

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700412
 研究課題名（和文） 高機能エンドエフェクタと3Dナビゲーションを備えた
 低侵襲胎児外科支援システム
 研究課題名（英文） Surgical supporting system with high-function end-effectors and
 3D navigation system for minimally invasive fetal surgery
 研究代表者
 中村 亮一 (NAKAMURA RYOICHI)
 千葉大学・大学院工学研究科・特任准教授
 研究者番号：30366356

研究成果の概要（和文）：本研究では安全で高度な内視鏡下胎児手術をサポートするシステムとして、低侵襲性の向上と術具機能の確保を両立させるために、腹腔内で先端部が変形することで内視鏡手術用デバイスとしての機能を持つエンドエフェクタ「変形駆動」機能を開発し、挿入時φ8mm から体内でφ14mm に大型化する把持鉗子を開発した。また3次元超音波画像診断装置と手術ナビゲーションを用いて、手術ナビゲーションとしての術野情報・術具位置姿勢提示機能のみならず、子宮内組織と術具との距離(接近度)を術者に提示する「近接覚」提示機能を備えたリアルタイム3D超音波ナビゲーションを開発した。

研究成果の概要（英文）：I developed novel two modules for establishing safer and precise endoscopic fetal surgery. I devised least-incision transformable end-effector (LITE) mechanism and developed transformable grasper forceps for endoscopic surgery using this LITE mechanism. I also developed surgical navigation system using 3D ultrasound image, with real-time visualization and alarming module of the distance information between surgical instruments and tissues inside uterus.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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，手術ロボット/マニピュレータ，手術ナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

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、子宮を開いての胎児外科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、低侵襲な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、現状では危険度・難易度の高い治療法である。これらの問題に対し、高い自由度・機能を持つ新しい内視鏡手術器具や、手術ナビゲーションシステムによる包括的手術支援システムが必要である。

2. 研究の目的

本研究では安全で高度な内視鏡下胎児手術をサポートするシステムとして、医師に新しい手と目を提供する新技術の開発研究を行う。具体的には、①更なる低侵襲性の向上と術具機能の確保を両立させるために、腹腔内で先端部が変形することで内視鏡手術用デバイスとしての機能を持つエンドエフェクタ「変形駆動」機能を持つ新しい手術デバイスと、②3次元超音波画像診断装置と手術ナビゲーションを用いて、手術ナビゲーションとしての術野情報・術具位置姿勢提示機能のみならず、子宮内組織と術具との距離(接近度)を術者に提示する「近接覚」提示機能を備えたリアルタイム 3D 超音波ナビゲーションの開発を行い、これらを統合した低侵襲胎児外科支援システムの構築・評価を行う。

3. 研究の方法

①エンドエフェクタ「変形駆動式」手術デバイス

内視鏡外科手術用手術器具類は細径の柄の先に把持・鉗・圧排・ステープラ・電気/超音波/レーザー装置などのエンドエフェクタを有する長鉗子形状をしているが、サイズについては腹壁上の挿入孔の大きさに制限されるため、腹腔内でのエンドエフェクタのサイズを可変にすることは、作業内容・適応を拡大する上で重要である。本研究では、更なる低侵襲性の向上と術具機能の確保を両立させるために、腹腔内で先端部が変形することで内視鏡手術用デバイスとしての機能を持つ細径手術デバイス・マニピュレータを開発するのに必要な、エンドエフェクタ変形駆動機能を実現する機構要素技術についての検討を行った。

具体的には、第一段階の機構検討として、

細径鉗子本体の幅を超えた大きく幅のある開口部を持つ把持監視の変形駆動機構の検討を行った。体内挿入部が複数関節で屈曲・固定され、ある程度の面広さを持つグリッパ状の形状を形成し、さらに把持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設計と試作を行った。

②「近接覚」機能付リアルタイム 3D 超音波ナビゲーション

胎児外科手術用「近接覚」提示ナビゲーションの構築に必要な高速画像処理モジュールの開発を行った。

システムは 3 次元超音波診断装置 (prosound α 10, + 3 次元超音波プローブ ASU-1010, ALOKA), 光学式 3 次元位置計測装置 (Polaris Vicra, NDI), ワークステーションにより構成される。超音波ラインデータを高速にワークステーション上メモリへ転送し画像処理を行うために、差動信号伝送 (Low Voltage Differential Signaling, LVDS) インタフェースボードを開発しデータ転送を行う構成とした。実空間上での画像データの位置は超音波プローブの位置により一位に決定されるので、レジストレーション用治具を作成し、Polaris Vicra で取得した超音波プローブ位置・治具上マーカ (4 点) 位置と、超音波画像空間上で抽出測定した治具上マーカの位置を対応させ、座標系統合を行った。このレジストレーション情報により Polaris Vicra 座標系における画像の位置姿勢が定義され、同空間上の術具の位置姿勢が画像情報に反映される。これらの情報を元に、術具 (内視鏡) の位置姿勢情報を元にした 3D 超音波データの直交 3 断面画像、内視鏡視点からのボリュームレンダリング像を提示するインタフェースを作成した。これにより、術者は術具を含む超音波断層像により組織内部構造を、術具視点の 3D レンダリング像により内視鏡視野外の対象術野組織表面形状を認識することができる。

近接覚提示では、これまでの距離マップ作成法を見直し、画像ベースにあらかじめ胎内画像ボリューム内に距離マップを作成する方法ではなく、リアルタイム術具先端位置から画像内を操作し近接距離閾値内に閾値を超える画素が存在する場合に警告を発する術具ベースの計算アルゴリズムを実装した。

4. 研究成果

①エンドエフェクタ「変形駆動式」手術デバイス

細径鉗子本体の幅を超えた大きく幅のある開口部を持つ把持鉗子の変形駆動機構の検討を行い、 ϕ 8mm での開発・試作を実施した (図 1, 2)。評価の結果、市販の内視鏡鉗子に匹敵する十分な把持力が得られ、1 分程度で変形・分解が可能であり、in vivo 実験

にて臓器把持が可能であったことから、本機構が把持鉗子として有用であることを確認した。(図3)

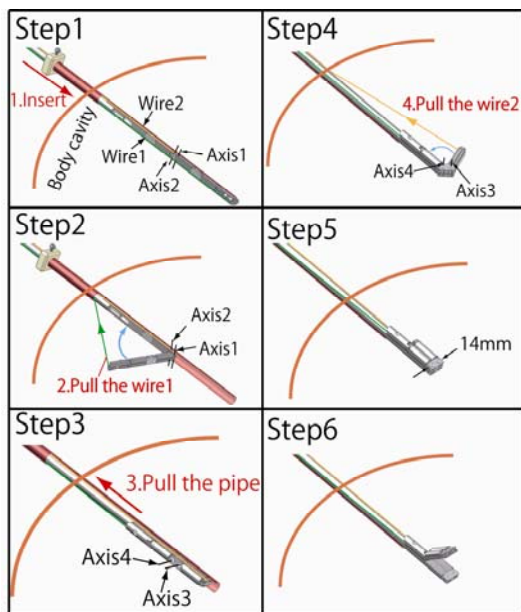


図1 変形駆動機構

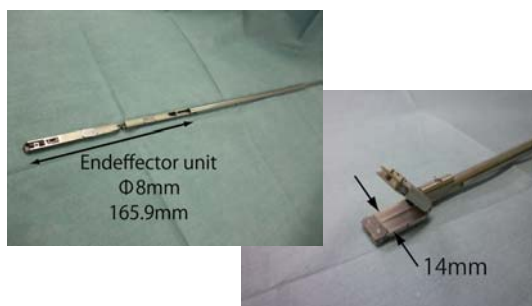


図2 試作した変形駆動機構実装鉗子



図3 動物実験

②「近接覚」機能付リアルタイム 3D 超音波ナビゲーション

PC (EPSON Endeavor, CoreDuo 3GHz, 3GBメモリ) を利用し 3D 超音波画像 (スキャンアングル 60deg) を 3Hz で取得している状態でナビゲーションシステムを稼働し、情報アップデート能力を測定した。その結果、ナビゲーション画面は平均 200msec 以内 (通信 40msec, レン

ダリング 160msec) で更新可能であり、ほぼ実時間での術具誘導情報提示が可能となった。システムの基本特性として、ナビゲーションシステム精度と更新速度の評価を行った。超音波プローブ面中心から 10cm 直下周辺 80mm 四方のエリアにおける、ターゲット点ポイント誤差は平均約 3mm・最大 4.5mm であった。子宮・胎児ファントムと胎児内視鏡を用いたファントム実験 (3D 超音波ボリュームデータは 2Hz で取得) において、すべてのレンダリングウィンドウを含む画像更新速度は約 200ms~500ms となり、3D 超音波診断装置の撮像速度に匹敵する更新速度を達成した。

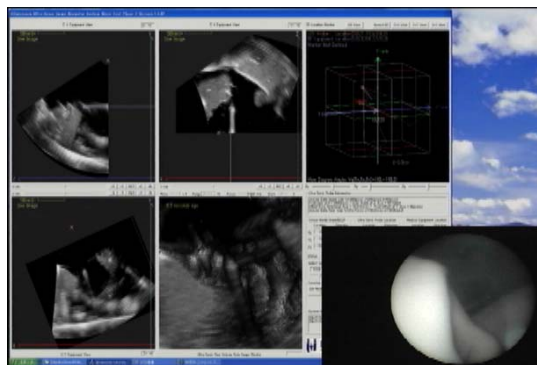


図4 近接覚提示3D超音波ナビゲーション

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 3 件)

① Ryoichi Nakamura, Yuko Nagase, Masamitsu Sudo, Takashi Mochizuki, Yoshihiro Muragaki, Hiroshi Iseki, Ichiro Sakuma, and Toshio Chiba, 4D ultrasound navigation system for endoscopic fetal surgery with sound alarming, Int J CARS, 3(suppl1):255, 2008

② 中村亮一, 永瀬優子, 須藤政光, 望月 剛, 村垣善浩, 伊関 洋, 佐久間一郎, 千葉敏雄, 低侵襲胎児外科手術を支援する 3 次元超音波手術ナビゲーションシステムの精度・有効性評価, 超音波医学, 35(Supple):S300, 2008

③ 中村亮一, 北角権太郎, 田辺良子, 須藤政光, 勝池康允, 望月剛, 千葉敏雄, 4D 超音波データを用いたリアルタイムアップデートナビゲーションシステム, 超音波医学, 36(Supple):S299, 2009

[学会発表] (計 8 件)

① Ryoichi Nakamura, Yuko Nagase, Masamitsu Sudo, Takashi Mochizuki, Yoshihiro Muragaki, Hiroshi Iseki, Ichiro Sakuma, and Toshio Chiba, 4D ultrasound navigation system for endoscopic fetal

surgery with sound alarming, Int J CARS, 3(suppl):255, 2008

②中村亮一, 永瀬優子, 須藤政光, 望月 剛, 村垣善浩, 伊関 洋, 佐久間一郎, 千葉敏雄, 低侵襲胎児外科手術を支援する3次元超音波手術ナビゲーションシステムの精度・有効性評価, 日本超音波医学会第81回学術集会, 神戸, 5月23-25日, 2008, 超音波医学, 35(Supple):S300, 2008

③中村亮一, 北角権太郎, 勝池康允, 望月剛, 須藤政光, 伊関洋, 千葉敏雄, 4DUS-guided Fetal Surgeryのための超高速ナビゲーションシステム, 第4回3次元超音波研究会, 東京, 9月28日, 2008

④中村亮一, 「術中画像取得・処理による手術ナビゲーションと手術ロボットシステム」, オーガナイズドセッション「先端治療を目指すエンジニアリング I」, 日本機械学会第22回バイオエンジニアリング講演会, 岡山, 2010年1月9日, 講演論文集 p136

⑤Ryoichi Nakamura, Gontaro Kitazumi, Ryoko Tanabe, Yasumasa Katsuike, Masamitsu Sudo, Takashi Mochizuki, Toshio Chiba, Real-time Updated Navigation System with 4D Ultrasound Imaging for Endoscopic Fetal Surgery, The 5th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2009), Chang Bin, Taiwan, July 3-4, 2009, abstract pp.109

⑥中村亮一, 術中情報獲得・処理に基づく手術戦略支援システムと医工ものづくり環境, 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10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, 12月24-26日, 2009

⑦中村亮一, 北角権太郎, 田辺良子, 須藤政光, 長村伸一, 勝池康允, 望月剛, 千葉敏雄, 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, 生体医工学シンポジウム2009, 千葉, 9月18-19日, 2009

⑧中村亮一, 北角権太郎, 田辺良子, 須藤政光, 勝池康允, 望月剛, 千葉敏雄, 4D超音波データを用いたリアルタイムアップデートナビゲーションシステム, 第82回日本超音波医学会学術集会, 東京, 5月22-24日, 2009

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称: 医療用ナビゲーションシステム

発明者: 望月剛, 須藤政光, 千葉敏雄, 勝池康允, 北角権太郎, 中村亮一

権利者: イノベンチャーシー(株), 成育医療研究センター, 千葉大学

種類: 特許

番号: 特願2009-090193

出願年月日: 2009年4月2日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://lite.tms.chiba-u.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 亮一 (NAKAMURA RYOICHI)

千葉大学・大学院工学研究科・特任准教授

研究者番号: 30366356