

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04309

研究課題名(和文)機能性流体による力学的脳組織模擬における流動現象の解明と手術シミュレータへの展開

研究課題名(英文)Analysis of flow of smart fluid for imitating brain tissues mechanically and its application to the surgical simulators

研究代表者

辻田 哲平(Tsujita, Teppei)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・システム工学群・准教授

研究者番号：40554473

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文):機能性流体とは外場を変化させることで諸機能を発する流体であり、この機能性流体の一種であるMR(Magnetorheological)流体を脳組織に見立て、直接切断・圧排等の操作を行うことで、術具の交換が容易であり、微細な力触覚を提示可能な手術シミュレータ用力触覚提示装置を開発した。また、MR流体の切断・圧排は従来にない流れモードでの利用であり、その流動現象は解明されていない。このため任意形状の術具に対する抵抗力を予測できず、経験的な設計に頼っていた。そこで抵抗力発生メカニズムを明らかにし、発生抵抗力を予測可能な数値シミュレータの基礎検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療現場では、手術計画の検討や技術向上のために力覚提示装置を有した手術シミュレータの実現に期待が寄せられている。手術は様々な術具を交換しながら行われ、シミュレータにおいても実物と同形の術具を脱着可能とし、様々な術具を介した力覚を提示することで臨場感が増す。しかし、様々な術具を容易に交換可能な手術シミュレータは実用化されていない。そこで、印可磁場強度により降伏せん断力を制御可能な機能性流体であるMR(Magnetorheological)流体を生体組織に見立て術具で切断等の操作を行う装置を提案し、この装置開発に不可欠な流体切断時の流れの解析や数値シミュレーションによる切断力の予測などを行った。

研究成果の概要(英文):The smart fluid is a fluid that can show various functions by changing the external field, and MR (Magnetorheological) fluid is a kind of this smart fluid. MR fluid can behave a brain tissue, and operators can carry out surgical operations such as cutting and retraction it directly. Based on this idea, a haptic interface for the surgical simulator which can display minute force has been developed.

In addition, cutting or retracting of the MR fluid is a new usage of the fluid and the flow mode had not been analyzed until now, and the flow phenomenon has not been clarified. Therefore, the resistance force for the surgical tool of the arbitrary shape could not be estimated, and it was impossible to design the haptic interface based on a model. Then, the resistance force generation mechanism was clarified, and the basic verification of the numerical simulator which could estimate the generated resistance force was carried out.

研究分野：ロボット工学

キーワード：機能性流体 力覚提示装置 ハプティックインタフェース 手術シミュレータ MR流体

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

医療現場では、手術計画の検討や技術向上のために力覚提示装置を有した手術シミュレータの実現に期待が寄せられている。手術は様々な術具を交換しながら行われ、シミュレータにおいても実物と同形の術具を脱着可能とし、様々な術具を介した力覚を提示することで臨場感が増す。特に脳外科手術においては、脳組織圧迫に伴う正常な脳細胞の破壊を回避しつつ、病変の剥離・切除等の繊細な手技を行う必要があり、力覚情報の提示が重要である。しかし、様々な術具を容易に交換可能な脳外科手術シミュレータは実用化されていない。

先行研究では、モータ駆動の力覚提示装置に機械的に術具を固定している例[1][2]があるが、着脱に手間がかかり現実感を損なう。そこで、研究代表者らは、印可磁場強度により降伏せん断力を制御可能な機能性流体であるMR (Magnetorheological) 流体[3]を生体組織に見立て術具で切断等の操作を行う手法を提案している。MR 流体は強磁性体微粒子とオイルなどの分散媒からなる懸濁液で、磁場を印可すると粒子が鎖状のクラスタ(架橋構造)を形成する。提案手法はこの鎖状クラスタを術具で切断する革新的手段である。術具の交換が容易であり、術具と流体が接触していない時の拘束感が無い利点を持つ。しかし、術具形状と抵抗力の関係が不明であり、経験的な設計法しかなく普遍性に乏しかった。

2. 研究の目的

機能性流体とは外場を変化させることで諸機能を発する流体であり、仮想現実感を提示するための新世代材料として期待されている。この機能性流体の一種であるMR (Magnetorheological) 流体を脳組織に見立て、直接切断等の操作を行うことで、術具の交換が容易であり、微細な力覚を提示可能な手術シミュレータ用力覚提示装置が実現できる。MR 流体の切断は従来にない流れモードでの利用であり、その流動現象は解明されていない。このため任意形状の術具に対する抵抗力を予測できず、実用的な術具には対応不可能であった。そこで抵抗力発生メカニズムを明らかにし、任意形状の物体を介した力覚提示手法と提示装置の理論的設計手法を確立することが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

MR 流体は、強磁性体粒子が分散媒中に存在する固液二相流として見なすことができ、術具側面と粒子の滑りや切断面と粒子の衝突などの現象を混相流の壁境界問題として捉えられる。混相流中の粒子挙動の計算は離散要素法 (DEM) を用いることができ、DEM では粒子にかかる力の総和を求め、粒子運動を計算する。DEM によって術具と接触した粒子すべての力を計算し、その合力を求めることで、術具にかかる抵抗力を計算によって算出する。このDEM によるシミュレーションの妥当性を検証するために、実際にMR 流体を切断した際の抵抗力や、顕微鏡を用いた粒子挙動の可視化結果と比較する。また、従来は主にナイフを対象とした力制御則を開発してきたが、任意形状の術具に対応した力覚提示制御則を開発するために、板状の脳ベラによって柔軟物体を圧排した際の反力提示を試みる。

4. 研究成果

DEM による切断力計算シミュレーションの研究成果を第4.1章に、脳ベラを介した柔軟物体圧排感覚提示の研究成果を第4.2章に示す。

4.1 DEM による切断力計算シミュレーション

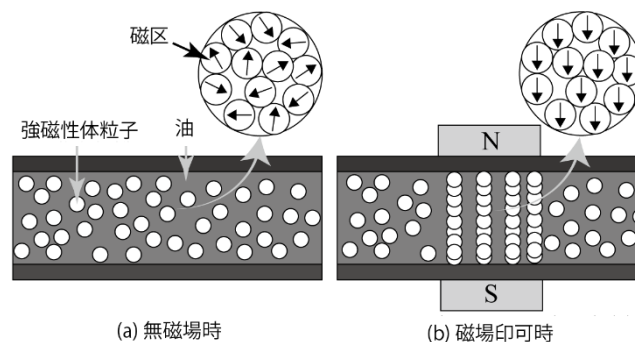


図1 MR 流体のクラスタ形成について

MR 流体とは、シリコンオイルなどの油に直径数 μm の強磁性体粒子を分散させた機能性流体である。この流体に磁場を印可すると、図 1 に示すように強磁性体粒子が鎖状クラスタを形成し、これにより MR 流体の見かけの粘度が変化する。この特性を利用して、MR 流体の見かけの粘度を電磁石により制御し、それをメスで切断することで、生体組織の切断感覚の提示を行う。

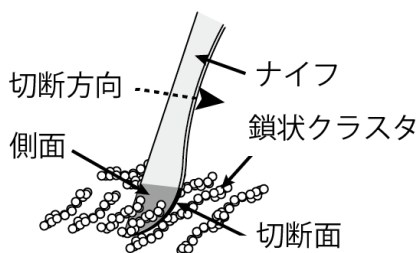


図 2 MR 流体切断時に発生する「切断流れモード」

本研究では、図 2 に示すような、メスの切断面に加わる力の構造を切断流れモードと呼称し、その解析のために DEM を用いたシミュレーションの構築を行った。そして、MR 流体の可視化実験を行い、PIV(Particle Image Velocimetry)解析を用いることでシミュレーションの妥当性を検証した。

離散要素法とは、粒子解析手法の一つで、解析の対象を自由に運動できる多角形や球、円型を要素の集合体としてモデル化し、要素間の接触を考慮して、それぞれの要素の運動をニュートンの第二法則にもとづいて逐次計算、追跡することで解析する手法である。本研究では、図 3 に示すように MR 流体の強磁性体粒子を球型でモデル化した。

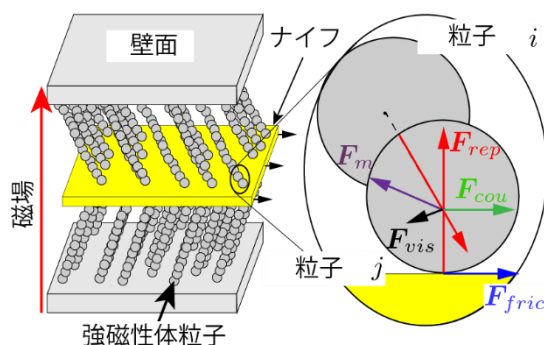


図 3 粒子に働く力のモデル化

また、本研究では、以下の五つの力が粒子に働くとしてモデル化し、これらの合力を元に、粒子の運動方程式を解き、粒子の運動を計算した。

1. 磁場下で粒子に作用する力
2. 粒子と刃，粒子と壁面，粒子同士の接触力
3. 粘性抵抗
4. 流れ場による力
5. 粒子と板との摩擦力

この離散要素法に基づいたシミュレーションの妥当性を可視化実験により検証するために、MR 流体を切断する装置と微小な鎖状クラスタを撮影する装置を開発した。図 4(a)に開発した MR 流体切断装置を示す。ラックアンドピニオンとモータを用いて刃を等速に動かす。ラックには刃が固定されており、モータを動作させると、図 4(b)に示すように、刃が土台に固定された容器内の MR 流体を切断する。そして、切断時の MR 流体の様子をデジタルマイクروسコープで撮影した。この可視化実験で得られた画像データに MATLAB ソフトの PIVlab [4]を用いて流れ場を評価した。本実験では PIV 手法の中で最も一般的な DCC 法を用いる。DCC 法は時間差撮影された 2 枚の粒子画像から計測点を中心に $m \times n$ の小窓画像を切り出し、その画像の類似度を示す相互相関関数が最大になる小窓の位置差から平均移動量を算出する手法である。

本実験では、まず刃を x 軸方向に $80 [\mu\text{m}]$ ずつ移動させ、刃先が可視化画像の中心まで進んだら、次に刃を $-x$ 方向に $80 [\mu\text{m}]$ ずつ移動させていく。刃の挿入時と引き抜き時の鎖状クラスタ

タの様子を撮影し、PIV 解析を行った画像をシミュレーション結果と比較した.

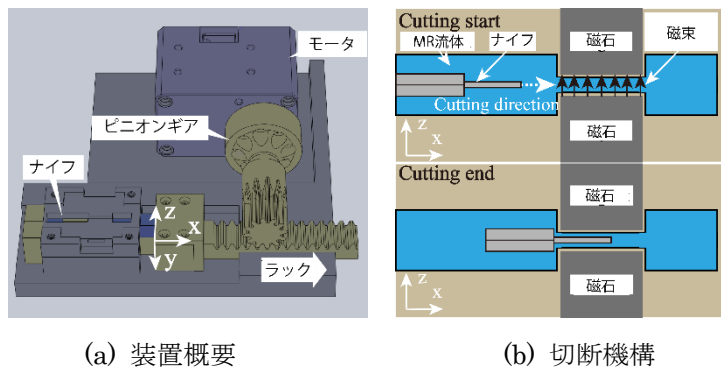
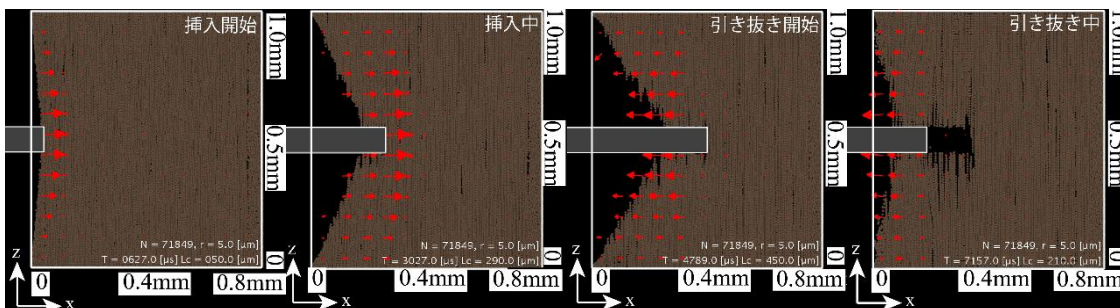


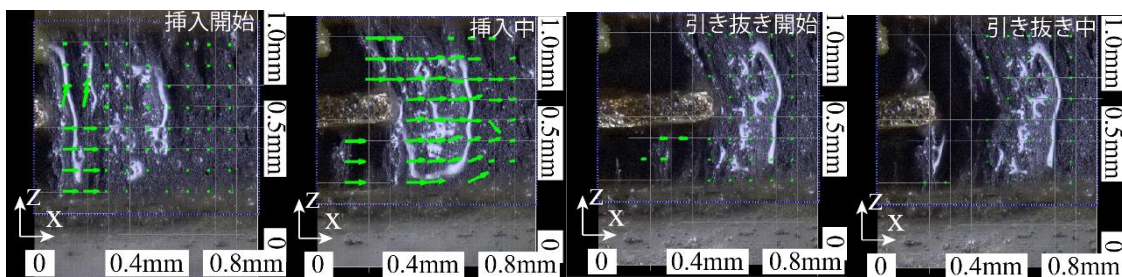
図 4 切断流れ可視化装置

図 5 に刃を模した平板を挿入した後、引き抜いた際の DEM シミュレーション結果(平板挿入量 $x = 0, 0.24, 0.40, 0.16$ [mm])を示す. また、図 6 に顕微鏡で観察した実際の MR 流体の切断の様子を示す.



(a) $x=0$ mm (b) $x=0.24$ mm (c) $x=0.40$ mm (d) $x=0.16$ mm

図 5 切断シミュレーション結果



(a) $x=0$ mm (b) $x=0.24$ mm (c) $x=0.40$ mm (d) $x=0.16$ mm

図 6 実際の MR 流体の切断の様子

図 5(a)-(b)と図 6(a)-(b)を見ると、どちらの結果においても刃挿入時の流速ベクトルが刃の挿入方向に一致しており、強磁性体粒子の大局的な挙動も一致していることが分かる. 次に、図 5(c)-(d)と図 6(c)-(d)を見ると、刃を引き抜くと鎖状クラスタに刃跡を残すという点では似た挙動を示していることが確認できた. その一方で、可視化結果では刃を引き抜いても鎖状クラスタが動かないといった問題も明らかとなり、今後、DEM シミュレーションのさらなる精度向上が必要である.

4. 2 脳ペラを介した力覚提示実験

MR 流体の弾性域は小さく、MR 流体だけでは生体軟組織の大変形を提示することは難しかった. そこで、モーションテーブルと呼ぶサーボモータで駆動される MR 流体を入れた容器を運動させる装置を用いてきた. しかし、これまで開発してきた装置は大型であるため、可搬性に欠け、高

価であった。そこで、図7に示す低価格なスマートアクチュエータを使用し、デルタ機構で三自由度の並進運動を可能なテーブルを開発した。

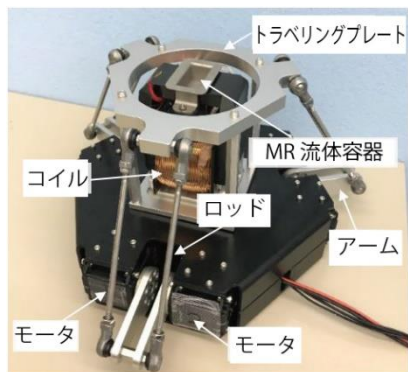


図7 デルタ機構を用いたモーションテーブル

この新たに開発したポータブル型のデルタ機構を用いたモーションテーブルとMR流体制御を組み合わせた生体軟組織圧排感覚提示手法を提案した。脳外科医師のアドバイスに従い、脳組織に力学的に特性が近いとされる木綿豆腐のヤング率を図8に示すように力センサとレーザ変位計を用いて計測し、図9に示すシステムでこの木綿豆腐を脳ペラで押した際の反力をMR流体とモーションテーブルの統合制御により操作者に提示した。

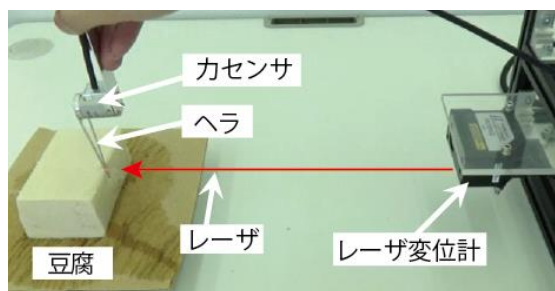


図8 豆腐のヤング率の測定

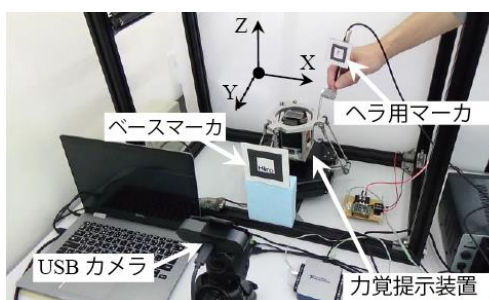


図9 圧排力提示システム

モーションテーブルを運動させることによって、豆腐がヘラに対して押し返す力を提示可能であることを示し、統合制御則の有効性を確認した。

参考文献

- [1] O. Goksel et al., "Haptic Simulator for Prostate Brachytherapy with Simulated Needle and Probe Interaction," IEEE T. on Haptics, vol. 4, no. 3, pp.188-198, 2011.
- [2] 高木 他, "脳外科手術シミュレータ用ハプティックインタフェースの開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10 講演論文集, 1A1-C09, 2010.
- [3] J. D. Carlson and M. R. Jolly, "MR fluid, foam and elastomer devices," Mechatronics, vol. 10, pp. 555-569, 2000.
- [4] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27659-pivlabparticle-image-velocimetry-piv-tool>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Sase Kazuya, Tsujita Teppei, Konno Atsushi	4. 巻 19
2. 論文標題 Haptic Interaction with Segmented Medical Image Embedded in Finite Element Mesh	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery	6. 最初と最後の頁 89～99
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.5759/jscas.19.89	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 Chen Xiaoshuai, Konno Atsushi, Sase Kazuya, Ema Akito, Tsujita Teppei	4. 巻 20
2. 論文標題 A Model of Stress Relaxation for Brain Retraction Simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery	6. 最初と最後の頁 22～32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.5759/jscas.20.22	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 Takashige Abe, Shunsuke Komizunai, Teppei Tsujita, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, Madoka Higuchi, Jun Furumido, Naoya Iwahara, Yo Kurashima, Nobuo Shinohara and Atsushi Konno	4. 巻 -
2. 論文標題 Development and validation of a measurement system for laparoscopic surgical procedures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 -
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 A. Nakagawa, T. Kumabe, Y. Ogawa, T. Hirano, T. Kawaguchi, K. Ohtani, T. Nakano, C. Sato, M. Yamada, T. Washio, T. Arafune, T. Tsujita, A. Konno, S. Satomi, K. Takayama, T. Tominaga	4. 巻 27
2. 論文標題 Pulsed laser-induced liquid jet: evolution from shock/bubble interaction to neurosurgical application	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Shock Waves	6. 最初と最後の頁 1-14
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38件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Xiaoshuai Chen, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, and Atsushi Konno
2. 発表標題 A Simple Deformation and Reaction Force Numerical Calculation Method for Nonlinear Brain Tissues
3. 学会等名 Proceedings of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dan Kawai and Satoko Abiko and Teppei Tsujita
2. 発表標題 Simulation of a Cutting Flow Mode of MR Fluid Based on DEM
3. 学会等名 Proceedings of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Atsushi Konno, Noriyuki Shido, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, and Teppei Tsujita
2. 発表標題 A Hepato-Biliary-Pancreatic Deformable Model for a Simulation-Based Laparoscopic Surgery Navigation
3. 学会等名 Proceedings of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xiaoshuai Chen, Mio Hashimoto, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, and Atsushi Konno
2. 発表標題 Vessel Dissection Simulation for Neurosurgery Simulators Considering Subarachnoid Space Structure
3. 学会等名 Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryosuke Shirai, Xiaoshuai Chen, Kazuya Sase, Shunsuke Komizunai, Teppei Tsujita and Atsushi Konno
2. 発表標題 AR Brain-Shift Display for Computer-Assisted Neurosurgery
3. 学会等名 Proceedings of the SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻田哲平, 安孫子聡子, 佐瀬一弥, 坂本裕之
2. 発表標題 MR流体を用いた手術シミュレータ用力覚提示装置の開発
3. 学会等名 2019年度磁性流体連合講演会講演予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河井暖, 安孫子聡子, 辻田哲平
2. 発表標題 MR流体の切断シミュレーションにおける境界条件の検討
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 船蔵優弥, 佐瀬一弥, 辻田哲平, 安孫子聡子
2. 発表標題 MR流体とダブルモータ駆動式デルタ機構を用いたポータブル遭遇型力覚提示装置
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河井暖, 上杉健仁, 安孫子聡子, 辻田哲平
2. 発表標題 可視化実験によるMR流体の切断流れモードの解析
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'19 講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐瀬一弥, 辻田哲平, 陳曉帥, 近野敦
2. 発表標題 剛性変動物体に対する安定な力覚インタラクションのためのオンラインメッシュ切り替え
3. 学会等名 第20回システムインテグレーション部門講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木雅也, 安孫子聡子, 辻田哲平
2. 発表標題 圧縮ひずみ拡大機構による2 軸力計測可能な力センサー体型術具の開発
3. 学会等名 第20回システムインテグレーション部門講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 船藏優弥, 佐瀬一弥, 辻田哲平, 安孫子聡子
2. 発表標題 MR流体とデルタ機構を用いた生体軟組織圧排感覚提示
3. 学会等名 第20回システムインテグレーション部門講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaya Suzuki, Satoko Abiko, Teppei Tsujita, Koyu Abe
2. 発表標題 Development of a Surgical Instrument with a Single Strain Area for Measuring Biaxial Cutting Forces
3. 学会等名 Proceedings of the 2020 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木雅也, 安孫子聡子, 辻田哲平, 阿部幸勇
2. 発表標題 単一起歪部で2軸の力計測可能なセンサー体型術具の開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'20 講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉富竜徳, 辻田哲平, 河井暖, 安孫子聡子
2. 発表標題 手術シミュレータ用力覚提示装置開発のためのMR流体切断流れモードの顕微鏡観察
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'20 講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大成大樹, 安孫子聡子, 辻田哲平
2. 発表標題 MR 流体を用いた遭遇型ビジュアルハプティックディスプレイの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'17
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 紫藤紀行, 佐瀬一弥, 小水内俊介, 辻田哲平, 近野敦
2. 発表標題 没入型脳外科手術シミュレータの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'17
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林夢大, 安孫子聡子, 辻田哲平
2. 発表標題 宇宙利用を目的とした MR 流体と永電磁石を用いたなじみグリップの検証
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'17
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐瀬一弥, 岸本慎也, 辻田哲平, 近野敦
2. 発表標題 バーチャル柔軟生物に対する触覚インタラクション
3. 学会等名 Computer Entertainment Developers Conference (CEDEC) 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 江間 章斗, 佐瀬 一弥, 陳 暁帥, 紫藤 紀行, 辻田 哲平, 近野敦
2. 発表標題 ブレインシフト推定のためのMPS-FEM連成解析におけるゼラチン実験による精度検証
3. 学会等名 第35回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	Atsuhiko Nakagawa, Kiyonobu Ohtani, Atsushi Sakuma, Mao Yagihashi, Chikashi Nakanishi, Hideaki Karasawa, Shinichi Yamashita, Noriko Matsui, Yu Terui, Shiori Kudo, Akane Saito, Shoko Inoue, Keiko Furuya, Teippe Tsujita, Atsushi Konno, Teiji Tominaga
2. 発表標題	Blast-induced traumatic brain injury: Clinical features, Mechanism, Prevention
3. 学会等名	Fourth Asian Conference on Defence Technology (ACDT) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Xiaoshuai Chen, Akito Ema, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, and Atsushi Konno
2. 発表標題	A Simple Brain Shift Estimation for Neuronavigation Based on Finite Element Method and Hydrostatics
3. 学会等名	IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	大成 大樹, 宮下 滉平, 小平大貴, 安孫子 聡子, 辻田 哲平
2. 発表標題	MR流体を用いた遭遇型力覚提示装置のための術具上力センサに基づいた切断抵抗力制御
3. 学会等名	第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	中川敦寛, 大沢伸一郎, 富永梯二, 中西史, 横沢友樹, 山下慎一, 飯久保正弘, 佐藤由加, 佐久間篤, 八木橋真央, 近野敦, 辻田哲平, 大谷清伸
2. 発表標題	衝撃波の医療応用: 最近の動向もふまえて
3. 学会等名	平成29年度衝撃波シンポジウム講演論文集 (招待講演)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 白井亮輔, 陳曉帥, 佐瀬一弥, 辻田哲平, 近野敦
2. 発表標題 AR を用いた実時間ブレインシフト可視化
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'18
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安孫子聡子, 澤谷貴之, 辻田哲平, 坂本裕之
2. 発表標題 遭遇型力覚提示装置を用いた手術シミュレータのためのMR流体の粒子と分散媒の検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'18
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河井暖, 若田光広, 安孫子聡子, 辻田哲平
2. 発表標題 手術シミュレータ用力覚提示装置の最適設計に向けMR流体の切断シミュレーション
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'18
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teppei Tsujita, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, Masashige Tomita, Atsushi Konno, Masano Nakayama, Atsuhiro Nakagawa, Koyu Abe, and Masaru Uchiyama
2. 発表標題 Development of a Surgical Simulator for Training Retraction of Tissue with an Encountered-type Haptic Interface Using MR Fluid
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics(ROBIO) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Ohnari, Satoko Abiko, and Teppei Tsujita
2. 発表標題 Sensory Evaluation of Cutting Force for Encountered-type Haptic Display Using MR Fluid
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics(ROBIO) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安孫子聡子, 上杉健仁, 辻田哲平, 坂本裕之
2. 発表標題 手術シミュレータ用遭遇型力学提示装置のための高密度MR流体の特性評価
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白井亮輔, 陳暎帥, 佐瀬一弥, 小水内俊介, 辻田哲平, 近野敦
2. 発表標題 脳神経外科手術支援ブレインシフトAR表示
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xiaoshuai Chen, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, and Atsushi Konno
2. 発表標題 Numerical Model of Connective Tissue for Splitting Brain Fissure Simulation
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻田哲平, 曾我佳紀, 近野敦
2. 発表標題 MR 流体を用いた脳外科手術シミュレータ用遭遇型力覚提示装置の開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroyuki Ohnari, Satoko Abiko, Teppei Tsujita
2. 発表標題 Encountered-type Visual Haptic Display Using MR Fluid
3. 学会等名 Asia Haptics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Xiaoshuai Chen, Kazuya Sase, Atsushi Konno, and Teppei Tsujita
2. 発表標題 Experimental and Numerical Analysis of Damage Fracture Mechanics of Brain Parenchyma
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kazuya Sase, Teppei Tsujita, and Atsushi Konno
2. 発表標題 Embedding Segmented Volume in Finite Element Mesh with Topology Preservation
3. 学会等名 International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 江間 章斗, 佐瀬 一弥, 陳 暁帥, 辻田 哲平, 近野 敦
2. 発表標題 術中のブレインシフト推定のための流体-弾性体連成解析のGPGPUによる高速化
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大成大樹, 安孫子聡子, 辻田哲平
2. 発表標題 MR流体を用いた遭遇型ビジュアルハプティックディスプレイの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>その他公開情報：</p> <p>手術シミュレータ用遭遇型ハプティックインタフェースの開発 http://www.nda.ac.jp/cc/tsujita/researches/MR_Haptic.html Encountered-type Haptic Interface Using MR Fluid http://www.nda.ac.jp/cc/tsujita/researches/MR_Haptic-e.html Encountered-type Visual Haptic Display https://www.youtube.com/watch?v=ZZL54ZmMcHg</p> <p>受賞等：</p> <p>1. 船蔵, 佐瀬, 辻田, 安孫子, SI2019 優秀講演賞, MR流体とデルタ機構を用いた生体軟組織圧排感覚提示, 第20回公益財団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2019年12月27日</p> <p>2. T. Tsujita, K. Sase, X. Chen, M. Tomita, A. Konno, M. Nakayama, A. Nakagawa, K. Abe, and M. Uchiyama, Finalist of Best Conference Paper Award, Development of a Surgical Simulator for Training Retraction of Tissue with an Encountered-type Haptic Interface Using MR Fluid, 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2018年12月14日</p> <p>3. H. Ohnari, S. Abiko, T. Tsujita, Honorable Mention Award, Encountered-type Visual Haptic Display Using MR Fluid, Asia Haptics 2016, 2016年12月1日</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
研究分担者	安孫子 聡子 (Abiko Satoko) (40560660)	芝浦工業大学・工学部・教授 (32619)	

6. 研究組織（つづき）

	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	佐瀬 一弥 (Sase Kazuya) (20805220)	東北学院大学・工学部・准教授 (31302)	
研究分担者	近野 敦 (Konno Atsushi) (90250688)	北海道大学・情報科学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	中川 敦寛 (Nakagawa Atsuhiko) (10447162)	東北大学・大学病院・特任教授 (11301)	
研究分担者	富永 悌二 (Tominaga Teiji) (00217548)	東北大学・医学系研究科・教授 (11301)	