

令和 6 年 5 月 21 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04552

研究課題名（和文）消化器がん克服のためのロボット軟性鏡診断・治療エコシステム

研究課題名（英文）The Robotic Flexible Endoscope for Diagnostic and Treatment of Gastrointestinal Cancer

研究代表者

中楯 龍（NAKADATE, Ryu）

神戸大学・医学研究科・准教授

研究者番号：40584470

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：治療を目的とした軟性内視鏡手術支援ロボットに、動作自由度を増やしたものの、ステレオカメラによる立体視機能を付加したものの、操縦体系を直感的に変更したものなど、様々な改良を加え試作・評価を行った。これにより、実用化の際に、軟性内視鏡手術ロボットの持つべき仕様に関する知見を得た。また、診断を目的とした、先端に推進機構をもち大腸内を自走することにより、挿入がしやすい大腸内視鏡診断ロボットを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

消化管がんは、早期に発見されれば軟性内視鏡で口や肛門から病変にアクセスして治療することができる。低侵襲で術後QOLも高い。一方で手技の難易度が高く、特に欧米において普及の妨げとなっている。本研究はこれをロボット技術により解決し、すべての患者に最適な治療を提供しようとするものである。手術ロボットは硬性鏡のタイプが既に普及しているが、軟性鏡タイプはまだない。これが普及することによって産業への寄与も期待される。

研究成果の概要（英文）：We developed and evaluated several types of flexible endoscopic surgery robots implemented various improvements such as increasing the degree of freedom, employing a stereo vision using two cameras, and implementing an intuitive control system. This provided insight into the specifications that flexible endoscopic surgery robots should have. We also developed self-propelled colonoscope robots that has a propulsion mechanism at the tip and can move inside the large intestine by itself, making it easier to insert.

研究分野：医用システム

キーワード：医療ロボット 軟性内視鏡 粘膜下層剥離術

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

消化管（大腸・胃・食道・十二指腸）がんは、早期に発見されれば軟性内視鏡（いわゆる、胃カメラ）で口や肛門から病変にアクセスして治療することができる。低侵襲で術後 QOL も高い。一方、治療デバイスの自由度が限られることから手技の難易度が高く、特に欧米において普及の妨げとなっている。これをロボット技術で解決する研究がいくつかなされてきた[1-3]が、実用化に至って普及しているものはまだ無い。

[1] E Funk et al. Head & neck 39.6 (2017): 1218-1225.

[2] PWY Chiu et al. Endoscopy international open 3.5 (2015): E439.

[3] A Légner et al. The Int. J. of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery 13.3 (2017): e1819.

2. 研究の目的

本研究では、

- ・ 2本の腕と多自由度 3D カメラを自在に操作可能な軟性内視鏡治療ロボット
- ・ 先端に推進機構をもち、大腸内を自走する大腸内視鏡診断ロボット

の開発と評価により、軟性内視鏡手術ロボットの持つべき仕様を明らかにする。

3. 研究の方法

2か所で屈曲するマルチベンドタイプの内視鏡を開発した。従来の内視鏡が4自由度であるところ、6自由度に拡張した。これにより「覗き込み動作」が可能となった。従来は1か所でしか曲がらないため、例えば山の向こう側をのぞき込むという動作ができなかった。2か所で曲がることにより、穿孔を回避するため病変に接線方向からアプローチしたり、病変全体を俯瞰するために斜めからの視野を得たりすることができるようになった（図1A）。



図1 A 屈曲部の改良、B コンソールと内視鏡ロボットの外観、C 内視鏡の先端部とステレオカメラ

医療機器として洗浄・消毒に対応可能とするため、モータユニットと内視鏡ユニット、処置具ユニットを分離可能なカップリングを備えた。

新内視鏡の自由度に合わせ、6自由度の操作が可能なコンソールを作成した。手を操縦桿から離さなくてよいよう、フットスイッチで内視鏡と処置具の操作を切り替える構成とした(図1B)。

軟性内視鏡は従来観察が目的であったところ、本研究のようにマニピュレータを用いて手術を行う場合は、視覚に奥行き情報があると役に立つ可能性が高い。この仮説を検証すること目的に、ステレオカメラを開発し、6自由度の軟性内視鏡ロボットに実装した(図1C)。

内視鏡の操作方式を2通りプログラミングした。一つは操縦桿のグリップと内視鏡先端が同じ距離を移動し、同じ方向を剥くようにしたものである(直交座標制御)。もう一つは、画面のどちらに行きたいかを指令することで、自動的にそちらを向くようにしたものである(カメラ座標制御)。

大腸に軟性内視鏡を押し入れる際、大腸が伸びるだけで内視鏡先端が進まない問題に対応するため、先端で大腸壁に対し推進力を得るロボットを開発した(図2)。

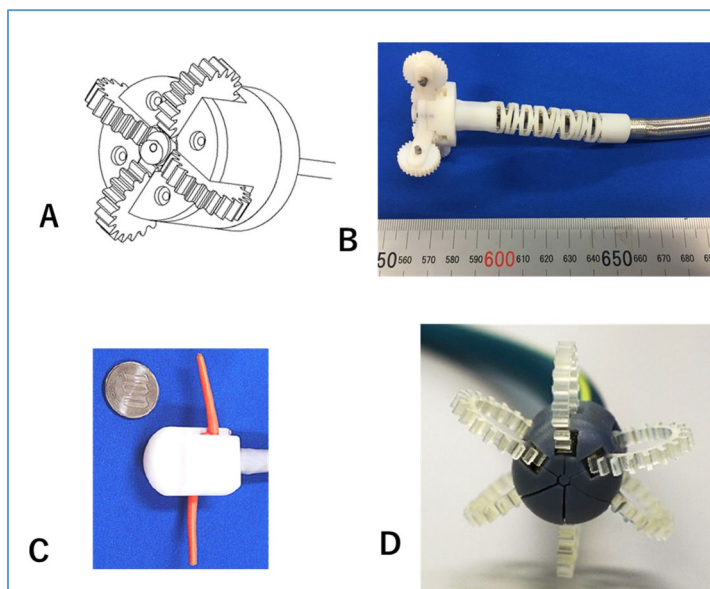


図2 開発した大腸自走ロボット A 初期モデル B 大腸内径変化に対応する機構と屈曲機構入り C 足を弾性素材で構成 D 足を弾性素材のギヤで構成

4. 研究成果

のマルチバンド軟性内視鏡手術プラットフォーム、および のコンソールにより医師による粘膜下層剥離術をブタの摘出胃で回行い完遂した(図3)。アプローチ角が自由に取れる多自由度の内視鏡のメリットを確認した。

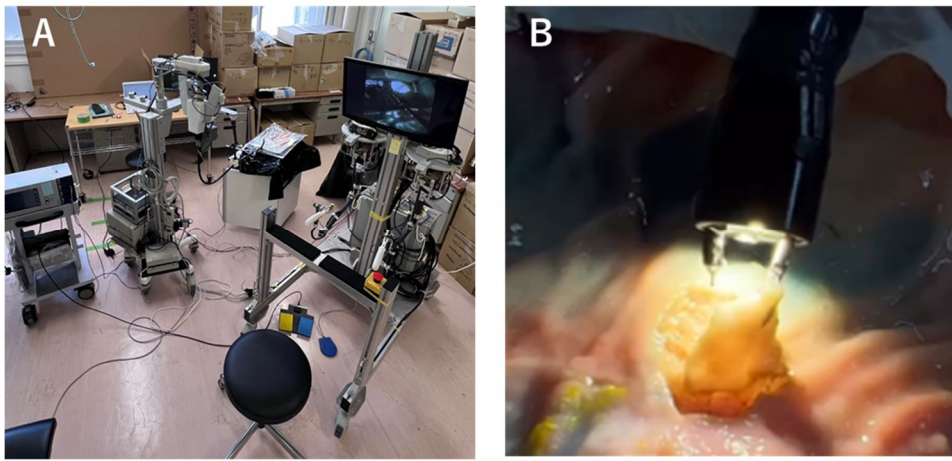


図3 模擬手術の様子 A 実験機器の全体 B 模擬手術中の内視鏡先端部

のステレオカメラについて、その効果をベンチテスト(図4)で測定した。遠近交えて複数設けられた糸を自由に操作できるマニピュレータで把持するテストを2D/3Dで比較したところ、明確な3Dの優位性が確認された。人工物をなぞる試験でも同様であった。一方で複合タスクや生体の模様をもつ表面の傾きを推定するタスクでは優位性が見られなかった。3Dは限定された場面で役立つと思われた。

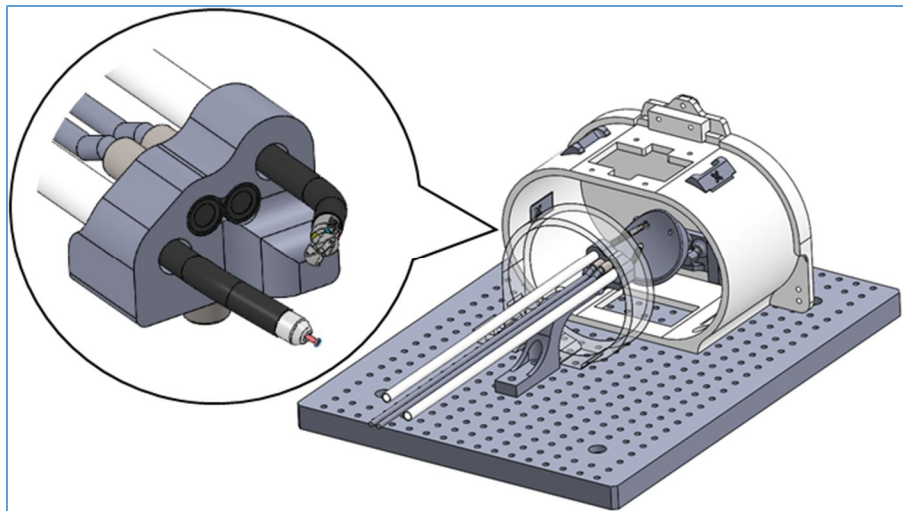


図4 ステレオカメラのベンチテスト用のセットアップ

の内視鏡の操作方式については、いずれも直感的操作が可能で時間に差は見られなかった。直交座標制御は内視鏡の先端を持って動かすような直観性が得られ、カメラ座標制御は、背景をつかんで動かすような直観性が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 中橋 龍	4. 巻 39(3)
2. 論文標題 海外における手術ロボットの实用化の動向	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 213-217
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7210/jrsj.39.213	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中橋龍、橋爪誠	4. 巻 78(11)
2. 論文標題 ロボット工学	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 医学と薬学	6. 最初と最後の頁 1333-1340
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Keisuke Osawa, Ryu Nakadate, Jumpei Arata, Yoshihiro Nagao, Tomohiko Akahoshi, Masatoshi Eto, Makoto Hashizume	4. 巻 5
2. 論文標題 Self-Propelled Colonoscopy Robot using Flexible Paddles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 6710-6716
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2020.3017476	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ryu Nakadate, Tsutomu Iwasa, Shinya Onogi, Jumpei Arata, Susumu Oguri, Yasuharu Okamoto, Tomohiko Akahoshi, Masatoshi Eto, Makoto Hashizume	4. 巻 2020
2. 論文標題 Surgical Robot for Intraluminal Access: An Ex Vivo Feasibility Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cyborg and Bionic Systems	6. 最初と最後の頁 8378025
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34133/2020/8378025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 大澤 啓介, Sanjaya V. Bandara, 中橋 龍, 長尾 吉泰, 赤星 朋比古, 江藤 正俊, 荒田 純平
2. 発表標題 消化管内治療用の一体構造型を有する小型多自由度鉗子の開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021 (ROBOMECH2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Osawa, Sanjaya V. Bandara, Ryu Nakadate, Yoshihiro Nagao, Tomohiko Akahoshi, Masatoshi Eto and Jumpei Arata
2. 発表標題 Development of Multi-DOF Forceps Comprised of a Monolithic Compliant Structure for Endoluminal Surgery
3. 学会等名 The 7th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大澤 啓介, DSV. Bandara, 中橋 龍, 長尾 吉泰, 赤星 朋比古, 江藤 正俊, 荒田 純平
2. 発表標題 擬似剛体モデルを用いた消化管内治療鉗子のモデルベース設計手法
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中橋 龍, 牟田口 淳, 小林 聡, 荒田 純平, 大澤 啓介, 長尾 吉泰, 赤星 朋比古, 江藤 正俊
2. 発表標題 マイクロマニピュレータを搭載したレゼクトスコープ
3. 学会等名 第30回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大澤啓介, DSV. Bandara, 中橋龍, 長尾吉泰, 赤星朋比古, 江藤正俊, 荒田純平
2. 発表標題 柔軟メカニズムを用いた内視鏡治療用多自由度鉗子の開発
3. 学会等名 第30回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Osawa, Ryu Nakadate, Jumpei Arata, Yoshihiro Nagao, Tomohiko Akahoshi, Masatoshi Eto, Makoto Hashizume
2. 発表標題 Self-Propelled Colonoscopy Robot using Flexible Paddles
3. 学会等名 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原崎 康太、小栗 晋、中橋 龍、江藤 正俊、荒田 純平
2. 発表標題 多自由度手術ロボットの操作性評価のための VR 操作シミュレーション環境の構築
3. 学会等名 第21回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 (SICE S12020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryu Nakadate, Keisuke Osawa, Jumpei Arata, Tomohiko Akahoshi, Masatoshi Eto, Makoto Hashizume
2. 発表標題 Preliminary Evaluation of a Surgical Robot Equipped with Two Miniature Hands and a Stereo Endoscope
3. 学会等名 The 16th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中橋 龍
2. 発表標題 手術支援ロボット開発による先端医療イノベーション
3. 学会等名 第5回次世代スーパーマイクロサージャリー研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 橋爪誠、中橋龍	4. 発行年 2021年
2. 出版社 医学図書出版	5. 総ページ数 503
3. 書名 消化器ダヴィンチ手術のすべて 改訂第2版, 1 ロボット支援下手術の現状と未来（海外）	

1. 著者名 R Nakadate, K. Ohuchida, M. Hashizume	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Centro de cirugia de minima invasion	5. 総ページ数 429
3. 書名 Robotic Surgery in: Step by Step Training in Laparoscopic Surgery -Urology- 7th edition	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	荒田 純平 (Arata Jumpei) (40377586)	九州大学・工学研究院・教授 (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長尾 吉泰 (Nagao Yoshihiro) (70608968)	九州大学・大学病院・助教 (17102)	
研究分担者	江藤 正俊 (Eto Masatoshi) (90315078)	九州大学・医学研究院・教授 (17102)	
研究分担者	大澤 啓介 (Osawa Keisuke) (80962117)	早稲田大学・理工学術院（情報生産システム研究科・センター）・助教 (32689)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関