

令和 元年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03195

研究課題名(和文) 体内に挿入して手術が可能な極小の5本指のマスタースレーブ式ロボットハンドの開発

研究課題名(英文) Study of a miniature master-slave five fingers hand robot which can perform surgery in abdominal cavity

研究代表者

中橋 龍 (Nakadate, Ryu)

九州大学・先端医療イノベーションセンター・特任准教授

研究者番号：40584470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,890,000円

研究成果の概要(和文)：グローブ型センサによってオペレーターの手の動きを体内で再現することが可能な、手首径10mmの超小型5本指ハンド及び腕部(各21能動自由度)を左右手分備え、同じくヘッドマウントディスプレイを装着したオペレーターの頭部の動きに連動する直径10mmのステレオ内視鏡(6能動自由度)を加えた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

自由度数の多い人型ハンドロボットとしてはおそらく世界最小のものが完成した。体内に挿入する手術ロボットのみならず、微小空間での作業を行うロボットハンドとして工業分野でも様々な応用が考えられる。またその構成方法の一部は人サイズのロボットハンドにも応用可能である。

研究成果の概要(英文)：A robot system which is composed of, two miniature five-finger hands for right/left arm (21 active degrees of freedom each, 10mm in diameter), a three dimensional bending endoscope (6 degrees of freedom, 10mm in diameter) was developed for the purpose of laparoscopic surgery. The operator's finger/hand movements and head movement are simultaneously reproduced in abdominal cavity by glove type sensors and a head mount display.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボット ハンド

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

外科手術では患部臓器にアクセスするため健常な皮膚等にも切開を加える必要がある。腹腔鏡手術はこれをできるだけ減らすため、小さい体表の穴から細長い道具とカメラを挿入して行う手術である。しかしカメラ越しに体外から道具を操作するのは難しい。これを解決するため、既に米国製の手術ロボットが普及しており、直感的な操作を提供している。我々の研究領域である手術ロボットの目的の一つは、従来の器具で行うと難しい手術を直感的な操作で可能にすることである。我々はこの分野において、革新的でありインパクトが高い研究として、「究極的に直感的な」手術ロボットとは何かを検討した結果、直感的な操作の究極型は、自分の手の動きをそのまま体内で再現するマスタスレーブ型ロボットハンドであろうと考え、これを10mm程度のサイズで実現し、腹腔鏡手術に使用するという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、究極的に直感的な腹腔鏡手術用ロボットとして、体内に挿入して手術が可能な極小の5本指のマスタスレーブ式ロボットハンドを開発することを目的としている。最終形としてグローブ型センサによって操縦者の手の動きを体内で再現することが可能な2本のハンドを備え、3D内視鏡を加えたシステムを実現することを目標としている。

3. 研究の方法

これまでに完成していたワイヤ駆動式20自由度（能動15自由度）の人の手を模した手首径10mmの指部に加え、システム全体を完成させるため、以下の開発・改良を行った。

(1)腕部（肩・肘・手首、計6自由度）を新たに開発した。指を駆動するワイヤの途中経路が手首、肘、肩関節により曲がることになるため、蛇管ワイヤ（柔軟チューブの中にワイヤを通したもの）を動力伝達手段として用いた。腕の中に40本の細径チューブ・ワイヤを通した。

(2)関節は指・腕ともに1関節を1対2本のワイヤで牽引する拮抗駆動方式としているが、ワイヤ牽引長と関節角の関係が非線形となるため、ワイヤにたるみが生じ、ヒステリシスが生じていた。このため、モータ側のプーリを非円形で設計し、たるみを回避した。また、軸間干渉のある軸については、1関節を2個のモータで駆動する改良を行った。

(3)3D内視鏡ロボットを新たに開発した。腕部と同じ直径10mmの6自由度シリアルリンクロボットの先端に、高フレームレート、低レイテンシの小型CMOSカメラを2個配置した。カメラ画像は3Dヘッドマウントディスプレイに表示した。

(4)操作用のマスタグローブは、これまでグローブ上に張り巡らせたワイヤの伸縮を計測する仕組みであったが、ジョイントベースのセンシングであるため、各関節の誤差が蓄積して指先端に現れ、特につまみ動作のときに指先が合わない問題があった。そこでこれまでの方式を変更し、非接触位置センサで指先位置を直接計測し、手のリンクモデルを用いて各関節角度を算出する方式とした。位置センサには高サンプリングレートの磁気式センサを用いた。

(5)腕および内視鏡ロボットのコントロールは、マスタグローブおよびヘッドマウントディスプレイに磁気式位置センサを取り付け、操作入力とした。

4. 研究成果

グローブ型センサによって操縦者の手の動きを体内で再現することが可能な手首径10mmの2本のハンド（各21能動自由



図1 2本のハンド、3D内視鏡の近影

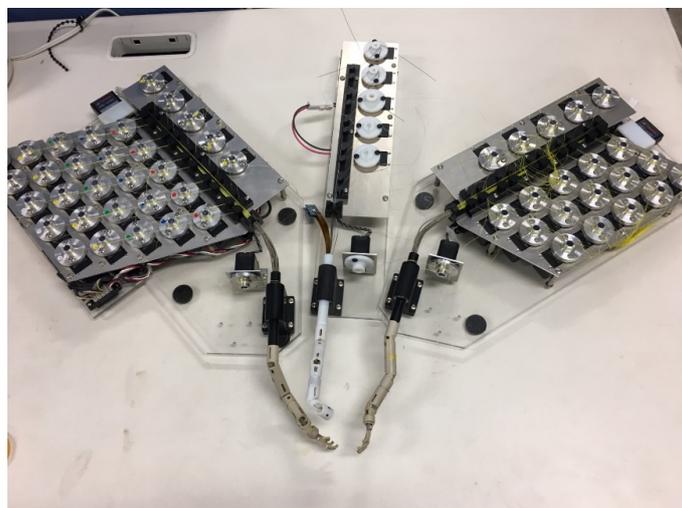


図2 システム全体図

度)を備え、同じく直径10mmの3D内視鏡(6能動自由度)を加えたシステムを実現した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① Jumpei Arata, Kazunari Fukami, Susumu Oguri, Shinya Onogi, Tetsuo Ikeda, Ryu Nakadate, Masamichi Sakaguchi, Tomohiko Akahoshi, Kanako Harada, Mamoru Mitsuishi, Makoto Hashizume, Laparoscopic Ultrasound Manipulator With a Spring-Based Elastic Mechanism, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 13(7):1063-1072, 2018 (査読あり) DOI: 10.1007/s11548-018-1709-7
- ② Caleb Busch, Ryu Nakadate, Munenori Uemura, Satoshi Obata, Takahiro Jimbo, Makoto Hashizume, Objective assessment of robotic suturing skills using a new computerized system: A step forward in the training of robotic surgeons, *Asian Journal of Endoscopic Surgery*, (online first), 2018 (査読あり) DOI: 10.1111/ases.12672
- ③ Okamoto Y, Nakadate R, Nakamura S, Arata J, Oguri S, Moriyama T, Esaki M, Iwasa T, Ohuchida K, Akahoshi T, Ikeda T, Kitazono T, Hashizume M, Colorectal endoscopic submucosal dissection using novel articulating devices: a comparative study in a live porcine model, *Surgical Endoscopy*, (online first), 2018 (査読あり) DOI: 10.1007/s00464-018-6408-5
- ④ Tsutomu Iwasa, Ryu Nakadate, Shinya Onogi, Yasuharu Okamoto, Jumpei Arata, Susumu Oguri, Haruei Ogino, Eikichi Ihara, Kenoki Ohuchida, Tomohiko Akahoshi, Tetsuo Ikeda, Yoshihiro Ogawa, Makoto Hashizume, A new robotic-assisted flexible endoscope with single-hand control: Endoscopic submucosal dissection in the ex vivo porcine stomach, *Surgical Endoscopy*, 32(7):3386-3392, 2018 (査読あり) DOI: 10.1007/s00464-018-6188-y
- ⑤ Jumpei Arata, Yoshiteru Kobayashi, Ryu Nakadate, Shinya Onogi, Kazuo Kiguchi, Makoto Hashizume, Spherical and non-spherical combined two degree-of-freedom rotational parallel mechanism for a microsurgical robotic system, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 30(6) .846-854, 2018 (査読あり) DOI: 10.20965/jrm.2018.p0846

[学会発表] (計15件)

- ① Wataru Kajihara, Ryu Nakadate, Kazuo Kiguchi, Kanako Harada, Mamoru Mitsuishi, Makoto Hashizume, Jumpei Arata, Mechanism study for miniaturized compliant manipulator for Minimally Invasive Surgery, The 14th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS 2018), 2018
- ② 中橋 龍, 小栗 晋, 荒田 純平, 大澤 啓介, 赤星 朋比古, 副島 雄二, 江藤 正俊, 橋爪 誠, 体深部狭所での運針のためのシングルアクション運針器の開発, 第27回日本コンピュータ外科学会大会, 2018
- ③ 中橋 龍, 岩佐 勉, 小野木 真哉, 荒田 純平, 小栗 晋, 岡本 康治, 赤星 朋比古, 副島 雄二, 江藤 正俊, 橋爪 誠, 軟性鏡手術ロボットのex vivo評価, 第27回日本コンピュータ外科学会大会, 2018
- ④ Jumpei Arata, Yosuke Fujisawa, Ryu Nakadate, Kanako Harada, Mamoru Mitsuishi, Kazuo Kiguchi, Makoto Hashizume, Synthetic elastic mechanism for miniaturized neurosurgical robotic forceps, Computer Assisted Radiology 31th International Congress and Exhibition (CARS 2018), 2018
- ⑤ 中橋龍、小栗晋、荒田純平、小野木真哉、赤星朋比古、副島雄二、橋爪誠、体内で連続縫合が可能な自動運針器のプロトタイプの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 (ROBOMECH2018), 2018
- ⑥ R. Nakadate, J. Arata, S. Oguri, S. Onogi, T. Akahoshi, T. Ikeda, M. Hashizume, A miniature five finger hand robot for laparoscopic surgery -development of hand part and master glove-, Computer Assisted Radiology 29th International Congress and Exhibition (CARS 2016), 2016
- ⑦ 小林 美輝, 中橋 龍, 木口 量夫, 橋爪 誠, 荒田 純平, パラレルメカニズムを応用した微細手術ロボットのための回転2自由度機構, 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 (SI2017) 予稿集, 3B3-08, 2017., 2017
- ⑧ Yoshiteru Kobayashi, Ryu Nakadate, Kazuo Kiguchi, Makoto Hashizume, Jumpei Arata, A novel 2-DOF Rotational Parallel Mechanism with a Remote Center of Motion for Microsurgical Robot, The 13th Asian Conference on Computer Aided Surgery, 2017
- ⑨ Shinya Onogi, Ryu Nakadate, Tsutomu Iwasa, Jumpei Arata, Susumu Oguri, Makoto Hashizume, Development of robotic flexible endoscope manipulation system, The 13th Asian Conference on Computer Aided Surgery, 2017
- ⑩ Ryu Nakadate, Tsutomu Iwasa, Yasuharu Okamoto, Jumpei Arata, Shinya Onogi, Susumu Oguri, Tomohiko Akahoshi, Tetsuo Ikeda, Makoto Hashizume, Novel suturing device for flexible endoscope, The 13th Asian Conference on Computer Aided Surgery, 2017

- ⑪ 中楯龍, 岩佐勉, 岡本康治, 小野木真哉, 荒田純平, 小栗晋, 赤星朋比古, 池田哲夫, 橋爪誠, 縦方向とねじり回転が可能な軟性鏡用外付け持針器の開発, 第 11 回先進内視鏡治療研究会 (J-CASE), 2017
- ⑫ 大澤啓介, 中楯龍, 小栗晋, 荒田純平, 小野木真哉, 赤星朋比古, 池田哲夫, 橋爪誠, ピニオンギヤ機構を用いた自走式大腸内視鏡ロボットの開発, 第 26 回日本コンピュータ外科学会大会, 2017
- ⑬ Jumpei Arata, Yuki Kamura, Susumu Oguri, Ryu Nakadate, Kazuo Kiguchi, Makoto Hashizume, Multi-Degree-Of-Freedom Laparoscopic Surgical Manipulator using Large Deformation of Elastic Components as Mechanism, Computer Assisted Radiology 30th International Congress and Exhibition (CARS 2017), 2017
- ⑭ 岡本康治, 中楯龍, 森山智彦, 中村昌太郎, 岩佐勉, 赤星朋比古, 池田哲夫, 小栗晋, 荒田純平, 大内田研宙, 北園孝成, 橋爪誠, 2本の腕からなる新デバイスを用いた大腸ESD, 第16回EMR/ESD研究会, 2016
- ⑮ 中楯龍 荒田純平 小野木真哉 小栗晋 宗崎良太 大内田研宙 赤星朋比古 池田哲夫 橋爪誠, 腹腔鏡手術用ミニチュアロボットハンドの腕部の開発, 第32回ライフサポート学会大会, 第16回日本生活支援工学会大会, 日本機械学会 福祉工学シンポジウム 2016 (LIFE2016), 2016

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計1件)
 名称: ロボットハンド及びこれを操作するためのマスタ
 発明者: 中楯龍, 橋爪誠
 権利者: 九州大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2017-538057、PCT/JP2016/075377
 出願年: 2016
 国内外の別: 国内、PCT

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

- ① 中楯龍, 日本のお家芸である軟性鏡とともに用いる手術マニピュレータ, 第25回日本コンピュータ外科学会大会, 2016
- ② 中楯龍, 世界の手術マニピュレータの開発動向と 当施設での製品開発経験, 国産医療機器創出促進基盤整備事業等事業シンポジウム, 2017
- ③ 中楯龍, 新医療機器開発の事例紹介と 参入にあたって必要なこと, 国産医療機器創出促進基盤整備事業セミナー, 2017
- ④ 中楯龍, 体内に挿入可能な5指ロボットハンドと低コストデータグローブ, 次世代医療システム産業化フォーラム 2017 第6回例会, 2017
- ⑤ 中楯龍, 先端医療イノベーションセンターの開発事例2, 平成29年度AMED国産医療機器創出促進基盤整備等シンポジウム, 2018
- ⑥ 中楯龍, 橋爪誠, 消化器外科手術における先端ロボット技術, 人工臓器, 2018

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 赤星 朋比古
 ローマ字氏名: (AKAHOSHI, tomohiko)
 所属研究機関名: 九州大学
 部局名: 医学研究院
 職名: 准教授
 研究者番号 (8桁): 20336019

研究分担者氏名: 大内田 研宙
 ローマ字氏名: (OHUCHIDA, kenoki)
 所属研究機関名: 九州大学

部局名：大学病院
職名：講師
研究者番号（8桁）：20452708

研究分担者氏名： 荒田 純平
ローマ字氏名：(ARATA, jumpei)
所属研究機関名：九州大学
部局名：工学研究院
職名：准教授
研究者番号（8桁）：40377586

研究分担者氏名：橋爪 誠
ローマ字氏名：(HASHIZUME, makoto)
所属研究機関名：九州大学
部局名：先端医療イノベーションセンター
職名：名誉教授
研究者番号（8桁）：90198664

研究分担者氏名：池田 哲夫
ローマ字氏名：(IKEDA, tetsuo)
所属研究機関名：九州大学
部局名：大学病院
職名：准教授
研究者番号（8桁）：60585701

(2)研究協力者

研究協力者氏名：大澤 啓介
ローマ字氏名：(OSAWA, keisuke)

※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。