

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23680056

研究課題名(和文) 子宮内及び等張液充填環境における革新的術中画像誘導下内視鏡外科システムの開発

研究課題名(英文) Nobel intraoperative image guided laparoscopic surgery system for fetal surgery and Water-filled Laparoendoscopic surgery

研究代表者

中村 亮一 (NAKAMURA, RYOICHI)

千葉大学・フロンティア医工学センター・准教授

研究者番号：30366356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,500,000円、(間接経費) 6,450,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまでの手術ナビゲーション・デバイス・ロボット研究の成果を踏まえ、胎児内視鏡下手術および等張液充填式腹腔鏡下手術(WaFLES)の確立を目指し、統合的ナビゲーション内視鏡外科システムの基盤形成を図る研究を実施した。具体的には 100ms以下の誘導情報更新速度を有する術中3次元リアルタイム超音波ナビゲーション、腹腔内で大型化する把持鉗子・超音波陰影のない弾性リトラクタ等の水腔内臓器操作高機能「変形駆動式」手術器具、距離マップによる安全制御を導入したナビゲーション誘導下レーザ治療システムを通じた、統合的ナビゲーション内視鏡外科システムの基盤形成を図る研究を実施した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop the components of an integrated navigation-guided laparoscopic surgery system based on our technologies including surgical navigation, instruments, and robotics, which can establish the new surgery such as an endoscopic fetal surgery and water-filled laparoscopic surgery (WaFLES).

We have developed these 3 components; a) Realtime updated surgical navigation system using intraoperative 3D Ultrasound image, b) 2 way usable forceps with Least-Incision Transformable Endeffector (LITE) mechanism and elastic retractor for WaFLES which make less artifact on ultrasound image during surgery, and 3) navigation-guided laser ablation robot system with distance map based control inside ablation target region, which could achieve higher safety of ablation process.

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：手術ナビゲーション 可視化 手術ロボット 胎児外科 超音波診断 並列計算

## 1. 研究開始当初の背景

画像誘導下に精密な治療を行う手術ナビゲーション研究は主として治療対象の位置同定・誘導路の設定に用いられることが多く、脳神経外科・整形外科・耳鼻科・歯科など、骨をベースと出来る臓器の移動・変形の少ない対象に対し術前画像を利用して用いられるものが主流である。臓器挙動の影響が大きい胸腹部のナビゲーション手術においては術中超音波を用いたナビゲーションの研究も行われているが、2次元の超音波画像を3次元的に利用した局所臓器内のナビゲーションが中心であり、広い術野情報を活用するものはない。近年では胸腹部領域、特に内視鏡下手術など低侵襲下での、高速術中画像取得による臓器変形・移動に対応したナビゲーションへの要望が高まっており、高品位な術前画像とリアルタイムの術中情報の統合により、術中動態に対応したナビゲーションの臨床応用が進められている。患者体内の危険領域への侵入を警告・防止するナビゲーションについては、これまで基礎研究としては散見されているが主として治療計画の領域が中心である。

画像診断技術・装置の発達により疾患の早期診断が可能となり、胎児の疾患を早期発見し出生前に治療を行う胎児治療が近年本邦でも普及が始まっている。特に脊髄髄膜瘤(Myelomeningocele, MMC)や双胎間輸血症候群(twin-twin transfusion syndrome, TTTS)に代表される、不可逆性の機能障害発生や死亡の危険性の高い疾患に関しては、胎児期の手術による治療も始まっている。しかし胎児外科手術は母体・胎児双方に対し侵襲性の高い治療であるため、低侵襲内視鏡下での胎児外科手術の実現が望まれている。内視鏡下での胎児外科手術では、視野が狭く奥行感の乏しい画像下で自由度が低く操作の難しい術具を扱い、羊水に満たされた術野の中で胎盤など脆弱な組織に囲まれた作業を要求される。この環境では意図しない術具干渉による組織損傷と止血困難性の可能性が存在し、危険度・難易度の高い治療法である。胎児外科においては、尿路閉塞疾患に対するシャント術、胎児胸腔-羊水腔シャントチューブ留置術、そして一絨毛膜性双胎妊娠において発症したTTTSに対する内視鏡的胎盤吻合血管レーザー焼灼術が本邦で高度先進医療に認可され、内視鏡下での胎児治療の要求が高まっている。

内視鏡手術器具の体腔内での操作性を向上する研究は、屈曲・回転の駆動自由度を付加する研究、マスタスレーブシステムを中心に広く行われており、国内では我々のほかHyper Finger システム(Ikuta 他, LNCS 2488:173-181 2002)やロボット鉗子(森川他 JJSCAS 6(3):267-268 2004)、国外ではIntuitive Surgical社のda Vinci・ZEUSなどがある。腹腔内で手術器具の形状を変形・成形し新たな機能を持たせる研究では、組立

式タバコ縫合器・ロボットハンド(高山他 JRSJ 25(3):154-160 2007)がある。胎児外科分野での新手術機器については、TTTS レーザ治療用屈曲マニピュレータ(原田他, Proc ICRA2005:504-509)や胎児リトラクタの開発が行われている。

我々は内視鏡下手術における手術機器の機能制限の問題点に着目し鉗子先端に屈曲・回転の自由度を付加する技術とエンドエフェクタの高機能化、そしてマニピュレータのインタフェース・制御法について研究を行ってきた。これまでに先端に屈曲回転の自由度を持つ超音波凝固切開マニピュレータの開発や、膜状医療材料を格納して体内に輸送し展開して移植する新しい内視鏡手術用治療具の開発を行っている。並行して画像誘導下手術におけるナビゲーションの開発に従事しており、特に脳腫瘍外科での腫瘍・神経機能領域辺縁への「近接覚」提示システム、心臓血管外科領域での人工血管置換術支援ナビゲーション、肝・腎癌の冷凍治療における氷球の自動抽出・成長予測システムの開発と実臨床への応用を果たしてきた。また、これらの統合体であるナビゲーション情報を利用した治療ロボットとして、レーザー手術ロボットシステム等の脳腫瘍治療装置の研究を行っている。これら治療デバイス・画像誘導技術の基盤技術をもとに、胎児外科手術を支援する手術デバイス・ナビゲーションシステムの開発を開始した。本申請の準備状況として、H20-21年度若手研究(B)にて、8mmの内視鏡下手術用鉗子の変形エンドエフェクタを開発し、また脆弱な子宮内組織への術具接近度を警告する「近接覚」機能を備え、リアルタイム3D超音波画像を高速に処理するナビゲーションを開発した。また現在、これらを継続すると共にこの胎児内視鏡下ナビゲーション手術システムの技術を応用し、体腔内を気体でなく等張液で充填し術野を確保することで術中に体外からの広範囲3D超音波画像取得を可能にした等張液充填式内視鏡下手術(Water-Filled Laparoscopic Surgery, WaFLES)の実現による革新的ナビゲーション誘導下内視鏡下手術の確立に向け、研究を推進している。本研究では、この胎児外科・WaFLESを含む内視鏡外科領域における高精度ナビゲーション治療の確立に向けた技術研究を実施する。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでの手術ナビゲーション・デバイス・ロボット研究の成果を踏まえ、胎児内視鏡下手術の確立と本技術の応用による内視鏡下手術領域への高精度3次元ナビゲーションの展開を目指し、3次元リアルタイム超音波「近接覚」ナビゲーション、水腔内臓器操作用高機能「変形駆動式」手術ロボット、ナビゲーション誘導下レーザー治療システムを通じた、統合的ナビゲーション内視鏡外科システムの基盤形成を図る研究

を実施する。

定量警告機能を備えリアルタイム 3D 超音波ナビゲーション：本研究では、子宮及び等張液充填式内視鏡下手術環境での体外からの広範囲・高精度 3 次元超音波画像取得・処理技術の確立を通じ、腹部内視鏡下手術における「術中臓器変形・移動に対応したリアルタイム画像による手術ナビゲーション」を実現する。高機能「変形駆動式」手術ロボット：液層内に浮遊する術野内臓器を安定保持し精密治療を実施するための新しい手術ロボットハンド(術具)を開発する。低侵襲性および等張液充填環境維持の面から細径を求められる内視鏡術具に対し、体内導入後に変形することで高機能を持たせるエンドエフェクタ「変形駆動式」手術ロボットを開発する。治療における諸作業に必要なエンドエフェクタ形状(「変形後」形状)を明らかにし、細径術具の体内挿入部が複数関節で屈曲・固定され、ある程度の面広さ・大きさを持つ形状を形成し、さらに把持等操作のための駆動軸を体外から操作可能にするような機構の開発とメカトロニクス制御によるロボット化を行う。

ナビゲーション誘導下レーザ治療システム：本申請の中核である子宮および等張液充填環境においては、手術用レーザは子宮内では難しい縫合・止血等の操作の代替になり、かつ泌尿器領域での Ho-YAG レーザなどは空気中よりも安全に利用できる。そこで、このナビゲーションによる治療計画誘導下でのロボットにより術野を安定かつ安全に確保しレーザ等での治療を実施する技術開発を達成する。

### 3. 研究の方法

#### 3 次元リアルタイム超音波ナビゲーション：

3次元超音波診断装置を用いた術中リアルタイムアップデートナビゲーションシステムの開発を行った。診断装置で取得したラインデータを直接USB2.0インタフェースを介しナビゲーションシステムに転送し、GPGPUを用いた並列演算により高速に座標変換、レンダリングを行い、術具位置に応じた3次元超音波誘導画像を提示するシステムを構築した。また内視鏡映像中に超音波診断画像から作成した誘導情報(誘導ターゲットの3Dモデル)を重畳(オーバーレイ)表示するシステムの開発、そして提示画像の高度化として、術中3D超音波と術前CTとの自動レジストレーション技術と、術中3D超音波画像からの肝血管系自動セグメンテーション技術の開発を行った。

#### 水腔内臓器操作高機能「変形駆動式」手術ロボット

一般的な気腹での腹腔鏡手術に比べ術野が狭い胎児外科およびWaFLESに応用する先端変形式の細径術具機構を用いた手術用鉗子の開発を行った。具体的には新たな先端変形式鉗子機構として、細径(変形前)・大径(変形後)それぞれのモードでエンドエフェクタを有し、術具交換の必要無く2種類の術具を利用可能な2Way鉗子、そして内視鏡下手術ロボットへの搭載を可能にし、低侵襲性の向上と術具交換の手間の低減を可能にするロボットサイズド2Way LITE鉗子の開発を行った。

また弾性樹脂材料を利用してWaFLESでの超音波画像の画質への影響を最小化すると共に変形量から圧排力を推定可能な弾性リトラクタを開発した。ナビゲーション誘導下レーザ治療システム

本研究では、腫瘍周辺の危険部位に近接覚を表現する距離マップを定義し、作業位置の危険部位からの近接覚を危険部位損傷リスク情報としてシステムに入力する。

作業エリアと干渉する距離マップ情報から危険部位損傷リスクに応じた作業フェーズを作成する。リスクが低い作業フェーズから実行し、術者に継続承認入力を求めながら次第にリスクの高い作業フェーズへ移行することで危険部位の損傷を防ぐ。また危険部位損傷リスクが高い作業では、術者のフットスイッチ入力を動作継続条件として監視を強化する。また、腫瘍境界では開始位置を手動で合わせることで誤差による位置ずれを手動で修正することで正確な摘出を行う。この2種の制御による安全なレーザ照射法を導入したロボットシステムを開発した。

### 4. 研究成果

#### 3 次元リアルタイム超音波ナビゲーション：

開発したナビゲーションシステムの評価の結果、6.5Vol/sの3D超音波撮像条件において、撮像からナビゲーション画像提示まで約80ms以内での誘導画像提示(直交三断面表示と内視鏡画像へのVolume Rendering像重畳表示の計4画面表示)が可能であった。しかし重畳表示の精度は十分でなく、誘導データ作成と重畳変換精度の向上の必要性が認められた。

術前CT像と超音波像の重畳については誤差3mm程度での自動重畳が可能であった。術中3D超音波画像からの肝血管系自動セグメンテーションについては初期Seed Pointは手動設定する半自動型ではあるが処理時間5ms程度のリアルタイム

処理が可能であった。  
水腔内臓器操作用高機能「変形駆動式」  
手術ロボット

5mmの先端変形式把持鉗子(5mmポートから挿入可能で使用時は10mm鉗子サイズに変形)と8mmの先端屈曲機構付き先端変形式把持鉗子を開発し術具としての基本性能を確認した。また血管閉塞デバイスへの応用のための基礎研究を行い、電極幅と血管閉塞能力との相関を確認した。

2 Way LITE鉗子の基本性能評価の結果、従来の変形鉗子と比較し、把持性能に遜色なく大幅に短い時間での変形が可能となり、実臨床での実用性の高い機構とすることが出来た。

POM樹脂で構成したWaFLES用圧排リトラクタは市販のリトラクタに比して低アーチファクト・高SN比の術中超音波画像を取得可能であった。

ナビゲーション誘導下レーザ治療システム

腫瘍モデルに対する提案手法を用いたレーザ照射作業を4人の被験者が行った。誤差条件として平行移動と誘導画像のピクセルサイズによって再現した位置ずれ・形状誤差条件・距離マップ間隔の組み合わせ8通りを各被験者が行い、腫瘍の面積に対する腫瘍摘出率と危険部位損傷率及び作業時間を測定し、摘出精度スコアと作業効率スコアを算出した。その結果、提案手法によってすべての条件に作業精度スコア向上が確認された。また距離マップ間隔が小さい条件ほど作業効率良い傾向が確認された。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

1. 小熊諒, 中口俊哉, 中村亮一, 山口匡, 川平洋, 羽石秀昭, 腹腔鏡下手術用超音波プローブの屈曲角検出を用いた内視鏡像への超音波画像重畳システム, Medical Imaging Technology, 2014 (Accepted)
2. Ikuma Sato, Ryoichi Nakamura, Evaluation of positioning error of GPU-based 3D ultrasound surgical navigation system for moving targets using optical tracking system, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 8(3):379-393, May 2013
3. Marina Kobayashi, Ikuma Sato, Ryoichi Nakamura, Surgical Navigation with Distance Sensation Using Force Feedback for Robotic Surgery, Journal of Medical Imaging and Healthcare Informatics, 3(1):120-124, 2013
4. Hideaki Haneishi, Tadashi Yamaguchi, Ryoichi Nakamura, Toshiya Nakaguchi,

Mikio Suga, Hiroshi Kawahira, Research Status in the Fusion and Enrichment of Medical Imaging for High Quality Diagnosis and Treatment (FERMI) Project, Journal of Medical Imaging and Healthcare Informatics, 3(1):51-58, 2013

5. 中村亮一, 本多有芽, 佐藤生馬, 手術ナビゲーションシステムにおける「近接覚」提示誘導法の提案と評価, 日本コンピュータ外科学会誌, 14(2):63-69, 2012
6. 中村亮一, 北角権太郎, 長村伸一, 田辺良子, 須藤政光, 勝池康允, 望月剛, 千葉敏雄, 術中リアルタイム3D超音波診断画像を用いた胎児外科手術ナビゲーションの開発, 日本コンピュータ外科学会誌, 13(2):87-95, 2011(2012年度論文賞(工学賞))
7. 山下紘正, 金季利, 山中紀明, 北角権太郎, ヘルランバンニコラス, 絵野沢伸, 岡潔, 中村亮一, 三輪光春, 勝池康允, 望月剛, 廖洪恩, 小林祐二, 福与恒雄, 河合輝男, 中村哲也, 佐久間一郎, 伊関洋, 藤江正克, 正宗賢, 土肥健純, 千葉敏雄, 解説特集: 外科医を支援する生体医工学 未来の胎児外科手術のための新しい目と手, 生体医工学 49(5):678-684, 2011

〔学会発表〕(計29件)

1. Satoki Zenbutsu, Tatsuo Igarashi, Ryoichi Nakamura, Toshiya Nakaguchi, Tadashi Yamaguchi, 3D ultrasound assisted laparoscopic liver surgery by visualization of blood vessels, IEEE international Ultrasonics Symposium 2013, Prague, Czech, 21-25 July, 2013, abstract IUS1-PB2-8
2. Takahiro Abe, Ryoichi Nakamura, Two-way LITE mechanism: least-incision transformable end-effector (LITE) mechanism for two size graspers on endoscopic forceps, The First CIRP Conference on Biomanufacturing (CIRP-BioM 2013), Tokyo, March 4-6, 2013, Procedia CIRP Volume 5, 2013, Pages 137-140
3. Ryo Otsuka, Ikuma Sato, Ryoichi Nakamura, GPU based real-time surgical navigation system with three-dimensional ultrasound imaging for water-filled laparo-endoscope surgery, The 34th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2012), San Diego, Aug. 28-Sept. 1, 2012, Proceedings pp.2800-2803
4. I. Sato, R. Nakamura, Real-time 3D ultrasound surgical navigation

- system showing high position accuracy for moving targets, 26th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2012), Pisa, Italy, June 27-30, 2012, Int J of CARS, 7(suppl1):S156-8, 2012
5. T. Abe, H. Nakaji, R. Nakamura, Development of bending mechanism for forceps with least-incision transformable end-effector mechanism for endoscopic surgery, 26th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2012), Pisa, Italy, June 27-30, 2012, Int J of CARS, 7(suppl1):S392-3, 2012
  6. Y. Honda, H. Kawahira, I. Sato, R. Nakamura, Evaluation of surgical navigation system with "distance sensation" for laparoscopic surgery, 26th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2012), Pisa, Italy, June 27-30, 2012, Int J of CARS, 7(suppl1):S447-9, 2012
  7. Ryoichi Nakamura, Navigation-based intuitive guidance and analysis for robotics in minimally invasive surgery, Workshop on Future trends on Medical Robotics, IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob2012), Rome, Italy, June 24, 2012 (指定)
  8. T. Abe, H. Nakaji, and R. Nakamura, Development of the Bending Mechanism for Forceps with Least-Incision Transformable End-Effector Mechanism for Endoscopic Surgery: Development of the Operating Interface and In Vivo Experiment, IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob2012), Rome, Italy, June 24-27, 2012, Proceedings p.919-923
  9. Hiroaki Nakaji, Ryoichi Nakamura, Miniturization of least-incision transformable end-effector mechanism for forceps for endoscopic surgery, 25th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2011), Berlin, Germany, June 22-25, 2011, Int J of CARS, 6(suppl1):S241-2, 2011
  10. 中村亮一, 内視鏡下手術における情報の可視化・分析法と高機能術具の開発, 第1回テニユアトラック教員による創発型シンポジウム -異分野交流による次世代技術/学術領域の創成を目指して-, 九州工業大学, 2014年1月21日(指定研究発表, パネリスト)
  11. 吉村拓司, 中村亮一, 等張液充填式腹腔鏡下手術のための超音波撮像対応弾性リトラクタの開発, 第22回日本コンピュータ外科学会大会, 東京, 9月14-16日, 2013, 日本コンピュータ外科学会誌, 15(2):188-9, 2013
  12. 羽石秀昭, 山口匡, 中村亮一, 菅幹生, 中口俊哉, 川平洋, 大西峻, 体幹部臓器の高精度低侵襲治療を支援する画像技術, 電子情報通信学会医用画像研究会, 千葉, 9月13日, 2013, 信学技報, vol. 113, no. 219, M12013-43, pp. 31-34, 2013年9月
  13. 前佛聡樹, 五十嵐辰男, 中村亮一, 中口俊哉, 山口匡, WaFLES 下における三次元超音波像を用いた手術支援システムの開発, 日本医用画像工学会大会 (JAMIT2013), 東京, 8月3日, 2013 OP9-5
  14. 小熊諒, 中口俊哉, 中村亮一, 山口匡, 川平洋, 羽石秀昭, 術中超音波プローブの屈曲角検出による内視鏡-超音波画像重畳システム, 日本医用画像工学会大会 (JAMIT2013), 東京, 8月3日, 2013 OP6-1
  15. 小熊諒, 中口俊哉, 中村亮一, 山口匡, 羽石秀昭, 内視鏡-超音波画像重畳システムのためのプローブ屈曲角度検出法, 電子情報通信学会医用画像研究会, 東京, 5月27日, 2013, 電子情報通信学会技術報告, vol.113, no.68, US2013-11, pp.19-22, 2013
  16. 吉村拓司, 中村亮一, 等張液充填式腹腔鏡下手術での超音波撮像に対応したリトラクタの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH2013), つくば, 5月22日-25日, 2013
  17. 中村亮一, 大塚亮, 杉野貴明, 本多有芽, 川平洋, 中村亮一, 子宮内及び等張液充填環境における革新的情報誘導内視鏡外科の創成 - WaFLES 技術による高速3Dリアルタイムナビゲーションと手術工程分析 -, オーガナイズドセッション「実学としての医工融合研究と医工ものづくりシステム」, 第13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 (SI2012), 福岡, 12月18-20日, 2012
  18. 中村亮一, 大塚亮, 杉野貴明, 川平洋, 五十嵐辰男, WaFLES 環境とナビゲーション技術による次世代情報誘導内視鏡下手術への挑戦, 第25回日本内視鏡外科学会総会 特別ワークショップ「手術ナビゲーションはどこまで進化したか?」, 横浜, 12月8日, 2012(招待)
  19. 阿部貴大, 川平洋, 中路景暁, 中村亮一, 先端変形・成形式エンドエフェクタ機構による高機能細径内視鏡下手術用術具の開発, 第25回日本内視鏡外科学会総

- 会, 横浜, 12月6-8日, 2012, 日本内視鏡外科学会雑誌 17(7):587, 2012
20. 大塚亮, 佐藤生馬, 中村亮一, 術中 3D 超音波と GPU を用いた内視鏡下手術用リアルタイムオーバーレイナビゲーションシステムの開発, 第 21 回日本コンピュータ外科学会, 徳島, 11月2-4日, 2012, 日本コンピュータ外科学会誌, 14(3):226-7, 2012
21. 阿部貴大, 中路景暁, 中村亮一, 内視鏡下手術における先端変形・成形式鉗子の屈曲機構の開発 In vivo 実験, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012(ROBOMECH2012), 浜松, 5月27-29日, 2012
22. 本多有芽, 佐藤生馬, 中村亮一, 腹腔鏡下手術における近接覚手術ナビゲーションシステムの有効性の評価, 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会, 横浜, 11月22-24日, 2011, 日本コンピュータ外科学会誌 13(3):280-1, 2011
23. 中路景暁, 中村亮一, 先端変形・成形式エンドエフェクタ機構の開発 第 2 報 - 5mm 機構の開発・鉗子実装と機能評価 -, 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会, 横浜, 11月22-24日, 2011, 日本コンピュータ外科学会誌 13(3):296-7, 2011
24. 阿部貴大, 中路景暁, 中村亮一, 内視鏡下手術における先端変形・成形式鉗子の屈曲機構の開発, 第 20 回日本コンピュータ外科学会大会, 横浜, 11月22-24日, 2011, 日本コンピュータ外科学会誌 13(3):302-3, 2011
25. 佐藤生馬, 中村亮一, 3次元超音波診断装置を用いたリアルタイムナビゲーションシステムの更新速度及び誘導対象の移動の影響による位置情報精度の評価, 生体医工学シンポジウム 2011, 9月16-17日, 2011 講演予稿集 2-5-4(CDROM)
26. 中路景暁, 中村亮一, 内視鏡下手術用細径鉗子のための先端変形・成形式エンドエフェクタ機構の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011(ROBOMECH2011), 岡山, 5月26-28日, 2011, 抄録集 p222/論文集 2P2-H07(CDROM)
27. 中村亮一, 「近接覚」提示ナビゲーションによる新たな精密治療誘導, 第 50 回日本生体医工学会大会 オーガナイズドセッション「医用画像処理・表示」, 東京, 4月30日, 2011, 生体医工学 49(Supple1):135, 2011
28. 中村亮一, 近傍球探査法を用いた胎児外科支援 4D エコーナビゲーション, 第 50 回日本生体医工学会大会 オーガナイズドセッション「胎児外科」, 東京, 5月1日, 2011, 生体医工学 49(Supple1):255, 2011

29. 本多有芽, 中村亮一, 佐藤生馬, 増強近接覚を用いた手術ナビゲーション法の提案と評価, 第 50 回日本生体医工学会大会, 東京, 4月29日-5月1日, 2011, 生体医工学 49(Supple1):92, 2011

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 手術用器具  
 発明者: 中村亮一, 阿部貴大  
 権利者: 千葉大学  
 種類: 特許  
 番号: 特願 2013-167175  
 出願年月日: 2013年8月10日  
 国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等  
 研究テーマ: 手術ナビゲーション, 低侵襲外科手術を支援する多機能手術機器・システム、手術ロボット  
<http://lite.tms.chiba-u.jp/research-j.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 亮一 (NAKAMURA, RYOICHI)  
 千葉大学・フロンティア医工学センター・  
 准教授  
 研究者番号: 30366356