

# 透視図法の学習を目的としたスケッチ学習支援システムの構築

島 治季<sup>\*1</sup>, 曾我 真人<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 和歌山大学大学院システム工学研究科

<sup>\*2</sup> 和歌山大学システム工学部

## Development of A Sketch Learning Support Environment for Learning Perspective

Haruki Shima<sup>\*1</sup>, Masato Soga<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

<sup>\*2</sup> Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

スケッチ学習を目的としたシステムの多くはアドバイスとして提示する情報を直線あるいは平面で表現しており、三次元で表示されるモチーフの立体的な構図を把握することが困難であった。この問題を解決するために、先行研究では、遠近感のある絵を描くときに用いられる透視図法に着目し、二点透視図法を用いたスケッチ学習支援システムを開発している。そこで、本研究では、二点透視図法に加えて、一点透視図法や三点透視図法を用いたスケッチ学習支援システムの開発および評価を行った。

キーワード: 透視図法, 描画支援, スケッチ学習, デジタルスケッチ, 拡張現実感

### 1. はじめに

#### 1.1 研究背景

初心者がスケッチを学習するために以下の方法が考えられる。まず1つ目が「絵画教室に通う」という方法である。しかし、この方法は教師となる熟練者が必要であり、また、教師と学習者の都合の良い時間を合わせなければならない等の問題がある。次に2つ目が「書籍等で独学する」という方法である。しかし、この方法は描画中の診断がなく、誤りに気が付けない等の問題がある。

これらを解決するために、以前から、コンピュータ内の仮想空間に図画を描くことを支援、またはスケッチ学習や絵画学習を支援するシステムが開発されてきた。曾我らは、学習者が書いた絵に対して診断を行い、誤りから改善のアドバイスを提示するシステムを開発した<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>。これらのシステムは、正解画を一意に定めるために、モチーフの位置、机の高さ、椅子の位置と高さなどのシステムを運用する環境を学習者の座高などに合わせ詳細に調整しなければならないという問題を引き起こしていた。次に、城内らによって、拡張現実感を用いたモチーフの配置と視点設定が自由なス

ケッチ学習支援システムが開発された<sup>(5)</sup>。このシステムでは、ARを用いて現実の物体であったモチーフを3DCGで作成された仮想の物体に置き換えることで、どの視点からであってもモチーフの輪郭線をコンピュータが計算できるようになった。これにより、学習者はモチーフの種類や配置、視点を任意に決定することが可能になった。しかし、学習者に初めからモチーフの輪郭線を描かせるため、画用紙上での配置やモチーフ間の位置関係といった全体の構図を意識しながらバランスの取れた絵を描くことが困難であるという問題点が挙げられた。この問題を解決するために、稲留らは、拡張現実感により任意の視点から構図を決定できるようにしつつも、全体的な構図をしながらスケッチを行えるシステムを開発した<sup>(6)</sup>。このシステムでは、構図決定、全モチーフを囲む長方形、各モチーフを囲む長方形、各モチーフの輪郭線の4つのフェーズに分割し、順番にスケッチ学習を行わせることで、学習者に段階的な描画誘導を促している。また、澤田らによってタブレット型PCを用いたデッサン学習支援システムが開発されている<sup>(7)</sup>。これは、デッサンにおけるモチーフの比率と陰影の学習に着目した対話型デッサ

ン学習支援システムである。これらのシステムでは、直線あるいは長方形による補助線を与え、これを描かせていたため、立体的な構図の把握を困難にするという問題を引き起こしていた。

この問題を解決するために、稲留らが、透視図法を学習可能な AR によるスケッチ学習支援システムを開発している<sup>(8)</sup>。このシステムでは、二点透視図法によって立体的に描画するスキルの向上を目指した。また、このシステムは、外接直方体からモチーフの輪郭線へと段階的な描画誘導を促し、必要なステップごとに学習者の描画に対して診断を行い、構図を把握するスキルや正しい手順が自然と身に付くようになっている。

## 1.2 透視図法とは

ここで、透視図法について説明する。

三次元立体物を二次元平面図に写したものを投影図という。投影図は、その描き方によっていくつかに分類されるが、最も有名な手法として平行投影と透視投影がある。平行投影は、視点が無限遠にあると仮定し、立体物上の点と視点を結ぶ投影法である。視点が無限遠にあるため、それぞれの投影線は互いに平行となる。一方、透視投影は立体物上の全ての点が、無限遠ではない決まった視点に収束すると仮定し、立体物上の点と視点を結ぶ投影法である。透視投影による描画を行う際、立体物上の線を伸ばしていったとき最終的に収束する点のことを消失点という。これは、近いものほど大きく、遠いものほど小さく見えるという人間の目で見たと同じ像を得ることができる投影法である。同じように直方体を描いた場合でも、図 1 のように 2 つの投影法のいずれの描き方で描くかによって出来上がる像は異なる。

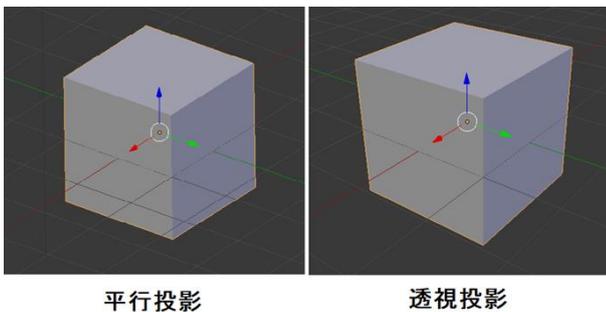


図 1 2 つの投影法

2 つの投影法のうち、人間の目の見え方に近いのは

遠近感を表現できる透視図法である。また、遠近感があり写実的な画像を作成する際には透視投影が利用されることが知られている。

透視投影によって描かれる図は、視点と消失点の設定によって、一点透視図法・二点透視図法・三点透視図法に分類される。一点透視図法は最も単純な透視図法であり、正面から見た構図に効果的であるため、室内などの正面性を重視した表現に利用される。二点透視図法は斜めから見た構図に効果的であり、マンガの背景などによく用いられている。三点透視図法は大きなものを見上げたり（アオリ）、上から見下ろす（フカン）構図に効果的であり、スケール感を強調したいときに用いられる。

## 1.3 研究目的

稲留らによる先行研究では、二点透視図法を対象としたスケッチ学習支援システムが開発されている。しかし、実際のスケッチでは二点透視図法だけでなく一点透視図法や三点透視図法も使用されている。そこで、本研究では、消失点の数によって分類される 3 つの透視図法を学習することが可能なスケッチ学習支援システムの開発および評価を目的とする。つまり、透視図法をほとんど学習したことがない、あったとしても学校で習った程度の初心者を対象に、透視図法の手順を身に付け、定められた構図について正しく描画できるスキルの向上を目指すものとする。ただし、ここでいう正しい構図とは、定めた構図との輪郭線の合致の度合いを表しており、陰影や芸術性については一切評価しないものとする。

## 2. システム概要

### 2.1 システム構成

PC にはマウス、キーボードの他にペンタブレットと Web カメラが接続されている。学習者は PC のディスプレイを見ながらペンタブレットを用いて仮想キャンバスへの描画を行う。また、Web カメラで AR マーカーを撮影することで画面上にモチーフが表示される。システム構成図を図 2 に示す。

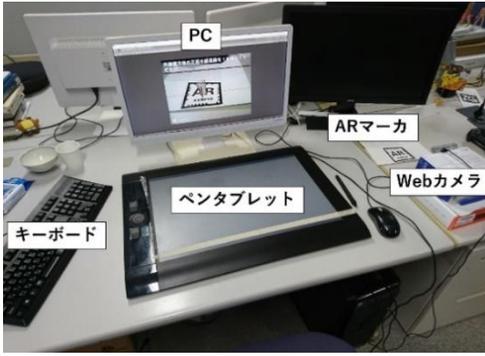


図 2 システム構成図

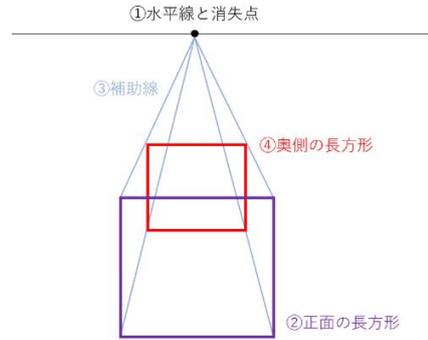


図 4 一点透視図法の作図手順

## 2.2 システム設計

### 2.2.1 システムの流れ

システムの手順を図 3 に示す。

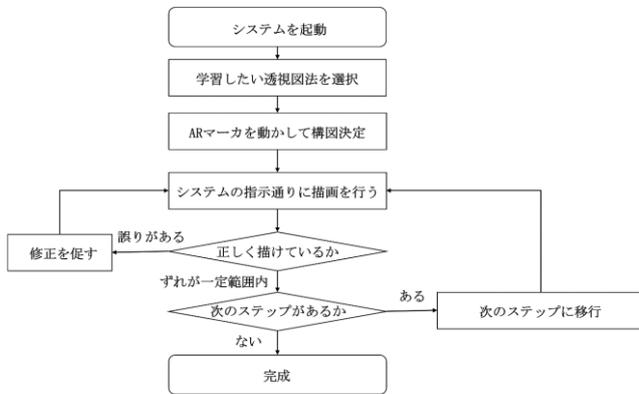


図 3 システムの手順

まず初めに学習者は 3 種類の透視図法からどの図法を学習するかを選択する。その後、学習者は学習する透視図法に対応するような構図の中で描きたい構図になるように Web カメラと AR マーカを配置し、Enter キーを押すことで構図が決定する。

学習する透視図法と描きたい構図が決定した後、学習者はシステムの指示に従い、モチーフの外接直方体と補助線を描画していく。その際に、システムがステップごとに正しく描画できているかを診断し、大きく誤っている場合は繰り返し修正を促す。正しく描けている場合は次のステップへと進み、これらをモチーフの外接直方体が完成するまで繰り返す。

### 2.2.2 診断機能

透視図法によって直方体を描く場合、図 4、図 5、図 6 のような一定の手順がある。本システムではこの手順に従い描画を行う。

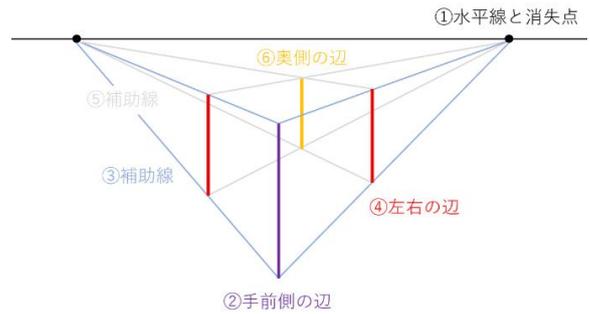


図 5 二点透視図法の作図手順

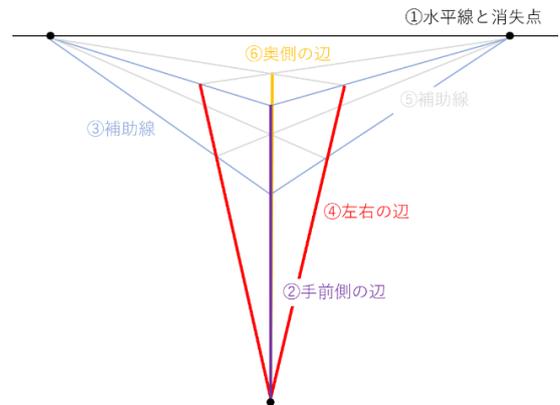


図 6 三点透視図法の作図手順

スケッチの診断は以下のステップで行われる。①水平線を引いたとき、②消失点を決めたとき、③一点透視の場合は正面の長方形、二点透視および三点透視の場合は中央の垂直線を描いたとき、④左右の垂直線を描いたとき(二点透視図法および三点透視図法の場合)、⑤直方体を描き終えたとき、⑥直方体の主要な辺を描くために必要な補助線を描いたとき。三点透視図法を学習しているときのシステムの画面を図 7、図 8 に示す。

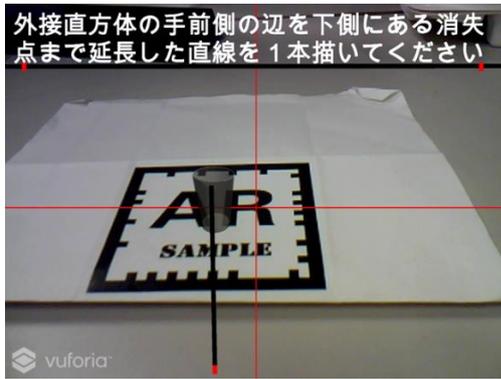


図 7 学習中のシステムの画面

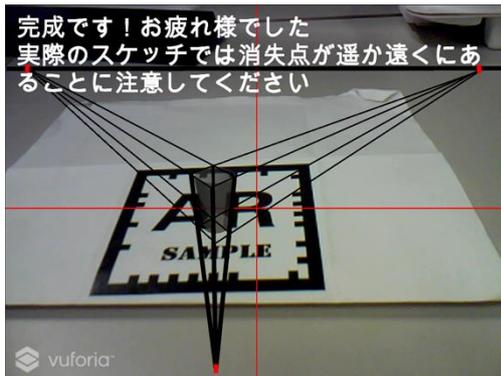


図 8 直方体を完成させた状態のシステムの画面

### 3. 評価実験

#### 3.1 実験の流れ

本研究で開発したシステムの有効性を確かめるため、被験者を募り、図 9 のような流れで評価実験を行った。



図 9 実験の流れ

なお、実験群は 8 名(男性 6 名, 女性 2 名), 統制群は 8 名(男性 6 名, 女性 2 名)で行った。また、被験者は全員 20 代である。

スケッチ学習では、一点透視図法、二点透視図法、三点透視図法のそれぞれの図法で 1 つの直方体を描画してもらう。実験群では、あらかじめ用意された構図

を使ってもらうため、AR マーカを配置してもらう必要はない。統制群では、システムが提示する情報と同等の内容が記載されたテキストを配布しスケッチ学習を行う。ただし、描画中の診断やアドバイスの提示は行われない。

#### 3.2 評価方法

実験目的の達成度を数値によって測るため、練習前スケッチと練習後スケッチの結果を比較し向上値を求める。まず、実験で使用した構図を透明のシートに写す。これを正解の構図として図 10 のように被験者のスケッチと重ね合わせ、分析画像とする。

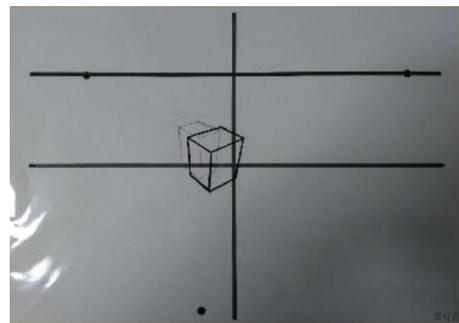


図 10 分析画像の例

分析画像を用いて、スケッチのずれの度合いを計測する。計測するのは直方体の頂点の位置である。各頂点の位置のずれを累積したものを求め、画用紙の中で正しい位置にモチーフの外接直方体を描けているかという位置のずれを調べる値として用いる。計測した頂点は図 11 の丸のついた頂点の位置である。また、一つの頂点の位置を固定したときの他の頂点の位置のずれを累積したものを求め、直方体の形状が正しく描けているかという形状のずれを調べる値として用いる。計測した頂点は図 11 の赤丸のついた頂点とそれを頂点とする赤い辺の角度を正解の構図と重ねたときの丸のついた他の頂点の位置である。

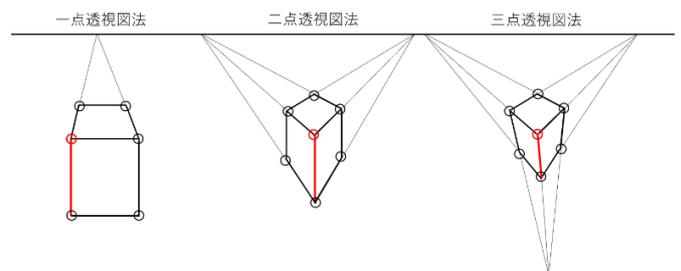


図 11 計測した頂点

練習前のずれの大きさを  $E_{pre}$ 、練習後のずれの大き

さを  $E_{post}$  とすると、向上値は  $E_{pre} - E_{post}$  で求まる。  
 向上値が正の値である場合、数値が大きい値であるほど、その被験者の上達の度合いが大きいと判断する。  
 なお、ずれの大きさは mm 単位で計測しているため、向上値も mm 単位で表現される。

### 3.3 実験の結果

#### 3.3.1 実験群の結果

実験群のずれの値と向上値を表 1、表 2、表 3 に示す。ただし、平均値は小数第 3 位を四捨五入している。  
 また、被験者 D については、一点透視図法のみ、練習前スケッチの外接直方体の描き方に誤りがあり計測不能であったため、平均には含まれていない。

表 1 実験群の実験結果(一点透視図法)

	位置のずれ			形状のずれ		
	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値
A	65	54	11	40	29	11
B	102	116	-14	113	58	55
C	119	118	1	33	81	-48
D		121			53	
E	292	75	217	55	35	20
F	52	59	-7	30	38	-8
G	178	133	45	139	141	-2
平均	134.67	92.50	42.17	68.33	63.67	4.67

表 2 実験群の実験結果(二点透視図法)

	位置のずれ			形状のずれ		
	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値
A	71	44	27	81	43	38
B	133	187	-54	98	21	77
C	155	107	48	45	43	2
D	135	109	26	49	54	-5
E	34	47	-13	47	61	-14
F	66	63	3	55	74	-19
G	148	120	28	123	73	50
平均	101.17	94.67	6.50	74.83	52.50	22.33

表 3 実験群の実験結果(三点透視図法)

	位置のずれ			形状のずれ		
	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値
A	79	57	22	55	24	31
B	225	84	141	192	26	166
C	89	117	-28	26	28	-2
D	97	100	-3	78	63	15
E	84	68	16	67	43	24
F	63	74	-11	36	23	13
G	276	135	141	203	53	150
平均	136.00	89.17	46.83	96.50	32.83	63.67

#### 3.3.2 統制群の結果

統制群のずれの値と向上値を表 4、表 5、表 6 に示す。ただし、平均値は小数第 3 位を四捨五入している。  
 また、被験者 J については、一点透視図法のみ、練習前スケッチの外接直方体の描き方に誤りがあり計測不能であったため、平均には含まれていない。

表 4 統制群の実験結果(一点透視図法)

	位置のずれ			形状のずれ		
	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値
H	49	18	31	14	22	-8
I	100	147	-47	23	125	-85
J		45			35	
K	80	58	22	36	35	1
L	38	62	-24	24	30	-6
M	49	56	-7	45	51	-6
N	104	76	28	74	32	42
平均	70.00	69.50	0.50	36.00	49.17	-10.33

表 5 統制群の実験結果(二点透視図法)

	位置のずれ			形状のずれ		
	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値	$E_{pre}$	$E_{post}$	向上値
H	82	59	23	33	51	-18

I	181	129	52	117	117	0
J	82	44	38	40	43	-3
K	122	59	63	40	73	-33
L	82	57	25	54	56	-2
M	63	50	13	84	64	20
N	158	72	86	50	41	9
平均	114.67	71.00	43.67	63.00	67.00	-4.00

表 6 統制群の実験結果(三点透視図法)

	位置のずれ			形状のずれ		
	E <sub>pre</sub>	E <sub>post</sub>	向上値	E <sub>pre</sub>	E <sub>post</sub>	向上値
H	82	64	18	34	24	10
I	121	103	18	112	96	16
J	78	61	17	40	37	3
K	79	76	3	45	57	-12
L	71	49	22	47	28	19
M	67	55	12	54	49	5
N	38	35	3	19	43	-24
平均	76.33	63.67	12.67	51.83	49.50	2.33

### 3.4 ユーザビリティ評価

#### 3.4.1 評価方法

評価実験を行った後、実験群と統制群、それぞれにアンケートを行ってもらった。これにより、システムでの学習とテキストでの学習にはどのような差があるか、診断機能は必要か、どちらがより学習に適しているか、システムの使い心地はどうか、システムやテキストが提示する情報で分かりにくいものは何か、などについてアンケートを通して判定してもらうことが目的である。なお、実験目的の達成度を調べるため、実験群と統制群にはそれぞれ異なるアンケート用紙を配布したが、以下の6つの質問事項に関しては、尋ねている内容が同一であるため、実験群と統制群で比較が行える。また、アンケートは1(そう思わない)~5(そう思う)の5段階で回答する。

- ① 1点透視図法の手順が理解できたと思う
- ② 2点透視図法の手順が理解できたと思う
- ③ 3点透視図法の手順が理解できたと思う

- ④ 立体的な構図の把握ができたと思う
- ⑤ このシステム(テキスト)を使えば、一人でも学習を継続できると思う
- ⑥ 文字による情報提示(渡したテキスト)の内容は分かりやすかったと思う

#### 3.4.2 アンケートの結果

6つの質問事項について実験群と統制群の回答結果を表7にまとめる。ただし、表中のA~Gは実験群の被験者、H~Nは統制群の被験者に対応している。

表 7 実験群と統制群のアンケート結果

	①	②	③	④	⑤	⑥
A	5	5	5	4	4	3
B	4	4	4	4	4	2
C	5	5	5	4	3	3
D	5	5	5	3	4	2
E	5	5	5	5	4	3
F	5	5	5	4	4	3
G	5	5	5	4	2	1
<b>平均</b>	<b>4.85</b>	<b>4.85</b>	<b>4.85</b>	<b>4</b>	<b>3.57</b>	<b>2.42</b>
H	4	4	3	3	2	2
I	5	5	5	5	5	5
J	4	4	4	4	3	4
K	2	4	4	2	3	4
L	5	5	5	4	4	4
M	4	4	4	4	4	3
N	4	4	3	4	3	3
<b>平均</b>	<b>4</b>	<b>4.28</b>	<b>4</b>	<b>3.71</b>	<b>3.42</b>	<b>3.57</b>

また、システムに対するユーザビリティ評価を行うため、SUS(System Usability Scale)を用いた。SUSはJohn Brookeにより1986年に開発され、ユーザビリティを測定するために最も広く利用されている質問項目である。SUSで用いられるのは以下の10個質問の項目である。

- (1) このシステムをしばしば使いたいと思う
- (2) このシステムは不必要なほど複雑であると感じた

- (3) このシステムは容易に使えると思った
- (4) このシステムを使うのに技術専門家のサポートを必要とするかもしれない
- (5) このシステムにある様々な機能はよくまとまっていると感じた
- (6) このシステムは一貫性のないところが多くあったと思った
- (7) 大抵の利用者は、このシステムの使用方法について、素早く学べるだろう
- (8) このシステムはとても扱いにくいと思った
- (9) このシステムを使いこなせる自信がある
- (10) このシステムを使い始める前に多くのことを学ぶ必要があると思う

以上の 10 項目に対し、1(全くそう思わない)~5(とてもそう思う)の 5 段階で回答する。質問項目は奇数項目がポジティブな質問、偶数項目がネガティブな質問になっている。奇数項目の場合は回答番号から 1 を引き、偶数項目の場合は 5 から回答番号を引き、それらすべてを足し合わせた合計数値を 2.5 倍することで 100 点を基準とするスコアを算出することが可能である。実験群のシステムに対するユーザビリティ評価の回答結果を表 8 に示す。ただし、平均値は小数第 3 位以下を切り捨てている。なお、表中の(1)~(10)は SUS の質問番号と対応している。

表 8 ユーザビリティ評価の回答結果

	A	B	C	D	E	F	G
(1)	4	4	4	4	4	4	2
(2)	2	1	3	2	1	2	4
(3)	3	4	4	5	5	4	4
(4)	2	2	2	4	2	2	2
(5)	3	4	4	5	5	5	3
(6)	2	2	2	2	1	1	1
(7)	3	4	4	5	4	5	4
(8)	3	2	3	1	2	2	2
(9)	2	4	3	5	4	5	3
(10)	3	2	1	2	1	1	2
得点	57.5	77.5	70	82.5	87.5	87.5	62.5

### 3.5 考察

一点透視図法、二点透視図法、三点透視図法のいずれにおいても、向上値にばらつきがあり、実験群と統制群の間に有意な差があるとは言えなかった。この理由として、今回の実験では、3つの透視図法を各1回ずつ、合計3回のスケッチ学習を行った。そのため、事後スケッチでは疲労の蓄積が作業精度の低下を招いてしまったことが考えられる。また、スキルを習得するためには反復して学習することが重要である。しかし、今回の実験では実験群、統制群ともに一点透視図法、二点透視図法、三点透視図法の学習をそれぞれ一回ずつしか行っていないため、被験者のスケッチの向上値にばらつきが生まれてしまったと考えられる。この2つの要因から、スキルの上達度があまり見られなかったのではないかと推測する。

また、アンケートの結果から、実験群のほうが統制群より透視図法の手順などの理解が深まったことが分かった。この理由として、一回一回、診断と修正を繰り返しながらステップを踏んで学習できる実験群のほうが透視図法の手順が記憶に残り、理解度が高くなったのだと考える。一方で、被験者の多くがシステムの指示やアドバイスが分かりづらいと回答した。これは、本システムが文字による情報提示しか行わなかったからであり、自由記述の回答にもあるように正解の線を表示する機能の追加が必要であることが分かった。また、システムの仕様により、複数個所誤りがあったとしても、そのうちの一つしか情報提示を行うことができないため、複数の誤りにも対応できるようにシステムを改良することが求められる。

ユーザビリティ評価の観点で見ると、実験群が回答した SUS によるアンケートの結果からスコアを算出したところ、平均が 75 点であった。SUS の平均点は 68 点であるとされているため、これはやや使いやすいと言える数値である。これは、システムに必要な操作が、ペンタブレットと付属ペンを用いて線を描くことと次のステップに移行するために Enter キーを押すことの 2 つであり、単純な作業しか行わないことが要因であると考えられる。

## 4. おわりに

本研究では、一点透視図法、二点透視図法および三点透視図法の3つの透視図法をそれぞれ学習することが可能なシステムの開発とその評価を目的とした。開発したシステムでは、モチーフの外接直方体を透視図法で描くまでの過程をいくつかのステップに分け、そのステップごとに学習者が描いた線に対して診断を行うことで、構図を把握するスキルや各透視図法の手順が身に付くようにした。

システムの有効性を確かめるため、募った被験者をシステムで学習する実験群とテキストで学習する統制群に分け、評価実験を行った。その結果、平均値では実験群が統制群を上回っていたが、検定を行ったところ、実験群と統制群の間に有意な差は見られなかった。しかし、被験者に対して行ったアンケートの結果を見ると、実験群のほうが統制群よりも透視図法に対する理解度が深まったと回答する被験者が多いことが分かった。よって、システムが提示する情報の内容を吟味し、さらに正解の線を表示するなど必要な機能を追加し、システムを改良することで、評価実験でよりよい結果が得られると結論付けた。

## 参 考 文 献

- (1) 曾我真人, 松田憲幸, 高木佐恵子, 瀧寛和, 岩城朝厚, 辻達也, 大西隆裕, 吉本富士市: “自動診断助言可能な鉛筆デッサン学習支援システム”, 情報処理学会インタラクシオン 2005, pp.27-28, 東京(2005)
- (2) 曾我真人, 松田憲幸, 瀧寛和: “デッサン描画中に描画領域に依存したアドバイスを提示するデッサン学習支援環境”, 人工知能学会論文誌, Vol.23, No.3, pp.96-104(2008)
- (3) 曾我真人, 栗山翔太, 床井浩平, 松田憲幸, 瀧寛和: “スケッチ学習における概略形状から詳細形状への描画誘導と診断助言機能の構築と学習支援効果の検証”, 第23回人工知能学会全国大会, 1K1-OS8-11(2009)
- (4) Soga,M., Kuriyama,S., Taki,H.: “Sketch Learning Environment with Diagnosis and Drawing Guidance from Rough Form to Detailed Contour Form. Trans. Edutainment 3”, 129-140 (2009)

- (5) 城内和也, 曾我真人, 瀧寛和: AR で自由に決定した視点位置でのスケッチ描画を支援する学習支援環境, 情報処理学会インタラクシオン 2010, CD-ROM (2010)
- (6) 稲留太郎, 曾我真人, 瀧寛和: “段階的な診断を行う拡張現実感を用いたスケッチ学習支援環境の構築”, 人工知能学会 2012, 3L2-R-12-10(2012)
- (7) 澤田明宏, 亀田昌志: “タブレット型 PC を用いた対話的な統合デッサン学習支援システムの開発”, 電子情報通信学会, vol.113, no.164, IMQ2013-10, pp.25-30(2013)
- (8) 稲留太郎, 曾我真人, 瀧寛和: “透視図法を学習可能なARによるスケッチ学習支援システムの開発”, 教育システム情報学会(JSiSE) 2013 年度特集研究会, pp.55-62(2013)