

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」
研究課題「ポストペタスケールシステムにおける
超大規模グラフ最適化基盤」

研究終了報告書

研究期間 平成23年10月～平成29年3月

研究代表者：藤澤克樹
(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

2017年頃に登場予定の次世代ポストペタスケールスパコンは極めて高い性能を期待できる一方で、活用のための技術的な課題が多数存在する。本研究では以下の2課題の解決に重点を置く。具体的には近年、注目度が高まりつつある大規模なグラフデータの解析システムを題材として、アプリケーショングループと基盤ソフトグループの Co-Design 等によって、これらの課題に対する解決策を探索していく。

- 並列数の爆発的増大及び不均質化や高密度化による性能向上の困難性
- 記憶装置の多階層化・大容量化への対応

本チームは以下の3グループで構成されている。

- アプリケーション開拓: 藤澤 G (最適化問題と産業応用)
- 基盤ソフト開発: 鈴木 G (リアルタイムグラフストリーム処理), 佐藤 G (階層型グラフストア)

これまでの主要な成果はスカラプロセッサ及びアクセラレータ等から構成される不均質な大規模並列環境における数値最適化及びグラフ解析ソルバの開発と評価である。例えば Graph500 ベンチマークで世界一の性能となったグラフ探索ソルバでは藤澤 G による計算とデータ移動に関する最適化モデル、鈴木 G による大規模スレッドライブラリ及び佐藤 G による多階層グラフストア等の技術を組み込んでいる。

具体的には 5.5 年間の研究活動の中で以下の成果を得た(図 1)。

1. アクセラレータ等による大規模かつヘテロな環境下における世界最高性能の大規模グラフ解析及び数値最適化システムの開発と評価

- Graph500 (<http://www.graph500.org>) ベンチマークは並行探索、最短路探索をはじめとする最適化、極大独立集合などのグラフ解析, などの複数のグラフ処理カーネルからなるベンチマークであり、単位電力あたりのグラフ探索の性能(TEPS/W)を評価しランキングを行う。
- 超大規模ネットワーク(数兆頂点)に対する解析アルゴリズムの高速実装
 - Graph500 ベンチマーク 4 期連続(通算 5 期) 世界第 1 位
 - GreenGraph500 ベンチマーク 7 期連続世界第 1 位
- 世界最高性能の並列最適化ソルバの開発:
 - 大規模な数値最適化問題 (半正定値計画問題: SDP) に対する並列ソルバの開発と評価。SDP は現在最も注目されている数値最適化問題の一つであり、組合せ最適化、データマイニング、量子化学, 制御分野など非常に幅広い応用を持っている。世界最高性能の並列ソルバの開発に成功し、東工大スパコン TSUBAME2.5 上で 1.774PFlops (4080GPU) を達成した。
- 多階層のメモリ・ストレージを考慮した超大規模グラフ処理の実現
 - 多階層・分散メモリ上での超大規模グラフのデータ管理
 - PGAS を考慮した超大規模グラフ処理向け I/O インターフェース

2. ポストペタスパコンを用いた新しい産業応用の開拓

- スマートシティ実現のための社会基盤システムとして、道路や電力網などのインフラを含めた都市計画への活用から、ヒト/モノの動きの解析まで多岐にわたる課題を解決していくことを目的とする。特にヒトやモノの移動性(モビリティ)に関する数値モデルの構築と分類されたデータの活用、また高速計算手法の開発と検証に重点をおいて、意思決定のために許容される時間に応じた多階層型のデータ解析及び最適化システムの構築を行う。関連するプロジェクトや民間企業とも連携し、グラフ解析や数値計画問題等の活用で人流と交

通流など多種データの複雑な条件の最適化を行うための都市における社会実装を推進している。

- CPS(Cyber Physical System)とビッグデータ活用による都市 OS の開発
- 産官学連携のためベンチャー企業創立(株式会社 ABC Wells)

本研究成果の概要と実社会への応用

1. 最先端理論(Algorithm Theory) + 大規模実データ(Big Data) + 最新計算技術(Computation)による超大規模問題の解決
2. 超大規模ネットワーク(数兆頂点)に対する解析アルゴリズムの高速実装
Graph500 ベンチマーク 3 期連続(通算4 期) 世界第1 位
3. 適口が期待される多くの分野
 - ・ 防災計画策定、交通・災害復興・避難・ロジスティクス
 - ・ エネルギー資源の確保や省エネルギーや最適供給(スマートグリッド)
 - ・ 今後注目の分野: 疫病の拡散、人口の増減、経済動向等の分析。生命科学系(創薬、遺伝子)。ビジネス系(金融、データマイニング)

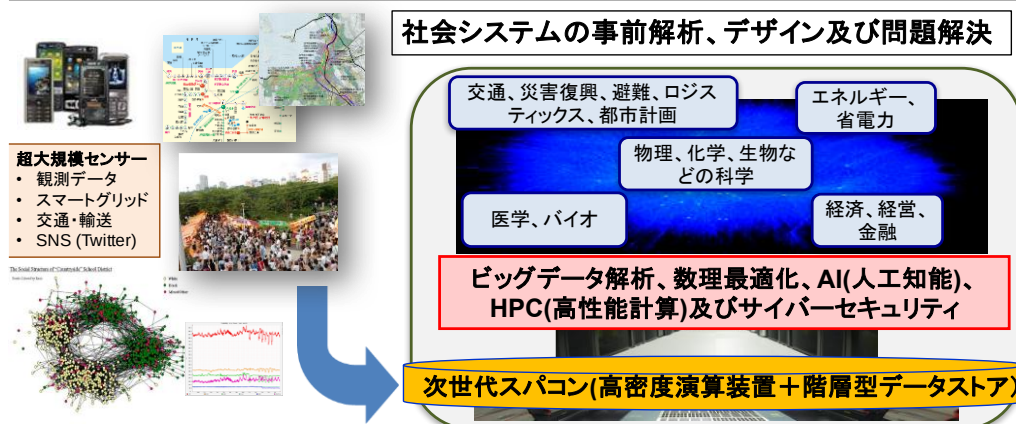


図 1: 本研究成果の概要と実社会への応用

(2) 顕著な成果

< 優れた基礎研究としての成果 >

1.

概要:

アクセラレータ等から構成される不均質な大規模並列環境における超大規模並列グラフ探索。データ構造の工夫とグラフの特性を考慮した探索アルゴリズムの開発により、計算量と通信データ量の削減に成功し、第 8,10,11,12,13 回 Graph500 ベンチマークにおいて世界1位を達成した(京コンピュータを使用)。またメモリの多階層化を考慮することによって、高速性と省電力性を両立したアルゴリズムに提案と評価を行った(第 1~7 回 Green Graph 500 ベンチマークにおいて世界1位を達成した)。

2.

概要:

大規模な数値最適化問題(半正定値計画問題: SDP)に対する並列ソルバの開発と評価。SDP は現在最も注目されている数値最適化問題の一つであり、組合せ最適化、データマイニング、量子化学、制御分野など非常に幅広い応用を持っている。今回、計算量とデータ移動量の正確な推定、疎性やサイズなどのデータ特性と性能値の見極め等のアルゴリズムを開発することによって、世界最高性能の並列ソルバの開発に成功し、東工大スパコン TSUBAME2.5 上で 1.774PFlops(4080GPU)を達成した。

3.

概要:

ポストペタスケールの超並列環境向けのグラフ処理の要素技術として、GPU や不揮発性メモリを考慮した MapReduce に基づくグラフ処理に対して、メモリの階層性を考慮した最適なデータ配置・管理を行うことにより、メモリの容量を超えるサイズのグラフデータに対しても out-of-core 処理で高速な実行が行える実装を開発してきた。また将来のメモリ階層が深化した計算機アーキテクチャ(DRAM と Flash 混在型のユニバーサルメモリや STT-MRAM, ReRam, PCM, FeRAM などの次世代 NVM)を想定し、out-of-core 処理に向けた安定化、最適化を進めた。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1.

概要:

スパコンの新しい産業応用の促進、具体的にはヒト、モノ、エネルギー及び情報の移動性（モビリティ）に関する最適化やシミュレーションを対象とする。具体的には以下の多階層ソフトウェアの整備を行った。

- グラフ解析アルゴリズムの実行： 最短路計算、ネットワーク内での各点の重要度を推定。各点の広域内における影響（情報の伝播力）を計算重要して、要素を失うことなくデータ量を削減する。
- 数理最適化アルゴリズムの実行： 施設配置問題、集合被覆（分割）問題、スケジューリング、配送計画問題などの数理最適化問題として解決する。

2.

概要:

第5期科学技術基本計画では IoT や AI さらに BigData の活用によってインテリジェンスを有している社会で人間が豊かに暮らすという超スマート社会の実現を目指す Society 5.0 が推進されている。これに関連して、次世代 AI に対する取り組みとして、ヒト・モノの移動に関する数理・物理モデルによる現象の表現・再現・予測に取り組んでおり、現在の AI が不得意とする見えないデータ・過去のデータにない現象に対して最先端理論(Algorithm Theory) + 大規模実データ(Big Data) + 最新計算技術(Computation)で予測や制御を可能するための研究を多数の民間企業と推進した。

3.

概要:

多方面の応用分野において必要となるグラフ解析アルゴリズムを多数備えた大規模グラフ処理ライブラリ ScaleGraph の開発と公開。現在のグラフ解析ツールにおいては標準的な機能となっている PageRank、最短路、重要性指標のアルゴリズム等に加えて、高速な疎行列ベクトル積など HPC 技術による大規模な並列性を備えている点が他のツールと異なる大きな特徴になっている。ScaleGraph は PGAS 言語 X10 を用いて一元的に記述されているため、1台の PC からスパコンまで利用することが可能である。

§ 2 研究実施体制

(1)研究チームの体制について

①「大規模最適化」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
藤澤 克樹	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所	教授	H23.10～
秋葉 拓哉	国立情報学研究所プリンシプル研究系	助教	H24.4～
梅田 貴大	中央大学理工学部	B4	H25.4～H26.3
金子 有旗	九州大学大学院数理学府	M1	H27.1～
神山 直之	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所	准教授	H23.10～
吉良 知文	中央大学研究開発機構	専任研究員	H24.4～H24.10
小島 政和	中央大学研究開発機構	機構教授	H24.4～H25.3
齋藤 凌大	九州大学大学院数理学府	M1	H27.2～
境井 智子	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所	テクニカルスタッフ	H27.11～
坂本 泰章	九州大学大学院数理学府	M1	H26.11～
品野 勇治	ドイツ国立研究所 Zuse Institute Berlin	研究員	H23.10～
島崎 裕崇	中央大学大学院理工学研究科	M2	H24.4～H26.3
下平英寿	大阪大学・大学院基礎工学研究科	教授	H23.10～H26.3
高松 瑞代	中央大学理工学部	准教授	H23.10～
池 光龍	東京工業大学・大学院社会理工学研究科人間行動システム	D1	H24.10～H26.9
鳥海 重喜	中央大学理工学部	准教授	H23.10～
中田 真秀	理化学研究所 情報基盤センター	研究員	H23.10～
成澤 龍人	中央大学大学院理工学研究科	M2	H24.4～H26.3

前原 貴憲	静岡大学工学部数理システム工学科	助教	H25.10～
秦 希望	九州大学大学院数理学府	M1	H26.11～
細部博史	法政大学 情報科学部 デジタルメディア学科	教授	H24.4～H26.3
村田剛志	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	准教授	H24.4～H26.3
安井 雄一郎	九州大学マス・フォア・イン ダストリ研究所	テクニカルス タッフ	H25.4～H27.3
脇 隼人	九州大学マス・フォア・イン ダストリ研究所	准教授	H26.4～
脇田 建	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	准教授	H23.10～

研究項目

- ・超大規模データを伴う最適化問題に対する高速計算システムの構築と評価
- ・高速グラフ探索アルゴリズム開発
- ・超並列スレッドを用いた数理計画問題に対する高性能ソルバの開発
- ・実グラフデータを用いた実証実験
- ・グラフ解析及び数理最適化を用いた新しい産業応用の開拓と促進

・

②「大規模グラフ処理系」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
鈴木豊太郎	Barcelona Supercomputing Center (Spain)	客員研究員	H25.10～
Anish MS Shrestha	東京工業大学	D3	H23.10～H24.3
Anthony Ventresque	University College Dublin	Researcher	H25.10～
Bryan Then	University College Dublin	M1	H27.7～H28.3
Chao Chen	University College Dublin (Ireland)	M1	H27.6～
Charuwat Houngkaew	東京工業大学大学院	M2	H25.10～H26.3

Cheng Bo	University College Dublin	修士	H26.6～H27.3
Chun-Fu Chen	National Cheng Kung University	博士課程	H27.8～
Cristina Montanola	Barcelona Supercomputing Center (Spain)	研究員	H26.2～
Dario Garcia-Gasulla	Barcelona Supercomputing Center (Spain)	研究員	H26.8～
Derek Greene	University College Dublin (Ireland)	研究員	H26.2～
Elvis Liu	Nanyang Technological University (Singapore)	Assistant Professor	H25.10～
Georgios Theodoropoulos	Durham University (UK)	研究員	H26.2～
Hao Wu	University College Dublin	修士 1 年	H28.1～
Ingrid Ribeiro Galvez	University College Dublin	修士	H26.6～H27.3
Jinghui Lu	University College Dublin	修士 1 年	H28.1～
Kevin Heffernan	University College Dublin	修士 1 年	H27.7～H28.3
Miyuru Dayarathna	WSO2 (Sri Lanka)	研究員	H23.10～
Mukul Goel	University College Dublin (Ireland)	学生	H26.6～H26.9
NGUYEN DUONG TUAN	東京工業大学	B4	H24.1～H25.3
NGUYEN THIEN BAO	東京大学	M1	H24.4～H25.9
Nguyen Tien Haong Vu	東京工業大学	M1	H23.10～H25.3
Nguyen Tien Haong Vu	東京工業大学	M1	H23.10～H25.3
Nikhil Chudekar	University College Dublin	修士	H26.12～H28.3

Sixun Ouyang	University College Dublin	修士 1 年	H28.1～
Stanislav Sobolevsky	Massachusetts Institute of Technology (US)	研究員	H26.2～H27.3
Ulykbek Shambulov	University College Dublin (Ireland)	修士 1 年	H27.6～
Vanessa Busing	Barcelona Supercomputing Center (Spain)	学生	H26.8～H27.3
Vinod Dsouza	University College Dublin (Ireland)	修士 1 年	H27.6～
Vinod Madan	University College Dublin (Ireland)	学生	H26.6～H27.3
Vishnu Suresh	University College Dublin	修士 1 年	H27.7～H28.3
Zihui Li	University College Dublin (Ireland)	修士 1 年	H27.6～
石井敦志	東京工業大学	M2	H24.1～H25.3
井沼安広	東京大学	M2	H24.1～H25.9
井村実希治	東京工業大学	B3	H25.7～H25.9
上野晃司	フィックスターズ	研究員	H25.10～
岡田瑞穂	東京工業大学	M2	H25.10～H26.3
小川真司	東京工業大学	B2	H25.9～H25.9
雁瀬 優	東京工業大学	M2	H23.10～H25.3
桐山裕匡	東京工業大学	B3	H25.5～H25.9
児玉 快	東京工業大学	M1	H25.4～H25.9
齋藤 誠	東京工業大学	B1	H25.7～H25.9
滝澤真一郎	東京工業大学	特任助教	H23.10～
橋川寛士	東京工業大学	B4	H23.10～H25.3
松浦紘也	東京工業大学	M2	H23.10～H24.3
渡部 優	東京工業大学大学院	M2	H23.10～H26.3
王 晗駿	東京工業大学	M1	H24.1～H25.9
華井 雅俊	東京工業大学	学生	H27.8～

岸本祥吾	東京工業大学	B3	H25.3～H25.9
岩崎勇次	東京工業大学	B3	H25.3～H25.9
金刺 宏樹	東京工業大学	博士過程	H25.10～
五十嵐裕紀	東京工業大学	B4	H24.4～H25.9
山岸ひな多	University College Dublin	技術員	H26.10～
酒本典明	東京工業大学	B4	H24.4～H25.9
舟木亮介	東京工業大学	B1	H25.7～H25.9
小形英史	東京工業大学大学院	M1	H24.1～H26.3
西井俊介	ノリタケ伊勢電子株式会 社 大宮事業所	会社員	H24.4～H25.3
青柳悠太	東京工業大学	B4	H24.1～H25.9
青柳悠太	東京工業大学	B4	H24.1～H25.9
竹野創平	東京工業大学	B4	H23.10～H25.9
中島梨沙	University College Dublin	技術員	H26.10～H27.4
朝倉 泉	東京工業大学	B4	H24.1～H25.9
椎野弘章	東京工業大学	M2	H24.4～H25.9
土屋 圭	東京大学	M2	H24.1～H25.9

研究項目

- ・リアルタイム大規模グラフストリーム処理系及びグラフ最適化ライブラリの開発
- ・X10 言語上の大規模グラフ処理ライブラリの設計 ・ 開発
- ・大規模グラフストリーム処理系設計・開発
- ・高速グラフ探索アルゴリズム及び数理計画問題の高性能ソルバの X10 による実装
- ・実グラフデータを用いた実証実験及び性能最適化

③「大規模グラフストア」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
佐藤 仁	東京工業大学	特任助教	H23.10～
上野 晃司	東京工業大学	D4	H27.4～

遠藤 敏夫	東京工業大学	准教授	H23.10～
小川 真司	東京工業大学	M1	H27.7～
佐藤 賢斗	東京工業大学	D3	H23.10～H24.3
下平英寿	大阪大学・大学院基礎工学研究科	教授	H23.10～
社本 秀之	東京工業大学	M2	H26.4～H28.3
徐 天棋	東京工業大学	D2	H26.4～
鈴木 豊太郎	University College Dublin	客員准教授	H27.4～
細部博史	法政大学 情報科学部 デジタルメディア学科	教授	H23.10～
村田 剛志	東京工業大学	准教授	H23.10～
山本 玲子	東京工業大学	産学官連携 教育研究支援員	H24.4～
脇田 建	東京工業大学	准教授	H23.10～
永山奏人	東京工業大学	M1	H27.7～
華井 雅俊	東京工業大学	D4	H27.11～
岩渕 圭太	東京工業大学	D3	H24.11～
金刺 宏樹	東京工業大学	D1	H27.4～
溝手 竜	東京工業大学	産学官連携 教育研究支援員	H25.1～
佐藤 賢斗	ローレンス・リバモア国立 研究所	研究員	H26.4～
斎藤 貴文	東京工業大学	M2	H23.10～H25.3
星野 友宏	東京工業大学	M1	H27.7～
太田尚博	東京工業大学	M2	H27.4～H28.3
池 光龍	東京工業大学・大学院 社会理工学研究科人間 行動システム	D2	H24.10～
張 家悦	東京工業大学	M2	H23.10～H24.4

長坂 侑亮	東京工業大学	M1	H25.1～H26.3
白幡 晃一	東京工業大学	D3	H23.10～H27.3

研究項目

- ・大規模グラフ処理向けデータストアの開発
- ・大規模グラフストア設計、プロトタイプ実装
- ・グラフ I/O ライブラリ開発（X10 ベース）、グラフ I/O 最適化アルゴリズム開発
- ・性能最適化 ・ 安定化
- ・他コンポーネントとの統合

④「対話型閲覧システム」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
脇田 建	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	准教授	H23.10～H27.3
大谷桂介	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H25.3
桂 悠哉	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H25.3
北津留秀	東京工業大学・大学院 社会理工学研究科	M2	H23.10～H26.3
高見将則	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H26.3
高見将則	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H26.3
高柳 亘	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H26.3
水谷裕真	東京工業大学・大学院 理学部情報科学科	B4	H23.10～H25.3
Amjad Twalo	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H24.4～H26.3
Charuwat Houngkaew	東京工業大学	D1	H23.10～H26.3
Cristina Montanola	Barcelona Supercomputing Center (Spain)	研究員	H26.8～H27.3
Dario Garcia-Gasulla	Barcelona Supercomputing Center (Spain)	学生	H26.8～H27.3
Elvis Liu	Nanyang Technological University (Singapore)	研究員	H26.8～H27.3
Hajra Klair	東京工業大学	M1	H26.4～H27.3

Kaelkrittaya Trurktham	東京工業大学	M1	H26.4～H27.3
Liu Xin	東京工業大学・大学院情報理工学研究科	産学官連携研究員	H24.7～H26.3
Miyuru Dayarathna	Nanyang Technological University (Singapore)	研究員	H23.10～H27.3
Mukul Goel	University College Dublin (Ireland)	学生	H26.8～H26.9
NGUYEN DUONG TUAN	東京工業大学	B4	H24.1～H24.3
Nguyen Tien Haong Vu	東京工業大学	M1	H23.10～H24.3
Pham Thongthe	大阪大学・大学院基礎工学研究科	D1	H24.4～H26.3
Phiradet Bangcharoensap	東京工業大学	M1	H26.4～H27.9
Smith Gulati	東京工業大学	M1	H26.4～H27.9
Sorn Jarukasemratana	東京工業大学・大学院情報理工学研究科	D3	H23.10～H26.9
Supaporn Spanurattana	東京工業大学・大学院情報理工学研究科	D3	H23.10～H25.9
Vanessa Busing	Barcelona Supercomputing Center (Spain)	学生	H26.8～H27.3
Vinod Madan	University College Dublin (Ireland)	学生	H26.8～H27.3
石井敦志	東京工業大学	M2	H24.1～H24.3
井沼安広	東京大学	M1	H24.1～H24.3
井村実希治	東京工業大学	B4	H25.10～H26.3
上野晃司	東京工業大学	D2	H23.10～H24.3
岡田瑞穂	東京工業大学	M2	H24.4～H26.3
小川真司	東京工業大学	B3	H25.10～H27.3
雁瀬 優	東京工業大学	M2	H23.10～H24.3
桐山裕匡	東京工業大学	B4	H25.10～H26.3
齋藤 誠	東京工業大学	B2	H25.10～H27.3
下平英寿	大阪大学・大学院基礎工学研究科	教授	H23.10～H27.3

徐 駿剣	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M1	H24.10～H26.9
鈴木豊太郎	University College Dublin	客員准教授	H23.10～H24.3
橋川寛士	東京工業大学	B4	H23.10～H24.3
細部博史	法政大学 情報科学部 デジタルメディア学科	教授	H23.10～H27.3
村田剛志	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	准教授	H23.10～H27.3
山本 玲子	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	産学官連携 技術員	H24.4～H26.3
渡部 優	東京工業大学	M2	H23.10～H26.3
永田晴久	大阪大学・大学院基礎 工学研究科	D2	H23.10～H27.3
王 晗駿	東京工業大学	B4	H24.1～H26.3
岸本祥吾	東京工業大学	B4	H25.10～H27.3
岩崎勇次	東京工業大学	B4	H25.10～H27.3
吉崎一海	東京工業大学・理学部 情報科学科	M1	H25.4～H27.3
金刺宏樹	東京工業大学	M2	H23.10～H24.3
金城憲長	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H25.3
山野花穂	東京工業大学	B3	H26.2～H27.3
舟木亮介	東京工業大学	B2	H25.10～H26.3
小形英史	東京工業大学	M2	H24.1～H24.3
森田晃平	東京工業大学	B1	H26.7～H27.3
杉原 貴彦	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H25.3
青柳悠太	東京工業大学	B3	H24.1～H24.3
川崎 亮	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H24.10～H27.3
大澤 翔吾	東京工業大学	M2	H26.4～H27.3

池 光龍	東京工業大学・大学院 社会理工学研究科人間 行動システム	M2	H24.10～H26.9
池松恭平	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H26.3
竹野創平	東京工業大学	B3	H23.10～H24.3
仲田 圭佑	東京工業大学	M2	H26.4～H27.3
朝倉 泉	東京工業大学	B3	H24.1～H24.3
長谷川大修	東京工業大学	B2	H26.2～H27.3
渡佑也	東京工業大学	B3	H26.7～H27.3
土屋 圭	東京大学	M1	H24.1～H24.3
甫水佳奈子	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H23.10～H25.3
劉 惟楚	東京工業大学・大学院 情報理工学研究科	M2	H24.4～H26.3

研究項目

- ・ 超大規模グラフ向けの対話型閲覧システムの開発
- ・ グラフクラスタリング
- ・ 高次元レイアウトシステム
- ・ ユーザインタフェース開発

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

① 大規模グラフ解析及び数値最適化ソフトウェアの開発と評価

- JST CREST 「ポストペタスケール時代のメモリ階層の深化に対応するソフトウェア技術」と次世代メモリーアーキテクチャを支えるシステムソフトウェアに関して連携を行っている。
- JST CREST 「EBD: 次世代の年ヨッタバイト処理に向けたエクストリームビッグデータの基盤技術」とビッグデータ処理を指向したスーパーコンピュータの設計に関して連携を行っている。
- ドイツ国立研究所 ZIB (Zuse Institute Berlin) : 混合整数計画問題に対する並列ソルバの開発
- 欧州の様々な研究機関と協業し、大規模グラフ処理に関する連携を図っている。具体的には、スイス連邦工科大学ローザンヌ校 (EPFL), バルセロナ・スーパーコンピューティングセンター、デルフト工科大学、シンガポール・南洋理工大学 (NTU) とグラフ処理ライブラリに関する協業を実施しており、米国 MIT、スイス連邦工科大学チューリッヒ校 (ETH), 英国ダラム大学とは大規模グラフ応用に関して議論を行っている(図2: 大規模グラフ処理に関して連

携を行う研究機関)



図2: 大規模グラフ処理に関して連携を行う研究機関

- ファーウェイ・ジャパン社、日本オラクル社、日本 HP 社よりサーバを借用し、グラフ処理の評価を行っている。
 - フュージョン I/O 社より、フラッシュデバイス制御のための SDK 提供を受けて、性能評価を進めている。
- ② 大規模グラフ解析及び数値最適化ソフトウェアの実問題に対する適用
- JST COI プログラム（九州大学:共進化社会システム創成拠点）：グラフ探索及び数値最適化ライブラリによる大規模グラフ処理基盤の構築と実データによる評価
 - 国内の研究機関（九州大学生体防御医学研究所や産業技術総合研究所人工知能研究センターや統計数理研究所など）
 - 国内の企業（NTT 研究所, パナソニック, NEC 研究所, 日立中央研究所, 富士通研究所, Yahoo! Japan 研究所, 住友電工等）との社会実装及びビジネス化の推進。製造業や ICT 系だけでなく、サービス業（小売：リテール系など）や金融業（株価予測）との連携を推進する。また国内外における企業・研究機関（理化学研究所、統計数理研究所、国立情報学研究所など）との共同研究も推進する。具体的には世界的な ICT ベンターである HPE (Hewlett Packard Enterprise) 研究所や SGI とのソフトウェア開発を行う。

§ 3 研究実施内容及び成果

3. 1 大規模最適化(九州大学 藤澤グループ)

(1)研究実施内容及び成果

大規模かつ複雑な最適化問題を高速に解く需要は産業界や学術分野において急速に高まりつつある。実社会において要求される大規模最適化問題を解決するためには、短時間に膨大な計算量とデータ量を処理するための新技術が必要となる。しかし、現在の最適化理論とソフトウェア実装方法では数千万規模の並列性を備えているポストペタスケールシステム上でのスケーラブルなソフトウェアの並列実行は困難であり、アルゴリズムとシステムソフトウェアの同時並行的な解決が求められている。そのため理論的性能限界等からボトルネック箇所を特定、数値演算能力とメモリバンド等のトレードオフ関係を把握、計算量とデータ移動量の正確な推定、疎性やサイズなどのデータ特性と性能値の見極めなどに関する研究開発を行い、成果物をソフトウェアとして公開するだけでなく、次世代スパコン上での実装

方式についても探求を行う。

超大規模データを伴う最適化問題に対する高速計算システムの構築と評価をおこなう。ポストペタスケール計算機に対応できる基盤ソフトを研究開発し、今後予想され得る実データの大規模化及び複雑化に対処可能かつ世界最高レベルの性能を持つ最適化ソフトウェアの作成を目標とする。また将来のエクサスケール時代を見越して、これらのソフトウェアが必要とするハード及びソフト面への要求に対して、定性的&定量的な評価を行う。具体的には以下の方針で研究を実施する。

- スカラープロセッサ及びアクセラレータ等から成る不均質でかつ分散共有メモリから成る大規模並列環境における数値最適化及びグラフ解析ソルバの開発
- 社会的にもインパクトが大きく、期待度の高い大規模グラフ解析を必要とするアプリケーションの新規開拓を行う

I: 大規模グラフに対する高速かつ省電力な並列グラフ探索ソフトウェアの開発（藤澤グループと鈴木グループと佐藤グループによる共同研究）

新しいスーパーコンピュータの応用として大規模なグラフ解析が注目を集めている。グラフは点集合と枝集合から構成される。具体的には図3のように様々な応用分野において解析の対象とする事象の関係（Relationships）を点と枝で表現していく。例えば道路交通ネットワークでは点は交差点、枝は交差点間の道路に該当する。また Twitter などのソーシャルネットワークの解析では、点はユーザ、枝はユーザ間のフォロー関係（あるいはメッセージ送信）などに関連させることが多い。さらに各枝を連結させてグラフを構成して（Step 1）、目的に応じて最短路検索などのグラフ解析を行う（Step 2）。またグラフ解析の結果は元の応用問題の分析や理解のために使用される（Step 3）。実際にカーナビゲーションシステムでは道路ネットワークがグラフデータとして内蔵されていて、ユーザの指示に応じて出発地点と目的地点間の最短路検索を行っている。このように社会における実データをグラフデータに変換して、計算機で高速処理する需要が非常に高まっている。

スパコンのベンチマークテストでは Top 500 が有名である。Top 500 では主に数値計算能力が測定されます。今日ではスパコンの応用が幅広い分野に及び、交通ネットワーク分析やソーシャルネットワーク解析で注目されている大規模グラフ解析などのビッグデータ処理用途においては Top 500 の結果を用いて計算機評価を行うことが難しくなっている。

そのため、スパコンの大規模データ処理性能を計測する Graph 500（注1）ベンチマークテストが 2010 年より開始された。また、Green Graph500（注2）は Graph500 と同じくグラフ探索性能を競うベンチマークテストであり、昨今の厳しい電力事情を考慮すると、性能と同時に省電力性も極めて重要であり、今回の省電力グラフ探索の技術の多方面への応用が期待されている。

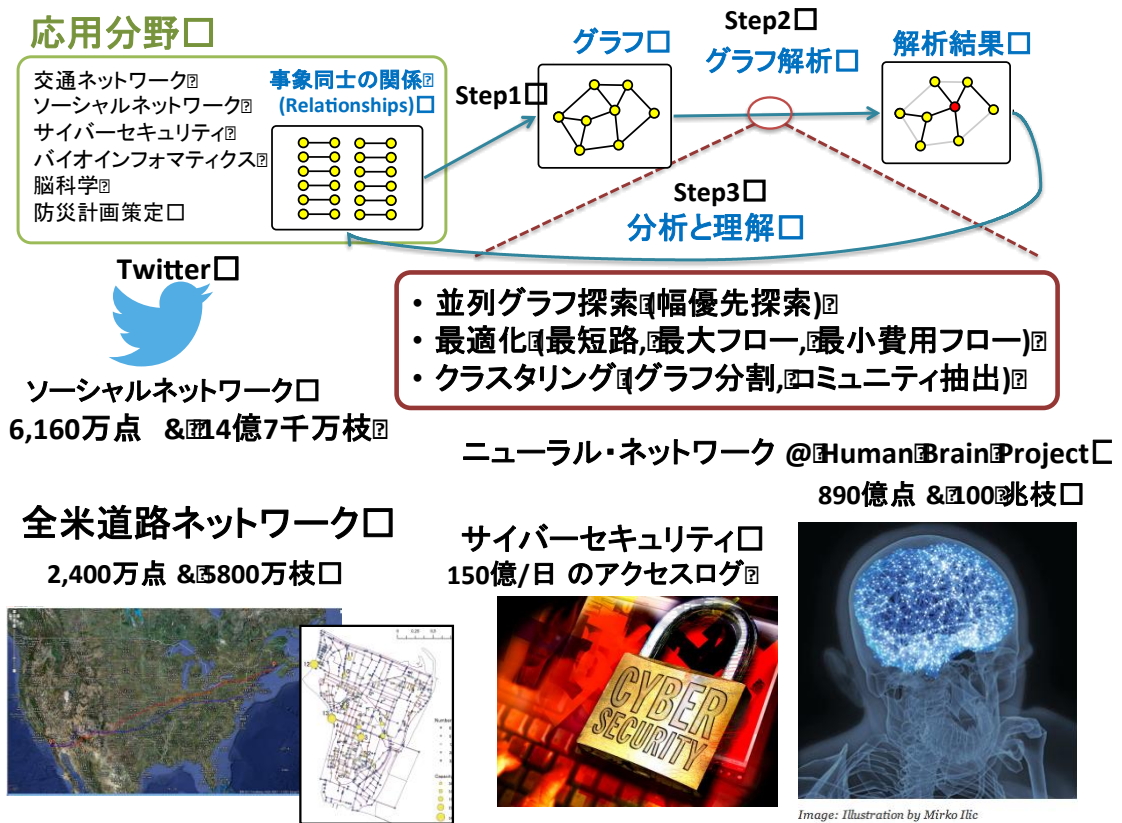


図 3：グラフ解析の利用方法と応用分野

(注1) Graph500 : 幅優先探索によって1秒間に探索したグラフのエッジ (枝) の数が指標として用いられる。具体的には単位指標は TEPS (Traversed Edges Per Second) が用いられ、TEPS 値が高ければ、高速にグラフ探索を行うことができることを意味する。

Web サイト: <http://www.graph500.org/>

(注2) Green Graph500 : 単位指標は TEPS / W (Traversed Edges Per Second / Watt) が用いられ、TEPS / W 値が高ければ、単位消費電力あたりのグラフ探索性能が高い、つまり省電力性能が高いことを意味する。Green Graph500 では処理する対象となるグラフの規模に応じてビッグデータ部門とスモールデータ部門に分かれている。

Web サイト: <http://green.graph500.org/>

藤澤グループと鈴村グループと佐藤グループによる共同研究チームは、次世代のスパコン上で大規模なグラフの高速な探索処理を行うソフトウェアの開発を 2011 年から進めてきた。冗長なグラフ探索を削減するアルゴリズムの利用、数千～数万台規模が高速なネットワークで接続された超並列計算機上での通信性能の最適化、マルチコアプロセッサ上でのメモリへのアクセス最適化、フラッシュデバイスの利用による大規模グラフ処理と高性能化の両立などの先進的なソフトウェア技術を高度に組み合わせることにより、モバイルデバイスからスパコンまでの様々なコンピュータ上での高速かつ省電力なグラフ処理

を可能にしている。本年（国際会議 ISC16, 2016 年 6 月）、独自に開発したソフトウェアを用いて、大規模なグラフを解くことでスパコン上のビッグデータ処理を計測する Graph500、及び、その省電力性を計測する Green Graph500 ベンチマークを様々な研究機関や企業の協力と支援によって実施した結果、両者において世界第 1 位の高成績を達成した。当 CREST チームでは国内のスパコン（京コンピュータ、東工大 TSUBAME, 東大 FX10 等）を活用して、以下の図 4 のように京コンピュータで世界 1 位（第 8,10,11,12,13 回 Graph500 ベンチマーク）等の優れた成果を挙げた。

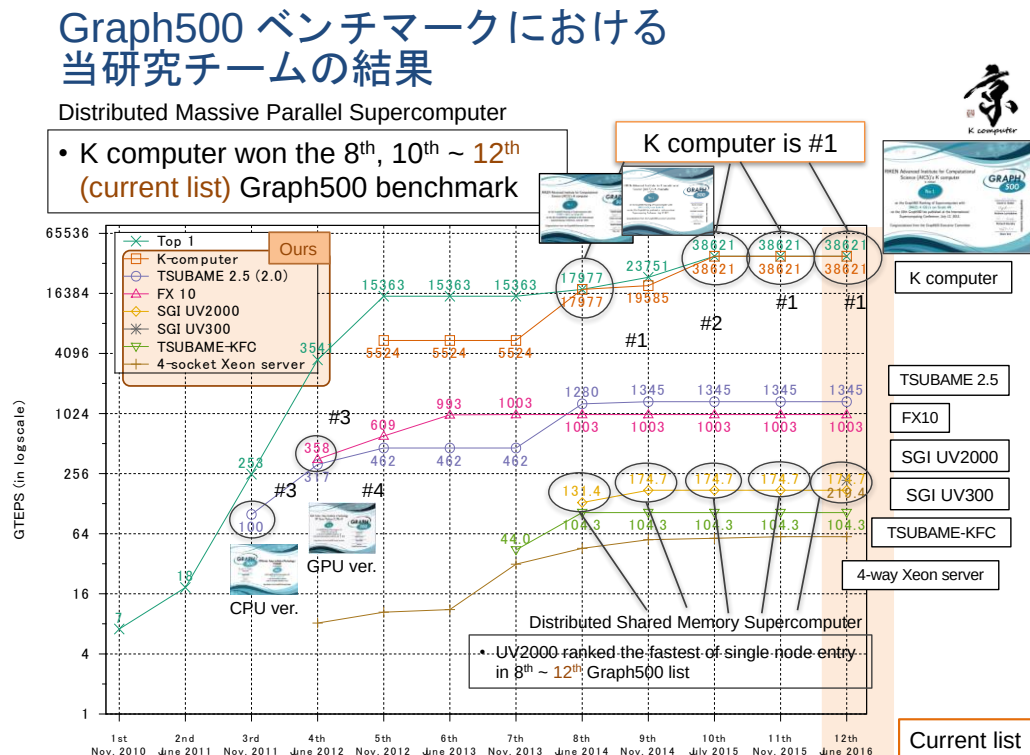


図4: Graph500 ベンチマークにおける当 CREST チームの成果

各グループの具体的な研究分担に関してはそれぞれのグループに関する③を参照のこと。以下は藤澤グループの研究分担に関する説明である。

また **Green Graph500** (<http://green.graph500.org>) は並行探索、最短路探索をはじめとする最適化、極大独立集合などのグラフ解析、などの複数のグラフ処理カーネルからなるベンチマークであり、単位電力あたりのグラフ探索の性能（TEPS/W）を評価しランキングを行う。今回非常に高性能かつ低消費電力なグラフ探索のプログラムの開発に成功して、以下の第1～7回 **Green Graph500** ベンチマークにおいて世界1位にランキングされた。

本ソフトウェアは研究プロジェクト期間に公開予定であり、実行環境は Linux, Solaris, AIX, OSX, FreeBSD, NetBSD, OSF/1, HP-UX, WINDOWS, IBM BG/Q など想定している。大規模なグラフ探索を必要とするユーザには有用なツールに成りうると想定している。

II: 大規模並列環境下でのハイブリッド並列ソルバの開発と超大規模数理最適化問題の解決 (JST PPC 遠藤 CREST との共同研究)

半正定値計画問題 (SDP) は組合せ最適化, システムと制御, データ科学, 金融工学, 量子化学など非常に幅広い応用を持ち, 現在最適化の研究分野で最も注目されている最適化問題の一つとなっている. また今後のエネルギー供給計画 (スマートグリッド等) では非線形の複雑な最適化問題を扱う必要があり, これらの問題に対して強力な緩和値を算出できる SDP の高速計算技術の確立が急務とされている.

SDP に対しては高速かつ安定した反復解法である内点法アルゴリズムが存在しているが, 巨大な線形方程式系の計算 (行列要素の計算と行列の Cholesky 分解) が大きなボトルネックとなっている. 今回の実行においては申請者らが開発したソフトウェア

SDPARA の拡張を行い, 多数 GPU の活用や計算と通信のオーバーラップ技術を応用することによって, 主要なボトルネックの 1 つである線形方程式系の Cholesky 分解の高速化と世界最大規模の SDP を高速に解くことに成功した (最大で 1.713 PFlops の性能を達成). 今回の実施では疎性の追求, 計算量やデータ移動量などによる計算方法の自動選択などの技術によって, 入力データから密と疎な部分が自動的に抽出され, 前者は主に GPU, また後者は密データに変換後に CPU アフィニティやメモリアンターリーブ技術等によって CPU コアで高速に大規模並列処理されることを検証し, 様々な応用問題に対して SDPARA が高性能な汎用ソルバであることを示した (図5).

本ソフトウェアは研究プロジェクト期間に公開予定であり, 実行環境は現時点では Intel (x86_64) + Linux を想定している. 本ソフトウェアの以前のバージョンは以下のホームページから公開されており, 大規模な最適化問題を解くために多くのユーザに使用されている.

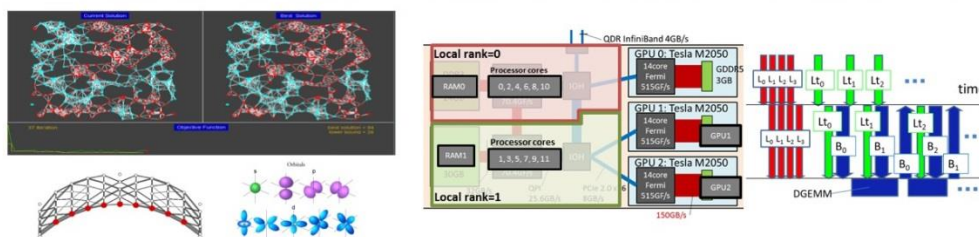
SDPA ホームページ

<http://sdpa.sourceforge.net/>

内点法アルゴリズムの並列計算による超大規模半正定値計画問題の解決 藤澤CREST + 遠藤 CREST (SC12, IPDPS14, ESPM2)

半正定値計画問題(SDP)は現在最も注目されている**数理最適化問題**の一つ

- 組合せ最適化、データマイニング、量子化学、制御分野など非常に幅広い応用を持っている
- 高速かつ安定した反復解法である内点法アルゴリズムが存在している



- **SDPARA** は現在開発&公開を行なっている大規模な SDP に対する並列ソルバー
- 内点法アルゴリズムには**2つの大きなボトルネックが存在** ⇒ 大規模な並列化
 - **ELEMENTS** ⇒ 線形方程式系の行列 (SCM) の生成: **メモリバンド幅依存**
 - **CHOLESKY** ⇒ SCMに対するコレスキー分解: **倍精度浮動小数点演算依存**
- **ELEMENTS**: ノード内の NUMA 関係の情報を読み取り、自動的に最適な processor affinity や memory interleaving の設定を行う ⇒ MPI + OpenMP による2段階並列計算 ⇒ 東工大 TSUBAME 2.0 **1360ノード(16,320 CPU cores)** での高いスケーラビリティ
- **CHOLESKY**: 通信と計算のオーバーラップ & 多数 GPU による並列計算 ⇒ 東工大 TSUBAME 2.5 **4080 GPUs(NVIDIA K20X)** での大規模分散並列化 ⇒ 浮動小数点演算**1.774 PFlops** の達成 (**平成27年度秋季東工大 TSUBAME グランドチャレンジ**)と**世界最大規模の SDP(233万制約超)**を初めて解くことに成功した

図 5: 内点法アルゴリズムの並列計算による超大規模半正定値計画問題の解決

III: 多階層型データ解析及び最適化システムを用いたスパコンの新しい産業応用の促進 (JST COI プログラム (九州大学: 共進化社会システム創成拠点) などとの共同研究)

スパコンの新しい産業応用の促進、具体的にはヒト、モノ、エネルギー及び情報の移動性 (モビリティ) に関する最適化やシミュレーションを対象とする。具体的には図6の多階層ソフトウェアの整備を行った。本研究成果は本 CREST 終了後も JST COI プログラム (九州大学: 共進化社会システム創成拠点) などの都市 OS 開発に関して多くの新しい産業応用の分野で使用される予定。

- グラフ解析アルゴリズムの実行: 最短路計算、ネットワーク内での各点の重要度を推定。各点の広域内における影響 (情報の伝播力) を計算重要して、要素を失うことなくデータ量を削減する。
- 数理最適化アルゴリズムの実行: 施設配置問題、集合被覆 (分割) 問題、スケジューリング、配送計画問題などの数理最適化問題として解決する。

都市 OS では大量のセンサーデータ (ヒトやモノの移動等) やオープンデータ (Wi-Fi などによる移動履歴) などを用いて都市における交通網の設計や道路や鉄道などの交通網の混雑状況の予測、さらに異常事態の発生時における避難誘導を行うための機能を持つことが想定されている。ビッグデータを活用した都市レベルの社会基盤サービスの効率化・最適化のためには革新的な新基軸、具体的には数理的な手法 (数理最適化問題やグラフ解析さらにネットワークフローによる分析) と計算技術 (計算量とデータ移動量の考慮と最適化による高速かつ省電力計算) が必須となる。現在、都市 OS 構想ではデータ収集・格納機能とその活用エンジンを想定して、行政情報、人流などのヒト情報や交通情報、エネルギー情報などデータ化された社会の事象を収集しているが、本プロジェクトではこれに長期、中期、短期の実世界でのデータを用いて、多階層型データ解析及び最適化システムを構築して快適・安全・省エネルギーな都市機能を実現することを目指す (図 7)。長期レイヤーのマクロ解析層ではデータ量は少ないが

計算量の大きさ

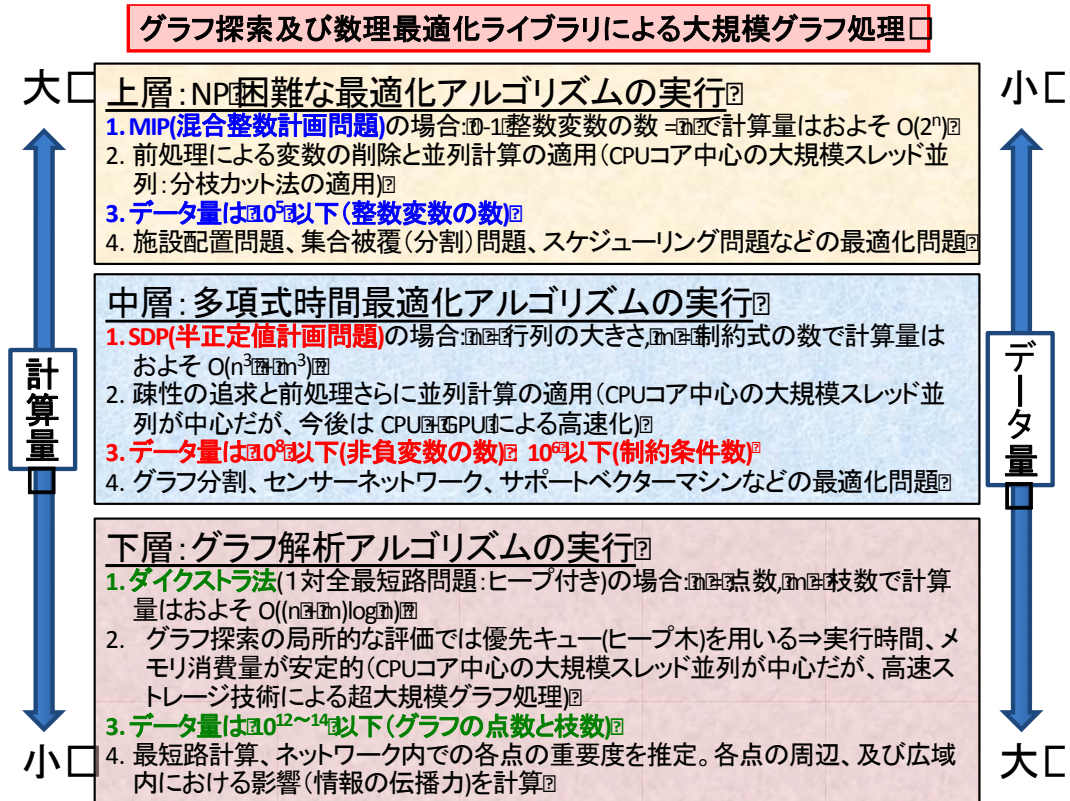


図 6: グラフ探索及び数理最適化ライブラリによる大規模グラフ処理

多階層型データ解析及び最適化システム

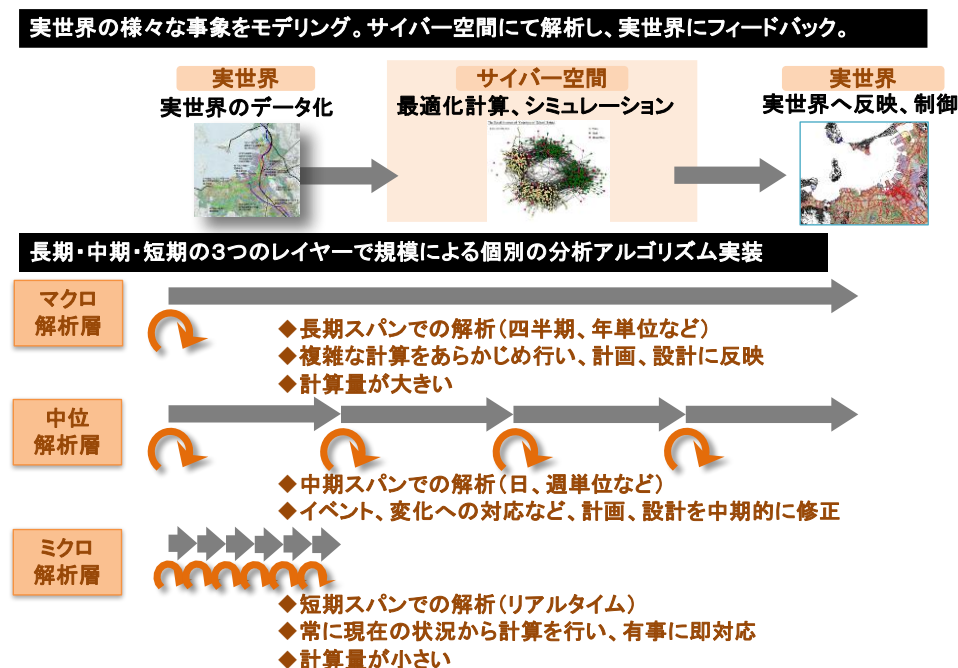


図 7: 多階層型データ解析及び最適化システム

な問題を扱い、反対に短期レイヤーのマイクロ解析層ではデータ量が多く、計算量の小さな問題を扱うことを想定している。これらの大規模グラフ処理基盤から都市 OS に

対してヒト・モノのモビリティに関する最適化や予測などの機能を付加していく。具体的には長期レイヤーでは広範囲なデータを活用し、整数計画問題を用いた都市計画、中期レイヤーでは交通データに対する経路探索を用いて動的に変化する交通量等から高速な重要度判定を行い、渋滞の予測や交通管制等に活用する。さらに短期レイヤーでは最速フローアルゴリズムによる避難シミュレーションなどがセンサーデータを用いてほぼリアルタイムに実行される。

計算量の小さな問題を扱うことを想定している。今後は最適化問題の応用分野が非常に広範化（企業、社会、公共政策）すると共に、巨大なセンサーデータによる最適化問題の複雑化&巨大化が予想される。問題サイズを n とした場合では、計算量に応じて $O(n^3) \rightarrow$ 数百万程度、 $O(n \log n) \rightarrow$ 100 億以上、 $O(n) \rightarrow$ 100 兆程度の問題規模を 2017 年頃に登場する予定のポストペタスパコン上で扱うことができるようになるかと推定される。

第5期科学技術基本計画では IoT や AI さらに BigData によってインテリジェンスを有している社会で人間が豊かに暮らすという超スマート社会の実現を目指す Society 5.0 が推進されている。この中の次世代 AI に対する取り組みとして、ヒト・モノの移動に関する数理・物理モデルによる現象の表現・再現・予測に取り組んでおり、現在の AI が不得意とする見えないデータ・過去のデータにない現象に対して最先端理論(Algorithm Theory) + 大規模実データ(Big Data) + 最新計算技術(Computation)で予測と制御を可能するための研究を多数の民間企業と推進した(図8)。

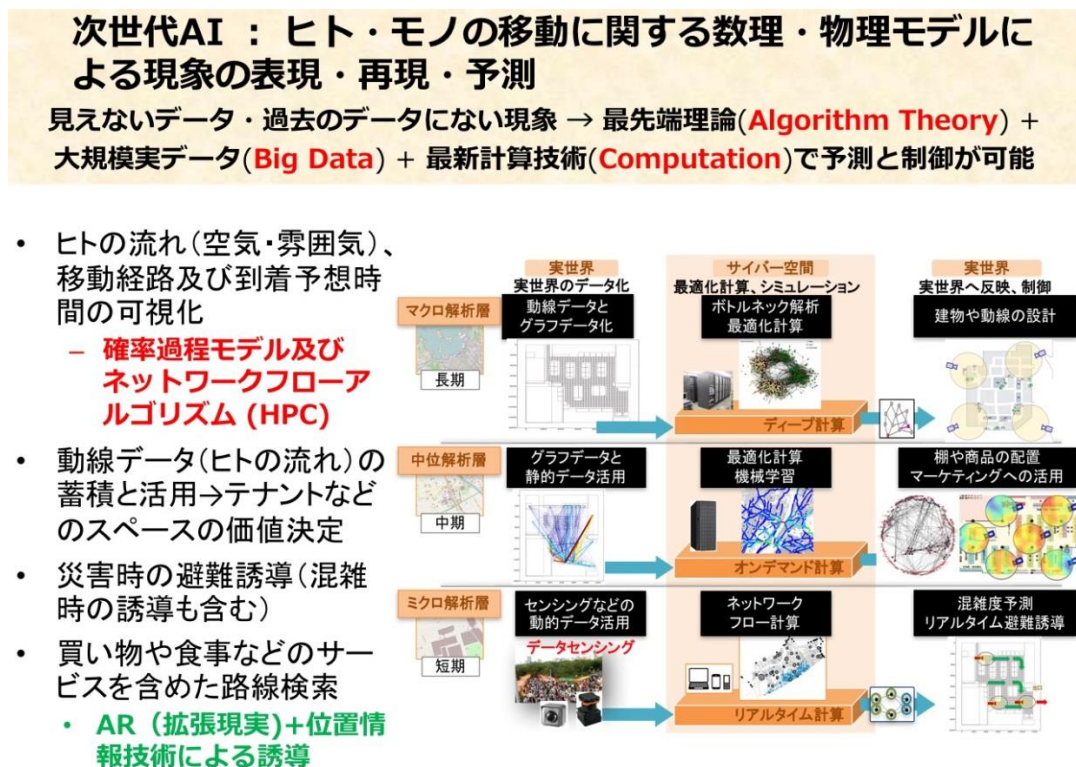


図8: HPC 技術などを用いた次世代 AI への取り組み

3. 2 大規模グラフ処理系 (Barcelona Supercomputing Center 鈴村グループ)

(1)研究実施内容及び成果

鈴村グループでは、大規模グラフデータ処理の基盤ソフトウェア ScaleGraph の研究開発を

行った。大規模センサーからのストリーミングデータを用いたリアルタイム解析処理及び精緻なグラフ解析処理を実現するため、リアルタイム大規模グラフストリーム処理系と大規模グラフ最適化ライブラリを開発、公開した。

● 大規模グラフ最適化ライブラリ ScaleGraph

大規模グラフデータをリアルタイムかつ精緻に処理するために、並列分散並列言語 X10 を用いた大規模グラフ処理ライブラリ ScaleGraph を設計、開発およびオープンソースソフトウェアとして公開した。

平成 24 年度から、最初のバージョン ScaleGraph 1.0 に向けたアーキテクチャ設計を開始した。初期のリリースでは、PageRank、RWR (Random Walk with Restart)、最短経路問題およびスペクトラルクラスタリング、媒介中心性を実装し、東京工業大学のスーパーコンピュータ TSUBAME 2.0 においてそのスケーラビリティを検証した。この結果は国際会議 HiPC 2012 で発表し、SourceForge にてオープンソースとして公開した。初期リリースの実装および性能検証において、更に大規模グラフ処理に対応するための X10 処理系の拡張ポイントが明らかになり、次リリースへの指針を得た。

平成 25 年度以降は、BFS (Bread First Search : 幅優先探索)の他に、SSSP(Single Source Shortest Path)などのグラフカーネルを新しく導入し、SSSP の新ルールドラフトに従ってスケーラブルなアルゴリズムを設計、実装を行った。設計したアルゴリズムは、 Δ -Stepping を分散メモリ向けに改良したアルゴリズムと、ベルマンフォードアルゴリズムを組み合わせたものである。 Δ -Stepping の改良では、メモリアクセスコストを減らすため、ランダムアクセス減らし、代わりにシーケンシャルアクセスを増やすことで最適化を図った。また、ノード間通信データ量を減らすため、通信を必要になるまで遅延させるという改良を行った。さらに、探索対象のグラフの性質を生かし、探索の後半は、ベルマンフォードアルゴリズムに切り替えることで、最適化している。これらの最適化を取り入れたアルゴリズムを、BFS で培った隣接行列の2次元分割手法で実装した。

並列分散並列言語 X10 を用いた大規模グラフ処理ライブラリ ScaleGraph のアーキテクチャ設計、API 定義、およびその開発、オープンソースソフトウェアとしての公開を行い、最新バージョン 2.2 においては、X10 言語の処理系における高速通信ライブラリ、スレッドスケジューラの最適化、大容量メモリに対応可能な Explicit Memory の導入などを行い、言語レベルでの性能最適化を実装した。また、BSP (Bulk Synchronous Parallel) モデルに基づく Pregel 実装を X10 ベースで実装し、その上で、PageRank、RWR(Random Walk with Restart)、最短経路問題、最小全域木、最大フロー問題などを実装した。また、2.x バージョンにおける新たなデータ構造に基づいてスペクトラルクラスタリング、媒介中心性実装し、東京工業大学のスーパーコンピュータ TSUBAME 2.5 においてそのスケーラビリティを検証した。下記の表に、その性能評価の結果を示す。

平成 27 年度では、最新の X10 言語処理系への対応を行った。前年度まで構築してきた ScaleGraph ライブラリは X10 2.3.1 に基づいて構築されているが、X10 言語処理系も 2.5.1 と進化している。現在の ScaleGraph ライブラリを、言語拡張への追従やライブラリの重複などを同定し、最新の X10 言語処理系で動作可能なようにした。

ScaleGraph ライブラリと Apache Giraph, PBGL との比較 (PageRank, RMAT Scale 25)

Nodes	ScaleGraph (s)	Giraph (s)	PBGL (s)
1	158.9	—	—
2	85.0	—	966.8
4	44.9	2885.1	470.3
8	23.4	443.1	309.5
16	13.3	125.3	290.9

Weak Scaling Performance of Each Algorithm (Wall-clock Time in Seconds)

	PageRank	BFS	SSSP	WCC	SC	HyperANF	Degree
RMAT, Scale 22, 1 nodes	13.7	1.9	8.9	5.6	351.1	50.3	33.1
RMAT, Scale 26, 16 nodes	28.3	4.0	13.5	12.0	701.4	88.9	36.3
RMAT, Scale 28, 64 nodes	37.9	7.5	18.8	17.0	1166.0	103.5	39.4
RMAT, Scale 29, 128 nodes	45.3	11.2	24.5	22.1	1438.8	142.3	41.1
Random, Scale 29, 128 nodes	46.5	8.8	20.6	21.4	1106.6	162.3	42.7

Strong Scaling Performance of Each Algorithm for RMAT Scale 28 Graph (Wall-clock Time in Seconds)

	PageRank	BFS	SSSP	WCC	SC	HyperANF	Degree
16 nodes	124.1	21.9	65.8	55.9	2969.9	38.0	16.1
32 nodes	91.7	18.7	36.9	30.2	1639.0	27.0	11.6
64 nodes	38.1	7.5	20.1	17.2	1169.9	10.6	4.9
128 nodes	26.5	5.8	14.7	10.5	706.4	6.8	3.1

● Graph500

Graph 500 とは、スーパーコンピュータのグラフ処理性能を測定する新しいベンチマークである。スパコンのベンチマークでは、数値計算性能を測る Linpack による Top500 が有名だが、近年、大規模グラフ処理が、重要性を増しており、Graph500 ベンチマークが広がりを見せている。Graph500 ベンチマークはリファレンス実装が公開されているが、リファレンス実装は分散メモリ環境で大規模にスケールさせることができない。そこで、より大規模な分散メモリ環境においても高速化を実現できるよう、Graph500 向け実装の改良と性能評価を続けてきた。

平成 23 年度では、大規模にスケール可能な隣接行列の2次元分割に注目した。2次元分割をベースとしたアルゴリズムに様々な最適化を施し、東京工業大学の TSUBAME2.0 の 1366 ノード、16392 コアを使用し、頂点数 2^{36} (687 億)、枝数 2^{40} (1.1 兆) のグラフの BFS (幅優先探索) を 10.955 秒で計算することに成功した。これは 100.366 GE/s という速度であり、これにより SC2011 で発表された最新の Graph500 リストで TSUBAME2.0 は 3 位となった。また、ベンチマークスコアを出すだけでなく、Infiniband Fat-Tree 接続ネットワークによる大規模分散環境における、最適化した実装とリファレンス実装の性能特性の解析も行った。

平成 24 年度では、TSUBAME 2.0 の他、東京大学の Oakleaf-FX 上にスケーラブルな幅優先探索を実装し、スコアを提出した。2次元分割、通信の圧縮などの様々な最適化を施すことによって、2012 年 6 月のランキングには世界3位、世界4位を獲得した。また、TSUBAME 2.0 においては、GPU を活用したアルゴリズムを開発し、前回 2011 年 11 月の CPU 実装の結果 100.37 GE/s を大きく上回る 462.25 GE/s (Scale 35) を達成した。また、Hybrid Search を応用したアルゴリズムで1ノード版の高性能 Graph500 用の実装も行い、2012 年 6 月のランキングでは1ノードで世界1位、2012 年 11 月のランキングでは1ノードでの世界2位 (CPU のみでは1位) を達成した。さらに、これらの実装によって、単位電力量あたりのグラフ処理の性能を競う Green Graph 500 においても、非公式ながら世界1位から5位を独占することができた。

2013 年 3 月には東京大学における Oakleaf スーパーコンピュータを用いた HPC チャレンジの課題に採択され、フォワード探索とバックワード探索を動的に切り替えるハイブリッド探索と強力なメモリプリフェッチなどを新たに実装し、FX10 アーキテクチャに最適化した。これによ

り、2012年6月のスコア(358.1 GTEPS, Scale 38, 4位)を大幅に上回る993 GTEPS(Scale 38, 13位)を達成した。

その後、更なるアルゴリズムの提案や実装の最適化を行い、2014年6月のISC 2014では、理化学研究所のスーパーコンピュータ京を用い、頂点数 2^{40} (1兆頂点)、枝数(16兆枝)のグラフを0.98秒で計算し、17977.1 GE/s という速度を達成し、1位となった。この時実装したGPU実装のソースコードは、GPLライセンスとして公開されている。

Graph500ベンチマークでは、BFS(Bread First Search: 幅優先探索)の他に、SSSP(Single Source Shortest Path)のグラフカーネルを導入しようとしている。SSSPの新ルールドラフトに従ってスケーラブルなアルゴリズムを設計し、実装を行った。設計したアルゴリズムは、 Δ -Steppingを分散メモリ向けに改良したアルゴリズムと、ベルマンフォードアルゴリズムを組み合わせたものである。 Δ -Steppingの改良では、メモリアクセスコストを減らすため、ランダムアクセス減らし、代わりにシーケンシャルアクセスを増やすことで最適化を図った。また、ノード間通信データ量を減らすため、通信を必要になるまで遅延させるという改良を行った。さらに、探索対象のグラフの性質を生かし、探索の後半は、ベルマンフォードアルゴリズムに切り替えることで、最適化している。これらの最適化を取り入れたアルゴリズムを、BFSで培った隣接行列の2次元分割手法で実装した。

本プロジェクト期間を通して、スーパーコンピュータ上での高性能なグラフ処理実現のため、グラフの2次元分割を用いた並列分散幅優先探索を、京やTSUBAME2.5など大規模分散環境で高速化した。特に、ボトルネックとなっている通信面において、京のノード間インターコネクの理論帯域幅を有効利用できていなかった問題を踏まえ、京のTofuインターコネクのような多次元トラスネットワーク上でのグラフ処理における効率の良い通信方法を研究した。また、グラフ処理は、ランダムメモリアクセスや条件分岐などにより、CPUで効率よく計算することが難しいことから、ランダムメモリアクセスや条件分岐などによる性能低下を回避可能なアルゴリズムや手法についても研究した。

● 大規模社会ネットワーク解析

計算クラスタによって取得、大規模解析して得られた、時間的に変化する実社会ネットワークを入力としてその構造変化、情報の伝播に関するシミュレーションも実施した。

社会ネットワークの時間的構造変化をシミュレーションで再現するため、まずスナップショットとして事前に収集した約4.7億のTwitterユーザからなる実ネットワークの解析を行い、Twitterにおけるネットワーク特有の性質を検証した。そこで得られた検証結果をTwitterにおける構造変化のルールとして抽出し、ネットワーク成長の観点からユーザのフォローやフォロー解除のパターンのモデル化を行った。そして、モデル化したパターンをエージェントベースシミュレーションに落としこみ、ネットワーク構造の時間的な変化を再現した。これを実ネットワークとの比較を行うことで、提案したモデルが実ネットワークに近い振る舞いを示すことを確認した。

また、Twitterから収集したデータを用いて数億ユーザ、数百億エッジから成る実ネットワークを再現し、ネットワーク上を流れる情報の広がり方を再現するための大規模情報拡散シミュレーション基盤をスーパーコンピュータTSUBAME上に構築した。さらに、リツイートによって情報が拡散される際に、同じ情報が流れることを利用してメッセージの圧縮を行い、通信量の削減を行った。

従来の大規模グラフ処理の研究はデータを蓄積して実行するバッチ処理が中心となっているが、リアルタイムな処理が要求される分野も数多く存在し、データを蓄積せずに逐次に行うデータストリーム処理の併用が求められる。平成26年度では、バッチ処理を定期実行しつつデータストリーム処理を行うシステムを実装し、大規模2部グラフとしてWikipediaの編集履歴を用いて評価した。大規模グラフをリアルタイムで処理するために、ソーシャルネットワークに代表されるグラフの持つ性質であるコミュニティ構造を利用して、いくつかのコミュニティにグラフを分割して処理を行った。結果、4ノード48コアを用いて、頂点数が207,329と1,847,166、エッジ数が22,034,825の2部グラフを処理し、グラフ分割数に対してデー

タストリーム処理で 2 乗、バッチ処理で 3 乗の 高速化を 30 分割において実現した。その結果、実データの到着レートの約 32 倍の速度でデータストリーム処理することができた。

● グラフベンチマークパッケージ GraphXBench の開発と評価

近年、グラフ処理のフレームワークが多数実装、公開されており、小規模なグラフに対しては良い性能を出しているが、大規模なグラフデータにおいては性能評価が困難であり、現状では十分なスケーラビリティが実現できていないことが問題となっている。そこで、大規模グラフにも対応するグラフアルゴリズムを評価及び調査するためのベンチマークパッケージを、並列分散フレームワーク GraphX/Spark 上に GraphXBench として実装し、性能を評価した。

3.3 大規模グラフストア（東京工業大学 佐藤グループ）

(1)研究実施内容及び成果

大規模グラフ処理での I/O では、スループット性能だけでなくレイテンシ性能が重要である。しかし、既存の並列ファイルシステムはスループット性能を重視した構成となっているため、ランダムアクセスや細粒度 I/O などのような処理は不得意である。また、ポストペタスケールのスーパーコンピュータにおいては、並列数の増加と同時に、計算ノード上のローカルストレージへのバンド幅とネットワークのバンド幅の乖離が一層進むため、スループットの点においても計算ノード外のストレージへのアクセスは計算ノード内のローカルストレージへのアクセスと比較してペナルティが大きいことも問題となる。一方、このようなランダムアクセス細粒度 I/O を伴う処理は DRAM などメモリが得意とするが、近年、フラッシュなどの不揮発性メモリや CPU とはメモリ空間が独立な GPU やメニーコアアクセラレータなどの登場により、メモリの多階層化が進んでおり、階層間の煩雑なデータ管理が必要になることが問題となる(図9)。本実施項目では、ポストペタスケールのスーパーコンピュータに向けて、大規模データ処理を行う上での上記の問題を解決するためのインスタンスとして、超大規模グラフ処理を支援するための階層型データ管理機能を備えたメモリ・ストレージストアに関する研究開発を行った(図10)。具体的には、超大規模グラフ処理を支援するための階層型データ管理機能を備えたストレージ・メモリストアを実現するうえで重要な要素技術として、多階層のメモリ・ストレージでのグラフデータの管理・配置最適化技術や、PGAS 言語からのグラフ処理向け I/O インターフェースの開発を推進し、これらの要素技術を鈴木グループで開発が進められている ScaleGraph のライブラリとして統合化を行った。

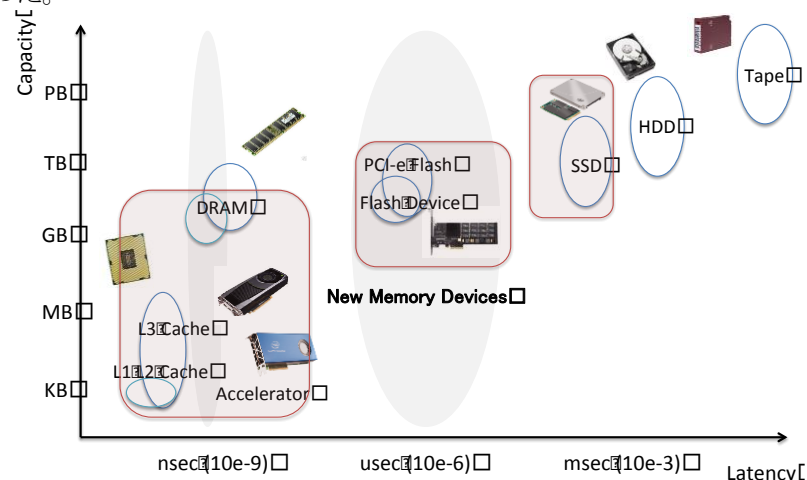


図 9 階層的なメモリ・ストレージ

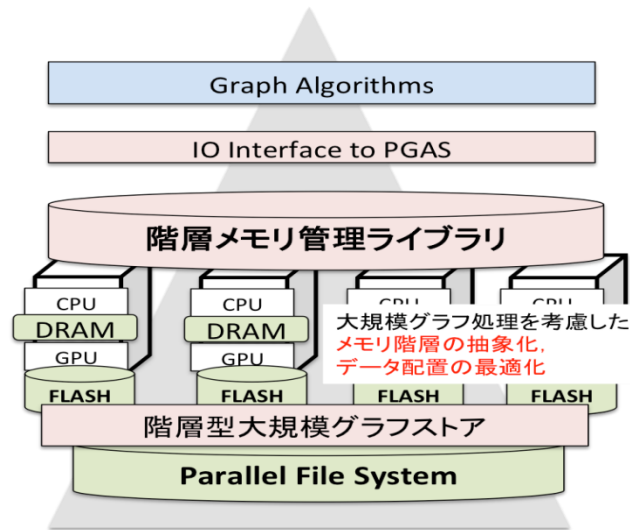


図 10 階層型グラフストアの概要

多階層のメモリ・ストレージでのグラフデータの管理・配置最適化技術に関しては、Out-of-core なグラフ処理カーネルのインスタンスとして、1)不揮発性メモリを考慮した Out-of-core な BFS(Breadth-first search)実装と、2)GPU アクセラレータを考慮した MapReduce プログラミングモデルに基づく GIM-V(Generalized Iterative Matrix-Vector multiplication)によるグラフ処理実装の開発を行った。

1)については、計算機に搭載された DRAM メモリを 4 倍程度超えるグラフデータに対しても、10%~20%の性能低下を抑えながら、場合によってはほぼ遜色なく、BFS 処理が行えることを示した。また、この実装をビッグデータ処理の省電力性能を競うランキングである Green Graph500 のベンチマークに適用した結果、ビッグデータカテゴリで 3 位、4 位(2014 年 6 月)を 1 台のサーバで達成し、大規模なメモリが必要なアプリケーションにおける不揮発性メモリの利用の有効性を示した(図 11)。これらの結果は、データアクセスがイレギュラーなタイプのアプリケーションにおいても、アルゴリズムを考慮し容量が大きくバンド幅が低いデバイスを活用することで、一定の性能を達成できることを示している。また、今後デファクトとして普及が見込まれる NVMe 技術によるフラッシュ SSD や、3DXPoint・Apache Pass による不揮発性メモリなどのコモディティデバイスを活用していくことにより、さらなる性能向上が見込めると考えており、DRAMとFlash 混在型のユニバーサルメモリや STT-MRAM, ReRam, PCM, FeRAM などの次世代 NVM など、メモリ階層が深化する将来の計算機に向けて有望なアプローチである。

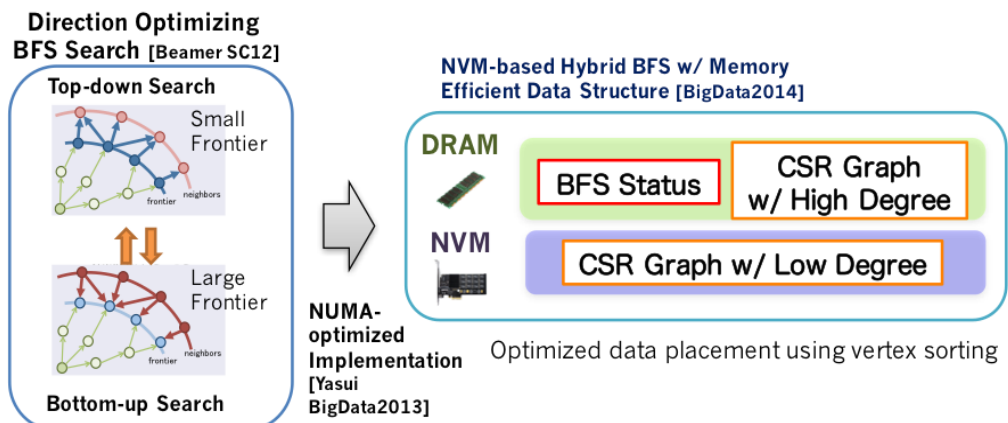


図 11 不揮発性メモリを考慮した Out-of-core な BFS(Breadth-first search)実装の概要

2)については、GPU アクセラレータを考慮した Out-of-core な MapReduce 処理系としてHAMAR (図 12) のライブラリの開発を進めた。この処理系上にGIM-Vモデルに基づく PageRank アプリケーションを実装し TSUBAME2 の 1024 台(12288CPU コア、3072GPU)を用いた結果、GPU のデバイスメモリの容量を超えるグラフデータに対しても CPU コアのみを利用した場合と比較して、2 倍程度の良好な成功を示すことを確認した。この結果は、今後、GPU と CPU 間や計算ノード間のデータ転送速度の向上により、さらなる性能向上が見込めると考えており、ビッグデータ処理に関しても大規模計算環境下で、メモリの容量が限られるGPUなどのメニーコアアクセラレータを積極的に活用することができるという知見を得た。

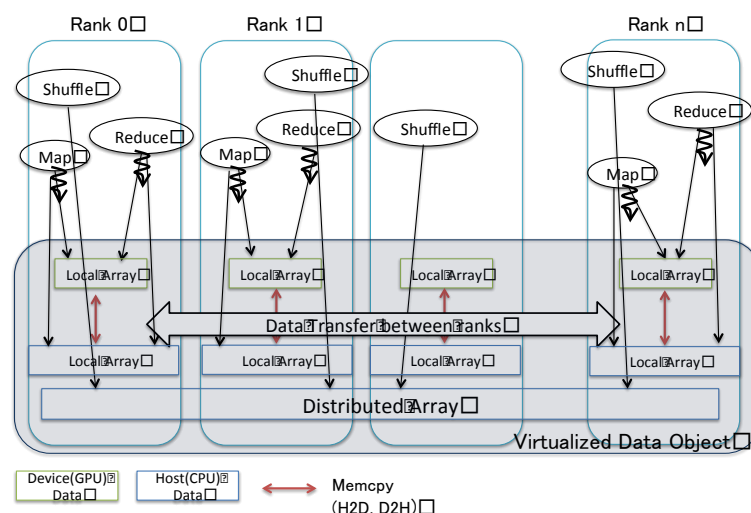


図 12 HAMAR の概要

また、上記の結果を元に、ビッグデータ処理の高速化の実現のためには、Sort、Unique、PrefixSum、SetIntersection などの基本カーネルの高速化が有効である知見を得た。例えば、大規模グラフの高速処理では頂点を次数の順序によるソートを行うことが有効であることが Graph500 ベンチマーク実装の研究開発より明らかになっている。しかし、これらの基本カーネルの高速処理は大容量の DRAM を必要とするが、容量あたりの導入コストの高さや消費電力の高さ、また、将来の計算機アーキテクチャに向けてはプロセッサのコア数の増大や DRAM を構成する半導体の集積度の限界などにより利用可能なコアあたりの DRAM のバンド幅・容量が少なくなることが問題となる。これらの問題を解決するために、ビッグデータ処理の基本カーネルの Out-of-core 処理への対応を推進した。具体的には、Out-of-core 環境での大規模グラフの高速処理に向けた GPU アクセラレータと不揮発性メモリを考慮した外部ソート xtr2sort (extreme external sort)を開発した(図 13)。GPU の高い演算性能とメモリバンド幅を活かし、不揮発性メモリ、ホストメモリ、デバイスメモリ間のデータ移動に伴う遅延を隠蔽するために、不揮発性メモリ上のソートの対象となるレコードをデバイスメモリの収まるサイズヘチャンクに分割し、チャンク毎にパイプラインで不揮発性メモリへの I/O 操作、CPU-GPU 間のメモリ転送、GPU 上でのソート処理を非同期に行うことで、デバイスメモリやホストメモリの容量を超えたサイズのレコードに対しても高速なソートを行う(図 14)。また、上述の技法をビッグデータ処理において必要となる基本カーネルである PrefixSum、Unique、SetIntersection などのアルゴリズムへの適用を進め、ライブラリとしての整備を進めるとともに、我々がこれまで開発してきた GPU を考慮した MapReduce 処理系である HAMAR の実装への組み込みを推進した。

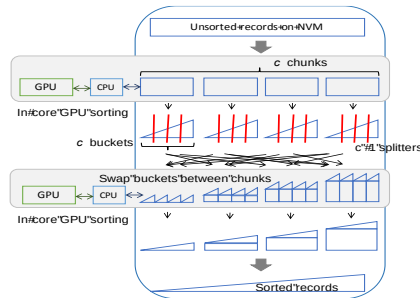


図 13 xtr2sort のアルゴリズム

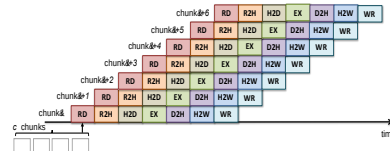


図 14 xtr2sort のパイプライン実行により I/O 遅延隠蔽

PGAS 言語からのグラフ処理向け I/O インターフェースに関しては、代表的な PGAS 言語のひとつである X10 に対して、Storage Class Memory 考慮した非同期マルチスレッドグラフ探索の実装や、旧脇田グループで開発を進めてきたグラフ可視化ツールである AGIWX の内部で利用している高精度のグラフ分割(Modularity)を高速に解く実装など、PGAS 言語利用のためのノウハウや I/O インターフェースの設計を進め、米国ローレンスリバモア国立研究所を中心にオープンソースで開発が進められている不揮発性メモリを考慮した動的グラフストアである HavoqGT を X10 から利用するためのインターフェースや I/O 手法を開発し、鈴木グループで開発を進めてきた ScaleGraph との連携を行った(図 15)。

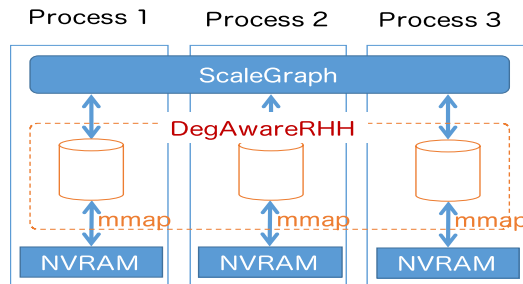


図 15 ScaleGraph と HavoqGT の連携

現実にポストペタスケールの時代を迎えて、我々が当初想定していた GPU アクセラレータと不揮発性メモリを備えた複数の計算ノードを InfiniBand 等の低遅延・広帯域な高速ネットワークで結合させた構成からなる計算機は、東京工業大学 TSUBAME3 をはじめ、産業技術総合研究所 AIST AI Cloud(AAIC), AI Bridging Cloud Infrastructure(ABCI)などのスーパーコンピュータや、Amazon AWS などのクラウドデータセンター、NVIDIA DGX-1 などの民生品などで広く見られる構成であり、また、昨今、ビッグデータによる人工知能(深層学習を含む機械学習)の処理の高速化が重要であると認識されるようになっており、我々が研究開発を行った深化したメモリ階層を考慮したスケーラブルなコンピューティング技術はこのようなビッグデータ処理の高速化に転用可能であり、極めて有効である。

§ 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 12 件、国際(欧文)誌 89 件)

● 国内(和文)誌

1. 小林 和博, 成澤 龍人, 安井雄一郎, 藤澤克樹: “辞書式最速流による避難計画作成モデルの実験的解析”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌, Vol.59, 2016 年.
2. 渡部優, 鈴村豊太郎: “大規模ソーシャルネットワークにおける時間的構造変化の解析手法の研究”, 日本データベース学会年次大会 DEIM 2014 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, B4-1, 2014 年.
3. 池松恭平, 村田剛志: “3 部モジュラリティの改善とその最適化手法”, 人工知能学会論文誌, Vol.29, No.2, 2014 年.
4. 安井雄一郎, 藤澤克樹, 竹内聖悟, 湊真一: “ULIBC ライブラリを用いた共有メモリ型並列アルゴリズムの高速化”, ハイパフォーマンスコМПユーティングと計算科学シンポジウム, 2014 年.
5. 品野勇治, Tobias Achterberg, Timo Berthold, Stefan Heinz, Thorsten Koch, Stefan Vigerske, Michael Winkler: “制約整数計画ソルバ SCIP の並列化”, 統計数理, vol. 61, No. 1, 2013 年.
6. 鳥海重喜, 高嶋隆太: “海上航路ネットワークとエネルギー資源の国際輸送におけるチョークポイント分析”, GIS-理論と応用, Vol.21, No.1, 2013 年.
7. 杉原貴彦, 劉欣, 村田剛志: “Signed ネットワークからのコミュニティ抽出”, 人工知能学会誌 Vol.28, No.1, 2013 年.
8. 高松瑞代, 田口東, 服部優奈, 太田雅文, 末松孝司: “PASMO データを用いた鉄道利用者の購買行動分析”, オペレーションズ・リサーチ, vol. 58, no. 1, 2013 年.
9. 赤星健太郎, 高松瑞代, 田口東, 石井儀光, 小坂知義: “低頻度な公共交通網を有する地域の移動利便性の評価手法に関する研究—時空間ネットワークを用いた公共交通網と都市構造の関連分析”, 都市計画論文集, vol. 47, no. 3, 2012 年.
10. 上野晃司, 鈴村豊太郎: “データストリーム処理における GPU タスク並列を用いたスケーラブルな異常検知”, 先進的計算基盤システムシンポジウム, 2012 年.
11. 雁瀬優, 西井俊介, 鈴村豊太郎: “インクリメンタル大規模グラフストリーム処理系 UNICORN の実装と評価”, 先進的計算基盤システムシンポジウム, 2012 年.
12. 西井俊介, 鈴村豊太郎: “データストリーム処理によるリアルタイム性を考慮した大規模グラフ処理基盤とスペクトラルクラスタリングへの応用”, 先進的計算基盤システムシンポジウム, 2012 年.

● 国際(欧文)誌

1. Koji Ueno, Toyotaro Suzumura, Naoya Maruyama, Katsuki Fujisawa, Satoshi Matsuoka, Efficient Breadth-First Search on Massively Parallel and Distributed Memory Machines, Data Science and Engineering, Springer, 2017.
2. Koji Ueno, Toyotaro Suzumura, Naoya Maruyama, Katsuki Fujisawa, and Satoshi Matsuoka, “Efficient Breadth-First Search on Massively Parallel and Distributed Memory Machines”, In Proceeding of the 2016 IEEE International Conference on Big Data, Short Paper, 2016.
3. Miyuru Dayarathna, Toyotaro Suzumura et.al “Acacia-RDF: An X10-Based Scalable Distributed RDF Graph Database Engine,” 2016 IEEE 9th International Conference on Cloud Computing (CLOUD), San Francisco, CA, 2016, pp. 521-528.
4. Miyuru Dayarathna, Toyotaro Suzumura et.al, “Introducing Acacia-RDF: An X10-Based Scalable Distributed RDF Graph Database Engine,” 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), Chicago, IL, 2016, pp. 1024-1032.
5. Hitoshi Sato, Ryo Mizote, Satoshi Matsuoka, Ogawa Hirotaka: “I/O Chunking and Latency Hiding Approach for Out-of-core Sorting Acceleration using GPU and Flash NVM”, In Proceeding of the 2016 IEEE International Conference on Big Data, Short Paper, 2016.

6. Satoshi Imamura, Keitaro Oka, Yuichiro Yasui, Yuichi Inadomi, Katsuki Fujisawa, Toshio Endo, Koji Ueno, Keiichiro Fukazawa, Nozomi Hata, Yuta Kakibuka, Koji Inoue, and Takatsugu Ono: “Evaluating the Impacts of Code-Level Performance Tunings on Power Efficiency”, In Proceeding of the 2016 IEEE International Conference on Big Data, Short Paper, 2016).
7. Satoshi Imamura, Yuichiro Yasui, Koji Inoue, Takatsugu Ono, Hiroshi Sasaki and Katsuki Fujisawa: “Power-Efficient Breadth-First Search with DRAM Row Buffer Locality-Aware Address Mapping”, In Proceeding of the 2016 High Performance Graph Data Management and Processing Workshop, 2016.
8. Katsuki Fujisawa, Toshio Endo, and Yuichiro Yasui, “Advanced Computing & Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers”, Gert-Martin Greuel, Thorsten Koch, Peter Paule, and Andrew Sommesse (eds.), Proceedings of Mathematical Software, ICMS 2016, 5th International Conference Berlin, Germany, July 11–14, 2016, Lecture Notes in Computer Science 9725, Springer, 2016.
9. Y. Yasui, K. Fujisawa: “NUMA-aware scalable graph traversal on SGI UV systems”, In Proceedings of the ACM Workshop on High Performance Graph Processing, 2016.
10. Hideyuki Shamoto, Koichi Shirahata, Aleksandr Drozd, Hitoshi Sato, Satoshi Matsuoka: “GPU-Accelerated Large-scale Distributed Sorting Coping with Device Memory Capacity”, IEEE Transactions on Big Data, Volume 2, Issue 1, 2016.
11. Toyotaro Suzumura, Hiroki Kanezashi: “A High Performance Multi-modal Traffic Simulation Platform and Its Case Study with the Dublin City”, In Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, 2015.
12. Masatoshi Hanai, Toyotaro Suzumura, Hiroki Kanezashi: “Towards Large-Scale What-If Traffic Simulation with Exact-Differential Simulation”, In Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, 2015.
13. Hiroki Kanezashi, Toyotaro Suzumura: “Performance Optimization for Agent-Based Traffic Simulation by Dynamic Agent Assignment”, In Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, 2015.
14. Masatoshi Hanai, Toyotaro Suzumura, Georgios Theodoropoulos, Kalyan S. Perumalla: “Exact-Differential Large-Scale Traffic Simulation”, In Proceedings of the 3rd ACM Conference on SIGSIM-Principles of Advanced Discrete Simulation, 2015.
15. Toyotaro Suzumura, Koji Ueno: “ScaleGraph: A high-performance library for billion-scale graph analytics”, In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Big Data, 2015.
16. Ken Wakita, Masanori Takami, Hiroshi Hosobe: “Interactive High-Dimensional Visualization of Social Graphs”, In Proceeding of 2015 IEEE Pacific Visualization Symposium, 2015.
17. Yuki Tsujita, Toshio Endo, Katsuki Fujisawa: “The Scalable Petascale Data-Driven Approach for the Cholesky Factorization with multiple GPUs”, In Proceeding of the first International Workshop on Extreme Scale Programming Models and Middleware, 2015.
18. Katsuki Fujisawa, Toyotaro Suzumura, Hitoshi Sato, Koji Ueno, Yuichiro Yasui, Keita, Iwabuchi, Toshio Endo: “Advanced Computing & Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers”, Optimization in the Real World Toward Solving Real-World Optimization Problems, Vol.13 of the Series Mathematics for Industry, 2015.
19. Yuichiro Yasui, Katsuki Fujisawa: “Fast and scalable NUMA-based thread parallel breadth-first search”, In Proceeding of the 2015 International Conference on High Performance Computing and Simulation, 2015.
20. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, and Ken Wakita: “A Unified Modularity by Encoding the

- Similarity Attraction Feature into the Null Model”, In Proceeding of the 2014 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Network Analysis and Mining, 2014.
21. Toyotaro Suzumura, Charuwat Hounkaew and Hiroki Kanezashi: “Towards Billion-Scale Social Simulations”, In Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, 2014.
 22. Toyotaro Suzumura, Hiroki Kanezashi: “Multi-Modal Traffic Simulation on Parallel and Distributed Systems”, In Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, 2014.
 23. Toyotaro Suzumura: “Extreme big data processing in large-scale graph analytics and billion-scale social simulation”, In Proceedings of the 5th ACM/SPEC international conference on Performance engineering, 2014.
 24. Miyuru Dayarathna, Toyotaro Suzumura: “Towards Scalable Distributed Graph Database Engine for Hybrid Clouds”, In Proceedings of the 5th International Workshop on Data-Intensive Computing in the Clouds, 2014.
 25. Keita Iwabuchi, Hitoshi Sato, Yuichiro Yasui, Katsuki Fujisawa, Satoshi Matsuoka: “NVM-based Hybrid BFS with Memory Efficient Data Structure”, In Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Big Data, 2014.
 26. Hideyuki Shamoto, Koichi Shirahata, Aleksandr Drozd, Hitoshi Sato, Satoshi Matsuoka: “Large-scale Distributed Sorting for GPU-based Heterogeneous Supercomputers”, In Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Big Data, 2014.
 27. Koichi Shirahata, Hitoshi Sato, Satoshi Matsuoka: “Out-of-core GPU Memory Management for MapReduce-based Large-scale Graph Processing”, In Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Cluster Computing, 2014.
 28. Xin Liu, Weichu Liu, Tsuyoshi Murata, Ken Wakita: “A framework for community detection in heterogeneous multi-relational networks,” *Advances in Complex Systems*, Vol. 17, Iss. 6, 2014.
 29. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, Ken Wakita: “Detecting network communities beyond assortativity-related attributes,” *Physical Review E*, Vol. 90, Iss. 1, 2014.
 30. Miyuru Dayarathna, Toyotaro Suzumura: “Towards Emulation of Large Scale Complex Network Workloads on Graph Databases with XGDBench,” In Proceedings of the 2014 IEEE International Congress on Big Data, 2014.
 31. Yuichiro Yasui, Katsuki Fujisawa, Yukinori Sato: “Fast and Energy-efficient Breadth-first Search on a single NUMA system”, In Proceedings of the 29th International Conference on Supercomputing, 2014.
 32. Katsuki Fujisawa, Toshio Endo, Yuichiro Yasui, Hitoshi Sato, Naoki Matsuzawa, Satoshi Matsuoka, Hayato Waki: “Peta-scale General Solver for Semidefinite Programming Problems with over Two Million Constraints,” In Proceeding of the 28th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2014.
 33. Takuya Akiba, Yoichi Iwata, Yuichi Yoshida: “Dynamic and Historical Shortest-Path Distance Queries on Large Evolving Networks by Pruned Landmark Labeling”, In Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web, 2014.
 34. Toyotaro Suzumura, Masaru Ganse, Shunsuke Nishii: “Towards Graph Stream Processing Platform,” In Proceeding of the 2014 Large-Scale Network Analysis Workshop, 2014.
 35. Hidefumi Ogata, Toyotaro Suzumura: “Towards X10-Based Link Prediction for Large-Scale Network,” In Proceeding of the 2014 Large-Scale Network Analysis Workshop, 2014.
 36. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, Xin Liu: “Community Detection Algorithm based on Centrality and Node Closeness in Scale-Free Networks”, *Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol.29, No.2, 2014.
 37. Keita Iwabuchi, Hitoshi Sato, Ryo Mizote, Yuichiro Yasui, Katsuki Fujisawa, Satoshi Matsuoka: “Hybrid BFS Approach Using Semi-External Memory”, In Proceeding of the

- 2014 International Workshop on High Performance Data Intensive Computing, 2014.
38. Shigeki Toriumi, Azuma Taguchi, Teturo Matsumoto: “A Model to Simulate Delay in Train Schedule Caused by Crowded Passengers – Using a Time-Space Network-,” International Regional Science Review, Vol. 37, Issue 2, 2014.
 39. Takuya Akiba, Yoichi Iwata, Ken-ichi Kawarabayashi, Yuki Kawata: “Fast Shortest-Path Distance Queries on Road Networks by Pruned Highway Labeling,” In Proceedings of the Sixteenth Meeting on Algorithm Engineering and Experiments, 2014.
 40. Kyohei Ikematsu, Tsuyoshi Murata: “A Fast Method for Detecting Communities from Tripartite Networks”, In Proceedings of the 5th International Conference on Social Informatics, 2013.
 41. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata: “Web Caching Replacement Algorithm based on Web Usage Data”, New Generation Computing, Vol.31, No.4, 2013.
 42. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata: “Recent Large Graph Visualization Tools: A Review,” コンピュータソフトウェア, Vol. 30, No. 2, 2013.
 43. Ken Wakita, Ryo Kawasaki, Masanori Takami: “Observation of Human Dynamics in Cote d’Ivoire Through D4D Call Detail Records”, In Proceeding of the 2nd When the City Meets the Citizen Workshop, 2013.
 44. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata, Xin Liu: “Community Detection Algorithm based on Centrality and Node Closeness in Scale-Free Networks”, In Proceedings of the 24th ACM Conference on Hypertext and Social Media, 2013.
 45. Takafumi Saito, Kento Sato, Hitoshi Sato, Satoshi Matsuoka: “Energy-aware I/O Optimization for Checkpoint and Restart on a NAND Flash Memory System,” In Proceeding of the 2013 Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale, 2013.
 46. Koichi Shirahata, Hitoshi Sato, Toyotaro Suzumura, Satoshi Matsuoka: “A Scalable Implementation of a MapReduce-based Graph Processing Algorithm for Large-scale Heterogeneous Supercomputers”, In Proceeding of the 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing, 2013.
 47. Yuichiro Yasui, Katsuki Fujisawa, Kazushige Goto: “NUMA-optimized Parallel Breadth-first Search on Multicore Single-node System,” In Proceedings of the IEEE International Conference on Big Data, 2013.
 48. Maho Nakata, Mituhiro Fukuda, Katsuki Fujisawa: “Variational Approach to Electronic Structure Calculations on Second-Order Reduced Density Matrices and the N-Representability Problem”, Complex Quantum Systems – Analysis of Large Coulomb Systems, Institute of Mathematical Sciences, National University of Singapore, Vol. 24, 2013.
 49. Koji Ueno, Toyotaro Suzumura: “Parallel Distributed Breadth First Search on GPU”, In Proceeding of the 2013 IEEE International Conference on High Performance Computing, 2013.
 50. Charuwat Hounkaew, Toyotaro Suzumura: “X10-Based Distributed and Parallel Betweenness Centrality and Its Application to Social Analytics,” In Proceeding of the 2013 IEEE International Conference on High Performance Computing, 2013.
 51. Miyuru Dayarathna, Toyotaro Suzumura: “Automatic Optimization of Stream Programs via Source Program Operator Graph Transformations”, International Journal of Distributed and Parallel Databases, Vol. 31, Iss. 4, 2013.
 52. Miyuru Dayarathna, Toyotaro Suzumura: “Graph Database Benchmarking on Cloud Environments with XGDBench,” Automated Software Engineering, Vol. 21, Iss. 4, 2013.
 53. Miyuru Dayarathna, Toyotaro Suzumura: “A Performance Analysis of System S, S4, and Esper via Two Level Benchmarking,” In Proceeding of the 10th International Conference on Quantitative Evaluation of SysTems, 2013.

54. Ryuichi Shibasaki, Toshio Azuma, Tomihiro Watanabe, Shigeki Toriumi: "A container cargo assignment model on a real international maritime shipping network and application to the Suez Canal transit analysis," In Proceedings of International Association of Maritime Economists Conference, 2013.
55. Koichi Shirahata, Hitoshi Sato, Toyotaro Suzumura, and Satoshi Matsuoka: "A Scalable Implementation of a MapReduce-based Graph Processing Algorithm for Large-scale Heterogeneous Supercomputers," In Proceeding of the 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing, 2013.
56. Masaru Watanabe and Toyotaro Suzumura: "How Social Network is Evolving? A Preliminary Study on Billion-scale Twitter Network," In Proceeding of the 2nd International Workshop on Large Scale Network, 2013.
57. Miyuru Dayarathna and Toyotaro Suzumura: "A first view of Exedra: A Domain-Specific Language for Large Graph Analytics Work Flows," In Proceeding of the 2nd International Workshop on Large Scale Network Analysis, 2013.
58. Bao Nguyen and Toyotaro Suzumura: "Towards Highly Scalable Pregel-based Graph Processing Platform with X10," In Proceeding of the 2nd International Workshop on Large Scale Network Analysis, 2013.
59. Miyuru Dayarathna and Toyotaro Suzumura: "A Mechanism for Stream Program Performance Recovery in Resource Limited Compute Clusters," In Proceeding of the 18th International Conference on Database Systems for Advanced Applications, 2013.
60. Samuel Burer, Sunyoung Kim and Masakazu Kojima: "Faster, but Weaker, Relaxations for Quadratically Constrained Quadratic Programs", Computational Optimization and Applications, Vol. 59, Iss. 1, 2013.
61. Takuya Akiba, Yoichi Iwata, and Yuichi Yoshida: "Fast Exact Shortest-Path Distance Queries on Large Networks by Pruned Landmark Labeling," In Proceedings of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 2013.
62. Yosuke Yano, Takuya Akiba, Yoichi Iwata, and Yuichi Yoshida: "Fast and scalable reachability queries on graphs by pruned labeling with landmarks and paths," In Proceedings of the 22nd ACM international conference on Conference on information & knowledge management, 2013.
63. Takuya Akiba, Yoichi Iwata, and Yuichi Yoshida: "Linear-time enumeration of maximal K-edge-connected subgraphs in large networks by random contraction," In Proceedings of the 22nd ACM international conference on Conference on information & knowledge management, 2013.
64. Sunyoung Kim and Masakazu Kojima: "A Continuation Method for Large-sized Sensor Network Localization Problems," Pacific Journal of Optimization, Vol. 9, Iss. 1, 2013.
65. Masakazu Kojima and Makoto Yamashita: "Enclosing Ellipsoids and Elliptic Cylinders of Semialgebraic Sets and Their Application to Error Bounds in Polynomial Optimization," Mathematical Programming, Vol. 138, Iss. 1, 2013.
66. Naohiko Arima, Sunyoung Kim, and Masakazu Kojima: "A Quadratically Constrained Quadratic Optimization Model for Completely Positive Cone Programming," SIAM Journal of Optimization, Vol. 23, No.4, 2013.
67. Andras Frank, Staoru Fujishige, Naoyuki Kamiyama, and Naoki Katoh: "Independent Arborescences in Directed Graphs", Discrete Mathematics, Vol. 313, No. 4, 2013.
68. Sunyoung Kim, Masakazu Kojima, Hayato Waki and Makoto Yamashita: "SFSDP: a Sparse Version of Full Semidefinite Programming Relaxation for Sensor Network Localization Problem," ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 38, No. 4, 2012.
69. Junya Gotoh and Katsuki Fujisawa: "Convex optimization approaches to maximally predictable portfolio selection," Optimization: A Journal of Mathematical Programming

- and Operations Research, Vol. 63, Iss. 11, 2012.
70. Thorsten Koch, Ted Ralphs, and Yuji Shinano: "Could we use a million cores to solve an integer program?," Mathematical Methods of Operations Research, Vol. 76, Iss. 1, 2012.
 71. James S. M. Anderson, Maho Nakata, Ryo Igarashi, Katsuki Fujisawa, Makoto Yamashita: "The second-order reduced density matrix method and the two-dimensional Hubbard model," Computational and Theoretical Chemistry, Vol. 1003, 2012.
 72. Takafumi Saito, Kento Sato, Hitoshi Sato, and Satoshi Matsuoka: "Energy-aware I/O Optimization for Checkpoint and Restart on a NAND Flash Memory System," In Proceeding of the 3rd International Workshop on Fault-Tolerance for HPC at Extreme Scale, 2013.
 73. Koichi Shirahata, Hitoshi Sato, Toyotaro Suzumura, and Satoshi Matsuoka: "A Scalable Implementation of a MapReduce-based Graph Processing Algorithm for Large-scale Heterogeneous Supercomputers," In Proceedings of the 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid, 2013.
 74. Miyuru Dayarathna, Charuwat Hounkaew, and Toyotaro Suzumura: " Scalable Performance of ScaleGraph for Large Scale Graph Analysis," In Proceeding of the IEEE 19th International Conference on High Performance Computing, 2012.
 75. Koji Ueno and Toyotaro Suzumura: "GPU Task Parallelism for Scalable Anomaly Detection," In Proceeding of the IEEE 19th International Conference on High Performance Computing, 2012.
 76. Hidefumi Ogata, Miyuru Dayarathna, and Toyotaro Suzumura: "Highly Scalable X10 Based Spectral Clustering," In Proceeding of the IEEE 19th International Conference on High Performance Computing, 2012.
 77. Miyuru Dararathna and Toyotaro Suzumura: "XGDBench: A Benchmarking Platform for Graph Stores in Exascale Clouds," In Proceeding of the 2012 IEEE CloudCom conference, 2012.
 78. Katsuki Fujisawa, Toshio Endo, Hitoshi Sato, Makoto Yamashita, Satoshi Matsuoka, and Maho Nakata: "High-Performance General Solver for Extremely Large-Scale Semidefinite Programming Problems," In Proceedings of the 2012 ACM/IEEE conference on Supercomputing, 2012.
 79. Koichi Shirahata, Hitoshi Sato, Toyotaro Suzumura, and Satoshi Matsuoka: "A GPU Implementation of Generalized Graph Processing Algorithm GIM-V," In Proceedings of the 3rd International Workshop on Parallel Algorithm and Parallel Software, 2012.
 80. Sorn Jarukasemratana, Tsuyoshi Murata: "Visualizing Web Structure based on Browsing Sessions," In Proceedings of the 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction, 2012.
 81. Miyuru Dayarathna, Charuwat Hounkaew, and Toyotaro Suzumura: "Introducing ScaleGraph : An X10 Library for Billion Scale Graph Analytics," In Proceedings of the 2012 ACM SIGPLAN X10 Workshop, 2012.
 82. Koji Ueno and Toyotaro Suzumura: "Highly Scalable Graph Search for the Graph500 Benchmark, " In Proceeding of the 21st International ACM Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing, 2012.
 83. Hidetoshi Shimodaira, Haruhisa Nagata: "A Laplacian for the personalized PageRank of undirected graph," In Proceeding of the 9th Workshop on Algorithms and Models for the Web Graph, 2012.
 84. Koji Ueno and Toyotaro Suzumura: "2D Partitioning Based Graph Search for the Graph500 Benchmark," In Proceeding of the 2013 IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum, 2012.
 85. Hiroya Matsuura and Toyotaro Suzumura: "A Highly Efficient Consolidated Platform for

- Stream Computing and Hadoop,” In Proceedings of the 2012 IEEE 26th International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops & PhD Forum, 2012.
86. Miyuru Dayarathna and Toyotaro Suzumura: “Hirundo: A Mechanism for Automated Production of Optimized Data Stream Graphs,” In Proceeding of the ACM/SPEC 3rd International Conference on Performance Engineering, 2012.
 87. Makoto Yamashita, Katsuki Fujisawa, Mituhiro Fukuda, Kazuhide Nakata, and Maho Nakata: “Parallel solver for semidefinite programming problem having sparse Schur complement matrix,” ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 39, No. 1 2012.
 88. Yuji Shinano, Tobias Achterberg, Timo Berthold, Stefan Heinz, and Thoresten Koch: “ParaSCIP: A Parallel Extension of SCIP,” Competence in High Performance Computing, 2012.
 89. Tamas Fleiner and Naoyuki Kamiyama: “A Matroid Approach to Stable Matchings with Lower Quotas,” In Proceeding of the 23rd Annual ACM/SIAM Symposium on Discrete Mathematics, 2012.

(2)その他の著作物

1. 藤澤克樹, “スパースモデリングのための高速・省電力計算”, 電子情報通信学会誌, Vol.99, No.5, 2016.
2. 佐藤 仁, 上野 晃司, 白幡 晃一, 社本 秀之, 松岡 聡: “将来のスーパーコンピュータでのエクストリームなビッグデータ処理にむけた TSUBAME2 での取り組み”, TSUBAME e-Science Journal vol.12, 2014 年.
3. Naohiko Arima, Sunyoung Kim, Masakazu Kojima, and Kim-Chuan Toh: “Lagrangian-Conic Relaxations, Part I: A Unified Framework and Its Applications to Quadratic Optimization Problems,” Research Report B-475, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2014.
4. Naohiko Arima, Sunyoung Kim, Masakazu Kojima, and Kim-Chuan Toh: “Lagrangian-Conic Relaxations, Part II: Applications to Polynomial Optimization Problems,” Research Report B-476, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2014.
5. 藤澤克樹, “次世代スーパーコンピュータ技術を用いた超大規模グラフ解析と実社会への応用”, 電子情報通信学会誌, Vol.97, No.5, 2014.
6. 藤澤克樹, 品野勇治: “最適化と計算の今後—大規模問題をどこまで解決できるのか?—”, オペレーションズ・リサーチ, Vol.59, No.1, 2014 年.
7. Sunyoung Kim, Masakazu Kojima and Kim-Chuan Toh: “A Lagrangian-DNN Relaxation: a Fast Method for Computing Tight Lower Bounds for a Class of Quadratic Optimization Problems,” Research Report B-472, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2013.
8. 鳥海重喜: “インパクト大きい北極海航路 急がれるインフラ整備”, 週刊エコノミスト, 2013 年 5 月 21 日号.
9. Naohiko Arima, Sunyoung Kim and Masakazu Kojima: “Extension of Completely Positive Cone Relaxation to Polynomial Optimization,” Research Report B-471, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2013.
10. 藤澤 克樹、遠藤 敏夫: “大規模半正定値計画問題に対する内点法アルゴリズムの高速計算”, TSUBAME e-Science Journal No.7, 東京工業大学 学術国際情報センター, 2012 年.
11. Katsuki Fujisawa and Toshio Endo: “High-Performance General Solver for Extremely Large-Scale Semidefinite Programming Problems,” TSUBAME e-Science Journal No.7, GSIC, Tokyo Institute of Technology, 2012.

12. Timo Berthold, Ambros M. Gleixner, Stefan Heinz, Thorsten Koch, 品野勇治: “SCIP Optimization Suite を利用した混合整数(線形/非線形) 計画問題の解法”, 第 24 回 RAMP シンポジウム論文集, 2012 年.
13. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, and Ken Wakita: “Extending modularity by incorporating distance functions in the null model,” <http://arxiv.org/abs/1210.4007>, 2012.
14. Sunyoung Kim, Masakazu Kojima, and Makoto Yamashita: “Parallel Implementation of Successive Sparse SDP Relaxations for Large-Scale Euclidean Distance Geometry Problems,” Research Report B-470, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2012.
15. Naohiko Arima, Sunyoung Kim, and Masakazu Kojima: “Simplified Copositive and Lagrangian Relaxations for Linearly Constrained Quadratic Optimization Problems in Continuous and Binary Variables,” Research Report B-469, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2012.
16. Naohiko Arima, Sunyoung Kim, and Masakazu Kojima: “A Quadratically Constrained Quadratic Optimization Model for Completely Positive Cone Programming,” Research Report B-468, Dept. of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology, 2012.
17. 藤澤克樹, 後藤順哉, 安井雄一郎: “Excel で学ぶ OR”, オーム社, 2011 年 7 月.

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 52 件、国際会議 27 件)

● 国内会議

1. 大規模グラフ最適化基盤と都市 OS 応用 ―ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその応用―, Yahoo! Japan, 東京都千代田区, 2017 年 3 月 22 日
2. 大規模グラフ最適化基盤と都市 OS 応用 ―ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその応用―, ビッグデータ分析技術ワークショップ, 大規模グラフマイニング技術と応用, 岐阜県高山市, 2017 年 3 月 5 日
3. 大規模グラフ解析と都市 OS の開発 ―ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその応用―, データサイエンスセミナー&交流会 January 2017, Osaka Innovation Hub, 大阪市, 2017 年 1 月 21 日
4. Industry 4.0 から Society 5.0 へ -IoT, 次世代 AI, ビッグデータがもたらす新しいものづくり-, 応用数理ものづくり研究会 第 15 回技術セミナー, 早稲田大学, 2016 年 12 月 22 日
5. 藤澤克樹(九州大学): “都市 OS 実現のための数理モデルと計算基盤”, IoT が実現するスマートシティ最新研究と応用事例, 東京, 2016 年 3 月 10 日.
6. 藤澤克樹(九州大学): “大規模グラフ解析と都市 OS の開発 ―ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその応用―”, 第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, 福岡, 2016 年 3 月 1 日.
7. 藤澤克樹(九州大学): “Advanced Computing & Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers”, ビッグデータ分析技術ワークショップ〜グラフマイニング研究の最新動向と応用事例〜, 福岡, 2016 年 2 月 28 日.
8. 藤澤克樹(九州大学): “高速かつ省電力なグラフ解析とその実応用”, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure, 福岡, 2016 年 1 月 19 日.
9. 藤澤克樹(九州大学): “都市 OS 実現のための数理モデルと計算基盤”, 自動車業界における IT・数理科学技術の活用 ―豊かな社会を創り出すイノベーションを目指して―, 東京, 2015 年 12 月 11 日.
10. 藤澤克樹(九州大学): “グラフ解析と最適化技術で実現する都市 OS”, 共共拠点研究会, 福岡, 2015 年 12 月 7 日.

11. 藤澤克樹(九州大学): “グラフ解析と最適化技術で実現する都市 OS”, システム制御情報学会, 大阪, 2015 年 5 月 22 日.
12. 藤澤克樹(九州大学): “大規模並列環境下でのハイブリッド並列ソルバの開発と超大規模数値最適化問題の解決”, 先駆的科学計算に関するフォーラム, 福岡, 2015 年 4 月 24 日.
13. 藤澤克樹(九州大学): “都市 OS の創り方 5 ビッグデータ解析で福岡市の未来(5分後から数年後まで)を予測する! 編”, 九州大学共進化社会システム創成シンポジウム 都市 OS はこう創る!, 福岡, 2015 年 4 月 10 日.
14. 佐藤仁(東京工業大学): “タイトル不明”, Japan Lustre Users Group, 東京, 2014 年 10 月 17 日.
15. 佐藤仁(東京工業大学): “不揮発性メモリを考慮した大規模なグラフの高速処理”, MemoryPlus Workshop, 東京, 2014 年 9 月 17 日.
16. 安井雄一郎(九州大学): “計算機のメモリ階層構造を考慮した高速な幅優先探索”, 日本応用数学会 若手の会, 東京, 2014 年 9 月 4 日.
17. 藤澤克樹(九州大学): “日本オペレーションズ・リサーチ学会秋期発表大会”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014 年春季研究発表会チュートリアル講演, 北海道, 2014 年 8 月 29 日.
18. 安井雄一郎(九州大学): “計算機のメモリ階層構造を考慮した幅優先探索の高速化”, KSS for Mathematics, Kobe Studio Seminar for Studies with Renderman 共同ワークショップ, 神戸, 2014 年 8 月 26 日.
19. 安井雄一郎(九州大学): “CG 分野に対する計算機のメモリ階層構造を考慮した高速計算手法”, KSS for Mathematics, Kobe Studio Seminar for Studies with Renderman 共同ワークショップ, 神戸, 2014 年 8 月 26 日.
20. 藤澤克樹(九州大学): “Tegra K1 プロセッサ上での高速かつ省電力なグラフ探索ソフトウェアの開発”, GPU Technology Conference Japan, 東京, 2014 年 7 月 16 日.
21. 佐藤仁(東京工業大学): “TSUBAME2 における GPU を用いた大規模データ処理”, GPU Technology Conference Japan 2014, 東京, 2014 年 7 月 16 日.
22. 藤澤克樹(九州大学): “大規模グラフ解析と避難シミュレーションへの応用”, 人工知能学会全国大会, 愛媛, 2014 年 5 月 12 日.
23. 藤澤克樹(中央大学): “次世代スーパーコンピュータ技術を用いた超大規模グラフ解析と実社会への応用”, 株式会社日立製作所横浜研究所, 2014 年 3 月 14 日.
24. 藤澤克樹(中央大学): “次世代スーパーコンピュータ技術を用いた超大規模グラフ解析と実社会への応用”, 数学協働プログラムチュートリアル「ビッググラフと最適化, 統計数値研究所, 2014 年 3 月 12 日.
25. 藤澤克樹(中央大学): “次世代スーパーコンピュータ技術を用いた超大規模グラフ解析と実社会への応用”, 第 5 回暗号フロンティア研究会, 北陸先端科学技術大学院大学, 2014 年 3 月 5 日.
26. 安井雄一郎(中央大学): “高性能計算機上でのグラフ最適化基盤の開発”, 湊離散構造処理系プロジェクト, ERATO セミナー, 北海道大学, 2014 年 2 月 26 日.
27. 安井雄一郎(中央大学): “性能計算機上でのグラフ最適化基盤の開発”, 九州最適化研究集会「モビリティの数値」, 九州大学, 2014 年 2 月 21 日.
28. 藤澤克樹(中央大学): “超大規模半正定値計画問題に対する高性能汎用ソルバの開発と評価”, 文部科学省数学協働プログラムワークショップ「正定対称行列をめぐるモデリング・数値・アルゴリズムの世界」, 政策研究大学院大学, 2014 年 1 月 14 日.
29. 藤澤克樹(中央大学): “TSUBAME によるグラフ解析と数値最適化問題のグランドチャレンジ”, シンポジウム「スーパーコンピュータ TSUBAME の進化と未来」, 東京工業大学学術国際情報センター, 2013 年 12 月 10 日.
30. 藤澤克樹(中央大学): “ポストペタスケールシステムにおける超大規模グラフ最適化基盤”, 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 研究集会:「グラフビッグデータ」, 九州大学, 2013 年 12 月 5 日.

31. 藤澤克樹(中央大学): “最適化と計算の今後:大規模問題をどこまで解決できるのか?”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋期発表大会 研究賞受賞特別講演, 徳島大学, 2013 年 9 月 11 日.
32. 藤澤克樹(中央大学): “NVIDIA プロセッサによる最適化高速計算及び省電力グラフ探索”, NVIDIA GTC Japan 2013, 東京ミッドタウンホール&カンファレンス, 2013 年 7 月 30 日.
33. 藤澤克樹(中央大学): “数学ソフトウェアの開発と今後の方向性 - HPC 技術の活用”, 産学連携, 教育プログラム -, 九州大学 IMI Colloquium, 2013 年 7 月 17 日.
34. 藤澤克樹(中央大学): “次世代スパコン技術を用いた超大規模グラフ解析と実社会への応用”, 第 313 回九州大学数値解析セミナー (Q-NA), 九州大学, 2013 年 6 月 25 日.
35. 安井雄一郎(中央大学): “Graph500 における BFS 高速化技術を適用した並列パス列挙アルゴリズム”, 地理情報の解析と視覚化第8回サミット (GODIVA 2013), 筑波大学, 2013 年 2 月 26 日.
36. 神山直之(九州大学): “離散最適化 ~ネットワークフローを中心に~, IMI チュートリアル「数学モデリングの基礎と展開」, 九州大学, 2013 年 2 月 20 日.
37. 藤澤克樹(中央大学): “大規模最適化問題に対するソフトウェア開発と高速&安定計算-理論からスパコンまで-”, 日本数式処理学会東北地区合同分科会, カルチャー仙台ビル (仙台市), 2013 年 1 月 26 日.
38. 安井雄一郎(中央大学): “メモリ階層構造を考慮した大規模グラフ処理の高速化”, 日本数式処理学会東北地区合同分科会, カルチャー仙台ビル (仙台市), 2013 年 1 月 26 日.
39. 藤澤克樹(中央大学): “大規模最適化問題に対するソフトウェア開発と高速&安定計算-理論からスパコンまで-”, JST 湊 ERATO セミナー, 北海道大学 (札幌市), 2012 年 12 月 12 日.
40. 安井雄一郎(中央大学): “メモリ階層構造を考慮した大規模グラフ処理の高速化”, JST 湊 ERATO セミナー, 北海道大学, 2012 年 12 月 12 日.
41. 脇田建(東京工業大学): “社会ネットワークの可視化”, ビジュアライゼーションカンファレンス, 東京, 2012 年 12 月 3 日.
42. 小島政和(中央大学): “0-1 混合整数 2 次計画問題は非負象限上の無制約 2 次最適化問題に変換出来るか?”, 科研費シンポジウム情報化ネットワーク社会に向けた高度な専門的数理的技術ライブラリの研究と開発, 東京工業大学, 2012 年 11 月 29 日.
43. 脇田建(東京工業大学): “大規模社会ネットワークのクラスタリング”, 情報処理学会連続セミナー2012 第4回ソーシャルメディアの大規模ネットワーク分析, 東京, 2012 年 10 月 10 日.
44. 高松瑞代(中央大学): “鉄道・バスの円滑な乗換を目指した時空間ネットワーク設計”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会常設研究部会 第 24 回 RAMP シンポジウム, 仙台, 2012 年 9 月 27 日.
45. 脇田建(東京工業大学): “大規模社会ネットワークのクラスタリングと可視化への応用”, SMART プログラム“複雑ネットワーク・サマースクール”/CMRU 研究会“ネットワーク科学の数理と展開”, 東北大学, 2012 年 9 月 12 日.
46. 藤澤克樹(中央大学): “次世代スパコン技術を用いた超大規模グラフ解析と実社会への応用”, 第 11 回情報科学技術フォーラム (FIT2012), 法政大学 (東京都小金井市), 2012 年 9 月 4 日.
47. 鈴木豊太郎(東京工業大学): “Graph500 への挑戦 - GPU を用いた大規模グラフ処理”, GPU Technology Conference Japan 2012, 2012 年 07 月 26 日.
48. 小島政和(中央大学): “多項式最適化問題の半正定値計画緩和”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会最適化の理論と応用研究部会, 筑波大学, 2012 年 7 月 1 日.
49. 鈴木豊太郎(東京工業大学): “Graph 500 ベンチマークへの挑戦”, e-サイエンスに向けた革新的アルゴリズム基盤 第2回シンポジウム, 東京工業大学, 2011 年 11 月 22 日.
50. 藤澤克樹(中央大学): “大規模半正定値計画問題に対するソフトウェアと高速&安定計

算による解決 -理論からスパコンまで-”, 第 14 回情報論的学習理論ワークショップ, 奈良女子大学(奈良市), 2011 年 11 月 9 日.

51. 藤澤克樹(中央大学): “ポストペタスケールシステムにおける超大規模グラフ最適化基盤”, 最適化理論の産業・諸科学への応用, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所, 2011 年 10 月 13 日.
52. 藤澤克樹(中央大学): “ポストペタスケールシステムにおける超大規模グラフ最適化基盤”, e-サイエンスに向けた革新的アルゴリズム基盤 第1回シンポジウム, はこだて未来大学, 2011 年 9 月 4 日.

● 国際会議

1. Katsuki Fujisawa, Advanced computing & optimization infrastructure for extremely large-scale graphs on post peta-scale supercomputers, ISM-ZIB-IMI Joint Workshop on Optimization and Data-intensive High Performance Computing, Institute of Statistical Mathematics, Tokyo, Japan, 2017 年 1 月 19 日
2. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “The Future of Graph Computing”, The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Salt Lake, USA, November 13, 2016.
3. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “Billion-Scale Social Simulation”, Social Simulation Conference, Rome, Italy, September 20, 2016,
4. Katsuki Fujisawa (Kyushu University), Advanced Computing & Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers, Semi-plenary Talk, ICCOPT2016, GRIPS, Tokyo, Japan, August 10, 2016.
5. Katsuki Fujisawa (Kyushu University), Advanced Computing & Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers, ICMS2016, ZIB, Berlin, Germany, July 12, 2016.
6. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “Advanced Computing & Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers”, ISC16, Big Data & HPC Convergence, Frankfurt, Germany, June 20, 2016.
7. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “Towards Next-Generation Graph Processing and Management Platform”, High Performance Graph Processing workshop, Kyoto, Japan, May 31, 2016
8. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “The World is Big and Linked: Whole Spectrum Industry Solutions towards Big Graphs”, Porto Winter School on Graph Analytics and Applications, University of Porto, Portugal, December 16, 2015.
9. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “Advanced Computing and Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers”, TITECH booth talk, SC ‘15, Austin, USA, November 17, 2015.
10. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “The World is Big and Linked: Whole Spectrum Industry Solutions towards Big Graphs”, IEEE International Conference on Big Data, Santa Clara, USA, October 31, 2015.
11. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “Advanced Computing and Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers”, HPCCON, Tokyo, Japan, October 10, 2015.
12. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “How to win Graph500 – A Challenge to Graph500 Benchmark-”, Summer School for Combinatorial Optimization, Co@work, Berlin, Germany, October 2, 2015.
13. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “A Challenge to Graph500 Benchmark: Trillion-Scale Graph Processing on K Computer”, International Workshop with Mentors on Databases, Web and Information Management for Young Researchers, Nara, Japan, August

- 5, 2015.
14. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “Towards Billion-Scale Graph Processing and Management”, 21st ACM Conference on Knowledge Discovery and Data mining, Sydney, Australia, August 10, 2015.
15. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “High Performance Graph Processing”, EuroPar 2015, Vienna, Austria, August 25, 2015.
16. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “A Challenge to Graph500 Benchmark: Trillion-Scale Graph Processing on K Computer”, ISC15 : HPC in Asia 02, Frankfurt, Germany, July 15, 2015.
17. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “Large-Scale Graph Analysis for Cyber Security on Post Peta-Scale Supercomputers”, Kyushu University Cybersecurity Center Opening Ceremony and Cybersecurity Symposium, Fukuoka, Japan, July 8, 2015.
18. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “Big Data Processing in Large-Scale Network Analysis and Billion-Scale Social Simulation,” Invited talk at Barcelona Supercomputing Center, Barcelona, Spain, June 6, 2014.
19. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “Petascale General Solver for Semidefinite Programming Problems with over Two Million Constraints,” RTE-IBM Workshop Semi-Definite Programming for Optimal Power Flow Problem, Dublin, Ireland, Apr 23, 2014.
20. Katsuki Fujisawa (Kyushu University): “Advanced Computing and Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers,” The Japanese Extreme Big Data Projects Workshop, Fukuoka, Japan, February 26, 2014.
21. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “ScaleGraph: A Billion-Scale Graph Analytics Library,” 2nd Workshop on Graph-based Technologies and Applications (Graph-TA), Barcelona, Spain, February 21, 2014.
22. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “Big Data Processing in Large-Scale Network Analysis and Billion-Scale Social Simulation,” Invited talk at Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, Switzerland, February 2014.
23. Hitoshi Sato (Tokyo Institute of Technology): “Towards Extreme-scale Graph Processing with Deepening Memory Hierarchy,” Big Data and Extreme Computing Fukuoka, Japan, February 2014.
24. Hitoshi Sato (Tokyo Institute of Technology): “Towards Extreme-scale Graph Processing,” Japan-UK Big Data Research Workshop, Tokyo, February 2014.
25. Masakazu Kojima (Chuo University): “Global Optimization via Conic Linear Programming Relaxation,” Forum “Math-for-Industry” 2013: The impact of Applications on Mathematics Institute of Mathematics for Industry, Fukuoka, Japan, November 2013.
26. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “A Scalable System Software for Extremely Big Data Processing,” Keynote Talk, The 5th ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering, Dublin, Ireland, March 2014.
27. Toyotaro Suzumura (Tokyo Institute of Technology): “Graph500 Challenge on TSUBAME 2.0,” Supercomputing 2011, Tokyo Institute of Technology, Booth Talk, November 15, 2011.

② 口頭発表 (国内会議 65 件、国際会議 13 件)

● 国内会議

1. 藤澤克樹(九州大学), “大規模グラフ解析と都市 OS の開発 ―ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその応用―”, 研究部会:産業における応用数理, 日本応用数理学会 2016 年度年会, 北九州市, 2016 年 9 月 12 日.
2. 佐藤仁(東京工業大学): “I/O 分割による遅延隠蔽を用いた Out-of-core な GPU Set

- Intersection の性能評価”, 情報処理学会 第 155 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 長野, 2016 年 8 月 8 日.
3. 今村智史(九州大学): “コードレベル性能最適化が電力効率に与える影響の分析”, 情報処理学会 第 155 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 長野, 2016 年 8 月 8 日.
 4. Guanglong Chi (東京工業大学): “A Distributed Implementation of Louvain-style Community Detection Heuristics for Large-scale Social Networks”, 情報処理学会 第 150 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 大分, 2016 年 8 月 6 日.
 5. 佐藤仁 (東京工業大学): “GPU アクセラレータと不揮発性メモリを考慮した外部ソート”, 情報処理学会第 150 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 大分, 2016 年 8 月 6 日.
 6. 社本秀之(東京工業大学): “GPU アクセラレータと不揮発性メモリを考慮した大規模分散ソート”, 情報処理学会 第 154 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 神奈川, 2016 年 4 月 25 日.
 7. 上野晃司(東京工業大学): “Bitmap Hybrid BFS の改良と「京」における性能評価”, 第 153 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 愛媛, 2016 年 3 月 1 日.
 8. Ken Wakita(東京工業大学): “Interactive high-dimensional visualization of social graphs”, 2nd Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure, 福岡, 2016 年 1 月 20 日.
 9. Guanglong Chi (東京工業大学): “A distributed parallel community detection heuristics for large-scale real graph”, 情報処理学会 研究報告.[ハイパフォーマンส์コンピューティング], 2015.22 (2015): pp.1-11.
 10. 菊池巧 (東京工業大学): “100 万個の球を描く 10 の手法”, 日本ソフトウェア科学会第 32 回大会, 東京, 2015 年 9 月 11 日.
 11. 佐藤仁 (東京工業大学): “クラウドバーストバッファによるクラウド・スパコン間連携”, アカデミックインタークラウドシンポジウム 2015 Cloud Week 2015, 北海道, 2015 年 9 月 8 日.
 12. 佐藤仁 (東京工業大学): “GPU アクセラレータと不揮発性メモリを考慮した外部ソート”, 情報処理学会 第 150 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究会”, 大分, 2015 年 8 月 5 日.
 13. Guanglong Chi (東京工業大学): “A distributed implementation of Louvain-style community detection heuristics for large-scale social networks”, 情報処理学会 第 150 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究会, 大分, 2015 年 8 月 5 日.
 14. 金刺宏樹(東京工業大学): “並列分散システムにおける大規模交通シミュレーションの性能最適化”, 第 148 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 大分, 2015 年 3 月 3 日.
 15. 成澤龍人(中央大学): “緊急避難計画に対する普遍的な最速流の実験的解析”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014 年春季研究発表会, 大阪, 2014 年 3 月 7 日.
 16. Katsuki Fujisawa(中央大学): “Peta-scale General Solver for Semidefinite Programming -Extremely Large-scale Parallel Cholesky Solver-”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014 年春季研究発表会, 大阪, 2014 年 3 月 6 日.
 17. 安井雄一郎(中央大学): “省電力性能を考慮した幅優先探索”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014 年春季研究発表会, 大阪, 2014 年 3 月 6 日.
 18. 稲田啓佑(中央大学): “エネルギー資源の国際輸送におけるリスクの定量的評価”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2014 年春季研究発表会, 大阪, 2014 年 3 月 6 日.
 19. 藤澤克樹(中央大学): “超大規模半正定値計画問題に対する高性能汎用ソルバの開発と評価”, 情報処理学会 第 147 回アルゴリズム研究会, 中央大学, 2014 年 3 月 3 日.
 20. 安井雄一郎(中央大学): “NUMA を考慮した並列幅優先探索”, 情報処理学会 第 147 回アルゴリズム研究会, 中央大学, 2014 年 3 月 3 日.
 21. 小形英史(東京工業大学): “大規模ネットワークに対するリンク予測の並列実装”, 情報処

- 理学会第 143 回 HPC 研究会, 2014 年 3 月 3 日.
22. 岩渕圭太(東京工業大学): “不揮発性メモリを考慮した Hybrid-BFS アルゴリズムの省メモリ化”, 情報処理学会 第 143 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 石川, 2014 年 3 月.
 23. 岩渕圭太(東京工業大学): “不揮発性メモリを用いた Hybrid BFS アルゴリズム”, 情報処理学会 第 147 回アルゴリズム研究発表会, 中央大学, 2014 年 3 月.
 24. 小形 英史(東京工業大学): “大規模ネットワーク解析のためのスペクトラルクラスタリング”, 情報処理学会 第 141 回 HPC 研究会, 2013 年 10 月 1 日.
 25. 石井 大輔(東京工業大学): “PGAS 言語 X10 による数値制約充足問題ソルバーRealpaver の並列化”, 情報処理学会 第 141 回 HPC 研究会, 2013 年 10 月 1 日.
 26. 上野 晃司(東京工業大学): “Pregel グラフ処理系におけるメッセージ配送最適化に向けて”, 情報処理学会 第 141 回 HPC 研究会, 2013 年 10 月 1 日.
 27. 岩渕圭太(東京工業大学): “不揮発性メモリを用いた Hybrid-BFS アルゴリズムの最適化と性能解析”, 情報処理学会 第 141 回 HPC 研究会, 2013 年 10 月 1 日.
 28. 高見将則(東京工業大学): “Active Graph Interface 3D: 複雑ネットワークに対する対話的グラフ可視化システム”, 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 高知市, 2013 年 12 月 6 日.
 29. 佐藤仁(東京工業大学): “Extreme Big Data 時代に向けた TSUBAME スーパーコンピュータ上での取り組み”, AXIES 大学 ICT 推進協議会, 千葉, 2013 年 12 月.
 30. 三浦信一(東京工業大学): “東京工業大学の HPCI に関する取り組み”, 大学 ICT 推進協議会, 千葉, 2013 年 12 月.
 31. 建部修見(筑波大学): “HPCI 共用ストレージの性能評価”, 情報処理学会 第 142 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 札幌, 2013 年 12 月.
 32. 高柳亘(東京工業大学): “GPU 環境で動作するメッセージ送信型並行計算モデルにもとづいたプログラミング言語”, 第 30 回日本ソフトウェア科学会大会, 東京, 2013 年 9 月 11 日.
 33. THONG PHAM(大阪大学): “複雑ネットワークの生成モデルにおける優先的選択関数のノンパラメトリック推定”, 2013 年度統計関連学会連合大会, 大阪, 2013 年 9 月 9 日.
 34. 永田晴久(大阪大学): “階層型クラスタリングにおけるブートストラップ法の GPGPU 化と CPU/GPU 負荷分散”, 2013 年度統計関連学会連合大会, 大阪, 2013 年 9 月 9 日.
 35. 白幡晃一(東京工業大学): “GPU アクセラレータと不揮発性メモリを考慮した I/O 性能の予備評価”, 第 141 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 沖縄, 2013 年 9 月.
 36. 岩渕圭太(東京工業大学): “不揮発性メモリを用いた Hybrid-BFS アルゴリズムの最適化と性能解析” 情報処理学会 第 141 回ハイパフォーマンส์コンピューティング研究発表会, 沖縄, 2013 年 9 月.
 37. Amjad Twalo (東京工業大学): “Internet Traffic Classification using multi-classifier systems”, 2013 年度人工知能学会全国大会(第 27 回)論文集, 3C4-IOS-4a-4 (3 pages), 2013 年.
 38. Tsuyoshi Murata(東京工業大学): “Community Detection on Heterogeneous Networks”, 2013 年度人工知能学会全国大会(第 27 回)論文集, 3C4-IOS-4a-5 (3 pages), 2013 年.
 39. 稲田啓佑(中央大学): “福岡市におけるフードデザート問題の研究”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2013 年秋季研究発表会, 徳島大学, 2013 年.
 40. 安井雄一郎(中央大学): “大規模グラフに対する幅優先探索の高速化”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 徳島大学, 2013 年.
 41. 成澤龍人(中央大学): “最速フローを用いた避難所の評価”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 徳島大学, 2013 年.
 42. 柴崎隆一(国際臨海開発研究センター): “船舶寄港データベースに基づくコンテナ貨物配分モデルによる世界主要港湾のトランシップ貨物量の推計”, 第 47 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2013 年.
 43. 佐藤仁(東京工業大学): “大規模ヘテロ型スーパーコンピュータ向けデータ並列処理フレ

- ームワークの設計と実装”, 情報処理学会研究報告 2012-HPC-138, 芦原温泉, 2013 年 3 月 22 日.
44. 岩渕圭太(東京工業大学): “不揮発性メモリを用いた Graph500 ベンチマークの大規模実行へ向けた予備評価”, 情報処理学会研究報告 2012-HPC-138, 芦原温泉, 2013 年 3 月 22 日.
 45. 川崎亮, 脇田建(東京工業大学): “携帯電話基地局間情報から見たコートジボワール社会の分析”, 情報処理学会第 75 回全国大会, 東北大学川内キャンパス, 2013 年 3 月 6-8 日.
 46. 有馬直彦(中央大学): “一般2次最適化問題と等価な Completely Positive Programming - 0-1 混合線形制約2次最適化問題への理論的応用 -”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2013年春季研究発表会, 東京大学, 2013 年 3 月 5 日.
 47. 高松瑞代(中央大学): “PASMO データを用いた駅構内売店のコンビニ化による購買行動変化の分析”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2013 年春季研究発表会, 東京大学, 2013 年 3 月 5-6 日.
 48. 高柳亘(東京工業大学): “Actor モデルにもとづいた非同期並列プログラミング言語 ActGPU のコンパイラの実装とその評価”, 第 194 回 ARC・第 137 回 HPC 合同研究発表会 (HOKKE-20), 北海道大学情報基盤センター, 札幌, 2012 年 12 月 13-14 日.
 49. 鳥海重喜(中央大学): “航空旅客便の時空間ネットワーク, 地理情報システム学会”, 広島修道大学, 2012 年 10 月 14 日.
 50. 金城憲長(東京工業大学): “センサーネットワークモデルにおける重み付けによる数値精度向上について”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年秋季研究発表会, 愛知, 2012 年 9 月 13 日.
 51. 高松瑞代(中央大学): “鉄道・バス乗換保証のための数理計画モデル”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年秋季研究発表会, 愛知, 2012 年 9 月 12-13 日.
 52. 池松恭平(東京工業大学): “3 部モジュラリティの改善とその最適化手法”, ネットワークが創発する知能研究会 (JWEIN2012), 立正大学大崎キャンパス, 東京, 2012 年 8 月 29 日.
 53. 高柳亘(東京工業大学): “CUDA を用いた非同期メッセージ送信型並行計算 Actor モデルの実装”, 第 135 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会 (SWoPP2012), 鳥取, 2012 年 8 月 1-3 日.
 54. Sorn Jarukasemratana(東京工業大学): “Improved Web Cache Replacement Policy using Web Usage Data”, 2012 年度人工知能学会全国大会(第 26 回)論文集, 3M2-IOS-3B-8, 6pages, 2012 年 6 月 12-15 日.
 55. 白幡晃一(東京工業大学): “汎用グラフ処理モデル GIM-V の複数 GPU による大規模計算とデータ転送の最適化”, 情報処理学会研究報告, 2012-HPC-133, 兵庫 2012 年 3 月 27 日.
 56. Jiayue Zhang(東京工業大学): “Towards Fast PGAS Implementation of Multithreaded Asynchronous Large-Scale Graph Traversal for Supercomputers with Local Semi-external Memory”, IPSJ SIG Technical Report, 2012-HPC-133, Hyogo, March 27, 2012.
 57. 高見将則(東京工業大学): “射影に基づく対話的三次元グラフ可視化手法”, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2012-HCI-146 (6), 1-8, 2012 年 1 月.
 58. 上野晃司(東京工業大学): “TSUBAME2 における大規模グラフ処理ベンチマーク Graph500 の最適化と性能評価”, 情報処理学会 HPC (High Performance Computing) 研究会, 2011 年 12 月.
 59. 竹野創平(東京工業大学): “Wikipedia の大規模編集履歴を用いた高速関連性解析”, 情報処理学会 HPC (High Performance Computing) 研究会 2011 年 12 月.
 60. 大谷桂介(東京工業大学): “多言語に対応した自己記述をもったバイナリデータ形式”, 情報処理学会研究報告, データベース・システム研究会報告 2011-DBS-153(9), 1-10, 2011 年 10 月 27 日.
 61. 松浦紘也(東京工業大学): “データストリーム処理における GPU 統合型 CPU の予備的評価”, 情報処理学会 HPC (High Performance Computing) 研究会, 2011 年 10 月.

62. 高松瑞代(中央大学): “PASMO データを用いた鉄道利用と駅ナカ購買行動の関連分析”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会, 甲南大学, 2011 年 9 月 15 日.
63. 鳥海重喜(中央大学): “大規模地震発生後の首都圏鉄道路線の運転再開”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会, 甲南大学, 2011 年 9 月 15 日.
64. 杉原貴彦(東京工業大学): “Signed ネットワークにおけるモジュラリティ”, 日本ソフトウェア科学会 第 7 回ネットワークが創発する知能研究会研究報告 要旨集, pp.33-38, 信州大学, 2011 年 9 月 5 日.
65. 渡部優(東京工業大学): “PGAS 言語 X10 を用いた半正定値計画問題の実装と評価”, 情報処理学会 HPC (High Performance Computing) 研究会, 有馬ビューホテルうらら, 2012 年 3 月 27 日.

● 国際会議

1. Yuichiro Yasui (Kyushu University): “Fast, scalable, and energy-efficient parallel breadth-first search”, The Role and Importance of Mathematics in Innovation, Proceedings of the Forum of Mathematics for Industry 2015, October 27, 2015.
2. Hitoshi Sato (Tokyo Institute of Technology): “Reliability of NVM Devices for I/O Acceleration on Supercomputing Systems”, Lustre User Group 2015, Denver, USA, April 15, 2015.
3. Satoshi Matsuoka (Tokyo Institute of Technology): “Abstractions for Convergence of Big Data and HPC in Deep Memory Hierarchy Machines,” Workshop on Programming Abstractions for Data Locality (PADAL 2014), Lugano, April 28, 2014.
4. Hitoshi Sato (Tokyo Institute of Technology): “Lustre 2.5 Performance Evaluation: Performance Improvements with Large I/O Patches, Metadata Improvements, and Metadata Scaling with DNE,” Lustre User Group 2014, Miami, USA, April 2014.
5. Katsuki Fujisawa (Chuo University): “Petascale General Solver for Semidefinite Programming Problems with over Two Million Constraints,” The 9th International Conference on Optimization: Techniques and Applications (ICOTA 9), National Taiwan University of Science and Technology (Taiwan Tech), Taipei, December 13, 2013.
6. Yuji Shinano (Zuse Institute Berlin): “Computational Experiments with ParaCPLEX: a Parallel MIP Solver on a Large Scale Distributed Memory Computing Environment,” The 9th International Conference on Optimization: Techniques and Applications (ICOTA 9), National Taiwan University of Science and Technology (Taiwan Tech), Taipei, December 13, 2013.
7. Thorsten Koch (Zuse Institute Berlin): “Parallel Computation of Optimal Solutions to the Steiner Tree Problem in Graphs,” ICOTA9, Taiwan, Taipei, December 13, 2013.
8. Haruhisa Nagata (Osaka University): “GPGPU implementation and load balancing for calculating confidence levels of hierarchical clustering,” Joint Meeting of the IASC Satellite Conference for the 59th ISI WSC and the 8th Asian Regional Section (ARS) of the IASC, Seoul, Korea, August 22, 2013.
9. Katsuki Fujisawa (Chuo University): “High-performance general solver for extremely large-scale semidefinite programming problems,” The 21st International Symposium on Mathematical Programming (ISMP 2012), Berlin, Germany, August 24, 2012.
10. Yuji Shinano (Zuse Institute Berlin): “ParaSCIP and FiberSCIP – Parallel extensions of SCIP,” The 21st International Symposium on Mathematical Programming (ISMP 2012), Berlin, Germany, August 24, 2012.
11. Naonori Kakimur (University of Tokyo): “Matching problems with delta-matroid constraints,” The 21st International Symposium on Mathematical Programming (ISMP 2012), Berlin, Germany, August 24, 2012.

12. Hiroshi Hosobe (National Institute of Informatics): “Numerical Optimization-Based Graph Drawing Revisited,” in Proceedings of the 5th IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis2012), pp. 81-88, IEEE Computer Society, 2012.
13. Supaporn Spanurattana (Tokyo Institute of Technology): “Visual Analysis of Bipartite Networks,” in Proceedings of Large Scale Visual Analytics Workshop (in conjunction with 11th IEEE International Conference on Data Mining), pp.833-838, Marriott Pinnacle Downtown (Vancouver, Canada), December 11, 2011.

③ ポスター発表 (国内会議 15 件、国際会議 18 件)

●国内会議

1. 岩渕圭太(東京工業大学): 大規模グラフ処理ライブラリ ScaleGraph の out-of-core メモリ拡張, 2016 年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム, 仙台, 2016 年 6 月
2. Hitoshi Sato (Tokyo Institute of Technology): “Out-of-core Sorting Acceleration using GPU and Flash NVM”, GTC Japan 2015, Tokyo, September 18, 2015.
3. 渡部優(東京工業大学): “大規模ソーシャルネットワークにおける時間的構造変化の解析手法の研究”, 日本データベース学会年次大会 DEIM 2014 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, 福島, 2014 年 3 月.
4. 高見将則(東京工業大学): “Active Graph Interface: 射影を用いた対話的グラフ可視化システム”, Innovation Japan 2013, 東京, 2013 年 8 月 29 日.
5. Katsuki Fujisawa (Chuo University): “Peta-scale General Solver for Semidefinite Programming Problems with over Two Million Constraints”, GTC Japan 2013, Tokyo Midtown Hall & Conference, July 30, 2013.
6. 白幡晃一(東京工業大学): “MapReduce 型グラフ処理アルゴリズムの複数 GPU による大規模計算”, GTC Japan 2013, 東京ミッドタウンホール&カンファレンス (東京都港区), 2013 年 7 月 30 日.
7. 岩渕圭太(東京工業大学): “不揮発性メモリを用いた Graph500 ベンチマークの大規模実行へ向けた予備評価”, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2013, 仙台国際センター, 2013 年 5 月.
8. 安井雄一郎(中央大学): “Graph500 における BFS 高速化技術を適用した並列パス列挙アルゴリズム”, JST ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト「2013 年度初夏のワークショップ」, 北海道大学, 2013 年.
9. 安井雄一郎(中央大学): “Peta-scale General Solver for Semidefinite Programming Problems with over Two Million Constraints”, JST ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト「2013 年度初夏のワークショップ」, 北海道大学, 2013 年.
10. 下平英寿, (大阪大学): “個別化ページランクにもとづく無向グラフの可視化の試み”, 2012 年度 統計関連学会連合大会, 札幌, 北海道大学, 2012 年 9 月 11 日.
11. 藤澤克樹(中央大学): “超大規模グラフ探索及び最適化問題に対する GPU 計算の適用”, GTC Japan 2012, 東京, 2012 年 7 月 26 日.
12. Wataru Takayanagi (Tokyo Institute of Technology): “Actor/GPU: Bringing Flexibility and Simplicity to GPGPU,” GPU Technology Conference Japan, Tokyo Midtown Hall & Conference, Japan, July 26, 2012.
13. 渡部優(東京工業大学): “PGAS 言語 X10 による半正定値計画法の実装と評価”, 情報処理学会 SACSIS 2012 先進的計算基盤システムシンポジウムポスター発表, 2012 年 5 月.
14. 斎藤貴文(東京工業大学): “Gfarm ファイルシステムを用いた TSUBAME2.0 における占有ファイルシステムの実現”, HPCS2012, 愛知, 2012 年 1 月 25 日.
15. Jiayue Zhang (Tokyo Institute of Technology): “Preliminary Evaluation of Multithreaded Asynchronous Large-Scale Graph Traversal on TSUBAME2.0,” HPCS2012, Aichi Nagoya,

January 25, 2012.

●国際会議

1. Hitoshi Sato (Tokyo Institute of Technology): “Out-of-core Sorting Acceleration using GPU and Flash NVM”, International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Austin, USA, November 15, 2015.
2. Hiroki Kanezashi (Tokyo Institute of Technology): “Performance Optimization of Large-Scale Traffic Simulation on Parallel & Distributed Systems”, ISC 2015, Frankfurt, Germany, July 15, 2015.
3. Hideyuki Shamoto (Tokyo Institute of Technology): “Large-scale Multi-level Sorting for GPU-based Heterogeneous Architectures,” HPC in Asia Posters in conjunction with International Supercomputing Conference 2014 (ISC14), Leipzig, Germany, June 2014.
4. Yu Sakamoto (Tokyo Institute of Technology): “Visualizing the Structure of Great Speeches”, Poster Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium, Yokohama, Japan, pp.21-22, March 4, 2014.
5. Koichi Shirahata (Tokyo Institute of Technology): “Preliminary I/O Performance Evaluation on GPU Accelerator and External Memory,” GPU Technology Conference 2014, March 2014.
6. Katuski Fujisawa (Chuo University): “Peta-scale General Solver for Semidefinite Programming Problems with over Two Million Constraints,” International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis 2013, Denver, Colorado, USA, November 20, 2013.
7. Keita Iwabuchi (Tokyo Institute of Technology): “Performance Analysis of Hybrid BFS Approach Using Semi-External Memory,” International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Denver, Colorado, USA, November 19, 2013.
8. Xin Liu, Tsuyoshi Murata, and Ken Wakita: “Extending modularity by capturing the similarity attraction feature in the null model,” International School and Conference on Network Science (NetSci 2013), Denmark and the Technical University of Denmark, June 6, 2013.
9. Xin Liu (Tokyo Institute of Technology): “Exploring the multilevel community structure in D4D dataset, workshop on Mobile phone data for development,” Boston, MA, the United States, May 1, 2013.
10. Ken Wakita (Tokyo Institute of Technology): “Estimating human dynamics in Cote d’Ivoire through D4D CDR, workshop on Mobile phone data for development,” Boston, MA, the United States, May 1, 2013.
11. Xin Liu (Tokyo Institute of Technology): “Extracting the multilevel communities based on network structural and nonstructural information,” WWW 2013 companion volume, pp. 191-192, Rio de Janeiro, Brazil, April 4, 2013.
12. Koichi Shirahata (Tokyo Institute of Technology): “A Scalable Implementation of a MapReduce-based Graph Algorithm for Large-scale Heterogeneous Supercomputers,” GPU Technology Conference 2013 (GTC2013), San Jose USA, March 18, 2013.
13. Haruhisa Nagata (Osaka University): “Bootstrapping graphs for computing confidence levels of identified network communities,” The 2nd Institute of Mathematical Statistics Asia Pacific Rim Meeting, Tsukuba, July 2-4, 2012.
14. Haruhisa Nagata (Osaka University): “Bayesian posterior probability computation of identified network communities by bootstrap resampling,” ISBA 2012 Conference, Kyoto, June 25-29, 2012.
15. Ken Wakita (Tokyo Institute of Technology): “Taming interactive visualization of a large

- real-life social graph of a million nodes,” Workshop on Social media visualization, Dublin, Ireland, June 4, 2012.
16. Tsuyoshi Murata (Tokyo Institute of Technology): “Generic Modularity for Heterogeneous Networks,” 9th Workshop on Algorithms and Models for the Web Graph (WAW2012), Halifax, Canada, June 18–21, 2012.
 17. Takuya Akiba (University of Tokyo): “Fast Exact Distance Queries on Large Networks by Pruned Shortest-Path Trees,” Third Workshop on Algorithms for Large-Scale Information Processing (ALSIP 2012), Miyazaki, Japan, November 30–December 1, 2012.
 18. Masanori Takami (Tokyo Institute of Technology): “A Projection-Based Method for Interactive Visual Exploration of Complex Graphs in A Three-Dimensional Space,” IEEE PacificVis Symposium, Poster session, February 2012.

(4)知財出願
なし

(5)受賞・報道等
① 受賞

共同受賞

1. *2016 年:第 13 回 Graph500 ベンチマーク世界 1 位(SC ‘16, アメリカ)
2. 2016 年:第 12 回 Graph500 ベンチマーク世界 1 位(ISC ‘16, ドイツ)
3. 2016 年:第 7 回 Green Graph500 ベンチマーク世界 1 位(ISC ‘15, ドイツ)
4. 2015 年:第 11 回 Graph500 ベンチマーク世界 1 位(SC ‘15, アメリカ)
5. 2015 年:第 6 回 Green Graph500 ベンチマーク世界 1 位(SC ‘15, アメリカ)
6. 2015 年:第 10 回 Graph500 ベンチマーク世界1位(ISC ‘15, ドイツ)
7. 2015 年:第 5 回 Green Graph500 ベンチマーク世界1位(ISC ‘15, ドイツ)
8. 2014 年:第9回 Graph500 ベンチマーク 世界 2 位 (SC ‘14, アメリカ)
9. 2014 年:第4回 Graph500 ベンチマーク 世界1位 (SC ‘14, アメリカ)
10. 2014 年:第8回 Graph500 ベンチマーク 世界1位 (ISC ‘14, ドイツ)
11. 2014 年:第3回 Green Graph500 ベンチマーク 世界1位 (ISC ‘14, ドイツ)
12. 2013 年:第2回 Green Graph500 ベンチマーク 世界 1 位 (SC ‘13, アメリカ)
13. 2013 年:NVIDIA GTC Japan 2013 最優秀ポスター発表賞(藤澤克樹ら)
14. 2013 年:第1回 Green Graph500 ベンチマーク 世界 1 位 (ISC ‘13, ドイツ)
15. 2013 年:日本都市計画学会 2012 年年間優秀論文賞(赤星健太郎, 高松瑞代, 田口東, 石井儀光, 小坂知義)
16. 2012 年:第5回 Graph500 ベンチマーク 世界 4 位入賞 (SC ‘12, アメリカ)
17. 2012 年:日本応用数理学会 JJIAM 部門論文賞、室田一雄、寒野善博、小島政和、小島定吉
18. 2012 年:第4回 Graph500 ベンチマーク 世界 3 位入賞 (ISC ‘12, ドイツ)
19. 2011 年:第3回 Graph500 ベンチマーク 世界 3 位入賞 (SC ‘11, アメリカ)

単独受賞

1. *2017 年:文部科学大臣表彰 科学技術賞(研究部門)(藤澤克樹)
2. 2016 年:日本オペレーションズ・リサーチ学会 フェロー(藤澤克樹)
3. 2013 年:日本オペレーションズ・リサーチ学会 研究賞(藤澤克樹)
4. 2013 年:情報処理学会第 75 回全国大会学生奨励賞(川崎亮)
5. 2012 年:情報処理学会 HCI 研究会 2012 年度山下記念研究賞(上野晃司)
6. 2011 年:情報処理学会 HCI 研究会 2011 年度学生奨励賞(高見将則)

②マスコミ(新聞・TV等)報道

プレス発表

1. スーパーコンピュータ「京」が Graph500 で世界第1位を獲得
～ビッグデータの処理で重要となるグラフ解析で最高の評価～
(2016 年 7 月 13 日)

https://www.kyushu-u.ac.jp/f/28425/16_07_13.pdf

九州大学と東京工業大学、理化学研究所、スペインのバルセロナ・スーパーコンピューティング・センター、富士通株式会社による国際共同研究グループは、2016 年 6 月に公開された最新のビッグデータ処理(大規模グラフ解析)に関するスーパーコンピュータの国際的な性能ランキングである Graph500 において、スーパーコンピュータ「京(けい)」[1]による解析結果で、2015 年 11 月に続き 3 期連続(通算 4 期)で第 1 位を獲得しました。

2. 2期連続でスーパーコンピュータ「京」がGraph500で世界第1位を獲得
～ビッグデータの処理で重要となるグラフ解析でも最高レベルの評価～
(2015 年 11 月 17 日)

<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20151118/index.html>

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所の藤澤 克樹 教授、東京工業大学、ユニバーシティ・カレッジ・ダブリン、富士通株式会社、理化学研究所らの共同研究チームは、大規模なグラフを処理するソフトウェアを独自に開発し、京など様々なスーパーコンピュータ上でビッグデータ処理性能を計測する Graph500 ベンチマークテストを実施した結果、2期連続で世界第 1 位となったことが、アメリカのオースティンで開催されたスーパーコンピュータの国際会議「SC15」で 2015 年 11 月 17 日(日本時間 11 月 18 日)に発表されました。

3. スーパーコンピュータ「京」が Graph500 で世界第1位を奪還
～ビッグデータの処理で重要となるグラフ解析でも最高の評価～
(2015 年 7 月 14 日)

<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20150714/index.html>

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所の藤澤 克樹 教授、東京工業大学、ユニバーシティ・カレッジ・ダブリン、富士通株式会社、理化学研究所らの共同研究チームは、大規模なグラフを処理するソフトウェアを独自に開発し、京など様々なスーパーコンピュータ上でビッグデータ処理性能を計測する Graph500 ベンチマークテストを実施した結果、世界第 1 位となったことが、ドイツのフランクフルトで開催されたスーパーコンピュータの国際会議「ISC'15 (International Supercomputing Conference)」で 2015 年 7 月 13 日(日本時間 7 月 14 日)に発表されました

4. 災害時の復旧作業スケジューリングをスパコンでリアルタイムに実現
～ビッグデータ数理解析基盤技術を応用し、社会課題を解決～
(2015 年 7 月 10 日)

<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2015/07/10.html>

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所と株式会社富士通研究所は、災害時のライフラインや交通網などの復旧対策において、スーパーコンピュータ(以下、スパコン)を活用し、最適な復旧作業のスケジュールを高速に立案する技術を開発しました。

大規模災害には、二次災害や道路の寸断など突発的に様々な事態が発生するなど、

短時間で状況が大きく変化します。このような状況下ではライフラインなどの復旧作業スケジュールを早急に策定し迅速な対応を遂行することが求められますが、復旧計画策定において、刻々と変化する災害状況を反映した最適な計画立案を膨大なデータを用いてリアルタイムで計算することは困難でした。

今回、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所と富士通研究所は、現実の複雑な条件も考慮した上で大規模な復旧計画を効率的に立案するスパコンで実行可能な数理最適化技術を開発し、リアルタイムな復旧作業スケジューリングを実現しました。

これにより、被害の拡大状況や復旧の作業進捗など、状況の変化に応じた最新の復旧計画を提示することが可能となり、災害対策の最適化に貢献することが期待できます。

5. スーパーコンピュータ等のビッグデータ処理性能を計測するベンチマークテストで世界1位を獲得(2014年6月25日)

http://www.kyushu-u.ac.jp/pressrelease/2014/2014_06_25_2.pdf

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所の藤澤 克樹 教授、東京工業大学学術国際情報センターの佐藤 仁 特任助教、ユニバーシティ・カレッジ・ダブリン、理化学研究所らの共同研究チームは、大規模なグラフを処理するソフトウェアを独自に開発し、「京」コンピュータやTSUBAME2.5などの様々なスーパーコンピュータ上でビッグデータ処理性能を計測する Graph500 及び Green Graph500 ベンチマークテストを実施した結果、両者において世界第1位となったことが、ドイツのライプチヒで開催されたスーパーコンピュータの国際会議「ISC'14 (International Supercomputing Conference)」で2014年6月23日(日本時間6月24日)に発表されました。

6. スーパーコンピュータの大規模データ処理性能を計測する Graph 500 ベンチマークを「SGI UV 2000」で実施し、シングルノード SMP として初めて 100GTEPS を突破 (2014年8月7日)

http://www.sgi.co.jp/company_info/press_releases/archives/1218325_1681.html

7. SGI UV 2000 Named Fastest, Most Powerful Supercomputer on Industry Standard Benchmark (2014/08/07)

http://www.sgi.com/company_info/newsroom/press_releases/2014/august/graph500.html

マスコミ報道

1. SankeiBiz, 2016年7月14日
日本のスパコン「京」1位 ビッグデータ解析性能で中国の新型機抑える
<http://www.sankeibiz.jp/macro/news/160714/mca16071405000003-n1.htm>
2. 産経新聞、「数学の時代2：都市の未来を丸ごと予測」2015年12月27日
3. マイナビニュース、「ISC 2015 - どのようにして京コンピュータが Graph500 の1位を奪還したのか」, 2015年8月24日
http://news.mynavi.jp/articles/2015/08/24/isc2015_graph500/
4. マイナビニュース、「ISC 2015 - 京コンピュータがビッグデータ処理の Graph500 で世界一を奪還」, 2015年7月14日
http://news.mynavi.jp/articles/2015/07/14/graph500_k/
5. 日経コンピュータ ニュース、ビッグデータ解析性能を競う Graph 500 で「京」が再び首位, 2015年7月14日
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/071402372/?rt=nocnt>
6. 朝日新聞デジタル 2014年12月16日
九州大、ビッグデータ処理用ソフトがベンチマークテストで処理性能世界1位
http://www.asahi.com/tech_science/nikkanko/Cnikkanko20141216010.html

7. 日刊工業新聞 2014 年 12 月 16 日
九州大、ビッグデータ処理用ソフトがベンチマークテストで処理性能世界 1 位
http://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/20140625_654944.html
8. ビッグデータ解析性能を競う「Graph 500」で「京」が初の首位 (2014 年 6 月 24 日): 日経コンピュータ
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20140624/566162/>
- (ア) 読売新聞、「高速渋滞 対策急げ」、2012 年 4 月 28 日
9. 東京新聞、「その時何が起きるのか 首都直下地震 寸断」、2012 年 3 月 9 日
10. 日刊建設工業新聞、「第 18 回鉄道の日 生活、経済活動に欠かせない鉄道の価値を再認識災害時における首都圏の鉄道の役割」、2011 年 10 月 14 日
11. 読売新聞、「首都震災 その時の備え インフラ再点検4 道路規制低い認知度」、2011 年 9 月 9 日
12. 東京新聞、「見つめ直す首都—3.11 鉄道網全面ストップ—「山手復旧待ち」波及大きく」、2011 年 5 月 15 日
13. 朝日新聞、「3・11 バラバラ首都鉄道」、2011 年 4 月 23 日
14. 読売新聞、「鉄道再開に 6 時間以上～JRは終日運休、混乱増す」、2011 年 4 月 14 日
15. 産経新聞、「東日本大震災1ヶ月～3・11なぜJR東は終日運休?」、2011 年 4 月 10 日

③その他

1. 2014 年: 第8回 Graph500 ベンチマーク 世界 71 位 (GraphCREST-Custom #1)、85 位 (MEM-CREST Node #2) 108位 (EBD-RH5885v2) (ISC14, ライプツィヒ, ドイツ)
2. 2014 年: 第 3 回 Green Graph500 ベンチマーク Big Data Category 3 位 (GraphCREST-Custom #1)、Big Data Category 4 位 (MEM-CREST Node #2)、Big Data Category 12 位 (EBD-RH5885v2) (ISC14, ライプツィヒ, ドイツ)
3. 2013 年: 第7回 Graph500 ベンチマーク 世界 96 位 (EBD-RH5885v2), 98 位 (MEM-CREST Node #1), 117 位 (EBD-prototype-m) (SC13, デンバー, アメリカ)
4. 2013 年: 第2回 Green Graph500 ベンチマーク Big Data Category 4 位 (EBD-RH5885v2 シングルノードの性能では世界第一位), Small Data Category 19 位 (MEM-CREST Node #1) (SC13, デンバー, アメリカ)

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

<公開可能なもの>

- ・ 本研究で得られた大規模データに対する高性能かつ省電力なグラフ探索技術について国内の研究機関(九州大学生体防御医学研究所や産業技術総合研究所人工知能研究センターや統計数理研究所など)だけでなく、国内の企業(NTT 研究所, パナソニック, NEC 研究所, 日立中央研究所, 富士通研究所, Yahoo! Japan 研究所, 住友電工等)との社会実装及びビジネス化の推進。製造業や ICT 系だけでなく、サービス業(小売:リテール系など)や金融業(株価予測)との連携を推進している。
- ・ 国内外における企業・研究機関(理化学研究所、統計数理研究所、国立情報学研究所など)との共同研究も推進する。具体的には世界的な ICT ベンチャーである HPE (Hewlett Packard Enterprise) 研究所や SGI とのソフトウェア開発を行う。さらに欧州における数理的手法の社会実装の先駆的存在であるドイツ国立研究所(ZIB)などとの研究交流も推進する。
- ・ 開発したプログラムについては HP (日本語: <http://www.graphcrest.jp/jp/> 英語: <http://www.graphcrest.jp/eng/>)より公開予定。
- ・ 開発したプログラム「ScaleGraph」について、HP (URL; <http://www.scalegraph.org>)にて公開

中

②社会還元的な展開活動

- ・ 本研究成果について JST 主催のイノベーション・ジャパン 2011 及び 2013 において研究展示を行い、延べ100人以上の見学者を集めた。
- ・ 本研究成果について JST 主催の JST フェア 2015 及び 2016 において研究展示を行い、延べ100人以上の見学者を集めた。
- ・ 本研究成果をインターネット(日本語：<http://www.graphcrest.jp/jp/> 英語：<http://www.graphcrest.jp/eng/>)で公開し、一般に情報提供を行っている。

§ 5 研究期間中の活動

5. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2017 年 1 月 19, 20, 21 日	ISM-ZIB-IMI Joint Workshop on Optimization and Data-intensive High Performance Computing	統計数理研究所	予定	統計数理研究所 ISM, ドイツ ZIB (Zuse Institute Berlin), 九大 IMI の合同国際ワークショップ
2016 年 9 月 22 日	最大フロー求解アルゴリズムの効率的実装と、その大規模データを用いた避難計画策定への応用	九州大学	20 人	JST CREST 研究などの最新の成果発表
2015 年 12 月 11 日	自動車業界における IT・数理科学技術の活用 ―豊かな社会を創り出すイノベーションを目指して―	富士ソフト アキバプラザ	60 人	産官学交流イベント
2015 年 6 月 9 日	大規模データに対する最大フロー求解アルゴリズムの実装技術の構築	九州大学	20 人	JST CREST 研究などの最新の成果発表
2014 年 10 月 14, 15 日	IMI Workshop on Optimization in the Real World ― Toward solving real world optimization problems ―	九州大学	30 人	ドイツ、イタリアなどから研究者を招聘した国際ワークショップ
2014 年 7 月 18 日	HPC Activities in Kyushu	JR 博多駅シティ会議室	34 人	九州地区での HPC の取り組みの紹介と国内外から講演者を招聘した次世代のエクサスケールスーパーコンピュータの展望等に関する紹介

2013 年 8 月 22 日	サイエンスセミナー	中央大学	8 人	中高生を対象にしたネットワーク解析に関するワークショップ
2013 年 5 月 25 日	JST GraphCREST ワークショップ	中央大学	60 人	Laci 氏と脇氏による講演会
2012 年 10 月 1 日	平成 24 年度 第 1 回 CREST セミナー	中央大学	15 人	海外(ドイツ、アメリカ)から最適化関係の研究者を招聘しセミナーを開催
2012 年 9 月 10 日	2012 年度第 2 回ウェブ会	東京工業大学	30 人	大規模ウェブの解析に関する国内研究者を招いた最新研究の発表
2012 年 5 月 11 日	2012 年度第 1 回ウェブ会	東京工業大学	30 人	大規模ウェブの解析に関する国内研究者を招いた最新研究の発表
2012 年 3 月 23 日	第 1 回 Graph CREST シンポジウム	中央大学	80 人	研究進捗報告&関連する分野の海外招聘研究者による招待講演
2012 年 3 月 5 日	Web 会	東京工業大学	30 人	大規模ウェブ解析研究者による勉強会
2011 年 12 月 16 日	チーム内ミーティング	東京工業大学	10 人	23 年度及び 24 年度の研究計画に関するミーティング

§ 6 最後に

最初(2011 年)の研究計画書の段階では次世代スーパーコンピュータ上での基盤ソフトウェアの開発を主要な目的とし、スーパーコンピュータを用いた新規応用分野の開拓についてはあまり大きな比重を置いておりませんでした。スーパーコンピュータ上でのビッグデータ処理が次第に大きな注目を集めるようになりまして、我々が推進している Graph500 ベンチマークでの高速かつ省電力なグラフ探索技術を新規応用分野に適用すべく方針を変換致しました。よって、今後も以下の 2 本柱で研究を推進してきました。

1. 次世代スーパーコンピュータ上での基盤ソフトウェアの開発

2. スーパーコンピュータを用いた新規応用分野の開拓

1 に関しては本報告書にも詳細に記載致しましたように多少の予定変更はありましたが、概ね順調に推移しておりまして、学術論文、受賞関係、社会へのリリース等に関しまして予想以上の成果に達していると自己評価しております。

2 に関しては本 JST CREST 終了後も民間企業との協力などで積極的に推進していきたいと考えております。



Graph500 ベンチマーク世界1位の表彰式:2015 年 11 月 17 日(国際会議 SC15: アメリカ オースティン)