

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：23903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500544

研究課題名(和文) 低侵襲手術デバイス装着型位置・力センサと手術データ解析システムの開発

研究課題名(英文) Development of an integrated system with wearable position/force detectors and data analysis algorithms for minimally invasive surgery

研究代表者

加藤 大香士 (Kato, Takashi)

名古屋市立大学・芸術工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90362285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：内視鏡下手術デバイスの3次元位置/力の同時計測のため、磁気式位置センサとロードセルを組み込んだセンサを試作し、ビジュアルプログラミング環境を利用して、データ収集、ファイル処理、解析、可視化の一連のアルゴリズムを構築した。手術環境で手指の動作を現場で簡便かつリアルタイムに収集、解析できるシステムが求められたため、指ウェアラブルセンサユニットの開発と、データ収集、解析プログラムの研究開発とを行った。

研究成果の概要(英文)：For simultaneous three-dimensional position/force detection and analyses of the endoscopic surgical procedures, a finger wearable sensor unit incorporating a magnetic position sensor and the load cell was developed, and a visual programming environment was used to create a series of algorithms of the data collection, file processing, analysis and visualization. The movement of surgeon's hand in surgical operation were also important for medical staff in the operating room to understand the procedures, as well as knowing the surgical instruments' trajectory. Therefore, the system, which was able to analyze dynamics of the surgical procedure with detecting the surgeon's hand movement or its interaction force with a patient's body, was one of the goals of this research project. The above sensor unit and the program have been successfully developing for now, and optimization is in progress.

研究分野：医用ロボティクス・メカトロニクス

キーワード：医療 センシング 解析 ウェアラブル 手術

1. 研究開始当初の背景

内視鏡下手術は、従来の切開手術と比べ、患者への肉体的、精神的苦痛を大幅に低減できる反面、(1)狭視野かつ平面的な内視鏡像、(2)腹部穿刺孔に拘束され難しい手術デバイス操作、(3)術者が他の手術スタッフとのミスコミュニケーションを生じやすい、など問題がある。手術事故の経緯が客観的に担保される記録・解析技術がないために、事実関係の究明を執刀医ほか手術スタッフへのヒアリングに頼らざるを得ない。そこで応募者は、手術のデジタル記録と解析のために、下記の研究開発を行ってきた。

(1) サージェリレコーダの提案開発

航空機のフライトレコーダの様に、術者の手術手技(手術鉗子の位置姿勢と力情報)と内視鏡像、音声などをデジタルデータ化して時系列記録するシステムである。内視鏡手術ゆえの限定された手術情報を各情報要素レベルに分解し時系列データ化した(図1)。

(2) 手術鉗子用センサユニット

専用手術鉗子に着脱できる位置姿勢トラッキング磁気式センサとひずみゲージ式6軸力センサを組み込み、鉗子動作と鉗子内力を測定できるデータ鉗子を開発した(図2)。

(3) 生体ブタを用いた動物実験

熟練外科医による意図的な危険鉗子操作をサージェリレコーダで記録、解析し(図3)、鉗子動作と術者コメントと内視鏡像とから客観的に手術解析が行えることを実証した(図4)。

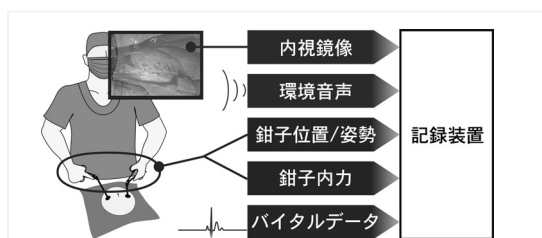


図1 腹腔鏡下手術記録の概念

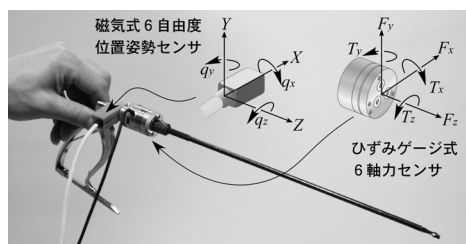


図2 試作センサ・データ鉗子

2. 研究の目的

(1) 手術デバイス装着用汎用位置・力センサユニットの開発

図2のデータ鉗子は、市販鉗子を追加工し、市販センサが組み込まれたものであり、手術データ記録は行えるが、臨床への最適化が課題であった。本研究では、臨床と整合性の良いセンサユニットの抜本的な軽量化、スマート化のための基礎研究開発を行う。また一般的な内視鏡下手術デバイスに装着もしくは組込み可能な汎用デザインを開発する。センサツールは、鉗子同様、耐水性、生体親和性、耐衝撃性、電気メスなど電磁波への耐性が必須であり、先端材料、立体的な微細加工法、高精度3次元造形法などを駆使したトータルデザイン手法により実現できるため、精密NC工作機械、光造形装置等により具現化する。

(2) 手術データ解析アルゴリズム

第三者機関による解析が必須のため、手術データの保存フォーマットに関する研究と、手術検証時の効果的な視覚提示手法を研究

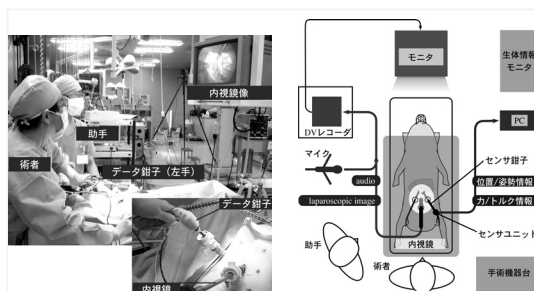
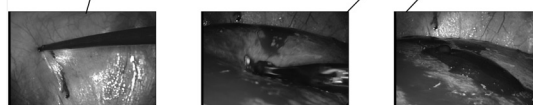
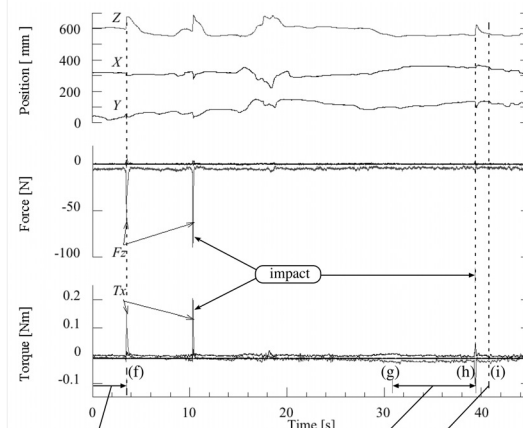


図3 サージェリレコーダを用いた生体ブタ実験



"I'll stab diaphragm strongly without bleeding. One, two, three!"

"Then, stabbing against liver without bleeding, also. One, two, three!"

"Oh, it bled!!"

図4 鉗子の位置姿勢, 力, 内視鏡像, コメントの時系列

開発する。また、注意が必要な手術手技データ部分に自動タグ付けし、ユーザの要望に合わせて自動的にデータを切り出すプログラム設計と開発を行う。

(3) トータルシステムによる実証実験

センサユニットを装着した手術デバイスを用い、一連の手術動作を医師に行ってもらいデータ収集する。次に、データ解析・提示システムを用いて、手術データ群のポストプロセッシングを施し、ユーザへの提示と、ユーザによるデータ抽出実験を行い、データ検出精度と操作性を定量評価する。本システムの開発過程において、適宜、消化器外科専門医とディスカッションを行う。

3. 研究の方法

申請者がすでに独自に開発し、コンセプトを実証したサージェリレコーダを臨床使用バージョンへと発展させるために、位置・力センサユニットの抜本的な開発に立ち戻り、汎用的に手術デバイスへの装着が可能な位置・力センサユニットを新規開発する。次に、サージェリレコーダシステム全体のハードウェア構成を最適化し、手術室内で簡便に使用できるようコンパクト化する。サージェリレコーダシステムを用いた実際の手術データの蓄積と、データ解析、ユーザへの視覚提示、ユーザインタフェースの各手法についての基本システムを構築する。また、全研究期間を通じて、アドバイザーとして研究協力をいただける熟練外科医、内視鏡専門医などとのディスカッションを緊密に行い、ユーザの視点に立脚したシステム開発と性能評価とを行う。

平成24年度

(1) 位置・力センサユニットの開発

今までのデータ鉗子は、市販鉗子を加工し、磁気式の位置/姿勢センサと歪みゲージ力/トルクセンサを組み込んだコンセプト実証用バージョンであった。今後は、臨床使用を前提とし、下記事項を実施する。

①軽量コンパクト化、信号線への対処、滅菌対策など、臨床応用に対する解決

②高精度造形装置、超精密加工装置、3D スキャナ、SEM などの高精度光計測・可視化装置、各種3次元CADおよび構造解析・流体解析用のCAEソリューションを駆使

③高じん性樹脂材料、光ファイバなどの光学要素と、金属・電子部品のハイブリッド構造をもつ、新方式高性能センサユニットの開発

④型転写方式による量産タイプの製造法と、3D樹脂プリンタのような多品種少量生産型の造形法とをバランスよく混在させた次世代型の生産方式の研究開発。

(2) データの定量解析と視覚提示手法の開発

術者の鉗子操作の位置・力情報を定量解析する手法を重点的に開発し、他の時系列情報と合わせてユーザに提示する基本インタフェースを構築する。ビジュアル・プログラミング用のソフトウェアを利用するなどして、視認性と操作性に優れるユーザインタフェースを開発する。

(3) サージェリレコーダの実用化研究

臨床現場において、簡便にサージェリレコーダを設置、即座に手術データ収集ができるコンパクトなハードウェア構成に最適化する。ユーザーである医師の手術スタイルや、手術スタッフの動作・動線を乱さないように、現行マナーとの整合性をとる。

平成25年度以降

(4) サージェリレコーダによる実践的な手術データ記録の蓄積

過去3回の動物実験において、サージェリレコーダを用いた手術データ収集を行い、データ解析することでシステムの有用性を実証することができた[6]。しかし、健常なブタに対しての意図的な危険鉗子動作の記録であった。従って、より実際の外科手術に近い一連の手術プロセス記録を目指した動物実験を行っていく。具体的には、消化器疾患を持つブタを用いた動物実験などによる実践的な機能検証を積極的に行いたい。有用かつ実践的な実験環境を模索する。

(5) サージェリレコーダの心理的・社会的影響の検証とシステムへのフィードバック

手術データを逐一記録し、事後検証するサージェリレコーダの性格上、本研究が医師の立場から受ける評価や、医師に対して与える心理的影響についても、注意深く検討を行い、心理学的側面から検証するとともに、システム開発にフィードバックしていく必要がある。また、医療事故の学会、研究会にも積極的に参加し、社会的な影響に関する情報収集と情報交換を行い、本研究内容に適宜、フィードバックしていく。

(6) センサ技術の介護・福祉用途への応用可能性の検討と実践

以上のように、サージェリレコーダに用いるために開発してきた汎用装着型の位置姿勢および力計測用センサユニットは、介護・福祉領域、あるいは予防医学用のデータ収集、トレーニング、教育などに応用できる可能性を有している。そこで外科手術の範疇にとどまらず、広く医療福祉用途への応用可能性を模索することにも注力する。そのために、鍼灸師、臨床工学技士、看護師など、多様なバックグラウンドのスペシャリストとの学術的交流も積極的に行っていく必要がある。

4. 研究成果

平成 24 年度は、収集データを効率的に解析・提示するための、一元的データ収集・解析・データ可視化プラットフォームの開発に取り組んだ。回を追うごとに蓄積され肥大化するデータから効率的に特徴データを抽出し、わかりやすく提示できるデータ解析・可視化システムは、いわゆるビッグデータを扱う上で必須である。そこで、内視鏡下手術デバイスの 3 次元位置／力の同時計測を念頭に置き、磁気式位置センサとロードセルを組

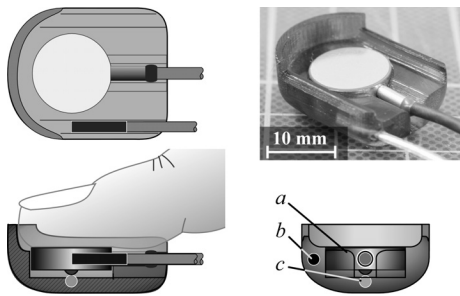


図 5 指装着型位置・姿勢センサ

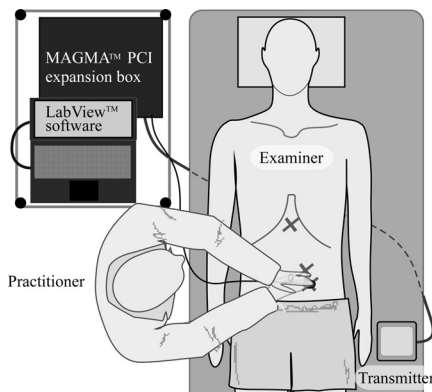


図 6 リアルタイム位置・力計測システム

込んだセンサユニットを試作し(図 5)、ビジュアルプログラミング環境を利用したユビキタスなデータ収集・解析・提示システムを開発した。具体的には、手指の動作をリアルタイムで簡便に収集できるシステムを構築した(図 6)。

平成 25 年度の成果として、デバイスの 3 次元的位置・力情報の同時計測をするために、磁気式位置センサとロードセルを組み合わせたセンサユニットを試作し、ビジュアルプログラミング環境を用いてデータ収集、ファイル処理、解析、可視化のアルゴリズムを構築した。手術環境で実証する前段階として、人体の触診を行う際の手指の動作をリアルタイムで簡便に収集、解析できるシステムを構築してきた。当初の手術デバイスへのセンサ実装だけではなく、ユーザの手指に装着できるウェアラブルな位置・力センシングデバイスの開発も必要であるとの判断に至った。

平成 26 年度は、サージェリレコーダに用いるために開発してきた汎用装着型のセンサユニットを、外科手術にとどまらず、広く医療福祉用途への応用可能性を広げることに注力した。そのために、鍼灸師、臨床工学技士、看護師など、多様なスペシャリストとの学術交流を行ってきた。具体的には、触診を客観的に定量解析するための手指ウェアラブルセンサユニットの開発、ならびに、位置・力データを同時収集、解析するためのプログラムの研究開発を、上記専門家とのディスカッションを行いながら行った。その結果、現場における要求仕様を満たしたシステムへと近づけることができた。本成果は、手術現場においても活用できるため、当初の目的であるサージェリレコーダの最適化を図っていくための重要な知見となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

査読付き原著論文 4 件

(1) J. Zhang, N. Suzuki, T. Kato, R. Hino, and E. Shamoto, Influence of material composition on ductile machining of tungsten carbide in elliptical vibration cutting, Key Engineering Materials XIV, Volume 523-524, November 2012, Pages 113-118, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.523-524.113

(2)Norikazu Suzuki, Yusuke Kurata, Takashi Kato, Rei Hino, Eiji Shamoto, Identification of transfer function by inverse analysis of self-excited chatter vibration in milling operations, Precision Engineering, Volume 36, Issue 4, October 2012, Pages 568-575, DOI:10.1016/j.precisioneng.2012.04.004.

(3)Eiji Shamoto, Shunsuke Fujimaki, Burak Sencer, Norikazu Suzuki, Takashi Kato, Rei Hino, A novel tool path/posture optimization concept to avoid chatter vibration in machining - Proposed concept and its verification in turning, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 61, Issue 1, 2012, Pages 331-334, DOI:10.1016/j.cirp.2012.03.133.

(4)尾本悠輔, 加藤大香士, 鈴木教和, 安井隆雄, 大里恵子, 加地範匡, 渡慶次学, 馬場嘉信, 酒井康彦, 社本英二, パイこね変換に基づく量産対応・高速ミキサの開発, 機械学会論文集 B1 編, Vol.78, No.788, 2012, pp.762-768, DOI:10.1299/kikaib.78.762.

フルペーパー査読付国際会議論文 2 件

(5)E. Shamoto, T. Mori, B. Sencer, T. Kato, N. Suzuki, R. Hino, Modeling and analysis of chatter stability in double-sided milling of flexible plates utilizing speed difference method, Proc. of The 1st International Conference on Virtual Machining Process Technology, 28th May-1st June, 2012, École Polytechnique, Montréal, Canada.

(6)N. Suzuki, K. Nishimura, R. Watanabe, T. Kato, E. Shamoto, Development of novel anisotropic boring tool for chatter suppression, Proc. of The 5th CIRP Conference on High Performance Cutting 2012, 4th-7th June, 2012, ETHZ, Switzerland.

[学会発表] (計 2 件)

(1) 加藤大香士, Development of the Measurement System for Upper Abdominal Palpation, 平成 25 年度日本デザイン学会第 3 支部研究発表会, 平成 26 年 3 月 21 日, 福井工業大学(福井市).

(2)加藤大香士, 予防医学に資する上腹部柔軟度の解析用センサシステムの開発, 平成 25 年度日本生体医工学会東海支部大会, 平成 25 年 10 月 19 日, 株式会社スズケン本社(名古屋市).

[図書] (計 1 件)

(1)Eiji Shamoto, Norikazu Suzuki, Takashi Kato and Burak Sencer, Precision Micro Machining Methods and Mechanical Devices (Chapter 5) in: Micro-Nano Mechatronics - New Trends in Material, Measurement, Control, Manufacturing and Their Applications in Biomedical Engineering, InTech, June, 2013, pages 49-76, DOI:10.5772/55984.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他] (計 1 件)

(1)加藤大香士, 「3 次元造形手法とその周辺技術を学ぼう!」, 平成 26 年度ひらめき☆ときめきサイエンス~ようこそ大学の研究室へ~KAKENHI (研究成果□社会還元・普及事業), 平成 26 年 8 月 1 日, 名古屋市立大学北千種キャンパス(名古屋市), <http://www.nagoya-cu.ac.jp/2727.htm>, http://www.jsps.go.jp/hirameki/ht26000_jisshi/ht26155jisshi.pdf

6. 研究組織

(1)研究代表者

加藤 大香士 (Kato, Takashi)

名古屋市立大学・芸術工学研究科・准教授

研究者番号 : 90362285