

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13720

研究課題名(和文)脳膜・脳血管・脳実質モデルを組み込んだ脳裂開放手術ハプティックシミュレータ

研究課題名(英文)A haptic simulator for brain fissure opening surgery with a brain model considering membrane, vessel and parenchyma

研究代表者

陳 曉帥 (Chen, Xiaoshuai)

弘前大学・理工学研究科・助教

研究者番号：40812277

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：脳神経外科手術では脳裂開放が基本手技の一つである。脳裂開放ではその血管を傷つけないようにくも膜と脳実質から切り剥がすことが成功要素である。本研究では、脳膜・くも膜小柱・脳血管・脳実質を組み込んだモデルを用いて、脳血管温存シミュレーションを行った。このシミュレーションを実現するために、安定かつ高速な脳裂結合組織・くも膜小柱・脳血管の破断モデルを構築した。また、脳裂結合組織・血管の損傷破壊に関する物性値パラメータを実験結果に基づいて同定した。シミュレーションの結果により血管温存基準の一つが膜を引っ張る速度であると確認できた。また、複合現実技術を用いて、シミュレーションの結果を直感的提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の研究の多くは血管や膜を省略しており、脳裂開放時の血管破断など手術時の課題が再現できていない。本研究では、脳膜・くも膜小柱・脳血管・脳実質を組み込んだモデルを用いて、安定かつ高速なくも膜小柱・脳血管の破断モデルを構築した。本手術シミュレータを利用することにより、過大な力による血管破断などの手術時に犯しやすいミスを術者が体験できる。また、脳神経外科手術の効率的な教育と手術技量の定量的評価による安全性の向上につながる事が期待される。

研究成果の概要(英文)：Brain fissure opening is one of the basic procedures in neurosurgery. In brain fissure opening, preserving the vessel when cutting the arachnoid mater and the brain parenchyma is a successful factor. In this study, we constructed a brain vessel preservation simulation using a model incorporating the cerebral membrane, arachnoid trabeculae, vessel, and brain parenchyma. To realize this simulation, we constructed a stable and high-speed damage fracture model of brain fissure connective tissue, arachnoid trabeculae, and brain vessels. In addition, the mechanical parameters related to the damage and fracture of the brain connective tissue and vessels were identified based on the experimental results. From the results of the simulations, it was confirmed that one of the criteria for preserving blood vessels is velocity of pulling the membrane. Moreover, the simulation results were presented by using mixed reality technology.

研究分野：ロボティクスおよび知能機械システム関連

キーワード：くも膜小柱・血管の損傷破壊数値計算モデル 脳神経外科手術シミュレーション 脳血管温存シミュレーション 脳神経外科手術支援システム

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

腫瘍などの病変部が脳の深部にある場合は、大脳縦裂やシルビウス裂などの脳裂を開放して、手術器具のアクセスや手術視野を確保する。このとき、脳裂を覆っているくも膜を血管に注意しながら切開し(図1(a))、脳裂に沿って脳を圧排し(脳べらなどで脳実質を押し分ける手技)、脳裂を開放していく(図1(b))。このとき、過度な圧排力を脳に作用すると、血流が妨げられ、内部組織が破壊されることにより脳挫傷を引き起こす危険性がある。また、くも膜下腔の血管を損傷させると深刻な後遺症をもたらす恐れがある。このような脳圧排時の力加減や血管損傷回避を従来のアニマルや樹脂モデルでのトレーニングでは修得することが困難であった。そのため、申請者は脳神経外科手術シミュレータを開発してきた(図2)。このシミュレータでは、ハプティックデバイス(力学提示装置)を用いて脳圧排時の作用力を操作者に提示できるとともに、その圧排力を作用したときに脳内に発生する応力分布をカラーで可視化することができる。しかし、くも膜、血管などのモデルを省略してあり、一連の脳裂開放を模擬することはできなかった。

脳神経外科手術シミュレータの開発例として、カナダ国家研究評議会(NRCC)の NeuroTouch [2]、Immersive Touch 社の ImmersiveTouch [3] がある。しかしながら、NeuroTouch は手術の中の局所的な一部分を対象としており、切開や剥離が予め設定した部位でしか起こらない、摩擦力が無視されるという課題がある。また、血管は画像として表示されているが、モデル化されておらず、変形や破壊などは模擬できない。また、ImmersiveTouch は表面モデルのみを用い、カテーテル挿入時の抵抗を操作者に提示するが、脳の変形や脳からの反力を計算せず、脳裂開放などの模擬は扱えない。

以上のように、国内外で様々な脳神経外科手術シミュレータが開発されているが、血管やくも膜をモデル化した例は少なく、かつ破壊(切開)まで取り扱っている例はほとんどない。その原因はくも膜や血管の物性値(ヤング率、ポアソン比など)が同定されていない、破壊モデルが確立されていない、くも膜・血管・脳実質からなる大規模モデルで変形や破壊を実時間で精度良く計算するアルゴリズムが確立されていない、ことが考えられる。

脳血管を温存しつつ、くも膜を切り裂いて病変部に到達する脳外科手術の模擬を実現するために、くも膜・血管の変形と反力を精度良く計算するモデルの開発と生体組織の損傷破壊モデルの確立が必要となる。

2. 研究の目的

以上の背景から、本研究の目的は、脳膜・血管・脳実質モデルを用い、脳血管温存の成敗に関する条件を明確化できる血管剥離シミュレーションを構築することである。本手術シミュレータを利用するにより、過大な力による血管破断などの手術時に犯しやすいミスが術者が体験できる。また、脳神経外科手術の効率的な教育と手術技量の定量的評価による安全性の向上につながることを期待される。

3. 研究の方法

脳腫瘍摘出時、よく脳のシルビウス裂を開放し腫瘍部まで到達するが、シルビウス裂はくも膜によって拘束されており、血管はくも膜小柱で拘束されている(図3)。血管を温存して脳裂を開放し腫瘍部まで到達するには、くも膜小柱を切断する繊細な技術が必要になる。

本研究では、脳膜・くも膜小柱・脳血管・脳実質を組み込んだモデルを用いて、脳血管温存シミュレーションを行った。このシミュレーションを実現するために、安定かつ高速な脳裂結合組織・くも膜小柱・脳血管の破断モデルを構築した。また、シミュレーションの結果を実物

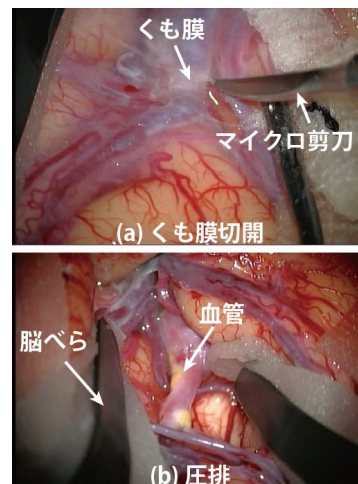


図1 病変部へのアクセス
(北海道大学大学院医学研究科脳神経外科提供)



図2 開発した脳神経外科手術シミュレータ[1]

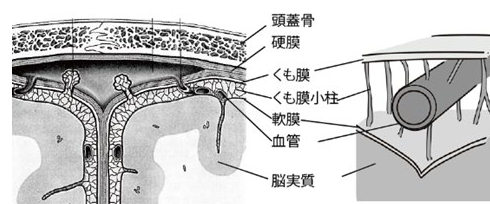


図3 くも膜下腔構造[4]

に投影することで将来脳神経外科手術シミュレーションの可視化を実現するためのシステムを構築した。具体的には、以下の(1)～(5)の五つの課題に分け、研究を実施した。

- (1) 脳裂結合組織・くも膜小柱・脳血管の損傷破壊モデルを確立した。
- (2) 脳実質・脳血管の非線形変形モデルを確立した。
- (3) 脳裂結合組織・脳血管の損傷破壊モデルと脳実質・脳血管の非線形変形モデルに関する物性値と係数を実験により同定した。
- (4) くも膜下腔構造を考慮した血管剥離シミュレーションを行い、脳血管温存の成敗に関する条件を明確化した。
- (5) 複合現実 (MR) 技術を用いて、シミュレーションの結果を可視化した。

4. 研究成果

(1) 脳裂結合組織・くも膜小柱・脳血管の損傷破壊モデル

脳裂結合組織・くも膜小柱・脳血管が柔軟な生体組織である。延性的な損傷破壊の特徴を持つ。構築した損傷破壊モデルのメカニズムを図4に示す。生体モデルを四面体要素に離散化する。損傷破壊は各四面体要素の中で下記の3段階で進行する。

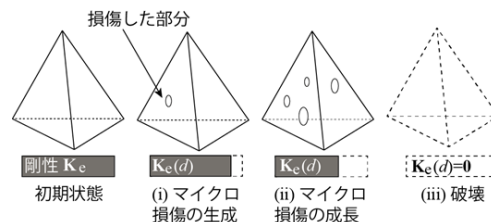


図4 生体組織の損傷破壊モデル

(i) マイクロ損傷の生成

ミーゼス応力は損傷生成の指標パラメータとして使用される。要素のミーゼス応力がある閾値より大きい場合、要素は初期状態からマイクロ損傷になる。

(ii) マイクロ損傷の成長

マイクロ損傷は要素の変形とともに成長し、要素の剛性は次第に弱くなる。

(iii) 破壊

要素の剛性がゼロに近くなると、マイクロ損傷が結語して要素が破壊すると考えられる。損傷は要素を削除することによって表される。

(2) 脳実質・脳血管の非線形変形モデル

脳実質・脳血管が非線形である。生体モデルを四面体要素に離散化する。構築した非線形変形モデルのメカニズムが各四面体要素の剛性が変形とともに下記の3段階で変化する。

- (i) 四面体要素のミーゼス応力が閾値 A 以下の場合、要素の剛性が一定である。
- (ii) 四面体要素のミーゼス応力が閾値 A 以上 B 以下の場合、要素の剛性が次の通りである。

$$\mathbf{K}_e = (1 + k)\mathbf{K}_{e(ini)}$$

$$\frac{dk}{dt} = \lambda(1 + k)(\sigma_m - \sigma_t)$$

ここで、 \mathbf{K}_e が要素の剛性行列、 $\mathbf{K}_{e(ini)}$ が要素の初期剛性行列、 k と λ が係数、 σ_m が要素のミーゼス応力、 σ_t が閾値 A である。

- (iii) 四面体要素のミーゼス応力が閾値 B 以上の場合、要素剛性の変化率が次の通りである。

$$\frac{dk}{dt} = \frac{1}{2}\lambda(1 + k)(\sigma_m - \sigma_t)$$

(3) 脳裂結合組織・脳血管の損傷破壊モデルと脳実質・脳血管の非線形変形モデルに関する物性値と係数の同定

脳血管の非線形変形モデルと損傷破壊モデルに関する物性値と係数の同定について、ブタ脳血管の引張実験の結果を用い、応力-ひずみ線図を再現することで血管の物性値の同定を行い、提案した血管の損傷破壊モデルを検証した。図5に引張試験の応力-ひずみ線図と同定されたパラメータを用いたシミュレーション結果を示す。

脳裂結合組織の損傷破壊モデルに関する物性値と係数の同定について、豚の脳縦裂の圧排実験により同定した。実験では、2つの脳べらで脳裂を圧排して、脳裂にある結合組織を破壊していく。図6に圧排実験値とシミュレーションの結果を示す。脳裂の圧排実験とシミュレーションの様子を図7に示す。

脳実質の非線形変形モデルに関する物性値と係数の同定について、豚の脳縦裂の圧排実験で脳裂にある結合組織を破壊したあと、もう一回圧排した。このとき脳実質だけを圧排した。図8に圧排実験値とシミュレーションの結果を示す。脳裂の圧排実験とシミュレーションの様子を図9に示す。

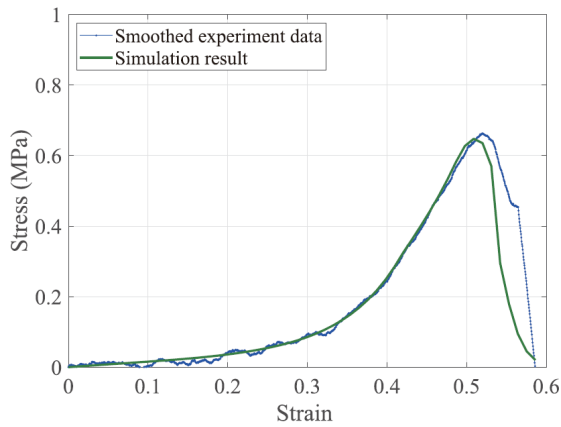


図5 血管の損傷破壊実験値とシミュレーションの結果の比較

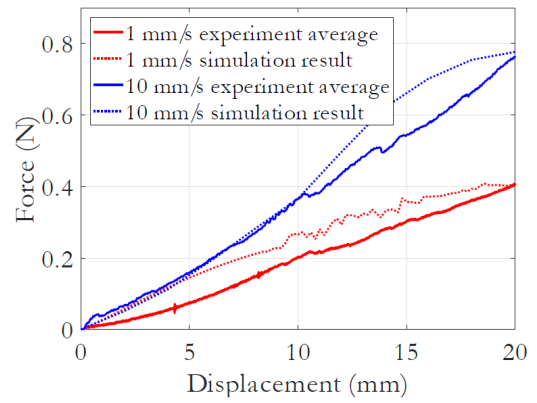


図6 圧排実験値とシミュレーションの結果の比較 (圧排速度: 1mm/s と 10mm/s)

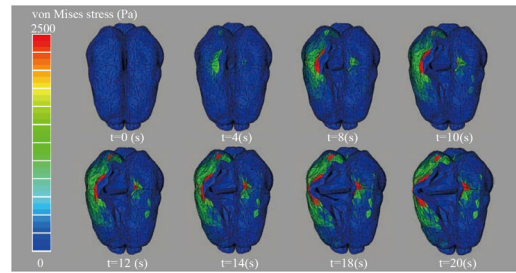
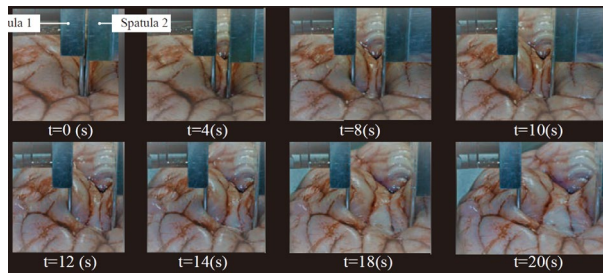


図7 脳裂圧排実験(左)とシミュレーション(右)の様子

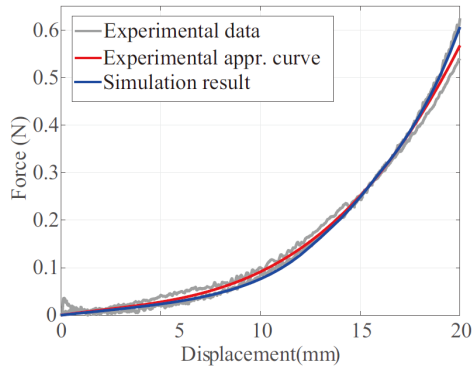


図8 圧排実験値とシミュレーションの結果の比較 (圧排速度: 10mm/s)

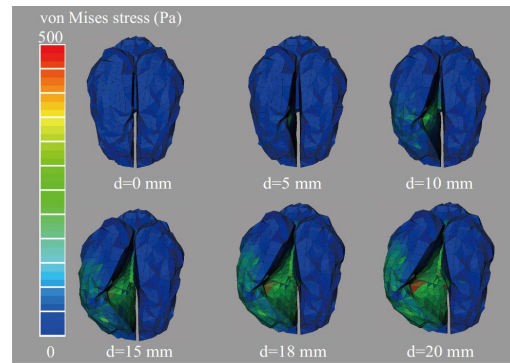


図9 脳裂圧排シミュレーションの様子

(4) くも膜下腔構造を考慮した血管剥離シミュレーション

くも膜下腔構造の簡易モデルを図10に示す. くも膜に変位を与える. 血管が損傷した場合を失敗, 血管が損傷せずくも膜小柱のみが断裂した場合を成功とする. z, y 軸に沿って正の向きに変位を与える二つの条件で行った. 各条件でサンプリングタイムを固定し速度で比較する.

図11と図12に成功例と失敗例を示す. z, y 軸方向どちらも速度の違い条件のときに成功していることが分かる. 簡易的に模したモデルであっても血管の温存に成功する基準があり, その基準が速度であると推測できる.

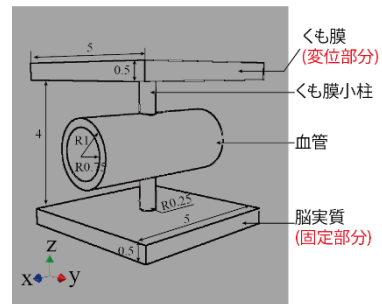


図10 くも膜下腔簡易モデル

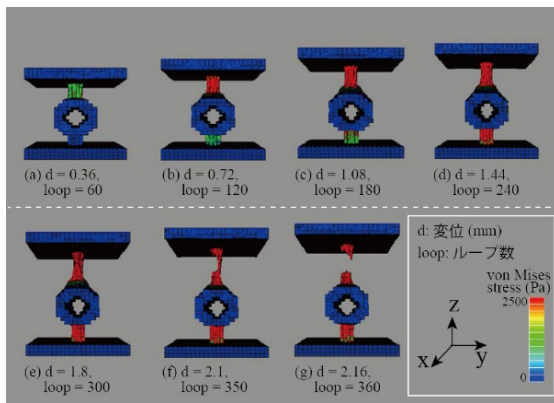


図 11 成功例(引張方向:z 軸, 引張速度:0.3 mm/s)

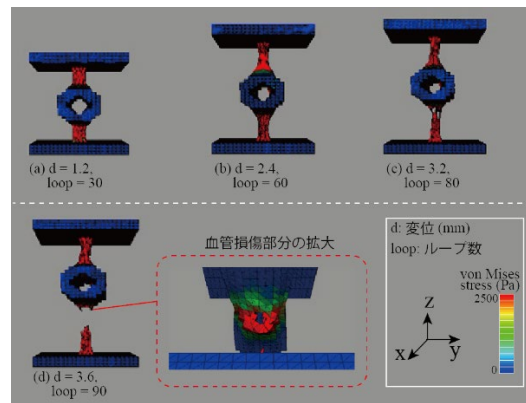


図 12 失敗例(引張方向:z 軸, 引張速度:2 mm/s)

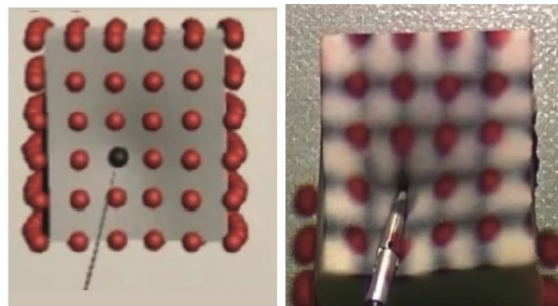


図 13 複合現実(MR)技術を用いたシミュレーションの結果の可視化

(左:シミュレーションの結果, 右:実柔軟物に投影)

(5) 複合現実 (MR) 技術を用いたシミュレーションの結果の可視化

構築したシミュレーションの結果をニューロナビゲーションなどに応用するため、MR (Mixed Reality: 混合現実) システムを構築した。術具と実柔軟体との相互作用をシミュレーションで同時に再現しプロジェクションマッピングで柔軟体組織の変形や術具の位置を投影する(図 13)。

現在のニューロナビゲーションで使用する医用画像が術前に撮られたため、実際の手術中に移動した腫瘍の位置とのズレがある。このシステムによって、実際の手術中に移動した腫瘍の位置などを可視化することができる。

<引用文献>

- [1] 脳外科手術シミュレータ: <http://scc.ist.hokudai.ac.jp/research/brainsurgery/brainsurgery-j.html>
- [2] S. Delorme et al., "Neurotouch: a physics-based virtual simulator for cranial microneurosurgery training," *Neurosurgery*, Vol. 71, pp. ons32-ons42, 2012.
- [3] C. Luciano et al., "Design of the immersivetouchTM: a high-performance haptic augmented virtual reality system," in *Proceedings of the 11th international conference on human-computer interaction*, 2005
- [4] R. Drake, A. W. Vogl, and A. W. Mitchell, *Gray's Anatomy*. Elsevier Health Sciences, 2007.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Xiaoshuai Chen, Ryosuke Shirai, Ken Masamune, Manabu Tamura, Yoshihiro Muragaki, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, Atsushi Konno	4. 巻 4(2)
2. 論文標題 Numerical Calculation Method for Brain Shift Based on Hydrostatics and Dynamic FEM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics	6. 最初と最後の頁 368--380
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 Koki Ebina, Takashige Abe, Kiyohiko Hotta, Madoka Higuchi, Jun Furumido, Naoya Iwahara, Masafumi Kon, Kou Miyaji, Sayaka Shibuya, Yan Lingbo, Shunsuke Komizunai, Yo Kurashima, Hiroshi Kikuchi, Ryuji Matsumoto, Takahiro Osawa, Sachiyo Murai, Teppei Tsujita, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, Atsushi Konno, Nobuo Shinohara	4. 巻 #
2. 論文標題 Objective evaluation of laparoscopic surgical skills in wet lab training based on motion analysis and machine learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langenbeck's Archives of Surgery	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） 10.1007/s00423-022-02505-9	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, Sase Kazuya, Tsujita Teppei, Konno Atsushi	4. 巻 2
2. 論文標題 A Nonlinear and Failure Numerical Calculation Method for Vessel Preservation Simulations Based on Subarachnoid Space Structure Considerations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics	6. 最初と最後の頁 356 ~ 363
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMRB.2020.3009521	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 Ebina Koki, Abe Takashige, Komizunai Shunsuke, Tsujita Teppei, Sase Kazuya, Chen Xiaoshuai, Higuchi Madoka, Furumido Jun, Iwahara Naoya, Kurashima Yo, Shinohara Nobuo, Konno Atsushi	4. 巻 13
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 191--200
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/jcmsi.13.191	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 Ebina Koki, Abe Takashige, Higuchi Madoka, Furumido Jun, Iwahara Naoya, Kon Masafumi, Hotta Kiyohiko, Komizunai Shunsuke, Kurashima Yo, Kikuchi Hiroshi, Matsumoto Ryuji, Osawa Takahiro, Murai Sachiyo, Tsujita Teppei, Sase Kazuya, Chen Xiaoshuai, Konno Atsushi, Shinohara Nobuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Motion analysis for better understanding of psychomotor skills in laparoscopy: objective assessment-based simulation training using animal organs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surgical Endoscopy	6. 最初と最後の頁 18 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00464-020-07940-7	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 佐瀬 一弥、陳 暁帥、辻田 哲平、近野 敦	4. 巻 25
2. 論文標題 柔軟物体の力覚提示に対応したゲームエンジンプラグインNamakoの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 366--373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.25.4_366	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19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 小笠原 健太, 陳 暁帥, 佐瀬 一弥, 辻田 哲平, 近野 敦
2. 発表標題 腹腔鏡下手術支援システムを目指した複合現実技術による柔軟組織の重畳表示
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澁谷 紗也華, 佐瀬 一弥, 陳 暁帥, 小水内 俊介, 辻田 哲平, 近野 敦
2. 発表標題 実空間と連動する腹腔鏡手術圧排操作シミュレータの開発と評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 優里, 近野 敦, 佐瀬 一弥, 辻田 哲平, 陳 暁帥
2. 発表標題 腹腔鏡手術支援システム開発のための肝臓3Dモデルプロジェクションマッピング
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Ebina, Takashige Abe, Shunsuke Komizunai, Teppei Tsujita, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, Madoka Higuchi, Jun Furumido, Naoya Iwahara, Yo Kurashima, Nobuo Shinohara, and Atsushi Konno
2. 発表標題 Surgical Skill Analysis Based on the Way of Grasping Organs with Forceps in Dissection Procedure of Laparoscopic Surgery
3. 学会等名 CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (RoManSy2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澁谷紗也華, 佐瀬一弥, 陳暁帥, 小水内俊介, 辻田哲平, 近野敦
2. 発表標題 手術ナビゲーションのための弾性体リアルタイム接触変形シミュレーションシステムの開発
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮路洸, 鈴木正宣, 中丸裕爾, 佐瀬一弥, 陳暁帥, 辻田哲平, 小水内俊介, 本間明宏, 近野敦
2. 発表標題 鼻腔内視鏡手術手技計測システムの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 海老名光希, 安部崇重, 小水内俊介, 辻田哲平, 佐瀬一弥, 陳曉帥, 樋口まどか, 古御堂純, 岩原直也, 倉島庸, 篠原信雄, 近野敦
2. 発表標題 腹腔鏡手術剥離操作における鉗子把持力・把持位置の技量分析
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xiaoshuai Chen, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, 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 (SII2020) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xiaoshuai Chen, Mio Hashimoto, Kazuya Sase, Teppei Tsujita, 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 (CBS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Konno, Noriyuki Shido, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, 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 (SII2020) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Shirai Ryosuke, Chen Xiaoshuai, Sase Kazuya, Komizunai Shunsuke, Tsujita Teppei, Konno Atsushi
2. 発表標題	AR Brain-Shift Display for Computer-Assisted Neurosurgery
3. 学会等名	IEEE Conference Proceedings 2019 (SICE2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Ebina Koki, Abe Takashige, Komizunai Shunsuke, Tsujita Teppei, Sase Kazuya, Chen Xiaoshuai, Higuchi Madoka, Furumido Jun, Iwahara Naoya, Kurashima Yo, Shinohara Nobuo, Konno Atsushi
2. 発表標題	A Measurement System for Skill Evaluation of Laparoscopic Surgical Procedures
3. 学会等名	IEEE Conference Proceedings 2019 (SICE2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	海老名光希, 安部崇重, 小水内俊介, 辻田哲平, 佐瀬一弥, 陳曉帥, 樋口まどか, 古御堂純, 岩原直也, 倉島庸, 篠原信雄, 近野敦
2. 発表標題	腹腔鏡手術技量評価のための手技計測システム開発
3. 学会等名	第20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	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	2019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 Proceedings of the 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xiaoshuai Chen, Ryosuke Shirai, Ken Masamune, Manabu Tamura, Yoshihiro Muragaki, and Atsushi Konno
2. 発表標題 Presenting a Simple Method of Brain Shift Estimation for Neuronavigations and Considering its Practicality
3. 学会等名 Proceedings of the 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teppei Tsujita, Kazuya Sase, Xiaoshuai Chen, Masashige Tomita, Atsushi Konno, Masano Nakayama, Atsuhiko 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 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白井亮輔, 陳曉帥, 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 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 白井亮輔, 陳暎帥, 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 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2018年

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------