

平成 28 年度 再委託研究開発成果報告書

I. 基本情報

事業名： (日本語) 革新的がん医療実用化研究事業  
(英語) Practical Research for Innovative Cancer Control

研究開発課題名： (日本語) 消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用  
(英語) Development and clinical application of integrated personalized surgical assistance system for gastroenterological surgery based on medical image processing techniques

研究開発担当者 (日本語) 愛知県がんセンター 中央病院消化器外科医長 三澤一成  
所属 役職 氏名： (英語) Department of Gastroenterological Surgery Aichi Cancer Center Hospital, Associate Director, Kazunari Misawa

実施期間： 平成 28 年 4 月 1 日 ～ 平成 29 年 3 月 31 日

分担研究 (日本語) 手術支援システムのユーザーインターフェース開発、音声やジェスチャーを使った操作プログラムの開発  
開発課題名： (英語) Development of user interface software for surgical navigation system activated by voice or gesture commands

研究開発分担者 (日本語) 中京大学 工学部 情報工学科 教授 目加田慶人  
所属 役職 氏名： (英語) Department of Information Engineering, School of Engineering, Chukyo University, Professor, Yoshito Mekada

分担研究 (日本語) 術前プランニングシステムにおける腹部リンパ節自動抽出プログラムの高精度化  
開発課題名： (英語) Improvement on automatic abdominal lymph nodes detection program

研究開発分担者 (日本語) 独立行政法人国立高等専門学校機構 苫小牧工業高等専門学校 情報工学科  
助教 中村 嘉彦

所属 役職 氏名: (英語) Division of Computer Science and Engineering, Department of  
Engineering for Innovation, National Institute of Technology,  
Tomakomai College

## II. 成果の概要 (総括研究報告)

消化器がん治療における統合的個別化手術支援システムの開発を目指して、手術症例の画像データ・術中データの取得、術前プランニングシステム、個別化実体モデルを用いた術前シミュレーションシステム、ならびに術中ナビゲーションシステムの開発および臨床応用を行った。

術前プランニングシステムとして、血管名診断システム、リンパ節診断システム、ポート位置プランニングシステムの開発を行った。血管名診断システムでは、動脈及び門脈領域の中で最も太い部分を1点手動指定して大血管抽出処理を自動実行し、その後、大血管領域に接続した中・小血管を直径の大きいものから順に反復的に抽出する手法の開発を行った。抽出した血管に動脈系、門脈系の血管名を自動的に割り当て、さらにその解剖情報を文章として提示するレポート自動作成手法の開発を行った。リンパ節診断システムでは、局所濃淡構造解析に基づくリンパ節自動検出手法に加えて異なるアプローチによるカスケード型のリンパ節自動検出手法を組み合わせた手法の開発を行った。またリンパ節領域と血管名の診断結果を用いてリンパ節と各血管の距離を解析することで、リンパ節領域名(リンパ節番号)を診断する手法の開発を行った。腹腔鏡手術ポート位置プランニングでは、術中に実際のポートや操作対象の血管などの立体位置情報を取得、これらのデータから各ポートと各血管との角度などを解析し、ポートの挿入位置を自動的に決定するための条件を決定、それを用いてポートを挿入する適切な領域を3次元CT画像中に表示する手法の開発を行った。実際の臨床応用・評価にて良好な結果を確認した。

個別化実体モデルを利用した術前シミュレーションシステムの開発をおこなった。術前CT画像から識別した血管、肝臓、膵臓などの手術に関連する臓器の形状情報を用い、3Dプリンタで実体化軟性臓器モデルを作成、術前ポート位置プランニングシステムが決めた最適なポート位置に実体化ポート器具を固定し、手術シミュレーションを実施可能とするシステムである。これら実体化軟性臓器模型と実体化ポート器具を用いて作成したシステムを用い、患者固有の臓器構造と最適ポート位置を反映した腹腔鏡手術術前シミュレーションを行い、実際の手技トレーニングツールとして有用であることを確認した。

術中ナビゲーションシステムの開発では、術中測定データの利用技術としてCT画像の座標系と3次元位置計測装置の座標系の位置合わせ手法の開発を行った。術中の位置合わせ手法として血管の位置情報を用いた手法、臓器の表面形状を用いた手法、臓器の表面形状と血管の位置情報を組み合わせた位置合わせ手法、さらに超音波画像を用いて術前に体内の位置情報を用いて位置合わせを行う手法の開発、検討を行った。軟性腹腔鏡の先端屈曲に対応するため、手元のレバーの曲げ角を取得する装置を作成、術中にリアルタイムに取得される屈曲角度から計算される軟性鏡視野に一致する手術支援画像を表示するシステムの構築も行った。またナビゲーションシステムが提示する情報として、俯瞰視点からの画像中に鉗子や腹腔鏡などを表示する画像の生成を行った。術前プランニングシステムと

して開発した腹腔鏡手術ポート位置を決定するプログラムを術中ナビゲーションシステムに組み込み、手術時に利用可能なポート位置プランニングシステムを構築、実際の腹腔鏡下胃切除術時に使用しシステムの臨床応用を行った。開発したナビゲーションシステムを実際の手術に臨床応用し、精度の検証やシステムの改良を行った。また音声操作手術ナビゲーションシステムのモジュールを従来のナビゲーションシステムに統合した。音声ナビシステムでは、血管への視点移動機能のための視点位置計算方法の検討により、外科医が血管分岐部の形状を最も把握しやすい最適視点位置を自動で求め提示することが可能となった。

これらの機能を術中ナビゲーションシステムに統合、統合的個別化手術支援システムを構築し臨床応用を行った。

We have conducted several research topics for development of integrated personalized surgical assistance system for gastrointestinal cancer treatments. These topics include (a) medical image data collection of surgical cases, (b) intraoperative data collection, (c) development of preoperative planning system, (d) development of pre-operative simulation system using personalized 3D printed organ mode, (e) development of intra-operative surgical navigation system, and (f) clinical applications of these topics.

As the preoperative planning system, we developed the following three systems: (a) anatomical labeling system for blood vessels, (b) lymph node diagnosis and (c) surgical port placement planning. In the anatomical labeling, blood vessel segmentation method is developed. In this method, the user specifies one point inside the thick blood vessels like artery on a CT slice image for performing automated thick blood vessel segmentation. Then iterative extraction process is performed so that to extract thinner blood vessels connecting to thick blood vessels. Then anatomical labeling is performed based on machine learning techniques to obtain anatomical labels of abdominal artery and portal vein branches. Branching pattern report are also automatically generated from anatomical labeling results as a text document with showing some illustrations (schemas). We have also developed a technique for automated station number assignment of anatomical lymph nodes. In development of port placement planning system, we have developed a new method to predict port locations for forceps based on blood vessel locations. In the development process, we have acquired actual locations of ports located on the skin surface and locations of blood vessels to be operated. Database of these information are utilized for developing the algorithm for port placement planning. We found that port placement planning system can provide the places closer to experience surgeons' decision.

In preoperative simulation system, we manufactured 3D printed elastic organ mode from the shape information of organs related to the gastrointestinal cancer surgery such as the blood vessel, the liver and the pancreas. Then, the 3D printed model are placed on a surgical table with providing optimal port location obtained from the port placement planning system, Surgical process rehearsal can be performed for these 3D printed elastic organ mode with 3D printed port-holder located at the optimal positions. We conducted an experiment using this simulation system and found it is quite useful for surgical procedure training tool based on personalized anatomical structure information and personalized port placement planning.

In surgical navigation system, we developed a method for registering the coordinate system of pre-

operative CT images and the coordinate system of the positional tracking system utilized in the operating room for surgical tool tracking. We have developed various approaches for coordinate system registration including a method using blood vessel locations, a method using organ surface information and a method using both blood vessel location information and organ surface information, and a method using blood vessel branching point location found by ex-vivo ultrasound images. New measuring device for elastic laparoscopic bending angle is developed. Bending angle information is used to generate virtual laparoscopic images from preoperative CT image synchronized to laparoscopic views. This research project also augmented surgical navigation views by providing bird-eye views of surgical areas. This view shows the locations of the laparoscope and the forceps are shown from the view point of “third-person”. Voice activation function is also implemented in the navigation system. Anatomical names can be used as a part of voice command. It has become to generate appropriate 3D views of the blood vessel that are recalled by voice command. Surgeon’s anatomical knowledge and experience are implemented as algorithm for determining the viewpoint and view direction of a virtual view of recalled blood vessels.

All of the functions are integrated to one surgical navigation system for realizing an integrated and personalized navigation system,

### III. 成果の外部への発表

(1) 学会誌・雑誌等における論文一覧（国内誌 0 件、国際誌 4 件）

1. Kitasaka T, Kagajo M, Nimura Y, Hayashi Y, Oda M, Misawa K, Mori K. Automatic anatomical labeling of arteries and veins using conditional random fields. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2017. (印刷中)
2. Hayashi Y, Misawa K, Mori K. Optimal port placement planning method for laparoscopic gastrectomy. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2017. (印刷中)
3. Hayashi Y, Misawa K, Hawkes DJ, Mori K. Progressive internal landmark registration for surgical navigation in laparoscopic gastrectomy for gastric cancer. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2016, 11, 837-45.
4. Hayashi Y, Misawa K, Oda M, Hawkes DJ, Mori K, Clinical application of a surgical navigation system based on virtual laparoscopy in laparoscopic gastrectomy for gastric cancer. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2016, 11, 827-36.

(2) 学会・シンポジウム等における口頭・ポスター発表

1. 音声操作手術ナビゲーションシステムのための血管構造観察最適視点位置計算（口頭），林 雅大，道満 恵介，且加田 慶人，三澤 一成，森 健策，動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA) 2017/3, 国内
2. Contrast Sensitive Potentials を用いた条件付き確率場による腹部動脈の血管名自動対応付け，口頭，張曉楠，林雄一郎，小田昌宏，北坂孝幸，三澤一成，森健策，電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会，2017/3/20, 国内.
3. Structured Random Forest を用いた 3 次元腹部 CT 像からのリンパ節自動検出，口頭，寶珠山裕，Holger Roth，小田昌宏，中村嘉彦，三澤一成，藤原道隆，森健策，電子情報通信学会医用画像研究会，2017/01/18, 国内.
4. ステレオ内視鏡画像からの臓器形状復元手法における誤対応点削減処理の提案と手術画像への適用，口頭，柴田睦実，林雄一郎，小田昌宏，三澤一成，森健策，第 25 回日本コンピュータ外科学会大会，2016/11/27, 国内.
5. 腹腔鏡下胃切除術におけるポート位置決定支援のためのポート位置プランニングシステムの開発，口頭，林雄一郎，三澤一成，森健策，第 25 回日本コンピュータ外科学会大会，2016/11/27, 国内.
6. 血管木構造構築手法の改善とその血管名称自動対応付けへの応用，口頭，張曉楠，加賀城充，小田昌宏，林雄一郎，三澤一成，森健策，第 25 回日本コンピュータ外科学会大会，2016/11/26, 国内.
7. Structured Random Forest を用いた 3 次元腹部 CT 像からのリンパ節自動検出に関する初期的検討～統計的特徴量を利用したリンパ節検出率の改善～，口頭，寶珠山裕，Holger R. Roth，小田昌宏，中村嘉彦，三澤一成，藤原道隆，森健策，第 25 回日本コンピュータ外科学会大会，2016/11/26, 国内.
8. 3 次元腹部 X 線 CT 像からの経時リンパ節の自動検出精度の検討，口頭，中村嘉彦，寶珠山裕，林雄一郎，北坂孝幸，三澤一成，森健策，電子情報通信学会医用画像研究会，2016/07/26, 国内.
9. 腹腔鏡下手術ナビゲーションシステムのためのステレオ内視鏡画像からの臓器形状復元の定量評価，口頭，柴田睦実，林雄一郎，小田昌宏，三澤一成，森健策，電子情報通信学会医用画像研究会，2016/07/25, 国内.
10. 腹腔鏡下手術ナビゲーションシステムにおける剛体と非剛体レジストレーションを用いた臓器表面形状による位置合わせ手法の検討，ポスター，林雄一郎，森田千尋，三澤一成，森健策，第 35 回日本医用画像工学会大会，2016/7/23, 国内.
11. Structured Random Forest を用いた 3 次元腹部 CT 像からのリンパ節自動検出に関する初期的検討，口頭，寶珠山裕，二村幸孝，小田昌宏，三澤一成，藤原道隆，森健策，第 35 回日本医用画像工学会大会，2016/7/23, 国内.
12. 腹腔鏡下胃切除術のための手術ナビゲーションシステムにおけるステレオ内視鏡画像からの臓器形状復元に関する検討，口頭，柴田睦実，森田千尋，林雄一郎，小田昌宏，三澤一成，森健策，第 35 回日本医用画像工学会大会，2016/7/21, 国内.
13. Port placement planning assistance for laparoscopic gastrectomy based on anatomical structure analysis, ポスター，Hayashi Y, Misawa K, Mori K, CARS 2016, 2016/06/24, 国外.

(3) 「国民との科学・技術対話社会」に対する取り組み  
該当無し

(4) 特許出願  
該当無し

平 28 年 度 委 託 研 究 開 発 成 果 報 告 書

I. 基本情報

事業名： (日本語) 革新的がん医療実用化研究事業  
(英語) Practical Research for Innovative Cancer Control

研究開発課題名： (日本語) 消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた  
統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用  
(英語) Development of integrated personalized surgical assistance system  
and clinical application based of medical image processing  
techniques for gastrointestinal cancer treatment

研究開発担当者 (日本語) 国立大学法人名古屋大学 情報連携統括本部 教授 森 健策  
所属 役職 氏名： (英語) Nagoya University, Information & Communications, Professor, Kensaku  
Mori

実施期間： 平成 28 年 4 月 1 日 ～ 平成 29 年 3 月 31 日

分担研究 (日本語) 消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援  
システムにおけるデータベース解析と手術支援システム技術の開発  
開発課題名： (英語) Development of technologies for medical image database analysis  
and surgical assistance system in integrated personalized surgical  
assistance system based of medical image processing techniques for  
gastrointestinal cancer treatment

研究開発分担者 (日本語) 国立大学法人名古屋大学 情報連携統括本部 教授 森 健策  
所属 役職 氏名： (英語) Nagoya University, Information & Communications,  
Professor, Kensaku Mori

分担研究 (日本語) 消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援  
システムにおけるデータベース解析と手術支援システム技術の開発  
開発課題名： (英語) Development of technologies for medical image database analysis  
and surgical assistance system in integrated personalized surgical

assistance system based of medical image processing techniques for  
gastrointestinal cancer treatment

研究開発分担者 (日本語) 国立大学法人名古屋大学 大学院情報科学研究科 助教 小田 昌宏  
所属 役職 氏名: (英語) Nagoya University, Graduate School of Information Science,  
Assistant professor, Masahiro Oda

## II. 成果の概要 (総括研究報告)

研究開発代表者: 愛知県がんセンター・消化器外科・三澤一成 総括研究報告を参照。

## III. 成果の外部への発表

(1) 学会誌・雑誌等における論文一覧 (国内誌 0 件、国際誌 2 件)

1. Kitasaka T, Kagajo M, Nimura Y, Hayashi Y, Oda M, Misawa K, Mori K. Automatic anatomical labeling of arteries and veins using conditional random fields. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2017. (印刷中)
2. Hayashi Y, Misawa K, Mori K. Optimal port placement planning method for laparoscopic gastrectomy. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2017. (印刷中)
3. Hayashi Y, Misawa K, Hawkes DJ, Mori K. Progressive internal landmark registration for surgical navigation in laparoscopic gastrectomy for gastric cancer. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2016, 11, 837-45.
4. Hayashi Y, Misawa K, Oda M, Hawkes DJ, Mori K. Clinical application of a surgical navigation system based on virtual laparoscopy in laparoscopic gastrectomy for gastric cancer. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2016, 11, 827-36.

(2) 学会・シンポジウム等における口頭・ポスター発表

1. Contrast Sensitive Potentials を用いた条件付き確率場による腹部動脈の血管名自動対応付け, 口頭, 張暁楠, 林雄一郎, 小田昌宏, 北坂孝幸, 三澤一成, 森健策, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 2017/3/20, 国内.
2. Structured Random Forest を用いた 3 次元腹部 CT 像からのリンパ節自動検出, 口頭, 寶珠山裕, Holger Roth, 小田昌宏, 中村嘉彦, 三澤一成, 藤原道隆, 森健策, 電子情報通信学会医用画像研究会, 2017/1/18, 国内.

3. ステレオ内視鏡画像からの臓器形状復元手法における誤対応点削減処理の提案と手術画像への適用, 口頭, 柴田睦実, 林雄一郎, 小田昌宏, 三澤一成, 森健策, 第 25 回日本コンピュータ外科学会大会, 2016/11/27, 国内.
4. 腹腔鏡下胃切除術におけるポート位置決定支援のためのポート位置プランニングシステムの開発, 口頭, 林雄一郎, 三澤一成, 森健策, 第 25 回日本コンピュータ外科学会大会, 2016/11/27, 国内.
5. 血管木構造構築手法の改善とその血管名称自動対応付けへの応用, 口頭, 張曉楠, 加賀城充, 小田昌宏, 林雄一郎, 三澤一成, 森健策, 第 25 回日本コンピュータ外科学会大会, 2016/11/26, 国内.
6. Structured Random Forest を用いた 3 次元腹部 CT 像からのリンパ節自動検出に関する初期的検討～統計的特徴量を利用したリンパ節検出率の改善～, 口頭, 寶珠山裕, Holger R. Roth, 小田昌宏, 中村嘉彦, 三澤一成, 藤原道隆, 森健策, 第 25 回日本コンピュータ外科学会大会, 2016/11/26, 国内.
7. 3 次元腹部 X 線 CT 像からの経時リンパ節の自動検出精度の検討, 口頭, 中村嘉彦, 寶珠山裕, 林雄一郎, 北坂孝幸, 三澤一成, 森健策, 電子情報通信学会医用画像研究会, 2016/07/26, 国内.
8. 腹腔鏡下手術ナビゲーションシステムのためのステレオ内視鏡画像からの臓器形状復元の定量評価, 口頭, 柴田睦実, 林雄一郎, 小田昌宏, 三澤一成, 森健策, 電子情報通信学会医用画像研究会, 2016/07/25, 国内.
9. 腹腔鏡下手術ナビゲーションシステムにおける剛体と非剛体レジストレーションを用いた臓器表面形状による位置合わせ手法の検討, ポスター, 林雄一郎, 森田千尋, 三澤一成, 森健策, 第 35 回日本医用画像工学会大会, 2016/7/23, 国内.
10. Structured Random Forest を用いた 3 次元腹部 CT 像からのリンパ節自動検出に関する初期的検討, 口頭, 寶珠山裕, 二村幸孝, 小田昌宏, 三澤一成, 藤原道隆, 森健策, 第 35 回日本医用画像工学会大会, 2016/7/23, 国内.
11. 腹腔鏡下胃切除術のための手術ナビゲーションシステムにおけるステレオ内視鏡画像からの臓器形状復元に関する検討, 口頭, 柴田睦実, 森田千尋, 林雄一郎, 小田昌宏, 三澤一成, 森健策, 第 35 回日本医用画像工学会大会, 2016/7/21, 国内.
12. Port placement planning assistance for laparoscopic gastrectomy based on anatomical structure analysis, ポスター, Hayashi Y, Misawa K, Mori K, CARS 2016, 2016/06/24, 国外.

### (3) 「国民との科学・技術対話社会」に対する取り組み

1. 医療分野における 3D プリンタ, 森健策, 名古屋大学出前授業 in 2016, 豊橋地下資源館, 2016/11/13, 国内
2. 名古屋大学 森健策研究室, 森健策, 林雄一郎, デジタルコンテンツ博覧会 NAGOYA, ナディアパーク, 2016/12/3-4
3. 「立体臓器モデルを作ろう」, 名古屋市科学館かがくゼミナール (小中), 2016/12/13, 名古屋市科学館

### (4) 特許出願