法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-04

鉗子先端の視点変更を行う腹腔鏡ロボットの操作方法に関する研究

TAKETOMI, Kenta / 竹富, 研太

(出版者 / Publisher)
法政大学大学院理工学研究科
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
(巻 / Volume)
61
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
8
(発行年 / Year)
2020-03-24
(URL)
https://doi.org/10.15002/00022751

鉗子先端の視点変更を行う腹腔鏡ロボットの操作方法に関する研究

STUDY ON CONTROL METHOD OF A ROBOTIC LAPAROSCOPE TO CHANGE A VIEW POINT OF THE TIP OF FORCEPS

竹富研太
Kenta TAKETOMI
指導教員　石井千春　教授

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

Recently, laparoscopic surgery has been performed frequently because its invasiveness is low compared with open surgery. In our previous study, a robotic laparoscope was developed, in which a motion sensor "Kinect for windows" was used for operating the laparoscope, so that surgeon can control the robot by his head's motion. In this paper, to capture a desirable scene easily by the robotic laparoscope, a view point changing system was proposed. By using this system, the tip of the laparoscope is controlled to move along the spherical surface whose center is the tip of the peeling forceps and radius is distance from the tip of the laparoscope to the tip of the peeling forceps. Thus, surgeon can change the view point easily, keeping his eye on the forceps. Comparative experiments were carried out to demonstrate an advantage of the proposed system compared with conventional system. The results showed the effectiveness of the proposed system.
Key Words: Robotic laparoscope, Laparoscope manipulator, View Point Change system

１．緒論

近年，外科手術の分野において，低侵襲で行われる腹腔鏡下手術が普及している[1]. この手術では切開部が小さいことにより，整容性が高く，入院期間が短縮されるなど患者の負担を大幅に減らすことができる．しかし，腹腔鏡を操作する腹腔鏡助手が必要になるため，手術に必要な医師の数が増えることや執刀医の要求する映像を得るために腹腔鏡助手との細かいコミュニケーションが必要になることなどのデメリットもある．このデメリットを解消するため，様々な研究機関において執刀医が腹腔鏡を操作可能にする手術支援ロボットが開発されている．実際にリバーフィールド社の EMARO Endoscope Robot[2]は臨床で使用されている．このロボットは執刀医が頭の動作とフットペダルを用いてハンズフリーで腹腔鏡を操作することができる．しかし頭の動作を判別するために頭部にジャイロセンサを付ける必要がある．

そこで当研究室では，ハンズフリーかつ非接触で腹腔鏡を操作可能な腹腔鏡ロボットを開発した．先行研究において，村澤らにより腹腔鏡ロボット[3]が開発され，またモーションセンサである Kinect[4]により，顔の向きで腹腔鏡ロボットを操作する方法[5]が確立された．さらに，腹腔内で広い視野を得るための屈曲機構を搭載した腹腔鏡マニピュレータの開発を行った[6].

現在のところ，腹腔鏡ロボット本体と腹腔鏡マニピュレータの屈曲機構を同時操作することはできず，それぞれの動きをフットペダルによるモード切替えで使い分けている．このため，対象物を視野外に出さずに視点を変更する際には手間がかかる．腹腔鏡ロボットと屈曲機構の動作を組み合わせ，対象物を視野外に出さずに視点変更可能な操作方法を確立することで操作性を向上させることが可能である．本研究では，腹腔鏡ロボット本体と屈曲機構の動作を組み合わせた新たな操作方法を提案する．

２．腹腔鏡下手術

（１）腹腔鏡下手術の概要

図 1 に示す，腹腔鏡下手術では，5~10mm ほどの孔を複数個腹部にあけ，各孔から器具を挿入して手術を行う．開腹手術と比べて傷口が少なく，整容性の向上，合併症誘発の危険性の低下，入院期間の短縮などの利点がある．しかし，腹腔鏡を操作する腹腔鏡助手が必要となる．手術に必要な医師の数が増えるため，小規模な病院では人員の確保が難しく，この手術の普及の妨げとなっている．

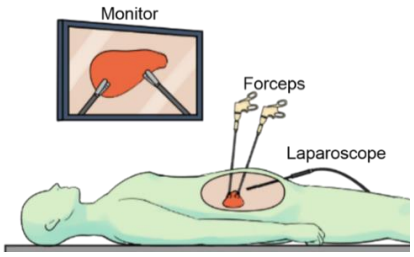


Fig.1 Laparoscopic surgery

３． 腹腔鏡ロボットと腹腔鏡マニピュレータ

（１） 腹腔鏡ロボット

先行研究において，腹腔鏡を操作する腹腔鏡ロボットが開発されている．図 2 に示す，文献[3]で製作された腹腔鏡ロボットは，Yaw, Pitch, Translation の 3 自由度を有しており，腹腔内への挿入点を動作固定点（RCM）としている．

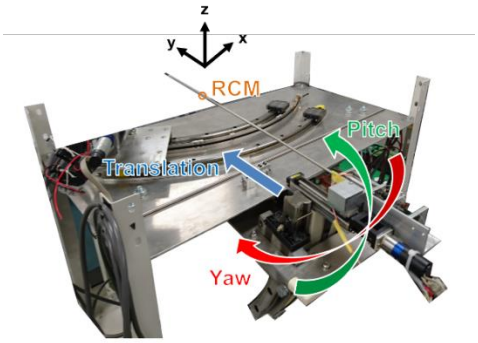


Fig.2 Robotic laparoscope

（２） 腹腔鏡マニピュレータ

先行研究において，図 3 に示す，腹腔鏡ロボットに搭載可能な先端屈曲可能な腹腔鏡マニピュレータが開発されている[6]. 腹腔鏡マニピュレータ先端の屈曲部を図 4 に示す，製作された腹腔鏡マニピュレータの屈曲可能範囲は上下(Pitch)，左右(Yaw)それぞれに 70 deg である．

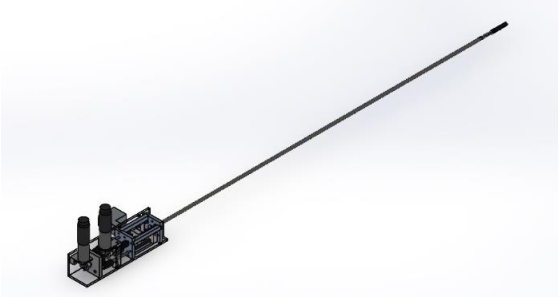


Fig.3 Laparoscope manipulator

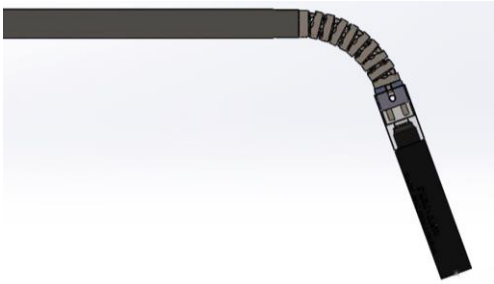


Fig.4 Bending part of laparoscope manipulator

（３） モーションセンサを用いた操作

腹腔鏡ロボットとマニピュレータの操作には，図 5 に示す，Kinect for windows と呼ばれるモーションセンサを用いている．このモーションセンサでは顔の位置と向きの情報を取得することが出来る．これより得られる顔の向きと位置が一定の角度，距離を超えた場合に，目標座標と目標角度を変化させ，これに基づいて制御を行う．2 つある操作モードを表 1 に示す．体外操作モードでは腹腔鏡ロボットを用いて腹腔鏡全体を動かす操作を行い，屈曲モードでは腹腔鏡先端の屈曲部を屈曲させる操作を行う．

Fig5. Kinect for windows

Table 1 Operation method

Movement / Mode	Up-Down	Right-Left	Forward-Back
All OFF	No change	No change	No change
Outer movement Mode ON	Change in target z-coordinate	Change in target x-coordinate	Change in target y-coordinate
Bending Mode ON	Change in Pitch degree	Change in Yaw degree	No change

（４） 問題点

腹腔鏡ロボットとマニピュレータを合わせると，全 5 自由度を有し，様々な視点からの映像を取得可能となっている．しかし，現在はフットペダルにより腹腔鏡ロボットと腹腔鏡マニピュレータの操作を切り替えながら視点変更を行っており，その自由度を最大限に生かすことが出来る操作方法はまだ確立されていない．本研究では多自由度を生かした素早い視点変更を実現する操作方法を提案する．

４． 視点変更システム（VPCsys）

（１） 手術中の視点変更

腹腔鏡下胆嚢摘出手術では，胆嚢の剥離などの処理を行う工程では腹腔鏡の位置を他の工程よりも頻繁に移動させ，視点を変更している[7]．これは腹腔鏡手術では開腹手術と異なり，腹腔鏡から得た映像に基づいて手術を行うため，腹腔鏡の映像は 1 方向からのものとなり，剥離部などに死角が生じるため，処置に適している映像は常に変化するためであると考えられる．そのため，図 6 に示すように患部や鉗子を映像から外さずに剥離部を映すことが出来る位置に腹腔鏡を移動する必要がある．

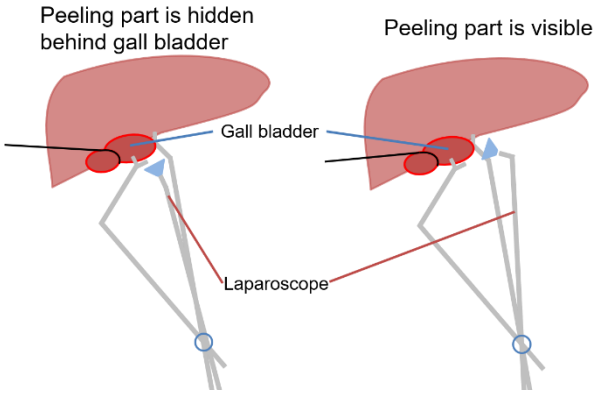


Fig.6 Laparoscope position and blind point

（２） 視点変更の手法

視点変更時に必要なことは以下の 2 つである．

① 執刀医の意図する方向からの映像が撮れる

② 患部や鉗子先端を視野外に出さない

これらを満たす視点変更時の腹腔鏡の動きとして，腹腔鏡先端が球面をなぞる様に動く方法が挙げられる．具体的には，腹腔鏡先端から鉗子先端までの距離を半径とし，鉗子先端を中心とした球体の表面上を動き，腹腔鏡先端が常に中心方向を向くようにしたものである．この動きならば死角に対して回りこむ動きが可能であり，また映像は常に鉗子先端を映している．この動きを搭載したシステムを視点変更システム：View Point Change system (以下 VPCsys) と呼ぶこととする．VPCsys の概念図を図 7 に示す．

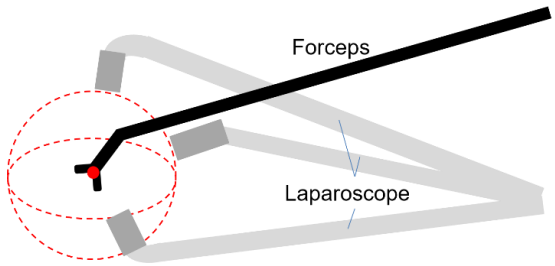


Fig.7 Concept of View Point Change system

５． 腹腔鏡ロボットの制御

VPCsys の動作を実現するための制御方法を考える．この動作を実現するためには，球面上を腹腔鏡先端が移動し，また常にカメラが中心を向いている必要がある．そこで，腹腔鏡先端の位置制御と姿勢制御を分けて考える．

（１） 腹腔鏡先端の位置制御

腹腔鏡先端は，常に鉗子先端を中心，鉗子先端までの距離を半径とした球面上を移動する．そのため，腹腔鏡先端の目標座標も球面上を移動するように変化させる．Kinect から得た顔の横向き，縦向きの回転による移動角度をそれぞれφ, θとすると，図 8 に示すように，球面上の目標座標は次式で表せる．

$$\Delta x = r\cos\theta\sin\varphi \tag{1}$$
$$\Delta y = r(1-\cos\theta\cos\varphi) \tag{2}$$
$$\Delta z = r\sin\theta \tag{3}$$

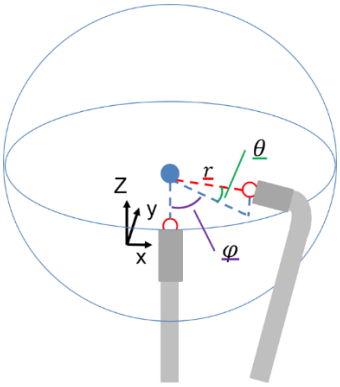


Fig.8 Target coordinate of spherical surface

腹腔鏡の姿勢制御と位置制御を同時に行うと制御が複雑化するため，位置制御と姿勢制御を分けて行う．まず，図 9 に示すように，腹腔鏡先端が屈曲ではなく一か所で折れていると仮定し，その位置までの距離 L5 を屈曲角度から算出する．

$$L5 = \frac{l_{bend}}{\theta_{\mathrm{bend}}}\left(\sin\theta_{\mathrm{bend}} - \frac{1-\cos\theta_{\mathrm{bend}}}{\tan\theta_{\mathrm{bend}}}\right) \tag{4}$$

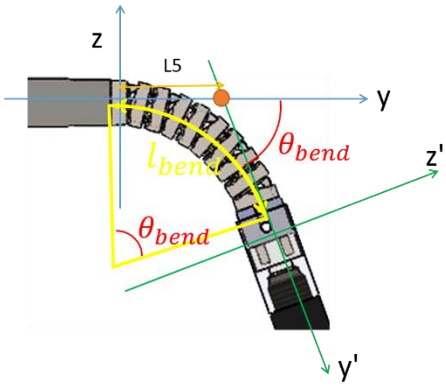


Fig.9 Controlled position

図 10 に示すように，算出した位置で位置制御を行い，その後屈曲部を屈曲させて姿勢制御を行う．この場合，球の半径が腹腔鏡先端から屈曲部までの長さlの分だけ長くなる．これより，目標座標は次式で表せる．

$$\Delta x = (r+l)\cos\theta\sin\varphi \tag{5}$$
$$\Delta y = (r+l)(1-\cos\theta\cos\varphi) \tag{6}$$
$$\Delta z = (r+l)\sin\theta \tag{7}$$

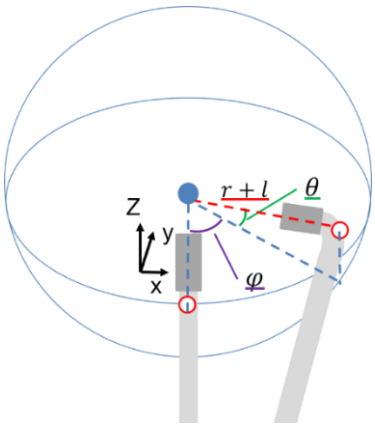


Fig.10 Position control

（２） 腹腔鏡先端の姿勢制御

位置制御で腹腔鏡の位置を確定させた後，屈曲により腹腔鏡を球の中心に向ける制御を行う．図 11 より，この時の目標屈曲角度は次式で表せる．

$$\boldsymbol{\theta}_{\ tilt_{new}} = \boldsymbol{\theta}_{\ tilt_{old}} + \boldsymbol{\theta} + \Delta\boldsymbol{\theta}_{pitch} \quad (8)$$

$$\boldsymbol{\theta}_{\ pan_{new}} = \boldsymbol{\theta}_{\ pan_{old}} + \boldsymbol{\varphi} + \Delta\boldsymbol{\theta}_{yaw} \quad (9)$$

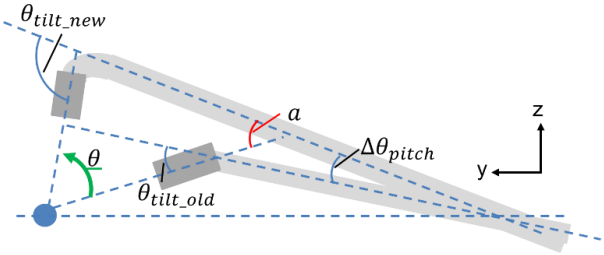


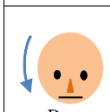
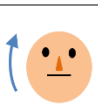
Fig.11 Attitude control

上述の(5)-(9)式を目標座標，目標屈曲角度とし，目標値に追従させる制御を行う．

（３） 操作方法

操作方法についてはこれまで通り，Kinect を用いて操作者の顔の向きを入力コマンドとして，操作を行うこととする．操作方法を表 2 に示す．この操作では，顔の向きに腹腔鏡先端の姿勢が動くように操作する方法を採用した．操作の一例を図 12 に示す．

Table 2 Operation method for VPCsys

	Face Movement			
	 Down	 Up	Left	Right
Laparoscope movement	Look down from upper side	Look up from lower side	Look from right side	Look from Left side

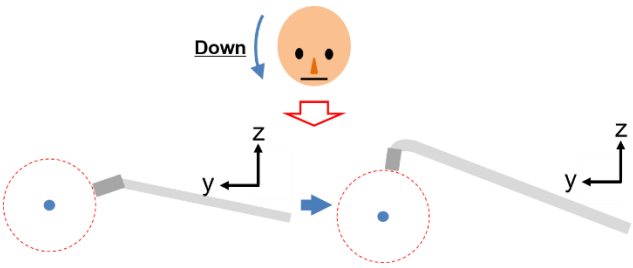


Fig.12 Input command and operation image

（４） モード切り替え

提案した VPCsys は，従来の体外操作モードと屈曲操作モードに新たなモードとして加えて運用する．そのため 3 つのモードをそれぞれ ON にする入力コマンドと，すべてのモードを OFF にする入力コマンドが必要になる．しかし，図 13 に示す，モードの切り替えを行うフットペダルには 3 つのペダルしかない．そのため，フットペダルを左から A, B, C としたとき，それぞれを次のように使用することとした．

A：すべてのモードを OFF

B：VPCsys ON

C：体外操作モードまたは屈曲操作モードを交互に ON

ただし，C 以外のペダルを踏んだ後に再び C を踏んだ場合は体外操作モードに切り替わる．

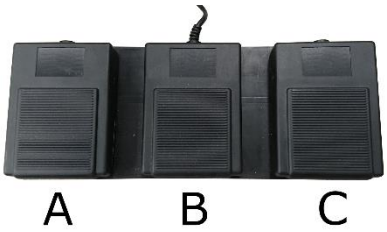


Fig.13 Foot pedal

６． 操作比較実験

従来の体外操作・屈曲操作モードの切り替えによる操作と，VPCsys を含めた操作との操作性を比較する実験を行った．なお，この実験では目標物中心から腹腔鏡先端までの距離は 65mm として制御を行った．

（１） 実験方法

1) 腹腔鏡の初期位置は Yaw を 0 deg，Pitch を-5.7 deg，Translation を 5.7 deg，上下屈曲を-40 deg，左右屈曲を 0 deg とする．

2) 目標物は直径約 40mm の切頂二十面体とし，そのうちの正五角形の 1 つに目標円として外径 9 mm，内径 7 mm の青い円を描く．

3) 目標物は円がある面の左上の正六角形が腹腔鏡の正面を向き，目標物の中心が RCM から X 軸方向に 0 mm，Y 軸方向に 128 mm，Z 軸方向に-80 mm の位置に来るように設置した(Fig.14).

Fig.14 Experimental setup

4) 腹腔鏡映像が映るモニター(640×480)に捕捉円として半透明な赤い円（外径：画面の高さの 45%，内径：外径の 40%）を映す.

5) 操作は従来の体外・屈曲操作モードの切り替えのみの場合と VPCsys を含めた 3 つのモードを使う場合で，各 3 回行った．実験開始座標から操作し，目標円を正面から捕捉円に収めるまでの時間と，モード切り替え回数を測定した.

実験の様子を図 15, 16,17 に示す.

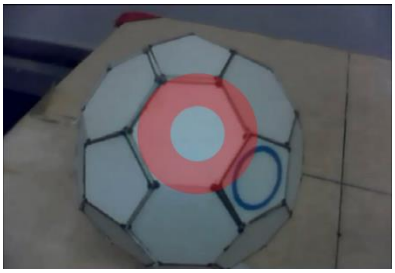


Fig.15 Appearance of the experiment①

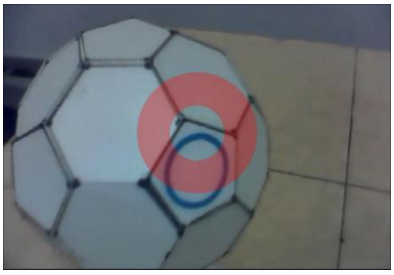


Fig.16 Appearance of the experiment②

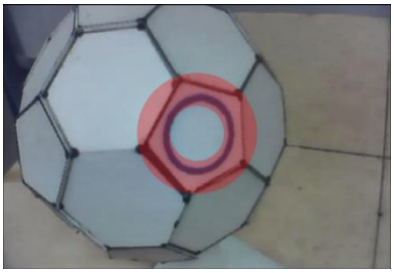


Fig.17 Appearance of the experiment③

また，各操作法について，以下の 3 項目に関して 1～5 の 5 段階評価でアンケートも行った.

① 直感的に操作できたか

② スムーズに動かせたか

③ 操作ミスをしそうだと感じたか

なお，数値が大きいほど良い評価となる．そのため③ではミスをしにくいと感じるほど数値が大きくなる.

比較実験およびアンケートは 20 代の被験者 8 名に対して行った.

（２） 実験結果

操作時間と切り替え回数の結果を表 3 に，アンケート結果を表 4 に示す.

Table 3 Results of operation time and switching times

Subject	Number of trial	Time [s] VPCsys	Time [s] Switching	switching times VPCsys	switching times Switching
A	1	35.85	83.64	4	5
	2	37.72	86.78	4	5
	3	22.46	82.49	4	5
	Average	32.01	84.30	4.0	5.0
B	1	27.29	61.35	4	7
	2	48.22	56.30	6	5
	3	16.66	65.76	4	7
	Average	30.72	61.14	4.7	6.3
C	1	78.65	55.15	4	5
	2	57.74	118.95	6	8
	3	24.3	144.05	4	7
	Average	53.56	106.05	4.7	6.7
D	1	56.52	225.55	7	9
	2	42.69	93.42	4	7
	3	69.36	73.47	4	5
	Average	56.19	130.81	5.0	7.0
E	1	41.21	103.78	4	7
	2	40.2	64.54	4	5
	3	45.13	82.43	4	5
	Average	42.18	83.58	4.0	5.7
F	1	81.38	89.63	7	7
	2	83.38	73.12	7	5
	3	70.21	113.68	6	7
	Average	78.32	92.14	6.7	6.3
G	1	23.27	61.69	4	7
	2	35.17	41.94	4	5
	3	52.64	96.71	7	9
	Average	37.03	66.78	5.0	7.0
H	1	61.38	116.75	4	7
	2	50.22	146.9	4	9
	3	25.94	81.4	4	5
	Average	45.85	115.02	4.0	7.0
	Total average	46.98	92.48	4.8	6.4
	p-value	0.000		0.000	

Table 4 Result of questionnaire

	Questionnaire					
	①Intuitiveness of operation		②Smoothness of operation		③Possibility of operation mistake	
Subject	VPCsys	Switching	VPCsys	Switching	VPCsys	Switching
A	4	4	5	2	4	2
B	4	3	4	2	4	2
C	3	4	2	2	4	4
D	2	2	4	1	3	1
E	3	4	5	3	5	2
F	4	4	4	2	3	2
G	5	2	4	3	4	2
H	5	2	4	2	5	2
Average	3.8	3.1	4.0	2.1	4.0	2.1
p-value	0.153		0.001		0.001	

実験を行った結果，操作時間は VPCsys を用いた操作では，従来の操作法に比べて全ての被験者で短縮することができた．

モード切り替えの最小回数は VPCsys を用いた操作では 4 回，従来の操作法では 5 回である．しかし，全体の平均回数ではそれぞれ 4.8 回と 6.4 回であった．平均回数と最小回数の差は，VPCsys を用いた操作では 0.8 回，従来の操作法では 1.4 回と，従来の操作よりも VPCsys を用いた操作のほうが差は小さい．また，最小回数で操作できた割合も，VPCsys では 71%，従来の操作法では 46%であった．

従来の操作方法では目標円の正面を捉えることが難しく，微調整のためにモード切り替えが必要となったことが切り替え回数が増えた要因であると考えられる．これに対し，VPCsys では目標円の正面まで容易に移動することができ，最後に目標円を捉えるために切り替えを行っていたため，少ない回数で操作ができていた．

アンケート結果では，“①直感的に操作できたか”の項目ついては，どちらも同程度の平均値を持ち，直感的な操作感に関しては同等であると言える．t 検定の結果からも，有意水準 5%で有意差は見られなかった．また，“②スムーズに動かせたか”，“③操作ミスをしそうだと感じたか”の 2 項目については，VPCsys を用いた操作の方が従来の操作法より高い値を示しており，t 検定の結果も有意水準 5%で有意差が見られた．この 2 項目に関しては，フットペダルを踏む回数が減ったことで，スムーズに操作が出来，踏み間違いによるミスも減ったため，評価が良くなったと考えられる．

また，従来の操作法では，目標を視野内に入れた状態を維持するために，体外操作と屈曲操作を交互に行う．その時に，それぞれ顔を向ける方向が逆になる．すべての操作において操作を行わない顔の向きや位置の範囲である“遊び”を設定しており，それは顔の初期位置を基準に上下（X 軸回転）に－9 deg から 10 deg，左右（Z 軸回転）に－10 deg から 10 deg，前後（Y 軸並進）に－40 mm から 30 mm である．顔を様々な方向に動かすと，この“遊び”の範囲を見失いやすく，実験中に，操作を止めたい時にも動かしてしまうなどの操作ミスが発生している場面が何度か見受けられた．一方 VPCsys では，一方向に動かすだけでおおよその視点まで移動することが出来るため，このようなミスも起こりにくい．

アンケートのコメント欄には，「従来の操作法では，どこまで動かせば正面になるのかがわかりにくかった．」，「従来の操作方法では近づきすぎてしまうことがあったが，VPCsys では距離が一定なので操作し易かった」というコメントもあった．

以上の実験結果から，VPCsys を用いた視点変更の方法は，従来の操作法よりも操作が容易であると結論する．

７． 画像識別

この VPCsys で重要となるのが鉗子先端の位置の把握である．腹腔鏡と鉗子双方をロボットで操作している場合には，鉗子先端の位置はロボットの制御を通して得られるため容易である．しかし，腹腔鏡のみロボット化し，執刀医が鉗子を直接操作する場合には，ロボットを介して直接位置情報を得ることが出来ない．より広い場面での運用を考えて，鉗子の位置情報を得るために画像識別を用いることを考えた．画像識別を用いて鉗子先端の位置を把握することで，執刀医が鉗子を操作している場合でも，鉗子の先端位置を把握することが可能になる．

（１） 画像識別手法

鉗子先端の識別を容易にするため，鉗子にマーカーを設置することとした[8]．腹腔内は赤系統の色が多いため，図 18 に示すように鉗子の軸にはその反対色である緑のマーカーを取り付ける．鉗子の軸にマーカーを取り付けることにより，映像上ではマーカーの鉗子先端の端が弧を描く．この弧の位置や大きさから，鉗子先端の座標や腹腔鏡からの距離の情報が推定できる．

Fig.18 Marked forceps

鉗子の先端部分の弧を識別するために，次のような手順で処理を行った．なお処理には MATLAB2016B を使用した．

① 図 19 に示す RGB 色空間の画像を図 20 に示す HSV 色空間に変換する．
② 図 21 に示すように，色相の値に閾値を設定し，鉗子だけを判別し，二極化する．
③ 図 22 に示すように画像にエッジ検出を行う．
④ エッジ検出を行った画像に直線のハフ変換を行い，直線部分をエッジ検出画像から削除する(図 23).
⑤ 一定値より小さい 8 連結要素を削除し，取りこぼしをなくす．
⑥ MATLAB の regionprops 関数を用いて，先端部分の領域と同じ正規化された 2 次モーメントを持つ楕円を識別する(図 24).

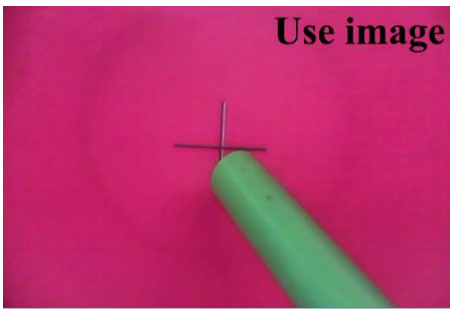


Fig.19 Use image

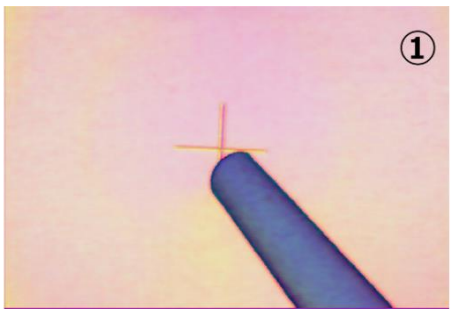


Fig.20 Process of image identification 1

Fig.21 Process of image identification 2

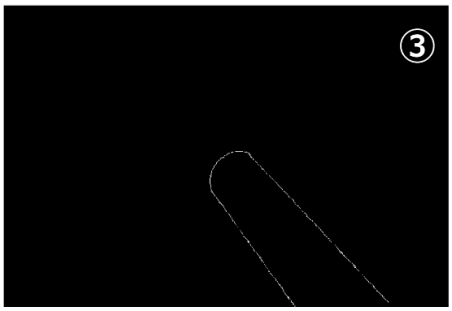


Fig.22 Process of image identification 3

Fig.23 Process of image identification 4

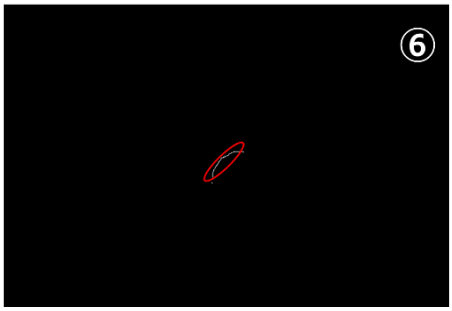


Fig.24 Process of image identification 4’

推定された楕円の長軸の長さを用いることで，鉗子先端までの距離を推定する．

（２） 距離の推定

画像内の楕円の大きさから鉗子先端までの距離を推定する式は，図 25 に示すように，以下のようになる．

実際の鉗子の軸径を L[mm]，鉗子先端までの距離を H[mm]，楕円を映す視角をθ [deg]とすると，鉗子先端までの距離 H は以下の様で表すことが出来る．

$$\boldsymbol{H = \frac{L}{2\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}} \qquad (10)$$

よって，楕円を映す視角θが求められれば，距離 H が推定できる．

画像内の楕円の長径をl[px]，画像の幅をk[px]，画像の見た目の距離を h，カメラの画角をφ[deg]とすると，視角θは以下の様に表すことができる．

$$\boldsymbol{\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{l}{2h}} \qquad (11)$$

また，h は以下の様に表すことができる．

$$\boldsymbol{h = \frac{k}{2\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)}} \qquad (12)$$

(11), (12)式より，視角θは以下の様に表すことができる．

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{l}{k}\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) \qquad (13)$$

(10), (13)式より，鉗子先端までの距離 H は以下の様に求めることが出来る．

$$\boldsymbol{H = \frac{Lk}{2l\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)}} \qquad (14)$$

鉗子の軸径 L，画像の幅 k，カメラの画角φは既知であるので，画像識別により得られる楕円の長径の長さlが与えられれば，鉗子先端までの距離 H が推定できる．

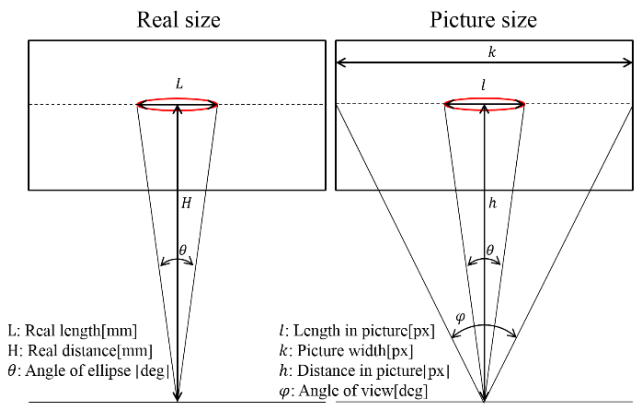


Fig.25 Distance estimation

（３） 検証実験

7.2 節で述べた距離推定法の精度検証を行った．今回は鉗子の代わりに径 5mm のステンレスパイプに緑のビニールテープを巻いて検証を行った．設定位置関係は，図 26 に示すように，腹腔鏡とパイプの水平角度を 5deg, 10deg, 20deg, 30deg, 40deg，腹腔鏡とパイプ先端の距離は，腹腔鏡の焦点距離が 55mm であるため，その前後の値を選定し，45mm, 55mm, 65mm とした．推定結果を表 5 に示す．

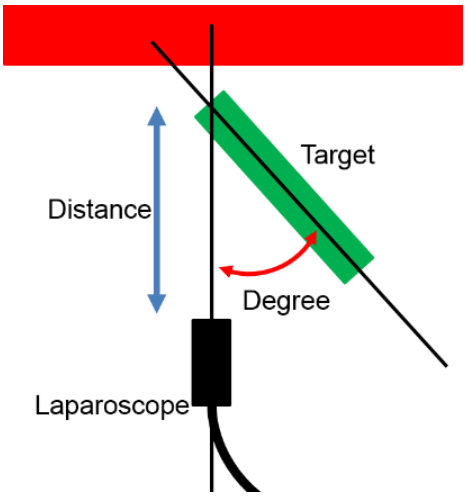


Fig.26 Distance estimation verification position

Table5 Distance estimation verification

		Distance[mm]					
		45		55		65	
		Result[mm]	Error[mm]	Result[mm]	Error[mm]	Result[mm]	Error[mm]
degree[deg]	5	45	0	52	-3	71	6
	10	46	1	57	2	70	5
	20	48	3	58	3	72	7
	30	47	2	60	5	68	3
	40	45	0	58	3	64	-1
Average		46	1.2	57	3.2	69	4.4

表 5 より，設定距離 65mm で誤差が大きくなっている．これは焦点距離から離れて画像が不鮮明になり，エッジが取りにくくなったためであると考えられる．実際のシステムに搭載する際には，使用可能な距離の範囲を設定する必要がある．

８． 結論

本研究では，腹腔鏡ロボットに対して，より簡単に視点変更を行うことが出来る操作方法を提案した．鉗子先端を中心とした球面上を移動する操作方法では，鉗子を視野外に出すことなく視点変更が可能である．従来の操作法との比較実験では，操作時間と操作のしやすさが向上したことが確かめられた．また，鉗子先端までの距離情報を取得するため，画像識別を用いた鉗子先端位置の推定法も提案した．

今後の課題は，視点変更システムに提案した画像識別を用いた鉗子先端位置推定法を搭載し，腹腔鏡単体で視点変更システムを運用できるようにすることである．

参考文献

[1] 山川達郎，石川泰郎，“腹腔鏡下外科手術”，日本消化器病学会雑誌，第 90 巻，第 7 号，pp.1541-1546, 1993

[2] Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, “A pneumatic laparoscope holder controlled by head movement” The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, Vol.11, Issue 3, pp.331-340, 2014.

[3] 村澤伊織，室伏修平，石井千春，川村秀樹，“単孔式腹腔鏡下手術(SPS)用内視鏡ロボットの設計と位置制御”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，pp.1A1-E03(1)-1A1-E03(4) , 2015

[4] 西林孝，“Kinect の仕組みとナチュラルユーザインタフェース”，映像情報メディア学会誌，Vol.66, No.9, pp.755-759, 2012

[5] 村澤伊織，室伏修平，石井千春，川村秀樹，“Kinect による頭部動作の認識を用いた単孔式腹腔鏡下手術用腹腔鏡ロボットの操作”，第 59 回自動制御連合講演会講演論文集，pp.610-613, 2016

[6] 竹富研太，石井千春，“先端屈曲可能な腹腔鏡マニピュレータの開発と制御方法の確立”，No. 18-2 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演概要集，p.10-1A1-G03, 2018

[7] 篠原一彦，橋本大定，梶原周二，小島伸，星野高伸，長谷川俊二，高橋寿久，“カメラワークからみた腹腔鏡下胆嚢摘出術の工程解析”，日本コンピュータ外科学会誌，2 巻，2 号，p.54-56, 2000

[8] 中口俊哉，牧野治文，五十嵐辰男，上村健二，津村徳道，三宅洋一，“腹腔鏡下手術における自動拡大追尾システムの実装”生体医工学，43 巻，4 号，p. 685-693, 2005