

# 仮想立体上での絵付け学習を目的とした AR と力覚提示装置を利用した情報提示システム

島 治季† Haruki Shima  
曾我 真人‡ Masato Soga

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景

一般に、絵を描くと言えばキャンバスにスケッチをするのをイメージする人は多い。そのため、描画学習の分野では、人物画や風景画等、平面上にスケッチすることを想定し、それをサポートすることを目的としたものが多い。また、立体に絵付けをする場合にも、一度平面に絵を描いてからそれを立体にトレースするという手法が用いられている。しかし、平面ではなく立体に対して直接絵を描くケースも存在する。立体に絵付けをする感覚は、当然平面にスケッチをする感覚とは異なる。例えば、立体に絵付けをする際、曲面や凹凸に絵を描くことが考えられる。そのため、従来の描画学習では得られないスキルが必要となる。つまり、立体への絵付けを学習するためには、平面へのスケッチの学習支援とは別に立体への絵付けの学習支援が必要である。

学習者が必要なスキルを習得するための手法として、手法 1「熟練者に教えてもらう」、手法 2「書籍等を使って独学で学習する」の 2 つの手法を挙げる。しかし、これらの手法には問題点がある。手法 1 では、熟練者が必ず近くにいないとは限らないという問題がある。具体的には、熟練者が開講する教室に参加する必要がある、熟練者の都合に合わせる必要がある、他者に教えることのできる知識や技能を持った熟練者の数に限りがあるといった問題が挙げられる。また、手法 2 では、自らのスキルが向上したかどうか分かりづらく、モチベーションを維持しづらいといった懸念がある。

このような問題を解決するために、コンピュータを用いた、スキル学習支援システムに関する研究が多くの人によって行われてきた。それは、描画学習支援の分野でも同じである。しかし、平面へのスケッチを支援することを目的とした研究と比べると、立体への絵付けを支援することを目的とした研究は多くない。

### 1.2 研究目的

絵付けの練習をする際に、現実世界の道具を用いて練習すると、練習用のオブジェクトをいくつか用意する必要があり、場合によっては多くの費用を必要とする。また、描画学習ではモデルを用意して模写を行うことが一般的であるが、その際にモデルの絵と学習者の絵を比較することは容易ではない。

そこで、実物に絵付けをするのではなく、仮想の立体に絵付けができるシステムの構築を目的とした。仮想の立体を利用した絵付け学習支援では、やり直しが何度でもできるため、経費削減が期待される。本システムの使用例として以下の 3 つの学習方法を挙げる。

まず 1 つ目の学習方法は、手本となる実物の立体の絵を観察しながら、その絵をそのまま仮想の立体に絵付けする

方法である。このような学習方法は、絵付けの初心者には必要なことである。仮想の絵付けでは、実際の絵付けの感触を再現することは難しい。しかしながら、この方法では手本となる実物の立体の絵を様々な視点から見て認識し、仮想の立体に描き移す。このとき、実物の立体を観察する目が養われる。具体的には、実物の立体形状を認識する能力、視点の違いによる絵の見え方の変化を認識する能力、そして複数の隣り合う模様同士の位置関係や配色関係などのバランスを認識する能力が養われると考えられるため、十分意義のある学習方法であると言える。

次に 2 つ目の学習方法は、手本となる実物の立体の絵を観察しながら、その絵を一部改変して絵付けする方法である。この学習方法でも、1 つ目の学習方法と同様に様々な認識能力が養われる。さらに、学習者は実物の絵をアレンジするため、新しい絵を立体上に描いた状態を想像する力も養われる。

最後に 3 つ目の学習方法は、実物の絵とは全く別の絵を絵付けする方法である。学習者の絵が立体の曲面、凹凸でどのような見え方をするのか、学習者から見て立体の端にきた時にどのような見え方をするのかを確認することができる。例えば、花瓶や茶碗のような立体では、その表面に描いた絵すべてを一目で俯瞰することはできず、立体を回してそれぞれの視点から見ることが必要になる。そのとき、立体上の絵のある部分を正面から見ると、他の部分は周辺に見えることになり、すなわち斜めから見ることになる。このため、立体形状で絵をデザインする場合には、様々な視点から見られることを想定しながら、絵柄をバランスよく配置する必要がある。このような場合に、仮想の立体に絵付けができる環境があれば、何度でもやり直しができるため、試行錯誤を繰り返し、学習の効率を高めることが可能となる。これは、前述の 2 つ目の学習方法においても、絵の改変を行いながら、何度でも修正が可能となるため、学習の効率を高めることができるということが言える。

### 1.3 提案手法

本研究では、前述したように、仮想の立体に絵付けができるシステムの構築を目的としている。この目的を実現するために力覚提示装置を利用した。力覚提示装置は、操作者に対して、力のフィードバックを与えられるインタフェースである。力覚提示装置を用いることにより、仮想の立体に絵付けをした際に、仮想の絵筆が仮想の立体に接触した場合の力覚の変化を学習者に提示することが可能である。そのため、実際の絵付けの感触とは異なる部分も多いが、仮想空間内での絵付けでありながら、現実の立体に絵付けをしているような感触を提供することができる。本研究で使った力覚提示装置を図 1 に示す。

† 和歌山大学大学院

‡ 和歌山大学



図1 力覚提示装置

さらに、本研究では、学習者の絵付けのサポートとしてARを用いた機能を実装した。AR（拡張現実感）は、コンピュータを利用して、現実の風景に情報を重ね合わせて表示する技術である。ARを用いることにより、学習者が絵付けをした仮想の立体が現実世界でどのように見えるかを確認できる。また、実際の立体の絵を手本として絵付けをした場合に、仮想の立体と実際の立体を重ねて表示することができるため、学習者の絵と実際の絵を比較することが容易である。

本研究における提案手法は以上の2点である。

#### 1.4 先行研究

力覚提示装置を用いた描画支援システムの開発例として、Bill Baxterらは、スタイラスペンを絵筆として操作することで、仮想空間内の絵筆で仮想のキャンバスに絵を描くことのできるシステムを開発した[1]。また、Jeng-sheng Yehらは、力覚提示装置を用いて中国の絵画と書道のためのインタラクティブな描画システムを開発した[2]。これらのシステムは、立体に絵付けをするためのシステムではなく、平面にスケッチすることを目的としている。

次に、立体に絵を描くための描画支援システムの開発例を挙げる。David Johnsonらは、力覚提示装置を用いてNURBSモデルに直接ペイントできる3Dペイントシステムを開発した[3]。また、Bart Adamsらは、3Dオブジェクト用のインタラクティブなペイントシステムを開発しており、このシステムでは、統合されたサンプルベースのアプローチを使用して、3Dオブジェクトの表面とブラシの表面の形状と見た目を表現し、既存のペイントアプリケーションのパラメータ化の問題を解決している[4]。これらのシステムは、力覚提示装置を用いて立体に絵を描くという点で本システムと似ているが、ARによる表示機能がないため、本システムとは異なると考える。

Arthur D. Gregoryらは、力覚提示装置を用いてインタラクティブにポリゴンメッシュを編集およびペイントするための直感的な3Dインタフェースシステムである『inTouch』を開発した[5]。また、家室らは、接地されていないペン型のキネティックディスプレイを開発しており、これにより、学習者は触覚を感じながら仮想の立体を見たり触ったりすることができ、また、触れることができる3Dオブジェクトを作成することができる[6]。これらのシステムは直感的に3Dモデルを作成することを目的としており、描画支援のためのシステムではない。

大槻らは、現実世界の物体に直接絵を描くことを可能にする複合現実型描画システムを開発した[7]。このシステムでは、筆型対話デバイスとヘッドマウントディスプレイを用いており、実際に絵を描いているような感覚を感じさせることができる。しかしながら、このシステムは実際の立体に直接絵を描くため、本研究とはアプローチが異なる。

また、拡張現実感を用いた描画システムの開発例を挙げる。ディズニー・リサーチは、モバイル機器を通して見ると、子供たちが色を塗ったキャラクターが動き出すAR塗り絵アプリを開発した[8]。これは塗り絵アプリであるため、立体への絵付けを目的とした本システムとは異なる。

岩嶋らは、拡張現実感を用いて、立体形状に描画するための描画スキル学習支援システムを開発した[9]。このシステムでは、学習者はヘッドマウントディスプレイを装着する必要があるため、機材の重量により学習者に少なからず負担がかかってしまう。また、実物の筆で実物の立体に描画するため、仮想の立体に絵付けをする本システムとはアプローチが異なる。

## 2. システム

### 2.1 システム構成

PCにはマウス、キーボードの他に力覚提示装置とWebカメラが接続されており、学習者がこれらのインタフェースを操作するシステム構成となっている。システム構成図を図2に示す。また、図3、図4に本研究で使用したモチーフとなる実物の花瓶とそれを模して作成した3Dモデルを示す。

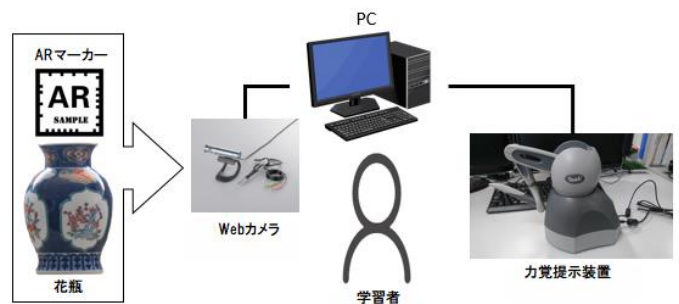


図2 システム構成図



図3 モチーフとなる花瓶

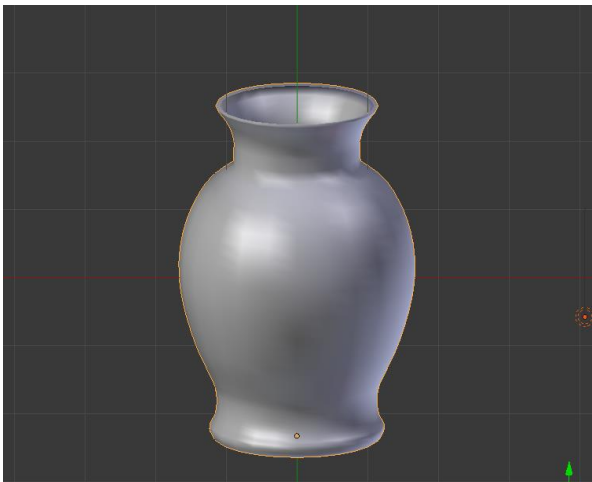


図4 作成した3Dモデル

## 2.2 システムの流れ

本システムは『絵付けモード』と『AR モード』の2つのモードで構成されている。システムが起動すると、学習者はまず絵付けモードで仮想の立体に絵付けを行う。その後、学習者の任意のタイミングでキーボードの F1 キーを押すと AR モードに遷移し、Web カメラが起動する。学習者は AR モードで自分が絵付けをした仮想の立体が現実世界でどのように見えるのかを確認する。AR モードで再びキーボードの F1 キーを押すと、Web カメラが終了し、絵付けモードに遷移するため、学習者は再び絵付けをすることができる。学習者は絵付けモードでの絵付けと AR モードでの確認を交互に繰り返しながら、仮想の立体への絵付けを行い、自分の描きたい絵に近づけていく。以上が本システムを利用した絵付け学習の大まかな流れである。本システムを利用しているときの様子を図5に示す。

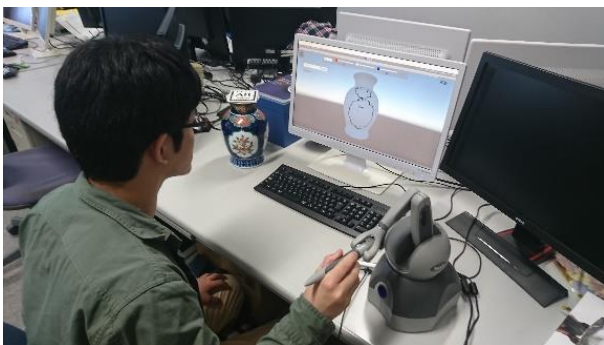


図5 本システムを利用しているときの様子

## 2.3 絵付けモード

絵付けモードでは、学習者は仮想の立体に絵付けを行う。絵付けモードの画面を図6に示す。このモードでは、力覚提示装置により仮想の絵筆を操作し、仮想の立体に絵付けをすることができる。このとき、キーボードの方向キーを押すことにより、あらかじめ決められた範囲内で仮想の立体を動かしたり回転させたりすることが可能である。移動、回転のどちらを行うかは画面の右上に表示されており、キーボードの Tab キーで切り替えることができる。また、キーボードの Z キーを押すことでズームイン、キーボードの

Y キーを押すことでズームアウトさせることも可能である。これらの機能により、学習者はより細かな描画を行ったり、様々な角度から絵付けをしたりすることができる。

さらに、学習者は画面上のスライダーを動かすことでペン先の太さや色を制御することができる。ペン先の太さは 1px から 10px までと 12px、15px のいずれかを選択することができ、デフォルトは 2px で設定している。絵筆の色はデフォルトでは黒色に設定しているが、RGB の要素ごとに 0 から 255 まで自由に調整でき、学習者が設定した色はペン先の色を見ることで確認できる。

また、力覚提示装置のペンについているボタンを押している間は絵筆を消しゴムとして使うことが可能である。絵筆が消しゴムになっているかどうかは仮想の絵筆の上の部分が白くなっているかどうかで確認できる。消しゴムの太さはペン先の太さと同じである。加えて、学習者が絵付けをしているときにコメントを残すことができる機能を実装した。この機能により、学習者が残したコメントが次の学習者の絵付けのアドバイスになることを期待する。テストコメントを表示している様子を図7に示す。

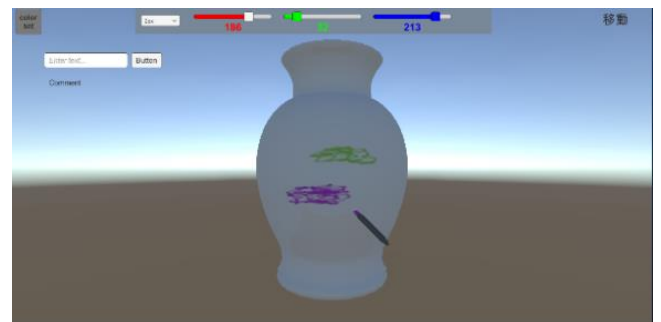


図6 絵付けモード



図7 コメント機能

## 2.4 AR モード

AR モードでは、学習者は仮想の立体が現実世界でどのように見えるのかを確認することができる。AR モードの画面を図8に示す。

AR マーカーを実物の花瓶の上に置くことで、学習者が絵付けをした仮想の立体を現実の立体に重ねて表示することができる。また、キーボード入力により仮想の立体を半透明にすることができ、これにより学習者の絵と実物の絵を容易に比較することができる。仮想の立体を半透明化した様子を図9に示す。

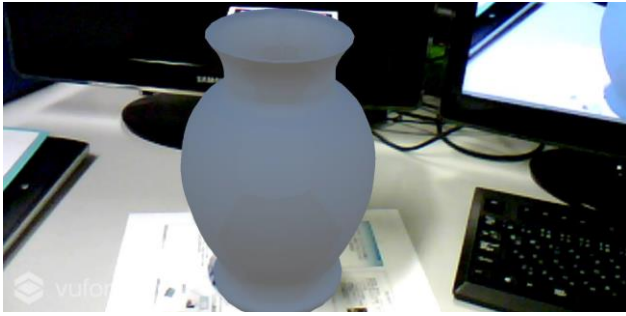


図8 AR モード



図9 半透明化

### 3. 評価実験

#### 3.1 実験概要

実験の目的は、本システムが絵付け支援システムとして適切であるかを検証することである。本実験に協力した被験者は大学生 11 名（男性：10 名、女性：1 名）であり、すべての被験者に対して、参加の同意を得た上で実験を行った。

次に、実験の流れを説明する。最初に被験者に対して本システムの操作方法を説明する。学習者にシステムの操作を確認した後、被験者に本システムを使って自由に絵付けを行ってもらった。最後に、被験者に対してアンケートを実施した。評価方法は、被験者に対して実施したアンケート調査とする。

#### 3.2 実験結果

アンケートは、主にシステムのユーザビリティ評価を目的としている。アンケートの結果は、今後のシステムの改善のために用いられる。アンケートの各質問と回答方法を以下に示す。

質問 1 絵付けをした経験はありますか

“1. ある、2. ない”のいずれかを回答する。

質問 2 実際のペンを使って描いたときと、仮想のペンを操作して描いたときとの違いは描画する際に気になりましたか

“1. 気になる、2. どちらかというと気になる、3. どちらかというと気にならない、4. 気にならない”の 4 段階の中から回答する。

質問 3 本システムを使い自分が思い描いたとおりの絵を描くことはできましたか

“1. そう思う、2. どちらかというとそう思う、3. どちらかというとそう思わない、4. そう思わない”の 4 段階の中から回答する。

質問 4 本システムで絵付けをする際、提供する機能は十分だと感じましたか

“1. 十分、2. どちらかというと十分、3. どちらかというと不十分、4. 不十分”の 4 段階の中から回答する。

質問 5 AR で実物モデルと仮想モデルを重ね表示する機能は役立ちましたか

“1. 役立つ、2. どちらかというと役立つ、3. どちらかというと役立たない、4. 役立たない”の 4 段階の中から回答する。

質問 6 本システムの操作は簡単だと思いましたか

“1. 簡単、2. どちらかというと簡単、3. 普通、4. どちらかというと難しい、5. 難しい”の 5 段階の中から回答する。

質問 7 本システムをまた使いたいと思いましたか

“1. そう思う、2. どちらかというとそう思う、3. どちらかというとそう思わない、4. そう思わない”の 4 段階の中から回答する。

質問 8 このシステムは立体に絵付けをするシステムとして適していると思いますか

“1. そう思う、2. どちらかというとそう思う、3. どちらかというとそう思わない、4. そう思わない”の 4 段階の中から回答する。

質問 9 本システムの良かった点があれば自由に記述してください

自由記述で回答する。

質問 10 本システムの悪かった点があれば自由に記述してください

自由記述で回答する。

質問 11 今回提供した機能以外に欲しい機能があれば自由に記述してください

自由記述で回答する。

質問 12 他に本システムについて感じたことがあれば自由に記述してください

自由記述で回答する。

次にアンケート結果を表 1 に示す。なお、Q1～Q8 は質問番号を示しており、A～K は 11 名の被験者を示している。



表1 アンケート結果

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
A	2	4	2	1	1	2	1	2
B	2	2	1	1	1	1	1	1
C	2	2	3	2	1	4	2	2
D	2	3	1	3	1	2	1	1
E	2	3	1	2	1	2	1	1
F	2	3	1	1	1	1	1	1
G	2	2	2	2	1	4	2	1
H	2	2	2	2	1	1	1	1
I	2	2	2	2	1	1	1	1
J	2	2	2	1	1	3	1	1
K	2	2	3	3	1	4	2	1

自由記述で回答する質問 9～質問 12 で得られた回答を以下に示す。ただし、同じ内容の記述は 1 つにまとめており、原文の意味は変えず、表現だけを分かりやすく変更している。

#### 質問 9

- ・AR での重ね表示で比較できるため、すぐにズレが分かり修正方法も明確である。
- ・AR で現実世界に自分の描画したものが出てくる。
- ・多くの機能が備わっており、絵付けの表現の幅が広がっている。
- ・物体の形状の力覚提示により、直感的に仮想物体に絵付けを行えた。
- ・実際にペンで書いているような感触があり、とても書きやすかった。
- ・全ての面に絵付けができる。

#### 質問 10

- ・長時間使用すると疲れてしまう。
- ・インタフェースが多いため、スムーズに他の動作に移るのが難しい。
- ・実際の筆と比べて摩擦がないため。滑って描きにくい。
- ・ペイントツールとしての機能を充実させるとより使いやすくなると感じた。
- ・色を変えるとき、力覚提示装置のペンを持っている手と反対の手を使いたい。
- ・立体に絵を描くという動作は、仮想上では操作が少し難しいと感じた。
- ・慣れるのに時間がかかると感じた。

#### 質問 11

- ・Undo 機能が欲しい。
- ・絵付けの対象物の種類を増やす。
- ・AR マーカーではなくオブジェクト認識を用いると、より AR 機能の性能が発揮されると思う。
- ・より多くのカラーリングを再現しやすくするために、カラーパレットや全消去ボタンがあれば便利だと思った。

- ・ペンの種類の変更
- ・ペンを一時的に消す機能
- ・対象物に合わせて、描き心地を変更できたらより楽しくなると感じた。
- ・サンプルを用意してなぞる練習ができるモード。

#### 質問 12

- ・画面を見ながらの作業が難しいため、直接実物に絵付け出来ればよいと感じた。
- ・使っていて楽しいと感じた。
- ・AR 等の新しい技術を使うと、絵付けに興味を持つ人が増えると思った。
- ・様々な物体で絵付けができるとよいと思った。
- ・少しクセがあるように感じたが、慣れれば使いやすそうにも感じた。

### 3.3 考察

アンケート結果から、本研究で重点を置いた「力覚提示装置を利用した仮想の立体への絵付け」と「仮想の立体の AR 表示」およびシステム全体の評価の 3 点についての考察を述べる。

まず、「力覚提示装置を利用した仮想の立体への絵付け」について考察する。質問 2 では、仮想の絵筆を操作することに違和感があると回答した人が多いため、実際の絵筆で絵付けをする感触は再現できていないと考えられる。しかし、質問 3 で思い通りの絵を描くことができたという回答した人が多く、学習者は仮想の絵筆をある程度思い通りに制御することができたと考えられるため、仮想の絵筆を操作することの違和感は練習せずにいきなり絵付けをしてもらったことが原因の一つなのではないかと推測する。また、質問 9 では「物体の形状の力覚提示により、直感的に仮想物体に絵付けを行えた」という意見があったため、仮想の立体に絵付けをする手段として力覚提示装置を利用したことは効果的であったと考える。同時に、「インタフェースが多いため、スムーズに他の動作に移るのが難しい」、「実際の筆と比べて摩擦がないため、滑って描きにくい」、「色を変えるとき、力覚提示装置のペンを持っている手と反対の手を使いたい」といった意見も見られたため、マウスとキーボードは操作させずに、力覚提示装置による仮想の絵筆の操作だけでペン先の太さ、色といった機能を制御できるようにする等、システムのインタフェースを吟味する必要があることが分かった。

次に、「仮想の立体の AR 表示」について考察する。質問 5 では被験者の全員が重ね表示する機能を役立つと回答した。また、質問 9 で「AR での重ね表示で比較できるため、すぐにズレが分かり、修正の方法も明確である」、質問 12 で「AR 等の新しい技術を使うと、絵付けに興味を持つ人が増えると思った」といった意見が挙げられたことから、学習者が絵付けをした仮想の立体を AR で表示できる、実物の絵と仮想の立体の絵を比較することができる機能には肯定的であると推察する。一方、質問 11 で「AR マーカーではなくオブジェクト認識を用いると、より AR 機能の性能が発揮されると思う」、質問 12 で「画面を見ながらの作業が難しいため、直接実物に絵付け出来ればよいと感じた」といった意見も見られた。前者は、本システムが AR マーカーを用いて AR を表示しているため、AR マーカーの質や光の加減、Web カメラの性能や AR マーカーとの距離等の理由により、実物に重ね表示した仮想の立体の位

置が実物からずれてしまうことが発生したからだと考える。後者は、絵付けモードと AR モードを繰り返すことで学習者の作業量がなくなったため、本システムが学習者に対してストレスを与えてしまったからではないかと考える。

また、質問 11 で「絵付けの対象物の種類を増やす」、質問 12 で「様々な物体で絵付けができるとよいと思った」といった意見が見られたが、本システムで使用する仮想の立体は手作りである。よって、新しく 3D モデルを作成すれば対象の種類は増やすことができる。しかし、3D モデルを自作することは、作成者の負担になるため、3D スキャンを用いる等の工夫が必要であると考えられる。

最後に、システム全体の評価について考察する。質問 7 ですべての被験者が「そう思う」「どちらかというと思う」のどちらかを回答しているため、本システムを用いた絵付けの学習を継続して行うことができると考える。同じように、質問 8 でもすべての被験者が「そう思う」「どちらかというと思う」のどちらかを回答していることから、本研究のアプローチは誤っていなかったと推察する。しかし、質問 10 の「立体に絵を描くという動作は、仮想上では操作が少し難しいと感じた」、質問 12 の「少しセがあるように感じたが、慣れれば使いやすそうにも感じた」といった意見から、本システムで学習をする前に、本システムの操作に慣れるために一定の練習時間を要すると考えられる。また、本システムは力覚提示装置、マウス操作、キーボード操作、Web カメラで AR を表示するといった多数のタスクが必要なため、学習者の負担になりやすいのではないかと推測する。

#### 4. まとめ

本研究では、仮想の立体に絵付けができるシステムの構築を目的とした。これを実現するための手法として、力覚提示装置を利用して仮想空間上で仮想の絵筆を操作し仮想の立体に絵付けを行うことを提案した。また、学習者の絵付けのサポートとして、学習者が絵付けをした仮想の立体を AR で表示することを提案した。

システムを開発した後、本システムが立体に絵付けをするシステムとして適切であるかを評価するために実験を行った。その結果、「力覚提示装置で仮想の絵筆を操作して絵付けをすること」と「AR で実物の立体と仮想の立体を重ね表示すること」の双方で高い評価を得た。一方で、「システムを使うと疲れてしまう」、「インタフェースが多くスムーズに他の動作に移ることが難しい」、「立体に絵付けをするという動作は仮想空間上では操作が難しい」といった意見も見られたため、本システムを利用することが学習者の負担になってしまうことが明らかになった。また、本システムで行った評価実験では、比較実験を行っていないため、システムの優位性が測れないことも事実である。しかし、多くの学習者が「継続してシステムを使うことができる」、「立体に絵付けをするシステムとして適切である」と回答したため、本研究のアプローチは誤っていないものと考えられる。アンケートの結果を踏まえ、学習者の負担を減らすためにインタフェースや機能を再検討し、他の手法との比較実験やユーザビリティ評価を行う等、実験方法を精査することで、実験結果を改善できる余地があるものとして結論付ける。

#### 5. 謝辞

本研究を行うにあたり、多くの方にご指導、ご協力を賜りました。本研究をサポートして頂いた、インタラクショナルデザイン研究室の皆様および被験者の皆様に深く感謝申し上げます。

本研究に関わって下さった皆様にこの場を借りて心より感謝し、謝辞とさせていただきます。

#### 6. 参考文献

- [1] Bill Baxter、Vincent Scheib、Ming C.Lin、Dinesh Manocha : ” DAB: Interactive Haptic Paintingwith 3D Virtual Brushes ”、the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques、pp.461-468、2001
- [2] Jeng-sheng Yeh、Ting-yu Lien、Ming Ouhyoung : ” On the effects of haptic display in brush and ink simulation for Chinese painting and calligraphy ”、10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications 2002
- [3] David Johnson、Thomas V Thompson II、Matthew Kaplan、Donald Nelson、Elaine Cohen : ” Painting Textures with a Haptic Interface ”、IEEE Virtual Reality 1999
- [4] David Johnson、Thomas V Thompson II、Matthew Kaplan、Donald Nelson、Elaine Cohen : ” Painting Textures with a Haptic Interface ”、IEEE Virtual Reality 1999
- [5] Arthur D. Gregory、Stephen A. Ehmann、Ming C. Lin : ” inTouch : interactive multiresolution modeling and 3D painting with a haptic interface ”、IEEE Virtual Reality 2000
- [6] Sho Kamuro、Kouta Minamizawa、Susumu Tachi : ” An Ungrounded Pen-shaped kinesthetic Display: Device Construction and Applications ”、IEEE World Haptics Conference 2011
- [7] Mai Otsuki、Kenji Sugihara、Asako Kimura、Fumihisa Shibata、Hideyuki Tamura : ” MAI Painting Brush: An interactive device that realizes the feeling of real painting ”、Proc. 23rd Annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology、pp.97-100(2010)
- [8] Stéphane Magnenat、Dat Tien Ngo、Fabio Zünd、Mattia Ryffel、Gioacchino Noris、Gerhard Rothlin、Alessia Marra、Maurizio Nitti、Pascal Fua、Markus Gross、Robert W. Sumner : ” Live Texturing of Augmented Reality Characters from Colored Drawings ”、IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics、pp.1201-1210(2015)
- [9] Kazuma Iwasako、Masato Soga : ” Proposition and Design of a Skill Learning Environment for Drawing onto 3D Objects Using AR ”、KES 2015: 1566-1574