

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：55401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K15257

研究課題名(和文) 運針術習得システムの開発

研究課題名(英文) Development on Suture Technique Learning System

研究代表者

岩本 英久 (IWAMOTO, Hidehisa)

呉工業高等専門学校・機械工学分野・教授

研究者番号：40232714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：平成27年度に医学教育における基本手術手技の教育状況を把握するために、全国80校の医学部に「基本手術手技に関するアンケート調査」を実施した。その結果、医学部生に対して特に重要な基本手術手技は運針と結紮であることも明らかになった。平成28年度には手術器械の形状から導出される最適運針動作の理論の構築および動作設計のために、刺入動作と刺出動作のモデル化を行いロボットによる運針実験を行った。刺入動作については角針と丸針を実施し、損傷量の少ない理想的な条件を求め、動作設計ができた。平成29年度には運針術習得システムの基本構成となる、内視鏡下手術のための運針動作計測システムを開発した。

研究成果の概要(英文)： In 2015, basic surgical procedure was investigated by questionnaires to 80 medical schools in medical education. As results, it became clear that the basic surgical technique which were important for medical students were ligation and needle handling motion. In 2016, pricking needle motion and pulling needle motion were modeled to experiment by robot to construct the theory of optimum handling motion derived from the shape of surgical instruments. Cutting needle and round needle were experimented by the robot on the pricking needle motion, indicating that the ideal condition was found with a small amount of iatrogenic injury and the motion design was possible. In 2017, needle handling motion analysis system for endoscopic surgery was developed, that was basic composition of the needle handling motion learning system.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：外科手技教育 運針術 医原性損傷 動作設計 彎曲針 内視鏡下 医療の質

1. 研究開始当初の背景

総合診療専門医の養成において、患者に最良の処置を施すために教育・研修段階で手術野や器械の特性に応じた手術テクニックを習得させ、基本手術手技の質を向上させることは肝要である。そのために、個人的技量を排除した理想的な動作を設計・評価し、外科手技動作の中でも運針動作について標準化し、研修生のニーズに応えた運針術習得システムの開発を行う必要がある。まず、運針術における手技向上に関する教育ニーズを調査する一方で、手術野を制約条件とし、手術器械の形状から機構学的に導出される器械の操作方法をロボットで再現する。人間の動作をもとに標準化するのではなく、器械や手術環境から導かれる最適な動きを規格化しつつ、研修生の要望に合致する教育システムの開発を目指す。

2. 研究の目的

平成 27 年度から 28 年度までに、医学部へのニーズ調査、器械操作方法に関する研究を行ったので、本報告では、内視鏡下手術における運針術習得システムを開発するために、平成 29 年度に実施した内視鏡下における手術動作を定量的に把握するためのシステム開発に関する成果について報告する。

内視鏡下手術では、さい部（～そ）の周囲に内視鏡を腹腔内に挿入し、内視鏡カメラが捉えた映像がモニタ上に映し出される。術者は映像を観察しながら手術を行う。内視鏡下手術は開腹手術と比較すると手術痕が微小であり、術後疼痛が少ない手術方法であるため、術後の回復が早く、入院期間の短縮と早期の社会復帰が実現できることなどのメリットがある。一方、内視鏡下手術は腹部に差し込んだポートを支点とした動作を実行するため、カメラの位置が常に変化することにより、手術器械操作が容易ではない。したがって、内視鏡下手術は手術器械操作の難易度が高くなるため、熟練した技術が必要となる¹⁾。このような難易度の高い内視鏡下手術を指導する熟練医は少なく、日常の手術業務が多い熟練医が修練医の教育に割く時間も不足しており、熟練医育成のための効率的な技能訓練手法が望まれている。従来トレーニング手法であるドライボックスを用いた手法においては、熟練者が修練医に指導する際に、モニタ画面を指差しながら指摘するなど言語を用いて指導することがほとんどであり^{2～3)}、修練医は熟練医における力のかけ方などの技術を完全に習得していない状態で試行錯誤を繰り返している。また、手術器械の動作結果を評価するトレーニング方法がすでに開発されているので⁴⁾、医療教育現場では手術器械の操作過程において評価する方法に関する研究が求められている。

そこで本研究は、手術器械操作などのスキルを伝達する手段として数値的な情報として、位置や力を熟練医と修練医との間で共有する手法を考案する。手術器械操作の対象と

して運針の動作過程に注目し、その動作を評価できるシステムを開発するために、運針動作を把握し解析するシステムを開発し、内視鏡下手術における運針技術の習得を支援する。

提案する運針術習得システムはドライボックス内で持針器や鉗子などの内視鏡下用手術器械を用いて行う作業を、2 台のカメラで位置計測し、器械の動作軌跡を抽出後、動作の解析を行う。運針動作対象に負荷される力は 6 軸力覚センサで測定し、動作軌跡との関係を解析する。動作軌跡と運針対象物への力の関係を修練医に示すことにより、適切な運針技術を習得するシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

(1) 内視鏡下手術について

内視鏡下手術では、さい部に 10 mm 程度の切開を数カ所に施し、トラッカという筒状の器具を挿入する。その後、手術用の鉗子類を挿入する。カメラの映像をモニタに映し出し、その映像を見ながら手術を行う。

内視鏡下手術は開腹手術に比べて傷口が小さく、治療期間の短縮により早期退院、早期社会復帰や、医療費を軽減できるメリットがある。また、患者の体に対する負担および合併症も少ないことも利点である。一方、手術中のカメラ画像だけでは、立体的な 3 次元映像を得ることが難しく、腹腔に挿入できる手術機器にも制限がある。したがって、内視鏡下手術には熟練した技術が必要となる。

内視鏡下手術トレーニングはボックストレーニング、動物（ブタ）手術でのトレーニング及び VR トレーニングが主に行われている^{1～3)}。

ボックストレーニングは基本的な鉗子操作に加えて、結さつ（糸結び）、縫合操作を練習できる。動物（ブタ）手術のトレーニングは日本内視鏡外科学会（JSES）の技術認定取得に必要な講習受講歴の中で特に推奨される項目であり、現在に至るまで多く行われている方法である。上部腹腔内の解剖はブタと人間で類似点が多いため、実際の手術に近い環境でシミュレーションできるメリットがある。デメリットは、ブタと人間では細部が異なり、コストが高いこと、および動物を犠牲にする点である。VR トレーニングのメリットは術者が想像する操作を内視鏡下で、生体を使用せずに的確にするための基本スキルを獲得できる点である。デメリットは糸の質感の無さ、膜の剥離が表現できないこと、およびコストが高く、機種ごとに性能が異なる点である。現在も新機種が開発されており、性能の向上に期待されている。

(2) 提案する運針術習得システム

本研究では腹腔鏡下手術の練習で使用されているトレーニングボックスを使用する。図 1 はシステムの全体の概要図である。被験者がモニタを見ながら作業するために 1 台のカメラを被験者の手元に置き、2 台のカメラ

をトレーニングボックスとモニタの間に設置し、トレーニングボックス内の状況を記録する。ドライボックス内には6軸力覚センサを設置し、組織に負荷される力を計測する。

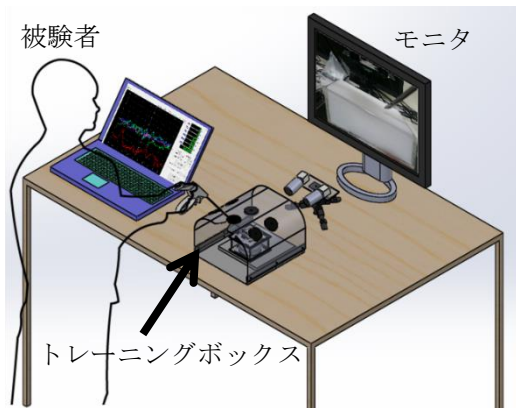


図1 システム全体図

(3) 使用する機器

使用する器具はスポンジ（アズマ工業、70mm×110mm×40mm）、スポンジ固定用治具、縫合針（ジョンソンエンドジョンソン、丸針針長 22mm）、剥離鉗子（オリンパス、Φ 5mm（テーパ型）、長さ 330mm、A63313A）、鉗子（オリンパス、Φ 5mm（メッツンバーム型）、長さ 330mm、A63813A）、持針器（カールストルツ・エンドスコピー・ジャパン株式会社、ストレート、Φ 5mm、長さ 330mm、K26173 KAF）、トロッカ（ジョンソンエンドジョンソン、M3T）、USB3.0 カメラ（松電社、DN3RG-200）、固定焦点レンズ（松電社、SM08516-MP3）、同期信号発生器（コンテッ、DAI16-4(USB)）、同期動画撮影ソフトウェア（松電舎、TriggerSyncREC）カメラ固定用治具、モニタ（三菱電機、RDT241WH-BK RDT234WLM-S）、計算機（Intel、NUC7i7bnh）、トレーニングBOX（寿技研、GLT0）、三脚（SILK、MINI PRO 7N）、6軸力覚センサ（レプトリノ、LGR101U）、6軸力覚センサ計測ソフトウェア（レプトリノ、LGR101AU）、センサ設置治具である。

(4) 3次元位置計測手法

図2に示すように、ドライボックス内で操作される縫合針と持針器の動きを記録する。

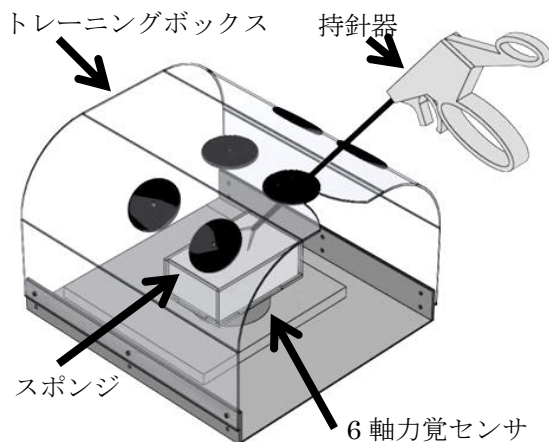


図2 トレーニングボックス内の概要

本研究では、位置情報をテンプレートマッチングにより抽出することを提案する。また、トレーニングボックス中に、作業対象としてスポンジを設置し、そのスポンジを保持するための治具の下に6軸力覚センサを設置する。運針実験では、治具にスポンジを取付け、持針器や鉗子を用いスポンジ上で作業を行う。

(5) 3次元位置計測手順

2台のカメラを用いて3次元空間内における任意の点について三次元座標値を推定し計測する。図3に3次元で位置計測するためのフローチャートを示す。計測される手術器械の動きは1秒間に30フレームで記録する。初めに、取り込んだ画像でキャリブレーションを実行し、歪係数、焦点距離、画像中心、画像（画素）サイズ、歪収差係数の内部パラメーター、ワールド座標系におけるレンズの中心座標、およびレンズ光軸の方向の外部パラメーターを求める5）。記録した動画は傾きが生じているので画像に平行化処理を行う。平行化処理のことをレクティフィケーションという6）。2台のカメラをカメラAとカメラBとすると、カメラAの画像中の点に対応する点をカメラBから見つけ出すために、テンプレート画像を用い、特徴点を抽出し1フレームごとのテンプレート画像とカメラAおよびBの画像の類似度を算出する。それら

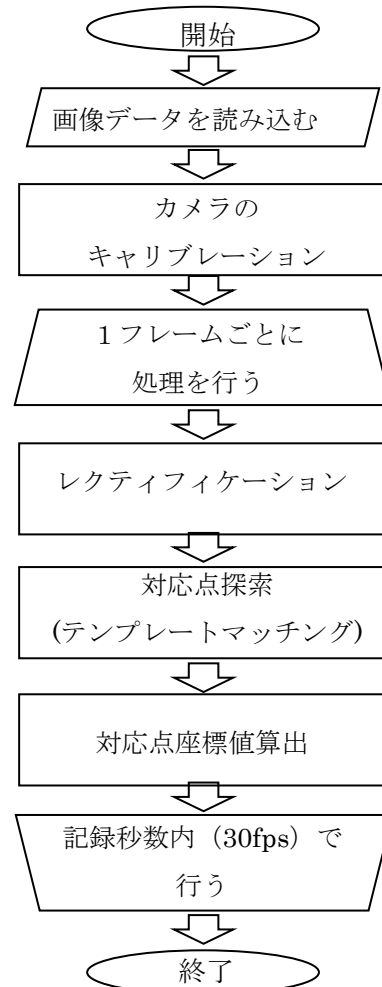


図3 3次元位置計測のフローチャート

を利用してカメラ A および B の対応する点を探索して座標値を算出する 7)。テンプレートマッチングには、テンプレート画像を使用する。図 4 に縫合針のテンプレート画像を記録するための治具を示す。テンプレートマッチングで求めるカメラ A および B の対応する点座標のズレを利用し、三角測量の原理で距離を求め、すべてのフレームの画像解析を行うまで繰り返し処理を行う。

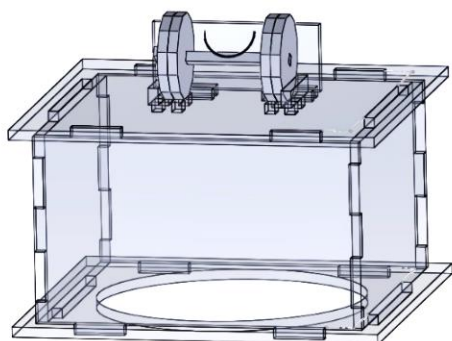


図 4 X 軸のテンプレートマッチング治具

(6) テンプレートマッチングのための治具
テンプレートマッチングとは、テンプレート画像を用い、画像内の対象物の類似点を求め、その位置情報を抽出する手法である。縫合針の位置は縫合針とテンプレート画像との類似度を求めて、推定する。

パターンマッチングを行うためのテンプレート画像を記録する。縫合針を 0° 、 30° 、 60° 、 90° に回転させ、各角度で記録をする。y 軸、z 軸においても同様にそれぞれテンプレート画像を記録する。図 5 は x 軸における 60° に傾斜したテンプレートの画像である。

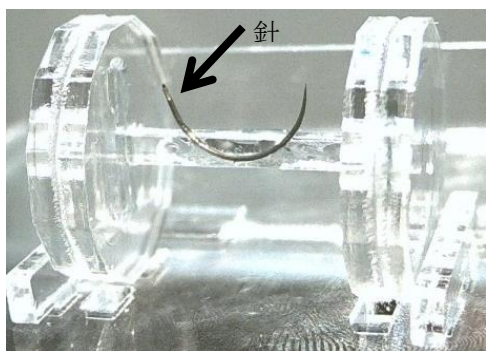


図 5 x 軸において縫合針を 60° に傾斜させた画像

(7) USB カメラ同期録画用 Kit

2 台の USB カメラを同期させるための USB カメラ同期録画用 Kit は、2 台の USB カメラと、カメラの同期信号を発生する同期信号発生器および同期動画撮影ソフトウェアで構成されている。接続図を図 6 に示す。ソフトウェアは、USB カメラを接続すると起動し、記録画面が表示される。記録画像の保存先は録画用フォルダに設定する。以下の 6 項目について、Camera Setting, shutter

speed, Color Setting, Luminance Adjustment, Resolution, Frame rate を設定すると、REC で記録を開始し STOP で停止することができる。

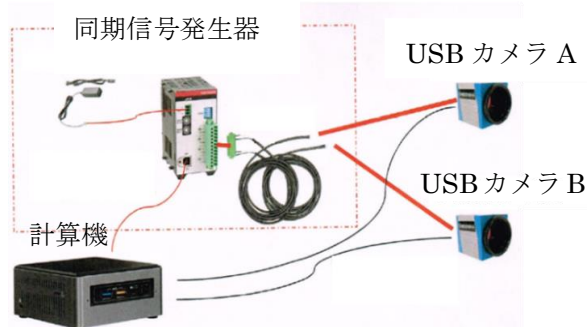


図 6 USB カメラ同期録画 Kit の接続例

(8) 運針動作の力解析方法

6 軸力覚センサは、力およびモーメントの大きさと方向を 3 次元空間ベクトルで示すことができる。各軸方向の力成分を F_x 、 F_y 、 F_z 、各軸回りに作用するモーメント成分を M_x 、 M_y 、 M_z 、で示す。USB を経由して計算機に各信号を記録できる。図 7 に 6 軸力覚センサの寸法を示す。

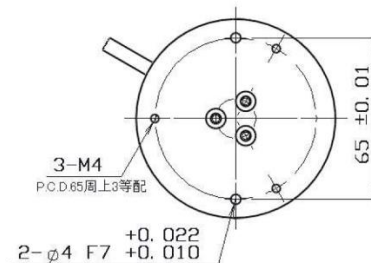


図 7 6 軸力覚センサの寸法

(9) 運針動作実験手順

- 運針動作実験の手順を以下に示す。
- ① 運針対象物のスポンジをトレーニングボックス内にある 6 軸力覚センサ上の治具に取付ける。
 - ② 計算機、6 軸力覚センサ、モニタ、USB カメラおよび 2 台同期信号発生器を接続し、計算機を起動する。USB カメラ 2 台は同期信号発生器に接続し、三脚に固定する。
 - ③ 同期動画撮影ソフトウェアを起動し、USB カメラの位置を定める。
 - ④ 力覚センサ計測ソフトウェアを起動する。
 - ⑤ トレーニングボックスにトロックを取付ける。
 - ⑥ REC を押して録画を開始し、内視鏡用鉗子、内視鏡用持針器および丸針を使用してスポンジに運針を行う。
 - ⑦ 運針が終了すると、録画と計測を停止する。

4. 研究成果

運針実験の適用例として、2 名の被験者による運針動作の実験を行った。3 次元の位置計測システムが完成していないため、今後、

運針術を習得するためのシステム開発に役立てるために、6軸力覚センサによる計測結果と各被験者の動作を考察した。

(1) 被験者の属性

2名の被験者において、被験者Aの属性は年齢、性別、身長、体重、利き腕、職業の順に20才、男、171cm、63kg、右、工学系の学生であり、被験者Bはそれぞれ20才、男、176cm、72kg、右、工学系の学生であった。

(2) 解析結果

動作解析として運針動作について分析した。動作区分において、記録された画像における針の動きと力データの変化から判断した結果、運針動作は刺入動作、曲線動作、針離し動作、針掴み動作、針引抜動作、糸引抜動作の6つに区分できた。一方、Fx, Fyおよび各軸における3つのモーメントについて、運針した際の針の角度が一定でなく、計測したモーメントは各軸の力と比べてもかなり小さいかったため、動作の考察において、動作とFzの関係について考察することとした。つまり、Fx, Fyと各軸のモーメントは省き、Fzに注目し、動作との関係を考察した。図8に被験者AにおけるFzと区分された動作を示した。負のFzは下方向に運針対象物のスポンジに力がかかったことを示していた。表1は被験者AおよびBの各動作区分におけるFzにおける正の最大値と、負の最小値を示した。

刺入動作、曲線動作、針離し動作および針掴み動作において、被験者AとBにおけるFzは負であり、ともに下方向に力がかかっていた。したがって、この動作間では針をスポンジに押し付けて運針していたことがわかった。

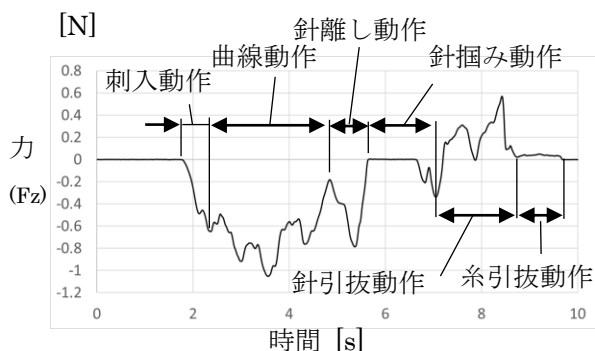


図8 被験者AのFzのグラフと各動作の関係

表1 各被験者における動作区分におけるz軸の力Fzの大きさと時間の関係

被験者	測定項目	動作区分					
		刺入動作	曲線動作	針離し動作	針掴み動作	針引抜動作	糸引抜動作
A	時間(s)	0.57	2.47	0.81	1.38	1.70	0.91
	正最大値(N)	0	0	0	0	0.57	0.55
	負最小値(N)	-0.65	-1.05	-0.79	-0.34	-0.34	0
B	時間(s)	1.77	8.06	1.11	1.72	1.07	2.78
	正最大値(N)	0	0	0	0	0	0.07
	負最小値(N)	-1.13	-2.85	-1.68	-0.48	-0.61	-0.50

た。針引抜動作においては、被験者BのFzは負の状態であったが、被験者AのFzは、図8に示すように、動作中に負から正の状態になっていた。つまり、力の方向性において、被験者により異なっており、動作のノウハウを明らかにできることが期待できた。また、被験者Aの動作のほうが被験者Bに比べ、Fzの数値が低めであることから、運針対象物(スポンジ)への負荷が少ないことを示していた。

本システムにより、運針対象にかかる負担を推測でき、これらの数値により動作中の組織への負荷を動作内容と力の関係を明らかにすることができた。今後は外科医に適用することで、熟練者と修練者の違いを見出すことができ、習得システムに応用できると考えられた。

(3) まとめ

内視鏡下手術における運針動作の操作過程を記録し、運針技術の習得を支援するためのシステムを考案した結果は以下の通りであった。

(a) 手術器械の3次元位置計測のために、テンプレートマッチング手法を用いることを考案し、その治具を製作した。

(b) 運針動作を、刺入動作、曲線動作、針離し動作針掴み動作、針引抜動作、糸引抜動作の6つに分類することができた。

(c) 6軸力覚センサにより、運針対象物にかかる負担が推測でき、その結果と、運針動作との関係を明らかにすることができ、今後は熟練医と修練医に適用することで、両者の違いを見出すことができ、習得システムに応用できると考えられた。

(4) 今後の課題

今後は、手術器械の位置を3次元で計測するための画像処理を行うプログラムを開発する必要がある。また、評価基準として、平成28年度に理想的な運針軌道を見出したが、熟練医のデータに基づく適切な動作を解析する必要がある。つまり、標準化された理想的な運針動作、熟練医の動き、および動作対象の損傷程度、さらに研修生が主観的に感じる動きやすさで評価しなければならないので、さらなる開発を進めつつ、本システムを完成させたい。

(5) 謝辞

本研究を遂行するにあたり、アンケートでは全国の医科大学長および医学部部長の先生方と、システム開発にご助言いただいた、北海道大学医学部消火器外科学教室Ⅱ教授平野聡先生、准教授 倉島庸先生、教育助教授村上壮一先生、香川大学医学部手術部長 臼杵尚志先生、首都大学東京大学院教授 梶原康博先生、広島工業大学工学部教授 宗澤良臣先生、富山大学大学院教授 神代充先生、千葉工業大学社会システム科学部准教授滝聖子先生に感謝申し上げます。

<引用文献>

- 1) 三澤一成, 藤原道隆, 小寺泰弘, 小池聖彦, 中山吾郎, 伊藤友一, 中尾昭公: 内視鏡外科手術の教育におけるバーチャルリアリティ手術シミュレータの役割, VR 医学, Vol. 7, No. 1, pp. 37 - 43, 2009.
- 2) 常明, 青山一真, 古川正紘, 小濱和貴, 坂井義治, 前田太郎, 安藤英由樹: 腹腔鏡手術のボックストレーニングにおける立体情報提示が針刺入スキルの学習に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 日本バーチャルリアリティ学会, Vol. 20, No. 4, pp. 299-309, 2015.
- 3) 藤原道隆, 福本良平, 田中千恵, 小寺泰弘: 腹腔鏡手術スキルに関する augmented reality シミュレータ訓練の有用性の検討: -virtual reality シミュレータ訓練との比較, VR 医学, Vol. 11, No. 1, pp. 7-12, 2013.
- 4) 山下実, 植村宗則, 松岡紀之, 家入里志, 大内田研宙, 赤星朋比古, 富川盛雅, 池田哲夫, 橋爪誠: 内視鏡外科手術における縫合技術評価法の有用性に関する研究, 日本コンピュータ外科学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 15-22, 2015.
- 5) 新井啓介, 森本浩介, 山名早人: 特徴領域の位置関係に着目したテンプレートマッチングによる類似物体検出, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-CVIM-172, No. 4, pp. 1-8, 2010.
- 6) 福嶋慶繁, 松本健太郎, 圓道知博, 藤井俊彰, 谷本正幸: 3次元映像情報メディア技術特徴点軌跡並行化による2次元カメラアレイレクティブイクエーション, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 4, pp. 564-571, 2008.
- 7) 金澤靖, 金谷健一: 2画像間の特徴点対応の自動探索シーンに関する知識を上手に使う, 画像ラボ, Vol. 15, No. 11, pp. 20-23, 2004.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- (1) 岩本英久, 宗澤良臣, 神代充, 梶原康博, 平上文明ビクター, 植村匠: A Study on Prick-Motion Analysis for Suturing in Surgery (査読付), Asia-Pacific Journal of Industrial Management, Volume4, Issue 1,

2015-7, pp. 81-87.

(2) 岩本英久, 環境把握支援装置開発のための歩行環境調査に関する研究 (査読付), 福祉工学会誌第20巻1号, 2018-5, pp. 5-12.

[学会発表] (計5件)

(1) 幾久健, 岩本英久, 神代充, 宗澤良臣, 梶原康博: 手術用強彎針を用いた刺入動作における医原性損傷量の計測に関する研究, 平成27年度経営工学会秋季大会予稿集, 2015-11, pp. 222-223.

(2) 岩本英久, 幾久健: 手術用彎曲針を用いた直線的な刺入動作による医原性損傷に関する研究, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016-9, s0450505.

(3) 岩本英久: 基本手術手技の動作解析に関する研究, Medical Art Expert 研究会セミナー-手術手技の暗黙知を形式知化する-, 2017-3, 招待講演.

(4) 岩本英久, 福田友哉, 山本拓真: 彎曲丸針の直線的刺入による医原性損傷の軽減に関する研究, 平成29年度日本経営工学会秋季大会予稿集, 2017-11, pp. 196-197.

(5) 岩本英久, 宗澤良臣, 神代充, 梶原康博, 滝聖子, 福田友哉: Development of Needle Handling Motion Analysis System in Endoscopic Surgery (査読付き), 14th International Conference on Industrial Management, 2018-9 (発表予定), Hangzhou (杭州), China.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等: 無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者:

岩本英久 (IWAMOTO, Hidehisa)

呉工業高等専門学校・機械工学分野・教授

研究者番号: 40232714

(2) 研究分担者: 無し

(3) 連携研究者: 無し

(4) 研究協力者: 無し