

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04308

研究課題名（和文）生体の機械的特性を計測するためのマイクロ鉗子機構の開発

研究課題名（英文）Measurement of Mechanical Characteristics Using Micro Devices with Force Sensing

研究代表者

笹木 亮（Sasaki, Tohru）

富山大学・学術研究部工学系・教授

研究者番号：00262501

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）：手術支援ロボットなど医療・生命工学分野におけるロボット技術の導入には、対象のデータ取得が必要である。既に生体組織の力学的作用を扱う研究が多くなされており、生体組織の機械的特性の把握は不可欠である。高精度な操作が求められる様々な動作には、微小なサイズのカセンサが必要であるが、一般的にセンサの測定精度はセンササイズの縮小に伴い低下する。しかし本研究では液圧駆動により、微小な力をセンシングできる鉗子機構を開発した。本システムでは、パスカルの原理を利用してエンドエフェクタに作用する小さな力を計測する。このマイクロ鉗子により、把持対象の機械的特性を同定するシステムを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本機構の実現により、鉗子を操作するオペレータへ把持対象の状態や病理的变化を伝えることが可能となり、また取得したデータの解析により機械的特性から病理的因子を抽出することで、機械的特性の変化と病理的变化の因果関係の解明にも繋がる。将来的にはDaVinci等の手術支援用マニピュレータに力覚機能を付加することや、マニピュレータが生体の病理的变化を捉える“触診が可能なマニピュレータシステム”の実用化が望める。

研究成果の概要（英文）：The medical and bio-engineering fields have been increasingly using information and communication technology. To introduce robots into surgical procedures, data on surgical operations are required. Several studies have tried the creation of data on living tissues for mechanical actions, which makes determining the mechanical characteristics of living tissues vital. Micro force sensors are necessary for various manipulations requiring careful operation. Unfortunately, the measurement accuracy of sensors tends to reduce with the reduction in sensor size. However, a micro force sensor using a hydraulic-driven micro mechanism can obtain a large output even when it is small. Our system uses Pascal's principle to measure small forces acting on the end effector. A hydraulic-driven micro device pushes an object and measures the reaction force and its displacement.

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：手術支援ロボット 微細作業 マイクロハンドリング 精密機械システム

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 医療と工学技術の融合は、腹腔鏡技術から手術器具の材料開発まで多岐に渡るが、手術支援のためロボットの活用は 1980 年代に産業用アーム型ロボットを脳外科手術に応用した頃より始まる。その後、ロボット技術を応用した様々な手術支援装置が欧米のみならず日本においても開発されたが、2000 年代以降は Surgical System 社の DaVinci が世界的に急速に普及し、事実上の標準技術となっている。

(2) DaVinci 等に用いられている技術は主にロボットアームを動かす機構的な技術と、マスタースレイブによる制御技術に大別できるが、現状の手術支援装置では力覚提示機能を有するものは市販化されていない。実際の医師が手で行う手術では視覚の他に、把持や接触などの反力を手応えとして感じることができるため、その感触により作業状態や、生体の病理的变化の把握を行っている。マニピュレータを用いた場合には手応えが得られず作業を行うために、これら作業状況や生体の状態の把握が困難である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、液圧駆動を利用した把持力および変位を推定できるマイクロ鉗子機構において、把持する生体の柔らかさや粘性抵抗などの機械的特性を取得し、鉗子を操作するオペレータに把持対象の状態や、病理的变化をも把握できるマニピュレータによる触診を実現できる手法およびシステムの構築を目的とする。力センサは通常、検知する力に対する出力はセンサの面積や容積に比例し、微細作業用のために小型化、極小化を行えば出力が減少し、感度が低下する特性を有する。一方で研究代表者が提案する液圧駆動機構では原理的に小型化することで、より出力を増幅させ検出精度を向上させるユニークな特性を持つ。

(2) 把持機構をエンドエフェクタとして、これを動かすために流路で接続された液供給部より液体を供給し、把持機構を駆動するものである。このとき把持機構に加わる把持力は流路を介して液供給部側でも液圧変動が生じる。この液圧変動を液供給部側で計測すると、その力はパスカルの原理によりエンドエフェクタ側と液供給部側の流路の断面積比によって増幅される。研究代表者らは、これまでに試作した把持機構により約 1000 倍の増幅比を実現して、微細物の把持によって高精度に把持力を計測する機構を実現した。

(3) 本機構をさらに小型化することで、原理上はより高増幅率を実現でき、またより複雑な力覚情報を得ることができると考えられる。さらに本機構はエンドエフェクタ側の力と変位をセンサレスで推定することができるため、把持機構において把持物の変形力と変位をリアルタイムで測定することができ、把持物の機械的特性を簡易かつ即時に取得することができる。

3. 研究の方法

(1) 令和元年度では、高精度なセンサ機能を有する生体把持システムの開発を行った。研究代表者は先行研究において、液圧駆動機構を用いた把持機構を開発し、供給液量と内圧変動を計測してアクチュエータにかかる力と変形量を推定する手法を確立している。この原理を基に生体内での臓器や血管の把持を容易に行える把持機構の試作を行った。また把持実験において生体内における測定実験を行うためには、試作した機構を生体に近づける必要があるため、粗動機構としてアームロボットを新規に導入した。

(2) 令和 2 年度では、生体を用いた把持実験を行い、生体の力学的作用による反力や変位データなどの機械的特性を測定し、これを解析した。実験結果より測定精度をより向上させる必要が生じたため、測定結果の解析と並行して、機構の改良を行った。把持実験の解析結果より正常な生体組織の機械的特性を同定した。

(3) 令和 3 年度では、病理的变化を模した生体模擬モデルの測定を行い、生体の機械的特性における病理的因子を抽出する可能性について検討を行った。同時に生体内における機械的特性モデルの高精度化を行った。

4. 研究成果

(1) 本研究で開発したシステムでは、パスカフェクタに作用する力は、エンドエフェクタの原理を用いて、エンドエフェクタに作用する内圧の変化を求めることで算出される。先行研究の小さな力を計測することができる。エンドエフェクタの駆動にはニト

リルゴム製ベローズを用いていたが、本研究では極薄の金属製マイクロベローズを開発し、これをエンドエフェクタのアクチュエータとして用いた。金属ベローズは電鍍加工によりニッケルで作成した。他の加工方法と比較して、極端な公差や複雑な形状が要求される場合に有効であり、製作された極薄のベローズは軸方向以外に高い剛性を保った状態で軸方向に自由に伸縮させることができた。製作した金属ベローズは外径 6.35mm、内径 3.81mm であった。



図1 金属製マイクロベローズを用いた鉗子機構

(2) 図2に開発された液圧駆動装置を示す。この装置は把持による力覚計測を目的として開発されており、アクチュエータ、ロードセル、金属ベローズが直列に接続され、鉗子にも金属ベローズが取り付けられている。この2つのベローズをチューブで接続しており、チューブ内に水を充填させている。このため、アクチュエータの駆動により両ベローズが伸縮し、鉗子が開閉する。このとき、外力を内圧変化として計測可能である。また、アクチュエータの駆動量から変位推定が可能である。

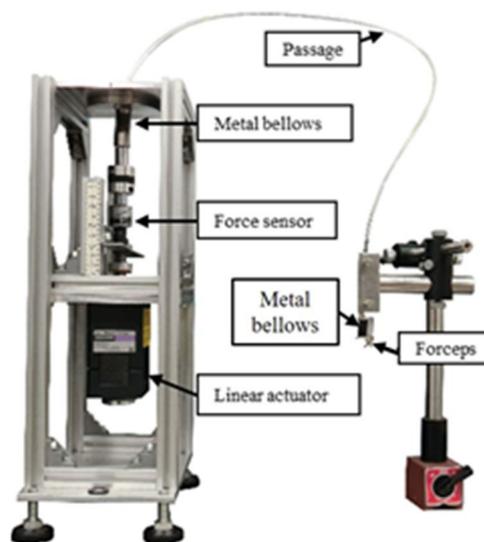


図2 液圧駆動による鉗子駆動装置の外観

(3) 図3に本システムの制御系を示す。駆動装置はパーソナルコンピュータにより制御され、液供給を行うアクチュエータを駆動する。また、この際に液供給側シリンダに設けられた圧力センサにより流路内の圧力を測定することにより、エンドエフェクタに与えられる液量と圧力変化値を得て、エンドエフェクタにかかる力を推定し出力する。

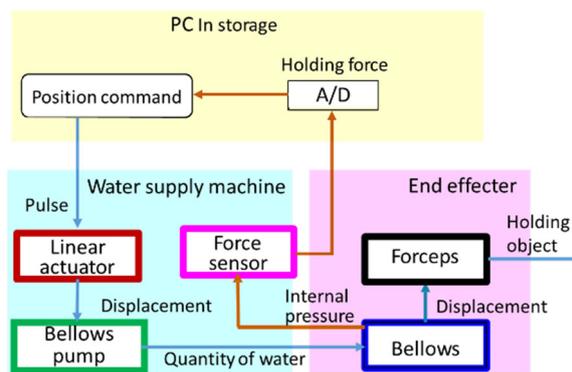


図3 本装置の制御システム

(4) 開発した鉗子機構による把持実験のようすを図4に示す。手術支援ロボット用マイクロデバイスによりエンドエフェクタの鉗子により生体を把持して、その際の反力 F [N] を計測する。図5に把持対象となる生体試料の例を示す。生後10週間程度のラットを用い、その臓器(脳、心臓、腎臓、肝臓など)の切片を鉗子で把持することで、把持力を測定した。図6に各臓器を把持した際の把持力の違いと、把持実験のようすを示す。この結果から、測定される把持力により各臓器の違いを明確に得ることができた。図6右は鉗子で心臓組織を把持しているようすであり、今回の実験では心臓組織が最も大きな把持力を得た。以上の結果より、本研究で開発したシステムでは、その把持力を得ることによって生体の機械的特性の違いを得ることができた。

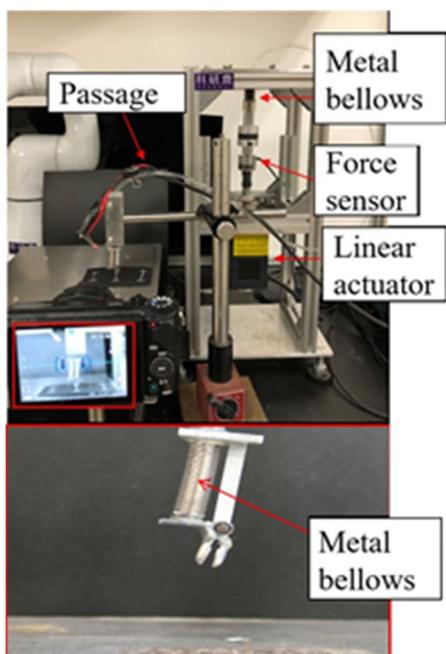


図4 鉗子機構による把持実験のようす



図5 生体試料の一例

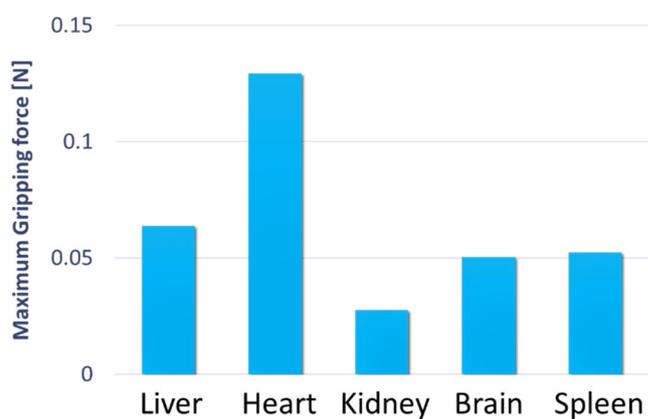


図6 生体試料を用いた把持実験結果とそのようす

<引用文献>

- [1]M. T. Gettman et al., “Robotic-assisted laparoscopic partial nephrectomy: Technique and initial clinical experience with DaVinci robotic system”, Urology, 2004, 64,5, pp. 914-918.
- [2]Hongo, K. et al., “Microsurgery-assisting Robotics (NeuRobot): Current Status and Future Perspective”, Japanese Journal of Neurosurgery, 2011, 20, 4, pp. 270-274.
- [3]Kobatashi, E. et al., “Development of Naviot for Minimally Invasive Surgery”, Journal of Robotics Society of Japan, 2005, 23, 2, pp. 168-171.
- [4]Fujie M. et al., “Development of a multi-DOF brain retract manipulator for minimally invasive surgery : Third report -Development of a total model for clinical application”, 2002, Journal of Japan society of computer aided surgery, 4, 3, pp.255-256.

- [5]Hockstein, NG. et al., Robotic microlaryngeal surgery: A technical feasibility study using the daVinci surgical robot and an airway mannequin, LARYNGOSCOPY, 115, 780-785.
- [6]Garg A. et al., “Tumor localization using automated palpation with gaussian process adaptive sampling” , 2016, IEEE international conference on automation science and engineering, pp.194-200.
- [7]Sasaki, T. et al., “Hydraulically driven joint for a force feedback manipulator” , Precision Engineering, 2017, 47, pp. 445-451.
- [8]Ikuta, K. et al., “Study on Hydraulically Driven Active Catheter for Safe Operation” , Trans. of the JSME(c), 2010, 76, 766, pp. 1553-1559.
- [9]Kawata, Y. et al., Measurement of blood vessel characteristics for disease detection based on cone-beam CT images, IEEE Transactions on Nuclear Science, 43, 6, 3348-3354.
- [10] Sasaki, T. et al., “Improving accuracy of hydraulic-driven forceps” , Proceedings of the 16th international conference of the European society for precision engineering and nanotechnology, 2016, 2.07.
- [11] Sasaki, T. et al., “Force measurement of blood vessel gripping by hydraulic-driven forceps” , 2017, Procedia CIRP (3rd CIRP Conference on BioManufacturing), 65, pp.84-87.

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 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sasaki Tohru, Fujiwara Yudai, Tachikawa Kaoru, Terabayashi Kenji, Dohda Kuniaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Hydraulic Micro Device with Force Sensing for Measurement of Mechanical Characteristics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 625 ~ 632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2020.p0625	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 該当する
1. 著者名 Tohru Sasaki, Kaoru Tachikawa, Atsushi Murakami, Bilal Ahmed Mir, Yudai Fujiwara, Kenji Terabayashi Mitsuru Jindai and Kuniaki Dohda	4. 巻 無
2. 論文標題 Micro Device with Force Sensing for Manipulate System of Palpation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceeding of euspen 's 20th International Conference & Exhibition	6. 最初と最後の頁 ICE20204
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 該当する
1. 著者名 Tohru Sasaki, Yudai Fujiwara, Kaoru Tachikawa, Takuya Wakashima, Kenji Terabayashi, Mitsuru Jindai, Kuniaki Dohda	4. 巻 無
2. 論文標題 Measurement of Mechanical Characteristics Using Micro Devices with Force Sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of EUSPEN 19th International Conference & Exhibition	6. 最初と最後の頁 P4.14
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 該当する
1. 著者名 Yudai Fujiwara, Tohru Sasaki, Kaoru Tachikawa, Atsushi Murakami, Hiromu Niwa, Kenji Terabayashi and Kuniaki Dohda	4. 巻 無
2. 論文標題 A Proposal of Mechanical Characteristic Measurement Method Using Micro Forceps with Force Sensing - Evaluation Using Simulation -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of 3rd World Congress on Micro and Nano Manufacturing	6. 最初と最後の頁 WeAT1.6
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 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村上敦, 笹木亮, 舘川郁, 村中茜, 寺林賢司, 堂田邦明
2. 発表標題 液圧駆動型デバイスによる生体の機械的特性測定-粘弾性モデル化に関する検討-
3. 学会等名 2021年精密工学会春季大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舘川郁, 藤原裕大, 笹木亮, 寺林賢司
2. 発表標題 手術支援ロボットのための生体検知システムの開発
3. 学会等名 日本設計工学会北陸支部2019年度北陸支部研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹木亮
2. 発表標題 センシング機能を有する手術支援用マイクロ鉗子の開発
3. 学会等名 富山大学PME養成プログラム第6回（2019年度）公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原裕大, 舘川郁, 丹羽浩武, 村上敦
2. 発表標題 センシング機能を有するマイクロ鉗子による生体の機械的特性計測
3. 学会等名 富山大学PME養成プログラム・生命融合教育部共催シンポジウム ポスター展示
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

富山大学 機械情報計測講座HP MIRDC訪問 2019.12.2
<http://enghp.eng.u-toyama.ac.jp/labs/me08/2019/12/23/389/>
富山大学工学部工学科機械工学コース機械情報計測講座
<http://enghp.eng.u-toyama.ac.jp/labs/me08/>

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