

令和 3 年 6 月 5 日現在

機関番号：16101

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18483

研究課題名（和文）歴史的価値の創造的復元に寄与する浄瑠璃人形立体アーカイブの実現

研究課題名（英文）Realization of 3D archives of joruri puppets that contributes to the creative restoration of historical value

研究代表者

吉田 敦也（YOSHIDA, Atsuya）

徳島大学・人と地域共創センター・非常勤講師

研究者番号：50191573

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：人形浄瑠璃は日本全国で江戸時代から続く伝統芸能である。しかし、近年、この文化をいかに継承するかが課題となっている。本研究では人形浄瑠璃のデジタルアーカイブとそれを活用した新たな人形デザインシステムの構築を目的とし人形浄瑠璃の保存と継承を目指す。ここではデジタルアーカイブの一つとして、人形の頭のCT画像から頭の形状および内部にあるからくりの部品の形状復元方法について検討し、実際に部品の抽出が可能であることを示した。また、人間と人形の顔を融合した人形の頭の3Dモデルを生成する方法を検討し、そのモデルを用いた調査で融合割合が20～50%であれば人間らしさを持つ人形の顔になることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

デジタルアーカイブは物体をデータとして半永久的な保存が可能であり、国宝や伝統工芸品等を保存・継承するために有効な方法である。特に本研究で検討したCT画像を用いて内部の構造を復元することは破壊が不可能な物体について、内部構造も含めてデータ化できるため、様々なものに適用可能である。また、アーカイブデータを用いれば3Dプリンタにて安価かつ容易に復元できるため、多くの方に人形浄瑠璃を体験してもらうことができ、文化の継承が可能になる。また、本研究で構築した人形デザインシステムは、人間と人形を融合した人形の製作に適したものであり、現代的な人形浄瑠璃の実演等、この文化の裾野を広げる一助になり得るものである。

研究成果の概要（英文）：Ningyo joruri is a traditional puppet theater that has been performed in Japan since the Edo era. In recent years, however, the question of how to pass on this culture has become an issue. The purpose of this research is to establish a digital archive of ningyo joruri and a new puppet design system using this archive, with the aim of preserving the art of ningyo joruri. In this research, we studied a method to recover the shape of the head and the parts of the mechanism inside from the CT image of the puppet's head, and showed that it is possible to extract the actual parts. We also investigated a method for generating a 3D model of a puppet's head by fusing a human and a puppet's face, and we revealed that a puppet's face with human-like characteristics can be created if the fusion ratio is 20-50%.

研究分野：情報工学，教育工学，生涯学習情報論

キーワード：人形浄瑠璃 デジタルアーカイブ 形状計測 顔 CT画像

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人形浄瑠璃は、江戸時代から続く、3人で1体の人形を操る人形芝居である。徳島県には「農村舞台」と呼ばれる人形浄瑠璃の舞台が県内の各地に点在しており、地域の伝統芸能として親しまれている。しかし、近年では、人形浄瑠璃の文化をいかに次世代に継承するかが、大きな課題となっている。

我々は、人形浄瑠璃の文化の中で、特に木偶人形と呼ばれる人形について、「デジタルアーカイブス」と呼ばれるデジタルデータを用いた人形の保存と継承を行うシステムの構築を目指し、これまでに、3D スキャナを用いて、主に木偶人形の頭部分を3D データ化する技術を開発してきた。また、我々は、この技術で得られた3D データを用いて3D プリンタで人形の頭を出力し、さらにそれを用いて、人形を作るプロセスを体験したり、製作した人形を用いて実際に公演したりする「伝統メイク」プロジェクトを、徳島大学と地域との連携事業として実施してきた。これによって若者が人形浄瑠璃に触れる機会が増え、参加者からは、従来の人形浄瑠璃の再現に留まらず、オリジナルの人形を製作したい、人形浄瑠璃の新たな物語を作りたいといった、人々の創作意欲を活性化させる効果が見られた。

したがって、人形浄瑠璃の文化を未来に継承していくためには、これまでの人形浄瑠璃について「デジタルアーカイブス」としてのデータを収集・保存するとともに、それを活用して、新たな人形浄瑠璃の創作活動を推進することが必要になると言える。

### 2. 研究の目的

本研究では、人形浄瑠璃の文化を未来に継承するため、以下の2点を目的とする。

1. 木偶人形のデジタルアーカイブシステムを構築。特に、人形の頭内部について、CT 画像を用いた復元。
2. 新たな人形浄瑠璃の創作活動を推進するための、これまでに無い人形の顔のデザインシステムの検討。

木偶人形のデジタルアーカイブスについては、基本的に、これまで開発してきた3D スキャナを用いた計測システムにて、人形の頭、着物、手足の形状を計測することは可能である。一方、木偶人形の頭には、目や口が動く「からくり機構」が組込まれている。人形のデジタルアーカイブデータとしては、このようなからくりを構成する個々の部品の形状を得ることが必要である。しかし、完成した人形の頭内部を観察するために頭を分解することは難しい。そこで、人形の頭をCT スキャナで撮影し、多数の断層写真から頭内部の構造を計測する方法について検討する。

また、新たな人形の顔のデザインシステムとして、ここでは人形の顔の美に着目し、古典的な人形の顔の美と現代の人間の美を融合した新たな人形の顔をデザインする手法について検討する。これは、これまでの「伝統メイク」プロジェクトにおいて、人形浄瑠璃による現代劇の上演を希望する声が多く、そこでは、現代的なデザインの人形の使用が求められていたからである。

さらに、人形浄瑠璃の文化を広めるためには、我々の研究や「伝統メイク」プロジェクトについて、一般に広く周知することが必要であるため、論文発表やホームページの公開等も実施する。

### 3. 研究の方法

(1) 木偶人形のデジタルアーカイブシステムの構築において、従来は、物体形状のみ計測可能な3D スキャナを用いていたが、これでは、人形の表面の色を同時に得ることが難しいため、形状とカラー画像を同時取得可能な3D スキャナを導入し、計測システムを構成する。

また、木偶人形の頭内部については、徳島大学医学部に協力していただき、そのCT装置を用いてCT画像の撮影を行う。得られたCT画像において、人形の頭を構成する材料(木材、塗料、髪の毛)やそれ以外の部分(空気)を抜き出せば、基本的に形状を復元することはできるが、特に木材は乾燥しているため、CT画像中では、あまり明度が高くなく、また、髪の毛も同じような明度であるため、明度のみでは正しく抜き出すことが難しい。そこで、画像処理において用いられる「グラフカット法」を適用し、人形の頭において、木材および塗料と、髪の毛および空気の部分を、できるだけ精度良く分離する方法について検討する。

さらに、木材および塗料として抜き出された部分についても、「グラフカット法」を応用した方法を用いて、目や口、首の部品を抜き出す手法について検討する。

(2) 古典的な人形の顔の美と現代の人間の美を融合した新たな人形の顔のデザインシステムを構築するに当たり、まずは、人形の顔の特徴についての調査を行う。人形の顔は、性別、年齢、浄瑠璃での役等によってある程度決められたパターンがある一方、製作者の個性による違いがある。ここでは、様々な種類がある人形において、現代劇においても役所が多い、若い男、娘、子供を対象とし、人間の顔と比較して、どのような特徴が、人形では強調・デフォルメされているかを調査する。これによって、人形における美を表現するのがどのような特徴であるかを具体的に特定できると考えられる。

次に、得られた特徴を用いて、人間の顔と人形の顔を融合した、新たな人形の頭の3Dデータを生成する手法について検討する。まず、人間および人形の正面画像から、顔の特徴点を抽出し、「2次元モーフィング」によって、人間と人形の顔を融合した画像を算出する。ここでは、顔の輪郭等の形状を変形させる幾何学的な融合と、顔表面の色の色彩的な融合を行う。また、人間と人形の特徴を融合する割合を変化させることで、様々な割合での顔を生成できるようにする。

そして、新たな人形の顔画像から、機械学習によって、頭の 3D モデルを生成する手法を検討する。これによって、新たな人形の顔を立体的に、画面に表示できるとともに、プラスチックに着色可能なカラー 3D プリンタを導入することで、実際に造形することが可能になる。

さらに、本研究では、上記手法で生成される様々な人間と人形を融合した顔モデルについて、人間らしい人形の顔が得られているかどうかをアンケート調査し、適切な融合の割合等について検討を行う。

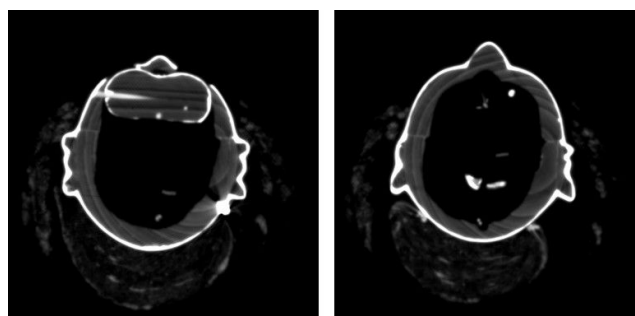
(3) 上記(1), (2)に示した研究内容については、学会発表および論文投稿を行うとともに、「伝統メイク」プロジェクトでの活動と合わせて、Web ページを構築し、外部に公開を行う。また、2020 年度のグッドデザイン賞に応募し評価を得るようにする。

#### 4. 研究成果

(1) 木偶人形のデジタルアーカイブシステムにおいて、CT 画像から、木偶人形の頭の形状を復元した結果を示す。図 1 は、実験に用いた頭の写真である。図 2 は、撮影した CT 画像の一部であり、図 1 の赤線上に当たる画像である。CT 画像は頭の上下方向に 0.5mm 間隔で撮影し、全体で 341 枚を撮影した。



図 1 実験に用いた人形の頭

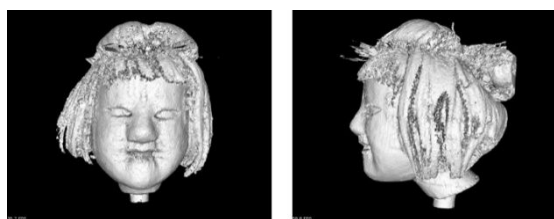


(a) A の断面

(b) B の断面

図 2 人形の頭の CT 画像

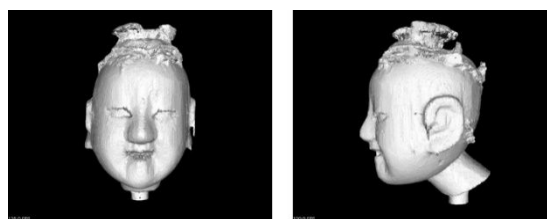
図 3 は、木材、塗料、髪の毛に分離する前の全ての材料について、3D 表示したものである。図 4 は、提案手法を用いて、木材および塗料とみなされる部分を抜き出した結果である。図 3 と比べ、髪の毛部分が除かれていることが分かる。ただし、頭頂部分は、髪の毛が密集していることと、髪の毛を固定する釘の影響のため、正しく木材部分のみを抜き出すことが困難であった。



(a) 正面

(b) 左側面

図 3 木材、塗料、髪の毛の分離前の 3D 形状

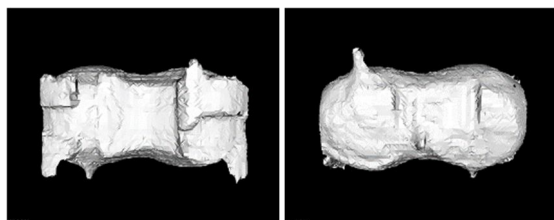


(a) 正面

(b) 左側面

図 4 木材と塗料部分の 3D 形状

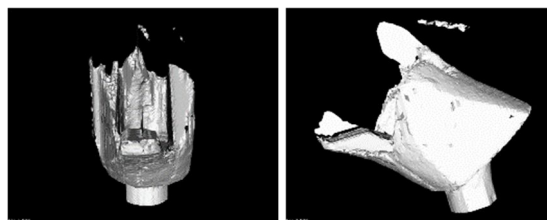
図 5 は、図 4 の結果から、さらに、目の部品をグラフカット法で抜き出した結果である。木偶人形の目は、左右の目がつながった落花生のような形状の 1 個の部品になっている。ほぼ、それに似た形状が得られているが、顔のまぶたの部分が除去できておらず、実際とは一部異なる形状抽出結果となっている。図 6 は、人形の首部分の部品の抽出結果である。こちらは、実際の形状と比べて頭と接する部分の形状が欠けている。頭自身の形状と各部品との間には、わずかな隙間しか空いていないため、接触部分がどちらに属するのを見分ける方法の検討が必要である。また、今後は、3D スキャナで計測した形状・色と、CT 画像による復元結果との統合が必要である。



(a) 正面

(b) 背面

図 5 目の部品のみ抽出した 3D 形状



(a) 正面

(b) 左側面

図 6 首の部品のみ抽出した 3D 形状

(2) 新たな人形の顔のデザインシステムを構築するに当たり、まず、人間の顔と比較して、どのような特徴が人形では強調されているか調査した結果を示す。図7は、「若者」の表現形式を持つ人形の頭の正面画像である。図8は、様々な顔の特徴について、図7の人形の顔と、5名の人間の顔との特徴量についての偏差値を算出したものである。偏差値が50より高いものが、人間の顔と比べて、人形の顔の特徴が大きいことを表わしている。この結果から、人形の顔は、人間の顔と比べて、目の大きさ、目と眉の距離、口角の下がり具合、顔や鼻の縦横比が大きいことが分かる。



図7 「若者」の人形の顔

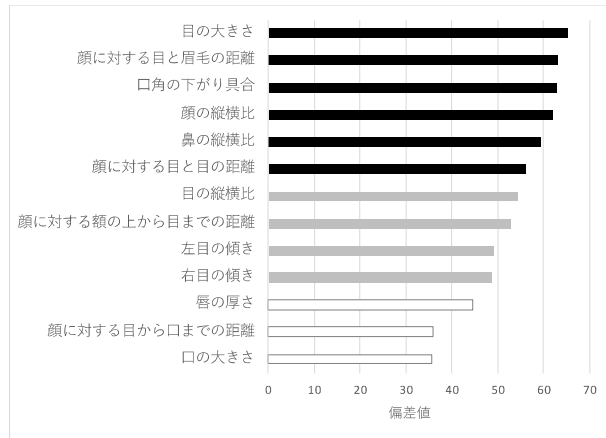


図8 人間の顔と人形の顔の特徴量の比較

次に、この結果を元に、人間の顔と人形の顔を融合した例を示す。図9(a)は、人間の顔の正面画像であり、(b)は特徴点を抽出した結果である。図10は、人間の顔の形状を人形の顔の形状に変化させたものであり、(a)は、割合( )が0.5、(b)は、1.0である。また、図11は、図10(a)について、顔の表面の色を人形の顔に合わせたものである。さらに、図12は、図11について、顔の3Dモデルを生成した結果である。(a)は正面から、(b)は右側面から見た図である。



(a) 正面画像 (b) 特徴点抽出結果



(a) =0.5 (b) =1.0 図11 人形の顔の色に合わせた結果

図9 実験に用いた人間の顔

図10 人間の顔と人形の顔の融合例



(a) 正面 (b) 右側面

図12 融合した顔の3Dモデル化

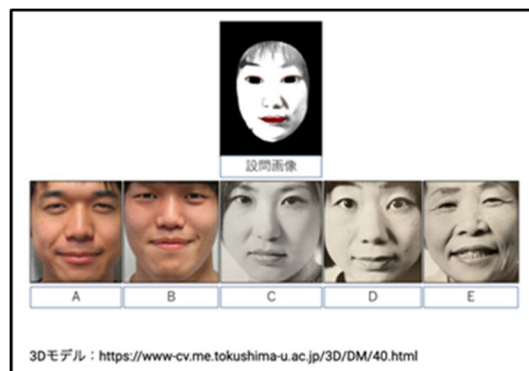


図13 人間らしい顔のアンケート調査画像例

そして、上記のように人形の顔に変化したモデルを用いて、人間らしい人形の顔が得られているかどうか等のアンケート調査を行なった結果を示す。図13は、様々な人間の顔を提示し、人形との融合の割合を0.5として得られた3Dモデルについて、元の人間の顔の特徴を読み取れるかどうかを調査する際に用いた画像例である。この結果から、人間の顔の特徴を読み取ることについての正答率が90%以上であったことから、提案手法によって生成した顔には人間の特徴を反映したものであると言える。

また、図 14 は、人間と人形の融合の割合を 0.1 から 1.0 に変化させて出力した顔の画像である。これらについて、「人間らしいと思う顔」、「男性的と思う顔」、「女性的と思う顔」、「現代的な顔」、「浄瑠璃人形として一番魅力を感じる顔」をそれぞれ選択してもらい、融合の割合と人間の知覚についての調査を行った。その結果を図 15 に示す。この結果から、融合の割合が 0.2 の場合に、人形としての魅力を感じつつ、人間らしいと思われる人形の顔であることが分かる。また、割合が 0.5 を越えると、人間らしさは減り、男性的と思われる場合のみが多くなる。これは元の人形が男性の頭であり、その人形の特徴が大きく表われているためである。したがって、人間らしさがある人形の顔としては、融合の割合が、0.2~0.5 が望ましいと言える。なお、この調査では、使用した人形の数が少ないことから、今後は、より多くの人形を用いた調査を行うことが必要である。

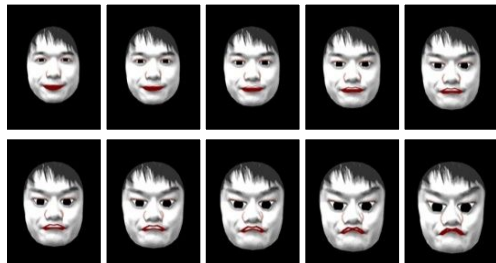


図 14 融合割合 10 段階の画像

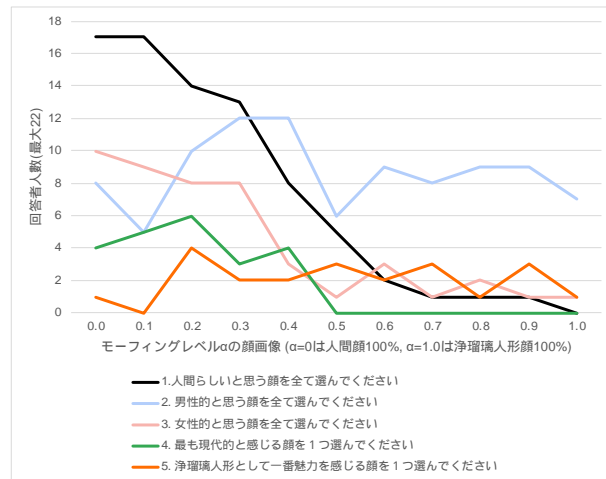


図 15 融合の割合と人間の知覚の調査結果

(3) 本研究内容において、3D スキャナを用いた物体の形状計測システムおよび CT 画像からの人形の頭の形状復元については、電気学会や精密工学会、国際会議等において、計 8 件の学会発表を行なった。また、新たな人形の顔をデザインシステムとそのアンケート結果については、「現代人の顔画像特徴を反映した浄瑠璃人形 3D モデル生成手法の開発と評価」の題目で、論文としてまとめ、日本顔学会に投稿している。

また、本研究内容および「伝統メイク」プロジェクトについての Web ページを構築し、公開している。なお、本研究の内容について、2020 年度のグッドデザイン賞に応募し審査を受けたが、受賞には至らなかった。

#### < 引用文献 >

阿波人形浄瑠璃の世界 <https://www.joruri.info/>

Hiroyuki Ukida, Tomoyo Sasao, Kenji Terada and Atsuya Yoshida, “A Calibration Method of 3D Shape Measurement System Using 3D Scanner, Turn-Table and Arm-Robot”, Proc. the SICE Annual conference 2019, pp.136-141, Sept. 2019.

原田晋吾,杉浦彰彦,“顔の物理的特徴量による顔選好判断における自己顔の影響”,知能と情報, Vol.3, No.2, pp.548-555, 2018.

伝統をメイク <https://dentomake.com/>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Ukida, Tomoyo Sasao, Kenji Terada, Atsuya Yoshida                                     |
| 2. 発表標題<br>A Calibration Method of 3D Shape Measurement System Using 3D Scanner, Turn-Table and Arm-Robot |
| 3. 学会等名<br>SICE Annual Conference 2019 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>畑ヶ中吉鷹, 浮田 浩行                     |
| 2. 発表標題<br>CT画像を用いた浄瑠璃人形の三次元形状復元            |
| 3. 学会等名<br>精密工学会 ビジョン技術の実利用ワークショップ ViEW2019 |
| 4. 発表年<br>2019年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>畑ヶ中吉鷹, 浮田浩行, 富永正英, 笹尾知世, 寺田賢治, 吉田敦也 |
| 2. 発表標題<br>CT画像を用いた浄瑠璃人形の頭の三次元形状復元             |
| 3. 学会等名<br>電気学会 知覚情報 / 次世代産業システム 合同研究会         |
| 4. 発表年<br>2020年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>浮田浩行, 笹尾知世, 寺田賢治, 吉田敦也             |
| 2. 発表標題<br>3Dスキャナとターンテーブルを用いた物体の全周形状計測システムの検討 |
| 3. 学会等名<br>電気学会 知覚情報 / 次世代産業システム 合同研究会        |
| 4. 発表年<br>2019年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshitaka Hatakenaka, Hiroyuki Ukida, Masahide Tominaga, Tomoyo Sasao, Kenji Terada, Atsuya Yoshida |
| 2. 発表標題<br>3D Shape Reconstruction of Puppet Head from CT images   |
| 3. 学会等名<br>SICE Annual Conference 2020 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>畑ヶ中吉鷹, 浮田浩行, 富永正英, 笹尾知世, 寺田賢治, 吉田敦也 |
| 2. 発表標題<br>CT画像を用いた浄瑠璃人形頭の内部の形状復元              |
| 3. 学会等名<br>電気学会 知覚情報 / 次世代産業システム 合同研究会         |
| 4. 発表年<br>2020年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>畑ヶ中吉鷹, 浮田浩行, 富永正英, 笹尾知世, 寺田賢治, 吉田敦也 |
| 2. 発表標題<br>CT画像からの浄瑠璃人形の頭内部の三次元形状復元            |
| 3. 学会等名<br>精密工学会 ビジョンの実利用ワークショップ ViEW2020      |
| 4. 発表年<br>2020年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshitaka Hatakenaka, Hiroyuki Ukida, Masahide Tominaga, Tomoyo Sasao, Kenji Terada, Atsuya Yoshida |
| 2. 発表標題<br>Inner and Outer 3D Shape Reconstruction of Puppet Head from CT images                               |
| 3. 学会等名<br>Quality Control by Artificial Vision 2021 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

伝統をメイク <https://dentomake.com/>

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)               | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                      | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 笹尾 知世<br>(SASAO Tomoyo)<br>(60789733)   | 東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任助教<br><br>(12601)     |    |
| 研究分担者 | 浮田 浩行<br>(UKIDA Hiroyuki)<br>(60284311) | 徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・講師<br><br>(16101) |    |
| 研究分担者 | 寺田 賢治<br>(TERADA Kenji)<br>(40274261)   | 徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授<br><br>(16101) |    |

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                  | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                  | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究協力者 | 富永 正英<br>(TOMINAGA Masahide)<br>(90437632) | 徳島大学・大学院医歯薬学研究部(医学域)・講師<br><br>(16101) |    |

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