

機関番号：12608
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21760190
 研究課題名（和文）手術ロボットシステムにおけるインピーダンスパラメータの最適安全設計
 研究課題名（英文）Optimal and Safe Design of Impedance Parameters of Surgical Robot System
 研究代表者
 只野 耕太郎（TADANO KOTARO）
 東京工業大学・精密工学研究所・助教
 研究者番号：90523663

研究成果の概要（和文）：

本研究では、力センサを用いずに外力推定を可能とする空気圧駆動鉗子マニピュレータ IBIS IV を新たに開発し、力覚感度を 0.5N 程度まで向上させるとともに、in-vivo 実験を実施しシステムの有効性を確認した。また、基本手技において、最も効率よく作業できるマスタのダンピング係数の値が存在することを実験的に確認した。一方で、マスタマニピュレータにおいて人間の力学的特性を考慮してダンピング係数を可変とするインピーダンス制御系を提案し、操作性と安定性を両立するシステムを実現した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, a pneumatic-driven forceps manipulator that is able to estimate external forces without using any forceps sensor was newly developed. The force sensitivity was improved to about 0.5N and the effectiveness of the developed system was confirmed through in-vivo experiments. We confirmed presence of parameters of the damping coefficient that maximize the efficiency of a basic task. Also, we proposed an impedance control system that changes the damping coefficient on the basis of human kinematic characteristics. The system realized both operability and stability.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：手術ロボット，力覚提示，インピーダンス制御，バイラテラル制御，安全性評価，腹腔鏡手術，空気圧アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

(1) 高齢化社会を迎え、遠隔操作可能なロボットシステムの必要性は益々高まっている。特に、遠隔診断、治療、手術などは、ロボット技術と情報通信技術の発展に伴って、これ

から益々重要な研究分野であるとともに、飛躍的な進展が期待される領域である。

(2) 研究代表者らは力制御に有効な空気圧駆動に着目し、力覚を有するマスタ・スレー

ブ型の腹腔鏡手術用ロボットシステムの開発を行ってきた。スレーブ側に空気圧アクチュエータを用いることで、力センサなしに外力検出を可能とした独創的なシステムであり、その有効性を実験的に確認した。

(3) しかし、これまでに開発したシステムの力覚感度は 3N 程度であり、手術中の微細な反力までも術者に提示するには不十分であった。感度向上のためには、特にマニピュレータの軽量化と低摩擦化が鍵であることを既に明らかとしており、今後マニピュレータの再設計を行い、次試作を製作することで性能の向上が大いに期待される。

(4) また、提案するシステムはインピーダンス制御されており、操作中の機械的インピーダンスを任意に設定可能であるが、インピーダンスパラメータと操作性の関係は明らかになっていない。

2. 研究の目的

(1) システムの実用化および今後の応用研究のため、力覚感度を 0.5N 程度までに向上させる。このための手段として新たな試作機の開発を行う。

(2) 動物実験を実施し、システムの評価を行うとともに、術中の力や運動のデータを採取し、システム全体の完成度を高める。

(3) 得られたデータを解析することで作業と力、運動の関係を明らかにする。この結果から作業に応じた最適なインピーダンスパラメータを導出、またはその方法を提案し、システムに実装する。

3. 研究の方法

(1) これまでに開発されている鉗子マニピュレータは全てアクチュエータの動力をワイヤやロッド、歯車によって先端部へ伝達している。この場合に問題となる自由度間の干渉や摩擦による動力損失を避けるため、先端部に小型の空気アクチュエータを組み込んだ多自由度鉗子の開発を行う。これまでに製作してきた鉗子マニピュレータによって得られた知見を基に、手術ロボットに要求される仕様を満たすよう機構を選定、設計し、新しい鉗子マニピュレータの試作を行う。

(2) システムの有効性を基礎的に確認した上で、動物実験により力覚提示性能の評価を行う。本実験によって、十分な基本性能が確認できない場合にはシステムの改良を施し、再度動物実験を実施する。大きな問題がなければ、いくつかの作業をパラメータを数パ

ーン変えて遂行し、作業中の力、変位、時間などの基礎的データを採取する。

4. 研究成果

(1) 要求される仕様を満たすよう機構を選定、設計し、新しい空気圧駆動鉗子マニピュレータ IBIS IV (図 1) の試作を行った。新試作機では自由度間の干渉や摩擦による動力損失を避けるため、鉗子の把持部の駆動に小型の空気アクチュエータを採用した。空気圧配管で動力を伝達することから、他の関節の干渉を受けないだけでなく、閉じた状態で約 20N の大きな把持力が発生できる。また、鉗子保持部も軽量化し、外力推定感度を 0.5N 程度にまで向上させた。さらに、図 2 に示すように in-vivo 実験を実施し、試作したロボットシステムの有効性を確認した。一方で、軽量の空気圧ゴム人工筋をアクチュエータとして採用した鉗子を試作することで、さらなる軽量化により外力推定性能の向上が可能であることを示した。



図 1 開発した空気圧駆動鉗子マニピュレータ IBIS IV



図 2 In-vivo 実験の様子

(2) マスタ・スレーブシステムの最適な力学的インピーダンスパラメータを探索するために、腹腔鏡手術に熟練した医師のグループとそうでないグループを被験者として、マスタ側のダンピング係数を変えて、図3に示すようなブロックの移し替え作業を行わせた。その結果、最も効率よく作業できるダンピング係数の範囲が存在することを確認し、この傾向は手術の熟練度に依らず、いずれのグループも同様であることを明らかにした(図4)。また結紮を想定したタスクでは、力覚提示により結紮の成功率が向上することを確認した。

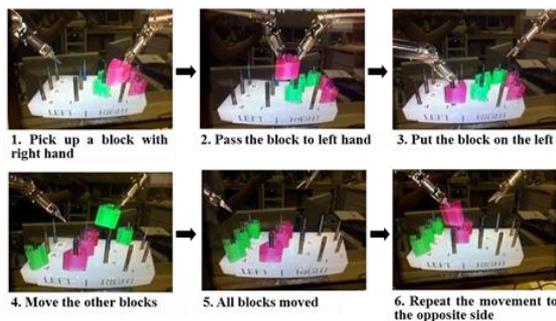


図3 ブロック移動実験

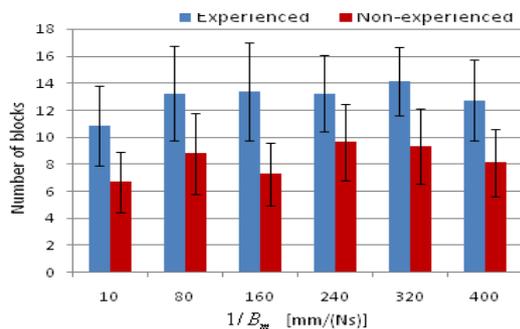


図4 ブロック移動の実験結果

(3) マスタマニピュレータにおいて人間の力学的特性を考慮してダンピング係数を可変とするインピーダンス制御系を提案し、操作性と安定性を両立するシステムを実現した。具体的には、搭載されている力センサの振動振幅から操作者の緊張度を推定し、緊張度が高い場合に高ダンピングになるように設定することで、任意の条件においてシステムの安定性を維持できるシステムを実現した。

(4) 本研究は、遠隔操作システムの操作性を人間の特性を含めて考察することにより、今後、作業の効率と安全性の関係を解明し、これらをより高めていくための研究に有用な知見となると考えられる。

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3件)

① Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, Kojima Kazuyuki, Tanaka Naofumi, Development of a pneumatic surgical manipulator IBIS IV, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22 No.2 pp.179-187, 2010, 査読有

② Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, Development of a Master Slave System with Force-Sensing Abilities Using Pneumatic Actuators for Laparoscopic Surgery, Advanced Robotics, Vol.24, No.12, pp.1763-1783, 2010, 査読有

③ 只野耕太郎, 住野亘, 川嶋健嗣, 空気圧駆動を用いた力覚提示機能を有する多自由度鉗子の開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 5, pp. 538-545, 2009, 査読有

[学会発表] (計12件)

① 川嶋健嗣, 只野耕太郎, 原口大輔, 小宮みずき, 田中直文, 小嶋一幸, マスタ・スレーブ型手術ロボットの操作性に関する研究, 第3回医歯工学イノベーション・シンポジウム講演予稿集, pp.35-38, 2011/3/19, 東京

② 佐藤慶明, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, アドミタンス提示型ハプティックインタフェースの安定性に関する研究, 第28回日本ロボット学会学術講演会, 3K3-4, 2010/9/24, 名古屋

③ 崔竣銘, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 腹腔鏡手術ロボットにおける操作対象への誘導制御, 第28回日本ロボット学会学術講演会, 3K1-2, 2010/9/24, 名古屋

④ 小宮みずき, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 小嶋一幸, 田中直文, 力覚提示機能を有する手術用ロボットの操作性に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10, 2A1-C08, 2010/6/16, 旭川

⑤ Li Hongbing, 中野すみれ, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 香川利春, Research on accuracy of force estimation with surgical manipulator using pneumatic artificial muscle, 日本フルードパワーシステム学会春季講演会講演論文集, pp.100-102, 2010/5/28, 東京

⑥H. Hawkeye King, Blake Hannaford, Ka-Wai Kwok, Guang-Zhong Yang, Paul Griffiths, Allison Okamura, Ildar Farkhatdinov, Jee-Hwan Ryu, Ganesh Sankaranarayanan, Venkata Arikatla, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, Angelika Peer, Thomas Schauß, Martin Buss, Levi Miller, Daniel Glozman, Jacob Rosen, Thomas Low, Plugfest 2009: Global Interoperability in Telerobotics and Telemedicine , IEEE ICRA 2010, pp.1773-1738, 2010/5/4, Anchorage

⑦川嶋健嗣, 只野耕太郎, 中野すみれ, 小嶋一幸, 田中直文, 空気圧ゴム人工筋をスレーブ駆動に用いた腹腔鏡手術用マスタスレーブシステム. 日本医工学治療学会第 26 回学術大会. 日本医工学治療学会第 26 回学術大会抄録集. p. 81 2010/4/3, 東京

⑧川嶋健嗣, 只野耕太郎, 新井豪, 小宮みずき, 小嶋一幸, 田中直文: 遠隔対応型腹腔鏡手術用マスタ・スレーボットシステム, 第 2 回医歯工学イノベーション・シンポジウム講演予稿集, pp.15-18, 2009/11/28, 東京

⑨中野すみれ, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 香川利春, 空気圧ゴム人工筋を用いた多自由度鉗子の開発, 平成 21 年秋季フルードパワーシステム講演会, pp. 64-66, 2009/11/26, 東京

⑩只野耕太郎, 川嶋健嗣, 空気圧駆動手術用マニピュレータ IBIS IV の開発, 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2A4-2, 2009/9/10, 東京

⑪ Kotaro Tadano, Kenji Kawashima , Development of a Pneumatically Driven Forceps Manipulator IBIS IV, ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka International Congress Center, Japan, pp.3815-3818, 2009/8/20, 福岡

⑫只野耕太郎, 川嶋健嗣, 小嶋一幸, 田中直文, 空気圧駆動手術用マニピュレータ IBIS IV 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' 09, 1A2-K09, 2009/5/24, 福岡

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 力覚提示機能を有する 操作システム

発明者: 川嶋健嗣, 只野耕太郎

権利者: 東京工業大学

種類: PCT

番号: JP2008/053614

出願年月日: 2009. 9. 1

国内外の別: 外国

[その他]

ホームページ

<http://www.k-k.pi.titech.ac.jp/>

新聞掲載

①川嶋健嗣, 只野耕太郎: 手術支援ロボ小型化, 日刊工業新聞, 平成 22 年 3 月 8 日 1 面

②川嶋健嗣, 只野耕太郎: 手術ロボット新時代, 日刊工業新聞, 平成 22 年 4 月 7 日

③川嶋健嗣, 只野耕太郎: 手術ロボ 微妙な手応え遠隔伝達, 日経産業新聞, 平成 22 年 4 月 21 日 11 面

④川嶋健嗣, 只野耕太郎: 東工大 空気圧で鉗子操作支援ロボ 触角も伝える, 日経産業新聞, 平成 22 年 5 月 12 日 11 面

⑤川嶋健嗣, 只野耕太郎, 佐藤慶明: 手術支援ロボ小型化, 日刊工業新聞, 平成 22 年 11 月 10 日 16 面

6. 研究組織

(1) 研究代表者

只野 耕太郎 (TADANO KOTARO)

東京工業大学・精密工学研究所・助教

研究者番号: 9 0 5 2 3 6 6 3

(2) 連携研究者

川嶋 健嗣 (KAWASHIMA KENJI)

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号: 4 0 3 0 0 5 5 3