隆 妙 中 雄 三 助教 助教 宮 本 大 輔 特任講師 田崎 創 飯村卓司 学術支援専門職員 事務補佐員 川崎 しのぶ 技術補佐員 中村 潦

### 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) 近藤 正章 助教 大 島 聡 史 特任准教授 塙 博 敏 特任講師 松 本 正晴 客員研究員 Ш 裕 石 英 之 客員研究員 實 本 事務補佐員 亀 田 文美代 事務補佐員 伊 東 雅美

### 学際情報科学研究体

教 授 (兼務) 柴 山 悦 哉 教 授 (兼務) 中 島 研 吾 准教授 (兼務) 品 Ш 高 廣 准教授 (兼務) 関 谷 勇 司 准教授 (兼務) 佐 藤 周 行 准教授 (兼務) 桐 洋 片 孝 助 教(兼務) 佐 藤 \_ 誠 助 教 (兼務) 三 妙 中 雄 特任准教授 伊 祥 藤 司 特任准教授 (兼務) 塙 敏 博 特任講師 佐 芳 樹 藤 事務補佐員 福 島 たかね 情報システム部

部 長 児 島 昌 樹

情報戦略課

課 長 水 上 順 一

情報戦略チーム

 係 長
 阿 部 仁 志

 係 長
 長谷川
 聖

 事務補佐員
 宮 村 美貴子

総務チーム

主 査 藤田英子 係 長 岩 崎 直樹 係 長 丸 山 忍 係 長 清 水 隆 志 主 任 齊 藤 暁 子 事務補佐員 中田 幸夫 事務補佐員 麦 谷 真 弓

会計チーム

 係長
 海津
 聡

 係長
 山村仁子

 係長
 平原康道

 主任
 木崎信一

研究支援チーム

 副課長
 新 井
 忠

 係 長
 金 子 伸 一

 係 長
 大 橋 正 浩

 一般職員
 猿 田 明 奈

 事務補佐員
 西 川 恵 美

### 情報システム支援課

課 長 香 田 健 二

情報システム支援チーム

専門職員 清 野 一 男 係 長 佐 野 徹 係 長 垂 水 美奈子 係 長 今 田 哲 也 一般職員 廣 本 和 哉 事務補佐員 滝 沢 未 来

ソフトウェア管理チーム

 係長
 丹下藤夫

 係長
 中山仁史

### 情報基盤課

課 長 早 野 裕 士

### 情報メディア教育支援チーム

副課長 増 田 均 専門職員 中 村 昇 平 係 長 光 教 前 田 係 長 伊 藤 真 之 係 長 石 崎 勉 係 長 馨 佐々木 主 任 達巳 安 部 主 任 松 本 浩 技術職員 秋 田 英 範 加藤 技術補佐員 康 技術補佐員 宮 北 美保 技術補佐員 柏 芳 美 技術補佐員 竹 尾 朋 子 後閑 派遣職員 直子 派遣職員 五 味 由美子 派遣職員 高 谷 智 子 派遣職員 白 金 篤 派遣職員 池谷佳恵

### 学術情報チーム

専門員 本 多 玄 係 長 佐 藤 英 之 係 長 小 松 陽一 係 長 須賀井 理 香 濱 主 任 智恵子 田 一般職員 恵 松 原 一般職員 楳 原 衣 恵 笹 原 可 恵 事務補佐員

### ネットワークチーム

専門職員 井 爪 健 雄 専門職員 惣一郎 椿 山 係 長 下 哲 郎 田 係 長 佐 山 純 \_ 技術職員 駒 井 優 哉 井 上 滋 技術補佐員 技術補佐員 山崎 友 理

### スーパーコンピューティングチーム

平 副課長 野 光 敏 係 長 宮 嵜 洋 係 長 田 Ш 善 教 係 長 小 川 大 典 係 長 佐 島 之 浩 係 長 男 Щ 本 和 佐 主 任 藤 孝 明 中 特任専門職員 誠一郎 事務補佐員 高 橋 陽 子 事務補佐員 佐々木 友 博 技術補佐員 長谷川 康 弘 派遣職員 蛯 原 純 派遣職員 藤本 大 輔

### 平成26年度中の人事異動

### 情報基盤センター

(転入・昇任・配置換等)

26. 4. 1 中村 宏	センター長/新規
26. 4. 1 伊藤祥司	学際情報科学研究体特任准教授/新規採用
	(任期 26.4.1~27.3.31)
26. 4. 1 石 川 裕	スーパーコンピューティング研究部門教授/兼務
26. 4. 1 田 浦 健次朗	スーパーコンピューティング研究部門准教授/兼務
26. 4. 1 近藤正章	スーパーコンピューティング研究部門准教授/兼務
26. 4. 1 Gerofi Balazs	スーパーコンピューティング研究部門助教/兼務
26. 9. 1 中 誠一郎	スーパーコンピューティング研究部門特任専門職員
	/新規採用
26.10.1 大島聡史	スーパーコンピューティング研究部門助教/任期更新
26.10.1 荒井 ひろみ	学術情報研究部門助教/新規採用
(転出・退職等)	
26. 5.31 牛丸太希	学術情報研究部門技術補佐員/辞職
26. 9.30 石川 裕	スーパーコンピューティング研究部門教授(兼務)/辞職
	(兼務解除)
26. 9.30 Gerofi Balazs	スーパーコンピューティング研究部門助教(兼務)/辞職
	(兼務解除)
26.12.31 實本英之	スーパーコンピューティング研究部門助教/辞職(東京工業
	大学学術国際情報センター情報支援部門助教へ)
27. 3.31 若原 恭	ネットワーク研究部門教授/定年退職

### 情報システム部

27. 3.31

27. 3.31

(転入・昇任・配置換等)

27. 3.31 金田康正

伊藤祥司

福島たかね

( 1:	4) (	,	1 1 1 1 1	□ <u> </u> □ 15	V 11)		
26.	4.	1	児	島	昌	樹	情報システム部長/大学評価・学位授与機構評価事業部長
							から
26.	4.	1	中	村	昇	平	情報基盤課情報メディア教育支援チーム専門職員/情報戦略
							課研究支援チーム専門職員から
26.	4.	1	井	爪	健	雄	情報基盤課ネットワークチーム専門職員/情報基盤課ネット
							ワークチーム係長から

スーパーコンピューティング研究部門教授/定年退職

スーパーコンピューティング研究部門事務補佐員/退職

学際情報科学研究体特任准教授/任期満了

学際情報科学研究体事務補佐員/辞職

26. 4. 1	椿山	惣一郎	情報基盤課ネットワークチーム専門職員/放送大学教育研究
			支援部情報推進課情報基盤係長から
26. 4. 1	長谷川	聖	情報戦略課情報戦略チーム係長/情報システム支援課情報
			システム支援チーム係長から
26. 4. 1	山村	仁 子	情報戦略課会計チーム係長/産学連携部産学連携課企画チー
			ム係長から
26. 4. 1	今 田	哲 也	情報システム支援課情報システム支援チーム係長/情報戦略
			課情報戦略チーム主任から
26. 4. 1	須賀井	理 香	情報基盤課学術情報チーム係長/史料編纂所史料・図書サー
			ビスチーム係長から
26. 4. 1	佐 山	純一	情報基盤課ネットワークチーム係長/国立情報学研究所学術
			基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長から
26. 4. 1	中 田	幸夫	情報戦略課総務チーム事務補佐員/情報戦略課総務チーム
			一般職員から
26. 4. 1	滝 沢	未 来	情報システム支援課情報システム支援チーム事務補佐員
			/新規採用
26. 5. 1	岡本	麻 里	情報戦略課会計チーム事務補佐員/新規採用
26. 7. 1	増田	均	情報基盤課情報メディア教育支援チーム副課長/日本学術
			振興会総務企画部企画情報課課長代理から
26. 7. 1	大 橋	正浩	情報戦略課研究支援チーム係長/人間文化研究機構事務局
			総務課総務係長から
(転出・)	退職等)		
(転出・対 26. 4. 1	登職等) 井 戸	清隆	情報システム部長/文部科学省へ
		清 隆 武 一	情報システム部長/文部科学省へ 情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ
26. 4. 1	井戸貴志		
26. 4. 1 26. 4. 1	井 戸 貴 志	武一康	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井戸志渡邉	武一康	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井 戸 志 渡 邉 松	武一康	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井 戸 志 渡 邉 松	武 一康喜美代	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育 研究支援部情報推進課課長補佐へ
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井 戸 志 渡 邉 松	武 一 康 喜美代 光	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育 研究支援部情報推進課課長補佐へ 情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松	武 一 康 喜美代 光	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育 研究支援部情報推進課課長補佐へ 情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤 推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松 成	武 一 康 喜美代 光	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育 研究支援部情報推進課課長補佐へ 情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤 推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ 情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松 成	武一康喜美代光めぐみ	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育 研究支援部情報推進課課長補佐へ 情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤 推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ 情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課 (目録担当)専門職員へ
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松 成 岩	武一康喜美代光めぐみ	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ 情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育 研究支援部情報推進課課長補佐へ 情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤 推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ 情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課 (目録担当)専門職員へ 情報基盤課情報メディア教育支援チーム主任/放送大学教育
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松 成 岩	武一康代光めぐ弘	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育研究支援部情報推進課課長補佐へ情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課(目録担当)専門職員へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム主任/放送大学教育研究支援部情報推進課情報基盤係長へ情報基盤課ネットワークチーム主任/国立情報学研究所学術
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松 成 岩	武一康代光めぐ弘	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育研究支援部情報推進課課長補佐へ情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課(目録担当)専門職員へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム主任/放送大学教育研究支援部情報推進課情報基盤係長へ
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松 成 岩 小戸志邉岡 村 澤 藤 薗	武事が、対は、というでは、対し、対は、対し、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育研究支援部情報推進課課長補佐へ情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課(目録担当)専門職員へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム主任/放送大学教育研究支援部情報推進課情報基盤係長へ情報基盤課ネットワークチーム主任/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1	井貴渡松 松 成 岩 小 風戸志邉岡 村 澤 藤 薗 間	武事が、対は、というでは、対し、対は、対し、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、対は、	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育研究支援部情報推進課課長補佐へ情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課(目録担当)専門職員へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム主任/放送大学教育研究支援部情報推進課情報基盤係長へ情報基盤課ネットワークチーム主任/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ情報、略課会計チーム専門員/学務課教育事業支援チーム
26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 4. 1 26. 7. 1	井貴渡松 松 成 岩 小 風戸志邉岡 村 澤 藤 薗 間	武善善め健隆	情報要員養成担当課長/徳島大学情報管理活用監へ情報戦略課会計チーム主査/低温センター主査へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム係長/放送大学教育研究支援部情報推進課課長補佐へ情報戦略課情報戦略チーム係長/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ情報基盤課学術情報チーム係長/附属図書館情報管理課(目録担当)専門職員へ情報基盤課情報メディア教育支援チーム主任/放送大学教育研究支援部情報推進課情報基盤係長へ情報基盤課ネットワークチーム主任/国立情報学研究所学術基盤推進部学術基盤課 SINET チーム係長へ情報戦略課会計チーム専門員/学務課教育事業支援チーム専門員へ

26.	7. 31	岡	戸	彰	$\vec{\underline{}}$	情報戦略課会計チーム主任/辞職
26.	9.30	原	田		浩	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム特任専門職員
						/任期満了
27.	1.31	岡	本	麻	里	情報戦略課会計チーム事務補佐員/辞職
27.	3. 31	宮	村	美貞	貴子	情報戦略課情報戦略チーム事務補佐員/任期満了
27.	3. 31	中	田	幸	夫	情報戦略課総務チーム事務補佐員/任期満了
27.	3. 31	麦	谷	真	弓	情報戦略課総務チーム事務補佐員/辞職
27.	3. 31	高	橋	陽	子	情報基盤課スーパーコンピューティングチーム事務補佐員/
						任期満了

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

平成26年4月1日

					平成26年4月1日
氏	ì		名	所 属 ・ 職 名	適 用
中	村		宏	情報基盤センター長	規則第3条第1号
金	田	康	正	情報基盤センター・教授	規則第3条第2号
中	Ш	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	Щ	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	-	大学院工学系研究科·教授	規則第3条第3号
吉	村		忍	大学院工学系研究科·教授	規則第3条第3号
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
矢	島	美	寬	大学院経済学研究科·教授	規則第3条第3号
Щ	П	和	紀	大学院総合文化研究科·教授	規則第3条第3号
Щ	П		泰	大学院総合文化研究科·教授	規則第3条第3号
森	下	真		大学院新領域創成科学研究科·教授	規則第3条第3号
須	田	礼	仁	大学院情報理工学系研究科·教授	規則第3条第3号
松	尾	宇	泰	大学院情報理工学系研究科・教授	規則第3条第3号
抽出	連丿		優	生産技術研究所·教授	規則第3条第3号
Щ	П	英	男	史料編纂所·教授	規則第3条第3号
古	田	元	夫	附属図書館長	規則第3条第4号

### 予 算

### 収入・支出

### 平成26年度決算額

収入

区分	決算額 (千円)
奨学寄附金収入	8, 189
受託研究費等収入	460,829
自 己 収 入	454,601
計	923,619

### 支出

	区	分	決算額(千円)			
人	件	費	682,070			
物	件	費	2, 550, 375			
	計		3, 232, 445			

### 外部資金

### 1)科学研究費補助金(平成26年度)

内 訳	受入件数	受入額 (千円)
情報メディア教育研究部門	2	3, 770
学術情報研究部門	2	2, 820
ネットワーク研究部門	4	5, 100
スーパーコンピューティング研究部門	5	10,081
学際情報科学研究体	2	2, 730
計	1 5	24, 501

### 2)受託研究(平成26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	3, 120
学術情報研究部門	1	18,980
ネットワーク研究部門		
スーパーコンピューティング研究部門	1	38, 158
計	3	60, 258

### 3)共同研究(平成26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	2	0
ネットワーク研究部門	5	0
スーパーコンピューティング研究部門	8	6, 410
計	1 5	6, 410

### 4)政府系委託費(平成26年度)

内訳	受入件数	受入額 (千円)
情報メディア教育研究部門		
学術情報研究部門		
ネットワーク研究部門	1	28, 140
スーパーコンピューティング研究部門	1	3 4 1, 5 2 0
<b>≅</b> +	2	369, 660

### 5) 奨学寄附金(平成26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	8, 189
計	1	8, 189

### 補助金等

平成26年度 科学研究費助成事業採択状況

研究代表者 准教授 片桐 孝洋

研究種目 基盤研究(B)【一部基金】

研究期間 平成 24~26 年度

研究課題 実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケ

ール化

研究費 6,370,000 円 (平成26年度)

研究代表者准教授品川高廣研究種目基盤研究(C)【基金】研究期間平成 24~26 年度

研究課題 準パススルー型仮想マシンモニタの研究

研究費 1,690,000 円 (平成26年度)

研究代表者准教授小川剛史研究種目基盤研究(C)【基金】研究期間平成 25~27 年度

研究課題 拡張現実感における視覚・触覚・聴覚のクロスモダリティを用いた感覚提示

方式

研究費 1,950,000 円 (平成 26 年度)

研究代表者准教授関谷勇司研究種目基盤研究(C)【基金】研究期間平成 26~28 年度

研究課題 DNSオープンリゾルバを悪用した増幅攻撃に対する検知手法と動的防御

システムの確立

研究費 2,080,000 円 (平成26 年度)

研究代表者助教 妙中 雄三研究種目基盤研究 (C) 【基金】研究期間平成 24~26 年度

研究課題端末密集による無線LAN品質低下の改善に関する研究

研究費 1,040,000 円 (平成26年度)

#### 補助金等

研究代表者 教授 金田 康正

研究種目 基盤研究(C)【基金】

研究期間 平成 24~26 年度

研究課題 科学技術計算に有用な超高速4倍長演算に関する研究

研究費 1,560,000円(平成26年度)

研究代表者 特任准教授 伊藤 祥司 研究種目 基盤研究 (C) 【基金】

研究期間 平成 25~27 年度

研究課題 大規模線形方程式の数値解析のための合理的な前処理技法の研究

研究費 1,690,000 円 (平成26 年度)

研究代表者 教授 中川 裕志

研究種目挑戦的萌芽研究【基金】

研究期間 平成 26~27 年度

研究課題 匿名化が誘発する濡れ衣現象のモデル化と最適化による解消法

研究費 1,820,000 円 (平成 26 年度)

研究代表者 助教 関谷 貴之

研究種目挑戦的萌芽研究【基金】

研究期間 平成 25~26 年度

研究課題 初学者のプログラミング教育におけるプログラミング能力の把握とその

改善

研究費 2,080,000 円 (平成26年度)

研究代表者特任講師 松本 正晴研究種目若手研究(B)【基金】研究期間平成 25~26 年度

研究課題 磁気プラズマセイル評価に向けたマルチスケール対応プラズマシミュレー

ション

研究費 520,000 円 (平成 26 年度)

研究代表者特任講師 佐藤 芳樹研究種目若手研究 (B) 【基金】研究期間平成 26~28 年度

研究課題 並列コレクション向けモジュール化技術の研究開発

研究費 1,040,000 円 (平成26 年度)

研究代表者 日本学術振興会特別研究員 大岩 秀和

研究種目 特別研究員奨励費 研究期間 平成 24~26 年度

研究課題 ノイズを含むストリームデータ環境における省メモリかつ高速なオンライ

ン学習(受入研究者:中川 裕志)

研究費 1,000,000 円 (平成 26 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 26 年度

研究課題 10億並列・エクサスケールスーパーコンピュータの耐故障性基盤

(分担事項等:エクサスケールシステム障害復旧機構)

研究費 500,000 円 (平成 26 年度)

研究分担者 准教授 中山 雅哉

(研究代表者:東京大学・農学生命科学研究科・齋藤 馨教授)

 研究種目
 基盤研究 (B)

 研究期間
 平成 26~28 年度

研究課題 インターネット森林観察サイトの拡充による自然学習授業案の開発

(分担事項等:ライブモニタリングシステムのネットワーク運用の検討)

研究費 30,000 円 (平成 26 年度)

研究分担者 准教授 佐藤 周行

(研究代表者:法政大学・金井 敦教授)

 研究種目
 基盤研究(B)

 研究期間
 平成 26 年度

研究課題 ハイブリッドクラウドにおける動的セキュリティ検知・調停制御技術の研究

開発及び構築(分担事項等:セキュリティ検知・可視化・ポリシ調停)

研究費 1,131,000 円 (平成26 年度)

### 平成26年度 受託研究費受入状況

研究代表者 准教授 品川 高廣

相手機関名 (独)科学技術振興機構

研究期間 平成 26 年度

研究課題 高セキュリティ・高信頼のクラウドコンピューティング環境実現に向けた

基盤システムソフトウェア「BitVisor」の研究開発

研究費 3,120,000 円 (平成 26 年度)

#### 補助金等

研究代表者 助教 佐藤 一誠

相手機関名 (独)科学技術振興機構

研究期間 平成 26 年度

研究課題 統計的潜在意味解析によるデータ駆動インテリジェンスの創発

研究費 18,980,000 円 (平成 26 年度)

研究代表者 教授 中島 研吾

相手機関名 (独)科学技術振興機構

研究期間 平成 24~26 年度

研究課題 自動チューニング機構を有するポストペタスケールアプリケーション

開発・実行環境のための基盤ソフトウェア

研究費 38,157,600 円 (平成26年度)

### 平成26年度 共同研究費受入状況

研究代表者 教授 中川 裕志

相手機関名 (株) リクルートキャリア

研究期間 平成 26 年度

研究課題 応募・採用活動における情報提供の最適化

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者 助授 佐藤 一誠

相手機関名 日本電信電話(株)コミュニケーション科学基礎研究所

研究期間 平成 26 年度

研究課題複雑な関係データ解析のための高精度な機械学習技術の研究

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者 准教授 中山 雅哉

相手機関名 (独)情報通信研究機構

研究期間 平成 23~27 年度

研究課題 センサーネットワークに関する研究開発

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者 准教授 関谷 勇司

相手機関名 フランス国立情報学自動制御研究所・(独)情報通信研究機構

研究期間 平成 26~28 年度

研究課題 軽量仮想化環境である DCE を基盤とした新世代ネットワーク技術の研究開発

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者 准教授 関谷 勇司

相手機関名 (独)情報通信研究機構

研究期間 平成 26~27 年度

研究課題 広域分散インターネットエクスチェンジにおけるネットワークトラフィッ

クの高度管理技術の研究開発

研究費 0円(平成26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 26~27 年度

研究課題 先進的セキュリティ技術の運用を目指す研究

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者 助教 宮本 大輔

相手機関名 (株)インク

研究期間 平成 26~27 年度

研究課題 初等・中等教育課程における効果的なサイバーセキュリティ教育手法の確立

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者 教授 中島 研吾 相手機関名 大成建設(株)

研究期間 平成 26 年度

研究課題 ポストペタスケールシステムを目指した二酸化炭素地中貯留シミュレー

ション技術の研究開発

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者教授中島研吾相手機関名(独)理化学研究所研究期間平成 24~27 年度

研究課題 ポストペタスケールを目指したシステムソフトウェアに関する共同研究

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者教授中島研吾相手機関名(独) 理化学研究所研究期間平成 26~31 年度

研究課題 ポスト京のプロセッサアーキテクチャ、電力制御技術、システムソフトウェ

アおよび数値計算ライブラリに関する研究

研究費 1,320,000 円 (平成26年度)

### 補助金等

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 26 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 420,000 円 (平成 26 年度)

研究代表者 准教授 片桐 孝洋

研究課題 OpenFOAM の行列解法の高速化および数値計算に関する研究

研究費 700,000 円 (平成 26 年度)

研究代表者 准教授 片桐 孝洋

相手機関名 国立大学法人愛媛大学・(株) 日立製作所

研究期間 平成 24~26 年度

研究課題 実行時自動チューニングの研究

研究費 0円(平成26年度)

研究代表者准教授片桐孝洋相手機関名新日鐵住金(株)研究期間平成 26~27 年度

研究課題 非構造格子流体解析コードの大規模・高速化対応

研究費 1,000,000 円 (平成 26 年度)

研究代表者 特任准教授 塙 敏博

相手機関名 日本電信電話(株)アクセスサービスシステム研究所

研究期間 平成 26 年度

研究課題 СРUとGPGPUを用いた光通信処理技術に関する研究

研究費 2,970,000 円 (平成 26 年度)

### 平成26年度 政府系委託費受入状況

研究代表者 准教授 関谷 勇司

相手機関名 総務省

研究期間 平成 25~27 年度

研究課題 日欧協調によるマルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発

研究費 28,139,800 円 (平成26年度)

研究代表者 教授 中村 宏

相手機関名 文部科学省

研究期間 平成 24~28 年度

研究課題 HPCIの運営(HPCI共用ストレージ等の運用・保守)

研究費 341,520,000 円 (平成26年度)

### 平成26年度 奨学寄附金受入状況

研究代表者 教授 中島 研吾

相手機関名米国インテル研究期間平成 26 年度

研究課題 非構造格子向け前処理付き並列反復法ソルバーの最適化

研究費 8,189,300 円 (平成26年度)

### PART 2

# センター活動報告

学際情報科学研究体

その他

## 学際情報科学研究体

学際情報科学研究体概要

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点

HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)

PKI

### 学際情報科学研究体 概要

### 研究体長 柴山悦哉

学際情報科学研究体は、情報基盤センターの研究部門を横断する形で活動する組織であり、以下のようなミッションを持つ。

- 学際情報科学およびそれを支える情報基盤に関する研究
- 学際大規模情報処理に関わる人材育成のための関係教育部局と連携した教育活動
- 学際大規模情報処理に関わる学内教育・研究基盤構築
- 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点活動の推進
- HPCI コンソーシアムに関わる活動の推進
- PKI の運用・普及

今年度、学際情報科学研究体に所属したのは、次に掲げる専任の特任准教授および特任講師各1名と 各研究部門を本務とする教員 10 名であった。

柴山悦哉 (研究体長) 教授 (兼務; 情報メディア教育研究部門)

中島研吾 (副研究体長) 教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門) 片桐孝洋 准教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門) 佐藤周行 准教授 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)

品川高廣 准教授 (兼務; 情報メディア教育研究部門) 関谷勇司 准教授 (兼務; ネットワーク研究部門)

伊藤祥司 特任准教授

塙敏博 特任准教授(兼務; スーパーコンピューティング研究部門)

佐藤芳樹 特任講師

佐藤一誠 助教(兼務; 学術情報研究部門)

實本英之 助教 (兼務; スーパーコンピューティング研究部門)

妙中雄三 助教(兼務;ネットワーク研究部門)

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

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点:情報基盤センターは、8 大学(東京大学の他に、北海道大学、東北大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学)のスーパーコンピュータセンターから構成されるネットワーク型の共同利用・共同研究拠点の中核機関として活動している。今年度は、8 大学全体で 34 件の公募型共同研究課題を採択し、共同研究を実施した。なお、34 件のうち 22 件は、革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI)と連携して採択された課題である。

- 革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI): 「京」コンピュータを中心に大学のスーパーコンピュータや大容量共用ストレージなどを連携させた最先端科学研究のための基盤である HPCI に、情報基盤センターでは、スーパーコンピュータや共用ストレージなどの資源を提供している。また、HPCI の運営に必要となる利用者支援システムなどの整備にも協力している。
- **PKI:** CSI UPKI プロジェクトの「オープンドメイン証明書発行実験」に参加し、従来から行っていた サーバ証明書の発行を継続した。また、無線 LAN ローミングサービス eduroam のテスト運用も 行っており、今年度は登録の自動化も開始した。

# 学際大規模情報基盤共同利用,共同研究拠点

#### 佐藤 芳樹 研究支援チーム

# 1 共同利用·共同研究拠点"Joint Usage / Research Center"

本章では、まず、文部科学省が説明している「共同利用・共同研究拠点の概要」を引用し、拠点制度の実施背景について説明する。次いで、拠点制度の性質と形態について説明し、平成 20~22 年度における認定状況について説明する。

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

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

これまでに認定された拠点数は、単独型拠点 90、部分型拠点 2、ネットワーク型拠点 3(15 研究施設)である。

# 2 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(情報基盤拠点)について

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

#### 2.1 本拠点の目的

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

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

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

#### 2.2 拠点の全体計画の概要

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

#### 2.3 拠点の目指す役割

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

#### 2.4 拠点形成の必要性

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

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

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

日本計算工学会、日本応用数理学会、情報処理学会、電子情報通信学会、

人工知能学会、 言語処理学会、 分子科学会

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

統計関連学会連合、計算機学術利用北海道地区協議会、航空宇宙学会、

日本機械学会、 気象庁予報部数値予報課、

理化学研究所 情報基盤センター、 北陸先端大学 先端融合領域研究院、

産業技術総合研究所 計算科学部門、

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 学術基盤推進部、

情報・システム研究機構 国立情報学研究所 リサーチグリッド研究開発センター、

宇宙航空研究開発機構情報・計算工学センター、

名古屋大学情報連携基盤センター利用者懇談会、 Sakai Foundation (本部:米国)、

日本流体力学会、 財団法人 科学技術交流財団(愛知県)、 京都高度技術研究所、

愛媛大学総合情報メディアセンター、豊橋技術科学大学、

日本バーチャルリアリティー学会、大型計算機利用大阪地区(第6地区)協議会、

日本機械学会計算力学部門、西日本地区大学情報関連センター長会議、

財団法人九州先端科学技術研究所、 財団法人福岡県産業·科学技術振興財団

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

#### 2.5 全国的な学術研究の発展への寄与

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

## 3 平成 26 年度公募型共同研究の活動内容

平成 26 年度の公募型共同研究の活動内容は以下のとおりである。なお、平成 25 年度から拠点の計算機利用において HPCI と連携し、原則、共同研究課題実施グループに対する施設利用負担金は徴収しない(全課題で負担金免除となる)こととしている。

#### 3.1 主なスケジュール

平成 25 年 10 月 4 日 平成 26 年度拠点共同研究の日程を掲載 平成 25 年 11 月 7 日 平成 26 年度拠点共同研究の募集要項を公開

平成 25 年 12 月 10 日 課題応募受付開始 平成 26 年 1 月 8 日 課題応募受付締切

平成 26 年 3 月 14 日 探否通知

平成 26 年 4 月 1 日 共同研究開始 平成 26 年 7 月 10、11 日 第 6 回シンポジウム 平成 27 年 3 月 31 日 共同研究終了 平成 27 年 5 月 11 日 成果報告書提出

#### 3.2 課題応募数と採択課題

課題応募数は 53 件であった。課題審査委員による審査を経て、下表の 34 課題(56 共同研究拠点)が採択された。

研究課題名の冒頭に\*が付いた課題は HPCI-JHPCN システム利用課題を表す。研究分野の略称は以下のとおり。

数:超大規模数値計算系応用分野、デ:超大規模データ処理系応用分野、 ネ:超大容量ネットワーク技術分野、情:超大規模情報システム関連研究分野

研究課題名	研究課題代表者 (所属)	研究 分野	共同研究拠点
*超並列宇宙プラズマ粒子シミュレーションの研究	臼井英之 (神戸大学)	数	京大、九大
*大規模データ系の VR 可視化解析を効率化する多階層精度圧縮数値記録(JHPCN-DF)の実用化研究	萩田克美 (防衛大学校)	数	北大、東北大、 名大、阪大
*社会インフラの破壊・非破壊シミュレーションの高度化に資する大規模数値解析	中畑和之 (愛媛大学)	数	京大
*高精度凝固組織予測のための大規模フェーズフィールドシミュレーションとその高速化	高木知弘 (京都工芸繊維大学)	数	東工大
*高 Re 数壁乱流における大規模組織構造の動力学と物質輸送に果たす役割の解明	辻義之 (名古屋大学)	数デ	名大
*マルチ GPU コンピューティング・フレームワークを用いた高精度気象計算コードの開発	下川辺隆史 (東京工業大学)	数	東工大
*首都圏における大気乱流の超高解像度・広域数値計算	神田学 (東京工業大学)	数	東工大
*GPGPU による地震ハザード評価	青井真 (防災科学技術研究所)	数	東工大
*次世代ペタスケール CFD のアルゴリズム研究	佐々木大輔 (金沢工業大学)	数情	東北大、 名大、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
*次世代パワーデバイス実現に向けた大規模・大領域半導体デバイスシミュレーションの研究	石川清志 (半導体理工学研究センター)	数	阪大
	後藤俊幸 (名古屋工業大学)	数	名大
*フィラー充填系高分子材料の粗視化分子動力学解析の連携型 HPC 活用研究	森田裕史 (産業技術総合研究所)	数	北大、東大、 東工大、名大、阪大
*並列フラグメント分子軌道計算プログラム OpenFMO のマルチプラットフォーム化	渡邊寿雄 (東京工業大学)	数	東工大、 京大、九大
*マルチフェーズフィールド法の大規模 GPU 計算による金属 多結晶組織制御法の探索	山中晃徳 (東京農工大学)	数	東工大
*同化型亜硝酸還元酵素の高次機能の理論的解明	庄司光男 (筑波大学)	数	東大
*動的負荷分散による GPU スパコンを用いた粒子法の大規模シミュレーション手法の開発	青木尊之 (東京工業大学)	数	東工大
*機械工学分野におけるシミュレーション科学の新展開	滝沢寛之 (東北大学)	数	東北大
*次世代降着円盤シミュレータの開発	松元亮治 (千葉大学)	数	東大

*相対論的流体コードの開発と超高エネルギーガンマ線連 星系への応用	岡崎敦男 (北海学園大学)	数	北大
*環オホーツク圏の海洋・大気シミュレーション	中村知裕 (北海道大学)	数	北大
*直接数値シミュレーションの早期実用化を目指した整数型格子ボルツマン法による非熱流体過渡変化解析	渡辺正 (福井大学)	数	東北大
超大規模超並列電子状態計算を中核とした物理・数理・ HPC の融合研究	星健夫 (鳥取大学)	数	東大
太陽磁気活動の大規模シミュレーション	横山央明 (東京大学)	数	東大
階層分割型数値計算フレームワークを用いた波源から地上 構造物までの実地形津波解析	室谷浩平 (東京大学)	数	名大
シミュレーションによる大規模並列プログラムへのパケットペーシングの適用と有効性の検証	柴村英智 (九州先端科学技術研究所)	情	九大
防災・環境のための大規模流体シミュレーションとその可視 化	樫山和男 (中央大学)	数	京大
曲管を有する管楽器を対象とした大規模並列流体音シミュ レーション	小林泰三 (九州大学)	数	北大、九大
スパコンとインタークラウドの連携による大規模分散設計探査フレームワークの構築	棟朝雅晴 (北海道大学)	情	北大、東北大、 阪大、九大
科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを 実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と 検証	實本英之 (東京大学)	数情	北大、東大、東工大、九大
高分子流体計算の並列効率向上と3D 可視化	村島隆浩 (東北大学)	数	東北大
沈み込み帯の巨大地震を対象とした大規模並列地震波・津 波伝播シミュレーション	竹中博士 (岡山大学)	数	東大、東北大
High-end VR のシステム・コモディティ化の実証検証	萩田克美 (防衛大学校)	数	東北大、 名大、阪大
多重仮想化を用いた大容量サービス環境の遠隔地への高 速転送に関する研究	関谷勇司 (東京大学)	ネ	東大

#### 3.3 拠点シンポジウム

平成 26 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6回シンポジウム

開催日時: 平成 26 年 7 月 10 日(木)、11 日(金)

開催場所: THE GRAND HALL(品川)

主な内容: 平成 25 年度採択課題の最終審査(口頭発表 44 件)

平成 26 年度採択課題の研究紹介(ポスター発表 34 件)

参加者数: 186 名(大学 117 名、独法等研究機関 21 名、企業他 48 名)

案内 URL: http://jhpcn-kyoten.itc.u-tokyo.ac.jp/sympo/6th/

## 4 拠点関連委員会の活動

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

拠点運営委員会では、情報基盤拠点の長の諮問に応じて、主に「当拠点の組織に関する事項」「共同利用・共同研究の実施方針及び実施計画に関する事項」「共同利用・共同研究の概算要求及

び予算に関する事項」を審議する。公募課題の審議は課題審査委員会が実施し、拠点運営委員会が採択課題の承認を行う。

#### 4.1 運営委員会

第 14 回 平成 26 年 7 月 10 日(於:品川 THE GRAND HALL)

#### 主な議題:

- 1. 平成 25 年度決算について
- 2. 平成 26 年度予算について
- 3. 平成 27 年度概算要求について
- 4. 課題中間評価方法の見直しについて
- 5. 課題審査方法の見直しについて
- 6. 募集要項・課題申込書の改訂について
- 7. 自己点検について
- 8. 研究成果に対する支援について
- 9. 構成拠点主催研究会の支援について
- 10. JHPCN ロゴマークの使用について

#### 第15回平成26年11月7日(於:国立情報学研究所)

#### 主な議題:

- 1. 平成 27 年度共同研究の公募について
- 2. 課題中間評価方法の見直しについて
- 3. 課題審査方法の見直しについて
- 4. 共同研究者の削除等について
- 5. 研究成果に対する支援について
- 6. 共同利用・共同研究拠点の強化に向けて(中間まとめ)
- 7. シンポジウムの共催等について
- 8. 平成 26 年度予算の執行状況について

#### 第16回 平成27年2月6日(於:東大センター)

#### 主な議題:

- 1. 平成 27 年度の運営委員会体制について
- 2. 平成27年度の課題審査委員会体制について
- 3. 平成 27 年度拠点内示額等について
- 4. 平成27年度公募型共同研究の採択について
- 5. 平成 26 年度公募型共同研究成果報告書について
- 6. 共同研究課題研究体制の変更について
- 7. 期末評価・次期認定に向けての意見交換
- 8. 共催の承認について
- 9. 第7回拠点シンポジウムについて

#### 4.2 課題審査委員会

第10回 平成26年5月9日(於:東大センター) 主な議題:

- 1. 中間審査方法の見直しについて
- 2. 課題審査方法の見直しについて
- 3. 研究課題に対する経費助成について
- 4. 第6回拠点シンポジウムについて
- 5. 第1回ネットワーク型学際研究シンポジウム開催報告

## 第 11 回 平成 26 年 7 月 11 日(於:品川 THE GRAND HALL) 主な議題:

- 1. 平成 25 年度実施課題の最終評価について
- 2. 課題中間評価方法の見直しについて
- 3. 課題審査方法の見直しについて
- 4. 募集要項・課題申込書の改訂について
- 5. 研究課題に対する支援について
- 6. 課題採択後の共同研究者の削除・追加等について

#### 第12回平成27年2月6日(於:東大センター)

#### 主な議題:

- 1. 平成 27 年度の課題審査委員会体制について
- 2. 課題審査実施要領の改正について
- 3. 平成 27 年度公募型共同研究課題審査について
- 4. 平成 26 年度公募型共同研究成果報告書について
- 5. 研究課題に対する支援について
- 6. 共同研究課題の実施要領の改正について
- 7. 第7回拠点シンポジウムについて

その他にも、随時、メールにて下記作業も行った。主に、課題審査委員長と中核拠点担当者にて 検討・調整の後、課題審査委員会 ML にて協議した。

- 1) 平成 27 年度共同研究募集要項、課題申込書の改訂
- 2) 平成 27 年度共同研究 応募課題審査要領の改訂
- 3) 各種評価の報告書フォーマット改訂、中間報告書評価容量、シートの改訂
- 4) 共同研究課題の実施要領改訂(計算機リソース追加、共同研究者追加・削除等の 事務的な実施要領)

# 5 拠点活動に関するその他の取り組み

#### 5.1 経費助成

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

● 助成対象:

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

● 助成金額:

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

● 選考方法:

JHPCN の課題審査委員会にて審査。申込後 1 ヶ月を目処に審査結果を研究課題代表者に通知する。

● 平成26年度助成実績申込み件数:6件、採択件数:6件(発表旅費5件、論文掲載料1件)

#### 5.2 情報発信の強化

平成 26 年度は、本拠点の共同研究による成果を発信し、関連するコミュニティとのインタラクションを目的とし、情報処理学会が主催する Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure(ACSI) 2015 を協賛し、JHPCN 特別セッションを企画開催した。セッションでは、H26 年度採択課題を中心に特に評価の高い課題から 5 名の共同研究課題代表者等による講演を行った。

ACSI 2015 JHPCN 特別セッション

開催日時: 平成 27 年 1 月 28 日(水)

開催場所: つくば国際会議場

主な内容: 超大規模数値計算系応用分野の共同研究課題の紹介(3件)

超大規模情報システム関連研究分野の共同研究課題の紹介(2件)

参加者数: 28 名

また、本拠点の活動内容と共同研究による成果の発信を目的とし、以下のシンポジウムを共催した。

● 第 5 回 International Industrial Supercomputing Workshop

平成 26 年 10 月 2 日(木)~3 日(金)(於:東洋大学)

主催:IISW2014 実行委員会

- ポストペタスケールシステムソフトウェアに関する JST CREST 国際シンポジウム(ISP2S2) 開催: 平成 26 年 12 月 2 日 (火)~4 日 (木) (於: 理化学研究所計算科学研究機構) 主催: 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 CREST 領域「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」
- 第1回名古屋大学情報基盤センターネットワーク型共同研究シンポジウム 平成27年1月20日(火)(於:名古屋大学情報基盤センター) 主催:名古屋大学情報基盤センター
- 第 21 回 Workshop on Sustained Simulation Performance(WSSP)
  平成 27 年 2 月 18 日 (水) ~2 月 19 日 (木) (於:東北大学サイバーサイエンスセンター)
  主催:東北大学サイバーサイエンスセンター、海洋研究開発機構、ドイツ・シュトゥットガルト大学高性能計算センター、NEC

そのほか、スーパーコンピュータ技術に関するトップカンファレンス SC14 では当拠点のポスター掲示、パンフレットの配布を行った。

# HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)

#### 塙 敏博 研究支援チーム スーパーコンピューティングチーム

#### 1 HPCI

HPCI 構築事業は、我が国の科学技術振興の中心となり、世界最高水準の成果創出と成果の社会還元を推進する研究開発基盤を整備するものである。本センターもシステム構成機関として各種システムの構成、運用体制の検討を行ってきており、2012 年 9 月 28 日より運用を開始した。本環境は、シングルサインオンを実現するユーザ認証システムと各計算機資源から利用可能な共用ストレージシステムを持ち、これらと、各システム構成機関を高速接続する学術情報ネットワーク(SINET4)により、シームレスな連携環境を実現している。

# 2 情報基盤センターから提供する資源と運用報告

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

#### 2.1 計算資源

本年度の運用結果を以下に示す。なお、データ解析可視化システムアクセラレーション部(GPU クラスタ)に関しては、HPCI における今年度の利用者はいなかったが、本センター独自の若手・女性利用者推薦プログラムにおいて利用されている。スケジューラと連動した電源管理を導入しており、利用者が居ないときにはノードの電源を落とすといった、省電力運用を行っている。以下について、スペック表に関しては各システムのノード単体性能である。

# **2.1.1** 柏地区キャンパス・富士通 FX10 スーパーコンピュータ Oakleaf-FX、本郷地区キャンパス・富士通 FX10 スーパーコンピュータ(長時間ジョブ用) Oakbridge-FX 総計 996 ノード

スペック表

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

#### 利用量

利用時間	7520802.49 ノード時間
ストレージ使用量	78551 GB
採択課題数	11 件

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

スペック表

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

#### 利用量

ノード時間	134126.38 ノード時間
採択課題数	2件

#### 2.2 ストレージ資源

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

ストレージは、東西の拠点を大規模広域ファイルシステム gfarm を用いてまとめている。gfarm は広域に存在する計算資源から効率よくファイルを共有するシステムで、必要に応じて、自動的にファイルの複製を行いながら東西の資源を統合している。これにより、各拠点からのファイル転送速度の向上や、耐故障性が実現されている。なお、東工大提供分に関しては、東西拠点とは別に募集が行われており、ここには含まれていない。

共用ストレージシステム	12.5PB (東西合計: 22.5 PB)
テープアーカイバ	20PB (東西合計: 80 PB)
採択課題数	49 件
総利用量 (東西)	14608 TB

# 3 来年度について

来年度も、当センターとしてスーパーコンピュータ FX10 (Oakleaf-FX, Oakbridge-FX)、東京工業大学が管理する先端ソフトウェア運用基盤・分散環境ホスティングサーバ群「RENKEI-VPE」への資源提供を予定している。また、東拠点として共用ストレージ、データ解析クラスタ、GPU クラスタを資源提供する予定である。(なお、データ解析クラスタ、GPU クラスタに関しては、設備工事の都合上、12 月末までの 9 ヶ月間の提供としている。)

以下の表は、HPCI 課題募集におけるハードウェア資源一覧から当センター(東拠点)が提供する 資源を抜粋したものである. (共用ストレージについては東西拠点を合わせた容量で示されてい る.)

スーパーコンピュータ FX10	計算ノード 750 ノード(177.38TFLOPS), ディスク 250TB
RENKEI-VPE	物理ノード1ノード
共用ストレージ	ディスクストレージ 22 PB, テープアーカイブ装置 80PB
データ解析クラスタ (東拠点)	61 ノード (9.75TFLOPS, 5,856GB メモリ),
	2015年12月31日まで
GPU クラスタ	32 ノード (CPU: 4.5TFLOPS, GPU: 16.48TFLOPS, 1,536 GB
	メモリ), 2015 年 12 月 31 日まで

## **PKI**

#### 佐藤周行

## PKI 概要

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

さらに NII が主導している CSI UPKI プロジェクトが開始した「オープンドメイン証明書発行実験」に参加し、パブリックサーバ証明書発行のための学内の体制を安定して運用している。ここにおいても分散 RA 方式を取っている。2014 年度末で参加部局は 12 部局を数え、それを含めサーバ証明書を発行したドメインは 34、運用開始からの審査枚数は 1179 枚に及ぶ。

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

# 1 運用報告

#### 1.1 TRA

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

NII が主導している CSI UPKI プロジェクトが開始した「オープンドメイン証明書発行実験」に参加し、パブリックサーバ証明書発行のための学内の体制を構築した。ここにおいても分散 RA 方式を取っている。2014 年度末で参加部局は 12 部局を数え、ドメインは 34、累計発行枚数は 1179 枚に及ぶ。

東大は、学内体制としてTRAを立ち上げ、CP/CPSを公開した上で、可能ならば発行にともなう審査を部局に委譲するモデルを取っている。これは従来からあったUTnetが安定して運用されていることに大きく依存するモデルであった。この運用モデルは成功し、参加部局の広がりが見られるようになった。

なお、パブリックサーバ証明書発行が NII で正式なサービス事業となり、2015 年 2 月から、それを受ける形で、東京大学でもネットワークの正式なサービスとしてスタートした。

2014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)	154
生産技術研究所	71
(旧)本部事務局	55
理学系研究科	48
情報基盤センター	43
史料編纂所	33
総合文化研究科	30
医学部附属病院	27
数理科学研究科	18
新領域創成科学研究科	11
情報学環	11
医学系研究科 • 医学部	8
空間情報科学研究センター	6
開始時からの累計	1179
アクティブな証明書	515

注) 2015/3/31 現在。NII の CA 移行に伴い証明書移行が進行中であり、200 枚強が移行前と移行後で重複カウントされている。

NII のサービス正式化にともない、学内においても運用のコストと利便性を両立した運用を模索している。

#### 1.2 eduroamへの参加

ョ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。アイデンティティポリシーを定めたうえでの登録の自動化を 10 月から開始し、この運用の中で発行された ID は 1072 を数え、前年度の 132 から大幅に増加した。

eduroam は、参加者の属する組織の運用ポリシーと訪問先の運用ポリシーのすり合わせに問題を抱えているが、東京大学でもテストのフェーズであるが、WiFi についても 10 月から本格的に運用がはじまっている。

# その他

臺大數學科學中心 科學計算冬季學校(Short Course for Scientific Computing(SC4SC 2015))

# 臺大數學科學中心 科學計算冬季學校(Short Course for Scientific Computing(SC4SC 2015)) 邁向 Petascale 高 速運算, Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters

# スーパーコンピューティング研究部門 中島研吾

本稿は、2015年2月9日(月)~12日(木)に國立臺灣大學(National Taiwan University, NTU)<sup>1</sup> で開催された「臺大數學科學中心 科學計算冬季學校(Short Course for Scientific Computing (SC4SC 2015))邁向 Petascale 高速運算, Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」<sup>2</sup>(共催:臺大數學科學中心 (Taida Institute for Mathematical Sciences, TIMS)<sup>3</sup>, 東京大学情報基盤センター他) について紹介したものである。

國立臺灣大學(台湾 台北市)は1945年11月に設置された台湾を代表する高等研究・教育機関 であり、1928年に設立された臺北帝國大學にその源を発している。

東京大学情報基盤センターと TIMS の上部組織である臺大理論科學研究中心(Taida Center for Advanced Study in Theoretical Sciences (CASTS)) 4は2014年2月17日にハイパフォーマンスコン ピューティング(HPC)及び計算科学・工学分野における基礎的,学術的な共同研究の促進を目的と した研究交流協定覚書(Memorandum of Understanding, MOU)を取り交わしている<sup>5</sup>。SC4SC 2015 はその MOU に基づき, TIMS の王偉仲教授 (Professor Weichung Wang) の以下の 2 点に関する 強い要望によって実現したものである:

- 台湾の大学には並列プログラミングを系統的に教える講義体系が存在しないため、是非、 MPI, OpenMP等の並列プログラミング教育を受けさせたい
- 台湾の研究者、学生は最先端の大規模並列計算機に触れる機会がないため、東大情報基 盤センターの Oakleaf-FX (Fujitsu PRIMEHPC FX10) で実習をさせてやりたい

我が国のスパコンの外国人及び海外在住者による利用には外国為替及び外国貿易法による制限 があり、例えば本学に学籍を有する留学生も入国後 6ヶ月を経過していない「非居住者」の場合に は法令上の規制対象となっている<sup>7</sup>。関係法令を踏まえ,東大情報基盤センターでは東大本部安全 保障輸出管理支援室<sup>8</sup>との緊密な連携の下に,必要な確認を行った上で,非居住者の FX10 (Oakleaf-FX, Oakbridge-FX, グループコース)の利用を認めている。

http://www.ntu.edu.tw/

https://sites.google.com/site/school4scicomp/

http://www.tims.ntu.edu.tw/
http://www.casts.ntu.edu.tw/

http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/press/news/VOL16/No2/11\_MOU201403.pdf

http://www.math.ntu.edu.tw/~wwang/

http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/application/qualification/non-resident.html

http://www.u-tokyo.ac.jp/ja/administration/export-control/

利用資格の判定基準は、ケース・バイ・ケースであるが、基本的には以下の 3 条件を満たすことが 最低条件である:

- 利用資格を有する居住者と共同研究協約等を結んでいる(今回の場合は,2014年2月に 締結した MOU がこれに相当する)
- 平和目的の利用である
- 東大情報基盤センタースパコンシステムの利用規程を遵守し,本来の利用目的以外には 使用しない旨記載した誓約書に署名し、FX10グループ代表者も確認の署名をする

場合によってマニュアルのアクセス制限を設けることがある。FX10 のオンラインマニュアルへのアク セスは利用者ごとに制限を加えることができるようになっており、 例えば留学生がスパコンを使用する 講義を受講する場合には個別に事前に資格審査・確認が行われ、非居住者の場合にはマニュアル にアクセスできない場合もある。

東大情報基盤センターでは 2014 年度から上記のような条件の下での非居住者の利用を認めてい るが、今回のように海外で講習会を実施するのは初めての試みである。

今回は王教授の強い希望で國立臺灣大學(NTU)以外に所属する学生, 研究者からも受講者を 募ることになったが,NTU 以外に所属している場合は上記 MOU の適用外であり,FX10 を利用でき ないため、このような受講者に対しては NTU のアカウントを準備してもらった。また、外国為替及び 外国貿易法を考慮し, 本学安全保障輸出管理支援室とも協議して, 今回は NTU 所属受講者 (FX10のアカウントは付与)も FX10のマニュアルの閲覧はできないように制限を適用した。

最終的には 55 名の申込があり、NTU 関係者はうち 29 名であった。55 名のうち 45 名が学生(学 部:13名,大学院(修士):23名,大学院(博士):9名)であった。

実施した講義内容と資料は東大側で準備した HP9で見ることができる。

当センターで実施しているマルチコア向けプログラミング講習会10の内容に基づいているが、これ では OpenMP しか扱っていないため,これも王教授の強い要望により OpenMP/MPI ハイブリッド並 列プログラミングモデルについても教えることになり、この部分については本 SC4SC 2015 のために 新たに教材を整備した。

- 4日間のうち最初の3日間については:
- 1 日目(2 月 9 日(月)):導入, 大規模科学技術シミュレーションの概要, ICCG 法を使用した 有限体積法ポアソン方程式ソルバーの概要
- 2 日目(2 月 10 日(火)): OpenMP の基礎, リオーダリング法と並列性抽出
- 3 日目(2 月 11 日(水)): OpenMP によるポアソン方程式ソルバーの並列化

<sup>9</sup> http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/NTU2015/ http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/41/

に関する講義,実習を実施した。普段の講習会では2日間で実施するところを3日間かけてじっくり行った。単にプログラミング技術を教えるだけでなく,科学技術計算の習得にはSMASH(Science-Modeling-Algorithm-Software-Hardware)を幅広く学ぶことの重要性を説明した上で:

- 有限体積法
- クリロフ部分空間法, 共役勾配法 (Conjugate Gradient, CG) のアルゴリズム
- 前処理(Preconditioning)
- リオーダリング (Reordering) による並列性抽出
- 変数配置法(Coalescing/Sequential Numbering)の効果

等の様々な分野について詳細な説明を実施した。

4日目は、最初の3日間で扱った OpenMP によって並列化されたポアソン方程式ソルバーを MPI によって分散並列化し、OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルについて学ぶというものである。 MPI の文法よりは、むしろ並列分散データ構造などについて詳細に解説を実施した。普段の講義では MPI を最初に教えてから OpenMP, OpenMP/MPI ハイブリッドと進むため、教える側でも多少の戸惑いがあり、また時間もわずか1日と非常に少なかったが、計算と通信のオーバーラップ等の最近の技術についても説明することができた。

余談ながら, 当地は春節(旧正月, 2015年は2月19日)を控え, 2月9日の週はちょうど冬休みに当たっていたこともあり, SC4SC 2015のような集中講義には適した時期であったようだ。

全ての説明資料の英語化、Fortran版とC版のプログラムと説明資料の準備、FX10に加えてNTUクラスタでのテストなども含めて準備には思ったよりも時間がかかった。また、4日目の教材はSC4SC 2015向けに新たに作ったものであったため、これらの準備にはプログラム作成も含めて正味3日程度を要した。

本学の講義時間は90分が基本であり、2015年度からは105分となるが、台湾では50分講義、10分休憩が基本であるため、最初はなかなかペースがつかめなかった。

受講者は学部学生から筆者よりはるかに年長の教授まで幅広かった。残念ながら1日目から2日目に20名ほどが離脱したが、その後は4日目の終了まで残りの35名程度は非常に熱心に聴講してくれた。また、受講者は講義の内容を全般的に良く理解しており、積極的に的確な質問をしてくるのには少々驚いた。1箇所バグも見つけてくれた。

王教授によると、最初に教材を見たときは、かなり専門的な内容のため最後まで何人ついて来られるか非常に不安だったそうである。王教授は月曜の朝から木曜の夕方まで全ての講義、実習に出席して、全てのやりとりを目撃していたわけであるが、受講者の反応の良さ、理解度には正直驚いたそうである。貴重な機会を有効に利用したいという受講者の強い気持ちの表れだったのかも知れない。教える側からもそのような熱意、手応えを充分に感じ取ることができ、非常に楽しく過ごすことができた。

講義・実習は図5に示すような計算機室で実施した。それぞれの「島」には所属が近い知り合い同志が座って受講していたようだが、実習のときには互いに助け合って、先に終わった人は他の人の

様子を見てやるなど、普段の本学での講義・実習ではあまりお目にかかれない光景にしばしば遭遇した。

今回の SC4SC 2015 は筆者にとっても貴重な体験であり、教材、教え方等について色々とアイディアを考えつくとともに、教育の重要性について改めて考える機会も与えてくれた。本文中にしばしば「王教授の強い希望により」という表現があったが、王偉仲教授の情熱無くして SC4SC 2015 は無く、自分のこのような貴重な体験をする機会は無かったであろう。この場を借りて王偉仲教授に対して深甚なる謝意を表したい。



図 1 國立臺灣大學椰林大道:正門から続く椰子並木、キャンパス内の建物の建築様式は本学と驚くほどよく似ているが、南国らしく銀杏並木ではなく椰子並木、中央遠方に台北 101 が見える



図2 講義・実習を実施した天文數學館,手前に見える池は酔月湖と呼ばれている



図 3 受講者集合写真, 前列中央は林長壽教授(臺大理論科學研究中心主任) (Professor Chang-Shou Lin, Director, Taida Center for Advanced Study in Theoretical Sciences)



図 4 王偉仲教授(臺大數學科學中心) (Professor Weichung Wang, Taida Institute for Mathematical Sciences) (右), 筆者(左)



図 5 講義風景



#### 課程簡介

1111 松筆電、桌機、到超級電腦、各種電腦系統都已進入「多核心」(multicore) 與「眾核心」(munycore) 虚理器的世代。更充分 利用追客電腦、平行計算是團體的如識與能力・在這個四天的密集課程・設門聚焦在 MPI 和 CorenAP 的平行計算環境、講授 如何在 MPI+OpenAP 的混合環境中,將有限體積法以及大型線性系統最代法平行化・藉以求解三維 Poisson 方程・

此課程的另一個特點是,我們將使用東京大學的超級電腦(Dakisaf-FX 進行平行計算 - Ouksaf-FX 是全球最先進的超級電腦之一。它民間 Figitus PRINLEPEC FX10 大規模平行電腦採用。包含 4,800 截計算節點,每個點點配背 16核必修 SPARCOL IDS 處理器 - 節點開以大摊 Tone Fusion 網路申接,全機包含高達 76,800 核心 150 TB 的主記憶體,以及 1,13 FL CPS 的实施 理算能力,Ouksaf-FX 是目前在 TOPSOD 訴含是球頭回貨,它mputer 的次表模型。(El: Colksaf-FX 核球面硬甲腈,並依相 関規定審核。)



這個短期課程提供一個非常難得的機會,可以接觸到目前全世界最前沿的高效能平行計算環境。數短數師、碩博士生、大學 部同學報名参加、本課程以英語講授、課程內容概要如下:

- Finite Volume Nethod (FVM), Preconditioned Krylov Iterative Methods

  Parallel FVM using OpenMP, Reordering/Coloring Methods

  Parallel FVM using MPI on Distributed Memory Systems, Data Structure for Parallel FVM

  Parallel FVM using OpenMPIMPI Hybrid Parallel FVP Programming Model



#### 授課教授



# 中島 研吾 教授

東京大學 情報基盤中心 超級計算研究部門



**報名資訊** 報名網址: http://goo.gl/q5MR50



図 6 SC4SC 2015 のポスター

# PART 3

各研究部門

# 研究活動報告

情報メディア教育研究部門

学術情報研究部門

ネットワーク研究部門

スーパーコンピューティング研究部門

学際情報科学研究体

# 情報メディア教育研究部門

情報メディア教育研究部門概要

柴山 悦哉 情報システムの信頼性と安全性に関する研究

田中 哲朗 ゲームプログラミングに関する研究

品川 高廣 準パススルー型仮想マシンモニタ「BitVisor」の研究

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

# 情報メディア教育研究部門 概要

#### 部門長 柴山悦哉

情報メディア教育研究部門では、今年度、教授1名、准教授2名、助教1名が在籍し、以下にあげるような研究を行った。

実運用システムの設計・改善等を直接の目的とした研究:本研究部門が企画、設計、調達、構築、運用などに関与している教育用計算機システムなどは、教育機関が管理運用するエンドユーザ向けの情報基盤としては、我が国の中でも有数の規模と複雑度を有する。そのため、既存のノウハウだけに頼っていては、安定的かつ効率的な運用は不可能であり、研究として解決すべき課題も多い。また、この規模と複雑さのシステムの実運用から得られた知見やノウハウには、他の組織にとって有用なものも多く、これらを系統的な形にまとめて公開することが研究活動として意味を持つこともある。

今年度は、次のような研究と成果発表を行った。

- データ自動再配置ストレージによるレスポンスタイム改善と柔軟な運用の実現(関谷)
- 情報システムの構成や開発に関連した研究:業務として運用しているシステムを直接的に対象とする ものではなく、より一般的に、情報基盤を開発・運用するための技術に関連した研究も行ってい る。今年度は次のような研究と成果発表を行った。
  - Java のフレームワークを用いたアプリケーションを対象としたプログラム理解支援に関する 研究 (柴山)
  - 評価値に基づく定石の自動生成(田中)
  - 仮想マシンモニタによるシステム管理(品川)
  - 仮想マシンモニタによるストレージクラスメモリへのアクセスの捕捉(品川)
  - 仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーション (品川)
  - 仮想マシンモニタによる物理デバイスドライバ検証(品川)
  - 仮想マシンモニタによるスーパーコンピュータ向け仮想計算環境の実現 (品川)
- 情報メディアの使い勝手の向上と教育支援に関連した研究:本研究部門は、教育用計算機システム、メールホスティングサービスなど延べ合計では4万人以上のエンドユーザを対象に情報基盤を提供している。そのため、システムのユーザビリティの向上、情報メディアに容易にアクセスするための支援、情報技術を用いた教育の支援は重要な課題であり、これに関連した研究開発も行っている。今年度は次のような研究と成果発表を行った。
  - 我が国の大学における教育学習環境の実態調査と課題の分析(柴山)
  - 計算機科学関連カリキュラムの分析(関谷)
  - 初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答に関する分析(関谷)

# 情報メディア教育研究部門 成果要覧

#### 受賞関連

[受賞1] 柴山悦哉: 功労賞, 日本ソフトウェア科学会, 2014年9月.

#### 著書/編集

[著書 1] Gul Agha, Atsushi Igarashi, Naoki Kobayashi, Hidehiko Masuhara, Satoshi Matsuoka, Etsuya Shibayama, Kenjiro Taura (Eds.): *Concurrent Objects and Beyond, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 8665, Springer, 2014.

#### 査読付論文

- [查読付 1] Izuru Kume, Masahide Nakamura, Naoya Nitta, Etsuya Shibayama: Toward a Dynamic Analysis Technique to Locate Framework Misuses That Cause Unexpected Side Effects, *Proceedings of IEEE/ACIS International Conference on Software, Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, pp. 1–6, 2014.
- [査読付 2] 梶田将司, 飯吉透, 松尾啓志, 中野裕司, 柴山悦哉, 竹村治雄: クラウド時代における教育学習 支援環境の現状と課題, 情報処理学会情報教育シンポジウム論文集, pp. 245–252, 2014.
- [查読付 3] Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Improving Agility and Elasticity in Baremetal Clouds. In Proceedings of the 20th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS 2015), pp. 145-159, Mar 2015.
- [査読付4] T. Sekiya, Y. Matsuda, and K. Yamaguchi: Mapping analysis of CS2013 by supervised LDA and isomap, Proceedings of Teaching, Assessment and Learning (TALE), 2014 International Conference, Wellington, New Zealand, pp. 33–40, Dec. 2014.
- [査読付 5] 丸山 一貴, 山原陽一, 関谷貴之: データ自動再配置ストレージによるレスポンスタイム改善と柔軟な運用の実現, インターネットと運用技術シンポジウム 2014 論文集, pp. 85–92, 2014.
- [查読付 6] T. Sekiya, Y. Matsuda, and K. Yamaguchi: Curriculum analysis of CS departments based on CS2013 by simplified, supervised LDA, LAK '15 Proceedings of the Fifth International Conference on Learning Analytics And Knowledge, NY, USA, pp. 330–339, Mar. 2015.

#### 公開ソフトウエア

[公開 1] BitVisor 1.4, http://www.bitvisor.org/, 2014年5月

#### その他の発表論文

- [発表 1] 柴山悦哉, この 10 年で何が変わったか?, コンピュータソフトウェア, 岩波書店, Vol. 31, No. 2, pp. 3–7, 2014 年.
- [発表 2] 柴山悦哉, 鈴木正朝, 須藤修, 岩野和生: パネル討論「新しい時代の情報保護と情報利活用」, 第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), 2014.
- [発表 3] 久米出, 中村匡秀, 波多野賢治, 柴山悦哉: 作業者の知識を効率的に活用する全知デバッガの設計, ウィンターワークショップ 2015・イン・宜野湾論文集, pp. 7–8, 2015.
- [発表 4] 久米出, 波多野賢治, 中村匡秀, 柴山悦哉: オブジェクト指向プログラム固有なデバッグの困難性を克服する Back-in-Time デバッガの実現に向けて, 2015-SE-187(37), pp. 1–8, 2015.

- [発表 5] 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦. Hypervisor-based Interposition Framework for Storage-Class Memory. 2014 年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ(SWoPP 新潟 2014). 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-OS-130, 情報処理学会, Jul 2014.
- [発表 6] Takaaki Fukai, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Live Migration of Bare-metal Instances. 5th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSYS 2014), Beijing, Jun 2014.
- [発表 7] 品川 高廣. 次世代スーパーコンピュータ向けの軽量な仮想計算機環境の実現に 向けた研究開発. Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2015, 筑波, Jan 2015.

#### 特記事項

- [特記 1] GPS 将棋: 第 24 回世界コンピュータ将棋選手権 11 位, コンピュータ将棋協会, 2014 年 5 月.
- [特記 2] 田中哲朗: 解けるゲーム・解けないゲーム, 五月祭 公開講座, 2014年5月.
- [特記 3] 田中哲朗: 人間はコンピュータに勝てるか?, 東京大学教養学部学際科学科公開シンポジウム, 2014 年 6 月.
- [特記 4] BitVisor Summit 3 開催(第 26 回コンピュータシステム・シンポジウム 併設イベント), 2014 年 12 月, http://www.bitvisor.org/summit3/

# 情報システムの信頼性と安全性に関する研究

#### 柴山 悦哉

## 1 概要

今日の社会では、さまざまな機器やシステムが情報ネットワークで相互結合され、これらの機器やシステムは基本的にソフトウェアに駆動されて稼動している。そして、このようにして構成された情報システムが社会の隅々にまで浸透している。その結果、情報システムとその情報システムが扱う情報に、人々の日々の生活がますます強く依存するようになっている。しかも、このような傾向は今後さらに顕著となることが予想される。

一方で、ネットワーク化された情報システムへの依存度が高まると、わずかな綻びがネットワーク 効果により増幅され、大きな被害に結びつく可能性が高まる。また、情報システムを制御するソフトウェアは、巨大化・複雑化の一途をたどっており、バグや脆弱性などの綻びの種が世の中に蔓延しているのが現状である。システム障害や悪意のある攻撃により、大事故・大事件が引き起こされる可能性をもはや無視できなくなっている。

さらに、今日あるいは近未来の社会では、個人情報や機密情報などの情報の保護を適切に行うことも重要となる。単一の技術のみで解決できる問題ではないが、情報システムの信頼性や安全性が大前提となることは確実である。

以上のような現状に鑑み、社会の基盤を制御する情報システムの信頼性、安定性、セキュリティおよび情報社会の安全・安心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、主として以下のような研究を行った。

- Java のフレームワークを用いたアプリケーションを対象としたプログラム理解支援に関する研究 [査読付1,発表3,発表4]
- 個人情報・パーソナルデータの保護と利活用に関する検討 [発表 2]

最初の項目は、ソフトウェアの設計や動作の理解を促進するための支援技術に関する研究である。近年、多くのアプリケーションがフレームワークを用いて構築されている。しかし、アプリケーション開発者は、フレームワーク内部の詳細な動作を知っているわけではない。もちろん、一般のライブラリでも同様のことは言えるが、関数的な挙動をとることが多いライブラリはブラックボックスとして扱いやすい。それに比べ、フレームワークのメソッドは、間接的にアプリケーションのメソッドを呼び出したり、オブジェクトのフィールドの値を変えたりすることが多い。そのため、症状が出た後で原因を解明することが難しい傾向がある。そこで、フレームワークとアプリケーションの境界を越えるメソッド呼び出し (cross-boundary method invocation) などに注目し、症状のパターン化と症状から原因を追求する作業を支援するツールに関する研究を行った。この成果については、第2節で概要を述べる。

2番目の項目は、主に、日本学術会議の情報学委員会 安全・安心社会と情報技術分科会において議論を行ったものである。我が国においても個人情報保護法の改正に関する議論が活発となったことを

受け、欧米の状況の調査、技術的保護の可能性の検討等を専門家を集めて行った。

論点はいくつかあり、その中で特に重要と考えるのが、情報技術の進歩の速さにいかに対応するかという問題である。利便性の高い利用技術を迅速に社会実装することに大きなメリットがあることは間違いないが、新技術の中には、既存のパーソナルデータの保護技術や制度的な保護を無効化するものも含まれる。したがって、技術だけではなく、法や制度なども急速な変化に耐えることが望まれる。すなわち、ソフトウェア分野の中心的課題である変化への対応を、より広い領域で考えることが重要となる。ソフトウェア技術との類推で考えると、以下のような要件を満たすことが望ましいであろう。

- 1. 狭い意味での情報システムだけでなく、社会制度も含めてアジャイルな変更に耐えるモジュラな構造を有すること。
- 2. ポリシーとメカニズムを分離し、ポリシー設計に自由度を持たせるとともに、信頼性の高い強制メカニズムも導入すること。

現行の制度同士で比較すると、米国のパーソナルデータ保護の枠組みは基本的に以下のようになって おり、比較的上記の要件を満たすのではないかと思われる。

- 1. ポリシーは事業者が比較的自由に決められる。
- 2. 事業者が公表したポリシーを守らない場合に制裁を加える仕組みが整っている。
- 3. 市場原理で劣ったポリシーは淘汰される。

これらの研究の他に、以下のような活動も行った。

- 革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) の利用者支援システムの二つ のサブシステムの改修
- 我が国の大学における教育学習環境の実態調査と課題の分析 [査読付2]

最初の項目は、HPCI利用者のためのヘルプデスクシステムとコンテンツマネジメントシステム (CMS) の機能強化を行ったものである。HPCIでは、スーパーコンピュータやストレージが全国の複数の機関に分散して配置されており、利用者だけでなく運用担当者も全国に分散している。そのため、相互の連絡を円滑に行なうためのサポートが強く求められている。この利用者支援システムを用いることで、利用者の問い合わせや広報の窓口を一カ所にまとめ、ワンストップ化することが可能となる。

2番目の項目は、前年度に文部科学省委託事業「コミュニティで紡ぐ次世代大学 ICT 環境としてのアカデミッククラウド」で調査した教育学習支援情報環境の利活用とクラウド化の現状について、まとめたものである。

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

#### 2.1 背景

今日の多くのアプリケーションはオブジェクト指向アプリケーションフレーム(以下、単に「フレームワーク」と呼ぶ)を用いて構築されている。フレームワークは基本的に対象とするアプリケーション群の共通の骨組み部分を定義するものであり、各アプリケーションに固有のロジックは、ホットスポットに相当する箇所に後から埋め込まれる。

ここで問題となるのは、ドキュメントが未整備のフレームワークもあれば、アプリケーション開発 者がフレームワークの挙動を誤解してホットスポット部分を実装する場合もあることである。通常、 アプリケーションの開発者とフレームワークの開発者は異なるため、両者の間には多かれ少なかれコミュニケーションに齟齬が生じる。また、フレームワークを用いたアプリケーションでは、inversion of control のような複雑な制御の流れが生じやすい。そのため、フレームワークの内部の詳細を知らないアプリケーションの開発者が、実行の過程を追うのも一般に簡単ではない。

このような問題に対し完璧な解を提案するのは難しい。そこで、現象のパターン化と追跡ツールにより問題を緩和する方式を提案する。

#### 2.2 内容

背景で述べたような問題のうち、あるパターンのものを対象に、症状から原因を追求する方式と例題 に基づくその有効性の検討を行った。そのために、以下のような手法を提案した。

- 1. Bad smell の抽出
- 2. トレースの可視化
- 3. バックインタイム型のデバッガ

1により、まず、意図せぬ状態の更新が起こるパターンとして以下のようなものに注目することにした。

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

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

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

これらの要因が絡み合ったプログラムの実行は、通常のデバッガ等では追跡するのが容易ではなく、 特にフレームワークの内部の詳細が不明な場合により困難となる。

2,3は、ツールによるサポートに関するものである。基本的には、以下のような作業を行う。

- 実行のトレースを記録し、その情報に基づき、cross-boundary side effects によりアプリケーション側のオブジェクトが更新された箇所を抽出できるようにする。
- 注目するオブジェクトの更新が意図したものかどうかをアプリケーション開発者が判定できるようにする。

2の作業を行うツールとして、Java 言語を対象に Byte Code Engineering Library (BCEL) を用いて、プロトタイプを試作した。BCEL は、Java バイトコードを対象にインスツルメンテーションを行うものである。このプロトタイプツールでは、フローを追うための表示なども可能としている。その際に、以下の三種類のメソッドの区別とそれぞれの境界を超えたメソッドの呼び出しの可視化を試みた。

- フレームワークに属するもの
- Java の標準ライブラリなどのフレームワーク以外のライブラリに属するもの
- アプリケーション固有のもの

さらに、3では、アプリケーション開発者がトレースをインタラクティブに追跡するためのインタフェースとして、バックインタイム型のデバッガを用いる検討を行った。

ケーススタディは、第三者が作成した比較的単純な UML エディタを対象に行った。この UML エディタは、Graphical Editing Framework (GEF) を用いて作成されており、GEF でグラフのノードやエッジを表す FigNode, FigEdge などのクラスを具象化してアプリケーション固有のクラスが定義されている。これらのクラスにより、UML の図式表現のモデルが構築され、アプリケーションから操作される。そして、UML の編集操作が行われると、オブジェクトの追加・削除やオブジェクト間の制約維持のためのさまざまなメソッド呼び出しが発生する。

このケーススタディでは、UMLのアソシエーションを削除するコマンドに関する既知のバグなどを対象に、提案手法やプロトタイプツールの有効性評価を行った。

#### 2.3 具体的成果

今年度は、以上のような成果について論文にまとめ、国際会議において共同研究者が発表を行なった [査読付1]。来年度には、論文誌の同国際会議の特集号にも論文が出版される予定である。

# 3 HPCIの整備

#### 3.1 背景

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

スーパーコンピュータなどの資源を提供する全国のセンター群は、HPCIが始まる前は、基本的に独立に設備の運用を行なっていた。そのため、申請や問い合わせの窓口、発行されるアカウント等がセンター毎に分かれており、また、複数センター間でデータの共有を行なう方法も整備されていなかった。その結果、複数センターを利用して先端的科学研究を行なう研究者にとって、利用申請、アカウント管理、データ共有などの手間の大きさが問題となっていた。

#### 3.2 内容

今年度は、文部科学省委託業務「HPCI の運営」により、東京大学では共用ストレージ等の運用とヘルプデスクシステムとコンテンツマネジメントシステム (CMS) の改修を行なった。このうち、ヘルプデスクシステムと CMS の改修を担当した。これらのシステムは、概ね次のような利用方法を想定したものである (図 1)。

- 1. HPCI の課題採択者等が、ワンストップの窓口であるヘルプデスクシステムを介して、問い合わせ等を行なう。
- 2. HPCI 利用者に対する窓口業務を担う HPCI 運用事務局のヘルプデスク担当者が、1 次切り分けを行い、問い合わせを適切な HPCI システム構成機関(計算資源を HPCI に提供する機関、当センターを含む)に転送する。
- 3. HPCIシステム構成機関が問題を解決すると、回答がヘルプデスクシステム経由で問い合わせ等を行なった HPCI 課題採択者に通知される。
- 4. 各 HPCI システム構成機関の担当者が、計算資源の運用や障害などに関する広報や利用者向けのドキュメントなどを作成し、情報共有 CMS に掲載する。全ての HPCI システム構成機関の広報

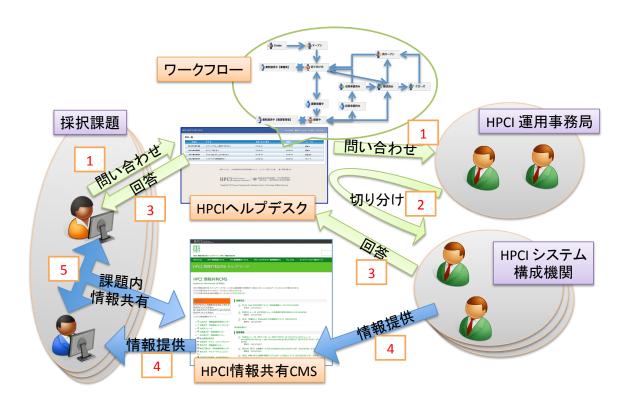


図 1: HPCI ヘルプデスクシステムと HPCI 情報共有 CMS

やドキュメントが一カ所に集められ、HPCI 課題採択者等の閲覧に供される。このとき、特定の計算資源の利用者にのみアクセスを限定する等の制御が可能である。

5. HPCI の採択課題を単位とした閉じた情報共有の空間を作り、課題採択者間で Wiki や Blog のインタフェースによる情報共有を行なう。

今年度は、以下のような作業を行なった。

- Java 6 から Java 7 への移行にともなう各種バージョンアップ作業
- 情報共有 CMS のデザイン変更
- 月次利用実績を CMS に自動登録するためのプラグインの開発
- Shibboleth シングルログアウトへの対応
- 既存スペース一括設定変更のための夜間バッチへの機能追加
- コメント追加時のデフォルトロールの変更
- メールアドレスを共有するヘルプデスクの複数アカウントの統合方式の確立
- ログの遠隔転送への対応

#### 3.3 具体的成果

ヘルプデスクシステムについては、HPCI利用者からの問い合わせの処理や記録のために利用された。情報共有 CMS については、HPCIに採択された全課題のスペース、システム構成機関と提供資源のスペースなどが作成され、活用されている。今年度から、HPCI連携サービス運営・作業部会の情報共有にも利用されるようになった。

## 4 成果要覧

#### 受賞関連

[受賞1] 柴山悦哉: 功労賞, 日本ソフトウェア科学会, 2014年9月.

#### 著書/編集

[著書 1] Gul Agha, Atsushi Igarashi, Naoki Kobayashi, Hidehiko Masuhara, Satoshi Matsuoka, Etsuya Shibayama, Kenjiro Taura (Eds.): *Concurrent Objects and Beyond, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 8665, Springer, 2014.

#### 査読付論文

- [查読付 1] Izuru Kume, Masahide Nakamura, Naoya Nitta, Etsuya Shibayama: Toward a Dynamic Analysis Technique to Locate Framework Misuses That Cause Unexpected Side Effects, *Proceedings of IEEE/ACIS International Conference on Software, Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, pp. 1–6, 2014.
- [査読付 2] 梶田将司, 飯吉透, 松尾啓志, 中野裕司, 柴山悦哉, 竹村治雄: クラウド時代における教育学習 支援環境の現状と課題, 情報処理学会情報教育シンポジウム論文集, pp. 245–252, 2014.

#### その他の発表論文

- [発表 1] 柴山悦哉, この 10 年で何が変わったか?, コンピュータソフトウェア, 岩波書店, Vol. 31, No. 2, pp. 3-7, 2014 年.
- [発表 2] 柴山悦哉, 鈴木正朝, 須藤修, 岩野和生: パネル討論「新しい時代の情報保護と情報利活用」, 第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT2014), 2014.
- [発表 3] 久米出, 中村匡秀, 波多野賢治, 柴山悦哉: 作業者の知識を効率的に活用する全知デバッガの設計, ウィンターワークショップ 2015・イン・宜野湾論文集, pp. 7–8, 2015.
- [発表 4] 久米出, 波多野賢治, 中村匡秀, 柴山悦哉: オブジェクト指向プログラム固有なデバッグの困難性を克服する Back-in-Time デバッガの実現に向けて, 2015-SE-187(37), pp. 1–8, 2015.

# ゲームプログラミングに関する研究

#### 田中哲朗

## 1 概要

ゲームプログラミング研究の一環として、2003年から他研究室と共同でオープンソース将棋プログラムの開発を行っていて、2010年度から大規模クラスタ環境用の並列探索に関する研究に取り組んでいる。今年度は、評価値に基づく定跡の自動生成に関して研究をおこなった。

## 2 評価値に基づく定跡の自動生成

#### 2.1 背景

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

コンピュータ将棋研究の全体的なレベルアップを狙って、公開を前提で将棋プログラムの開発を 2003 年からおこなっている  $^1$ 。将棋プログラム名は GPS 将棋で、開発メンバーは田中研究室の卒業生の他に、総合文化研究科の教員、ポスドク、会社員などが加わっている。 2014 年度は評価値に基づく定跡の自動生成に関して研究をおこなった。

チェス、将棋、囲碁などの思考ゲームでは、人間がプレイするために序盤データベース (チェスの opening book, 将棋の定跡、囲碁の定石) が作成されてきた。序盤データベースには、将棋の定跡やチェスの opening book のように局面全体が一致する場合の候補手や変化、評価を与えるものと、囲碁の定石のように隅や辺などの部分で一致する場合の候補手や変化、評価を与えるものがある

思考ゲームのプログラムにおける序盤データベースは以下のような意味を持つので、重要と考えられる。

- 1. 良い手の選択: データベースに手を登録しておけばプログラム自身が探索して指せない良手を指すことができる。
- 2. 時間の節約: データベースから一致する局面を見つける計算は、十分短い時間でおこなうことができる。探索で同じ手を指せるとしても、時間制限のある対局では序盤データベースを使う方が有利である。
- 3. 対局の多様性の確保:同じ局面を同じ評価関数で同程度の思考時間を使って探索させた場合、同じ手が指される頻度が高い<sup>2</sup>。人間が対局する場合には、毎回同じ変化になるのは面白みに欠けるし、プログラム側が不利な局面に誘導する手順が発見される可能性が増す。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>http://gps.tanaka.ecc.u-tokyo.ac.jp/gpsshogi

<sup>2</sup>探索が並列におこなわれる場合は、この傾向は減ることが期待される。

そのため、多くの思考ゲームのプログラムでは、序盤データベースを用いている。チェスや将棋等での局面全体を対象にした序盤データベース (以下では定跡データベースと呼ぶ) は多くの場合、以下のような、エントリーの集合で表現されている。

局面 局面をなるべく少ないメモリ量で表現したもの。局面から Zobrist Hashing 等の性質の良いハッシュ関数を使ってハッシュ値を計算して、それを記録することが多い。

候補手と確率 その局面での候補手のリスト。複数の手が候補となる場合は、乱数を使って手を決定するが、その際にそれぞれの手が選択される確率を与える。

序盤データベースは以下のいずれかの方法(および組み合わせ)で作成されることが多い。

手動作成 人間のエキスパートが局面毎に手の確率を手動で与える。

棋譜を元に自動生成 十分強いプレイヤによる棋譜を大量に集めて、手の指された頻度、指したプレイヤの勝敗、指したプレイヤの強さなどを元に確率を与える。

評価値ベースの自動生成 局面に対してプログラムが十分な時間で探索して得られた評価値を元に確率を与える。

手動作成で登録局面数を増やすには、エキスパートが時間をかけて検討する必要があるので、棋譜 を元にした序盤データベースの自動生成が将棋を含めた多くのゲームで主流になっている。

しかし、コンピュータプレイヤのレベルが上がってくると、プロの棋譜で指されたことのない良い手を探索によって見つけられるようになり、評価値ベースの定跡自動作成の必要性が増してくると考えられる。

#### 2.2 内容

将棋以外のゲーム (オセロ等) での評価値ベースの序盤データベースの自動作成では、以下のアルゴリズムが以前から使われている。

- 1. 初期局面から、データベースに登録されている局面を、best-first で探索して PV(principal variation) を得る。
- 2. 定跡データベースの末端ノードにたどり着いたら、そこからコンピュータプレイヤを用いて長時間の探索を行い、その局面の最善手とその評価値を得る。
- 3. 末端ノードから最善手とそれ以外の枝の先のノードを展開し、(2)で得られた評価値を与える。
- 4. (1)-(3) を繰り返す。

今回、これを将棋に適用することに加えて以下の拡張をおこなった。

- PV だけでなく、PV と評価値の差が小さい variation の末端ノードからも展開する。
- 指定局面を始点として PV を得た末端局面も展開する。
- 指定局面として、他の将棋プログラムと対戦して敗戦した時の途中局面を含める。

#### 2.3 具体的成果

木の末端ノードの集合に対して Opteron 6272(2.1GHz) 64 core (memory 64GB) のマシンで、GPSfish 0.2.1+r2781 で 10 分間探索させて得られた評価値と最善手を 60 並列 (1 コア 1 局面) で求める。ちょう ど 60 の展開ノードを生成させるのは難しいので、数百-数万程度の展開ノードを作成して 60 並列で探索させることを繰り返す。

これを 2013 年 2 月から動かし続けて、2014 年 11 月時点で、ノード数 215 万程度の木が得られている。

ここで作成した定跡 <sup>3</sup> を用いるように変更した GPS 将棋で、第 24 回世界コンピュータ将棋選手権に参加した。定跡により不利になることはなかったが、2010-2013 年度は、クラスタ構成で参加したのに対して、今回は 3.5 GHz Core i7 4771 のデスクトップ機 1 台で参加したこともあり、表 1 に示すように、2 次予選 5 勝 4 敗で全体の 11 位に終わった [特記 1]。

表 1: 世界コンピュータ将棋選手権 2次予選での GPS 将棋の対戦

	1 回戦	2 回戦	3 回戦	4 回戦	5 回戦	6 回戦	7 回戦	8 回戦	9 回戦
対戦相手	なのは	竜の卵	大合身クジラちゃん	NineDayFever	Apery	Selene	芝浦将棋 Jr.	YSS	きのあ将棋
GPS の手番	後手	先手	先手	後手	後手	先手	後手	先手	先手
勝敗	勝	勝	勝	負	負	負	勝	負	勝

## 3 成果要覧

#### 特記事項

[特記 1] GPS 将棋: 第 24 回世界コンピュータ将棋選手権 11 位, コンピュータ将棋協会, 2014 年 5 月.

[特記 2] 田中哲朗: 解けるゲーム・解けないゲーム, 五月祭 公開講座, 2014年5月.

[特記 3] 田中哲朗: 人間はコンピュータに勝てるか?, 東京大学教養学部学際科学科公開シンポジウム, 2014 年 6 月.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>2014年5月時点でのノード数は約150万程度だった。

# 準パススルー型仮想マシンモニタ「BitVisor」の研究

#### 品川 高廣

# 1 概要

本研究は、仮想マシンモニタやハイパーバイザと呼ばれるシステムソフトウェアに関するものである。 仮想マシンモニタとは、オペレーティングシステム (OS) の下で動作してハードウェアを仮想化する ソフトウェアであり、既存の OS に依存することなく新たな機能の追加を安全かつ容易に実現できる といった利点がある。そのため、近年様々な応用に向けた研究が盛んにおこなわれている。

本研究で対象としているのは、我々が考案した「準パススルー型」という新しいアーキテクチャの仮想マシンモニタである。準パススルー型とは、物理的なハードウェアを敢えて仮想化せずに可能な限り OS に対して直接そのまま見せる、すなわち OS からハードウェアへのアクセスをなるべく通過(パススルー)させつつ、必要最小限のアクセスだけを捕捉・変換する方式である。準パススルー型アーキテクチャは、(1) OS よりも高いセキュリティを実現できる、(2) OS の機能に依存せずに新たな機能を追加できるといった仮想マシンモニタの利点を保ちつつも、VMWare や Xen のような従来型アーキテクチャの仮想マシンモニタと比べて、(1) 仮想化のオーバーヘッドを大幅に削減できる、(2) ゲスト OS がハードウェアの機能を最大限活用できる、といった利点がある。

今年度は、準パススルー型アーキテクチャを実装した仮想マシンモニタ「BitVisor」をベースとして、主に以下のテーマに関して研究をおこなった。

• 仮想マシンモニタによるシステム管理 [査読付 1]

ベアメタルクラウドと呼ばれる仮想マシンの代わりに物理マシンを貸し出す IaaS 環境において、物理マシンの管理を容易に行えるようにすることを目的として、軽量な仮想マシンモニタを用いて OS からは透過的にストレージへの OS インストール作業をバックグラウンドでおこない、物理マシンが必要になるとすぐに使用を開始できるようにするシステムに関する研究をおこなった。

• 仮想マシンモニタによるストレージクラスメモリへのアクセスの捕捉[発表1]

ストレージクラスメモリ(SCM)と呼ばれる高速な不揮発メモリへのアクセスを捕捉して暗号化などの処理を実現することを目的として、軽量な仮想マシンモニタによりメモリ・ページ単位でデータを処理することにより、少ないオーバーヘッドでデータの取得・変換を行えるシステムに関する研究をおこなった。

• 仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーション [発表 2]

ベアメタルクラウドと呼ばれる物理マシンを貸し出す IaaS 環境においてライブマイグレーションを実現することを目的として、軽量な仮想マシンモニタによって物理デバイスの状態を取得・転送することにより OS からは透過的に物理マシンの状態を別のマシンに転送することが出来るシステムに関する研究をおこなった。

• 仮想マシンモニタによる物理デバイスドライバ検証

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

• 仮想マシンモニタによるスーパーコンピュータ向け仮想計算環境の実現 [発表 3]

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

これらの研究は、主に以下の事業による支援により実施された。

- JST 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 産学共同促進ステージ (ハイリスク挑戦タイプ) (研究責任者) (平成 26 年 1 月~平成 28 年 12 月)
- 科学研究費補助金基盤研究(C)(研究代表者)(平成24年度~平成26年度)
- スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦(平成26年度)

研究成果は、まず国際会議 ASPLOS において 1 件発表をおこなった。ASPLOS はアーキテクチャやシステムソフトウェア、プログラミング言語などに関する一流の著名な国際会議であり、2015 年で 20 回目(第 1 回は 1982 年)になる歴史のある会議である。過去の ASPLOS の中で日本の大学の学生が第一著者の論文が採択されるのは初めてと思われる。今回の採択率は約 17.3% (48/278) と非常に狭き門であった。

また、国内ワークショップでの発表を1件、国際ワークショップでのポスター発表を1件おこなったほか、国内シンポジウムでの口頭発表も1件おこなった。

12月には、第26回コンピュータシステム・シンポジウムの併設イベントとして、BitVisor Summit 3を企画立案・開催した。6件の一般発表とパネルセッション、デモセッションで構成し、30名前後の参加者があった。

以下、2章では、仮想マシンモニタによるシステム管理について、3章では、仮想マシンモニタによるストレージクラスメモリへのアクセスの捕捉について、4章では、仮想マシンモニタによる物理マシン上でのOSライブマイグレーションについて、5章では、仮想マシンモニタによる物理デバイスドライバ検証環境について、概要を述べる。

# 2 仮想マシンモニタによるシステム管理

#### 2.1 背景

近年、多くの IaaS 事業者は仮想マシンを貸し出している。仮想化技術を用いることで、IaaS 事業者はクラウドコンピューティングに必要不可欠な要素を提供することが出来る。様々な研究により、仮想化のオーバーヘッドを削減することが出来るようになってきたが、最先端の性能や機能、セキュリティなどが必要とされる環境においては、依然として仮想化のオーバーヘッドが問題になっている。

例えば、ビッグデータや高性能計算、データベース・サーバやメディア・サーバなどにおいては定常的に安定した高性能を出し続けるために、仮想化による予測不可能な性能低下を避ける必要がある。また、GPU や RAID,SSD といった高性能ハードウェアの性能を引き出す必要があったり、セキュリティ上同一マシン上で複数のテナントの仮想マシンが動作することが望ましくないケースなどにおいても、仮想化による性能・機能低下やセキュリティ低下が問題となっている。これらの問題を解決す

るために、ベアメタル・クラウドと呼ばれる物理マシンを貸し出すサービスが近年 IBM をはじめとして多くの事業者により提供されるようになってきている。

しかし、ベアメタル・クラウドでは、OS を最初に導入する際に、OS 依存の作業が必要になったり 導入に非常に長い時間がかかるといった問題点がある。OS を導入する最も基本的な手法はイメージ コピーと呼ばれるものであり、OS 全体のイメージをサーバからネットワーク経由でコピーしてきて、 ローカルのストレージに書き込む手法である。この手法では、コピーが完了するまでに十数分の時間 がかかる。また、書き込み後に再起動をする際にも、特にサーバマシンにおいてはファームウェアの 初期化などを行うために非常に長い時間がかかる。OS の導入に時間がかかると、クラウドの利点で ある俊敏性や拡張性といった重要な性質を実現することが難しくなる。

OS ストリーミング・デプロイメントという手法を用いると、導入時間を短縮することが出来る。この手法では、まずネットワークブートをおこない、OS イメージをバックグラウンドでコピーする。しかしこの手法では、OS に依存した手法や設定が必要となり、クラウドの重要な性質の一つである OS 透過性を損なってしまう。OS 透過性がないと、必ずしも専門的な技術を有しているとは限らないユーザがドライバの互換性の検証やアップデートなどの作業を定期的に実施する必要があるほか、OS 選択の自由が大きく損なわれてしまう。

#### 2.2 内容

本研究では、古典的な IaaS クラウドの様々な利点をベアメタル・クラウドに導入することを目的としている。具体的には、俊敏性、拡張性、OS 透過性である。この際、ベアメタル・クラウドの性能面での利点を損なわないことが重要である。これを実現するために、本研究では脱仮想化が可能な専用の仮想マシンモニタを用いて、OS 透過で高速なベアメタル・マシンのインスタンスの立ち上げを可能にするシステムを提案する。本システムでは、OS ストリーミング・デプロイメントを仮想マシンモニタのレイヤでおこなうことによって、OS 透過性を維持しつつも高速なインスタンスの立ち上げを実現する。一方で、OS からはハードウェアに対して直接アクセスすすことを許可することによって、仮想化のオーバーヘッドを最小限に抑える。OS の導入が終了した後には、仮想化をオフにして OS の下からいなくなることによって、仮想化のオーバーヘッドをゼロにする。

この手法で最も難しいのは、2つの相反する目標を実現することである。すなわち、OSストリーミング・デプロイメントのためにゲストOSと仮想マシンモニタでデバイスを共有しつつ、最終的にベアメタル・マシンの性能を実現するためにシームレスに脱仮想化を実現することである。仮想デバイスを用いると、デバイスの共有は容易になるが、脱仮想化が難しくなる。デバイスを直接ゲストOSに見せると、脱仮想化は容易になるが、デバイスの共有が難しくなる。この問題に対処するため、本研究では、デバイス・インターフェイスのレベルでI/Oを仲介するデバイス・メディエータという概念を導入する。デバイスメディエータは、I/Oを注意深く監視、捕捉、変換、挿入することにより、デバイスの共有とシームレスな脱仮想化の両方を実現する。

#### 2.3 具体的成果

本研究では、BitVisor 1.4 をベースとして仮想マシンモニタの実装をおこなった。BitVisor のコア部分の変更点は 3,576 行であった。また、IDE や AHCI,Intel PRO/1000, X540, Realtek 816x, Broadcom NetXtreme などのデバイスに対する実装をおこなった。また、ATA over Ethernet (AoE) プロトコルを拡張したネットワーク・ストレージプロトコルの実装もおこなった。実験の結果、Windows や Linux を修正なしで導入できることを確認した。提案手法では、イメージコピーを用いた場合とくらべて 8.6 倍速く導入することが可能であったほか、データベースの性能を測る実験では、KVM に最新の研究成果である Exit-less Interrrupt(ELI) を導入したものと比べても、同等の性能を達成できることを確認した。脱仮想化のあとは、ゼロ・オーバーヘッドを達成できていることも確認した。

研究成果は、国際会議 ASPLOS 2015 において論文として発表した [査読付 1]。

# 3 仮想マシンモニタによるストレージクラスメモリへのアクセスの捕捉

#### 3.1 背景

近年、DRAMに近い性能が出る不揮発性ストレージであるストレージクラス・メモリ(SCM)が登場している。SCM はメモリバスに直接接続され、通常のメモリ・アクセス命令でアクセスすることができる。SCM では、従来のストレージのようにデバイスドライバやファイルシステムなどのソフトウェアスタックを用いると、レイテンシに対するオーバーヘッドが非常に大きくなってしまうという問題点がある。従って、近年 OS のストレージスタックを最小化する研究が多くなされている。

我々は、仮想マシンモニタのレイヤでストレージの暗号化を強制的におこなうシステムの研究をしてきた。このシステムでは、仮想マシンモニタは I/O 命令を捕捉して、ブロック単位で転送されるデータを暗号化する。しかし、SCM ではデータにアクセスする際に I/O 命令は使われないので、この手法を適用することは出来ない。更に、SCM では通常のロード/ストア命令を用いてバイト単位でのアクセスがおこなわれるため、単純にこの命令を捕捉して暗号化をおこなおうとすると、仮想マシンモニタによる捕捉のオーバーヘッドが著しく大きくなってしまう。

#### 3.2 内容

本研究では、仮想マシンモニタにより SCM へのストレージアクセスを仲介するシステムを、大きなオーバーへッドを導入することなく実現することを目標としている。その最初のステップとして、SCM の暗号化をおこなうシステムを提案する。このシステムでは、OS から透過的に SCM への読み書きを捕捉して、暗号化や復号をおこなう。オーバーへッドを大きくしないようにしながら SCM へのアクセスを捕捉するために、仮想マシンモニタはバイト単位ではなくページ単位での捕捉をおこなって暗号化や復号をおこなう。障害発生時の一貫性を維持するために、永続ページバッファという概念を導入して、ページの内容や暗号化の進捗状況などのデータを保持するようにする。

#### 3.3 具体的成果

本システムは、BitVisor をベースに実装をおこなった。実験にはオープンソースのメモリファイルシステムである PMFS を用いて、SCM の動作をメモリで模倣することでおこなった。我々のページ単位での暗号化をおこなうと、4 KB レコードの読み書きのスループットは5%から50%程度低下することがわかった。

研究成果は、2014 年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ (SWoPP 新潟 2014) で発表をおこなった [発表 1]。

# 4 仮想マシンモニタによる物理マシン上での OS ライブマイグレーション

#### 4.1 背景

ベアメタルクラウドは近年登場した新しい IaaS クラウドの形態で、仮想マシンの代わりに物理マシンを貸し出すものである。ベアメタルインスタンスは OS からハードウェアへのアクセスに対して、仮想化のレイヤが介在することなく直接アクセスすることを許容するため、ハードウェア・プラットフォームの最大限の性能を安定して提供することが可能である。従って、ベアメタルインスタンスはビッグデータや高性能計算など、仮想化のオーバーヘッドが無視できない非常に高性能な計算が必要な場合に適している。ベアメタルクラウドは現実的なサービスで、IBM を始めとした多くの事業者が実際にサービスを開始している。

ライブマイグレーションは、IaaS クラウドの重要な性質の一つである。例えば、IaaS ベンダーは予防的メンテナンスのために、ライブマイグレーションを使用する。これは、システムの信頼性やセキュリティ、パフォーマンスを維持するために必要不可欠な作業である。電源などのメンテナンスには電

源切断が必須であるが、ライブマイグレーションを用いると IaaS ベンダーはサービスを停止させることなくメンテナンスを実施することが可能になる。ライブマイグレーションは、予防的フォールト・トレランスにも有効である。しかし、ライブマイグレーションはベアメタルインスタンスではサポートされていない。従って、ベアメタルクラウドではハードウェアメンテナンスるの際にダウンタイムが避けがたい。

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

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

#### 4.2 内容

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

この手法で最も難しいのは、I/O デバイスの状態を取得・設定することである。仮想化環境においては、仮想マシンモニタは仮想デバイスの状態を簡単に取得・設定することができるが、物理環境においては、I/O デバイスの内部状態を取得したり設定することは簡単ではない。例えば、リードオンリーのレジスタやライトオンリーのレジスタなどが存在している。これらの状態を取得・設定するために、仮想マシンモニタは、ゲスト OS からのライトオンリーのレジスタに対するアクセスを監視・捕捉して、その状態を内部に保存しておく。また、リードオンリーレジスタの状態を設定するために、デバイスを意図的に操作することで間接的に状態を変更させる。これらの手法により、I/O をデバイスの内部状態をマイグレーションすることが可能になる。

#### 4.3 具体的成果

本研究は BitVisorをベースに実装をおこなった。我々の実装では、Programmable Interrupt Controller (PIC)や Programmable Interval Timer (PIT)、Realtek 8169 などの最小限のハードウェアを装備したマシン上において、最小構成の Linux をマイグレーションすることを実現した。Netperf を用いた実験結果により、スループットやレイテンシに対するオーバーヘッドは無視できるほど小さいことがわかった。

研究成果は、国際ワークショップ 5th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSys 2014) において、ポスター発表を行った [発表 2]。

# **5 仮想マシンモニタによる物理デバイスドライバ検証環境の実現**

#### 5.1 背景

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

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

#### 5.2 内容

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

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

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

#### 5.3 具体的成果

Linux や Windows のデバイスドライバのバグを発見することを目的として、GPU や NIC デバイスに対して実際に故障した状況をつくりだしたところ、OS がハングアップしたりクラッシュしたりする条件を幾つか見つけることが出来た。

# 6 成果要覧

#### 査読付論文

[查読付 1] Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Improving Agility and Elasticity in Baremetal Clouds. In Proceedings of the 20th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS 2015), pp. 145-159, Mar 2015.

#### 公開ソフトウエア

[公開 1] BitVisor 1.4, http://www.bitvisor.org/, 2014年5月

#### その他の発表論文

- [発表 1] 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦. Hypervisor-based Interposition Framework for Storage-Class Memory. 2014 年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ(SWoPP 新潟 2014). 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-OS-130, 情報処理学会, Jul 2014.
- [発表 2] Takaaki Fukai, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Live Migration of Bare-metal Instances. 5th Asia-Pacific Workshop on Systems (APSYS 2014), Beijing, Jun 2014.

[発表 3] 品川 高廣. 次世代スーパーコンピュータ向けの軽量な仮想計算機環境の実現に 向けた研究開発. Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2015, 筑波, Jan 2015.

## 特記事項

[特記 1] BitVisor Summit 3 開催(第 26 回コンピュータシステム・シンポジウム 併設イベント), 2014 年 12 月, http://www.bitvisor.org/summit3/

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

### 関谷 貴之

### 1 概要

講義のシラバスを用いてカリキュラムを分析する研究、及びプログラムをトレースする能力とプログラミング能力との関係に関する研究を行っている。

なお業務面では、学習管理システム ITC-LMS や教育用計算機システム (ECCS) の運用や改良、更新の支援などを行っている。

# 2 計算機科学関連カリキュラムの分析

#### 2.1 背景

高等教育機関が学生に提供するカリキュラムは、体系的な教育を実施するための鍵となる。実際に実施されるカリキュラムは個々の講義の進め方や履修の条件等で複雑なものであるが、その概要はシラバスとして学内外に公開されるため、シラバスからカリキュラムを分析することは有益であるとの立場で研究している。

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

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

#### 2.2 内容

2014年度は、以下の2点を行った。

1. 2013 年 12 月に ACM と IEEE CS によって発表された最新のカリキュラム標準 "Computing Science Curricula CS2013 (CS2013)" を基準として、米国で計算機科学に関わる学部のある主要な 10 校の大学のカリキュラムを比較した。CS2013 の BOK を構成する Knowledge Area (KA) を表 1 に示す。CS2013 はコンピュータ科学の分野を 18 個の KA に分類した上で、それぞれの KA で扱われる内容を 10 個程度の Knowledge Unit (KU) で説明している。カリキュラム標準からトピックに関するモデルを生成する際には、従来の LDA を改良した simplified supervised LDA (ssLDA) を用いた。LDA は教師無しのデータを入力とすることから、KA を反映させるために同じ KA と関係があるテキストに、共通のテキストを付加する前処理を行ってきたが、 ssLDA は テキストと KA との関係を入力として与えられることから、BOK をより適切にモデル化できる。

表 1:	CS2013	) Knowleds	ge Area 一覧

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

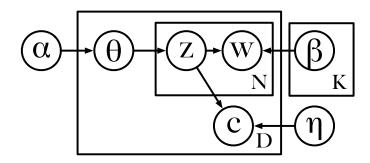


図 1: ssLDA のグラフィカルモデル

2. CS2013 をそれ以前のカリキュラム標準と比較した。 ACM と IEEE CS は数年から 10 年に 1 度 のペースでカリキュラム標準を更新しており、CS2013 では BOK を構成する KA の追加や再構 成など、それ以前の Computing Science Curriculum 2008 (CS2008) と比較すると大きな変化が 見られる。そこで、CS2008 と CS2013 のそれぞれを基準として、3 つの大学のカリキュラムを処理した結果から、CS2008 と CS2013 を比較した。つまり、カリキュラム標準を用いてカリキュラムを比較するのとは反対に、実際のカリキュラムを基準としてカリキュラム標準を比較することとなる。

#### 2.2.1 Simplified Supervised LDA (ssLDA)

ssLDA は、LDA において文書集合から抽出されるトピックを、予め文書ごとに与えられるよう改良したものである。ssLDA のグラフィカルモデルを図1に示す。 $\alpha$  や  $\theta$  などはオリジナルの LDA と同一であることから説明を省略する。LDA と異なるのは、2 つの変数 c と  $\eta$  を新たに導入したことにある。c は文書 w と文書に割り当てられるトピック z との関係を示すもので、 $\eta$  は関係の強さを調整するパラメータである。

例えば CS2013 ではコンピュータ科学の分野を 18 個の KA に分類した上で、それぞれの KA には 10 個程度の KU を含むが、ssLDA では各 KU がどの KA に属するかを c を使って与えることで、CS2013 の BOK に含まれる単語と KA との関わりの強さを ssLDA のモデルとして得ることが出来る。なお  $\eta$  については、CS2013 を訓練データとして用いて learve-one-out cross-validation (LOOCV) を行い、KU の分類精度が最も高くなる時の値を求めた。具体的には  $\eta = \{5.0, 10.0, 20.0, 50.0, 100.0, 200.0\}$  で比較したところ、 $\eta = 50.0$  の時に精度 0.663 が得られた。

ssLDA は Naive Bayes Classifier や SVM などの分類器とは用途が異なるものの、分類の精度が劣るものでは無い。前述の CS2013 のデータを用いて LOOCV を実行した結果を表 2 に示す。なお、R

表 2: CS2013 のデータを用いた LOOCV による精度の比較

Classifier	Accuracy
Naive Bayes	0.656
SVM (linear)	0.264
SVM (radial)	0.325
SVM (sigmoid)	0.620
ssLDA ( $\eta = 50.0$ )	0.663

表 3: 計算機科学分野に関する学部を持つ米国の主要 10 大学

Rank	Department, University	ID
1	Electrical Engineering, Computer Science, Massachusetts Institute of Tech-	MIT
	nology	
2	Computer Science Department, Stanford University	Stanford
3	School of Computer Science, Carnegie Mellon University	CMU
4	Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, Computer Sci-	UCB
	ence Division, University of California, Berkeley	
5	Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-	Illinois
	Champaign	
6	College of Computing, Georgia Institute of Technology	Georgia
7	Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of	Michigan
	Michigan	
8	Computer Science Department, the University of Texas at Austin	UTAustin
9	Department of Computer Science, Cornell University	Cornell
10	The Computing + Mathematical Sciences Department, California Institute of	Caltech
	Technology	

の e1071 パッケージ<sup>1</sup> を Naive Bayes や SVM として用いた。

#### 2.2.2 米国 10 大学のカリキュラムの比較

表3に本研究で対象とした主要10大学を示す。この10大学はU.S.News が公開している"Computer Rankings, Best Undergraduate Engineering Programs" に基づく。分析に用いたシラバスは、それぞれの大学のWeb サイトから取得した。

各大学のカリキュラムを構成するシラバスを ssLDA を用いて分析することで、それぞれのシラバスと KA との関係を得ることが出来る。例えば、Illinois のコース "CS418 Interactive Computer Graphics" は Computer Graphics を扱っており、 CS2013 の KA の一つ GV (Graphics and Visualization) との 関わりが強いといった結果が得られる。表 4 に CS418 のシラバスの一部と KA との関係の強さを示す。このように各シラバスごとに得られた KA との関係の強さをカリキュラム単位で足し合わせて平均を取ったものが表 5 である。

CS2013 には 18 個の KA があることから、あるカリキュラムで扱われる内容が仮に一様である場合、KA との関係の強さは 1/18=5.55...% になるが、表 5 からは大学ごとに特徴が有ることが分かる。例えば、学部名に "Electrical Engineering (EE)" を含む、UCB、MIT、及び Michigan では、コンピュータアーキテクチャなどを扱う KA である AR (Architecture and Organization) との関係が強い。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Package 'e1071', http://cran.r-project.org/web/packages/e1071/e1071.pdf (2015年4月6日アクセス).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>U.S.News & World Report, http://colleges.usnews.rankingsandreviews.com/best-colleges/rankings/engineering-doctorate-computer (2014 年 8 月 25 日アクセス)

#### 表 4: CS418 のシラバスの一部及び KA との関係

syllabus

CS418 Interactive Computer Graphics

Basic mathematical tools and computational techniques for modeling, rendering, and animating 3-D scenes...

- 1. Rotate, translate, scale an object represented by triangle mesh, and manage hierarchies of such transformations. (a)(b)(c)(h)(i)(j)(k)
- 2. Render an image of a meshed object with lighting, texture, reflections and perspective from an arbitrary viewpoint with hidden surfaces removed and extraneous geometry clipped. (a)(b)(c)(h)(i)(j)(k) $\dot{z}$
- 3. Model and render an object using parametric curves and surfaces including Hermite, Bezier, NURBS and Catmull-Clark subdivision surface presentations. (a)(b)(c)(h)(i)(j)(k)¿...

AL	AR	CN	DS	GV	HCI	IAS	IM	IS	NC	OS	PBD	PD	PL	SDF	SE	SF	SP
1.0	2.8	7.2	2.7	55.6	4.8	0.6	2.3	8.2	0.6	0.6	4.2	1.4	0.9	1.5	1.1	3.0	1.5

表 5: 各大学のカリキュラムと CS2013 の KA との関係の強さ、及び 10 大学での平均 (%)

	AL	AR	CN	DS	GV	HCI	IAS	IM	IS	NC	OS	PBD	PD	PL	SDF	SE	SF	SP
MIT	5.9	6.2	7.5	4.5	6.1	9.5	3.6	3.9	6.3	3.7	4.2	4.6	3.7	3.3	5.7	7.6	4.1	9.5
Stanford	5.7	6.2	4.6	2.8	9.5	10.7	4.1	4.8	5.5	3.4	2.8	5.5	5.0	6.3	4.4	7.4	4.2	7.1
CMU	6.5	4.3	8.9	7.3	9.5	6.9	3.0	4.7	7.3	2.8	3.1	4.7	3.7	5.9	5.6	5.0	4.2	6.5
UCB	6.3	7.5	7.0	4.0	7.2	7.4	5.9	3.8	6.2	4.3	3.5	7.1	4.8	4.5	4.9	4.8	3.7	7.1
Illinois	5.7	4.3	7.4	3.5	9.9	7.8	3.7	5.1	7.3	3.5	4.1	4.9	4.3	7.0	4.2	5.9	4.4	6.9
Georgia	5.6	4.9	6.5	4.8	6.5	7.3	5.1	5.4	6.2	4.6	5.2	4.8	4.5	4.9	5.5	6.1	4.4	7.5
Michigan	6.3	6.2	6.1	4.4	6.8	7.0	4.0	4.5	8.9	3.8	5.2	5.4	3.6	4.9	6.3	5.5	5.0	6.1
UTAustin	5.5	5.1	8.6	4.4	6.0	7.3	5.0	4.7	5.2	5.2	4.5	6.2	4.2	5.1	5.8	5.9	4.5	6.9
Cornell	6.5	5.6	7.5	4.4	7.7	6.8	4.0	4.6	9.0	3.6	4.9	6.2	4.2	5.5	4.6	4.7	3.8	6.5
Caltech	8.7	5.3	7.0	4.4	8.0	6.1	3.9	4.9	7.5	3.5	4.9	4.6	4.2	4.9	5.5	6.0	4.3	6.1
平均	6.1	5.4	7.0	4.5	7.4	7.6	4.3	4.8	7.0	4.0	4.5	5.3	4.3	5.2	5.2	5.9	4.3	7

表 6:3つの主成分と KA との関係 (ノルムが 10 になるよう正規化した値)

	AL	AR	CN	DS	GV	HCI	IAS	IM	IS
1st (69%)	1.3	-0.1	2.7	-1.9	4.2	4.1	-2.6	-1.6	2.5
2nd (11%)	-2.1	2.4	-3.2	-3.2	-1.7	4.9	1.6	-0.5	-4.1
3rd (7%)	0.6	1.5	3.7	1.3	-5.4	-0.5	0.1	-1.9	1.0
	NC	OS	PBD	PD	PL	SDF	SE	SF	SP
1st	-3.3	-2.6	-0.4	-2.4	-0.4	-0.7	0.7	-2.3	2.7
2nd	1.2	-1.1	0.7	1.2	-1.1	-0.6	3.1	-0.1	2.6
3rd	0.5	1.2	0.3	-2.1	-5.0	2.4	0.1	-0.9	3.2

また、表5の値を用いて主成分分析 (Principles Component Analysis, PCA) を行ったところ、3つの主成分による寄与率が90%であった。表6に各主成分と KA との関係の強さを示す。第1主成分は、表5に最後の行に示す10大学の平均値との相関が0.99と大きいことから、大学の違いでは無く全体的な傾向を示していると考えられる。第2主成分は、HCI、SE、及びSPといった人間に関わる KAと正の関わりが強く (human factor)、IS、CN、及びDSといった理論や数学に関わる KAと負の関わりが強い (theoretical factor)。また、第3主成分は、CN、SP、及びSDFといった全体的な内容を表す KAと正の関わりが強く (general factor)、GVやPLといった要素的な内容を表す KAと負の関わりが強い (elemental factor)。そこで、図2に第2主成分と第3主成分を用いて、各大学のカリキュラムを平面上にプロットした結果を示す。この図からは、10大学のうち上位の3大学 MIT (human かつ general)、Stanford (human かつ elemental)、CMU (theoretical) がこの2つの成分で特徴的である一方、他の7大学は強い特徴が表れていないと言える。

このように、CS2013を用いて米国の10校の大学の特徴を得ることができた。

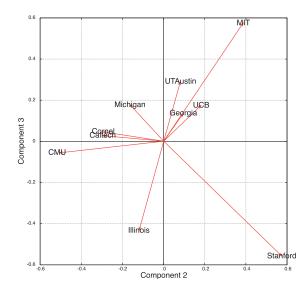


図 2: 第2主成分 (x 軸) と第3主成分 (y 軸) による各大学のカリキュラムのプロット

表 7: KA とシラバスとの関係を示す Jaccard 係数の一覧

K	KAs		Illinois	Princeton	All
and (	CS2013	J <sub>MIT</sub>	$J_{ m Illinois}$	JPrinceton	$J_{ m All}$
NC	NC	0.000	0.167	0.250	0.120
HC	HCI	0.111	0.133	0.200	0.132
PF	SDF	0.000	0.200	0.500	0.133
AR	AR	0.000	0.375	0.125	0.143
CN	CN	0.000	0.000	0.556	0.200
SP	SP	0.125	0.417	0.286	0.233
GV	GV	0.154	0.333	0.286	0.235
IS	IS	0.222	0.500	0.333	0.360
IM	IM	0.000	0.455	0.400	0.389
SE	SE	0.438	0.636	0.167	0.449
AL	AL	0.400	0.500	0.750	0.484
PL	PL	0.000	0.833	0.500	0.500
DS	DS	0.474	1.000	_	0.524
OS	OS	_	0.500	1.000	0.600

#### 2.2.3 カリキュラム標準 CS2008 と CS2013 との比較

2013年に公開された CS2013 とそれ以前の CS2008 との BOK を比較すると、表1の KA の内、IAS、PBD、PD、及び SF が新たに加えられた KA となる。しかし、それ以外の KA についても CS2013 と CS2008 でその内容が見直されている。この違いを分析するに当たり、Massachusetts Institute of Technology (MIT), Princeton University (Princeton), and Illinois University (Illinois) の3つの大学のシラバスを、CS2013 と CS2008 の2種類の基準をそれぞれ用いて 2.2.2 節と同様に処理する。

最初に、対象となる 3 大学の各シラバスごとに CS2008 と CS2013 それぞれについて最も関係の強い KA を求める。例えば、表 4 の例では CS2013 の GV となる。次に、CS2013 と CS2008 の対応する KA について、当該 KA と最も関係の強いシラバスが一致するかどうかを調べて Jaccard 係数を求めた。表 7 に、MIT, Illinois, Princeton 及び 3 つの大学全体での Jaccard 係数の値を示す。

表7の結果からは、値が比較的小さい NC, HCI, SDF(PF), AR, 及び CN において、KA の内容が変更されているが推測される。実際のところ CS2013 に関するレポートを見直すと、例えば NC においては、セキュリティに関する KU が IAS に移され、Web やモバイルに関する KU は PBD で取り扱われるなど、KU の再構成が行われたことが読み取れる。

このように、カリキュラム分析の手法を用いて、CS2008 と CS2013 との比較を行うことができた。

#### 2.3 具体的成果

2.2.2 節の内容については、[査読付 3] として発表した。2.2.3 節の内容については、[査読付 1] として発表した。

# 3 初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答に関する分析

#### 3.1 背景

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

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

#### 3.2 内容

2014年度は以下の3点を行った。

- 1. トレーシング問題をウェブ経由で行うツールについて、Learning Tools Interoperability (LTI)<sup>3</sup> に対応させた。これによって、LTI に対応する学習管理システムからトレーシングツールを用いることができる。
- 2. 誤答パターンを表現する変換器について、Ruby のコードとS式とを相互に変換するライブラリを用いるように改良した。
- 3. これまでと同様に、初学者向けのプログラミングの講義でトレーシング問題を実施して、その結果について分析した。

#### 3.3 具体的成果

3.2 節で述べたように改良したツールが成果となる。但し、学会発表などは行っていない。

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>http://www.imsglobal.org/toolsinteroperability2.cfm

# 4 成果要覧

## 査読付論文

- [査読付1] T. Sekiya, Y. Matsuda, and K. Yamaguchi: Mapping analysis of CS2013 by supervised LDA and isomap, Proceedings of Teaching, Assessment and Learning (TALE), 2014 International Conference, Wellington, New Zealand, pp. 33–40, Dec. 2014.
- [査読付 2] 丸山 一貴, 山原陽一, 関谷貴之: データ自動再配置ストレージによるレスポンスタイム改善と柔軟な運用の実現, インターネットと運用技術シンポジウム 2014 論文集, pp. 85–92, 2014.
- [查読付 3] T. Sekiya, Y. Matsuda, and K. Yamaguchi: Curriculum analysis of CS departments based on CS2013 by simplified, supervised LDA, LAK '15 Proceedings of the Fifth International Conference on Learning Analytics And Knowledge, NY, USA, pp. 330–339, Mar. 2015.

# 学術情報研究部門

学術情報研究部門概要

中川 裕志 統計的機械学習とプライバシー保護技術

佐藤 一誠 入力のサイズに依存しない大規模ベイズ学習に関する研究

> 荒井 ひろみ プライバシを保護したデータ収集及び利用

# 学術情報研究部門

# 概要

#### 中川裕志

### 1 概要

2014 年度は、主に機械学習とその応用、およびプライバシー保護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。

中川は主にプライバシー保護の制度と技術課題、および機械学習に関して研究を行った。プライバシー保護では法制度と技術の係わり方を調査し、技術的にはk-匿名化が誘発する濡れ衣現象の提案とその軽減化のためのアルゴリズムを考案した。機械学習に関しては、トピックモデル、オンライン学習、Banditなどの数理モデルの研究を行った。

佐藤はベイズ統計を用いた機械学習の研究を行った。統計的機械学習におけるベイズ予測では、ベイズ事後分布からのサンプリングによる近似計算を行う。その際に問題となるのは、1つのサンプルを生成するために入力データのサイズに依存した計算量となる。本研究では、全データを用いず、部分集合のサンプリングと組み合わせた、ベイズ事後分布からのサンプリング手法について理論解析を行った。理論解析の結果、全データを用いた真のベイズ事後分布からのサンプリングに対して強収束はしないが弱収束はすることを証明した。

ベイズ学習では、ベイズ事後分布からサンプリングされた複数のパラメータによる期待値計算が重要であり、その意味では弱収束さえ保証できれば良い。したがって、本研究で行っている入力のサイズに依存しないベイズ事後分布からのサンプリングは大規模なベイズ学習手法として有力な方法であることが証明できた。

荒井は主にプライバシを保護したデータ収集及び利用に関する研究を行った。具体的には、プライバシを保護した情報収集システム、クラウドソーシングにおけるワーカーのプライバシの保護に関する技術研究、医療情報及びゲノム情報利用に関する調査研究及び講演を行った。

# 2 成果要覧

### 招待講演/招待論文

[招待講演 1] 中川裕志:プライバシー保護の法制度と技術課題. 東京大学情報理工学系研究科 GCL レクチャー、2014 年 10 月 29 日. 東京大学

- [招待講演 2] 中川裕志: プライバシー保護の法制度と技術課題: PLRの立ち位置. 集めない ビッグデータコンソーシアム第4回全体会議 招待講演、2015年1月19日. 東京大学
- [招待講演 3] 中川裕志: プライバシー保護の法制度と技術課題. 通信総合研究所. プライバシー 保護技術ワークショップ 招待講演、2015年3月4日. 通信総合研究所(小金井)
- [招待講演 4] 中川裕志: データ利用における個人情報の保護. 経済産業省主催シンポジウム「ID 連携トラストフレームワークが築く社会」基調講演、2015年3月13日. 秋葉原 UDX
- [招待講演 5] 荒井ひろみ: パーソナルゲノムとプライバシー保護データマイニング技術, 生命 医薬情報学連合大会2014 年大会, 2014 年10 月3 日.
- [招待講演 6] Hiromi Arai: パーソナルゲノムとプライバシー保護データマイニング技術, Workshop on Clinical Informatics in Big-Data Era, Dec 12, 2014.
- [招待講演 7] 荒井ひろみ: , NICT プライバシー保護技術ワークショップ, データ開示におけるプライバシ侵害の現状および監査技術について, 2015 年3 月4 日.

#### 受賞関連

[受賞1] 佐藤一誠:上林奨励賞、日本データベース学会、2015年3月3日

### 著書/編集

- [著書 1]中川裕志:東京大学工学教程 情報工学「機械学習」.東京大学工学教程編纂委員会編, 2015年2月(試作版。1年間の授業での使用の後、来年度に市販版を出版予定。)
- [編集 2]中川裕志: 情報処理学会誌 特集 パーソナルデータの利活用における技術および各国 法制度の動向 編集担当. 情報処理 55(12) pp. 1332-1384. 2014 年 12 月
- [著書 3]佐藤一誠:トピックモデルによる統計的潜在意味解析. 奥村学監修(自然言語処理シリーズ)コロナ社. 2015 年 3 月

#### 查読付論文

[査読付 1] Tengfei Ma, Issei Sato and Hiroshi Nakagawa: The Hybrid Nested/ Hierar-chical Dirichlet Process and Its Application to Topic Modeling with Word Differentiation. AAAI2015, Austin Texas, USA. Jan. 25-30 (presentation on Jan. 28), 2015

- [査読付2]Minoru Yoshida, Kazuyuki Matsumoto, Qingmei Xiao, Xielifuguli Keranmu, Kenji Kita and Hiroshi Nakagawa :Extracting Corpus-Specific Strings by Using Suffix Arrays Enhanced with Longest Common Prefix, Proceedings of the 10th Asia Information Retrieval Society Conference (AIRS 2014), LNCS 8870, pp. 360-370, Kuching, Dec. 2014.
- [査読付3]Junpei Komiyama, Hidekazu Oiwa, Hiroshi Nakagawa :Robust Distributed Training of Linear Classifiers Based on Divergence Minimization Principle. The European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in

- Databases (ECML PKDD 2014), Springer Lecture Notes Artificial Intelligence (LNAI)8725, pp. 1-17, ECML/PKDD, Nancy, France. Sept. 15-19, 2014 (accepted. acceptance ratio 115/483=23.8%)
- [査読付 4] Issei Sato, Hisashi Kashima, and Hiroshi Nakagawa Latent Confusion Analysis by Normalized Gamma Construction. The 31st International Conference on Machine Learning (ICML 2014). pp. 1116-1124, June 21-26, 2014 Beijing International Convention Center
- [査読付5]Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Approximation Analysis of Stochastic Gradient Langevin Dynamics by using Fokker-Planck Equation and Ito Process. The 31st International Conference on Machine Learning (ICML 2014).pp. 982-990, June 21-26, 2014 Beijing International Convention Center
- [査読付6]Hidekazu Oiwa, Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Online and Stochastic Learning with a Human Cognitive Bias. AAAI2014. pp. 2020-2026, July 27-31, 2014, in Quebec City, Canada
- [査読付7]Minoru Yoshida, Kazuyuki Matsumoto, Kenji Kita, and Hiroshi Nakagawa: Unsupervised Analysis of Web Page Semantic Structures by Hierarchical Bayesian Modeling. PAKDD 2014, Part II, LNAI 8444, pp. 572-583, May 13-16, 2014. (presentation on May 16)
- [査読付 8] Hiroshi Kajino, Hiromi Arai, Hisashi Kashima: Preserving Worker Privacy in Crowdsourcing, Data Mining and Knowledge Discovery, Vol. 28, Issue 5, pp. 1314-1335, 2014
- [査読付 9] Hiromi Arai, Keita Emura, Takahiro Matsuda: Anonymous Data Collection System with Mediators, in BalkanCryptSec, 2014 (to appear).

#### その他の発表論文

- [発表 1] 小宮山 純平,大岩 秀和,中川 裕志:ダイバージェンス最小化原理を利用した線形分類器のロバスト分散学習. 第 28 回人工知能学会全国大会,1G2-2in,松山市 ひめぎんホール,2014 年 5 月 12 日
- [発表 2]中川裕志: 匿名化の実社会での利用へ向けての技術課題.第 28 回人工知能学会全国大会, 2B4-0S-15a-4, 松山市 ひめぎんホール, 2014年5月13日
- [発表 3] 角野為耶,中川裕志:滞在場所の k-匿名化法.第 28 回人工知能学会全国大会,2B4-0S-15b-1,松山市 ひめぎんホール,2014年 5月 13 日
- [発表 4]梁 曽漢, 小宮山 純平, 大岩 秀和, 佐藤 一誠, 中川 裕志: 多腕バンディットにおけるリグレットの非線形拡張. 第28回人工知能学会全国大会, 2H4-1-4, 松山市 ひめぎんホール, 2014年5月13日

- [発表 5]大岩 秀和、中川 裕志. マルチタスク学習と誘因両立性. 第28回人工知能学会全国大会, 3F-4-1, 松山市 ひめぎんホール, 2014年5月14日
- [発表 6] 角野為耶,中川裕志:k-匿名化が誘発する濡れ衣を軽減するデータベース分割再構成法. SCIS 2014 The 32st Symposium on Cryptography and Information Security 3C4-4 The Institute of Electronics, 北九州市 リーガロイヤルホテル小倉, 2015 年 1 月 21 日
- [解説 7]中川裕志::情報処理学会誌 特集 パーソナルデータの利活用における技術および各国法制度の動向 「編集にあたって」.情報処理 55(12) pp. 1332-1336. 2014 年 12 月
- [発表 8] 森田瑞樹, 荒井ひろみ: 医療データ利用におけるプライバシ保護の課題とその解決策の提案2014 年度人工知能学会全国大会(第28 回), 2014.
- [発表 9] Hiromi Arai: Privacy preservation in crowdsourced health research: AAAI 2015 Spring SymposiaWorkshop: Ambient Intelligence for Health and Cognitive Enhancement, 2015.

#### 特記事項

- [特記 1]中川裕志:数理手法 IV「統計的機械学習入門」. 東京大学工学部計数工学科 http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/48/
- [特記 2]中川裕志:言語情報科学. 東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻 http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/49/
- [特記 3]中川裕志:情報データベース論. 東京大学大学院学際情報学府 http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/49/
- [特記 4] 荒井ひろみ, 中川裕志, 佐久間淳, 神嶌敏弘: 主催: 第 28 回人工知能学会全国大会, オーガナイズドセッション「OS-15 プライバシに配慮したデータ利活用」. 松山, 2014 年 5 月 13 日
- [特記 5]中川裕志: 英国大使館の招待による Big Data Research Mission to UK に参加し、 Imperial College London, University of Cambridge, Tech UK, University College London にて講演、2014年11月9日-14日
- [特記 6] 日英 Big Data Workshop ウイリアム王子来日記念「Innovation is GREAT」にて第3部 ビッグデータ:データ公開とプライバシーの座長,2015年2月26日
- [特記 7] 佐藤一誠: ビッグデータ時代の大規模ベイズ学習―Stochastic Gradient Langevin Dynamics を中心として, JST ERATO 河原林巨大グラフプロジェクト感謝祭Summer 2014, 2014 年8 月8日

# 統計的機械学習とプライバシー保護技術

#### 中川裕志

### 1 概要

2014 年度は、主にプライバシー保護の制度と技術課題、および統計的機械学習の応用に関して研究を行った。具体的には、以下に示すテーマの研究を行った。

- プライバシー保護において重要な匿名化の技術に関して、主要な技術とされている k-匿名化が濡れ衣という副作用を持つことを示し、解消する方向を提案した。[発表 2]
- プライバシー保護に関する制度と技術の関係について考察し発表した。[発表 3, 特記 2,3,4]
- 文書集合におけるトピック抽出の新手法として Hybrid Nested/Hierarchical Dirichlet Process を提案した。[査読付き 1]
- 分類器のオンライン学習において、1 度正しく分類されたデータがその後のデータの学習によって正しく分類されることを嫌うという認知バイアスがある。このバイアスを実現するオンライン学習アルゴリズムを提案した。「査読付き 6]
- 機械学習の数理的基礎を記述した教科書:東京大学工学教程 情報工学「機械学習」刊行した。今回は試作版であり、市販版の刊行は来年度の予定である。[著書1]

紙数の関係から以下では、プライバシー保護の制度と技術課題について述べる。

# 2 プライバシー保護の制度と技術課題

#### 2.1 背景

1980 年代以前、すなわちインターネットが大衆化する以前にはプライバシーとは人々が密集して生活している都市のような空間において「一人にしておいてもらう権利」という概念で捉えられていた。以下のように2つのフェーズに分解して考えることができる。

- a. 個人の不可侵な領域¹を設定。例えば、物理的には個人の身体、情報的には個人に係わる データ。例えば身体の不可侵さを示すため衣服を着用して身体的プライバシーを守って いるという考え方である。
- b. その領域内の一部ないしは全部を他人との同意に基づき、ある対価と引き替えに他人に 知らしめることができる。
- a の設定は個人の意志に基づいて決まる。したがって、その個人に関しては、時間や場所に

<sup>1</sup>平たく言えば、個人に係わる情報のうち他人に知られたくないものである。

よって異なり、状況依存的である。例えば、サラリーマン金融ショップに出入りしたことは、 通常はプライバシーではないかもしれないが、その人が就職活動中だとかなり高いプライバ シーかもしれない。

b においては、同意に基づくという部分が本質的であり、同意に基づかない場合はプライバシー侵害となる。

インターネットが大衆化した後、プライバシーの焦点はインターネット上を流通するデータ 主体の個人データに移ってきた。「一人にしておいてもらう権利」はインターネットにおけ る個人という文脈では、「忘れられる権利(the right to be forgotten)」 あるいは「追跡 拒否権(Don't Track: DNT)」という考え方に変容する。

「忘れられる権利」は、検索エンジンによって自分のことが書かれている Web ページにアクセスできないようにリンクを切断させることである。

「追跡拒否権」は検索エンジンに対して、自分のことが記載されたページを現時点以降に収集しないように要請し実施させることである。DNT は Google の裁判で問題になったプロファイリングに関していえば、プロファイル拒否権という見方ができる。

「忘れられる権利」と「追跡拒否権」は個人から検索エンジンに対する具体的要請である。しかし、もう少し抽象化して適用範囲を拡げようとすると、データ主体である個人が自身に関する個人データのコントロールをできる「自己情報コントロール権」をプライバシー権とする考え方になる<sup>2</sup>。「自己情報コントロール権」は具体的には自己情報の開示、訂正、削除を要求し、それを不当ではない対価で実現させることである。もし、これらの要求に応じられない場合は、その正当な理由を請求者に知らせなければならない。この権利は 1980 年に制定された 0ECD プライバシーガイドラインの 8 原則のひとつで第 13 条に記載されている。

#### 2.2 個人情報の関する従来の定義

英語では「特定の個人を識別すること」を identify という単語で表わす。特定の個人を 識別することができる情報を「個人識別情報」<sup>3</sup>と呼ぶ。

さて、前節で種々の個人情報を紹介した。これらが個人識別情報であるかどうかは以下の 条件を全て満たす場合である。

条件1:個人又は個人の所有物と密接に関係すること、

条件2:情報と本人が1対1に対応すること

条件 3:複数の事業者または複数のサービスで共通に利用されるものであること

条件4:本人が簡単に変更したり利用停止させたりできないこと

4つの全てを満たすものとしては、旧来から個人識別情報を見なされていた(氏名、性別、 生年月日、住所)の4つ組に加えて、ゲノム情報、指紋や顔認識データなどの個人の身体的 特性に関するものは個人識別情報と考えられる。スマートフォンの番号など、個人や個人の 情報端末に付番された番号は条件4が成立しているかどうか微妙であるが、短期間であれば 継続性があり、個人識別情報としての資格を持つであろう。

個人識別情報として法令で保護すべきかどうかは議論が必要な個人データの種類が多い。 その多くは、その個人データ単独では個人を特定できなくても、他の情報と組み合わせれば 比較的<u>容易</u>に個人を特定できる性質をもつものである。法律的に個人識別情報とみなすべき かどうかは、この<u>容易</u>さを法律家あるいは立法に携わる人々がどう査定するかによる。当然、

<sup>2</sup> 自己情報とはデータ主体である当該個人に係わる個人データと考えられる。

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> 特定の個人を識別することができることを「個人識別性」ということもある。

この<u>容易</u>⁴さは技術的な側面を持つわけで、法律と技術の境界ないし架け橋的な意味合いを持つ。

## 2.3 個人情報分類の新たな視点

前節で述べた個人識別情報の条件1,2,4は個人データ本体の性質に着目していた。データベースに格納されているだけなら、プライバシー的な被害を受ける問題も生じない。しかし、条件3を念頭においた場合、個人データの格納されたデータベースを利用というプロセスについて検討する必要がある。当然ながら、利活用だけではなく、第三者移転や転売、さらに悪用についても考えなければいけない。そこで個人情報分類に関して以下のような視点が浮かび上がってくる。

#### (1) 時間的視点

データ主体個人からの変更や停止は条件4に書いてあるが、ここで問題にしたいのは、データの時間軸上での性質である。

- a) データ取得時刻の精度:例えば、Suica の乗降履歴は、データの時間精度が秒の単位 か、分の単位か、時間の単位かで役立ち方、あるいは悪用の可能性に影響がある。
- b) データが正しい期間<sup>5</sup>: 例えば、勤務先などはしばしば変わる。したがって、データが正しい期間 (開始時刻と終了時刻、勤務先であれば入社日時と退職日時) を含むデータかどうか。
- c) データが時系列的に増加する場合、増加の間隔や頻度:データベースの管理の仕組み にも影響する。データ主体がオプトアウト(opt-out)した場合、それ以前のデータをど う扱うかという問題が生ずる。

こういった性質は、データを移転、転売する場合には価値に影響がある。

#### (2) 個人紐付けの視点

データベースに個人の(氏名、性別、生年月日、住所)の4つ組あるいは、明らかに個人が特定できる個人識別情報が記載されている場合は、データベースの個人に関する記載内容が特定の個人についての記述であることが明示される。つまり、個人紐付けがされている。

ところが、氏名など4つ組みの情報が削除された場合、情報の精度が粗い位置情報、移動履歴、購買履歴、Web 閲覧履歴、顔画像、など単独では個人特定が困難なデータである。しかし、別のデータベースや外部情報と突き合わせてみると個人の特定ができ、紐付いてしまう可能性がある。上記の4つ組みで、氏名を削って(性別、生年月日、住所)にしても、外部データベースと突き合せると個人の特定ができる可能性が高い。ソーシャルメディアも外部データベースとして使えるわけであり、紐付け以上に豊富な個人情報が把握できる可能性がある。このように個人紐付けは、データベースの形式的性質でだけでは決まらないので、技術的検討を要する視点である。

#### (3) 行動観察とデータベース格納の可知/不可知の視点

位置情報、行動履歴、購買履歴で典型的に付随する性質として、個人の行動が外部から観察可能かどうかという視点がある。例えば、データ主体:AさんがコンビニでTポイントカードである商品を購入しているところを観察されたとすると、TポイントのデータベースにAさんの購入履歴が格納されていることが観察者から知られる。あるいは、AさんがSuicaを所持していることを知られると、Suicaの顧客乗降履歴データベースに格納されていることが分かる。このようにデータ主体の行動ないカード所持などが観察されると、それらに関するデータベースにデータ主体のデータが格納されていることが知られる。これを可知と呼ぼ

<sup>4</sup> ゲノム情報もシーケンサとよばれる機器の一般化で個人識別情報と見なされるようになったと考えられる。

<sup>5</sup> これは条件2を時間という文脈から捉え直したものと考えられる。

<sup>©</sup> ここで形式的性質とはデータベースのレコードがどのような属性集合からなるかということを意味している。

う。仮にデータベースで(氏名、性別、生年月日、住所)の4つ組が削除されていたとして も、可知の場合には観察者はデータベースでデータ主体<sup>7</sup>のデータの格納を知ることができ る。特に位置情報、行動履歴、購買履歴の場合、位置や時刻の精度が高いと観察した個人の データをデータベース上で特定することも可能である。こういったデータがストーカーに知 られるのは単に気持ちが悪いだけでなく、実被害も想定される。

# 3 成果要覧

#### 招待講演/招待論文

[招待講演 1] 中川裕志:プライバシー保護の法制度と技術課題. 東京大学情報理工学系研究科 GCL レクチャー、2014年10月29日. 東京大学

[招待講演 2] 中川裕志: プライバシー保護の法制度と技術課題: PLRの立ち位置. 集めない ビッグデータコンソーシアム第4回全体会議 招待講演、2015年1月19日. 東京大学

[招待講演 3] 中川裕志: プライバシー保護の法制度と技術課題. 通信総合研究所. プライバシー 保護技術ワークショップ 招待講演、2015年3月4日. 通信総合研究所(小金井)

[招待講演 4] 中川裕志: データ利用における個人情報の保護. 経済産業省主催シンポジウム「ID 連携トラストフレームワークが築く社会」基調講演、2015年3月13日. 秋葉原 UDX

### 著書/編集

[著書 1]中川裕志:東京大学工学教程 情報工学「機械学習」.東京大学工学教程編纂委員会編, 2015年2月(試作版。1年間の授業での使用の後、来年度に市販版を出版予定。)

[編集 2]中川裕志: 情報処理学会誌 特集 パーソナルデータの利活用における技術および各国 法制度の動向 編集担当. 情報処理 55(12) pp. 1332-1384. 2014 年 12 月

#### 査読付論文

[査読付 1] Tengfei Ma, Issei Sato and Hiroshi Nakagawa: The Hybrid Nested/ Hierar-chical Dirichlet Process and Its Application to Topic Modeling with Word Differentiation. AAAI2015, Austin Texas, USA. Jan. 25-30 (presentation on Jan. 28), 2015

[查読付2]Minoru Yoshida, Kazuyuki Matsumoto, Qingmei Xiao, Xielifuguli Keranmu, Kenji Kita and Hiroshi Nakagawa :Extracting Corpus-Specific Strings by Using Suffix Arrays Enhanced with Longest Common Prefix, Proceedings of the 10th Asia Information Retrieval Society Conference (AIRS 2014), LNCS 8870, pp. 360-370, Kuching, Dec. 2014.

[查読付3] Junpei Komiyama, Hidekazu Ooiwa, Hiroshi Nakagawa :Robust Distributed Training of Linear Classifiers Based on Divergence Minimization Principle. The European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD 2014), Springer Lecture Notes Artificial Intelligence (LNAI)8725, pp. 1-17, ECML/PKDD, Nancy, France. Sept. 15-19, 2014 (accepted. acceptance ratio 115/483=23.8%)

- 90 -

<sup>7</sup>かりにデータ主体の氏名を知らなくても、物理的にデータ主体の自然人とつながってしまう。

- [查読付 4] Issei Sato, Hisashi Kashima, and Hiroshi Nakagawa Latent Confusion Analysis by Normalized Gamma Construction. The 31st International Conference on Machine Learning (ICML 2014). pp. 1116—1124, June 21—26, 2014 Beijing International Convention Center
- [査読付 5] Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Approximation Analysis of Stochastic Gradient Langevin Dynamics by using Fokker-Planck Equation and Ito Process. The 31st International Conference on Machine Learning (ICML 2014).pp. 982-990, June 21-26, 2014 Beijing International Convention Center
- [查読付6]Hidekazu Oiwa, Issei Sato, and Hiroshi Nakagawa: Online and Stochastic Learning with a Human Cognitive Bias. AAAI2014. pp. 2020-2026, July 27-31, 2014, in Quebec City, Canada
- [查読付7]Minoru Yoshida, Kazuyuki Matsumoto, Kenji Kita, and Hiroshi Nakagawa: Unsupervised Analysis of Web Page Semantic Structures by Hierarchical Bayesian Modeling. PAKDD 2014, Part II, LNAI 8444, pp. 572-583, May 13-16, 2014. (presentation on May 16)

#### その他の発表論文

- [発表 1] 小宮山 純平,大岩 秀和,中川 裕志:ダイバージェンス最小化原理を利用した線形分類器のロバスト分散学習. 第 28 回人工知能学会全国大会,162-2in,松山市 ひめぎんホール,2014 年 5 月 12 日
- [発表 2]中川裕志: 匿名化の実社会での利用へ向けての技術課題.第 28 回人工知能学会全国大会, 2B4-0S-15a-4, 松山市 ひめぎんホール, 2014年5月13日
- [発表 3] 角野為耶,中川裕志:滞在場所の k-匿名化法.第 28 回人工知能学会全国大会,2B4-0S-15b-1,松山市 ひめぎんホール,2014年5月13日
- [発表 4]梁 曽漢, 小宮山 純平, 大岩 秀和, 佐藤 一誠, 中川 裕志: 多腕バンディットにおけるリグレットの非線形拡張. 第28回人工知能学会全国大会, 2H4-1-4, 松山市 ひめぎんホール, 2014年5月13日
- [発表 5]大岩 秀和、中川 裕志. マルチタスク学習と誘因両立性. 第28回人工知能学会全国大会, 3F-4-1, 松山市 ひめぎんホール, 2014年5月14日
- [発表 6] 角野為耶,中川裕志: k-匿名化が誘発する濡れ衣を軽減するデータベース分割再構成法. SCIS 2014 The 32st Symposium on Cryptography and Information Security 3C4-4 The Institute of Electronics, 北九州市 リーガロイヤルホテル小倉, 2015 年 1 月 21 日
- [解説 7] 中川裕志: : 情報処理学会誌 特集 パーソナルデータの利活用における技術および各国法制度の動向 「編集にあたって」. 情報処理 55(12) pp. 1332-1336. 2014 年 12 月

#### 特記事項

[特記 1]中川裕志:数理手法 IV「統計的機械学習入門」. 東京大学工学部計数工学科 http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/48/

- [特記 2]中川裕志:言語情報科学. 東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻 http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/49/
- [特記 3]中川裕志:情報データベース論. 東京大学大学院学際情報学府 http://www.r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/node/49/
- [特記 4]中川裕志, 佐久間淳, 神嶌敏弘, 荒井ひろみ: 主催:第 28 回人工知能学会全国大会, オーガナイズドセッション「OS-15 プライバシに配慮したデータ利活用」. 松山, 2014 年 5 月 13 日
- [特記 5]中川裕志: 英国大使館の招待による Big Data Research Mission to UK に参加し、 Imperial College London, University of Cambridge, Tech UK, University College London にて講演、2014年11月9日-14日
- [特記 6] 日英 Big Data Workshop ウイリアム王子来日記念「Innovation is GREAT」にて第3部 ビッグデータ:データ公開とプライバシーの座長, 2015年2月26日

# 入力のサイズに依存しない大規模ベイズ学習に関する研究

佐藤一誠

# 1 概要

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。本研究では、代表的な機械学習手法の1つとしてベイズ学習に着目し、入力のサイズに依存しない大規模ベイズ学習に関する研究を行った。具体的には、部分的にデータをサンプリングすることでベイズ事後分布からのサンプリングを行う手法に対する理論的な解析を行った。特に以下の点で新規性がある。

- 部分的にデータをサンプリングして得られるパラメータが従う分布がベイズ事後分布に従うことをフォッカープランク方程式に基いて証明した。
- 部分的にデータをサンプリングして得られるパラメータの性質として,強収束と弱収束に関する 定理を証明した.

# 2 ベイズ学習

統計的機械学習は、観測データの背後に潜むルール・規則を統計的に記述し、データから自動的に獲得する学習の枠組みである。具体的には、データの生成メカニズムを統計的に記述し、統計モデルの推定問題として定式化する。観測データ  $x_{1:n}=(x_1,x_2,\ldots,x_n)$  に関して、これらのデータを生成した確率分布を  $p^*(x)$  とする。もちろん、現実のデータが何らかの確率分布  $p^*(x)$  から実際に生成されているとは限らないが、学習アルゴリズムを導出するための数学的な仮定である。

真の生成分布  $p^*(x)$  を我々は知ることができないため、この生成分布を何らかの統計モデルで記述することを考える。ここでは、簡単のため以下の生成モデルによって記述することを考える。

$$x_i \sim p(x_i|\theta) \ (i=1,\ldots,n). \tag{1}$$

統計モデル  $p(x|\theta)$  として真の生成分布  $p^*(x)$  にできるだけ近くなるようにモデルを推定し生成過程を学習する.

統計モデルの「近さ」を表す指標として Kullback-Leibler (KL) 情報量を導入する.

$$KL\left[p^*(x)||p(x|\theta)\right] = \int p^*(x)\log\frac{p^*(x)}{p(x|\theta)}dx. \tag{2}$$

KL 情報量を導入することによって、我々の目標は KL  $[p^*(x)||p(x|\theta)]$  を最小にする  $p(x|\theta)$  を求める以下の最適化問題へと定式化される。

$$\theta^* = \operatorname*{argmin}_{a} \operatorname{KL}\left[p^*(x)||p(x|\theta)\right]. \tag{3}$$

ここで、確率分布  $p^*(x)$  による期待値を  $\mathbb{E}_{p^*(x)}[\cdot]$  とすると KL 情報量は次のように表せる.

$$KL\left[p^{*}(x)||p(x|\theta)\right] = \mathbb{E}_{p^{*}(x)}\left[\log\frac{p^{*}(x)}{p(x|\theta)}\right]$$
$$= \mathbb{E}_{p^{*}(x)}\left[\log p^{*}(x)\right] - \mathbb{E}_{p^{*}(x)}\left[\log p(x|\theta)\right]. \tag{4}$$

 $\mathbb{E}_{p^*(x)} [\log p^*(x)]$  の項は  $p(x|\theta)$  の最適化に寄与しないので、実際には以下の最適化問題を解けばよい.

$$\theta^* = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} - \mathbb{E}_{p^*(x)}[\log p(x|\theta)] = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \, \mathbb{E}_{p^*(x)}[\log p(x|\theta)]. \tag{5}$$

この最適化問題は未知の真の生成分布  $p^*(x)$  を含んでいるため、このままでは解くことができない.そこで、データを真の分布からのサンプルとして期待値計算を近似する.つまり、 $x_i\sim p^*(x)$  なので、 $\mathbb{E}_{p^*(x)}[\log p(x|\theta)] \approx \frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \log p(x_i|\theta)$  を用いて

$$\theta^* = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log p(x_i | \theta).$$
 (6)

これは最尤推定(maximum likelihood estimation)と呼ばれる方法で,最尤推定によって得られる解を  $\phi_{\rm ML}$  と書くことにする.

生成モデルの観点でみると、データ  $x_{1:n}$  の生成確率は  $p(x_{1:n}|\theta) = \prod_{i=1}^n p(x_i|\theta)$  として計算できるため、この生成確率 (実際には確率の対数) を最大にする  $\theta$  を求めていることになる。

$$\phi_{\text{ML}} = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \log \prod_{i=1}^{n} p(x_i|\theta) = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \sum_{i=1}^{n} \log p(x_i|\theta). \tag{7}$$

この定式化では、 $\frac{1}{n}$  部分が無いが、最適化問題としては等しい.

ここで、 $\theta$  に関する生成過程も考慮することにしよう。 $\theta \sim p(\theta|\eta)$  と仮定すると、生成確率は  $p(\theta|\eta)\prod_{i=1}^n p(x_i|\theta)$  となる。したがって、以下の最適化問題を解けば良い。

$$\theta^* = \operatorname*{argmax}_{\theta} \left\{ \log p(\theta|\eta) + \sum_{i=1}^{n} \log p(x_i|\theta) \right\}. \tag{8}$$

最適化問題として見ると  $\log p(\theta|\eta)$  の項は,最尤推定時の過学習を防ぐ正則化項として機能している.過学習とは,観測データに過剰に適合し,汎化能力が低くなる現象である.汎化能力とは,訓練データから学習した結果を未知の問題に対して適用した場合の性能である.ここでは,新規データに対する予測能力だと考えて頂ければ良い.機械学習の目的は,汎化能力の高いモデル・学習アルゴリズムを開発することであると言える.したがって,最尤推定に比べて,8 は汎化能力の高い学習が期待できる.

8 は事後確率最大 (MAP : maximum a posteriori) 推定と呼ばれている。 MAP 推定によって得られる解を  $\phi_{\text{MAP}}$  と書くことにする.

事後確率とは、ベイズの定理に基いて以下のように得られる確率である.

$$p(\theta|\mathbf{x}_{1:n},\eta) = \frac{p(\theta,\mathbf{x}_{1:n}|\eta)}{p(\mathbf{x}_{1:n}|\eta)} = \frac{p(\mathbf{x}_{1:n}|\theta)p(\theta|\eta)}{p(\mathbf{x}_{1:n}|\eta)},$$
(9)

$$p(\boldsymbol{x}_{1:n}|\eta) = \int p(\theta, \boldsymbol{x}_{1:n}|\eta) d\theta.$$
 (10)

したがって、MAP推定はこの事後確率が最大となる $\theta$ を求めること最適化問題として定式化される.

$$\phi_{\text{MAP}} = \underset{\theta}{\operatorname{argmax}} \log p(\theta | \boldsymbol{x}_{1:n}, \eta). \tag{11}$$

 $p(x_{1:n}|\eta)$  は  $\theta$  の最適化には寄与しないので、上記最適化問題は 8 となる.

最尤推定や MAP 推定によってパラメータを推定すれば、新たなデータ  $x^*$  に対して、その予測分布  $p(x^*|\phi_{ML})$  や  $p(x^*|\phi_{MAP})$  を構成することができる。最尤推定や MAP 推定は推定された 1 つのパラメータを用いて予測分布を構成しているが、パラメータの事後確率分布が求まっていれば、その確率で重み付けされた予測を行うことも可能である。

$$p(x^*|\boldsymbol{x}_{1:n}) = \int p(x^*|\theta)p(\theta|\boldsymbol{x}_{1:n})d\theta.$$
(12)

この枠組みはベイズ予測と呼ばれる.

ただし、大抵このような積分計算は解析的に求めることができない。そもそも事後分布を用いて解析的に求めることができない場合が実応用ではほとんどである。したがって、ベイズ推定では、事後分布(による平均化)をいかに効率的に求めるかが重要である。最尤推定やMAP推定は、ベイズ推定とは異なりパラメータ1点のみを推定するため、総称して点推定とも呼ばれる。

ベイズ予測を効率的に行う枠組みとしてサンプリング近似法がある。何らかの方法で、効率的に事後分布からのサンプル $\theta^{(s)} \sim p(\theta|\mathbf{x}_{1:n})$   $(s=1,2,\ldots,S)$  が生成することができれば、ベイズ予測 (12) は、

$$p(x^*|\mathbf{x}_{1:n}) \approx \sum_{s=1}^{S} p(x^*|\theta^{(s)}).$$
 (13)

と近似できる.

直感的には、多くのパラメータの可能性を用いて集団的に多数決で予測を行っているため、単一のパラメータのみを用いる点推定のアルゴリズムに比べて優れた予測性能(汎化能力)が期待できる.

# 3 入力のサイズに依存しないベイズ事後分布からのサンプリング

ベイズ事後分布からのサンプリングの難しさは確率分布の正規化定数の計算のしやすさに依存する. ベイズ事後分布は、ベイズの定理により以下のように計算することができる.

$$p(\theta|\mathbf{x}_{1:n}) = \frac{p(\mathbf{x}_{1:n}|\theta)p(\theta)}{\int p(\mathbf{x}_{1:n}|\theta)p(\theta)d\theta}$$
(14)

このとき,正規化定数  $p(\boldsymbol{x}_{1:n}) = \int p(\boldsymbol{x}_{1:n}|\theta)p(\theta)d\theta$  は一般的には計算困難な積分計算になっている. しかし,事後分布からのサンプリングをするだけならば,工夫次第で正規化定数を計算せずにサンプリング可能である.

本研究では、ランジュバンモンテカルロ法を取りあげる。ランジュバンモンテカルロ法では以下の 更新式に基づいて  $\theta_t$  を生成する。

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \frac{\epsilon}{2} \partial_{\theta} L(\theta_t) + \eta_t, \ \eta_t \sim N(0, \epsilon_t), \tag{15}$$

$$\partial_{\theta} L(\theta_t) = \partial_{\theta} \log p(\theta_t) + \sum_{i=1}^{n} \partial_{\theta} \log p(x_i | \theta_t), \tag{16}$$

ここで, $\epsilon$  はステップサイズと呼ばれるハイパーパラメータで, $N(0,\epsilon)$  は,平均 0 で分散  $\epsilon$  の正規分布である.この方法では, 1 つのサンプル  $\theta_t$  を得るために, $\sum_{i=1}^n$  の計算が必要であるため,入力データのサイズに依存したサンプリング方法になっている.

そこで、データからサンプリングした部分集合  $\mathcal{S}_t \subset \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  を用いて以下のようなアルゴリズムを考える.

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \frac{\epsilon}{2} \partial_{\theta} \tilde{L}(\theta_t) + \eta_t, \ \eta_t \sim N(0, \epsilon), \tag{17}$$

$$\partial_{\theta} \tilde{L}(\theta_t) = \partial_{\theta} \log p(\theta_t) + \frac{n}{|\mathcal{S}_t|} \sum_{i \in \mathcal{S}_t} \partial_{\theta} \log p(x_i | \theta_t). \tag{18}$$

このアルゴリズムは、サンプル $\theta_t$ を得るために必要な計算量は $\mathcal{O}(|\mathcal{S}_t|)$ である.

さて、ここで知りたいのは、このアルゴリズムによって生成される $\theta_t$ の性質で、これがベイズ事後分布からのサンプルとして正しいのか、または、なんらかの近似となっているならば近似の精度はどれくらいか、ということである、次の節では、これらに関して理論解析を行う。

# 4 理論解析

更新式 (17) によって生成されるサンプル  $\theta_t$  に関する理論解析を行う. まず、 $\theta_t$  が従う分布に関して分析を行った. いま  $\theta_t$  に対応して仮想的な時刻 t を導入する.  $\theta_t$  の従う分布を  $q(t,\theta)$  とする.

このとき,以下を示すことができる.

定理 1. 更新式 (17) によって生成されるサンプル  $\theta_t$  が従う分布  $q(t,\theta)$  は、以下のフォッカー・プランク方程式にしたがう。

$$\partial_t q(t,\theta) = \lim_{\epsilon \to 0} \frac{q(t+\epsilon,\theta) - q(t,\theta)}{\epsilon},$$

$$= \partial_\theta (\partial_\theta (-L(\theta))q(t,\theta)) + \partial_\theta^2 q(t,\theta),$$
(19)

フォッカー・プランク方程式は、確率分布の時間発展を記述する偏微分方程式で

$$\partial_t q(t,\theta) = \partial_\theta (\partial_\theta U(\theta) q(t,\theta)) + \partial_\theta^2 q(t,\theta). \tag{20}$$

のとき,  $q(\theta)$  を  $q(t,\theta)$  の定常分布とすると

$$q(\theta) \propto \exp\left(-U(\theta)\right).$$
 (21)

を満たす. ここで, *U* は

$$\lim_{|\theta| \to \infty} U(\theta) = \infty,\tag{22}$$

を満たし、これは  $\int \exp(-U(\theta))d\theta < \infty$  となるための条件である.

したがって、(19) 式から、 $U(\theta) = -L(\theta)$  と考えると、

$$q(\theta) \propto \exp(L(\theta)) = p(\theta)p(\boldsymbol{x}_{1:n}|\theta)$$
 (23)

となり、これはベイズ事後分布である.

したがって,  $q(t,\theta)$  がベイズ事後分布に収束することがわかった. 次に, 収束の種類について分析を行う.

まず,いくつかの条件を仮定する.

仮定 2.  $C_1, C_2, C_3$  は定数で  $\epsilon$  に依存しないとする.

- 初期条件:  $\tilde{\theta}(0) = \theta(0)$  で有界である.
- リプシッツ条件:

$$|L(\theta(t)) - L(\theta(s))| \le C_1 |\theta(t) - \theta(s)|. \tag{24}$$

• 增大度条件:

$$|L(\theta(t))|^2 \le C_3^2 (1 + |\theta(t)|^2).$$
 (25)

このとき,S番目のサンプル $\theta^{(S)}$ が得られた仮想的な時刻をt=T  $(T/S=\epsilon)$  と以下の定理を示すことができる.

定理  $\mathbf{3}$  (強収束定理).  $\theta(T)$  を時刻 T で得られるベイズ事後分布からのサンプル,  $\tilde{\theta}(T)$  を時刻 T で更新式 (17) によって生成されるサンプルとする.

$$\mathbb{E}[|\theta(T) - \tilde{\theta}(T)|^2] = \mathcal{O}(\epsilon + \max_t \mathbb{E}[|\xi_t|^2]). \tag{26}$$

ここで、 $\xi_t$  は全データを用いた場合との誤差

$$\xi_{t_k} = \partial_{\theta} \tilde{L}(\theta_t) - \partial_{\theta} L(\theta_t) \tag{27}$$

を示し、 $\mathbb{E}[|\xi_t|^2]$ ) はデータからの部分集合のサンプリングによる期待値である.

すなわち, $\epsilon \to 0$ とき  $\mathbb{E}[|\theta(T) - \tilde{\theta}(T)|^2] \to 0$  とはならない.この定理が意味することは,更新式 (17) によるサンプリングは強収束しないことを意味する.もちろん部分データのサンプリングではなく全データを用いる場合は, $\xi_{t_k}=0$  となるので強収束する.

次に以下の定理を示すことができる.

定理  $\mathbf{4}$  (弱収束定理).  $\mathbb{E}[h(\theta(T))]$  を時刻 T で得られるベイズ事後分布による関数 h の期待値, $\tilde{\theta}(T)$  を時刻 T で更新式 (17) によって生成されるサンプルによる関数 h の期待値とする. 任意の微分可能な連続関数  $h(\theta)$  に対して

$$|\mathbb{E}[h(\theta(T))] - \mathbb{E}[h(\tilde{\theta}(T))]| = \mathcal{O}(\epsilon), \tag{28}$$

この定理では、 $\epsilon \to 0$ とき、 $|\mathbb{E}[h(\theta(T))] - \mathbb{E}[h(\tilde{\theta}(T))]| \to 0$ となるため、更新式 (17) によるサンプリングは弱収束することがわかる。また、収束次数は  $\mathcal{O}(\epsilon)$  より一次であり、これは全データを用いた場合と変わらない。

ベイズ予測では, (13) 式で示したとおり

$$p(x^*|\mathbf{x}_{1:n}) \approx \sum_{s=1}^{S} p(x^*|\theta^{(s)}) = \mathbb{E}[p(x^*|\theta(T))]$$
 (29)

という期待値計算が重要である.したがって、弱収束することが成り立てば十分である.

### 5 まとめ

統計的機械学習におけるベイズ予測では、ベイズ事後分布からのサンプリングによる近似計算を行う。その際に問題となるのは、1つのサンプルを生成するために入力データのサイズnに依存した計算量となる。これは、大規模なデータを用いてベイズ予測をする場合には、時間的なコストがかかってしまう。本研究では、全データを用いず、部分集合のサンプリングと組み合わせた、ベイズ事後分布からのサンプリング手法について分析を行った。

理論解析の結果、データの部分集合のサンプリングと組み合わせたベイズ事後分布からのサンプリングでは、強収束はしないが弱収束はすることがわかった。強収束は、サンプリングが描く軌跡自体に興味がある場合には重要である。しかし、ベイズ学習では、ベイズ事後分布からサンプリングされた複数のパラメータによる期待値計算が重要であり、その意味では弱収束さえ保証できれば良い。したがって、本研究で行っている入力のサイズに依存しないベイズ事後分布からのサンプリングは大規模なベイズ学習手法として有力な方法であることがわかる。

## 6 成果要覧

### 查読付論文

- [査読付 1] Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: Approximation Analysis of Stochastic Gradient Langevin Dynamics by using Fokker-Planck Equation and Ito Process. The 31st International Conference on Machine Learning (ICML 2014). pp.982-990. 2014.
- [査読付 2] Issei Sato, Hisashi Kashima, Hiroshi Nakagawa: Latent Confusion Analysis by Normalized Gamma Construction. The 31st International Conference on Machine Learning (ICML 2014). pp. 1116-1124. 2014.
- [査読付 3] Tengfei Ma, Issei Sato, Hiroshi Nakagawa: The Hybrid Nested/Hierarchical Dirichlet Process and Its Application to Topic Modeling with Word Differentiation. The 29th AAAI Conference on Artificial Intelligence.2015.

#### 著書/編集

[著書 1] 佐藤一誠 (著), 奥村学 (監修): トピックモデルによる統計的潜在意味解析, コロナ社, 2015 年 3 月.

### 受賞関連

[受賞 1] 日本データベース学会 上林奨励賞, 2015年3月

#### 特記事項

[特記 1] 佐藤一誠: ビッグデータ時代の大規模ベイズ学習―Stochastic Gradient Langevin Dynamics を中心として, JST ERATO 河原林巨大グラフプロジェクト感謝祭 Summer 2014, 2014 年 8 月 8 日

# プライバシを保護したデータ収集及び利用

#### 荒井 ひろみ

#### 1 概要

2014年度は主にプライバシを保護したデータ収集及び利用に関する研究を行った。具体的には以下に 示すテーマに注力して行った。

- プライバシを保護した情報収集システムの提案を行った。これは健康データ等の秘匿性の高い情報を暗号化したまま収集することでプライバシを保護するものである。この研究では中間収集者を設置することで個々のデータの匿名性を確保した。さらに restrictive public key を用いることで暗号化したままデータが所定のドメインの値を取るか確認することを可能にした [査読付 1]。
- ワーカーのプライバシを保護したクラウドソーシング方式の提案を行った。クラウドソーシング においてその成果物の品質管理を行うために複数のワーカーの回答をワーカーの能力に応じて統 合する問題を扱う。成果物が位置情報等を含む等、各ワーカーの成果物や能力がそのワーカーの プライバシに関わる場合がある。この研究では暗号プロトコルによって、ワーカーのプライバシ を保護しつつ品質管理を行うことを達成した [査読付 2]。
- 医療情報利用におけるプライバシ保護について、調査研究及び課題提起を行った。主に日本国内での医療、医学分野における個人情報の取り扱いの法律及び各種指針の規定を概観し、匿名化等の方式の曖昧性を指摘、プライバシ保護技術導入の検討を行った [発表 1]。
- ゲノム情報のプライバシ保護やプライバシ侵害及びその監査技術について調査研究及び講演を 行った[招待1,招待2,招待3]。

本報告では紙数の関係上前者二件について紹介する。

# 2 プライバシを保護した情報収集システム

#### 2.1 背景

近年、様々な情報が疫学等のデータ分析のために収集されるようになってきた。このような情報は個々人の病気に関する情報などプライバシに関わる情報である場合がある。収集されたデータのプライバシ保護のためには匿名化や差分プライバシ等の技術が存在するが、データ収集の過程にもプライバシ保護の必要性がある。

データ収集過程におけるデータ提供者のプライバシ侵害の大きな問題の一つに、ナイーブにデータ収集してしまうとデータ収集者に対してデータ提供者個々人と提供データが紐付いてしまうという問題がある。この問題を解決するために、プライバシ保護のために個々のデータをその収集過程で秘匿しかつ収集したデータが個人と紐づかないという意味で匿名化することを考える。

#### 2.2 内容

データ収集過程におけるデータ提供者のプライバシを保護する仕組みとして、単純に公開鍵暗号を用いてデータ収集を行うことを考える。データ収集者が公開鍵を作成し、データ提供者がそれを用いてデータを送ると、通信過程で提供データは秘匿されるが、データ収集者に対してデータの匿名性は担保されず本研究の目的を達成できない。

データの匿名性を確保するために、Yang や Brisckell らが公開鍵暗号を用いたシステムを提案している。このシステムは計算効率性が悪くデータ提供者の人数nに対してO(n)の計算量、 $O(n^2)$ の通信コストを要する。そのため大規模なデータ収集には不向きである。また、データ提供者はその計算過程でずっとオンラインでいる必要があり、実社会応用を考慮すると提供者の負担が大きいという難点がある。さらにこれらの手法はフォーマルな暗号学的な統一性や秘密性の定義が与えられていない。また、公開鍵暗号を用いて暗号化したデータを収集すると、暗号化前の平文の情報をデータ収集者は全く知ることができないためデータ収集者がデータのフォーマットチェックや仕分けが行えないという難点が存在する。

本研究では以上の既存研究の状況を踏まえ、それらの難点を改善することに成功した。中間者を置くこと及び restrictive public key(RPKE) を用いたことでデータ収集過程におけるデータ提供者のプライバシを保護しつつ暗号文のフォーマットチェックを可能にするシステムを実現した。さらに中間者の導入によって提案法では通信コストがO(n) に押さえられる。

#### 2.2.1 restrictive public key

本研究で用いた restrictive public key は高機能公開鍵暗号の一種で、坂井らによって 2011 年に提案されたものである。通常の公開鍵暗号に加え平文の値の範囲の情報の verification を non-interactive zero-knowledge range proof によってサポートしている。この暗号方式は IND-MSR-CPA 安全である。

#### 2.2.2 secure data collection system

本研究では中間者を設置し、データ収集者がデータ収集及びフォーマットチェックを中間者に代理で行わせる Secure Data Collection System を設計した。中間者は複数個存在させることができる。複数の中間者を置くことによって各中間者のデータ収集コストを低くすることが可能になり、大規模な計算機資源を要せず設置することができる。

Secure Data Collection System におけるデータ収集は以下のようである。提供データのドメインを  $\mathsf{MS}_1\ldots\mathsf{MS}_m$  と分割し、各データは区切られたメッセージスペースのうちどれかに該当するとする。例えば提供データが年齢で、ドメインが [0,100) の範囲の値をとるとし、 $\mathsf{MS}_1\ldots\mathsf{MS}_m$  ( $\mathsf{MS}_i=[10\times(i-1),10\times i)$  と分割するような場合が考えられる。提供データ v を  $V=(v_1,\ldots,v_m)$  とベクトルに変換する。ここで、 $v\in MS_i$  とすると  $v_i=v$ 、それ以外は  $v_i=0$  ( $k\neq i$ ) である。

データ収集の大まかな流れをいかに示す。

- 1. データ収集者が鍵を生成し、公開鍵 pk<sub>DC</sub> を配布する。
- 2. データ提供者 j が入力データを  $V=(v_1,\ldots,v_m)$  を  $\mathsf{pk}_{DC}$  を用いて暗号化し、暗号文ベクトル  $C_j=(c_1,\ldots,c_m)$  を作成する。
- 3. 各データ提供者 j が  $C_i$  を中間者に送信する。
- 4. 中間者が $C_i$ に $pk_{DC}$ を用いフォーマットチェックを行い、不適切なデータを排除する。
- 5. 各中間者が複数のデータ提供者から収集した  $C_j$  をシャッフルし、各 j と  $C_j$  の対応関係をわからなくさせデータ収集者に送信する。
- 6. データ収集者は各中間者から送られたデータを複合し匿名化されたデータテーブルを得る。

このように、中間者が暗号文をシャッフルを行うことによりデータ提供者の匿名性が保たれる。データ収集者はデータ収集者全体の平文のテーブルを得るため各データと収集者をひもづけることができず、また、中間者は暗号文のみを扱うため提供データの平文とデータ提供者をひもづけることができない。

また、RPKE は IND-MSR-CPA 安全である。そのことによりこのシステムは semantically secure である。証明の詳細は論文を参照されたい。

# 3 ワーカーのプライバシを保護したクラウドソーシング

#### 3.1 背景

クラウドソーシングとは、不特定多数の人間 (ワーカーと呼ぶ) に仕事 (タスクと呼ぶ) を依頼する仕組みである。依頼者は、クラウドソーシングサービスに仕事を登録し、ワーカーはその仕事を処理して得られる成果物を依頼者に返すことで報酬を得る。例えば写真のタグ付けや音声書き起こしなどである。様々なクラウドソーシング方式が実現されているが、その多くに共通する仕組みは、匿名ワーカーがクラウドソーシング上で公開されているタスクをいくつか選択し、そのタスクを完了することで対価を得るというものである。クラウドソーシングを用いて仕事を依頼する利点は、大量のワーカーによって低コストでタスクを完了させることができることが挙げられる。

一方、クラウドソーシングを通じて得られる成果物の品質に関する問題が存在する。クラウドソーシングではワーカーを訓練させることが難しい。また、ワーカーはタスクの成果物について責任を負う必要がない。そのため得られる成果物の質がワーカーの能力やタスクの難易度に大きく依存し、ワーカーの成果物が正しいとは限らない。このようなワーカーの成果物から正しい成果物を推定する問題を品質管理問題と呼ぶことにする。また、以降ではデータに対してラベルをつけるというタスクに限定し成果物をラベルと呼ぶことにする。品質管理問題の代表的な手法は冗長化である。1つのタスクを複数のワーカーに依頼し、それをもとに真のラベルを推定する方法である。その方法は多数決から、ワーカーの能力を考慮した潜在ラベルやその発展などが存在する。このようなラベルによってワーカーの能力も推定することができるようになる。

上記の品質管理問題はタスクの依頼者の視点の問題であるが、ワーカーサイドの問題も存在する。その中の一つがワーカーのプライバシ保護である。品質管理問題では依頼者が総てのワーカーの個々のラベル総てを取得することが想定されている。タスクの内容によっては成果物自体にワーカーの位置情報や個人情報、個人の特性が反映されると考えられ、それらを組み合わせるとワーカーの特定や知られたくない情報が推定される恐れがある。このようなワーカーのプライバシ侵害はワーカーの不利益となるため、回避することが望まれる。

#### 3.2 内容

品質管理問題において代表的な手法である潜在ラベル法は、冗長な品質未知のラベルから真のラベルを推定するために真のラベルとクラウドラベルの間に確率モデルを仮定し、モデルを推論することで真のラベルを推定する。この確率モデルではワーカーの能力パラメータが含まれており、モデルのパラメタの推定はEMアルゴリズムを用いる。しかしこの潜在ラベル法を直接適用すると各ワーカーのクラウドラベル及び能力パラメータを依頼者が知ることになり、ワーカーのプライバシが侵害される恐れがある。我々はこの点に着目し、暗号プロトコルを開発し、ワーカーのクラウドラベル及び能力パラメータを秘匿しつつ、真のラベルを得ることを達成した。

本研究の具体的成果は、クラウドソーシングで生じるワーカープライバシ問題の一つとしてワーカープライバシを考慮した品質管理問題を定義し、この問題を解決するために暗号プロトコルを提案したことにある。さらに、提案プロトコルの安全性に関する理論評価及び計算効率性と性能を検証する実験的評価を行い、提案法の有効性を確認した。

#### 3.2.1 ワーカープライバシを考慮した品質管理問題

クラウドラベル  $\mathcal{Y}$  からすべてのデータ  $\mathcal{I}$  に対する真のラベル  $\mathcal{Y}^*$  を推定する問題である。本研究では品質管理問題に既存手法である Dawid による潜在ラベル法を用いる。潜在ラベルモデルでは、各 データ  $i\in\mathcal{I}$  が真のラベル  $y_i\in\{0,1\}$  を 1 つ持つと仮定し、各ワーカー  $j\in\mathcal{J}$  がデータ i に対してラベル  $y_{ij}\in\{0,1\}$  を

$$\alpha_j = \Pr[y_{ij} = 1 \mid y_i = 1, \theta_j],$$
  
 $\beta_j = \Pr[y_{ij} = 0 \mid y_i = 0, \theta_j].$ 

というモデルに従って独立に与えるとする。ここで  $\theta_j = \{\alpha_j, \beta_j\}$  をワーカー j の能力パラメタとする。また任意の  $i \in \mathcal{I}$  に対して  $p = \Pr[y_i = 1]$  が成り立つとする。モデルパラメタ全体を  $\Theta = \{\theta_j\}_{j \in \mathcal{J}} \cup \{p\}$  とおく。EM アルゴリズムを用いてこのモデルパラメタを推定する。

#### 3.2.2 暗号プロトコル

暗号プロトコルの設計は下記のような性質を持つ加法準同型公開鍵暗号を用いて行った。平文を整数  $m \in \mathbb{Z}_N$  (=  $\{0,1,\ldots,N-1\}$ )  $(N \in \mathbb{N})$  とし、対応する暗号文を  $c = \operatorname{Enc}_{\mathsf{pk}}(m;r) \in \mathbb{Z}_{N^2}^* (= \mathbb{Z}_{N^2} \setminus \{0\})$  とする。公開鍵暗号では公開鍵 pk と乱数 r を用いて暗号化を行う。公開鍵暗号では、秘密鍵 sk を知ることなく元の平文を得ることはできない。ここで提案する秘匿加算プロトコルでは、Damgard の一般化 Paillier 暗号を用いる。この暗号は加法準同性と  $(n,\theta)$ -閾値暗号の性質を兼ね備えている。加法準同型暗号は暗号文を解読せずに平文の加算を実行できる。つまり平文  $m_1,m_2$  の加算は暗号文同士の乗算を用いて

$$\operatorname{Enc}_{\mathsf{pk}}(m_1 + m_2 \bmod N; r) = \operatorname{Enc}_{\mathsf{pk}}(m_1; r_1) \cdot \operatorname{Enc}_{\mathsf{pk}}(m_2; r_2)$$

として得られる。 $(n,\theta)$ -閾値暗号とは、n人の参加者が秘密鍵を分散して所有し、 $\theta$ 人以上の参加者が協力をしない限り効率的な復号が行えない性質を持つ暗号である。秘密鍵を分散させる性質により参加者が復号することを防ぐことができる。暗号文cを復号する際には、参加者fは自身の秘密鍵fを用いてそれぞれ復号シェア f0の部分情報に相当)を計算し、f0以上の復号シェアを組み合わせることによって暗号文が解読される。

加法準同型公開鍵暗号を用いたワーカープライバシ保護潜在ラベルプトロコルの概要を以下に記す。紙面の都合上概要のみを記す。詳しくは論文を参照されたい。本プロトコルは依頼者とワーカーら  $\mathcal{J}=\{1,\ldots,J\}$  が参加する。 $\theta\leq J$  を満たす  $(J+1,\theta)$ -閾値加法準同型暗号を用い、全参加者が秘密鍵を分散所持し公開鍵を共有する。この鍵分散により、プロトコルの途中で不正に暗号文の復号が行われることを防ぐ。品質管理問題プロトコルを、秘匿加算プロトコルをベースに構成した。ワーカー  $j(j\in\mathcal{J})$  はラベル  $\mathcal{Y}_j$  と対応するデータ  $\mathcal{I}_j$ 、依頼者は依頼先ワーカー集合  $\mathcal{J}$  を入力するとする。EM アルゴリズムにおける各 E ステップと M ステップを暗号化して行い、一回の更新後とに中間値パラメータを復号し共有する。パラメタが収束するまで更新式を繰り返す。

本提案プロトコルでは中間値パラメータを更新式ごとに共有するため、それらから元の入力情報が 推測される出力プライバシの問題が懸念される。しかし本研究では収束までの妥当な回数の更新で得 られる中間値パラメタからは元の入力情報が推測されないことを示されており、安全性が保証されて いる。また、計算機実験から計算時間は実用上問題ないことが示された。

### 4 成果要覧

#### 査読付論文

[査読付 1] Hiromi Arai, Keita Emura, Takahiro Matsuda: Anonymous Data Collection System with Mediators, in BalkanCryptSec, 2014 (to appear).

[査読付 2] Hiroshi Kajino, Hiromi Arai, Hisashi Kashima: Preserving Worker Privacy in Crowdsourcing, Data Mining and Knowledge Discovery, Vol.28, Issue 5, pp.1314-1335, 2014

### その他の発表論文

- [発表 1] 森田瑞樹, 荒井ひろみ: 医療データ利用におけるプライバシ保護の課題とその解決策の提案. 第 28 回人工知能学会全国大会, 2B4-OS-15a-3, 松山, 2014 年 5 月.
- [発表 2] Hiromi Arai: Privacy preservation in crowdsourced health research: AAAI 2015 Spring Symposia Workshop: Ambient Intelligence for Health and Cognitive Enhancement, Mar. 24, 2015.

### 招待講演/招待論文

- [招待 1] 荒井ひろみ: パーソナルゲノムとプライバシー保護データマイニング技術, 生命医薬情報学連合大会 2014 年大会, 2014 年 10 月 3 日.
- [招待 2] Hiromi Arai: Privacy Preservation in Personal Genomics, Workshop on Clinical Informatics in Big-Data Era, Dec. 12, 2014.
- [招待 3] 荒井ひろみ: NICT プライバシー保護技術ワークショップ, データ開示におけるプライバシ侵害の現状および監査技術について, 2015 年 3 月 4 日.

### 特記事項

[特記 1] 荒井ひろみ, 中川 裕志, 神嶌 敏弘, 佐久間 淳. 主催: 第 28 回人工知能学会全国大会, オーガナイズドセッション OS-15 プライバシに配慮したデータ利活用, 松山, 2014 年 5 月.

# 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 新たなネットワークサービスアーキテクチャの実現に向けた研究

中村 文隆 組込みコンピュータを活用した情報教育

妙中 雄三 大容量モバイル通信環境実現にむけた基盤技術の研究

> 宮本 大輔 サイバーセキュリティに関する研究

田崎 創 マルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発

## ネットワーク研究部門

## 概要

### 部門長 若原 恭

情報通信ネットワークは、情報社会の発展とともに、経済・社会・文化等に係わる日々の活動に必要不可欠な社会基盤となった。このようなネットワークへの要求は量的にも質的にも拡大する一方であり、これに応えるため、ネットワーク基盤技術、ネットワーク応用システム、ネットワークセキュリティ技術等に関し、基礎技術から実用技術まで幅広く研究に取り組んでいる。2014年度の研究の取り組みの概要は以下の通りであり、これらの研究に対し、指導学生の受賞を含め、関連学会等から計7件の表彰を受けた。

#### [1]ネットワーク基盤技術

昨今のトラヒックの急激な拡大と通信パタンの複雑化及びサービスアプリケーションの多様化と広範な普及に対応可能な新しいネットワークアーキテクチャの検討を進めた。具体的には、ネットワークサービスをより細かい粒度に分割し、それらを並列的に実行可能とする手法を考案し、SDN(Software-Defined Network)技術と NFV(Network Functions Virtualization)技術を活用することによって効果的な新アーキテクチャを実現できるとの見通しを得た。このアーキテクチャの特長は、サービス実現がロケーションフリーであるうえ、所要性能に応じたスケーラビリティが容易に達成できることにある。

近年、無線端末の急速な発展と普及に伴って無線ネットワークの利用は拡大する一方である。しかし、多くの無線端末がメッシュ状の無線リンクで相互接続された無線メッシュネットワークでは使用可能な無線チャネルが多い場合でもスループットが著しく劣化するという基本問題があり、この解決に向けた技術の検討を行った。その結果、各無線チャネルで転送するトラヒック量ができる限り均等になるように無線チャネルを各トラヒックフローに割り当てる制御法を考案した。更に、この制御法を効率よく実現する方式として、OpenFlow 技術と SDN 技術を活用するアーキテクチャを設計した。シミュレーション実験により、考案した制御法によって総合的なスループットを大幅に向上できることを実証した。この制御法は、通信需要の動的な変化に対応可能な CoD (Capacity on Demand) を実現するための基礎技術になると期待される。

無線ネットワークにおけるもう一つの基本問題は、ブロードキャストの効率的な実現にある。例えば、道路交通における安全運転のための車車間情報交換、広域無線ネットワークに直接アクセスできない車両搭載端末のインターネット接続等にはブロードキャストが必要になるが、特に車両が混雑し車両密度が高くなると、ブロードキャストパケットが多くなり衝突確率が高くなってしまう。そこで、このような衝突を回避するため、無線リソースへのアクセス制御技術の検討を進め、新しいアクセス制御技術を考案し、その有効性を実証した。

ネットワークの一基本技術はコンピュータ技術であり、通信システムへの応用という観点からは組み込み用コンピュータにおけるソフトウェア開発が重要で、昨今の関連技術者の状況を鑑みるとこのようなソフトウェア開発技術に関する教育の重要性は極めて高い。組み込み用コンピュータの中で、NXP セミコンダクターズ社のマイクロプロセッサ LPC810 は小型で安価という特徴を持ち、多くの応用実績がある。しかし、現状では体系だった教材が不十分であることから、LPC810 を教材とする教科書を執筆し出版した。

### [2]ネットワーク応用システム

無線ネットワークの応用として、道路交通における車両トラヒックの渋滞を緩和して所要 走行時間の低減や走行距離の短縮等を図る高度道路交通制御システムについて検討を進めた。 具体的には、道路ごとの車両トラヒック量の予測、道路ごとの車両速度の推定、及び各車両 に適した走行ルートの導出を可能とする手法を考案し、それらを基にしたルート案内システムを設計した。更に、シミュレーション実験によって、その有効性を評価し、従来方法に比 較して、渋滞の大幅な削減、走行時間の低減等の効果が得られることを定量的に実証した。

今日の社会生活では、インターネットに代表される広域分散環境が必要不可欠になっており、様々なセンサや観測装置もネットワークに接続されるようになってきた。そのような例として、高密度振動観測システムを用いて高精度な振動特性を計測する手法の検討、小型気象センサによって都市部特有の短時間強雨(ゲリラ豪雨)の発生状況を確認する方法の検討とその教育機関での環境教育への応用、音声と映像を定期的に取得する定点観測装置を森林に設置して樹木や野生動物の生態観測を行うフェノロジー等の研究を行った。

ネットワークの応用として、コンピュータが生成した仮想物体等の電子情報を現実世界に重畳することによって様々な情報を直観的に分かり易く現実世界に提示する拡張現実感 (AR: Augmented Reality) 技術を活用して日常生活を支援する技術の検討を進めた。具体的には、飛行ロボットのユーザ視点での操作を可能にするインタフェース技術、両眼視差を利用することによって大画面ディスプレイ上のコンテンツの直感的で分かり易い操作を実現するインタフェース技術、マルチディスプレイを構成する端末の移動によってコンテンツとのインタラクションを実現するマルチディスプレイシステム、機械学習を応用した AR システム用輪郭検出技術、クロスモダリティ(感覚間相互作用)を応用したインタフェース技術に関する検討を行った。

#### [3] ネットワークセキュリティ技術

情報通信ネットワークを介した不正アクセスなどセキュリティ脅威が社会的な問題となっている。このような脅威のうち、OS やアプリケーションの新たな脆弱性を攻撃する不正アクセスに対処するため、専門家による過去の共通脆弱性評価スコアを基にした機械学習によって新規脆弱性のスコアを推定する方法とその有効性について検討を行った。

最近の大きなセキュリティ脅威の一つは、本物の web サイトとほぼ同一のコンテンツを持つ偽サイトによってユーザを騙すフィッシング攻撃である。その有力な一つの対策は、アドレスバーに出力表示される URL や SSL の鍵アイコンの目視による確認であり、そのような確認を習慣づけるため、視線位置を監視し視線がアドレスバーに向かったことを条件としてweb サイトへの入力を許可する仕組みの検討を進めた。また、小中学生を対象としたフィッシング対策のため、物語として体験できる授業教材を開発し、この教材を用いた授業の試みを開始した。

総務省の日欧 ICT 協調課題「サイバー脅威に対する回復性強化のためのサイバーセキュリティ」に関し、日欧における大学企業等計 9 組織と共同で、様々なサイバー攻撃に対し回復力に優れた防御システムの技術確立を目的とした研究開発プロジェクト NECOMA を 2013 年度に開始しており、3 年計画の中間期にあたる 2014 年度は、中枢部分の研究開発を実施した。まず、インターネットのコアバックボーン部において分散型攻撃を検知し防御する機構について検討を推し進めた。特に、SDN 技術を活用して、インターネットトラヒックを集中的に効率よく交換する IX (インターネット相互接続点) においてそのような検知防御機構を実現するための具体的な設計と実装を行い、実証実験を通して有効性を実証した。

次に、セキュリティに係わる様々な情報を効率よく交換するためのシステムの設計と実装を行った。特に、Hadoopを応用することによって、観測されたセキュリティデータの取得・収集から脅威の分析と防御までに至るセキュリティ情報のパイプラインの構築を進め、情報の有機的な連携と効果的な防御の実現を可能とした。また、セキュリティ関係者間の情報交換の効率向上を図るため、Twitterを応用することによって各専門家の解析結果を他者が有機的に活用できる環境を構築した。

一方、セキュリティ脅威の検知から防御までの各手法の有効性を実証するためには実験評価が必要不可欠であり、そのためのテストベッドの構築を目的として、テスト環境の要求条件と詳細なテスト仕様の定義を作成した。

## ネットワーク研究部門 成果要覧

### 受賞関連

- [受賞 1] Kengo Michishita and Yasushi Wakahara: Certificate of Merit, International Conference of Wireless Networks, September 2014.
- [受賞 2] Zilu Liang and Yasushi Wakahara: 英語セッション奨励賞, 電子情報通信学会通信ソサイエティ, 2015 年 3 月.
- [受賞 3] 米澤 和也, 小川 剛史: 優秀論文賞, 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2014), 2014 年 7 月.
- [受賞 4] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 2013 年サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティサイバースペースと仮想都市研究会, 2014 年 10 月.
- [受賞 5] 王 夢, 小川 剛史: 優秀発表賞, 日本バーチャルリアリティサイバースペースと仮想都市研究会 シンポジウム, 2014 年 12 月.
- [受賞 6] 王 夢, 小川 剛史: 2014 年サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティサイバースペース と仮想都市研究会, 2015 年 3 月.

### 招待講演/招待論文

- [招待 1] 関谷 勇司, 中村 遼, 岡田 和也, 堀場 勝広: SDN と NFV による新たなネットワークサービス構造の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J98-B,No. 4, pp. 333-344, 2015 年 4 月.
- [招待 2] 関谷 勇司: SDN と NFV が生み出す次世代のネットワークアーキテクチャ, 沖縄オープンラボラトリ, Okinawa Open Days 2014, 沖縄県市町村自治会館, 2014 年 12 月.
- [招待 3] 関谷 勇司: SDN と NFV が生み出す新たなネットワークアーキテクチャの可能性, NFV Is-rael 2014, ウエスティンホテル東京, 2014 年 12 月.
- [招待 4] 関谷 勇司: SDN + NFV が切り開く新たなネットワークサービスアーキテクチャの世界, SDN Japan 2014, 恵比寿ガーデンホール, 2014 年 10 月.
- [招待 5] 関谷 勇司: Interop Tokyo 2014 に見る SDN と NFV の現状, 第 15 回インターネットテクノロ ジーワークショップ, 日本ソフトウェア科学会 インターネットテクノロジ研究会, 青森, 2014 年 6 月.
- [招待 6] Daisuke Miyamoto: End-user protection in cybersecurity aspect from cognitive psychology, The 5th Cybersecurity Data Mining Competition and Workshop, Oct. 2014.

### 著書/編集

[著書 1] 中村 文隆: 挿すだけ! ARM32 ビット・マイコンのはじめ方, CQ 出版社, 2014年3月.

#### 査読付論文

[査読付 1] Zilu Liang and Yasushi Wakahara: Real-time Urban Traffic Amount Prediction Models for Dynamic Route Guidance Systems, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 85, May 2014.

- [査読付 2] Kengo Michishita and Yasushi Wakahara: High Throughput Access Control based on Groups of Visible Terminals for Wireless Network, Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE 2014), Vol I, pp.739-744, July 2014.
- [查読付 3] Zilu Liang and Yasushi Wakahara: Speed-Volume Relationship Model for Speed Estimation on Urban Roads in Intelligent Transportation Systems, Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Systems Engineering, (ICSEng 2014), pp.685-690, August 2014.
- [查読付 4] Zilu Liang and Yasushi Wakahara: Reducing Average Travel Time through In-dividualized Route Guidance in Urban Traffic Network, Proceedings of APNOMS 2014, I2-4. September 2014.
- [查読付 5] Zilu Liang and Yasushi Wakahara: A Route Guidance System with Personalized Rerouting for Reducing Travelling Time of Vehicles in Urban Areas, Proceedings of IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2014), pp.1541-1548, October 2014.
- [查読付 6] Fei Han, Daisuke Miyamoto, and Yasushi Wakahara: RTOB: a TDMA-based MAC Protocol to Achieve High Reliability of One-hop Broadcast in VANET, 12th IEEE Workshop on Managing Ubiquitous Communications and Services (part of PerCom 2015), March 2015.
- [查読付7] Kengo Michishita and Yasushi Wakahara: Grouping of Visible Terminals for Achieving High Throughput of Wireless Networks, accepted for publication in IAENG Transactions on Engineering, 2015.
- [查読付 8] Kaoru Saito, Kazuhiko Nakamura, Mutsuyuki Ueta, Reiko Kurosawa, Akio Fujiwara, Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Kazuyo Nagahama, Ayako Toko: Environmental profilling experience for nature conservation with Cyberforest, that is real-time monitoring and archiving on the Internet, Proc. of Digital Conservation Conference 2014, pp.9, May 2014.
- [査読付9] Kazuhiko Nakamura, Kaoru Saito, Akio Fujiwara, Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Kiyoshi Tanaka: Cyberforest for environmental education: monitoring and archiving the real forest environment in real-time for future nature education materials, Proc. of Digital Conservation Conference 2014, pp.16, May 2014.
- [査読付 10] Akio Fujiwara, Kaoru Saito, Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Kazuhiko Nakamura, Masahiro Iwaoka: Cyberforest Real-time monitoring and archiving system for nature conservation, Proc. of Digital Conservation Conference 2014, pp.18, May 2014.
- [査読付 11] 西川貴文, 紺野克明, 藤野陽三, 中山雅哉: 高層免震建物における既設ネットワークを利用した高密度振動観測システムとデータの利活用, 日本地震工学会論文集, Vol.14, No.2, pp.2\_1-2\_15, 2014 年 5 月.
- [査読付 12] 秋山寛子, 中山雅哉, 加藤朗, 砂原秀樹: 2 つの匿名化情報の組み合わせによる k-匿名度の 定式化に関する考察, 情報処理学会, DICOMO2014, pp.234–240, 2014 年 7 月.
- [查読付 13] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: A Study of Changing Locations of Vibrotactile Perception on a Forearm by Visual Stimulation, Proc. of the 7th International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech 2014), Santiago, Chile, pp. 86–95, Sept. 2014.
- [査読付 14] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Visual Stimulation Influences on the Position of Vibrotactile Perception, Proc. of AsiaHaptics 2014, Tsukuba, Japan, Nov. 2014.

- [査読付 15] Kazuya Yonezawa and Takefumi Ogawa: Flying Robot Manipulation System Using a Virtual Plane, Proc. of IEEE Virtual Reality Conference (VR2015), Arles, France, Poster, pp. 313–314, Mar. 2015.
- [査読付 16] Keigo Yoshimura and Takefumi Ogawa: Binocular Interface: Interaction Techniques Considering Binocular Parallax for a Large Display, Proc. of IEEE Virtual Reality Conference (VR2015), Arles, France, Poster, pp. 315–316, Mar. 2015.
- [査読付 17] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を利用した飛行ロボット操作システム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2014) 論文集, pp. 1904–1909, 2014年7月.
- [査読付 18] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を利用したユーザインタフェースの評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2014) 論文集, pp. 1910–1915, 2014 年 7 月.
- [査読付 19] 堀場 勝広, 湧川 隆次, 関谷 勇司, 村井 純: NFV におけるプロセス型ソフトウェアミドルボックスアーキテクチャ の提案, 電子情報通信学会, Vol.J98–B, No.7, 2015 年 7 月 (採録決定).
- [査読付 20] Yuji Sekiya, Tomohiro Ishihara, and Hajime Tazaki: DNSSEC simulator for realistic estimation of deployment impacts, IEICE Communications Express, Vol.3, No.10, pp. 305–310, October 2014. DOI:10.1587/comex.3.305.
- [查読付 21] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: Layer-3 Multipathing in Commodity-based Data Center Networks, In Proceedings of the 18th Global Internet Symposium 2015, Hong Kong, April 2015 (採録決定).
- [查読付 22] Hajime Tazaki, Ryo Nakamura, and Yuji Sekiya: Library operating system with mainline Linux kernel, In Proceedings of The Technical Conference on Linux Networking netdev 0.1, Ottawa, Canada, Feb. 2015.
- [查読付 23] Hajime Tazaki, Kazuya Okada, Yuji Sekiya and Youki Kadobayashi: MATATABI: Multi-layer Threat Analysis Platform with Hadoop, In Proceedings of International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS 2014), Wroclaw, Poland, Sep. 2014.
- [查読付 24] Ryo Nakamura, Kouji Okada, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: ovstack: A Protocol Stack of Common Data Plane for Overlay Networks, In Proceedings of Network Operations and Management Symposium (NOMS) 2014, pp. 1-8, DOI: 10.1109/NOMS.2014.6838420, May 2014.
- [査読付 25] 藤居 翔吾, 田崎 創, 関谷 勇司: データセンター環境におけるショートフロー通信改善手法の一提案」, インターネットコンファレンス 2014 論文集, pp.33-42, 広島, 2014 年 11 月.
- [査読付 26] 山本成一, 中村遼, 上野幸杜, 堀場勝広, 関谷勇司: GINEW 革新的なネットワーク運用管理 アーキテクチャの一提案, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータ・ソフトウェア (採録決定).
- [査読付 27] 廣井慧, 妙中雄三, 加藤朗, 砂原秀樹: 地上気象観測に基づいた強雨推定手法の一提案 –強雨の指標化モデルとその評価–, 災害情報学会学会誌「災害情報」, No. 13, 2015 年 3 月.

- [査読付 28] 廣井慧, 井上朋哉, 妙中雄三, 加藤朗, 砂原秀樹: 浸水発生の可能性とその危険を推定する 指標化モデルの提案と評価, 電子情報処理学会論文誌, Vol.J98-D, No.3, pp. 396–403, 2015 年 3 月.
- [査読付 29] Shin'nosuke Yamaguchi, Yuzo Taenaka, Yuki Toyosaka, Yoshimasa Ohnishi, Kazunori Nishino, Yoshimi Fukumura, and Takashi Yukawa: The Distribution Method of the High Resolution Video for a Blackboard based Lecture, International Journal of Technology and Educational Marketing (IJTEM), Volume 4, Issue 2, Pages 28–43, 2014.
- [查読付 30] Yuzo Taenaka, Masaki Tagawa, and Kazuya Tsukamoto: Experimental Deployment of a Multichannel Wireless Backbone Network Based on an Efficient Traffic Management Framework, In Proceeding of the 9th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC2014), Nov. 2014.
- [査読付 31] Yuzo Taenaka and Kazuya Tsukamoto: An adaptive channel utilization method with traffic balancing for multi-hop multi-channel wireless backbone network, In proceedings of International Conference on Software-Defined and Virtualized Future Wireless Networks (SDWN), Oct. 2014.
- [查読付 32] Masaki Tagawa, Yutaro Wada, Yuzo Taenaka, and Kazuya Tsukamoto. Network capacity expansion methods based on efficient channel utilization for multi-channel wireless backbone network. In Proceeding of the 2014 International Workshop on Smart Complex Engineered Networks (SCENE2014), Aug. 2014.
- [査読付 33] Jane Louie Fresco Zamora, Naoya Sawada, Takemi Sahara, Shigeru Kashihara, Yuzo Taenaka, and Suguru Yamaguchi: Surface Weather Observation via Distributed Devices, In proceedings of IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2014), May 2014.
- [查読付 34] Daisuke Miyamoto, Takuji Iimura, Hajime Tazaki, Gregory Blanc, and Youki Kadobayashi: EyeBit: Eye-Tracking Approach for Enforcing Phishing Prevention Habits, In Proceedings of the 3rd International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), Sep. 2014.
- [査読付 35] Takuji Iimura, Daisuke Miyamoto, Hajime Tazaki, and Youki Kadobayashi: NECOMAtter: Curating Approach for Sharing Cyber Threat Information, In Proceedings of the 9th International Conference on Future Internet Technologies (CFI, poster session), June 2014.
- [查読付 36] Thanasis Petsas, Kazuya Okada, Hajime Tazaki, Gregory Blanc, and Pawel Pawlinski: A Trusted Knowledge Management System for Multi-layer Threat Analysis. In the 7th International Conference on Trust and Trustworthy Computing (TRUST 2014 poster session), p. 2, June 2014.
- [查読付 37] Emilio P. Mancini, Hardik Soni, Thierry Turletti, Walid Dabbous, and Hajime Tazaki: Demo Abstract: Realistic Evaluation of Kernel Protocols and Software Defined Wireless Networks with DCE/Ns-3. In *Proceedings of the 17th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, MSWiM '14, pp.335–337, New York, NY, USA, 2014. ACM.

### 公開ソフトウエア

- [公開 1] Tomohiro Ishihara, Hajime Tazaki, and Yuji Sekiya: ns-3 Direct Code Execution (DCE) based DNSSEC simulator, http://dnssec.sekiya-lab.info/, Mar. 2014.
- [公開 2] Takuji Iimura, Daisuke Miyamoto: EyeBit, https://github.com/necoma/eyebit\_server, https://github.com/necoma/eyebit\_chrome\_extension, Sep. 2014.

### 特許申請/取得

### その他の発表論文

- [発表 1] Zilu Liang and Yasushi Wakahara: Microscopic Route Guidance System with Vehicle-Level Rerouting for Facilitating Smooth Travel in City Areas, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, BS-6-12, September 2014.
- [発表 2] Fei Han, Daisuke Miyamoto, and Yasushi Wakahara: RTOB: a TDMA-based MAC pro-tocol to improve reliability of one-hop broadcast in VANET, 電子情報通信学会ネットワークソフトウェア研究会, 2014 年 10 月.
- [発表 3] 福勢 晋, 若原 恭: 確率的バンディットアルゴリズム Successive Elimination に於ける最適アーム探索に必要なサンプル数削減, 情報処理学会, 第 102 回数理モデル化と問題解決研究発表会, 2015–MPS–102, 14, pp.1–6, 2015 年 3 月.
- [発表 4] Fei Han, Daisuke Miyamoto, and Yasushi Wakahara: Reliable TDMA-based One-hop Broadcast for Safety Applications in VANET, 電子情報通信学会総合全国大会, BS-3-20, 2015 年 3 月.
- [発表 5] 瀬戸芳一, 横山仁, 安藤晴夫, 常松展充, 中谷剛, 小司禎教, 楠研一, 中山雅哉, 高橋日出男: 東京都区部で発生した短時間強雨時の降水量分布と地上風系・可降水量との関係, 日本気象学会2014 春季大会, B154, 2014 年 5 月.
- [発表 6] 横山仁, 中谷剛, 高橋尚也, 磯敦雄, 酒井将也, 廣井慧, 中山雅哉: 気象情報を活用した環境・防災教育の試み 一高校生に対する取組み事例を中心として一, 最先端レーダ情報を社会に活かすシンポジウム, pp.12–13, 2014 年 9 月.
- [発表 7] Yoshihito Seto, Hitoshi Yokoyama, Haruo Ando, Nobumitsu Tsunematsu, Tsuyoshi Nakatani, Yoshinori Shoji, Kenichi Kusunoki, Masaya Nakayama, and Hideo Takahashi: Relationshop between rainfall distribution, surface wind and precipitable water vapor during heavy rainfall occurred in central Tokyo in summer, Second International Workshop on Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS/RDP), p.16, Nov. 2014.
- [発表 8] 村松佳奈, 中山雅哉, 斎藤馨: 全方位パノラマアプリによる森林景観の印象と森林現地体験に 及ぼす効果に関する考察, 情処研報, Vol. 2015–DCC-9, No. 5, 2015 年 1 月.
- [発表 9] 山本康裕, 宮本大輔, 中山雅哉: 年次的な脆弱性情報への教師あり潜在ディレクレ配分法の適用 による脆弱性スコア予測の研究, 信学技法, Vol. 114, No. 489, ICSS2014-79, pp. 79-102, 2015 年 3 月.
- [発表 10] 内田峻靖, 高岡詠子, 落合秀也, 中山雅哉, 江崎浩, 砂原秀樹: 気象情報ビッグデータ管理インタフェースの構築, 第 77 回情報処理学会全国大会, 2ZD-03, 2015 年 3 月.

- [発表 11] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 両眼視差を考慮した大画面ディスプレイのための指差しインタフェースの提案, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-2, CSVC2014-13, pp. 67-72, 2014 年 6 月.
- [発表 12] 新島 有信, 小川 剛史: 生体情報を利用した振動刺激知覚測定方法に関する一考察, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-2, CSVC2014-14, pp. 73-77, 2014 年 6 月.
- [発表 13] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 拡張現実感を用いた床面の擬似傾斜が歩行者に与える影響の検証, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-3, CSVC2014-24, pp. 57-62, 2014 年 10 月.
- [発表 14] 王 夢, 小川 剛史: モバイルデバイスを用いたマルチディスプレイシステムにおける端末の移動 を考慮したインタラクション手法, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-3, CSVC2014-30, pp. 149-154, 2014 年 10 月.
- [発表 15] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出手法に関する一検討, 信学技報, Vol. 114, No. 230, PRMU2014–59, pp. 27–32, 2014 年 10 月.
- [発表 16] 王 夢, 小川 剛史: CoCoMo: マルチディスプレイシステムにおけるモバイル端末の移動を考慮したインタラクティブシステム, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-4, CSVC2014-33, pp. 9-12, 2014年12月.
- [発表 17] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を考慮したコンテンツ操作手法, 情処研報, Vol. 2015–DCC–9, No. 7, 2015 年 1 月.
- [発表 18] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感におけるユーザの首振りを考慮した輪郭検出手法に関する一 検討, 信学技報, Vol. 114, No. 454, PRMU2014–119, pp. 43–48, 2015 年 2 月.
- [発表 19] 新島 有信, 小川 剛史: 視覚刺激を用いたファントムセンセーションの生起の制御に関する一 考察, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-1, CSVC2015-1, pp. 1-6, 2015 年 3 月.
- [発表 20] 王 夢, 小川 剛史: マルチディスプレイシステムにおけるモバイル端末の移動を考慮したインタラクション手法に関する評価, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-1, CSVC2015-4, pp. 19-24, 2015年3月.
- [発表 21] 伊藤 孝一, 関谷 勇司, 宇多 仁, 櫨山 寛章: データセンタファシリティの現状と方向性 ~ Interop Tokyo 2014 ShowNet の構築より ~, 信学技報, vol. 114, no. 236, IA2014–32, pp. 47–49, 2014 年 10 月.
- [発表 22] 橋本 賢一郎, 遠峰 隆史, 関谷 勇司: 昨今のサイバー攻撃の手法とその対策について ~ Interop Tokyo 2014 ShowNet における結果からの考察~, 信学技報, vol. 114, no. 236, IA2014–33, pp. 51–56, 2014 年 10 月.
- [発表 23] 山本 成一, 中村 遼, 上野 幸杜, 堀場 勝広, 関谷 勇司: GINEW 革新的なネットワーク運用管理アーキテクチャの一提案, ソフトウェア科学会第 15 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT2014), 青森, 2014 年 6 月.
- [発表 24] 関谷 勇司: SDN と NFV の連携が実現する世界 新たなネットワークアーキテクチャ –, 株式会社ナノオプト・メディア, SDI Conference 2015, 大阪グランフロント, 2015 年 2 月.
- [発表 25] 関谷 勇司: SDN と NFV の連携が実現する世界 新たなネットワークアーキテクチャ –, 株式会社ナノオプト・メディア, SDI Conference 2015, 東京コンファレンスセンター, 2015 年 2月

- [発表 26] 関谷 勇司, 中村 遼: NFV の現在 (いま) と未来 NFV + SDN なサービスを夢見る –, MPLS Japan 2014, http://www.mpls.ip/, 東京大学武田ホール, 2014 年 11 月.
- [発表 27] Yuji Sekiya: PIX-IE: Programmable Internet eXchange in Edo, Asia-Pacific Information Infrastructure (APII) Workshop 2014, Osaka Japan, October 2014.
- [発表 28] Yuji Sekiya: Introduction of PIX-IE (Programmable Internet eXchange), Asia Pacific Internet Exchange Association (APIX), APNIC 38, Brisbane, September 2014.
- [発表 29] 関谷 勇司: データセンターネットワークの来るべきアーキテクチャ, データセンターコンファレンス 2014 Autumn, 株式会社インプレス, 2014 年 9 月.
- [発表 30] Yuji Sekiya: NECOMA Project objectives and results, Japan-EU Workshop on Cloud Computing Research Workshop, Tokyo, July 2014.
- [発表 31] 関谷 勇司, 妙中 雄三, 大江 将史: 多重仮想化を用いた大容量サービス環境の遠隔地への高速転送に関する研究, 第 6 回学祭大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点シンポジウム, ポスターセッション, THE GRAND HALL 品川, 2014 年 7 月.
- [発表 32] Yuji Sekiya: Overview of Cloud Computing and SDN activities in WIDE Project, CJK Workshop 2014, Tokyo, June 2014.
- [発表 33] 水山一輝, 和田祐太郎, 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: OpenFlow を用いたマルチホップ無線ネットワークにおける制御トラヒック削減手法の検討, 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, vol. 114, no. 477, NS2014–221, pp. 257–262, 沖縄コンベンションセンター, 2015 年 3 月.
- [発表 34] 妙中雄三, 塚本和也: [依頼講演] キャパシティオンデマンド無線メッシュネットワーク実現 に向けた SDN に基づくチャネル利用制御手法, 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究 会, 信学技報, vol. 114, no. 371, NS2014–151, pp. 25–30, 伊勢市観光文化会館, 2014 年 12 月.
- [発表 35] 妙中雄三, 塚本和也: [依頼展示] 無線バックボーンネットワークの多チャネル有効利用技術, 電気情報通信学会 スマート無線研究会, 信学技報, vol. 114, no. 44, SR2014–1, pp. 1–8, 東芝研修センター(横浜市港北区), 2014 年 5 月.
- [発表 36] Chris Inacio, Daisuke Miyamoto: MILE Implementation Report MILE Working Group, Internet Engineering Task Force, July 2014, Nov. 2014, Mar. 2015.
- [発表 37] Hajime Tazaki: Network Stack in Userspace (NUSE). New Directions in Operating Systems, November 2014.
- [発表 38] Hajime Tazaki: Dive Into the Internals of Kernel Network Stack with Direct Code Execution. LinuxCon Japan 2014, March 2014.

### 特記事項

[特記 1] 中山雅哉, プレスリリース, 気象ビッグデータの時空間統合可視化システムの構築 一気象情報 を地図上で可視化し, 過去・現在の的確な情報把握が可能に一, 2014 年 12 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速な発展とともに、転送情報量の拡大と品質の向上に加え、安全性を含む機能面の質的な変革も必要となる。このような認識のもと、情報通信に係わる各種リソースの最大限の利活用とネットワーク制御の最適化によって、複雑化・大規模化が進む一方の情報通信ネットワークにおける高度化のあり方を探求し、そのようなネットワークの設計・運用・保守・管理をできる限り合理的なものにすることを目標に研究を進めている。具体的には、以下に示す通り、特に無線通信を道路交通制御に応用したネットワーク技術に焦点を当て、理論と実験の両面から研究を進めた。

#### • 高度道路交通トラヒック制御

無線通信の応用として、各道路における車両トラヒック疎通状況をモニタし、その結果を基に各車両のルートを適切に制御することによって渋滞を回避し、所要走行時間の短縮やエネルギー消費量の削減等を実現するルート案内システム RGS (Route Guidance System)を検討している。その中核技術は、各道路における車両トラヒック量の予測、各道路における車両走行速度の推定、及び各車両に対する最適ルートの導出にあり、各技術について新しい手法を考案した。更に、シミュレーションによって、これらの手法を総合した RGS によって、渋滞の大幅な削減、走行時間の短縮等が実現できることを実証した。

### • 車車間通信用ブロードキャスト制御

道路交通における車両の安全化を図るための有力な一方策は、各車両が周辺の全車両の動きをリアルタイムに把握し、それを基にして適切な運転を支援することにある。このリアルタイム把握を実現する基盤は、各車両が周囲の全車両に対して情報を提供するブロードキャストにあるが、特に車両密度が高い場合には、車両が送出するブロードキャストパケットが衝突する確率が高くなり、適切な情報交換が不可能となる。そこで、このような衝突を回避するための新しいブロードキャスト制御法を開拓し、その有効性を実証した。

### 2 高度道路交通トラヒック制御

#### 2.1 背景

近年の道路交通では、渋滞の増加と走行時間の長大化、周囲環境の悪化等の様々な問題が起きている。このような問題の有力な解決策の一つとして、道路交通ネットワークや車両の走行状態等に関する情報を基に、各車両に対し適切なルートをリアルタイムで案内することによって、各車両が目的地に迅速に到達でき、無駄な渋滞や走行を回避可能とするルート案内システムの実現を目標に検討を進めた。簡易なルート案内システムは既に実用化されてい

るが、車両の走行状態の把握やルートの最適化等において精度が十分でないため、現状では 最適な制御が実現できていない。そこで、このような制御を実現するため、車両ごとに最適 なルートの導出と案内、信号機を考慮した車両速度や車両台数の予測等を可能とする新しい 技術の開拓を中心に検討を進めた。

### 2.2 内容

車両ごとの走行ルートの最適化を図るため、道路交通トラヒックをフローとして扱うのではなく、車両ごとのミクロレベルでのトラヒックの把握と制御を実現するという基本方針を採用することとした。従来、規模が大きくなった場合、このような制御は計算処理量の増大によって現実的でなくなるという問題があったが、近年のネットワーク容量の増大と計算処理能力の向上によって、この問題は大きく緩和されており、その評価も検討の一部に含めることとした。

以上の方針に基づき新ルート案内システム RGS を設計した。その中枢機能は、以下の通りである。

- 道路ごとの車両トラヒック量の予測
- 道路ごとの車両速度の推定
- 車両ごとの最適ルートの導出

車両トラヒック量の予測については、道路ネットワーク情報、時刻 k における道路ごとのトラヒック量、各交叉点における信号機の動作特性、車両ごとの現走行ルートを入力し、時刻 k+1 における道路ごとの車両トラヒック量を予測する方式を考案した。

車両速度の推定については、道路ネットワーク情報、時刻 k における道路ごとの平均車両速度、 道路ごとの自由走行速度(最高速度)、道路ごとの車両数上限値、車両ごとの現走行ルートを入力し、 時刻 k+1 における道路ごとの平均車両速度を推定する方式を考案した。

更に、車両ごとの最適ルートを導出するため、道路ごとの渋滞予測、渋滞道路を走行する車両の抽出、抽出した車両のうち新ルート導出の対象とする候補車両の優先順位付け、優先順位に従った車両ごと新最適ルートの導出というステップで処理する方式を考案した。

### 2.3 具体的成果

考案した新しいルート案内システム RGS を評価した結果の一例として、渋滞道路数の削減結果を図1に示す。このように、既存 RGS に比較して、新 RGS によって渋滞道路数を大幅に削減できることが実証できた。また、車両の走行時間と走行距離、ルート変更車両数、ルート変更回数については、既存 RGS と比較すると、例えば、それぞれ 22%、18%、40%、76%削減できる等、いずれの評価尺度についても、優れた効果が得られることを実証できた。

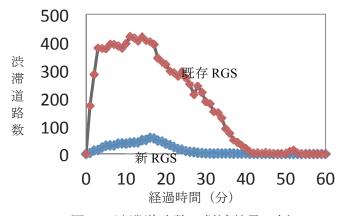


図1 渋滞道路数の削減効果の例

一方、新 RGS の欠点は計算処理量の多さにある。表 1 は、計算時間の具体例を示す。この例から分かるように、例えば道路本数が 30,000 本程度の大規模道路ネットワークでは、計算時間>計算間隔となってしまうため、現状ではリアルタイム処理が不可能となる。このため、大規模道路ネットワークへの適用の実現に向けては、計算量を削減するための工夫が必要で、今後の課題となる。

道路ネットワーク	ロンドン市の一部	山手線内側	
道路総本数	3,002	28,625	
レーン本数平均値	1.3	2.5	
交差点数	332	6,667	
車両総台数	1,000	7,000	
計算間隔(秒)	60	60	
計算時間(秒)	13	576	

表1 新RGS に必要な計算量の例

これらの研究成果は国際ジャーナル、国際学会、国内研究会等で論文発表を行った[査読付 1, 3, 4, 5],[発表 1]。

### 3 車車間通信用ブロードキャスト制御

### 3.1 背景

道路交通におけるもう一つの喫緊の課題は、車両同士の交通事故の削減や回避にある。その解決に向けた有力な一方策手段は、各車両が相互に情報を頻繁に交換することによって近くの車両の存在や動きを認識すること、特に危険の可能性をリアルタイムに検知することによる安全な運転の実現にある。これを実現するための基本技術は、位置・走行速度・走行加速度・ハンドル操作等、各車両が自車両に関する情報を周囲の全車両に定期的に伝える車車間ブロードキャストである。しかし、車両密度が高くなると、送出されるブロードキャストパケットが多くなり無線リソースが不足してパケット衝突確率が高くなるため、情報を誤りなく周囲の車両に伝えることが不可能となる。従って、このようなパケット衝突を回避するためのブロードキャスト用無線アクセス制御技術が重要となり、あらたな制御技術の開拓を目的として研究を進めた。

#### 3.2 内容

本研究では、ETSI (European Telecommunications Standards Institute) が推薦する無線アクセス制御技術 MS-Aloha (Mobile Slotted Aloha) をベースにする方針とした。MS-Aloha では、TDMA を採用し、フレームと呼ばれる周期でパケットを繰り返しブロードキャストする。しかし、MS-Aloha には、一般に無線リソースの利用効率が低く、特に車両密度が高くなるとブロードキャストパケットの衝突確率が高くなるという欠点がある。

そこで、この欠点をなくすため、次の原理に基づく無線アクセス制御技術を考案した。

- ① 1 ホップを電波到達距離と定義すると、パケット衝突を完全に回避するには同一 TS (Time Slot) の最短再利用間隔を 4 ホップ以上にする必要があるため、各車両がブロードキャストに使う TS は、できる限り 4 ホップごとに再利用するように割り当てる。ただし、その割り当てが不可能な場合は、再利用間隔を狭める。
- ② 各車両が認識している TS の利用状況は、ブロードキャストパケットに含めて周囲の車両に伝達されるが、そのような情報は必ずしも誤りなく伝達できるとは限らないので、複数フレーム分の TS 利用状況の情報を総合的に考慮して①の TS 割り当てを行う。

③ ②の TS 割り当てにおいて、空間的再利用間隔が 3 ホップの場合、両車両が同時にブロードキャストパケットを送出するのではなく、交互に送出する。

原理①によって、各 TS を空間的に最大限再利用することが可能になり、その結果 TS の利用効率が向上でき、ブロードキャストパケットの衝突確率を低減できる。原理②によって、TS の利用状況が正しく周囲車両に伝わる確率が大きくなり、より正確に TS 割り当てを行うことが可能になり、結果的にブロードキャストパケットの衝突確率を低減できることになる。空間的再利用間隔が 3 ホップの場合ブロードキャストパケットが衝突し、両車両ともにブロードキャストが失敗する確率が小さくないが、原理③によって衝突確率を確実に低減可能となる。

### 3.3 具体的成果

考案した原理に基づくブロードキャストパケット送出制御法を評価するためシミュレーションを実施した。車両間の交通事故を回避するためには、ブロードキャストパケットが一定時間(例:0.5 秒)以内に予め定めた範囲(例:1 ホップ)内の全車両に誤りなく届く必要があり、そのような確率を安全カバー率と呼ぶ。図 2 は安全カバー率を評価した結果の例を表す。図 2 で、提案法 n (2 又は 3) は、原理①と②に基づき、n フレーム分の TS 利用状況を参照して TS を割り当てる方法である。また、提案法 2+TSS は、n=2 で原理③を採用した方法である。この図から分かるように、考案した方法によって、特に平均車間距離が小さく車両密度が高いほど、MS-Aloha に比較して安全カバー率を大幅に向上できる。

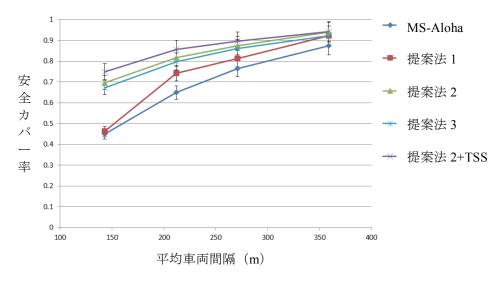


図2 安全カバー率の評価結果

以上の研究成果については、国際学会や国内研究会等で論文発表を行った[査読付 6]、 [発表 2, 4]。

### 4 成果要覧

### 受賞関連

[受賞 1] Kengo Michishita, Yasushi Wakahara: Certificate of Merit, International Conference of Wireless Networks, September 2014.

[受賞 2] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: 英語セッション奨励賞, 電子情報通信学会通信 ソサイエティ、2015 年 3 月.

### 査読付論文

- [查読付 1] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Real-time Urban Traffic Amount Prediction Models for Dynamic Route Guidance Systems, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 85, May 2014.
- [查読付 2] Kengo Michishita, Yasushi Wakahara: High Throughput Access Control based on Groups of Visible Terminals for Wireless Network, Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE 2014), Vol I, pp. 739-744, July 2014.
- [査読付 3] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Speed-Volume Relationship Model for Speed Estimation on Urban Roads in Intelligent Transportation Systems, Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Systems Engineering, (ICSEng 2014), pp. 685-690, August 2014.
- [查読付 4] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Reducing Average Travel Time through Individualized Route Guidance in Urban Traffic Network, Proceedings of APNOMS 2014, I2-4. September 2014.
- [査読付 5] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: A Route Guidance System with Personalized Rerouting for Reducing Travelling Time of Vehicles in Urban Areas, Proceedings of IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2014), pp. 1541-1548, October 2014.
- [查読付 6] Fei Han, Daisuke Miyamoto and Yasushi Wakahara: RTOB: a TDMA-based MAC Protocol to Achieve High Reliability of One-hop Broadcast in VANET, 12th IEEE Workshop on Managing Ubiquitous Communications and Services (part of PerCom 2015), March 2015
- [查読付 7] Kengo Michishita, Yasushi Wakahara: Grouping of Visible Terminals for Achieving High Throughput of Wireless Networks, accepted for publication in IAENG Transactions on Engineering, 2015.

### その他の発表論文

- [発表 1] Zilu Liang, Yasushi Wakahara: Microscopic Route Guidance System with Vehicle-Level Rerouting for Facilitating Smooth Travel in City Areas. 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, BS-6-12, September 2014.
- [発表 2] Fei Han, Daisuke Miyamoto, Yasushi Wakahara: RTOB: a TDMA-based MAC protocol to improve reliability of one-hop broadcast in VANET, 電子情報通信学会ネットワークソフトウェア研究会、2014年10月.
- [発表 3] 福勢 晋, 若原 恭: 確率的バンディットアルゴリズム Successive Elimination に 於ける最適アーム探索に必要なサンプル数削減、情報処理学会、第 102 回数理モデル化と 問題解決研究発表会、2015-MPS-102、14、pp. 1-6、2015 年 3 月
- [発表 4] Fei Han, Daisuke Miyamoto, Yasushi Wakahara: Reliable TDMA-based One-hop Broadcast for Safety Applications in VANET, 電子情報通信学会総合全国大会、BS-3-20、2015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、気象センサや振動センサといった様々な小型デバイスや映像や音声を定期的に取得する定点観測装置などもネットワークの構成要素として接続されることが一般的になってきた。

これらの小型デバイスの一例として、単一の建物に設置した高密度振動観測システムを用いた高精度な振動特性の計測を行う研究の他、東京近郊の高校や大学に設置した小型気象センサで観測される環境情報を用いて都市部特有の短時間強雨 (ゲリラ豪雨) の発生状況を確認し、高校などの教育機関で環境教育に活用する研究を行っている。

また、これら小型気象センサとともに音声ならびに映像を定期的に取得する定点観測装置を複数の森林等に設置し、樹木や野生動物の季節変動に伴う生態観測を行うフェノロジー研究を行っている。 今年度は、ICT 技術の活用が森林での現地体験に及ぼす効果に関して考察を行った。

一方、Inetrnet が日常の社会生活で不可欠な存在が故に、安全に安心して Internet が利用できる社会基盤の構築が求められている。まず、はじめに、社会的な問題となっているネットワークを介した不正アクセスについて考える。不正アクセスの多くは、OS やアプリケーションの脆弱性を突いてシステムへの侵入を試みるものが多く、多くの侵入検知システム (IDS) では、既知の脆弱性を突く攻撃を監視する手法が用いられている。最近では、新たに発見された脆弱性情報に対して共通脆弱性識別子 (CVE) を付与して情報共有するとともに専門家により共通脆弱性評価システム (CVSS) スコアで脆弱性の影響度が評価される様になってきた。今年度は、専門家により判定されている CVSS スコアによる脆弱性影響度を過去に発見された脆弱性の CVE 記述と CVSS スコアの結果に基づいた機械学習を行うことで新規の脆弱性に対する CVSS スコア予測を行うことの有効性について検討を行った。

また、IC カード等による公共交通機関の利用記録や、クレジットカード等による購買記録、スマートフォン等による移動記録などの様々なライフログデータを活用した社会サービスの提供に関心が高まっているが、この活用には、パーソナル情報を安全に取り扱うことが不可欠となる。今年度は、個人が特定されない様に k-匿名化手法で統計処理を行った情報を用いて社会サービスが行われた場合、それらを複数取得した場合でも安全性を保持できるかどうかの検討を行った。

本研究室では、上述したように広域分散環境における高度基盤技術に資する基礎技術の確立を中心 とした各種の研究に取り組んでいる。

### 2 ネットワークに接続された小型センサの活用方法に関する研究

### 2.1 背景

今日の社会生活に不可欠な存在である広域分散環境 (Internet) には、最近は計算機だけでなく気象センサや振動センサなどの様々な小型センサがノードとして接続される様になってきた。

これらの小型センサは、自律分散ノードとして観測されたデータを集約ノードなどに常時送信する機能を持っており、集約ノードに集められた情報に基づいて、社会生活に対する安心情報としてネットワーク利用者に提供されている。

その一例として、単一の建物に設置した高密度振動観測システムを用いた高精度な振動特性の計測を行う研究や、小型の気象センサを都市部の工業高校や大学を中心に集中展開することで、短時間強雨(ゲリラ豪雨)やヒートアイランド現象などの都市部特有の現象を観測し可視化する方法の検討を進めてきた。

また、複数の森林等に小型気象センサや音声/映像取得装置を設置して定点観測を長期間に渡って行うことで、樹木や野性動物の季節変動に伴う生態観測を行うフェノロジー研究での活用を進めるとともに、ICT 技術を活用することで森林での現地体験に及ぼす効果に関する考察を行った。

ここでは、これまでの研究で培われた技術を組み合わせることで行った研究成果について報告する。

#### 2.2 内容

本研究のうち、振動センサを単一の建物に高密度に設置し、高精度な振動特性の計測を行う研究では、図1に示す様に建物内にNTPで時刻同期する複数台の振動計測装置を設置することで、建物の地下から上層階にいたる各層の応答を観測することが可能となった。

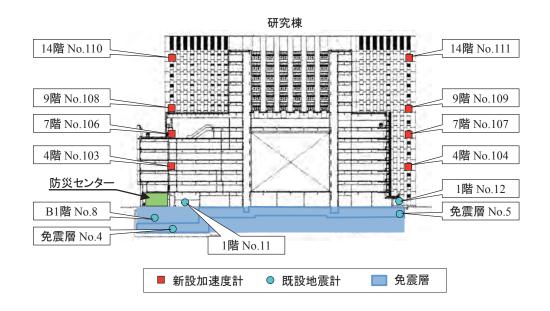
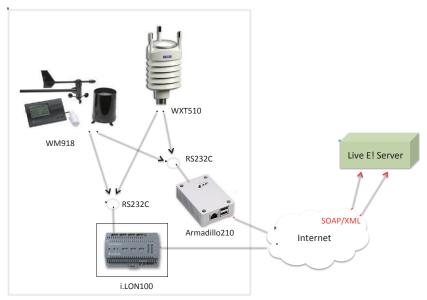


図 1: 建物内の振動計測装置の配置 ([査読付 4] 図 4)

また、小型気象センサを用いた研究では、図 2 に示す様な気象観測ユニット (Vaisala 社の WXT510 ウェザートランスミッターや Oregon Scientific 社の WM918 気象ステーション) と小型ネットワーク PC (Atmark Techno 社の Armadillo 210 や Echelon 社の i.LON 100) を組み合わせた「ディジタル百葉箱」を小型センサとして用い、インターネット網を介して集約サーバ (Live E! Server) に SOAP / XML の形態で定期的に観測データを転送するシステムを構築している。

この小型気象センサを東京近郊の高校や大学 30 箇所以上に設置して、「気象センサを活用した環境学習」に関する高大連携事業を実施し、教育/研究の両面で小型センサーから得られた情報の活用を行っている。

また、農学部附属演習林などに小型気象センサに加えて音声/映像取得装置を設置し、長期間の定点観測を行うことでフェノロジー研究での活用を行っている。今年度は、ICT 技術の活用が森林での現地体験に及ぼす効果に関して考察を行った。



ディジタル百葉箱

図 2: ディジタル百葉箱の構成

#### 2.3 具体的成果

まず、NTPで時刻同期する複数台の振動センサを単一の建物に高密度に設置した観測システムを用いることで、東北地方太平洋沖地震の際の各階の加速度波形の観測結果から層間変位の分布を求めることができ、構造全体または各層の個別の分析を地震発生後に早期に実施することが可能となることを日本地震工学会論文集[査読付4]で示した。

一方、小型気象センサを用いた研究では、観測された環境情報と気象庁のアメダス、東京都水防災雨量計、大気汚染常時監視測定局の気象データを用いて短時間強雨の発生と地上風の関連について東京都環境研究所や防災科学研究所と共に、日本気象学会 2014 春季大会 [発表 1] および TOMACS 会合 [発表 3] にて発表を行った。さらに、短時間強雨やヒートアイランド現象などに対する防災意識向上のため、センサ等による観測値や X バンド MP レーダのデータを用いた気象観測データの解析に関する授業を高等学校で実施する教育研究活動についてシンポジウム [発表 2] にて報告した。

また、農学部附属演習林などでは小型気象センサに加えて音声/映像取得装置を設置した、森林ライブモニタリングシステムの構築を進めている。構築したシステムは、森林などを同一地点で長期間に渡って定点観測することで、樹木や野性動物の季節変動に伴う生態観測を行うフェノロジー研究で活用されている。構築したシステムにより得られた知見に関して、Digital Conservation 国際会議[査読付 1, 査読付 2, 査読付 3] にて発表を行った。さらに、今年度は、モバイル端末上に構築した全方位パノラマアプリによる仮想体験が現地の森林体験に及ぼす効果について行った評価結果を情報処理学会 DCC 研究会 [発表 4] にて発表を行った。

上述した様に、小型気象センサで観測された環境情報は、各種の応用分野の研究で活用することが可能となる。そこで、各地に設置された小型気象センサの情報を統一的に管理するインタフェースの構築を、上智大学や慶応義塾大学と共に行った。この結果を、情報処理学会全国大会 [発表 6] にて報告した。さらに、小型気象センサの観測情報に加えて、KDDI/WNI 社が構築している SORATENA 装置での観測情報を統合的に扱って可視化するシステムを東京大学情報理工学系研究科の江崎教授と

OSI soft/ESRI 社と共に構築を進めてきた結果についてプレスリリースを行い、ITPro [報道 1] および日刊工業新聞 [報道 2] に掲載された。

このように、本研究は小型気象センサーによる観測データの利活用に関する側面や、観測データの 処理方法を含めた教育/研究の側面などの幅広い分野で成果をあげている。

### 3 ネットワークセキュリティに関する研究

### 3.1 背景

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

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

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

ここでは、各課題について行った研究成果について報告する。

### 3.2 内容

Inetrnet を介した不正アクセスは、OS やアプリケーションの脆弱性を突いてシステムへの侵入を試みるものが多いが、特に未知の攻撃を監視することは困難である。最近では、新たに発見された脆弱性情報に対して共通脆弱性識別子 (CVE) を付与して、複数の関連機関で情報共有するとともに、専門家により脆弱性の影響度を共通脆弱性評価システム (CVSS) スコアで評価される様になってきた。そこで、本研究室では、専門家が判定している CVSS スコアを、過去に発見された脆弱性の CVE 記述と CVSS スコアの結果に基づく機械学習で新規の脆弱性に対する CVE 記述から CVSS スコアの予測を行うことの有効性に関して検討を行った。

一方、IC カード等による公共交通機関の利用記録や、クレジットカード等による購買記録、スマートフォン等による移動記録などの様々なライフログデータを活用した社会サービスの提供に関心が高まっているが、この活用には、パーソナル情報を安全に取り扱うことが不可欠である。ライフログに含まれる情報から個人が特定されない様にする手法として、例えば、年齢情報を「20代」などに曖昧化することで k 件以上のデータに匿名化した情報で社会サービスの提供者に公開する k-匿名化手法が良く知られているが、複数の情報源から情報収集をすると、パーソナル情報が特定される場合があることも知られている。そこで、本研究では、複数の匿名化情報を第三者が取得した場合でも、パーソナル情報の安全性を保持するケースに関して検討を行った。

#### **3.3** 具体的成果

まず、ネットワークを介した不正アクセスに迅速に対応するための研究として、過去に発見された脆弱性に対して付与された CVE 記述と、それに対して専門家が付与した CVSS スコアの結果を機械学習の教師データとして活用し、新たに発見された脆弱性に対して付与された CVE 記述から CVSS スコアを予測する手法の検討とその有効性に関して電子情報通信学会 ICSS 研究会 [発表 5] にて報告した。

また、様々なライフログデータに含まれる情報から個人が特定されない様に k-匿名化手法で統計処理を行った情報で社会サービスが行われた場合を想定し、複数の匿名化情報を第三者が取得した場合でも、パーソナル情報の安全性を保持することができるかについて慶応義塾大学と共に検討を行い、情報処理学会 DICOMO2014 [査読付 5] にて発表を行った。

### 4 成果要覧

### 報道関連

- [報道 1] ITPro ACTIVE, "東大と OSIsoft など、気象ビッグデータの時空間統合可視化システムを構築", 2014 年 12 月 16 日. http://itpro.nikkeibp.co.jp/atclact/activer/nkpr/RSP376191\_16122014/
- [報道 2] 日刊工業新聞 Business Line, "東大、「ソラテナ」使い気象データを可視化一時間と空間情報を統合的に分析", 2014 年 12 月 24 日. http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0720141224eaas.html

### 査読付論文

- [查読付 1] Kaoru Saito, Kazuhiko Nakamura, Mutsuyuki Ueta, Reiko Kurosawa, Akio Fujiwara, Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Kazuyo Nagahama, Ayako Toko: Environmental profilling experience for nature conservation with Cyberforest, that is real-time monitoring and archiving on the Internet, Proc. of Digital Conservation Conference 2014, pp.9, 2014 年 5 月.
- [査読付 2] Kazuhiko Nakamura, Kaoru Saito, Akio Fujiwara, Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Kiyoshi Tanaka: Cyberforest for environmental education: monitoring and archiving the real forest environment in real-time for future nature education materials, Proc. of Digital Conservation Conference 2014, pp.16, 2014 年 5 月.
- [査読付 3] Akio Fujiwara, Kaoru Saito, Hiroki Kobayashi, Masaya Nakayama, Kazuhiko Nakamura, Masahiro Iwaoka: Cyberforest Real-time monitoring and archiving system for nature conservation, Proc. of Digital Conservation Conference 2014, pp.18, 2014 年 5 月.
- [査読付4] 西川貴文、紺野克明、藤野陽三、中山雅哉: 高層免震建物における既設ネットワークを利用した高密度振動観測システムとデータの利活用, 日本地震工学会論文集, Vol.14, No.2, pp.2\_1-2\_15, 2014 年 5 月.
- [査読付 5] 秋山寛子、中山雅哉、加藤朗、砂原秀樹: 2つの匿名化情報の組み合わせによる k-匿名度の 定式化に関する考察, 情報処理学会, DICOMO2014, pp.234-240, 2014 年 7 月.

### その他の発表論文

- [発表 1] 瀬戸芳一、横山仁、安藤晴夫、常松展充、中谷剛、小司禎教、楠研一、中山雅哉、高橋日出 男: 東京都区部で発生した短時間強雨時の降水量分布と地上風系・可降水量との関係, 日本気 象学会 2014 春季大会, B154, 2014 年 5 月.
- [発表 2] 横山仁、中谷剛、高橋尚也、磯敦雄、酒井将也、廣井慧、中山雅哉: 気象情報を活用した環境・防災教育の試み 一高校生に対する取組み事例を中心として一, 最先端レーダ情報を社会に活かすシンポジウム、pp.12-13, 2014 年 9 月.
- [発表 3] Yoshihito Seto, Hitoshi Yokoyama, Haruo Ando, Nobumitsu Tsunematsu, Tsuyoshi Nakatani, Yoshinori Shoji, Kenichi Kusunoki, Masaya Nakayama, Hideo Takahashi: Relationshop between rainfall distribution, surface wind and precipitable water vapor during heavy rainfall occurred in

- central Tokyo in summer, Second International Workshop on Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS/RDP), pp.16, 2014 年 11 月.
- [発表 4] 村松佳奈、中山雅哉、斎藤馨: 全方位パノラマアプリによる森林景観の印象と森林現地体験に及ぼす効果に関する考察, 情処研報, Vol. 2015-DCC-9, No.5, 2015 年 1 月.
- [発表 5] 山本康裕、宮本大輔、中山雅哉: 年次的な脆弱性情報への教師あり潜在ディレクレ配分法の適用による脆弱性スコア予測の研究, 信学技法、Vol.114, No.489, ICSS 2014-79, pp.79-102, 2015年3月.
- [発表 6] 内田峻靖、高岡詠子、落合秀也、中山雅哉、江崎浩、砂原秀樹: 気象情報ビッグデータ管理インタフェースの構築, 第 77 回情報処理学会全国大会、2ZD-03, 2015 年 3 月.

## 人々の実生活を支援する情報メディア技術に関する研究

### 小川 剛史

### 1 概要

拡張現実感 (AR, Augmented Reality) 技術とは、コンピュータが生成した仮想物体などの電子情報を現実世界に重畳して、現実世界に直感的に分かりやすく情報を提示するための技術で、多大なマニュアルの参照が必要となる航空機整備のような作業支援や、街中での効果的な広告提示やゲーム、外科手術の支援など様々な分野での応用が期待されている。本研究室では、人々の日常生活を支援することを目的に AR 技術を応用したシステムの構築を進めており、今年度は、飛行ロボットの操作インタフェース技術、両眼視差を利用した大画面ディスプレイのためのインタフェース技術、端末の移動を用いてコンテンツとのインタラクションを実現するマルチディスプレイシステム、AR システムのための機械学習を用いた輪郭検出技術、クロスモダリティを応用したインタフェース技術に関する研究に取り組んだ。

## 2 仮想平面を用いた飛行ロボットの操作インタフェース

#### 2.1 背景

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

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



図1:飛行ロボット操作システムの概要

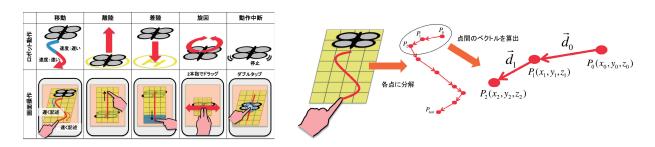


図 2: 飛行ロボット操作システム

図3:飛行ロボットの移動制御

### 2.2 内容

ロボットの移動経路をレーザポインタで床面に描いて指示する研究があったが、本研究で想定するような空中に浮かぶロボットの移動経路をレーザポインタで描くことはできない。そこで、本研究では拡張現実感の技術を用いて、空間に仮想平面を設置し、その仮想平面上に移動経路を描くインタフェースを構築した。図1に提案システムの概略を示す。タブレットを通して見た飛行ロボット上に補助平面を重畳し、この補助平面上で飛行ロボットに対する"離着陸"、"旋回"、"移動"、"動作の中断"を指示する。図2に、提案システムにおける操作方法を示す。

飛行ロボットには、Parrot 社製 AR.Drone 2.0 を採用し、タブレット端末として Apple 社製 iPad (iOS7) 上に、Objective-C を用いて実装した。仮想平面等を表示させる AR 環境として Qualcomm 社製のモバイル AR ライブラリである Vuforia を採用している。AR.Drone の周囲 4 面に画像マーカを搭載し、それをタブレット端末搭載のカメラで検出、仮想平面を重畳する。仮想平面は、画像マーカの原点を通る平面となっており、自由に回転、拡大縮小が可能であり、ユーザは仮想平面上に AR.Drone の移動経路を記述する。

AR.Drone に移動指示を与えるためにユーザが描いた AR.Drone の移動経路を複数のセグメントに分解する。図 3 に示すように、移動開始地点  $P_0$  から、次に移動する点  $P_1$ ,  $P_2$ , ..., 移動終了地点  $P_{last}$  の各地点の空間座標をマーカ座標系で求め、現在地から次の地点までの移動方向のベクトルを計算する。得られたベクトルを AR.Drone 機体の前後、左右、上下各軸の成分に分解し、それぞれの移動速度を決定して AR.Drone に  $P_n$  から  $P_{n+1}$  への移動命令を送る。移動中はベクトルの大きさとデッドレコニングで求めた移動距離を 1/30 秒おきに比較し、移動距離が上回った時点で  $P_{n+1}$  への移動が完了したと判定する。そして  $P_{n+1}$  を現在地とし、次の  $P_{n+2}$  に対して同様に計算をし、移動を行う。以上のプロセスを現在地点  $P_0$  から配列の終点  $P_{last}$  まで繰り返し、擬似的な曲線移動を実現している。また各点は 1/30 秒間隔で記録されるため、各点の距離は記述速度によって変化する。

### 2.3 具体的成果

提案手法の有効性を検証するため被験者実験を行った。提案手法と通常よく利用されるジョイスティックタイプのコントローラを用いて、実験1では、ランダムに指示される場所へAR.Drone 移動させるための所要時間を比較した。AR.Drone の向きをランダムにしている。実験2では、指示したルートをAR.Drone が飛ぶように操作させ、その場合の操作時間を比較した。いずれの実験においても、ユーザとAR.Drone の向きが異なる場合に、提案手法がジョイスティックタイプのコントローラよりも操作時間が短くなることが分かり、検定の結果、その差は有意であることが示された。

この研究成果は国際会議 [査読付 3] および国内シンポジウム [査読付 5] で発表した。国内シンポジウムでは優秀論文賞 [受賞 1] を受賞した。

### 3 大画面ディスプレイのための両眼視差インタフェース

### 3.1 背景

大画面ディスプレイに表示されたコンテンツを操作するインタフェースとして、指差し動作に基づくシステムが提案されているが、ディスプレイ上に表示されるポインタがコンテンツを見る際の妨げとなったり、複数のユーザが同時にコンテンツを操作する場合には、多数のポインタが煩雑で自身のポインタを見失う可能性がある。一方、ポインタを表示せずにタッチパネルディスプレイでコンテンツを操作するように、スクリーン上に表示されたコンテンツに自身の指を重ねて操作することも考えらえれるが、人は異なる距離にある物に対して同時に焦点を合わせることができないため、コンテンツと指を重ねて見ることはできない。

本研究では、ユーザから離れた位置にある大画面ディスプレイに提示されたコンテンツを操作するためのインタフェースとして、「両眼視差インタフェース」(図 4) に関する研究を進めた。提案インタフェースでは、スクリーンから離れた場所でコンテンツと指を重ねようとしたとき、スクリーンに焦点を合わせると両眼視差によって現れる2本の指を用いて、擬似的に再現することで、直感的で分かりやすい操作の実現を目指している。

### 3.2 内容

左右の目から得られる網膜像の差やある物を注視した際の左右の目がなす輻輳角により、人は奥行きを知覚している。つまり、異なる距離にある物を同時に注視することはできない。そのため、離れた場所にある大画面ディスプレイに表示されたコンテンツに自身の指先を重ねようとした場合、片目を閉じなければ重ねることはできない。例えば、両目でディスプレイ上のオブジェクトに焦点を合わせると図 5(a) のように、両眼像においてオブジェクトの位置は同じであるのに対し、指の位置がオブジェクトの左右となるため、指が2本に見える。同様に、指に焦点を合わせると、図 5(b) のように指は1本であるのに対し、オブジェクトが2つに見える。オブジェクトに焦点を合わせた場合に現れる2本の指を「両眼像の指」と呼ぶ。

提案インタフェースの基本操作となる3つの操作「選択/解除」「移動」「拡大/縮小」について述べる。 **選択/解除** 

「選択」操作は、現実世界において指や箸で物体をつまむように、ディスプレイに表示されたオブジェクトを両眼像の指で外側から挟み込むことで実現する。一方、オブジェクトの選択を解除するには、物体を置くときのように両眼像の指を開く(間隔を広げる)ことで実現する(図 6(a))。

#### 移動

「移動」操作は、現実世界において指や箸で物体をつまんで移動するのと同様に、両眼像の指でオブジェクトを選択した後、両眼像の指の間隔を維持したまま、腕を動かして指差し方向を変更するこ

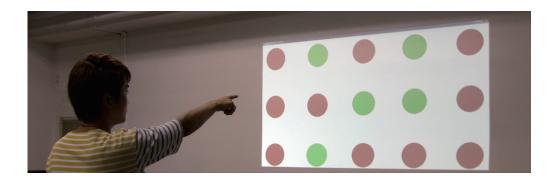
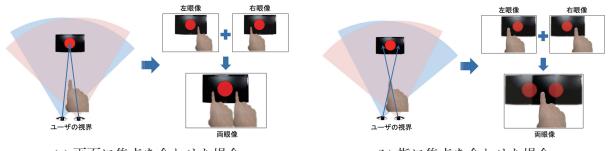


図 4: 両眼視差インタフェースの概要



(a) 画面に焦点を合わせた場合

(b) 指に焦点を合わせた場合

図 5: 指差し操作における両眼視差の影響

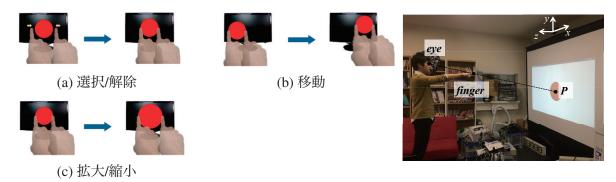


図 6: 基本操作

図 7: 指差し位置推定

とで実現する (図 6(b))。

#### 拡大/縮小

「拡大」操作は、現実世界において物体の端を持って押し広げるように、オブジェクトの両端を両眼像の指で広げることで実現する。一方、「縮小」操作はオブジェクトの両端を押し縮めることで実現する(図 6(c))。この操作は、例えば画像の拡大/縮小操作に、タッチパネルにおけるピンチアウト/ピンチインがマッピングされているのと同様である。

図7に示す通り、ユーザから見て両眼像の各指がスクリーンと重なる点は、各眼より指先を通る直線がスクリーンと交わる点となる。図中の eye は一方の眼を、P はその眼で見た場合の指差し位置である。両眼像の指が指す位置の座標を  $P_{\{L,R\}}$ 、指先の三次元座標を finger、眼の三次元座標を  $eye_{\{L,R\}}$  とすると、指差し位置の座標は (1) 式および (2) 式で表される。なお、空間内の座標系には RGB-D カメラの座標系を利用し、RGB-D カメラが原点、スクリーンに向かって水平方向右向きが x 軸、鉛直方向上向きが y 軸、スクリーンからユーザに向かうスクリーン対する垂直方向が z 軸となる。

$$P_L = \frac{1}{1 - m} finger - \frac{m}{1 - m} eye_L$$
 (1)

$$P_R = \frac{1}{1-n} finger - \frac{n}{1-n} eye_R$$
 (2)

スクリーン面は z=0 のため、指先の z 座標を  $f_z$ 、両眼の z 座標を  $e_z$  とすると、 $m=n=f_z/e_z$  となる。

### 3.3 具体的成果

提案手法の有効性を検証するため被験者実験を行った。実験1では、両眼像の指がさす指差し位置の推定誤差について検証し、実験2では本インタフェースを始めて利用するユーザが各操作を実施できるかどうかを検証した。実験結果より、腕を曲げて指を顔に近づけている際に誤差が大きくなること、

基本操作について大きな問題はなく実施できること、「選択」、「移動」についてはフィッツの法則に適合していることが明らかになった。

この研究成果は国際会議 [査読付 4] および国内シンポジウム [査読付 6]、国内研究会 [発表 1, 発表 7] で発表した。

### 4 モバイルデバイスの移動を考慮したマルチディスプレイシステム

### 4.1 背景

スマートフォンやタブレット端末の普及により、映像や音楽などのマルチメディアコンテンツを持ち 運んで楽しめるようになった。これらのモバイル端末の画面サイズには限界があり、サイズの大きい 写真を画面いっぱいに表示しても、縮小された状態であるため、詳細に閲覧することが困難である。 逆に原寸大で表示すると、画面からはみ出してしまい、全体を把握することができない。これを解決するひとつの方法として、近年多くの人が所持するモバイル端末を連携させて、仮想的に単一の大き な表示画面を実現するマルチディスプレイシステムに関する研究が盛んに行われている。しかし、各端末は固定して利用することが想定されおり、複数の画面を組み合わせたサイズよりも大きなコンテンツの表示は依然として困難であったり、コンテンツとのインタラクション方法については十分に検討がなされていない。

そこで本研究では、新たなモバイルマルチディスプレイシステム CoCoMo (Contents-manipulation by Collaborative Mobiles) を提案している(図 8)。CoCoMo では、マルチディスプレイを構成する端末を物理的に移動させることで、コンテンツに対する新たな操作方法を提供する。

### 4.2 内容

CoCoMoでは、隣接して配置される複数台のデバイスの画面を連携し、単一の仮想画面としてコンテンツ表示を行う。これを本稿では画面連携と呼ぶ。これに加えデバイスを物理的に移動させることで提示されるコンテンツを操作し、コンテンツとの直感的なインタラクションが可能な仕組みを提供する。以下では提案する操作手法について説明する。

#### 基本的な画面連携操作

あるデバイスで行った操作が他のデバイスにも伝えられ、複数の画面をひとつの画面であるかのように操作できることを本稿では基本的な画面連携操作と呼ぶ。例えば、画面連携を行ったデバイスのうち、ひとつのデバイスでピンチアウトしてコンテンツの拡大を行うと、この操作はほかのデバイスにも反映され、コンテンツは同様の拡大で適切な位置に表示される。

### デバイスの移動を利用する操作

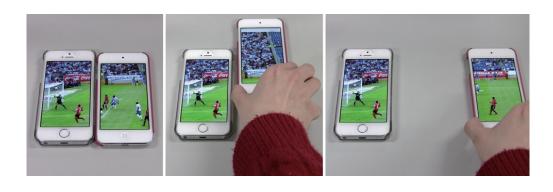


図 8: CoCoMo の概要

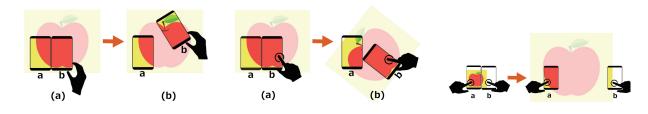


図 9: デバイスの移動

図 10: ホールド移動

図 11: ホールド拡大/縮小

デバイスの移動を利用する新たな操作を3種類提案する。これらの操作を、写真や地図等のコンテンツを閲覧するときの操作として利用する場合について説明する。

#### 1. デバイスの移動

デバイスの移動を、コンテンツを閲覧する操作とする。その概要を9に示す。図9(a) は移動操作を行う前の状態を示しており、2台のデバイスが画面連携し、コンテンツを表示している。この状況でデバイスbを移動させると、画面外で表示されていなかった部分を自由に見ることができる(図9(b))。

#### 2. デバイスのホールド移動

画面をタッチしつつデバイスを移動する操作をデバイスのホールド移動と呼び、コンテンツを移動させる操作とする。操作前は図 9(a) と同様であり、この状況からデバイス b に対しホールド移動を行うと、コンテンツはデバイス b に固定された状態で移動する(図 10(b))。

### 3. ホールド拡大/縮小

2台のデバイスの画面をそれぞれタッチした状態で、デバイスを遠ざけたり近づけたりする操作をホールド拡大/縮小と呼び、コンテンツの拡大縮小を行う操作とする。操作の概要を図 11 に示す。この操作では、それぞれの画面に表示される位置は変わらないため、継続して同じ位置を見ながらコンテンツを拡大・縮小できる。

#### 4.3 具体的成果

CoCoMo の有効性を検証するために被験者実験を行った。実験結果により、CoCoMo は、タブレット端末を単独で利用するよりも、例えば写真に写るソファなど、端末の画面よりも大きなサイズのものであっても、実際のサイズを理解し易いことが明らかになった。この成果は、国内研究会[発表 4, 発表 6]で発表した。国内研究会での発表は優秀発表賞[受賞 3]を受賞し、2014年に研究会で発表された研究の中で最も優れた研究として、2014年サイバースペース研究賞[受賞 4]を受賞し、受賞記念講演[発表 10]を行った。

## 5 拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出手法

### 5.1 背景

拡張現実感ではユーザの視野にコンピュータが生成した電子情報を重畳表示するために、カメラ映像などからユーザの位置・姿勢を推定しなければならない。これまで、位置推定の手段として画像マーカを用いる手法や、カメラ画像内の物体を検出して追跡する手法などに関する研究が盛んに行われてきた。カメラ画像内の物体を追跡するためには、その物体を認識するために物体の輪郭検出が重要となる。

これまで、高速な輪郭検出として、Canny edge detector と呼ばれる手法が知られていたが、拡張 現実感のように HMD に搭載したカメラの画像 はユーザの首振りによる横ブレが発生することが多く、そのような画像に Canny edge detector を適用しても精度の高い輪郭検出は不可能である。近年では、機械学習を用いた輪郭検出に関する手法も提案されているが、非常に扱う特徴量が多く、特徴量の抽出に大きな計算コストを必要とするだけでなく、Canny edge detector と同様に横ブレ画像には対応できない。

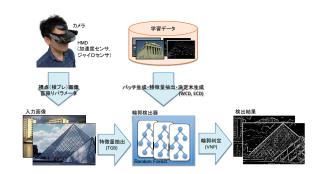


図 12: 輪郭検出システムの概要

そこで本研究では、横ブレ画像における輪郭検出を機械学習を用いて行う手法の実現を目指し、研究を進めた。

### 5.2 内容

機械学習を用いた輪郭検出システムの概要を図12に示す。輪郭検出システムでは、入力画像から抽出した特徴量が輪郭検出器に入力されると入力画像の各ピクセルに対して輪郭判定がなされ、輪郭画像が出力される。ここで、特徴量の絶対量が増加すると、入力画像からの特徴量抽出に必要な計算コストが大きくなり、全体の処理時間に大きな影響を与えることが予想される。そこで、提案手法では、扱う特徴量を大幅に削減することで、計算コストを低減し、特徴量の削減に伴う判定精度の低下を補う手法を提案している。

輪郭検出器には、集団学習による機械学習アルゴリズムのひとつである Random Forest を用いる。 Random Forest では、多数の決定木による判定結果を組み合わせることで精度の高い判定を実現している。提案手法では決定木生成の際に、各属性の重みに輪郭画像の特徴を考慮し、決定木の分岐を決定する際の指標に輪郭検出が二値分類であることを考慮することで、生成する決定木の識別精度の向上を目指すとともに、各決定木の判定結果を組み合わせた後の判定において、輪郭ピクセルは連続して現れることを考慮することで、最終的な輪郭検出の精度を向上させることとした。

また、横ブレがある画像に対しては、HMDに装着したカメラのパラメータとジャイロセンサや加速度センサの値から画像のブレ方向やブレの強さが推定できると想定して、抽出した特徴量に横ブレによる影響をパラメータとして付加するようにした。

### 5.3 具体的成果

BSDS500<sup>1</sup> と呼ばれるデータセットに提案手法および従来手法を適用し、提案手法の有効性を検証した。 特徴量数の削減による影響を調べるために、BSDS500 の訓練用画像 200 枚を用いて 3 種類の学習 データセットを作成した。また、横ブレ画像として BSDS500 の評価用画像 200 枚に対して、カーネ ルサイズが縦 1 ピクセル、横 5、9、13、17、21 ピクセルのガウシアンフィルタを適用した 5 種類の 画像を用意した。正解画像には BSDS500 の Ground Truth を用いた。

輪郭検出精度を図13、輪郭検出結果のサンプルを図14に示す。画像のブレが大きい場合に、提案手法のF値が従来手法よりも高くなっていることが分かり、横ブレが発生するような拡張現実感で用いる画像に対して、提案手法が有効であることが確認された。

本研究の成果は、国内研究会 [発表 5, 発表 8] で発表した。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/grouping/resources.html

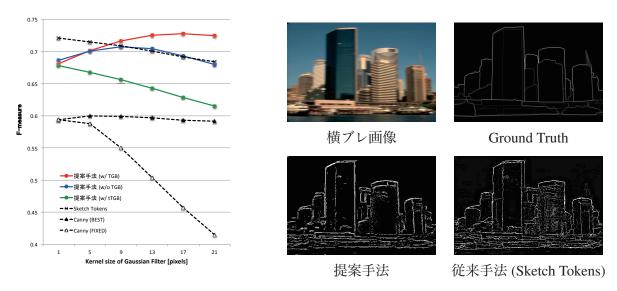


図 13: 輪郭検出精度比較

図 14: 輪郭検出結果

## 6 視覚刺激を用いたファントムセンセーション制御方式

### 6.1 背景

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

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

#### 6.2 内容

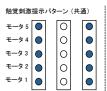
視覚刺激が触知覚に影響を与えるという従来研究の知見および我々のこれまでの研究成果から、視覚刺激によって PS の生起を制御することが可能であるという仮説を立てた。具体的な仮説は以下の通りである。

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

本仮説を検証するために、我々は視覚刺激と触覚刺激を同時に提示可能なディスプレイを開発した。図 15 に示すように、視覚刺激提示用に LED テープ(Adafruit 社製、NeoPixel Digital RGB LED Strip)を利用し触覚刺激提示用に振動モータ(東京パーツ工業社製、FM34F)を利用したディスプレイである。それぞれの LED の中心と振動モータの中心が一致するように設置した。各 LED 間および振動モータ間は約 17mm である。LED および振動モータはマイコン(Arduino 社製、Arduino Uno)によって制御する。

本ディスプレイを用いた視覚刺激および触覚刺激の提示例を図 16 に示す。触覚刺激は図のモータ 1 からモータ 5 を番号順に振動させることで提示する。例えば、モータ 1 の両端のモータを同時に振動





視見刺激提示バターン(1回日)							
LED 5	0	•					
LED 4	0						
LED 3	0						
LED 2	0						
LED 1	0		Hol				





図 15: 視触覚提示装置

図 16: 実験における刺激パターン

させ止めてから、モータ2の両端のモータを同時に振動するという動作を順に行う。また、視覚刺激に関しては、モータと同様にLED1からLED5を番号順に点灯することで提示する。

図 16 の視覚刺激提示パターン(1 回目)に示すように、異なる 2 個の振動モータを振動させ、それらの中間に位置する LED を点灯させる場合は、PS の位置に視覚刺激が提示されているので、PS の生起が促進されると考えられる。一方、視覚刺激提示パターン(2 回目)に示すように、異なる 2 個の振動モータを振動させ、それらの位置と同じ位置の LED を 2 個点灯させる場合は、触覚刺激の位置に視覚刺激が提示されているので、PS が抑制されると考えられる。

図 16 に示す触覚刺激提示パターンと各視覚刺激提示パターンを組み合わせて、視覚刺激が PS の生起に与える影響を検証した。被験者は、20 代から 60 代の被験者 35 名であった。被験者が自身の前腕を見ている状態で、刺激を提示し、被験者には震えていると知覚した場所を回答用紙に記入させた。

### 6.3 具体的成果

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

本研究の成果は、国際会議 [査読付 1, 査読付 2] および国内研究会 [発表 2, 発表 9] で発表した。なお、本研究に関連して、拡張現実感におけるクロスモダリティを用いた歩行支援システムに関する研究が国内研究会より 2013 年サイバースペース研究賞 [受賞 2] に選ばれ、受賞記念講演 [発表 3] を行った。

## 7 成果要覧

#### 受賞関連

- [受賞 1] 米澤 和也, 小川 剛史: 優秀論文賞, 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2014), 2014 年 7 月.
- [受賞 2] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 2013 年サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティサイバースペースと仮想都市研究会, 2014 年 10 月.
- [受賞 3] 王 夢, 小川 剛史: 優秀発表賞, 日本バーチャルリアリティサイバースペースと仮想都市研究会シンポジウム, 2014 年 12 月.
- [受賞 4] 王 夢, 小川 剛史: 2014 年サイバースペース研究賞, 日本バーチャルリアリティサイバースペース と仮想都市研究会, 2015 年 3 月.

#### 査読付論文

[査読付 1] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: A Study of Changing Locations of Vibrotactile Perception on a Forearm by Visual Stimulation, Proc. of the 7th International Conference on Collaboration Technologies (CollabTech 2014), Santiago, Chile, pp. 86–95, Sept. 2014.

- [査読付 2] Arinobu Niijima and Takefumi Ogawa: Visual Stimulation Influences on the Position of Vibrotactile Perception, Proc. of AsiaHaptics 2014, Tsukuba, Japan, Nov. 2014.
- [査読付 3] Kazuya Yonezawa and Takefumi Ogawa: Flying Robot Manipulation System Using a Virtual Plane, Proc. of IEEE Virtual Reality Conference (VR2015), Arles, France, Poster, pp. 313–314, Mar. 2015.
- [査読付 4] Keigo Yoshimura and Takefumi Ogawa: Binocular Interface: Interaction Techniques Considering Binocular Parallax for a Large Display, Proc. of IEEE Virtual Reality Conference (VR2015), Arles, France, Poster, pp. 315–316, Mar. 2015.
- [査読付 5] 米澤 和也, 小川 剛史: 仮想平面を利用した飛行ロボット操作システム, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2014) 論文集, pp. 1904–1909, 2014年7月.
- [査読付 6] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を利用したユーザインタフェースの評価, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2014) 論文集, pp. 1910–1915, 2014 年 7 月.

### その他の発表論文

- [発表 1] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 両眼視差を考慮した大画面ディスプレイのための指差しインタフェースの提案, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-2, CSVC2014-13, pp. 67-72, 2014 年 6 月.
- [発表 2] 新島 有信, 小川 剛史: 生体情報を利用した振動刺激知覚測定方法に関する一考察, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-2, CSVC2014-14, pp. 73-77, 2014 年 6 月.
- [発表 3] 岡崎 成晃, 小川 剛史: 拡張現実感を用いた床面の擬似傾斜が歩行者に与える影響の検証, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-3, CSVC2014-24, pp. 57-62, 2014 年 10 月.
- [発表 4] 王 夢, 小川 剛史: モバイルデバイスを用いたマルチディスプレイシステムにおける端末の移動 を考慮したインタラクション手法, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-3, CSVC2014-30, pp. 149-154, 2014 年 10 月.
- [発表 5] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感のための Random Forest を用いた輪郭検出手法に関する一検討, 信学技報, Vol. 114, No. 230, PRMU2014–59, pp. 27–32, 2014 年 10 月.
- [発表 6] 王 夢, 小川 剛史: CoCoMo: マルチディスプレイシステムにおけるモバイル端末の移動を考慮したインタラクティブシステム, VR 学研報, Vol. 19, No. CS-4, CSVC2014-33, pp. 9-12, 2014年12月.
- [発表 7] 吉村 圭悟, 小川 剛史: 大画面ディスプレイのための両眼視差を考慮したコンテンツ操作手法, 情処研報, Vol. 2015–DCC–9, No. 7, 2015 年 1 月.
- [発表 8] 燧 暁彦, 小川 剛史: 拡張現実感におけるユーザの首振りを考慮した輪郭検出手法に関する一検討, 信学技報, Vol. 114, No. 454, PRMU2014–119, pp. 43–48, 2015 年 2 月.
- [発表 9] 新島 有信, 小川 剛史: 視覚刺激を用いたファントムセンセーションの生起の制御に関する一 考察, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-1, CSVC2015-1, pp. 1-6, 2015 年 3 月.
- [発表 10] 王 夢, 小川 剛史: マルチディスプレイシステムにおけるモバイル端末の移動を考慮したインタラクション手法に関する評価, VR 学研報, Vol. 20, No. CS-1, CSVC2015-4, pp. 19-24, 2015年3月.

# 新たなネットワークサービスアーキテクチャの 実現に向けた研究

### 関谷 勇司

### 1 概要

平成 26 年度は、NECOMA Project を中心とした、サイバーセキュリティを強化するための研究と、新たなネットワークサービスアーキテクチャを設計・構築するための研究に、主に従事した。 NECOMA Project では、特にインターネットのコアバックボーン部分において、分散攻撃を検知し防御する機構に関する研究開発を行った。具体的には、インターネットエクスチェンジと呼ばれるトラフィック交換ポイントに着目し、この部分に攻撃を防御したりトラフィックを効率的に交換したりするための付加機能を、SDN 技術を用いて実現することを目指した。設計・実装した機能に関しては、実環境における実証実験を行い、実際のインターネットエクスチェンジに導入できる機構の研究開発を目指した。

また、新たなネットワークサービスアーキテクチャを設計・構築するための研究では、現在のトラフィック動向や新たなアプリケーションの普及に伴う、ネットワークサービスアーキテクチャに求められる変革に着目し、次の世代に適応できるネットワークサービスアーキテクチャの設計と構築を行った。具体的には、SDN と NFV を用い、サービスレーンの細分化と並列化によって、柔軟かつスケールアウト可能なネットワークサービスアーキテクチャの実現を目指した。その結果、本年度は基礎技術の検証を行い、その結果を論文として発表した。

## 2 SDN を用いたインターネットコアにおけるトラフィック制御機構の 設計と実装

### 2.1 背景

現在のネットワークインフラは、サーバとクライアントとの間で多くの TCP 通信かが行われることを前提としたアーキテクチャとなっており、また通信量の増加もそのモデルに基づいた推定のもとにインフラへの増強設計や設備投資が行われている。

ところが、従来はコンピュータとその周辺機器だけが接続されていたインターネットに、IoTによるセンサーデバイス網の形成やスマートフォンの普及によるクラウド型アプリケーションの普及、またビッグデータ処理の普及が、インターネットのトラフィック動向に大きな影響を与えている。従来の、縦方向と呼ばれたサーバとクライアント、すなわちサービスとユーザとの間の通信のみならず、横方向と呼ばれる、サーバとサーバ、すなわちデータとデータを結ぶためのトラフィックが増大している。クラウド型のアプリケーションでは、データとデータを有機的に連結して処理し、その最終的な結果だけをユーザに伝える形態が取られている。つまり、ユーザのリクエストに応じた処理が、データセンタに存在する計算機資源やストレージ資源を統合して実現されるため、データセンタ内部ならびにデータセンタ間のトラフィックが急速に増大する傾向にある。これらトラフィックをいかに効率よく処理するかは、現在のインターネットを支える中心部分、いわばコアネットワーク部分の大きな課題となっている。この課題を解決するためには、従来のTCP/IPアーキテクチャに基づいたネットワークアーキテクチャではなく、横方向の通信に適したアーキテクチャを構築する必要がある。

### 2.2 内容

前述の背景と課題を受け、本研究では、インターネットコア部分に位置するインターネットエクスチェンジ (以下 IX) に、より柔軟かつ効率的なトラフィック制御機構を実現することを目指した。なお、本研究は総務省戦略的国際連携型研究開発推進事業である、「日欧協調によるマルチレイヤ脅威分析およびサイバー 防御の研究開発」(通称 NECOMA Project) の一部として、主に関谷が担当した研究開発となる。

IX はインターネットの黎明期から構築され、運用されてきた、インターネットコアにおいてトラフィッ ク交換を行うための場所であり、手法である。インターネットサービス・プロバイダ(以下 ISP) と呼ばれ る、インターネットにおいてユーザに接続性を提供する事業者は、なるべく多くの ISP や組織と相互 接続を行い、トラフィックを交換することで、インターネット自体が形成されてきた。この相互接続にお いて、個々の ISP 同士が別々に交渉を行い、別々の場所において相互接続を行うのでは非効率で あるため、多くの組織が集まってトラフィックを交換できる場所が形成された。これが IX であり、現在 では世界中に数多くの IX が形成されている。欧州方面で形成されている、IX 事業者の集まりであ る EURO-IX の統計 によれば、全世界の 471 箇所において IX が運用されている。世界最大規模 の IX では、3Tbps を超えるトラフィックが交換されており、インターネットのコアバックボーンを形成す る一要素となっている。しかし、これら IX はあくまでも従来の TCP/IP プロトコルに基づいたトラフィッ ク交換の場所を提供しているだけであり、そのトラフィック制御は Border Gateway Protocol (以下 BGP) と呼ばれる経路制御プロトコルに基づいて行われている。本来 TCP/IP は、限られた帯域を複 数人がうまく共有して通信することに留意したプロトコルであり、データセンタ間やクラウドアプリケー ション間で遅延を少なくした大規模なトラフィックを交換するには適していない。 つまり、従来の IX は サーバとユーザとの間のトラフィック交換を賄うことを前提としたアーキテクチャとなっており、これから の横方向のトラフィックに適したアーキテクチャとはなっていない。また、BGP に代表されるような性 善説に基づいたトラフィック交換となっており、間違った経路制御やサービスの妨害を狙った攻撃な ども、無条件に通してしまうような設計となっている。

現状の IX では、これらの課題に対して IX に接続する ISP が個別にそれぞれ対策を行っているのが現状である。横方向のトラフィックに対応するために、BGP を駆使したトラフィックエンジニアリングを行い、安全な通信を実現するためにサービス妨害攻撃を防御するための機器を個別に導入している現状となっている。そこで本研究では、従来の IX に 3 つの付加機能を加え、これからのインタネットコアバックボーンに求められる、安全かつ効率的なトラフィック制御を可能とした IX を設計・構築することを目指した。具体的には、以下の 3 つの付加機能を従来の IX に加えることを目指した。

- Granularity
- Security
- Flexibility

これら機能を IX に実装するために、Software Defined Networking (以下 SDN) と呼ばれる技術を用いて実現した。SDN を用いて実現される、これからの IX に求められる付加機能を有した IX の概念図を、図 1 に示す。



図1:SDN を用いた IX への付加機能の提供

-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> https://www.euro-ix.net/resources-list-of-ixps

本研究では、この SDN によって実現される付加機能を有した IX を PIX-IE と名付け、実際のサービス展開を目指した研究開発を行った。それぞれの機能に関して、説明を加える。

まず、Granularity について述べる。現在のインターネットにおける経路制御は、BGP によって行われており、その際のトラフィック制御の最小粒度は、IPv4 の場合 /24、IPv6 の場合 /48 という単位になる。これは粒度としては非常に粗い粒度であり、これがインターネットにおけるトラフィックエンジニアリングを不自由なものとし、インターネット全体の経路情報増大の一要因となっている。例えば、ある組織間や ISP 間でのトラフィックが増加する傾向にあり、それが特定のアプリケーションに起因したトラフィック増加であった場合でも、現在の BGP の場合、最小単位に含まれるアドレス空間全てに対して、組織間での直接のトラフィック交換を行うための制御しかできない。これは、あるアプリケーションの通信を最適化するために、専用のアドレス空間を割り当て、専用の経路制御をしなければ効率的なトラフィック制御ができないことを意味する。

そこで PIX-IE では、より細かな粒度で経路制御をできる機構を提供することを目指した。BGP での経路制御とともに、SDN 技術を用いた Layer-4 レベル、もしくは Layer-7 レベルの情報に基づいた経路制御機能を提供することで、より詳細かつ柔軟な粒度での経路制御とトラフィックエンジニアリングを可能とすることを目指した。もちろん、PIX-IE 以外の従来の世界は BGP で経路制御を行っているため、その互換性を確保しつつ細かな粒度の経路制御を実現する必要がある。平成 26 年度は、本付加機能に関してはまだ設計段階にある。来年度に実装と検証を行う予定である。

次に、Security について述べる。現在のインターネットでは、トラフィック制御を行うための経路情報の交換や、トラフィックの中継に関して、ある意味での性善説に基づいたアーキテクチャが構成されている。これは、隣から渡される情報やデータは信頼して利用もしくは中継するという前提である。この前提に基づき、BGPによる経路交換は行われ、IXにおけるトラフィック交換も行われている。

しかし、当然ながらこの前提を崩すような攻撃者も存在し、インターネット上では様々な攻撃が行われている。その一つ、サービス妨害攻撃(以下 DDoS 攻撃)が存在する。これは、詐称された大量の通信をサービスを提供するサーバやクラウド資源に対して行うことで、正常なサービスの提供を不可能にする攻撃である。この攻撃自体は決して新しいものではなく、インターネットが形成された頃から頻繁に行われてきた。しかし、現在に至っても有効な防御手段の無い攻撃の一つであり、通信設備の増大にともなって、DDoS 攻撃の規模も拡大している2。これらの DDoS 攻撃は、IX にとってみれば通信帯域を消費するだけの無駄なトラフィックであり、安定かつ低遅延な通信を実現するための障害となる。そこで PIX-IE では、IX というインターネットのコア部分において DDoS 等のサイバー攻撃を防御するための機能を提供することを目指す。例えば DDoS の場合には、従来の IX の場合では、図 2 に示す通り、IX への接続回線を DDoS にて埋められてしまった場合には、たとえ組織側に高性能なファイアウォール機器があったとしても役には立たない。回線帯域を埋めることで、正常なサービスを妨害することができるためである。

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> http://scan.netsecurity.ne.jp/feature/ddos-chronology/

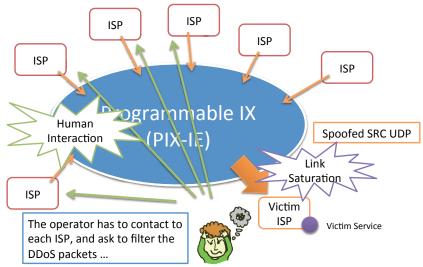


図 2: DDoS 攻撃に対する現行の対処法

このような DDoS 攻撃に対抗するための現行の手法は、管理者が攻撃が来ていると思われる方向を特定し、その組織や ISP の管理者に対して、DDoS の一部となっている攻撃トラフィックの発生源を止めてもらう、もしくは組織の出口にてフィルタリングしてもらうという、管理者間での意思疎通を必要とする手法となっている。これは非効率かつ時間のかかる手法であり、その間に攻撃の発生源が移動したり、サービス継続が不能となって攻撃が終了する場合もある。このような攻撃に対して、インターネットのコア部分に位置する IX にて被疑トラフィックをフィルタリング、もしくは緩和することができれば、インターネット全体における攻撃防御もしくは緩和に対する大きな貢献となる。そこで PIX-IEでは、自身が宛先となっているパケットは自身の責任範囲において、破棄や緩和ができると定義し、図3に示す通り、APIを用いた制御によって被疑トラフィックを制御することを可能とした。

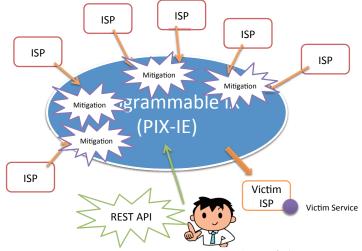


図 3: IX における DDoS 攻撃の防御

この防御を一箇所の IX のみならず、世界各地の IX にて連携して行うことで、より攻撃の発生源に近い場所において防御を行うことが可能となる。平成 26 年度は、この機構の設計を行い、プロトタイプ実装を行った。平成 27 年度はこの機構を実証実験し、実際の IX に展開する予定である。

最後に、Flexibility について述べる。これは前述の通り、インターネットにおける通信の傾向が変化していることをうけ、IX において組織間のトラフィックをより効率的に交換する手法を提供する。具体的には、組織間のトラフィック量、とくに特定のサービス間でのトラフィック量が増大した場合には、TCP/IP の経路制御によらず、必要なサービス間で近道となるダイレクトパスを形成し、トラフィック交換を行う手法を提供する。例えば、あるクラウド事業者の中に位置するある顧客と、別のクラウド事業者の中に位置するある顧客が、データ同期や解析のために短時間で多量のトラフィックを生み出し

た場合には、IX で必要なプロトコル変換、ならびに IP アドレスなどのヘッダフィールドを変換することによって、時間単位の動的な直接パスの形成を提供した。これにより、データのレプリケーションなどのディザスタリカバリといった用途にも、レプリケーションを行うデータが格納されている資源に割り当てられている IP アドレス範囲を指定し、直接通信を行うためのパスを形成することが可能となった。平成 26 年度はこの機能を実装じ、実証実験を行った。

### 2.3 具体的成果

平成 26 年度は、PIX-IE を実現するための SDN コントローラプログラムの設計と実装を行った。これは前述の NECOMA Project の研究開発の一部として行われた。奈良先端科学技術大学院大学の岡田特任助教の協力のもと、現状の SDN スイッチの実装を検証し、インターネットのコア部分となる IX のトラフィックに耐えうる規模性を持った SDN スイッチの実装、ならびにコントローラの実装について、検討と検証、ならびに実証実験を行った。

前述の機能を実現するために、各種 SDN の機能や仕様を調査した結果、トラフィックをフローの単位で扱うことが有用であることがわかった。そのため、SDN の業界標準プロトコルとなっている、OpenFlow を利用してフロー単位でトラフィックを制御する方針を決定し、システムを設計した。しかし、インターネットのコア部分である IX に流れるトラフィックは、少なくとも数 Gbps、多い場所では Tbpsに達する。そのため、同じ OpenFlow をサポートしている機器でも、多くのフローをハードウェアにて制御できるものが望ましいことがわかった。また同時に、現状の OpenFlow 実装では、IX に流れるトラフィックに含まれる全てのフローを個別に識別し、制御することが不可能であることもわかった。これは、現行の OpenFlow スイッチの実装が、TCP/IP によるパケット転送を基準としたハードウェアの上でソフトウェアを工夫することによって実装されていることに起因する。現行の通信機器では、Layer-3の宛先 IP アドレス情報のみを検索の鍵としてパケット転送が行われている場合がほとんどであるため、OpenFlow のように Layer-2 から Layer-4 までの全ての情報を検索の鍵としたパケット転送を行うためには、ハードウェアが持つ Content Addressable Memory (以下 CAM) の容量が不足するためである。

そこで PIX-IE を実現するにあたっては、Flexibility や Security を実現するにあたって必要となる特徴的なフローのみを抽出して制御し、その他のフローはなるべく一般的な検索ルールにて処理されるようなルール体系を設計した。また、OpenFlow の特徴でもある、新規フローは一度コントローラに転送してソフトウェア処理するという、PACKET\_IN という処理を発生させないようにするため、出来る限り予防的なルールを挿入する事前対策的 OpenFlow の手法を考案し、実装した。

この結果をもとに、実環境における実証実験を行った。アジア地区最大の ITC イベントである、Interop Tokyo 2014 において、PIX-IE を稼働させ、実際のトラフィック交換実験を行った。図 4 に示す通り、Interop Tokyo 2014 の会場外となる大手町に PIX-IE を構築し、Interop Tokyo 2014 会場と、2 回線の 10Gbps イーサネットで接続した。また、会場内のネットワークを 2 つの AS に分割し、これを 2 つの事業者に見立て、会場内の 2 組織にて発生する通信を PIX-IE を経由して動的に制御する実験を行った。また、会場外では JGN-X や WIDE Project のネットワークを PIX-IE に接続し、会場内部でこれらのネットワークを経由して映像伝送実験をする出展社へのネットワークトラフィックを、動的に制御した。

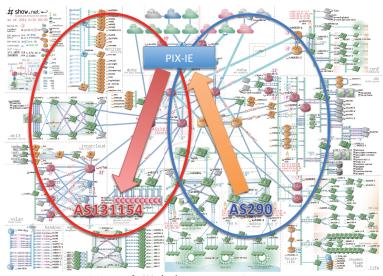


図 4: 会場内ネットワークと PIX-IE

その結果、会場内部で分割された 2 組織間のトラフィック、ならびに会場外のネットワークである JGN-X や WIDE Project の先にある映像ソースから会場内に映像伝送を行う実験者に対して、プロトコル変換も含めた効率的なパス制御を行うことに成功した。その結果、会期 3 日間の実証実験において、図 5 に示す通り最大で 7Gbps のトラフィックを、その流量に応じた動的なパス制御を伴いながら転送することに成功した。しかし、この実証実験では前述の 3 機能のうち Flexibility の機能を実験したのみであり、その規模性とパスの操作可能性を実証したものに過ぎない。平成 27 年度は、Security の機能も含め、より実サービスに展開するために必要な機能の実証実験を行う予定である。

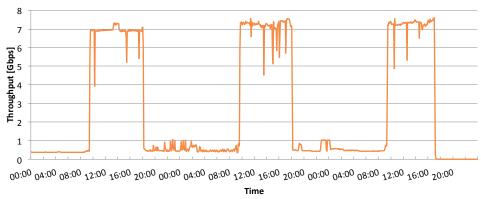


図 5: PIX-IE を経由して転送されたトラフィック流量

また、Security 機能を実現するための前段階の調査として、実際の IX に流れるトラフィックの傾向分析を行った。定常時のトラフィック傾向を把握することで、異常検知の基礎データとすることができるためである。IX を流れるトラフィックを、その発信元並びに宛先ポート番号に関して、2015 年 1月 11日と2015年1月12日のトラフィック分布を図6に示す。1024番以下の特権ポート以外にも、パケットが集中している特徴的なポート番号が見られ、それは日によって異なっていることがわかる。

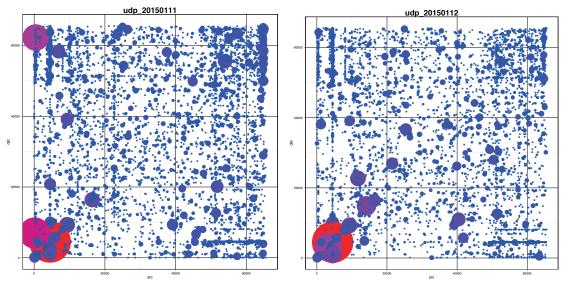


図 6: UDP パケットのポート番号分布

このような定常傾向からの異常トラフィックの検知をもとに、IX においてどのような防御を行うことが求められているのか、分析を引き続き行う予定である。

# 3 SDN と NFV を用いた新たなネットワークアーキテクチャの実現

### 3.1 背景

現在のインターネット接続サービスは、アプリケーションや通信プロトコル毎に特化した機器を複数連結し、複雑なパケット処理を行うことで成立している。一方で、クラウド型アプリケーションの普及やモバイル通信の台頭により、通信量は増加の一途とたどり、通信パターンも従来のサーバクライアントモデルとは異なったパターンの通信が増加している。

さらに、今後のインターネットアプリケーションの通信モデルは、WebRTC をはじめとした HTTP を用いた P2P 型通信、ならびに SPDY や QUIC と言った HTTP2.0 を支える暗号化と高速化を考慮されたトランスポートプロトコルへの移行が加速される。このような新しい通信の傾向に対して、位置やトポロジ情報に依存せずサービスを提供し、柔軟にスケールアウトできるような新しいインターネットのアーキテクチャが求められている。既存のアーキテクチャを用いて構築された通信基盤では、通信動向の変化に柔軟に対応することが難しく、増え続けるトラフィックを支えるための運用コストや設備コストも増大している。そこで本研究では、この問題を解決すべく、NFV と SDN を用いることでサービスの位置に束縛されない、柔軟かつスケールアウト可能なネットワークサービス基盤である、次世代ネットワークサービスプラットフォームを設計・構築することを目指す。

#### 3.2 内容

前述の通り、トラフィック動向の変化や新たなアプリケーションの登場により、ネットワークインフラはより柔軟かつ動的な構成変更を可能とするアーキテクチャに移行することが求められる。そこで本研究では、これらネットワークの変革に対応することのできる、新たなネットワークサービスアーキテクチャを提案し、設計・構築することを目指した。ネットワークサービスとは、ユーザの利便性のためにネットワークに付随して提供される機能を意味し、ユーザを攻撃や成りすましといったセキュリティ上の脅威から守ったり、ユーザが求める情報を容易に得ることを支援したり、ユーザがどこにいても同ジッ品質のサービスを受けられることを担保する技術を意味する。これを実現するために、本研究では、次世代のネットワークアーキテクチャに求められる要件を以下の通り定義した。

- 新たな技術やアプリケーションの登場によるトラフィック変化に対応できる
- サービスを提供するにあたってより効率の良い場所でサービスを提供できる

- 運用しながら新たな機能を導入できる (DevOps)
- 性能を段階的に拡大や縮小することができる

これらの要件を満たすネットワークサービスアーキテクチャを、「次世代ネットワークサービスアーキテク チャ」と定義し、実現に向けた研究開発を行った。なお、この詳細に関しては論文[招待 1]にて述べられている。

これらの要件は、従来のネットワークサービスをより細かな粒度で複数の並列化ラインに分割することで実現可能となる。そこで本研究では、図 7 に示すような、サービスラインの細分化と並列化の手法を提案した。これにより、サービスを提供する場所の移動や、サービスの展開、並びに性能の段階的な拡大や縮小が可能となる。

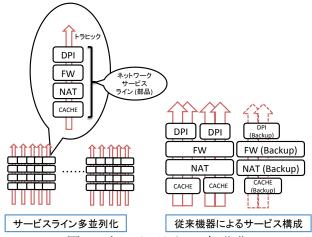


図7:サービスラインの細分化

平成26年度は、この提案を実現するために必要となる要素技術の検証と研究開発を行った。

### 3.3 具体的成果

平成 26 年度は、次世代のネットワークサービスプラットフォームを構成するための要素技術である、NFV (Network Functions Virtualization) の技術検証を中心とした活動を行った。具体的には、汎用的に展開することのできる NFVI (Network Functions Virtualization Infrastructure) の構成パターン、を表 1 に示す通りの 5 パターンとして定義し、検証環境を設定した。これによって、サービス提供基盤の共通化を目指すための指針と、検証を通じた問題点の洗い出しを行った。

また、サービスラインの細分化を実現するために、従来のネットワーク機能をプロセスレベルで実現するための機構について、設計と検証を行った。その結果は、論文[査読付1]にて述べられている。

	NFVI-1	NFVI-2	NFVI-3	NFVI-4	NFVI-5		
Hardware	DELL R410	DELL R620					
CPU	Xeon E5507 2.27GHz	Xeon E5-2600 v2 2.6GHz					
Memory	48GByte	32GByte					
On board NIC		Broadcom BCM57800			Broadcom BCM57800		
PCIe NIC	Intel X520	Intel X520	Mellanox Connect X3 Pro	Intel X520	Intel X520		
Hypervisor	VMware ESXi	Ubuntu 14.04.1 QEMU(2.2)+KVM					
Management	vSphere	Open Stack Oper Neutron ML2 Plugin Nova					
vNIC	VMXNET3	Virtio-vh	nost-kernel	Virtio-vhost- kernel(or user)	SR-IOV		
vSwitch	Vmware付属	Kernel OVS + VXLAN Offload		DPDK-OVS	N/A		

表1:汎用的なNFVIパターンの定義

# 4 成果要覧

### 招待講演/招待論文

- [招待 1] 関谷 勇司, 中村 遼, 岡田 和也, 堀場 勝広: SDN と NFV による新たなネットワークサービス 構造の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J98-B, No.4, pp. 333-344, 2015 年 4 月
- [招待 2] 関谷 勇司: SDN と NFV が生み出す次世代のネットワークアーキテクチャ, 沖縄オープンラボラトリ, Okinawa Open Days 2014, 沖縄県市町村自治会館, 2014 年 12 月
- [招待 3] 関谷 勇司: SDN と NFV が生み出す新たなネットワークアーキテクチャの可能性, NFV Israel 2014, ウエスティンホテル東京, 2014 年 12 月
- [招待 4] 関谷 勇司: SDN + NFV が切り開く新たなネットワークサービスアーキテクチャの世界, SDN Japan 2014, 恵比寿ガーデンホール, 2014 年 10 月
- [招待 5] 関谷 勇司: Interop Tokyo 2014 に見る SDN と NFV の現状, 第 15 回インターネットテクノロジーワークショップ, 日本ソフトウェア科学会 インターネットテクノロジ研究会, 青森, 2014 年 6 月

### 查読付論文

- [査読付 1] 堀場 勝広, 湧川 隆次, 関谷 勇司, 村井 純: NFV におけるプロセス型ソフトウェアミドルボックスアーキテクチャの提案, 電子情報通信学会, Vol. J98-B, No. 7, 2015 年 7 月 (採録決定)
- [査読付 2] Yuji Sekiya, Tomohiro Ishihara, and Hajime Tazaki: DNSSEC simulator for realistic estimation of deployment impacts, IEICE Communications Express, Vol.3, No.10, pp. 305-310, October 2014. DOI:10.1587/comex.3.305
- [查読付 3] Ryo Nakamura, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: Layer-3 Multipathing in Commodity-based Data Center Networks, In Proceedings of the 18th Global Internet Symposium 2015, Hong Kong, April 2015 (採録決定)
- [査読付 4] Hajime Tazaki, Ryo Nakamura, and Yuji Sekiya: Library operating system with mainline Linux kernel, In Proceedings of The Technical Conference on Linux Networking netdev 0.1, Ottawa, Canada, February 2015
- [查読付 5] Hajime Tazaki, Kazuya Okada, Yuji Sekiya and Youki Kadobayashi: MATATABI: Multi-layer Threat Analysis Platform with Hadoop, In Proceedings of International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS 2014), Wroclaw, Poland, September 2014
- [查読付 6] Ryo Nakamura, Kouji Okada, Yuji Sekiya, and Hiroshi Esaki: "ovstack: A Protocol Stack of Common Data Plane for Overlay Networks", In Proceedings of Network Operations and Management Symposium (NOMS) 2014, pp. 1–8, DOI: 10.1109/NOMS.2014.6838420, May 2014
- [査読付 7] 藤居 翔吾, 田崎 創, 関谷 勇司: データセンター環境におけるショートフロー通信改善手法の一提案」, インターネットコンファレンス 2014 論文集, pp.33--42, 広島, 2014 年 11 月
- [査読付 8] 山本成一, 中村遼, 上野幸杜, 堀場勝広, 関谷勇司: GINEW 革新的なネットワーク運用管理アーキテクチャの一提案, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータ・ソフトウェア (採録決定)

### その他の発表論文

[発表 1] 伊藤 孝一, 関谷 勇司, 宇多 仁, 櫨山 寛章: データセンタファシリティの現状と方向性 ~ Interop Tokyo 2014 ShowNet の構築より ~, 信学技報, vol. 114, no. 236, IA2014-32, pp. 47-49, 2014 年 10 月

- [発表 2] 橋本 賢一郎, 遠峰 隆史, 関谷 勇司: 昨今のサイバー攻撃の手法とその対策について ~ Interop Tokyo 2014 ShowNet における結果からの考察 ~, 信学技報, vol. 114, no. 236, IA2014-33, pp. 51-56, 2014 年 10 月
- [発表 3] 山本 成一, 中村 遼, 上野 幸杜, 堀場 勝広, 関谷 勇司: GINEW 革新的なネットワーク運用 管理アーキテクチャの一提案, ソフトウェア科学会 第 15 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT2014), 青森, 2014 年 6 月
- [発表 4] 関谷 勇司: SDN と NFV の連携が実現する世界 -- 新たなネットワークアーキテクチャ --, 株式会社ナノオプト・メディア, SDI Conference 2015, 大阪グランフロント, 2015 年 2 月
- [発表 5] 関谷 勇司: SDN と NFV の連携が実現する世界 -- 新たなネットワークアーキテクチャ --, 株式会社ナノオプト・メディア, SDI Conference 2015, 東京コンファレンスセンター, 2015 年 2 月
- [発表 6] 関谷 勇司, 中村 遼: NFV の現在(いま)と未来 -- NFV + SDN なサービスを夢見る --, MPLS Japan 2014, http://www.mpls.jp/, 東京大学武田ホール, 2014 年 11 月
- [発表 7] Yuji Sekiya: "PIX-IE: Programmable Internet eXchange in Edo", Asia-Pacific Information Infrastructure (APII) Workshop 2014, Osaka Japan, October 2014.
- [発表 8] Yuji Sekiya: Introduction of PIX-IE (Programmable Internet eXchange), Asia Pacific Internet Exchange Association (APIX), APNIC 38, Brisbane, September 2014.
- [発表 9] 関谷 勇司: データセンターネットワークの来るべきアーキテクチャ, データセンターコンファレンス 2014 Autumn, 株式会社インプレス, 2014 年 9 月
- [発表 10] Yuji Sekiya: NECOMA Project objectives and results, Japan-EU Workshop on Cloud Computing Research Workshop, Tokyo, July 2014.
- [発表 11] 関谷 勇司,妙中 雄三,大江 将史:多重仮想化を用いた大容量サービス環境の遠隔地への高速転送に関する研究,第 6 回学祭大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点シンポジウム,ポスターセッション,THE GRAND HALL 品川,2014 年 7 月 10 日
- [発表 12] Yuji Sekiya: Overview of Cloud Computing and SDN activities in WIDE Project, CJK Workshop 2014, Tokyo, June 2014

# 組込みコンピュータを活用した情報教育

### 中村 文隆

### 1 概要

総務省「平成 26 年度版情報通信白書」によれば、WEF の ICT 競争カランキングにおいて日本は 2005 年度の 8 位を最高に、2014 年度時点では 16 位に留まっている。この原因についてはさまざまな要因の複合したものであると考えられるが、情報教育に関わる観点からは慢性的なソフトウェア技術者の不足もその一因であると指摘する声は少なくない。

IPA の「IT 人材白書 2014」では、IT 企業、ユーザー企業それぞれにおいて、IT 人材の「量」に対する不足感について概ね 80%前後が不足と回答しており、IT 企業では IT 人材を拡大するうえで重視する職種として 55.4%の企業がアプリ系技術者を挙げている。また、よりハードウェアに近い組込みソフトウェアの技術者に関しては、経済産業省の「2009 年度版組込みソフトウェア産業実態調査」で、組込みソフトウェア技術者の不足率は 2006 年度の 49.0%をピークに減少しつつあるものの、2009 年度においても依然として 26.9%の不足率が報告されており、IPA「ソフトウェア産業の実態把握に関する調査」では、2007 年から 2013 年にかけての「組込みソフトウェア開発課題に有効な解決策」の調査の中で、「技術者スキル向上」がすべての年において 1 位となっており、「技術者の確保」と「開発技術の向上」が 2.3 位に入っていない年はない.

こうした現状を踏まえ、筆者はこれまでに、フィジカルコンピューティングプラットフォームの Arduino、グラフィカルな音声処理プログラミング環境 Pure daata、アセンブラ言語 CASL II、シングルボードコンピュータ Raspberry Pi、のそれぞれについて、学校教育、ならびに企業の技術者の技術力向上に資する目的の書籍を上梓してきた。本年度は組込みソフトウェアの情報教育に焦点を当て、小型かつ安価な組込み用マイクロコンピュータである NXP セミコンダクターズ社の LPC810 を教材として、具体的な事例に即し、学習者が組込みコンピュータにおける開発の全体像を把握しやすい参考書籍の執筆と出版を行った。

経済産業省「2006年度版組込みソフトウェア産業実態調査」においては、組込みソフトウェアの技術者教育について、「現在は、高等教育機関における組込みソフトウェア技術に関する教育カリキュラムや教材が不足しており、十分な教育を受けないまま就職し、企業で組込みソフトウェア開発の業務をしている実態がある。また、企業内においても、体系だった研修カリキュラムや教材が無く、技術者の育成はもっぱら OJT (On the Job Training)に依存しているという例も多数あり、組込み技術者教育に対する期待が高い。」と報告されている. LPC810をはじめとした ARM プロセッサは多数の応用事例があるにも関わらず、体系だった教材については不足しているという実態があり、今回出版した書籍が微力でもそうした実態の改善に資することを期待している.

### **2** LPC810

### 2.1 背景

LPC810 は 2013 年第四四半期から供給が開始された NXP セミコンダクターズ社の ARM マイクロプロセッサで、Cortex-M0+ 12MHz の CPU コアをもち、1 kB RAM と 4KB のプログラム領域用のフラッシュを内蔵する 8 ピン DIP パッケージののマイクロコンピュータである。これは同社の LPC800シリーズ中最小のパッケージであるが、記憶リソースを除けば上位シリーズとほぼ同等の機能を備え、

低価格,かつ小サイズであることから,小型製品への組込み用途や,自律分散制御のロボティクスなどへの広い応用が期待できる製品である.同時に,実売価格が 75 円程度と相当に安価であることから,教育環境においてもマスエデュケーションに係る負担コストを低く抑えることができ,限られたリソースを活用した目的実現の演習の教材としても適している.

この LPC810 は、外部との通信インタフェースとして 2 系統の USART、1 系統の SPI、1 系統の  $I^2$ C、をそれぞれ備え、I/O として CPU バスに直結された 6 系統の GPIO と 12 ビットのアナログコンパレータをそれぞれ使用することができる。また、タイマの種類も豊富であり、1 系統の SysTick、2 系統のMRT(Multi-rate Timer)、2 系統の SCT(State Configurable Timer)、をそれぞれ備える。タイマのうちSCT は有限状態機械による状態遷移を記述することで複雑な設定を可能とする機能であり、このサイズのマイクロコンピュータでは特筆すべき特徴である。

### 2.2 内容

上記の背景から, 筆者は, LPC810 を教材とし, 組込みコンピュータの学習に取り組むための書籍として, 「挿すだけ! ARM32 ビット・マイコンのはじめ方」(「著書 1])を CQ 出版社から上梓した(図 1).



図 1 「挿すだけ!ARM 32 ビット・マイコンのはじめ方」表紙

本書では、第 1 章で LPC810 アーキテクチャを説明し、続いて安価な開発環境の構築と、初めて LPC810 を使う学習者にも一通りの開発手順がわかる説明を行った。第 2 章ではスタンドアロンでの サンプルを通じ、LPC810 の基本的、かつよく使用される機能について詳しい説明を行った。ここでは、タイマ機能として SysTick、MRT と、LPC810 の特長でもある状態遷移を伴った SCT について触れ、メモリの少ない LPC810 では重要な機能である、ROM に内蔵されている  $I^2C$  と UART のライブラリの使い方についても触れた。第 3 章では、応用的なサンプルとしてパソコンやスマートフォンとの連携をとりあげ、リソースの制約がある中でどのように必要な機能を実現するかということを説明した。第 4 章では、実際の製作例として、電子メールを使って LPC810 の GPIO 出力を制御するアプリケーションと、アマチュア無線のモールス送信の自動化のアプリケーションとを紹介した。

# 3 成果要覧

### 著書/編集

[著書 1] 中村 文隆: 挿すだけ! ARM32 ビット・マイコンのはじめ方, CQ 出版社, 2014 年 3 月.

# 大容量モバイル通信環境実現にむけた基盤技術の研究

### 妙中雄三

### 1 概要

本研究では、限られた無線周波数資源の有効利用に貢献するために、2.4/5GHz 帯を用いる無線 LAN を広域展開し、大容量化する技術の研究開発を行っている。具体的には、無線 LAN の提供エリアを柔軟に拡張可能な無線メッシュネットワークを活用しつつ、提供可能なネットワーク容量拡張のために複数チャネルを有効利用する技術を研究開発している。平成 26 年度は、平成 25 年度に実施したアーキテクチャ及び基礎的なチャネル有効利用を高度化し、チャネル毎の負荷と電波範囲を考慮したチャネル利用手法を研究開発した。本報告では、本年度の研究開発の内容を説明し、最後に具体的な成果をまとめる。

# 2 無線メッシュネットワークにおける複数チャネル有効利用手法

### 2.1 背景

無線メッシュネットワーク(WMN)では、アクセスポイント(AP)間で無線マルチホップネッットワークによるバックボーンネットワーク(WBN)を構成し、有線接続を持つ一部の AP(IGW)がインターネットへの接続性を提供する。IGW 以外の AP に接続するクライアント端末へのインターネット接続性は、このバックボーンネットワーク上のマルチホップ転送を介して供給される。

WMN は、無線 LAN を広域に設置する技術として利用されているが、エリアが広域になると共に端末数とそれに応じたトラフィック量が増加する。また近年は、Internet of Things/Everything やスマートグリットを支えるスマートデバイスやスマートフォン・タブレット等の普及に伴って、広域なインターネット接続手段としての WMN が再注目されている。これらの機器は 2020 年までに約 500 億台まで増加する事が予想され、そのトラフィック量も今後 5 年で 10 倍以上になると言われている。従って、この様な通信需要に対応するネットワーク容量の拡張が急務である。特に、将来の通信需要の変化に柔軟に対応可能なネットワーク容量の拡張性が欠かせない。

本研究では、WMNのネットワーク容量を拡張するだけでなく、将来の通信需要へ柔軟に対応可能なキャパシティ・オンデマンド(CoD)技術の実現を目標とする。無線通信では1チャネルの通信容量が物理的に限られる上、マルチホップ転送が必要な WMN では制御通信とデータ通信を同一のチャネルで繰り返し送受信するためネットワーク容量が減少してしまう。従って、ネットワーク容量拡張には複数チャネルの利用が必須となる。

そこで、本研究では同一の経路上で複数チャネルを並列に利用するための、「CoD型WMN」の研究を行っている。本報告書では、先行研究で提案したアーキテクチャを用いて提案した、複数チャネルを有効利用するチャネル有効利用手法を説明する。このチャネル有効利用手法では、複数チャネルでトラフィック量を平滑化する手法(トラフィック量平滑化手法)と複数チャネルでチャネル利用時間を平滑化する手法(Airtime 平滑化手法)の2種類を説明する。

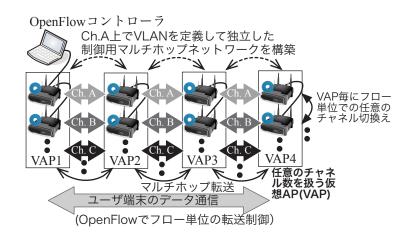


図 1: 仮想 AP と WMN の構成

### 2.2 CoD型WMNアーキテクチャ

本節では先行研究で提案したアーキテクチャの概要を説明する。

### 2.2.1 複数チャネルを同時利用する仮想 AP

本研究では、図1に示す仮想 AP(VAP)と VAP を用いた WMN を実現する。図1の様に、複数の AP を有線ケーブルでデイジーチェーン型に接続し、AP それぞれが異なるチャネルで WMN を構成する。この有線接続された AP 群を、複数チャネルを利用する1つの VAP として制御する。それぞれの VAP は、AP を切替える事でチャネル切換えを実現するが、AP 間は有線接続のため、無線資源の浪費を回避できる。この構成を用いると、理想的には各 VAP に AP を制限なく追加でき、追加する AP 数に応じて柔軟にチャネル数を増やす事ができる。

### 2.2.2 複数チャネル有効利用手法

先行研究では、この WBN 上でトラフィックを制御するために OpenFlow を利用する。OpenFlow はネットワーク上のフローを制御する方法を決める OpenFlow コントローラ(OFC)と、OFC が決定した制御方法でフレーム転送を行う OpenFlow スイッチ(OFS)から構成される。先行研究では AP を OFS として動作させ、送信元・宛先の IP アドレス/ポート番号の組み合わせで定義するフロー毎に転送するパスを切り替え、複数チャネル間でフロー数を均等にすることで、チャネル有効利用を行う手法を提案した。

### 2.3 トラフィック量平滑化手法

先行研究で提案したチャネル間でフロー数を平滑化する手法では、フロー毎の伝送レートに差異がある場合にチャネル利用の偏りが発生してしまう。具体的には、一部のチャネルで混雑・パケットロスが発生する一方で、残りチャネルは十分に空容量がある状況が発生していた。そこで本研究では、フロー毎のトラフィック量の平滑化に着目し、全チャネルの通信容量を有効利用でき、ネットワーク容量の最大化を目指す。具体的には、フロー毎のトラフィク量を計測しながら、各チャネルが転送するトラフィック量を平滑化する手法を提案する。本手法は、個々の VAP で実施する個別制御手法と WMN内の VAP で連携して制御する協調制御手法の 2 種類の手法で構成される。

#### 2.3.1 個別制御手法

本手法では、VAP単位で送受信フローのトラフィック量を個々に把握した上で、チャネル間のトラフィック量を平滑化するチャネル割当を行う。新規フロー(フローの1パケット目)が到着した時点では、そのフローの伝送レートは不明なので、(1) 新規フロー処理に沿って初期転送チャネルを決定

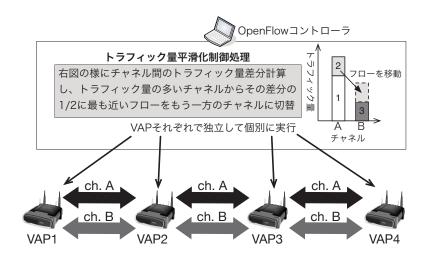


図 2: トラフィック平滑化手法(個別制御手法)の概要

する。また、フロー毎のトラフィック量を把握するために、OFC は定期的にフローの統計情報をすべての AP から取得することで実測する。この時の実測結果に基づいて、(2) チャネル平滑化処理を実施し、チャネル間でトラフィック量の平滑化を行う。

- (1) 新規フロー処理では、フローのトラフィック量が不明であるため、本手法では、新規フロー到着時点でトラフィック量の少ないチャネル上で転送する。この時のトラフィック量は定期的に収集しているフローの統計情報を元に、各チャネルでの受信トラフィック量と送信トラフィック量のバイト数を合計した値を用いる。
- (2) チャネル平滑化処理では、定期的に計測したフロー毎のトラフィック量に基づいて、VAP 毎に チャネル利用を平滑化する (図 2)。具体的には、制御対象の VAP について、フロー毎の統計情報を元 に、各チャネルでの受信トラフィック量と送信トラフィック量のバイト数を合計する。この時のチャネル間のトラフィック量の差分が最も大きい 2 つのチャネルの組み合わせを見つける。この 2 つのチャネルのうち、トラフィック量の多いチャネルから、トラフィック量差分の 1/2 に最も近いトラフィック量を持つフローを選択し、トラフィック量の最も少ないチャネルでの送信に切換える。
- このように、定期的に全 VAP についてフロー毎の統計情報を収集しながら、新規フロー到着時には (1) 新規フロー処理を行い、その後のフロー統計情報の収集に合わせて VAP 毎に (2) チャネル平滑化処理を行うことで、複数チャネル間でのトラフィック量平滑化を行う。

### 2.3.2 協調制御手法

本手法では近隣 VAP の電波範囲を考慮し、その範囲内に含まれる複数の VAP で協調してチャネル制御を行う。個別制御手法で用いた VAP 単位のトラフィック量ではなく、協調制御手法では、電波範囲内で送信されるトラフィックのバイト数をすべて加算した値をトラフィック量として扱う。自律制御手法と同じく、新規フロー(フローの1パケット目)が到着した時点の(1) 新規フロー処理と、定期的にフローの統計情報収集に合わせて実行する(2) チャネル平滑化処理によってチャネル間でトラフィック量の平滑化を行う。

- (1) 新規フロー処理では、トラフィック量の最も小さいチャネルでフローを送信する。この時のトラフィック量は定期的に収集しているフローの統計情報を元に、電波範囲内の VAP を含めて各チャネルでの送信トラフィック量のバイト数を合計した値を用いる。
- (2) チャネル平滑化処理では、定期的に計測したフロー毎のトラフィック量に基づいて、VAP 毎に チャネル利用を平滑化する(図3)。具体的には、各 VAP に対して電波範囲内でのトラフィック量(送信トラフィックのバイト数の合計)を計算し、そのトラフィック量の差分が最も大きいチャネルの組み 合わせと差分値を見つける。その上で、差分値が最も大きい VAP を対象に自律制御処理の(2) チャネ

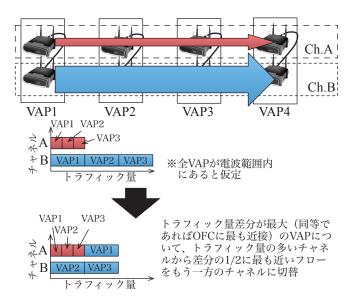


図 3: 手法 2b のトラフィック平滑化処理の概要

ル平滑化処理と同様のフローの切換えを実施する。この時、制御した VAP の電波範囲内の VAP について、切換えたフローのトラフィック量を、切換え元チャネルから減算し、切換え先チャネルへは加算する。その後、統計情報の取得を待たずに上記のトラフィック量差分が最大の VAP 選択からフローの切換えまでを任意の回数実施する。

### 2.4 Airtime 平滑化手法

本手法では、無線リンクのリンク速度がホップ毎チャネル毎に異なる場合に対応するために、チャネル占有時間(Airtime)を推定した結果に基づいてチャネル利用制御を行う。Airtime は、OpenFlowで取得できるフロー統計情報(パケット数とバイト数)に加えて、外部プログラムで取得したリンク速度を用いて推定する。推定した Airtime を用いて、VAP毎にフロー制御を行う個別制御手法と電波範囲内の VAPで連携して制御を行う協調制御手法を提案した。個別制御手法はトラフィック量平滑化手法の個別制御手法(2.3.1 節)、協調制御手法はトラフィック量平滑化手法の協調制御手法(2.3.2 節)と同等の処理内容を実施する。平滑化する対象が、トラフィック量平滑化手法がトラフィック量(バイト数)であったのに対して、本手法では Airtime を平滑化する手法となる。具体的な制御手順は同じであるため、ここでは省略する。

#### 2.5 性能評価

本実験では、図4に示す通り、VAPおよび各APを設置した。各AP (OFS) と OFC の接続は、制御通信の影響を最大限軽減するために Ethernet で有線接続した。WBN に対しては、それぞれ 100 チャネルと 132 チャネルの 2 チャネルを用意し、IEEE802.11a で構成した。100 チャネルは 9Mbps、132 チャネルは 54Mbps 固定に設定した。実験では、図に示す通り、AP1-1 と AP3-1、AP4-1 に接続した Linux をインストールした PC1 と PC2、PC3 を用意し、トラフィック生成には iperf を利用する。なお、端末と AP間の接続部分も本研究の対象ではないため、有線接続とした。

実験では、トラフィックの送信方向を PC1 から PC2 と PC3 から PC2 の方向へ限定した実験を行う。 具体的には、PC1 が 30 秒の間隔をあけて 1.2M の UDP フローを 2 本、PC2 に向けて送信する。その後 2 本目のフローを送信してから 50 秒後に PC3 が 28.5M の UDP フローを 1 本、PC2 に向けて送信する。3 本目のフローを送信してから 70 秒間は送信を継続する。実験中は PC2 で tcpdump の計測を行い、全てのフローを送信開始してから 40 秒経過した時から 30 秒間の合計スループットを取得する。

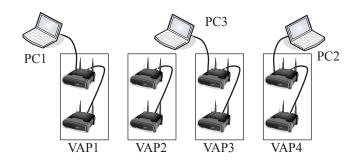


図 4: 実験トポロジ

	11H214 (	- F - /	
方式名	最大値	中央値	最小值
トラフィック量平滑化(個別制御)	7.572	7.557	7.546
トラフィック量平滑化(協調制御)	8.736	8.873	9.154
Airtime 平滑化(個別制御)	26.879	27.311	27.509
Airtime 平滑化(協調制御)	31.398	31.504	31.558

表 1: スループット計測結果 (Mbps)

表1にスループットの結果を示す。計測結果より、トラフィック量より Airtime を用いた手法が高いスループットを示し、どちらの手法においても個別制御より協調制御が高い性能を示している。個別制御では、VAP毎にフロー制御を行うため、マルチホップ転送途中からフローが流入してくる状況において、無線干渉を回避することができない。一方で、協調制御では電波範囲を考慮したフロー制御を行うため、フローの流入位置に関わらずチャネルを利用できる。また、トラフィック量ではバイト数のみの平滑化であるのに対して、Airtime はリンク速度を加味した手法となっているため、リンク速度が異なる本実験環境では、Airtime がより優れたスループットを示している。以上より、リンク速度が異なり、マルチホップ途中からのフロー流入にも対応可能な協調制御による Airtime 平滑化手法が最も優れた性能であると言える。

# 3 具体的な成果

2節で述べた CoD型 WMN に関する研究において、国際会議発表を 3 件 [査読付 4, 査読付 5, 査読付 6]、国内研究会を 3 件 [発表 1, 発表 2, 発表 3] 行った。また、共同研究で実施している強雨・浸水に関する研究では論文誌 2 件 [査読付 1, 査読付 2] と国際会議 1 件 [査読付 7]、オンライン教育に関する研究では論文誌 1 件 [査読付 3] を発表した。

# 4 成果要覧

### 査読付論文

- [査読付1] 廣井慧,妙中雄三,加藤朗,砂原秀樹: "地上気象観測に基づいた強雨推定手法の一提案-強雨の指標化モデルとその評価-," 災害情報学会学会誌「災害情報」, No. 13, 2015 年 3 月.
- [査読付 2] 廣井慧, 井上朋哉, 妙中雄三, 加藤朗, 砂原秀樹: 浸水発生の可能性とその危険を推定する指標化モデルの提案と評価, 電子情報処理学会論文誌, Vol.J98-D, No.3, pp. 396–403, 2015 年 3 月.
- [查読付 3] Shin'nosuke Yamaguchi, Yuzo Taenaka, Yuki Toyosaka, Yoshimasa Ohnishi, Kazunori Nishino, Yoshimi Fukumura, and Takashi Yukawa: The Distribution Method of the High Resolution Video

- for a Blackboard based Lecture, International Journal of Technology and Educational Marketing (IJTEM), Volume 4, Issue 2, Pages 28–43, 2014.
- [查読付 4] Yuzo Taenaka, Masaki Tagawa, and Kazuya Tsukamoto: Experimental Deployment of a Multichannel Wireless Backbone Network Based on an Efficient Traffic Management Framework, In Proceeding of the 9th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC2014), November 2014.
- [查読付 5] Yuzo Taenaka and Kazuya Tsukamoto: "An adaptive channel utilization method with traffic balancing for multi-hop multi-channel wireless backbone network," In proceedings of International Conference on Software-Defined and Virtualized Future Wireless Networks (SDWN), October 2014.
- [查読付 6] Masaki Tagawa, Yutaro Wada, Yuzo Taenaka, and Kazuya Tsukamoto. Network capacity expansion methods based on efficient channel utilization for multi-channel wireless backbone network. In Proceeding of the 2014 International Workshop on Smart Complex Engineered Networks (SCENE2014), August 2014.
- [查読付 7] Jane Louie Fresco Zamora, Naoya Sawada, Takemi Sahara, Shigeru Kashihara, Yuzo Taenaka, Suguru Yamaguchi: "Surface Weather Observation via Distributed Devices," In proceedings of IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2014), May 2014.

### その他の発表論文

- [発表 1] 水山一輝, 和田祐太郎, 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也: "OpenFlow を用いたマルチホップ無線ネットワークにおける制御トラヒック削減手法の検討," 電気情報通信学会 ネットワークシステム研究会, 信学技報, vol. 114, no. 477, NS2014-221, pp. 257-262, 沖縄コンベンションセンター, 2015 年 3 月.
- [発表 2] 妙中雄三, 塚本和也: "[依頼講演] キャパシティオンデマンド無線メッシュネットワーク実現 に向けた SDN に基づくチャネル利用制御手法," 電気情報通信学会 ネットワークシステム研 究会, 信学技報, vol. 114, no. 371, NS2014-151, pp. 25-30, 伊勢市観光文化会館, 2014 年 12 月.
- [発表 3] 妙中雄三, 塚本和也: "[依頼展示] 無線バックボーンネットワークの多チャネル有効利用技術," 電気情報通信学会 スマート無線研究会, 信学技報, vol. 114, no. 44, SR2014-1, pp. 1-8, 東芝研修センター (横浜市港北区), 2014 年 5 月.

### 特記事項

[特記 1] 妙中雄三(研究代表者)、塚本和也(九州工業大学大学院、研究分担者)、電気通信普及財団 (TAF) 平成 26 年度 研究調査助成 採択

# サイバーセキュリティに関する研究

### 宮本 大輔

### 1 概要

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

今年度は、ユーザの視線解析からアドレスバーを目視で確認する習慣を身につけさせる取り組みを 実施した。また、フィッシングサイト対策

• アドレスバーを目視で確認する習慣を身につけさせる取り組み

フィッシング攻撃は、本物のウェブサイトからコピーしたコンテンツを表示し、このサイトを閲覧するユーザを騙すサイバー脅威である。本物との違いを見分けるにはウェブサイトのアドレスバーに着目するのが有力であるが、フィッシング攻撃下においてもその能力が正常に機能することを目指すべく、習慣として身につけさせる方式について研究開発を行った。

• 小中学生向けのフィッシングサイト対策

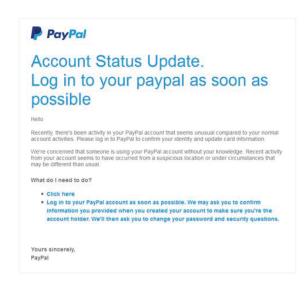
フィッシング攻撃の対象が小中学生などを対象としている可能性について考慮し、小中学生向けのフィッシングサイト対策の教材開発を行った。また、小学校の協力を得て、授業を行い、成果 を解析している。

• サイバーセキュリティ情報の交換に関する研究

サイバーセキュリティ情報について、Human-To-Human の情報交換、Machine-To-Machine の情報 交換について分けて研究開発を行っている。Human-To-Human の情報交換では我々の研究グループの開発する NECOMAtter についての研究を、Machine-To-Machine の情報交換では共同研究グループの開発する n6 についての国際標準化を行った。

# 2 アドレスバーを目視で確認する習慣を身につけさせる取り組み

フィッシングサイト対策は、大きく3通りの手法に分類される。第一に、エンドユーザに対してウェブサイトの真贋判定に必要な知識を教育する手法がある。URLやSSLの鍵アイコンなどの情報に対する知識不足はフィッシング問題の原因として挙げられることも多く、教育に必要な様々な教材、授業様式が研究開発されている。また、エンドユーザが重要な情報を見落としにくくするためのユーザインタフェースの開発も行われている。SSLの鍵アイコンより、EV-SSLのアドレスバーが緑色に変わる仕組みの方がユーザの注意喚起を促せるであろうため、この手法も有力である。フィッシングサイトか否かを判定し、エンドユーザに通知する仕組みも行われており、我々の研究グループも機械学習を用いたフィッシングサイトの検知手法や、各エンドユーザの判断と機械学習結果を融合する検知手法に取り組んでいる。



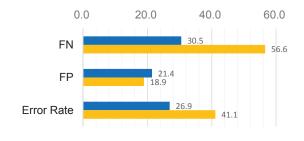


図 2: アドレスバーを見た場合, 見ない場合の判定 精度

図 1: フィッシングメールの例

さて、フィッシングサイトを閲覧するエンドユーザは、おそらくフィッシングメール等によって誘導されてきたものと思われる。このようなメールには、ユーザを心理的に揺さぶるような文言が書かれている特徴がある。例えば図1に示すフィッシングメールは、金融機関を装って「あなたのアカウントが凍結されました」などの文言が書かれている。ここで問題となるのは、エンドユーザにとって注意深くウェブサイトを閲覧することよりも、事態を確認するなどの心理が優先され、ユーザがメールに示されるウェブサイトに誘導され、個人情報を入力するような場合である。URLやSSLの鍵アイコンといった知識やインタフェースは重要であるが、エンドユーザがその情報を閲覧せずに、コンテンツだけで真贋判定してしまった場合、教育やインタフェース開発によって得られた対策効果が効力を発揮しない。

この問題への対策として、我々は URL や SSL の鍵アイコンを確認するような習慣をエンドユーザに身につけさせる方法について考える。習慣は、ある種の条件反射的な活動であり、無意識の動作であるとされる。たとえエンドユーザの心理状態が注意深くウェブサイトを閲覧するような状態でなかったとしても、習慣によって URL や SSL の鍵アイコンを確認することにより、フィッシングサイトに気づく可能性が高まるのではないかと考えた。

そこで、エンドユーザが URL や SSL の鍵アイコンが表示されるアドレスバーを閲覧することの有効性の評価を行う. そして、エンドユーザがアドレスバーを閲覧しない限り情報が入力できなくなるブラウザ拡張 *EyeBit* を作成し、この効果を測定する.

### 2.1 内容

#### 2.1.1 アドレスバーを閲覧する効果

エンドユーザの視線情報を収集するため、2013 年 11 月から 2014 年 2 月までの期間、東京大学の構内掲示板にて被験者を募集した。応募があった被験者には、実験の目的として、「セキュリティ技術の研究開発を目的としたウェブサイトを閲覧した際のエンドユーザの挙動の観測」であることを説明し、作業内容として「ウェブサイトの画面を閲覧してもらい、正規のサイトか、あるいは偽サイトかを判定していただきます。またその際に判定基準をアンケート形式でお答えいただきます」と説明した。この実験に関する個人に属する情報として、性別、年代(10 代、20 代、30 代……60 代以上)、ウェブサイトを見た際の判定結果(正規サイト、偽サイト)、判定基準(ウェブサイトのコンテンツ、アドレスバーに表示される URL、ブラウザの表示するセキュリティ情報、その他、の 4 択)、視線の動き(判定時の目線の動き)を取得し、個人を特定可能な情報は記録しないことを説明した。また、取得

#	ウェブサイト	フィッシングか否か	言語	備考
1	Yahoo	yes	JP	dmiurdrgs.cher-ish.net, once reported as a phishing site
2	PayPal	no	EN	EV-SSL
3	eBay	yes	EN	signin-ebay.com, similar to legitimate URL signin.ebay.com
4	DMM	no	JP	SSL
5	Amazon	yes	EN	www.importen.se, once reported as a phishing site
6	Bank of America	no	EN	EV-SSL
7	Facebook	no	JP	SSL
8	Square Enix	yes	JP	hiroba.dqx.jp, similar to legitimate URL hiroba.dqx.jp
9	Twitter	yes	JP	twittelr.com
10	Google	no	JP	SSL
11	Battle.net	no	EN	EV-SSL
12	Sumitomo Mitsui Card	ves	JP	www.smcb.card.comsimilar to legitimate URL www.smbc-card.com

表 1: EyeBit の評価に用いたウェブサイト

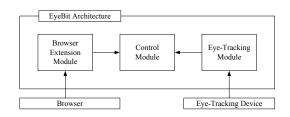


図 3: EyeBit の構成図

した情報を日欧の研究コンソーシアム間で共有すること、またセキュリティ技術の研究開発を目的と

した場合に配布することについて許諾を得た. さらに, 欧州における忘れられる権利について対応す べく、個人を特定可能な情報は記録しないものの、将来的に個人情報の解釈が変わる可能性も考慮し、 我々の取得した個人に属する情報について被験者らが消去依頼を行える旨を説明した。ただし、我々 の保存するデータからは個人を特定可能な情報は含まれないため、十分な長さの乱数の文字列を発行 して相互に保管しておき、その文字列をもって個別の情報を消去できるようにした、実験参加者は25 人であり、そのうち2名は実験シナリオに不備があり、視線情報を正しく判別できていなかった.残 りの23名についてそのうち20人が男性,3人が女性であった.また,22人が20代であり,残りの1 人が 30 代であった.実験の際に用いたフィッシングサイトについては文献 [査読付 2] を参照されたい. 図2にアドレスバーを見た場合,見ない場合の判定制度を示す.延べ331回のアドレスバーを目視 した回数のうち、誤判定があったのは89回であった、フィッシングサイトに限定していえば200回の アドレスバーを目視した回数のうち 61 回が誤判定であり、残りの 131 回の正規サイトにおいてアドレ スバーを目視した場合の誤判定は 28 回であった. 従って, エラー率, False Positive 率, False Negative 率はそれぞれ 26.9%,21.4%,30.5%となる.反対にアドレスバーを見ない場合は,41.1%(129 回中 53 回), 18.9%(53 回中 10 回), 56.6%(76 回中 43 回)であった. False Positive 率ではごくわずか にアドレスバーを見ない場合が低くなっているが、フィッシングサイトのコンテンツは正規サイトと 見た目が区別しにくいため,アドレスバーを見ない限り False Positive 率が高くなっている.結論とし て,アドレスバーを見ることは効果的であると考えられる.

### **2.1.2** EyeBit による習慣付けの効果

アドレスバーを見る習慣をエンドユーザに取得させるにはどうすればよいか.単純な方法ではあるが,その行動を強制し,反復することによって効果が得られるのではないかと考える.そこで,視線追跡カメラを用いて視線位置を特定し,アドレスバーを見ないかぎりウェブサイトの入力フォームを利用不可能にする仕組みを考えることとした.

図3は、我々が提案する仕組みである EyeBit のアーキテクチャを示す. EyeBit はブラウザ拡張モジュール、視線追跡モジュール、制御モジュールの3つのコンポーネントから構成される. ブラウザ拡

表 2: 判定結果

#	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$
1	F				F		F	F		
2										
3	F				F		F	F	F	
4	F		F					F		
5									F	
6										
7			F							
8										
9					F	F				
10		F	F							
11	F	F	F					F		
12										

張モジュールはウェブサイト閲覧時に全ての入力フォームを利用不可能にし、制御モジュールからの指示があるまで無効化し続ける。視線追跡モジュールは、視線追跡デバイスと連携し、エンドユーザの目線位置の計測を行う。アドレスバーを閲覧していることが確認された場合、視線追跡デバイスは制御モジュールにメッセージを伝達し、制御モジュールがブラウザ拡張モジュールに対し入力フォームを利用可能にするよう指示を出す。

EyeBit の視線追跡モジュールは Go 言語で,ブラウザ拡張モジュールは JavaScript で Google Chrome ブラウザ拡張として実装し,オープンソースコードとして公開している  $^1$ . 視線追跡カメラには EyeTribe Tracker  $^2$  を用いた.なお,EyeTribe には SDK が用意されており,JSON フォーマットでの視線位置情報を獲得することができる.

本システムを用い、奈良先端科学技術大学院大学及び東京大学から 10 人の被験者を募集し実験を行った。実験は以下に示す5つの手順によって構成される。実験の際に用いたウェブサイトは表1の通りである。なお、フィッシングサイトはテスト空間上に再現し、被験者以外のユーザが閲覧できないよう設定を行った。

- フェーズ 1: ウェブサイト 1-4 の判別 10 人の被験者はそれぞれ表 1 のウェブサイト 1-4 を閲覧する. 正規サイトだと思った場合は、被験者はユーザ名に仮の人格である "john" を入力し、フィッシン グサイトだと思った場合はそのサイトを離れることによって表明してもらう.
- フェーズ 2: 教育時間 被験者に、フィッシングサイトの判別方法について教えるべく、URL とは何か、SSL とは何か、EV-SSL とは何かを説明する.
- フェーズ 3: ウェブサイト 5-8 の判別 10 人の被験者はそれぞれ表 1 のウェブサイト 1-4 を閲覧する. ここで、10 人のうち 5 人は EyeBit を用いながら判別を行う。残りの 5 人は何も用いずに判別を行う。
- フェーズ 4: 休憩時間 10人の被験者は1時間の休憩を行う.
- フェーズ 5: 休憩時間 10 人の被験者は何もつけずに表 1 のウェブサイト 9-12 を閲覧する. この手順 の意図は, EyeBit を用いた場合と用いなかった場合で, 判定にどのような差が現れるかを調べる ものであった.

解答結果を図 2 に示す.  $A_{1-5}$  がフェーズ 3 において EyeBit を用いた被験者,  $B_{1-5}$  が用いなかった 被験者である. 記号 "F" が表示されているところは、被験者がそのサイトの判別を誤ったことを示し、空白は正しく判別したことを示す. 被験者  $A_1$ ,  $A_5$ ,  $B_2$  及び  $B_3$  は、フェーズ 1 において全てのサイ

<sup>1</sup>https://qithub.com/necoma

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>https://theeyetribe.com

トを正規サイトと答えており、フィッシングサイトであるウェブサイト 1 と 3 を正しく判定できてないことから、おそらく初心者であろうと思われる。教材を与えた直後のフェーズ 3 では被験者グループ A も B も正しい判定ができる傾向が見られ、1 時間休憩した後のフェーズ 5 ではやや教育効果が減衰したようにも思われる。とりわけ被験者  $A_2$ 、 $A_3$  が正規のウェブサイトをフィッシングサイトであると懐疑的に判断する傾向が見られた。フェーズ 5 を比較すると、EyeBit による教育効果は判定に補正を与えてないのではないかと思われる。また、いずれのユーザもアドレスバーを見て判断することが確認された。

この結果を受けた 1ヶ月後に、初心者と思われる 4 人の被験者に再度追試を行った。追試では表 1 のウェブサイト 1-12 について、EyeBit を用いずにフィッシングサイトか否かを判定してもらうという単純な内容であった。実験では  $A_1$ ,  $A_5$ ,  $B_2$  の被験者についてはアドレスバーを閲覧する傾向が見られたが、 $B_3$  の被験者はアドレスバーを見る習慣が損なわれていた。

この結果から単純に EyeBit がエンドユーザにアドレスバーを見る習慣付けがなされたとは断定はできないが、被験者数の増加などのさらなる追試を行い、有効性を調査する予定である.

### 2.2 具体的成果

本研究の成果をまとめ、論文 [査読付 2] として投稿し、採択された。また、招待講演 [招待 1] として発表した。

### 3 小中学生向けのサイバーセキュリティ教育

小中学生は金融機関への口座を持たないため、フィッシング攻撃の対象にはなりにくいのではないかと思われる。しかし、実際にはフィッシングサイトの多くは金融機関であると思われがちであるが、オンラインゲームのウェブサイトの偽サイトも少なからず確認されている。オンラインゲームの仮想世界内で用いられている仮想通貨や、ゲーム内でのアイテムといった仮想資産は、ネットオークション市場やRMT(Real Money Trade)市場において現実世界の通貨と交換されている実情がある。これに目をつけたフィッシング犯罪者は、小中学生を標的としてフィッシング攻撃をしかけても不思議ではない。

この問題の解決のため、小学生向けの授業教材の研究を実施した。本分野の先行研究としては、Anti-Phishing Phil という、エデュテインメント形式で授業を行う方式が古くから提唱されている。また、オーストラリア政府の実施する Stay Smart Online  $^3$ 、マレーシア政府の実施する Klik Dengan Bijack  $^4$  でも同様の試みがなされている。

そこで、この先行研究に範をとり、なおかつ日本で研究が進められている授業研究からナラティブ型、いわば教材を物語として体験することで知見を得る方式について授業教材の作成を行った。共同研究である株式会社インクと互いに協力し、フィッシングサイトの実例を踏まえながら、2015年2~3月において鎌ケ谷市立道野辺小学校において4年生から6年生の児童を対象とした授業を行った。授業は演習、座学、演習によって構成されている。

児童がどのように知見を得たのか、どのようにアドレスバーを閲覧するようになったのかについての解析は 2015 年度の課題である。

# 4 サイバーセキュリティ情報の交換に関する研究

我々の研究グループは NECOMA プロジェクト 5 に参加しており、東京大学が担当するデータベース 及び資源管理手法に関する研究では、セキュリティ情報交換を交換する既存の通信形式に応じたシス

<sup>3</sup>https://www.staysmartonline.gov.au

<sup>4</sup>http://www.skmm.gov.my/Media/Announcements/Klik-Dengan-Bijak.aspx

<sup>5</sup>http://www.necoma-project.jp

テム設計を行っている。

### 4.1 内容

セキュリティ情報交換では、Human-To-Human、Machine-To-Machine の情報交換が別個に考えられている。Human-To-Human における情報交換の課題は、多種多様な人間の知能を、如何に有機的に連携させるかという点にある。サイバー脅威の情報は膨大であり、その情報は様々なデータソースから得られた様々な形式・性質のデータであるため、一人の人間が全ての情報を解析することは難しい。そこで、NECOMAtter の利用者である様々な専門家に、彼らの得意とする部分だけを解析してもらい、その内容を結合することによる知識の発掘を目的とする。

この問題を解決する糸口として我々が着目したのは、Twitter 及びそれを取り巻くキュレーションサービスである。Twitter においては、様々な利用者が様々な目的で様々な情報を Tweet している。一人の利用者が全ての Tweet を閲覧することは難しいが、Follow などの機能を用いて興味を持つ範囲の Tweet を読み、必要あれば自分も Tweet を返すことができる。このようなやりとりは、キュレーションサービスを使い、いわゆる「まとめサイト」として集約され、後から容易に読み返すことができる。

翻って、サイバーセキュリティ関連の情報を Tweet する Twitter があればどうか. ここでは、機械学習による解析アルゴリズムも人間のステークホルダーもサイバーセキュリティ情報を Tweet している. 全てのサイバーセキュリティ情報を閲覧し解析することは難しいが、Follow によって興味を持つ範囲の Tweet を得ることができ、必要に応じて自分も Tweet を返すことができる. このメッセージ交換 (Twitter で言うところの Mention 等)を受け、さらに機械による Tweet を促し、深度の高い解析を促すことも有り得る. NECOMAtter の情報交換では、NECOMAtter BOT という、様々な種類のデータを個々に解析し、その結果を NECOMAtter システムに Tweet するプログラムを導入する. 前述のとおり、サイバー脅威の情報は膨大であり、それらの形式・性質は様々であるが、NECOMAtter は Twitter のように外部ページにリンクを掲載することもでき、Tweet のように人間にとって読みやすいテキスト形式である. 興味を持つ情報について、その内容に合わせて様々なステークホルダーが専門的知識を活用することができ、これらの Mention によってアドホックに協調したインシデント対応ができるものと考えられる.

例えば、NECOMAtter BOT が購読している Timeline 上に IP アドレスが出現すれば、DoS 解析を行う BOT、SPAM 解析を行う BOT、フィッシングサイト解析を行う BOT が当該 IP アドレスについての解析結果を個別に出力する。人間のオペレータらは必要に応じて自らの知見と加えたり、過去のインシデント情報と関連付けを行ったり、あるいは情報を他の BOT に伝搬させ、その断片化された情報から一連のセットであるサイバー脅威のキャンペーン情報を解析することができる。最終的に、BOT に ACL を設定させることも可能であろう。

また、Machine-To-Machine の情報交換に関しては、共同研究を行っている NASK (Cert Polska、ポーランドの CERT)が開発を担当した n6 を用いている。この研究成果の社会還元を目指し、n6 の実施している IODEF (RFC5070) のサポートへの取り組みについて、IETF において紹介する活動を行っている。

### **4.2** 具体的成果

本研究の成果をまとめ、論文 [査読付 3] として投稿し、採択された。また、国際標準化提案 [発表 1] として投稿し、発表を行った。なお、NECOMAtter はオープンソース・ソフトウェアとして 2014 年度より GitHub 上で公開されている  $^6$ 

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>https://github.com/necoma/NECOMAtter

# 5 成果要覧

### 查読付論文

- [查読付 1] Fei Han, Daisuke Miyamoto, Yasushi Wakahara: RTOB: a TDMA-based MAC Protocol to Achieve High Reliability of One-hop Broadcast in VANET, In Proceedings of the 12th IEEE Workshop on Managing Ubiquitous Communications and Services (MUCS), March 2015
- [查読付 2] Daisuke Miyamoto, Takuji Iimura, Hajime Tazaki, Gregory Blanc, Youki Kadobayashi: EyeBit: Eye-Tracking Approach for Enforcing Phishing Prevention Habits, In Proceedings of the 3rd International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security (BADGERS), September 2014.
- [査読付 3] Takuji Iimura, Daisuke Miyamoto, Hajime Tazaki, Youki Kadobayashi: NECOMAtter: Curating Approach for Sharing Cyber Threat Information, In Proceedings of the 9th International Conference on Future Internet Technologies (CFI, poster session), June 2014.

### その他の発表論文

- [発表 1] Chris Inacio, Daisuke Miyamoto: MILE Implementation Report MILE Working Group, Internet Engineering Task Force, July 2014, November 2014, March 2015.
- [発表 2] 山本 康裕、宮本 大輔、中山 雅哉: 年次的な脆弱性情報への教師あり潜在ディリクレ配分法の 適用による脆弱性スコア予測の研究,電子情報通信学会技術研究報告 信学技報, 2015 年 3 月

### 招待講演/招待論文

[招待 1] Daisuke Miyamoto: End-user protection in cybersecurity aspect from cognitive psychology, The 5th Cybersecurity Data Mining Competition and Workshop, October, 2014.

#### 公開ソフトウエア

[公開 1] Takuji Iimura, Daisuke Miyamoto: EyeBit, https://github.com/necoma/eyebit\_server, https://github.com/necoma/eyebit\_chrome\_extension, September, 2014

# マルチレイヤ脅威分析およびサイバー防御の研究開発

### 田崎創

### 1 概要

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

NECOMA プロジェクトでは、6つの個別課題に細分化し研究開発を実施しており、東京大学で担当している課題のうち、下記 2 点を重点的に 2014 年度は実施した。

- 1. データ分析基盤の設計及び開発 (NECOMA 課題 2.3)
- 2. 脅威分析のための大規模実験基盤の手法検討と実装 (NECOMA 課題 4)

### 2 大規模な脅威分析基盤 MATATABI<sup>1</sup>

NECOMA プロジェクトでは、インターネット上で発生する攻撃に対する防御として、データ計測・計測データよりの脅威情報分析・分析結果よりの防御の、セキュリティ情報のパイプライン構築を目標としている。これにより、個々のステップにて分断され、連携が困難であった攻撃に関する情報の連動を促す事を期待しており、効果的な攻撃対策が可能となる。

この情報パイプラインにおいて、中心となるデータ分析基盤として、我々は昨年度より MATATABI と呼ばれる Hadoop を利用した脅威情報分析基盤を構築し運用してきた。本年度は構築した基盤に対し、様々な分析モジュールを実装し、脅威情報データベース構築の熟成に努めた。

### 2.1 背景

「より多くの情報を分析すると、より多くの攻撃を検知できる」という仮定の元、バックボーンネットワークのトラフィック、DNS 問い合わせ記録、スパムメール、ユーザの行動追跡、フィッシングサイトデータベースなど、大量に計測される観測情報を一元的に、適切な速度で分析する仕組みが必要とされる。

分析の着眼点として、NECOMA プロジェクトでは、複数のデータセットを対象とする事で、より深い分析を実現する手法 (クロスレイヤ分析) と、分析結果同士の相関をとる事で、より攻撃の実体を詳しく洗いだす手法 (マルチレイヤ分析) をとっている (図 1)<sup>2</sup>。それぞれの分析は各攻撃や観測データ毎、分析の手法毎に使いわける事を可能としている。

<sup>「</sup>本研究課題は、NECOMA プロジェクトにおける課題 2.3 「データ分析基盤の設計及び開発」に該当するものである。

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Deliverable D2.1: Threat Analysis (November 2014) より参照

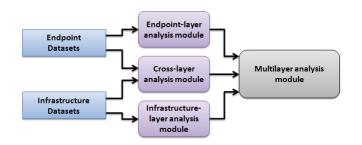


図1: クロスレイヤ分析とマルチレイヤ分析の区別。

### 2.2 クロスレイヤ分析の応答速度測定

前章で述べたようなデータ種別横断型の検索を、日々蓄積される大量のデータに対し実現可能とするために、Apache Hadoop のような分散処理型のデータストア・計算基盤は有効である。

我々はこれらの検証のために、構築している分析システム MATATABI 上において、SQL 風の検索式を利用可能な Apache Hive, Facebook Presto-db を利用し、データ種別を横断して一致した結果を抽出する JOIN 句を利用した検索の応答速度について検証した。図 2 に示すような、netflow 形式で格納されたトラフィックデータと、DNS パケットが格納されている pcap ファイルから抽出した ZeuS と呼ばれるボットネットが利用する自動生成ドメイン名 (Domain Generation Algorithm, DGA) が含まれる問い合わせと、それにより解決された C&C サーバの IP アドレス一覧より、ある組織内のボット感染端末の IP アドレスを抽出する、というものである。

```
SELECT netflow.* FROM netflow
   JOIN zeus_dga_result ON (zeus_dga_result.c2c_sv =
   netflow.sa AND zeus_dga_result.dt=netflow.dt);
```

図 2: 複数の観測データより疑わしいトラフィック (フロー) を分析するための手順。DNS クエリより抽出したボットネットの C&C サーバへの通信データを元にトラフィックデータ (Netflow) との結合 (JOIN) を取る事で実施。

この性能測定では、ある組織の1ヶ月分のトラフィックを対象とし、netflow のテーブルは (内部のデータとして) 757,144,720 件のレコード、ZeuS DGA を利用した DNS クエリデータは 2171 件のレコードより SQL JOIN 処理を行う。更に、Hadoop が利用しているファイルシステムに格納するファイルの内部形式を、その処理効率がそれぞれ異なる TextFile、SequenceFile、RCFile (Record Columnar File) と 3 種類利用し、大量データの結合処理時の処理完了時間を計測した。

図3は、Hive と Presto-db を利用して図2の SQL 文を実行した際に要した実行時間をプロットしたものである。実行プログラムの違いと共に、ファイル形式、結合対象のデータ量(日数)と併わせて示してあり、5回の試行による標準偏差と共に記した。

ファイル形式として TextFile を利用した場合、いづれの場合も他の組み合わせより実行時間が遅い結果となったが、これは MapReduce や分散 SQL 処理に必要なジョブの分割が多くならなかったため、複数ノードの計算資源を有効に活用できなかった結果である。一方、SequenceFile と RCFile の形式ではこのジョブ分割処理が効率良く行われ、応答性能も向上している事が言える。また、データ量によっては、SequenceFile と RCFile との性能が良いかは違う結果となった。

一点注目すべきは、Hive と Presto-db の JOIN 処理実行時間性能は、単純な正規表現一致による検索

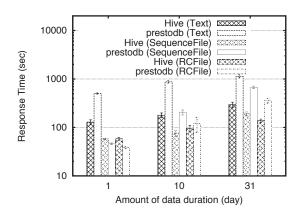


図 3: SQL JOIN 句計算時間。

処理と比べ、Hive の方が高速であるという反対の結果となった。これより、脅威分析をする際のデータの処理種別によっては、利用するプログラムを選んだ方が良いと言える。

### 2.3 MATATABI 利用例

分析モジュールの一覧

本節では、脅威分析のために作成したプログラムの一覧を例示する。 便利さを表わすために、一般的であるとは言えないが実装プログラムの行数を数える事で示そうと した。

表 1: Analysis modules on MATATABI.

Name	datasets	frequency	LoC (#lines)	remark
ZeuS DGA detector	DNS pcap, netflow	daily	25	hadoop-pcap
UDP fragmentation	sflow	daily	48	
detector				
Phishing likelihood	Phishing URLs,	1-shot	_	Mahout
calculator	Phishing content			(RandomForest)
NTP amplifier detector	netflow, sflow	daily	143	pyhive, Maxmind
1V11 ampilier detector				GeoIP
	sflow	daily	24	
DNS amplifier detector	sflow, open resolver	daily	37	
Anomalous	netflow, sflow	daily	106	pyhive
heavy-hitter detector				
DNS anomaly	DNS pcap, whois,	daily	57	hadoop-pcap, Mahout
detection	malicious/legitimate			(RandomForest)
	domain list			
SSL scan detector	sflow	1-shot	36	
DNS failure graph	DNS pcap	daily	159	pyhive
analysis				

### 可視化

図4は、MATATABIを利用した解析と、解析結果の外部公開 API を利用した可視化アプリケーション

の例である。この例では、ZeuS ボットネットで利用される自動生成ドメイン名に対するクエリ数のランキングと、その名前解決と連動してやりとりされたトラフィックのフローを図示している。

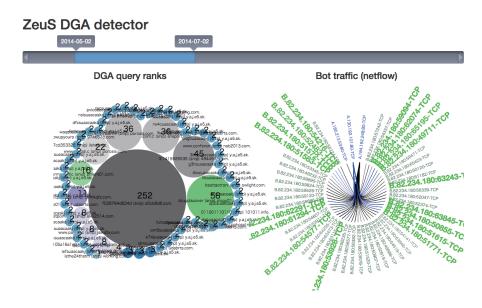


図 4: ある組織での自動生成アルゴリズム (DGA) を利用した DNS クエリの数と、そのドメイン名でホストされるサーバとの通信の可視化。

### 2.4 具体的成果

7月に開催された「大学・高等教育機関におけるサイバーセキュリティ能力向上と体制整備に関するワークショップ」において、NECOMAプロジェクトでの脅威分析の事例として紹介した[発表 2]。更にその後も NECOMAプロジェクトの広報活動や外部の研究者とのリエゾンミーティング等で分析基盤について紹介し、着実に成果の社会還元を実施できている。また、昨年度より継続して運用をしている脅威分析基盤 MATATABI について、その有用性と利用例を紹介した論文を執筆し、9月に開催された国際ワークショップ「BADGERS 2014」にて発表をした[査読付 3]。

NECOMA プロジェクト全体で議論・策定しているセキュリティ情報パイプラインアーキテクチャ、情報交換ツール、脅威検知システムなどは、共同研究者らと論文執筆を実施し、[査読付 5]、[査読付 8]、[査読付 6] などで成果発表を行った。

# 3 脅威分析のための大規模実験基盤の手法検討と実装<sup>3</sup>

#### 3.1 背景

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

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

本年度は3月に提出された、NECOMAプロジェクト成果物4.1「テスト環境の要件定義」の執筆と ともに、詳細なテスト仕様定義を実施した。

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>本研究課題は、NECOMA プロジェクトにおける課題 4「事例実験」に該当するものである。

### 3.2 内容

ボットネットによる悪意ある活動は、不正ソフトウェアの配布、意図しない厖大なトラフィックの生成、個人情報の流出など多岐に渡る。これらのボットネットの挙動は一般的に、コマンド制御サーバ(C&Cサーバ)と感染ホストとの通信というモデルである。悪意のある攻撃者は C&C サーバをホストし、感染ホストに対して彼らの望む動きをするよう指示される。これらの指示(コマンド)とその後の挙動を理解する事は、ボット活動を回避するために重要である。

我々はこの挙動解明の為に、模擬環境を構築する。模擬環境は、感染ホストで動作するボットプログラムと、C&C サーバの初期接触時の交換情報を収集し、かつ受動的な計測による収集トラフィックの脅威分析を行う。この収集のための検知技術は課題2の DNS 分析技術の成果を利用し、サンドボックス環境にて動作させるボットプログラムの挙動を解析する。

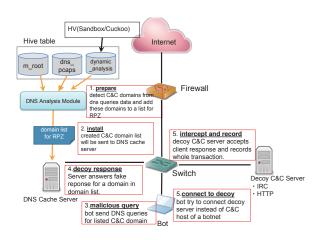


図 5: ボットネット解明技術シナリオの概要。

このシナリオでは、BIND9 と呼ばれるネームサーバソフトウェアの Request Policy Zone (RPZ) という仕組みを用いて、ボット感染ホストより生成される C&C サーバの DNS クエリ応答に対し、応答 Aレコードを書き換える事が可能となる。これにより、感染ホストの通信を囮サーバへリダイレクトさせる事により、ボットプログラムの行動分析のための情報収集を行う。

RPZ は簡単なリスト形式のルールで記述され、課題2で開発された悪意のあるドメイン名検知アルゴリズムにより構成される。

図5は、本シナリオの全体概要図と、個々の要素技術での動きを図示したものである。仮想環境上に構築したボットプログラム動作ホスト、DNS サーバ、囮サーバ、測定情報を元に RPZ リストを生成させる分析基盤などにより構成される。

解明技術の評価として、検討したメトリックは下記の3点とする。

### 1. 精度

検知メカニズムの正確度を評価するために測定する。理想的には検知システムは False Negative(偽 陰性)となる事なく感染ホストを検知すべきであり、正規ホストが誤検知により不正ホストとなるべきではない。既知悪性ドメイン名と正規ドメイン名リストを用いてこの精度を導きだす。

### 2. 収集情報量

本システムにより囮サーバにて収集される、リダイレクトトラフィックと収集されるコマンド数 を測定する。

### 3. オーバヘッド

(単位時間あたりの DNS クエリ数/クエリ応答時間)で表わされる値を本システムのオーバヘッドとして測定する。これによりシステム導入による既存システムへの影響度を評価する。

### 3.3 具体的成果

ボットネット解明技術についての要件整理と仕様定義は、NECOMA プロジェクトの成果報告書として執筆した。2015 年度はこの設計に基づきテスト環境構築、デモンストレーション、成果発表等を計画している。

大規模ネットワーク実験基盤の基礎技術については、昨年度実施した、関谷准教授が研究代表を努める研究プロジェクト「DNSSEC に対応した広域分散 DNS サービス環境シミュレータの設計と実装」(科研費 基盤研究 (C)(一般)、平成 23-25 年度) にて、ネットワークシミュレータ ns-3 とその拡張機能 Direct Code Execution (DCE) を利用した DNSSEC シミュレータに関する論文を執筆し成果発表を紙面にて行った ([査読付 4])。フランスの研究所 INRIA との共同研究をを通じ、国際学会 ACM MSWiM での動態展示 ([査読付 7])、軽量仮想化機能についての口頭発表 ([発表 3]、[発表 1]、[査読付 1]) など積極的に対外発表を行った。

# 4 成果要覧

### 查読付論文

- [查読付 1] Hajime Tazaki, Ryo Nakamura, and Yuji Sekiya. Library operating system with mainline Linux kernel. THE Technical Conference on Linux Networking netdev 0.1, 2015.
- [査読付 2] 藤居翔吾, 田崎創, and 関谷勇司. データセンター環境におけるショートフロー通信改善手法の一提案. In インターネットコンファレンス, November 2014.
- [查読付 3] Hajime Tazaki, Kazuya Okada, Yuji Sekiya, and Youki Kadobayashi. MATATABI: Multi-layer Threat Analysis Platform with Hadoop. In 3rd International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security, p. 8, September 2014.
- [查読付 4] Yuji Sekiya, Tomohiro Ishihara, and Hajime Tazaki. DNSSEC simulator for realistic estimation of deployment impacts. *IEICE Communications Express*, vol.3, no.10, pp.305–310, 2014.
- [查読付 5] Thanasis Petsas, Kazuya Okada, Hajime Tazaki, Gregory Blanc, and Pawel Pawlinski. A Trusted Knowledge Management System for Multi-layer Threat Analysis. In *the 7th International Conference on Trust and Trustworthy Computing (TRUST 2014 poster session)*, p. 2, June 2014.
- [查読付 6] Daisuke Miyamoto, Takuji Iimura, Gregory Blanc, Hajime Tazaki, and Youki Kadobayashi. Eye-Bit: Eye-Tracking Approach for Enforcing Phishing Prevention Habits. In *3rd International Workshop on Building Analysis Datasets and Gathering Experience Returns for Security*, p. 10, September 2014.
- [查読付 7] Emilio P. Mancini, Hardik Soni, Thierry Turletti, Walid Dabbous, and Hajime Tazaki. Demo Abstract: Realistic Evaluation of Kernel Protocols and Software Defined Wireless Networks with DCE/Ns-3. In *Proceedings of the 17th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, MSWiM '14, pp.335–337, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [查読付 8] Takuji Iimura, Daisuke Miyamoto, Hajime Tazaki, and Youki Kadobayashi. NECOMAtter: Curating Approach for Sharing Cyber Threat Information. In *Proceedings of The Ninth International Conference on Future Internet Technologies*, CFI 2014, pp.19:1–19:2. ACM, June 2014.

### その他の発表論文

- [発表 1] Hajime Tazaki. Network Stack in Userspace (NUSE). New Directions in Operating Systems, November 2014.
- [発表 2] 田崎創, 岡田和也, 関谷勇司, and 門林雄基. MATATABI: Hadoop を利用した脅威解析基盤構築 と運用 CERT/CSIRT 組織の機能強化 -. 第 2 回 大学・高等教育機関におけるサイバーセキュリティ能力向上と体制整備に関するワークショップ, July 2014.
- [発表 3] Hajime Tazaki. Dive Into the Internals of Kernel Network Stack with Direct Code Execution. LinuxCon Japan 2014, March 2014.

### 公開ソフトウエア

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

# スーパーコンピューティング研究部門

# スーパーコンピューティング研究部門概要

### 中島 研吾

大規模並列シミュレーション手法に関する研究、教育

### 田浦 健次朗

高生産・高性能並列プログラミング言語・データ処理 フレームワークの研究

### 佐藤 周行

検証付き言語処理系とサービス体系における セキュリティ保証の研究 Optimization Verifying Compiler, Privilidge Design in Federation Service, and Trust Models in Security

### 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

### 近藤 正章

高性能・省電力計算システムに関する研究開発

### 大島 聡史

様々な並列計算ハードウェアを用いた 高性能計算に関する研究

### 實本 英之

エクストリームスケール高性能計算を対象とした 耐故障機能及び支援システム

### 塙 敏博

演算加速機構と通信機構との統合環境に関する研究

### 松本 正晴

大規模マルチスケールシミュレーション手法に 関する研究

# スーパーコンピューティング研究部門

# 概要

### 部門長 中島研吾

### 1 はじめに

計算科学が、理論、実験に続く「第三の科学」と呼ばれるようになって久しい。スーパーコンピューティングは計算科学を支える重要な基盤であり、ペタスケール、エクサスケールコンピューティングの時代を迎えて、スーパーコンピューティング研究部門の果たすべき役割は大きい。

スーパーコンピューティング研究部門は、平成27年3月現在で7名のセンター専任教員(教授:2、准教授:2、助教:1、特任准教授:1、特任講師:1)、2名の兼任教員(准教授2)、客員研究員2名を擁しており、大学院兼担教員による大学院生としては、工学系研究科電気系工学専攻,情報理工学系研究科数理情報学専攻の修士課程、博士課程学生が在籍している。

専門分野は、計算機システムからコンパイラ、数値アルゴリズム、各種科学技術アプリケーション、セキュリティまで、また理論的研究から実用的研究まで多岐にわたっているほか、業務部門と協力してスーパーコンピュータシステム(Hitachi SR16000/M1(Yayoi)、Fujitsu PRIMEHPC FX10(Oakleaf-FX・Oakbridge-FX))の運用にあたり、利用環境の向上、利用者拡大のための広報・普及活動を実施している。成果は各分野の学会において研究論文等として発表されており、高い評価を得ており、平成 26 年度は各種国際学会での Best Paper Award, Best Poster Award を受賞した(〔受賞 1〕~〔受賞 4〕)。また各学会の役員、各種会合運営、セッションオーガナイザ等としても活発に活動している。

以下に研究、教育活動の概要を示す。

# 2 主な研究プロジェクト

スーパーコンピューティング研究部門として取り組んでいるプロジェクトとして以下のようなものがある:

# 2.1 「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境(ppOpen-HPC)」 (JST CREST)

平成 23 年度から、科学技術振興機構戦略的想像研究推進事業(JST CREST)「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」研究領域(ポストペタ CREST)において、東京大学各部局(大気海洋研究所、大学院情報学環、大学院新領域創成科学研究科)、京都大学学術情報メディアセンター、海洋研究開発機構と協力して開発を進めている。複雑化、大規模化するスーパーコンピュータ(スパコン)上でのプログラム開発とその安定な実行は困難な課題である。本研究では、計算機の専門家でない科学者や技術者がスパコン向けの様々なシミュレーションプログラムを容易に開発し、高速・安定に実行するための環境 ppOpen-HPC を開発する。異なるスパコンでも、自動チューニング機構 ppOpen-AT によりプログラムの修正無しに最適な性能で安定に実行可能となり、本研究の成果は、スパコンを利用して新しい科学を開拓する人材の育成にも大いに貢献する。平成 25 年度は平成 26 年 11 月に ppOpen-HPC の公開(Ver.0.3.0)を実施した。平成 26 年 12 月に開催されたポストペタ CREST 全 14 プロジェクトによる国際シンポジウム JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software (ISP2S2)では中心的な役割を果たした。

### 2.2 ポスト T2K システムに向けた取組: 最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)

平成 25 年 3 月, 筑波大学と東京大学は、計算科学・工学及びその推進のための計算機科学・工学の発展に資するため、最先端共同 HPC 基盤施設の設置に合意し、協定を締結した。最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)は、東京大学柏キャンパスの東京大学情報基盤センター内に、双方のスーパーコンピュータシステムを設置して、最先端の大規模高性能計算基盤を構築・運営するための組織である。この施設を連携・協力して運営することにより、最先端の計算科学を推進し、我が国の学術及び科学技術の振興に寄与していくことを目指す。

平成 26 年度は情報収集の他、仕様書原案策定、説明会を実施し。筑波大学と協力して性能評価ツール、ベンチマークプログラムなどの整備を実施した。

# 2.3 ポスト京のプロセッサアーキテクチャ、電力制御技術、システムソフトウェアおよび数値計算ライブラリに関する研究(理化学研究所)

文部科学省では、我が国における科学技術の振興、産業競争力の強化、国際貢献、安全・安心の国づくり等を実現するため、スーパーコンピュータ「京」の後継機となるポスト「京」の開発(フラッグシップ 2020 プロジェクト)に平成 26 度より着手しており、理化学研究所と富士通の共同によるポスト京システムの開発が始まっている。理化学研究所と東京大学情報基盤センターは平成 26 年度に共同研究協約を締結し、ポスト京システムのプロセッサアーキテクチャ、電力制御技術、システムソフトウェアおよび数値計算ライブラリ等の広範囲にわたる研究活動を開始している。

# 2.4 ポスト「京」重点課題「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成」 (東京大学物性研究所)

文部科学省では、「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」重点課題の実施機関を公募し、平成 26 年 12 月に 9 分野の各重点課題の実施機関を決定した。当部門は 9 分野の 1 つとして採択された「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成(代表:常行真司(東京大学物性研究所))」のサブ課題「共通基盤シミュレーション手法」に協力機関として参加し、次世代スパコン向け数値計算アルゴリズムに関するフィージビリティスタディを開始している。

### 3 研究活動項目

## 3.1 計算機システムハードウェア

- CPU, GPUを用いた光通信技術に関する研究
- 三次元積層 LSI のアーキテクチャに関する研究

#### 3.2 計算機システムソフトウェア

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

### 3.3 プログラム開発環境

- プログラムの性能改善のためのコンパイラ最適化の理論
- 分散アプリケーションのモデル検証を可能にする Centralization の一般化
- タスク並列プログラム用プロファイラ
- 分散メモリ用タスク並列処理系

- 自動チューニング機構を有するアプリケーション開発環境 ppOpen-HPC
- GPU クラスタ向け並列言語 XcalableACC (XACC)
- 並列実行性能の高い数値計算ライブラリ及びプログラム開発環境
- ユーザー駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証

#### 3.4 数値計算ライブラリ・アルゴリズム

Fujitsu FX10, Hitachi SR16000/M1, ポスト T2K システムを主たるターゲットとし、ペタスケール・エクサスケールシステムに向けて高性能数値計算手法・ライブラリの研究開発を実施した。PC からスーパーコンピュータに至る広範な計算機環境において、自動的に性能チューニングが達成できるソフトウェア(ソフトウェア自動チューニング)に関する、理論、方式、言語、およびライブラリに関する総合的研究を実施したほか、並列プログラミングモデルに関する研究も実施した。この他、基礎的な数理アルゴリズムに関する研究も実施した。

- 並列プログラミングモデル
- ソフトウェア自動チューニング
- GPU、Xeon Phi を用いたアプリケーション高速化
- 高効率・高可搬性ライブラリ開発
- 超並列高性能数値計算ライブラリ開発
- 並列多重格子法アルゴリズム
- マルチコアクラスタ環境における悪条件問題のための前処理手法
- GPU、Xeon Phi を用いた疎行列ベクトル積

#### 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。

- 大規模プラズマシミュレーション
- 大規模 MHD シミュレーション
- GPUを用いたアプリケーション開発に関する研究
- 拡張階層型領域分割に基づく有限要素法の開発
- 並列前処理手法、領域分割手法
- 大規模並列形狀処理、大規模並列可視化
- 並列有限要素法における行列生成最適化に関する研究

#### 3.6 セキュリティ関連分野

- クラウドを前提としたオンライントラスト
- 認証フェデレーションにおけるプライバシー
- Graded Trust の研究
- セキュリティの対費用効果の検討

#### 3.7 省電力分野

- ポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワーク
- GPU プログラミング環境と省電力化

#### 3.8 学際的分野

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

#### 4 教育活動

人材育成の取り組みの一環として、本センターが所有するスーパーコンピュータを受講学生が活用できる新しい形態の全学的な教育プログラム(学際計算科学・工学人材育成プログラム)を、本センターが主導して実施している。従来スーパーコンピューティング研究部門教員が担当している下記の4科目については、継続して実施した:

- スパコンプログラミング(工学部・工学系研究科共通科目)
- 並列計算プログラミング・先端計算機演習(大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、理学系研究科大学院教育高度化プログラム)
- 科学技術計算 I・Ⅱ (有限要素法プログラミング) (大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻)
- コンピュータ科学特別講義 I・II (有限要素法プログラミング) (大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻)

基礎的な並列プログラミング教育を目的とした、国内に例を見ないユニークな取り組みとして「お試しアカウント付きスパコン利用講習会」がある。平成 26 年度は同講習会を9 回実施した。

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

#### 5 公募型共同研究プロジェクトの推進

公募型研究プロジェクトとしては、「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究」、「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」、「大規模 HPC チャレンジ」を実施した。

平成 22 年 4 月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する 8 大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) が正式に発足し、活動を開始した。本共同利用・共同研究拠点は 8 機関によるネットワーク型拠点であり、東京大学情報基盤センターはその中核拠点である。

平成 25 年 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、2 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 53 課題のうち 34 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 8 課題であった。平成 25 年度からは JHPCN 公募型研究課題は HPCIの一部として実施されるようになった。平成 25 年度報告会、平成 26 年度採択課題紹介を兼ねた第5回シンポジウムは平成 26 年 7 月 10 日(木)・11 日(金)に THE GRAND HALL(品川)で開催された。

「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」は、概ね 40 歳以下の若手研究者及び女性研究者(学生を含む)を対象としており、採択された課題の計算機利用負担金(半年分)をセンターが負担する。年2回公募し、年間で4件程度の優れた研究提案を採択する。継続申請と再審査の上で、最大で1年間の無料利用ができる。平成26年度は、前期4件、後期3件の合計7件の課題を採択した。

東京大学情報基盤センターでは、スーパーコンピュータの大規模計算機資源を占有可能なサービスを毎月実施してきた。平成24年度からFujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX)の全4,800ノード(76,800コア、ピーク性能1.13 PFLOPS)を占有できる「大規模HPCチャレンジ」を実施している。これは国内の公開されているスーパーコンピュータシステムで占有可能な最大の計算資源である。平成26年度は全部で7課題が採択された。

#### 6 広報·研究会活動

本部情報基盤課スーパーコンピューティングチームと協力して、広報誌「スーパーコンピューティングニュース」を6回発行した。

部門の研究活動として、平成 26 年度は先進スーパーコンピューティング環境研究会(Advanced Supercomputing Environment, ASE) (略称: ASE 研究会)を2回開催した。

また筑波大学計算科学研究センター,京都大学学術情報メディアセンターと共催により「T2K オープンスーパーコンピュータ運用終了記念シンポジウム」を開催した(平成 26 年 5 月 30 日)。

#### 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] Nakajima, K., Optimization of Serial and Parallel Communications for Parallel Geometric Multigrid Method, Proceedings of the 20th IEEE International Conference for Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2014) 25-32, Hsin-Chu, Taiwan, 2014, Best Paper Award.
- [受賞 2] Yuetsu Kodama, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku and Mitsuhisa Sato: Best Paper Award, Fifth International Symposium on Highly-Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART2014), Jun. 2014.
- [受賞 3] Toshihiro Hanawa: Best Poster Award, HPC in Asia poster, International Supercomputing Conference (ISC'14), Jun. 2014.

#### 招待講演/招待論文

- [招待1] 中島研吾, エクサスケール時代のシミュレーションと可視化, 日本計算工学会第7回 S&V (Simulation & Visualization) 研究会「可視化:私はここに着目する」,東京大学(本郷), 2014.4.9.
- [招待 2] 中島研吾,ポストペタスケール時代のシミュレーションと大規模並列可視化, CMSI 若手技術交流会,理化学研究所計算科学研究機構(神戸),2014.7.8.
- [招待 3] Nakajima, K., Challenges towards Post-Peta/Exascale Computing -Information Technology Center, The University of Tokyo-, 53rd IDC (International Data Corporation) HPC User Forum, RIKEN AICS (Kobe), 2014.07.16.
- [招待 4] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), IMI (Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University) Workshop on Optimization in the Real World, 2014.10.14.
- [招待 5] 中島研吾,並列前処理付き反復法,日本応用数理学会「応用数理セミナー」,早稲田大学(東京),2014.12.26.
- [招待6] Takahiro Katagiri: An Overview of Supercomputing Division and Related Research Activities for Parallel Eigen-computation and Auto-tuning Techniques, National Central University, Taiwan, February 2015.
- [招待 7] Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku: Tightly Coupled Accelerators with Proprietary Interconnect and Its Programming and Applications, GPU Technology Conference 2015, S5519, Mar. 2015.

#### 著書/編集

[著書 1] 岩下武史, 片桐孝洋, 高橋大介 著: スパコンを知る: その基礎から最新の動向まで, 東京大学出版会, ISBN-13:978-4130634557, 2015 年 2 月.

#### 查読付論文

[查読付 1] Nakajima, K., Satoh, M., Furumura, T., Okuda, H., Iwashita, T., Sakaguchi, H., and Katagiri, T., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), Proceedings of PASC 14 (The Platform for Advanced Scientific Computing), Zurich, Switzerland, 2014.

- [査読付 2] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Iterative Solvers Based on BILUT(p,d,t), HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC '14), Leizig, Germany, 2014.
- [查読付 3] Nakajima, K., Optimization of Serial and Parallel Communications for Parallel Geometric Multigrid Method, Proceedings of the 20th IEEE International Conference for Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2014) 25-32, Hsin-Chu, Taiwan, 2014, Best Paper Award.
- [查読付 4] Nakajima, K., Sparse linear solver based on extended ELL storage format of coefficient matrix for manycore architectures, HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC ' 15),Frankfurt, Germany, 2015 accepted).
- [查読付 5] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Kata-giri, Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of an AMR Framework for FDM Applications, Proceedings of 2014 International Conference on Computational Science, Procedia Computer Science, Vol.29, pp.936-946, June 2014.
- [查読付 6] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Katagiri and Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of an AMR Framework for FDM Applications, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS2014), Cairns, Australia, June 2014. (Procedia Computer Science, Vol.29, pp.936-946, 2014. (DOI: 10.1016/j.procs.2014.05.084))
- [查読付7] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama, Futoshi Mori, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Kengo Nakajima, "Multi-Scale Coupling Simulation of Seismic Waves and Building Vibrations using ppOpen-HPC", 5th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2015) in conjunction with International Conference on Computational Science 2015 (ICCS2015), Reykjavik, Iceland, June 2015. (Procedia Computer Science, 2015.) [accepted]
- [査読付 8] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Managing Product Variants by Project Centralization, Lecture Notes on Software Engineering, 2(2), May, 195–200, 2014.
- [査読付 9] SATO Hiroyuki, OKABE Yasuo, NISHIMURA Takeshi, YAMAJI Kazutsuna, NAKAMURA Motonori: Privacy Enhancing Proxies in a Federation: Agent Approach and Cascade Approach, Journal of Information Processing 22(3), 464–471, 2014.
- [查読付 10] TAKESHI NISHIMURA, MOTONORI NAKAMURA, KAZUTSUNA YAMAJI, HIROYUKI SATO, YASUO OKABE, Privacy Preserving Attribute Aggregation Method without Shared Identifier Binding, Journal of Information Processing 22(3), 472–479, 2014.
- [查読付 11] Chapa Martell, M., Sato, H.: A Linear Performance-Breakdown Model for GPU Programming Optimization Guidance, Proc. 16th Workshop on Advances on Parallel and Distributed Processing Systems, 593-603, Phoenix, May 19-23, 2014.
- [查読付 12] SATO Hiroyuki, TANIMOTO Shigeaki, KANAI Atsushi: A Policy Consumption Architecture that enablesDynamic and Fine Policy Management, Proc. 3rd ASE International Conf. CyberSecurity 2014, May 27–31, Palo Alto, 2014.

- [查読付 13] S. Tanimoto, K. Takahashi, T. Yabuki, K. Kato, M. Iwashita, H. Sato and A. Kanai: Risk Assessment Quantification in Life Log Service, Proc. 15th Int'l Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD) 2014, 313–318, Las Vegas, Jun 30–July 2, 2014.
- [査読付 14] 米田 翔一, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: オフィス空間における場のセキュリティを考慮したリスクアセスメント, RO-006, FIT 2014, つくば, Sept. 3-5, 2014.
- [査読付 15] Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato: Data Management Approach for Multiple Clouds using Secret Sharing Scheme, Proc. 8th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2014), 432–437, Salerno, Sept. 10–12, 2014.
- [查読付 16] Shigeaki Tanimoto, Ryota Sato, Kazuhiko Kato, Motoi Iwashita, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: A Study of Risk Assessment Quantification in Cloud Computing, to appear in 8th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2014), 426–431, Salerno, Sept. 10–12, 2014.
- [査読付 17] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang and Hiroyuki Sato: Efficient Testing of Software Product Lines via Centralization, Proc. Generative Programming and Component Engineering (GPCE) 2014, 49–52, Vasteros, Sept. 15–16, 2014.
- [査読付 18] Chapa Martell Mario Alberto, SATO, Hiroyuki: Linear Performance-Breakdown Model: A Framework for GPU kernel programs performance analysis, Int'l J. Networking and Computing, Vol 5, No 1, 86–104, 2015.
- [査読付 19] Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Risk Assessment Quantification of Ambient Service, Proc. 9th Int'l Conf. Digital Society, 70–75, Lisbon, Feb. 22–17, 2015.
- [查読付 20] Yuuki Kajiura, Shohei Ueno, Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato: An Approach to Selecting Cloud Services for Data Storage in Heterogeneous-multicloud Environment with High Availability and Confidentiality, Proc. 1st Int'l WS on Service Assurance in System Wide Information Management, Taichung, March 25–17, 2015.
- [查読付 21] Takahiro Katagiri, Hiroshi Takeda, Jyunya Kato, Shota Kawamura and Yasuyoshi Horibata: Towards Multicolor Particle Contact Detection Method for Hybrid MPI-OpenMP Execution in DEM, Proceedings of VECPAR 2014, 11th International Meeting High Performance Computing for Com-putational Science, June 2014. (A Poster)
- [查読付 22] Teruo Tanaka, Ryo Otsuka, Akihiro Fujii, Takahiro Katagiri, Toshiyuki Imamura: Implementation of d-Spline-based incremental performance parameter estimation method with ppOpen-AT, Scientific Programming, IOS Press, Vol. 22, No. 4, pp. 299-307, July 2014.
- [査読付 23] 片桐孝洋, 竹田宏, 河村祥太, 加藤淳也, 堀端 康善: DEM におけるマルチカラー接触判 定法の適用とマルチコア計算機による性能評価, 粉体工学会誌, 第 51 巻 8 号, pp.564-570, 2014 年 8 月.
- [查読付 24] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Auto-tuning of Computation Kernels from an FDM Code with ppOpen-AT, Proceeding of IEEE MCSoC14, Special Session: Au-to-Tuning for Multicore and GPU (ATMG-14), pp.91-98, September 2014.

- [查読付 25] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Performance optimization of SpMV using CRS format by considering OpenMP scheduling on CPUs and MIC, Proceeding of IEEE MCSoC14, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG-14), pp.253-260, Septem-ber 2014.
- [查読付 26] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Performance Optimization of SpMV using the CRS format considering OpenMP Scheduling on CPUs and MIC, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) session in IEEE 8th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC-14), University of Aizu, Aizu-Wakamatsu, Japan, September 23-25, 2014.
- [查読付 27] Shigeki Akiyama and Kenjiro Taura. Uni-address threads: Scalable thread management for RDMA-based work stealing. In Proceedings of the 24th International Symposium on Highperformance Parallel and Distributed Computing, HPDC '15, New York, NY, USA, 2015. ACM. (to appear).
- [査読付 28] Kenjiro Taura Yusuke Nishioka. Scalable task-parallel sgd on matrix factorization in multicore architectures. In The 4th International Workshop on Parallel and Distributed Computingfor Large Scale Machine Learning and Big Data Analytics, New York, NY, USA, 2015. ACM. (to appear).
- [査読付 29] Hiroshi Inoue, Moriyoshi Ohara, and Kenjiro Taura. Faster set intersection with simd instructions by reducing branch mispredictions. Proc. VLDB Endow., 8(3):293304, November 2014.
- [査読付 30] Ting Chen and Kenjiro Taura. ParaLite: A parallel database system for data-intensive work-flows. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, E97-D(5):12111224, 2014.
- [查読付 31] Jun Nakashima and Kenjiro Taura. MassiveThreads: A Thread Library for High Productivity Languages. In Festschrift of Symposium on Concurrent Objects and Beyond: From Theory to High-Performance Computing, Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014.
- [查読付 32] Miquel Pericas, Kenjiro Taura, and Satoshi Matsuoka. Scalable analysis of multicore data reuse and sharing. In Proceedings of the 28th ACM International Conference on Supercomputing, ICS '14, pages 353362, New York, NY, USA, 2014.
- [査読付 33] Hideyuki Jitsumoto, Yuki Todoroki, Yutaka Ishikawa and Mitsuhisa Sato. Grid-Oriented Process Clustering System for Partial Message Logging, In The 4th Fault Tolerance for HPC at eXtreme Scale (FTXS) 2014, in conjunction with DSN2014, USA, 2014.
- [查読付 34] Yuetsu Kodama, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku and Mitsuhisa Sato: PEACH2: FPGA based PCIe network device for Tightly Coupled Accelerators, Fifth International Symposium on Highly-Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART2014), pp. 3–8, Jun. 2014.
- [查読付 35] Norihisa Fujita, Hisafumi Fujii, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Yoshinobu Kuramashi, and Mike Clark: QCD Library for GPU Cluster with Proprietary Interconnect for GPU Direct Communication, 12th International Workshop Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogeneous Platforms (HeteroPar2014), in conjunction with EuroPAR2014, Lecture Notes in Computer Science Volume 8805, pp. 251–262, Aug. 2014.

- [查読付 36] Masahiro Nakao, Hitoshi Murai, Takenori Shimosaka, Akihiro Tabuchi, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: XcalableACC: Extension of XcalableMP PGAS Language using OpenACC for Accelerator Clusters, Workshop on accelerator programming using directives (WACCPD 2014), in conjunction with SC14, pp. 27–36, Nov. 2014.
- [查読付 37] Takuya Kuhara, Takahiro Kaneda, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, and Hideharu Amano: A preliminarily evaluation of PEACH3: a switching hub for tightly coupled accelerators, 2nd International Workshop on Computer Systems and Architectures (CSA'14), in conjunction with the 2nd International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2014), pp. 377–381, Dec. 2014.
- [査読付 38] 梅田 宏明、塙 敏博、庄司 光男、朴 泰祐、重田 育照: GPGPU クラスタ上での FMO 計算の性能評価、日本コンピュータ化学会 2014 秋季年会精選論文特集号、pp.323-324, 2014 年 12 月.
- [査読付 39] Yoshihiro Kajimura, Ikkoh Funaki, Iku Shinohara, Hideyuki Usui, Masaharu Matsumoto and Hiroshi Yamakawa: Numerical Simulation of Dipolar Magnetic Field Inflation due to Equatorial Ring-Current, Plasma and Fusion Research, Vol.9, 2405008, 2014. (DOI:10.1585/pfr.9.2405008)
- [査読付 40] Hideyuki Usui, Akihide Nagara, Masanori Nunami and Masaharu Matsumoto: Development of a Computational Framework for Block-Based AMR Simulations, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS2014), Cairns, Australia, June 2014. (Procedia Computer Science, Vol.29, pp.2351-2359, 2014. (DOI: 10.1016/j.procs.2014.05.219))
- [查読付 41] Futoshi Mori, Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance of FDM Simulation of Seismic Wave Propagation using the ppOpen-APPL/FDM Library on the Intel Xeon Phi Coprocessor, 11th International Meeting High Performance Computing for Computational Science (VECPAR2014), Eugene, Oregon, USA, June 2014. (Conference Proceedings, http://www.vecpar.org/papers/vecpar2014 submission 24.pdf)
- [査読付 42] 松本正晴,高木成郎,奥野喜裕:数値計算によるレーザー駆動 MHD 発電の基礎的検討,日本航空宇宙学会論文集,第62巻,第5号,pp.170-176,2014. (DOI: 10.2322/jjsass.62.170)
- [查読付 43] Futoshi Mori,Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance Optimization of the 3D FDM Simulation of SeismicWave Propagation on the Intel Xeon Phi Co-processor using the ppOpen-APPL/FDM Library, Lecture Notes in Computer Science, Vol.8969, 2015. (Selected Paper of VECPAR2014) [in press]
- [査読付 44] 松本正晴, 高木成郎, 奥野喜裕: パルスレーザ駆動 MHD 発電機の発電特性に関する電磁 流体シミュレーション, 電気学会論文誌 A, Vol.135, No.6, 2015. [in press]

#### 公開ソフトウエア

- [公開 1] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.
- [公開 2] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.
- [公開 3] 松本正晴: ppOpen-APPL/AMR-FDM version 0.3.0, 2014年11月.

#### その他の発表論文

- [発表 1] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Iterative Solvers based on BILUT(p,d,t), 11th International Meeting High Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014) Poster Session, Eugene, OR, USA, 2014.7.1.
- [発表 2] 中島研吾,並列多重格子法における通信削減(最適化)について,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),2014年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ(SWoPP新潟 2014),2014.7.28.
- [発表 3] 中島研吾,大島聡史,塙敏博,有限要素法係数行列生成プロセスのマルチコア・メニィコア 環境における最適化,情報処理学会研究報告(HPC-146-22),2014.10.3.
- [発表 4] Nakajima, K., Satoh, M., Furumura, T., Okuda, H., Iwashita, T., Sakaguchi, H., and Katagiri, T., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), ATIP Workshop on Japanese Research Toward Next-Generation Extreme Computing in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014.11.17.
- [発表 5] Kengo Nakajima, ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post- Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software (ISP2S2), Kobe, 2014.12.3.
- [発表 6] 中島研吾, 拡張型 Sliced-ELL 行列格納手法に基づくメニィコア向け疎行列ソルバー, 情報処理学会研究報告(HPC-147-3), 2014.12.9.
- [発表 7] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods on Intel Xeon/Phi, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT2015), National Taiwan University, 2015.2.28.
- [発表 8] Nakajima, K., pK-Open-HPC: A Framework for Development of Parallel FEM/FVM Applications on Manycore Architectures, MS17: Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing Part I of III, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15), Salt Lake City, USA, 2015.3.14.
- [発表 9] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), International Workshop: Sparse Solvers for Exascale: From Building Blocks to Applications, Greif-swald, Germany, 2015.3.25.
- [発表 10] 大島聡史, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 中島研吾, 黒田久泰, 直野健, 猪貝光祥: 動的な並列実行機構を用いた SpMV 実装の性能評価, 情報処理学会研究報告 2015-HPC-148, 2015 年 3 月.
- [発表 11] 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋, 塙敏博, 中島研吾: 様々な計算機環境における OpenMP/OpenACC を用いた ICCG 法の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-145), 7月 21 日発行 (Vol.2014-HPC-145 No.21), SWoPP 新潟 2014, 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター, 2014 年 7 月 28 日 (月)-30 日 (水).

- [発表 12] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Optimization of Preconditioned Iterative Linear Solvers Using OpenMP/OpenACC on GPU and MIC, 2015 SIAM Conference on Computational Science and Engineering, The Calvin L. Rampton Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, Utah, USA, March 14-18, 2015.
- [発表 13] 大島聡史, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 中島研吾, 黒田久泰, 直野健, 猪貝光祥: 動的な並列実行機構を用いた SpMV 実装の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-148), 2015 年 2 月 23 日発行, 別府温泉 花菱ホテル, 2015 年 3 月 2-3 日.
- [発表 14] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Katagiri and Kengo Nakajima: Development of an AMR Framework for FDM Applications on Parallel Processors, HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference 2014 (ISC '14), Leipzig, Germany, June 2014.
- [発表 15] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Takashi Furumura and Kengo Nakajima: Performance Evaluations of Applications using the ppOpen-APPL/FDM Library, JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software, Kobe, Japan, Dec 2014. (Poster Presentation)
- [発表 16] Kazu Yamaji, Kouji Nishimura, Yasuhiro Nagai, Hiroyuki Sato, Motonori Nakamura, Tomohiro Ito, Takeshi Nishimura, Yoshihiro Okada: Standard Levels of Authentication and Security for Use in Academic Japanese Cloud Services, Terena Netwoking Conference 2014. Dublin, May 19–22, 2014.
- [発表 17] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato: When Project Centralization and Random Testing Meet –Efficient Automatic Testing of Multiple Software Product Variants–, 第 31 回ソフトウェア科学会大会, 8-2, 名古屋, Sept. 7–10, 2014.
- [発表 18] 佐藤 周行, 谷本 茂明, 金井 敦: アクセス制御のための機械可読サービスポリシー文書, コンピュータセキュリティシンポジウム 2014, 1D4-1, 札幌, Oct 22–24, 2014.
- [発表 19] 畑 健一郎・佐藤 彰・米田翔一・谷本茂明・佐藤周行・金井 敦: 情報セキュリティマネジメントシステムにおけるスローポリシー導入に関する検討, ライフインテリジェンスとオフィス情報システム研究会(LOIS), IEICE, 北九州, Jan. 15, 2015.
- [発表 20] 平本拓也, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行: セキュリティ場モデルの提案, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS) 2015, 4C1-1, 北九州, Jan. 20-23, 2015.
- [発表 21] 篠山裕貴, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行: LOA を考慮した動的クラウド選択基盤方式, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS) 2015, 4B2-2, 4C1-1, 北九州, Jan. 20-23, 2015.
- [発表 22] 大角地涼介, 佐藤亮太, 米田翔一, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: パブリッククラウドと企業ネットワークのセキュリティポリシー連携マネジメントに関する研究, プロジェクトマネジメント学会春季大会, 東京, March 13–14, 2015.
- [発表 23] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: Xeon Phi における ppOpen-AT を用いた有限差分法コード の自動チューニング, 計算工学講演会論文集, Vol.19, 2014 年 6 月.
- [発表 24] 片桐孝洋,河村祥太,加藤淳也,竹田宏,片桐孝洋,堀端康善:マルチカラー接触判定法のハイブリッド MPI/OpenMP による並列化,情報処理学会研究報告 2014-HPC-146, 2014 年 10 月.

- [発表 25] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning of Scientific Codes for Many-core Architectures in Era of Exa-flops, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, February 2015.
- [発表 26] Katagiri Takahiro, Iwata Jun'ichi, Uchida Kazuyuki: A Communication Avoiding and Reducing Algorithm for Symmetric Eigenproblem for Very Small Matrices,情報処理学会研究報告 2015-HPC-148,2015 年 3 月.
- [発表 27] 入江純,村田陸,藤井昭宏,田中輝雄,片桐孝洋:自動チューニング基盤 ppOpen-AT 上での標本点逐次追加型複数パラメータ同時推定機能の実現,情報処理学会研究報告 2015-HPC-148, 2015 年 3 月.
- [発表 28] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Towards Auto-tuning in the Era of 200+ Thread Parallelisms FIBER Framework and Minimizing Software Stack, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15), MS258 Streamlining Application Performance Portability Part I of II, March 2015.
- [発表 29] 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋: 疎行列ソルバーにおける自動チューニングを用いた OpenMP 指示文の最適化, 日本応用数理学会 2014 年度年会, 政策研究大学院大学, 2014 年 9 月 3 日 (水)-5 日 (金).
- [発表 30] Yusuke Nishioka and Kenjiro Taura. Scalable task-parallel sgd on matrix factorization in multicore architectures. Oral Presentation at Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2015), 2014.
- [発表 31] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Simd-aware static task cutoff system. Poster Presentation at Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2015), 2014.
- [発表 32] Kenjiro Taura, Shigeki Akiyama, and Jun Nakashima. A common runtime system in massively parallel environments. In Proceedings of the 10th AEARU Workshop on Computer Science and Web Technology, 2015.
- [発表 33] Kenjiro Taura, Shigeki Akiyama, and Jun Nakashima. Simd-aware static task cutoff system. In Proceedings of the 10th AEARU Workshop on Computer Science and Web Technology, 2015.
- [発表 34] Kenjiro Taura, Jun Nakashima, and Miquel Perics. Dag recorder: A task-centric tracing algorithm for task parallel applications. Presentation at Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2015), 2014.
- [発表 35] 島津真人 and 田浦健次朗 . Asdb: 任意のデータソースを検索可能にするデータベースシステム . In 研究報告システムソフトウェアとオペレーティング・システム( OS ) , volume 2014-OS-130, 2014.
- [発表 36] Satoshi Ohshima: Performance Evaluation and Comparison of ICCG method using OpenMP and OpenACC, Workshop on HPC and Cloud Accelerators, RIKEN AICS, August 26, 2014.
- [発表 37] Satoshi Ohshima: Performance evaluation of Preconditioned Iterative Linear Solver Using OpenMP and OpenACC, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing, Room 101, Mathematics Research Center, National Taiwan University, February 27-28, 2015.

- [発表 38] Satoshi Ohshima: Performance Evaluation of SpMV Considering Matrix Layout Parameters, HPC in Asia session at ISC '14, Congress Center Leipzig, Leipzig, June 26, 2014.
- [発表 39] 實本 英之, 小林 泰三, 松本 正晴, 滝澤 真一朗, 三浦 信一, 中島 研吾, 複数拠点利用を実現 するユーザ駆動型・拠点協調フレームワーク, 電子情報通信学会技術研究報告 CPSY2014-20 (SWoPP'14), Vol.114, No.155, pp155-159, 2014 July.
- [発表 40] 實本 英之, 科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証,JHPCN H26 年度中間報告, Nov 2014.
- [発表 41] 實本 英之, 塙 敏博, 原田 浩, 中 誠一郎, 建部 修見, 平川 学, 藤本 大輔, 蛯原 純, 宮嵜 洋, 佐島 浩之, HPCI ストレージの運用, AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, ポスター発表 T2A-22, Dec 2014.
- [発表 42] 勝田 裕貴, 宮島 敬明, 野村 鎮平, 久原 拓也, 塙 敏博, 天野 英晴, 朴 泰祐: Tightly Coupled Accelerator を用いた幅優先探索の高速化, 信学技報 114(21), CPSY2014-4, pp. 15-20, 2014 年 4 月.
- [発表 43] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA を用いた GPU 間直接通信による CG 法の実装と予備評価, 情報処理学会研究報告, 2014-HPC-144(12), pp. 1-9, 2014 年 5 月.
- [発表 44] Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: Proprietary Interconnect with Low Latency for HA-PACS/TCA, HPC in Asia Poster, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC'14), Jun. 2014.
- [発表 45] 天野 英晴, 久原 拓也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐: PEACH3 の基本転送性能の予備評価, 電子情報通信学会技術報告, CPSY2014-26, pp.97-102, 2014 年 7 月.
- [発表 46] 藤井 久史, 藤田 典久, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久, 藏増 嘉伸, Mike Clark: GPU 向け QCD ライブラリ QUDA の TCA アーキテクチャ実装の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2014-HPC-145(43), pp.1-9, 2014 年 7 月.
- [発表 47] 中尾 昌広, 村井 均, 下坂 健則, 田渕 晶大, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久: XcalableACC:OpenACC を用いたアクセラレータクラスタのための PGAS 言語 XcalableMP の拡張, 情報処理学会研究報告, 2014-HPC-146 (7), pp. 1-11, 2014 年 9 月.
- [発表 48] 久原 拓也, 宮島 敬明, 塙 敏博, 天野 英晴: PEACH2 への演算機構の実装とその性能評価, 信学技報, Vol.114, No.223, pp. 63-68, 2014 年 9 月.
- [発表 49] 金田 隆大, 三石 拓司, 勝田 裕貴, 久原 拓也, 塙 敏博, 天野 英晴, 朴 泰祐: Tightly Coupled Accelerators によるグラフ探索の並列処理の評価, 信学技報, vol. 114, no. 302, CPSY2014-65, pp. 63–68, 2014 年 11 月.
- [発表 50] Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: Tightly Coupled Accelerators Architecture for Low-latency Inter-Node Communication Between Accelerators, SC14 poster, Nov. 2014.
- [発表 51] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA を用いた GPU 間直接通信による Collective 通信の実装と予備評価、情報処理学会研究報告. 2014-HPC-147(23), pp. 1–10, 2014 年 12 月.

- [発表 52] 小田嶋 哲哉, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 村井 均, 中尾 昌広, 佐藤 三久: HA-PACS/TCA における TCA および InfiniBand ハイブリッド通信, 情報処理学会研究報告. 2014-HPC-147(32), pp. 1–8, 2014 年 12 月.
- [発表 53] Kazuya Matsumoto, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Hisafumi Fujii, and Taisuke Boku: Implementing CG Method on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA for GPU Direct Communication, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2015, Jan. 2015.
- [発表 54] 藤井 久史, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久: GPU 向け FFT コードの TCA アーキテクチャによる実装と性能評価, 情報処理学会研究報告. 2014-HPC-148(12), pp. 1–9, 2015 年 2月.
- [発表 55] 桑原 悠太, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐: GPU クラスタにおける GPU 間セルフ通信機構に 関する提案, 情報処理学会研究報告. 2014-HPC-148(17), pp. 1–8, 2015 年 2 月.
- [発表 56] Kazuki Tsuchiya, Hideyuki Usui, Takuma Matsubara, Masanori Nunami and Masaharu Matsubara. Three-Dimensional AMR-PIC Simulations on Ion Beam Neutralization in Ion Engine, 24th International Toki Conference, Toki, Japan, Nov 2014.
- [発表 57] 梶村好宏, 大塩裕哉, 船木一幸, 松本正晴, 山川宏: 熱プラズマ源を用いた磁気ノズル型プラズマセイルの推力測定実験, 第 58 回宇宙科学技術連合講演会, 長崎, 2014 年 11 月.
- [発表 58] 高木成郎, 松本正晴, 奥野喜裕: パルスレーザ駆動 MHD 発電実験, 電気学会新エネルギー・環境研究会, 郡山, 2014 年 11 月.
- [発表 59] Takashi Arakawa, Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Takeshi Kitayama, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Masaki Sato: Multi-scale and multi-physics simulation of seismic wavesbuilding vibration coupling by using the ppOpen-HPC Libraries, JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software, Kobe, Japan, Dec 2014. (Poster Presentation)
- [発表 60] 半田恭平, 黄磊, 松本正晴, 奥野喜裕: パルスレーザ駆動 MHD 発電機の発電特性, 平成 26 年電気学会全国大会, 松山, 2015 年 3 月.

#### 特記事項

- [特記 1] 学際計算科学・工学人材育成プログラム, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/CSEedu/
- [特記 2] 並列計算プログラミング, 先端計算機演習, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14e/
- [特記 3] 科学技術計算 I·II, 東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻 http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14w/
- [特記 4] コンピュータ科学特別講義 I・II, 東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14w/
- [特記 5] 数值解析, 東京大学工学部計数工学科, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14n/
- [特記 6] 日本計算工学会理事, 学会誌編集委員長
- [特記 7] General Council Member, IACM (International Association for Computational Mechanics)

- [特記 8] Member of Program Committee, The 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2014), Phoenix, AZ, USA, 2014
- [特記 9] Member of Program Committee, 14th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid 2014), Chicago, IL, USA, 2014
- [特記 10] Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2014), Cairns, Australia, 2014
- [特記 11] Co-Chair, Program Committee, Fourth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES), Cairns, Australia, 2014
- [特記 12] Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC' 14), Leipzig, Germany, 2014
- [特記 13] Chair, Scientific Committee, 11th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014), Eugene, OR, USA, 2014
- [特記 14] Member of International Scientific Committee, 11th World Congress of Computational Mechanics (WCCM 2014), Barcelona, Spain, 2014
- [特記 15] Member of Program Committee, 16th IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2014), Paris, France, 2014
- [特記 16] Member of Program Committee, Euro MPI/Asia 2014, Kyoto, Japan, 2014
- [特記 17] Member of Program Committee, 2nd Workshop on Sustainable Software for Science: Practice and Experiences (WSSSPE2), in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014
- [特記 18] Member of 2014 IEEE Computer Society Sidney Fernbach Award Subcommittee, in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014
- [特記 19] Member of 2014 IEEE Computer Society Seymour Cray Award Subcommittee, in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014
- [特記 20] Co-Chair of Organizing Committee, JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software (ISP2S2), Kobe, Japan, 2014
- [特記 21] Member of Program Committee, The 20th International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS '14), Hsinchu, Taiwan, 2014
- [特記 22] Co-organizer of Mini-Symposium, 2015 SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-III, Salt Lake City, UT, USA, 2015
- [特記 23] Member of Scientific Committee, Area Co-Chair of Computer Science & Mathematics, Platform for Advanced Scientific Computing Conference (PASC 15), Zurich, Switzerland, 2015
- [特記 24] Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2015), Reykjavik, Iceland, 2015
- [特記 25] Member of Program Committee, Fifth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES), Reykjav?k, Iceland, 2015

- [特記 26] Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC '15), Frankfurt, Germany, 2015
- [特記 27] Member of Program Committee, 17th IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2015), New York, NY, USA, 2015
- [特記 28] Member of Program Committee, IEEE Cluster 2015, Chicago, IL, USA, 2015
- [特記 29] Member of Program Committee, The 22nd European MPI Users' Group Meeting (Euro MPI 2015), Bordeaux, France, 2015
- [特記 30] Member of Technical Papers Committee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15), Austin, TX, 2015.
- [特記 31] Member of Program Committee, The 21st International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS '15), Melbourne, Australia, 2015
- [特記 32] お試しアカウント付き並列プログラミング講習会:2014年5月20-21日、6月18-19日、9月1-2日、9月10-11日、10月7-8日、11月11-12日、2015年2月18日、3月9-10日、3月26-27日の9回実施.
- [特記 33] スーパーコンピュータ若手利用者推薦制度 2014 年度(前期) 4 件(新規 2 件,継続 2 件), 2014 年度(後期) 2 件(新規 1 件,継続 1 件).
- [特記 34] 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 18 回 ASE 研究会 (2014 年 9 月 18 日 (木))、第 19 回 ASE 研究会 (2014 年 9 月 22 日 (月))、の 2 回実施.
- [特記 35] ミニシンポジウム・オーガナイザー, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15), Streamlining Application Performance Portability (Organizer: Takahiro Katagiri(University of Tokyo, Japan), Toshiyuki Imamura (RIKEN, Japan), Osni A. Marques (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), The Calvin L. Rampton Salt Palace Convention Center, USA, March 14-18, 2015.
- [特記 36] 国際ワークショップ・オーガナイザー, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, February 27-28, 2015.
- [特記 37] プログラム委員 HPDC 2015
- [特記 38] プログラム委員 CLUSTER 2015
- [特記 39] プログラム委員 CCGrid 2015
- [特記 40] PC member, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-14), 会津大学, 2014 年 9 月 24 日
- [特記 41] プログラム委員/実行委員, HPCS2015 2015 年ハイパフォーマンスコンピューティングと計 算科学シンポジウム, 東京大学 武田ホール, 2015 年 5 月 19-20 日 開催予定
- [特記 42] ACS 論文誌編集委員
- [特記 43] 一般社団法人オープン CAE 学会 理事

- [特記 44] How to use FX10 (Oakleaf-FX) Introduction and Tips (情報理工学系研究科「Parallel Numerical Algorithms 2014」講義内にて実施), 2014 年 6 月 19 日
- [特記 45] C言語速習コース (工学部計数工学科「数値解析」講義内にて実施), 2015 年 1 月 16,20 日
- [特記 46] 29th International Supercomputing Conference (ISC'14) 参加報告, Vol.16 No.4 (2014年7月)
- [特記 47] GTC Japan 2014 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.16 No.5 (2014年9月)
- [特記 48] SWoPP 新潟 2014 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.16 No.5 (2014 年 9月)
- [特記 49] SC14 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.1 (2015年1月)
- [特記 50] Member of Program Committee, 4th Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale (FTXS2014), https://sites.google.com/site/ftxsworkshop/home/ftxs2014/
- [特記 51] 筑波大学計算科学研究センター学際共同利用プログラム「密結合演算加速機構アーキテクチャに向けた GPGPU アプリケーション」プロジェクト研究代表者, 2014 年度
- [特記 52] Co-Chair, Program Committee, 5th Intl. Symp. on Highly-Efficient Accelerattors and Reconfigurable Technologies, 2014
- [特記 53] Member of Program Committee, The 2014 International Conference on High Performance Computing & Simulation, 2014
- [特記 54] Member of Program Committee, IEEE Cluster, 2014
- [特記 55] Member of Program Committee, 12th Intl. Workshop on Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogeneous Platforms (HeteroPar'2014), 2014
- [特記 56] Member of Program Committee, The 6th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2014
- [特記 57] チュートリアル委員長, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI), 2015
- [特記 58] 日本学術振興会学術研究助成基金助成金(科研費),若手研究(B),磁気プラズマセイル 評価に向けたマルチスケール対応プラズマシミュレーション,研究代表者,2012-2014年度
- [特記 59] 東京大学情報基盤センター, FX10 スーパーコンピュータシステム「大規模 HPC チャレンジ」平成 26 年度第 2 回採択課題, ppOpen-HPC ライブラリ群を利用する地震波動-建築物振動連成マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション, 研究代表者, 2014 年 11 月
- [特記 60] ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理, ならびに ppOpen-HPC ver.0.3.0 ライブラリ 群公開へ向けた整備

### 大規模並列シミュレーション手法に関する研究. 教育

#### 中島 研吾

#### 1 概要

有限要素法を中心とした,大規模並列シミュレーション手法に関する研究,教育を実施した。主な 実施項目を以下に示す:

#### • 大規模数値アルゴリズムに関する研究

多重格子法を中心として、ポストペタスケール、エクサスケールシステムを目指した大規模連立一次方程式解法、前処理手法及び自動チューニングに関する研究を継続して実施した。並列プログラミングモデルとして、ノード(ソケット)内に OepnMP などのスレッド、ノード(ソケット)間にメッセージパッシング(MPI)を適用する「Hybrid」並列プログラミングモデルを使用した。2013 年度に提案した hCGA(Hierarchical CGA,階層型 CGA)を更に改善した研究結果をまとめた論文が IEEE ICPADS 2014( $20^{th}$  IEEE International Conference for Parallel and Distributed Systems)に おいて Best Paper Award を受賞した〔受賞 1〕〔発表 2〕。その他、悪条件問題向けの並列前処理手法 BILUT(p,d,t)に関する検討を実施した〔招待 5〕〔査読付 2〕〔発表 1〕。

#### • ハイエンド計算機環境におけるアプリケーション開発環境に関する研究

昨今、マルチコアクラスタ、GPUなど様々な HPC 環境の利用が可能となっているが、科学技術計算に携わる科学者、技術者にとって、ハードウェアの能力を充分に引き出し、効率的なアプリケーションプログラムを開発することは至難の業である。一般に科学技術アプリケーションは様々な処理から構成されており、各プロセスを最適化することもまた科学者、技術者にとっては困難な作業である。本研究では、計算機の専門家でない科学者や技術者がスパコン向けの様々なシミュレーションプログラムを容易に開発し、高速・安定に実行するための基盤を開発する。異なるスパコンでも、自動チューニング機構によりプログラムの修正無しに最適な性能で安定に実行可能となる。2012 年度に引き続いて開発を実施し、SC14 (Denver、CO、USA) にて成果物の第3回公開を実施した[査読付1] [招待1~4] [発表4,5,8,9]。これまでは線形ソルバーに関する研究が中心であったが、2014 年度は有限要素法マトリクス生成に関する研究を実施した[発表3]。また Intel Xeon Phi 向けの最適化に関する検討を実施した[査読付4] [発表6,7]。

#### • HPC 教育

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」[特記 1]の一環として、HPC 教育プログラム策定、講義、演習を実施した[特記 2~5]。

#### 2 研究成果

#### 2.1 大規模問題向け並列多重格子法の開発

多重格子法(Multigrid)は大規模問題向けのスケーラブルな解法として注目されている。 筆者はこれまで、不均質な多孔質媒体中の三次元地下水流れを並列有限体積法(Finite Volume Method、FVM)によって解くアプリケーションを対象とした並列多重格子法に関する 研究を継続して実施してきた〔引用 1,2〕。2014年度研究では並列多重格子法における Parallel 及び Serial な通信削減手法に関する検討を実施した〔査読付 3〕。

Serial Communication としては、疎行列格納法について検討を実施し、ELL法(Ellpack-Itpack)の他、これに改良を加えた改良 ELL法を提案した。本手法は行列ベクトル積の最適化に使用されている Sliced ELL法[引用 3]と同様の方法であるが、前進後退代入に使用された事例はこれまでほとんど無い。図 1 は Fujitsu PRIMEHPC FX10(Oakleaf-FX)を使用した Weak Scaling の結果である。HB 8×2 において CRS、ELL、ELL+CGA、改良 ELL+CGA を比較している。4,096 ノード(65,536コア)、172 億自由度において、改良 ELL+CGA は 4,096 ノード(約 172 億自由度)においてELL+CGA と比較して 28%、CRS と比較して 90%性能が向上している。

更に 2013 年度に提案した hCGA (Hierarchical Coarse Grid Aggregation) 法(図 2)の評価を実施した。hCGA 法は 1MPI プロセスによる CGA 法への移行前に MPI プロセスを統合することにより、通信オーバーヘッドを削減する手法である hCGA 法は図 3 に示すように、Flat MPI においてその効果を発揮し、4,096 ノードの場合、CGA 法と比較して Weak Scaling で約 60%(図 3)、Strong Scaling で約 6 倍の性能向上が得られた。これらの成果をまとめた論文〔査読付 3〕が 20<sup>th</sup> IEEE International Conference for Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2014)で Best Paper Award を受賞した〔受賞 1〕。今後はアルゴリズムの更なる改良とともに、改良 ELL 法の非構造格子への拡張を図る予定である。

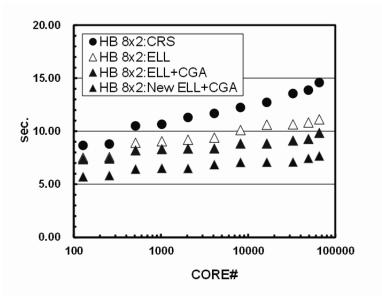


図 1 Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX) における性能評価 (Weak Scaling) (最大:4,096ノード(65,536コア), 172 億自由度)

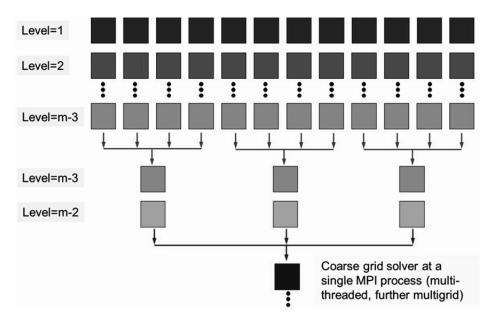


図 2 hCGA 法 (Hierarchical Coarse Grid Aggregation)

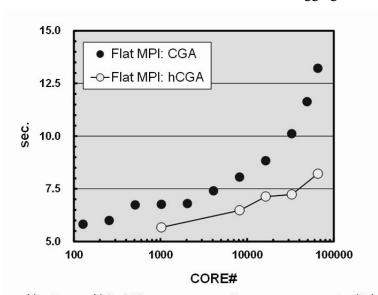


図 3 CGA 法, hCGA 法による MGCG の Fujitsu FX10 4,096 ノード(65,536 コア) での性能(Weak Scaling) (Flat MPI, 172 億自由度)

#### 2.2 有限要素法係数行列生成プロセスのマルチコア・メニィコア環境における最適化

有限要素法に代表される偏微分方程式の数値解法において、最も計算時間を要するプロセスは 大規模な疎行列を係数行列とする連立一次方程式の求解であり、その最適化に向けて様々な試み がなされてきた。有限要素法では、各要素における積分方程式から密な要素行列を計算し、これを 重ね合わせることによって疎な全体係数行列を導出する。このような係数行列生成部(Matrix Assembling)は連立一次方程式求解部と比較してアプリケーションに依存する部分も多く、計算プロセ スの最適化に関する研究は、これまであまり行われて来なかったのが現状である。一般に、係数行 列生成のコストは連立一次方程式求解よりは少ないものの、例えば非線形計算の場合には係数行 列を反復のたびに計算し直す必要があり、できるだけ効率を高める工夫が必要である。

[発表 3]では、並列有限要素法による三次元弾性静解析アプリケーションに基づく性能評価用べ ンチマーク GeoFEM/Cube[引用 4]において、OpenMP によってマルチスレッド並列化された係数 行列生成部に関する 3 種類の実装によるプログラムを Fujitsu SPARC64 IXfx(FX10), Intel Xeon Phi 5110P (MIC), Intel Xeon E5-2680 v2 (IvyB)の3種類の環境を使って評価し、プロファイラを使 用して性能の解析を実施した。オリジナル実装は複雑な処理を 1 つのループで処理していたが,こ れを 3 つに分割した Type-A の実装は、要素行列生成以外のループをライブラリ化することが可能 であり、アプリケーション開発者にとって最も負担が少ないアプローチである。Type-A は MIC, IvyB で高い性能を示し、オリジナル実装と比較してそれぞれ 35%,60%程度の性能向上が得られた(図 4)。IvyB の実行結果を Intel VTune によって分析した結果,総命令数がオリジナル実装の 60%程 度に低下していることと関連することがわかった。逆に FX10 では総命令数が 20%程度増加し,計 算時間も 10%~15%程度増加している。しかしながら要素ブロックサイズを 20 とした場合には計算 時間増加を 8%程度に抑制することができ、命令数もわずかながら減少している。これら、Type-A に おけるアーキテクチャによる総命令数、性能の傾向の差異の原因については今後更に詳細に検討 をしていく必要がある。MIC, IvyB において Type-A による性能の向上が顕著であった点について は、複雑な処理を多数含むループをやや単純な構造を持つ3つの小ループに分割した効果もある と考えられる。

MIC, IvyB では A-001, A-002 等, ブロックサイズが少ない場合に最適値を達成し, ブロックサイズの増加によって性能が低下する。FX10 の場合もブロックサイズが 50 を超えた場合の性能低下は顕著であるが, 最適値が A-020 で得られているように, MIC, IvyB とは挙動が異なっている。Type-Aは, 疎行列の処理に関して適切なライブラリ化が実施されれば, アプリケーション開発者の負担が最も少ない実装である。本研究において, 少なくとも MIC, IvyB については Type-A が適していることが示された。FX10 については, 他と比較してやや性能が劣るものの, 要素ブロックサイズが適切な値となるように制御すれば, 性能向上が期待できる。

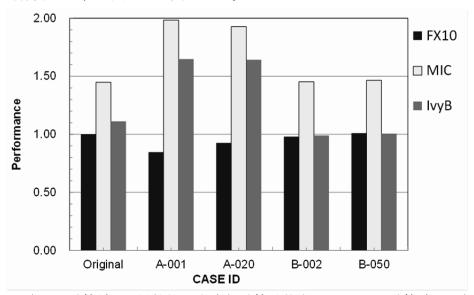


図 4 GeoFEM/Cube 計算結果,係数行列生成部計算性能(FX10, Org.の計算時間で無次元化) (2,048,383 要素, 2,097,152 節点),計算機環境,実装方法,要素ブロックサイズの効果

#### 3 HPC 教育

#### 3.1 並列計算プログラミング・先端計算機演習(理学系研究科)

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」[特記 1]の一環として,大学院理学系研究科地球惑星科学専攻で「並列計算プログラミング・先端計算機演習」を実施した[特記 2]。2014年度夏季集中講義として,2014年8月~9月に13回の講義と演習を実施した。本講義・演習は,21世紀COEプログラム「多圏地球システムの進化と変動の予測可能性(観測地球科学と計算地球科学の融合拠点の形成)」(2003年度~2007年度)において2004年度より開講されたもので,2008年度からは「理学系研究科大学院教育高度化プログラム」に認定され,夏季集中講義として開講された。

本講義・演習は、科学技術計算プログラミングに必須の項目である「SMASH (Science-Modeling-Algorithm-Software-Hardware)」を、できるだけ幅広くカバーし、広い視野を持った人材を育成することを最終的な目標とし、特に、MPI (Message Passing Interface)を使って、差分法、有限要素法、境界要素法等によるアプリケーションを並列化する能力を身につける、ことを重視している。2014年度は2012年度に作成した有限要素法をターゲットとした教材を使用し、Fortran及び C 言語向けの両方の教材を準備した。これまでは MPI、OpenMP を別々に教えていたが、2014年度は OpenMP/MPI ハイブリッド並列プログラミングモデルに関する内容を新たに附加した。プログラミング能力を高めるためには実習が必須である。本講義・演習では Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX)を使用したプログラミング実習を実施した。2014年度は合計 41名の受講者があった。2015年度も引き続き8月から9月にかけて集中講義を実施予定である。

# 3.2 科学技術計算 I・Ⅱ /コンピュータ科学特別講義 I・Ⅱ(科学技術計算プログラミング(有限要素法))(大学院情報理工学系研究科)

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」の一環として、大学院情報理工学系研究科において「科学技術計算 I・II:科学技術計算プログラミング(有限要素法)(数理情報学専攻)」、「コンピュータ科学特別講義 I・II(コンピュータ科学専攻)」を 2014 年夏・冬学期に実施した[特記 3, 4]。偏微分方程式の数値解法として、様々な科学技術分野のシミュレーションに使用されている有限要素法について、背景となる基礎的な理論から、実用的なプログラムの作成法まで、連立一次方程式解法などの周辺技術も含めて講義を実施し、情報基盤センター教育用計算機システム(ECCS2012)を使用したプログラミングの実習を行なった。題材としては一次元及び三次元弾性静力学を扱った(夏学期: I)。更に、冬学期(II)では、並列計算プログラミングのためのデータ構造の考え方、並列アルゴリズム、並列プログラムの作成法に関する講義、Fujitsu PRIMEHPC FX10(Oakleaf-FX)実習を実施した。2014 年度は夏学期 39 名と冬学期 14 名の受講者があった。2015 年度も引き続き開講の予定である。

#### 3.3 数值解析(工学部計数工学科)

「学際計算科学・工学人材育成プログラム」の一環として、工学部応用物理系学科(物理工学科、計数工学科)の学部 2 年生を対象とした「数値解析」講義のうち 7 回を 2014 年冬学期に担当した

[特記 5]。担当項目は、スーパーコンピューティング入門、線形方程式解法(直接法、反復法)、固有値解法、偏微分方程式数値解法である。講義の他、情報基盤センターにおいて教育用計算機システム(ECCS2012)を使用した C 言語プログラミング速習講義・演習を併せて実施した。 2014 年度は合計 128 名の受講者があった。 2015 年度も引き続き担当の予定である。

#### 4 成果要覧

#### 受賞

[受賞 1] Nakajima, K., Optimization of Serial and Parallel Communications for Parallel Geometric Multigrid Method, Proceedings of the 20<sup>th</sup> IEEE International Conference for Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2014) 25-32, Hsin-Chu, Taiwan, 2014, Best Paper Award

#### 招待講演

- [招待 1]中島研吾, エクサスケール時代のシミュレーションと可視化, 日本計算工学会第7回 S&V (Simulation & Visualization)研究会「可視化:私はここに着目する」, 東京大学(本郷), 2014.4.9
- [招待 2]中島研吾,ポストペタスケール時代のシミュレーションと大規模並列可視化, CMSI 若手技術交流会, 理化学研究所計算科学研究機構(神戸), 2014.7.8
- [招待 3] Nakajima, K., Challenges towards Post-Peta/Exascale Computing -Information Technology Center, The University of Tokyo-, 53rd IDC (International Data Corporation) HPC User Forum, RIKEN AICS (Kobe), 2014.07.16
- [招待 4] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), IMI (Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University) Workshop on Optimization in the Real World, 2014.10.14
- [招待 5]中島研吾,並列前処理付き反復法,日本応用数理学会「応用数理セミナー」,早稲田大学 (東京),2014.12.26

#### 査読付論文リスト

- [查読付 1] Nakajima, K., Satoh, M., Furumura, T., Okuda, H., Iwashita, T., Sakaguchi, H., and Katagiri, T., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), Proceedings of PASC 14 (The Platform for Advanced Scientific Computing), Zurich, Switzerland, 2014
- [查読付 2] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Iterative Solvers Based on BI-LUT(p,d,t), HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC'14), Leipzig, Germany, 2014

- [查読付 3] Nakajima, K., Optimization of Serial and Parallel Communications for Parallel Geometric Multigrid Method, Proceedings of the 20<sup>th</sup> IEEE International Conference for Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2014) 25-32, Hsin-Chu, Taiwan, 2014, Best Paper Award
- [查読付 4] Nakajima, K., Sparse linear solver based on extended ELL storage format of coefficient matrix for manycore architectures, HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference (ISC'15), Frankfurt, Germany, 2015 (accepted)

#### その他発表論文リスト

- [発表 1] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods for Iterative Solvers based on BILUT(p,d,t), 11th International Meeting High Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014) Poster Session, Eugene, OR, USA, 2014.7.1
- [発表 2] 中島研吾,並列多重格子法における通信削減(最適化)について,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),2014年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ(SWoPP新潟 2014),2014.7.28
- [発表 3] 中島研吾, 大島聡史, 塙敏博, 有限要素法係数行列生成プロセスのマルチコア・メニィコア環境における最適化, 情報処理学会研究報告(HPC-146-22), 2014.10.3
- [発表 4] Nakajima, K., Satoh, M., Furumura, T., Okuda, H., Iwashita, T., Sakaguchi, H., and Katagiri, T., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications with Automatic Tuning (AT), ATIP Workshop on Japanese Research Toward Next-Generation Extreme Computing in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014.11.17
- [発表 5] Kengo Nakajima, ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-Scale Scientific Applications on Post- Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software (ISP2S2), Kobe, 2014.12.3
- [発表 6] 中島研吾, 拡張型 Sliced-ELL 行列格納手法に基づくメニィコア向け疎行列ソルバー, 情報 処理学会研究報告(HPC-147-3), 2014.12.9
- [発表 7] Nakajima, K., Parallel Preconditioning Methods on Intel Xeon/Phi, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing (ATAT2015), National Taiwan University, 2015.2.28
- [発表 8] Nakajima, K., pK-Open-HPC: A Framework for Development of Parallel FEM/FVM Applications on Manycore Architectures, MS17: Parallel Programming Models, Algorithms and Frameworks for Extreme Computing Part I of III, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15), Salt Lake City, USA, 2015.3.14

[発表 9] Nakajima, K., ppOpen-HPC: Open Source Infrastructure for Development and Execution of Large-scale Scientific Applications on Post-Peta-Scale Supercomputers with Automatic Tuning (AT), International Workshop: Sparse Solvers for Exascale: From Building Blocks to Applications, Greifswald, Germany, 2015.3.25

#### 特記事項

- [特記 1]学際計算科学・工学人材育成プログラム, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/CSEedu/
- [特記 2] 並列計算プログラミング, 先端計算機演習, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14e/
- [特記 3] 科学技術計算 I·Ⅱ, 東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14w/
- [特記 4] コンピュータ科学特別講義 I・II, 東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14s/, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14w/
- [特記 5] 数值解析, 東京大学工学部計数工学科, http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14n/
- [特記6]日本計算工学会理事,学会誌編集委員長
- [特記 7] General Council Member, IACM (International Association for Computational Mechanics)
- [特記 8] Member of Program Committee, The 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2014), Phoenix, AZ, USA, 2014
- [特記 9] Member of Program Committee, 14th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid 2014), Chicago, IL, USA, 2014
- [特記 10] Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2014), Cairns, Australia, 2014
- [特記 11] Co-Chair, Program Committee, Fourth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES), Cairns, Australia, 2014
- [特記 12] Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC'14), Leipzig, Germany, 2014
- [特記 13] Chair, Scientific Committee, 11th International Meeting on High-Performance Computing for Computational Science (VECPAR 2014), Eugene, OR, USA, 2014
- [特記 14] Member of International Scientific Committee, 11th World Congress of Computational Mechanics (WCCM 2014), Barcelona, Spain, 2014

- [特記 15] Member of Program Committee, 16<sup>th</sup> IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2014), Paris, France, 2014
- [特記 16] Member of Program Committee, Euro MPI/Asia 2014, Kyoto, Japan, 2014
- [特記 17] Member of Program Committee, 2nd Workshop on Sustainable Software for Science: Practice and Experiences (WSSSPE2), in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014
- [特記 18] Member of 2014 IEEE Computer Society Sidney Fernbach Award Subcommittee, in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014
- [特記 19] Member of 2014 IEEE Computer Society Seymour Cray Award Subcommittee, in conjunction with SC14, New Orleans, LA, USA, 2014
- [特記 20] Co-Chair of Organizing Committee, JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software (ISP2S2), Kobe, Japan, 2014
- [特記 21] Member of Program Committee, The 20th International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS'14), Hsinchu, Taiwan, 2014
- [特記 22] Co-organizer of Mini-Symposium, 2015 SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15): Parallel Methods and Algorithms for Extreme Computing Part I-III, Salt Lake City, UT, USA, 2015
- [特記 23] Member of Scientific Committee, Area Co-Chair of Computer Science & Mathematics, Platform for Advanced Scientific Computing Conference (PASC 15), Zurich, Switzerland, 2015
- [特記 24] Member of Program Committee, International Conference on Computational Science (ICCS 2015), Reykjavík, Iceland, 2015
- [特記 25] Member of Program Committee, Fifth International Workshop on Advances in High-Performance Computational Earth Sciences: Applications and Frameworks (IHPCES), Reykjavík, Iceland, 2015
- [特記 26] Member of Research Paper & Poster Committee, International Supercomputing Conference (ISC'15), Frankfurt, Germany, 2015
- [特記 27] Member of Program Committee, 17<sup>th</sup> IEEE International Conference on High-Performance Computing and Communications (HPCC 2015), New York, NY, USA, 2015
- [特記 28] Member of Program Committee, IEEE Cluster 2015, Chicago, IL, USA, 2015
- [特記 29] Member of Program Committee, The 22nd European MPI Users' Group Meeting (Euro MPI 2015), Bordeaux, France, 2015
- [特記 30] Member of Technical Papers Committee, 2015 IEEE International conference on high performance computing, networking, storage, and analysis (SC15), Austin, TX, 2015.

[特記 31] Member of Program Committee, The 21st International Conference on Parallel and Distributed System (ICPADS'15), Melbourne, Australia, 2015

#### 引用文献

- [引用 1] Nakajima, K., New Strategy for Coarse Grid Solvers in Parallel Multigrid Methods using OpenMP/MPI Hybrid Programming Models, ACM Proceedings of PPoPP/PMAM 2012, New Orleans, LA, USA, ACM Digital Library (DOI: 10.1145/2141702.2141713), 2012
- [引用 2] Nakajima, K., OpenMP/MPI Hybrid Parallel Multigrid Method on Fujitsu FX10 Supercomputer System, IEEE Proceedings of 2012 International Conference on Cluster Computing Workshops, 199-206, IEEE Digital Library: 10.1109/ClusterW.2012.35, 2012
- [引用 3] Monakov, A., A. Lokhmotov, and A. Avetisyan, Automatically tuning sparse matrix-vector multiplication for GPU architectures, Lecture Notes in Computer Science 5952 (2010) 112-125
- [引用 4] 中島研吾, 片桐孝洋, マルチコアプロセッサにおけるリオーダリング付き非構造格子向け前処理付反復法の性能, 情報処理学会研究報告(HPC-120-6) (2009)

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

田浦 健次朗

#### 1 概要

大規模並列計算機上で、高生産性と高性能を両立するためのプログラミング環境を目指して、図1のロードマップで研究を進めている。並列プログラミングにおいて高生産性と高性能を両立させることは困難な課題であるが、我々はそのための鍵は「階層的な並列アルゴリズム」を簡潔に記述し、効率よく実行できるプログラミングモデルを設計・実現することであると考えている。そもそも現在及び今後の計算機では、ノード間でもノード内でも、逐次アルゴリズムであっても並列アルゴリズムであっても、参照の局所性を活かすことが性能のために最重要で、そのために計算を階層的に分割して行くアルゴリズムがしばしば用いられる。現在支配的な、MPI、MPI+OpenMP、MPI+CUDA などのモデルでは、このような階層性を活かすためのプログラミングは煩雑になりがちである。

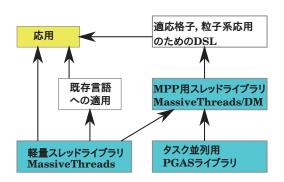


図 1: 高生産・高性能言語ロードマップ

一方,**タスク並列性**をサポートするプログラミングモデルではそのようなアルゴリズムは再帰的な関数で記述された分割統治法により簡潔に記述できる.ワークスティーリングに基づいたスケジューラがそれらを,計算の粒度を大きく保ったまま自動的に負荷分散する.我々はそれを大域アドレス空間 (PGAS) と組み合わせて,分散メモリ計算機でも共有メモリ環境と同様の記述で実行できることを目指している.

本年度行った研究の成果は以下のとおりである.

MPP 用タスク並列システムのスケーラブルな実装方法: 我々は、C や C++言語で書かれた native スレッドを、分散メモリ MPP 上でノードをまたがって負荷分散 (マイグレーション) できるライブラリ Massive Threads/DM を設計、実装している. Native なスレッドをノードをまたがってマイグレートする際に、ポインタの修正が必要のない、スケーラブルな方式として、Uni-address 方式を提案した [査読付 1]. 2 節でより詳しく述べる.

**タスク並列プログラム性能可視化・分析ツール DAGViz:** タスク並列モデルは、任意の場所でタスクを生成でき、 そのようにして作られた多数のタスクを、処理系が依存関係にしたがって動的にスケジューリングする並列 プログラミングモデルである。高い負荷分散性能と生産性を達成できる一方で、性能に大きな影響を与える、 タスクの CPU へのマッピングが処理系内にブラックボックス化されており、ユーザにとって性能理解がし にくいという問題がある。本研究ではこの問題の解決策のひとつとして、タスク並列プログラムの詳細な性 能解析を行えるツール DAG Recorder [発表 5] とその可視化ツール DAGViz を設計・実装した. このツールは, タスク並列プログラムの性能デバッグを行いたいユーザや, タスク並列処理系の実装者に有用なツールとなることを目指している. 3 節でより詳しく述べる.

- 推薦システムのための Matrix Factorization のスケーラブルな並列化:協調フィルタリングに基づく推薦システムでは、ユーザが商品に明示的に与えた評価を元に、明示的に与えられていない評価値を推定する。そのために、与えられた評価行列 (ユーザを行、商品を列とした評価値の行列) を、低次元の行列の積として近似する、matrix factorizationの問題を解く.この研究では、これを並列化するのにタスクを用いた並列化が有効であることを示し、既存研究を上回る性能を達成した。タスク並列を用いて、衝突のない行列の更新が排他制御無く行え、アクセスの局所性も向上することを示した [査読付 3].
- 集合の共通部分を求めるアルゴリズムの SIMD 化された高速アルゴリズム:集合の共通部分を求める操作は、データベースの結合演算でも用いられる基本的な操作である.基本的なアルゴリズムとして、両者を整列しておき、マージソートにおけるマージの要領で共通部分を見つけるアルゴリズムがある.このアルゴリズムの性能は、両者から取り出した要素を不等号で比較する際の分岐予測ミスによって律速される.本研究ではこの比較を、より分岐予測が当たりやすい等号比較で置き換え、なおかつそれを SIMD 化することで、C++の std::set\_intersection の実装に比べ、5倍以上の高速化を達成した[査読付2].
- タスク並列プログラムの自動カットオフおよびベクトル化: タスク並列性を用いると再帰的にタスクを生成するプログラムを自然に並列化できる. 特に, 分割統治法を用いたアルゴリズム, 木構造を用いたアルゴリズム, 多重ループを再帰的にブロッキングするアルゴリズムなどを自然に記述できる. 一方自然に記述された分割統治法やタスク並列プログラムでは, 再帰呼出しの末端付近で非常に粒度の小さいタスクが多数作られ, タスクのオーバーヘッドが大きくなる, コンパイラによる最適化を妨げる, などの問題点がある. 総じてタスク並列プログラムで高い絶対性能を得るためには, 再帰呼出しの末端付近でタスクを手動で逐次化 (カットオフ) し, 場合により SIMD 化のためのコーディングを別途行わなくてはならないのが現状である. 本研究はそれらの処理を言語処理系で自動化し, 自然なタスク並列プログラムから高い絶対性能を得ることに成功した [発表 2, 発表 4].

以下ではこのうち最初の二つの項目について詳述する.

#### 2 MPP 用タスク並列システムのスケーラブルな実装方法

#### 2.1 背景

現在主流の並列プログラミングモデルである MPI では、プログラマは各プロセッサで行う処理と、プロセッサ間の協調動作(通信や同期など)をプロセッサ中心の視点で記述する。このようなプログラミングモデルにおいては、データと計算のプロセッサへの割り当てを手動で最適化して、並列計算機の性能を最大限まで引き出すことができる一方で、それらに伴って発生する協調処理をすべてプログラマが記述しなくてはならず、プログラムの生産性が低いという問題点が存在する。特に、非均質な計算で負荷を容易に均等化できないような計算でこの傾向が顕著である(高速多重極展開法、適応格子法など)。また、ノード内の並列度の増加に伴って、1コアに1ランクを割り当てるようないわゆるフラット MPI モデルは、大規模化が困難となっていく。そのためノード内は1プロセスでメモリを共有した OpenMP で記述しなくてはならず、ノード間とノード内の並列化を別々のモデルで記述しなくてはならないなど、並列プログラミングに要求されるエフォートがますます大きくなっている。

我々の研究グループにおいては、分散並列計算機用のタスク並列プログラミングの研究を進めている。タスク並列プログラミングは機能面で言えば動的に作られたタスクの動的負荷分散をサポートするプログラミングモデルである。プログラマは、実行中任意の時点でタスクを生成することができる。並列化は多くの場合、計算全体を再帰的に分割しながらタスクを生成するような形で記述される。処理系による負荷分散は、そのようにして生成されるタスクの入れ子を、なるべく木の根本に近いところで負荷分散することにより、タスク移動のオーバーヘッドや、逐次と比べた際の余分な通信が発生しないことを目指して行われる。

我々は MPP 環境でタスク並列を実現する処理系として、MassiveThreads/DM を開発している. これは、共有メモリ環境でのタスク並列処理系 MassiveThreads [6] を元に、分散メモリ計算機用に拡張されたもので、以下の特徴を持っている.

- C/C++言語からライブラリとして利用可能(C/C++で記述したタスクが,ノード間を移動可能),
- 類似の処理系に見られる, Bag of Tasks に限定されたプログラミングモデルではなく, OpenMP の task プラグマ, Intel TBB の task\_group, Cilk の spawn/sync などが実現可能な, fork-join モデルに基づく,

両者を実現するためには C 言語でコンパイルされたスレッドをノード間で負荷分散のために移送 (migrate) させる必要がある. しかし単純にそのスタックをノード間でコピーするだけでは, スタック内のポインタ参照の妥当性が保てなくなる. 移動元と移動先でスタックが置かれるアドレスが異なりうるためである. これを解決する一つの方向性として, ノード間でスレッドが移動する際にそのようなスタック内ポインタを修正する方法が考えられるが, 特別な言語処理系が必要になるし, C/C++言語のような, 型安全でなく, 曖昧なポインタの存在を許す言語では本質的な困難もある.

もうひとつの方向性は、スタックをノード間で移動する際、移動元と移動先でそのアドレスが同じであることを保証する、という方向性である (iso-address 方式). この方式は特別なコンパイラの協調なしに C/C++言語のスレッドを移動できるという利点がある一方で、あるスレッドのスタックがおかれた論理アドレスを、そのスレッドのために全てのコアで予約しなくてはいけないという制限がある. <sup>1</sup> 言い換えれば、システム全体で同時に生きている可能性のあるスレッド数分のスタック領域を、各コアが予約しなくてはいけないということである. 現在最大のシステムは数百万に達するコア数を持っており、そのような環境で iso-address 方式を適用すると、仮想アドレス空間が枯渇する可能性がある。のみならず、スレッドのスタックが割り当てられ得る論理アドレスの範囲は広大になりうるため、RDMA を用いた片方向のスレッド移送は実現困難である. RDMA を用いるには対象領域を物理メモリに割り当てる(ピン留めする)必要が有り、その領域の大きさは最大でも物理メモリ量に制限されるからである.

#### 2.2 具体的成果

我々はこれらの問題を克服する方式として uni-address 方式を提案した [査読付 1]. またこの方式では、RDMA を 用いた片方向通信でスレッドの移送を行うことが出来、移動元の CPU の協調なしにスレッド移送を実現できる. Uni-address 方式では、iso-address 同様、スレッドのスタックが移動元と移動先で同じアドレスを占めるように スレッドの移送を行う. iso-address と異なるのは、実際にスレッドが実行中の間のみ、それを保証することである. スレッドが実行中でない場合、そのスタックは、RDMA 用にピン留めされた任意の領域に配置可能である. 性 能上問題があるが単純な方式として以下が考えられる.

- 1. **すべての**スレッドのスタックは、ある決まったアドレス A に割り当てられる.
- 2. スレッドが切り替わる際, それまで実行中だった (したがって A を占めていた) スレッドのスタックを, RDMA 可能な適当な空き領域にコピーし, 新たに実行するスレッドのスタックを A にコピーする.

スレッドが切り替わるたびにスタックのコピーを行うのは性能上のロスが大きく,また必要でもない.これを 克服する基本アイデアは,各スレッドのスタックは生成時に任意のアドレスに割り当ててよく,それ以降移送し た際に一貫してそのアドレスを用いれば良いということである.実際に用いているアルゴリズムは以下のとおり である.

- 1. スレッドのスタックを割り当てる連続領域 (uni-address 領域) を用意する. そのアドレスは全ノード, 全コアで共通にする.  $^2$
- 2. Uni-address 領域は端から使われる. スレッドが割り当てられる際, 空き領域の端からスタックが割り当てられる。

<sup>1</sup>そのスレッドを実行する可能性のあるすべてのコアが、そのスタック用のアドレスを予約しなくてはならない.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>全コアで共通にするために1コアにつき1つのプロセスを生成している.

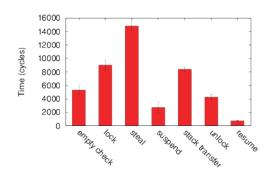


図 2: ワークスチール時間の内訳

- 3. スレッドが実行を中断する際、そのスタックを uni-address 領域から、RDMA 可能な適当な空きアドレスに 退避する.
- 4. スレッドの移送は、実行可能なスレッドがなくなった、したがって uni-address 領域が空であるような CPU コアのみが発動する、したがって、どのようなスレッドもその CPU コアへ移送して実行可能である.

この方式では、スレッドの生成や終了時には、uni-address 方式に起因するオーバーヘッドはほとんど無く、むしろスタックの割り当てが単純化される分、スレッドの生成オーバーヘッドは減少する。そして、RDMA を用いた片道通信によるスレッドの移送を可能にする。

本方式を本センター FX10 システム上及び Infiniband を用いた x86-64 クラスタ上で実装した.

図 2 は FX10 上で, スレッドを移送するのにかかる時間 (単位: クロック数) を示したものである. 合計で 50K クロック程度, 実時間にして  $25\mu$  秒程度の遅延を達成している.

スケーラビリティを評価するためのベンチマークとして以下を用いた.

再帰**タスク生成:** 指定した再帰レベルまで,各タスクが二つの子タスクを再帰的に,1 度または2 度生成する.1 度の場合,タスクは純粋な2分木状に作られ,深さdの場合タスク数は $2^d$ ,平均並列度は $\Theta(2^d/d)$ である.2 度の場合,1 タスクは都合4つの子タスクを作ることになり,タスク数は $4^d$ ,平均並列度は $\Theta(2^d)$ である.

Unbalanced Tree Search: 乱数を用いて不規則な状態空間を再帰的に探索するベンチマークである. このベンチマークは、負荷分散性能の評価を目的として作られたもので、近年、タスク並列処理系の評価に広く用いられている.

**N クイーン問題:** N クイーン問題を解くベンチマークプログラムであり, BOTS ベンチマークスイートから MassiveThreads/DM 上に移植した. このベンチマークもタスク並列処理系の評価に広く用いられているものである.

各ベンチマークの評価結果を図3に示す.4000コア程度までの良好な台数効果を確認することが出来た.

#### 3 タスク並列プログラム性能可視化・分析ツール DAGViz

#### 3.1 背景

**タスク並列**プログラミングモデルでは、プログラマは並列性の抽出をタスク生成という形で行い、処理系はそれをプロセッサにマッピング(負荷分散)する.これはプログラマの負担を小さくし、負荷が簡単に等分できな不規則な問題に対しても、容易に台数効果が得られるという利点がある.

一方で処理系が負荷分散を決めるため、性能が実行時処理系に依存する割合が大きくなる上、それがプログラマからは理解しづらいという課題もある。例えば以下のような要因で、同じアプリケーションの性能が、処理系やスケジューリングアルゴリズムに依存する。

• タスク生成、タスクの移動、同期などの操作にかかるコストが処理系の品質に依存する.

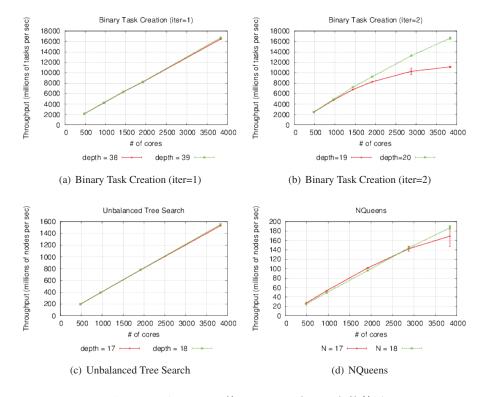


図 3: ベンチマークの約 4000 コアまでの台数効果

• タスクの移動に伴ってキャッシュミスの増加し、その度合いも負荷分散アルゴリズムに依存する.

タスク並列プログラムにおいては、プログラマが記述しているのは論理的なタスクであり、それがどうコア上にマップされたかはスケジューラに依存する。そのためタスク並列プログラムの性能をプログラマに正確に提示するには、逐次プログラムで一般的なホットスポットの提示や、マルチスレッドプログラムで一般的な各コアの状態(アイドル・ビジーなど)の表示だけでは不十分である。論理的な並列度がアプリケーションにどれだけ内在しているか、スケジューラがその論理的な並列度を十分素早くスケジューリングしたか、各論理タスクがどのコア上で実行され、それによって各論理タスクの実行時間がキャッシュミス増加等、影響を受けたかなど「タスク視点」でのプロファイリングが必要である。

#### 3.2 内容

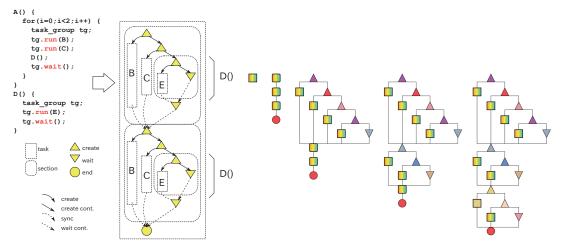
そこで我々はプログラマに見える論理タスクの視点でプログラムを追跡し、それを有向グラフの形で保存するトレーサ DAG Recorder、そのトレースを分析・可視化するツール DAGViz を提案・実装した.

例えば図 4(a) のプログラムを実行すると、同図右のような有向グラフが得られる. グラフの各ノードは、タスク並列関係のプリミティブを含まない、アプリケーションコード(仕事)のみの実行を表しており、タスク生成によってそれが分岐し、同期によって合流する.

#### 3.3 具体的成果

DAG Recorder を、各種のタスク並列処理系に適用できるよう、移植性の高い方式で実装し、OpenMP, Intel Threading Building Block, Cilk, Intel CilkPlus, MassiveThreads, Qthreads, Nanos++用に実装した。そして、DAG Recorder のトレースを可視化するツール DAGViz を実装した.

DAGViz は、DAG Recorder が記録した DAG を、様々な詳細度で表示することができる (図 4(b)). 詳細度 0 はプログラムの DAG 全体を一つのノードに縮約して表示、詳細度 1 はその直下のタスクだけを表示、... というように、任意の深さまでのノードを表示できる. DAG Recorder のファイル形式も、全体の概要表示のためにはデータの一部だけをアクセスすれば良いように設計されているため、大きな DAG でも高速に表示することが可能である. 図 4 は sort プログラムの DAG を深さ 6 まで展開して表示したものである.



- (a) タスク並列プログラムの DAG の例
- (b) Sort プログラムの DAG. DAgViz による様々な詳細度での表示

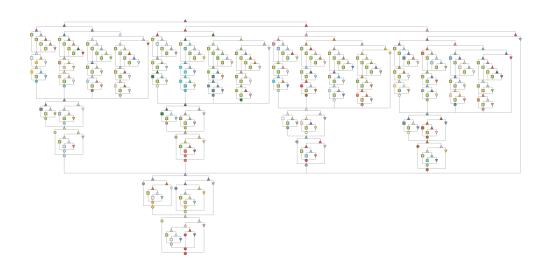


図 4: Sort の DAG の DAGViz による表示 (深さ 6 まで展開; 最大の深さ =66)

ノードの色で実行した CPU を表示したり, ノードをクリックすることで開始時刻, 終了時刻, 開始終了のソース位置などを取得することができる.

これまでに、DAGViz を用いることで、いくつかのタスク並列プログラムの台数効果が低い原因、タスク並列処理系間の性能差の原因が明らかになっている。図 5 は Barcelona OpenMP Task Suite の 10 種のベンチマークを Intel OpenMP, Intel Threading Building Block, Massive Threads, Qthreads の 5 つの処理系で、AMD Opteron 6380 (Piledriver 8 モジュール × 4 ソケット) の 32 モジュールを用いて得られた台数効果の効率である。例えば効率 = 1 は 32 倍の台数効果、効率 = 0.5 は 16 倍の台数効果を意味する.

例えば sort の台数効果が処理系によらず乏しい原因や, sparselu (Sparse LU; 疎行列の LU 分解) の CilkPlus の 台数効果が他の処理系と比べて著しく悪い原因などが DAGViz を用いることで明らかになった.

図 6(a) は Sparse LU の DAG の先頭部分を示しており、これは Sparse LU が多数のタスクを逐次ループで生成し、個々のタスクはそれ以上タスクを生まないことを示している。個々のタスクの実行時間は比較的短いため、このプログラムの実行時間を支配いるのは、クリティカルパスとなっているその逐次ループが前進する速度である。 CilkPlus が遅い理由はその逐次ループが前進する速度が遅いためであると推論できる。 そして図 6(b) は、その実行の様子が Intel Threading Building Block と CilkPlus でどう違うかを示している。 Intel Threading Building Block は、タスク生成時に help first というスケジューリング方針で、子タスクをキューに入れ、親タスクが同じコア上でそのまま実行を進める。 そのため、峰上のノードはすべて同じワーカで実行されている (同じ色で塗られ

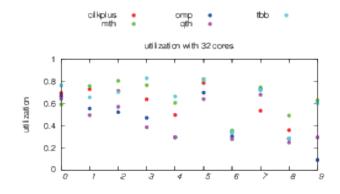
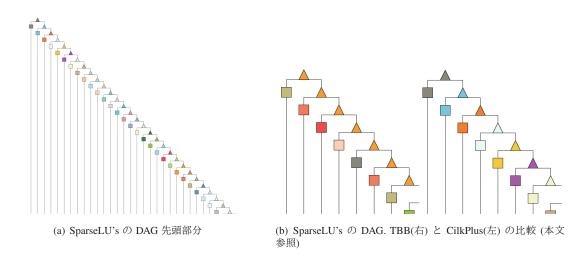


図 5: BOTS プログラムの 32 コアにおける台数効果 (効率).



ている). それに対し CilkPlus は, work first (child first) というスケジューリング方針で, 子タスクを同じコア上で実行し, その間に親タスクがアイドルなワーカに盗まれると実際の並列度が生まれるという方針である. そのため, 峰上の隣接ノードはほとんどが異なるワーカで実行されており, 結果的に一つ前進するのにワークスチーリング相当の時間がかかる. CilkPlus はワークスチーリングに多くの時間がかかることが, 実装方式やベンチマークから別途確認されており, それが Sparse LU の実行時間に影響を与えていることが確認できた.

#### 4 基盤センター業務関連活動

- 例年通り、スーパーコンピューティング部門の一員として、Oakleaf FX 運用に関わる業務活動への参加
- PostT2K の仕様策定, それに関わるベンダ打ち合わせなどへの参加
- 特にファイルシステム周辺の仕様策定にあたり、ベンダとの打ち合わせなどを行った

#### 5 成果要覧

#### 查読付論文

- [查読付 1] Shigeki Akiyama and Kenjiro Taura. Uni-address threads: Scalable thread management for RDMA-based work stealing. In *Proceedings of the 24th International Symposium on High-performance Parallel and Distributed Computing*, HPDC '15, New York, NY, USA, 2015. ACM. (to appear).
- [査読付 2] Kenjiro Taura Yusuke Nishioka. Scalable task-parallel sgd on matrix factorization in multicore architectures. In *The 4th International Workshop on Parallel and Distributed Computingfor Large Scale Machine Learning and Big Data Analytics*, New York, NY, USA, 2015. ACM. (to appear).

- [査読付 3] Hiroshi Inoue, Moriyoshi Ohara, and Kenjiro Taura. Faster set intersection with simd instructions by reducing branch mispredictions. *Proc. VLDB Endow.*, 8(3):293–304, November 2014.
- [查読付 4] Ting Chen and Kenjiro Taura. ParaLite: A parallel database system for data-intensive workflows. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, E97-D(5):1211–1224, 2014.
- [查読付 5] Jun Nakashima and Kenjiro Taura. MassiveThreads: A Thread Library for High Productivity Languages. In Festschrift of Symposium on Concurrent Objects and Beyond: From Theory to High-Performance Computing, Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014.
- [査読付 6] Miquel Pericas, Kenjiro Taura, and Satoshi Matsuoka. Scalable analysis of multicore data reuse and sharing. In *Proceedings of the 28th ACM International Conference on Supercomputing*, ICS '14, pages 353–362, New York, NY, USA, 2014. ACM.

#### 公開ソフトウエア

- [公開 1] GXP grid & cluster shell. http://www.logos.ic.i.u-tokyo.ac.jp/gxp/.
- [公開 2] MassiveThreads: a lightweight thread library for high productivity languages. http://code.google.com/p/massivethreads/.

#### その他の発表論文

- [発表 1] Yusuke Nishioka and Kenjiro Taura. Scalable task-parallel sgd on matrix factorization in multicore architectures. Oral Presentation at Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2015), 2014.
- [発表 2] Shintaro Iwasaki and Kenjiro Taura. Simd-aware static task cutoff system. Poster Presentation at Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2015), 2014.
- [発表 3] Kenjiro Taura, Shigeki Akiyama, and Jun Nakashima. A common runtime system in massively parallel environments. In *Proceedings of the 10th AEARU Workshop on Computer Science and Web Technology*, 2015.
- [発表 4] Kenjiro Taura, Shigeki Akiyama, and Jun Nakashima. Simd-aware static task cutoff system. In *Proceedings of the 10th AEARU Workshop on Computer Science and Web Technology*, 2015.
- [発表 5] Kenjiro Taura, Jun Nakashima, and Miquel Pericàs. Dag recorder: A task-centric tracing algorithm for task parallel applications. Presentation at Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI2015), 2014.
- [発表 6] 島津真人 and 田浦健次朗. Asdb: 任意のデータソースを検索可能にするデータベースシステム. In 研究 報告システムソフトウェアとオペレーティング・システム (*OS*), volume 2014-OS-130, 2014.

#### 特記事項

- [特記 1] プログラム委員 HPDC 2015
- [特記 2] プログラム委員 CLUSTER 2015
- [特記 3] プログラム委員 CCGrid 2015

# 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。2014年度は特に以下の研究を行った。

- 1. プログラムの性能改善のためのコンパイラ最適化の理論の研究。特に、GPU 等の自明でない性能モデルを持つものについての各要素に分解して解析したものを統合する手法について研究し、コストのブレークダウンが可能になる性能モデルを構築した。これにより、従来のハードウェアカウンター等を用いたスポットごとの性能解析とボトルネックの発見を効率的にできる方法論を展開することができるようになった。
- 2. 分散アプリケーションのモデル検証を可能にする Centralization の一般化の研究。さらに、ネットワークプログラムの検証を可能にするための Centralization を改良する研究を行った。
- 3. **クラウドを前提としたオンライントラストの研究**。内部統制をクラウドに及ぼすためのクラウドの解析を行った。さらに、PKI等内部統制のコストの解析を併せて行い、費用対効果について研究を重ねた。さらに、サービス提供側に対し、暗号、スクランブルを効果的に行い、内部統制をサービス側に展開することを試みた。
  - さらにサービスポリシーの検証を含むサービスアーキテクチャのプロトコルを提案した。
- 4. **認証フェデレーションにおけるプライバシーの研究**。認証フェデレーションの普及のために制度的な問題になる、プライバシー保護についてそれを技術的に担保するための研究開発を行った。具体的に、利用者が IdP に対してプライバシーを主張するための Proxy とその上で動作するプライバシー保護の可能なプロトコルの研究開発を行った。加えて、サービス提供

側の要請であるプライバシーを守りながら、利用者の同一性を保証するためのシステムの研究を行った。

5. オンライントラストの具体的な構築。世界的に構築が進むオンラインのトラストフレーム ワークを日本で運用管理するために、基準の策定、ドキュメンテーション、対外的な交渉に 関与した。結果は日本での学術認証フェデレーション「学認」のトラストフレームワーク構築 (Open Identity Exchange との共同作業、FICAM LoA 1 Assessor Credential の獲得) に反映された。

#### 2 プログラムの性能改善のためのコンパイラ最適化の理論の研究

#### 2.1 背景

コンパイラの研究の中心である最適化において、従来、研究の展開はアドホックなノウハウの蓄積によってなされてきた。しかし、副作用を許容する最適化、性能的にトレードオフを持つ最適化群の登場など、最適化が複雑・高度になった現在では、理論的基盤を持たなければ最適化適用の正しさの証明さえ危うくなってきている。事実 Gnu-C では、いまだに大量のバグレポートがなされている。

検証付きコンパイラ (Verifying Compiler) は、もともと Hoare の提唱したプログラムの正当性を併せて証明するコンパイラシステムとして 21 世紀の課題として提唱した概念である。本研究で目指すのは、コンパイラ最適化における上のような危機的状況に対応すべく最適化をその正しさの証明を込めて適用するコンパイラの構築であり、最適化検証つきコンパイラ (Optimization Verifying Compiler) と呼ぶべきものである。

従来の国内外における構成要素としての研究成果にはアセンブラの型付けによる動作正当性の証明 (Necula)、最適化の適用前後での意味保存の証明 (Necula)、最適化適用条件の時相論理等での形式化 (D Jones) を含む。さらに広義にはモデル検査の応用として動作正当性を証明することも含む。

現在、最適化検証付きコンパイラが検証することのひとつの柱は最適化適用の前後でプログラムの意味が保存されることである (Translation Validation)。証明を最適化の適用と同時に行うことを、アセンブラ言語に対する型理論として展開する。最適化適用はデータフロー解析を本質的に用いることから、データフロー理論を包含した型理論の構築につなげることができる。この最大の意義はデータフロー型の最適化の正当性を形式的に証明する体系を提示することである。また研究の基礎として、動作同一性証明に適したプログラム実行の適切な抽象化ができることになる。

また、最適化検証付きコンパイラはプログラム実行の抽象化を通して、最適化適用の最大の目的である性能向上の理論的解析のベースになる。現実的に妥当な数理的性能モデルを仮定すると、その中で適用最適化が「真に」最適なコードを出すかどうかの検証ができる。(従来の最適化は、もとのコードと比較して、性能が良くなるかもしれないということを定性的にしか示せなかった。自動チューニング (Atlas 他) は、没理論でノウハウを適用することを目指しているものである。また、アーキテクチャ研究ではエミュレータが実質的なモデルの役割を果してきた。しかし、アンローリングなどのパラメトリックな最適化を解析するには数理的なモデルが必須である。)性能モデルと、各種整数計画法の適用により、複数の最適化の組み合わせのどれが真に最適かを決定することができる。これはまさに性能面からみた検証であり、検証というプロセスが従来のアドホックな最適化研究に与えるインパクトの大きさを証明するものである。理論的な検証付きコンパイ

ラが具体的な性能モデルの概念と結合して具体的な性能保証をすることは、理論と実践の両面で の貢献が大きいものである。

#### 2.2 内容

目的としてあげたゴールに対して2014年度は具体的に以下のようにテーマを設定した。

- プログラムの性能改善のためのコンパイラ最適化の理論の研究。
- 分散アプリケーションのモデル検証を可能にする Centralization の一般化の研究。

#### 2.3 具体的成果

Java プログラムのプログラム解析、特にネットワークプログラムのモデルチェッキングの可能性を広げるための Centralization の改良を行った。具体的に、異なるバージョンのクライアント、サーバを同時に解析可能にするための名前コンフリクトの解決方法の研究をおこなった。[査読付 1, 査読付 10, 発表 2] で成果を発表した。この研究は当時大学院生であった馬雷との共同研究である。特に[査読付 10] において、プロダクトレベルのソフトウェアの検証の結果、バグを発見し、レポートを送付した。これは、構築した自動テスト系が十分実用的であることを証明することになった。

さらに GPU の性能モデルの構築の研究を行った。 GPU は、CPU とメモリとのインタラクションが外部から観測可能で、それをもとにした計算モデルが作りやすいことに注目し解析モデルを作成した。このモデルでは、GPU 内部の計算と GPU 内部の転送コスト、GPU とメモリ間の転送コストを分解することができた。

解析モデルは Linear Performance Breakdown Model として、一定の精度を持つことが実証できた。結果として、計算部分とメモリ転送部分の正確なコスト分解ができるようになり、依然としてメモリ転送が高速化のキーになるという当たり前の事実があらためてうきぼりになった。[査読付 4, 査読付 11] で成果を発表した。この研究は大学院生である当時大学院生であった Mario Chapa との共同研究である。

## 3 クラウドを前提としたオンライントラストの研究

#### 3.1 背景

クラウドは、もはやサービス・計算環境として無視できない勢力になったが、それを大規模に採用するには、全体的な躊躇が観察される。特に、セキュリティ上問題のあるデータを外に出すことに対しての抵抗感は強い。大手のクラウドベンダーにおいても SLA では可用性については意識しているが、セキュリティについての記述は少ない。セキュリティ上の問題を解決するために、重要なデータをプライベートクラウドに置く解も提案されているが、これはクラウドの利点であるコストの合理化に逆行する。

セキュリティの問題が生じる原因は、これまで整備されてきた Organizational Security や Internal Control といった、組織内を統制する概念が適用できないことにある。ISO 27000 シリーズが暗黙のうちに仮定している組織がクラウドではクラウドベンダーにおきかわり、しかも、その統制はSLA という従来よりずっとゆるい形でしか実現されない。

#### 3.2 内容

法政大、千葉工大と共同で科研費「基盤 (B): ハイブリッドクラウドにおける動的セキュリティ 検知・調停制御技術の研究開発及び構築」を得、以下の研究を行った。

われわれは、暗号化によって、データのプライバシーをクラウドにおいても担保することで、セキュリティの問題を解決することを試みた。具体的にクラウドのデータにスクランブルをかけ、鍵を自分のトラストの中で管理することで実現できることを示そうとした。

さらに、サービスポリシーを実行に反映できるアーキテクチャを実現するプロトコルを設計し、 プロトタイプを実装した。

#### 3.3 具体的成果

[査読付 7, 査読付 9, 査読付 12, 査読付 13, 発表 4, 発表 5, 発表 7] において、内部統制をクラウドに及ぼすための解析を行った。

さらに、ポリシーの陽な表現とその強制を表現できるサービスモデルを作成し、プロトタイプを作成してその有効性を検証した。結果として P3P によく似た、しかしポリシー一般に拡張したサービスモデルを作ることに成功した。この研究は [査読付 5, 発表 3, 発表 6] で発表している。

#### 4 認証フェデレーションにおけるプライバシーの研究

#### 4.1 背景

認証フェデレーションの普及のためには、今後プライバシー保護が制度的に大きな問題になることがわかっている。従来のようにプライバシーマーク等、社会制度による担保のみでなく、技術的に担保することが重要になる。一般的には、自分の身元を隠すための Proxy の設置が有効とされている。従来でも Tor 等、一部強力なプロトコルが提案されてきたが、運用が軽量であること、隠ぺいが必要な情報が実際に隠ぺいできること、その情報が必要なエンティティのみに正しく伝達できること等の保証をするためには、詳細な設計が必要になる。

#### 4.2 内容

国立情報学研究所、京都大学、野村総合研究所と共同で2012年度総務省委託研究「情報流通連携のためのオープンなID連携プラットフォームにおけるプライバシー保護機能の高度化の研究開発」のもと、認証フェデレーションで用いられるプロトコルにプライバシーを保護する機能を実装するための研究開発成果の発表を行った。

#### 4.3 具体的成果

以下のプロトコルの設計および実装を行い、成果発表を行った。

- 1. Privacy Enhancing Proxy の設計と実装 [査読付 2]
- 2. その他 [査読付3]

各所から問い合わせが来ている。

#### 5 オンライントラストの具体的な構築について

#### 5.1 背景

FICAMによるアメリカ連邦政府のサービスへのアクセスに関する LoA の策定、ISO による認証の LoA (Level of Assurance) の ISO 化などが現実のものとなり、日本やヨーロッパでも、トラストフレームワークの構築が現実に視野に入ってきている。日本の学術界におけるトラストフレームワークの構築を具体的に進めるために、基準の制定、ドキュメント化、監査を含めた評価体制の整備が必要になっている。

#### 5.2 内容

日本の大学・研究機関が参加する認証フェデレーションとして「学認」が存在するが、そこでのトラストフレームワークの構築、特にLoA1認定の実際に運用を行った。

#### 5.3 具体的成果

[発表1]のような国際連携を積極的に行った。

JIPDECが2014年度に行った「ID連携トラストフレームワーク」の構築のための実証事業において、日本の民間におけるトラストフレームワークの構築についても意見を述べた。

#### 6 学会活動

IEEE COMPSAC (Track Chair) および IEEE Mobile Cloud (2014 PC Chair, 2015 General Chair) をはじめとして将来のサービスアーキテクチャの研究のための組織化を行っている。

## 7 成果要覧

#### 査読付論文リスト

- [査読付 1] Lei Ma, Cyrille Artho, Hiroyuki Sato: Managing Product Variants by Project Centralization, Lecture Notes on Software Engineering, 2(2), May, 195–200, 2014.
- [查読付 2] SATO Hiroyuki, OKABE Yasuo, NISHIMURA Takeshi, YAMAJI Kazutsuna, NAKA-MURA Motonori: Privacy Enhancing Proxies in a Federation: Agent Approach and Cascade Approach, Journal of Information Processing 22(3), 464–471, 2014.
- [查読付 3] TAKESHI NISHIMURA, MOTONORI NAKAMURA, KAZUTSUNA YAMAJI, HIROYUKI SATO, YASUO OKABE, Privacy Preserving Attribute Aggregation Method without Shared Identifier Binding, Journal of Information Processing 22(3), 472–479, 2014.
- [查読付 4] Chapa Martell, M., Sato, H.: A Linear Performance-Breakdown Model for GPU Programming Optimization Guidance, Proc. 16th Workshop on Advances on Parallel and Distributed Processing Systems, 593-603, Phoenix, May 19-23, 2014.

- [查読付 5] SATO Hiroyuki, TANIMOTO Shigeaki, KANAI Atsushi: A Policy Consumption Architecture that enablesDynamic and Fine Policy Management, Proc. 3rd ASE International Conf. CyberSecurity 2014, May 27–31, Palo Alto, 2014.
- [查読付 6] S. Tanimoto, K. Takahashi, T. Yabuki, K. Kato, M. Iwashita, H. Sato and A. Kanai: Risk Assessment Quantification in Life Log Service, Proc. 15th Int'l Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD) 2014, 313–318, Las Vegas, Jun 30–July 2, 2014.
- [査読付 7] 米田 翔一, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: オフィス空間における場のセキュリティを考慮したリスクアセスメント, RO-006, FIT 2014, つくば, Sept. 3-5, 2014.
- [查読付 8] Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato: Data Management Approach for Multiple Clouds using Secret Sharing Scheme, Proc. 8th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2014), 432–437, Salerno, Sept. 10–12, 2014.
- [查読付 9] Shigeaki Tanimoto, Ryota Sato, Kazuhiko Kato, Motoi Iwashita, Yoshiaki Seki, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: A Study of Risk Assessment Quantification in Cloud Computing, to appear in 8th International Workshop on Advanced Distributed and Parallel Network Applications (ADPNA-2014), 426–431, Salerno, Sept. 10–12, 2014.
- [査読付 10] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang and Hiroyuki Sato: Efficient Testing of Software Product Lines via Centralization, Proc. Generative Programming and Component Engineering (GPCE) 2014, 49–52, Vasteros, Sept. 15–16, 2014.
- [査読付 11] Chapa Martell Mario Alberto, SATO, Hiroyuki: Linear Performance-Breakdown Model: A Framework for GPU kernel programs performance analysis, Int'l J. Networking and Computing, Vol 5, No 1, 86–104, 2015.
- [査読付 12] Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato, Atsushi Kanai: Risk Assessment Quantification of Ambient Service, Proc. 9th Int'l Conf. Digital Society, 70–75, Lisbon, Feb. 22–17, 2015.
- [查読付 13] Yuuki Kajiura, Shohei Ueno, Atsushi Kanai, Shigeaki Tanimoto, Hiroyuki Sato: An Approach to Selecting Cloud Services for Data Storage in Heterogeneous-multicloud Environment with High Availability and Confidentiality, Proc. 1st Int'l WS on Service Assurance in System Wide Information Management, Taichung, March 25–17, 2015.

#### その他の発表論文リスト

[発表 1] Kazu Yamaji, Kouji Nishimura, Yasuhiro Nagai, Hiroyuki Sato, Motonori Nakamura, Tomohiro Ito, Takeshi Nishimura, Yoshihiro Okada: Standard Levels of Authentication and Security for Use in Academic Japanese Cloud Services, Terena Netwoking Conference 2014. Dublin, May 19–22, 2014.

- [発表 2] Lei Ma, Cyrille Artho, Cheng Zhang, Hiroyuki Sato: When Project Centralization and Random Testing Meet –Efficient Automatic Testing of Multiple Software Product Variants–, 第 31 回ソフトウェア科学会大会, 8-2, 名古屋, Sept. 7–10, 2014.
- [発表 3] 佐藤 周行, 谷本 茂明, 金井 敦: アクセス制御のための機械可読サービスポリシー文書, コンピュータセキュリティシンポジウム 2014, 1D4-1, 札幌, Oct 22–24, 2014.
- [発表 4] 畑 健一郎・佐藤 彰・米田翔一・谷本茂明・佐藤周行・金井 敦: 情報セキュリティマネジメントシステムにおけるスローポリシー導入に関する検討, ライフインテリジェンスとオフィス情報システム研究会(LOIS), IEICE, 北九州, Jan. 15, 2015
- [発表 5] 平本拓也, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行: セキュリティ場モデルの提案, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS) 2015, 4C1-1, 北九州, Jan. 20-23, 2015.
- [発表 6] 篠山裕貴, 金井敦, 谷本茂明, 佐藤周行: LOA を考慮した動的クラウド選択基盤方式, 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS) 2015, 4B2-2, 4C1-1, 北九州, Jan. 20-23, 2015.
- [発表 7] 大角地涼介, 佐藤亮太, 米田翔一, 谷本茂明, 佐藤周行, 金井敦: パブリックククラウドと企業ネットワークのセキュリティポリシー連携マネジメントに関する研究, プロジェクトマネジメント学会春季大会, 東京, March 13–14, 2015.

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

#### 片桐 孝洋

### 1 概要

本報告は、以下の研究・教育・業務報告に大別される。

- ソフトウェア自動チューニング研究
  - ▶ 研究室の PC から、国家が提供するスーパーコンピュータに至る広範な計算機環境で、 自動的に性能チューニング(ソフトウェア自動チューニング、以降「AT」と記載する)ができるソフトウェアの理論、方法論、方式、言語、およびライブラリに関する総合的研究。
  - ▶ ポストペタスケールに資する数値計算ミドルウェア、および ppOpen-HPC のための AT 機構の開発 (ppOpen-HPC および ppOpen-AT プロジェクト)。
  - ▶ 最新メニーコア CPU 上での地震波シミュレーションコード(Seism3d、ppOpen-APPL/FDM) 向き AT 方式開発[査読付 5]
  - ➤ ATのための性能モデル化手法の開発**[査読付6]**
- 超並列高性能数値計算ライブラリ研究開発
  - ➤ アルゴリズムと実装方式を自動チューニングする機能を有する、疎行列反復解法ソルバ Xabclib の研究開発(E-サイエンスプロジェクト成果物に関する研究開発)
  - ▶ 超並列計算機に向く固有値ソルバのアルゴリズムおよび実装技術開発[発表 4]
- 高性能数値計算アルゴリズム開発
  - ▶ 離散要素法(DEM)における新しい並列化方式(マルチカラー接触判定法)の開発 [査読付4]
- 高性能計算(HPC)における学部・大学院教育およびスーパーコンピュータユーザ教育業務
  - センターのスーパーコンピュータを用いて行う並列プログラミングの授業。
    - ◆ 東京大学工学部・工学系研究科共通科目:スパコンプログラミング(1)(I)
    - ◆ 駒場の教養学部学生を対象に行う全学ゼミ:スパコンプログラミング研究ゼミ
  - ▶ 並列プログラミング教育および新規ユーザ獲得支援業務。
    - ◆ 若手·女性利用者推薦
    - ◆ Advanced Supercomputing Environment (ASE) 研究会
    - ◆ お試しアカウント付き並列プログラミング講習会
  - ▶ スパコンに関する解説書の執筆[書籍 1]
- スーパーコンピュータによる社会貢献業務
  - ▶ 東京大学情報基盤センター企業利用支援制度

## 2 ソフトウェア自動チューニング研究

#### 2.1 背景

近年の数値計算ソフトウェアは、性能に影響を及ぼす計算機上やアルゴリズム上のパラメタが多数存在する。これは平易な利用の妨げになるばかりか、高性能を達成するため時間を浪費し、職人芸的な知識を必要とする。この背景から、本研究では以下を目的とする。

- 1. ソフトウェア工学的観点(ソフトウェア性能工学)から、ソフトウェア自動チューニングという新しい汎用的ソフトウェア・パラダイムの研究をおこなう。AT研究により、パラメタチューニング作業が自動化され、最適プログラムが自動選択される。このことで、ソフトウェアの再利用性を格段に高め、コスト削減を実現することができる。
- 2. AT機能を付加した実用的な数値計算ソフトウェアの研究開発を行う。日本発となる、自由入 手可能なソフトウェアの普及を目指す。
- 3. AT機構をソフトウェアに実装するための計算機言語、ミドルウェア、システムソフトウェア、およびAT支援ツールの研究開発を行う。

#### 2.2 内容

本研究により、数値計算や並列処理を専門としない利用者に対し、容易に利用できる高性能数値 ソフトウェアが初めて開発できるようになる。世界に先駆け、数値計算ライブラリに限定しないATパラ ダイムやAT技術の提案を行ってきた。

#### 2.3 具体的成果

本研究は2002年から継続して成果を出してきている。主な研究成果は以下である。

- 1. **汎用的ATインターフェースおよびATライブラリXabclibの開発:**いままでのAT機能付きライブラリでは、汎用的なユーザインターフェースが存在しないので、AT機能の再利用性が低い。そこで、汎用的ATインターフェースOpenATLibを設計し、ATに必要な機能の一部を実現した。また、Xabclibをフリーの流体解析ソフトウェアOpenFOAMへ実装して、高性能化を実現した。本研究は、日立製作所中央研究所との共同研究である。
- 2. ポストペタスケール時代における数値計算ミドルウェアおよびそのためのAT言語の開発 (ppOpen-HPC および ppOpen-ATプロジェクト)[招待1][査読付3,5][発表1,3,6]:ポストペタスケール時代で利用される数値計算ミドルウェア開発プロジェクトである。なお本研究は、JST-CREST「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境」(研究代表者:東京大学 中島研吾 教授)における東大グループの一員として実施されている。また、実行環境として開発される数値計算ミドルウェア ppOpen-HPCのためのAT言語 ppOpen-ATの開発を主として行っている。本研究成果は工学院大学との共同研究で利用されており、成果はAT基盤として広く利用されつつある。
- 3. **学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(以降「拠点」とよぶ)の共同研究:** 基盤センターが所有するスパコンを対象とした、実用アプリケーションの並列化、演算高性能化、数値アルゴリズム開発、AT機能の適用の研究である。片桐は東大・基盤センター側の研究者として参加し、今まで拠点に関連する共同研究先は8件以上にのぼる。単に技術提供的な補助ではなく、核融合研究所や名古屋大学等との共同研究では、コードチューニングやアルゴリズム開発を行っている。

ATに関連する研究では、国立中央大学数学科(台湾)で招待講演[招待1]を行った。また、米国応用数理学会(SIAM)の会議で、継続して日本および世界の自動チューニング研究を紹介するミニ・シンポジウムの企画[特記4]、および、日本・台湾との国際ワークショップの企画[特記5]を実施している。海外においてもAT研究の情報を発信し続けている。

# 3 ポストペタスケール時代における数値計算ミドルウェア ppOpen-HPC のための自動チューニング機構 ppOpen-AT の研究開発

#### 3.1 背景

先進計算機のハードウェア構成が複雑化している。非均質アクセスのメモリ、多階層キャッシュ、チップ上に多数のコアを配置したマルチコア CPU やメニーコア CPU、GPU に代表される演算アクセレータを搭載した計算機が普及し、いまや普通に使えるようになっている。このように複雑化した計算機では、理工学で必要となる科学技術計算プログラムのチューニングが、高性能計算を専門としない科学者やエンジニアにとって困難になってきている。

そこで我々は、大規模並列計算機上での実用的なシミュレーションコード開発と、コード最適化を支援するソフトウェア基盤 *ppOpen-HPC* を開発している. ここで"pp"とは, post-peta(ポストペタ)の略語であり、ペタスケール計算機の後に来る計算機環境のことを指している。

このポストペタ環境では、非均質な計算ノードを持つことが予想されている。マルチコアで CPU と GPU の構成が計算機アーキテクチャのトレンドからすると、主流になる。これら複雑化された計算機 ハードウェアにおいても、低コストで高性能を達成可能な数値計算のためのソフトウェア基盤が、強く 要請されている。

#### 3.2 内容

#### (1) ppOpen-HPCの概要

ppOpen-HPCの対象は、現在主流の数値計算法によるプログラムである。主にFEM、FDM、BEM、DEMによる数値計算法を対象としている。一方、自動チューニング(Auto-tuning (AT))技術が、先進的計算機環境での高性能計算には必須となるといわれている。そこでppOpen-HPCはAT技術を採用して開発をする前提を置く。

ppOpen-HPCのためのAT基盤ソフトウェアをppOpen-ATと呼ぶ。図1に、ppOpen-HPC におけるppOpen-ATの位置づけと、その機能をまとめる。

#### (2) ppOpen-AT概要

ppOpen-ATは、ppOpen-MATHとppOpen-SYSにAT機能を提供する。ppOpen-ATのAT機能を利用することで、計算機資源選択(CPUとGPUもしくはメニーコアへの自動切り替えの機能の意味)を実現する。AT機能により、コードのデータアクセスパターンの最適化を行う。

図1のAT機能は、ppOpen-ATのAT機能と、ユーザ環境ごとに異なるコンパイラ最適化機能を合わせて使うことにより ppOpen-AT 専用プリプロセッサを通し実現される。このことで、幅広い計算機環境でのATを可能にする。計算機環境に依存しないで高性能を達成する(「性能可搬性」)—AT機能の本質的問題—を実現する。

ppOpen-ATの最適化対象は、ppOpen-HPCで実装されている数値計算法のカーネル、プログラム、実装方式に限定することで開発コストを削減する。ppOpen-APPLの原始コード(C、C++、Fortran 90)が対象である。

#### 3.3 具体的成果

(1) **これまでの成果の概要:**有限差分法 ppOpen-APPL/FDM の演算カーネルに向くループ変換を基にしたAT機能である、ループ融合、ループ分割、および、式並べのAT方式を開発した。現在普及しているマルチコアCPUで、これらAT機能の効果の検証を行った。

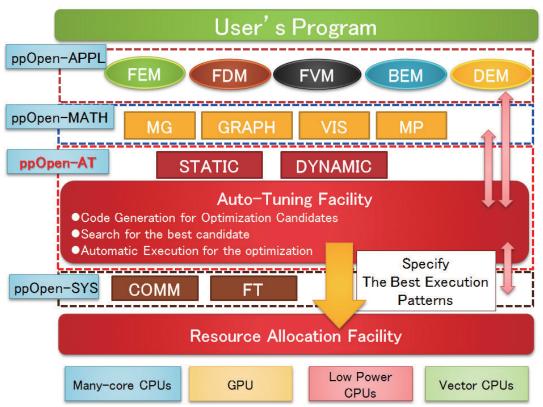


図 1 ppOpen-HPC と ppOpen-AT の提供機能

(2) 本年度の成果:性能評価により 明らかとなったAT機能について、高度化 を行った。メニーコアCPUである Xeon Phi で、開発してきたAT機能の有効性の検証 を行った。

ppOpen-APPL / FDM ver. 0.2、およびppOpen-AT ver. 0.2を用い、ppOpen-APPL / FDM に現れる、ほぼすべてのカーネル 14 カ所に AT 機能を実装した。

Intel Xeon Phi コプロセッサ(CPU: Xeon Phi 5110P, 1.053 GHz, 60 core) 8 ノード用いた。実行形態は Native 実行である。ハイブリッド MPI/OpenMP の実行形態で性能評価を行う。表記として、

PXTY という表記をする。ここで、Xは MPI プロセス数、Y は 1 プロセスから派生する

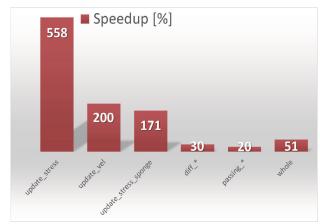


図 2 ppOpen-APPL/FDM における各カーネルにおける最大 AT 効果
(Xeon Phi, 8ノード, HT4 実行)

OpenMP スレッド数である。ここでは、P8T240、P16T120、…、P480T4 までのハイブリッド MPI/OpenMP の実行について、最も AT 効果があった数値 (AT なしの実行に対する AT ありの実 行時間の比、つまり、AT による速度向上比)を図 2 に示す。

図2より、Xeon Phi でのAT 効果は最大で5.6倍であり、全体の実行時間においても最大で1.5倍の高速化が達成できる。実施したループ変換は、ループ分割、ループ融合、および、式の並び替えという従来手法ではあるが、コンパイラ最適化に対し柔軟に適用できるAT機能の導入により、大きな高速化が実現できることが明らかになった。メニーコアCPUにおいても、AT機能の有効性が示された事例であり、今後のスパコン環境におけるAT研究の進展が期待できる。

#### 4 HPC 教育関連業務

#### 4.1 背景

東京大学情報基盤センター特任准教授として 2007 年 4 月 1 日に赴任後、教育業務として並列プログラミング基礎の講義と、本センターのスーパーコンピュータを用いた演習を、東京大学工学部・工学系研究科の共通科目「スパコンプログラミング(1)および(I)」として、通年(夏学期・冬学期)各1コマ行っている。また、駒場キャンパスの教養学部の学生に工学部と同様の授業を教えることで、天才プログラマを早期から育成することを目指す、全学ゼミ「スパコンプログラミング研究ゼミ」を開講している。本講義は、「学際計算科学・工学人材育成プログラム」の一環で開講されている。

内容は、通信ライブラリ MPI を利用し情報基盤センターに設置されている FX10 スーパーコンピュータシステム(FX10)、12 ノード(192 コア) を受講生に利用させた計算機演習を行う。スーパーコンピュータの利用方法の講習を含む。情報基盤センターのスーパーコンピュータの将来的な新規ユーザ獲得も狙った講義である。

#### 4.2 内容(HPC 教育業務全般)

- スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦(2007 年 10 月から実施)
  - ▶ 概要:概ね 40 歳以下の若手研究者(学生を含む)、および、女性研究者を対象とした利用者向けのスーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦(以降、若手推薦)による課題公募である。スーパーコンピューティング研究部門の教員により審査の上、採択された課題の計算機利用負担金(半年分)をセンターが負担する。
  - ▶ 詳細:年 2 回公募し、年間で 4 件程度の優れた研究提案を採択する。継続申請と再審査の上で、最大で 1 年間の無料利用ができる。採択者には、報告書の提出、研究成果の発表の際に若手推薦を利用したことの明記、およびセンターが発行する「スーパーコンピューティングニュース」誌の原稿執筆を採択の条件とする。また、共同研究実施のため、基盤センターの教員との共同研究のための旅費、1週間分が支給される。
- お試しアカウント付き並列プログラミング講習会(2008 年 3 月から実施)
  - ▶ **趣旨:**センターに設置されたスーパーコンピュータの利用者における利用促進、および利用を検討している新規ユーザを対象とした、並列プログラミング講習会(MPI および OpenMP を用いるもの)を実施した。
  - ▶ 対象者:センターのスーパーコンピュータのアカウントを所有しているユーザのみならず、センターのスーパーコンピュータの利用資格を有し、今後の利用を検討している方(大学教員、および学生など)、および企業所属の方も対象にする。
- **先進スーパーコンピューティング環境(ASE)研究会**(2008 年 3 月から実施)
  - ▶ 概要:センターに設置されたスーパーコンピュータに関係する最新の研究成果をユーザが知ることは、スーパーコンピュータの利用成果を創出するために必要である。また、センターのユーザが個別に所有する情報に関して、ユーザ間での情報交流の活性化も必要である。この趣旨から、スーパーコンピューティング部門が主催する、スーパーコンピュータ環境に関する研究会を行う。

#### 4.3 具体的成果

- 東京大学における HPC 教育(2014 年度)
  - ➤ 工学部共通科目(夏学期・冬学期)で、登録人数合計 60 名、単位取得者数 21 名を達成した。
  - ▶ 教養学部の全学ゼミにおいては、登録13名、合格5名であった。
- スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦(2014年度、前期、後期)**「特記 1**]

- ▶ 本学、理研、慶應義塾大、防大、から合計6件の課題を採択した。
- ◆ お試しアカウント付き並列プログラミング講習会(2014 年度は 4 回実施(片桐担当分) 「特記3」)
  - ▶ 講習会全体では、他大学、研究機関、企業を含む、合計132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)(2014 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。
    - ♦ Dr. Keita Teranishi (Sandia National Laboratories, USA)
    - ♦ Dr. Jakub Kurzak (Electrical Engineering and Computer Science Department, University of Tennessee, USA)
  - 参加者合計は20名だった。高性能計算分野において活発な最新情報の交換、および、研究者間の交流に貢献した。

## 5 スーパーコンピュータによる社会貢献業務

#### 5.1 背景

本業務は、東京大学情報基盤センターが独自事業として、民間企業にスーパーコンピュータを有償利用に供するための業務である。

#### 5.2 内容

東京大学情報基盤センター業務は、スーパーコンピュータを民間企業に供する場合、企業ユーザの利用資格を審査したうえで、限定資源に対し有償利用を行う。

#### 5.3 具体的成果

東京大学情報基盤センターにおける企業利用者支援に対する業務

## 6 成果要覧

#### 招待講演/招待論文

[招待 1] Takahiro Katagiri: An Overview of Supercomputing Division and Related Research Activities for Parallel Eigen-computation and Auto-tuning Techniques, National Central University, Taiwan, February 2015.

#### 著書/編集

[著書 1] 岩下武史, 片桐孝洋, 高橋大介 著:スパコンを知る: その基礎から最新の動向まで, 東京大学出版会, ISBN-13:978-4130634557, 2015 年 2 月.

#### 査読付論文リスト

[查読付 1] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Katagiri, Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of an AMR Framework for FDM Applications, Proceedings of 2014 International Conference on Computational Science, Procedia Computer Science, Vol.29, pp.936-946, June 2014.

[査読付 2] Takahiro Katagiri, Hiroshi Takeda, Jyunya Kato, Shota Kawamura and Yasuyoshi Horibata: Towards Multicolor Particle Contact Detection Method for Hybrid MPI-OpenMP Execution

- in DEM, Proceedings of VECPAR 2014, 11th International Meeting High Performance Computing for Computational Science, June 2014. (A Poster)
- [查読付 3] Teruo Tanaka, Ryo Otsuka, Akihiro Fujii, Takahiro Katagiri, Toshiyuki Imamura: Implementation of d-Spline-based incremental performance parameter estimation method with ppOpen-AT, Scientific Programming, IOS Press, Vol. 22, No. 4, pp. 299-307, July 2014.
- [査読付 4] 片桐孝洋, 竹田宏, 河村祥太, 加藤淳也, 堀端 康善: DEM におけるマルチカラー接触 判定法の適用とマルチコア計算機による性能評価, 粉体工学会誌, 第 51 巻 8 号, pp.564-570, 2014年8月.
- [査読付 5] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Auto-tuning of Computation Kernels from an FDM Code with ppOpen-AT, Proceeding of IEEE MCSoC14, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG-14), pp.91-98, September 2014.
- [查読付 6] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Performance optimization of SpMV using CRS format by considering OpenMP scheduling on CPUs and MIC, Proceeding of IEEE MCSoC14, Special Session: Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG-14), pp.253-260, September 2014.

#### その他の発表論文リスト

- [発表 1] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: Xeon Phi における ppOpen-AT を用いた有限差分法コードの自動チューニング, 計算工学講演会論文集, Vol.19, 2014年6月.
- [発表 2] 片桐孝洋, 河村祥太, 加藤淳也, 竹田宏, 片桐孝洋, 堀端康善: マルチカラー接触判定法のハイブリッド MPI/OpenMP による並列化, 情報処理学会研究報告 2014-HPC-146, 2014 年 10月.
- [発表 3] Takahiro Katagiri: Towards Auto-tuning of Scientific Codes for Many-core Architectures in Era of Exa-flops, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, February 2015.
- [発表 4] Katagiri Takahiro, Iwata Jun'ichi, Uchida Kazuyuki: A Communication Avoiding and Reducing Algorithm for Symmetric Eigenproblem for Very Small Matrices, 情報処理学会研究報告 2015-HPC-148, 2015 年 3 月.
- [発表 5] 大島聡史, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 中島研吾, 黒田久泰, 直野健, 猪貝光祥: 動的な並列実 行機構を用いた SpMV 実装の性能評価, 情報処理学会研究報告 2015-HPC-148, 2015 年 3 月.
- [発表 6] 入江純,村田陸,藤井昭宏,田中輝雄,片桐孝洋:自動チューニング基盤 ppOpen-AT 上での標本点逐次追加型複数パラメータ同時推定機能の実現,情報処理学会研究報告 2015-HPC-148, 2015 年 3 月.
- [発表 7] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Towards Auto-tuning in the Era of 200+ Thread Parallelisms --- FIBER Framework and Minimizing Software Stack, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15), MS258 Streamlining Application Performance Portability Part I of II, March 2015.

#### 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 2014 年度(前期)4件(新規 2 件, 継続 2 件), 2014 年度(後期)2件(新規1件, 継続1件).

- [特記 2] 東京大学情報基盤センタースーパーコンピューティング部門主催, Advanced Supercomputing Environment (ASE)研究会: 第 18 回 ASE 研究会(2014年9月18日(木))、第 19回 ASE 研究会(2014年9月22日(月))、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):2014 年 6 月 18 日~19 日、2014 年 9 月 1 日~2 日、2015 年 3 月 9 日~10 日、2015 年 3 月 26 日~27 日 の 4 回実施.
- [特記 4] ミニシンポジウム・オーガナイザー, SIAM Conference on Computational Science & Engineering (CSE15), Streamlining Application Performance Portability (Organizer: Takahiro Katagiri(University of Tokyo, Japan), Toshiyuki Imamura (RIKEN, Japan), Osni A. Marques (Lawrence Berkeley National Laboratory, USA), The Calvin L. Rampton Salt Palace Convention Center, USA, March 14–18, 2015.
- [特記 5] 国際ワークショップ・オーガナイザー, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing, National Taiwan University, February 27-28, 2015.

## 高性能・省電力計算システムに関する研究開発

#### 近藤 正章

#### 1 概要

大規模高性能計算システムから組み込みシステムを対象に、ハードウェアとソフトウェアの協調最適化により、高性能・低消費電力な計算機システムを実現することを目的として究開発を行っている。大規模高性能計算システムに関しては、従来のように利用可能な全ハードウェア資源を使い切るという発想ではなく、限られた電力資源を各アプリケーションに、またその中でも計算・記憶・通信という各要素に適応的に配分し、性能やシステムの電力効率を最適化することをテーマとした、ポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワークの研究開発を中心に行っている。一方、組み込みシステム向けの研究としては、ビルディングブロック型コンピューティングシステムの実現を目指して、インダクティブカップリングによるチップ間通信を用いた3次元積層LSIのアーキテクチャに関する研究等を実施中である。以下では、本年度の成果の一部としてポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワークに関して述べる。

#### 2 ポストペタスケールシステムのための電力マネージメントフレームワーク

#### 2.1 背景

ポストペタスケール高性能計算システムは、消費電力がシステム設計や実効性能を制約する最大の要因であると考えられている。2014年時点で日本最高性能を誇る京コンピュータは 10 ペタフロップス級の性能を約 13MW の消費電力で達成している。地球規模の省エネ要求や現大型計算機センターの電力設備状況を鑑みると、将来的にも 100MW 級の電力供給能力を持つセンターを配することは不可能であり、2020年あたりに実現されるエクサスケール級のシステムは 20~30MW とほぼ同程度の電力で京コンピュータの 100 倍近い性能を達成することが求められる。さらに、環境負荷低減の重要性が叫ばれる中、高性能計算システムでも太陽光発電などの再生可能エネルギー利用が拡大し、電力供給が時々変化するなどの運用環境の変化が訪れることも予想される。

一方、ポストペタ時代のアプリケーションは、超大規模システムにスケールさせる上でシステムへの要求は多様化する。例えば、演算性能で100倍、メモリ帯域で1000倍、メモリ容量で1000倍もの差が要求仕様にあるとの報告もある。しかし、電力供給がシステム制約となる状況下では、計算・記憶・通信といった各要素へ投入するハードウェア資源を制限せざるを得ず、多くのアプリケーションに適用可能なシステム構築は難しい。

上記の背景より、ポストペタスケール高性能計算システムでは、供給電力、あるいは熱設計電力制約の中でハードウェア資源を投入し、運用時のピーク消費電力が制約を超えないことを保証する従来の設計思想では、アプリケーションを今後の大規模システムに対してスケールさせることは難しい。そこで、今後の大規模システムを設計する上では、ピーク消費電力が制約を超過することを積極的に許し、ハードウェアの電力性能ノブを最適化することで実効電力を制約以下に制御するシステム形態をコンセプトとするシステム開発が重要と考えられる。このような電力制約適応型システムでは、従来のように利用可能な全ハードウェア資源を使い切るという発想ではなく、限られた電力資源を各アプリケーションに、またその中でも計算・記憶・通信という各要素に適応的に配分し、性能やシステムの電力効率を最適化することが必須となる。この適応的な電力制御を行うことができれば、単一シ

ステムのもと、電力性能ノブの調整次第で様々なハードウェア資源への要求に対応でき、多くのアプリケーションに適用可能なシステムが構築可能となる。

電力制約適応型システム上で高性能かつ高電力効率を達成するためには、アプリケーションの特徴や運用状況等に合わせた電力制御・電力管理がシステムソフトウェアの最も重要な役割の一つとなるが、現状では十分なソフトウェア資産が構築されていないばかりか、システムアーキテクチャや各ソフトウェア階層に求められる要件も明白ではない。例えば計算部には各コアの周波数・電圧制御と使用コア数制御、記憶部にはメモリチップの周波数・電圧制御や使用メモリ容量・帯域制御、通信には使用リンク数制御などの電力性能ノブを候補に持つシステムを想定し、これらの電力性能ノブを適切に抽象化しつつ、最適化ツールやアプリケーション開発者に解放することが、システムソフトウェアの特つべき重要な機能であると考えられる。そこで、電力制約適応型システムにおいて、ハードウェアに搭載された電力性能ノブを適切に抽象化しつつ、その制御をアプリケーションの特性および運用状況に合わせて最適化し、アプリケーションの性能とシステム全体の電力効率を向上させるための研究開発が求められる。

#### 2.2 内容

現在は電力制約適応型システムのための要素技術として、特に1)アプリケーションの特徴と運用 状況に合わせた電力性能ノブ最適化技術、2)大規模アプリケーション向け電力性能挙動予測技術、 3)システムソフトウェアから効果的に電力性能ノブを制御可能なシステムアーキテクチャ、の 3 項目 の研究開発を行っている。1)ではライブラリやミドルウェアを含むシステムソフトウェアと性能最適化 ツールを、2)では電力予測ツール群を、3)ではソフトウェアからハードウェア依存の最適化を解放す るための電力性能ノブ抽象化手法を開発し、エクサスケールシステム時代の電力マネージメントフレームワークとして、電力資源を有効利用できる計算環境を創出することが目的である。

本年度は、特にアプリケーションの特徴と運用状況に合わせた電力性能ノブ最適化技術として、

- 電力性能最適化フレームワークにおけるノブ制御ポイント埋め込み技術と半自動コード書き 換え手法
- 複数ジョブ間での電力資源管理を行うスケジューラ

に関して制御アルゴリズムの検討やシステムソフトウェアの機能設計と実装を行った。

#### 2.3 具体的成果

(1) ノブ制御ポイント埋め込み技術と半自動コード書き換え手法

電力制約適応型システムにおいて、電力性能ノブを適切に制御しつつ電力制約下で性能を最大 化するための最適化基盤フレームワークとして、電力ノブ制御ポイント埋め込み技術と半自動コード 書き換え手法を構築した。図1に本フレームワークの概要を示す。

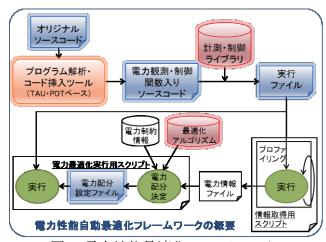


図 1: 電力性能最適化フレームワーク

本フレームワークは以下の手順により、自動・半自動でアプリケーションコードの最適化を行うものである。

- 1. オリジナルなアプリケーションプログラムに対し、コード解析して電力ノブを制御する可能性のあるポイントに API 呼び出しの関数を埋め込む。
- 2. いくつかのノブ設定でプロファイリング実行を行い、埋め込まれた API を利用して電力性能情報を取得する。
- 3. 得られた情報をもとに、電力分配最適化アルゴリズムにより各制御ポイントでの電力配分を決定し、それを設定ファイルとして保存する。
- 4. 実行時には、電力配分設定ファイルを参照し、1.で埋め込まれた API により電力ノブを制御しつ つ実行を行う。

本フレームワーク上に、最適化アルゴリズムを実例として実装し、機能および有用性の検証を行った。図 2 に検証結果を示す。図は TDP の比率を保ったまま CPUと DRAM への電力配分行った場合 (naïve-1)を基準とした際の、各アプリの最大/最小電力から電力モデルを作成し電力配分を行った場合 (naïve-2)、および提案手法として 3 点のプロファイル結果よりモデルを作成し、それを基に電力配分を行った場合 (3points)の性能を示している。提案手法により、ナイーブな電力配分の場合と比較して 2 倍近い性能向上を達成できる可能性があることがわかる。現状では一部手動で行う必要のある箇所が存在するが、ほぼ自動での電力制約下における性能最適化を行う道筋を付けることができた。今後、本フレームワークでの自動最適化を完成させ、またより一般的な最適化アルゴリズムが実装できるよう拡張を行う予定である。

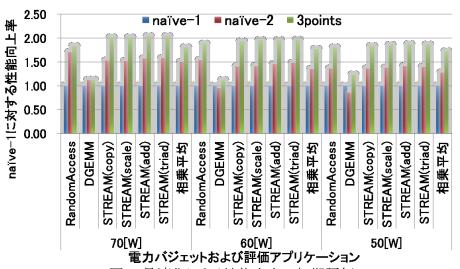


図 2:最適化による性能向上の初期評価

自動最適化が有用である反面、ユーザ自身が電力を考慮してアプリケーションのファインチューニングを行う場合も多い。その補助として、プロファイリングツールにおいて、通常のパフォーマンスカウンタ等のプロファイル情報に加え、消費電力に関する情報も併せて取得し、可視化してプログラマに提示する環境の構築を行った。既存の性能解析ツールとして広く利用されている Tuning and Analysis Utilities (TAU) をベースに検討を開始し、まずは消費電力情報取得機能について、主に観測オーバーヘッドや電力測定の精度について評価を行った。オーバーヘッドに関しては、昨年度からの改良により TAU オリジナルの実装に比べて低オーバーヘッドで消費電力情報を記録できるようになったが、それでもプロファイリングを行わない場合と比較して 10~20%程度の実行時間が増加する。パフォーマンスカウンタなどの性能情報は測定対象区間のみが取得できるので、実行時間の増加は大きな問題とならないが、消費電力は単位時間毎の電力値を取得するため、実行時間の変動は電力値の精度に大きく影響する。そこで、電力情報の精度を高めるべく、RAPLを用いた低オーバーヘ

ッドな電力取得環境と組み合わせる方式を開発した。これにより、Open Trace Format Version2 (OTF2) 形式で性能情報と共に精度の良い電力情報を保存することができ、既存の可視化ツール等を利用して電力最適化の補助とすることができる。

#### (2)複数ジョブ間での電力資源管理を行うスケジューラ

電力制約適応型システムにおける、リアルタイム電力監視・動的ノブ制御を行うミドルウェアの開発を行った。各ノードで動作するアプリケーションの電力消費状況は変動するため、その変動に適切に対応できること、外部要因で電力制約自体が変化した場合にも適切に電力性能ノブが制御できること、計算機センターの運用ポリシーに依存して電力制約による性能低下の影響を抑えるべき高優先度のジョブが存在すること、などが本スケジューラの要件と考えられることがわかっている。そこで、これらの要求に対応すべく、高優先ジョブの電力消費要求を監視し、性能が低下しない範囲で電力制約を動的に設定しつつ、余剰な電力で高優先ジョブ以外の通常ジョブを動作させるためのミドルウェアを開発した(図3左参照)。高優先ジョブの電力使用要求に応じて、通常ジョブの電力制約を適応的に変更するものである。32ノードのシステムで開発したミドルウェアを動作させたところ、システム全体の電力制約を満たしつつ、適切に高優先ジョブと通常ジョブの電力制約を設定できることがわかった(図3右参照)。本ミドルウェアにより余剰電力を有効活用してより多くのジョブをシステムに投入できるようになるため、システムのスループットを大幅に向上させることができるという初期評価結果を得ている。

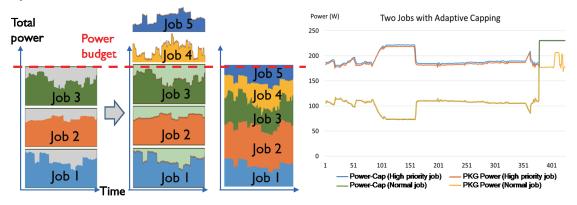


図 3:動的ノブ制御ミドルウェアによる性能向上と電力制御の様子

また、エクサスケールシステムが設置されるような計算機センターでは、システムを分割して複数ジョブが同時に実行されることが通常である。そのような複数ジョブが存在する環境では、システム全体の電力供給と使用状況やアプリケーションの優先度に応じた動的電力スケジューリングを行うことが必要である。本年度は、そのためのシステムソフトウェア設計と実装も行った。九州大学情報基盤研究開発センターで開発された電力資源マネージメントソフトウェアをベースとして、電力資源を考慮したジョブスケジューリングを行いつつ、上記の動的ノブ制御用ミドルウェアを組み込むことで、電力制約適応型システム向けのジョブ管理ソフトウェアを開発中であり、広くクラスタシステムの資源管理ツールとして利用されている SRULM のアドインとして統合することを目指す。

## 3 成果要覧

#### 招待講演/招待論文

[招待 1] Masaaki Kondo, Power Wall: A Design Challenge to Exascale Systems, Extreme Performance Computational Science French-Japanese Conference, Tokyo, April 2014.

- [招待 2] Hiroshi Nakamura, Masaaki Kondo, Koji Inoue, Martin Schulz, Todd Gamblin, Barry Rountree, Toshio Endo, Akira Nukada, Satoshi Matsuoka: Power Management and Optimization toward Extreme Scale Supercomputing, Workshop on International Cooperation for Extreme-Scale Computing, Leipzig, June 2014.
- [招待 3] Masaaki Kondo: Evaluating Power-Efficiency for an Embedded Microprocessor with Fine-Grained Power-Gating, 14th International Forum on Embedded MPSoC and Multicore, July 2014.
- [招待 4] Masaaki Kondo: Power Management Framework for Extreme-Scale Computing, The workshop on Big Data and Extreme-scale Computing, Jan. 2015.

#### 受賞関連

[受賞 1] Kimiyoshi Usami, Makoto Miyauchi, Masaru Kudo, Kazumitsu Takagi, Hideharu Amano, MitaroNamiki, Masaaki Kondo, and Hiroshi Nakamura: Best Paper Award, International Symposium on System-on-Chip 2014, Oct. 2014.

#### 查読付論文

- [査読付 1] 和田康孝,近藤正章,本多弘樹:粗粒度な電圧ドメインを持つメニーコアプロセッサ向け 低消費電力化タスクスケジューリング,情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム (ACS), Vol.8, No.1, pp.00-00, 2015 年 3 月.
- [查読付 2] Kimiyoshi Usami, Makoto Miyauchi, Masaru Kudo, Kazumitsu Takagi, Hideharu Amano, MitaroNamiki, Masaaki Kondo, and Hiroshi Nakamura: Unbalanced Buffer Tree Synthesis to Suppress Ground Bounce for Fine-grain Power Gating, International Symposium on System-on-Chip 2014, Oct. 2014.
- [查読付 3] Takeshi Soga, Hiroshi Sasaki, Tomoya Hirao, Masaaki Kondo, and Koji Inoue: A Flexible Hardware Barrier Mechanism for Many-Core Processors, 20th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2015). Jan. 2015.

#### その他の発表論文

- [発表 1] T. Cao, M. Kondo, Y. Wada, H. Honda: Modeling Power Usage of HPC Systems by RAPL Interface (Poster), HPC in Asia Posters at International Supercomputer Conference'14, Leipzig, June, 2014.
- [発表 2] 和田康孝, 稲富雄一, 井上弘士, 近藤正章, 本多弘樹: 高性能計算環境向け電力配分自動最適化のためのコンパイラ環境の構築, 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 2014-HPC-145, 新潟, 2014年7月.
- [発表 3] 黄巍, 岩澤直弘, カオタン, 和遠, 近藤正章, 中村宏: エネルギー効率を考慮した電力制 約下でのスループット指向ジョブスケジューリング手法, 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 2013-HPC-146, 那覇, 2014年 10月.
- [発表 4] 稲富雄一,和田康孝,深沢圭一郎,青柳睦,近藤正章,三吉郁夫,井上弘士:MPI 並列アプリケーションの電力性能最適化,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 2013-HPC-146, 那覇, 2014年 10月.

- [発表 5] 稲富雄一,和田康孝,深沢圭一郎,青柳睦,近藤正章,三吉郁夫,井上弘士:電力性能特性ばらつきを考慮した MPI 並列アプリケーションの性能最適化,情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会&ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 2013-ARC-213 & 2013-HPC-147,小樽,2014年12月.
- [発表 6] 大坂隼平, 和田康孝, 近藤正章, 三吉郁夫, 本多弘樹: 電力性能特性ばらつきを考慮した MPI 並列アプリケーションの性能最適化, 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会&ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 2013-ARC-213 & 2013-HPC-147, 小樽, 2014 年 12 月.
- [発表 7] 佐々木 沢, 和田康孝, 近藤正章, 本多弘樹: 次世代 3 次元実装メモリのメモリネットワーク 構成に関する初期検討, 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会&ハイパフォーマンス コンピューティング研究会 2013-ARC-213 & 2013-HPC-147, 小樽, 2014 年 12 月.
- [発表 8] 松村正隆, 近藤正章, 松谷宏紀, 和田康孝, 本多弘樹: 誘導結合型三次元積層マルチコアプロセッサにおけるキャッシュ間通信手法の検討, 電子情報通信学会 CPSY 研究会, 川崎, 2015 年 1 月.
- [発表 9] 竹本 拓未, 和田康孝, 近藤正章, 本多弘樹: ヘテロジニアス GPU コンピューティングのためのワークサイズ自動調整手法の提案, 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会 2013-HPC-148, 別府, 2014 年 12 月.
- [発表 10] 藤井淳, 和田康孝, 近藤正章, 本多弘樹: ヘテロジニアスなサーバ計算機環境における アプリケーションの特徴に基づいた仮想マシン再配置手法, 第77回情報処理学会全国大会, 京都, 2015年3月.

#### 特記事項

- [特記 1] 電子情報通信学会情報・システムソサイエティ, 庶務幹事.
- [特記 2] Program Committee, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC), 2014.
- [特記 3] Program Committee, International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED), 2014.

## 様々な並列計算ハードウェアを用いた高性能計算に関する研究

#### 大島 聡史

#### 1 概要

本年度の主な活動は以下に大別される。

- 様々な並列計算ハードウェアを用いたプログラム高速化と自動チューニングに関する研究 昨年に引き続き、主に疎行列反復解法 (疎行列ソルバー) や疎行列ベクトル積を対象として高速化実装と自動チューニングに取り組んだ。今年も CPU(SPARC64 IXfx、Xeon、Opteron)、MIC(Xeon Phi)、GPU(Kepler, FirePro) と様々な計算機環境を用いた。これらの活動の一部は、JST CREST プロジェクト「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境」(研究代表者:中島研吾教授) および科研基盤 A プロジェクト「実行時自動チューニング機能付き疎行列反復解法ライブラリのエクサスケール化」(研究代表者:片桐孝洋准教授)の一部として実施した。得られた成果はシンポジウムや研究会等にて発表した [査読付 1, 発表 1, 発表 2, 発表 3, 発表 4, 発表 5, 発表 6, 発表 7]。
- スーパーコンピュータ・高性能計算に関する業務と GPGPU/CAE/HPC の啓蒙や教育などに関する活動 本情報基盤センターにおける計算機システムの仕様策定と運用支援に携わった。ISC'14 および SC14 における情報基盤センターや各種プロジェクトの紹介等の展示活動に参加、特に SC14 については、昨年までに引き続いて展示の中心的な役割を果たした。学会イベントの PC 委員や実行委員 [特記 1, 特記 2]、論文誌編集委員 [特記 3]、学会理事 [特記 4]、その他いくつかの論文査 読に協力し、またプログラミング講習会の一部を担当 [特記 6, 特記 7, 特記 9]、講義の一部を担当 [特記 5, 特記 8]、広報誌への執筆協力 [特記 10, 特記 11, 特記 12, 特記 13]、柏キャンパス一般 公開やスーパーコンピュータシステムの見学対応などの活動を行った。文部科学省 研究振興局参事官 (情報担当) 付 計算科学技術推進室の技術参与を兼任し、次世代のスーパーコンピュータ (主にポスト「京」) に関する活動に参加した。

本報告の残りの部分では「様々な並列計算ハードウェアを用いたプログラム高速化と自動チューニングに関する研究」について記述する。

#### 2 疎行列ベクトル積の高速化に関する研究

#### 2.1 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 は疎行列ソルバーなどの多くの計算において繰り返し利用されており、様々な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を与える計算であるため、高速化への要求は大きい。

SpMV は実装方法と対象行列にもよるが、不連続なメモリアクセスを多く必要とする計算であり、 CPU にとっても GPU にとっても高い性能を得にくい計算である。SpMV の計算は密行列の行列ベクトル積と同様のデータ構造や計算方法で行うことも可能であるが、大規模な疎行列を密行列と同様の 方法でメモリに格納すると計算に不要な要素が多くなり、メモリ効率の低下や性能の低下を招く。そもそもメモリに乗り切らない(大きな問題をメモリ上に保持できない)という問題も生じやすくなってしまう。そのため零要素を削除したデータ構造(行列格納形式)を用いて計算を行うのが一般的である。しかし格納形式と対象問題の非零要素の配置によっては、計算時に不連続なメモリアクセスが多くなり、キャッシュの効果も得られず高い性能が得られないことも多い。そのためSpMVに関する研究は、様々な計算ハードウェアを対象として、行列格納形式と実装方法それぞれの面から盛んに行われている。

#### 2.2 内容

昨年度に引き続き、CPU、MIC、GPUを対象とした SpMV の実装について研究を行った。

各計算ハードウェアを対象として、OpenMP、CUDA、OpenACCを用いた SpMV の実装と性能評価や性能の分析を行った。また OpenMP 向けの最適化として、OpenMP の備えるループスケジューリングに関する機能を用いた最適化と自動チューニングのアイディアを提案した。

#### 2.3 具体的成果

本研究にて得られた成果の一部として、OpenMPの備えるループスケジューリングに関する機能を用いた SpMV 最適化と自動チューニングの結果を示す。この成果を論文にしたものは ATMG2014[査読付 1] に採録された。

代表的な疎行列格納形式の1つとしてCRS形式が多く用いられている。CRS形式の疎行列に対するSpMVはOpenMPによって容易に並列化を行うことができる。しかしながら、対象となる行列の非ゼロ要素の配置に偏りが大きい場合には並列化を行ってもあまり性能が上がらないことがある。CRS形式に対するSpMVは行ごとに独立して行うことができるため、一般的なOpenMP並列化においては行単位の並列化を行う。そのため、各スレッドの計算量および計算時間は、各スレッドに割り当てられた非ゼロ要素数に大きく影響を受ける。例えば図1-aに示すように、非ゼロ要素の配置に偏りが小さい場合にはスレッドごとの担当する非ゼロ要素数がおおよそ均等となる。一方、図1-bに示すように、非ゼロ要素の配置に偏りが大きく一部のスレッドが他のスレッドより多くの非ゼロ要素を担当する場合には、その一部のスレッドの実行時間が他のスレッドよりも長くなる。全てのスレッドの実行時間のうちで最も長い時間がSpMV全体の実行時間となるため、全体の実行時間も長くなってしまう。

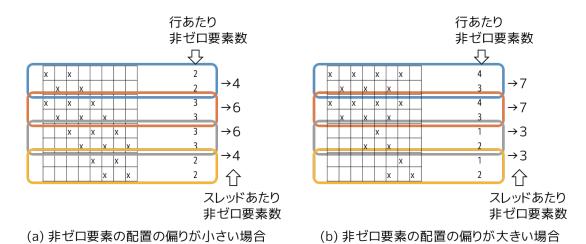


図 1: CRS 形式の疎行列に対する SpMV の OpenMP 並列化イメージ

上記の問題を改善する方法として、OpenMPのループスケジューリングに関する機能の活用を考える。OpenMPを使うことで簡単な指示文の挿入によりループ構造を並列化することが可能となるが、

この際にループのスケジューリングをどのようにするかを指定することもできる。特に指定が無い場合、対象のループは均等な長さを持つ複数のチャンクに分割され、各チャンクはそれぞれスレッドに割り当てられて並列に計算される。(ループ長の大小に関係なくループ全体がスレッド数分の均等な長さのチャンクに分割されることが規格として規定されているわけではない。1チャンクあたりの最大長が定められているような処理系が存在する可能性もある。)一方、指示文を追加して指示を行うことにより1チャンクあたりの長さを変更することが可能であり、さらにスレッドに対するチャンクの割り当てを動的に行う動的スケジューリングの機能も備わっているため、これらをうまく活用することができればスレッド間の負荷を均衡化させ性能を向上させることができると考えられる。

いくつかのハードウェアに対して、OpenMPのループスケジューリング設定を変えて SpMV の性能 を測定し比較した結果を示す。対象ハードウェアとしては SPARC64IXfx、Xeon E5-2670 v2 (IvyBridge-EP、以下 Xeon と表記), Xeon Phi P5110 (Knights Corner、以下 MIC と表記) を用いた。対象の疎行列としては Florida Sparse Matrix Collection に含まれる 132 の行列を用いた。

図2にループスケジューリング設定を指定していない場合のSpMV性能(GFLOPS)を示す。グラフの右側ほど総非ゼロ要素数が多い行列に対する実行時間がプロットされている。全体としては、Xeonは総非ゼロ要素数が少ない行列において他のハードウェアより高性能であるが総非ゼロ要素数が多い行列においては他のハードウェアより低性能であること、MICは逆に総非ゼロ要素数が少ない行列において低性能であるが総非ゼロ要素数が多い行列においては高性能であること、SPARC64IXfxは総非ゼロ要素数の増加に伴い緩やかに性能が向上し多くの行列においてXeonとMICの間の性能であることが確認できる。またいずれのハードウェアとも、総非ゼロ要素数が近い行列でも大きな性能差が生じることがあることが確認できる。この性能差にはスレッド間の負荷の不均衡が影響していると考えられ、スケジューリング設定の最適化により性能が改善する余地があると期待できる。

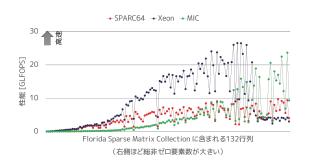


図 2: ループスケジューリング設定を指定していない場合の SpMV 性能

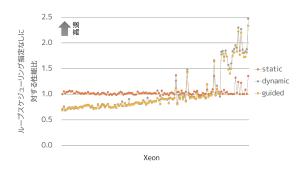


図 4: ループスケジューリング設定により得られた性能 (Xeon)

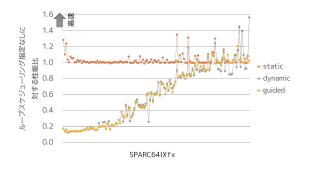


図 3: ループスケジューリング設定により得られた性能 (SPARC64IXfx)

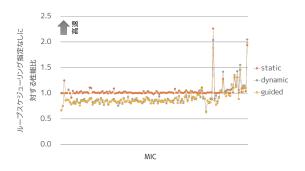


図 5: ループスケジューリング設定により得られた性能 (MIC)

OpenMPのループスケジューリングについては、3種類のスケジューリング方法(static,dynamic,guided) および任意のチャンクサイズ(1以上)を指定することができる。そこで本研究では3種類のスケジューリング方法と1から250までのチャンクサイズについて網羅的に性能を評価し、各ハードウェアと行列の組み合わせごとに最大性能を確認し、デフォルトのスケジューリングに対する性能の割合を求めた。結果を図3,4,5に示す。これらの図は、Y軸方向に1.0以上の値が得られている場合にOpenMPのループスケジューリング設定による性能向上が得られることを意味する。得られた結果から、総非ゼロ要素数の小さい行列においてはほとんど性能向上が得られず、性能が低下するケースも多いことが確認できる。一方で、総非ゼロ要素数の大きい行列を中心に、いくつかの行列においてが性能向上が得られた。スケジューリング設定を行わない場合に対して10%以上の性能向上が得られた行列の数は、Xeonでは25行列、MICでは16行列、SPARC64IXfxでは15行列であった。また最も高い性能向上率が得られていたのはXeonのaudikw-1行列に対するケースであり、2.47倍の性能であった。

さらに、上記の「10%以上の性能向上が得られた行列」のなかで平均的に最も良い性能が得られた ループスケジューリング設定と得られた性能 (スケジューリング設定を行わない場合に対する性能比) について調査をしたところ、

- SPARC64IXfx では static scheduling チャンクサイズ 92 において 1.21 倍
- Xeon では dynamic scheduling チャンクサイズ 204 において 1.70 倍
- MIC では dynamic scheduling チャンクサイズ 57 において 1.23 倍

#### であった。

以上のように OpenMP のループのスケジューリング設定により SpMV の性能向上を確認することができたものの、常に性能向上が得られるわけではなく、行列の形状などによってはむしろ性能低下を引き起こしてしまう。そこで、既存の自動チューニングライブラリと組み合わせることで性能の低下を防ぐことを考える。片桐准教授らを中心に開発が進められている自動チューニングインターフェイスライブラリ OpenATLib および自動チューニング機能付き数値計算ライブラリ Xabclib には、倍精度浮動小数点数に対する SpMV を実施する OpenATL DURMV 関数が備えられている。この関数内にはいくつかの SpMV カーネルが実装されており、初回実行時には与えられた行列に対して最大の SpMV性能が得られる SpMV カーネルを実測により確認し、2回目からの実行時には最速の SpMV カーネルのみを用いるという機能が実装されている。

そこで、図 6 に示すように上記の「平均的に最も良い性能が得られたループスケジューリング設定」を新たな SpMV カーネルの選択肢として使えるよう、OpenATI\_DURMV 関数を変更した。これを用いていくつかの疎行列に対する GMRES 法 (Xablicb の提供するもの) の性能を測定したところ、ループスケジューリング設定を行うことで SpMV 性能の向上が得られていた行列については GMRES 法の性能が向上したことが確認できた。特に高い性能向上が得られた行列は Dubcoval であり、SpMV のみでは 26.7%、GMRES 法全体では 11.4%の性能向上が得られた。一方ループスケジューリング設定を行わない方が高い SpMV 性能が得られていた行列については SpMV カーネルが追加されたことによるオーバーヘッド(初回実行時の性能調査時間)分だけの性能ペナルティが発生して GMRES 法の性能が低下した。最適な SpMV カーネルの候補を増やすと性能ペナルティが増えやすくなる点は OpenATLib/Xabclib に改善が期待される。

以上のように、OpenMPのループスケジューリング設定を変更することにより SpMV の高速化が行えること、および、それを自動チューニング技術 (自動チューニング機構付きのライブラリ) と組み合わせることでアプリケーションにて活用しやすくできることが示された。

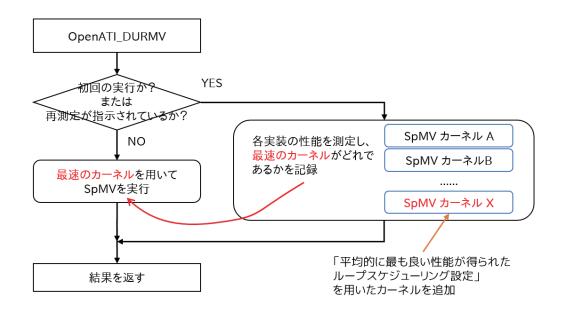


図 6: OpenATI\_DURMV 関数に対する変更

## 3 ICCGソルバーの高速化に関する研究

#### 3.1 背景

疎行列ソルバーは様々な科学技術計算アプリケーションにおいてその実行時間の多くを占める計算である。そのため、疎行列ソルバーの高速化に対する要求は大きい。

一方、これまで GPU プログラムの作成には CUDA や OpenCL によるやや複雑なプログラミングが必要とされてきた。これに対して、OpenACC の登場により、OpenMP とあまり変わらない労力や記述によって GPU プログラムが作成可能となりつつある。しかし、OpenACC プログラムを最適化し高い性能を得るためには対象ハードウェアの仕組みを意識した最適化プログラミングが必要であり、適切なアルゴリズムや実装法を選択する必要が生じることは予想に難くない。

そこで本研究では、疎行列ソルバーの1つであるICCGソルバーを対象として、主にOpenACCを用いた実装と性能評価を実施している。また、特にCPUやMICとの性能の傾向の違いについても調査を行っている。

#### 3.2 内容

OpenMP を用いて作られた ICCG ソルバーを、OpenACC を用いて GPU 向けに移植し、性能の評価及び CPU や GPU との比較を行った。結果を幾つかの研究会等にて発表し、2014 年度末においてもさらに最適化や評価を継続している。

#### 3.3 具体的成果

OpenMP により並列化済みの ICCG ソルバーを、OpenACC により GPU へと対応させて性能を評価した。得られた知見については幾つかの研究会等にて発表した [発表 1, 発表 2, 発表 4, 発表 5]。

本研究が対象としている ICCG ソルバーは中島教授により作られた Poisson3D プログラム内のソルバーであり、その性能は既にいくつかの論文等にて報告されている。元となる OpenMP プログラムにはいくつかの最適化手法が実装されており、それらを対象計算機にあわせて適切に選択することで性能を向上させることができる。本研究においても各手法を OpenACC 化したうえで各組み合わせごとに性能を測定した。

OpenACC プログラムの作成にあたっては、OpenACC2.0 に対応した PGI コンパイラ (14.6) を利用した。OpenMP プログラムの OpenACC 化にあたっては、OpenMP を用いて記述されたプログラムをほぼ 1 対 1 で変換した。図 7 に OpenMP プログラムと OpenACC プログラムの例を示す。OpenMP 版と OpenACC 版で特に違いがある点としては、OpenACC 版では CPU-GPU 間でデータ転送が必要であることがあげられる。今回用いた OpenACC2.0 では OpenACC1.0 とは異なり任意のタイミングでデータ転送を指示文により記述できるため、データ転送をなるべく ICCG ソルバーの前後に配置して不要なデータ転送が発生しないように注意した。また GPU は搭載されている演算器の数が CPU や MIC と比べて多いため、並列化対象となるループの並列度が十分に高い必要がある。今回は、依存関係の無い二重ループに対して両方のループを OpenACC により並列化する、などの対応を行うことで十分な並列度を確保した。

図 8, 図 9, 図 10 に Xeon E5-2680 v2 (IvyBridge-EP、以下 Xeon と表記), Xeon Phi P5110 (Knights Corner、以下 MIC と表記), Tesla K40 (Kepler、以下 GPU と表記) による性能比較結果の一部を示す。これらの図はそれぞれのアーキテクチャごとに「コアレス」(疎行列データの配置が CRS 形式かつ coalesced なメモリアクセス向けとなっている実装)、「シーケンシャル」(疎行列データの配置が CRS 形式かつ sequential なメモリアクセス向けとなっている実装)、「ELL」(疎行列データが ELL 形式に格納されている実装) の 3 種類の実装について、カラーリングの色数と実行時間の関係を示したグラフである。

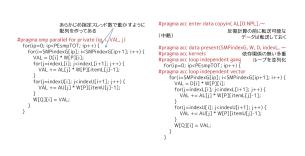


図 7: OpenMP プログラムと OpenACC プログラムの比較

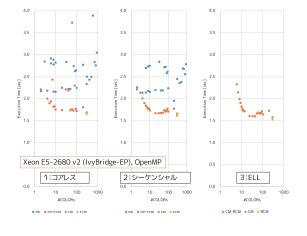


図 8: ICCG 法の性能 (Xeon, OpenMP)

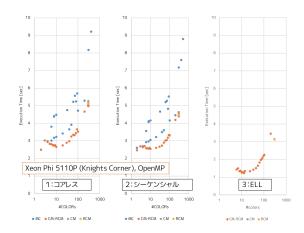


図 9: ICCG 法の性能 (MIC, OpenMP)

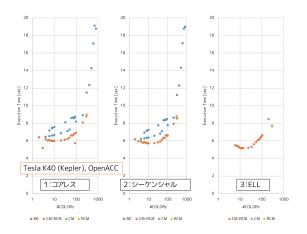


図 10: ICCG 法の性能 (GPU, OpenACC)

この実行結果からは GPU(OpenACC) の結果について CPU や MIC とあまり差異がなく、得られた性能自体も CPU や MIC と比べて高くはなかった。またハードウェアの特性を考慮すると、GPU のメモリアクセスは coalesced 版の実装に向いているはずであり良い性能が得られることが期待されたが、実際には良い性能が得られていない。GPU のアーキテクチャを考慮した評価や最適化などについては今後さらなる検討が必要である。

その後さらに実装や性能評価を実施しており、性能向上などの成果が得られつつあるが、論文等にて発表していない結果であるためその詳細については記載しないものとする。

#### 4 成果要覧

#### 查読付論文

[查読付 1] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Performance Optimization of SpMV using the CRS format considering OpenMP Scheduling on CPUs and MIC, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) session in IEEE 8th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoC-14), University of Aizu, Aizu-Wakamatsu, Japan, September 23-25, 2014.

#### その他の発表論文

- [発表 1] 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋, 塙敏博, 中島研吾: 様々な計算機環境における OpenMP/OpenACC を用いた ICCG 法の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-145), 7月 21 日発行 (Vol.2014-HPC-145 No.21), SWoPP 新潟 2014, 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター, 2014 年 7月 28日 (月)-30日 (水).
- [発表 2] Satoshi Ohshima: Performance Evaluation and Comparison of ICCG method using OpenMP and OpenACC, Workshop on HPC and Cloud Accelerators, RIKEN AICS, August 26, 2014.
- [発表 3] 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋: 疎行列ソルバーにおける自動チューニングを用いた OpenMP 指示文の最適化, 日本応用数理学会 2014 年度年会, 政策研究大学院大学, 2014 年 9 月 3 日 (水)-5日(金).
- [発表 4] Satoshi Ohshima: Performance evaluation of Preconditioned Iterative Linear Solver Using OpenMP and OpenACC, 2015 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High-Performance Scientific Computing, Room 101, Mathematics Research Center, National Taiwan University, February 27-28, 2015.
- [発表 5] Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto, Takahiro Katagiri, Toshihiro Hanawa, Kengo Nakajima: Optimization of Preconditioned Iterative Linear Solvers Using OpenMP/OpenACC on GPU and MIC, 2015 SIAM Conference on Computational Science and Engineering, The Calvin L. Rampton Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, Utah, USA, March 14-18, 2015.
- [発表 6] 大島聡史, 片桐孝洋, 櫻井隆雄, 中島研吾, 黒田久泰, 直野健, 猪貝光祥: 動的な並列実行機構を用いた SpMV 実装の性能評価, 情報処理学会 研究報告 (HPC-148), 2015 年 2 月 23 日発行, 別府温泉 花菱ホテル, 2015 年 3 月 2-3 日.
- [発表 7] Satoshi Ohshima: Performance Evaluation of SpMV Considering Matrix Layout Parameters, HPC in Asia session at ISC '14, Congress Center Leipzig, Leipzig, June 26, 2014.

#### 特記事項

- [特記 1] PC member, Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) (In Conjuction with the IEEE MCSoC-14), 会津大学, 2014 年 9 月 24 日
- [特記 2] プログラム委員/実行委員 (会場担当), HPCS2015 2015 年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム, 東京大学 武田ホール, 2015 年 5 月 19-20 日 開催予定
- [特記 3] ACS 論文誌編集委員
- [特記 4] 一般社団法人オープン CAE 学会 理事
- [特記 5] How to use FX10 (Oakleaf-FX) Introduction and Tips (情報理工学系研究科「Parallel Numerical Algorithms 2014」講義内にて実施), 2014 年 6 月 19 日
- [特記 6] 第 37 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎: 並列プログラミング初級入門」, 2014 年 6 月 18-19 日, 一部の講師を担当
- [特記 7] 第 38 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎: 並列プログラミング初級入門」, 2014 年 9 月 1-2 日, 一部の講師を担当
- [特記 8] C 言語速習コース (工学部計数工学科「数値解析」講義内にて実施), 2015 年 1 月 16,20 日
- [特記 9] 第 43 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会「MPI 基礎: 並列プログラミング初級入門」, 2015 年 3 月 9-10 日, 一部の講師を担当
- [特記 10] 29th International Supercomputing Conference (ISC'14) 参加報告, Vol.16 No.4 (2014年7月)
- [特記 11] GTC Japan 2014 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.16 No.5 (2014年9月)
- [特記 12] SWoPP 新潟 2014 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.16 No.5 (2014 年 9月)
- [特記 13] SC14 参加報告, スーパーコンピューティングニュース, Vol.17 No.1 (2015年1月)

## エクストリームスケール高性能計算を 対象とした耐故障機能及び支援システム

#### 實本 英之

#### 1 概要

エクストリームスケールの HPC 環境(以降、エクストリームスケール環境)を実現するに当たり、故障に対処する機能は必須となっている。エクストリームスケール環境では、環境を構成する要素が非常に大規模であるため、現在運用されている数十万並列規模の環境と比較し、故障率は飛躍的に高まっている。現在運用されるのアルゴリズムは、故障復旧に必要なコストが大きすぎるため、エクストリームスケール環境の高故障率に耐えられない。このためエクストリームスケール環境に対応するための手法について検討する。また、近年の広域アプリケーションでは、複数のアプリケーションを連携させたマルチスケールな計算が提案されてきている。連成計算アプリケーションの一種であるマルチスケールアプリケーションは、大規模な範囲を対象とするアプリケーションと、より詳細な小さな範囲を計算する他のアプリケーションを組み合わせて利用するものであり、今後のエクストリームスケールな科学技術計算において必要不可欠である。この複数のアプリケーションを、ネットワーク・地理的距離が離れた複数の計算施設において効率よく利用するためのフレームワークを検討する。

- 容易に耐故障性を実現するアプリケーションチェックポイントフレームワーク 故障対応アルゴリズムのコストを極限まで削減するためには、アプリケーション毎に適したアル ゴリズムを適用することが重要である。故障対応アルゴリズムの一つであるチェックポイント/リ スタートもアプリケーションからのアドバイスを用いることにより、チェックポイントデータ量、 並列プロセスの一貫性保証において最適化が可能になる。しかし、アプリケーションプログラマ にとって、ランタイムに変化する実行環境を用いた耐故障パラメータの調整は難しいため、なる べくプロセス間の同期やブロッキングを行わずに効率よく対応するシステムを提案、評価した。
- 科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証

連成計算アプリケーションを多拠点で実行する場合、連成するアプリケーション間の大規模中途ファイルの転送、拠点内基盤システムの連携、実行環境に合わせたアプリケーションの制御が問題となると考える。特に、拠点内基盤システムの連携には各拠点における、保守管理や安全性の検証といった面から大きな障壁がある。これを SSH 等の Well-known なサービスのみを用いて実現する手法について検討した。

2 容易に耐故障性を実現するアプリケーションチェックポイントフレーム ワーク

#### 2.1 背景

エクストリームスケールの HPC 環境を実現するに当たり、従来のシステムによる一元的な故障対応 アルゴリズムでは不要なコストが大きく、復旧に必要な総コストが平均故障間隔を上回り、プログラ ムの実行が破綻してしまう。これを防ぐために差分チェックポイントやチェックポイント先の適切な選択、チェックポイント周期の最適化によりシステムによる故障対応を維持したまま、チェックポイントコストを削減するという研究が行われた。これらを元に、故障対応アルゴリズムのコストを極限まで削減するために、アプリケーション毎に適したアルゴリズムを適用すること検討されている。

しかし、このようなアプリケーション毎の最適化は、アプリケーションプログラマに故障対応に関する知識を要求しコストが大きい。このため、故障対応手法の全てではなく、アプリケーション特有の手法部分のみをアプリケーションプログラマにコーディング(アドバイス)させることにより、コーディング負荷の軽減を行う必要がある。特に、故障率やデータ転送時間等の環境によって決まるパラメータを必要とする最適化は、システム側からのサポートを受けながら決定する必要がある。

本研究では、ステンシル構造を用いた反復計算を主とする科学技術計算を対象として、チェックポイント/リスタートを容易に実装するアドバイス・ライブラリを提案する。また、一昨年度作成した試験実装の、Oakleaf-FX10 への適用を行っている。

#### 2.2 内容

チェックポイントアルゴリズムを検討するに当たり、対象とするアプリケーションをステンシル構造をもった、反復計算を主とする科学技術計算とした。これは、気象シミュレーション等に利用される科学技術計算では代表的なアプリケーションで、単位時間に対して複数のソルバーによる計算を行い、計算結果を並列ジョブ構成プロセス間で遣り取りしデータを更新、これを元に再び次の時間ステップの計算を行うという構造のものとする。このようなアプリケーションは単位時間を制御変数としたループで構成されている。この制御変数の数値のことを以降反復番号と呼ぶことにする。以上の構造を前提とすることで、一貫性保証を軽量に行いまた、各種最適化パラメータの適応を軽量に行うことが可能となる。

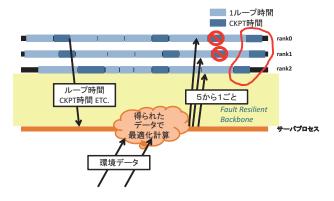
#### 2.2.1 設計/一貫性保証

前述のアプリケーションを対象としたとき、一貫性のあるチェックポイントを作成するためには、全ての並列プロセスが同じ反復番号をもち、送信者がメッセージを送る前かつ受信者がメッセージを受け取る前、もしくは、送信者がメッセージを送った後かつ、受信者がメッセージを受け取った後の位置でプロセスがそれぞれチェックポイントを行えばよい。

#### 2.2.2 設計/最適化結果パラメータの適用

最適化を行った結果を適用する際、すべてのプロセスを同期・停止させるのはコストが大きいため、図1の様なシステムを提案する。本システムは、最適化サーバ (図下部の赤線) と並列アプリケーションプログラム (図中 P0-2) および、Fault Resilience Backbone により構成される。Fault Resilience Backbone はアプリケーション、ミドルウェア、ハードウェアを横断的に接続し、情報を送りあうバックボーンである。チェックポイントの手順は具体的には以下の様になる。

- 1. 並列ジョブ構成プロセス全体、あるいは代表がランタイム情報を測定、Fault Resilience Backbone を用いて最適化サーバーに送る。item 最適化サーバは、実行環境の情報や、プロセスから送られたランタイム情報を元に最適化を行う。最適化結果は Fault Resilience Backbone を通じて各プロセスに伝えられる
- 2. 各プロセスは新しい最適化情報を用いて、チェックポイント候補地点にてチェックポイントを作成する。その際、チェックポイントには最適化情報を新たに適用したことを示す何らかのフラグを立てる。
- 3. 並列プロセスが計算を続行するのと同時に、最適化サーバはフラグを用いたチェックポイントの ガベージコレクションを行う。



int i
 data[30];
#pragma MICP init
#pragma MICP enable i, data(0-29)
 for(iter i){
 calculate(i, data);
#pragma MICP ckpt
 }
#pragma MICP disable
#pragma MICP fini
}

int main(){

図 2: 提案システムの利用法

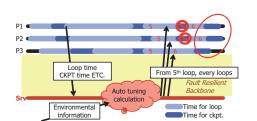


図 1: 提案システムの動作シナリオ

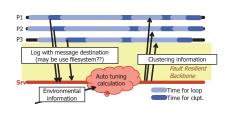


図 3: 提案システムの利用例: チェックポイント最 図 4: 提案システムの利用例: グループ最適化 適化

最適化結果の受信タイミングは各プロセス毎に異なるため、一時的に一貫性を満たさないチェックポイント群がとられてしま字ことがある。このため、複数の世代のチェックポイントを保持しておく必要がある。常にプログラム上でのチェックポイント位置が決定していることにより、ガベージコレクションは最大でもO(p) (p: プロセス数)で行うことが可能である。また、同じ反復回数のチェックポイント群に一つでも不適なデータが存在する場合、そのチェックポイント群を全て削除できるため、チェックポイントに利用されるストレージサイズは十分チェックポイント間隔が広く、削除が速やかに行われる場合、2ジェネレーション分に抑えることができる。(最後の一貫性がとれたチェックポインと最新のチェックポイントでガベージコレクションの判定を待っているもの)

#### 2.2.3 実装/実行環境構築

スーパーコンピュータにおいて、最適化サーバ、そのほかの管理サーバと MPI ジョブを連成して実行するようスケジューラに指定するのは難しい。このため、本実装では前節 Parallel Iteration-based Checkpoint レイヤにて MPI ジョブが起動時に自身で管理サーバ群を起動するように実装されている。

- 1. 各ノードにアサインされる MPI ジョブプロセスのうち 1 プロセスが自動的に管理プロセスになる。
- 2. 管理プロセスは最適化サーバやアプリ・サーバ間通信手法 (FTB) の構成サーバ起動等を行う。

#### **2.2.4** 利用例/チェックポイント間隔の最適化

各プロセスが測定した、チェックポイント保存時間、計算時間と、実行環境の故障率を元に最適化サーバが最適なチェックポイント間隔を計算し、チェックポイントすべき反復番号および次のチェックポイントまでのストライドを送るという手法により実現されている(図 3)。ガベージコレクションに用いるフラグは反復回数そのものとなる。本年度は、この実装に対して Oakleaf-FX10 での適用を目指したが、MPI 実装とプロセス管理部分に関して可搬性が低く、現在も改良を続けている。

以上の実装改良と並行し、AMR(Adaptive Mesh Refinement)型のアプリケーションとの連携を検討した。本実装は、コアループの実行時間とチェックポイント時間、故障率から最適なチェックポイン

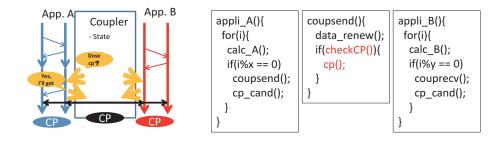


図 5: 連成アプリケーションのチェックポイント

ト頻度を自動算出するが、これはコアループの実行時間の変更が頻度/時間量的に少ないことを想定した手法になっている。AMR はメッシュ再分割により、コアループの実行時間が大きく変わり、その分割の様子は入力データにより変わってくる。このため、AMR 側にこちらが最適と判断したチェックポイント頻度を提供し、また AMR からチェックポイント頻度を設定できるようなインタフェースが必要であることが判明した。同様に、ppOpen-Math/MPと協調手法に関しても検討を行った。カプラー側が実行時ステータスを持つため、連成されるアプリケーションそれぞれのチェックポイントに合わせ、カプラー内部のデータもチェックポイントする必要がある。このため、カプラー用として、アプリケーションがチェックポイントを取るかどうかを確認するインタフェースが必要となる。

#### 2.2.5 利用例/部分チェックポイントのためのグループ最適化

昨年度から、Uncoordinated/Coordinated 手法を使い分けるためのグルーピング機構の最適化に関する検討を行ってきた。この手法は、Uncoordinated なチェックポイントで発生する大量のログコストを低減するための手法で、プロセスをある程度グループ化し、グループ間ではログベースのチェックポイント、グループ内では Coordinated な手法を用いるというものである。このため、通信量(ログコスト)を最適な状態に抑える高速なアルゴリズムが必要であった。昨年度の時点で、ステンシル計算を対象にしたアプリケーションプロセスの地理的配置と形状を利用したアルゴリズム(図7)を提案しており、性能検証のための実装を行っていた。本年度はより詳細な性能検証と、実際にチェックポインタとして利用するためのシナリオ及び、提案フレームワーク上での実装について検討を行った。この結果、従来の METIS, SCOTCH といった通信エッジ数に依存する手法に対し、ノード数依存かつ計算量の低いアルゴリズムであることを確認できた。実装の検討について前節にある図4に示した。

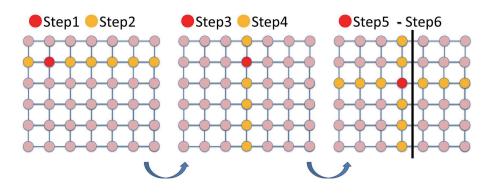


図 6: グループ分割アルゴリズム:まず、プロセスはノード毎にグループ化されている状態から始まる。Step1,2 適当なノードを始点とし、幅を測定する、Step3,4 幅の中央を定めそこから高さを測定する、Step5,6 高さの中央を決め、境界で区切る。以降この 2 分法を再帰的に適用する

#### 2.3 具体的成果

ステンシル構造をもつ反復計算を主とする科学技術計算を対象として、ランタイム情報を加味した最適化を行うチェックポイント/リスタートを容易に実装するフレームワークを提案、Oakleaf-FX10上での実装を継続している。 また、例示実装として新たに Uncoordinated/Coordinated な手法をハイブリッドに行うためのグループ最適化を検討した。最適化アルゴリズム自体の評価に関しては、国際会議 DSN に併設して行われるワークショップ FTXS2014 で発表を行った。

3 科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ 駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証

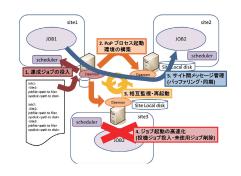
#### 3.1 背景

科学技術シミュレーションの分野においては大規模計算機資源を利用することによって,これまで達成不可能であったような大規模,詳細なシミュレーションが可能となった。また,複数の物理課程を連成して実施するための手法も開発されてきており,より複雑な物理現象の解明も徐々に可能となっている。また,シミュレーション,可視化処理の連成、およびマルチスケールアプリケーション等で行われるデータ処理をローカルで同時に実行する手法も既に開発されている。そこで本研究では、広域分散計算や連成計算の必要条件と要素技術の検討と整備に焦点を合わせる事により、汎用性を備えたフレームワークの基礎を固める。

#### 3.2 内容

#### 3.2.1 設計/概要

本研究では、より大規模に計算機資源を活用するために、1)多拠点でのアプリケーション実行基盤とプログラミングモデル、2)多拠点実行に合わせたアプリケーション制御が必要であると考える。これまで、このような連携フレームワークは多々考えられてきたが、大がかりなシステムが多く、各拠点の運用ポリシーの調整やサービスの実装に大幅な時間を取られてきた。このため、本研究ではユーザが独自に各拠点の資源を管理できるようなユーザ専用の連携システムを構築することを主眼とし、そのために SSH といった、各拠点でのポリシーのすりあわせを行う必要のない、Well-known なサービスを利用する。また、拠点間のメッセージを管理するデーモンを各拠点のログインノードに置くことで、双方で行われるジョブ実行開始時間のずれ等にも対応する。



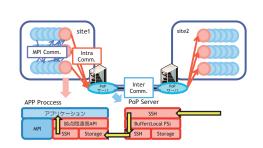


図 7: デーモンと API によるフレームワーク概要 図 8: メッセージ転送手法とシステムスタック

#### 3.2.2 設計/メッセージ喪失対応

メッセージ管理デーモンはログインノードで実行される関係上、拠点毎の実行期限時間によって強制終了される可能性がある。これには、デーモンの再起動で対応するが、拠点間メッセージの喪失に対応する必要がある。通信用共有ファイルは一般的に既読メッセージの削除に大きなコストがかかる

ため、これを行わない。このとき PoP サーバ間でメッセージ受信に対して ACK 信号を返すモデルを 考える (図 9)。

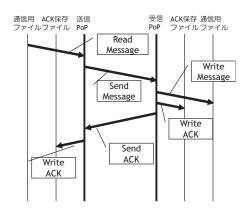


図 9: メッセージ、および ACK の送信と保存

異常終了を検知し、終了されてしまった PoP サーバは再起動を行った後、他方の PoP サーバに現在の ACK 状況を問い合わせる。また、自分が保存しておいた ACK 保存ファイルを読み込み、自分の ACK 送出状況とする。次に送出するメッセージを特定するためには以下のパターンを用いる

送信側 ACK と受信側 ACK が一致する場合 特に対処は必要とせず、次の未 ACK メッセージを送出 メッセージとする

送信側 ACK と受信側 ACK が一致しない場合 受信側から ACK が送信側に戻っておらず、メッセージが破損している可能性があるため、破損メッセージリストに ACK を送出していないメッセージのメタデータを保存する。さらに、通信用共有ファイルを閉じ、新たに新しいファイルを通信用共有ファイルとして作成する。受信側のアプリケーションは破損リストを見ながら、該当メッセージを確認した場合、それを破棄、新しい通信用共有ファイルから再度読み込み始める

#### 3.2.3 実装

試験実装は、アプリケーションが利用する拠点間通信 API と各拠点のログインノードで実行される PoP サーバから成る。アプリケーションと PoP サーバ間の通信は拠点間通信 API によって仮想化されており、TCP/IP などをはじめとする、様々な通信実装を採用できる機構とした。実際の実装にはスケーラビリティの観点から共有ファイルを用いた通信を適用している。API を利用する際には、送信者・受信者を識別するために、それぞれのアプリケーション内でユニークな ID を定義し用いる。このため、適切にユニーク ID を設定することにより、プロセス並列、スレッド並列の双方に対応可能な仕様となっている。現在は実装の単純化のため、送信側は転送先を指定可能であるが、受信側はメッセージを受信順に読むことしかできない。また、同じ送信元から送信されたメッセージの順序は保存されるが、複数の送信元がある場合、その順序は不定である。さらに、前節で述べた、メッセージ喪失対応は未実装である。メッセージの転送フローはローカルを送信側、リモートを受信側とした場合、以下のようなものとなっている。

- 1. ローカルアプリケーションは拠点間通信 API の Send 操作により、拠点間通信メッセージをローカルクラスタ内の通信用共有ファイルに記述する。このファイルはローカルのユニーク ID 毎に作成される
- 2. ローカルの PoP サーバが通信用共有ファイルを polling しており、データが到着次第、リモートへの送信キューに登録される。複数の通信用共有ファイルのデータはここでシリアライズされる。

この際の複数送信元からのメッセージの優先順位は変更可能にする予定であるが、現在はすべてのメッセージが機会均等に送出されるようにしている。具体的にはあるメッセージがリモートに送出されるまで、同じ送信元のメッセージが送信キューに登録されないようにしている。

- 3. メッセージを受け取ったリモート側の PoP サーバはメッセージヘッダに記された送信先 ID を元 に、リモート側の通信用共有ファイルにデータを書き込む。この通信用共有ファイルはリモート のユニーク ID 毎に作成されている。
- 4. リモートアプリケーションは拠点間通信 API の Recv 操作により、通信用共有ファイルのデータを読みこむ。

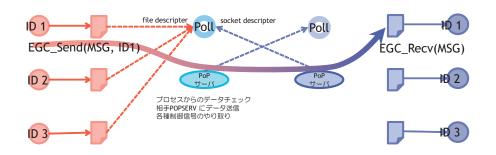


図 10: 共有ファイルを用いたメッセージ送受信の実装シナリオ

#### 3.3 具体的成果

フレームワークに必要とされる要件の検討を行い、システムを設計、実装を行っている。また、この研究計画を学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) に応募し、本年度に引き続き来年度も HPCI/JHPCN 課題として採択された。来年度はより詳細な実装と大規模連成試験を行っていく。

#### 4 成果要覧

#### 查読付論文

[査読付 1] Hideyuki Jitsumoto, Yuki Todoroki, Yutaka Ishikawa and Mitsuhisa Sato. Grid-Oriented Process Clustering System for Partial Message Logging, In The 4th Fault Tolerance for HPC at eXtreme Scale (FTXS) 2014, in conjunction with DSN2014, USA.

#### その他の発表論文

- [発表 1] 實本 英之, 小林 泰三, 松本 正晴, 滝澤 真一朗, 三浦 信一, 中島 研吾, 複数拠点利用を実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワーク, 電子情報通信学会技術研究報告 CPSY2014-20 (SWoPP'14), Vol.114, No.155, pp155-159, 2014 July.
- [発表 2] 實本 英之, 科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証,JHPCN H26 年度中間報告, Nov 2014.
- [発表 3] 實本 英之, 塙 敏博, 原田 浩, 中 誠一郎, 建部 修見, 平川 学, 藤本 大輔, 蛯原 純, 宮嵜 洋, 佐島 浩之, HPCI ストレージの運用, AXIES 大学 ICT 推進協議会年次大会, ポスター発表 T2A-22, Dec 2014.

#### 特記事項

- [特記 1] Member of Program Committee, 4th Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale (FTXS2014), https://sites.google.com/site/ftxsworkshop/home/ftxs2014/
- [特記 2] 第 38 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, MPI-IO の使い方, http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/38/

## 演算加速機構と通信機構との統合環境に関する研究

#### 塙 敏博

#### 1 概要

2014年度は、主に以下の研究を行った。

● 密結合演算加速機構 (Tightly Coupled Accelerators:TCA) と実証クラスタ HA-PACS/TCA に関する 研究

GPUに代表される演算加速機構を用いた高性能計算システムにおいて、演算加速機構同士がノードをまたいで通信を行う際にオーバヘッドが大きく、アプリケーション性能に影響を与える。そこで、ノードをまたいだ演算加速機構同士の通信を可能にする、密結合演算加速機構に関する研究を行った[招待1, 査読付1, 査読付2, 査読付4, 発表1, 発表2, 発表3, 発表5, 発表6, 発表7, 発表10, 発表11, 発表12, 発表13, 発表14, 発表15, 発表16]。

このうち、2014年6月に行った本研究に関する発表 [査読付 1, 発表 3] に対して、それぞれ、Best Paper Award[受賞 1], Best Poster Award[受賞 2] を受賞した。本研究の一部は、JST-CREST 研究領域「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」、研究課題「ポストペタスケール時代に向けた演算加速機構・通信機構統合環境の研究開発」(研究代表者:朴泰祐教授)による。また、本研究における HA-PACS/TCA の利用は、筑波大学計算科学研究センターの学際共同利用プロジェクト (研究代表者:塙 敏博) によるものである [特記 1]。

• GPU クラスタ向け並列言語 Xcalable ACC に関する研究

並列言語 Xcalable-MP(XMP) を GPU などの演算加速機構に拡張する XcalableACC (XACC) が筑波大学・理研を中心に開発されている。 XACC では XMP と OpenACC の指示文をシームレスに利用できる. さらに、OmniXACC コンパイラでは、HA-PACS/TCA が備える TCA と InfiniBand とを有効に利用して高い性能が得られることを示した [査読付 3, 発表 8]。

GPU を用いたアプリケーション開発
 OpenFMO コードにおける Fock 行列計算の GPU 化に関する研究を行った [査読付 5]。

● CPU, GPU を用いた光通信処理技術に関する研究

次世代の光通信に必要不可欠な信号処理について、従来は専用ハードウェアを用いていた処理の一部を、CPU または GPU を用いた場合の実現可能性について調査した。本研究は、NTT アクセスサービスシステム研究所との共同研究として実施した。

• ICCG 法の性能評価,有限要素法係数生成プロセスの性能評価

Intel Xeon Phi を用いたコードの最適化と性能評価を行った。詳細は筆頭著者教員の節を参照されたい [発表 4, 発表 9]。

以降、密結合演算加速機構に関する研究について述べる。

# 2 密結合演算加速機構 (Tightly Coupled Accelerators:TCA) と実証クラス タ HA-PACS/TCA

### 2.1 背景

近年, GPU (Graphics Processing Unit) を始めとする演算加速機構の持つ高い演算性能とメモリバンド幅に着目し、様々な HPC アプリケーションへの適用が盛んに行われている。また、電力効率の良さにも注目されており、2014年 11 月の GREEN500 リスト [1] では Top10 のうち 9 システムを GPU 搭載システムが占めた。

演算加速機構はホストに対して IO バスにより接続されるが、このようなシステムでは複数ノードをまたがる演算加速機構間の通信が必要になる。従来は、CPUメモリを介してノード間を転送するため数回のデータコピーが必要となっていた。特にサイズの小さいデータ転送の場合にレイテンシの増加により顕著な性能低下を引き起こすことが知られている。

そこで、ノード間接続および GPU 間接続に、レイテンシとバンド幅の改善を目指した独自開発の専用相互結合機構 TCA (Tightly Coupled Accelerators) の開発を筑波大学計算科学研究センターと共同で行っている。

### 2.2 内容

TCA の基本的なハードウェア技術としては、PCI Express (以降、PCIe) を応用したものである [2]。8 から 16 ノード程度を TCA で結合し、特にメッセージサイズが小さく低レイテンシを要求するアルゴリズムにこれを適用する。このノードグループをサブクラスタと呼ぶ。全てのノードはベースクラスタと同様 InfiniBand でも結合され、TCA と InfiniBand の階層ネットワークを構成する。特に大規模並列 GPU アプリケーションでは、高速な局所通信と大規模な一般通信とを組み合わせた最適化が可能になると考えられる。現時点で TCA が対象にする演算加速機構は、NVIDIA 社の Kepler アーキテクチャTesla 版 GPU であり、GPUDirect Support for RDMA[3] (以降 GDR) により PCIe デバイスとの間で直接 GPU メモリの読み書きが可能になる。

TCA アーキテクチャを実現するインタフェースボードとして、FPGA チップを搭載した PEACH2 (PCI Express Adaptive Communication Hub ver.2) ボードを開発してきた。PCIe では CPU とデバイス間において双方向パケット通信を行っており、PEACH2 においてはこれをノード間の通信に拡張する。PEACH2 では PCIe パケットのヘッダの書き換えによる中継処理、高度な DMA 転送などをハードワイヤード処理で行う。FPGA を使用することにより、動作速度やレイテンシの面では大きな制約を受ける一方で、回路を柔軟に変更することができ、機能の改善や、様々な機能追加が後から可能であり、また、制約の中で注意深く設計することにより、十分な性能を得ることができる [査読付 1]。

TCA を用いた実証システムとして、HA-PACS/TCA クラスタが 2013 年 11 月に筑波大学計算科学研究センターに導入された。HA-PACS/TCA では図 1 に示す構成を用いている。CPU ソケットから直接 PCIe Gen3 を 40 レーン持つ Intel 社 Xeon E5 (IvyBridge-EP) プロセッサを用いる。従って、2 ソケット 用いると Gen3 80 レーンを持つ。GPU は従来通りホストに直接接続される。一方、PEACH2 ボードは 別の PCIe スロットに接続し、GPU メモリにアクセスする必要がある。この図 1 の場合にも、全ての デバイスは単一の PCIe アドレス空間に配置され、GPU と PEACH2 の間は CPU に内蔵された PCIe スイッチを介して直接 PCIe プロトコルで通信可能である。

Intel プロセッサにおいては、複数 CPU ソケット間のインタコネクトとして QPI が用いられているが、GPU0 または GPU1 と、GPU2 または GPU3 の間の QPI をまたぐデバイス間通信には性能上問題があり、PEACH2 からのアクセスは図 1 中の GPU0、GPU1 のみに限定することを想定している。

PEACH2 チップの構成は図 2 に示すように N(orth), E(ast), W(est), S(outh) の 4 つの PCIe Gen2 x8 ポートを持つ。E ポート, W ポートは、隣接ノードの PEACH2 との間でリングを構成し、S ポートは

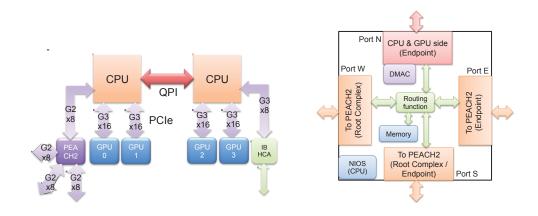


図 1: HA-PACS/TCA におけるノード構成

図 2: PEACH2 の構成

リング同士を接続するために用いられる。

PEACH2 は、PIO と DMA の 2 つの通信方式を備えている。PIO 通信は、CPU の store 操作によってリモートノードに書き込みを行うことであり、小サイズのデータに向いている。一方、DMA として 4 チャネルのコントローラを持つ。各コントローラは、chaining DMA 機能を備え、複数の DMA を効率よく実行することができる。また、ブロックストライド転送機能を持ち、ステンシル計算における 3 次元配列データの袖領域通信などを効率よく実現できる。

図 3 に PEACH2 ボードを示す.このボードは,PCIe ボード規格に準拠しており,Gen2 x8 のエッジコネクタ (N ポート) と,左側面には PCIe ケーブルポートが合計 3 個 (E, W, S ポート) 備わっている。



図 3: PEACH2 ボードの写真 (左:パネル面,右:基板面,中央左のヒートシンク下に FPGA が隠れている。)

HA-PACS/TCA は 64 ノードで構成される。図 4 に示すように、各計算ノードには PEACH2 ボードが内蔵され、ボード同士を PCIe 外部接続ケーブルで接続することによって TCA サブクラスタが構成される。現在の構成では、TCA サブクラスタは 16 ノードからなり、HA-PACS/TCA 全体では 4 つの TCA サブクラスタを含む。

### 2.3 具体的成果

• TCA 向けドライバの開発

Linux から PEACH2 ボードを利用可能にするためのドライバ,および GDR 機能を実現するためのドライバの開発を継続して行った。以下に必要な基本的な通信機能は完成し、改良を加えている。

• TCA におけるプログラミング環境の開発

TCA のための API は、NVIDIA から提供されている CUDA 開発環境を基本とし、従来の同一ノード内における GPU 間メモリコピーをノード間に拡張した。実際には、(1) 受信用メモリハンドル



図 4: TCA 計算ノード前面 (左), TCA 計算ノード背面 (右, 中央部にあるのが PEACH2 ボード)

登録, (2) リモート書き込みパターンの登録, (3) 送信 (DMA) 実行, (4) 受信確認または受信待ち, の手順になる。ステンシル計算のように同じ通信パターンを繰り返す場合には, 各反復中では (3), (4) のみを実行すればよく, オーバヘッドが削減できる [発表 6]。

また、collective 通信については、TCAのトポロジに最適なプロセスマッピングとアルゴリズムを工夫した実装を行っている[発表 12]。

一方、TCA による通信を支援するプログラミング言語として、PGAS 言語である Xcalable MP の TCA 拡張である、XACC/TCA について検討し実装を行っている [査読付 3, 発表 8]。さらに、HA-PACS/TCA の持つ TCA による通信と InfiniBand による通信それぞれの長所を活かした最適化を検討している [発表 13]。

## • HA-PACS/TCA における性能評価

基本性能の測定を行った結果,ping-pong 通信における最小レイテンシは,PIO の場合の CPU 間で  $0.8\mu$ s,DMA の場合,CPU 間で  $1.8\mu$ s,GPU 間で  $2.0\mu$ s の性能が得られた。InfiniBand QDR 上で MVAPICH2-GDR 2.0 による CUDA-aware MPI による場合には,GPUDirect off では  $17\mu$ s,GPUDirect on でも  $4.5\mu$ s であり,TCA の方が 2.3 倍以上良い性能を示した。また 64KB 以下のサイズでは TCA の方がレイテンシが低かった。また,通信バンド幅については,CPU 間では 3.5GB/s と理論ピーク性能の 95%以上得られている。GPU 間では 2.7GB/s の性能が得られている。大きなメッセージサイズの場合には,敢えてホストメモリに一旦コピーし,パイプライン処理で送信することによって,CPU 間でのバンド幅に近づけることは可能であると考えられる。ブロック-ストライド転送における性能測定の結果,ブロック転送と同等,あるいはそれ以上の性能を示すことが分かった [発表 11, 招待 1]。

また, 8byte データの Allreduce は MPI\_Allreduce に比べて 2.5 倍高速であることがわかった [発表 12]。

### • TCA によるアプリケーションの性能評価

CG 法 [発表 2, 発表 14]、NVIDIA GPU 向けの QCD ライブラリである QUDA[査読付 2]、FFT[発表 15]、グラフ探索 [発表 1, 発表 10] に TCA 通信を適用し、性能評価を行った。メッセージサイズが小さい場合に TCA の性能が優位であることから、いずれの場合にも、小規模の問題において TCA を用いた場合に強スケーリングを示すことが証明された。

### ● PEACH2 の機能拡張および PEACH3 の開発

PEACH2 ボードに搭載した FPGA 内部の空きロジックを用いて,通信中にリダクションを実現する機能の実装について検討している [発表 7]。

さらに、PCIe を Gen3 に向上させた PEACH3 を開発し、性能評価を行っている [査読付 4, 発表 5]。

## 3 成果要覧

## 招待講演/招待論文

[招待 1] Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku: Tightly Coupled Accelerators with Proprietary Interconnect and Its Programming and Applications, GPU Technology Conference 2015, S5519, Mar. 2015

### 受賞関連

- [受賞 1] Yuetsu Kodama, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku and Mitsuhisa Sato: Best Paper Award, Fifth International Symposium on Highly-Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART2014), Jun. 2014
- [受賞 2] Toshihiro Hanawa: Best Poster Award, HPC in Asia poster, International Supercomputing Conference (ISC'14), Jun. 2014

## 査読付論文

- [查読付 1] Yuetsu Kodama, Toshihiro Hanawa, Taisuke Boku and Mitsuhisa Sato: PEACH2: FPGA based PCIe network device for Tightly Coupled Accelerators, Fifth International Symposium on Highly-Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies (HEART2014), pp. 3–8, Jun. 2014
- [查読付 2] Norihisa Fujita, Hisafumi Fujii, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Yoshinobu Kuramashi, and Mike Clark: QCD Library for GPU Cluster with Proprietary Interconnect for GPU Direct Communication, 12th International Workshop Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogeneous Platforms (HeteroPar2014), in conjunction with EuroPAR2014, Lecture Notes in Computer Science Volume 8805, pp. 251–262, Aug. 2014
- [查読付 3] Masahiro Nakao, Hitoshi Murai, Takenori Shimosaka, Akihiro Tabuchi, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: XcalableACC: Extension of XcalableMP PGAS Language using OpenACC for Accelerator Clusters, Workshop on accelerator programming using directives (WACCPD 2014), in conjunction with SC14, pp. 27–36, Nov. 2014
- [查読付 4] Takuya Kuhara, Takahiro Kaneda, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, and Hideharu Amano: A preliminarily evaluation of PEACH3: a switching hub for tightly coupled accelerators, 2nd International Workshop on Computer Systems and Architectures (CSA'14), in conjunction with the 2nd International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2014), pp. 377–381, Dec. 2014
- [査読付 5] 梅田 宏明、塙 敏博、庄司 光男、朴 泰祐、重田 育照: GPGPU クラスタ上での FMO 計算 の性能評価、日本コンピュータ化学会 2014 秋季年会精選論文特集号、pp.323–324, 2014 年 12 月

### その他の発表論文

[発表 1] 勝田 裕貴, 宮島 敬明, 野村 鎮平, 久原 拓也, 塙 敏博, 天野 英晴, 朴 泰祐: Tightly Coupled Accelerator を用いた幅優先探索の高速化, 信学技報 114(21), CPSY2014-4, pp. 15-20, 2014 年 4 月

- [発表 2] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA を用いた GPU 間直接通信による CG 法の実装と予備評価, 情報処理学会研究報告, 2014-HPC-144(12), pp. 1-9, 2014 年 5 月
- [発表 3] Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: Proprietary Interconnect with Low Latency for HA-PACS/TCA, HPC in Asia Poster, in conjunction with International Supercomputing Conference (ISC'14), Jun. 2014.
- [発表 4] 大島 聡史, 松本 正晴, 片桐 孝洋, 塙 敏博, 中島研吾: 様々な計算機環境における OpenMP/OpenACC を用いた ICCG 法の性能評価, 情報処理学会研究報告, vol. 2014-HPC-145(21), pp.1-10, 2014 年 7 月
- [発表 5] 天野 英晴, 久原 拓也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐: PEACH3 の基本転送性能の予備評価, 電子情報通信学会技術報告, CPSY2014-26, pp.97-102, 2014 年 7 月
- [発表 6] 藤井 久史, 藤田 典久, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久, 藏増 嘉伸, Mike Clark: GPU 向け QCD ライブラリ QUDA の TCA アーキテクチャ実装の性能評価, 情報処理学会研究報告, 2014-HPC-145(43), pp.1-9, 2014 年 7 月
- [発表 7] 久原 拓也, 宮島 敬明, 塙 敏博, 天野 英晴: PEACH2 への演算機構の実装とその性能評価, 信 学技報, Vol.114, No.223, pp. 63–68, 2014 年 9 月
- [発表 8] 中尾 昌広, 村井 均, 下坂 健則, 田渕 晶大, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久: XcalableACC:OpenACC を用いたアクセラレータクラスタのための PGAS 言語 XcalableMP の拡張, 情報処理学会研究報告, 2014-HPC-146 (7), pp. 1-11, 2014 年 9 月
- [発表 9] 中島 研吾, 大島 聡史, 塙 敏博: 有限要素法係数行列生成プロセスのマルチコア・メニィコア 環境における最適化,情報処理学会研究報告, 2014-HPC-146 (22), pp. 1-7, 2014 年 9 月
- [発表 10] 金田 隆大, 三石 拓司, 勝田 裕貴, 久原 拓也, 塙 敏博, 天野 英晴, 朴 泰祐: Tightly Coupled Accelerators によるグラフ探索の並列処理の評価, 信学技報, vol. 114, no. 302, CPSY2014-65, pp. 63–68, 2014 年 11 月
- [発表 11] Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Taisuke Boku, Mitsuhisa Sato: Tightly Coupled Accelerators Architecture for Low-latency Inter-Node Communication Between Accelerators, SC14 poster, Nov. 2014
- [発表 12] 松本 和也, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 藤井 久史, 朴 泰祐: 密結合並列演算加速機構 TCA を用いた GPU 間直接通信による Collective 通信の実装と予備評価、情報処理学会研究報告. 2014-HPC-147(23), pp. 1–10, 2014 年 12 月
- [発表 13] 小田嶋 哲哉, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 村井 均, 中尾 昌広, 佐藤 三久: HA-PACS/TCA に おける TCA および InfiniBand ハイブリッド通信, 情報処理学会研究報告. 2014-HPC-147(32), pp. 1–8, 2014 年 12 月
- [発表 14] Kazuya Matsumoto, Toshihiro Hanawa, Yuetsu Kodama, Hisafumi Fujii, and Taisuke Boku: Implementing CG Method on GPU Cluster with Proprietary Interconnect TCA for GPU Direct Communication, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2015, Jan. 2015.

- [発表 15] 藤井 久史, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久: GPU 向け FFT コードの TCA アーキテクチャによる実装と性能評価, 情報処理学会研究報告. 2014-HPC-148(12), pp. 1–9, 2015 年 2 月
- [発表 16] 桑原 悠太, 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐: GPU クラスタにおける GPU 間セルフ通信機構に 関する提案, 情報処理学会研究報告. 2014-HPC-148(17), pp. 1–8, 2015 年 2 月

## 特記事項

- [特記 1] 塙 敏博, 筑波大学計算科学研究センター学際共同利用プログラム「密結合演算加速機構アーキテクチャに向けた GPGPU アプリケーション」プロジェクト研究代表者, 2014 年度
- [特記 2] 塙 敏博, Co-Chair, Program Committee, 5th Intl. Symp. on Highly-Efficient Accelerattors and Reconfigurable Technologies, 2014
- [特記 3] 塙 敏博, Member of Program Committee, The 2014 International Conference on High Performance Computing & Simulation, 2014
- [特記 4] 塙 敏博, Member of Program Committee, IEEE Cluster, 2014
- [特記 5] 塙 敏博, Member of Program Committee, 12th Intl. Workshop on Algorithms, Models and Tools for Parallel Computing on Heterogeneous Platforms (HeteroPar'2014), 2014
- [特記 6] 塙 敏博, Member of Program Committee, The 6th International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM), 2014
- [特記 7] 塙 敏博, チュートリアル委員長, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI), 2015

# 参考文献

- [1] http://www.green500.org/
- [2] 塙 敏博, 児玉 祐悦, 朴 泰祐, 佐藤 三久: Tightly Coupled Accelerators アーキテクチャに基づく GPU クラスタの構築と性能予備評価, 情報処理学会論文誌 (コンピューティングシステム), Vol.6, No.4, pp.14-25, 2013 年 10 月
- [3] NVIDIA Corp.: NVIDIA GPUDirect. http://developer.nvidia.com/gpudirect.

# 大規模マルチスケールシミュレーション手法に関する研究

## 松本 正晴

## 1 概要

2014年度に行った主な研究実施項目を以下に示す。

### ppOpen-HPC を利用する大規模マルチスケール連成シミュレーションの実証

ppOpen-HPC プロジェクト<sup>1</sup> では、計算機の専門家でない研究者や技術者が大規模システム向けの様々なシミュレーションプログラムを容易に開発し、高速・安定に実行するための環境を開発している。本年度は、ppOpen-HPC で提供されている有限差分法用ライブラリ ppOpen-APPL/FDM、有限要素法用ライブラリ ppOpen-APPL/FEM、ならびに汎用カップラライブラリ ppOpen-MATH/MP を用いた地震波動-建築物振動マルチスケール連成シミュレーションを行い、大規模システムへ向けて ppOpen-HPC を利用するマルチスケールシミュレーション手法を確立した。[査読付 11, 特記 2]

### 有限差分法用 AMR フレームワーク(ppOpen-APPL/AMR-FDM)の開発と公開

ppOpen-HPC プロジェクトの一環として、有限差分法用アプリケーションへ適合格子細分化(Adaptive Mesh Refinement, AMR)法を導入するフレームワークである ppOpen-APPL/AMR-FDM の開発を進めている。本フレームワークの特徴は、AMR 機能により MPI プロセス間に発生する計算負荷の不均一を是正する機構として動的領域分割(Dynamic Domain Decomposition, DDD)を実装している点にある。本年度は、ver.0.3.0 の公開を行うとともに、AMR フレームワークの陰解法への適用へ向けた検討を行った。[査読付 2, 査読付 3, 発表 1, 公開 1]

## 様々な計算機環境における ppOpen-APPL/FDM の最適化に関する研究

ppOpen-HPC プロジェクトの一環として、ppOpen-APPL/FDM の開発を進めている。本年度は、様々な計算機環境(Oakleaf-FX、Intel Xeon Phi 搭載クラスタ等)における ppOpen-APPL/FDM の最適化を行い、各環境における最適コードの特性について示した。また、自動チューニング(AT)専用言語である ppOpen-AT を用いた ppOpen-APPL/FDM の AT 評価へ向けて、コード整備を行った。なお本研究は、東京大学地震研究所との共同研究として進めている。[査読付 4, 査読付 5, 査読付 8, 査読付 9]

### AMR-PIC プラズマシミュレーション手法の開発とその応用

プラズマシミュレーション手法の一つである Full Particle-In-Cell (PIC) 法に AMR 法を導入した AMR-PIC 法の開発を進めている。本年度は、宇宙機や惑星探査機に搭載される電気推進器であるイオンエンジンのシミュレーションへ AMR-PIC 法を適用し、その有効性について示した。なお本研究は、神戸大学、核融合科学研究所との共同研究として進めている。[発表 8, 特記 1]

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp

## パルスレーザーを利用する電磁流体エネルギー変換技術開発へ向けた MHD シミュレーション研究

エネルギーキャリアとしてレーザーを利用して、すなわち外部からのエネルギー供給を受けることで、航空宇宙機における高出力密度電力発生を行うパルスレーザー駆動 MHD 発電技術の研究開発を進めている。本年度は、1 次元数値シミュレーションによる基礎的検討、ならびに2次元数値シミュレーションによる発電特性の解明を行った。なお本研究は、東京工業大学との共同研究として進めている。[査読付7,査読付10,発表10,発表13]

## 磁気プラズマセイル開発へ向けた Hybrid PIC プラズマシミュレーション研究

次世代惑星間航行用推進システムとして提案されている磁気プラズマセイルの開発へ向けて、その数値シミュレーション手法の開発を進めている。本年度は、プラズマシミュレーション手法の一つである Hybrid PIC 法による 3 次元シミュレーションコードの開発を行い、解析を行った。なお本研究は、宇宙航空研究開発機構、明石工業高等専門学校、東京農工大学との共同研究として進めている。[査読付 1, 発表 9]

### ユーザー駆動型・拠点協調フレームワークを利用する連成アプリケーション評価

可視化を伴うシミュレーションや複数のアプリケーションを同時に実行するマルチスケール・マルチフィジックスに対応した連成シミュレーションのようなアプリケーションを対象に、広域に分散した計算機資源を有効に活用するためのフレームワークの開発を進めている。本年度は、フレームワークの実装・構築に先立ち、拠点間連携を行う既存手法である「HPCI 先端ソフトウェア運用基盤 分散環境ホスティングサービス」を利用した連成アプリケーションの評価を行った。なお本研究は、主に東京工業大学、九州大学、理化学研究所との共同研究として進めている。[発表 3]

# 2 ppOpen-HPC ライブラリ群を利用する地震波動-建築物振動マルチスケー ル連成シミュレーション

### 2.1 背景

地震による建物の揺れをその震源から解析するためには  $100 \text{km} \times 100 \text{km}$  程度以上の広い領域で起きる地震波動の進展と,数  $10 \text{m} \times 30 \text{m}$  程度の狭い領域で起きる建物の振動を同時に解く必要がある。しかしこのような解析は,対象とするスケール・物理が両者で大きく異なるため,単一のアプリケーションではそのモデル化から実装・評価が非常に難しい。このような問題を克服するために,複数のアプリケーションを"カップラ"により連成させるマルチスケール(マルチフィジックス)シミュレーションに注目が集まっている。これは,それぞれのスケール・物理現象に適したアプリケーションを複数同時に実行し,そしてそれらを連成させることによって小さなスケール・現象から大きなスケール・現象までの統一的な解析を試みるものである。このような試みは,特に気象分野では 1960 年代から提案されており,これまで数多くの研究がなされている  $^2$ 。

一方,我々の研究グループでは,ppOpen-HPC プロジェクトの一環として,汎用カップラライブラリ ppOpen-MATH/MP の開発を行ってきた  $^3$ 。そこで本研究では,地震波動解析と建築物振動解析それぞれに適した既存の解析コードを,カップラを介して連成させるマルチスケールシミュレーションを行う。すなわち,我々の研究グループで開発が進められている ppOpen-HPC ライブラリ群を用いて,有限差分法(Finite Difference Method, FDM)用ライブラリである ppOpen-APPL/FDM を利用する地震波動の広域的解析と有限要素法(Finite Element Method, FEM)用ライブラリである ppOpen-APPL/FEM を利用する建築物振動の局所的解析を ppOpen-MATH/MP により連成させ,FDM-FEM 大規模連成解析(図 1 参照)を実証するとともに,その性能・精度評価,課題点の洗い出し等を行う。なお本研究

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Warren M Washington, et al., *Philosophical Transaction of the Royal Society A*, Vol.367, pp.833-846, 2009

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Takashi Arakawa, et al., *Procedia Computer Science*, Vol.29, pp.924-935, 2014

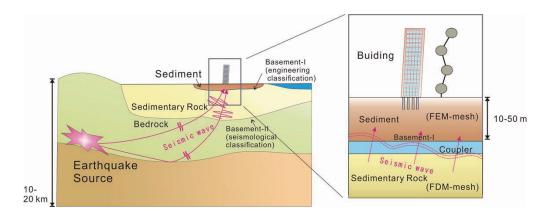


図 1: 地震波動-建築物振動マルチスケール連成シミュレーションの概要

では建築物の振動が地中を伝わる地震波動に影響を与えないことを前提として, FDM から FEM への 弱連成解析, つまり地中から建築物への一方向の地震波動伝播について解析を行った。

### 2.2 内容

### 2.2.1 連成解析モデル

本研究で評価される連成シミュレーションは 2 つの異なるアプリケーションで構成される。一つは ppOpen-APPL/FDM ライブラリで構成される Seism3D+であり、もう一つは ppOpen-APPL/FEM ライブラリで構成される FrontISTR++である。以下にこの 2 つのアプリケーションについて簡単に説明する。

## Seism3D+: 地震波動伝播解析用 FDM アプリケーション 4

Seism3D+は、一様な直交格子上に定義される速度ベクトルと応力テンソルを以下に示す2つの支配方程式(運動方程式と均質・等方弾性体応力テンソルと歪みの構成方程式)に従って、陽的に時間積分を行う地震波動伝播(弾性波動伝播)解析用FDMアプリケーションである。

$$\rho \frac{\partial v_p}{\partial t} = \left(\frac{\partial \sigma_{xp}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yp}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zp}}{\partial z} + f_p\right), \quad (p = x, y, z)$$
(1)

$$\frac{\partial \sigma_{pq}}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \delta_{pq} + \mu \left( \frac{\partial v_p}{\partial q} + \frac{\partial v_q}{\partial p} \right), \quad (p, q = x, y, z)$$
 (2)

ここで、v、 $\sigma$ ,  $\rho$ , f,  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\delta$  はそれぞれ、弾性体の速度、応力、密度、外部からの体積力、Lamé の第 1 定数、Lamé の第 2 定数(剛性率),Kronecker のデルタを示している。上記 2 式中の速度と応力は leap-frog 法による陽的時間積分によって更新される。Seism3D+のその他の特徴について以下に示す:一様 Staggered 格子、多次元解析(2D、3D),高次精度差分法(4 次、8 次),Fortran90/95 によって記述されるコード,Message-Passing Interface/Open Multi-Processing(MPI/OpenMP)によるハイブリッド並列化、など。

## FrontISTR++: 構造解析用 FEM アプリケーション 5

FrontISTR++(の動解析機能)は、非構造メッシュで構成される計算領域の各節点における変位ベクトルを以下に示す支配方程式(運動方程式)に従って、陰的に時間積分を行う非線形構造解析用 FEMアプリケーションである。

$$M\ddot{\mathbf{d}} + C\dot{\mathbf{d}} + \mathbf{K}\mathbf{d} = \mathbf{F} \tag{3}$$

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Takashi Furumura, et al., *Parallel Computing*, Vol.31, pp.149-165, 2005

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Hiroshi Okuda, http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/english/project/structure/FISTR\_JE\_1303.pdf, 2012

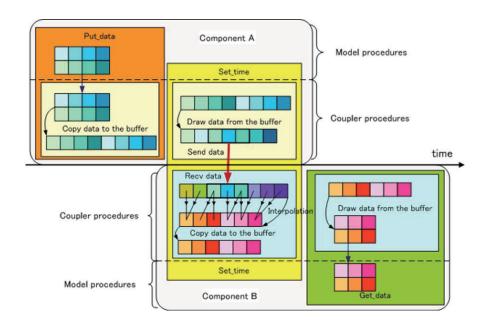


図 2: ppOpen-MATH/MP によるコンポーネント A から B へのデータフロー

ここで、M、C、K、F、d はそれぞれ、質量行列、減衰行列、剛性行列、節点荷重ベクトル、節点変位ベクトルを示している。上式中の各タイムステップにおける変位ベクトルは、前処理付き反復解法で計算され、また時間積分は逐次積分法の一種である Newmark's  $\beta$  法によって行われる。FrontISTR++のその他の特徴について以下にす示す:定常/非定常解析、陽/陰的時間積分法、さまざまな線形ソルバー(前処理付き反復解法:CG、GMRES、BiCGSTAB、GPBiCG、前処理:Jacobi、SSOR)、メッシュデータの階層的取り扱い、MPI/OpenMP ハイブリッド並列化、など。

## 2.2.2 カップラと連成シミュレーションへ向けた実装

地震波動-建築物振動連成シミュレーションでは、Seism3D+と FrontISTR++がカップラライブラリ ppOpen-MATH/MP によって接続される。以下に ppOpen-MATH/MP の特徴と連成シミュレーションへ向けた実装について述べる。

## ppOpen-MATH/MP:様々な離散化手法に対応するカップラライブラリ

ppOpen-MATH/MPはppOpen-APPLライブラリ群によってサポートされている様々な離散化に対応するカップラライブラリである。本カップラは、各アプリケーション間の格子補間コードをユーザーが任意に実装することで、様々な格子形状に対応できる汎用性を確保している。すなわち、入力する情報として、補間計算に用いる各アプリケーションの格子点の対応表(以下、マッピングテーブル)を必要とする。ライブラリにはマッピングテーブルを構築するための格子生成ツールも付随している。ppOpen-MATH/MPはアプリケーションではなくライブラリなので、各アプリケーションは互いに格子を接続するために、APIの関数を呼び出す必要がある。これはつまり、各アプリケーションが物理計算を行っている中でカップラもまた、同時に実行されていることを意味する。この仕様により、カップラによる追加実行のオーバーヘッドを低減させ、アプリケーションの実行効率の低下を最小限に抑えることが可能となる。

図 2 に ppOpen-MATH/MP による 2 つの異なるアプリケーション間データフローを示す  $^6$ 。本研究の場合,コンポーネント A と B は Seism3D+と FrontISTR++に対応している。ppOpen-MATH/MP は強連成計算のための相互通信機能を備えているが,本研究で行う弱連成計算のための一方向通信機能について述べる。コンポーネント A においてサブルーチン Put\_data が呼ばれると,送信データを含む

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup>Takashi Arakawa, et al., *Procedia Computer Science*, Vol.4, pp.1516-1525, 2011

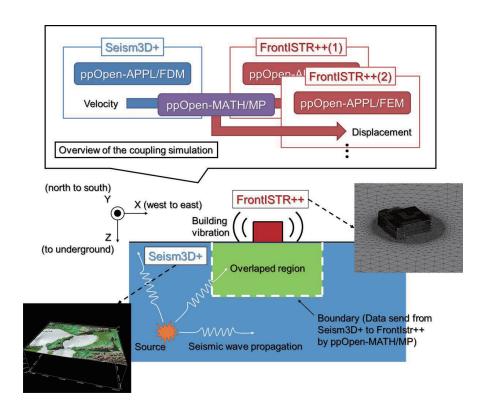


図 3: 地震波動-建築物振動連成シミュレーションの概要(上図)と計算領域(下図)

格子点上の全てのデータ(物理値)は、カップラがコンポーネントAに割り当てたバッファにコピーされる。そしてサブルーチンSet\_time が呼ばれた時に、バッファ内のデータセットから送信データが抽出され、コンポーネントBへデータが送信される。一方、受信側であるコンポーネントBでは、サブルーチンSet\_time が呼ばれると、予めユーザーが用意したマッピングテーブルに従って補間計算が受信データに施された後、カップラが割り当てたコンポーネントB内のバッファにコピーされる。最後に、サブルーチンGet\_dataが呼ばれた際に、データがバッファから取り出される。この一連のデータフローの中で、ppOpen-MATH/MPのオーバーへッドは主に、格子点数、変数の数、そして補間計算である。格子点数が増加すると、メッセージサイズ(=連成境界の格子点数×変数の数×Byte数)が増加して通信時間がかかる。また、データの送受信を行う際に連成境界面上を含むMPIプロセス内の全格子点のデータを一度バッファにコピーするため、格子点数が増加するとその処理に時間がかかる。また、ppOpen-MATH/MPでは柔軟性確保の点からデータの取り扱い方法としてリスト構造を採用しているが、変数の数が増加するとデータ参照に時間がかかる可能性がある。そして、格子形状が複雑だと補間計算が複雑になり、計算時間がかかる。

### 連成計算への実装

上記で述べた Seism3D+から FrontISTR++への一方向データ通信である弱連成計算の実装を図 3 に示す。地中を伝播する地震波動を計算する Seism3D+の計算領域は建物の振動解析を行う FrontISTR++ と比べて遥かに広いことから,この弱連成シミュレーションでは,Seism3D+の 1 つの実行に対して複数の FrontISTR++が実行可能である。また,Seism3D+と FrontISTR++の計算領域にはオーバーラップ領域が用意されている。Seism3D+で計算される地震波動は震源から励起され,地震波がオーバーラップ領域に到達した時,カップラが図 2 で示した手続きに沿って Seism3D+から FrontISTR++側へデータを送信する。Seism3D+から送信されるデータは速度であり,FrontISTR++は受信したデータを速度から変位へ変換した後,境界条件としてそれを設定する。オーバーラップ領域では,Seism3D+は等間隔直交構造格子,FrontISTR++は 4 面体 2 次要素による非構造格子でそれぞれ構成されており,地震波

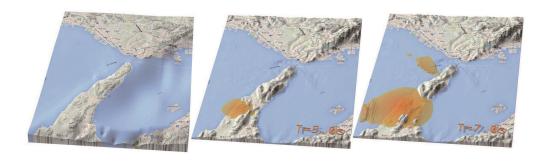


図 4: Seism3D+の計算例。計算領域(左図)と変位分布の時間変化(右図,地震発生から 5,7 秒経 過後)

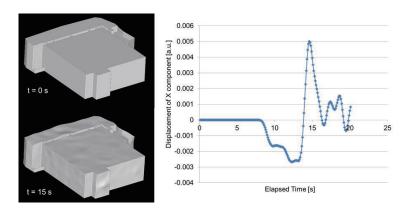


図 5: FrontISTR++の計算例。地震発生前と後(15 秒後)における建築物の変形(左図)と建築物の x 方向変位の時間変化(右図)

動も両者で別々に計算される。FrontISTR++の非構造格子には建物だけでなく、地盤部分(オーバーラップ領域)まで含まれており、また、弱連成計算であることから、FrontISTR++で計算された結果はSeism3D+の結果になんの影響も及ぼさない。

### 2.3 具体的成果

### 2.3.1 Oakleaf-FX による大規模実行

Oakleaf-FX スーパーコンピュータシステムによる計算資源を利用した大規模計算の実証を行った。この計算では、阪神淡路地域を対象とした約 60km 四方のエリアで、震源は 2013 年(平成 25 年)4月 13 日に発生した淡路島地震をシミュレートするため、淡路島中部に設定した。結合する構造物は神戸市ポートアイランドにある理化学研究所計算科学研究機構の建屋をモデリングし、これを地盤の異なるポートアイランドと神戸スタジアムの 2 地点に配置した。使用した計算ノード数は、地震波動解析(Seism3D+)で  $16 \times 16 \times 10 = 2560$  ノード、構造物振動解析(FrontISTR++)で 1000 ノード× 2 地点の計 4560 ノードである。地震モデルからは速度(u,v,w)をカップラに渡し、カップラ内部で変位( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ )に変換し構造物モデルに与えた。ここで、FrontISTR++で用いられる非構造格子は Seism3D+で用いられる等間隔直交格子と比較して格子間隔が非常に狭いことから、FrontISTR++における時間刻みは陰解法であるにも関わらず、陽解法の Seism3D+よりも短く設定している。つまり、Seism3D+( $\Delta t = 1.0$  ms)の実行 1 回当たり、FrontISTR++( $\Delta t = 0.2$  ms)は 1 回,計算ループを回る。これによって生じる時間方向への補間についてもカップラが行う。ジョブ投入後、約 16 時間の計算時間で、現実では約 1 のか分の地震波動伝播の様子と、地震波到達から約 1 のの持つの標面の振動の様子について解析することができた(図 1 の 1

一方、本研究課題のように多くの計算ノードを使用する大規模な実行の場合、カップラのメモリの

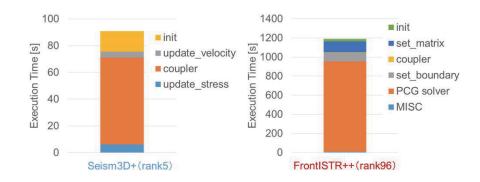


図 6: 連成計算における Seism3D+と FrontISTR++の全実行時間の内訳

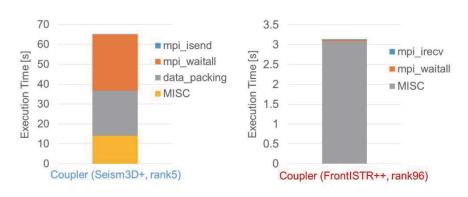


図 7: 連成計算におけるカップラの実行時間の内訳

確保の仕方に問題があることが本研究課題を通じて初めて明らかとなった。これは、計算開始時の初期化ルーチンにおいて連成に必要となる格子をカップラが設定する際に、カップラが全格子点を見に行くという実装になっており、そこで1ノードに全領域分のメモリが確保されてしまうことでメモリ 容量が飽和する、というものである。これは事前に行っていた予備計算や、より小規模な計算ではわからなかった問題であり、その解決方法も本研究課題を通じて検討することができた。

## 2.3.2 カップラの性能評価

Oakleaf-FX 上での本連成計算におけるカップラの性能を評価するために代表的な条件の下でテストシミュレーションを行った。MPI プロセス数を 128 (Seism3D+: 64 プロセス,FrontISTR++: 64 プロセス)とし,MPI rank 0-63 が Seism3D+側,64-127 が FrontISTR++側である。 本テストシミュレーションにおける MPI 通信は(2.3.1 節でも同様だが),Seism3D+の 1 ループ当たりに 1 回行われ,その時のメッセージサイズは約 45kbyte である。このメッセージサイズは連成境界面上の格子点数と変数の数,変数の型で決定される。

図 6 にテストシミュレーションにおける Seism3D+と FrontISTR++の全実行時間の内訳を示す。同図左(Seism3D+)の,"init","update\_velocity","coupler","update\_stress" はそれぞれ,計算の初期化,速度計算(式 1),カップラによるデータ送信手続き,応力計算(式 2)を示している。一方,同図右(FrontISTR++)の,"init","set\_matrix","coupler","set\_boundary","PCG solver","MISC" はそれぞれ,計算の初期化,行列の設定(式 3),カップラによるデータ受信手続,受信データの境界への設定,前処理付き CG ソルバー(ICCG)による計算,計算のポスト処理を示している。これらの図では縦軸の時間スケールが両者で大きく異なっていることに注意されたい。Seism3D+と FrontISTR++,2 つのアプリケーションは計算開始とともに同時に実行されているにも関わらず,Seism3D+の実行時間(約90 秒)は FrontISTR++(約 1200 秒)よりもはるかに短い。この弱連成計算において Seism3D+はデータフローの観点から上流側に位置していること,また,メッセージサイズも比較的小さいこと,など

の理由により、Seism3D+の送信データは MPI ライブラリ内部のバッファに一時的に貯められ、データ送信後すぐに次の計算へ移ることができ、データ送信時の同期処理がほとんど発生しない。さらに、オリジナルの Seism3D+は FrontISTR++と比較して、計算コストが低いことから、もともとこの両者間の負荷バランスは取れていないこともあり、本テストシミュレーションにおける Seism3D+の実行時間は FrontISTR++と比較して短くなったと考えられる。一方、FrontISTR++では、全実行時間に対するカップラの実行時間は無視できるほど短い。これはカップラによるオーバーヘッドがほとんど存在せず、カップラの性能が高いことを意味している。本計算において、カップラの性質としては、より計算時間がかかる FrontISTR++の実行時間を増加させないことが求められており、その観点からこれは良い結果であると言える。

図7にテストシミュレーションにおけるカップラの実行時間の内訳を示す。これらの図は図6中の内訳 "coupler" に対応しており,縦軸の時間スケールが先程と同様に大きく異なることに注意されたい。同図左(Seism3D+)より,"mpi\_waitall" に実行時間の多くを費やしていることがわかる。これは Seism3D+の複数の MPI rank が FrontISTR++のある一つの特定の MPI rank にデータを送信しようとして衝突することに起因するものと考えられる。また,"data packing"は,.2.2.2節で述べたサブルーチン Put\_data の呼び出しに対応している。一方 FrontISTR++では,データ受信にかかる時間はほぼ無視できるほど小さい。上記に述べたように,もともと FrontISTR++の計算負荷は Seism3D+と比較して高いことから,データ受信はスムーズに行われる。図7中の"MISC"には,Seism3D+で送信した速度のデータを FrontISTR++で変位のデータに変換するコストや,両者の格子点間の補間計算,時間方向への補間計算などが含まれている。

## 3 成果要覧

### 查読付論文

- [查読付 1] Yoshihiro Kajimura, Ikkoh Funaki, Iku Shinohara, Hideyuki Usui, Masaharu Matsumoto and Hiroshi Yamakawa: Numerical Simulation of Dipolar Magnetic Field Inflation due to Equatorial Ring-Current, Plasma and Fusion Research, Vol.9, 2405008, 2014. (DOI: 10.1585/pfr.9.2405008)
- [査読付 2] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Katagiri and Kengo Nakajima: Implementation and Evaluation of an AMR Framework for FDM Applications, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS2014), Cairns, Australia, June 2014. (Procedia Computer Science, Vol.29, pp.936-946, 2014. (DOI: 10.1016/j.procs.2014.05.084))
- [查読付 3] Hideyuki Usui, Akihide Nagara, Masanori Nunami and Masaharu Matsumoto: Development of a Computational Framework for Block-Based AMR Simulations, 4th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2014) in conjunction with International Conference on Computational Science 2014 (ICCS2014), Cairns, Australia, June 2014. (Procedia Computer Science, Vol.29, pp.2351-2359, 2014. (DOI: 10.1016/j.procs.2014.05.219))
- [查読付 4] Futoshi Mori, Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance of FDM Simulation of Seismic Wave Propagation using the ppOpen-APPL/FDM Library on the Intel Xeon Phi Coprocessor, 11th International Meeting High Performance Computing for Computational Science (VECPAR2014), Eugene, Oregon, USA, June 2014. (Conference Proceedings, http://www.vecpar.org/papers/vecpar2014\_submission\_24.pdf)

- [查読付 5] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto: Auto-Tuning of Computation Kernels from an FDM Code with ppOpen-AT, Special Session on Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) in conjunction with IEEE 8th International Symposium on Embedded Multicore/Manycore SoCs (MCSoC14), Aizu-wakamatsu, Japan, Sep 2014. (Conference Proceedings, pp.91-98, 2014. (DOI: 10.1109/MCSoC.2014.22))
- [查読付 6] Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri and Masaharu Matsumoto: Performance Optimization of SpMV using the CRS format considering OpenMP Scheduling on CPUs and MIC, Special Session on Auto-Tuning for Multicore and GPU (ATMG) in conjunction with IEEE 8th International Symposium on Embedded Multicore/Manycore SoCs (MCSoC14), Aizuwakamatsu, Japan, Sep 2014. (Conference Proceedings, pp.253-260, 2014. (DOI: 10.1109/MCSoC.2014.43))
- [査読付 7] 松本正晴, 高木成郎, 奥野喜裕: 数値計算によるレーザー駆動 MHD 発電の基礎的検討, 日本航空宇宙学会論文集, 第62巻, 第5号, pp.170-176, 2014. (DOI: 10.2322/jjsass.62.170)
- [查読付 8] Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima and Masaharu Matsumoto: Towards Auto-tuning for the Finite Difference Method in Era of 200+ Thread Parallelisms, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2015, Tsukuba, Japan, Jan 2015. (Oral Presentation)
- [查読付 9] Futoshi Mori,Masaharu Matsumoto and Takashi Furumura: Performance Optimization of the 3D FDM Simulation of Seismic Wave Propagation on the Intel Xeon Phi Co-processor using the ppOpen-APPL/FDM Library, Lecture Notes in Computer Science, Vol.8969, 2015. (Selected Paper of VECPAR2014) [in press]
- [査読付 10] 松本正晴, 高木成郎, 奥野喜裕: パルスレーザ駆動 MHD 発電機の発電特性に関する電磁 流体シミュレーション, 電気学会論文誌 A, Vol.135, No.6, 2015. [in press]
- [查読付 11] Masaharu Matsumoto, Takashi Arakawa, Takeshi Kitayama, Futoshi Mori, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Kengo Nakajima, "Multi-Scale Coupling Simulation of Seismic Waves and Building Vibrations using ppOpen-HPC", 5th International Workshop on Advance High-Performance Computational Earth Sciences: Applications & Frameworks (IHPCES2015) in conjunction with International Conference on Computational Science 2015 (ICCS2015), Reykjavik, Iceland, June 2015. (Procedia Computer Science, 2015.) [accepted]

### 公開ソフトウエア

[公開 1] 松本正晴: ppOpen-APPL/AMR-FDM version 0.3.0, 2014年11月

## その他の発表論文

- [発表 1] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Satoshi Ohshima, Hideyuki Jitsumoto, Takahiro Katagiri and Kengo Nakajima: Development of an AMR Framework for FDM Applications on Parallel Processors, HPC in Asia Poster Session, International Supercomputing Conference 2014 (ISC'14), Leipzig, Germany, June 2014.
- [発表 2] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: Xeon Phi における ppOpen-AT を用いた有限差分法コード の自動チューニング, 第19回計算工学講演会, 広島, 2014年6月

- [発表 3] 實本英之,小林泰三,松本正晴,滝澤真一朗,三浦信一,中島研吾:複数拠点利用を実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワーク,2014年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ(SWoPP 新潟 2014),新潟,2014年7月
- [発表 4] 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋, 塙敏博, 中島研吾:様々な計算機環境における OpenMP/ OpenACC を用いた ICCG 法の性能評価, 2014 年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ ワークショップ (SWoPP 新潟 2014), 新潟, 2014 年 7 月
- [発表 5] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: Xeon Phi における自動チューニング記述言語 ppOpen-AT の FDM コードに対する性能評価, 2014 年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ (SWoPP 新潟 2014), 新潟, 2014 年 7 月
- [発表 6] 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋: 疎行列ソルバーにおける自動チューニングを用いた OpenMP 指示文の最適化, 日本応用数理学会 2014 年度年会, 東京, 2014 年 9 月
- [発表 7] 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴:1ノード200超スレッド時代の自動チューニング手法~ FDM コードを例にして~, 日本応用数理学会2014年度年会, 東京, 2014年9月
- [発表 8] Kazuki Tsuchiya, Hideyuki Usui, Takuma Matsubara, Masanori Nunami and Masaharu Matsubara: Three-Dimensional AMR-PIC Simulations on Ion Beam Neutralization in Ion Engine, 24th International Toki Conference, Toki, Japan, Nov 2014.
- [発表 9] 梶村好宏, 大塩裕哉, 船木一幸, 松本正晴, 山川宏: 熱プラズマ源を用いた磁気ノズル型プラズマセイルの推力測定実験, 第58回宇宙科学技術連合講演会, 長崎, 2014年11月
- [発表 10] 高木成郎, 松本正晴, 奥野喜裕:パルスレーザ駆動 MHD 発電実験, 電気学会新エネルギー・環境研究会, 郡山, 2014 年 11 月
- [発表 11] Takashi Arakawa, Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Takeshi Kitayama, Hiroshi Okuda, Takashi Furumura and Masaki Sato: Multi-scale and multi-physics simulation of seismic wavesbuilding vibration coupling by using the ppOpen-HPC Libraries, JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software, Kobe, Japan, Dec 2014. (Poster Presentation)
- [発表 12] Masaharu Matsumoto, Futoshi Mori, Takashi Furumura and Kengo Nakajima: Performance Evaluations of Applications using the ppOpen-APPL/FDM Library, JST/CREST International Symposium on Post Petascale System Software, Kobe, Japan, Dec 2014. (Poster Presentation)
- [発表 13] 半田恭平, 黄磊, 松本正晴, 奥野喜裕: パルスレーザ駆動 MHD 発電機の発電特性, 平成 26 年電気学会全国大会, 松山, 2015 年 3 月

## 特記事項

- [特記 1] 日本学術振興会学術研究助成基金助成金(科研費),若手研究(B),磁気プラズマセイル評価に向けたマルチスケール対応プラズマシミュレーション,研究代表者,2012-2014年度
- [特記 2] 東京大学情報基盤センター, FX10 スーパーコンピュータシステム「大規模 HPC チャレンジ」 平成 26 年度第 2 回採択課題, ppOpen-HPC ライブラリ群を利用する地震波動 - 建築物振動連 成マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション, 研究代表者, 2014 年 11 月
- [特記 3] ppOpen-HPC プロジェクトの Web サイト管理, ならびに ppOpen-HPC ver.0.3.0 ライブラリ群 公開へ向けた整備
- [特記 4] お試しアカウント付き並列プログラミング講習会の担当(第39回,第44回)

# 学際情報科学研究体

伊藤 祥司

線形方程式求解のための双ランチョス系解法の 前処理付きアルゴリズムに対する改善とその解析

佐藤 芳樹 HPCのためのソフトウェアモジュール化技術、及び、 センター業務への取り組み

# 線形方程式求解のための双ランチョス系解法の 前処理付きアルゴリズムに対する改善とその解析

## 伊藤 祥司

## 1 概要

2014 年度は、「線形方程式求解のための双ランチョス系解法の前処理付きアルゴリズムに対する改善とその解析」の研究として、前処理付き CGS 法を取り上げ、その従来版と改善版の違いについて、前処理系の方向に着目した解析を行った。

## 2 線形方程式求解アルゴリズムに対する求解品質の改善

## 2.1 背景

自然現象や工学問題の解明では、数値シミュレーションを用いた解析が盛んである。その過程では、多くの場合、大規模な $n \times n$ の係数行列を持つ線形方程式

$$Ax = b \tag{1}$$

の求解に帰着され、シミュレーションに要する時間の多くがこの計算に費やされる。

線形方程式に対する求解アルゴリズムも、ガウス消去法に代表される"直接法"、一定の求解式を繰り返し実行して解に収束させる"反復法"があり、さらに反復法は"定常反復法"と"クリロフ部分空間法に代表される"非定常反復法"とに分かれる。両反復法とも、(1)の性質を改善する(解き易くする)ために"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。

一般に、初期解 $x_0$ を用い初期残差ベクトルを $r_0 = b - Ax_0$ と算出し、 $A \ge r_0$  から生成されるクリロフ列が張る k 次元のクリロフ部分空間は $\mathcal{K}_k(A;r_0) = \operatorname{span}\left\{r_0,Ar_0,A^2r_0,\cdots,A^{k-1}r_0\right\}$ と表わされる。前処理無しのクリロフ部分空間法においては、生成されるクリロフ部分空間 $\mathcal{K}_k(A;r_0)$ が、

$$x_k \in x_0 + \mathcal{K}_k(A; r_0) \tag{2}$$

を満たすように近似解  $x_k$  を作り出す (CGS 法では 1 反復あたり空間が 2 次元拡張されるため  $x_k \in x_0 + \mathcal{K}_{2k}(A;r_0)$  である)。ところが、前処理付きのクリロフ部分空間法では、アルゴリズムの行列 とベクトルの前処理変換次第では異なるアルゴリズムが導出され、生成されるクリロフ部分空間も異なる場合がある。算出される近似解も $x_k$  の形として素直な構造となるアルゴリズムもあれば、それとは異なる構造となるものもある。

線形方程式(1)に対して、KSP 法を用いて解く場合、多くの場合、前処理技法を併用する。この前処理の効果とは、大雑把ながら一般的な説明方法に基づくと、係数行列 A に対し、 $M \approx A$  となるような前処理行列 M を何らかの方法で生成し、元の線形方程式を

と変換することに基づく。ここで、

$$M = M_I M_R \tag{4}$$

である((4)ではガウス消去法に基づく LU 分解を用いている)。このとき、前処理変換後の係数行列  $M_L^{-1}AM_R^{-1}$ は単位行列 I に近くなり、性質の良い(解き易い)問題へと変わることが期待される。ここでの前処理変換とは、係数行列の両側から前処理行列を作用させているので"両側前処理変換"とも呼ばれ、 $M_L=M,M_R=I$  の場合は"左前処理変換"、 $M_L=I,M_R=M$  の場合は"右前処理変換"と呼ばれる。しかし、実際には、(1)から(3)などへの変換自体は行わず、(3)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(4)の分解を行う必要は無く、前処理付きアルゴリズムの中では、何らかの手段で  $u=M^1v$  の演算 (前処理演算)を行えば良い。

ところが、従来から国際的にも標準・典型的とされてきている前処理付きアルゴリズムの記述では、 数学上の問題点があることが分かった。これまでの研究成果として、その問題点に対する改善に成功した[文献 1]。

[文献 1] 伊藤祥司, 杉原正顯, 導出過程に着目した CGS 法の前処理付きアルゴリズム, 日本応用数理学会論文誌, 23(2), pp.253-286, 2013.

そして、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"と呼ばれる所要メモリサイズの少ない解法群全てに対して適用できるものであり、本研究成果の有用性と波及効果は大きい。

### 2.2 内容

前処理無し CGS 法のアルゴリズム記述に現れる行列とベクトルの上にチルダを付したものを前処理系と見做すことにする。

Algorithm 1: 前処理系の PCGS 法

$$\begin{split} \tilde{x}_0, \tilde{r}_0 &= \tilde{b} - \tilde{A} \tilde{x}_0, \, \beta_{-1} = 0, \left( \tilde{r}_0^\#, \tilde{r}_0 \right) \neq 0, e.g., \, \tilde{r}_0^\# = \tilde{r}_0, \\ \text{For } k &= 0, 1, 2, \cdots; \text{Do} \\ \tilde{u}_k &= \tilde{r}_k + \beta_{k-1} \tilde{q}_{k-1}, \\ \tilde{p}_k &= \tilde{u}_k + \beta_{k-1} \left( \tilde{q}_{k-1} + \beta_{k-1} \tilde{p}_{k-1} \right), \\ \alpha_k &= \left( \tilde{r}_0^\#, \tilde{r}_k \right) \middle/ \left( \tilde{r}_0^\#, \tilde{A} \tilde{p}_k \right), \\ \tilde{q}_k &= \tilde{u}_k - \alpha_k \tilde{A} \tilde{p}_k, \\ \tilde{x}_{k+1} &= \tilde{x}_k + \alpha_k (\tilde{u}_k + \tilde{q}_k), \\ \tilde{r}_{k+1} &= \tilde{r}_k - \alpha_k \tilde{A} (\tilde{u}_k + \tilde{q}_k), \\ \beta_k &= \left( \tilde{r}_0^\#, \tilde{r}_{k+1} \right) \middle/ \left( \tilde{r}_0^\#, \tilde{r}_k \right), \end{split}$$
 End Do

この Alg. 1 に対して、下記のとおり様々な前処理変換が可能であり、ここでは各々を、従来版 PCGS (右前処理系 PCGS)、左前処理系 PCGS、改善版 1 PCGS、改善版 2 PCGS と呼ぶことにする。ここで、 $\tilde{p}_k \Rightarrow M_L^{-1} p_k$ とは、前処理系のベクトル  $\tilde{p}_k$ を $M_L^{-1} p_k$ と前処理変換することを表す。

### ■ 従来版 PCGS の前処理変換:

$$(M_L^{-1}AM_R^{-1})(M_Rx) = M_L^{-1}b, \ \tilde{p}_k \Rightarrow M_L^{-1}p_k,$$

$$\tilde{u}_k \Rightarrow M_L^{-1}u_k, \ \tilde{q}_k \Rightarrow M_L^{-1}q_k, \ \tilde{r}_k \Rightarrow M_L^{-1}r_k, \ \tilde{r}_0^\# \Rightarrow M_L^Tr_0^\#,$$

Algorithm 2: 従来版 PCGS

$$\begin{split} x_0, r_0 &= b - Ax_0, \, \beta_{-1} = 0, \left(\tilde{r}_0^\#, \tilde{r}_0\right) \Longrightarrow \left(r_0^\#, r_0\right) \neq 0, \, e.g., \, r_0^\# = r_0, \\ \text{For } k &= 0, 1, 2, \cdots; \, \text{Do} \\ u_k &= r_k + \beta_{k-1}q_{k-1}, \\ p_k &= u_k + \beta_{k-1}(q_{k-1} + \beta_{k-1}p_{k-1}), \\ \alpha_k &= \left(r_0^\#, r_k\right) \middle/ \left(r_0^\#, AM^{-1}p_k\right), \\ q_k &= u_k - \alpha_k AM^{-1}p_k, \\ x_{k+1} &= x_k + \alpha_k M^{-1}(u_k + q_k), \\ r_{k+1} &= r_k - \alpha_k AM^{-1}(u_k + q_k), \\ \beta_k &= \left(r_0^\#, r_{k+1}\right) \middle/ \left(r_0^\#, r_k\right), \end{split}$$

ここで、Alg. 2 は、次の前処理変換を行っても同じアルゴリズムが得られる。これは、前処理系の線形方程式(3)に対し、 $M_I = I, M_R = M$  とした場合の右前処理系である。

$$(AM^{-1})(Mx) = b, \ \tilde{p}_k \Rightarrow p_k, \ \tilde{u}_k \Rightarrow u_k, \ \tilde{q}_k \Rightarrow q_k, \ \tilde{r}_k \Rightarrow r_k, \ \tilde{r}_0^{\#} \Rightarrow r_0^{\#}$$

## ■ 左前処理系 PCGS の前処理変換:

End Do

$$M^{-1}Ax = M^{-1}b, \ \tilde{p}_k \Rightarrow p_k, \ \tilde{u}_k \Rightarrow u_k, \ \tilde{q}_k \Rightarrow q_k, \ \tilde{r}_k \Rightarrow r_k, \ \tilde{r}_0^{\#} \Rightarrow r_0^{\#}$$

Algorithm 3:左前処理系 PCGS

End Do

$$x_{0}, r_{0} = M^{-1} (b - Ax_{0}), (\tilde{r}_{0}^{\#}, \tilde{r}_{0}) \neq 0, \text{ e.g., } r_{0}^{\#} = r_{0}, \beta_{-1} = 0,$$
For  $k = 0, 1, 2, \cdots$ ; Do
$$u_{k} = r_{k} + \beta_{k-1} q_{k-1},$$

$$p_{k} = u_{k} + \beta_{k-1} (q_{k-1} + \beta_{k-1} p_{k-1}),$$

$$\alpha_{k} = (r_{0}^{\#}, r_{k}) / (r_{0}^{\#}, M^{-1} Ap_{k}),$$

$$q_{k} = u_{k} - \alpha_{k} M^{-1} Ap_{k},$$

$$x_{k+1} = x_{k} + \alpha_{k} (u_{k} + q_{k}),$$

$$r_{k+1} = r_{k} - \alpha_{k} M^{-1} A(u_{k} + q_{k}),$$

$$\beta_{k} = (r_{0}^{\#}, r_{k+1}) / (r_{0}^{\#}, r_{k}),$$

### ■ 改善版 1 PCGS の前処理変換:

$$(M_L^{-1}AM_R^{-1})(M_Rx) = M_L^{-1}b, \ \tilde{p}_k \Rightarrow M_Rp_k,$$
  
$$\tilde{u}_k \Rightarrow M_Ru_k, \ \tilde{q}_k \Rightarrow M_Rq_k, \ \tilde{r}_k \Rightarrow M_L^{-1}r_k, \ \tilde{r}_0^\# \Rightarrow M_R^{-T}r_0^\#$$

Algorithm 4: 改善版 1 PCGS

$$x_{0}, r_{0} = b - Ax_{0}, \beta_{-1} = 0,$$

$$\left(\tilde{r}_{0}^{\#}, \tilde{r}_{0}\right) \Rightarrow \left(M_{R}^{-T} r_{0}^{\#}, M_{L}^{-1} r_{0}\right) = \left(r_{0}^{\#}, M^{-1} r_{0}\right) \neq 0, e.g., r_{0}^{\#} = M^{-1} r_{0},$$
For  $k = 0, 1, 2, \cdots$ ; Do
$$u_{k} = M^{-1} r_{k} + \beta_{k-1} q_{k-1},$$

$$p_{k} = u_{k} + \beta_{k-1} (q_{k-1} + \beta_{k-1} p_{k-1}),$$

$$\alpha_{k} = \left(r_{0}^{\#}, M^{-1} r_{k}\right) / \left(r_{0}^{\#}, M^{-1} A p_{k}\right),$$

$$q_{k} = u_{k} - \alpha_{k} M^{-1} A p_{k},$$

$$x_{k+1} = x_{k} + \alpha_{k} (u_{k} + q_{k}),$$

$$r_{k+1} = r_{k} - \alpha_{k} A (u_{k} + q_{k}),$$

$$\beta_{k} = \left(r_{0}^{\#}, M^{-1} r_{k+1}\right) / \left(r_{0}^{\#}, M^{-1} r_{k}\right),$$
End Do

### ■ 改善版 2 PCGS の前処理変換:

$$(M_L^{-1}AM_R^{-1})(M_Rx) = M_L^{-1}b, \ \tilde{p}_k \Rightarrow M_L^{-1}p_k,$$

$$\tilde{u}_k \Rightarrow M_L^{-1}u_k, \ \tilde{q}_k \Rightarrow M_L^{-1}q_k, \ \tilde{r}_k \Rightarrow M_L^{-1}r_k, \ \tilde{r}_0^\# \Rightarrow M_R^{-T}r_0^\#$$

Algorithm 5: 改善版 2 PCGS

$$x_{0}, r_{0} = b - Ax_{0}, \beta_{-1} = 0,$$

$$\left(\tilde{r}_{0}^{\#}, \tilde{r}_{0}\right) \Rightarrow \left(M_{R}^{-T} r_{0}^{\#}, M_{L}^{-1} r_{0}\right) = \left(r_{0}^{\#}, M^{-1} r_{0}\right) \neq 0, e.g., r_{0}^{\#} = M^{-1} r_{0},$$
For  $k = 0, 1, 2, \cdots$ ; Do
$$u_{k} = r_{k} + \beta_{k-1} q_{k-1},$$

$$p_{k} = u_{k} + \beta_{k-1} (q_{k-1} + \beta_{k-1} p_{k-1}),$$

$$\alpha_{k} = \left(M^{-T} r_{0}^{\#}, r_{k}\right) / \left(M^{-T} r_{0}^{\#}, AM^{-1} p_{k}\right),$$

$$q_{k} = u_{k} - \alpha_{k} AM^{-1} p_{k},$$

$$x_{k+1} = x_{k} + \alpha_{k} M^{-1} (u_{k} + q_{k}),$$

$$r_{k+1} = r_{k} - \alpha_{k} AM^{-1} (u_{k} + q_{k}),$$

$$\beta_{k} = \left(M^{-T} r_{0}^{\#}, r_{k+1}\right) / \left(M^{-T} r_{0}^{\#}, r_{k}\right),$$
End Do

以上のアルゴリズムを数理面から考察したものが表 1 である。「アルゴリズム中の残差ベクトルの構造」と「生成される KSP と解との関係」の項目にて記している〇印は長所、×印は短所であることを示しており、△は致命的ではないものの好ましいとは言い難い状況を示している。

前処 理系	状 況	アルゴリズム中の 残差ベクトルの構造	生成される KSP と解との関係
右系	多くの数値計算ライブ ラリやアルゴリズムの 記述(従来 PCGS)	〇 保持している $r_k = b - (AM^{-1})(Mx_k)$ $= b - Ax_k$	$\triangle$ 前処理行列が作用 したものに基づく $Mx_k \in Mx_0 + \mathcal{K}_{2k}\left(AM^{-1}; r_0\right)$
左系	数値シミュレーション 領域のアルゴリズム 記述でよく用いられる	× 保持していない $r_k = M^{-1}b - M^{-1}Ax_k$ $= M^{-1}(b - Ax_k)$	〇 前処理行列が作用しない $x_k \in x_0 + \mathcal{K}_{2k}\left(M^{-1}A; r_0\right)$
改善版 1、2	右系・左系両方の長 所を有している (改善版1と2は等価)	〇 保持している $r_k = b - Ax_k$	〇 前処理行列が作用しない $x_k \in x_0 + M^{-1} \mathcal{K}_{2k} \left( A M^{-1}; r_0 \right)$

表 1.4 種類の PCGS アルゴリズムの概要

上記 4 つのアルゴリズムの反復部分の演算量は全て同じである(改善版 2 の $\alpha_k$ 、 $\beta_k$ に現れる $M^{-T}r_0^\#$ は反復前に1回演算すれば十分である)。

左系(左前処理系)における「アルゴリズム中の残差ベクトルの構造」は、 $r_k = M^{-1} \left(b - Ax_k\right)$ であり、本来評価すべき残差ベクトル $r_k = b - Ax_k$ とは異なる情報である。この場合、収束判定において問題が生ずることが[文献 2]で報告されており、避けるべき状況である。しかし一方で、生成される KSPと解との関係は $x_k \in x_0 + K_{2k} \left(M^{-1}A; r_0\right)$ であり、解 $x_k$ 自体は前処理行列の作用を受けない理想的な構造である。

[文献 2] 伊藤祥司, 杉原正顯, 姫野龍太郎: クリロフ部分空間法に対する前処理方式と収束判定 について, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS), Vol.3, No.2, pp.9-19, 2010年6月.

右系 (右前処理系、従来版 PCGS アルゴリズム) における「アルゴリズム中の残差ベクトルの構造」は、最終的に  $r_k = b - Ax_k$  であり、本来評価すべき情報を保持しており理想的な構造である。ところが、「生成される KSP と解との関係」は  $Mx_k \in Mx_0 + K_{2k} \left(AM^{-1}; r_0\right)$  である。これを式変形すると  $x_k \in x_0 + M^{-1}K_{2k} \left(AM^{-1}; r_0\right)$  と表わされるものの、これは PCGS が生成する空間  $K_{2k} \left(AM^{-1}; r_0\right)$  に 対し、前処理演算  $M^{-1}$  を作用させるため、その演算における丸め誤差が解に混入する。

改善版では、「アルゴリズム中の残差ベクトルの構造」は本来の残差ベクトルの構造を保持している。 「生成される KSP と解との関係」は $x_k \in x_0 + M^{-1}K_{2k}\left(AM^{-1};r_0\right)$ である。改善版 PCGS が生成する空間は $M^{-1}K_{2k}\left(AM^{-1};r_0\right)$ である。

以上から、我々が提案した改善版 PCGS は、長所のみを兼ね備えたアルゴリズムであることが確認された。

### 2.3 具体的成果

具体的成果として、数値実験の結果を示す。数値実験環境の詳細は[発表 1]の予稿を参照。 ここでは、まず、

(a) アルゴリズム中の残差ベクトルを用いた相対残差(algorithm relative residual)に対する評価

(b) アルゴリズム中の数値解 $(\hat{x}_k)$ を用いて算出した真の残差ベクトル $(\hat{r}_k = b - A\hat{x}_k)$ による真の相対残差(true relative residual)に対する評価

の2つについて評価する。本稿に掲載した実験結果は、実非対称行列の sherman4(左側のグラフ) と olm5000(右側のグラフ)に基づく線形方程式に対し、4種類の PCGS で求解した収束履歴である。 右辺項は、あらかじめ用意した厳密解のベクトルを係数行列にかけて作成した。

図1各PCGSとグラフとの対応

Conventional ——
Left system ——
Improved1 ——
Improved2 ——

各グラフ中の凡例は図 1 のとおりであり、従来版(Conventional)、左前処理系(Left system)、改善版 1(Improved1)、改善版 2(Improved2)である。

図 2 (a)アルゴリズム中の残差ベクトルを用いた相対残差(algorithm relative residual)に対する評価

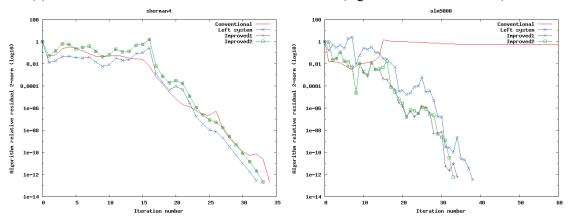


図 2 (b) アルゴリズム中の数値解を用いて算出した真の残差ベクトルを用いた真の相対残差 (true relative residual)に対する評価

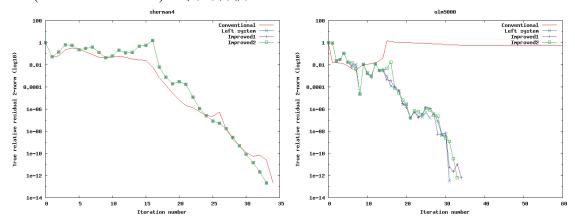


図 2(a)では、Left system と Improved1、Improved2 との PCGS で収束の振る舞いは異なるが、図 2(b)では同じ振る舞いである(olm5000 では若干のズレが生じるのは、数理的には等価であるもののアルゴリズム記述が異なることによる計算上の丸め誤差の影響である)。つまり、左前処理系のアルゴリズム中の残差ベクトルは本来の残差ベクトルとは異なる情報を示していることが確認できる。また、

図 2(b)において、右前処理系のみ振る舞いが異なり、生成される KSP に対し、右前処理系のみ異なる性質の解を算出していることが確認できる。 次に、

(c) 数値解と厳密解を用いて算出した真の相対誤差(true relative error) に対する評価の情報も交えた数値実験結果を表 2 としてまとめた。収束判定はアルゴリズム中の残差ベクトルに基づいて評価( $\|r_k\|/\|b\| \le 10^{-12}$  で収束したと見做す)し、収束までの所要反復回数を()内に記しており、収束した時点の真の相対残差のノルム値の  $\log 10$ (表の上段の数値)、真の相対誤差のノルム値の  $\log 10$ も記している。 $\log 10$ も記している。 $\log 10$ 0も記している。

衣 2.4 性類の PCGS アルコリヘムに対 9 つ数値指朱								
行列名	行列 サイズ	非零 要素数	従来版	左系	改善版 1	改善版 2		
add32	4960	19848	-12.17 (35) -12.17	-13.06 (37) -12.96	-12.04 (35) -11.96	-12.04 (35) -11.96		
appu	14000	1853104	-12.35 (34) -11.47	-12.87 (36) -11.36	-12.87 (36) -11.36	-12.87 (36) -11.36		
bfwa782	782	7514	-9.36 (93) -10.29	-12.37 (83) -12.09	-12.82 (78) -12.48	-12.17 (84) -12.22		
jpwh_991	991	6027	Breakdown	-11.83 (15) -12.10	-12.44 (16) -12.53	-12.44 (16) -12.53		
olm5000	5000	19996	-0.18 (Stag.) 4.22	-12.79 (38) -10.64	-12.20 (34) -8.05	-12.21 (33) -8.00		
poisson3Db	85623	2374949	-10.14 (122) -10.33	-12.93 (119) -13.31	-12.49 (123) -13.39	-11.79 (117) -12.07		
sherman4	1104	3786	-12.69 (34) -13.83	-11.68 (32) -12.82	-12.69 (33) -13.82	-12.69 (33) -13.83		
wang4	26068	177196	-12.22 (52) -10.14	-10.96 (55) -9.66	-12.69 (56) -9.71	-12.70 (56) -9.71		
watt1	1856	11360	-13.01 (27) -5.96	-15.48 (41) -12.63	-12.11 (35) -9.77	-12.11 (35) -9.77		

表 2.4 種類の PCGS アルゴリズムに対する数値結果

真の相対誤差については、左系と両改善版は従来版よりも概ね優れている、もしくは、同等の性能 (1 桁程度の違い)であることが分かる。特に、左系と両改善版が優れた結果となることは、生成された KSP に対し理想的な解の構造を形成していることを示している。

以上から表 1 としてまとめた事柄が確認された。その他の数値例でも、従来版 PCGS に比べて改善版 PCGS が優位である結果が数多く確認された[発表 1]。

ここでは、右・左前処理系に注目し改善版との比較による解析を行ったが、さらに解析を進めると次の[発表 3]および 3 節に記載した[発表 2]の議論へと発展する。これらについては今後の課題として取り組む。

[発表 3] 伊藤祥司, 杉原正顯, 前処理付き BiCG に対する初期シャドウ残差ベクトルの 構成方法と前処理系の切り替えについて, 日本応用数理学会 2013 年度年会, アクロス福岡(福岡市), 2013 年 9 月.

# 3 成果要覧

## その他の発表論文リスト

[発表 1] 伊藤祥司, 杉原正顯, 様々な前処理付き CGS に対する分析とそれに基づく新アルゴリズムの提案, 2014 年並列/分散/協調処理に関する『新潟』サマー・ワークショップ (SWoPP 新潟 2014), 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター, 新潟, 7月, 2014 年.

[発表 2] 伊藤祥司, 杉原正顯, 線形方程式向き双ランチョス系統の前処理付きアルゴリズムに対する初期シャドウ残差ベクトルの構成方法について, 日本応用数理学会 2014 年度年会, 政策研究大学院大学(港区), 2014 年 9 月.

## 特記事項

[特記 1] 日本応用数理学会「行列・固有値問題とその解法」研究部会 運営委員会委員 [特記 2] 理化学研究所 情報基盤センター 客員研究員

[特記 3] 電気通信大学 情報理工学部 情報•通信工学科 非常勤講師(担当科目:数值計算)

# HPCのためのソフトウェアモジュール化技術、及び、センター 業務への取り組み

## 佐藤 芳樹

## 1 概要

本研究は、生産性の高いソフトウェアモジュール化技術をハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) アプリケーショ向けに構築することを目的としている。特に、エンタープライズや Web アプリケーションを対象に発展してきた、先端的なモジュール化技術を活用し、科学技術計算のような可読性や保守性に優れた抽象化を犠牲に、莫大なスケールの反復的計算の高度な最適化が求められるアプリケーションへの適用を目指している。具体的には、本年度までに以下の研究を実施した。

- HPC 向けユニットテストフレームワークのケーススタディ 昨年度までに開発した計算網羅性及び順序のテストフレームワークを、様々な科学技術計算向け アプリケーションへ適用し、バグ発見率、記述性、実行性能を評価することで実用性を検討する。
- グラフ解析アプリケーション向けメモリレイアウト変換器 オブジェクト指向に基づくグラフ構造に対して、アプリケーションに応じたメモリレイアウトの 最適化を施すことでデータアクセスの局所性を高められるコード変換技術の開発を目指す。
- 軽量な条件付きバリア同期機構

並列タスク間の協調処理を、高い表現力を持って細やかに記述できる条件付きバリア同期機構の 実現を目指す。また、実世界のシミュレーションソフトウェアへの適用を行う。

センター業務については、以下を実施した。

● 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点における公募型共同研究に関する取り纏め、シンポジウム運営、及び情報発信の強化。

# 2 HPC 向けユニットテストフレームワークのケーススタディ

### 2.1 背景

物理シミュレーションなどの科学技術計算を実装したアプリケーションプログラムの多くは、計算順序の変更によるキャッシュヒット率の向上の最適化が施され、クラスタコンピュータなどの大規模並列分散環境で実行される。例えば、行列積計算による行列のブロック化は、典型的なループ最適化であるタイリングによってループ処理の対象を部分行列に分割し、行列要素へのアクセスを集中させる事で、メモリアクセスの局所化が図られる事が多い。2011年のゴードンベル賞を受賞した物理シミュレーションソフトウェア RSDFT においても、中核を担うモジュールであるグラムシュミットの正規直交化法 (GS 法)の一部を分割し、行列積や行列ベクトル積に置き換え、局所性を高めている。一方、

スーパーコンピュータ上でのシミュレーションのために MPI を利用する並列分散プログラムでは、計算の一部が各計算ノードに割り当てられるため、計算空間は更に分割される。

最適化や分散実行は、プログラムの実行性能を高める一方、バグの発生要因となり得る。典型的な科学技術計算は、カーネル計算を反復的に繰り返し実行するプログラムが中心的な関心事である。カーネル計算の対象空間は、ループタイリング等の最適化や分散実行のために開発者によって分割され計算順が変更される。このような計算空間の分割は、プログラム中に境界判定コードを増加させ、保守性や可読性を著しく低下させる。結果として、人為的なミスを誘発し、計算漏れや計算重複といったバグが生じやすくなる。これらのバグは、単純には計算結果の突き合わせにより検証できるが、膨大な結果データを対象にしたり、乱数による初期化、浮動小数点演算の誤差等を考慮する必要があり容易ではない。

本研究テーマでは、反復的なループ処理が中核であるような科学技術計算において、分割の正しさを検査する計算範囲テスト (calculation coverage testing) の必要性を追求し、そのツールサポートの開発に取り組んでいる。計算範囲テストとは、最適化によってグループ化されたループ処理の計算範囲及びその実行順序をテストする単体テストを指す。これによって、プログラムの計算漏れや重複、順序の誤りをテストによって検出することを目的としている。

昨年度までに、計算範囲テストの有効性を評価するために、Java向けのテストフレームワーク HPCUnit を開発した。HPCUnit は、指定したカーネル計算の実行時ログを利用した検査を可能にする。実行時ログはプログラムの巡回した計算空間の各要素で、重複を許した順序付き集合として収集される。開発者は収集した実行時ログを用いて、テストプログラム中で計算空間を突合し、等価性を検査することができる。開発性を考慮し、HPCUnit は、アスペクト指向に基づいてカーネル計算を指定する専用言語と、実行時ログを適切に変換できる集合演算用のライブラリを提供している。

ソースコード 1 に例を示す。テストコードは、Java 向けのデファクトスタンダードの単体テストフレームワークである JUnit ライクに記述する。まず、最適化前後での計算空間を指定し (15-20 行目)、それぞれを実行してログを収集する (7-10 行目)。取得した実行時ログをテストコード内で比較し、計算重複や計算漏れが検査できるようになる (22-24 行目)。

```
/* Test suite declaration */
    @RunWith("HUTestRunner.class")
3
   class GSTest {
5
    /* Test driver */
6
   @HUBeforeClass void testRun() {
      @HUTarget GS gs1 = new NormalGS();
8
      @HUTarget GS gs2 = new OptimizedGS();
9
      gs1.calc();
10
      gs2.calc();
11
12
    /* Test method */
13
14
    @HUTest public void testCoverageGS (
15
      @HUList("{(i,j,k)_|call(void_kernel(int_i,int_j,int_k)).&&cwithin(NormalGS)}")
        HUList correct.
16
17
      @HUList("{(i,j,k)_|_call(void_kernel(int_i,int_j,int_k))_&&_cflow(call(dgemm(..))}")
18
        HUList squares,
       @HUList("\{\hat{(i,j,k)} \sqcup | \_call(void\_kernel(int\_i,int\_j,int\_k)) \bot \&\&\_cflow(call(dgemv(..))\}") \\
19
20
        HUList triangles)
21
      HUList nullset = HUList.getNull();
22
23
      assert (correct, is (squares.union(triangles)));
24
      assert(nullest, is(squares.intxn(triangles)));
25
```

ソースコード 1: HPCUnit でのテストコード例

Section 2	逐次	並列	分散
Series <sup>1</sup>	356	440	449
LUfact <sup>2</sup>	721	1,092	895
SOR <sup>3</sup>	206	344	415
Crypt <sup>4</sup>	613	708	720
Sparse <sup>5</sup>	221	337	317
Section 3	逐次	並列	分散
$MD^6$	625	915	697
$MC^7$	3,115	3,181	3,203
RT <sup>8</sup>	1,265	1,483	1,346
アノテーション+テス	トコード	6+30	6+35

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Fourier coefficient analysis

表 1: ベンチマークアプリケーションとテストコードの行数 (LOC)

ベンチマーク	計算空間	逐次	オーバー	並列	オーバー	分散	オーバー	並列版の	分散版の
	サイズ	版 [s]	ヘッド [%]	版 [s]	ヘッド [%]	版 [s]	ヘッド [%]	テスト時間 [s]	テスト時間 [s]
Series	999,999	704.72	0.05	59.34	1.96	59.97	0.99	0.18	5.16
LUfact	1,652,472	4.06	55.58	4.75	1689.26	3.04	76.09	0.78	11.14
SOR	399,200,400	160.04	8460.14	748.59	509579.66	32.35	2121.52	41.22	143.35
Crypt	12,500,000	3.21	69.88	9.93	5458.99	2.35	513.25	1.3	26.82
Sparse	500,000,000	49.52	1368.23	230.21	77478.43	20.77	49.37	17.11	48.5
MD	409,600	13.32	0.92	14.11	285.92	3.59	61.27	0.13	1.27
MC	60,000	8.77	0.01	1.31	31.71	8.07	8.57	0.06	0.41
RT	250,000	12.61	3.13	1.47	20.54	2.67	47.01	0.11	1.87

表 2: ログ収集による実行時オーバーヘッド及びテスト時間

### 2.2 内容

本年度は、計算範囲テストの有効性を評価するために、Java 向けのベンチマークソフトウェアである Java Grande Forum Benchmark Suite (以降、JGF と呼ぶ) に対して HPCUnit を用いたテストプロセス実践によるケーススタディを行った。JGF はエジンバラ大学で開発された Java 言語による典型的な科学技術計算の実装プログラムであり、逐次計算だけでなく、共有メモリ上での並列計算、Java 用の MPI 実装を用いた分散計算のプログラムがそれぞれで提供されている。ケーススタディでは、JGF に同梱されるカーネル (Section 2) 及び大規模アプリケーション (Section 3) に含まれる 8 つのアプリケーションに対して、テストコード記述量、テスト実行性能を計測し、計算重複や漏れを検査した。JGF 内のカーネルは典型的な大規模計算に用いられる処理プログラム、大規模アプリケーションは現実の問題を解くプログラムである。

ベンチマークアプリケーションと HPCUnit によるテストコードの行数を表 1 に示す。テストコードは 10 行以下のアノテーションを含む 30~35 行程度であった。テストコードには、逐次計算と並列又は分散計算を比較して計算重複と漏れの検査コードに加え、各アプリケーションを起動するテストドライバが含まれる。検査コードは基本的に同一な処理を再利用可能であり、計算空間を形成する変数の数や型を指定するアノテーションのみが異なる。

ケーススタディを通じて、我々は JGF の MD (Molecular Dynamic Simulation) にのみ、その並列版 及び分散版の両方に計算重複が存在していることを確認した。MD は、レナード-ジョーンズ・ポテンシャルに基づく分子の相互作用をモデル化する典型的な分子動力学計算シミュレーションである。MD のカーネル計算は複数のサブカーネルに分割され、それぞれの範囲での分子の移動、斥力計算と更新、速度計算を行う単純な実装である。重複した処理は分子の平均速度計算で確認され、並列版と分散版では全スレッドが全粒子の平均速度計算を行っていた。シミュレーション領域は空間分割されているため、各スレッドはローカルな分子について平均速度を計算するだけで良い。一方、各スレッドが求めた平均速度から全体の平均速度が求められるため、重複有無に関わらず全体の計算結果は変わらな

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> LU Factorization <sup>3</sup> Successive over-relaxation

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> IDEA encryption <sup>5</sup> Sparse Matrix multiplication

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Molecular Dynamics simulation

Montecarlo Simulation 8 3D RayTracer

い。そのため、重複した計算(計算範囲のギャップ)が長期間に亘って発覚しなかったと考えられる。 次に、JGFにおける計算範囲テストの実行時オーバーヘッド及びテスト時間を測定した。全てのベンチマークアプリケーションは最大問題サイズで実行し、コア数に合わせて並列版は16スレッド、分散版は単一ノード上で16のMPIプロセスを指定した。実験環境は以下の通りである。

- CPU: Intel(R)) Xeon(R)) CPU E5-2687W 3.10GHz 8 コア x2CPU
- RAM: 64GB
- OS: CentOS 6.2, Linux kernel 2.6.32
- Java: OpenJDK 1.7.0\_25 64 ビット版の Server JIT (オプション: -Xmx28g -Xms28g -Xmn24g -XX:SurvivorRatio=10)

測定結果を表 2 に示す。SOR と Sparse で著しく大きな実行時オーバーヘッドが発生した事がわかる。これらの計算空間サイズは巨大であり、小さなカーネル計算の大規模な繰り返し処理であるため、ログ取得のオーバーヘッドが顕著に見られると考えられる。Series、LUFact、SOR、Crypt、Sparse、MDの並列版では、逐次版よりも大きなオーバーヘッドが測定された。現状の HPCUnit の実装では、ログオブジェクトをスレッド間の共有オブジェクトとして保存するため、並列版には同期処理のコストが追加的なオーバーヘッドとして発生したと考えられる。一方、分散版では分散メモリへ各々の計算空間のログを保存するため、同期コストは発生せずに並列版よりも小さいオーバーヘッドで実行できている事がわかる。

一方、ケーススタディ全体を通した考察として、JGFのような科学技術計算が少量の並列化のためのコードとテストコードによって、劇的に実行性能を向上させられるという見方も可能である。例えば、並列版の Series ベンチマークは、実験環境である 16 コアのマシン上では逐次版よりも 12 倍高速な実行性能が得られた。つまり、440 行-356 行=84 行の並列化コードに加えた HPCUnit のテストコード 36 行、即ち 120 行の追加コードで高速で正しい計算空間を処理するプログラムが得られたと見なすことができる。

### 2.3 具体的成果

本研究に関するケーススタディの報告を含む設計及び実装の成果は、ソフトウェア工学分野のトップカンファレンスの一つである ACM ISSTA 2015 (International Symposium on Software Testing and Analysis) に採録された [査読付 1]。

# 3 グラフ解析アプリケーション向けメモリレイアウト変換器

### 3.1 背景

オブジェクト指向で表現されたグラフ構造は、グラフ全体を巡回して探索しつつ属性を調べたり、それを使って計算するような処理で高いキャッシュ効率が期待できない。Java のようなオブジェクト指向言語では、各頂点や各辺を様々な属性を持ったオブジェクトとして実装するのが自然である。オブジェクト指向で記述されたプログラムは、そのモジュール単位であるオブジェクト毎に属性がメモリ上に配置される。そのため、一つのオブジェクトが保持する属性はまとめて配置されるが、一つの属性は各オブジェクトにまたがってしまうためメモリ上で連続的に配置されない。高いキャッシュ効率を得るためには、一般にグラフ構造を疎行列表現で表され事が多いが、プログラム全体の可読性を低下させる。

しかし、オブジェクト指向言語では、キャッシュ効率を高めるためのメモリレイアウトの最適化は難しい。例えば、Java 言語ではプログラマによるメモリレイアウトの変更は許されていない。したがって、プログラマはオブジェクトを連続的に生成する事で整列順序を間接的に制御したり、オブジェクト間をまたがってアクセスされる属性を配列としてオブジェクト外に保持するような構造の修正が必

```
class Vertex {
1
2
      public int dist;
      public boolean visited;
4
      private Edge[] edges;
5
6
7
    public void dijkstra (Graph g, Vertex src) {
8
      // initialize dist and visisted fields of all
      src.dist = 0;
10
      while (true) {
11
        Vertex miniV = null;
        for (Vertex v : g.getVertexList()) {
12
13
          if (v. visited) continue;
14
          if (miniV == null || miniV.dist > v.dist) { miniV = v; }
15
        if (miniV == null) break;
16
17
        miniV. visited = true;
18
        for (Edge e : miniV.getEdges()) {
19
          int nd = miniV.dist + e.weight; e.dst.dist = min(nd, e.dst.dist);
20
21
```

ソースコード 2: ダイクストラ法の実装例

要となる。このようなアドホックな構造変換によるアプローチはコードの可読性や保守性を低下させ、 オブジェクト指向に基づく利点を失わせてしまう。

さらに、Java 言語では、ガーベージコレクション (GC) を考慮したメモリレイアウトの最適化が求められる。多くのガーベージコレクタは、不要データの GC 中に独自のポリシーでメモリ中のオブジェクトを再配置することがある。したがって、間接的に並べ替えたレイアウトがプログラムの終了まで保ち続けられるとは限らない。また、オブジェクト外に配列化された属性が、正しく GC されるようなケアも別に必要となってくる。

### 3.2 内容

本研究テーマでは、Java プログラムに対してプログラマが付加したアノテーションから、適切なメモリレイアウトで動作するプログラムを生成するコード変換器 Javarac (Java reordering and arraying compiler) の開発に取り組んでいる。アノテーションによる指定は、フィールド配列化とオブジェクト再整列化の二種類をサポートする。また、配列化と再整列化を有効にするメソッド呼び出しの範囲をアノテーションによって特定できるようにしている。

Javarac による実行時のメモリレイアウト最適化はプログラム変換によって実現する。まず、アノテーションが付加されたフィールドを static な配列に置き換え、それに伴ってフィールドアクセスを配列アクセスに書き換える。オブジェクトの再整列化は、オブジェクトクローンによるオブジェクト再生成によって実現する。これは、一般的な Java 仮想マシンが新たに生成するオブジェクトをヒープメモリ内に、生成順に配置することを利用している。また、GC によるオブジェクト再配置を可能な限り防ぐため、Javarac は整列化前に System.gc() によって GC を促進させるコードを挿入する。

また、Javarac のプログラム変換は、クローンしたオブジェクトへの高速な参照切り替えを可能に

ソースコード 3: Javarac によりアノテートされたソースコード 2

するためにポインタオブジェクトを挿入する。ポインタオブジェクトとは、図 1 に示すように、元 オブジェクトと呼び出し元オブジェクトの間に挿入される id のみを持つ小さなオブジェクトである。 Javarac によって指定されたコード中では、@ Target アノテーションの付加されたクラスのインスタンスは、全てポインタオブジェクトへ置き換えられる。これにより配列化されたフィールドへは、id を添字にした配列アクセスが可能となる。一方、元オブジェクト自体も添字でのアクセスを可能とするために配列化されるため、通常のフィールドアクセスやメソッド呼び出しも id を添字とした配列アクセスへ置き換えられる。配列化されたオブジェクトは正しく GC されなくなるため、Javarac は、全てのポインタオブジェクトを弱参照 (WeakReference) で保持し、再整列化の際に死活状態をチェックして手動で GC するようなコードも挿入する。

本年度は、Javarac を評価するための予備実験を進めて性能改善の効果を測定した。具体的には、Graph 500 のグラフ生成器からスケールフリーグラフを生成し、Javarac によって素朴なダイクストラ 法の実装の性能改善を評価するために、実行時間とL1, L2 キャッシュ効率を測定した。ダイクストラ 法はソースコード 2 に示した  $O(V^2)$  のアルゴリズムを用いた。頂点数は  $2^{10}$  から  $2^{16}$  まで変化させ、edge factor が 16 である疎グラフと、100 である密グラフを用いた。実験は前章と同一環境で行った。

測定結果を図 2 に示す。実行時間の結果は GC の時間を除いたおり、グラフ処理時間とオブジェクトクローン時間を含んでいる。測定結果から、 $2^{16}$  の場合に、配列化と再整列化を施したプログラムは、疎グラフで 41%、密グラフで 42%の性能改善を確認した。一方、OProfile を用いてキャッシュミス率を計測した結果、L1 キャッシュにおいて疎グラフでは  $2.07\sim5.68\%$ 、密グラフでは  $0.44\sim1.05\%$ のキャッシュ効率の改善を確認した。一方、別に優先度キューを利用して効率化した  $O(E\times log(V))$  のダイクストラ法でも同様の実験を行ったが性能改善は見られなかった。これは優先度キューを用いたため、頂点オブジェクトへのアクセス順序が頻繁に変更され、整列化によるキャッシュ効率の改善が得られなかったためである。

本年度はさらに、GCの影響を完全に排除した Javarac の実装を検討した。具体的には Java 仮装マシンのヒープメモリ外のメモリ上へ、特定のフィールド配列を配置する。 Javarac は再整列化の前に GC を促進することで、最適化したメモリレイアウトが GC によって即座に再配置されることを防いでいる。しかし、指定したメソッド呼び出し中の GC 抑止を保障するものではなく、インクリメンタル GC

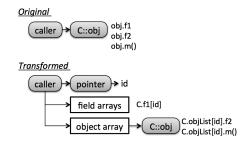


図 1: ポインタオブジェクトを介した間接参照

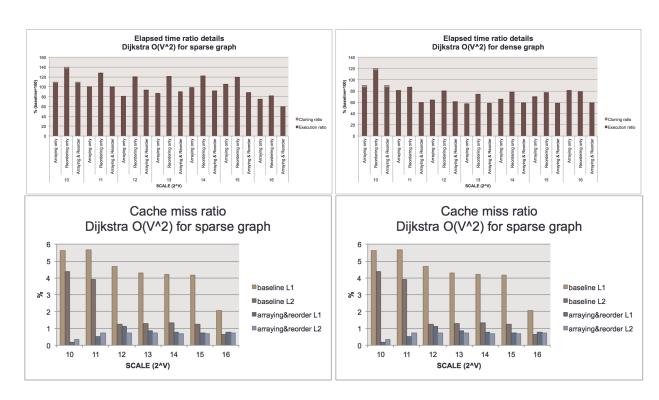


図 2: 上の二つの図は疎グラフと密グラフに対するソースコード 2 と比較した相対的な実行時間である。下の二つの図はキャッシュミス率である。

へも対応していない。ヒープメモリ外メモリ上のオブジェクトは、GC によって管理されずメモリ管理はプログラマに委ねれられる。したがって、Javarac のプログラム変換によって、ヒープ外メモリへの配列化コードに加えて、適切なメモリ管理コードを挿入すれば良い。予備的な実験の結果、ヒープ外メモリに配列化したフィールドを配置した場合、間接参照によるオーバーヘッドは増加するが、大規模スケールのグラフ処理では性能の向上を確認している。今後は引き続き、性能実験と実装チューニングを進めていく予定である。

### 3.3 具体的成果

本研究テーマについては、国内論文誌及び国際会議へ投稿したが不採録であった。ヒープ外メモリを 利用した実装及び実験を進め、国内外の学会へ投稿する予定である。

# 4 軽量な条件付きバリア同期機構

### 4.1 背景

並列処理の協調動作にはバリア同期機構が用いられ、OpenMPやMPIのようなライブラリや、Chapelや X10 のような並列分散プログラミング言語でも標準的に提供されてきた。従来のバリア同期は、OpenMPや MPI が提供するような抽象度の高い All-to-All 型と、Java の Phaser のように細やかな制御の可能な Point-to-Point 型のバリア同期に分類される。All-to-All 型では、全てのスレッドが同期待ちを行うため無駄な待ち時間が発生する。無駄な同期待ちを排除するために提案された Point-to-Point 型では、同期待ちを解除するための到達シグナルを分けて記述できるため、全スレッドの到達シグナルを全スレッドが待つ必要がなくなる。一方、到達シグナルを発行するためのコードがプログラム中に散在してしまい、可読性や保守性が低下する問題がある。

また、バリア同期による待機スレッド数の増加は、スケーラビリティを低下させる問題もある。All-to-All 型に比べて Point-to-Point 型では、待機スレッドを限定できるが、大規模な並列処理の場合、待

```
new WaitlessSet(all).parallelStream().forEach((self, w) -> {
    self.move(waiting);
    w.barrier(self.friends(), friend -> self.meets(friend));
    self.move(departure);
});
```

ソースコード 4: Waitless によるバリア同期の例

機スレッドの増加は CPU 実行効率を低下させるだけでなく、占有するメモリも無視できない。また、 最適な CPU スケジューリングのために上限のあるスレッドプールを利用した場合、容易にスレッドス タベーションによるデッドロックを発生させてしまう。デッドロックを回避するプログラミングテク ニックとして、バリア同期前後の処理コードを別々のスレッドに分割し、処理依存を排除する方法が 知られている。しかし、スレッド分割は複雑なコード書き換えを伴うため、可読性や保守性を著しく 低下させてしまう。

## 4.2 内容

本研究テーマでは、オブジェクト指向に基づく抽象度の高い並列プログラムを実現するために、スレッド間の協調動作を簡潔に記述するための条件付きバリア同期機構の開発を目指す。特に、産業技術総合研究所と共同で、歩行者シミュレータ Crowdwalk の並列化に取り組み、高いモジュラリティを保ちつつ協調動作が可能な並列化ライブラリの開発を目的としている。

条件付きバリア同期によって、Crowdwalk のような社会シミュレーションは高い抽象度を保ちつつ、協調動作を伴う並列処理が可能となる。歩行者シミュレーションでは、空間的にタスクを分割するよりも、動作主体である歩行者にタスクを受けもたせて時間軸上の反復処理を記述する方が可読性や保守性に優れる。しかし、歩行者にスレッドを割り当てると、道への衝突判定や移動処理のためのスレッド間での協調が必要となってくる。これらの協調動作をバリア同期を利用すれば簡潔に記述できるが、All-to-All 型では衝突の可能性のない歩行者も含めた全体同期が必要となる。一方で、Point-to-Point 型では同期待ちと到達シグナルの2種類のコードを記述する必要があり、同期待ち時間を最小化するためには、全ての制御フローの分岐から到達シグナルを発行させるような実装が必要となる。

そこで、抽象度の高い All-to-All 型の記述で、Point-to-Point 型に近い柔軟な同期制御の可能な条件付きバリア同期ライブラリ Waitless を開発した。Waitless はバリア同期時に、その解放条件を式として与えることで、明示的な到達シグナルを不要とする。それにより、散在する到達シグナルを発行するコードが、オブジェクトの状態変更に対する条件式として分離し簡潔な形で集約される。到達シグナルは、Waitless が条件式を静的解析して、バイトコード変換によって必要な箇所にのみ自動挿入する。また、バリア同期の呼び出し前後でスレッドコードを分割し、ノンブロッキングなスレッドへの変換も行う。

ソースコード 4 に例を示す。Waitless は並列ストリームとして実装されており、コレクション Waitless Set に対する foreach メソッド呼び出しで与えたラムダ式として反復処理を記述する。例では、まず集合 all の各要素である自身 self に対して、友人 friend に出会うまで、バリア同期で待ち合わせを行っている。バリア同期の引数には、all の部分集合である self.friends() と、待ち合わせの解放条件として self.meets(friend) を与えている。バリア同期が解除されると、同期待ちスレッドは再び残りの処理を並列に実行する。Waitless は、バリア同期後の処理を逐次実行するための OpenMP の ordered のような機能も提供し、道への侵入を制限する排他処理等に有用である。

### 4.3 具体的成果

本研究テーマにおいては、歩行者シミュレーションソフトウェア Crowdwalk の並列化を実施し、軽量なバリア同期の予備的評価を国内学会で発表した。また、Watiless の設計と実装について国内学会論

文誌に採録された [査読付2]。

## 5 センター業務への取り組み

## 5.1 背景

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (情報基盤拠点) の活動の推進及び支援を主に担当している。

## 5.2 内容

本年度は、例年実施している公募型共同研究のシンポジウム、各種報告書の取り纏め、及び次年度公募型共同研究の課題審査運営に加えて、共同利用・共同研究拠点の活動内容や研究成果の発信及びその準備に注力した。その一つとして、先進的な計算を支えるシステムや基盤技術に関する国内最高峰の研究に関する会議 ACSI2015 (Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure) にて、JHPCN 特別セッションを開催し、その企画、準備を行った。詳細については、PART II の「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」の活動報告も参照されたい。セッションでは、学際情報科学研究体の他教員や8大学センター長にもアドバイスを頂き、H26年度実施課題を中心に評価の高いテーマに関して研究成果の紹介を行った。また、スーパーコンピュータ技術のトップカンファレンスSC14において、当拠点のポスター提示、パンフレット配布を行った。

さらに、拠点 Web サイトを CMS 化して、公募情報や成果を整理してサイト訪問者の視認性や利便性の向上を図った。また、構成拠点や公募型共同研究課題の成果を定期的に発信するための仕組みを準備した。

## 5.3 具体的成果

情報基盤拠点としては、7月のシンポジウム以外に他団体を協賛するイベントで特別セッションを開催するのは初めての取り組みであり、目的に合致した内容と対象とする参加者を具体化するための検討作業を手探りで繰り返し行った。中間評価からシンポジウムまでの準備期間が短かったものの、シンポジウムは28名の参加者を集め、参加者からも大変有意義なイベントであるとのコメントを頂いた。

## 6 成果要覧

## 査読付論文

- [查読付 1] Yoshiki Sato, Shumpei Hozumi, Shigeru Chiba: Calculation Coverage Testing in Scientific Applications, ISSTA'15: Proceedings of the 2015 International Symposium on Software Testing and Analysis, July 2015.
- [査読付 2] 夏澄彦, 佐藤芳樹, 千葉滋: 軽量で抽象度の高いバリア同期とその実装方法, 情報処理学会論 文誌 プログラミング, 2015.
- [査読付 3] 板橋晟星, 佐藤芳樹, 千葉滋: 並列分散処理向けプログラミング言語 X10 向けの対話的にフィルタリング可能なプロファイリングツールの開発, 情報処理学会論文誌 プログラミング, 2015.

### 特記事項

[特記 1] 情報処理学会 プログラミング研究会運営委員

[特記 2] 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会運営委員

# PART 4

# 教育・サービス活動報告

情報メディア教育

学術情報

ネットワーク

スーパーコンピューティング

# 情報メディア教育



教育用計算機システム iMac 端末 (駒場情報教育棟大演習室 1)

# 情報メディア教育支援サービス 概要

部門長 柴山悦哉

専門職員 中村昇平

情報基盤センターでは、情報メディア教育支援サービスとして、教育研究目的で利用可能なさまざまな機器、ソフトウェア、サービスなどを、東京大学に所属する学生および教職員に対して提供している。そして、これらに付随する運用・管理、ユーザサポート、システム設計、研究開発などの業務も行っている。

現在提供中のシステムやサービスのうち、代表的なものを以下で紹介する。これらは、研究室、学科・専攻、部局等で個別に運用・管理を行うことが困難であったり、大学全体で共有して運用・管理を集約化する方が費用面等で有利であったりするものである。

教育用計算機システム (ECCS): 年度末時点で約 28,000 名近くの登録ユーザに対し、本郷、駒場、柏の3キャンパスに分散配置した 1,321 台の iMac により、OS X 環境と Windows 環境の利用サービスを提供している。両環境には、Office スイートや数式処理システムなどの商用アプリケーションと多数のフリーソフトウェアがインストールされており、授業などの教育目的を中心にさまざまな用途に利用されている。この他に、学内外からネットワーク経由で同時に最大 30 名が OS X 環境を利用できるリモートアクセスサービスも提供している。また、3 キャンパスで計 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 508 組織、計約 18,000 名のユーザが利用している。ECCS ユーザ向けのメールサービスと合わせ ると、延ユーザ数は約 46,000 名に達する。
- **Web ホスティング**: 学内組織を対象に Web ホスティングサービスを提供しており、年度末時点で 844 組織が利用している。このサービスは外部事業者への委託により行われている。
- **DNS ホスティング:** 学内組織を対象とした **DNS** ホスティングサービスを提供しており、年度末時点で 30 組織が利用している。
- ストリーミングサービス:映像配信用のストリーミングサーバを利用したサービスの提供を行っており、UTokyo OCW、東大.TV をはじめさまざまな用途に利用されている。また、映像作成のための機材の提供も行っている。

**学習管理システム (LMS)**: 教材のオンライン配布、課題の出題とレポートの提出、クイズの出題と回答、掲示板、学生証を用いた出欠管理などの教育支援機能を提供する学習管理システムの運用を学内向けに行なっている。今年度は約 600 の講義で利用された。

昨年度までは、学習管理システムとしてオープンソースシステム CFIVE の開発と運用を行ってきたが、今年度から ITC-LMS に切り替えた。それにともない、学務システムとの次のような連携を新たに実現した。

- 教養学部前期課程の学務システム (UTask-Web) からのコース情報の自動登録
- UTask-Web および後期課程と大学院向けの学務システム (UT-mate) の教員アカウントによる利用。
- **遠隔講義支援:** テレビ会議システムを備えた遠隔講義室、多地点接続装置などを用意しており、遠隔 講義や遠隔会議に利用されている。
- 部局負担による携帯端末接続環境:教育用計算機システムの携帯端末接続環境(有線LAN)と同様の機器を部局が自己負担で導入し、情報基盤センターが運用・管理することにより、ユーザ認証後にインターネットに接続できる環境を提供している。無線LANに関しては、utroam用のアクセスポイントを部局に貸し出すサービスを行っている。
- **その他のサービス:** 部局設置機器の管理代行、認証情報の提供、大判プリンターのサービスなどを提供している。このうち認証情報に関しては、utroam、SSL-VPN などの全学を対象としたサービスの他に、部局所有機器等への提供サービスも行っている。

# 教育用計算機システム運用報告

#### 情報メディア教育支援チーム

# 1 運用報告

#### 1.1 ECCS2012 の運用

ECCS2012 の端末は Apple iMac で、駒場キャンパス、本郷キャンパス、柏キャンパスに合計 1,321 台設置している。OS は端末起動時に Mac OS(Mac 環境)と Windows(Windows 環境)から選択することができる。 システムイメージの更新は OS のバージョンアップ、セキュリティアップデート、アプリケーションのインストールやアップデートに伴って行っていた。

2014年度の主な更新は以下の通りである。

#### Mac 環境

2014年5月28日

- セキュリティアップデート 2014-002
- Safari 6.1.4
- iTunes 11.2.1
- Adobe Reader 11.0.0.7
- Adobe flash player 13.0.0.214
- Cyberduck 4.4.4
- Firefox 29.0.1
- Google Chrome 35.0.1916.114
- java 7 update 55 (jre,jdk)
- Microsoft Office2011 14.4.1 Update
- STATA/SE 06 May 2014
- Thunderbird 24.5.0

#### 2014年6月18日

- セキュリティアップデート
- iTunes 11.2.2
- Adobe flash player 14.0.0.125
- Cyberduck 4.4.5
- Firefox 30.0
- Google Chrome 35.0.1916.153
- java 7 update 60 (jdk)
- Microsoft Office2011 14.4.2 Update
- Thunderbird 24.6.0
- Astah Community (新規追加)

#### 2014年7月7日

- Safari 6.1.5
- セキュリティアップデート 2014-003
- Office2011 14.4.3 Update
- Sophos Anti-Virus 9.0.11

#### 2014年7月25日

- セキュリティアップデート
- iTunes 11.3
- Adobe flash 14.0.0.145

#### 情報メディア教育

- Java7 update65 (jdk)
- Firefox 31.0
- Google Chrome 36.0.1985.125
- Thunderbird 24.7.0
- Stata 03 Jul 2014

#### 2014年9月24日

- ソフトウェア・アップデート
  - Safari 6.1.6
  - iTunes 11.4
- Adobe Flash Player 15.0.0.152
- Adobe Reader 11.0.09
- Google Chrome 37.0.2062.120
- Google 日本語入力 1.13.1880.1
- Firefox 32.0
- Java7 update67 (jdk)
- Office2011 14.4.4 Update
- Thunderbird 24.8.0
- Stata 06 Aug 2014
- VLC 2.1.5

#### 2014年10月31日

- ソフトウェア・アップデート
  - セキュリティアップデート 2014-004
  - iTunes 12.0.1
- Office2011 14.4.5 Update
- Adobe flash 15.0.0.189
- Firefox 33.0.2
- Google Chrome 38.0.2125.111
- Java7 update71 (jdk)
- Stata 09 Oct 2014
- Thunderbird 24.8.1

#### 2014年12月9日

- Adobe flash 15.0.0.239
- Cyberduck 4.6
- Firefox 34.0
- Google Chrome 39.0.2171.71
- Office2011 14.4.6 Update
- Stata 07 Nov 2014

#### 2015年3月19日

#### OSバージョンアップ

- Mac OS X Mavericks (10.9)
- セキュリティアップデート 2015-002 1.0
- Adobe Flash Player 17.0.0.134
- Cyberduck 4.6.5
- Firefox 36.0.1
- Google Chrome 41.0.2272.89
- Java8 update40
- Mathematica 10
- MATLAB R2014b
- Office2011 14.4.8 Update
- The Unarchiver 3.9.1 (新規)

• Thunderbird 31.5

#### 2015年3月30日

- ソフトウェア・アップデート
  - Safari 7.1.4
- Firefox 36.0.4
- Remote Desktop 8.0.14 (新規)
- Remote Desktop Connection Client for Mac 2.1.1 (※再インストール)

#### Windows 環境

#### 2014年5月9日

- ArcGIS 10.2 for Desktop (新規追加)
- windows update
- Internet Explorer 9 セキュリティアップデート
- firefox 29.0
- google chrome 34.0.1847.131
- thunderbird 24.5.0
- flash player 13.0.0.206
- java7 update55
- JMP10 ライセンス更新

#### 2014年6月16日

- Windows Update
- Adobe Reader 11.0.0.7
- Adobe flash player 14.0.0.125
- Firefox 30.0
- Google Chrome 35.0.1916.153
- java 7 update 60 (jre,jdk)
- STATA/SE 06 May 2014
- Thunderbird 24.6.0
- @RISK ライセンス更新

#### 2014年7月17日

- Windows Update
- flash player 14.0.0.145
- STATA/SE 03 Jul 2014
- 出席確認ツール(ICCC)更新
- java7 update65 (jdk)

## 2014年9月25日

- Adobe Flash Player 15.0.0.152
- Adobe Reader 11.0.09
- Google Chrome 37.0.2062.120
- Firefox 32.0.1
- Java7 update67 (jdk)
- Thunderbird 31.1.1
- Stata 06 Aug 2014
- VLC 2.1.5

#### 2014年11月7日

- Windows Update
- Adobe Flash Player 15.0.0.189
- Firefox 33.0.2
- Google Chrome 38.0.2125.111
- Java7 update71 (jdk)

#### 情報メディア教育

- R 3.1.2
- Stata 09 Oct 2014
- Thunderbird 31.2.0
- ユーザーアカウント制御(UAC)の設定を「通知しない」に変更

#### 2015年3月20日

- Adobe Flash Player 17.0.0.134
- Adobe Reader 11.0.10
- Firefox 36.0.1
- Google Chrome 41.0.2272.89
- Java8 update40 (jdk)
- Mathematica 10.0.10.0
- MATLAB R2014b
- OpenBUGS 3.2.3 (新規)
- Rhinoceros 5.11
- Grasshopper 0.9.0076
- Stata 19 Dec 2014
- Thunderbird 31.5.0

#### リモートアクセス環境

#### 2014年6月9日~10日

- セキュリティアップデート 2014-002
- Safari 6.1.4
- iTunes 11.2.2
- Adobe Reader 11.0.0.7
- Adobe flash player 13.0.0.214
- Cyberduck 4.4.4
- Firefox 29.0.1
- Google Chrome 35.0.1916.114
- java 7 update 60 (jre,jdk)
- STATA/SE 06 May 2014
- Thunderbird 24.5.0

#### 2014年12月3日~12月4日

- ソフトウェア・アップデート
  - セキュリティアップデート 2014-004
  - Safari 6.1.6
  - iTunes 12.0.1
- Adobe Reader 11.0.0.9
- Adobe flash 15.0.0.239
- Cyberduck 4.6
- Firefox 34.0
- Google Chrome 39.0.2171.71
- Google 日本語入力 1.13.1880.1
- Java7 update71 (jdk)
- Sophos Anti-Virus 9.1.8
- Stata 07 Nov 2014
- Thunderbird 24.8.1
- VLC 2.1.5

# 2 講習会開催報告

# 2.1 新規利用者向け講習会

学部学生、大学院生および研究生が教育用計算機システムのりようを新規に申し込む際には、新規利用者向け講習会を受講する必要がある。本講習会についてはセンター主催が基本であるが、部局からの依頼による出張講習会も実施している。

2014年度の実施状況は次ページのとおりである。

表 1. センター主催の新規利用者向け講習会受講者数

	本郷地区		駒場地区		柏地区	
	福武ホ		情報教育棟			
	** ** *				柏図書館	
	開催数	受講者数	開催数	受講者数	開催数	受講者数
4月	42	819	14	191	4	266
5 月	40	120	6	18		
6月	29	75	5	7		
7月	26	68	2	8		
8月	12	49	2	2		
9月	15	60	2	1		
10月	40	371	4	76	4	56
11 月	27	54	2	15		
12 月	20	28	2	8		
1月	9	13	2	2		
2 月	6	7	2	2		
3 月	10	13	1	0		
合計	276	1677	46	381	8	322

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	235
4月2日	法科大学院	公共政策大学院新入生	87
4月7日	教養学部	学部新入生(文科)	1287
4月8日	教養学部	学部新入生(理科)	1872
10月3日	教養学部	PEAK,GPEAK,AIKOM 学生	51

# 3 サービス統計

#### 3.1 部局別利用者数

教育用計算機システムを一度でも利用したことのある学部学生、大学院生、研究生、教職員の月毎累積の部局別実利用者数を図 1 に示す。比較のため、2014 年度(各月右側)と 2013 年度(同左側)を載せてある。

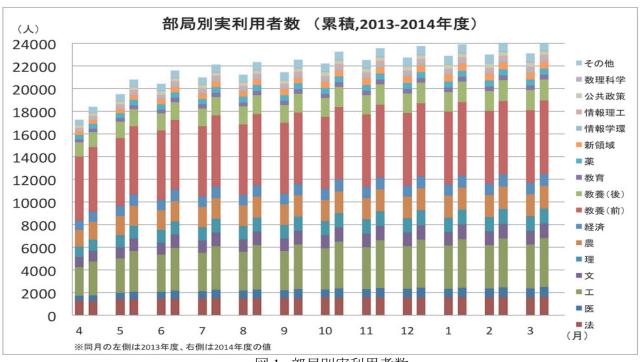


図 1. 部局別実利用者数

#### 3.2 端末利用状況

教育用計算機システムの端末は、本郷地区では情報基盤センター(浅野地区)の演習室に端末を集中配置するとともに、総合図書館、福武ホール、各学部/研究科等の 15 箇所にも端末を分散配置している。 駒場地区では、情報教育棟に端末を集中配置し、駒場図書館にも端末を配置している。 柏地区は柏図書館に端末を配置している。

これらの配置場所のうち、利用の多い本郷地区の総合図書館と駒場地区の情報教育棟、駒場図書館の利用状況を図2から図7に示す。図の中で濃い灰色がMac環境利用、薄い灰色がWindows環境利用である。

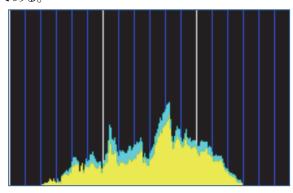


図 2. 駒場情報教育棟 1F 自習室 (124 台)

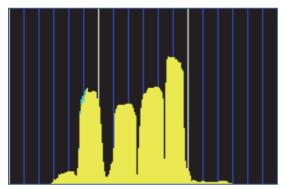
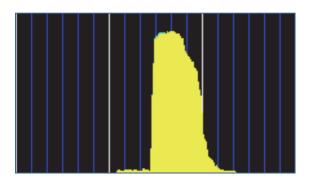


図 3. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 1 (165 台)



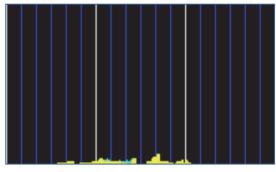
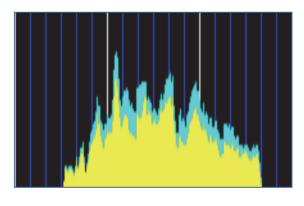


図 4. 駒場情報教育棟 3F 大演習室 2 (135 台) 図 5. 駒場情報教育棟 2F 大演習室 3 (108 台)



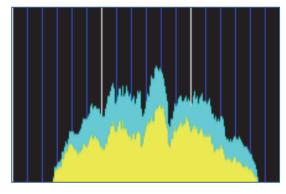


図 6. 駒場図書館 1F メディアパーク (58 台)

図 7. 総合図書館 2F,3F メディアプラザ 2,3 (69 台)

## 3.2 利用者対応

利用者への対応について、窓口、電話対応件数、メールによる対応件数を表3に示す。

駒場情報教育棟 情報基盤センター 福武ホール 窓口対応 電話対応 電話対応 再発行等数 窓口対応 電話対応 窓口対応 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12 月 1月 2月 3月 合計 

表 3. 利用者対応件数

# 学内組織向けメールサーバ(MAILHOSTING)運用報告

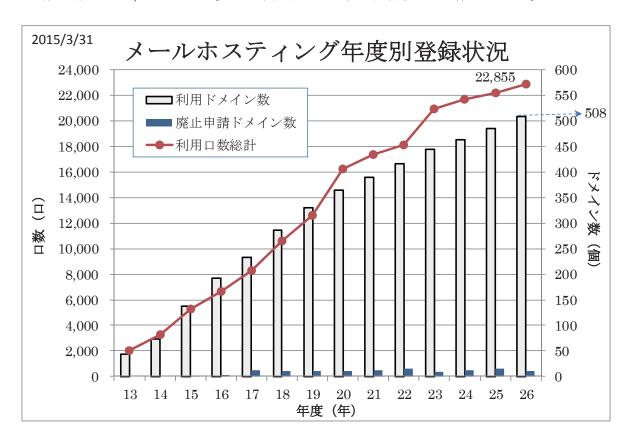
#### 情報メディア教育支援チーム

# 1 経過

2014年度は、システム更新等は行っていない。

# 2 参加組織

2014 年度末時点において、本サービスを利用している組織は、508 組織であり、それらの申し込み口数の合計は22,855 口である。2013 年度末に比べ、23 組織、680 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。 2014年

- 4月 2日 3/8 フィッシングメールに対する注意喚起(追加)
- 4月 3日 4/3 システムメンテナンスに伴うドメイン管理インターフェイスの停止について 【終了】
- 4月 24日 4/24 システムメンテナンスに伴うサービス一時停止について【終了】
- 5月 29日 5/28 フィッシングメールに対する注意喚起
- 7月 3日 7/3 システムメンテナンスに伴うドメイン管理インターフェイスの停止について 【終了】
- 7月 4日 7/3 フィッシングメールに対する注意喚起
- 8月11日 8/11 システムメンテナンスに伴うサービス一時停止について【終了】
- 8月13日 メーラーによるメール送信不具合【終了】
- 11月18日 11/18システムメンテナンスに伴うドメイン管理インターフェイスの停止について 【終了】
- 11月25日 パスワード盗用によるスパム送信の注意喚起
- 11月27日 11/27システムメンテナンスに伴うサービス一時停止について【終了】 2015年
  - 1月 8日 脆弱性対応による SSL v3 の無効化について
  - 1月28日【メール】1/27サーバ証明書更新によるサービス停止について【終了】
  - 2月17日 2/17 システムメンテナンスに伴うドメイン管理インターフェイスの停止について 【終了】

# WEB PARK サービス運用報告

#### 情報メディア教育支援チーム

# 1 運用報告

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。WEB PARK は 2014 年度に行った調達の結果、オンプレミスによるサービス提供から、外部事業者が提供する Web ホスティングサービス (さくらインターネット「さくらのレンタルサーバ」) を利用したサービスへと変更した。

# 2 利用組織数

2014年度に利用を開始した組織数は68、利用を中止した組織数は24であった。2015年3月末現在の総利用組織数は844である。利用組織数の変化を図1に示す。

なお、2014 年 7 月 9 日に行われた第 48 回情報メディア教育専門委員会において、利用負担金 免除制度を希望していた 2 組織に対し、制度の適用 (継続利用) が認められた。

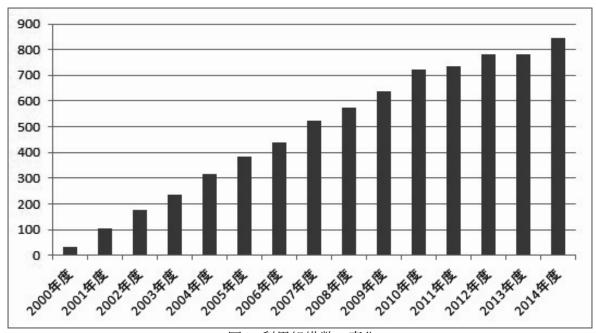


図1 利用組織数の変化

部局別利用組織数を表1に示す。

表1 部局別利用組織数(2015年3月末現在)

部局名	利用組織数
法学系研究科/法学部	42
医学系研究科/医学部	47
工学系研究科/工学部	245
理学系研究科/理学部	11
農学生命科学研究科/農学部	131
経済学研究科/経済学部	44
総合文化研究科/教養学部	109
教育学研究科/教育学部	2
薬学系研究科/薬学部	3
新領域創成科学研究科	103
情報理工学系研究科	6
情報学環・学際情報学府	1
公共政策大学院	3
医科学研究所	1
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	22
物性研究所	1
先端科学技術研究センター	24
総合研究博物館	1
アイソトープ総合センター	1
環境安全研究センター	5
低温センター 1	1
人工物工学研究センター	1
大学総合教育センター	2
政策ビジョン研究センター	1
情報基盤センター	14
本部 14	17
その他	1
合計	844

# 3 システム作業等

2014年度は新WEB PARK サーバへの移行を完了し、旧WEB PARK のサービスを終了した。旧WEB PARK からの移行については、以下のスケジュールで行っている。

旧 WEB PARK の利用組織については、継続利用の有無、データ移行時期により、以下のとおり グループ分けを実施、それぞれ移行を行った。

- (A) 2014 年 2 月 3 日にセンターがデータを新システムにコピーし、3 月末までに旧 WEB PARK の利用を終了する組織
- (B) 2014年7月末までに利用組織がデータ移行を完了する組織
- (C) 旧 WEB PARK で利用を終了する組織

2013 年 12 月 20 日 (金)旧 WEB PARK の受付終了作業2014 年 1 月 10 日 (金)新 WEB PARK の利用者受付開始2014 年 2 月 3 日 (月)新 WEB PARK によるテストサービス開始2014 年 7月 31 日 (木)旧 WEB PARK のサービス終了

関連 URL: http://park2014.itc.u-tokyo.ac.jp/

# 学内組織向け DNS ホスティング運用報告

### 情報メディア教育支援チーム

# 1 経過

2015 年 2 月末に、これまで使用してきた(Infoblox 1050A)の保守期限が切れることに伴い、(Infoblox Trinzic 1410)への機器の更新を行った。使用している OSも NIOS5.X 系から NIOS6.X 系 となった。Authorized DNS サーバとして使用している dns.ecc.u-tokyo.ac.jp と dns101.ecc.u-tokyo.ac.jp は単体のサーバから GRID 化された。

# 2 参加組織

2014年度末時点において、30組織が利用中である。2013年度末に比べ6組織増加した。

# 3 広報

本年度に行った主な広報は、以下の通りである。 2015年

3月 2日 【重要】ホスティングサーバ更新について

# 遠隔講義支援サービス運用報告

#### 情報メディア教育支援チーム

# 1 運用報告

遠隔地と講義・会議ができるような TV 会議システムを本郷・駒場の遠隔講義室に提供して利用のサポートを行なっている。また MCU(テレビ会議システム多地点接続制御装置)を提供してる。

#### 1.1 遠隔講義室

遠隔地と講義・会議ができるような TV 会議システムを本郷・駒場の遠隔講義室に提供して利用のサポートを行なっている。

2014年度は本郷遠隔講義室は33回、駒場遠隔講義室は31回、MCU49回の利用があった。

#### 1.2 インターネットライブ 中継サポート

学内で行われる卒業式、イベント、最終講義等のライブ中継サポートを行なっている。 2014年度は5件の中継サポートを行った。

#### 1.3 撮影機材貸し出し

ビデオカメラ及び三脚等の撮影機材の貸出を行っている。

2014年度は27件の貸出を行った。

# 2 サービス統計

2014 年度においては、遠隔講義支援に関わる設備等は次の利用回数があった。なお、会議等の利用状況については、学外との接続利用のみの回数である。また遠隔講義室の授業利用に関しては学期毎にまとめて1回として集計している。

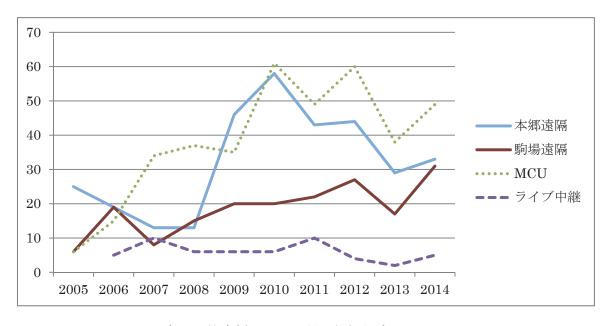


図 1.遠隔講義支援サービス利用数経年変化(2005-2014)

MCU の接続拠点数と利用頻度を集計した。MCU の接続数は最大15 拠点の接続が可能である。

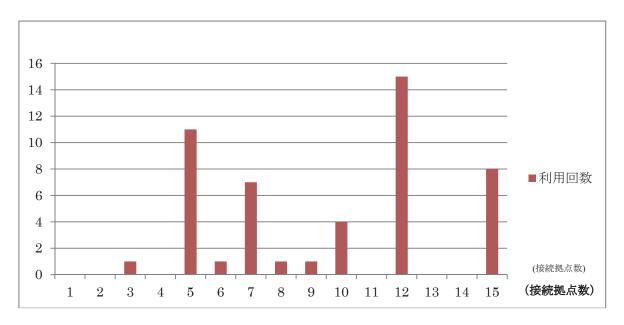


図 2.MCU 接続拠点数別利用頻度(2014)

# 3 その他

関連 URL http://elearn.itc.u-tokyo.ac.jp/

# LMS 運用報告

# 情報メディア教育支援チーム

# 1 概要

新学習管理システム (ITC-LMS) のサービスを開始、旧学習管理システム (CFIVE) のサービスを終了 (2015 年 3 月 2 日) した。

# 2 ITC-LMS 運用報告

ITC-LMS は 2014 年度から開講される講義でサービスを開始した。教養前期課程で利用している 学務システム (UTask-Web) で登録されている講義は自動連携機能によりコース登録されるため、講義担当者から、申請不要で利用可能となった。また、2015 年度の講義からは後期課程などで利用している学務システム (UT-mate) で登録されている講義でも自動連携するように機能追加を行った。

#### 2.1 ITC-LMS の利用状況

ITC-LMS の利用状況は以下の通り。

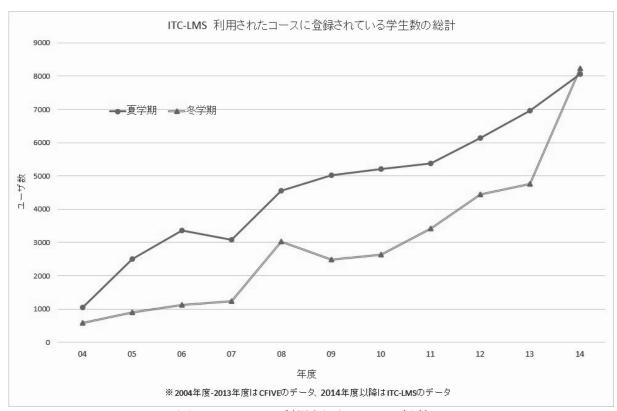


図 1. ITC-LMS 利用されたコースの総数

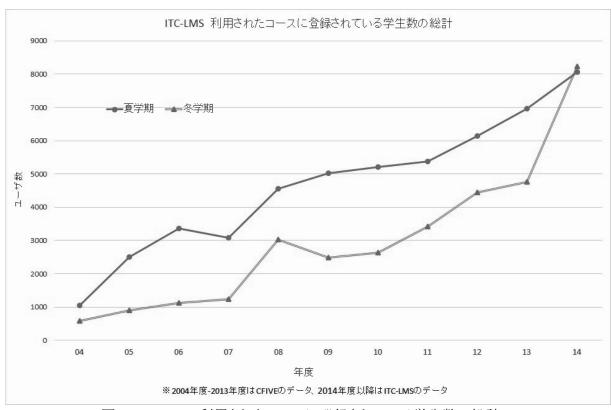


図 2. ITC-LMS 利用されたコースに登録されている学生数の総計

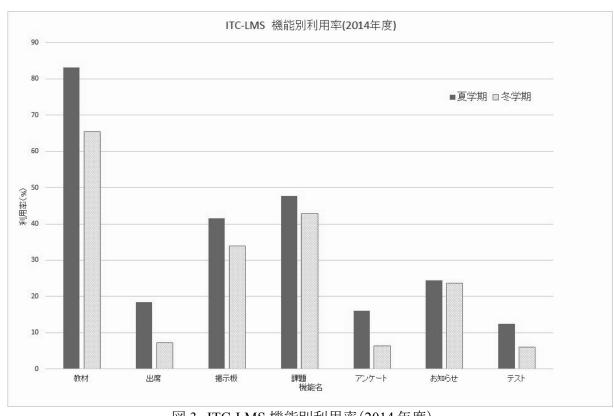


図 3. ITC-LMS 機能別利用率(2014年度)

# 2.2 組織別の利用状況

開講組織	夏学期	冬学期
教養学部 (前期課程)	216	224
法学部	12	16
医学部	-	1
工学部	9	12
文学部	3	4
理学部	2	3
農学部	1	-
教養学部	3	14
教育学部	1	-
人文社会系研究科	1	1
教育学研究科	1	-
法学政治学研究科	5	-
総合文化研究科	3	6
工学系研究科	3	7
農学生命科学研究科	3	5
情報理工学系研究科	1	-
公共政策学教育部	6	7
情報基盤センター	6	6
その他	15	5

# 2.3 利用説明会

以下の日時に、教員向け利用説明会を行った。

2014年9月25日(木) 13:30-15:00	駒場:情報教育棟3階大演習室2
2014年9月26日(金)13:30-15:00	本郷:情報基盤センター1 階大演習室 1
2015年3月26日(木) 15:10-16:40	駒場:情報教育棟3階大演習室2
2015年3月27日(金)13:30-15:00	本郷:情報基盤センター1階大演習室1

関連 URL: http://www.ecc.u-tokyo.ac.jp/itc-lms/

# その他のサービス 運用報告

### 情報メディア教育支援チーム

# 1 その他のサービス

情報メディア教育部門において実施されている、その他のサービス(部局設置機器の管理、一時アカウント使用、認証情報の提供、大判プリント、AP 提供サービス)について報告する。

# 2 部局設置機器の管理

部局設置端末の運用代行は、2013年末の経済学研究科の廃止を持って全廃し、2014年度以降 は運用代行を行わない。

# 3 一時アカウント使用

一時アカウントの発行状況は、申込み数は11、合計口数は250である。

4////	1 .> ) [1 // / / / [1 // ]	/ ///	11 (
利用月	部局	口数	内容
6 月	新領域創成科学研究科	15	生命科学実験解析学
7月	法学政治学研究科	30	政治学における行動実験
8月	情報理工学系研究科	100	情報処理学会2014年度教員免許更新講習
8月	大気海洋研究所	41	第2回福島第一原子力発電所事故に係る
			環境汚染 シミュレーション講習会
9月	経済学研究科	29	「社会ゲームの理論と実験」経済学実験
9月	社会科学研究所	34	2014年計量分析セミナー: R による二次分析入門
11月	情報システム部	13	平成 26 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
2 月	本部広報課	51	新CMSのホームページ編集等操作講習会

# 4 認証情報提供

教育用計算機システムの認証情報の提供サービスは SSL-VPN の他は、以下のとおりである。 組織数:5

対象:部局管理の Active Directory (2 組織)、部局管理サーバ、Utask-Web、 SNOWBALLS システム

# 5 大判プリント

大判プリント提供サービスの利用は以下のとおりである。 本郷(福武ホール 教材編集室) 138件

# 6 部局負担による携帯端末接続環境

部局負担による携帯端末接続環境サービスの提供数は 571 口で、その内訳は以下のとおりである。

法学政治学研究科313 口公共政策学教育部93 口総合文化研究科150 口先端科学技術研究センター15 口

# 7 AP 提供サービス

東京大学全学無線 LAN サービス(utroam) AP 提供サービスによる無線アクセスポイント提供数は 46 台で、その内訳は以下のとおりである。

法学政治学研究科27 台公共政策学連係研究部2 台総合図書館1 台農学生命科学研究科8 台教育学研究科2 台総合文化研究科5 台医科学研究所1 台

# 学術情報



データベースリーフレット



GACoS



東京大学 OPAC

# 学術情報

# 概要

部門長 中川裕志

専門職員 本多玄

## 1 図書館システムの運用管理とサービスの提供

ここで言う「図書館システム」とは、本学図書館室の図書館業務を担う業務システム的部分と、その結果蓄積された図書・雑誌の書誌・所在情報を「東京大学 OPAC」を窓口として学内外のユーザの利用に供するためのサービスシステムとしての側面も有するものであり、附属図書館が提供する各種サービスの中核をなすシステムである。

学内外の他システムとの連携も進めており、2014年度は本学認証基盤との連携テストの準備を進めた。

# 2 東京大学機関リポジトリの運用管理と情報発信

本学の研究成果を世界に向けて発信することは本学としても重要なことである。これに資するため 附属図書館と連携して「東京大学機関リポジトリ」システムの運用管理を行っており、約3万1千件の コンテンツが登録されている。

2014年度は、懸案であったバックアップ体制の強化を行った。

なお、コンテンツ登録処理に関し、本部広報室の UTokyo Research と連携し、「知の森」強化プロジェクトとして 2014 年度業務改革の理事賞を受賞した。

# 3 学術情報に関するポータルサイトの提供と各種講習会の企画・運営

大学として各種データベースや電子ジャーナル等情報資源整備を行う必要がある一方、ユーザがそれら情報資源の存在を認識し、かつ有効に活用できなければ意味がない。

このため学術情報チームでは自分の目的に合ったデータベースを探すためのポータルサイト「GACoS」を提供するとともに、様々なテーマによる文献探索のための講習会開催、案内冊子・パンフレット等の作成を附属図書館と連携しながら行っている。

# 4 その他

その他サービスとしては SSL-VPN ゲートウェイによる学外からの電子ジャーナル等へのアクセス サービスや貴重書電子化への協力を行っている。

特に2014年度は、2015年度からの本学認証基盤の整備に伴う利用条件の変更やその広報について関係部署との調整に努めた。

# デジタルコンテンツサービス

#### デジタル・ライブラリ担当

# 1 運用報告

#### 1.1 東京大学学術機関リポジトリの構築

東京大学学術機関リポジトリ(UTokyo Repository)とは、東京大学で生産されたさまざまな研究成果を電子的な形態で集中的に蓄積・保存し、学内外に公開することを目的としたインターネット上の発信拠点である。2004年度から附属図書館と連携して構築を行い、2006年4月1日から「東京大学学術機関リポジトリ」としてサービスを開始している。2014年度は柏図書館と連携し、バックアップ機器の増強を行った。

(http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/)



#### 1.1.1 コンテンツ作成と著作権許諾処理

紀要、学位論文、学術雑誌論文を中心としてコンテンツの収集と作成を行い、2014年度末には約31,600件のデータを公開しており、順調に増加している。

機関リポジトリでは本文そのものを PDF 等で公開するため、単に電子化作業を行うだけではなく、 著作権の許諾処理を必須として作業を行っている。著者本人や共著者の許諾はもちろんであるが、 学術雑誌掲載論文では出版者の許諾も必要であるため、機関リポジトリへの掲載許諾情報を調査し、 必要に応じて学協会等へ個々に許諾の確認を取る作業を行っている。

また、東京大学の研究成果を広く紹介するサイトである UTokyo Research と連携協力し、UTokyo Research への掲載手続き書類にリポジトリ公開に必要になる許諾書を含ませることと、記事は相互にリンクを形成することにした。これらにより、学術雑誌論文の登録促進と効果的なサイトの利用を図った。

# 1.2 電子ジャーナルのリモートアクセスサー ビス

学内からのアクセスに限定されている情報リソースの一部を学外からアクセス可能にするサービスである。2006年度より SSL-VPN Gateway サービスとして実施している。また、2013年から認証 GW サービスからも同様のサービスを提供している。現在、110件程のデータベースや電子ジャーナルのパッケージが利用可能である。2014



年度は、認証方法の変更を準備し、2015 年 4 月から SSL-VPN Gateway サービスは学生向け、認証 GW サービスは教職員向けとして認証方法を整理して運用予定である。

# 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。

2014年度は2012年度論文要旨約1,300件の電子化を行った。前年度同様に、提出電子ファイルを全面的に利用し、データベース作成の効率化と経費の削減を図った。

(http://gakui.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/)

## 1.4 貴重資料の公開支援

例年総合図書館や部局で作成した貴重書の電子ファイルを利用して、web サイトで公開している。2014 年度は大学院工学系研究科で作成した鉱山絵図・絵巻コレクションを公開した。このデータベースは、東京大学工学・情報理工学図書館が所蔵する佐渡相川金銀山、閉伊郡金沢村金山、先大津阿川村の絵巻、敷岡絵図、振矩絵図などを画像データにしたものである。

#### (http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/kozan/)

また、既に公開済みの貴重資料のうち、観世アーカイブと、平賀譲デジタルアーカイブのウェブサイトの更新や大日本海史編纂資料、富士川文庫のデータ追加を行った。







# 学術情報リテラシー支援

#### 学術情報リテラシー担当

# 1 運用報告

#### 1.1 情報探索ポータルサイト GACoS(Gateway to Academic Contents System)の運用

電子的な学術情報にアクセスするためのポータルサイトとして、GACoS(日本語・英語版)を継続的に構築、運用した。「TREE(UTokyo REsource Explorer)」導入に伴うサイトリニューアルにより、中国語・韓国語版は英語版に統合された。

(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/)

## 1.2 リテラシー支援資料の作成・改訂

#### 1.2.1 「レポート・論文支援ブック」

東京大学における文献収集のガイドブックとして作成してきた「ネットでアカデミック」の後継として、「レポート・論文支援ブック:ここから始めよう」を発行した。日本語・英語・中国語・韓国語の 4 か国語版を作成し、PDF 版を GACoS に掲載した。

冊子版は 8 ページの簡易な内容となっており、詳しい内容は日本語・英語 2 か国語で GACoS の新設コーナーに掲載した。GACoS 掲載の内容については、随時新しい情報を追加・改訂している。

(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/supportbook.html)

## 1.2.2 リーフレット「自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには?」

「レポート・論文支援ブック:ここから始めよう」の別冊として、SSL-VPN Gateway サービスと認証 GW サービスについて紹介した「自宅からデータベースや電子ジャーナルを使うには?」を発行した。日本語・英語の2か国語版を作成し、PDF版をGACoSに掲載した。

(http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/supportbook.html)

#### 1.2.3 その他のリーフレット、案内資料

データベース検索関連情報として、学生利用者の学外アクセスに必要となる ECCS アカウントの取得(日本語・英語・中

国語・韓国語版)や、学内無線 LAN の案内用リーフレット(日本語版・英語版)を作成した。

# How to access E-journals from SSUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI Category How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI CATEGORY How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI CATEGORY How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI CATEGORY How to access E-journals from BIECH 9-EX SUPPI CATEGORY HOW

#### 1.2.4 「図書館利用ガイド」

東京大学の図書館を初めて利用する学生等を対象とした、「図書館利用ガイド 2015」(附属図書館学術情報リテラシー教育部会編集、日本語・英語版)の作成に協力した。

#### 1.2.5 「文献探しのクイックガイド」

ウェブ版アニメーション教材のクイックガイド (日本語・英語版)を継続的に運用した。 (http://www.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gacos/literacy.html)

#### 1.3 Litetopi メールマガジンの発行

東京大学構成員を対象に、新規サービスや講習会の情報を発信する「Litetopi (リテトピ)メールマガジン」を、No. 216 から No. 242 まで発行した。バックナンバーは GACoS 上で公開を行っている。



#### 1.4 Twitter の発信

講習会の広報ツール、また完全予約制講習会の開催確定通知やデータベースの一時的なメンテナンス情報などをタイムリーに通知する手段として、Twitter の発信を行った。

# 2 講習会·説明会等開催報告

データベース等の電子的学術資料を学習・教育・研究に効率的に利用してもらうことを目的とし、情報探索ガイダンス各コースを開催した。2014年度は計207回開催し、2,596人の参加があった。

#### 2.1 テーマ別ガイダンス

1 つのテーマについて検索実習を交えながら解説する、テーマ別ガイダンスを 11 コース開催した。 2014 年度は、昼休みを利用した  $20\sim30$  分の「RefWorks ミニ講座」「就活の味方「eol」ミニ講座」、これまで外部講師に依頼していた「EndNote basic 講習会」の 3 コースを新たに実施した。

コース名	月日	回数	人数	内容
はじめての本や論 文の探し方	4/9、4/10、 4/15、4/17、 5/8、5/14	6	100	新検索ツール TREE(UTokyo REsource Explorer)を使った、図書や電子ジャーナル、雑誌論文など、基本的な文献の検索方法。
論文準備ここからス タート	5/23, 5/27, 6/12, 6/20, 7/16, 9/2, 10/3, 10/15, 11/18, 1/21, 2/27, 3/12	12	153	【論文準備のための文献検索】(TREE と Web of Science)講習会と、【論文準備のための文献管理:RefWorks】講習会の内容を、90分コース1回にまとめて実施。
Google Scholar 活用 法	6/3	1	13	Google Scholarの検索のコツや、検索 結果画面の見方、Google Scholarで見 つけた論文の入手方法を説明。その他 のおすすめデータベース等を紹介。
国連情報の探し方 入門	6/18、11/20	2	8	国連機関の会議資料・プレスリリースなど Web 上にある国連情報の探し方や、総合図書館国際資料室にある紙の国連資料の探し方を解説する、初心者向けのコース。

医学・生命科学系向け 論文準備ここからスタート 論文投稿シミュレー	7/8 9/17	1	5 11	【医学生命科学系向け論文準備のための文献検索】(医中誌 Web、PubMedの検索実習)と、【論文準備のための文献管理:RefWorks】講習会の内容を、90分コース1回にまとめて実施。RefWorks で文献データの整理~イン
ション : JCR と RefWorks を使って	·	1	11	パクトファクターを調べて投稿誌の選定 〜投稿誌の規定に沿った文献リストを RefWorks で自動作成、という流れに沿って講習。
就活の味方「eol」ミ ニ講座(昼休み 20 分)	10/10、10/15、 10/20、12/2、 12/17	5	49	国内の企業情報データベース「eol」の 使い方を昼休み20分で紹介。
EndNote basic 講習会/トークセッション(文献管理ツールクローズアップ Days)	11/5	2	1	文献管理ツール EndNote basic の使い 方とトークセッション(トークセッションは参加 者なし)。
RefWorks 講習会/トークセッション(文献管理ツールクローズアップ Days)	11/13	2	12	文献管理ツール RefWorks の使い方と トークセッション。
RefWorks ミニ講座 (昼休み 30 分)	12/3、12/12、 1/15、1/23	4	19	文献管理ツール RefWorks の使い方を 昼休み 30 分で紹介。
卒業してからの文献 検索・文献管理	12/5、12/17、 1/14、1/20、 2/12	5	19	東京大学を卒業・退職される方向けに、卒業・退職してからも文献検索や 文献管理に利用できる、無料の各種ツ ールを紹介。
合言	†	41 回	390名	

# 2.2 夜間ガイダンス

昨年度に引き続き、完全予約制夜間ガイダンスを開催した。

コース名	月日	回数	人数	内容
論文準備のための 文献管理:Web of Science & RefWorks	7/9、8/8、 10/16、 12/19、3/19	5	30	Web of Science の基本的な検索方法と 文献管理ツール RefWorks の実習。
論文投稿シミュレー ション: JCR と RefWorks を使って	9/18, 11/14	2	12	RefWorks で文献データの整理〜インパクトファクターを調べて投稿誌の選定〜投稿誌の規定に沿った文献リストをRefWorks で自動作成、という流れに沿って講習。
卒業してからの文献 検索・文献管理	1/15、3/5	2	5	東京大学を卒業・退職される方向けに、 卒業・退職してからも文献検索や文献

			管理に利用できる、無料の各種ツール を紹介(1/15 は予約者なしのため中止)。
合計	8回 (開催予定 は9回)	47名	

#### 2.3 留学生向け情報探索ガイダンス

留学生を対象に、韓国語および中国語コースをネイティブの講師により開催した。

コース名	月日	月日時間		
留学生向け情報探索ガイダンス	韓国語コース	5/28	15:00-16:00	8
	中国語コース	10/21	13:10-14:10	17
		10/21	15:00-16:00	8
合計 3 回				

## 2.4 外部講師による講習会

データベースの提供元等から講師を招き、高度な専門性を必要とするデータベース等を対象として開催した。2014 年度は、研究分析ツール SciVal について、このツールを契約している本部研究推進企画課と連携して講習会を企画した。また、OECD iLibrary 講習会では本学学生の OECD Student Ambassador の協力により、クイズを交えたミニトーク企画を実施した。他に、アジア歴史資料センター講師による「アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう」講習会、「文献管理ツール・クローズアップ Days」企画のなかで Mendeley 講習会を新たに開催した (Mendeley 講習会は、好評のため追加開催)。

コース名	月日	時間	人数	会場	
SciFinder で化学分野の情報検索をす	6/13	14:50-16:20	14	総合図書館	
るには?	6/24	14:50-16:20	9	柏図書館	
LexisNexis Academic で海外の新聞記事を検索するには?	6/17	15:00-16:00	10	総合図書館	
OECD の出版物や統計を探すには? OECD iLibrary 講習会	6/19	14:50-16:20	6	総合図書館	
EndNote basic & EndNote 講習会	6/20	16:00-17:00	17	医学図書館	
	6/30	17:30-18:30	15		
	8/6	17:30-19:00	18		
アジア関連の日本歴史公文書をネット で見よう	7/3	15:00-16:00	19	総合図書館	
		13:00-14:30 (教職員向け)	15		
「研究戦略:研究力の測り方、伸ばし 方」分析ツール SciVal 講習会	7/4	14:50-16:20 (博士課程・ポスドク・ 若手研究者向け)	19	総合図書館	
	11/26	14:50-16:20	13	柏図書館	
EndNote 講習会/トークセッション(文献管理ツールクローズアップ Days)	11/5	13:30-14:30 14:50-15:50	6	総合図書館	
Mendeley 講習会/トークセッション(文献管理ツールクローズアップ Days)	11/13	13:30-14:30 14:50-15:50	30	総合図書館	

Mendeley 講習会	1/23	16:40-18:10	19	総合図書館	
Menderey # 日云	2/19	14:50-16:20	15	松口凶音印	
合計 17 回					

# 2.5 秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会

研究補助従事者を主対象として夏期に開催した。(会場:総合図書館)

月日	時間	人数	内容
8/8	11:00-12:00	14	女子立典[17]の日十、図書の最フジューより、歴計数立ち
8/19	15:00-16:00	17	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。
合計	2 回	31名	C、坐/やFリな人間パッパ皮ボル140。

# 2.6 出張・オーダーメイド講習会

利用者(教員、学生等)や部局からの依頼に合わせた内容で行う、出張講習会を実施した。

## オーダーメイド講習会

研究科・研究室名など	月日	時間	人数	講習内容	会場
情報学環学際情報学府	4/2(水)	11:00-12:00	79	TREE、 JapanKnowledge Lib、 CiNii Articles、Web of Science Core Collection の紹介	福武ホール地下 2 階福武ラーニング シアター
文学部現代文芸論研 究室	4/14(月)	13:00-14:00	12	TREE、Literature Resource Center with MLA、CiNii Articles の検索実習(60分)+ 文学部3号館図書室 ツアー(30分)	総合図書館1階 講習会コーナー、 文学部3号館図 書室
医学系研究科家族看 護学教室	4/16(水)	10:30-12:00	9	TREE、医中誌 Web、 PubMed、CINAHL の 検索実習	総合図書館1階 講習会コーナー
文学部「心理学研究 室」	4/18(金)	15:15-16:15	21	TREE、Web of Sci- ence Core Collection、 PsycINFO、CiNii Ar- ticles の検索実習	法文 1 号館 111 教室
教養学部「基礎演習」	4/23(水)	14:50-16:20	27	TDEE	駒場情報教育棟
	4/24(木)	13:00-14:30	56	TREE、 JapanKnowledge Lib、	
	4/25(金)	9:00-10:30	23	Webcat Plus、CiNii Articles、新聞記事デ	
	4/25(金)	10:40-12:10	22	ータベースの検索実 習	
	4/28(月)	14:50-16:20	20	Ħ	

	5/1( <del>*</del> )	10.40-19.10	20		
	5/1(木)	10:40-12:10	20		
理学部生物化学科	5/12(月)	13:15-15:20 (10 分休憩)	19	TREE、PubMed、Web of Science Core Col- lection、RefWorksの 実習	浅野情報基盤センター 演習室 2
情報学環•学際情報学 府	5/13(火)	13:00-14:30	5	TREE、 JapanKnowledge Lib、 CiNii Articles、Web of Science Core Collection、RefWorksの実 習	総合図書館1階 講習会コーナー
文学部「Academic Writing」	5/27(火)	13:10-14:10	12	TREE、 JapanKnowledge Lib、 CiNii Articles、Peri- odicals Index Online、 Web of Science Core Collection の検索実 習	総合図書館1階 講習会コーナー
	7/1(火)	13:10-14:10	10	RefWorks の実習	総合図書館1階 講習会コーナー
工学系研究科化学シス テム工学	5/29(木)	10:00-12:00	6	医中誌 Web、 Engineering Village、 Web of Science Core Collection、TREE、 RefWorks の実習	工学部 3 号館 5 階水流研究室 C5A01
工学系研究科都市工学	6/3(火)	13:00-14:30	27	CiNii Articles、Web of Science Core Col- lection、PubMed、 TREE の実習	工学部 14 号館 2 階 144
医学系研究科公衆衛 生	6/26(木)	14:00-15:30	4	Web of Science Core Collection、RefWorks の実習	総合図書館1階 講習会コーナー
典兴华春和兴江克利	7/3(木)	10:30-12:00	12	Web of Science Core	
農学生命科学研究科 応用生命化学専攻田 之倉研究室	7/14(月)	14:00-16:00	5	Collection、PubMed、 RefWorks の実習 (7/14 のみ CiNii Ar- ticles の実習あり)	総合図書館1階 講習会コーナー
[個人オーダーメイド] 附属病院	7/3(木)	13:00-13:30	1	EndNote basic の使い 方	総合図書館1階 講習会コーナー
[個人オーダーメイド] 教育学研究科	7/29(火)	13:15-14:00	1	CiNii Articles、Web of Science Core Collec- tion、RefWorks の実 習	総合図書館1階 講習会コーナー

教育学研究科「臨床心 理学研究法Ⅱ」	10/2(木)	13:20-14:40	15	CiNii Articles、医中誌 Web、PubMed、Web of Science Core Col- lection、PsycINFO、 TREE の検索実習	総合図書館1階 講習会コーナー
	10/9(木)	13:00-14:40	13	JCR、RefWorks の実 習	
[個人オーダーメイド] 政策ビジョン研究センタ ー	10/7(火)	13:00-13:30	1	Web of Science Core Collection の実習	総合図書館1階 講習会コーナー
工学部精密工学科	10/9(木)	14:50-16:00	32	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、 Engineering Village の 検索実習	工学部 14 号館 3 階計算機演習室 326 号室
[個人オーダーメイド] 情報学環・学際情報学 府	10/10(金)	14:00-15:10	1	医中誌 Web、PubMed の実習	総合図書館1階 講習会コーナー
教養学部「初年次ゼミ ナール文科 パイロット 授業」	10/28(火)	15:20-16:20	14	レポート論文執筆に 必要な検索ツールの 使い方 東京大学 OPAC、 JapanKnowledge Lib、 CiNii Articles、 TREE、新聞記事デー タベース	駒場図書館地下 1階会議室
	12/9(火)	15:00-15:50	10	文学データベース Artemis の検索実習、 RefWorks の実習	
文学部「社会心理学調本生習	10/29(水)	10:00- 11:00(1)	11	tion, PsycINFO,	総合図書館1階
查実習」		11:10- 12:10(2)	11	TREE の検索実習(60分)+総合図書館/文学部図書室ツアー(各30分)	講習会コーナー
[個人オーダーメイド] 医学系研究科	10/31(金)	10:00-11:00	1	RefWorks の使い方	総合図書館1階 講習会コーナー
[個人オーダーメイド] 理学部	11/4(火)	12:20-12:40	1	RefWorks の使い方	総合図書館1階 講習会コーナー

文学部「Academic Writing」	11/4(火)	13:10-14:10	9	JapanKnowledge Lib、 TREE、CiNii Articles、Periodicals Index Online、Web of Science Core Collectionの検索実習	総合図書館1階 講習会コーナー
	12/16(火)	13:10-14:10	6	RefWorks の使い方	
教育学部「教育資料調 查演習」	11/10(月)	14:50-16:20	24	TREE、CiNii Articles、ERIC (EBSCOhost)、国立 国会図書館サーチの 検索実習	駒場情報教育棟
教養学部イギリス研究コース	2/2(月)	13:30-15:40	8	辞書ツール、Artemis Primary Sources、 House of Commons Parliamentary Papers、CiNii Arti- cles、Web of Science、 TREE などの検索実 習	駒場情報教育棟
[個人オーダーメイド] 附属病院	2/9(月)	14:00-15:00	2	PubMed、EndNote basic の使い方	総合図書館1階 講習会コーナー
初年次ゼミナール理科 TAトレーニング	2/16(月) 2/17(火) 2/18(水)	13:45-14:35	120	来年度に初年次ゼミナール理科を担当する TA 向けに、講習ポイントを説明	駒場 KALS
승計 40 回			670名		

# 附属図書館・室等との共催講習会

図書館・室名など	月日	時間	人数	講習内容	会場
総合図書館留学生ガイダンス「はじめての本や論文の探し方」(日本語)	4/3(木)	14:30-15:00	19	TREE、自宅からの利 用方法	総合図書館1階 講習会コーナー
<b>公人団事始より二人</b> こ	4/9(水)	10:30-11:00	15		総合図書館1階 講習会コーナー
総合図書館オリエンテーション「はじめての本	4/11(金)	15:00-15:30	14	TREE、自宅からの利 用方法	
や論文の探し方」(日本 語)	4/14(月)	15:00-15:30	13		
PD/	4/17(木)	15:00-15:30	20		
総合図書館オリエンテー ション「Searching for books and papers」(英語)	4/8(火)	15:00-15:30	8	TREE、自宅からの利	総合図書館1階 講習会コーナー
	4/15(火)	15:00-15:30	12	用方法	

総合図書館留学生ガイ ダンス「Searching for books and papers」(英語)	4/16(水)	15:15-15:45	16	TREE、自宅からの利 用方法	総合図書館1階 講習会コーナー
[農学生命科学図書館 共催] 農学生命科学系留学生 ガイダンス「Searching for books and papers」	4/18(金)	13:30-14:00	15	TREE、自宅からの利 用方法	農学生命科学図 書館 3F 端末室
[生産研図書室・先端研	4/21(月)	10:30-11:40	20	TREE, CiNii	
[土産切図書金・元端切図書室共催] 「文献検索早わかり in 駒場Ⅱ」	5/16(金)	15:00-16:10	19	Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の講習(講義形式)	生産技術研究所 As 棟 3F 中セミ ナー室 4
[地震研図書室共催] 「研究者と研究支援者 のための文献の探し方 @地震研」	4/23(水)	14:00-15:15	15	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、新聞記 事の探し方、Ref- Worksの概要(講義 形式)	地震研 1 号館 3 階会議室
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文 献検索講習会:基礎編」	4/30(水)	15:00-16:00	3	TREE、医中誌 Web、CiNii Articles、 Web of Science Core Collection の実習	薬学部資料館 4F 情報室
[理学部生物学科図書 室共催] 理学部生物学科 B 系 (基礎生物学系)	5/13(火)	15:00-16:00	17	TREE、 JapanKnowledge Lib、 PubMed、Web of Science Core Collectionの実習	総合図書館1階 講習会コーナー
[理学部生物学科図書室共催] 理学部生物学科A系 (人類学系)	5/14(水)	10:30-11:30	5	TREE、 JapanKnowledge Lib、 PubMed、Web of Science Core Collection の実習	総合図書館1階 講習会コーナー
[大学院数理科学研究 科図書室共催] 「MathSciNet 講習会」	5/20(火)	15:00-16:15	10	MathSciNet、TREE、 RefWorks の実習	数理科学研究科 棟 2 階計算機室
「丁学•桂恕珊丁学励妻	5/21(水)		22		
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	5/22(木)	12:15-12:50	19	Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の講習 (講義 形式)	工 2 号館図書室 閲覧室

[工学•情報理工学図書	5/21(水)	19.50 19.15	18	RefWorks の講習(講	工 2 号館図書室	
館共催] 「RefWorks コース」	5/22(木)	12:50-13:15	18	義形式)	閲覧室	
[生産研図書室・先端研図書室共催] 「論文準備のための文献管理 RefWorks」	5/26(月)	15:00-16:10	7	RefWorks の講習 (PC 持参者のみ実習)	生産研 As 棟 3F 中セミナー室4	
[医学図書館共催]		第1回 14:00-15:00	14			
「EBM のための医学系 文献検索入門:医中誌	5/30(金)	第2回 15:30-16:30	17	医中誌 Web、Pub- Med、TREE の実習	医学図書館 1 階 マルチメディアコ ーナー	
Web と PubMed」		第 3 回 17:30-18:30	18			
[経済学図書館共催] 「経済学・経営学系のための論文・企業情報の 探し方」	6/4(水)	15:00-16:00	16	Business Source Complete、eolの実 習	経済学研究科棟トレーディング・ラボ	
[柏図書館共催] 「文献検索早わかり@東 京大学」	6/5(木)	14:50-16:20	7	TREE、CiNii Articles の実習	柏図書館 1 階ラ ーニングサポート サービス	
[駒場図書館共催]	C /O/ 🖽 )	10:40-12:10	5	TREE、Web of Science Core	駒場図書館地下 1 階会議室	
「論文準備ここからスタート in 駒場」	6/9(月)	14:50-16:20	12	Collection、Ref- Works の実習		
[柏図書館共催] 「論文準備ここからスタ ート英語論文検索から 文献リスト作成まで」	6/11(水)	14:50-16:20	11	TREE、Web of Sci- ence Core Collection、Ref- Works の実習	柏図書館 1 階ラ ーニングサポート サービス	
[薬学図書館共催] 「薬学研究のための文 献検索上級編」	6/25(水)	15:00-16:00	6	PubMed、Web of Science Core Collection、RefWorksの実 習	薬学部資料館 4F 情報室	
[柏図書館共催] 「秘書さんのためのはじ めての論文の探し方」	7/11(金)	14:45-16:00	6	TREE、CiNii Articles、Web of Sci- ence Core Collection の実習	柏図書館 1 階ラ ーニングサポート サービス	
[医科学研究所図書室 共催]	7/15(火)	15:00-16:30	11	医中誌 Web、 PubMed、Web of Sci-	医科学研究所 1	
「論文準備ここからスタ ート in 医科研」	9/10(水)	15:00-16:30	8	ence Core Collection、Tree、 RefWorks の実習	号館 2 階セミナー 室	

[キャリアサポート室共 催]	9/17(水)		100		本郷キャンパス 工 学部 11 号館 1 階 講堂
博士・ポスドク向け キャ リアセミナー(本郷・柏・ 駒場 II)	9/18(木)	17:30-17:45	35	キャリアセミナーのな かで eol の使い方を 紹介	柏キャンパス 基盤 棟 2 階 大講義室
「就活の味方 eol ミニ講座」	9/19(金)		32	(MH)	生産技術研究所 An 棟 3 階大会議 室
総合図書館留学生ガイダンス「はじめての本や論文の探し方」(日本語)	10/2(木)	15:00-15:30	19	TREE、自宅からの利 用方法	総合図書館1階 講習会コーナー
総合図書館留学生ガイ	10/8(水)	15:00-15:30	4		
ダンス 「Searching for books	10/16(水)	15:20-15:50	15	TREE、自宅からの利 用方法	総合図書館1階 講習会コーナー
and papers」(英語)	10/20(月)	15:00-15:30	4		
[農学生命科学図書館 共催] 農学生命科学系留学生	10/17(金)	13:30-14:15	14	TREE、自宅からの利	農学生命科学図 書館 3F 端末室 2
ガイダンス 「Searching for books and papers」(英語)	10/17(並)	14:45-16:00	8	用方法	
[生産研図書室・先端研図書室共催] 「論文準備ここからスタ	10/17(金)	15:00-16:30	8	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering Village の検索実習、	生産研 As 棟3F 中セミナー室 5
一トin 駒場Ⅱ」	10/28(火)	10:30-12:00	6	RefWorks の実習(持 込 PC による実習形 式)	
[工学•情報理工学図書	10/21(火)	12:15-12:50	11	TREE, CiNii Articles, Web of Sci-	
館共催] 「文献検索早わかりコース」(英語)	10/22(水)	12:15-12:50	10	ence Core Collection、Engi- neering Village の検 索実習(講義形式+持 込 PC での実習)	工2号館図書室 閲覧室
[工学・情報理工学図書館共催] 「文献検索早わかりコース」	10/23(木)	12:15-12:50	6	TREE、CiNii Articles、Web of Science Core Collection、Engineering	工2号館図書室 閲覧室
	10/24(金)	12:15-12:50	5	tion、Engineering Village の検索実習 (講義形式+持込 PC での実習)	

[工学•情報理工学図書	10/23(木)	12:50-13:15	1	11011101110 7 /21 /3	工 2 号館図書室	
館共催] 「RefWorks コース」	10/24(金)	12:50-13:15	4	(講義形式+持込 PC での実習)	閲覧室	
[工学·情報理工学図書 館共催]	10/23(木)	13:15-17:00	1	文献管理ツールや文 献検索の個別相談	工 2 号館図書室	
質問受付 Days in 工学系	10/24(金)		0	附作 米 少   四 万   个日		
[農学生命科学図書館 共催] 「論文準備ここからスタ ート in 農学生命科学図 書館」	10/22(水)	14:50-16:20	16	TREE、Web of Science Core Collection、PubMed の検索実習および RefWorksの実習(持 込 PC での実習形 式)	農学生命科学図 書館本館 3F ゼミ ナール室 2	
		(第1回) 13:30-14:30	5			
[医学図書館共催] 「EBM のための医学系 文献検索入門」	10/31(金)	(第2回) 15:30-16:30	2	医中誌 Web、Pub- Med、TREE の実習	医学図書館 1 階 マルチメディアコ ーナー	
		(第3回) 17:30-18:30	13			
[駒場図書館共催] 就活の味方「eol」ミニ講 座	11/10(月)	12:20-12:40	7	eol の実習	駒場図書館地下 1階会議室	
[柏図書館共催] 論文準備ここからスター ト in 柏	11/19(水)	14:50-16:20	9	TREE、Web of Sci- ence Core Collection の検索実習および RefWorks の実習	柏図書館 1 階ラ ーニングサポート サービス	
[駒場図書館共催] RefWorksミニ講座	12/9(火)	12:20-12:50	5	RefWorks の実習	駒場図書館地下 1階会議室	
[駒場図書館共催] GoogleScholar 活用法	12/9(火)	13:45-14:30	2	GoogleScholar の検 索実習	駒場図書館地下 1階会議室	
合計	60 回		778名			

### 2.7 セミナー

昨年度に引き続き、若手研究者への学術情報リテラシー支援として、国際誌への論文投稿・執筆等を主なテーマとしたセミナーを開催した。また、英語論文執筆支援として駒場ライターズスタジオから講師を招いた「英語論文はこわくない~書くためのポイント」セミナーと、博士論文の機関リポジトリでの公開義務化に関連し「論文執筆と著作権」セミナーを新たに開催した。

コース名	月日	時間	参加人数	会場	
英語論文セミナー2014 〜国際誌に投稿するため に知っておきたいこと〜			105	総合図書館 3 階大会議室	
農学生命科学図書館に て中継	9/29(月)	13:30-16:30	29	農学生命科学図書館 3 階ゼミ ナール室	
柏図書館にて中継			22	柏図書館コンファレンスルーム	
駒場情報教育棟にて中 継			21	駒場情報教育棟 3 階中演習室 3	
		小計	177 名		
英語論文はこわくない~書	11/21(金)	14:00-16:00	46		
くためのポイント〜 駒場ライターズスタジオ in 本郷 特別出張講座	12/11(木)	10:00-12:00	36	総合図書館3階大会議室	
論文執筆と著作権 〜知っ ておきたい基本の話〜	1/29(木)	15:00-16:45	63	総合図書館3階大会議室	
合計4回			322 名		

### 2.8 質問受付ウィーク

文献管理ツールや文献検索に関する疑問に、短時間で個別相談を受け付ける「質問受付ウィーク」を開催した。

月日	受付時間	コース名	参加人数	会場
8/25(月)~ 8/29(金)	9:30-12:00、 13:00-16:30	【質問受付ウィーク】 文献管理ツールや文 献検索の個別相談	11	総合図書館1階講習会コーナー
	合計		11 名	

# 2.9 ECCS 新規利用者講習会福武追加プログラム

ECCS 新規利用者講習会の後 10 分程度(12:50~13:00)、自宅からデータベースや電子ジャーナルを利用する方法について説明するプログラムを開催した。

月日	参加人数	会場
6/2、16、23、30、7/7、14、28、 8/4、18、25、9/1、8、22、 10/6、20、27、11/17、12/1、8、15、22、 1/19、26、2/9、3/2、9、16		福武ホール地下1階実習室
合計 27 回	89 名	

# 図書館関係システム運用・管理

### 図書館システム担当

### 1 運用報告

図書館システム担当では、「附属図書館学術情報システム」を中心に附属図書館 Web サーバも含めた図書館関係サーバ群の運用管理を行なっている。

### 1.1 附属図書館学術情報システム(図書館システム)

「附属図書館学術情報システム」は全学の図書館業務システムであり、OPAC、MyOPAC等の利用者サービスを提供するシステムでもある。2014年度は以下の業務の実施とともに、2016年度に予定されるシステムリプレイスに向けて仕様の検討を開始した。

### 1.1.1 図書館システムにおける通年業務

2014 年度も通常の図書館業務システム画面では処理が困難な大量の各種データの一括登録・ 修正・削除処理について、附属図書館の要望に沿って作業を行なった。さらに毎年行う柏図書館へ の製本雑誌移管に係るデータ修正、部局図書館の移転・統合に伴う移設作業や新図書館建設に係 る総合図書館資料の移設作業に対応するため、データ修正作業を継続して行なっている。

また、附属図書館業務別部会と連携し、システムに対する要望の整理・取りまとめ、それらのシステムの適用状況の管理・動作検証等を行なっている。

### 1.1.2 システムリプレイスの検討開始

2016年7月に「附属図書館学術情報システム」のリプレイスを控えていることから、2015年2月17日に第1回仕様策定委員会を開催し、導入説明書等の検討を開始した。2015年度も引き続き検討を行なう予定である。

また、附属図書館業務別部会と連携し、システムリプレイスに向けて次期図書館システムの仕様書の検討も開始している。

### 1.1.3 ディスカバリーサービス「TREE」との連携

東京大学では複数のデータベースを 1 つの検索窓からまとめて検索が可能となるディスカバリーサービス「TREE」を 2013 年 10 月からトライアルスタートしていたが、このサービスに「附属図書館学術情報システム」OPAC 等の利用者サービスを連携させるためのシステム改修を進め、2014 年 4 月から本番運用が開始している。

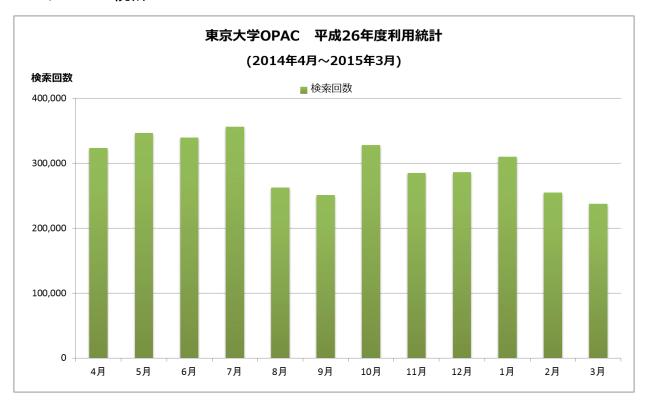
### 1.1.4 学術認証フェデレーションとの連携

東京大学で 2014年 10 月に学術認証フェデレーションが導入されたのに伴い、図書館システムでも連携対応することになった。具体的には、MyOPAC のログイン ID・パスワードを学認と共通化することになる。本年度は評価環境における連携の動作確認を行なった。2015 年度も引き続き検証を進め、本番環境への適用を進める予定である。

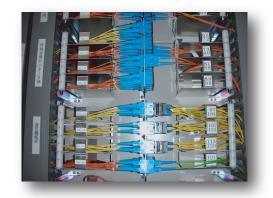
### 1.2 その他の図書館関係サーバ等

- 附属図書館 Web サーバの管理
- 附属図書館職員用 Wiki の管理
- 「図書系職員のためのアプリケーション開発講習会」の開発・成果公開用サーバの管理
- メールホスティングによる図書系部署・職員のアカウント管理、メーリングリスト管理
- DNS ホスティングによる libドメイン、dl-itcドメインのゾーン管理
- 部門 HPの管理
- 総合図書館共同利用棟のネットワーク機器管理

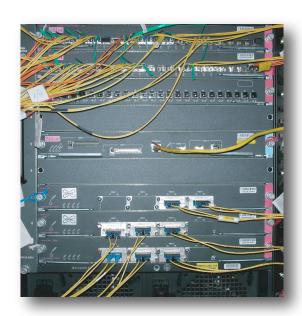
# 2 サービス統計



# ネットワーク



光ケーブルが集線されているスプライシングボックス



UTnet3の代表的な機器(レイヤ3スイッチ)

# ネットワーク

# 概要

### 部門長 若原 恭 専門職員 井爪 健雄

### ■東京大学情報ネットワークシステム(UTnet3)の運用管理

本学の情報ネットワークシステム UTnet3(University of Tokyo network system 3)は、各建物内の支線ネットワーク(支線)及び建物間接続や学外との接続のための基幹ネットワーク(基幹)とから構成されている。情報基盤センターのネットワークチームは、以下に示す通り、基幹の運用管理に加え、これに関連する業務も含めて取り組んだ。

### 1. 基幹ネットワークの運用管理

基幹の中核を占めるネットワーク機器は、本郷地区、駒場 I 地区、駒場 II 地区、柏地区、白金地区、中野地区の各ハブサイトに設置したレイヤ 3 スイッチ (L3SW) であり、基幹の基本トポロジーは情報基盤センターを中心にしたスター型になっている。基幹の老朽化した L3SW の更新を含め、運用管理を実施した。

### 2. 基幹ネットワークと支線ネットワークとの接続

各建物にレイヤ 2 スイッチ (L2SW)を設置し、基幹の L3SW と支線を接続しているが、ネットワーク利用の増大への対応と高機能化及び老朽化対策のため、2014 年度も 2013 年度に引き続き、L2SW の順次更新を行った。また、ダイワユビキタス学術研究館、柏地区の共同利用 A 棟等の新設建物や、改修工事が完了した安田講堂等に L2SW を新たに設置した。

### 3. VLAN 対応

UTnet3 では仮想 LAN(VLAN: Virtual LAN)に対応している。VLAN によって、部局や研究室が複数の建物やキャンパスに分散して配置されている場合でも部局や研究室のまとまりごとに同一のサブネットに収容することを可能としている。本学では、建物の新設や組織変更等が少なくなく、それに伴った VLAN に関する要求は非常に多く、それら要求に応じてネットワーク機器の設定変更や増設等を実施した。特に、1 月以降に実施された事務用端末の切り替えに伴い、大量に VLAN の設定変更を行った。

### 4. 無線 LAN サービス

山上会館、武田ホール、弥生講堂(一条ホール・セイホクギャラリー)、柏地区の柏図書館、鉄門記念講堂、総合図書館会議室、向ヶ岡ファカルティハウス、工学部共通講義室等において、無線 LAN サービスを提供した。

また、2012 年 10 月から本格運用を開始した全学無線 LAN サービス(utroam)の運用を引き続き行った。

更に、通信事業者の提供する公衆無線 LAN に接続する公衆無線 LAN 接続サービスも提供した。

### 5. その他関連業務

全学法定点検に伴う計画停電時には、発電車を用意して主要機器への給電を行うことによって継続運転を実施した。

また、ドメイン名の割り当て、DNS(Domain Name System)のサービス、UTnet 光ファイバケーブル専用利用の各業務に取り組んだ。

### ■セキュリティ対応

最近のネットワークにおいてはセキュリティへの対応が必須となっており、本学においてもセキュリティインシデントは日常茶飯事と言っても過言ではないほど頻繁に発生している。特にコンピュータへの不正侵入の試み、電子メールや Web ページを通してのウィルス感染、P2P(Peer to Peer)、SPAM メール等が問題となっている。そこで、本学のセキュリティの維持確保に向け、以下の通り、セキュリティ対応業務を実施した。

### 1. 不正侵入の監視

学外と学内との間の通信に関し、基幹部分において不正侵入の試みを検知し事前に予防する仕組みとして、UTnet3では不正侵入検知装置 (IDS: Intrusion Detection System)と異常トラフィック監視システムを用いて監視し、その結果に応じて必要な対処を実施した。

### 2. ウィルス感染への対応

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 メールへの全学的な対策として、情報システム本部と連携協力して、メールサーバ単位での SPAM 対策の運用を実施した。

### ■ 東京大学情報システム緊急対応チーム(UT-CERT)との連携

UTnet3 ではセキュリティに関する対応として、基幹部分のギガビットスイッチ(L3SW)で、全学的に問題となる事象や各部局が禁止する個別の事象についてのフィルタを設定している。東京大学情報システム緊急対応チーム(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。

また、インシデントレポートシステムの更新及び UT-CERT の Web サイトのリニューアルを行った。

### ■ 学内ソフトウェアライセンス

学内利用者の多いソフトウェアについて、全学サイトライセンスを取得し、そのライセンスの管理と配布サービスを行った。2014 年度に新たにサービスを開始したライセンスは、Microsoft のアカデミックセレクトプラスである。また、ライセンスの管理と配布の効率化を図るため、ソフトウェアダウンロードサイトを構築して活用を開始した。

なお、学内ソフトウェアライセンス関係の業務は、2013 年度にソフトウェア管理チームに引き継いだが、運用に関しては引き続きサポートを行った。

### ■ ハウジングサービス

空調設備やラック等の設備を提供し電源を供給するハウジングサービスを 2010 年 10 月から開始しており、2014 年度も引き続き実施した。

### ■その他

2015 年度末に計画されている SINET の更新に関して、UTnet 基幹部の構成の見直し検討、及び主な所要機器の調達準備(100Gbps 対応のルータやセキュリティ機器の情報収集と動作検証)等を行った。

更に、2015 年度の東京大学教育無線 LAN の導入に関して、他部門と協力して調達作業を進めた。

### ■ 関係委員会

情報ネットワークに関する事項について、全学的な視点から企画、立案及び審議を行う情報基盤センターネットワーク専門委員会が以下のとおり開催された。

2014年 6月 3日 第52回情報基盤センターネットワーク専門委員会 2014年 9月 16日第53回情報基盤センターネットワーク専門委員会 2014年 12月 25日第54回情報基盤センターネットワーク専門委員会 2015年 3月 18日第55回情報基盤センターネットワーク専門委員会

主な報告事項、検討事項および承認事項

- ·UTnet 運用報告
- ・セキュリティ運用報告
- ・ソフトウェアライセンス運用報告
- ・UTnet Meeting の開催及び開催報告
- ・基幹ネットワークの構成変更について
- ·SINET5 関連について
- ・サーバ証明書発行について

# 東京大学情報ネットワークシステム(UTnet3)の運用管理

### UTnet 担当

# 1 運用報告

本学の情報ネットワークシステムは UTnet (University of Tokyo network system)と称し、これまでの更新経緯に応じて現在は UTnet3 と呼ばれている。UTnet3 は支線ネットワーク(支線)と基幹ネットワーク(基幹)とから構成されている。支線は、各建物内に設置されたネットワークで、当該部局によって運用管理されている。基幹は、支線の相互接続及び学外との接続のために設置されたネットワークで、情報基盤センターの本ネットワーク部門が運用管理している。本部門では、以下に示す通り、基幹の運用管理に加え、これに関連する業務も含めて取り組んだ。

### **1.1** 基幹ネットワークの運用管理

本郷地区の基幹には、5 ヶ所の HUB サイト(情報基盤センター、電話庁舎、附属図書館、工学部 8 号館、農学部 3 号館)がある。各 HUB サイトにはコア用レイヤ 3 スイッチ (L3SW)を設置し、基幹は情報基盤センターを中心にしたスター型の構成としている。駒場 I 地区、駒場 I 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。

- -本郷地区収容用 L3SW の 10Gbps 接続用 I/F 増強(情報基盤センター設置)
- -本郷地区~駒場 I 地区向けキャンパス間 DF 回線用 WDM2台の更新
- -本郷地区~駒場Ⅱ地区向けキャンパス間 DF 回線用 WDM2台の更新
- -本郷地区収容用 L3SW の 10Gbps 接続用 I/F 増強(電話庁舎設置)
- -次期 UTnet 用 L3SW の試験運用
  - ・情報基盤センター設置 L3SW の 1 台に接続している一部を移行

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。また、L3SW については、EOL(End Of Life)がベンダーから広報されたため、リプレースに向けて新たな機種を1台選定し試験運用を始めた。

既存の基幹ネットワーク構成を図 1 に示し、本郷地区と、駒場 I 地区・駒場 I 地区・柏地区・白金地区・中野地区の各キャンパス間のトラフィック量の推移を図 2 に示す。

### 1.2 基幹ネットワークと支線ネットワークとの接続

基幹と各支線の接続については、各建物に設置したエッジ用レイヤ 2 スイッチ(L2SW)で行っており、この L2SW は HUB サイトの L3SW から伸ばした光ファイバに接続されている。 UTnet3 導入(2001 年度) 当初に L2SW を約 200 台設置して以来、撤去や新設で台数の増減はあるものの、現在では約 230 台の L2SW を設置している。 これらの L2SW の 9 割以上は、支線との接続速度がギガビットに対応している。

L2SW について、今年度は 18 台を予防保全のための更新、7 台の新設、15 台の撤去、2 台の故障交換、および機能強化による 5 台の構成変更を行った。また、無線 LANの APを給電するための PoE スイッチを 5 台新設した。

### 1.3 VLAN 対応

部局や研究室が、複数の建物やキャンパスに分散配置されたり、他部局の建物内に入居するケースがある。UTnetでは、部局や研究室のサブネットを他の建物等に VLAN で延長することができる。このような VLAN 機能を持つ基幹に関して、今年度に行った構成変更及びサブネットの割当を表1に示す。

### 1.4 その他関連業務

(1)ドメイン名の割り当て等

ネットワーク専門委員会の承認を経て、5件を新規に割り当て、1件を継続した。詳細を表2に示す。

(2) UTnet 光ファイバケーブル専用利用

建物間を横断するUTnet 光ファイバケーブル専用利用の変更、及び割当を行った。結果を表3に示す。

(3) 無線 LAN サービス

山上会館、武田ホール、弥生講堂(一条ホール・セイホクギャラリー)、柏図書館、鉄門記念講堂、総合図書館会議室、向ヶ岡ファカルティハウス、工学部共通講義室等において、情報基盤センターがアクセスポイント(AP)の整備を行い、Web 認証方式の無線 LAN サービスを展開している。2014年3月末に追加拠点として、農学部フードサイエンス棟の中島ホールでサービスを開始した。それらの部局別の申請利用状況を表4に示す。

### (4) 公衆無線 LAN 接続サービス

上記の AP に、通信事業者の提供する公衆無線 LAN 接続サービスの SSID を相乗りさせており、各社 指定の接続方法にて公衆無線 LAN サービスにローミングしている。2014 年 12 月には、ソフトバンクテレコムの SSID (mobilepoint2)を追加した。

	SSID	通信事業者
1	mobilepoint / mobilepoint2	ソフトバンクテレコム
2	Wi2 / Wi2 club	テコラス(旧 DATAHOTEL) KDDI
3	0001softbank / SWS1day	ソフトバンクモバイル
4	0000docomo / docomo	NTTドコモ

### (5) 全学無線 LAN サービス(utroam)

utroam は学内構成員が対象で、部局等が整備する無線 LAN システムを連携させ、キャンパスの様々な場所で無線 LAN が利用できるサービスである。本サービス基幹部の運用業務を担当した。

(6) ECCS 無線 LAN サービス用 AP の集約

UTnet 無線 LAN サービスの AP をコントロールしている運用システムに、ECCS の AP 群を一括集約し、それらのコントロール業務を担当した。

(7) utroam 利用用レンタル AP の集約

ECCS が窓口になって学内にレンタルしている AP を、UTnet 無線 LAN サービスの AP をコントロールしている運用システムに一括集約し、それらのコントロール業務を担当した。

(8) ゲスト用無線 LAN アカウント

本学を訪れるゲスト向けに2014年9月からアカウント発行サービスが試行されたことに伴い、本サービスのアカウント発行業務を担当した。

# 2 講習会・研究会開催報告

### [第 12 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 63 名であった。

- •期間 2014年10月16日(木)
- ・場所 理学部小柴ホール

プログラムは次のとおり

- 1. UTnet update
- 2. ウイルス対策/迷惑メール対策/ソフトウェアライセンス
- 3. UT-CERT 報告
- 4. Microsoft のライセンス
- 5. 全学無線 LAN について
- 6. 学内光ファイバでの 100Gbps 通信試験
- 7. 身近な脅威を最新事例と共にご紹介
- 8. SINET5について
- 9. フリーディスカッション

下田哲郎係長

椿山惣一郎専門職員

中山雅哉准教授

情報システム本部

玉造潤史准教授小川剛史准教授

情報理工学研究科

浅井大史特任助教

トレンドマイクロ株式会社

馬場祐介氏

国立情報学研究所 小薗隆弘係長

宮本大輔助教

### [平成26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 13 名であった。

- ·期間 2014年11月18日(火)~11月20日(木)(3日間)
- ・場所 情報基盤センター1階遠隔講義室

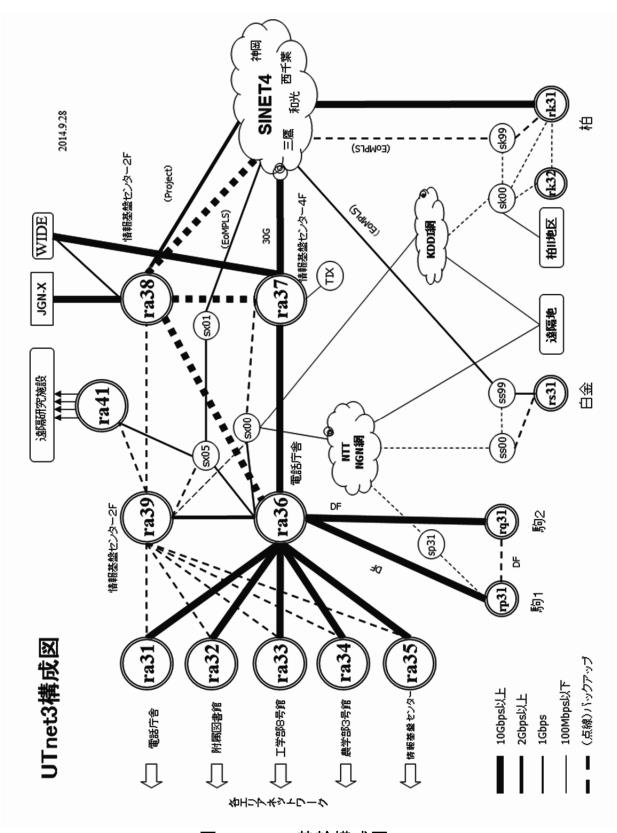
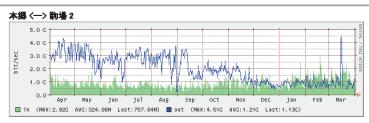


図1 UTnet 基幹構成図

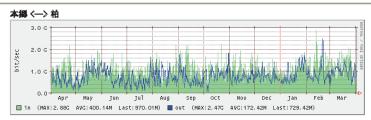
### キャンパス間回線トラフィック

# 本語(一) 助場 1 4.0 C 3.0 C 3.0 C 3.0 C 4.0 C 4.0 C 3.0 C 4.0 C 4.0

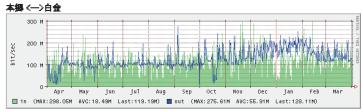
10Gbps MAX



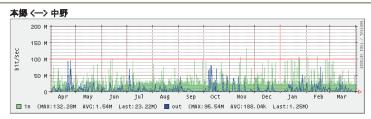
10Gbps MAX



10Gbps MAX:SINET 経由



1Gbps MAX:SINET MPLS 経由



100Mbps MAX

凡例:

---- 1日最大トラフィック(本郷 → 各キャンバス間)

---- 1日最大トラフィック(本郷 ← 各キャンバス間)

図2 UTnet のキャンパス間トラフィック

表 1 基幹ネットワークの構成変更及びサブネットワークの割当

石平		を軒不ツトソークの <b>伸</b> 成変更及のサフ不ツトソ   ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
項番	申請部局名	設置場所	変更内容 建物間 VLAN の申請
0	工学系研究科	工学部 12 号館 工学部 12 号館	建物間 VLAN の申請 建物間 VLAN の申請
2	法学系研究科		
3	総合文化研究科本部事務組織	教養学部 2 号館	建物間 VLAN の申請
4		本部棟	建物間 VLAN の申請 建物間 VLAN の申請
5	本部事務組織	本部棟	1 - 1 - 1
6	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
7	本部事務組織	総合図書館   文学部法文 1 号館、工学部 12 号館	建物間 VLAN の申請
8	人文社会系研究科		基幹ネットワークの構成変更
9	本部事務組織	理学部 1 号館別館 A	建物間 VLAN の申請
10	総合文化研究科	情報教育棟、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
11	総合文化研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
12	本部事務組織	工学部8号館	建物間 VLAN の申請
13	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返却申請
14	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
15	工学系研究科	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
16	情報学環	ダイワユビキタス学術研究館、先端研 56 号館	基幹ネットワークの構成変更
17	本部事務組織	法学部 4 号館	建物間 VLAN の申請
18	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
19	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
20	医科学研究所	医科研総合研究棟	建物間 VLAN の申請
21	新領域創成科学研究科	理学部 1 号館別館 A	基幹ネットワークの構成変更
22	本部事務組織	理学部 1 号館別館 A	建物間 VLAN の申請
23	情報学環	物性研究所	建物間 VLAN の申請
24	本部事務組織	総合図書館	建物間 VLAN の申請
25	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
26	本部事務組織	本部棟	基幹ネットワークの構成変更
27	総合文化研究科	教養学部3号館、アドバンスドラボラトリ	建物間 VLAN の申請
28	本部事務組織	本部棟、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
29	本部事務組織	農学部図書館	建物間 VLAN の申請
30	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
31	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
32	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
33	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
34	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
35	情報学環	電話庁舎	建物間 VLAN の申請
36	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
37	高齢社会総合研究機構	柏第2総合研究棟(東・西)	基幹ネットワークの構成変更
38	本部事務組織	産学連携プラザ	建物間 VLAN の申請
39	カブリ数物連携宇宙研究機構	数物連携宇宙研究機構棟	建物間 VLAN の申請
40	本部事務組織	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
41	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
42	大学総合教育研究センター	本部棟	建物間 VLAN の申請
43	情報理工学系研究科		サブネットアドレスの割り当て
44	情報学環	ダイワユビキタス学術研究館、情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
45	先端科学技術研究センター	先端研 4 号館、数理科学研究科	基幹ネットワークの構成変更
46	本部事務組織	工学部 9 号館	建物間 VLAN の申請
47	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
48	大学総合教育研究センター	本部棟	建物間 VLAN の申請
49	カヴリ数物連携宇宙研究機構		サブネットアドレスの割り当て
50	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
51	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟	建物間 VLAN の申請
52	本部事務組織	薬学部本館	建物間 VLAN の申請
-			

	T	T	T
53	本部事務組織	工学部 10 号館	建物間 VLAN の申請
54	医科学研究所	医科研総合研究棟	基幹ネットワークの構成変更
55	総合文化研究科	理想の教育棟	建物間 VLAN の申請
56	医科学研究所	医科学研究所総合研究棟	建物間 VLAN の申請
57	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
58	情報基盤センター	柏第2総合研究棟	建物間 VLAN の申請
59	情報基盤センター	柏第2総合研究棟	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	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
62	本部事務組織	医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
63	柏共通事務	柏キャンパス共同利用 A 棟	建物間 VLAN の申請
64	柏共通事務	柏キャンパス共同利用 A 棟	建物間 VLAN の申請
65	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
66	地震研究所	地震研究所 1 号館	建物間 VLAN の申請
67	生産技術研究所	生産技術研究所	建物間 VLAN の申請
68	本部事務組織	法学部 4 号館	建物間 VLAN の申請
69	理学系研究科	電話庁舎	建物間 VLAN の申請
70	理学系研究科	小石川植物園本館	建物間 VLAN の申請
71	物性研究所	物性研究所	建物間 VLAN の申請
72	本部事務組織	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更及び
/2	个 印 <del>丁</del> 7万 他 中 0	IFIVを出てファ	サブネットアドレスの申請
73	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
74	   新領域創成科学研究科	   工学部 12 号館	基幹ネットワークの構成変更及び
/ -	初模戏剧戏行于可允行		サブネットアドレスの返却申請
75	本部事務組織	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
76	本部事務組織	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
77	農学生命科学研究科	分子細胞生物学研究所	建物間 VLAN の申請
78	農学生命科学研究科	工学部 12 号館	建物間 VLAN の申請
79	総合文化研究科	教養学部 7 号館	建物間 VLAN の申請
80	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
81	情報理工学系研究科		サブネットアドレスの割り当て
82	医科学研究所	医科学研究所 1 号館西	建物間 VLAN の申請
83	工学系研究科	工学部 8 号館、南山堂ビル	基幹ネットワークの構成変更
84	総合文化研究科	教養学部 17 号館	建物間 VLAN の申請
85	本部事務組織	本部棟	建物間 VLAN の申請
86	本部事務組織	第2本部棟	建物間 VLAN の申請
87	本部事務組織	法学部 3 号館	建物間 VLAN の申請
88	本部事務組織	法学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
89	本部事務組織	法学政治学系総合教育棟	建物間 VLAN の申請
90	本部事務組織	弥生総合研究棟	建物間 VLAN の申請
91	本部事務組織	旧出版会	建物間 VLAN の申請
92	本部事務組織	御殿下記念館	建物間 VLAN の申請
93	本部事務組織	医学部 1 号館	建物間 VLAN の申請
94	本部事務組織	史料編纂所	建物間 VLAN の申請
95	本部事務組織	総合研究博物館	建物間 VLAN の申請
96	本部事務組織	経済学研究科棟	建物間 VLAN の申請
97	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
98	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
99	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
100	本部事務組織	医科研 1 号館西	建物間 VLAN の申請
101	本部事務組織	広報センター	建物間 VLAN の申請
102	本部事務組織	山上会館	建物間 VLAN の申請
103	本部事務組織	山上会館龍岡門別館	建物間 VLAN の申請
104	本部事務組織	アントレプレナープラザ	建物間 VLAN の申請
105	本部事務組織	電話庁舎	建物間 VLAN の申請
			1

400	+ +p = 36 (0 (th)	京本表記供は	7±4581 / 4 / 6 t = t
106	本部事務組織	受変電設備棟	建物間 VLAN の申請
107	本部事務組織	本郷けやき保育園	建物間 VLAN の申請
108	本部事務組織	理学部研究 A 棟	建物間 VLAN の申請
109	本部事務組織	医学部 2 号館	建物間 VLAN の申請
110	本部事務組織	生命科学実験棟	建物間 VLAN の申請
111	本部事務組織	附属図書館	建物間 VLAN の申請
112	本部事務組織	医科研国際交流会館	建物間 VLAN の申請
113	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
114	本部事務組織	電話庁舎	建物間 VLAN の申請
115	本部事務組織	附属病院管理研究棟	建物間 VLAN の申請
116	本部事務組織	角川本郷ビル	建物間 VLAN の申請
117	本部事務組織	産学連携プラザ	建物間 VLAN の申請
118	新領域創成科学研究科	新領域基盤棟、柏図書館	基幹ネットワークの構成変更
119	本部事務組織	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
120	本部事務組織	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
121	本部事務組織	情報基盤センター	基幹ネットワークの構成変更
122	本部事務組織	アドミニストレーション棟	建物間 VLAN の申請
123	本部事務組織	先端研 4 号館	建物間 VLAN の申請
124	本部事務組織	数物連携宇宙研究機構棟	建物間 VLAN の申請
125	本部事務組織	大気海洋研究所	建物間 VLAN の申請
126	本部事務組織	柏総合研究棟	建物間 VLAN の申請
127	工学系研究科		基幹ネットワークの構成変更
128	本部事務組織	小石川植物園	建物間 VLAN の申請
129	本部事務組織	環境安全研究センター	建物間 VLAN の申請
130	本部事務組織	医学部総合中央館	建物間 VLAN の申請
131	本部事務組織	社会科学研究所	建物間 VLAN の申請
132	本部事務組織	情報学環	建物間 VLAN の申請
133	本部事務組織	動物医療センター	建物間 VLAN の申請
134	本部事務組織	農学部図書館	建物間 VLAN の申請
135	本部事務組織	地震研究所	建物間 VLAN の申請
136	本部事務組織	工学部 12 号館	建物間 VLAN の申請
137	本部事務組織	低温センター	建物間 VLAN の申請
138	本部事務組織	物性研究所	建物間 VLAN の申請
139	本部事務組織	柏共同利用 A 棟	建物間 VLAN の申請
140	本部事務組織	身体運動科学研究棟	建物間 VLAN の申請
141	本部事務組織	保健センター駒場支所	建物間 VLAN の申請
142	本部事務組織	生産技術研究所	建物間 VLAN の申請
143	本部事務組織	駒場ロッジ	建物間 VLAN の申請
144	本部事務組織	総合研究博物館小石川分館	建物間 VLAN の申請
145	本部事務組織	柏ロッジ	建物間 VLAN の申請
146	本部事務組織	柏Ⅱ地区管理棟	建物間 VLAN の申請
147	本部事務組織	追分インターナショナルハウス	建物間 VLAN の申請
148	本部事務組織	薬学部本館	建物間 VLAN の申請
149	本部事務組織	東洋文化研究所	建物間 VLAN の申請
150	本部事務組織	宇宙線研究所	建物間 VLAN の申請
151	本部事務組織	物性研究所本館	建物間 VLAN の申請
152	本部事務組織	柏総合研究棟	建物間 VLAN の申請
153	本部事務組織	数理科学研究科	建物間 VLAN の申請
154	本部事務組織	医学部 2 号館	建物間 VLAN の申請
155	本部事務組織	教育学部	建物間 VLAN の申請
156	本部事務組織	法文 2 号館	建物間 VLAN の申請
157	本部事務組織	農学部 3 号館	建物間 VLAN の申請
158	本部事務組織	分子細胞生物研究所	建物間 VLAN の申請
159	本部事務組織	アイソトープ総合センター	建物間 VLAN の申請
160	本部事務組織	教育学部附属中等学校旧校舎	建物間 VLAN の申請
100	・エ・ログラングの単位数		た 1/21円 7 D 117 47 下 円

161	本部事務組織	駒場情報教育棟 1 階	建物間 VLAN の申請
162			建物間 VLAN の申請
-	本部事務組織	総合研究博物館小石川分館     新領域基盤棟	建物間 VLAN の申請 建物間 VLAN の申請
163	本部事務組織 本部事務組織		
164		柏Ⅱ地区管理棟	建物間 VLAN の申請 建物間 VLAN の申請
165	本部事務組織	柏福利厚生新棟	1 = 1111
166	本部事務組織	医学部 2 号館	建物間 VLAN の申請
167	工学系研究科	工学部新 2 号館、工学部 14 号館	基幹ネットワークの構成変更
168	本部事務組織	教育学部	建物間 VLAN の申請
169	本部事務組織	教養学部 101 号館	建物間 VLAN の申請
170	本部事務組織	駒場ロッジ本館	建物間 VLAN の申請
171	情報基盤センター	東洋文化研究所	建物間 VLAN の申請
172	本部事務組織	教養学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
173	総合文化研究科	教養学部 102 号館	建物間 VLAN の申請
174	本部事務組織	教養学部 101 号館	建物間 VLAN の申請
175	本部事務組織	共同利用棟(図書館プレハブ)	建物間 VLAN の申請
176	農学生命科学研究科		サブネットアドレスの割り当て
177	情報基盤センター	共同利用棟(図書館プレハブ)	建物間 VLAN の申請
178	附属図書館	共同利用棟(図書館プレハブ)	建物間 VLAN の申請
179	カブリ数物連携宇宙研究機構	柏の葉キャンパス駅前サテライト	建物間 VLAN の申請
180	**************************************		基幹ネットワークの構成変更及び
180	数理科学研究科 		サブネットアドレスの返却申請
181	本部事務組織	柏図書館	建物間 VLAN の申請
182	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
183	情報基盤センター	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
184	本部事務組織	理想の教育棟	建物間 VLAN の申請
105	十如事双织做	<b>東</b> 武亡本	基幹ネットワークの構成変更及び
185	本部事務組織	電話庁舎	サブネットアドレスの申請
186	本部事務組織	医学部 1 号館	基幹ネットワークの構成変更
107	<b>桂</b>	万型士 U 桂和ヴ萨 工党如 0 日轮轮体	基幹ネットワークの構成変更及び
187	情報学環	福武ホール、情報学環、工学部 2 号館新棟 	サブネットアドレスの申請
100	(生む甘泉 に) . ク		基幹ネットワークの構成変更及び
188	情報基盤センター		サブネットアドレスの申請
189	工学系研究科	工学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
190	本部事務組織	産学連携プラザ	建物間 VLAN の申請
191	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
192	本部事務組織	産学連携プラザ	建物間 VLAN の申請
193	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
194	本部事務組織	大講堂	建物間 VLAN の申請
195	本部事務組織	大講堂	建物間 VLAN の申請
196	本部事務組織	情報学環	建物間 VLAN の申請
197	柏共通事務		サブネットアドレスの返却
198	新領域創成科学研究科	   新領域基盤棟	基幹ネットワークの構成変更
199	本部事務組織	電話庁舎	建物間 VLAN の申請
200	医科学研究所	ヒトゲノム解析センター	建物間 VLAN の申請
201	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請
202	本部事務組織	角川本郷ビル	建物間 VLAN の申請
203	総合文化研究科	教養学部 8 号館	建物間 VLAN の申請
203	総合文化研究科	教養学部 14 号館	建物間 VLAN の申請
		教養子前 14 亏期   教養学部 15 号館	建物間 VLAN の申請 建物間 VLAN の申請
205	総合文化研究科		
206	総合文化研究科   ★知恵発知機	教養学部 16 号館	建物間 VLAN の申請
207	本部事務組織	情報基盤センター	建物間 VLAN の申請

### 表 2 ドメイン名の割当及び廃止

項番	ドメイン名	申請部局名	備考	
1	uta.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東京大学文書館	新規
2	asnet.u-tokyo.ac.jp	東洋文化研究所	日本・アジアに関する教育研究ネットワーク	継続
3	glp.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東京大学グローバルリーダー育成プログラム推進室	新規
4	utias.u-tokyo.ac.jp	国際高等研究所	東京大学国際高等研究所 (旧ドメイン名 todias は 1 年間の期限付きで存続)	新規
5	lgs.u-tokyo.ac.jp	本部事務組織	東京大学博士課程教育リーディングプログラム	新規
6	ddi.u-tokyo.ac.jp	薬学系研究科	創薬機構 (旧ドメイン名 ocdd は 1 年間の期限付きで存続)	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	
-7A E	ניילון הוויוי	起点:ヒトゲノム解析センター		
1	医科学研究所	終点:総合研究棟	GI2 芯	新規
		起点:電話庁舎		
0	★如声数如做	終点:山上会館	GI6 芯	<b>立</b> 广+日
2	本部事務組織	起点:附属図書館 HUB サイト	GIO /Cx	新規
		終点:角川ビル		
		起点:工学部8号館		
		終点:工学部1号館、工学部新2号館、工学部5号館、工学部6号		
		館、工学部 7 号館、工学部 9 号館、工学部 10 号館、工学部 11 号館、		
		工学部 12 号館、工学部 13 号館、工学部 14 号館、工学部列品館、工		
		学部船舶試験水槽、武田先端知ビル、旧原子カセンター別館	SM60 芯	
3	工学系研究科	起点:旧原子カセンター別館	GI8 芯	新規
		終点:タンデム加速器研究棟、原子動力実験装置室		
		起点:工学部9号館		
		終点:風工学実験室、超高圧電子顕微鏡室		
		起点:工学部7号館		
		終点:航空風洞実験室		
4	   本部事務組織	起点:電話庁舎	GI2 芯	新規
	个 IP 子 7万 / II / II	終点:医学部5号館	GIZ /L	かいん
5	   医科学研究所	起点:ヒトゲノム解析センター	SM2 芯	新規
	E-14 1 6/70/7/	終点:医科研総合研究棟	OIM2 /G	491796
6	   情報基盤センター	起点:附属図書館 HUB サイト	SM4 芯	廃止
	mike m er y	終点:赤門総合研究棟		202
		起点:電話庁舎		
7	本部事務組織	終点: 医学部総合中央館、医学部 1 号館、附属図書館 HUB サイト、エ	SM16 芯	新規
_	1 His 1. 120 177 190	学部 2 号館、法文 1 号館法学部、農学部 2 号館、工学部 12 号館、文		491790
		学部 3 号館		
8	工学系研究科	起点: 旧原子力センター別館	SM2 芯	廃止
	- 1111111111	終点:タンデム加速器研究棟		
9	本部事務組織	起点:電話庁舎	GI2 芯	新規
	1 1215 (3 ) (32) (322 (420)	終点:工学部1号館		-171720

表 4 無線 LAN サービス利用の申請部局・組織別申請件数

	表 4 無線 LAN サービス利用の申請部局・組織別申請件数									
項番	申請部局·組織	山上会館	武田 ホー ル	弥生 講堂	柏図書館	鉄門 記念 講堂	工学部	総合図書館	向 <sub>ケ</sub> 丘 ファかル ティ ハウ ス	中島 ホー ル
1	大学院医学系研究科	1				5				
2	大学院工学系研究科	18	6	1			10			
3	大学院情報理工学系研究科	6	1	1			4		1	
4	大学院新領域創成科学研究科	3	1	1	7					
5	大学院農学生命科学研究科	1		5						
6	大学院薬学系研究科	2								
7	大学院理学系研究科	1								
8	大学院人文社会系研究科	1								
9	カブリ数物連携宇宙研究機構				2					
10	情報学環·学際情報学府					L	1			
11	公共政策大学院	2		4		1	1			
12	大気海洋研究所	1								
13	分子細胞生物学研究所		1	2						
14	物性研究所	1			3					
15	宇宙線研究所			1	9					
16	生産技術研究所					1				
17	地震研究所		2							
18	医学部附属病院					6				
19	先端科学技術研究センター	1				L				
20	大学総合教育研究センター	2		3						
21	大規模集積システム設計教育研究センター		1							
22	政策ビジョン研究センター					1				
23	空間情報科学研究センター	1								
24	極限コヒーレント光科学研究センター				1					
25	知の構造化センター		1	2			4			
26	高齢社会総合研究機構			1						
27	地球観測データ統融合連携研究機構		3							
28	総括プロジェクト機構航空イノベーション総括寄付講 座	1								
29	将来航空推進システム技術創成社会連携講座		1							
30	リーディング大学院 GPLLI						1			
31	リーディング大学院「統合物質科学リーダー養成プログラム」(MERIT)			1						
32	Global Creative Leaders プログラム			1			1			
33	情報基盤センター	2								
34	環境安全センター	1								
35	本部情報システム部						1	1		
36	本部国際部国際企画課	1								
37	本部総務課·法務課	1								
38	環境安全本部	2						1		
39	TSCP 室	1								
40	国際本部 国際センター柏オフィス(柏 IO)				2					
41	(公社)計測自動制御学会	1								
38 39 40	環境安全本部 TSCP 室 国際本部 国際センター柏オフィス(柏 IO)	2			2			1		

42	2. 次三両角コンファレンフ		2						
	3 次元画像コンファレンス	1							
43	三満日会	ļ		-					
44	ADMETA 委員会			1					
45	APSRC 開催実行委員会			2					
46	CFI2014		1						
47	IEEE CPMT Japan Chapter 3D 研究会			1					
48	IEEE SSCS Japan Chapter		1						
49	International Society for Neurochemistry (ISN)			2					
50	MPLS 2014		1						
51	NPO 法人 大学宇宙工学コンソーシアム(UNISEC)	2							
52	PASPS19 実行委員会		1						
53	The 16th Tokyo RNA Club		1						
54	UEHAS		1						
55	WIDE 主催シンポジウム「地球へのサイエンスの責任」		2						
56	生き物文化誌学会第 12 回学術大会(東京大会)実行 委員会			1					
57	一般社団法人 情報処理学会 ハイパフォーマンスコンピューティング研究会		2						
58	一般社団法人 日本保全学会		2						
59	大阪大学大学院基礎工学研究科						1		
60	大阪大学大学院理学研究科·宇宙地球科学専攻		2						
61	岡山大学大学院医歯薬学総合研究科等学務課	1							
62	株式会社 一条工務店			2					
63	株式会社 ペット・ベット			1					
64	環境ホルモン学会	1							
65	共同プロジェクト研究 S 研究会		1						
66	クラウドファンディング勉強会			2					
67	航空宇宙会		1						
68	国際ロマン派学会		1						
69	国立医薬品食品衛生研究所 薬理部			3					
70	国立障害者リハビリテーションセンター研究所 福祉 機器開発部		1						
71	サービス学会			1					
72	サイエンストークス委員会		2						
73	細胞を創る研究会 7.0			1					
74	自然科学研究機構 分子科学研究所 計算分子科学研究拠点(TCCI)			1					
75	情報計算化学生物学会(CBI 学会)			2					
76	触媒·電池元素戦略研究拠点 東京大学拠点		1	_					
77	新アミノ酸分析研究会		1						
78	精密工学会·大規模環境の 3 次元計測と認識·モデル化技術専門委員会		2						
79	卒業生室						1		
80	第 6 回折り紙の科学·数学·教育国際会議			1			-		
81	電子情報通信学会 システムナノ技術に関する時限 研究専門委員会		1						
82	東京医療センター総合内科					1			
83	東京大学・日本電子産学連携室		1			<u> </u>			
84	東大拳法会(空手部 OB 会)	1							
85	東大精研会	Ţ	1						
00	水八個씨五		<u>'</u>		]		]		

86	日本安全性薬理研究会		1			
87	日本学術振興会 半導体界面制御技術 第 154 委員会	2				
88	日本原子力学会 原子力安全部会	1				
89	日本船舶海洋工学会	1				
90	日本ロボット学会	1				
91	農業情報学会		1			
92	バリアフリー教育開発研究センター			2		
93	東アジア鰻資源協議会		1			
94	平成 26 年度日本結晶学会年会		1			
95	放射線プロセスシンポジウム開催実行委員会		2			
96	文部科学省 科研費 新学術領域研究「融合マテリアル」	1				
97	臨床疫学システム講座			1		
98	特定非営利活動法人 健康と病いの語りディペックス・ジャパン		1			
99	特定非営利活動法人 大学宇宙エ学コンソーシアム (UNISEC)	1				
100	特定非営利活動法人 日本バーチャルリアリティ学会	1		-		
101	独立行政法人 科学技術振興機構	1				

# セキュリティ対応

### セキュリティ担当

# 1 運用報告

最近のネットワークにおいては、高速な接続性の実現とともに、セキュリティへの対応も重要となっている。本学においてもセキュリティインシデントは日常茶飯事と言っても過言ではないほどに頻繁に発生している。特にコンピュータへの不正侵入の試み、電子メールや Web ページを通じてのウイルス感染は問題で、感染を受けた側の被害はもとより、学内や学外への不正アクセスの踏台となることも珍しくない。しかし、セキュリティを厳重にすることは利用者の利便性の低下にもつながる。一般論として、セキュリティ対策の要点は安全性と利便性のトレードオフといえるが、本学のように多種多様な部局が存在している環境では、このトレードオフのバランス点を一つに収束させることは容易ではない。このような配慮のもと、本学のセキュリティの維持確保に向け、以下のとおり、セキュリティ対応業務を実施した。

### 1.1 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連絡した。

更に、M-8000 において附属病院及び地震研究所のローカルネットワークの通信情報を部局の端末で監視するためのサービスを継続して行った。

なお、2台の M-8000 のマネージャ部を仮想環境に移行し、バージョンアップを行った。

・異常トラフィック監視システム

これは、サービス妨害攻撃またはサービス不能攻撃などと呼ばれる、インターネット経由での不正アクセスの 1 つで、大量のデータや不正パケットを送りつける行為などの不正な攻撃を検知できるシステムである。 具体的には、沖電気工業社製 Secure Traffic Probe(ソフトウェア)を導入し、学内と学外との通信をタップして、ポート単位での異常なトラフィックの変化について監視した。

### 1.2 ウイルス対策

パソコンやサーバマシン等において、ウイルスの脅威と感染被害を未然に防ぐ有効な手段として、コンピュータウイルス対策ソフトウェアがある。

情報基盤センターでは、引き続きトレンドマイクロ社のウイルスバスター、Sophos 社の Sophos Anti-Virus、キヤノン IT ソリューションズ社の ESET Smart Security、Symantec 社の Symantec Endpoint Protection 等のコンピュータウイルス対策ソフトウェアの学内への安価な配布サービスを推し進めた。

コンピュータウイルス対策ソフトウェアの運用に関しては、情報システム部情報システム支援課ソフトウェア管理チームに引き継いだが、ネットワークチームでは引き続き業務のサポートを行った。

### **1.3** 迷惑メール(SPAMメール)対策

全学的な迷惑メール対策システムの運用を行った。東京大学職員メールシステムについても本システムで迷惑メール対策を行った。2015 年 3 月末時点での参加数は 14 部局、61 ドメイン、11,172 メールアカウントである。

迷惑メール対策システムのサーバ機器を仮想マシンに移行する際、迷惑メールと判定したメールの隔離サーバへの転送において一部障害が発生した。この障害の調査・対策には長期間を要したが、最終的には、大きな問題を伴うことなく、2 台の振り分けサーバおよび隔離サーバの移行を完了できた。また、これら機器のバージョンアップを実施した。

2014年度の迷惑メール対策システムの運用状況は、図1のとおりである。

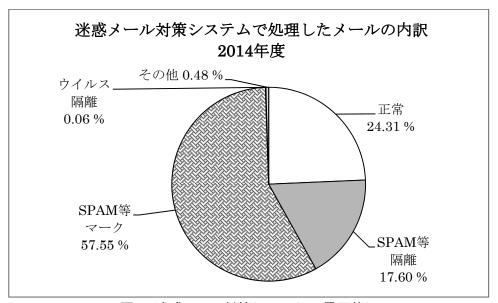


図1 迷惑メール対策システムの運用状況

### 1.4 次期セキュリティ製品の検証及び情報収集

2015 年度末に計画されている SINET の更新に関して、セキュリティ製品の検証及び情報収集を行った。

### 2 講習会・研究会開催報告

(東京大学情報ネットワークシステム(UTnet3)の運用管理の 2. を参照)

# 3 サービス統計

2014年度のコンピュータウイルス対策ソフトウェアの申請状況は表1のとおりである。

表 1 ウイルス対策ソフトウェアの申請状況

ソフトウェア名	件数	部局数	ライセンス数
ウイルスバスター(日本語版)	717	44	22,901
ウイルスバスター(英語版)	117	22	1,368
Sophos Anti-Virus for Windows	29	15	921
Sophos Anti-Virus for MacOS X	68	24	2,642
ESET Smart Security (Windows)	60	22	466
ESET Smart Security (Mac)	2	2	22
Symantec Endpoint Protection (Windows)	26	15	478
Symantec Endpoint Protection (Mac)	29	16	205
Server Protect	42	23	204
InterScan VirusWall	9	9	14
InterScan VirusWall エンタープライズエディション	2	2	2

# 東京大学情報システム緊急対応チーム(UT-CERT)との連携

### セキュリティ担当

### 1 運用報告

情報基盤センターでは、UTnet3 の基幹ネットワークでセキュリティ対策を実施していることから、ネットワークを介したセキュリティインシデントについて、東京大学情報システム緊急対応チーム UT-CERT(University of Tokyo-Computer Emergency Response Team)から以下の委託業務を受け、UT-CERTと連携協力しながら、全学的なセキュリティ対策を実施した。

・セキュリティ関連情報の収集と学内への注意喚起等

メーカやセキュリティ情報サイト等から、セキュリティの脆弱性やウイルスに係わる情報を収集し、情報基盤センターと UT-CERT の web ページへの掲載や東大ポータルでの一斉通知、及び部局 CERT への電子メールでの通知によって、セキュリティ対応に関する注意喚起を行った。

また、UT-CERT の web サイトのリニューアルを行った。

・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 の通信の監視結果や通信情報を、該当する部局 CERT 担当者へメールで連絡した。また、部局 CERT からの P2P 通信に対する詳細情報提供等の依頼に関する対応を行った。

・インシデントレポートシステムの運用管理

部局 CERT から、発生したセキュリティインシデントの内容や対処等を定型的な書式で報告できるように、インシデントレポートシステムの運用管理を行った。

なお、2013年度から開発を進めていた新インシデントレポートシステムが完成し7月から運用開始した。

インシデントレポートの集計

部局 CERT から報告されたインシデントレポートについて、毎月集計し UT-CERT Meeting での報告を行うとともに、UT-CERT のwebページ(http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/ut-cert/) に掲載した。

・セキュリティインシデントが発生した IP アドレスのネットワーク遮断

部局 CERT に連絡したセキュリティインシデントのうち、発見時点から事象が継続している場合は、 緊急措置として、当該 IP アドレスのホストによる通信を UTnet 機器で遮断した。

・セキュリティインシデントの部局 CERT の対策への連携協力

部局 CERT に連絡したセキュリティインシデントのうち、具体的な対処方法等について、部局 CERT から UT-CERT に協力の依頼があった場合、UT-CERT 及び部局 CERT と連携協力して対応した。

# 2 講習会・研究会開催報告

(東京大学情報ネットワークシステム(UTnet3)の運用管理の 2. を参照)

### 3 サービス統計

2013年度のセキュリティ対策で扱ったインシデント件数は図1、図2のとおりである。

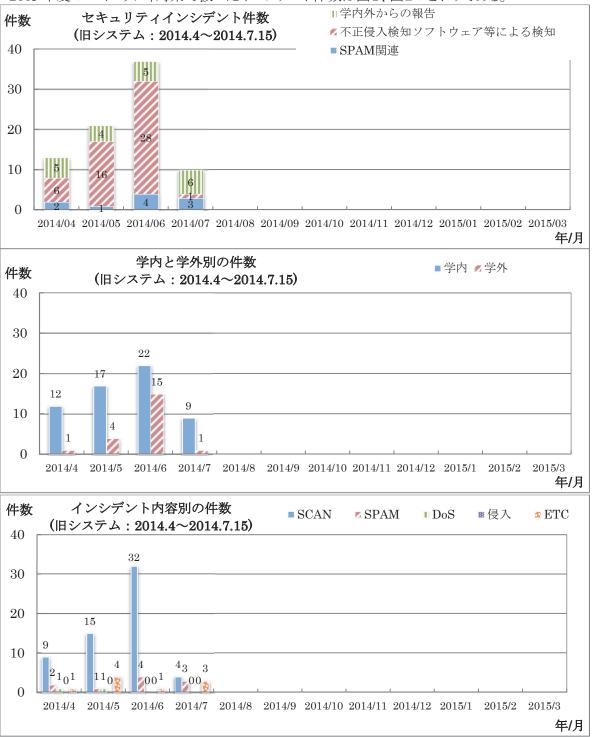
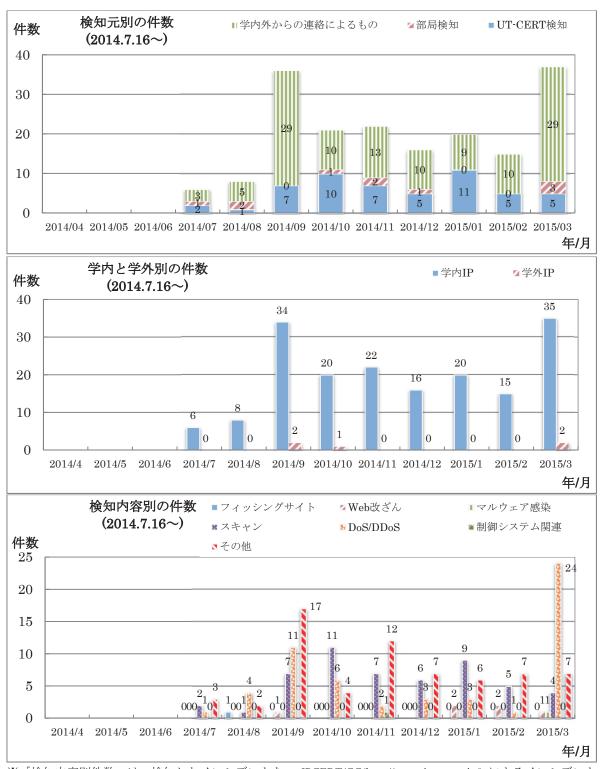


図 1 セキュリティインシデント件数(旧インシデントレポートシステム)



※「検知内容別件数」は、検知したインシデントを、 JPCERT/CC(http://www.jpcert.or.jp/) によるインシデント 分類に基づいて分類したものである。

図2 セキュリティインシデント件数(新インシデントレポートシステム)

# 学内ソフトウェアライセンス

### ソフトウェアライセンス担当

# 1 運用報告

学内での教育研究の円滑な推進を達成することを目的として、利用が多いソフトウェアを、可能な範囲でサイトライセンス契約を提供業者との間で結び、安価でかつ容易に利用できるよう図っている。

本サービスは情報システム部情報システム支援課ソフトウェア管理チームで運用を行っているが、引き続きネットワークチームでもサポートを行った。

ソフトウェアライセンスの提供に関して以下の変更及び検討を行った。

- 5 月から、駒場キャンパス及び遠隔研究施設での LabVIEW の研究目的利用のライセンス提供を 開始した。
- ・ Autodesk については、8 月から教育機関向けに無償提供が開始されたため、本センターからのライセンス提供を終了した。
- ・ SAS についても、6 月から高等教育・社会人学習向けに、SAS University Edition の無償提供が 開始されたため、利用者に連絡し今後の全学ライセンスの提供について検討したが、その結果、 引き続き全学ライセンスの提供を行うこととした。

Microsoft 社製品のアカデミックセレクトプラスについては、ソフトウェアダウンロードサイトを用いて提供を開始した。必要な業務のうち申請受付窓口は情報システム部情報戦略課情報戦略チームが担当し、ネットワークチームでは、ライセンスの発注、利用者への提供、利用負担金の請求資料の作成等を担当した。

なお、3月から情報基盤センターとして Microsoft 社の包括ライセンス契約を開始ししたため、これについては、ネットワークチームで申請を受け付け、ダウンロードサイトを用いて提供を開始した。

ソフトウェアライセンス配布サービスの対象ソフトウェアは以下のとおり。

- (1) Creo (旧 Pro/ENGINEER) 3 次元の CAD のソフトウェア。
- (2) JMP 統計解析ソフトウェア。
- (3) SAS9統計解析ソフトウェア。
- (4) MATHEMATICA 数値計算や数式処理用のソフトウェア。
- (5) ChemOffice 化学・バイオ分野で必要とされる様々なツールを1つにまとめた統合化学ソフトウェア。
- (6) LabVIEW 計測・制御ハードウェアとの通信や、データの解析、結果の共有、システムの分散化したデータ を処理するためのグラフィカルプログラミングソフトウェア。
- (7) Autodesk Education Master Suite 2 次元&3 次元デザイン教育に必要な、デザイン、シミュレーション、ビジュアライゼーションソフトウェアを、業界を限定せずに横断的に取りそろえた、ライセンスパッケージ。

### (8) Microsoft Academic Select Plus 各種 Microsoft 製品。

この他、次のソフトウェアライセンスの配布や管理も行った。

- (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。

表 1~2 にソフトウェアライセンスの申請状況を示す。

表 1 ソフトウァライセンスの申請状況

ソフトウェア名	件数	部局数
Creo (I∃ Pro/ENGINEER)	25	9
JMP	41	14
SAS9	38	11
MATHEMATICA	156	19
ChemOffice	39	10
LabVIEW	201	17
Autodesk Education Master Suite	10	6

### 表2 Microsoft Academic Select Plus の申請状況

The obote readenine beleet rids is 1 MITOEBE		
ソフトウェア名	件数	部局数
Office for Mac Standard 2011 with Service Pack 3	2	2
Office Professional Plus 2013 32bit	4	2
Office Professional Plus 2013 64bit	1	1
Office Standard 2013 64bit	5	1
Windows 8.1 Pro 64bit	5	2
Windows 7 Professional with SP1 32bit	1	1
Windows 7 Professional with SP1 64bit	3	2
Windows Server Standard	11	3
Visio Standard 2013 32bit	3	1
Visio Standard 2013 64bit	1	1
Visual Studio Pro 2013	1	1
SQL Server Standard Edition 2014 64bit	1	1
SQL Server CAL UserLicnese (利用者人数分)	5	1

# 2 講習会・研究会開催報告

(東京大学情報ネットワークシステム(UTnet3)の運用管理の 2. を参照)

## ハウジングサービス

#### UTnet 担当

#### 1 運用報告

サーバを運用するためには、安定した電源供給、部屋を一定の温度に保つための空調設備やサーバを設置するためのラックなどが必要不可欠である。これらの設備を提供するハウジングサービスを2014年度も引き続き実施した。

なお、学内の法定点検の計画停電時には、発電車を用意して機器への給電を行った。

提供するサービスと設備は以下のとおりである。

- (1) 19 インチ full ラック(42U)、19 インチ half ラック(20U) ※複数本の利用も可能
- (2) 電源(full ラック 1 本あたり AC100V 30A 1 回路(half ラックはこの半分))
- (3) 空調
- (4) アクセス回線(UTnet へのネットワーク接続)
- (5) 入退室管理
- (6) ラックの施錠
- (7) 学内法定点検における計画停電時の電源確保

表1にハウジングサービスの利用状況を示す。

表 1 ハウジングサービス利用状況

	2(1 / 1 / / -	1 4/14 / 100
利用部局数	19 インチ full ラック	19 インチ half ラック
5 部局	4本	3本

## スーパーコンピューティング



スーパーコンピュータ FUJITSU PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX)



スーパーコンピュータ HITACHI SR16000 モデル M1 (Yayoi)



スーパーコンピュータ FUJITSU PRIMEHPC FX10 (Oakbridge-FX)

## スーパーコンピューティング

## 概要

#### 部門長 中島 研吾

#### 副課長 平野光敏

#### 1 スーパーコンピュータシステムの運用

東京大学情報基盤センターでは、学術研究および教育に供することを目的として、全国の大学・研究機関等に在籍する大学教員、大学院学生、および卒業研究や授業を目的とした学生に対して、スーパーコンピュータシステムを用いた高度かつ大規模な計算サービスを提供している。

スーパーコンピュータシステムとしては Hitachi HA8000 クラスタシステム(T2K オープンスパコン (東大)) (952 ノード、15,232 コア、ピーク性能 140.1 TFLOPS) が平成 26 年 3 月に運用を終了し、Hitachi SR16000/M1 (Yayoi) (56 ノード、1,792 コア、ピーク性能 54.9 TFLOPS、平成 23 年 10 月運用開始)、Fujitsu PRIMEHPC FX10 (FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX)) (4,800 ノード、76,800 コア、ピーク性能 1.13 PFLOPS、同平成 24 年 4 月) に加えて、平成 26 年 4 月からは Fujitsu PRIMEHPC FX10 (FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用 (Oakbridge-FX)) (576 ノード、9,216 コア、ピーク性能 136.2 TFLOPS) の 3 システムを運用し、学内外の幅広い利用者に研究・教育のために利用されている。Oakbridge-FX は最大 168 時間までのジョブ実行が可能である (Oakleaf-FX は最大 48 時間)。Oakleaf-FX、Oakbridge-FX はログインノード、ファイルシステム、ジョブ実行等完全に独立した別個のシステムであるが、ノード時間 (トークン) については共通とし、同じポリシーで消費することとした。

HPCI には平成 25 年度までは T2K オープンスパコン(東大)のうちの 512 ノード(8,192 コア、ピーク性能 75.4 TFLOPS)を供出していたが、同システムの運用終了に伴い、平成 26 年度は Oakleaf-FX、Oakbridge-FX について合計 996 ノード年のノード時間(15,936 コア年、ピーク性能 235.6 TFLOPS 相当)を拠出した。

各システムは順調な稼働を続けており、特に Oakleaf-FX は月平均 90%を超える利用率を達成した月もあった。平成 26 年度はその他,利用者拡大、サービスの向上を目的として以下のような様々な試みを実施した(前年度よりの継続も含む):

- Hitachi SR16000/M1 (Yayoi)
  - ▶ 広報活動
- Fujitsu PRIMEHPC FX10 (FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX/Oakbridge-FX))
  - ▶ 公募型研究プロジェクトの推進
  - ▶ 企業ユーザー利用支援
  - ▶ 講習会
  - ▶ 広報活動

#### 2 ポスト T2K に向けて: 最先端共同 HPC 基盤施設(JCAHPC)

平成25年3月,筑波大学と東京大学は、計算科学・工学及びその推進のための計算機科学・工学の発展に資するため、最先端共同HPC基盤施設の設置に合意し、協定を締結した。最先端共同HPC基盤施設(JCAHPC)は、東京大学柏キャンパスの東京大学情報基盤センター内に、双方のスーパーコンピュータシステムを設置して、最先端の大規模高性能計算基盤を構築・運営するための組織である。この施設を連携・協力して運営することにより、最先端の計算科学を推進し、我が国の学術及び科学技術の振興に寄与していくことを目指す。JCAHPCに導入されるシステムの東大情報

基盤センターにおける位置づけは、平成 26 年 3 月に運用を終了した HA8000 クラスタシステム (T2K 東大)の後継機である。

平成 26 年度は情報収集の他、仕様書原案策定、説明会を実施し。筑波大学と協力して性能評価ツール、ベンチマークプログラムなどの整備を実施した。

## 3 公募型研究プロジェクトの推進

公募型研究プロジェクトとしては、「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究」、「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」、「大規模 HPC チャレンジ」を実施した。

平成 22 年 4 月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する 8 大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN)が正式に発足し、活動を開始した。本共同利用・共同研究拠点は 8 機関によるネットワーク型拠点であり、東京大学情報基盤センターはその中核拠点である。

平成 25 年 12 月に本年度公募型共同研究の課題募集を開始し、2 月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募 53 課題のうち 34 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 8 課題であった。平成 25 年度からは JHPCN 公募型研究課題は HPCIの一部として実施されるようになった。平成 25 年度報告会、平成 26 年度採択課題紹介を兼ねた第6回シンポジウムは平成 26 年 7 月 10 日(木)・11 日(金)に THE GRAND HALL(品川)で開催された。

「スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦」は、概ね 40 歳以下の若手研究者及び女性研究者(学生を含む)を対象としており、採択された課題の計算機利用負担金(半年分)をセンターが負担する。年2回公募し、年間で4件程度の優れた研究提案を採択する。継続申請と再審査の上で、最大で1年間の無料利用ができる。平成26年度は、前期4件、後期3件の合計7件の課題を採択した。

東京大学情報基盤センターでは、スーパーコンピュータの大規模計算機資源を占有可能なサービスを毎月実施してきた。平成24年度からFujitsu PRIMEHPC FX10(Oakleaf-FX)の全4,800ノード(76,800コア、ピーク性能1.13 PFLOPS)を占有できる「大規模HPCチャレンジ」を実施している。これは国内の公開されているスーパーコンピュータシステムで占有可能な最大の計算資源である。平成26年度は全部で7課題が採択された。

## 4 企業ユーザー利用支援

平成 20 年度から、大規模高性能並列計算によるイノベーションと科学技術の発展に寄与することを目的として、HA8000 システムの資源のうち最大 10%までを企業利用に有償で提供することとし、利用規程の変更を含む制度の改定を実施し、平成 20 年 10 月より企業利用支援の制度を開始した。 平成 24 年度からは企業利用サービスは Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX) へ全面移行した。 それに合わせてトライアルユース制度の整備を実施した。 平成 26 年度は 2 回の募集を実施し、3 件が採択された。

## 5 講習会·広報活動

基礎的な並列プログラミング教育を目的とした、国内に例を見ないユニークな取り組みとして「お試しアカウント付きスパコン利用講習会」がある。平成 26 年度は同講習会を 9 回実施した。その他、「2014 RIKEN AICS HPC Summer School(平成 26 年 8 月 4 日~8 日)」、「2015 RIKEN AICS HPC Spring School(平成 27 年 3 月 4 日~6 日)」(主催:理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学大学院システム情報学研究科、東京大学情報基盤センター)ではプログラム策定、実行に貢献した。平成 26 年度は広報誌「スーパーコンピューティングニュース」を 6 回発行した。

## 6 その他イベント

平成26年10月24・25日に実施された柏キャンパス一般公開に参加した。 その他、本郷地区、柏地区合わせて12件の施設来訪があり、情報交換、施設見学を実施した。

## 7 参考文献

## 報道関連

[報道1]マイナビニュース 2014 年 4 月 17 日 GTC 2015 - 東大/筑波大の Tightly Coupled Accelerator 「システム構成編」

[報道2]マイナビニュース 2014 年 4 月 17 日 GTC 2015 - 東大/筑波大の Tightly Coupled Accelerator 「TCA の性能編」

## スーパーコンピューティング業務

#### スーパーコンピューティングチーム

## 1 2014 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、2014 年度のシステム整備状況を以下に述べる。

今年度は本郷キャンパスにおいて Fujitsu FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用(Oakbridge-FX)のサービスが開始され、既にサービスを行っている Fujitsu FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)および Hitachi SR16000 システムの合計 3 式のスーパーコンピューターの運用を行った。

#### 1.1 Oakbridge-FX のサービス開始

本郷キャンパス(本センター)に導入・設置された FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用(Oakbridge-FX)のサービスを 2014 年 4 月 1 日より開始した。Oakbridge-FX は従来のサービスである Oakleaf-FX とノードあたりの演算性能は同じであるが、これまで 48 時間が上限であったジョブの実行時間を大幅に緩和し、最大 576 ノードのジョブを最長 168 時間(7 日間)実行することのできるシステムである。ユーザは Oakleaf-FX と共通に管理されるトークンを消費することによりジョブを実行することができる。

#### 1.1.1 ハードウェア

諸元および構成は以下のとおりである。ノードおよびプロセッサ単体の仕様は Oakleaf-FX と同一である。

		項目	機器諸元	
		総理論演算性能	136.2 TFLOPS	
		総主記憶容量	18 TByte	
システム全体		総ノード数	576	
(計	・算ノード)	インターコネクト	6 次元メッシュ / トーラス	
		ローカルファイルシステム	147 TByte	
		共有ファイルシステム	295 TByte	
		理論演算性能	236.5 GFLOPS	
	ノード	プロセッサ数 (コア数)	16	
仕様		主記憶容量	32 GByte	
1上7求		プロセッサ名	SPARC64 <sup>TM</sup> IXfx	
	プロセッサ	周波数	1.848 GHz	
		理論演算性能 (コア)	14.78 GFLOPS	

表 1. Oakbridge-FX のハードウェア諸元

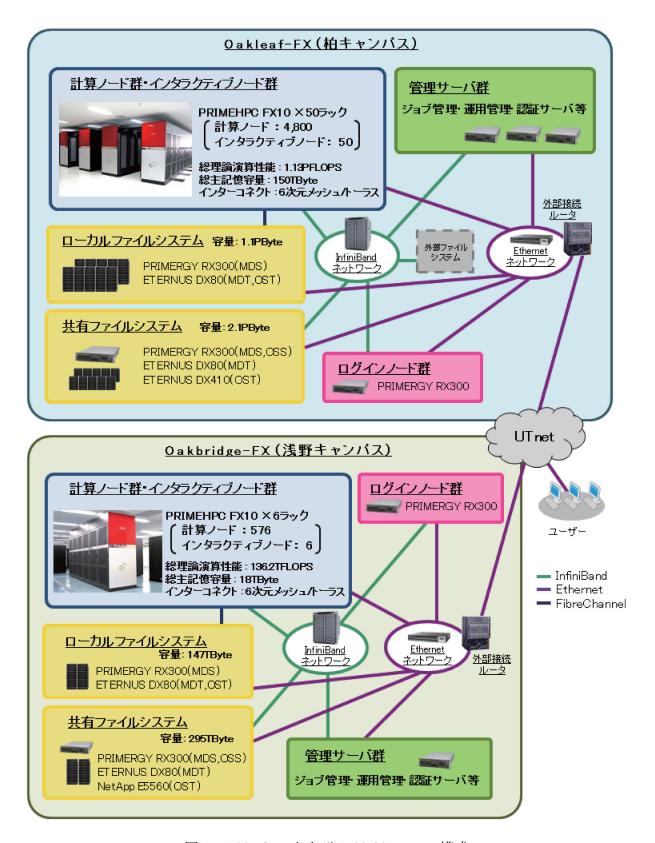


図 1. Oakleaf-FX および Oakbridge-FX の構成

#### 1.1.2 ソフトウェア

諸元は以下のとおりである。なお、これらは Oakleaf-FX と同一である。

表 2. Oakbridge -FX のソフトウェア諸元

7Z D	ソフトワ	ウェア				
項目	計算・インタラクティブノード	ログインノード				
OS	XTCOS (専用 OS)	RedHat Enterprise Linux 6.4				
コンパイラ	富士通社製コンパイラ Fortran 77/90、C、C++ コンパイラ GCC、g95	富士通社製コンパイラ (クロス環境) Fortran 77/90、C、C++ コンパイラ GCC、g95 (クロス環境)				
ライブラリ	富士通社製ライブラリ BLAS、LAPACK、ScaLAPACK、SSL II (Scientific Subroutine Library II) C-SSL II、SSL II/MPI					
74779	その他ライブラリ FFTW、SuperLU、METIS、SuperLU_MT、SuperLU_DIST、 Parallel NetCDF					
アプリケーション	OpenFOAM、ABINIT-MP、PHASE FrontFlow/blue、FrontISTR、 REVOCAP、PETSc、Gromacs	OpenFOAM, PETSc				
ファイルシステム	FEFS (ローカルファイルシステム、共有	「ファイルシステム)				

#### 1.1.3 ジョブクラス制限値

ジョブクラス制限値は以下のとおりである。バッチキュー long にて最長 168 時間のバッチジョブ実行が可能である。

表 3. Oakbridge-FX ジョブクラス制限値

					メモリー	パーソナル		グ
キュー名 <b>※1</b>		·ド数 <b>※2</b> 大コア数		制限時間 (経過時間)	容量 (GB) <b>※3</b>	コース1	コース2	ループコース
long	24 ~	576	(9216)	168 時間	28	Δ	Δ	0
interactive_bn1 <b>%4</b> interactive_bn4	2 ~	1 4	(16) (64)	2 時間 10 分	28	0	0	0

- Δ パーソナルコース1は最大 24 ノード、コース2は 96 ノードまで実行可
- ※1 キューの指定は "#PJM -L "rscgrp=long" " (long は小文字)と指定する
- ※2トークンの消費係数は優先ノード数まで 1.00、優先ノード数超で 2.00 (優先ノード数は、パーソナルコース1が 12 ノード、コース2が 24 ノード、グループコースは申込ノード数)
- ※3 1ノード当りの利用者が利用可能なメモリー容量
- ※4 インタラクティブジョブの起動は、pjsub --interact -L "node=ノード数" (トークン消費なし)

#### 1.2 2014 年度のサービスに係わる変更

#### 1.2.1 資源提供

FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX および Oakbridge-FX)では HPCI(革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)採択の 11 課題に対し 996 ノード/年(8,605,440 ノード時間)を、JHPCN(学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点)採択の 7 課題に対し 108 ノード/年(933,120 ノード時間)の資源提供を行った。

#### 1.2.2 小規模ジョブに関するノードの形状指定とステップジョブの制限(Oakleaf-FX)

FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) では、計算ノードの利用効率の向上を図るため、 2014 年 5 月 30 日(金) の月末処理後のサービス再開時点より、

- ・ジョブクラス debug および short
- ・ジョブクラス regular (small) で要求ノード数が 72 以下

に該当するジョブでは、2次元または3次元形式の形状指定を禁止した(ジョブ投入時の「-L node=」の指定で2次元または3次元の形状のジョブは投入ができない)。

2次元または3次元の形状指定は、その形状を保証するために要求したノード数を超える数のノードが確保される場合が多く、このためジョブの実行に使用されないノードを多数生じることとなり、他のジョブの実行の妨げとなっている。このため、小規模ジョブについては形状指定を禁止することとした。

また、ジョブクラス debug では 2 段を超える段数のステップジョブの投入を禁止とした(該当するジョブの投入はできない)。

#### 1.2.3 debug キューのユーザ 1 人当たりのジョブ最大投入数の設定(Oakleaf-FX)

FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) の debug キューについては、実行待ちジョブ数の急激な増大により実行待ち時間が長期化することを回避するため、2015 年 1 月 30 日(金)の月末処理以後、利用者 1 人当たりのジョブの最大投入数を 10 に制限した。

#### 1.3 教育利用

前年度に引き続き、教育利用のためのシステム提供 (FX10 スーパーコンピュータシステム) を無料で行い、並列プログラミング教育として 11 件の利用があった。

- ・東京大学生産技術研究所「実践的シミュレーションソフトウェア開発演習」
- ・東京大学工学部・工学系研究科(前期)「スパコンプログラミング(1),(I)」
- ・電気通信大学大学院情報システム学研究科「情報システム学特別講義3」
- •東京大学情報理工学系研究科「並列数値計算論」
- ・工学院大学情報学部コンピュータ科学科「並列計算システム」
- ・千葉大学大学院理学研究科「宇宙磁気流体・プラズマシミュレーションサマースクール」
- ・東京大学理学系研究科「並列計算プログラミング、先端計算機演習」
- ・東京大学工学部・工学系研究科(後期)「スパコンプログラミング(1),(I)」

- ・東京大学教養学部「全学ゼミナール:スパコンプログラミング研究ゼミ」
- ・東京大学情報理工学系研究科「科学技術計算 II、コンピュータ科学特別講義 II」
- ·臺大數學科學中心「Introduction to Parallel Programming for Multicore/Manycore Clusters」

## 2 2015 年度のシステム整備計画

資源提供について、FX10 スーパーコンピュータシステムの Oakleaf-FX および Oakbridge-FX を併せて、HPCI の 9 課題に対し 675.7 ノード/年(5,838,000 ノード時間)を、JHPCN の 10 課題に対し 176 ノード/年(1,520,640 ノード時間)を予定している。

## 3 専門委員会報告

本センター運営委員会のもとにスーパーコンピューティング専門委員会を設置し、全国共同利用スーパーコンピューターシステム及びその運用に関する事項について、企画、立案及び審議を行っている。2014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20回スーパーコンピューティング専門委員会

日時: 2014年7月22日(火) 10:00~

議題:・次期スーパーコンピューターシステム調達に関する報告

- •T2K オープンスパコン運用終了記念シンポジウム開催報告
- ・お試しアカウント付き並列プログラミング講習会報告
- ・スーパーコンピュータシステム教育利用報告
- ・スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦報告
- •企業利用報告
- ・大規模 HPC チャレンジ実施報告
- ·学際大規模情報基盤共同利用·共同研究拠点報告
- ·HPCI 利用課題報告
- ・スーパーコンピューティング部門決算報告
- •プログラム相談状況
- ・システム稼働状況報告
- その他

なお、以下の議題について、メール審議が行われ、2015年2月2日付けで承認された。

日時: 2015年1月20日(火)~30日(金)

議題:・スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦|実施要領の改訂について

## 4 スーパーコンピューターシステム利用規程の改正

#### 4.1 スーパーコンピューター若手・女性利用者推薦実施要領の改正

これまで実施してきた若手・女性利用者推薦制度の枠組みの中で、2015 年度より学生(学部生、大学院生)を対象とした利用支援制度を整備するに先立ち、年間における公募の時期および回数、採択件数を見直し、実施要領においては募集回数を規定せず件数を増やす改正を行った。本改正は、2015年4月1日より適用する。

#### 5 システム利用状況

2014 年度におけるジョブ統計は表  $1 \sim$ 表 3 のとおりである。それぞれの稼動率について、FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) においては常時 80%以上の高い稼動率を維持し、2015 年 2 月には 91.8% に達した。一方、FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用 (Oakbridge-FX) においては年度当初(運用開始直後)こそ低迷したものの、夏季には 80%に達し、その後は 60%前後で推移し良好であった。また、SR16000 システムの稼動率も概ね 60%程度で推移し良好であった。

## 5.1 FX10 スーパーコンピュータシステムのジョブ処理状況(Oakleaf-FX)

表 4. Oakleaf-FX ジョブ処理状況

	-11. 6-	実	実 件数 CPU 時間 (時間)		件数 CPU 時間 (時間)		ノード	ファイル
年月	登録 者数	利用者数	(上段)ログイン (下段)インタラ クティブジョブ	バッチ ジョブ	(上段)ログイン (下段)インタラ クティブジョブ	バッチジョブ	稼動率 (%)	使用量 (MB) (上段)/home (下段)/group
201404	1,012	363	8,987 1,540	19,947	2,210.49 1,330.62	28,307,653.53	81.7	34,632,200 852,449.487
201405	1,254	390	11,090 1,766	37,490	2,485.27 2,116.77	34,542,386.29	80.4	27,738,490 842,043,200
201406	1,397	418	13,545 2,148	82,593	2,710.29 1,918.40	39,548,422.17	87.5	26,872,206 871,678,708
201407	1,455	493	14,392 3,238	57,084	1,959.59 2,743.42	40,820,080.13	85.0	29,516,264 887,191,245
201408	1,493	441	8,243 1,539	27,626	1,329.98 1,063.16	28,419,835.24	87.2	28,837,826 916,250,984
201409	1,366	393	13,199 2,316	40,363	2,860.04 2,332.06	40,411,827.88	86.1	30,235,916 971,378,885
201410	1,445	444	13,728 3,800	40,535	2,565.75 2,651.48	34,304,935.04	80.9	28,500,309 984,909,817
201411	1,339	436	14,103 2,574	41,707	2,219.72 2,136.45	39,508,808.40	85.7	28,718,719 948,060,142
201412	1,247	408	15,373 3,068	56,943	2,599.54 3,379.07	37,202,393.50	87.0	31,518,216 992,648,398
201501	1,280	398	15,786 2,437	56,935	3,655.93 2,489.45	43,275,119.49	91.4	40,188,850 1,012,467,942
201502	1,306	413	11,450 1,888	53,176	2,506.12 2,251.82	38,459,945.58	91.8	44,335,119 989,179,731
201503	1,371	380	10,222 2,263	31,976	2,654.66 2,378.99	38,895,177.46	88.6	38,086,430 893,620,937
合計			150,118 28.577	546,375	29,757.38 26,791.69	443,696,584.71		

(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** FX10 スーパーコンピュータシステム長時間ジョブ実行用(Oakbridge-FX)のジョブ 処理状況

表 5. Oakbridge-FX ジョブ処理状況

		実	件数		件数		CPU ₽	寺間 (時間)	ノード	ファイル
年月	登録 者数	利用者数	(上段)ログイン (下段)インタラ クティブジョブ	バッチ ジョブ	(上段)ログイン (下段)インタラ クティブジョブ	バッチジョブ	稼動率 (%)	使用量 (MB) (上段)/home (下段)/group		
201404	1,012	39	685 134	290	4.58 2.81	1,493,513.59	32.0	240,592 4,341,421		
201405	1,254	42	673 40	537	43.62 5.41	2,238,149.30	46.0	83,100 32,969,229		
201406	1,397	51	838 42	682	21.24 10.07	3,804,440.75	62.3	107,349 26,695,908		
201407	1,455	52	1,135 199	667	25.88 5.37	5,460,144.00	86.5	158,721 64,556,951		
201408	1,493	47	554 58	497	10.37 5.85	3,339,025.90	78.3	209,910 33,262,965		
201409	1,366	46	767 76	652	29.64 7.01	4,113,700.79	74.3	260,365 33,035,874		
201410	1,445	53	839 144	539	71.54 23.38	3,892,241.10	73.7	357,303 34,972,279		
201411	1,339	45	638 44	589	25.32 36.42	3,573,297.03	65.5	375,525 31,440,486		
201412	1,247	41	633 48	798	20.75 0.90	3,586,364.54	64.6	394,407 23,011,181		
201501	1,280	34	535 30	879	21.49 1.98	3,383,771.66	51.9	396,063 18,126,143		
201502	1,306	51	932 45	811	36.21 19.38	3,646,189.47	67.6	410,210 49,701,545		
201503	1,371	55	853 85	1,094	31.34 287.62	3,351,194.35	58.7	396,803 60,747,202		
合計			9,082 945	8,035	341.98 406.20	41,882,032.48				

(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 6. SR16000 ジョブ処理状況

<i>h</i> : 0	登録	実	件	一数	CPU ₽	寺間 (時間)	ノード	/home ファイル
年月	者数	利用者数	ログイン	NQS	ログイン	NQS	稼動率 (%)	使用量 (MB)
201404	390	58	1,129	1,489	36.41	420,968.05	60.2	61,038,583
201405	366	72	1,749	2,190	49.37	487,680.23	53.0	60,718,225
201406	366	68	2,364	3,340	116.17	669,763.44	69.8	48,766,637
201407	372	67	2,199	2,677	102.5	625,601.02	70.3	49,475,455
201408	371	56	1,017	1,506	55.09	319,944.26	55.6	47,823,023
201409	370	55	1,656	2,676	68.02	499,709.75	64.6	47,949,149
201410	371	62	2,008	2,873	56.29	466,176.52	60.2	49,623,691
201411	372	62	2,197	2,967	91.88	653,332.77	74.3	52,509,255
201412	376	56	1,553	2,536	44.79	485,107.51	56.0	56,277,363
201501	376	56	1,615	2,720	36.9	547,636.67	61.9	61,249,941
201502	376	53	1,564	2,833	41.39	506,231.45	64.2	63,622,069
201503	376	50	1,569	2,726	30.06	551,714.97	61.1	59,805,115
合計			20,620	30,533	728.87	6,233,866.64		

<sup>(</sup>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
2014年 4月	1	13 ( 13)	14
2014年 5月	0	16 ( 16)	16
2014年 6月	0	20 ( 16)	20
2014年 7月	0	14 ( 13)	14
2014年 8月	0	14 ( 11)	14
2014年 9月	1	20 ( 18)	21
2014年10月	1	15 ( 15)	16
2014年11月	0	10 ( 9)	10
2014年12月	0	16 ( 15)	16
2015年 1月	0	11 (11)	11
2015年 2月	0	9 (7)	9
2015年 3月	0	12 ( 12)	12
小計	3	170 (156)	173

表 7. プログラム相談件数

括弧内はFX10相談件数の内数

#### 6.2 刊行物

2014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.16 No.3 ~ Vol.17 No.2 (2014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。

2014 年度はユーザからの成果報告を計 7 編掲載した。より一層利用者の皆様に役立つものとするよう推進していく。

## 7 職員による研究開発活動

業務系の職員は、日々利用者サービスの向上やシステム運用の効率化・高度化を図りながら業務に携わっており、その成果を発表することで更なる動機付けに期待される。このような成果の発表の場として大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 年次大会が毎年開催されており、HPC テクノロジー企画セッションが 2013 年度より設置されている。

#### 7.1 大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 年次大会 HPC テクノロジー企画セッション

大学 ICT 推進協議会が主催する年次大会が 2014 年 12 月 10 日  $\sim$  12 日 に開催され、HPC テクノロジー企画セッションに本センターから職員が参加し発表を行った。

HPC テクノロジー企画セッションは HPCI をはじめとする最新の HPC テクノロジーに関する発表・ 討論を、HPCI 構成センターからの技術報告を中心に実施するものである。

<本センターの論文>

(東京大学情報システム部情報基盤課スーパーコンピューティングチーム)

・「長時間ジョブ実行用スーパーコンピュータシステム Oakbridge-FX の運用」 - 宮嵜 洋 (発表者)-

本論文は2014年4月にサービスを開始したOakbridge-FXの運用状況について報告したものである。

詳しくは、「大学 ICT 推進協議会 (AXIES) 2014 年度年次大会論文集」をご覧願いたい。

## 講習会

#### 研究支援チーム

#### スーパーコンピューティングチーム

## スーパーコンピューティング研究部門

### 1 概要

2014年度は表 1 に示すような並列計算プログラミングに関連した講習会を開催した。スパコン (FX10 スーパーコンピュータシステム) の臨時アカウントを無料で発行しての講習会は国内でも他に 例が無い先駆的な取り組みであり、学習効果の促進とともに利用者の拡大にも貢献している。受講者はノート PC を持参してもらい、無線 LAN 経由でスパコンにログインする。受講者が復習できるように、アカウントの有効期限は、講習会の日から 1 週間程度としている。受講者は、これまでは、スパコンの利用資格者(学生、教育機関・研究機関教職員)に限定してきたが、2008年 10 月より、社会貢献の一環として企業ユーザーもスパコン利用が可能となっており、企業ユーザーも講習会を受講できるようになった。

表 1 2014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 36 回「MPI 応用編:並 列有限要素法入門」	2014年 5月20日~21日		28 人		
第 37 回「MPI 基礎:並列 プログラミング初級入門」	2014年 6月18日~19日		18人		
第38回「MPI 基礎:並列 プログラミング初級入門」	2014年 9月1日~2日		6人		
第39回「ライブラリ利用: 高性能プログラミング初 級入門」	2014年 9月10日~11日		12 人	情報基盤 センター主 催	
第 40 回「MPI 応用編:並 列有限要素法入門」	2014年 10月7日~8日	FX10	23 人	准	
第 41 回「科学技術計算 のためのマルチコアプロ グラミング入門: Hybrid 並 列プログラミングモデルへ の道」	2014年 11月11日~12日	スーパー コンピュー タシステム	12人		
第 42 回「ppOpen-HPC で学ぶ並列プログラミング と並列前処理付き反復 法」	2015年2月18日		17人	情報基盤 センター主 催、 PC クラスタ コンソーシ アム共催	
第 43 回「MPI 基礎:並列 プログラミング初級入門」	2015年 3月9日~10日		10 人	情報基盤 センター主 催	

第 44 回「ライブラリ利用: 高性能プログラミング初 級入門」	2015年3月26日~27日		6人	情報基盤 センター主 催、 PC クラスタ コンソーシ アム共催
--	----------------	--	----	---

## 2 お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

2014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 36 回講習会

「MPI 応用編:並列有限要素法入門」では,有限要素法による熱伝導解析プログラムを、MPI を使用して並列化するための手順,特に並列分散データ構造に関する考え方を理解してもらうことを主眼として実施している。有限要素法そのものに関して初めて学ぶ受講者のために,1日目は有限要素法と関連した数値計算アルゴリズム,プログラミング,2日目に並列有限要素法に関する講義・解説,FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)(Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した実習を実施した(表 2)。

開催日	時 間	内 容	講師
	10:00-11:00	有限限要素法入門	中島研吾
2014年	11:00-12:00	一次元有限要素法(1/2)	中島研吾
5月20日(火)	13:00-14:30	一次元有限要素法(2/2)	中島研吾
	14:50-17:30	三次元有限要素法	中島研吾
	09:30-10:30	FX10 スーパーコンピュータシステム	中島研吾
		(Oakleaf-FX)	
5月21日(水)	11:00-12:00	並列有限要素法への道	中島研吾
	13:00-14:00	一次元並列有限要素法	中島研吾
	14:20-16:00	三次元並列有限要素法	中島研吾
	16:00-18:00	質疑, 実習	中島研吾

表 2 第 36 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

#### 2.2 第 37 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) (Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した、初心者向け並列プログラミング講習会を実施した。並列プログラミングの基礎、MPI、並列アプリケーション入門について講義・実習を実施した(表 3)。

表 3 第 37 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会 スケジュール

開催日	時 間	内 容	講師
2014年	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実	片桐孝洋
6月18日(水)	10.30-12.30	行	月晌争什

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/

	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19日(木)	10:00-12:30	プログラミングの基礎(ファイルシステム、バッチジョブ、make について)(演習)	大島聡史
	14:00-15:30	MPI プログラミング実習 II(演習)	片桐孝洋
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III(演習)	片桐孝洋

#### 2.3 第 38 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) (Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した、初心者向け並列プログラミング講習会を実施した。並列プログラミングの基礎、MPI、並列アプリケーション入門について講義・実習を実施した(表 4)。

	, , , , , , , ,		
開催日	時間	内 容	講師
2014年 9月1日(月)	10:30-12:30	ノートパソコンの設定、テストプログラムの実行	片桐孝洋
	14:00-15:45	並列プログラミングの基本(座学)	片桐孝洋
	16:00-17:00	MPI プログラム実習 I(演習)	片桐孝洋
9月2日(火)	10:00-12:30	プログラミングの基礎(ファイルシステム、バッチジョブ、make について)(演習)	大島聡史
	14:00-15:30	MPIプログラミング実習 II(演習)	片桐孝洋
	15:45-17:00	MPI プログラミング実習 III(演習)	片桐孝洋

表 4 第 38 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

#### 2.4 第 39 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) (Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した、数値計算ライブラリ利用による基礎的な高性能プログラミングの講習会を実施した。並列処理の基礎概念の説明、数値計算ライブラリの解説、簡単な数値計算プログラムによるライブラリ利用の実習を実施した(表 5)。本講習会は、東京大学情報基盤センターを中心として、東京大学大気海洋研究所、東京大学地震研究所、京都大学、および海洋研究開発機構で開発をしている数値計算ミドルウェアppOpen-HPCの成果物の実習を行う講習会である。

表 5 第 39 回お試しアカワント付き亚列フログラミング講習会 スケシュール				
開催日	時間	内 容	講師	
	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	
2014年	14:00-15:00	並列プログラミングの基本(座学)	片桐孝洋	
9月10日(水)	15:15-16:15	プログラム実習 I (BLAS)(演習)	片桐孝洋	
	16:30-18:00	プログラム実習 II (LAPACK、 ScaLAPACK)(演習)	片桐孝洋	
	11:00-12:00	ppOpen-HPC の概要(座学)	松本正晴	
9月11日(木)	13:30-16:00	差分法による弾性波動並列シミュレーション(ppOpen-APPL/FDM)(演習)	森太志	

表 5 第 39 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

#### 2.5 第 40 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)(Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した講習会「MPI 応用編:並列有限要素法入門」を実施した(表 6)。内容は 2.1(第 36 回)と同じである。

開催日	時間	内 容	講師
	10:00-11:00	有限限要素法入門	中島研吾
2014年	11:00-12:00	一次元有限要素法(1/2)	中島研吾
10月7日(火)	13:00-14:30	一次元有限要素法(2/2)	中島研吾
	14:50-17:30	三次元有限要素法	中島研吾
	09:30-10:30	FX10 スーパーコンピュータシステム	中島研吾
		(Oakleaf-FX)	
10月8日(水)	11:00-12:00	並列有限要素法への道	中島研吾
	13:00-14:00	一次元並列有限要素法	中島研吾
	14:20-16:00	三次元並列有限要素法	中島研吾
	16:00-18:00	質疑, 実習	中島研吾

表 6 第 40 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

#### 2.6 第 41 回講習会

近年マイクロプロセッサのマルチコア化が進み、様々なプログラミングモデルが提案されている。中でも OpenMP は指示行(ディレクティヴ)を挿入するだけで手軽に「並列化」ができるため、広く使用されており、様々な解説書も出版されている。メモリへの書き込みと参照が同時に起こるような「データ依存性(data dependency)」が生じる場合に並列化を実施するには、適切なデータの並べ替えを施す必要があるが、このような対策は OpenMP 向けの解説書でも詳しく取り上げられることは余り無い。本講習会(科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門)では、「有限体積法から導かれる疎行列を対象とした ICCG 法」を題材として、科学技術計算のためのマルチコアプログラミングにおいて重要なデータ配置、reordering などのアルゴリズムについての講習、FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX) (Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した実習を実施した(表 7)。

表 7 第 41 回わ試し / カワンド的 さ並列 プログラミング 神首云 ヘクジュール				
開催日	時間	内 容	講師	
2014年 11月11日(火)	10:00-12:00	FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) ICCG 法によるポアソン方程式ソルバー (1/3)	中島研吾	
	13:00-14:30	同 (2/3)	中島研吾	
	14:45-16:15	同 (3/3)	中島研吾	
	16:30-17:30	OpenMP「超」入門	中島研吾	
11月12日(水)	09:30-12:00	オーダリングについて	中島研吾	
	13:00-15:30	並列化実装について, 最近の話題	中島研吾	
	15:30-17:30	質疑, 実習	中島研吾	

表 7 第 41 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

#### 2.7 第 42 回講習会

本講習会は 2014 年 3 月に実施した「第 35 回お試しアカウント付き並列プログラミング講習会:ライブラリ利用:高性能プログラミング初級入門 $^2$ 」の一部を取り出して,1 日のプログラムとして実施したものである。例年 2 月~3 月に開催される講習会は年度末ということもあり,やや参加人数が少ない。そこで,今回は新たな試みとして1日のプログラムとして参加しやすいように配慮した。

本講集会は、ppOpen-HPC による並列プログラミング、並列前処理付き反復法に関する講義、実習を実施した(表 8 参照)。ppOpen-HPC³は 科学研究振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(CREST)研究領域「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」の一環として実施されている「自動チューニング機構を有するアプリケーション開発・実行環境(研究代表:中島研吾(東京大学情報基盤センター))」において開発されている。本講習会では:

- ppOpen-HPC の概要
- ppOpen-HPC の機能の一つである ppOpen-APPL/FVM の使用法と内部データ構造
- ppOpen-APPL/FVM を使用して開発された並列有限要素法プログラムの詳細
- 大規模科学技術計算に必須である「並列前処理付き反復法」

について説明し、FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)(Fujitsu PRIMEHPC FX10)による実習も実施した。

開催日	時間	内 容	講師
	09:30-10:15	ppOpen-HPC の概要(座学)	中島研吾
	10:15-11:00	FX10 へのログイン(実習)	中島研吾
2015年2月18日(水)	11:00-12:30	ppOpen-APPL/FVM の概要と並列データ 構造(座学)	中島研吾
	13:30-15:00	ppOpen-APPL/FVM によるプログラム開発 例(座学)	中島研吾
	15:15-16:30	並列前処理付き反復法について(座学)	中島研吾
	16:30-17:30	ppOpen-APPL/FVM 実習(実習)	中島研吾

表 8 第 42 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

#### 2.8 第 43 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステム (Oakleaf-FX) (Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した、初心者向け並列プログラミング講習会を実施した。並列プログラミングの基礎、MPI、並列アプリケーション入門について講義・実習を実施した(表 9)。

X / // TJ E			
開催日	時間	内 容	講師
2015年	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
3月9日(月)	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
	10:00-12:30	プログラミングの基礎(ファイルシステム、バ	大島聡史
3月10日(火)	10.00-12.30	ッチジョブ、make について)(演習)	人的心人
	14:00-15:30	MPI プログラミング実習 II(演習)	片桐孝洋

表 9 第 43 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

http://www.cc.u-tokyo.ac.jp/support/kosyu/35/

http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/

15:45-17:00	MPIプログラミング実習 III(演習)	片桐孝洋
-------------	----------------------	------

#### 2.9 第 44 回講習会

FX10 スーパーコンピュータシステム(Oakleaf-FX)(Fujitsu PRIMEHPC FX10)を使用した、数値計算ライブラリ利用による基礎的な高性能プログラミングの講習会を実施した。並列処理の基礎概念の説明、数値計算ライブラリの解説、簡単な数値計算プログラムによるライブラリ利用の実習を実施した(表 10)。本講習会は、東京大学情報基盤センターを中心として、東京大学大気海洋研究所、東京大学地震研究所、京都大学、および海洋研究開発機構で開発をしている数値計算ミドルウェアppOpen-HPCの成果物の実習を行う講習会である。

	,		
開催日	時間	内 容	講師
2015年	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
3月26日(木)	14:00-15:30	並列プログラミングの基本(座学)	片桐孝洋
	15:45-17:30	プログラム実習 I (BLAS)(演習)	片桐孝洋
	10:30-12:30	プログラム実習 II (LAPACK、 ScaLAPACK)(演習)	片桐孝洋
3月27日(金)	14:00-15:00	ppOpen-HPCの概要(座学)	松本正晴
	15:15-17:45	差分法による弾性波動並列シミュレーション(ppOpen-APPL/FDM)(演習)	森太志

表 10 第 44 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

## 3 2014 RIKEN AICS HPC Summer School

平成 26 年 8 月 4 日 (月)~8 日 (金)、理化学研究所(理研)計算科学研究機構(Advanced Institute for Computational Science, AICS)において、「2014 RIKEN AICS 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。

本サマースクールは、「京」に代表されるスパコンを駆使して何か新しいことに挑戦したいと考えている若手研究者を対象に、並列計算機を使いこなすためのプログラミング手法(並列計算プログラミング)の基礎を学習することを目的として平成23年度より開催されている。

平成 24 年度, 25 年度は講義内容が担当者によって完全に個別に設定されていたため, 重複や 欠落が多く必ずしも受講者の評判は良くなかったことから, 本年度は内容を一新し, 東大情報基盤 センターが主導して, 本学理学系研究科地球惑星科学専攻で実施している「並列プログラミング, 先端計算機演習<sup>5</sup>」で実施している内容を元にスケジュールを作成した。

実習には Fujitsu PRIMEHPC FX10 (神戸大) を使用した。

## 4 2015 RIKEN AICS HPC Spring School

平成 27 年 3 月 4 日 (水)  $\sim$  6 日 (金)、理化学研究所(理研)計算科学研究機構(Advanced Institute for Computational Science, AICS)において、「2015 RIKEN AICS Spring School」(主催:理化学研究所計算科学研究機構、神戸大学大学院システム情報学研究科、東京大学情報基盤センター)

\_

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> http://www.aics.riken.jp/library/event/riken-aics-hpc-summer-school-2014.html

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/14e/

#### が開催された6。

本スプリングスクールは、平成 25 年度からの試みであり、サマースクールと比べるとややアドバンストな内容で、並列数値アルゴリズムの詳細も含めた解説と演習を実施した。

東大情報基盤センターは 3 月 4 日午後, 3 月 5 日に実施された「科学技術計算のためのマルチコアプログラミング入門(内容は 2.6 で述べた第 41 回講習会の内容とほぼ同じ)」を担当した。実習には Fujitsu PRIMEHPC FX10(神戸大)を使用した。

.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> http://www.aics.riken.jp/jp/outreach/library/event/springschool15.html

## シンポジウム・研究会

研究支援チーム

スーパーコンピューティングチーム

スーパーコンピューティング研究部門

## 1 T2K オープンスパコン運用終了記念シンポジウム

T2K オープンスパコンとは、筑波大、東大、京大から構成される Supercomputer Alliance の掲げる、「ハードウェアアーキテクチャのオープン性」、「システムソフトウェアのオープン性」、「ユーザ・ニーズに対するオープン性」という 3 つの理念のもとに策定された「T2K オープンスパコン仕様」に基づく筑波大、東大、京大の3 つのスーパーコンピュータシステムであり、2008年6月2日に同時に運用が開始された。

それから 6 年、2014 年 3 月 10 日の T2K 東大の運用終了を以て、T2K オープンスパコンはその全ての運営を終えることとなった。そこで、改めて T2K オープンスパコンとは何であったのかを振り返るとともに、T2K がもたらした成果の検証、更に将来への展望について議論を実施するため、5 月 30 日(金)の午後に筑波大、京大と共催にて「T2K オープンスパコン運用終了記念シンポジウム」を東京大学本郷キャンパス工学部 2 号館(本郷) 213 号講義室で開催した。当日の参加者は 129 名(大学・独法等研究機関 47 名、企業他 67 名、関係者 15 名)であった。

第1部は「T2K オープンスパコンの目指したもの」として石川 裕(東京大学)より基調講演が行われた。

第2部では、筑波大学(梅村 雅之、朴 泰祐)、東京大学(中島 研吾)、京都大学(中島浩)の3大学よりT2Kの成果および現状について報告された。

第3部は「ポストペタ・エクサスケールシステムへ向けての取組」として、ポストペタ CREST プロジェクトの紹介が行われ、「ポストペタスケールデータインテンシブサイエンスの ためのシステムソフトウェア」(建部 修見(筑波大学))、「ポストペタスケールに対応した階層 モデルによる超並列固有値解析エンジンの開発」(櫻井 鉄也(筑波大学))、「ポストペタスケール時代に向けた演算加速機構・通信機構統合環境の研究開発」(朴 泰祐)、「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」(中島 研吾)の発表があった。

第4部は「ポスト T2K に向けて」として、佐藤 三久(筑波大学)より将来の展望について講演が行われた。

最後に閉会にあたり中村宏(東京大学情報基盤センター長)より挨拶があり、シンポジウムは 盛会のうちに終了した。



シンポジウムの様子

## 2 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第6回シンポジウム

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点では、7月10日(木)・11日(金)に「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第6回シンポジウム」をTHE GRAND HALL(品川)で開催した。当日は186名の参加者(大学117名、独法等研究機関21名、企業他48名)を迎えた。

「学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点」(以下、当拠点)とは、北海道大学、東北大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学のスーパーコンピュータを所有する8つの共同利用施設を構成拠点とし、東京大学情報基盤センターがその中核拠点を担う「ネットワーク型」の共同利用・共同研究拠点である。毎年度、共同研究の公募・採択を行い、当拠点との共同研究を実施した。

今回のシンポジウムは、平成 25 年度に実施された公募型共同研究 44 課題の口頭発表による最終報告および平成 26 年度公募型共同研究に採択された全 34 課題のポスター発表による研究内容紹介を実施した。口頭発表、ポスター発表ともに、一般の参加者も交えた活発な質疑や意見交換が行われた。

シンポジウム初日には、中村 宏 統括拠点長(東京大学情報基盤センター長)による主催側 挨拶と、下間康行 文部科学省研究振興局参事官(情報担当)の来賓挨拶があった。それに続 けて 2 日間にわたり、公募型共同研究が対象としている超大規模数値計算系応用分野、超大規 模データ処理系応用分野、超大規模情報システム関連研究分野およびこれらの分野にまたがる 複合分野研究の研究成果発表および研究内容紹介が行われた。

閉会では、青柳 睦 課題審査委員長(九州大学情報基盤研究開発センター長特別補佐)からシンポジウム全体のサマリーを含めた挨拶があり、シンポジウムは盛会のうちに終了した。



中村統括拠点長による挨拶



会場の様子



ポスター発表の様子

## 3 研究会

#### 3.1 概要

2014 年度は表 1 に示すように 2 回の先進スーパーコンピューティング環境研究会 (Advanced Supercomputing Environment、ASE) (略称: ASE 研究会)を開催した。

	衣 1 2013 年度に開催した明先会			
	名称	開催日	参加者数	
第 18 回	I ASE 研究会	2014年9月18日(木)	10 人	
第 19 回	TASE 研究会	2014年9月22日(月)	10 人	

表 1 2013 年度に開催した研究会

#### 3.2 第 18 回 ASE 研究会

2014年9月18日(木)16時00分~18時00分、東京大学情報基盤センター(浅野地区)4階遠隔会議室にて、第18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。

招待講演として米国サンディア国立研究所から寺西慶太博士をお呼びし、レジリエントなプログラミングモデルに関する講演を行った(表 2)。

表 2 第 18 回 ASE 研究会 プログラム

講演者	講演タイトル
Dr. Keita Teranishi	Toward Resilient Programming Models
(Sandia National Laboratories, USA)	Toward Resilient Programming Models

寺西博士の講演は、HPC環境においても重要といわれる、耐故障技術に関連するものであり、今回の講演はアプリケーションレベルでの耐故障技術に関する話題であった。実際の数値計算アプリケーションの上で動作する耐故障性のプログラミングモデルについて講演し、実用的な観点から大変興味深い講演であった。特に、様々な対故障モデルについて、高並列化されたジョブの影響を調べており、実用データの観点からも非常に有益であった。

#### 3.3 第 19 回 ASE 研究会

2014年9月22日(月)11時00分~12時00分、東京大学情報基盤センター(浅野地区)4階遠隔会議室にて、第19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。本研究会は、科学技術振興機構戦略的創造推進事業 CREST「進化的アプローチによる超並列複合システム向け開発環境の創出」(代表:滝沢寛之(東北大学))」との共催である。

招待講演として、米国テネシー大学から Jakub Kurzak 博士をお呼びし、科学技術計算のためのスレッド実行、および複数 GPU 実行をサポートする実行時スケジューリング機構に関する講演を行った(表3)。

表 5 分 D E ASL W ルム フェノノム				
講演者	講演タイトル			
Dr. Jakub Kurzak				
(Electrical Engineering and	DIJI CAD. A Light-wight Doubling for Colontific Commuting			
Computer Science Department,	PULSAR: A Lightweight Runtime for Scientific Computing			
University of Tennessee, USA)				

表 3 第 19 回 ASE 研究会 プログラム

Kurzak 博士の講演は、数値計算処理における行列演算計算のための実行時スケジューラの開発プロジェクトである PULSAR プロジェクトの発表であった。

マルチコア計算機や GPU での数値計算ためには、実行時に並列性を抽出して細かい粒度で並列実行する必要がある。同時に、短いソフトウェアのオーバーヘッドで実行する必要がある。PULSAR プロジェクトでは、このような要求を達成するソフトウェア基盤を開発し、実際のスーパーコンピュータを用いて性能評価を行った。性能評価結果は、従来ソフトウェアよりも高い実行性能を達成しており、たいへん興味深い発表であった。

## 公募型研究プロジェクト

#### 研究支援チーム

#### スーパーコンピューティングチーム

## 1 学際大規模情報基盤共同利用·共同研究拠点 公募型研究平成 26 年度 採択課題

表 1:学際大規模情報基盤共同利用·共同研究拠点公募型共同研究平成 26 年度採択課題 (東大分)

A	В	研究課題名	研究課題代表者 (所属)	研究分野 (※)	他大学
	1)	フィラー充填系高分子材料の粗視化分子動力学解析 の連携型 HPC 活用研究	森田裕史 (産業技術総合 研究所)	数	北大,東工大, 名大,阪大
	1	同化型亜硝酸還元酵素の高次機能の理論的解明	庄司光男 (筑波大学)	数	
	1	次世代降着円盤シミュレータの開発	松元亮治 (千葉大学)	数	
	1	超大規模超並列電子状態計算を中核とした物理・数理・HPCの融合研究	星健夫 (鳥取大学)	数	
	1	太陽磁気活動の大規模シミュレーション	横山央明 (東京大学)	数	
0	1	科学技術計算における効率の良い複数拠点利用とそれを実現するユーザ駆動型・拠点協調フレームワークの開発と検証	實本英之 (東京大学)	数情	北大,東工大, 九大
	1	沈み込み帯の巨大地震を対象とした大規模並列地震 波・津波伝播シミュレーション	竹中博士 (岡山大学)	数	東工大
0	2	多重仮想化を用いた大容量サービス環境の遠隔地へ の高速転送に関する研究	関谷勇司 (東京大学)	ネ	

- A ○: H26年度新規採択課題
- B ①: Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX) 利用課題、②:計算機を利用しない課題
- ※ 研究分野の略称
  - 数:超大規模数値計算系応用分野、デ:超大規模データ処理系応用分野、
  - ネ:超大容量ネットワーク技術分野、情:超大規模情報システム関連研究分野

2010年4月より、北大、東北大、東大、東工大、名古屋大、京大、阪大、九州大の大型スーパーコンピュータを有する8大学の情報基盤センターによる学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点が正式に発足し、活動を開始した。本共同利用・共同研究拠点は8機関によるネットワーク型拠点であり、東京大学情報基盤センターはその中核拠点である。

平成 26 年度共同研究課題に対し、東大情報基盤センターでは以下の計算資源を提供した(利用は必須ではない)。

- ① Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX)
  - 採択各課題に12ノードまたは24ノード×1年相当のトークンが与えられる。優先ノード数は課題採択数によって変動する(最大で24ノード×課題採択数)。
- ② Fujitsu PRIMERGY RX200 (26 ノード, 312 コア) OS、仮想マシンモニタ等の研究開発を含む利用を想定している。OS, 仮想マシンモニタ を含むすべてのソフトウェアを利用者が準備し、利用者の責任でインストール、管理、運用する必要がある。
- ③ RENKEI-VPE (1ノード, 12VM, 12コア)

多拠点利用を含む、OS およびシステムソフトウェアの開発・研究利用を想定している。東工大・ 北大・九州大に同様に配置されたノードを一つのネットワークセグメントにまとめ、地理的に離れ たサーバを一つのクラスタのように利用できる。

2013年11月に平成26年度の公募型共同研究の課題募集を開始し(2014年1月8日締切)、2014年2月に外部委員を含む審査委員会による厳正な審査の結果、応募53課題のうち34課題が採択された。表1は、東京大学情報基盤センターと共同研究を行う8課題である。そのうち、超大規模数値計算系応用分野以外の2課題が新規採択であった。

また、2014年7月10日(木)・11日(金)に第6回シンポジウムがTHE GRAND HALL(品川)で開催され、平成25年度に実施された公募型共同研究44課題の口頭発表による最終報告および平成26年度公募型共同研究に採択された34課題のポスター発表による研究内容紹介が行われた。

## 2 大規模 HPC チャレンジ

#### 2.1 背景

東京大学情報基盤センターでは、スーパーコンピュータの大規模計算機資源を占有可能なサービスを毎月実施してきており、平成 22 年度からは HA8000 クラスタシステム(T2K オープンスパコン(東大))の 512 ノード(8,192 コア、ピーク性能 75.4 TFLOPS)を 24 時間占有できる「HA8000 クラスタシステム 512 ノードサービス」を公募型プロジェクトとして毎月実施し、大きな成果をあげた。更に平成 23 年度は学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点の研究課題とも連携し、より共同研究プロジェクトとしての色彩を強めた、HA8000 クラスタシステム「512 ノード利用大規模 HPC 研究」として実施した。

平成 24 年度からは Fujitsu PRIMEHPC FX10 (Oakleaf-FX) の全 4,800 ノード (76,800 コア、ピーク性能 1.13 PFLOPS)を占有できる「大規模 HPC チャレンジ」を実施しており、これは国内の公開されているスーパーコンピュータシステムで占有可能な最大の計算資源である。 平成 24 年秋から京コンピュータの運用も開始されたが、「大規模 HPC チャレンジ」を通して、ポストペタスケール、エクサスケールシステムへ向けたアプリケーション、アルゴリズム、システムソフトウェアの開発が促進されることを期待している。

#### 2.2 概要

実施要項は以下の通りである:

- 1ヶ月に1回、原則として月末処理前の木曜日9:00~金曜日の9:00までの24時間、4,800ノードを占有利用することが可能である(平成24年4月~6月の試験運転期間中は1グループあたり最大48時間、全7グループを採択した)。
- 課題は公募制とし、センター外部からの審査委員も含む審査委員会による審査、選定を実施する。
- 現ユーザーに限定せず、広く課題を募集する。個人、およびグループによる応募が可能であるが、各月に1グループの採用を原則とする。
- 本制度により得られた成果については公開を義務とする。成果発表にあたっては「FX10 スーパーコンピュータシステム」の利用、「大規模 HPC チャレンジ」制度によって実施した旨を明記する。また、「スーパーコンピューティングニュース」への成果報告記事の執筆、査読付国際会議への投稿(速報)などをお願いする。
- センターの主催、共催するセミナー、ワークショップ等でご発表いただく場合がある。
- 自作プログラム、オープンソースプログラムを利用した課題に限定する。
- 利用料金は無料。

## 2.3 2014年度採択課題

## 第1期採択課題(平成26年4月~7月実施)

課題名	代表者名	所属	
RDMA 機能に基づく通信ライブラリ 適用による改良型 hCGA 法による並 列多重格子法ソルバーの最適化およ	中島 研吾	東京大学情報基盤センター	
び性能評価			

## 第2期採択課題(平成26年8月~11月実施)

課題名	代表者名	所属
ppOpen-HPC ライブラリ群を利用する地震波動ー建築物振動連成マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション	松本 正晴	東京大学 情報基盤センター
コスタス配置問題に対する超並列組 み合わせ最適化解法	須田 礼仁	東京大学 情報理工学系研究科
並列多重格子法ソルバーの最適化お よび性能評価	中島 研吾	東京大学 情報基盤センター

#### 第3期採択課題(平成26年12月~平成26年3月)

課題名	代表者名	所属
800 億粒子級の DEM シミュレーションの性能評価	片桐 孝洋	東京大学 情報基盤センター
最適複合化固有値解析ルーチンによ る 100 万次元行列の電子状態計算	星健夫	鳥取大学 工学研究科
pK-Open- APPL/FVM 最適化および 性能評価	中島 研吾	東京大学 情報基盤センター

## 3 スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦

当センターでは、概ね 40 歳以下の若手研究者(学生を含む)及び女性研究者(年齢は問わない)を対象とした、スーパーコンピュータ若手・女性利用者推薦(以降、若手・女性推薦)による課題の公募を行っている。スーパーコンピューティング部門の教員により審査の上、採択された課題の計算機利用負担金(半年分)をセンターが負担する。

また、平成 24 年度から各採択課題について、スーパーコンピューティング研究部門の教員が技術的・学術的補佐を行う共同研究者として参加し、各採択課題の支援を行う。共同研究実施のため、東京大学情報基盤センター柏キャンパスにおける共同研究場所の確保、および、必要に応じて柏キャンパスまでの旅費(最大で1週間程度)を支給する。

年 2 回公募し、年間で 4 件程度の優れた研究提案を採択する。継続申請と再審査の上で、最大で 1 年間の無料利用ができる。採択の方には、報告書の提出、研究成果の発表の際に若手・女性推薦を利用したことの明記、およびセンターが発行する「スーパーコンピューティングニュース」誌の原稿執筆を採択の条件とする。

スーパーコンピュータを利用することで学術的にインパクトがある成果を創出できると期待される点、 大規模計算、テーマの重要性、既発表文献の観点から以下の課題を採択した。

#### 3.1 2014年(前期)採択課題

2014年(前期)は、FX10スーパーコンピュータシステム、GPU クラスタ、RX200システムを用いた課題を受け付け、採否を決定した。

課題名	代表者名	所属	利用システム
次世代スパコンのための仮想計算機 環境の研究開発	品川 高廣	東京大学 情報基盤センター	RX200
第一原理計算による分子の物理化学 データベース構築	中田真秀	理化学研究所 情報基盤センター	FX10
GPGPUを駆使したタンパク質の安 定性とダイナミクスの研究	光武 亜代理	慶應義塾大学 理工学部物理学科	GPU
GPGPU と高性能 IO 環境を活かした 高分子系緩和現象の解析手法の研究	萩田 克美	防衛大学校 応用物理学科	FX10, GPU

#### 3.2 2014年(後期)採択課題

2014 年(後期)は、FX10 スーパーコンピュータシステム、GPU クラスタ、RX200 システムを用いた課題を受け付け、採否を決定した。

課題名	代表者名	所属	利用システム
次世代スパコンのための仮想計算機 環境の研究開発	品川 高廣	東京大学 情報基盤センター	RX200
GPGPUを駆使したタンパク質の安 定性とダイナミクスの研究	光武 亜代理	慶應義塾大学 理工学部物理学科	GPU
Efficient numerical solution of the time- dependent many-body Schroedinger equation	Erik Loetstedt	東京大学 理学系研究科	FX10

## スーパーコンピュータの企業利用支援

#### 研究支援チーム

## 1 スーパーコンピュータの企業利用支援

#### 1.1 企業利用趣旨

工学系研究者、産業界における大規模計算シミュレーションに対する期待が高まっている一方で、その利用が進んでいない。また、企業におけるスーパーコンピュータ(スパコン)導入の動きは必ずしも旺盛ではない。その理由として、PC レベルでの小規模計算シミュレーションを大量に処理したいというユーザが多いこと、小規模計算シミュレーションを行っているユーザが大規模計算シミュレーションを行うような機会がないために、費用対効果を検討できないということもあげられる。さらに多くの現場では、計算シミュレーションの方法論が浸透していないということもあげられる。

一方、文部科学省は、世界が研究開発にしのぎを削る分野で日本の国際競争力を高めようと、大学や独立行政法人等の公的研究機関がもつ先端研究装置の企業への開放を拡大する方針を打ち出している。

このような状況を背景として、情報基盤センターは、次世代スーパーコンピュータにつながるユーザ育成も視野に入れつつ、大規模高性能並列計算を必要とする企業に対して計算資源を提供する。企業利用については、企業における単なる計算需要の負荷を肩代りするのではなく、以下の項目に合致するテーマを支援するものである。

- (1) 将来の科学技術発展に寄与する。
- (2) 大規模高性能並列計算分野の発展に寄与する。
- (3) 大規模高性能並列計算によるイノベーションに寄与する。

#### 1.2 支援内容

企業利用へ提供する資源は、FX10 スーパーコンピュータシステム(平成 24 年 4 月から提供)の全資源の 10%以内である。以下の 2 つの利用者カテゴリで課題を公募し、審査委員会での審査を行う。企業利用では、FX10 スーパーコンピュータの 12 ノードを 1 単位とし、企業が必要なノード数を決定する。ただし、限られた資源を有効に利用するために、採択可能な課題に対して優先順位を付ける。提供可能な計算資源を勘案して申込内容の調整を行い、採択課題を決定する。

- アプリケーション開発者あるいは利用者
  - ▶ 企業の開発現場において既に確立されている計算シミュレーションによるものづくりに使われるのではなく、産業利用として先端性を有する計算シミュレーションおよび応用分野の課題を支援する。このような先端性を有する計算シミュレーションでは、大規模な並列計算が必要であると考えられる。
- ASP (Application Service Provider)事業者
  - ▶ 計算シミュレーションによるものづくりを行ってきていない企業に対し、計算シミュレーションによる高度なものづくりを支援するためには、計算シミュレーションソフトウェアの性質を理

解し、入力データの作成、シミュレーション結果の解析などの、きめ細かい支援が必要である。産業界に対して、このような広範な支援を大学が行うのは難しいため、支援を行っていく企業との連携が不可欠である。そのため、計算シミュレーションによるもの作りを従来行っていない企業への支援体制が整っている ASP 事業者を支援する。

大学が企業へ提供する計算資源は限られている。本来、企業は自前でスパコンを確保すべきものである。企業において大規模計算シミュレーションによるものづくりの可能性が得られた場合に、本支援を終了する。ASP 事業者においては、ASP 事業者が自前でスパコンを確保できる環境が整い次第、支援を終了する。

#### 1.3 平成 26 年度企業利用

平成26年4月利用開始の公募では、利用資格者審査の結果、4社が採択された。また、平成26年度10月利用開始の公募については、提案企業はなかった。

平成26年度は、10月および平成27年4月利用開始の2回の課題公募を実施し、平成27年4月利用開始の公募では、平成26年度からの継続となる3社の応募があり、いずれも採択された。

#### (FX10スーパーコンピュータシステム)

- ●平成26年度第一回公募(平成26年4月以降利用開始)
  - ▶ 申請 3 件(内継続課題 2 社)
  - ▶ 採択3件(内継続課題2社)
    - ◆ 富士通アドバンストテクノロジ株式会社
      - 「情報機器における大規模熱流体・構造解析」
    - ◇ 富士通研究所
      - 「大規模計算による次世代デバイス材料開発」
    - ◆ 株式会社ブリヂストン
      - 「低燃費タイヤ用ゴム材料設計を目指した大規模分子シミュレーション基盤技術の開発」
- ●平成26年度第二回公募(平成26年10月以降利用開始)
  - ▶ 申請 0 件
- ●平成27年度第一回公募(平成27年4月以降利用開始)
  - ▶ 申請3件(内継続課題3社、ただし2社は新規課題として審査の上、採択)
  - ▶ 採択3件(内継続課題3社)
    - ◆ 富士通アドバンストテクノロジ株式会社(新規課題で採択)
      - 「筐体レベルー括構造解析の技術開発」
    - ◆ 富士通研究所(新規課題で採択)
      - 「高精度特性予測による新規デバイス材料開発」
    - ◆ 株式会社ブリヂストン
      - 「低燃費タイヤ用ゴム材料設計を目指した大規模分子シミュレーション基盤技術の開発」

## 1.4 平成 26 年度企業利用関連の教員との共同研究

企業利用の推進の一環として、センター教員との共同研究も行っている。センター教員との共同研究は、年間数件程度を予定しており、共同研究契約を締結することにより、スーパーコンピュータを利用することができる。

- ●平成26年度 教員との共同研究
  - ◆ 新日鐵住金株式会社(担当教員:片桐孝洋 准教授)
    - 「非構造格子流体解析コードの大規模・高速化対応」
  - ◆ 鹿島建設株式会社 (担当教員:片桐孝洋 准教授)
    - 「OpenFOAM の行列解法の高速化および数値計算に関する研究」

以上

## スーパーコンピューター利用による研究成果報告(2014年)

## スーパーコンピューティングチーム

## 1 大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10

2014年 (2014年1月~2014年12月) における、大規模超並列スーパーコンピューターシステム FX10の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

#### 1.1 論文

#### 【計算基盤】

- 1. 片桐孝洋, 竹田宏, 河村祥太, 加藤淳也, 堀端康善: DEM におけるマルチカラー接触判定法の適用とマルチコア計算機による性能評価: 粉体工学会誌, 粉体工学会, 51, 8, 564-570.
- Takahiro Katagiri, Hiroshi Takeda, Jyunya Kato, Shota Kawamura and Yasuyoshi Horibata: Towards Multicolor Particle Contact Detection Method for Hybrid MPI-OpenMP Execution in DEM: Proceedings of VECPAR2014 (A Poster).
- 3. Takahiro Katagiri, Satoshi Ohshima, Masaharu Matsumoto: Auto-tuning of Computation Kernels from an FDM Code with ppOpen-AT: Proceedings of MCSoC2014, IEEE, pp.91-98.
- Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Masaharu Matsumoto: Performance Optimization of SpMV using the CRS format considering OpenMP Scheduling on CPUs and MIC: Proseedings of 2014 IEEE 8th International Symposium on Embedded Multicore/Manycore SoCs (MCSoc), IEEE, 253-260.

#### 【計算科学】

5. Takashi Ikeda: FIRST PRINCIPLES MOLECULAR DYNAMICS STUDY OF INTERLAYER WATER AND CATIONS IN VERMICULITE: Clay Science, The Clay Science Society of Japan, 18, 2, pp.23-31.

### 1.2 口頭・ポスター発表

#### 【計算基盤】

- 6. 杉本振一郎, 荻野正雄, 塩谷隆二: 電磁場解析向け並列有限要素法解析ソルバの実装と高速化の取り組み: 電気学会 静止器・回転機合同研究会, 電気学会 静止器・回転機合同研究会資料, pp.35-38.
- Takahiro Katagiri, Junichi Iwata, and Kazuyuki Uchida: Extreme-Scale Parallel Symmetric Eigensolver for Very Small-Size Matrices Using A Communication-Avoiding for Pivot Vectors: SIAM Conference on Parallel Processing (PP14), MS34: Auto-tuning Technologies for Extreme-Scale Solvers - Part I of III.
- 8. 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋: 疎行列ソルバーにおける自動チューニングを用いた OpenMP 指示 文の最適化: 日本応用数理学会 2014 年度年会.
- 9. 大島聡史, 松本正晴, 片桐孝洋, 塙敏博, 中島研吾: 様々な計算機環境における OpenMP/OpenACC を 用いた ICCG 法の性能評価: SWoPP 新潟 2014. 情報処理学会 研究報告(HPC-145).
- 10. Satoshi Ohshima: Implementation and Performance Evaluation of SpMV on Modern Parallel Processors: 2014 Conference on Advanced Topics and Auto Tuning in High Performance Scientific Computing.
- 11. Satoshi Ohshima, Takahiro Katagiri, Kengo Nakajima: Preconditioned Iterative Solvers on Manycore Architectures: SIAM PP14.
- 12. Satoshi Ohshima: Performance Evaluation and Comparison of ICCG method using OpenMP and Open-ACC: Workshop on HPC and Cloud Accelerators.
- 13. 片桐孝洋, 高山恒一, 米村崇, 熊洞宏樹, 猪貝光祥, 北上純一, 江口義之, 深谷猛, 山本有作, 岩田潤一, 内田和之, 大島聡史, 中島研吾: 通信削減アルゴリズム CAQR の RSDFT の直交化処理への適用と評価: 第 144 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 情報処理学会研究報告 2014-HPC-146.

- 14. 片桐孝洋, 大島聡史, 松本正晴: Xeon Phi における ppOpen-AT を用いた有限差分法コードの自動チューニング: 第 19 回計算工学講演会, 計算工学講演会論文集.
- 15. 河村祥太, 加藤淳也, 竹田宏, 片桐孝洋, 堀端康善: マルチカラー接触判定法のハイブリッド MPI/OpenMP による並列化: 第 146 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 情報処理学会研究報告 2014-HPC-146.
- 16. Katagiri Takahiro, Iwata Jun'ichi, Uchida Kazuyuki: A Communication Avoiding and Reducing Algorithm for Symmetric Eigenproblem for Very Small Matrices: 第 148 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会、情報処理学会研究報告 2015-HPC-148.
- 17. 櫻井隆雄, 片桐孝洋, 大島聡史, 猪貝光祥, 黒田久泰: OpenFOAM への疎行列計算ライブラリ Xabclib の適用と評価: オープン CAE シンポジウム 2014.

#### 【社会・安全システム科学】

- 18. 郭雨佳, 纐纈一起, 三宅弘恵: 付加体の有無を考慮した関東平野の長周期地震動シミュレーション: 日本地球惑星科学連合大会.
- 19. 郭雨佳, 纐纈一起, 三宅弘恵: 長周期地震動シミュレーションにおける南海トラフ付加体の効果: 日本地震学会秋季大会.
- 20. Guo, Y., K. Koketsu, and H. Miyake: Effects of Accretionary Prisms on 3-D Long-Period Ground Motion Simulations: AGU Fall meeting.

#### 【計算科学】

21. 池田隆司: 第一原理分子動力学シミュレーションによる粘土鉱物の層間水の研究: 日本物理学会 2014 年秋季大会, 日本物理学会講演概要集第 2 分冊, p.214.

#### 【機械工学】

22. 谷口達也, 中川慎二, 上坂博亨, 伊藤宗康, 佐藤弘規: OpenFOAM による 回転機械 (たらい式水車) の 気液混相流解析: オープン CAE シンポジウム 2014.

#### 【電気電子工学】

- 23. 古峰祐樹, 水谷朋子, 山本芳樹, 槇山秀樹, 山下朋弘, 尾田秀一, 蒲原史朗, 杉 井信之, 更屋拓哉, 小林正治, 平本俊郎: Bulk MOSFET と SOTB MOSFET におけるランダムテレグラフノイズ(RTN)の統計分布比較: 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 第75回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 18a-A16-8.
- 24. Toshihiro Tomita, Kousuke Miyaji: Substrate Doping Concentration Dependence on Random Telegraph Noise Spatial and Statistical Distribution in 30nm NAND Flash Memory: International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) 2014, Extended Abstracts of the SSDM2014, 462-463.
- 25. 川上誠純, 水谷朋子, 更屋拓哉, 小林正治, 平本俊郎: 微細バルクトランジスタの線形領域と飽和領域におけるランダムテレグラフノイズ(RTN)の統計分布解析: 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 18a-A16-7.

### 1.3 受賞情報

26. 都留智仁, 青柳吉輝, 加治芳行, 下川智嗣: Influence of competition between intragranular dislocation nucleation and intergranular slip transfer on mechanical properties of ultrafine-grained metals: 第62回日本金属学会論文賞,日本金属学会.

## 2 大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム SR16000

2014年 (2014年1月~2014年12月) における、大規模 SMP 並列スーパーコンピューターシステム SR16000の利用による研究成果報告については以下のとおりである。

## 2.1 論文

#### 【物理学】

27. H. Nakada and K. Sugiura: Predicting magic numbers of nuclei with semi-realistic nucleon-nucleon interactions: Progress of Theoretical and Experimental Physics, Oxford Univ. Press, 2014, No. 3, 033D02.

## その他イベント

## 研究支援チーム スーパーコンピューティングチーム

## 1 東京大学柏キャンパス一般公開 2014

柏キャンパスでは10月24日(金)、25日(土)の2日間、「東京大学柏キャンパス一般公開2014(探究心と好奇心~もっと身近に感じる科学~)」が開催され、情報基盤センターとしては今年で3回目の参加となった。テーマは「スパコンで科学の未来を拓く」で、計算機や科学への理解や関心を高めてもらうために、恒例のスーパーコンピュータ「Oakleaf-FX」見学ガイドツアー、三次元可視化システム体験、ポスター展示およびビデオ上映「スーパーコンピューティングへの招待」を行った。中学生・高校生のグループや家族連れ、高齢の方から大学や企業の計算機や設備に詳しい方まで、幅広く大勢の方が来訪し、説明員を増員して対応することとなった。皆、熱心に耳を傾けており、計算能力やプロセッサの数、消費電力などの話になると感嘆の声が上がるなど、実際に見て、聞いて、体験することでスパコンを身近に感じてもらうことができた。

今年は2日間とも晴天に恵まれ、スーパーコンピュータ見学者440名(1日目129名、2日目311名)、うちガイドツアー参加者244名(1日目60名、2日目184名)、三次元可視化システム体験の参加者113名(1日目44名、2日目69名)と盛況であった。









スーパーコンピュータ「Oakleaf-FX」見学 の様子 (説明員:中島教授、片桐准教授、大島助教、實本助教、塙特任准教授)





三次元可視化システム体験の様子(説明員:松本特任講師、山本技術職員)

## 2 来訪者の状況

平成26年度のスーパーコンピュータ関連施設来訪者の概要を表1にまとめた。

表 1 平成 26 年度スーパーコンピュータ関連施設来訪者の概要

	来訪日	団体名	人数	来訪目的	見学内容
			八级	米初日的	
1		鹿島建設株式会社	3	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10
1	4月3日	ITソリューション部	3	NE (1/2 )	(Oakleaf-FX)
		Gartner (US)			Fujitsu PRIMEHPC FX10
2	5月16日	Forrester (US)	15	施設見学、情報交換	(Oakleaf-FX)
		IDC (US)			·
3	6月3日	学校法人市川学園	21	施設見学	Fujitsu PRIMEHPC FX10
<i>J</i>	0)13 H	市川高等学校	21	<b>尼</b> 民力10丁	(Oakleaf-FX)
		Red Universitaria			Fujitsu PRIMEHPC FX10
4	I	Nacional (チリ)	3	施設見学、情報交換	(Oakbridge-FX) ,
		, , ,			Hitachi SR16000
_	7 🗆 1 6 🖂	Barcelona		大凯 B 学 体 起 大 格	Fujitsu PRIMEHPC FX10
5	7月15日	Supercomputing Center (スペイン)	6	施設見学、情報交換	(Oakleaf-FX)
		柏の葉			Fujitsu PRIMEHPC FX10
6	7月31日	サイエンスフォーラム	8	施設見学	(Oakleaf-FX)
		大阪府立			Fujitsu PRIMEHPC FX10
7	8月5日	天王寺高等学校	48	施設見学	(Oakleaf-FX)
		兵庫県立			Fujitsu PRIMEHPC FX10
8	8月5日	兵庫高等学校	10	施設見学	(Oakleaf-FX)
		インドネシア			Fujitsu PRIMEHPC FX10
9	10月15日	気象気候地球物理庁	8	施設見学	(Oakleaf-FX)
					Fujitsu PRIMEHPC FX10
10	10月24日	東葛地区商工会議所	6	施設見学	(Oakleaf-FX)
	44 🖽 0 💆			LAST TO M	Fujitsu PRIMEHPC FX10
11	11月8日	電気通信大学	4	施設見学	(Oakleaf-FX)
10	2015年	韓国海事海洋大学	10		Fujitsu PRIMEHPC FX10
12	2月25日	(韓国)	12	施設見学	(Oakleaf-FX)

## PART 5

## その他

委員会委員等

講習会・セミナー

報道関係一覧

## 委員会委員等

教員名	委員会委員等名	任 期
柴山 悦哉	独立行政法人日本学術振興会 「セキュリティの確保を前提とした 地球規模情報システム」に関する研究開発専門委員会委員	24. 4. 1~27. 3.31
	北海道大学情報基盤センター 共同利用・共同研究委員会委員	25. 4. 1~27. 3.31
	独立行政法人科学技術振興機構 領域アドバイザー (研究領域「ビ	05 0 10 00 0 10
	ッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」)	25. 6. $19 \sim 26$ . 6. $18$
	公益財団法人りそな中小企業振興財団 「中小企業優秀新技術・ 新製品賞」専門審査委員会委員	25. 9. 1~26. 8.31
	日本学術会議 情報学委員会 安全・安心社会と情報技術分科会	
	安全・安心社会と情報技術企画小委員会委員	26. 3.28~26. 9.30
	東京大学教養学部 非常勤講師	26. 4. 1~26. 9.30
	公益財団法人金融情報システムセンター 「金融機関のクラウド	06 4 1- 07 9 91
	利用に関する有識者検討会」委員	26. 4. $1\sim$ 27. 3.31
	公益財団法人情報科学国際交流財団 プログラミングコンテスト 運営委員	26. 4. 1~27. 3.31
	一般社団法人日本ソフトウェア科学会 役員候補者選考委員会 委員	26. 4. 1~29. 3.31
	独立行政法人科学技術振興機構 研究領域「ビックデータ統合利活 用のための次世代基盤技術の創出・体系化」副研究総括	26. 4. 1~30. 3.31
	日本学術会議 日本学術会議連携会員	26. 4.25~26. 9.30
	公益財団法人未来工学研究所 文部科学省「科学技術の中長期発展	
	に係る俯瞰的予測調査」における分野別委員会(ICT 分野)座長	26. 7.25~27. 3.31
	独立行政法人科学技術振興機構 国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム)研究主幹	26. 8. 1~28. 3.31
	公益財団法人りそな中小企業振興財団/株式会社日刊工業新聞社 「中小企業優秀新技術・新製品賞」専門審査委員会委員	26. 9. 1~27. 3.31
	一般社団法人大学 ICT 推進協議会 研究員	26. 9.19~27. 3.31
		26.10. 1~27. 3.31
	日本学術会議 日本学術会議会員	26.10. 1~30. 9.30
田中 哲朗	東京大学教養学部 非常勤講師	26. 4. 1~26. 9.30
	東京大学教養学部 非常勤講師 (全学体験ゼミナール)	26. 4. 1~27. 3.31
	東京大学教養学部 非常勤講師	26.10. 1~27. 3.31
品川 高廣	一般社団法人情報処理学会 システムソフトウェアとオペレー ティング・システム研究運営委員会運営委員	25. 4. 1~27. 3.31
	東京大学理学部 非常勤講師	26. 4. 1~26. 9.30
	東京大学教養学部 非常勤講師	26. 4. 1~26. 9.30
関谷 貴之	専修大学 非常勤講師	26. 4. 1~27. 3.31
	東京学芸大学 非常勤講師	26. 4. 8~27. 3.20

中川 裕志	東京大学柏図書館 運営委員会委員	24. 4. 1~27. 3.31
		26. 4. 1~26. 9.30
	東京大学駒場図書館 運営委員会委員	26. 4. 1~27. 3.31
佐藤 一誠	   独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(さきが	25. 10. 1~29. 3. 31
	け)「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体	
	系化」研究者	
荒井ひろみ	独立行政法人理化学研究所 客員研究員	26. 10. 1~29. 3. 31
若原 恭	一般社団法人電子情報通信学会 ネットワークソフトウェア研究	
	会運営委員	$25. 4. 1 \sim 27. 4.30$
	一般社団法人電子情報通信学会 「ネットワークソフトウェア技術	00 7 10 07 4 0
	とその応用」小特集編集委員会編集委員	$26. 7.18 \sim 27. 4. 2$
	一般社団法人電子情報通信学会 100 周年記念事業実行委員会	
	100 年コンテンツ WG 委員	26. $7.22 \sim 27. 3.31$
中山 雅哉	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所	
	学術情報ネットワーク運営・連携本部 ネットワーク作業部会委員	26. 5.22~27. 3.31
	<b>/高等教育機関における情報セキュリティポリシー推進部会委員</b>	
	総務省 「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」評価検討	00 11 4 00 10 01
	会構成員	26. 11. $4\sim$ 26. 12. 31
関谷 勇司	一般社団法人電子情報通信学会 Communications Express 編集	23. 12. 1~27. 11. 30
	委員	23. 12. 1~21. 11. 30
	一般社団法人電子情報通信学会 IEICE Communications Express	24. 5. 26~27. 5. 31
	編集委員	24. 5. 20, 21. 5. 51
	WIDE プロジェクト ボードメンバー	26. 3.13~28. 3.31
	慶應義塾大学 SFC 研究所 上席所員 (訪問)	26. 6. 1~27. 3.31
	東京大学理学部 非常勤講師	26. 10. 2~27. 3. 31
小川 剛史	日本バーチャルリアリティ学会 サイバースペースと仮想都市	04 4 1- 06 10 01
	研究委員会委員	24. 4. 1~26. 12. 31
	一般社団法人電子情報通信学会 通信ソサイエティ和文論文誌	24. 6. 1~28. 5.31
	編集委員	24. 6. 1~28. 5.31
	東京大学文学部 非常勤講師	26. 4. 1~27. 3.31
中村 文隆	法政大学国際文化学部 非常勤講師	26. 10. 1~27. 3. 31
妙中 雄三	一般社団法人電子情報通信学会 情報ネットワーク研究専門	25. 5. 25~27. 5. 24
	委員会	25. 5. 25 - 21. 5. 24
	WIDE プロジェクト ボードメンバー	26. 3.13~28. 3.31
	一般社団法人電子情報通信学会 通信ソサイエティ英文論文誌	26. 5. 27~26. 12. 1
	編集委員会英文論文誌 B 小特集編集委員会編集委員	20. 5. 27 920. 12. 1
	慶應義塾大学 SFC 研究所 上席所員 (訪問)	27. 2. 2~27. 3.31
宮本 大輔	一般社団法人電子情報通信学会 ネットワークソフトウェア	25. 4. 1~27. 4.30
	研究会運営委員	
	一般社団法人電子情報通信学会 「ネットワークソフトウェア技術	26. 7.25~27. 4. 1
	とその応用」小特集編集委員会編集委員	20. 1.20 -21. 4. 1
田崎 創	The Workshop on ns-3 (WNS3) 2015 Technical Program Committee	26. 12. 1~27. 5. 15
	Co-Chairs	20.12. 1 21. 0.10

中島の研吾	東京大学フューチャーセンター推進機構 運営委員会委員	25. 4. 1~27. 3.31
下面 划百	東京大学理学部 非常勤講師	
		26. 4. 1~26. 9.30
	東京大学 柏キャンパス共同学術経営委員会委員	26. 4. 1~27. 3.31
	独立行政法人理化学研究所 客員主管研究員 東北大学サイバーサイエンスセンター 大規模科学計算システム	26. 4. 1~27. 3.31
	東北人子サイハーサイエンスセンター 人規模科子計算システム 全国共同利用連絡会議委員	26. 4. 1~27. 3.31
		00 4 1- 07 9 91
	一般社団法人日本応用数理学会 代表会員 東京大学物性研究所 次世代スーパーコンピュータ戦略プログラ	26. 4. 1~27. 3.31
		00 4 1- 07 9 91
	ム分野 2 「計算物質科学イニシアティブ」(1)スパコン連携小委   員会委員	26. 4. 1~27. 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	
	(京都八子子附肩報グノイグ とング 主国共同利用連番委員会 委員	26. 4. 1~28. 3.31
	東京大学物性研究所 物性研究所附属物質設計評価施設スーパー	00 4 1- 00 9 91
	コンピュータ共同利用委員会委員	26. 4. 1~28. 3.31
	京都大学学術情報メディアセンター スーパーコンピュータ共同	26. 4. 1~28. 3.31
	研究企画委員会委員	20. 4. 1 20. 3.31
	筑波大学計算科学研究センター 共同研究委員会委員	26. 4. 1~28. 3.31
	東京大学キャンパス計画室 柏地区部会委員	26. 4. 1~28. 3.31
	一般社団法人日本計算工学会 理事	26. 5.20~28. 5.20
	東京大学工学部 非常勤講師	26. 10. 1~27. 3. 31
金田 康正	鶴岡工業高等専門学校 非常勤講師	26. 4. 8~26. 9.30
佐藤 周行	一般社団法人情報処理学会 SC 22/Fortran WG 小委員会委員	24. 4. 1~28. 3.31
	一般社団法人電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ	24. 5. $26 \sim 26$ . 5. 25
	研究専門委員会専門委員	24. 0.20 -20. 0.20
	東京大学大学院情報理工学系研究科 非常勤講師	26. 4. 1~26. 9.30
	大学共同利用機関法人情報システム・研究機構国立情報学研究所	26. 5.14~27. 3.31
	学術認証運営委員会委員	20. 0.14 27. 0.01
	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所	
	学術情報ネットワーク運営・連携本部 認証作業部会委員/高等教	26. 5.22~27. 3.31
	育機関における情報セキュリティポリシー推進部会委員	
	一般財団法人日本情報経済社会推進協会 平成 26 年度電子経済産	26. 9.29~27. 3.23
	業省構築事業 ID 連携トラストフレームワーク検討委員会委員	20. 0.20 21. 0.20
	一般社団法人情報処理学会 論文誌ジャーナル『Applications and	
	the Internet in Conjunction with Main Topics of COMPSAC 2014	26. 10. 17~27. 6. 15
	特集号編集委員	
	国際会議 COMPSAC Symposium on Novel Applications and	26. 11. 14~27. 7. 5
	Technology Advances in Computing General Chair	
	一般社団法人電子情報通信学会 Special Section on the	
	Architectures, Protocols, and Applications for the Future	27. 3. 5~28. 1. 1

## 委員会委員等

片桐 孝	学洋	独立行政法人理化学研究所 客員研究員	25. 4. 1~28. 3.31
		電気通信大学 非常勤講師	26. 4. 1~26. 9.30
		東京大学工学系研究科 非常勤講師	26. 4. 1~27. 3.31
		一般財団法人日本応用数理学会 代表会員	26. 4. 1~27. 3.31
		東京工業大学 学術国際情報センター共同利用専門委員会委員	26. 4. 1~27. 3.31
		東京大学教養学部 非常勤講師	26. 10. 1~27. 3. 31
		東京大学 柏キャンパス・リエゾン室室員	26. 4. 1~27. 3.31
大島 聡	8史	一般社団法人情報処理学会 論文誌コンピューティングシステム	25. 4. 1~27. 3.31
		編集委員会編集委員	25. 4. 1, 27. 5.51
		一般社団法人オープン CAE 学会 理事 (非常勤)	25. 6.21~26. 6.30
		東京大学 柏キャンパス・アメニティ室室員	26. 4. 1~27. 3.31
		文部科学省研究振興局 技術参与	26. 4. 1~27. 3.31
塙 銀	汝博	筑波大学計算科学研究センター 共同研究員	25. 12. 1~26. 11. 30
		筑波大学計算科学研究センター 共同研究員	26. 12. 1~27. 3. 31
伊藤 袀	羊司	独立行政法人理化学研究所 客員研究員	25. 4. 1~28. 3.31
		一般社団法人日本応用数理学会 2014年度年会実行委員	26. 4. 1~26. 9.30
		電気通信大学 非常勤講師	26.10. 1~27. 3.31
佐藤 芳	<b></b>	東京大学情報理工学系研究科 非常勤講師	26.10. 1~27. 3.31

## 講習会・セミナー

## 1. センター共通

講習会・セミナー名	開催日	参照頁
・拠点シンポジウム		p.35
第6回	7/10-11	
・コンピュータ・ネットワーク利用セミナー		p.336
(第82回)「平成26年度コンピュータネットワーク	11/18-20	
研修(東京大学技術職員研修)」講義		

## 2. 情報メディア教育研究部門・情報メディア教育支援チームによるもの

詩	<b></b> 野会・セミナー名	開催日	参照頁
・新規利用者向け講習	習会		p.293
本郷キャンパス	情報学環・福武ホール	4/1-8/8(平日),8/18-12/26(平日),1/5-2/20,3/2-3/31(平日)	
		合計468回(受講者が0は189回)	
	情報基盤センター	4/9	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 17, 21, 23, 25	
		5/1, 7, 12, 16, 22, 28	
		6/6, 12, 18, 24, 30, 7/10, 23 ,8/1, 21, 9/8, 24	
		10/6, 14, 22, 30, 11/7, 17, 12/2, 17	
		1/9, 19, 28, 2/12, 27, 3/10	
柏キャンパス	柏図書館	4/15(2回), 25(2回), 10/15(2回), 20(2回)	
出張講習会		4/1(2回), 4/2, 4/7(4回), 4/8(3回), 10/3	
・システム利用説明会	<u>수</u>		p.306
本郷キャンパス	情報基盤センター	9/26, 3/27	
駒場キャンパス	情報教育棟	9/25, 3/26	
·相談員説明会			
本郷キャンパス	情報基盤センター	4/9, 10/6	
駒場キャンパス	情報教育棟	4/10, 10/7	

## 3. 学術情報チームによるもの

講習会・セミナー名	開催 日	参照頁
・情報探索ガイダンス(テーマ別ガイダンス)		p.315
はじめての論文の探し方	4/9, 4/10, 4/15, 4/17, 5/8, 5/14	
論文準備ここからスタート	5/23, 5/27, 6/12, 6/20, 7/16, 9/2, 10/3, 10/15, 11/18, 1/21, 2/27, 3/12	
Google Scholar活用法	6/3	
国連情報の探し方入門	6/18, 11/20	
医学・生命化学系向け 論文準備ここからスタート	7/8	
論文投稿シミュレーション: JCRとRefWorksを使って	9/17	
就活の味方「eol」ミニ講座(昼休み20分)	10/10, 10/15, 10/20, 12/2, 12/17	
EndNote basic 講習会/トークセッション	11/5	
RefWorks 講習会/トークセッション	11/13	
RefWorks ミニ講座(昼休み30分)	12/3, 12/12, 1/15, 1/23	
卒業してからの文献検索・文献管理	12/5, 12/17, 1/14, 1/20, 2/12	-
・夜間ガイダンス		p.316
論文準備のための文献管理:Web of Science & RefWorks	7/9, 8/8, 10/16, 12/19, 3/19	
論文投稿シミュレーション:JCRとRefWorksを使って	9/18, 11/14	
卒業してからの文献検索・文献管理	1/15(中止), 3/5	
・留学生向け情報探索ガイダンス		p.317
韓国語コース	5/28	
中国語コース	10/21(同日2回開催)	
・外部講師による講習会		p.317
SciFinderで化学分野の情報検索をするには?	6/13, 6/24(柏図書館)	
LexisNexis Academicで海外の新聞記事を検索するには	6/17	
OECDの出版物や統計を探すには?OECD iLibrary講習会	6/19	
EndNote basic & EndNote講習会	6/30(医学図書館 同日2回開催), 8/6(医学図書館)	
アジア関連の日本歴史公文書をネットで見よう	7/3	
「研究戦略:研究力の測り方、伸ばし方」分析ツール SciVal講習会(教職員向け/博士課程・ポスドク・若手 研究者向け)	7/4(同日2回開催), 11/26(柏図書館)	
EndNote講習会/トークセッション(文献管理ツールクローズアップDays)	11/5	
Mendeley講習会/トークセッション(文献管理ツールクローズアップDays)	11/13	
Mendeley講習会	1/23, 2/19	
・秘書さんのためのはじめての論文の探し方講習会	8/8, 8/19	p.318
・出張・オーダーメイド講習会		p.318
オーダーメイド講習会		
学際情報学府、文学部、医学系研究科、教養学部、 理学部、工学系研究科/工学部、農学生命科学研究 科、附属病院、教育学研究科/教育学部、政策ビジョ ン研究センター	4/2, 4/14, 4/16, 4/18, 4/23, 4/24, 4/25, 4/28, 5/1, 5/12, 5/13, 5/27, 5/29, 6/3, 6/26, 7/1, 7/3, 7/14, 7/29, 10/2, 10/7, 10/9, 10/10, 10/28, 10/29, 10/31, 11/4, 11/10, 12/9, 12/16, 2/2, 2/9, 2/16, 2/17, 2/18	

附属図書館・室等との共催講習会		
総合図書館、農学生命科学図書館、生産研図書室、 先端研図書室、地震研図書室、薬学図書館、理学部 生物学科図書室、大学院数理科学研究科図書室、工 学情報理工学図書館、医学図書館、経済学図書館、 柏図書館、駒場図書館、医科学研究所図書室、キャ リアサポート室	4/3, 4/8, 4/9, 4/11, 4/14, 4/15, 4/16, 4/17, 4/18, 4/21, 4/23, 4/30, 5/13, 5/14, 5/16, 5/20, 5/21, 5/22, 5/26, 5/30, 6/4, 6/5, 6/9, 6/11, 6/25, 7/11, 7/15, 9/10, 9/17, 9/18, 9/19, 10/2, 10/8, 10/16, 10/17, 10/20, 10/21, 10/22, 10/23, 10/24, 10/28, 10/31, 11/10, 11/19, 12/9	
・セミナー		p.325
英語論文セミナー2014〜国際誌に投稿するために 知っておきたいこと〜	9/29	
英語論文はこわくない~書くためのポイント~ 駒場ライターズスタジオ in本郷 特別出張講座	11/21, 12/11	
論文執筆と著作権 ~知っておきたい基本の話~	1/29	
・質問受付ウィーク		p.326
【質問受付ウィーク】 文献管理ツールや文献検索の個別相談	8/25-29	
・ECCS新規利用者講習会福武追加プログラム	6/2, 6/16, 6/23, 6/30, 7/7, 7/14, 7/28, 8/4, 8/18, 8/25, 9/1, 9/8, 9/22, 10/6, 10/20, 10/27, 11/17, 12/1, 12/8, 12/15, 12/22, 1/19, 1/26, 2/9, 3/2, 3/9, 3/16	p.326

## 4. ネットワーク研究部門・ネットワークチームによるもの

	講習会・セミナー名	開催日	参照頁
• UTnet Meeting			p.336
第12回		10/16	

## 5. スーパーコンピューティング研究部門・スーパーコンピューティングチームによるもの

講習会・セミナー名	開催日	参照頁
・お試しアカウント付き並列プログラミング講習会		p.373
第36回	5/20-21	
第37回	6/18-19	
第38回	9/1-2	
第39回	9/10-11	
第40回	10/7-8	
第41回	11/11-12	
第42回	2/18	
第43回	3/9-10	
第44回	3/26-27	
・先進スーパーコンピューティング環境研究会(ASE研究会	会)	p.382
第18回	9/18	
第19回	9/22	
・その他		
T2Kオープンスパコン運用終了記念シンポジウム	5/30	p.380
2014 RIKEN AICS HPC Summer School	8/4-8	p.378
2015 RIKEN AICS HPC Spring School	3/4-6	p.378

## 報道関係一覧

## ネットワーク研究部門

- [報道 1] ITPro ACTIVE 2014 年 12 月 16 日東大と OSIsoft など、気象ビッグデータの時空間 統合可視化システムを構築 http://itpro.nikkeibp.co.jp/atclact/activer/nkpr/RSP376191 16122014/
- [報道 2] 日刊工業新聞 Business Line 2014 年 12 月 24 日東大、「ソラテナ」使い気象データを可視化―時間と空間情報を統合的に分析 http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0720141224eaas.html

## スーパーコンピューティング研究部門

- [報道 1] マイナビニュース 2014 年 4 月 17 日 GTC 2015 東大/筑波大の Tightly Coupled Accelerator「システム構成編」http://news.mynavi.jp/articles/2015/04/15/gtc2015\_tca01/
- [報道 2] マイナビニュース 2014 年 4 月 17 日 GTC 2015 東大/筑波大の Tightly Coupled Accelerator「TLAの性能編」http://news.mynavi.jp/articles/2015/04/15/gtc2015\_tca02/

# 東京大学情報基盤センター年報 2014 年度(第 16 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、佐藤 一誠、大島 聡史、佐藤 芳樹、新井 忠、

平野 光敏、増田 均、本多 玄、藤田 英子、井爪 健雄、

丸山 忍、清水 隆志

## 発 行

東京大学情報基盤センター 〒 113-8658 東京都文京区弥生 2-11-16 電話 03-5841-2710

