

Title	切り絵初心者の上達を目的とする タブレットを用いた 切り絵練習帳に関する研究
Author(s)	東, 孝文
Citation	
Issue Date	2014-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/11996
Rights	
Description	Supervisor:金井秀明, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

切り絵初心者の上達を目的とする タブレットを用いた切り絵練習帳に関する研究

指導教員 金井秀明 准教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識科学専攻

1250032 東 孝文

審査委員： 金井 秀明 准教授（主査）
池田 満 教授
神田 陽治 教授
林 幸雄 准教授

2014 年 2 月

目次

第1章

はじめに	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 切り絵とは	4
1.3 切り絵教室による事前調査	7
1.4 切り絵練習帳とは	8
1.5 論文構成.....	10

第2章

関連研究	11
2.1 切り絵に関する支援システム	12
2.2 切り絵以外の芸術活動に関する支援システム	14

第3章

予備実験	18
3.1 予備実験の内容	19
3.2 予備実験の結果	20
3.2.1 切る順番	21
3.2.2 デザインナイフの筆圧の違い	25
3.2.3 切り抜く動作の違い.....	29

第4章

実装システム	31
4.1 システム構成	32
4.2 システムの流れ	34
4.3 切り絵練習帳に持たせる機能について	36

4.3.1	なぞる順番に枠を表示する機能.....	37
4.3.2	適切な筆圧でのみ筆跡を表示する機能.....	39
4.3.3	なぞり始め,なぞり終わりを強調する機能.....	41
第5章		
実験		42
5.1	実験内容.....	43
5.2	比較方法.....	47
5.2.1	切る順番の違いの比較方法.....	48
5.2.2	デザインナイフの筆圧の違いの比較方法.....	51
5.2.3	切り抜く動作の違いの比較方法.....	52
5.3	実験結果.....	53
5.3.1	グループ1とグループ2の比較.....	54
5.3.2	グループ1とグループ3の比較.....	58
5.3.3	グループ1とグループ4の比較.....	60
5.3.4	グループ5とグループ6の比較.....	62
5.4	実験の考察.....	66
第6章		
おわりに		70
6.1	まとめ.....	71
6.2	今後の課題.....	73

目 次

図 1：3DCAD と 3D プリンタ	2
図 2：3D プリンタによるヤドカリの貝殻の芸術作品	3
図 3：クラフトアートの例	3
図 4：切り絵の作品	5
図 5：紙切りの作品	5
図 6：本研究で利用したデザインナイフ	6
図 7：ペン字のための練習冊子	9
図 8：ずれる状況とずれない状況	13
図 9：実行画面 1	13
図 10：実行画面 2	16
図 11：実行画面 3	16
図 12：実行画面 4	17
図 13：予備実験で利用した画像	19
図 14：初心者の切る順番	22
図 15：熟練者の切る順番	24
図 16：初心者が切った円	27
図 17：熟練者が切った円	27
図 18：紙を千切ることでできる跡	30
図 19：タブレット(左), タッチペン(右)	32
図 20：表示する画像	33
図 21：全体の流れ	35
図 22：なぞる場所(左), 次のなぞる場所(右)	38
図 23：基準の範囲内の筆圧(左), 基準の範囲外の筆圧(右)	40
図 24：なぞり始めとなぞり終わりの様子	41
図 25：実験で切り絵をする絵柄	45
図 26：実験のグループ分けとその内容	46
図 27：熟練者の考える切る順番	49

表 目 次

表 1: 予備実験の結果.....	28
表 2: 熟練者の切る順番のグラフ化の例	50
表 3: グループ 1 切る順番 1 回目	56
表 4: グループ 1 切る順番 2 回目	56
表 5: グループ 2 切る順番 1 回目	57
表 6: グループ 2 切る順番 2 回目	57
表 7: グループ 5 切る順番 1 回目	64
表 8: グループ 5 切る順番 3 回目	64
表 9: グループ 6 切る順番 1 回目	65
表 10: グループ 6 切る順番 2 回目	65

第 1 章

はじめに

1.1 研究の背景と目的

近年，CAD(Computer-Aided Design)と 3D プリンタを代表とするコンピュータによるモノ作りが広がりつつある(図 1)．デジタルデータから造形物を作り出し，手作りでは不可能なほどの高精度なモノ作りが可能となった．また，安価な 3D プリンタが発売されたことにより複雑なモノ作りが普及しつつある[1]．これにより，長い期間や経験を積まなければ作ることの困難であった伝統工芸といった熟練者のみによって作られていた物も容易に作成可能となった [2]．また，芸術活動の面においても 3D プリンタを使い，これまでにできなかった表現が可能となった[3](図 2)．

一方，デジタル機器を頼らず，全てを手作業でモノを作り出す「クラフトアート」という分野がある(図 3)．クラフトアートとは，手作りで工作する芸術活動である．また，自分の手で作り上げる過程を重要とし，そこに楽しみや充実感がある．近年ではインターネットによる販売や全国各地で大規模な展示や販売するイベントが開催されている[4]．

しかし，クラフトアートはほぼ全てを手作業のみで完成をさせるため，初心者の作品と熟練者の作品に大きな差がある．なぜならば，熟練者は初心者以上にクラフトアートに費やす時間が長く，知識や経験を豊富に持つ．熟練者はどのようなことで失敗が起きやすいか，また上手く見える作品の見せ方を理解している．しかし，初心者は熟練者ほどの知識や経験がないため頻繁に失敗する．その失敗を繰り返し初心者は熟練者へとなるが，それまでの過程で多くの初心者が諦める．

そのクラフトアートの 1 つに切り絵がある．切り絵にはいくつかの難しい要素がある．本研究では初心者を対象に「切り絵練習帳」による切り絵の制作を支援するため

に、以下の2つを目的とする。

- (1) 利用者に同じ場所を繰り返し練習させる
- (2) 利用者が切り絵の熟練者らしい切り方を体験させる

(1)とは、紙とデザインナイフから行う切り絵において、切りすぎてしまう失敗をしてしまうとやり直すことが不可能であることや、失敗をしやすい場所に対して繰り返し練習が不可能であるという問題がある。そのような、鉛筆で書いた失敗を消しゴムで消すように切り絵では切った場所を修復できない問題に対して、やり直しが可能となるシステムを開発する。

(2)とは、初心者は切り絵の経験が多くないため、切り絵をするためにどのような手順や考え方で切り絵をするべきかを十分に理解していない問題がある。そのような、切り絵独特の要素や熟練者の切り方の知識を初心者に提供する。



図 1：3DCAD と 3D プリンタ



図 2：3D プリンタによるヤドカリの貝殻の芸術作品



図 3：クラフトアートの例

1.2 切り絵とは

切り絵とは、白黒に染め分けた下絵を色紙に固定し、切り抜き絵を作り上げていく絵画手法のひとつである[5](図 4)。切り絵を制作する一連の流れは、まずスケッチした絵の輪郭線を全て繋げるように白と黒に染め分け下絵を作成する。そして、下絵を色紙に固定し、不必要な部分をデザインナイフで切り抜く。最後に、裏面から台紙となる紙を接着し完成となる。

切り絵による基本的な表現は、下絵から白の領域を切り抜き、黒の領域のみを残し、動物や人、風景などを表現する[6]。また、折りたたんだ色紙に切り込みを入れて模様を作成する「紙切り」とは異なる(図 5)。

切り絵を作るための道具にはカッターやデザインナイフ、切り絵用のはさみなどいくつかの種類がある。本研究では、デザインナイフによる切り絵を想定している(図 6)。デザインナイフは一般的なカッターとは異なり、替え刃式の工芸用の物であり、細かい作業に特化している。また、一般的なカッターナイフとは異なり、柄が円柱状であることから柄を回転させることで容易に曲線や波線などが切れる。そのため、切り絵ではデザインナイフが多く利用されている。

切り絵には初心者にとって難しい要素がいくつかある。例えば、切り絵では紙が徐々に切り抜かれていくため、終盤では紙の繋がり部分の耐久が弱くなる。そのため、不用意に紙を動かすだけで千切れてしまう恐れがある。その他にも、細かい線を残すようにその周囲を切る場合、少しでも切りすぎてしまうと隣接する切り抜きと繋がってしまうことや、残すべきパーツが千切れてしまう危険性がある。また、デザインナイフの刃は、一般のカッターナイフを使う様に柄を持つと、紙と刃の角度の関係から上手く切れないことや、刃の位置と力がかかる位置が離れてしまい切りすぎる失敗がある。その失敗の起きやすい状況を避けるために熟練者は自分の手や視点の位置、デザインナイフの角度、紙の動きなど様々なことに対し注意している。しかし、熟練者ほどの知識や経験のない初心者は、デザインナイフに不慣れであることから頻繁に切りすぎや紙が千切れる失敗をする。そのため、初心者は切り絵を容易に行うことが難しい。



図 4：切り絵の作品

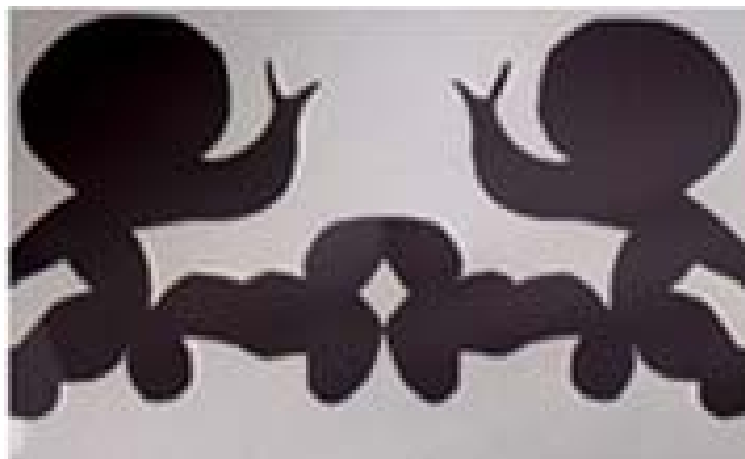


図 5：紙切りの作品



図 6：本研究で利用したデザインナイフ

1.3 切り絵教室による事前調査

研究するにあたり，切り絵教室への調査を行った．切り絵の初心者进行指導している熟練者に，初心者と熟練者との違いや初心者が注意すべきことについてインタビューを行った．切り絵の熟練者であり実際に切り絵の初心者を指導している切り絵講師に話を伺った．

切り絵教室を通い始めた初心者の段階の授業では，切り絵講師が用意をした下絵を課題とし，生徒に提供する．それを繰り返す，初心者は段階的に切り絵が上達する．この流れの中で，初心者はデザインナイフの使い方や，切りやすい視点の位置，どのように切ること失敗を防ぐことが可能であるかの知識や経験を会得する．初心者の上達にあわせ，切り絵講師は課題となる下絵の細かさや，切る大きさの難易度を上げる．その中で，十分に生徒が上達すると，下絵を生徒自身が選択する．

切り絵講師が生徒に提供する課題の下絵について注意している点を伺った．その結果，始めの段階の初心者には単純で切り残す線が太く，切り抜く領域も大きい単純な絵柄から始めさせる．次に，切り抜く場所を数の多い絵柄や，切り抜く領域が細かい絵柄をさせ，切り絵の基礎を積み上げさせる．一定の数の作品を作り，初心者はデザインナイフの使い方や切る順番などの切り絵の重要な要素に気付く．さらに，下絵の切り残す線が細くなり，より細かく複雑な形も切ることが可能になる．

1.4 切り絵練習帳とは

切り絵練習帳とは、本研究で開発する切り絵を練習する中で熟練者の切り方の知識を提供するための物である。

本やインターネットなどにも技能の向上を目的としている内容が書かれている物が多くある。例えば、ペン字を上達させるための冊子がある(図 7)。その冊子には、手本となる字、字の書き方の説明や、その字を練習するためのマスがある。そして、利用者はその手本となる字や、説明を見ながら、マスに字を書いてペン字の練習を行い、ペン字の上達を目指す。この場合、独学による練習より、ペン字のための練習冊子により手本となる物や参考にする情報の量が多くなるため、より効率よく上達が可能となる。

切り絵は、紙をデザインナイフで切り抜くことで完成をさせる。ペン字の場合は冊子に直接書き込むことや、別の紙で直すことが可能となる。しかし、切り絵は、紙を切り抜くため、冊子を直接切り抜くことはできない。また、一度、紙を切り終えてしまうとビデオで切り絵の作業の様子を録画しない限り、デザインナイフを把持する手の動きを確認しつつ、自分の動作を振り返ることが困難である。また、初心者はデザインナイフを使い慣れていないこともあり、ペン字の練習冊子の書くための情報以外に、どの程度の角度や力加減で使うべきかの情報が必要となる。また、紙のどの部分までを既に切り終え、どの部分が切れていないかの情報を知ることは困難であり、それらを初心者への提供は、切り絵を上達する上で重要である。

そこで、切り絵練習帳をデジタル機器により開発し、切り絵の作業中の手の動きや、どの順番で切り絵をしているか、どの部分で失敗の起きやすい動きをしていたかなど様々な情報を振り返ることが可能となる。本研究では、紙の代わりにタブレット端末、デザインナイフの代わりにタッチペンを利用し、紙とデザインナイフによる切り絵の作業の再現し、デジタル機器による仮想的な切り絵を練習するためのシステムを開発する。実際の紙とデザインナイフによる切り絵の工程には、紙を切り抜く前の段階で考慮すべきこと、切る動作の間に注意すべき点が多くある。例えば、どの切る順番で進めていくべきかを考えるために、全体の切り抜く場所の形や特徴を見抜くことや、切る時もどの場所まで切り続け、どの場所は切り終えているかの把握などがある。

3 章にて、詳細に述べるが、熟練者と初心者それぞれ同じ絵で切り絵をさせる予備実験を行った。それにより、切り絵をする中での動作や作品の完成度の比較をした結果、彼らの動作について、以下の 3 点の違いを挙げる。

- ・切る順番の違い
- ・デザインナイフの筆圧の違い
- ・切り抜く時の動作の違い

本研究で開発する切り絵練習帳は初心者と熟練者との差異を補完するための情報を提供する。それにより、初心者を熟練者らしい切り絵の動きへと上達をさせることを目指す。そのための機能として、以下の 3 つの機能を切り絵練習帳に持たせる。詳細については 4 章で述べる。

- ・なぞる順番に枠を表示する機能
- ・筆圧の値で筆跡の色を変えて表示する機能
- ・切り始めと切り終わりを強調する機能

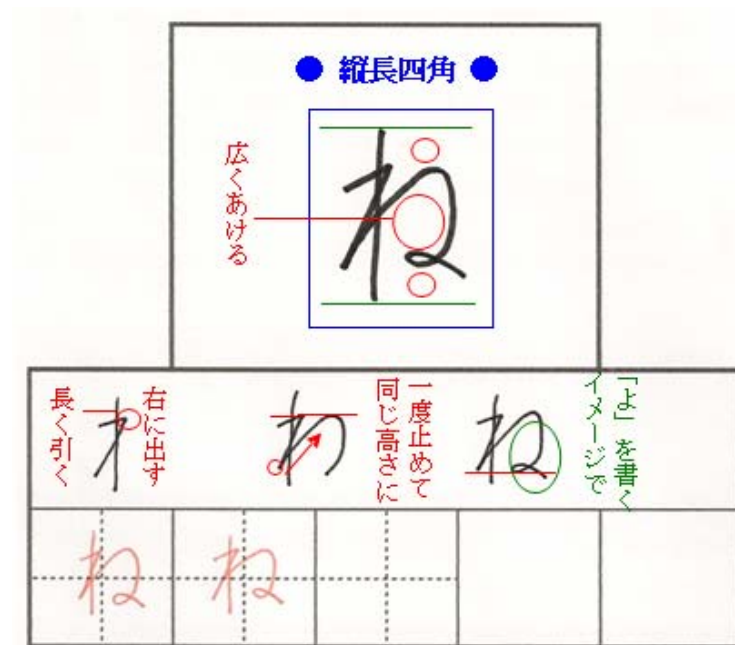


図 7：ペン字のための練習冊子

1.5 論文構成

本論文では1章を含め、全体を6章で構成している。

2章では、本研究同様に切り絵をするための支援する研究や、切り絵以外の芸術活動を支援するための研究など、本研究と関連のある研究について紹介する。

3章では、切り絵練習帳を開発するにあたり、初心者が上達するために必要となる機能を調査する目的に実験を行った。その実験の内容と結果について述べる。

4章では、本研究で開発した切り絵練習帳の構成や、切り絵練習帳が利用者に提供する機能について述べる。

5章では、切り絵練習帳の効果を評価するために行った実験を行い、それぞれの機能が利用者にとどの影響を与えたかを評価した。

6章では、結論として本研究についてのまとめを述べる。また、本研究では扱えなかった研究課題についても補足する。

第 2 章

関連研究

本研究同様に切り絵を支援する研究について紹介する(2.1 節). この研究では, 切り絵の切り抜く途中に起こる紙の一部分の「ずれる・ずれない」に着目をし, ずれない切る順番をコンピュータによりシミュレート研究である.

また, 切り絵以外の芸術活動に関する支援の研究として, スケッチ, デッサン, ペン習字の支援を行う研究を紹介する(2.2 節).

2.1 切り絵に関する支援システム

切り絵の下絵を二枚重ねの紙で固定する場合、紙の端をステープラーやテープなどで固定し、紙全体がずれないようにする。そして、紙を切る時は、デザインナイフが進む方向に紙を引っ張り、紙の張力に反発して、釣り合うことで切ることができる。しかし、切り続ける中で、紙を切るデザインナイフに引っ張られ紙の一部がずれてしまう問題がある。中島らは切り絵の制作支援として、紙がずれないように切ることができる切る順番を支援するシステムを開発した[7]。この研究では、切り絵の切り抜く途中に起こる紙の一部分の「ずれる・ずれない」に着目をした。そこで、いくつかの切るパターンから紙がずれるかを判定し、紙の端を固定した状態から既に切られている線と、これから切る線との間の関係から紙の「ずれる・ずれない」を明らかにした(図 8)。切る手順が正しくなければ、紙がずれてしまう。その状態で作業を進めることは、完成した切り絵の作品の質に影響を与えることがある。そのため、正しい手順で切ることは重要である。その問題に対し、コンピュータを利用し、実際の切り絵で切る線と同様に複数の線を入力し、ずれることなく切ることが可能な切る手順をシミュレーションする(図 9)。求めた結果から、利用者はずれない切る手順で切り絵をする。以上から、利用者はずれる失敗が発生しない手順で切り進めることが可能となる。

この手法では、切る線に対する手順を対象とし、そのための問題を解決している。本研究では、コンピュータが正しく切るための手順を求め、それを利用者が真似るのではなく、直接利用者に熟練者の知識に基づいた切る順番やデザインナイフの筆圧などの体験から切り絵の学習をさせることの支援を目的としている。

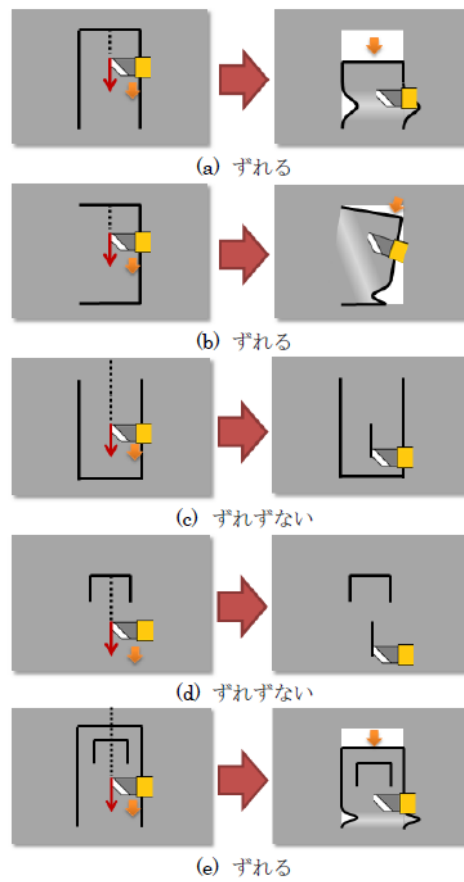


図 8：ずれる状況とずれない状況

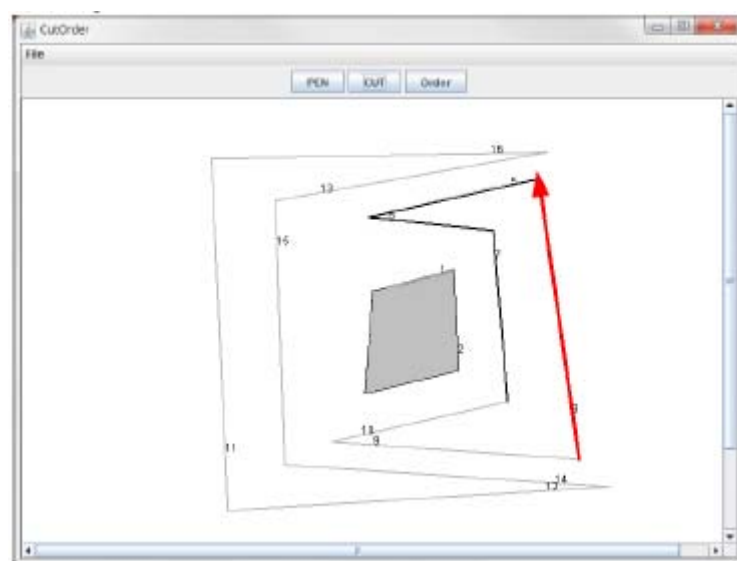


図 9：実行画面 1

2.2 切り絵以外の芸術活動に関する支援システム

切り絵以外の芸術活動に関する支援の研究はこれまでも多く行われている。その中で、特に紙とペンによる芸術活動への研究は多くある。切り絵も紙とデザインナイフを利用する。ペンとデザインナイフとでは、用途は大きく異なるが、形状や使われ方など類似点も多くあると考えられるため、(1)、(2)、(3)の研究を紹介する。

(1) iCanDraw? – Using Sketch Recognition and Corrective Feedback to Assist a User in Drawing Human Faces

(2) タブレット型 PC を用いた初心者向け対話型デッサン学習支援システムの開発

(3) ペン習字(筆記学習)支援システム—運筆用動画手本の教育効果—

(1)の研究では、Dixon らは人の頭部を対象に行われるスケッチの練習システムを提案した[8]。スケッチとは、人物や風景を大まかに描画することであり、美術の訓練にも使われている。一般にスケッチは鉛筆を利用し、スケッチブックに描く。この研究では、スケッチをコンピュータ上で行い利用者のスケッチの技術の上達をさせることを目的としている。コンピュータには人の頭部の画像を表示するウインドウと、スケッチをするための大きなウインドウが設置されている(図 10)。そして、利用者は頭部の画像を観察しコンピュータに向けてスケッチをする。その時、頭部の画像に対し、輪郭はどの程度の形をしているか、目や鼻、口はどの位置にあり、どのような傾向があるかなどの情報が文字で表示する。また、利用者が描いたスケッチに対しても、元となる頭部の画像とどの程度の差があるか、どの部分をどのように修正すべきかを表示する。それにより、利用者はスケッチを描きつつも、どのように描くことが良いか、どの部分を修正すべきかを理解する。このように、常に利用者の描いたスケッチをコンピュータが監視し、元となる頭部の画像に適した正しい修正を利用者に提示する。

(2)の研究では、澤田らはデッサンの初心者に学習支援をさせるシステムを提案した[9]。デッサンとは物体の形状や明暗を平面に描画する芸術活動である。スケッチとは異なり、スケッチ以上に詳細に対象の線彫や固有色、質感を描く。この研究では、タ

タブレット端末で動作する対話的デッサン学習支援システムである。タブレット端末に直接描画を行い、それに対して画像処理する。支援する対象は利用者が描いたデッサンに対して、大きさの比率、奥行きと陰影の三つの項目である。そして、タブレット端末にスケッチした物に対して、どのような修正をすべきかを表示する(図 11)。例えば、高さが異なる場合には、「高さが長すぎる」や「始めからやり直し」などのガイドを提示し、利用者に学習をさせる。それにより、全体から見た比率や、部分ごとに見た比率を基準にモチーフの形を正確にスケッチさせる。また、陰影表現も同様に提示をする。特に、この研究の対象が初心者であることから、初心者には難しいと陰影の諧調表現を 3 諧調と制限し、初心者に陰影の基礎学習を行わせることで、デッサンの基礎の学習を支援する。

(3)の研究では、村中らはペン習字による筆記学習を支援するシステムを提案した[10]。このシステムでは、液晶タブレットとペンデバイスを利用している。また、ペンデバイスの動きを直接システムに入力する。これにより、従来の静止画による手本とは異なり、手本が描かれるまでの過程を詳細にした動画の手本を作成可能となる(図 12)。まず、運筆用の動画手本を作成するために、まず専門家に利用をさせ、運筆の様子を動画にする。この動画により、でペン習字の専門家と同じ目線で運筆の動きを見ることが可能となる。実験により、静止画の手本による上達よりも、このシステムで作成された動画手本を利用した被験者の方がより速くペン習字を上達する結果を得た。

以上の研究の様に、スケッチやデッサン、ペン習字などの芸術活動を支援する研究は多くあるが、切り絵を支援する研究は少ない。また、切り絵の場合、デザインナイフで紙を切断するため、紙にかかる負担やペンと同じ形状の物でも用途が大きく異なる。そこで、本研究では、切り絵特有の問題に対しての支援する。

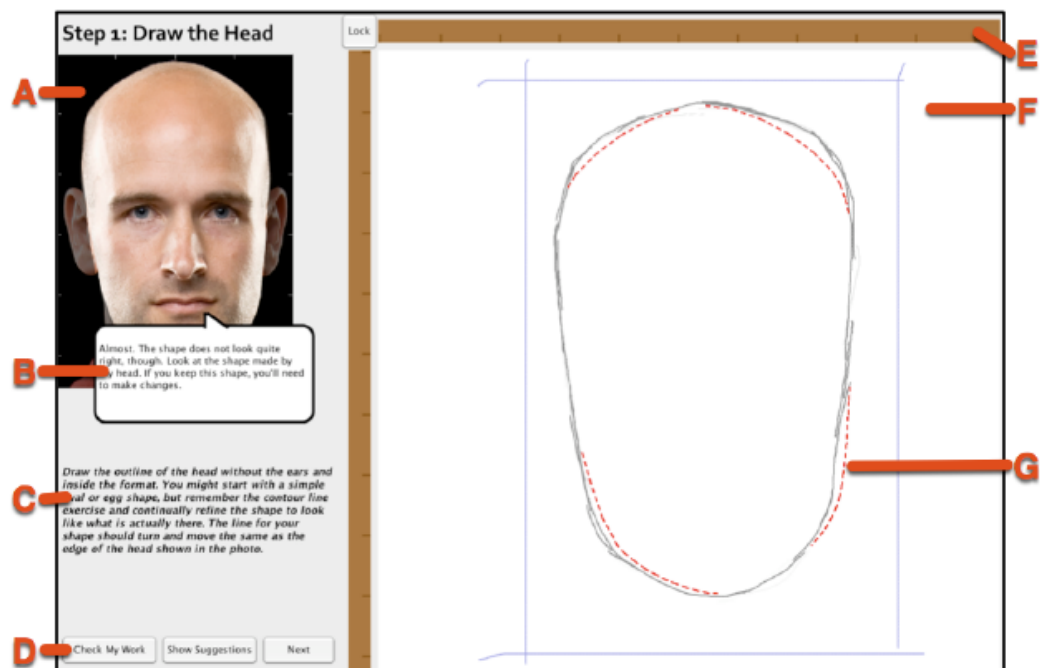


図 10：実行画面 2

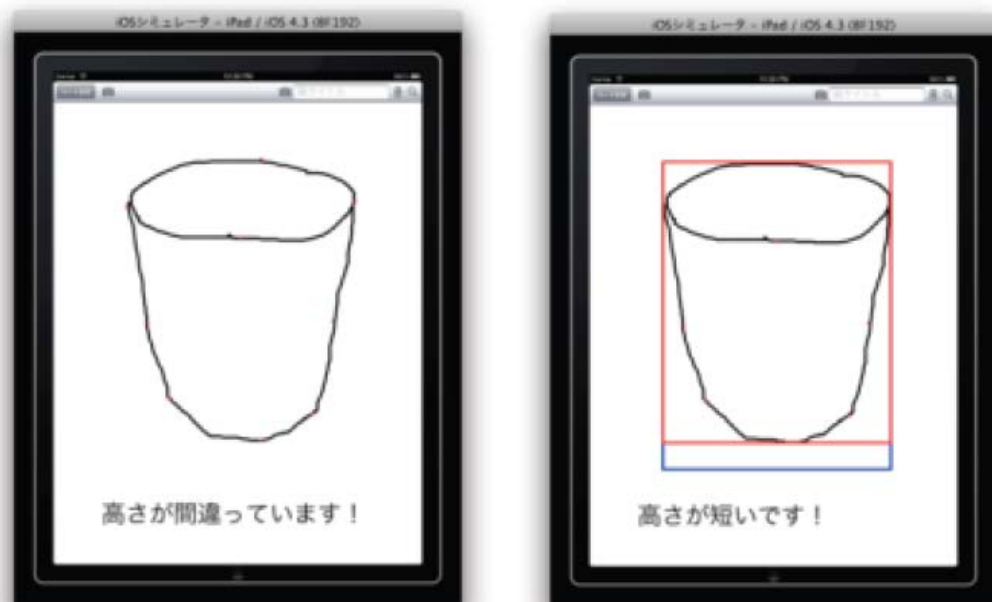


図 11：実行画面 3

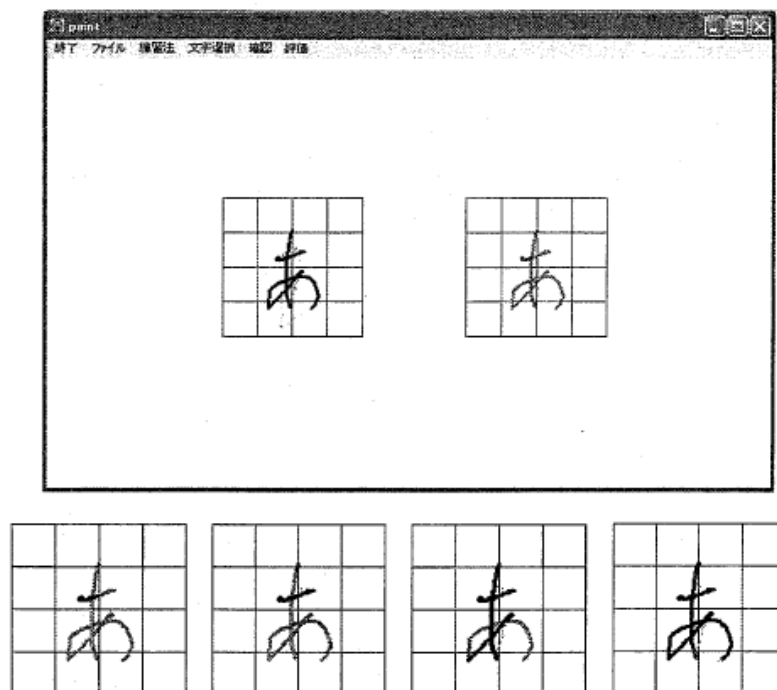


図 12：実行画面 4

第 3 章

予備実験

本章では，切り絵練習帳を開発するために，初心者の上達に必要な機能进行调查する目的に実験を行った(3.1 節)．初心者と熟練者に同じ内容の切り絵をさせ，彼らの切り絵の作品や切るときの動作などの違いを比較する．これにより，熟練者特有の動きや考え方，初心者特有の動きの傾向を得る．その結果，初心者と熟練者の違いとして 3 つの違いを明らかにした(3.2 節)．その傾向から，初心者に不足している切り絵の知識を明らかとする．

3.1 予備実験の内容

初心者 3 名と熟練者 2 名に同じ画像で切り絵を行った。初心者は切り絵をしたことがない人，熟練者はそれぞれ切り絵歴が 4 年と 6 年である。また，実験に協力をしていただいた熟練者は自身の切り絵の作品を作品集とし，本を販売している活動を多くしているほどの熟練者である。

予備実験で利用した画像の下絵は A4 サイズで，絵柄の線の太さは 3 mm，切り抜く場所の数は 70 か所とした(図 13)。初心者，熟練者ともに切り絵をしている様子を録画し，完成後に実験で作成した切り絵についてインタビューを行った。

実験の結果，初心者と熟練者との違いとして以下の 3 つに大きな違いがあった。詳細については 3.2 節で述べる。

- ・切る順番の違い
- ・デザインナイフの筆圧の違い
- ・切り抜く時の動作の違い

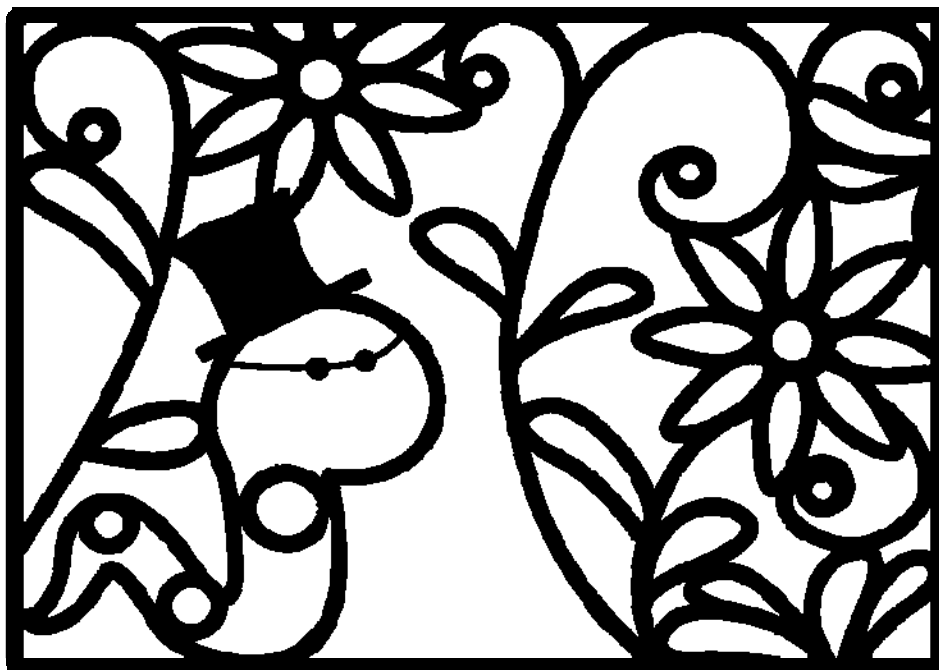


図 13：予備実験で利用した画像

3.2 予備実験の結果

本項では、予備実験の結果として得た、初心者と熟練者の違いについて述べる(3.2.1 から 3.2.3 項)。また、それぞれの違いに対してどの程度の違いがあるかを明確にするため、録画した時の切り絵の様子から以下の内容を比較する。

- ・切る順番とグループ分け
- ・入刀回数と切り直し回数
- ・千切った回数

3.2.1 切る順番

始めに、初心者と熟練者との「切る順番の違い」について比較する。初心者と熟練者には切り絵の経験に大きな差があるため、切る順番に大きな違いがあった。その特徴について以下(1)(2)で述べる。

また、切り絵教室にて切り絵講師に初心者が最も気を付けるべきことは何かと伺ったところ、切る順番が一番重要であるという回答を得た。また、その切り絵教室の生徒からも同様の回答を得た。切り絵において、紙が千切れてしまうことは致命的な失敗である。熟練者はその失敗を防ぐため、紙に対して気を配りつつ切り絵の作業をしている。一方、初心者はどこから切るべきかの判断するための知識や経験がないため、千切れやすい状況やより難解な状況に発展する。

(1)初心者の切る順番の特徴

初心者は切り絵をする経験がないため、どの順番で切るべきかという情報を持っていない。そのため、切る順番を頻繁に考え、手を止めながらも大きく目立つ場所や一番右上の場所などの特徴のある場所から切り始める傾向がある。そして、その場所が切り終わると隣接する場所を切る順番で切っていた。そのため、切る順番は、右から左という単純な流れで切る傾向を得た(図 14)。また、初心者は切る物の形や大きさなどとは無関係に切っていた。そのため、初心者は千切れやすくなる状況のまま作業を進めていた。また、作業終了後のインタビューでは「どの場所から切れば良いかが分からなかった。」と、切る順番に戸惑いを持ちつつ、「目立っていたから」や「なんとなく」という理由から、切る順番を決定していた。

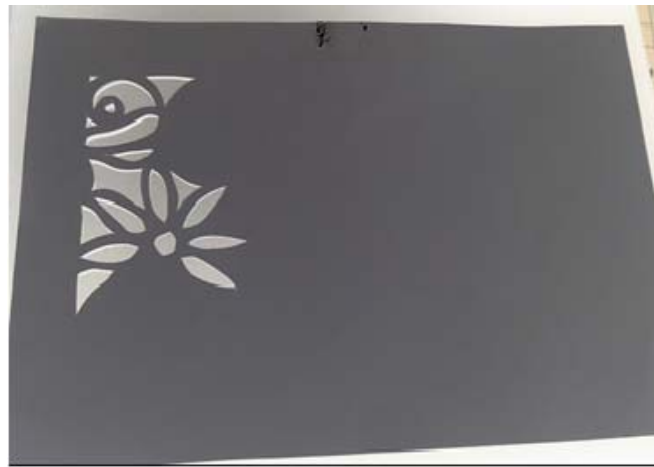


図 14：初心者の切る順番

(2)熟練者の切る順番の特徴

熟練者はこれまでの切り絵の経験から、千切れやすくなる状況や失敗を防ぐための切る順番の知識を持つ。そのため、切る順番を始めの段階で考え、そこ以降は手を止めることなく切り進めていた。また、以下の(1)、(2)を意識して切る傾向があった。そのため、熟練者は千切れやすい状況になることを回避し、失敗をしないように切り進めていた。

(1)小さい場所から順番に切る

(2)グループ分けをする

(1)では、切る場所の面積が小さい場所から切ることである。始めの段階で切り抜く面積の大きい物を切った場合、紙の耐久が著しく低下し、紙の繋がる場所に大きな負担がかかり、千切れやすくなる。その状態で作業を進めることは失敗するリスクが大きくなるため、熟練者は小さい場所から切る傾向がある。

(2)では、切る場所を密集したグループ毎に分けることである。熟練者は切る場所が密に集まる場所を一つのグループとし、一つのグループが切り終わると、次のグループを切るという流れで切り進めていた(図 15)。切る場所が密に集合している場所を切ることは難しく、特に周囲が切り抜かれた状態の場合、切る場所と紙全体のつながりが細くなることが多い。その場合、デザインナイフに引っ張られた紙がずれることがある。このずれた勢いで紙の細い繋がり部分が千切れることがある。そのような状況になることを防ぐために、熟練者は密の部分は一つのグループとして扱いまとめて切る傾向がある。



図 15：熟練者の切る順番

以上から，予備実験により熟練者は，切る順番として「切り抜く面積の小さい物から順番に切る」や，「グループ分けをする」という傾向があった．

3.2.2 デザインナイフの筆圧の違い

次に、初心者と熟練者の「デザインナイフの筆圧の違い」について述べる。初心者と熟練者によるデザインナイフの筆圧の違いが原因により、入刀回数に大きな差があった。入刀回数とは、デザインナイフを使って紙を切った回数のことである。また、この予備実験で利用した下絵は初心者、熟練者ともに同じ物を利用し、同じ完成形を目指している。つまり、入刀回数が多いほど、デザインナイフを必要以上に多く利用していることが分かる。そして、その入刀回数を比較したところ、初心者と熟練者との間では100回以上の差が明らかにした。その原因は、以下の2つの原因を挙げる。そこで、初心者と熟練者それぞれの「入刀回数」と「切り直しの回数」を録画した様子から計測し、「切り直し率」として、切り直しの回数と入刀回数の商の値を求めた(表1)。つまり、デザインナイフの筆圧が適切でないため、切り直しが多くなり、入刀回数が増加する関係にある。

また、切り絵教室においても初心者から熟練者まで全ての人がデザインナイフにかかる筆圧に注意する様子を見た。何故ならば、適切な筆圧による作業は、作品の見栄えにも大きく影響するからである。また、筆圧が強すぎると手が疲れやすくなる他、デザインナイフの刃が傷む速度が早くなるため、細かい場所を切る時に支障が出る。

(1)デザインナイフにかかる筆圧が弱すぎる

(2)デザインナイフにかかる筆圧が強すぎる

(1)とは、初心者の入刀回数が熟練者よりも多い原因の一つである。切り絵は下絵の紙とその下に色紙を二枚重ねた状態の物を切る。しかし、デザインナイフにかかる筆圧が弱すぎることで原因となり、紙を上手く切り抜くことが不可能な状態となる。そして、同じ場所をもう一度切り直す。そのため、一回の切る動作で切り抜くことができる場所を筆圧が弱すぎたため、切り直しが発生し入刀回数が増加する。

初心者の場合、一回の切る動作の中で上面に見えている下絵の紙のみを切り、その下の色紙までは貫通していない状態が頻繁にあった。その結果、一回の切る動作で二枚重ねの紙を上手く貫通して切り離すことができずに、同じ場所を何度も切り直し、入刀回数が増加する。そのため、入刀回数が多いだけでなく、切り直し率が入刀回数

の約 1 割は切り直しであった。

一方、熟練者は普段からデザインナイフを利用しているため、どの程度の筆圧が二枚重ねの紙を貫通可能かという知識がある。そのため、一回の切る動作のみで二枚重ねの紙を切り抜くことができる。そのため、切り直し率も初心者との比較では大きな差があった。

(2)とは、初心者の入刀回数が熟練者よりも多い原因の一つである。デザインナイフにかける筆圧が強すぎた場合、円や波線などの曲線に対してデザインナイフを徐々に回転をさせることで切ることが不可能となる。そして、曲線を切るために繰り返すことで粗い曲線となる。その角の部分を初心者は切り直し、多角形の頂点の数が増加し、粗さを目立たなくする様子があった。そのため、入刀回数や切り直しの回数、切り直し率の割合も増加をした。

初心者の場合、デザインナイフを利用する時も過剰な筆圧をかける様子があった。そのため、初心者が切った波線はジグザグに粗く、円も多角形のように粗い形をしていた(図 16)。

一方、熟練者の場合、強すぎず弱すぎず適切な筆圧で作業をしていた。そのため、波線を一回の切る動作の中で切り抜いていた。また、デザインナイフを動かすのではなく、デザインナイフを紙に刺した状態から紙を動かし、滑らかに曲線を切るという動きもあった(図 17)。

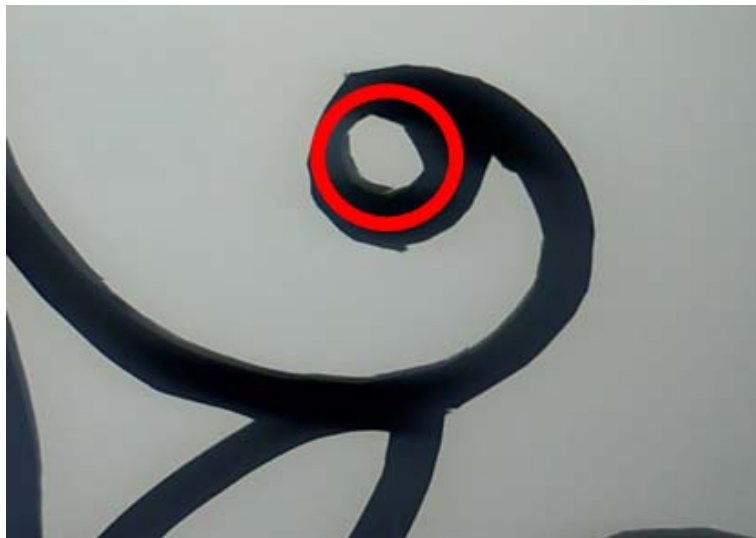


図 16：初心者が切った円



図 17：熟練者が切った円

表 1:予備実験の結果

	初心者 A	初心者 B	初心者 C	熟練者 A	熟練者 B
入刀回数	369 回	349 回	332 回	208 回	235 回
切り直し回数	55 回	41 回	44 回	3 回	5 回
切り直し率	0.149051	0.117479	0.13253	0.014423	0.021277

以上より，初心者と熟練者との入刀回数から，「デザインナイフの筆圧の違い」に大きな差があることを明らかにした．

3.2.3 切り抜く動作の違い

最後に、「切り抜く時の動作の違い」について述べる。紙を切り抜く時、切り始めと切り終わりの点が重なるように切らなければ、紙を切り抜くことはできない。初心者の切り抜く動作の中には、紙を切り抜く時に切り始めと切り終わりが重なっていない状態にも関わらず切り抜こうとする動きが頻繁にあった。そして初心者はそのような紙の一部が繋がりを持つ場所に対して、手を使い繋がる部分を千切ることで切り離していた。その結果、千切った場所にはその跡が残るため、作品の見栄えを大きく損なう(図 18)。

一方、熟練者は自分がどの場所から切り始めているか、切る時も今どこまで切れているかを意識し、切り始めと切り終わりの点が誤差なく重なるように注意している。また、切り始めと切り終わりの点が重なっていない状態にも、手で千切るのではなくデザインナイフで紙が繋がる場所を切る様子があった。

また、手で千切る場合、千切った跡が残るだけでなく、千切る時に他の場所まで巻き込む可能性があるため、紙が細くなる場所など千切れやすい状態の場所も引っ張られてしまい、誤って違う場所が千切れてしまう事故が起きやすい。この失敗を予防するために、切り始めと切り終わりの点が重なる様に切ることを意識し続け、紙を千切って切り抜かずにデザインナイフのみで全ての場所を切り抜くことを意識しなければならない。

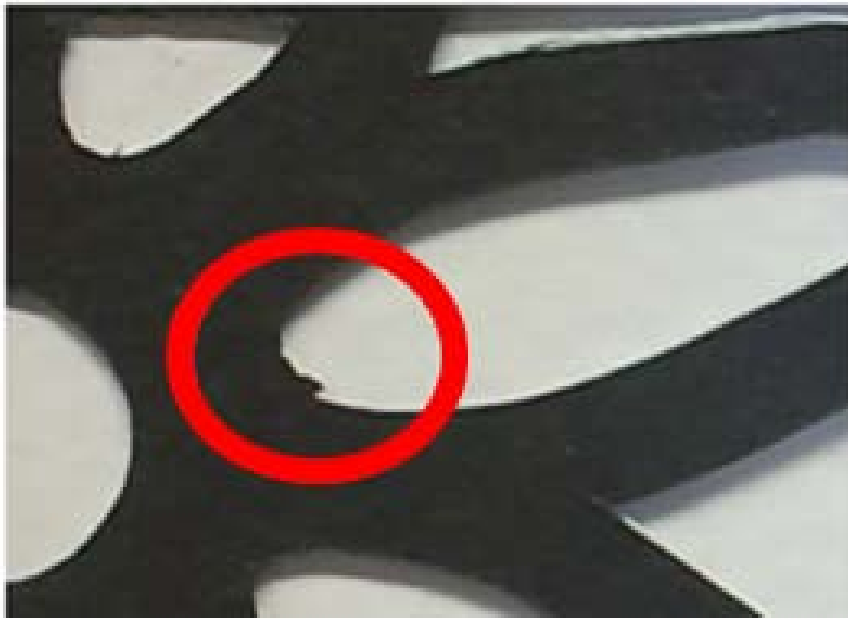


図 18：紙を千切ることのできる跡

第 4 章

実装システム

本章では，本研究で開発した切り絵練習帳について述べる．システム構成では，切り絵練習帳を構成するタブレットとタッチペンについて述べる(4.1 節)，システムを利用する流れから，どのような仕組みで利用者の切り絵の上達をさせるかについて述べる(4.2 節)．また，3 章の予備実験の結果である初心者と熟練者との違いを参考に，熟練者らしい動きを利用者に体験させるために切り絵練習帳が提供する機能について述べる(4.3 節)．

4.1 システム構成

タブレット端末とタッチペンの二つから切り絵練習帳は構成されている(図 19)。3章の予備実験の結果から、デザインナイフにかける筆圧を測定する必要がある。そのため、切り絵練習帳で利用するタッチペンは筆圧の測定が可能である「Jot Touch4」とする。このタッチペンは筆圧を 2048 段階による測定が可能である。この機能により、タブレット上での切り絵の動きの中で筆圧を測定する。この 2048 段階がどの程度の重量に対応しているかをテストした。その結果、重量 20g の時は筆圧の段階は約 200, 重量 40g で筆圧は約 1500, 重量 60g で筆圧は約 2000, 重量が 80g で筆圧は 2048 であった。そして、JotTouch4 は Macintosh の API にのみ対応をしていたため、利用するタブレットは「iPad retina」とする。紙の代わりにタブレット、デザインナイフの代わりにタッチペンを利用してタブレット上の画像の切る場所に当たる場所をなぞる。この動作の反復により、仮想的に切り絵の動きを再現する。タブレットには予め 6 種類の画像が登録されている(図 20)。利用者にはそれらの画像に対して 1 回ずつ計 6 回絵をなぞる。



図 19：タブレット(左), タッチペン(右)

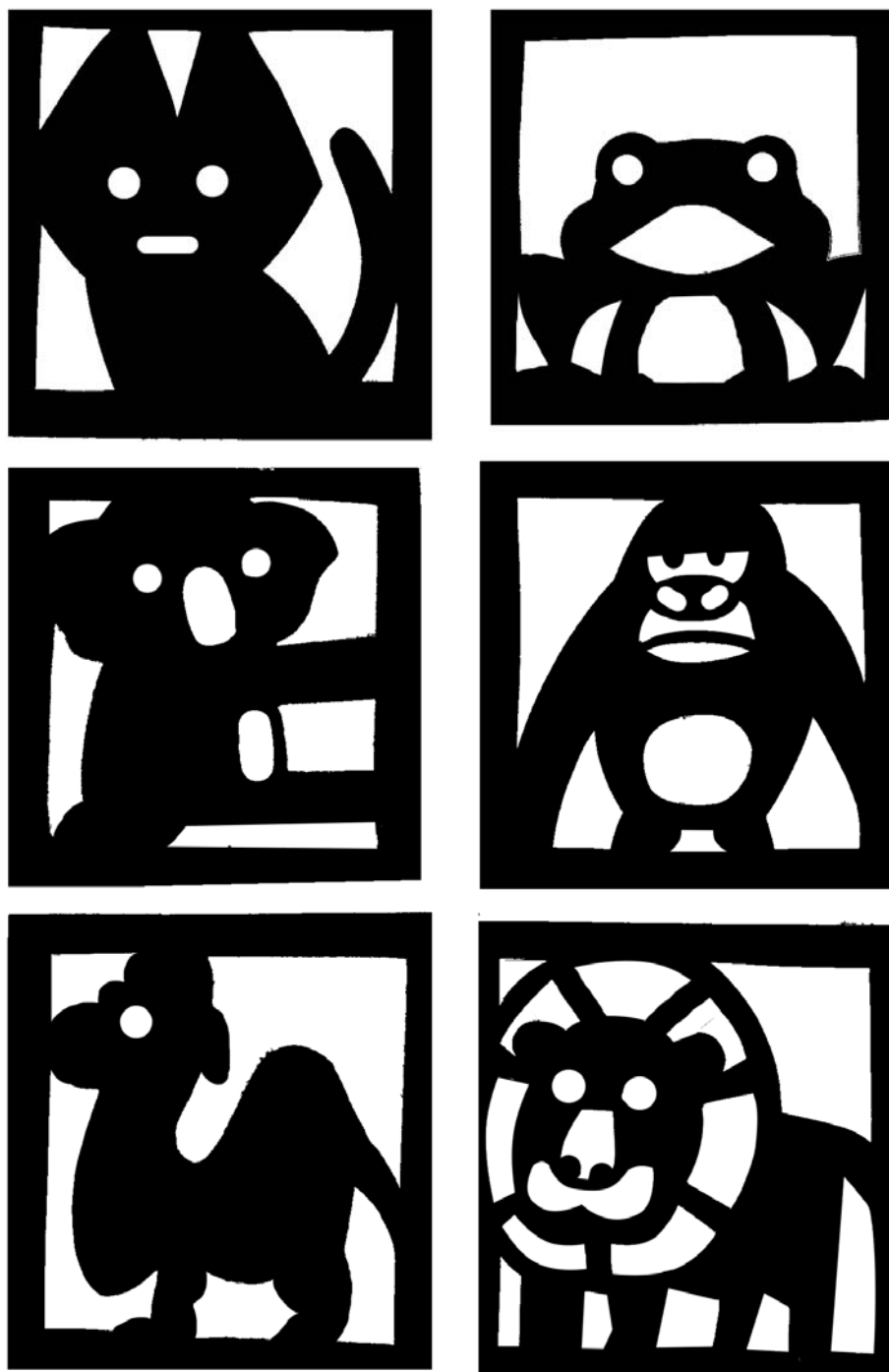


図 20：表示する画像

4.2 システムの流れ

切り絵練習帳を利用する流れを図に示す(図 21).

(1) なぞる場所を表示

表示された画像に熟練者の切る順番の知識に基づいて、赤色の枠をなぞる場所に表示する。また、二順目以降の場合、それまでの赤色の枠で表示されている場所を青色で塗りつぶす。これにより、次のなぞる場所、なぞり終えた場所を表示する。この作業を進め、熟練者が行う切る順番を体験させる。

(2) タッチペンでなぞる

赤色の枠で表示された部分にあわせて利用者がタッチペンでなぞる。また、利用者がなぞった筆跡を表示し、自身のなぞり方を提示する。しかし、タッチペンにかかる筆圧が基準よりも強すぎた場合、または弱すぎた場合はその筆跡が非表示とする。そして、利用者がなぞるべき場所の全てに筆跡を表示するようになぞるまで繰り返しタッチペンでなぞり続ける。これにより、利用者はタッチペンの筆圧を基準の範囲内で維持をし続けて作業する。タッチペンでなぞる動作の中で、熟練者が行う筆圧を体験させる。

また、この時の筆跡のなぞり始めとなぞり終わりの点を一回り大きくし、筆跡の色とは異なる緑色で表示し強調する。これにより、実際の切り絵をしている時にも切り始めと切り終わりの点を重ねるように切ることを意識させる。それにより、紙を千切ることで切り離す行為の原因の発生を防ぐ。

(3) 判定ボタンを押す

画面内に「判定ボタン」を設置する。利用者がなぞり終えた後、このボタンを押し、システムがなぞり方を判定する。

(4) なぞり方の判定

これまでのなぞり方が条件を満たしている場合、次のステップである(5)に進む。システムが判定する条件はなぞり始めとなぞり終わりの座標が重なるかである。基準の

範囲外の筆圧でなぞった場合、座標が入力されなくしているため、筆跡も非表示となる．そのため、基準内の筆圧によるなぞり始めとなぞり終わりの点のみで全ての点がいずれかの点と重なるかを計算する．もし、基準の範囲外の筆圧で非表示の筆跡を残した状態で判定ボタンを押した場合システムにより失敗と判定し、同じ場所をもう一度なぞる．

以上の流れを繰り返し、全てをなぞると完成とする．これにより、利用者は熟練者の考え方に沿った切り絵の体験をし、切り絵の技術を上達させる．また、自主的になぞった状態から一手戻ることも可能であるため、特定の場所を繰り返し練習が可能である．これにより、1.1 で述べた目的の(1)を達成する．

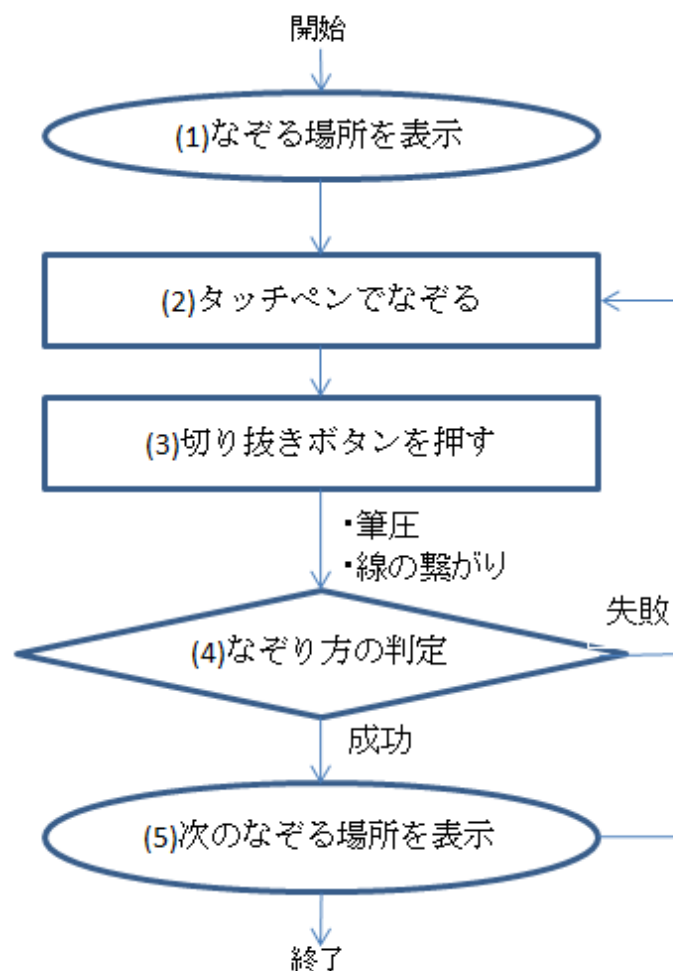


図 21：全体の流れ

4.3 切り絵練習帳に持たせる機能について

切り絵練習帳には利用者に熟練者の切り方を体験させるための 3 つの機能がある。それぞれの機能の詳細については下記で述べる。

- ・ なぞる順番に枠を表示する機能(4.3.1 項)
- ・ 適切な筆圧でのみ筆跡を表示する機能(4.3.2 項)
- ・ なぞり始め， なぞり終わりを強調する機能 (4.3.3 項)

4.3.1 なぞる順番に枠を表示する機能

この機能は、熟練者の切る順番の考え方を利用者に体験させるための物である。切り絵練習帳の画面に表示されている画像のなぞる場所を順番に赤色の枠で表示する。また、熟練者は切る順番を考える中で、グループ分けをしていることが予備実験から判明した。そこで、順番になぞる場所を表示するだけでなく、表示されている画像のグループ分けを行い、そのなぞる場所が含まれるグループに対し、黄色の円で表示をした。

予備実験より、熟練者はこれまでの経験から切る順番を 3.2.1 の(1)(2)といった「小さい場所から順番に切る」、「グループ分けをする」の二つから決定をしている。それにより、実際には失敗をしないための順番や切り抜くことが難しい状況を回避する。しかし、初心者は切る順番の知識がないため、失敗のしやすい状況や切り抜くことが難しい状況が発生しやすいという問題があった。

その問題を解決するために、この機能では、表示されているそれぞれの下絵の画像に対し、グループ分けを行いなぞる場所が含まれるグループを緑色の円で表示し、なぞる場所を順番に赤色の枠で表示する。また、既になぞり終えている場所は青色で塗りつぶす(図 22)。これにより、熟練者の切る順番を体験し、利用者の切り絵の上達を目指す。

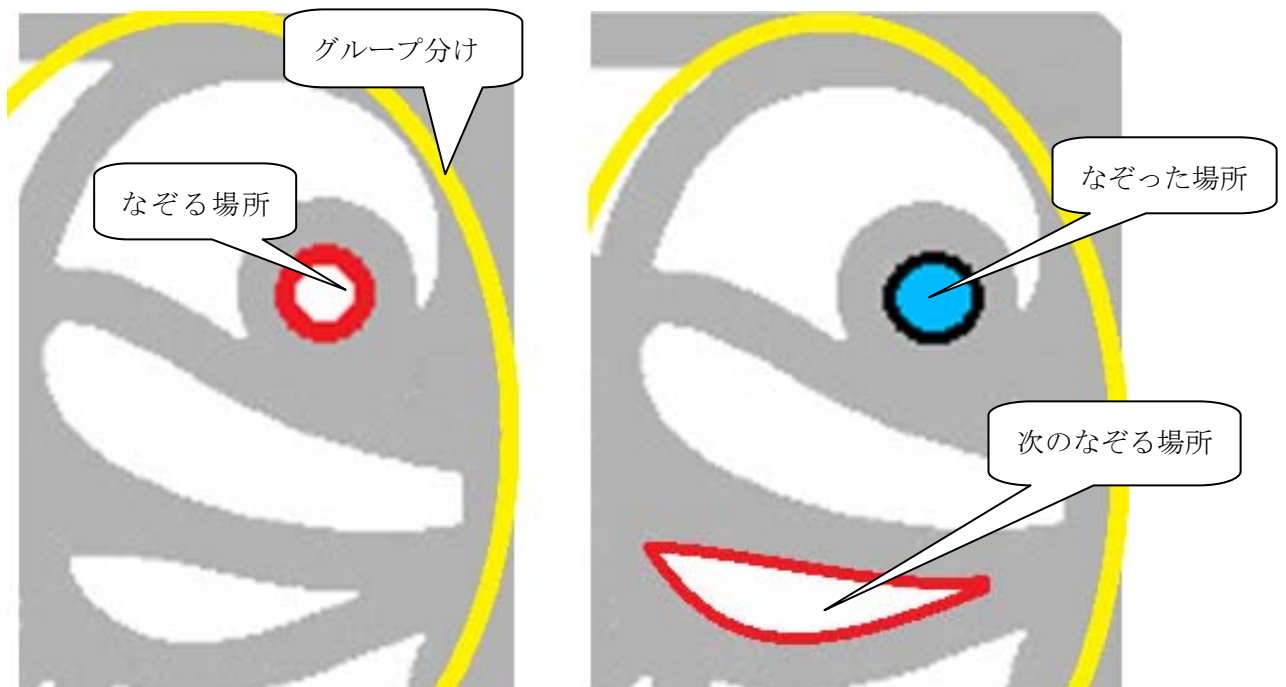


図 22： なぞる場所(左), 次のなぞる場所(右)

4.3.2 適切な筆圧でのみ筆跡を表示する機能

この機能は、デザインナイフの筆圧の力加減を体験させるための物である。タッチペンの筆圧を測定する機能により、基準の範囲内の筆圧の場合は筆跡を表示し、範囲外の筆圧の場合は筆跡を非表示にする。そして、利用者は非表示となる部分の場所を再び基準の範囲内の筆圧でなぞり直しをする。

基準の範囲とは、今後行う実験にあわせたデザインナイフの筆圧から検討した結果、40g 以上の筆圧で紙が切れることが確認できた。また、熟練者とのアンケートにより 100g 以上の筆圧でデザインナイフを利用した場合筆圧が強すぎる部類に入ることとする、タッチペンは 80g 以上の筆圧は感知できる範囲を超えるため、タッチペンが感知可能な筆圧の段階では 2000 である重量 60g に設定する。つまり、この機能における筆圧の基準の範囲は重量 40g から 60g、タッチペンの感知できる筆圧の段階では 1500 から 2000 とする。

予備実験より、初心者は 3.2.2 の(1), (2)といったデザインナイフにかける筆圧が弱すぎる、または強すぎる傾向がある。筆圧が弱すぎたために、二枚重ねの紙を上手く切り抜けないことや、筆圧が強すぎたために、滑らかな曲線を切ることができないといった問題があった。

そのような問題を解決するために、切り絵練習帳のこの機能では、基準の範囲内の筆圧の場合、筆跡を表示する(図 23)。これにより、熟練者のデザインナイフの筆圧を体験し、利用者の切り絵の上達を目指す。

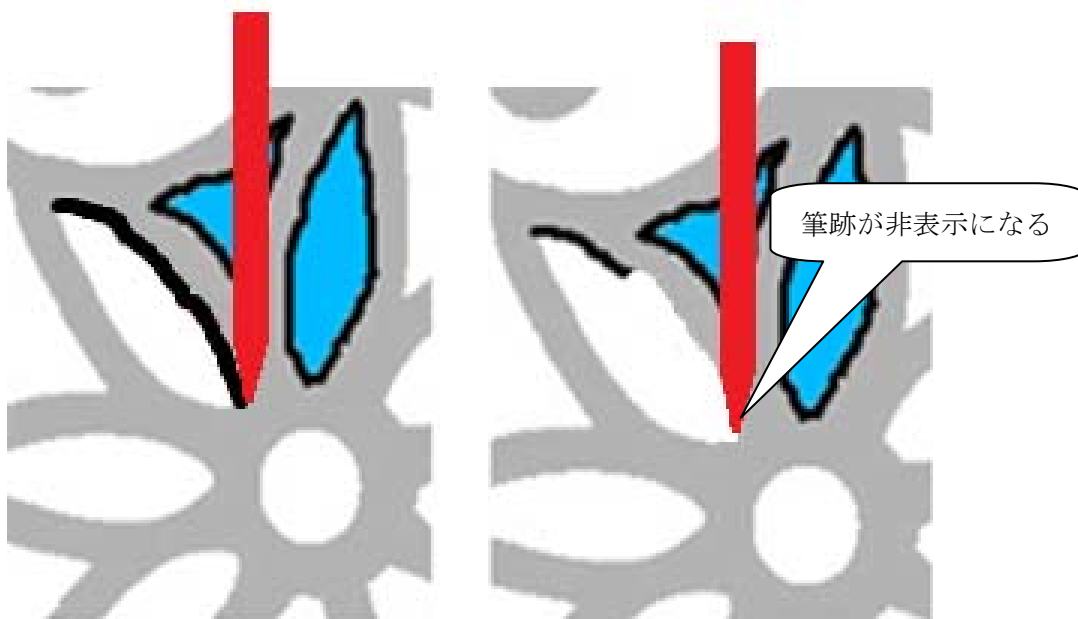


図 23：基準の範囲内の筆圧(左)，基準の範囲外の筆圧(右)

4.3.3 なぞり始め,なぞり終わりを強調する機能

この機能では、紙を切り抜く時に手で千切ることで切り離す動きを防ぐために、その原因となる切り始めと切り終わりの点を重ねるように切ることを意識させるための物である。タブレットの画面をタッチペンでなぞる時、なぞり始めの点とタッチペンが触れている場所の点を緑色の点で強調させる。そして、その状態からタッチペンが画面から離れたなぞり終わりの点も同様に強調させる(図 24)。利用者には二画目以降からは前回のなぞり終わりの点からなぞり始めさせ、最後のなぞり終わりの点が一画目のなぞり始めの点と重なるようになぞらせる。

予備実験の結果より、紙をデザインナイフで切り抜く時、切り始めと切り終わりの点が重なるように切れていない場合がある。その紙の一部に繋がりを持つ状態に対して初心者は手を使ってその繋がりを千切るという問題があった。

この機能に従ったなぞり方によって、なぞった線の全てのなぞり始めとなぞり終わりの点が重なった一本の線となる。この機能により、利用者はなぞり方を意識させる。そして、利用者が実際の切り絵をした場合も、千切る動作をする原因となっていた紙の一部の繋がりを持つ状態になる状況にならないように切る。また、もしそのような状況になった時も、切り始めと切り終わりが重なるように紙の繋がりをデザインナイフで切る動きをさせることを目指す。



図 24：なぞり始めとなぞり終わりの様子

第 5 章

実験

本章では，切り絵練習帳の効果を評価するために行った実験について述べる．本実験では，切り絵練習帳を利用しないグループや，それぞれの機能ごとに利用するグループなどの形でグループ分けを行った(5.1 節)．切り絵練習帳が提供するそれぞれの機能の効果について，切る順番やデザインナイフの筆圧，切り抜く動作の違いをどのように比較するかについて述べる(5.2 節)．その結果とそれぞれの機能が利用者にどのような影響を与えたかを評価した(5.3 節)．最後に実験により得た結果について考察を行った(5.4 節)．

5.1 実験内容

予備実験の結果より，切り絵練習帳には以下の3つの機能がある．

- (1) なぞる順番に枠を表示する機能
- (2) 適切な筆圧でのみ筆跡を表示する機能
- (3) なぞり始め，終わりを強調する機能

本実験では，切り絵練習帳の各機能によって被験者の切り絵がどのように変化したか，また切り絵練習帳を利用した場合と利用しない場合でどの程度の差かを評価する．そのために，切り絵をしたことがない初心者のみを対象に30名をそれぞれ5名ずつの6グループに分けて実験を行った．グループの分け方は以下の6グループである．

- グループ1 (1),(2),(3)の機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループ
- グループ2 (1)の機能のみを持った切り絵練習帳を利用するグループ
- グループ3 (2)の機能のみを持った切り絵練習帳を利用するグループ
- グループ4 (3)の機能のみを持った切り絵練習帳を利用するグループ
- グループ5 切り絵練習帳を利用せずに切り絵のみをするグループ
- グループ6 (1),(2),(3)の機能を持った切り絵練習帳を利用するグループ

グループ1は(1),(2),(3)の機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループである．このグループの切り絵練習帳には(1),(2),(3)の機能がないため，タブレットの画面に画像を表示するが，切る順番に対応した赤い枠が表示されない．また，筆圧も測定をしていないため，筆圧に関係なく筆跡が表示され，なぞり始めとなぞり終わりが強調されない状態である．そのため，このグループの被験者が行うことは，タブレットは利用するが，ただ単純に画面に表示された画像をタッチペンでなぞることのみである．

グループ2は(1)の機能のみを持った切り絵練習帳を利用するグループである．このグループの切り絵練習帳は(1)のみが機能するため，タブレットに表示する画像のなぞ

る場所に対応した切る順番に赤い枠を表示する。しかし、筆圧は測定されないため、筆圧に関係なく筆跡は表示され、なぞり始めとなぞり終わりが強調されない状態である。

グループ 3 は(2)の機能のみを持った切り絵練習帳を利用するグループである。このグループの切り絵練習帳は(2)のみが機能するため、タッチペンの筆圧を測定し、基準の範囲内の筆圧であれば筆跡を表示する。しかし、切る順番に対応した赤い枠は表示されず、なぞり始めとなぞり終わりが強調されない状態である。

グループ 4 は(3)の機能のみを持った切り絵練習帳を利用するグループである。このグループの切り絵練習帳は(3)のみが機能するため、なぞり始めとなぞり終わりの点を強調して表示する。しかし、切る順番に対応した赤い枠は表示されず、筆圧に関係なく筆跡が表示する。

グループ 5 は切り絵練習帳を利用せずに切り絵のみをするグループである。グループ 1 とは異なりタブレットを利用せず、切り絵のみを行う。

グループ 6 は(1),(2),(3)の機能を持った切り絵練習帳を利用するグループである。(1),(2),(3)の機能を持った切り絵練習帳を利用するため、タブレットに表示する画像のなぞる場所に対応した切る順番に赤い枠を表示する。また、タッチペンの筆圧を測定し、筆圧に応じて適切な筆圧であれば筆跡を表示する。さらに、なぞり始めとなぞり終わりの点を強調されて表示する。

以上のグループで実験をする。切り絵練習帳を利用するグループ 1,2,3,4,6 は始めに切り絵をする。その後、切り絵練習帳を利用する。そして、2 回目の切り絵をする。被験者には、グループによって機能する切り絵練習帳の使い方の説明は行ったが、切り絵練習帳の機能の意味や目的は被験者に伝えてない。この時、1 回目と 2 回目にする切り絵は同じ画像としている(図 25)。また、切り絵練習帳には実験で行う切り絵の画像とは別の画像が登録されている。他のグループと異なりグループ 5 は同じ画像の切り絵を 3 回行わせる。実験の流れを示す(図 26)。

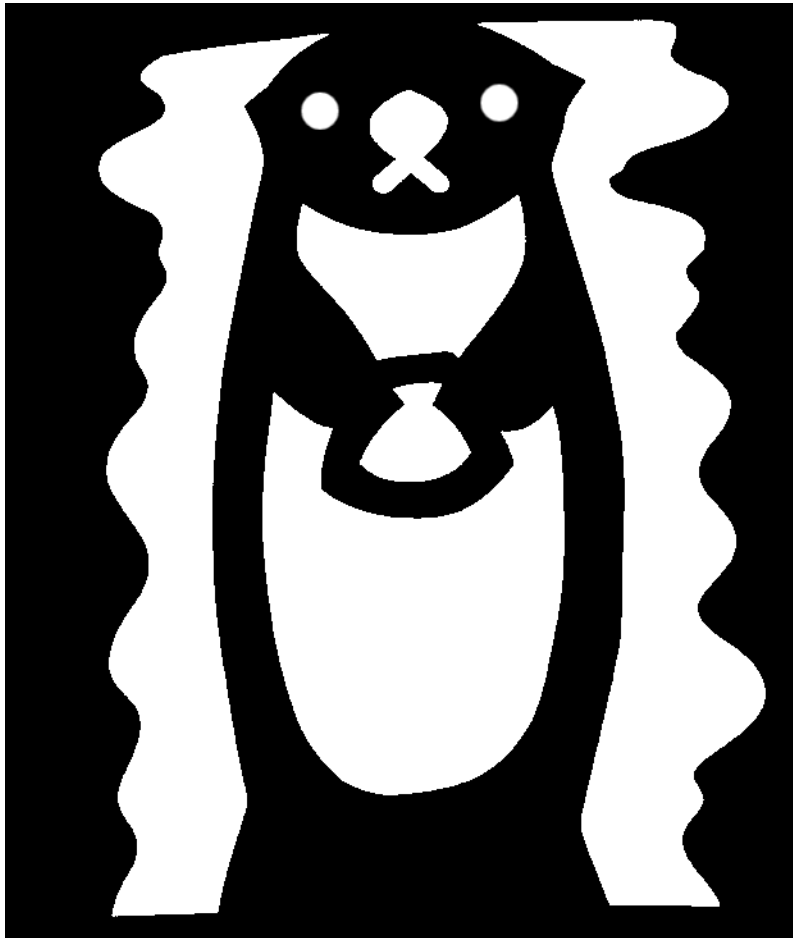


図 25：実験で切り絵をする絵柄



図 26：実験のグループ分けとその内容

5.2 比較方法

本項では，本研究で行う実験の結果から「切る順番」，「入刀回数」，「切り直しの回数」，「千切った回数」を数値化し，以下の内容を比較する．

- ・切る順番の違いの比較方法(5.2.1 項)
- ・デザインナイフの筆圧の違いの比較方法(5.2.2 項)
- ・切り抜く動作の違いの比較方法(5.2.3 項)

5.2.1 切る順番の違いの比較方法

「切る順番」を比較する方法について述べる．この実験を行う前に，熟練者 4 名に実験で利用する画像に対して，初心者にあった切る順番についてアンケートを行った．その結果を示す(図 27)．4 名とも，「小さい場所から順番に切る」，「グループ分けをする」という考えに基づいた考え方をしていた．

実験で利用する画像の切り抜く 6 か所をそれぞれ熟練者の切る順番の数字の名前にする．そして，実験の被験者が切り絵をした切る順番を 6 桁の数値で表すことにする．つまり，熟練者の切る順番の数値は「123456」となる．そして，熟練者の切る順番の数値「123456」と，実験の被験者の切る順番の 6 桁の数値を以下の 2 種類の方法から比較する．

(1)ハミング距離

(2)変曲点の数

(1) ハミング距離とは，等しい文字数を持つ二つの文字列の間で，それぞれに対応する桁にある異なる文字の個数のことである[11]．ハミング距離により，熟練者と被験者の切る順番の数値との適合率を比較する．この場合，熟練者と被験者の切る順番のハミング距離が 0 に近づくほど被験者が熟練者の切る順番に近くなる．

(2)変曲点とは，グラフの曲線上の傾きの符号が変化する点のことである[12]．切る順番の数値を折れ線グラフで表示し，その変曲点の個数を比較する．これにより，被験者の切る順番の傾向を見る．切る順番の 1 回目，2 回目と切る回数を x 軸，切り抜いた場所の数値を y 軸からなる折れ線グラフを作成し，その変曲点の個数を数える．熟練者の切る順番をグラフにした時，傾き 1，変曲点 0 の直線となる．しかし，熟練者の切る順番から離れるにつれて，グラフの傾きは歪になり，山や谷の形となる．この場合，被験者のグラフの変曲点の数が 0 に近づくほど，熟練者の切る順番に近くなる．

ハミング距離により，被験者と熟練者の切る順番を個々に比較し，変曲点の数によ

り，被験者の切る順番の傾向を調査する．

例として，被験者 1 が「123456」の切る順番で切り絵をした場合，ハミング距離は 0，変曲点の数は 0 となる．次に，被験者 2 が「354621」の切る順番で切り絵をした場合，ハミング距離は 6，変曲点の数は 3 となる(表 3)．

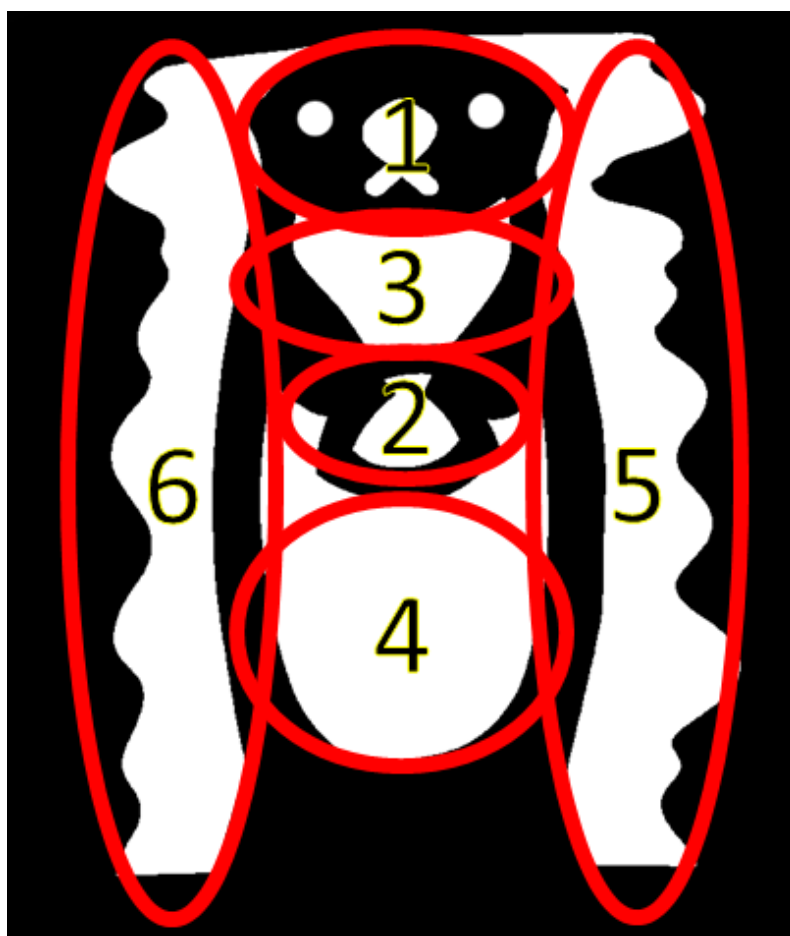
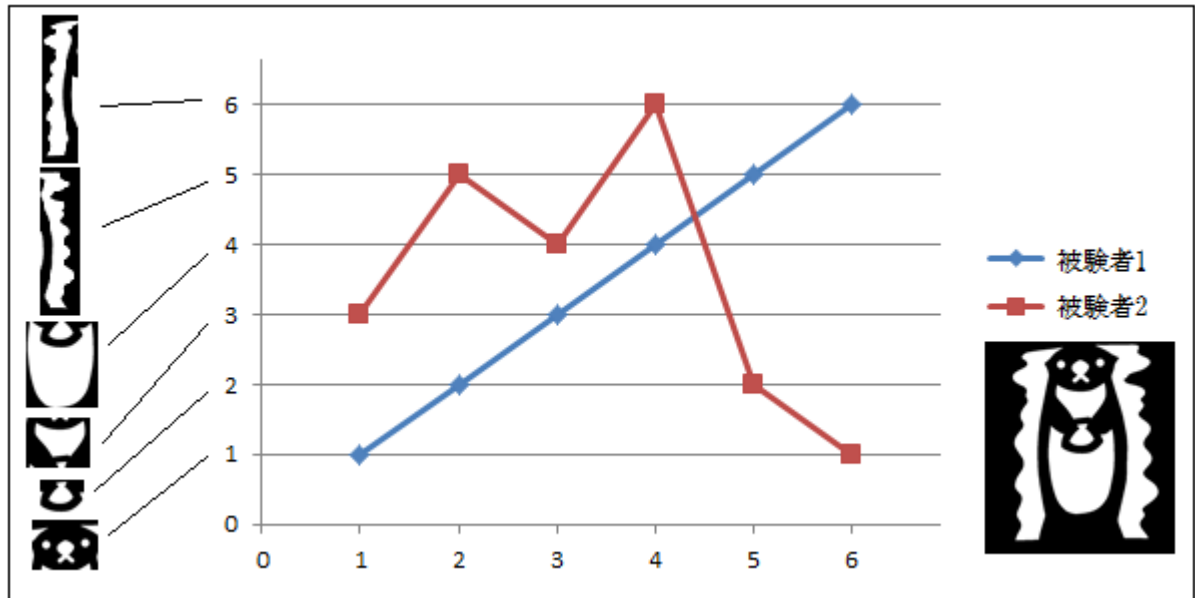


図 27：熟練者の考える切る順番

表 2: 熟練者の切る順番のグラフ化の例



5.2.2 デザインナイフの筆圧の違いの比較方法

「デザインナイフの筆圧」を比較する方法について述べる．そのために，被験者の切り絵の動作の中から，「入刀回数」と「切り直し回数」を計測する．これまでの予備実験から，初心者はデザインナイフにかかる筆圧が弱すぎる場合と強すぎる場合があった．筆圧が弱すぎる場合，二枚重ねの紙を上手く切れずに切り直しをする．また，筆圧が強すぎた場合，円や波線といった曲線に対して，滑らかな曲線を切ることができず，複数に切り分けていた．

1 回目に行う切り絵の入刀回数と，2 回目の入刀回数，同様に切り直し回数を統計による検定を行い，切り絵練習帳の機能による効果の有意差を検証する．この時の対立仮説は「被験者は切り絵練習帳の機能を提供し，入刀回数及び切り直し回数は減少する．」とする．これに対する帰無仮説は「被験者は切り絵練習帳の機能を提供することに関係なく，入刀回数及び切り直し回数に変化はない．」とする．本実験での検定の手法は，分布に依存しない独立した 2 群のデータを比較するため，Mann-Whitney's U test(マン・ホイットニーの U 検定)とする[13]．この検定は，ノンパラメトリックな統計学的検定の一つであり，特定の母集団がもう一方よりも大きな値を持つ傾向にある時に，2 つの母集団が同じであるとする帰無仮説に基づいて検定する[14]．1 回目と 2 回目の数値で検定を行い，有意差がある場合，1 回目と 2 回目の間に大きな変化があったことが言える．本実験の場合，1 回目と 2 回目を比較した結果，全員の被験者が 2 回目に入刀回数と切り直し回数が減少している．その変化が切り絵練習帳の効果による影響か，2 回の実験の中で切り絵に慣れ，減少した影響かを検定の有意差から判断する．つまり，有意差がない場合，その減少の意味は切り絵に慣れ，減少したとなる．逆に，有意差がある場合，その減少の意味は切り絵練習帳の効果により入刀回数と切り直し回数が減少したとなる．

ついては，検定から求まる有意差によって，被験者のデザインナイフの筆圧が熟練者らしく変化するかを求める．

5.2.3 切り抜く動作の違いの比較方法

「切り抜く動作の違い」を比較する方法について述べる．そのために，被験者が切り絵の動作の中から「千切った回数」を計測する．予備実験から，初心者は紙を切り抜く時，手で千切ることで切り抜く様子があった．熟練者は紙を千切ることで切り抜いた場合に残る千切った跡が作品の見栄えを大きく損なうことや，他の千切れやすくなる場所を巻き込む可能性があるため，紙の一部が繋がりを持つ状態にならないように，切り始めと切り終わりの点が重なるように切る．

1 回目に行う千切った回数と，2 回目の千切った回数を統計による検定を行い，切り絵練習帳の機能による効果の有意差を検証する．この時の対立仮説は「利用者は切り絵練習帳の機能を提供し，千切った回数は減少する．」とする．これに対する帰無仮説は「利用者は切り絵練習帳の機能を提供することに関係なく，千切った回数に変化はない．」とする．本実験での検定の手法は，5.2.2 項で述べた **Mann-Whitney's U test** とする．1 回目と 2 回目の数値で検定を行い，有意差がある場合，1 回目と 2 回目の間に大きな変化があったことが言える．本実験の場合，1 回目と 2 回目の数値を比較した結果，全員の被験者が 2 回目に千切った回数が減少，または同数であった．その変化が切り絵練習帳の効果による影響か，2 回の実験の中で切り絵に慣れ，減少した影響かを検定の有意差から判断する．つまり，有意差がない場合，その減少の意味は切り絵に慣れ，減少したとなる．逆に，有意差がある場合，その減少の意味は切り絵練習帳の効果により千切った回数が減少したとなる．

ついては，有意差を求め，切り絵練習帳の機能により，被験者が熟練者のように紙を千切ることで切り離してしまう状態の回避し，切り始めと切り終わりの点が重なる様に切れるかを求める．

5.3 実験結果

本項では，グループ分けをした 6 つのグループのそれぞれの結果から比較を行った (5.3.1 項から 5.3.4 項)．比較する内容は，予備実験の結果より明らかにした初心者と熟練者の違いの 3 点である．その内容について，全ての機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループ 1 とそれぞれの機能を持った切り絵練習帳を利用したグループ 2,3,4, また，切り絵練習帳を利用しないグループ 5 と全ての機能を持った切り絵練習帳を利用するグループ 6 の組み合わせで比較し，それぞれの機能が被験者にどのような影響を与えたかを評価する．また，それぞれのグループの結果の詳細については付録に示す．

5.3.1 グループ 1 とグループ 2 の比較

全ての機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループ 1 と、「なぞる順番に枠を表示する機能」の機能を持った切り絵練習帳を利用するグループ 2 を比較する．これにより，切り絵練習帳の機能の一つである「なぞる順番に枠を表示する機能」の効果の評価を行った．

(1) 切る順番の違い

グループ 1 の 1 回目と 2 回目の切る順番に変化はなかった(表 5,6)，そのため，ハミング距離や変曲点の数も変化なく，ハミング距離の 1 回目，2 回目の平均はともに 5.6，分散は 0.64，同様に変曲点の数の 1 回目，2 回目の平均は 2.2，分散は 1.36 であった．

グループ 2 は 1 回目と 2 回目の切る順番には大きな変化があった(表 7,8)．ハミング距離の 1 回目の平均は 4.2，分散は 2.56 であったが，2 回目の平均は 2.0，分散は 4.80 であった．また，変曲点の数の 1 回目の平均は 2.4，分散は 1.44，2 回目の平均は 1.0，分散は 0.80 であった．

以上の結果より，グループ 1 の切る順番に変化はなかったが，グループ 2 の切る順番は大きく変化したことから，グループ 2 はハミング距離と変曲点の数の数値からも熟練者らしい切る順番になったことが言える．

(2) デザインナイフの筆圧の違い

グループ 1 の結果より検定を行った．1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果，検定統計量(U)=6.0，棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため，有意水準 1%の時，統計量(U)が棄却限界値より大きいため，帰無仮説を採択する．また，この時の両側の有意確率は 0.174 である．同様に 1 回目と 2 回目の切り直し回数の検定の結果，検定統計量(U)=5.5，棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため，有意水準 1%の時，統計量(U)が棄却限界値より大きいため，帰無仮説を採択する．また，この時の両側の有意確率は 0.140 である．

グループ 2 の結果より検定を行った．1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果，検定統計量(U)=6.5，棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため，有意水準 1%の時，統計量

(U)が棄却限界値より大きいため、帰無仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.209 である。同様に 1 回目と 2 回目の切り直し回数の検定の結果、検定統計量(U)=9.0、棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため、有意水準 1%の時、統計量(U)が棄却限界値より大きいため、帰無仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.464 である。

以上の結果より、グループ 1 とグループ 2 の入刀回数と切り直し回数は検定の結果、共に採択されたため、グループ 1 とグループ 2 に大きな変化がないことから「なぞる順番に枠を表示する機能」に「デザインナイフの筆圧の違い」の効果はないと言える。

(3) 切り抜く動作の違い

グループ 1 の結果より検定を行った。1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果、検定統計量(U)=8、棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため、有意水準 1%の時、統計量(U)が棄却限界値より大きいため、帰無仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.331 である。

グループ 2 の結果より検定を行った。1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果、検定統計量(U)=7.5、棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため、有意水準 1%の時、統計量(U)が棄却限界値より大きいため、帰無仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.292 である。

以上の結果より、グループ 1 とグループ 2 の入刀回数と切り直し回数は検定の結果、共に採択されたため、グループ 1 とグループ 2 に大きな変化がないことから「なぞる順番に枠を表示する機能」に「切り抜く動作の違い」の効果はないと言える。

グループ 1 とグループ 2 の切り絵の動作を比較した。(1),(2),(3)の結果より、「なぞる順番に枠を表示する機能」には、被験者の切る順番を熟練者らしくする効果があることを明らかにした。

表 3：グループ 1 切る順番 1 回目

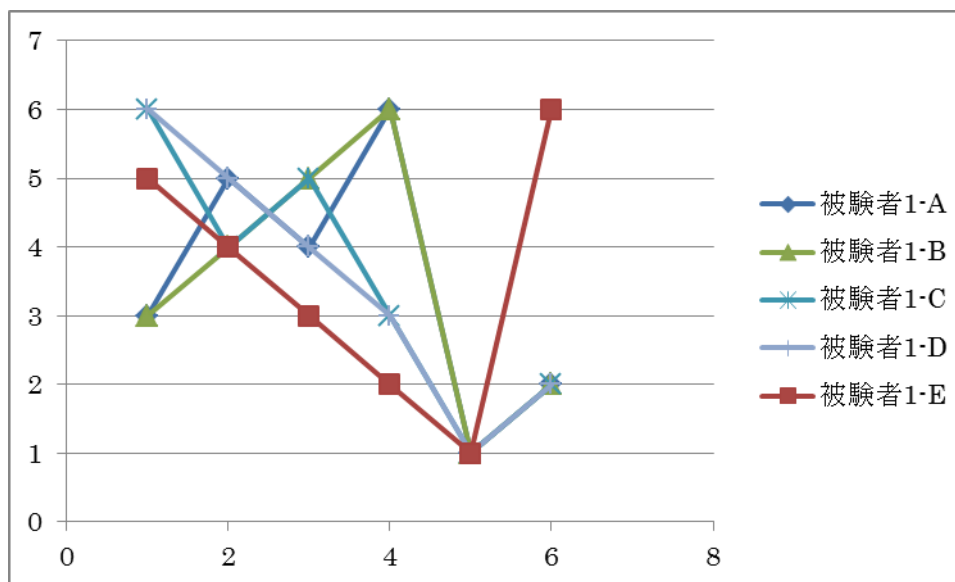


表 4：グループ 1 切る順番 2 回目

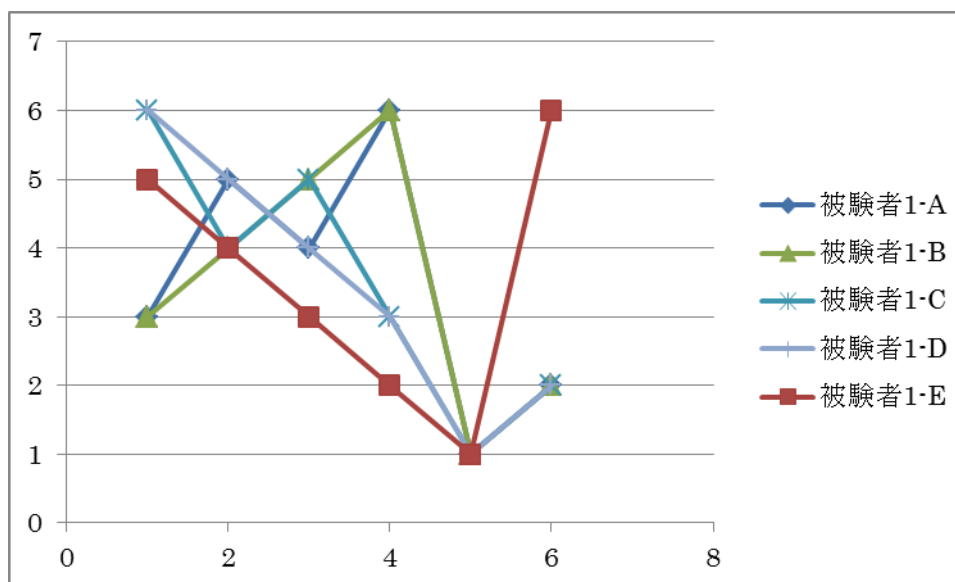


表 5: グループ 2 切る順番 1 回目

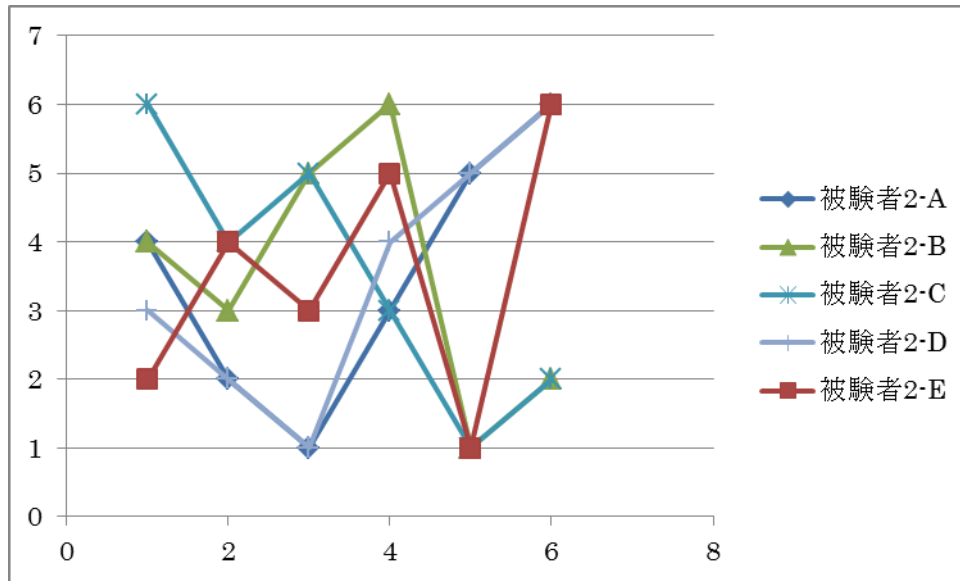
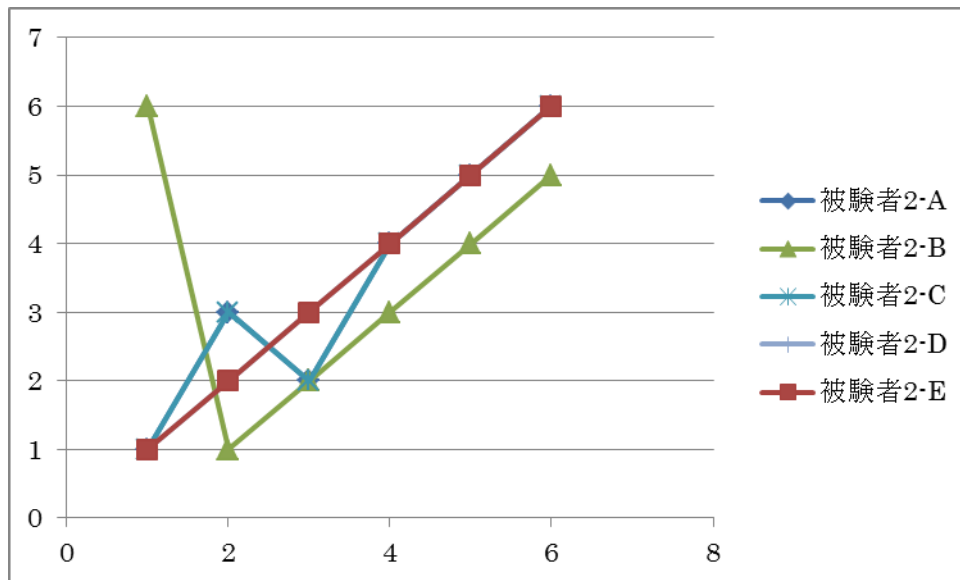


表 6: グループ 2 切る順番 2 回目



5.3.2 グループ 1 とグループ 3 の比較

全ての機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループ 1 と、「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」の機能を持った切り絵練習帳を利用するグループ 3 を比較する。これにより、切り絵練習帳の機能の一つである「適切な筆圧でのみ筆跡を表示する機能」の効果の評価を行った。

(1) 切る順番の違い

グループ 1 の結果は、5.3.1(1)で述べたため省略する。

グループ 3 は 1 回目と 2 回目の切る順番に変化はなかった。ハミング距離の 1 回目の平均は 4.4、分散は 0.24 であったが、2 回目の平均は 4.8、分散は 0.56 であった。また、変曲点の数の 1 回目の平均は 2.8、分散は 2.16、2 回目の平均は 3.0、分散は 1.20 であった。

以上の結果より、グループ 1 とグループ 3 の入刀回数、ハミング距離や変曲点の平均からは、大きな変化がなかった。

(2) デザインナイフの筆圧の違い

グループ 1 の結果は、5.3.1(2)で述べたため省略する。

グループ 3 の結果より検定を行った。1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果、検定統計量(U)=0.0、棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため、有意水準 1%の時、統計量(U)が棄却限界値以下であったため、帰無仮説が棄却され対立仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.009 である。同様に 1 回目と 2 回目の切り直し回数の検定の結果、検定統計量(U)=0.0、棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため、有意水準 1%の時、統計量(U)が棄却限界値以下であったため、帰無仮説が棄却され対立仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.008 である。

以上の結果より、グループ 1 とグループ 3 の入刀回数と切り直し回数を検定した結果、グループ 1 対立仮説が棄却されたが、グループ 3 は対立仮説が採択された。つまり、グループ 1 とグループ 3 には大きな変化があることから、「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」に「デザインナイフの筆圧の違い」を熟練者らしくする効果があると言える。

(3) 切り抜く動作の違い

グループ 1 の結果は、5.3.1(3)で述べたため省略する。

グループ 3 の結果より検定を行った。1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果、検定統計量(U)=9.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため、有意水準 1%の時、統計量(U)が棄却限界値より大きいため、帰無仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.456 である。

以上の結果より、グループ 1 とグループ 3 の入刀回数と切り直し回数は検定の結果、共に採択されたため、グループ 1 とグループ 3 には大きな変化がないことから、「なぞる順番に枠を表示する機能」の効果と「切り抜く動作の違い」の有意差はないと言える。

グループ 1 とグループ 3 の切り絵の動作を比較した。(1),(2),(3)の結果より、「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」には、被験者のデザインナイフの筆圧を熟練者らしくする効果があることを明らかにした。

5.3.3 グループ 1 とグループ 4 の比較

全ての機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループ 1 と、「なぞり始めと終わりを強調する機能」の機能を持った切り絵練習帳を利用するグループ 4 を比較する。これにより、切り絵練習帳の機能の一つである「なぞり始めと終わりを強調する機能」の効果の評価を行った。

(1) 切る順番の違い

グループ 1 の結果は、5.3.1(1)で述べたため省略する。

グループ 4 は 1 回目と 2 回目の切る順番に変化はなかった。ハミング距離の 1 回目の平均は 3.8, 分散は 1.36 であったが, 2 回目の平均は 4.2, 分散は 1.36 であった。また, 変曲点の数の 1 回目の平均は 2.2, 分散は 1.36, 2 回目の平均は 3, 分散は 0.40 であった。

以上の結果より, グループ 1 とグループ 4 の入刀回数, ハミング距離や変曲点の平均からは, 大きな変化がなかった。

(2) デザインナイフの筆圧の違い

グループ 1 の結果は、5.3.1(2)で述べたため省略する。

グループ 4 の結果より検定を行った。1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果, 検定統計量(U)=6.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため, 有意水準 1%の時, 統計量(U)が棄却限界値より大きいため, 帰無仮説を採択する。また, この時の両側の有意確率は 0.173 である。同様に 1 回目と 2 回目の切り直し回数の検定の結果, 検定統計量(U)=3.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため, 有意水準 1%の時, 統計量(U)が棄却限界値より大きいため, 帰無仮説を採択する。また, この時の両側の有意確率は 0.043 である。

以上の結果より, グループ 1 とグループ 4 の入刀回数と切り直し回数は検定の結果, 共に採択されたため, グループ 1 とグループ 4 には大きな変化がないことから, 「なぞり始めと終わりを強調する機能」に「デザインナイフの筆圧の違い」の効果はないと言える。

(3) 切り抜く動作の違い

グループ 1 の結果は、5.3.1(3)で述べたため省略する。

グループ 4 の結果より検定を行った。1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果、検定統計量(U)=0.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため、有意水準 1%の時、統計量(U)が棄却限界値以下であったため、帰無仮説が棄却され対立仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は 0.008 である。

以上の結果より、グループ 1 とグループ 4 の入刀回数と切り直し回数は検定の結果、グループ 1 の結果に対し、グループ 4 は対立仮説が採択されたため、グループ 1 とグループ 4 には大きな変化があることから、「なぞり始めと終わりを強調する機能」に「切り抜く時の動作の違い」の効果があると言える。

グループ 1 とグループ 4 の切り絵の動作を比較した。(1),(2),(3)の結果より、「なぞり始めと終わりを強調する機能」には、被験者が切り抜く時に、切り始めと切り終わりの点が重なるように切ることを意識させる効果があることを明らかにした。

5.3.4 グループ5 とグループ6 の比較

切り絵練習帳を利用せずに切り絵のみを3回行うグループ5と、全ての機能を持った切り絵練習帳を利用するグループ6を比較する。これにより、切り絵のみをした場合と切り絵練習帳を利用した場合に、どちらがより熟練者らしい切り方となるかの評価を行った。

(1) 切る順番の違い

グループ5の1回目と2回目の切る順番に変化はなかった。また、2回目と3回目の切る順番には小さな変化があった。ハミング距離の平均の1回目、2回目ともに6.0、分散は0.0、2回目から3回目の平均は4.4、分散は2.24であった。同様に変曲点の数の平均の1回目、2回目ともに2.2、分散は1.36、2回目と3回目の平均は2.0、分散は0.40であった。

グループ6は1回目と2回目の切る順番には大きな変化があった。ハミング距離の1回目の平均は4.6、分散は1.44であったが、2回目の平均は1.6、分散は0.64であった。また、変曲点の数の1回目の平均は2.4、分散は1.44、2回目の平均は1.6、分散は0.64であった。

以上の結果より、グループ5の切る順番に変化はなかったが、グループ6の切る順番は大きく変化したことから、グループ6はハミング距離と変曲点の数の数値からも熟練者らしい切る順番になったことが言える。

(2) デザインナイフの筆圧の違い

グループ5の結果より検定を行った。1回目と2回目の入刀回数の検定の結果、検定統計量(U)=8.0、棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0であるため、有意水準1%の時、統計量(U)が棄却限界値より大きいため、帰無仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は0.347である。同様に1回目と2回目の切り直し回数の検定の結果、検定統計量(U)=2.5、棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0であるため、有意水準1%の時、統計量(U)が棄却限界値より大きいため、帰無仮説を採択する。また、この時の両側の有意確率は0.036である。

グループ6の結果より検定を行った。1回目と2回目の入刀回数の検定の結果、検

定統計量(U)=0.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため, 有意水準 1%の時, 統計量(U)が棄却限界値以下であったため, 帰無仮説が棄却され対立仮説を採択する. また, この時の両側の有意確率は 0.009 である. 同様に 1 回目と 2 回目の切り直し回数の検定の結果, 検定統計量(U)=0.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため, 有意水準 1%の時, 統計量(U)が棄却限界値以下であったため, 帰無仮説が棄却され対立仮説を採択する. また, この時の両側の有意確率は 0.008 である.

以上の結果より, グループ 5 とグループ 6 の入刀回数と切り直し回数は検定の結果, グループ 5 の結果に対し, グループ 6 は対立仮説が採択されたため, グループ 5 とグループ 6 には大きな変化があることから, 切り絵練習帳を利用し「デザインナイフの筆圧の違い」への効果があると言える.

(3) 切り抜く動作の違い

グループ 5 の結果より検定を行った. 1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果, 検定統計量(U)=1.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため, 有意水準 1%の時, 統計量(U)が棄却限界値より大きかったため, 帰無仮説を採択する. また, この時の両側の有意確率は 0.014 である.

グループ 6 の結果より検定を行った. 1 回目と 2 回目の入刀回数の検定の結果, 検定統計量(U)=0.0, 棄却限界値($\alpha=0.01$)=0.0 であるため, 有意水準 1%の時, 統計量(U)が棄却限界値以下であったため, 帰無仮説が棄却され対立仮説を採択する. また, この時の両側の有意確率は 0.008 である.

以上の結果より, グループ 5 とグループ 6 の入刀回数と切り直し回数は検定の結果, グループ 5 の結果に対し, グループ 6 は対立仮説が採択されたため, グループ 5 とグループ 6 には大きな変化があることから, 切り絵練習帳を利用し「切り抜く時の動作の違い」の効果があると言える.

グループ 5 とグループ 6 の動作を比較した. (1),(2),(3)の結果より, 切り絵練習帳を利用し, 被験者が熟練者らしい切り方となる効果があると言える.

表 7:グループ 5 切る順番 1 回目

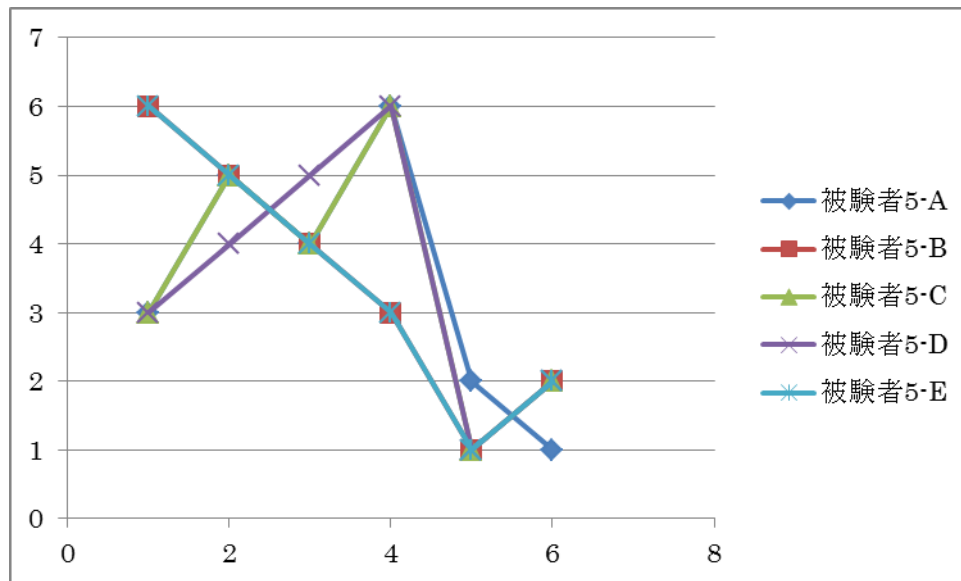


表 8: グループ 5 切る順番 3 回目

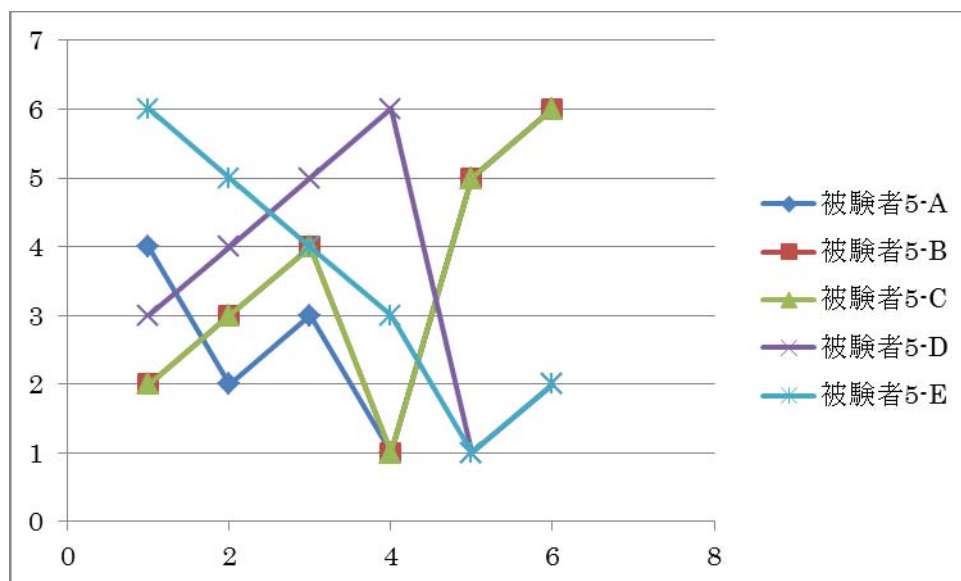


表 9：グループ 6 切る順番 1 回目

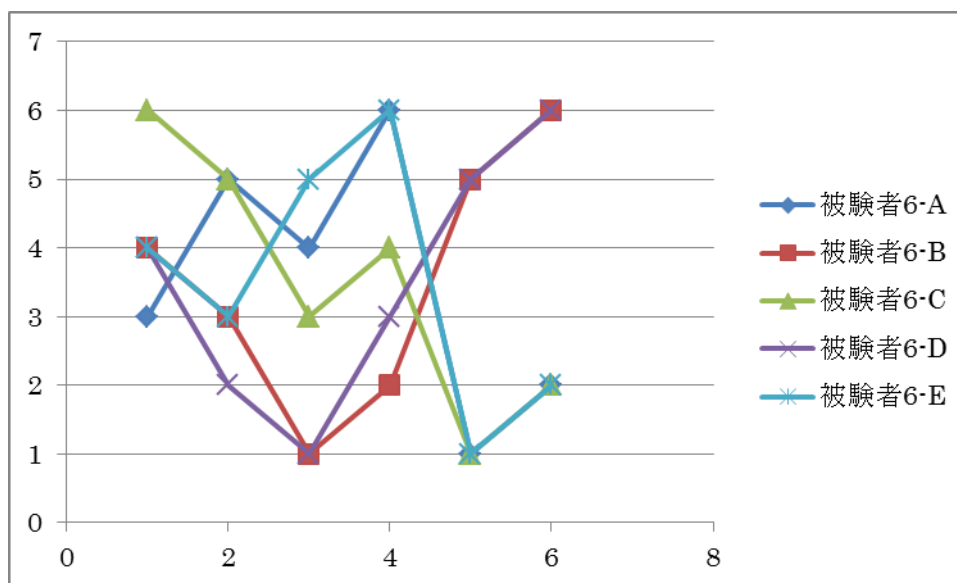
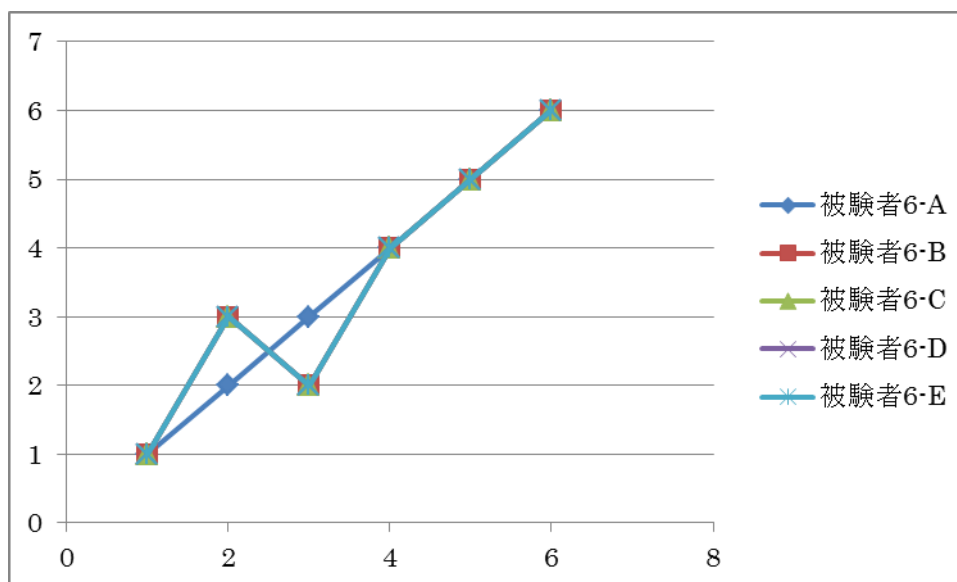


表 10：グループ 6 切る順番 2 回目



5.4 実験の考察

全ての機能を持たない切り絵練習帳を利用したグループ 1 とそれぞれの機能を持った切り絵練習帳を利用したグループと実験し、「切る順番」、「入刀回数」、「切り直し回数」、「千切った回数」を比較し、それぞれの機能が被験者にどのような影響を与えたかを評価した。

5.3.1 項では全ての機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループ 1 と、「なぞる順番に枠を表示する機能」を持った切り絵練習帳を利用するグループ 2 を比較し、「なぞる順番に枠を表示する機能」の効果について評価した。

その結果、グループ 2 は、グループ 1 に比べ、切る順番が熟練者らしくなる傾向を得た。グループ 1 は 1 回目と 2 回目との切る順番に変化がなかった。一方、グループ 2 は、全員の切る順番が著しく変化し、切る順番を評価材料となるハミング距離や変曲点の数の比較により、グループ 2 はグループ 1 以上に熟練者らしい切る順番になった。しかし、他の入刀回数や切り直し回数、千切った回数は検定を行った結果グループ 1、グループ 2 は 1 回目と 2 回目の母集団に大きな差はないという仮説が採択された。つまり、「なぞる順番に枠を表示する機能」と「デザインナイフの筆圧の違い」や「切り抜く時の動作の違い」は無関係である傾向を得た。

グループ 1 とグループ 2 の違いである「なぞる順番に枠を表示する機能」は、「切る順番の違い」に対して十分な効果を得た。以上より、「なぞる順番に枠を表示する機能」を持つ切り絵練習帳を利用し、利用者は切る順番が熟練者らしくなる傾向を得た。

実験内で特徴的であった被験者 2-C について述べる。1 回目の切り絵では、始めに大きく目立つ場所から切り始めていた。しかし、切り絵練習帳を利用し、切る順番が熟練者の切る順番である「123456」となった。この被験者は 1 回目の切る順番の理由について、「大きな場所から切るべきかと思った。」という考えを抱いていた。しかし、実際の熟練者の切る順番はその逆である。切り絵練習帳を利用する中で、自分が抱いた切る順番の考えかたが誤り出るということに気づき、2 回目の切り絵では切る順番のハミング距離や変曲点の数が減少した。

5.3.2 項ではグループ 1 と「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」を持った切り絵練習帳を利用するグループ 3 を比較し、「適切な筆圧でのみ筆跡を表示する機能」の効果について評価した。

その結果、グループ 3 はグループ 1 に比べ、デザインナイフの筆圧が熟練者らしくなる傾向を得た。グループ 1 は 1 回目と 2 回目の入刀回数や切り抜き回数の母集団に差がなかった。しかし、グループ 3 の検定の結果、1 回目と 2 回目の入刀回数と切り抜き回数の検定に有意差があった。しかし、グループ 1 とグループ 3 の切る順番から求まるハミング距離や変曲点の数に差はなく、また千切った回数は検定を行った結果、1 回目と 2 回目の母集団に大きな差がないという仮説が採択された。つまり、「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」と「切る順番の違い」や「切り抜く動作の違い」は無関係である傾向を得た。

グループ 1 とグループ 3 の違いである「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」は、「デザインナイフの筆圧の違い」に対して十分な効果を得た。以上より、「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」を持つ切り絵練習帳を利用し、利用者はデザインナイフの筆圧が熟練者らしくなる傾向を得た。

実験内で特徴的な被験者であった被験者 3-A について述べる。グループ 3 の中で 1 回目の入刀回数や切り直し回数が多い結果となったが、切り絵練習帳を利用し、2 回目では 30 名全ての被験者の中で入刀回数と切り直し回数が最少となった。1 回目の切り絵の様子では、把持する手が震えるほどの筆圧で切り絵をしていた。特にこの被験者のみ、手が痛くなり途中で休憩をする様子があった。しかし、2 回目の切り絵では自分の筆圧が過剰であることに気づき、休憩をとらず切り絵をしていた。

5.3.3 節ではグループ 1 と「なぞり始めと終わりを強調する機能」を持った切り絵練習帳を利用するグループ 4 を比較し、「なぞり始めと終わりを強調する機能」の効果について評価した。

その結果、グループ 4 はグループ 1 に比べ、切り抜く時に、切り始めと切り終わりの点が重なる様に切ることを意識する傾向を得た。グループ 1 は 1 回目と 2 回目の千切った回数の母集団に差がなかった。しかし、グループ 4 の検定の結果、1 回目と 2 回目の千切った回数の検定に有意差があった。しかし、グループ 1 とグループ 4 の切る順番から求まるハミング距離や変曲点の差はなく、また入刀回数や切り直し回数を

検定した結果、1 回目と 2 日目の母集団に大きな差はないという仮説が採択された。つまり、「なぞり始めと終わりを強調する機能」と「切る順番」や「デザインナイフの筆圧」は無関係である傾向を得た。

グループ 1 とグループ 4 の違いである「なぞり始めと終わりを強調する機能」は「切り抜く時の動作の違い」に対して十分な効果を得た。以上より、「なぞり始めと終わりを強調する機能」を持つ切り絵練習帳を利用し、利用者は切り抜く時に、熟練者らしく切り始めと切り終わりの点が重なる様に切ることを意識する傾向を得た。

実験内で特徴的な被験者であった被験者 4-E について述べる。他の被験者も千切る傾向を得たが、彼の場合は他の被験者よりも長い距離を千切っていた。その結果、千切った跡が目立つだけでなく、千切る勢いにより切り残すべき場所まで千切っていた。2 回目では、1 回目の反省から千切ることの回避を目的に他の被験者よりも切り直し回数が多くなる結果となった。

5.4.4 節では、切り絵練習帳を利用しないグループ 5 と全ての機能を持った切り絵練習帳を利用するグループ 6 を比較し、同じ内容の切り絵を繰り返し行う以上に切り絵練習帳を利用し、熟練者らしい切り方になるかについて評価した。

その結果、グループ 6 はグループ 5 に比べ、切る順番が熟練者らしくなる傾向を得た。グループ 5 は 1 回目と 2 回目との切る順番に変化がなかった。一方、グループ 6 は、全員の切る順番が著しく変化し、切る順番を評価材料となるハミング距離や変曲点の数の比較により、グループ 6 はグループ 5 以上に熟練者らしい切る順番になった。

また、グループ 6 はグループ 5 に比べ、デザインナイフの筆圧が熟練者らしくなる傾向を得た。グループ 5 は、1 回目と 2 回目の入刀回数や切り抜き回数の母集団に差がなかった。しかし、グループ 6 の検定の結果、1 回目と 2 回目の入刀回数と切り抜き回数の検定に有意差があった。

その他にも、グループ 6 はグループ 5 に比べ、切り抜く時に、切り始めと切り終わりの点が重なる様に切ることを意識する傾向を得た。グループ 5 は 1 回目と 2 回目の千切った回数の母集団に差がなかった。しかし、グループ 6 の検定の結果、1 回目と 2 回目の千切った回数の検定に有意差があった。

切り絵練習帳を利用し、同じ内容の切り絵を繰り返し行う以上に熟練者らしい切り方になる傾向を得た。

グループ 5 は他のグループと異なり切り絵を 3 回行った。その中の被験者 5-1, 被験者 5-2, 被験者 5-3 は 2 回目と 3 回目で切る順番が変化した。彼らが切る順番を変更した理由は「2 回の切る中で大きな場所を先に切ると、後半が難しいから」という考えからであった。そのため、先に切っていた大きな場所を最後にするといった熟練者の考えに近い変化をする傾向を得た。残りの 2 名は切る順番を軽視していたため、3 回目に変化はないが、切る順番について注意している場合、切る順番の機能を持った切り絵練習帳を利用したグループほどではないが、小さくも意味のある変化があった。

以上の考察により、切り絵練習帳が持つ「なぞる順番に枠を表示する機能」、「適切な筆圧でのみ筆圧を表示する機能」、「なぞり始めと終わりを強調する機能」の 3 つの機能は、それぞれの効果によって、初心者と熟練者との違いである「切る順番の違い」、「デザインナイフの筆圧の違い」、「切り抜く時の動作の違い」について、利用者を熟練者らしくした。

第 6 章

おわりに

本研究についてのまとめとして，1 章で述べた本研究の目的や予備実験から得た初心者と熟練者との違いについて，またその違いから熟練者らしい切り絵をさせるための切り絵練習帳の機能のことで，実験により切り絵練習帳の評価についてのまとめを述べる．(6.1 節)．

また，本研究では扱えなかった研究課題や，より切り絵を練習するために追加する機能のことなどの今後の課題について述べる (6.2 節)．

6.1 まとめ

本研究は、切り絵の初心者を対象に、切り絵の制作を支援するために以下の目的を可能とする切り絵練習帳を開発する。

- ・利用者に同じ場所を繰り返し練習させる
- ・利用者が切り絵の熟練者らしい切り方を体験させる

切り絵練習帳とは、切り絵を練習する中で熟練者の切り方などの知識を提供するための物である。初心者と熟練者の違いや初心者が切り絵をする上で注意すべきことについての調査を目的に切り絵教室に調査をした。その結果、初心者は切り絵の経験がないため、失敗の起きやすい切る順番を裂けるための知識や、デザインナイフの使い方、作品に対する見栄えにも注意を払うことが重要であることが分かった。初心者はデザインナイフを上手く使うことができず、失敗があるため、切り絵をしている時の手の動きや力加減についての情報の把握は切り絵の上達をする上で重要である。

以上のことから、切り絵練習帳をデジタル機器により開発し、切り絵の作業中の手の動きや、どのような順番で切り絵をしているか、どの部分で失敗の起きやすい動きをしていたかなど様々な情報を振り返ることが可能にする。

切り絵練習帳を開発するために、初心者が上達するために必要となる機能の調査を目的に、初心者と熟練者に同じ画像で切り絵をさせる予備実験を行った。その結果、以下の3つの違いを明らかにした。

- ・切る順番の違い
- ・デザインナイフの筆圧の違い
- ・切り抜く動作の違い

予備実験の「切る順番」、「入刀回数」、「切り直し回数」、「千切った回数」から得た傾向による初心者と熟練者との違いを参考に、熟練者らしい動きを利用者に体験させるために以下の3つの機能を持った切り絵練習帳を開発した。これにより、初心者に熟練者らしい切り方を繰り返し学習させ、研究の目的の1つ目である繰り返し練習さ

せることを可能にする．

- ・ なぞる順番に枠を表示する機能
- ・ 適切な筆圧でのみ筆跡を表示する機能
- ・ なぞり始め，なぞり終わりを強調する機能

最後に，全ての機能を持たない切り絵練習帳を利用するグループ，それぞれの機能のみを持った切り絵練習帳を利用するグループ，切り絵練習帳を利用しない切り絵のみをするグループという形で 30 人の被験者を 1 グループ 5 人の 6 グループに分け，それぞれの切り絵の動作や切り絵練習帳により，変化した動きについて比較した．

その後，それぞれの「切る順番」，「入刀回数」，「切り直し回数」，「千切った回数」を比較し，切り絵練習帳の各機能を持ったグループがどの程度の変化をしたか評価した結果，各機能により，初心者と熟練者の違いに十分な効果があることを明らかにした．また，切り絵のみをするグループと全ての切り絵練習帳を利用するグループを比較し，切り絵練習帳を利用し，同じ内容の切り絵を繰り返し行う以上に熟練者らしい切り方になる効果があることを明らかにした．

以上のことから，研究の目的の 2 つ目である熟練者らしい切り方を体験させることが可能と言える．

6.2 今後の課題

本研究では、芸術活動の一つである「切り絵」に注目し、支援する研究である。しかし、スケッチやデッサンといった描くこととは大きく異なる絵画手法であるため、初心者と熟練者との切り絵にどの程度の違いがあるか、そのためにどのような手法で支援をするかという調査が必要であった。そのため、予備実験として切り絵の支援に必要な物を調査した。そして、切り絵練習帳を開発し、それぞれの機能の効果を評価までを行った。評価することが目的の一つであるため、切り絵練習帳で利用していた画像や、実験で利用した画像は切る順番が熟練者と違った順番で切り続けた場合難しくなりやすい物、波線のような筆圧の強弱で入刀回数の変化しやすい物を中心に選択をした。

また、デザインナイフの刃の耐久を考慮していないため、現在のタッチペンの適した筆圧は常に最も切れる状態の新しい刃で切り絵をした時の筆圧としている。そのため、切り抜く場所の多い絵のパターンでは、切り絵をしていく途中で刃が傷んでしまい切り絵練習帳の筆圧に従う場合、二枚重ねを上手く切れなくなる。今後は、そのようなデザインナイフを使い続けると切れにくくなる状態になることも再現し、なぞった距離に応じてタッチペンにかかる筆圧を調整する機能を追加する。

さらに、より利用者が切り絵練習帳を活用しやすくなる改良することを予定している。例えば、切り絵練習帳に表示する画像を利用者が選択可能にし、その画像に適した切る順番を提供する。これにより、利用者が実際に同じ画像を使って切り絵をする場合に、事前練習を目的とする切り絵練習帳にも対応する。

その手段の例として、人の顔や建物の画像を切り絵調の絵にする研究がある[14][15]。このシステムにより変換された切り絵調の画像を切り絵練習帳で利用し、利用者が選択した任意の画像での切り絵にも対応し、利用者が熟練者らしい切り方を学習し、実際の切り絵においても熟練者らしい切り方となるかを評価する。

その他に、現在の切り絵練習帳では、表示されているなぞる場所に対して、切りすぎの場合や、さらに境界に沿う形で切る必要がある場合に対する提示は行っていない。また、実際の切り絵の実験においても、1回目と2回目の切り絵での下絵の画像との再現性については未だに考慮ができていない。そのために、切り絵練習帳では、実際になぞる場所の線からどの程度離れた位置か距離情報を提示する。また、その機能の

効果を評価するために，下絵の画像と 1 回目，2 回目で切った切り絵の作品の画像の白の領域と黒の領域の量を計算し，下絵の画像との比較することを予定している．

謝辞

金井秀明准教授. 本研究を進めるにあたり, ご指導ありがとうございます. プロポーザルでは, 私がフランスに行くことになり, プロポーザルを早めに書き終えることができるように, 色々アドバイスをいただきありがとうございます. また, 切り絵の熟練者への実験をするときも, 事前に打ち合わせ等もあまりなく, 勝手に東京の同人イベントに行き, ほとんどがゼミでの事後報告となってしまいすみませんでした. ゼミの発表でも, 多く抱えた問題に対し先生から多くのご指導をいただきありがとうございます. 私はまだまだ未熟なため, その時に言われた内容を正確に理解しないまま, 期間が過ぎてから自分でも問題の意味と先生のご指摘の意味を理解するといったことが多く, すぐに対応ができていなかったことも多くありましたが, その度に, 改めてご指導をしていただきありがとうございます. また, 秋ごろには急に「温泉いく?」と, 学会に誘っていただきありがとうございます. その結果, ベストプレゼンテーション賞をいただくことができました. 宿泊した宿でも, 多くの人に褒めていただき研究を楽しもうという思いが強まりました. また, 忘年会頃に「タイいく?」と, 声をかけていただきありがとうございます. そのための英語のアブストでは, 年末年始とお忙しい中での締切直前にかかわらず, A4 用紙 1 ページの 9 割以上が修正をしていただきありがとうございます. その後, タイの治安により学生の発表は中止と残念な結果ではありましたが, タイに行った場合のスケジュールで進めていたため空いた時間を有効に使うことができました. 次はまた 3 月に行われる学会もあり, 修論発表の後もまだまだお世話になると思いますので, よろしく願いいたします.

宮田一乗教授. IVRC の企画であった「積木キャッスル」では大変お世話になりました. 惜しくも, IVRC では, 決勝大会までいけませんでした, 先生には多くのご指摘をいただき, フランスで行われた LAVAL VIRTUAL にも行くことができました. ありがとうございます. 現地では多くの人と知り合い楽しい時間を過ごすことができました. その後も, 文部科学省の人や他大学の広報, めざましテレビの取材や漫画家と多くの人に積木キャッスルをお披露目する機会を作っていただきありがとうございます.

池田満教授，神田陽治教授は宮田先生と中間審査にて今後の方向性を決定づける忌憚なきご意見をいただきました．ありがとうございます．

國藤進副学長．副テーマでは大変お世話になりました．これまでの授業では私の切り絵に興味を持っていただき，多くの意見をいただきました．ありがとうございます．また，ミニ移動大学や紅葉祭でも切り絵をしている人として多くの人に紹介をしていただきありがとうございます．1-1 期の先生の授業の発表でも，たくさんの指摘と感想をいただき，この研究を進める意思を強く持つことができました．ありがとうございます．

緒方ゆう様，ぬめ様．東方例大祭にて，突然の訪問にかかわらず私の研究に興味を持っていただき，その後も実験に協力をしていただきありがとうございます．また，研究以外にも，私自身の切り絵の相談にも乗っていただき，自分の趣味としての切り絵の幅を広げる機会にもなり，この研究テーマを選んでよかったと思える実験でした．

クリエイターズマーケットの切り絵熟練者の皆様．名古屋クリエイターズマーケットにて，突然の訪問にかかわらず私の研究のアンケートに答えていただきありがとうございます．次は出店側として会えるよう頑張りたいと思います．

金井研の皆様 阿部翔太郎様，金塚敦様，武林冬樹様，吉田翔様．研究室に配属されてから早々とブースのパーティションを解体したり，ゲーム機を持ち込み，炬燵を設置したりと研究室の改造に協力していただきありがとうございます．

特に車を持っている阿部，吉田には買い物から色々出動していただきありがとうございます．また，よく料理を作ってくれる武林には，朝から夜までご飯を作っていただきありがとうございます．

宮田研，西本研の皆様．研究や遊びでも色々とお世話になりました．深夜から早朝まで私の遊びに付き合ってくださいありがとうございます．

参考文献

- [1] 経済産業省 「2013 年版ものづくり白書」
<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2013/pdf/honbun01_03_02.pdf>
(2014/1/27 アクセス)
- [2] ダニエレ・マリアーニ,swissinfo.ch 「3D プリンタ, デジタル時代の手工芸」
<<http://www.swissinfo.ch/jpn/detail/content.html?cid=36890280>>
(2014/1/27 アクセス)
- [3] AKI INOMATA 「"Why Not Hand Over a "Shelter" to Hermit Crabs?",
2010-2013」
<<http://www.aki-inomata.com/works/hermit/>>
(2014/1/27 アクセス)
- [4] 日本アートクラフト協会
< <http://jaca-escargot.co.jp/>>
(2014/1/27 アクセス)
- [5] 高木亮(2012) 『はじめてでも簡単 たのしい切り絵レッスン』 家の光協会
- [6] 日本切り絵教会(1997) 『きりえ全科』 誠文堂新光社
- [7] 中島健次郎 「作成手順を考慮した切り絵制作支援ツール」筑波大学博士前期課程
修了論文(2011)
- [8] Daniel Dixon Manoj Prasad, and Tracy Hammmmond 「iCanDraw? – Using
Sketch Recognition and Corrective Feedback to Assist a User in Drawing Human
Faces」 CHI '10 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in
Computing Systems. Pages 897-906
- [9] 澤田彰浩, 亀田昌志 「タブレット型 PC を用いた初心者向け対話型デッサン学習

支援システムの開発」 情報処理学会第 74 回全国大会(2012)

[10] 村中徳明, 徳丸正孝, 今西茂「ペン習字(筆記学習)支援システム—運筆用動画手本の教育効果—」 電子情報通信学会(2006)

[11] 結城浩(2011)『数学ガール ランダムアルゴリズム』ソフトバンククリエイティブ

[12] 杉浦光夫(1980)『解析入門 I』東京大学出版会

[13] 服部雄一(2008)『確立統計入門』培風館

[14] 菅民郎(2009)『らくらく図解統計分析教室』オーム社

[15] Meng Meng, Mingtian Zhao, Song-Chun Zhu「Artistic Paper-Cut of Human Portraits」 Proceedings of the international conference on Multimedia(2010)

[16] Jie. Xu, Craig. S. Kaplan and Xiaofeng. Mi. 「Computer-Generated papercutting」. In Proc. PG '07, pages 343–350, 2007.

発表論文

- [1] 東孝文, 金井秀明, タブレットを用いた切り絵練習帳の開発, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2013, 山梨県石和温泉郷, 11 月 28, 29 日, 2013. GNWS2013 ベストプレゼンテーション賞受賞

- [2] Takafumi Higashi, Hideaki Kanai, A supporting system for practicing paper cutouts using a tablet computer, International School on Knowledge Co-Creation (ISKCC2014), January 29, Bangkok, Thailand (in submission).
ポスター展示

- [3] 東孝文, 金井秀明, 切り絵初心者の上達を目的とする切り絵練習帳の評価, 第 91 回グループウェアとネットワークサービス研究会, 明治大学, 3 月 14, 15 日, 2014, 発表予定

付録

5章の実験で用いた Mann-Whitney's U test(マン・ホイットニーの U 検定)について述べる.

検定統計量(U)が棄却限界値以下の場合, 帰無仮説を棄却する. 棄却限界値は以下の検定統計表より参照する. 本実験の場合, データの群は n1 と n2 共に 5 であるため, 棄却限界値は 0 となる. つまり, U の値が 0 の場合にのみ帰無仮説を棄却する. それぞれのグループの検定の結果については, 以下に示すグループ毎の結果の中で示す.

$\alpha = 0.01$		n2									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
n1	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	3		---	---	---	---	---	---	0	0	
	4			---		0	0	1	1	2	
	5					0	1	1	2	3	4
	6						2	3	4	5	6
	7							4	6	7	9
	8								7	9	11
	9									11	13
	10										16

U 検定 統計検定表

以下に、5.3 節の実験結果での、それぞれのグループの結果の詳細について示す。

グループ 1 の結果

		切る順番						ハミング距離	変曲点
被験者 1-A	1 回目	3	5	4	6	1	2	6	4
	2 回目	3	5	4	6	1	2	6	4
被験者 1-B	1 回目	3	4	5	6	1	2	6	2
	2 回目	3	4	5	6	1	2	6	2
被験者 1-C	1 回目	6	4	5	3	1	2	6	3
	2 回目	6	4	5	3	1	2	6	3
被験者 1-D	1 回目	6	5	4	3	1	2	6	1
	2 回目	6	5	4	3	1	2	6	1
被験者 1-E	1 回目	5	4	3	2	1	6	4	1
	2 回目	5	4	3	2	1	6	4	1

		入刀回数	切り直し回数	千切る回数
被験者 1-A	1 回目	43	13	11
	2 回目	35	10	9
被験者 1-B	1 回目	88	26	7
	2 回目	70	19	5
被験者 1-C	1 回目	75	20	11
	2 回目	60	14	8
被験者 1-D	1 回目	56	13	5
	2 回目	42	8	3
被験者 1-E	1 回目	66	14	5
	2 回目	54	10	5

グループ 1 入刀回数の U 検定

検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
6	12.5	22.92	1.3578057	0.174525341

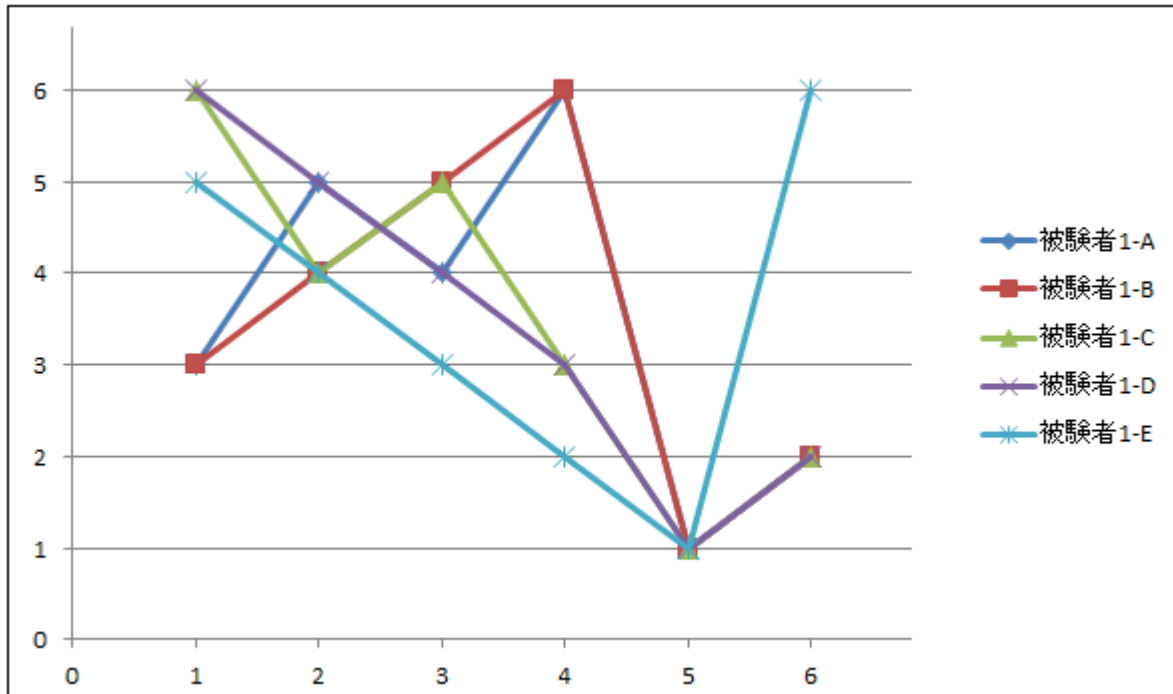
グループ 1 切り直し回数の U 検定

検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
5.5	12.5	22.5	1.4757295	0.1400165

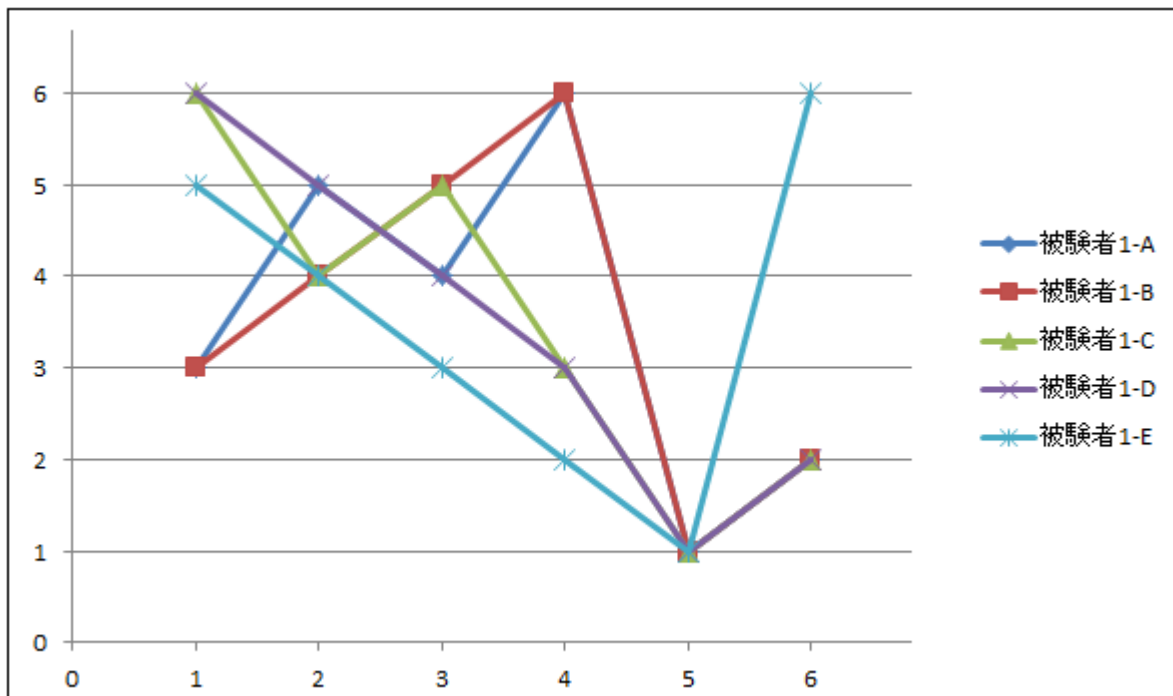
グループ 1 千切った回数の U 検定

検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
8	12.5	21.39	0.9730125	0.330547109

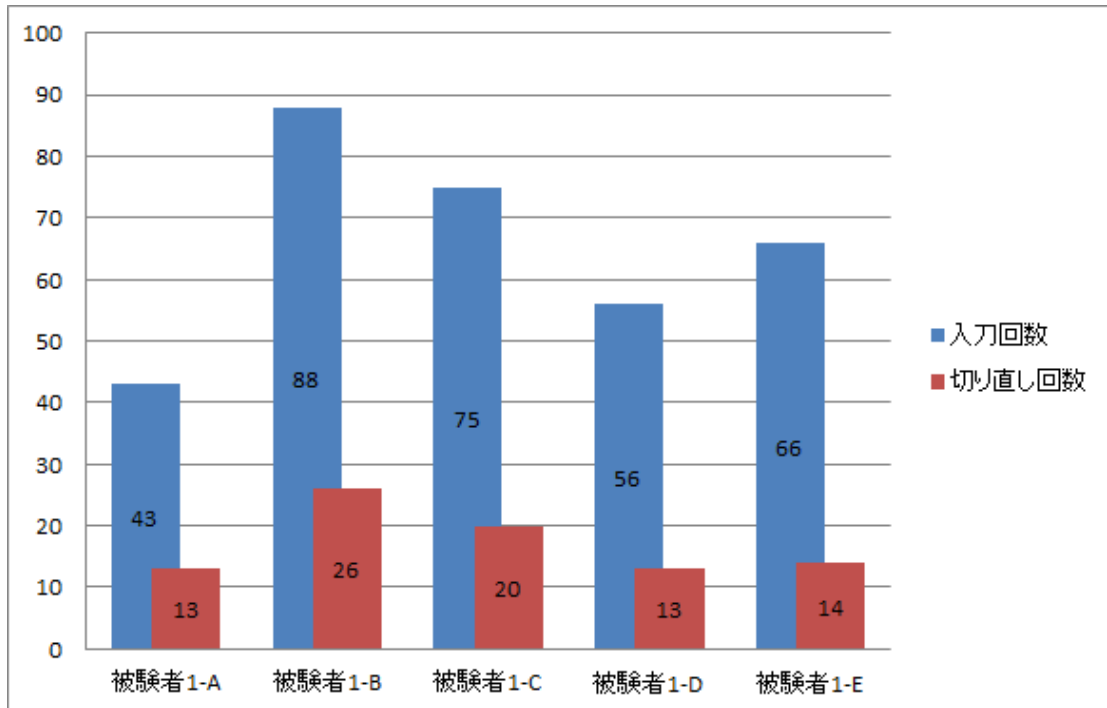
グループ 1 の切る順番の結果のグラフ (1 回目)



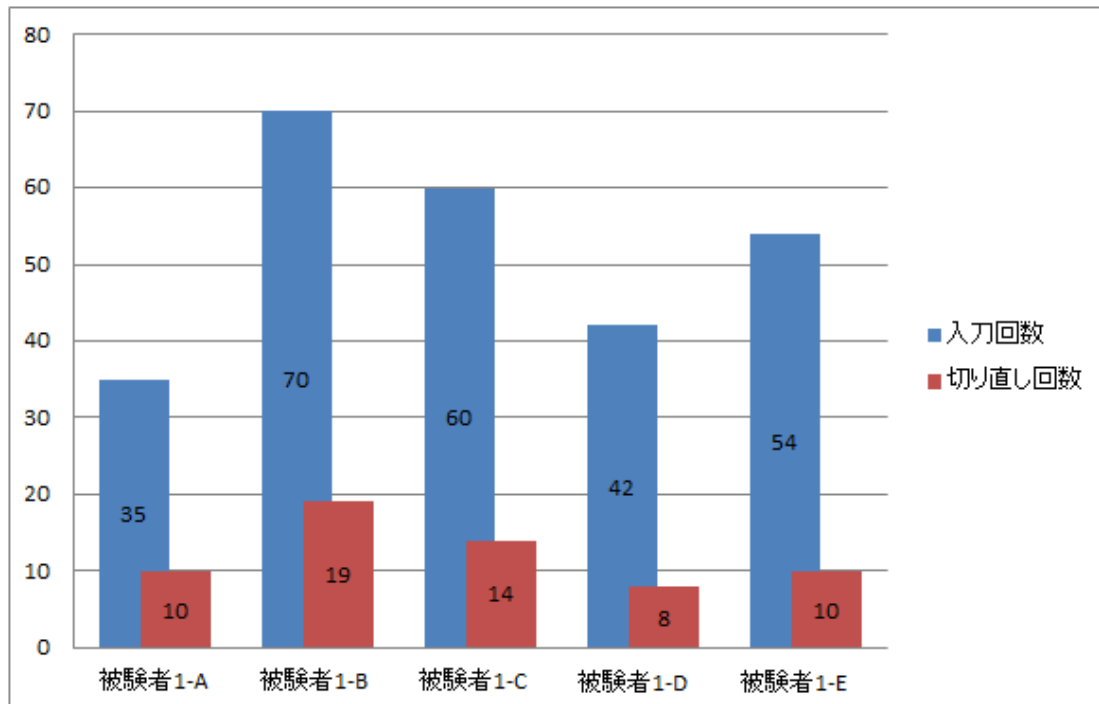
グループ 1 の切る順番の結果のグラフ (2 回目)



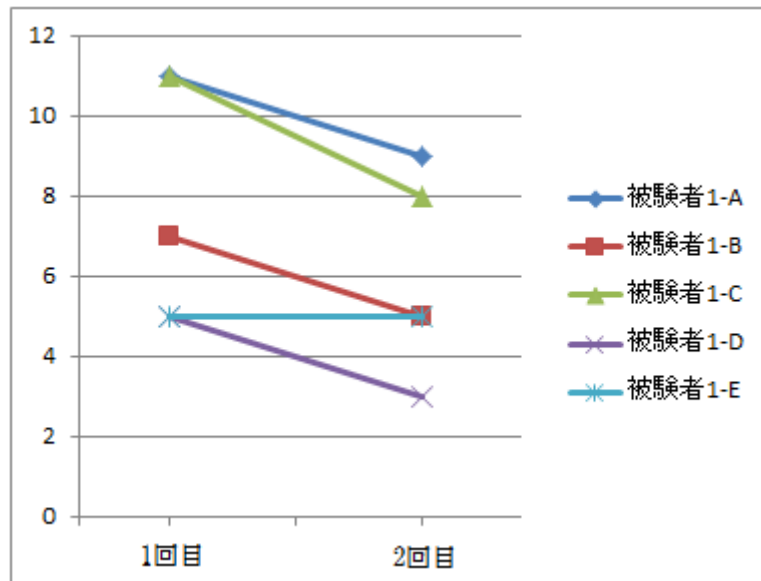
グループ 1 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (1 回目)



グループ 1 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (2 回目)



グループ 1 の千切った回数の結果のグラフ



グループ 2 の結果

		切る順番						ハミング距離	変曲点
被験者 2-A	1 回目	4	2	1	3	5	6	3	1
	2 回目	1	3	2	4	5	6	2	2
被験者 2-B	1 回目	4	3	5	6	1	2	6	3
	2 回目	6	1	2	3	4	5	6	1
被験者 2-C	1 回目	6	4	5	3	1	2	6	3
	2 回目	1	3	2	4	5	6	2	2
被験者 2-D	1 回目	3	2	1	4	5	6	2	1
	2 回目	1	2	3	4	5	6	0	0
被験者 2-E	1 回目	2	4	3	5	1	6	4	4
	2 回目	1	2	3	4	5	6	0	0

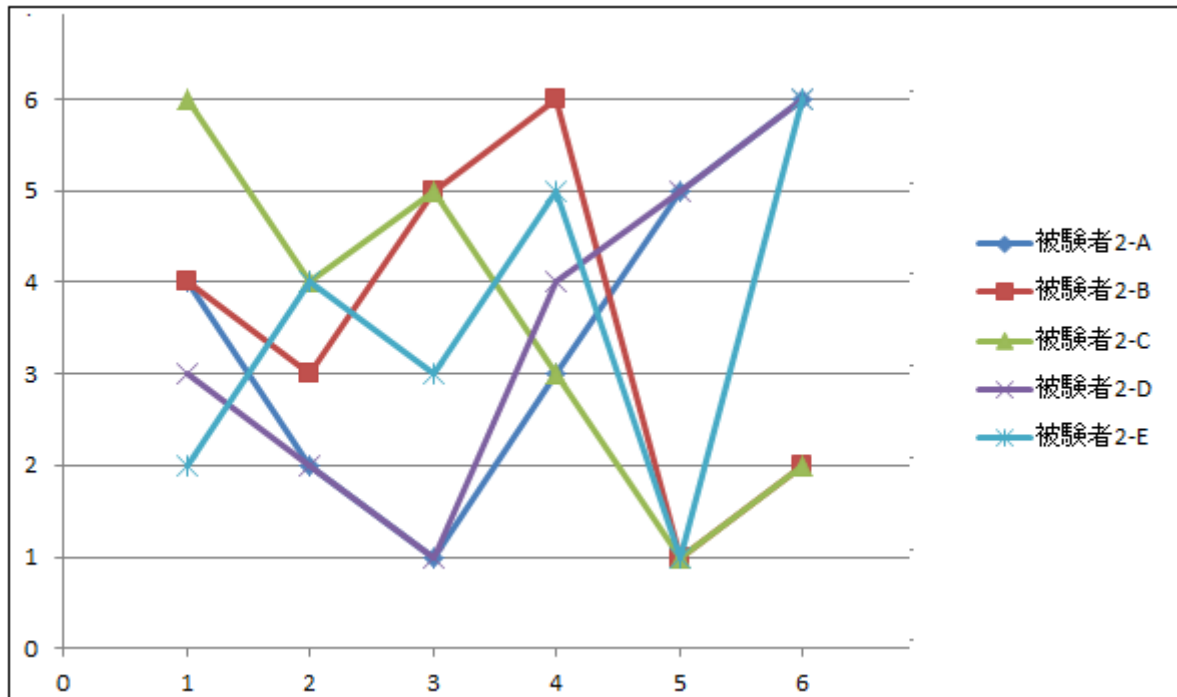
		入刀回数	切り直し回数	千切る回数
被験者 2-A	1 回目	45	16	9
	2 回目	38	13	7
被験者 2-B	1 回目	41	4	4
	2 回目	35	3	4
被験者 2-C	1 回目	58	12	7
	2 回目	45	8	6
被験者 2-D	1 回目	81	23	10
	2 回目	65	17	8
被験者 2-E	1 回目	42	9	12
	2 回目	33	7	9

グループ 2 入刀回数の U 検定の結果				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
6.5	12.5	22.78	1.2571745	0.208690443

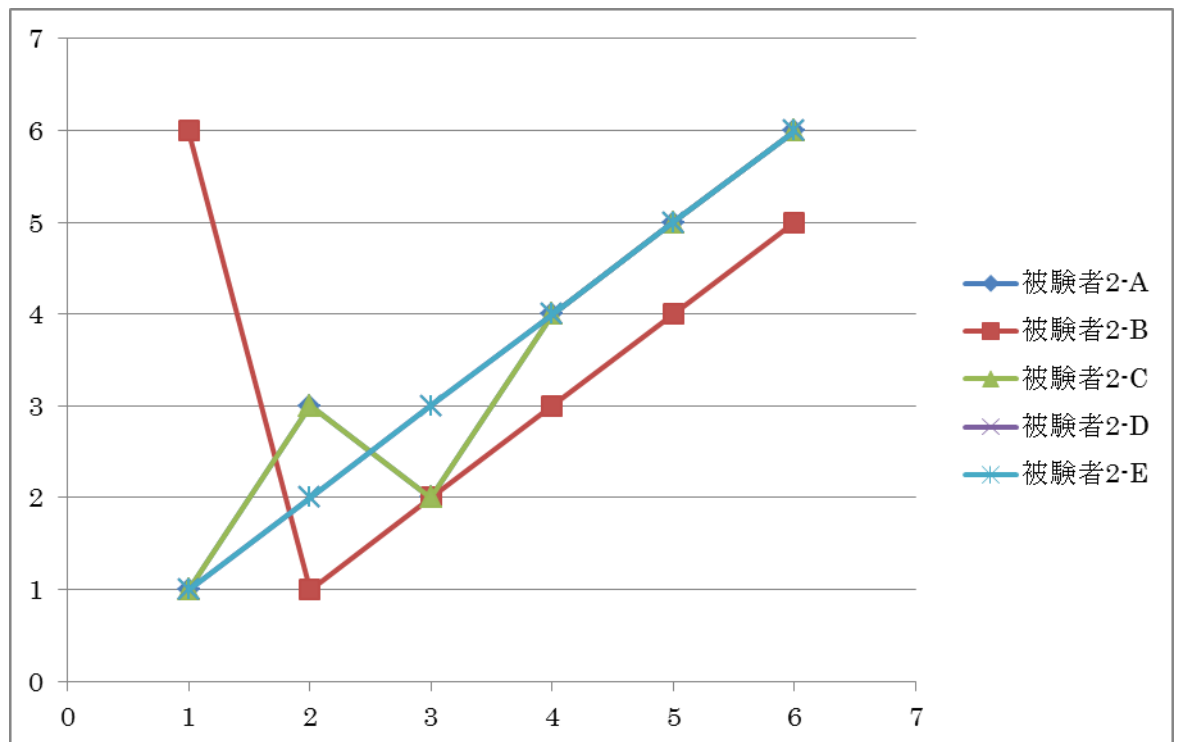
グループ 2 切り直し回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
9	12.5	22.92	0.7311262	0.4647021

グループ 2 千切った回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
7.5	12.5	22.5	1.0540926	0.291840545

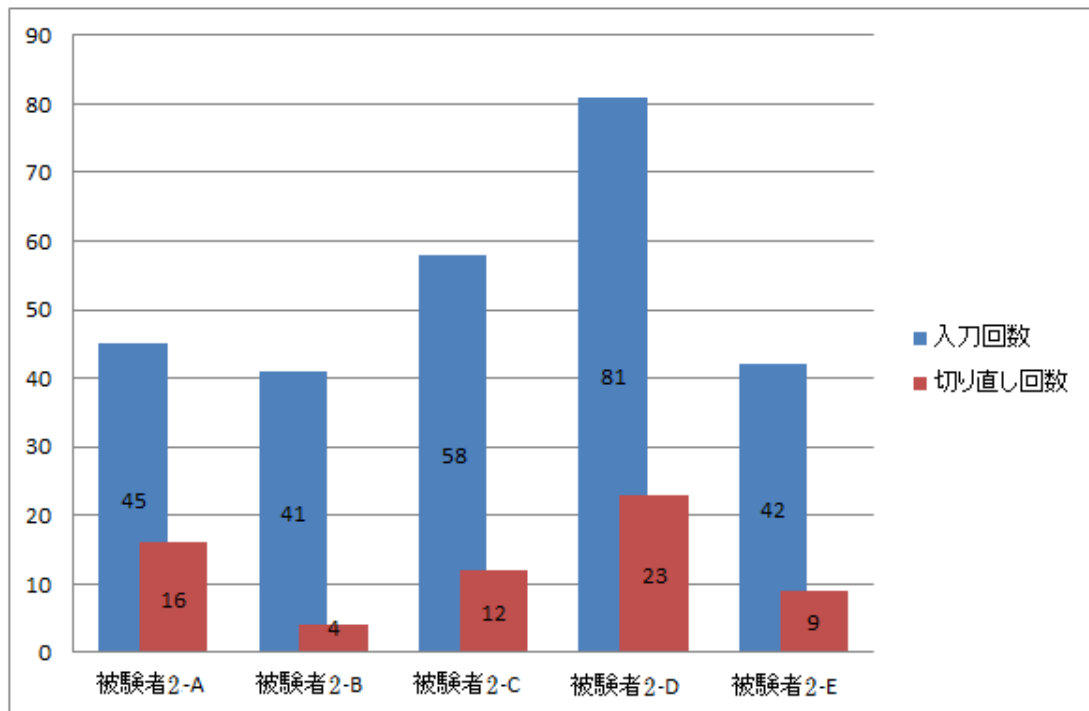
グループ 2 の切る順番の結果のグラフ (1 回目)



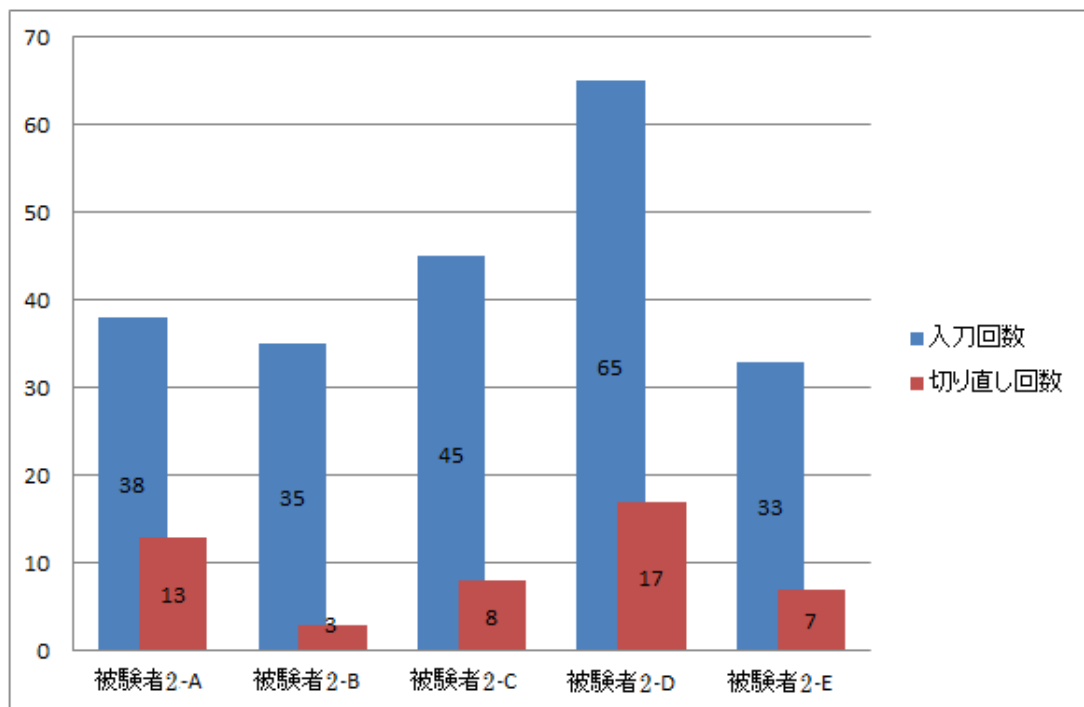
グループ 2 の切る順番の結果のグラフ (2 回目)



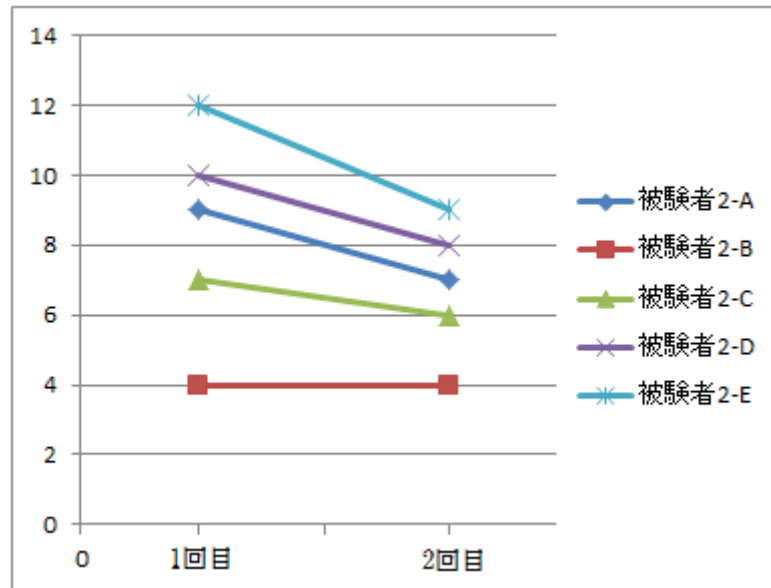
グループ 2 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (1 回目)



グループ 2 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (2 回目)



グループ 2 の千切った回数の結果のグラフ



グループ 3 の結果

		切る順番						ハミング距離	変曲点
被験者 3-A	1 回目	2	4	3	5	1	6	4	4
	2 回目	5	4	3	6	1	2	5	3
被験者 3-B	1 回目	6	2	1	3	4	5	5	1
	2 回目	6	2	1	3	4	5	5	1
被験者 3-C	1 回目	6	2	1	3	4	5	5	1
	2 回目	6	3	4	5	1	2	6	3
被験者 3-D	1 回目	2	4	3	5	1	6	4	4
	2 回目	2	4	3	5	1	6	4	4
被験者 3-E	1 回目	2	4	3	5	1	6	4	4
	2 回目	2	4	3	5	1	6	4	4

		入刀回数	切り直し回数	千切る回数
被験者 3-A	1 回目	55	21	4
	2 回目	22	5	3
被験者 3-B	1 回目	48	16	2
	2 回目	24	5	0
被験者 3-C	1 回目	46	11	6
	2 回目	27	3	4
被験者 3-D	1 回目	42	20	3
	2 回目	26	9	3
被験者 3-E	1 回目	47	14	8
	2 回目	28	5	6

グループ 3 入刀回数の U 検定の結果

検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
0	12.5	22.92	2.6111648	0.009023439

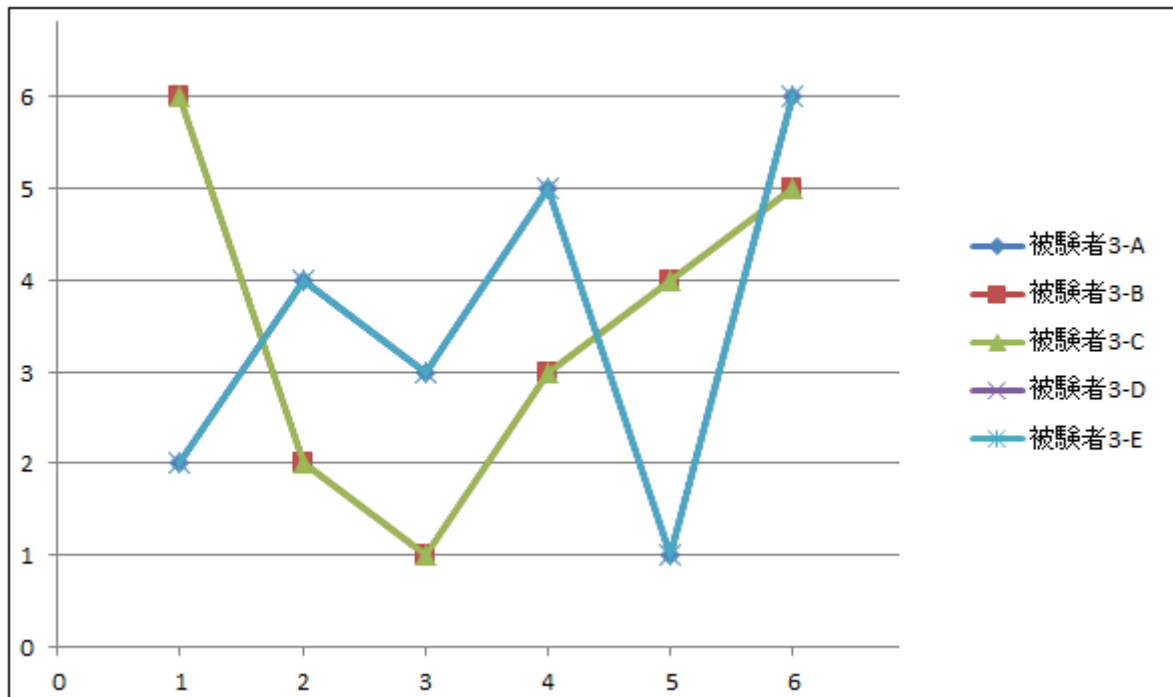
グループ 3 切り直し回数の U 検定

検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
0	12.5	22.36	2.6434027	0.008207736

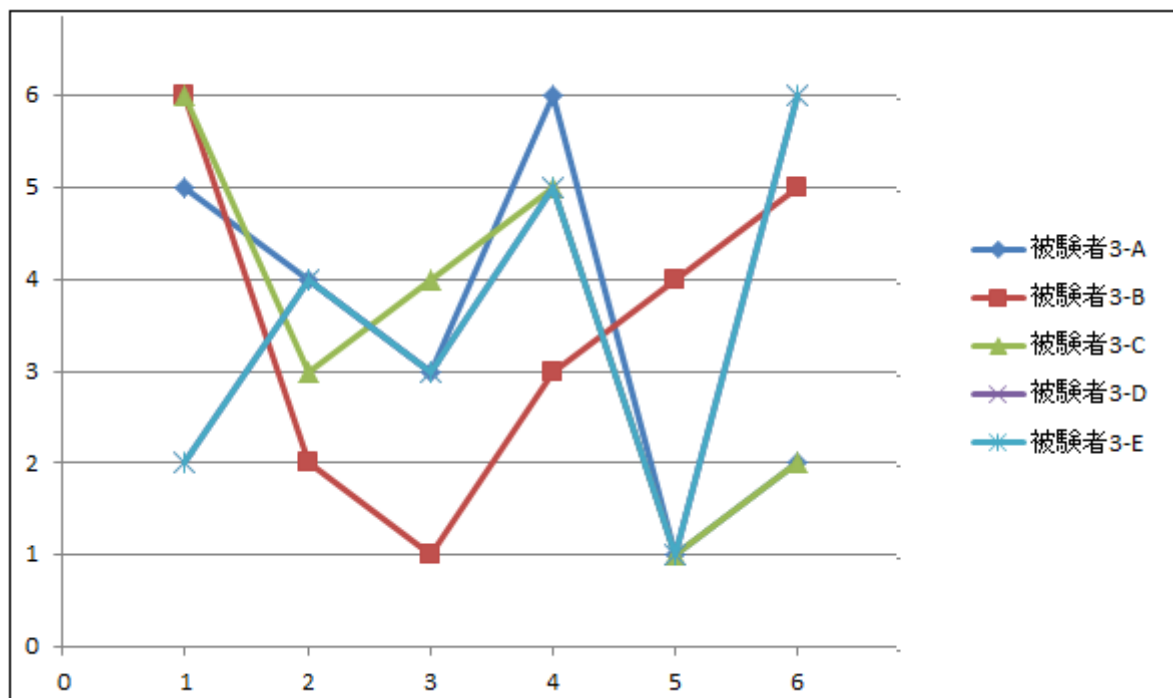
グループ 3 千切った回数の U 検定

検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
9	12.5	22.08	0.7447932	0.456396718

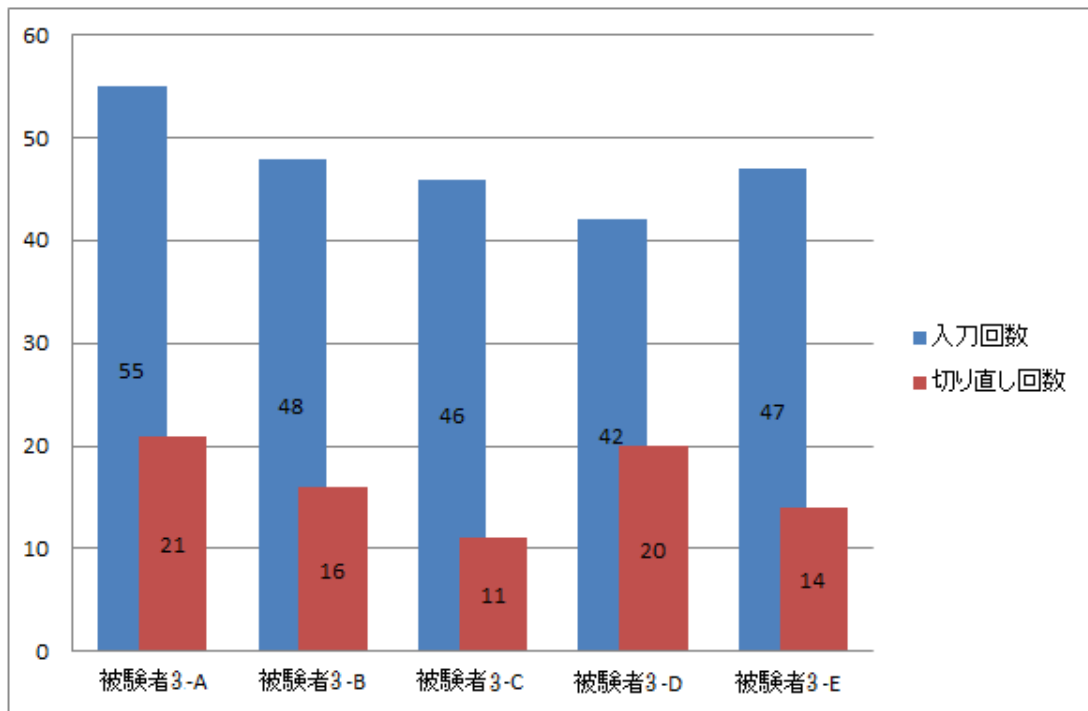
グループ 3 の切る順番の結果のグラフ (1 回目)



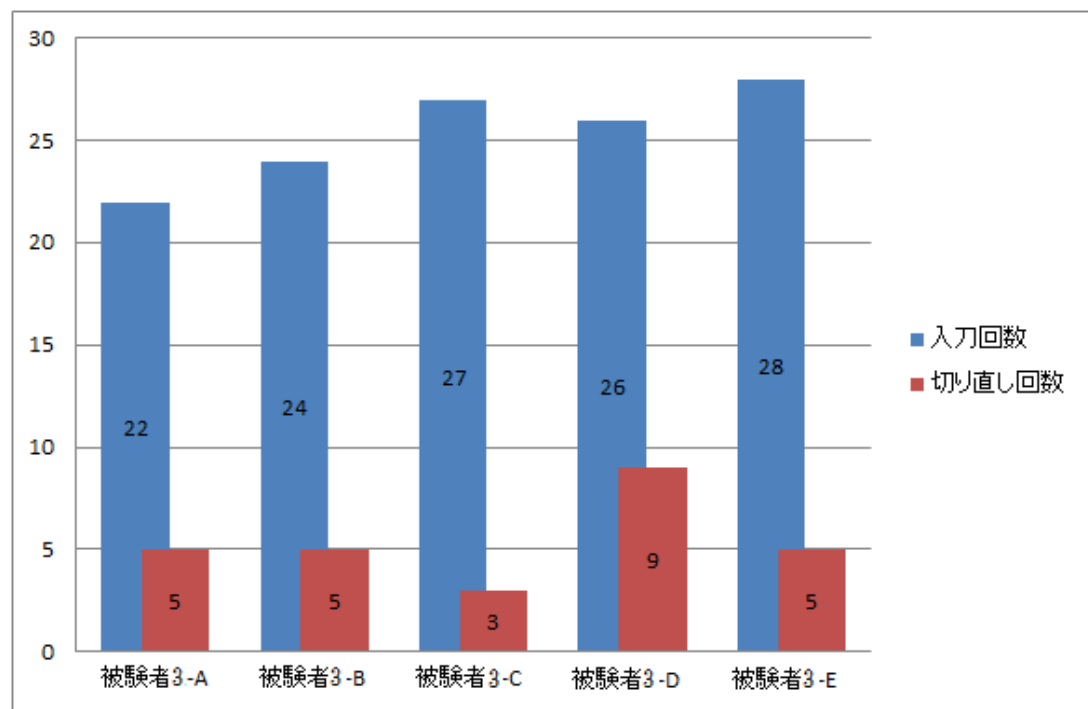
グループ 3 の切る順番の結果のグラフ (2 回目)



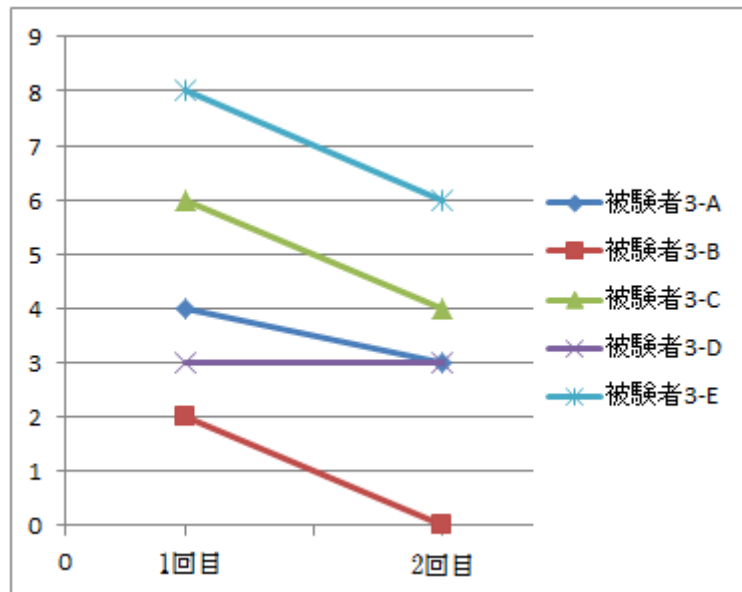
グループ 3 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (1 回目)



グループ 3 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (2 回目)



グループ 3 の千切った回数の結果のグラフ



グループ 4 の結果

		切る順番						ハミング距離	変曲点
被験者 4-A	1 回目	1	3	2	4	5	6	2	2
	2 回目	1	3	2	4	5	6	2	2
被験者 4-B	1 回目	4	2	1	3	5	6	3	1
	2 回目	6	4	3	5	1	2	5	3
被験者 4-C	1 回目	6	4	3	5	1	2	5	3
	2 回目	6	4	3	5	1	2	5	3
被験者 4-D	1 回目	2	4	3	5	1	6	4	4
	2 回目	2	4	3	5	1	6	4	4
被験者 4-E	1 回目	6	2	1	3	4	5	5	1
	2 回目	6	4	3	5	1	2	5	3

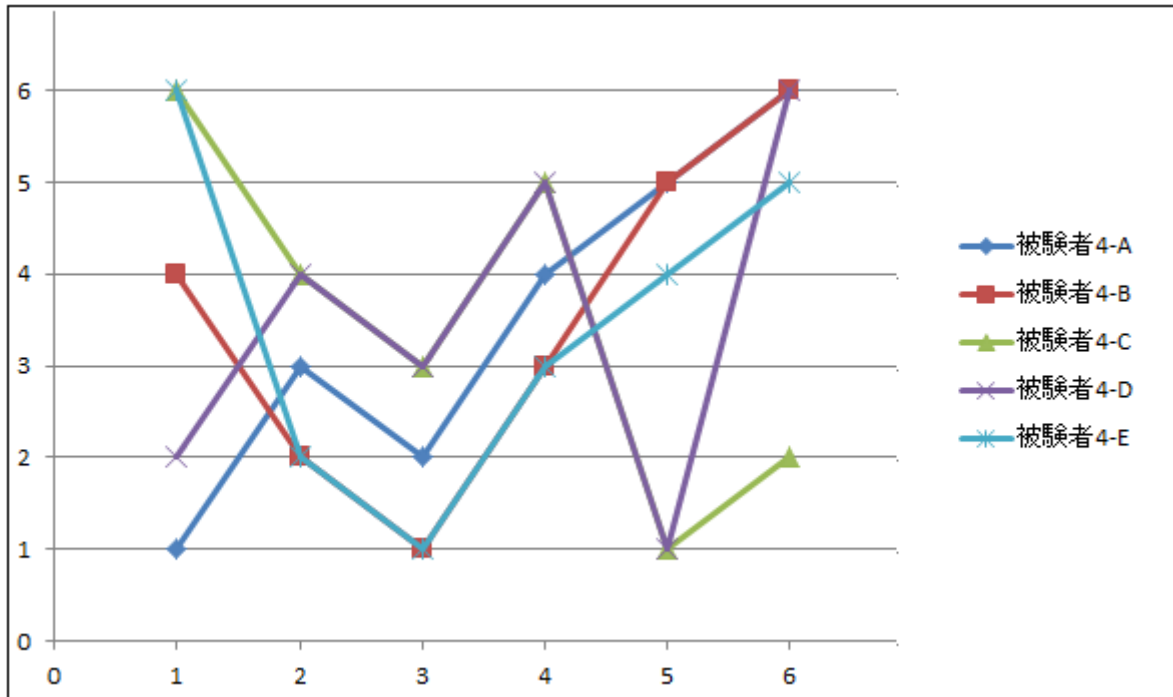
		入刀回数	切り直し回数	千切る回数
被験者 4-A	1 回目	40	12	5
	2 回目	33	7	1
被験者 4-B	1 回目	48	14	6
	2 回目	37	8	1
被験者 4-C	1 回目	51	10	3
	2 回目	41	4	0
被験者 4-D	1 回目	51	14	4
	2 回目	45	9	0
被験者 4-E	1 回目	63	20	5
	2 回目	54	13	2

グループ 4 入刀回数の U 検定の結果				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
6	12.5	22.78	1.3619391	0.173217113

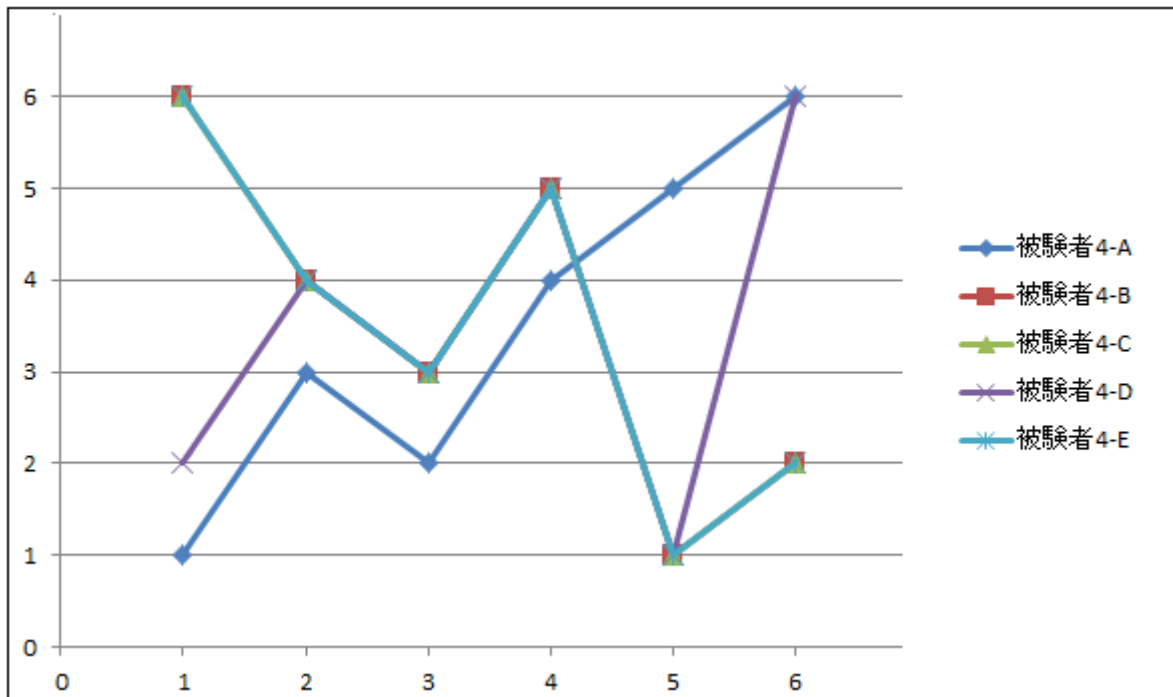
グループ 4 切り直し回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
3	12.5	22.22	2.0152543	0.043878008

グループ 4 千切った回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
0	12.5	22.5	2.6352314	0.008407995

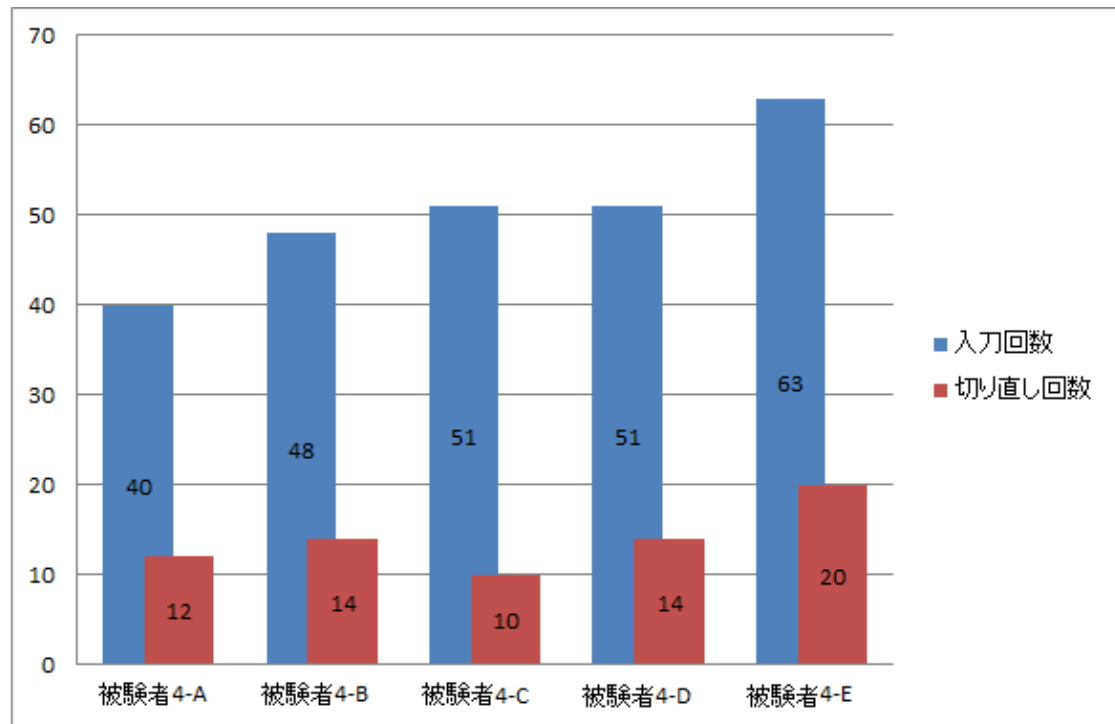
グループ 4 の切る順番の結果のグラフ (1 回目)



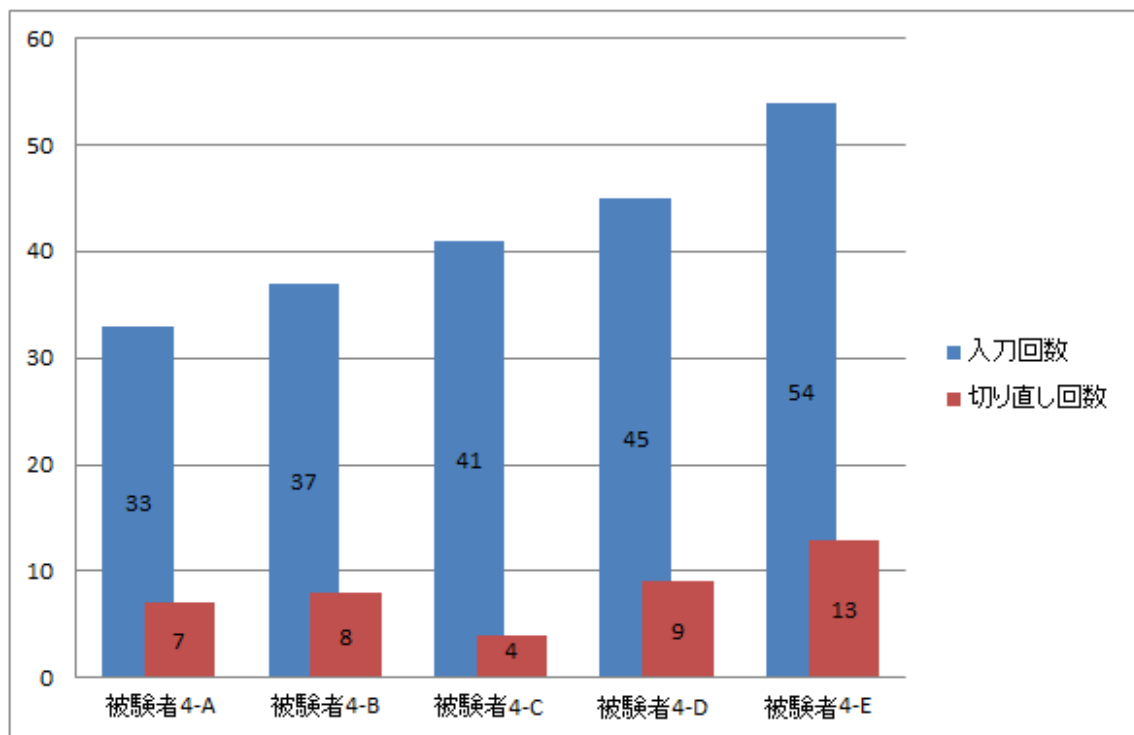
グループ 4 の切る順番の結果のグラフ (2 回目)



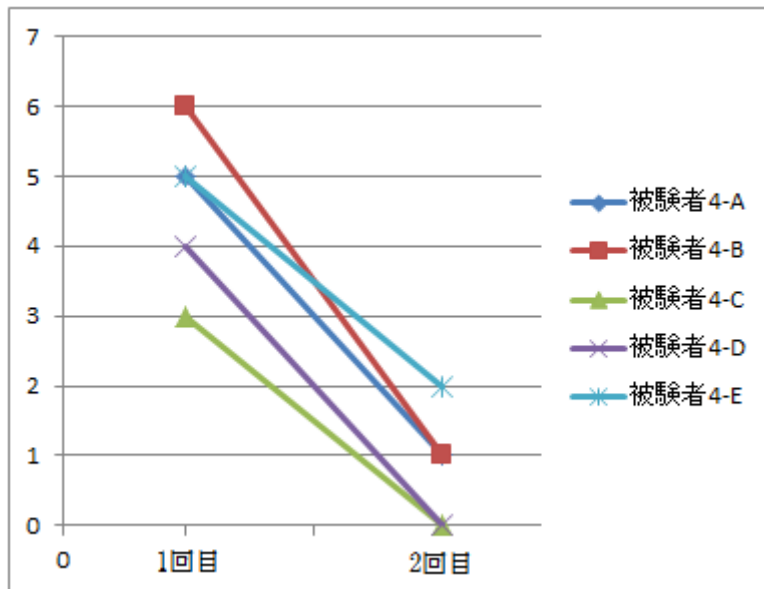
グループ 4 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (1 回目)



グループ 4 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (2 回目)



グループ 4 の千切った回数の結果のグラフ



グループ 5 の結果

		切る順番						ハミング距離	変曲点
被験者 5-A	1 回目	3	6	3	6	2	1	6	3
	2 回目	3	6	3	6	2	1	6	3
	3 回目	4	2	3	1	5	6	2	3
被験者 5-B	1 回目	6	6	1	3	1	2	6	1
	2 回目	6	6	1	3	1	2	6	1
	3 回目	2	4	2	1	5	6	4	2
被験者 5-C	1 回目	3	6	4	6	1	2	6	4
	2 回目	3	6	4	6	1	2	6	4
	3 回目	2	4	2	1	5	6	4	2
被験者 5-D	1 回目	3	6	2	6	1	2	6	2
	2 回目	3	6	2	6	1	2	6	2
	3 回目	3	6	2	6	1	2	6	2
被験者 5-E	1 回目	6	6	1	3	1	2	6	1
	2 回目	6	6	1	3	1	2	6	1
	3 回目	6	6	1	3	1	2	6	1

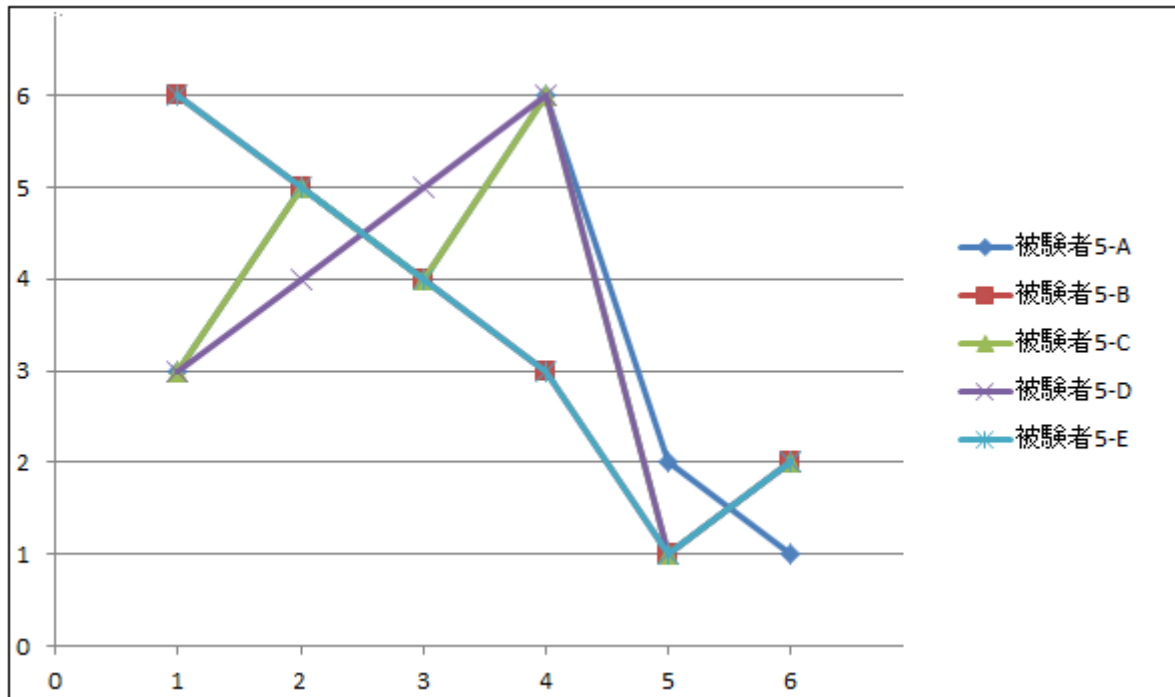
		入刀回数	切り直し回数	千切った回数
被験者 5-A	1 回目	41	10	8
	2 回目	36	8	5
	3 回目	32	6	5
被験者 5-B	1 回目	38	16	6
	2 回目	33	12	6
	3 回目	29	9	4
被験者 5-C	1 回目	56	17	9
	2 回目	40	12	7
	3 回目	49	7	6
被験者 5-D	1 回目	88	26	7
	2 回目	70	19	4
	3 回目	63	16	4
被験者 5-E	1 回目	57	23	6
	2 回目	50	16	5
	3 回目	44	15	5

グループ 5 入刀回数の U 検定の結果				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
8	12.5	22.92	0.9400193	0.347207639

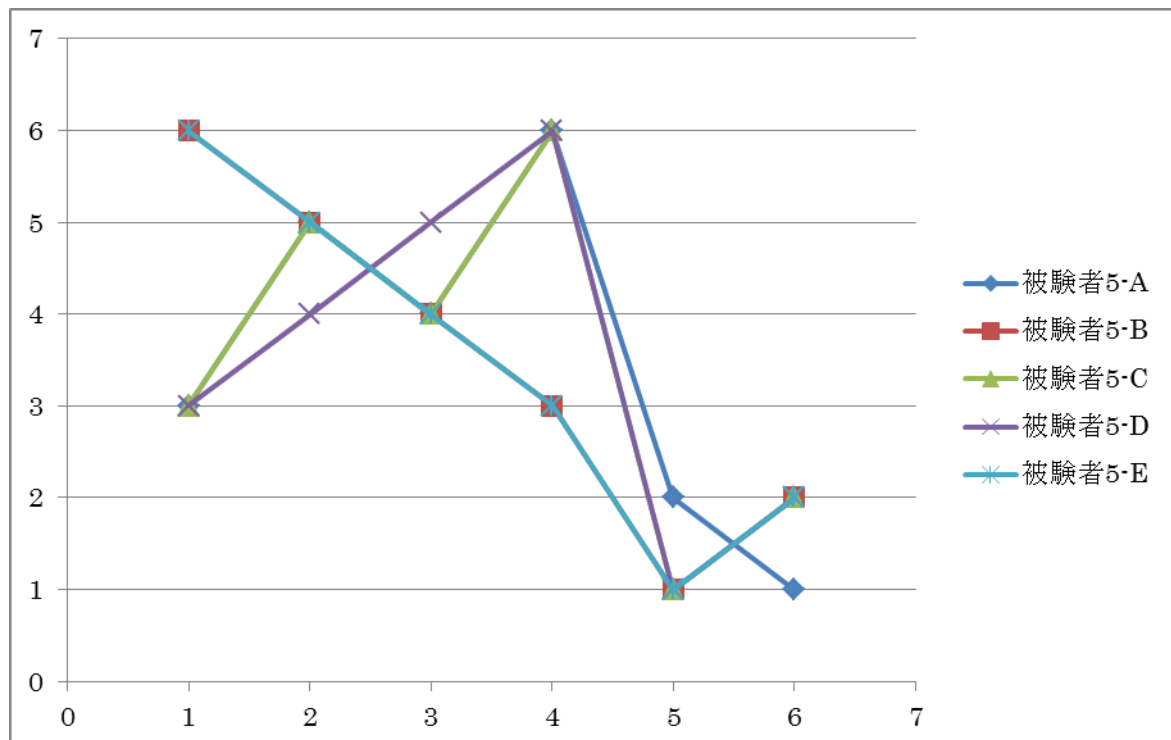
グループ 5 切り直し回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
2.5	12.5	22.78	2.0952909	0.036145142

グループ 5 千切った回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
1	12.5	22.08	2.4471778	0.014397979

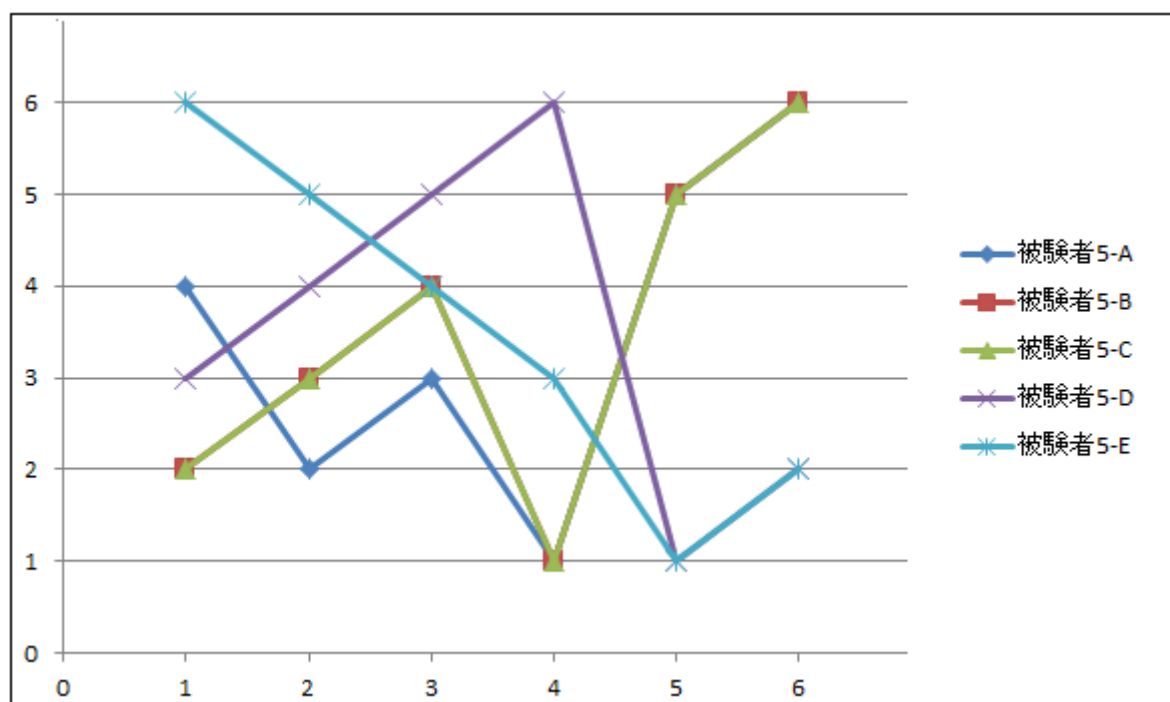
グループ 5 の切る順番の結果のグラフ (1 回目)



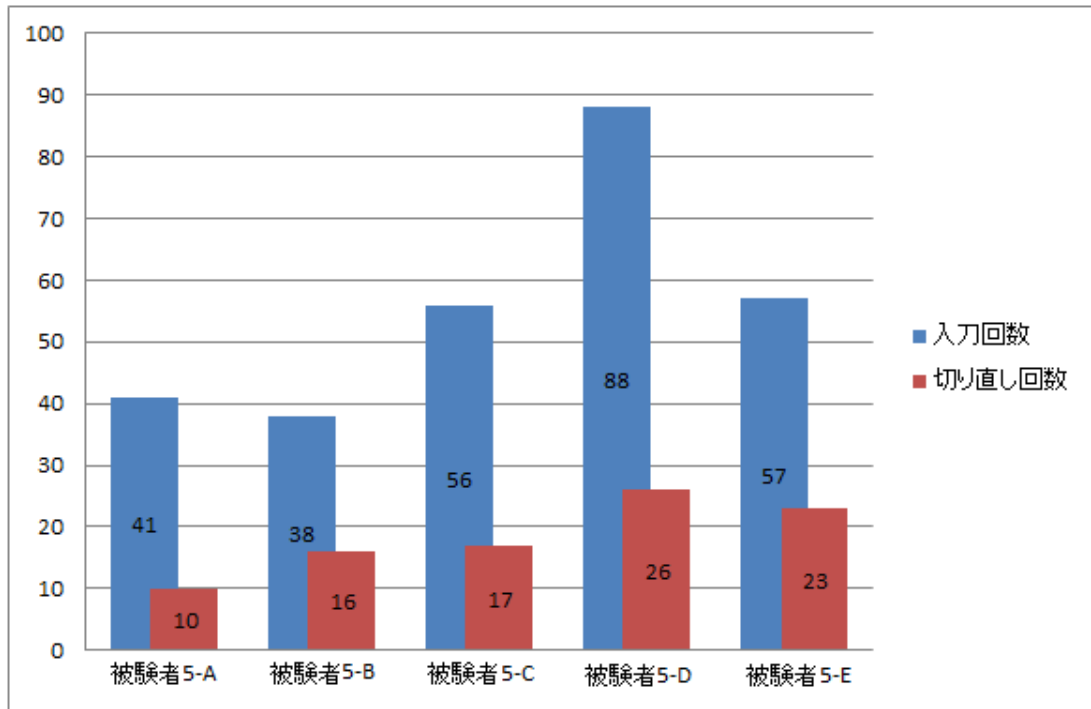
グループ 5 の切る順番の結果のグラフ (2 回目)



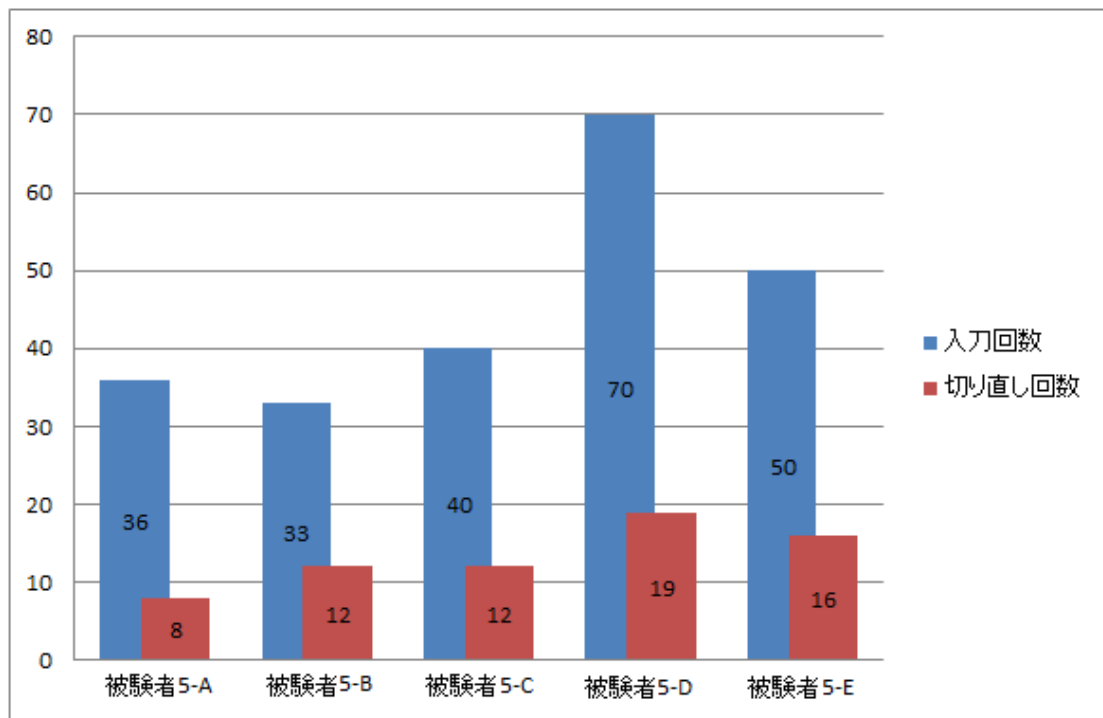
グループ 5 の切る順番の結果のグラフ (3 回目)



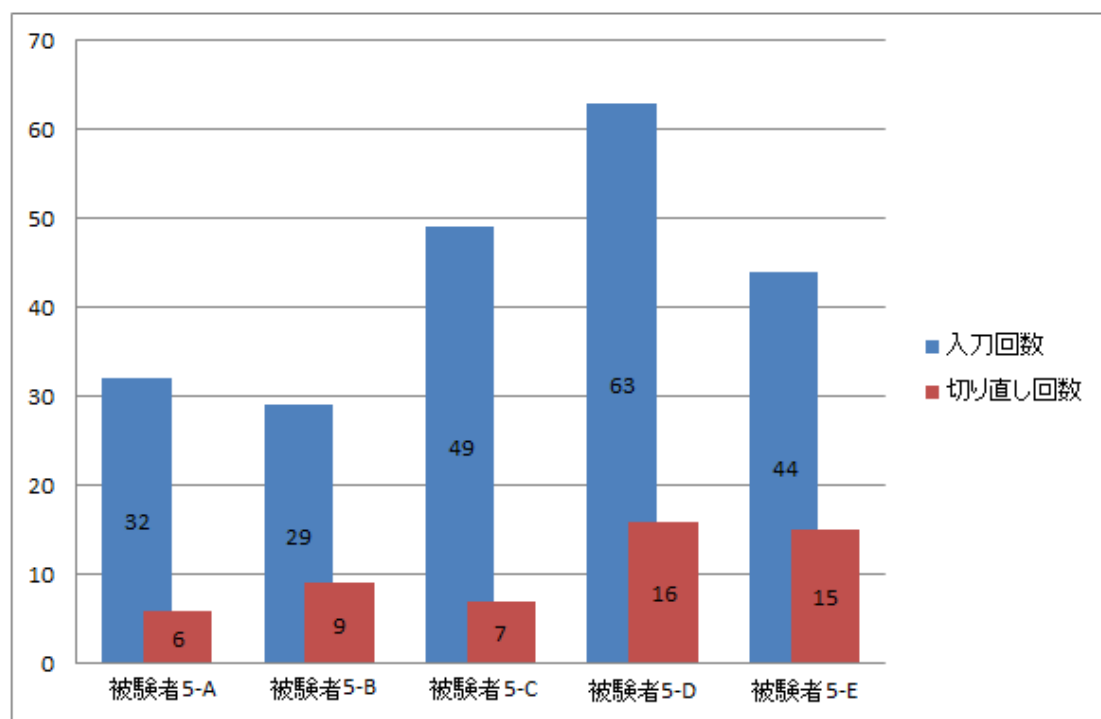
グループ 5 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (1 回目)



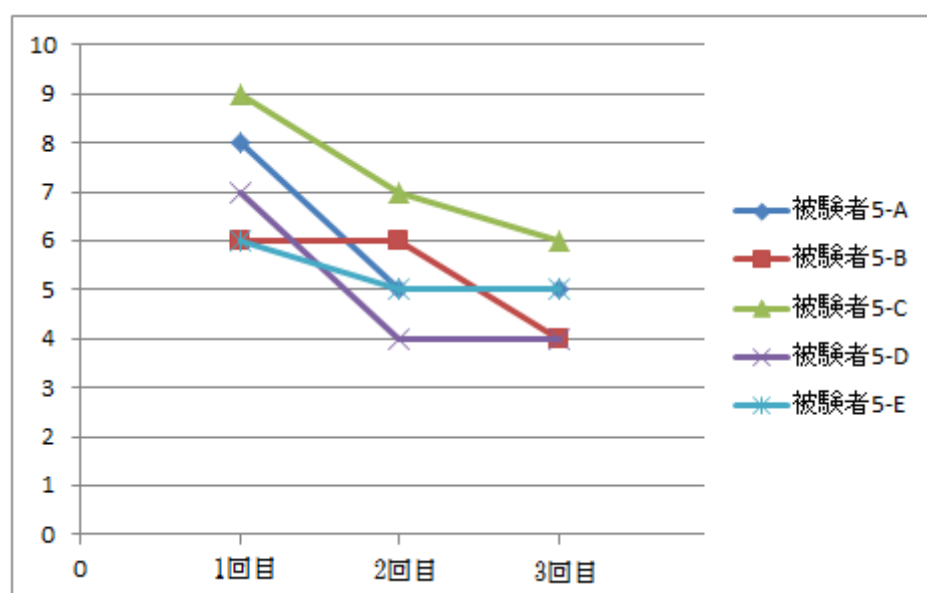
グループ 5 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (2 回目)



グループ 5 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (3 回目)



グループ 5 の千切った回数の結果のグラフ



グループ 6 の結果

		切る順番						ハミング距離	変曲点
被験者 6-A	1 回目	3	5	4	6	1	2	6	4
	2 回目	1	2	3	4	5	6	0	0
被験者 6-B	1 回目	4	3	1	2	5	6	4	1
	2 回目	1	3	2	4	5	6	2	2
被験者 6-C	1 回目	6	5	3	4	1	2	4	3
	2 回目	1	3	2	4	5	6	2	2
被験者 6-D	1 回目	4	2	1	3	5	6	3	1
	2 回目	1	3	2	4	5	6	2	2
被験者 6-E	1 回目	4	3	5	6	1	2	6	3
	2 回目	1	3	2	4	5	6	2	2

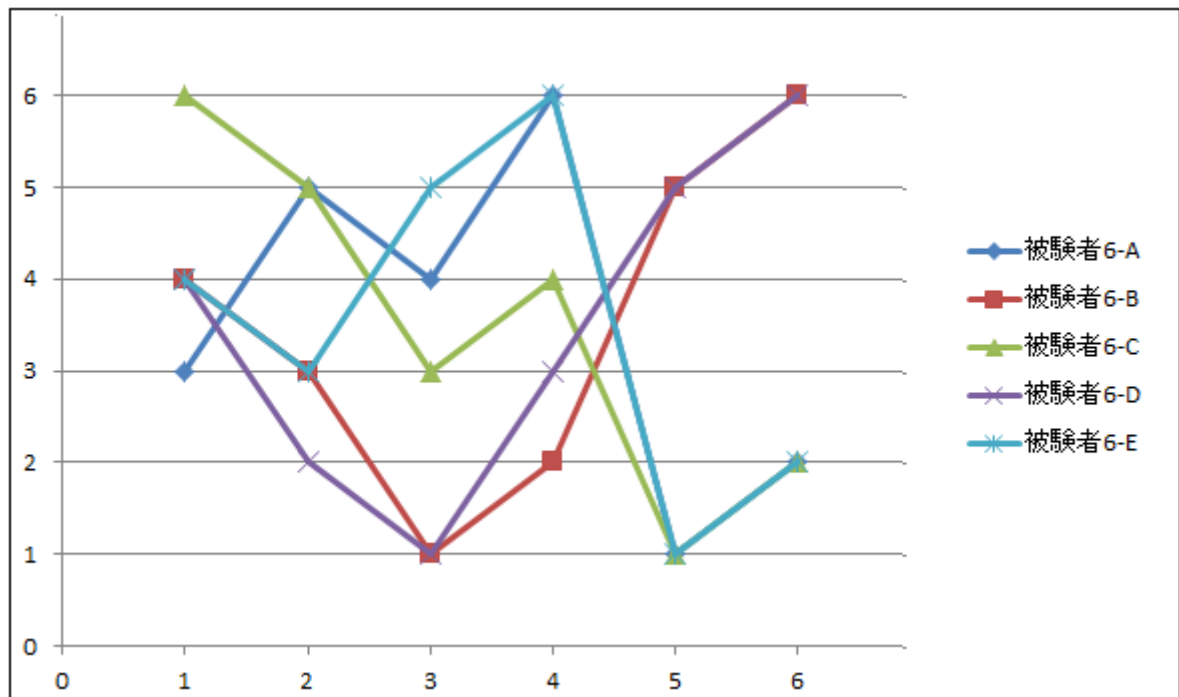
		入刀回数	切り直し回数	千切る回数
被験者 6-A	1 回目	51	16	7
	2 回目	25	6	2
被験者 6-B	1 回目	54	15	5
	2 回目	32	5	0
被験者 6-C	1 回目	63	14	7
	2 回目	34	4	1
被験者 6-D	1 回目	48	13	4
	2 回目	25	4	0
被験者 6-E	1 回目	68	15	6
	2 回目	42	5	1

グループ 6 入刀回数の U 検定の結果				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
0	12.5	22.78	2.6191136	0.008815858

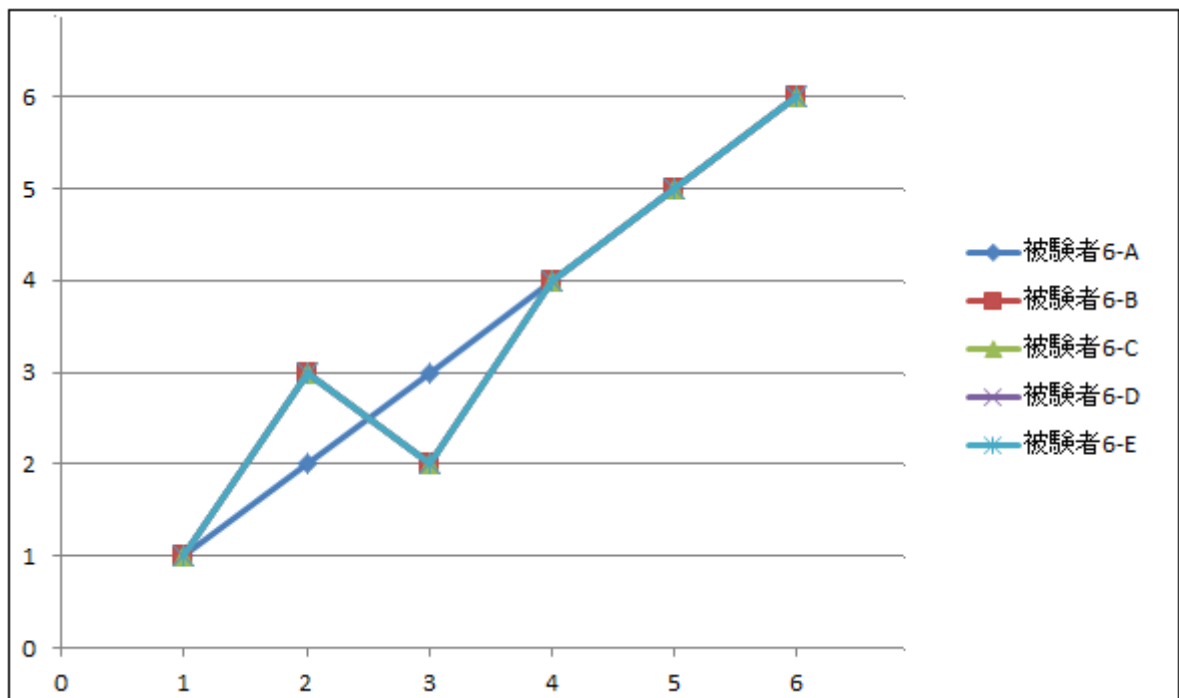
グループ 6 切り直し回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
0	12.5	22.5	2.6352314	0.008407995

グループ 6 千切った回数の U 検定				
検定統計量	期待値	分散	検定統計量	有意確率（両側）
0	12.5	22.5	2.6352314	0.008407995

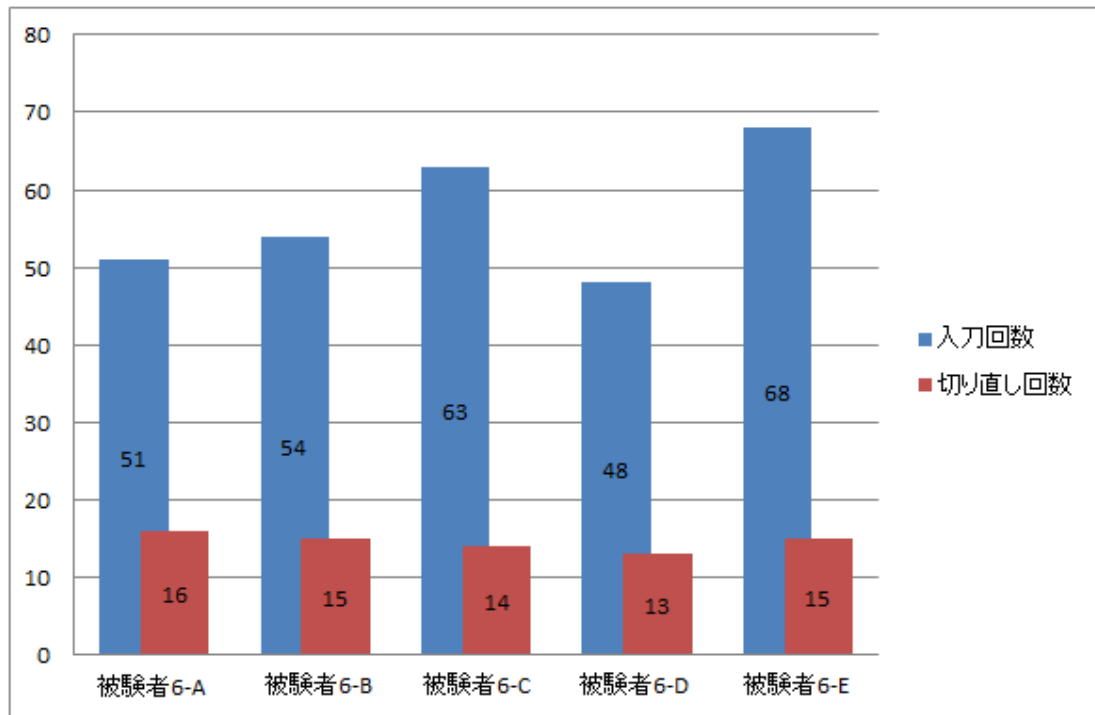
グループ 6 の切る順番の結果のグラフ (1 回目)



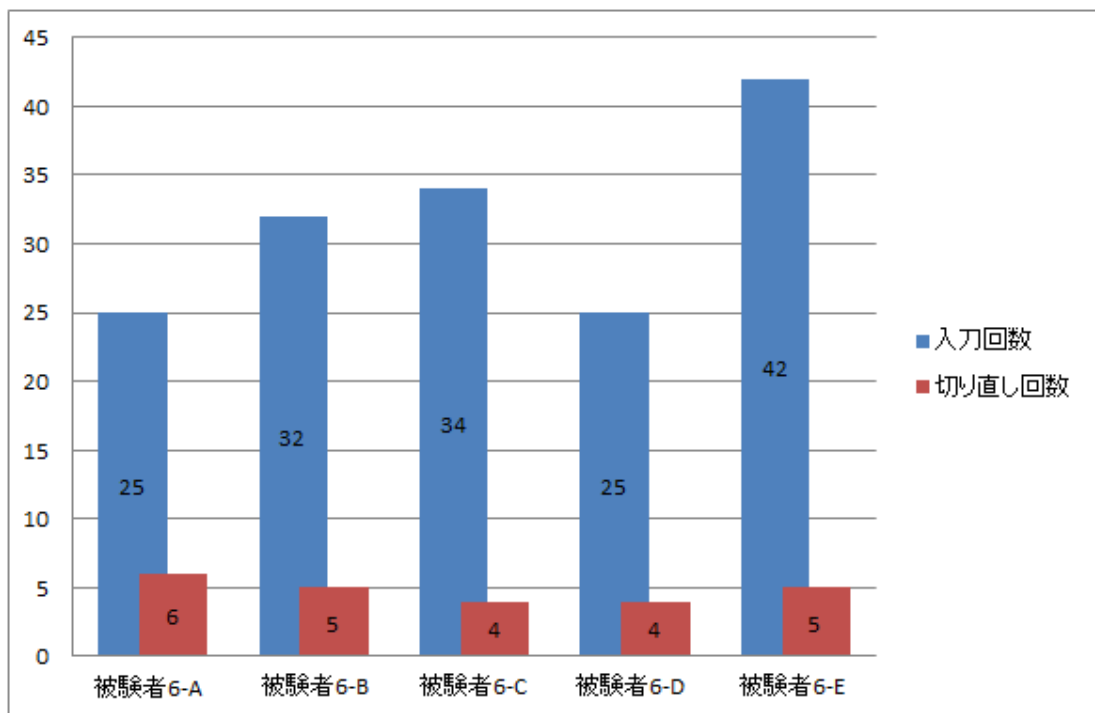
グループ 6 の切る順番の結果のグラフ (2 回目)



グループ 6 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (1 回目)



グループ 6 の入刀回数と切り直し回数の結果のグラフ (2 回目)



グループ 6 の千切った回数の結果のグラフ

