

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 10 月 15 日現在

機関番号：33910

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K24370

研究課題名（和文）内視鏡医療支援を目的とした内視鏡画像からのポリープ3次元形状情報獲得

研究課題名（英文）Polyp 3D Shape Information Acquisition from Endoscopic Images for Computer-Aided Diagnosis

研究代表者

宇佐美 裕康 (Usami, Hiroyasu)

中部大学・工学部・助教

研究者番号：10847669

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：内視鏡画像から血管領域を抽出する深層学習ネットワークの構築に関する研究開発を行い、抽出した血管領域から、高精度な血管構造解析手法の研究開発を実施した。その結果、血管を構成する血流の流量に着目することで、血管の幾何学的情報獲得に関する研究を実施した。具体的に、血管の主流、分流の血流を血流量で偏微分し、血管の主流、分流で整合性の取れる領域を血管半径の幾何学情報が正しく得られる領域とし、光学的形状復元手法に必要な光の反射係数獲得を実現した。その結果、血管の潜在的幾何情報と光学的制約を融合する新たな3次元形状獲得手法の基礎を確立した。これらの研究実績は、学会誌、国際会議等で発表し、特許申請を進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

悪性腫瘍は、その形態形成に大きく起因し、診断時の重要な情報となる。また、内視鏡による術式は、開腹手術を伴う術式に比べ、身体への負担が軽く、優れるが、大腸は胃や食道に比べて腸管の壁が薄いため技術的な難易度が高く、ポリープの正確な3次元形状情報を獲得することは手術成功率向上に不可分の関係にある。

CT・MRIによる臓器の形状情報獲得手段が挙げられるが、大腸の場合では蠕動運動等の要因から、正確な情報獲得が困難である。本研究は、一般的な内視鏡画像を対象とし、血管等の潜在的幾何情報と光学的制約を融合させる新たなポリープ3次元形状情報獲得手法の研究開発を行なった点で学術的意義ならびに社会的意義が高い。

研究成果の概要（英文）：This research established the basis of a new method for acquiring the 3D shape by integrating the latent blood vessel's geometric information and optical constraints. Construct a neural network for extracting blood vessel regions from endoscopic images and developed an accurate method for analyzing blood vessel structures from the extracted vessel regions. As a result, by focusing on the flow rate of the blood flow that constitutes the blood vessel, the blood vessel's geometric information was obtained correctly by attention to the region consistent with the mainstream and the blood vessel branch. Finally, realized the optical reflection coefficient necessary for the optical shape restoration method was obtained by utilizing the geometric information of the blood vessel as a clue. Research results have been published in academic journals and international conferences, and a patent application is in progress.

研究分野：人間情報学、応用情報学およびその関連分野

キーワード：内視鏡支援システム 3次元形状情報獲得 医用画像処理 Deep Learning 血管領域抽出 敵対的生成ネットワーク Shape from Shading

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。

1. 研究開始当初の背景

ポリープの形状は、悪性腫瘍の場合ではその形態形成に大きく起因し、正確な診断を行うために重要な情報となる。また、内視鏡治療が可能な大腸腫瘍では、内視鏡による術式は、開腹手術を伴う術式に比べ、患者の身体への負担が軽く、優れるが、大腸は胃や食道に比べて腸管の壁が薄いため技術的な難易度が高く、ポリープの正確な 3 次元形状情報を医師に提供することは、手術成功率向上の為に重要となる。臓器の形状情報を獲得する手段としては、CT・MRI の利用が挙げられる。しかし、大腸の場合では腸の蠕動運動等の要因から、ポリープの正確な形状情報獲得が困難であるため、内視鏡医療の現場では、内視鏡による検査が優位となっており、医師が経験的にポリープの形状情報を把握することで診断が行われている。日常的に内視鏡を操作する医師と、症例数の少ない遠隔地病院における医師とでは経験値が異なる。加えて、内視鏡による術式「内視鏡的粘膜切除術 (EMR: Endoscopic mucosal resection)」、「内視鏡的粘膜下層剥離術 (ESD: Endoscopic Submucosal Dissection)」は、開腹手術を伴う術式に比べ、患者の身体への負担が軽く優れるが、大腸は胃や食道に比べて腸管の壁が薄いため技術的な難易度が高く、ポリープの正確な 3 次元形状情報を医師に提供することは、手術成功率向上に不可分の関係にある。加えて、超拡大撮影機能等を有する最先端の内視鏡が導入されている病院は限られており、一般的な内視鏡で撮影した内視鏡画像からポリープの 3 次元形状情報を獲得するための技術を確立することは汎用性の面でも重要である。人間は、画像中の陰影情報から撮影対象の面の滑らかさやおおよその光源方向まで推定できる。この人間の明るさ情報解析能力をコンピュータのアルゴリズムとして実現する試みがコンピュータビジョンの分野では、長年研究が行われている。内視鏡での撮影環境は、撮影対象が変形を伴う非剛体の物体であるため、複数枚の画像を利用した 3 次元形状復元の適用が困難であり、画像の陰影情報をもとに導出される光学的制約を基礎とした (SfS: Shape from Shading) が内視鏡撮影環境における 3 次元形状情報獲得手法として合理的である。しかし、SfS ベースの 3 次元形状情報獲得手法は、既知として必要とするカメラ幾何情報があるなど利用するためには複数の制約条件が存在する。また、内視鏡における撮影対象は世界座標系の参照物体の無いスケール未知な物体であるため SfS ベースの手法が適用できないケースが殆どである。しかしながら、私たち人間は、画像中に経験的に形状既知な物体がある場合には、それら物体をもとに周囲のスケールを推定することができる。本研究では、内視鏡撮影環境において、そのような汎用的に利用可能な形状既知物体を創出できないか？との学術的問いから、内視鏡画像で撮影された血管情報に着眼し、血管の幾何情報と SfS ベースの手法と融合させることで、ポリープの 3 次元形状情報獲得手法を確立させ、内視鏡医療支援を実現することが本研究課題の申請時における背景・動機である。

2. 研究の目的

本研究は、血管の形状ならびに分岐を形成する際の構造の制約に着眼し、撮影画像中の潜在的幾何と SfS とを融合させる新たな 3 次元形状復元手法の研究開発を行う点に学術的独自性と創造性を有する。SfS ベースの 3 次元形状情報獲得手法は、既知として必要とするカメラ幾何情報があるなど利用するためには複数の制約条件が存在するが、本研究では、撮影画像中の潜在的幾何を見出すことで、SfS における制約緩和を実現する。それにより、非剛体の撮影対象から 3 次元形状情報を獲得する新たな 3 次元形状復元手法を確立する。

また、申請者はこれまで内視鏡医療診断支援を目的とした研究活動を通じて、多くの症例について、内視鏡画像と臨床診断結果の観察を行って来た。そこでは、悪性腫瘍の形状は癌の粘膜下層への浸潤度との相関があることを見出しており、本研究で開発する手法により獲得したポリープの 3 次元形状情報は、癌の粘膜下層への浸潤度推定実現への糸口になると考えており、将来的には、内視鏡画像から、内視鏡の術式で対応可能な症例か外科による術式を要するかを内視鏡画像から自動判別可能にする技術確立の糧となり、患者の負担を劇的に減らす発展的な研究に繋がるものと考え、本研究課題申請時における当初の研究目的は、血管の形状ならびに分岐を形成する際の構造の制約に着眼し、血管の潜在的幾何情報と光学的制約を基礎とした SfS を融合させる新たな 3 次元形状情報獲得手法の確立を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、一般的な内視鏡画像からポリープの 3 次元形状情報を獲得するための技術の確立を目的とし、血管の潜在的幾何情報と光学的制約を基礎とした SfS を融合させる新たな 3 次元形状情報獲得手法の研究を行う。具体的には、内視鏡画像における血管領域の抽出に関する研究を行い、その後、血管の分岐点ならびに血管の主流と分流情報の獲得のための手法の開発を行う。血管の分岐点、主流、分流の情報を獲得する理由としては、それら血管を構成する構造について血流で偏微分した際に血管の半径等の幾何情報が得られるとの着眼点からである。その後、得られた血管の幾何情報をもとに内視鏡カメラと血管との幾何情報を獲得し、最終的に SfS を適用可能な条件を創出し、一般的な内視鏡画像からポリープの 3 次元形状情報獲得実現を目指した。

4. 研究成果

血管領域抽出に関する研究に関しては、深層学習により血管領域を大域的に抽出する深層学習ネットワークの構築に関する研究開発を実施した。従来型フィルタベースでの血管領域抽出手法では、内視鏡画像撮影時の照明条件等の陰影情報の影響を受け、大域的な血管領域抽出が困難であった。そこで本研究では、図1に示す U-net 型の深層学習ネットワークによる血管領域抽出手法の研究開発を行った。図2に血管抽出例を示す。血管抽出精度に関しては、ROC 曲線下面積において 0.9030 を実現しており、内視鏡画像において大域的血管領域抽出を実現した。

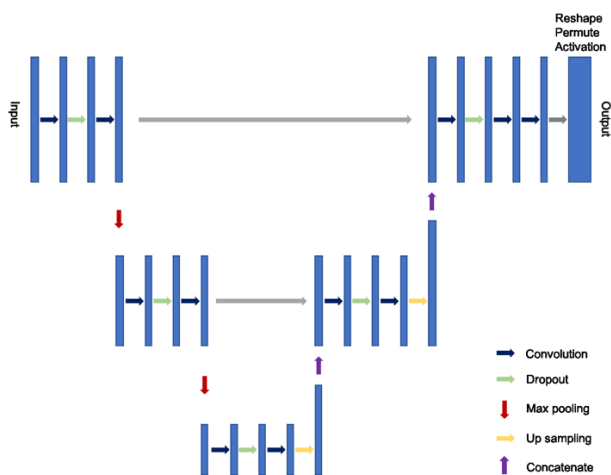


図1 .U-net 型血管領域抽出ネットワーク

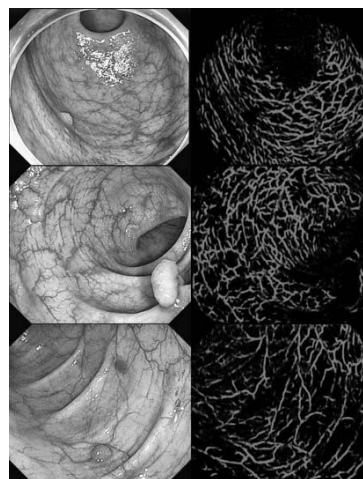


図2. (例) 血管抽出結果

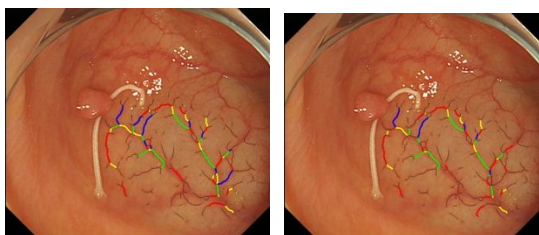
血管の構造解析に関しては、抽出した血管領域において細線化処理を行い、血管分岐点において、正接の加法定理によりそれぞれの血管の成す角度を算出し、分岐先の血管同士が成す角度が、血管の主流と分流が成す角度より小さくなる物理的特性に着目し、血管構造解析に関する研究開発を行なった。解析結果の精度評価の結果を表1,2に、真値に対する解析結果の例を図4,5に示す。結果から、血管の構造解析に関して、血管の主流、分流で整合性の取れる領域を内視鏡画像から抽出できていることが確認できる。

表1. 血管構造解析結果(例1)

TP	FN	FP	Precision[%]	Recall[%]
36	12	4	90.0	75.0

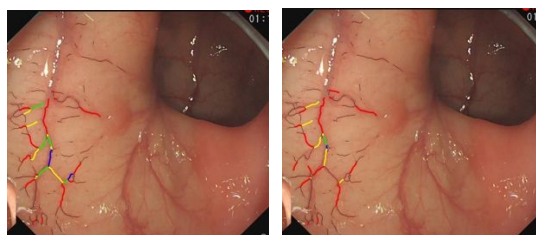
表2. 血管構造解析結果(例2)

TP	FN	FP	Precision[%]	Recall[%]
21	7	4	85.7	75.0



(a)真値 (b)解析結果

図4. 血管構造解析結果(例1)



(a)真値 (b)解析結果

図5. 血管構造解析結果(例2)

これらの研究成果から、内視鏡画像から血管の主流、分流で整合性の取れる領域について血管の半径等の幾何学情報が正しく得られる領域とし、申請者がこれまでに研究開発を行なっている既存手法により血管領域より、光学的制約式による3次元形状復元時に必要となる反射係数を算出することが可能となり、血管の潜在的幾何情報と光学的制約を基礎とした SfS を融合させる新たな3次元形状情報獲得手法を実現している。

また、本研究課題の支援を受け行なった派生研究の成果としては、深層学習による血管領域抽出手法に関して、血管領域を強調する(NBI: Narrow Band Imaging)を利用した研究成果として、癌の良性・悪性分類に関する研究等を行っており複数の研究成果をあげている。具体的には、内視鏡で撮影可能な白色光画像、染色画像、NBI から(CNN: Convolutional Neural Network)型の深層学習ネットワークで抽出される潜在的な特徴空間において、図6に示すようにカーネル関数を用いた特徴空間にマッピングすることで、癌の良性・悪性分類に関する研究を行なっている。

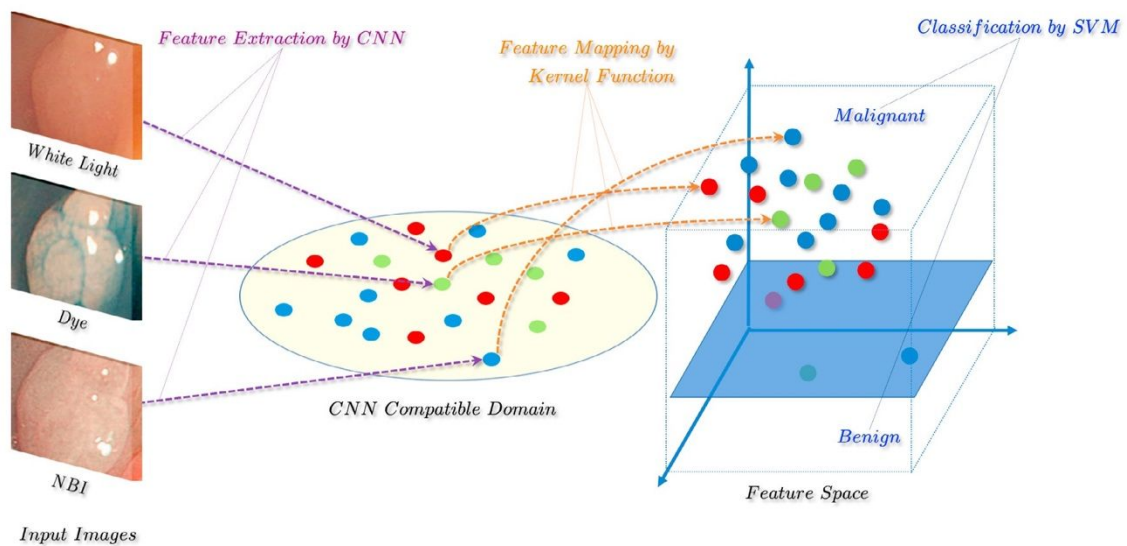


図 6. CNN による内視鏡画像の潜在特徴共有空間の活用

そこでは、内視鏡画像の種類、ならびに特徴抽出に利用する CNN の種類について最適な組合せを究明し、複数の SVM による投票処理を行うことで、90%を上回る精度での癌の良性・悪性分類を実現している。該当の組合せは、白色画像に対しては VGG16 を特徴抽出器とし、RBF カーネル関数を適用し、染色画像に対しては AlexNet を特徴抽出器とし、RBF カーネル関数を適用し、NBI に対しては、AlexNet ならびに Polynomial カーネル関数、白色画像と染色画像の組合せには、RBF カーネルを適用し、白色画像と NBI の組合せには Linear カーネル関数を適用し、染色画像と NBI の組合せには Polynomial カーネル関数、白色画像と染色画像ならびに NBI の組合せには Linear カーネル関数を適用することで、表 3 に示す精度での癌の良性・悪性分類を実現している。

表 3. CNN による内視鏡画像の潜在特徴共有空間の活用による癌の良性・悪性分類精度

	Sens.	Spec.	Acc.	PPV	NPV
White Light	82.2	76.6	79.4	77.8	81.1
Dye	83.3	83.3	83.3	83.3	83.3
NBI	92.7	90.0	91.3	90.2	92.5
White Light + Dye	86.1	86.1	83.8	82.4	85.4
White Light + NBI	88.8	86.1	87.5	86.4	88.5
Dye + NBI	89.4	85.5	87.5	86.0	89.0
White Light + Dye + NBI	90.5	82.7	86.6	84.0	89.7
Voting Result	94.4	91.6	93.3	91.9	94.8

加えて、従来の内視鏡診断では、物理的に光帯域を制限することで、血管観察に有効な内視鏡画像の撮影を実現していたが、深層学習により、ソフトウェアベースでの血管観察に有効な内視鏡画像生成技術を確立しており現在、特許として申請中である。(特願 2021-153983)

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 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Usami, H., Iwahori, Y., Adachi, Y., Bhuyan, M. K., Wang, A., Inoue, S., ... & Kasugai, K.	4. 巻 176
2. 論文標題 Colorectal Polyp Classification Based On Latent Sharing Features Domain from Multiple Endoscopy Images	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 pp.2507-2514
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 該当する

1. 著者名 Emoto, S., Iwahori, Y., Funahashi, K., Usami, H., Ogasawara, N., & Kasugai, K.	4. 巻 176
2. 論文標題 Graph Matching Approach between Endoscope Images for Non-Rigid Motion using Blood Vessel Structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 pp.1754-1762
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 該当する

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 2件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kato, S., Usami, H., Iwahori, Y., Okazaki, A., Kijirikul, B., Ogasawara, N., & Kasugai, K.
2. 発表標題 Blood Vessel Structure Analysis in Endoscopic Images for Computer-Aided Diagnosis
3. 学会等名 9th International Congress on Advanced Applied Informatics, IEEE（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ono, T., Iwahori, Y., Usami, H., Kijirikul, B., Bhuyan, M. K., Oshiro, T., & Shimizu, Y.
2. 発表標題 Detection of Lymph Nodes using CNN from Contrast-Enhanced CT Images
3. 学会等名 9th International Congress on Advanced Applied Informatics, IEEE（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kachi, K., Iwahori, Y., Usami, H., Fukui, S., Wang, A., & Bhuyan, M. K.
2. 発表標題 Pore Detection from Human Skin Image using U-Net
3. 学会等名 9th International Congress on Advanced Applied Informatics, IEEE (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朝日一憲, 岩堀祐之, 宇佐美裕康, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 スタイル変換ネットワークにおける中間層を用いたポリープ有無の分類
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤俊輔, 宇佐美裕康, 岩堀祐之, 岡崎明彦, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 医用画像診断支援を目的とした内視鏡画像における血管構造解析
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江本峻, 岩堀祐之, 舟橋健司, 宇佐美裕康, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 内視鏡画像の血管構造に着目したグラフマッチング手法
3. 学会等名 第18回情報学ワークショップ(WiNF)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野樹生, 岩堀祐之, 宇佐美裕康, 大城泰平, 清水泰博
2. 発表標題 CNNを用いた造影CT画像からのリンパ節の検出
3. 学会等名 MIRU 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 可知奎介, 岩堀祐之, 宇佐美裕康, 福井真二
2. 発表標題 U-Netを用いた人の皮膚画像からの毛穴検出
3. 学会等名 MIRU 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江本峻, 岩堀祐之, 舟橋健司, 宇佐美裕康, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 血管構造に基づく非剛体運動のための画像マッチング手法
3. 学会等名 MIRU 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤能平, 宇佐美裕康, 岩堀祐之, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 内視鏡画像における良性悪性腫瘍分類のための深層学習モデル
3. 学会等名 知能情報ファジィ学会東海支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇佐美裕康
2. 発表標題 PoC貧乏を防ぐファクターXについて-画像処理技術からの一考察-
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jayant Singh, Yuji Iwahori, M. Bhuyan, Hiroyasu Usami, Taihei Oshiro, Yasuhiro Shimizu
2. 発表標題 Mediastinal Lymph Node Detection using Deep Learning
3. 学会等名 ICPRAM2020（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎將太, 岩堀祐之, 宇佐美裕康, Boonserm Kijirikul, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 深度マップを用いたU-NetによるLST 型ポリープの検出
3. 学会等名 第17回情報学ワークショップ (WiNF 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝日一憲, 岩堀祐之, 宇佐美裕康, 小笠原尚高, 春日井邦夫
2. 発表標題 スタイル変換ネットワークを用いた効率的なポリープ分類
3. 学会等名 第17回情報学ワークショップ (WiNF 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇佐美裕康
2. 発表標題 人工知能の歴史と原理 - ドラえもんは具現化するのか? -
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 内視鏡画像変換装置、内視鏡画像変換システムおよび内視鏡画像変換プログラム	発明者 岩堀祐之、宇佐美裕康、春日井邦夫、小笠原尚高	権利者 学校法人中部大学、学校法人愛知医科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-153983	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>Go to M. K. Bhuyan's Publication Page http://www.iitg.ac.in/mkb/index/page-details.php?page=7b40ac32f1c14cfa296bea608dbbc6ab3603a367 Boonserm Kijirikul' Publication Page https://www.cp.eng.chula.ac.th/~boonserm/mypub.htm</p>
--

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	岩堀 祐之 (Iwahori Yuji)		
研究協力者	井上 智司 (Inoue Satoshi)		

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
研究協力者	海老 正秀 (Ebi Masahide)		
研究協力者	小笠原 尚高 (Ogasawara Naotaka)		
研究協力者	春日井 邦夫 (Kasugai Kunio)		

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			
	インド	Indian Institute of Technology Guwahati		
タイ	Chulalongkorn University			