

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：20103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700572

研究課題名(和文)多自由度屈曲機構と可変広輻輳角機構を備えた腹腔鏡下外科手術用立体内視鏡の開発

研究課題名(英文)Three-dimensional endoscope for laparoscopic surgery with multiple degrees of freedom and variable convergence angle mechanism

研究代表者

佐藤 生馬 (Sato, Ikuma)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・助教

研究者番号：00586563

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、術野の限られた腹腔鏡下外科手術において、腹腔内で最適な視野の確保と広い輻輳角により広い範囲で違和感なく自然な奥行感のある立体画像を提示する多自由度屈曲機構と可変広輻輳角機構を備えた腹腔鏡下外科手術用立体内視鏡の実現を目指す。具体的には内視鏡先端付近の側面に輻輳角を変更可能な2つのフルHDで動画像を取得可能なCMOSイメージセンサとこれらの後方に1自由度の屈曲機構を有する立体内視鏡を開発した。これにより、広い範囲で違和感なく自然な奥行感のある立体画像の提供を可能とした。

研究成果の概要(英文)：This study aims to realize a three-dimensional (3D) endoscope with multiple degrees of freedom (DOFs) and a variable convergence angle mechanism for laparoscopic surgery with a narrow operation field. This 3D endoscope provides an optimal 3D image view with a feeling of natural depth by wide convergence and multiple DOFs. We developed a tip-lateral Full HD CMOS image sensor 3D endoscope having a bending mechanism with 1 DOF and a variable convergence angle mechanism. Using this device, we could provide a 3D image with a feeling of natural depth and a wide range without a sense of incongruity.

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：立体内視鏡 立体視 腹腔鏡 輻輳角 フルHD 屈曲機構

1. 研究開始当初の背景

近年、QOL(Quality of Life)の向上のために身体への影響を最小限に抑える内視鏡を用いた内視鏡下手術が普及している。特に腹部の手術に対して、腹腔鏡下手術が広く行われている。しかしながら、腹腔鏡下手術は内視鏡下の限られた視野が狭く、その限られた視野内で鉗子を用いて手術を行うために術者に高度な技術を要求するため、術者の負担が大きいとい問題がある。そして、これらの問題を解決するために国内外で様々な研究の報告がなされてきた。

内視鏡下で結紮・縫合を行うのに、奥行き感のある立体画像が望ましいことから、術者に奥行き感のある映像を提供する立体内視鏡が開発されている。立体内視鏡は微小な対象までを立体的に表現するため、基線長を通常より短くしたハイポステレオかつ輻輳角も小さく設定して画像を取得している。このため、現存の先端センサ型の立体内視鏡は搭載された2つのイメージセンサ間隔が小さく、輻輳角も小さいことから自然な立体とは言えない。また、それ以外の立体内視鏡においても同様の問題がある。このように、腹腔鏡下手術などの広い範囲を見る必要がある領域では、輻輳角が固定のため、奥行き感覚が十分ではない場合がある。

また、立体内視鏡は基線長と輻輳角が小さいために立体内視鏡からの画像だけでは広範囲で腹腔内の高精度な3次元情報の計測は難しい。このため、腹腔内でのナビゲーションシステムには内視鏡のほかに3次元位置計測装置や超音波診断装置などが必要であり、現状では内視鏡のみによるナビゲーションシステムは難しいというのが現状である。よって、高精度な手術を提供するための立体内視鏡下ナビゲーションシステムの開発などにおいても、輻輳角および画質が十分でないために、内視鏡単体では腹腔内の3次元位置を高精度で得られず、術者にしても視野が限られかつ奥行き感も十分とは言えないなど内視鏡自体視野の拡大や立体感の増大・高画質などのブレイクスルーが望まれている。

2. 研究の目的

本研究では術野の限られた腹腔鏡下外科手術において、腹腔内で最適な視野の確保と可変輻輳角により広い範囲で違和感なく自然な奥行き感のある立体内視鏡の実現を目的とする。そして、実現のための基盤要素技術として、一自由度屈曲機構と可変輻輳角機構を有する立体内視鏡を開発する。

3. 研究の方法

本研究では1自由度屈曲機構と可変輻輳角機構を備えた腹腔鏡下外科手術用立体内視鏡の開発を行う。開発する立体内視鏡は広い基線長と術中に可変可能な輻輳角を有することを主な研究開発方針とする。このため、内視

鏡側面に立体視用の2つイメージセンサを設置する方式を提案する。同時に、可変輻輳角を備えた内視鏡の機構の検討を行い、腹腔内で最適なセンサ間と2つのセンサがなす輻輳角の変更幅を明らかとする。その後、リンク機構による屈曲機構の検討を行い、本内視鏡に最適な屈曲範囲および機構を提案し開発する。そして、内視鏡の滅菌対応の機構を検討し、本内視鏡の機構に最適な滅菌機構を考案する。また、開発した内視鏡は画像のゆがみなどから立体視に違和感が出るのが考えられるため、内視鏡の光学特性を明らかにし、画像の補正を行い表示可能とする。



図1 屈曲機構と可変輻輳角機構を備えた立体内視鏡の設計

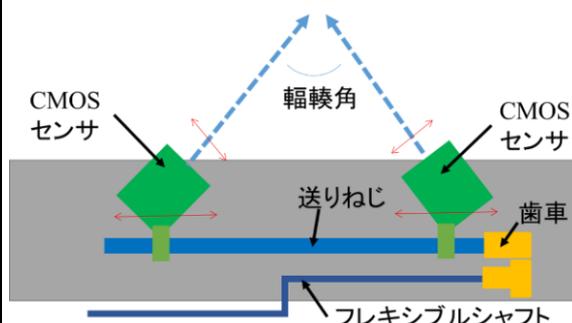


図2 立体内視鏡の可変輻輳角機構

図 1 に開発する立体内視鏡の設計を示す。開発する内視鏡先端付近の側面に輻輳角を変更可能な 2 つの高感度・高解像度 CMOS イメージセンサを有し、これらの方後方に 1 自由度の屈曲機構を有する内視鏡とする。体内に内視鏡挿入後に先端が屈折することで 2 つの高感度・高解像度イメージングセンサと可変輻輳角により自然な立体視が可能となる。さらに左右方向に 1 自由度の屈曲機構を設けることで最適な視野を確保する。屈曲機構は内視鏡手元でシャフトを前後することで左右に屈曲する。滅菌対策として、屈曲部の駆動用のシャフト、フレキシブルシャフトと CMOS センサのケーブルを通す部分を防水加工することで対応可能である。

図 2 に立体内視鏡の可変輻輳角を示す。開発する内視鏡は屈曲機構を有するため、輻輳角の駆動には細径のフレキシブルシャフトを用いて動力の伝達を行う。輻輳角の変更には、送りねじを用いる。左右の CMOS センサの固定部に左と右のねじを切ることで、送りねじを回すことで固定部が左右に移動し、輻輳角が変わる。

ファントムを用いて、本内視鏡による立体画像を 3D ディスプレイに表示して立体感を評価する。開発した内視鏡は画像のゆがみなどから立体視に違和感が出るのが考えられるため、内視鏡画像の補正を行う。その後、3D ディスプレイに取得した画像を表示して評価する。立体画像の立体感は運動視差、解像度と視差が関係している。このため、評価実験では、VGA からフル HD の静止画を用いることで、運動視差を除いた状態で輻輳角の差から立体感を評価する。

4. 研究成果

開発した 1 自由度屈曲機構と可変輻輳角機構を備えた腹腔鏡下外科手術用立体内視鏡を図 3 に示す。開発した内視鏡は側面に 2 個の CMOS センサ(FCB-MA130, Sony Corp.)を備える。選択したフル HD の CMOS センサのサイズと信号のノイズ対策から内視鏡は $\phi 25\text{mm}$ で開発した。2 つセンサは内視鏡の手元に設置された 2 つ FPGA ボード(ITL-MU3,画像技研 Corp.)に接続されており、各々センサからの信号は接続されたボードで処理される。処理された信号は USB3.0 から画像データとして出力され、接続した PC で画像のゆがみを補正し、3D ディスプレイにて立体表示される。画像の解像度はフル HD (1080p/30) で表示可能である。また、約 5fps の速度であれば、 4192×3104 の解像度の画像が取得可能である。

内視鏡が備える 1 自由度の屈曲機構と可変輻輳角機構の操作は内視鏡の手元で行う。1 自由度の屈曲機構は手元に伸びているシャフトを前後に操作することで、左右に屈曲可能である。また、輻輳角機構の操作には手元のフレキシブルシャフトを回すことで、輻輳角を変更可能である。

人体模型に対して開発した内視鏡を用いて、輻輳角と解像度を変更した静止画による立体画像を 3D ディスプレイに表示し、立体感を評価した。本実験は一般の成人男性に対して行った。静止画を用いることで、運動視差を除いた状態で輻輳角の差から立体感を評価した。本実験では液晶シャッター式のメガネ(3D Vision 2 ワイヤレスメガネキット, NVIDIA Corp.) と 3D 表示対応ディスプレイ(VG278H, ASUS Inc.)を用いて、内視鏡からの静止画を立体表示した。ディスプレイの解像度は VGA からフル HD までの解像度の画像を表示した。

図 4, 5 に開発した立体内視鏡で最小と最大の輻輳角で取得したフル HD の立体画像を示す。図の下の方の点を交差法で重なるように見ることによって立体視が可能である。輻輳角を最大にするとコンバージェンスポイントが手前に来て、立体感が小さくなっている。また、輻輳角を最大にすることで、コンバージェンスポイントが奥に行き立体感が大きくなっている。従来の知見と同様に、解像度が高いほうが、立体感があり、コンバージェンスポイントが奥にあるほど、画像が飛び出して見える。

本研究で開発した立体内視鏡は、広い基線長で輻輳角を変更することが可能であるため、観察対象に合わせた立体画像を取得可能である。このように、基線長が広く、輻輳角を変更できることから広い範囲で違和感なく自然な奥行感のある立体画像の提供が可能である。さらに、本研究で開発したプログラムや知見を応用して、GPU による並列計算、重畳表示用の術中リアルタイムカメラキャリブレーションアルゴリズム及び手術ナビゲーションシステムの検討を行い、これらの成果を報告することが可能であった。

今後の課題として、本評価実験は医師による立体感の評価でないため、医師による内視鏡の立体感と使用感の評価を行う。また、定量的な立体感の評価方法がないため、評価手法の提案も課題とする。

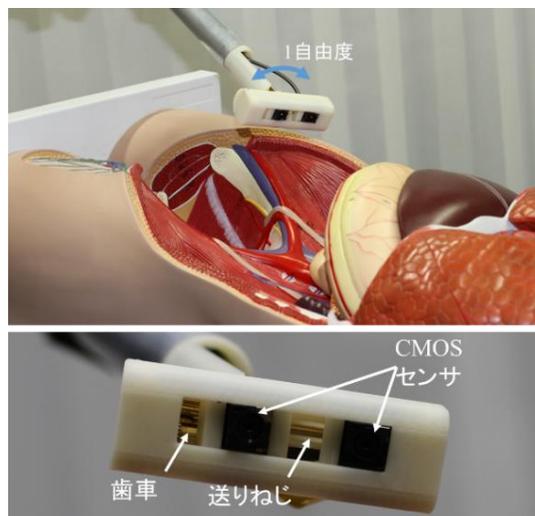


図 3 屈曲機構と可変輻輳角機構を備えた立体内視鏡の概観



図4 開発した立体内視鏡で最小の輻輳角時の立体画像



図5 開発した立体内視鏡で最大の輻輳角時の立体画像

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1件)

- ① 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. 査読有.
doi: 10.1007/s11548-012-0789-z

[学会発表] (計8件)

- ① 佐藤生馬: 先端側方イメージセンサ型の可変輻輳角機構を備えた立体内視鏡の開発, 日本機械学会 2014 年度年次大会, 東京, 9月7-10日, 2014.
- ② Ikuma Sato, Takashi Suzuki, Ken Masamune, Yuichi Fujino: Wireless Surgical Navigation System with a Multi Wi-Fi 3D Optical Tracking System, 28th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2014), Fukuoka, Japan, June 26-29, 2014.
- ③ 高橋秀友, 佐藤生馬, 藤野雄一, 鈴木孝司, 村垣善浩: 脳神経外科用顕微鏡重畳表示システムのための術中リアルタイムカメラキャリブレーションアルゴリズムの提案, 第53回日本生体医工学学会大会, 仙台, 6月24-26日, 2014.
- ④ 佐藤生馬, 鈴木孝司, 正宗賢, 藤野雄一: マルチ Wi-Fi 三次元位置計測システムによるワイヤレス手術ナビゲーションシステムの開発, 第22回日本コンピュータ外科学会, 東京, 9月14-16日, 2013.

- ⑤ Ikuma Sato, Takashi Suzuki, Ken Masamune, Yuichi Fujino: Wi-Fi 3D Optical Tracking System for Surgical Navigation System, 27th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2013), Heidelberg, Germany, June 26-29, 2013.
- ⑥ 佐藤生馬, 鈴木孝司, 藤野雄一, 正宗賢: 手術ナビゲーションシステムのための Wi-Fi 三次元位置計測システムの開発, 第21回日本コンピュータ外科学会, 徳島, 11月2-4日, 2012.
- ⑦ Ikuma Sato, Ryoichi 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.
- ⑧ 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, 長野, 9月16-17日, 2011.

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 生馬 (SATO IKUMA)

公立ほこだて未来大学・システム情報科学部・助教

研究者番号: 00586563

(2)研究分担者

なし

(2)連帯研究者

なし