

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05891

研究課題名(和文) 力覚提示が可能な微細作業用マニピュレータのための液圧駆動による把持機構の開発

研究課題名(英文) hydraulic-drive forceps for a force feedback manipulator

研究代表者

笹木 亮 (SASAKI, Tohru)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号：00262501

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：マニピュレータが対象を把持した手応えをオペレータに伝えるシステムを実現するため、液圧駆動を用いた把持機構を試作した。試作した把持機構を用いて対象を把持した際の把持力を検出できることを確認し、鉗子部および液供給部の機構を改善することで力の検出精度を向上することができた。また生体試料を用いた把持実験を行い、その結果より把持した生体の剛性等の機械的特性の差異を判別することが可能であった。

研究成果の概要(英文)：Surgical manipulators are widely used for laparoscopic surgery. They have mainly been chosen for use in supporting human operations and in robot systems like the da Vinci surgical system. These manipulator systems are suitable for careful work, but they have a few problems. One is that the manipulators are not equipped with haptic sensing functions. Therefore, the operator must know advanced techniques for visually detecting the physical contact state during surgical operation. Such haptic sensing functions thus need to be incorporated into surgical manipulators. We have developed hydraulic-driven forceps with a micro bearing and a bellows tube that can convey haptic sense to the operator. For accurate surgical operation, the operator of the surgical manipulator must be able to feel the characteristics of the blood vessel and the organ.

研究分野：工学

キーワード：精密システム 微細作業 マイクロハンドリング

1. 研究開始当初の背景

(1) 液圧駆動機構は、これまで主に建設機械やプレス機など比較的高負荷の装置において、油圧を用いた機器が広く普及している。液圧駆動装置の特徴としてパスカルの原理を応用することで高出力を得られる利点がある一方、液体の粘性による出力精度低下というデメリットがあり、精密機器などへの応用は、これまで事例が少なかった。

(2) しかしながら近年では、液体に人体への影響を考慮し生理食塩水を用いた能動カテーテルや、医療用の小型マニピュレータへの応用がなされ始めている。このようにこれまで主に高負荷装置への応用に留まっていた液圧駆動機構が、従来はモータや圧電駆動機構が主であった精密位置決め・精密駆動の応用分野へ適用され始めている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、液圧駆動機構において供給流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微細作業用マニピュレータに組み込み、微小かつ柔軟物と接触や把持の際の力をオペレータに伝えるシステムを実現し、微細作業の精度向上を図ることを目的とする。

(2) マイクロサージェリや生命工学研究における顕微鏡下で微細作業を行うマニピュレータ操作において、生体組織のような微細で柔らかく不定形な対象を把持し、かつ力覚的なフィードバックによりオペレータに把持物の変形状態や剛性を力覚的に識別できることを可能とする。

(3) 本研究期間中では、位置と推定力を高精度に得られる機構の開発と、マニピュレータ先端の接触状態をオペレータが判別し易くするための粘弾性モデルを用いた力覚の提示方法の構築を行う。

3. 研究の方法

(1) 液圧駆動を用いた把持機構を試作した。基本原理は申請者が既に開発している液圧駆動型関節の設計を流用する。本申請課題ではペローズの伸長を把持部の開閉に用いる。最終的に生体組織を把持するため、把持部は手術用鉗子を模した物とした。またこれに先行して液圧駆動型関節の試作も行った。従来の液圧駆動機構は製作精度が悪く、関節角度のヒステリシスなど加工・組立精度に起因する位置・推定内圧の精度に関する問題があった。より微細な作業を行うためには精度の向上が必要である。試作された把持機構で基本的な動作の確認と、液圧駆動の位置および検知する力の精度向上を検証した。これにおいて、関節を屈曲させる液圧型駆動関節を開発し、基礎実験として直径1mmの模擬血管に直径0.1mmの微小縫合針を刺入した力を検知することに成功した。さらに、より微小

な力を検知するためには制御部におけるセンサ感度の不足が問題となるが、新たな圧力センサに導入することで解決を図った。

(2) オペレータに把持する際の力覚フィードバックを行うマニピュレートシステムを構築した。オペレータは入力インタフェースであるハプスティックデバイスを介し、マニピュレータへ操作量を与えることにより操作を行い、モータコントローラを介して把持機構を動作させる。この際、アクチュエータに液圧駆動機構を用いているため、マニピュレータが対象に触れた際に圧力変動が生じるが、これを圧力センサによりAD変換器を介して力覚提示処理系(PC)に取得する。粘弾性モデルを用いて把持対象の変形を力覚的に表現しオペレータへフィードバックすることで、把持した対象の変形状態を知覚できるマニピュレートシステムを構築する。代表者は先行研究において関節の屈曲に関する抵抗力をフィードバックするインタフェースシステムを構築しており、本申請課題において流用可能であるが、把持機構に合わせた操作システムと力検知のための反力の提示方法についての改良が必要である。これについて、既存の入力インタフェースでは位置分解能が不足するため、入力位置分解能の高い3次元入力インターフェースを導入することで解決を図った。

(3) 構築した力覚フィードバックできるマニピュレートシステムを用いて、評価実験を行い、把持する感覚の知覚や、把持する対象の特性を判別できるか否かについて、以下の事項に関する評価実験を行った。

- ・試作したシステムによる対象に触れる、刺す、挟むなどを行った際の操作性
- ・上記実験における対象の機械的特性の分かり易さの評価
- ・上記実験における実際の医療現場における実用性の評価

4. 研究成果

(1) 試作した液圧駆動型関節(図1)において、流量と屈折角度、および流量と内圧の関係を調べた。図2に流量と屈折角度の関係を示す。液圧駆動型関節を供給する流量を変化させることにより、関節を屈折させることを確認した。また、液圧駆動型関節の先端に直径0.1mmのステンレス製手術用縫合針を固定し、針が生体などに刺入した際の抵抗力が計測できるか否かについて実証実験を行った。図3に生卵を用いた刺入実験の様子と、検出された刺入時の抵抗力の時間変化を示す。結果より極めて微細な抵抗力が測定可能であることが判った。これより本研究にて提案した液圧駆動型の力覚センサの有効性が示された。

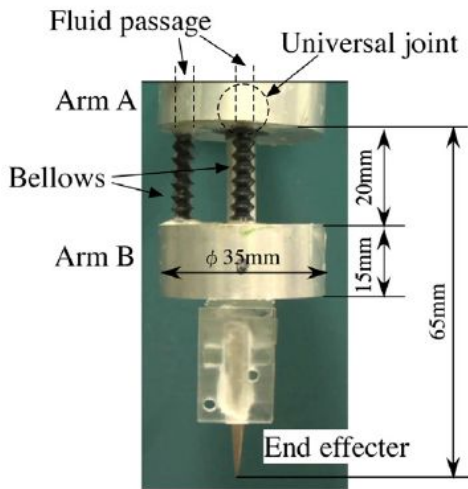


図1 試作した液圧駆動型関節

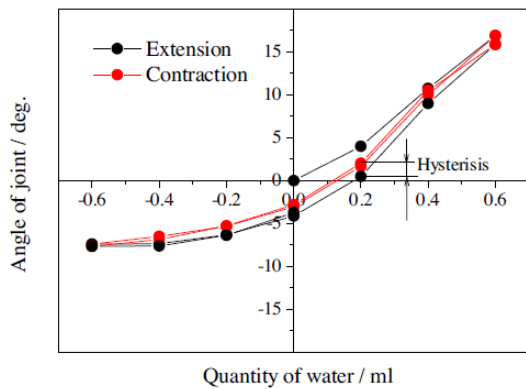
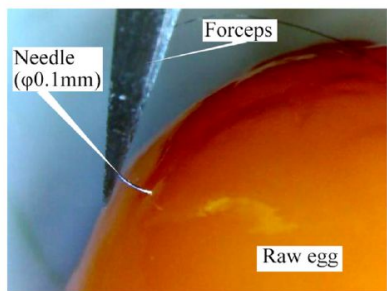
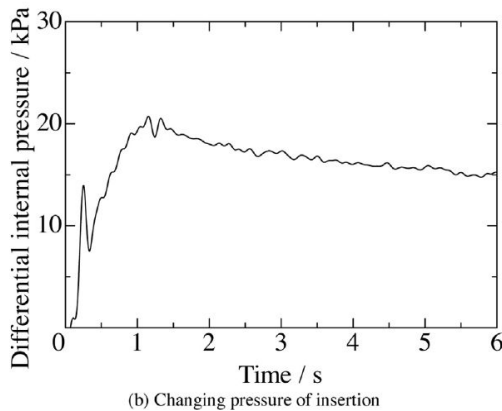


図2 流量と屈折角度の関係



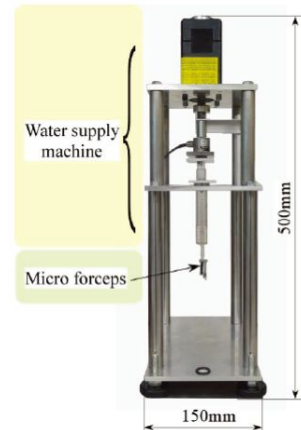
(a) A raw egg and needle



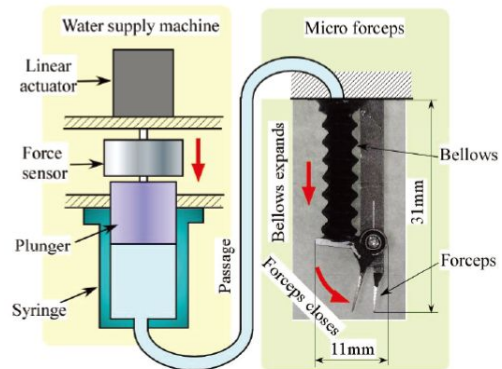
(b) Changing pressure of insertion

図3 手術用縫合針による生卵への刺入実験

(2) 前述の液圧駆動型関節と同様の原理に基づき、微細な生体を把持できる液圧駆動型鉗子を試作した。この鉗子について評価実験を行った。図4に試作した液圧駆動型鉗子とそれを駆動する液供給機構を示す。液供給機構はリニアアクチュエータによりシリンジ内に貯められた水を鉗子へ供給し、鉗子を駆動する。また鉗子が対象を把持した際の反力により鉗子と液供給部を繋ぐ流路に圧量変化が生じるため、これを圧力センサにより検知して、把持力を推定する。



(a) Hydraulic driven forceps mechanism.



(b) Principle of hydraulic driven forceps.

図4 液圧駆動型鉗子

試作した液圧駆動型鉗子を用いて生体の血管などを想定した把持実験を行い、本機構の評価を行った。図5に直径0.3mmから2mmのシリコンゴム製の模擬血管を対象とした把持実験の様子を示す。この際、模擬血管に水を充填し、ポンプを用いて血管の脈動と同様の圧力変化を与えた。その際に検出した把持力の変化を図6に示す。微細な脈動変化を把持することによって計測することができ、本機構の把持力検知に対する有効性が示された。

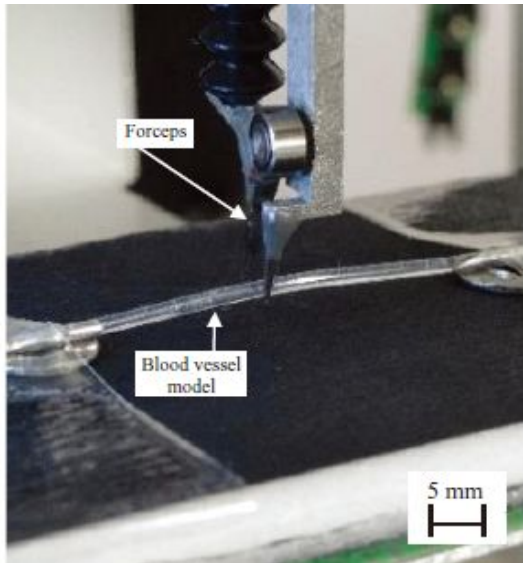


図5 鉗子による把持実験の様子

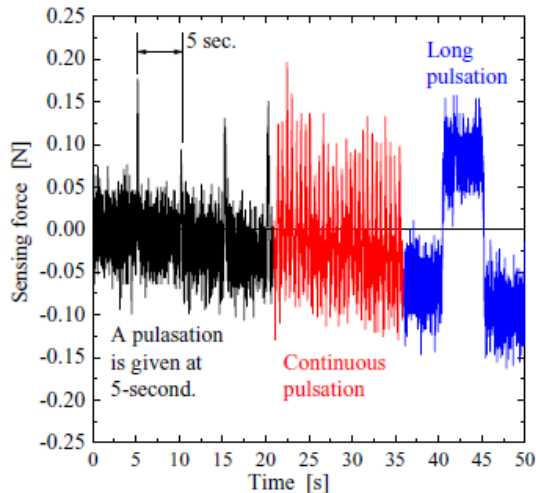


図6 把持による脈動の測定

(3) オペレータに把持する際の力覚フィードバックを行うマニピュレートシステムを構築し、その評価実験を行った。構築したシステムを図7に示す。オペレータは3次元入力デバイスを用いて液圧駆動鉗子を動かす、その際の把持力を入力デバイスにトルクとして与えることで、オペレータが把持力を感ずることができる。前述(2)の模擬血を管用いた把持実験においてオペレータは血管を把持した際の手応えを、入力デバイスを課して感ずることができた。これより本システムの医療応用に対する有効性を示すことができた。

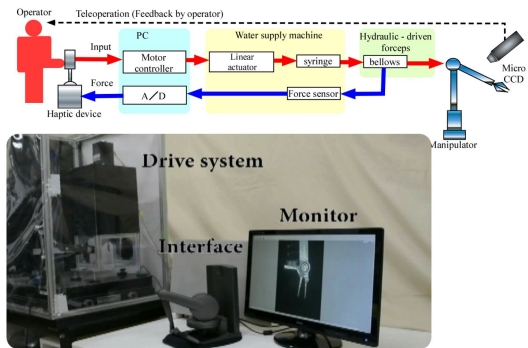


図7 構築したマニピュレートシステム

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計6件)

Tohru Sasaki, Yudai Fujiwara, Masao Hebisawa, Naotoshi Matsumoto, Takashi Naraoka, Kenji, Terabayashi, Mitsuru Jindai & Kuniaki Dohda, Development of Hydraulic-Driven Devices Using Additive Manufacturing, Proceeding of EUSPEN 18th International Conference & Exhibition, 2018, ICE18288

Yudai Fujiwara, Tohru Sasaki, Masao Hebisawa, Naotoshi Matsumoto, Takashi Naraoka, Kenji, Terabayashi, Mitsuru Jindai & Kuniaki Dohda, Water Supply Machine for Hydraulic-Driven Micro Device, Proceeding of EUSPEN 18th International Conference & Exhibition, 2018, ICE18302

Tohru Sasaki, Masao Hebisawa, Yasuyuki Mito, Kuniaki Dohda and Satoshi Kuroda, Force measurement of blood vessel gripping by hydraulic-driven forceps, Proceeding of 3rd CIRP Conference on BioManufacturing, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.04.002>

Tohru Sasaki, Masao Hebisawa, Yasuyuki Mito, Kuniaki Dohda and Satoshi Kuroda, Force measurement of blood vessel gripping by hydraulic-driven forceps, Procedia CIRP (3rd CIRP Conference on BioManufacturing), Vol.65, 2017, pp.84-87, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.04.002>

の学会発表からの Selected Paper による論文誌掲載

Tohru Sasaki, Keisuke Kokubo, Hiromitsu Sakai, Hydraulically driven joint for a force feedback manipulator, Precision Engineering, Vol.47, 2017, pp.445-451

<https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2016.09.019>

Masao HEBISAWA, Tohru SASAKI, Kuniaki DOHDA, Yasuyuki MITO, Mitsuru JINDAI, Shunsuke OTA, Development of hydraulic-drive force sensor using micro cylinder, Proceedings of world congress on micro and nano manufacturing 2017, 2017, pp.165-168

(4)研究協力者

堂田 邦明 (Dohda, Kuniaki)

〔学会発表〕(計5件)

Tohru Sasaki, Yudai Fujiwara, Masao Hebisawa, Naotoshi Matsumoto, Takashi Naraoka, Kenji, Terabayashi, Mitsuru Jindai & Kuniaki Dohda, Development of Hydraulic-Driven Devices Using Additive Manufacturing, EUSPEN 18th International Conference & Exhibition, 2018. 雑誌論文 は本発表のプロシーディング

Yudai Fujiwara, Tohru Sasaki, Masao Hebisawa, Naotoshi Matsumoto, Takashi Naraoka, Kenji, Terabayashi, Mitsuru Jindai & Kuniaki Dohda, Water Supply Machine for Hydraulic-Driven Micro Device, Proceeding of EUSPEN 18th International Conference & Exhibition, 2018. 雑誌論文 は本発表のプロシーディング

Tohru Sasaki, Masao Hebisawa, Yasuyuki Mito, Kuniaki Dohda and Satoshi Kuroda, Force measurement of blood vessel gripping by hydraulic-driven forceps, Proceeding of 3rd CIRP Conference on BioManufacturing, 2017. 雑誌論文 は本発表のプロシーディング

Masao HEBISAWA, Tohru SASAKI, Kuniaki DOHDA, Yasuyuki MITO, Mitsuru JINDAI, Shunsuke OTA, Development of hydraulic-drive force sensor using micro cylinder, Proceedings of world congress on micro and nano manufacturing 2017, 2017. 雑誌論文 は本発表のプロシーディング.

藤原裕大, 蛇澤正雄, 松本尚利, 松本梨奈, 笹木亮, 寺林賢司, 液圧駆動機構の駆動性能の改善, 2017年度精密工学会北陸信越支部学術講演会, 2017.

〔その他〕

ホームページ等

富山大学 機械情報計測講座 HP

<http://www3.u-toyama.ac.jp/sasa/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

笹木 亮 (SASAKI, Tohru)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号: 00262501