

Title	切り絵の制作活動における初心者を対象とした技能向上支援に関する研究
Author(s)	東, 孝文
Citation	
Issue Date	2020-03-25
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/16650
Rights	
Description	Supervisor:金井秀明, 先端科学技術研究科, 博士

博士論文

切り絵の制作活動における
初心者を対象とした
技能向上支援に関する研究

東孝文

主指導教員 金井秀明

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科 [知識科学]

令和2年3月

目次

第 1 章	序論	1
1.1	芸術創作における制作段階での練習	1
1.2	切り絵の制作における練習時の課題と本研究の目的	2
1.3	本研究の構成	3
第 2 章	関連研究	5
2.1	はじめに	5
2.2	制作活動への支援に関する研究	5
2.3	ステアリングモデルに関する研究	7
2.4	フロー尺度と効果に関する研究	9
第 3 章	切り絵を制作するための裁断動作を計測するシステム	13
3.1	はじめに	13
3.2	インストラクターが初心者の裁断動作で注意する点	14
3.3	ナイフデバイスの開発	14
3.4	ペンタブレットによる計測	15
第 4 章	初心者と熟練者との裁断圧力の違い	17
4.1	はじめに	17
4.2	実験：初心者と熟練者の裁断圧力の比較	18
4.3	結果	19
4.4	本章のまとめ	24

第 5 章	裁断圧力を制御する技能向上	25
5.1	はじめに	25
5.2	圧力提示機能	26
5.3	実験：圧力提示機能による効果の検証	27
5.4	結果	29
5.5	本章のまとめ	34
第 6 章	直線状のパターンの裁断による初心者と熟練者との裁断技能 の違い	36
6.1	はじめに	36
6.2	直線パターンの作成	37
6.3	実験：初心者と熟練者との裁断モデルの差	38
6.4	結果 1: パターンの幅と距離が与える影響	40
6.5	結果 2: 初心者と熟練者の技能差が与える影響	43
6.6	本章のまとめ	45
第 7 章	様々な幅で構成した絵での練習による技能向上	47
7.1	はじめに	47
7.2	絵の裁断する線に対する難易度の計測	48
7.3	実験: 様々な難易度の絵で練習することによる技能向上効果の差	52
7.4	結果	53
7.5	本章のまとめ	55
第 8 章	技能と難易度との組み合わせによる技能向上	58
8.1	はじめに	58
8.2	フロー状態を評価する切り絵 FSS の作成	60
8.3	実験：技能と難易度との組み合わせによる技能向上の差 . . .	61
8.4	結果	64
8.5	本章のまとめ	73
第 9 章	ワークショップでの実用と評価	76

9.1	はじめに	76
9.2	体験内容	76
9.3	結果	79
9.4	本章のまとめ	84
第 10 章	結論	86
10.1	本論文のまとめ	86
10.2	本研究で残された課題	88
10.3	今後の課題と展望	89

目次

2.1	フローと技能レベルと課題レベルとの関係	11
3.1	タッチペンの先端に刃を取り付けたナイフデバイス (A), タッチペンの先端と刃との間にレジンをいれることで固定している (B).	14
3.2	利用者はペンタブレットデバイスの上に固定した紙をナイフデバイスで切る.	15
3.3	本システムのタブレットデバイスと強化ガラス, ビニルシートの構造 (A), 一般的なカッターマットの構造 (B).	16
4.1	3つの直線からなる三角形 (A), 3つの曲線からなる円 (B), 徐々に難易度が上がる直線パターン (C), 徐々に曲率が増加する曲線パターン (D).	18
4.2	図 4.1 で 0.1mm 毎に参加者が切った裁断圧力のばらつき. 図中の x マークは平均値を示す.	20
4.3	初心者と熟練者が裁断したときの平均圧力を平均座標に基づいてプロットする.	21
4.4	初心者の 1 人が切った粗い円 (A) と熟練者の 1 人が切った滑らかな円 (B), 実験参加者たちは赤い線に沿って切る.	21
4.5	初心者と熟練者が図 4.1 を切ったときのもとの線と裁断した線との差の相対度数.	23

5.1	利用者と熟練者の圧力の差に応じて色と音により裁断圧力を評価する.	26
5.2	本実験の各ステップで取り組む工程	27
5.3	参加者は Step 1 と Step 3 で裁断するするデザイン (A), 様々な曲率の繰り返しにより構成される波線 (B).	28
5.4	各グループが図 5.3A を裁断したときの平均圧力.	29
5.5	各グループが図 5.3A を裁断したときの裁断圧力のばらつき. 図中の x は平均値を示す.	30
5.6	各グループが図 5.3A を切ったときのもとの線と裁断した線との差の相対度数.	31
5.7	各グループの代表者が切った波線 (図 5.3B).	33
5.8	各グループが図 5.3B を切ったときの平均圧力.	34
6.1	5 種類の幅 (W) と 2 種類の距離 (D) の長さの組み合わせから 10 種類の直線パターンを作成する (A). 例として, $W=1.0$ mm, $D = 100.0$ mm のパターン (B) と $W=9.0$ mm, $D = 50.0$ mm のパターン (C).	38
6.2	5 種類の幅 (W) と 2 種類の距離 (D) の長さの組み合わせから 10 種類の直線パターンとその難易度 (ID)	39
6.3	利用者はペンタブレット上にパターンが印刷された紙を切る (A). システムは Cutting Line を裁断しているときの時間を計測する (B).	40
6.4	幅 (W) と距離 (D) 毎の裁断時間 (MT) の結果	41
6.5	(W) と距離 (D) 毎のエラー率の結果	42
6.6	ステアリングの法則にもとづいた難易度と裁断時間による裁断モデル.	42
6.7	初心者と熟練者が裁断した ID 毎の裁断時間 (A) とエラー率 (B)	44
6.8	初心者と熟練者のステアリングの法則にもとづいた裁断モデル.	45

7.1	w を決定する条件の例	49
7.2	各裁断する線の ID のための d と w の例	50
7.3	5 段階の線で描かれた 5 種類の絵	51
7.4	絵の各裁断する線が持つ ID の度数分布	51
7.5	実験で参加者たちが取り組む工程	52
7.6	各グループが Step 1 と Step 3 で切った各パターンでの裁断 時間	53
7.7	各グループが Step 1 と Step 3 で切った裁断時間の減少率 . .	54
7.8	各グループが Step 1 と Step 3 での裁断モデルの変化	55
7.9	裁断する線の周辺状況により W の正確性が低下する例	57
8.1	Csikszentmihalyi が述べたフローモデル [18] より	59
8.2	本実験で参加者たちが裁断する絵	61
8.3	Step 4 で取り組む切り絵のデザイン.	62
8.4	絵の各裁断する線が持つ ID の度数分布	63
8.5	Step 1 と Step 3 での平均裁断圧力の変化	64
8.6	難易度 (ID) 毎の裁断圧力の変化	64
8.7	Step 1 と Step 3 での裁断圧力のばらつきの変化	65
8.8	各グループが図 6.2 を切ったときのもとの線と裁断した線と の差の相対度数.	66
8.9	Step 1 と Step 3 での各パターンでの裁断時間の変化	68
8.10	ID 毎の MT の変化率	68
8.11	各グループの裁断モデルの変化	69
8.12	各グループでの因子得点の差	72
8.13	各グループが図 8.3 を切ったときの制作時間と裁断圧力の変化	73
9.1	本ワークショップでの体験内容	77
9.2	本ワークショップの参加者の年齢と性別について	78
9.3	デモ参加者と第 8 章との裁断圧力の比較	79
9.4	デモ参加者と第 8 章との裁断した軌跡の差と相対度数. . . .	80

9.5	デモ参加者と第 8 章との裁断時間の比較	81
9.6	デモ参加者と第 8 章との回帰直線の比較	82
9.7	デモ参加者と第 8 章との切り絵 FSS による因子得点の比較	83
10.1	切り絵 FSS のアンケート用紙	107

表目次

4.1	図 4.1 の全てを切った時の裁断圧力と裁断時間	19
5.1	各グループの Step 1 と Step 3 での誤差の変化	32
8.1	各グループの Step 1 と Step 3 での誤差の変化	67
8.2	切り絵 FSS の因子分析の結果	71
9.1	デモ参加者と第 8 章との誤差の変化	81

Abstract

I will discuss the improvement of creating skills for creating paper-cuts based on the research in the field of human-computer interaction. In this paper, I aim at the creativity support for the novices to making paper-cutting, which is one of the art creation. I develop the system for measuring the cutting behavior to create a paper-cutting. My knife device with a blade attached to the tip of the stylus measures the user's cutting pressure.

In chapter 4, I experimented with ten beginners and ten experts. I compare the difference in cutting pressure between novices and experts. My results revealed the "difference in skill to control the cutting pressure" and the "pattern difficulty suitable for novices." In Chapter 5, I describe the pressure presentation function developed based on the range of cutting pressure of the expert. I compared the improvement of the skill to adjust the pressure by the existing practice method to evaluate the effect of the system. As a result, the novices who practiced with my system controlled the pressure so that it was cut by the cutting pressure and the variation like the expert. In Chapter 6, I describe the quantitative evaluation of the cutting difficulty. I measure the difficulty level based on the width and the length of the pattern for cutting. I evaluate the adaptability from difficulty level and skill level. Based on the results, I made a cutting model based on the relationship between each difficulty and cutting time. In addition, I evaluate the practice effect from the change of cutting time through the practice with pictures of various widths. In Chapter 7, I evaluate the skill improvement by balancing the skill and difficulty that combine the system and assessment in Chapter 5 and Chapter 6. In addition, this experiment evaluates the concentration state by flow theory. The flow theory seems to work on enthusiasm in a stable environment between the high skill level and the high task level showed by Csikszentmihalyi. In this experiment, I

created a flow state scale (FSS) for creativity a paper-cutting to evaluate the psychological state of cut picture creation. The flow state scale is based on the questionnaire index for quantitative evaluation of the flow state. As a result, the cutting models showed higher skill improvement than previous systems. In addition, the result with the paper-cutting FSS showed that the participants were in the flow state. From the above results, my system showed a high skill improvement effect with the skill to control the cutting pressure and the environment construction in difficulty difficult for novices. In Chapter 8, I hold a workshop for creating paper-cutting with my system and evaluate my system usability and the evaluation of the paper-cutting FSS.

In summarizing this research, I confirmed that two factors, the skills required to create creative activities and the level of difficulty to be tackled, had a significant impact on beginners. In addition, I evaluated system development and skill model improvement for users to improve their skills for each task. I am convinced that my research contributes as a foundation to the search for the mechanism of creativity and utilization of knowledge that knowledge science aims at tacit knowledge of expert and novice's psychological change.

keywords:

Cutting, Knife interface, Steerig law, Flow, Supporting practice

第1章

序論

1.1 芸術創作における制作段階での練習

現在、書籍やインターネットなどメディアでは、初心者の芸術創作における制作段階を支援するために、取り組み方やデザインは様々な情報が公開されている。芸術創作では、アイデアやコンセプトといった下絵をデザインする段階と、そのデザインに沿って作り上げる制作する段階に大きく分かれる。一方、自身の好みや適切な難易度の下絵を表出するためのデザインの段階は、独創性や創造性といった積み上げが不可欠であることから、未経験な初心者にとって非常に難しい取り組みである。そのため、初心者の練習の一つに、先に制作の段階から取り組むことで、自身の技能や対応できる難易度のデザインを体感し、その知見をもとにデザインの段階に取り組むという順序を変える練習法がある。例えば、初心者向けの教本やワークショップでは、始めは予め著者やインストラクターが提供する課題を利用して、複数の練習に取り組む。また、初心者向けの最終課題として、デザインの段階を含めて一通りの工程に取り組むという手順も多い。

初心者向けの制作段階の練習として、熟練者と同じような動きを繰り返し模倣することが挙げられる。この練習法では、道具の使い方の体験を通じて、技能の上達を目的としている。例えば、ハサミやカッターナイフによる裁断や彫刻といった制作手法では、日常的な使用とは異なる使い方をすることも多く、

制作のための使い方を理解することは重要である。そのため、この練習法は基礎段階では特に重要であり、初心者向けのワークショップでも、インストラクターは参加者へ練習を繰り返させることで技能を習得させ、熟練者へと成長へと導く。

制作の段階では、自身の技能に適切な難易度なデザインでの練習が推奨されている。しかし、初心者用の教本には「初心者向け」や「5段階中の3」など言葉による難易度を表記しているものも多い。しかし、制作についての難易度は基準が曖昧であり、読者にとって簡単なのか難しいかといった個人への最適化されていない。経験を積み重ねた人はそういったデザインが持つ難易度を大まかに把握する能力を持ち、自身の技能に見合った難易度へとデザインの一部を改修することも可能となる。しかし、適切な難易度がどの程度なのかを理解することは難しく、それを可能とするまでの道のりは長い。

1.2 切り絵の制作における練習時の課題と本研究の目的

本研究では、様々な芸術創作の中の一つである、切り絵に注目する。切り絵に限らず多くの芸術創作では、下絵をデザインする段階と表現のために制作する段階に大きく分かれる。例えば、デッサンでは構図を決め輪郭や明暗などの形をとるまでがデザインする段階である。そして、描き込むことで完成させるまでが制作の段階である。その中でも切り絵では、ペンなどで下絵を描くためのデザインする段階と、デザインナイフで下絵を裁断することで制作する段階がある。デザインナイフとは主に先端は替え刃式、柄の形状が円柱状と一般文具のカッターナイフと構造が異なり、工芸に特化したナイフである。一般的なカッターナイフの使い方は、直線状に紙を裁断する。一方で、切り絵の制作では、直線だけでなく曲線などの複雑な形状にデザインナイフで裁断する。切り絵のカッターナイフのような使い方をした場合、紙を滑らかに切ることができない。

そのため、初心者向け初心者向けの教本では、下絵とするためのデザインの例を多く掲載し、ナイフやハサミで裁断する制作段階の体験を読者へ提供して

いるものが多い。同様に、初心者向けのワークショップでは、初心者の参加者へデザインする段階からではなく、制作段階から取り組ませることが多い。いくつかのワークショップでは、インストラクターが制作した線が少なく単純な絵柄を使って参加者は制作する。初心者はこうした制作の練習を繰り返し、ナイフの使い方や裁断する絵の難しさを知り、経験を積むことで上達する。しかし、多くのワークショップでは、1回の体験時間が30分から2時間程度であり、初心者が技能を習熟し熟練者へと近づくまでに制作の繰り返しと長い期間が必要である。これにより、初心者は絵を裁断するためのナイフの使い方や、自身の技能が対応できる難易度を知るところから始める。

切り絵制作の課題の一つとして、ナイフで紙を裁断したときに初心者と熟練者との間に制作物の質に大きな差が発生することが挙げられる。また、現在のワークショップでは、制作の技能に効果的な影響を与える難易度がどの程度であるかは、インストラクターの暗黙知に一任されている。本研究では、切り絵を制作の技能の一つである裁断圧力を調整する技能の向上を支援する。加えて、下絵の難易度を定量化することで、より初心者向けとして練習効果の高い難易度について調査する。これらの課題について検証と評価を行うことで、未経験な初心者がワークショップや教本で体験する基礎段階での効果的な技能向上の支援を目指す。

1.3 本研究の構成

本論文は以下の章で構成される。

第1章では、芸術創作における制作段階での練習と切り絵の制作について述べる。

第2章では、関連研究として本研究に関する制作動作に関連する特徴の抽出と提示手法について述べる。

第3章では、切り絵を制作するための裁断動作を計測するシステム環境について述べる。本システムは以降の各実験で目的に応じて裁断動作の圧力や時間などを計測するために使用する。

第4章では、切り絵を制作したことがない初心者と、アーティストとして活

動する熟練者が同じ下絵で切り絵を制作したときの裁断圧力を比較する。

第 5 章では、第 4 章の実験結果から初心者と熟練者との裁断圧力の差について着目し、熟練者の裁断圧力の値をもとにした圧力提示機能の開発する。本研究システムは利用者が切り絵を制作するときの裁断圧力をリアルタイムに評価する。初心者がシステムを利用した場合、利用しなかった場合、ワークショップで行われている鉛筆を利用した場合、ナイフではなくタッチペンでシステムを使った場合の 4 つのグループについて裁断時の圧力がどのように変化するかを比較する。この実験の裁断圧力の変化から「裁断圧力を制御する技能向上」について評価する。

第 6 章では、裁断するパターンの難易度について幅と距離の長さから求まる難易度 (ID) と裁断時間 (MT) を計測する。また、ステアリングの法則にもとづいて ID と MT との適応性を評価するとともに、ID と MT からなる回帰直線について評価する実験について述べる。

第 7 章では、様々な幅で構成した下絵について第 6 章と同様に ID による MT の変化を比較することで「適切な難易度での練習による技能向上」について評価する。初心者が様々な幅で構成した下絵を裁断した時の MT をもとに、その前後で各パターンの裁断時間の変化、定量化した難易度と裁断時間からなる裁断モデルの変化を比較する。

第 8 章では、これまでの第 5 章と第 7 章で調査した裁断圧力を制御する技能と初心者向けの難易度との組み合わせに用いた「技能と難易度との組み合わせによる技能向上」について評価する。加えて、技能と難易度による環境について、Csikszentmihalyi による心理学分野のフロー理論の考え方に基づいて技能向上の効果を評価する。また、この章では切り絵制作時のフロー状態を評価するための尺度を作成し、技能と難易度と技能向上との組み合わせによる関係性について述べる。

その後、第 9 章では初心者向けの切り絵ワークショップを開催し、第 8 章で評価したシステム環境及び切り絵制作時のフロー尺度についての評価について述べる。

最後に第 10 章では本研究を総括し、今後の課題と展望について述べる。

第2章

関連研究

2.1 はじめに

第1章では、初心者向けとする創作活動における制作段階に関する課題点について述べた。本章では、先述した課題点について、取り組む方向性として3つの研究分野について述べる。2.2節では「制作活動への支援に関する研究」について述べる。2.3節では「ステアリングモデルに関する研究」について述べる。2.4節では「フロー尺度と効果に関する研究」について述べる。

2.2 制作活動への支援に関する研究

本節では、スケッチやデッサン、油絵などの制作する段階を支援する研究について述べる。文献 [25] では、利用者が描いた顔のスケッチに対し、顔のパーツ毎に線の傾きや長さについて評価とフィードバックを提示する。このシステムは評価を得た利用者が該当部分を修正し、再びシステムが評価をする流れを繰り返すことで対話的にスケッチの制作支援を行う。文献 [24] では、人の顔の中でも目に注目し、形状や明暗などについて段階的に評価する。文献 [32] では、手本とする絵から形状や骨格をもとにして、その基準と対象の部位との差から次に描く線のガイドを提示する。文献 [40] では、利用者がコンピュータ上で行うスケッチをもとに何千種類の画像を分析することで、次に描く線のガイドを

提示する。この影状のガイドは利用者が描画した線をもとに類似画像を検索することで、利用者のスケッチへの制作支援を行う。また、平面的な線画だけでなく、立体的な表現を持つ絵画への制作支援がある。文献 [61, 9] では、平面や立体物を対象にワイヤーフレーム状の線を描画するツールを開発し、各線の位置や曲率についてガイドを表示することで、遠近感のある絵を制作する支援を行っている。文献 [39, 36] では、プロジェクターを利用して紙に映像を投影し、映し出されたガイドに沿って線を描くことで歪みやズレを防止する拡張現実による制作支援を行っている。文献 [27] では、油絵の色を重ねて表現する技法に対し、プロジェクターを利用することで表現技法の支援を行っている。キャンパス上にレイヤー毎の絵を投影し、利用者はその映像をもとに筆で絵を描き込み油絵らしい色を重ねる表現を再現する。

彫刻分野への制作支援では、現実世界での造形物へのナビゲーションだけでなく、コンピュータ上の仮想空間で彫刻造形を仮想的に制作するアプリケーションがある。文献 [56] では立体的な対象に対しプロジェクタによりガイドを投影することで描画や彫刻を初心者でも正しい手順で行うことができるように支援する。文献 [54] では利用者はヘッドマウントディスプレイを装着し、仮想空間にガイドを表示することで、トレースの精度向上を支援している。書道では、道具である筆にトラッキングセンサや感圧センサを取り付けることで運筆動作を測定し、コンピュータグラフィックスによる表現を通じて練習と学習を支援する [59, 50]。文献 [67, 15] では、仮想空間内での描画に対し自身の動きに熟練者の動きを表示することで、利用者はそのガイドに沿って運動訓練を行う。文献 [13, 49] では、ダンス活動の練習の支援を目的としており、自身の取り組みの映像に手本とする熟練者の身体の動きを重ねることで、ダンスの練習にガイドを取り込んでいる。同様に、文献 [37] でも、陶芸活動の腕の動きに注目し、利用者の腕の動きをもとに熟練者の動きとの差を比較することで、制作時の動きの評価と改善を指導している。

切り絵の種類の一つに折り曲げた紙を裁断し再び展開することで、対称的な絵柄を制作する「切り紙」がある。切り紙では折り曲げる線や裁断する線は紙に描かれておらず、白紙の状態から制作することが多い。文献 [43] では、コン

コンピュータ上でデザインした下絵をもとに、プロジェクタが紙の折り曲げる線や裁断する線を投影し、利用者がシステムのガイドに沿って制作する支援システムである。文献 [43] の研究はガイドを表示するだけで、歪みやズレといった誤差への評価は対象としていない。また、本研究では、下絵が見える状態で制作をするため、プロジェクターによる裁断する線のガイドは下絵が担う。

絵画の制作支援ではタブレット端末などの機器を利用して道具の動きや入力した線画から、ガイドの表示や、利用者の動きや制作物への評価を示すことで利用者の取り組みを支援する。デッサンやスケッチ、油絵、習字では白紙の状態から描画が原因となり、描画する線の歪みやズレが制作物の評価に大きな影響を与える。同様に、彫刻や陶芸といった造形も立体物から切削をすることで制作するため、切削する線の歪みやズレは大きな課題の一つである。そのため、これらの制作支援では利用者がどれだけ手本に沿った入力ができるかを評価することで、制作活動のための支援を行っている。

本研究が扱う切り絵の場合、初心者と熟練者との絵では同じ下絵から制作した場合でも裁断した線の歪みやズレが発生する。先に挙げたような制作の場合、白紙への描画が原因の一つに挙げられるが切り絵の場合、既に描かれた絵の上からナイフで紙を裁断するため、位置や大きさといったガイドの必要性は低い。切り絵の場合、裁断した線の歪みやズレの原因の一つとして、紙を裁断するときの圧力が挙げられており、ワークショップなどでも講師は初心者の裁断時の圧力には注意している。圧力が強すぎる場合、直線の場合ではズレによる経路を修正することが困難となり、曲線の場合では裁断した線の歪みが目立つため、裁断時の圧力は線の歪みやズレに大きな影響を与えているとされている。そのため本研究では、その原因となる裁断圧力をガイドすることで切り絵の制作支援を目指す。

2.3 ステアリングモデルに関する研究

本節では、人の動きに対するモデル化の一つである Fitts の法則とステアリングの法則とその活用に関する研究について述べる。Fitts の法則では、ポインティングタスクの必要時間 (MT) についてターゲットまでの移動距離や大き

さとの関係性をモデル化したものである [26]. さらに Fitts の法則を応用し, 二次元的な移動モデルとして一般化したモデルであるステアリングの法則を Accot と Zhai が提案した [1, 5]. このモデルではターゲットまでの距離 (W) と幅 (D) から以下の式で難易度 (ID) を定量化する.

$$ID = \frac{D}{W} \quad (2.1)$$

この式では, 難易度はターゲットの距離が長い, もしくは幅が狭くなるほど難しくなる関係を示す. また, ステアリングの法則では, MT と ID について以下の式で関係を表す.

$$MT = a \times ID + b \quad (2.2)$$

a と b は実験により決定する定数である. この式では, ターゲットの難易度が高いほど, タスクに要する時間を必要とする関係を示す.

これまでに多くの研究者が様々なパターンやデバイスについてステアリングの法則を活用することで評価している. ステアリングのモデルでは直線上のパターンだけでなく, 円形のパターンにも適用可能であることが知られている [2, 3, 45, 52]. これらの研究より, ターゲットの距離は直線状の場合はトンネルの長さ, 曲線状の場合は中心部からの円周の長さを利用して評価する. 直線や円形以外にも徐々にターゲットの幅が変化する場合についても, 同様にステアリングの法則が適用できることが確認されている [64, 66]. ターゲットの幅が徐々に変化する場合も, その変化に応じた関係式を利用することでモデル化が可能である. その他にも, パターンの形状についても直線状のターゲットだけでなく, 文献 [55] ではターゲットの広い幅や狭い幅での直角移動における MT の変化を比較している. それらの結果をもとに, 文献 [11, 44] では, 手書き文字や簡単な図形における難しさを評価している. また, 文献 [71] ではターゲットが 3 次元的な形状である場合についてモデル化を行っている.

入力装置ではマウスやタッチペン, タッチパネル, トラックボールでの操作について調査をしたものもある [46, 16, 2, 69, 70, 68]. また, 文献 [29, 62] では指やタッチペンといったタッチインターフェースでのストロークの差について分析をしており, ターゲットや入力デバイスによる差を評価する手段として

も活用されている。ヘッドマウントディスプレイにより没入した仮想空間内でのガイドについてステアリングの法則の適用を検討 [8] やハサミによる紙の裁断動作に対してモデル化を検討する [65] といった、幅広い入力手法への対応も確認されている。また、3次元的な動きによる身体動作について、全身を使った動作 [30, 58]、空中でのポインティング・ステアリング [53] のような身体動作による入力についても適用することが確認されている。

これらの研究では、ペン型デバイスを用いたステアリングタスクにおいてトンネル状のターゲットの難易度を定量化している。切り絵の制作における難しさの一つに、裁断する場所が密集する領域や長い距離を切ることが難しい傾向にあるとされている。その理由は、ターゲットとする線からズレた場合に他のターゲットに干渉することで紙が千切れるからである。特に裁断する領域が細かい場合や距離が長いターゲットほど裁断したときの干渉が起きやすくなるため難しくなる。これらの特徴は、裁断する線と難易度の関係が同様であることから、裁断する線を幅と距離のみの構成に単純化することで、ターゲットの裁断をステアリングタスクに適用できると仮定する。そのため本研究では、以上の仮定をもとに切り絵の下絵を幅と距離から難易度を定量化し、様々な難易度の絵で練習したときの難易度と裁断時間の変化から技能向上の効果的な難易度の評価を目指す。

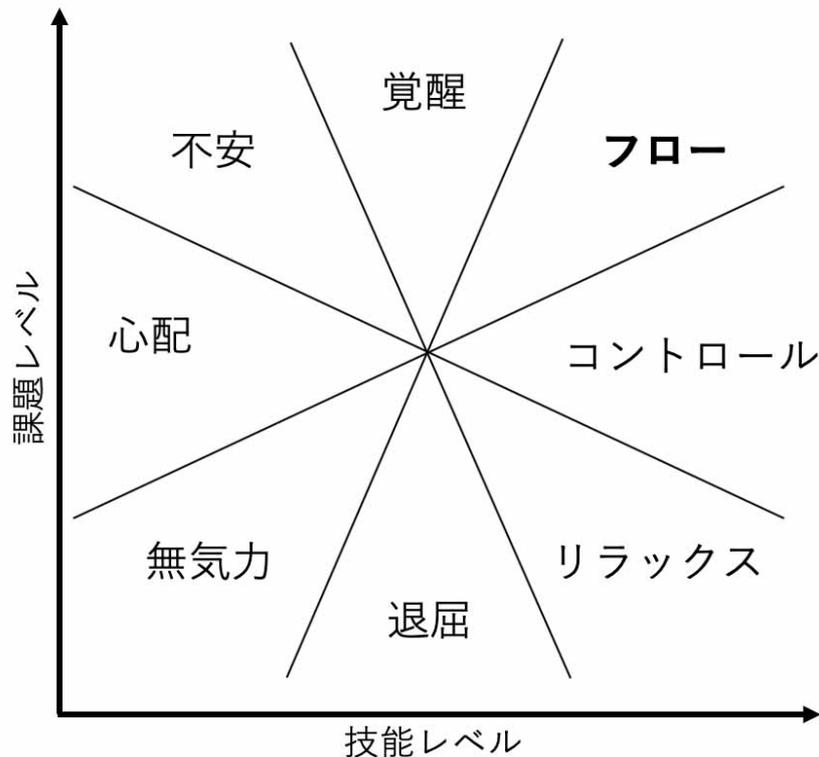
2.4 フロー尺度と効果に関する研究

本節では、心理学における集中状態 (フロー) と切り絵の技能レベルと課題レベルについて述べる。Seligman はポジティブ心理学として、人の幸福の「快楽」、「意味」、「没頭」の3つの要素について分析している [57]。「快楽」は楽しさや心地よさといった快楽を手に入れることを重視することであり、容易にポジティブな感情を得られる代わりに慣れが生じ、長続きしないという特徴がある。「意味」は人から認められることなどであり、承認欲求とも呼ばれる。そして、「没頭」は時間を忘れてしまうほどの高い集中状態であり、スポーツ心理学における「ゾーン」とも呼ばれる心理状態であり、時間の経過や自我の感覚を喪失していたと感じる特徴がある。そして、Csikszentmihalyi はこの「没

頭」について分析をするなかで「フロー」を提唱した [19]. 「フロー」とは内発的動機づけ研究における概念の一つであり, そのときにしていることに完全に没頭のように集中している精神状態を指す [20]. Csikszentmihalyi はフロー状態を構成する要素として, 「難易度とスキルのバランス」について注目している [22, 77].

フローは体験者の技能レベルで処理できる程度の課題レベルを持つ取り組みに没頭しているときに起こる傾向がある. もし課題レベルが高すぎて失望をすると心配し徐々に不安へと移行する. また, 課題レベルが技能レベルに比べて低すぎてリラックスすると, 退屈へと以降してしまう. さらに, 課題レベルも技能レベルも低すぎることに気づいた場合, 体験者は無気力になってしまう. 一方, 課題レベルと技能レベルが高いところで釣り合った場合, 時間の経過や自我の感覚を喪失するようなフロー体験が起こるとされている. Csikszentmihalyi は, このような課題レベルと技能レベルの主観的経験の組み合わせについて八分図のフローモデルを提唱している (図2.1) [21, 72].

フローの評価について直接的な申告以外にフローを判断する手段はなかったが, Jackson はスポーツ場面におけるフロー状態を測定するための 36 項目のアンケート Flow State Scale(FSS) を作成した. その他に, 年齢の差 [60] や日常生活などの生活全般のためのフロー尺度 [34] が開発され, フローを評価するためのマニュアル (The Flow Manual) が出版された [33]. FSS による定量評価を利用することで, スポーツ以外にも様々な体験についてフローの評価をし, 適用の範囲を広げている. その中でも特に教育分野で小学生から大学生まで幅広い対象, 学習内容の段階, 学習手法についてフロー体験を評価している. 文献 [47, 31, 42, 41] では, 大学生への e ラーニング環境での学習者のスキルと課題の難易度におけるフロー経験の相関について評価している. また, FSS を利用して国籍や文化, 言語, 性別, 課題への経験年数といった様々な要素間によるフローの差について評価している. 文献 [38, 63] では, フロー時の幸福や創造性, 取り組みへの感じ方の変化についても評価を検証している. 文献 [17] では, 作詩活動時のフローについて経験年数や職種, 婚約などの参加者の違いから評価している. 文献 [51, 7] では, 学校での体育の授業に取り組む学生とプ



出典：ミハイ・チクセントミハイ (2000)「フロー体験入門」

図2.1 フローと技能レベルと課題レベルとの関係

ロとして活動している運動選手，運動をあまりしない人といった，様々な技能差があるグループでの動機づけについて分析している。

FSSと言語との適用についても検証がなされており，日本語訳 [76]，スペイン語訳 [28]，アラビア語訳 [12] と英語以外の言語においても有用性が確認されている。その中でも日本語訳による FSS を利用は個人やグループでの様々な取り組みとして 2000 年以降からスポーツ，芸道，臨床心理，教育，経済，デザインやゲームなどの分野でも研究が行われている [35, 78, 73]。その後，日本では FSS を日本語翻訳し，体育授業における日本語版 FSS [76]，陸上選手のフロー経験の調査 [75] などをはじめ多くのスポーツに対してフローの評価を行っている。また，フロー尺度の得点を比較することで，体験者のフロー状態を評価にも活用されている [74, 79]。

先に述べた研究から，技能レベルと課題レベルの組み合わせがフローを評価

する上で重要な要素を持っている。制作活動についても、自身の技能に見合った難易度での取り組みが技能向上のためには不可欠な要素である。ワークショップなどでも講師は参加する初心者の技能を想定して制作課題をデザインしている。切り絵の制作段階においても同様に、技能レベルと課題レベルの釣り合ったフロー状態を感じることができる制作環境での練習が技能向上の効果を高めると推察する。そのため本研究では、切り絵の制作における技能レベルの一つである裁断圧力を制御する技能を向上させるシステムに、課題レベルの一つである裁断する線の幅と距離からなる難易度を組み合わせから技能向上の効果の評価を目指す。

第3章

切り絵を制作するための裁断動作を計測するシステム

3.1 はじめに

切り絵はナイフを利用して紙の不要な部分を切り落とすことで表現する絵画手法である。切り絵のワークショップ経験をもつインストラクターが参加者の裁断動作について注意する点についてインタビューする。その結果をもとに、液晶ペンタブレット用のタッチペンの先端に刃を取り付けたデバイスを開発した。このシステムは、ペンタブレットとタッチペンによる感圧や座標を計測する機能を利用することで裁断時の圧力や座標、時間を計測する。

本章では、切り絵制作時のナイフで紙を裁断する動作(裁断動作)及び、裁断動作の情報を収集するためのシステムについて述べる。3.2節では、ワークショップにてインストラクターが初心者の裁断動作で注意する点について述べる。3.3節では、タッチペンの先端に刃を取り付けることで作成したナイフデバイスについて述べる。3.4節では、液晶ペンタブレットとナイフデバイスによる計測の詳細とシステム環境について述べる。

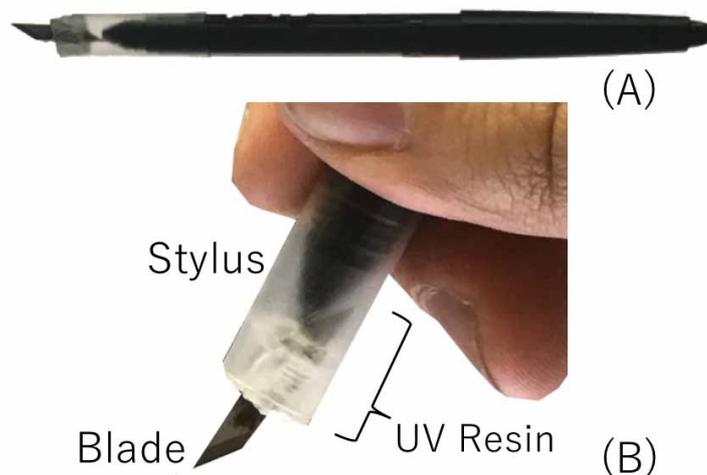


図3.1 タッチペンの先端に刃を取り付けたナイフデバイス (A), タッチペンの先端と刃との間にレジンを入れることで固定している (B).

3.2 インストラクターが初心者の裁断動作で注意する点

我々は切り絵のワークショップ経験をもつ5名のインストラクターへ、ワークショップ時にて、参加者の制作中に注意する点をインタビューした。5名の熟練者の内、4名は切り絵インストラクター歴が5年、他1名は6年である。その結果、初心者は強い圧力と遅い速度で紙を切る傾向にあることが分かった。実際のワークショップでは、インストラクターはその切り方をする参加者に対し、適切な圧力で滑らかに切るように指導することが多い。

3.3 ナイフデバイスの開発

利用者が紙を裁断する時の圧力と時間を計測可能とするナイフデバイスを開発した。このデバイスはタッチペン (Wacom Pen-Pro 2) の先端にデザインナイフの刃 (NT BDC-200P) を取り付けたナイフである。このナイフデバイスとペンタブレットディスプレイ (Wacom Cintiq Pro 16) と組み合わせること

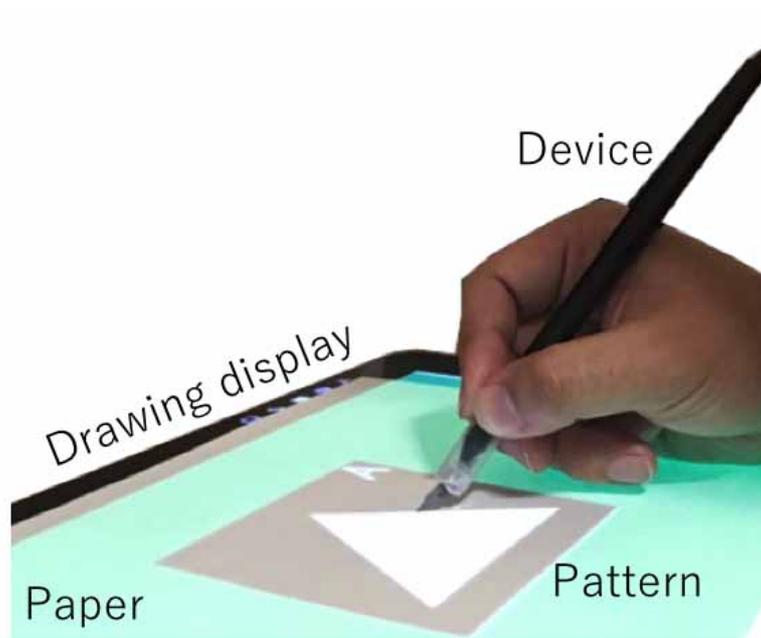


図3.2 利用者はペンタブレットデバイスの上に固定した紙をナイフデバイスで切る。

で裁断中の動きを計測する (図 3.1A). 刃の先端とスタイラスとの間は紫外線硬化樹脂を満たしており, 刃先が紙と接したときにスタイラスの先端が押されることでスタイラスが持つ感圧センサが圧力を計測する (図3.1B). Wacom 社が公開している API をもとに, タッチペンが認識可能な 8192 段階の圧力をグラム変換し, 250ms 毎に 100.0 から 500.0 g までの圧力を認識するシステムを開発した. 本システムは約 2.2pixel(0.2mm) 毎に利用者の裁断した座標を取得する.

3.4 ペンタブレットによる計測

本システムはナイフデバイスで利用しているタッチペンに応答するペンタブレットディスプレイ (Wacom Cintiq Pro16) を利用する. このディスプレイは 345.0 mm × 194.0 mm のスクリーンサイズを持ち, 3840 × 2160 pixels, 275 dpi の解像度で映像を表示する. 本システムでは, 利用者はナイフデバイスでペンタブレット上に固定した紙を裁断する (図3.2). ペンタブレットのスクリ

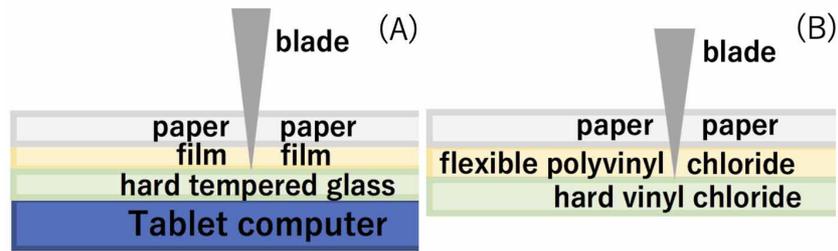


図3.3 本システムのタブレットデバイスと強化ガラス，ビニルシートの構造 (A)，一般的なカッターマットの構造 (B).

ーンは電磁誘導方式によりタッチペンを認識する。スクリーンがタッチペンの座標を認識する場合，直接ペン先とスクリーンが接触する必要はなく，20.0 mm 程度の接近から測定が可能である。そのため，本システムのナイフデバイスではタッチペンの先端に刃が取り付けられており，ペン先とスクリーンは接触しないが，ペン先の座標が取得可能である。

ナイフデバイスの先端の刃は直接ペンタブレットと接触した場合，スクリーンに傷をつけるため，刃よりモース硬度の高い材質で作られた強化ガラスを設置している。加えて，強化ガラスの上にさらに厚さ 2.0 mm のビニルシートを設置することで，裁断時に紙を貫通した刃先をビニルシートが受ける。この構造は一般的なカッターマットと同様の構造であり，この緩衝によりナイフデバイスで紙を裁断したときと同様の効果を果たす (図3.3)。

第4章

初心者と熟練者との裁断圧力の違い

4.1 はじめに

多くの制作活動では、初心者と熟練者との作品では、技能や知識、経験などの差から精度や質に大きな開きがある。制作段階での技能が低い場合、作品の質だけでなくやり直しや失敗などの取り返しのつかない事態を招く。そのため、初心者の技能を高めることは、制作段階を取り組むうえで重要な要素である。切り絵の制作も同様であり、初心者と熟練者が同じ絵柄の下絵から制作した場合も、両作品の精度などの観点から見た場合に違いがある。第3章で述べたように、切り絵の初心者は強すぎる圧力で紙を裁断する傾向にある。実際に、いくつかの切り絵のワークショップなどでは、初めて取り組む人たちへ圧力を調整するために言葉による説明や実演から始めるところもある。

本章では、初心者と熟練者の裁断圧力の差を比較する実験について述べる。4.2節では、実験参加者と実験手順について述べる。4.3節では、本実験の結果として、全体での裁断圧力、各パターンでの裁断圧力、裁断した線の精度、インタビューによる裁断時に注意したことについて述べる。4.4節では、本実験のまとめについて述べる。

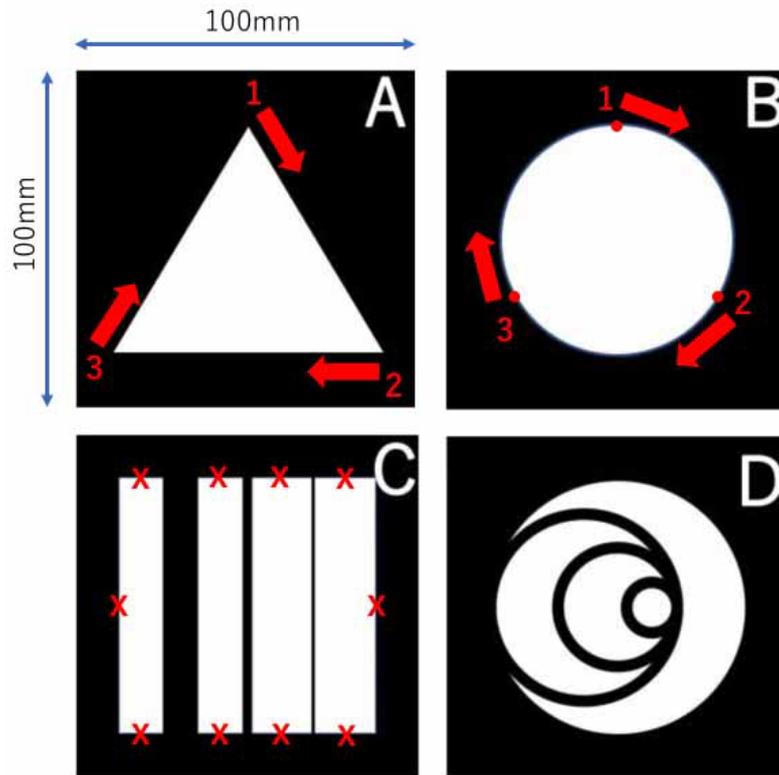


図4.1 3つの直線からなる三角形 (A) , 3つの曲線からなる円 (B), 徐々に難易度が上がる直線パターン (C), 徐々に曲率が増加する曲線パターン (D).

4.2 実験：初心者と熟練者の裁断圧力の比較

実験参加者はこれまで一度も切り絵の制作をしたことがない10名の初心者(男性7人, 女性3人, 平均年齢27.4歳, $SD = 1.33$)と10名の切り絵作家や講師をしている熟練者(男性6人, 女性4人, 平均年齢32.5歳, $SD = 5.93$)である。実験参加者たちは全員が切り絵を制作するに十分な視力を持ち, 全員が右利きだった。

実験参加者は4つのパターン(図4.1)をA, B, C, Dの順に10回ずつ繰り返し切る。図4.1は100.0 mm × 100.0 mmの正方形に印刷された白と黒色で塗り分けられた4種類のパターンである。図4.1AとBは3つの直線と曲線で構成されており, それぞれ三角形と円の形状となる。実験参加者たちはこれら

表4.1 図4.1の全てを切った時の裁断圧力と裁断時間

	Pressure (gram)		Time (second)	
	Average	SD	Average	SD
Novices	437.7	23.9	58.9	6.6
Experts	303.3	14.8	44.8	3.9

Note: Rounded to one decimal place

のパターンを3回に分けて裁断する。図4.1Cは徐々に切り残す線(黒色で塗りつぶされた領域)の幅が狭くなる直線パターンである。切り絵では、切り残す線(黒色で塗りつぶされた領域)が狭いほど難易度が上昇するとされている。参加者たちは幅の広い左側から順に切る。図4.1Dは裁断する線の曲率が徐々に増加する曲線パターンである。高い曲率のパターンは裁断圧力が強すぎる場合、滑らかにきることが難しくなる特徴がある。そのため、精度を向上するためには圧力を制御して切ることが不可欠である。これらのパターンは実際に切り絵のワークショップでも利用されている。インストラクターは初めて参加する初心者に対し、これらのパターンを切らせた時の様子や精度から技能を確認する。

4.3 結果

本項では、初心者と熟練者たちが4つのパターンを切ったときの全体の平均圧力とそのばらつき、各パターンでの平均圧力と裁断した座標から精度を比較する。

4.3.1 全体の平均圧力

表4.1は初心者と熟練者が4つのパターンを裁断したときの平均圧力と平均時間を示す。初心者は熟練者より1.4倍高い圧力で切った。また、初心者は熟

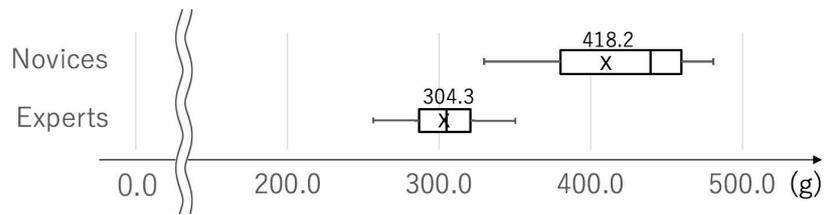


図4.2 図4.1で 0.1mm 毎に参加者が切った裁断圧力のばらつき．図中の x マークは平均値を示す．

練者よりも 1.3 倍の時間をかけて切った．一方で，熟練者は初心者よりも低い圧力で素早く裁断したことを確認した．

図4.2は参加者たちが 0.1 mm 毎に切った裁断圧力のばらつきを箱ひげ図により示す．その結果，初心者の裁断圧力は 320.0 g から 480.0 g のばらつきだった．一方で，熟練者の裁断圧力のばらつきは 250.0 g から 350.0 g であり，初心者より狭い範囲だった．

初心者と熟練者との平均裁断圧力の差について分析する．Anderson-Darling 検定により正規性を検定したが初心者と熟練者の裁断圧力が正規分布に従うと結論付けることはできなかった．加えて，正規分布に従わない可能性があるため Levene 検定により分散の均質性を検定した結果，p 値が有意水準を下回ったため初心者と熟練者との裁断圧力の等分散性について確認することはできなかった．以上より，正規性，等分散性について前提としない Brunner-Munzel 検定により初心者と熟練者の裁断圧力について評価する．その結果， $p < 0.05$ において初心者と熟練者との裁断圧力に有意な差を確認した．

4.3.2 各パターンでの裁断圧力

図4.3は初心者と熟練者が裁断した線の平均座標に対応した平均圧力のプロットを示す．図4.3A, B では，初心者と熟練者は裁断圧力に差はあるが，各線での裁断圧力は同程度であった．一方で，図4.3C, D では，初心者の裁断圧力はパターンの変化に応じて変化した．図4.3C での初心者の圧力は切り残す線の幅が狭くなるほど増加した．同様に，図4.3D では，曲率の増加に応じて圧力も

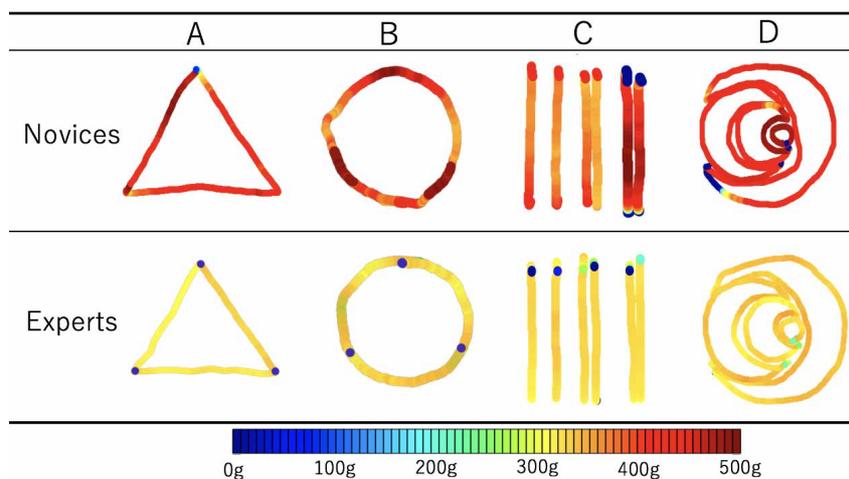


図4.3 初心者と熟練者が裁断したときの平均圧力を平均座標に基づいてプロットする.

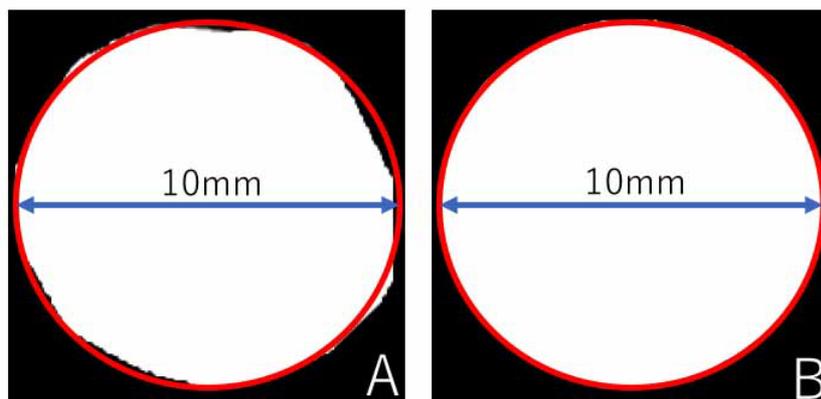


図4.4 初心者の1人が切った粗い円 (A) と熟練者の1人が切った滑らかな円 (B), 実験参加者たちは赤い線に沿って切る.

増加した. また, 熟練者は4種類のパターン全ての部位で同程度の裁断圧力を維持した. 初心者は熟練者よりも全てのパターンで高い圧力であり, 部位ごとにも圧力が更に増加した.

図4.4は初心者と熟練者の中から, 平均圧力にもっとも近かった一名ずつが

図4.1D のもっとも小さな円の部位 (直径 10mm) を切った結果を示す。初心者は強い圧力で切っており、もとの下絵の線 (図4.4の赤色の円) から離れるように粗く切っていた (図4.4A)。一方で、熟練者は全ての部位を同程度の圧力で切っており、高い曲率の部分も滑らかにもとの線に沿って切っていた (図4.4B)。

4.3.3 もとの線と裁断した軌跡との誤差

参加者たちが裁断した線の正確性を評価するために、「もとの線」と「切った線」との座標の距離を計測する。もとの線は図4.1の白と黒の境界に当たる部分であり、その座標を抽出する。切った線は第3章で述べたナイフデバイスにより裁断した部分で、ナイフデバイスによって座標値を取得した。もとの線に最寄りの対応する切った線との距離を計測する。もとの線に沿って全く同じように裁断した場合、もとの線と切った線は一致するため、その差は限りなく0に近づく。その逆に、もとの線から離れ歪んだ場合、差は上昇する。この差を計測することで、切った線の精度を評価する。

図4.5はもとの線と切った線との距離の相対度数、累積度数を示す。横軸はもとの線と切った線との差を示す。縦軸の左側は0.2 mm 毎の差の相対度数を示し、右側は差の累積度数を示す。その結果、初心者は熟練者より1.0mmまでの誤差は少ないが、1.0 mm以上の誤差は熟練者より多かった。相対度数では、熟練者の平均誤差は0.51 mmに対し、初心者の平均誤差は1.24 mmだった。そして累積度数では、熟練者の1.0 mm以下での差は全体の95.0%だった。一方で、初心者が1.0 mm以下での差は60.0%、1.5 mm以下での差は92.0%であり、全体の95.0%は1.6mm以内の差と熟練者よりも大きな差があることを確認した。

初心者と熟練者との平均誤差について分析する。Anderson-Darling 検定により正規性を検定したが初心者と熟練者の裁断誤差が正規分布に従うと結論付けることはできなかった。そのため、正規分布に従わない可能性があるため Levene 検定により分散の均質性を検定した結果、p 値が有意水準を下回ったため初心者と熟練者との裁断誤差の分散に差があることを確認した。以上より、正規性、等分散性について前提としない Brunner-Munzel 検定により初心者と

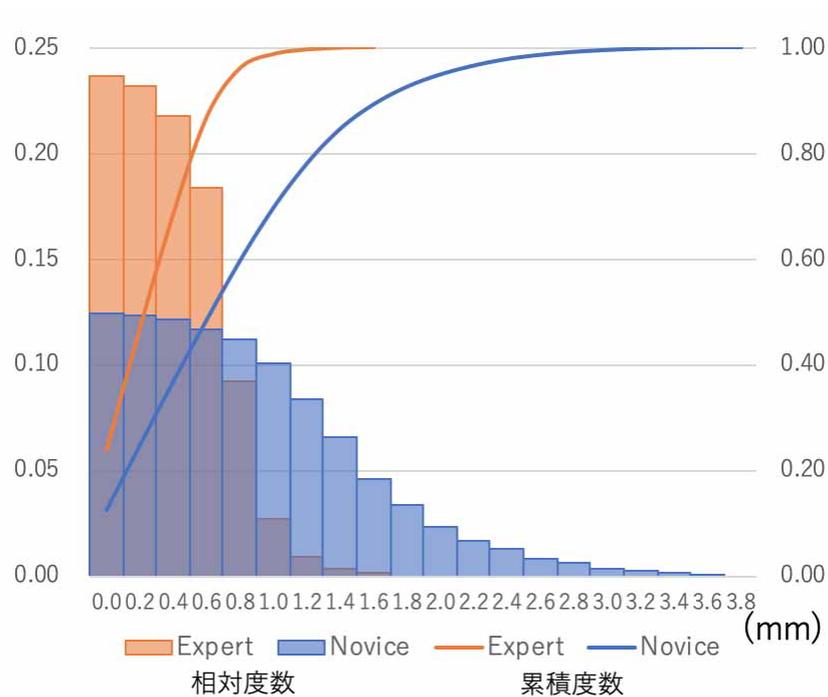


図4.5 初心者と熟練者が図4.1を切ったときのもとの線と裁断した線との差の相対度数.

熟練者の裁断圧力について評価する. その結果, $p < 0.05$ において初心者と熟練者との裁断誤差に有意な差を確認した.

4.3.4 初心者と熟練者が裁断時に注意したこと

実験後に, 参加者たちへ裁断時の圧力や注意した点, 特に難しいと感じた点についてインタビューを行った. その結果, 参加者全員が一般的なカッターナイフで紙を弱すぎる圧力で切った場合, 紙の表面のみに切り込みが入ったような状態で再び切る必要があるように, 切り絵の制作でも弱すぎる裁断圧力とならないように強い圧力となるように切ったことが分かった. また, 全ての初心者が図4.1Cの幅が最も狭い部位や図4.1Dの最も小さな円の部分について特に難しいと感じており, もとの線から離れないように注意していることが分かった. その結果, 初心者は慎重に切ろうとしたため, 該当部位では圧力が増加したと考えられる. 一方で, 熟練者は強すぎる裁断圧力の場合にナイフでの操舵

が困難になることを知っていたため、全ての部位で圧力が一定になるように切ることに注意をしていた。その結果、全てのパターン(図4.1)での裁断圧力を同程度に制御して切った。また、図4.1C, Dでの余白や曲率が変化する部位でも裁断圧力を維持するように裁断したことを確認した。

4.4 本章のまとめ

第3章で述べたように、初心者は高い圧力で裁断する傾向があることから、インストラクターはワークショップ参加者の圧力に注意していることが分かった。本章では、初心者と熟練者との裁断圧力を評価した。

初心者の平均裁断圧力は熟練者よりも1.4倍強く切り、初心者の圧力のばらつきも160.0gと広い範囲だった。また、図4.1の各絵柄についても、初心者の圧力は切る線の幅が減少した場合や曲率が上昇した部位ではさらに増加したことを確認した。一方で、熟練者は裁断するパターンの形状や難易度の変化に対し、圧力を維持するように制御して切った。加えて、高い曲率の部位では、強い圧力で切った初心者の切った線は熟練者と比較して、もとの線と比べて歪み粗い円だった。さらに、切った線ともとの線との差から裁断の正確さを評価した。その結果、切った線との差が1.0mmまでだった割合は初心者が0.0%に対し、熟練者の差は95.0%であり、熟練者は高い精度で切っていたことを確認した。実験後のインタビューでは、初心者はもとの線に沿うように切ることを意識するも圧力が増加してしまったため、ナイフの先端が深く突き刺さり、もとの先に沿って滑らかに切ることを難しく感じていることが分かった。また、熟練者は強い圧力での裁断はナイフの制御に影響がであることを知っていたため、全てのパターンで圧力が同程度になるように切っていたことを確認した。

第5章

裁断圧力を制御する技能向上

5.1 はじめに

切り絵の制作段階では、特に重要な要素の一つに裁断圧力を制御することが挙げられる。実際に切り絵のワークショップなどでもインストラクターは初心者の裁断圧力に注意している。そして、いくつかのワークショップでは、芯の尖った鉛筆を使用して、印刷された絵の裁断する線上になぞり描きで圧力制御の練習を行っている。この練習では、体験者の筆圧が強すぎる場合、鉛筆の先端が欠けてしまう。また、弱すぎる場合、なぞり描きの線の濃さが薄くなってしまう。これらの特徴から鉛筆の強度にもとづいて、従来の練習法では濃い線を欠かさずに下絵の切る線をなぞり描く練習を行うことで初心者は裁断圧力の制御を学習している。

第4章では、初心者と熟練者が同じ絵を裁断したときの圧力を計測し、従来の知見の期待通り初心者は強すぎる圧力で切る傾向にあることを確認した。本章では、初心者の圧力制御を練習するためのシステムとその効果を検証する実験について述べる。5.2節では、第4章の実験で得た熟練者が制御する裁断圧力の範囲をもとに開発した利用者の裁断圧力をリアルタイムに評価するシステムについて述べる。5.3節では、本システムの効果を評価するための実験参加者とタスクについて述べる。5.4節では実験結果として、平均圧力、裁断圧力のばらつきの変化と今回の実験に使用したターゲットの中でも特に難しい分類の部位

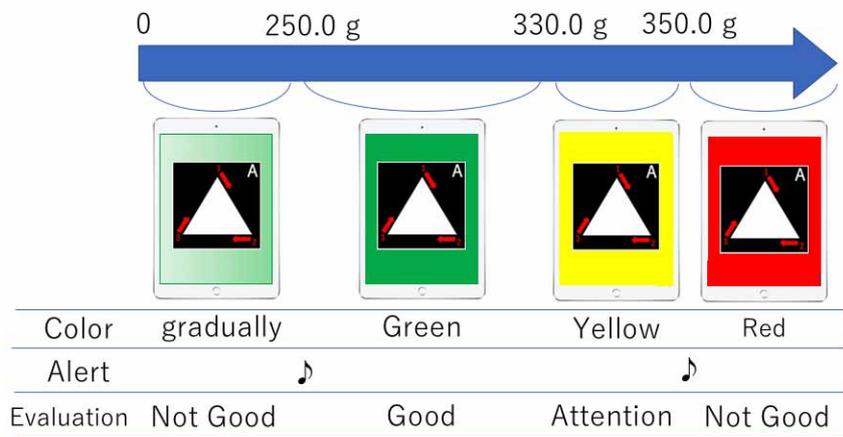


図5.1 利用者と熟練者の圧力の差に応じて色と音により裁断圧力を評価する。

での裁断圧力と軌跡の分析について述べる。5.5節では本章の実験についてまとめについて述べる。

5.2 圧力提示機能

圧力提示機能は第4章の実験で得た熟練者が制御する裁断圧力の範囲をもとに、利用者の裁断時の圧力を評価する。ペンタブレットディスプレイは利用者の裁断圧力と熟練者の圧力の範囲との差に応じて色と音で評価結果を示す(図5.1)。このシステムは利用者へ熟練者が制御する裁断圧力の体験を提供することで、利用者の裁断圧力を制御する技能の習得を支援する。第4章の実験結果にもとづき、熟練者の裁断圧力の範囲を250.0 gから350.0 gとする。本機能では、利用者がナイフデバイスへ加える荷重に応じてスクリーンの色を表示する。

250.0 g 未満 白から緑色へ徐々に変化する。

250.0 g 以上 330.0 g 未満 緑色

330.0 g 以上 350.0 g 未満 黄色

350.0 g 以上 500.0 g 未満 赤色

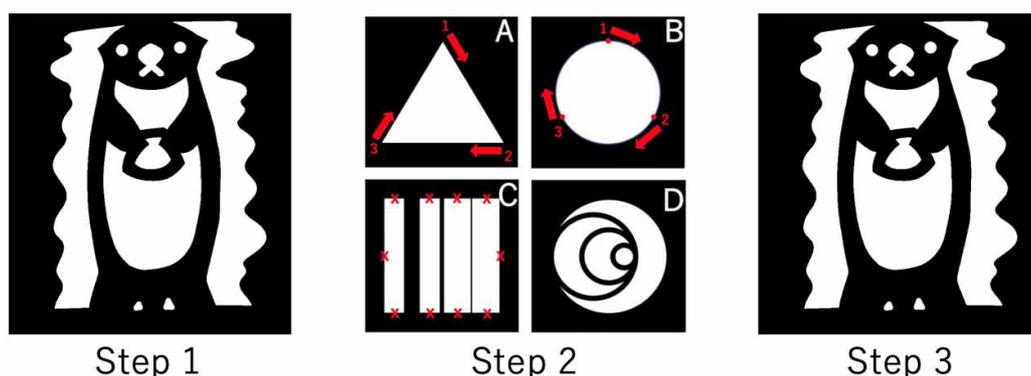


図5.2 本実験の各ステップで取り組む工程

加えて、熟練者の圧力の範囲から外れる 250.0 g 未満, 350.0 g 超過の場合, タブレットデバイスに映像を送るコンピュータのスピーカーからアラートを発する. 第 4 章の実験で述べたように, 初心者は熟練者より強い圧力で切る傾向にあるため, システムは 330.0 g の段階で注意を発する. この機能により, 初心者の過度な圧力にある傾向から, 本システムでは利用者へ圧力の減少を促す効果を目指す.

5.3 実験：圧力提示機能による効果の検証

実験参加者は切り絵の制作をしたことがない 40 名の初心者 (平均年齢 24.2 歳, SD=1.78) であり, 全員が切り絵の制作に十分な視力を持ち, 全員が右利きだった. 加えて, 彼らは実験中可能な限り迅速かつ正確に裁断する.

実験参加者たちは以下の 3 つのタスクを一度ずつ行う (図5.2).

Step 1 ナイフデバイスとペンタブレットで絵 (図5.3A) を切る.

Step 2 各グループに分かれて様々な手法で図4.1を切る.

Step 3 再び Step 1 と同じタスクを行う.

Step 1 では, 全ての参加者が同じ絵柄 (図5.3A) を裁断する. 図5.3A は初心者向けの下絵である. また, 図5.3B は様々な曲率の繰り返しにより構成した部位を持つ. その平均圧力の結果をもとに, 各グループの技能を同程度に統一す

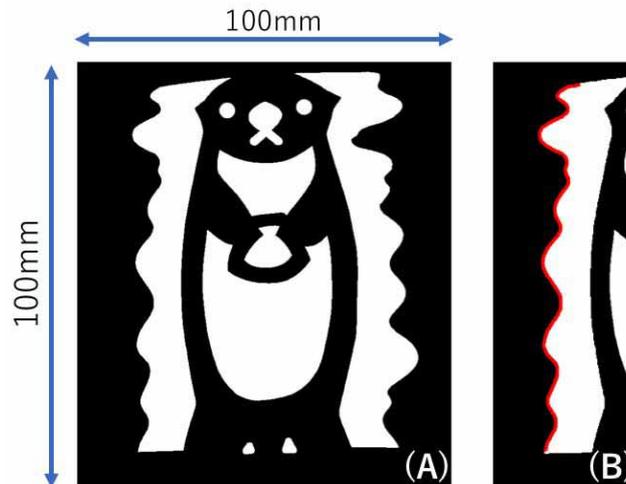


図5.3 参加者は Step 1 と Step 3 で裁断するするデザイン (A), 様々な曲率の繰り返しにより構成される波線 (B).

るために全てのグループが同程度の平均圧力となるように 10 名ずつの 4 つのグループに分ける.

Step 2 では, 各グループは以下のそれぞれの手法を取り組む. 各グループを Gr1 から Gr4 とし, 図5.2 Step 2(図4.1と同じ絵) に対し以下のタスクを行う.

- Gr1 圧力提示機能とナイフデバイスを利用する.
- Gr2 圧力提示機能を非表示にしてナイフデバイスを利用する.
- Gr3 鉛筆を使った既存の練習法を講師に教わって取り組む.
- Gr4 圧力提示機能を使ってタッチペンでなぞり描きをする.

Gr1 は5.2節で開発した圧力提示機能を使ってナイフデバイスで練習する. Gr2 は本機能を非表示にした状態でナイフデバイスを使用して練習する. Gr3 はワークショップでも実際に利用されている HB の硬さの鉛筆 (uni, 三菱) を使ってなぞり描きの練習を行う. Gr4 は感圧センサを持ったタッチペン (Wacom PenPro2) と圧力提示機能を使ってなぞり描きを練習する. Gr1 と Gr4 は共に同じ圧力提示機能を利用し, グループでの違いは Step 2 でのデバイスと取り組み方である. Gr1 はナイフデバイスで紙を裁断し, Gr4 はタッチペンでなぞ

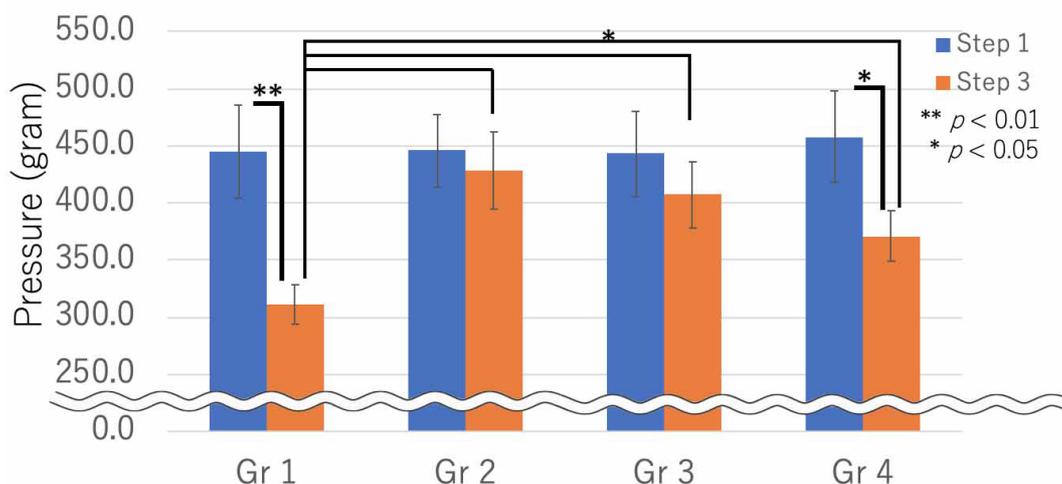


図5.4 各グループが図5.3A を裁断したときの平均圧力.

り描きを行う。

Step 3 では、Step 1 と同じ内容を取り組む。

本実験では、各グループの Step 1 と Step 3 との裁断圧力の変化を比較することで、圧力提示機能の有効性、既存の練習法との差、ナイフデバイスによる実環境に近いデバイスでの練習による技能向上効果を評価する。

5.4 結果

5.4.1 平均圧力の変化

図5.4は Step 1 と Step 3 における各グループの平均圧力を示す。Step 1 では全てのグループは 400.0g 以上の裁断圧力で切った。Step 3 では Gr1 の裁断圧力は 73.0 % に減少した。一方で、圧力提示機能を使わない Gr2 の圧力は 90.2 %、鉛筆を使った既存の練習法を取り組んだ Gr3 の圧力は 87.4 % に留まった。加えて、圧力提示機能を利用するもタッチペンでなぞり描き練習をした Gr4 の圧力は 85.3 % だった。

さらに、各グループの Step 1 と Step 3 との平均圧力について分析する。第4章と同様に、Brunner-Munzel 検定により、各グループの Step 1 と Step 3 との裁断圧力について評価した。その結果、 $p < 0.05$ において Gr1 の裁断圧力

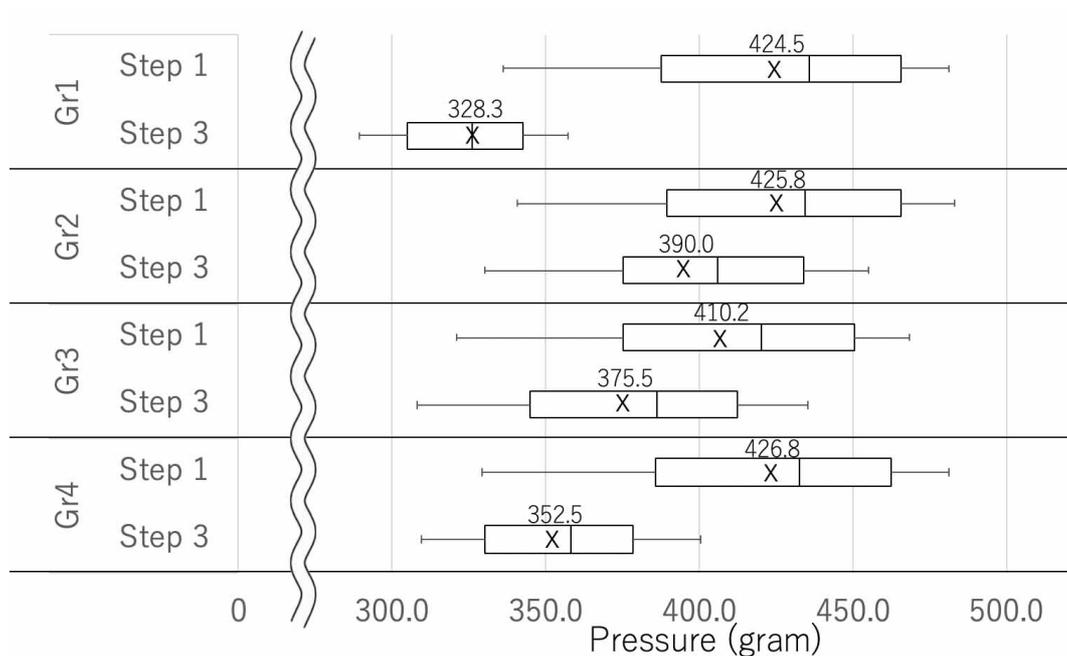


図5.5 各グループが図5.3A を裁断したときの裁断圧力のばらつき．図中のx は平均値を示す．

で有意な低下を示した．一方で，Gr2 と Gr3 の圧力の変化に対し有意な差を確認できなかった．また，Gr4 の圧力提示機能をなぞり描きで練習した場合，圧力変化は $p < 0.05$ において有意な差を示した．

同様に各グループの Step 3 での裁断圧力に対し，Steel-Dwass 検定による多重検定を行った．Steel-Dwass 検定は正規性を前提としない多重比較法である．その結果，Gr1 は他のグループの裁断圧力よりも $p < 0.05$ において有意に低い圧力であることを示した．また，その他のグループ間では有意な差を確認することはできなかった．

5.4.2 裁断圧力のばらつき

図5.5の箱ひげ図は 1mm 毎に切った裁断圧力のばらつきを示す．箱の中央の線はばらつきの中央値，両端の線分はばらつきの最小値と最大値を示す．その結果，Step 1 では全てのグループは共通して 300.0 g から 500.0 g の範囲で切った．Step 3 では，圧力提示機能をナイフデバイスで利用した Gr1 のばらつ

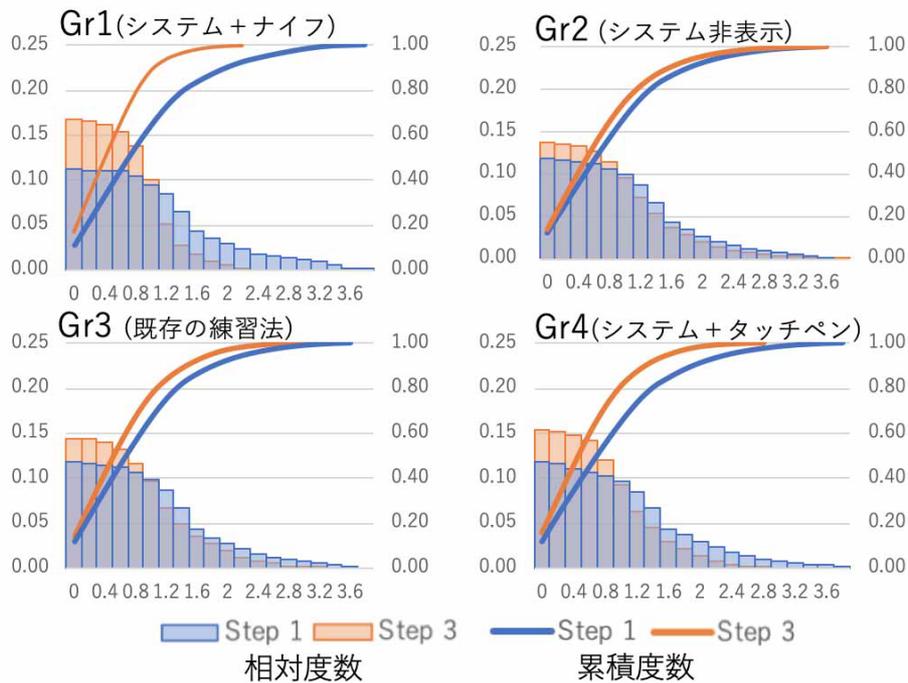


図5.6 各グループが図5.3A を切ったときのもとの線と裁断した線との差の相対度数.

きは 290.0 g から 358.0 g の範囲に縮小した. また, 中央値と平均値の差も減少した. 一方で, Gr2 と Gr3 の圧力のばらつき範囲は Step 1 と Step 3 間での変化は少ない. 先述したように平均圧力は Gr1 ほどではないが減少したため, ばらつき範囲も減少側へ移動するも範囲の変化への影響は少なかった. Gr4 の圧力の範囲は Step 1 と比べ大きく減少側へ移動するが, Gr1 ほどではなかった. また, ばらつき範囲も Gr2 や Gr3 よりも減少するも Gr1 ほどの減少量ではなかった.

5.4.3 もとの線と裁断した軌跡との誤差

Step 1 と Step 3 での図5.3A の白と黒で塗り分けられた境界の切る線と実験参加者が裁断した軌跡との距離について, 4.3.3項と同様に軌跡との誤差を比較する. 図5.6はもとの線と切った線との距離の相対度数を示す. Step 3 では, 圧力提示機能を利用した Gr 1 と Gr 4 の 1.0 mm を超える誤差が減少し, 1.0 mm 以内の誤差が増加した. また, Gr 1 と Gr 4 の累積度数は Gr 2 や Gr 3 の

表5.1 各グループの Step 1 と Step 3 での誤差の変化

	平均誤差 (mm)		1.0mm 以内の累積 (%)		1.5mm 以内の累積 (%)	
	Step 1	Step 3	Step 1	Step 3	Step 1	Step 3
Gr1	1.45	1.03	54.8	78.5	79.2	96.6
Gr2	1.48	1.44	56.7	64.5	81.9	86.7
Gr3	1.47	1.35	56.7	67.7	81.9	88.8
Gr4	1.50	1.30	55.3	71.6	80.2	91.8

Note: Rounded to one decimal place

モノと比べ左側へ推移した。

表5.1は各グループの Step 1 と Step 3 での平均誤差, 1.0 mm 以内の累積度数, 1.5 mm 以内の累積度数の変化を示す。その結果, Step 1 と Step 3 では, Gr1 の平均誤差が最も減少した。一方で, Gr2 の減少は最も少なく, 1.0 以内の誤差及び 1.5 mm 以内の誤差の変化は最小だった。また, Gr3 と Gr4 は減少するも Gr1 ほどではなかった。

また, Brunner-Munzel 検定により各グループとの Step 1 と Step 3 との平均誤差の変化について分析する。その結果, Gr1 と Gr4 の裁断誤差は $p < 0.05$ において有意な差を示した。一方で, Gr2 と Gr3 の圧力の変化に対し有意な差を確認できなかった。

5.4.4 波線部分の裁断した形跡

各グループの平均裁断圧力に最も近い実験参加者 1 名を抽出した。図5.7は, 抽出した 1 名が Step 3 で裁断した図5.3B 部分の裁断した線を示す。図5.3B 部分は各グループが裁断した圧力の差が最も顕著な部位である。Gr1 はもとの線の複雑な形状に沿って該当部位を裁断した。しかし, Gr2 は粗く角ついた曲線

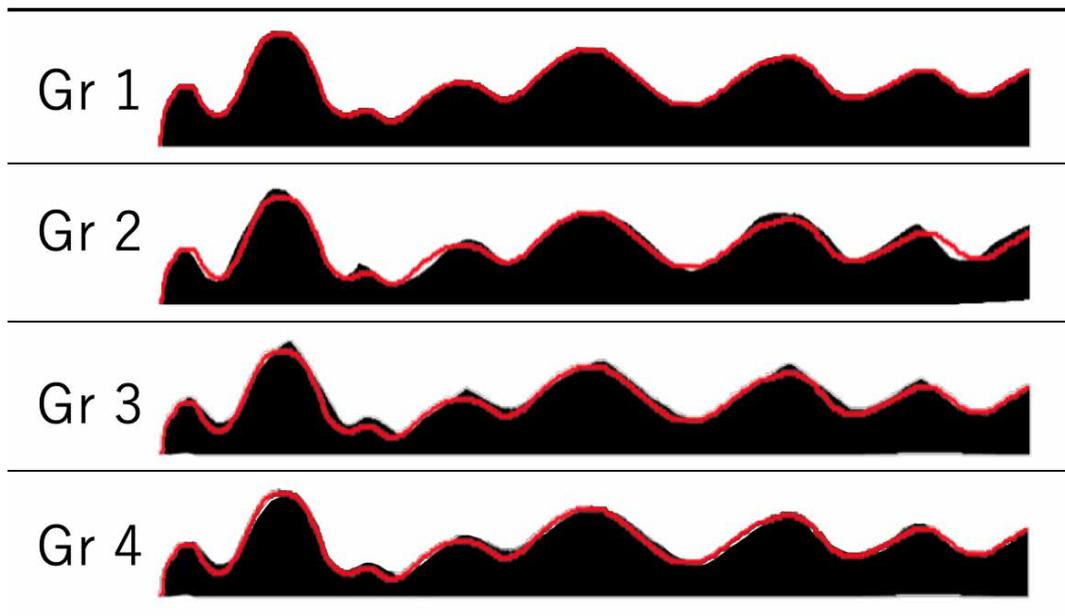


図5.7 各グループの代表者が切った波線 (図5.3B).

が目立ち、もとの線を突き抜けるように切った。また、Gr3は低い曲率部分ではもとの線に沿っていたが、高い曲率の部位では直線的で粗い軌跡となった。そのため、切った線(黒色の領域)ともとの線(赤色の線)との間に隙間や突き抜けのある隙間が確認できる。Gr4はGr2と比較してもとの線に沿って切っていたが、Gr3と同様に高い曲率部分では隙間があった。

図5.8は各グループが図5.3CをStep 3で切った時の平均圧力を平均座標にプロットしたものである。その結果、Gr1は他のグループの裁断圧力よりも低い300.0 gから350.0 g(黄色から濃い黄色)を示した。Gr2は大部分が400.0 g以上(赤色から濃い赤色)の裁断圧力で切った。一方で、Gr3の裁断圧力は300.0 gから450.0 g(濃い黄色から赤色)を繰り返すように示した。Gr4では300.0 gから400.0 gと圧力範囲が狭まり、黄橙色が目立った。また、Gr3とGr4は共に低い曲率部位は低い圧力、高い曲率部位は圧力が増加するように切った。

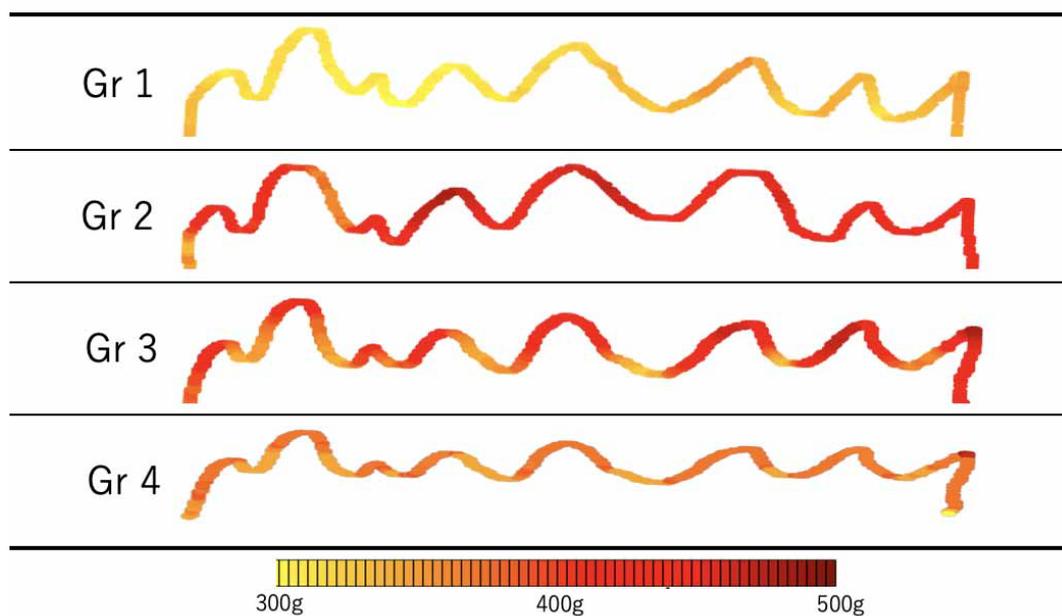


図5.8 各グループが図5.3B を切ったときの平均圧力.

5.5 本章のまとめ

本章では、第4章の実験をもとに紙を裁断するときの圧力を評価する圧力提示機能を開発した。圧力提示機能は熟練者の裁断圧力の範囲をもとに利用者との圧力差を評価する。これにより、初心者は自身の圧力の評価を知ること、適切な圧力に制御する練習を行う。また、圧力提示機能の効果を評価する実験を行った。

本実験では、4つのグループの裁断圧力をもとに、ナイフデバイスと圧力提示機能による効果について、Step 1とStep 3との裁断圧力の平均とばらつきの変化を比較した。Gr1とGr2の差より圧力提示機能による効果を比較した。また、Gr1とGr3では従来の鉛筆を利用した練習法による裁断圧力を制御する練習と比較した。さらに、Gr1とGr4では、同じ圧力提示機能を活用するデバイスの差を比較した。その結果、圧力提示機能をナイフデバイスで利用したGr1の裁断圧力はStep 3で減少し、裁断時の圧力範囲も縮小した。また、複雑な波線部位も同程度の圧力を維持するように滑らかに切った。そのため、元

の線と裁断した軌跡との誤差では、1.0 mm 以内の差で裁断した累積度数は最大となり精度も向上した。一方で、圧力提示機能を非表示にしてナイフデバイスで練習した Gr2 は練習前後での裁断圧力の変化に有意な差を示さなかった。加えて、圧力のばらつき範囲も他のグループと比較して最小の変化だった。同様に Step 1 と Step 3 との元の線と裁断した軌跡との誤差の変化も少なかった。従来の鉛筆でのなぞり描き練習をした Gr3 の平均圧力は1回の練習のみでは有意な差を示さなかった。実際のワークショップでも、この練習は1回のみでの取り組みより、定期的な繰り返しによる改善を目指している。そのため、裁断圧力や精度の変化も Gr2 より向上するも、Gr1 ほどの変化はなかった。元の線と裁断した軌跡との差では、Gr2 より精度は高いが Gr1 ほど差の距離はなかった。Gr4 では、圧力提示機能での練習をタッチペンでなぞり描きすることで平均圧力は有意に減少した。また、裁断した差の 95.0 % に至るまでの累積度数では、1.8mm であり、1.4mm だった Gr1 の次に短い距離であった。Gr1 と Gr4 との結果より、圧力提示機能を利用することでナイフやタッチペンでも圧力を制御する技能向上を確認したが、より本番環境に近いナイフデバイスでの練習はより高い効果を示した。

また、タスク終了後に実験参加者へインタビューを行った。その結果、Gr1 の実験参加者たちは Step 2 で自身の裁断圧力についてシステムから評価を受けるとともに熟練者らしい適切な圧力範囲の体験から、Step 3 でのシステムによる評価がない状態でも再現することができたという意見を 10 名中 7 名が示した。また、Gr3 の参加者たちは圧力を制御することが重要であることを知る切掛けになっていた。しかし、Step 3 では道具が鉛筆からナイフデバイスに変わってしまったため、鉛筆での取り組みのような感覚を十分に再現することができなかったという意見を 10 名中 4 名が共通して持っていた。また、Gr4 からは Step 2 では Gr1 と同様に圧力を制御する体験をした。しかし、Gr3 と同様に Step 3 では道具がナイフと変わったことによりタッチペンで練習したときの圧力制御を再現することが難しかったという意見を 10 名中 6 名が示した。以上の結果より、本研究で開発した圧力提示機能は熟練者のように裁断圧力を制御する技能向上の効果があることを示した。

第 6 章

直線状のパターンの裁断による 初心者と熟練者との裁断技能 の違い

6.1 はじめに

現在、本やインターネットなどを通じて様々な制作工程を練習するためのデザインが公開されている。しかし、初心者とアーティストの間には制作技能に大きな開きがあるため、初心者が熟練者向けのデザインを使用した場合、下絵通りに制作することは難しい。そのため、練習による技能向上を目的とする場合、自身の技能に適切な難易度の下絵を使用して練習することが推奨されている。制作のための技能や下絵の難易度といった要素は具体的な定義がなされていないものが多く、適切な難易度を選択することは難しい。

切り絵制作のための下絵を構成する白と黒の境界について、直線状にパターン化することで難易度を定量化する。ステアリングの法則では、難易度 (ID) は幅 (W) と距離 (D) の商である。ターゲットの幅が狭い、距離が長くなるほど ID の値は増加し高難度であることを示す。第 3 章で述べたナイフデバイスとペンタブレットのシステム上で使用者が様々な難易度のパターンを裁断したときの移動時間 (MT) を測定することで、幅や距離が与える MT の影響につい

て分析する。加えて、初心者と熟練者との裁断時間の差を比較することで裁断技能の差について評価する。

本章では、境界線の形状を直線状と見立てたときのパターンと裁断時間との関係からステアリングの法則との適合性を評価する。6.2節では、実験に使用する直線パターンの作成について述べる。6.3節では、難易度が裁断時間に与える影響を評価するための実験参加者と実験手順について述べる。6.4節では、パターンの幅と距離が与える影響について述べる。6.5節では、初心者と熟練者の技能差が与える影響について述べる。6.6節では、本章と本実験についてのまとめについて述べる。

6.2 直線パターンの作成

6.2.1 初心者向けの難易度の幅

切り絵制作の教本などによると、その下絵の難易度は切り落とす線の細かさなどから決定される。ワークショップでは、インストラクターがデザインを選定及び初心者向けの難易度に調整した下絵を提供し、参加者たちはそれを使用する。初心者にとって簡単な幅と難しい幅について5人のインストラクターとアーティストからなる熟練者にインタビューを行った。5名の熟練者の内、3名は切り絵インストラクター歴が5年、他2名は6年である。その結果、平均した初心者向けの簡単なパターンの幅は13.0 mm(SD = 0.89)、難しい幅は5.0 mm(SD = 0.31)だった。教本などのデザイン集でも、この簡単な幅や難しい幅の範囲内で構成されたものがほとんどであることを確認した。

6.2.2 パターンの作成と難易度の計測

図6.1Aのように以下の5段階の幅(W)と2段階の距離(D)の組み合わせから10種類の直線パターンをデザインする。

W : 1.0 mm, 5.0 mm, 9.0 mm, 13.0 mm, 17.0 mm

D : 50.0 mm, 100.0 mm

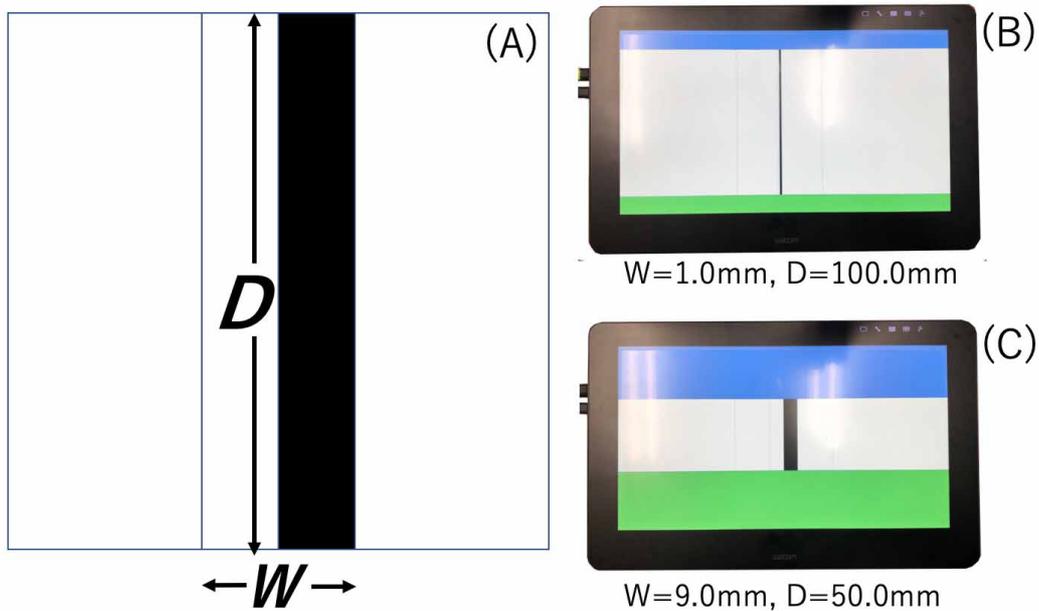


図6.1 5種類の幅 (W) と2種類の距離 (D) の長さの組み合わせから10種類の直線パターンを作成する (A). 例として, $W=1.0\text{ mm}$, $D = 100.0\text{ mm}$ のパターン (B) と $W=9.0\text{ mm}$, $D = 50.0\text{ mm}$ のパターン (C).

例えば, $W = 1.0\text{ mm}$, $D=100.0\text{ mm}$ のパターンは図6.1B となり, $W = 9.0\text{ mm}$, $D = 50.0\text{ mm}$ のパターンは図6.1C となる. 一般的に切り絵では, 裁断する線の周囲の幅が狭い, 距離が長いパターンは難しい難易度となる.

図6.2は5種類の幅 (W) と2種類の距離 (D) の長さの組み合わせにより作成した10種類の直線パターンと難易度 (ID) を示す. そして, これらのパターンに対して ID を以下の式から求める [1].

$$ID = \frac{D}{W}$$

6.3 実験：初心者と熟練者との裁断モデルの差

実験参加者は20名の初心者と20名の熟練者である. 初心者 (平均年齢 24.2 歳) は全員が一度も切り絵の制作をしたことがない. また, 熟練者 (平均年齢 32.0 歳) は切り絵のアーティストやワークショップの講師をしている. 実験参加者は全員が切り絵の制作に十分な視力を持ち, 全員が右利きである. そして,

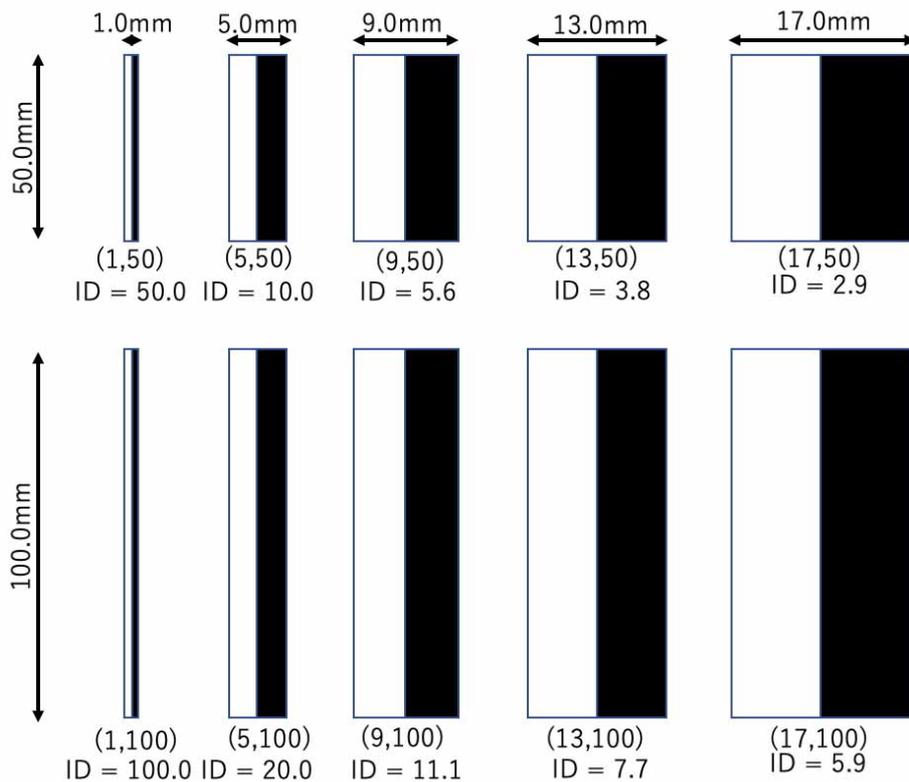


図6.2 5種類の幅 (W) と2種類の距離 (D) の長さの組み合わせから10種類の直線パターンとその難易度 (ID)

彼らは実験中可能な限り迅速かつ正確に行う指示を受けている。

実験参加者は5種類の幅 (W) と2種類の距離 (D) を組み合わせた10種類のパターンをランダムな順に切り、これを10回繰り返す (図6.3A)。ペンタブレットでは10種類のパターンの表示を1セットとし、重複のないようにランダムに表示する。彼らはペンタブレット上に固定した紙を図6.3BのStart AreaからCutting Lineに沿ってEnd Areaまで直線上に裁断する。本実験のシステムでは、ナイフデバイスがStart Lineを通過したときにタイマーが開始され、刃先がEnd Lineを越したときにタイマーを停止する。もし、利用者が表示されているパターンの幅からはみ出るように切った場合、システムはビープ音を鳴らして失敗を知らせる。その場合、システムではエラーの数を記録し、利用者は同じパターンを切り直す。

システムは利用者たちがパターンを切った時の裁断時間とその座標を測定す

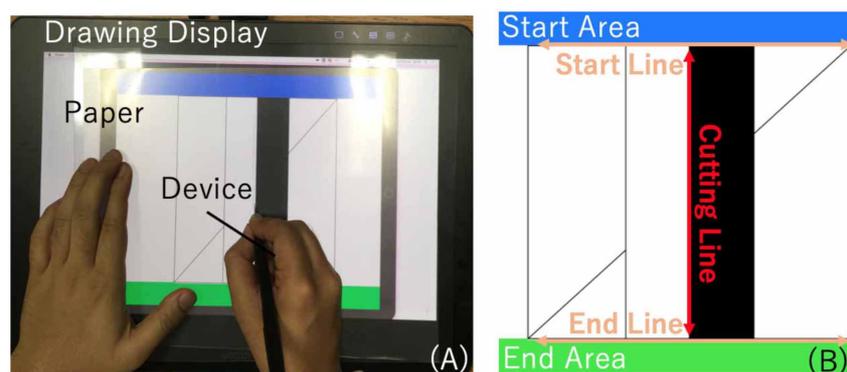


図6.3 利用者はペンタブレット上にパターンが印刷された紙を切る (A). システムは Cutting Line を裁断しているときの時間を計測する (B).

る. 本実験では, パラメータの組み合わせ総数は 10 種のパターン × 10 セット × 40 名の参加者 = 4,000 である. 本実験では以下の 2 つの結果について観察した.

1. パターンの幅と距離が与える影響
2. 初心者と熟練者の技能差が与える影響

6.4節では, 難易度が与える影響を幅と距離毎に裁断時間から分析し, ステアリングの法則との適合性について述べる. 6.5節では, 初心者と熟練者毎の難易度と裁断時間との関係をモデル化し, 技能差の定量的な比較について述べる.

6.4 結果 1: パターンの幅と距離が与える影響

6.4.1 裁断時間の変化

図6.4は各幅と距離での参加者が裁断した時間を示す. このグラフの横軸は各要素の長さ, 縦軸は裁断時間, エラーバーは標準誤差である. その結果, 幅が広くなるほど MT が減少し, 距離が伸びるほど MT も上昇することを確認した. 平均 MT に対し Steel-Dwass 検定をすることで各幅や距離が与える裁断時間の影響について分析する. Steel-Dwass 検定は正規分布や分散について制限をしない多重比較検定法である. その結果, 裁断時間は 2 種類の距離との

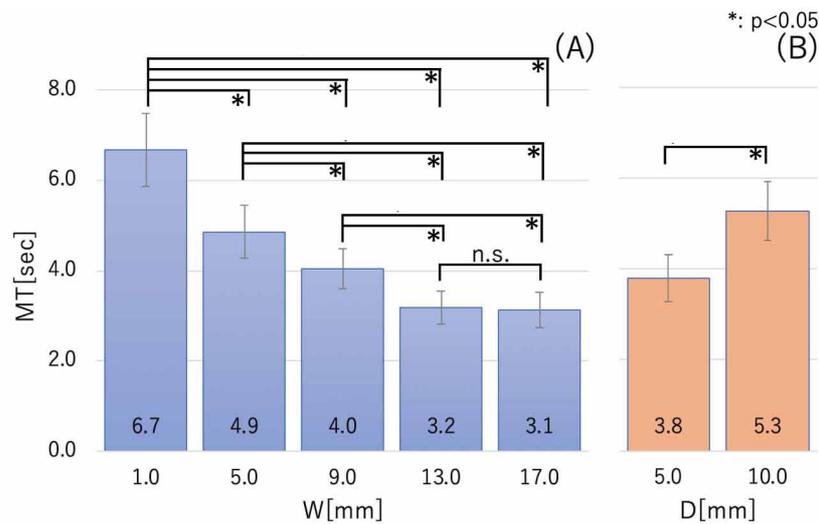


図6.4 幅 (W) と距離 (D) 毎の裁断時間 (MT) の結果

間、及び5種類中3種類の狭い幅 (1.0 mm, 5.0 mm, 9.0 mm) のパターンでは、 $p < 0.05$ において同一の経路でもパターンの幅が狭くなるにつれて MT に対して強い影響を与えることを確認した。一方で、広い幅 ($W = 13.0$ mm, 17.0 mm) の MT については有意な差は示さなかった。

6.4.2 エラー率の変化

図6.5は各幅と距離での参加者がエラーした割合を示しており、横軸は同様にパターンの長さ、縦軸はエラー率、エラーバーはその標準誤差を示す。この実験でのエラーとは、参加者がパターンの幅からはみ出るように切った回数である。エラー率はあるパターンで発生したエラーの回数とそのパターンを切った全ての回数に対する割合である。その結果、裁断時間と同様にエラーは幅が広いほど減少、距離が増加するほど上昇することを確認した。また、Steel-Dwass 検定を利用することで各幅と距離におけるエラー率の影響について評価する。その結果、エラー率は2種類の距離との間、及び5種類中3種類の狭い幅 (1.0 mm, 5.0 mm, 9.0 mm) のパターンでは、 $p < 0.05$ において同一の経路でもパターンの幅が狭くなるにつれてエラーに対して強い影響を与えることを確認した。一方で、広い幅 ($W = 13.0$ mm, 17.0 mm) ではエラー率に有意な差はな

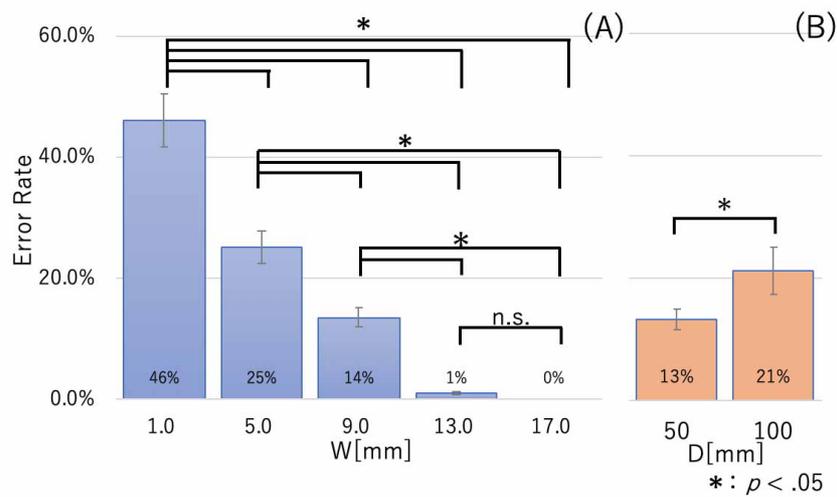


図6.5 (W) と距離 (D) 毎のエラー率の結果

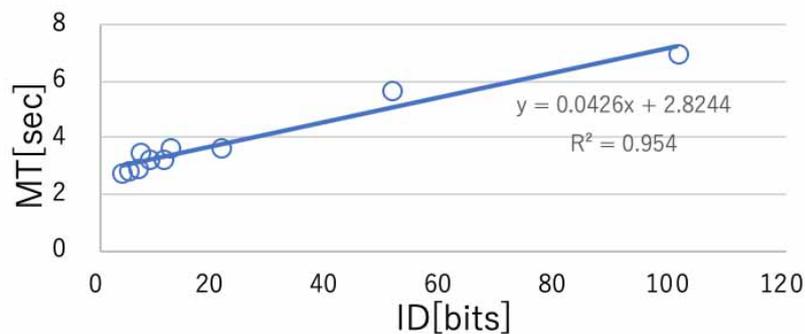


図6.6 ステアリングの法則にもとづいた難易度と裁断時間による裁断モデル。

かった。以上のことから、同一経路のタスクであっても幅が狭くなることや距離が長くなることでエラーが発生しやすいことが分かった。

6.4.3 ID と MT による回帰直線

図6.6は各 ID における MT からなる回帰直線を示す。横軸はパターンの ID、縦軸は平均 MT である。その結果、 $W \times D$ の 10 のデータはステアリングの法則に対して、回帰直線の相関が高く、決定係数も $R^2 > 0.954$ と 0.9 を超える高い適合度を示した。

6.5 結果 2: 初心者と熟練者の技能差が与える影響

6.5.1 裁断時間の差

全てのパターンに対する初心者の平均 MT は 4.9 秒 (SD=1.22), 熟練者の平均 MT は 3.3 秒 (SD=0.17) だった. 初心者は熟練者よりも 1.4 倍の時間をかけて切った. 一方で, 熟練者は全てのパターンで初心者よりも速く切った.

図6.7A は初心者と熟練者が裁断した各パターンの MT であり, 横軸は ID, 縦軸は裁断時間を示す. 初心者と熟練者のそれぞれの平均 MT に対し Steel-Dwass 検定をし, ID に応じた MT の影響について分析する. 初心者の MT では, 最も簡単な ID(=2.9) での平均 MT は ID が 10.0 より大きいパターンでは $p < 0.05$ において有意な差を示しており, 初心者の MT は ID が 10.0 以上の増加に伴って MT も増加することを確認した. 一方で, ID が 10.0 以下の簡単なパターンでは MT について有意な差を示さなかった. 熟練者の MT では, すべての ID で有意な差を示さなかった.

初心者と熟練者が同じパターンを裁断したときの MT について分析する. Anderson-Darling 検定により, 正規性を確認するも初心者と熟練者の MT がそれぞれ正規分布に従うと結論付けることはできなかった. 加えて, 正規分布に従わない可能性があるため Levene 検定により分散の均質性を検定した結果, p 値が有意水準を下回ったため初心者と熟練者との MT の等分散性について確認することはできなかった. 以上より, 正規性, 等分散性について前提としない Brunner-Munzel 検定により初心者と熟練者の MT について評価する. その結果, ID が 10.0 以上の場合, $p < 0.05$ において初心者と熟練者との MT に有意な差を確認した.

6.5.2 エラー率の差

図6.7B は初心者と熟練者とのエラー率を示しており, 横軸は ID, 縦軸はエラー率を示す. 初心者と熟練者のそれぞれの平均エラー率に対し Steel-Dwass

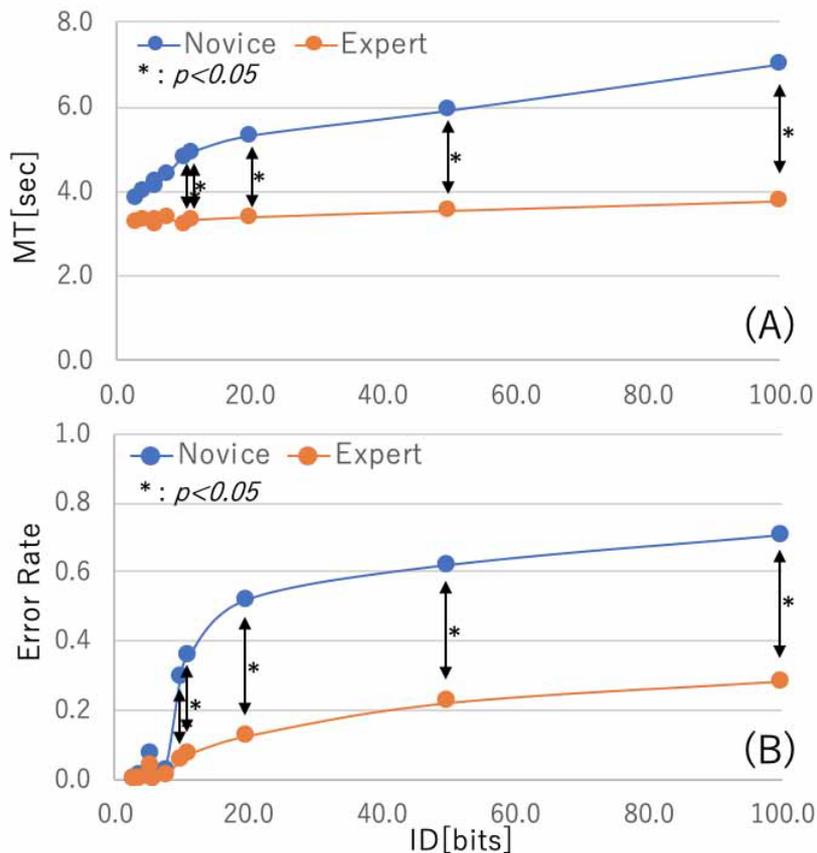


図6.7 初心者と熟練者が裁断した ID 毎の裁断時間 (A) とエラー率 (B)

検定をし、ID に応じたエラー率の影響について分析する。初心者のエラー率では、MT と同様に最も簡単な ID (= 2.9) での平均エラー率は ID が 10.0 より大きいパターンでは $p < 0.05$ において有意な差を示している。また、初心者の MT は ID が 10.0 以上の増加に伴ってエラー率も増加することを確認した。一方で、ID が 10.0 以下の簡単なパターンではエラー率について有意な差を示さなかった。また、熟練者の平均エラー率は ID が 20.0 より大きいパターンでは $p < 0.05$ において有意な差を示した。特に ID が 7.7 以下の場合、初心者と熟練者はともにエラーなく裁断した。

初心者と熟練者が同じパターンを裁断したときのエラー率について Brunner-Munzel 検定により分析をする。その結果、ID が 10.0 以上の場合、 $p < 0.05$ において初心者と熟練者とのエラー率に有意な差を確認した。

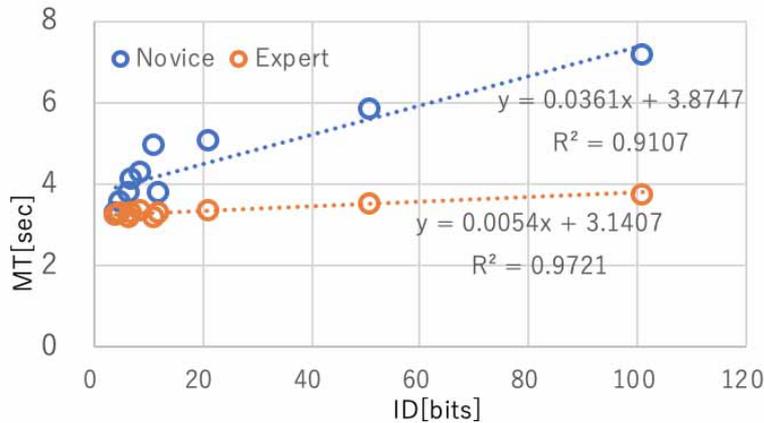


図6.8 初心者と熟練者のステアリングの法則にもとづいた裁断モデル。

6.5.3 回帰直線の差

図6.8は初心者と熟練者が各 ID を裁断した MT からなる裁断モデルであり、横軸はパターンの ID、縦軸は平均 MT を示す。その結果、 $W \times D$ の 10 のデータについて初心者が裁断した ID と MT の関係はステアリングの法則に対して、回帰直線の相関が高く、決定係数も $R^2 > 0.910$ と 0.9 を超える高い相関を示した。熟練者の場合も同様に高い相関を示したが、決定係数は $R^2 > 0.972$ と初心者の数値よりも高い結果を示した。「a」はモデルの傾き、「b」は切片であり、傾きは ID の増加量に応じた MT の増加量、切片は各利用者が要する最小の裁断時間である。そして、初心者の係数は熟練者のものよりも a は 6.7 倍、b は 1.23 倍高かった。

6.6 本章のまとめ

本章では、初心者向けの簡単な幅と難しい幅について調査結果をもとに、10 種類の直線パターンを作成した。また、パターンの難易度と裁断技能との関係を分析するために、裁断時間の計測を行うことでステアリングの法則との適合性を評価した。加えて、初心者が様々な難易度のパターンを裁断したときの時間との関係性を裁断モデルとし、初心者と熟練者との裁断時間と裁断モデルを

比較した。

本実験では、幅と距離からなる様々な難易度のパターンについて 4,000 回 (参加者 40 人 × パターン 10 種類 × 10 セット) の施行から裁断時間と難易度との関係性を評価した。その結果、ID と MT の裁断モデルとステアリングの法則は高い適合性があることを確認した。同様に、初心者と熟練者による裁断モデルも共に高い適合性を示したが、特に熟練者は初心者よりも適合度が高いことを確認した。また、初心者は難易度の上昇するにつれて MT とエラー率も増加することを示した。一方で、初心者と熟練者は共に幅が 13.0 mm, 17.0 mm のパターンでは MT とエラー率に大きな差を示さなかった。その原因として、実験終了後にインタビューをした結果、13.0 mm, 17.0 mm のパターンについて全ての参加者が同じ程度に簡単な難易度であると感じていた。そのため、両方の幅のパターンでは MT に有意な違いが確認できなかったと考察する。

一方、初心者と熟練者の ID と MT による裁断モデルの係数には有意な差があった。傾き“a”は ID の増加量に対する MT の増加量の割合であり、熟練者は難易度に関わらず全てのパターンを同程度の時間で切ったが、初心者は難易度の増加に伴って裁断時間も増加した。また、切片“b”は難易度に関わらず裁断に要する最小時間であり、熟練者は初心者よりもすばやく紙を切ることができることから値が小さくなる。本実験の結果より、ID と MT からなる回帰直線の係数の値は、初心者と熟練者との技能の差に強い関係性があることを示した。

第7章

様々な幅で構成した絵での練習による技能向上

7.1 はじめに

第6章では、様々な幅と距離からなる直線状のパターンを利用して難易度について評価した。しかし、多くの絵は直線だけでなく複雑な曲線との組み合わせにより表現されている。そこで、直線の形状以外でもトンネル状の距離と幅の長さをもとに難易度を定量化できると仮定し、切り絵用の下絵についても同様に裁断する線毎の距離と幅から難易度を求める。

本章では、絵の裁断する線に対し、幅と距離をパターン化し難易度 (ID) を計測することで、様々な ID の分布を持つ絵で練習したときの技能の変化について評価する。7.2節では、裁断する線の距離と幅についての定義と、絵に当てはめた時の難易度について述べる。7.3節では、様々な難易度の絵で練習したときの練習効果を評価するための実験参加者と実験手順について述べる。7.4節では実験結果として、変化する裁断時間、裁断モデルの変化について述べる。7.5節では、本章と本実験についてまとめについて述べる。

7.2 絵の裁断する線に対する難易度の計測

7.2.1 裁断する線の距離と幅による難易度の計測方法

第6章では、白と黒に塗り分けた直線パターンの距離と幅から難易度を計測した。本章では、各線の距離と幅を計測するために、下絵の裁断する線について白と黒の境界線の座標を抽出する。対象とする線の距離 (D) は該当座標間の距離 (d) の合計値とする。

$$d = \sqrt{(x_s - x_{s+1})^2 + (y_s - y_{s+1})^2} \quad (7.1)$$

$$D = \sum_{k=1}^n d_{k-1} \quad (7.2)$$

また、本研究ではターゲットの線の幅 (W) は、以下の条件からなる各座標間の幅 (w) から決定する。対象とする線上の座標の切り残す部分 (黒色の領域) 越しにある最寄りの座標までの距離 a_n と対象とする線上の座標の切り落とす部分 (白色の領域) 越しにある最寄りの座標までの距離 b_n を計測する。

$$a_n = \sqrt{(x_t - x_{t+1})^2 + (y_t - y_{t+1})^2} \quad (7.3)$$

$$b_n = \sqrt{(x_u - x_{u+1})^2 + (y_u - y_{u+1})^2} \quad (7.4)$$

それぞれの距離が 6.5 mm 以下の場合、 a_n と b_n から短い方を w_n とする。また、ともに 6.5 mm より長い場合、その w_n を 6.5 とする。この 6.5 mm については [?] にて後述する。

$$w_n = \begin{cases} a_n & (a_n < b_n \leq 6.5) \\ b_n & (b_n < a_n \leq 6.5) \\ 6.5 & (a_n > 6.5, b_n > 6.5) \end{cases} \quad (7.5)$$

図7.1を例とした場合、ターゲットとなる線は赤色、他の切る線を青色、6.5 mm の境界を黄色で示す。 a_0 から a_2 、 b_0 から b_2 は、各パターン内の上側と下側の代表値とする。先述した条件より、ターゲットの幅は A、B、C の3つのパターンに分類分けすることができる。パターン A では、 $a_0 < b_0 < 6.5$ mm で

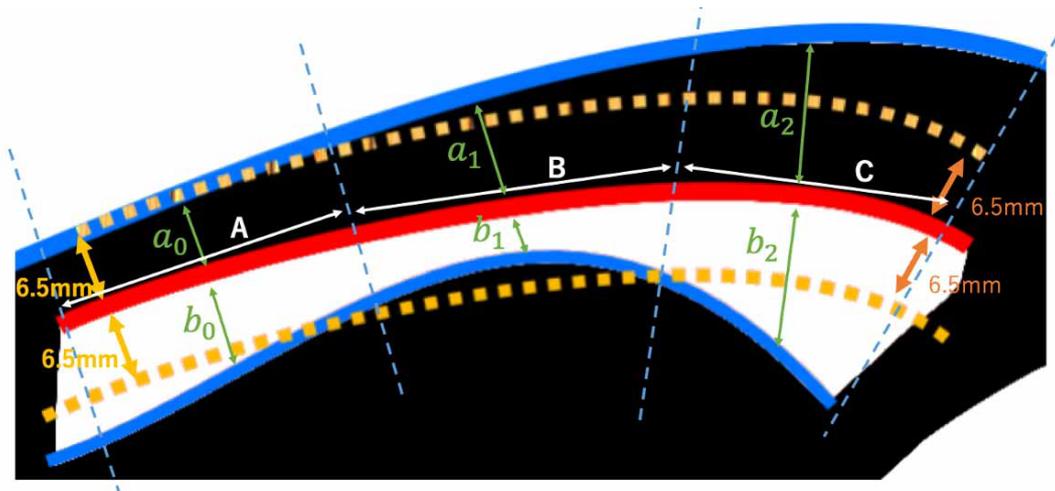


図7.1 w を決定する条件の例

あることから、この区分の幅 (w) は a_0 を含む上側にある他の線との長さの平均となる。パターン B では、 $a_1 < b_1 < 6.5 \text{ mm}$ であり、この区分では b_1 を含む下側での他の線との長さの平均が幅 (w) となる。最後にパターン C では、 $6.5 \text{ mm} < a_2 < b_2$ であるため、この区分の幅 (w) は 6.5 mm となる。

そして、ターゲットの裁断する線の幅 (W) では、該当座標間の 2 倍の平均値とする。

$$W = 2 \times \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k \quad (7.6)$$

上記の条件が示す w はターゲットの片側の幅を示すため、ターゲットの W は 2 倍の幅となる。以上の式から距離 (D) と幅 (W) を計測し、各裁断する線の難易度 (ID) を以下で計測する。

$$ID = \frac{D}{W} \quad (7.7)$$

本研究では、裁断する線を 6 章の直線状のパターンと同様に対象とする線をもとに距離と幅からパターン化することで ID を求める (図7.2)。図7.2は本研究での ID を計測するための略図であり、実際の各座標の間隔は 0.2 mm ずつ密接している。

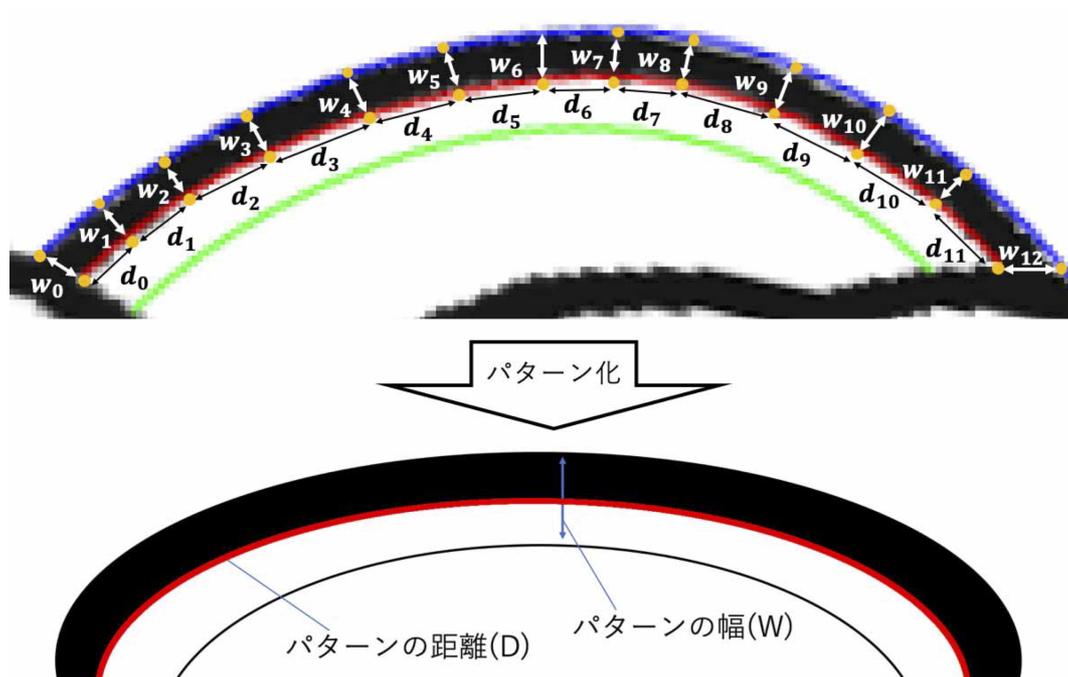


図7.2 各裁断する線の ID のための d と w の例

7.2.2 幅における簡単な難易度の制限について

切り絵では、切る線のすぐ近くに他の線がないことは珍しくない。7.2.1項で w の最大値を 6.5 mm としない場合、周囲に他の切る線がないターゲットの w は非常に大きくなり、ID が著しく低下するという課題が想定される。第 6 章の実験より、難しい幅 ($W=1.0$ mm - 9.0 mm) では裁断時間に有意な差を示した。一方で、簡単な幅 ($W=13.0$ mm, 17.0 mm) では裁断時間に有意な差を示さなかった。この原因について、実験参加者たちは 13.0 mm と 17.0 mm のパターンは十分に幅が広いため両パターンに対し同程度に簡単な印象を持っていたことが確認されている。そのため、本研究では ID に対し 13.0 mm 以上の幅は全て同じ難易度とする。これにより、先述した状況の場合も ID が著しく低下するという課題を防ぐ。ターゲットの幅の距離 (W) は先述の座標間の長さ (w) の 2 倍の長さであるため、 W を 13.0 mm と制限とする場合の w は半分の 6.5 mm である。そのため、先述のターゲットの幅 (W) を決定する条件では座標間の長さ (w) も 6.5 mm を制限としている。

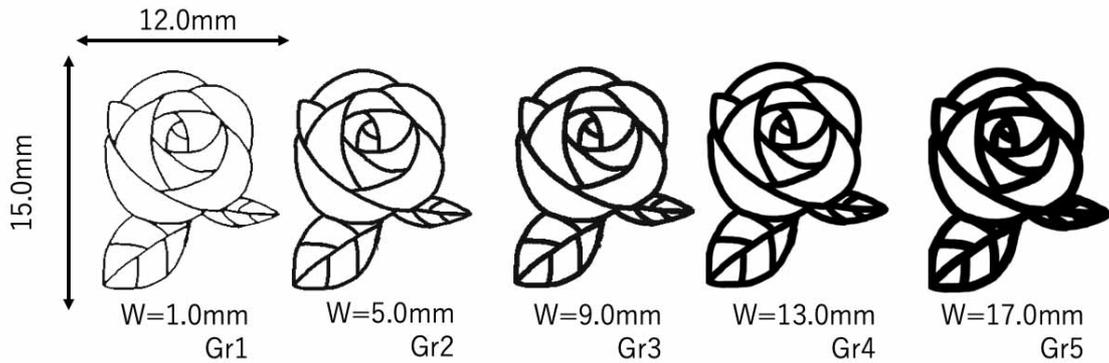


図7.3 5段階の線で描かれた5種類の絵

		ID[bits]														
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	Average	SD
W[mm]	1.0	0	0	1	13	25	13	5	5	4	6	6	2	0	60	24
	5.0	0	6	43	8	10	4	5	3	1	0	0	0	0	34	16
	9.0	56	16	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6
	13.0	66	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5
	17.0	60	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4

図7.4 絵の各裁断する線が持つ ID の度数分布

7.2.3 絵の難易度と分布

本章では、第6章の直線パターンの幅と同じく、5段階の幅(1.0 mm, 5.0 mm, 9.0 mm, 13.0 mm, 17.0 mm)の線で描いた絵を制作した(図7.3)。今回の絵は80本の切る線があるが、W=17.0 mmの絵のみ、切る領域が潰れているため切る線の本数は69本だった。図7.4は各絵が持つ各切る線のIDからなる度数分布と切る線の平均IDを示す。各IDの標本数が0の場合は緑色、相対度数の少ないIDは緑色、多いIDは赤色と各IDの範囲ごとに色で示す。その結果、絵を構成する線の幅が狭いほど平均IDは高く、幅が広がる毎に平均IDは低下した。また、度数分布における極大値は狭い幅を持つ絵はIDの値が高く、幅広い範囲にIDが分布した。以上の結果から、今回の図7.3の難易度は一意の値ではないが、幅が狭い線の絵ほどIDは増加する傾向にあることを確認した。

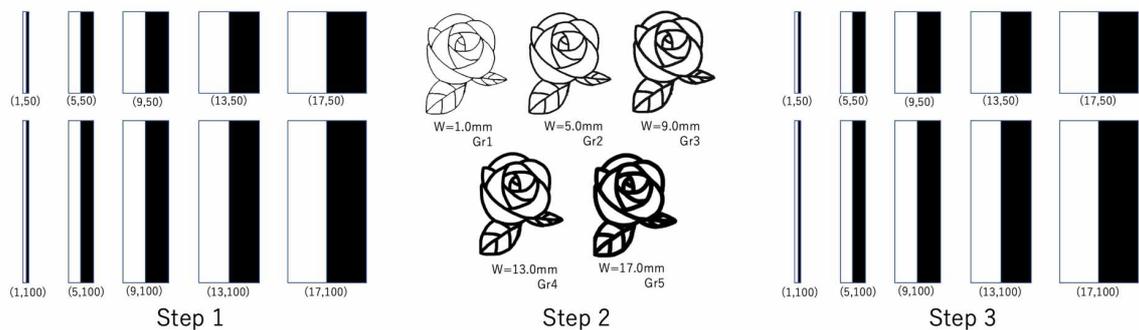


図7.5 実験で参加者たちが取り組む工程

7.3 実験: 様々な難易度の絵で練習することによる技能向上効果の差

実験参加者は切り絵の制作経験のない初心者 50 名 (平均年齢: 24.0 歳, SD=1.55) である。彼らは切り絵をするに十分な視力を持ち, 全員が右利きだった。そして, 彼らは実験中可能な限り迅速かつ正確に行う指示を受けている。実験参加者は以下の 3 つのタスクを一度ずつ行う (図7.5)。

- Step 1 全ての参加者は 10 種類のパターン (図6.2) を 10 セット切る。
- Step 2 各グループに分かれて図7.3から 1 種類の下絵を 5 回切る。
- Step 3 再び Step 1 と同じ工程を繰り返す。

Step 1 では, 全ての参加者は同じ (図6.2) パターンを裁断する。その平均 MT の結果をもとに, 全てのグループが同程度の平均 MT となるように 10 名ずつ 5 つのグループに分ける。

Step 2 では, 各グループは様々な幅で構成された図7.3を下絵とした切り絵の制作を 5 回繰り返す。各 Gr1-5 はそれぞれ $W=1.0$ mm, 5.0 mm, 9.0 mm, 13.0 mm, 17.0 mm の幅で構成した図7.3から 1 種類の絵を切る。本実験では, 実際に切り絵を制作したことによる練習効果を評価するために, Step 2 では図6.2のような単純なモデルではなくより複雑な絵を用いた練習を行う。

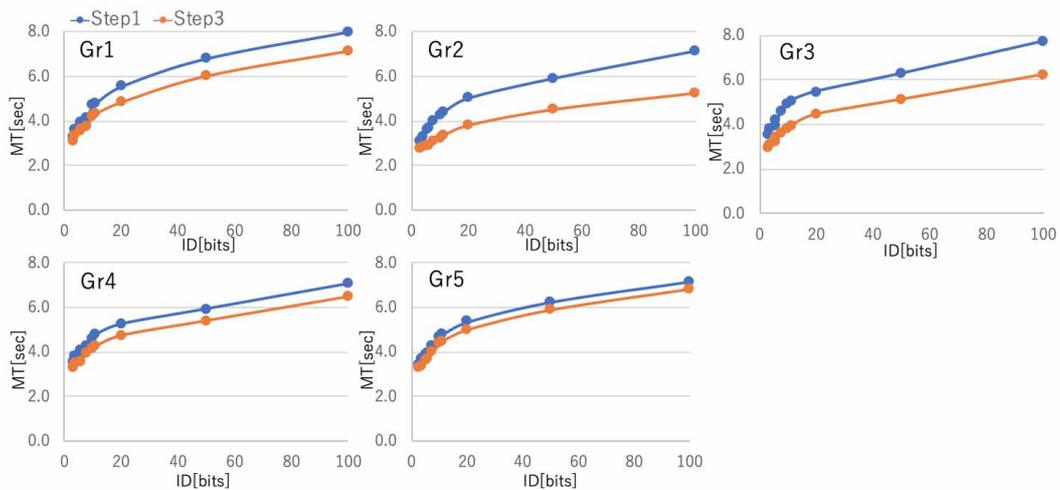


図7.6 各グループが Step 1 と Step 3 で切った各パターンでの裁断時間

Step 3 では、Step 1 と同じ内容に取り組む。

本実験では練習効果を分析するために、様々な幅で構成した練習用の下絵を裁断した前後で裁断時間 (MT) がどのように変化したかを比較する。

7.4 結果

7.4.1 裁断時間の変化

図7.6は Step 1 と Step 3 での各グループが裁断したパターン毎の裁断時間 (MT) であり、このグラフの横軸は ID、縦軸は MT を示す。各グループの Step 1 と Step 3 との平均 MT について分析する。Anderson-Darling 検定により正規性を確認したが初心者と熟練者の MT がそれぞれ正規分布に従うと結論付けることはできなかった。加えて、正規分布に従わない可能性があるため Levene 検定により分散の均質性を検定した結果、 p 値が有意水準を下回ったため初心者と熟練者との MT の等分散性について確認することはできなかった。以上より、正規性、等分散性について前提としない Brunner-Munzel 検定により初心者と熟練者の MT について評価する。その結果、 $p < 0.05$ において Gr2 と Gr3 の平均 MT の変化に有意な低下を示した。一方で、Gr1 と Gr4, Gr5 の MT の変化に対し有意な差を確認できなかった。

	ID									
	2.9	3.8	5.6	5.9	7.7	10.0	11.1	20.0	50.0	100.0
Gr1	0.94	0.93	0.92	0.92	0.90	0.91	0.90	0.92	0.94	0.94
Gr2	0.87	0.85	0.81	0.80	0.77	0.76	0.76	0.83	0.85	0.85
Gr3	0.88	0.85	0.84	0.80	0.77	0.81	0.76	0.83	0.85	0.85
Gr4	0.93	0.92	0.87	0.89	0.84	0.83	0.83	0.90	0.92	0.93
Gr5	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.92	0.93	0.93

図7.7 各グループが Step 1 と Step 3 で切った裁断時間の減少率

加えて、図7.7は各グループの Step 1 と Step 3 との平均 MT の変化率である。その結果、Gr2 と Gr3 の変化率は全てのパターンで最も減少していた。特に ID が 11.1 のパターンでは、Gr2, Gr3 だけでなく他のグループでも MT が大きく減少した。一方で、Gr1 と Gr5 の変化率は全てのパターンで 0.9 以上に留まり、最も変化が少なかった。

7.4.2 裁断モデルの変化

図7.8は各グループが Step 1 と Step 3 で各 ID を裁断した MT からなる回帰直線であり、横軸はパターンの ID、縦軸は平均 MT を示す。Step 2 で各難易度で練習をすることで、Step 1 と Step 3 で回帰直線の切片の差を確認した。Gr 2, Gr 3 の切片は Gr 1, Gr 4, Gr 5 よりも変化した。また、各グループの傾きと切片の係数について Step 1 と Step 3 での変化について分析する。Anderson-Darling 検定により正規性を検定したが各 Step での係数の値が正規分布に従うと結論付けることはできなかった。加えて、正規分布に従わない可能性があるため Levene 検定により分散の均質性を検定した結果、p 値が有意水準を下回った。以上より、正規性、等分散性について前提としない

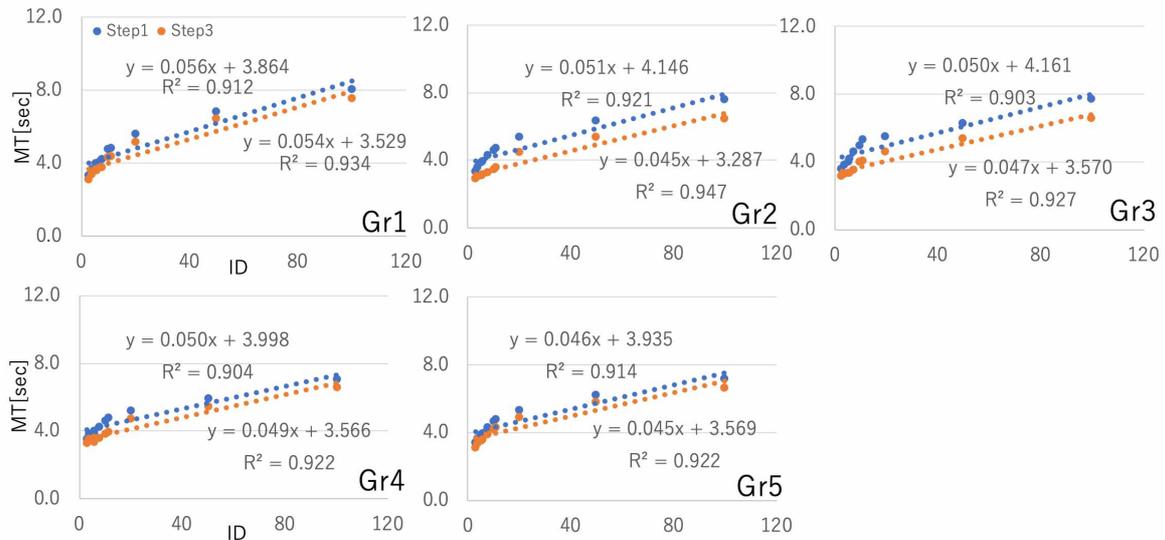


図7.8 各グループが Step 1 と Step 3 での裁断モデルの変化

Brunner-Munzel 検定により、各グループが裁断した時の Step 1 と Step 3 での各係数について評価する。その結果、Gr2 と Gr3 の切片が $p < 0.05$ において有意に減少したことを確認した。しかし、他のグループの切片及び、回帰直線の傾きについては有意な差を確認することはできなかった。

7.5 本章のまとめ

本章では、第 6 章の実験をもとに切る線の難易度を定量化した。また、初心者が様々な難易度の絵で練習をしたときの裁断時間や裁断モデルが与える影響について評価した。

本実験では、5つのグループが図6.2の 10 種類の直線パターンを裁断したときの MT について Step 1 と Step 3 での変化を比較した。その結果、Gr2 と Gr3 の MT は有意に減少したことを確認した。同様に、ID と MT からなる回帰直線でも、Gr2 と Gr3 のみ切片が有意に減少した。W = 5.0 mm の絵で練習をした Gr2 と W = 9.0 mm で練習をした Gr3 の Step 1 と Step 3 での MT は有意に減少したことを確認した。また、図6.2のパターンについてインタビューをした結果、全ての参加者が 1.0 mm からなるパターンを難しいと感じており、自身の技能に見合ったパターンについては W=5.0 mm が 32 名、9.0

mm が 18 名だった。

しかし、本章の実験で使用した ID は各パターン上における切る線に対する難易度を計測したものであり、絵全体を包括した難易度の定量化には至らない。加えて、ターゲットの幅についても、切る線の周囲の状況によって正確性が低下する場合もある。例えば、図7.9では、赤色の線は裁断する線を示す。その場合、本研究の ID では、裁断する線の一部の幅が狭く (w_s 部分)、途中で幅が変化する (w_t 部分) 場合、ターゲットの幅 (W) は w_s と w_t それぞれの部分を含んだ平均値となる。そのため、本来の難易度と求まる ID に差が発生する課題が残る。

その他にも、切り絵では極端に短い距離 (1.0 mm 程度) を正確に切ることは難しいとされている。しかし、本研究の ID の計測方法の場合、極端に短い距離の ID は簡単な難易度となる。本研究の ID はステアリングの法則に基づいた難易度を想定しているため、本研究の難しい難易度とは裁断中のナイフがターゲットの幅を超えないように操舵する運筆動作への難しさである。一方で、極端に短い距離に対する裁断の難しさは裁断中のナイフを規定の距離を超えないように止める運筆動作への難しさである。そのため、極端に短い距離を切る難しさは本研究の ID の対象外となり課題が残る。切り絵の場合、極端に短い距離への裁断は刃を引いて切るのではなく、刃先を押し当てるように切る。この切り絵の特徴から、極端に短い距離に対する裁断はターゲットへのポインティングによる裁断と捉えることが想定される。この問題に対しては今後の課題として、ターゲットをポインティングする Fitts の法則を利用することで、新たな ID についてモデル化を行う必要がある。

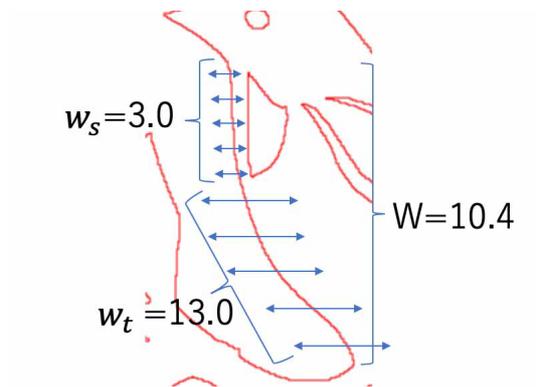


図7.9 裁断する線の周辺状況により W の正確性が低下する例

第 8 章

技能と難易度との組み合わせによる技能向上

8.1 はじめに

制作など様々な取り組みにおいて、作業に集中することは技能習得や精度の向上のために不可欠な要素である。例えば、アスリートが身体運動のパフォーマンスを発揮するために集中状態を高めると言われている。しかし、集中状態を直ぐに発揮し、それを持続させることは難しい。心理状態の一つであるポジティブ心理学における「フロー」と呼ばれる集中状態を利用した制作技能の向上を目指す。フローとは、内発的動機づけによる自己の没入感覚を伴う経験であるとし、高い集中力の発揮や満足感、幸福感を得る状態である。Csikszentmihalyi はインタビューやアンケート調査による回答から内発的動機づけに基づいた心理状態モデルを提唱し、技能レベルと課題レベルとの関係からなるフロー理論を示した [23]。フロー理論では、高い技能と課題難易度への取り組む環境がフロー状態を誘導するとされており、高い技能でも課題レベルが低いと「退屈」、課題レベルだけが高く技能が追いついていないと「不安」となる (図8.1)。また、Massimin はフロー理論の運用において、技能レベルと課題レベルが高い状態のときより高いフロー状態を確認した [48]。そのため、技能レベルと課題レベルとの組み合わせは、フロー状態において重要な要素とさ

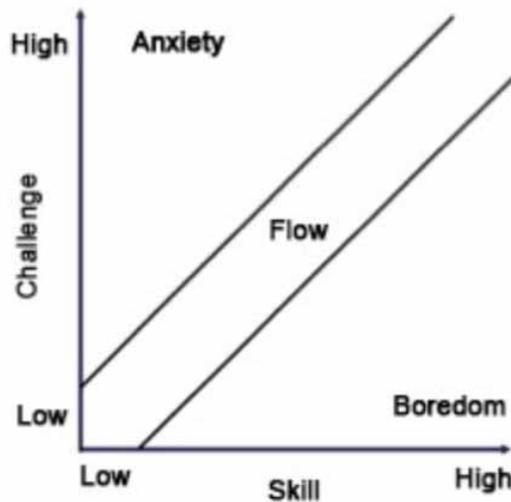


図8.1 Csikszentmihalyi が述べたフローモデル [18] より

れている。

本章では、紙を裁断する技能と制作する課題の難易度との組み合わせによる技能向上の差と、制作時のフローについて評価する。これまでに第4章と第5章を通じて、「裁断圧力を制御する技能向上」に着目し、熟練者の裁断圧力に基づいた圧力提示機能を開発した。この機能を利用することで初心者たちが裁断圧力を制御する技能を向上したことを確認した。また、第6章と第7章では、「技能向上に影響を与える難易度」に着目し、切る線の幅と距離の長さに基づき難易度を定量化した。10種類の直線パターンを裁断したときの裁断時間の減少率から、初心者への技能向上の効果が高い難易度について評価した。8.2節では、タスクへのフローについて定量評価するためのアンケートをもとに、切り絵制作時のフローを評価する切り絵制作版フローズケールステート (FSS) について述べる。8.3節では、技能と難易度との組み合わせによる技能向上の効果を評価するための実験参加者とその手順について述べる。8.4節では、これまでと同様に裁断圧力及び裁断時間の変化について評価するとともに、切り絵制作版 FSS による集中状態の差について述べる。8.5節では本実験の結果とまとめについて述べる。

8.2 フロー状態を評価する切り絵 FSS の作成

フロー理論とは Csikszentmihalyi が提唱したインタビューやアンケート調査による回答から内発的動機づけに基づいた八分図による心理状態モデルである [23]。加えて、Jackson らは以下の 9 つの基本要素からなるフロー状態を測定する尺度 Flow State Scale(FSS) を作成した。

1. 挑戦と技能のバランス
2. 行為と認識の融合
3. 明確な目標
4. 明瞭なフィードバック
5. 目前の課題への集中
6. コントロール感
7. 自我意識の喪失
8. 時間感覚の変化
9. 満足感

本章では、「裁断圧力を制御する技能」をフロー理論の技能レベル、「練習効果の高い難易度」を課題レベルと考え、切り絵の制作段階におけるフローについて評価する。FSS のアンケート項目は 1996 年に Csikszentmihalyi が提唱したフロー理論におけるフロー状態を評価するために作られた。このアンケート調査法はスポーツや芸道、教育など幅広い対象でのフロー状態の評価にも使用されている [33]。また、これらのアンケート項目を日本語に翻訳するとともに、文化や調査する対象にあわせて改編したアンケート項目を使用している。実際に、これまでも日本語版 FSS は体育授業 [76]、陸上競技選手のフロー状態 [75] がある。これらの各日本語版 FSS と同様に初心者の切り絵制作に改編した切り絵 FSS を作成することで、切り絵の制作段階におけるフローの構成要因を明らかにする。

切り絵 FSS の作成に当たっては、既存のフロー尺度 (Flow State Scale-2) と日本で既に開発されたフロー尺度をもとに 2 名の切り絵作家と 36 項目から

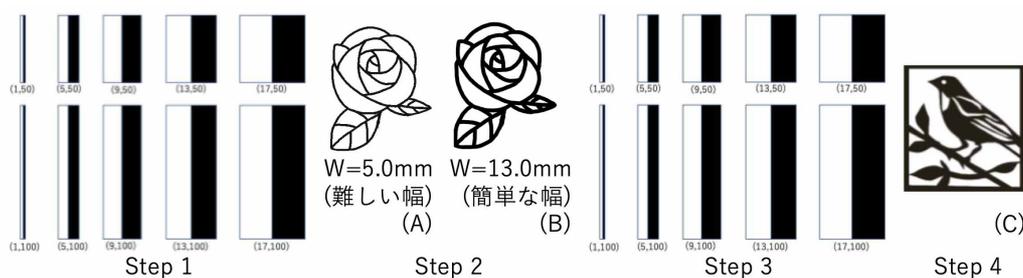


図8.2 本実験で参加者たちが裁断する絵

なる切り絵の制作状況を回想しやすい表現となるように作成した (付録にて添付). その時, アンケートの文言については, 以下の基準に基づいて日本語での切り絵 FSS とした.

- 取り組む対象は切り絵を制作すること
- 技能の対象はナイフで紙を切ること
- 「課題」とは直前に制作した切り絵のデザインの難易度

これらの項目に対し, 回答者は「よく当てはまる…… 5 点」から「全く当てはまらない…… 1 点」の 5 件法で評価する.

8.3 実験：技能と難易度との組み合わせによる技能向上の差

8.3.1 実験参加者と実験手順

実験参加者は 40 名の初心者 (男性 31 名, 女性 9 名, 平均年齢 24.5 歳, $SD = 3.50$) であり, これまで切り絵の制作経験はない. また, 彼らは全員が切り絵の制作に十分な視力を持ち, 全員が右利きだった. そして, 彼らは実験中可能な限り迅速かつ正確に行う指示を受けている.

本実験では, 参加者たちは以下の 5 つのタスクを一度ずつ行う (図8.2).

Step 1 全ての参加者は 10 種類のパターンを 10 セット切る.

Step 2 グループごとに図8.2A, B の難しい幅 ($W=5.0$ mm) と簡単な幅



図8.3 Step 4 で取り組む切り絵のデザイン.

($W=13.0$ mm) から 1 種類の下絵で切り絵を行う.

Step 3 全てのグループは Step 1 と同じ工程を繰り返す.

Step 4 全てのグループは図8.3で切り絵を作成する.

Step 5 切り絵 FSS のアンケートに回答する.

Step 1 では全ての参加者は同じ内容のパターン (第 6 章の図6.2と同じパターン) を裁断する. Step 1 で全パターンを切った時の平均裁断圧力と平均裁断速度の結果をもとに, 各グループの技能を同程度に統一するために全てのグループが同程度の平均裁断速度となるように, 参加者らを 10 名ずつの 4 つのグループに分ける.

Step 2 では, 各グループは以下の内容で制作する. 各グループを Gr1 から Gr4 とし, 第 7 章の図7.3から $W=5.0$ mm の絵 (図8.2A) や $W=13.0$ mm の絵 (図8.2B) の絵を以下の組み合わせで 5 回ずつ切る. これらのパターンは第 6 章でのインストラクターが初心者向けの難易度として難しい幅及び簡単な幅で構成される.

Gr1 圧力提示機能を利用して $W=5.0$ mm で構成したデザインを切る.

Gr2 圧力提示機能を利用して $W=13.0$ mm で構成したデザインを切る.

Gr3 圧力提示機能を利用せず $W=5.0$ mm で構成したデザインを切る.

Gr4 圧力提示機能を利用せず $W=13.0$ mm で構成したデザインを切る.

Gr1 と Gr2 は, 5 章で開発した圧力提示機能とナイフデバイスを使用して切り

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	Average	SD
図8.3A	66	12	2	0	0	0	0	0	0	0	7.4	5.1
図8.3B	16	15	13	7	7	4	6	4	0	0	33.8	16.1
図8.3C	0	6	43	8	10	4	5	3	1	0	30.1	21.1

図8.4 絵の各裁断する線が持つ ID の度数分布

絵を制作する。Gr3 と Gr4 は、本機能を非表示にした状態でナイフデバイスを使用して切り絵を制作する。また、Gr1 と Gr3 は、7章で評価した最も練習効果の高かった初心者向けとして難しい難易度である幅 $W=5.0$ mm で構成したパターン (図8.2A) を切る。Gr2 と Gr4 は、初心者向けとして簡単な難易度である幅 $W=13.0$ mm で構成したパターン (図8.2B) を切る。本実験では、以上の手順のうち Step 1 から Step 3 では、第7章での実験と同様に、10種類の直線パターンを裁断したときの圧力と時間の変化を比較する。

Step 3 では、Step 1 と同じ内容を取り組む。

Step 4 では、全員が同じ内容の絵柄 (図8.3) を裁断する。

Step 5 では、Step 4 での制作段階での体験について切り絵 FSS によるアンケートに回答する。

8.3.2 本実験で使用する絵の難易度 (ID)

7.2節と同様に絵が持つ切る線毎の ID を計測することで、絵の難易度の順番を評価する。図8.4は各裁断する線の ID の度数分布と絵の各裁断する線の平均 ID を示す。その度数分布では、極大値が図8.2B < 図8.2C < 図8.2A の順に高い ID に分布した。本実験では、Step 4 で全ての実験参加者が裁断する絵 (図8.2C) は Step 2 で各グループが裁断する絵 (図8.2A, B) の間に位置することを確認した。

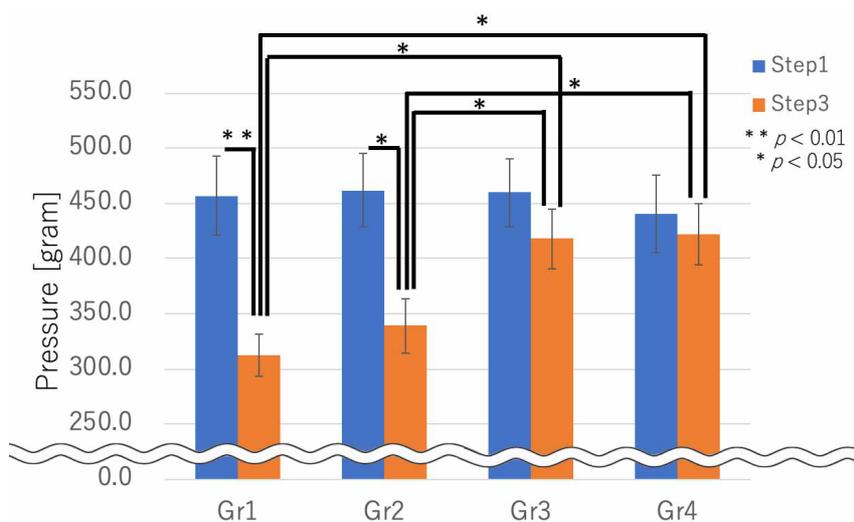


図8.5 Step 1 と Step 3 での平均裁断圧力の変化

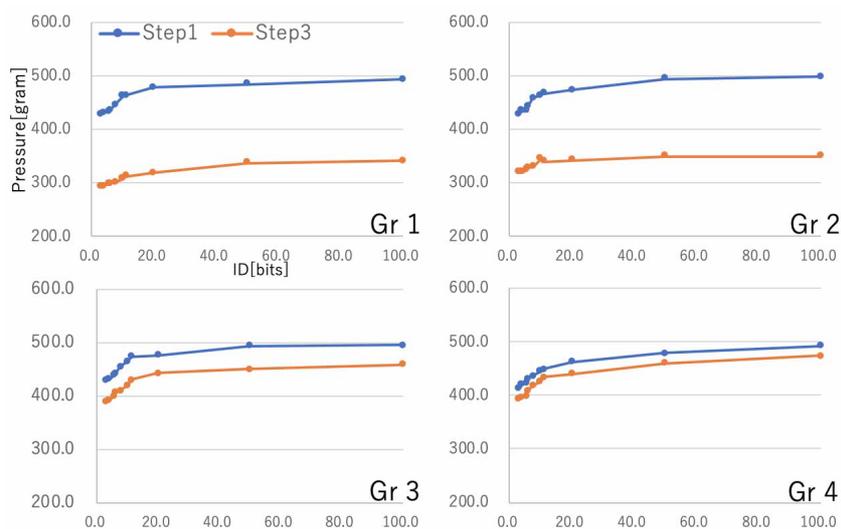


図8.6 難易度 (ID) 毎の裁断圧力の変化

8.4 結果

8.4.1 裁断圧力の変化

図8.5は Step 1 と Step 3 での各グループの平均圧力の変化を示す。Step 1 では、全てのグループは 400.0 g 以上の裁断圧力で切った。Step 3 では、圧力

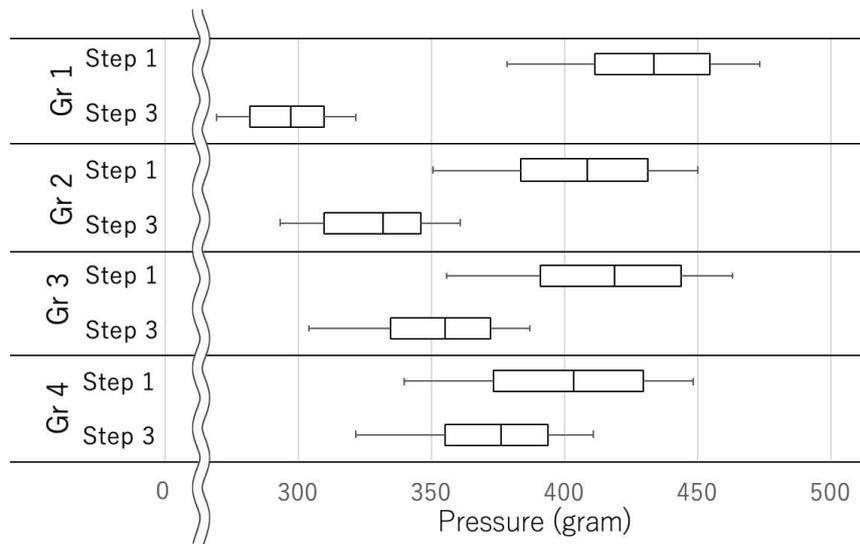


図8.7 Step 1 と Step 3 での裁断圧力のばらつきの変化

提示機能を利用した Gr1 は 68.3 %，Gr2 は 73.4 % に減少した，しかし，圧力提示機能を非表示にした Gr3 は 90.9 %，Gr4 は 95.7 % に留まった．加えて，図8.6は Step 1 と Step 3 での ID 毎の裁断圧力の変化を示す．圧力提示機能を利用した Gr 1 と Gr 2 の裁断圧力は，Gr 3 や Gr 4 よりも全ての ID で減少した．

第 5 章と同様に Step 1 と Step 3 の平均裁断圧力に対し，Brunner-Munzel 検定により評価した．その結果， $p < 0.05$ において Gr1 と Gr2 の裁断圧力の変化に有意な差を示した．一方で，Gr3 と Gr4 の圧力の変化に対し，有意な差を確認できなかった．同様に各グループの Step 3 での裁断圧力に対し，Steel Dwass 検定による多重検定を行った．その結果，Gr1 と Gr2 は Gr3 と Gr4 の裁断圧力よりも $p < 0.05$ において有意な差があることを示した．

図8.7は 1.0 mm 毎に切った裁断圧力のばらつきを示す．Step 1 では全てのグループが高く幅広い範囲で切った．Step 3 では，Gr1 のばらつきは 284.4 g から 336.9 g に縮小した．また，Gr2 も 313.0 g から 380.9 g へとばらつきが縮小した．一方で，Gr3 は 407.0 g から 324.0 g，Gr4 は 341.5 g から 431.1 g と Gr1 ほどではなかった．

圧力提示機能を利用した Gr1 と Gr2 の裁断圧力の有意な減少は，本機能の開発と評価について述べた第 5 章での実験結果と同様にシステム利用者の裁断

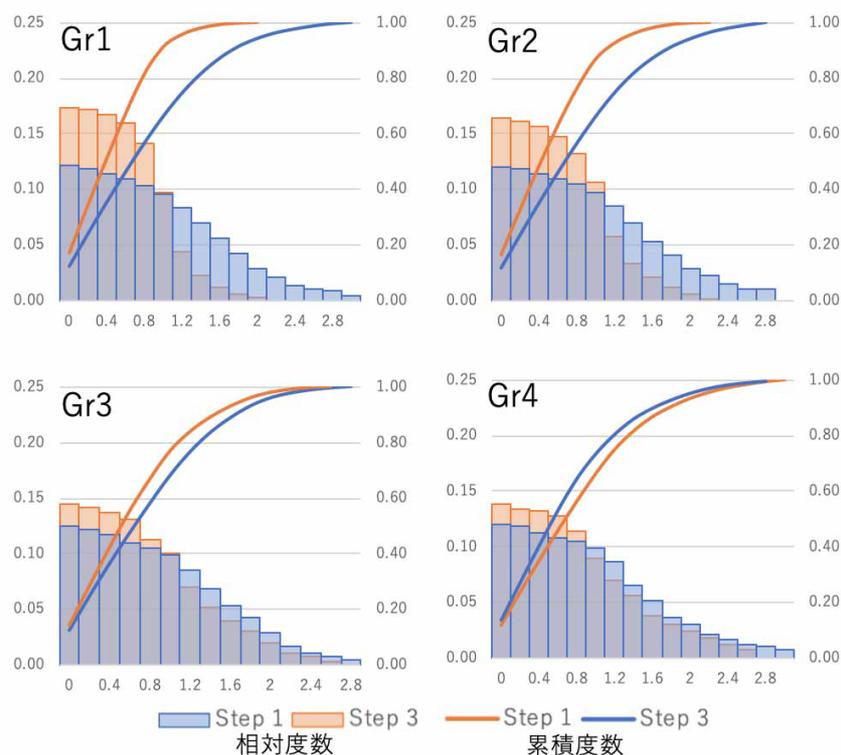


図8.8 各グループが図6.2を切ったときのもとの線と裁断した線との差の相対度数.

圧力を低下させる効果を確認した.

8.4.2 もとの線と裁断した軌跡との誤差

これまでの4.3.3項と5.4.3項での軌跡の誤差と同様に、Step 1 と Step 3 での 10 種類の直線 (図8.2B) のもと線と実験参加者が裁断した軌跡との距離を比較する. 図8.8は、もとの線と裁断した座標との距離の相対度数を示す. 横軸はもとの線と切った軌跡との差をミリメートルに換算する. 縦軸は 0.2 mm 毎の差の相対度数を示す. 表8.1は各グループの Step 1 と Step 3 での平均誤差, 1.0 mm 以内の累積度数, 1.5 mm 以内の累積度数の変化を示す. その結果, Gr1 は平均誤差が最も減少するように切った. 同様に Gr2 も平均誤差や誤差の累計の変化は大きかった. 一方で, Gr3 や Gr4 の変化は少なく, Gr4 は平均誤差や誤差の累計の変化は最小だった.

また, Brunner-Munzel 検定により各グループとの Step 1 と Step 3 との平

表8.1 各グループの Step 1 と Step 3 での誤差の変化

	平均誤差 (mm)		1.0 mm 以内の累積 (%)		1.5 mm 以内の累積 (%)	
	Step 1	Step 3	Step 1	Step 3	Step 1	Step 3
Gr1	1.47	0.94	56.5	81.5	81.5	97.9
Gr2	1.46	1.02	56.6	76.3	81.8	96.0
Gr3	1.41	1.26	56.1	66.8	83.4	89.0
Gr4	1.48	1.35	56.4	64.7	81.6	86.2

Note: Rounded to one decimal place

均誤差の変化について分析する. その結果, Gr1 と Gr2 の裁断誤差は $p < 0.05$ において有意な差を示した. 一方で, Gr3 と Gr4 の圧力の変化に対し有意な差を確認できなかった.

8.4.3 裁断時間の変化

図8.9は Step 1 と 3 との各グループが裁断したパターン毎の裁断時間 (MT) を示し, 横軸は ID, 縦軸は MT を示す. Step 3 では, Gr1 が全てのパターンを裁断したときの平均 MT は 74.2 % と他のグループと比べて最も減少した. Gr2 は 87.4 %, Gr3 は 78.1 %, Gr4 は 91.5 % に減少した.

第 7 章と同様に Step 1 と Step 3 との平均 MT に対し, Brunner-Munzel 検定により評価を行った. その結果, $p < 0.05$ において Gr1 と Gr3 の MT の変化に有意な差を示した. 一方で, Gr2 と Gr4 の MT の変化に対し有意な差を確認できなかった. 同様に各グループの Step 3 での MT に対し, Steel Dwass 検定による多重検定を行った. その結果, Gr1 と Gr2 は Gr3 と Gr4 の MT よりも $p < 0.05$ において有意に低い MTであることを示した. 加えて, 図8.10は本実験での各グループの Step 1 と Step 3 との ID 毎の平均 MT の変化率を示

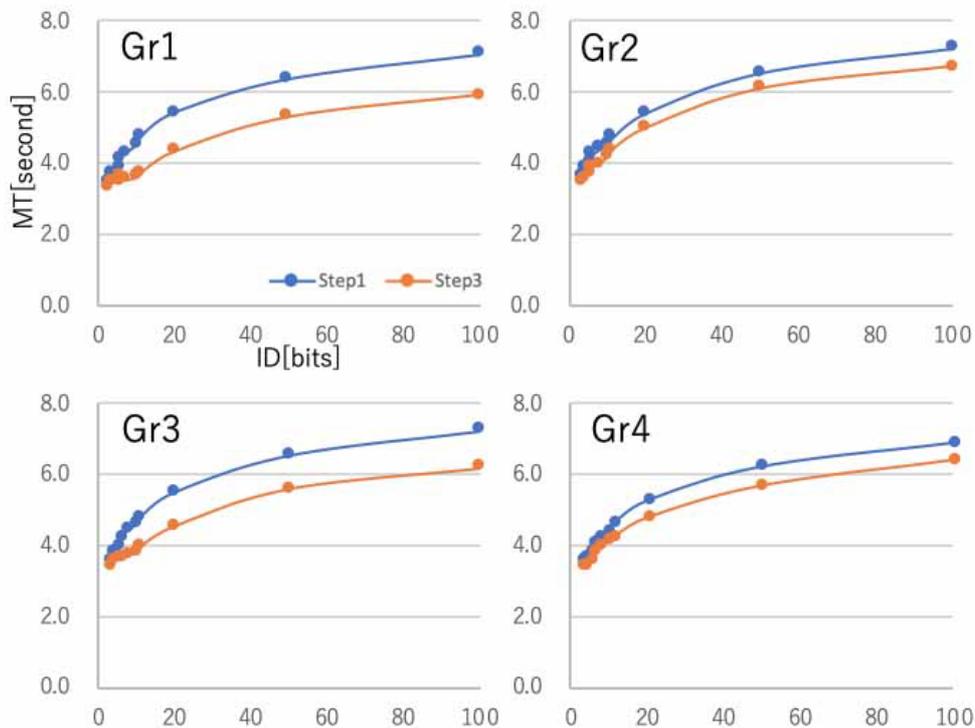


図8.9 Step 1 と Step 3 での各パターンでの裁断時間の変化

ID	2.9	3.8	5.6	5.9	7.7	10.0	11.1	20.0	50.0	100.0
Gr1	0.96	0.93	0.89	0.87	0.82	0.80	0.78	0.79	0.83	0.83
Gr2	0.96	0.93	0.92	0.92	0.90	0.92	0.93	0.92	0.93	0.93
Gr3	0.96	0.93	0.90	0.86	0.84	0.83	0.83	0.83	0.86	0.86
Gr4	0.95	0.94	0.94	0.93	0.94	0.94	0.92	0.91	0.91	0.93

図8.10 ID 毎の MT の変化率

す。その結果、各グループは ID が 20 まで増加するに伴って MT の変化率も大きくなった。しかし、ID が 20.0 以上に増加する場合、MT の変化率は低下した。難易度の高い練習をした Gr1 と Gr3 の裁断時間の有意な減少は、難易度と時間について評価した第 7 章の結果と同様に制作難易度が裁断時間に影響を与えることを確認した。

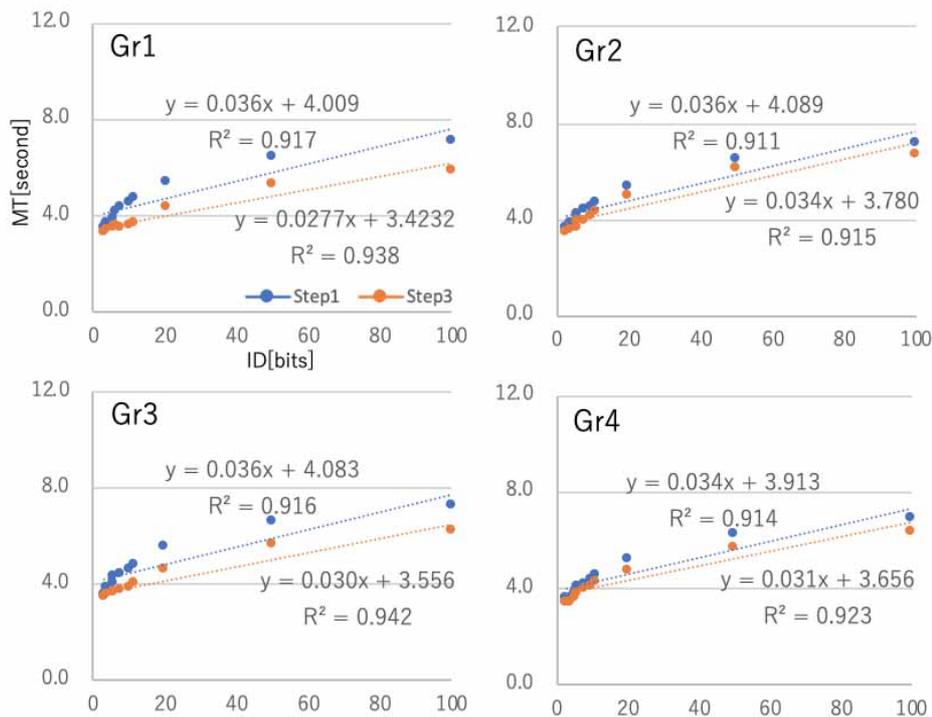


図8.11 各グループの裁断モデルの変化

8.4.4 裁断時間と難易度によるモデルの変化

図8.11は各グループの ID と MT からなる回帰直線とその係数の変化を示す。第 6 章にて、初心者と熟練者との裁断モデルの傾きと切片について評価し、絵の難易度に応じて切片が変化することについて確認した。本実験では、各環境の組み合わせによる裁断モデルの変化を比較する。第 7 章と同様に、各グループの Step 1 と Step 3 での傾きと切片の係数に対し、Brunner-Munzel 検定により評価する。その結果、Gr1 のみ Step 1 と Step 3 との傾きと切片の両方の値が $p < 0.05$ において有意に変化した。一方で、Gr4 ではどちらの要素に対しても有意な差を示さなかった。Gr2 のモデルは傾きのみ変化をし、切片は有意な変化を示さなかった。また、Gr3 は傾きの値は変化しなかったが、切片の値に対して有意な変化を示した。

8.4.5 切り絵 FSS のアンケート分析

Step 2 で Gr1 と Gr3 は幅が 5.0 mm で構成された平均 ID が 33.8 の絵を切り、Gr2 と Gr4 は幅 13.0 mm で構成された平均 ID が 7.4 の絵を切った。本実験の Step 4 では、平均 ID が 30.1 の絵で切り絵を制作した。Step 5 では、Step 4 での制作に対し切り絵 FSS の回答する。日本語版 FSS をもとに作成した切り絵 FSS を用いて、切り絵制作時のフローについて評価するための探索的因子分析を行った。本実験では、これまでのフローを評価する研究の工程に則って、プロマックス回転を元に、因子負荷量 0.6 未満の項目を削除した 28 項目で因子分析を行った。有効回答率は 100.0 % (40/40) だった。

その結果、第 1 因子は 14 項目、第 2 因子は 10 項目、第 3 因子は 4 項目から構成される 28 項目からなる切り絵 FSS 尺度となった (表8.2)。これらの因子を Jackson と Marsh の 9 因子からみた場合、第 1 因子はフロー理論の前提となる「技能と能力のバランス」に対する項目が挙げられていたことから、「技能と難易度のバランス」と解釈した。第 2 因子は「取り組みへの集中」と命名し、第 3 因子は Jackson と Marsh の 9 因子から「時間感覚の変化」と命名した。3 因子間の因子相関係数は第 1 因子と第 2 因子との間に 0.66 の有意な相関を確認した。次に、第 2 因子と第 3 因子とでは 0.48、第 1 因子と第 3 因子では 0.53 の有意な相関だった。

図8.12は各グループが切り絵 FSS に回答した因子得点の結果を示す。Step 5 のアンケートへの回答による各グループの因子得点に対し、正規性を前提としない Steel Dwass 検定による多重検定を行った。その結果、第 1 因子「技能と難易度のバランス」の因子得点では、Gr1 の効果量は他のグループに対し、 $p < 0.05$ において有意に高かった。Gr2 と 3 は互いに有意な差は示さなかった。また、Gr4 は他のグループと比べて有意に低く、唯一マイナス方向に因子を示した。第 2 因子「取り組みへの集中」では、Gr 1 と Gr 2 に対し、システムを利用しなかった Gr 3 と Gr 4 はマイナス方向の因子を示した。一方で、第 3 因子「時間間隔の変化」では、簡単な難易度で練習した Gr 2 と Gr 4 はマイナス方向の因子を示した。以上の結果より、圧力提示機能を用いて難易度の

表8.2 切り絵 FSS の因子分析の結果

	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子
1. 私は制作課題の難易度に釣り合った技能を発揮できた.	0.98	-0.16	0.01
6. 私は自身の取り組みをコントロールしていると感じた.	0.93	-0.12	0.01
10. 私は難しい部位の裁断でも対応できる技能を持っていた.	0.91	-0.10	0.01
2. 私は悩まずに自然と正しい手順での制作ができた.	0.8	-0.12	-0.04
12. 私は自分のやりたいことを強く意識していた.	0.79	0.06	0.04
19. 切り絵の制作に必要とされる技能を十分に持っていると感じた.	0.79	0.08	-0.03
21. 私は自身のやるべきことを知っている.	0.61	0.10	0.02
3. 私は切り絵の制作の中で何をしたいことが分かっていた.	0.57	0.19	0.03
15. 私は自分で制作をコントロールできると感じていた.	0.57	0.08	0.05
4. 私は切り絵の制作で順調に進めていることが分かっていた.	0.57	0.04	-0.04
22. 私は制作のためにどうすればうまくいくか, いい考えを持っていた.	0.53	0.11	0.13
13. 私は作った切り絵がどれくらい上手にできているか気づいていた.	0.48	0.10	0.07
31. 私は制作をスムーズに取り組めていた.	0.45	0.13	-0.02
33. 私は思うように自分の体を動かしていた.	0.42	0.29	-0.07
5. 私は制作に集中して取り組んだ.	0.07	0.93	-0.01
23. 私は完遂のための集中力を持っている.	0.2	0.87	-0.08
14. 私は制作中とその過程に関係なく制作に没頭していた.	0.05	0.79	-0.06
28. 私は技能に見合った課題に取り組んだ.	-0.11	0.75	0.03
9. 私は切り絵の制作を楽しんだ.	0.18	0.7	0.04
34. 私は他人が自分をどう思っているか気にしなかった.	0.06	0.74	-0.07
7. 私は周囲が自分のことをどう思っているかなど関心を持たなかった.	0.04	0.73	0.05
36. 私は切り絵の制作にやりがいを感じた.	0.01	0.68	0.02
32. 私は自身の作業に集中した.	0.03	0.66	-0.10
29. 私は無我夢中に切り絵制作を行った.	0.05	0.60	0.12
8. 私は時間が遅くなったり (早くなったり) 変化しているように感じた.	0.05	0.06	0.74
26. 私は時間が速く過ぎるように感じていた.	0.07	0.07	0.64
17. 私は時間の経過が普段と違っていると感じた.	0.06	0.08	0.62
35. 私は制作中の時間がゆっくりだったと感じた.	0.04	0.03	0.57
因子相関行列		0.66	0.53 0.48
係数 (信頼性)	0.93	0.91	0.87

高いデザインで練習した Gr1 は他のグループと比べて高い効果量を示した。

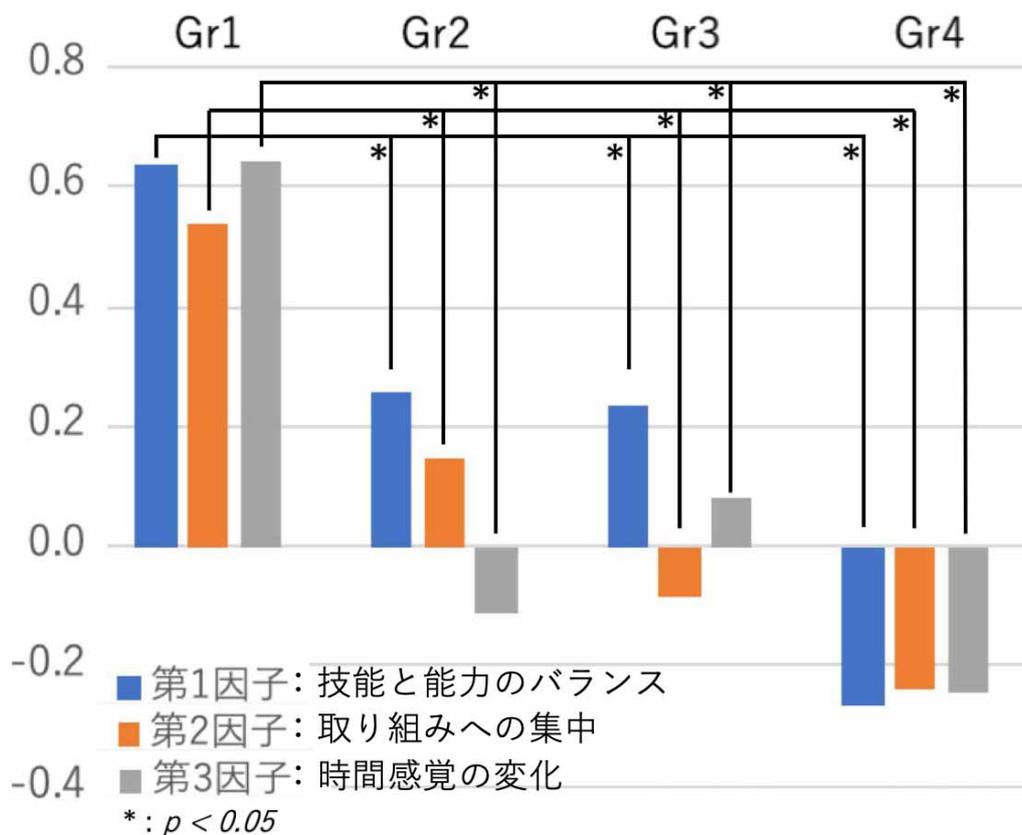


図8.12 各グループでの因子得点の差

8.4.6 各グループの Step 4 での制作の差

図8.13は各グループが図8.3の絵を切った時の裁断した距離に伴った圧力の変化を示し、横軸は裁断距離、縦軸は裁断圧力を示す。裁断距離は参加者らが裁断した線の長さであり、図8.3の全ての裁断する距離は 2160.0 mm である。Step 4 では、全実験参加者が同じ絵 (図8.3) を使用して切り絵を制作した。しかし、彼らが絵を裁断した線の順序は統一されていない。そのため、実験参加者毎に切った順序は同一でないため、裁断した距離が同じ場合でも、同じ線を切ったとは限らない。また、全てのグループは裁断距離が増加するほど裁断圧力も上昇したことを確認した。図8.13は各グループが制作を続ける中で、裁断した線の距離に対して圧力制御を持続できたかを示す。

圧力提示機能を利用した Gr1 の平均圧力は 323.8 g, Gr2 の平均圧力は 343.2

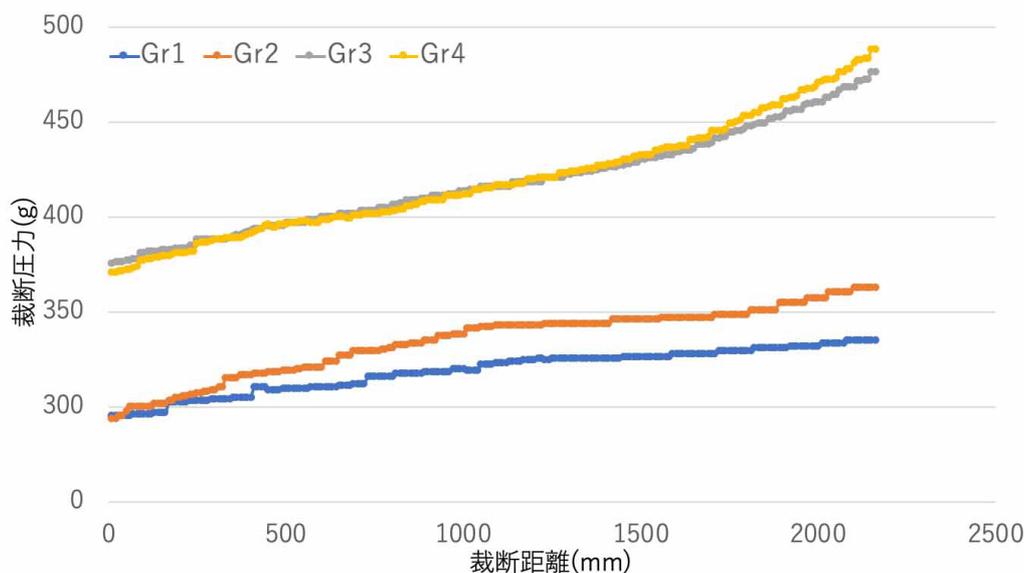


図8.13 各グループが図 8.3 を切ったときの制作時間と裁断圧力の変化

g だった。また，Gr1 は図8.3を最後まで 350.0 g 以下を維持し，Gr2 も裁断する線の 83.8 % の裁断距離を 350.0 g 以下で裁断した。一方で，Gr3 の平均圧力は 418.2 g，Gr2 の平均圧力は 422.4 g だった。Gr1 は図8.3で切り絵を制作するまでに裁断圧力が 45.2 g 増加し，Gr2 の裁断圧力は 77.5 g 増加した。同様に，Gr3 の裁断圧力は 102.0 g，Gr4 では 118.4 g 増加した。

8.5 本章のまとめ

本章では，フロー理論を利用した効果的な技能向上について評価した。これまでに，第5章では熟練者の裁断圧力をもとにした裁断圧力に対する技能向上，第7章では裁断パターンの難易度による練習効果を評価することで初心者の技能向上に適した挑戦レベルについて評価した。本章では，これまでに評価した裁断圧力を制御する技能を向上させるシステムと，裁断時間の効果をもとに評価した練習効果の高い難易度との組み合わせから検証した。

本章の実験では，裁断圧力を制御する技能を能力レベル，裁断パターンの難易度を挑戦レベルと仮定し，これらの組み合わせによる技能向上の変化と制作時のフローについて比較した。その結果，Gr1 は Step 1 と Step 3 での裁断圧

力の変化は第5章と同様に有意に減少し、裁断した線の誤差も減少した。また、ID 毎の MT の減少も他のグループより変化量が大きく、ID と MT の回帰直線の傾きと切片が減少した。加えて、Step 4 では裁断圧力の増加量は他のグループより少なく、Step 5 での切り絵 FSS の結果では、他のグループよりも全ての項目で有意な差を示しており、高いフロー状態な体験を過ごしたことを確認した。

一方で、Gr1 と同じく圧力提示機能を利用した Gr2 も Step 1 と Step 3 での裁断圧力は Gr1 と同様に有意な減少と誤差の減少を示した、しかし、Step 2 で取り組んだ絵柄の平均 ID が 7.4 と簡単な難易度であったため、ID 毎の MT の変化量は低く、ID と MT の回帰直線では傾きのみ変化した。さらに、Step 4 での裁断圧力の変化では Gr1 よりも圧力の増加するペースが速く 83.8 % の段階では 350.0 g を上回った。その原因として、Gr2 は裁断圧力を制御する技能が向上するも、Step 2 での MT の変化量が低く Step 4 での制作に対して難しすぎる印象を持っていることがインタビューから確認した。そのため、技能レベルと課題レベルとの組み合わせが不均等であったことから Gr1 ほどのフロー状態の感覚を得ることができなかったと考察する。

同様に、圧力提示機能を利用しなかった Gr3 では第5章と同様に裁断圧力を制御する技能の変化は少なく、誤差の変化量も Gr1 や Gr2 ほど変化しなかった。しかし、Step 2 での練習した絵柄の平均 ID は 33.8 と Gr2 と比べて ID が高かったため、Step 1 と Step 3 での ID と MT での回帰直線では切片が減少した。また、Step 4 では平均圧力の増加量は高く技能レベルと課題レベルが不均等であったことから、Step 5 での切り絵 FSS の結果も Gr2 と同様に Gr1 と比べて因子得点が有意に差があることを確認した。実験終了後のインタビューでも、Gr3 は Step 4 での取り組みについて自身の強い裁断圧力から細かな部分での難しさといった印象を持っていることを確認した。そのため、低い技能レベルと高い課題レベルによる不釣り合いから Gr1 ほどのフローではなかったと考察する。

最後の Gr4 では圧力提示機能を利用せずに平均 ID が 7.4 の低 ID な絵での練習を行った。そのため、裁断圧力と裁断時間の変化は乏しく、裁断した線の

誤差の変化も少なかった。また、Step 4 でも技能や練習効果の低い取り組みしかしておらず、図8.3での制作について、Gr4 の全ての参加者が自分には難し過ぎる制作だったと感じており、切り絵 FSS でも各因子を比較した場合も他のグループより有意に低い結果となった。

以上の結果から、圧力提示機能を利用することで裁断圧力を維持する技能を向上と練習効果の高い難易度の絵柄で練習をしたグループはこれまでの実験の評価と同様に圧力を意地する技能や MT を有意に減少させた。また、切り絵 FSS によりフローを評価した場合も、他の3つのグループよりも因子分析の結果は有意に高いフロー状態の結果を示した。

第9章

ワークショップでの実用と評価

9.1 はじめに

本章では、第8章で評価した技能向上の実験に対し、より実践ベースでの取り組みとしてワークショップを催し、209名が参加した。このワークショップをもとに本稿の実験だけでなく、多くの人に本研究システムを利用してもらった。第8章の実験との違いや様々な年代の体験者からの意見について述べる。9.2節では、開催したワークショップでの体験者と体験内容について述べる。9.3節では、ワークショップ参加者の裁断圧力や時間をもとに、第8章での実験結果との比較について述べる。9.4節では、本ワークショップについてのまとめと結果の考察について述べる。

9.2 体験内容

体験者たちは以下の5つのタスクを行う (図9.1)。

- Step 1 第6章で作成した10種類の直線パターン (第6章の図6.2) を3セット切る。
- Step 2 圧力提示機能を利用して図7.3(W=5.0mm) を裁断する。
- Step 3 再び Step 1 と同じタスクを繰り返す。

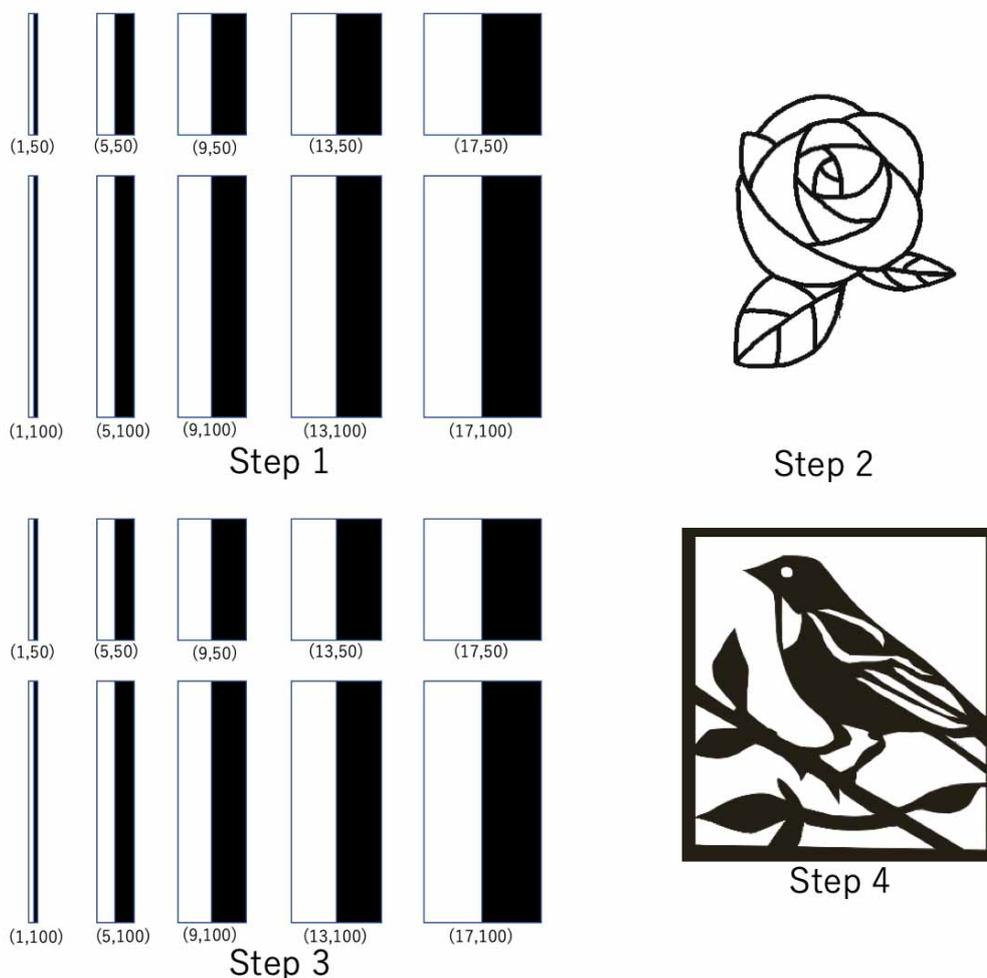


図9.1 本ワークショップでの体験内容

Step 4 図8.3で切り絵を制作する.

Step 5 切り絵 FSS のアンケートに回答する.

この手順は第 8 章の実験で最も技能向上の効果があつたグループ (8.3節の Gr1) と同じ工程である. Step 1 と Step 3 では, 参加者の裁断技能の変化を比較するために, これまで第 6 章及び第 7 章で扱った 10 種類の直線パターンを 3 セットずつ可能な限り素早く切る. これまでの実験では, 実験参加者は 10 セットずつ絵を裁断していたが, 本体験会では参加者への長時間の拘束を避けるために, 取り組む回数を 3 セットとした. また, これまでの計測から, 3 セットの裁断であっても第 6 章, 第 7 章での評価と同程度の精度が出ることを確認

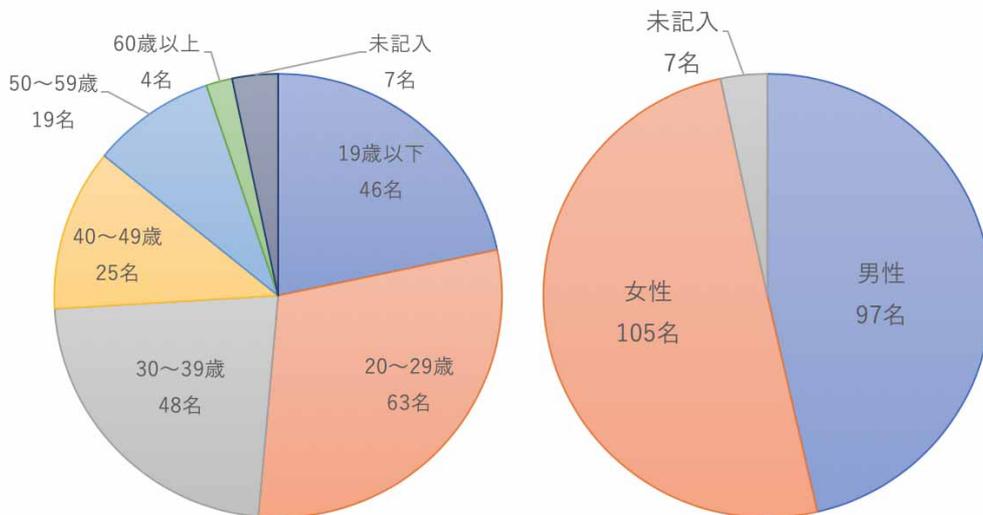


図9.2 本ワークショップの参加者の年齢と性別について

している。

Step 2 では、圧力提示機能と初心者向けに難しい幅 ($W=5.0\text{mm}$) による環境での切り絵の制作を練習する (図7.3の $W=5.0\text{ mm}$)。

Step 4 では、参加者たちは図8.3の絵が印刷された紙を切る。

最後に Step 5 では、Step 4 で制作した切り絵の体験をもとに切り絵 FSS への回答と、本ワークショップへの感想についての自由記述形式によるアンケートを行った。

一般的なワークショップでは、この Step 4 のみを行っていることが多く、参加者たちが切る様子を講師が観察しながら、必要に応じて指導やアドバイスを与える。本ワークショップへの参加者は 209 名だった (図9.2)。また、体験時間は平均 50 分程度だった。

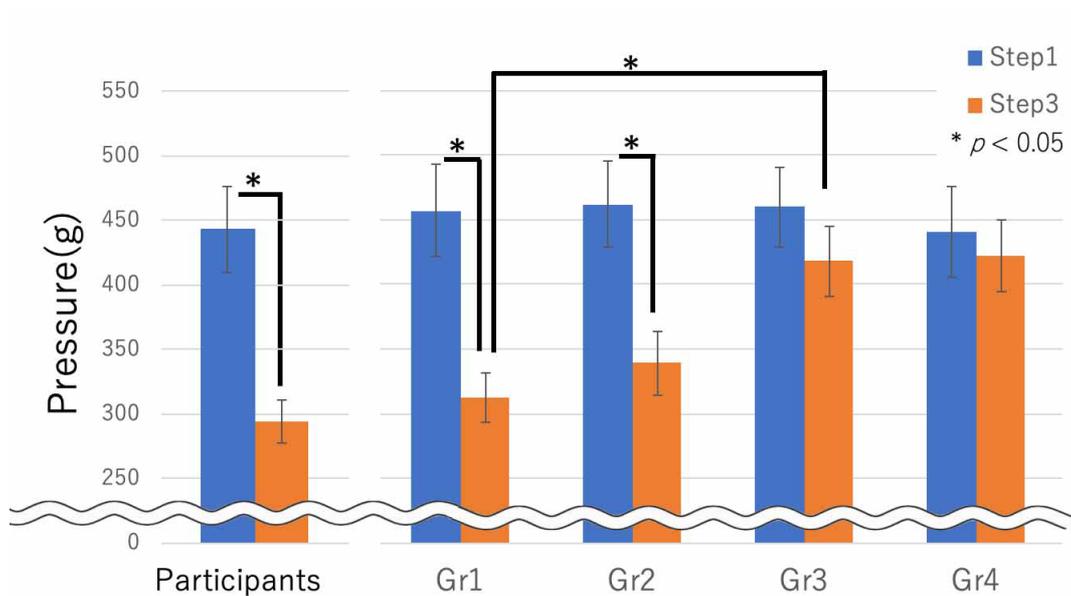


図9.3 デモ参加者と第 8 章との裁断圧力の比較

9.3 結果

9.3.1 裁断圧力の変化

図9.3は本ワークショップ参加者と第 8 章での実験で示した (図8.5) 裁断圧力の結果を併記する。これまでの実験と同様に Step 1 では 400.0 g 以上の裁断圧力で切り、Step 3 では、参加者の裁断圧力は 68.0 % に減少した。第 8 章と同様に Step 1 と Step 3 との裁断圧力に対し Brunner-Munzel 検定による評価した。その結果、 $p < 0.05$ において有意な変化を示した。参加者の裁断圧力の変化率は同環境で取り組んだグループ (第 8 章の実験 Gr1) と同様に有意に減少したことから、本ワークショップでも本研究システムが機能していることを確認した。

9.3.2 もとの線と裁断した軌跡との誤差

図9.4は本ワークショップ参加者と第 8 章の裁断した軌跡との誤差の結果 (図8.8) を併記する。また、表9.1は各グループの Step 1 と Step 3 での平均誤

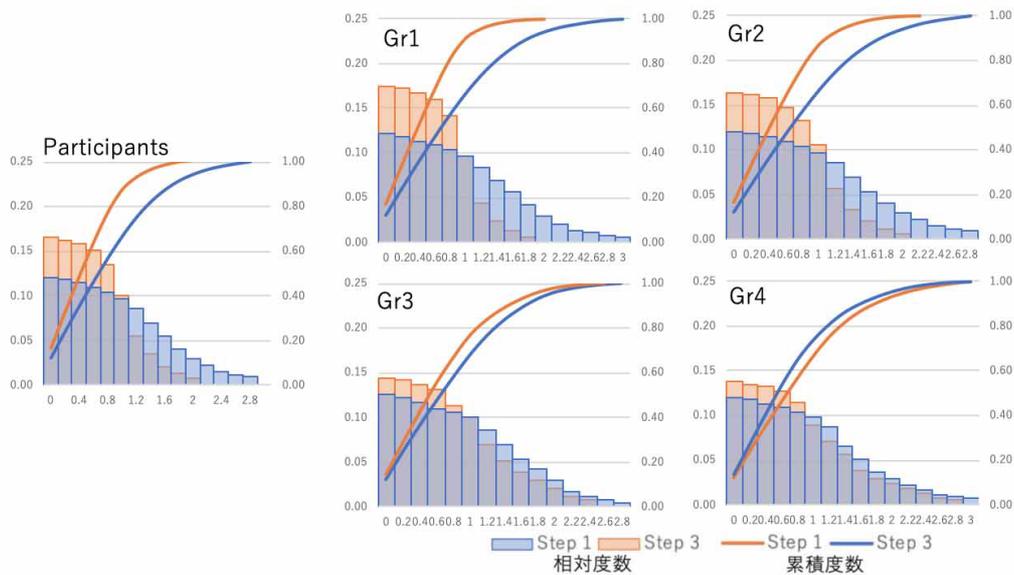


図9.4 デモ参加者と第 8 章との裁断した軌跡の差と相対度数。

差, 1.0 mm 以内の累積度数, 1.5 mm 以内の累積度数の変化を示す. Step 1 と Step 3 との平均誤差の変化について Brunner-Munzel 検定により分析をした. その結果, 体験者らの平均誤差の減少量は同環境で取り組んだグループ (第 8 章の実験 Gr1) と同様に有意に減少したことから, 本ワークショップでも本研究システムが機能していることを確認した.

9.3.3 裁断時間の変化

図9.5は本ワークショップ参加者と第 8 章で実験参加者が裁断した MT の結果 (図8.9) を併記する. Step 3 では, 参加者が全てのパターンを裁断したときの平均 MT は 73.0 % 減少した. また, 第 8 章と同様に Step 1 と Step 3 との平均 MT に対し Brunner-Munzel 検定による評価を行った. その結果, $p < 0.05$ において有意な減少を示した. 参加者の MT の変化率は同環境で取り組んだグループ (第 8 章の実験 Gr1) と同様に有意に減少したことから, 本ワークショップでも練習する難易度による技能向上が期待通りに機能していることを確認した.

表9.1 デモ参加者と第 8 章との誤差の変化

	平均誤差 (mm)		1.0mm 以内の累積 (%)		1.5mm 以内の累積 (%)	
	Step 1	Step 3	Step 1	Step 3	Step 1	Step 3
Partipants	1.47	0.98	56.9	77.2	82.1	96.2
Gr1	1.47	0.94	56.5	81.5	81.5	97.9
Gr2	1.46	1.02	56.6	76.3	81.8	96.0
Gr3	1.41	1.26	56.1	66.8	83.4	89.0
Gr4	1.48	1.35	56.4	64.7	81.6	86.2

Note: Rounded to one decimal place

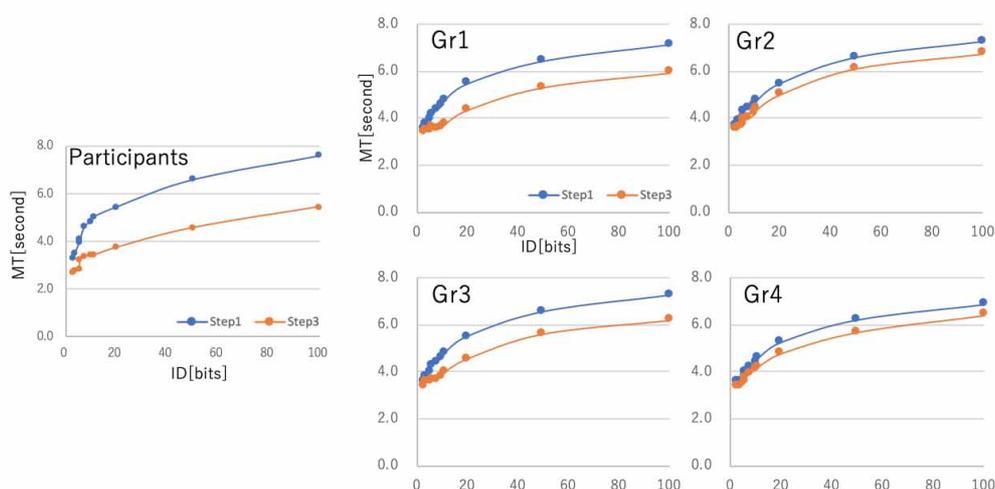


図9.5 デモ参加者と第 8 章との裁断時間の比較

9.3.4 裁断時間と難易度によるモデルの変化

図9.6は本ワークショップ参加者と第 8 章の実験参加者が裁断した ID と MT による回帰直線とその係数からなる裁断モデルの変化 (図8.11) を併記する。

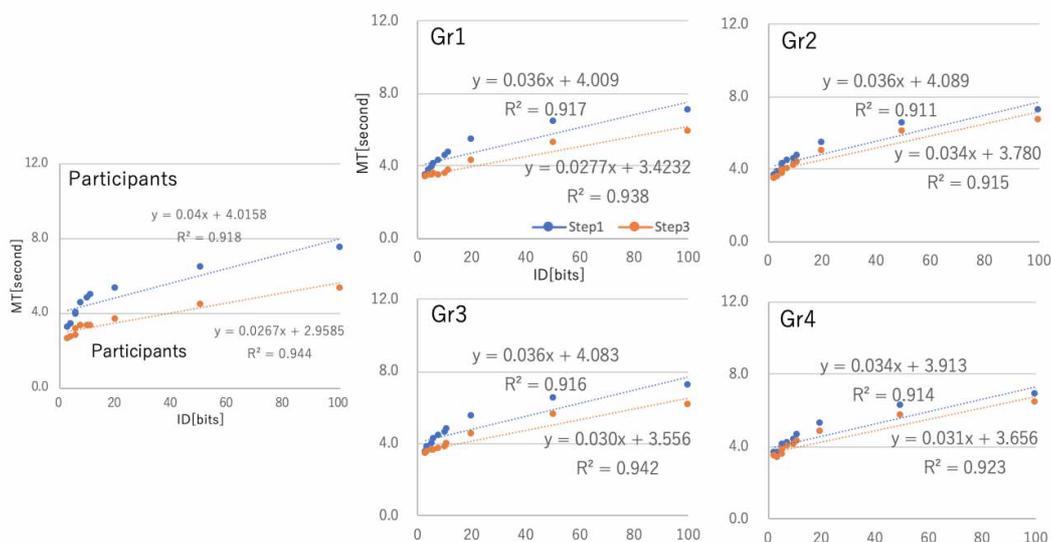


図9.6 デモ参加者と第 8 章との回帰直線の比較

Step 3 では、これまでの実験と同様に Step 1 の回帰直線の傾きと切片の値が減少した。また、第 8 章と同様に各グループの Step 1 と Step 3 での傾きと切片の係数に対し Brunner-Munzel 検定により評価した。その結果、 $p < 0.05$ において有意な減少を示した。参加者の傾きと切片の変化は同環境で取り組んだグループ (第 8 章の実験 Gr1) と同様に有意に減少したことから、本ワークショップでも練習する難易度による技能向上が期待通りに機能していることを確認した。

9.3.5 切り絵 FSS のアンケート分析

図9.7は第 8 章で行った因子分析をもとに、本ワークショップ参加者と第 8 章の実験参加者が回答した因子得点 (図8.12) の分析結果を併記する。その結果、本ワークショップでの因子得点の傾向は第 8 章の実験で最も技能向上効果が高かったグループの得点に最も近似していることから、参加者がフロー状態で取り組むことができたと判断する。

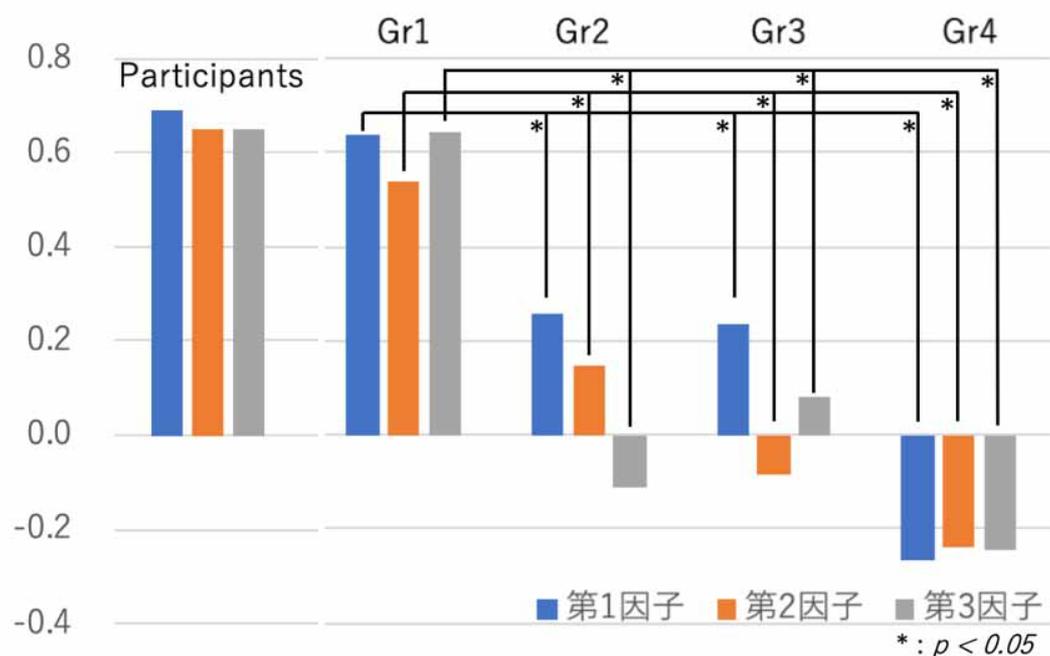


図9.7 デモ参加者と第8章との切り絵 FSS による因子得点の比較

9.3.6 参加者からの反応

本ワークショップの一連の工程が終了後、参加者たちへインタビューを行った。参加者たちの感想で最も好評だった内容は「圧力提示機能による裁断圧力の見える化」だった。参加者たちはワークショップの開始時にナイフなどの道具の使い方から説明を受けるが、力加減といった言語化の難しい内容への理解することは体験中での挑戦に限定されている。また、極端に圧力が強い人の行動はインストラクターの目に留まるが、軽微な力加減の差についてはインストラクターも見極めることが難しく、個別対応の場面など指導や助言が限定されることも多くある。そのため、本研究システムの圧力提示機能はそういった参加者の希望に添った効果を発揮していたと考えられる。

また、Step 2で練習に使用した絵の難易度の意見として、参加者たちは制作することを断念するほどに難しくないが、もっと簡単であってほしいという意見があった。使用した絵は幅が5.0mmで構成されており、この長さは第6章で初心者向けの幅をインストラクターにインタビューした中で、初心者向けと

して難しい難易度である。本研究では、この難しい難易度での取り組みが技能向上へ貢献することを明らかにした。一方で、参加者の中には制作活動のための技能向上を目的とした参加ではなく、「切り絵の制作を体験してみたい」や「切り絵の制作を楽しみたい」といったモチベーションの参加者も多くいた。そのため、そういった動機で参加した初心者は本ワークショップによる体験は楽しむことが難しかったという意見もあった。

本ワークショップについて、19歳未満及び20から29歳までの参加者から多くの高評価を得た。一方で、40歳以上からの参加者からは練習の難易度について難しすぎるという意見も多く、5名が途中で制作を中止することもあった。本研究における実験参加者は比較的若年層が多く、その結果をもとに技能や難易度について評価した。そのため、今回のワークショップで参加した中高年層の参加者の場合、高い難易度での制作活動により負担を感じたと考えられる。また、本ワークショップの参加者はこれまでの実験参加者と同様に切り絵の制作経験を持たない人がほとんどであるが、切り絵に興味関心を持つ人も多く、積極的にワークショップに取り組んでいる姿勢も多く見られた。そのため、上記の結果で併記した第8章の実験結果よりも裁断圧力や時間、フローの数値がより好ましい結果につながったと考えられる。

9.4 本章のまとめ

本章では、本研究システムが実際のワークショップで活用した場合の効果について評価した。その結果、200名を超える参加者が本研究システムを体験し、技能向上効果が十分に機能していることを確認した。また、これまで不可視情報だった裁断圧力について適当な力加減を理解する効果は多くの参加者から高い支持を得た。一方で、技能向上といった制作活動のために必要な技能の習得を目指さない層からは、取り組んだ内容の難易度が高すぎるという指摘もあった。本研究では、制作技能の向上への支援を目的としていることから、目的の対象外の参加者ではあるが、同様の意見をもつ参加者も少なくないため、幅広い層が参加するワークショップでは参加者の目的に応じて難易度調整をする必要があるという知見を得た。その場合、制作技能を訓練したい人や未経験でこれか

ら始めたい人，楽しむ切っ掛けとして取り組む人など，それぞれの目的に対する難易度や技能の段階，需要などについて調査をすることで，多様な参加者への対応を考慮する必要があると考える。

第 10 章

結論

10.1 本論文のまとめ

本研究での目的は、切り絵に着目した初心者への制作を支援することである。

第 1 章では、芸術創作における制作段階での練習と切り絵の制作について述べた。また、ワークショップを通じて、切り絵の制作段階で注意する点について述べた。

第 2 章では、本研究で取り扱う「制作活動支援に関する研究」、「ステアリングモデルの活用」、「フロー理論の活用」の研究と他の研究での活用例について述べた。「制作活動支援に関する研究」では、体験者の道具の使い方についてセンシングを用いて、手本とする行動との比較による改善を促す研究について述べた。「ステアリングモデルの活用」では、ステアリングの法則を利用したヒューマンタスクのモデル化に関する研究について述べた。「フロー理論の活用」では、アンケートを利用したフローについての心理状態を定量評価する研究について述べた。

第 3 章では、切り絵を制作時の裁断の状態を取得するためのシステムについて述べた。切り絵のワークショップを催す経験を持つインストラクターへ、初心者の制作で注目している点についてインタビューした。その結果をもとに、液晶ペンタブレット用のタッチペンの先端に刃を取り付けたナイフデバイスを開発した。このシステムによる利用者の裁断時の圧力や座標、時間を計測する

機能により、以降の様々な実験で利用者の裁断動作について計測した。

第4章では、初心者と熟練者の裁断圧力の差を比較する実験について述べた。その結果、初心者が強すぎる圧力で紙を切ること、熟練者は同程度の圧力になるように切っていることを確認した。

第5章では、初心者の裁断圧力を制御する技能を向上させるシステムの評価について述べた。熟練者の裁断圧力の範囲をもとに圧力提示機能を開発し、その効果を検証する実験を行った。その結果、この機能を利用した初心者の裁断圧力が低下した。また、従来のワークショップで取り入れられていた練習法よりも、裁断圧力を制御する技能を向上させる効果があることを確認した。

第6章では、裁断する線が持つ難易度や初心者と熟練者との技能差が裁断時間に与える影響について述べた。初心者向けの簡単な幅と難しい幅についてインストラクターへインタビューし、10種類の直線パターンを作成した。また、直線パターンが持つ幅と距離の組み合わせ及び、初心者と熟練者との裁断時間を比較する実験を行った。その結果、初心者は難易度の上昇に伴って裁断時間やエラー率も増加することを確認した。加えて、初心者と熟練者による難易度と裁断時間からなる回帰直線について傾きと切片に差があることを確認した。

第7章では、様々な難易度での制作による技能向上の差について述べた。絵が持つ裁断する線の幅と距離をパターン化することで難易度 (ID) を計測した、また、様々な ID の分布を持つ絵で練習したときの技能の変化を比較する実験を行った。その結果、特に幅が 5.0 mm で構成した絵で練習をした初心者の裁断時間が低下したことを確認した。しかし、この ID の計測については、極端に短い距離に対する難易度の正確性に課題が残されている。

第8章では、紙を裁断する技能と制作する課題の難易度との組み合わせによる技能向上の差と、制作時のフローについて述べた。フロー状態を定量評価するためのアンケート項目 (FSS) をもとに、切り絵制作時の心理状態を評価する切り絵 FSS を作成した。また、圧力提示機能の利用と絵の難易度との組み合わせによる技能向上を比較する実験を行った。その結果、裁断圧力を制御する技能を支援するシステムと初心者向けに難しい難易度での練習による技能と課題の組み合わせを利用することで初心者への高い技能向上効果があることを確認

した。加えて、切り絵 FSS の評価でもこの初心者たちはフロー状態にあることを示した。

第 9 章では、初心者への切り絵のワークショップを開催し、209 名の体験者での技能向上効果について述べた。その結果、これまでの実験結果と同様に技能向上効果が機能していることを確認した。加えて、体験参加者からのインタビューにより、圧力提示機能による体験が力加減を理解する上で好評であったことを確認した。

以上を総括すると、制作活動では成すための技能と取り組む対象の難易度の 2 つの要素が初心者へ大きな影響を与えていることを特定した。それぞれの課題について初心者が技能向上するためのシステム開発及び技能モデルによる向上の評価を行った。これまでの多くの研究では技能向上と課題難易度は個別に定量評価されており、本研究のようにフロー理論に基づいた心理学的評価を含めた取り組みの組み合わせは少ない。熟練者の暗黙知及び学習者の心理的变化の評価は、知識科学が目指す知識の創造・蓄積・活用メカニズムの探求に本研究が貢献できると確信している。

10.2 本研究で残された課題

本研究では切り絵の制作経験のない初心者を対象とし、作家やアーティストとして活躍している熟練者との裁断圧力や誤差、裁断時間を比較した。しかし、本研究の目的は初心者の技能向上を支援することであり、熟練者と同程度まで技能レベルを引き上げるまでは至っていない。特に裁断圧力についても、裁断する刃や紙の素材によって適切な裁断圧力が僅かに変化する。本研究では、一般的に広く市販されている合金工具鋼の替え刃とコピー機にも使われている普通紙を使用した。また、素材だけでなく使用する刃の切れ味が劣化劣化した場合や、作業環境の温度や湿度により適切な裁断圧力が変わることが熟練者の間では知られている。そのため、より誤差の少ない制作を目的とする場合は、これらの要素についても加味する必要があると考えられる。

また、第 7 章で先述したように、本研究で定めた ID の式では複雑さが増すほど正確性が低下する。本研究では、切り絵制作の難しさを定められた経路を

正確に切ることで、難易度をステアリングの法則に基づいて検証した。切り絵の制作では、極端に短い距離 (1.0 mm 程度) を正確に裁断する難しさもある。しかし、本研究の ID の式では、距離が短い場合 ID が減少するため簡単な難易度を示す。文献 [4] でも同様に、極小のターゲットについてもパフォーマンスに要する時間を必要とし、ターゲットが大きくなるにつれて時間が短縮され、さらにターゲットが大きくなると再び時間が伸びる U 字型のようなパフォーマンスモデルが確認されている。また、文献 [6, 14] では、マウスでの小さな動きの制御について評価を行っている。しかし、数ピクセルのような非常に小さなターゲットの場合、実験参加者の手の器用さ、ターゲットの見やすさといった運動能力と視力の両方に大きな影響を受けることが分かっている。また、文献 [10] でも、同様の極小な動きのパフォーマンスの評価には腕や手首の動きといった、ターゲットだけでなく利用者の動きの情報を含めることで評価をしている。本研究での切り絵の制作における極端に短い距離の裁断の場合、切る線の視点に正確に刃先を当てることや 1mm 程度の場合ナイフを操舵するのではなく、刃先をカッターマットに沈め、軸の角度を変えながら押し当てることで僅かな距離を裁断する。そのため、ナイフの軸の角度などより詳細な裁断動作を計測し、新たなカッティングモデルを作成することでより性格な評価が必要である。その他にも、残された課題として、ID の値について 1 上昇した場合どれだけ難しくなるか、10 上昇した場合それは ID が 1 上昇する場合の 10 倍難しくなるのかといった ID に関する解像度について検証が必要である。これらの解像度を明確にすることで、ワークショップで初心者が求めた制作を楽しむ難易度や技能向上のための難易度といった取り組む目的に応じた下絵の制作への応用が見込まれる。

10.3 今後の課題と展望

技能レベルに応じた課題レベルについては、未経験な初心者の技能レベルをもとに検証しており、繰り返し練習や制作に取り組む程、適切な課題レベルも変化する。ワークショップや講師らは、適切な課題レベルについても技能が上達する人ほどより高い難易度での練習を推奨している。今後の課題として、初

心者が練習を重ねて技能が向上した場合にも適応可能な技能支援を目指す。本研究の対象は、切り絵の制作経験を持たない初心者であった。未経験な初心者への支援だけでなく、練習中の初心者への技能向上支援も重要であると考え。一方、経験を重ねた初心者たちの技能の高さは様々であり、各個人に応じて適切なレベルでの技能や習得すべき技術は異なる。そのため、様々なレベルの経験者の裁断圧力や裁断時間、その他の上達に必要な技能について収集、分析をすることで、未経験な初心者に限らず初心者が練習を重ねる上達の過程でそれぞれに適した技能向上の支援を目指す。

謝辞

金井秀明准教授。博士前期課程から引き続き博士後期課程でも、切り絵の研究をさせていただきありがとうございます。博士前期課程から現在まで8年間と非常に長い間、研究指導だけでなく様々な点でサポートして頂きました。先生からは研究の進め方から論文の書き方、研究費の集め方まで研究者として必要な多くの情報や知識を教えていただきました。先生のご指導のもと、大変楽しく有意義な時間を過ごすことにより、本研究を続けることができたと思います。ありがとうございます。今後ともよろしくお願い致します。

本研究の審査を引き受けてくださいました東京工業大学小池英樹教授、本校宮田一乗教授、西本一志教授、由井菌隆也准教授に深謝の意を表します。予備審査では、多くのご指導ご助言を頂きありがとうございます。自分でも気づかなかった点や、本研究をより深く考える切っ掛けを頂くことにより、本研究をより良い方向へと進めることができました。

西本先生の御助力もあり、カナダのブリティッシュコロンビア大学に1年間留学をすることができました。この機会は私の人生の中でも非常に有意義で楽しい時間を過ごすことができました。また、ブリティッシュコロンビア大学 Sidney Fels 教授を始め、多くの人とも知り合うことができ、それを切っ掛けにして、また新しく楽しい経験に恵まれました。Sidney Fels 教授をはじめ HCT Lab の皆様、留学中に会った皆様ありがとうございます。

私の研究に協力、相談を受けて頂いた多くの切り絵作家、アーティスト、切り絵教室の皆様。本研究では、皆様のご協力により、博士論文を書くまでに至りました。最近は私も満足に切り絵をできていませんが、また展示など積極的

に活動する予定です。またどこかのギャラリーやイベントでお会いできればと思います。

本研究における多くの研究について発表をさせていただき、多くのご助言をくださった情報処理学会グループワークとネットワーク研究会、国際会議でお話することができた皆様に深く感謝申し上げます。

金井研究室の皆様。特に先輩らしい振る舞いは出来ず終いで申し訳ないです。研究室の様様替えなど様々な私の提案や遊びに、早朝から深夜まで付き合ってくださいありがとうございます。皆様がこれからの人生を幸多き日々でありますよう、お祈り致します。

入学時より研究の議論だけでなく雑談など多くの苦楽を共にした生田泰章さん(現, サイボウズ・ラボ), 北直樹さん(現, 東京農工大学助教)にも感謝致します。早朝から深夜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。皆様が修了をした後に、同期の博士後期課程との遠慮のない会話の重要性に痛感を致します。また3人が揃って飲み会ができることを楽しみに致します。

博士前期課程時代の金井研究室、またその他の研究室の皆様。いつ遊びに行っても迎えていただきありがとうございます。自分が博士後期課程へ入学した直後の飲み会で、私の進学についてがその日一番の話題となりましたが、あれから4年過ぎ無事に修了ができることとなりました。その報告を兼ねた飲み会ができることを楽しみに致します。

最後に、数多くの個性あふれる人たちとのご縁により、本研究の着想を得ることができたと感じています。これまで関わってきた全ての人に深く感謝致します。

参考文献

- [1] Johnny Accot and Shumin Zhai. Beyond fitts' law: Models for trajectory-based hci tasks. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '97, pages 295–302, New York, NY, USA, 1997. ACM.
- [2] Johnny Accot and Shumin Zhai. Performance evaluation of input devices in trajectory-based tasks: An application of the steering law. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, pages 466–472, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [3] Johnny Accot and Shumin Zhai. Scale effects in steering law tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, pages 1–8, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [4] Johnny Accot and Shumin Zhai. Scale effects in steering law tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, pages 1–8, New York, NY, USA, 2001. Association for Computing Machinery.
- [5] Johnny Accot and Shumin Zhai. Refining fitts' law models for bivariate pointing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pages 193–200, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [6] Jonathan Aceituno, Géry Casiez, and Nicolas Roussel. How low can

- you go? human limits in small unidirectional mouse movements. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pages 1383–1386, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [7] Diana Amado, Pedro Miguel, Francisco Leo, David Sanchez-Oliva, Carlos Montero-Carretero, and Tomas Garcia Calvo. Analysis of the motivational profiles in dancers: Differences regarding modality. *Revista de Psicología del Deporte*, 24, 01 2015.
- [8] Rahul Arora, Rubaiat Habib Kazi, Fraser Anderson, Tovi Grossman, Karan Singh, and George Fitzmaurice. Experimental evaluation of sketching on surfaces in vr. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pages 5643–5654, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [9] Seok-Hyung Bae, Ravin Balakrishnan, and Karan Singh. Everybodylovesketch: 3d sketching for a broader audience. In *Proceedings of the 22Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '09, pages 59–68, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [10] Jason B. Boyle and Charles H. Shea. Micro-movements of varying difficulties: wrist and arm movements. *Experimental Brain Research*, 229(1):61–73, Aug 2013.
- [11] Xiang Cao and Shumin Zhai. Modeling human performance of pen stroke gestures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '07, pages 1495–1504, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [12] Nasr Chalghaf, Chiraz Azaiez, Hela Krakdiya, Noomen Guelmami, Tania Simona Re, Juan Briegas, Riccardo Zerbetto, Giovanni Del Puente, Sergio Garbarino, Nicola Bragazzi, and Fairouz Azaiez. Trans-cultural validation of the "academic flow scale" (flow 4d 16) in arabic language: Insights for occupational and educational psychology

- from an exploratory study. *Frontiers in Psychology*, 10, 10 2019.
- [13] J. C. P. Chan, H. Leung, J. K. T. Tang, and T. Komura. A virtual reality dance training system using motion capture technology. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(2):187–195, April 2011.
- [14] Olivier Chapuis and Pierre Dragicevic. Effects of motor scale, visual scale, and quantization on small target acquisition difficulty. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 18(3), August 2011.
- [15] Philo Tan Chua, R. Crivella, B. Daly, Ning Hu, R. Schaaf, D. Ventura, T. Camill, J. Hodgins, and R. Pausch. Training for physical tasks in virtual environments: Tai chi. In *IEEE Virtual Reality, 2003. Proceedings.*, pages 87–94, March 2003.
- [16] Oryx Cohen, Shawna Meyer, and Erik Nilsen. Studying the movement of high-tech rodentia: Pointing and dragging. In *INTERACT '93 and CHI '93 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, CHI '93, pages 135–136, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [17] Adam Croom. The practice of poetry and the psychology of well-being. *Journal of Poetry Therapy*, 28:21–41, 01 2015.
- [18] M. Csikszentmihalyi and I.S. Csikszentmihalyi. *Optimal Experience: Psychological Studies of Flow in Consciousness*. Donald F. Koch American Philosophy Collection. Cambridge University Press, 1992.
- [19] Mihaly Csikszentmihalyi. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. 01 1990.
- [20] Mihaly Csikszentmihalyi. Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention., 1997.
- [21] Mihaly Csikszentmihalyi. *Finding Flow: The Psychology of Engagement With Everyday Life*, pages –144. 04 1998.
- [22] Mihaly Csikszentmihalyi and Jeanne Nakamura. *The Concept of Flow*, pages 89–92. 01 2002.

- [23] M. Csikszentmihalyi, I. Csikszentmihalyi, R. Graef, J.H. Holcomb, and J. Hendin. *Beyond Boredom and Anxiety: The Experience of Play in Work and Games*. The Jossey-Bass behavioral science series. Jossey-Bass Publishers, 1982.
- [24] D. Cummmings, F. Vides, and T. Hammond. I don‘ t believe my eyes! geometric sketch recognition for a computer art tutorial. In *Proceedings of the International Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling, SBIM '12*, pages 97–106, Goslar Germany, Germany, 2012. Eurographics Association.
- [25] Daniel Dixon, Manoj Prasad, and Tracy Hammond. icandraw: Using sketch recognition and corrective feedback to assist a user in drawing human faces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '10*, pages 897–906, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [26] P. M. Fitts. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6):381–391, 1954.
- [27] Matthew Flagg and James M. Rehg. Projector-guided painting. In *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '06*, pages 235–244, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [28] Tomas Garcia Calvo, Ruth Castuera, Francisco Ruano, Raul Reina, and Eduardo Cervello. Psychometric properties of the spanish version of the flow state scale. *The Spanish journal of psychology*, 11:660–9, 12 2008.
- [29] Yves Guiard, Michel Beaudouin-Lafon, and Denis Mottet. Navigation as multiscale pointing: Extending fitts‘ model to very high precision tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '99*, pages 450–457, New York, NY, USA,

1999. Association for Computing Machinery.
- [30] Ken Hinckley, Randy Pausch, John C. Goble, and Neal F. Kassell. A survey of design issues in spatial input. In *Proceedings of the 7th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '94, pages 213–222, New York, NY, USA, 1994. Association for Computing Machinery.
 - [31] Ya-Hui Hsieh, Yi-Chun Lin, and Huei-Tse Hou. Exploring the role of flow experience, learning performance and potential behavior clusters in elementary students' game-based learning. *Interactive Learning Environments*, 24(1):178–193, 2016.
 - [32] Emmanuel Iarussi, Adrien Bousseau, and Theophanis Tsandilas. The drawing assistant: Automated drawing guidance and feedback from photographs. In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, pages 183–192, New York, NY, USA, 2013. ACM.
 - [33] S.A. Jackson and R.C. Eklund. *The Flow Scales Manual*. Fitness Information Technology, 2004.
 - [34] Susan Jackson and Robert Eklund. Assessing flow in physical activity: The flow state scale 2 and dispositional flow scale 2. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 24:133–150, 06 2002.
 - [35] Susan Jackson and Herb Marsh. Development and validation of a scale to measure optimal experience: The flow state scale. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 18:17–35, 03 1996.
 - [36] Hark-Joon Kim, Hayoung Kim, Seungho Chae, Jonghoon Seo, and Tack-Don Han. Ar pen and hand gestures: A new tool for pen drawings. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, pages 943–948, New York, NY, USA, 2013. ACM.
 - [37] Paraskevi Kritopoulou, Sotiris Manitsaris, and Fabien Moutarde. To-

- wards the design of augmented feedforward and feedback for sensorimotor learning of motor skills. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Movement and Computing*, MOCO '16, pages 38:1–38:4, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [38] Amey Kulkarni, Wyatt Anderson, Matthew Sanders, Jackie Newbold, Leonard, and Leonard Martin. Manipulated flow reduces downstream defensiveness. *The Journal of Positive Psychology*, 11, 03 2015.
- [39] J. Laviolle and M. Hachet. Papart: Interactive 3d graphics and multi-touch augmented paper for artistic creation. In *2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pages 3–6, March 2012.
- [40] Yong Jae Lee, C. Lawrence Zitnick, and Michael F. Cohen. Shadowdraw: Real-time user guidance for freehand drawing. *ACM Trans. Graph.*, 30(4):27:1–27:10, July 2011.
- [41] Li-Fen Liao. A flow theory perspective on learner motivation and behavior in distance education. *Distance Education*, 27(1):45–62, 2006.
- [42] Kan-Min Lin. e-learning continuance intention: Moderating effects of user e-learning experience. *Computers and Education*, 56(2):515 – 526, 2011.
- [43] Lijuan Liu, Yang Chen, Pinhao Wang, Yizhou Liu, Caowei Zhang, Xuan Li, Cheng Yao, and Fangtian Ying. Papercut: Digital fabrication and design for paper cutting. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '18, pages LBW078:1–LBW078:6, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [44] A. Chris Long, Jr., James A. Landay, Lawrence A. Rowe, and Joseph Michiels. Visual similarity of pen gestures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '00, pages 360–367, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [45] I. Scott MacKenzie. Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction. *Hum.-Comput. Interact.*, 7(1):91–139, March

1992.

- [46] I. Scott MacKenzie and William Buxton. Extending fitts' law to two-dimensional tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '92, pages 219–226, New York, NY, USA, 1992. Association for Computing Machinery.
- [47] Fatemeh Makizade and Alireza Afshani. Investigating the factors affecting the intention to use e-learning from the viewpoint of higher education students. *Interdisciplinary Journal of Virtual Learning in Medical Sciences*, In Press, 03 2019.
- [48] Fausto Massimini and Massimo Carli. *The systematic assessment of flow in daily experience*, pages 266–287. Cambridge University Press, 1988.
- [49] Tsutomu Terada Minoru Fujimoto and Masahiko Tsukamoto. A dance training system that maps self-images onto an instruction video. In *In Proceedings of the 5th International Conference on Advances in ComputerHuman Interactions*, Achi 2012, pages 309–314, 2012.
- [50] Noriaki Muranaka, Takafumi Yamamoto, and Shigeru Imanishi. A calligraphy mastering support system using virtual reality technology and its learning effects. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, 123(12):1206–1216, 2003.
- [51] Juan Murcia, Alvaro Sicilia, Pedro Bunuel, D. Gonzalez-Cutre, Bartolome Almagro, and Cristina Conde. Motivational analysis comparing three contexts of physical activity. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Fisica y del Deporte*, 14:665–685, 12 2014.
- [52] Mathieu Nancel and Edward Lank. Modeling user performance on curved constrained paths. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pages 244–254, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [53] Mathieu Nancel, Emmanuel Pietriga, Olivier Chapuis, and Michel

- Beaudouin-Lafon. Mid-air pointing on ultra-walls. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 22(5), August 2015.
- [54] Akira Nomoto, Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Supporting precise manual-handling task using visuo-haptic interaction. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, AH '16, pages 10:1–10:8, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [55] Robert Pastel. Measuring the difficulty of steering through corners. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '06, pages 1087–1096, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [56] Alec Rivers, Andrew Adams, and Frédo Durand. Sculpting by numbers. *ACM Trans. Graph.*, 31(6):157:1–157:7, November 2012.
- [57] Martin E. P. Seligman. 2012, *Flourish: A Visionary New Understanding of Happiness and Well-being* (2012).
- [58] Garth Shoemaker, Takayuki Tsukitani, Yoshifumi Kitamura, and Kellogg S. Booth. Two-part models capture the impact of gain on pointing performance. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 19(4), December 2012.
- [59] Masato Soga, Shota Kuriyama, and Hirokazu Taki. Sketch learning environment with diagnosis and drawing guidance from rough form to detailed contour form. In *Learning by Playing. Game-based Education System Design and Development*, pages 109–109. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [60] Gershon Tenenbaum, Gerard J. Fogarty, and Susan A. Jackson. The flow experience: a rasch analysis of jackson's flow state scale. *Journal of outcome measurement*, 3 3:278–94, 1999.
- [61] Steve Tsang, Ravin Balakrishnan, Karan Singh, and Abhishek Ranjan. A suggestive interface for image guided 3d sketching. In *Proceedings*

- of the *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '04, pages 591–598, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [62] Huawei Tu, Xiangshi Ren, and Shumin Zhai. A comparative evaluation of finger and pen stroke gestures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pages 1287–1296, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [63] Charles J. Walker. Experiencing flow: Is doing it together better than doing it alone? *The Journal of Positive Psychology*, 5(1):3–11, 2010.
- [64] Shota Yamanaka and Homei Miyashita. Modeling the steering time difference between narrowing and widening tunnels. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pages 1846–1856, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [65] Shota Yamanaka and Homei Miyashita. Paper-cutting operations using scissors in drury’s law tasks. *Applied Ergonomics*, 69:32 – 39, 2018.
- [66] Shota Yamanaka, Wolfgang Stuerzlinger, and Homei Miyashita. Steering through sequential linear path segments. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pages 232–243, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [67] Ungyeon Yang and Gerard Jounghyun Kim. Implementation and evaluation of ”just follow me”: An immersive, vr-based, motion-training system. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, 11(3):304–323, June 2002.
- [68] Stanislaw Zabramski. Careless touch: A comparative evaluation of mouse, pen, and touch input in shape tracing task. In *Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference*, OzCHI '11, pages 329–332, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [69] Stanislaw Zabramski and Wolfgang Stuerzlinger. The effect of shape properties on ad-hoc shape replication with mouse, pen, and touch input. In *Proceeding of the 16th International Academic MindTrek*

- Conference*, MindTrek '12, pages 275–278, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [70] Stanislaw Zabramski and Wolfgang Stuerzlinger. Activity or product?: Drawing and hci. In *Proceedings of the International Conference on Multimedia, Interaction, Design and Innovation*, MIDI '13, pages 4:1–4:9, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [71] Shumin Zhai, William Buxton, and Paul Milgram. The “ silk cursor” : Investigating transparency for 3d target acquisition. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '94, pages 459–464, New York, NY, USA, 1994. Association for Computing Machinery.
- [72] チクセントミハイ M. フロー体験入門: 楽しみと創造の心理学. 世界思想社, 2010.
- [73] 今村浩明, 浅川希洋志. フロー理論の展開, pages 4–5. 世界思想社, 2003.
- [74] 小島理永, 野村照夫, and 来田宣幸. 高等学校ダンス発表時におけるフロー体験の検討-ダンス・フロー・スケールの開発にむけて-. スポーツパフォーマンス研究, 4:44–58, 2012.
- [75] 川端雅人, 張本文昭. 体育授業におけるフロー経験-flow state scale を用いて. 東京電機大学理工学部紀要, 22(2):19–27, 2000.
- [76] 張本文昭, 川端雅人, 小橋川久光. 陸上競技選手のフロー経験について-flow state scale を用いて. 東京電機大学理工学部紀要, 22(2):47–53, 2000.
- [77] 浅川希洋志. フロー経験の諸側面, pages 47–65. ポジティブ心理学 ナカニシヤ出版, 2006.
- [78] 迫俊道. 日本の伝統的身体技法におけるフロー体験: 特に芸道に注目して. スポーツ社会学研究, 10:36–48,134, 2002.
- [79] 谷木龍男 and 坂入洋右. ポジティブなスポーツ体験に関わる心理的要因. 健康心理学研究, 22(1):24–32, 2009.

本研究に関する発表論文

学術雑誌

- 1 東孝文, 金井秀明, 切り絵の裁断スキルの向上を目的とするなぞり描き練習システムによる筆圧制御の効果, 情報処理学会論文誌, 2018, (59-11), pp.1978-1985
- 2 Takafumi Higashi and Hideaki Kanai, "Improvement in the Effectiveness of Cutting Skill Practice for Paper-cutting Creations Based on the Steering Law," IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol.E103-D, No.04, Apr. 2020

国際会議

(口頭発表, 査読あり)

- 3 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai, "Improve cutting skill according to skill and difficulty level", HCI INTERNATIONAL 2019, International conference on human-computer interaction, Florida, USA, 2019.7
- 4 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai: "Stylus Knife: Improve Cutting Skill for Paper-cutting by the Pressure Control" ACM SAC2019, Proceedings of the ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing, pp.714-721, Limassol, Cyprus, 2019.4

- 5 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai:“ Tracing Practice System for Developing Paper-Cutting Skills” KICSS 2018, Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support System, pp.173-178, Nagoya, Japan, 2017.11

(ポスター・デモ発表, 査読あり)

- 6 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai:“ Practice System for Controlling Cutting Pressure for Paper-cutting” ACM ISS 2018, Proceedings of the 2018 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, pp.363-368, Tokyo, Japan, 2018.11
- 7 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai:“ Impact of practice effect on each difficulty of cutting skill” ACM Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NoldiCHI' 19), pp.904-909, Oslo, Norway, 2018.9
- 8 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai, ”Effect of Varying Combinations of Cutting Skill and Difficulty Level on Practice Efficacy”, CHI Workshop Asian CHI Symposium 2018, ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.73-79, Montreal, Canada, 2018.4
- 9 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai:“ Stylus Knife for Paper-cutting: A System for Controlling a Knife” ACM CHIEA 2017, Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.2638-2645, Denver, USA , 2017.5
- 10 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai: “ Instruction for Paper-cutting : A system for learning Experts’ Knife Pressure” ACM SIGGRAPH ASIA 2016 (9th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia), Macau, 2016.12
- 11 Takafumi Higashi, Hideaki Kanai: “ Instruction for Paper-cutting :

A system for learning Experts' Skills" ACM ISS 2016, Proceedings of the 2016 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, pp. 457-460, Ontario, Canada, 2016.11

国内学会

(口頭発表, 査読あり)

- 12 東孝文, 金井秀明: 切り絵の制作段階における技能と難易度との釣り合いによる技能向上に関する研究, インタラクション 2020

(口頭発表, 査読なし)

- 13 東孝文, 金井秀明 「ステアリングの法則に基づいた切り絵創作のためのモチーフ難度と作者の技量の定量化に関する提案」, グループウェアとネットワーク (GN) ワークショップ 2017, 情報処理学会グループウェアとネットワーク研究会, 2016.11
- 14 東孝文, 金井秀明 「熟練者の切り方技術を習得するためのスタイラスナイフの提案」 グループウェアとネットワーク (GN) ワークショップ 2016, 情報処理学会グループウェアとネットワーク研究会, 2016.11

付録. 切り絵 Flow State Scale のアンケート用紙

本論文で作成した切り絵 FSS を以下のに示す (図10.1). 8 章と 9 章の実験では, 実験参加者は最後の工程に切り絵 FSS へ回答する. 回答用紙は A4 サイズで 1 枚に印刷した.

年齢：() 19歳以下, () 20-29歳, () 30-39歳, () 40-49歳, () 50-59歳, () 60歳以上
 性別：() 男性, () 女性

	全く当てはまらない			よく当てはまる	
	1	2	3	4	5
1. 私は創作課題の難易度に釣り合った技能を発揮できた.	1	2	3	4	5
2. 私は悩まずに自然と正しい手順での創作をができた.	1	2	3	4	5
3. 私は切り絵の創作の中で何をしたいことが分かっていた.	1	2	3	4	5
4. 私は切り絵の創作で順調に進めていることが分かっていた.	1	2	3	4	5
5. 私は創作に集中して取り組んだ.	1	2	3	4	5
6. 私は自身の取り組みをコントロールしていると感じた.	1	2	3	4	5
7. 創作中, 周囲が自分のことをどう思っているかなど関心を持たなかった.	1	2	3	4	5
8. 時間が遅くなったり(早くなったり)変化しているように感じた.	1	2	3	4	5
9. 私は切り絵の創作を楽しんだ.	1	2	3	4	5
10. 私は難しい部位の裁断でも対応できる技能を持っていた.	1	2	3	4	5
11. 転回が無意識に起こっているように感じる.	1	2	3	4	5
12. 私は自分のやりたいことを強く意識していた.	1	2	3	4	5
13. 私は作った切り絵がどれくらい上手にできているか気づいていた.	1	2	3	4	5
14. 創作中, その過程に関係なく創作に没頭していた.	1	2	3	4	5
15. 自分自身のことは自分でコントロールできると感じていた.	1	2	3	4	5
16. 私は他の人がどのように自身を評価しているかを気にしなかった.	1	2	3	4	5
17. 時間の経過が普段と違っていると感じた.	1	2	3	4	5
18. 私は創作中の感覚が好きで, 再びその感覚を得たい.	1	2	3	4	5
19. 切り絵の創作に必要なとされる技能を十分に持っていると感じた.	1	2	3	4	5
20. 体を無意識のうちに動かしていた.	1	2	3	4	5
21. 私は自身のやるべきことを知っている.	1	2	3	4	5
22. 私は創作のためにどうすればうまくいくか, いい考えを持っていた.	1	2	3	4	5
23. 私は完遂のための集中力を持っている.	1	2	3	4	5
24. 私は創作の間, 自身の影響下にあった.	1	2	3	4	5
25. 私は自身を良く見せようという気持ちにならなかった.	1	2	3	4	5
26. 時間が速く過ぎるように感じていた.	1	2	3	4	5
27. 切り絵の創作は喜びを与えてくれる.	1	2	3	4	5
28. 自分の技能に見合った課題に取り組んだ.	1	2	3	4	5
29. 自分は無我夢中に切り絵創作を行った.	1	2	3	4	5
30. 自分は切り絵創作上手に行えることを分かっていた.	1	2	3	4	5
31. 私は創作をスムーズに取り組んでいた.	1	2	3	4	5
32. 私の自身の作業に集中した.	1	2	3	4	5
33. 私は思うように自分の体を動かしていた.	1	2	3	4	5
34. 私は他人が自分をどう思っているか気にしなかった.	1	2	3	4	5
35. 私は創作中の時間がゆっくりに感じた.	1	2	3	4	5
36. 切り絵の創作はやりがいがあった.	1	2	3	4	5

図10.1 切り絵 FSS のアンケート用紙