

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17200035
 研究課題名（和文）
 超低侵襲消化器癌治療を実現する内視鏡ロボットシステムの開発
 研究課題名（英文）
 Development of robotic endoscopy system that realizes minimally invasive therapy for digestive cancer
 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

研究成果の概要：

本研究の目的は半自律型駆動機構と微細マニピュレーション機能を備える内視鏡ロボットの開発および実用化を行うことであり、多関節制御アルゴリズムを用いた内視鏡ロボット駆動部の開発、ロボットシステムの画像誘導・安全機構の開発、多自由度マイクロマニピュレーション装置の開発のサブテーマに沿って研究を推進してきた。平成19年度までに軟素材フィンの螺旋形状のねじ方向が逆になっている2つのユニットを前後に結合し、互いに逆方向に回転することで推進する内視鏡ロボットを開発し、ブタ大腸直線部の走行に成功した。しかし、①湾曲部で走行できない、②腸径>フィン径で空転する、③腸<フィン径で腸がねじれる、という問題があったため、平成20年度は湾曲部を走行可能なフレキシブル機構、および腸径に合わせてフィン径を変えられる機構を有する新しい内視鏡ロボットを開発した。まず、フレキシブル機構としては、ユニットを先端部、前部、モータ部、コネクタ部の4つに分割し、ユニット間をユニバーサルジョイントで接続した。そして、フィンの素材をシリコンから伸縮性に優れたセプトンに変更し、ユニット間が蛇腹状になるよう被せた結果、死んだブタ大腸の湾曲部の走行に成功した。また、フィン径可変機構としては、先端から2番目と3番目のユニット（前部・モータ部）のフィンの内側にバルーンを付加し、それぞれ独立に空気を送入・排出することで径を変えることが可能となった。さらに、それぞれのバルーンに通じる2つの空気管路のあるスリップリングを設計し、電源ケーブルおよび空気送入用チューブがねじれないようにした。実験後の内視鏡検査にて粘膜損傷のないことも確認した。また、画像誘導機構としては、大腸内視鏡の先端に磁気センサを搭載し、内視鏡画像の視野を検出する技術および、画像に診断支援画像を重畳表示するシステムを開発した。マイクロマニピュレーション部位に関しては7自由度マスタースレーブ型マニピュレータを開発してきたが、小型化の技術的課題を克服できず、内視鏡先端への実装や動物実験に適応可能な制作は今後の継続研究にて実施することとした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	11,500,000	3,450,000	14,950,000
2006年度	10,700,000	3,210,000	13,910,000
2007年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
2008年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
年度			
総計	36,400,000	10,920,000	47,320,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：内視鏡治療、ロボット手術、消化器癌、電気デバイス・機器、電子工学

1. 研究開始当初の背景

癌治療学の中では、内視鏡による治療やコンピュータ支援手術などの低侵襲治療が確実に普及しつつある。消化器癌のなかで胃癌、大腸癌の一部は早期に診断され、内視鏡を用いて局所切除が可能となり早期癌患者のQOLは著しく向上した。しかし現状の内視鏡検査や治療には苦痛を伴い、腸管穿孔や出血などの合併症が不可避であり、腸管の癒着などの解剖学的要因により施行できない症例もある。また、内視鏡検査の最大の弱点は客観性に乏しく見落としが多いことが問題である。手技の上達には多くの症例経験を必要とし、特殊検査の域を出ていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、マイクロ工学技術、医用画像工学技術を融合し、全消化管内に確実に到達、癌局所切除などの治療を行う多関節多自由度内視鏡型ロボットシステムを開発し、超低侵襲治療を実現することである。本システムは先端に従来の内視鏡の概念を超える駆動機構と画像誘導機能を備えており、

1. 多関節制御アルゴリズムを用いた内視鏡ロボット駆動部の開発
 2. 画像データ統合による画像誘導、安全機構の開発
 3. 微細操作が可能な多自由度マイクロマニピュレーション部の開発
- を重点的に研究開発する。

3. 研究の方法

①多関節制御アルゴリズムを用いた内視鏡ロボット駆動部の開発：
内視鏡は消化管の形状に沿って多地点で角度を変えながら進まなければならないが、本研究では、屈曲点を通過する関節ユニットがその角度を次に通過する関節ユニットとの分散協調行動を行うことで、屈曲位置および先端の三次元位置認識が出来、挿入形状を維持しようとする新しい内視鏡の多関節屈曲制御機構を開発する。

②ロボットシステムの画像誘導、安全機構の開発：
患部周辺組織の情報とロボットの状態を正確に提示、誘導するナビゲーションシステムならびに安全機構を開発する。多関節制御機構によりX線を当てなくても正確なロボット

の位置情報の把握が可能であり、この技術を開発させ、内視鏡型ロボットの動作状況、内視鏡視野および病変の位置情報を三次元的に同一座標系で管理運行する操作系を開発する。先端の関節ユニットは常に、カメラから取り込んだ画像をもとに画像処理技術にて腸管内腔中心を自動認識して指向する。腸管の蠕動などにより基準を超える圧力がロボットに加わった場合は緊急停止してスムーズに引き抜ける機構や、圧力を検出して警告したり減じる方向に移動したりする多重の安全機構(フェールセーフ機構)を実装させる。

③多自由度マイクロマニピュレーション装置の開発：

小型カプセル内視鏡ロボットの深部部位への進入機能、局所空間での微細手術性能などの基礎的検討を加え、6自由度以上の自由度を有する小型マニピュレーション装置を開発し、組織の切除、剥離、結紮機能、超音波凝固あるいは収束超音波による局所の焼灼機能を持たせることを目標とする。

①から③を統合したロボティックシステムを開発する。

4. 研究成果

平成19年までに内視鏡ロボット駆動部の開発を進め、軟素材フィンの螺旋形状のねじ方向が逆になっている2つのユニットを前後に結合し、互いに逆方向に回転することで推進する内視鏡ロボットを開発し、ブタ大腸直線部の走行に成功した。実験から湾曲部で走行が難しい、腸径>フィン径で空転する、腸<フィン径で腸がねじれる、という問題が明らかになったため、平成20年度は、湾曲部を走行可能なフレキシブル機構、および腸径に合わせてフィン径を変えられる機構を有する新しい内視鏡ロボットを開発した。まず、フレキシブル機構としては、ユニットを先端部、前部、モータ部、コネクタ部の4つに分割し、ユニット間をユニバーサルジョイントで接続した。そして、フィンの素材をシリコンから伸縮性に優れたセプトンに変更し、ユニット間が蛇腹状になるよう被せ、ブタ大腸の湾曲部の走行に成功した。また、フィン径可変機構としては、先端から2番目と3番目のユニット(前部・モータ部)のフィンの内側にバルーンを付加し、それぞれ独立に空気を送入・排出することで径を変えることが可能と

なった。さらに、それぞれのバルーンに通じる2つの空気管路のあるスリップリングを設計し、電源ケーブルおよび空気送入手チューブがねじれないようにした。実験後の内視鏡検査にて粘膜損傷のないことも確認し、自律駆動の可能な内視鏡走行ユニットの基盤技術の開発を完了した。また、画像誘導機構としては、大腸内視鏡の先端に磁気センサを搭載し、内視鏡画像の視野を検出する技術および、画像に診断支援画像を重畳表示するシステムを開発した。マイクロマンピュレーション部位に関しては7自由度マスタースレーブ型マンピュレータを開発してきたが、小型化の技術的課題を克服できず、内視鏡先端への実装や動物実験に適応可能な制作は今後の継続研究にて実施することとした。

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 23 件)

- ① 橋爪 誠: 腹部外科領域におけるコンピュータ外科手術の実際. 第14回日本コンピュータ外科学会大会/第15回日本コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集 23-24, 2005
- ② 小西晃造、田上和夫、鈴木孝司、山口将平、小林英津子、安永武史、家入里志、中島秀彰、佐久間一郎、橋爪 誠: 赤外LEDを用いた血管探索デバイスの有用性. 第14回日本コンピュータ外科学会大会/第15回日本コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集 55-56, 2005
- ③ 橋爪 誠: 先端技術の外科学の応用 4. ロボット手術. 日本外科学会雑誌 106(11): 689-693, 2005
- ④ Hashizume M: Image-guided Surgical Robotic System for the Future Minimally Invasive Surgery. Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery 7(2): 132, 2005
- ⑤ Konishi K, Hashizume M, Nakamoto M, Kakeji Y, Yoshino I, Taketomi A, Sato Y, Tamura S, Maehara Y: A New Strategy of Lung Cancer Treatment: Impact of Real-Time Navigation on Thoracoscopic Surgery. Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery 7(2): 211-214, 2005
- ⑥ Hashizume M: MR image-guided surgical robotic system. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 1(1): 203-205, 2006
- ⑦ 小西晃造、中本将彦、佐藤嘉伸、田村進一、橋爪 誠: 光磁気ハイブリッド三次元位置センサによる内視鏡外科手術ARナビゲーションシステム ~in vivo 精度検証~. 日本コンピュータ外科学会誌 8(2): 81-87, 2006
- ⑧ Kakeji Y, Konishi K, Ieiri S, Yasunaga T, Nakamoto M, Tanoue K, Baba H, Maehara Y, Hashizume M: Robotic laparoscopic distal gastrectomy: a comparison of the da Vinci and Zeus systems. Int J Med Robotics and Computer Assisted Surgery 2(4): 299-304, 2006
- ⑨ Kakeji Y, Yamaguchi S, Yoshida D, Tanoue K, Ueda M, Masunari A, Utsunomiya T, Imamura M, Honda H, Maehara Y, Hashizume M: Development and assessment of morphologic criteria for diagnosing gastric cancer using confocal endomicroscopy: an ex vivo and in vivo study. Endoscopy 38(9): 886-890, 2006
- ⑩ Hong J, Hashizume M: A neurosurgical navigation system based on intraoperative tumour remnant estimation. Journal of Robotic Surgery 1(1): 91-97, 2007
- ⑪ Konishi K, Nakamoto M, Kakeji Y, Tanoue K, Kawanaka H, Yamaguchi S, Ieiri S, Sato Y, Maehara Y, Tamura S, Hashizume M: A real-time navigation system for laparoscopic surgery based on three-dimensional ultrasound using magneto-optic hybrid tracking configuration. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2(1): 1-10, 2007
- ⑫ Yamaguchi S, Konishi K, Yasunaga T, Yoshida D, Kinjo N, Kobayashi K, Ieiri S, Okazaki K, Nakashima H, Tanoue K, Maehara Y, Hashizume M: Construct validity for eye-hand coordination skill on a virtual reality laparoscopic surgical simulator. Surg Endosc 21(12): 2253-2257, 2007
- ⑬ Hashizume M: MRI-guided laparoscopic and robotic surgery for malignancies. Int J Clin Oncol 12(2): 94-98, 2007
- ⑭ Hong J, Hata N, Konishi K, Hashizume M: Real-time magnetic resonance imaging driven by electromagnetic locator for interventional procedure and endoscopic therapy. Surg Endosc 22(3): 552-556, 2008
- ⑮ Hashizume M, Yasunaga T, Tanoue K, Ieiri S, Konishi K, Kishi K, Nakamoto H, Ikeda D, Sakuma I, Fuji M, Dohi

- T:New real-time MR image-guided surgical robotic system for minimally invasive precision surgery. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2(6): 317-325, 2008
- ①⑥ 橋爪 誠:低侵襲手術システム、ロボット、診断と治療の一体化を図る内視鏡など. WellVAS 17: 16-17, 2008
- ①⑦ Nakamoto M, Nakada K, Sato Y, Konishi K, Hashizume M, Tamura S:Intraoperative magnetic tracker calibration using a magneto-optic hybrid tracker for 3-D ultrasound-based navigation in laparoscopic surgery.IEEE Trans Med Imaging 27(2): 255-270, 2008
- ①⑧ Arata J, Takahashi H, Yasunaka S, Onoda K, Tanaka K, Sugita N, Tanoue K, Konishi K, Ieiri S, Fujino Y, Ueda Y, Fujimoto H, Mitsuishi M, Hashizume M:Impact of network time-delay and force feedback on tele-surgery. Int J CARS2008: 371-378, 2008
- ①⑨ Hong J, Matsumoto N, Ouchida R, Komune S, Hashizume M: A medical navigation system for otologic surgery based on hybrid registration and virtual intraoperative CT construction.IEEE Trans Biomed Eng 56: 426-432, 2008
- ②⑩ Ogura G, Nakamura R, Muragaki Y, Hashizume M, Iseki H:Development of an articulating ultrasonically activated device for laparoscopic surgery.Surg Endosc: 2008(in press)
- ②⑪ Morooka K, Chen X, Kurazume R, Uchida S, Hara K, Iwashita Y, Hashizume M:Real-time nonlinear FEM with neural network for simulating soft organ model deformation.Med Image Comput Assist Interv Int Conf Med Image Comput Comput Assist Interv 11(2): 742-749, 2008
- ②⑫ Yohan Noh, Atsuo Takanishi :WKA-1R Robot assisted quantitative assessment of airway management. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 3 (6): 543-550, 2008
- ②⑬ Jorge Solis, Atsuo Takanishi: Towards understanding the suture/ligature skills during the training process by using the WKS-2RII. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 3(3-4): 231-239, 2008
- [学会発表] (計 20 件)
- ① 橋爪 誠:コンピュータ外科手術発展のための先端医療技術.第 107 回日本外科学会定期学術集会. 2007 年 4 月 11 日, 大阪
- ② 小西晃造、掛地吉弘、吉野一郎、川中博文、森田 勝、沖 英次、田上和夫、中島秀彰、橋爪 誠、前原喜彦:コンピュータ支援による三次元画像誘導を取り入れた次世代外科手術.第 107 回日本外科学会定期学術集会. 2007 年 4 月 13 日, 大阪
- ③ Hashizume M:From basic to advanced: Development of robotic surgery in Asia.International Robotic Surgery Symposium 2007.June 21, 2007, Hong Kong
- ④ Hashizume M:Image-guided robot-assisted minimally invasive surgery.Joint JSPS-SNSF seminar on computer-aided surgery: present state and future technical and clinical challenges.September 23, 2007, Osaka, Japan
- ⑤ Hashizume M:Future of Minimally Invasive Robot-Assisted Surgery.6th Scientific Conference of Korean Laparoscopic Gastrointestinal Surgery Study Group.October 27, 2007, Kwangju, Korea
- ⑥ Konishi K, Nakamoto M, Kakeji Y, Tanoue K, Kawanaka H, Ieiri S, Yoshino I, Sato Y, Maeda T, Maehara Y, Hashizume M:A realtime navigation for endoscopic surgery based on multimodality medical imagings: Experiences with 30 clinical cases.The 19th International Conference of Society for Medical Innovation and Technology.November 21, 2007, Sendai, Japan
- ⑦ Hashizume M : Image-guided Robotic-Assisted Minimally Invasive Surgery.3rd Asia Conference on Computer Aided Surgery 2007. December 1, 2007, Singapore
- ⑧ 橋爪 誠:ロボット手術:安全、確実な低侵襲治療を目指して.第 133 回日本医学会シンポジウム. 2007 年 12 月 7 日, 東京
- ⑨ Hashizume M, Suzuki N, Tanoue K, Maeda T, Suzuki S:A NEW CONCEPT OF TELE-NOTES UNDER OVERSEA REMOTE CONTROL.SAGES 2008 Surgical Spring Week.April 11, 2008, Los Angeles, USA

- ⑩ Hashizume M:The present state of robot operation in Japanese general surgery.Computer Assisted Radiology and Surgery 22th International Congress and Exhibition.June 28, 2008, Barcelona, Spain
- ⑪ Hashizume M: Image-guided Computer-Aided Surgery. The 4th International Workshop on Medical Imaging and Augmented Reality (MIAR 2008).August 2, 2008, Tokyo, Japan
- ⑫ Hashizume M:Image-Guided Minimally Invasive Robot-Assisted Surgery.17TH SLS ANNUAL MEETING AND ENDO EXPO 2008.SEPTEMBER 17, 2008, CHICAGO, USA
- ⑬ Suzuki N, Hattori A, Hashizume M:Benefits of augmented reality function for laparoscopic and endoscopic surgical robot systems.Augmented Environments for Medical Imaging including Augmented Reality in Computer-aided Surgery (AMI-ARCS 2008) (MICCAI 2008).September 10, 2008, New York, U.S.A
- ⑭ Hashizume M:New concept of robotic surgery for computer-aided information surgery.The International Society for Minimally Invasive Cardiothoracic Surgery ISMICS 2008 Winter Workshop. November 15, 2008, Okinawa, Japan
- ⑮ 鹿内真樹、橋爪 誠、高西淳夫:逆ねじ機能を用いた内視鏡ロボットに関する研究－実大腸力学モデルの構築と教科学習による制御則の獲得－. 第26回日本ロボット学会学術講演会. 2008年9月9日, 神戸
- ⑯ 垂水信二、倉爪 亮、橋爪 誠:超音波内視鏡に対する磁気式位置姿勢センサの精度検証実験. 第26回日本ロボット学会学術講演会. 2008年9月9日, 神戸
- ⑰ Yohan Noh, Atsuo Takanishi : Development of the Evaluation System for the Airway Management Training System WKA-1R. 2nd IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics. 2008年10月21日, アリゾナ, 米国
- ⑱ Yo Kobayashi, Makiko Suzuki, Kouzo Konishi, Makoto Hashizume, Masakatsu G. Fujie : Development of a Novel Approach,

“Palpation Based Needle Insertion,” for Breast Cancer Treatment. IEEE 2008 International Conference on Robotics and Biomimetics(ROBIO 2008). 2009年2月23日, Bangkok, Thailand

- ⑲ Makiko Suzuki, Yo Kobayashi, Kazutaka Toyoda, Masakatsu G. Fujie : Development of a Palpation System to Help Provide Accurate Robotic Needle Insertion during the Treatment of Breast Cancer. IEEE 2008 International Conference on Robotics and Biomimetics(ROBIO 2008). 2009年2月23日, Bangkok, Thailand
- ⑳ 加藤篤, 小林洋, 藤江正克: 個体差による肝臓の材料特性パラメータ値のばらつき検討. 第17回日本コンピュータ外科学会. 2008年10月31日, 東京

〔図書〕(計1件)

- ①□Hashizume M:Current status of modernized medical practice.Future Aspects of Medical Sciences and Education: 165-167,Edited by Bernardo Nadai-Ginard, Takakura K, IREIMS, Tokyo, 2007

〔産業財産権〕

○出願状況(計3件)

名称: マスタ・スレーブ式マニピュレータシステム
 発明者: 岸 宏亮、橋爪 誠
 権利者: 株式会社日立製作所、国立大学法人九州大学
 種類: 特許公開
 番号: 2008-173724
 出願年月日: 平成19年1月19日
 国内外の別: 国内出願

名称: マスタ・スレーブ式マニピュレータシステム
 発明者: 岸 宏亮、橋爪 誠
 権利者: 株式会社日立製作所、国立大学法人九州大学
 種類: 特許公開
 番号: 2008-228967
 出願年月日: 平成19年3月20日
 国内外の別: 国内出願

名称: マニピュレータおよびこれを用いたマニピュレータ装置
 発明者: 辻田 哲平、岸 宏亮、橋爪 誠
 権利者: 株式会社日立製作所、国立大学法人九州大学

種類：特許公開
番号：2008-307310
出願年月日：平成19年6月18日
国内外の別：国内出願

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.med.kyushu-u.ac.jp/camit/>

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

倉爪 亮 (KURATSUME RYOU)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号：70272672

高西 淳夫 (TAKANISHI ATSUO)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50179462

藤江 正克

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20339716

(3)連携研究者

小西 晃造 (KONISHI KOUZO)

九州大学・大学院医学研究院・寄附講座教
員

研究者番号：90380641

掛地 吉弘 (KAKEJI YOSHIHIRO)

九州大学・大学院医学研究院・准教授

研究者番号：80284488