

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）

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

平成 29 年度～平成 31 年度 総合研究報告書

研究代表者 江口 晋

令和 2 (2020) 年 5 月

目 次

. 総合研究報告	
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	----- 3
江口 晋（長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 移植・消化器外科 教授）	
平成29年度 統括研究報告	----- 8
平成30年度 統括研究報告	----- 13
平成31年/令和元年度 統括研究報告	----- 18
. 研究成果の刊行に関する一覧表	----- 22
. 研究成果の刊行物・別刷	----- 25

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、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。また、改良を行った内視鏡操作支援ロボットにデータベースを基にした AI を用いた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確認した。

共同研究者

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)
園田光太郎(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、より確実にスムーズな一人手術を実現する。

(2) AI によるナビゲーション機能の実装とそのための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

課題1) 操作支援(自動操作) 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用いて、内視鏡手術症例の手術画像に関する畳み込み学習を作成し、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する。

(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

すでに構築したロボット型内視鏡操作支援器具は、ブタを用いた動物モデルを用いた安全性の確認を施行しており、更なる操作性および実用性向上のためのハードウェア構成に関して以下の改良を実施。

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検討する。

課題3) 手術ナビゲーション機能の実装

データベースを学習した AI 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) 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駆動系を廃し、ワイヤー駆動とした。これにより、本体を清掃、滅菌可能となり、臨床応用も可能となった。また、内視鏡操作指令は、後述の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二重支配が可能になる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機能の実装

データベースを学習した AI 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。

ブタ胆嚢摘出手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る。

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) T. T. Thu, Y. Hayashida, A. Tahara, Y. Shibata, K. Oguri, Deep-pipelined FPGA Implementation of Real-time Object Tracking using a Particle Filter, International Journal of Networking and Computing, 7(2), pp.372-386 (2017)
- 2) A. Tahara, Y. Hayashida, T. T. Thu, Y. Shibata, K. Oguri, Power Performance Analysis of FPGA-Based Particle Filtering for Real-time Object Tracking, Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing, 611, pp.451-462 (2017)
- 3) T. Manabe, Y. Shibata, K. Oguri, FPGA Implementation of a Real-Time Super-Resolution System Using Flips and an RNS-Based CNN, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E101-A, No.12, pp.2280-2289 (2018)

4) H. Egawa, Y. Shibata,
Storing and Compressing Video into
Neural Networks by Overfitting,
Advances in Intelligent Systems and
Computing, Vol.772, pp.615-626 (2018)

5) 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) Liang Jun, Takuma Honda, Tomoya Goto,
Kotaro Sonoda, Junya Fukuoka, Senya Kiyasu,
Extraction of Lymphoid Follicles from Digital
Pathology Images.

第70回電気・情報関係学会九州支部連合
大会 沖縄 2017.9.27

2) 田原あかね, 林田与志樹, TheintTheint
Thu, 柴田裕一郎, 小栗清

FPGAによる物体追跡用パーティクルフ
ィルタの高効率実装
電子情報通信学会リコンフィギャラブル
システム研究会 北海道 2017.5.23

3) 塚本 稜司、江連 諒、金 香紀、安藤
凜太郎、本田 拓海、諸麥 俊司、足立 智
彦、黒木 保、大野 慎一郎、北里 周
頭部運動と噛み締めを操作信号とするロ
ボット型内視鏡操作支援器具の操作性改
善の検討

第18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 宮城 2017.12.21

4) Y. Shibata,
Near-I/O reconfigurable computing for
medical engineering.
International Symposium on Computing and
Networking, CANREXI Workshop 岐阜

2018.11.28

5) 塩道 一重、藺田 光太郎、恒任 章、
前村 浩二、喜安 千弥
多関節モデルを用いた超音波動画像にお
ける心臓弁のトラッキング

第35回計測自動制御学会センシングフ
ォーラム 山口 2018.8.30

6) 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

7) 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

8) 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

9) 海野 佑弥、藺田 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

10) 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) Huston, TX, USA, 2019.9.21

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

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）
総括研究報告書

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

研究代表者 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、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。

本年度は 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に取り組んだ。

今回の対象手術を胆嚢摘出術と定め、まず、過去の該当症例の手術動画を匿名化し各症例で 30 - 50 程度の動画を作成。これに対し、胆嚢をはじめとする各臓器にデジタルマーキングを行い、蓄積。これを AI 用データベースとすべく随時症例解析を進行中である。

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（長崎大学病院 移植・消化器外科 助教）
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、これまで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み、外科医 1 名による腹腔鏡手術を可能とするシステムを高安全性、高コスト性のもとに実現した。本研究課題では開発したロボット型内視鏡操作支援システムを他の手術関連機器と接続し、また AI を組み込むことで術者らとコミュニケーション

を取りながら、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。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、より確実にスムーズな一人手術を実現する。

(2) AI によるナビゲーション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

実施課題

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化に向けて本研究で計画している実施課題は次の7つである。

課題1) 操作支援、(自動操作)、ナビゲーションシステムのためのデータベースの構築(データベース共通化・標準化の検討含む)

内視鏡の操作支援(自動操作)及びナビゲーションシステムの構築を目的として、AI に与える術前、手術情報のデータベースを構築する。術前のカンファレンスで使用した術前画像データ、電子カルテの患者情報(年齢、性別、身長、体重、炎症マーカーなど)手術前工程表データ、執刀データなどを用いる。執刀データは具体的には手術動画解析、モーショントラッキングによるカメラワーク、内視鏡画像データから抽出される鉗子操作とともに、外科医が判別しマーキングを行った手術操作メルクマール画像(静止画)とカメラ焦点、中心との位置関係等が含まれる。手術操作メルクマールの対象臓器は手術で摘出対象となる胆嚢(周囲ライン)、切離対象となる胆嚢

管、胆嚢動脈(点線などで図示)損傷を回避すべき総胆管(領域図示)とし、手術症例の動画より静止画を約30枚程度抽出、画像上に手術操作メルクマール(胆嚢、胆嚢管、胆嚢動脈、総胆管)にデジタルペンでマーキングしたものをメルクマール画像とする。

本研究施設及び研究協力施設で、過去に施行された手術症例(胆嚢摘出術)(n=100)に関して、前述データを収集し、これを解析、データベースを構築する。

その後、AI システムを構築する。アプリケーションは Google 社の無償提供システムである「テンサー・フロー」を使用する予定である。

(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

すでに構築したロボット型内視鏡操作支援器具は、ブタを用いた動物モデルを用いた安全性の確認を施行しており、更なる操作性および実用性向上のためのハードウェア構成に関して以下の改良に取り組んでいる。

(1) 内視鏡支持部品のディスプレイ化

これまでの生体ブタによる実験を通して、術中に内視鏡の着脱が必要となった際に血液等により装置が汚れ、衛生管理上の対策の必要性が認識されていた。装置本体は他の手術ロボットと同様にビニール製カバーで覆うことで保護可能であるが、内視鏡を支持あるいはロックするための部品はビニールカバーでは十分な保護が困難である。そこで、内視鏡と触

れる部分は全てディスプレイ化し、手術毎に交換できるよう設計を見直す。

(2) 装置本体からモータや回路など電気的設備の分離

現在の内視鏡操作支援ロボットは本体にモータやモータドライバなどの電気系統を内蔵している。これらを本体から切り離し、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検討する。本体の詳細設計および製作は自動車用ドア窓の駆動ユニットの最大手で多数のワイヤー駆動ユニットの製品群を有する株式会社ハイレックスコーポレーションに依頼する予定であり、現在協力して設計を進めている。自動車用の駆動ユニットの採用で駆動系の信頼性向上および装置本体の大幅なスリム化も期待される。

改良型装置の完成後に引き続き、安全性の確認を行うべく、PMDA への相談実施準備を行っている。PMDA から指摘を受けた評価項目に沿って、ブタを用いた更なる安全性の評価を行う (n=3~5)。(現在、想定している評価項目としては、手術時間、出血量、操作鉗子の移動距離、カメラヘッドの移動距離などを予定している。) 安全性を確認の後、同装置に AI 実装を行う。

(諸菱、柴田、喜安)

課題3) 手術ナビゲーション機能の実装

データベースを学習した AI の判断したメルクマールを元に、リアルタイムに画面上に切離ラインや切除対象部位など線や色調変化として臓器上に重ねて表示する。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技術確立する。

(喜安、柴田、諸菱)

課題4) 手術ナビゲーション機能の評価

同システムを用いて、3名の研修医を施行者とし、ブタを用いた生体試験を施行し、そのシステムの有用性を、手術時間、出血量、内視鏡技術認定医による審査、内視鏡および鉗子に取り付けた3次元位置センシング、カメラワークと施術の正確さ、やりやすさ、作業時間などから評価する。

(江口、伊藤、足立、小坂)

課題5) 内視鏡操作支援機能の実装

課題1) で構築した術前取得情報のデータベースから随時判断して術者による内視鏡操作をアシストする機能を実装する。特にデータベース内の過去の術式データ(施術内容(胆嚢管周囲剥離、胆嚢動脈同定・切離、胆嚢管切離、胆嚢床剥離)とスコピストあるいはロボット型内視鏡操作支援システムによるカメラワークデータから最適なカメラ操作および適切でないカメラ操作を判断。適切でないカメラ操作を自動的に修正するとともに、最適な操作に近づける補助的制御機能を実現する。具体的にはカメラの先端移動時の移動不足、行き過ぎの補正、適切でない視野で鉗子操作がなされた際の警告と視野の補正 鉗子操作中の操作野のセンタリング(視野の中心に操作部位を置く)の安定化時補助(鉗子操作の追尾など)を行う。

(喜安、柴田、諸菱)

課題6) 内視鏡自動操作機能の実装

課題2) と同様にデータベースと術中取得データから随時判断して常時最適視野を確保するための自動的内視鏡操作の機能を実装する。ただし、微調整を人的操作(ヘッドセット)で可能とする。

(喜安、柴田、諸麥)

課題7) 操作支援機能、自動操作機能の評価

同システムを用いて、3名の内視鏡手術技術認定医を施行者とし、胆嚢摘出術を施行(各術者 n=3)。そのカメラワークと施術の進行具合、やりやすさ、作業時間などから評価する。

(江口、伊藤、足立、小坂)

C. 研究結果

1) データベース構築のための手術データ作成

AIによる腹腔鏡操作支援およびナビゲーション機能の実現のためのデータベース構築に向けて手術データの作成に取り組んだ。キックオフミーティング、長崎大学内医工連携ミーティングにおいて、手術データの作成は以下の要領で行なうことを決定した。

内視鏡映像データの収集

・対象の術式は腹腔鏡下胆嚢摘出術とする。

・長崎大学病院移植・消化器外科並びに関連病院における過去及び今後の手術症例100例以上の内視鏡映像データを収集する。

・内視鏡操作や手術ナビゲーションの観点から腹腔鏡下胆嚢摘出術を以下のステージに分割し、各ステージの学習を可能とする。

ポート挿入、腸管の受動操作、肝下面への癒着剥離、視野展開

胆嚢の牽引、Calot's triangle 操作のための視野展開操作

Calot's triangle での胆嚢管剥離(前面操作、背面操作)

胆嚢動脈の同定、クリッピング

グ、切離操作

胆嚢管の同定、クリッピング、切離操作

胆嚢底部剥離(0-6時剥離、反時計回り)

胆嚢底部剥離(6-12時剥離、時計回り)

胆嚢底部剥離(0時(頂点)剥離、カウンターをかけて)

胆嚢剥離(胆嚢を腹側にめくりあげて剥離)

内視鏡操作ロボットの操作学習用データの作成

内視鏡操作の学習用データの作成にあたり、上記内視鏡映像データに対し、内視鏡操作の熟練度に応じた選り分けと、上記ステージごとの映像データの分類を行なう。

手術ナビゲーション機能用手術データの作成

各手術症例において代表的画像約30-50枚を抽出し、画像上に胆嚢、胆嚢管および胆嚢動脈走行部位、総胆管走行部位等にデジタルペンでマーキングする。

上記内容に準じて、当研究グループにおいて過去施行され、匿名化された腹腔鏡下胆嚢摘出術映像データを100例選別し、動画より無作為に30から50枚の静止画を作成。この画像に対して、胆嚢、胆嚢管、総胆管を、画像ソフトを用いてマーキングし、手術ナビゲーション機能用のAIシステム学習データとした。

D. 考察

研究成果の意義

1) データベース構築のための手術データ作成

手術ナビゲーション機能、内視鏡操作支援機能の実装にあたり、胆嚢組織と胆嚢管

の同定、また、損傷を起こすと重篤な合併症につながる総胆管の位置の同定は非常に重要であると考えます。また対象手術の工程を内視鏡操作やナビゲーションを意識して分割することで、データの解析が容易となった。また手術データの容易な加工や情報追加を可能とするソフトウェアの開発は、データベースの効率的な構築に寄与すると考えられる。

2) ロボット型内視鏡操作支援器具の改良

提案システムの有効性検証に用いる改良型ロボット型内視鏡操作器具の設計を企業と連携して開始し、装置の基本仕様が定まった。計画通りの事業推進に向けて次年度8月の完成を目処に開発を進めている。

E. 結論

本年度で、AIシステムのための学習データの収集・作成を実施した。現時点では更なるデータの収集・作成を実施し、AIの判断の精度向上に努めるとともに、動画データの解析に関しても着手する予定である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

なし

総括研究報告書

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

研究代表者 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、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。

本年度は 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。また、改良を行った内視鏡操作支援ロボットにデータベースを基にした AI を用いた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実施した。

共同研究者

伊藤信一郎（長崎大学病院 移植・消化器外科 講師）

足立 智彦（長崎大学病院 移植・消化器外科 助教）

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）

藪田光太郎（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、これまで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み、外科医 1 名による腹腔鏡手術を可能とするシステムを高安全性、高コスト性のもとに実現した。本研究課題では開発したロボット型内視鏡操作支援システムを他の手術関連機器と接続し、また AI を組み込むことで術者らとコミュニケーションを取りながら、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。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、より確実にスムーズな一人手術を実現する。

（2）AI によるナビゲーション機能の実装とそのための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

実施課題

ロボット型内視鏡操作支援システムのAIによる高度化に向けて本研究で計画している実施課題は次の7つである。

課題1)操作支援、(自動操作)ナビゲーションシステムのためのデータベースの構築(データベース共通化・標準化の検討含む)

内視鏡の操作支援(自動操作)及びナビゲーションシステムの構築を目的として、AIに与える術前、手術情報のデータベースを構築する。術前のカンファレンスで使用した術前画像データ、電子カルテの患者情報(年齢、性別、身長、体重、炎症マーカーなど)手術前工程表データ、執刀データなどを用いる。執刀データは具体的には手術動画解析、モーショントラッキングによるカメラワーク、内視鏡画像データから抽出される鉗子操作とともに、外科医が判別しマーキングを行った手術操作用メルクマール画像(静止画)とカメラ焦点、中心との位置関係等が含まれる。手術操作用メルクマールの対象臓器は手術で摘出対象となる胆嚢(周囲ライン)切離対象となる胆嚢管、胆嚢動脈(点線などで図示)損傷を回避すべき総胆管(領域図示)とし、手術症例の動画より静止画を約30枚程度抽出、画像上に手術操作用メルクマール(胆嚢、胆嚢管、胆嚢動脈、総胆管)にデジタルペンでマーキングしたものをメルクマール画像とする。

本研究施設及び研究協力施設で、過去に施行された手術症例(胆嚢摘出術)(n=100)に関して、前述データを収集し、これを解析、データベースを構築する。

その後、AIシステムを構築する。アプリケーションはGoogle社の無償提供システムである「テンサー・フロー」を使用する予定である。

(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

すでに構築したロボット型内視鏡操作支援器具は、ブタを用いた動物モデルを用いた安全性の確認を施行しており、更なる操作性および実用性向上のためのハードウェア構成に関して以下の改良に取り組んでいる。

(1)内視鏡支持部品のディスプレイ化

これまでの生体ブタによる実験を通して、術中に内視鏡の着脱が必要となった際に血液等により装置が汚れ、衛生管理上の対策の必要性が認識されていた。装置本体は他の手術ロボットと同様にビニール製カバーで覆うことで保護可能であるが、内視鏡を支持あるいはロックするための部品はビニールカバーでは十分な保護が困難である。そこで、内視鏡と触れる部分は全てディスプレイ化し、手術毎に交換できるよう設計を見直す。

(2)装置本体からモータや回路など電気的設備の分離

現在の内視鏡操作支援ロボットは本体にモータやモータドライバなどの電気システムを内蔵している。これらを本体から切り離し、ワイヤ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検討する。本体の詳細設計および製作は自動車用ドア窓の駆動ユニットの最大手で多数のワイヤ駆動ユニットの製品群を有する株式会社ハイレックスコーポレーションに依頼する予定であり、現在協力して設計を進めている。自動車用の駆動ユニットの採用で駆動系の信頼性向上および装置本体の大幅なスリム化も期待される。

改良型装置の完成後に引き続き、安全性の確認を行うべく、PMDAへの相談実施準備を行っている。PMDAから指摘を受けた評価項目に沿って、ブタを用いた更なる安全性の評価を行う(n=3~5)。(現在、想定している評価項目としては、手術時間、出血量、操作鉗子の移動距離、カメラヘッドの移動距離などを予定している。)安全性を確認の

後、同装置に AI 実装を行う。
(諸麥、柴田、喜安)

課題 3) 手術ナビゲーション機能の実装

データベースを学習した AI の判断したメルクマールを元に、リアルタイムに画面上に切離ラインや切除対象部位など線や色調変化として臓器上に重ねて表示する。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技術を確立する。
(喜安、柴田、諸麥)

課題 4) 手術ナビゲーション機能の評価

同システムを用いて、3 名の研修医を施行者とし、ブタを用いた生体試験を施行し、そのシステムの有用性を、手術時間、出血量、内視鏡技術認定医による審査、内視鏡および鉗子に取り付けた 3 次元位置センシング、カメラワークと施術の正確さ、やりやすさ、作業時間などから評価する。
(江口、伊藤、足立、小坂)

課題 5) 内視鏡操作支援機能の実装

課題 1) で構築した術前取得情報のデータベースから随時判断して術者による内視鏡操作をアシストする機能を実装する。特にデータベース内の過去の術式データ (施術内容 (胆嚢管周囲剥離、胆嚢動脈同定・切離、胆嚢管切離、胆嚢床剥離) とスコピストあるいはロボット型内視鏡操作支援システムによるカメラワークデータから最適なカメラ操作および適切でないカメラ操作を判断。適切でないカメラ操作を自動的に修正するとともに、最適な操作に近づける補助的制御機能を実現する。具体的にはカメラの先端移動時の移動不足、行き過ぎの補正、適切でない視野で鉗子操作がなされた際の警告と視野の補正 鉗子操作中の操作野のセンタリング (視野の中心に操作部位を置く) の安定化時補助 (鉗子操作の追尾など) を行う。
(喜安、柴田、諸麥)

課題 6) 内視鏡自動操作機能の実装

課題 2) と同様にデータベースと術中取

得データから随時判断して常時最適視野を確保するための自動的内視鏡操作の機能を実装する。ただし、微調整を人的操作 (ヘッドセット) で可能とする。
(喜安、柴田、諸麥)

課題 7) 操作支援機能、自動操作機能の評価
同システムを用いて、3 名の内視鏡手術技術認定医を施行者とし、胆嚢摘出術を施行 (各術者 n=3)。そのカメラワークと施術の進行具合、やりやすさ、作業時間などから評価する。
(江口、伊藤、足立、小坂)

C . 研究結果

課題 1) 操作支援、(自動操作) ナビゲーションシステムのためのデータベースの改良
昨年同様に胆嚢摘出術内視鏡手術動画よりキー画像となる、静止画を抽出。これに胆嚢、胆嚢管、総胆管部位を外科医がマーキングしたものを教師画像として、AI 画像診断システムに学習を施行させた。その後検証を行っている。

まず、セグメンテーションの正答率 (全画素のセグメンテーション結果を教師データと比較したとき、全画素数に占める正しいクラスに分類された画素数の割合) の評価を行った。その結果は、ノード数が 12 のとき 79.7%、ノード数が 16 のとき 82.9%、ノード数が 20 のとき 81.7%であった。

次に、推論の処理時間について評価を行った。実験環境として、CPU に Intel 社 Core i7-5930K 3.50GHz、GPU に Nvidia 社 GeForce GTX 1080 を用いた。それぞれ 600 枚の画像を処理した時の平均フレームレート (fps: frames per second) を測定したところ、ノード数が 12 のとき 56.71 fps、ノード数が 16 のとき 55.40 fps、ノード数が 20 のとき 55.17 fps であった。

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

ワイヤ駆動による操作を実現し、操作性、

軽量化によるポータビリティの向上を実現した。また、手術野に行けるパーツをすべて滅菌可能化し、臨床応用可能な状態とした。

課題3) 手術ナビゲーション機能の実装

課題5) 内視鏡操作支援機能の実装

課題6) 内視鏡自動操作機能の実装

データベースを学習した AI 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した。

また、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。これとナビゲーションシステムの画像データを組み合わせて、対象臓器をセンタリングするシステムを実装した。

これをブタ手術モデルで検証した。具体的にはまた、課題1で検証したセグメンテーション結果に基づき、本課題研究分担者である中央大学の諸麥准教授らが作成した内視鏡操作ロボットを操作できるよう、ロボット接続のためのインターフェースを、非同期シリアル通信を用いて実装した。接続実験の結果、ニューラルネットワークによってロボットを正常に制御できることを確認した。

D. 考察

以下に本研究の成果と思われる項目を挙げる。

課題1) セグメンテーションについては概ね80%程度の良好な正答率が得られている。一方、ノード数が20のときの正答率は、ノード数が16のときよりもわずかに低下しており、この結果は過学習の影響が反映されたものと解釈できる。クラスラベリングの結果画像についても、臓器の位置を概ね妥当に捉えることができていることが確認できた。学習用データセットが少ない中、過学習による品質劣化をある程度抑制することができており、提案ネットワークの構造

上の工夫により一定程度の成果を得ることができたと判断できる。

また、ニューラルネットワークの構成をコンパクトにしたことにより、推論処理に要する時間の短縮にもつながっていることが、性能評価の結果から伺える。GPUによる計算アクセラレーションの効果ともあいまって、実験に用いたいずれの構造の場合でも55fpsを上回るリアルタイム性が確認できた。この処理性能は、ロボット制御の観点からも十分なものであると判断できる。

課題3) 手術ナビゲーション機能の実装

課題5) 内視鏡操作支援機能の実装

課題6) 内視鏡自動操作機能の実装

内視鏡操作支援システムに手術ナビゲーション、内視鏡操作支援、自動操作機能の実装を行い、動物実験において基本機能の実装可能であることを確認した。

E. 結論

本年度で、AIシステムのための学習データの収集・作成を完了し、術中ナビゲーションシステム、操作支援、自動操作機能の実装までを施行し得た。現時点では更なる制度の向上に向けてシステムの改良、検証を施行していく必要がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

T. Manabe, Y. Shibata, K. Oguri, FPGA Implementation of a Real-Time Super-Resolution System Using Flips and an RNS-Based CNN, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E101-A, No.12, pp.2280-2289 (2018.12)

H. Egawa, Y. Shibata, Storing and

Compressing Video into Neural Networks by Overfitting, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol.772, pp.615-626 (2018.7)

2 . 学会発表

Y. Shibata, Near-I/O reconfigurable computing for medical engineering, International Symposium on Computing and Networking, CANREXI Workshop (2018.11)

H . 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

なし

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

別紙 4

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Liang Jun, Takuma Honda, Tomoya Goto, <u>Kotaro</u> Sonoda, Junya Fukuoka, <u>Senya</u> Kiyasu	Extraction of Lymphoid Follicles from Digital Pathology Images.	電気・情報関係 学会九州支部 第 70 回連合大 会論文集		p.81	2017
塚本 稜司、江連 諒、金 香紀、安藤 凜太郎、本田 拓 海、 <u>諸麥 俊司</u> 、 <u>足 立 智彦</u> 、黒木 保、 大野 慎一郎、北里 周	頭部運動と噛み締めを 操作信号とするロボッ ト型内視鏡操作支援器 具の操作性改善の検討	計測自動制御 学会第 18 回シ ステムインテ グレーション 部門講演会 (SI2017)論文 集		pp.1599-1601	2017
T. T. Thu, Y. Hayashida, A. Tahara, <u>Y. Shibata</u> , K. Oguri	Deep-pipelined FPGA Implementation of Real-time Object Tracking using a Particle Filter	International Journal of Networking and Computing	7(2)	372-386	2017

A. Tahara, Y. Hayashida, T. T. Thu, <u>Y. Shibata</u> , K. Oguri	Power Performance Analysis of FPGA-Based Particle Filtering for Realtime Object Tracking	Advances in Intelligent Systems and Computing	611	463-474	2017
塩道 一重, 蘭田 光太郎, 恒任 章, 前村 浩二, <u>喜安 千弥</u>	多関節モデルを用いた 超音波動画像における 心臓弁のトラッキング	第 35 回センシ ングフォーラ ム予稿集	1/1	115-118	2018
T. Manabe, <u>Y. Shibata</u> , K. Oguri	FPGA Implementation of a Real-Time Super-Resolution System Using Flips and an RNS-Based CNN	IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communication s and Computer Sciences	Vol.E101-A, No.12	2280-2289	2018
H. Egawa, <u>Y. Shibata</u>	Storing and Compressing Video into Neural Networks by Overfitting	Advances in Intelligent Systems and Computing	772	615-626	2018
海野佑弥, 蘭田光 太郎, <u>小坂太一郎</u> <u>江口晋</u> , <u>喜安千弥</u>	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	計測自動制御 学会センシ ングフォーラム	36	204-209	2019.8
Masato Arai, Takato Omori, <u>Shunji</u> <u>Moromugi</u> , Tomohiko Adachi, Taiichiro Kosaka, Shinichiro Ono, Susumu 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	2019

Taito Manabe, Koki Tomonaga, <u>Yuichiro</u> Shibata	CNN Architecture for Surgical Image Segmentation Systems with Recursive Network Structure to Mitigate Overfitting	Proc. International Symposium on Computing and Networking		171-177	2019
藤田光暉、眞邊泰 斗、友永航生、柴 <u>田裕一郎</u>	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	120(36)	25-30	2020