

切り絵の制作段階における技能と難易度との組み合わせによる技能向上の変化に関する研究

東 孝文^{1,a)} 金井 秀明^{1,b)}

概要：本研究では、切り絵の制作における初心者の技能と制作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る。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。これまでに調査した制作技能の一つである「裁断圧力を制御する技能」と「幅と距離をもとにステアリングの法則から計測した難易度」についての調査に基づき、我々はこれらの組み合わせることで技能と難易度との組み合わせによる技能向上についての評価する。また、フローについての状態を評価するためのアンケート指標があり、本稿ではそのアンケート内容について切り絵の制作に改修することで、初心者たちの制作時の心理的狀態について評価する。その結果、圧力制御の練習を積んだ初心者たちが圧力支援を受け、高い難易度の幅をもつ下絵で制作したとき、最も高い技能向上効果を示した。

1. はじめに

現在、書籍やインターネットなどのメディアでは初心者向けの創作活動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など様々な情報が公開されている。デザインの段階は予め用意したものを先に取り組みせることで初心者に制作の段階を意識させた上でデザインの行程について触れるという順序も珍しくない。しかし、力加減や視線などの不可視な情報や、言語化が難しい要素など熟練することで得る暗黙的な知識について触れられていることは少ない。また、初心者用の教本には「初心者向け」や「5段階中の3」などで課題の難易度を表記しているものもあるが、その基準は曖昧であり自分に適切な難易度がどの程度なのかを理解することは難しい。デザインの創作には初心者向けや熟練者むけの難易度があり、様々な難易度の中でも、自身の技能に見合った難易度での練習が推奨されている。しかし、未経験者ほど自身の技能と不釣り合いな難易度で挑戦をするものの取り組む難易度が高すぎるため失敗や挫折から始まる人も少なくない。そのため、技能向上を目的とした練習では、自身の技能と制作課題の難易度との組み合わせが重要な要素であるとされている。

本研究では、初心者を対象とした技能レベルと課題レベルとの組み合わせによる技能向上を目指す。これまでに、我々は初心者と熟練者が切り絵の制作をしたときの裁断圧

力について調査をしている [1], [2]。この結果をもとに、裁断動作を計測するシステムを利用し、様々な難易度のデザインを裁断したときの圧力の計測及び圧力の状態を提示する機能を評価する。また、我々は切り絵の制作による裁断動作についてステアリングの法則との適応について調査している [3], [4]。この結果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を評価する。本稿では、これまでの調査をもとに初心者の技能レベルの向上と課題レベルの計測を組み合わせた練習による「技能と難易度との組み合わせによる技能向上」を評価する。

本稿の目的は、初心者の技能と制作物の難易度との組み合わせによる技能向上の差を評価することである。2章では、関連研究について述べる。3章では、切り絵の講師へ初心者向けのワークショップでの取り組みの注意点と意識している点についてインタビューをし、その結果をもとに裁断圧力と、裁断時間を計測するシステムについて述べる。4章では、先述したシステムを利用して初心者と熟練者との制作過程の差を比較するための実験について述べる。5章では、先の実験で計測した熟練者による裁断圧力の範囲をもとに、利用者の裁断圧力を視覚化することで圧力を制御する技能を向上させるシステムである圧力提示機能について述べる。6章では、絵の裁断する部分を単純化することで、直線パターンのように幅と距離から計測される難易度について述べる。7章では、タスクへのフローについて

¹ 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

^{a)} htakafumi@acm.org

^{b)} hideaki@acm.org

定量評価するために作られたアンケートをもとに切り絵の制作時の評価をする切り絵制作版フロースケールステートについて述べる。8章では、5章から7章までを利用して切り絵制作時の技能と難易度との組み合わせによる技能向上について述べる。9章では、本稿についてまとめと考察を述べる。

2. 関連研究

2.1 制作活動への支援に関する研究

本稿では、ナイフで紙を裁断することで絵を作る切り絵の制作支援について取り組む。スケッチやデッサン、油絵などのデザインや下絵が既に存在する場合の制作支援では、システムが制作物と見本との差をシステムが比較することで利用者へフィードバックを与えるものが多い。文献[5]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[6]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[7]では、手本とする絵から形状や骨格をもとにすることで、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。この形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もある。文献[8]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[9]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に絵を投影することで、利用者はその映像をもとに筆で絵を描き込むことで、油絵らしい色を重ねる表現を再現する。本稿では、切り絵の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あり、ワークショップなどでも講師は初心者の方の裁断時の圧力には注意している。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行う。

2.2 ステアリングの法則に基づいた難易度に関する研究

代表的なモデルの一つに二次元的な移動モデルとしてステアリングの法則を Accot らが提案した [10]。このモデルではターゲットまでの経路 (D) の幅 (W) と距離の商から難易度 (ID) を定量化する ($ID = D / W$)。ステアリングの法則では、操作時間 (MT) と ID について $MT = a \times ID + b$ で表す。“a”と“b”は実験により決定する定数である。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応可能であることが調査されている

[11]。入力装置ではマウスやタッチペン、タッチパネルでの操作について調査をしたものもある [12]。文献 [13]、[14] 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。その他にもハサミによる裁断動作のモデル化検討 [15] のように、幅広い入力手法への対応も確認されている。本稿では、切り落とす領域を持つ各裁断する線について距離と幅をもとに切り絵の制作にとっての難易度を評価する。

2.3 技能と難易度との組み合わせによるフローに関する研究

本稿では、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取り組む。ポジティブ心理学として、「没頭」は時間を忘れてしまうほどの高い集中状態にあることであり、「フロー」とはその没頭の中でも内発的動機づけ研究における概念の一つを指す。Csikszentmihalyi はフロー状態を構成する要素として特に注目されている要素として「挑戦 (難易度) とスキルのバランス」が挙げられる [16]。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。そして、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。その後、日常生活などの生活全般のためのフロー尺度 [17] 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 [18]。このフロー理論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、芸道などの分野でも研究が行われている [19]。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 [20]、陸上選手の方のフロー経験の調査 [21] などを始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 [22]。本稿では、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の向上させるシステムと課題レベルの一つである裁断する線の幅と距離の長さからなる難易度の組み合わせから技能向上の効果を評価する。

3. 裁断動作の計測システム

3.1 ワークショップで講師が意識する点

我々は切り絵のワークショップ経験をもつ 5 名の講師 (講師歴 5 年が 4 名、6 年が 1 名) ヘインタビューした。この目的は初心者が快適な制作をするために講師が意識する点を明らかにすることである。その結果、初心者はナイフで紙を切るときにゆっくりな速度と強い圧力で紙を切る傾向があり、ワークショップではそういった切り方について、適切な圧力で滑らかに切るよう指導することが多いことが分かった。これまでに我々は切り絵の制作に不可欠な裁断

圧力を制御する技能の向上に関する研究をしており、利用者が紙を裁断するときの圧力を計測するデバイスを開発した [2]。デバイスの詳細については 3.2 にて述べる。

また、ワークショップでは講師が道具などを用意しており、その中でも制作するデザインについて初心者向けでありつつも簡単すぎない程度の難易度な絵柄を作成していることが分かった。これまでに我々は切り絵の制作の難易度について直線状の単純なパターンの距離と幅の値からステアリングの法則に基づいてターゲットの難易度を計測した。文献 [3] では、初心者が直線パターンを裁断するときの裁断時間を計測し、難易度が与える影響について検証した。本稿では、このときの計測方法を利用し初心者と熟練者との裁断時間及び回帰直線の差について比較する。この直線パターンの詳細については 3.3 にて述べる。

3.2 ナイフデバイス

我々は利用者の裁断動作を計測するためのナイフデバイスを開発した。このデバイスはスタイラス (Wacom Pen-Pro2) の先端にデザインナイフの刃 (NT BDC-200P) を取り付けられたナイフであり、ペンタブレットディスプレイ (Wacom Cintiq Pro16) と組み合わせることで裁断中の動きを計測する。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。我々は公開されている API を用いることで応答速度は 250ms 毎に 100 から 500g までの圧力を認識するシステムを開発した。利用者はナイフデバイスを使用してディスプレイ上に固定した紙を裁断する。ペンタブレットディスプレイは 3840 × 2160 ピクセル、275 dpi で画像を表示する。我々のシステムでは、0.2mm 間隔に座標を取得する。本システムではディスプレイ上に刃を当てて利用するため、スクリーンへの傷を防ぐ。

3.3 直線パターンの作成

初心者向けの難易度について、初心者にとって簡単な幅と難しい幅について 5 人の講師にインタビューを行った。5 名の講師の内、3 名は講師歴が 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 13.0mm (SD=0.89)、難しい幅は 5.0mm (SD=0.31) だった。教本などのデザイン集でも、今回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。インタビュー結果をもとに以下の 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した (図 1)。

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

D : 50.0, 100.0mm

加えて、5 種類の幅 (W) と 2 種類の距離 (D) の長さをもと

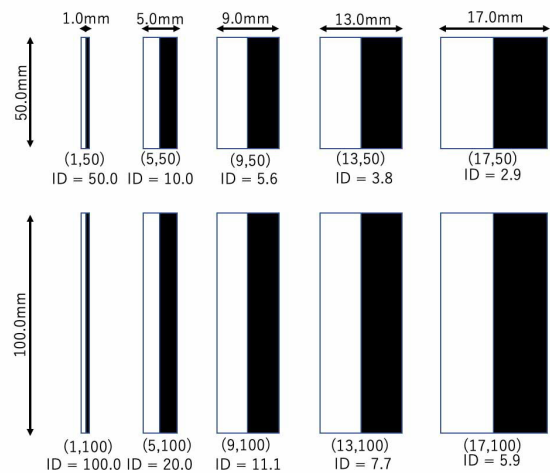


図 1 5 種類の幅 (W) と 2 種類の距離 (D) の長さの組み合わせから 10 種類の直線パターンとその難易度 (ID) 文献 [3] より

に、以下の式から 10 種類の直線パターンの難易度 (ID) を計測した。

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

4. 実験 1 : 初心者と熟練者との違い

4.1 参加者とタスク

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、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。

彼らは 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 2A)。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 2B 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、システムはピ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。

4.2 結果

4.2.1 裁断圧力の差

初心者と熟練者が紙を裁断したときの圧力の差を観察した。全てのパターンに対する初心者の平均圧力は 443.3 g (SD=26.3)、熟練者の平均圧力は 294.2 g (SD=15.7) だった。

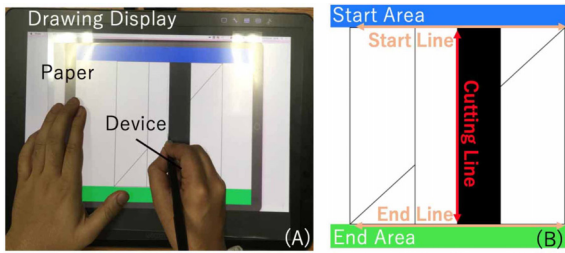


図 2 利用者はペンタブレット上にパターンが印刷された紙を切る (A). システムは Cutting Line を裁断しているときの時間を計測する (B). 文献 [3] より

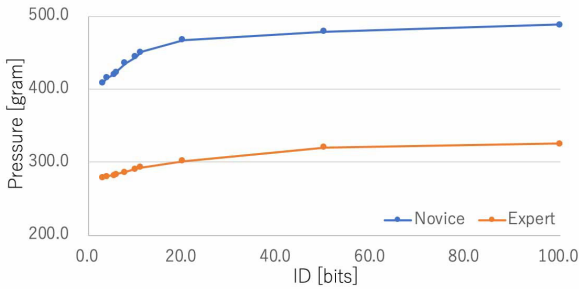


図 3 初心者と熟練者が裁断したときの ID 毎の平均圧力

た. 初心者は熟練者より 1.5 倍高い圧力で切った. 図 3 は初心者と熟練者が裁断した各パターンの裁断圧力であり, 横軸は ID, 縦軸は裁断圧力を示す. 初心者は ID の増加に伴って裁断圧力も増加するように切っていた. 一方で, 熟練者の裁断圧力は初心者ほど ID に対して変化しなかった.

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. 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.

実験後に, 我々は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, 初心者は弱すぎる圧力で紙を切った場合, 刃が紙を貫通しないためうまく裁断できないことを認識しており, それを回避するために強い圧力を加えていたことが分かった. 加えて, ID が増加するほど難しいと感じており, より確実にタスクを完了できるように裁断圧力が増加していたことが分かった. 一方で, 熟練者たちは全ての部位で裁断圧力を一定にすることに注意していた. また, 強すぎる裁断圧力の場合にもナイフでの操舵が困難になることを挙げていた. その結果, 全てのパターンでの裁断圧力を同程度に制御した.

4.2.2 裁断時間の差

初心者と熟練者が紙を裁断したときの ID 毎の MT の差を観察した. 全てのパターンに対する初心者の平均 MT は 4.8 秒 (SD=0.95), 熟練者の平均 MT は 3.7 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. また, 熟練者は全てのパターンで初心者よりも速く

切った.

図 4 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 $p < 0.05$ 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. 熟練者の MT では, すべての ID で有意な差を示さなかった. また, 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. 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, 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裁断時間に有意な差を確認した.

図 5 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決定係数が $R^2 > 0.917$ 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 $R^2 > 0.952$ 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 5.6 倍, b は 1.29 倍高かった.

我々は実験終了後にインタビューをした結果, 13.0, 17.0mm 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 に有意な違いがでなかったと考える. 本実験により, 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.

4.3 実験 1 のまとめ

本実験では, 初心者と熟練者との裁断圧力, 裁断時間の差を比較した. その結果, これまでの知見の通り, 初心者は熟練者よりも高い圧力で裁断することを確認した. 初心者の平均裁断圧力は熟練者よりも 1.5 倍高い圧力で切った. また, ID が 10.0 以上のパターンでは, ID の増加に伴って MT も増加することを確認した. タスク終了後に初心者と

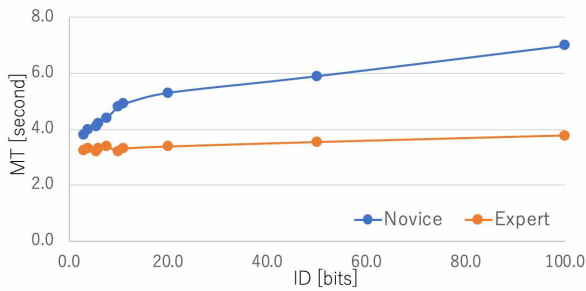


図 4 初心者と熟練者が裁断した ID 毎の裁断時間

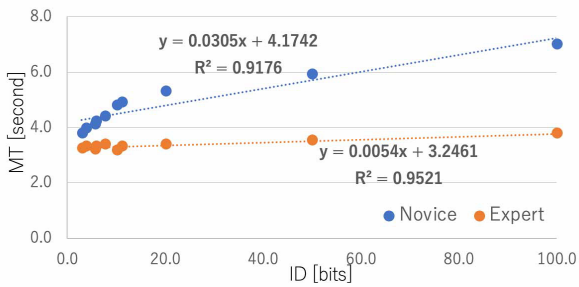


図 5 初心者と熟練者のステアリングの法則にもとづいた裁断モデル.

熟練者に裁断時の注意していた要素した点についてインタビューした結果、初心者は一般的なカッターナイフでの裁断のようにパターンを切ろうとしたため、紙を確実に切るために強い圧力で切っていたことが分かった。また、熟練者は全てのパターンで、初心者よりも素早く同程度の圧力で裁断した。今回の裁断圧力は、文献 [2] の初心者と熟練者との裁断圧力の差とも同様の結果を確認した。また、文献 [3] の初心者への難易度と裁断時間との関係についてもステアリングの法則との高い適合性があることを確認した。加えて、本実験により、初心者と熟練者による裁断モデルの係数による差を得た。

5. 裁断圧力を制御する技能支援システム

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、ワークショップでの講師が初心者に多い強すぎる圧力での裁断動作を確認した。これまでに我々は裁断圧力を制御する技能を支援するためのシステムを開発した [2]。本稿では文献 [2] と同じシステムを採用し、利用者への裁断技能を制御する技能向上を促す。

この機能は熟練者が制御する裁断圧力の範囲をもとにした初心者向けの圧力制御を体験するシステムである。本機能では、3 章で述べたナイフデバイスの感圧機能から利用者の筆圧を計測し、予め設定した熟練者による裁断圧力の範囲との差をリアルタイムに評価することでペンタブレットのディスプレイが裁断圧力の結果を色と音で示す (図 6)。本機能では、利用者の加える圧力が 250g 未満の場合、スクリーンでは圧力の強さに応じて白から緑色へ徐々に変化を示す。次に 250g から 330 未満の場合、スクリーンは緑

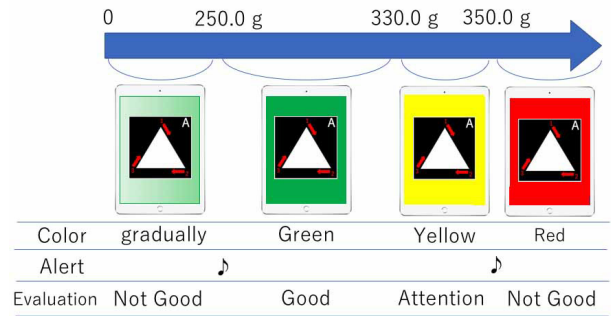


図 6 利用者と熟練者の圧力の差に応じて色と音により裁断圧力を評価する。文献 [2] より

色を表示し、圧力が 330g から 350g 未満では熟練者の圧力範囲内ではあるが、加圧気味であることを注意するためにスクリーンは黄色に変化する。最後に 350g 以上では赤色を示す。カラーデザインでは緑色は肯定を示し、黄色は注意、赤色は警戒を意味する。加えて、圧力が 250g と 350g のときに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。利用者の圧力が強くなりすぎる手前の段階から注意を示すために、350g よりも低い 330g までを肯定の範囲とし、利用者の圧力が強くなりすぎないように 330g と 350g までの 2 段階で圧力の状態を示す。加えて、330g までの圧力の状態はスクリーンを通じて視覚から、350g を超える場合は視覚に加えてスピーカーによる聴覚から圧力が強すぎるという評価を表示する。

6. パターン化による絵の難易度の評価

6.1 裁断する領域が持つ幅と距離からなる ID

切り絵の裁断する領域は先述の直線パターンのように単純な形状以外にも様々な形状がある。本システムではデザインの境界線の輪郭座標を抽出し、各ターゲットの幅と距離を計測する。ターゲットの距離 (D) は各座標間の距離 (d) の合計とし、以下の式で表す。

$$d = \sqrt{(x_k - x_{k+1})^2 + (y_k - y_{k+1})^2} \quad (1)$$

$$D = \sum_{k=1}^n d_{k-1} \quad (2)$$

次に、ターゲットの幅 (W) はターゲットとなる境界線上の座標と周囲にある他の座標間との長さをもとに以下の手順で決定する。

- (1) ターゲットを含む裁断領域以外にある直近座標との長さ
- (2) ターゲット以外の裁断領域内にある直近座標との長さ 1 または 2 での長さが 6.5mm 以下の場合、短い方を座標間の幅 (w) とする。また、1 と 2 の長さが共に 6.5mm より長い場合、座標間の w を 6.5mm とする。この条件についての詳細は後述する。そして、ターゲットの幅は座標間の

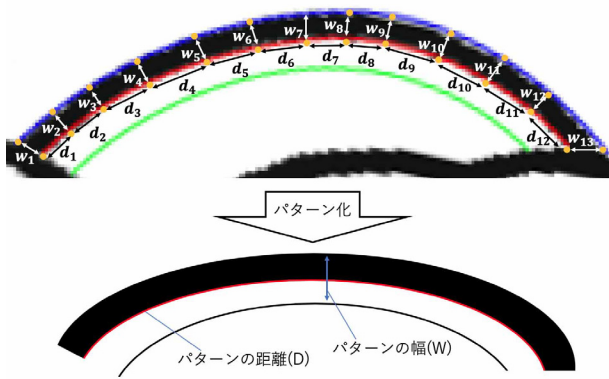


図 7 各裁断する線の ID のための d と w の例

幅の 2 倍の平均値とする。

$$W = 2 \times \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k \quad (3)$$

上記の条件が示す幅は対象とする線から片側の幅の長さを示すため、ターゲットの W は 2 倍の幅の長さとなる。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。

$$ID = \frac{D}{W} \quad (4)$$

本章では、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の長さからパターン化することで ID を求める (図 7)。図 7 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 0.2mm ずつ密接している。

6.2 簡単な難易度における幅の制限について

本節では、W を決定する式の条件である「6.5mm」について述べる。絵のデザインによって裁断する領域のすぐ近くに他の領域がないことは珍しくない。しかし、先述の W を決定する式では、w が 100.0mm 等となった場合 ID が著しく低下することが想定される。5 章にて、我々は直線パターンにおける幅と距離が与える難易度の影響について調査した。その結果、難しい幅 (W=1.0-9.0mm) 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, 17.0mm) では裁断時間に有意な差を示さなかった。加えて、これらの幅を切ったときの実験参加者たちの感想として、13.0mm と 17.0mm のパターンは十分に幅が広いことを確認した。以上の結果をもとに、本研究では ID に対し 13.0mm 以上の幅は全て同じ難易度とする。これにより、絵のデザインにより裁断する領域のすぐ近くに他の切る領域がない場合に ID が著しく低下する問題を防ぐ。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 13.0mm と制限とする場合の w は半分の 6.5mm である。そのため、先述のターゲットの

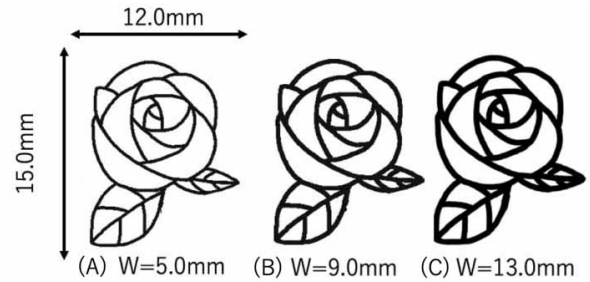


図 8 5 段階の線で描かれた 3 種類の絵

W [mm]	ID [bits]									Average	SD
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90		
5.0	0	6	43	8	10	4	5	3	1	33.8	16.1
9.0	56	16	6	2	0	0	0	0	0	9.4	6.4
13.0	66	12	2	0	0	0	0	0	0	7.4	5.1

図 9 絵の各裁断する線が持つ ID の度数分布

幅 (W) を決定する条件では座標間の長さ (w) も 6.5mm を制限としている。

6.3 絵の難易度と分布

我々は 3 章で初心者向けの難易度として挙げた幅 (5, 9, 13mm) の 3 種類の太さからなる絵をデザインした (図 8)。図 9 は各絵が持つ裁断する線の ID の度数分布と絵の各裁断する線の平均 ID を示す。絵を構成する幅が狭くなるほど平均 ID は増加する。また、ID の度数分布でも、細い幅の絵ほど集中する ID は高くなった。これらの結果から、今回の図 8 の難易度は一意の値ではないが、幅が狭い線の絵ほど ID は低くなる傾向があることを確認した。

7. フロー状態を評価するためのアンケートの作成

フロー理論とは Csikszentmihalyi が提唱したインタビュア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 らはフロー状態を測定する尺度 Flow State Scale(FSS) を作成した。本章では、「裁断圧力を制御する技能」を技能レベル、「練習効果の高い難易度」を課題レベルと仮定し、切り絵の制作段階におけるフローの評価について取り組む。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。また、これらのアンケート項目を日本語訳して利用した研究では体育授業 [20]、陸上競技選手のフロー状態 [21] がある。これらの各日本語版 FSS と同様に初心者の切り絵創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。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創作すること
 - 技能の対象はナイフで紙を切ること
 - 課題とは直前に創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. 実験 2：技能と難易度との組み合わせによる技能向上の差

8.1 参加者とタスク

実験参加者は 40 名の初心者 (男性 28 名, 女性 12 名, 平均年齢 29.2 歳, SD = 5.50) であり, これまで切り絵の創作経験はない。また, 彼らは全員が切り絵の創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 4 つのグループに分かれて以下の 4 つのタスクを行う。

Step 1 各グループは図 8 の (A) もしくは (C) を 5 回ずつ切る。

Step 2 各グループは圧力提示システムの有無に分かれて同じ絵 (図 8(B)) で練習する。

Step 3 全てのグループは Step 1 と同じ行程を繰り返す。

Step 4 全てのグループは Step 3 での制作について切り絵 FSS のアンケートに回答する。

Gr 1 は Step 1 と Step 3 では図 8A を繰り返し切り, Step 2 では, 5 章で述べた圧力提示機能とナイフデバイスを使用して図 8B のデザインで切り絵を制作する。Gr 2 は Step 1 と Step 3 では図 8C で切り絵をし, Step 2 では Gr1 と同じく圧力提示機能を使ってを切る。Gr 3 の Step 1 と Step 3 は Gr1 と同じく図 8A を切り, Step 2 では 5 章で述べた圧力提示機能を非表示にした状態で制作する。最後に Gr4 は Step 1 と Step 3 では Gr2 と同じ図 8C を切り, Step 2 では Gr3 と同じくシステムを非表示にして制作する。

8.2 結果

8.2.1 裁断圧力の変化

図 10 は Step 1 と Step 3 との各グループによる平均圧力の変化を示す。加えて, 図 11 は Step 1 と Step 3 での ID 毎の裁断圧力の変化を示す。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, 圧力提示機能を利用した Gr1 は 70.2%, Gr2 は 75.9% に減少した, しかし, 圧力提示機能を非表示にした Gr3 は 95.7%, Gr4 は 98.0% に留まった。また, 全てのグループで難易度の増加に伴って圧力も上昇することを確認した。

4 章と同様に Step 1 と Step 3 の平均裁断圧力に対し Brunner-Munzel 検定による評価を行った。その結果, $p <$

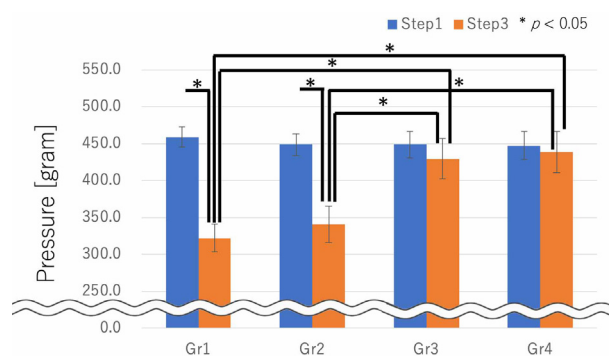


図 10 Step 1 と Step 3 での平均裁断圧力の変化

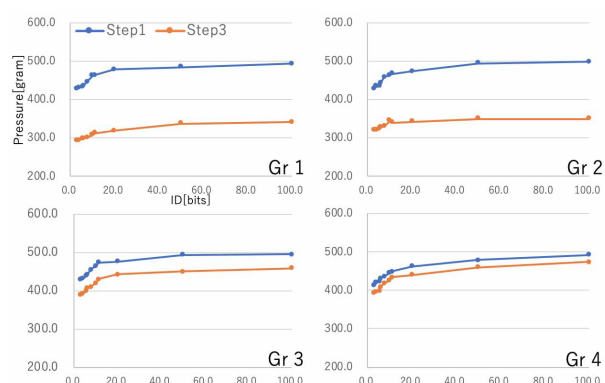


図 11 難易度 (ID) 毎の裁断圧力の変化

0.05 において Gr1 と Gr2 の裁断圧力の変化に有意な低下を示した。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 $p < 0.05$ において有意に低い圧力であることを示した。

8.2.2 もとの線と裁断した軌跡との誤差

Step 1 と Step 3 で裁断する線と実験参加者が裁断した軌跡との距離を比較する。裁断する線は図 8 の白と黒の境界の輪郭部分の座標から, 切った線はシステムにより座標を取得する。裁断した線の座標と最寄りの対応するもとの切る線の座標との距離を計測した。もとの裁断するための線と全く同じように裁断した場合, もとの裁断するための線と裁断した線は一致するため差は限りなく 0 に近づく。切った線の座標に対応するもとの切る線の最寄り座標との距離から誤差を評価する

図 12 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裁断誤差を示す。縦軸は 0.2mm 毎の差の相対度数と累積度数を示す。その結果, Gr1 と Gr2 は平均誤差が最も減少するように切った。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。

8.2.3 裁断時間の変化

図 13 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

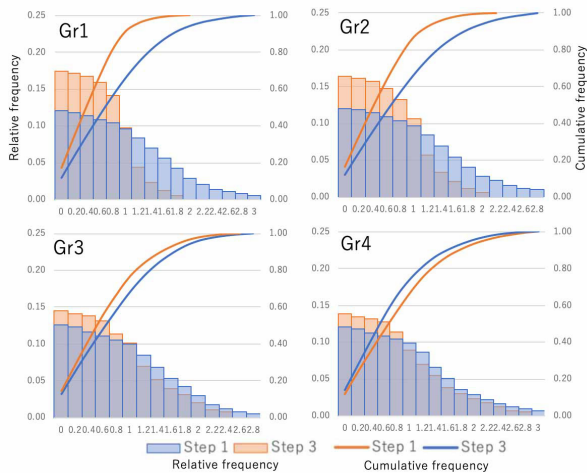


図 12 各グループが図 1 を切ったときのものとの線と裁断した線との差の相対度数。

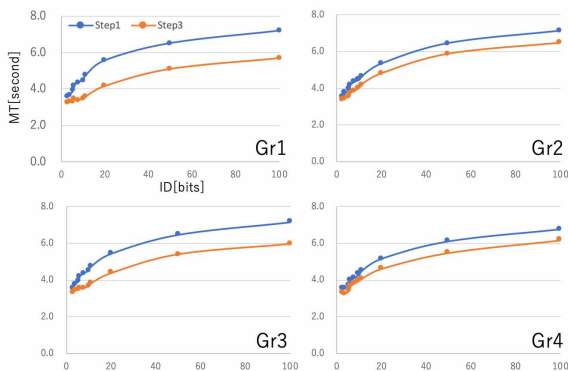


図 13 各グループの ID 毎の裁断時間の変化

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 80.4% と他のグループと比べて最も減少した。Gr2 は 90.6%，Gr3 は 84.3%，Gr4 は 90.9% に減少した。第 4 章と同様に Step 1 と Step 3 との平均 MT に対し Anderson-Darling 検定による評価を行った。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低下を示した。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 $p < 0.05$ において有意に低い圧力であることを示した。

8.2.4 裁断時間と難易度によるモデルの変化

図 14 は各グループの ID と MT による裁断モデル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“b”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 4 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有意に減少した。一方で、Gr4 ではどちらの要素

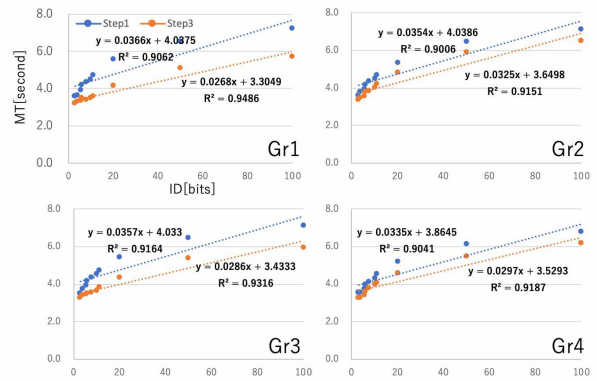


図 14 各グループの裁断モデルの変化

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。同様に、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。

8.2.5 切り絵 FSS のアンケート分析

Step 1 と Step 3 で Gr1 と Gr3 は幅が 9.0mm で構成された平均 ID が 33.8 の絵を切り、Gr2 と Gr4 は幅 13.0mm、平均 ID が 7.4 の絵を切った。本実験の Step 2 で平均 ID が 9.4 の絵で切り絵を制作したときの取り組みに対し切り絵 FSS の回答の差を因子分析から比較する。日本語版 FSS をもとに作成した切り絵 FSS を用いて、切り絵創作時のフロー構造を明らかに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行程に則って、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%(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 1)。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 15 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、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かった。第 2 因子「取り組みへの集中」と第 3 因子「時間間隔の変化」でも同様に Gr1 が最も高い評価

表 1 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. 私は創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創作ができた。	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。	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. 私は切り絵の創作の中で何をしたいことが分かった。	0.57	0.19	0.03
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。	0.57	0.08	0.05
4. 私は切り絵の創作で順調に進んでいることが分かった。	0.57	0.04	-0.04
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。	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. 私は創作をスムーズに取り組んでいた。	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. 私は創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. 創作中、その過程に関係なく創作に没頭していた。	0.05	0.79	-0.06
28. 自分の技能に見合った課題を取り組んだ。	-0.11	0.75	0.03
9. 私は切り絵の創作を楽しんだ。	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. 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。	0.04	0.73	0.05
36. 切り絵の創作はやりがいがあった。	0.01	0.68	0.02
32. 私の自身の作業に集中した。	0.03	0.66	-0.10
29. 自分は無我夢中に切り絵創作を行った。	0.05	0.60	0.12
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。	0.05	0.06	0.74
26. 時間が早く過ぎるように感じていた。	0.07	0.07	0.64
17. 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. 私は創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
	—	—	—
α係数(信頼性)	0.93	0.91	0.87

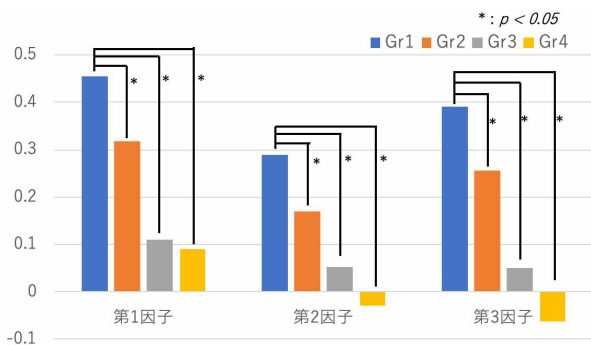


図 15 各グループでの因子得点の差

だった。Gr2, Gr3 と Gr4 との間に有意差はなかった。

8.3 実験 2 のまとめ

本実験の目的は、技能と難度のバランスの組み合わせを利用した技能向上である。各グループの Step 1 と Step 3 との裁断圧力及び裁断時間の変化を比較することで、制作のための裁断技能の向上を評価した。Step 4 では、Step 3 での制作時の心理状態について切り絵 FSS を利用することで評価した。その結果、Gr1 は Step 1 と Step 3 での裁断圧力の変化は第 4 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、裁断圧力を制御して切った Gr 1 と Gr 2 は線に沿ってナイフを操舵して切ったことを確認した。加えて、ID 毎の MT の減少も他のグループより変化量が大きかった。Step 4 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

いフロー体験を経験した。一方で、Gr2 では Gr1 と同じく圧力提示機能を利用し、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。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バランスが不均等であったことから Gr1 ほどの因子得点でなかったと考える。同様に、圧力提示機能を利用しなかった Gr3 では第 4 章と同様に裁断圧力を制御する技能の変化は弱く、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 4Step 5 での切り絵 FSS の結果も Gr2 と同様に Gr1 と比べて因子得点について有意な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。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。

9. 結論と考察

本稿の目的は、初心者技能と制作物の難易度との組み合わせによる技能向上の差の評価である。これまでに我々は切り絵の制作技能の一つである裁断圧力に着目した調査 [2] と、裁断する直線状のパターンが持つ幅と距離から難易度の定量化に着目した調査 [3], [4] をしている。本稿ではこれらの調査を組み合わせることで技能と難易度とのバランスについての調査を行った。加えて、初心者向けの幅をもつ絵柄と裁断圧力を視覚化し制御の訓練をした初心者たちへの技能向上効果を調査した。また、フロー状態について定量評価するためのアンケート (FSS) をもとに切り絵の制作中の集中について評価した。その結果、圧力制御の練習を積んだ初心者たちが高い難易度の幅をもつデザインで制作したとき最も高い技能向上効果を示した。

本稿では、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、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らない。また、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を取り組む程、適切な課題レベルも変化する。しかし、より高難度で複雑な課題では点のような極端に短い線を裁断することが増えるが6章の難易度を決定する式では複雑さが増すほど正確性が低下する。本稿では、線に沿って切ることに對する難易度を対象とし、ナイフで操舵するように切るパフォーマンスモデルを調査した。極端に短い距離の場合、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るように押し当てることで僅かな距離を裁断する。そのため、裁断する経路の誤差から定められた位置に刃先を当てることや止めることが重要となり、ステアリングタスクとしての難しさよりポインティングタスクとしての難しさから求めることができると考えられる。今後の課題として、これらの課題点を取り組むことにより、初心者が練習を重ねて技能が向上した場合にも適応を可能とする。これにより、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支援を目指す。

参考文献

- [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, Vol. 59, No.11, pp.1978–1985 (2018)
- [2] Takafumi Higashi, Hideaki Kanai: Stylus Knife: Improve Cutting Skill for Paper-cutting by the Pressure Control, ACM SAC 2019, Proceedings of the ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing, pp.714–721, Limassol, Cyprus (2019)
- [3] Takafumi Higashi, Hideaki Kanai, Improve cutting skill according to skill and difficulty level, International Conference on Human-Computer Interaction, pp.247–258, Florida, USA (2019)
- [4] Takafumi Higashi, Hideaki Kanai: Impact of practice effect on each difficulty of cutting skill, ACM Nordic Conference on Human-Computer Interaction, pp.904–909, Oslo, Norway (2018)
- [5] Dixon, Daniel and Prasad, Manoj and Hammond, Tracy: iCanDraw: Using Sketch Recognition and Corrective Feedback to Assist a User in Drawing Human Faces, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.897–906, Atlanta, Georgia, USA (2010)
- [6] Cummings, D. and Vides, F. and Hammond, T.: I Don't Believe My Eyes! Geometric Sketch Recognition for a Computer Art Tutorial, Proceedings of the International Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling, pp.97–106, Goslar Germany, Germany, Eurographics Association, Anney, France (2012)
- [7] Iarussi, Emmanuel and Bousseau, Adrien and Tsandilas, Theophanis: The Drawing Assistant: Automated Drawing Guidance and Feedback from Photographs, Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.183–192, St. Andrews, Scotland, United Kingdom (2013)
- [8] Kim, Hark-Joon and Kim, Hayoung and Chae, Seungho and Seo, Jonghoon and Han, Tack-Don: AR Pen and Hand Gestures: A New Tool for Pen Drawings, CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.943–948, Paris, France (2013)
- [9] Flagg, Matthew and Rehg, James M.: Projector-guided Painting, Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp.235–244, Montreux, Switzerland (2006)
- [10] Accot, Johnny and Zhai, Shumin: Refining Fitts' Law Models for Bivariate Pointing, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.193–200, Ft. Lauderdale, Florida, USA (2003)
- [11] Accot, Johnny and Zhai, Shumin: Performance Evaluation of Input Devices in Trajectory-based Tasks: An Application of the Steering Law, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.466–472, Pittsburgh, Pennsylvania, USA (1999)
- [12] Accot, Johnny and Zhai, Shumin: Scale Effects in Steering Law Tasks, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1–8, Seattle, Washington, USA (2001)
- [13] Cao, Xiang and Zhai, Shumin: Modeling Human Performance of Pen Stroke Gestures, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1495–1504, San Jose, California, USA, (2007)
- [14] Long, Jr., A. Chris and Landay, James A. and Rowe, Lawrence A. and Michiels, Joseph: Visual Similarity of Pen Gestures, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.360–367, The Hague, The Netherlands (2000)
- [15] Shota Yamanaka, Homei Miyashita: Paper-cutting operations using scissors in Drury's law tasks, Applied Ergonomics, Vol.69, pp.32–39 (2018)
- [16] Csikszentmihalyi, Mihaly and Nakamura, Jeanne: The Concept of Flow, Flow and the Foundations of Positive Psychology: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi, pp.89–92 (2002)
- [17] Jackson, Susan and Eklund, Robert: Assessing Flow in Physical Activity: The Flow State Scale 2 and Dispositional Flow Scale 2, Journal of Sport and Exercise Psychology, Vol.24, pp.133–150 (2002)
- [18] Jackson, S.A. and Eklund, R.C.: The Flow Scales Manual, Fitness Information Technology (2004)
- [19] 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, Vol.10, pp.36–48, 134, 日本スポーツ社会学会 (2002)
- [20] 張本文昭, 川端雅人, 小橋川久: 陸上競技選手のフロー体験について—Flow State Scale を用いて, 東京電機大学理工学部紀要, Vol.22, pp.47–53, 東京電機大学理工学部紀要編集委員会 (2000)
- [21] 川端雅人, 張本文昭: 体育授業におけるフロー体験—Flow State Scale を用いて, 東京電機大学理工学部紀要, Vol.22, pp.19–27, 東京電機大学理工学部紀要編集委員会 (2000)
- [22] 小島理永, 野村照夫, 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—, Vol.4, pp.44–58, 鹿屋体育大学 (2012)
- [23] Csikszentmihalyi, M. and Csikszentmihalyi, I. and Graef, R. and Holcomb, J.H. and Hendin, J.: Beyond Boredom and Anxiety: The Experience of Play in Work and Games, The Jossey-Bass behavioral science series (1982)