

コンピュータ外科における次世代エンドエフェクタ及び ナビゲーションシステムの開発

Development of Next Generation End Effector and Navigation System in Computer Aided Surgery

土肥 健純 (DOHI TAKEYOSHI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授



研究の概要

21世紀型低侵襲治療外科手術の実現を目指し、重要臓器を避けながら患部にアクセスし最適な処置を行うための外科医の「新しい手」となる次世代型の高機能エンドエフェクタと、エンドエフェクタを患部へ安全に誘導し、処置の術中・術後の診断と確認を行うための外科医の「新しい目」となる次世代型ナビゲーションの開発を行う。

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：①コンピュータ外科 ②医用生体工学

1. 研究開始当初の背景・動機

近年急速に普及し始めた外科領域における低侵襲治療を、今以上に進歩発展させて真の意味の21世紀型低侵襲外科治療を実現するためには、より高度な外科医の「新しい目」と「新しい手」の開発が必要である。現在では外科医が処置する動作を単に機械で行うマニピュレータや手術支援ロボットが研究されている程度であるが、外科医が行う処置のマニピュレータや手術支援ロボットによる模倣は多くの場合外科医自身の処置に劣ることが多い。すなわち、機械的に処置するのであればその処置に適した機構があるはずであり、その機構を医工連携により開発する必要がある。

2. 研究の目的

重要臓器を避けながら患部にアクセスし、最適な処置を行うための外科医の新しい手となる次世代型の高機能エンドエフェクタ及び、エンドエフェクタを患部へ安全に誘導し、処置の術中・術後の診断と確認を行うための外科医の新しい目となる次世代型ナビゲーションを開発する。

3. 研究の方法

(1) Integral Videography(IV)立体像と三次元超音波を用いたIV表示システム
術中の変形にも対応できる手術誘導システムを目指し、Inter-modality 剛体レジストレーション及び Intra-modality 非剛体レジストレーション手法を開発し、各レジストレーションの要素となるプロセスを

GPU 計算で行う。特に高画質かつリアルタイムIV画像レンダリング用の画像処理エンジンを導入し、超音波画像とMRI画像のレジストレーションによる四次元画像生成法の開発と評価を行う。

(2) 可変視野内視鏡

臨床使用を想定し、内視鏡自体の移動を行うことなく視野を変化させる内視鏡を考案する。小型化可能な構造を考案・開発し、画質の定量的評価、in-vivo 実験などを行う。

(3) 心拍動下心臓外科手術支援画像観察デバイス

心拍動下、血流のある状態での血管内の画像観察が可能となるように、生体適合性の高い血漿噴流をタイミングよく噴出し観察する手法を提案し、評価を行う。

(4) 心拍動下心臓外科手術支援クリッピングデバイス

僧帽弁の前尖と後尖の先端中央部を2つのクリップを用いてそれぞれクリッピングし、その後2つのクリップを結合させる手法の提案を行い、機構の実現・検証を行った後に、画像観察デバイスと統合させる。

(5) 多自由度屈曲鉗子マニピュレータ

従来の屈曲機構に大幅な改善を加え、2自由度屈曲機構の細径化と、エンドエフェクタ用チャンネルの拡大を行う。バイポーラ型電気メス多自由度屈曲鉗子マニピュレータの開発を行い、動物実験にて評価する。

(6) 体内深部局所小型MRIコイル

小型RFコイルを試作し、高解像度化や臨床使用に適したコイルについて検討する。

4. これまでの成果

(1) Integral Videography(IV)立体像と三次元超音波を用いたIV表示システム

超音波画像とMRI画像を統合することで、術中高画質IV立体像で患部の位置情報や臓器の変形などを手術者に提示した。GPU計算を行った剛体レジストレーション及び非剛体レジストレーションの各プロセスの処理時間を計測し、CPU計算のみを用いた場合の処理時間と比較した結果、GPU計算はCPU計算と比べると圧倒的に速いことが評価実験から分かった。

(2) 可変視野内視鏡

これまでに前方視野の広範囲の確保が出来るウェッジプリズム型可変視野内視鏡デバイスの開発を行ったが、胎児外科治療等では側面や周囲の映像情報を観察することで治療がより安全・簡便となる。昨年度考案・試作した偏光板・ビームスプリッタによる視野可変機構の細径化を行い、外径5.6mmの臨床用試作機を開発した。また、画質・歪み等の定量的な評価法の提案を行い、本デバイスの画質劣化が大きくないことを示した。

(3) 心拍動下心臓外科手術支援画像観察デバイス

ブタ右心房よりデバイスを挿入し、in-vivoによる三尖弁および心房中隔の観察実験を行い、心臓拍動下においても弁尖や表面組織の観察が可能であった。また、心電同期駆動システムの構築を行い、in-vivoにおける動作を確認した。

(4) 心拍動下心臓外科手術支援クリッピングデバイス

第2次試作機として、W2×L15×T2mmの微小クリップおよび直径6mmのクリッピングデバイスを製作し、クリップの把持力とクリップを使ってクリッピングするのに十分な曲げ力について評価検討を行った。

(5) 多自由度屈曲鉗子マニピュレータ

最小φ3.5mmまでの細径化を達成した。エンドエフェクタ用チャンネル径は0.8mmまで確保でき、ワイヤ駆動による把持鉗子や剪刀、Nd-YAGレーザー用ファイバなど、様々な機能を搭載し、屈曲させることが可能となった。2自由度屈曲動作における再現性は最高で0.2mmと高く、最大2.57Nのサイズに比して大きな屈曲力を有することを確認した。さらにチャンネル径を1.3mmとしたバイポーラ型電気メス屈曲鉗子マニピュレータを開発し、生体ブタの腸間膜血管を確実に閉塞できることを確認した。

(6) 体内深部局所小型MRIコイル

強度1.5~3TのMRI撮像実験では、通常の撮像用コイルより高解像度・高S/N比の画像を得た。基盤技術と手法が確立され、本項目については一区切りがつけられた。

5. これまでの進捗状況と今後の計画

(1) Integral Videography(IV)立体像と三次元超音波を用いたIV表示システム

CPU-GPU間のデータ転送を更に減少することでより高速なレジストレーションを実現し、術中局所的な変形および術中トラッキングシステムへの実装を行う。

(2) 可変視野内視鏡

In-vivoによる画質評価を含めた評価実験を行う。

(3) 心拍動下心臓外科手術支援画像観察デバイス

観察チャンネルの他に、簡単な処置を行う鉗子チャンネルを設けた一体型デバイスの開発を行い、臨床対応化を進める。

(4) 心拍動下心臓外科手術支援クリッピングデバイス

新機構に基づく観察デバイスへの実装を行う。

(5) 多自由度屈曲鉗子マニピュレータ

動物実験による臨床的検討を行ない、臨床使用に適した改良を進める。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

(1) H. Yamashita, **D. Takeyoshi**, et al.: Miniature bending manipulator for fetoscopic intrauterine laser therapy in twin-to-twin transfusion syndrome, *Surgical Endoscopy*, 22(2); 430-435, 2008.

(2) 山下紘正, **土肥健純**, 他: バイポーラ型電気メスを搭載した細径多自由度屈曲鉗子マニピュレータの開発, *日本コンピュータ外科学会誌*, 9(2); 91-101, 2007.

(3) 正宗賢, **高本眞一**, **土肥健純**, 他: Off-Pump心内手術を目的とした血液内透視内視鏡の基礎研究 第2報 内視鏡デバイスの試作, *日本コンピュータ外科学会誌*, 9(3); 230-231, 2007.

(4) 廖洪恩, **土肥健純**, 他: 内視鏡下胎児手術における柔支持マニピュレータの研究, *生体医工学*, 44(4); 643-649, 2006.

(5) Kim K, **Dohi T**, et al: Quality evaluations on Wide FOV Wedge Prism Endoscope, *Proc WC* 2006; 147, 2006.

(6) 廖洪恩, 佐久間一郎, **土肥健純**, 他: Open MRI誘導下脳神経外科手術のためのIntegral Videographyによるイメージオーバーレイナビゲーション, *生体医工学*, 43(4); 568-577, 2005.

[**ベストリサーチアワード**], 日本生体医工学学会, 生体医工学シンポジウム2005)

(7) ヘルランバン・ニコラス, **高本眞一**, **土肥健純**, 他: 低侵襲心臓外科手術用リアルタイム三次元超音波Integral Videography, *生体医工学*, 43(4); 769-776, 2005.

ホームページ等

<http://www.atre.t.u-tokyo.ac.jp>