

# 腹腔鏡下手術シミュレータ開発

## — 腹腔鏡下手術における鉗子操作時の力学的特性 —

### Development of Laparoscopic Surgery Simulators

#### - Dynamic Properties of Operated Forceps during the Laparoscopic Surgery -

正 木口 量夫 (佐賀大学)    ○学 清水 聡 (佐賀大学)    正 佐々木 誠 (佐賀大学)  
正 山本 元司 (九州大学)    正 長谷川 勉 (九州大学)    正 倉爪 亮 (九州大学)  
小西 晃造 (九州大学医学部)    中島 秀彰 (九州大学医学部)    橋爪 誠 (九州大学医学部)

Kazuo KIGUCHI, Saga University, Satoshi SHIMIZU, Saga, University, Makoto SASAKI, Saga, University  
Motoji YAMAMOTO, Kyushu University, Tsutomu HASEGAWA, Kyushu University, Ryo KURAZUME, Kyushu University,  
Kouzou KONISHI, Kyushu University, Hideaki NAKASHIMA, Kyushu University, Makoto HASHIZUME, Kyushu University,

**Abstract:** In this paper, we introduce the measured motion and dynamic properties of the operated forceps operated by skilled doctors in order to develop the laparoscopic surgery simulator for training of the laparoscopic surgery.

**Key Words:** Laparoscopic Surgery, Surgery Simulator, Dynamic Properties

## 1. はじめに

腹腔鏡下手術などに代表される低侵襲手術は、切開を最小限にとどめ、痛みや感染症の減少や早期離床が期待できるため近年盛んに実施されているが、切開手術に比べ医師の得ることのできる情報が少ないため、より多くの経験を必要とされる。経験を積むためには動物実験やシミュレータでの訓練が必要となるが、動物実験は様々な問題から数多くできない。また、腹腔鏡下手術用のシミュレータも開発されているが、操作力などをリアルに感じ取れるシミュレータがないため、実際の手術と同じような経験はできない。そこで我々は、術中の動きやハンドル部の操作力などといった感覚情報をリアルに提示する腹腔鏡下手術シミュレータの開発を進めている。本報では、鉗子の動きと力を同時に計測できるセンサ鉗子を用いて、2名の熟練医師が手術中によく行う剥離動作・把持動作を豚の臓器（肝臓付き胆嚢・胃）で行い、その際ハンドル部に伝わる臓器の力学的パラメータを求めたので報告する。

## 2. 内視鏡手術シミュレータ

腹腔鏡下手術の感覚をシミュレータで表現するためには、Fig. 1のように患部からハンドル部に伝わる臓器の感覚と、ハンドル操作に伴う操作力の変化をフィードバックしなければならない。

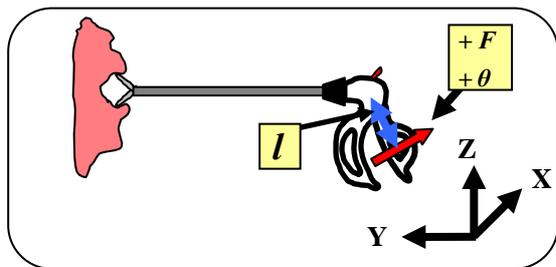


Fig. 1 Measuring of frapsing force and angle during surgery

ハンドル部の操作力を  $F$ 、ハンドルの開閉角度、角速度、角加速度をそれぞれ  $\theta$ 、 $\dot{\theta}$ 、 $\ddot{\theta}$  と定義すると、ハンドルを中心に生成されるトルク  $T$  は次式で与えられる。

$$T = Fl = J\ddot{\theta} + c\dot{\theta} + k\theta \quad (1)$$

ここで、 $l$ はハンドル部の長さ、 $J$ は慣性項、 $c$ は粘性項、 $k$ は弾性項をそれぞれ表す。また、この  $J, c, k$ は、腹腔鏡下手術の対象となる患部によりほぼ定まるため、予めこれらの値を同定し、シミュレータに用いることで、手術中の感覚を再現することができる。本研究では、2名の腹腔鏡下手術の熟練医師が操作する際の鉗子の運動と、ハンドルに作用する操作力  $F$ 、およびハンドルの開閉角度  $\theta$  をセンサ鉗子でそれぞれ計測し、計測結果から最小二乗法によりハンドル部に伝わる臓器の力学的パラメータを求める。

## 3. 実験

式(1)に示した力学的パラメータを求めるためのデータを取得する実験を行った。実験では、センサ鉗子を使用し、2名の熟練医師(操作者 A, 操作者 B)が、死後4時間の豚の臓器（肝臓付き胆嚢・胃）を対象とした把持動作と剥離動作を行い、その結果からハンドル部の操作力  $F$  とハンドル開閉角度  $\theta$  の計測結果から力学的パラメータを求めた。

Table 1 Operator's Data

	Operator A	Operator B
Years of Experience	21	8
Height [cm]	167	181
Temperature [°C]	19.3	18.7

ここで、把持動作とは Fig. 2 のように内臓や器官等の患部を持つ動作、剥離動作とは Fig. 3 のように患部を大きく裂く動作である。

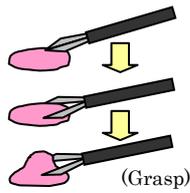


Fig. 2 Grasp Motion

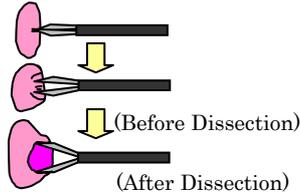
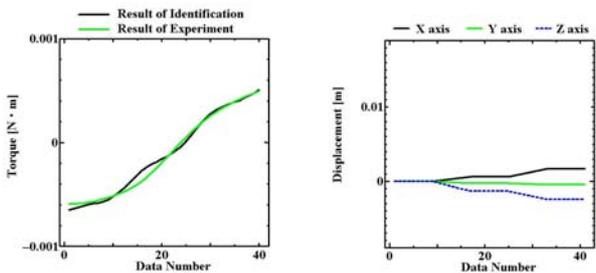


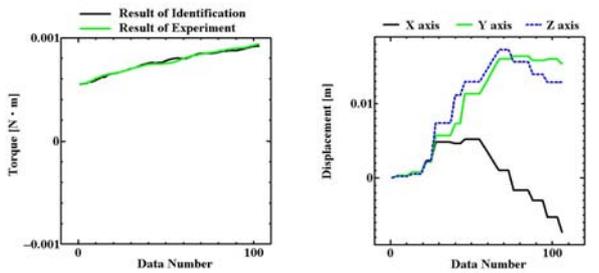
Fig. 3 Dissection Motion

## 5. 実験結果

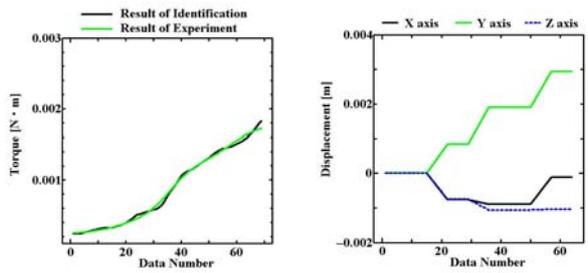
2名の腹腔鏡下手術熟練医師による対象物の剥離動作と把持動作における鉗子の動き、ハンドル部の角度、操作力をそれぞれ計測した。それらの結果から各動作時にハンドル部に伝わる臓器の力学的パラメータを最小二乗法により求めた。Fig. 4からFig. 7には剥離動作前後のトルクとセンサ鉗子の変位、Fig. 8には把持動作のトルクとセンサ鉗子の変位を示した。剥離動作・把持動作で鉗子の動きに違いがあるが、操作者A・B共に剥離前から剥離後で弾性項が6~7割低下している。また、操作者Aを基準に操作者Bの力学的パラメータを比較すると、弾性項で2割程度の増加が見られるが、これは操作の動作が違うこと、および操作した臓器の場所が違うこと等が原因として考えられる。



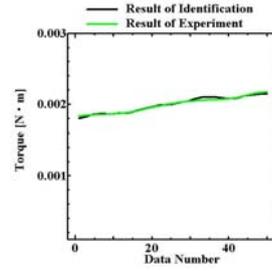
(Torque :Operator A) (Displacement :Operator A)  
Fig. 4 Before Dissection Motion (Operator A)



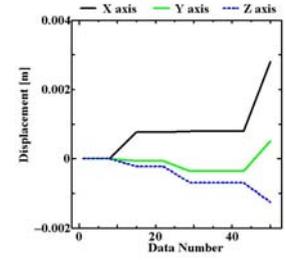
(Torque :Operator A) (Displacement :Operator A)  
Fig. 5 After Dissection Motion (Operator A)



(Torque :Operator B) (Displacement :Operator B)  
Fig. 6 Before Dissection Motion (Operator B)

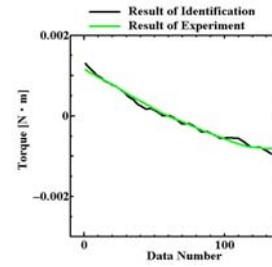


(Torque :Operator B)

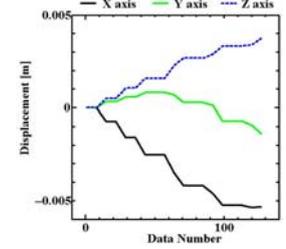


(Displacement :Operator B)

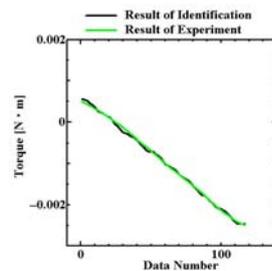
Fig. 7 After Dissection Motion (Operator B)



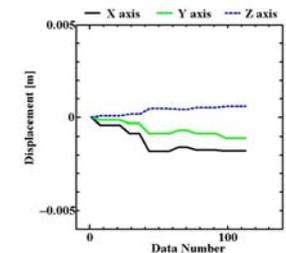
(Torque :Operator A)



(Displacement :Operator A)



(Torque :Operator B)



(Displacement :Operator B)

Fig. 8 Grasping Motion

Table 2 Result of Identification (Gallbladder)

	Motion	$J$ [Nm/rad/sec <sup>2</sup> ]	$c$ [Nm/rad/sec]	$k$ [Nm/rad]
Operator A	Grasp	0.00000018	0.00085699	0.03747700
	Before (Dissection)	0.00000902	0.00222840	0.01637900
	After (Dissection)	0.00000626	0.00010974	0.00548720
Operator B	Grasp	0.00001181	0.00055396	0.02744300
	Before (Dissection)	0.00001593	0.00148840	0.02198200
	After (Dissection)	0.00002113	0.00007417	0.00669920

## 6. おわりに

腹腔鏡下手術の基本手技である剥離動作・把持動作を腹腔鏡下手術の2名の熟練医師が行い、その際の鉗子の位置、操作力などを計測し、それを元にハンドル部に伝わる臓器の力学的パラメータを求めた。各臓器に対しての力学的パラメータの違いを示すことができた。今後は、手術時に行なうその他の動作のデータを取得し、実際の手術を行なっているようなリアルな感覚を生成できる腹腔鏡下手術シミュレータを開発する。