

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業）

総合研究報告書
ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

研究責任者 江口 晋 長崎大学大学院 医歯薬総合研究科 移植・消化器外科 教授

研究要旨

ロボット型内視鏡操作支援システムに AI を組み込むことで、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させ、高度化、臨床応用に向けて改善を図る。同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能させることを目的とする。

まず、AI システムの構築として、AI システムに対する学習用の手術時動画、静止画を用いたデータベースの構築の基礎を完成。引き続き、手術画像判断システムデータベースを用いて、リアルタイム手術ナビゲーションシステムを開発。また、改良を行った内視鏡操作支援ロボットに、前述の手術ナビゲーションシステムを組み込み、ブタの胆嚢摘出術モデルで動作検証を行った上で、経験のある専門医、外科修練医とともにその有用性を検証し、単独でのブタ胆嚢摘出術を可能としていることを確認した。

分担研究者

伊藤信一郎（長崎大学病院 移植・消化器外科 講師）
足立 智彦（長崎大学大学院 医歯薬学研究科 移植・消化器外科 講師）
小坂太一郎（長崎大学病院 移植・消化器外科 助教）
喜安 千弥（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 教授）
柴田裕一郎（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 准教授）
藺田光太郎（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 助教）
諸麥 俊司（中央大学 理工学部 准教授）

A. 研究目的

当研究グループは、離島医療など外科医数が少ない環境下でも腹腔鏡手術が施行できる新規デバイスを目指し、内視鏡担当医に代わって腹腔鏡を支持し、術者の操作信号に沿って腹腔鏡の操作を行うロボット型内視鏡操作支援システムの開発に取り組んでいる。本研究課題では現在開発を進めているロボット型内視鏡操作支援システムに AI を組み込むことで、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させる

ことを目的としている。本システムは、外科医の負担軽減と精度の高い判断を支援すると同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能する。具体的には本研究は次の二つの研究目的を有する。

（1）上記内視鏡操作支援システムに AI を組み込み、事前に熟練外科医の内視鏡操作を学習させることで、熟練の内視鏡担当医のような腹腔鏡操作を可能とし、より確実

でスムーズな一人手術を実現する。

(2) AIによる手術ナビゲーションシステム機能の実装とそのためデータベースの構築方法および標準化の方法を検討する。開発するシステムは、一人手術の実現に加えて、若手外科医の執刀時に、あたかも熟練外科医が内視鏡担当として立会い、内視鏡操作を行うと同時にアドバイス提供を行うような高度な外科手術サポート機能を実現する。

B. 研究方法

本年度は下記に示した課題1) - 5)において、それぞれ下記のように研究計画を策定した。

課題1) 操作支援、(自動操作) 手術ナビゲーションシステムのためのデータベースの構築

前年度までに、手術画像に対するAIを用いた学習により、データベース、および手術画像判断システムを構築していたが、これの精度上昇を図るべく、学習画像の増加、学習強化を行う。

(江口、伊藤、足立、小坂、(収集情報の決定、収集方法の検討担当)喜安、柴田(情報収集技術担当))

課題2) AI知能化とその評価を目的としたロボット型内視鏡操作システムの製作、改良

前年度までに、内視鏡支持部品の滅菌可能化、装置本体からモータや回路など電気的設備の分離を実施し、ワイヤー駆動方式とすることで、本体をまるごと清掃、滅菌可能とすることを可能とし、これの実用性を動物実験で立証した。本年度は更なる軽量化と駆動系と操作指示系統の微調整を行い、よりスムーズな操作性を獲得できるよう改良を行う。また、咬筋刺激による入力デバイスの感度調整を行い、より操作性の向上を図る。

課題3) 手術ナビゲーションシステム機能

の実装

データベースを学習したAIによる画像診断システムを元に、リアルタイムに画面上に臓器(胆嚢、総胆管、胆嚢管など)を色調変化として臓器上に重ねて表示。画面上の適切な位置に適切なタイミングで執刀医の安全・確実な施術に役立つ情報をリアルタイムで提示する術中画像ナビゲーションシステムを確立。

課題4) 内視鏡操作支援機能の実装

課題5) 内視鏡自動操作機能の実装

操作支援、自動操作機能に重要となる対象物追尾機能を内視鏡操作支援システムに実装。対象物をナビゲーションシステムで確認し、その画像情報を基に、追尾したい対象臓器、部位を判断し、これを追尾、センタリングすることで上記の機能実現を図る。

ただし、微調整を従来の操作入力システムであるヘッドセットを利用した人的操作で可能とする。

改良型内視鏡操作支援システムの完成後に、AI搭載手術画像診断システムを搭載した術中ナビゲーションシステム、操作支援システム、自動操作システムの実証を行うべく、ブタ手術モデルを用いた評価を行う。(諸麥、柴田、喜安)

C. 研究結果

課題1) 操作支援、(自動操作) 手術ナビゲーションシステムのためのデータベースの構築

独自に作成したニューラルネットワークを構築し、内視鏡手術症例の手術画像に関する畳み込み学習を実施(N=120)。手術画像診断システム、ロボット型内視鏡操作支援システム、運転支援システムに関するデータベースを作成した。

課題2) AI知能化とその評価を目的としたロボット型内視鏡操作システムの製作、改良

すでに構築したロボット型内視鏡操作支援システムの改良を実施。術野に配置する

内視鏡保持部からワイヤー駆動を改良することでスムーズな操作性を実現した。また、完全に駆動系とないきょうホルダー部を分離することで手術後滅菌に対応できるシステムへと改良がなされた。これにより、臨床応用も可能となった。また、内視鏡操作指令のプログラム改良により、後述の手術ナビゲーションシステムからフィードバックと術者からの操作入力支持のオーバーライド方式を実現した。

課題3) 手術ナビゲーションシステムの実装

データベースを学習した AI により画像診断システムを元に、リアルタイムに画面上に臓器(胆嚢、総胆管、胆嚢管など)を色調変化として臓器上に重ねて表示。画面上の適切な位置に適切なタイミングで執刀医の安全・確実な施術に役立つ情報をリアルタイムで提示する術中画像ナビゲーションシステムを構築し、ブタ胆嚢摘出術モデルを用いた検証で実装可能なことを確認した。

課題4) 内視鏡操作支援機能の実装

課題5) 内視鏡自動操作機能の実装

操作支援、自動操作機能に重要となる対象物追尾機能を内視鏡操作支援システムに実装。対象物をナビゲーションシステムで確認し、その画像情報を基に、追尾したい対象臓器、部位を判断し、これを追尾、センタリングすることで上記の機能実現。ブタ胆嚢摘出術モデルを用いた検証で実装可能なことを確認した。改良型内視鏡操作支援システムの完成後に、AI 搭載手術画像診断システムを搭載した術中ナビゲーションシステム、操作支援システム、自動操作システムを総合して評価。経験のある専門医、外科修練医とともに単独でのブタ胆嚢摘出術を可能としていることを確認した。

(倫理面への配慮)

長崎大学の倫理審査の承認を受けるとともに、人体組織を対象として取得される画像データを研究に用いる場合には、個人情報が含まれないことに注意して実験を行った。

ブタ胆嚢摘出術モデルに対するロボット内視鏡による実験において、外科修練医による手術が施行し得たことから、AI ナビゲーション、自動操作システムを実装したロボット型内視鏡操作支援システムは、外科医単独による内視鏡手術の実現に大きく寄与できる可能性が示唆されたと考えている。一方で、ブタ手術モデルを用いたことによる問題点も指摘された。特に、ナビゲーションシステム実装検証において、ヒトの臓器との色調、配置など解剖学的差異が大きく、これが明らかにナビゲーションシステムの誤操作に影響を及ぼした。今後は本システムの検証においては、ヒトにおける実証(手術画像を用いた模擬実験等)で施行する必要があると思われた。

また、操作支援、自動運転システムに関しては、実用に近いレベルで実証されたが、自動運転と術者が入力デバイスを用いて操作する術者操作のオーバーライドに関して、不具合をきたす場面も見受けられた。今後は、オーバーライドに関するアルゴリズムの改良、術者入力デバイスの入力方式の改良、安全装置の設置などを行い、製品化に向けて、をさらにシステムを頑健なものにする必要がある。

E. 結論

AI ナビゲーション、自動操作システムを実装したロボット型内視鏡操作支援システムは、外科医単独による内視鏡手術の実現に大きく寄与できる可能性が示唆された。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Taito Manabe, Koki Tomonaga, Yuichiro Shibata, CNN Architecture for Surgical Image Segmentation Systems with Recursive Network Structure to Mitigate Overfitting,

Proc. International Symposium on Computing and Networking (CANDAR), pp.171-177 (2019)

6) 藤田光暉, 眞邊泰斗, 友永航生, 柴田裕一郎,
手術画像セグメンテーション用ニューラルネットワークのFPGA実装,
電子情報通信学会技術研究報告, vol.120, no.36, pp.25-30 (2020)

2. 学会発表

- 1) 小坂太一郎、足立智彦、伊藤信一郎、山口俊、円城寺貴浩、哲翁華子、金高賢悟、高槻光寿、江口晋
ロボット型内視鏡操作支援システムの開発とAIを用いた高度化の展開
第119回日本外科学会定期学術集会 大阪 2019.4.20 ワークショップ
- 2) 小坂太一郎、井上悠介、足立智彦、伊藤信一郎、金高賢悟、高槻光寿、江口晋
ロボット型内視鏡操作支援システムの開発とAIを用いた高度化の展開
第81回日本臨床外科学会総会 高知 2019.11.15 シンポジウム
- 3) 小坂太一郎、井上悠介、足立智彦、江口晋、伊藤信一郎、金高賢悟、高槻光寿
ロボット型内視鏡操作支援システムの開発とAIを用いた高度化の展開
第32回日本内視鏡外科学会総会 横浜 2019.12.7 ミニオーラル
- 4) M. Arai, T. Omori, S. Moromugi, T. Adachi, T. Kosaka, S. Ono, S. Eguchi,
A robotic laparoscope holder operated by jaw movements and triaxial head rotations,
Proc. of 2019 IEEE International Symposium on Measurement and Control in Robotics (ISMCR), A1-5, Huston, TX, USA, Sep. 21. 2019.
- 5) 海野佑弥、藪田光太郎、小坂太一郎、江口晋、喜安千弥
カメラ移動に頑健な内視鏡画像上の胆のうのトラッキング
第36回計測自動制御学会センシングフォーラム 東京 2019.8.30 セッション

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

1. 特許取得

特許出願(特願 2020-028432)

発明の名称:内視鏡操作支援システム及び内視鏡システム

出願日:2020年2月21日

発明者:小坂太一郎、江口晋、足立智彦、諸麥俊司

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし