

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24240082

研究課題名(和文) 微細マニピュレータ及び画像誘導機能を有する半自立動作性内視鏡システムの開発

研究課題名(英文) Development of endoscope robot with CAD system for minimally invasive diagnosis and surgery

研究代表者

橋爪 誠 (Hashizume, Makoto)

九州大学・医学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90198664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は半自立型駆動機構と内視鏡や単孔式手術に使用可能な微細マニピュレータを開発することである。半自立型駆動機構の開発において、吹き戻し型のエアーアクチュエータにより駆動力を得る自走式大腸内視鏡の開発を行った。微細内視鏡用マニピュレータの開発では、駆動系の細径化を行うことで軟性内視鏡に搭載し、精密手術を行うマニピュレータの開発を行った。微細加工技術とワイヤ機構を融合した2.8mmの超細径能動鉗子を開発し、ブタESDモデルにて実証実験を行った。これまでのトレーニングセミナーのデータから、医療者ニーズを拾い出し、より有効な教育をおこなうための腸管縫合シュミレータの開発を行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop and utilize an endoscope robot with semi-automatic driving system, minute manipulation function, and computer assisted diagnosis system. In order to carry out the purpose, we divided the research into four categories. Category1 ; Endoscope robot with the development of semi-automatic driving system. We succeeded in the development of the manipulator which supports colonoscopy. Category2 ; Robot system with minute manipulation function. We built up the 2.6mm arms with 4 degree of freedom and a minute camera. We succeeded in utilize for ESD in a pig stomach. Category3 ; Construction of training and assessment system. We have been holding training seminar of laparoscopic surgery for more than 1,700 surgeons. We constructed the automated system by which the trainees' data can be collected and evaluated.

研究分野：医工学、外科学

キーワード：医療福祉 低侵襲治療 内視鏡外科 ロボット

### 1. 研究開始当初の背景

消化器癌の診断および治療において内視鏡および腹腔鏡手術器具の進歩は著しいが、以前、内視鏡および腹腔鏡手術においては、すべてが手動で行われ、術者の経験と勘により制御されているのが実状である。

### 2. 研究の目的

本研究は、消化器癌と腹部一般外科領域の診断と治療の質と信頼性の更なる向上を目指し、軟性内視鏡を発展させた新しい低侵襲診断治療システムの開発を行うことを目的としている。基盤となる技術は半自立型駆動機構と微細マニピュレーション機能および CAD 連携機能である。この低侵襲診断治療システムの開発により、近年発展の著しい消化器癌に対する ESD などの局所治療の安全性と正確性を向上させるだけでなく、NOTES という軟性内視鏡を用いた外科手術にまで発展応用可能な軟性内視鏡ひいては腹腔内小型手術ロボットを新規に開発することが可能となる。

### 3. 研究の方法

#### 研究課題1: 自走式大腸内視鏡ロボットの開発研究

我々は、2009 年までに逆ねじ型推進機構を利用した自走式大腸内視鏡ロボットの開発を行ってきた。しかしながらこのロボットは熟練医の行う大腸内視鏡挿入手技に比べて走行速度が遅いものであった。また、アクチュエータとして電動モータを使用していたが、体内への通電は危険性が高く薬事法の観点から臨床応用が困難であることがわかった。そこで今回は、感電のリスクが無い空気圧駆動のソフトアクチュエータ、「吹き戻し型脚」を新たに開発した。更にこのアクチュエータをロボットへ実装し、WQE-4 (Waseda Kyudai (Q) Endoscope No.4 を開発することとした。

#### 研究項目 2 : 大腸内視鏡ロボットおよび内視鏡手術に有用な細径マニピュレータの開発

現在の内視鏡の鉗子孔からも挿入可能な直径 2.8mm 以下の能動屈曲鉗子を作成することとし

た。この鉗子を実現するために、内部のワイヤとヒンジを極限まで細径する。またブタ動物じっけんにおいて操作実証をすることとした。

#### 研究項目 3 .

#### トレーニングシステム/評価システムの構築

我々は、内視鏡外科、ロボット手術トレーニングセンターを開設し、これまで 1700 名以上の医師の手術教育を行ってきた。本研究ではトレーニングセンターでえられたデータを元に医療ニーズの抽出、臨床的リスクアセスメントを行うとともに、医工学両面からの評価による開発へのフィードバックを行う。また前回おこなえなかった各手術手技毎のトレーニングシステムの構築を行うこととした。

### 4. 研究成果

#### 研究課題1: 自走式大腸内視鏡ロボットの開発研究

##### 脚の製作と移動機構

脚には袋とばね線の2つの構成要素がある。袋は脚の動作の妨げにならないよう、手作業で破損することなく製作できる最薄の厚さにした。その為、厚さ50[μm]のポリエチレンシートを使用した。ばね線は薄くなるほど小さく丸めることが可能であるが、その反面復元力が小さくなるため、袋の曲げ剛性が無視できなくなる。その為ばね線は厚さ

60[μm] SUS301 ステンレス鋼帯を使用した。上記の吹き戻し型脚により伸長時に大腸壁を蹴り進行する駆動機構を新規に開発した。(図1) 脚を進展させるシステムとして空圧システムを考案した。脚への空気の送気においてはシリンジポンプを4本用いてそれぞれに対応した4つのモータを用意し、回転運動をラックandピニオン機構により直線運動に変換させ脚への送気および脱気を行い脚の伸縮を可能なものとした。次に姿勢制御モジュールとして

内視鏡画像をみながら任意に脚を動かせるものとし姿勢を任意に変えることのできるものとした。

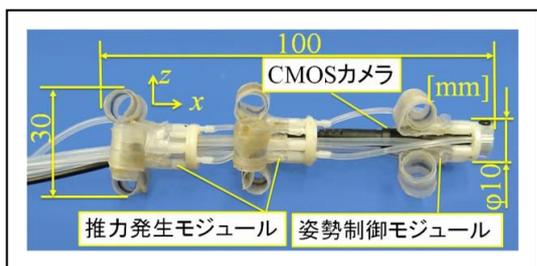


図1 . 自走式大腸内視鏡 ( W Q E - 4 )

## 研究課題 2

駆動系の細径化を行うことで軟性内視鏡に搭載し、精密手術を行うマニピュレータの開発を行った。微細加工技術とワイヤ機構を融合した2.8mmの超細径能動鉗子を開発することに成功した。プタを用いた胃のESD手術モデルにてその有用性を実証することができた。

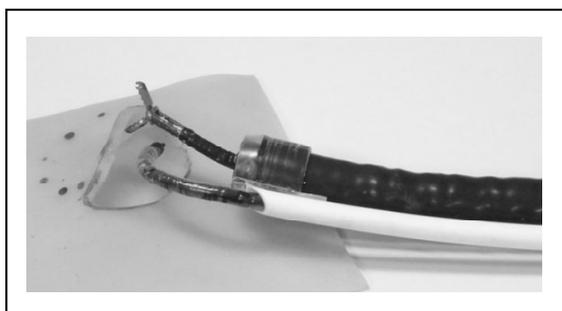


図2 . 2.6mmの屈曲鉗子、電気メスを備えた軟性内視鏡

## 研究課題 3 .

1700名を超えるトレーニングセンターのデータを用いて、医療者側のニーズを拾い上げ、より有効な教育が行える腸管縫合シュミレータを作成した。これにより新しく開発した3D内視鏡の実証研究や、マニピュレータの実証実験を行い、性能評価を行った。

## 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21件)

- 1.R. Nakadate, H. Kenmotsu, S. Nakamura, T. Moriyama, S. Oguri, M. Uemura, J. Arata, K. Ohuchida, M. Hashizume: 2.6 mm articulating endoscopic submucosal dissection device insertable

into standard endoscope", Int J CARS

2014;9:S181-S182

- 2.R. Nakadate, H. Kenmotsu, J. Arata, S. Oguri, M. Uemura, C. Byunghyun, T. Akahoshi, T. Ikeda, K. Ohuchida, M. Hashizume: Mechanically connected master-slave laparoscopic device: low friction, low inertia prototype,

Int J CARS 2014;9:S147-S148,2014

- 3.R.Nakadate, H. Kenmotsu, S. Nakamura, T. Moriyama, S. Oguri, M. Uemura, J. Arata, K. Ohuchida, M.Hashizume: 2.6 mm articulating endoscopic submucosal dissection device insertable into standard endoscope", Int J CARS

2014;9 :S181-S182,2014 )

4. Ikeda T, Kumashiro R, Taketani K, Ando K, Kimura Y, Saeki H, Oki E, Morita M, Akahoshi T, Hashizume M, Maehara Y.Endoscopic evaluation of clinical colorectal anastomotic leakage. J Surg Res. S0022-4804(14)00648-9,2014

- 5.Akahoshi T, Uehara H, Tomikawa M, Kawanaka H, Hashizume M, Maehara Y Comparison of open, laparoscopic, and hand-assisted laparoscopic devascularization of the upper stomach and splenectomy fo

treatment of esophageal and gastric varices: A single-center experience.

Asian J Endosc Surg. 7(2):138-44,2014

6. Mori M, Chiba T, Nakamizo A, Kumashiro R, Murata M, Akahoshi T, Tomikawa M, Kikkawa Y, Yoshimoto K, Mizoguchi M, Sasaki T, Hashizume M

Intraoperative visualization of cerebral oxygenation using hyperspectral image data: a two-dimensional mapping method.Int J Comput Assist Radiol Surg.16,2014

7. Uemura M, Tomikawa M, Kumashiro R, Miao T, Souzaki R, Ieiri S, Ohuchida K, Lefor AT,

Hashizume M

Analysis of hand motion differentiates expert and novice surgeons.

- J Surg Res. 2014;188(1):8-13.
8. Arata J, Kenmotsu H, Takagi M, Hori T, Miyagi T, Fujimoto H, Kajita Y, Hayashi Y, Chinzei K, Hashizume M: Surgical bedside master console for neurosurgical robotic system. Int J CARS 8(1):75-86, 2013
  9. Hao X, Ohdaira T, Nagao Y, Tsutsumi N, Mori M, Uemura M, Toyoda K, Ieiri S, Hashizume M: New detachable occlusion balloon unit for transrectal natural orifice transluminal endoscopic surgery. Minimally Invasive Therapy, 22(03): 136-143, 2013
  10. Cho B, Oka M, Matsumoto N, Ouchida R, Hong J, Hashizume M: Warning navigation system using real-time safe region monitoring for otologic surgery. Int J CARS 2013 May;8(3):395-405
  11. Ieiri S, Ishii H, Souzaki R, Uemura M, Tomikawa M, Matsuoka N, Takanishi A, Hashizume M, Taguchi T: Development of an objective endoscopic surgical skill assessment system for pediatric surgeons: suture ligation model of the crura of the diaphragm in infant fundoplication. Pediatr Surg Int. 2013 May;29(5):501-4
  12. Lin Z, Uemura M, Zecca M, Sessa S, Ishii H, Tomikawa M, Hashizume M, Takanishi A: Objective Skill Evaluation for Laparoscopic Training Based on Motion Analysis. IEEE Trans Biomed Eng. 2013 Apr;60(4):977-85
  13. Tsutsumi N, Tomikawa M, Uemura M, Akahoshi T, Nagao Y, Konishi K, Ieiri S, Hong J, Maehara Y, Hashizume M: Image-guided laparoscopic surgery in an open MRI operating theater. Surg Endosc. Jun;27(6): 2178-2184, 2013
  14. Lin Z, Uemura M, Zecca M, Sessa S, Ishii H, Tomikawa M, Hashizume M, Takanishi A: Objective Skill Evaluation for Laparoscopic Training Based on Motion Analysis. IEEE Trans Biomed Eng. 2013 Apr;60(4):977-85
  15. Tsutsumi N, Tomikawa M, Uemura M, Akahoshi T, Nagao Y, Konishi K, Ieiri S, Hong J, Maehara Y, Hashizume M: Image-guided laparoscopic surgery in an open MRI operating theater. Surg Endosc. Jun;27(6): 2178-2184, 2013
  16. K. Morooka, M. Nakamoto, Y. Sato, Hashizume M: "A survey on statistical modeling and machine learning approaches to computer assisted medical intervention: Intraoperative anatomy modeling and optimization of interventional procedures", IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E96-D, no.4, 784-797, 2013.
  17. Tomikawa M, Akahoshi T, Kinjo N, Uehara H, Hashimoto N, Nagao Y, Kamori M, Kumashiro R, Maehara Y, Hashizume M: Rigid and flexible endoscopic rendezvous in spatium peritonealis may be an effective tactic for laparoscopic megasplenectomy: significant implications for pure natural orifice transluminal endoscopic surgery. Surg Endosc 2012 Dec;26(12):3573-9
  18. Y. Pyo, T. Hasegawa, M. Tanaka, T. Tsuji, K. Morooka, R. Kurazume, Hashizume M: "Measurement and Estimation of Indoor Human Behavior of Everyday Life Based on Floor Sensing with Minimal Invasion of Privacy", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.2170-2176, 2013.
  19. Y. Iwashita, S. Takaki, K. Morooka, T. Tsuji, R. Kurazume, Hashizume M: "Abnormal behavior detection using privacy protected videos", Fourth International Conference on Emerging Security Technologies, pp.55-57, 2013.
  20. Lin Z, Uemura M, Zecca M, Sessa S, Ishii H, Tomikawa M, Hashizume M, Takanishi A. Objective skill evaluation for laparoscopic training based on motion analysis. IEEE Trans Biomed Eng. 2013 Apr;60(4):977-85.
  21. Xu H, Ohdaira T, Nagao Y, Tsutsumi N, Mori M, Uemura M, Toyoda K, Ieiri S, Hashizume M: New detachable occlusion balloon unit for transrectal natural orifice transluminal endoscopic surgery. Minim Invasive Ther Allied Technol. 2013 Jun;22(3):136-43..

〔学会発表〕(計 11 件)

- 1 . Jumpei Arata, Masashi Hattori, Masamichi Sakaguchi, Ryu Nakadate, Susumu Oguri, Makoto Hashizume ``Mechanism study for Microsurgical Robotic System that can induce Multisensory Illusion,`` Proc. of SCIS&ISIS, pp.1238-1242, Kitakyushu, Japan, Dec. 2014.
- 2 . 迎伸孝, 荒田純平, 森恩, 高杉紳一郎, 吾郷哲朗, 北園孝成, 飯原弘二, 橋爪誠, ``装着型手指運動支援ロボット Smove の脳卒中患者におけるフイージビリティ試験と今後の展望,`` 脳卒中学会総会, 19 卒中 0-038-1, 2015.
- 3 . 荒田純平, 三矢駿, 迎伸孝, 森恩, 坂口正道, 橋爪誠, ``層状のばねを応用した手指エグゾスケルトン機構に関する出力特性評価,`` 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予稿集, pp.1469-1471, 2014.
- 4 . 荒田純平, 服部将士, 坂口正道, 中橋龍, 小栗晋, 橋爪誠, ``マスタ・スレーブシステムへの Multi-Sensory Illusion 導入における効果検証,`` 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予稿集, pp.819-821, 2014.
- 5 . 荒田純平, 服部将士, 市川翔平, 坂口正道, 橋爪誠, ``手術支援用マスタ・スレーブにおける身体所有感転移に基づく操作性向上に関する基礎研究,`` 日本コンピュータ外科学会大会論文集, 14(IV)-21, pp.202-203, 2014.
- 6 . 荒田純平, 服部将士, 坂口正道, 中橋龍, 小栗晋, 橋爪誠, ``Multi-Sensory Illusion に基づく直観的操作性を目指すマイクロサージェリ・ロボットのメカニズム開発,`` 第32回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3H1-02, 2014.
- 7 . 荒田純平, 服部将士, 市川翔平, 坂口正道, 中橋龍, 小栗晋, 橋爪誠 ``Multi-Sensory Illusion に基づく直観的操作性を目指す手術用ロボット,`` 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, 3A1-D03, 2014.
- 8 . 荒田純平, 三矢駿, 迎伸孝, 森恩, 坂口正道, 橋爪誠 ``三層のスライドばね機構を用いたハンドエグゾスケルトン装置のための親指駆動機構の開発,`` 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, 3P2-F03, 2014.
- 9 . 迎伸孝, 森恩, 荒田純平, Olibier Lambercy, Roger Gassert, 三矢駿, 坂口正道, 飯原弘二, 橋爪誠, ``脳卒中リハビリテーション・日常動作補助を目標としたハンドエグゾスケルトンロボットの開発,`` 脳卒中学会総会, 3G 卒中 0-101-2, 2014.
- 10 . 荒田純平, 小木曾真也, 坂口正道, 橋爪誠, ``柔軟メカニズムを用いた多自由度屈曲鉗子,`` 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予稿集, pp.2280-2281, 2013.
- 11 . 荒田純平, 服部将士, 市川翔平, 坂口正道, 橋爪誠, ``マスタスレーブシステム導入による RHI 効果向上についての報告,`` 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予稿集, pp.1563-1564, 2013.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

橋爪 誠 (HASHIZUME MAKOTO )  
九州大学大学院・医学研究院・教授  
研究者番号: 90198664

(2) 研究分担者

森 建策  
(MORI KENSAKU )  
名古屋大学・情報科学研究科  
研究者番号: 10293664

(3) 研究分担者

高西 淳夫  
(TAKANISHI ATSUO )  
早稲田大学・理工学術院  
研究者番号: 50179462