

内視鏡的粘膜下層剥離術のトレーニングを目的としたシリアスゲーム用インターフェースの開発と検証

池田 雄一郎^{†1} 森山 智彦^{†2} 工藤 孔梨子^{†2} 松隈 浩之^{†1}

内視鏡的粘膜下層剥離術(ESD)は医師が日常的に行う内視鏡検査と違い、術中に内視鏡画面が大きく動く手技である。安全な施術には医師が十分な経験を積む必要があり、豚の内臓や高額なトレーニング機器を用いた訓練が必要となるが、これらは費用や準備時間の確保が必要なため、日常的な訓練は困難である。そこで、本研究ではコストや準備の時間がかからないインターフェースを開発し、ゲーミフィケーションの考え方も取り入れ楽しく学び続けられる ESD トレーニングを目的としたゲームを開発した。その後医師の評価を基に検証を行った。

Development and Validation of a Serious Game Interface for Training in Endoscopic Submucosal Dissection

Yuichiro IKEDA^{†1} Tomohiko MORIYAMA^{†2} Kuriko KUDO^{†2}
Hiroyuki MATSUGUMA^{†1}

The essential technique for endoscopic submucosal dissection (ESD) differs from that for routine endoscopic examinations. Endoscopists should be familiar with the moving view field during the procedure. For safe ESD, sufficient experience and training are necessary. However, it is difficult to conduct a daily training due to the cost and the complicated preparation. For being fun to learn ESD technique, we herein developed a game interface, incorporating the concept of gamification and validated it based on physicians' evaluations.

1. はじめに

内視鏡的粘膜下層剥離術 (Endoscopic Submucosal Dissection, 以後“ESD”と表記) は、内視鏡のスコープに付属している鉗子口を通して電気メスを出して、食道や胃、大腸などの病変周囲の粘膜を切開後、病変下にある粘膜下層を剥離することで病変を摘出する内視鏡治療法であり、日本では早期癌の治療として一般的に用いられている。ESD ではスコープの先端から突出させた電気メスをスコープごと前後に動かしたりひねったりして病変を切除するが、スコープの構造的に電気メスとカメラレンズを別々に動かすことができないため、操作と連動して視野が動いてしまう点が初学者にとって ESD を高難度な手技にしている要因の一つである。通常の内視鏡検査では、視野を固定して鉗子口から組織採取用のデバイスを出して検体をとるような作業しか行わないため、ESD に必要とされる、スコープをひねって視野を動かしながら鉗子口から突出されたデバイスを正確に操作する能力を身に付けることは困難である。さらに、本邦ではこれから胃癌患者数が減少すると考えられており 臨床の現場で ESD を実施する機会が減少していくことも技術習得・向上の困難さに拍車をかけると予想される。現状では、初学者が ESD の技術を習得するには切除した豚の胃を用いたトレーニングを行うのが一般

的だが、これは準備や片付けに多くの時間がかかるうえ、感染をはじめとした衛生面の観点から、豚に用いた内視鏡機器をヒトに対して使用することができなくなるという問題がある。近年はバーチャル・リアリティで ESD トレーニングができるシミュレータも存在するが、導入コストが非常に高額なため一般化していない。このため、多忙な医師が業務の合間に ESD トレーニングを気軽に、かつ日常的に行うことは難しい。近年は医療分野においても手技を楽しく学ぶゲーミフィケーションの考え方が重要視されているが、日常的に業務の空き時間をトレーニングにあてるには高いモチベーションの維持が必要である。

本研究では医師が準備の手間やコストをかけることなく、簡単に ESD のトレーニングを実施できるようなトレーニング用のインターフェース開発を行い、実際にトレーニングに用いることが可能であるか、およびトレーニングにシリアスゲームを用いた場合の有用性についても検証を行った。

2. 関連研究

2.1 現行の ESD トレーニングの現状

Thomas R. McCarty らの“米国における Endoscopic Submucosal Dissection(ESD)トレーニングの現状：日本にお

^{†1} 九州大学 芸術工学部
Kyushu University.

^{†2} 九州大学病院
Kyushu University Hospital

ける ESD の普及戦略を米国でどのように活用できるか[1]にて、ESD のトレーニングとしては講義などにおいて十分な知識を得たのち、指導医の ESD の施行を一定の期間見学し、動物などの切除胃によるトレーニングを積んだ後に指導医の監督のもと ESD の施術を行うといった旨の報告がなされている。同時にトレーニングの最終段階においては難易度の高い大腸の ESD が行われるが、大腸の ESD の前に 20-40 件医程度の胃の ESD のトレーニングの施行が推奨されているといった旨の報告もされている。この点を考慮すると、指導医の監修のもとに ESD の実技的なトレーニングの機会は頻繁にはないため、日常的に手技に慣れるためのトレーニングができることは修練医にとって大きな利点になると考えられる。

また、上記論文においては、米国における胃癌罹患率の低さと大腸癌の罹患率の高さが指摘されており、日本の胃癌などの比較的難易度の低い症例から大腸がんなどの比較的難易度の高い症例へとシフトするトレーニング手法ではなく、米国独自のトレーニング手法を提案されている。これは胃癌罹患率が少なく、日本のように 20-40 件程度の施行経験を積む機会が少ないためであると考えられる。

2.2 医療現場におけるシリアスゲームの活用例

Patrick Haubruck らの“Evaluation of App-Based Serious Gaming as a Training Method in Teaching Chest Tube Insertion to Medical Students: Randomized Controlled Trial”[2]においては医学生への胸腔チューブ挿入の指導におけるトレーニングとしてシリアスゲームを用いるといった取り組みがなされている。本論文においては従来のトレーニング手法に加えてシリアスゲームによるトレーニングが胸腔内挿入術において有効な手法であり学習カリキュラムに取り入れていくべきであるといった旨の結論付けがなされている。この結果は胸腔内挿入術に限らずその他の医療手技のトレーニングとしてシリアスゲームが有効的なトレーニング手段である可能性が考えられる。

3. ESD ゲームのためのインターフェース

3.1 概要

研究に先立ち九州大学病院の内視鏡医に ESD に関する調査を行った。ESD は内視鏡を用いて施術されるが、医師が行う操作は主に 2 つに分けられる。1 つめは操作部（以後アングルと表記）に搭載されているアングルノブという 2 つの回転操作部を回すことで口腔内に挿入されたスコープ先端部のパン・ティルト運動を行うための操作である。2 つめに口腔部に挿入したスコープをひねる操作と押し引きを行う操作である。医師はスコープを押して病変の近くまでスコープ先端を移動させ、スコープをひねることで内視鏡カメラの前に病変が来るように調節を行う。その後、

2 つのアングルノブとスコープのひねりを組み合わせて操作を行い、スコープ先端から突出した鉗子を用いて病変を切除する。

しかし、これらの操作はキーボードやマウス、ゲームパッドなどの一般的に普及しているインターフェースの中には類似する操作の機器が見当たらないため、ESD トレーニングを目的としたシリアスゲームを実装するうえで実際の内視鏡と同じインターフェースを構築することは必須であると考えられる。そこで図 1 のような ESD トレーニングに必要な機能を有したゲームインターフェースの構築を行う。

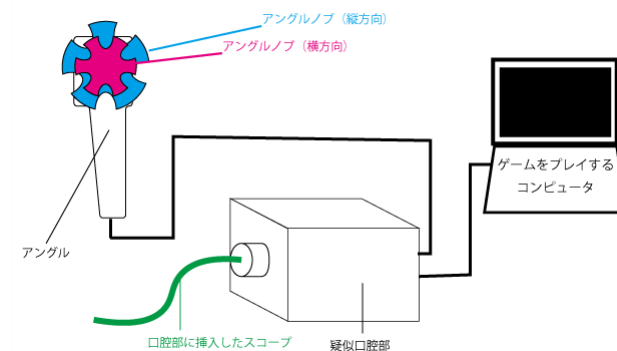


図 1 インターフェースの必要要件

Figure 1 Requirements for interface development.

3.2 設計

本研究ではインターフェースの開発とゲームの構築、及びインターフェースとゲーム間における通信機構が必要になる。

(1) インターフェースの構築

ESD ではアングルのアングルノブ操作によってスコープ先端部のパン・ティルト操作を行いつつ、スコープを直接手でひねる操作とよって病変の切除を行うことになる。そのため、インターフェース実装においてはアングル部と口腔を模したスコープの押し引きとスコープのひねり量を検出できる機構（以後口腔部と表記）の 2 つの操作が可能機構を構築する。

(2) インターフェースとゲーム間の通信機構

ゲームの構築にあたり、まず制作したインターフェースの操作をゲームの操作に用いるためにコンピュータなどの端末に送信するための通信機構が必要である。本インターフェースの通信においてはデータの受信待ちの時間がゲームのフレームレートを下げる要因となつてはならないため、ある程度高速で通信できる必要がある。本研究ではゲームのフレームレートを 60fps と仮定し、ひねりと押し込み、アングルの 2 つのノブの操作の情報を送るために必要なバイト数を基に計算を行い、フレームレートの低下に繋がらないかつ、データの欠損が起りにくい程度的高速ビットレートである必要を考慮し、ボーレートを 115200 に設定し

た ANSI/EIA-232-E の通信規格によるシリアル通信を用いる。

(3) ゲームの構築

本ゲームのプレイを通じて、ユーザは ESD に必要な病変を円形に切る操作を習得できることを目的とする。また、病変と消化管などの体内をゲーム性の強いグラフィックに置換し、ゲームとして楽しめる要素を組み込む工夫が必要である。

4. ESD ゲームのためのインターフェース

本研究においては ESD のトレーニングゲームに用いることができる口腔部を模したインターフェースとアングルを模したインターフェースの実装とゲーム側への操作情報の送受信が必要である。インターフェース開発にあたり、操作感や各所の役割を把握するため九州大学病院にて実際の内視鏡をトレーニング用の消化管の模型を用いて体験した。その後、実際の内視鏡に近い操作感覚を再現できるように図 2 に示すインターフェースを開発した。



図 2 開発したインターフェース
Figure 2 Interfaces we have developed.

4.1 口腔部を模したインターフェースの実装

口腔部を模したインターフェースにおいては、スコープのひねりと押し引き操作が必要となる。ひねり操作の要件は左回りと右回りの双方向に角度の制限なくひねることができることであった。そのため、構造上無限に回転を検出することができるロータリエンコーダを図 3 のようにスコープを模したケーブルと連結して実装した。実際の口腔内にてスコープをひねった際の抵抗の少なさを再現し、実際の内視鏡に近い操作感にするため、非接点の回転検出機構である光学式のロータリエンコーダを用いることで回転時の摩擦をユーザが感じることはないなめらかな操作が可能である。

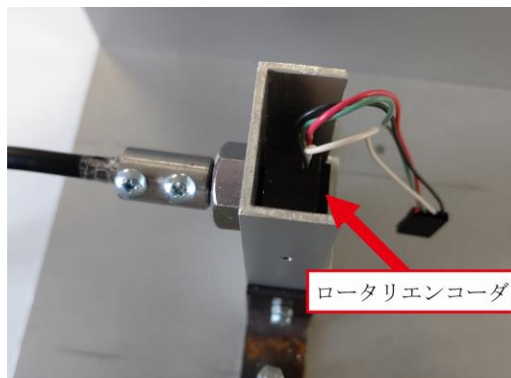


図 3 口腔部のひねり計測機構
Figure 3 Device to measure scope twist in oral.

次にスコープの押し引きの計測のための機構を構築した。押し引きの検出においては、内視鏡医によると 2~3cm 程度の奥行きがあればトレーニングとしては十分といった意見を得たため、余裕を持って 4cm ほど押し引きが可能になるよう開発した。

実装においては、図 4 のように、スライドボリュームのつまみ設置部分に図 3 の機構を固定して押し込み量の取得を行った。

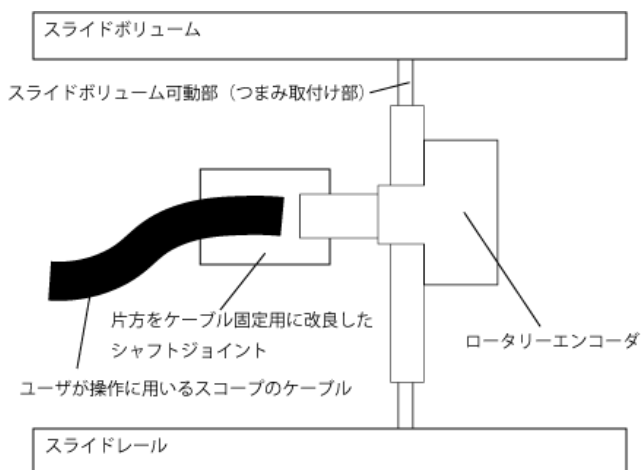


図 4 口腔部の押し引き計測機構
Figure 4 Intraoral scope push/pull measurement mechanism.

しかし、スライドボリュームは可動範囲が有限であるため、押し続けたり引き続けると終端に達することになる。そのため、ユーザが継続して力を加えると、スコープに繋がっているロータリエンコーダにその負荷が加わってしまう問題が考えられる。用いたロータリエンコーダは光学式のため非接点の機構になっており、回転による劣化はほとんどないが、スラスト方向への力を加える事は破損や劣化に繋がると考えられるため、図 5 の様にスコープの先端と接続したシャフトの回転を歯車で伝達することでロータリエンコーダの信号の計測を行った。この機構により、回転の力は歯車によって伝達するが、押し引きの力は歯車を介してはほとんど伝わることはないため、押し込み続けても

ロータリエンコーダに負荷が掛からなくなった。

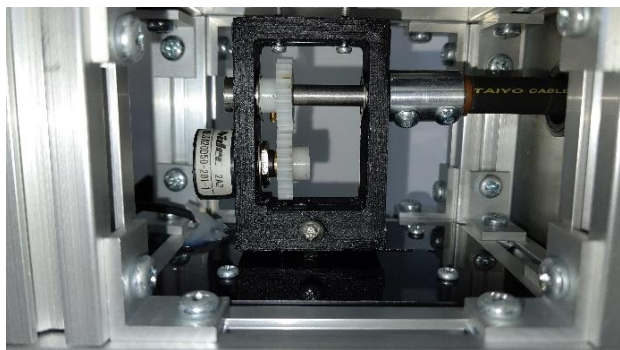


図 5 ロータリエンコーダに回転を伝達する機構

Figure 5 Gear mechanism for rotary encoder.

また、口腔部の機構を保護するため図 6 のようなアルミケースに内蔵したが、スコープの押し引きやひねった際にスコープがアルミケースの穴の側面と接触したことによる表面の摩耗痕があった。ケーブルの外被膜の厚みや材質を考慮すると断線するような摩耗ではないが、見た目の劣化に繋がるため、図 6 の赤矢印にて指している部分のように樹脂による保護を行い、ケーブルの摩耗を防止した。なお、インターフェースの制御のための基板もアルミケース内に内蔵した。

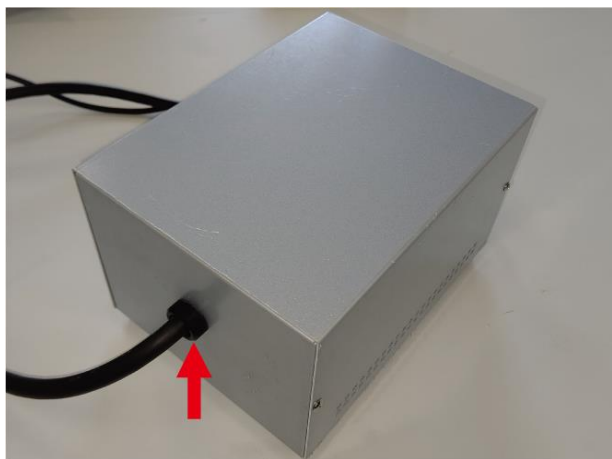


図 6 口腔部の操作のためのインターフェース

Figure 6 Interface for oral manipulation.

4.2 アングル部を模したインターフェースの実装

実際の内視鏡のアングルには図 7 のように 2 つのアングルノブが存在し、スコープ先端のパン・ティルト操作に用いられる。本研究ではアングルアングルノブの回転の検出はポテンシオメータを用いて実装した。

しかし、2 つのアングルノブは軸が重なっておりアングルノブとポテンシオメータを直接接続するだけでは実装できないため、図 8 に示すよう片方のアングルノブの操作を歯車で軸からずれた位置にあるポテンシオメータに伝達させるような機構を構築した。



図 7 実際の内視鏡アングルの操作部分

Figure 7 Operating part of endoscope angle.

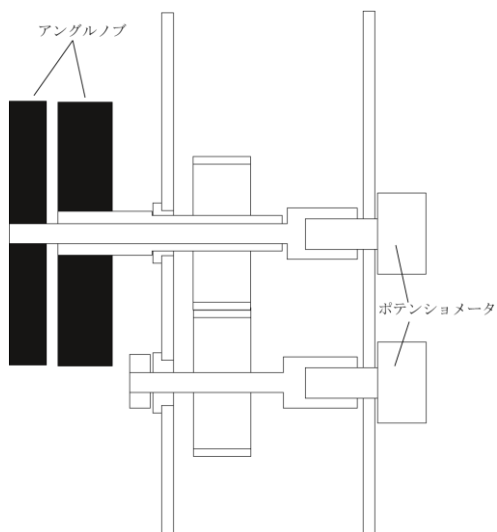


図 8 アングル部の 2 軸入力の実装手法

Figure 8 Implementation of 2-axis rotation of angle.

4.3 アングル部/口腔部の信号の処理

4.1, 4.2 にて取得した信号をゲームが稼動しているパソコンに対して送るため、1 度全てのセンサのデータを電圧やパルス信号を基に数値データに変換する必要がある。そこで Microchip 社が販売しているマイクロコントローラの PIC16F1827 (以後“本マイコン”と表記) を用い各センサの信号を処理した。

しかし、ポテンシオメータとスライドボリュームから得たデータには微細なノイズがあり、このままでは精密な操作が要求される ESD のインターフェースにて使うことは困難であった。そこで本マイコンにて取得した AD (Analog Digital) 変換値に対し FIR (Finite Impulse Response) フィルタを用い、ノイズの除去を行った。

また、ひねり操作を計測するためのロータリエンコーダの値が手振れやケーブルの自重によってわずかに振れていたため、ロータリエンコーダに関しては IIR (Infinite Impulse Response) フィルタによる値の平滑化を行った。

4.4 インターフェースとゲーム間の通信の実装

4.3 においてセンサ値の取得とノイズの除去が完了したのちに、ゲームが稼動しているコンピュータに対し、ユーザの操作情報を送信する機構を実装した。実装においては本マイコンには UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) 通信の機能を有しているため、ハードウェアレベルでの送受信の実装が可能である。各センサの数値化したデータを 16 進数に変換して送信するプログラムを実装した。本マイコンとゲームが稼動するコンピュータ間の通信を行うためには無線または有線での通信経路が必要となる。本インターフェースでは接続先のコンピュータからインターフェースを稼動させるための電力供給も同時に行えるよう共立プロダクツの KP-232R-5V [3] という USB (Universal Serial Bus) シリアル変換ケーブルを使用した。無線ではなく有線の本ケーブルを使用した理由として本ケーブルは双方向のシリアル通信が可能で、接続先のコンピュータからインターフェースを稼動させるための電力供給が可能であるためである。これにより、インターフェースとパソコンがあれば場所を選ばずトレーニングを行なうことが可能となった。

4.5 ゲームの実装

自作したインターフェースによる ESD トレーニングゲームを、Unity (Unity Technologies, San Francisco) で開発した。ゲーム画面を図 9 に示す。



図 9 ESD トレーニングのゲーム画面

Figure 9 Actual ESD training game scene.

ゲームは病変に見立てたスライムを配置し切除を行っていく内容とした。これは ESD に関する情報を収集した際に多くの ESD の説明に添付されているイラスト図において、切除前に病変部の被膜下層に生理食塩水などを注射し膨らんだ様子がスライムに見えたことに加え、ユーザが直感的に除去すべき対象であると把握できるように、多くのゲームで敵として用いられているスライムを採用した。

また、実際の ESD においては目印をつけてから切除を行うため図 10 に示すようにスライムの周りに点を配置した。赤い点は画面下部に表示される鉗子を当てることで切るこ

とが可能となっており、赤い点を切ると次に切るべき点が赤色になっていき、鉗子ですべて切ることでスライムを切除し倒すことができる仕様とした。スライムの周りの切り取り点は次に切るべき点が赤 (図 11 左)、切る前の点は緑 (図 11 中央)、切った後の点はグレー (図 11 右) とした。

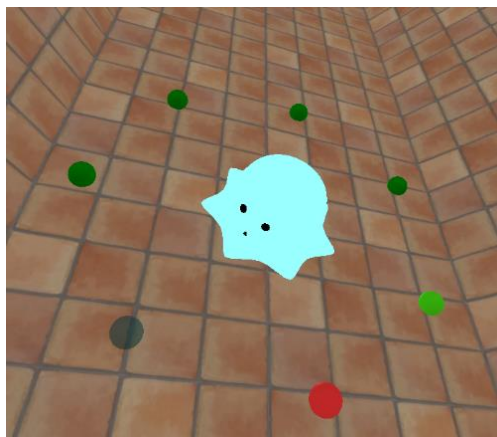


図 10 病変を模したスライムと切り取り点

Figure 10 Slime and cutout points that mimic lesions.



図 11 ユーザが鉗子で切るための点

Figure 11 Point for user to cut with forceps.

本ゲームでは 4 つのステージ構成とした。第 1 ステージでは操作練習のため図 12 のようなスコープのひねりやアングル操作だけでスライムを倒すことができたようにした。第 2 ステージでは ESD のように円形に切るように点を配置したが、スライムを底面に配置し、図 13 のようにアングルで少し角度をつけてひねるだけで倒すことができたようにした。第 3・4 ステージではスライムを側面に配置し、実際の ESD と同様アングルとひねりの両方の操作によって円形の軌道になるように切る操作が必要となる仕様とした。

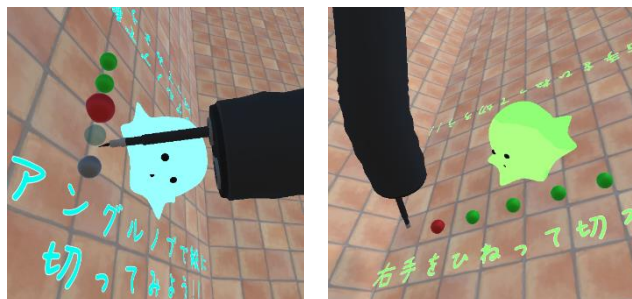


図 12 基本操作別の練習を俯瞰した図

Figure 12 Overhead view of the tutorial operation practice.

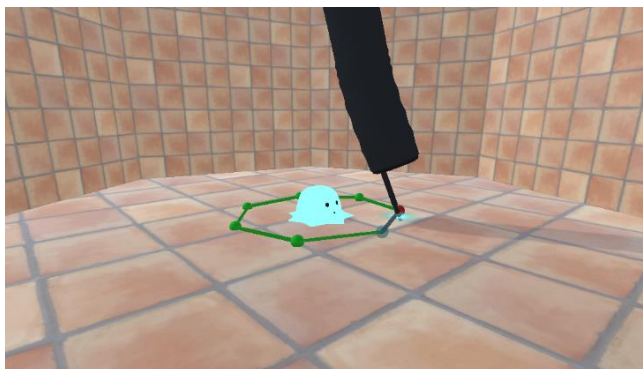


図 13 ESD トレーニングのゲーム画面
Figure 13 ESD Training Game Scene.

ゲームの全般操作について、本ゲーム中は左手でアングルをもち、右手はスコープのひねり操作に用いる必要があるため、使用したアングルとスコープをタイトル画面などのゲーム以外の画面における操作にも用いるよう設計した。

例えば、セレクト画面などの行先選択の操作としてはアングルのアングルノブの角度値を図 14 のように範囲を定め行先の画面を選択できるように実装した。

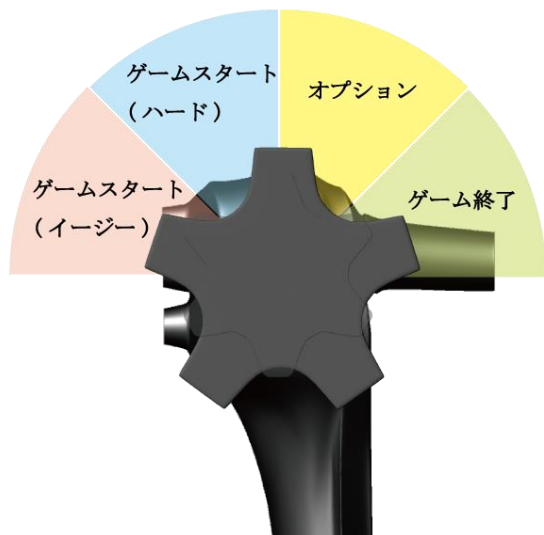


図 14 アングルアングルノブの選択方法
Figure 14 Bifurcation by angle of angle channel.

しかし、ゲーム開始時のアングルノブの角度によってはスコープ先端部が「し」の字型になってしまう問題が発生したため、ゲーム画面が開始する直前に図 15 のような「左右のアングルを中央に合わせてください」といった文言と実際のアングルの状態と中央の角度を示す UI を配置し、ゲーム開始前に位置合わせを行う機能を実装した。

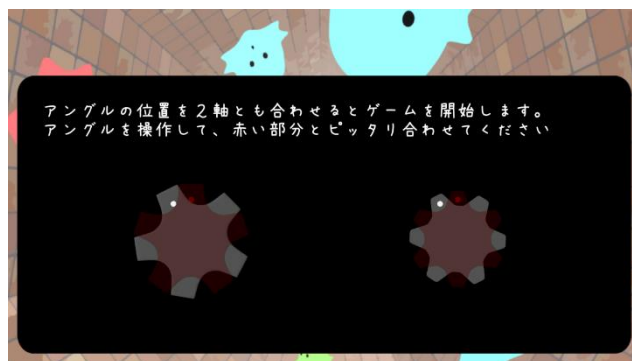


図 15 スコープのニュートラル角度への変更画面
Figure 15 Mode to adjust scope to initial angle.

また、次の画面に進むためにはスコープを1周以上ひねるような仕様にした。スコープを1周ひねったことを取得する手法としては、画面遷移時のスコープの角度を取得して保持しておき、現在のひねり角度との差分を基に判定処理を実装した。

しかし、次に進めるためにスコープをひねった後に、スコープから手を離したり、スコープを元の角度に戻したりすると、反対方向に回したと誤検知してしまい意図せず1つ前の説明に戻るといった問題が発生した。そこで、次に進む場合は3分の1周で進むことができるが、戻る際は進む際とは逆方向に1周以上回すまで1つ前の説明に戻らないように修正した。これは手を離れた場合にスコープのねじれや自重による回転では1周以上回すことはなく、誤検知を起こすことがないためである。

また、次にすすんだ後 0.4 秒程度の間は自重による誤検知が大きいため、進めた後 0.4 秒間は操作を受け付けないように改良を行い、誤検知を防止した。

図 16 は実際に作成したタイトル画面である。アングルノブの操作にて行先の場面を切り替え、スコープをひねると次の画面へと遷移する。アングル操作により図 14 のようにアングルノブの現在の角度によって分岐するように設計した。タイトル画面にてゲーム開始を選択して進んだ先には、図 17 のような ESD の説明や操作方法、ゲームのクリア条件などを説明するためのゲーム説明画面を構築した。



図 16 タイトル画面
Figure 16 Game Title Scene.



図 17 ゲーム説明画面

Figure 17 Game Description Scene.

図 18 はクリア後の画面である。クリア画面には QR コードが配置してあり、ユーザにアンケートの協力をお願いする目的で配置した。クリア画面もスコープのひねりのみでタイトル画面に戻るような仕様にした。



図 18 クリア画面

Figure 18 Game Clear Scene.

4.6 評価検証前の内視鏡医によるレビュー

実際のインターフェース及びゲームのプロトタイプを共著者でもある内視鏡医に評価させ、2度の改良を行った。

1 回目の評価ではアングルの横操作でも点を切ることができてしまう点が指摘された。実際の ESD では横方向のアングル操作はデバイスに大きな力がかからず病変を切除できないため、より大きく動く縦方向のアングル操作とスコープのひねりを組み合わせて病変を切除するためである。そこで、ゲーム内にて点と鉗子が接触した際に、アングルの縦方向の力もしくは口腔部のスコープをひねる力がかかった場合のみ切れるようにすることを検討したが、負荷量を計測するためのセンサを搭載していないためスコープをひねった量とアングルの角度の変化量からスコープ先端部の切る力を推定することにした。手法としてゲーム側のプログラムにて現在のフレームでのアングルの縦方向の値の変化量とスコープのインターフェース起動時からのひねりの累計値を 1 フレーム前と比較し事前に設定した閾値を超えた場合のみ力が加えられたと判定するようにした。

しかし、この方法では力を加えたフレームでしか力が加えられたと判定されず、点と接触する直前に速度を落とし

たりすると上手く点を切れないといった問題が発生した。そのため式 1 の様な処理を行うことでユーザが力を加えた直後も切れるように改良した。式 1 では 1 フレーム前の値に 0 以上 1 未満の値を乗算することで 1 フレームごとに以前加えた力が徐々に減衰するようにし、現在の力の値を加算する処理を行っている。

$$P = N + (L \times A)$$

- P . . . 力が加わっているか判別するための値
- N . . . 現在のフレームの力の値
- L . . . 1 フレーム前の P の値
- A . . . 減衰量 (1 で減衰なし, 0 ですべて減衰)

式 1 切除の際に加わっている力の計算式

Formula 1 calculating the force applied during resection.

2 回目の評価ではアングル部が少し大きく、持った時に操作がしづらいといった意見を得た。そのため、小型化したインターフェース外装(図 19)を作成した。ゲーム画面では刃が壁面に当たっているかわからず点との距離感がつかみづらいという意見に対し、刃が壁に当たった際に図 20 の様なエフェクトを実装した。



図 19 アングルの外装(右が修正前, 左が修正後)

Figure 19 Exterior angles. (right: before, left: after)

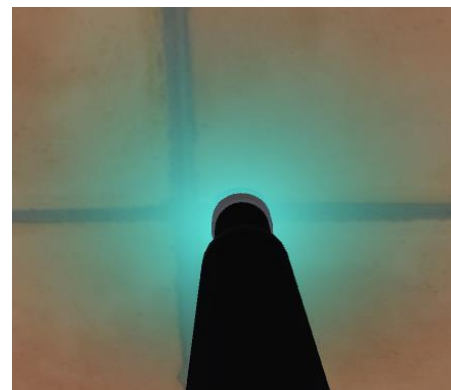


図 20 鉗子の接触時のエフェクト

Figure 20 Staging of forceps contact.

5. 評価実験・結果

5.1 予備実験

ゲームの使用感や、準備の時間について意見を得るため10名の内視鏡医の実験参加者(以下“被験者”と表記)を対象に予備実験を実施した。被験者にはゲームを起動したマシンにインターフェースのUSB端子を接続させたのち、ゲームを実際に体験させ、体験後にアンケートを実施した。アンケート項目を表1に示す。項目4及び6では、既存の内視鏡の操作感と本研究のインターフェースの操作感覚の違い、画面上の動きについてアングルノブ(縦方向)・アングルノブ(横方向)・スコープのひねり操作・スコープの押し込み操作の4つの小項目別に回答させた。

また、準備の時間や時間が既存のトレーニングと比較して簡易かつ少ない時間で実施できるかも検証するため、項目9/10において準備にかかる時間と工程の煩雑性について質問した。アンケートは年代を除き、全て5段階評価にて行った。

また、感想を記載するための自由記載欄を設け、さらに体験中の内視鏡医に口頭での感想や意見も求めた。

表1 アンケート内容
Table 1 Questionnaire List.

1	あなたの年代をご記入ください (~20代, 30代, 40代, 50代, 60代以上より選択)
2	ESDの施行をこれまでどのくらい行われましたか? (5回未満, 5~10回, 11~20回, 21~39回, 40回以上より選択)
3	内視鏡医としての年数をご記入ください (3年未満, 3~5年, 5~10年, 10年以上より選択)
4	内視鏡型インターフェースを操作してみて、各部の操作感の再現はできていると思いますか? ※アングルノブ(縦方向), アングルノブ(横方向), スコープのひねり操作, スコープの押し込み操作にて別々に回答 (1. 全く再現できてないと思う, 2. あまり再現できてないと思う, 3. どちらでもない, 4. 少し思う, 5. とても思う より選択)
5	インターフェースの操作感覚はESDトレーニングに用いることができると思いますか? (1. 全く思わない, 2. あまり思わない, 3. どちらでもない, 4. 少し思う, 5. とても思う より選択)

6	内視鏡インターフェースを操作してみて、操作とゲーム画面上の動きの再現度をどう思いますか? ※アングルノブ(縦方向), アングルノブ(横方向), スコープのひねり操作, スコープの押し込み操作にて別々に回答 (1. 全く再現できてないと思う, 2. どちらかという再現できてないと思う, 3. どちらでもない, 4. どちらかという再現できていると思う, 5. とても再現できていると思う より選択)
7	このゲームはトレーニングに有用であると思いますか? (1. 全く思わない, 2. どちらかというと思わない, 3. どちらでもない, 4. どちらかというと思う, 5. とても思う より選択)
8	医療現場において、トレーニングのためのゲームに対してどのようにお考えですか? (1. 好ましくない, 2. どちらかという好ましくない, 3. どちらでもない, 4. どちらかという好ましい, 5. 好ましい より選択)
9	準備にかかる時間は従来のトレーニングと比較してどう思いますか? (1. 従来のトレーニングの準備より大きく増えた, 2. 従来のトレーニングの準備よりわずかではあるが増えた, 3. あまり差はないと思う, 4. 従来のトレーニングの準備よりわずかでは減った, 5. 従来のトレーニングの準備より大きく減った より選択)
10	従来のトレーニングの準備と比較して準備の工程は簡単であると思いますか? (1. 難しくなったと思う, 2. わずかに難しくなったと思う, 3. 差はないと思う, 4. わずかに簡単になったと思う, 5. 簡単になったと思う より選択)
11	豚の内臓やシミュレータを用いた既存のトレーニングの頻度と今回のインターフェース/ゲームが手元にある場合どのくらいの頻度でトレーニングを行うと思うかをご記入ください。 ※豚の内臓を用いたトレーニング, シミュレータを用いたトレーニング, 体験いただいたデバイス/ゲームを用いたトレーニングにて別々に回答。 (0~5回, 5~10回, 10~15回, 15~20回, 20回以上 より選択)

評価結果を表2に示す。項目4はアングルの縦方向・横方向共に半数以上が「2. あまり再現できてないと思う」と回答する結果となった。対して、口腔部において押し込み操作は40%が「4. 少し思う」を選択し、40%が「3. どちらでもない」と回答した。ひねり操作においては20%が「5. とても思う」を回答し、40%が「4. 少し思う」を選択する結果となった。インターフェースの開始前の準備にかかる時間と手間に関しては90%の被験者は準備時間が短くなると回答し、準備の工程の簡易性に関しては70%の被験者が「5. 簡単になったと思う」を選択し、30%の被験者が

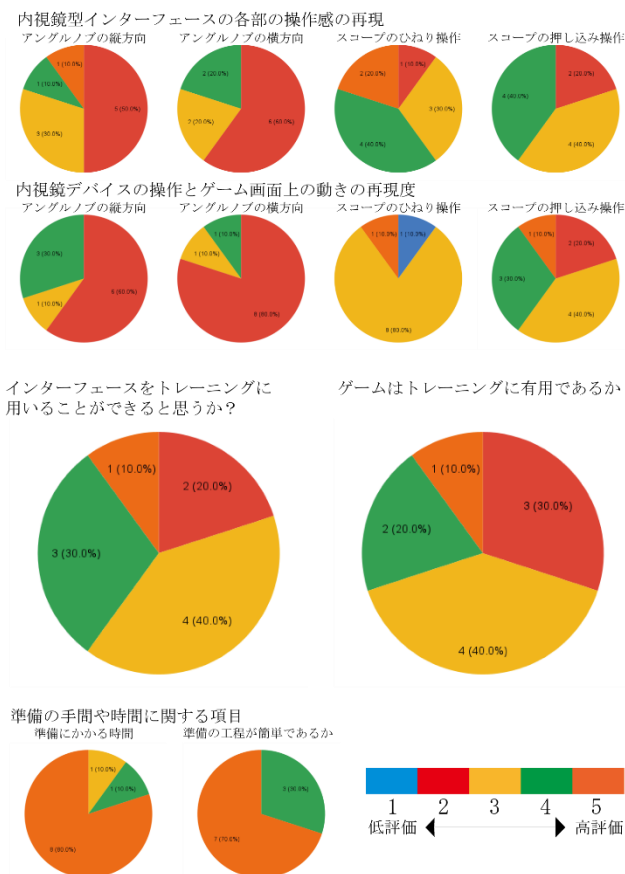
「4. わずかに簡単になったと思う」を選択した。

自由記載および口頭において、最も多い感想・改良点としてインターフェースのアングルノブを回す際の抵抗が少なく、少し回そうとした際に大きく動かしてしまうといった問題点が挙げられた。次にアングルノブの操作に対して、ゲーム内でのスコープのパン・ティルトの角度が大きい点が指摘された。他にはアングルの外装が修正後の段階でも少し大きいといった指摘があった。

評価後、得られた評価を基にアングルノブの抵抗感の調整を行い、ゲーム内でのスコープのパン・ティルトの角度調整を行った。その他に、アンケートや口頭での指摘はなかったが、タイトル画面にて図 14 のような操作のため、タイトル画面にてゲーム開始(イージーモード)を選択すると、説明画面が終えてゲームが開始した際にスコープが反った状態で開始するが、ユーザがスコープの状態を垂直にのびた状態であると錯覚した結果、スコープのひねり操作と押し引き操作が反転していると誤解する被験者が多くみられた。

表 2 予備実験結果

Table 2 preliminary experiment results.



5.2 本実験

得られたフィードバックを基に改良を行い、内視鏡医 4 名によるヒューリスティック評価法を用いた再検証を実施した。評価内容は表 1 の評価項目をベースに、アングルの

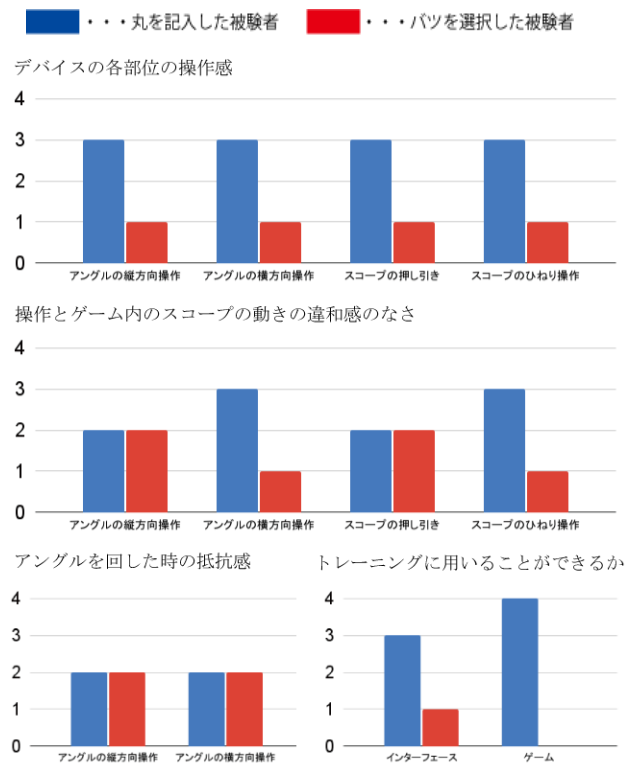
抵抗感などの改善を行った部分の設問を行い、内視鏡医による自由記述の評価を実施した。回答方法は質問項目を見た際に問題ない場合は丸を記入し、問題がある場合はバツの記入と理由について記載いただいた。

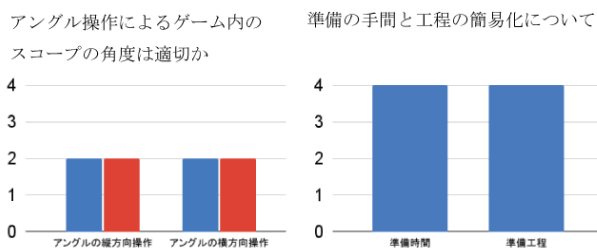
評価結果を表 3 に示す。インターフェースの各部位の操作感覚の再現度に関してはすべての項目で 4 人中 3 名が丸を選択する結果となり、別途行ったインターフェース全体を見てトレーニングに有用であるかという質問にも 4 名中 3 名が丸を選択した。アングルを回した際の抵抗感に関しては 4 名中 2 名が丸を選択した。バツを選択した被験者の意見として、まだわずかに軽いといった意見が挙げられた。

ゲーム部分においては被験者のインターフェースの操作とゲーム内でのスコープの動きの違和感においてはアングルの縦方向は丸が 2 名、横方向は 3 名となった。バツの被験者の意見として、実際の内視鏡ではアングル操作とスコープの動きはぴったり連動しているが、ゲーム内でのスコープの動きは加速的な動きであると感じたといった意見が挙げられた。口腔部においては押し引きの操作は 2 名が丸、ひねりに関しては 3 名が丸を回答した。バツを選択した被験者より、押し引き可能な範囲より先に動かそうとすると動かないといった意見が挙げられた。本ゲームがトレーニングになるかといった質問においては 4 名全員が丸を選択した。

表 3 本実験アンケート結果

Table 3 full-scale experiment results.





6. 考察

評価結果として、アングルの形状とアングルの抵抗感に対する意見が最も多く見られた。理由として、左手の親指を用いて片手でアングルノブを回すために、左手の他の指や手のひらを用いてアングルを支える必要があり、アングルの外周が実際の内視鏡のアングルより大きいとうまく支えにくくなり、操作が安定を損なうためであると考えられる。

また、アングルの抵抗感に対する意見が多かった理由も同様に親指だけでアングルノブを回すため、抵抗感が少ないと視野が大きく動いてしまい、緻密な操作ができないためであると考えられる。

口腔部に関してはおおむね良い評価結果であったが、スコープを引いたときにゲーム内で押したように動いたと誤解されるケースがわずかに見られた。これはスコープの先端部がアングル操作によって、「し」の字型に反った状態になっていることがわかりにくいためであると考え、図 15 の画面を追加した。ゲーム画面においてもステージのグラフィックが前後対称であるためどちらが奥方向であるかわかりにくい点が原因であると考えられる。そのため、スコープがどの方向から挿入されているかわかるようなゲーム的表現を実装する必要があると考えられる。

押しきった状態になって押せなくなる点に関してはひねり同様、無制限に検出できる機構を実装するか、押し込み距離を増やす工夫が必要であると考えられる。

また、ゲーム部分においては、スコープのアングル操作による動きが加速的で違和感があるといった問題点が挙げられたが、これは 4-3 にて述べた FIR フィルタにより、アングルの回転角の値が補完されながら変化するため実際の操作とゲーム内の動きにわずかな遅延があるためであると考えられる。この問題は FIR フィルタに用いるバッファ数を減らすことで古い値の影響を受けにくくすることで解決すると考えられるが、その分ノイズの影響も残りやすいため、微調整を行う必要がある。

なお、既存のバーチャル・リアリティでの ESD トレーニングには数千万円するシミュレータの導入が必要だが、本インターフェースは数万円程度の初期コストで導入可能であり、ランニングコストもかからないため対費用効果は高いと考えられる。

また、インターフェースをパソコンの USB 端子に接続するだけで使用できるほか、バスパワーによる稼働が可能のため、コンセントの有無や電池などの交換の手間もなく気軽に利用できることを考慮すると、トレーニングの準備にかかる手間や時間の削減効果が高いと考えられる。ゲーム用インターフェースの開発と併せ、コストや準備の手間をかけずに日常的に楽しくトレーニングできることで、高いモチベーションを維持できるシリアスゲームを開発できたと考える。

7. まとめ、今後の展望

本研究で開発したインターフェースおよびゲームは準備の手間をかけずに ESD のトレーニングに用いることができると予想される。今後は、さらなるインターフェースの改良を行いつつ、率先してプレイしたいとユーザに感じさせるようなゲームへと、より昇華させていきたいと考えている。

今後、日本では胃癌患者の減少により ESD の機会が減ると予想されるが、海外では技術向上の機会がないため未だに ESD が一般的には行われていない地域もある。本研究を継続・発展させていくことで、本邦における将来的課題だけでなく、地域間における医療格差を世界レベルで解決できる可能性もあると推察される。本研究が ESD のさらなる普及の一助になれば幸いである。

謝辞 評価実験にご協力いただきました九州大学病院および各所の皆様方にこの場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Thomas R. McCarty, 相原弘之: 米国における Endoscopic Submucosal Dissection (ESD) トレーニングの現況: 日本における ESD の普及戦略を米国でどのように活用できるか, 日本消化器内視鏡学会雑誌, 63 巻, 3 号, pp.319-330 (2021)
- 2) Patrick Haubruck, Felix Nickel, Julian Ober, Tilman Walker, Christian Bergdolt, Mirco Friedrich, Beat Peter Müller-Stich, Franziska Forchheim, Christian Fischer, Gerhard Schmidmaier, Michael C Tanner: Evaluation of App-Based Serious Gaming as a Training Method in Teaching Chest Tube Insertion to Medical Students: Randomized Controlled Trial, Journal of Medical Internet Research, Vol20, No 5 e195 (2018)
- 3) 共立プロダクツ KP-232R-5V
<https://prod.kyohritsu.com/KP-232R-5V.html>