

# 第1章

## はじめに

絵画やデザイン等においては見たものや考えているものを正確に描く技能が重要である。この技能を獲得する一般的な方法として、対象物を見て描くことを繰り返し練習するという方法がある。見たものを正確に描けるようになれば、自分の表現したいものを自由に、形に置き換えることができるようになる。この反覆練習の過程では描かれた物を対象物と比較・評価してその結果に応じて描き方を修正しなければならないが、初学者には適切な評価ができないという問題がある。

本研究では、絵画の初学者によるスケッチ練習を支援することを目的として、手描きスケッチの独習システムを提案する。そして、このようなシステムのプロトタイプとして、直方体を3次元提示し、それを題材に初学者が描いた線描画スケッチともとの直方体を比較して描かれたスケッチの3次元要素を評価し、アドバイスを与えるシステムを構築した。また、このシステムを用いて描画の訓練を行うことで反覆練習の効果が見られるかどうかを調べる実験を行った。

## 第2章

# スケッチの描画技能

見たままの形を捉えるという観点においてスケッチの描画とはどのような過程を持った行為であるのか、スケッチを描画する技能にはどのような要素があるのか。一般的な技能習得の過程はどのようになっているのかについて以下に述べシステム構築に当たって考慮すべき点についてまとめる。

### 2.1 対象とするスケッチ

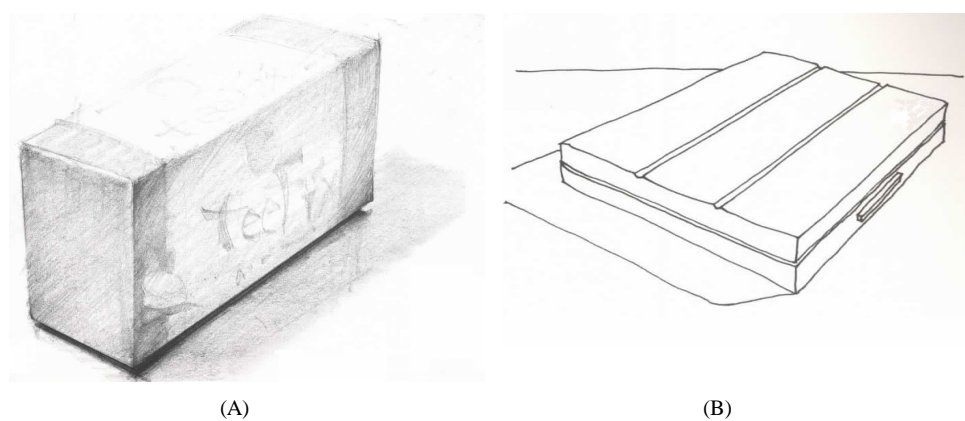


図1 スケッチ

本稿において、スケッチとは、輪郭線、稜線ないし色彩境界線によって対象の視覚的特徴を描画するものをいう。図1(A)のような対象の固有色や陰影を表現した単なる鉛筆画や木炭画、パステル画などを総称してスケッチとしている場合が少なくないが、今回(B)のような面要素を含まないものを対象とする。

また、スケッチの要素には着眼点や感性情報を表現するなど模写とは異なる部分があるが、今回は対象物の形を捉える技能を中心に議論するため、それらの要素は扱わないものとする。

## 2.2 スケッチの描画流れ

スケッチは描画対象を観察することから始まる。ここで取得した3次元イメージを紙面上の2次元に変換し、実際に鉛筆等の道具を用いて描画する。このスケッチの過程は図2のように切り分けられ、その実現には以下の3つの技能が必要である。

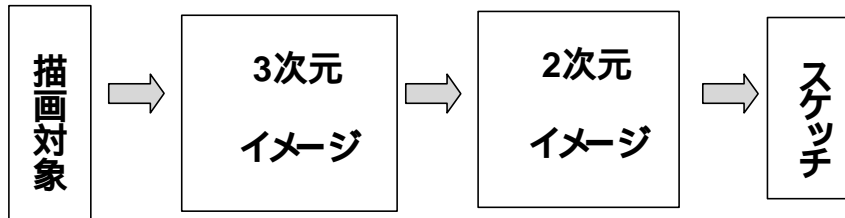


図2:描画の流れ

### 3次元イメージの取得

対象物から正しく3次元の構造を捉える技能である。対象物の形状を描く際には、上級者は対象物から基本的な形態をとらえ、その基本的な形態を利用して描画を行っていることが示唆されている[1]。

### 3次元イメージから2次元への変換

3次元構造イメージを2次元の紙面上にどのように配置し描画をしていくのか計画する技能である。一般に形を捉えて描くためには遠近透視図法に基づき描画することになる。遠近透視図法とは、ある点を視点とし物体を人間の目に映るのと同様に遠くを小さく近くを大きく書く図法である。

### 描画の実現

上記の計画に基づき、実際に道具を用い2次元の紙面上に描画する技能である。スケッチの技能として最も基礎的なものとして位置づけられ、線を引く、曲線を引く、四角形を描く、楕円を描くといった技能がここに該当する。

## 2.3 一般的なスケッチの学習法

スケッチの初心者に向けた一般的な練習形式において、次のような段階的な学習を行う[2][3]。まず直線、曲線を描くことを練習し、その直線、曲線で構成される楕円、方形といった2次元図形の描画訓練を行う。次に、基本的な立体物を描く。そして対象物を基本的な図形に分解して把握し複雑な物体の形を捉える。上記の全ての過程に関して反復練習を行い、その熟達に応じて次の段階へと進むといった流れになっている。

## 2.4 スケッチ独習における問題点

2.2で述べた技能のうち、初学者の自己評価が困難となるのは である。 に関しては2次元上の情報の比較となるため よりも自己評価が容易であると考えられる。

2.3で述べたようにスケッチの主な学習方法は反復練習によるものになる。1人で反復練習を行う際には学習者の意欲が重要になるが、学習段階に合わせた適切な教材の選択、準備といった行為が負担となり学習意欲の妨げとなっている。

## 2.5 2章のまとめ

本章ではスケッチの描画に必要な技能について一述べ、スケッチの段階的な学習方法について述べた。

この学習法を踏まえ次章ではスケッチを描画支援するシステムをどのように構成すべきかを述べる。

## 第3章

# 提案するシステム

本章では提案するシステムの構成と必要な条件について2章の内容を踏まえ述べる。またシステムを実装する方法について比較、検討を行う。

### 3.1 概要

2章で述べた内容を踏まえ、技能の自己評価を代替し個人練習を補助するシステムを提案する。提案するシステムでは描画対象として物体を3次元構造として提示し、対象を描いたスケッチを評価、結果に応じて指導を与える。

また、学習段階に応じてシステム内部に用意されている課題を提示することで学習者の負担を軽減する。さらに、評価の結果、学習の進捗度を提示することによって学習者の意欲を引き出す。

### 3.2 システムを用いた学習の流れ

提案するシステムでは下図のように処理を行う。まず内部に保持している立体構造データを3次元の構造として学習者に提示する。提示されたものを見た学習者が描いたスケッチを取得、内部に保持している立体構造データを正解としてスケッチと比較することでスケッチと描画技能を評価する。そして、評価の結果から指導を行う。

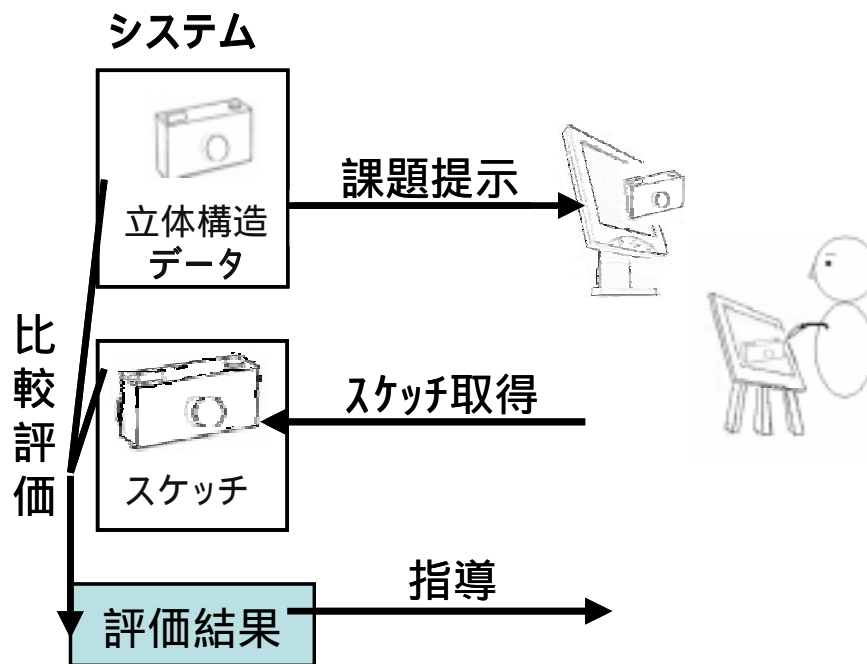


図 3: システムの概要

### 3.3 システムの要件

システムを構成する以下の各部の機能と必要な要件について説明する。

- ・ 提示部
- ・ 取得部
- ・ 比較評価部
- ・ 指導部

#### 3.3.1 提示部

学習者に対象物を提示する。課題の提示は、学習者が提示情報から 3 次元構造を知覚できるような形で行われなければならない。

立体物として描く対象を与える方法は実際の物体を使用し提示する方法や立体ディスプレイを使用し提示する方法が考えられる。後者の方法では学習者が課題を用意する手間がかからない点や、システムが提示物体の 3 次元情報を持つことによりシステムが意図した課題を与えることができる点、画像評価が容易になる点などの利点がある。欠点としては、装置がスケッチの邪魔になりうる点や、実際の 3 次元物体の知覚と異なる

可能性がある点などが考えられる。前者の方法では実空間のスケッチと同じ感覚で描けるというメリットがある。しかし、学習者が課題を用意しなければならないこと、自身で視点を決定しなければならないことなどから学習者への負荷が大きくなりやすい。

また、2次元平面に射影した図を回転アニメーションにより表示することで擬似的に3次元物体を提示する方法が考えられる。問題点として、2次元情報から3次元モデルを構築する技能がさらに必要になってしまうため、システムの主目的に合致しない可能性がある。

本研究では、段階に応じた適切な課題をシステム側で用意できることや余分な技能が必要にならないことを重視し、スケッチの題材を立体視ディスプレイを用いて提示する。

### 3.3.2 取得部

学習者が描いた画像を取得し、計算機に取り込む部分である。

技能の上達を考えると実際に紙面に鉛筆などの道具を使って描画することが望ましい。そのためには、カメラやスキャナ等の画像取得装置が必要である。

### 3.3.3 比較評価部

取り込んだ画像と提示した立体構造データを学習者の視点情報に基づき2次元に変換した画像を比較し、対象物に応じた評価を与える部分である。評価の基準は3次元構造を考慮しなければならない。

直方体を例とした場合、縦、横、奥行きの3軸の辺の比などが評価基準となる。

### 3.3.4 指導部

評価結果を提示し、指導を与える部分である。以下のような機能が考えられる。

- ・ 評価の提示

評価の数値として角度のズレの値などをそのまま提示し、学習者に対して修正の基準を与える。

- ・ 正解の提示

学習者の描いたスケッチと重ね合わせて正解を表示することで自己評価の手がかりを与える。

- ・ 訂正すべき部分の指摘

描かれたスケッチを正解に近づけるためにはどこを直すべきなのかを指摘する。

- ・ 次の課題の提示

描画技能の欠点が強調されるような課題を作成する。

## 第4章

# 実装したシステム

直方体を題材として前章の要件を踏まえたシステムを構築した。以下各部について説明する。

### 4.1 提示部

図4のような左右時分割式立体提示装置（Stereo Graphics 社製 時分割式シャッター眼鏡）を用い課題を提示した。

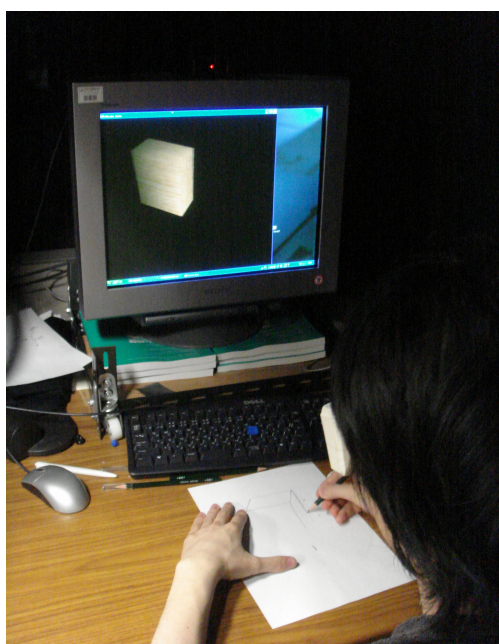


図4 直法体提示の様子

### 4.2 取得部

本実験では、3次元的な形状を捉えることに焦点を置いたため、描画材の種別は実験結果に大きな影響を与えないと考えられる。そこで被験者が鉛筆で紙に描いた画像をスキャナで取り込むことにした。図5にスケッチの取得例を示す。



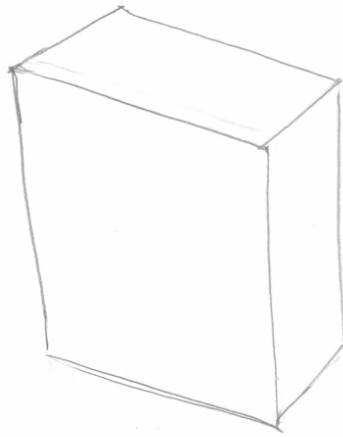


図5 スケッチ取得例

### 4.3 比較評価部

今回対象としている直方体は頂点の座標とその頂点のつながりの情報によって表現可能である．そこで，本システムでは以前に著者らが提案した手法[4][5]を用いてスケッチから頂点の情報を取得し，それを用いて評価を行った．実際の処理の流れは下図のようになる．この処理の流れに沿って各部の説明をする．

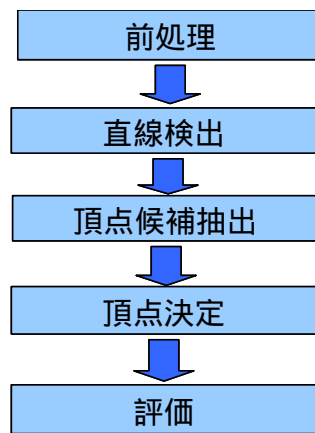


図6 比較評価部の処理の流れ

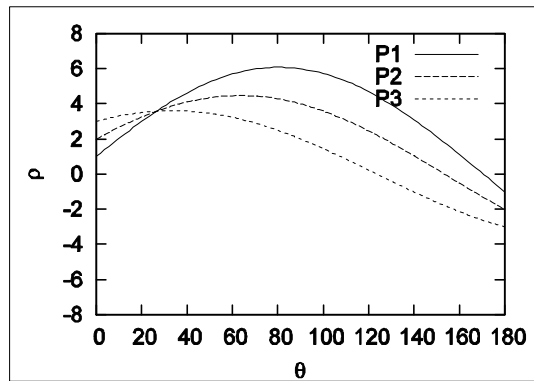
#### 4.3.1 前処理

得られたスケッチを2値化し,描かれたスケッチから描画部分を含む矩形領域を検出する.その後細線化処理を行う.

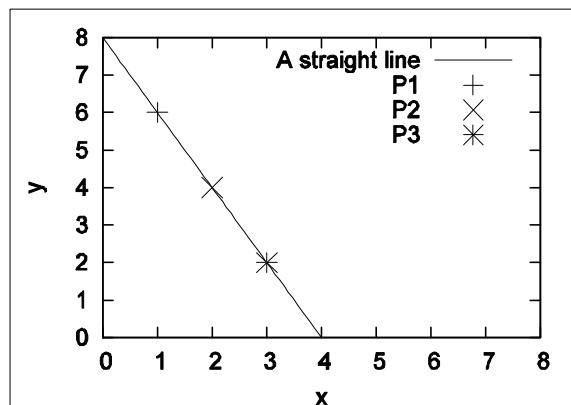
#### 4.3.2 ハフ変換による直線検出

ハフ変換を用い,各辺に対して直線の推定を行う.直線で構成された図形のスケッチから学習者の意図を加味した頂点部分を抽出するために,直線検出により得られた直線と実際に書かれた手描き直線との距離を基準に頂点を抽出する方法と,得られた直線の交点を抽出するという方法を組み合わせており,その双方に対応するための前処理である.

ハフ変換による直線抽出の手順を以下に示す.原画像平面,図7(B)の任意の点  $P_1(x_0, y_0)$  を通る直線は二つの自由パラメータ  $q, r$  を用いて  $r = x_0 \cos q + y_0 \sin q$  と表すことができる.これは  $q, r$  平面上では図7(A)のように一つの曲線になる.ここで  $r_0 = x \cos q_0 + y \sin q_0$  は現画像平面上の一つの直線を表す.すなわち,  $q, r$  の組を与えれば,一つの直線が定まることになる.原画像上の全ての点についてその点を通る直線の集合に対する曲線を描き,それらの曲線が多数交差する点を求めることにより原画像上の直線を検出することができる.なおハフ変換の問題点として,短い線分の抽出が行われにくいということが知られている.本手法では,ハフ変換後に,  $q, r$  空間上の曲線の重なりが閾値以下の点を削除したのち,  $q, r$  平面内の一定範囲の点を一本の手描き直線に対するグループとみなし,その中で  $q, r$  空間上の曲線が一番多く重なる点を求める.その点に対応する直線を手描き直線に対する直線として,原画像上に逆変換する.またここで用いた閾値は課題画像とスケッチの描かれた矩形領域のサイズから自動生成した.



(A)  $q r$  平面



(B)  $x y$  平面

図7:ハフ変換における  $x y$  平面と  $q r$  平面の関係

### 4.3.3 頂点候補検出

ハフ変換によって得られた直線から以下の点を頂点の候補とする。

線全体を基準とした点：図8のようになる。L1, L2 はハフ変換によって得られた直線である。立体図形の辺を延長した直線の交点上に頂点があるとの考えから, L1 と L2 の交点を頂点の候補とする。ただし, 交点の付近に対応する手描き直線が存在しない時は頂点の候補とみなさない。

実際の線の端点：図9のようにハフ変換によって得られた直線1本ずつに対し近傍の手描き直線を探索する。その直線との距離を端から見ていったときに点が連続して一定距離内にある部分の最初の手描き直線を頂点候補とする。

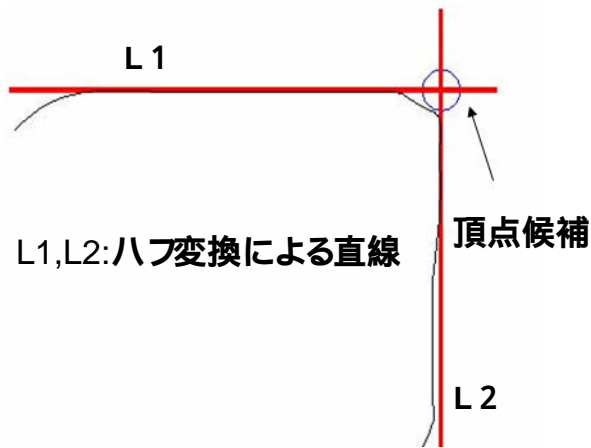


図8 線全体を基準とした頂点候補

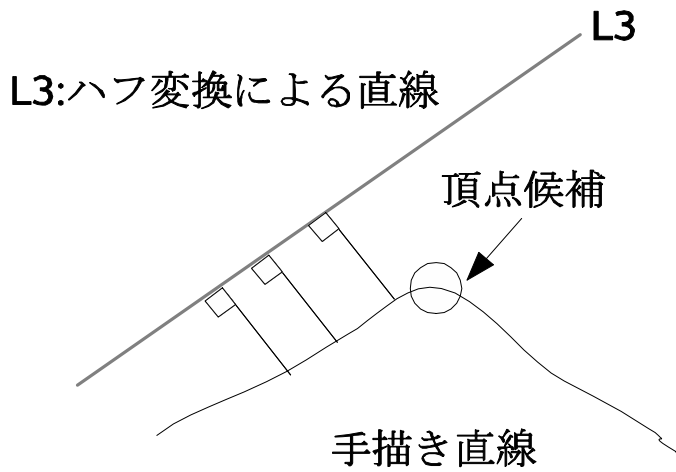


図9 手描き線を基準とした頂点候補

#### 4.3.4 頂点決定

得られた複数の頂点の候補の中から評価に用いる頂点を選択する。今回の実験における頂点の選択基準は、学習者が描いた頂点をできるだけ評価のよい方向で解釈する。そのため、正解データの形状に近い頂点の組み合わせを以下の流れに沿って選択する。

まず、一定距離  $L$  にある頂点候補点を任意のある 1 つの頂点に対する候補点のクラ

スとしてまとめる。あらかじめ分かっているクラス数以上になるように  $L$  を減少させていき、クラス数が一定以上になったところで正解データを平行移動・回転・拡大縮小を行い頂点の候補との最小二乗距離がもっとも小さくなるようにマッチングを行う。この際同じクラスから 2 つの頂点を選択しないようにする。その結果得られた正解データの頂点に最も近い候補点を評価対象の頂点とする。

#### 4.3.5 評価

直方体は 3 組の同軸方向を向いた 3 つの辺で構成されている。直方体の評価対象は 3 軸の比率と辺の角度とする。

辺の角度に関しては、マッチングした画像の回転を許しているため同軸方向を向いた 3 辺全てが同じ角度ずれているならば、全体として回転しているか軸自体が傾いている可能性がある。そのため、3 辺のうち他の 2 辺との角度また 3 辺全体の評価としてその平均角度が、マッチングした画像の対応する辺とどれだけずれているかが評価対象となる。

比率については、正解データの 3 軸の長さの比と得られた画像の長さの比の比較が困難な場合には、できるだけ実寸大で描いてもらうという指示を踏まえ正解データとの長さの差が大きい軸を検出する。

#### 4.4 指導部

評価部で計算した誤差の値が予備実験によって決定した一定の閾値を超えていた場合、比率については「どちらの方向に長すぎる、短すぎる」と提示し、角度については「どの辺の傾きに注意してください」といった提示を行った。同時にマッチングした正解データを描かれたスケッチに重ねて表示しアドバイスの補足、自己評価の補助とした。実際どのように提示されるかの例を図 10 に示す。

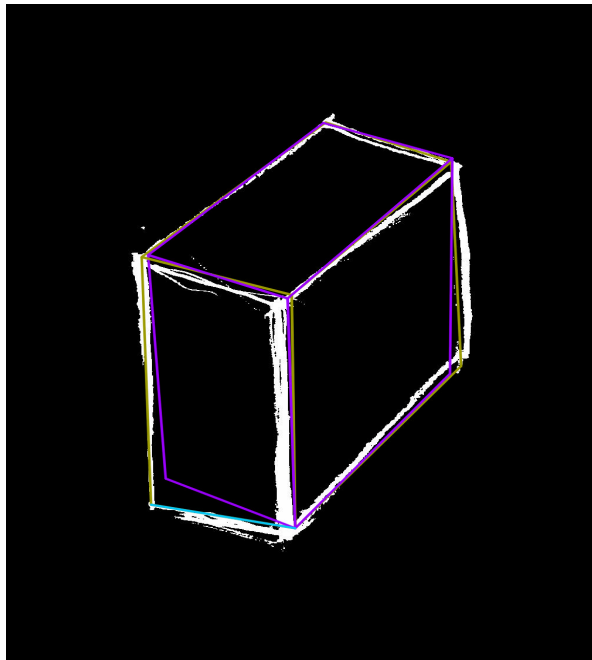


図 10 指導結果例

上図の結果の画面にあわせて“線 CB の角度に注意してください”と出力されている。角度を訂正すべき辺は強調色で提示され、実際のスケッチと正解、システム側で検出した頂点で構成される直方体を重ね合わせて提示する。なお線の番号についてはあらかじめ被験者に説明しておく。

## 第 5 章

# システムの評価実験

提案するシステムを用いることで実際に学習が可能なのか、システムを用いない場合と比較して学習効率を改善するのか、直方体を捉え描画する訓練を対象に 4 章で述べたシステムを用いて検証する。

### 5.1 実験の目的

実装したシステムにより被験者を用いた実験を行い提案するシステムの効果を調べる。また被験者にシャッター眼鏡を用いて描画することに負荷を感じるかなどいくつかの主観を述べてもらい、描画に影響が現れるのか確認する。

### 5.2 実験の評価基準

提案する学習システムの効果を計るため取得した頂点から生成された図形と正解データとを比較し、辺の角度と長さ比のずれを基準値とする。

角度のずれを評価する値は対応する辺の角度の差分その絶対値の和（以下角度値、または angle と呼ぶ）とする。

長さ比のずれの評価値は対応する辺の長さの差をマッチングした状態の正解データの辺の長さで正規化した値の絶対値の和（以下、比率値、または proportion と呼ぶ）を評価値とした。

### 5.3 実験条件

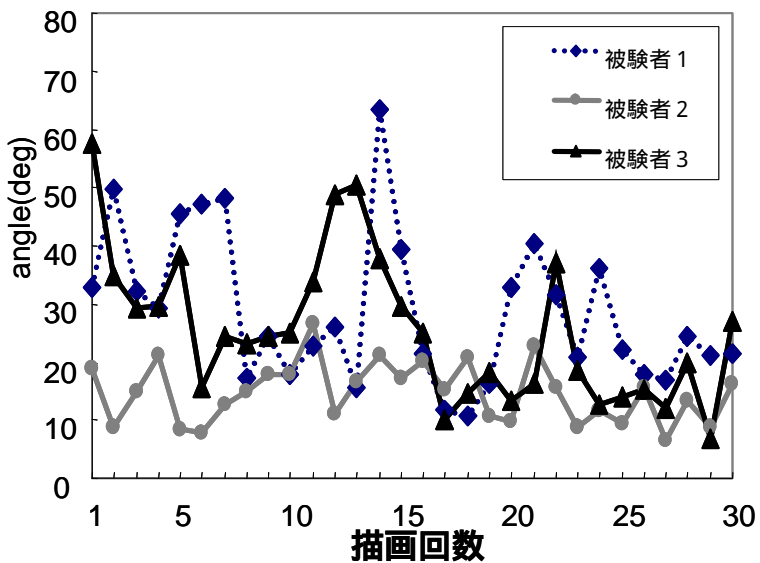
実装したシステムを用いて実験を行う。6 名の被験者を、システムを用いるグループ 3 名と用いないグループ 3 名に分けて、それぞれ反復学習を 3 日間行ってもらった。

2 種類の直方体を題材とし、1 種類ごとに 5 回の反復練習を行った。1 回の描画ごとに 7 分間、対象物が変わる際には 10 分間のインターバルをおいた。

実寸大でみたま描いてもらうよう指示を出し、5 分以内で本人が納得できたら描画を終了するように指示した。

5.4 実験結果

システムを利用したグループ



システムを利用していないグループ

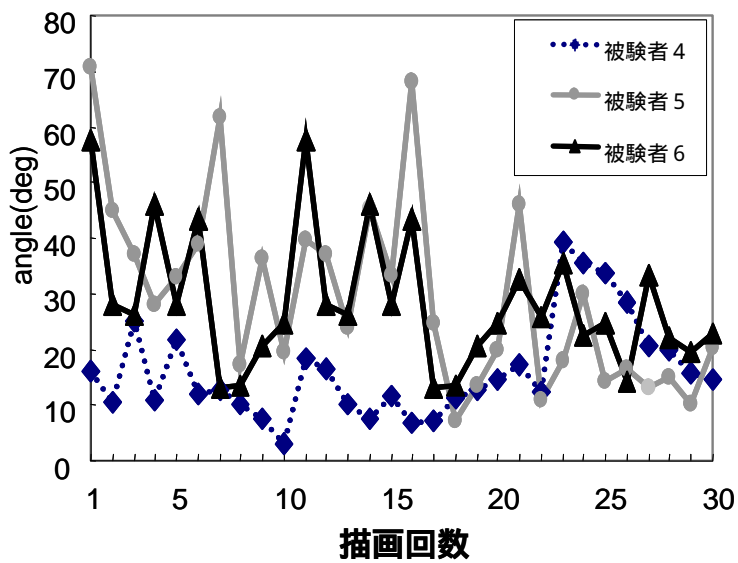


図 11 角度のずれの推移



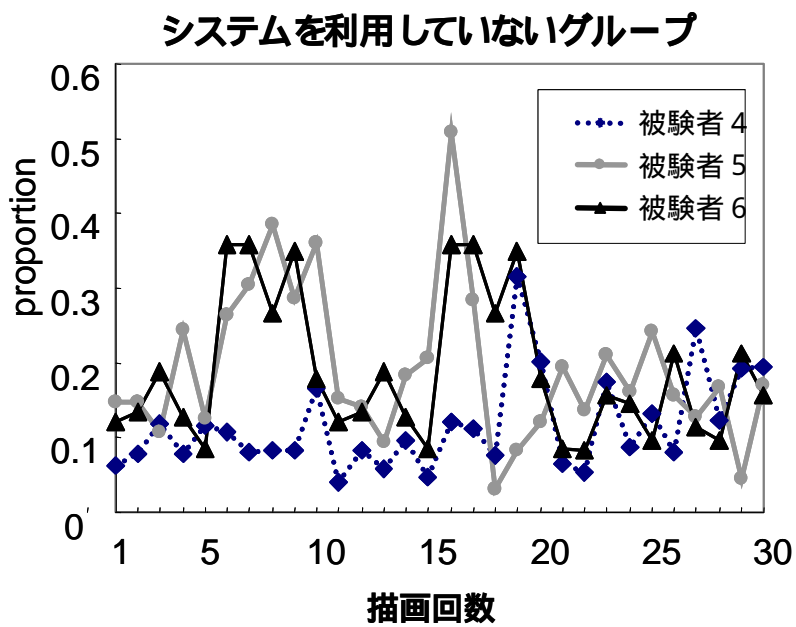
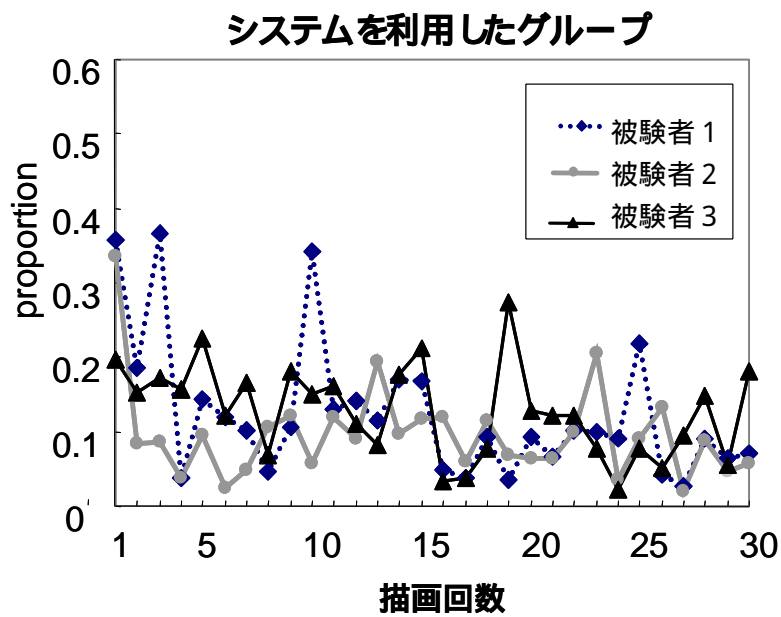
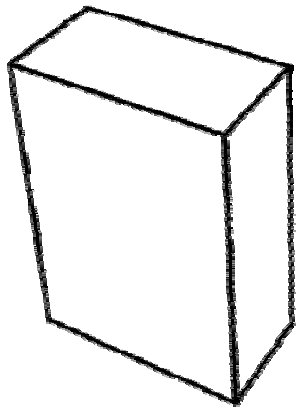
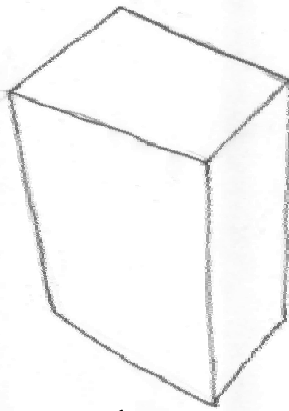


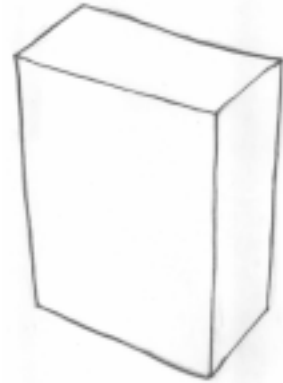
図 12 辺の長さ比のずれの推移



正解画像

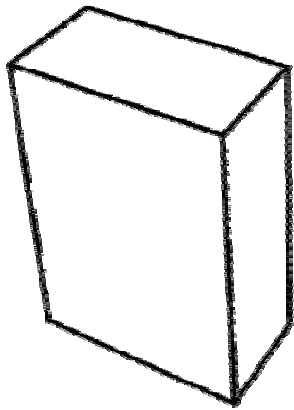


初回



25回目

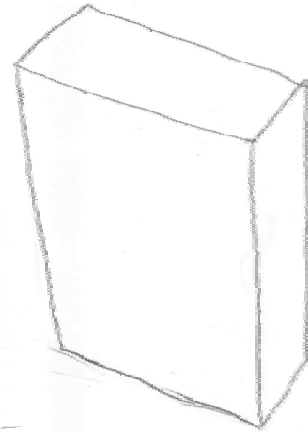
(A) 被験者 2



正解画像



初回



25回目

(B) 被験者 5

図 13 描画結果例

表 1:被験者に対するアンケート

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	被験者 5	被験者 6
質問 1	描きにくい	描きにくくはない	描きにくい	描きにくい	描きにくい	描きにくくはない
質問 2	スケッチに自信なし	スケッチに自信あり	スケッチに自信なし	スケッチに自信なし	スケッチに自信なし	スケッチに自信なし

- ・質問 1 シャッター眼鏡を用いてスケッチするのは描きにくいですか？
- ・質問 2 スケッチに自信がありますか？

## 5.5 考察

図 11 に角度の評価値に関して得られた値を示す。描画回数が進行するとともに両方のグループで減少傾向が見られた。この結果により角度値に関しては初学者でも自己評価が可能であることが示唆される。

図 12 に長さ比の評価値に関して得られた結果を示す。システムを利用したグループで減少傾向が見られ、システムを用いないグループでは減少傾向が見られなかった。この結果はアドバイスによる技能の向上を示唆している。システムを利用した被験者の描画結果、図 13 の(A)からもシステムを利用した被験者が比率値に関して上達していることがはっきりとわかる。

図 13 から双方の被験者で湾曲している線が減っており技能（描画の実現技能）の上達が確認できる。この結果は技能に関して他者の評価がなくても繰り返し練習により技能が向上することを示している。

また表 1 アンケートの結果からはシャッター眼鏡を用いての描画に多数の人間が負荷を感じていることが判明したが、実験結果からその負荷が明らかに影響しているかどうかはわからなかった。

全体として、システムを用いた被験者は角度値、比率値とも減少傾向にあることからシステムを用いた学習により描画技能向上が可能であり、特に比率に関してはシステムを用いない場合には減少傾向は見られずシステムによる学習効率の改善が示唆されている。

## 第 6 章

### まとめ

本研究では内部に課題を保持し、ユーザに三次元構造を把握させるように提示し内部の課題と比較することでアドバイスや次の課題を提示する反覆練習を念頭に置いた手描きスケッチの独習システムを提案した。

システムの有効性を検証するため、シャッター眼鏡を用いた立体視ディスプレイに直方体を提示し、被験者が描いたスケッチを解析しアドバイスを与えるプロトタイプシステムを構成した。角度と比率に対する 2 つの評価値を設けてシステムの評価実験を行い、このシステムによる独習が学習者の技能獲得を促進させる可能性を示した。

特に、比率の評価値に関しては、システムを用いずに練習したグループと比較して、システムを用いたグループに明確な習熟の効果がみられ、提案したシステムによる有効性が明らかになった。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり,多大なる御教示と御指導を戴いた電気通信大学大学院情報システム学研究科情報ネットワーク学専攻ヒューマンインターフェース学講座の出澤正徳教授,阪口豊准教授,島井博行助教,石田文彦助教,王勤助教に,深く御礼申し上げます.

また多くの激励とご意見を戴き、被験者として実験にご協力いただいたヒューマンインターフェース学講座の学生諸氏に合わせて謝意を申し上げます.

## 参考文献

- [1] 岩城朝厚,前野浩孝,六十谷伸樹,中田早苗,曾我真人,松田憲幸,高木佐恵子,瀧寛和,吉本富士市 :学習者のデッサン描画時における腕動作 視線 認識の分析, 第 19 回人工知能学会全国大会論文集, 2B1-02.
- [2] 三井田盛一郎:超デッサン教室 わかりやすい実習法 ,グラフィック社,1999.
- [3] 山田雅夫 :15 分スケッチ練習帖 基礎ドリル編 ,山海堂 2006 .
- [4] 岩田圭史, 島井博行, 阪口豊 :手描きスケッチの評価に向けた頂点情報抽出, 電気通信大学 IS シンポジウム第 14 回, pp.1-4 .
- [5] 岩田圭史, 島井博行, 阪口豊 :手書きスケッチの評価に向けた頂点情報取得法の検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 , D-12-118 ,2007.
- [6] 河合良太,西川玲,佐賀聡人 :手書きスケッチ入力フロントエンドプロセッサ :SKIT 電子情報通信学会論文誌 ,J88-D-II,5,2005
- [7] 辻井進也,田中尚澄,佐賀聡人 :描画動作同定に基づく構造的な手書き図形認識法, 電子情報通信学会論文誌,J82-D-I, 5, 1995