

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2008

課題番号：18200005

研究課題名（和文）高機能分散ストリーム処理に基づく実時間実世界情報基盤の構築

研究課題名（英文）Development of a Real-time Real World Information Management Framework based on Highly-Functional Distributed Stream Processing

研究代表者

北川 博之（KITAGAWA HIROYUKI）

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：00204876

研究成果の概要：

無線センサ、RFID タグ、ライブカメラ等を元とするストリーム情報源から絶え間なく発信されるデータを既存のデータベース等と統合処理するための基盤技術の研究開発に取り組んだ。研究の成果として、ストリーム処理のための統合システムアーキテクチャ、分散ストリーム処理、連続メディア統合技術、効率的ストリーム技術等において、研究成果が得られた。特に、複数問合せ処理やストリーム向け高性能索引については、国際的にもトップクラスの研究成果を生み出すことができた。さらに研究成果を盛り込んだストリーム処理基盤システム StreamSpinner を開発し、公開した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2007年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2008年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
総計	23,200,000	6,960,000	30,160,000

研究分野：データ工学

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ストリーム、ユビキタス、センサーネット、情報統合

1. 研究開始当初の背景

無線センサ、RFID タグ、移動体通信、小型情報家電等の発展や普及に伴い、実世界と一体化したユビキタス情報ネット社会の可能性が急激に膨らみつつある。このような環境では、多様なセンサデバイスや移動端末によってリアルタイム性の高い実世界情報を時々刻々と取得し、高速ネットワークを用いて最新の情報を即時に利用者に配信することが可能である。このような時系列的な情報はストリーム情報と呼ばれ、近年新たな情報処理パラダイムとして注目されている。多数のセンサや移動端末から生成される膨大なストリームデータは、適切に処理することによって、これまでは困難だったリアルタイムかつ

高度な意思決定や情報取得が可能となる。ユビキタス情報ネットワークでは、従来の文字・数値データだけではなく、画像、映像、音声などのマルチメディアデータが大量にやり取りされる。従って、これら大量の異種データを統合的に扱う機能を含めた、ストリームデータに適した新たな大規模データ利用技術の確立が急務である。

2. 研究の目的

異種データ統合については、過去十数年にわたって広範な研究が行われてきたが、これらは主にデータベースなどにすでに格納されている「静的な」データを対象にしたものである。そこで、本研究ではストリームデータ

のように、リアルタイムに逐次配信される「動的な」異種情報源に対して効率的に適応的な統合処理を行うシステムの実現を目指した。従来研究ではストリームに対する問合せ処理が中心的テーマとなっている。しかし、ストリームに対する実応用では、ストリーム配信されたデータの蓄積・検索・アーカイブ、既存データベースとの統合、アプリケーションプログラム構築支援等、様々な機能を含めた総合的基盤が必要である。そこで本研究では、現実のものとなりつつあるユビキタス情報ネット社会において、センサデータや映像データなど多様なストリームデータを統合的に扱うための処理基盤に関する研究を行った。

3. 研究の方法

(1) ストリーム処理のための統合システムアーキテクチャの研究

センサや移動端末等を通じて実世界から連続的に取得されるデータを活用するためには、データの発生、流れ、蓄積・応用を一体化したデータ管理が必要となる。従来のストリーム処理では、もっぱらフローにおける問合せ（連続的問合せと呼ばれる）の処理が重点的に研究されてきたが、本研究では Source, Flow, Sink の全てを対象とする分散環境に適合した統合的システムアーキテクチャを研究開発し、ストリームデータの蓄積・検索・アーカイブ、既存データベースとの統合、応用プログラム構築支援等の機能を統一的に提供することを目的とした。また、利用目的に合わせて新たな演算子をシステム中に自由に組み込むことが可能な拡張可能型アーキテクチャを目指した。

(2) 分散ストリーム処理の研究

上記(1)を発展させ、分散ネットワーク環境において、多数のストリームを複数のノードで協調的に処理可能な分散ストリーム処理システムを開発することとした。特に、ネットワーク環境における転送遅延やデータ到着レート、情報源の位置や内容等の動的要因に対応可能な柔軟な処理について研究した。

(3) 連続メディア統合技術の研究

映像や音声等の連続メディアストリームは、数値や文字列からなるストリームとは異なる扱いが必要である。基本的には、連続メディアコンテンツを記述するメタデータを用いて、連続メディアの必要部を切り出し、他メディアとの統合、同期、蓄積等を行うことが重要となる。本研究では、テキスト形式のメタデータの取得が比較的容易な連続メディアや顔映像等既存の認識技術が存在する連続メディアを主な対象として、連続メディアを含むストリーム統合技術を開発するこ

ととした。

(4) 効率的ストリーム技術の研究

ストリーム処理性能を向上させるため、多数のストリームと多数の問合せを効率的に実行するための最適化技術を開発することとした。特に、ネットワーク環境や分散環境における動的変動要因を考慮した問合せ処理方式やストリームデータに対する効率的な索引機構を考案することとした。

(5) 応用における実証研究

実世界における複数の応用を想定した実証的な研究を行った。1) センサーを介して収集される情報ストリームのフィルタリングと統合、2) 移動軌跡ストリームを用いた移動体への情報提供、3) 大規模ライブ映像ストリームの動的選択利用に関する技術を開発することとした。

4. 研究成果

(1) ストリーム処理のための統合システムアーキテクチャの研究

ストリームデータの蓄積と再利用が可能なシステムの実現を目指し、データベースとストリーム処理エンジンを統合したシステム StreamSpinner の設計と開発を行った[B2, B3, B4]。イベント駆動型の連続的問合せ処理機能やデータベースとの統合機能を有する。この開発に関係して、キャッシュを利用した複数連続問合せ処理方式を新たに開発し、その成果はデータベース分野では世界的に一級の国際ジャーナル[1]に採択された。また、データベースへの蓄積要求の処理可能性判定処理、蓄積要求処理の最適化手法[17, 18]、ラップ生成手法[8]、時系列データの扱い[19]等に関する開発を行った。さらに、利用者定義関数の導入による連続的問合せの機能拡張を可能とする機構を実現した。StreamSpinner の基本部分はオープンソースとして公開を行った[B1]。

(2) 分散ストリーム処理の研究

複数の StreamSpinner の連携に基づく分散ストリーム処理システムのプロトタイプ開発をおこなった。特に、分散ストリーム処理環境にイベント駆動の応用処理を組み込むと共に、その出力をストリーム化した多段処理を実現するための機構を開発した[16]。

(3) 連続メディア統合技術の研究

StreamSpinner の拡張機能を利用し、顔映像の特徴を動的に捉えたメタデータを抽出し、顔映像とデータベース等の動的な統合利用が可能なシステムを実現した。また、大規模ライブ映像環境をシミュレーション可能な仮想的な大規模映像ストリーム環境の構築を

行った。さらに、不確実な状況を表現する映像情報にベイジアンネットワークを用いて確率的な解釈を与え、確率的データストリームとして扱うための機構を実現した[7, 9, 10]. 本機構の中ではベイジアンネットワークを特有の演算子を有する抽象データ型として取り扱い、これから得られる確率的データストリームはリレーショナルデータストリームと統合可能である。

(4) 効率的ストリーム技術の研究

分散ストリーム処理環境において、利用者定義関数の存在を意識した動的問合せ最適化機構を提案し、その有効性を実験により検証した。また、多数のカメラライブ映像の中から、利用者の探したい人物が映った映像の提供や、カメラ映像とセンサデータとの統合等の処理を行うアプリケーション効率的に開発できるようにするための、大規模な映像ストリームの統合の為に基盤技術を開発した[13, 14]. 本システムは大規模な映像ストリーム環境に対応するために、情報源を動的に選択する機能を有する[4, 5]. さらに、ストリームデータに対する効率的な索引機構を考案した。従来の索引機構では高頻度の更新処理がネックになっていた問題を、メモリ上のバッファの活用により回避する機構を提案した。公表論文はこの分野で世界的に最も権威のある国際ジャーナル[2]に採択された。

(5) 応用における実証研究

センサ、移動体位置情報、ライブ映像等の処理を開発したシステム上で実現し、1) センターを介して収集される情報ストリームのフィルタリングと統合、2) 移動軌跡ストリームを用いた移動体への情報提供、3) 大規模ライブ映像ストリームの動的選択利用に関する技術等について、上記の述べた研究成果と関連付けて評価実験を含めた研究開発を行った[15, 20, 21]. また、関連して、来歴情報を利用した確率的データストリームの効率的なフィルタリング技術を開発した。各種センサを情報源として取得されるイベントストリームから時系列パターンを高速に検出するために正規表現によるイベントストリームに対するパターンマッチングを実現し、検出されたイベントに対する確率計算を高速化するために来歴を利用した[3, 11]. さらに、データストリームからの効率的なマイニング技法を開発した。一般に状態が時間的に変化する N 個のオブジェクトがあった時、ある時刻において、もしオブジェクト O_i の状態が他のオブジェクトの状態と大きく異なる場合には、 O_i はその時点において外れ値であるとみなすことができる。時間的に変化するオブジェクト群の連続的モニタリングにおいて、このような外れ値オブジェク

トを連続的に検出するための効率的な手法を開発した[6, 12, 22].

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 22 件 : 全て査読付)

- [1] Yousuke Watanabe and Hiroyuki Kitagawa, "Query Result Caching for Multiple Event-driven Continuous Queries", Information Systems. (採録決定)
- [2] MoonBae Song and Hiroyuki Kitagawa, "Managing Frequent Updates in R-trees for Update-intensive Applications", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. (採録決定)
- [3] Zhitao Shen, Hideyuki Kawashima, and Hiroyuki Kitagawa, "Efficient Probabilistic Event Stream Processing with Lineage and Kleene-plus", International Journal of Communication Networks and Distributed Systems (IJCNDS). (採録決定)
- [4] Kosuke Ohki, Yousuke Watanabe, and Hiroyuki Kitagawa, "Evaluation of a Framework for Dynamic Source Selection in Stream Processing", Proc. International Workshop on Data Management for Information Explosion in Wireless Networks (DMIEW 2009), Fukuoka, Japan, March 2009. (電子出版)
- [5] Kosuke Ohki, Yousuke Watanabe, and Hiroyuki Kitagawa, "Dynamic Source Selection to Handle Changes of User's Interest in Continuous Query", 16th International Conference on Cooperative Information Systems, LNCS 5333, pp. 6-7, Monterrey, Mexico, Nov. 2008.
- [6] Kozue Ishida and Hiroyuki Kitagawa, "Detecting Current Outliers: Continuous Outlier Detection over Time-Series Data Streams", 19th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2008), pp. 255-268, Turin, Italy, Sept. 2008.
- [7] Hideyuki Kawashima, Ryo Sato and Hiroyuki Kitagawa, "Models and Issues on Probabilistic Data Stream Systems with Bayesian Networks", Proc. 2nd International Workshop on SensorWebs, Databases and Mining in Networked Sensing Systems (SWDMNSS 2008), pp. 157-160, Turku, Finland, July 2008.

- [8] 澤菜津美, 森嶋厚行, 杉本重雄, 北川博之, "HTMLラッパ自動構築手法の提案", 日本データベース学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 263-268, June 2008.
- [9] 佐藤亮, 川島英之, 北川博之, "ベイジアンネットワークを用いた確率的データストリーム処理システムの提案", 日本データベース学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 157-162, June 2008.
- [10] Ryo Sato, Hideyuki Kawashima and Hiroyuki Kitagawa, "The Integration of Data Streams with Probabilities and a Relational Database using Bayesian Networks", Proc. International Workshop on Sensor Network Technologies for Information Explosion Era (SeNTIE 2008), Beijing, China, April 2008. (電子出版)
- [11] Zhitao Shen, Hideyuki Kawashima and Hiroyuki Kitagawa, "Lineage-based Probabilistic Event Stream Processing", Proc. International Workshop on Sensor Network Technologies for Information Explosion Era (SeNTIE 2008), Beijing, China, April 2008. (電子出版)
- [12] Yuan Li and Hiroyuki Kitagawa, "Example-Based Robust DB-Outlier Detection for High Dimensional Data", Proc. 13th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA 2008), LNCS 4947, pp. 330-347, New Delhi, India, March 2008.
- [13] 渡辺陽介, 秋山亮, 大喜恒甫, 北川博之, 「映像ストリームのための映像情報統合基盤システムの提案」, 日本データベース学会Letters, Vol. 6, No. 4, pp. 13-16, 2008年3月.
- [14] Yousuke Watanabe, Ryo Akiyama, Kousuke Ohki and Hiroyuki Kitagawa, "A Video Stream Management System for Heterogeneous Information Integration Environments", Proc. 2nd International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC 2008), pp. 219-224, Suwon, Korea, January 2008.
- [15] 佐竹聡, 川島英之, 今井倫太, 安西祐一郎, 「Brownie: カメラ上に指定された過去のランドマーク情報に基づく実世界探し物検索システム」 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 19, No. 5, pp. 556-569, 2007年10月.
- [16] 渡辺陽介, 北川博之, 「分散ストリーム処理環境における持続型問合せ処理方式」, 日本データベース学会Letters, Vol. 6, No. 2, pp. 41-44, 2007年9月.
- [17] 山田真一, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之, 「データストリーム管理システム Harmonicaの設計と実装」 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 48, No. SIG14 (TOD35), pp. 91-106, 2007年9月.
- [18] Yousuke Watanabe, Shinichi Yamada, Hiroyuki Kitagawa and Toshiyuki Amagasa, "Integrating a Stream Processing Engine and Databases for Persistent Streaming Data Management", Proc. 18th Int'l Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA2007), LNCS 4653, pp. 414-423, Regensburg, Germany, Sept. 2007.
- [19] Hideyuki Kawashima, "KRAFT: A Real-Time Active DBMS for Signal Streams", Proc. 4th International Conference on Networked Sensing Systems (INSS'07), Braunschweig, Germany, June 2007. pp. 163-166.
- [20] Manabu Nakamura, Hideyuki Kawashima, Satoru Satake and Michita Imai, "Mana: A Real World Oriented Query Processing System Supporting Control of Sensor Characteristics", Proc. International Workshop on Sensor Webs, Databases and Mining in Networked Sensing Systems (SWDMNSS), Braunschweig, Germany, June 2007. pp. 23-30.
- [21] Takeshi Kanda, Yutaka Yanagisawa, Takuya Maekawa, Michita Imai, Hideyuki Kawashima and Takeshi Okadome, "A Distributed Inference System on Sensor Nodes using Neighbor's Context Data", Proc. 3rd IEEE International Workshop on Databases for Next-Generation Researchers, Istanbul, Turkey, April 2007. (電子出版)
- [22] Yuan Li and Hiroyuki Kitagawa, "DB-Outlier Detection by Example in High Dimensional Datasets", Proc. 3rd IEEE International Workshop on Databases for Next-Generation Researchers, 電子出版, Istanbul, Turkey, April 2007. (電子出版)
- [学会発表] (計 29 件)
- [A1] 川島英之, 北川博之, 寺島裕貴, 「ストリーム処理エンジンにおける効率的な来歴管理」, 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2009), 掛川, 2009年3月8日~10

- 日.
- [A2] 大喜恒甫, 渡辺陽介, 北川博之, 川島英之, 「分散ストリーム処理における対象情報源の動的変化を考慮した問合せ最適化手法の評価」, 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2009), 掛川, 2009年3月8日~10日.
- [A3] Zhitao Shen, Xin Li, Hideyuki Kawashima and Hiroyuki Kitagawa "Pattern-based Window: A Novel Window Operator to Support Event Detection for Data Stream Processing", 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2009), 掛川, 2009年3月8日~10日.
- [A4] 佐藤亮, 川島英之, 北川博之, 「データストリーム処理へのベイジアンネットワークの導入」, 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2009), 掛川, 2009年3月8日~10日.
- [A5] 山口卓郎, 渡辺陽介, 北川博之, 「センサノード上で動作する汎用データ管理基盤の開発」, 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2009), 掛川, 2009年3月8日~10日.
- [A6] 塩川浩昭, 渡辺陽介, 北川博之, 川島英之, 「分散ストリーム処理システムにおける高信頼化手法の提案」, 第1回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2009), 掛川, 2009年3月8日~10日.
- [A7] 大喜恒甫, 山口卓郎, 渡辺陽介, 北川博之, 川島英之, 塩川浩昭, 「異種データストリーム統合基盤: StreamSpinner」, Webとデータベースに関するフォーラム(WebDB Forum 2008), 東京, 2008年12月1日~2日.
- [A8] 大喜恒甫, 渡辺陽介, 秋山亮, 北川博之, 天笠俊之, 川島英之, 「対象情報源の動的変化を考慮した分散ストリーム処理最適化手法の提案」, iDB フォーラム 2008. 福島, 2008年9月21日~23日. 情報処理学会研究報告 Vol. 2008, No. 88, pp. 265-270.
- [A9] 稲守孝之, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之, 川島英之, 「分散ストリーム処理管理システムORINOCOの評価」, 情報処理学会 第70回全国大会講演論文集(5), pp. 235-236. つくば, 2008年3月13日~15日.
- [A10] Yuan Li, Hiroyuki Kitagawa, "A Robust Method of Detecting DB-Outliers in High Dimensional Datasets", 情報処理学会 第70回全国大会講演論文集(1), pp. 683-684. つくば, 2008年3月13日~15日.
- [A11] 大喜恒甫, 渡辺陽介, 秋山亮, 北川博之, 天笠俊之, 川島英之, 「ストリーム処理における情報源の動的選択機能」, 情報処理学会 第70回全国大会講演論文集(1), pp. 697-698. つくば, 2008年3月13日~15日.
- [A12] Zhitao Shen, Hideyuki Kawashima, Hiroyuki Kitagawa, "Continuous Query over Uncertain Data Streams", 情報処理学会 第70回全国大会講演論文集(1), pp. 691-692. つくば, 2008年3月13日~15日.
- [A13] 佐藤亮, 川島英之, 北川博之, 「ベイジアンネットワークに対する効率的な更新・問合せ手法」, 情報処理学会 第70回全国大会講演論文集(1), pp. 443-444. つくば, 2008年3月13日~15日.
- [A14] Yuan Li and Hiroyuki Kitagawa, "A Robust Method for Detecting DB-Outliers from High Dimensional Datasets", 電子情報通信学会第19回データ工学ワークショップ(DEWS2008), 宮崎, 2008年3月9日~11日.
- [A15] 稲守孝之, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之, 川島英之, 「広域分散ストリーム処理環境における演算の配置最適化手法の評価」, 電子情報通信学会第19回データ工学ワークショップ(DEWS2008), 宮崎, 2008年3月9日~11日.
- [A16] Zhitao Shen, Hideyuki Kawashima and Hiroyuki Kitagawa, "Probabilistic Event Stream Processing with Lineage", 電子情報通信学会第19回データ工学ワークショップ(DEWS2008), 宮崎, 2008年3月9日~11日.
- [A17] 大喜恒甫, 渡辺陽介, 秋山亮, 北川博之, 天笠俊之, 川島英之, 「ストリーム処理における情報源の動的選択機能の評価」, 電子情報通信学会第19回データ工学ワークショップ(DEWS2008), 宮崎, 2008年3月9日~11日.
- [A18] 佐藤亮, 川島英之, 北川博之, 「ベイジアンネットワークを用いた確率的データストリームモデルの提案」, 電子情報通信学会第19回データ工学ワークショップ(DEWS2008), 宮崎, 2008年3月9日~11日.
- [A19] 秋山亮, 渡辺陽介, 大喜恒甫, 北川博之, 「実世界情報管理基盤システムにおける大規模映像データ統合方式」 情報処理学会 データベースとWeb情報システムに関するシンポジウム(DBWeb2007), 東京, 2007年11月27日~28日.

- [A20] Hiroyuki Kitagawa, "Stream Data Management Based on Integration of a Stream Processing Engine and Databases", IEEE International Workshop on Frontier of Data-Driven Engineering (FDDE 2007), Dalian, China, Sept. 18-21, 2007. (招待講演)
- [A21] 渡辺陽介, 北川博之, 「仮想マシン技術を用いた持続型ストリーム処理環境の評価」, 夏のデータベースワークショップ 2007 (DBWS 2007), 仙台, 2007年7月2日~4日. 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 107, No. 131, pp. 339-344.
- [A22] 稲守孝之, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之, 川島英之 「分散ストリーム処理環境におけるアプリケーション配置最適化手法」, 夏のデータベースワークショップ 2007 (DBWS 2007), 仙台, 2007年7月2日~4日. 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 107, No. 131, pp. 345-350.
- [A23] 川島英之, 北川博之, 「確率推論センサーデータベースシステムの設計」, 夏のデータベースワークショップ 2007 (DBWS 2007), 仙台, 2007年7月2日~4日. 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 107, No. 131, pp. 351-356.
- [A24] Yuan Li, Hiroyuki Kitagawa, "Detecting Outliers in High Dimensional Datasets with Examples", 夏のデータベースワークショップ 2007 (DBWS 2007), 仙台, 2007年7月2日~4日. 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 107, No. 131, pp. 423-428.
- [A25] Yuan Li and Hiroyuki Kitagawa, "Example-Based DB-Outlier Detection from High Dimensional Datasets", 電子情報通信学会第18回データ工学ワークショップ (DEWS2007), 広島, 2007年2月28日~3月2日.
- [A26] 山田真一, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之, 「ストリーム管理システムにおける複数永続化要求最適化手法」, 電子情報通信学会第18回データ工学ワークショップ (DEWS2007), 広島, 2007年2月28日~3月2日.
- [A27] Hiroyuki Kitagawa, "Stream-based Real-time Real World Data Management", The 23rd National Database Conference, Guangzhou, China, Nov. 10-13, 2006. (招待講演)
- [A28] 渡辺陽介, 山田真一, 北川博之, 「分散環境におけるストリーム処理の高信頼化」, 夏のデータベースワークショップ DBWS2006, 新潟, 2006年7月12日~14日. 情報処理学会研究報告 Vol. 2006,

No. 78(2006-DBS-140(II)), pp. 261-268.

- [A29] 山田真一, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之, 「ストリーム管理システムにおける永続化要求の妥当性評価」, 夏のデータベースワークショップDBWS2006, 新潟, 2006年7月12日~14日. 情報処理学会研究報告 Vol. 2006, No. 78(2006-DBS-140(II)), pp. 277-284.

[その他] (計4件)

- [B1] StreamSpinner プログラム, [//www.streamspinner.org/](http://www.streamspinner.org/)
- [B2] 「大規模センサーデータ処理のためのデータストリーム管理基盤」イノベーション・ジャパン 2008, 2008年9月.
- [B3] 「大規模センサーデータのための連合型情報基盤システム」イノベーション・ジャパン 2007, 2007年9月.
- [B4] 「ストリーム処理による実時間実世界情報基盤システム」イノベーション・ジャパン 2006, 2006年9月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北川 博之 (KITAGAWA HIROYUKI)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授
研究者番号: 00204876

(2) 研究分担者

福井 和広 (FUKUI KAZUHIRO)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授
研究者番号: 40375423

天笠 俊之 (AMAGASA TOSHIYUKI)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師
研究者番号: 70314531

森嶋 厚行 (MORISHIMA ATSUYUKI)
筑波大学・大学院図書館情報メディア研究科・准教授
研究者番号: 70338309

石川 佳治 (ISHIKAWA YOSHIHARU)
名古屋大学・情報連携基盤センター・教授
研究者番号: 80263440

川島 英之 (KAWASHIMA HIDEYUKI)
(2007-2008)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師
研究者番号: 90407148