

令和元年6月9日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04298

研究課題名(和文)破壊予測・防止法に基づく次世代脳神経外科手術サポートシステム

研究課題名(英文)Advanced neurosurgery support system based on fracture prediction and prevention methodologies

研究代表者

渡辺 哲陽(Watanabe, Tetsuyou)

金沢大学・フロンティア工学系・教授

研究者番号：80363125

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：脳神経外科手術の機器の高度化を目指し、吸引、リトラクティング、リトラクティング力センシングの機能を有する新しいリトラクティングシステム、保持力を指先腹へ、引っ張り力を指先側面へと提示する提示装置、内視鏡先端に取り付けることで動作する組織の剛性を計測できるセンシングシステム、リトラクティング時の圧力挙動から自動で破壊兆候を検知し、自動でリトラクティングを停止し、組織破壊を防止するシステムの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リトラクティング機器に力を測定できる機能を設けることで、術中の不用意な圧迫による組織損傷を防ぐことができる。これは、特に新米の術者の負担を減らすと共に、患者の負担も減らすことになる。どのくらいの力を組織に加えて良いか、異常部位がどのような硬さがよいか定量的なデータが無いため、力や硬さ(剛性)を計測できることは、新米の術者への教育にも有効と考えられる。ロボット手術やフレキシブル内視鏡を使った手術の場合、術野にかかる力を直接感じることは難しいため、ロボットを介して伝達する必要がある。指の側面への伝達は、ヒトの特性を上手く活かした新しい手法で、伝達方式の精度向上に貢献している。

研究成果の概要(英文)：This research aimed at the advancement of neurosurgical devices. The main results are the developments of 1) the system that enables simultaneous utilization of three functions: suction, retraction, and retraction-force sensing; 2) the system that displays the gripping force on fingertip surface while display the pulling force on side surface of fingertip; 3) the tissue-stiffness measurement system that works with attaching to an endoscope; 4) the system that can avoid tissue damage by detecting a sign of fracture through monitoring retracting pressure behavior

研究分野：知的機械システム

キーワード：医用システム ソフトロボット

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

脳神経外科手術では、組織が柔らかいため、鉗子でつかむ、吸引器で吸うといった操作により患部が摘出される。この時、意図しない部位が破壊もしくは摘出されると脳機能に影響がでる。不要な破壊・摘出を防ぐため、周辺の組織を押さえながらあるいは引っ張りながら（リトラクティングと呼ぶ）、対象となる腫瘍組織を破壊・摘出する。これは細心の注意が必要な作業であり、術者の負担は大きい。意図しない破壊・摘出部位に血管が含まれると、止血の処置が必要となり、手術時間が増加するなど、労力も増える。加えて、術野が狭いため、一名の術者により行われ、手術自体のサポートは行われない。

一方、本研究グループは、粘弾性流体を充填した指先で構成されるロボットグリップを開発し、様々な壊れやすい物体の把握に成功している。中でも絹ごし豆腐把持では、どのくらいの大きさの力を加えれば破壊するかといった事前情報なしに把握する戦略を開発している。破壊が応力・圧力の次元に基づく現象であることに着目し、破壊する直前に流体圧力値が“なまる”のを検出することで、破壊をふせぎつつ豆腐をつかむことに成功している。しかし、亀裂などの局所的な破壊は免れなかった。

2. 研究の目的

(1) 以上の破壊の兆候を事前知識なしで検出する手法を発展させ、亀裂などの局所的な破壊が生じる前に破壊の兆候を圧力値から検出する方法を開発する。

(2) 圧力を検知できる脳外科手術用のリトラクタの実現に挑む

(3) 以上の手法と器具を組み合わせ、意図しない部位の破壊を予測・防止するリトラクティングの実現に挑む

3. 研究の方法

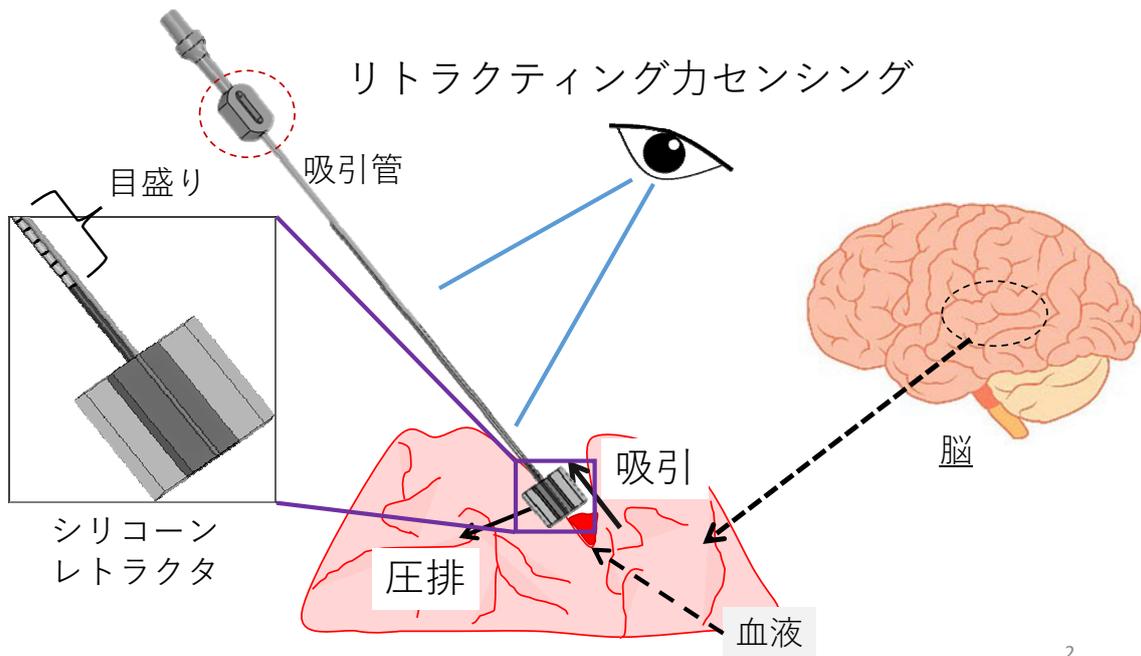
(1) リトラクティング力を検出可能な脳神経外科手術用リトラクタの高度化を行った。脳神経外科手術では術野が狭いこともあり、吸引器をリトラクタ代わりにすることも多い。これを踏まえ、リトラクティング力をセンシングできるだけでなく、吸引機能、リトラクティング機能を有する新しい機器を高度化させた。吸引管の先に取り付け可能なシリコン製リトラクタを作り、そのシリコン製リトラクタに力センシング機能を付加した。力検出部に柔らかいシリコンを設け、そのたわみをもとにそのたわみを拡大することでリトラクティング力を検出する機構とした。ついで、その力を検出するにあたり、水位検出機構を採用したうえで、センシング部の機構解析を行うことで、センシング部の薄型化を実現した。押し付ける力に応じて光の量が減少することを利用して変位を算出することで、力と変位情報から組織の剛性を計測できるセンシングシステムを開発した。術者への指先への力フィードバックシステムの開発を検討し、その第一歩目として、指先腹に保持力をフィードバックしている際、指先側面に引張り力をフィードバックすることが可能かどうか調査した。指先腹よりも指先側面に引張り力を提示する方が術者の感度が高くなることが分かった。この知見をもとに、保持力を指先腹へ、引っ張り力を指先側面へと提示する提示装置を開発した。

(2) 柔らかい対象を非圧縮性流体を内包した指・リトラクタにて圧縮・破壊する実験を実施し、その際の圧力挙動を解析することで、これまでよりも早い段階で破壊の兆候を予知する手法を確立した。また、光弾性法でその様子を観察することで、そのメカニズムの一端を明らかにした。一定の速度で柔らかい物体を圧縮した場合、圧力挙動が線形になる。この線形状態では、圧縮対象の物体が圧縮方向とは異なる方向に膨らむ。また、線形状態となった後には、接触部の一部に亀裂が生じることが観察された。以上をもとに、線形状態になることを破壊の兆候ととらえ、これを検出する手法を開発した。線形状態以前では、圧力挙動は曲線となる。曲線から直線へと変化する変曲点の検出により実施した。単純モデル（二次多項式）と複雑モデル（三次多項式）を用意し、圧力挙動をフィッティングする。変曲点以前においては、両方のモデル共に圧力挙動を上手くフィッティングできるが、変曲点が表れると、単純モデルではフィッティング誤差が増えるのに対し、複雑モデルではフィッティング誤差はそれほど増えない。そこで、両者のモデルのフィッティング誤差が増大するところを変曲点としてとらえ、圧力挙動の線形状態を導出した。

(3) リトラクティング力を自動で制御できるシステムを開発した。破壊予測検知と組み合わせることで、自動で破壊しないようにリトラクティング力をコントロールすることが可能となった。

4. 研究成果

(1) 開発した、吸引、リトラクティング、リトラクティング力センシングの機能を有する新しいリトラクティングシステムを図1に示す。保持力を指先腹へ、引っ張り力を指先側面へと提示する提示装置を図2に示す。また、内視鏡先端に取り付けることで動作する組織の剛性を計測できるセンシングシステムを図3に示す。



2

図1 吸引，リトラクティング，リトラクティングカセンシングの機能を有するリトラクティングシステム



図2 保持力を指先腹へ，引っ張り力を指先側面へと提示する提示装置

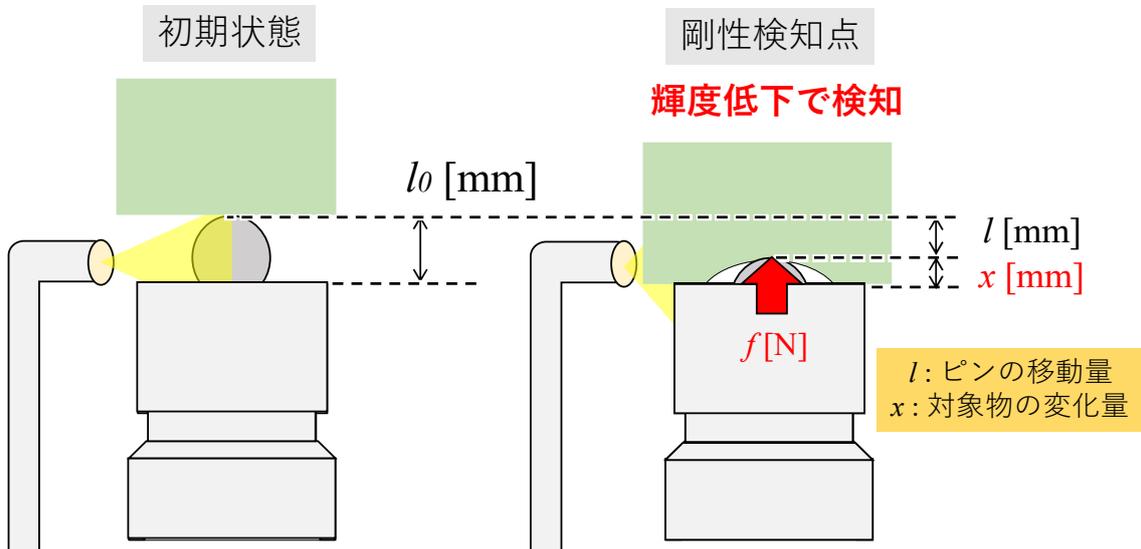


図3 内視鏡先端に取り付けることで動作する組織の剛性センシングシステム概要

(2) 光弾性により、ゼラチンを非圧縮性流体を内包した指で圧縮試験した様子を図4に示す。

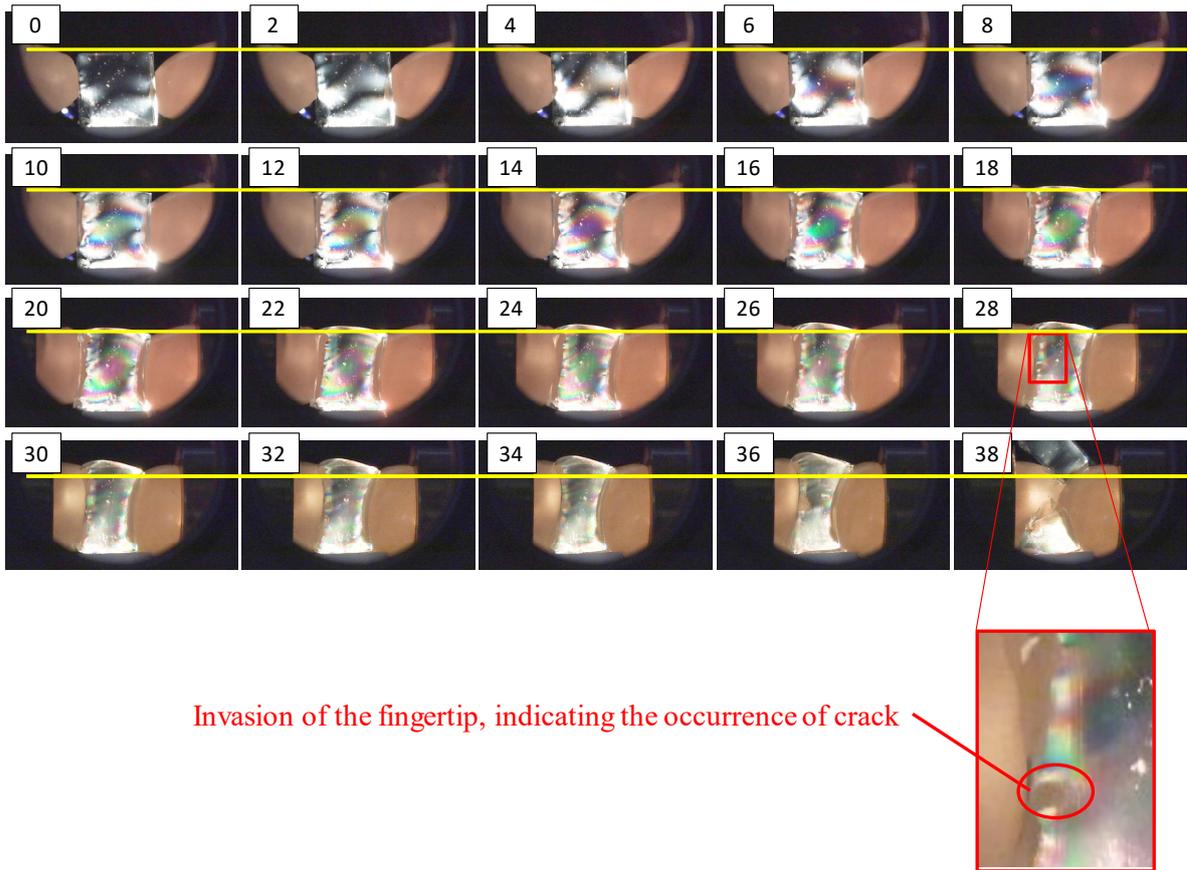


図4 光弾性により、ゼラチンを非圧縮性流体を内包した指で圧縮試験した様子

(3) 最終的に開発した、自動で破壊兆候を検知し、自動でリトラクティングを停止するシステムを図5に示す。

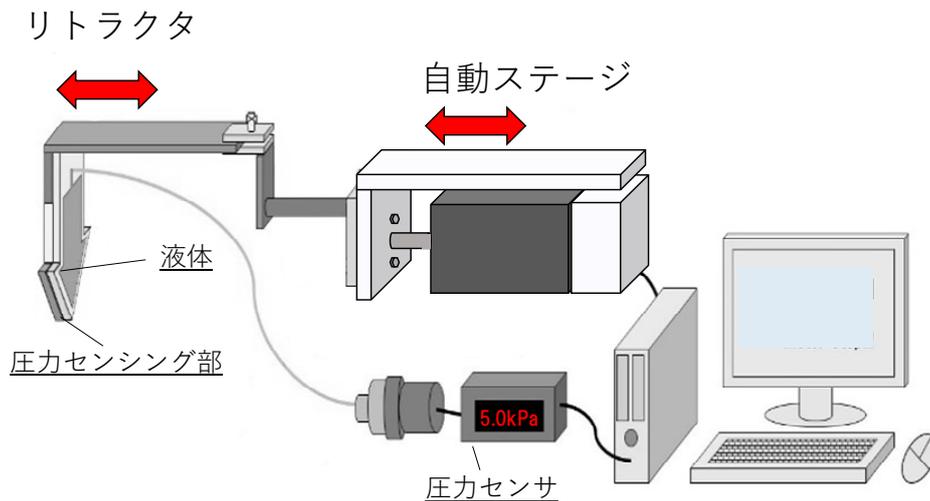


図5 自動で破壊兆候を検知し、自動でリトラクティングを停止するシステム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8件)

- ① Toshihiro Nishimura, Yosuke Suzuki, Tokuo Tsuji, and Tetsuyou Watanabe, Fluid Pressure Monitoring-Based Strategy for Delicate Grasping of Fragile Objects by A Robotic Hand with Fluid Fingertips, Sensors, Vol.19, No.4, pp.782, 2019. doi:10.3390/s19040782

- ② Hiroyuki Chinbe, Takeshi Yoneyama, Tetsuyou Watanabe, Katsuyoshi Miyashita, Mitsutoshi Nakada, Finger-attachment device for the feedback of gripping and pulling force in a manipulating system for brain tumor resection, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.13, No.1, pp.3-12, 2018. doi:10.1007/s11548-017-1640-3
- ③ Toshihiro Nishimura, Yoshinori Fujihira, and Tetsuyou Watanabe, Microgripper-embedded fluid fingertip-enhancing positioning and holding abilities for versatile grasping, The ASME Journal of Mechanisms and Robotics, Vol.9, No.6, pp.Paper No: JMR-16-1232, 2017. doi:10.1115/1.4038217
- ④ Kaori Mizushima, Toshihiro Nishimura, Yosuke Suzuki, Tokuo Tsuji, Tetsuyou Watanabe, Surface Texture of Deformable Robotic Fingertips for a Stable Grasp under both Dry and Wet Conditions, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.2, No.4, pp.2048-2055, 2017. doi:10.1109/LRA.2017.2717082
- ⑤ Tetsuyou Watanabe, Toshio Koyama, Takeshi Yoneyama, and Mitsutoshi Nakada, A Force-Visualized Silicone Retractor Attachable to Surgical Suction Pipes, Sensors, Vol.17, No.4, pp.773, 2017. doi:10.3390/s17040773
- ⑥ Toshihiro Nishimura, Kaori Mizushima, Yosuke Suzuki, Tokuo Tsuji, and Tetsuyou Watanabe, Variable-grasping-mode underactuated soft gripper with environmental contact-based operation, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.2, No.2, pp.1164-1171, 2017. doi:10.1109/LRA.2017.2662086
- ⑦ Tetsuyou Watanabe, Toshio Koyama, Takeshi Yoneyama and Mitsutoshi Nakada, Force-Sensing Silicone Retractor for Attachment to Surgical Suction Pipes, Sensors, Vol.16, No.7, pp.1133, 2016. doi:10.3390/s16071133
- ⑧ Tetsuyou Watanabe, Takanobu Iwai, Toshio Koyama, and Takeshi Yoneyama, Stiffness Measurement System Using Endoscopes with a Visualization Method, IEEE Sensors Journal, Vol. 16, Issue 15, pp. 5889 - 5897, 2016. doi:10.1109/JSEN.2016.2574322
[学会発表] (計 10 件)
- ① Masahiko Watanabe, Takeshi Yoneyama, Mitsutoshi Nakada, Tetsuyou Watanabe, Development of disposable pressure sensible retractor system for preventing the overloading, Proceedings of the IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), pp.129--134, 2019. doi:10.1109/SII.2019.8700388
- ② Tetsuyou Watanabe, Force-visualization based Sensing System Facilitates Medical Operation in Deep Area, IEEE International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS), 2018 (招待講演)
- ③ Tetsuyou Watanabe, Delicate grasping by highly deformable fingertipsIEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft) Workshop: Soft haptics: what has been done and what can be done, 2018 (招待講演)
- ④ Hiroyuki Chinbe, Takeshi Yoneyama, Tetsuyou Watanabe, and Mitsutoshi Nakada, Haptic threshold for pulling force feedback on surgeon's fingertip in medical robotic systems, Proceedings of the Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON), pp.767-772, 2016. DOI:10.1109/IECON.2016.7792958
- ⑤ Toshihiro Nishimura, Yoshinori Fujihira, Ryota Adachi, Tetsuyou Watanabe, New Condition for Tofu Stable Grasping with Fluid Fingertips, Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (CASE), pp.335-341, 2016. DOI: 10.1109/COASE.2016.7743425
- ⑥ Toshio Koyama, Takeshi Yoneyama, Mitsutoshi Nakada, Tetsuyou Watanabe, Incompressible Liquid Based Force Sensible Silicone Retractor Attachable to Surgical Suction Instruments, Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), pp.1398-1404, 2016. DOI: 10.1109/AIM.2016.7576966
- ⑦ 渡辺 真彦, 西村 斉寛, 米山 猛, 中田 光俊, 渡辺 哲陽, 破壊兆候を予知するレトラクタシステムの開発, 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, 2018
- ⑧ 西村 斉寛, 鈴木 陽介, 辻 徳生, 渡辺 哲陽, 流体指を用いた柔軟物体非破壊把持手法の提案, 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, 2017
- ⑨ 小山 稔生, 中田 光俊, 米山 猛, 渡辺 哲陽, 力可視化技術を用いた吸引器装着用シリコーンレトラクタの開発, 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, 2017
- ⑩ 小山 稔生, 中田 光俊, 米山 猛, 渡辺 哲陽, 非圧縮性流体による力可視化技術を用いたシリコーンレトラクタの開発, 日本ロボット学会学術講演会, 2016

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：医療用レトラクター
発明者：渡辺哲陽，小山稔生，米山猛，中田光俊
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2016-136358
出願年：2016
国内外の別：国内

名称：当接機構
発明者：渡辺哲陽，西村齊寛
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2016-177669
出願年：2016
国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕
ホームページ等
<http://zkks.w3.kanazawa-u.ac.jp/watanabe/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：中田 光俊
ローマ字氏名：Mitsutoshi Nakada
所属研究機関名：金沢大学
部局名：医学系
職名：教授
研究者番号（8桁）：20334774

研究分担者氏名：米山 猛
ローマ字氏名：Takeshi.Yoneyama
所属研究機関名：金沢大学
部局名：機械工学系
職名：教授
研究者番号（8桁）：30175020

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：小山稔生
ローマ字氏名：Toshio Koyama

※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、研究者個人に帰属されます。