

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12053

研究課題名（和文）術前術後DICOMでの3次元特徴点マッピングによるブレインシフトモデリング

研究課題名（英文）Brain-shift modeling with 3D feature point mapping in preoperative and postoperative DICOM

研究代表者

渡邊 郁（Watanabe, Kaoru）

大阪電気通信大学・総合情報学部・教授

研究者番号：50298832

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）：術前術後のDICOMにおいて3D特徴点やその対応を抽出し、術中に発生するブレインシフトを正確に検知できるソフトウェアを構築した。CTとMRIが得意とするDICOM領域から教師付き機械学習で苦手とする領域の抽出およびそれらの重畳、術前術後MRI-DICOMにおける3D特徴点マッピングによるブレインシフトの検出などの自動化が達成された。一方、研究当初から新型コロナウイルス感染症が発生し、大学や病院が長くにわたりロックアウトされた。このことから、本研究では、このようなDX化も研究に取り入れ、外科手術メタバース空間を構築し、そのもとで医師が遠隔で外科手術のカンファレンスできる研究を加えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

病院では、多数のDICOMがCTやMRIで撮像・保存されている。そこで、CTやMRIが個々に得意な領域（悪性腫瘍・骨・動脈瘤・神経・血管など）を撮像したDICOMを重畳させる。次に、術前術後のDICOMペア間で3D特徴点マッピングを抽出する。これより、外科手術ナビゲーションにおいて医師に術中の臓器変形が提示できる可能性が開ける。医師は患者の手術が正確に実施でき、患者の術後の生活の質を高めることができる。また、新型コロナウイルス感染症よりDXの重要性が認識された。そこで、CTやMRI由来のDICOMを合し、それを遠隔カンファレンスで医師が利用できるような外科手術用のメタバース空間を構築した。

研究成果の概要（英文）：We constructed software to detect intraoperative brain shift with high accuracy by extracting 3D feature points and their corresponding points from preoperative and postoperative DICOM data. The software automatically detects intraoperative brain shift by extracting areas where CT and MRI are poor at using supervised machine learning and superimposing the corresponding 3D feature points from pre- and postoperative DICOM data. Also, a new type of coronavirus infection occurred at the beginning of the research, causing the university and hospital to be closed for an extended period of time. A new type of coronavirus infection occurred at the beginning of the study, causing the university and hospital to be closed for an extended period of time. In other words, what had previously been done in person could now only be done remotely. In this study, such medical DX was also incorporated into the research, creating a surgical metaverse space where doctors could also gather remotely.

研究分野：医工情報学

キーワード：ブレインシフト 臓器変形 OpenCV 特徴点 メタバース空間

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般に、病院では、多数の DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medicine) が CT や MRI で撮像・保存されている。そこで、CT や MRI が個々に得意な領域 (悪性腫瘍・骨・動脈瘤・神経・血管など) を重畳させる。そして、それを医師がメタバース空間で自由に視察したり、簡単な手術が実施できるようにしたりする。このメタバース空間は、遠隔で複数の医師がカンファレンスするのに供される。次に、術前術後の DICOM ペア間で 3D 特徴点マッピングを抽出する。そして、術中のブレインシフトを高精度で抽出する。また、この臓器変形を外科手術ナビゲーションにおいて医師に提示する。この結果、患者の手術が正確に実施でき、患者の術後の生活の質を高めることができる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、術前術後の DICOM において 3D 特徴点やその対応を抽出し、術中に発生するブレインシフトを正確に検知することである。この学術的独創性と創造性は、CT と MRI が得意とする DICOM 領域から教師付き機械学習で苦手とする領域の抽出、それらの重畳と重畳したツイン DICOM に基づくメタバース空間の構築、およびそのメタバース空間を複数医師による遠隔手術カンファレンスで利用すること、そして術前術後 DICOM ペアに対して 3D 特徴点マッピングを施しブレインシフトを検出することなどである。

3. 研究の方法

(1) ブレインシフトの抽出：まず、関西医大枚方病院の埜中教授 (研究分担者) が術前術後 DICOM を撮影し、15 名ほどの患者症例が獲得できた。次に、立命館大学の陳教授 (研究分担者) がそれらの DICOM ペアを正規化 (位置姿勢スケール合わせ) した。ここでは、前処理として、2D dicom slice を 3D image (nifti file) を保存する。そして、Pixel value cropping より正規化する。続いて、MATLAB の imregister 関数で 3D rigid registration (affine 変換) を行う。最後に、Python を利用し、深層学習手法 (Voxel Morph[1]) で 3D non-rigid registration を行う。これは、CT や MRI の明瞭領域データを教師として CT や MRI の DICOM を強化学習し、正確に領域分割 (濃淡値の正規化・明瞭化) する。また、3D Slicer で手術前後の領域分割した MR DICOM の大きさ・位置姿勢を合わせる。

さらに、ブレインシフトの答えを作成するため、大阪電気通信大学の登尾教授が患者術前 DICOM において人工的にブレインシフトを生成するアルゴリズム・ソフトウェアを構築し、それをを用いて人工的な患者術後 DICOM を創出した。そして、大阪電気通信大学の渡辺教授 (研究代表者) が、ロウデータ DICOM の大きさ・位置・姿勢を合わせたのち、手術前後 DICOM において、OpenCV の特徴点抽出アルゴリズム (初期パラメータ) ORB、SIFT、BRISK、AKAZE などを用いて、どのアルゴリズムが人工ブレインシフトを正確に抽出するかを比較した。この結果、特徴点抽出アルゴリズム BRISK と AKAZE が高精度で人工ブレインシフトを抽出できることがわかったので、それらのアルゴリズムのパラメータをランダムに探索し、それらを高精度で人工ブレインシフトを抽出できるアルゴリズムに仕立てた。

(2) 臓器変形モデルの構築、およびその手術ナビゲーションへの融合：まず、ブレインシフトを検出した後の処理として、ブレインシフトが存在する仮想脳のモデルを作成する。ここでは、脳に限定することなく、すべての臓器 (腎臓や肝臓など) にも対応できるモデルを大阪電気通信大学の沼田准教授 (研究分担者) が作成し、多くの患者データを有する肝臓研究でその変形可動性を評価した。次に、大阪電気通信大学の上善教授 (研究分担者) らは、実際の術中臓器とブレインシフトが表現できる仮想臓器の重畳のため、それらの表面を深度カメラで計測し、その深度画像を合致させることで実臓器と仮想臓器の位置・姿勢を常時一致させる臓器追従アルゴリズムを作成した。最後に、臓器内において血管群を回避し悪性腫瘍にメスを到達させる経路を自動選択するアルゴリズムを提案した。それらでは、臓器 DICOM において領域分割やその多面体変換を省き、DICOM (ボクセルモデル) をそのまま利用してメス誘導経路を導出できるようにした。

(3) 外科手術のメタバース空間での体験：まず、CT や MRI で撮像した DICOM ペアを重畳させて硬組織と軟組織を両方同時に視察できる臓器メタバースシステムを製作した。そこでは、それを遠隔で同時に複数の医師がカンファレンスで利用し、実際に頭蓋骨を切開してどのような内部が展開されているかを手術感覚で体感できる。また、大阪電気通信大学の上善教授 (研

究分担者)らより、脳部位を指し示すとそこで医師が知っておく必要がある術式やその注意事

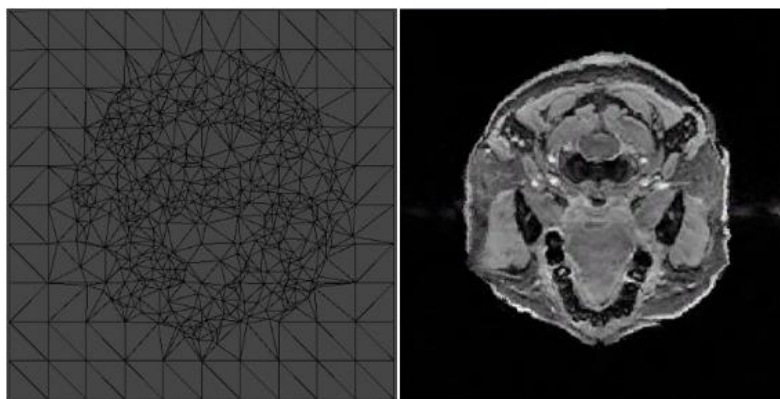


図1 特徴点に基づいたドロネー三角形分割による力伝搬グラフ。

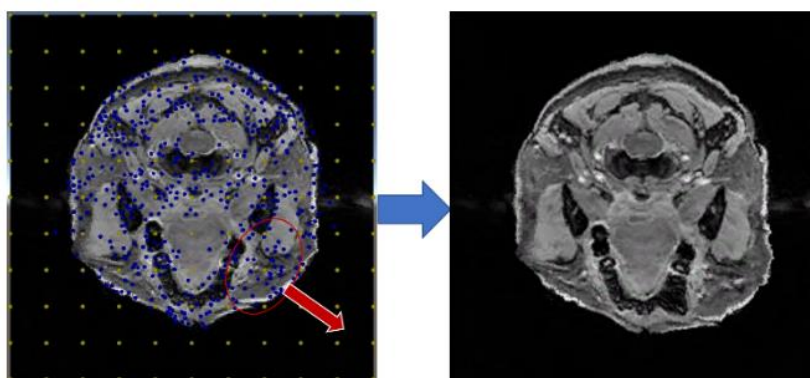


図2 力伝搬グラフを用いて生成された人工ブレインシフトの例。

項などがリアルタイム提示できる外科手術データベースシステムも製作した。さらに、そのメタバース空間の発展形として、術後せん妄を看護師や看護学生が体感できるシステムを開発した。これは、看護学生や看護師の患者への寄り添い教育に役立っている。

4. 研究成果

まず、ある患者DICOM 上に特徴点に基づくドロネー三角形分割を作成し、それを力伝搬グラフとして利用した(図1)。例えば、右下の特徴点を右左下に引っ張り、その点につながる点やその周囲のDICOM 画素を移動させ、人工ブレインシフトを作成した(図2)。そして、変形前のDICOM を手術前、変形後のDICOM を手術後と見立て、患者術前術後DICOM ペアにおいて、OPENCV の特徴点抽出アルゴリズム(初期パラメータと準最適化パラメータを利用)ORB, SIFT, BRISK, AKAZE より答えと推定の特徴点を比較して、どのアルゴリズムが人工的に作成したブレインシフトを正確に抽出するかを調べたのが表1 である。

この結果、アルゴリズムBRISK とAKAZE が高精度で人工ブレインシフトを抽出することがわかった。ここで、図3と4に答えの特徴点(赤クロス)と推定の特徴点(緑バツ)を描出した結果を示した。答えの特徴点(赤クロス)に推定の特徴点(緑バツ)がオーバーラップすると、答えの特徴点(赤クロス)が消えるのでより良好な結果だと言える。また、図5と6に答えのブレインシフト(大きさは色で表示)と推定のブレインシフトを描出した結果を示した。それらはほとんど一致しており、準最適パラメータによる特徴点抽出アルゴリズムBRISK とAKAZE は高いブレインシフト抽出能力を持っていることがわかる。

また、CTやMRIで撮像したDICOMペアを重畳させて硬組織と軟組織を両方同時に視察できる臓器メタバースシステムを製作した。そこでは、それを遠隔で同時に複数の医師がカンファレンスし、実際に切開してどのように臓器が展開されていくのかを体感できる(図7)。

表 1 初期パラメータと準最適化パラメータを用いたアルゴリズム ORB, SIFT, BRISK, AKAZE の答えの特徴点と推測の特徴点の距離 (誤差)

Name	Maximum error [mm]	False positive rate [%]
AKAZE initial value	21	0
AKAZE optimized value	14	0.7374631
BRISK initial value	17	0
BRISK optimized value	8	2.726796
ORB initial value	43	0
ORB optimized value	37	0
SIFT	22-	0-

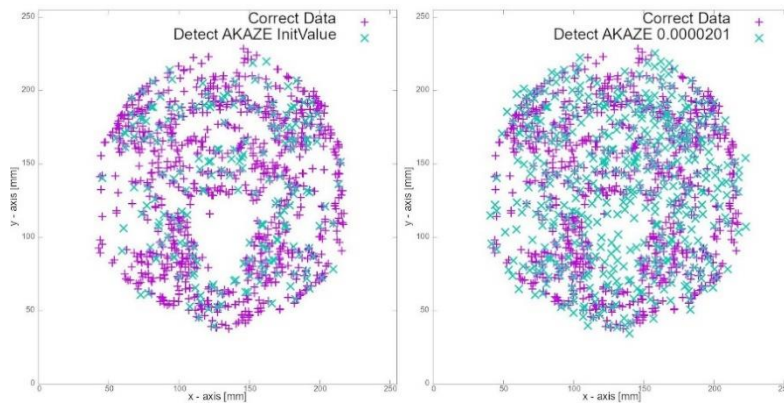


図 3 AKAZE における初期パラメータ結果(左)と準最適化パラメータ結果 (右).

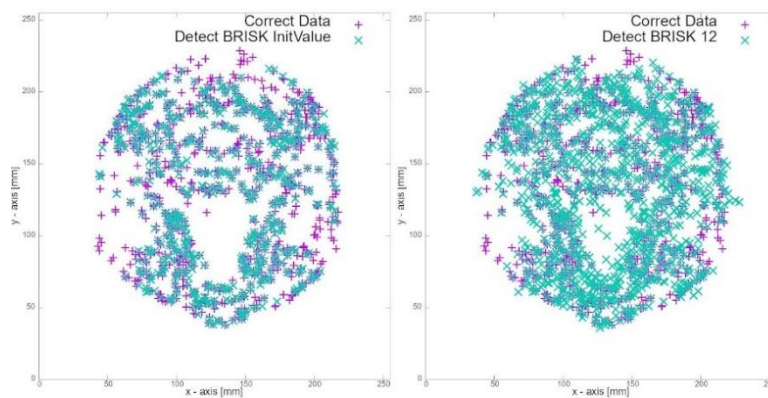


図 4 BRISK における初期パラメータ結果(左)と準最適化パラメータ結果 (右).

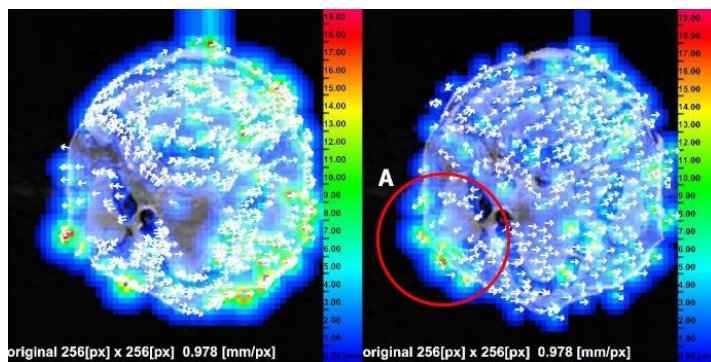


図5 真のブレインシフト（大きさは色で表示）（左）と AKAZE が推定したブレインシフト（右）.

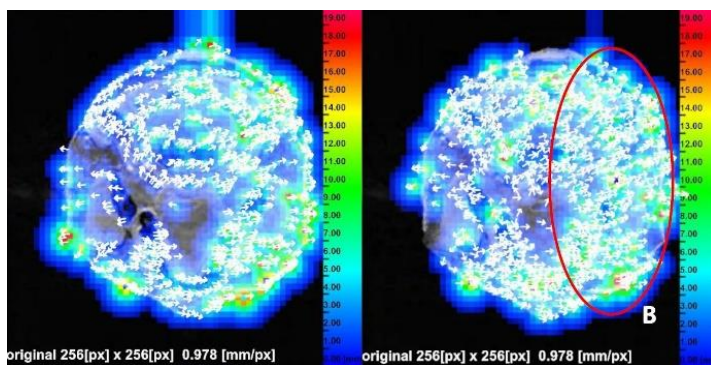


図6 真のブレインシフト（大きさは色で表示）（左）と BRISK が推定したブレインシフト（右）.



図7 HMDで頭蓋骨を3D体感（左）と頭蓋骨に穴をあけてCTやMRIで撮像したDICOMペアで表現された脳内部を閲覧（右）.

〈参考文献〉

[1] Balakrishnan, G., Zhao, A., Sabuncu, M. R., Gutttag, J., & Dalca, A. V. (2019). VoxelMorph: a learning framework for deformable medical image registration. IEEE transactions on medical imaging, 38(8), 1788-1800.

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 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 In. Kurosu M. (eds) Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2022, LNCS	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 Takahiro Kunii, Kaoru Watanabe, Michiru Mizoguchi, Hiroshi Noborio	4. 巻 14013
2. 論文標題 System to Check Organs, Malignant Tumors, Blood Vessel Groups, and Scalpel Paths in DICOM with a 3D Stereo Immersive Sensory HMD	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 In. Kurosu M. (eds) Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2023, LNCS	6. 最初と最後の頁 431-449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-35602-5_31	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 In. Kurosu M. (eds) Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Novel Applications. HCII 2022, LNCS	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 Satoshi Numata, Masanao Koeda, Katsuhiko Onishi, Kaoru Watanabe, Hiroshi Noborio	4. 巻 12763
2. 論文標題 Investigation of the Hashing Algorithm Extension of Depth Image Matching for Liver Surgery	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 615-624
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_44	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 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 -

1. 著者名 Kaoru Watanabe, Takumi Mori, Hiroshi Noborio, and Masanao Koeda	4. 巻 13
2. 論文標題 Comparison of Four Automatic Detection Algorithm with Initial Parameters for DICOM Artificial Brain Shift	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences	6. 最初と最後の頁 in press
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kaoru Watanabe, Hiroshi Noborio, Masanao Koeda	4. 巻 1
2. 論文標題 Parameter Tuning in Automatic Detection Algorithm for Detecting Artificial Brain Shift	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 2024 6th International Conference on Intelligent Medicine and Image Processing	6. 最初と最後の頁 in press
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 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 Miho Asano, Tomohiro Kuroda, Satoshi Numata, Tuneo Jozen, Tomoki Yoshikawa, and Hiroshi Noborio	4. 巻 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 Asano M., Kuroda T., Numata S., Jozen T., Yoshikawa T., Noborio H.	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 HCI 2020, Lecture Notes in Computer Science	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 Takahiro Kunii, Masahiro Nonaka, Hiroshi Noborio	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 HCI 2022, Lecture Notes in Computer Science	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 Ayuki Joto, Takahiro Fuchi, Hiroshi Noborio, Katsuhiko Onishi, Masahiro Nonaka, Tsuneo Jozen	4. 巻 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 HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science	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 Junpei Matsuura, Takahiro Kunii, Hiroshi Noborio, Kaoru Watanabe, Katsuhiko Onishi, Hideo Nakamura	4. 巻 12763
2. 論文標題 Development of a VR/HMD System for Simulating Several Scenarios of Post-Operative Delirium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 HCII 2021. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 582-600
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_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0件

〔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
研究分担者	沼田 哲史 (Numata Satoshi) (20411481)	大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授 (34412)	
研究分担者	陳 延偉 (Chen Yen Wei) (60236841)	立命館大学・情報理工学部・教授 (34315)	
研究分担者	上善 恒雄 (Jozen Tuneo) (70388396)	大阪電気通信大学・総合情報学部・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	桗中 正博 (Nonaka Masahiro) (90577462)	関西医科大学・医学部・教授 (34417)	

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