

腹腔鏡用先端関節機構の駆動システムに関する研究

—モニタ画像への術者視線による駆動法の検討—

Development of a drive system for the end-joint on endoscope

- A drive system using operator's eye line toward the monitoring television -

○五十嵐健志*, 菅野優太**, 大泉哲哉*, 熊谷和志*

○Takeshi Igarashi*, Yuta Sugano**, Tetuya Oizumi*, Kazushi Kumagai*

*仙台電波工業高等専門学校

**長岡技術科学大学大学院

*Sendai National College of Tech. **Nagaoka Univ. of Tech.

キーワード: 球面連鎖関節機構(Joint-Mechanism using Triple Spherical Linkage), 腹腔鏡(Endoscope), 視線追跡(Eye-Tracking), テンプレートマッチング(Template-matching),

連絡先: 〒989-3128 仙台市青葉区愛子中央四丁目 16 番 1 号 仙台電波工業高等専門学校
電子制御工学科 大泉研究室 大泉哲哉, Tel&Fax: 022-391-6134,
E-mail: ooizumi@cc.sendai-ct.ac.jp

1. 研究背景

著者の所属している研究室ではこれまで球面連鎖機構を用いた関節機構を提案してきた[1]。この球面連鎖関節機構は、図 1-1 のように変形したフックス継手を直列に二つ連結したものを 1 連鎖とし、その連鎖を並列に 120° ずつ位相差を持たせ基底部と先端部で結合して構成されるパラレルメカニズムである。球面連鎖関節機構の簡易モデルを図 1-2 に示す。この機構は立体角でおよそ 2π [sr] の動作範囲を有しており、産業用ロボットなどの手首関節機構としての応用が期待されている。

2. 研究目的

本研究室では、これまで 5 つの球面連鎖

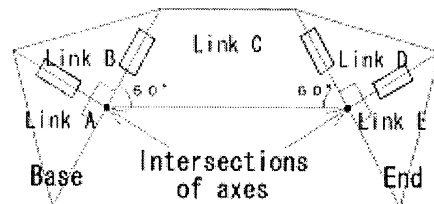


図 1-1. 基本連鎖

Fig.1-1 Basic chain of the triple spherical

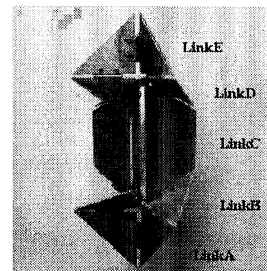


図 1-2. 球面連鎖関節機構

Fig.1-2 Joint mechanism of triple spherical linkage

を用いた試作関節機構が試作されてきた。試作 5 号機[図 2-1] は腹腔鏡や手術用鉗子

への応用を目的に設計・製作された直径10[mm]の小型関節機構である。ただし試作5号機は未完成であり、期待された動作を実現できないでいる。試作5号機にはまだアクチュエータが実装されていない。平成15年度の研究でバイオメタルを用いた駆動システムが提案されたが、完成には至っていない。この機構開発と並行して、試作5号機の駆動システムを構築する必要がある。本研究の目的はこの試作5号機の駆動システムの開発である。なお、本研究では試作5号機のかわりに試作4号機[図2-2]を代用して実験をおこなう。

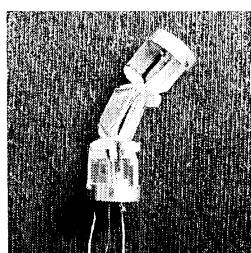


図2-1. 試作5号機

Fig.2-1 Fifth trial model of the joint mechanism

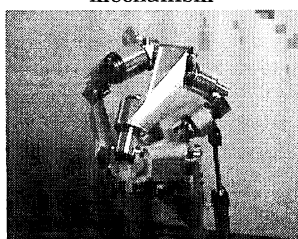


図2-2. 試作4号機

Fig.2-2 .Fourth trial model of the joint mechanism

3. 研究概要

現在の腹腔鏡や手術用鉗子は操作が難しく、医療事故が多発している。昨年、日本内視鏡外科学会がおこなった腹腔鏡手術の技術試験では半数以上が不合格になったほどである^[2]。実際に、挿入したカメラや鉗子が

患者の体内を傷つけた例もあり、手術と同時にカメラや鉗子を操作することは、操縦者に大きな負担をかけていることがわかる。その負担を軽減するためにもカメラや鉗子の操作方法は単純で、操作しやすいことが求められる。その期待に応えるため、操作性に重点を置き、ゲーム用ジョイスティックを用いた駆動システムが過去の研究で提案・構築された^[3]。このシステムは、機構の先端部にジョイスティックの指令ベクトルを対応させ、機構を制御するものである。

このシステムは一応完成しているが、鉗子への応用を目的に構築されているため、腹腔鏡先端部の制御にはそのまま流用できないと考える。鉗子は内視鏡先端部のカメラから送られてくる映像により、機構先端部の状態を確認しながら操作が可能だが、腹腔鏡自体の制御となると、先端部の機構状態が確認できないため、ジョイスティックシステムでは操作が困難である。そのため、腹腔鏡への応用を目的とした新しい制御システムを構築する必要がある。

図3-1に実際の内視鏡下低侵襲手術中の写真を示す。この写真から分かるように、実際の手術の現場では、術者と補助者の二人一組で手術を行なうのが一般的である。術者が鉗子等を用いて手術を行ない、補助者が内視鏡の操作を行なう。このため、術者が内視鏡を動かしたい時には、補助者に口頭で指示を出し、それに従い補助者が操作を行なう。この方法でもベテランが組めばスムーズに手術を行なえると思われるが、理想としては術者が直接内視鏡を制御できるのが望ましい。そこで、この要求に応える制御方法として、著者は人間の目の動きを利用することに着目した。手術に集中し

た術者の視線は、術部を注視するはずである。視線検出でモニタ上の注視点を算出し、常に注視点をモニタ中心に映し出すように機構を駆動すれば良いと考えた。

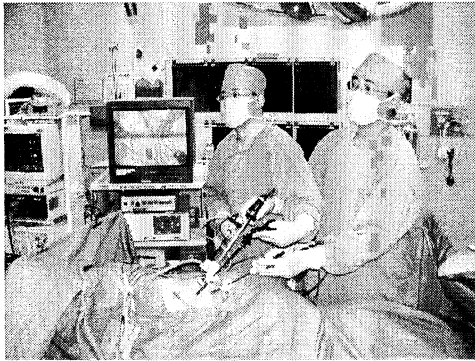


図 3-1. 内視鏡下低侵襲手術写真
Fig.3-1 Minimally invasive surgery with endoscope

このように目の動きを利用する技術は、視線追跡技術と呼ばれており、すでに様々なものに実用されている。これらの技術を利用すれば、本研究で提案するシステムは容易に実現できると考えられる。すなわち、機構先端に取り付けられたカメラからの映像を操縦者がモニタで確認し、見たい所へ視線を移すと、その場所を映し出すように機構先端を移動させる駆動システムである。しかし、すでに発表されている視線追跡技術は、高価で入手できない。たとえ入手できてもシステム内部を公開してはくれず、関節機構駆動システムに組み込めないおそれがある。そこで、視線追跡システムから独自に構築することにした。

4. 視線検出システム

4-1. 視線検出方法の選択

視線追跡の方法は、接触型眼球運動計測法、非接触型眼球運動計測法の二つに大きく分類される。接触型眼球運動計測法は、

眼球に直接センサを取り付け、運動を計測する方法であり、非接触型眼球運動計測法は、眼球には触れず、カメラなどのセンサ類で目の運動を読み取るものである。本研究では、腹腔鏡手術現場での利用を目的としているため、操縦者のストレスとなる接触型眼球運動測定法は使えない。事前におこなった眼球挙動解析の結果から USB カメラで目の動きを十分に読み取れることを確認できたので、画像解析法を用いて視線検出をおこなう事にした。この解析法は、人間の眼球の動きをカメラで撮影し、取り込んだ映像を処理することで視線を検出するという非接触型の計測法である。照明条件によっては検出が困難という欠点もあるが、市販の USB カメラが利用可能であり、コストがあまりかからない事などから、本研究ではこの解析法を選択した。

4-2. プログラム構築

プログラムの構築は Visual C++を開発環境としておこなう。本研究では、画像・動画処理を主におこなうため、Intel 社がオープンソースで公開している OpenCV を利用することにした。OpenCV とは「Intel Open Source Computer Vision Library」の略称で、Intel 社 がオープンソースで公開していたコンピュータービジョン関連のライブラリである。OpenCV には画像処理のための関数が数多く用意されているため、複雑な処理でも比較的容易にプログラミングできる。なお、視線検出に使用した USB カメラ(図 4-1)は、挙動解析にも用いた 30 万画素レベルの市販されているものである。

本研究では、画像処理法により操縦者の黒目部分をテンプレートマッチング法によ

り抽出，リアルタイムで追跡し，その時間平均を取る事により操縦者の注視点を決定する．また，抽出前にキャリブレーションをおこなうことにより，操縦者に合った視線追跡を可能にする．次項からプログラムの重要な部分の概要を説明する．

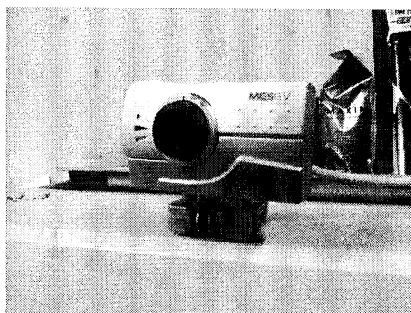


図 4-1. USB カメラ
Fig.4-1 USB camera

4-2-1. 画像処理

黒目追跡を行なうために，カメラから取り込んだ画像を二値化画像に変換する．まずカメラから取り込んだカラー画像をグレースケール変換し，濃淡画像に変換する．そしてこの画像をさらにしきい値処理する事により，二値化画像を得ることができる．その後，二値化画像を収縮→膨張処理を行なうことにより，ノイズを除去し，黒目を抽出しやすくしている．これにより，光の反射などでできた瞳の中の白い部分を消去し，黒目部分の抽出誤差を減らす事ができる．

4-2-2. テンプレートマッチング

本研究ではテンプレートマッチング法によって視線追跡を行った．検出の流れとしては，画像処理を施した画像とテンプレート画像(黒目検出のための黒丸画像)を比較し，最も良いマッチング結果から黒目中心座標を算出する．結果画像を図 4-2 に示す．

実際の視線追跡時には，二値化用しきい値やテンプレート画像の黒丸径をあらかじめ校正し，モニタ画像上の代表点と黒目の中心点座標との関係を校正し，補完演算することにより注視点を導出する．



図 4-2 テンプレートマッチング処理結果画像
Fig.4-2 Template matching processed image

4-2-3. キャリブレーション

黒目中心の補完演算の際に，より精度よく注視点を抽出するために，視線追跡の前にキャリブレーションをおこなう．これはあらかじめモニタの四隅を見ている際の操縦者の注視点を抽出し，それをモニタの各四隅と対応させ，それをもとに補完演算をおこなうものである．この時，黒目中心座標 (x_e, y_e) とモニタの注視点座標 (x_m, y_m) の関係は，

$$\begin{pmatrix} x_m \\ y_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix}$$

$$= A \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \end{pmatrix} + B \quad (1)$$

と表すことができる．変換行列 A とベクトル B は，キャリブレーションで得られた座標値を利用する事により導出できる．

4-3. 実験環境構築

視線追跡制御を行なうために構築した実

験環境について記述する。視線を追跡する際には、不意に動く可能性がある顔の動きを抑制する必要がある。また、USBカメラは周囲の光の状態により、検出結果が左右されやすく、誤差が大きくなる可能性がある。検出の際、周囲の光量は一定であることが望ましい。これらのことを考慮してカメラ先端から送られてくる映像を表示するモニタにはフード型の覗き窓を取り付けた。構築した実験環境を図4-5に示す。図4-5の右側の段ボールでの工作物がモニタに取り付けたフードである。左のモニタは、処理用コンピュータのCRTディスプレイである。



図 4-5. 実験環境外観
Fig.4-5 Experimentation instruments

4-4. 駆動実験

今回構築したシステムを用いて駆動実験をおこなった。まず、キャリブレーションでは、モニタ画面上の4隅、画素点(0, 0), (380, 0), (0, 280), (380, 280)についてキャリブレーションして、注視点カメラ座標を取得して、その後、モニタ上の注視目標点(95, 70), (285, 70), (95, 210)を注視する実験を行った。得られた注視点カメラ座標から、元のモニタ画面上の座標へ変換した結果を図4-6に示す。この結果から縦方向(y軸方向)でモニタ画面の1/4辺長ほどの誤

差を生じていることがわかる。座標変換に用いているキャリブレーション点数を4点にとどめていることがもっとも大きな原因と考えられる。この状態でも、モニタ画面の中央付近に注視しているモニタ画像を移動させることが可能であると考えられる。算出精度を向上させるためには、キャリブレーション点を増やす方法を今後検討する必要がある

5. まとめ

球面連鎖関節機構の試作5号機の新しい駆動システムとして、視線追跡を利用する事を提案、実際にプログラムの構築し、可能性の検証をおこなった。

今後は、構築した視線追跡プログラムを機構の制御プログラムに組み込み、駆動実験をおこない、この駆動法の実用化を促進したい。

参考文献

- [1]大泉, 大島: 球面リンクを用いた手首関節機構に関する研究, 第一回日本ロボット学会シンポジウム, (1991), p 25-30
- [2] 弦巻ナレッジネットワーク(HP)(<http://home.att.ne.jp/sea/tkn/index>)
- [3]菅野: 球面連鎖を用いた関節機構とその駆動システムに関する研究, 仙台電波工業高等専門学校, 卒業論文, (2004)

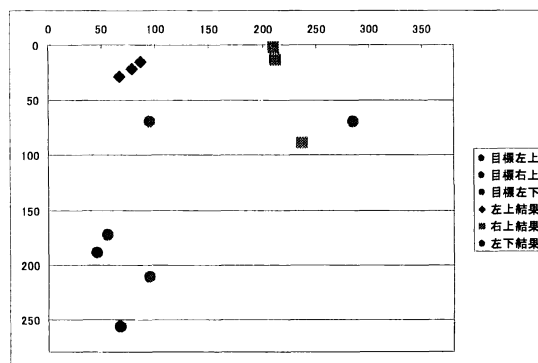


図 4-6. モニタ画面上の注視点算出結果
Fig.4-6 Results of eye-points on the monitor