

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 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：14202

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500435

研究課題名（和文） 拡張現実を用いたMR画像支援下内視鏡手術システムの開発

研究課題名（英文） MR Image-Guided Endoscopic Surgical System using AR Technology

研究代表者

仲 成幸（NAKA SHIGEYUKI）

滋賀医科大学・医学部・准教授

研究者番号：10359771

研究成果の概要（和文）：

MRI（磁気共鳴画像）装置内で、ファイバースコープにより行う低侵襲内視鏡手術のための、統合的 MR 画像支援下内視鏡外科手術システムの開発を行った。内視鏡画像と内視鏡先端部の位置情報によるリアルタイム MR 断層画像と拡張現実（Augmented Reality）技術による 3 次元再構成画像をモニター上に統合表示し画像誘導が行える内視鏡外科手術システムである。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a novel MR (Magnetic Resonance) -image guided surgical system for minimally-invasive endoscopic surgery. This surgical system enables image-guided endoscopic surgery using real-time MR-images according to the endoscope position and 3D reconstructed-image combined with a technology of augmented reality.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総 計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：コンピュータ外科学

1. 研究開始当初の背景

肝内に 3 次元的に広がる肝腫瘍を正確に描出し適正に治療するために、当施設では、オープンMRIを用いたリアルタイムナビゲーションシステムを開発し臨床応用してきた。しかし、胸壁・腹壁・横隔膜・隣接臓器に囲まれた肝臓内の腫瘍は、その部位によっては経皮的に穿刺治療することは困難かつ危険を伴う場合がある。そこで、ファイバースコープを用いて腹腔内より穿刺治療することができれば、より自由度が広がり安全に治療が行える。われわれはMR 対応内視鏡を開発し、MR スキャナー内での肝臓癌の穿刺治療において内視鏡画像とリアルタイ

ム MR 画像を統合した内視鏡手術システムを開発している。今後、拡張現実（Augmented Reality）技術により内視鏡画像に肝臓内部の再構成 3 次元画像を重量表示することができれば、さらに安全で正確な治療が可能となる。しかし、腹部臓器である肝臓は呼吸性に大きく移動し、また臓器全体が柔軟であるため容易に変形し、肝腫瘍の位置も変化する。正確なナビゲーション手術を行うには、これらの変化を再構成表示された 3 次元画像にリアルタイムに反映することが必要となる。しかし、この臓器の変形や変動を正確に捉え、再構成画像に反映するモーショントラッキングの技術はこれまでに実現されて

いない。MR I 装置の撮像空間内の絶対位置情報は XYZ の 3 方向にそれぞれかけられる傾斜磁場により規定される。この傾斜磁場の位置による変動を直行する 3 個のコイルに生じる起電力の変化により、MR 空間内の位置情報を得ることが可能となる。これまでに共同開発したセンサは 3 対の直交するコイルを有し、MR 撮像空間内において、センサの位置および向きの情報を得ることが可能である。また、傾斜磁場の変動を捉えるため、光学式トラッキングシステムのように赤外線の影響によるトラッキングの中断が無く、体内での使用も可能である。この傾斜磁場位置センサを肝臓または肝腫瘍近傍に置くことにより、肝臓の変形および肝腫瘍の位置の変化をリアルタイムに捉えることが可能となる。この情報をもとに、拡張現実 (Augmented Reality) により内視鏡画像に、肝臓の変位変動をリアルタイムに加味した肝臓内部の再構成 3 次元画像を重畳表示させることができれば、理想的な MR 画像支援下内視鏡手術となる。

2. 研究の目的

我々は、安全・確実で低侵襲な内視鏡外科手術システムを実現するために、MR 対応軟性ファイバースコープを開発し、MRI (磁気共鳴画像) 装置内における MR 画像支援下内視鏡外科手術の基礎的技術開発を実現した。MR 対応ファイバースコープより得られる体腔内表面情報である内視鏡画像と、MRI 断層画像であるリアルタイム MR 画像を駆使出来る為、さらに高度な内視鏡外科手術が可能となる。本研究では、肝臓癌治療のために、拡張現実 (Augmented Reality) 技術を用い、肝臓を含む体腔内の内視鏡画像上に腫瘍を含む 3 次元再構成画像を位置検出センサにより臓器の動きおよび変形を補正しながら正確に表示する。加えてリアルタイム MR 画像により治療状況を確認することが可能な統合的 MR 画像支援下内視鏡外科手術システムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) Augmented reality による内視鏡画像と 3 次元再構成画像との統合。

内視鏡画像による肝表面の画像に腫瘍を含む肝臓内部の 3 次元再構成画像を重畳表示させるためのソフトウェアを開発する。

①肝臓および体腔を模した MRI 用ファントムを用い、模擬腫瘍を含めた MR 3 次元再構成画像を作成する。

②MR 対応内視鏡より取得した内視鏡画像上に、MR 3 次元再構成画像を重畳表示し、拡張現実 (Augmented Reality) の基礎的な検討を行う。

(2) 体腔内の臓器および内視鏡に対し位置トラッキングセンサにて変位・変形の位置情報をリアルタイムに取得し、モニター上に表示するシステムを開発する。

①臓器に見立てたファントムに 6 自由度の位置トラッキングセンサを装着し、その位置情報により臓器の動きの補正を行いながら、ターゲティング用位置センサにより表示される同一の断層面を連続して表示させる。

②軟性内視鏡 (ファイバースコープ) に複数個の位置トラッキングセンサを装着し、各々の位置情報により内視鏡の形状を表示する。

(3) 動物を用い、位置検出センサを内蔵した MR 対応内視鏡により得た内視鏡画像データとリアルタイム MR 断層画像を統合しさらに拡張現実 (Augmented Reality) を用いた仮想腫瘍画像重畳表示させる。

4. 研究成果

(1) Augmented reality による内視鏡画像と 3 次元再構成画像との統合。

①肝臓および体腔を模した MRI 用ファントム (図 1) を用い、模擬腫瘍を含めた MR 3 次元再構成画像を作成しモニター上に表示した (図 2)。

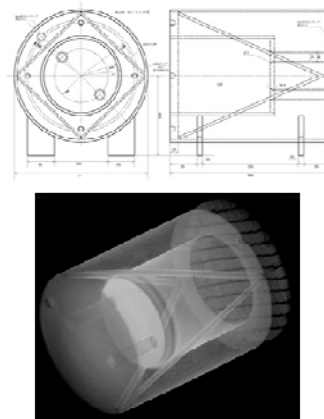


図 1. MRI 用ファントム

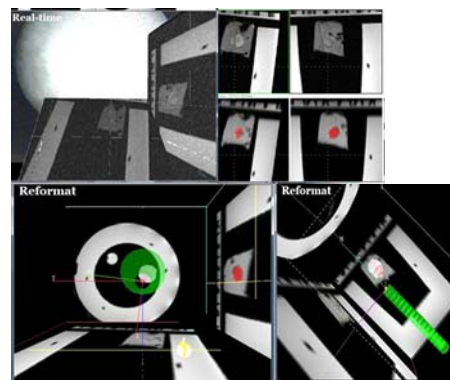


図 2. 3 次元再構成画像

②内視鏡画像上に MR 3 次元再構成画像を重畳表示させた (図 3)。

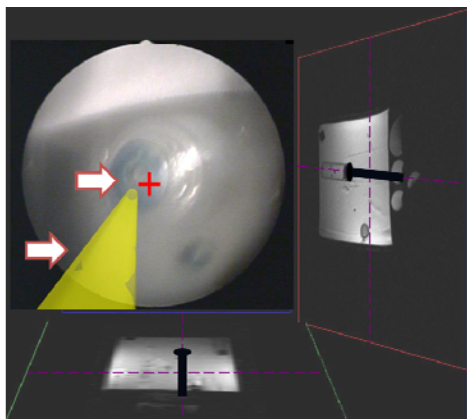


図3．内視鏡画像に重畳表示された画像（矢印）

（2）体腔内の臓器および内視鏡に対し位置トラッキングセンサにて変位・変形の位置情報の表示システムの開発。

①ファントムに6自由度の位置トラッキングセンサを装着し、その位置情報により臓器の動きの補正を行いながら、ターゲティング用位置センサにより表示される同一の断層面を連続して表示させた（図4）。

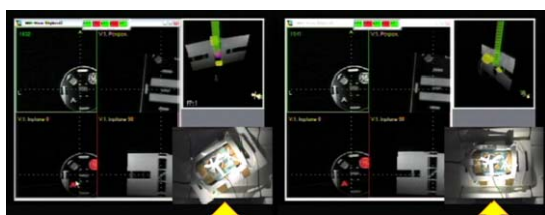


図4．ファントムを任意に動かしても（矢印）MR断層画像は動かない

②軟性内視鏡の体腔内での位置および形状をよりわかりやすく表示するために、軟性内視鏡挿入部をスプライン曲線に近似し、3次元空間内に描出した。すなわち、軟性内視鏡先端部より5cm間隔で3個の磁気センサを装着し、各々の位置情報をもとにスプライン補間アルゴリズムにより処理を行い、内視鏡挿入部の3次元形状を表示させた（図5、6）。

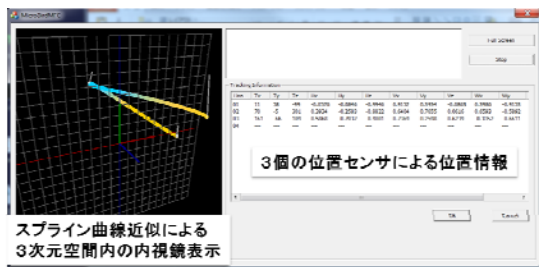


図5．軟性内視鏡のスプライン曲線近似



軟性内視鏡に3個の位置センサを装着

図6．軟性内視鏡と位置センサ

内視鏡先端部より前方にある対象臓器の直交3断面画像、3次元空間上ある内視鏡の位置表示を行った。体腔内で使用可能な磁気方式の3次元位置センシング装置を用いて、軟性内視鏡の3次元的位置表示を行うことができた。さらに、軟性内視鏡のカメラ画像とともに対象臓器の断層画像をインタラクティブに表示することが可能であった（図7）。

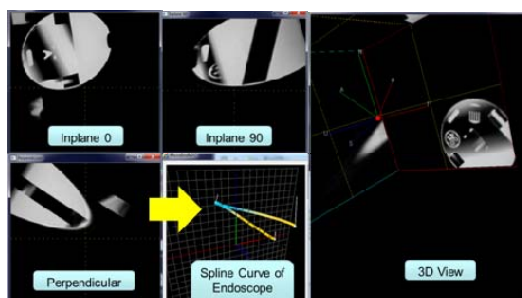


図7．モニター上に表示されたMR画像と内視鏡（矢印）

（3）MR対応内視鏡、リアルタイムMR断層画像と拡張現実（AR）機能による画像を用いた仮想腫瘍画像重畳表示機能を統合し、ナビゲーションのための統合画像ソフトウェアを完成させた（図8）。このMR画像支援下内視鏡外科手術システムを動物（ブタ）実験により評価した。

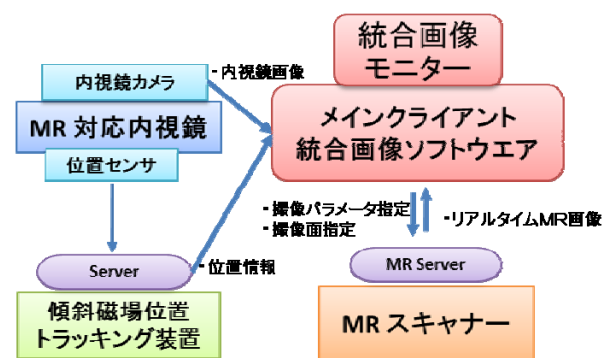


図8．統合画像ソフトウェアの構成

動物実験では、30kg程度のブタを全身麻酔下にMRI装置内に固定し、臍部付近より挿入したトロカールを用い炭酸ガスにて気腹を行った。まず、T1強調画像による肝臓を含めた腹部を撮像し、3次元再構成を行った（図9）。

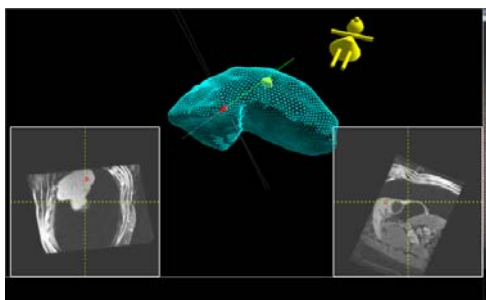


図 9. 3次元再構成された肝臓

次いで、MR 対応内視鏡をブタ腹腔内に挿入し、内視鏡画像上に拡張現実 (AR) 機能により模擬肝腫瘍を重畳表示することに成功した (図 10)。

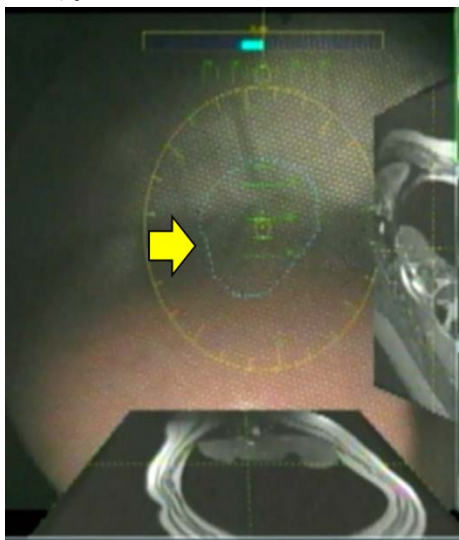


図 10. ブタ肝臓と重畳表示された模擬腫瘍 (矢印)

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 4 件)

- ① 仲 成幸、谷 徹、MR 画像誘導による内視鏡外科手術、映像情報メディカル査読なし、44(6)、2012、p540～545
- ② Morikawa Shigehiro、Naka Shigeyuki、Kurumi Yoshimasa、Development of instruments to assist accurate puncture of liver tumors for MRI-guided microwave ablation -From a simple spacer to a motorized robot-、Journal of Microwave Surgery、査読有、30、2012、p183～190
- ③ 仲 成幸、谷 徹、新しい次世代の手術システム、日本医師会雑誌、査読なし、140(8)、2011、p1657～1662
- ④ 森川茂廣、来見良誠、仲 成幸、村上耕一郎他、マイクロ波と磁気共鳴画像のめぐり会い、Journal of Microwave Surgery、査読有、29、2011、p33～38・

〔学会発表〕(計 13 件)

- ① Naka Shigeyuki、Morikawa Shigehiro、Kurumi Yoshimasa 他、MR-image guided surgical system for endoscopic surgery、CARS 2012 Computer Assisted Radiology and Surgery 26th International Congress and Exhibition・2012
- ② Morikawa Shigehiro、Hasnine A Haque、Naka Shigeyuki 他、Seamless MR image navigation system using a motorized manipulator with optical and electromagnetic hybrid sensors for a closed bore scanner、9th Interventional MRI Symposium・2012
- ③ Naka Shigeyuki、Morikawa Shigehiro、Kurumi Yoshimasa、MR-Image Guided Endoscopic surgery using a 1.5T MR system、9th Interventional MRI Symposium・2012
- ④ 仲 成幸、森川茂廣、村上耕一郎、塩見尚礼、Hasnine A Haque、来見良誠他 MR 画像誘導下 NOTES の開発、第 21 回日本コンピュータ外科学会大会・2012
- ⑤ Naka Shigeyuki、Kurumi Yoshimasa、Murakami Koichiro、Hasnine A Haque、Morikawa Shigehiro 他、Image guided liver surgery using roboto manipulator、The 26th Symposium on Biological and Physiological Engineering (BPES2011)・2011
- ⑥ Naka Shigeyuki、Murakami Koichiro、Hasnine A Haque、Kurumi Yoshimasa、Morikawa Shigehiro 他、MR image guided NOTES (Natural Orifice Translumenal Endoscopic Surgery) system、25th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2011)・2011
- ⑦ Murayama Hiroyuki、Naka Shigeyuki、Murakami Koichiro、Hasnine A Haque、Kurumi Yoshimasa、Morikawa Shigehiro、Development of MR tracking system for the MR image guided endoscopic surgery、25th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2011)・2011
- ⑧ Hasnine A Haque、森川茂廣、仲 成幸、Development of cyber MR operating room for intraoperative MRI guided surgery、第 20 回日本コンピュータ外科学会大会・2011
- ⑨ Naka Shigeyuki、Kurumi Yoshimasa、Murakami Koichiro、Morikawa Shigehiro 他、Efficacy of magnetic resonance image-guided liver surgery with a motorized manipulator、8th Interventional MRI Symposium・2010

- ⑩ Naka Shigeyuki, Kurumi Yoshimasa, Murakami Koichiro, Hasnine A Haque, Morikawa Shigehiro, 他、A new real-time MRI navigation system for Liver Tumor、第 19 回日本コンピュータ外科学会大会・2010
- ⑪ 村山浩之、仲 成幸、村上耕一郎、Hasnine A Haque, 来見良誠, 森川茂廣, 他、MR 内視鏡のためのトラッキングシステムの開発、第 19 回日本コンピュータ外科学会大会・2010
- ⑫ Hasnine A Haque, 森川茂廣, 仲 成幸, 来見良誠他、MR ガイド下内視鏡手術のための統合可視化システム、第 19 回日本コンピュータ外科学会大会・2010
- ⑬ Kurumi Yoshimasa、MR-guided microwave coagulation therapy of livers tumor、11th Japanese-Polish Seminar・2010

〔図書〕(計 5 件)

- ① Morikawa Shigehiro, Naka Shigeyuki, Kurumi Yoshimasa, Haque Hasnine, Interventional Magnetic Resonance Imaging. Medical Radiology. Diagnostic Imaging、MRI-Guided Microwave Ablation、2012、389～402
- ② Haque Hasnine, Morikawa Shigehiro, Naka Shigeyuki, Kurumi Yoshimasa, Interventional Magnetic Resonance Imaging. Medical Radiology. Diagnostic Imaging、Simultaneous Endoscopy and MRI Acquisition、2012、471～479
- ③ 来見良誠、未来医療推進支援ネットワーク、ナビゲーション外科の考え方 MRI ガイド下手術・ナビゲーション外科医療、2011、p1～2
- ④ 仲 成幸、未来医療推進支援ネットワーク、MRI ガイド下手術・ナビゲーション外科医療、2011、p 19～26
- ⑤ 仲 成幸、未来医療推進支援ネットワーク、MR ガイド下肝腫瘍マイクロ波凝固療法：IVMR-MCT・オンリーワン医療、2011、p 7～11

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：表示装置、医用装置、表示方法、およびプログラム

発明者：谷 徹、仲 成幸、森川 茂廣、ハック ハスナイン

権利者：ジーイー・メディカル・システムズ、国立大学法人滋賀医科大学

種類：特願

番号：2012-233156

出願年月日：平成 24 年 10 月 22 日

国内外の別：国内

〔その他〕

受賞

- ① 受賞名：8th Interventional MRI Symposium Scientific Exhibition Award、受賞者：仲 成幸、受賞年月：2010. 09.
- ② 受賞名：第 23 回日本内視鏡外科学会カーlustルツ賞、受賞者：仲 成幸、受賞年月：2010. 10.
- ③ 受賞名：第 38 回日本磁気共鳴医学会大会 大会長賞、受賞者：森川茂廣、受賞年月：2012. 05.
- ④ 受賞名：ISMRM 20th Annual Meeting Poster Award、受賞者：ハック ハスナイン、受賞年月：2012. 05.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

仲 成幸 (NAKA SHIGEYUKI)
滋賀医科大学・医学部・講師
研究者番号：10359771

(2) 研究分担者

来見 良誠 (KURUMI YOSHIMASA)
滋賀医科大学・医学部・教授
研究者番号：70205219

森川 茂廣 (MORIKAWA SHIGEHIRO)
滋賀医科大学・医学部・教授
研究者番号：60220042

(3) 連携研究者

村上 耕一郎 (MURAKAMI KOICHIRO)
滋賀医科大学・医学部・特任助教
研究者番号：30572763