

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H04121

研究課題名（和文）モバイルHRIの基盤技術とインタラクション設計論の創出

研究課題名（英文）Research and development for mobile HRI and its interaction design theory

研究代表者

神田 崇行（Kanda, Takayuki）

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：90374107

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,400,000円

研究成果の概要（和文）：まず、モバイルHRIの基礎となる認識技術とナビゲーション技術に関して研究を進めた。ロボットが動き回りオクルージョンがしばしば生じる状態における人位置追跡技術を実現した。また、実データとシミュレーションを適宜融合することで歩行時における人の意図認識の研究を進めた。モバイルHRIにおけるインタラクション設計の研究も行った。現在の視覚情報と会話の受け答えに基づき、歩行中の雑談トピックを選択する仕組みを実現した。全方位移動型のロボットに関して、人の移動時の制約をロボットに再現することで、移動時の身体方向の自然な制御方法を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現状の技術では、ようやくロボットの安全な移動ができるようになってきたものの、互いが移動しながらの状況でのインタラクション（モバイルHRI）は大きく未解決のままであった。これに対して、移動中に生じる言葉によらない協調行動や、人々の注意が歩行行動と会話行動に分散する状態といった特性を考慮したインタラクションの実現への道筋を明らかにする一連の研究を進めた。不足している基本技術群を構築し、インタラクションの設計のための知見を明らかにし、統合システムの社会実装も進めながら、モバイルHRIに関する設計論の確立に向かう研究を進めることができた。

研究成果の概要（英文）：First, we studied recognition and navigation technologies as basic technologies for mobile HRI. We realized a human tracking technology in a situation where the robot moves around hence occlusion often occurs. We also studied human intention recognition during people walking around by integrating real data and simulation. Moreover, we studied interaction design for mobile HRI. We developed a mechanism to select a topic for chatting while users walking, which utilizes the current visual information and the conversation responses from users. We also developed a natural control method for omnidirectional mobile robot, which appropriately control its body direction during movement by reproducing the constraints of human movement in the robot.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：ヒューマンロボットインタラクション

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化が進む我が国において、人間の代替となる、あるいは人間を超越したロボットの実現が期待されている。「ロボット革命実現会議」では、サービス等の非製造部門で、2020年までに国内の市場規模を600億円から1.2兆円拡大するとしている。実際、サービスロボットは、これまでの警備、清掃、点検といった役割に加えて、サービス産業の中心である対人サービスへの利用が始まっている。全国の家電量販店や百貨店、銀行窓口などで、インタラクティブに接客するロボットが試験的に導入されるようになってきた。しかし、ロボットは、本来はその身体を環境内で動かすことができることが利点であるにも関わらず、人共存環境で移動して人にサービスすること、に欠けていた。実際に接客場面で利用されるロボットも、決められた地点からほぼ動くことがないなど、ロボットの利用は限定的なものであった。国際的にも、人とインタラクションするロボットの研究は、2006年にトップカンファレンス ACM/IEEE Human-Robot Interaction が始まるなど、年々研究が盛んになってきている。しかし、多くの研究者が、Naoなどの小型の人型のロボットを利用し、卓上などに静止するロボットとユーザが会話する、といった限定的なインタラクションを扱っている。移動がかかわる場面については、ロボットから人への接近・話しかけ、といった限られた場面がようやく扱われるようになってきた段階である。我々も、これまでもヒューマン・ロボット・インタラクションの研究に取り組み、人々が行きかう街角環境で、道案内やチラシ配り、買い物支援、広告宣伝などのロボットサービスも実現してきたが、そのインタラクションの多くは、互いが立ち止まった場面で起きるものに限られていた。

このように、現状のヒューマン・ロボット・インタラクション(HRI: Human-Robot Interaction)技術では、ようやくロボットの安全な移動ができるようになってきたものの、互いが移動しながらの状況でのインタラクション(モバイルHRI)は大きく未解決のままであった。モバイルHRIの難しさは、移動によりコンテキストが変化し続ける中で、移動と会話等のインタラクションが同時に起きることにある。静止時と異なり歩行時には、人々の注意が歩行行動と会話行動に分散する。静止時には視線や身振り手振りも交えて伝えることができた情報も、歩いている際には互いが進行方向を注視することが多く、同じ方法では伝わらない。その代わりに、環境内を歩きかう人々の間では、以心伝心的な言葉によらない協調行動が多く起きる。見知らぬ人々の間でも譲り合い行動が起き、グループで移動する集団は自然と意図を共有してフォーメーションを維持して移動を続ける。このように、人間が無意識に行っている歩行時のインタラクションは背後で高度な認知処理が行われており、ロボットに実現するには多くの困難な技術課題を解決する必要がある。

一方、将来のロボットの利用場面の中で、モバイルHRIの必要性は大きい。「2030年には49%の仕事がAI・ロボットで自動化される」といった自動化予測においては、警備員、スーパーの店員、配達員、駅員、清掃員などがロボット化されていく将来像があるが、その多くは、人が共存する環境内を動き回り、時には他の人々と会話しながら移動する仕事を担っている。ヘルスケアの応用を考えても、最も多くの人が行っている運動がウォーキングであり、モバイルHRIの実現は、人々と一緒に楽しくウォーキングする良いパートナーとなるロボットの実現にもつながる。すなわち、モバイルHRIの実現は、より広い学術、科学技術あるいは社会などへの波及効果が期待できる。

2. 研究の目的

上記のように、現状のヒューマン・ロボット・インタラクション(HRI: Human-Robot Interaction)技術では、ようやくロボットの安全な移動ができるようになってきたものの、互いが移動しながらの状況でのインタラクション(モバイルHRI)は大きく未解決のままである。移動中に生じる言葉によらない協調行動や、人々の注意が歩行行動と会話行動に分散する状態といった特性を考慮したインタラクションの実現が必要である。このために不足している基本技術群を構築し、インタラクションの設計のための知見を明らかにし、統合システムの社会実装も進めながら、モバイルHRIに関する設計論を確立することを目指した。

具体的には以下の課題に取り組んだ。

研究課題1. モバイルHRIの基礎となる認識技術とナビゲーション技術の実現

人々が行きかうような人共存環境において、ロボットが自ら移動している最中に、周囲の人々に関する状況を認識できる技術を実現する。

研究課題 2 . 人々の認知的特性の解明とインタラクション設計、実証実験

歩行時の人々の認知的特性に合わせたインタラクション設計を可能にする。モバイル HRI のインタラクションの良さを定量的に評価する主観・客観指標の構築や、それを用いた適応的なインタラクションについても研究を進める。

3 . 研究の方法

本研究は、ヒューマンロボットインタラクション (HRI) の研究課題の中で、人々とロボットの互いが移動しながらの状況でのインタラクション、すなわちモバイル HRI、の研究に取り組むものである。「モバイル HRI の基礎となる認識技術とナビゲーション技術の実現」と「人々の認知的特性の解明とインタラクション設計、実証実験」の 2 つの研究課題を設定して研究に取り組んだ。認識技術については、3 次元距離センサを用いて、外光等の影響を受けないロバストなセンシング処理を実現する。そのうえで、人々の歩行時の特性をモデル化し、それに基づいたナビゲーションに関する研究も進める。インタラクション設計については、歩行時の利用者の認知的特性に合わせて、その影響を考慮する方法や、ロボットが適応的にふるまう方法も研究を進める。実際のサービスの場面にモバイル HRI の能力を持ったロボットを導入する試みを進めた。

4 . 研究成果

「モバイル HRI の基礎となる認識技術とナビゲーション技術の実現」に関しては、シミュレーション環境の中でモバイル HRI の場面を再現し、ロボットが動き回りオクルージョンがしばしば生じる状態における人位置追跡技術や、シミュレーションのデータを機械学習し、また実データとシミュレーションを適宜融合することで歩行時における人の意図認識の研究も進めた。

「人々の認知的特性の解明とインタラクション設計、実証実験」に関しては、ロボットの存在効果について、対人不安の強い人間において人よりもロボットとの対話が好まれる傾向を実験的に検証した。また、現在の視覚情報と会話の受け答えに基づき、歩行中の雑談トピックを選択する仕組みに関する研究を進めた。HRI におけるジェンダー研究の社会的影響についても考察を行った。人々の間で起きる言葉によらない協調行動をロボットに実現する試みも進めた。全方位移動型のロボットに関して、人の移動時の制約をロボットに再現することで、移動時の身体方向の自然な制御方法を考案した。数理的観点からの歩行者行動のモデル化も進めた。以下に、これらの研究のうちの主要な代表的な研究について、より詳細に報告する。

4.1 モバイル HRI に関する認識技術の研究

人間とロボットのインタラクション (HRI) 研究において、機械学習技術が盛んに用いられている。例えば、人間の軌跡データから学習することで、移動ロボットは人間の動きから意図を察知し、接近してくる人間を避けたり、遮ったりするなどの応答をすることができる。しかし、人間の行動は日常生活ではほとんど発生しないため、研究者が学習用のデータを収集することは困難であり、シミュレーションによる学習法は、限られた人間データに対する現実的な解決策の一つであった。しかし、人間の行動を模擬するために任意に生成されたデータは、非実用的なシミュレーション環境では実際の人間のデータとは異なるデータを生成する可能性があり、機械学習を失敗させる原因となる。本研究では、学習手法の性能・効率に影響を与える可能性のある要因に着目する。そこで、ショッピングモールなどの人間のいる空間で、歩いている人間 (パートナー) に不審者が近づくといい、まれに起きる行動を想定し、その影響を評価するための研究を行った。まず、実験参加者によるロールプレイ実験を行い (図 1)、100 以上の人物軌跡データを収集した。次に、人工的な軌道を大量に生成するためのシミュレーション環境を開発した (図 2)。シミュレーション環境におけるモデリングパラメータ (実データと比較した人工ノイズなど) や、純粋なシミュレーションに基づく学習、あるいは微調整技術を用いた混合学習法におけるデータ量などの要因を探り、軌跡データを学習に利用するシミュレーション拡張型機械学習法のガイドラインを提案することができた。今回のデータセットにおいて比較評価した結果、シミュレーションデータのみを用いてパラメータを最適化せずに学習した場合には、限られた量の実データを用いて学習したシステムよりも精度が下回った。一方、ガイドラインに沿って

学習させたシステムにおいては、90.2%の精度で不審者を検出することに成功し、実データを用いた学習モデルの精度を約10%上回ることができた。

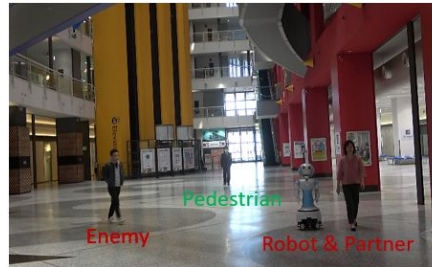


図 1: ショッピングモールのような公共空間で、1 人の不審者(敵)が 1 人の人間(パートナー)に接近するというシナリオの人間データ収集のためのロールプレイ実験の様子。移動ロボットが人間のパートナーの隣を移動し、人間の軌跡を収集する。

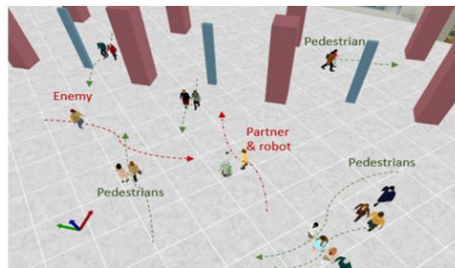


図 2: ショッピングモール内で不審者が他の人に接近するシナリオのシミュレーション環境

4.2 歩行中の雑談トピックの選択の研究

人間同士は一緒に移動しながら、状況に応じた雑談を適切に選択することが可能である。こうした人間が持つ基本能力をモバイル HRI 上で実現するための研究を進めた。人間が持つ 2 つの特性に着目し、人々と一緒に移動するロボットにおける雑談トピックの選択技術を構築した。1 つ目の特性は、現在の視覚情報に基づいた雑談コンテンツの選択である。例えば、人間同士がハイキング中に鳥や花を見かけた場合、鳥や花から連想された話題を新たに開始したとしても、自然に雑談を続けることが可能である。一方で、自然のあふれた場所で突然ショッピングに関する話題を開始した場合、話題の転換についていけず、戸惑ってしまう。つまり、人間と一緒に移動するロボットには、現在の視覚情報(カメラ画像)から、人間にとって連想可能な雑談コンテンツを選択する能力が必須となる。そこで、人間が持つ視覚情報と発話内容に関する連想の仕組みをデータセットから再現する技術を構築した。画像とそこから人間が連想しやすい雑談のペアを大量に準備し、画像と発話の共起関係を抽出する。google cloud vision を用いて画像からラベル情報を抽出し、雑談の発話内容に組み合わせたワードベクトルを構築する。構築したワードベクトルに、Latent Dirichlet Allocation (LDA) による次元圧縮を適応することで、人間の持つ連想の仕組みをトピックベクトルとして再現可能になった。2 つ目の特性は、現在の雑談トピックに対する熱中度合いに基づいた雑談コンテンツの選択である。人間同士の雑談は、話題の転換は頻繁に行われない。むしろ、今行っている雑談が盛り上がり人間の熱中度合いが高い場合、現在の雑談に関連した話題が次に選択される。この雑談に対する熱中度を推定するため、雑談に対する人間の返答の長さに注目した。つまり、人間の返答が短い場合、雑談に対する熱中度が低いと判断できる場合、現在の視覚情報に基づいた雑談トピックを次の話題に提供する(図 3 左)。一方、ロボットの提供した雑談に対して、人間の返答が長かった場合、熱中度が高いと判定し、現在の雑談トピックと関連した話題を次の話題として選択する(図 3 中央、右)。この 2 つの特性に基づいた雑談トピックの選択機能を導入することで、人々と一緒に歩くロボットをよりパートナーとしてふさわしく感じるようになった(図 4)。



図 3: 小型の肩乗りロボットを用いた雑談トピックの選択例

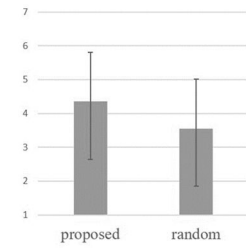


図 4: 実験結果

4.3 移動時の身体方向の自然な制御方法の研究

店舗内の狭い通路の環境での利用が期待される、全方位移動型のロボットの移動制御についても研究を進めた。全方位移動台車により、ロボットはまっすぐに移動しながら体の向きを自由に変えることができる。全方位移動ロボットの従来の制御方法では、ロボットの並進と回転が別々に扱われてきた。しかし、このロボットの動きを見た人間は、ロボットの動きを不自然に感じたり、好まない場合があることが分かった。そこで、この研究では、人間が目的地に向かってどのように自然に移動するかを観察し（図 5）、時間効率の良い方法で人間の動きに似た全方位型ロボットの動作計画アルゴリズムを開発した。提案するモーションプランナーは、2つのモーションを、人間の行動の観察から着想を得た制約と組み合わせます。提案手法を全方向ロボットに実装し、幅 90cm の棚と狭い廊下のある店でナビゲーション実験を行った（図 6）。オンライン実験により、300 名の実験参加者を対象とした評価実験を行った。実験の結果、提案するモーションプランナーは、全方位移動型ロボットの制御に一般的に用いられる移動中の回転または移動後の回転戦略と比較して、より自然で予測可能な感情を人々にもたらすことを明らかにした。



図 5: 人間がどのように自然に目標に移動するかを観察実験の様子



図 6: 提案手法を全方向移動型ロボットに実装し、店でナビゲーション実験を行った様子

4.4 まとめ

本報告書で報告したように、この研究費においては、人とロボットとが移動するような状況でのインタラクション、すなわち「モバイル HRI」に関する認識技術、ナビゲーション技術、インタラクション技術の研究を進めた。モバイル HRI の様々な応用に用いるための基盤技術を構築し、複数のインタラクション設計を通じて、インタラクション設計論へとつながるような知見を見出す研究を進めることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Mitsuhiro Kimoto, Masahiro Shiomi, Takamasa Iio, Katsunori Shimohara, Norihiro Hagita	4. 巻 -
2. 論文標題 Calibrating Depth Sensors for Pedestrian Tracking Using a Robot as a Movable and Localized Landmark	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	6. 最初と最後の頁 345-350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC.2018.00068	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 Nomura Tatsuya, Kanda Takayuki, Yamada Sachie, Suzuki Tomohiro	4. 巻 14
2. 論文標題 The effects of assistive walking robots for health care support on older persons: a preliminary field experiment in an elder care facility	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Intelligent Service Robotics	6. 最初と最後の頁 25 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11370-020-00345-4	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 Francesco Zanlungo, Claudio Feliciani, Zeynep Yucel, Katsuhiko Nishinari, Takayuki Kanda	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis and modelling of macroscopic and microscopic dynamics of a pedestrian cross-flow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 arXiv	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) 10.48550/arXiv.2112.12304	査読の有無 無
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 Kitagawa Ryo, Liu Yuyi, Kanda Takayuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Human-inspired Motion Planning for Omni-directional Social Robots	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction	6. 最初と最後の頁 34 - 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3434073.3444679	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 Francesco Zanlungo, Claudio Feliciani, Zeynep Yucel, Katsuhiro Nishinari, Takayuki Kanda	4. 巻 -
2. 論文標題 Some considerations on crowd Congestion Level	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 arXiv	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 無
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 Adrien Gregorj, Zeynep Yucel, Sunao Hara, Akito Monden and Masahiro Shiomi	4. 巻 -
2. 論文標題 A Signal Processing Perspective on Human Gait: Decoupling Walking Oscillations and Gestures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Interactive Collaborative Robotics: 4th International Conference, ICR 2019 Proceedings (Lecture Notes in Computer Science volume 11659)	6. 最初と最後の頁 75 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-26118-4_8	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 Tatsuya Nomura, Takayuki Kanda, Tomohiro Suzuki & Sachie Yamada	4. 巻 -
2. 論文標題 Do people with social anxiety feel anxious about interacting with a robot?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AI & SOCIETY	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) 10.1007/s00146-019-00889-9	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 -

1. 著者名 Tatsuya Nomura	4. 巻 -
2. 論文標題 A possibility of inappropriate use of gender studies in human-robot Interaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AI & SOCIETY	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) 10.1007/s00146-019-00913-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 -

1. 著者名 Taichi Sono, Satoru Satake, Takayuki Kanda and Michita Imai	4. 巻 33 (15-16)
2. 論文標題 Walking partner robot chatting about scenery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 742-755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1610062	査読の有無 無
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 Tatsuya Nomura and Kenta Ura	4. 巻 -
2. 論文標題 Exploration of Basic Images about Robots in Adolescents: A Survey Based on Drawings in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proccedings of 6th International Conference on Human-Agent Interaction	6. 最初と最後の頁 321-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3284432.3287173	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 Masahiro Shiomi, Tsuyoshi Komatsubara, Thomas Kaczmarek, Takayuki Kanda and Hiroshi Ishiguro	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimating Children's Characteristics by Observing their Classroom Activities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceeding of 2018 Asia Pacific Signal and Information Processing Association (APSIPA)	6. 最初と最後の頁 133-138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APSIPA.2018.8659748	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 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Francesco Zanlungo (発表者), Claudio Feliciani, Zeynep Yucel, Katsuhiro Nishinari and Takayuki Kanda
2. 発表標題 Crowd Congestion Number
3. 学会等名 PED2021: Pedestrian and Evacuation Dynamics Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Adrien Gregorj (発表者), Zeynep Yucel, Francesco Zanlungo, Claudio Feliciani and Takayuki Kanda
2. 発表標題 On the influence of group social relation on the dynamics of pedestrians outside the group
3. 学会等名 PED2021: Pedestrian and Evacuation Dynamics Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村竜也, 白石 京
2. 発表標題 介護者としてのロボットと人に対する印象の比較
3. 学会等名 日本パーソナリティ心理学会 第27回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野村竜也
2. 発表標題 ロボットの随伴による高齢者の歩行運動支援の検討
3. 学会等名 第26回日本介護福祉学会大会
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	佐竹 聡 (Satake Satoshi) (50510418)	株式会社国際電気通信基礎技術研究所・インタラクション科学研究所・研究員 (94301)	

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	塩見 昌裕 (Shiomi Masahiro) (90455577)	株式会社国際電気通信基礎技術研究所・インタラクション科学研究所・研究室長 (94301)	
研究分担者	ZANLUNGO Frances (Zanlungo Frances) (60586246)	大阪国際工科専門職大学・工科学部・講師 (34454)	
研究分担者	Yucel Zeynep (Yucel Zeynep) (20586250)	岡山大学・自然科学研究科・准教授 (15301)	
研究分担者	野村 竜也 (Nomura Tatsuya) (30330343)	龍谷大学・理工学部・教授 (34316)	

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