

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 18日現在

機関番号：17102

研究種目：基礎研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21240056

研究課題名（和文） 超低侵襲治療を実現する
半自律動作性 CAD 統合内視鏡診断治療ロボット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・大学院医学研究院・教授

研究者番号：90198664

研究成果の概要（和文）：

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およびCAD連携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る。目的を遂行するために4つの項目に分け研究開発を行なった。①半自律型駆動機構の開発において、大腸内視鏡検査における腸管短縮手技を支援するマニピュレータの開発に成功した。②微細マニピュレーション機能の開発では、単孔式内視鏡下手術における術中の視点・視野の操作が可能な能動内視鏡マニピュレータを作成した。③CAD/ナビゲーション連携機能の開発では、CT画像を用いた自動診断システムを構築し、④トレーニング/評価システムの構築を目的に、当施設における内視鏡外科トレーニングでの受講者のトレーニングデータを効率よく収集可能なシステムを構築した。今後の継続研究にてこれらの技術精度をさらに向上させると共に、これらの技術を統合していく予定である。

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 robot system for NOTES mounted two arms with 6 degree of freedom and a minute camera. We succeeded in utilize it with a pig.

Category3; System of computer assisted diagnosis and navigation.

We developed automatic diagnosis system for CT image.

Category4; Construction of training and assessment system.

We have been holding training seminar of laparoscopic surgery for more than 1,000 surgeons. We constructed the automated system by which the trainees' data can be collected and evaluated.

In the further continuous study, these technical accuracy will be ameliorated, we will integrate these technologies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	15,400,000	4,620,000	20,020,000
2010年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2011年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
年度			
年度			
総計	35,000,000	10,500,000	45,500,000

研究分野：統合領域

科研費の分科・細目：人間医科学、医用システム

キーワード：医療・福祉、低侵襲治療、内視鏡診断、手術ロボット

1. 研究開始当初の背景

外科医療においては1990年代以降に「拡大手術から低侵襲手術へ」とパラダイムシフトが生じ、内視鏡外科手術の発展、普及に至った。最近ではさらなる低侵襲治療を希求してNOTES(Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery)という、体壁に全く創を作らない手術が模索されているが、既存のハードウェアを無理に新しい医療に応用しているために、操作性の悪化や安全性の低下という先端医療のネガティブな面が表出している。低侵襲かつ正確な医療を誰もが享受し、安全性を高め、医療そのものの正常進化をもたらすためには手術支援ロボット、シミュレーション、ナビゲーションなどの医工連携研究により、正確で医療者側にも使いやすい低侵襲治療システム開発が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究は、主として消化器癌と腹部一般外科領域の診断・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。本研究が提案する治療支援システムでは、コンピュータ支援システムの利点を生かすべく、半自律型駆動機構と微細マニピュレーション機能およびCAD連携機能を備える内視鏡ロボットの開発および実用化を行う。研究の遂行及び実用化を目指し、本研究の目的を以下の4項目に細分化した。

- ① 半自律型駆動機構の開発
- ② 微細マニピュレーション機能の開発
- ③ CAD/ナビゲーション連携機能の開発
- ④ トレーニング/評価システムの構築

3. 研究の方法

① 半自律型駆動機構の開発；
腸管の蠕動運動や内視鏡挿入に伴う腸管の形状変化から生じる張力を圧力センサにて感知

し、腸壁の圧のかからない方向へ移動する機構と、変形予測機能を有する精密なCAD診断ナビゲーションシステムと連動し、腸管内腔を認識して画像誘導にて自動走行する半自律走行機能を実装する新しい内視鏡を開発する。

② 微細マニピュレーション機能の開発；
従来の内視鏡の治療手技は細い鉗子孔を通して行う不自由なものであるが、本研究では、先端に二つのカメラと距離測定用のレーザーを備え、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機構を開発する。先端のセンサにより後述するナビゲーション機能と連動し、遠隔操作にて三次元画像と治療計画を見ながら病変の剥離、切除、止血などの操作が可能となり、全消化管の安全かつ確実な内視鏡的診断治療が実現する。

③ CAD/ナビゲーション連携機能の開発；
申請者らは、これまでに高次元医用画像から構築される仮想化人体内部をCAD(Computer Assisted Diagnosis)を用いた自動診断支援システムと臓器変形推定技術を開発してきた。本研究では、内視鏡ロボットが持つ各種センサの情報と自動診断支援システムを統合活用する「CAD/ナビゲーション連携システム」を開発し、高度な治療計画及び画像誘導治療を実現するプラットフォームを開発する。

④ トレーニング/評価システムの構築；
新しい診断治療システムの臨床応用を行なうために、本研究では、(a) 医療ニーズの抽出・臨床的リスクアセスメント、(b) 医学・工学両面からの評価による開発へのフィードバックトレーニングシステム、免許システム等の完備、を平行して進め、先進医療を社会に認知させ医療の革新をもたらす基盤構築を行う。

4. 研究成果

Computer assisted diagnosis(CAD)およびコンピュータナビゲーションシステムを搭載した内視鏡手術システムの開発を可能にするため、以下の結果を得た。

① 半自律型駆動機構の開発；

大腸内視鏡検査における腸管短縮手技を支援するマニピュレータの開発に成功した。このマニピュレータは、4個のDCモータとそれによって駆動される4自由度リンク機構からなり、内視鏡先端に取り付けて使用する。駆動部は体外に設置され、ワイヤとアウターチューブを介して、マニピュレータを動作させる。マニピュレータの動作は、画像処理と強化学習を統合した制御系によって、自律的に最適化される。大腸内視鏡検査トレーニング用の大腸モデルにこのマニピュレータを挿入してその有用性を検証することができ、臨床応用の可能性が示唆された。

② 微細マニピュレーション機能の開発；

単孔式内視鏡下手術における術中の視点・視野の操作を目的に、汎用保持マニピュレータと外套管マニピュレータからなる能動内視鏡マニピュレータの開発を行った。外套管には圧縮コイルばねを用いて屈曲の2自由度を実現し、体内で自由に位置・姿勢が操作可能な計6自由度の構成とした。ジョイスティックによる動作検証により、位置移動、屈曲動作が可能であることが確認された。また、内視鏡は小型化されたステレオ視をもつもので、対象物を3次元立体画像復元が可能なものを新たに開発した。今後は術具マニピュレータとの統合による in vivo 実験を行い、システム全体の評価および改善を図っていく予定である。

③ CAD/ナビゲーション連携機能の開発；

CT画像から自動に腫脹したリンパ節を検出するシステム、CT colonographyにおける、自動ポリープ検出システム、CT画像から主要血管の3D画像を構築しカテーテルガイドを描出するシステムの構築に成功した。いずれの技術も自動駆動型ロボットと連携することにより、確実な診断・治療に繋がる可能性があるものと考えられる。

④ トレーニング/評価システムの構築

申請者らは、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、1000人を超える国内外の医師や研究者に対するトレーニングを行ってきた。独自に開発した技術評価システムによる手技の評価、標準化のためのデータ収集を効率よく行なえるシステムの構築に成功した。それらをもとに、術者がストレス無く診断治療を行なえるマニピュレータ開発

にフィードバックする。さらに低侵襲診断治療システムに対する医療現場のニーズを抽出しすると共に臨床応用に必要なシステムの安全性に対するフェイルセーフ機構の基盤を確立していく。

本研究課題により半自動駆動型、大腸内視鏡ロボットの開発に成功し、その利用価値があることも客観的に証明できた。ただし臨床応用するには、まだ改良するべき点が存在している。今後はその改良点を一つ一つ克服するような形で研究を遂行していくと同時に、本研究課題で排出できた技術を応用することにより、新たな切り口から「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」という目的を達成する可能性も考慮する。他施設でブレインストーミングなどを行い、アイデアの排出にも邁進する。

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 17 件)

1: Ieiri S, Uemura M, Konishi K, Souzaki R, Nagao Y, **Hashizume M**, Taguchi T. Augmented reality navigation system for laparoscopic splenectomy in children based on preoperative CT image using optical tracking device. *Pediatr Surg Int* **28**, 341-346, doi:10.1007/s00383-011-3034-x.

2: Kobayashi Y, Hong J, Hamano R, Okada K, Fujie MG, **Hashizume M**. Development of a needle insertion manipulator for central venous catheterization. *Int J Med Robot* **8**, 34-44, doi:10.1002/rcs.420.

3: Nagao Y, Akahoshi T, Tomikawa M, **Hashizume M**, Maehara Y. Liver regeneration is promoted by increasing serotonin content in rat liver with secondary biliary cirrhosis. *Hepatol Res* **41**, 784-794, doi:10.1111/j.1872-034X.2011.00828.x.

4: Nagata T, Takamori A, Kimura Y, **Hashizume M**, Nakahara S. Trauma center accessibility for road traffic injuries in Hanoi, Vietnam. *J Trauma Manag Outcomes* **5**, 11, doi:1752-2897-5-11

[pii]10.1186/1752-2897-5-11.

- 5:** Ohdaira T, Tsutsumi N, Xu H, Mori M, Uemura M, Ieiri S, **Hashizume M**. Ultra-minimally invasive local immune cell therapy and regenerative therapy by multi-piercing surgery for abdominal solid tumor: therapeutic simulation by natural orifice transluminal endoscopic surgery-assisted needlescopic surgery using 3-mm diameter robots. *J Hepatobiliary Pancreat Sci* **18**, 499-505, doi:10.1007/s00534-011-0384-7.
- 6:** Ohuchida K, Mizumoto K, Lin C, Yamaguchi H, Ohtsuka T, Sato N, Toma H, Nakamura M, Nagai E, **Hashizume M**, Tanaka M. MicroRNA-10a is Overexpressed in Human Pancreatic Cancer and Involved in Its Invasiveness Partially via Suppression of the HOXA1 Gene. *Ann Surg Oncol*, doi:10.1245/s10434-012-2252-3.
- 7:** Sekiguchi Y, Kobayashi Y, Watanabe H, Tomono Y, Noguchi T, Takahashi Y, **Hashizume M**, Fujie MG. In vivo experiments of a surgical robot with vision field control for Single Port Endoscopic Surgery. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* **2011**, 7045-7048, doi:10.1109/IEMBS.2011.6091781.
- 8:** Sugimori H, Kanna T, Yamashita K, Kuwashiro T, Yoshiura T, Zaitu A, **Hashizume M**. Early findings on brain computed tomography and the prognosis of post-cardiac arrest syndrome: Application of the score for stroke patients. *Resuscitation*, doi:S0300-9572(11)00704-0 [pii] 10.1016/j.resuscitation.2011.12.013.
- 9:** Takeuchi N, Mitsuyasu H, Nakanishi T, Nishimura S, Shimoto T, Higaki H, **Hashizume M**, et al. The orientation of orthopaedic metallic devices relative to the frequency-encoding gradient affects susceptibility artifacts: an experiment using open MR imaging. *Fukuoka Igaku Zasshi* **102**, 185-194.
- 10:** Torisu R, Suzuki S, Masui K, Yoshimoto K, Mizoguchi M, **Hashizume M**, et al. Persistent roles of signal transduction of platelet-derived growth factor B in genesis, growth, and anaplastic transformation of gliomas in an in-vivo serial transplantation model. *Brain Tumor Pathol* **28**, 33-42, doi:10.1007/s10014-010-0006-0.
- 11:** Yamaguchi S, Yoshida D, Kenmotsu H, Yasunaga T, Konishi K, Ieiri S, Nakashima H, Tanoue K, **Hashizume M**. Objective assessment of laparoscopic suturing skills using a motion-tracking system. *Surg Endosc* **25**, 771-775, doi:10.1007/s00464-010-1251-3.
- 12:** Zuo S, Masamune K, Kuwana K, Tomikawa M, Ieiri S, Ohdaira T, **Hashizume M**, Dohi T. Nonmetallic rigid-flexible outer sheath with pneumatic shapelocking mechanism and double curvature structure. *Med Image Comput Comput Assist Interv* **14**, 169-177.
- 13:** Akahoshi T, Tomikawa M, Kamori M, Tsutsumi N, Nagao Y, **Hashizume M**, Machara Y. Impact of balloon-occluded retrograde transvenous obliteration on management of isolated fundal gastric variceal bleeding. *Hepatol Res* **42**, 385-393, doi:10.1111/j.1872-034X.2011.00939.x.
- 14:** Bartolomeo L, Lin Z, Zecca M, Sessa S, Ishii H, Xu H, Uemura M, Tomikawa M, **Hashizume M**, Takanishi A. Surface EMG and heartbeat analysis preliminary results in surgical training: dry boxes and live tissue. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* **2011**, 1113-1116, doi:10.1109/IEMBS.2011.6090260.
- 15:** **Hashizume M**, Akahoshi T, Tomikawa M. Management of gastric varices. *J Gastroenterol Hepatol* **26 Suppl 1**, 102-108, doi:10.1111/j.1440-1746.2010.06572.x.
- 16:** Hattori A, Suzuki N, Ieiri S, Tomikawa M, Kenmotsu H, Hashizume M. Training system for NOTES and SPS surgery robot that enables spatiotemporal retrospective analysis of the

training process. *Stud Health Technol Inform* **173**, 166-170.

17: Tashiro Y, Uemura M, Matsuda S, Okazaki K, Kawahara S, Hashizume M, Iwamoto Y. Articular cartilage of the posterior condyle can affect rotational alignment in total knee arthroplasty. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*. < in press >

〔学会発表〕 (計 27 件)

1: 第 86 回日本医療機器学会大会; 先進治療機器の臨床経験と課題 Da Vinci の臨床経験と今後の展望. 橋爪 誠 (2011)

2: 第 50 回 日本生体医工学会大会; CFD(数値流体力学)を用いた血管血流シミュレーションにおける feasibility の検討. 植村宗則, 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

3: 第 50 回 日本生体医工学会大会; Open MRI を応用した 3 次元バーチャル画像によるリアルタイムナビゲーション下乳腺部分切除術. 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

4: 第 50 回 日本生体医工学会大会; 4 自由度マスター装置を用いた針穿刺用遠隔トレーニングシステムの開発. 鄭 載憲, 洪在成, 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

5: 第 50 回 日本生体医工学会大会; マスタ・スレーブ型 MR 対応内視鏡ロボットの開発. 豊田和孝, 鄭 載憲, 村田正治, 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

6: 第 36 回日本外科系連合学会学術集会; 消化器・一般外科領域におけるナビゲーションサージェリーの現状と今後の展望. 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

7: 第 66 回日本消化器外科学会総会; 医用画像を応用したリアルタイムナビゲーションの有用性-低侵襲治療の適応拡大と安全性向上を目指し. 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

8: 第 66 回日本消化器外科学会総会; 手術支援ロボットによる消化器外科手術の成績とその意義. 堤敬文, 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

9: 第 16 回日本脳腫瘍の外科学会; ロボット手術の臨床的応用と将来. 橋爪 誠 (2011)

10: 第 6 回肝癌治療シミュレーション研究会; Open MRI 治療室でのリアルタイム 3 次元ナビゲーションシステムによる肝癌の局所治療. 長尾吉泰, 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

11: 第 24 回日本内視鏡外科学会総会; 効果的な教育システムのための定量的縫合技術シミュレータの開発. 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

12: 第 16 回日本内視鏡外科学会 教育セミナー; 内視鏡外科用語集新領域 Robot Surgery and Virtual Reality. 橋爪 誠 (2011)

〔図書〕 (計 件)

13: 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会; Multi piercing surgeryにおける柔剛可変ガイド管の開発と有用性検討実検. 左 思洋, 正宗 賢 橋爪 誠, 土肥健純 (2011)

14: 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会; Retrospective 4D イメージング機能を持った手術ロボットシミュレーションシステム. 服部麻木, 鈴木直樹, 富川盛雅, 橋爪 誠 (2011)

15: 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会; 仮想手術環境下における医師の操作情報を規範とする手術支援ロボット設計手法に関する検討. 瀬能洗冬, 川村和也, 小林 洋, 橋爪 誠, 藤江正克 (2011)

16: 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会; 脳神経外科手術における顕微鏡重畳ナビゲーションの将来性とその課題~商用システムの輪郭重畳表示と比較して~. 井上大輔, 曹 柄炫, 佐々木富男, 橋爪 誠 (2011)

17: 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会; ヒトの手術動作を模した内視鏡型手術ロボットシステムの開発. 鈴木直樹, 服部麻木, 富川盛雅, 剣持一, 橋爪 誠 (2011)

18: 日仏医学コロク 2011; 情報誘導下低侵襲ロボット手術. 橋爪 誠 (2011)

19: 第 3 回先進医療フォーラム; 最先端ロボット手術の現状. 橋爪 誠 (2011)

20: The 11th International Liver Symposium; Advance in Rovotic and Telesurgery. Hashizume M

21: The Second International Symposium on Computational Anatomy; Clinical Application of the Diagnostic and Therapeutic Model Assisted by the Computational Anatomy. Hashizume M, Tomikawa M, et al. (2011)

22: Computer Assisted Radiology and Surgery 25th International Congress and Exhibition; Pre-registered STAMP method for instant registration in image-guided temporal bone surgery. Oka M, Cho B, Hong J, Komune S, Hashizume M

23: Computer Assisted Radiology and Surgery 25th International Congress and Exhibition, Usefulness of a real-time virtual reality navigation system using an open magnetic resonance imaging: tumor ablation therapy for 50 liver cancers. Oka M, Cho B, Hong J, Komune S, Hashizume M

24: Computer Assisted Radiology and Surgery 25th International Congress and Exhibition, Usefulness of a real-time virtual reality navigation system using an open magnetic resonance imaging: tumor ablation therapy for 50 liver cancers. Tomikawa M, Hashizume M

25: Computer Assisted Radiology and Surgery 25th International Congress and Exhibition, Shape estimation method of flexible endoscope using sensor network in the endoscope handling robot system. Lee J, Kinoshita J, Katsuko I, Hashizume M,

Takanishi A

26: The 7th Asian Conference on Computer Aided Surgery 2011; Availability of 3D Monitoring System in Single Incision Laparoscopic Surgery. Nagao Y, Tomikawa M, Hashizume M

27: The 7th Asian Conference on Computer Aided Surgery 2011; Clinical Application of Image-Based Simulation Systems for Surgery. Tomikawa M, Hashizume M

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○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

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 (FUJIE MASAKATSU)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：20339716

(3) 連携研究者

()

研究者番号：