

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12015

研究課題名(和文)分光画像を用いた三次元画像計測とAR応用

研究課題名(英文)3D Measurement and AR application using spectral image

研究代表者

眞鍋 佳嗣 (Manabe, Yoshitsugu)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：50273610

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)：本研究では、物体の分光情報と三次元形状を計測する手法の開発と、得られた仮想物体を現実空間の照明環境などに合わせて適切にAR表示するための技術の研究開発をおこなった。計測手法では、パターン光投影法と多視点ステレオ法を応用した手法を検討し、物体だけではなく空間の分光三次元画像の計測を実現した。また、鏡面球を用いて現実空間の照明環境を計測し、分光三次元情報をもつ仮想物体の違和感のないAR表示を可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、分光画像計測を用いて物体の三次元形状計測ならびに照明環境の計測を実現し、ARへの応用をおこなった。研究成果は、教育分野や産業分野など幅広い分野で有効である。さらに、これまで研究されてきた分光計測技術をARという新しい分野に応用することで、分光画像の新たな活用方法も見出せる可能性がある。このように、本研究の成果は、分光情報のARでの応用だけではなく、ARを利用する分野の拡大や分光画像の新たな応用など大きな波及効果がある。

研究成果の概要(英文)：This research has researched a method for measuring the spectral information and three-dimensional shape of an object, and developed a technique for appropriately displaying the obtained virtual object in AR based on the lighting environment in the real space. As a measurement method, the pattern light projection method and the multi-view stereo method was applied. In addition, the lighting environment in the real space was measured using a mirror sphere, enabling AR display of virtual objects with spectral three-dimensional information without discomfort.

The results are effective in a wide range of fields such as education and industry. Furthermore, by applying spectral image technology to the AR field, it may be possible to find new ways to utilize spectral images. In this way, the results of this research have great spillover effects not only in the application of spectral information in AR, but also in the expansion of fields that use AR and new applications of spectral images.

研究分野：画像計測

キーワード：分光画像 三次元画像計測 拡張現実感

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、Virtual Reality (VR, 仮想現実感)、Augmented Reality (AR, 拡張現実感)が注目されており、エンターテインメントだけではなく、産業応用、医療応用など様々な分野での活用が検討されている。その応用分野の一つとして、教育分野があげられる。様々な物体や現象を仮想化することで、あたかも目の前にその物体が存在したり、現象が生じているかのように見ることができ、教育効果が高まると考えられている。このような教育コンテンツを正しく見せるには、提示したい物体の正確な色、形の計測および提示が重要となる。

画像入力システムとして、まず色に関しては、これまでに濃淡画像から RGB カラー画像、そしてマルチチャンネル画像と分光画像の入力が可能なシステムが提案されている。これにより、より実物に近い色の記録が可能となってきている。また、立体映像の入力に関しても、ステレオカメラから多眼カメラ、さらにはライトフィールドカメラのように進歩しており比較的手軽に立体映像の入力が可能となっている。

しかしながら、分光画像の入力では、まだ静止画のものがほとんどであり、分光動画の撮影には課題が多くあり、さらに分光画像のステレオ撮影もほとんど研究がされていない。また、分光画像を用いた三次元形状計測手法に関しても、これまでほとんど研究開発が行われていない。

映像提示システムとしては、シャープ株式会社が平成 22 年に RGB 三原色に黄色を加えることで、テレビで表現できる色域を広げより自然な色の再現が可能な液晶テレビを販売している。一方、多原色表示技術は放送・通信機構(現情報通信研究機構)の直轄研究であったナチュラルビジョン・プロジェクトにおいて研究がされ、一時期、世界的にも研究が盛んになったが実用化された物はほとんどない。

立体表示技術に関しては、偏光眼鏡方式や液晶シャッタ眼鏡方式など様々な方式が実用化され、テーマパークや映画館で広く使われており、平成 22 年が 3D テレビ元年と言われるように、家電メーカー各社から立体表示可能なテレビやパソコンが売り出され、これまでの VR 研究などの限られた用途から一般に広がった。

さらに、スマートフォンを使うヘッドマウントディスプレイが登場し、安価で気軽に VR を体験できるようになった。また、AR ではこれまではタブレット端末などの画面を利用することが多かったが、Microsoft の HoloLens のようにヘッドマウントディスプレイ型の AR 提示装置も開発されている。

一方、ITC の教育分野での利活用が推進されている。色や形を正確に提示できる映像システムがあれば、様々な教育分野での応用が可能であると考えられる。例えば玉虫やモルフォ蝶などは、羽が特殊な構造をしており、構造色が観察される。しかし、二次元的な表現では繊細な色の変化を表現する事は難しく、また、通常の RGB では正確な色の再現は困難である。さらに、絵画のデジタルコンテンツにしても、色再現が重要であり、やはり RGB では正確に表現する事はできない。このように、色や形を正確に再現できる映像提示システムを教育現場で利用できれば、理科や美術などの教科において効果的な教育が可能になると思われる。

2. 研究の目的

本研究では、様々な物体の正確な色情報である分光情報と三次元形状を計測する手法の開発と、これにより作成されたデジタルコンテンツを現実空間の照明環境などに合わせて適切な表示が可能な AR 技術の研究開発を目指し、現実物体の表面の分光反射率と三次元形状の計測技術、および現実空間の分光情報を持った照明環境の計測、そしてこれらの計測情報をもとに物理モデルに基づいた違和感のない AR 表示の実現を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では分光画像処理と三次元画像計測を組み合わせ、物体表面の正確な色と形状の計測を実現する。具体的には、これまで研究を行ってきた分光画像計測システム[1]とプロジェクトを用いたパターン光投影計測と、分光ステレオ画像からの三次元復元の 2 手法の検討を行った。

パターン光投影計測では、分光画像計測システムを用いて HDR 分光画像を取得し、同時にグレイコードパターンを用いることで分光三次元計測を行うシステムの開発をおこなった。この手法では、パターン光を投影できる範囲に収まる比較的小さな物体の三次元形状を高精度に測定できる利点があるが、部屋全体などの空間の計測には向かない。そのため、大きな物体や空間を計測する手法として分光ステレオ画像計測を検討した。分光ステレオ画像計測では、ステレオ画像撮影の発展研究である、1 台のカメラを移動させながら撮影した多視点画像による三次元画像計測を 2 手法試みた。一つは、移動ロボットの研究で実用化されている自己位置姿勢推定手法である SLAM を適用した計測であり ORB-SLAM[2]を用いた。もう一つは多視点ステレオ計測手法[3]の適用である。

また、AR 表示における現実空間と仮想物体の違和感のない融合表示においては、仮想物体の

情報だけではなく、現実空間の特に照明環境の分光情報も重要となる。そのため、分光画像計測システムを AR における入力として使い、シーン全体の分光情報だけではなく照明の分光情報も一度に計測し、正確な色再現が可能な AR 表示を実現する。

4. 研究成果

パターン光投影計測手法、SLAM を用いた計測手法、多視点ステレオ画像手法の計測結果及び AR 表示の結果を示す。

(1) パターン光投影計測手法の結果

分光画像計測システムとグレイコードパターンを用いたパターン光投影計測での結果を図 1 に示す。(a)(b)は、プラスチック製のコップを計測し、三次元表示したものであり、(a)が正面、(b)が(a)を 90 度回転させたものである。また、(a)の a, b 2 点の分光反射率を推定した結果が(c), (d)である。このように、分光画像計測システムとグレイコードパターンを組み合わせ、物体の三次元形状と表面の分光反射率が計測できることがわかる。

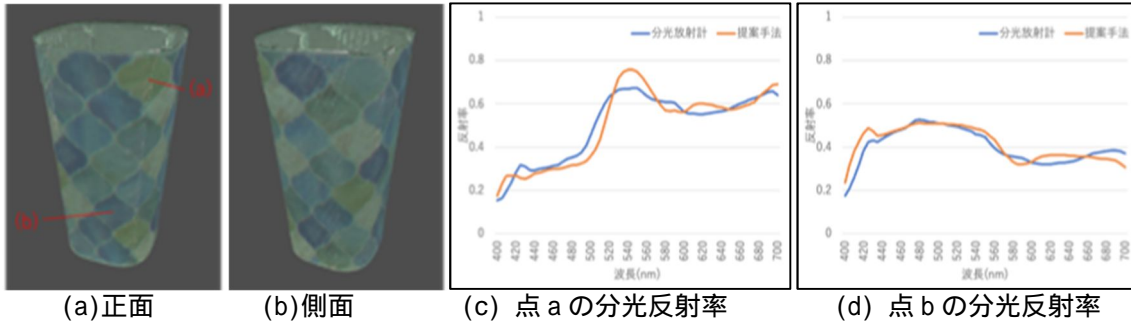


図 1 パターン光投影計測の結果

(2) SLAM を用いた計測手法の結果

SLAM は Simultaneous Localization and Mapping の略で、移動ロボットなどで使われている自己位置推定と環境地図の同時作成技術であり、本研究で用いた ORB-SLAM は単眼カメラから取得した画像を用いる Visual SLAM の一種である。ORB 特徴を用いた高速な特徴点検出が可能である。本研究では、分光画像計測システムを移動させながら対象を計測し、ORB-SLAM 用いてカメラ位置推定及び特徴点の三次元位置推定ならびに分光情報推定を試みた。

計測結果を図 2 に示す。(a)は 2 枚の画像間で ORB 特徴量を用いて特徴点マッチングし、ノイズ除去をした結果である。また(b)は、マッチングした特徴点の三次元位置を推定した結果である。想定したよりもマッチングした特徴点が少なく、物体の全体形状の推定ができなかった。特徴点検出の精度を高めるなど、検討が必要であることがわかった。

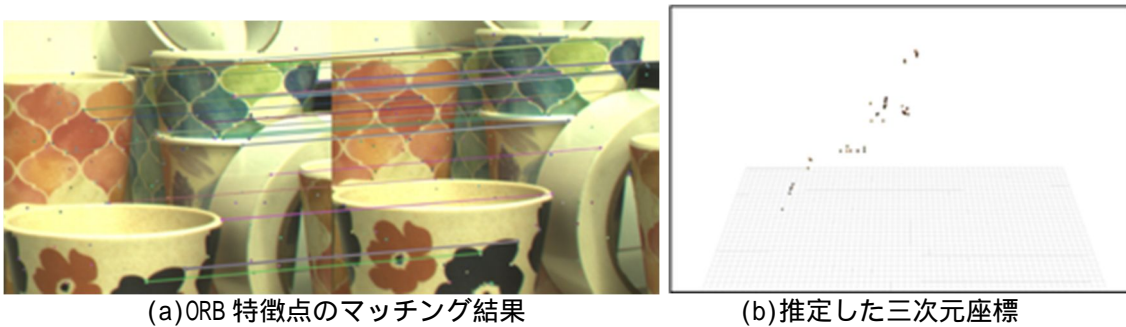


図 2 ORB-SLAM を用いた計測手法の結果

(3) 多視点ステレオ画像手法の結果

ORB-SLAM では、対応する特徴点が少なく、疎な点群となることがわかったため、次に多視点ステレオ画像を用いた手法を検討した。使用する画像は ORB-SLAM と同じく、分光画像計測システムを移動させながら計測した画像である。ORB-SLAM と同様に特徴点マッチングを行い、カメラ位置の推定および三次元計測を行うが、密な計測が可能な手法である。本研究では、分光画像計測システムのマルチバンド撮影のための 4 枚のフィルタのうち、HDR 処理を行うための ND フィルタを用いずに通常の RGB 画像の撮影をおこなった。まず、撮影した 12 バンド画像から分光情報を推定し、5nm 間隔の分光強度画像を生成する。次に、RGB 画像を用いて、カメラの位置姿勢を推定し、そのカメラパラメータを各波長の分光強度画像にも適用し、波長ごとに多視点ステレオ手法を適用して三次元点群を求め、それらを重ね合わせることで分光三次元点群を求めた。

図 3 に計測結果を示す。(a)は分光画像計測システムを移動させながら計測した入力画像の一部である。なお、分光画像計測システムで得られるマルチバンド画像のうち、フィルタなしの RGB

画像である．また，(b)の RGB 画像に対応する 770nm の分光強度画像が(c)である．

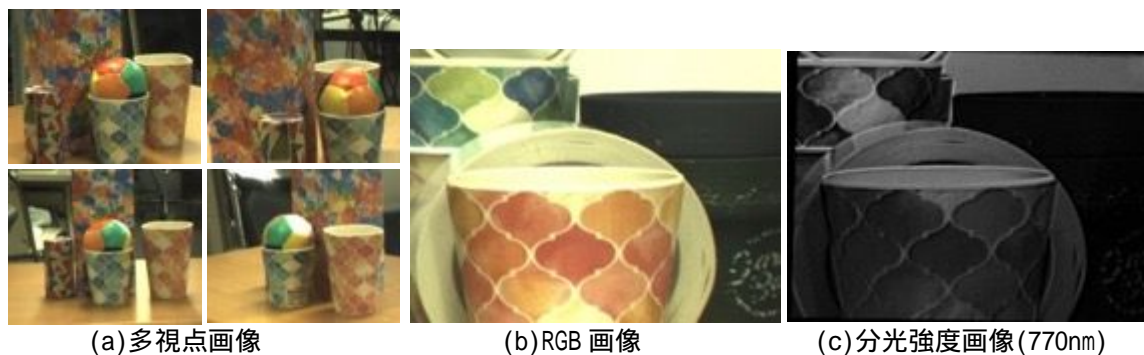


図 3 多視点画像 (RGB) と分光強度画像

さらに，この波長ごとの分光強度画像に対して，波長ごとに推定した三次元点群が図 4 である．(a)が 430nm，(b)が 625nm の推定結果である．このように，まだノイズが多いが，各波長の分光強度画像に RGB 画像で求めたカメラパラメータを適用することで，各波長の三次元点群がもたまることがわかった．この後，各波長の三次元点群を ICP を用いて位置合わせし，各三次元点の分光情報を推定する予定であるが，十分な位置合わせが行えておらず分光情報の推定精度の検証は今後の課題である．

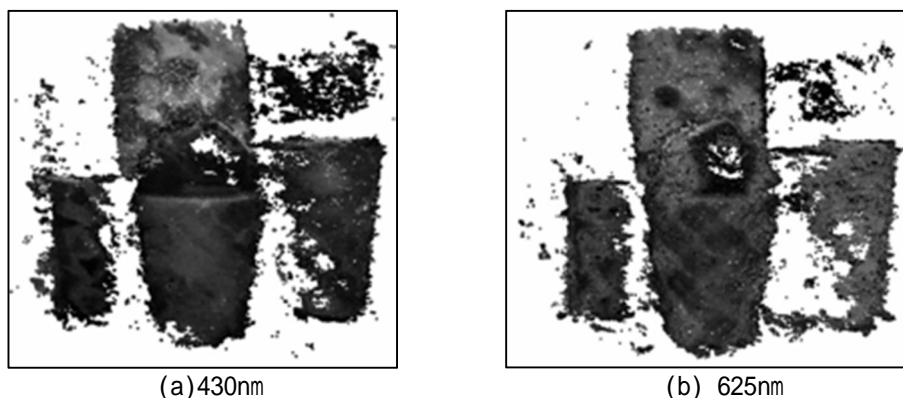


図 4 分光強度画像から求めた三次元点群

(4) AR 表示の結果

最後に，AR 表示における現実空間と仮想物体の違和感のない融合表示の結果を示す．違和感のない融合表示には，仮想物体の情報だけではなく，現実空間の特に照明環境の分光情報も重要となるため，シーン中に鏡面球を配置し分光画像計測システムで計測することで光源情報の取得を試みた．結果を図 5 に示す．この結果は(1)のパターン光投影計測手法の結果をもとに AR 表示を試みた結果である．(a)は光源情報取得のための鏡面球の画像である．図中の点が光源情報を取得するためにサンプリングした箇所である．また，鏡面球の下にあるマーカで仮想物体を表示するための座標系を取得している．これらの光源情報及び座標情報をもとに仮想物体を表示したものが(b)である．このように，本研究で提案した，分光三次元計測によって得られた情報をもとに，AR 表示を行う環境に合わせて違和感のない融合表示が可能であることが示された．

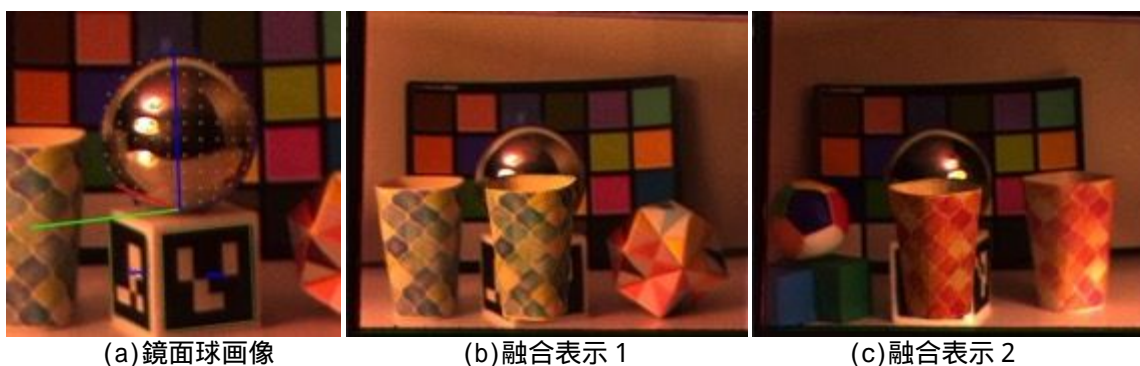


図 5 分光三次元計測結果を用いた AR 表示の例

以上のように、本研究では、分光画像計測を用いて物体の三次元形状計測ならびに照明環境の計測を実現し、ARへの応用を目指した。分光画像計測・処理、三次元画像計測、ARの個々の研究は様々な取り組みがこれまでもあるが、3つを統合した研究はこれまでに実施されておらず、独創性が高い。また、現時点では教育現場への導入を考えているが、本研究計画で構築されるシステムは教育分野のみならず、産業分野など幅広い分野で有効であると考えられる。さらに、これまで研究されてきた分光計測技術をARという新しい分野に応用することで、分光画像の新たな活用方法も見出せる可能性がある。このように、本研究をさらに進めることで、分光情報のAR分野での応用というだけでなく、ARを利用する分野の拡大や分光画像の新たな応用など波及効果が非常に大きいと考える。

参考文献

- [1] Takayuki Tsuruta, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata: HDR Spectral Video Measurement System, Proc. of 7th Computational Color Imaging Workshop, LNCS11418, pp.89-101 (2019)
- [2] Raul Mur Artal, J. M. M. Montiel: ORB SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, VOL. 31, NO. 5 (2015)
- [3] Moulon, Pierre and Monasse, Pascal and Perrot, Romuald and Marlet, Renaud: OpenMVG: Open multiple view geometry, International Workshop on Reproducible Research in Pattern Recognition, pp.60-74 (2016)

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 2件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Lu Sun, Yoshitsugu Manabe, Noriko Yata | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 Double Sparse Representation for Point Cloud Registration | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications | 6. 最初と最後の頁 148-158 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3169/mta.7.148 | 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 Yuki Ishida, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Colored Point Cloud Completion for a Head Using Adversarial Rendered Image Loss | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Imaging | 6. 最初と最後の頁 125 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/jimaging8050125 | 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11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 石田裕基, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣 |
| 2. 発表標題 RGBDカメラを用いた頭部の3D再構築手法の検討 |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会創立70周年記念大会講演予稿集 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 坂井友香, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子 |
| 2. 発表標題 背景条件を緩和したMRインテリアシミュレーションの検討 |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会創立70周年記念大会講演予稿集 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 堀本泰成, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣 |
| 2. 発表標題 SLAMを用いた分光三次元計測手法の検討 |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会創立70周年記念大会講演予稿集 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Kyogasaka, Yoshitsugu Manabe and Noriko Yata |
| 2. 発表標題 Formulation of optical properties of cloth for CG curtain simulation |
| 3. 学会等名 International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shunta Osakama, Yoshitsugu Manabe and Noriko Yata |
| 2. 発表標題 Generating 3D Model of Furniture from 3D Point Cloud of Room |
| 3. 学会等名 International Workshop on Advanced Image Technology (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 石田裕基, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子 |
| 2. 発表標題 物体形状と分光反射率の計測およびARへの応用の検討 |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会2019年冬季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 経ヶ阪優子, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子 |
| 2. 発表標題 ARによる周囲環境に対応したカーテンシミュレーション |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会2019年冬季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 南保遥佳, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子 |
| 2. 発表標題 MRインテリアシミュレーションにおける陰影処理の改善 |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会2019年冬季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 堀本泰成, 矢田紀子, 眞鍋佳嗣 |
| 2. 発表標題 多視点ステレオを用いた分光三次元計測手法の検討 |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会2021年冬季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邉大地, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子 |
| 2. 発表標題 NeRFを用いた分光三次元計測の研究 |
| 3. 学会等名 映像情報メディア学会2021年冬季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Taisei Horimoto, Yoshitsugu Manabe, and Noriko Yata |
| 2. 発表標題 Study of measurement of 3D shape and spectral reflectance by Multi-View Stereo |
| 3. 学会等名 AIC 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022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 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 石田 裕基 (Ishida Yuki) | | |
| 研究協力者 | 堀本 泰成 (Horimoto Taisei) | | |

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 |
|---------|---------|