

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06099

研究課題名（和文）双方向変換の深化による自律分散ビッグデータの相互運用基盤に関する研究

研究課題名（英文）Software Foundation for Interoperability of Autonomic Distributed Data based on Bidirectional Transformation

研究代表者

胡 振江 (Hu, Zhenjiang)

国立情報学研究所・大学共同利用機関等の部局等・特任教授

研究者番号：50292769

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 134,480,000円

研究成果の概要（和文）：データの利活用は進んでいる中、データを集めることなく自律分散的にビッグデータの効率的な分析、共有、相互活用を行なう新しいソフトウェア基盤技術が求められている。本研究は、双方向変換技術を「高信頼・大規模・高効率」の方向へ深化させ、自律分散ビッグデータの統合・共有・相互運用のためのソフトウェア基盤技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は自律分散データの効率的な分析、共有、相互運用を行う新しいソフトウェア基盤技術を確立した。これより、クラウド環境等に置かれた無数のデータから新たな知見を得るというデータの一元管理という考え方を逆転し、データを集中管理せず「集めない」ことで、秘匿性の高いデータをクラウド上で管理することが許されない一般企業の事情にも対応でき、分散した状態のままデータを活用するとともに分散データ間の整合性が保証できる。

研究成果の概要（英文）：Big data processing is widely employed in all aspects of our lives. Usually, parts or copies of a huge amount of data are stored in separate locations, and is infeasible to be collected and processed in a centralized manner. We therefore need new software foundations based on which big data can be efficiently analyzed and shared in a distributed way. A highly relevant research area is bidirectional transformations, which provide a reliable mechanism for data synchronization. Despite the potential in solving practical synchronization problems including data interoperability, bidirectional technologies are not widely employed yet, and most applications of bidirectional transformations remain only proof of concept.

In this project, we have further developed bidirectional transformation technology in the direction of "high reliability, large scale, and high efficiency" and established software foundation for integration, sharing, and interoperability of autonomous decentralized big data.

研究分野：計算基盤

キーワード：双方向変換 相互運用 自律分散データ プログラミング言語

1．研究開始当初の背景

近年ビッグデータの利活用は進んでいるが、データを集中管理する手法はネットワーク技術の点で厳しい局面を迎えている。その打開策として、データを集めることなく自律分散的にビッグデータの効率的な分析、共有、相互活用を行なうソフトウェア基盤技術が求められている。

一方、2つのデータベース間での整合性を保証する手法として双方向変換がある。古くはデータベース分野におけるビュー更新問題として扱われてきたが、近年は新しいプログラミングモデルとデータ同期・相互運用の方法として注目を浴び、様々な双方向変換言語が提案されている。双方向変換にはデータの相互活用をはじめ多くの潜在的な応用があるが、概念実証の応用例しか発表されていないのが現状である。

2．研究の目的

本研究は、双方向変換技術を「高信頼・大規模・高効率」の方向へ深化させるとともに、自律分散ビッグデータの統合・共有・相互運用のためのソフトウェア基盤技術を確立することを目指す。

3．研究の方法

本研究の目的を達成するため、まず3つの目標を設定した。「目標1：双方向変換の深化」ではモジュール化、静的解析・自動検証、強力なデバッグ機構と学習支援により大規模・高信頼で系統的な開発を可能とする。「目標2：双方向変換による新たな基盤の構築」では自律分散ビッグデータの相互活用のための新たな基盤：双方向変換に基づく計算モデルを確立し、非同期並列処理により効率性を実現する。「目標3：双方向変換の実例への応用」では社会の実問題に取り組み、双方向変換による相互運用基盤の有用性を示す。

そして、目標毎にチームを構成して集中的に研究に取り組んできた。研究の進め方としては、各チームでリーダーを中心に Slack をベースに議論を進め、毎月 WebEx や Zoom によりチーム内での打ち合わせを実施し研究を推進するとともに、3チーム間で密な連携を図るため年4回程度のプロジェクト全体会議を実施した。更に、各チームとも海外研究者と共同研究を実施し多数の共著論文を発表するとともに、毎年本研究プロジェクトに関する国際ワークショップ SFDI を企画・開催することで、国内外の研究者からフィードバックを受けて、研究成果の完成度を高めてきた。

4．研究成果

本研究の目的を達成するために、平成29年度より、これまでの基盤(A)の研究成果を踏まえて、双方向変換技術を深化させ、自律分散データの相互運用のソフトウェア基盤技術を確立することを目指して、3つの目標にそった「深化」、「基盤」、「実証」という3つのチームを形成し、それぞれ緊密に連絡を取り合って、研究計画に従って研究を進めてきた。全チームの連携による主要な研究成果は、自律分散データの統合・共有・相互運用のための双方向変換技術に基づくアーキテクチャ Dejima の開発にある。Dejima アーキテクチャにおける双方向変換言語技術、基盤技術、応用に関する研究成果を、プログラミング言語、ソフトウェア工学、そしてデータベースの分野で最難関の国際会議である POPL(1件)、FSE(1件)、SIGMOD(3件)、国際ジャーナル PVLDB(5件)、TKDE(3件)など多数発表した。更に、双方向変換技術を用いて PostgreSQL サーバを相互連携する Dejima アーキテクチャの実装および双方向変換開発環境 BIRDS を OSS として

公開した。このように、世界最先端の多数の研究成果を挙げると共に、開発環境としてのソフトウェア基盤を公開した点において、当初予定の研究目的を十分達成できたと判断している。具体的な研究の達成状況に関して、3つのチームごとに詳細を記載する。

[深化チームの研究成果] 深化チームは、「目標1：双方向変換の深化」を中心に、大規模で高信頼な双方向変換の開発環境の構築を達成するために、双方向変換技術を深化させ、双方向変換のモジュール化、静的解析・自動検証、デバッグ機構と高信頼で系統的な開発を可能とする基礎理論と支援環境を研究してきた。

双方向変換開発環境 BIRDS: (1) 実用上よく利用されている関係データベース(以降 DB と呼ぶ)問合せ言語の一つである Datalog に基づいて、データの制御・統合・協調を記述しやすい双方向変換言語を設計し、そこから関係 DB の国際標準である SQL を生成することで、漸進的更新伝搬におけるソース参照の削減による効率的な実現手法を開発した(PVLDB2020)。(2) 利用者が大規模で高信頼な双方向変換を開発することを可能にするため、自動検証とデバッグ機能を備え、正しく効率のよい双方向変換を開発できる環境 BIRDS を構築した(APLAS2020)。(3) 双方向変換の基盤として、Hoare Logic に基づいて双方向変換の検証理論を構築し、双方向変換の合成に対する最適化手法を提案し実現した(POPL2008, FLOPS2021)。

双方向変換言語表現力: 双方向変換言語を設計する上で表現力を精査することも重要である。双方向変換を成す関数の対はラウンドトリップ性を満たす必要があり、一般的な双方向変換言語では必ずこの性質が満たされるように構文的な制約を加えて設計されている。しかしながら、この構文的な制約により表現力が不足する可能性もあることが知られており、どこまで記述できれば十分であるかを判定する方法は未解決となっている。そこで、双方向変換言語の表現力の基準となる計算モデルの設計を目標とし、(1) 対合(二回の関数適用によって元に戻る関数)と(2) 冪等(二回以上の関数適用が一回と変わらない関数)の二つについて十分な表現力を持つ計算モデルの特定に成功した。これらの二つの関数は双方向変換に密接に関連しており、目標となる計算モデルの設計に近づくことができたといえる。

双方向変換に基づく相互運用アーキテクチャ: 深化チームの目標に含まれる、自律分散型のデータ相互運用に必要な「双方向変換のモジュール化」の解として、非対称型双方向変換のスパン・余スパン接続を基本構成単位とし、接続点での公平な調停と、他の相互運用主体に影響を与えない透過的な構成変更、データ交換条件変更の伝播により、双方向変換の柔軟な合成を通じたより堅牢で自律的な相互運用基盤のモデルを提案することができた。

[基盤チームの研究成果] 基盤チームでは「目標2：双方向変換による新たな基盤の構築」を達成するため、双方向変換技術を用いることによってビュー更新時の曖昧性の問題を解決することを中核の技術とし、複数の DB システム(以降ピアと呼ぶ)の自律性およびプライバシーを保ちながら、データ更新・伝搬時におけるピア間のデータの一貫性を保証する Dejima アーキテクチャを考案した。特に、アーキテクチャの正しさを裏付ける理論基盤を構築し、要素技術として大域的な一貫性を保証する分散トランザクション機能、データ統合可能なピアを発見するための結合可能テーブルの発見、クエリ処理の高速化に関する技術を開発した。本アーキテクチャは、データ統合に関する著名な研究者であるペンシルバニア大の Zackary Ives の基調講演

(BigComp2019 併設国際ワークショップ SFDI)でも取り上げられている。

理論基盤: (1) Dejima アーキテクチャでは、双方向変換を介して更新が順方向および逆方向に伝搬される点に特徴がある。従来技術では単方向の更新伝搬しか扱っていなかったが、我々は逆方向変換に焦点を絞って静的保証の手法開発に取り組んだ。具体的には、関係代数演算の逆方向変換について、ビューの更新がピアの DB に与える影響を分析することで、ピアのデータ制約に違反しうるかを判定する手法を考案した。(2) 各ピアが管理する、他のピアにデータを公開するポリシー (公開定義) もデータ制約の一種であるとみなし、それに対してデータ変換が与える影響を明らかにする問題に取り組んだ。具体的には、データの 2 次利用者がデータを公開する際、オリジナルデータ提供者のデータ公開ポリシーに沿った公開であるかを判定する問題を形式化し、それが判定可能となるための十分条件を与えた(信学論 2023)。(3) Dejima アーキテクチャでは双方向変換技術を適用するため、参加するピアが拠出しているデータの値が一致していることが求められる。しかし、各ピアは自律しているため、他のピアに存在している同じ意味を表すデータが異なる値を持つ場合がある。このような協同しながらデータを個人化する技術を確認するため、双方向変換の co-span に基づく合成によるアーキテクチャを設計した。ビュー定義という実用的な言語を用いて co-span による合成を用いる点に本研究の学術的独自性がある。

分散トランザクション機能: (1) 複数ピアを横断して更新伝搬する分散環境では、更新操作の頻度が高い場合に分散デッドロックが生じてスループットが悪化するという問題が生じる。この問題に対して、2 層ロックと保守的 2 層ロックを適応的に選択する制御機構を開発した。この際に、SPJU クエリを用いて表現された更新可能ビューに対して、双方向変換の特性を活用することで更新伝搬範囲(ピア群)を制限し、効率的な保守的分散 2 層ロックを実現した(SFDI2021)。(2) 更新データをピア間で共有する場合、先方の DB へ更新が伝搬した際に(主キー制約など)DB の内部状態によって更新操作が失敗する問題が生じ得る。この問題を解決するため、我々はピア間でのインターフェースを動的に調整する柔軟な更新伝搬を実現する機構を提案した(SFDI2020)。(3) 複数のピアから同時に更新操作が実行される場合に、高スループットを達成する技術として Coordination Avoidance があるが、調停フリーな実行でアプリケーション固有の不変条件(一貫性)を保つには、プログラマはオブジェクト(データの状態集合とトランザクション操作群)を Invariant confluent なセグメントに手動分解しなければならなかった。この問題に対してオブジェクトの自動セグメント分解の技術を考案し、高スループットを達成した(情処論 2022)。

結合可能テーブルの発見: 複数ピア間で共有可能なデータを発見するための、結合可能(joinable/unionable)な DB テーブルの探索の課題に取り組んだ。(1)Pigeonhole Principle を拡張することで、膨大なデータを含む DB 間におけるスキーマレベルのマッチングおよび値レベルの高速な類似マッチングに適用可能な技術を考案し、従来技術の 15 倍の高速化を達成した(PVLDB2018, TKDE2021)。(2) ピア間の異種性問題を解決するテーブル埋め込み方法を活用し、結合可能なテーブルを特定する手法を開発した。具体的には、表現学習技術や事前学習モデルを利用し、異なる DB テーブルから同一の意味を持つデータを高次元空間に投影した。特に、テーブルが数値データとテキストデータの両方を含む場合があるため、それぞれに対処する技術を提

案した(ICDE2021)。(3) 等結合 (equi-join) 可能なテーブルしか検出できないという問題に対処するため、メトリック学習を利用し、高次元データ間の類似性に基づいてテーブル結合の可能性を推定した(PVLDB2022)。(4) 結合可能なテーブルの自動推薦の高速化に焦点を当て、大規模な高次元データ検索に着目し、効率的な索引技術や類似問合せ処理手法を開発した(PVLDB2021)。

クエリ処理の高速化: (1) データ統合で広く利用されている XML 形式データに対するクエリ処理の課題に取り組み、高価な変換操作を排除する新たなクエリの等価変換を考案し、従来よりも 1000 倍以上高速なクエリ処理を達成した。本成果に関して Springer や Airbus などの顧客を持つ XQuery エンジン企業(BaseX 社)から認められ、この処理に関する解析ツールの提供を受けている(DBPL2017)。(2) 分散 DB において、クエリワークロードを入力として、適切な分散インデックスを推薦する問題を整数計画問題として定式化し、最適な分散インデックスを探索する課題を解決した(情処論 2020)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 19件）

1. 著者名 Kejing Lu, Mineichi Kudo, Chuan Xiao, Yoshiharu Ishikawa	4. 巻 15(2)
2. 論文標題 HVS: Hierarchical Graph Structure Based on Voronoi Diagrams for Solving Approximate Nearest Neighbor Search	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PVLDB	6. 最初と最後の頁 246-258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14778/3489496.3489506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ennio Visconti, Christos Tsigkanos, Zhenjiang Hu, Carlo Ghezzi	4. 巻 20
2. 論文標題 Model-Driven Engineering City Spaces via Bidirectional Model Transformations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Systems and Software	6. 最初と最後の頁 2003-2022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10270-020-00851-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Jianbin Qin, Chuan Xiao, Yaoshu Wang, Wei Wang, Xuemin Lin, Yoshiharu Ishikawa, Guoren Wang	4. 巻 33(2)
2. 論文標題 Generalizing the Pigeonhole Principle for Similarity Search in Hamming Space	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE)	6. 最初と最後の頁 489-505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TKDE.2019.2899597	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Van-Dang Tran, Hiroyuki Kato, Zhenjiang Hu	4. 巻 13(5)
2. 論文標題 Programmable View Update Strategies on Relations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PVLDB	6. 最初と最後の頁 726-739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14778/3377369.3377380	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zirun Zhu, Hsiang-Shang Ko, Yongzhe Zhang, Pedro Martins, Joao Saraiva, Zhenjiang Hu	4. 巻 38
2. 論文標題 Unifying Parsing and Reflective Printing for Fully Disambiguated Grammars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 New Generation Computing	6. 最初と最後の頁 423--476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00354-019-00082-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yang Cao, Yonghui Xiao, Li Xiong, Liqun Bai, Masatoshi Yoshikawa	4. 巻 33
2. 論文標題 Protecting Spatiotemporal Event Privacy in Continuous Location-Based Services	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE)	6. 最初と最後の頁 3141 - 3154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.1907.10814	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nianyu Li, Christos Tsiganos, Zhi Jin, Zhenjiang Hu, Carlo Ghezzi	4. 巻 170
2. 論文標題 Early Validation of Cyber-Physical Space Systems via Multi-Concerns Integration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Systems and Software	6. 最初と最後の頁 110742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jss.2020.110742	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jianbin Qin, Chuan Xiao, Sheng Hu, Jie Zhang, Wei Wang, Yoshiharu Ishikawa, Koji Tsuda, Kunihiko Sadakane	4. 巻 29(4)
2. 論文標題 Efficient Query Autocompletion with Edit Distance-based Error Tolerance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The VLDB Journal	6. 最初と最後の頁 919-943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00778-019-00595-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yasunori Ishihara, Takashi Hayata, Toru Fujiwara	4. 巻 E103-D
2. 論文標題 The Absolute Consistency Problem for Relational Schema Mappings with Functional Dependencies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2278-2288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2020EDP7102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 涌田 悠佑, 善明 晃由, 松本 拓海, 佐々木 勇和, 鬼塚 真	4. 巻 13(1)
2. 論文標題 Secondary Indexを活用するNoSQLスキーマ推薦によるクエリ処理高速化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌データベース	6. 最初と最後の頁 20-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuya Sasaki, Takahiro Hara, Yoshiharu Ishikawa.	4. 巻 23
2. 論文標題 Efficient framework for processing top-k queries with replication in mobile ad hoc networks.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 GeoInformatica	6. 最初と最後の頁 591-620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10707-019-00363-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ludovic Capelli, Zhenjiang Hu, Timothy Zakianc, Nick Brownd, Mark Bull.	4. 巻 86
2. 論文標題 iPregel: Vertex-centric Programmability vs Memory Efficiency and Performance, Why Choose?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Parallel Computing	6. 最初と最後の頁 45-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.parco.2019.04.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yang Cao, Yonghui Xiao, Li Xiong, Liqun Bai, Masatoshi Yoshikawa.	4. 巻 12.12(2019)
2. 論文標題 PriSTE: Protecting Spatiotemporal Event Privacy in Continuous Location-Based Services.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the VLDB Endowment	6. 最初と最後の頁 1866-1869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14778/3352063.3352086	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Cao Yang, Yoshikawa Masatoshi, Xiao Yonghui, Xiong Li	4. 巻 31
2. 論文標題 Quantifying Differential Privacy in Continuous Data Release Under Temporal Correlations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE)	6. 最初と最後の頁 1281 ~ 1295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TKDE.2018.2824328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 高橋 祐多, *中野 圭介	4. 巻 35 巻, 4 号
2. 論文標題 木から文字列への決定性トップダウン変換の等価性判定アルゴリズムの実用性について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンピュータソフトウェア	6. 最初と最後の頁 pp. 52-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/jssst.35.52	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 YONG Sopheaktra, ASANO Yasuhito	4. 巻 E101.D
2. 論文標題 Purpose-Feature Relationship Mining from Online Reviews towards Purpose-Oriented Recommendation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1021 ~ 1029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2017DAP0013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 ASANO Yasuhito, KAWAMOTO Junpei	4. 巻 E101.D
2. 論文標題 Detecting Anomalous Reviewers and Estimating Summaries from Early Reviews Considering Heterogeneity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1003 ~ 1011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2017DAP0006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 浅田真帆, 曹洋, 吉川正俊	4. 巻 Vol.16-J, Article No.19
2. 論文標題 Geo識別不能性を用いた経路端点の曖昧化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本データベース学会和文論文誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中嶋 篤宏, 佐々木 勇和, 鬼塚 真	4. 巻 10(4)
2. 論文標題 非負値行列分解を用いた時系列リンク予測	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌データベース (TOD)	6. 最初と最後の頁 6 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計66件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 58件)

1. 発表者名 Yaoshu Wang, Chuan Xiao, Jianbin Qin, Rui Mao, Makoto Onizuka, Wei Wang, Rui Zhang, Yoshiharu Ishikawa
2. 発表標題 Consistent and Flexible Selectivity Estimation for High-Dimensional Data
3. 学会等名 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jianbin Qin, Wei Wang, Chuan Xiao, Ying Zhang, Yaoshu Wang
2. 発表標題 High-Dimensional Similarity Query Processing for Data Science
3. 学会等名 27th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuyang Dong, Kunihiro Takeoka, Chuan Xiao, Masafumi Oyamada
2. 発表標題 Efficient Joinable Table Discovery in Data Lakes: A High-Dimensional Similarity-Based Approach
3. 学会等名 37th IEEE International Conference on Data Engineering (ICDE 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ruyi Ji, Jingtao Xia, Yingfei Xiong, Zhenjiang Hu
2. 発表標題 Generalizable Synthesis Through Unification
3. 学会等名 ACM SIGPLAN International Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Christos Tsiganos, Nianyu Li, Zhi Jin, Zhenjiang Hu, Carlo Ghezzi
2. 発表標題 Scalable Multiple-View Analysis of Reactive Systems via Bidirectional Model Transformations
3. 学会等名 35th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 发表者名 Yang Cao, Yonghui Xiao, Li Xiong, Liqun Bai.
2. 发表标题 PriSTE: From Location Privacy to Spatiotemporal Event Privacy.
3. 学会等名 35th IEEE International Conference on Data Engineering (ICDE 2019) (国际学会)
4. 发表年 2019年

1. 发表者名 Ennio Visconti, Christos Tsiganos, Zhenjiang Hu, Carlo Ghezzi.
2. 发表标题 Model-Driven Design of City Spaces via Bidirectional Transformations.
3. 学会等名 EE/ACM 22nd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2019) (国际学会)
4. 发表年 2019年

1. 发表者名 Xiao He, Zhenjiang Hu
2. 发表标题 Putback-based Bidirectional Model Transformations
3. 学会等名 26th ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering, Lake Buena Vista, Florida, United States, Gothenburg, Sweden, November 4-9, 2018. (国际学会)
4. 发表年 2018年

1. 发表者名 Hsiang-Shang Ko, Zhenjiang Hu
2. 发表标题 An axiomatic basis for bidirectional programming
3. 学会等名 45th ACM SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages (POPL 2018) (国际学会)
4. 发表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yijun Yu, Arosha K. Bandara, Shinichi Honiden, Zhenjiang Hu, Tetsuo Tamai, Hausi A. Muller, John Mylopoulos, Bashar Nuseibeh (editors)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 -
3. 書名 Engineering Adaptive Software Systems - Communications of NII Shonan Meetings	

〔産業財産権〕

〔その他〕

BISCUITS http://www.prg.nii.ac.jp/projects/biscuits/index.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	吉川 正俊 (Yoshikawa Masatoshi) (30182736)	京都大学・情報学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	鬼塚 真 (Onizuka Makoto) (60726165)	大阪大学・情報科学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	石原 靖哲 (Ishihara Yasunori) (00263434)	南山大学・理工学部・教授 (33917)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	日高 宗一郎 (Hidaka Soichiro) (70321578)	法政大学・情報科学部・教授 (32675)	
研究分担者	加藤 弘之 (Kato Hiroyuki) (10321580)	国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・助教 (62615)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	武市 正人 (Takeichi Masato)	東京大学	
研究協力者	中野 圭介 (Nakano Keisuke)	東北大学	
研究協力者	浅野 泰仁 (Asano Yasuhito)	東洋大学	
研究協力者	清水 敏之 (Shimizu Toshiyuki)	九州大学	
研究協力者	佐々木 勇和 (Sasaki Yusa)	大阪大学	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	蕭 川 (Xiao Chuan)	大阪大学	
研究協力者	対馬 かなえ (Tsushima Kanae)	国立情報学研究所	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計4件

国際研究集会 Third Workshop on Software Foundations for Data Interoperability	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 SFDI2019: Second Workshop on Software Foundations for Data Interoperability	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 First Workshop on Software Foundations for Data Interoperability	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 Fourth Workshop on Software Foundations for Data Interoperability	開催年 2020年～2020年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	北京大学			
イタリア	ミラノ工科大学			
英国	オックスフォード大学			