

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：20103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11793

研究課題名(和文) MaaSにおける快適性向上のための道路状況および運転特性のセンシングに関する研究

研究課題名(英文) A study on sensing of road conditions and driving characteristics for improving comfortability in MaaS

研究代表者

白石 陽 (Shiraishi, Yoh)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：90396797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、MaaS (Mobility as a Service) の快適性向上に向けて、まず快適性を把握するための道路状況センシング技術として、眼球運動に着目した視界状況推定手法とモバイルセンシングデバイスを用いた歩道路面状況推定手法を提案し、一定の精度で路面状況分類ができることを示した。また、快適性に関わるドライバーの運転特性把握技術として、車載スマートフォンから車両挙動データを収集し分析する技術を提案した。さらに、MaaSにおける有力な交通手段であるライドシェアサービスを取り上げ、ユーザのニーズに応じて最適化戦略を切り替える車両割当手法を提案し、ユーザ満足度が向上することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、MaaSにおける「快適性」に着目し、センシング技術の観点からアプローチした。走行環境やドライバーの運転特性など快適性に大きく影響する情報をリアルタイムに収集できれば、利便性の高いモビリティプラットフォームが実現できると考えられる。要素技術として、眼球運動に着目した視界状況推定手法は、ロバスト性や局所性の問題を解決するものであり、新規性が高い。足圧や足音に着目した歩道路面状況推定手法も新規性の高い手法であり、冬季環境での適用可能性も高いと考えられる。ユーザの多様なニーズへの対応を考慮した車両割当手法は、モビリティプラットフォームの基盤技術としても期待できる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research project is to improve the comfort of MaaS (Mobility as a Service). First, we developed a method for visibility estimation on roads based on eye movements, and two methods for sidewalk surface estimation with mobile sensing devices, as road sensing technologies. The experimental results showed that it is possible to classify road surface conditions with a certain level of accuracy. Also, we proposed a method that collects and analyzes vehicle behavior data from in-vehicle smartphones for understanding driver's driving characteristics related to comfort. Finally, we focused on ride-sharing services which are a powerful transportation method in MaaS, and proposed a vehicle allocation method that changes the optimization strategy depending on the user's needs, and showed that the proposed method improves user satisfaction comparing with the existing algorithm.

研究分野：交通システム、モビリティ、ユビキタスコンピューティング、行動センシング

キーワード：高度道路交通システム(ITS) ナビゲーション 路面状況センシング 運転特性分析 モバイルデバイス プローブ情報システム 参加型センシング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、MaaS (Mobility as a Service) が注目されており、MaaS に関する様々な実証実験が国内外で盛んに行われている。MaaS は、交通手段のルート検索、予約、決済を一元化し、ユーザの利便性を図るだけでなく、観光、ショッピング、医療などユーザが利用する高次のサービスに応じて、多様な交通手段をシームレスに提供することを目的としている。MaaS を構成する交通手段としては、電車、バス、タクシー、路面電車などの公共交通だけでなく、カーシェアリングや自家用車などの交通手段も含まれる。また、ライドシェアサービスも MaaS における有力な公共交通手段として注目されている。MaaS の利便性が向上し、例えば、マイカーを保持しなくてもストレスなく利用できるモビリティプラットフォームが整備されれば、マイカー所有者数を減少させ、都市の交通渋滞の緩和や環境負荷の軽減という効果も期待できる。

一方、効率的に道路環境の情報を収集する枠組みとして、多数の車両から収集した情報を集合知として活用するプローブ情報システムがあり、震災時の通行可能道路の共有など多数の事例がある。また、同様の枠組みとして、車両や自転車、歩行者など多数の移動体 (モビリティ) にセンサを装着し、動的に変化する情報を収集する参加型センシングがあり、クラウドセンシングとも呼ばれ、国内外で盛んに研究開発が行われている。本研究においても、プローブ情報システムや参加型センシングのアプローチを取り、リアルタイムかつ網羅的な情報収集を目指す。

### 2. 研究の目的

MaaS の構成要素である公共交通サービスを利用する際には、利便性だけでなく、サービス利用時の快適性も重要である。砂利道や凹凸のある道路を走行する場合は、車両の振動が乗客に伝わり、ドライバーのハンドル操作によっては、急な停止や右左折で乗客に不快感を与える可能性もある。走行環境の道路状況を事前に把握することができれば、それに応じた運転操作や経路変更も可能となり、また、ドライバーが自身の運転の特徴 (運転特性) を把握することができれば、運転操作の改善も期待できる。

そこで本研究では、MaaS における快適性向上のための要素技術として、スマートフォンなどのモバイルセンシングデバイスを用いた道路状況および運転特性のセンシング技術の開発を目的とする。最終的に、これらの要素技術を開発し、組み合わせることで、利用者が安心して快適に利用できるモビリティプラットフォームの実現が期待できる。

### 3. 研究の方法

本研究では、主に、モバイルデバイスを用いた道路状況センシング技術の開発とスマートフォンを用いた運転特性センシング技術の開発を行う。さらに、ユーザの快適性向上に向けた要素技術として、ライドシェアサービスの配車割当に関する研究も行う。

#### (1) 眼球運動に着目した視界状況推定手法の提案

快適な移動を実現するためには、走行環境の快適性や安全性を把握することが重要である。道路状況としては、凸凹や積雪などの路面状態に加えて、視界不良などの視界状況も含まれる。本研究では、モバイルデバイスを用いた道路状況のセンシング技術として、車両走行の快適性向上に向けた視界状況推定手法を提案する。設置型カメラや車載カメラを用いた視界状況推定は、夜間や悪天候時のロバスト性に課題がある。本研究では、環境の変化にロバストな方法として、ドライバーの眼球運動に着目した視界状況推定手法を提案する。

提案手法では、視線移動、注視、サックードなど眼球運動に関する特徴量を抽出し、視界状況分類モデルを作成する。将来的にドライバーモニタリングシステム (DMS: Driver Monitoring System) が普及し、車内カメラからドライバーの状態を計測できることを想定するが、本研究では、実験デバイスとしてメガネ型の視線計測装置である Pupil Invisible を利用する。眼球運動に関する特徴量としては、水平・垂直方向の視線移動および注視に関する基本統計量、サックードの移動距離の基本統計量と発生回数を抽出する。また、運転時には、視線移動に伴いドライバーの頭部も動くため、頭部運動に関する特徴量も追加し、比較・検討を行う。頭部運動に関する特徴量としては、ピッチ角・ロール角・角速度 (X, Y, Z 軸) の基本統計量を抽出する。

#### (2) モバイルデバイスを用いた歩道路面状況推定手法の提案

MaaS によるトータルナビゲーションを実現する上で、出発地から目的地までの移動経路の快適性は重要な要素である。MaaS の理想像としては、ドア・ツー・ドアの移動サポートが理想であるが、現実的には、バス停などの乗車地点への移動や、降車地点からの移動など、一部の徒歩区間を含むことが多い。特に、寒冷地では、冬季の積雪や凍結などの歩道の路面状態が移動の快適性に大きく影響する。そこで、徒歩移動時の快適性の向上に着目し、モバイルデバイスを用いた路面状況推定手法を検討する。

まず、歩行時に足裏にかかる圧力の分布 (足圧) に着目し、インソール型のモバイルデバイスを用いて足圧データを収集し、足圧に基づく路面状況推定手法を提案した。提案手法では、イン

ソールに5個の圧力センサを装着し(図1)、両足で合計10個の圧力センサの計測データから特徴量を抽出し、分類モデルを作成し、典型的な路面状況を推定する。図2に片足分の足圧センサの時系列データの例を示す。本研究では、砂利道、凸凹路面、平坦な路面だけでなく、積雪路面や凍結路面などの冬季特有の路面も含めた路面状況推定の実現を目指す。

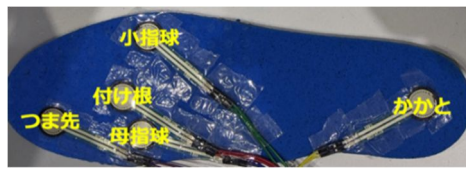


図1 インソールの圧力センサの装着箇所

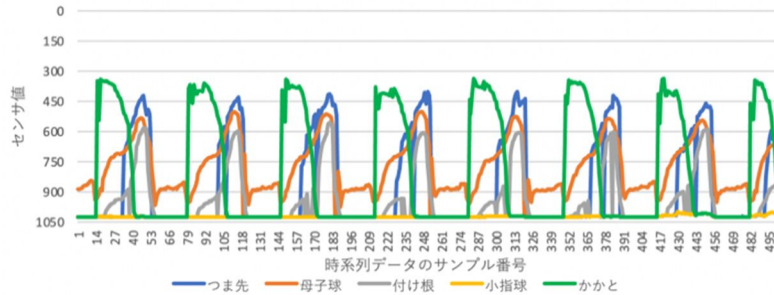


図2 インソールデバイスによる計測された足圧データの例

次に、より実用性の高い歩道路面状況推定手法として、音響センシングに基づく手法を提案する。歩行音に着目することで、加速度に基づく従来手法と比べて多様な路面状況を推定できる可能性があり、普及率の高いスマートフォンの内蔵マイクを利用することで、低コストでのデータ収集が期待できる。提案手法では、腰部付近に装着したスマートフォンの内蔵マイクから音響データを収集し、代表的な音響特徴量である MFCC (Mel-Frequency Cepstrum Coefficient) を抽出し、路面状況の分類モデルを作成する。

### (3) スマートフォンを用いたドライバーの運転特性センシング手法の提案

MaaSにおいて、バスやタクシー、デマンド交通などの公共交通を利用する際に、ドライバーの運転特性は乗客の快適性に大きく影響する。交差点や信号前でのブレーキ操作や右左折時のハンドル操作などが乗客の感覚とは大きく異なる場合、不快感や不安の原因となり得る。

本研究では、こうしたドライバーの運転特性をセンシングする技術として、SAX (Symbolic Aggregation Expression) を用いた手法を提案する。提案手法では、まず車両内に設置したスマートフォンから車両挙動に関する時系列センサデータを取得する。取得した時系列センサデータに対して SAX を適用して文字列に変換し、ランレングス符合化や部分文字列を用いて、文字列特徴を抽出し、ドライバーの運転特性を分析する。

### (4) ユーザの快適性向上に向けたライドシェア車両割当手法の検討

MaaSの構成要素の一つであるライドシェアサービスに着目し、快適性(ユーザの満足度)を向上させるための車両割当手法を考案する。ユーザのニーズは、利便性や経済性といった単一の指標で表現されるものではなく、これらのバランス(重み付け)で表現されるものとして、ユーザのニーズに応じて車両割当最適化のためのコスト関数を切り替えることで、ユーザ満足度の向上を目指す。具体的には、配車アルゴリズムで利用するコスト関数として、利便性を重視したコスト関数、経済性を重視した関数、両方のバランスを考慮した関数を定義し、ユーザが指定した利便性と経済性に関する重みに応じて、これらのコスト関数を切り替える(図3)。

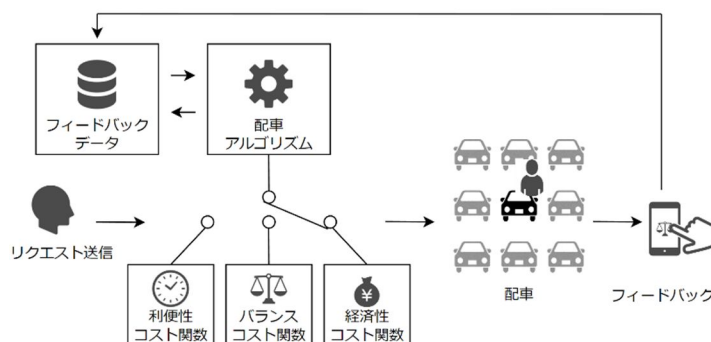


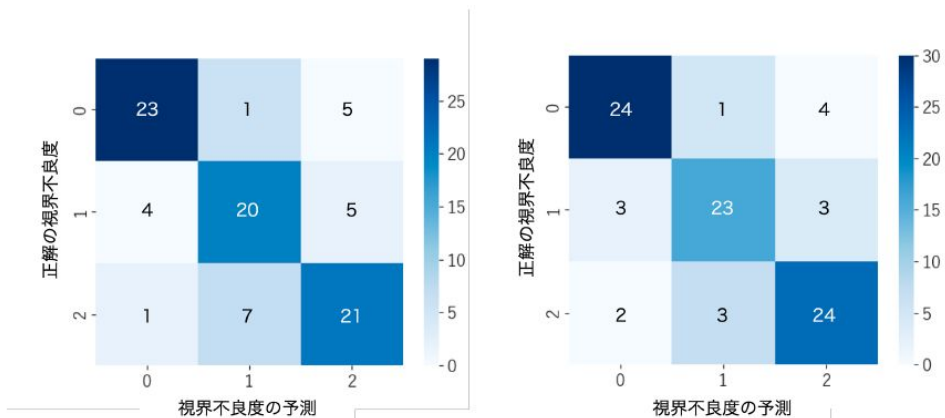
図3 車両割当手法の全体像

#### 4. 研究成果

##### (1) ドライバーの眼球運動特徴による視界状況推定

本研究では、ドライバーの快適性に関わる指標として、視界不良状況を取り上げ、ドライバーの眼球運動を用いた手法を提案した。視線や注視などの眼球運動を用いた情報は、既存のカメラを用いた手法と比較して、ロバストかつ網羅的なアプローチであり、実用性が高い。

基礎的検討として、まず4種類の視界状況(昼間/夜間、晴天/雨天)の分類実験を行った。限定的な条件ながら、実走行データに基づく評価実験の結果、視界状況推定における眼球運動に関する特徴量の有用性を示した。次に、雨天時を対象として3段階の視界不良度を定義し、3クラス分類の実験を行い、精度評価を行った。晴天時の視界不良度を0として、ワイパーの動きに応じて、視界不良度1,2を設定している。実験結果として、視線移動や注視などの眼球運動に関する特徴量に頭部運動の特徴量も追加することで、高精度に視界不良度推定ができることを示した(図4)。参加型センシングの方法として、多数なドライバーから推定結果を収集し活用するためには、ドライバーの運転時の頭部運動や視線移動などの個人差を考慮する必要があるが、眼球運動を用いた視界状況推定については、一定の有用性を示すことができたと考える。今後の課題としては、複数被験者での実験・評価、雨天以外の視界不良状況への適用に向けた手法改善が挙げられる。



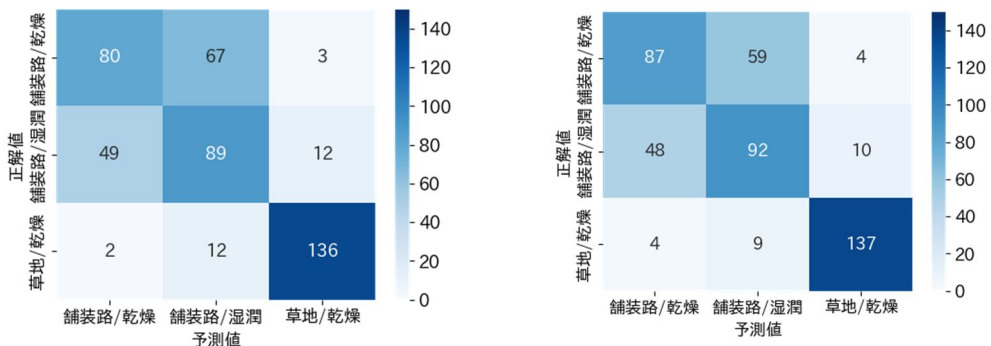
(a) 眼球運動を用いた場合 (b) 眼球運動・頭部運動を用いた場合

図4 3段階の視界不良度の推定結果：混同行列

##### (2) モバイルセンシングデバイスを用いた歩道の路面状況推定

インソール型デバイスを用いた手法では、足裏にかかる圧力分布データを収集し、特徴量を抽出し、路面状況推定を行う。少人数の被験者での実験ではあるが、アスファルト路面、凍結路面、積雪路面など、典型的な路面を対象とした路面状況推定を一定の精度で実現できることを示した。また、学習コストを軽減させる方法として、収集データ数(歩数)を減らす方法を検討し、少ない歩数データでの学習でも、一定の精度で分類精度を維持できることを示した。また、冬季環境における典型的な路面状態も高精度に分類できることを示した。

音響センシングを用いた手法では、スマートフォンの内蔵マイクを用いて歩行時の音響データを収集し、音響特徴量(MFCC)を主な特徴量とした機械学習モデルを作成し、評価実験を行った。舗装路(乾燥、湿潤)、草地(乾燥)という路面状況の分類において、固有分類モデルに劣るものの、一般分類モデルにて、音響特徴量を用いることでF値7割程度の精度で推定できることを示した。また、MFCCに加えて、他の特徴量として歩行安定度(歩行の規則性を表す1次元の特徴量)を追加したモデルにおいて、精度が向上することも示した。図5にそれぞれの場合の混同行列を示す。



(a) MFCCのみを用いた場合 (b) MFCCと歩行安定度を用いた場合

図5 歩道路面状況の推定結果：混同行列



### (3) SAX を用いたドライバーの運転特性分析と分類

本研究では、車載スマートフォンのセンサを用いて、車両走行時の運転挙動に関するセンサデータ(加速度、角速度など)を収集し、時系列データを SAX を用いて文字列に変換し、文字列特徴を抽出し、ドライバーの運転特性の分析を行った。大学キャンパス内の駐車場を実験コースとして、右左折と停止を含む車両挙動データを収集し、少人数の実験ではあるが、評価実験の結果、一定の精度でドライバーの分類ができることを示した。図 6 に、Random Forest と SVM を用いた場合の分類結果を示す。W は SAX における文字種類を表し、種類が少ないほど抽象化の度合いが大きいことを示している。図 6 より、一定の推定精度を実現するためには、ある程度の文字種類が必要であることがわかる。なお、図中の「先行研究」では、実験条件が異なっており、運転行動は停車のみを対象とし、試行回数・データ数も少ない条件での推定結果である。

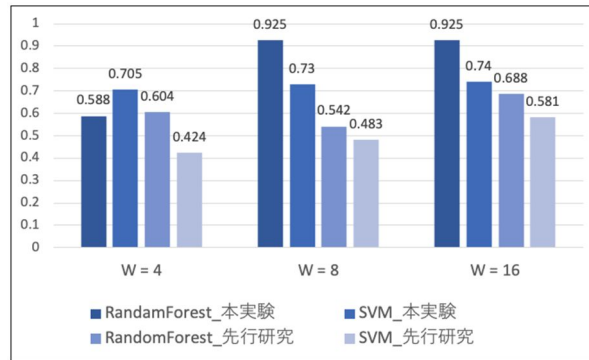


図 6 ドライバ 分類の結果

### (4) ユーザの快適性向上のためのライドシェアにおける車両割当の実現

本研究では、ユーザの快適性(満足度)を向上させるための車両割り当て手法の検討を進めた。ユーザのニーズを利便性と経済性のバランス指標で表現されるものとして、そのバランスに応じて車両割当の最適化のためのコスト関数を切り替えることで、多様なニーズを持つユーザの満足度を向上させる手法を提案した。シミュレーションによる評価実験の結果、提案手法が既存手法(逐次最適挿入法)と比較して、ユーザ満足度を向上させること、特に、経済性ユーザ満足度を向上させることを確認した。今回の実験では、ライドシェアサービスを対象として、利便性と経済性の2つの指標を取り上げたが、今後の課題として、別の指標の一つとして快適性を取り上げることが考えられる。道路状況センシング技術を用いて、視界不良や道路の悪路状況など走行環境の快適性を把握できるようになれば、これらの技術を組み合わせることで、より快適なライドシェアサービスの実現も期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 金澤 玲実, 石田 繁巳, 白石 陽	4. 巻 65
2. 論文標題 スマートフォン内蔵マイクを用いた歩道路面状況推定における汎用性の向上に向けた改善	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 842-852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00233613	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 Yuta Wakazono, Shigemi Ishida, Yoh Shiraishi	4. 巻 5
2. 論文標題 Vehicle Allocation Algorithm Improving User Satisfaction in Ride-Sharing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advances in Engineering and Information Science Toward Smart City and Beyond. Engineering Cyber-Physical Systems and Critical Infrastructures, Springer	6. 最初と最後の頁 123-140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-29301-6_6	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18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 大崎 敬太, 石田 繁巳, 白石 陽
2. 発表標題 ドライバの眼球・頭部運動を用いた視界不良度推定手法の提案と検討
3. 学会等名 情報処理学会 第93回ITS研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoh Shiraishi, Yuta Wakazono, Yuta Wakabayashi, Shigemi Ishida
2. 発表標題 Estimation of Sidewalk Surface Condition with Insole Devices
3. 学会等名 14th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金澤 玲実, 白石 陽
2. 発表標題 歩行者による音響センシングを用いた冬期路面状況推定手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会 第197回DPS研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大崎 敬太, 若園 裕太, 石田 繁巳, 白石 陽
2. 発表標題 視界状況推定に向けたドライバの眼球運動の有効性の調査
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM02022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若園 裕太, 石田 繁巳, 白石 陽
2. 発表標題 ライドシェアサービスにおけるユーザ満足度の向上に向けた配車アルゴリズムの提案と評価
3. 学会等名 情報処理学会 第30回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩崎 賢太, 白石 陽
2. 発表標題 ドライバの運転基準の把握に向けた車載センサデータ分析
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM02021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若林 勇汰, 白石 陽
2. 発表標題 インソール型デバイスによる路面状況推定の精度向上に向けた特徴量の検討
3. 学会等名 情報処理学会第189回DPS研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若園 裕太, 石田 繁巳, 白石 陽
2. 発表標題 フルデマンド型交通における利便性と経済性を考慮した配車手法の検討
3. 学会等名 情報処理学会第88回ITS研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩崎 賢太, 白石 陽
2. 発表標題 SAXを用いたブレーキ操作時の運転特性の抽出
3. 学会等名 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOM02020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 若林 勇汰, 白石 陽
2. 発表標題 インソール型デバイスによる路面状況推定手法の冬季環境への適用
3. 学会等名 情報処理学会第98回MBL・第69回UBI合同研究発表会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------