

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280032

研究課題名(和文) 情報ネットワークを媒介して共鳴するユーザの集団挙動の理解と対策

研究課題名(英文) Understanding and countermeasures of collective behaviour of users resonating through information networks

研究代表者

會田 雅樹 (Aida, Masaki)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：60404935

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：ユーザとネットワークの共鳴現象の特性を理解し、システムの安定運用技術に結びつけることを目的として研究を進め、以下の成果を得た。

まず、ユーザ間の相互作用の強さの非対称を考慮し、特定のクラスの有向グラフに対して振動モデルを導入した。その際に、ノード毎の振動エネルギーがノード中心性の概念の拡張を与えることを明らかにした。更に、振動モデルを一般の有向グラフに拡張し、振動エネルギーが発散する現象としてネット炎上をモデル化し、その対策方法を明らかにした。

次に、ユーザとサーバ間で生じるフラッシュクラウドのような負荷集中について、被験者を用いた実験による特性評価と振動モデルによるモデル化を行った。

研究成果の概要(英文)：By understanding the characteristics of resonance phenomena between users and networks and linking them to the stable operation technology of the system, we had the following results.

First, considering the asymmetry of the strength of interaction among users, an oscillation model on networks has been introduced for a directed graph of a specific class. In doing so, it became clear that the oscillation energy of each node gives an extension of the concept of node centrality. In addition, we have extended the oscillation model to a general directed graph, model "flaming" as a phenomenon of oscillation energy divergence, and clarified its countermeasure method.

Second, we have evaluated the load concentration such as the flash cloud occurring between the user and the server by experiment using the subject, and we have modeled by using the proposed oscillation model.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：スペクトルグラフ理論 ラプラシアン行列 有向グラフ ネット炎上 フラッシュクラウド

## 1. 研究開始当初の背景

情報ネットワークは、大規模化や高速化、及び社会との結びつきの密接化によって、人間の生命や財産に関わる重要な社会活動を支えるまでに発展してきた。しかし、このことで逆にユーザとシステムに意図せぬ相互作用を引き起こし、ユーザ同士の振舞いが想定外に共鳴してしまう状況が頻発している。

2006年10月に発生したNTT西日本のIP電話の障害(文献[R1])では、障害によって通話できなかった多数のユーザが再度通話を試みた結果、平常時を超える負荷が発生した。このとき、障害範囲が連鎖的に拡大する現象に見舞われ、復旧までの期間が長期化した。また、2012年6月に発生したamazonのクラウドサービスの障害(文献[R2])では、障害によって仮想サーバがダウンした際に、ユーザがリカバリのために代替の仮想サーバを起動しようとしたことが、更なる負荷の増大を招き、結果的に多数のユーザの処理が大きく遅延することとなった。

これらに共通するのが、ネットワークを媒介としたユーザの共鳴現象であり、処理要求や通信トラヒックの平滑化を妨げ、ネットワークリソースの有効活用を妨げるだけでなく、ネットワークの安定運用自体に深刻な影響を与える。また、一旦そのような状況に陥ると、ネットワークを介して共鳴現象が連鎖的に拡大し、更に深刻な事態に発展する可能性がある。

これらの共鳴現象は、プロトコルの動作として想定したものではなく、ネットワークとユーザ間に発生した意図せぬ相互作用に由来する。従って、ユーザの共鳴現象発生の回避技術や拡大の抑制技術を構築するためには、ネットワークのみを対象とするのではなく、ユーザの行動特性や社会ネットワークの構造まで考慮した検討が必要である。

### 【文献】

[R1] NTT 西日本, “ひかり電話がつながりにくい状況について,”

<http://www.ntt-west.co.jp/news/0610/061024b.html>

[R2] Amazon, “Summary of the AWS service event in the US east region,”

<http://aws.amazon.com/jp/message/67457/>

## 2. 研究の目的

本研究は、ネットワークとユーザ間の意図しない相互作用や、ネットワークを介したユーザの共鳴現象の発生メカニズムを解明し、その理解に基づき、ユーザの共鳴現象の抑制や、ネットワークの連鎖障害を防止する技術を確立することを目的とする。ここで、意図しない相互作用とは、ネットワークの混雑がユーザの再試行などの不要なトラヒック発生を励起し、更にこれがネットワークの混雑を悪化させるといった悪循環によって発生するものの他、Braessのパラドックスと呼

ばれるような、直観的には有効であるにもかかわらず実際には逆効果になる動作によって発生するものを想定している。また、ネットワークの動作を介したユーザの共鳴とは、TCP同期問題や通信切断時の再接続処理などと同様な形で、ユーザの行動が集団で同期してしまう現象を想定している。

ユーザの共鳴現象は、ネットワークの障害を引き起こすだけでなく、障害の規模が広範囲に拡大する連鎖障害の発生要因でもあるため、本研究の取り組みは、ネットワークの安定運用を実現する上で極めて重要である。

## 3. 研究の方法

本研究で扱う意図しない相互作用は、ユーザの振舞いが関与するものであるため、以下の観点から研究を進める。

(1) ネットワーク単体でなく、ユーザの行動特性をも含めて拡張したシステムを検討対象とする。

(2) ユーザの共鳴現象として、通信トラヒックに関する工学的な現象だけでなく、社会科学的な課題も含めて考察し、対象の違いに依らずに共通して考えられる共鳴現象の発生メカニズムを考察することで、ネットワークの普遍的な設計原理に迫る。

このとき、複雑な対象から普遍的な性質を取り出すために、スペクトルグラフ理論によりネットワーク構造を代数的に表現するアプローチを採用する。

## 4. 研究成果

大きく分類すると以下の3つの研究成果を得た。

(1) ネットワークダイナミクスのモデル化  
ユーザの共鳴現象を扱うために、振動モデルによってネットワークダイナミクスを記述する方法を確立した。

(2) ネット炎上のモデル化と対策  
ネットワーク上の振動モデルを応用し、ソーシャルメディアでのネット炎上発生メカニズムの解明し、ネット炎上の対策技術考案した。

(3) flash crowdのユーザ心理的な対策  
短期間に大量のアクセスが殺到することによってWebサービスが停止するflash crowdと呼ばれる現象に対し、ユーザの心理的要因を考慮し、ユーザ挙動を誘導するフィードバック情報を提示することによる手法を開発した。

以下、それぞれの成果を概説する。

(1) ネットワークダイナミクスのモデル化  
はじめに、ユーザ間の影響の強さが非対称であることを踏まえ、ユーザ間相互作用をモデル化するための有向グラフの分類を行い、リンク非対称性がノード特性に還元できるかどうかによって、有向グラフを二つのタイプに分類した。有向リンクの特性をノードの特性に還元できるタイプの有向グラフを、対称化可能有向グラフと呼ぶ。

次に、対称化可能有向グラフ上での振動モデルを導入した。このとき、リンクの非対称性を表現するためのノード特性は、ノードの質量に対応する（図1参照）。

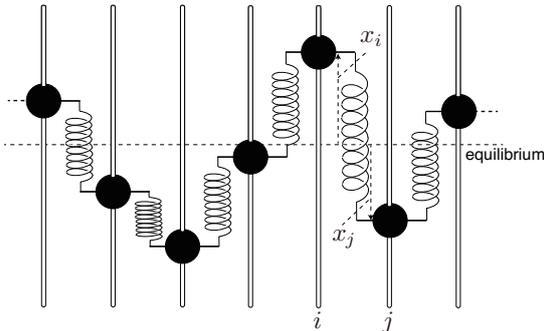


図1：ネットワーク上の振動モデル

この振動モデルにおいて、ノード毎の振動エネルギーを考えると、従来から知られている次数中心性や媒介中心性となることを明らかにした。このことは、振動モデルにより従来のノード中心性に統一的な解釈を与えると同時に、様々な尺度やネットワークの利用環境（アクティビティの起点となるソースノードの分布）やルーティングポリシーなどを考慮したノード中心性の拡張が可能であることを示す。また、ノード中心性の時間変化を考えることも可能である（図2&3）。

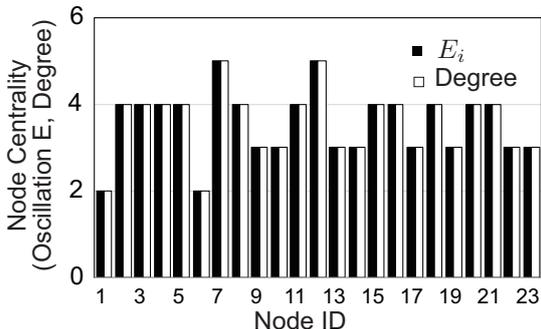


図2：次数中心性とノードの振動エネルギーの比較例

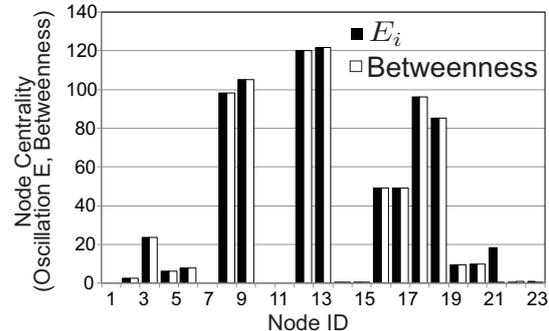


図3：媒介中心性とノードの振動エネルギーの比較例

## (2) ネット炎上のモデル化と対策

ネットワーク上の振動モデルを、対称化可能ではない一般の有向グラフに拡張することで、ノードの中心性が時間とともに発散する現象が起こることを示した。これは、ユー

ザとネットワークからなるシステムで、ユーザの活動の強さが自律的に増大する現象を表しており、ネット炎上の発生メカニズムを記述していると考えられる。

このモデルから、ネット炎上の原因をグラフ構造に帰着することができ、リンクを適切に制御することでネット炎上を抑制することができることを示した。

## (3) flash crowd のユーザ心理的な対策

はじめに、心理学分野における過去の研究結果から、ユーザに提示するフィードバック情報として有効な情報を調査した。その結果を踏まえ、実際に被験者を用いて、Web サービスで長い待ち時間が発生する状況において、ユーザごとに異なるフィードバック情報を与え、行動を記録する実験を行った。この実験にあたり、ホテルの予約サイトを模したWeb サイトを作成した。さらに、この実験結果を踏まえてユーザの行動モデルを作成し、このモデルを用いて、実際のWeb サーバを用いて負荷テストを実施した。負荷テストは、vmware 上の仮想マシンとして実装したWordPress サーバに対して行い、ワークロード生成にはApache Jmeterを使用した。

被験者を用いた実験の結果、フィードバック情報の内容によって、離脱やリクエストの再送といったユーザの行動に差が生じることが確認され、どのフィードバック情報が有効であるかが明らかとなった。また、負荷テストの結果、フィードバック情報が実際にサーバの負荷ならびにユーザの離脱率の改善につながることを示すと同時に、フィードバック情報が有効なWeb サービスの種類についての示唆が得られた。

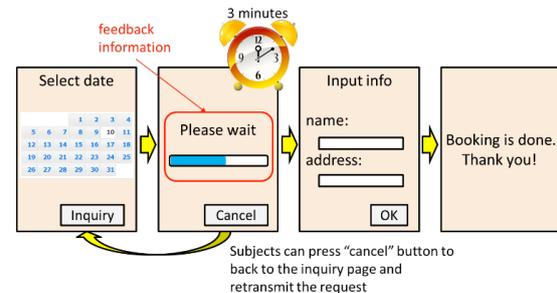


図4：被験者実験に使用したWeb サイトのイメージ

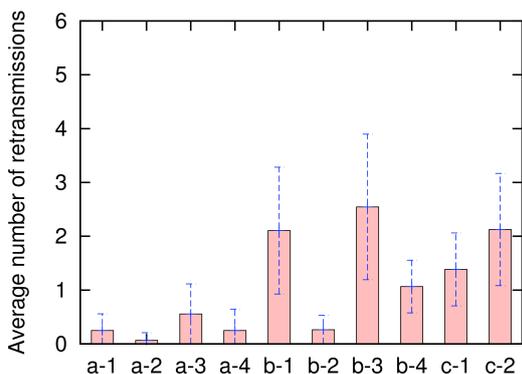


図5：フィードバック情報によるリクエスト再送回数の差

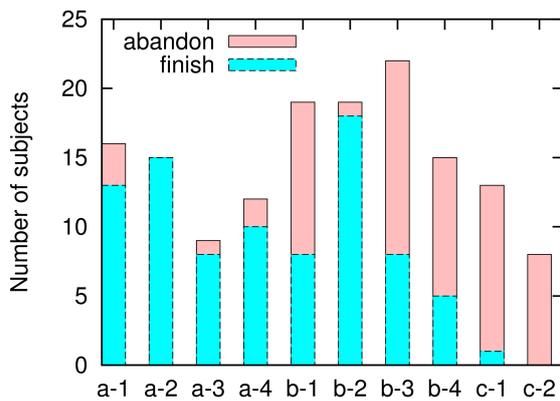


図6：フィードバック情報によるユーザ離脱率の差

### 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8件)

- (1) Ryosuke Morita, Chisa Takano and Masaki Aida, “Autonomous clustering scheme for removing the effects of heterogeneous node degrees in ad hoc networks,” *International Journal of Image Processing & Communication*, vol. 21, no. 2, pp. 43-54, December 2016. (査読有)
- (2) Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, Masaki Aida and Kenji Ishida, “Proposal for designing method of radio transmission range to improve both power saving and communication reachability based on target problem,” *IEICE Transactions on Communications (Special Section on Deepening and Expanding of Information Network Science)*, vol. E99-B, no. 11, pp. 2271-2279, November 2016. (査読有)
- (3) Masaya Yokota, Yusuke Sakumoto and Masaki Aida, “Design and evaluation of a method for enhancing robustness of MCMC-based autonomous decentralized mechanism for VM assignment problem,” *International Journal of Recent Engineering Science*, vol. 16, pp. 29-37, October 2015. (査読有)
- (4) Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Kenji Ishida and Masaki Aida, “Guaranteeing method for the stability of cluster structure formed by autonomous decentralized clustering mechanism,” *Journal of Communications*, vol. 10, no. 8, pp. 562-571, August 2015. (査読有)
- (5) Masaki Aida, “Concept of chaos-based hierarchical network control and its

application to transmission rate control,” *IEICE Transactions on Communications*, vol. E98-B, no. 1, pp. 135-144, January 2015. (査読有)

- (6) Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Kenji Ishida and Masaki Aida, “Power consumption characteristics of autonomous decentralized clustering based on local interaction,” *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E97-D, no. 12, pp. 2984-2994, December 2014. (査読有)
  - (7) Sota Hatakeyama, Chisa Takano and Masaki Aida, “Hierarchical performance evaluation method for describing the interactions between networks and users,” *Journal of Communications*, vol. 9, no. 10, pp. 737-744, October 2014. (査読有)
  - (8) Kenji Takagi, Chisa Takano, Masaki Aida and Makoto Naruse, “New autonomous decentralized structure formation based on Huygens’ principle and renormalization for mobile ad hoc networks,” *International Journal on Advances in Intelligent Systems*, vol. 7, no. 1&2, pp. 64-73, July 2014. (査読有)
- [学会発表] (計31件)
- (1) Chisa Takano and Masaki Aida, “Fundamental framework for describing various node centralities using an oscillation model on social media networks,” *IEEE ICC 2017, Paris (France)*, May 21-25, 2017.
  - (2) Harumasa Tada, Masayuki Murata, Masaki Aida, “Web Service Flash Crowd Mitigation Using Feedback to Users,” *IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 213-219, Taipei (Taiwan, ROC) March 27-29, 2017.
  - (3) 小畑 絃太, 会田 雅樹, “Boidsの基本動作ルールに基づくドローン群の分割による障害物回避について,” *電子情報通信学会情報ネットワーク研究会*, IN2016-130, 沖縄残波岬ロイヤルホテル(沖縄県中頭郡), 2017年3月3日.
  - (4) 亀山 元, 高野 知佐, 会田 雅樹, “ランダム行列を用いた社会ネットワーク分析法の検討,” *電子情報通信学会情報ネットワーク研究会*, IN2016-142, 沖縄残波岬ロイヤルホテル(沖縄県中頭郡), 2017年3月3日.
  - (5) 杉本 俊, 会田 雅樹, “観測可能な情報が一部分に限定される状況に於ける圧縮センシングを用いたネットワーク構造推定技術の検討,” *電子情報通信学会情報ネットワーク研究会*, IN2016-143, 沖縄残波岬ロイヤルホテ

- ル(沖縄県中頭郡), 2017年3月3日.
- (6) 森田 良輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, “非対称拡散を適用した自律分散クラスタリングにおけるルーティングの効率の評価,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN2016-149, 沖縄残波岬ロイヤルホテル(沖縄県中頭郡), 2017年3月3日.
  - (7) 古谷 諭史, 高野 知佐, 会田 雅樹, “ネットワーク上の振動ダイナミクスの共鳴を利用した scaled Laplacian 行列の固有ベクトル推定手法の検討,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN2016-164, 沖縄残波岬ロイヤルホテル(沖縄県中頭郡), 2017年3月3日.
  - (8) 澤田 涼介, 作元 雄輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, “ノード間の隣接関係が正規化ラプラシアン行列の固有値に与える影響の分析,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN2016-165, 沖縄残波岬ロイヤルホテル(沖縄県中頭郡), 2017年3月3日.
  - (9) 会田 雅樹, “ネット炎上の動力的モデルについて,” 第1回 計算社会科学ワークショップ, 学習院大学(東京都豊島区)2017年2月27日.
  - (10) 会田 雅樹, “ネット炎上の動力的モデル,” 電子情報通信学会 第11回 通信行動工学研究会, 首都大学東京(東京都千代田区), 2017年2月24日.
  - (11) 高野 知佐, 会田 雅樹, “ネットワーク上の振動モデルによるノード中心性の統一的理解,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN2016-74, 広島市立大学(広島県広島市), 2016年12月15日.
  - (12) Chisa Takano and Masaki Aida, “Proposal of new index for describing node centralities based on oscillation dynamics on networks,” IEEE GLOBECOM 2016, Washington DC (USA), December 4-8, 2016.
  - (13) 会田 雅樹, 高野 知佐, 村田 正幸, “ソーシャルメディアネットワークの炎上に関する動力的モデル,” 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, CQ2016-77, 下関商工会議所(山口県下関市), 2016年11月24日.
  - (14) Satoshi Furutani, Chisa Takano and Masaki Aida, “Proposal of the network resonance method for estimating eigenvalues of the scaled Laplacian matrix,” The 8th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2016) Workshop, Ostrava (Czech Republic), September 7-9, 2016.
  - (15) Masaki Aida, Chisa Takano and Masayuki Murata, “Oscillation model for network dynamics caused by asymmetric node interaction based on the symmetric scaled Laplacian matrix,” The 12th International Conference on Foundations of Computer Science (FCS 2016), pp. 38-44, Las Vegas (USA), July 25-28, 2016.
  - (16) Ryosuke Sawada, Yusuke Sakumoto, Chisa Takano and Masaki Aida, “Experimental study on relationship between indices of network structure and spectral distribution of graphs,” IEICE Information and Communication Technology Forum 2016 (ICTF 2016), Patras (Greece), July 6-8, 2016.
  - (17) Ryosuke Morita, Chisa Takano and Masaki Aida, “Autonomous clustering scheme for removing an effects of heterogeneous node degrees in ad hoc networks,” IEICE Information and Communication Technology Forum 2016 (ICTF 2016), Patras (Greece), July 6-8, 2016.
  - (18) Masaki Aida, “Oscillation model for describing propagation of activities on network caused by asymmetric node interactions,” IEICE Information and Communication Technology Forum 2016 (ICTF 2016), Patras (Greece), July 6-8, 2016.
  - (19) 多田 知正, 村田 正幸, 会田 雅樹, “Web サービスにおけるユーザフィードバックによる flash crowd の軽減,” 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, CQ2016-10, 機械振興会館(東京都港区), 2016年4月22日.
  - (20) 高野 知佐, 会田 雅樹, “ネットワーク上の振動ダイナミクスに基づく新しいノード中心性指標,” 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会, CQ2015-123, 名桜大学(愛知県名古屋市), 2016年3月7日.
  - (21) 古谷 諭史, 高野 知佐, 会田 雅樹, “Laplacian 行列の固有値を推定するためのネットワーク共鳴法の提案,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN2015-149, シーガイア(宮崎県宮崎市), 2016年3月4日.
  - (22) 会田 雅樹, “ノード間の非対称相互作用によって生ずるネットワーク上の振動ダイナミクスのモデル化と応用,” 電子情報通信学会複雑コミュニケーション科学研究会, CCS2015-66, 東京工業大学(東京都目黒区), 2016年3月3日.
  - (23) 妹尾俊樹, 森田良輔, 作元雄輔, 高野知佐, 会田雅樹, “MANETにおけるノード次数を考慮した自律分散クラスタリ

- ング方式のクラスタ間干渉低減効果,” 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, IN2015-73, 広島市立大学(広島県広島市), 2015年12月17日.
- (24) Masaya Yokota, Yusuke Sakumoto and Masaki Aida, “A method for enhancing robustness of MCMC-based autonomous decentralized control,” The 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2015), Hong Kong (P.R. China), December 1-4, 2015.
- (25) 森田 良輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, “アドホックネットワークにおけるノード次数を考慮した自律分散クラスタリング,” 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2015-93, 秋田大学(秋田県秋田市), 2015年10月15日.
- (26) 会田 雅樹, 高野 知佐, “ノード間の非対称相互作用によって生ずるネットワークダイナミクスに関する対称行列を用いたモデル化について,” 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2015-90, 秋田大学(秋田県秋田市), 2015年10月15日.
- (27) 澤田 涼介, 作元 雄輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, “ネットワーク構造の諸指標とグラフスペクトルの関係,” 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2015-89, 秋田大学(秋田県秋田市), 2015年10月15日.
- (28) Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, Masaki Aida and Kenji Ishida, “Setting radio transmission range using target problem to improve communication reachability and power saving,” The 7th EAI International Conference on Ad Hoc Networks (ADHOCNETS 2015), San Remo (Italy), September 1-2, 2015.
- (29) 会田 雅樹, 高野 知佐, “ラプラシアン行列を用いたネットワークダイナミクスの分析とノード間の非対称相互作用モデル,” 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2015-8, 飛騨地域地場産業振興センター(岐阜県飛騨市), 2015年4月16日.
- (30) Moena Tanaka, Yusuke Sakumoto, Masaki Aida and Konosuke Kawashima, “Study on the growth and decline of SNSs by using the infectious recovery SIR model,” The 10th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT 2015), Colombo (Democratic Socialist Republic of Sri Lanka), August 4-7, 2015.
- (31) Liu Yongchao, Yusuke Sakumoto, Chisa Takano and Masaki Aida, “Parameter design for efficient link utilization in chaos-based transmission rate control,” The Second International Symposium on Computing and Networking (CANDAR’14) Workshop (ASON 2014), グランシップ静岡(静岡県静岡市), December 10-12, 2014.
- [図書] (計2件)
- (1) 村田 正幸, 成瀬 誠 編著, 「情報ネットワーク科学入門」, 情報ネットワーク科学シリーズ 第1巻 (コロナ社), 2015. (pp. 89-104 及び pp. 167-183)
- (2) 会田 雅樹, 「情報ネットワークの分散制御と階層構造」, 情報ネットワーク科学シリーズ 第3巻 (コロナ社), 2015. (230頁)
- [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  
[http://exmgaity.sd.tmu.ac.jp/~aida/index\\_j.html](http://exmgaity.sd.tmu.ac.jp/~aida/index_j.html)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
会田 雅樹 (AIDA, Masaki)  
 首都大学東京・システムデザイン研究科・教授  
 研究者番号: 60404935
- (2) 研究分担者  
村田 正幸 (MURATA, Masayuki)  
 大阪大学・情報科学研究科・教授  
 研究者番号: 80200301
- (3) 研究分担者  
高野 知佐 (TAKANO, Chisa)  
 広島市立大学・情報科学研究科・准教授  
 研究者番号: 60509058
- (4) 研究分担者  
成瀬 誠 (NARUSE, Makoto)  
 独立行政法人情報通信研究機構・新世代ネットワーク研究センター・主任研究員  
 研究者番号: 20323529
- (5) 研究分担者  
多田 知正 (TADA, Harumasa)  
 京都教育大学・教育学部・教授  
 研究者番号: 10301277
- (6) 研究分担者  
作元 雄輔 (SAKUMOTO, Yusuke)  
 首都大学東京・システムデザイン研究科・助教  
 研究者番号: 30598785