

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01722

研究課題名(和文) 実時間性を持つ並行プログラムに対するデバッグのための逆方向計算モデル

研究課題名(英文) A reversible debugging model for real-time concurrent programs

研究代表者

結縁 祥治 (YUEN, SHOJI)

名古屋大学・情報学研究科・教授

研究者番号：70230612

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、並行性をもつソフトウェアにおいて、逆計算のメカニズムを応用して新たな解析手法を与えることである。近年の並行性を持つソフトウェアの振舞いにおいては、同時に実行されるプログラムの振舞いは非決定的であり、どのように相互作用を行ったかということ逆にたどることはプログラムの動的解析にとって非常に重要な情報となる。

この観点において、本研究では、並行性を持つソフトウェアの振舞いモデルの研究を行い、応用技術として、デバッグを目的とした並行性をもつプログラムの逆方向の動的解析手法および関連したプログラム解析技法(情報圧縮、実時間計算、並行プログラムの型づけ)について研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

並行性を持つプログラムでは非決定性から実行再現性が保証されないため、不具合に対する解析とその修正が一般には難しい。並行ソフトウェアの振舞いを可逆計算の体系によってモデル化することによって、不具合の原因同定とその修正を効率的に行う手法について研究を行った。モデル化では順方向の実行に沿った逆方向に不可欠な情報を同定する。このモデル化を実行環境として実現し、さまざまな言語に対する可逆実行環境とその上でのデバッグ手法について研究を行った。過去の状態を同定し可逆の実行を可能にするためのモデル化と手法を複数のプログラミング言語処理系に対して示した。さらに可逆実行における実時間性について検討した。

研究成果の概要(英文)：The objectives of this research seek a technology based on reversible computing to provide a novel technique for analysing concurrent programs. Recent software technology of development and maintenance requires behavioural analysis with the past configurations. Concurrency often makes such analysis difficult since the behaviour is inherently nondeterministic, and a replay of execution involves the information of forward executions, which are usually discarded.

In this respect, we investigate a technique base on the formal model analysing reversible execution of concurrent software. We apply the technique to the behaviour analysis, mainly aiming at efficient debugging of concurrent programs. We also investigate analysis techniques for concurrent programs and debuggers, including information compression, timed automaton model, and session types.

研究分野：並行計算モデル

キーワード：可逆計算 並行計算モデル 並行プログラム 可逆実行環境 可逆デバッガ

1. 研究開始当初の背景

逆計算は新たな計算に対する視点である。逆方向にも可能な計算は、原理的には Landauer の原理に基づいて計算によって失われるエネルギーが回収でき、効率的な回路を構成できる可能性がある。この原理に基づいて、逆計算モデルおよび省電力ハードウェアの研究が行われてきた。

一方、並行性を持つソフトウェアが高度化するに従って解析が難しくなり、仮想マシンの普及に見られるように全体状態の系列を保存して開発・維持を行う場合がある。これは、並行性を持ちネットワークで接続されたソフトウェアの振舞いはプログラムに対して非決定的であり、保存された状態から実際にどういった選択がされたかということを再現して解析する必要があるためである。一般的にデバッグは不具合が発生した時点への計算を再現するところで実施される。しかし、プログラムが非決定的である場合には再現が難しく、一定時点ごとに状態を保存して、再現することが行われる。しかし、ソフトウェアの規模が増大すると状態を保存することは、関係のない状態も保存されるため、効率がよくない。また、不具合の原因を保存された状態から発見する作業も必要になる。

こういった問題に対して、不具合が発生した時点から逆方向に計算を行うことができれば、効率的にデバッグ作業が可能になり、不具合の原因解析が容易になるという観点から逆方向デバッグや逆方向に実行可能なプログラミング言語とその言語処理系が提案されている。しかし、並行性をもつプログラムへの対応は必ずしも十分でなく、枠組みを含めた研究が必要である。

2. 研究の目的

近年の情報システムは、IoT に代表されるように多数の計算ハードウェアをネットワークで接続し、実世界と相互作用することによって構成される。このような情報システムを実現するソフトウェアを開発・維持するためのデバッグ作業の効率化は重要な課題である。並行プログラムにおいて、エラーの原因を特定することは逐次プログラムと比較して一般に難しい。原因となるプログラムの修正箇所を特定・修正する場合、最初から再実行せずに、実行を逆戻りさせて原因を特定することができれば、効率的にデバッグを行うことができる。このために、逆計算の操作意味をもつプロセス代数 CCSK でプログラムの振舞いを特徴づけ、離散時間経過意味を導入して、時間経過に依存した振舞いの逆方向の振舞いを抽象的に表現する。このことで、実時間性を含む振舞い性質に対して効率的にデバッグを行う基盤となる理論と実現の基礎を確立することを目的とする。

本研究では、逆方向計算を定式化するプロセス代数の CCSK(CCS with communication Keys) による振舞いにもとづいたデバッグ手法を開発する。CCSK は、Milner の CCS(Calculus for Communication Systems) を基本とした並行計算モデルである。通信の履歴を式に内包して保存し、順方向と逆方向の振舞い意味を持つ。Milner の CCS を代表とするプロセス代数の枠組みでは、並行プログラムの意味をさまざまな抽象レベルで表現することができる。並行計算の基盤として 1980 年代を中心にして活発な研究が行われ、双模倣性にもとづく振舞いの等価性がプロセス代数として特徴づけられる。CCSK は基本計算機構である通信に逆計算のための履歴情報を付加することで CCS を拡張した体系でプログラムの逆実行をモデル化する。さらに、組込みシステムへの応用の観点から時間経過意味を CCSK に導入する。制御演算 を利用することでデバッグ対象のための逆計算を効率的に求める手法を検討する。

3. 研究の方法

(1) 計算モデルの検討：

本研究の目標は、並行システムを構成するプログラムに逆計算のアイデアを適用することで、順方向よりも効率的なデバッグを行う技法の開発である。順方向と逆方向の振舞いを持つ通信プロセス計算体系 CCSK に基づいてプログラムの振舞いをモデル化し、エラーの原因から逆にたどっていくことによって、初期状態からの状況の再現を行うことなくデバッグを行う。CCSK に、プログラムの順方向の意味をもとに逆方向の振舞い意味を定める。逆方向のためのオーバヘッドを軽減するための解析手法およびデータ構造について検討し、デバッグモデルを実現するデバッグを試作し、デバッグにおける逆計算の基本的実用性についての結果を示す。

(2) デバッグ技法：

効率的なデバッグ技法の研究をすすめる。デバッグを逆方向計算の制御合成の問題として定式化する。CCSK 式 P の順方向、逆方向を制御する制御 C は、 $P(C)$ と表現する。ここで、C は順方向のみ計算し、順方向動作と逆方向を指定しながら、P の振舞いを順方向に制御する。たとえば、制御器 $a:b:a$ は、a, b を

この順で逆計算し、a を順方向に計算することを指示する。

制御Cの合成によるデバッグのアイデアは以下の通りである。errをエラーが発生している場合に成り立つ命題であるとする。 $P \rightarrow^* P'$ でP'の状態エラーが発生していることを $P \models err$ と書くことにする。P'から逆方向に計算して、エラーとは別のパスを選択することでエラーへの到達の可能性が消えるポイントとエラーがまだ起こる可能性があるポイントの間に原因があると考えられる。そこで、 $P'(C) \models A[] \neg err$ と $P'(C') \models E \langle \rangle err$ という極小のCとC'のトレース内での極大のC'が合成できれば、CとC'からデバッグの情報を導くことができると考えられる。ここで、 $A[]p, E \langle \rangle p$ は、モデル検査ツールのUppaalで用いられている検査式であり、それぞれ、現時点以後性質pがずっと成立する、現時点以降に性質pが存在することもあることを表す。

制御を制御理論の枠組みにもとづいて自動的に合成する方法を研究し、制御差分生成の自動化によってエラーの原因特定を支援する。さらにユースケースを検討することでデバッグに対して適切な様相について検討する。

逆計算を行う際にはラベルから通信を行なったスレッドを検索して状態をもとに戻すことが必要となる。逐次プログラムに対する逆計算デバッグであるGDB7やundoDBでは多くの情報が必要であり、並行計算の場合はさらに増大することが予想される。XMLに対する情報圧縮技術をもとに逆計算の情報の効率的なデータ構造について研究する。

実際的なシステムへの適用を目標として既存のプログラムへの適用について検討をすすめ、C言語またはJava言語のサブセットで記述されたプログラムに対するシンボリックデバッグ技法およびそのためのツールの開発を目標とする。

最終年度は、デバッグのプロトタイプ実装と小規模なユースケースへの適用を行う。本研究の範囲では、実際的なソフトウェアシステムへの実際的な適用は限定的であり、時間経過を含めた逆計算にもとづくデバッグの基礎概念を明確に示すことを目標として実装する。

4. 研究成果

本研究の主な研究結果は以下の通りである。

(1) 可逆並行計算モデル

①通信プロセス計算に基づく可逆計算モデル

通信プロセス計算モデル CCS に基づいた可逆計算モデルに対する意味として、Event Structure に基づくモデルを提案した。(文献 11) 可逆計算による観測を可能にすると非決定性に基づく並行意味のみでは十分に振舞意味として十分でない。このため、Event Structure 意味論を拡張して、可逆計算によって区別可能な振舞を定式化した。

②可逆書き換え計算モデル

項書き換え計算モデルにおいて、逆方向に書き換える枠組みを提案した。順方向の書き換え系から逆方向に書き換え可能な規則を導出して、可逆計算に対する抽象的な枠組みを提案した。

③プロセス計算 CSP に対する逆計算モデル

CSP モデルに対する逆計算モデルを提案した。CSP のトレースにタイムスタンプを与えることで、因果無矛盾な可逆計算を実現する。

(2) 並行プログラムの可逆実行意味

①命令型並列プログラムの可逆実行意味

並列ブロックを持つ単純なプログラミング言語に対する意味を与えた。プログラムを順方向に実行する際に逆計算のためのアノテーションを付加することによって、逆方向ではアノテーションを手がかりにして実行を行う。ここでは、並列ブロックが実行経路を記録したスタックを共有することによって、バックトラック逆計算を実現する。この実現において、当初計画していた制御演算子として、プログラムのフローを逆向きに制御するラベルスタックとデータの更新を逆向きに行う値スタックという機構として具体的な実現を示した。

②関数型言語の可逆実行意味

並行分散関数型言語の Erlang のサブセットに対する可逆実行意味を与えた。

(3) デバッグ技法、可逆実行環境

①命令型並列プログラムの可逆実行環境

命令型並列プログラムを実行する抽象機械を設計し、実行環境を与えた。ここでは抽象命令を逆転して実行することで逆方向の実行意味を与える。

②通信プロセスモデルに基づくデバッグ環境

CSP モデルの可逆実行意味に基づいたデバッグ環境を実装した。

③Erlang モデルに対するデバッグ環境

Erlang の可逆実行意味に基づくデバッグ環境を与えた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Ikeda Takashi, Yuen Shoji	4. 巻 12227
2. 論文標題 A Reversible Runtime Environment for Parallel Programs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 272 ~ 279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-52482-1_18	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 Keigo Imai, Rumiya Neykova, Nobuko Yoshida and Shoji Yuen	4. 巻 166
2. 論文標題 Multiparty Session Programming With Global Protocol Combinators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Leibniz International Proceedings in Informatics	6. 最初と最後の頁 9:1 ~ 9:30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ECOOP.2020.9	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 Galindo Carlos, Nishida Naoki, Silva Josep, Tamarit Salvador	4. 巻 32
2. 論文標題 Reversible CSP Computations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems	6. 最初と最後の頁 1425 ~ 1436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPDS.2021.3051747	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 Galindo Carlos, Nishida Naoki, Silva Josep, Tamarit Salvador	4. 巻 12227
2. 論文標題 ReverCSP: Time-Travelling in CSP Computations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 239 ~ 245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-52482-1_14	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 Hoey James、Lanese Ivan、Nishida Naoki、Ulidowski Irek、Vidal Germ?n	4. 巻 12070
2. 論文標題 A Case Study for Reversible Computing: Reversible Debugging of Concurrent Programs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 108 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-47361-7_5	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 Sato Shuichi、Hattori Shogo、Seki Hiroyuki、Inamori Yutaka、Yuen Shoji	4. 巻 28
2. 論文標題 Automating Time-series Safety Analysis for Automotive Control Systems Using Weighted Partial Max-SMT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 124 ~ 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.28.124	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 Takeda Takeshi、Hashimoto Kenji、Seki Hiroyuki	4. 巻 4
2. 論文標題 Graph Compression by Tree Grammars and Direct Evaluation of Regular Path Query	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Conference on Computer and Communication Systems	6. 最初と最後の頁 257 ~ 262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CCOMS.2019.8821730	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 Tatsuta Makoto、Nakazawa Koji、Kimura Daisuke	4. 巻 11893
2. 論文標題 Completeness of Cyclic Proofs for Symbolic Heaps with Inductive Definitions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 367 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-34175-6_19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Imai Keigo, Yoshida Nobuko, Yuen Shoji	4. 巻 172
2. 論文標題 Session-ocaml: A session-based library with polarities and lenses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science of Computer Programming	6. 最初と最後の頁 135 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scico.2018.08.005	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 Hoey James, Ulidowski Irek, Yuen Shoji	4. 巻 276
2. 論文標題 Reversing Parallel Programs with Blocks and Procedures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 69 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4204/EPTCS.276.7	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 Ulidowski Irek, Phillips Iain, Yuen Shoji	4. 巻 36
2. 論文標題 Reversing Event Structures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Generation Computing	6. 最初と最後の頁 281 ~ 306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00354-018-0040-8	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 Lanese Ivan, Nishida Naoki, Palacios Adrian, Vidal German	4. 巻 100
2. 論文標題 A theory of reversibility for Erlang	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming	6. 最初と最後の頁 71 ~ 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlamp.2018.06.004	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 Lanese Ivan, Nishida Naoki, Palacios Adrian, Vidal German	4. 巻 10818
2. 論文標題 CauDEr: A Causal-Consistent Reversible Debugger for Erlang	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 247 ~ 263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-90686-7_16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nishida Naoki, Maeda Yuya	4. 巻 289
2. 論文標題 On Transforming Narrowing Trees into Regular Tree Grammars Generating Ranges of Substitutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 68 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4204/EPTCS.289.5	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 Naoki Nishida, Yuya Maeda	4. 巻 108
2. 論文標題 Narrowing Trees for Syntactically Deterministic Conditional Term Rewriting Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 LIPIcs	6. 最初と最後の頁 26:1-26:20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.FSCD.2018.26	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 HASHIMOTO Kenji, TAKAYAMA Ryunosuke, SEKI Hiroyuki	4. 巻 E101.D
2. 論文標題 Direct Update of XML Documents with Data Values Compressed by Tree Grammars	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1467 ~ 1478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2017FOP0002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hoey James, Ulidowski Irek, Yuen Shoji	4. 巻 255
2. 論文標題 Reversing Imperative Parallel Programs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 51 ~ 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4204/EPTCS.255.4	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 該当する

1. 著者名 Imai Keigo, Yoshida Nobuko, Yuen Shoji	4. 巻 10319
2. 論文標題 Session-ocaml: A Session-Based Library with Polarities and Lenses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 99 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-59746-1_6	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 Wang Yuwei, Wen Yunqing, Li Guoqiang, Yuen Shoji	4. 巻 10610
2. 論文標題 Nested Timed Automata with Diagonal Constraints	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 396 ~ 412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-68690-5_24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Yuwei, Li Guoqiang, Yuen Shoji	4. 巻 10606
2. 論文標題 Nested Timed Automata with Invariants	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 77 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-69483-2_5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nishida Naoki, Palacios Adrian, Vidal German	4. 巻 94
2. 論文標題 Reversible computation in term rewriting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming	6. 最初と最後の頁 128 ~ 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jlamp.2017.10.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 山本暁、結縁祥治
2. 発表標題 時間付き可逆プロセス計算
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会SS2018-5
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本暁、結縁祥治
2. 発表標題 時間付き可逆プロセス計算の合同性について
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会SS2018-5
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi Takeda, Kenji Hashimoto and Hiroyuki Seki
2. 発表標題 Graph Compression by Tree Grammars and Direct Evaluation of Regular Path Query,
3. 学会等名 2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koji Nakazawa, Ken-etsu Fujita, and Yuta Imagawa
2. 発表標題 Z for call-by-value
3. 学会等名 6th International Workshop on Confluence (IWC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上 鉄也, 中澤 巧爾
2. 発表標題 高階契約に対するトレース意味論の完全抽象性
3. 学会等名 第20回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 仲田 壮佑, 中澤 巧爾
2. 発表標題 帰納的述語を含む分離論理によるプログラム検証のためのループ不変式の導出
3. 学会等名 第20回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	西田 直樹 (NISHIDA NAOKI) (00397449)	名古屋大学・情報学研究科・准教授 (13901)	

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	関 浩之 (SEKI HIROYUKI) (80196948)	名古屋大学・情報学研究科・教授 (13901)	
研究分担者	中澤 巧爾 (NAKAZAWA KOJI) (80362581)	名古屋大学・情報学研究科・准教授 (13901)	

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0件

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			
英国	University of Leicester	Imperial College, London		
中国	上海交通大学			
英国	COST ACTION 1405			