

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11372

研究課題名（和文）ブラインド画像復元の医用カメラへの応用およびリアルタイム復元システムの開発

研究課題名（英文）Application of blind image restoration for medical cameras and development of a real-time restoration system

研究代表者

後藤 富朗（Goto, Tomio）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：20324478

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ワークステーション上でのリアルタイムブラインド画像復元処理を実現し、医用画像のぼけ・ぶれ係数（PSF）を推定するアルゴリズムを縮小画像から推定し、推定されたPSFを拡大したものを初期値とし、縮小画像から徐々に元の画像まで拡大させることで推定精度を維持しつつ、高速化を図った。また、PSF推定の際に理想画像推定とPSF推定を行うアルゴリズムを独立に実装することで並列処理を実現し、リアルタイム処理を実現できることを確認した。また、ワークステーション上に実装したリアルタイムブラインド画像復元アルゴリズムを3台のFPGA上に実装し、並列に協調動作させることでリアルタイムブラインド画像復元処理を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筆者らは先行研究において提案したぼけ・ぶれ画像のブラインド画像復元アルゴリズムにおいて、TV正則化およびShockフィルタという非線形信号処理を適用させることで、世界最高性能を有するブラインド画像復元手法であることをIEEE国際会議の画像処理関連のトップカンファレンスであるICIP2017において証明し、多くの研究者から高く評価された。このアルゴリズムを内視鏡カメラに応用し、リアルタイム動作させることで、医療分野における映像のぼけ・ぶれ補正が実現でき、多くの治療において使われる映像の高画質化・高精細化を実現することが可能となり、産業的な側面だけでなく、医療行為の質の向上にも繋がる。

研究成果の概要（英文）：Real-time blind image restoration process on a workstation is realized, and the algorithm for estimating the blur and blur coefficient (PSF) of medical images is estimated from the reduced image, and the estimated PSF is enlarged as the initial value and gradually enlarged from the reduced image to the original image to maintain the estimation accuracy and increase the speed. In addition, we confirmed that parallel processing can be achieved by implementing the algorithm for ideal image estimation and PSF estimation independently during PSF estimation, thereby realizing real-time processing. In addition, by implementing the real-time blind image restoration algorithm implemented on a workstation on three FPGAs and operating them in parallel in a cooperative manner Real-time blind image restoration processing was achieved.

研究分野：画像信号処理

キーワード：ブラインド画像復元 内視鏡カメラ映像 ぼけ・ぶれ補正 FPGA実装

1. 研究開始当初の背景

画像のぼけ・ぶれ補正に関する研究は古くから様々な研究者によってなされているが、劣化画像1枚からPSFおよび理想画像を推定するブラインドデコンボリューションは既知の劣化画像から未知のPSFおよび理想画像の2つを推定する必要があり、不良設定問題となり、解を得ることは特に困難な問題である。そこで、**劣化画像からPSFを推定する問題(k-step)**と**理想画像を推定する問題(x-step)**との2つのステップに分け、これらを交互に最適化することで復元画像を得る試みが成果を挙げている。この手法では、理想画像推定の際にTotal Variation(以下、TV)正則化およびShockフィルタと呼ばれる非線形処理を適用することで、復元画像の高画質化を実現している。一般にTV正則化処理は反復計算により導出されるため、処理時間が膨大なものとなる。そこで筆者らはTV正則化の計算時間短縮手法を提案し、高速処理を実現した。しかし、劣化画像やPSFの特性によっては、復元に失敗し、リングングやエッジのぶれが強調されるといったノイズが復元画像に混入することが問題となる。そこでこの問題を解決するためにノイズ除去処理をブラインド画像復元アルゴリズムに追加し、復元画像の高精度化を達成した。また、劣化画像から支配的なぼけ・ぶれ成分を自動的に抽出するローカルパッチという手法をアルゴリズムに組み込むことで、大幅な処理時間の高速化を実現した。しかし、これらの高速処理においてもリアルタイム処理は実現しておらず、実用化のためには、**約2.0倍の更なる高速化が必要**である。復元画像の画質改善に関しては、PSFの推定精度を向上させる必要があり、PSF推定の際に弊害となる雑音や細かな振動成分であるテクスチャ成分を除去することでPSFの推定精度の向上を実現した。しかし、内視鏡カメラ映像では、撮影部位によってぼけ・ぶれの特性が異なることが予想され、それらに応じた最適なパラメータの自動設定アルゴリズムの開発や処理速度の更なる工場が必要不可欠である。

2. 研究の目的

防犯カメラ映像や医療用カメラなど撮影環境によってぶれやぼけなどの画像劣化が生じる。画像劣化に対する補正手段としてカメラに内蔵された手ぶれ補正機能があるが、撮影された画質の劣化した映像の復元は不可能である。また、医療用カメラでは、手ぶれ補正機能をカメラに内蔵させることが困難である。そこで、画像処理を用いて劣化画像を復元するという試みが提案されている。一般的に、ぶれ・ぼけ劣化は鮮明な理想画像と点広がり関数(以下、PSF)の畳み込みで表現することができる。劣化画像1枚からの画像復元である**ブラインドデコンボリューション**では、最小化問題を解くことで得られたPSFを用いて、鮮明な理想画像を復元する。しかし、PSF推定誤りを原因とする復元失敗や雑音強調などの実用化への課題がまだいくつか存在している。本課題では、ブラインドデコンボリューションの**高精度化・高速化アルゴリズムを提案**し、医療用カメラへ応用することで、内視鏡カメラ撮影時のぼけ・ぶれ映像のリアルタイム補正を目指した。

3. 研究の方法

先行研究において本課題の基礎研究として、TV正則化手法とShockフィルタを組み合わせた手法は超解像画像復元においてとても有効な手法であり、従来にない高画質な超解像を実現できることが確認された(図1参照)。この手法をブラインド画像復元に応用することで、復元性能の大幅な改善が実現できることが重要なポイントとして挙げられる。また、先行研究において提案したブラインド画像復元手法では、劣化画像からPSFを推定する問題(k-step)と理想画像を推定する問題(x-step)に分離し、それぞれの処理において最適化を行い、更に処理全体を繰り返し処理することで高速に最適解を導出することが可能となっている。また、大きなぶれやぼけに対応するため、マルチスケール反復処理と呼ばれる処理を導入した。この処理の流れとしては、最初に入力画像をダウンサンプリングして画像サイズを小さくし、徐々に元のサイズまで拡大しながら交互反復処理を行い、スケール毎にPSF推定を繰り返すことで高速な動作および復元画像の画質改善を実現することができる。



(a) 入力画像

(b) 超解像画像

図1: 超解像処理の例

4. 研究成果

本研究で提案する医用カメラ画像のブラインド画像復元システムのネットワーク構成図を図2に示し、本課題において得られた成果を以下の3項目に大別して示す。

(1) 内視鏡カメラ映像へのブラインド画像復元法の適用による復元性能の改善

図2に示すネットワーク構成のブラインド画像復元システムを構築し、学習画像として医用カメラ画像を用いて学習を行った。従来法ではGoProテストセット画像2013枚のみを使用していたが、これに加えて5078枚の医用画像を学習画像とした。実験結果を図3に示す。図3より、従来法では画像全体にリングングが発生しているのに対し、提案法ではリングングが発生しておらず、客観評価においても改善されていることが確認できる。bais処理を行うことにより、復元性能を維持しながら、処理コストを削減することに成功した。

(2) ブラインド画像復元処理のGPUサーバ上でのリアルタイム処理の実現

本課題で提案したブラインド画像復元システムをGPUサーバ上に実装し、医用カメラ映像に対する処理性能について検証した。GPUサーバは本課題において購入したNVIDIA GeForce RTX 3070 superを使用し、CPU: Intel Core i7、メモリ: 32GBの構成のサーバ上に実装を行った。学習には非常に多くの時間を要する(学習画像の枚数や解像度に依存する)が、復元処理についてはリアルタイム処理が実現できることを確認した。

(3) ブラインド画像復元処理のFPGA上でのリアルタイム処理の実現

本課題で提案したブラインド画像復元システムをFPGA上に実装し、医用カメラ映像に対する処理性能について検証した。FPGAとして、GPUサーバとの親和性の観点から、NVIDIA Jetson Xavier NX(CPU: ARM v8.2、メモリ: 8GB、GPU: NVIDIA Volta)を用いた。メモリによる制約はあるもののリアルタイム処理が実現できることを確認した。

○ 主な発表論文等

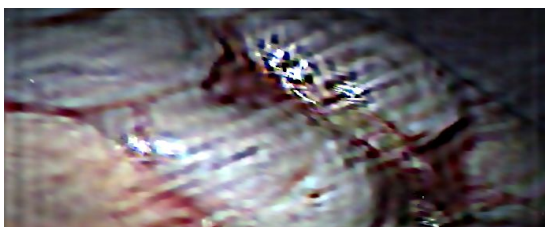
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 10件)

- (1) Tomio Goto and Masahiro Goto: "Performance Improvement of Blur Restoration Method for Severely Blurred Images", IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing, 査読有, 2021.
- (2) Masaki Hongo and Tomio Goto: "Performance Improvement for Blurred Images Utilizing



(a)劣化画像(36.84 [dB])



(b) 従来法(21.03 [dB])



(c) 提案法 (38.74 [dB])

図3: 医用画像による復元結果

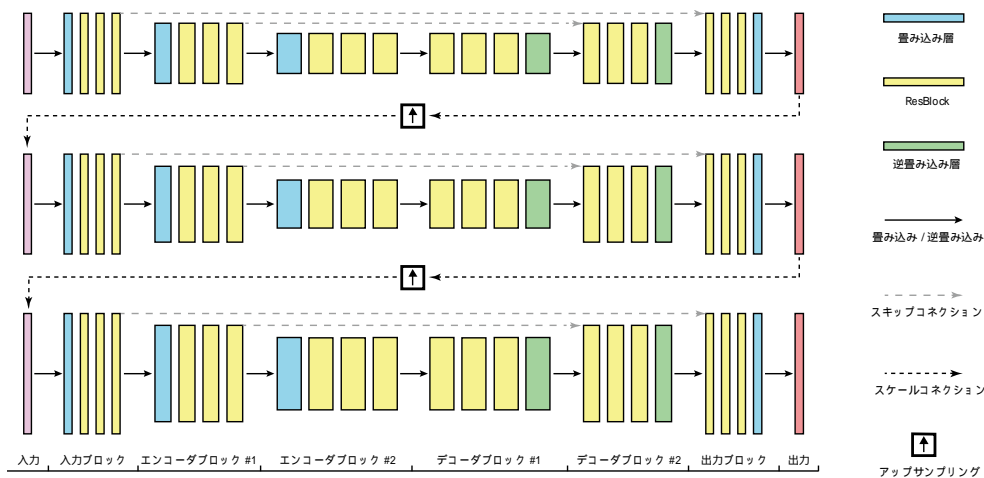


図 2：ブラインド画像復元のネットワーク構成図

Learning-Based Image Restoration Method", International Conference on Computer Communication and the Internet, 査読有, pp.115-118, 2020.

- (3) Masahiro Goto and Tomio Goto: "Accuracy Comparison between Learning Method and Signal Processing Method Using Iteration for Severely Blur Images", International Conference on Digital Medicine and Image Processing, 査読有, pp.68-73, 2020.
- (4) Masaki Hongo and Tomio Goto: "Learning-Based Image Restoration Method for Blurred License Number Plate Images", Global Conference on Consumer Electronics, 査読有, pp.111-112, 2020.
- (5) Ryohei Teranishi and Tomio Goto: "Improvement of Robustness In Blind Image Restoration Method Using Failing Detection Process", Journal of Image and Graphics, 査読有, Vol.8, No.3, pp.85-92, 2020.
- (6) Masahiro Goto and Tomio Goto: "Performance Improvement of Blind Image Restoration Using Ringing Removal Processing", Global Conference on Consumer Electronics, 査読有, pp.139-140, 2019.
- (7) Takahiro Nagata, Tomio Goto, Satoshi Motohashi, Haifeng Chen and Reo Aoki: "Improvement of Robustness in Blind Image Restoration Method Using Failing Detection Process", Journal of Image and Graphics, 査読有, Vol.7, No.1, pp.1-8, 2019.
- (8) Ryohei Teranishi, Takahiro Nagata, Tomio Goto and Satoshi Hirano: "Blind Blur Image Restoration For High-resolution Images", Global Conference on Consumer Electronics, 査読有, pp.533-534, 2018.
- (9) Tomio Goto, Hiroki Senshiki, Masanao Sawada, Haifeng Chen and Reo Aoki: "Improvement of Robustness in Blind Image Restoration Method Using Failing Detection Process", Digital Medicine and Image Processing, 査読有, pp.213-220, 2018.
- (10) Takahiro Nagata, Satoshi Motohashi and Tomio Goto: "Blind Image Restoration of Blurred Images Using Failing Detection Process", Signal and Information Processing, 査読有, pp.16-20, 2018.

〔学会発表〕(計 10件)

- (1) Tomio Goto and Masahiro Goto: "Performance Improvement of Blur Restoration Method for Severely Blurred Images", International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2021), 査読有, 2021.
- (2) Masahiro Goto and Tomio Goto: "Accuracy Comparison Between Learning Method and Signal Processing Method Using Iteration for Severely Blur Images", CBEEES International Conference on Digital Medicine and Image Processing (DMIP2020), 査読有, pp.68-73, 2020.
- (3) Masaki Hongo and Tomio Goto: "Learning-Based Image Restoration Method for Blurred License Number Plate Images", IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2020), 査読有, pp.111-112, 2020.
- (4) Masaki Hongo and Tomio Goto: "Performance Improvement for Blurred Images Utilizing Learning-based Image Restoration Method", IEEE International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI2020), 査読有, 2019.

- (5) 本郷 雅貴, 五藤 正広, 後藤 富朗: "学習型画像復元手法を用いたぶれ画像復元の性能改善", 電子情報通信学会 総合大会, 2020.
- (6) Masahiro Goto and Tomio Goto: "Performance Improvement of Blind Image Restoration Using Ringing Removal Processing", IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2019), 査読有, pp.139-140, 2019.
- (7) 五藤 正広, 本郷 雅樹, 後藤 富朗: "リングング除去処理を用いたブラインド画像復元の性能向上", 第18回情報科学技術フォーラム (FIT2019), pp.191-192, 2019.
- (8) Takahiro Nagata, Satoshi Motohashi and Tomio Goto: "Blind Image Restoration of Blurred Images Using Failing Detection Process", IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP2018), 査読有, pp.16-20, 2018.
- (9) Tomio Goto, Hiroki Senshiki, Masanao Sawada, Haifeng Chen and Reo Aoki: "Image Restoration Method for Non-uniform Blurred Images", IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST2018), 査読有, 2018.
- (10) Ryohei Teranishi, Takahiro Nagata, Tomio Goto, and Satoshi Hirano: "Blind Blur Image Restoration For High-resolution Images", IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2018), 査読有, pp.533-534, 2018.

○ 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 富朗 (GOTO Tomio)

名古屋工業大学・情報工学専攻・准教授

研究者番号: 20324478

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11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 Tomio Goto and Masahiro Goto	4. 巻
2. 論文標題 Performance Improvement of Blur Restoration Method for Severely Blurred Images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Conference on Image Electronics and Visual Computing	6. 最初と最後の頁 1-4
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 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 Masaki Hongo, Tomio Goto	4. 巻
2. 論文標題 Performance Improvement for Blurred Images Utilizing Learning-Based Image Restoration Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Conference on Computer Communication and the Internet	6. 最初と最後の頁 115-118
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 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 Goto, Tomio Goto	4. 巻
2. 論文標題 Accuracy Comparison between Learning Method and Signal Processing Method Using Iteration for Severely Blur Images	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Conference on Digital Medicine and Image Processing	6. 最初と最後の頁 68-73
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 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 Masaki Hongo, Tomio Goto	4. 巻
2. 論文標題 Learning-Based Image Restoration Method for Blurred License Number Plate Images	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 111-112
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 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 Ryohei Teranishi, Tomio Goto, Takahiro Nagata	4. 巻 Vol.8, No.3
2. 論文標題 Improvement of Robustness in Blind Image Restoration Method Using Failing Detection Process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Image and Graphics	6. 最初と最後の頁 85-92
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 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 Goto, Tomio Goto	4. 巻
2. 論文標題 Performance Improvement of Blind Image Restoration Using Ringing Removal Processing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 139-140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE46687.2019	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 (6)Takahiro Nagata, Tomio Goto, Satoshi Motohashi, Haifeng Chen, Reo Aoki	4. 巻 Vol.7, No.1
2. 論文標題 Improvement of Robustness in Blind Image Restoration Method Using Failing Detection Process	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Image and Graphics	6. 最初と最後の頁 1-8
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 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 Ryohei Teranishi, Takahiro Nagata, Tomio Goto and Satoshi Hirano	4. 巻
2. 論文標題 Blind Blur Image Restoration For High-resolution Images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 533-534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE.2018.8574838	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 Tomio Goto, Hiroki Senshiki, Masanao Sawada, Haifeng Chen and Reo Aoki	4. 巻
2. 論文標題 Image Restoration Method for Non-uniform Blurred Images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Imaging Systems and Techniques	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IST.2018.8577084	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 Takahiro Nagata, Tomio Goto, Satoshi Motohashi, Haifeng Chen and Reo Aoki	4. 巻
2. 論文標題 Improvement of Robustness in Blind Image Restoration Method Using Failing Detection Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Digital Medicine and Image Processing	6. 最初と最後の頁 213-220
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 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 Takahiro Nagata, Satoshi Motohashi and Tomio Goto	4. 巻
2. 論文標題 Blind Image Restoration of Blurred Images Using Failing Detection Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Signal and Information Processing	6. 最初と最後の頁 16-20
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 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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Tomio Goto and Masahiro Goto
2. 発表標題 Performance Improvement of Blur Restoration Method for Severely Blurred Images
3. 学会等名 International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Goto, Tomio Goto
2. 発表標題 Accuracy Comparison between Learning Method and Signal Processing Method Using Iteration for Severely Blur Images
3. 学会等名 CBEEES International Conference on Digital Medicine and Image Processing (DMIP 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Hongo and Tomio Goto
2. 発表標題 Learning-Based Image Restoration Method for Blurred License Number Plate Images
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Hongo, Tomio Goto
2. 発表標題 Performance Improvement for Blurred Images Utilizing Learning-Based Image Restoration Method
3. 学会等名 IEEE International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本郷 雅貴, 五藤 正広, 後藤 富朗
2. 発表標題 学習型画像復元手法を用いたぶれ画像復元の性能改善
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Goto and Tomio Goto
2. 発表標題 Performance Improvement of Blind Image Restoration Using Ringing Removal Processing
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五藤 正広, 本郷 雅樹, 後藤 富朗
2. 発表標題 リングング除去処理を用いたブラインド画像復元の性能向上
3. 学会等名 FIT2019 (第18 回情報科学技術フォーラム)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nagata, Satoshi Motohashi and Tomio Goto
2. 発表標題 Blind Image Restoration of Blurred Images Using Failing Detection Process
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomio Goto, Hiroki Senshiki, Masanao Sawada, Haifeng Chen and Reo Aoki
2. 発表標題 Image Rstoration Method for Non-uniform Blurred Images
3. 学会等名 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryohei Teranishi, Takahiro Nagata, Tomio Goto, and Satoshi Hirano
2. 発表標題 Blind Blur Image Restoration For High-resolution Images
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2018) (国際学会)
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
---------------------------	-----------------------	----

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