

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03146

研究課題名（和文）状態遷移モデリング学習を支援する学習者向けフィードバック自動生成手法の研究

研究課題名（英文）Research on an automatic feedback generation method for learners to support state transition modeling learning

研究代表者

小形 真平（Ogata, Shinpei）

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：10589279

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、状態遷移モデリングの学習で躓いている学習者を支援する手法の確立を目的とする。(1)学習者の躓きを自動検出するために、モデルの編集ログを分析する手法を実現した。そして、編集回数や編集時間、視線情報に基づき高精度に学習者の躓き箇所を特定できる見込みを示した。(2)モデルの誤りやモデルが満たさない要求を自動特定するために、状態遷移シミュレータやモデル検査により正答例・課題文と答案間の差異を解析する手法を実現した。本手法は(3)フィードバックの自動生成支援を含む。そして、本手法が誤りや満たさない要求を高精度で指摘できる見込みを示した。これらの成果は国内外の学会等で発表し、論文賞も受賞した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の情報科目の必修化などに見られるように、社会問題を発見・解決するために情報技術は誰もが身につけるべき基礎技術となりつつある。ソフトウェアモデリングは、対象世界を抽象的かつ論理的に捉える技術の一つであり、社会的な問題を表現・整理できる技術になりうるが、未だ情報の専門領域にある技術であり、その技術を広めるには、教育人材や支援が不足している。本研究の成果は、状態遷移モデリングにおける基礎的な学習方法、これに基づく学習者の状態や答案の機械的な確認、その結果による教育支援に関する提案や知見である。これらは、学術的に例を見ず、また、将来的に教育コストを抑制する上で社会的な意義もあると期待される。

研究成果の概要（英文）：This study aims to establish a method to assist learners who fail in learning state transition modeling. (1) To automatically detect learner failures, we developed a method for analyzing model edit logs. We showed the possibility of identifying the failures of the learners with high accuracy based on the number of edits, the editing time, and the eye-tracking information. (2) To automatically identify errors in the model and requirements that the model does not satisfy, we realized a method to analyze the differences between a sample solution model, task sentences, and learner-created models by using a state transition simulator and model checking. This method includes (3) support for the automatic generation of feedback. We have shown that our method is capable of identifying errors and unmet requirements with high accuracy. These results were presented at domestic and international conferences and received a paper award.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェア工学教育 モデリング 教育支援 ステートマシン図 誤り検出 静的解析 動的解析  
モデル検査

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の H29 中学校学習指導要領技術・家庭編で、UML のモデル図が挙げられている。これは、たとえば学習者が理科・物理の内容を UML の状態遷移モデル等で表す授業が将来的に展開されることを示唆する。これまでも中学校理科「状態変化」の単元への IoT 教材適用や、小学生向けの状態遷移モデリングセミナーが行われてきた。そして、その中で、小中学校等の理科担当教員や、セミナー受講者の小学生からは、モデリングへの賛同的で前向きな意見が多数得られている。ここで状態遷移モデリングとは、たとえば「液体」や「気体」を状態と捉え、その間の変化を遷移と捉えて図を記述する行為である。遷移には、「温度が〇〇度以上となる」といった契機等も記述される。

我々はこれまで、学習者がモデルで現象（振る舞い）を妥当に表現できたかどうかを試行錯誤的に確認・理解できるように、モデルが表す振る舞いをエディタ上でシミュレートできるシミュレータ、ならびに、モデルの記法的正しさを調べる記法チェッカを実現した。そして、大学教育でのモデル記述課題において、学習者に提案ツールを利用させたところ、利用前よりも正解率は向上したが 63 名中 22 名（約 1/3）は正しい答案を導けなかった。しかし、従来では本問題を解決する教育効果の高い学習支援手法はない。

これまでの研究の見知として、学習者には「モデル図記法」を理解してから「既知の現象を表現するノウハウ」を理解し、「未知の現象へのモデル図記法の応用」を実践する段階を踏む必要性があると考えられる。なお、提案ツールの利用により、記法の誤った学習者は 56 名から 6 名へと低減したことから、「モデル図記法」の理解は高いレベルで支援できると言える。

## 2. 研究の目的

本研究では、課題学習による学習者の「既知の現象を表現するノウハウ」を理解支援する方法の探究を趣旨とする。このノウハウは、記述課題に設定する解答例（既知の現象）に基づいて特定できる誤りに対し、学習者が対処できるようにヒントを示すものである。解答例に基づくフィードバックは、思考力の高い学習者には考え方を狭めてしまうリスクがあるが、理解が不足している学習者には着実に基礎的理解を得るために重要である。学習者が、このノウハウを理解することで、その先の「未知の（解の明らかでない）現象へのモデル図記法の応用」が達成できると考える。

そのため、学習者が妥当なモデルを導けずに躓いている状況で誤りの対処方法がわかるようにフィードバックを自動生成できるように、状態遷移モデリング学習において、学習者の躓きを検出して、その時点の誤りの箇所・意味を特定し、誤りの内容に応じたフィードバックを生成して学習者へ提示することを自動化する方法と支援ツールを確立し、当該方法が有効に機能する条件を調査することを目的とする。なお、躓きの検出時点でフィードバックを行う理由は、迷いなくモデルを記述する学習者の思考を妨げないためである。

## 3. 研究の方法

研究の方法の説明にあたり、まず研究が取り組むべき課題を以下に示す。

- (1) 課題 1. 学習者の躓きを自動検出するために、モデルの編集ログを記録して分析する方法を確立し、学習者の躓いている状態を的確に指摘できることを実証する。
- (2) 課題 2. モデルの誤りを特定するために、答案と解答例・課題文を比較する方法を確立し、作業時間と誤り指摘精度が総合的に従来に比べ有効であることを実証する。
- (3) 課題 3. フィードバックの自動生成・提示方法を確立し、モデリング課題の特徴ごとにフィードバックが有効に機能する条件を調査する。

課題 1 に対して、本研究では学習者が躓いているかどうかを判定する方法を提案した。学習者による図要素の作成・削除等の編集ログをエディタから取得し、視線情報をアイトラッキングツールから取得して、「視線情報と進捗度合い」に着目して分析する提案手法と、「編集回数」や「編集時間」に着目した従来手法を比較して、躓きを適切に指摘する精度上で提案手法が有効であることを確認した。

課題 2 について、学習者指導を行う教育者向けの支援手法として、我々の先行研究の同定手法を応用して状態遷移列の導出し、解答例と答案の比較によりその差異から誤りの箇所や種類を分析する手法を実現した。そして、実授業で取得した答案に対して提案手法を適用し、誤り箇所の指摘精度上で提案手法が有効であることを確認した。また、答案が満たさない「課題文の要求」を自動特定するために、モデル検査を応用した正答例と答案との半自動比較手法を提案し、答案が満たさない要求を適切に指摘する提案手法の有効性を実証した。

課題 3 については、研究の途上でフィードバックを与えても理解できない学習者が観察されたため、学習者指導を行う教育者にフォーカスを当て、教育者に誤りの種類や箇所、満たさない要求に関するフィードバックを与えることとした。これらの本質的な有効性は、課題 2 の精度評価に依存し、有効である見込みを得た。

#### 4. 研究成果

課題 1 について、提案手法では、編集ログに基づき、正答に必要な図要素を追加・削除する過程を時系列により整理した「進捗度合い (図 1)」を捉え、手が進まない「停滞」と、削除して必要な図要素が減る「下降」を分析した。その結果、次の 3 種の視線の動き (1) 要求文を読み飛ばす動き (図 2)、(2) 要求文とその充足に必要な図要素とを往来する動き (図 3) (3) 要求文とその充足には無関係な図要素とを往来する動き (図 4) が見られた。そして、これらの現象が生じている場合に、「学習者が躓いている」と予測する手法を提案したとき、実験的には「提案手法 (F 値:0.820)」と高い F 値を示し、従来の「編集回数 (F 値:0.283)」と「編集時間 (F 値:0.233)」と比べて、極めて高い精度が得られたため、提案手法が理論的に有効な見込みが得られた。この成果は複数の国内会議で発表した。一方で、視線情報が「要求文を読み飛ばしている」や「図要素と要求文間を往来している」ことは、視線をモデリング行為として意味付ける必要があり、機械的に躓きを予測する方法を実現することは、未だ課題が残る。今後は、機械学習技術を応用して、モデルの視線がどのような意味の行為に結びつくのかを確率的に予測し、機械的な躓きの予測を可能とする手法を模索・提案していきたい。

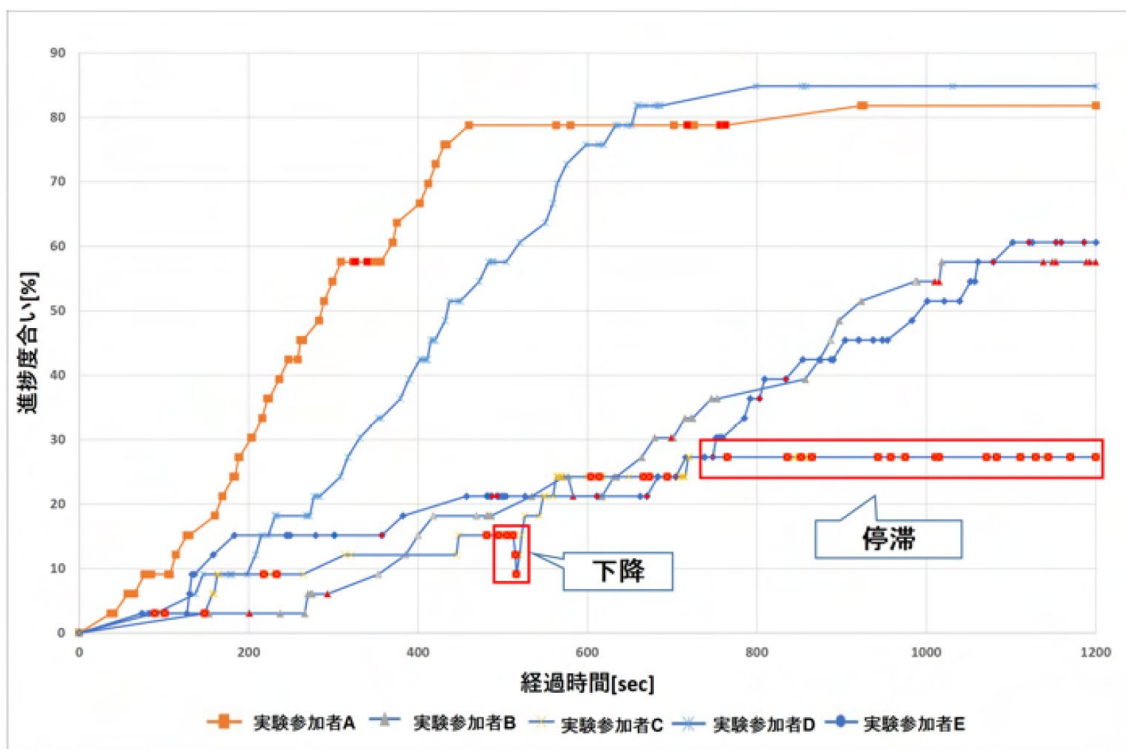


図 1 進捗度合いの推移 (出典：木村他 KBSE2021-55 図 4)

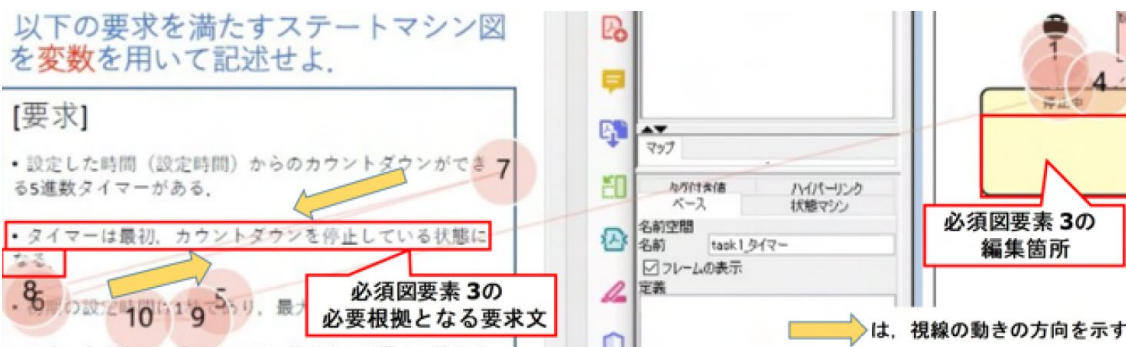


図 2 要求文を読み飛ばす視線の動き (出典：木村他 KBSE2021-55 図 5)

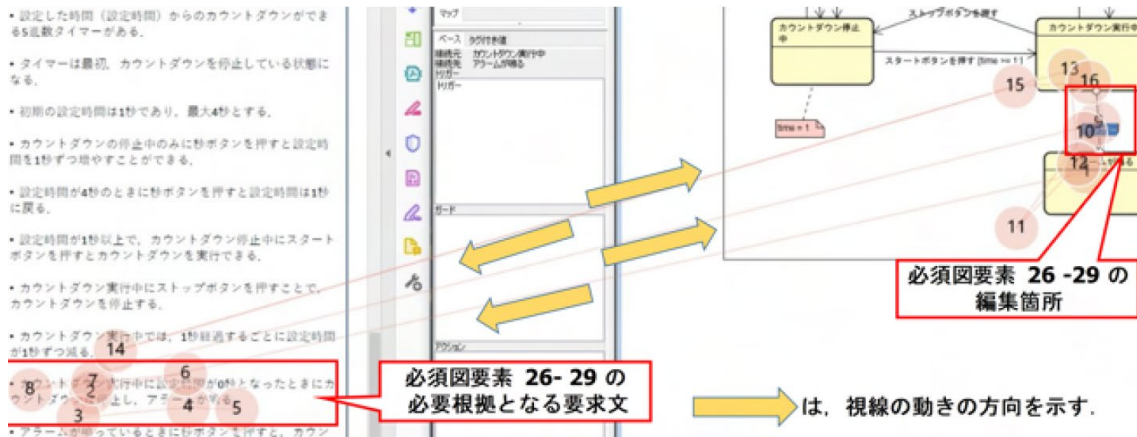


図3 要求とこれを充足する図要素を往來する視線の動き (出典: 木村他 KBSE2021-55 図6)

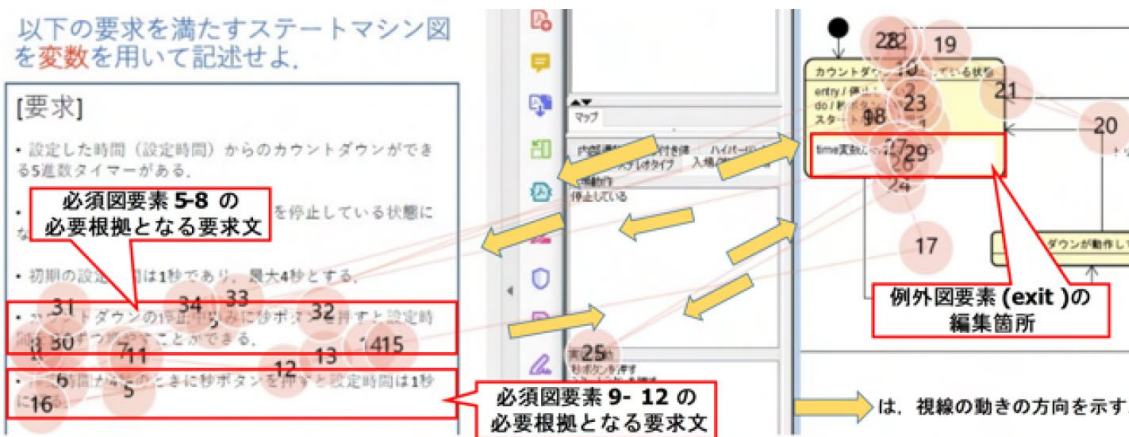


図4 要求とこれに無関係な図要素を往來する視線の動き (出典: 木村他 KBSE2021-55 図7)

課題2,3について,本研究では大きく2つの手法を提案した.1つは,学習者指導のため,教育者がステートマシン図答案の誤りの箇所や種類を素早く見つけられるように,正答例と答案間で振る舞いの差異を特定する手法(誤り特定手法)(図5)である.もう1つは,同様に教育者の支援として,答案が満たさなかった要求文を半自動で特定する手法(不満足要求の特定手法)(図6)である.誤り特定手法では,実験的に学習者19名が5つの課題に取り組んだ答案95個に対して,すべて適切な範疇で誤り箇所を特定できた.このような成果を複数の査読付き国内会議等で発表した.一方,不満足要求の特定手法では,実験的に同学習者19名が(先述5つの内)2つの課題に取り組んだ答案38個の内,37個(97%)について教育者が許容可能な特定結果が得られた.このような成果を国内外の査読付き会議に採録された.その内訳として,特にソフトウェア工学教育で著名な国際会議であるCSEE&T 2023に採択されており,第9回実践的IT教育シンポジウム rePiT2023では優秀教育実践賞を受賞するに至った.いずれの手法も複数のステートマシンに渡るメッセージ通信には対応しておらず,その対応は今後の課題となる.

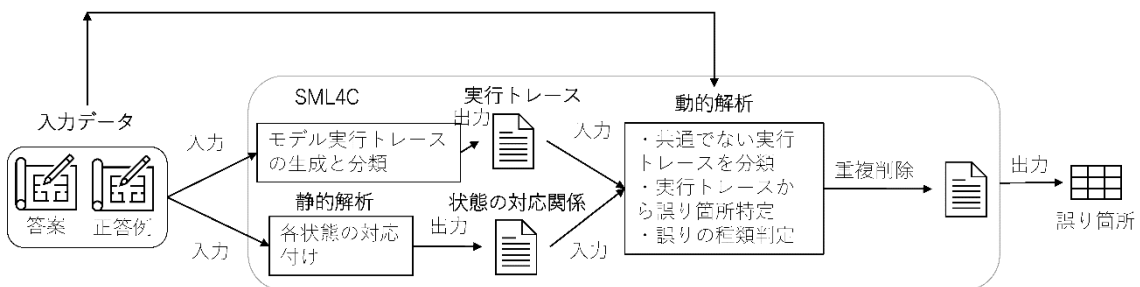


図5 誤り特定手法の全体像 (出典: 五島 他 [https://doi.org/10.11309/fose.29.0\\_24](https://doi.org/10.11309/fose.29.0_24) 図3)

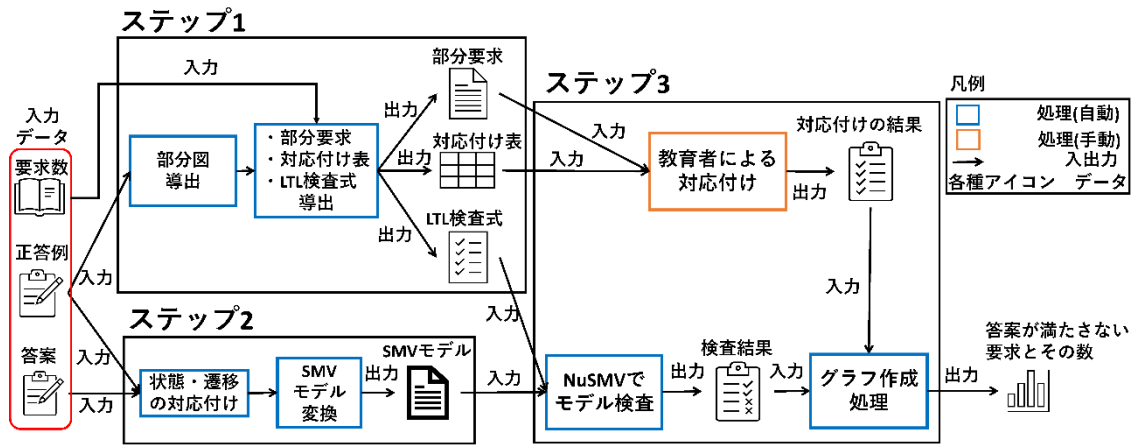


図6 不満足要求の特定手法の全体像 (出典: 木村 他)

[https://doi.org/10.11309/repit.2023.0\\_101](https://doi.org/10.11309/repit.2023.0_101) 図2)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 木村拓馬, 小形真平, 榎原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 視線情報と編集ログに基づくステートマシン図課題の躰き調査
3. 学会等名 信学技報
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 五島光祥, 小形真平, 榎原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 静的解析によるUMLステートマシン図答案の誤り特定自動化手法の評価
3. 学会等名 第8回 実践的IT教育シンポジウム (rePiT2022)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 五島光祥, 小形真平, 榎原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 静的解析によるUMLステートマシン図答案の誤り特定自動化手法の提案
3. 学会等名 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2021 (SES 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五島光祥, 小形真平, 榎原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 UMLステートマシン図の教育的フィードバック自動生成に向けた答案の誤り特定自動化手法の提案 ~ 特定すべき誤りの種類とその特定結果への着目 ~
3. 学会等名 信学技報
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinpei Ogata, Yusuke Nishizawa, Erina Makihara, Mizue Kayama and Kozo Okano
2. 発表標題 Property Lifecycle Diagram for Tracing State Machine Diagram Changes
3. 学会等名 16th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村拓弥, 小形真平, 横原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 ステートマシン図における編集時間に基づいた学習者の躰き調査
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五島光祥, 小形真平, 横原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 UMLステートマシン図学習における答案の誤り特定自動化手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北村拓弥, 小形真平, 横原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 ステートマシン図学習者の躰き特定手法の提案に向けて
3. 学会等名 信学技報
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 五島光祥, 小形真平, 榎原絵里奈, 岡野浩三
2. 発表標題 学習者への教育的フィードバックの自動化に向けたステートマシン図間の差分検出ツールの試作
3. 学会等名 信学技報
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Kimura, Shinpei Ogata, Erina Makihara, Kozo Okano
2. 発表標題 A Method to Semi-Automatically Identify and Measure Unmet Requirements in Learner-Created State Machine Diagrams
3. 学会等名 35th IEEE International Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinpei Ogata, Hiroyuki Nakagawa, Haruhiko Kaiya, Hironori Takeuchi
2. 発表標題 A Study on Analyzing Learner Behaviors in State Machine Modeling Using Process Mining and Statistical Test
3. 学会等名 14th International Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究業績一覧  <a href="https://sites.google.com/cs.shinshu-u.ac.jp/sel/staff/shinpei-ogata">https://sites.google.com/cs.shinshu-u.ac.jp/sel/staff/shinpei-ogata</a></p>
--



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	香山 瑞恵  (Kayama Mizue)  (70233989)	信州大学・学術研究院工学系・教授    (13601)	
研究分担者	岡野 浩三  (Okano Kozo)  (70252632)	信州大学・学術研究院工学系・教授    (13601)	
研究分担者	榎原 絵里奈  (Makihara Erina)  (90822875)	同志社大学・理工学部・助教    (34310)	

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