

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280022

研究課題名(和文)バースト的な負荷変動に耐えうる投機的再構成が可能なビッグデータ処理基盤

研究課題名(英文)Speculatively Reconfigurable Big Data Processing Infrastructure Capable of Bursty Load Fluctuation

研究代表者

小口 正人(Oguchi, Masato)

お茶の水女子大学・基幹研究院・教授

研究者番号：60328036

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ビッグデータ処理基盤におけるバースト的な負荷変動に対応し投機的にシステムを再構築する手法を検討して、これを実験システムに実装し、評価を行って提案手法の妥当性を検証、確認した。本研究ではモニタリングデータによりバースト的負荷変動を予測する手法、負荷変動の予測を元にしたクラウドの仮想マシン・データの再配置手法、ネットワークのリンク帯域制御手法の開発を行い、ハイブリッドクラウドの実験システム環境において検討を行った。バースト的な負荷変動に耐えられるビッグデータ処理基盤を構築し、緊急時のデータを用いて評価実験を行い、その効果を実証した。

研究成果の概要(英文)：In this research work, a method for speculative reconstruction of a Big Data processing system is proposed, which is responded to a bursty load increase. The method is implemented on an experiment system and evaluated. A bursty load change is predicted by monitoring data, and a virtual machine of a Cloud computing system is migrated and relocated based on the prediction, and the network traffic is controlled using the information. A Big Data processing system that is tolerable to a bursty load increase is constructed and evaluated using data in an emergency case.

研究分野：ネットワークコンピューティング・ミドルウェア

キーワード：ビッグデータ バースト性 投機的再構成 ソーシャル情報 クラウド SDN

### 1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットやセンサ技術の普及、携帯型デバイスの発展、クラウドやデータセンター（DC）の増加により、いわゆるビッグデータへの対応が社会における情報処理基盤において重要となってきた。ビッグデータは膨大な量に加え、非構造化データを含み、実時間性が高いデータも多く、複数のクラウド/DCにまたがる管理・処理が望まれている。ビッグデータの代表といえるソーシャルネットワークサービス（SNS）では、Twitterは1日に1億4千万件の情報発信が行われ、Facebookのユーザ数は現在6億を超えている。サイバーフィジカルシステム（CPS）ではセンサを用いた実世界モニタリングにより時々刻々とデータが集積されると同時に、プラント制御に代表されるように実時間によるデータ解析処理、実世界へのフィードバックが必要となる。

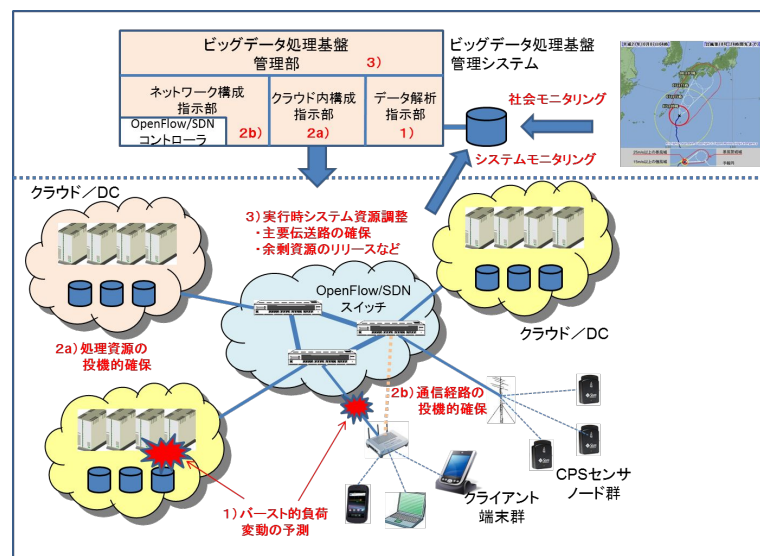
クラウド/DCにおいてはシステム負荷の変動に対し、仮想マシンの動作規模を変えマイグレーションを行い、負荷変動の吸収を図る。また現在、OpenFlow/SDNなどの技術を利用し、ネットワークのトラフィック量の変動に応じてクラウド間やクラウド・クライアント間を接続するネットワークの構成や帯域を可変（プログラマブル）にする検討が進んでいる。しかしこれらの技術は、一般的に緩やかな負荷変動を念頭に検討されており、そのままでは短時間で激しく変化するバースト的な負荷変動に追従することは難しい。さらに上述のように、ビッグデータ処理基盤ではあらかじめ予測できる社会活動に加え、事故や自然災害など不測の事態への対応を求められる。

### 2. 研究の目的

社会が生み出すデジタルデータが急増するなか、多種多様なデータを多角的に解析可能なビッグデータ処理基盤は社会情報基盤として着目されている。ビッグデータ処理基盤には実世界を反映する形でバースト的な負荷変動が起こり得る。本研究では、システムの処理負荷変動に加え、バースト的な負荷変動となる社会要因をもモニタリングし、投機的にシステム再構成を行い、実際に極端な負荷変動が起きた場合にも十分に稼働可能なビッグデータ処理基盤の構築方式の確立を目指した。一旦重い負荷が生じてからシステム再構成を速やかに行うことは難しく、社会情報基盤として求められている安定した稼働状況を実現するために、提案手法では、投機的な計算機資源の確保後、優先順位付システム再構成により計算機資源利用の最適化を行った。

本研究では、大きな負荷変動をモニタリング情報から予測し、投機的に資源割当てすることでバースト的な処理負荷が実際に生じてもシステムの再構成を行えるビッグデータ処理基盤管理システムの構築を目指す。すなわ

ち、1)システムの処理負荷変動のモニタリングに加え、バースト的な負荷変動の社会的要因（異常気象、大地震、大きな社会イベント等）を検知し、2)投機的システム再構成を行い、3)実際に大きな負荷変動が起きた場合には、優先順位付システム実行を可能とする処理基盤を構築する。投機的にシステム再構成を行うことで、バースト的な負荷変動に耐え、負荷変動後により適切なシステム構成へと変更できる。具体的には、クラウド内のインスタンスやデータを必要に応じ再配置や追加配置し、ネットワークのリンクの帯域を増加させてトラフィックの急増にあわせビッグデータアプリケーションを実行する一方、激甚災害などでは適切なシステム構成として極限られた計算機資源のなかで必要最小限の機能を維持するという選択も可能となる。以下にシステム全体図を示す。



点線の下部はビッグデータアプリケーションが稼働するクラウド/DC環境であり、点線の上部が本研究で提案するビッグデータ処理基盤管理システムである。

### 3. 研究の方法

本提案を実現するために、以下の3つの観点から検討を進めた。1つ目は予兆的な出来事や異常値を元にバースト的な負荷変動を予測する手法、2つ目はクラウド/DC内のインスタンスやデータの負荷変動に則したマイグレーション、3つ目はトラフィックの急変に備えたネットワークのリンク帯域制御である。

例えば大きな地震や台風などの大きな災害の際には、その地域に関する情報へのアクセスが急増することが予想される。申請者らは、例えば気象庁から発表される地震情報を元に大きな影響を受ける地域を特定して対処する情報共有サービスの構築などを行っており、このような手法を拡大して適用した。また申請者らは実験住宅内に設置したカメラやセンサデータを解析し、異常検出などを行う研究も進めており、このような情報を元

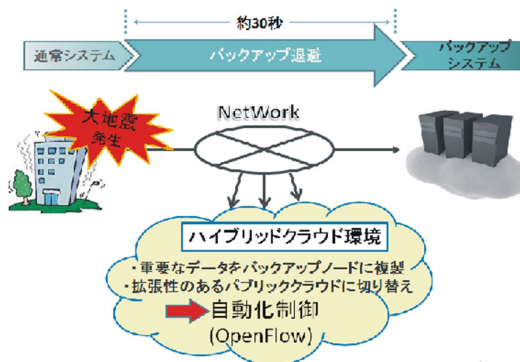
に負荷変動を予測する手法への適用も検討した。これらの予測をシステム制御に適用する実現可能性についての評価を行った。クラウド/DC内の負荷変動に則した対処については、上記の手法などにより特定の処理やデータアクセスの急増が予想された事を前提として、これに対処できるように仮想マシンやデータの再配置や追加配置を行うものである。一般に変動する負荷への対処法は、負荷分散やリソース配置手法として広く検討されているが、バースト的な負荷変動には追従し切れない事が多い。申請者らはクラウド/DCを対象に、処理の最適化などの検討を行ってきた。これらの手法は実際に負荷が変動してから適用しても、バースト的な負荷変動に対処できないかもしれないが、負荷変動の予測を元に投機的に実行しておけば、間に合って対処できるため、その手法について検討し、実験システムの部分実装と評価を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) クラウド環境におけるシステム制御の課題

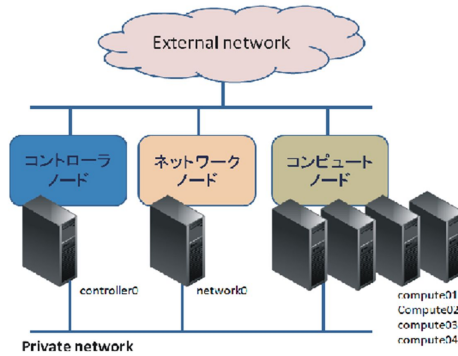
クラウドコンピューティングの1つとして、ハイブリッドクラウドが普及している。ハイブリッドクラウドは、パブリッククラウドとプライベートクラウドそれぞれの特徴を活かし、合わせて利用する制御を行なう事により、状況に応じた効率的で高機能なクラウド活用が可能となる。しかしながら、導入している企業は実社会においてまだ少ない。この原因の1つとして、複雑化するシステムに対する手動による制御の限界が挙げられる。例えば緊急地震速報が発令された場合、数十秒後に大規模な地震が到達する事が予測される。その短時間の間に、重要なデータをバックアップノードに複製するなどシステム制御し対策を取ることができれば、極めて有用である。

しかし、このような迅速な制御や大規模で複雑化したクラウド環境の制御を、手作業で行うのは難しい。そこで本研究では、Twitterから発信される緊急地震速報の情報をトリガとし、投機的にクラウド内・クラウド間で自動化した制御を行うことで、自然災害などの不測の事態へ対応する。



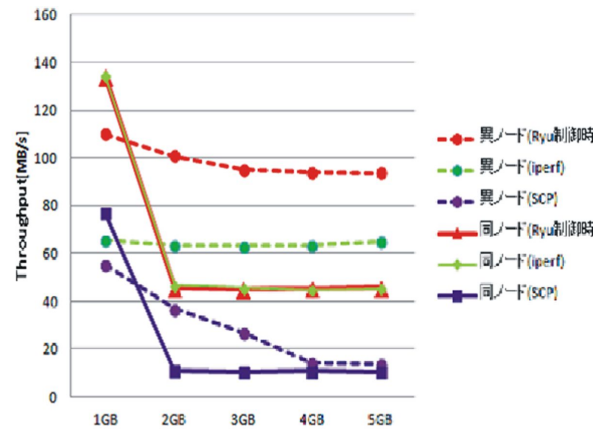
##### (2) OpenStackによるハイブリッドクラウド環境の構築

本研究では、クラウド環境構築用のオープンソースソフトウェアであるOpenStackを用い、実験用のクラウド環境を構築した。コントローラノード1台、ネットワークノード1台、コンピュータノード4台の計6台からなるクラウド環境を2組構築した。そのクラウド間を人工的な遅延装置であるDumynetで繋ぐことで、プライベートクラウドとパブリッククラウドを接続したハイブリッドクラウド環境を模擬している。



##### (3) レプリケーション性能評価

各Computeノード上にRyuコントローラを配置し、管理者による制御を行った場合にユーザAがレプリケーションを行った際のスループットを下図に示す。



ユーザBはユーザAに影響を与える通信を発生させるために、ユーザAがバックアップ処理を行う通信元・通信先のVMと同じように配置されたVM間でバックグラウンドトラフィックを発生させる。今回もネットワークトラフィックとしてIperf、ファイル転送としてSCPを用いて負荷をかけた。異なるノード上に配置されたVMにバックアップ処理を行う場合の方が、同じノード上に配置されたVMにバックアップ処理を行う場合よりも実行時間が短く、スループットも比較的高い。Ryuコントローラで制御した場合、特に異なるノード上に配置されたVMにバックアップ処理を行った際のスループットが大幅に上がり

性能が向上したことが分かる。同一ノード上に配置された VM バックアップ処理を行った際には、Iperf の負荷をかけた場合とほぼグラフが重なっていることから影響を受けていないことが分かる。また、Ryu コントローラによる制御によってあまり性能が向上していないことからボトルネックはデータファイルへのアクセスのディスク I/O である。この結果から、Ryu コントローラの制御時に大幅な性能向上がみられ、特に異なるノード上に配置された VM にバックアップ処理を行う場合に、迅速にバックアップを行えることが分かった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 10 件)

建島広翔, 新谷隆彦, 大森匡, 藤田秀之, スキップ探索を用いた不確実データからの頻出パターンの抽出, 日本データベース学会和文論文誌, 査読有, No.14, 2016, 1-6

Asami Higai, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada and Masato Oguchi: "A Study of Effective Replica Reconstruction Schemes for the Hadoop Distributed File System" IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E98-D, No.4, pp.872-882, April 2015. 査読有

Naho Imura, Norifumi Nishikawa, Miyuki Nakano, and Masato Oguchi, "A Proposal of Storage Power Control Method with Data Placement Control" DBSJ Journal, Vol.13, No.1, pp.50-56, March 2015. 査読有

野村 駿, 中村 優太, 坂本 寛和, 山口 実靖, Android における LRU を用いた終了プロセスの選定、情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS) 査読有、No. 5, Vol. 1, 2015 年、9-19

杉本 洋輝, 山口 実靖, 二重キャッシュ環境における負の参照の時間的局所性を考慮したキャッシュ管理手法、情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム (CDS)、査読有、5、2015 年、42-51

Natsumi Kumatani, Mitomo Isomura, Tutomu Murase, Masato Oguchi, Akash Baid, Shweta Sagari, Ivan Seskar, and Dipankar Raychaudhuri: "Throughput Characteristics in Densely Deployed Wireless LANs with Various Channel Assignments and Differing Numbers of Terminals" ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.2, No.4, pp.336-344, The Institute of Image Information and Television Engineers, 2014. 査読有

Tomoki Koza, Yuria Akiyama, Saneyasu Yamaguchi, Improving RTT Fairness on CUBIC TCP, International Journal of Networking and Computing, 査読有, No. 2 Vol. 4, 2014 年、291-306  
後藤厚宏, クラウド事業者の相互連携でサービス継続性を高めるインタークラウド技術の動向 電子情報通信学会誌, 197-2, 2014/2/1, 127-132. 査読無  
後藤厚宏, 社会の安心・安全に向けたビッグデータ処理ネットワーク, Panasonic Technical Journal, 159-2, 2013/11/15, 4-8. 査読無  
石田 渉, 横山 大作, 中野美由紀, 豊田 正史, 喜連川 優, 大規模データベースにおけるアクセス局所性を利用した VM ライブマイグレーションスケジューリング手法の提案と評価, 日本データベース学会論文誌, Vol.12, No.1, 2013 年, 73-78. 査読有

[学会発表](計 34 件)

飯塚 哲史, 後藤厚宏, 企業内データセンターのセキュリティ課題 ~ SDN による解決手法 ~, 情報処理学会全国大会, 2016/3/12, 慶應義塾大学 (神奈川県)

Masaki Sakamoto, Saneyasu Yamaguchi, Dynamic Memory Resource Management in Virtual Machines with Different Applications, 2016 International Symposium of Information and Internet Technology (SYMINTTECH), 2016/1/26, マレーシア Eita Fujishima, Saneyasu Yamaguchi, Dynamic File Placing Control for Improving the I/O Performance in the Reduce Phase of Hadoop, the Tenth International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM2016), 8-2, 2016/1/5, ベトナム

Shohei Miyokawa, Taiki Tokuda, Saneyasu Yamaguchi, Elasticity Improvement of Cassandra, the Tenth International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM2016), S2-3, 2016/1/4, ベトナム

Hiroki Sugimoto, Kenichi Kourai, Saneyasu Yamaguchi, Host OS Page Cache Hit Ratio Improvement based on Guest OS Page Drop, The 17th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services, 2015/12/13, ベルギー(治安悪化で渡航せず)

Masaki Sakamoto and Saneyasu Yamaguchi, Dynamic Memory Allocation in Virtual Machines based on

Cache Hit Ratio, 6th International Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC'15), pp. 613-615, 2015/12/10、北海道札幌市  
Shunsuke Yagai and Saneyasu Yamaguchi, Reducing Storage Power Consumption with File Layout Optimization in Virtualized Environment, 6th International Workshop on Advances in Networking and Computing (WANC'15), pp. 590-594, 2015/12/10、北海道札幌市  
Eita Fujishima and Saneyasu Yamaguchi, Improving the I/O Performance in the Reduce Phase of Hadoop, The Third International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'15), pp. 82-88, 2015/12/10、北海道札幌市  
Shohei Miyokawa, Taiki Tokuda and Saneyasu Yamaguchi, Active Caching for KVS Dynamic Scaling, The Third International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'15), pp. 161-166, 2015/12/9、北海道札幌市  
Saneyasu Yamaguchi and Shunsuke Yagai, Power Effective File Layout with Application Support in Virtualized Environment, 2015 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE2015), pp. 425-430, 2015/11/28、マレーシア  
小柳 暁奨、新谷 隆彦、大森 匡、藤田 秀之, アイテムセットと時系列パターンの出現順序を考慮した分類パターンによる分類モデルの精度向上に関する一考察, 情報処理学会 第 77 回全国大会, 2015 年 03 月 17 日~2015 年 03 月 19 日 京都大学 吉田キャンパス(京都府京都市)  
後藤厚宏, 水越一郎, “クラウド+IoT 時代”のセキュリティ, 電子情報通信学会総合大会 立命館大学 BP-2-4, 2015/3/12, 立命館大学(京都府)  
石崎夕香里, 後藤厚宏, 大容量 WAF ログデータの分析手法の検討, 情報処理学会 第 68 回 CSEC 研究会, 2015/3/5, 法政大学(東京都)  
榎 美紀, 吉田 一星, 小口 正人: 「ソーシャルメディア上の情報拡散データのリアルタイム問合せ処理評価」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(DEIM2015), B1-4, 磐梯熱海ホテル華の湯, 2015 年 3 月 2 日.  
建島 広翔、新谷 隆彦、大森 匡、藤田 秀之, スキップ探索を用いた不確実データからの頻出パターン抽出, 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, 2015 年 03 月 02 日~2015 年 03 月 04 日 磐梯熱海ホテル華の湯(福島県郡山市)

Naho Imura, Norifumi Nishikawa, Miyuki Nakano, and Masato Oguchi: "A Proposal of Storage Power Control Method with Data Placement in an Environment using Many HDDs" In Proc. the 9th ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM2015), 9-4, Bali, Indonesia, January 9 2015.

Ai Hayakawa, Saneyasu Yamaguchi, Masato Oguchi: "Reducing the TCP ACK Packet Backlog at the WLAN Access Point" In Proc. the 9th ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM2015), 5-4, Bali, Indonesia, January 8 2015.

Asami Higai, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada and Masato Oguchi: "A Study of Replica Reconstruction Schemes for Multi-rack HDFS Clusters" In Proc. the 7th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC2014), pp.196-203, London, UK, December 10 2014.

Yasuyuki Tanaka, Atsuhiko Goto, N-ROPdetector: Proposal of a method to detect the ROP attack code on the network, ACM CCS2014 SafeConfig 2014 : Cyber Security Analytics and Automation, 2014/11/3, Scottsdale, Arizona, USA

田中恭之, 後藤厚宏, ネットワーク側で ROP 攻撃コードを検出する手法の提案, 情報処理学会 CSS2014, 3A2-1, pp952-959, 2014/10/24, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)

21 Ichiro Mizukoshi, Atsuhiko Goto, Aki Nakanishi, New Security Issues in “the Internet of Things(IoT)” -A Case Study-, JAMSJAIMS International Conference on Business & Information 2014 (ICBI2014), 2014/9/4, Honolulu, Hawaii, USA

22 Akika Yamashita, Eng Keong Lua, and Masato Oguchi: "On the Impact of Wireless Multimedia Network for Multi-Modal Activity Recognition" In Proc. the 19th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC2014), Madeira, Portugal, June 26 2014.

23 Asami Higai, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada and Masato Oguchi: "A Study of Effective Replica

- Reconstruction Schemes at Node Deletion for HDFS" In Proc. the 14th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid2014), pp.512-521, Chicago, Illinois, USA, May 29 2014.
- 24 木村勇一, 後藤厚宏, 既存 Web アプリケーションの入力処理の脆弱性調査と対策, 情報処理学会研究報告. ソフトウェア工学研究会報告, 2014-SE-183(2), 1-8, 2014/3/12, 日本化学会館(東京都)
- 25 史 旭, 新谷 隆彦, 大森 匡, 藤田 秀之, マルチ最小サポートを用いて継続時間と時間間隔を考慮した時系列パターンマイニングアルゴリズム, 第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2014), 2014 3 3 ~ 2014 3 5, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県)
- 26 原 瑠理子, 長谷川 友香, 小口 正人: 「モニタリング情報に基づく OpenFlow を用いたネットワークトラフィック制御モデル」第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2014), C9-6, 淡路夢舞台 & ウェスティン淡路(兵庫県), 2014 年 3 月 5 日.
- 27 長谷川 友香, 高井 峰生, 小口 正人: 「広域災害時に利用可能な Web アプリケーションのための DTN フレームワーク」第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2014), E7-1, 淡路夢舞台 & ウェスティン淡路(兵庫県), 2014 年 3 月 5 日.
- 28 田中恭之, 後藤厚宏, 攻撃コードの特徴からみた対策の検討, SCIS2014, 4C2-4, 電子情報通信学会, 2014/1/24, 鹿児島市城山観光ホテル
- 29 岩淵琢磨, 後藤厚宏, 企業によるクラウドサービス利用時の ID ライフサイクル管理における運用負荷軽減に関する考察, SCIS2014, 4B1-6, 電子情報通信学会, 2014/1/24, 鹿児島市 城山観光ホテル
- 30 長内 仁, 後藤厚宏, 企業間における情報セキュリティ連携アーキテクチャの検討, SCIS2014, 1A1-4, 電子情報通信学会, 2014/1/21, 鹿児島市 城山観光ホテル
- 31 山下 暁香, Eng Keong Lua, 小口 正人: 「インタークラウドにおけるローカルストレージに基づくインスタンスマイグレーションに関する高速化手法の提案」インターネットコンファレンス 2013 (IC2013), pp.109-116, 慶応大学三田キャンパス(東京都), 2013/10/24.
- 32 Yuka Hasegawa and Masato Oguchi: "Family Information Sharing System based on a Judgment of Emergency" In Proc. the IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC2013), pp.187-192, October 21 2013.
- 33 Akika Yamashita, Eng Keong Lua, and Masato Oguchi: "An Empirical Performance Study of Secured Virtual Machine Migration" In Proc. the First International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom2013), Poster Paper, Batumi, Georgia, July 4 2013.
- 34 長谷川 友香, 小口 正人: 「周辺ユーザ探索による緊急時判断機能を備えた家族間情報共有システム」マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013)シンポジウム, 5E-5, pp.1242-1247, 十勝川温泉ホテル大平原(北海道), 2013/7/11.
- [図書](計 0 件)
- [産業財産権]  
出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)
- [その他]  
ホームページ等  
お茶の水女子大学小口研究室研究成果  
<http://ogl.is.ocha.ac.jp/publications.html>  
<http://ogl.is.ocha.ac.jp/publications2014.html>  
<http://ogl.is.ocha.ac.jp/publications2013.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
小口 正人 (OGUCHI, Masato)  
お茶の水女子大学, 基幹研究院, 教授  
研究者番号: 60328036
- (2) 研究分担者  
山口 実靖 (YAMAGUCHI, Saneyasu)  
工学院大学, 工学部, 准教授  
研究者番号: 50439262
- (3) 連携分担者  
中野 美由紀 (NAKANO, Miyuki)  
産業技術大学院大学, 情報アーキテクチャ専攻, 教授  
研究者番号: 30227863
- (3) 連携分担者  
後藤 厚宏 (GOTOU, Atsuhiko)  
情報セキュリティ大学院大学, 情報セキュリティ研究科, 教授  
研究者番号: 90558868
- (3) 連携分担者  
新谷 隆彦 (SHINTANI, Takahiko)  
電気通信大学, 大学院情報システム学研究科, 准教授  
研究者番号: 30604623