慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	内視鏡手術トレーニングにおける感性計測を用いた客観的評価手法の研究
Sub Title	A research on objective evaluation method for endoscopic surgery training using Kansei measurement
Author	齋藤, 健一郎(Saito, Kenichiro) 当麻, 哲哉(Tōma, Tetsuya)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2021
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2021年度システムデザイン・マネジメント学 第470号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002021-0034

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文　　2021 年度

内視鏡手術トレーニングにおける
感性計測を用いた客観的評価手法の研究

齋藤 健一郎
（学籍番号：82033277）

指導教員　当麻 哲哉

2022 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論文要旨

学籍番号	82033277	氏　名	齋藤 健一郎

論文題目：
内視鏡手術トレーニングにおける感性計測を用いた客観的評価手法の研究

(内容の要旨)

近年飛躍的に普及している内視鏡手術はトレーニングに要する時間が長い。その要因として従来のトレーニングではアンケートなどの主観的な自己評価、もしくはできた・できなかったというアウトプットのみで評価されており、作業中の操作者の状態がわからず充分に習熟度を把握できていないことが問題点であった。

本研究では簡易的な脳波計“感性アナライザ”を用いた感性計測に着目して、内視鏡手術トレーニングの客観的評価について探索的な分析を試みた。実験では内視鏡操作経験の異なる医師、研修医および医学生計 29 名に感性アナライザを装着して内視鏡手術トレーニング用ドライボックスを操作してもらい、1) 内視鏡操作経験による成功・失敗時の感性の違い 2)上達しやすい人と上達しにくい人の感性の違いを調査した。

その結果、1) 内視鏡操作経験があると操作の成功時・失敗時に感性の差はないが、未経験だと失敗後に Excite 値が下がることが判明した 2) 上達しやすい人と上達しにくい人は Concentrate 値に差があること、この指標が下がることでスキルとして習得したことの指標となる可能性を示し、またこれはアンケートなどの主観評価では得られない指標であることを明らかにした。

考察として、内視鏡手術トレーニングにおける感性計測を用いた評価手法によって習熟度の定量的な評価につながる可能性を示唆した。

総括として、本研究では内視鏡手術トレーニングでの客観的評価手法について探索的に分析した。その結果、感性アナライザを用いた感性計測を用いることによって従来は得られなかったトレーニング中の操作者の状態をリアルタイムでモニタリングすることでトレーニング経験や、習熟度の差を感性の指標で定量的に評価することに成功した。

キーワード（5 語）
医学教育、内視鏡手術トレーニング、感性計測、脳波計

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	82033277	Name	Kenichiro Saito

Title
A Research on Objective Evaluation Method for Endoscopic Surgery Training Using Kansei Measurement

Abstract

Endoscopic surgery, which has spread dramatically in recent years, requires a long time for training. One of the reasons for this is that in conventional training, evaluations are based only on subjective self-assessments such as questionnaires, or on the output of whether the operator was able to perform the result or not, and the operator's state of mind during the operation is not known, so the degree of proficiency is not sufficiently understood.
In this study, we attempted an exploratory analysis of objective evaluation of endoscopic surgery training by focusing on sensitivity measurement using a simple electroencephalograph "Kansei Analyzer". In the experiment, we asked 29 doctors, residents, and medical students with different experience in endoscopic operation to operate the dry box for endoscopic surgery training with the Kansei analyzer. We investigated 1) the difference in sensitivity in success and failure depending on the experience in endoscopic operation, and 2) the difference in sensitivity between those who can easily improve and those who cannot easily improve.
As a result, it was found that 1) there was no difference in sensitivity between successful and unsuccessful endoscopic operations when the participants had experience in operating endoscopes, but the Excite value decreased after unsuccessful operations when the participants had no experience. 2) there was a difference in the Concentrate value between those who could easily improve and those who could not easily improve, and the decrease in this index could be an indicator of mastery as a skill.
In consideration, we suggested that an evaluation method using Kansei measurement in endoscopic surgery training may lead to quantitative evaluation of proficiency.
In summary, this study exploratively analyzed objective evaluation methods in endoscopic surgery training. As a result, we succeeded in quantitatively evaluating the training experience and the difference in proficiency by using the sensibility index by monitoring the operator's state in real time using the sensibility analyzer, which was not possible in the past.

Key Word（5 words）
Medical education, Endoscopy, Training, Kansei measurement, Electroencephalography

目次

内容

第 1 章　序論 1
1.1　本研究の背景 1
1.2　本研究の目的・意義 3
1.3　本論文の構成 4
第 2 章　先行研究と現状把握 5
2.1　内視鏡と術者を取り巻く環境 5
2.1.1　内視鏡の歴史 5
2.1.2　内視鏡の分類 8
2.1.3　開腹手術から腹腔鏡手術へ 12
2.1.4　外科医を取り巻く環境 13
2.2　内視鏡手術トレーニング手法と先行研究および現状把握 14
2.2.1　腹腔鏡トレーニング手法と先行研究 14
2.2.2　問題点 19
2.2.3　客観的評価手法を用いたタスク評価に関する先行研究 20
2.3　客観的評価手法の選定とニーズ調査 21
2.3.1　客観的評価手法の比較 21
2.3.2　感性アナライザについて 23
2.3.3　感性アナライザを用いた先行研究 26
2.3.4　ステークホルダーへのニーズ調査 26
第 3 章　予備実験 28
3.1　予備実験の構想と目的 28
3.2　予備実験方法 28
3.2.1　概要・使用機材 28
3.2.2　被験者 31
3.2.3　アンケートの目的と設計方針 31
3.2.4　予備実験手順 34
3.2.5　予備実験結果と考察 36
第 4 章　本研究のリサーチクエスチョンと検証方法 44
4.1　リサーチクエスチョン 44
4.2　検証方法 45
第 5 章　本実験 48
5.1　実験方法 48
5.1.1　概要・使用機材 48
5.1.2　被験者 48
5.1.3　実験方法 50
5.1.4　実験結果 51
5.1.5　考察 65
第 6 章　結論 71
6.1　本研究の成果 71
6.2　今後の課題 71
謝辞 72
参考文献 73
付録 75

図目次

図 1. 内視鏡下外科手術の様子 2
図 2. 腹腔鏡手術件数の推移（日本内視鏡外科学会 内視鏡外科手術に関するアンケート調査 第 14 回集計結果報告を基に筆者作成） 7
図 3. 内視鏡の構造的な分類 8
図 4. 硬性鏡を用いた手術 8
図 5. 軟性鏡を用いた治療（膀胱鏡） 9
図 6. カプセル内視鏡を用いた診断 10
図 7. 内視鏡の手技的な分類（Wikipedia を参考に筆者作成） 11
図 8. 内視鏡下手術における領域分布 12
図 9. 腹腔鏡手術用ドライボックストレーニング 15
図 10. 初学医の習熟過程におけるトレーニングプロセス 17
図 11. 非侵襲脳機能計測法比較（宮内, 2014）を参考に筆者作成 22
図 12. 感性アナライザ装着時（出典：電通サイエンスジャム） 23
図 13. 感性アナライザ波形（Android） 23
図 14. 感性アルゴリズムの概念図（出典：電通サイエンスジャム） 24
図 15. 内視鏡下手術用トレーニングボックス 29
図 16. ビーズ 30
図 17. 内視鏡手術用鉗子 30
図 18. 予備実験事前アンケート（左：1 枚目、右：2 枚目） 33
図 19. 予備実験事後アンケート（左：実験 1 回目後、右：実験 2 回目後） 33
図 20. ドライボックス上のレイアウト 35
図 21. 予備実験の様子 35
図 22. 感性アナライザ波形 36
図 23. 被験者 A 実験 2 回目の感性アナライザ波形 39
図 24. 被験者 B 実験 2 回目の感性アナライザ波形 40
図 25. 被験者 F 実験 2 回目の感性アナライザ波形 40
図 26. 被験者 D 実験 2 回目の感性アナライザ波形 41
図 27. 被験者 E 実験 2 回目の感性アナライザ波形 41
図 28. 被験者 F 実験 2 回目の姿勢（左, 44 秒時点、ストレス値 59） 42
図 29 . 被験者 B 実験 2 回目の姿勢（右, 43 秒時点、ストレス値 100） 42
図 30. 被験者 C 実験 2 回目の姿勢（41 秒時点、ストレス値 75） 42
図 31. RQ-1 検証方法 46
図 32. RQ-2 検証方法 47
図 33. 本実験セッティング風景 50
図 34. RQ-1 内視鏡経験群の比較結果 54
図 35. RQ-1 鉗子経験群の比較結果 56
図 36. RQ-1 未経験群の比較結果 58
図 37. 上達群/未上達群 アンケート回答結果比較 61
図 38. 上達群/未上達群 感性アナライザ結果比較 63
図 39.医師経験年数と Concentrate 値平均の推移 66
図 40. 上達群の累計ビーズ移動成功個数の推移 67
図 41. 未上達群の累計ビーズ移動成功個数の推移 67

表目次

表 1. 予備実験被験者の属性（N=6）.....31
表 2. アンケート結果とビーズ移動個数の比較①.....37
表 3. アンケート結果とビーズ移動個数の比較②.....38
表 4. ビーズ移動失敗場面一覧.....38
表 5. 予備実験アンケート結果①.....43
表 6. 予備実験アンケート結果②.....43
表 7. 予備実験アンケート結果③.....43
表 8. 予備実験アンケート結果④.....43
表 9. 本実験被験者の特性（N=29）.....49
表 10. 内視鏡手術経験による対象群振り分け（N=29）.....52
表 11. 内視鏡手術経験によるビーズ成功・失敗回数.....53
表 12. 内視鏡経験群 t 検定結果.....54
表 13. 内視鏡経験群 t 検定結果詳細.....55
表 14. 鉗子経験群 t 検定結果.....56
表 15. 鉗子経験群 t 検定結果詳細.....57
表 16. 未経験群 t 検定結果.....58
表 17. 未経験群 t 検定結果詳細.....59
表 18. 上達群/未上達群振り分け（N=6）.....60
表 19. 上達群/未上達群アンケート t 検定結果.....61
表 20. 上達群/未上達群アンケート t 検定結果詳細.....62
表 21. 上達群/未上達群感性アナライザ t 検定結果.....63
表 22. 上達群/未上達群感性アナライザ t 検定結果詳細.....64
表 23. 上達群実験後のコメント.....68
表 24. 未上達群実験後のコメント.....68
表 25. Concentrate 値 t 検定結果.....69

表目次

付表 1. RQ-1 内視鏡経験群実験データ.....75
付表 2. RQ-1 鉗子経験群実験データ.....82
付表 3. RQ-1 未経験群実験データ.....84
付表 4. RQ-2 実験後アンケートデータ.....87
付表 5. RQ-2 感性アナライザデータ（平均値）.....88

第1章　序論

序論では、本研究の背景、目的そして社会的な意義について述べた上で、本論文の構成について示す。

1.1 本研究の背景

医療機器技術の進化は著しく、特に内視鏡を用いた手術は飛躍的に進歩しており、いまや標準な手術方式となっている。内視鏡外科手術においては、1990 年から年々症例数が増加して 2017 年までに延べ 250 万件施行された。2017 年の腹腔鏡手術の症例数は 10 年前と比較して約 2.8 倍となっており、その比率としては腹部外科領域が最も多い。近年では産婦人科領域、泌尿器科領域での増加が顕著である。

内視鏡（腹腔鏡）下手術は従来の開腹手術と異なり、腹壁に小さな数個の穴を開け、腹腔に挿入した細径内視鏡の映像をモニターで見ながら鉗子や電気メスなどの操作を行う術式（図 1）である。その利点は最小限の手術痕のみで済む低侵襲性（＝からだへの負担が少ない）であり、手術を受ける患者にとっては社会復帰が早まる、また、特に女性は美容的観点からも傷が目立たないなどが挙げられる（内視鏡の歴史、手術の種類については第 2 章 1 節 1 項、2 項にて詳述する）。

その一方で、術者である外科医師にとっては患部を直接見ずモニターを見ながら操作するため、手術視野が限定される、操作する内視鏡の向きと目線が異なるなど困難が多い（Hand-eye coordination と呼ばれる）。高度化する外科手術を安全かつ正確に施術するためには外科教育・手術トレーニングが欠かせない。欧米では新人内視鏡外科医に対して、座学による基礎知識の習得とドライボックス（トレーニング用のシミュレータ）による技術習得が義務化されているが、日本は大学などが主催するこうしたトレーニングが欧米と比較して後れを取っていると指摘されている。また、この分野においては 3D プリンタの普及や AI・画像処理技術の進歩により、リアルな臓器モデルを活用したトレーニングの高度化や手術工程の解析による客観化が可能になった一方で、術者のナレッジを客観的に測定するための手法としてはチェックリストやアンケート評価が枯れた技術として一般的に定着しているのが現状である（内視鏡外科手術のトレーニング手法については第 2 章 1 節 3 項にて詳述する）

外科医を取り巻く環境としては近年の働き方改革によりその労働環境が見直されている。20 代から 30 代の外科医の 4 割が水準を大幅に超える時間外労働を行っている実態があり、その原因として、腹腔鏡手術を代表とする低侵襲な手術方式への移行による手術の長時間化や多くの手術が保険償還されることによる手術件数の増加が挙げられている。さらにこうした低侵襲手術は従来の開腹手術と比較してトレーニングに時間を要するため、若手外科医が以下にラーニングカーブを短く独り立ちできるかという課題は重要かつ喫緊のテーマである。そして、現在の外科医師のみならず将来外科医を目指す志望者にとって、医療事故のリスクが高いという点は敬遠する理由の一つになっており、そのリスクを引き起こす原因としてはやはり過重労働やスキル不足が挙げられている。したがって、現状のままでは医師不足による手術件数の減少により助かる命が失われるといった社会問題になる可能性を否定できない。（外科医を取り巻く環境については第 2 章 1 節 4 項にて詳述する）



図 1. 内視鏡下外科手術の様子

1.2 本研究の目的・意義

前述した内容において、特に内視鏡手術トレーニングにおいて対象者の習熟度を客観的に評価して、熟練医のレベルに近づけるかを調べる必要性は社会的な意義が大きい。そこで、本研究の目的は、内視鏡手術トレーニングにおける客観的評価手法について探索的に分析することである。客観的評価すなわち習熟度を定量的に判断することができることにより、医療事故の抑制に寄与できる。また、内視鏡手術トレーニングの客観的評価手法を確立することは、将来的に個人属性などに合わせた最適なトレーニング手法の開発することに役立つ。ひいては医師のスキル向上に貢献することで多くの患者の QOL 向上に寄与する。

1.3 本論文の構成

第 2 章では、内視鏡の歴史から分類を示したうえで、腹腔鏡手術と外科医を取り巻く環境について述べ内視鏡手術トレーニングについての先行研究と現状について整理する。第 3 章では本研究のリサーチクエスチョンを立てる上での予備実験の概要について詳述する。第 4 章では本研究のリサーチクエスチョンについて述べ、第 5 章では、リサーチクエスチョンを検証する本実験の結果および解析をまとめた上で、考察を行う。第 6 章では、結論と合わせて、今後の課題および展望を示す。

第2章　先行研究と現状把握

本章では内視鏡の歴史・分類について解説した上で、内視鏡手術のトレーニングの先行研究と現状について整理する。その上で問題点に対する解決策の提示と、ステークホルダーからのニーズ調査について概観する。

2.1 内視鏡と術者を取り巻く環境

2.1.1 内視鏡の歴史

我々が通常胃カメラと呼ぶことで想像できる内視鏡の原型といわれるものは、P.B.Bozzini（1773－1809）の考案した Lichtleiter（導光器）であるが、実用的内視鏡としては、フランスの泌尿器科医師の A. J Desormeaux による尿道・膀胱鏡が最初とされている。しかし、真に実用的な内視鏡としては、ドイツの医師 M. Nitze（1848－1906）が 1877 年に製作した尿道・膀胱鏡が広く知られている。1932 年には、ドイツの開業医であった R.Schindler（1888－1968）が軟性胃鏡を発表した。これは、先端部分に可撓性を持たせ、焦点距離の短いレンズを多数配置して途中でこの管が曲がっても画像が伝達されるようにしたものである。世界で始めて実用的な胃カメラが登場したのは 1950 年であり、日本での発明である。これは東大分院の宇治達郎がオリンパス光学工業（現オリンパス"）の協力を得て完成させた。米国では 1958 年に Hirshowitz らが、Gastroduodenal Fiberscope と称する軟性鏡にガラスファイバーを組み込み、軟性鏡が曲がった状態でも画像伝達が可能ないわゆるファイバースコープの試作品を発表し、1960 年には商品化された。ファイバースコープは接眼部を覗いて像を観察するものであるが、電子スコープはテレビモニター上での画像を観察するものでありこの点において、ファイバースコープとは大きく異なる。ファイバースコープが登場した時には既に電子スコープの原理は知られていたが、その後の電子技術の進歩により、細い内視鏡の先端にも組み込みが可能な小型の撮像固体素子、いわゆる CCD が開発されるようになり、電子スコープの完成を見るに至った。最初の電子スコープはアメリカで 1986 年に発表されている。電子スコープの原理は、対物レンズの直後に CCD を配置し、対物レンズで得られた画像を CCD で電気信号に置き換えてビデオプロセッサーを通して画像の電気処理を行いテレビモニター上に画像を再現す

るものである。電子スコープは急速に普及し、現在ではファイバースコープにとって代わっている。近年、診断の精度をより向上させるため内視鏡の高画質・高解像化の方向へと向かっておりハイビジョン電子スコープが市販されている。ハイビジョン方式では高解像の画像が得られ画像を拡大しても劣化することなく微細な観察が可能で、早期の癌などの異常組織の見落としを防止できる。また、2000年に入ってイスラエルの会社がカプセル内視鏡の試作品を発表し、2005年にはオリンパスメディカルシステムズ(株)が欧州に市販を開始している。カプセル内視鏡は、従来の内視鏡のような検査時の苦痛が無く、内服薬のように口から飲み込むだけで消化管の検査ができるというカプセル型の内視鏡である（鷲塚, 2008)。

外科分野においては、硬性鏡（腹腔鏡）手術の歴史を振り返ってみると，緒方洪庵のもとで蘭学を学んだ福沢諭吉が　医学の擁護者として将来の腹腔内の観察の可能性について129年前に述べたことは興味深い。すなわち，1881年に‘医学の進歩’という 論説の中で述べているが更に医学は外科より進歩す、と言われていることは，あたかも将来の腹腔鏡手術を予見したかのようにも思える。福沢諭吉の予見の 120 年後、腹腔内の内視的観察を試みたのがKelling（1901）であった．その後、現代の腹腔鏡下外科手術の幕開けは1985年9月にドイツの Erichが腹腔鏡下胆嚢摘出術を行い，その後 70 例の自験例をドイツ外科学会などに報告している．しかし，何といっても腹腔鏡像を CCD カメラによりモニター化をした Philippe Mouret による腹腔鏡下胆嚢摘出術（laparoscopic cholecystectomy：Lap-C）が有名である。その後，Lap-C は手術時間の多少の延長があるが，患者にとっては低侵襲であり，1990年5月には山川達郎により我が国の第1例目が行われた。1991年3月には第1回日本内視鏡外科研究会が開催され、その後内視鏡外科手術の発展はめざましく，研究会は 1995 年には日本内視鏡外科学会（JESES）として再出発した．その後周辺機器の改良や手術手技の進歩により，Lap-C のみならず胃・小腸・大腸などの他臓器への適応拡大が行われるようになった。(北島ら, 2010)。

日本での腹腔鏡手術件数は 1990 年以降飛躍的な増加している。日本内視鏡外科学会のアンケートによれば、2017年は合計で22万件近くに上り、この数字はわずか10年前の8万件余りから2.8倍に増加している（図2）

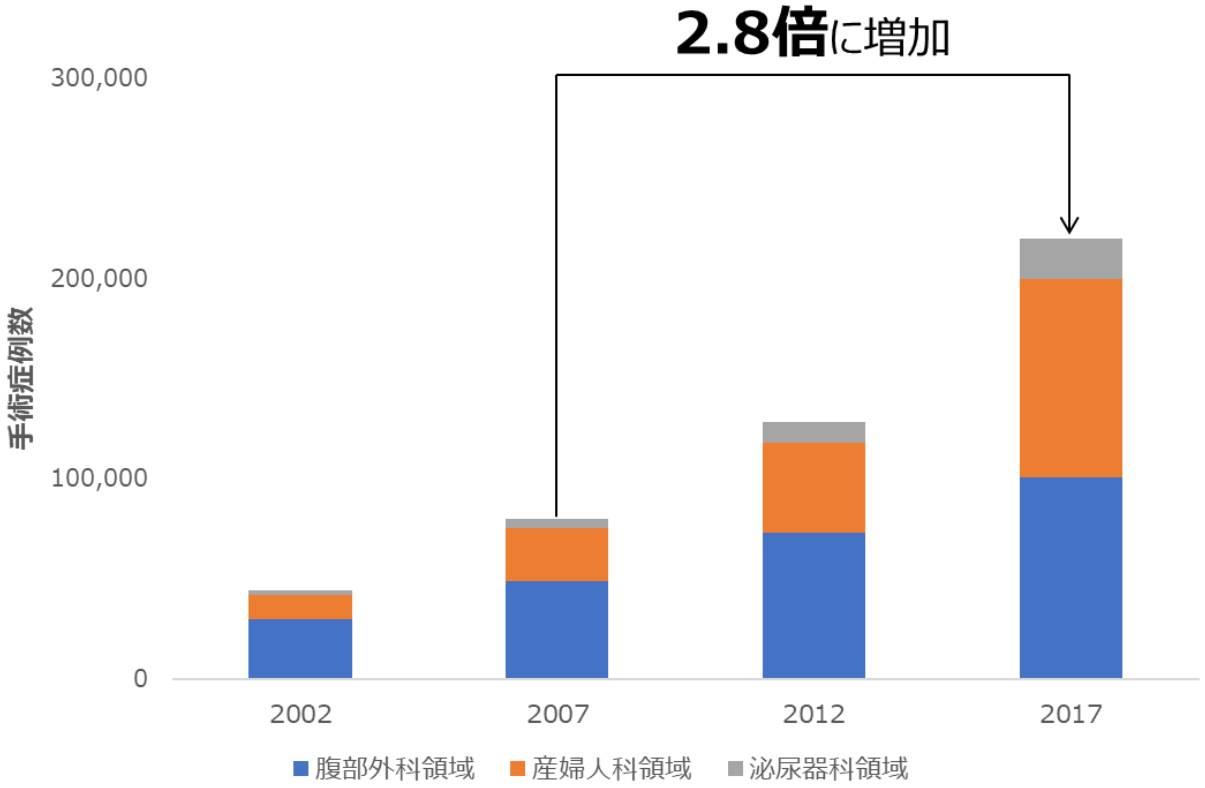


図 2. 腹腔鏡手術件数の推移（日本内視鏡外科学会 内視鏡外科手術に関するアンケート調査 第 14 回集計結果報告を基に筆者作成）

2.1.2 内視鏡の分類

内視鏡の構造に基づく分類を図 3 に示す。

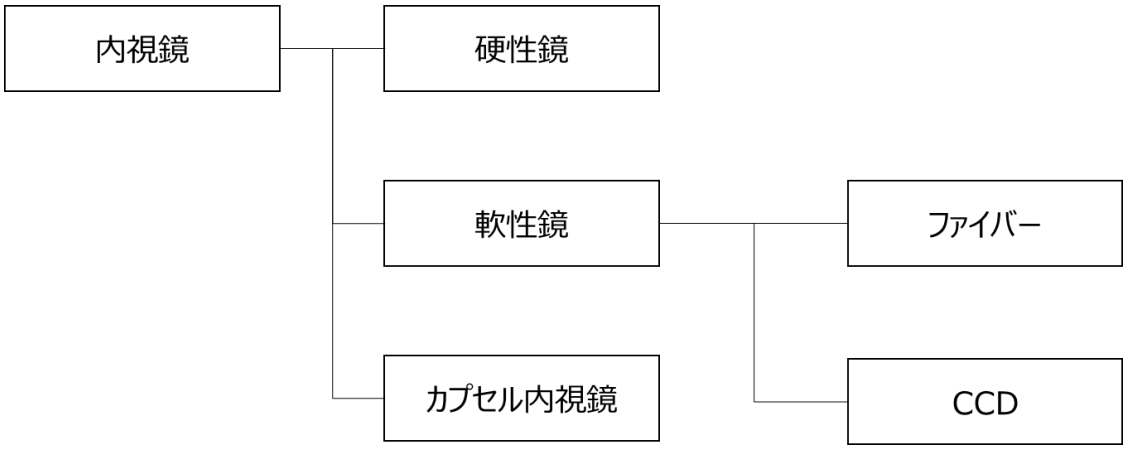


図 3. 内視鏡の構造的な分類

内視鏡は一般的に 3 つに大別される。硬性鏡（スコープ）は筒状の挿入部の両端にレンズが搭載されており、通常はビデオカメラを接続してモニター上に映して観察を行う。光源は体外の制御装置に搭載されており、挿入部内の光ファイバーによって光を導いて先端部から臓器内を照射している。代表的な腹腔鏡手術においては、患部の臓器や組織を牽引したり、圧迫するために鉗子（かんし）と呼ばれる医療器具を併用して用いることで治療を行う（図 3)。

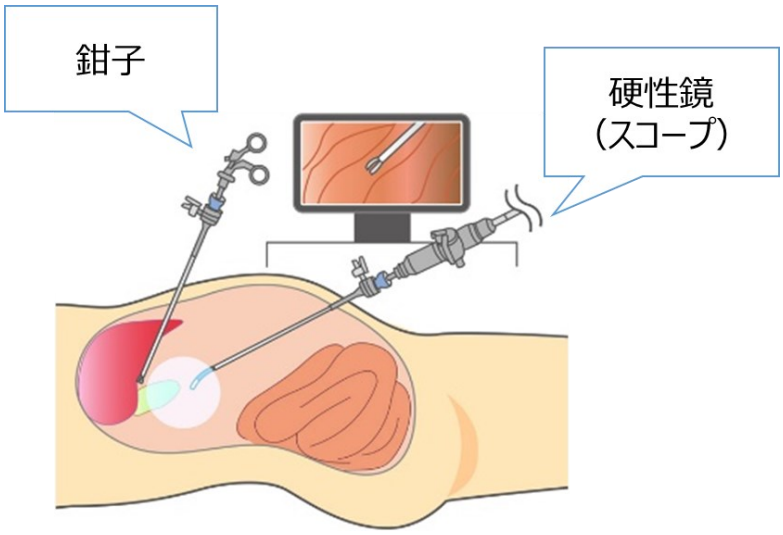


図 4. 硬性鏡を用いた手術

軟性鏡は臓器内への挿入部が柔軟な素材であり、形状に合わせて曲がることができる。光ファイバーを用いたものと CCD を用いたものがある。口、肛門、尿道などを介して挿入され、近年では従来口からの挿入が主流だった上部消化管に対して、鼻から挿入するタイプもある。多くの内視鏡では、挿入部内にチャネルと呼ばれる別の経路を持っており、手元側の操作部からワイヤー状の鉗子カテーテルを挿入することで気体や液体の注入、吸引、ポリープなどの病変切除などの処置などが可能である。また、手元側の操作によって先端部分の向きを上下左右に変えることが可能であるが、機能は対象部位によって異なる（図 5）。硬性鏡と同じように、光源は体外の制御装置に搭載されており、先端部を照射することが可能である。

軟性鏡は特に上部消化管と大腸用が一般的に知られており、健康診断や人間ドックでは診断目的で使用されることも多い。後述する治療用途はその一部で硬性鏡に比較すると日常的な診断機器としてすでに根付いている点も特徴である。

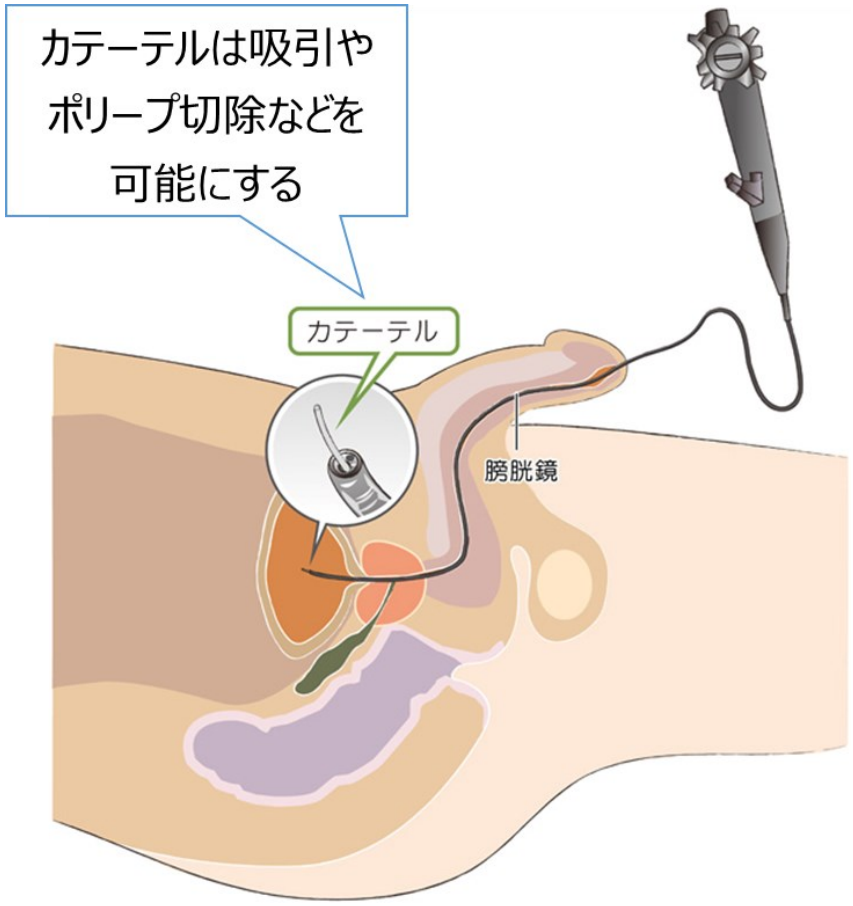


図 5. 軟性鏡を用いた治療（膀胱鏡）

カプセル内視鏡はデジタルカメラと光源、モーターを内蔵した小型カプセル型の内視鏡である。患者が飲み込んだ内視鏡が消化器官を撮影し、画像を体外に送信して体外のモニターに映す。硬性鏡、軟性鏡と異なる点は医療施設にとどまらず検査中は自宅などに戻ることも可能な点であるが、診断のみ可能であり、ポリープなどの病変切除や組織採取ができない（図 6）。



図 6. カプセル内視鏡を用いた診断

また、内視鏡における代表的な手技の分類を図 7 に示す。

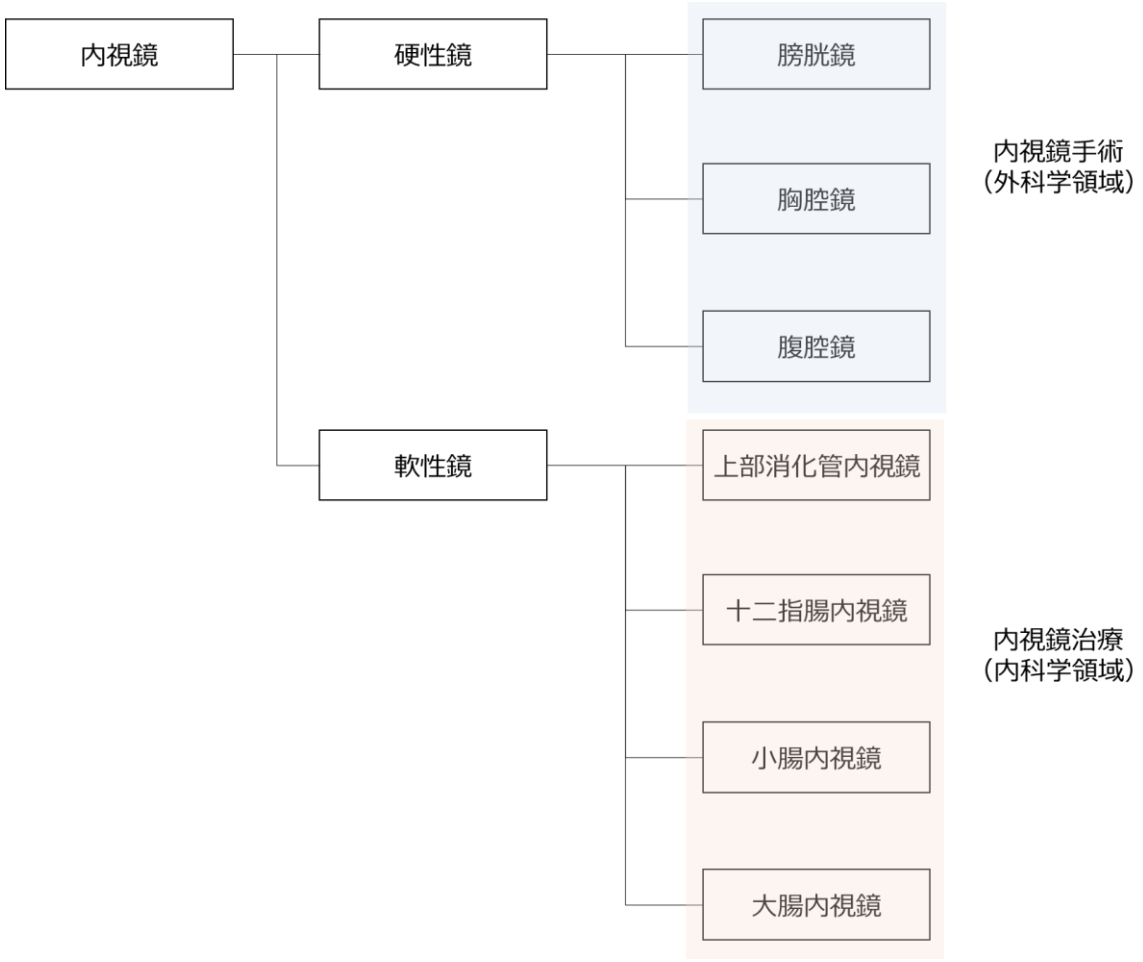


図 7. 内視鏡の手技的な分類（Wikipedia を参考に筆者作成）

硬性鏡における手技は内視鏡手術として、主に外科学領域において行われる内視鏡を用いた手術全般を指して使われることが多い。代表的な硬性鏡は膀胱鏡、胸腔鏡、腹腔鏡の 3 種類である。膀胱鏡は主に泌尿器科で使用されており、代表的な手術は経尿道的前立腺切除術（TUR-P）、経尿道的膀胱腫瘍切除術（TUR-BT）などがある。胸腔鏡は消化器外科、呼吸器外科で使用されており、VATS（Video-assisted thoracoscopic surgery）と呼ばれ、その適応は肺がん、気胸、肝臓がんなどとなる。腹腔鏡は主に、消化器外科、泌尿器科、産婦人科で使用されており、代表的な手術は、胆嚢摘出術、脾臓摘出術、虫垂切除術、胃切除術、結腸切除術、肝切除術、膵頭十二指腸切除術、腫瘍切除（以上、消化器外科）、前立腺摘出術、腎摘除術、腎部分切除術、副腎摘除術、副腎部分切除術（以上、泌尿器科）、子宮全摘出術、卵巣摘出術（以上、産婦人科）である。

軟性鏡における手技は内視鏡治療として、主に内科学領域において行われる内視鏡治療全般を指して使われることが多い。代表的な軟性鏡は、上部消化管内視鏡、十二指腸内視鏡、小腸内視鏡、大腸内視鏡の 4 種類である。これらの軟性鏡は主に消化器内科で使用されており、代表的な内視鏡治療としては内視鏡的逆行性胆道膵管造影(ERCP)、内視鏡的粘膜切除術(EMR)、内視鏡的粘膜下層剥離術(ESD)が挙げられる。

2.1.3 開腹手術から腹腔鏡手術へ

これまでに内視鏡の歴史、および分類について触れた。本項では腹腔鏡手術について詳述する。前述の通り、腹腔鏡手術はいまや多くの術式に用いられており、またその件数も飛躍的に伸びている。図 8 に示す通り、腹腔鏡を用いた手術は腹部、産婦人科、泌尿器科を合わせると内視鏡下手術の約 9 割程度に達している。

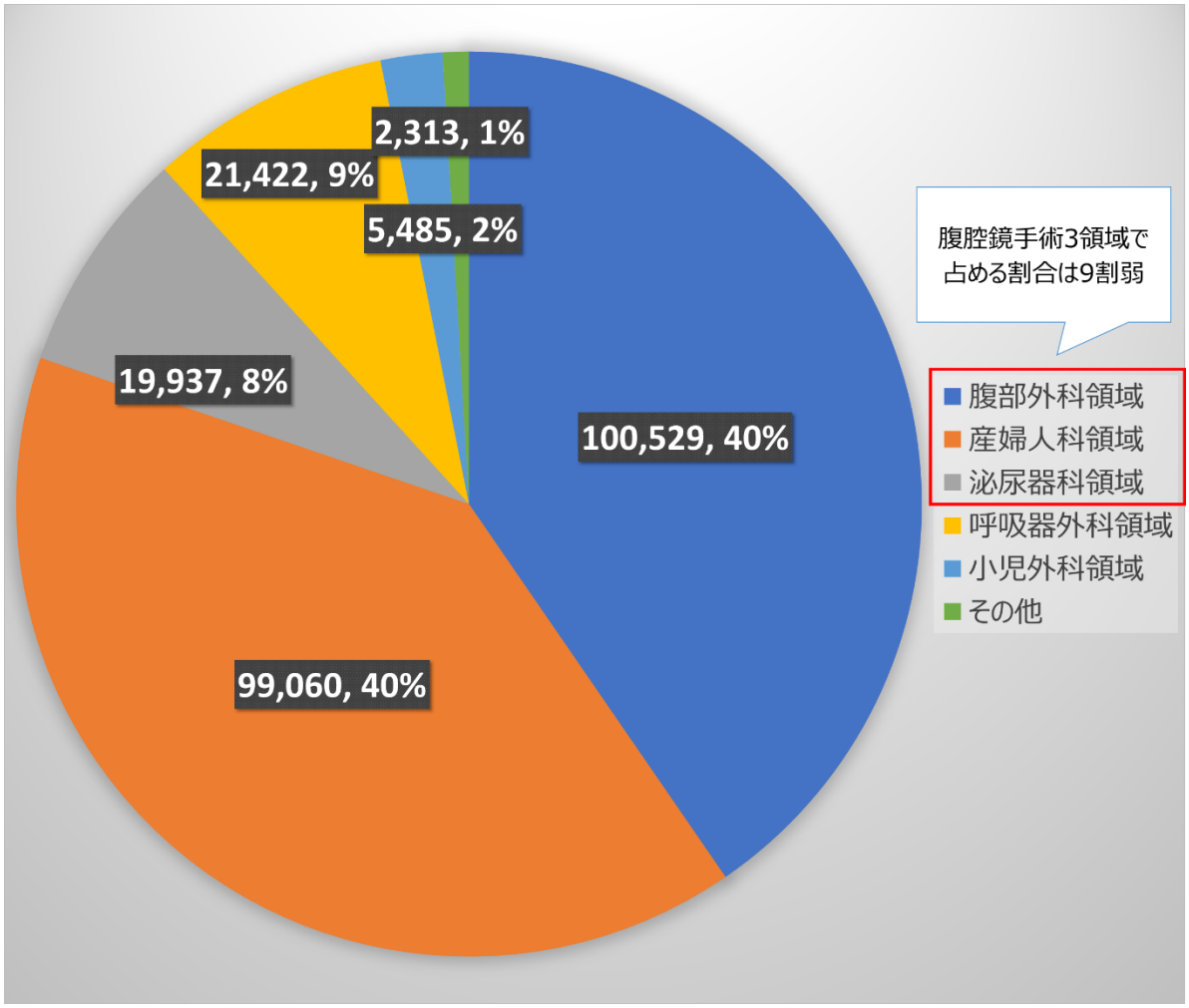


図 8. 内視鏡下手術における領域分布

腹腔鏡手術は、従来の開腹手術に対しての利点として①手術による創が小さい②入院期間が短いという点で、低侵襲（＝からだへの負担が少ない）であることが挙げられる。一方で、欠点としては①手術時間が長くかかる②トレーニングに時間を要するという点である（森, 2018）

トレーニングに時間を要する要因としては、腹腔鏡手術に求められる特殊技能にある。鉗子の挿入孔が“てこ”の支点のように働くため独特な操作が必要であり，またモニターを通じて腹腔内を見ながら手術を行うため，方向・スケールの変換（Hand-eye coordination）への適応といった特有の技能が求められることから手術難度が高い（森島, 2018）。

Hand-eye coordination とは目の動きと手の動きを協調して制御することであり、手の固有感覚を利用して目を誘導するとともに、視覚入力を処理して手を伸ばしたり掴んだりすることである。目と手の協応は、積み木のような固形物の移動、アーチェリー、スポーツ、音楽鑑賞、コンピューターゲーム、コピータイピング、お茶くみなど、さまざまな場面で研究されている。

2.1.4 外科医を取り巻く環境

本項では腹腔鏡手術の術者である外科医を取り巻く環境について述べる。

経年的に医師数は増加しており、平成 28 年医師・歯科医師・薬剤師調査によると 2016 年には 30 万人を超え年々右肩上がりとなっている。その中で、平成 26 年医師・歯科医師・薬剤師調査によると、外科医師数は 20 年前とほぼ同数（0.99）であり、総数の 1.34 に対して相対的に減少している。外科医の高齢化も進んでおり、日本外科学会の集計によると 2012 年以降に外科後期研修を選択した医師数は 3 年連続で減少しており、2012 年に 850 名を超えていた医師数が、2014 年には 655 名まで落ち込んでいる。この背景にあるものは外科医の過重労働である。平成 24 年度の日本外科学会会員の労働環境に関するアンケート調査によると 20 代、30 代の外科医の 4 割が年 3,000 時間を超える時間外労働をしており、外科医師全体と比較してもその割合は多くいわゆる若手の 6 割以上が週に 70 時間以上勤務している実態がある。中医協基本問題小

委員会資料「日本外科学会アンケート調査」（2009 年 12 月 11 日）によると、外科医志望者現象の理由としては①労働時間が長い（72%）②時間外勤務が多い（72%）③医療事故のリスクが高い（68%）となっており、前述する手術の低侵襲化に伴う手術時間の延長やトレーニングに要する時間を確保しなければいけない一方でそれ自体が外科医師を敬遠される理由になるというジレンマがうかがえる。また、日本外科学会のアンケートによると過重労働が医療事故のリスクになると 81%の医師が回答しており、不十分なスキルについては 54.3%が回答した（森, 2018）。今後この現状が続くと現場で活躍する若手医師が減る一方で将来的には後世を指導する熟練医が現状よりも不足することによって手術の担い手を失うことが社会課題となりえる。

2.2 内視鏡手術トレーニング手法と先行研究および現状把握

本節では内視鏡手術トレーニング手法として特に腹腔鏡手術に焦点を当てて先行研究と現状の問題点について触れたのち、解決策について述べる。

2.2.1 腹腔鏡トレーニング手法と先行研究

1987 年頃に本邦に内視鏡下手術が導入されて以来、腹腔鏡手術のトレーニング手法については進歩を遂げている。腹腔鏡手術を学ぼうとする医師（以下、初学医と呼ぶ）にとってトレーニングすべき内容としては①具体的な手技すなわち手術の流れを学び長所、短所を知る②腹腔鏡手術に使用するスコープ、鉗子類などを熟知する③ビデオモニターの 2 次元の視野における各臓器の 2 次元的な解剖を十分に理解して、Hand-eye coordination を習得した上で、①の手技に習熟しなければならない。

これに対して、具体的なトレーニング方法として4種類が広く知られている（丸野, 2001）。以下に簡単にそれぞれの概要と現状を述べる。

まず、 動物を用いる方法（アニマルラボ）である。実際の動物の臓器を用いることにより、血管や臓器をリアルに手術できるため手技の感覚や基本手技を学ぶためには最適の方法である。しかしこの方法には手術に習熟した指導医（以下、熟練医と呼ぶ）が必要であり、正しい知識なしでは意味がない。また、トレーニングにかかる費

用が高額であり、一般的な病院施設において訓練施設を持ち恒常的にトレーニングを行うのは現実的ではない。したがって、学びたい医師は企業もしくは学会などが主導して有料で参加するしか方法がないのが実情である。

次にシミュレータを用いる方法である。代表的なシミュレータの一つとしてドライボックスがある（図 9)。

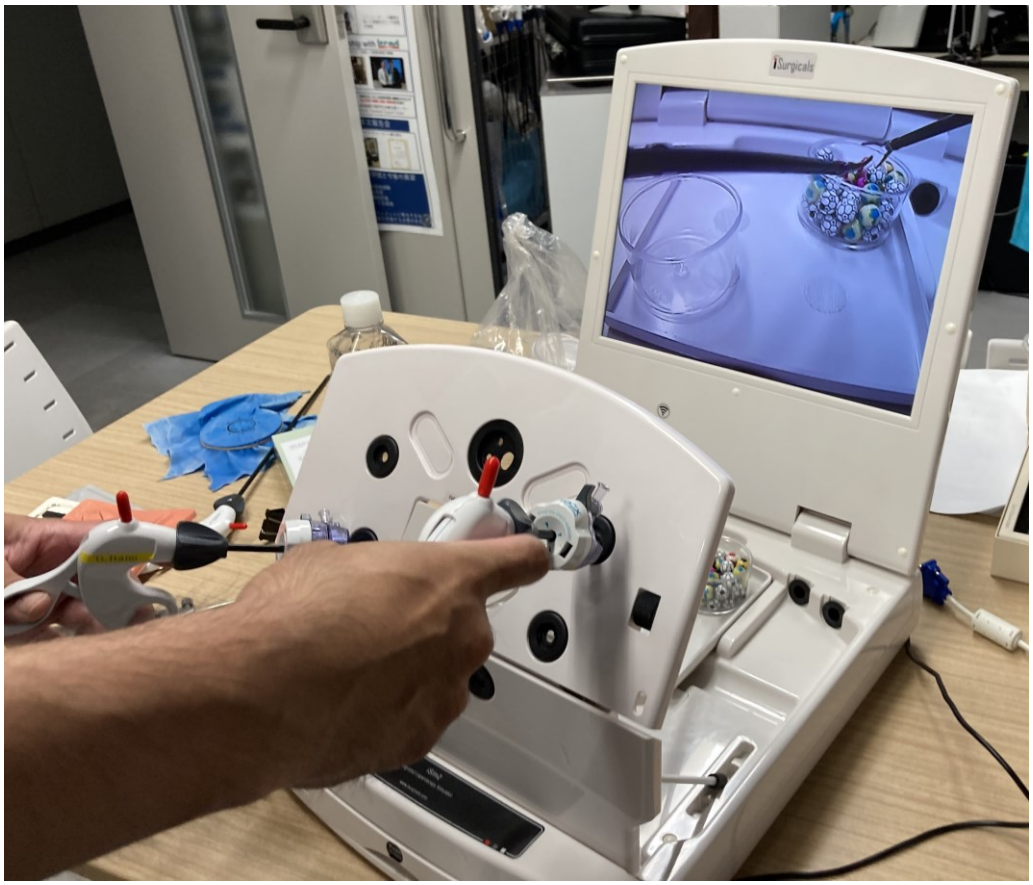


図 9. 腹腔鏡手術用ドライボックストレーニング

ドライボックスは腹腔鏡手術を模したシミュレータであり、ビデオモニターを見ながらビーズを鉗子で把持（＝つかむ）したり、移動させたりするトレーニング法である。ドライボックス内に動物の臓器を入れて組織を切る、糸で縫うなど手技を学ぶことも行われている。これは深度感覚に慣れ、Hand-eye coordination の技術を養うだけではなく、各種医療器具の使用方法などを繰り返し行うことができる有用なトレーニング手法である。動物を用いる場合に比べて臨場感などには欠ける点はあるが、前述する 3 つのトレーニング内容をコストパフォーマンス高く学ぶという点では現実的な

手段の一つである。医学教育として医学生の授業や研究会などにおいて用いられることがあるため、初学医にとっては手術現場において臨床を学ぶ前段階で術者がどのようなことを行っているかを知る上で重要な基礎的トレーニングであるといえる。

3 つ目に熟練医の下で手術をする（臨床で学ぶ）方法である。これは実際に経験豊かな指導医の下で、実際に手術に臨んでトレーニングする方法で、信頼性の高いトレーニング方法である。初学医は熟練医の手術に立ち合うことで臨場感をもって手術の流れ、鉗子などの手技、またときには予期せぬトラブルなどに直面することでその解決方法を学ぶこともある。患者は十人十色であり、臓器の形状も異なる。すなわち全く同じ手術はないが、熟練医が限られた時間内で手術を完了させるかを間近で体感できることによる学びは大きい。当然ながらこのトレーニングにおいても手術の正しい知識なしでは意味がない。さらに、熟練医不足が指摘されており（森島,2018）この育成についても大きな課題となっている。つまり、全ての初学医に熟練医の手術に立ち合って学ぶ環境が充分に与えられているとは言えず、初学医自身の強いモチベーションにより、時には他施設での手術を見学に行くなどの努力が必要となる。

最後に研究会や学会の参加および書籍や雑誌・動画による情報収集が挙げられる。特に研究会や学会においては最新技術や器具の紹介、手術成績や手術適用・合併症について先人の知見・経験が共有されている。また、自己学習として様々なツールから知識を得ることも貴重なトレーニングである。

4つのトレーニング手法をまとめて初学医の習熟過程にプロットしたものを図10に示す。初学医が独り立ちして手術をこなすまでには、まずシミュレータで基礎的なトレーニングを行い、熟練医による指導を重ねることで徐々に手術を任される立場となる。

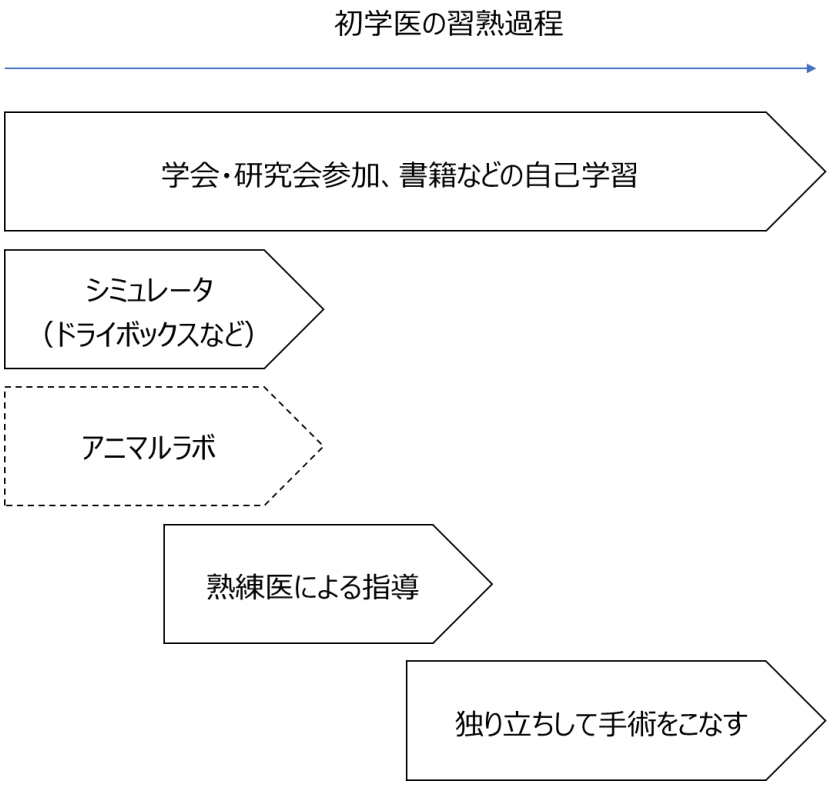


図 10. 初学医の習熟過程におけるトレーニングプロセス

こうした外科教育やトレーニングは新たな学問分野として注目され、それに伴った様々な研究開発やビジネスが展開されている。欧米では世界中から参加者を集める充実したトレーニング施設や基礎知識とドライボックスによる技術習得の義務化などが定められており、大学などが主催する体系的な基礎教育、トレーニングが不足しているという点で本邦は後れをとっている（植村, 2018）

近年ではドライボックスやアニマルラボに加えて、バーチャルリアリティ（VR）を用いたシミュレータも数多く開発されており、世界的には医学教育の基本的な部分はシミュレーションで補うという潮流になっている。VR シミュレータが示す評価は被験者の外科経験を反映しているという報告が多い一方で、バーチャルが故の手術時

のリアルな質感は表現できないという点が弱点である。また、概して高価である点で十分に普及しているとは言い難い。VR シミュレータの位置づけとしては、視覚的・魅力的に手術手順を学ぶ電子テキストと割り切ることが必要であると指摘されており、実技はドライボックスが有効としている（藤原ら, 2010）。さらに知識教育における座学の部分も従来の紙ベースのテキストから e ラーニングに置き換えられてきており、こうしたシミュレーションと組み合わせて高い効果を狙う動きもある（杉浦ら, 2013）。

腹腔鏡手術の習熟度向上の研究ではビデオゲームの経験が影響を与えることが知られている。42 名の被験者に対して、Nintendo Wii または PlayStation 2 をプレイする前後でドライボックスによる縫合タスクおよびビーズの移動タスクを実施したところ、両群ともにプレイ後にビーズ移動タスクが改善することができ、習熟度向上効果が指摘されている（Chang, 2012）。これは前述する Hand-eye coordination という点で、腹腔鏡手術とコンピューターゲームに共通点があり、その操作に慣れることで簡易的に手技の習得につながるという点で興味深い。

また、初学医の教育効果を高めるために、熟練医の鉗子操作を同じ視野内で共有して操作を追従させる“追いトレ”の手法も近年方法論として効果があることが知られている。初学医は熟練医のドライボックス操作を映像で見ながら操作のポイントを理解して、その操作に重なるように真似をして動かすことによって学習を行う。これにより、タスク完了までの時間が短くなり、手技のエラーが減ることが明らかになっている（安藤, 2020）。

2.2.2 問題点

前項で述べた先行研究において、近年内視鏡手術トレーニングの手法自体の進歩は著しいことを示した。その一方で、術者のナレッジを客観的に測定するための手法としてはチェックリストやアンケート評価が枯れた技術として一般的に定着しているのが現状であるとして、進歩の停滞が指摘されている（植村, 2018）。前述する各トレーニング手法においてもその評価手段はアンケート調査すなわち回答者の主観に基づく自己評価もしくは操作によってうまれたアウトプット（例えば手技完了までの時間など）で評価している。本項ではこの評価方法の問題点について述べたい。

先行研究では、ADHD 患者に対してその治療薬であるメチルフェニデート（MPH）投与による効果を患者の主観的な改善度評価と、客観的な注意力テスト（TOVA）の成績を比較したところ、主観的な評価の信頼性が低いことが示されている（Manor, 2008）。その要因の一つはプラセボ効果であると考えられている。プラセボ効果は「偽薬効果」「プラシーボ効果」とも呼ばれる効果である。本来は効果のない薬でも「効果がある」という言葉を信じると、何らかの改善効果が得られる。つまりトレーニングに置き換えるとアンケートの回答者はトレーニングをしたこと自体による効果を評価することで、そのトレーニングから得られた習熟効果を正当に評価できていない可能性がある。また、アンケートは通常一連のトレーニング終了後に実施するのが一般的であり、トレーニング中の発生事象を逐一評価できない点にも課題が残る。

操作によってうまれたアウトプットを評価するという点に対しては、手技完了までの時間や例えばドライボックスにおけるビーズの移動個数について定量的に評価できるという点については良い評価方法である。しかし、その習熟過程を結果からのみしかモニタリングすることができず、改善効果の指標となるものがわからないのが現状である。つまり、ビーズの移動個数が改善した場合においても、十分に習熟して余裕でこなせるようになったのか、まだ習熟してはいないがまぐれでうまくいったのかを見極める手段はない。すなわち、現状の問題点としては内視鏡手術トレーニングにおける習熟度を定量的に評価する手法が存在しないことが挙げられる。

2.2.3 客観的評価手法を用いたタスク評価に関する先行研究

前項で述べた課題に対して、内視鏡手術トレーニングにおける習熟度を定量的に評価するために客観的評価手法を取り入れることを解決策として提案していく。

知的作業の客観的評価の手法としては、作業者の内的状態をマクロにモニターするために生体信号の計測が有効であり、代表的なものとして ECG（心電図)、EEG（脳波)、SPL（皮膚電位)、呼吸数、体温、血圧などが挙げられる（広瀬ら, 1985)。

こうした生理的評価を用いたタスク評価の先行研究として、血圧および心拍を測定してスピーチの経験が感情と原因帰属に及ぼす効果を検証されており（小笠原ら, 2008)、またタスクパフォーマンスの評価として、ストレスの程度を変化させて、脈波センサ、皮膚コンダクタンスセンサ、呼吸センサ、脳血流センサを用いた調査の事例がある（大出ら, 2016)。両方ともストレス指標を客観的に評価しているが、単一指標のみしか観察できない、また被験者によっては侵襲性が高くトレーニングでの客観的評価を考慮した場合に、実用性に課題が残ると考えられる。

したがって、内視鏡手術トレーニングにおける客観的評価手法としては①操作者の内的状態をリアルタイムにモニタリング可能である②トレーニング時に装着可能であり、場所の制約を受けない（トレーニング動作に制約がない）③費用がある程度安価であり入手性が高い④操作者の侵襲性が低く身体的な負担が少ない、といった要件が必要となる。

2.3 客観的評価手法の選定とニーズ調査

これまでに内視鏡手術トレーニングへの客観的評価手法に必要な要件定義を述べた。本節では客観的評価手法の比較から選定、そして専門家によるニーズ調査について解説する。

2.3.1 客観的評価手法の比較

2.2.3 項にて述べた内視鏡手術トレーニングにおける客観的評価手法について、前述する ECG（心電図）、EEG（脳波）、SPL（皮膚電位）、呼吸数、体温、血圧の中で、場所の制約を伴うという観点で、ECG（心電図）、SPL（皮膚電位）は排除した。また、今回モニタリングしたい習熟度という点で関連性が薄いと想定され、単一指標である呼吸数、体温、血圧についても排除した。EEG（脳波）に代表される非侵襲脳機能計測について代表的な計測法である 3 つ（EEG, fMRI, NIRS）、そして、EEG の一種であり慶應義塾大学の満倉らが開発したオンライン感性取得装置“感性アナライザ”（電通サイエンスジャム社製）について比較検討を行った。

非侵襲計測法は，脳の電気的な神経活動を計測する方法(EEG,感性アナライザ) と局所脳血流変化を計測する方法(fMRI, NIRS) に大別可能である（宮内, 2014）

EEG（Electroencephalography, 脳波計）は医療機関において脳波検査として知られており、主に脳内の細胞外電流を計測している。通常、頭に複数の電極を装着して、ワークステーションや PC などと接続して波形解析を行う。頭蓋骨は導電率が高く部位によって厚さも異なることから精度の高い診断は難しいとされている。

感性アナライザについては 2.3.2 項に詳述するが、小型の脳波計でノイズ混入を低減した装置であり、被験者の負担も比較的少ないとされている。

fMRI（functional Magnetic Resonance Imaging, 機能的磁気共鳴画像）は核磁気共鳴現象を利用して生体の断層像を撮像するために開発された磁気共鳴画像装置であり、大脳皮質だけでなく，脳幹を含む全脳の活動を高い空間分解能と精度・確度で計測できる。大型の装置内に被験者は頭部を固定して入る必要がある。装置は医療機関に設置されており、数億円程度の設置費用のほか、メンテナンスコストがかかる。fMRI で

見ている現象は血流の変化であり，実際の神経活動に比べると遅い変化しか示さないので，例えば視覚刺激の提示に伴う一次視覚野の活動と視覚前野の活動の時間的関係を直接計測することはできない。

NIRS（Near Infrared Spectroscopy, 近赤外分光計測）は脳活動に伴う血流変化を oxy-Hb と deoxy-Hb の濃度変化として計測する。EEG と同様にセンサを頭部に装着するので，計測中の頭部の動きに対して比較的寛容で、コストも比較的安価であるが、基本的には fMRI と同様に血流変化を見ているため、脳深部での活動は計測できない。

4 種類の非侵襲脳機能計測法についての比較を図 11 に示す。

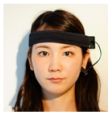
	場所の制約	費用	被験者の侵襲性	測定精度
 EEG 脳波計	× 付属の測定装置が必要	○ 比較的安価	△ 複数の電極を装着	× ノイズの混入がある
 fMRI 磁気共鳴機能画像法	× 大型の測定装置が必要	× 億単位の設備投資	× 装置内での測定	○ 時間分解能は高い
 NIRS 光トポグラフィ	△ ポータブルもあるが大型の測定装置が必要	△ 形態によるが装置は高額	△ 頭部全体を覆う	○ fMRIと同等以上
 感性アナライザ 脳波計	○ ポータブルで装着しながら活動可能	○ 比較的安価	○ 比較的侵襲は低い	△ 時間分解能はfMRIに劣る

図 11. 非侵襲脳機能計測法比較（宮内, 2014）を参考に筆者作成

本比較において、内視鏡手術トレーニングにおける客観的評価を探索的に分析するにあたってその評価方法は感性アナライザが適切であると判断した。

2.3.2 感性アナライザについて

慶應義塾大学の満倉らが開発したオンライン感性取得装置“感性アナライザ”（電通サイエンスジャム社製）は簡易的に脳波を取得して、一度に最大 5 つの指標（例えばストレス度、興味度、ワクワク度、好き度、集中度など）をリアルタイムに計測可能である。これは被験者の主観評価ではなく客観的な感性・感情評価を行うことができる。被験者は左右前頭葉付近に 2 か所の電極が接触するようにヘッドバンド型のアナライザを装着する（図 12）。データは Bluetooth によってタブレット端末（Android）に自動的にリアルタイムに表示される（図 13）。感性は、Like 値、Interest 値、Excite 値、Concentration 値、Stress 値の 5 つの指標を 0 から 100 までの値で 1 秒ごとに記録される。脳波は個人ごとに差異があるため、実験前に 75 秒間のキャリブレーションを行い、この差異をオフセットしている。

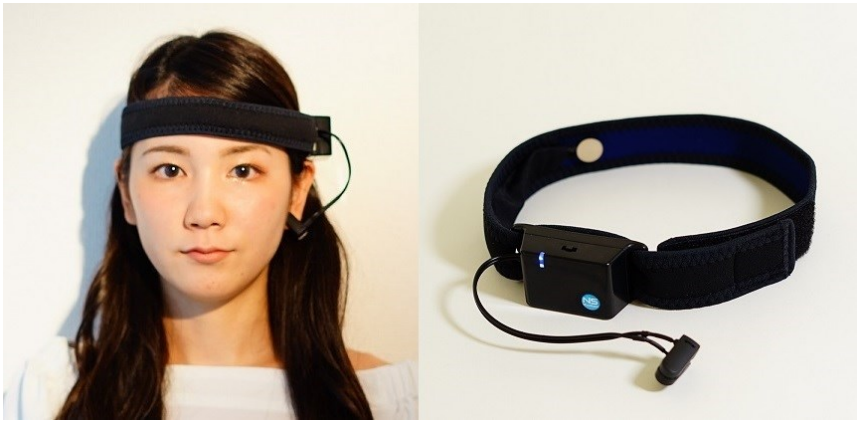


図 12. 感性アナライザ装着時（出典：電通サイエンスジャム）



図 13. 感性アナライザ波形（Android）

脳波を用いて感性のリアルタイム推定を行う技術には，慶應義塾大学満倉研究室のデータベースが用いられている。データベースには約 17 年間に亘り特定の環境下で取得された脳波データが感性指標と 1 対 1 で対応づけられており，これを用いて感性を推定するアルゴリズムを構築している。

感性アナライザには脳波から感性を推定する感性アルゴリズム（図 12）が組み込まれている。感性アルゴリズムはフィルタリング手法，特徴抽出手法，パターン認識手法によって構成される。本アルゴリズムではまず，フィルタリングにより脳波データから先に示した体動や瞬き等のアーチファクトを除去し，その後フィルタリングされたデータをパワースペクトル等の特徴量に変換する。変換された特徴量はパターン認識手法により，脳波データベースで定義付けられた感性指標値へ変換される。

パターン認識手法では，脳波データベースを用いて脳波データと感性指標値の関係性を解析しており，アルゴリズムの構築までは計算サーバー等を用いる。アルゴリズムの構築が完了した後，タブレット端末上に実装することでリアルタイム処理を可能にしている。（太田, 2020）http://sensait.jp/12675/

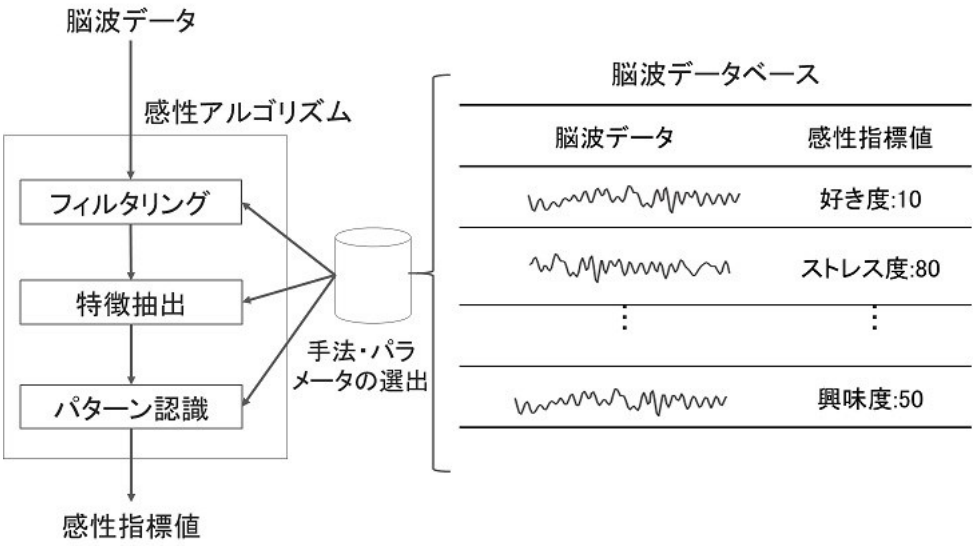


図 14. 感性アルゴリズムの概念図（出典：電通サイエンスジャム）

ここから“感性”、“感情”、“情動”の定義について以下に述べる。

まず感性については1999年7月に29名の感性研究者によるアンケートから「感性」は何かという定義を行った解析結果に基づき、以下の定義を引用する（原田, 2002）。

1) 主観的で説明不可能なはたらき
2) 先天的な性質に加えて知識や経験の認知的表現
3) 直観と知的活動の相互作用
4) 特徴に直観的に反応し評価する能力
5) イメージを創造する心の機能

感情については諸説あるが、一般的に感情を厳密に定義するのは難しく、心理学において一般に認められた標準的な感情の定義というものは存在しない（大平, 2010）とした上で、ここでは「人が心的過程の中で行うさまざまな情報処理のうちで、人、物、出来事、環境についてする評価的な反応」（Ortony,Clore,&Collins,1988）としている。

また、情動は脳に伝わった信号が最初に前頭前野に伝達され情動に対する意識的認知などの高次処理が行われたものが感情・感性であると指摘されている。そして、情動は動物にもある先天的なものであり、感情・感性は人間にしかない後天的なものであるとしている（満倉, 2020）

本項においては、感性・感情とは人間が本来内的に持つ主観的なものであり、情動は外的な要因に対して評価的な反応を行うものとする。

2.3.3 感性アナライザを用いた先行研究

認知症患者における感性を取得した事例では、20 名の認知症と診断された患者に対してお笑いや童謡のステージを鑑賞することでワクワクの向上やストレスの低下をリアルタイムに観察することができた（満倉, 2020）。

2.3.4 ステークホルダーへのニーズ調査

内視鏡下トレーニングの客観的な評価手法として感性アナライザを用いるアイデアについて、臨床現場で教鞭をとられる外科医師にインタビューを実施してニーズ調査を行った。

日時：2021 年 6 月 9 日（水）20:00 - 21:00

場所：Zoom（オンライン会議システム）

参加者：和田則仁氏（湘南慶育病院外科・消化器外科部長）

堀周太朗氏（慶應義塾大学医学部一般・消化器外科助教）

清島亮氏（慶應義塾大学外科助教）

当麻哲哉氏（慶應義塾大学大学院 SDM 研究科教授）

聴取内容：

- 評価手法として感性アナライザを用いてデータを取得することには非常に興味がある。学習者はトレーニング場面においてアウトプットがよくても充分に習熟できているかはよくわからない（和田氏、堀氏）
- 実臨床場面において手術中の感性をモニタリングするのも面白いかもしれない。例えばニーズとしては早期の術者交代の意思決定に使えるかもしれない。若手が習熟段階で手技を任せた際に、難渋している場面においてこうした客観的な指標があることで決断がガイドライン化することができる（堀氏）
- 応用できることとしては、例えば成功・失敗の予測因子がわかるようになれば予め対策をすることができる。例としては、ストレスが上がる→姿勢が前傾に

なる→失敗につながるという場合に、ストレスが上がった時に姿勢を変える、座らせるなどの対策が可能である（堀氏）

本ニーズ調査を経て、内視鏡下トレーニングにおける感性アナライザ活用の期待値を確認することができた。その後、堀氏の協力を得て、複数回の面談や前述するトレーニング用のドライボックスを使用する場面を見学して、予備実験を進めることとした。

第3章　予備実験

本章では、感性アナライザを用いた内視鏡手術トレーニングの予備実験について詳述する。

3.1 予備実験の構想と目的

予備実験では感性アナライザを用いた感性計測を内視鏡手術トレーニング用ドライボックス実施時に行う上での課題出しとその整理、またリサーチクエスチョンを立てるためにインサイトを得ることを狙った。したがって、予備実験の目的は 1) 感性アナライザを用いた感性計測による内視鏡手術トレーニングの実験系の課題を確認すること、そして 2) リサーチクエスチョンを立てるためのインサイトを得ることとした。

3.2 予備実験方法

3.2.1 概要・使用機材

予備実験は以下の概要にて実施した。

実施日時：2021 年 8 月 20 日（金）17:00-20:00

実施場所：慶應義塾大学大学院総合医科学研究棟内会議室

実験協力者：堀周太朗氏（医学部助教）

予備実験に使用した主な機材は以下の通りである。簡易的に実験可能であり、かつ外科分野における鉗子操作のトレーニングの一環として用いられるドライボックスを用いた。通常の手技とは異なるが堀氏と相談の上、手術用鉗子は先端がカモノハシ形状の把持鉗子を用いて両手で操作することとした。

＜使用機材＞

- オンライン感性取得装置・感性アナライザ（電通サイエンスジャム社製）
  - ➢ 2 台用いたが、1 台は旧型のタイプを使用した
- 内視鏡下手術用トレーニングドライボックス（図 15, iSurgicals 社製、iSim2, Integlated Laparoscopy Simulator）
- ビーズ（図 16, 図 16. ビーズ直径 10mm 程度の球状、慶應義塾大学医学部保有の既存トレーニング用を用いた）
- 内視鏡手術用把持鉗子（図 17, ジョンソンエンドジョンソン社製エンドパス）



図 15. 内視鏡下手術用トレーニングボックス



図 16. ビーズ



図 17. 内視鏡手術用鉗子

3.2.2 被験者

慶応義塾大学医学部に所属する外科医師 6 名を対象とした。被験者の属性を表 1 に示す。

表 1. 予備実験被験者の属性（N=6）

被験者番号	医師経験年数	専門科	性別
A	5	外科医師	男
B	15	外科医師	男
C	6	外科医師	男
D	5	外科医師	男
E	7	外科医師	男
F	15	外科医師	男

3.2.3 アンケートの目的と設計方針

被験者が回答するアンケートの作成目的と設計方針について述べる。本アンケートは実験前の事前アンケートと実験後の事後アンケートの 2 種類を準備する。

事前アンケートの目的は、被験者の特性を理解することである。したがって、項目は大きく分けて①被験者の経験に関する内容②Hand-eye coordination に関連する内容を聴取する。具体的な項目は以下の通りである。項目出しについては実験協力者の堀氏と相談の下決定した。

① 被験者の経験に関する内容・・・医師の経験年数、専門科、年齢、利き手、性別、ドライボックスの経験数（はじめて、1~10 回、10 回以上の 3 択)、手術のご経験（内視鏡の手術執刀経験有無、ある場合は執刀件数、ない場合は鉗子を持ったことがある経験）

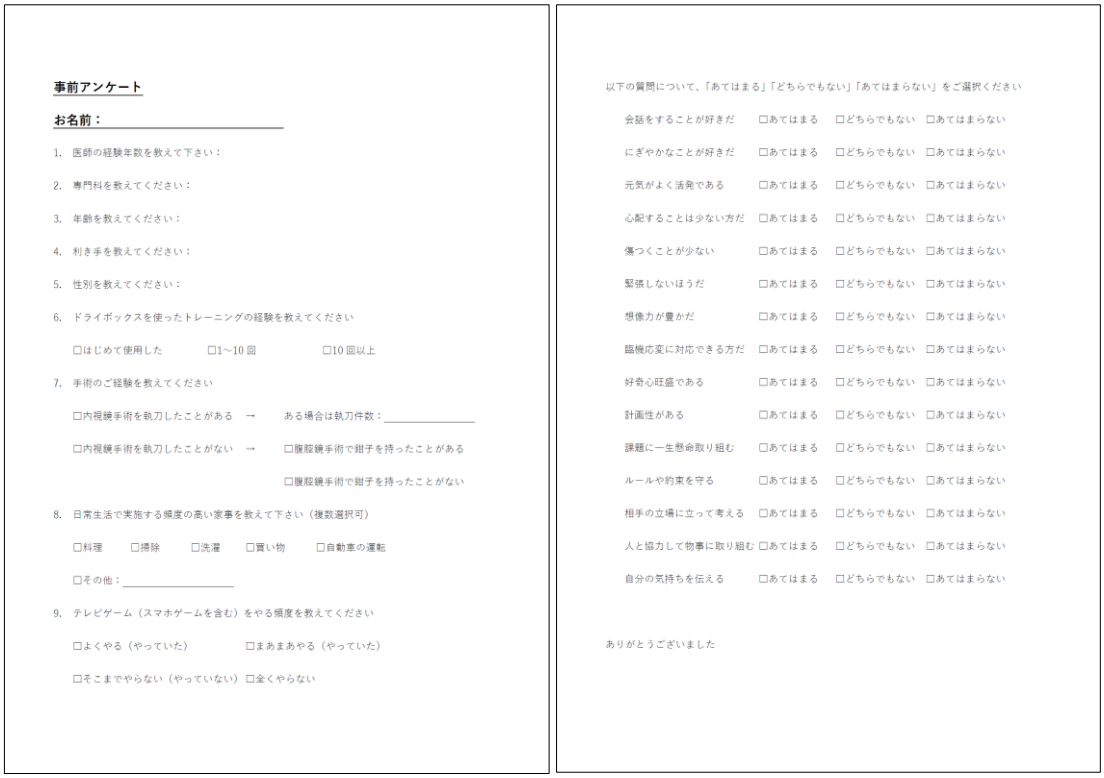
② Hand-eye coordination に関連する内容・・・日常生活で実施する頻度の高い家事（選択式)、テレビゲーム（もしくはスマホゲームをやる頻度)、性格診断（簡易的にビッグファイブ診断 https://commutest.com/bigfive/ を用いた）

事後アンケートの目的は、被験者の実験後に感じたことを理解することである。項目は①実際にやってみた印象（想定よりもうまくできた、想定通りだった、想定よりもうまくいかなかった）②各場面で感じたこと a)ビーズが入った場面に感じたこと b)ビーズがうまく入らなかったもしくは落とした瞬間 c) 1 分間が終わった瞬間（楽しくなった、もっとやりたくなった、集中した、ストレスだった、ワクワクした）③自由記述にて感じたこととした。また、2 回目実験後のアンケートは上記に追加して、1 回目の実験からの変更点を追加した。

尚、アンケート項目の“楽しくなった”“もっとやりたくなった”“集中した”“ストレスだった”“ワクワクした”は感性アナライザの指標である、Interest 値（興味度）・Like 値（好き度）・Concentrate 値（集中度）・Stress 値（ストレス度）・Excite 値（ワクワク度）にそれぞれ対応した質問である。

設計方針として、ドライボックストレーニングの習熟という観点でうまくいく人とそうでない人の特徴を感性アナライザのデータと組み合わせて出せるように考慮した。

事前アンケート、事後アンケートを図 18, 19 に示す。



事前アンケート

お名前：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

1. 医師の経験年数を教えて下さい：
2. 専門科を教えてください：
3. 年齢を教えてください：
4. 利き手を教えてください：
5. 性別を教えてください：
6. ドライボックスを使ったトレーニングの経験を教えてください

   □はじめて使用した　□1～10 回　□10 回以上
7. 手術のご経験を教えてください

   □内視鏡手術を執刀したことがある　→　ある場合は執刀件数：＿＿＿＿＿＿

   □内視鏡手術を執刀したことがない　→　□腹腔鏡手術で鉗子を持ったことがある

   □腹腔鏡手術で鉗子を持ったことがない
8. 日常生活で実施する頻度の高い家事を教えて下さい（複数選択可）

   □料理　□掃除　□洗濯　□買い物　□自動車の運転

   □その他：＿＿＿＿＿＿＿＿
9. テレビゲーム（スマホゲームを含む）をやる頻度を教えてください

   □よくやる（やっていた）　□まあまあやる（やっていた）

   □そこまでやらない（やっていない）□全くやらない

以下の質問について、「あてはまる」「どちらでもない」「あてはまらない」をご選択ください

会話をすることが好きだ	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
にぎやかなことが好きだ	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
元気がよく活発である	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
心配することは少ない方だ	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
傷つくことが少ない	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
緊張しないほうだ	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
想像力が豊かだ	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
臨機応変に対応できる方だ	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
好奇心旺盛である	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
計画性がある	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
課題に一生懸命取り組む	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
ルールや約束を守る	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
相手の立場に立って考える	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
人と協力して物事に取り組む	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない
自分の気持ちを伝える	□あてはまる	□どちらでもない	□あてはまらない

ありがとうございました

図 18. 予備実験事前アンケート（左：1 枚目、右：2 枚目）



事後アンケート　1 回目

お名前：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

1. 実際にやってみた印象を教えて下さい

   □想定よりもうまくできた　□想定通りだった　□想定よりもうまくいかなかった
2. 以下の場面で感じたことを教えてください（複数回答可）

   ①ビーズが入った場面

   □楽しくなった　□もっとやりたくなった　□集中した　□ストレスだった　□ワクワクした

   ②ビーズがうまく入らなかったもしくは落とした瞬間

   □楽しくなった　□もっとやりたくなった　□集中した　□ストレスだった　□ワクワクした

   ③1 分間が終わった瞬間

   □楽しくなった　□もっとやりたくなった　□集中した　□ストレスだった　□ワクワクした
3. 実際にやってみて感じたことを率直に教えて下さい

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

ありがとうございました

事後アンケート　2 回目

お名前：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

1. 実際にやってみた印象を教えて下さい（1 回目と比較して）

   □想定よりもうまくできた　□想定通りだった　□想定よりもうまくいかなかった
2. 以下の場面で感じたことを教えてください（複数回答可）

   ①ビーズが入った場面

   □楽しくなった　□もっとやりたくなった　□集中した　□ストレスだった　□ワクワクした

   ②ビーズがうまく入らなかったもしくは落とした瞬間

   □楽しくなった　□もっとやりたくなった　□集中した　□ストレスだった　□ワクワクした

   ③3 分間が終わった瞬間

   □楽しくなった　□もっとやりたくなった　□集中した　□ストレスだった　□ワクワクした
3. 1 回目とやり方を変えましたか

   □はい　→　具体的に教えて下さい：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

   □いいえ
4. 1 回目と比較して感じたことを率直に教えて下さい

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

ありがとうございました

図 19. 予備実験事後アンケート（左：実験 1 回目後、右：実験 2 回目後）

3.2.4 予備実験手順

被験者は以下の手順で実験を行う。

1) 事前アンケートに回答する。

2) 感性アナライザを頭部に装着して、キャリブレーションを行う。キャリブレーションは装着後に目を閉じて“ろうそくの炎がピンと立つ様子”を想像して 75 秒間行う。途中でエラーになる場合は再度継続する（この際に進捗状況によって 15 秒のキャリブレーションとなる場合もある）

3) 同一の内視鏡手術用鉗子を 2 本両手に持つ。トレーニングボックス右側に置かれたプラスチックカップ内の 15 個の丸形状のビーズをトレーニングボックス左側に置かれたプラスチックの袋に移動させる。レイアウトを図 20 に示す。実験時間は 1 分間とする。袋は土台にテープで固定された状態で、口は開いていない。被験者は正面の 2 次元のモニターを見ながらその情報を元に手元の鉗子操作を行う（図 21）

4) 実験終了後に事後アンケートに回答する。感性アナライザを装着した状態でアンケートフォームに記入する。実験は 2 回行い、各実験後にアンケートを回答する。

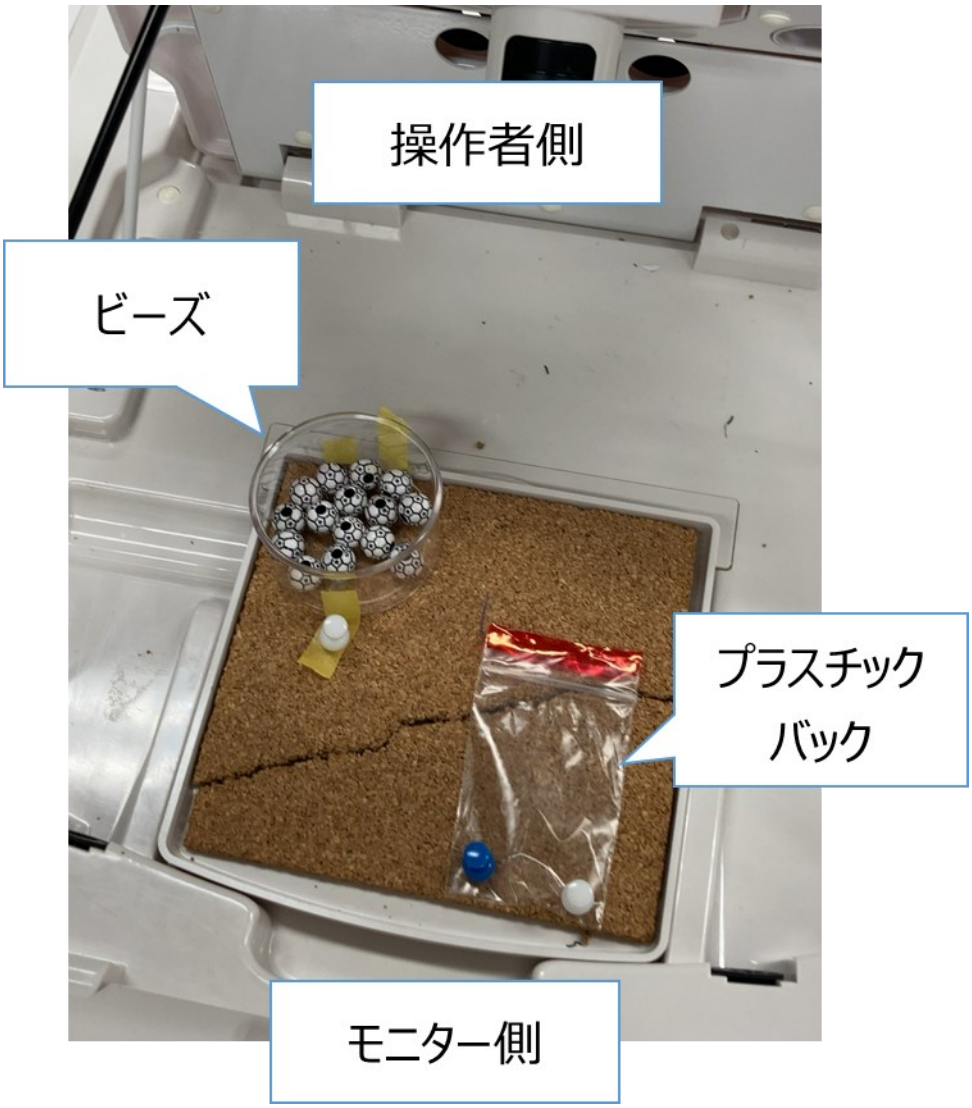


図 20. ドライボックス上のレイアウト

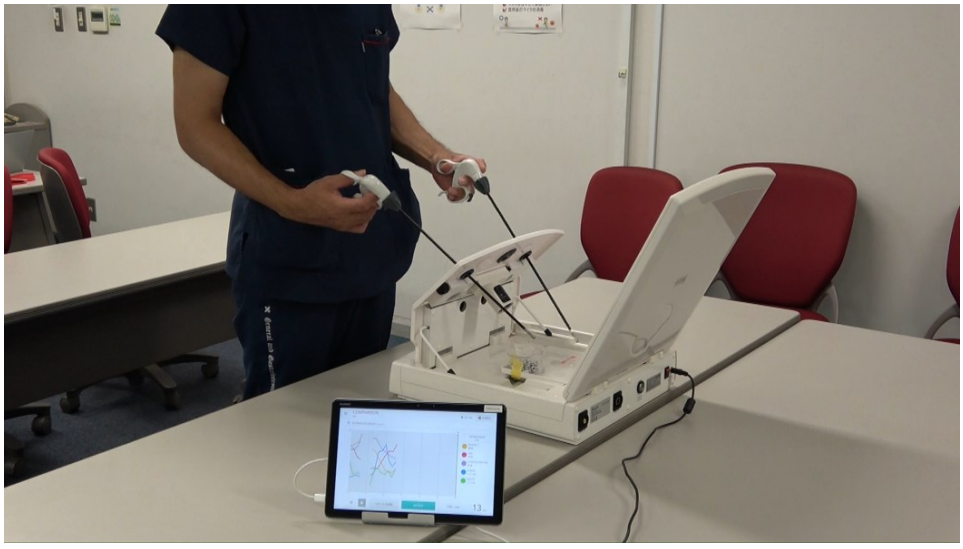


図 21. 予備実験の様子

3.2.5 予備実験結果と考察

本実験によって得られた感性アナライザの波形を以下図に示す。Interest 値（興味度）・Like 値（好き度）・Concentrate 値（集中度）・Stress 値（ストレス度）・Excite 値（ワクワク度）を選択して、被験者の実験毎にサンプリングした波形を解析した。

1) 感性計測を用いた内視鏡手術トレーニングの実験系の課題

本予備実験では、感性アナライザを装着してドライボックストレーニングのデータ取得を行うことができた。実験を通しての課題を以下に列挙する。

- アンケートの記載を全て手入力にしたため、実験間での被験者の負担が大きくなった。被験者は感性アナライザを装着したまま移動などを余儀なくされたため、その影響による数値変化がある
- 被験者 B のみ旧型の感性アナライザ（頭部センサーが 1 つのみのタイプ）を用いた。実験データとしては同じものが取得できているが、機器の違いによる影響を考慮する必要がある。

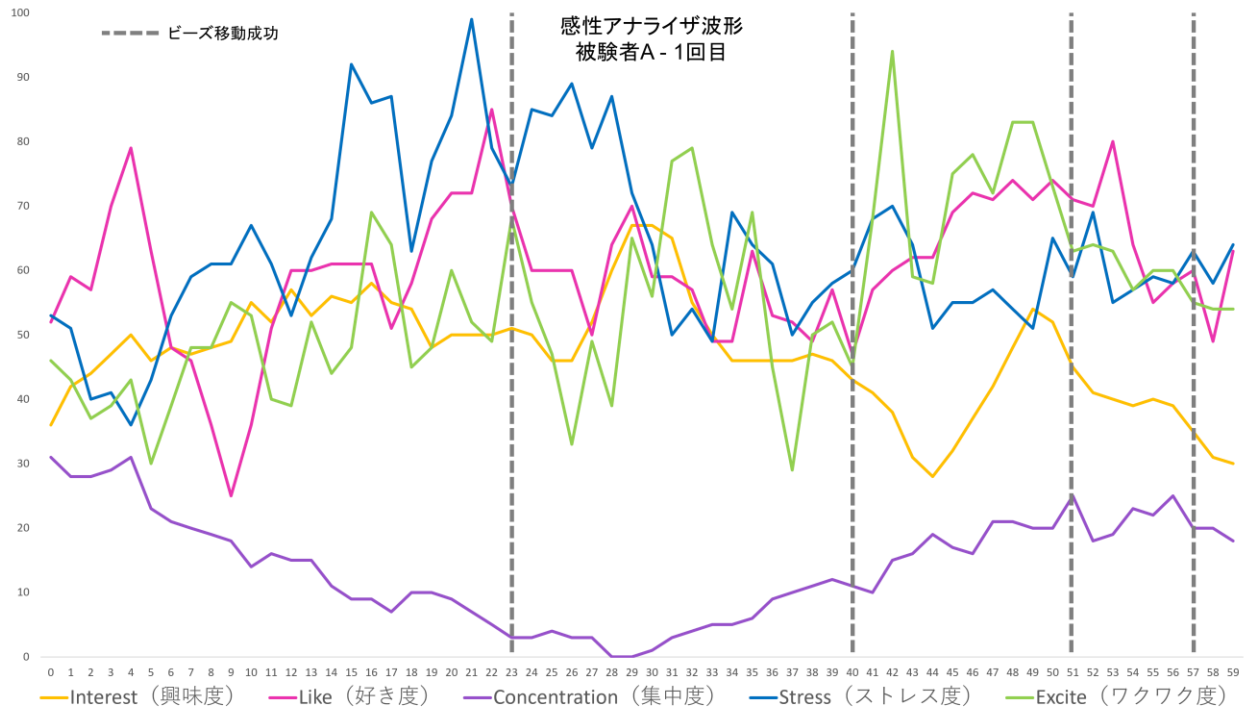


図 22. 感性アナライザ波形

- 被験者が全て経験豊富な医師だったため、本来トレーニングを必要とする習熟度の低い研修医や医学生のデータは取得できていない。
- 実験系として、鉗子選定においては堀氏のアドバイスにより把持鉗子を 2 本両手に持つことを選択した。これは通常の手技では想定されている使用法ではないが、今回は簡易的にビーズをつかめることを前提としているためこの方法に決定した。今後より難易度を上げる際には鉗子選択や、把持対象の再選定（ビーズよりも形状が把持しにくいもの）をする必要がある。

上記が代表的な課題であるが、運用面を含めて本実験で改善すべき事項を得ることができた。

2) リサーチクエスチョンを立てるためのインサイトを得る

被験者の事前アンケート結果から、Hand-eye coordination に関連する内容とビーズ移動個数についての関連性について述べる。被験者のビーズ移動個数と日常的に行う家事・テレビゲームをやる頻度のまとめを表 2 に示す。ビーズ移動個数が多い被験者 A と F については自動車の運転を選択しているが、テレビゲームをやる頻度は A がよくやると回答した一方で、F は全くやらないという回答だった。F は経験年数が長い被験者であり、今回の 6 名の被験者の中では経験年数の浅いAが上記 2 項目について回答している点は Hand-eye coordination に慣れていることを示唆する可能性がある。

表 2. アンケート結果とビーズ移動個数の比較①

被験者番号	平均ビーズ移動個数	料理	掃除	洗濯	買い物	自動車の運転	テレビゲームをやる頻度
A	8.5				○	○	よくやる
B	6.5		○				そこまでやらない
C	3.5	○	○	○	○		まあまあやる
D	5.5		○				全くやらない
E	4.5		○	○			そこまでやらない
F	8.0		○		○	○	全くやらない

また、被験者の性格診断とビーズ移動個数についての関連性について述べる。被験者のビーズ移動個数と性格診断のまとめを表 3 に示す。

表 3. アンケート結果とビーズ移動個数の比較②

被験者番号	平均ビーズ移動個数	外向性	情緒安定性	開放性	誠実性	調和性
A	8.5	89	67	67	89	67
B	6.5	78	45	67	67	78
C	3.5	100	89	89	100	100
D	5.5	78	34	67	67	67
E	4.5	78	34	89	89	89
F	8.0	89	34	89	89	100
相関係数		-0.10	-0.26	-0.42	-0.19	-0.35

ここで各性格の概要を以下に解説する。

外向性・・・人とのコミュニケーションに対する積極性

情緒安定性・・・他者とのやり取りの中での傷つきやすさ、気持ちの安定性や物事への態度など

開放性・・・どれくらい、新しいことに対してオープンかを示したり想像力の程度など

誠実性・・・周囲の人や、物事に対する責任感や計画性がどの程度か

調和性・・・周囲に同調したり従ったりすることができるかなどを表します

この結果から、ビーズ移動個数と開放性にはやや負の相関があることがわかった。すなわちオープンではない（＝一つのことにこだわって突き詰める）と解釈すれば、のめりこむほど多くの個数が入れられる（＝習熟が早い可能性がある）と考えられる。

以上についてはサンプル数が少ないため、さらなる検証を要する。

さらなるインサイトを得るために、成功と失敗を分ける要因について本予備実験においてビーズの移動個数だけではなく、移動時にビーズを落としてしまった場面（つまり失敗）に着目して、その前の感性状態について追加的に分析した。実験映像の確認による、ビーズの失敗場面とその事象について表 4 に示す。

表 4. ビーズ移動失敗場面一覧

被験者 / 時間	事象
B2－33s	一瞬の振動で戸惑うも動きを止めない
F2－6s	スムーズに？袋を開けられた、
F2 - 39s	ほんの少しだけ袋に入れ損ねた
D2－35s	（失敗）ビーズを遠くに飛ばしてしまった
E2－50s	（失敗）ビーズを落としてしまった
A2－27s	掴み損ねた

特に被験者 D2（D の 2 回目の実験）, E2（E の 2 回目の実験）がビーズを落とした場面においてその前後での被験者の心理状態がこの失敗に関連していると推定して、分析を行った。事象が発生したタイミングの比較を行ったところ、全ての失敗場面で Like 値が 60 以上と高く、その中でも明らかに失敗となるビーズを落とした 2 つの場面（D2, E2）においては加えて Excite 値も高いことがわかった。この Like 値が高いという点はほかの成功場面と比較しても高い値を示している。感性アナライザ波形を図 23, 24, 25, 26, 27 に示す。これはいわゆる過緊張、この操作にのめりこんでいる状態を示唆しており、それによって肩に力が入ってしまっていることから操作を誤ったことが考えられる。

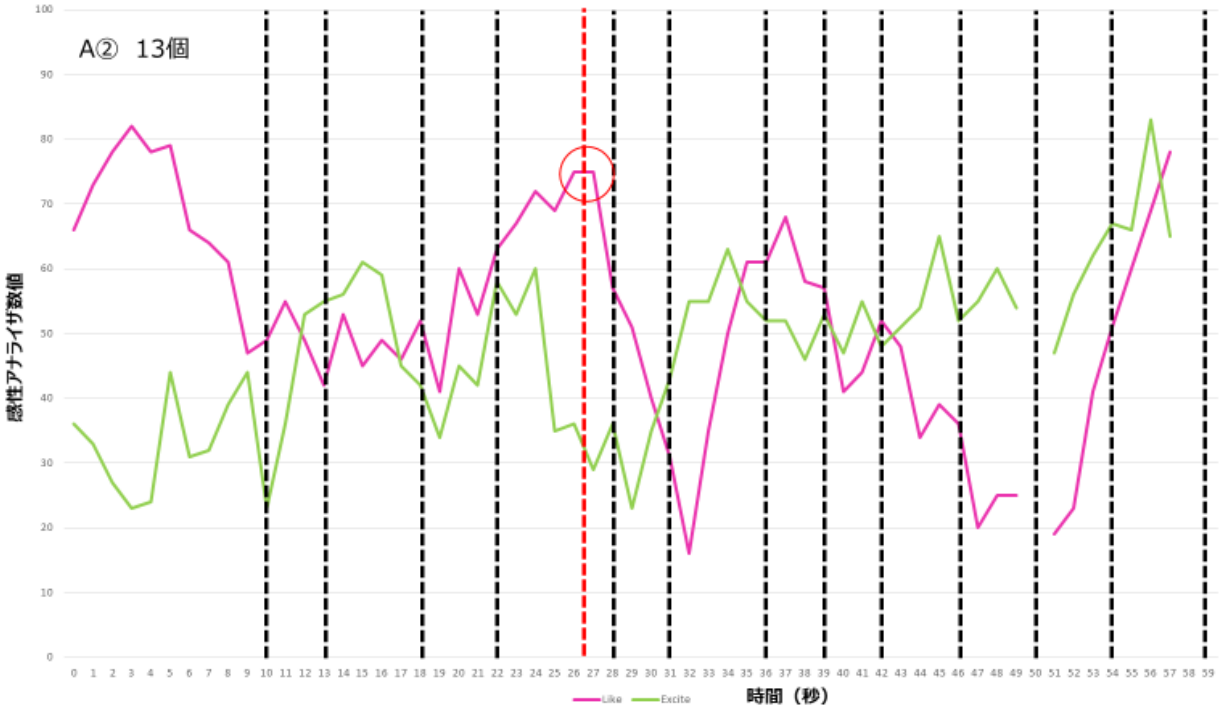


図 23. 被験者 A 実験 2 回目の感性アナライザ波形

*黒字の点線はビーズ移動の成功、赤字の点線はビーズ移動の失敗を示す

被験者 A は 27 秒時点でビーズを掴み損ねた際に、Like 値が上がっているのがわかる。一方で Excite 値は低い。

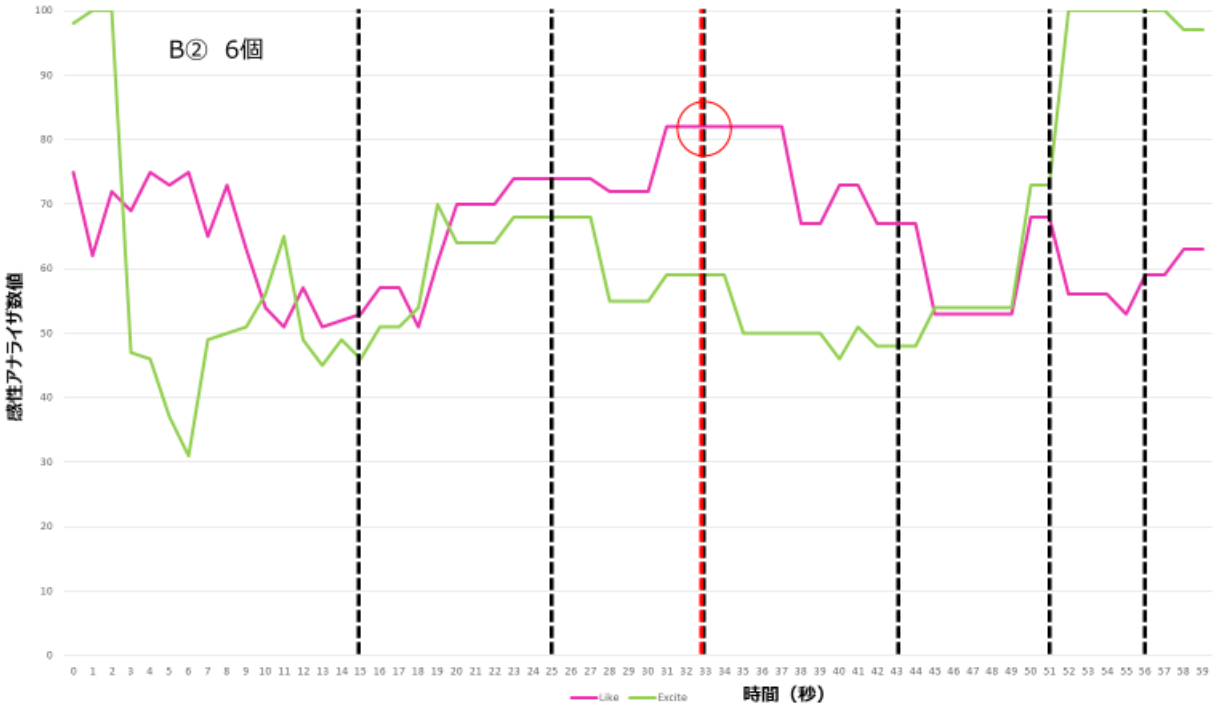


図 24. 被験者 B 実験 2 回目の感性アナライザ波形

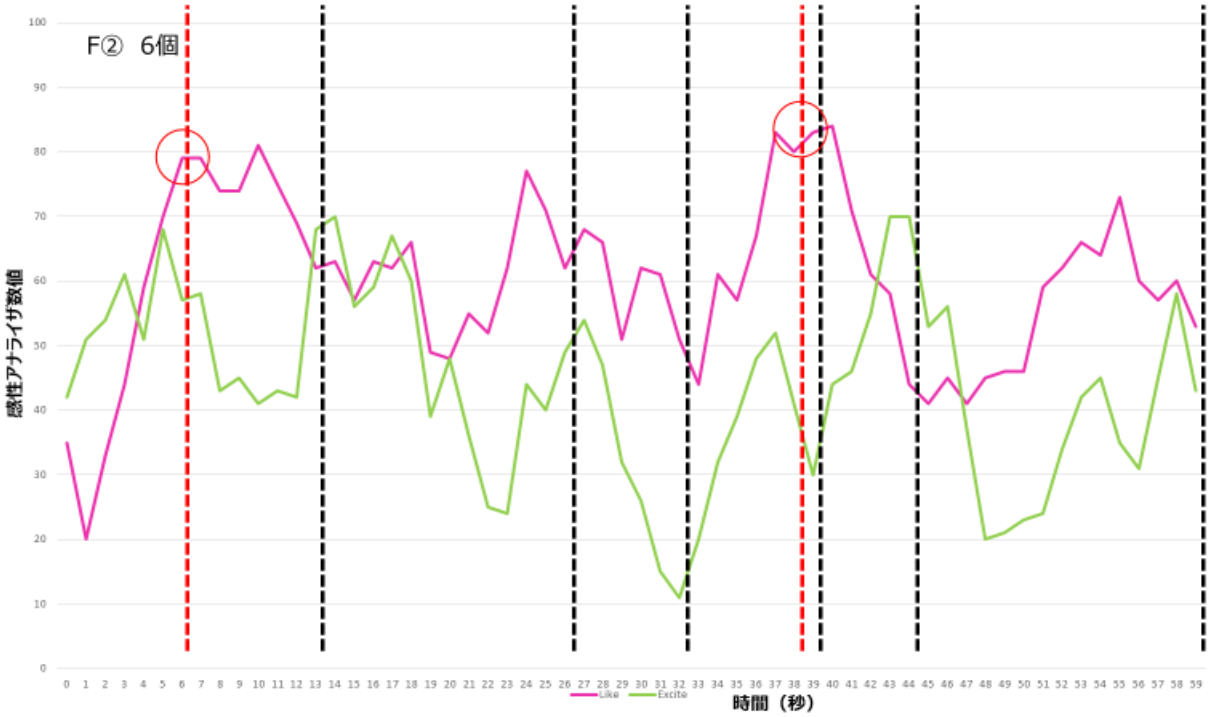


図 25. 被験者 F 実験 2 回目の感性アナライザ波形

被験者 B は 33 秒時点で一瞬戸惑い Like 値が上がるが Excite 値は低い。被験者 F は 6 秒と 39 秒時点で操作にややミスが出るが Like 値が上がるも Excite 値は低い。

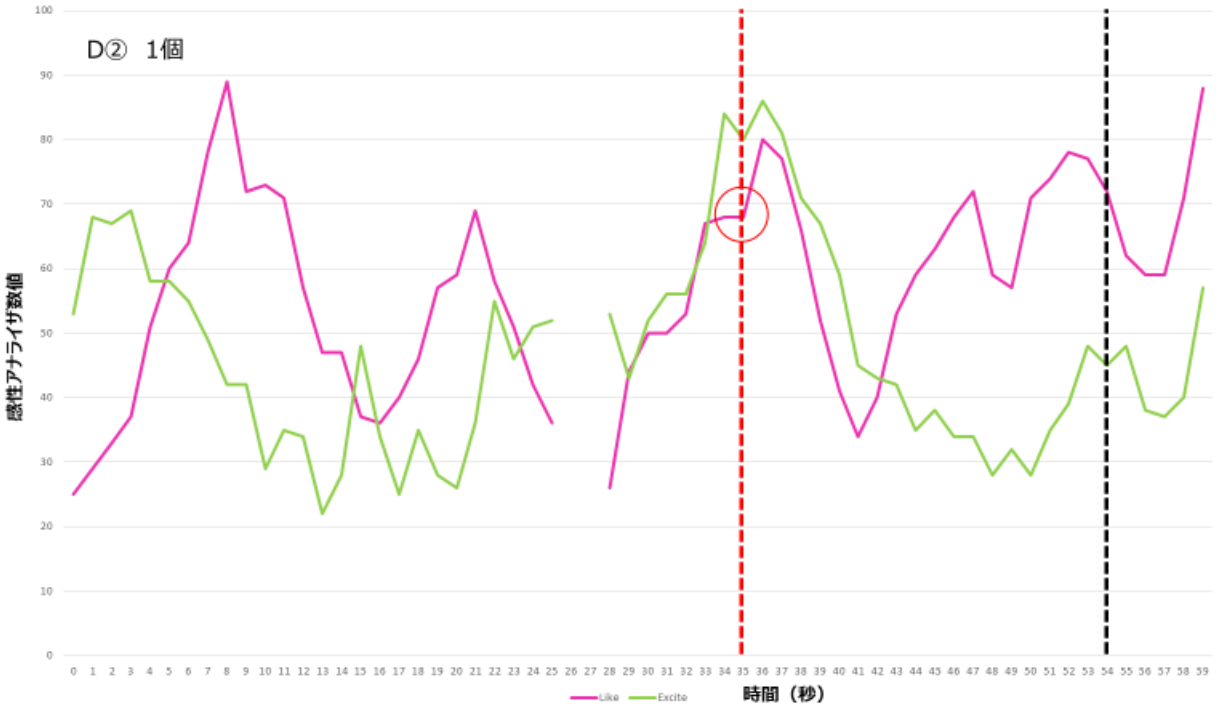


図 26. 被験者 D 実験 2 回目の感性アナライザ波形

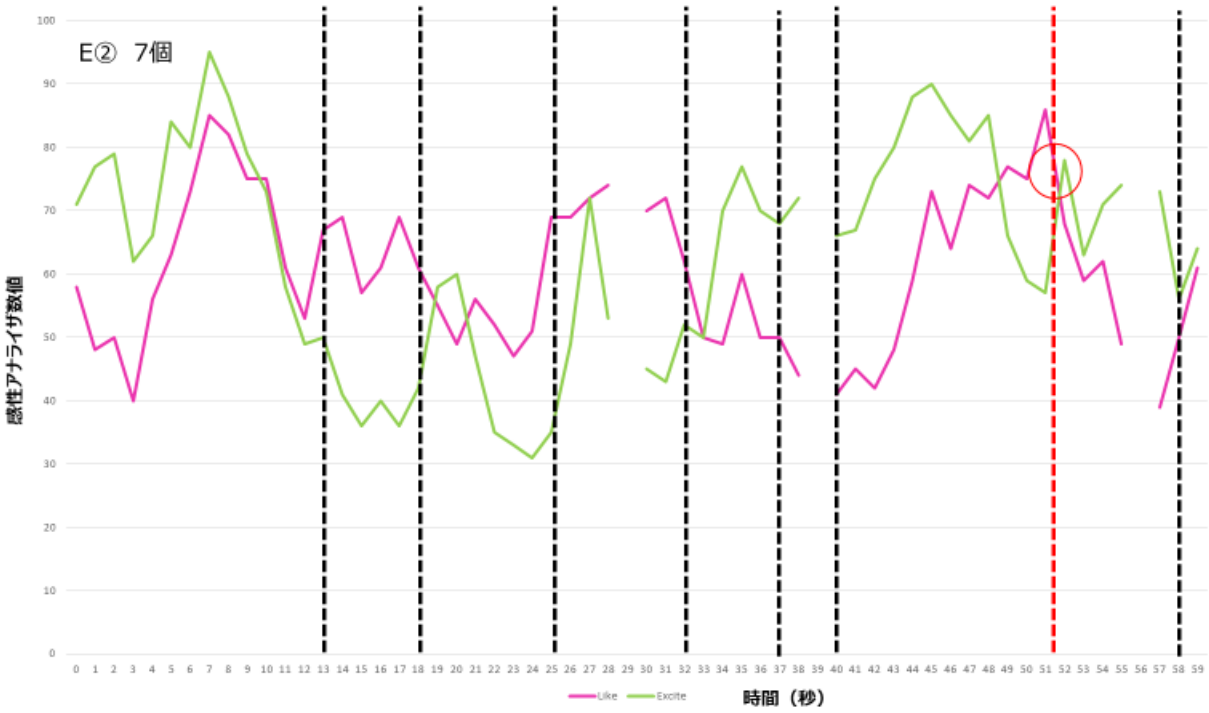


図 27. 被験者 E 実験 2 回目の感性アナライザ波形

被験者 D は 35 秒時点でビーズを遠くに飛ばしてしまい、Like 値が上がるとともに Excite 値も上昇した。被験者 E は 50 秒時点でビーズを落としてしまい、Like 値が先行して上がり、その後 Excite 値も上昇した。

被験者の実験中の姿勢にも着目したい。経験年数 10 年以上の被験者 B および F については実験中の Stress 値が高い状態（平均値＋2σを超えたタイミング）においても姿勢が崩れることなく操作を続けられていた。一方で、経験年数 6 年の被験者 C は同じく Stress 値が高い状態で、姿勢が崩れて脇が開いてしまっていた。堀氏によると正しい姿勢をキープすることが操作の安定性につながるため、この点もビーズの移動個数に影響を与えた可能性がある。

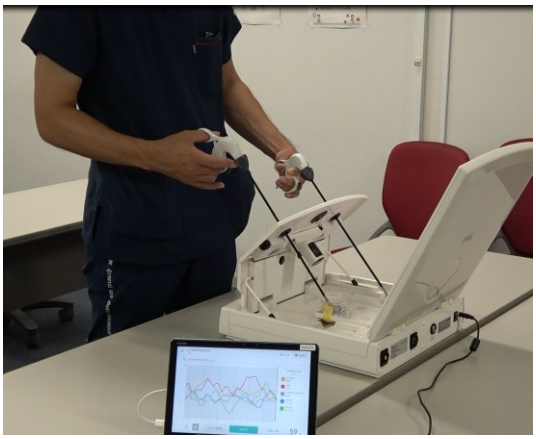




図 28. 被験者 F 実験 2 回目の姿勢（左, 44 秒時点、ストレス値 59）

図 29 . 被験者 B 実験 2 回目の姿勢（右, 43 秒時点、ストレス値 100）

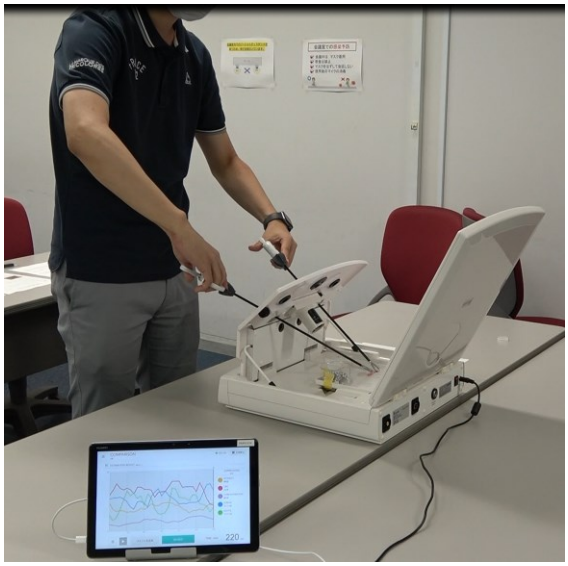


図 30. 被験者 C 実験 2 回目の姿勢（41 秒時点、ストレス値 75）

実験にて取得したアンケート結果を表 5, 表 6, 表 7, 表 8 に示す。

表 5. 予備実験アンケート結果①

被験者番号	１回目移動個数	感想
A	4	うまくできなかった
B	7	遠近感が難しかった
C	7	修正点を見つけたので次に生かしたいと思った
D	5	意外と難しかった
E	2	時間が短いと思い焦った
F	10	肩に力が入ってしまったときはうまくいかなかった

表 6. 予備実験アンケート結果②

被験者番号	２回目移動個数	感想	やり方を変えた点
A	13	うまくできて楽しかった	最初に袋を最大限に広げた
B	6	欲が出てきた	なし
C	0	うまくいかなかった	なし
D	6	１回目で玉がたくさん入っているとやりにくい	なし
E	7	とても落ち着いていた	なし
F	6	やはり力が入るとうまくいかない	袋を柔らかく持つようにしたが、力がうまく入らずうまくいかなかった

表 7. 予備実験アンケート結果③

被験者番号	1回目印象	①入った瞬間	②うまくいかなかった瞬間	③１分間が終わった瞬間
A	想定よりもうまくいかなかった	楽しくなった	集中した、ストレスだった	もっとやりたくなった
B	想定通りだった	集中した	集中した	集中した
C	想定よりもうまくできた	楽しくなった、もっとやりたくなった、集中した	集中した	もっとやりたくなった
D	想定よりもうまくいかなかった	集中した	ストレスだった	ストレスだった
E	想定よりもうまくいかなかった	もっとやりたくなった	ストレスだった	もっとやりたくなった
F	想定よりもうまくいかなかった	もっとやりたくなった	集中した、ストレスだった	もっとやりたくなった

表 8. 予備実験アンケート結果④

被験者番号	2回目印象	①入った瞬間	②うまくいかなかった瞬間	③１分間が終わった瞬間
A	想定よりもうまくできた	楽しくなった、集中した	もっとやりたくなった	楽しくなった
B	想定通りだった	もっとやりたくなった	ストレスだった	もっとやりたくなった
C	想定よりもうまくいかなかった		集中した、ストレスだった	もっとやりたくなった
D	想定よりもうまくいかなかった	ストレスだった	ストレスだった	ストレスだった
E	想定よりもうまくできた	楽しくなった、もっとやりたくなった	集中した、ストレスだった	もっとやりたくなった
F	想定よりもうまくいかなかった	もっとやりたくなった,集中した、ストレスだった	集中した、ストレスだった	もっとやりたくなった、ストレスだった

第4章　本研究のリサーチクエスチョンと検証方法

本章では、予備実験を踏まえて本研究におけるリサーチクエスチョンを示す。

4.1 リサーチクエスチョン

本研究のリサーチクエスチョンを設定する。そもそも内視鏡手術トレーニングは臨床現場で手術を行う前段階で、操作手順や手術の技術を模擬的に学習するための手法である。その過程を繰り返すことで、操作をより効率的にできるようになり、また操作が難渋する場面においてもアイデアを駆使してリカバリーする技術を身に着ける。すなわち初学医は熟練医のようにスキルを身体にしみこませることで安定してアウトプットを出し続けることができるようになることが最終的なゴールとなる。

熟練医に近づくという点に着目して、ポイントとなるのは操作に成功した場面と失敗した場面である。つまり、長時間での手術を無事終えるためには成功時に一喜一憂することなく、失敗時には早期にリカバリーする方法を考えて、素早く実行しなければならない。当然ながら、この行動を可能とするのは、“経験”であり、いかに多くの実践をこなして、その操作スキルの精度を上げてきたかという点に尽きる。

前述のようにこれまでの内視鏡手術トレーニングにおいてその評価方法は、操作のアウトプット（手技時間もしくは例えば物理的に移動した物体の個数など）に限られてきたが、本研究ではその成功時と失敗時に熟練医とトレーニング対象となる初学医が成功した場合と失敗した場合の“感性”に注目して、まずその違いを明らかにする。

- *RQ-1：内視鏡操作経験の有無によって、操作の成功時・失敗時に感性の違いがあるのではないか？*

これまでの評価方法、例えばアンケートではトレーニングが終了した後にその全体を振り返って実施者の主観によってレーティングすることが主流となっている。上記 RQ-1 が明らかになることによって、よりミクロな視点でトレーニング実施者の思考を理解することができる。そのため、熟練医と比較して、次のトレーニングに向けた改善ポイントなどを明確にすることが可能となる。また、必ずしもアウトプットの結果と整合しないケースも想定される。いわゆる“まぐれ”での習熟レベルの誤解を防ぐことができる。したがって、正しい習熟レベルを判定できる可能性が高まることによ

ってスキル向上、ひいては医療事故のリスクを下げることができる。

また、前述の通りトレーニングに要する時間が長いという点について、内視鏡手術トレーニングをより効率的に行う方法に着目したい。ここでは初学医の習熟を高めるために上達しやすい人の条件を明らかにする。すなわち、上達する人が“コツをつかむ”ことを可視化することができれば、その何らかの指標について、有効な手段を用いて強制的に習熟を高められるのではないかという発想である。そこで、上達しやすい人と上達しにくい人の比較によって、その条件ひいてはスキル向上につながる指標を明らかにする。

- *RQ-2：感性計測を用いた客観的評価によって、主観評価だけでは得られない被験者のスキル向上につながる指標が見つかるのではないか？*

上記 RQ-2 が明らかになることによって、これまでの主観評価ではわからないコツをつかんだ時間軸つまりその時を境にスキル向上が認められるポイントを可視化することが可能になるかもしれない。また、何らかの指標をスキルレベルの KPI の一つとして取り入れることで、初学医からの脱却すなわち臨床現場でのトレーニングに移行するメルクマールにすることも実現できるだろう。

4.2 検証方法

予備実験で用いた内視鏡手術トレーニング用のドライボックスを用いて、以下 RQ-1 および RQ-2 の検証を行う。

＜RQ-1 の検証手順＞

1) 内視鏡操作でビーズを袋に移動できた瞬間を“成功”、ビーズを落とした瞬間を“失敗”と定義して、その時間を記録する
2) 成功・失敗前後の 1 秒間における感性アナライザで得られた 5 因子の数値の差分を算出する。これは成功・失敗前後での“心の動き”を示す代理指標と考える。前後 1 秒間の設定理由として、脳波は通常 30Hz 程度（0.03 秒程度）とされており、感性アナライザの分解能で最小の前後 1 秒でその変化を見る

ことにした

3) 内視鏡操作経験について、①内視鏡手術執刀経験がある②内視鏡手術執刀経験はないが、鉗子を持ったことがある③鉗子を持ったことがないという 3 群に被験者を分ける
4) 各群で、2)で得られた成功時の数値と、失敗時の数値を対応のない t 検定によって差を見る
5) 成功時と失敗時の数値に差がない＝イベント発生による心の乱れがなく安定的にアウトプットを出していると判断する

RQ-1 の検証方法を図 31 に示す。

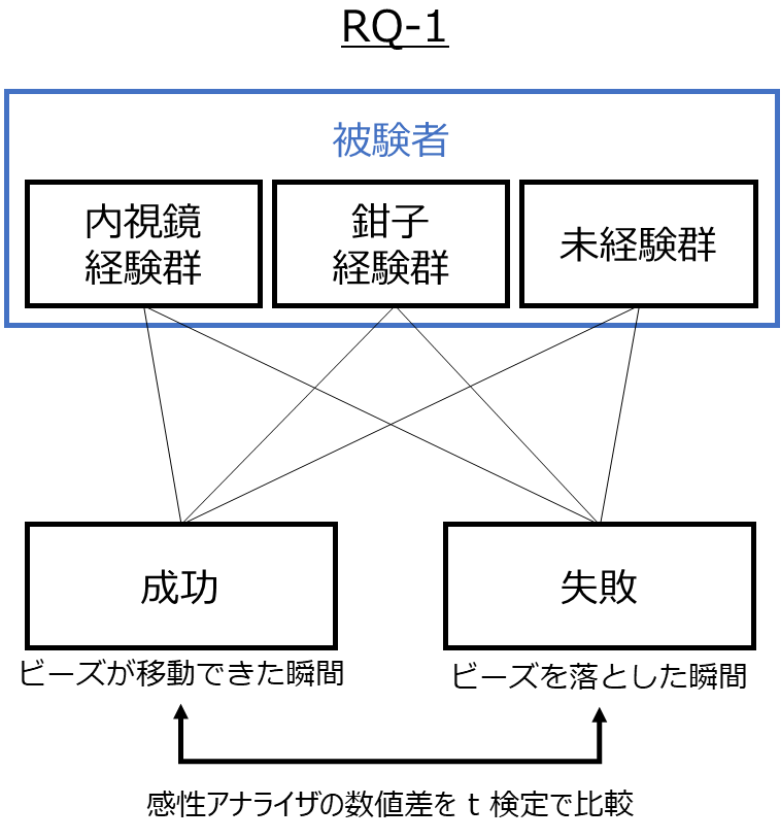


図 31. RQ-1 検証方法

＜RQ-2 の検証手順＞

1) トレーニングを通じて非熟練者の中で“上達しやすい人”と、“上達しにくい人”を複数名抽出して 2 群に分ける。
2) 内視鏡操作トレーニング 1 分間に感性アナライザで得られた 5 因子の数値の平均値を算出する
3) 2 群でのトレーニング後のアンケート結果および、感性計測の数値を比較して、t 検定によって差を見る
4) 主観評価＝アンケート結果、客観的評価＝感性計測結果として、主観評価では得られない客観的評価の結果を明らかにしてその影響について考察する

RQ-2 の検証方法を図 32 に示す。

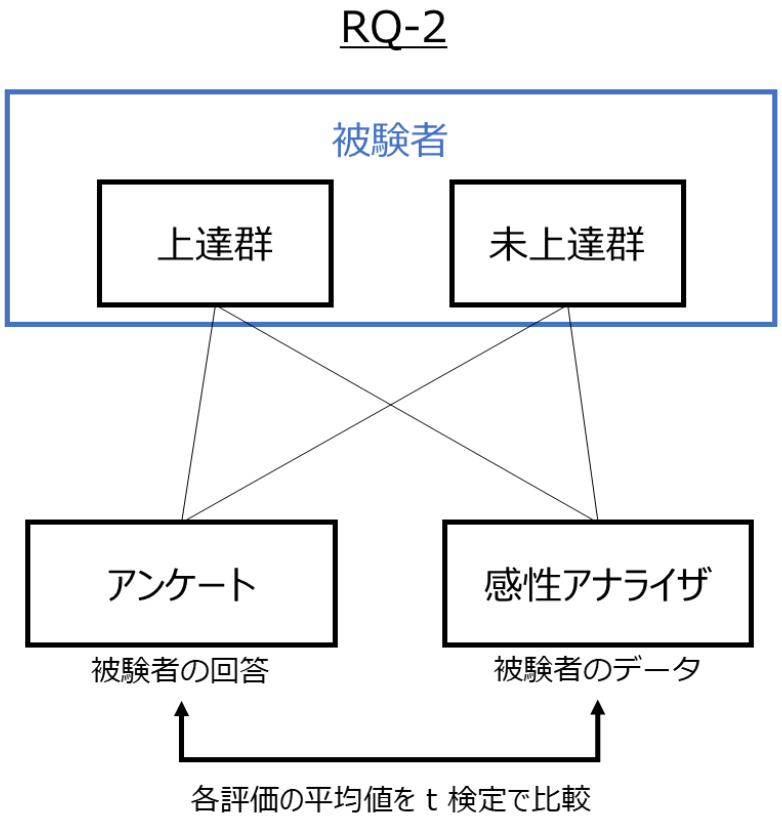


図 32. RQ-2 検証方法

第5章　本実験

本章では、本実験について詳述する。

5.1 実験方法

5.1.1 概要・使用機材

本実験は以下の概要にて実施した。

＜1 回目＞

実施日時：2021 年 11 月 19 日（金）17:30-20:00

実施場所：慶應義塾大学大学院総合医科学研究棟内会議室

＜2 回目＞

実施日時：2021 年 12 月 3 日（金）17:30-20:00

実施場所：慶應義塾大学大学院総合医科学研究棟内会議室

実験協力者：堀周太朗氏（医学部助教）

本実験に使用した主な機材は 3.2.1 に準ずる。尚、被験者が多いためそれぞれの機材を 2 台にて実施した。

5.1.2 被験者

慶応義塾大学医学部に所属する外科医師 13 名、および研修医 8 名、医学生 8 名の計 29 名を対象とした。表に示す。

表 9. 本実験被験者の特性（N=29）

被験者番号	属性	年齢	性別
1	医学生	23	女性
2	医学生	22	女性
3	医学生	23	男性
6	医学生	22	男性
7	医学生	23	女性
8	医学生	23	女性
9	医学生	22	男性
10	医学生	24	男性
11	外科医師	30	男性
12	外科医師	29	男性
13	外科医師	31	男性
15	外科医師	30	男性
16	外科医師	29	女性
21	外科医師	33	男性
23	外科医師	29	女性
26	外科医師	31	男性
40	外科医師	41	男性
41	外科医師	31	男性
42	外科医師	29	男性
43	外科医師	32	女性
45	外科医師	29	男性
4	研修医	24	女性
5	研修医	24	女性
17	研修医	26	女性
18	研修医	33	男性
19	研修医	26	女性
20	研修医	29	女性
25	研修医	28	男性
27	研修医	27	男性

*アンケートにて誤回答した外科医師の被験者を 1 名除いた

5.1.3 実験方法

実験方法は 3.3.3 に準ずる。尚、本実験ではトレーニングによるスキル向上過程を観察するために、実験回数を 3 回にしている（なお、3 回目は 2 回目のビーズ移動成功個数からプラス 5 個を目標として伝え、残り時間がわかるようにタイマーを被験者の視野に入るところに置いた）。被験者は事前アンケート、各実験後に実験アンケートを回答する（回答方式は被験者が Surveymonkey に手持ちのスマートフォンから入力した）。実験結果の解析には IBM SPSS Statistics V25 を用いた。本実験はビデオにて映像を取得した。実験風景を図 33 に示す。



図 33. 本実験セッティング風景

実験回数の変更について、2 回から 3 回に変更した目的は上達する人とそうでない人の差を明らかにするために回数を増やして習熟過程を長くモニタリングするためである。実験を重ねるほどうまくいく人は上達しやすいと考えられ、実験回数によらずうまくいかない人は上達しにくいと想定される。

アンケート設計については、事前アンケートは予備実験と同じフォーマットを用いた（方式はスマホなどから操作に変更している）

実験後のアンケートは実験回数に合わせて 3 回として、各実験後に回答を行う。項目の変更点は実際にビーズを成功した個数の入力を追加。そして感性アナライザの項目を想定した 5 つの指標、もっとやりたい/この実験が好き/ワクワクした/集中していた/ストレスだったについて 6 件法にて回答してもらった。これは図 32 に示す RQ-2 における検証を行う目的で感性アナライザとの比較を行い主観評価と感性計測による客観的評価の違いを検証する。

5.1.4 実験結果

(1) RQ-1 に対する実験結果

被験者をアンケートの回答結果に基づき、①内視鏡手術執刀経験がある（以下、内視鏡経験群）②内視鏡手術執刀経験はないが、鉗子を持ったことがある（以下、鉗子経験群）③鉗子を持ったことがない（以下、未経験群）の 3 群に振り分けた（表 10）。

付録に RQ-1 の実験結果として、感性アナライザの前後 1 秒間の差分をそれぞれ被験者の実験毎に L（Like 値差分）、I（Interest 値差分）、C（Concentrate 値差分）、S（Stress 値差分）、E（Excite 値差分）を算出して記載した。成功は以下赤にてハイライト、失敗は以下青にてハイライトされている。

表 10. 内視鏡手術経験による対象群振り分け（N=29）

被験者番号	属性	医師経験年数	対象群
11	外科医師	5	内視鏡経験群
12	外科医師	5	内視鏡経験群
13	外科医師	6	内視鏡経験群
15	外科医師	6	内視鏡経験群
16	外科医師	5	内視鏡経験群
21	外科医師	9	内視鏡経験群
23	外科医師	6	内視鏡経験群
26	外科医師	6	内視鏡経験群
40	外科医師	15	内視鏡経験群
41	外科医師	5	内視鏡経験群
42	外科医師	5	内視鏡経験群
43	外科医師	5	内視鏡経験群
45	外科医師	6	内視鏡経験群
6	医学生	0	鉗子経験群
7	医学生	0	鉗子経験群
8	医学生	0	鉗子経験群
4	研修医	1	鉗子経験群
25	研修医	1.5	鉗子経験群
27	研修医	2	鉗子経験群
1	医学生	0	未経験群
2	医学生	0	未経験群
3	医学生	0	未経験群
9	医学生	0	未経験群
10	医学生	0	未経験群
5	研修医	1	未経験群
17	研修医	2	未経験群
18	研修医	1	未経験群
19	研修医	1	未経験群
20	研修医	2	未経験群

次に、各群の実験映像を観察して、ビーズ移動時における成功・失敗の時間を記録した。成功・失敗の定義は以下に示す。

① ビーズ移動の定義

ビーズ移動成功の定義

被験者がビーズを袋に移動できた状態を成功とする。ビーズを把持した状態で袋内に挿入して、鉗子の把持が解除されて袋内に落ちた時点を成功の時間とみなした（袋に入った状態でも鉗子で把持した状態では成功とカウントしない)。また、完全に袋に入っていない状態でも、ビーズが外側にこぼれ落ちることがなければ成功とする。尚、一旦袋に入った状態で外側に出てしまった場合にも成功の取り消しはしない。

ビーズ移動失敗の定義

被験者がビーズを落とした状態を失敗とする。一旦ビーズを把持した状態で移動を開始した後に、把持の継続ができなかった時点で失敗とみなした。尚、ビーズの把持する位置を調整するために持ち直す操作を繰り返し行っている時点では失敗とカウントしない。被験者が把持の決定を行い、把持する操作を行った後に起こったイベントのみを有効と考えて、失敗の判断基準とした。

各群における成功・失敗の回数を以下表 11 に示す。

表 11. 内視鏡手術経験によるビーズ成功・失敗回数

	成功	失敗
内視鏡経験群（N＝13）	376	19
鉗子経験群（N=6）	66	23
未経験群（N=10）	145	16

② 内視鏡経験群の成功時と失敗時の比較

内視鏡経験群の成功・失敗時の感性アナライザの数値（前後 1 秒間の差分）に対して、対応のない t 検定を行った。その結果、内視鏡経験群において、成功時と失敗時に有意差は見られなかった（図 34, 表 6, 表 7）。

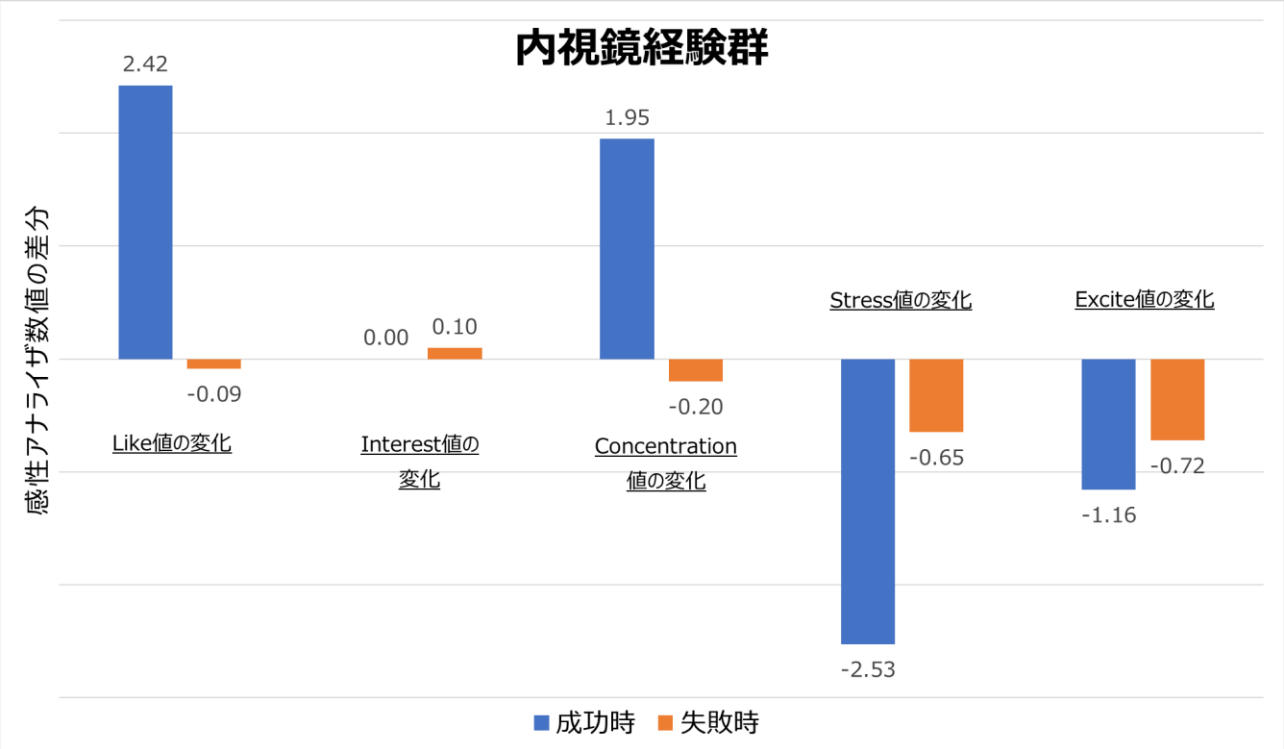


図 34. RQ-1 内視鏡経験群の比較結果

表 12. 内視鏡経験群 t 検定結果

	Like差分	Interest差分	Concentrate差分	Stress差分	Excite差分
自由度	393	393	393	393	393
t値	1.042	0.054	1.703	0.786	0.120
有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

表 13. 内視鏡経験群 t 検定結果詳細

(a) グループ統計量

	群	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
Like 差分	失敗	19	2.4211	10.21609	2.34373
	成功	376	-.0878	10.23876	.52802
Interest 差分	失敗	19	.0000	8.98146	2.06049
	成功	376	.0957	7.51435	.38752
Conc 差分	失敗	19	1.9474	4.91566	1.12773
	成功	376	-.1995	5.38146	.27753
Stress 差分	失敗	19	-2.5263	10.53232	2.41628
	成功	376	-.6489	10.13610	.52273
Excite 差分	失敗	19	-1.1579	15.56443	3.57072
	成功	376	-.7234	15.41283	.79486

(b) 独立サンプルの検定

		等分散性のための Levene の検定		2 つの母平均の差の検定					
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間 下限
Like差分	等分散を仮定する	0.02	0.888	1.042	393	0.298	2.50882	2.40731	-2.22399
	等分散を仮定しない			1.044	19.871	0.309	2.50882	2.40247	-2.50474
Interest差分	等分散を仮定する	1.194	0.275	-0.054	393	0.957	-0.09574	1.78419	-3.60349
	等分散を仮定しない			-0.046	19.295	0.964	-0.09574	2.09661	-4.47947
Conc差分	等分散を仮定する	0.147	0.702	1.703	393	0.089	2.14684	1.26059	-0.33151
	等分散を仮定しない			1.849	20.243	0.079	2.14684	1.16138	-0.27389
Stress差分	等分散を仮定する	0.281	0.597	-0.786	393	0.432	-1.87738	2.38776	-6.57175
	等分散を仮定しない			-0.759	19.722	0.457	-1.87738	2.47218	-7.03891
Excite差分	等分散を仮定する	0.042	0.838	-0.12	393	0.905	-0.43449	3.62582	-7.56293
	等分散を仮定しない			-0.119	19.826	0.907	-0.43449	3.65812	-8.06951

③ 鉗子経験群の成功時と失敗時の比較

鉗子経験群の成功・失敗時の感性アナライザの数値（前後 1 秒間の差分）に対して、対応のない t 検定を行った。その結果、鉗子経験群において、成功時と失敗時に有意差は見られなかった（図 35, 表 14, 表 15）。

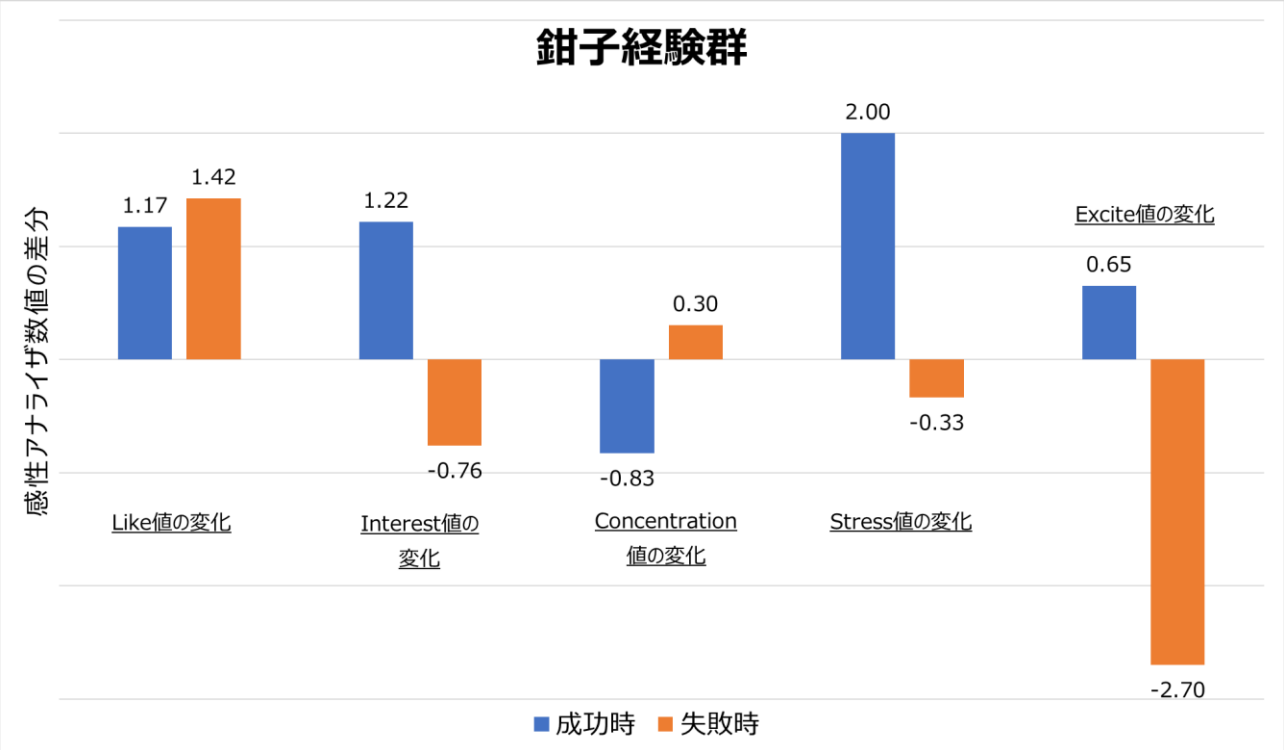


図 35. RQ-1 鉗子経験群の比較結果

表 14. 鉗子経験群 t 検定結果

	Like差分	Interest差分	Concentrate差分	Stress差分	Excite差分
自由度	87	87	87	87	87
t値	0.112	1.088	0.765	0.801	0.878
有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

表 15. 鉗子経験群 t 検定結果詳細

(a) グループ統計量

	群	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
Like 差分	失敗	23	1.1739	8.66892	1.80760
	成功	66	1.4242	9.37765	1.15431
Interest 差分	失敗	23	1.2174	6.28097	1.30967
	成功	66	-.7576	7.86631	.96828
Conc 差分	失敗	23	-.8261	7.95814	1.65939
	成功	66	.3030	5.31752	.65454
Stress 差分	失敗	23	2.0000	9.53463	1.98811
	成功	66	-.3333	12.77297	1.57224
Excite 差分	失敗	23	.6522	14.48701	3.02075
	成功	66	-2.6970	16.15594	1.98866

(b) 独立サンプルの検定

		等分散性のための Levene の検定		2 つの母平均の差の検定					
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間 下限
Like差分	等分散を仮定する	0.058	0.81	-0.112	87	0.911	-0.25033	2.22852	-4.67975
	等分散を仮定しない			-0.117	41.278	0.908	-0.25033	2.14472	-4.5808
Interest差分	等分散を仮定する	1.225	0.271	1.088	87	0.28	1.97497	1.81533	-1.6332
	等分散を仮定しない			1.213	47.791	0.231	1.97497	1.62874	-1.30021
Conc差分	等分散を仮定する	3.802	0.054	-0.765	87	0.446	-1.12912	1.47565	-4.06214
	等分散を仮定しない			-0.633	29.14	0.532	-1.12912	1.78381	-4.77667
Stress差分	等分散を仮定する	1.138	0.289	0.801	87	0.426	2.33333	2.91451	-3.45957
	等分散を仮定しない			0.921	51.328	0.362	2.33333	2.53466	-2.75443
Excite差分	等分散を仮定する	0.053	0.819	0.878	87	0.382	3.34914	3.81379	-4.23118
	等分散を仮定しない			0.926	42.5	0.36	3.34914	3.61659	-3.94688

④ 未経験群の成功時と失敗時の比較

未経験群の成功・失敗時の感性アナライザの数値（前後 1 秒間の差分）に対して、対応のない t 検定を行った。その結果、未経験群において、失敗時に有意に失敗後に Excite が下がることが判明した（$p<0.05$）、ほか 4 因子について有意差は見られなかった（図 36, 表 16、表 17）。

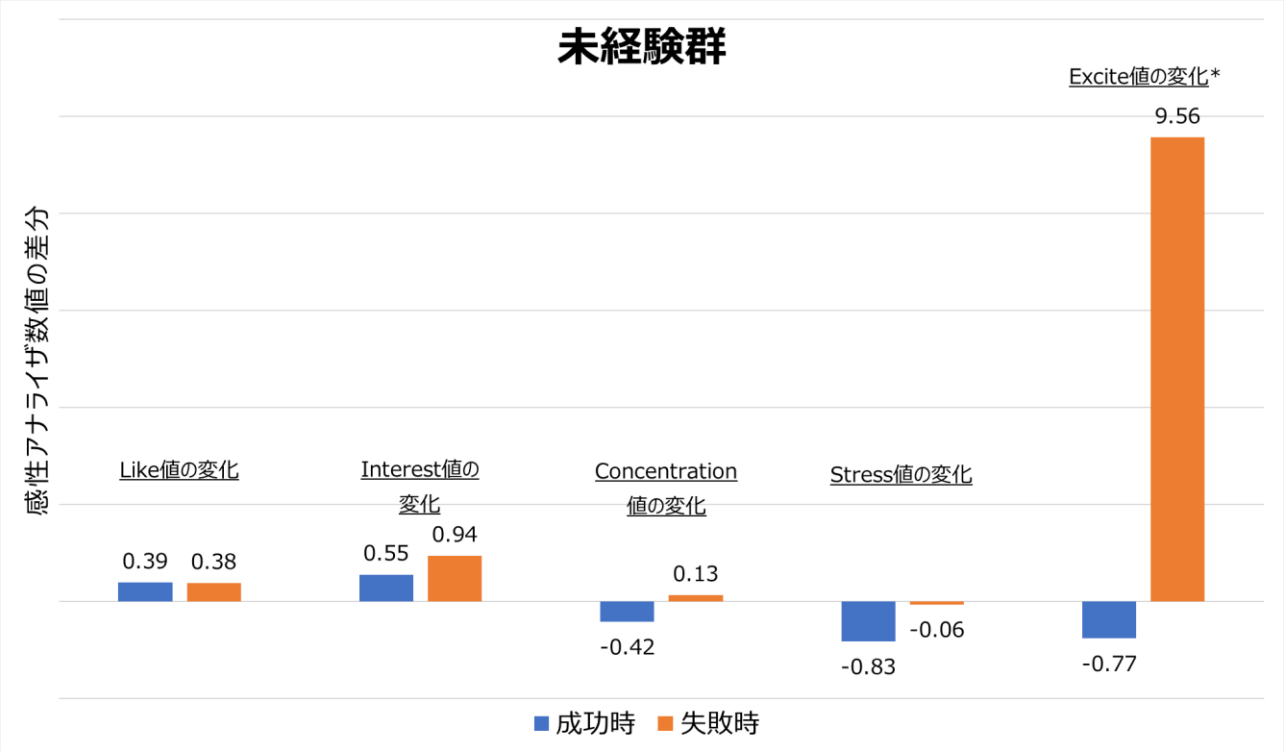


図 36. RQ-1 未経験群の比較結果

表 16. 未経験群 t 検定結果

	Like差分	Interest差分	Concentrate差分	Stress差分	Excite差分
自由度	159	159	159	159	159
t値	0.004	0.180	0.343	0.225	2.462
有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	p<.05

表 17. 未経験群 t 検定結果詳細

(a) グループ統計量

	群	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
Like 差分	失敗	16	.3750	13.19533	3.29883
	成功	145	.3862	10.27212	.85305
Interest 差分	失敗	16	.9375	8.33842	2.08460
	成功	145	.5517	8.13167	.67530
Conc 差分	失敗	16	.1250	5.51211	1.37803
	成功	145	-.4207	6.08695	.50549
Stress 差分	失敗	16	-.0625	12.49783	3.12446
	成功	145	-.8276	12.93914	1.07454
Excite 差分	失敗	16	9.5625	20.41884	5.10471
	成功	145	-.7655	15.37721	1.27701

(b) 独立サンプルの検定

		等分散性のための Levene の検定		2 つの母平均の差の検定					
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間 下限
Like差分	等分散を仮定する	2.671	0.104	-0.004	159	0.997	-0.01121	2.78776	-5.51702
	等分散を仮定しない			-0.003	17.065	0.997	-0.01121	3.40734	-7.19798
Interest差分	等分散を仮定する	0.07	0.792	0.18	159	0.858	0.38578	2.14734	-3.85521
	等分散を仮定しない			0.176	18.292	0.862	0.38578	2.19126	-4.21261
Conc差分	等分散を仮定する	0.548	0.46	0.343	159	0.732	0.54569	1.58983	-2.59422
	等分散を仮定しない			0.372	19.272	0.714	0.54569	1.46782	-2.52355
Stress差分	等分散を仮定する	0.013	0.908	0.225	159	0.822	0.76509	3.39779	-5.94554
	等分散を仮定しない			0.232	18.731	0.819	0.76509	3.30407	-6.15714
Excite差分	等分散を仮定する	4.366	0.038	2.462	159	0.015	10.32802	4.19415	2.04458
	等分散を仮定しない			1.963	16.929	0.066	10.32802	5.26202	-0.7774

(2) RQ-2 に対する実験結果

被験者を実験結果に基づき、上達群と未上達群の 2 群に振り分けた。両群は研修医もしくは医学生を対象とした。上達群は、3 回の実験で右肩上がりにビーズ成功個数が増えているかつ、実験 3 回目のビーズ移動成功個数が 1 回目と比較して 10 個以上増えている被験者を選定した。未上達群は 3 回の実験でビーズ移動個数が増えていないかつ、個数が 5 個未満（全被験者の平均以下）の被験者を選定した。被験者の振り分け結果を以下表 18 に示す。

表 18. 上達群/未上達群振り分け（N=6）

被験者番号	属性	ビーズ成功個数			対象群
		1 回目	2 回目	3 回目	
2	医学生	1	6	11	上達群
4	研修医	1	5	11	上達群
9	医学生	5	9	15	上達群
10	医学生	0	2	0	未上達群
19	研修医	2	0	4	未上達群
25	研修医	0	3	0	未上達群

付録に RQ-2 の実験結果として、実験後のアンケートデータおよび感性アナライザの 1 分間の平均値をそれぞれ被験者の L（Like 値）、I（Interest 値）、C（Concentrate 値）、S（Stress 値）、E（Excite 値）を算出して記載した。

① 上達群と未上達群の実験後アンケートの比較

上達群と未上達群の実験後アンケート結果に対して、対応のない t 検定を行った。その結果、上達群と未上達群において、実験後のアンケート結果に有意差は見られなかった（図 37, 表 19, 表 20）

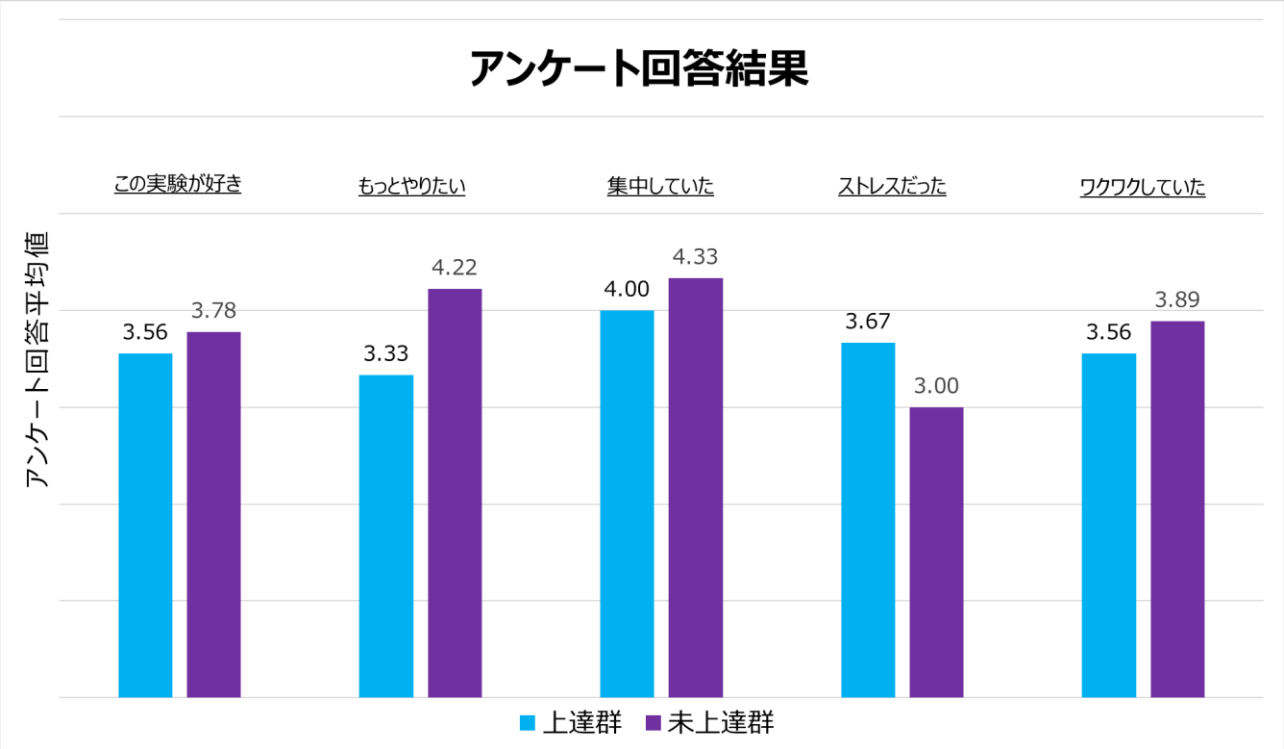


図 37. 上達群/未上達群 アンケート回答結果比較

表 19. 上達群/未上達群アンケート t 検定結果

	Like差分	Interest差分	Concentrate差分	Stress差分	Excite差分
自由度	16	16	16	16	16
t値	0.279	1.117	0.603	0.873	0.412
有意差	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

表 20. 上達群/未上達群アンケート t 検定結果詳細

(a) グループ統計量

	群	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
この実験が好き	未上達	9	3.7778	1.30171	.43390
	上達	9	3.5556	2.00693	.66898
もっとやりたい	未上達	9	4.2222	1.48137	.49379
	上達	9	3.3333	1.87083	.62361
集中していた	未上達	9	4.3333	1.00000	.33333
	上達	9	4.0000	1.32288	.44096
ストレスだった	未上達	9	3.0000	1.32288	.44096
	上達	9	3.6667	1.87083	.62361
ワクワクしていた	未上達	9	3.8889	1.53659	.51220
	上達	9	3.5556	1.87824	.62608

(b) 独立サンプルの検定

		等分散性のための Levene の検定		2 つの母平均の差の検定					
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間 下限
この実験が好き	等分散を仮定する	3.493	0.08	0.279	16	0.784	0.22222	0.79737	-1.46813
	等分散を仮定しない			0.279	13.719	0.785	0.22222	0.79737	-1.49126
もっとやりたい	等分散を仮定する	0.887	0.36	1.117	16	0.28	0.88889	0.79543	-0.79736
	等分散を仮定しない			1.117	15.201	0.281	0.88889	0.79543	-0.80459
集中していた	等分散を仮定する	1.286	0.273	0.603	16	0.555	0.33333	0.55277	-0.83849
	等分散を仮定しない			0.603	14.892	0.556	0.33333	0.55277	-0.84561
ストレスだった	等分散を仮定する	3.596	0.076	-0.873	16	0.396	-0.66667	0.76376	-2.28577
	等分散を仮定しない			-0.873	14.4	0.397	-0.66667	0.76376	-2.30052
ワクワクしていた	等分散を仮定する	0.891	0.359	0.412	16	0.686	0.33333	0.8089	-1.38146
	等分散を仮定しない			0.412	15.396	0.686	0.33333	0.8089	-1.38695

② 上達群と未上達群の感性計測結果の比較

上達群と未上達群の実験時の感性アナライザ数値の 1 分間の平均値に対して、対応のない t 検定を行った。その結果、上達群は未上達群と比較して、有意に Concentrate が低いことが判明した（$p<0.05$）。ほか 4 因子について有意差は見られなかった（図 38, 表 21, 表 22）

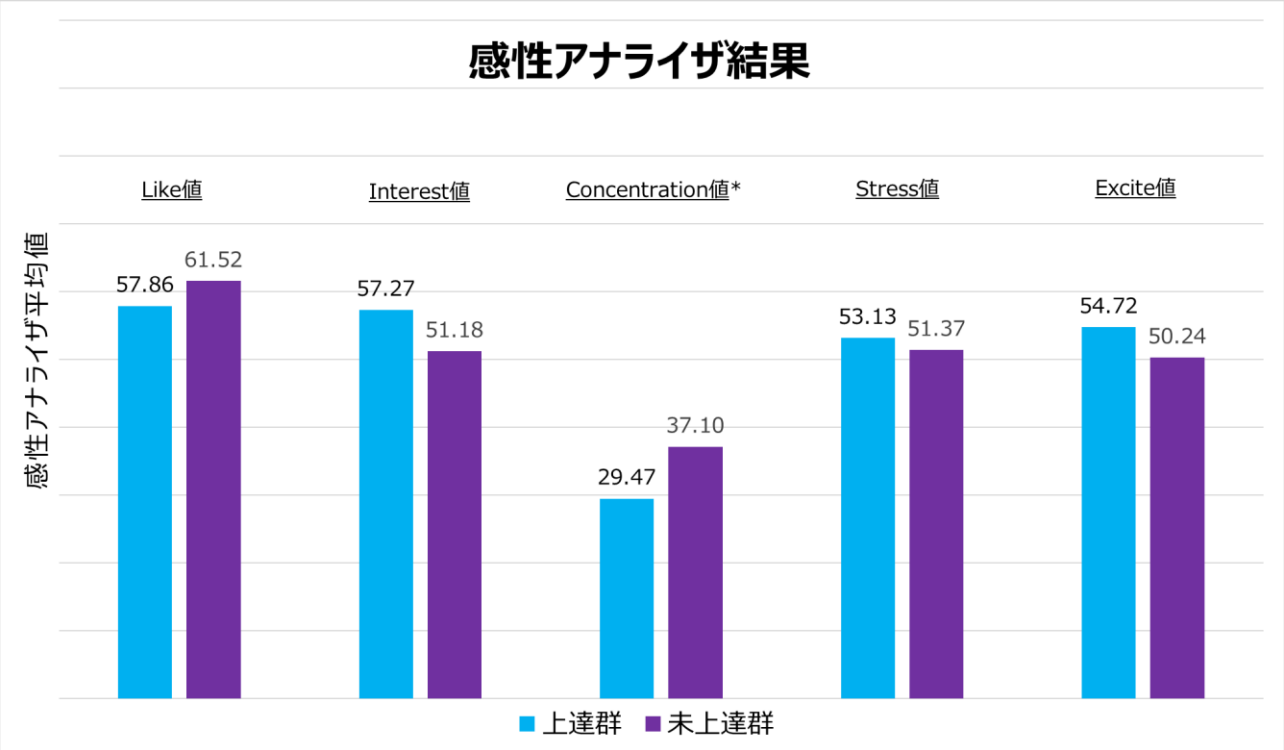


図 38. 上達群/未上達群 感性アナライザ結果比較

表 21. 上達群/未上達群感性アナライザ t 検定結果

	Like差分	Interest差分	Concentrate差分	Stress差分	Excite差分
自由度	10.864	16	16	12.929	16
t値	1.166	-1.696	2.149	-0.653	-1.552
有意差	n.s.	n.s.	p<.05	n.s.	n.s.

表 22. 上達群/未上達群感性アナライザ t 検定結果詳細

(a) グループ統計量

	群	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
Like	未上達	9	61.5222	8.66902	2.88967
	上達	9	57.8556	3.72998	1.24333
Interest	未上達	9	51.1778	6.90159	2.30053
	上達	9	57.2667	8.27164	2.75721
Concentrate	未上達	9	37.1000	9.01416	3.00472
	上達	9	29.4667	5.68463	1.89488
Stress	未上達	9	51.3667	4.10792	1.36931
	上達	9	53.1333	6.99714	2.33238
Excite	未上達	9	50.2444	5.56038	1.85346
	上達	9	54.7222	6.63622	2.21207

(b) 独立サンプルの検定

		等分散性のための Levene の検定		2 つの母平均の差の検定					
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間 下限
Like	等分散を仮定する	8.433	0.01	1.166	16	0.261	3.66667	3.1458	-3.00214
	等分散を仮定しない			1.166	10.864	0.269	3.66667	3.1458	-3.2678
Interest	等分散を仮定する	0.846	0.371	-1.696	16	0.109	-6.08889	3.59091	-13.70129
	等分散を仮定しない			-1.696	15.503	0.11	-6.08889	3.59091	-13.72119
Concentrate	等分散を仮定する	1.498	0.239	2.149	16	0.047	7.63333	3.55231	0.10278
	等分散を仮定しない			2.149	13.494	0.05	7.63333	3.55231	-0.01249
Stress	等分散を仮定する	10.735	0.005	-0.653	16	0.523	-1.76667	2.70463	-7.50022
	等分散を仮定しない			-0.653	12.929	0.525	-1.76667	2.70463	-7.61291
Excite	等分散を仮定する	0.001	0.981	-1.552	16	0.14	-4.47778	2.88593	-10.59567
	等分散を仮定しない			-1.552	15.524	0.141	-4.47778	2.88593	-10.61094

5.1.5 考察

(1) RQ-1 に対する考察

内視鏡操作経験によって操作時の感性の違いが出るかという点について、操作成功時と失敗時の感性に差があることを観察することができた。感性計測による検証を行った結果、内視鏡経験群、鉗子経験群では成功と失敗を比較した際に差がなく、未経験群では失敗時に有意に Excite 値が下がる結果となった。この Excite 値が下がるという現象はワクワクを失う＝失望する、がっかりするという心理と解釈することができると考える。内視鏡経験群では成功・失敗時においてもこの Excite 値に大きな差はなく、前述した想定通り、成功に一喜一憂せずにまた失敗にも動じていないことがうかがえる。鉗子経験群ではやや成功した後に Excite 値が上がる傾向にあり、操作が成功したことに対してワクワクが上がっている。未経験群においては、特に失敗後に Excite 値が平均 10 程度下がっており、失望が全面に出ていることが判る。

この結果を通して、内視鏡手術トレーニングにおける評価手法としては成功・失敗時の感性計測を比較することで操作における対象者の心の動きを数値判断できる可能性があることを示した。今後は閾値設定などを行うことで、トレーニング段階で熟練医と差異がないことの一つの指標として定義することを考えていきたい。

(2) RQ-2 に対する考察

内視鏡手術トレーニングの初学医の習熟を高めるという観点で、“上達しやすい人”と“上達しにくい人”の比較を行った結果、その違いを定量的に観察することができた。実験後のアンケート結果では両群に差がなかったが、感性計測の結果では上達群において有意に Concentrate が低いことが判明した。医師の経験年数と Concentrate 値の平均の推移を解析した（図 39）が、相関は見られなかった。したがって経験年数を重ねても一概に Concentrate 値が低いとは言えない。

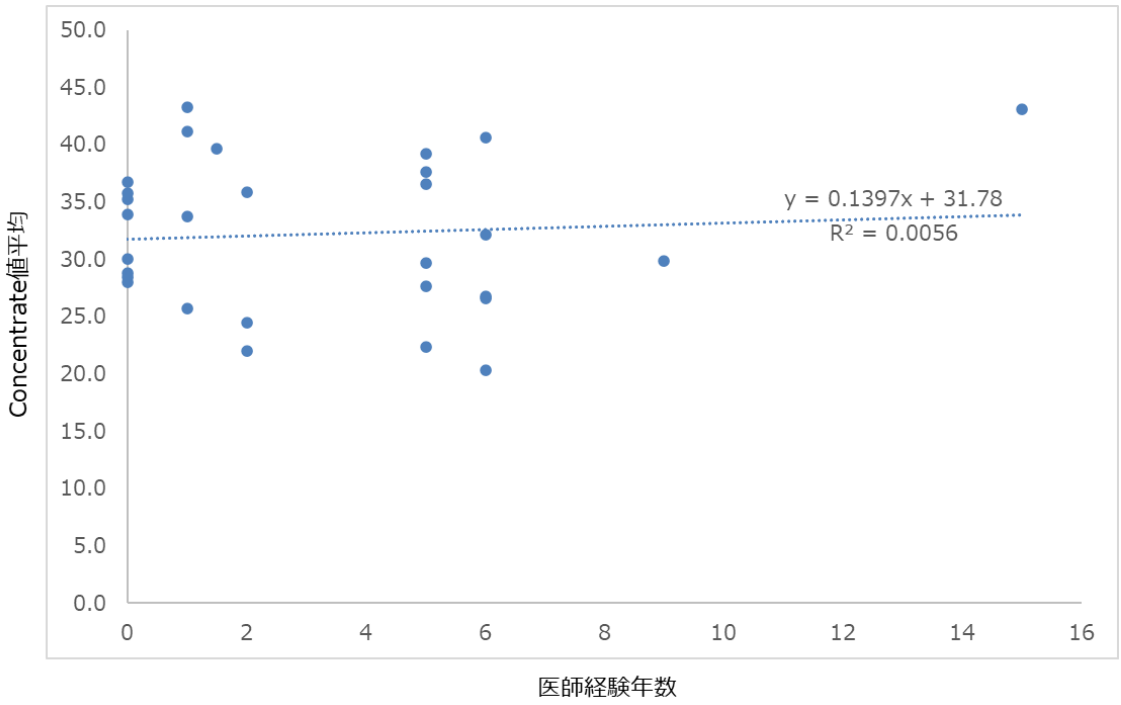


図 39.医師経験年数と Concentrate 値平均の推移

上達群の 3 名においてその共通点は実験 1 回目から 3 回目にかけて飛躍的にビーズ移動成功個数を増やしており（図 40)、“コツをつかむ”のが上手いことが挙げられる。そして、ある点を起点にコツをつかんだ後は飛躍的に成功を積み重ねている様子がわかる。また未上達群は 1 つのビーズ移動に時間を要していることが判る（図 41）

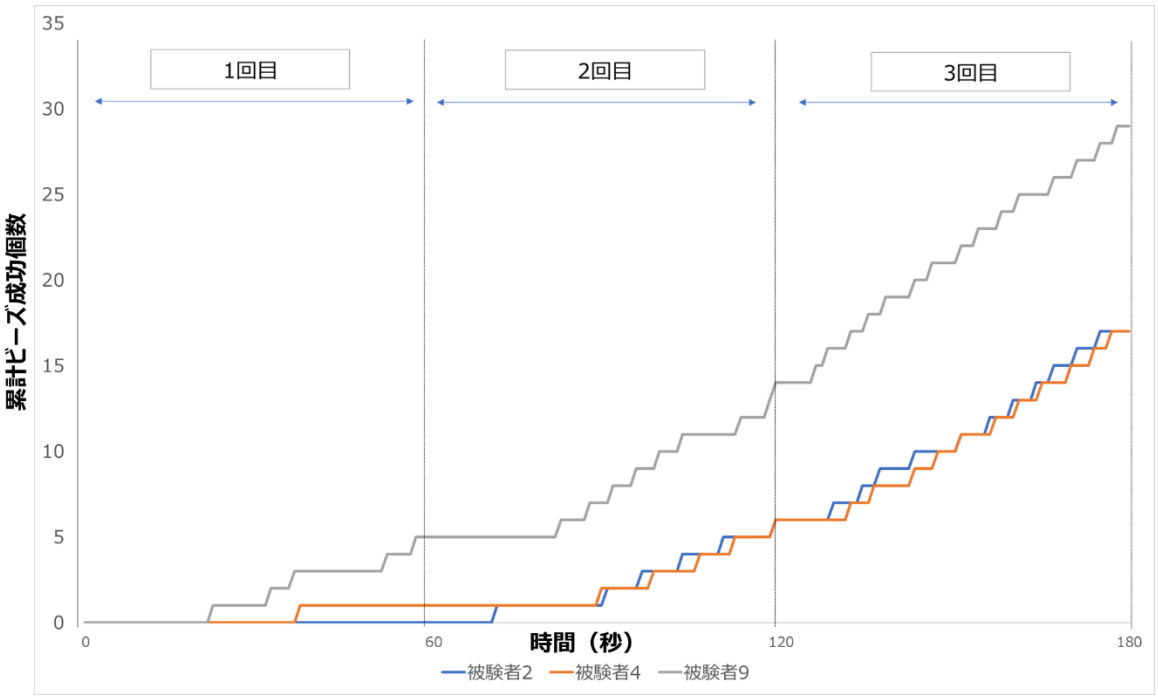


図 40. 上達群の累計ビーズ移動成功個数の推移

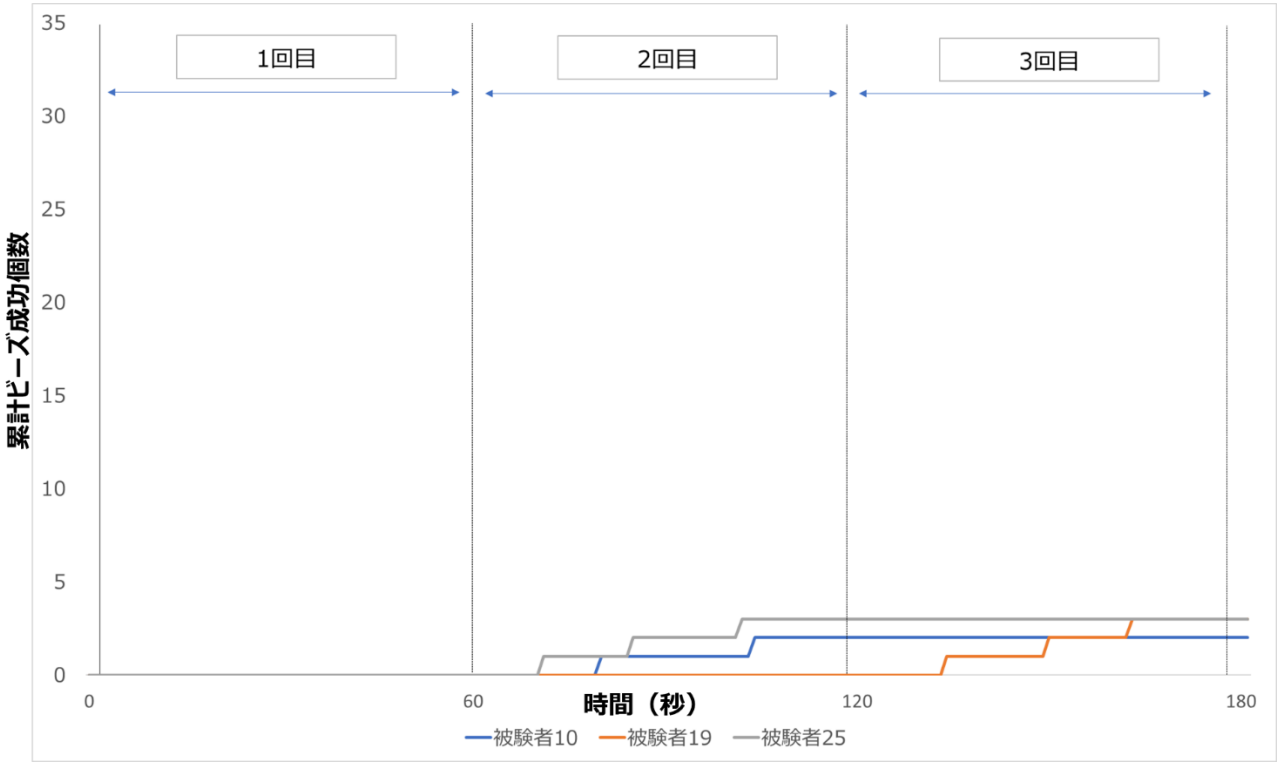


図 41. 未上達群の累計ビーズ移動成功個数の推移

上達群/未上達群の被験者のコメントを以下表 23、表 24 に示す。特に被験者 4、被験者 9、被験者 19 はコツをつかめた様子に言及している。

表 23. 上達群実験後のコメント

被験者番号	実験後のコメント		
	1回目	2回目	3回目
2	イライラした	焦った	2回目よりも焦りが大きかった
4	鉗子を久しぶりに持ったので、使い方から戸惑ってしまいました。	1回目よりはコツが掴めたと思います。	3回目は1番上手くできました
9	袋をきちんと最初から開いた方が良いと気づくのに時間がかかった	袋の口を上向きにすれば良いと気付くのが二回目なのは悔しかった	プラス5個って言われたのと時間を見せられたのがプレッシャーだったが、半分の時間で7個移動できたので落ち着いてできた

表 24. 未上達群実験後のコメント

被験者番号	実験後のコメント		
	1回目	2回目	3回目
10	操作に慣れていないと気持ちが非常に焦りました	慣れが重要と感じました。	プレッシャーで成績が大きく変わると感じました
19	コンタクトが乾く	コンタクトが乾く	左手の動かし方が慣れてきた気がする
25	袋に入れるのが難しい。自分のコルチゾンはどんな状態なのか知りたい。	途中照明が変わった気がする。最高記録が何個なのか知りたい。	もっと練習しないと上手くならない。周りの音が凄い気になる。

スキル習得による Concentrate 値の変化を確認するために、コツをつかんだ＝連続的に成功を重ねられるようになった前後での Concentrate 値を比較した。表 25 に t 検定の結果を示す。上達群では、被験者 2 で有意差をもってコツをつかんだ後の Concentrate が下がっていた（$p<0.05$）また、被験者 4 と被験者 9 でも有意差はなかったが、Concentrate が下がっている傾向が見られた。未上達群では、成功回数が少ないため、コツをつかんだ＝初回成功と定義して検証したところ、被験者 19、被験者 25 は有意に Concentrate が下がっている傾向が見られた（$p<0.01$）。Concentrate の低下が上達すなわち習熟度の向上と解釈できれば、被験者の Concentrate 値に着目することでコツをつかんだ瞬間をリアルタイムに観察できる可能性がある。また、上記コメントにおいて、被験者 2 が焦りやイライラに言及している一方で、実際にはコツをつかんでいる傾向にあることも見逃せない。主観評価、特にアンケートでは同時に発生する

複数の指標を見分けることができない。その一方で、感性計測では被験者自身も気づいていない変化を検出して数値化することによって本人さえ気づかない新しいインサイトを提供するサポートになりえるかもしれない。

表 25. Concentrate 値 t 検定結果

	上達群			未上達群		
被験者番号	2	4	9	10	19	25
自由度	33.689	22.030	45.313	23.979	13.885	58
t値	1.544	1.531	2.280	0.929	3.827	6.249
有意差	n.s.	n.s.	p<.05	n.s.	p<.01	p<.01

(3) 実験に対する考察

本実験では各実験終了後に被験者はアンケートに回答するが、アンケートの回答時間は設けていないため、回答時間の違いによるインターバルの影響は考慮していない。通常 3 分程度の回答時間であるが、今後の検討においてはこの点を考慮すべきである。また、内視鏡鉗子を持ったことがない被験者において、その操作方法がわからずに実験冒頭にスタッフから操作についてのレクチャーを与える場面があった。この点は今後、実験前に手順を説明するなどして統一した手法で実験を行うことが適切であると考える。

(4) 他の因子がトレーニングに与える影響に対する考察

本実験においては上達しやすい人と上達しにくい人を感性計測によって言及しているが、ほかの因子としては視線や姿勢など多くの因子の変更によってコツを掴むきっかけとなった可能性があるが、その点は分析対象としていない。また、感性の変化がこうした視線や姿勢の変化と連動して起きる可能性もあるため、今後の研究課題としたい。

(5) 実験協力者とのディスカッション

本実験の考察について Concentrate 値が下がる傾向が見られたことについて慶應義塾大学理工学部の満倉氏（感性アナライザの開発者）とディスカッションを行った。満倉氏によると、この Concentrate 値が下がるという現象は、“スキルを習得して意識しなくてもできる状態”と解釈することができる。つまり、失敗後に

Concentrate 値が下がる行為は“平常心に戻ってやり直す”という感覚に近いかもしれない。この点については今後の検証課題としたい。

本実験の考察について実験協力者である堀周太朗氏とのディスカッションを行った。

① RQ-1 で未経験群では失敗時に有意に Excite 値が下がる結果となったことについて

未経験群が経験者群に対してがっかりしたという考察については同意する。今後 Excite 値の振れ幅が大きいところにより着目してほしい。すなわち Excite 値が下がった時に次の操作ではどうなっているか。失敗が継続した場合に Excite 値の落差が大きいことが問題になるかもしれない。何らかの指標が次の手技にも影響することが実証できればさらに面白い結果になるだろう。

② RQ-2 Concentrate 値が下がっている傾向が見られたことについて

まずポジティブなデータが出たことは喜ばしい。アプローチとしては正しいがもう少し N 数を増やしてみてみたい。Concentrate 値自体の数値が低いことは理解できるが、感覚的には数値が高くても低くてもある一定の幅、つまりばらつきがない方が、集中力が切れていないという点で納得できる結果になりそうだ。ここについてはもう少し解釈が必要かもしれない。コツをつかむと肩の力が抜けて何かを意識しなくてもできるようになるという点は確かにそうかもしれない。

第6章　結論

本章では、結論として本研究の成果と今後の研究課題について述べる。

6.1 本研究の成果

本研究では、内視鏡手術トレーニングにおける客観的評価手法について探索的に分析を行った結果、感性計測を用いることで、経験値の異なる被験者の操作成功時・失敗時の感性（Excite 値）および、上達する人と上達しにくい人の感性（Concentration 値）に違いがあることを定量的に観察することができた。またこれはアンケートなどの主観評価では得られない指標であることを明らかにした。今後、さらなる研究でこうした指標の閾値設定などを行うことで、将来的に個人属性などに合わせた最適なトレーニング手法の開発することに役立つと考えられる。ひいては初学医の習熟度向上に貢献することで多くの患者の QOL 向上に寄与することが期待される。

6.2 今後の課題

本研究では、外科医師の協力を得てトレーニングモデルでの検証を行ったが、実臨床における手術場面で今回用いた分析手法や、術者の属性・感情的な要因が手術手技の成功・失敗に影響するかという点は明らかにしていない。したがって、応用として臨床現場でこの結果を活用するためには実臨床場面における検証が必要であり、その点は研究課題である。その中で、実際の手術手技に則した器具の選定や手術時間などを考慮して再度実験系を構築することが必要になると考える。また、社会実装を念頭においた際に、今回テーマの中心であった医学教育・トレーニングの観点だけでない医療現場での発展的な活用にも期待される。特に医療安全を目的として、術者交代の意思決定をするために、感性アナライザの数値に連動したシステムの構築、例えばストレス値が閾値を越えた場合にアラームを鳴らすなどのアーキテクチャ設計は今後さらに求められる点である。医療の安全に向けた取り組みに終わりはない。今後、この研究から発展して医療現場における安全確保の一助になれば幸いである。

謝辞

本論文の執筆にあたり、多くの方へ感謝を申し上げたい。

主査である慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 当麻哲哉教授には、この研究を進めるにあたって多くのアドバイスや、なかなか時間を捻出できない自分に合わせていただき個別指導を頂きました。また、漠然と思い描いていた研究内容に対して、学内のたくさんの実験協力者をご紹介いただいただけではなく、実験にも参加いただき多くの学びを得ながら研究を進めることができました。

副査の山形与志樹教授には、時間を取っていただき研究そして論文への助言を多くいただきました。

本研究の実験にあたり、実験協力者として慶應義塾大学医学部の先生方とりわけ、堀周太朗先生には多大なるご協力、アドバイスを頂きました。また、被験者として慶應義塾大学医学部の先生方、学生の皆さま 29 名には予備実験に好意的にご協力いただきました。

今回報告した予備実験の前段階での実験計画作成にご協力いただいた SDM の M1/同期の仲間にも感謝いたします。

また、感性アナライザのデータ分析に関連して貴重なアドバイスを頂きました慶應義塾大学理工学部の満倉先生、分析手法について多くの時間を割いていただきましたSDM 修了生・研究員の鷲谷さん、野口さんにも深く感謝いたします。

実験を実施するにあたっては、平日に多くのサポートを頂いた当麻研の正岡さん、杉原さん、楢崎さん、Mai さん、そして前野研の今田さん、神武研の木村さんに感謝いたします。

そして何より、2 年間の SDM 生活をいつも快く見守ってくれた家族に最大限の感謝をしたいと思います。この学びをいつか社会に還元できるように日々研鑽を積んでいきたいと思います。

参考文献

鷲塚 信彦. (2008). 内視鏡の歴史と内視鏡技術の進化. Fiber 繊維学会誌 journal of the Society of Fiber Science and Technology, Japan, 64(8), P–261.

北島政樹, 吉田昌, 久保田啓介, 加藤悠太郎, 黒田純子, 似鳥修弘, & 出口倫明. (2010). 我が国における内視鏡・内視鏡外科治療の歴史. Nihon rinshō, 68(7), 1215‐1223.

内視鏡外科手術に関するアンケート調査 : 第 14 回集計結果報告. 東京, 日本内視鏡外科学会, 2018.

森島 暉悦, 寺島 章宥, 小濵 和貴, 坂井 義治, 前田 太郎, 安藤 英由樹 腹腔鏡手術の追体験トレーニングシステムのための鉗子位置再現性における遭遇型力触覚の効果, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集（2018 年 9 月）11E-2

森正樹. 第 9 回医師の働き方改革に関する検討会_平成 30 年 9 月 3 日_外科医の働き方改革に関する課題と必要な取組_資料 3-1 厚生労働省

植村宗則. 手術トレーニングにおけるわが国と欧米の変遷. 日本コンピュータ外科学会誌. 2018, vol. 20, no. 3, p. 135‐138.

藤原道隆, 岩田直樹, 田中千恵, 渡邉卓哉, 小寺泰弘, 中尾昭公.内視鏡下手術訓練システムの現状と今後の展望.日本 VR 学会誌(2010); 15:27-31

杉浦 真由美, 向後 千春. e ラーニングとシミュレーションを組み合わせた患者急変時対応研修の効果. 日本教育工学会研究報告集. 2013, vol. 13, no. 4, p. 81‐88.

Ju, Chang, P. L., Buckley, A. P., & Wang, K. C. (2012). Comparison of Nintendo Wii and PlayStation2 for enhancing laparoscopic skills. Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons, 16(4), 612–618. https://doi.org/10.4293/108680812X13462882737294

安藤英由樹. 腹腔鏡手術手技習得支援のための追体験システムと習熟評価. バイオメカニズム学会誌. 2020, vol. 44, no. 4, p. 236‐241.

Manor, Iris, Meidad, Sheera, Zalsman, Gil, Zemishlany, Zvi, Tyano, Sam, Weizman, Abraham. Objective Versus Subjective Assessment of Methylphenidate Response. Child psychiatry and human development. 2007, vol. 39, no. 3, p. 273–282.

広瀬通孝, 石井威望. 知的作業の客観的評価の手法. 日本機械学会論文集 C 編. 1985, vol. 51, no. 471, p. 3153‐3158.

小笠原光, 下仲順子. スピーチの成功･失敗経験が感情と原因帰属に及ぼす効果. 文京学院大学人間学部研究紀要. 2008, vol. 10, no. 1, p. 243‐253.

宮内. (2014). 教育講演　脳を測る. Seiri shinrigaku to seishin seirigaku, 32(2), 55‐56.

大出真也, 小俣昌樹.タスクパフォーマンスと生理的ストレス反応および性格特性との関係の調査. FIT2016（第 15 回情報科学技術フォーラム）

原田昭. 感性科学の構築へ向けて. デザイン学研究特集号. 2002, vol. 10, no. 2, p. 39‐46.

『感情心理学・入門』（大平英樹編：有斐閣アルマ，2010 年）

Ortony, A., Clore, G. L., & Collins, A. (1988). The cognitive structure of emotions. Cambridge University Press.

満倉靖恵. 「脳」を見える化する～感情の可視化と脳を用いた研究～脳機能および心電計測を用いた定量評価によるストレスに対する脂質摂取の影響評価. Oreosaiensu. 2020, vol. 20, no. 11, p. 499–505.

満倉. (2020). 脳波によるリアルタイム感性計測とその応用 実社会における感情・感性を用いる試みの広がり. Denshi Jouhou Tsuushin Gakkai Kiso, Kyoukai Sosaieti fundamentals review, 13(3), 180‐

付録

RQ-1 の実験結果として、感性アナライザの前後 1 秒間の差分をそれぞれ被験者の各実験毎に L（Like 差分）、I（Interest 差分）、C（Concentrate 差分）、S（Stress 差分）、E（Excite 差分）を算出した。成功は以下赤にてハイライト、失敗は以下青にてハイライトされている。

付表 1. RQ-1 内視鏡経験群実験データ

被験者	回数	秒数	L	I	C	S	E
11	1	10	9	9	-9	-2	5
11	1	17	-8	2	3	14	-13
11	1	21	-10	2	0	13	6
11	1	24	12	-8	5	-5	-24
11	1	27	3	-4	-5	-5	15
11	1	31	-7	0	-1	-21	2
11	1	34	3	-7	-8	14	-4
11	1	38	3	3	-3	9	-3
11	1	43	0	1	-1	-5	7
11	1	47	3	-5	7	4	-1
11	1	50	-4	-7	-4	16	7
11	1	53	-8	-1	3	-12	-7
11	1	56	2	-3	-7	8	-6
11	2	50	5	7	-2	8	-28
11	2	4	-16	-7	4	10	6
11	2	11	-16	5	-4	-5	-2
11	2	16	13	-4	-14	11	-3
11	2	20	-1	13	5	-4	17
11	2	23	0	-5	-3	11	-6
11	2	26	9	-7	11	-13	19
11	2	29	0	7	-7	-3	18
11	2	31	-11	0	-2	-3	-36
11	2	35	-1	1	-3	-6	-13
11	2	39	-1	-5	2	5	-3
11	2	42	26	-4	-20	-16	-31
11	2	46	-7	0	2	2	48
11	2	53	17	4	1	-18	20
11	2	57	-9	6	-17	15	6
11	3	4	5	-12	3	2	3
11	3	8	21	10	7	-2	-7
11	3	12	-3	5	1	-8	-16
11	3	19	-13	1	-1	3	-1
11	3	22	17	-8	-8	9	26
11	3	25	-4	-1	0	-7	-3
11	3	28	-5	-5	-2	-6	-30
11	3	30	12	-7	-2	-12	2
11	3	32	-4	1	-2	22	15
11	3	36	1	10	4	-18	0
11	3	38	-18	5	1	10	-13
11	3	43	21	-3	5	0	-30
11	3	47	0	5	-2	16	0
11	3	50	2	-3	2	18	29
11	3	53	-12	-11	-6	6	-3
11	3	55	-1	-4	-11	3	-6
11	3	58	4	18	3	-11	7
12	1	18	-3	-1	-3	-5	-10

付表 2. RQ-1 内視鏡経験群実験データ続き

12	1	26	10	6	3	-8	-1
12	1	34	-3	5	10	2	-36
12	1	39	3	-6	-5	6	22
12	1	44	0	0	0	-2	0
12	1	52	17	0	16	-11	20
12	2	12	19	1	-2	-1	21
12	2	18	-1	-4	-7	-12	-3
12	2	23	3	4	3	-21	-30
12	2	28	1	5	2	9	27
12	2	32	-10	-6	1	-8	-11
12	2	40	9	3	-6	6	17
12	2	45	5	0	-2	4	-33
12	2	49	-10	-6	-1	-7	-3
12	2	52	-11	-4	-1	0	-12
12	2	55	4	-12	6	6	-11
12	2	58	29	8	3	-28	-9
12	3	6	-3	5	27	6	6
12	3	9	-3	4	12	-24	-11
12	3	15	-18	1	3	-36	12
12	3	21	-6	-6	3	0	-5
12	3	25	-2	7	-11	2	6
12	3	31	4	-2	-14	-3	-9
12	3	37	4	-4	-1	-5	7
12	3	41	2	15	14	-2	17
12	3	44	-18	-3	11	8	1
12	3	46	-2	-3	-1	-12	9
12	3	53	-17	-6	9	-6	21
12	3	57	3	10	0	-2	-3
13	1	20	-13	3	-2	5	22
13	1	24	5	6	0	-20	-5
13	1	36	1	0	-4	14	-12
13	1	13	3	8	4	-9	-14
13	1	56	0	1	1	-2	-13
13	2	12	16	-8	8	-5	16
13	2	17	-7	-12	6	8	-6
13	2	21	11	2	0	-9	5
13	2	33	-4	-3	-1	7	4
13	2	37	17	3	3	-12	-5
13	2	42	-4	-3	4	-6	6
13	2	46	-4	4	2	-18	4
13	2	55	5	-6	-6	-1	-13
13	3	10	-4	0	13	-21	-9
13	3	13	14	2	5	10	-2
13	3	17	-12	-1	-3	2	-12
13	3	21	-14	-1	2	8	-16
13	3	24	3	1	-6	11	-26
13	3	28	-2	-6	-3	-3	-16
13	3	32	14	0	0	-6	13
13	3	35	8	-14	0	2	-11
13	3	39	13	2	10	-16	25
13	3	43	-5	-1	4	2	2
13	3	47	2	2	1	-9	6
13	3	51	-15	0	0	-5	9
13	3	55	16	2	-5	3	-6
13	3	58	-6	-3	2	1	-30
15	1	24	20	-1	-3	18	-8
15	1	53	-3	2	1	-14	-15
15	2	20	-3	-11	-3	14	16

付表 3. RQ-1 内視鏡経験群実験データ続き

15	2	26	11	-4	-3	0	5
15	2	33	-5	-2	4	5	-17
15	2	38	0	-3	1	20	7
15	2	46	-22	-4	-4	1	-32
15	2	52	-2	-7	4	1	-4
15	3	13	18	3	0	-14	5
15	3	17	-9	-2	-10	13	-10
15	3	24	-5	4	6	5	22
15	3	29	2	0	-4	13	14
15	3	32	14	0	-4	-9	-11
15	3	38	-4	3	-3	-7	13
15	3	43	-8	3	7	-23	-1
15	3	47	8	-5	0	-10	1
15	3	53	10	0	0	-8	8
15	3	58	-3	-1	2	-10	-7
16	1	11	-4	2	-6	7	12
16	1	20	-5	1	-8	13	-30
16	1	30	-9	2	4	16	-3
16	1	48	-5	-1	-11	-16	-17
16	1	54	4	-2	0	-3	3
16	2	7	-7	1	15	6	-22
16	2	15	-15	0	-2	-1	-1
16	2	26	-12	-1	3	2	-22
16	2	36	15	-4	-3	-2	-10
16	2	41	-19	11	-4	-2	18
16	2	46	-1	-3	-3	-2	-10
16	2	51	9	7	-1	-8	-16
16	2	55	7	-5	1	1	25
16	2	28	14	0	0	-12	22
16	3	7	-12	6	0	-2	-13
16	3	22	16	-4	0	12	12
16	3	33	5	0	-2	-4	2
16	3	38	1	4	2	-21	-32
16	3	43	-3	1	1	-3	22
16	3	47	2	-1	6	-4	8
16	3	55	-11	7	3	-4	29
16	3	12	-6	4	3	-15	7
21	1	10	0	7	5	3	-2
21	1	18	4	2	-8	-13	10
21	1	24	2	-11	-1	14	16
21	1	44	9	-11	-1	10	9
21	1	52	-16	-6	-2	11	-8
21	1	57	-2	7	1	-3	10
21	2	28	-6	-1	5	-9	1
21	2	34	0	-8	-5	9	16
21	2	38	-11	-7	3	-25	-34
21	2	43	21	6	0	-8	-2
21	2	48	-6	13	-12	7	-1
21	2	54	-31	6	-3	-1	-12
21	3	12	-15	-10	-2	6	1
21	3	20	11	2	-6	-4	-20
21	3	23	15	-9	-4	4	5
21	3	28	-9	7	-5	0	2
21	3	32	-14	-9	-1	18	4
21	3	35	3	14	-11	-2	5
21	3	39	-19	-13	-4	9	7
21	3	45	4	3	2	3	20
21	3	50	10	-4	2	16	-24

付表 4. RQ-1 内視鏡経験群実験データ続き

21	3	55	-10	-2	6	-5	16
21	3	57	-29	-3	0	7	-4
23	1	17	-9	7	15	0	12
23	1	22	-1	-19	5	16	9
23	1	31	0	11	3	0	10
23	1	41	0	4	0	-1	1
23	1	54	-7	-3	-1	-8	-42
23	1	58	9	-9	-1	9	16
23	2	12	0	-5	2	11	2
23	2	19	6	10	-1	-9	8
23	2	25	-7	-1	0	15	12
23	2	30	7	4	5	4	-13
23	2	35	4	5	5	0	13
23	2	40	5	-11	-7	6	2
23	2	45	-9	1	-1	-8	-24
23	2	50	2	-4	8	-5	14
23	2	55	-2	18	-8	-2	-2
23	2	58	0	-5	3	11	-7
23	3	9	9	-39	-1	11	7
23	3	13	-7	0	9	16	-5
23	3	16	-1	-1	0	-6	-10
23	3	19	0	7	-3	-4	-21
23	3	22	-8	7	-4	1	6
23	3	25	2	-5	4	-5	-4
23	3	30	-2	4	7	-9	-21
23	3	33	-7	0	-5	-6	-24
23	3	36	0	1	9	-1	24
23	3	41	0	-1	7	16	10
23	3	45	0	-5	2	2	-32
23	3	49	-9	6	-3	2	11
23	3	55	2	3	0	17	15
23	3	58	2	-5	-7	-4	1
26	1	37	-3	-1	0	-7	3
26	1	15	-10	7	-2	-10	-20
26	1	33	-4	13	-1	-9	-5
26	1	41	7	-8	2	-9	-24
26	1	47	-6	8	-3	-8	-9
26	1	51	-5	-1	-3	6	8
26	1	55	13	2	5	-2	5
26	2	10	-14	7	-2	-3	-9
26	2	17	5	-10	1	27	9
26	2	26	-4	-3	3	-14	-18
26	2	31	-2	4	2	0	-3
26	2	35	12	-11	-6	20	3
26	2	48	4	1	-4	4	7
26	2	54	-4	3	0	2	8
26	3	10	0	10	-3	21	18
26	3	16	-7	-12	3	12	-13
26	3	22	-3	10	-6	1	23
26	3	26	0	13	-5	17	-5
26	3	30	24	-2	0	-19	12
26	3	33	-2	3	-2	10	-29
26	3	37	13	4	3	-19	0
26	3	41	14	4	2	7	-21
26	3	45	-23	-4	11	-10	15
26	3	48	11	2	-3	6	-6
26	3	51	7	-1	-5	0	-7
26	3	55	-4	-3	-3	-5	22

付表 5. RQ-1 内視鏡経験群実験データ続き

40	1	4	-9	-12	-2	-2	40
40	1	7	-2	-9	-5	-9	-10
40	1	21	-13	-3	6	0	-6
40	1	28	6	1	4	1	-24
40	1	31	6	-3	0	2	-2
40	1	35	12	6	5	-4	12
40	1	39	2	-4	-5	-9	-35
40	1	42	0	13	-2	16	12
40	1	45	-1	4	1	-14	6
40	1	48	-4	-1	-10	6	-16
40	1	58	-6	4	6	-8	14
40	1	10	8	16	6	9	-41
40	1	16	1	-4	-1	-10	-7
40	1	53	12	-10	10	-19	-6
40	2	3	5	-9	-3	-3	-7
40	2	6	3	11	-6	11	-28
40	2	9	16	0	2	-7	14
40	2	13	-7	-6	1	3	-23
40	2	16	22	9	5	-4	0
40	2	21	-14	-10	-6	-4	10
40	2	26	11	-13	-2	-3	-10
40	2	29	3	5	6	-7	-15
40	2	35	-4	-1	3	-11	-9
40	2	38	-7	-1	-6	10	-8
40	2	43	10	5	2	26	-15
40	2	46	-13	9	-1	-5	13
40	2	49	0	-9	0	-3	18
40	2	53	-4	-3	-15	2	8
40	2	56	17	7	-2	-5	17
40	3	3	-17	-8	8	12	0
40	3	7	4	-1	-6	5	18
40	3	11	3	-4	-3	-6	8
40	3	14	-5	-9	4	2	-1
40	3	17	-13	0	0	4	17
40	3	20	4	20	-3	-9	14
40	3	23	0	2	-3	6	-31
40	3	27	22	-13	6	-12	31
40	3	31	-1	-10	-7	8	-13
40	3	35	2	16	3	4	4
40	3	39	-4	-16	1	-4	19
40	3	42	-1	1	-4	-3	6
40	3	45	16	10	3	-1	-6
40	3	48	1	1	-2	7	-35
40	3	52	13	5	-4	9	8
40	3	55	10	7	2	10	2
40	3	57	-13	-8	6	4	-3
41	1	12	-17	9	6	-24	7
41	1	19	6	-5	2	-6	8
41	1	24	-16	3	1	-3	2
41	1	38	-15	-7	2	9	7
41	1	43	11	4	2	-17	-3
41	1	47	-7	-2	-3	20	-28
41	1	50	2	0	-6	-4	5
41	1	56	-1	-9	2	-11	8
41	2	9	22	-1	0	-7	-15
41	2	13	-10	-1	1	8	-20
41	2	17	5	1	5	7	18
41	2	21	-32	-11	5	3	-13

付表 6. RQ-1 内視鏡経験群実験データ続き

41	2	25	5	10	1	0	20
41	2	32	13	-8	0	-1	-19
41	2	39	-1	-11	-3	8	-4
41	2	46	2	-1	1	-3	29
41	2	50	25	7	8	-20	-15
41	2	57	-1	3	-2	-8	-19
41	3	6	22	12	1	-9	-5
41	3	3	-8	15	-1	-10	8
41	3	13	-17	-7	-3	11	13
41	3	17	8	-3	-3	-2	5
41	3	21	3	2	1	10	-4
41	3	25	-7	-9	-1	-4	4
41	3	30	1	10	-3	6	11
41	3	33	-3	-1	-7	-2	-19
41	3	37	14	-7	-3	-7	48
41	3	41	0	5	2	2	-3
41	3	45	10	-10	4	0	-32
41	3	50	-9	12	0	-3	28
41	3	54	-6	-3	2	6	3
41	3	57	6	3	2	-10	-2
42	1	4	-2	-9	8	-11	-6
42	1	8	7	-8	0	-10	-6
42	1	12	-7	3	5	6	17
42	1	15	-3	-5	3	5	-7
42	1	20	-4	3	1	-3	6
42	1	25	-5	-6	4	-10	-1
42	1	28	-20	6	5	5	-5
42	1	32	16	3	-3	-1	-5
42	1	36	-4	7	-1	5	-9
42	1	39	5	6	-5	3	-32
42	1	46	-5	13	1	4	6
42	1	50	0	-8	0	18	16
42	1	54	-16	-8	-1	-4	-15
42	1	57	-2	10	-4	-9	8
42	2	4	6	6	1	-9	-23
42	2	8	13	-9	0	-1	24
42	2	12	-23	9	-5	11	-11
42	2	15	-8	-4	-6	10	9
42	2	19	-5	8	-4	-9	-7
42	2	22	-11	-8	-1	-3	3
42	2	28	-14	9	-6	-13	9
42	2	31	-5	8	3	-2	2
42	2	34	7	-7	-1	5	-10
42	2	37	6	0	4	2	-17
42	2	40	-19	11	-2	6	-9
42	2	45	14	-21	-2	-4	-13
42	2	48	3	12	0	-26	-5
42	2	50	7	13	2	7	26
42	2	53	-8	9	-12	6	-12
42	2	56	-3	4	-2	-2	-2
42	3	2	12	-4	0	-13	-7
42	3	4	-5	-5	12	7	9
42	3	8	-10	-10	4	4	-12
42	3	10	8	8	-2	-14	2
42	3	13	-11	10	-9	2	-1
42	3	15	-22	-4	-1	-9	-11
42	3	18	5	-3	1	7	16
42	3	21	4	-1	-6	0	-1

付表 7. RQ-1 内視鏡経験群実験データ続き

42	3	23	11	9	0	-5	-27
42	3	26	11	4	-15	-6	49
42	3	30	20	-11	7	-5	-4
42	3	33	-2	10	7	-3	17
42	3	36	3	5	15	3	9
42	3	39	-1	-14	-4	7	0
42	3	42	-2	10	-2	-2	-2
42	3	45	3	-1	2	-8	8
42	3	48	1	4	-7	-6	14
42	3	50	-3	-2	1	17	-13
42	3	55	0	-4	2	-10	-17
42	3	58	24	17	3	-2	-5
43	1	16	-1	-3	2	-26	-5
43	1	21	9	2	0	-7	-9
43	1	30	0	-14	0	4	-22
43	1	35	0	13	-2	11	-2
43	1	40	3	6	-13	28	33
43	1	44	-13	-16	6	-21	-22
43	1	47	-8	15	-9	-4	-12
43	1	55	-26	1	-3	9	-6
43	1	58	21	3	-1	6	2
43	2	8	22	-12	-6	-10	7
43	2	17	8	-7	2	2	-14
43	2	29	-10	17	4	20	15
43	2	35	-1	-21	-4	7	6
43	2	39	0	2	2	-12	4
43	2	46	-5	4	3	-6	-19
43	3	25	-6	1	0	0	6
43	3	19	-7	3	2	2	16
43	3	33	-7	-5	-6	-20	-5
43	3	40	18	-1	1	15	-24
43	3	45	-24	-8	7	4	-5
43	3	51	3	13	-6	1	4
43	3	56	15	6	-17	-20	5
45	1	8	1	4	4	-6	18
45	1	15	-1	-7	-6	29	-16
45	1	20	-5	13	9	-11	-27
45	1	27	-1	-8	1	-3	1
45	1	34	-9	2	4	-10	-6
45	1	40	12	11	-2	1	21
45	1	44	-10	-14	1	-5	-9
45	1	49	-5	19	0	-9	0
45	1	55	-4	-5	-2	4	2
45	2	22	-1	-6	1	-4	1
45	2	31	8	1	-3	8	6
45	2	36	-8	-1	-3	-5	-1
45	2	43	11	1	-9	3	-3
45	2	46	3	0	2	-5	-3
45	2	52	-1	-8	3	2	-15
45	2	55	7	5	-4	-6	2
45	2	58	-6	12	-3	-5	35
45	3	25	-10	4	4	-13	8
45	3	30	7	-4	3	-9	4
45	3	35	-6	-12	2	-6	-21
45	3	40	0	20	-2	-18	-6
45	3	45	14	-11	0	-9	10
45	3	49	-4	0	0	6	22
45	3	52	1	3	0	-11	1

付表 8. RQ-1 内視鏡経験群実験データ続き

45	3	56	22	2	2	12	10

付表 9. RQ-1 鉗子経験群実験データ

被験者	回数	秒数	L	I	C	S	E
4	1	37	-3	-12	0	6	-24
4	2	14	15	8	-3	-10	-26
4	2	29	3	2	-1	21	-3
4	2	38	-16	-5	-1	-8	-1
4	3	12	2	4	2	10	-5
4	3	16	2	-7	-5	-11	18
4	3	23	1	4	4	-10	0
4	3	27	5	5	-9	-7	-10
4	3	31	13	3	3	-21	16
4	3	37	18	6	9	1	-11
4	3	41	-1	6	1	-15	17
4	3	45	11	-15	-2	23	-12
4	3	50	-9	9	-12	31	-1
4	3	54	8	-1	1	0	-8
4	3	57	2	-1	-9	0	-6
6	1	40	1	6	-3	10	-15
6	1	15	7	-1	5	9	-12
6	1	24	-6	-8	-1	-4	-33
6	1	32	12	15	-1	0	-12
6	1	48	0	0	-3	-15	19
6	1	53	-9	-18	3	1	0
6	2	9	-13	7	18	-2	-8
6	2	14	14	-5	1	-2	4
6	2	20	-13	-4	3	-4	-7
6	2	25	18	-3	3	1	15
6	2	30	-4	-13	0	1	-24
6	2	43	-9	-5	0	2	0
6	2	47	4	0	5	-20	-2
6	2	52	7	-6	1	2	-13
7	1	42	-1	3	14	-17	7
7	1	49	-6	-5	4	0	31
7	1	54	-3	0	7	9	-26
7	2	26	3	5	0	28	-22
7	2	40	3	3	-7	11	-5
7	2	48	-4	0	5	-11	11
7	2	53	7	-2	7	10	14
7	3	4	12	-18	9	5	-8
7	3	17	-7	1	-3	13	-8
7	3	24	-19	-8	7	-4	22
7	3	30	-7	-2	-5	-2	13
7	3	35	10	1	8	5	0
7	3	41	-3	-1	1	6	-37
7	3	45	6	6	-7	-1	9
7	3	53	24	6	-2	-11	-14
7	3	56	0	12	5	6	-8
8	1	19	0	-7	1	-4	0
8	1	37	-15	-11	-1	22	-36
8	1	46	-11	8	2	-8	4
8	1	54	19	-9	0	3	12
8	1	26	1	5	-2	1	18
8	2	16	0	10	-6	-23	-22
8	2	27	8	-2	-3	14	11

付表 2. RQ-1 鉗子経験群実験データ続き

8	2	37	-2	-4	6	-4	8
8	2	48	-9	8	-3	30	-20
8	3	10	7	-7	2	-1	26
8	3	28	6	17	-15	-3	7
8	3	35	7	-4	15	9	-8
8	3	40	-3	3	2	-27	31
8	3	45	2	-5	1	12	-7
8	3	50	-10	20	-3	-26	6
8	3	54	4	-8	-16	-11	-15
25	1	12	-1	3	-1	8	9
25	1	32	-2	6	-1	4	-4
25	1	39	13	-5	-15	2	21
25	1	52	11	4	-13	-2	0
25	2	53	-17	-11	5	-4	-5
25	2	11	6	-9	-5	32	-16
25	2	25	-14	5	-1	14	35
25	2	42	21	8	6	5	1
25	3	25	11	2	-14	-5	5
25	3	44	0	-4	2	6	-2
27	1	9	-9	3	1	-7	-4
27	1	31	-4	-3	-1	7	22
27	1	52	10	16	-5	-2	-10
27	2	14	-1	4	-1	-8	-11
27	2	52	-5	-5	-3	13	15
27	2	28	-11	6	-1	-4	3
27	2	35	1	-6	2	3	6
27	2	40	3	4	5	-11	-35
27	2	46	-5	-4	-1	4	-34
27	3	17	13	-5	5	-4	-9
27	3	12	14	-2	-3	-20	-4
27	3	26	6	-14	1	6	4
27	3	33	3	5	7	-6	2
27	3	38	-10	-6	2	-2	9
27	3	42	7	-3	1	-14	-21
27	3	48	-1	-4	0	3	12
27	3	52	4	8	-4	-1	10
27	3	56	-1	-1	1	-13	-12

付表 10. RQ-1 未経験群実験データ

被験者	回数	秒数	L	I	C	S	E
1	1	16	-5	16	-14	-6	-5
1	1	40	9	-4	0	-35	-4
1	1	52	14	0	-1	2	-13
1	1	58	1	7	1	-8	-11
1	2	9	-9	8	12	-9	-11
1	2	15	-8	-4	-11	24	-19
1	2	21	-1	5	-7	4	-14
1	2	28	2	0	2	0	11
1	2	34	-12	5	-2	-18	-16
1	2	40	-10	0	0	-4	-18
1	2	50	17	0	0	1	-12
1	2	54	0	-1	-2	-4	11
1	3	19	-1	-15	3	5	-7
1	3	23	2	5	-2	-4	-11
1	3	27	3	9	-4	-22	15
1	3	35	-6	0	-8	6	6
1	3	40	6	-10	1	-2	-5
1	3	45	-24	2	6	-12	11
1	3	50	10	-2	-1	20	-31
1	3	55	9	12	1	-50	1
2	1	26	-7	-2	-3	-24	0
2	1	43	7	1	-1	-1	22
2	2	11	3	-3	-2	18	-9
2	2	30	17	18	-4	2	11
2	2	43	0	-2	1	-2	-2
2	2	50	-3	-4	3	20	16
2	2	21	0	-7	3	-12	6
2	3	9	-17	1	-3	-5	28
2	3	14	4	-6	-6	-2	-25
2	3	17	-4	1	-3	-8	-9
2	3	23	7	3	-1	-4	0
2	3	31	-1	13	-3	-1	-13
2	3	36	8	-1	-8	9	-12
2	3	40	-9	-1	-3	0	31
2	3	44	0	-7	-16	1	-5
2	3	47	9	6	6	0	19
2	3	51	7	-8	-3	1	1
2	3	55	10	-7	14	-6	0
3	1	20	-1	-7	-10	6	-10
3	1	30	13	-17	5	0	31
3	1	36	4	16	2	-2	-19
3	1	43	7	0	2	-14	32
3	1	47	4	13	3	9	-20
3	1	52	-1	-9	2	6	8
3	1	55	-5	-6	16	-15	-2
3	2	36	7	3	-5	19	-9
3	2	41	-10	8	-4	0	-11
3	2	6	-12	16	-3	10	43
3	2	24	8	6	-1	9	-19
3	3	11	-1	-7	-1	8	1
3	3	50	6	-6	-2	0	-15
3	3	56	-13	0	-1	2	13
5	1	18	19	16	-1	5	-3
5	1	27	13	-1	3	-14	13
5	1	32	-20	-5	10	19	-5

付表 3. RQ-1 未経験群実験データ続き

5	1	39	-7	2	-2	16	12
5	1	46	7	-1	13	1	-4
5	1	52	13	-2	2	13	-13
5	1	56	-7	3	-3	-2	10
5	2	6	10	-5	0	19	-15
5	2	11	0	13	-12	26	-2
5	2	15	17	5	-10	-12	16
5	2	20	-9	-16	-21	2	-14
5	2	25	-4	6	4	24	21
5	2	29	1	-5	5	5	-2
5	2	34	9	4	-5	2	-12
5	2	38	1	-7	1	-16	3
5	2	43	-10	7	-6	-21	-3
5	2	47	5	-3	1	-14	17
5	2	51	3	6	1	-13	10
5	2	56	-14	0	-6	-1	-10
5	3	13	24	1	-9	1	20
5	3	18	-14	0	-11	-7	4
5	3	21	15	4	2	-10	-2
5	3	25	-9	4	-7	-3	-20
5	3	29	-15	2	4	18	7
5	3	33	16	-7	7	-24	-19
5	3	38	-10	-2	-1	1	-7
5	3	41	9	6	-13	-15	22
5	3	45	0	7	-5	0	15
5	3	47	17	6	13	16	-17
5	3	53	6	2	7	-11	-6
5	3	58	-10	-5	-8	1	-7
9	1	22	-6	14	2	-22	2
9	1	32	3	23	-2	-6	4
9	1	36	14	9	0	-4	-34
9	1	52	8	12	-1	-4	10
9	1	57	-12	3	1	-6	12
9	1	47	11	-11	-1	31	-19
9	2	22	6	-15	-5	10	-41
9	2	27	3	10	-6	-8	19
9	2	31	0	-2	5	4	36
9	2	35	0	8	2	-7	-28
9	2	39	-19	-3	2	-3	-9
9	2	43	19	-11	-1	7	-10
9	2	53	0	3	0	12	11
9	2	58	-13	-16	0	4	-14
9	2	18	-21	3	0	-6	42
9	3	6	-16	-9	-8	14	13
9	3	8	-17	-1	-1	-1	-34
9	3	12	15	0	-3	-4	3
9	3	15	10	-4	2	12	7
9	3	18	-21	-19	-1	-5	17
9	3	23	7	12	2	-15	-4
9	3	26	-13	12	-9	13	1
9	3	31	11	-8	3	-7	-1
9	3	34	6	8	0	-2	-13
9	3	38	11	-2	6	-4	11
9	3	41	7	7	-6	10	-9
9	3	47	-9	7	-1	3	-2
9	3	51	-8	-9	7	2	32
9	3	55	-11	-13	-1	5	-4
9	3	58	0	17	-5	-2	27

付表 3. RQ-1 未経験群実験データ続き

10	2	20	15	-13	4	1	-28
10	2	44	-1	10	-3	9	29
10	2	10	18	3	0	-11	-12
17	2	17	6	-14	-2	-2	13
17	2	50	-5	-12	1	-30	10
17	3	13	-3	-7	-3	14	0
17	3	20	-11	-3	-6	17	-18
17	3	27	23	-2	-10	3	-23
17	3	33	-4	-9	1	-8	-13
17	3	37	4	2	10	-6	-7
17	3	43	0	7	3	3	2
17	3	52	6	-11	2	-2	15
17	3	56	7	23	2	28	-16
18	1	24	-1	-3	2	2	-2
18	1	42	-7	1	6	-41	13
18	1	9	18	-1	8	0	34
18	1	53	-10	6	-2	12	27
18	2	13	-7	3	11	-7	25
18	2	24	-2	2	2	0	9
18	2	32	4	9	-5	20	-7
18	2	45	-6	1	-7	4	-15
18	2	51	2	4	-5	-16	9
18	2	57	-16	-11	8	2	8
18	3	11	-3	-1	-4	-3	7
18	3	16	3	-9	3	0	-6
18	3	23	-2	9	4	-27	4
18	3	31	-8	4	3	-25	3
18	3	39	-7	7	0	9	4
18	3	49	-13	2	1	-11	14
18	3	57	-16	-10	-3	-1	-23
19	2	23	-2	3	1	4	-2
19	3	14	-14	-4	9	1	3
19	3	30	-17	10	-1	-11	12
19	3	43	-5	12	-5	-4	-11
20	1	27	-5	-5	5	-8	-2
20	1	56	5	-12	-2	18	13
20	1	38	-20	-8	0	-5	-3
20	2	10	19	6	-1	-17	-15
20	2	48	21	-7	26	8	-18
20	2	56	6	7	1	10	-7
20	2	38	22	1	6	7	1
20	3	21	19	-3	-1	-6	-30
20	3	27	-1	0	1	-17	0
20	3	33	-2	6	-1	2	5
20	3	40	-2	2	4	-19	12
20	3	45	2	-1	1	17	5
20	3	51	-11	6	-7	4	42
20	3	55	8	-3	2	22	-13

付表 11. RQ-2 実験後アンケートデータ

被験者	回数	この実験が好き	もっとやりたい	集中していた	ストレスだった	ワクワクした
2	1 回目	1	1	3	6	1
2	2 回目	1	1	4	6	2
2	3 回目	1	1	5	6	1
4	1 回目	4	4	5	3	4
4	2 回目	5	5	5	2	5
4	3 回目	6	6	6	2	6
9	1 回目	5	4	2	2	3
9	2 回目	4	4	3	2	5
9	3 回目	5	4	3	4	5
10	1 回目	4	4	5	2	4
10	2 回目	5	4	5	2	5
10	3 回目	4	4	4	2	4
19	1 回目	3	3	4	3	2
19	2 回目	2	3	3	2	2
19	3 回目	2	2	5	3	2
25	1 回目	4	6	4	4	5
25	2 回目	6	6	6	3	6
25	3 回目	4	6	3	6	5

RQ-2 の実験結果として、感性アナライザの１分間の平均値をそれぞれ被験者の L（Like）、I（Interest）、C（Concentrate）、S（Stress）、E（Excite）を算出した。

付表 12. RQ-2 感性アナライザデータ（平均値）

被験者	回数	L	I	C	S	E
10	1 回目	66.6	52.4	34.4	49.1	54.8
10	2 回目	67.5	56.9	27.1	45.8	55.1
10	3 回目	73.1	54.3	23.8	47.4	59.4
19	1 回目	63.3	46.2	33.9	54.9	49.9
19	2 回目	67.9	41.1	41.5	57.0	52.1
19	3 回目	63.5	41.1	54.3	57.1	47.4
25	1 回目	50.6	51.7	36.3	51.3	46.2
25	2 回目	50.7	59.7	39.8	49.0	42.2
25	3 回目	50.5	57.2	42.8	50.7	45.1
9	1 回目	61.0	66.5	26.0	47.3	47.3
9	2 回目	60.3	62.3	31.2	47.8	55.6
9	3 回目	61.1	68.6	29.3	45.2	54.2
4	1 回目	63.1	49.2	16.9	63.0	66.4
4	2 回目	54.2	53.1	28.2	60.7	62.1
4	3 回目	52.6	46.3	32.0	59.8	54.1
2	1 回目	53.9	49.2	32.7	57.7	55.4
2	2 回目	57.1	56.6	31.5	48.9	44.7
2	3 回目	57.4	63.6	37.4	47.8	52.7