

## VR 型内視鏡手術訓練シミュレータにおける評価手法の開発

## A Development of Evaluation method in VR-type Laparoscopic Surgical Training Simulator

長坂 学<sup>\*1</sup>, 平井 俊之<sup>\*1</sup>, 石井 隆司<sup>\*1</sup>, 槇山 和秀<sup>\*2</sup>Manabu NAGASAKA<sup>\*1</sup>, Toshiyuki HIRAI<sup>\*1</sup>, Ryuji ISHII<sup>\*1</sup>, Kazuhide MAKIYAMA<sup>\*2</sup><sup>\*1</sup>三菱プレシジョン株式会社<sup>\*1</sup>Mitsubishi Precision co., Ltd.<sup>\*2</sup>横浜市立大学<sup>\*2</sup>Yokohama-City University

Email: mnagasaka@mpcnet.co.jp

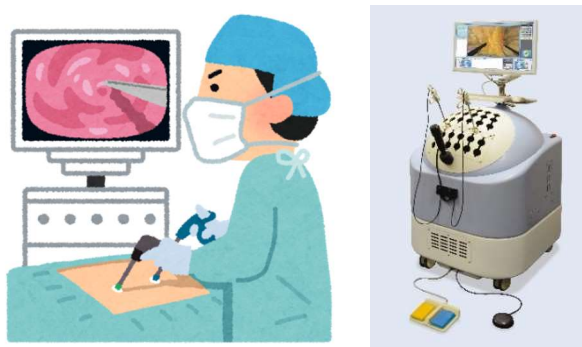
あらまし：内視鏡手術は、手術創が小さく患者への負担が少ないが、術者にとっては技術的に難しい手術である。この手術をトレーニングする機器の一つとして、VR 型手術訓練シミュレータがある。

本論では、このシミュレータでの仮想空間上で取得される、術具先端の位置座標に対し、短時間差分電力を用いた新しい技量評価手法を提案する。横浜市立大学 泌尿器科医師の協力のもと、操作実験を行い、本手法の有効性を確認した。

キーワード：内視鏡手術、VR 型手術訓練シミュレータ、短時間差分電力、技量評価

## 1. はじめに

内視鏡手術は患者の体への負担が極めて小さく済むため、近年飛躍的に発展している。一方で、術者にとってこの内視鏡手術は技術的に難易度が高く、術具操作の訓練を目的とした様々な教育・訓練手法が用いられている。手術シミュレータもその一つであり、訓練装置として、訓練評価を定量的に示すことは重要である。特に内視鏡手術では、ターゲッティング（術具を対象臓器に接触させるため移動させる操作）技術は重要な基本技術であり、これを評価する手法を開発した（※）。※特願 2017-247939「手術操作具の操作の評価方法及び評価装置」



a)内視鏡手術イメージ※b)当社手術シミュレータ  
※<[http://www.irasutoya.com/2015/03/blog-post\\_67.html](http://www.irasutoya.com/2015/03/blog-post_67.html)>

図 1 内視鏡手術と訓練シミュレータ

## 2. 提案手法

手術スキルの高い術者の特徴の内、ターゲッティング技術の要素として、1) 術具の動きに迷いがなく動作が停滞しない（評価項目 1：空白時間）、2) 術具の動きに無駄が無い（評価項目 2：トータル電力）、の 2 つに注目し、これを評価する指標を提案する。本提案手法では、短時間領域の差分の電力によ

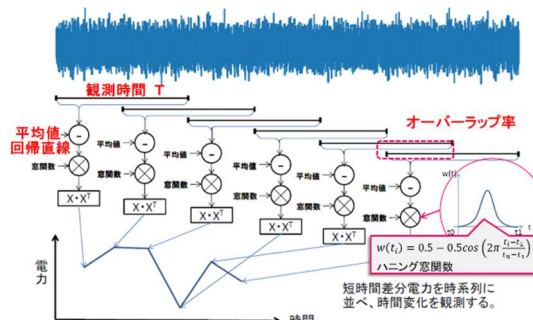


図 2 STPOD 計算模式図

り評価することから、Short-Time Power of Difference (STPOD)法と命名した。STPOD 法は単純な積和演算のみで計算でき、リアルタイム評価に適している。図 2 は STPOD 法の計算模式図であり、以降に詳細を記す。

それぞれの評価指標のための差分電力を求める。t を時間、x を位置とした、時系列データ  $(t_i, x_i) i=1,2, \dots, n$  があり、これを短時間  $[t_s, t_{s+1}]$  で区切る。この 1 区間における解析データ数を N 個とする。時系列データのサンプリングタイムを  $\Delta t = (t_{n+1} - t_n)$  とすると、1 区間の解析範囲の時間は  $\Delta t N$  となる。また、隣り合う解析区間のオーバーラップ率を  $100\alpha$  [%] とする。

解析区間  $S_i$  での時間  $t_n$  の範囲は以下ようになる。

$$S_i = [t_a, \dots, t_b] \quad (1)$$

ここで、 $a = N \cdot i - N \cdot (i-1) \cdot \alpha + 1$

$$b = N \cdot (i+1) - N \cdot (i-1) \cdot \alpha$$

ある一区間に注目し、改めて、 $t_1, t_2, \dots, t_n$  として、解析手法について述べる。

まず、術具の位置座標について式(2)に示すとおり、区間内の基準関数との差分をとり、次に式(3)で窓関数を乗じ、この区間 i での値  $\hat{x}_i^m$  を計算する。

$$x_i^m = x_i - f_i(x) \quad (2)$$

ここで、基準関数  $f_i(x)$  については、評価項目 1 の

場合は、その区間での平均値  $f_i(x) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$ 、評価項目 2 の場合は、回帰直線  $f_i(x) = a_i x + b_i$  とする。  
これに、窓関数  $w(t)$  を乗じる。

$$\hat{x}_i^m = x_i^m * w(t_i) \quad (3)$$

ここで、窓関数としてハニング窓関数 (式(4)) を用いた。

$$w(t_i) = 0.5 - 0.5 \cos\left(2\pi \frac{t_i - t_1}{t_n - t_1}\right) \quad (4)$$

式(3)より、電力  $\mathbf{P}$  を計算する。すなわち、ベクトル  $\mathbf{X} = [\hat{x}_1^m \ \hat{x}_2^m \ \dots \ \hat{x}_n^m]$  と表すと、電力  $\mathbf{P}$  は式(5)で与えられる。

$$\mathbf{P} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{X}^T \quad (5)$$

以上により、評価項目 1 と評価項目 2 に対し、区間毎の電力が計算できる。区間  $[t_s, t_{s+1}]$ ,  $s=1, 2, \dots, S$  に対する電力を  $P_1, P_2, \dots, P_S$  とすると、これを元に、次の指針で評価する。

#### 評価項目 1 : 空白時間

電力  $\mathbf{P}$  が閾値以下のとき術具操作が停止状態とみなし、停止した時間 (閾値以下の時間の総和)  $T_s$  を求め、値が小さいことを評価値とする。値が小さいことは動作の停滞が少ないことを意味する。

#### 評価項目 2 : トータル電力

各区間  $[t_s, t_{s+1}]$ ,  $s=1, 2, \dots, S$  に対する電力をそれぞれ  $P_1, P_2, \dots, P_S$  とすると、式(6)に示すトータル電力  $P_T$  を求め、値が小さいことを評価値とする。

$$P_T = \sum_{i=0}^S P^i \quad (6)$$

この値が小さいことは、術具が直線的に移動し、無駄な動きが少ないことを意味する。

### 3. 評価試験

共同研究先の横浜市立大学の協力を受け、評価試験を実施した。ターゲッティング技術を目的としたシンプルなタスクのアプリケーションで有効性検証試験を実施した。その後、複合的な操作となるタスクアプリケーションでの適用を行った。

#### 3.1 試験方法

【被験者】泌尿器科医師 7 名 (医師 2, 研修医 5)

【試験アプリケーション】ハンド・アイ・コーディネーション: 赤・白の 1~10 までナンバリング表示した球を 1 から順番に術具で触っていく。赤い球は右手で、白い球は左手で操作する (図 3(a))。

【試験手順】

球の配置を同一パターン連続 10 回、3 パターン実施する (計連続 30 回)

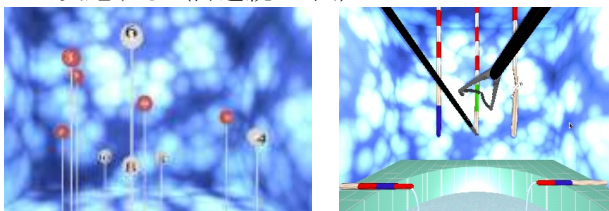


図 3 アプリケーション画面

#### 【解析条件】

短時間区間 : 0.2[s], オーバラップ率 : 50[%]

本タスクではターゲットに応じて操作する左右の手は決まっており、区間毎に操作対象側の手の評価値を抽出し、合算して評価する。

#### 3.2 試験結果

各被験者に対して、横軸を実施回数、縦軸を操作時間、トータル電力、空白時間とした結果を示す (図 4)。値が小さい方が、習熟度が高い評価となる。

本試験では、繰り返し実施することによる学習効果について評価する。傾向としては、試行初期の数は顕著に値が下がり、ラーニングカーブが描かれる。試験でのターゲットのパターンが切り替わる (11 回目, 21 回目) ときに、評価値が上がり戸惑っている傾向があるが、11 回目の切り替えよりも 21 回目ではそれほど、値が上昇しないため、学習効果が見られる。

#### 3.3 適用アプリケーションの拡張

本手法を、ターゲッティングだけでなく複合な操作を行うアプリケーションに適用した結果を示す。

アプリケーションは、左手でチューブ状の物体を掴んで位置を調整し、右手で挟み込みクリップするタスクである (図 3 (b))。

本タスクを別の被験者 4 名 (熟練医 2, 若手医師 2) で試行した (図 5)。各項目での評価の低い (値が大きい) データを 1 として正規化し、各評価項目との比較を行った。本試験により各被験者の差異として、プレイ時間の長い (技量の低い) 要因が、無駄な動きが多いのか、操作が停止しているのかがわかる。

### 4. おわりに

手術手技に重要なターゲッティング技術について、今回提案の STPOD 法により評価点とスキルレベルとの関連が得られることが解った。また、訓練を繰り返すことで学習の効果が見られた。さらに複雑なタスクにも適用し、技量分析に有効な評価であった。

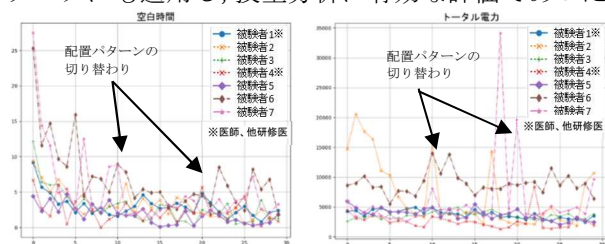


図 4 試行回数による評価値の変化

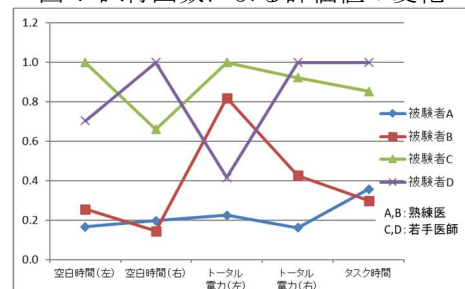


図 5 クリップアプリケーション適用結果