

Title	外科における遠隔シミュレーション教育の効率的な教育方法の提案： ディスプレイと遅延の影響を考慮して
Sub Title	A proposal of method of efficient education using remote surgery simulation : considering effects of display and delay
Author	藤田, 智行(Fujita, Tomoyuki) 当麻, 哲哉(Toma, 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	2012
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2012年度システムデザイン・マネジメント学 第114号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002012-0051

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

2012 年度

外科における遠隔シミュレーション教育の
効率的な教育方法の提案
—ディスプレイと遅延の影響を考慮して—

藤田 智行
(学籍番号 : 81133536)

指導教員 准教授 当麻 哲哉

2013 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

A Proposal of Method of Efficient
Education Using Remote Surgery
Simulation
- Considering Effects of Display and Delay -

Tomoyuki Fujita
(Student ID Number : 81133536)

Supervisor Associate Professor Tetsuya Toma

March 2013

Graduate School of System Design and Management,
Keio University
Major in System Design and Management

論 文 要 旨

学籍番号	81133536	氏 名	藤田 智行
論文題目： 外科における遠隔シミュレーション教育の効率的な教育方法の提案 —ディスプレイと遅延の影響を考慮して—			
<p>(内容の要旨)</p> <p>医学教育は、現在6年間の学生生活のうち、後半2年間は臨床研修を行う。中でも外科は実際に実技を通して学ぶことが多く、体得が難しい。しかし、実際はカリキュラムが多いため、外科実技練習はほとんどされず、外科実技練習時間が乏しいのが現状である。その結果として、学生は必ずしも実技を身につけて卒業するわけではなく、卒後未熟のうちに臨床を行う危険性がある。さらに学生が学ぶための環境についても万全とは言えない。医学界では病院間・大学間での教育格差が生じている。具体的には、経験豊富な指導者の不足や、症例の不足、施設といった教材不足である。</p> <p>実技練習が効率的でない・施設間の教育格差という2つの問題に対して本研究では、遠隔手技トレーニングの効率的な教育方法を提案する。</p> <p>遠隔教育は、通常の講義と異なり3つ機能がある。入力機能・通信機能・出力機能である。3つの機能を検証するために入力機能と出力機能を立体視実験・通信機能を遅延実験で2つの実験を行った。立体視実験では、立体視による画像が教育に影響を与えるか、遅延実験では、遅延が教育に影響を与えるか検証した。これらの検証を行うにあたり、他要因を排除するためにシンプルにモデル化を行い検証した。</p> <p>立体視実験では、2D・3Dで手技を行い、手技時間の変化について分析を行った。その結果、教育効果が3Dの方が高いことが導出された。3Dの方が教育効果が高くなったのは、3Dでは、飛び出ている箇所に視線が注視されることができたという点とコンテンツに奥行き感が必要であったと考えられる。</p> <p>もう1つの遅延の実験では、映像にコントロールした遅延を発生させた。3群（遅延なし/遅延0.125秒/遅延0.5秒）で手技を行い、手技の時間がどのように変化していくのか比較検証をした。その結果、遅延があると手技者が気づかない微量であっても「伸び悩む」ということが示された。初期トレーニングにおいては、若干の遅延（0.125秒）程度ならば許容可能であることがわかった。その理由としては、トレーニング初めは様々な手技の内容を学ぶため遅延はさほど気にならないが、繰り返しトレーニングをし、成長していくと遅延というファクターの占める割合が大きくなり、結果としてコントロールできない遅延の部分が弊害となってしまおうと考えられる。</p> <p>以上のことから、遠隔教育において、外科手術トレーニングをする場合は、3Dでかつ遅延が少ないことが望まれる。</p>			
キーワード (5語) 遠隔教育 医学教育 遅延 立体視 教育効果			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81133536	Name	Tomoyuki Fujita
Title A Proposal of Method of Efficient Education Using Remote Surgery Simulation - Considering Effects of Display and Delay -			
Abstract For medical students, learning surgical techniques is not easy they do not have enough time for surgical training. In addition to that, a learning environment for student is controversial. There is an educational quality gap between hospitals and between medical schools. The purpose of this study is to propose a method of efficient surgical distance training to increase opportunities for training and to close the educational gap. Distance education has 3 functions that are different from normal lectures, input, output, and transmission between them. In this study, input and output were tested with the haploscopic vision equipment. Transmission was tested with a trance delay controller experiment. Through these experiments, we verified if, image vision or delay affects the training efficiency. The results showed that the three dimensional display provides a more efficient way of learning. The reason for the efficiency is due to the three-dimensional display providing depth perception of contents and that enables participants to focus on the depth. The delay experiment controlled the delay of the image. The experiment was conducted with 3 groups (delay tiem:0.00s, 0.13s, 0.50s). The results showed that delay, even when participants do not notice the delay. It influences the learning effectiveness and which ceases improvement. The result indicates that a small delay of about 0.13 sec is ideal for trainees in the early stage. For the above reasons, The three-dimensional display and minimized delay are preferred for remote and distant learning of surgical training.			
Key Word(5 words) Distance Education, Medical Education, Delay, Haplosopic Vision, Effective Education			

1.	はじめに.....	3
1.1.	医学教育制度の現状.....	3
1.1.1.	医学教育の社会的意味.....	3
1.1.2.	現在の医療制度と医学教育制度.....	5
1.1.3.	医学教育の現場.....	8
1.1.4.	医学教育における問題点.....	9
1.1.4.1.	教育格差の問題点.....	9
1.1.4.2.	教育の効率性に関する問題点.....	10
1.2.	研究目的.....	11
1.2.1.	本研究の対象.....	11
1.2.1.1.	学生の対象.....	11
1.2.1.2.	科目の対象.....	12
1.2.1.3.	遠隔教育の範囲.....	15
1.2.2.	遠隔教育の必要性.....	17
1.2.3.	ディスプレイと遅延の影響.....	18
1.2.4.	本研究の目的.....	18
1.3.	本論文の構成.....	18
2.	研究背景.....	20
2.1.	医療教育の格差.....	20
2.1.1.	国内との医療教育施設格差.....	20
2.1.2.	国外との医療教育格差.....	22
2.2.	医療教育の効率性.....	23
2.3.	ICTの活用.....	24
2.4.	問題の提起と目的.....	26
3.	先行研究.....	27
3.1.	ミラーのピラミッド.....	27
3.1.1.	ミラーのピラミッド下層部の取り組み.....	29
3.1.2.	ミラーのピラミッド上層部の取り組み.....	29
3.2.	知の共有方法・遠隔教育の先行研究・取り組み.....	32
3.3.	評価方法の先行研究.....	33

3.4.	先行研究の課題.....	35
3.5.	まとめ.....	36
4.	提案全体像.....	37
4.1.	ステークホルダー分析.....	38
4.2.	View Point と View.....	40
4.3.	Functional Flow Diagram.....	40
4.4.	アーキテクチャ.....	41
4.5.	モデル化.....	44
5.	研究の検証.....	46
5.1.	立体視実験.....	47
5.1.1.	立体視実験概要.....	47
5.1.2.	立体視実験結果.....	51
5.1.3.	立体視実験考察.....	56
5.2.	遅延実験.....	60
5.2.1.	遅延実験概要.....	60
5.2.2.	遅延実験結果.....	64
5.2.3.	遅延実験考察.....	75
6.	結論および今後の展開.....	79
6.1.	結論.....	79
6.1.1.	3D の対応.....	79
6.1.2.	遅延の低下.....	79
6.1.3.	本研究の結論.....	79
6.2.	今後の課題.....	80
6.2.1.	技術的課題.....	80
6.2.2.	汎用性に関する課題.....	81
6.3.	今後の展開.....	81
	謝辞.....	84
	付録.....	85

1. はじめに

1.1. 医学教育制度の現状

本章では、医学教育における制度の説明と現状の問題点を述べた後に本研究の目的を述べる。

1.1.1. 医学教育の社会的意味

まずは医学教育の社会的重要性について述べたいと思う。現在の医療とは、非常に公共性¹が高く、扱う対象が「命」と直結するものであり、社会的インパクトが非常に大きい分野である。その一方で日本は今後、高齢者社会に向かうにあたって多くの医者が必要となってくる。(図1) その点においても医者のニーズが増えてきていることは確かである。図1は、横軸に年代を表し、縦軸に割合を示したものである。

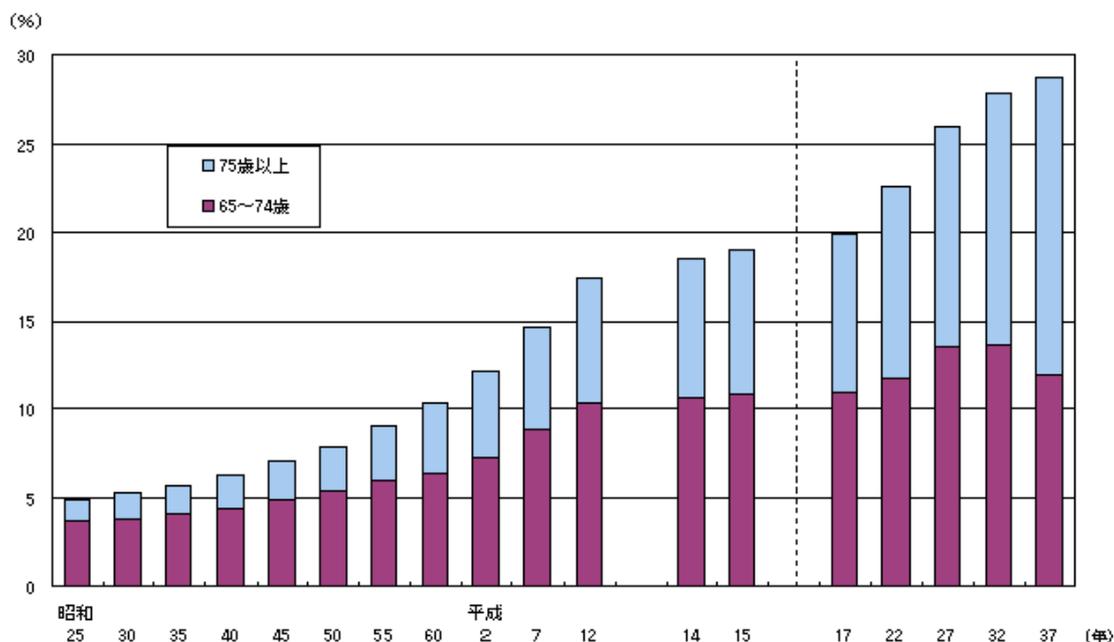


図1 高齢者人口の割合の推移

出典：総務省統計局・政策統括官・統計研修所

青いグラフは75歳以上の割合を示している。赤いグラフは、65-74歳までの割合を表している。1950年時における65-74歳までの割合は、4.9%であった。しかし年々増加しており、2010年次は、22.5%になっている。そして15年後には、65歳以上の人口が

¹ 公共性とは、競合相手がいない状態と排除できないという特性を持つものである。

28.7%となっている。高齢化が進むに連れて医療のニーズは高まるのである。

しかし一方で医者になるための医学生は毎年8,000人程度と変化ないのが現状である。必要な人数が増え続ける一方でそのニーズに応えるため医者は増えないという現象が続いている。下図は医学部定員数の推移を時系列で表現したものである。1960年後半から大幅に増加している。これは、政府の無医大県をなくす政策によるものである。そして、1990年になってから政府は医者の過剰供給を抑える政策を行った。そのため、しばらく医学部定員数は一定である。しかし、日本は他の先進国に比べ絶対的な医者数が非常に少ない。そして医者を増やすことは国として取り組んでいる施策であり、そのため多くの医者を排出する必要がある。

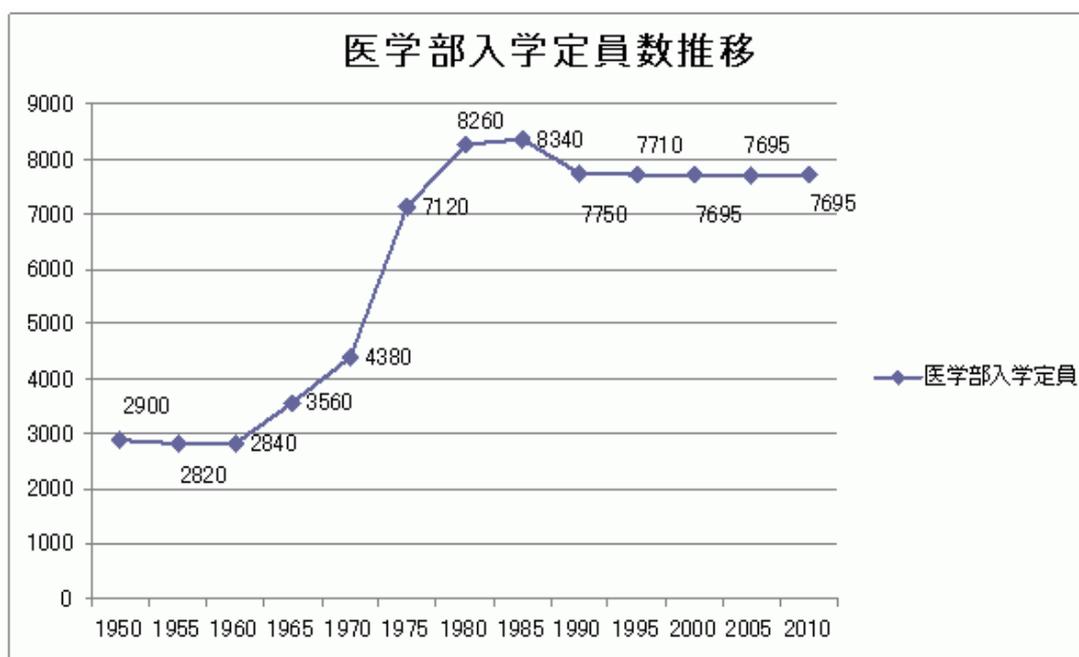


図 2 医学部入学定員数推移

出典：文部科学省高等教育局医学教育課

また海外に視点を向けても、不衛生な場所が多く発展途上国などでは、多くの医者を求めている。

しかし、医療は他の分野と異なり、専門性の高い分野である。そのため医療を行うためにはまず医学について学ぶ必要がある。それこそが医学教育である。その意味での医療の根本となることを学ぶ医学教育というのは、社会的・国際的にみても非常に重要な

分野である。

1.1.2. 現在の医療制度と医学教育制度

現在の日本の医療制度における医師は、国家によって厳格に規定され、管理されている専門職の1つである。厳格に規定されているのは医師法である。医師法という単独の法律が制定され(昭和23年法律第201号)、医師の役割、免許試験、臨床研修、業務等について規定されている。この法律によって、医師でなければ医業を行ってはならないこととされている(医師法第17条)。そして、医師となるためには、医師国家試験に合格し、医籍に登録したうえで、厚生労働大臣の免許を受けなければならない(医師法第2条、第6条)。さらに、2004(平成16)年、医師法の一部改正により、診療に従事しようとする医師は、国家試験合格後、2年以上の臨床研修が義務付けられた(医師法第16条の2)。このように、医師という職業の枠組みは法制度で規定されているが、これは、医療行為が他者の身体に対する侵襲行為²であるからである。

その専門職である医者には、7つの資質が求められる。(文科省「医学教育の改善・充実に関する調査」)

- ①人の命と健康を守る医師の職責への十分な自覚のもとに、医師の義務や医療倫理を遵守し、絶えず患者本位の立場に立つ。
- ②生命の尊厳についての深い認識のもとに、豊かな人間性を有する。
- ③医師としての業務を遂行する職業人として必要な実践的能力(統合された知識、技能、態度・行動に基づく総合的診療能力)を有する。
- ④人間理解に立った高い協調性のもとに、医療チームの一員としての行動や後輩等に対する指導を適切に行える。
- ⑤患者及びその家族の秘密を守る。
- ⑥医師として、地域における医療・保健・福祉等の連携および医療の経済的側面等の医療を巡る動向に関心・理解を有する。
- ⑦医学・医療の進歩における医学研究の必要性を理解し、研究に参加するとともに、絶えず医療の質の向上に努め生涯にわたり学習する意欲と態度を有する。

²外科手術などによって人体を切開したり、人体の一部を切除する行為や薬剤の投与によって生体内になんらかの変化をもたらす行為などを指す。医療行為ともいう。

これらの資質を身につけるために、医学部のカリキュラムが設計されている。カリキュラムには、医師国家試験前と臨床研修期とに大別できる。

以下では具体的に慶應医学部の事例を利用して医師国家試験前のカリキュラムを説明していく。

6年間のカリキュラム

学年	1	2	3	4	5	6	
キャンパス	日吉	信濃町					
カリキュラムの流れ	外国語、人文・社会科学の科目の他、医学の基礎としての諸科学を学ぶ。	1年次の科目に加え、専門的に医学を学ぶために人体の基礎知識を得る。	医学・医療関連の生物学的、社会的、歴史的な知識を固めていく。	臨床各科の知識を修得し、臨床実習の準備をする。	慶應義塾大学病院、その他関連病院にて、直接患者さんに接する臨床実習が始まる。	6年間の最後、2月に医師国家試験を受ける。卒業後は、大学院、研修医などへ。	
基礎教育科目	外国語科目	英語Ⅰ・Ⅱ ドイツ語、フランス語(選択)					
	人文・社会科学科目	人文・社会科学(選択)					
	基礎科学必修科目	数学Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ、物理学Ⅰ・Ⅱ、化学Ⅰ・Ⅱ、生物学、物理学実験、化学実験、生物学実験					
	医学基礎教育科目	基礎分子細胞生物学Ⅰ、医療科学Ⅰ、EEP	※枠内に(選択)の記載のない科目は、必修科目を表し、進級、卒業するためには必ず履修し、合格しなければならない。枠内に(選択)と記載されている科目は、選択科目を表し、所定取得単位数以上を選択履修しなければならない。				
基礎・社会医学系科目		英語Ⅲ 基礎分子細胞生物学Ⅱ 医療科学Ⅱ、組織学、解剖学、発生学、生理学Ⅰ・Ⅱ、医化学	英語Ⅳ 分子生物学・遺伝子医学、微生物学・免疫学、熱帯医学・寄生虫学、病理学総論、薬理学、衛生学、医学統計・医療情報、病理学各論、臨床薬剤学	公衆衛生学、医療政策・管理学 法医学	医療科学Ⅲ		
自主学習				自主学習			
臨床医学系科目				内科学、外科学	産科学、婦人科学、小児科学、精神医学、整形外科学、麻酔学・緩和医療、放射線医学、臨床検査学、泌尿器科学、耳鼻咽喉科学、眼科学、皮膚科学、救急医学、形成外科学、リハビリテーション医学、歯科学	感染症学、漢方医学、総合臨床医学、診断学実習、内科ケーススタディー	輸血臨床実習、病理診断実習、外科系選択実習、症例検討、CPC

※カリキュラムは最新の医学教育に対応するため適宜変更することがあります。

(2012年4月1日現在)

図 3 6年間のカリキュラム

出典「慶應義塾大学 ガイドブック 2013」

まず、最初の1年間で一般教養を付ける。これは、他学部で通常2年間で行われているものを1年間に凝縮して行う。その後、2-4年までで医学の専門性を学ぶ。

2年時に医学の基本となる組織学、解剖学、発生学などの基礎・社会医学系科目を学ぶ。

3年時には、基礎・社会医学系科目の幅を広げ、医学・医療関連の生物学的知識を身につける。

4年時には、共用試験 CBT、OSCE 試験があり、これらの試験を合格したものだけが、5学年から始まる臨床実習に進むことができる。この臨床実習とは、後で述べる臨床研修とは異なるものである。

5学年から6学年2学期までを通して、臨床実習が行われる。この実習では、5-6人を1グループとして小グループに分かれて各科をまわり、直接患者さんに接し見学をする。これをポリクリ（病院実習）と呼ぶ。

中でも、ポリクリでは、各医学科をグループで周り、主治医の先生とともにより実践の高い実習を進めていくのである。以下は参考として慶應医学部の5学年のカリキュラムのクラークシップスケジュールを編集したものである。図3をみてわかるように春学期で10科目、秋学期で10科目の年間合計20の科目を学ぶ。そのため、それぞれの滞在期間は1科目2週間となっている。



図 4 医学部 5 年次カリキュラムスケジュール

出典：慶應大学医学部シラバスより筆者加筆・編集

ポリクリは慶應の場合、5年生1年間・6年生の半年をかけて行う。その後残りの半年程度をかけて医師国家試験対策を行う。その間の手技練習などはほとんどされずに、知識を詰め込む作業を行う。そして、医師国家試験を合格すると医師免許が交付される。

医師免許を取得すると2年間のインターン（研修医）を経て一人前の医師となるのである。そしてこの卒後臨床研修の期間中に、自分の進みたい診療科（内科・外科・小児

科など)を正式に決定する。

医学部5・6年でも実習を行う。一方で卒業後も実習を行う。この違いは、医者免許の有無である。医師免許の取得前と取得後で大きく異なるのは、患者の扱いである。医師免許取得前は、患者で実技を実際に学ぶことは出来ない。医師免許取得後であれば、患者で実技を行うことが可能である。逆を言えば、経験の浅い大学でたばかりの研修医が1年目からインターンとして患者を持つのである。例えば、夜の救急などは常勤のベテランの医師がいるわけではなく、インターン生が1人アルバイトでいることが多い。そのため、夜の救急は浅い実技経験しか持たないインターンが実技を行ってしまう。

学生が実技に弱いという1つの要因は国家試験が基本的には知識を聞く試験であって実技をどう試験ではないという事である。そのため、座学→実技→試験対策となり、実技中心の授業が行いづらいのが現状である。

1.1.3. 医学教育の現場

前述した通り、医学部は6年間のカリキュラムで構成されている。今回は6年間のうち後半2年間の実技の分野の教育課程と研修医の教育についてフォーカスをしていく。その理由は、後半2年間の授業は臨床実習ということで非常に重要な役割をなすためである。

その後半2年間をポリクリ³について実際に慶應義塾大学医学部のご協力のもと、5年生に対する講義の一部を聴講した。講義の内容としては、内視鏡手術のトレーニングである。手技VRシミュレーターを利用して腹腔鏡の手技の練習をするというものである。45分間の講義のうち、先生のデモ・解説が10分程度その後、各自手技を行う。

まずは、おどろくべきことに内視鏡手術の手技トレーニングを行う機会は一度のみであるという点である。時間の制約があるにせよ、非常に短い。また、学生に授業後に意見を聞くと、手技最中最も難しいと言われたものが、奥行き感である。鉗子が行ったりきたり、奥行き感がわからずに皮膚を刺してしまい、出血させることがある。

この表はその際の授業のアウトプット成果である。表1で記載してあるように、圧倒的に時間が異なることがわかる。また、6人中5人が出血をさせてしまうという結果になった。指導者は3.36であり、出血量が0である。一方、学生の平均手技時間は6分

³ 医学部高学年における病院実習のこと。

間の時間を要している。また、出血量も指導医は 0cc であったのかかわらず、学生側は平均 11cc も出血させている。

表 1 VR 手技練習結果

	時間	出血量	左手動き	右手動き
指導医	3:36	0 cc	2.77 m	1.97 m
学生 1	6:16	6 cc	2.85 m	3.49 m
学生 2	8:13	46 cc	2.25 m	3.01 m
学生 3	6:01	0 cc	1.81 m	2.74 m
学生 4	4:30	4 cc	1.45 m	2.41 m
学生 5	4:15	9 cc	2.28 m	2.99 m
学生 6	6:52	2 cc	2.65 m	3.12 m

また、全国の 79 の大学附属病院に対するアンケート結果、研修医のアルバイトが禁止されているのは全体の 2%に過ぎず、アルバイトに出た研修医のうち 80%のものが単独診療を経験している。つまり卒業して間もない知識しかない技術がない医者が診療を行なっている現状がある。そしてその単独診療をした研修医の 90%以上の人間が不安を抱えながら診療をしているという統計的なデータもある。(全日本医学生自治会連合, 2003)

1.1.4. 医学教育における問題点

医学における社会的意義を既に述べたが、医者を育て上げるための医学教育システムには大きく分けて 2つの問題が存在している。1つ目は教育格差である。もう1つは、教育の効率性についてである。以下では、教育格差と効率性について述べあげる。

1.1.4.1. 教育格差の問題点

医学教育は上記の通り、公共性が高い・命を取り扱うという観点からも公平性が保たれるべきである。しかし、大学病院においては、知の伝達という意味では大きな差が生じている。実際に「知」ということの差をみてみると下記の通り、(図 8) 各大学によって差が生じていることがわかる。しかし、医学教育の分野において問題が生じている。

平成 23 年度の厚生労働白書において、医療教育の問題が 8つ挙げられている。(厚生

労働省, 2011)

1. 研修は努力義務に過ぎない
2. 研修プログラムが不明確
3. 専門医思考のストレート教育が中心
4. 施設格差が著しい
5. 指導体制が不十分
6. 研修成果の評価が不十分
7. 身分・処遇が不安定
8. 研修医が都市部の大病院へ集中する

これらの問題はそれぞれが関係しあっている。それらの関係は、「指導体制が不十分」であるのは、「経験がたまらないため」である。「経験がたまらない」のは、「施設間において執刀件数に大きな差」が生じているからである。そのため専門的な教育にならざるをえない。その中で私は、施設間の格差に着目をした。

施設間の問題を解決するために、知を共有することが重要である。

1.1.4.2. 教育の効率性に関する問題点

実技練習として、医学部では臨床実習がある。しかし、前述したように、内視鏡手術の練習は、一度きりである。一度のみの短い手技練習において手技を体得することは困難である。より時間数をかけて、手技取得のための訓練をすべきであるという意見もあるが、現実的には困難であると考えられる。それは既に学生は多くの教科を消化することが義務となっており、時間が足りないためである。

その観点から鑑みると教育を効率的に体得すべき仕組みが必要であると考えた。

また、現在の医師国家試験では知識を問うため、前述したように半年程度の時間を知識を詰め込むのに費やしてしまいます。そして、そのまま卒業し、研修医となって実際の人の身体を処置したりするのである。

また、実際にインターン生として現在働いている医療従事者にヒアリングを行った結果以下のコメントが上がってきた。

- ・ 医者は知識を詰め込んでいるので実践は弱い。
- ・ 大学によって偏りが大きい。国家試験だけでみるとあまり差が生じていないが、国家試験に落ちるような学生は試験を受けさせないなどの対策をしているためであり、

実際は大きな差が生じている。

- もっと効率的な教育方法があるはずだ。
- 医者のインターン生よりも看護師の1年目のほうがよっぽど現場慣れしている。
- もっと質のいい教育にして欲しい。

以上は慶應医学部のOBの意見である。もちろん代表性は疑問があるにせよ、このような問題が潜在的にあることが非常に重要な意味がある。

この未熟な練習を積んだ医者が実際に患者を取り扱う状況は非常に患者にとって危険な状況である。だからこそ、学生時代により実技を多く学んでインターンの時にはより経験を沢山に積んだ状況で患者を診るべきである。もちろん、難しい処置を研修医のみで行うわけではなく、オープンと呼ばれる指導医が付く。しかし、この医師不足の最中手厚いフォローをすることは困難である。だからこそ、早めの自立が求められる。

1.2. 研究目的

以上のことから、教育格差・教育の効率性という2つの問題を解決することを目的とする。そのために、本研究では、遠隔トレーニングを効果的にするための教育方法を提案することとした。

1.2.1. 本研究の対象

本研究とするものは医学という分野であり、対象が広いため以下の章で研究範囲を絞ることにする。

1.2.1.1. 学生の対象

医学において、教育のコンテンツ観点からみるとフェーズは大きく分けると4つのフェーズがある。

- 1.座学フェーズ：座学の知識をつけるフェーズ
- 2.実習フェーズ（ポリクリ）：病院実習で実技を訓練するフェーズ
- 3.研修医フェーズ：実際に人を診断し、処置できるが未熟医なので学ぶ必要があるフェーズ
- 4.生涯学習フェーズ：一人前の医者であるが学ぶ必要があるフェーズ

本研究の対象とする学生は5・6年の医学部の学生および研修医を対象とする。5・

6年生と研修医を選んだ理由は、医学教育には大きく分けて2つのフェーズがある。大きく分けると知識をつける教育フェーズと実技を学ぶ教育フェーズである。前者においては、比較的充実している。なぜならば、医学部においての国家試験で求められているものが医学知識であるためである。また、医学部の教育の多くの時間が知識をつけることに費やしているからである。しかし、実技を身につけるフェーズは非常に体得が難しい教育になっている。

よって、5・6年生および研修医を対象とすることとした。

1.2.1.2. 科目の対象

表 2 外科手術種類一覧 (抄録)

出典 wikipedia 外科手術一覧

開腹手術	
低侵襲手術 (内視鏡手術)	喉頭内視鏡
	気管支鏡
	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
	カプセル内視鏡
	胸腔鏡
	腹腔鏡
	膀胱鏡
	胆道鏡
	関節鏡
	脊髄内視鏡
	血管内視鏡
硬膜外腔内視鏡	

前述したように医学生が学ぶ科目は 20 以上の専門知識を取得する必要がある。中でも、近年新しい手術法が確立されてきて特に習得が難しくなっている外科手術の教育について本研究ではフォーカスをしていく。特に近年手術の件数が多い内視鏡手術ト

レーニング（低侵襲手術トレーニング）を対象とする。以下では外科の手術の種類について述べる。

以上のように多数の手術の種類がある。左側の開腹・低侵襲手術は、手術の方法の違いである。右側の表は、手術の対象によって名前が異なる。本研究では腹腔鏡の手術にフォーカスを行なって進めていく。理由は、今回お手伝いいただく慶應大学の先生の専門の知見を得られながら行えるということが主たる要因である。

内視鏡手術とは、お腹の中（腹腔）を直接観察する直径1 cm程の内視鏡である。へその下を3 cm前後切開してお腹を炭酸ガスでふくらませてから腹腔鏡を挿入して腹腔内の様子をテレビモニターに映して観察し、さらに小さな傷を何個かつけて穴を開け、鉗子という細い器具を使用してビデオカメラと特殊な手術器具を用いてモニタ画像を見ながら行う手術のことをいう。（医療法人東和会 | 内視鏡外科手術とは）

図4のようにお腹に多くの器具を挿入し行うのが内視鏡手術の特徴である。

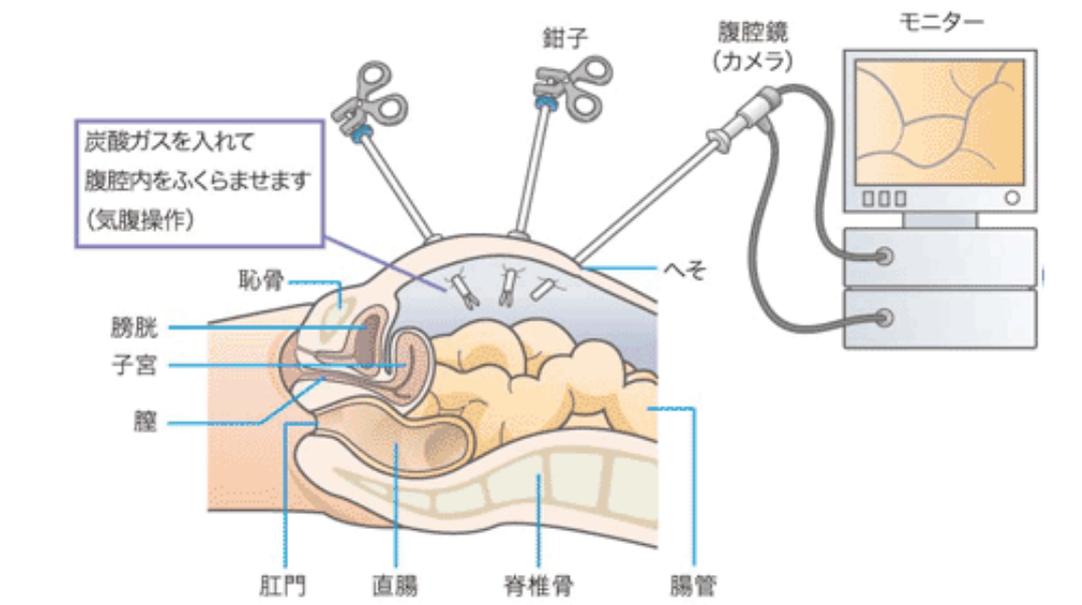


図5 腹腔鏡手術イメージ図

出典：ブレイブサークルHPより (<http://www.bravecircle.net/index.html>)

内視鏡手術は、傷が小さいので入院期間が短く患者の負担も少ない。また、切開部分が小さいため、痛みが少ない。しかしながら、モニターのみを頼りにしなければならず、視野が狭くなってしまふ。そのため開腹手術よりも高度な技術が求められている。そして、触覚機能が非常に衰えるということがある。開腹手術は手指の俊敏な触覚を活かして操作を遂行できるのに対して、内視鏡手術では、それが困難である。

これは内視鏡の実際の手術時の写真である。執刀医は画面をみながら、手元で作業をするというシーンが伺えるものとなっている。3人の術者がいることがわかる。奥の右



図 6 腹腔鏡手術写真

出典：大阪中央病院

側にいる人が麻酔科医で、麻酔をコントロールしている人である。手前右側の人は、腹腔内の映像を出すためのカメラを操作する人である。左側の人が鉗子などの手術用具を利用して、実際に切除・縫うという手技を行うのである。

内視鏡手術は、痛みが少なく直ぐに退院できるため入院費が安くなるという観点から患者にとっても国家的に（医療費）メリットが高い。また、病院にとってみれば、回転

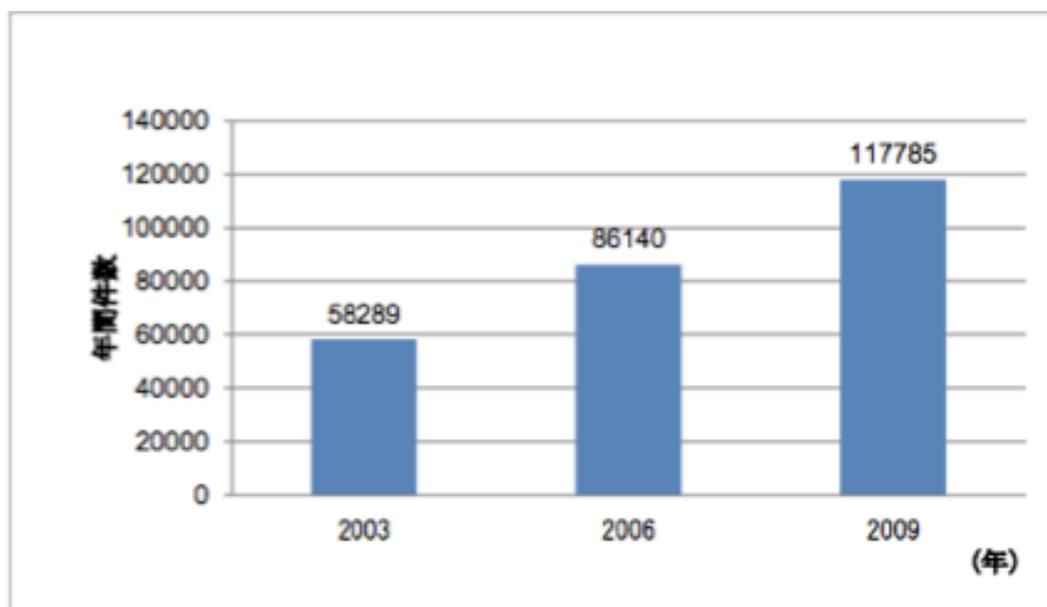


図 7 内視鏡手術件数推移

出典：日本内視鏡外科学会・日本産婦人科内視鏡学会によるアンケート

率があがるため、経営的にも有用である。そのため、近年内視鏡手術は急激に伸びている。図5のグラフは年間の内視鏡手術（低侵襲手術）の臨床件数を表したものである。2003年には、58,000件であった手術件数が2008年には、120,000件弱まで件数が増加している。実に5年間で約2倍になっている。その点から鑑みても今後この外科の内視鏡手術（低侵襲手術）は増加していく傾向にあると考えられる。実際に患者への負担が少ないので慶應大学病院では、半数以上が内視鏡手術を行なっている。

そのため本研究では、20科目あったうちの外科に着目をし、外科の手技の中でも将来的に需要が大きい外科の腹腔鏡手術を行う教育を対象とした。

1.2.1.3. 遠隔教育の範囲

遠隔教育とは、遺稿教育機関や講師と学習者が教育過程の中では、お互いに離れている。と言われているものである。なお、遠隔教育の定義およびその要素についての詳細は3.2章で述べることとする。

ここでは、遠隔教育を体系化すると4つの遠隔教育がある。その中における本研究の対象を明らかにしていく。

「知の共有」をするための遠隔教育には大きく分けて4つの種類がある。(図6)

	同時(遅延なし)	非同時(遅延あり)
一方向	授業時間の束縛を受けるが、教員と学生、学生同士のやりとりがある遠隔教育 Liveの講義	時間の制約は受けないが、教員と学生、学生同士のやりとりが皆無に近い遠隔教育 E-learning
双方向	授業時間の束縛を受けるが、教員と学生、学生同士のやりとりがある遠隔教育 Skype利用の英会話	時間と場所の制約を受けず、それでいて居員と学生、学生同士のやり取りがある遠隔教育 通信教育

図8 遠隔教育体系分類

出典：よくわかる教職課程

一方向・双方向というコミュニケーションのスタイルの軸と同時・非同時という時間的なズレに関する軸である。4つの遠隔教育の体系化が成される。

一方向・同時とは、一般的なLive講義である。先生が講義を1コマし続けるというものである。考えられるシーンとしては、教室が満席で隣室で行う場合などはこれにあたる。

一方向・非同時とは、e-learningなどのものである。録画などされているので、自分の好きなタイミングで見ることができるものである。

双方向同時とは、遅延が発生しない状況である。現実的に距離があれば多少なりとも遅延は発生するが、もっとも有名な代表例としては、skypeを利用した英会話スクールなどがあげられる。

双方向・非同時は塾などが行なっている通信教育である。教科書を配布し、付属している問題を解いて郵送し添削してもらおうといったようなものである。

本研究においては、双方向の同時・非同時についてフォーカスをしていく。その理由としては、既に一方向と双方向の場合、双方向の方が効率的に体得できることが証明されているからである。(木野, 2009)

そのため、本研究の対象は、双方向の遠隔教育でかつ外科の内視鏡手術のシミュレーションを対象とすることにした。

1.2.2. 遠隔教育の必要性

外科の教育において、格差が生じている。例えば、外科のシミュレーターが現在の医学教育においては、差が生じている。特に外科の分野においては、後に示すように各大学病院において大きく手術数が異なる。(図8)

また、機材の観点でも差が生じてきている。慶應医学部には、様々な手術のシミュレーターが導入されている。前述したように慶應医学部では、クリニカルシミュレーションラボが解説されている。しかし地方大学の場合、国立大学であっても同様の施設がいないため、同じような教育を受けることができない。

実際に、地方出身の慶應病院にインターンをしに来ている研修医は初めて行う手技というものがあり、施設の便利さに驚いていた。

さらに、研修医は研修先の選定方法として求めるものが下記の通りである。(図7)

表 3 研修医の研修先選定理由

出典：厚生労働省 「臨床研修に関する調査」最終報告

順位	理由	割合
1	多くの症例を経験できる	34%
2	様々な診療科・部門でバランス良い経験をつめる	31.7%
3	臨床研修のプログラムが充実	30.7%
4	病院の施設や・設備が充実している。	28.4%
5	実家に近い	18.4%

1位は多くの症例を経験できることが重要な研修先でのファクターになっている。2位も様々な経験を詰めることが条件となっている。3位は研修の教育面である。4位は施設が整っていることが求められる。5位に関しては、若干1位から4位と異なる実家に近いということである。ほとんどの学生が、教育が充実していることを望んでいることがわかる。

前述の問題点を解決するためには、様々な施設にシミュレーターを入れていく必要がある。さらに、よりクリティカルな問題としては、それらを教えることのできる人がいないことである。その理由は、大きく分けて2つある。教えるだけの経験をもった人材がいないことである。また経験を沢山もっている人材は、臨床をしなければならず、後輩の人材を育成するためだけの時間がない。

そのため、ノウハウを効率的に伝授していくための手段が必要である。その解決策の1つが遠隔教育である。

実際に、どこでも高度医療実現のためのボリュームベース遠隔触覚協働環境構築の研究開発ということで、内視鏡手術シミュレーターを1対多で指導することのハードウェアが完成している。(情報通信研究機構:平成22年革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発) また、バーチャル・リアリティを用いた内視鏡外科手術教育をタイー日本間で行われた実証実験の事例もある。これは、日本の医師がタイの医者に対して指導を行うというものである。(橋爪誠, 2008)

1.2.3. ディスプレイと遅延の影響

本論文では、よりよい教育手法としてディスプレイによる効果と遅延について研究していく。本研究においてその2つに着目したのは、遠隔教育においてはディスプレイが必須なものであるという点と内視鏡手術の際にもディスプレイが必要であるという両者の共通点があったためである。

また、遠隔教育の特徴の1つある遅延についてフォーカスをしていく。

1.2.4. 本研究の目的

以上のことから、教育格差・教育の効率性という2つの問題を解決するために遠隔トレーニングを提案した。その遠隔トレーニングをディスプレイと遅延という2つのファクターに注目し、効率的な教育システムを提案する。

1.3. 本論文の構成

本論文は、本論文は全6章から構成される。本章は、第一章であり、本研究を行うにあたっての現状制度の説明および、研究背景と目的について述べた。第二章では、医学教育の国内・国外の格差を述べるとともに、それらを解決するためのICT技術が発達し環境が整いつつあることを説明する。第三章では、医学教育・遠隔教育・教育学という3点から先行研究について述べ、本研究との差別化を図る。第四章では、提案すべきシステムをシステムズアプローチによってビジュアル化すると共に、検証のためのモデル化を行った。第5章では、本システムが教育効果を押し上げるものであるのかを検証する。第4章でモデル化したシステムの検証を2つを行った。1つは立体視の検証であ

る。2 つは遅延の検証である。それぞれがどのような教育効果への影響を与えるかを述べ、その結果および考察を述べる。最後の 6 章では、本論文のまとめと本研究の発展可能性および社会的意義を踏まえつつ今後の展望について述べる。

2. 研究背景

本章では、医療教育における格差と医療の効率性の必要性について述べていく。また、近年の ICT が発達している背景なども踏まえて述べていく。

2.1. 医療教育の格差

医療教育の格差は大きく分けて2つの格差が生じている。国内の医療教育施設の格差である。もう1つは、国内と国外の格差である。以下では、それぞれについて詳しく述べていく。

2.1.1. 国内との医療教育施設格差

医療教育の格差について既に述べさせてもらったが、再度述べたいと思う。医療教育は現在大学間格差が大きい。これはすでに厚生労働白書に記載されている。実際に施設格差が著しい。図8は医学部における年間の合計手術件数を表しているものである。横軸には、各学校名が記載されている。縦軸には手術件数が記載されている。左25件は、手術件数が多い順に25校並べた。逆に右側の25校は手術件数が低い、例えば、最も手術件数が多い東京女子医科大学病院は3,750件年間手術を行う。TOP学校と呼ばれている大学病院は2000件を下回らない。一方で、もっとも少ない近畿大学病院は年間20件しか手術を行わない。また、東海大学病院も250件程度という低い水準なのである。TOP25とLOW25では、10倍も手術件数が異なる。

年間トータル手術数

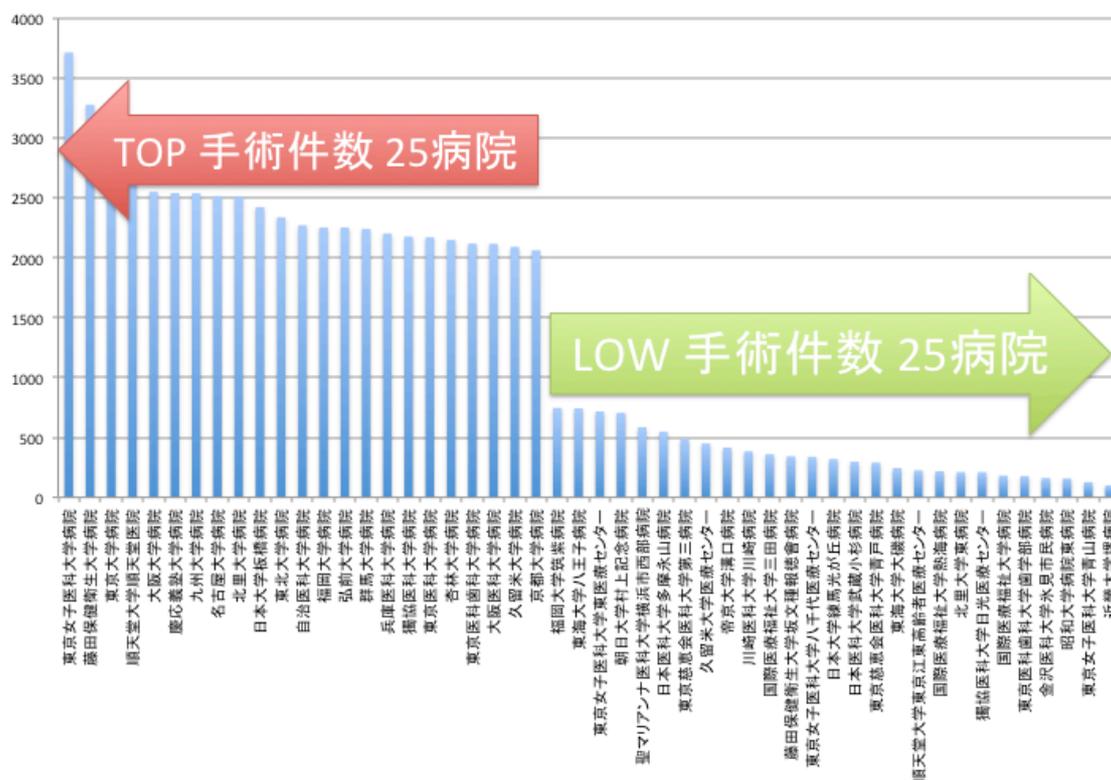


図 9 年間トータル手術件数

出典： 病院.com より筆者グラフ化

医学部における臨床データである。もちろん得意分野・不得意分野などによって手術件数が異なる。しかし、全体として手術件数が 10 倍弱の差が生じている。これは臨床の話であるが、これが平等を必要とされる医療教育の分野においてはふさわしくない。

臨床が多いと経験が増えノウハウがたまるのであるが、その経験を得ていないと教育に大きな影響を与えかねない。

実際にインターン生が研修先をどの基準で選ぶのかを聞いたアンケートでは、(図 9) 研修先の病院における改善すべき点を聞いたアンケートでは、教育教具がない。指導医から教えてもらえていない。研修に必要な症例などが不十分という指摘がある。それぞれの問題点の原因は、教育のための資源が不足しているのは、医学教育の資材は非常に高価なものであるため、なかなか手に入りづらいのである。また、指導医から教えてもらえていないというのは、日本全国が慢性的な医者不足である。そのため、臨床の場においては、指導ということに時間を割くことができないのである。そして、大学病院と通

常の病院でも異なる結果となっている。これはまさに大学病院と臨床病院(通常の病院)のアンバランスが生んだ結果であると考えることができる。

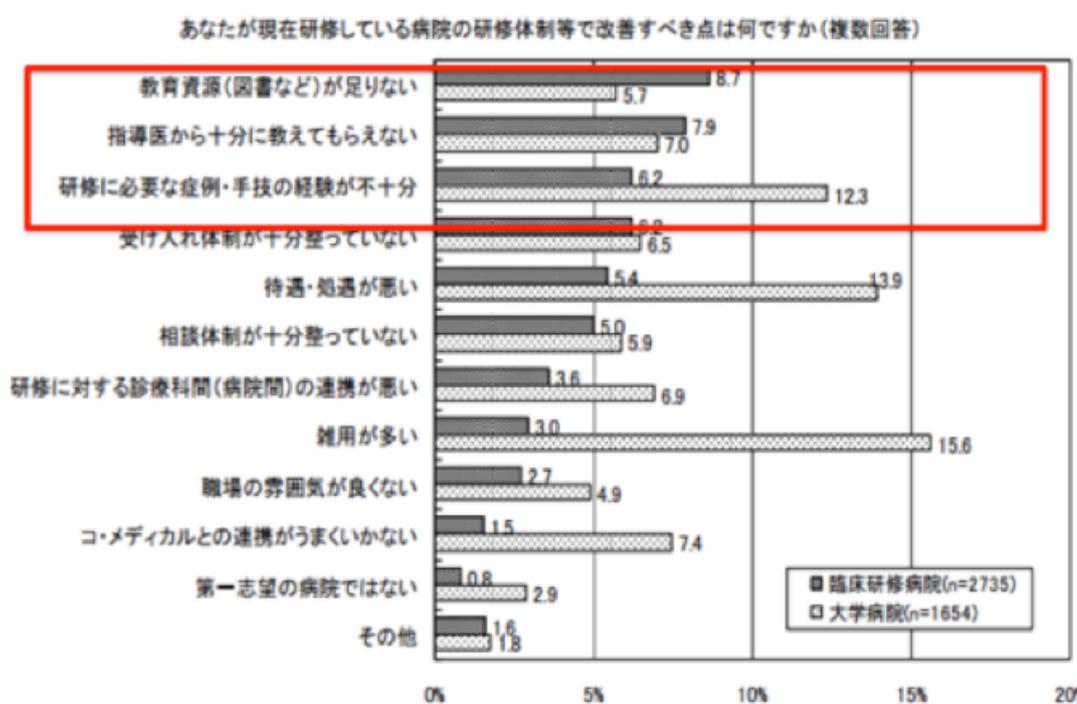


図 10 研修医に改善すべき点アンケート

出典：厚生労働省 「臨床研修に関する調査」 最終報告

2.1.2. 国外との医療教育格差

国内の教育格差もあると前述したが、国内・国外の教育格差も生じている。特に発展途上国に医療に関しては深刻である。そもそも医者数の絶対数が足りていないのが現状である。特に医療状態と言われるのが、カンボジアやタイである。カンボジアでは 20 年前の内戦で知識階層が殺害され、これによって医師、助産師、看護師などの医療職のほとんどがいなくなり、内戦終了時に生き延びていた医師はわずか 20 人程度と言われている。内戦中には教育も不在で、保健システムも崩壊した。絶対的な数の不足を補うべく、内戦後に医学教育を受けた医師のほとんどが一般医として仕事をしているため、プノンペン市内でさえも各科の専門医の数が少なく、医学生に対する専門領域の教育も不十分である。そのため、熟練医からのしっかりとした知の伝達が行われていないというのが現状である。カンボジアに研修したことがある日本人の医者は、「カンボジアの医療職と話していて気がついたことは、患者の少数の疾患や命にかかわらない疾患に関する

知識が全般的に少ないことで、特に精神科領域の疾患などは看護職ではほとんど教育を受けていないようでした。」(カンボジア事業 | 活動内容 | ジャパンハート JAPAN HEART ー国際医療協力・海外医療ボランティア医師団ー.)と述べている。日本では、1950年代から医療改革をしていったことで現在は世界レベルで見ればTOPクラスの知識と技術を持っている。そして、その人々が知の伝達を行なっている。もちろん、日本国内でも格差があることは前述した。しかしこのような国においては、上からの知の継承をすることができない。そのためにはしっかりした横のつながりを知の共有などの仕組みを作る必要がある。現在は、海外から日本に対して研修医が学びに来るといった制度があったり、日本の医者が臨床と教育目的で渡航したりするということがしばしばある。しかし、海外に行くには非常にお金と時間がかかる。横のつながりを活用した知の共有を効率的に行うにあたって他の方法も考慮していく必要がある。その方法の1つとして遠隔教育というものがある。

タイー日本国で実際にトレーニングを行った例もある。「アジア・ブロードバンド計画」の一貫として、タイのチュラロンコン大学と九州大学で専用回線を用いた遠隔手術シミュレーション教育実験を行った。日本側からタイの学生に対して内視鏡外科手術の遠隔指導を行った。その結果として、VRシミュレーター遠隔指導に適しており、先進的な手技を身につけることが出来ない医者に対しての教育や、若い医師への指導に極めて有効であるということが示された。(橋爪誠, 2008)

2.2. 医療教育の効率性

現在の医学部における教育は6年間の教育をした後に、2年間のインターンを行う。6年間のうち1年間は一般教養を教育し、2年時から専門分野の知識を学ぶ。その後、5・6年次に臨床実習ということで、実際に病院を見て回るという段階になっている。

しかし、前述したようにその1年間で学ぶ領域というものが20科目以上になっている。基本的には、科目は2週間のみで臨床を学ぶことになっている。その中でも、最も体得が難しいとされる外科についても2週間のみである。手技体得が非常に難しいのにもかかわらず、2週間のみであるために、体得ができないまま、インターンにいき、実際の患者を扱っていることが多い。また、外科実習の二週間のうち実際に内視鏡手技のことを学ぶのは、1人7～8分程度であり、非常に少ない時間で行われている。

その一方で現在の手術は、腹腔鏡の手術が6割となっており、非常に割合が高くなっ

ている。しかし、腹腔鏡は開腹手術よりも体得が難しく、さらには、教授も困難である。

手技体得には、実際に手技を経験することが最も有意義である。そのため、慶応大学医学部においてもシミュレーターを導入している。

2.3. ICT の活用

ICT の活用は医学分野で多く成されている。コンピュータグラフィックを利用したものであったり、動画を利用したものであったり様々なものがある。中でも映像技術と通信技術はこの数年間で飛躍的に発達をしている。

特に映像技術に関しては、旧来の 2D ディスプレイから 3D ディスプレイが発売され、実際に活用されている。特に 2009 年以降 3D の映画のヒットを境に立体視が広く一般に普及されるようになった。そのための技術開発も多くのメーカーが行なっており、現在では 100 種類以上のディスプレイが発売されるようになった。また、撮影するカメラも普及しており 2 眼を備えている 3D カメラも手頃に手に入れられるようになっている。現在は、3D の内視鏡開発も行われており、超小型カメラを活用したものもある。(オリンパス)

また、通信の技術は以前に比べ、格段に早くなり、高精細の映像を低遅延で遅れるようになり、遠隔地においても違和感なく教育を受けることが可能となるのである。

前述したように通信の技術が備わってきているという点と映像技術の発達してきている。このように教育を効果的に行うための外部的な環境が整い始めている。(図 10)

図 10 は、ディスプレイと伝送速度の歴史および発展について述べたものである。2000 年代になり、1Gbps⁴を伝送できるようになり、ハイビジョンのデータを 2D で伝送できるようになってきた。そして近年は伝送が 10Gbps まで可能となり、フルハイビジョンの 3D を伝送できるようなインフラが整ってきた。3D は、左右の映像を交互に出力する必要が有るため、2D よりも 3D はおよそ 2 倍のデータを必要とする⁵。というのも 3D は、2D の映像を若干ずらして送ることがおおく 1 つの映像を 2 つの画像を利用するためである。

⁴ 通信速度の単位の一つで、1 秒間に何十億ビットのデータを送れるかを表す値。1Gbps は 10 億 bps(=1000Mbps)で、1 秒間に 10 億(=10 の 9 乗)ビットのデータを送れることを表す。

⁵ サイドバイサイド方式による映像の出力方法

それらを伝送するためのインフラ環境が整っていることが非常に意義がある。いずれは、3Dを多視点でみるためのマルチビューが開発されてくる。(T. Toma, et al, 2011)

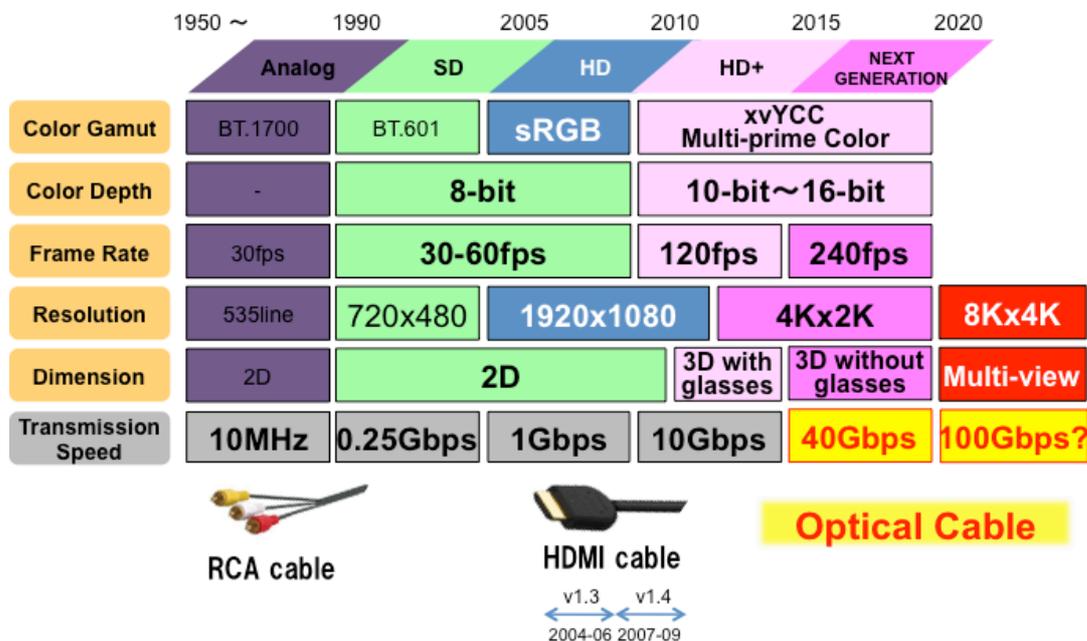


図 11 通信技術の歴史

出典：POF2011 会議

なお、現在遅延に関しては、多くの研究が成されている。まずは、実用化しているものからの現状を説明する。

地上デジタル放送については、約2秒の遅延が発生すると言われている。これは、地デジは放送する情報量を少なくするために、画像と音声のデータを圧縮して送り、受信機で復元する。送信時の情報圧縮と受信時の情報復元に時間がかかるため、圧縮と復元を行わないアナログ放送と比べ、遅延が起こる。地上デジタル放送は映像信号の処理を行うため、地上アナログ放送より実際の放送より1~4秒遅れて画面に表示される。テレビの地上デジタル放送はアナログ放送に比べ、首都圏では平均1.95秒遅れて受信され、携帯電話などで視聴するワンセグメント放送(ワンセグ)では、遅れは平均3.85秒遅れるとされている。(総務省)

また、図11の地図は距離と遅延を表したものである。遅延は基本的に距離に応じて多くなる。前述したタイ-日本間においてはおよそ100ミリ秒の遅延があったと考えられる。

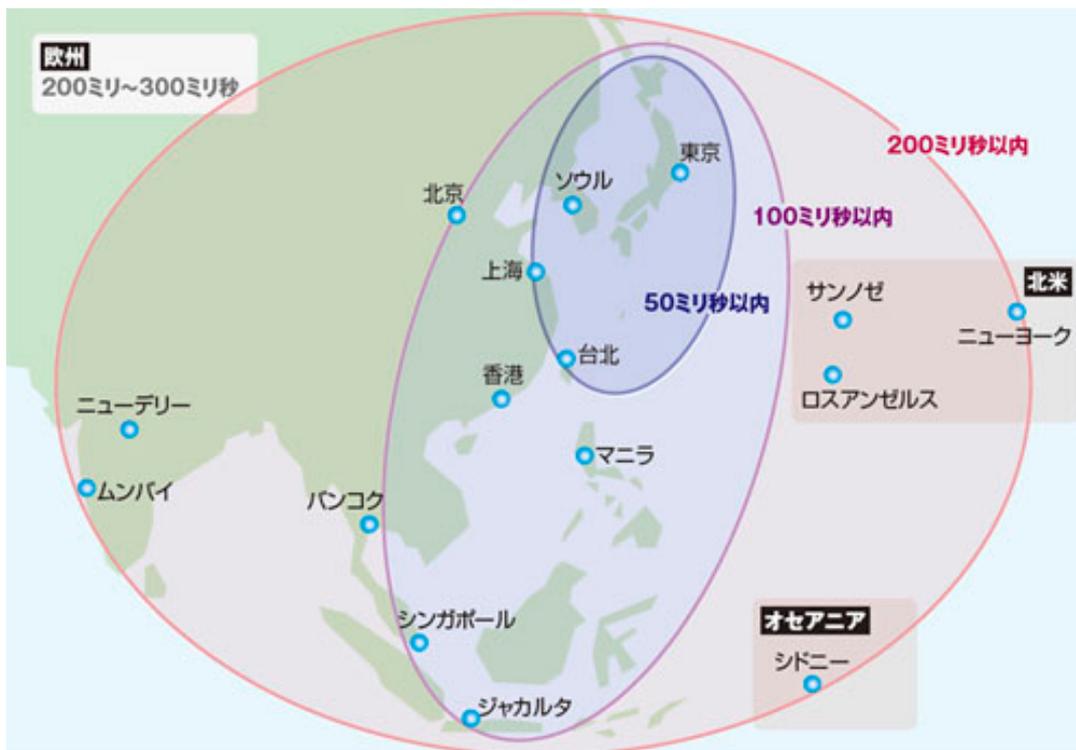


図 12 遅延の現状地図

出典：日経コミュニケーション

一方で、テレビ会議システムは、遅延を 0.3 秒以下に抑えることで違和感のないということである。

2.4. 問題の提起と目的

前述した問題点から鑑みても、知の格差を共有するための手段としての遠隔教育・ならびに機会が非常に少なく体得しづらいという問題の解決策としての効率的な教育が求められる。そして、それらを解決するためのインフラ環境が整い始めている。そのため遠隔教育における遠隔外科シミュレーション教育における効率的な教育方法の提案することを目的とする。

3. 先行研究

本章では、大きく分けて本研究の3つのフィールドの先行研究ならびに取り組み事例を説明していく。

3つのフィールドとは、1つ目は、医学教育の分野である。ここは医学教育においてどのような効率的な研究がなされているのかを説明する。2つ目として、遠隔教育の分野である。医学教育も知の共有のために遠隔でシェアしていく必要がある。しかし未だ遠隔医学教育というものがないため、既存に存在している遠隔教育について研究を述べる。最後に教育評価方法である。医学教育・遠隔教育ともに教育を向上させるという目的もと行なっている。しかし、評価という切り口でみると弱いため、補完するため教育学の分野より、教育の評価方法についての研究を述べていく。

3.1. ミラーのピラミッド

医学教育の概念でもっとも有名なものとして、ミラーのピラミッドモデルというものがある。(図) ミラーのピラミッドとは、医師の臨床能力には、知識として知っている (knowledge)、どのようにするか知っている (competence)、どうするか見せることができる (performance)、そして実際に行うことができる (action) という4段階であるというものである。このミラーのピラミッドは、医師のプロフェッショナルリテシーの4段階を表しているとも考えることもできる。

上層部の方がより学生が主体として動き、教師がコンテンツを提供するという相互コミュニケーション型のものである。例えば、実際にご遺体を活用した解剖実習・ポリクリなどは上層部のものである。

一方下層部は教師が主としてコンテンツを提供し学生はそれを受け取るのみということである。そのため一方向の講義体型であることが多い。もちろん講義の仕方に参加型のようにすることは可能であるが、主としては知識を身につける段階のため圧倒的な情報量を与えるのである。

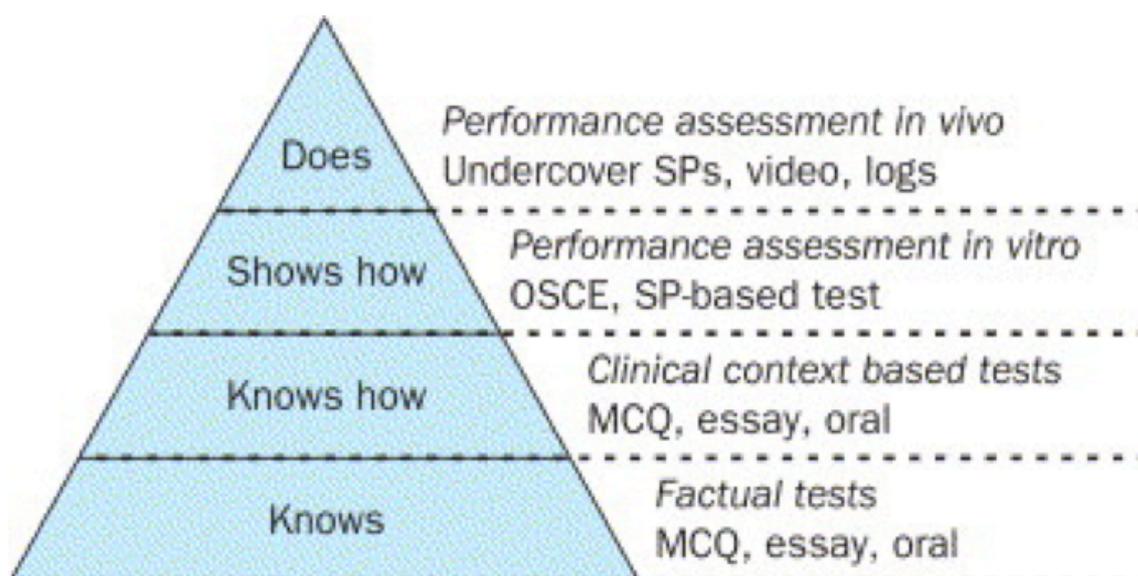


図 13 Miller' s Pylamid

出典 : MEDICAL EDUCATION QUARTET

表 4 Pylamid の説明および評価方法

出典 : http://www.radcliffe-oxford.com/books/samplechapter/8528/Charlton_13-6533c500rdz.pdf

Level	Explanation	Assessment Methods
Level4: Does(applies)	in professional practice: performance in context (independent practise)	observation of performance
Level 3: Shows how	Performs under supervisions and assessment	controlled assessment methods: Objective structured clinical Examinations
Level 2: Knows how	Involvement in clinical cases and demonstration of skills (competences)	controlled assessment methods: unfolding patient management problems or essay questions
Level 1: Know	Gaining knowledge through exposure to clinical cases	controlled assessment methods: assess using simple knowledge tests, e.g. multiple-choice questions

これは非常に重要な概念のため医学教育における先行研究は上記のピラミッドモデルに沿って説明をしていきたいと思う。

3.1.1. ミラーのピラミッド下層部の取り組み

最初に、もっともミラーのピラミッドの下層部にある **Knows** のレイヤーについて述べたいと思う。

その代表的な取組として iPad を利用した医学教育というものがある。Osirix というソフトウェアを活用した医学教育がある。(OsiriX - DICOM viewer.)これは、医学部生に Osirix が入った iPad を配り、授業を行なっている。実際の患者の CT 画像を取り込んで見られるようにした。そして、iPad を利用することによって自分が見たい箇所をズーム UP や全体を俯瞰したい時はズームアウトなどのように自由自在に見ることができる。さらに 2D や 3D に加工した映像も見る事が可能である。赤・青のメガネを使って立体視教育をする。そのことで非常に複雑に絡み合った血管の様子などが非常にわかりやすく見えるという。(ニュートン・グラフィックス)

その他にもインターネット経由で手術のイメージをするためのサイト wisemd (WISEMD)などいつでもどこでも知識を学ぶことができるものも多数存在している。

また映像・動画技術の発展により、3D による映像教育というのも盛んに行われている。実際に慶應医学部の今西教授のもとで解剖映像を 3D と 2D で見た際の効果について述べられている。耳鼻科の神崎昌先生の場合は、2D と 3D 映像を見比べ耳の形を正しく理解できるか否かを選択方式のテストを行っている。

その他にも多数の IT を利用したわかりやすく伝えるということが行われている。

次にミラーのピラミッドで言うところの上層部の取り組みについて述べたいと思う。前述したものは知識をつけることに主眼が置かれているのに対し、より実技的な取り組みおよび先行研究を述べたいと思う。

早く有能な医師として技能を得るようになるためには、ミラーのピラミッドでいう上層部で **Does** である。例えば、内視鏡手術の技術の上達には、シミュレーション・トレーニングが極めて有効であることが報告された。(Christian R Larsen, et all, 2009)

3.1.2. ミラーのピラミッド上層部の取り組み

そして、それが実際に行われてきているものとして、Osirix の取り組みなどがあげら

れる。しかしこれらは座学の理解をより高めるものであって直接実技の向上を結びつけるものではない。ミラーのピラミッドでいうと下の階層なのである。前述したが、日本の医学部生の知識は非常に高いものがある。そのため次に求められているのは知識のみならずの高い技術である。そのための取り組みをしなければならない。

そのための方法がシミュレーション教育である。シミュレーションには大きく分けて3つある。1つ目が、人体模型を活用したシミュレーターである。2つ目はコンピューターグラフィックスを利用したVRシミュレーターである。3つ目は、ご遺体を利用したシミュレーションである。

それらを実際に実践していくための取り組みとして、OSCE というものがある。OSCE とは、Objective Structured Clinical Examination : 客観的臨床能力試験と呼ばれるもので、世界中の医学教育などに活用された考え方である。

実際の取組みとして、慶應大学医学部では、コンピュータシミュレーションを用いた腹腔鏡の手術の練習がされている。実際に慶應大学のカリキュラムにおいては、クリニカルシミュレーションラボを開設し、シミュレーター教育を率先して行なっている。

【ご遺体を利用したシミュレーション】

ご遺体を利用したシミュレーション研修も行われている。これは、実際に当麻研究室と医学部の解剖学教室の共同研究で行われているものである。それは解剖学によるクリニカルアナトミー手技訓練である。ご遺体を活用した教育の効果の向上などが行われている。研修医に対して、気管挿管という手技の練習を実際のご遺体を利用して行うのである。法律も以前は遺体に対して手術練習を行うことは基本的には禁止されていた。しかし、2010年に厚生労働省は献体を活用した医師のトレーニングについてガイドラインを作成し、献体を活用した手術練習が行えるようになった。

しかし問題点がある。ご遺体は月に1度来るか来ないかである。1度のチャンスしかなく、効果は高いが反復練習ができないのが現状である。

それを打開するための方法として人体模型のシミュレーションがある。

【人体模型を活用したシミュレーション】

2つ目としては、人体模型のシミュレーターである。これは多くの医学部での取り扱われているものである。様々な用途に応じてマネキンや患部の模型などを活用して手技の練習を行なっているのである。ご遺体を異なり、自由（機会があれば）に練習が可能で

ある。その意見で反復練習が可能なのである。

しかし、人体模型を活用したシミュレーターは基本的な訓練（縫う）などしかできず、バリエーションが少ないのが難儀である。基本的にはあまり難しいことはせず、器具の使い方をなれるのが主としての目的のように思われる。また、マネキンであるという点で実際の感じと異なるというのが多くの意見である。

そのため、より実践に近く、反復できるシミュレーターがVRシミュレーターである。

【VR コンピュータ】

そこで利用されているVRを利用した内視鏡手術トレーニングシミュレーターである。前述した医学部の見学では、VRシミュレーターの授業を見学した。

VRシミュレーターとは、内視鏡の手術をコンピューターグラフィックスで再現し、バーチャルで手術を行うトレーニングマシンである。VRシミュレーターが普及しているのには、内視鏡手術や関節鏡手術、そして血管カテーテル治療などは、患者にやさしい低侵襲的な治療として急速に普及している。しかし、このような手術や治療そして検査は、高度な技能が求められ、そのための特殊な訓練が必要と言われている。こういった手技の特殊性に加え、「安全」への社会的意識が高まる中、これまでのような手術室や診療現場での教育・訓練には厳しい条件が課され、また、動物を利用しての訓練や実験も、動物愛護の観点や、コスト面での課題から困難なものになってきている。

そのため、従来の方法に替わる新しい教育・研修方法の検討が、日本だけでなく世界の多くの医学界で進められており、近年では医学教育教材としてのバーチャル・リアリティ(VR)トレーニングシミュレーターに対する必要性が、強く認識されるようになっていく。

コンピューターグラフィックスを利用すれば、何度でも利用でき、かつ人体を実際に傷つけないことである。かつ安全面からも非常に有意義である上、様々なパターンの手術を行うことが可能なのである。そのため本研究でもコンピューターグラフィックスを想定した上での手技の練習を行った。なお、コンピューターグラフィックスを利用すれば知の共有もしやすいという点も考慮した。

なお、現在慶應医学部が利用しているシミュレーターは下の図の左側のものである。

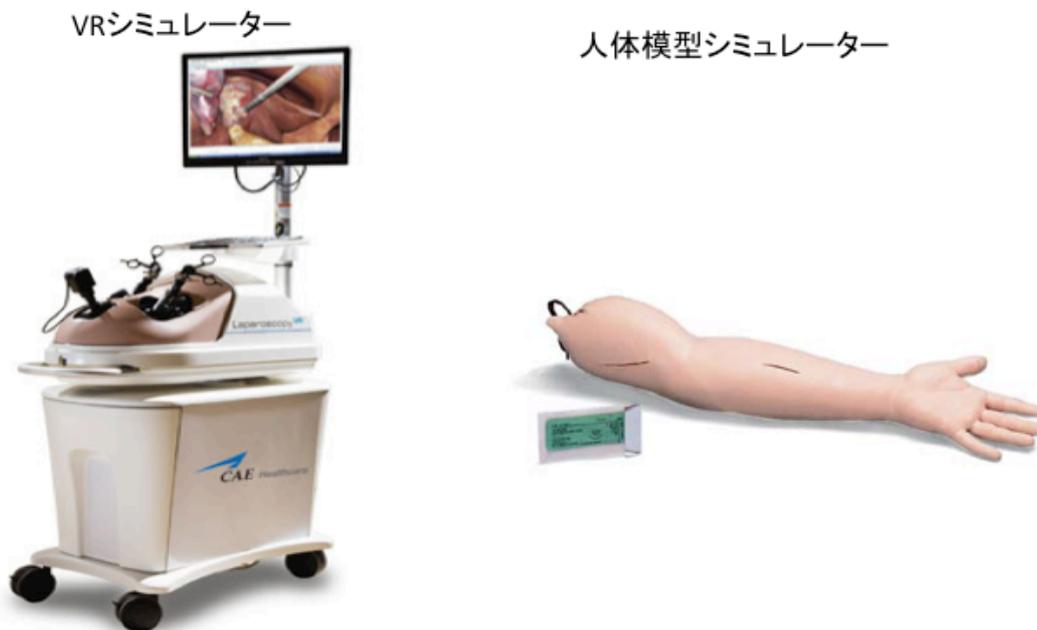


図 14 VR シミュレーター 人体模型シミュレーター

出典：ガ德里ウス・メディカル株式会社 ヒューマンボディ

医師が行う処置・手技の学習・訓練については上級医師の監視下に、実地臨床の場で行われていることが多い。2004年の初期臨床研修制度の開始に伴い、学習・訓練の場としてマネキンを用いたシミュレーション訓練の導入などの試みが各施設でなされている。しかし、よりリアリティの高い実践的な実技として、ご遺体を利用した取り組みもある。気管挿管をご遺体を利用して行うという手技訓練をさせる。

これらの医学教育の取り組みは、ミラーのピラミッドの下層部は知識をつけることに対しては非常に発展しており、様々なツールが出ている。3Dディスプレイによる教育ツールまで出ている。しかし一方で実技を身につけるツールはあまり出していない。また、実際のご遺体を利用する解剖学教室の取り組みも効率的なものではない。VRのシミュレーター技術も解像度が古かったり、未だに平面ディスプレイを利用していたりする。

3.2. 知の共有方法・遠隔教育の先行研究・取り組み

知の共有として最も有名な言葉としては、ナレッジマネジメントという言葉がある。ナレッジマネジメントとは、経営などで行われる。教育の分野においても応用されているものである。特にWEBやバーチャルにおけるナレッジマネジメントが多く成されて

いる。

そのナレッジマネジメントを教育の分野に応用した時の実用例が遠隔教育である。教育の格差については、医療分野のみならず一般的な教育分野においても多く問題とされている。そのため、教育格差を是正するための解決手段の1つとして、遠隔教育が実施されている。そのため、遠隔教育は非常に多くの先行研究が成されている。まず、遠隔教育の定義について述べたいと思う。遠隔教育には、4つの要素が選択的な教育形態であるとされている。(ガルサンジャムツイン・ウルズィネメフ, 2000)

1. 遺稿教育機関や講師と学習者が教育過程の中では、お互いに離れている
2. 教育教材の作成企画や作成、学習者への支援活動に遠隔教育機関の影響が強い
3. 印刷教材、ビデオ教材、オーディオ教材、コンピュータの利用が講師と学習者をより効果的に結びつけ、コースの内容もよりよく理解される
4. グループ形式にこだわらず、個人向けの授業、教育指導が効果的である。

遠隔教育における教育の効率化による取り組みは多く成されている。実際に、アナログのフル映像（高画質）の遠隔教育とデジタル準映像（低画質）の遠隔教育を行った際に、どちらのほうがいよりの映像だったのかをアンケート調査を行った。その結果は、デジタルの低画質よりもアナログの高画質の方がよいというアンケート結果が導出された。(炭野 & 岩本, 1997)

3.3. 評価方法の先行研究

教育工学⁶では、工学的なシステムを導入することにより、教育の効果がどのように変化するのかを捉えている。例えば、大画面のディスプレイを見せた時に教育変化について述べられているものもある。しかし、これらの研究は、評価項目がシステムの評価そのものであり、教育の効果を確かめているものではない。なぜならば、これらの検証はすべてアンケートでとられており、主観的評価のみで妥当性を検証している。しかし、教育学的な観点から見ると、評価の方法としては、図 14 のようなものがあげられる。対象とすべき種類やアクションによって異なる。

⁶ 教育工学とは、人間の学習のあらゆる面に含まれる諸問題を分析し、これらの問題の解決法を考案し、実行し、評価し、運営するための、人、手だて、考え、道具、組織を含む複雑な統合過程である

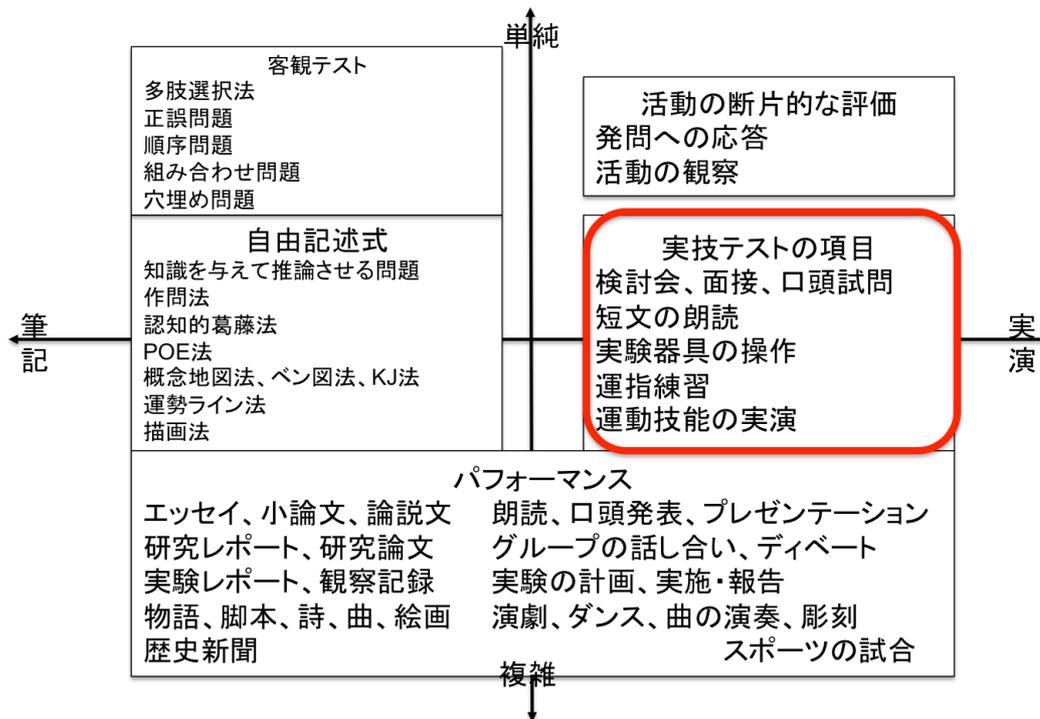


図 15 学習評価方法一覧

出典：よくわかる教職課程

正しく学習を評価することは非常に重要な意味がある。何故ならば、学習の評価を学生にフィードバックすることによって学生の次のすべきことが明確になるからである。実際に、医療の分野では客観的に評価する方法が難しい。

その評価手法を確立した研究がある。客観的に指標として代表的なものは3つある。1つ目は、視線の動きである。2つ目は時間である。そして最後は、加重量である。(石政 & 村田, 2006) この研究では、視線の動き、手技にかかる時間、加重が熟練医と未熟医で異なることより、それを評価軸として利用することの妥当性について述べている。そのため本研究では、上記の論文を参考に時間を評価軸として踏まえて検証を行なっていった。またこの論文において非常に重要な点としては、絶対的な値で計測したという点と変化量を捉えたという点である。

教育評価の研究では、教育効果とは、付加価値であるとされている。(湯川, 2012; 田中, 2005b; 黒澤, 2004) つまりアウトプットのみの値ではなく、間に変化させるコンテンツまたは、システムがあった時の変化量を捉えるのが本質的な教育効果の評価方法であるとされている。

そのため、本研究でもその主張に準拠し変化量を捉える方法を利用する。

3.4. 先行研究の課題

上記の医学研究や取り組みがたくさんなされている。特に知識をたくさん身につけるための取り組みは多数行われている。また、一部ではあるがミラーのピラミッドの上層部（実際のアクション）への取り組みもされている。実際に私も解剖学の活動による医学教育の向上の研究の一部携わっている。しかし、解剖学のチャンスは1ヶ月に1度しかない。また、非常に不謹慎な話ではあるが、どなたかが死亡しない限りご遺体をつかった練習はできない。そのため非常に質は高いが効率的な活動とは言えない。

このような観点からも解剖学のみには頼るのではなく、ITを活用した教育の向上をすべきであると考えている。また、ITの技術も発展してきている。そのため、より教育効果の高いディスプレイなどを利用することにより、今の教育よりもより教育効果の高い教育を与えることできるのではないかと考えている。

そして近年多く出てきているのがシミュレーションの活用である。近年シミュレーターを導入する動きは大きくなってきている。しかし、それと同時に手技自体の難易度も高くなってきている。よりよいイメージを付けさせるためには、世の中のICTの技術をより取り入れていくべきであると考えている。そのためにも正しく評価検証することが求められている。

そもそも学力とは、「学問を身につけた能力」というものである。（田中，2005b）そして学問とは、客体的なものである。本来教育学の観点からの教育評価の方法としては、以下の図14のようなものである。コンテンツや作業に応じてそれぞれ評価方法の選択を行う。しかし、図14から見てもわかるように、アンケートで学力の評価をするというものはない。上記先行研究は、システムの評価という意味での研究は正しいと思う。しかし、教育であれば、実際にそれが効果があるのかというものを客観的に捉える必要がある。

そのため、本研究では、教育学の教育評価方法である上記マトリックスを利用し、実技テストの練習を行いそれを評価することとした。そして、教育工学の方ではあまり注目をされて来なかった本来の教育効果を図ることとした。

3.5. まとめ

本研究では、インタラクティブな遠隔手術VRシミュレーションをより効果的に共有していく事を目的としている。その効果的というものに対して、教育効果という観点から明らかにすることを目的としている。以下の図は各分野からのアプローチについて図解したものである。

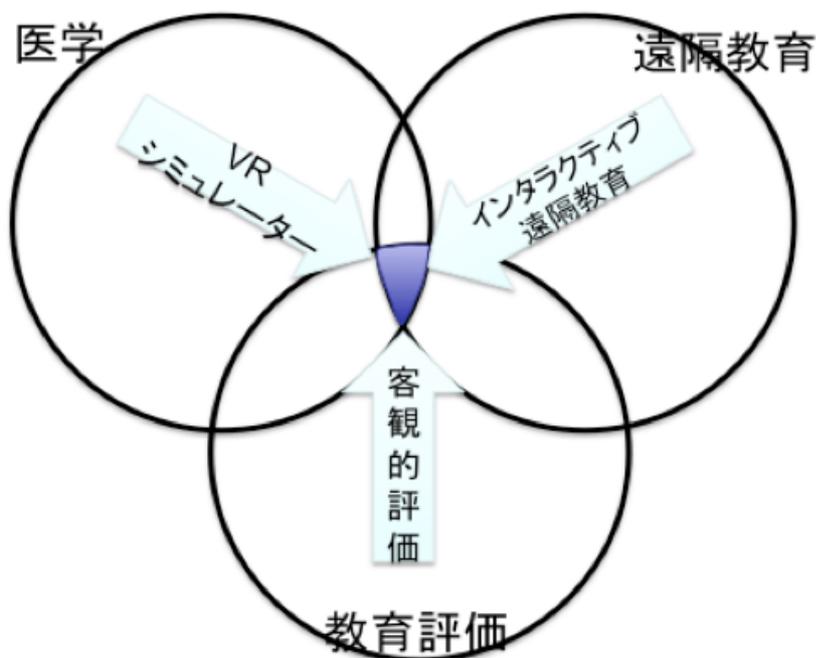


図 16 本研究のアプローチ

医学分野においては、VRシミュレーターを利用し、遠隔教育の分野では相互通信的なインタラクティブな遠隔教育を利用する。そして教育評価の点においては、教育学でいうところの評価、つまりは客観的評価を見ることとする。

個々の分野ではなく、各分野を有機的に結合し全体として見るというアプローチをすることで今までにはなかったシステムを構築していく。

4. 提案全体像

本章では、本研究の全体像を述べていく。まずは、全体像を捉えやすくするため本研究の全体のイメージである。

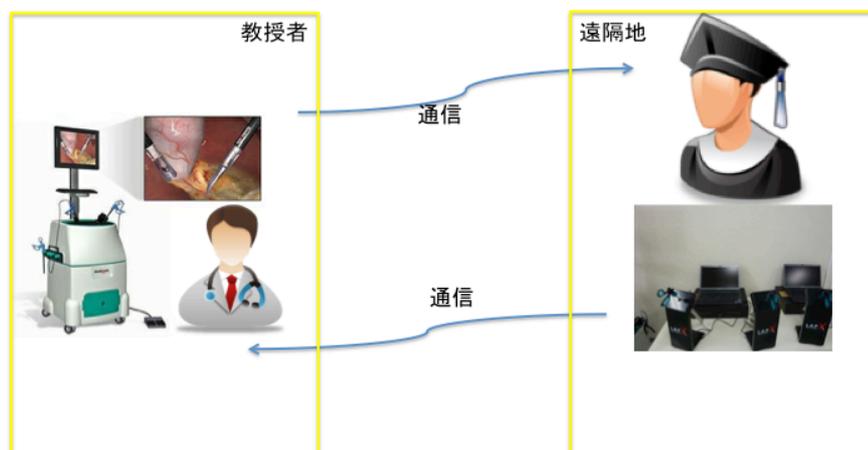


図 17 本システムのイメージ図

教授者側にシミュレーターと教授者があり、それを通信し、遠隔地に学生側に伝送をするのである。そこで学生はなんらかのアクションをすることによりそれが教授者側のコンテンツに影響させるというものである。

本システムが求められているものは、「知の共有」ということと「効率的な教育」という目的を達成させるためのシステムである。

以下の章では、下記の図のシステムズアプローチにより、4.1 章で本システムのステークホルダー分析を行い。機能設計および物理設計を行う。最後にコンテキストレベルにおけるアーキテクチャ図を記載し、検証のためのモデル化を行った。図 17 (IEEE std1481-2000)

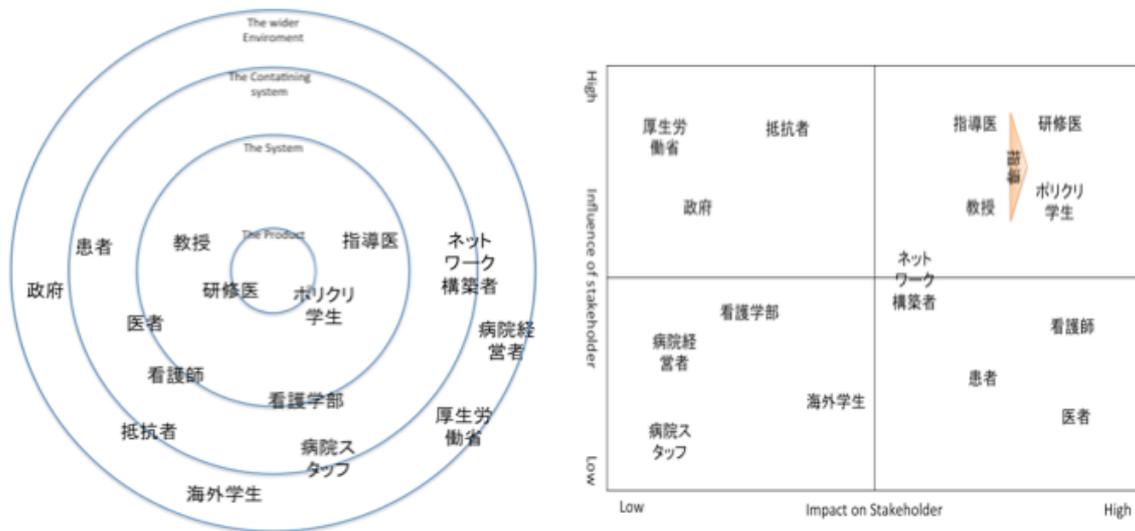


図 19 ステークホルダー分析および影響図

前者は、教育を受ける側の立場である。後者は教育をする側の立場の人間である。本研究では、前者の教育を受ける側の立場で物事を見ることとした。その理由は、教育の目的から考える。教育の目的は、人格の完成を目指し、平和で民主的な国家及び社会の形成者として必要な資質を備えた心身ともに健康な国民の育成を期して行われなければならない。とされている点から鑑みても、対象となるのは教育を受ける側である。教師はそのコンテンツを提供するに過ぎないためである。

その教育を受ける学生側は、フィールドワークをすると短期間で多くのコンテンツをつめ込まれすぎている。そのため教育の消化不良に陥ってしまっている。そのため、よりよい教育を受けたいと思っている。この点に関しては、実際にインターン生・5・6年生の学生に直接ヒアリングをしたことで得られていることは既に述べた。その他のアンケート結果からもわかることである。

まとめると、医学を効率的なものにしたいと思いつつ、物理的な距離が離れていても知の伝承が行われるようなシステムが必要とされている。

以上のことから学生の要求を整理すると以下のとおりになる。

- ・ 効率的な教育をしたい
- ・ いい指導を受けたい
- ・ いい施設を使いたい

以上のことから、私たちは、大きく要求を大別すると「知の共有」と「効率化」とい

うことに大別できた。

4.2. View Point と View

次に本システムの重要なステークホルダーの視座について述べる。それは、教育効果という視点で物事を見ている点である。前述の先行研究の際にも述べたが、遠隔教育や教育工学と呼ばれる分野においては、ほとんどが「システムの評価」となっている。その主語となるのは開発者である。つまり開発者が考えたシステムが本当にいいのかをアンケートでとっているにしか過ぎない。しかし、本研究では、教育の効果という視点で物事を捉えた時に、その主語となるのはもちろん学生である。そのため、学生の視点で以下の物事を捉えていく。

学生が教育を受ける際に情報として捉える重要な要素は、眼、耳、皮膚、口、鼻等である。情報は、五感の中でも目からうける情報が大きい。実に人間が情報を得る80%近くが目から情報を得ているのである。(産業教育機器システム便覧)

そのため最も大きな情報を取り扱う目に注目をした。その目に対してインプットさせるのはディスプレイである。

4.3. Functional Flow Diagram

本研究で提案する機能フローは以下のとおりである。

機能設計とは、システムの機能に着目をし、そのフローを描くことである。

インタラクティブな遠隔講義とは、相互的なやりとりがある講義体型である。まずコンテンツを教える「教授機能」からコンテンツを取り込むための「インプット機能」にコンテンツが送られる。その後、コンテンツを遠隔地に飛ばすために「通信機能」を経て遠隔地に伝送される。その後、遠隔地にある「アウトプット機能」によってコンテンツがアウトプットされ、学生などの「学習機能」によって学習される。そして、その後学生がアクションを起こすことによって、そのアクションを「インプット機能」に取り込む。そして、その後同様に「通信機能」を経て「アウトプット機能」でアクションをアウトプットし、それがコンテンツを教えている教授陣などに対してフィードバックされる。(図18)

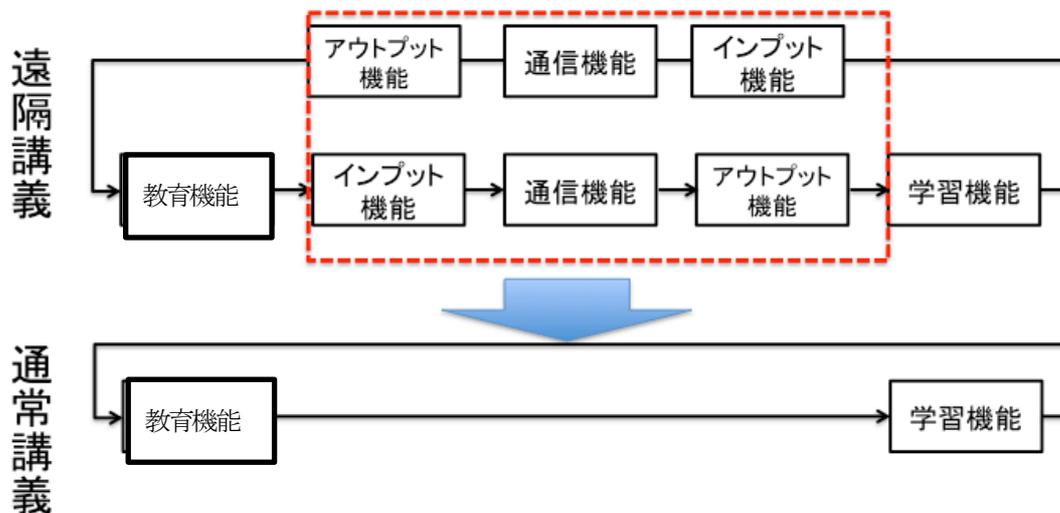


図 20 遠隔教育機能設計フローダイアグラム

一方で通常講義の機能設計は上図のとおりである。通常の講義とは、学生・教師が同じ場所にいる教室で行われるような授業のことをいう。

通常講義と遠隔講義が異なるのは、上図赤枠の部分である。通常の講義の場合、「教授機能」からダイレクトに「学習機能」に対して教育コンテンツ等が伝達される。遠隔講義の場合は、その教育コンテンツが伝達される間に「入力機能」と「通信機能」と「出力機能」の3つの機能がある。そのため、遠隔教育における特徴的な機能は通信機能とイン・アウト機能である。

4.4. アーキテクチャ

上記論述した機能を各物理に割り当てると以下ようになる。教授機能として、講師（大学病院の医者）とした。その講師陣が今回の対象とする腹腔鏡シミュレーションの手技練習のコンテンツを送る。そして、それらをカメラという入力機能で撮影する。そのうち、mini-HDMI – HDMI to 光回線コンバーター・イーサネット回線 – 光回線 to HDMI コンバーターの通信機能を経る。その後、HDMI ケーブルを経た後、出力機能としての3D対応TVを利用する。そして最後にそのTVを見る学生がいる。そして、その学生がケーブル本研究の提案するアーキテクチャは以下のとおりである。

最初に機能を分解し、物理的なものに割り当てを行った。機能には大きく分けて、4つの機能がある。細かく機能分解をすると教授機能が「伝承機能」とコンテンツ機能で

ある。通信機能は「変換機能」と「伝送機能」である
物理的な割り当てとしては以下のように行った。

(割り当て図)

図

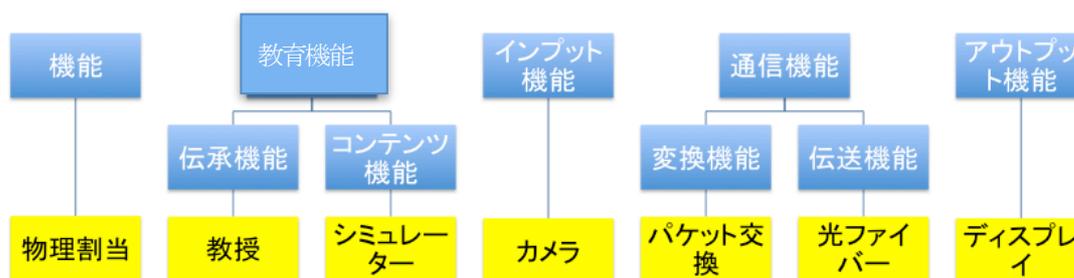


図 21 機能-物理割り当て図

- ・伝承機能として教授などの先生

現在の医学を教えるためには経験と知識・更には教える機会が必要である。その経験と知識を兼ね備えている者が教える。それはすなわち大学の先生であることが多い。

- ・コンテンツ機能としてシミュレーター

前述したように VR シミュレーターが本研究の対象となっているので、物理設計 VR シミュレーターとした。

- ・入力機能としてカメラ

人間の情報を得る際には、視覚情報が 80%以上を占める。(引用：視覚割合で検索) そのため、視覚を適切に伝えるために腹腔鏡のカメラを伝送すべきである。

- ・変換機能としてのパケット交換 (モデム)

現在のネットワークの構築は、一度データを圧縮し、その後、圧縮を解凍するという仕組みになっている。これはネットワークの帯域を保つためである。遅延が発生してしまうのはこれが原因である。圧縮をし解凍をするにあたって時間を要してしまう。

- ・伝送機能として光ファイバー

以前はメタル線も考えられたが、光ファイバーの日本の普及率は 37%であるが、今後ほとんどのケーブルが光ファイバーになっていくことを想定している。

- ・出力機能としてディスプレイ

前述したように、人間の情報は殆どが視覚情報より情報を得ている。そのため、アウトプットとしても視覚情報をアウトプットできるように行った。

4.5. モデル化

本提案システムを実装して行うことは困難であるため、モデル化を行った。モデル化とは、現実の問題から、問題解決に必要な部分だけを抜き出して単純化・抽象化することである。(Forsberg, Mooz, & Cotterman, c2005)

前述した通り、このシステムの最も重要なステークホルダーは学生であるため、学生の視点より、モデル化を行った。

モデル化をする際に大きく分けて2つのものをモデル化した。1つ目は、コンテンツの手術のモデル化である。コンテンツ自体は、実際の教育のものを利用することは不可であったため、今回重要な要素をモデル化しコンテンツを埋め込んだ。実際の教育コンテンツが利用できなかったのは、貴重なコンテンツであり、非常に学生自体トレーニングの機会が少ないので貸し出しが不可であったことが理由としてあげられる。

次に実際のシステムにおける、教育のモデル化である。

作業に関しては、シミュレーターに求められるのと同等の手技をモデル化した内視鏡手術を利用するにあたっての能力は下記の3つが求められる。

1：二次元画像で三次元空間位置を理解する

モニターという二次元画像を通して、お腹の中という三次元空間を認識する能力で、**Visual spatial skills** という。

2：視認（モニター）と器具操作（手）の協調

目でモニターを見ながら両手と足を協調させ思うように動かす能力で、**Eye-hand-foot coordination** という。

3：特殊な器具を使用しての複雑微細な操作

自分の手ではなく器具を使用しての作業となるので、触覚が無くなると言われている。

1の二次元画像で三次元空間位置を理解するという点に関しては、後で詳細を述べるが、5章の実証実験にて2Dと3Dの比較検証を行う。

2の視認（モニター）と器具操作（手）の協調という点に関しては、作業場を直接見えないようにカバーで覆い、被験者はディスプレイのみを見て作業をさせた。そして後の

5章の遅延の実験により視認と器具操作の感覚を故意にずらすことによって、つけるべき能力の教育効果について検証を行った。

3の特殊な器具を使用しての複雑微細な操作に関しては、触覚をなくするためにピンセットや針などを利用することにより再現をした。

評価の点では、学生を主語とした場合、学生が教育を得るということはどういうことなのかを考えた。学生が物事を捉えるには、インプットがあり自分の中で学び、それをさらにアウトプットする。アウトプットを変えるには2つの方法がある。それは、インプットを変えるかまたは人自体を変化させることである。しかし人の潜在的な能力とはなかなか変更が効かない。そのためインプットを変えることが非常に重要になってくる。そのため、今回は情報をキャッチするための学生にとってのインプット（システムのアウトプット機能）を中心にして考えることとした。その結果、モデルは下図のようになった。

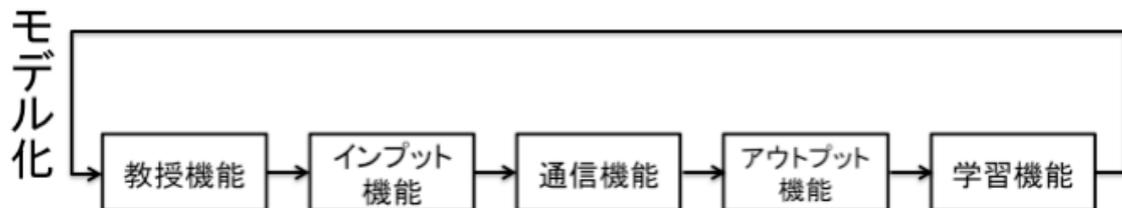


図 23 モデル化

先ほど、提案したものと異なるのは、学習機能からのフィードバックに対してのインプット機能とアウトプット機能と通信機能を削除した。しかし、これは前述したように学生にとって鑑みると学生にとってのインプット（システムのアウトプット）が重要なので、削除した。もちろん物理的な制約があったためこのモデルにせざるを得なかった。しかしその中でもモデルを行い検証が可能となるようにした。

5. 研究の検証

英国卒後医学教育トレーニング委員会では、病院勤務の医師がマスターすべき18種類の手技を挙げている。

これらの手技の中で、病院勤務医として遂行能力が要求されることの多い手技は、中心静脈ラインの挿入、腰椎穿刺、胸腔穿刺・吸引、腹腔穿刺・吸引、胸腔ドレーン挿入の5つであるという報告がある。(Connick, RM et al. BMC Medical Education 9: 2, 2009)。これらの手技で共通していることは、モノを正しく掴むことが要求されており、その後正しく通すということを行うことが求められる。

そのため、本実験でも上記の技術をすべてまたは一部修得するように考慮した。

なお、各章では、下記の通りの検証を行う。(図) 5.1 章では、インプット機能とアウトプット機能に注目した立体視実験を行った。5.2 章では、通信機能に着目をし遅延実験を行った。本研究で3機能に着目をし、検証を行ったのは、前述したように遠隔講義においては、この3点が通常の講義と異なるシステムであり、新たに構成要素として行ったためである。

なお、この実験では、注目すべき機能を検証するため、教授機能は一定にしてある。学習機能は一定することが難しいので、人数をとりN数を上げて平準化することで対応した。

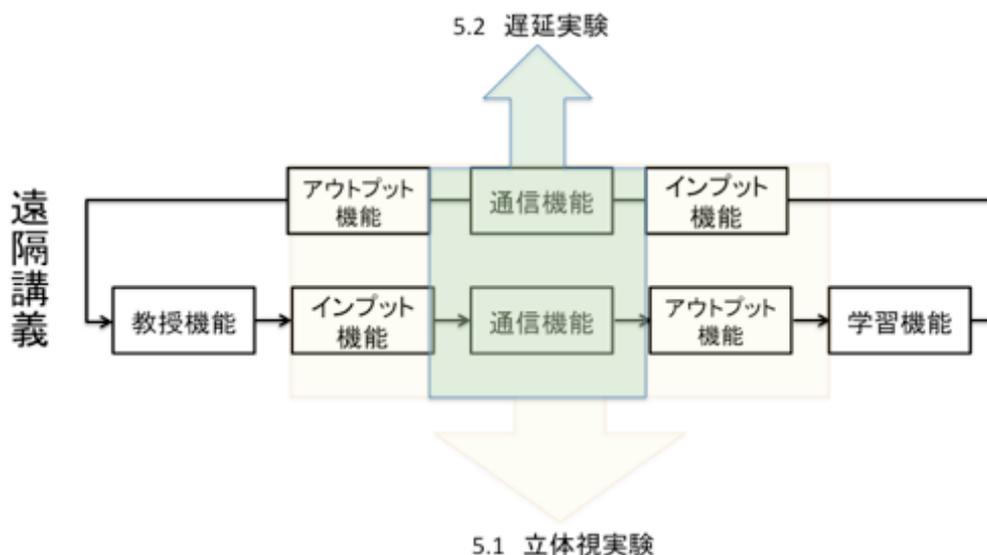


図 24 検証計画図

以下では、具体的に実験について述べていく。

5.1. 立体視実験

本章では、4.5 章のモデル化を利用し、実際に検証を立体視の検証を行なっていく。本章は実験概要として、本実験の目的・実験方法・評価方法・対象者について述べた後、実際の立体視の実験について述べる。その後、実験結果を考察する。

5.1.1. 立体視実験概要

【目的】

本実験では、提案する全体のシステムの内、まずアウトプット機能とインプット機能に着目をして2D と3D の比較を検証する。3D に着目したのは、医学において3D が非常に重要なものであると考えられるからである。

人間の身体は3次元なのにもかかわらず、現在のシミュレーターは2次元で表示される。そのため、頭の中で2次元を3次元に変換する必要がある。そのため、変換をするという頭の作業が入ってしまう。

実際に二次元画像で三次元空間位置を理解するという項目が必要であると明確に述べられている。

だからこそ、身体をダイレクトに3次元で直接表示できたほうがより、教育効果が高いと思われる。そのため、本実験では2D と3D を比較する。

その理由は、2D から3D を頭の中で変換してしまうとまずは、その変換するための時間がかかってしまう。また、変換することでミスが多くなってしまうことがあるのではないかと考え、本実験では、3D を利用した。

【実験方法】

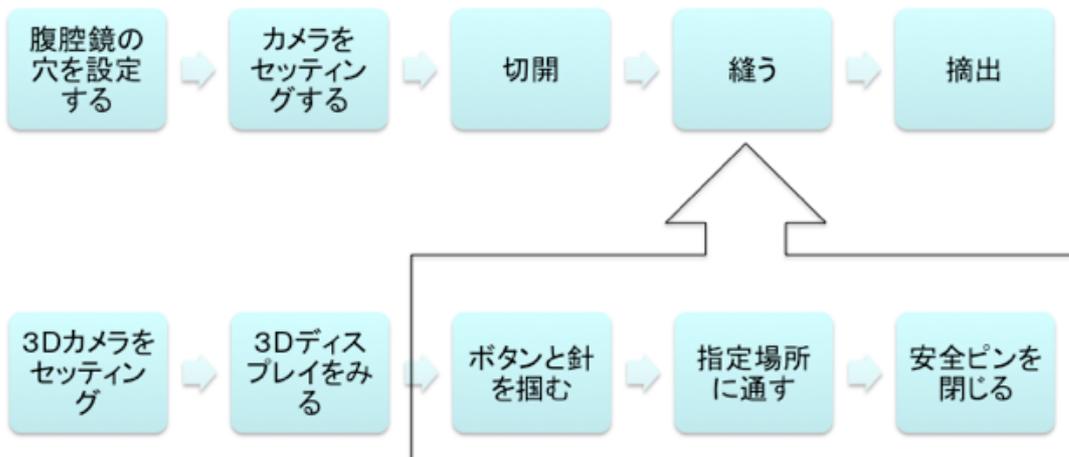


図 25 立体視実験におけるコンテンツのモデル化

実験は、直接物体を見ずに画面のみを頼りに、ボタンの穴に針を通すという手技を行った。この手技は手術における基礎的な行動が入っている。手術における基礎的な行動とは、「掴む」「通す」「縫う」という3点である。ボタンに糸を通すという実験においては、全ての行動をモデル化した。ボタンにおいても、最初に「ボタンを掴む」→「ボタンの任意の穴に針を通す」→「安全ピンで止める」という3点を利用した。

上記の3つの作業を1サイクルと考え、計10回行った。1サイクルにかかる時間を測り、10回でどれほどの時間の変化が起きているのかを考察する。実験時のイメージ図は以下のとおりである。(図 24)



図 26 立体視実験イメージ図

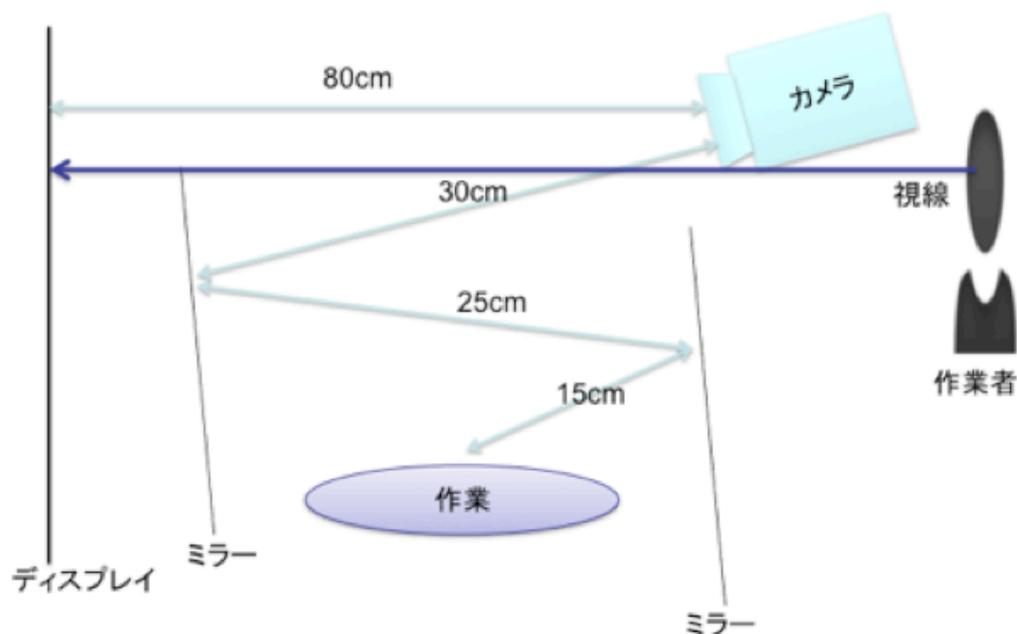


図 27 立体視実験全体図

図 24 の写真は実験時の写真である。最も左が実験の全体像である。正面を向いて作業を行なっていることがわかる。真ん中が箱内の状況である。実際には、このように見て作業をしているわけではなく、画面のみをみて作業をしている。最も右は今回使用したコンテンツである。この小さな穴に対して作業を行った。

本実験では、作業者がボタンに糸を通す手技は自らのうで行うため、作業場までの距離が腕の長さより短くしなければならなかった。しかし、3D カメラは 2 眼レンズで撮影するため最低でも 80cm 以上撮影対象と遠ざける必要がある。近すぎてしまうと 3D のコンバージェンスがずれてしまい、画像自体が壊れて利用できなくなってしまう。そのため、80cm 以上の距離を保つために鏡を 2 枚利用し、反射を 2 度させることにより、なるべく距離を取るように行った。図 25 のイラスト図はそれらを表現したものである。その上で、作業者は箱の中を見ずに箱の先にあるディスプレイのみをみて作業を行う。

【実験環境】

本実験の仕様は下記の通りである。

3D カメラ： : SONY : HXR-NX3D1J

3D 仕様： HD 画質・MPEG-4 AVC/H.264 AVCHD 規格準拠 (1080/60p、50p : 独自

規格)

ディスプレイ：Panasonic：42 インチ アクティブシャッター方式 3D¹⁰

ライト：ボックス内は暗いためライトを照らすことにより調光をした。

コンバージェンス¹¹：コンバージェンスはボタンが置いてある机上で合わせるようにした。

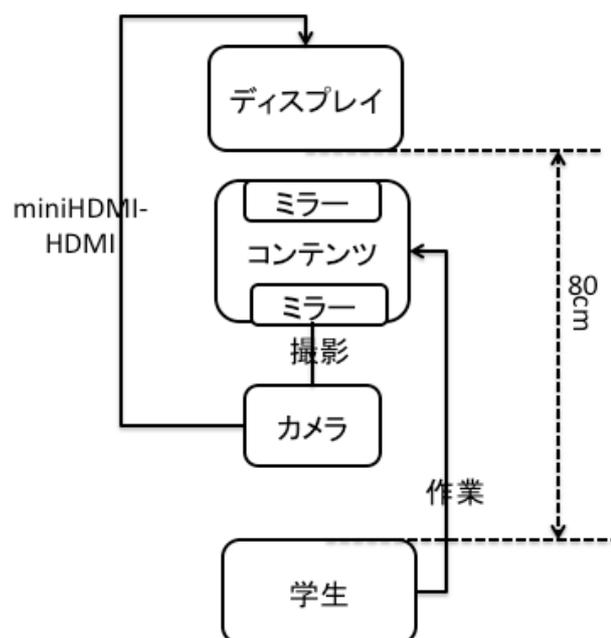


図 28 実験構成図

¹⁰ 3次元ディスプレイを実現する方式の一種で、右目用の画像と左目用の画像を高速に切り替えて表示し、それと同期してメガネが左右それぞれの視界を相互に遮ることで、視差を生み出す方式のことである。

¹¹ コンバージェンスは、両眼と観察対象により形成された角度です。角度の値が高くなるほど、観察対象は眼に近づき、角度の値が低くなるほど、観察対象は眼から遠ざかります。

【評価方法】

今回の客観的評価軸として「時間」を活用した。時間を活用した理由は、手術における重要なファクターとして手術時間が挙げられるからである。手術時間がながければ長いほど、患者は危険な状態が続く。そのため手術時間が短ければ短いほうが良いということから時間を1つの評価軸として捉えた。実際にシミュレーターにおいても、時間軸というものが評価軸になっている。

正確性な部分に関しても求められるため、今回の実験では、ボタンの穴が2つの穴のうち指定の穴に通すように支持をし、間違えた場合はミスとして処理をした。

ボタンのサイズは直径が 2cm で針は裁縫など通常で利用しているものと同レベルのものを利用した。

【対象】

実験の対象者は、素人一般（医学専門でない人）で行った。その理由としては、医学専門の人の場合、すでに似たような手技練習を行っており、学習がされており、すでにばらつきが生じているため比較検証が困難となるであろうと判断したためである。また、熟練医の場合、既に頭の中で 2D の映像をみて 3D に変換する訓練がされてしまっており、熟練医はこの訓練の対象として不適切だと考えたためである。

2D と 3D のそれぞれのグループを 10 名に対して糸を通す手技を行ってもらった。そのため合計 20 名の被験者を集めた。

5.1.2. 立体視実験結果

立体視の実験の結果の一部とともに分析方法について説明をしていく。(図 27) 詳細なデータは付録に載せる。

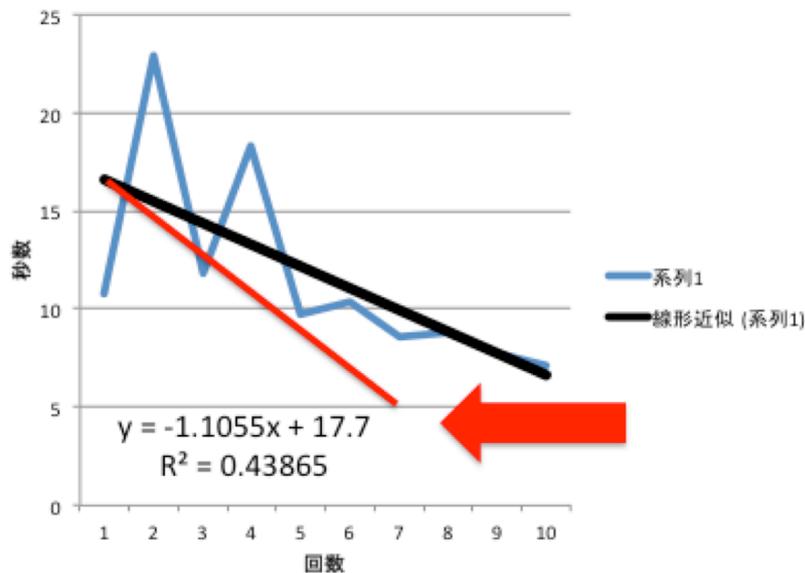


図 29 立体視手技時間の推移

これは、立体視実験のデータの一部である。縦軸がかかった秒数を表している。横軸が回数を表している。このように人は訓練すれば時間が減っていく。私たちはこの変化を教育効果としてみることで、時間と共にどのように効果に変異して至ったのかを表すことができるのである。

これらの分析方法として、教育評価としていかに考察したのかをまず述べる。

教育効果の考察方法であるが、得られた手技時間の変異について考察する。「時間の変化」について着目したのは、教育効果という物自体が、ただのアウトプットのみならず、あるファクターを通じて行った時によって、どれほど教育が変化したのかを把握しすべきだった。つまり、教育効果というものは、変化量で表すべきである。

また、個人間同士のタイムを直接比較することも適切でない。なぜならば、教育効果というものは、あくまでも個人の成長具合を示すものであって、他者と自己の相対的な時間というものは全く意味を示さないのである。

【結果1：最大値作業時間】

まずは、私達が着目したのが手技自体の難易度について考えた。手技自体の難易度は、同じコンテンツを利用しているので変わらないはずである。そのため、最初にかかる時間は変化がないはずである。まずは、各人の手技にかかった時間について比較をし

た。その最大値について比較検証を行った。

その結果、2Dは20.878秒(データ数9) 3Dは20.93秒(データ数10)となった。

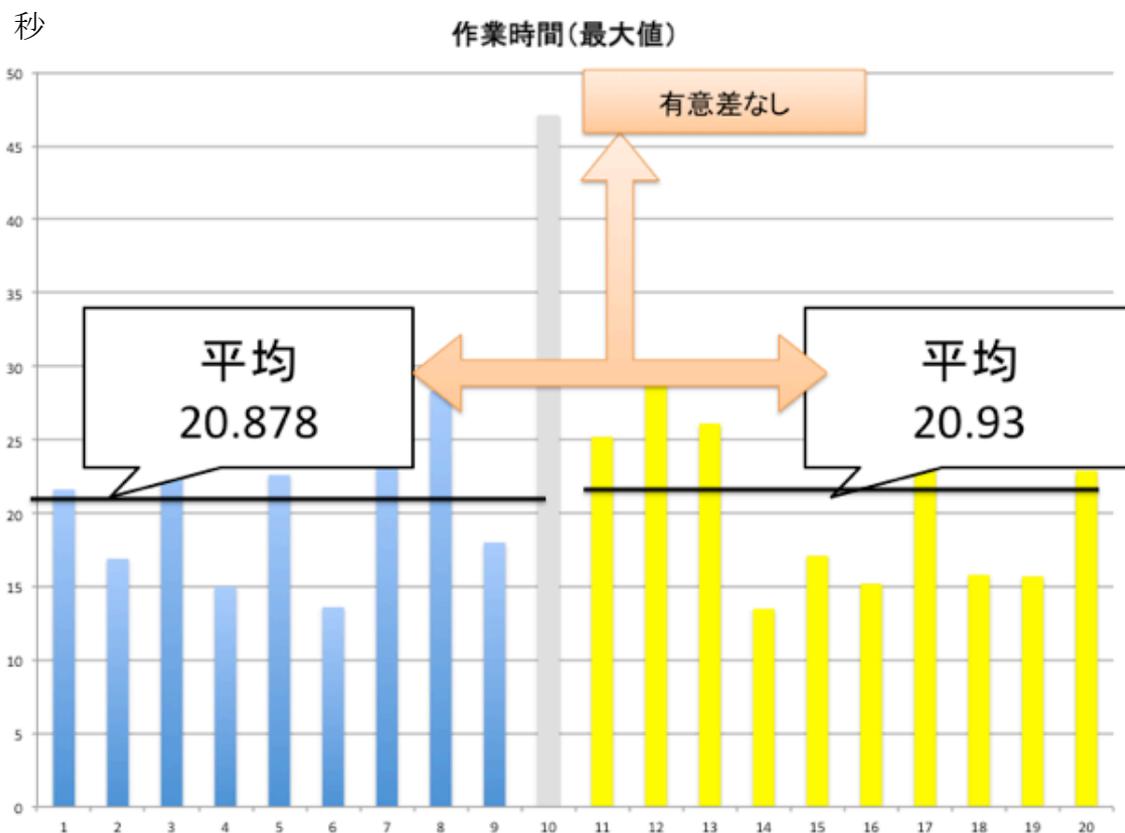


図 30 最大作業時間の3Dと2Dの比較

両者を統計処理をしたところ有意差も見られなかった。

そのため、3Dと2Dでは最初の難しさは同等レベルと考えられる。

最初の難しさは同等であれば、最小値を比較することでその教育効果を導き出すことが可能である。そのため最小についても分析を行った。

【結果2:最小値作業時間】

その結果は、以下のとおりである。

2Dは最小値の平均が8.14秒であり、3Dは平均が6.52秒である。その平均について差をとってみると両者は10%で有意であることが証明された。(t検定)

両者の結論を併せると、最初の難しさは一定であったが、最小値の比較をすると3Dの方が早い手技で完了されていることがわかった。

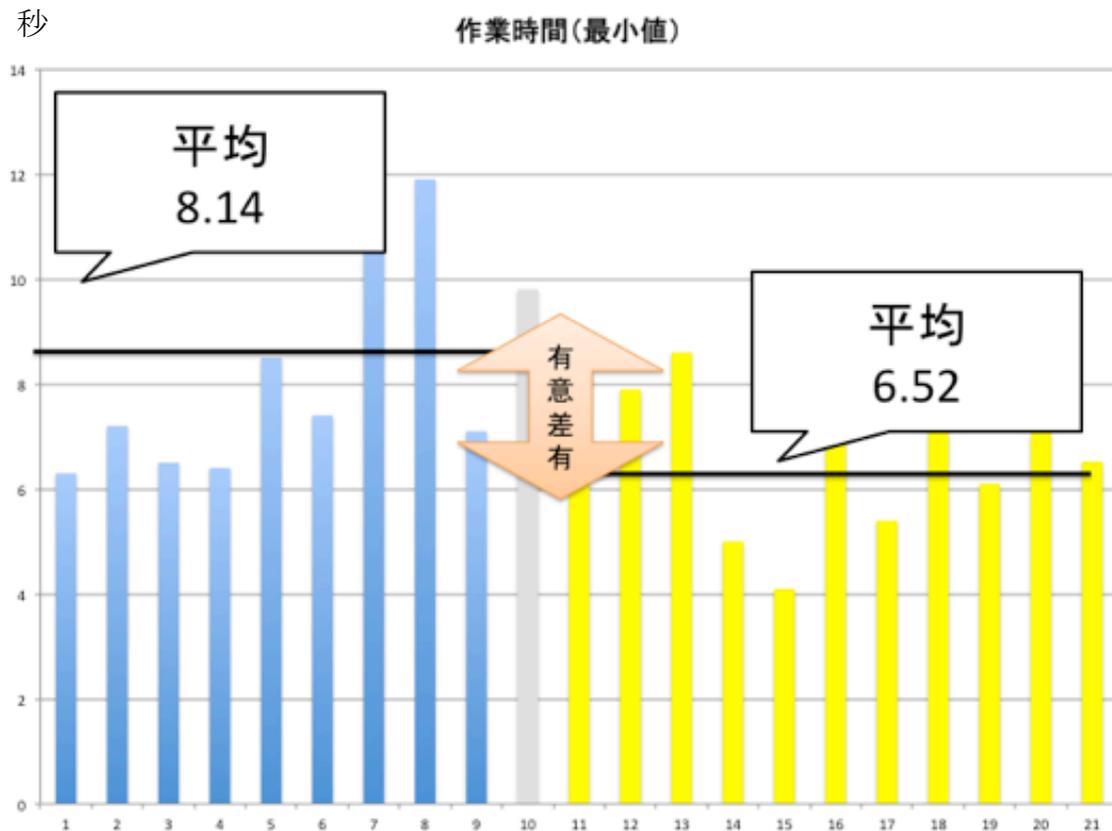


図 31 最小作業時間の 3D と 2D の比較

次に、今回の実験データの近似曲線を記入することによって、分析を行う。近似曲線に注目したのは、近似曲線であれば、各個人の変化について表すことが可能であるからである。またその近似曲線は、その本実験では、一次直線の $y = ax + b$ の近似曲線に着目をした。1次直線に着目したのは、本実験の1次直線がもっとも決定係数が高かったためである。

$y = ax + b$ において 2D と 3D によってどれほどの x の係数が異なるのかを考察した。それぞれの係数の意味は、以下のとおりである。

a : 傾き (=教育効果)

x : 手技回数

b : 切片 (=手技の難しさを表現)

時間の絶対値で図ることは個々の力の差をいれこんでしてしまうため、個々の力というものをなるべく、除外するために個々人の変化というものを取得することとした。全体としての傾きは下図のとおりである。

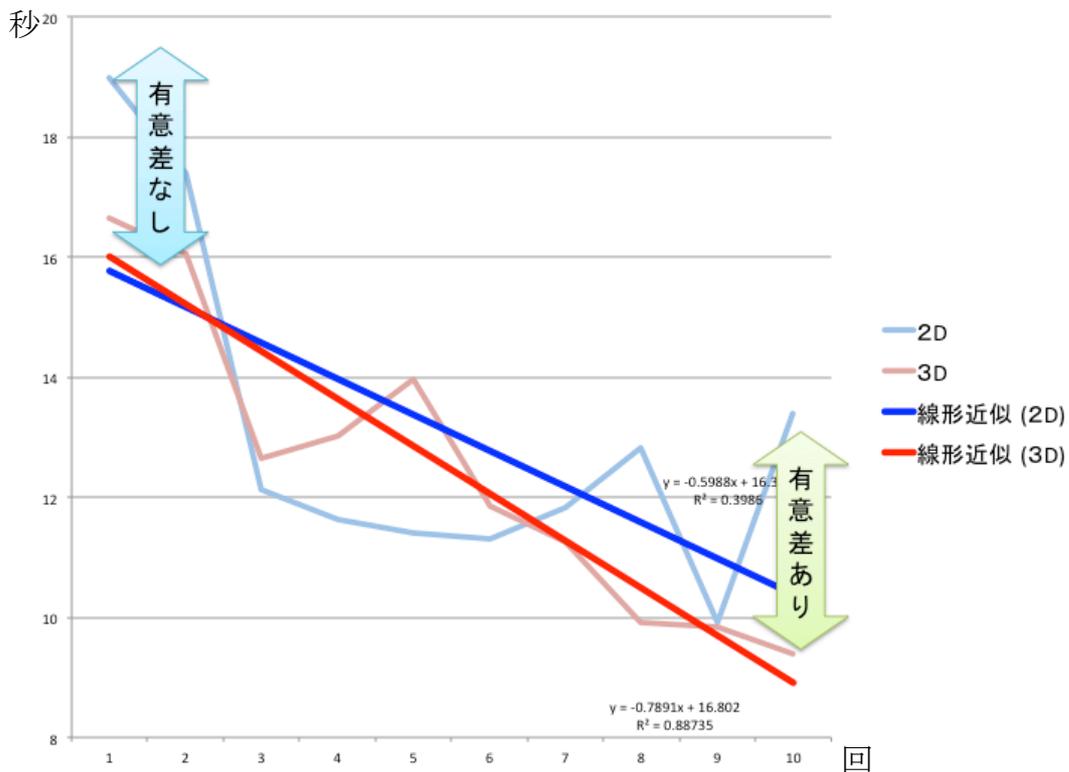


図 32 2D 群と 3D 群の作業時間推移の比較

図 30 は、赤い線が 3D の被験者の回毎の平均作業時間である。また青い線は、2D 被験者の回毎の平均作業時間である。みてもわかるように、当初はあまり差が生じていないにもかかわらず、徐々に回をおうに連れて、差が大きくなってきていることがわかる。さらに、各個人の近似直線の係数を比較したものが図 31 である。

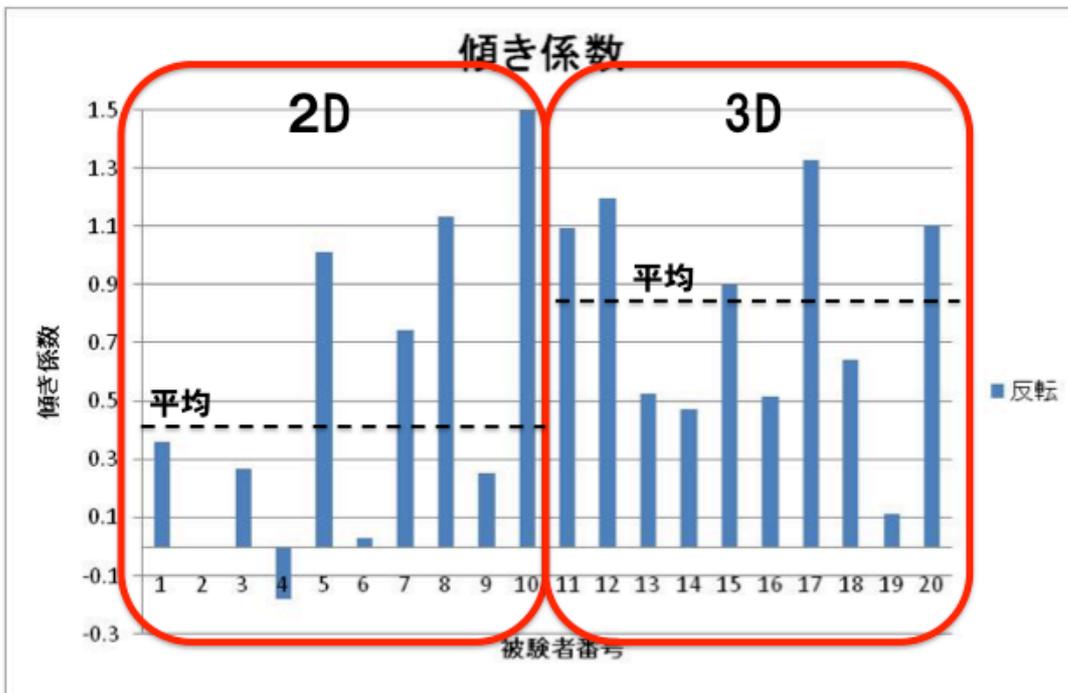


図 33 各個人の傾き係数の比較

予告軸は被験者を番号ごとに並び替えたものである。縦軸は $y=ax+b$ の傾き a の係数を反転させたものである。数値が大きければ大きいほど、早い習得が可能となっている。小さければ小さいほど、手技取得に時間がかかっていることを示すのである。

左側が 2D 時の傾き係数であり、右側が 3D の傾きの係数である。両者の平均は 2D が 0.4032 であり、3D が 0.7891 である。両者を統計的に比較を行った。その結果は以下のとおりである。

2D と 3D の平均値の有意差検定を行った結果、10%有意で 3D の方が有意であることが統計的にも証明された。

その結果、2D よりも 3D の方が早く手技習得が可能となったということがわかった。

以上のことからまとめると、手技の難しさは最初同じ程度であったが、回数を重ねていくたびに、3D の方が手技を早く終わらせていることがわかった。そして、実際にその変化具合を見てみると、3D の方が早く学べていることがわかった。3D の方が 2D に比べ早く学べていることがわかった。つまりは教育効果が高いことが示された。

5.1.3. 立体視実験考察

図 35 から分かるように、3D の方が x の係数の a の値が大きい。それが意味するこ

とは、短時間で身につけることができたことを意味する。

以下では、2Dと3Dによってなぜ教育効果に差が出たかを考察する。その理由は2つあると考えられる。1つ目は、作業自体に奥行き感を必要としたという点である。今回の実験では、「穴」に針を通すという立体的な作業を行わせた。特に、ものを掴むという点と、その穴に針を通すということは奥行き感が必要とされる。その時に通常であれば、3Dで遠近感を認識するものの2Dで行うとそれが平面となり、その平面を頭の中で変換しなければならず、それが手技の取得に時間をかけてしまったというように考察される。

また、もう1つの理由としては、視線の動きである。視線の動きに関して、実験を行った。

【実験目的】

本実験の目的は2Dと3Dによって視線が異なるのかを証明する。

【実験方法】

42インチの3Dテレビを設置し、30秒間気管挿管の手技の映像を条件毎によって2Dと3Dによって見てもらう。

視線の動きは、nac社製の視線計測器を利用した。



図 34 nac 社製視線計測器

出典：nacテクノロジーHP より

【コンテンツ】

コンテンツはメタコーポレーション社が慶應医学部との共同研究で活用した、3Dの気管挿管の手技を録画したものである。

【実験手順】

まずは、経験の浅い未熟医と経験豊富な熟練医と分ける。そして、さらに、3D群と

2D群に分けて行う。

そのため分析では、未熟医の2Dと3D群、熟練医の2Dと3D群とに分けることが可能である。

【分析方法】

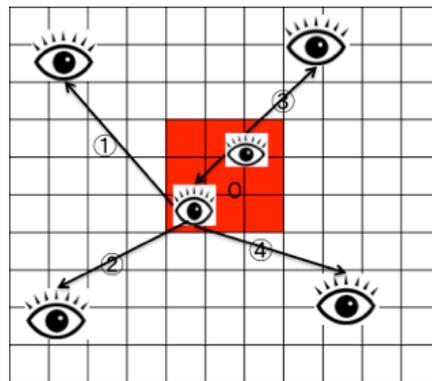


図 35 視線分析方法

まずの視線計測の計算としては、上図のように行う。ある時点の見ている位置から一定以上の距離を離れた場合の回数を示している。現物比でおよそ3cm以上ずれた場合、それを1回とカウントし、その次にまたその場所を起点として3cm以上ずれたらさらに1カウントするということを行った。2Dと3Dの合計値をそれぞれ算出し、どれほど視線が動いたのかを分析した。

【結果】

下記の図は、(図) 実験は2Dと3Dで同じ医学コンテンツを見せた時の視線の散らばり具合を示したものである。左のグラフはインターン生が見た時の視線のバラつき回数である。

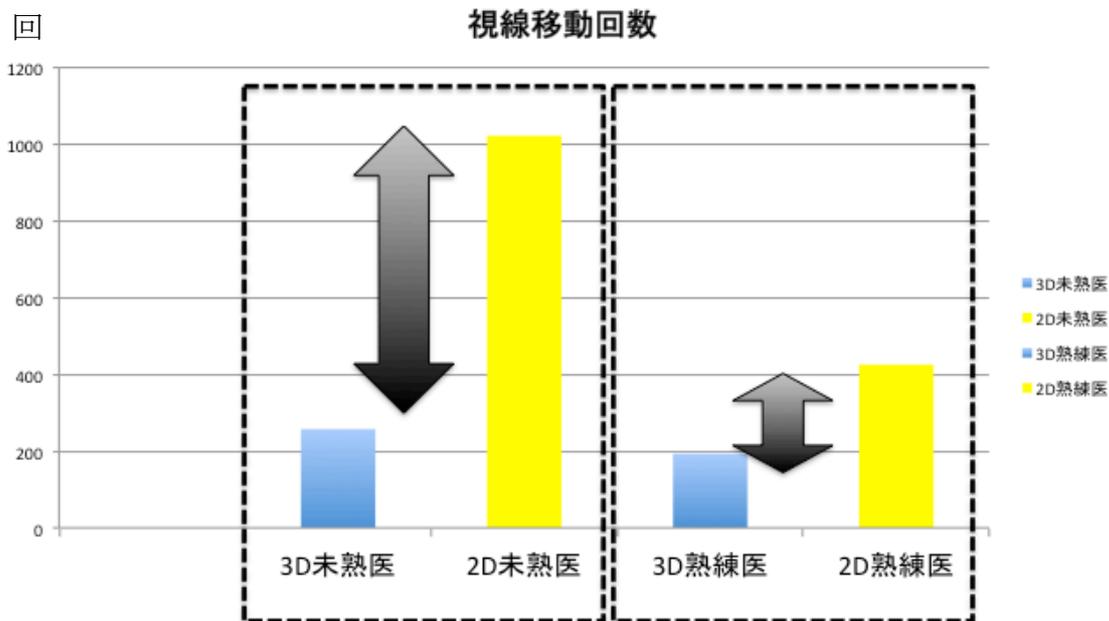


図 36 視線計測の移動回数

黄色のグラフは2Dのコンテンツを見せた場合のものである。水色は3Dコンテンツを見せたものである。合計4名の人物に調査をしました。真ん中の2つのグラフは未熟医が見た時の視線移動の回数で、右2つのグラフは熟練医が見た時の視線の動きである。グラフからも見てわかるように3Dの方が圧倒的に視線の散らばりが少なく、見るべきところをしっかりと見ていることがわかる。

また、非常に重要なのは未熟医と同じ映像を見てもらった熟練医はほとんど3Dと2Dで大差ないことがわかる。つまりは、2Dと3Dの有効性は熟練医にはないが、どこを見ていいのかわからないような未熟医の場合は、3Dで見るべきところをしっかりと見せるということが非常に重要になってくるのであると考察が可能である。

人間は、多くの情報を眼から得る。そのため、視線を見せたいものに注視をさせることが3Dによって可能であった。実際に細かい作業などはしっかりと対象物をみて行うことが求められる。そのため今回の実験でも3Dによって視線をコントロールでき、結果として早く手技が完了したのではないかと考えられる。

また、本筋から外れるが、2Dと3Dで最初にかかる時間に有意な差が生じなかったことは非常に重要な意味をもたらす。一般的には、3Dメガネや2Dは逆にやりづらいという印象がある。しかし実際に作業をさせてみるとあまり変化はないということがわ

かる。確かに、メガネなどの違和感があることは否めないが、これが作業時間に影響をおよぼすことがあまりないということがわかった。つまりは、違和感は主観的なものであって、客観的な指標としてはその不具合については出て来なかった。

5.2. 遅延実験

本実験では、通信の部分に着目をし、検証を行う。そもそも、遅延が発生する理由としては、前述したアーキテクチャの中でモデムの役割について述べた。モデムの役割は、映像というものをデータ化し伝送できる形に変換するということと、そのデータを圧縮・解凍するという役割があった。その際に、圧縮・解凍することに時間がかかってしまっているということが遅延の原因である。そのため、本研究では、その部分を擬似的に発生させた。本来であれば、実際に通信を行い、その遅延量などを測定し行うべきであるが、公共の通信回線に大量のトラフィックを送ることは実質上非常に困難である。そのため、本実験では、通信の代わりに通信の代わりの役割を担う装置を導入した。(以下、遅延発生装置)

本遅延発生装置は、0秒0.5秒の遅延を16段階で任意の遅延発生させることができる。

この遅延装置は、自分のアクションが任意の遅延によってディスプレイに表示されるというものである。

5.2.1. 遅延実験概要

【実験目的】

本実験の目的は遅延が医学教育のシミュレーターに教育という観点から影響をおよぼすのか否かを明らかにするために行った。

本実験では、遠隔教育において必要となる「通信」の部分に着目し行った。ただし、実際に通信回線を利用して遅延を発生させることが現実的に非常に難しく、さらに遅延の具合をコントロール出来ないという、さらには公共の電波を使ってあえて遅延を発生させるという点は難しかったので、遅延発生装置を利用した。

下記の図が実験概要図である。(図 34)

カメラによって後で述べるコンテンツを撮影し、それを miniHDMI-HDMI ケーブルを利用しコンポーザーに入力をした。コンポーザーから SDI ケーブルを利用し遅延装置に接続をする。その後、遅延装置から DVI ケーブルによってデジタルデータを伝送する。

DVI から HDMI に変換し TV に出力をする。その TV をみて学生がコンテンツの作業をする。

遅延装置によって、出力を遅らせることが可能である。本遅延装置は 0.0 秒-0.5 秒を 16 段階で自由に変化させることができる。そのため、学生は実際に自分がアクションしたよりも遅くディスプレイに出力されるという仕組みのものである。

カメラ・コンテンツ・コンポーザーが遠隔地にあり、ディスプレイと学生が作業地にいるユースケースを想定しモデル化を行った。

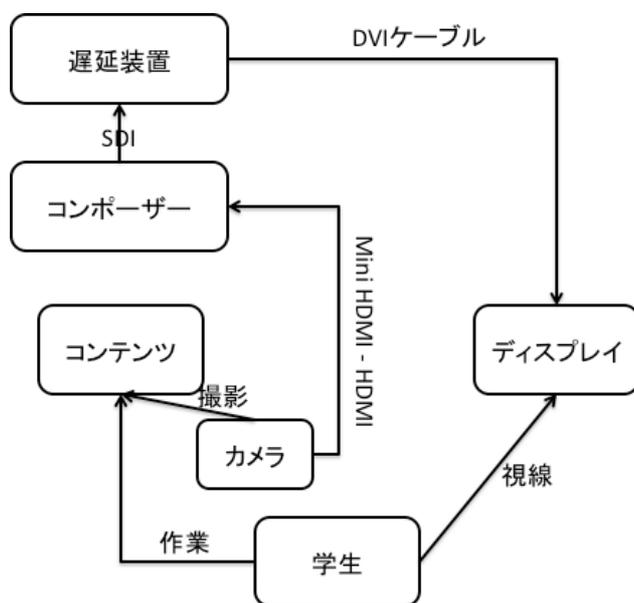


図 37 遅延実験構成図

【実験方法】

本実験では、下記の図 35 の左ように玉を糸からつるし、その玉をつかむという手技に着目をした。今回先ほどの実験と異なる状況にしたのは、遅延が発生した際には、目からの情報よりも指先の情報の方が重要になってしまうことが事前実験でわかったので、本実験では、なるべく触覚を頼らない方法を取るために、空中での玉をつかむという手技をさせた。

また、これらは非常に基礎的な「掴む」という行動とともに、体内の腫瘍摘出手術のようなイメージを可能とした。以下の図は作業コンテンツの中身である。

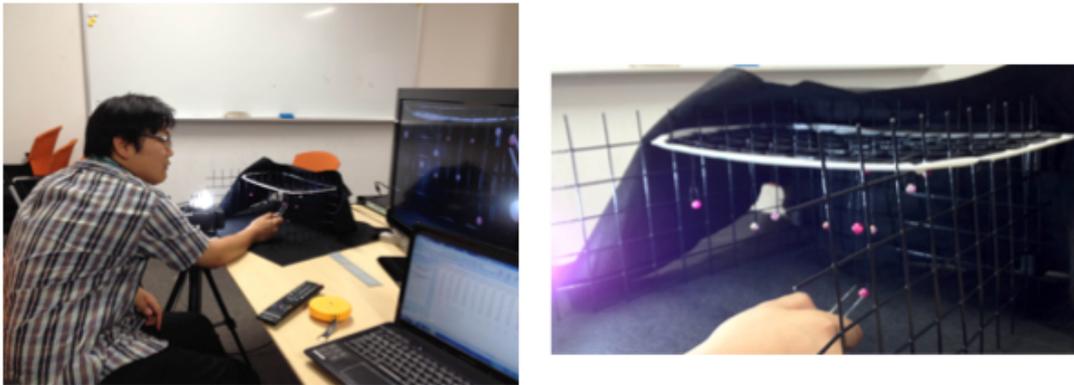


図 38 遅延実験イメージ図

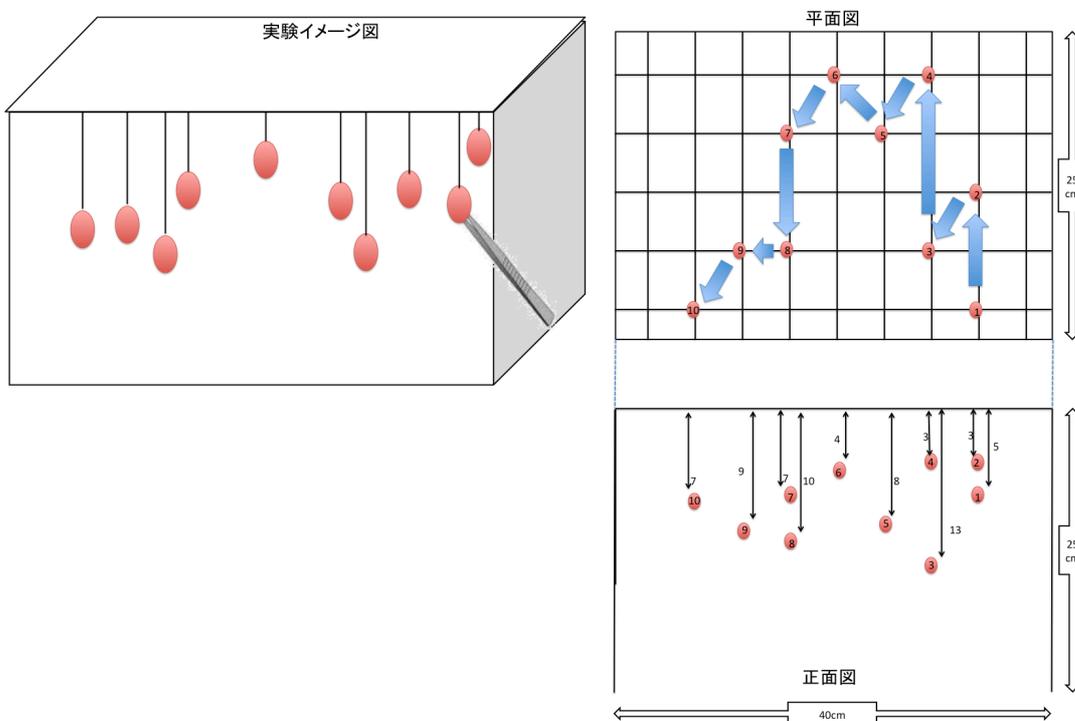


図 39 遅延実験コンテンツ内容

10 個の吊るしてあるボールを右から順番にピンセットで掴んでいくという作業を 10 回繰り返す。(図 36) 詳細の上図の右側のとおりである。

上図右側は実際の実験器具のレイアウトの正面図と平面図を表したものである。赤いものが掴むべき玉である。玉は直径 0.5cm である。玉に記載している番号は、掴む順番を記したものである。矢印の横に記されている数字は天井からの距離 (cm) を意味する。

実験は、3 種類の条件のもと行った。

1. 遅延なしの状況での手技である。
2. 遅延 0.50 秒発生時の手技
3. 遅延 0.13 秒発生時の手技

これらの 3 つの状況を比較し、遅延がもたらす教育効果の差について分析を行った。中でも、遅延なしの状況は教育効果がもっとも高いと期待される条件である。

遅延を 0.125 秒発生させたのには先行的な研究を参考にしている。映像と音声がどれほどずれると人間は違和感を感じるのかを実験したデータがある。その結果では、遅延が 0.2 秒程度であれば、人間は違和感を感じる事がなく動画を視聴するということが結論付けられていた。(引用)

これらの 3 条件においてそれぞれ 10 個の玉を掴むために要した時間を計測する。

球形を利用した理由は、掴む際に球形であれば、2 点のみでしか掴むことができなく、より精度の高い作業が求められる。そのため四角形ではなく、球形を選んだ。

【実験プロセス】

被験者への説明

- ・ 内視鏡の手術トレーニングをモデル化したものである旨の説明
- ・ 玉を右から順番に 10 個掴むこと
- ・ タイムを計測する
- ・ ミスした際のカウントもとる
- ・ 画面のみをみて作業をすること。

被験者への説明は上記のみとし、遅延が発生しているか否かは説明なしで行った。

そのため遅延が発生しているか否かに関しては、ブラックボックスになっている。

【実験環境】

本実験の仕様は下記の通りである。

3D カメラ : : SONY :HXR-NX3D1J

3D 仕様 : HD 画質・MPEG-4 AVC/H.264 AVCHD 規格準拠 (1080/60p、50p : 独自規格)

コンポーザー¹²：アストロデザイン ステレオコンポーザー VC7063

ディスプレイ：東芝 ZP2 シリーズ 1980×1080

遅延装置：アストロデザイン独自企画

【対象】

この実験も立体視の実験同様にこのような訓練をしたことがない人物を対象に行なった。つまりは一般素人である。20代-50代までの男女合計 30名に受けてもらい、各グループ10人で比較を行った。

5.2.2. 遅延実験結果

遅延の実験では幾つかの結果を述べていく。

まずは、全体を俯瞰するための図として、作業時間の時系列変化について以下で示す。

(図 41)

¹² ステレオコンポーザ「VC-7063」は、2系統の入力信号(SDI/HDMI)をSide by Side等の1本の3D信号で、または逆に合成された映像をL/Rの2系統に分離し出力(SDI/HDMI)ができ、更に3G/HD-SDI⇔HDMIインターフェース変換が可能

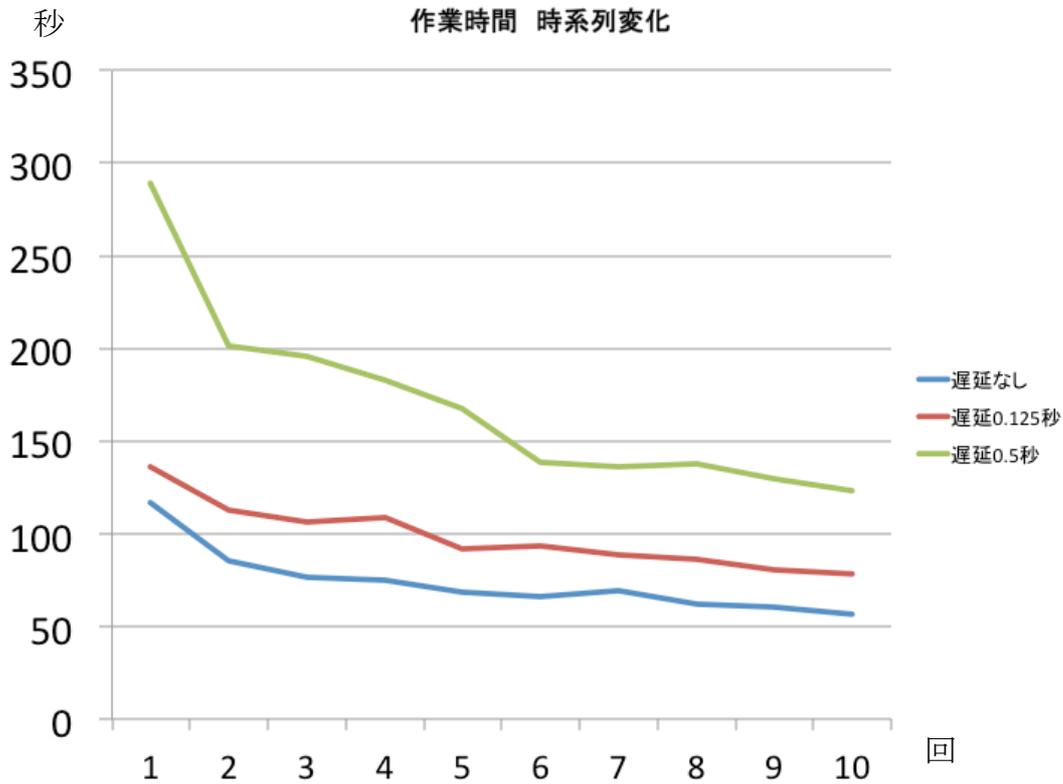


図 40 遅延実験 作業時間時系列変化

これは、横軸が手技の回を表し、縦軸がかかった時間（秒）を表すグラフである。青い線が「遅延なし」赤い線が「遅延 0.13 秒」緑の線が「遅延 0.50 秒」を表す。グラフからわかるように、右肩下がりのグラフになっている。また、遅延 0.50 秒の時が大きくグラフの形が異なっている。以下ではこれをベースに分析をしていく。

【分析 1：1 回目の手技時間の比較】

次に、立体視の実験で分析し事と同様に、最初の手技自体の難易度に関して分析を行う。上図でいうところの 1 回目を比較した。

結果は以下のとおりである。

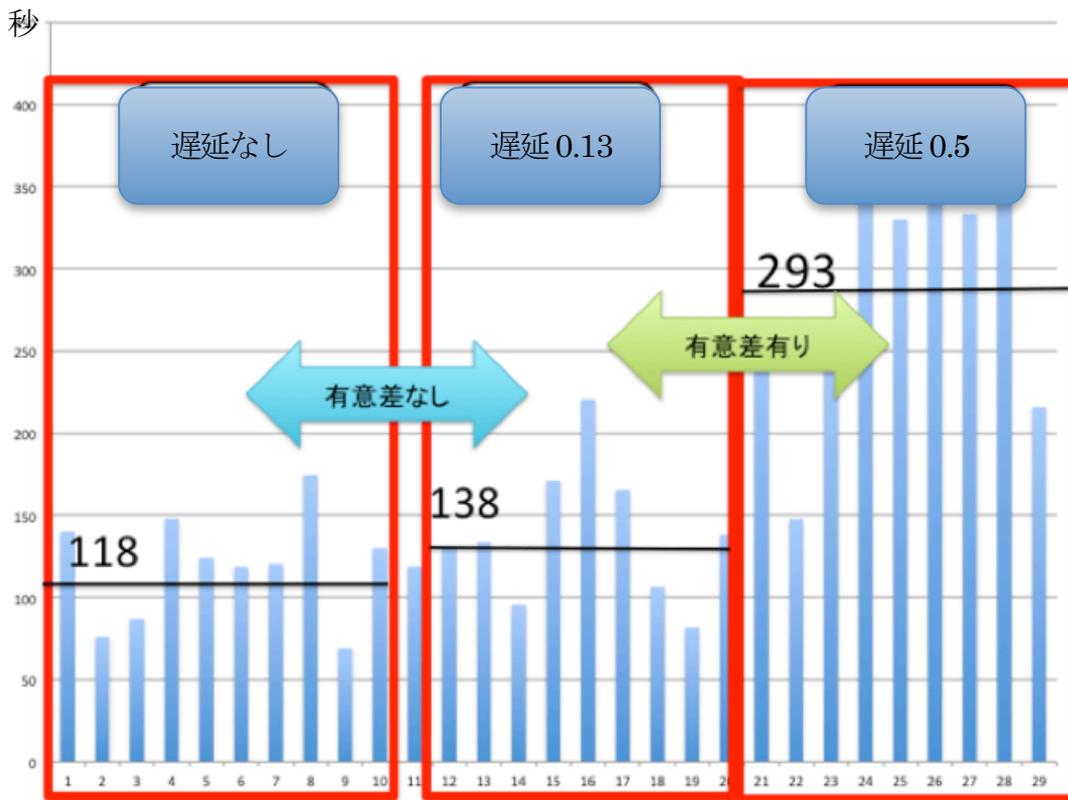


図 41 遅延実験 - 1 回目作業時間比較

上図は、横軸は被験者番号を表し、縦軸は各人の初回の手技時間（秒）を表す。

これらについて遅延なし・遅延 0.13 秒・遅延 0.50 秒で比較したところ、遅延がないときの 10 回の合計時間は平均 118 秒（1 分 58 秒）であり、遅延 0.13 秒の場合は、138 秒（2 分 18 秒）となった。そして最後に遅延 0.50 秒の遅れがあった時には、293 秒（5 分 53 秒）となった。それぞれのデータについて統計的な処理を行った結果は、遅延なしと遅延 0.13 秒が有意な差は見当たらなかった。遅延 0.13 秒と遅延 0.50 秒が 1% で有意、遅延なしと遅延 0.50 秒が 1% で有意となった。以上のことから、遅延なしと遅延 0.13 秒とは最初のスタートの難しさはさほど変わらないことが言える。

一方で、遅延が 0.5 秒発生していると 293 秒ということで通常の数倍以上の時間がかかっていることがわかる。この原因は遅延という通常慣れていない状況下で行われるため、初めての経験であり、時間がかかってしまった。同じ手技作業なのにもかかわらず、これほど大きな差が出ているのは、明らかに遅延が発生していることが影響している。その他のファクターは同じであるにもかかわらず、時間が異なっているからである。

そのため、分析をする上では、このことを排除して分析をする必要がある。よって今

回の分析では、傾きを度外視して検討しなければならなかった。つまり遅延なし・遅延 0.13 秒と遅延 0.50 秒は異なるような分析をしていく必要がある。

【分析 2：10 回目の作業時間】

次に 10 回目の作業時間のアウトプットを示したグラフである。

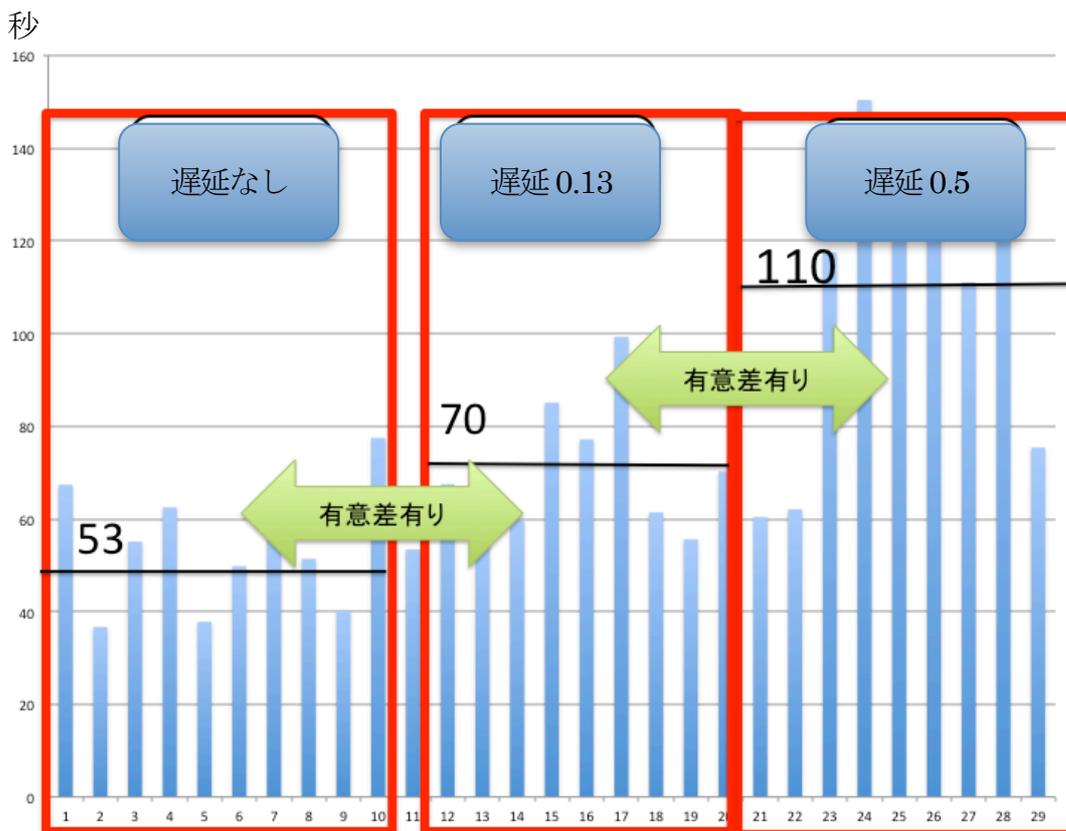


図 42 遅延実験 - 10 回目作業時間比較

遅延がないときの最小値の平均 53 秒であり、遅延 0.13 秒の場合は、70 秒 (1 分 10 秒) となった。そして最後に遅延 0.50 秒の遅れがあった時には、110 秒 (1 分 50 秒) となった。それぞれのデータについて統計的な処理を行った結果は、遅延なしと遅延 0.13 秒が 5% で有意な差が見られた。遅延 0.13 秒と遅延 0.50 秒が 1% で有意、遅延なしと遅延 0.50 秒が 1% で有意となった。

以上をまとめあげると

遅延なし < 遅延 0.13 秒 < 遅延 0.50 秒という結論が得られた。

最終的なデータとしては、遅延が生じると、最後に到達する

【分析：傾きの比較】

前述したように、最初の時間が異なるということで、コンテンツが異なるので、単純に傾きの比較が出来ない。そのため、コンテンツを比較可能にするために、切片を共通にした状態で比較を行う必要がある。まずは、そのためのステップを以下で説明する。

1. 基準値を決定する
2. 遅延0.13秒 遅延0.50秒 の基準値に到達地点の回数を近似曲線をもとに予測する
3. 基準に到達する回数の比率をもって元の既存の傾きに掛け合わせる。

以上の3ステップを経て分析を行う。

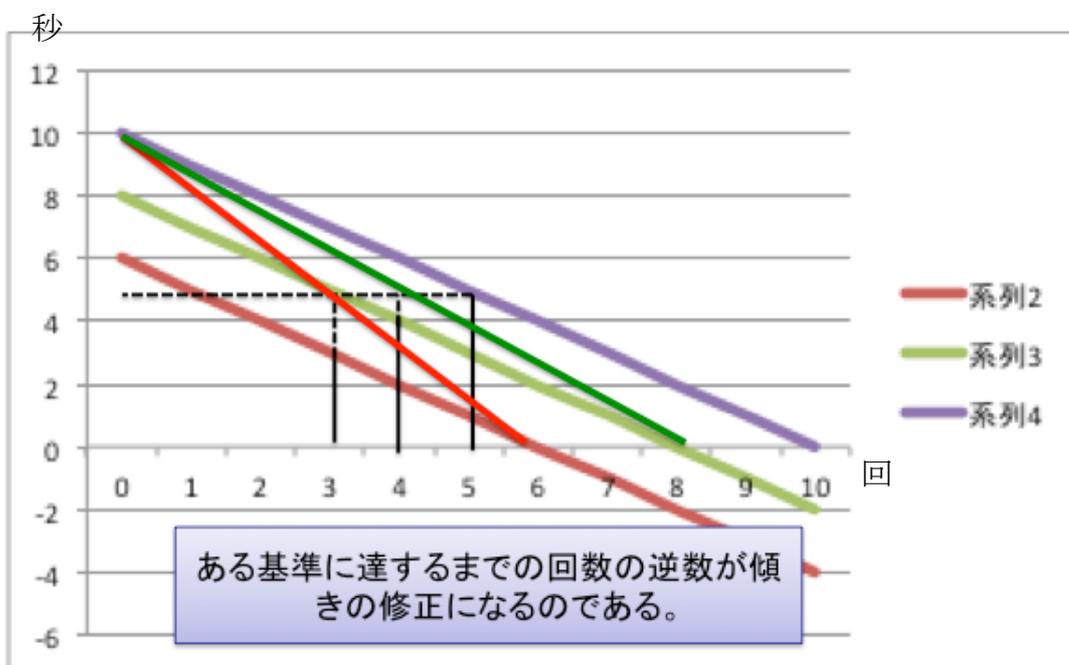


図 43 遅延分析方法図解

上の図は前述したステップをグラフに変更し、切片の修正を行った場合のものである。

次に、本研究におけるデータについて分析を行う。最初に、各線形の近似曲線をとることとした。本実験の結果から、対数近似曲線をとることとした。

近似曲線は、 $y = a \log x + b$ で表される。それぞれの意味は、

表 5 修正後傾き計算方法マトリックス

グラフ系列	当初の傾き	到達回数	修正後の傾き
赤	1	3	5/3
緑	1	4	4/3
紫	1	5	1

a : 落ち込み具合の深さを表す。(本研究では、教育の効果性)

x : 回数を表す

b : 切片を表す (本研究では、難易度)

となる。

最終的に分析をしたいイメージ図は図 41 のとおりである。

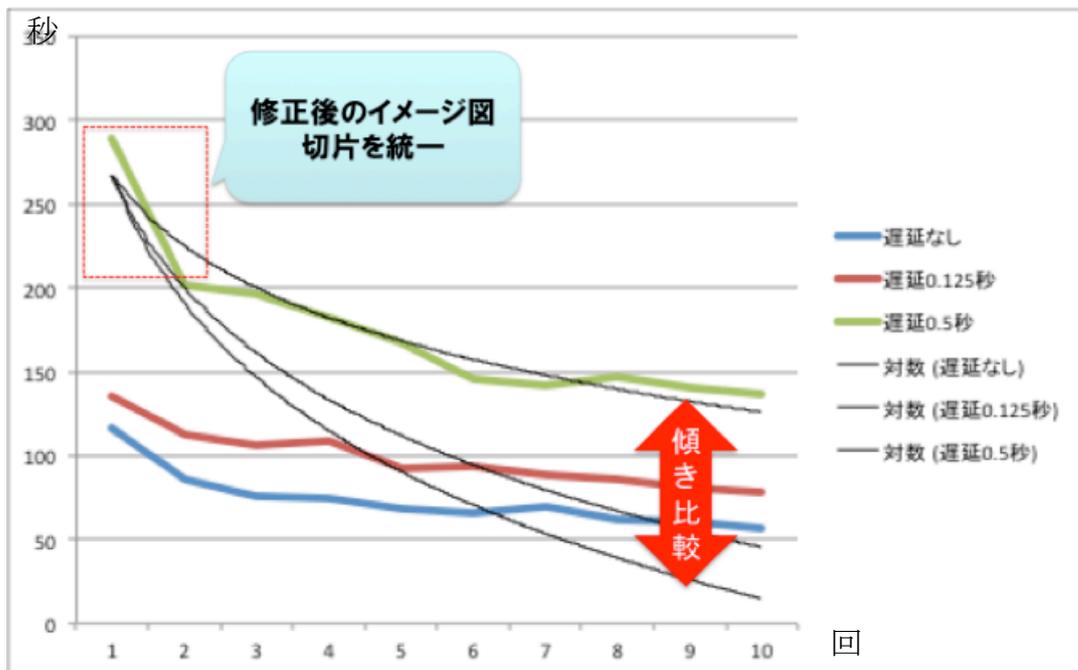


図 44 修正後の傾きイメージ図

そのため、下記のステップをとった。

1. 基準点を 53 とした。これは、遅延なし時の最小の値であり、この値までは、回数を増やせば減っていくということを仮定したためである。
2. 遅延発生時の 53 秒に達するまでの手技回数は以下の表のとおりである。(コンテンツ自体の難しさを表す)
3. 修正後の比率に関しては一番右の値である。これらの値についてそれぞれの各人

の傾きと比率を掛けあわせを行った。

表 6 遅延実験 修正後の傾き計算

	近似曲線	53秒 到着回数	比率
遅延なし	$y = -12 \log x + 86$	15	1/15
遅延 0.125 秒	$y = -16 \log x + 117$	54	1/54
遅延 0.5 秒	$y = -34 \log x + 210$	101	1/101

上記傾きの比率を元々のデータに掛けあわせ比較をした結果は以下のとおりである。

(図 46)

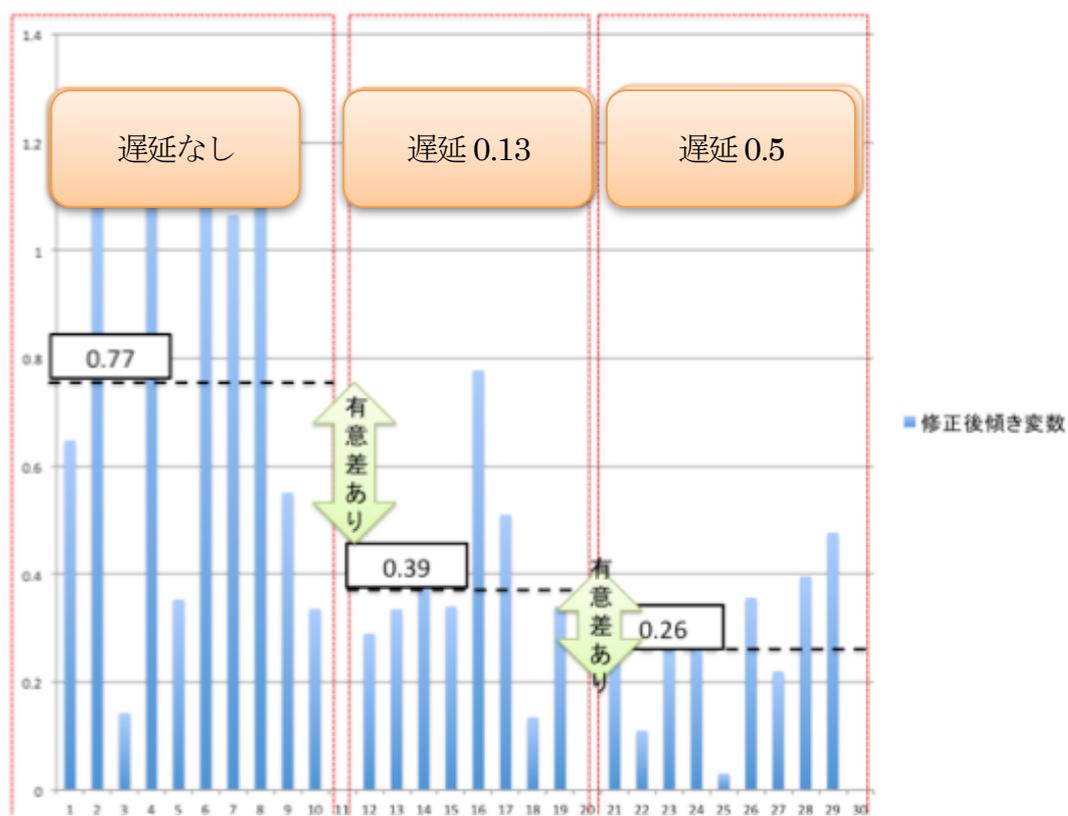


図 45 修正後の傾き比較 (遅延なし・遅延 0.13 秒・遅延 0.50 秒)

遅延なしがもっとも大きな傾きになり、ついで遅延 0.13 秒、その次に遅延 0.50 秒となる。

遅延なしでは、0.77 の傾きだった

遅延 0.13 秒では、0.39 の傾きだった

遅延 0.50 秒では、0.26 の傾きであった。

なお、各群はそれぞれに有意な差が見られた。

以上のことから、遅延というものは、教育に影響を与えることがわかる。

【分析 3：作業合計時間】

遅延実験の結果は下記のとおりである。これらの分析方法について説明を行う。まずは、手技にかかったトータルの時間のグラフは以下のとおりである。

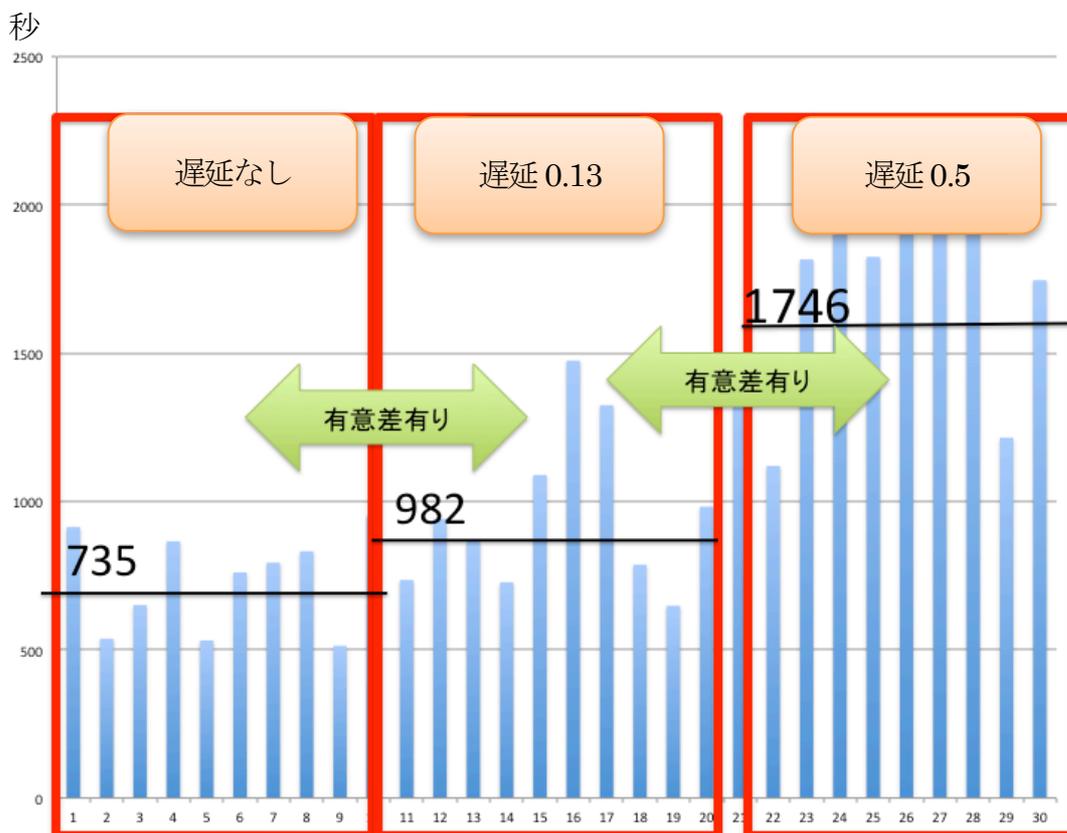


図 46 手技トレーニング作業合計時間

次に、作業効率の面からデータについて述べたいと思う。効果とは、大きく分けて 2 つの効果がある。同じ時間で大きなバリューを発揮するもの。もう 1 つは、同じバリューを発揮するのに少ない時間で行えるものという概念がある。

後者を効率性と呼ぶ。その点から鑑みると、作業時間というものは非常に重要な要素である。

つまりは、作業時間が多くなれば、同じことをする機会が減り、効率的ではないとされる。以下の図は、作業時間についての累積時間を示したものである。

2 回目は、1 回目の時間と 2 回目の時間の合計

3 回目は、1～3 回目の時間合計・・・

と表した図である。

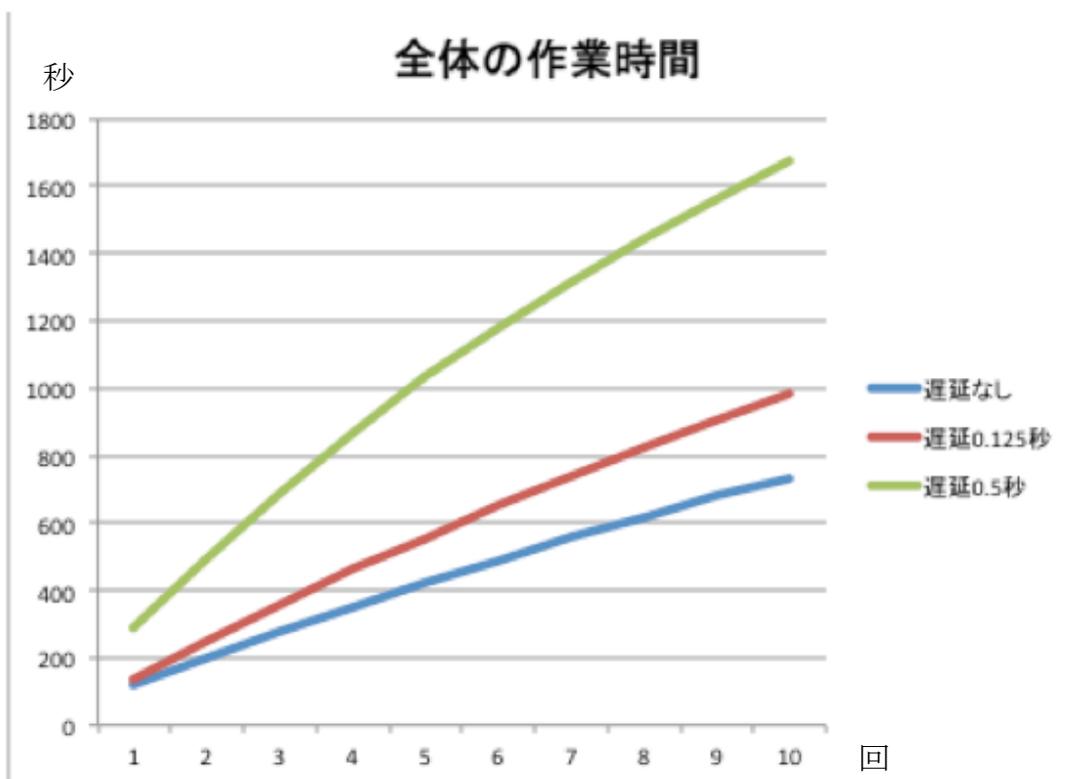


図 47 累積作業時間

その結果、それぞれ 10 回も作業を行うと非常に開きが大きくなってしまふ、ということがわかった。つまりは、作業効率の面においては、遅延が微量に発生していても影響を与えてしまうということがわかった。

このグラフは横軸が被験者番号を表す。また、縦軸は 10 回手技をするのに要した合計時間である。これらについて遅延なし・遅延 0.13 秒・遅延 0.50 秒で比較したところ、

遅延がないときの10回の合計時間の平均735秒(12分15秒)であり、遅延0.13秒の場合は、982秒(16分22秒)となった。そして最後に遅延0.50秒の遅れがあった時には、1746秒(29分6秒)となった。それぞれのデータについて統計的な処理を行った結果は、遅延なしと遅延0.13秒が5%で有意になった。遅延0.13秒と遅延0.50秒が1%で有意、遅延なしと遅延0.50秒が1%で有意となった。

つまり、手技にかかる時間という意味で鑑みると遅延がない方がより効果的な教育が可能であると考えることができる。つまり、同じ時間与えられていても効率的にできる教育とは全く遅延がないものである。少しでも遅延があると効率的でなくなってしまう。

【分析4：遅延への気付き】

上記のように分析をした結果も1つである。また、実験自体は、ブラックボックスで行われており、実験中にどの条件で行ったのかは伏せていた。その中で、遅延を0.125秒遅らせた場合、実験中遅延に気づいたか気づかなかったかを表したグラフが以下である。以下のグラフは遅延を気づいた人数である。

上のグラフは遅延有りの時に遅延に気づいたか否かを表したものである。遅延有りの時は1名を除き被験者が作業とディスプレイの間に遅延があることに気づいた。その1名は、違和感を感じるが遅れていることに気づいていない被験者もいた。その被験者は違和感の原因が何かを特定できずに終わった。

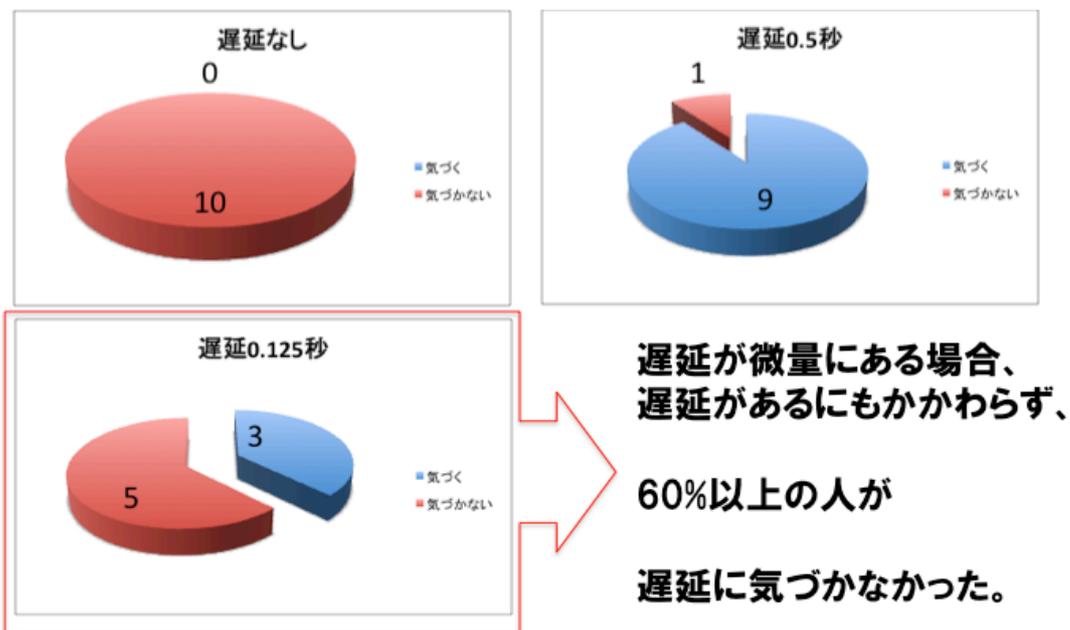


図 48 遅延に対する認知割合

一方で遅延を 0.125 秒遅らせた作業をした場合、8 人中 5 人が全く作業中に気づかなかった。ということが得られている。3 人は作業して気づいたが、やりづらさは感じておらず、作業後のインタビューにおいても気づいたが作業には問題がないという意見をもらった。なお、当然であるが遅延なしは遅延がないため今回のグラフからは削除した。

【分析：ミス回数】

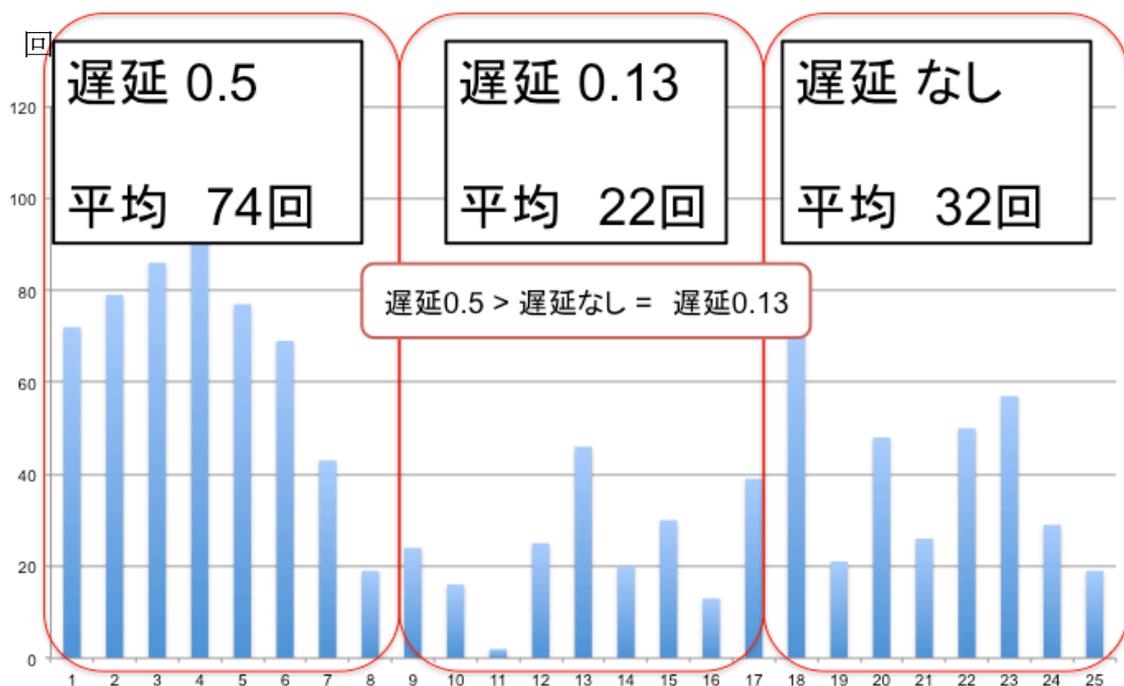


図 49 ミス回数比較表

遅延が発生すると非常にミスが多くなることがわかった。なお、遅延が微量の場合は、ミスが少ない。遅延なしの場合は若干それに比べ多いことがわかった。これは、遅延があると無意識に丁寧にやるのではないかと推測される。

5.2.3. 遅延実験考察

以上のことから、まとめると下記の通りになる。

1. 遅延は微量に発生していても、被験者はほぼ気づかない。
2. 微量の遅延の場合、初回の手技に関しては、ほとんど差が見られない。
3. 微量の遅延の場合、最後の手技に関しても有意な差が生じてしまう。
4. 遅延は微量(0.125 秒)に発生していても、教育効果に悪影響を与える。
5. 教育の効率性の観点からも、遅延が発生すると効率性が悪くなる。

遅延の実験における結果からわかったことは、遅延は微量であったとしても、教育効果に影響を与えるということである。しかし、分析結果で示したように、初回の手技は大きな差がなかったとされている。そして最後は、優位な差が生じている。それでは、どの段階から影響を起こしたのかということ以下では分析を行う。

下図は、作業時間において遅延なしと遅延 0.13 秒が作業時間についての分析を行ったものである。

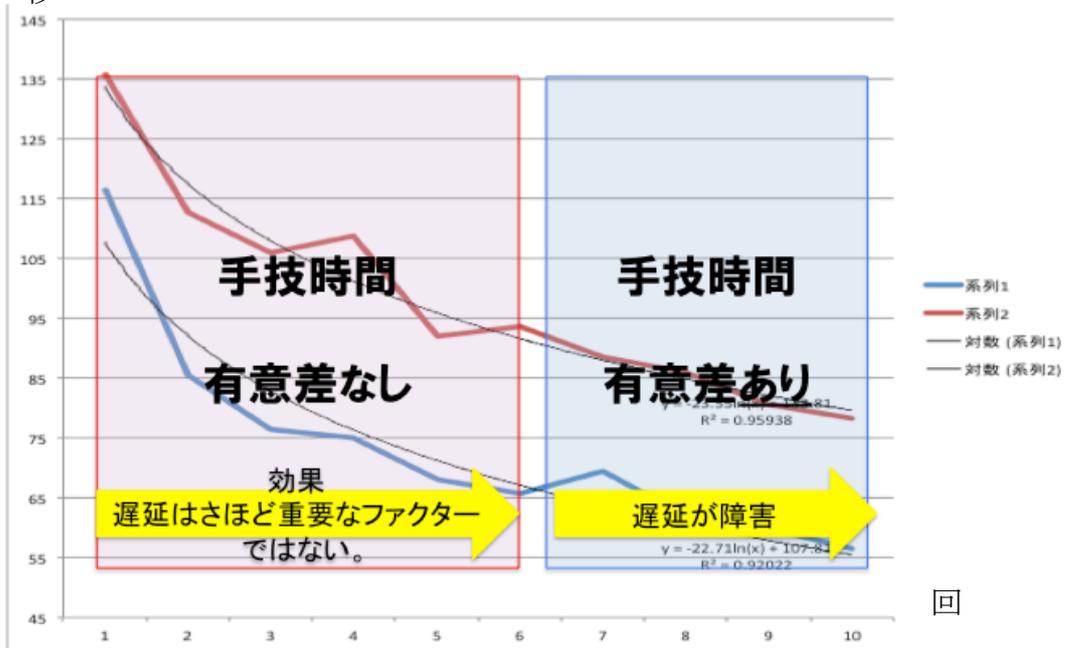


図 50 遅延手技トレーニング各回比較 (遅延なし・遅延 0.13 秒)

縦軸に手技時間 (秒)、横軸は手技の回数を示したグラフである。青い線は遅延なしの結果であり、赤い線は遅延 0.13 秒発生させた時のグラフである。その結果、前半 6 回までは優位な差が生じなかった。その後 7-10 回目までは有意な差が生じた。

これは、当初学びのファクターがたくさんあり、遅延の占める割合が大きくなかったということである。しかし、6 回目まで達すると、遅延の占める割合が大きくなったのだと考えられる。

具体的には、当初は「平面図から立体図の変換」「手技キットの慣れ」「色合い」など・・・ファクターに加え、遅延がある場合は「遅延」があり、それぞれについて学ぶ。しかし、遅延以外のファクターについて学び終わると「遅延」のファクターの占める割合が大きくなり、結果としては「遅延」が足かせとなってしまふのであると考えられる。

一言でこの現象をいうと「微量の遅延があると伸び悩む」という現象であると考えられる。

最初は、多くのことを学び、遅延はあまり影響しなかったのだが、学んでいくと、手技自体のスピードが上がり、その結果として遅延が 0.125 秒の微量であったとしても、

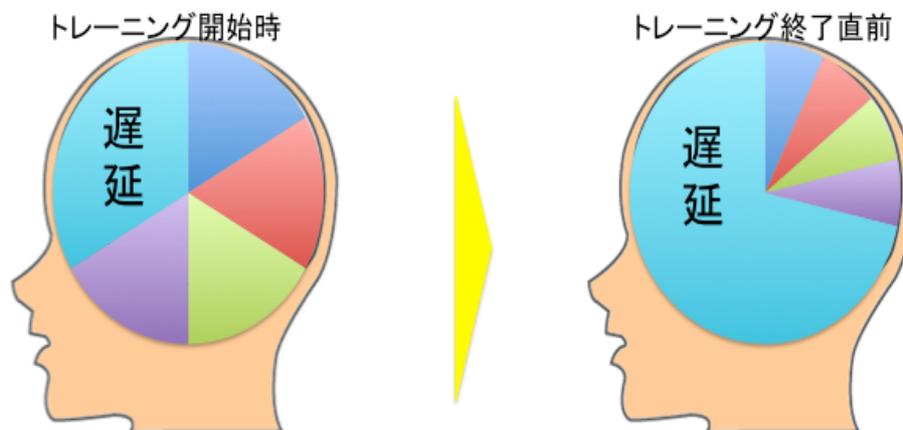


図 51 伸び悩む現象

過敏に反応し時間に影響を与えたと考えられる。

しかし、遅延なしと遅延 0.50 秒では、すべての回において差が生じた。0.5 秒の遅れがあると、遅延のファクターがあまりにも大きく悪影響を与えてしまったということが結論付けることができる。よって、そのファクターが占める割合が大きく、効果的な教育は出すことが出来ない。と結論付けることができる。

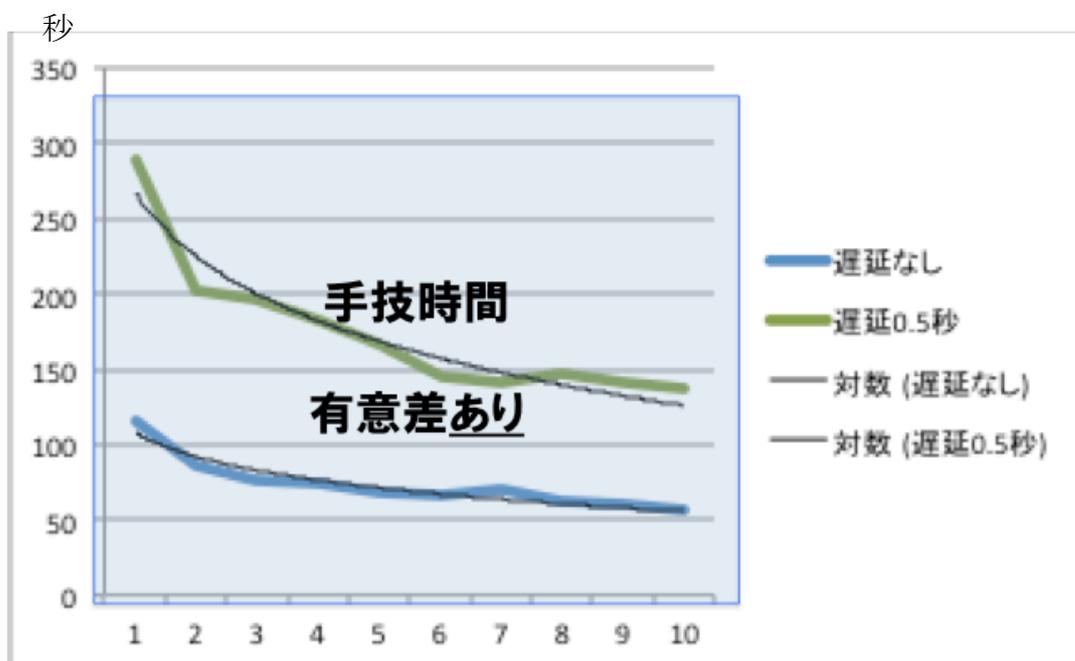


図 52 遅延手技トレーニング各回比較 (遅延なし・遅延 0.50 秒)

そして、今回の実験で非常に興味深いのは、分析結果の2つのものである。被験者自体は0.125秒という微量の遅延だと気づかないのにもかかわらず、実際に客観的に分析をすると影響があるということが結論づけられた。また、以前の研究では、0.2秒の遅延であれば作業に問題はないという事になっていたが、実際初回～6回目までは、問題ないが、これは教育の観点から鑑みるとデータ通りにはならないことがわかった。

6. 結論および今後の展開

6.1. 結論

本章では、遠隔手術外科トレーニングにおける効率的なディスプレイとしての3Dを提案したということと遅延が教育に対して影響をすることについて述べていくとともに、それらの結論から発展可能性について述べたいと思う。

6.1.1. 3Dの対応

本研究では、効率的な教育が必要であるということについて述べてきた。その方法の1つとしてICTを利用するものがあつた。その中でも近年の技術の発展によって立体視が利用できるようになってきた。その立体視を活用して教育効果が出るのかを確認した。その結果、教育効果が3Dの方が高いことが導出された。3Dの方が教育効果が高くなつたのは、3Dでは、飛び出ている箇所に視線が注視されることができたという点と、そもそものコンテンツが奥行き感が必要であつたということである。

6.1.2. 遅延の低下

本研究では、教育の格差について問題として述べた。国内・国外の事例やデータをもとに述べた。そのための解決策としての遠隔教育の必要性について述べた。しかし遠隔教育するにあたって懸念事項となるのが遅延が発生することである。その遅延については遅延をなくすための研究がなされていたが本研究では、遅延はあつると学習効果に影響を与える上、効率性という意味においても影響があるという結論に達した。

そして、遅延があると微量であっても「伸び悩む」ということが示された。「伸び悩む」理由としては、当初は様々な手技の内容を学ぶため遅延はさほど気にならないが、成長していくと遅延というファクターの占める割合が大きくなり、結果としてコントロールできない遅延の部分が弊害となつてしまうのである。

6.1.3. 本研究の結論

本研究では、教育格差を是正するための遠隔教育を提案し、さらには効率性をあげるために立体視を活用した。その結果、教育格差を是正するためには遅延が少ない方がいい。微量の遅延もない方が手技取得役立つことが言えた。また立体視については、効果

が見られたので、遅延がなく立体視を活用する教育をすることで教育格差を是正しつつ、効果的な教育を教授することができると考えられる。

6.2. 今後の課題

本研究では、モデル化を行なって教育効果の有用性について述べた。個別のシステム要素はできているので、システムとして全体の提案が必要になってくる。そして、実際に医学部に対して実用化していくことが求められる。一方で技術的な課題については改善が求められる。また、研究としての新たに出てきた課題に対して対処を行なっていく必要がある。

6.2.1. 技術的課題

技術的な課題は大きく分けて立体視に課題と遅延の課題に大別できる。

前者に関しては、3Dの場合コンバージェンスの問題が生じる。つまり眼の焦点の役割を担うコンバージェンスがあわないと図として破綻してしまう。3Dの場合はある基準点における前後関係で立体を作り出す。しかし、あまりにも基準点から離れると画像が2重になって見えてしまうという現象が起こる。2重になって見えてしまうという点が問題としてあげられる。これは技術的な側面であり改善が求められる。

特に内視鏡で利用するカメラの場合、通常の撮影カメラと異なり、直径10mm程度のため2つのレンズを搭載させると視差がなくなり、映像が破綻する。それを防止するための映像の加工が必要となる。

また、実際の臨床を行う場合には、カメラ・レンズを2つ以上搭載し、撮影する必要が有るため、超小型カメラを開発しなければならない。超小型カメラを2レンズにするということは、逆を言えば、より大きな穴が必要になってくる。大きな穴が必要となれば、回復は遅れる。その点から鑑みると、今度は小さい穴の難しい状況で手術トレーニングするという点と大きな穴であるが容易に手術が可能となる方法との比較検証が必要になってくる。

さらに、3Dということの自体の不快感、船酔いなどのようないわゆる3D酔いといわれるものがある。それに対しても徐々に技術が開発されており、研究段階ではあるものの、ドーム型のスクリーンを用いることで不快感および酔いを軽減できるようになるという研究も成されている。

一方、後者の遅延に関して、本研究では遅延が生じることで教育に悪影響があること

が示されたことで、遅延の低下をしていくことが求められる。

遅延の低下を行う方法は、大きく分けて2つの方法がある。1つ目はケーブルに関する技術開発、もう1つはパケット交換機（いわゆるモデム）の技術開発である。

ケーブルに関しては、前述したように導線から光ファイバー技術が開発されてきている。伝送距離が増えてきたという点と伝送容量が大きくなったのが大きな特徴である。

その成果として、ケーブルの分野では光ファイバーが導入され、多くの遅延が減ってきているものの、間に入る交換機のシステムによって遅延が発生しており、今回の遅延においてもそれが障害となる可能性が非常に高い。ケーブルのみに関して挙げれば、独立行政法人情報通信研究機構（以下、NICT）が開発した光ファイバーケーブルは、毎秒 109 秒テラビット¹³が通信可能となっている。今までの通信の 1,000 倍の伝送容量が確保できる。そして、この実験では、16.8km の伝送実験を行うことが出来た。このことから鑑みても、大容量の低遅延の伝送は可能となる。

また、交換機は基本的にはパケット変換をすると共に、データを圧縮する役割を担っている。データを圧縮するのは、生データで伝送をしようと思うと現在の帯域を大きく閉めてしまうためである。そのために圧縮するのだが、圧縮すると遅延が発生する。そのため、データを圧縮せずに直接伝送することができるネットワークの開発が求められる。実際に、POF などのように大容量で伝送するための技術は大きく発展してきている。このようなインタラクティブな教育をする際には、直結型のネットワークを構築する必要があるかもしれない。

実際に東京-札幌間が 1 フレームで伝送できていることからこのようなネットワークの発達は非常に重要な意味する。

6.2.2. 汎用性に関する課題

本研究では、外科手術の腹腔鏡を対象に行なった。これは内視鏡手術の教育トレーニングを元に考えたものである。しかし、逆を返せば他の科目については、本研究の対象外となっている。

6.3. 今後の展開

今後の展開としては、現在利用されているシミュレーターの 3D 開発の動きが活発に

¹³ 1 テラビット = 10¹² ビット = 1,000,000,000,000 ビット。1 ギガビットの 1,000 倍である。1 テラビットは 125 ギガバイトと等しく、8 テラビットで 1 テラバイトとなる。

なることが期待される。実際にオリンパスを始め、3D内視鏡の開発は活発になってきている。しかし一方で、臨床で利用することは未だリスクが高いということが指摘されている。しばらくは臨床の3D化は無理であると考えている。その理由は臨床で利用可能となるまでの障壁が大きいためである。

新しい技術が開発されると臨床で利用するには少なくとも10年程度のテスト期間を要した後承認されることが多い。近年注目を集めている医療ロボットのダ・ヴィンチは2000年に初めて臨床で利用された後、全国の病院で利用されたのは最近のことである。臨床は非常にハードルが高い。もちろん命を扱うため承認のハードルが高いのは問題ない。そのため、直ぐに臨床ということは無理であったとしても教育という観点から非常に有用である。そのため、今後3Dの教育として活用していくことで実用化が可能となってくると思われる。そして3Dで学んでいた学生が数年後に3Dの臨床をするということが非常に有用であると思う。

また本研究では、3Dにすることで視線が注視させることができるということがわかったので、熟練の医者が見ている箇所がどこなのかということも3Dで再現することで、熟練した医者がみるポイントの箇所を未熟の医者に伝えることができる。例えば、熟練医の見るべき視線を計測しておき、それを凹凸感で活用することによってより高い教育効果を発揮することが可能となるであろう。

また、遅延に関しても全く遅延が発生しないということは物理的に離れているため不可能である。そして、本研究としては、遅延はなるべく無いほうが教育効果としては、高いことが示せた。そのためより高速なインターネット回線の構築が求められる。

しかし一方で、このシステムによれば、遠隔医学教育が可能となる。国内のみならず、海外の医学レベルの向上にも寄与できるのである。そして、現在インターン生などが経験などの求めるために大病院に集まってしまう。しかし、本システムが実際に運用可能となれば、郊外の病院でも同様の症例などの手技トレーニングが可能であり、かつ熟練した医者からのサポートが可能となる。例えば、モデルケースとして1年目は地方においてのインターンを行い、2年目にそれらを活用したより実際の人間を利用した臨床が可能となる。どこでも同じように教育を受けられるのであれば、このような社会全体のバランスを取ることも可能となるのである。そして何よりも、効率的な教育をすることにより早い自立を促すことが可能となるのである。特に1年目のインターンについては、配置強制的にするという議論がされており、それに対する研修医の不満も大きい。しか

し遠隔教育が発達すれば不満も解消されるであろう。

また、これらの教育を受けたものが実際の臨床に 3D を取り扱う可能性は大いにある。現在の医者は、元々は画像や 2D 動画などで教育を受けているので、頭の中で 2D を 3D に変換している。しかし、もちろんその変換によってミスすることが起こる。しかし元から正確な 3D を経ていればその創造性を必要としないのでより正確な臨床手技が行えるはずである。

現在では、VR シミュレーターを活用した遠隔教育が少しずつ医学会でも興味を持たれている。遠隔教育が技術的には可能である。

そして初期程度であればそれほど差が生じないということから、遠隔教育を行うことがある。VR のシミュレーター自体は VR 空間を共有することで、今まで実現できなかった教室を作り出すことができる。その時に今までの遅延とは異なり、より遅れの少ないネットワーク構築が求められる。本研究では、1 : 1 の教育をメインとして考えたが、今後は、効率性のことを鑑みると 1 : 多の授業ということも考慮できる。

謝辞

本研究は、総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成されたものです。

また、本研究を遂行するに当たり、多くの方々のお力添えを頂きました。それをここに感謝いたします。

私の研究を暖かく見守って下さった当麻哲哉先生には多くのお時間を割いてご指導、御鞭撻して下さり、誠にありがとうございます。

本論文の執筆にあたり、的確かつ熱いアドバイスの元ご指導いただいた本論文、副査のヒジノ教授、高野教授に深く感謝致します。

本論文の専門知識のアドバイザーとしての慶應医学部和田助教授・慶應医学部博士課程の佐藤先生・3Dのコンテンツ提供をして下さったメタコーポレーションの高沖さん・医学部OBの町田雄二郎氏・平出貴裕氏には心から感謝しております。

さらには、大きな支援として慶應フロンティアリサーチ・インスティテュート・アストロデザインの関係者の皆様には多大なる支援を頂きありがとうございます。

お名前をここで直接挙げることはできませんが、実験にご協力くださった方々、にも深く感謝致します。

研究活動の中で、たくさんの意見を交換し、切磋琢磨しあった当麻研同期の面々、実際に共同実験を一緒に進めていただいた、米田巖根研究奨励助教誠に感謝しております。

又、SDMにおける学生生活を充実したものにしてくれた前野先生を始めとするSDMの教員の皆様には感謝してもしきれないほどの御礼を申し上げたいと思います。

References

1. Christian R Larsen, clinical research fellow¹, Jette L Soerensen, assistant professor and consultant², Teodor P Grantcharov, assistant professor and consultant³, Torur Dalsgaard, consultant⁴, Lars Schouenborg, consultant⁴, Christian Ottosen, consultant⁴, Torben V Schroeder, professor and consultant⁵, Bent S Ottesen, managing director and professor at the Juliane Marie Centre⁶. (2009). Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: Randomised controlled trial. *BMJ* 2009;338:b1802, 5 May, 338-1802.
2. Forsberg, K., Mooz, H., & Cotterman, H. (c2005). *Visualizing project management : Models and frameworks for mastering complex systems* (3rd ed. ed.). Hoboken, N. J. : J. Wiley, c2005.
3. NTT エレクトロニクス株式会社. 通信ネットワーク (NGN) を活用したライブ配信の高臨場化に向けた実証実験に AVC/H.264 エンコーダ/デコーダ装置を提供. Retrieved 1/12/2013, 2013, from http://www.ntt-electronics.com/digital_video/news_and_events/news/2012/03/live-streaming.html
4. OsiriX - DICOM viewer. Retrieved 1/21/2013, 2013, from <http://www.osirix-viewer.com/>
5. DUAL FULL HIGH DEFINITION 3D VIDEO REAL-TIME COMMUNICATION SYSTEM: POF2011, POF2011, POF2011 (2011).
6. Wass, V., Van der Vleuten, C., Shatzer, J., & Jones, R. (2001). Assessment of clinical competence. *The Lancet*, 357(9260), 945-949. doi: 10.1016/S0140-6736(00)04221-5
7. WISE-MD » the web initiative for surgical education. (a). Retrieved 1/21/2013, 2013, from <http://wise-md.med.nyu.edu/Init.action>
8. WISE-MD » the web initiative for surgical education. (b). Retrieved 1/21/2013, 2013, from <http://wise-md.med.nyu.edu/Init.action>
9. ガルサンジャムツイン・ウルズィネメフ. (2000). 遠隔教育の歴史と発展. Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP, , 119-131.

10. カンボジア事業 | 活動内容 | ジャパンハート JAPAN HEART –国際医療協力・海外医療ボランティア
医師団一. Retrieved 1/21/2013, 2013, from
http://www.japanheart.org/projects/cambodia_project/index.html
11. ゴードン・ノエル. ノエル先生と考える日本の医学教育. Retrieved from
http://www.igaku-shoin.co.jp/paperDetail.do?id=PA02981_03
12. ニュートン・グラフィックス - newton graphics, inc.. Retrieved 1/21/2013, 2013, from
<http://www.newton-graphics.co.jp/>
13. パナソニック技報 : 【1月号】 JANUARY 2011 vol.56 no.4. Retrieved 1/16/2013, 2013, from
<http://panasonic.co.jp/ptj/v5604/#section01>
14. メディア教育開発センター. (2001). 教育メディア科学 : メディア教育を科学する. 東京: オーム社,
2001. 12.
15. 中山, 実, & 清水, 康. (1993). 通信衛星による講義と CAI を併用する遠隔教育システム(PINE-NET)の
学習成績による評価. 日本教育工学雑誌, 17(2), 85-92.
16. 中川, 学, 永瀬, 文, 橋本, 洋, & 下川, 義. (1997). マルチメディア双方向衛星通信システムのシス
テム特性の評価. 電子情報通信学会論文誌. B-I, 通信 I-情報通信システム・理論, 80(6), 322-329.
17. 中沢, 潤. (2008). よくわかる教育心理学. 京都: ミネルヴァ書房, 2008. 5.
18. 佐藤, 隆, 大庭, 治, 後藤, 嘉, & 原, 秀. (2001). 官庁資料の公開 : 情報利用の民主化をめざして.
東京: 学文社, 2001. 2.
19. 全日本医学生自治会連合. (2003). 研修医アンケート. Retrieved 1/19/2013, 2013, from
<http://www.igakuren.com/>
20. 医療法人東和会 | 内視鏡外科手術とは. Retrieved 1/20/2013, 2013, from
<http://www.towa-med.or.jp/gp/1st/geka/naishikyo/01/>

21. 厚生労働省. 医師の資質の向上 (23010216.pdf) . Retrieved 1/19/2013, 2013, from http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/11-2/kousei-data/siryou/sh11010202.html#a1_2_2_0
22. 厚生労働省医政局医事課. 臨床研修病院及び臨床研修医に対するアンケート結果概要. Retrieved 1/12/2013, 2013, from <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2005/07/h0705-3.html>
23. 友田, 幸, 村田, 英, 石政, 寛, & 山下, 樹. (2005). 耳鼻咽喉科におけるナビゲーション手術. 金沢医科大学雑誌, 30(4), 456-461.
24. 向井 信彦, 原田 雅之, & 小山 博史. (2003). 脳神経外科手術シミュレータにおける動脈モデルのリアルタイム変形. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 8(1), 103.
25. 大山, 貴, 竹内, 大, & 金子, 格. (2012). 授業評価で使用する視線データの取り扱いと分析方法の検討. 情報処理学会研究報告.EIP, 電子化知的財産・社会基盤], 2012(5), 1-6.
26. 大川, 恵, 伊集院, 百, & 村井, 純. (1999). School of internet : インターネット上での「インターネット学科」の構築. 情報処理学会論文誌, 40(10), 3801-3810.
27. 大西, 仁, & 望月, 要. (2007). 力覚ディスプレイにおける遅延が弾性力の弁別閾に与える影響(触覚, 五感メディアの品質, 一般). 電子情報通信学会技術研究報告.CQ, コミュニケーションクオリティ, 106(495), 11-16.
28. 宇井, 修, 中山, 実, & 清水, 康. (1997). 衛星通信講座における講義形態と学習者評価の関係. 電子情報通信学会論文誌.D-II, 情報・システム, II-情報処理, 80(4), 892-899.
29. 安田, 幸, 黒田, 尚, 堀, 有, 相野田, 紀, 大原, 義, & 鈴木, 孝. (2005). 医学教育評価における客観試験の特徴. 金沢医科大学雑誌, 30(4), 408-412.
30. 宮田, 隆, SOPHORN, U., BOREY, C., CHEA, S., & SOKUN, L. (2005). 後発開発途上国における歯周感染症の発症に関するリスク・ファクターの検討 第1報 : カンボジア王国, 村落地域における生活環境因子の影響について. 日本歯周病学会会誌, 47(4), 258-268. doi: 10.2329/peri.47.258

31. 小林 秀, & 浅井, 紀 (2009). 立体視ディスプレイを用いた好ましい奥行き呈示位置の検討(マルチモーダル, 感性情報処理, 一般). 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, 109(345), 29-34.
32. 小澤 周. (2010). 教育学キーワード (第3版 ed.). 東京: 有斐閣, 2010. 6.
33. 平林 浩, & 津田, 道. (2005). イメージと科学教育. 東京: 績文堂出版, 2005. 2.
34. 徳嶺 朝子, 二宮 伸治, 安野 誠, 赤地 史, 新 秀直, 佐藤 美保子, & 富澤 康子. (2008). 体外循環技術教育セミナーにおける教育用シミュレータの適用. 体外循環技術 = the Journal of Extra-Corporeal Technology, 35(3), 343.
35. 木野, 茂. (2009). 教員と学生による双方向型授業 : 多人数講義系授業のパラダイムの転換を求めて. 京都大学高等教育研究, 15, 1-13.
36. 本間, 三. (1978). 1)医学教育における Computerized video assisted problem solving exercises (CVA-PSE) について(画像技術応用研究会(第33回)). テレビジョン学会誌, 32(7), 648.
37. 村上 千鶴子. (2012). 諸外国の統合医療の現状と日本の課題 -統合医療推進の意義と方策の検討. 紀要, 11, 85.
38. 村井 保之, 巽 久行, 宮川 正弘, & 徳増 眞司. (2008). K-031 距離場を用いた力覚歩行支援シミュレータ(教育工学・福祉工学・マルチメディア応用, 一般論文). 情報科学技術フォーラム講演論文集, 7(3), 585.
39. 東北大学大学院. (2011). 高度情報化時代の「学び」と教育. 仙台: 東北大学出版会, 2011. 11.
40. 松元 英樹. (2009). 国際ネットワークの基礎知識 . Retrieved 1/21/2013, 2013, from <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20100119/343461/>
41. 森 敏, 青木, 多, & 淵上, 克. (2010). よくわかる学校教育心理学. 京都: ミネルヴァ書房, 2010. 4.
42. 森川, 富, 森口, 博, & 岡田, 達. (2007). 医学教育における e-learning の活用 : マルチメディア教材の分析. 四国医学雑誌, 63(1), 11-18.

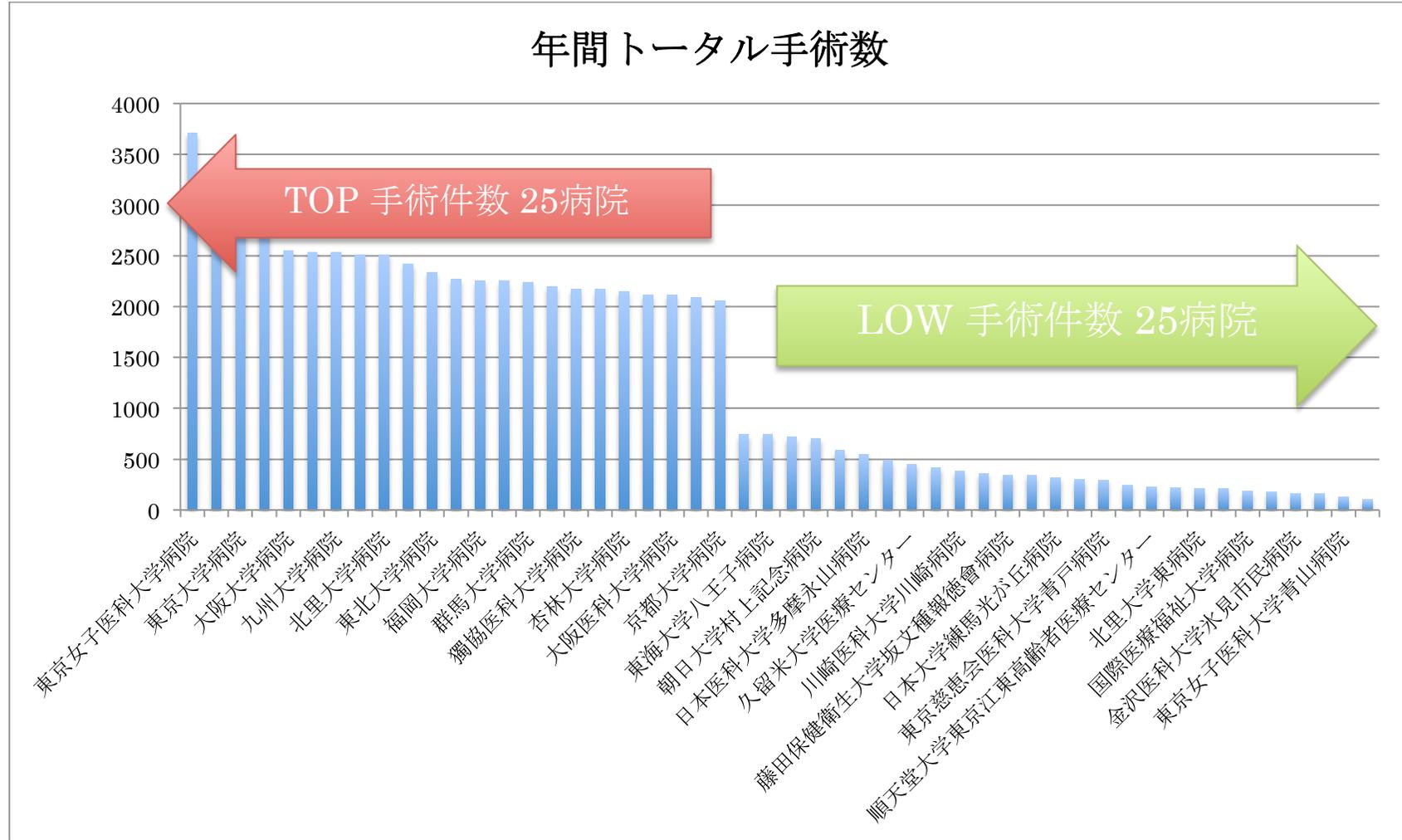
43. 森田., 寛. (2011 年). シミュレーション基盤型医学教育の潮流 2. 勤務医ニュース No. 102, (9 月 15 日号)
44. 橋爪誠. (2008). タイの研修医の内視鏡トレーニングを指導. Retrieved 1/21/2013, 2013, from <http://www.ntt.com/ict/library/future/enkaku.html>
45. 武藤, 徹. (1998). 外科と医学教育. 日本外科学会雑誌, 99(9), 606-611.
46. 水越, 敏, & 佐伯, 胖. (1996). 変わるメディアと教育のありかた. 京都: ミネルヴァ書房, 1996. 5.
47. 河合, 隆, & 野呂, 影. (1999). 外科手技教育と立体映像システム(シミュレータと医学教育). 医科器械学, 69(3), 130-134.
48. 清水, 康, 中山, 実, 宇井, 修, 菅井, 勝, 前迫, 孝, 山内, 祐, . . . 長谷川, 正. (1997). ハイビジョンによる衛星遠隔教育の実施と評価. 日本教育工学雑誌, 21, 85-88.
49. 清水, 康, & 城間, 真. (1990). ハイビジョンによる遠隔講義実験の評価. テレビジョン学会誌, 44(12), 1717-1722. doi: 10.3169/itej1978.44.1717
50. 湯川, 次. (2012). よくわかる教育の基礎. 東京: 学文社, 2012. 4.
51. 炭野, 重, & 岩本, 哲. (1997). 大画面ディスプレイを用いた遠隔型集合教育システムの検討. 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学, 96(578), 41-48.
52. 独立行政法人 情報通信研究機構 広報部 報道担当. (2012/02/09). 手術用ロボット da Vinci を使った裸眼 3D 映像をライブ伝送.
53. 田中, 耕. (2005a). よくわかる教育評価. 京都: ミネルヴァ書房, 2005. 12.
54. 田中, 耕. (2005b). よくわかる教育評価. 京都: ミネルヴァ書房, 2005. 12.
55. 田中, 耕. (2007). よくわかる授業論. 京都: ミネルヴァ書房, 2007. 3.
56. 田中, 耕. (2009). よくわかる教育課程. 京都: ミネルヴァ書房, 2009. 9.

57. 病院.com. Retrieved 1/21/2013, 2013, from <http://www.cgj.co.jp/hospital/>
58. 白戸, 仁, 佐々木, 整, & 竹谷, 誠. (2000). バーチャルリアリティ技術を用いた遠隔教育システムの開発と適用(次世代教育(学習)支援システム論文特集). 電子情報通信学会論文誌. D-I, 情報・システム, I-情報処理, 83(6), 619-626.
59. 石政, 寛, & 村田, 英. (2006). 鼻科手術教育における解剖学的知識と手術手技の客観的評価法の検討. 金沢医科大学雑誌, 31(1), 62-72.
60. 石橋菅原. 石橋研究室と菅原研究室.
61. 私たちの取り組み - 腹腔鏡手術 | 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科泌尿器病態学. Retrieved 1/20/2013, 2013, from <http://www.uro.jp/okayama/torikumi/torikumi03.html>
62. 統計局. 高齢者人口の現状と将来. Retrieved 1/16/2013, 2013, from <http://www.stat.go.jp/data/topics/topics051.htm>
63. 群馬, 大. (a). 人体解剖と CT の統合による先駆的医学教育. ().
64. 群馬, 大. (b). 人体解剖と CT の統合による先駆的医学教育. ().
65. 荒田, 純, 高橋, 弘, PITAKWACHARA, P., 割澤, 伸, 田上, 知, 小西, 晃, . . . 橋爪, 誠. (2006). 低侵襲手術支援システムによる日本-タイ遠隔手術実験. Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery : J. JSCAS, 8(3), 174-175.
66. 近藤, 喜, 鈴木, 龍, 宇都, 由, & 井形, 昭. (1996). 教育利用のための圧縮画像/広帯域画像比較実験. 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-情報処理, 79(10), 1734-1740.
67. 遠隔対話における視覚情報の有無が言語的情報伝達過程に及ぼす影響. Retrieved 1/12/2013, 2013, from <http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00018522>
68. 酒井, 朗, 多賀, 太, & 中村, 高. (2012a). よくわかる教育社会学. 京都: ミネルヴァ書房, 2012. 4.
69. 酒井, 朗, 多賀, 太, & 中村, 高. (2012b). よくわかる教育社会学. 京都: ミネルヴァ書房, 2012. 4.

70. 鬼頭 正和, チウン チュンズン, 森 健策, 北坂 孝幸, 末永 康仁, 三澤 一成, & 藤原 道隆. (2008). 手術計画支援のための3次元CT像に基づく腹腔鏡手術シミュレータの構築. 電子情報通信学会技術研究報告.MI, 医用画像, 108(131), 47.
71. 黒澤 俊. (2004). 本当の教育評価とは何か : 子どもの力を伸ばす評価の仕方. 東京: 学陽書房, 2004. 8.
72. 黒田 嘉宏, 平井 真, 中尾 恵, 佐藤 寿彦, 黒田 知宏, 長瀬 啓介, & 吉原 博幸. (2006). 多指力覚提示装置を用いた臓器圧排シミュレータに関する研究(「教育・訓練」特集). 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 11(4), 515.

【付録】

病院.com 手術件数一覧



2D 3D 実験データ

直線

被験者	性別	年代	状況	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	最大値	最小値	傾き	反転	決定係数
1	男性	20代	2D	16.9	21.6	10.4	6.3	6.9	9.2	15.3	14.5	7.3	15.9	12.43	21.6	6.3	-0.3594	0.35939	0.04484
2	男性	20代	2D	10.4	16.9	9.3	7.2	8.1	10.3	10.2	9.5	9.9	14	10.44	16.9	7.2	-0.0267	0.02667	0.00081
3	女性	20代	2D	20.7	18.1	17.3	6.8	6.7	6.5	8.6	12.4	6.6	27.4	13.04	27.4	6.5	-0.2394	0.23939	0.00961
4	女性	20代	2D	10.6	8	8.5	7	10.3	13.6	7.5	11.2	15	6.4	9.81	15	6.4	0.17879	-0.1788	0.03566
5	男性	20代	2D	22.6	13.8	9.8	9.1	9.9	10.8	15.9	8.6	8.7	8.5	11.12	22.6	8.5	-0.8927	0.89273	0.35718
6	女性	40代	2D	9.5	9.4	7.9	9.3	9.1	9	7.7	13.6	7.4	7.9	9.08	13.6	7.4	-0.0291	0.02909	0.00247
7	女性	20代	2D	20.8	24.5	17.7	18.8	20.3	15.2	12.9	16.2	12	20.2	17.86	24.5	12	-0.7467	0.74667	0.34364
8	男性	20代	2D	19.8	26.3	16.8	28.3	16.3	11.9	14.9	13	15.3	14.6	17.72	28.3	11.9	-1.1358	1.13576	0.39063
9	女性	20代	2D	11.4	15.2	11.3	7.7	13.4	11.7	10.6	18	7.1	8.3	11.39	18	7.1	-0.2673	0.26727	0.05641
10	男性	20代	2D	47.1	20.2	12.3	15.8	13.1	14.8	14.7	11.2	9.8	10.7	16.97	47.1	9.8	-2.4697	2.4697	0.46153
			平均	15.8556	17.0889	12.1111	11.1667	11.2222	10.9111	11.5111	13	9.92222	13.6889	12.5433	20.8778	8.144444	-0.3909	0.39091	0.13791

11	男性	20代	3D	19.4	25.2	16.7	14.7	14.4	17.9	8.2	6.2	19	11.8	15.35	25.2	6.2	-1.0927	1.09273	0.34705
12	男性	30代	3D	23	30.3	13.4	28.1	14.5	14.1	12.3	25.6	7.9	17	18.62	30.3	7.9	-1.1976	1.19758	0.22915
13	女性	20代	3D	16.5	12.1	21.7	8.6	26.1	14	17.2	11.5	10.3	9.4	15.04	26.1	8.6	-0.6897	0.6897	0.13505
14	女性	20代	3D	13.5	6.5	7.4	9	11.2	9.3	11.3	6.2	6.4	5	8.58	13.5	5	-0.4739	0.47394	0.27205
15	男性	20代	3D	14.3	14.5	17.1	9.5	11.3	9.3	5.8	6.9	15.6	4.1	10.84	17.1	4.1	-0.8982	0.89818	0.37402
16	女性	50代	3D	15.2	13.5	11.3	10.5	13.6	13.8	9.9	7.5	8.9	9.8	11.58	15.2	7.5	-0.6145	0.61455	0.55107
17	男性	20代	3D	27.5	11.6	7.3	10.4	11.2	9.7	11.6	5.4	9.1	5.9	10.97	27.5	5.4	-1.3291	1.32909	0.41672
18	女性	20代	3D	15	15.2	10.3	12.9	11.9	11.5	15.8	9.9	7.3	8.7	11.85	15.8	7.3	-0.6406	0.64061	0.45259
19	男性	30代	3D	11.4	8.9	9.6	8.2	15.7	8.6	11.8	11.1	6.1	10.3	10.17	15.7	6.1	-0.1109	0.11091	0.01678
20	男性	20代	3D	10.8	22.9	11.8	18.3	9.7	10.4	8.6	8.8	7.8	7.1	11.62	22.9	7.1	-1.1055	1.10545	0.43865
			平均	16.66	16.07	12.66	13.02	13.96	11.86	11.25	9.91	9.84	8.91	12.462	20.93	6.52	-0.8153	0.81527	3.23314

遅延データ

条件		1		3	4	5	6	7	8	9	10	
遅延		1 delay 15										
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
遅延		1	3.2	10.2	10.6	10.8	6.5	6.8	17.8	8.5	10.3	7.9
遅延		2	23.4	10.6	10.7	21.9	9.5	9.8	69.8	24.2	17.2	16.4
遅延		3	45.2	24.4	19.4	17.8	21.9	9.9	10.2	33.3	25.5	28
遅延		4	43.6	33.5	25.5	45.8	18	17.7	8.3	26.8	27.2	13.3
遅延		5	32	32.8	35.2	18	16.1	18.8	9.6	14.1	20.4	13.2
遅延		6	30.1	17.1	24.7	14.8	16	16.8	14.3	7.2	10.1	12.3
遅延		7	23	45.1	18.6	19.5	26.1	14.6	15.7	8	5	9.7
遅延		8	13.3	18.9	25.8	18.1	16.5	8.5	12.6	19.5	34.5	20.9
遅延		9	18.9	10	13.2	9.8	12	7.6	10.5	7.3	12.4	20.9
遅延		10	15.3	19.4	7.3	17.4	10.9	7	17	35.7	9.1	5.7
遅延		2 delay 15	0	0								
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
遅延		1	14.6	4.3	3.6	9.6	5.9	3	3.4	10.6	0	0
遅延		2	22.7	20.5	7.5	11.7	10.9	5.2	10.3	2.2	0	0
遅延		3	15.8	13.8	21.2	20.4	5.6	11.1	12.1	8.2	0	0
遅延		4	37.5	9.8	3.2	4.8	17.2	10.4	6.3	6.8	0	0
遅延		5	42.4	13.2	10.9	32.8	23.4	31.7	19	9.6	0	0
遅延		6	12.9	8.7	10	9.1	8.5	6.7	7.2	5.3	0	0
遅延		7	13.9	32.8	25.5	15.3	7.2	11.4	21.1	3.5	0	0
遅延		8	26.9	38.7	19.1	8.9	22.8	7.7	7.9	4.6	0	0
遅延		9	38.5	20	7	8.1	8.5	5.2	11.3	5.4	0	0
遅延		10	45.3	20	15.7	12.9	21.9	11.2	20.8	4.2	0	0
遅延		3 delay 15	delay 0	delay 15		0	0	0				
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
遅延		1	9	10.2	14.8	10	28.1	10.4	5	0	0	0
遅延		2	11.2	9.5	5.7	6.5	5.6	6.5	4.4	0	0	0
遅延		3	22.1	7.2	9.6	14.2	10.4	3.1	13.3	0	0	0
遅延		4	9.4	9.7	20.9	15	6.1	2.6	7.2	0	0	0
遅延		5	3.4	13.7	11.3	19.8	23.9	12.2	5.8	0	0	0
遅延		6	26.3	29.3	5.1	12.5	13.5	8.5	14.7	0	0	0
遅延		7	14.6	9.1	8.4	12	10.7	4.3	4.3	0	0	0
遅延		8	7.2	16.8	18	8.8	12	3.6	5.9	0	0	0
遅延		9	4.8	22.3	7.4	8	15	6.2	6.6	0	0	0
遅延		10	26	20.1	20	6.8	4.8	4.7	7.8	0	0	0
遅延		4 delay 15	delay 15									
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
遅延		1	54.3	33.7	7.1	11.8	10.8	11.7	11.6	8.9	13.5	10.9
遅延		2	15.5	22.6	20.1	13.8	6.7	10.8	12.7	9.3	10.3	8.9
遅延		3	56.6	15.5	14.2	13.3	27.7	14.8	18.3	12.7	16	14.7
遅延		4	46.1	45.5	53.4	17.3	19.5	44.3	15.3	28.7	22.8	27.5
遅延		5	31.7	13.4	33.2	10	19.6	11.9	16.8	19.7	23.7	17.9
遅延		6	39.4	15.5	33.7	27.3	17.3	15.9	19.1	41.1	15.4	19.4
遅延		7	20.2	14.3	16.3	13.8	15.3	16.8	9.4	17.4	12.2	14.2
遅延		8	13.7	23.1	18.5	13.4	30.6	13.6	14.6	23.2	24.5	8.1
遅延		9	20.8	26.1	29.7	8.3	18.5	13.1	11.8	17.9	23.3	10.5
遅延		10	46.4	22.8	20.1	21.4	14.7	14.3	40	11.9	26.2	23.1

遅延データ

遅延	5	delay 15									
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延	1	82.6	12.5	7	10.6	9	8.2	10.1	7.5	13.3	17
遅延	2	18.1	28.8	16.9	14.9	10.5	20.4	6	8.6	11.1	8.1
遅延	3	35.3	27.4	51.3	26.4	11.3	18.6	17.7	19.6	15.1	13.9
遅延	4	25.8	13.7	27.2	22.2	20.3	37.9	13.4	15.8	16.3	11.8
遅延	5	14.4	15.8	27.9	12	15	21.6	11.9	14.5	13.9	38.3
遅延	6	10.7	16.9	7.4	12.4	22.8	14.9	15.3	6.7	11.9	17.4
遅延	7	10.4	13.2	18.6	23	23.6	17.8	12.3	22.5	23.8	21.6
遅延	8	32.6	10.7	12.5	17.7	10.4	15.3	19.2	8.4	18.1	20.4
遅延	9	17.5	11.4	8.9	7.3	14.2	10.2	33.3	24.8	29.8	10.3
遅延	10	82.7	10.3	15.7	12.1	34.3	10.6	10.2	11.4	28.6	16.2
遅延	6	delay15									
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延	1	22.3	10.2	27.7	19.2	9.6	18.6	14.2	12.7	9.3	12.7
遅延	2	28.3	18.6	29.2	16.2	12.8	9.8	8.9	25.7	17.8	14
遅延	3	72.5	18.8	19.5	10.3	25.4	14.8	9.7	18.5	9.2	12.6
遅延	4	33.4	2.3	21	20.9	12.8	39.9	13.3	10	14.7	19.6
遅延	5	49.5	28.3	13.1	26	26	30.8	18.2	28.1	40	14.5
遅延	6	34.4	8	17.3	62.6	25.2	25.1	11	22.1	8.9	9.7
遅延	7	28.6	34.7	60.3	73.6	13.6	17.7	21.8	26.8	18.8	17.2
遅延	8	21	9.2	48.5	15	23	16.6	10	12	10.9	12
遅延	9	27.2	6.5	63.1	18.6	16.9	39	10.5	27.6	32.5	9.9
遅延	10	45.3	19.4	62.7	24.6	15.7	24.5	19.4	29.6	25.9	15.2
遅延	7	delay 15									
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延	1	33.6	8	9.6	11.3	6.6	5.7	5	7.6	4.4	7.5
遅延	2	25.9	10.9	9.6	5.1	3.8	5.6	4.6	7.4	3.8	16.7
遅延	3	37.7	33.9	28.5	29.4	36.7	7.5	7.7	22.1	21.4	16.8
遅延	4	34.9	45.5	8.5	34	15.2	7.3	11.6	5.1	5.5	10.4
遅延	5	39.4	17.2	5.3	26.3	33.6	10.2	19.7	8.8	8.8	17
遅延	6	12.6	34.8	7	10.4	16.1	5.1	21.9	7.3	14.8	9.3
遅延	7	15.2	38.2	65	19.9	56.2	8.9	16.2	25.4	19.3	11.8
遅延	8	38.9	17.9	16.8	33.5	22.9	17.5	8	18.2	8.6	10.8
遅延	9	52.4	35.1	41.1	32.2	54.2	36	24.9	20.5	20.1	40.4
遅延	10	43	38	13.6	21.8	35.2	7.3	7.3	27.9	18.6	27.3
遅延	8	delay 15									
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延	1	22.6	6.9	12.9	12	7.7	15.4	9.6	17.8	14	8.5
遅延	2	36	15.3	34.5	14.4	15.5	15.3	40.6	23.4	10.6	13.5
遅延	3	78.8	16.9	11.6	14.7	17.1	10.3	7.1	8.8	10.1	9.6
遅延	4	27.8	22.3	13.2	13.5	10.4	18.1	23.5	15.6	13.1	10.8
遅延	5	13.7	11.8	10	37.5	11.6	21.8	23	23.2	22.2	15.1
遅延	6	43.1	34.3	18.2	28	20.6	14.7	9.9	17.8	9.7	17.6
遅延	7	52.3	43.7	10.2	35.1	25.4	30.2	13.1	8.5	11.4	22.9
遅延	8	33.6	14.1	45.3	32.2	49	38	9.4	13.1	23.3	32.4
遅延	9	49.5	24.2	20.4	48.1	10.9	8.2	14.4	5.7	18.5	10
遅延	10	32.7	28.7	10.6	45.1	15.1	14.8	10.7	10.3	7.5	9.5

遅延データ

遅延	9	delay 15									
遅延	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延	1	11.4	10.1	13.4	12.7	9.8	16.6	18.5	4.1	12.3	12.7
遅延	2	55	9.6	14.4	12.6	10	8.7	16.1	10	5.4	7.2
遅延	3	27.2	15.4	7.5	15.4	6.8	6.6	6.8	5.8	6.8	8.1
遅延	4	14.3	20.1	13.1	12	10.7	6.9	8.9	9.5	9.4	24.2
遅延	5	15.2	14.4	10.6	13.1	13.2	13.5	8.6	6.7	7	5.9
遅延	6	15.8	68.9	10.8	11	7.9	16.4	6.8	11.5	6.3	15
遅延	7	9.9	34.7	17.2	9.7	9.4	10.2	6.9	16.2	6	11.8
遅延	8	19	7.9	7.6	5.9	9.4	5.8	8.6	11.3	9	13.7
遅延	9	9.3	12.2	8.5	5.4	9.4	5	7.7	9.7	6	8
遅延	10	10.6	22.6	29	5.6	10.4	7.4	12.8	7.5	7.2	5.8
遅延4	10	delay 4									
遅延4		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
遅延4	1	13.6	5.9	4.3	6.4	3.2	3.7	5	5.3	9.8	3.1
遅延4	2	7.2	16.8	8.6	6.1	4.6	8.6	9.8	10	6	6.9
遅延4	3	6.9	24.7	11.1	8.6	6.3	10.1	9	6.2	6.3	3.9
遅延4	4	11.6	6.9	9.5	11.3	8.7	8.4	9.7	7	11.9	7.7
遅延4	5	15.5	11.7	9	7.6	9	11.3	12.6	6.9	6.7	4.7
遅延4	6	11.4	10.5	5.1	6.2	10.6	12.4	5.9	4.9	10.5	4.7
遅延4	7	17.4	10.8	8.2	9.6	10.8	6.7	13.2	6.1	6.1	8.9
遅延4	8	16.5	5.1	12.6	5.7	6.3	7.8	5.1	9.4	8.7	5
遅延4	9	14.9	14.5	6.5	10.1	5.2	10.7	5.7	7.2	6.2	6.1
遅延4	10	18.8	6.3	14.9	5.7	12.3	7.9	7.7	7.5	5.1	5.4
遅延4	11	delay 4									
遅延4	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延4	1	18.9	4.7	8.3	10	5.3	4	6.1	4.7	4.6	3.4
遅延4	2	5.5	5.6	10	9	4	4.3	9.2	11.7	3.4	6.1
遅延4	3	10.2	6.4	7	9.8	6.2	6.7	5.9	4.6	7.4	5.2
遅延4	4	7.2	9.1	10.6	10.5	8.7	7.6	10.6	8.3	7.2	6.4
遅延4	5	8.2	7.9	9.1	7.9	9.7	8.2	7.7	6.7	6.3	7.7
遅延4	6	12.3	7.5	12.2	6	8.1	7.6	10.7	6.1	5.9	7.2
遅延4	7	5.6	7.5	7.3	5.6	5.8	6.5	6.6	6.7	5.1	15.6
遅延4	8	8.1	6.4	5.1	4.5	5.9	5.1	7.9	4.8	5.5	9.4
遅延4	9	9.9	6.8	4.8	4.8	4.1	4.3	5.5	4.9	7.1	14.2
遅延4	10	9.5	15.1	4.5	7.1	5.6	5.4	4.4	3.5	8.4	5.1
遅延4	12	delay4									
遅延4	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延4	1	15.9	5.7	4.2	15.4	3.5	9.9	8	8.8	8.3	9.2
遅延4	2	22.2	14.8	15.9	12.1	5.8	10.5	9.7	7.9	7	9
遅延4	3	21.9	16.7	16	19.3	10.5	15.1	11	9	9.2	12.3
遅延4	4	25.1	18.2	21.2	14.1	13.5	16.3	16.6	11.8	12.6	11.4
遅延4	5	17.1	13.3	17.3	12.3	14.4	16.8	10.9	11.5	11.1	9.6
遅延4	6	14.2	12.5	11.5	9.8	10.8	13.5	9.6	9.5	8.9	10.4
遅延4	7	32	9.9	13.3	10.9	7.4	14	10.4	9.4	9.8	6.5
遅延4	8	6.5	6.2	9.6	7.8	5.5	6.7	5.4	5.6	6.6	4.8
遅延4	9	6.6	9.5	12.6	8.8	8.4	10	5.7	6.6	7.8	8.1
遅延4	10	9.5	8.9	9.1	82	5.3	3	6.1	5.1	5.7	4.7

遅延データ

遅延4	13	delay4									
遅延4	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延4	1	34.7	19.1	6.7	19.4	9.9	3.3	15.1	8.7	9.2	3.6
遅延4	2	17.3	16.4	14.1	7	16.3	14.2	16.8	21.5	11.3	14.4
遅延4	3	11.1	25.4	17.5	7.1	20	15.2	4.6	19	14.6	3.7
遅延4	4	19.3	26.2	20.1	29.4	22.7	8.3	8.7	6.4	12.9	7
遅延4	5	6.6	17.2	16.2	19.5	19.3	21.6	13.4	16.7	11.2	3.4
遅延4	6	23.8	22.1	19.7	17.3	5.9	12.5	6.4	10.2	5.3	9.1
遅延4	7	51.5	12.5	23.2	8	4.8	14.1	5.9	18.5	17.1	4.5
遅延4	8	28.8	14.4	14.8	21.1	11.5	13.5	9.5	20.7	5.7	6.3
遅延4	9	15.1	17.8	26.1	53.8	12.4	22.2	16.2	15.3	12.3	17.9
遅延4	10	12.5	10.6	8	16.6	7.7	9	13.8	12.4	6.1	7.3
遅延4	14	delay4									
遅延4	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延4	1	9.3	24.5	17.2	12.5	7	6.3	9.5	12.7	12.6	11.5
遅延4	2	30.1	17.2	5.9	51.2	53.7	7.8	15.9	9.4	11.2	10
遅延4	3	7.3	17.8	14.2	9.1	11.7	5.8	4.2	6.5	4.2	8.9
遅延4	4	24.4	12	16.9	12.2	27	24.7	16.6	28.8	22.9	10.4
遅延4	5	7.6	18.2	13.1	6.6	4.2	12.6	18.5	13.5	8.4	4.7
遅延4	6	29.6	20.9	38.3	9.4	9.4	15	9.4	9.8	14.9	20.4
遅延4	7	13.5	13.1	12.1	8	7.9	7.3	8	3.5	6.3	9.6
遅延4	8	19.7	11.8	11.2	11.6	16.8	11.8	7.4	5.6	13.7	22.5
遅延4	9	7.3	18.9	6.5	6.3	4.5	32.6	6.8	7.1	5	14.5
遅延4	10	15.6	11.1	7.2	18.1	8.4	2.4	9.5	2.4	6.8	6.7
遅延4	15	delay4									
遅延4	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延4	1	7.5	2.2	4.8	3.4	7.5	4.9	5.6	4.1	7.7	4
遅延4	2	14.2	9.1	11.2	2.7	13.7	8.8	9.7	4.2	5.4	4
遅延4	3	13.5	10.3	7.3	4.7	10	5.7	3.3	8.9	8.8	3
遅延4	4	16.9	11.4	10.2	10.3	8.9	11.3	6.8	12.2	9.3	6.9
遅延4	5	15.2	9.1	10.6	9.3	6.3	5	9.3	9.1	8.1	5
遅延4	6	10	6.4	8	6.6	8.4	9	5.9	5.9	6.5	6.4
遅延4	7	11	3.9	15.4	10.9	5.9	6.6	7.2	9.5	5.8	6.9
遅延4	8	7.7	11.7	2.9	5.9	6.6	4.9	4.5	4.9	4.5	8.6
遅延4	9	8.2	7.4	14.1	5.6	14.9	7.1	10.1	8.3	7.1	14.2
遅延4	10	2.3	6.9	7.4	2	20.4	7.3	5.5	11.9	1.3	5.1
遅延4	16	delay4									
遅延4	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延4	1	6.6	9.1	6.4	8.1	4.2	6.8	8.1	5.2	3.5	6
遅延4	2	2.8	8.6	8.9	9.1	6.2	3.6	7.2	3.5	4	4.7
遅延4	3	12.9	6.1	6.7	6.2	5	8.6	8.3	4.1	2.9	6.4
遅延4	4	21	13.6	6.4	3.9	4.1	5.9	10.9	5.2	4.5	0.3
遅延4	5	8.2	8.6	5.1	6.5	5.6	5.3	10.4	13.9	6.6	14.1
遅延4	6	6.3	5.7	4.2	8.1	10.8	7.5	3.7	8.7	4.9	6.2
遅延4	7	4.2	8.2	6.3	4.6	5	6.1	5.1	4.9	9.9	4.2
遅延4	8	7.4	6.2	5.2	4.4	5	8.5	3.3	2.6	3.7	8.1
遅延4	9	5.9	5.4	5.6	6.9	8.4	6.9	4.1	3.2	13	4
遅延4	10	6.4	5.9	3.6	5.4	5.7	3.5	6.1	4.3	7.6	7.7

遅延データ

遅延なし	17	delay 0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	3	4.6	3.7	3.8	8	4.3	6.1	6.9	3.2	5.2
遅延なし	2	24.4	8.6	6	9.2	17.1	6.8	6.2	6.4	15.1	5.9
遅延なし	3	10.7	15.8	25.9	5	10.6	6	8.8	11.2	10.6	9.5
遅延なし	4	21.1	14.5	12.1	11.4	13.6	13.1	11.6	11.9	13.6	10.7
遅延なし	5	8.6	9.6	9.6	6.3	7.9	5.9	5.4	8.6	9.8	11.3
遅延なし	6	15.6	12.9	8.5	12.2	13.8	6.6	9.3	8.7	10.2	6.7
遅延なし	7	9.9	9.1	11.8	6.4	4.1	7.6	14.5	9.5	9.4	7.3
遅延なし	8	27.4	7.4	11	6.2	8.5	7.7	6.4	6.6	6.7	2.8
遅延なし	9	9.7	5.6	5.1	3.5	9.1	7	5.1	6.2	8.8	6
遅延なし	10	9.6	15.9	5.4	3.4	7	8.7	9.9	7.5	5.4	4.9
遅延なし	18	delay 0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	4.3	7.7	3.3	3.4	4	3.4	4.6	2.6	2.7	5.3
遅延なし	2	12.7	12.5	9.3	11.9	4.1	5.4	4.2	4	5.6	4.4
遅延なし	3	8.5	12.3	6.7	8.9	4.5	3.3	5.2	7.1	4.8	4.1
遅延なし	4	6.7	14.4	11.4	8	4.8	5.3	4.8	3.2	10.6	6.2
遅延なし	5	4.5	4	8.8	3.4	3.7	4.9	2.1	2	3.1	3.2
遅延なし	6	9.5	4.4	5.7	5.9	4.5	3.8	4.3	4.6	3.6	3.5
遅延なし	7	5.4	4.2	7.1	3.9	3.3	3.9	4.5	4.1	5.3	4
遅延なし	8	5.4	6	5.4	4.7	6.8	9.6	4.8	4.2	5.1	4
遅延なし	9	12.1	6.6	6.7	5.8	2.8	3.1	3.5	3	4.7	2.4
遅延なし	10	7	3.4	5.5	4	2.4	4.2	4.8	1.9	1.9	4
遅延なし	19	delay0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	9.1	6.5	2.4	6.5	6.8	5.8	19.8	7.3	5.9	5.8
遅延なし	2	14.3	14.1	13.3	11.2	10.1	10.2	6.4	8.9	6.2	8.9
遅延なし	3	20.3	10.6	0.8	10.9	9.8	11.1	9.5	10.2	4.3	7.8
遅延なし	4	7.7	11.6	12.5	15.4	13.4	14.8	11.7	9.5	7.9	9.3
遅延なし	5	5.2	9.8	13.6	14.2	8.1	6.7	10.3	6.8	9.1	10.3
遅延なし	6	10.3	12.1	11	10.1	10	10.3	18.3	10.8	5.4	8.4
遅延なし	7	11.2	6.6	12.1	11.1	0.6	13	10.4	10.6	6.3	10.4
遅延なし	8	8.1	8.1	7.7	14.2	5.8	8.1	7.6	5	7.9	10.9
遅延なし	9	9	4	7.1	18.3	6.8	7.5	0.1	4.2	19.3	5.2
遅延なし	10	17.2	9.2	8.2	18.3	6.1	5.8	10.6	13.7	11.4	4.3
遅延なし	20	delay0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	9	3.6	5	3.8	3.6	3.2	4	4.9	4.3	6.8
遅延なし	2	9	2.5	2.9	5	3.8	3.1	3	4.7	4.6	5.8
遅延なし	3	10.1	7.7	6.7	6.4	5.5	5.3	4.1	4.6	6.4	4.2
遅延なし	4	8.3	14.1	4.6	4.9	5.3	7.6	5	4.2	7	4.5
遅延なし	5	3.9	5.4	5	3.2	10.6	4.3	4.9	7.7	5.5	4.3
遅延なし	6	7	8.3	5.6	3.8	6.4	7.3	4.1	6.1	3.6	4.9
遅延なし	7	6.2	5.2	5.7	5.2	5.6	3.8	2.9	5.6	3.9	4.5
遅延なし	8	5.4	7.1	4	6.3	3.7	6.3	4.4	3.7	4	3.6
遅延なし	9	4.9	8.2	3.7	4.6	5.4	4.5	3.5	2.4	4.4	4.2
遅延なし	10	3.1	6.8	2.7	5.4	4.9	4.7	4.4	3.7	3.8	2.9

遅延データ

遅延なし	21	delay 0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	4.7	4.1	2.4	2.8	2.6	1.4	7.9	3.5	2.8	4.9
遅延なし	2	11.6	5.2	6.4	3.3	3.8	3.3	2.3	2.8	4	2.5
遅延なし	3	20.9	10.8	8.5	4.9	6.7	7.3	4.1	5.3	5	5.3
遅延なし	4	10.8	5.1	4.7	5.6	4.2	5.8	12.9	7	4.1	3.8
遅延なし	5	7.8	6.7	5.6	5.3	4.1	6.5	5.5	3.2	5.2	5.2
遅延なし	6	7.7	5.5	4	3.4	3.7	3.6	3.9	3.5	4.2	3.2
遅延なし	7	7.9	5.1	5.3	5.6	3.6	3.7	4.5	3	3.6	3.4
遅延なし	8	15	3.9	5.4	5.8	4.8	6.5	4.3	5.3	3.8	2.5
遅延なし	9	13.1	4.3	3.5	3.8	3.5	3.4	2.9	6.6	3.2	4.2
遅延なし	10	24.6	3.8	2.9	3.9	4.3	3.8	2.4	4.9	3.6	2.8
遅延なし	22	delay 0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	18.7	8.1	10.8	13.6	6.5	4.8	7	3.5	4.5	3.4
遅延なし	2	14.9	19.6	5.4	4	4.7	10.9	47	5.1	4.7	5.1
遅延なし	3	17.7	12.3	13.2	6.6	9.5	7.4	5.8	5.8	6.8	5.2
遅延なし	4	12.2	29.2	10.1	8.8	12.4	10.9	9.4	13	10.1	6.8
遅延なし	5	13	10.9	4.8	5.5	6.9	6.5	6.5	7.6	5.3	6.6
遅延なし	6	17.3	5.2	5.6	4.2	4.6	4.9	7.2	4	4.4	8.5
遅延なし	7	10	4	5.9	3.4	6.8	3.4	6	5.2	5.4	5.1
遅延なし	8	6.6	13	4.2	5	3.5	12.3	5	4.9	2.9	3.6
遅延なし	9	4.7	3.7	4.4	3.9	3.9	4.9	3.5	5.1	2.7	3.6
遅延なし	10	3.7	3.8	9.4	2.8	4.8	2.8	8.2	3.5	3	7.1
遅延なし	23	delay 0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	6.8	21.7	6.5	4.6	5.7	4.6	2.6	4	4.6	3.6
遅延なし	2	12.4	5.8	7	13.5	6.6	6.7	11.3	2.8	5.8	11.5
遅延なし	3	2.8	10.1	5.1	4.9	8.3	13.9	7.1	3	2.6	8.9
遅延なし	4	30	13.5	6.5	11	11.3	6.6	5.3	7.2	6.8	5.5
遅延なし	5	13.5	4.4	6.7	8.5	10.9	6.2	4.8	12.2	4.3	4.2
遅延なし	6	18.8	13.1	7.5	5.9	11.4	6	6.7	13.7	6.1	10.3
遅延なし	7	9.1	5.4	18.9	11.4	9.2	4.1	9.1	3.3	4.4	6.7
遅延なし	8	8.9	7.8	6.6	8.1	10	7.6	9.6	8.6	5.8	4.6
遅延なし	9	4.6	3.5	6.9	4.7	2.7	6.6	9.4	10	3.1	2.8
遅延なし	10	13.6	9.5	17.8	6.7	8.1	3.1	7.6	5.2	12.4	2.7
遅延なし	24	delay0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	12.2	9.9	4.7	2.9	6.6	4.9	3.4	11.5	8.3	7.4
遅延なし	2	18.3	11.1	11.2	5.4	8	15.4	5.6	6	7.1	4.5
遅延なし	3	11.1	13.9	10.3	8.6	12	7.5	11.8	1.9	4	4.3
遅延なし	4	24.8	9.3	14.8	12.8	8.3	10.6	6.3	10.8	4.6	7.1
遅延なし	5	10.4	9.2	7.2	8	8.1	6.3	5.4	5.4	6.3	6.5
遅延なし	6	4.4	13.2	7.1	5.2	6.9	4.5	4.5	6.4	5.6	4.3
遅延なし	7	13.8	3.3	9.8	12.9	8	5.9	7.4	8.7	4.3	6.1
遅延なし	8	22.9	9.2	9.9	10.3	8.2	10.3	15.8	4.1	10.3	3.2
遅延なし	9	8.9	9.8	4.9	8.3	5	4.1	3.3	5.4	6.5	4.3
遅延なし	10	47.7	6.6	5.8	9.3	3.8	3.5	4.3	3.5	4.8	3.7

遅延データ

遅延なし	25	delay 0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	8.5	3.6	4.2	11.8	3.4	3.4	5.3	3.5	5.6	3.9
遅延なし	2	12.8	7.9	4.4	7.1	2.7	4.8	10	4.9	4.8	4.5
遅延なし	3	4.9	5.5	9.5	13.7	10.7	4.2	7.6	8	6.2	6.3
遅延なし	4	7.5	11.1	6.7	10	7.9	8.3	6.4	6.1	12.9	10.5
遅延なし	5	7.3	7.7	3.6	11.7	6.6	8.5	4.3	3.6	3.4	6.3
遅延なし	6	4.3	5.1	4.4	7.3	3.4	8	3.1	3.8	4.9	5.2
遅延なし	7	7.9	5	7.6	6.9	6	5.6	5.1	5.1	5.1	9.3
遅延なし	8	11.3	4.2	5.2	4.6	13.6	6.6	7.9	10.5	4.5	4.4
遅延なし	9	9.9	3.2	6.3	8.3	4.7	4.7	3.2	2.9	3.6	3.4
遅延なし	10	8.7	6.2	4.3	5.6	10.5	8.6	6.7	6.7	7.9	5.3
遅延なし	26	delay 0									
遅延なし	回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
遅延なし	1	3.3	4.2	12.8	15.6	6.5	5.8	5.1	3.5	8.4	4.2
遅延なし	2	16.3	11.2	7.3	4.9	11.1	9.7	4.6	13.5	3.4	9
遅延なし	3	21.5	6.9	7.7	16.6	5.5	5.8	9.4	5.1	3.7	4.4
遅延なし	4	16.8	14.9	13.3	9.4	7.3	10.5	8.9	10.4	9.1	8.4
遅延なし	5	15	1.5	6.9	11.9	7.1	9.2	4	8.5	8.9	10.7
遅延なし	6	26.1	9.2	7.6	3.7	10.1	7.2	7.7	6.8	6.3	7.3
遅延なし	7	14.9	7.1	8.2	5.7	4.4	3.9	4.5	4.7	6.6	2.9
遅延なし	8	17.1	5.8	30.2	5.6	8.7	6.6	4.9	10.1	6	6.9
遅延なし	9	5.2	22	4.5	4.3	4.7	9.5	5.9	4.4	6.9	3.4
遅延なし	10	12	17.8	7.2	13.5	8.5	9.5	11.9	6.6	3.2	8.4

遅延データ 各条件まとめ

条件	回									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
遅延なし	140	104	99.1	67.4	99.7	73.7	83.3	83.5	92.8	70.3
遅延なし	76.1	75.5	69.9	59.9	40.9	46.9	42.8	36.7	47.4	41.1
遅延なし	83.1	59.5	56.2	87	69.5	62.7	59.6	55.1	58.9	59.1
遅延なし	148.2	100.6	105.7	91.2	73.9	77.7	66.9	73.6	62.5	65.6
遅延なし	124.1	54.5	48.7	44.4	41.3	45.3	50.7	45.1	39.5	37.8
遅延なし	118.8	109.8	73.8	57.8	63.6	68.8	105.6	57.7	49.8	55
遅延なし	120.5	94.8	89.5	79.3	84.2	65.4	73.5	70	55.9	60.8
遅延なし	174.5	95.5	85.7	83.7	74.9	73	67.8	63.7	61.8	51.4
遅延なし	66.9	68.9	45.9	48.6	54.8	50.1	40.3	47.6	47.5	42.8
遅延なし	112.4	92.6	88.7	130.2	77.5	93.3	104.7	87	83.7	81.3
平均	116.46	85.57	76.32	74.95	68.03	65.69	69.52	62	59.98	56.52
遅延4	112.4	92.6	88.7	130.2	67.5	93.3	104.7	87	83.7	81.3
遅延4	133.8	113.2	89.8	77.3	77	87.6	83.7	70.5	77.3	56.4
遅延4	95.4	77	78.9	75.2	63.4	59.7	74.6	62	60.9	80.3
遅延4	171	115.7	130.7	119	85.1	115.8	93.4	85.2	87	86
遅延4	220.7	181.7	166.4	199.2	130.5	133.9	110.4	149.4	105.7	77.2
遅延4	164.4	165.5	142.6	145	150.6	126.3	105.8	99.3	106	119.2
遅延4	106.5	78.4	91.9	61.4	102.6	70.6	67.9	79	64.5	64.1
遅延4	81.7	77.4	58.4	63.2	60	62.7	67.2	55.6	60.6	61.7
平均	135.7375	112.6875	105.925	108.8125	92.0875	93.7375	88.4625	86	80.7125	78.275
遅延*	270.5	181.8	123.7	133.6	131.9	103.6	119.4	84.99547598	75.82606665	67.62375051
遅延*	134	147.9	121.2	113.6	130.1	120.7015367	119.1014527	117.7153968	116.4928089	115.3991667
遅延	248	222	191	193.9	153.5	117.5	185.8	184.6	171.7	148.3
遅延	344.7	232.5	246.3	150.4	180.7	167.2	169.6	190.8	187.9	155.2
遅延	330.1	160.7	193.4	158.6	171.4	164.9	149.4	139.8	181.9	175
遅延	362.5	156	362.4	287	181	236.8	137	213.1	188	137.4
遅延	333.6	279.5	205	223.9	280.5	111.1	126.9	150.3	125.3	168
遅延	390.1	218.2	186.9	280.6	183.3	186.8	161.3	144.2	140.4	149.9
遅延	187.7	215.9	132.1	103.4	97	97.1	101.7	92.3	75.4	112.4
平均	289.0222222	201.6111111	195.7777778	182.7777778	167.7111111	145.0779485	141.1334947	146.4234303	140.3243195	136.5803241

遅延データ 分析

条件	最大値	最小値	手技:合計時間(秒:補正済み)	手技:合計時間(分)	対数近似曲線係数	決定係数	切片	切片修正	修正後2項近似曲線	最小回数への到達
遅延なし	140	67.4	913.8	15.23	-23.12482459	0.628690971	126.3086891	-0.647697665	0.647697665	7.36365026
遅延なし	76.1	36.7	537.2	8.953333333	-18.8174735	0.817673441	82.14268834	-1.119345981	1.119345981	8.658929547
遅延なし	87	55.1	650.7	10.845	-8.064700808	0.274939062	77.25125683	-0.142595129	0.142595129	30.42673267
遅延なし	148.2	62.5	865.9	14.43166667	-34.29454531	0.917957141	138.3898961	-1.277789001	1.277789001	8.341719198
遅延なし	124.1	37.8	531.4	8.856666667	-28.10492214	0.655551989	95.59083394	-0.353132722	0.353132722	7.116593685
遅延なし	118.8	49.8	760.7	12.67833333	-25.74704573	0.547584418	114.9594001	-1.13701723	1.13701723	9.01627907
遅延なし	120.5	55.9	793.9	13.23166667	-25.0349569	0.927220211	117.2038318	-1.065508873	1.065508873	9.864603817
遅延なし	174.5	51.4	832	13.86666667	-43.51354244	0.851524536	148.9246498	-1.169026955	1.169026955	8.034710221
遅延なし	68.9	40.3	513.4	8.556666667	-10.67382873	0.66813347	67.46219129	-0.550742596	0.550742596	8.289928058
遅延なし	130.2	77.5	951.4	15.85666667	-9.770078705	0.194799614	109.89713	-0.335493951	0.335493951	-1.244262295
平均	118.83	53.44	735.04		-22.71459189	0.648407485	107.8130567	-0.77983501	0.77983501	9.586888423
遅延4	130.2	67.5	941.4	15.69	-9.974789989	0.171080018	109.2063343	-0.29	0.29	-30.99090909
遅延4	133.8	56.4	866.6	14.44333333	-27.8331514	0.853100329	128.7003402	-0.334711422	0.334711422	9.181088435
遅延4	95.4	59.7	727.4	12.12333333	-10.87437353	0.497680441	89.16510243	-0.44	0.44	6.595349778
遅延4	171	85.1	1088.9	18.14833333	-33.79266897	0.800350763	159.9318414	-0.340555484	0.340555484	8.911076711
遅延4	220.7	77.2	1475.1	24.585	-53.28807324	0.758628705	227.9985043	-0.777728977	0.777728977	34.45333333
遅延4	165.5	99.3	1324.7	22.07833333	-28.96463171	0.747825944	176.2193747	-0.509473922	0.509473922	12.12480729
遅延4	106.5	61.4	786.9	13.115	-14.63965172	0.429197756	100.8023339	-0.134753194	0.134753194	13.19411765
遅延4	81.7	55.6	648.5	10.80833333	-9.01293326	0.620627991	78.46350635	-0.34	0.34	7.191737892
平均	138.1	70.275	982.4375		-23.54753424	0.609811493	133.8109172	-0.395902875	0.395902875	7.582575249
遅延*	270.5	60.4	1406.125	23.43541667	-102.5912929	0.864621741	246.8849311	-0.25	0.25	37.77192118
遅延*	147.9	62.1	1119.857143	18.66428571	-67.05745004	0.671529345	139.2990229	-0.110051635	0.110051635	-1.311460674
遅延	248	117.5	1816.3	30.27166667	-39.1169039	0.596129606	240.7137855	-0.258813255	0.258813255	7.394721977
遅延	344.7	150.4	2025.3	33.755	-68.53757632	0.729375584	306.051983	-0.305619059	0.305619059	7.212677128
遅延	330.1	139.8	1825.2	30.42	-53.30106937	0.52121089	263.0281342	-0.030721787	0.030721787	6.613418358
遅延	362.5	137	2261.2	37.68666667	-73.72052042	0.401979087	337.4705156	-0.35614464	0.35614464	19.45423829
遅延	333.6	111.1	2004.1	33.40166667	-88.00803439	0.699265918	333.3409661	-0.22	0.22	8.627393208
遅延	390.1	140.4	2041.7	34.02833333	-91.23589496	0.744206645	341.9764599	-0.39558981	0.39558981	8.694439024
遅延	215.9	75.4	1215	20.25	-52.24615168	0.718112854	200.414743	-0.476683088	0.476683088	7.445196193
平均	293.7	110.4555556	1746.086905		-70.64609933	0.66071463	267.6867268	-0.267069253	0.279952615	11.32250497