

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04407

研究課題名（和文）デプスデプスマッチングの大域収束性に基づく脳移動と脳変形の分離について

研究課題名（英文）On the Separation of Brain Migration and Brain Deformation Based on the Global Convergence Property of Depth Depth Matching

研究代表者

登尾 啓史（Noborio, Hiroshi）

大阪電気通信大学・総合情報学部・教授

研究者番号：10198616

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、術部の2Dステレオ画像から3D距離画像を抽出するため、マイクロスコップを各倍率でキャリブレーションした。また、マイクロスコップにデプスカメラを直接装着し、オクルージョンのない術部の3Dデプス画像を直接取得し、手術室においてDDMで臓器追従できるようにした。さらに、ハッシュ法で変形にロバストな深度を選択して追従効率を高めたり、複数の画像からキャリブレーションするメタバースシステムを作成し、それと従来の臓器追従ソフトウェアをUnityで統合した。これより将来、DDM・SLAM・ICPIによる臓器追従アルゴリズムの精度を仮想実験で評価する予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で作成した「Unityに基づくメタバース外科手術ナビゲータ」を利用すると、遠隔下でも有効に医工連携の共同研究が実施できる。ここでは、仮想ステレオカメラをキャリブレーションボードでカメラキャリブレーションするところから、距離画像群、物体点群、特徴点移動ベクトルを抽出するところまで仮想で実験できる。Unityでは、マスター脳の変形や表面テクスチャの貼付が可能であり、変形実験にも利用できる。将来、実臓器を模擬するマスター仮想臓器に仮想臓器を模擬するスレーブ仮想臓器を連動させ、DDM・SLAM・ICPIに基づくアルゴリズムの臓器追従精度が評価できるようにしたい。

研究成果の概要（英文）：In this study, the microscope was calibrated at various magnifications in order to extract 3D distance images from 2D stereo images of the surgical site. In addition, a depth camera was directly attached to the microscope to directly acquire 3D depth images of the surgical site without occlusion, enabling organ tracking with DDM in the operating theatre. Furthermore, a metaverse system was created to improve tracking efficiency by selecting a depth that is robust to deformation using a hashing method and calibrating from multiple images, which was integrated with conventional organ tracking software in Unity. In the future, the accuracy of the DDM, SLAM and ICP organ tracking algorithms will be evaluated in virtual experiments.

研究分野：情報工学

キーワード：Depth-Depth Matching デプスカメラ 臓器移動追従 外科手術ナビゲータ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は、脳神経手術ナビゲータを作成するため、DDT(Depth-Depth Matching)および SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)の特徴点変位を利用したロバスト探索で、仮想脳を実脳に追従重畳させることが目的である。そのため、顕微鏡や腹腔鏡、およびダビンチロボットにおいて、2D ステレオ画像から 3D 距離画像を抽出したり、無影灯中心の標準カラーカメラから SLAM で臓器表面の特徴点及びその変位を抽出したりする。また、顕微鏡にデプスカメラ(Intel RealSense D435)を装着し、オクルージョンのない 3D デプス画像を抽出する。そして、それらを GPU の Z バッファから得られる仮想デプス画像とマッチングを取り、患者の臓器に介入することのない臓器追従重畳を実現する。

### 2. 研究の目的

2020 年 3 月ごろから COVID-19 による医療崩壊・逼迫が起こり、研究者や学生の関西医科大学枚方病院の手術室や大阪電気通信大学の研究室・実験室への立ち入りが厳しく制限された。これより、本研究のほとんどを遠隔で実施せざるを得なくなった。まず、術部の動画像からカメラキャリブレーションが正確にできるシステム(ソフトウェアとハードウェア)を作成し、続いて従来研究のナビゲーションソフトウェアを Unity 化し、脳の変形や表面テクスチャの貼付を可能にし、手術室実験に依存せず各種アルゴリズムを DX(メタバース)で評価できるようにした。



図1 マイクロスコープの倍率によるキャリブレーションの様子。

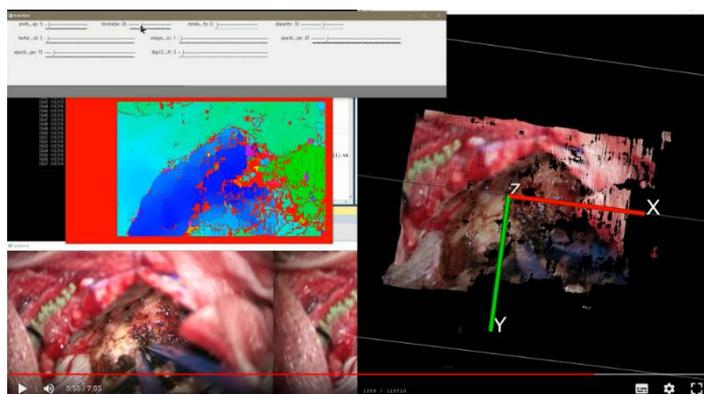


図2 Depth-Depth Matching のため手術の距離画像を抽出する様子。

### 3. 研究の方法

**【方法1】**顕微鏡や内視鏡のステレオ動画像よりデプス動画像を自動生成し、DDT(Depth-Depth Matching)より仮想臓器を実臓器に合致させる。このため、術中ステレオ 2D 動画像から 3D カラー動画像およびデプス動画像を自動生成したり、手術中のカメラパラメータを正確にキャリブレーションしたりした(図1と図2)。

**【方法2】**カラー動画像を SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)で処理し、表面特徴点群の移動ベクトルを抽出し、それらにより臓器やメスを移動させる(図3)。

【方法3】デプスカメラ Intel RealSense D435 をマイクロスコープに装着し、オクルージョンなく術部を撮影する(図4)。そして、【方法1】と同じ手法で移動や変形する実臓器に仮想臓器を合致させる。

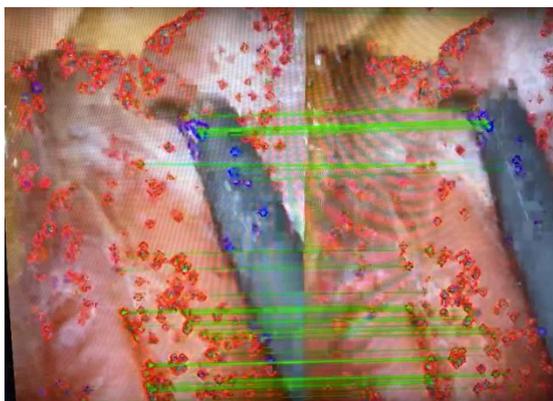


図3 SLAM で手術動画の特徴点を追従している様子.



図4 D435 をマイクロスコープに装着した様子.

COVID-19 感染症の影響より、病院への部外者の立ち入りは現在も強く制限されており、手術室において臓器ナビゲーションシステムの有効性や実用性を検証することは今後も容易ではないと判断した。そこで、本研究のエンドポイントを以下のように再設定し、DX(メタバース)で検証可能な臓器ナビゲータの4つの要素技術を仮想環境で進展させた。

#### (1) 血管回避・腫瘍摘出アルゴリズムの開発

ここでは、メスが臓器を切開する経路を計画するアルゴリズムを開発した。まず、ポテンシャル法からセンサベースナビゲーション法、さらにボクセル法を経て DICOM 画素直接法というように、メスを誘導する際に血管を避ける行動とメスを悪性腫瘍に誘導する行動が相反しないようにした。また、DICOM に撮影されている臓器・血管群・悪性腫瘍からこれらの STL 多面体を抽出する前処理をなくし、臓器ナビゲーションの利便性を高めた。

#### (2) DDT (Depth-Depth Matching) による臓器重畳追従

1. 肝臓の特徴である凹凸形状を利用することで、肝臓のトラッキング精度を大幅に向上させた。手術中の肝臓上部の複雑で非対称な形状は、肝臓の深度マッチングに重要な役割を果たす。深く切開された肝臓はマッチングの安定性に優れていることがわかった。また、実手術をオクルージョンで模擬した場合でも、重畳性能の収束安定性が向上することも確認できた。
2. 簡単で高速な画像ハッシュアルゴリズムを用いて、新しい変形推定法やその精度を向上させ、リアルタイムの肝臓変形追跡への適用を試みた。また、深度カメラから読み取った 2 次元画像に対する肝臓の変形の推定と追跡について、ディープラーニング手法をどのように利用できるかを検討した。
3. ここでは、実深度画像と仮想深度画像を用いて肝臓の位置・姿勢を推定するため、GPGPU を用いた DDT (Depth-Depth-Matching) を利用する。GPGPU を用いて DICOM から仮想深度画像を生成し、DDT で連続的に処理することで、肝臓の位置・姿勢の推定を高速化する。従来の STL 多面体を用いた手法と比較して、DICOM を直接用いた提案手法の利便性や有用性を確認した。

### (3) SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) や ICP (Iterative Closest Point) による臓器重畳追従

ここでは、カメラ映像に臓器や腫瘍、血管などの 3 次元コンピュータグラフィックスのモデルを重ね合わせる MR (Mixed Reality) に SLAM 技術を利用した。この SLAM を用いると、カメラ画像からカメラの位置と姿勢が推定できる。しかし、カメラの手ぶれや激しい動き、手術器具の反射などにより、カメラの位置・姿勢推定に誤差が生じ SLAM が失敗したりすることがあるため、ICP を用いた局所的な位置・姿勢推定も行なった。

### (4) マーカーによる実手術環境と仮想手術環境の位置と姿勢合わせ

ここでは、人工マーカーを利用して、実手術環境と仮想手術環境の位置と姿勢を合致させた。オーバーレイ画像の表示に必要なデータを取得するため、手術台と内視鏡の先端にマーカーを取り付けた。そして、内視鏡の逆端に取り付けたマーカーの位置を取得することで、手術中に内視鏡の先端が見えなくなっても、逆端のマーカーから内視鏡の先端位置を計算できるようにした。内視鏡の挙動に合わせて位置情報を常に更新することで、腫瘍と臓器の重ね合わせ画像を見ることができるようになった。

## 4. 研究成果

本研究では、臓器手術ナビゲーションを実用化させるため、以下の4項目において要素技術を開発した。

### (1) 血管回避・腫瘍摘出アルゴリズムの開発

ここでは、メスが臓器を切開する経路を計画するアルゴリズムを開発した。DICOM に撮影されている臓器・血管群・悪性腫瘍からそれらの STL 多面体を抽出する前処理をなくし、臓器手術ナビゲーションを実用化するための利便性を高めてきた。最初は、STL 多面体の臓器・血管群・悪性腫瘍を用いており、次は STL ではなくボクセルモデルで表現された臓器・血管群・悪性腫瘍を用いており、最後は DICOM をそのまま用い、臓器表面から悪性腫瘍までの血管を切らない安全な経路を求めている。

Takahiro Kunii, Miho Asano, Hiroshi Noborio: DICOM-Based Voxel-Supported Blood-Vessel-Avoiding Scalpel Navigation. HCI (2) 2022: 251-263

Takahiro Kunii, Miho Asano, Kanako Fujita, Katsunori Tachibana, Hiroshi Noborio: Comparative Study of Potential-Based and Sensor-Based Surgical Navigation in Several Liver Environments. HCI (2) 2021: 551-565

Takahiro Kunii, Miho Asano, Hiroshi Noborio: Voxel-Based Route-Search Algorithm for Tumor Navigation and Blood Vessel Avoidance. HCI (2) 2021: 566-581

Hiroshi Noborio, Kiyomi Kawai, Kaoru Watanabe, Katsunori Tachibana, Takahiro Kunii, Kiminori Mizushino: Deadlock-Free and Collision-Free Liver Surgical Navigation by Switching Potential-Based and Sensor-Based Functions. HCI (3) 2020: 604-622

### (2) DDT (Depth-Depth Matching) による臓器重畳追従

#### (2-1) 臓器の切開形状が追従精度を向上させることを確認した研究

ここでは、臓器の形状に特徴があればあるほど、仮想臓器と実臓器の追従精度が向上することを実験的に評価した。臓器としては、全く切開傷のないもの、少々切開傷のあるもの、大きな切開傷のあるものの 3 種類を用意して、仮想臓器と実臓器の追従精度を評価した。その結果、大きな傷のあるもの、少し傷のあるもの、全く傷のないものの順で追従精度が良かった。

Miho Asano, Tomohiro Kuroda, Satoshi Numata, Tuneo Jozen, Tomoki Yoshikawa, and Hiroshi Noborio, "Convergence Stability of Depth-Depth-Matching-Based Steepest Descent Method in Simulated Liver Surgery," International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences, 10(2), pp. 60-67, 2021.

Hiroshi Noborio, Katsuhiko Onishi, Masanao Koeda, Kaoru Watanabe, and Miho Asano, "Depth-Depth Matching of Virtual and Real Images for a Surgical Navigation System," International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences, 10(2), pp. 40-48, April 2021.

Miho Asano, Tomohiro Kuroda, Satoshi Numata, Tsunao Jozen, Tomoki Yoshikawa, Hiroshi Noborio: Stability Maintenance of Depth-Depth Matching of Steepest Descent Method Using an Incision Shape of an Occluded Organ. HCI (3) 2020: 539-555

(2-2) ハッシュ法に基づく DDM 計算量低減による肝臓追従アルゴリズムのリアルタイム化

ここでは、画像を構成する全画素を対象として、仮想と現実の臓器の距離差の総和を指標に仮想臓器と実臓器のオーバーレイを探索するのではなく、ハッシュ法により効率的に画素を選択し、その距離差の総和を指標として、仮想臓器と実臓器のオーバーレイを探索した。この方法より、仮想臓器と実臓器のオーバーレイが高速に発見できるので、手術ナビゲータのリアルタイム性が向上する。

Satoshi Numata, Masanao Koeda, Katsuhiko Onishi, Kaoru Watanabe, Hiroshi Noborio: Investigation of the Hashing Algorithm Extension of Depth Image Matching for Liver Surgery. HCI (2) 2021: 615-624

Satoshi Numata, Masanao Koeda, Katsuhiko Onishi, Kaoru Watanabe, Hiroshi Noborio: A Hashing Algorithm of Depth Image Matching for Liver Surgery. HCI (1) 2020: 625-634

(2-3) STL に変換せず DICOM を直接利用して DDP を実施するアルゴリズムの提案

ここでは、DICOM 内の臓器、および血管群や悪性腫瘍の領域をセグメンテーションし、それらの領域を STL 多面体で表現するという前処理を省き、DICOM を直接利用して仮想臓器と実臓器のマッチングを DDT で実施した。

Daiki Yano, Masanao Koeda, Hiroshi Noborio, Katsuhiko Onishi: Evaluation of Depth-Depth-Matching Speed of Depth Image Generated from DICOM by GPGPU. HCI (2) 2021: 644-655

(3) SLAM (SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)) による臓器臓器重畳追従

ここでは、SLAM を利用して現実の臓器やメスの動きを検出し、それらのベクトルを用いて仮想と現実の臓器を重畳させる。このとき、カメラの手ぶれや激しい動き、手術器具の反射などにより、カメラの位置・姿勢推定に誤差が生じ、SLAM が失敗することがあるため、仮想臓器と現実臓器の点群に対し ICP (Iterative Closest Point) を用いた局所的な位置・姿勢推定を行なっている。

Masanao Koeda, Naoya Maeda, Akihiro Hamada, Atsuro Sawada, Toshihiro Magaribuchi, Osamu Ogawa, Katsuhiko Onishi, Hiroshi Noborio: Position and Orientation Registration of Intra-abdominal Point Cloud Generated from Stereo Endoscopic Images and Organ 3D Model Using Open3D. HCI (2) 2022: 52-65

Masanao Koeda, Akihiro Hamada, Atsuro Sawada, Katsuhiko Onishi, Hiroshi Noborio, Osamu Ogawa: VR-Based Surgery Navigation System with 3D User Interface for Robot-Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy. HCI (2) 2021: 538-550

(4) マーカーによる実手術環境と仮想手術環境の位置と姿勢合わせ

ここでは、手術中の腫瘍の位置を把握させることで経蝶形骨手術を支援するシステムを提案した。経蝶形骨手術では、内視鏡画像を見ながら手術の状況を把握する必要があり、腫瘍や臓器の位置を把握することは、他の一般的な手術に比べて困難である。本システムでは、患者の術前 MRI 画像をもとに 3 次元モデルを作成し、リアルタイムに重ね合わせ画像を提示し、術者に術野周辺の状況を把握させている。

Katsuhiko Onishi, Seiyu Fumiya, Masahiro Nonaka, Masanao Koeda, Hiroshi Noborio: Study on the Image Overlay Approach to AR Navigation System for Transsphenoidal Surgery. HCI (2) 2021: 625-643

Katsuhiko Onishi, Seiyu Fumiya, Yohei Miki, Masahiro Nonaka, Masanao Koeda, Hiroshi Noborio: Study on the Development of Augmented-Reality Navigation System for Transsphenoidal Surgery. HCI (3) 2020: 623-638

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Koeda Masanao, Maeda Naoya, Hamada Akihiro, Sawada Atsuro, Magaribuchi Toshihiro, Ogawa Osamu, Onishi Katsuhiko, Noborio Hiroshi	4. 巻 13303
2. 論文標題 Position and Orientation Registration of Intra-abdominal Point Cloud Generated from Stereo Endoscopic Images and Organ 3D Model Using Open3D	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing	6. 最初と最後の頁 52 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-05409-9_5	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 Mori Takumi, Nonaka Masahiro, Kunii Takahiro, Koeda Masanao, Watanabe Kaoru, Noborio Hiroshi	4. 巻 13303
2. 論文標題 Algorithm for Automatic Brain-Shift Detection Using the Distance Between Feature Descriptors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing	6. 最初と最後の頁 376 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-05409-9_29	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 Mori Takumi, Nonaka Masahiro, Kunii Takahiro, Koeda Masanao, Noborio Hiroshi	4. 巻 13303
2. 論文標題 Development of an Algorithm to Artificially Create Virtual Brain Deformations for Brain DICOM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing	6. 最初と最後の頁 388 ~ 402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-05409-9_30	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 Kunii Takahiro, Asano Miho, Noborio Hiroshi	4. 巻 13303
2. 論文標題 DICOM-Based Voxel-Supported Blood-Vessel-Avoiding Scalpel Navigation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing	6. 最初と最後の頁 251 ~ 263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-05409-9_19	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 Miho Asano, Tomohiro Kuroda, Satoshi Numata, Tuneso Jozen, Tomoki Yoshikawa, and Hiroshi Noborio	4. 巻 vol. 10
2. 論文標題 Convergence Stability of Depth-Depth-Matching-Based Steepest Descent Method in Simulated Liver Surgery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 60-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18178/ijpmb.10.2.60-67	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 Hiroshi Noborio, Katsuhiko Onishi, Masanao Koeda, Kaoru Watanabe, and Miho Asano	4. 巻 vol. 10
2. 論文標題 Depth-Depth Matching of Virtual and Real Images for a Surgical Navigation System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 40-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18178/ijpmb.10.2.40-48	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 Takahiro Kunii, Miho Asano, Kanako Fujita, Katsunori Tachibana, Hiroshi Noborio	4. 巻 vol.12763
2. 論文標題 Comparative Study of Potential-Based and Sensor-Based Surgical Navigation in Several Liver Environments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing	6. 最初と最後の頁 551-565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-78465-2_40	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 Ayuki Joto, Takahiro Fuchi, Hiroshi Noborio, Katsuhiko Onishi, Masahiro Nonaka, Tsuneo Jozen	4. 巻 vol.12763
2. 論文標題 Construction of a Knowledge Base for Empirical Knowledge in Neurosurgery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing	6. 最初と最後の頁 521-537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-78465-2_38	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 Takahiro Kunii, Miho Asano, Hiroshi Noborio	4. 巻 vol.12763
2. 論文標題 Voxel-Based Route-Search Algorithm for Tumor Navigation and Blood Vessel Avoidance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing	6. 最初と最後の頁 566-581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-78465-2_41	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 Hamada Akihiro, Sawada Atsuro, Kono Jin, Koeda Masanao, Onishi Katsuhiko, Kobayashi Takashi, Yamasaki Toshinari, Inoue Takahiro, Noborio Hiroshi, Ogawa Osamu	4. 巻 12182
2. 論文標題 The Current Status and Challenges in Augmented-Reality Navigation System for Robot-Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, Springer	6. 最初と最後の頁 620 ~ 629
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49062-1_42	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 Onishi Katsuhiko, Fumiya Seiyu, Miki Yohei, Nonaka Masahiro, Koeda Masanao, Noborio Hiroshi	4. 巻 12183
2. 論文標題 Study on the Development of Augmented-Reality Navigation System for Transsphenoidal Surgery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, Springer	6. 最初と最後の頁 623 ~ 638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49065-2_43	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 Numata Satoshi, Koeda Masanao, Onishi Katsuhiko, Watanabe Kaoru, Noborio Hiroshi	4. 巻 12181
2. 論文標題 A Hashing Algorithm of Depth Image Matching for Liver Surgery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, Springer	6. 最初と最後の頁 625 ~ 634
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49059-1_46	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 Asano Miho, Kuroda Tomohiro, Numata Satoshi, Jozen Tsuneo, Yoshikawa Tomoki, Noborio Hiroshi	4. 巻 12183
2. 論文標題 Stability Maintenance of Depth-Depth Matching of Steepest Descent Method Using an Incision Shape of an Occluded Organ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, Springer	6. 最初と最後の頁 539 ~ 555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49065-2_38	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 Noborio Hiroshi, Kawai Kiyomi, Watanabe Kaoru, Tachibana Katsunori, Kunii Takahiro, Mizushino Kiminori	4. 巻 12183
2. 論文標題 Deadlock-Free and Collision-Free Liver Surgical Navigation by Switching Potential-Based and Sensor-Based Functions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science, Springer	6. 最初と最後の頁 604 ~ 622
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49065-2_42	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2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 黒木 悠矢, 円藤 祐太郎, 小枝 正直, 大西 克彦, 登尾 啓史
2. 発表標題 断層画像群から生成したボクセルに基づく手術シミュレータ
3. 学会等名 第85回情報処理学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上東 亜佑稀, 淵 崇洋, 大西 克彦, 上善 恒雄
2. 発表標題 脳神経外科手術を支援する知見の蓄積と利用のためのインタフェースの検討
3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会予稿集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

登尾研究室 バーチャルリアリティ  
http://noblab.jp/  
教員情報データベース  
https://research.osakac.ac.jp/index.php?E7%99%BB%E5%B0%BE%E3%80%80%E5%95%93%E5%8F%B2

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
研究分担者	小枝 正直  (Koeda Masanao)  (10411232)	岡山県立大学・情報工学部・准教授   (25301)	
研究分担者	大西 克彦  (Onishi Katsuhiko)  (20359855)	大阪電気通信大学・総合情報学部・教授   (34412)	
研究分担者	埜中 正博  (Nonaka Masahiro)  (90577462)	関西医科大学・医学部・教授   (34417)	
研究分担者	上善 恒雄  (Jozen Tsuneo)  (70388396)	大阪電気通信大学・総合情報学部・教授   (34412)	
研究分担者	橘 克典  (Tachibana Katsunori)  (40516689)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・准教授   (34412)	

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
研究分担者	朝野 美穂  (Asano Miho)  (60964062)	大阪国際大学短期大学部・その他部局等・講師    (44426)	

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