JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	姿勢推定を援用した実人物モデルの描画学習支援システム
Author(s)	西澤，博大
Citation	
Issue Date	2018-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/15193
Rights	
Description	Supervisor:宮田　一乗，先端科学技術研究科，修士（情報科学）

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修士論文

姿勢推定を援用した
実人物モデルの描画学習支援システム

1610143　　西澤 博大

主指導教員　宮田 一乗
審査委員主査　宮田 一乗
審査委員　小谷 一孔
鵜木 祐史
池田 心

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科［情報科学］

平成 30 年 2 月

目次

第 1 章　はじめに　1
1.1　研究背景 1
1.2　研究目的 3
1.3　本論文の構成 3
第 2 章　関連事例　4
2.1　デッサンについて 4
2.2　関連研究 6
2.2.1　人物の顔の描画支援 6
2.2.2　全身描画の学習支援 7
2.2.3　人物キャラクタの模写における絵の評価に関する研究 8
2.3　本研究の位置づけ 9
第 3 章　姿勢推定を援用した描画学習支援システム　10
3.1　システム概要 10
3.2　姿勢の推定と類似度の算出 12
3.2.1　骨格情報の導出 12
3.2.2　骨格に着目した類似度の算出 16
3.2.2.1　類似度の妥当性の調査 18
3.2.2.2　類似度の重み付けパラメータの決定 19
3.3　システムの実装 20
3.3.1　骨格重畳の環境構築 20
3.3.2　評価の提示法 21
第 4 章　実験　23
4.1　実験環境 23
4.2　予備実験 24
4.2.1　概要 25
4.2.2　結果 29
4.2.3　評価および考察 31
4.3　本実験 34
4.3.1　概要 34
4.3.2　結果 38
4.3.3　評価および考察 41

第 5 章　おわりに　52
5.1　まとめ …… 52
5.2　展望 …… 53
謝辞 …… 54
参考文献 …… 55
付録

第 1 章

はじめに

本章では，はじめに研究の背景について述べる．つづいて，本研究の目的を説明し，最後に，論文の構成について記述する．

1.1　研究背景

近年，イラスト投稿サイトや SNS の普及により，イラストを投稿する場が増えたことなども背景に，イラストを趣味とする人口も増加傾向にある[1]. また，中高生の将来なりたい職業ランキング[2]においても，上位にイラストレーターが入っており，絵に対して関心を持つ人が増えてきている．

しかし，人物デッサンの学習をしていない初心者にとって，全身のバランスがとれた絵を描くことは難しい．実物のモデルおよび，それを見て描いたバランスがとれていない例を図 1.1 に示す．

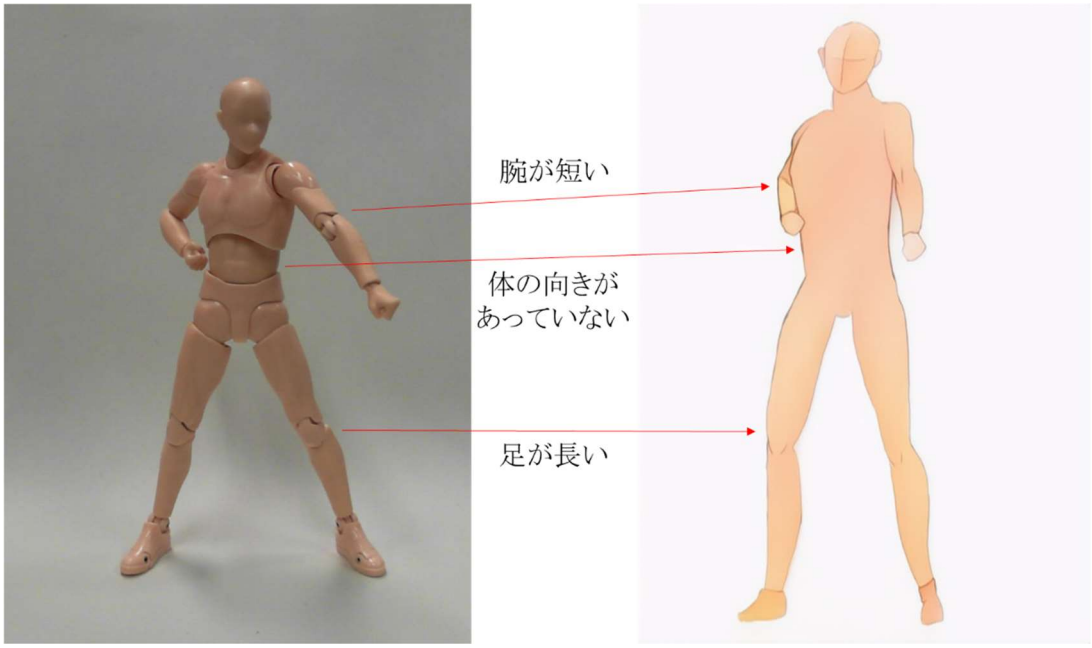


図 1.1　バランスが悪い絵の例

絵画の基礎訓練としてのデッサンは，3 次元物体（実物）を見て描くことが重要とされている[3]．実物のモデルを対象とすることで，平面物をモデルとする

よりも比率の認識や構造の理解が難しくなる．つまり，実物を見て描く練習をすることで，立体感や距離感，対象の構造などを意識して描くことに繋がる．人物デッサンにおいても同様に，人体の構造を理解して描くことが重要となる．人物画の描き方として，図 1.2 のように骨格のアタリを描く手法が様々な書籍[4]や Web ページ[5]などで紹介されていることが裏付けるように，立体的に人体を捉えるためにも，その構造である骨格を理解する必要がある．

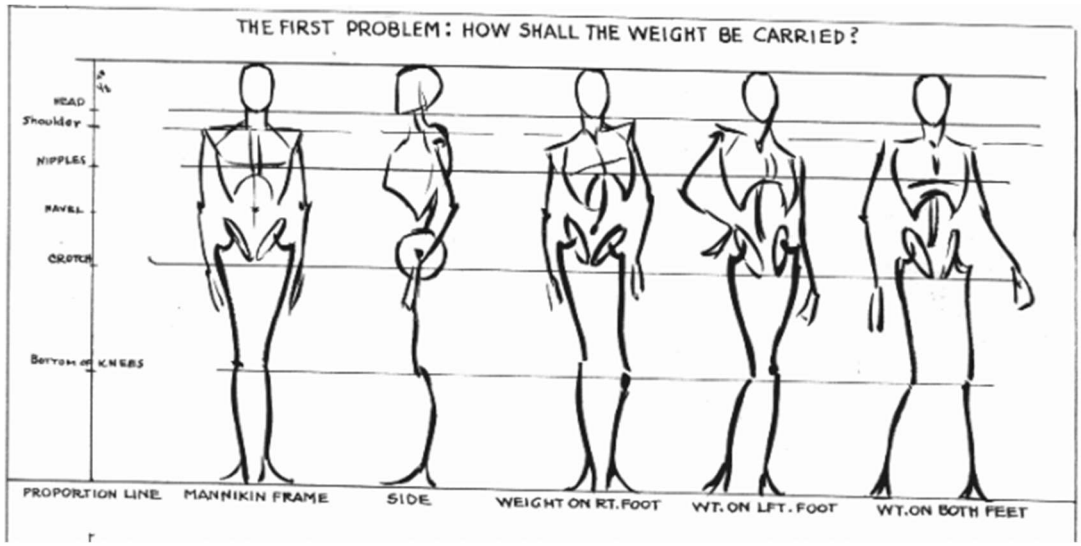


図 1.2　骨格のアタリ[3]

また，モチベーションを保つことも絵を学習するために大事な要素となる．モチベーションを保つ方法の 1 つに，他者からコメントをもらうなど，成果物に対して客観的評価を得ることが挙げられる．絵を描く初心者が独習する場合，自分の描いた絵のどこが間違っているのかが分からず困ることがある．いっぽうで，絵を上手く描くことのできない人の中には，自分の絵を他人に見せることへの抵抗がある人もいる．そのため，人の目が介入しない状態で「自身の間違っているところを気付かせる支援」をすることができれば，モチベーションの向上と絵の効率的な上達ができると考えられる．

絵の学習支援に関する研究では，次章で詳説するように様々な手法が提案されている．例えば，人の顔を描く部分に注目した学習支援が行われている[6]．この研究事例では顔を描く支援はされているが，全身の絵を描く支援は行われていない．全身の絵を描く場合において，顔がうまく描けていても体のバランスが取れていないと総合的に下手に見えてしまうことがある．

いっぽう，全身の絵を描く学習支援も行われている[7]．しかし，この研究では実物のモデルが対象ではなく，ディスプレイに表示した人物の 3D モデルを対象としており，模写に近い環境での学習支援である．

本研究では，描く対象を実物のモデルとした描画学習支援システムを提案する．従来システムでは行われていなかった実物のモデルを対象にすることで，より実践的なデッサンの学習環境を提供する．また，描いた絵を評価するシステムを構築することで，学習効率の向上も目指す．

1.2　研究目的

本研究の目的は，「バランスの取れた絵を描けない人」を対象とした人物画の学習支援である．提案するシステムでは，実物のモデルに透過ディスプレイを通して骨格を重畳し，人体構造への理解を支援する．また，描いた絵を骨格に着目して評価し，間違いに気付かせる学習支援を行う．骨格重畳や絵の評価に用いる関節座標データは，モデルや描いた絵に対する姿勢推定法を用いて抽出する．本システムを用いることで，骨格認識力の向上や絵のスキルが効率よく上達できることを示す．

1.3　本論文の構成

本論文は，全 5 章で構成する．第 2 章では，描画学習支援に関する関連研究について述べ，本研究の位置づけを明らかにする．第 3 章では，本研究で開発したシステムについて説明し，第 4 章では，本システムの検証実験の結果と考察を示す．最後に，第 5 章で本研究を総括し，今後の課題について述べる．

第 2 章

関連事例

本章では，まず本研究の支援対象であるデッサンについて述べ，次いで，これまでに行われてきた描画学習支援に関する研究について説明する．最後に，本研究の位置づけを述べる．

2.1 デッサンについて

デッサンという言葉には，様々なとらえ方がある．「鉛筆などで陰影も描き込んだ白黒の絵」,「実物を直接見て描く，写実的に描く練習のための絵」,「ものの形を正確に描く能力」,「ものの本質をとらえる能力」,「絵を描く基本，基礎」など 1 つの意味では表すことができない．本研究でのデッサンは，実物を見て描くこと，ものの形を正確に認識することを目標とする．これは，トレースという意味ではなく，支援のない状態でもうまく描ける技術を指す．

人物を描くデッサンにおいては，骨格や筋肉の構造を理解して描くことが重要とされている．学習法としては，人物を簡略化することで効率的に描くことがある[5]．すべての骨格を覚える必要はなく，大事な部分だけでも骨格を理解することで様々な姿勢でもバランスの良い絵を描けるようになる．そして，モチーフをよく観察することが大事であり，描くことでその観察が正しいのか確認することで自己学習に繋げる．このようにただひたすら描くのではなく，描く指標を決めることで効率的な学習を行うことができる．

本研究では，陰影をつけるデッサン（図 2.1）は対象とせず，線のみで形をとらえるクロッキーというデッサン（図 2.2，図 2.3）を対象とする．

図 2.1　陰影を意識したデッサン[1]

図 2.2　クロッキーデッサン[2]

図 2.3　クロッキーデッサン[3]

[1] http://dessin.art-map.net/course/plaster_figure_medici/
[2] http://www.janica.jp/course/drawing/drawing141005.html
[3] https://ja.wikipedia.org/wiki/クロッキー

2.2 関連研究

関連研究として，描く対象を人とした描画学習支援の研究について調査を行った．

2.2.1　人物の顔の描画支援

人の顔を描く際のアタリの描き方の支援を行っている研究がある[6]．この研究では，ユーザが様々なアングルの顔のアタリを描いたときに，それに対応した顔の 3D モデルを描いた絵と重ね合わせることで，視覚的に誤差を理解させるシステムを提案している（図 2.4，図 2.5）．描いたアタリから 3D モデルの向きや大きさを決定するため，柔軟な参考資料を学習者に提供可能となる．このシステムを用いることで，顔をバランスよく描く学習が効率的に行えることを示している．

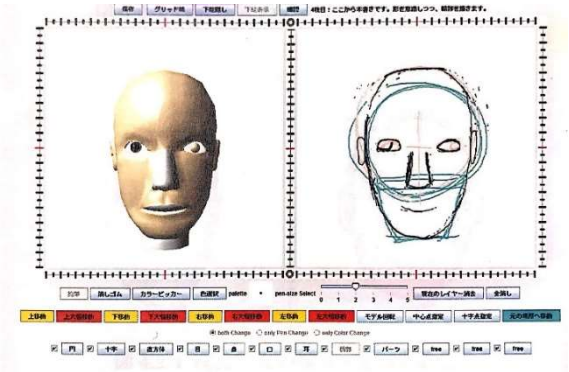


図 2.4　ペイントシステム[6]

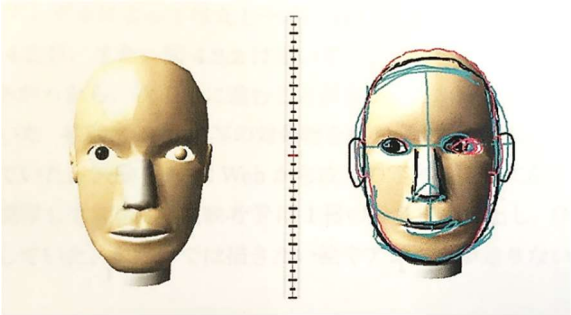


図 2.5　モデルの重ね合わせ[6]

2.2.2　全身描画の学習支援

全身の絵を描く学習支援として，骨格と輪郭線を診断する人物画の学習支援の研究がある[7]．この研究では，人体の比率を把握するための観察力と，描く対象となるモデルを忠実に描く技術の体得を目標としている．描画対象はディスプレイに表示した人物 3D モデルであり，骨格を診断するフェーズと輪郭線を診断するフェーズで段階的に支援している．骨格診断では，描いた骨格を図 2.6 のように重ねて表示し，ズレを修正する．輪郭線診断では，図 2.7 のように描いた輪郭線をリアルタイムで診断を行う．

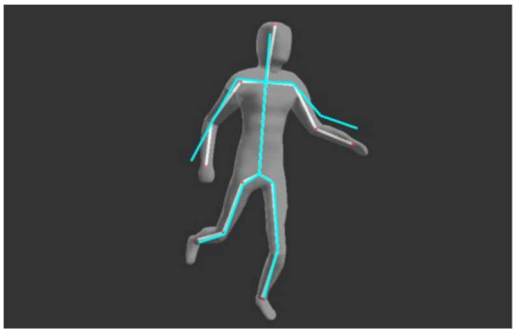


図 2.6　骨格診断[7]

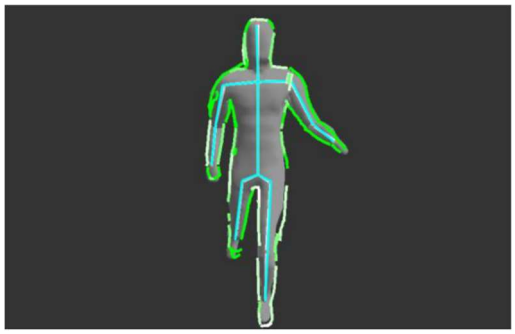


図 2.7　輪郭線診断[7]

また，人物画の姿勢を Deep Learning により推定して 3D モデルで表示することで，デッサンの整合性を確認可能なシステムを提案した研究がある[8]．この研究では，モーションキャプチャを用いて様々なポーズの姿勢データを作成し，そのデータセットを Deep Learning で学習させて，簡易的に描いた骨格（いわゆる棒人間）の姿勢推定を行っている．これにより，図 2.8 のように左側のキャンパスに描きたい姿勢の棒人間を描くと，右側の画面に棒人間の 3D モデルが表示され，姿勢の整合性が取れているのかを目視で確認できる．

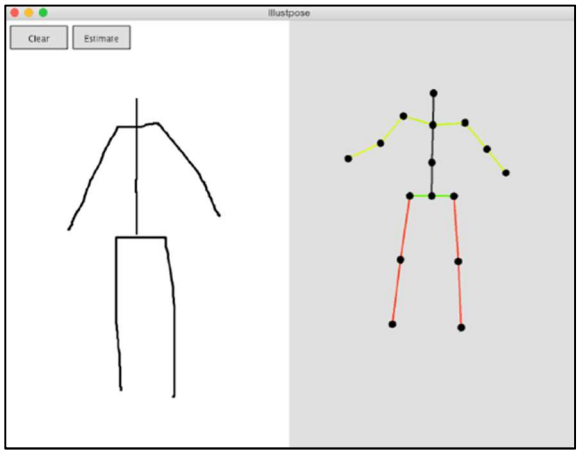


図 2.8　棒人間の 3D モデル化[8]

2.2.3　人物キャラクタの模写における絵の評価に関する研究

絵の評価に着目した研究として，模写した人物キャラクタの絵を評価した事例がある[9]．この研究では，ユーザの描いた絵がどの程度上手いのかを点数化している．人物キャラクタの顔を対象とし，図 2.9 のように顔を構成するパーツから特徴量を抽出する．そして，図 2.10 のように模写の対象とユーザが描いた絵を特徴量で比較をすることで絵の評価を行う．最終的な目標として，描いた絵に客観的な評価が与えることで，学習者の技術力とモチベーションの向上を目指している．

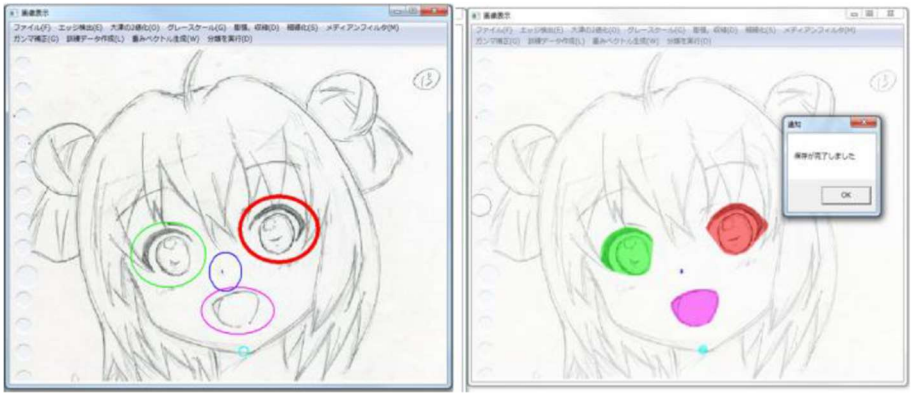


図 2.9　特徴量の抽出[9]

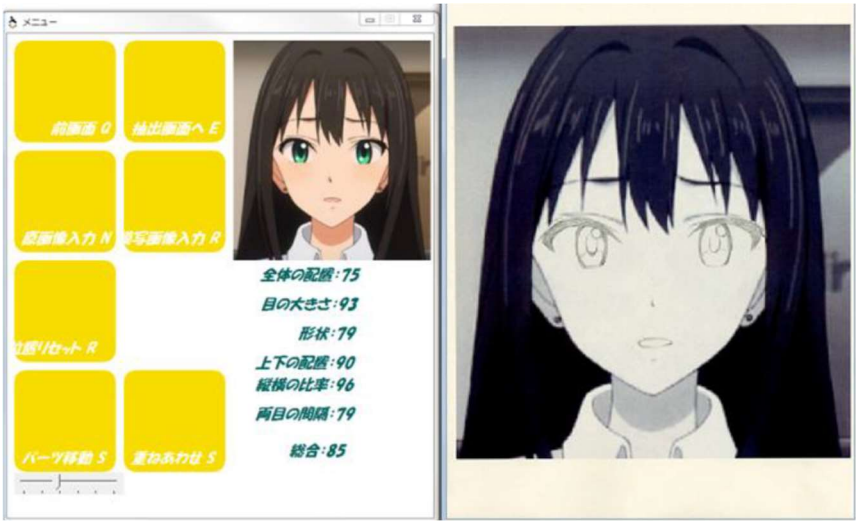


図 2.10　絵の評価画面[9]

2.3　本研究の位置づけ

以上で述べた関連研究では，人物の顔に特化したシステムや画面内の 3D 人物モデルを対象としたシステムを提案していたが，絵画の基礎訓練としてのデッサンでは，実物を見て描くことが重要とされている．また，絵の学習において重要なことは，モチベーションを高く保って練習することである．絵の技術を向上させるためには，好きなものを描くことが一番の近道であると言われており[10][11]，それらを描画対象にすることでモチベーションの維持が期待できる．

本研究では，評価結果のフィードバックによるモチベーションの維持だけでなく，自分の身近にある「好きなもの」を対象とできるシステムを提案する．「実物モデルへのヒントの提示（図 2.11）」，「描いた絵のどこが間違っているのかを気付かせる」，「客観的にコンピュータで絵の評価（図 2.12）」の支援を行う学習環境を構築する．

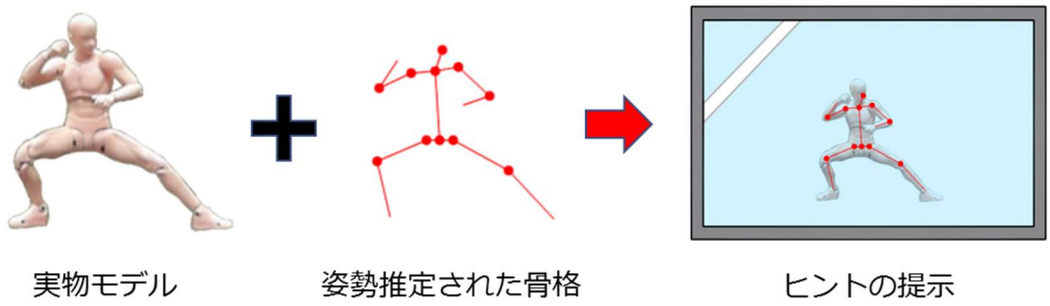


図 2.11　実物モデルへのヒント提示

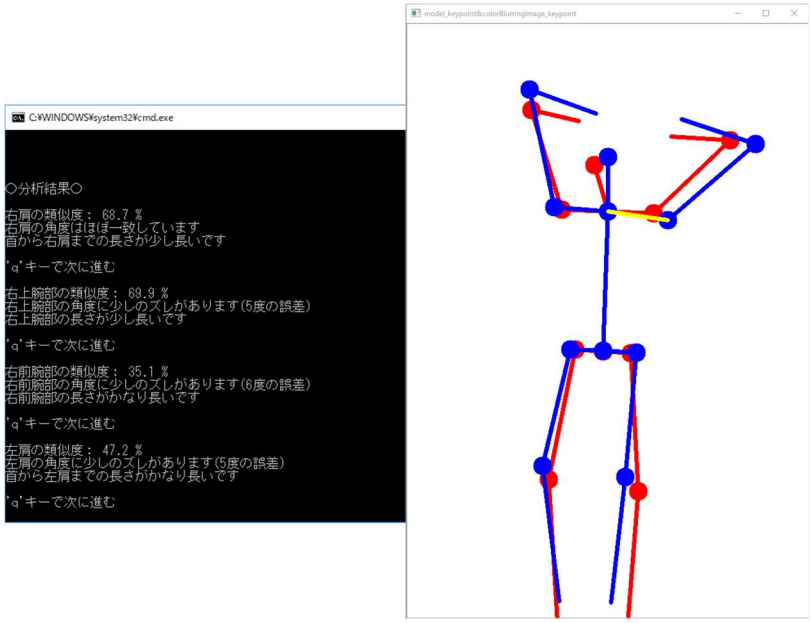


図 2.12　絵の評価

第 3 章

姿勢推定を援用した描画学習支援システム

本章では，提案する学習支援システムの概要や処理手法，実装について述べる．はじめに，本システムの全体図やシステムの流れなどの概要を示す．つづいて，システムで用いる処理の手法について言及し，最後にシステムの実装を説明する．

3.1 システム概要

本システムの全体の流れを図 3.1 に，外観を図 3.2 に示す．はじめに，学習者は描くモデルのポーズと構図を決定する．学習者の描く視点からモデルを撮影し，学習者と同じ視点から見たモデルの画像を取得する．取得した画像に対し，姿勢推定のアルゴリズム[12]を用いて関節の座標データを抽出する．抽出した座標データから，モデルに重畳する骨格画像を生成する．生成した骨格画像を透過ディスプレイに表示し，学習者の視点から見てモデルと骨格画像が重なるように表示位置を調整する．

学習者は液晶ペンタブレットを使用し，骨格を重畳したモデルを観察しながら，レイヤー機能を備えた一般的なペイントツールで描く．これは，評価の際に下書きが本書きに影響を及ぼさないようにするためである．学習者が描いた絵に対しても，後の類似度計算に用いる座標データを得るために姿勢推定を行う．ここで，学習者が描いた絵は線画であり，姿勢推定のアルゴリズムを直接使用することができない．そのため，自動着色システムで線画に対して着色処理を行い，得た画像に対して姿勢推定を行う．

モデルの関節座標データと描いた絵から得た関節座標データを用いて，骨格に着目した絵の評価とフィードバックを行う．モデルと描いた絵の骨格の角度や大きさから類似度を算出し，学習者に絵の評価結果を提示する．また，モデルと描いた絵の骨格を重ねて表示することで，視覚的なズレとコメントを提示しフィードバックとする．

以上のように，本システムでは様々なポーズをとるモデルにおいて，人体構造の認識をするための支援や描いた絵に対しての評価を行い，効率よく学習するための環境を提供する．

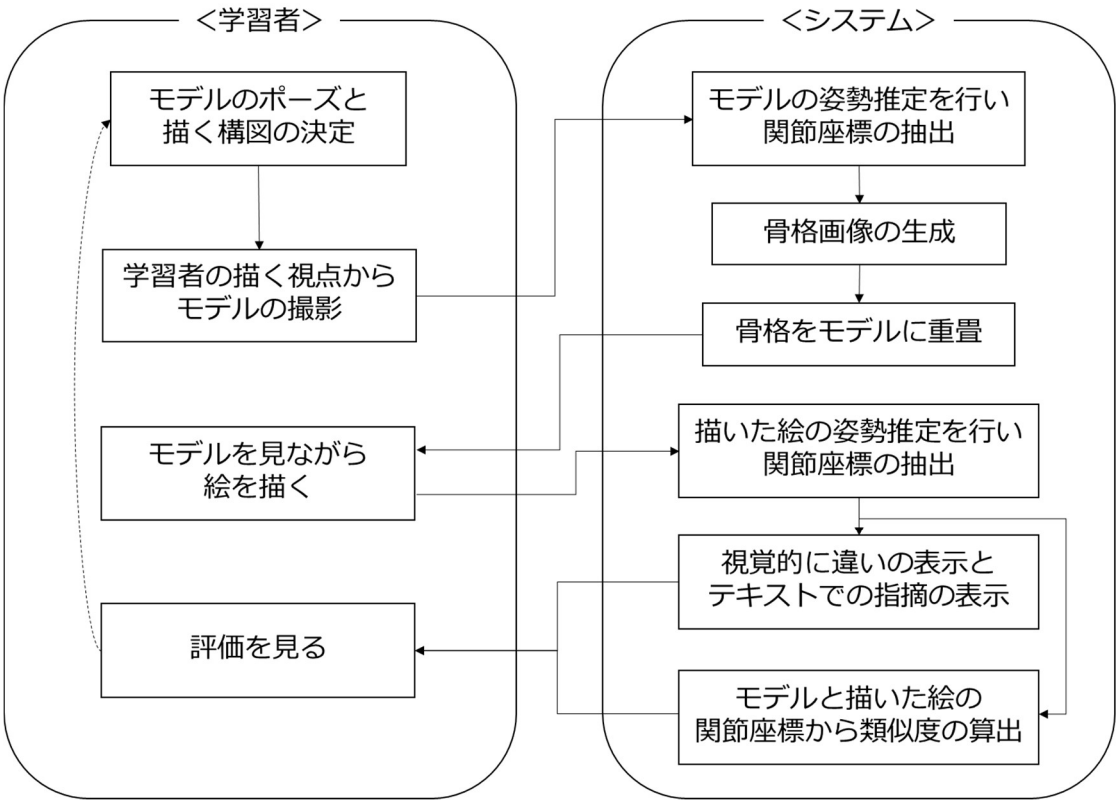


図 3.1　システムの流れ

図 3.2　システムの外観

3.2　姿勢の推定と類似度の算出

本システムで用いた姿勢推定アルゴリズムと，骨格に着目した類似度の算出方法について述べる．

3.2.1　骨格情報の導出

実物のモデルや描いた絵の姿勢推定には，Zhe Cao らの研究[12]を用いたライブラリ「OpenPose」を利用する．

OpenPose では，畳み込みニューラルネットワークの組合せで画像内の人物の姿勢を検知し，図 3.3 に示すような人の 18 個の関節位置を求める．得られる関節の座標は画像平面上での 2 次元座標である．

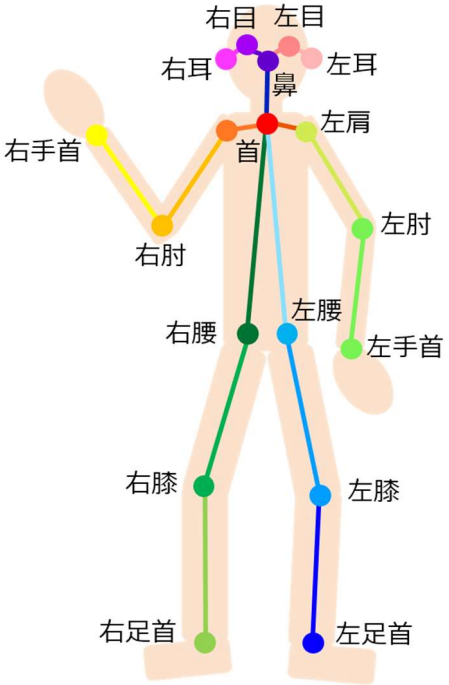
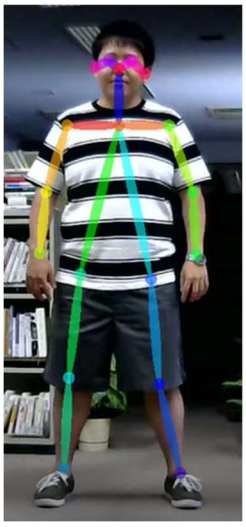


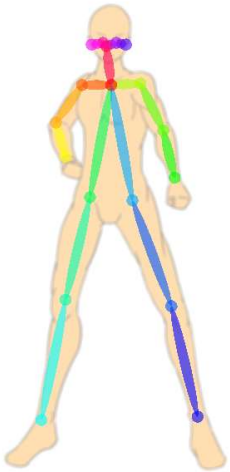
図 3.3　姿勢推定での関節位置

OpenPose を用いることで，単眼の web カメラで撮影した画像から姿勢推定を行うことが可能である．また，生身の人間だけでなく，人形や人物画でも姿勢推定を行うことができる．図 3.4 に OpenPose で姿勢推定し，視覚的に骨格を表示した例を示す．



(a) 生身の人間

(b) 人形



(c) 人物画

図 3.4　様々な対象での姿勢推定

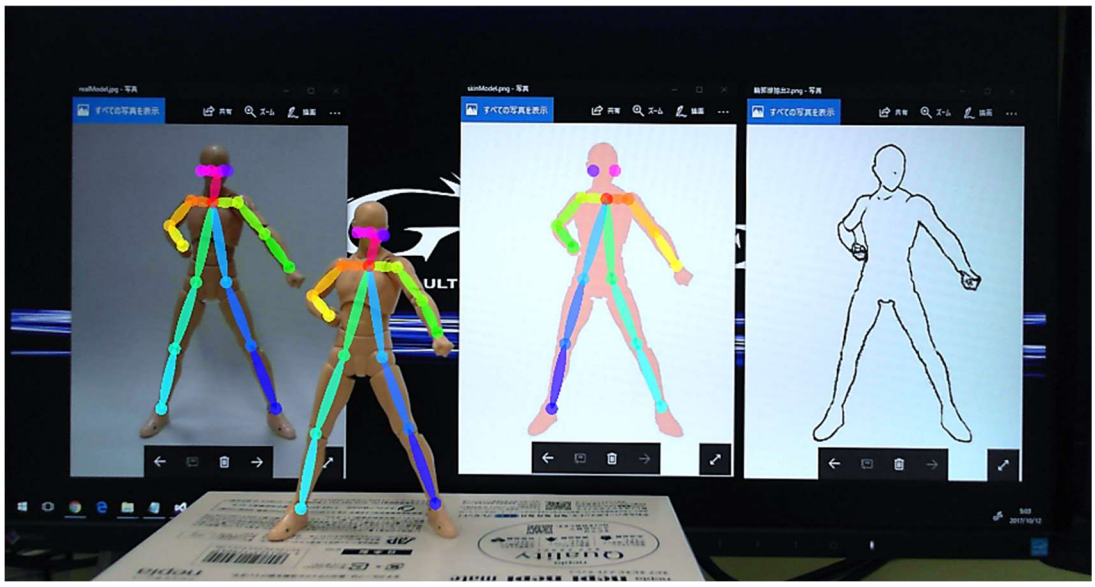
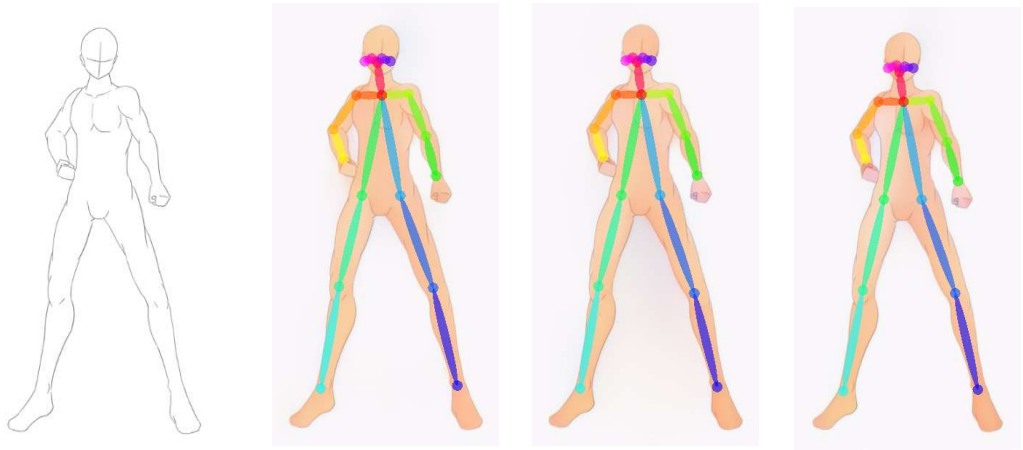


図 3.5　様々な条件での姿勢推定

図 3.5 の右部分から分かるように，線画は姿勢推定が行われていない．いっぽう，右から 2 つ目の画像のように，線画に対して薄橙色の単色で着色することで，姿勢推定が出来ることを確認した．線画の着色の際に，ペイントソフトの塗りつぶしツールでは，輪郭線の途切れや線の数が多い場合，色がはみ出すことや塗り残しが発生し，うまく着色できない．そのため，深層学習フレームワークの

Chainer を利用した PaintsChainer[4]という自動着色システムを用いて線画の着色を行った．図 3.6 の(a)を入力としたときの PaintsChainer による 3 つの着色画像とその結果画像に対して OpenPose による姿勢推定をした例を図 3.6 に示す．自動着色では色の付け方にランダム性があるが，姿勢推定を行う際には影響はないといえる．その根拠として，図 3.6 の(b)～(d)の推定された骨格において，後述の類似度計算を用いて互いの類似度を算出した結果を表 3.1 に示す．すべての組み合わせにおいて 96.0 以上と高い類似度が得られ，最大差も 2.1 ポイントにとどまった．



(a) 入力画像　(b) 着色結果 1　(c) 着色結果 2　(d) 出力結果 3

図 3.6　自動着色と骨格推定

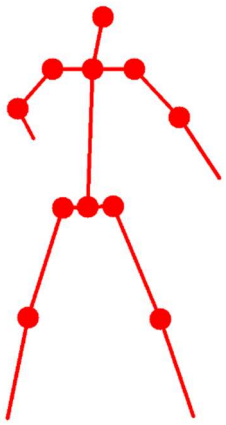
表 3.1　図 3.6 におけるそれぞれの類似度

組み合わせ	類似度
(b)-(c)	97.6
(c)-(d)	96.0
(b)-(d)	98.1

[4] “PaintsChainer -線画自動着色サービス-“, https://paintschainer.preferred.tech/index_ja.html

上述の処理で取得した座標位置の右目，左目，右耳，左耳を除く 14 点の座標を用いて，モデルに重畳する骨格画像を生成する．背骨に関しては，右腰と左腰の中間座標と首の座標を結び描画した．図 3.7 の(a)を入力として生成した図 3.7 の(b)を骨格重畳に用いる．

(a) 入力画像



(b) 骨格画像

図 3.7　入力画像

3.2.2　骨格に着目した類似度の算出

描いた絵の評価は，モデルの骨格と描いた絵の骨格の類似度を求めることで行う．類似度の計算には，コサイン類似度を用いる．コサイン類似度では，2 つのベクトルの角度の近さで類似度を算出する．人の姿勢から動作の自動分類を行う研究[13]において，日常動作の認識にコサイン類似度を用いていたため，本システムでも姿勢の類似度を求める際に利用することとした．

まず，姿勢推定で取得した関節座標から隣り合う関節を結ぶ 10 本の姿勢ベクトルを作成する．10 本の姿勢ベクトルは，図 3.8 中の赤い矢印で示すような右肩，右上腕，右前腕，左肩，左上腕，左前腕，右上腿，右下腿，左上腿，左下腿である．

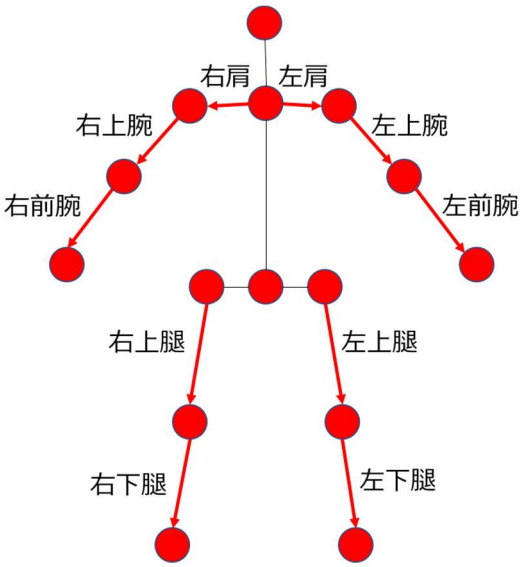


図 3.8　姿勢ベクトル

モデルと描いた絵に対して，これら 10 本の姿勢ベクトルのコサイン類似度をそれぞれ求める．モデルの i 番目の姿勢ベクトル$\overrightarrow{p_i}$と描いた絵の姿勢ベクトル$\overrightarrow{q_i}$のコサイン類似度S_iを式 3.1 に示す．2 つのベクトルの角度が近いほど 1 に近い値をとる．

$$S_i = \cos\theta = \frac{\overrightarrow{p_i} \cdot \overrightarrow{q_i}}{|\overrightarrow{p_i}||\overrightarrow{q_i}|} \tag{3.1}$$

また，書籍[14]などで述べられているように，バランスの取れた絵を描く上では，身体の比率が非常に重要な要素となる．このため，求めたコサイン類似度S_iに 2 つの姿勢ベクトルの大きさの差で重み付けを行う．これにより，関節間の長さの誤差が大きいほど類似度が低くなる．2 つの姿勢ベクトルの大きさの誤差εを式 3.2 に示す．

$$\varepsilon = \frac{\left||\overrightarrow{p_i}| - |\overrightarrow{q_i}|\right|}{|\overrightarrow{p_i}|} \tag{3.2}$$

求めた誤差εを用いて，式 3.3 に示すようにS_iに重み付けをする．誤差εの値の増加にともない，類似度を指数関数的に減少させる．ここで，αの値は$(0 < \alpha < 1)$の範囲とし，実際の画像と算出値を比較する検証を実施して決定した（検証については 3.2.2.2 節で述べる）．

$$S'_i = S_i \times \alpha^{\varepsilon},\ (0 < \alpha < 1) \tag{3.3}$$

最後に 10 個の類似度S'_iを合計し，式 3.4 で全体の類似度Sを求める．このとき，類似度Sは満点が 100 になるように正規化する．

$$S = \sum_{i=0}^{9} S'_i \times 10 \tag{3.4}$$

3.2.2.1　類似度の妥当性の調査

システムが求めた類似度の妥当性について検証する．図 3.9 のデッサン人形の姿勢に対し，被験者 20 人が図 3.10 の 5 体のデッサン人形の姿勢とそれぞれ比較し，類似性が高いと感じる順番に順位付けした．被験者は本学学生（男性 18 人，女性 2 人，いずれも 20 代）である．図 3.10 の各姿勢の説明とシステムの評価を表 3.2 に示す．ここでは，式 3.3 のαは暫定的に 0.5 に設定して計算している．

図 3.9　比較対象

(a) 姿勢 1　(b) 姿勢 2　(c) 姿勢 3　(d) 姿勢 4　(e) 姿勢 5

図 3.10　様々な姿勢

表 3.2　各姿勢の説明とシステムによる評価

姿勢	説明	類似度	順位
1	比較対象と同じ姿勢で少し角度を変えている	89.2	2
2	全く異なる姿勢をとっている	39.7	5
3	腕や足の角度を変えて異なる姿勢をとっている	64.6	3
4	姿勢を低くして，異なる姿勢をとっている	59.2	4
5	比較対象と全く同じもの	98.7	1

結果，被験者 20 人の内 15 人が付けた順位とシステムによる評価の順位が一致した．システムの順位と違った 5 人については図 3.10 の(c)と(d)の順位付けに迷い，3 位と 4 位が逆転していた．しかし，それ以外の評価は一致しており，骨格の長さと角度による評価の妥当性が確認できた．

3.2.2.2　類似度の重み付けパラメータの決定

類似度の重み付けパラメータ（式 3.3 のα）を決定するための検証を行う．図 3.10 の 5 つの姿勢と，図 3.9 の姿勢とを比較した際にαの値を変えて類似度を算出した．その結果を表 3.3 に示す．

表 3.3　パラメータの違いによる類似度

姿勢	類似度		
	α=0.1	α=0.5	α=0.9
1	73.5	89.2	96.2
2	18.4	39.7	50.7
3	49.0	64.6	73.7
4	38.9	59.2	71.8
5	95.8	98.7	99.8

被験者 20 人に表 3.3 示す類似度の中で，どの類似度が一番妥当と感じるかを調査した．結果を図 3.11 のグラフに示す．3 人が$\alpha = 0.1$，16 人が$\alpha = 0.5$，1 人が$\alpha = 0.9$で求めた類似度が一番妥当であると回答した．以上より，本システムでは式 3.3 のαの値を 0.5 と設定する．

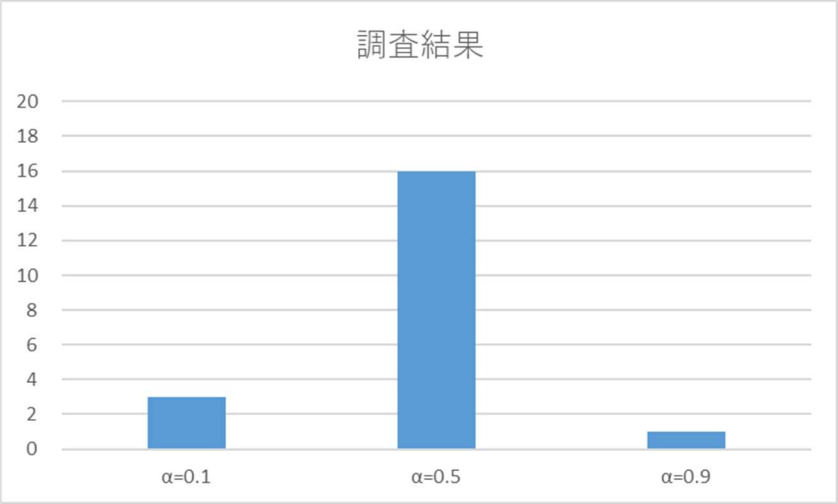


図 3.11　良いと感じるパラメータの回答

3.3　システムの実装

ここでは，本システムで実装する骨格重畳の手法，評価の提示法について述べる．

3.3.1　骨格重畳の環境構築

図 3.7 の(b)のような骨格画像を，透過ディスプレイを用いて実物モデルに重畳する．透過ディスプレイには BenQ 製の G615HDPL を改造したものを用いる（図 3.12, 図 3.13）. 透過ディスプレイを用いて骨格を重畳した際の様子を図 3.14 に示す.

図 3.12　液晶ディスプレイ

図 3.13　透過ディスプレイ

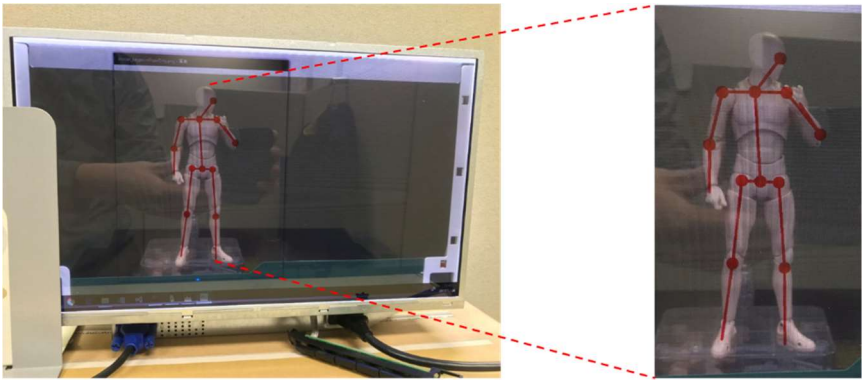


図 3.14　骨格の重畳

3.3.2　評価の提示法

学習者が絵を描いた後に確認する評価として，「対象にしたモデルの骨格と自身が描いた絵の骨格を重ねて視覚的に差異を提示」，「コメントによる間違いの指摘」，「モデルと描いた絵の骨格の類似度と絵の総評を提示」を行う．

視覚的な間違いの提示には，姿勢推定で得た関節座標を利用する．まず，描いた絵の背骨をモデルの背骨と一致するように位置，大きさ，角度を調節する．つぎに，描いた絵とモデルの骨格を重ねて表示し，　描いた絵の姿勢ベクトルを右肩から順に点滅させる（図 3.15 では左肩の黄色部分が点滅している）．同時に，点滅している個所の類似度，骨格の角度の誤差，長さの誤差を文章で指摘する（図 3.16）．10 本の骨格への指摘後に姿勢全体の類似度と総評のコメントを提示し（図 3.17），モデルと描いた絵の姿勢推定した画像を並べて表示する(図 3.18).

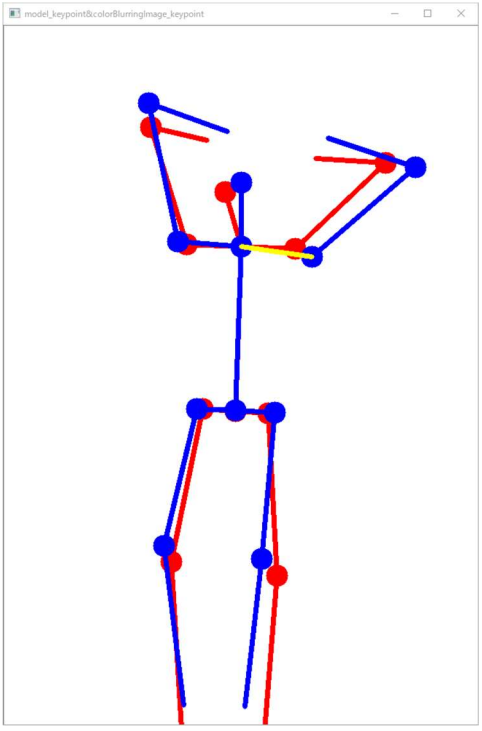


図 3.15　視覚的なフィードバック

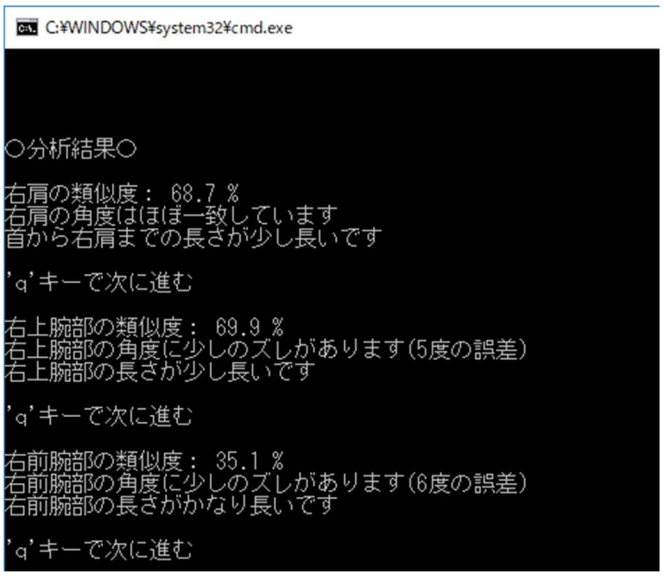


図 3.16　文章によるフィードバック

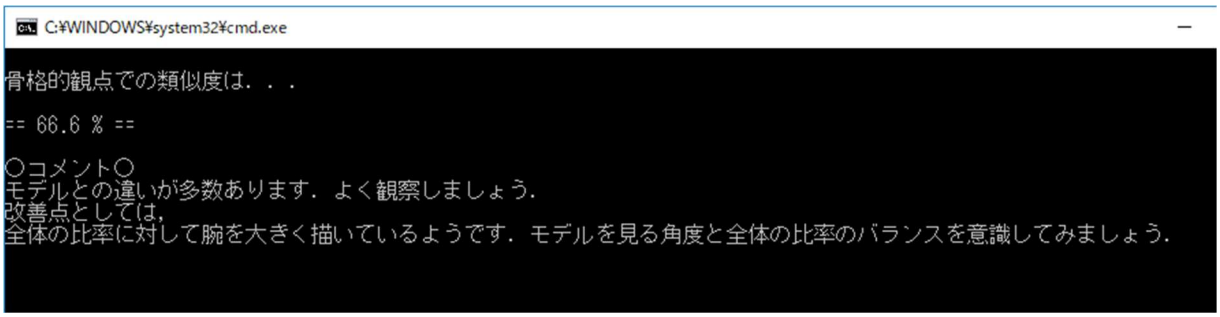


図 3.17　類似度とコメント

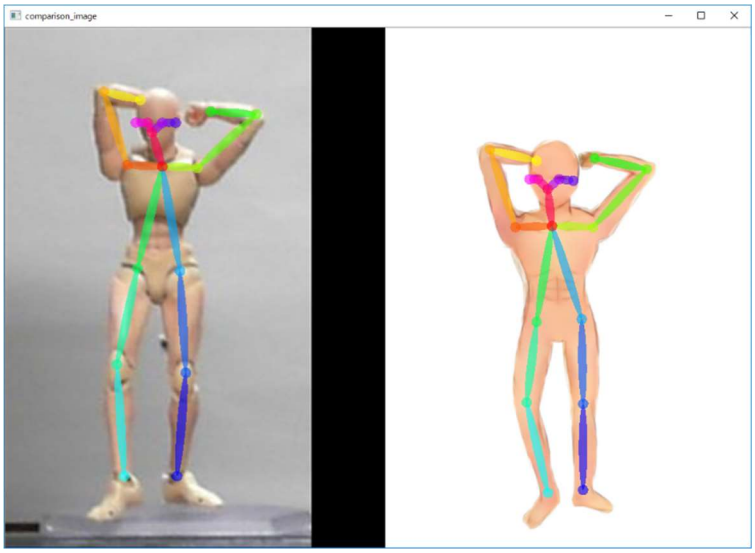


図 3.18　比較画像

第 4 章

実験

本章では，提案システムの有用性を検証するための予備実験と本実験について，実験方法と結果を示し，それぞれ考察を行う．

4.1　実験環境

予備実験と本実験は同一環境で実施した(図 4.1)．実験の様子を図 4.2 に示す．実物モデルの撮影には Microsoft 製の LifeCam Studio を用いる（図 4.3）．絵を描く際に，液晶タブレットは Wacom 製の Wacom Cintiq 24HD を，ペイントツールはフリーソフトの FireAlpaca を使用した．PC と液晶タブレットのスペックを表 4.1 に示す．

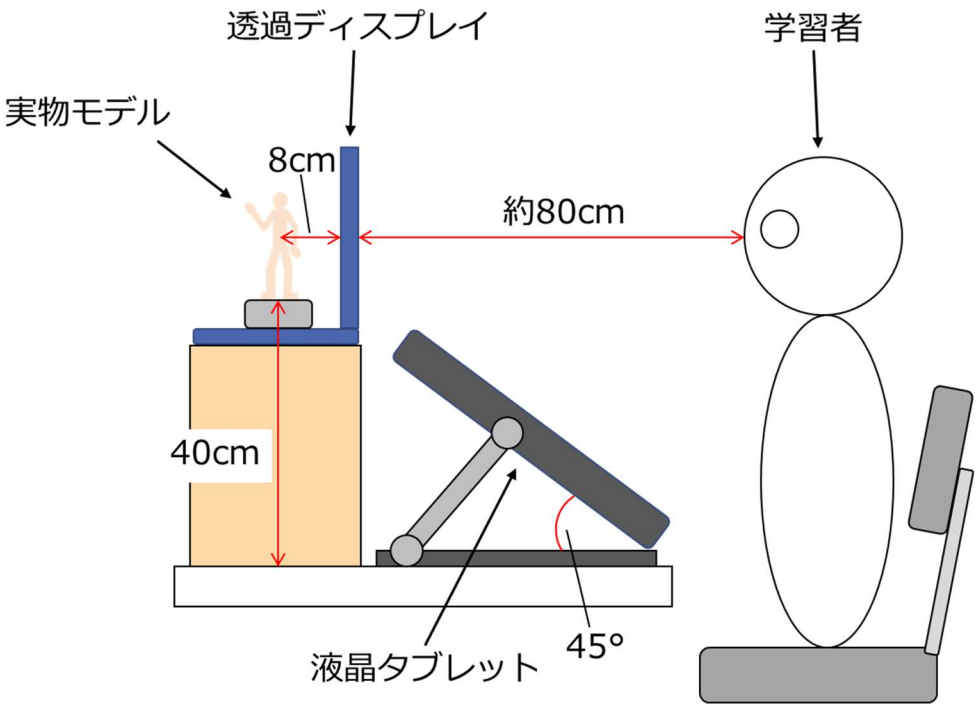


図 4.1　実験環境

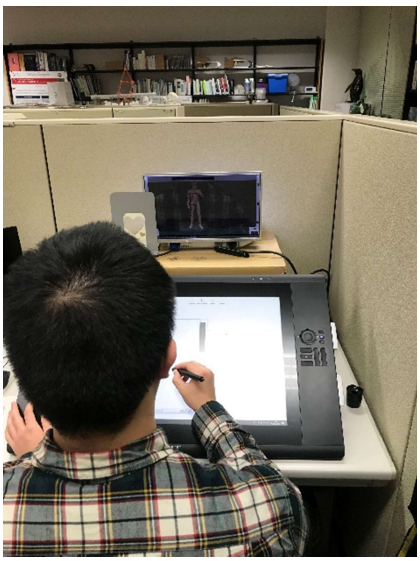


図 4.2　実験状況

図 4.3　Web カメラ

表 4.1　使用 PC と液晶タブレットのスペック

OS	Windows10 Pro(64bit)
CPU	Intel® Core™ i7-6700
GPU	GeForce GTX 1070
メモリ	16.0GB
画面サイズ	24 インチ
解像度	1920x1200

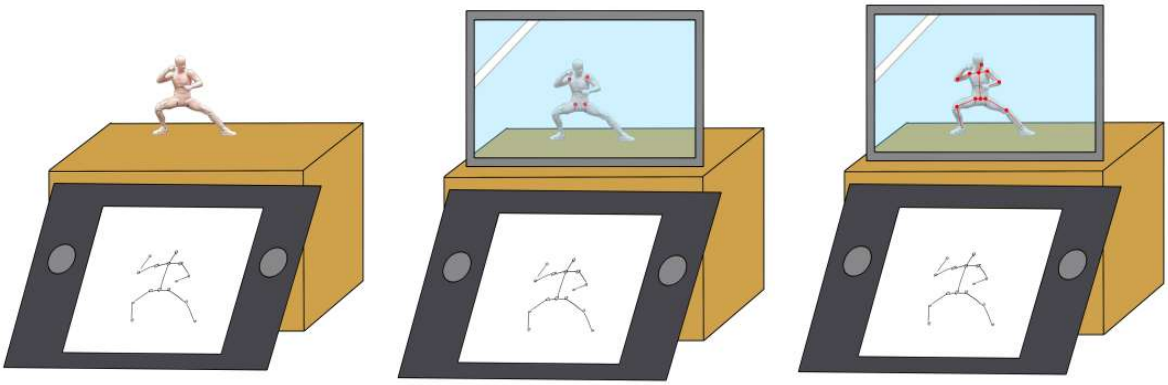
4.2　予備実験

本システムでは，実物のモデルに骨格を重畳することで学習者に視覚的なヒントを与えている．実物のモデルを題材にしてデッサンをする上で，バランスの崩れをなくすために視点を固定して描くことが重要である[15]．実物のモデルに骨格を重畳することにより，人体構造の理解を支援するだけなく，視線の固定も付随して支援する．そのため，「骨格を重畳すること」が有効なヒントの提示なのかという疑問が残された．そこで，視線の固定を補助することが絵の上達に影響するかを検証する予備実験を行った．

4.2.1　概要

被験者は，「絵を描くことを専門的に学んでいない本学学生」とし，9 人（男性 6 人，女性 3 人，いずれも 20 代）に対して実験を行った．被験者をこのように設定した理由は，学校での美術の授業を通して描画の知識・技術の標準的な学習経験がある，また，成人しているため筋力や空間認識能力が形成されているなど，年齢による個人差が少ないと考えたためである．

被験者 9 人の描く環境として「何も支援のない A グループ」，「視線固定のための点をモデルに重畳させた B グループ」，「骨格をモデルに重畳させた C グループ」の 3 グループを設定し，被験者 1～3 を A グループ，被験者 4～6 を B グループ，被験者 7～9 を C グループに割り振る．それぞれのグループの環境について，図 4.4 に示す．



(a) A グループ　(b) B グループ　(c) C グループ

図 4.4　予備実験におけるグループ

A グループでは，モデル以外は何も視線固定を補助するための物は置かれていない．B グループでは透過ディスプレイに右肩，左肩，右腰，左腰の 4 点が重なるように点を表示する．その点と実物のモデルが重なるように視点を調整して描くことで，視線の固定を支援する．C グループでは，透過ディスプレイに実物のモデルから姿勢推定して作成した骨格画像を，モデルと重なるように表示する．これにより，視線の固定だけでなく，モデルの骨格の認識を支援する．

各グループには，デッサン人形やフィギュアをモデルとして 5 枚描かせた．描かせたモデルを図 4.6～4.9 に示す．

実験の流れを図 4.5 に示す．はじめに，1 枚目は 3 グループ全てにおいてモデルに何も支援のない環境で描かせる．2 枚目から 4 枚目は上記のそれぞれの環境で様々なフィギュアの絵を描かせる．5 枚目は 1 枚目と同じ姿勢のデッサン人形

を上記のそれぞれの環境で描かせる．1 枚目と 5 枚目のモデルを同じ姿勢にしているのは，同じ基準で類似度を評価するためである．2 枚目から 4 枚目に 1 枚目とは異なる題材を描かせているのは，1 枚目で描いた題材の感覚を一度リセットさせるためである．これにより，1 枚目と 5 枚目の評価を平等に行うことを考慮している．

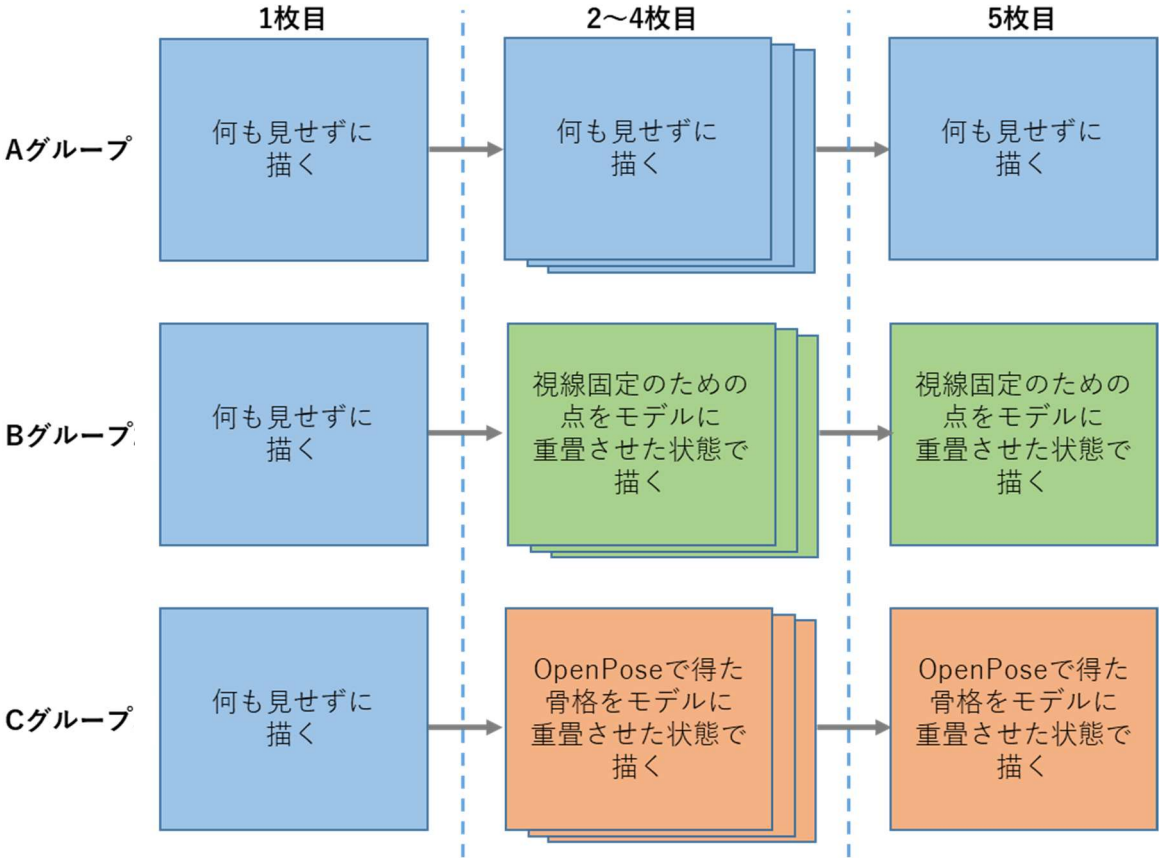
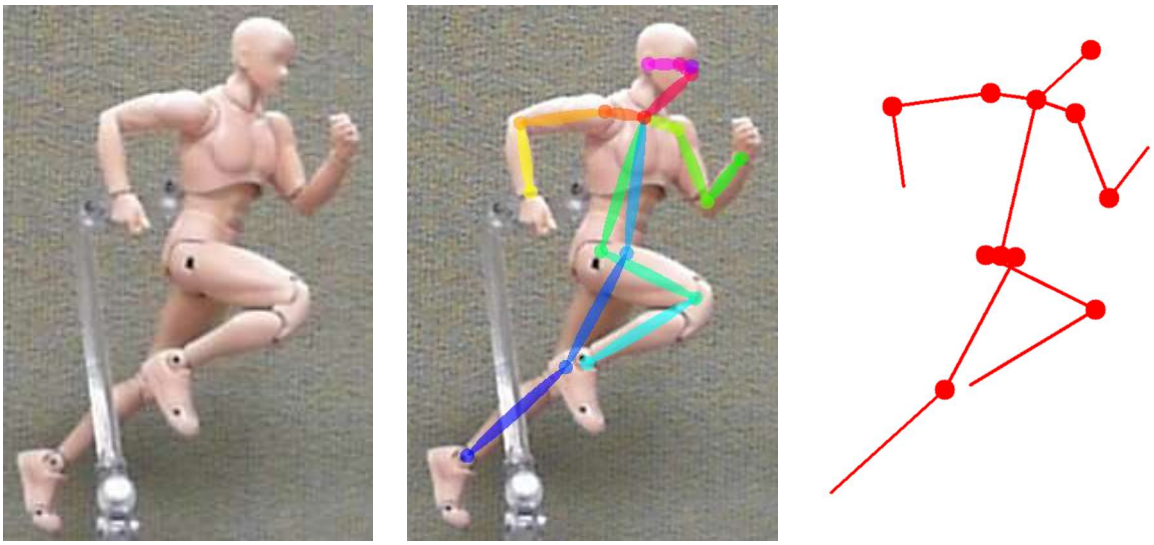


図 4.5　予備実験の流れ

最後に，1 枚目と 5 枚目の絵を比較してどれだけ変化があるのか，類似度を計算して確認する．また，それぞれのグループに事後アンケートを行う．それらの結果から，どのようなヒント提示が有効なのかを検証する．



(a)　実物のモデル　　(b)　姿勢推定画像　　(c)　骨格画像

図 4.6　1 枚目と 5 枚目のモデル[5]

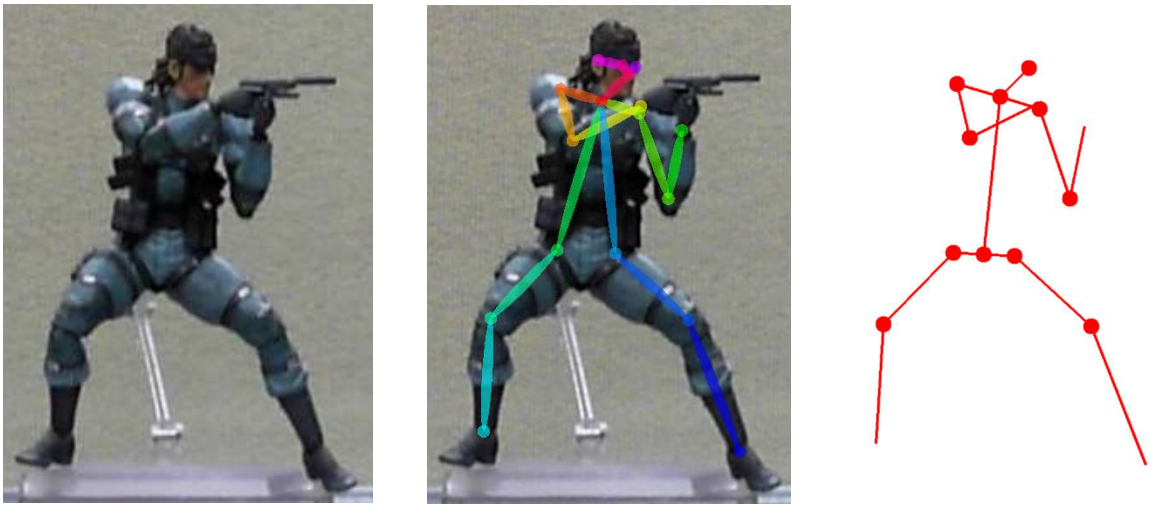
(a)　実物のモデル　　(b)　姿勢推定画像　　(c)　骨格画像

図 4.7　2 枚目のモデル[6]

[5] バンダイ，S.H.フィギュアーツ ボディくん
[6] マックスファクトリー，figma MGS2 ゴルルコビッチ兵

(a)　実物のモデル　　(b)　姿勢推定画像　　(c)　骨格画像

図 4.8　3 枚目のモデル[7]



(a)　実物のモデル　　(b)　姿勢推定画像　　(c)　骨格画像

図 4.9　4 枚目のモデル[8]

[7] コトブキヤ，キューポッシュ ガールズ&パンツァー 西住みほ
[8] マックスファクトリー，figma ソリッド・スネーク MGS2 ver.

4.2.2　結果

1 枚目と 5 枚目に描いた絵について，類似度の比較と分析を行う．被験者 9 人が描いた 1 枚目と 5 枚目の人物画をグループごとに図 4.10～4.12 に示す（2 枚目から 4 枚目の描いた絵については付録にて添付する）．また，モデルと被験者の描いた人物画のそれぞれの類似度を表 4.2 に示す.

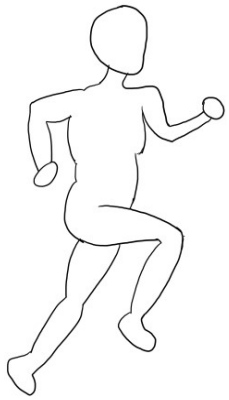
	被験者 1	被験者 2	被験者 3
1 枚目			
5 枚目			

図 4.10　A グループの成果物

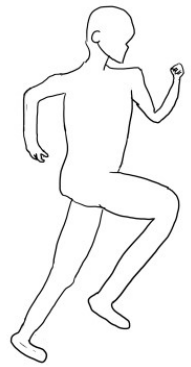
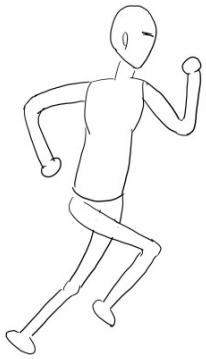
	被験者 4	被験者 5	被験者 6
1 枚目			
5 枚目			

図 4.11　B グループの成果物

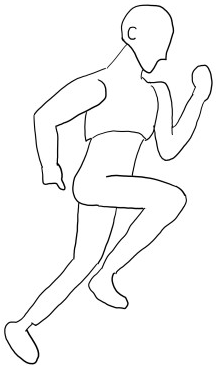
	被験者 7	被験者 8	被験者 9
1 枚目			
5 枚目			

図 4.12　C グループの成果物

表 4.2　モデルと人物画の類似度

グループ	被験者	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	平均	1 枚目から 5 枚目の向上率
A	1	72.8	63.7	74.0	67.9	74.8	70.6	2.7%
	2	65.9	59.9	66.8	55.7	68.6	63.4	4.1%
	3	59.1	53.1	70.7	55.7	54.4	58.6	-8.0%
B	4	68.4	57.4	73.3	59.2	74.4	66.5	8.8%
	5	62.8	62.0	81.9	52.0	70.6	65.9	12.4%
	6	57.0	66.7	77.0	60.3	66.6	65.5	16.8%
C	7	71.5	69.3	76.6	51.1	77.5	69.2	8.4%
	8	54.4	69.3	82.1	63.2	74.8	68.8	37.5%
	9	65.6	72.9	84.0	80.4	77.7	76.5	18.4%

4.2.3　評価および考察

各被験者に対し，5 枚の絵を描いた後に口述によるアンケートを実施した．まず，全ての被験者に，「描くときに難しいと感じたところはどこだったか」という質問をした．それぞれのグループの回答を表 4.3 にまとめる．また，B グループと C グループの被験者には，モデルにヒントを重畳させて描いたときの使用感について質問した．それぞれのグループの回答を表 4.4 にまとめる．

表 4.3　実験後のアンケート（難しさ）

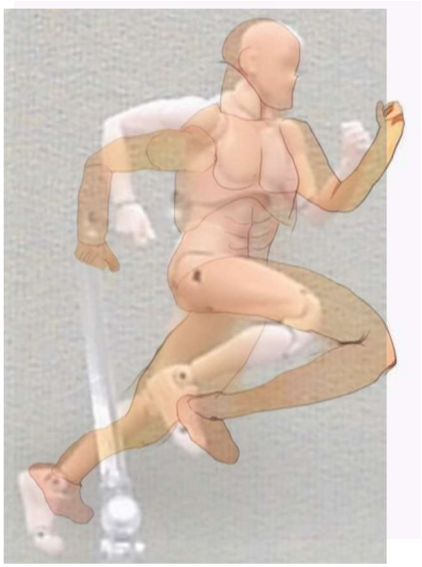
A グループ	・手足の長さが分かりづらく描くのが難しい（同様の意見が 3 件） ・体で隠れている部分がどのようになっているのか認識出来ない（2 件） ・関節の曲がり具合を合わせるのが難しい
B グループ	・手足の比率をとるのが難しい（2 件） ・上半身と下半身のバランスを整えるのが難しい ・輪郭の太さを合わせるのが難しい（3 件）
C グループ	・手足，足先を描くのが難しい（2 件） ・顔の向きを合わせるのが難しい（2 件）

表 4.4　実験後のアンケート（使用感）

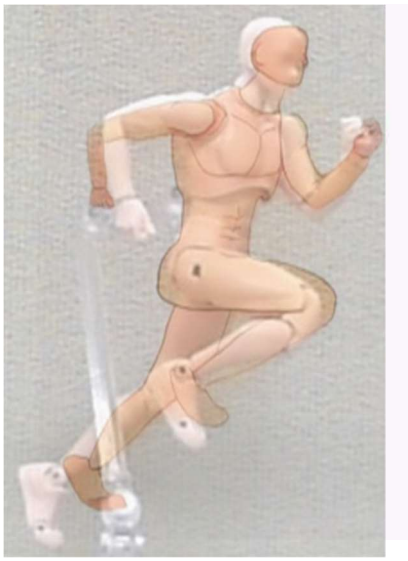
B グループ	・視点固定の点があることで手足の位置関係の目印にして描けた（2 件） ・顔が動いたときに視点を戻すのに役立った（3 件）
C グループ	・関節の位置や手足の長さの比率が分かりやすく描きやすかった（3 件） ・輪郭を描く際の基準にでき，太さを合わせやすかった ・重畳がないときよりも描きはじめがスムーズに行えた（2 件） ・枚数が増すごとに骨格を認識しやすくなった

まず，表 4.2 の類似度の結果について見ると，被験者 3 以外の全てで，1 枚目より 5 枚目の類似度が向上している．これについては，描く枚数が増えることで自己学習が行われるため，類似度が向上したと考えられる．しかし，骨格重畳を利用した C グループの被験者 8 と被験者 9 の類似度はそれぞれ 37.5%，18.4%と，他のグループの向上率の最高値 16.8%を上回っている．

図 4.12 に示す被験者 8 の成果物を見ると，1 枚目と 5 枚目では図 4.13 に示すような手足の長さや図 4.14 のような輪郭線のズレが改善されている．図 4.14 は線画を基準としたときに，モデルと重なっている範囲を赤，モデルからはみ出ている範囲を黒で表したものである．黒と赤の和を分母とし，黒を分子としたときの割合が 1 枚目では 47.6%，5 枚目では 17.1%である．よって，5 枚目の方がモデルに近い絵を描けていると言える．



(a)　1 枚目とモデルの比較



(b)　5 枚目とモデルの比較

図 4.13　被験者 8 の結果とモデルの比較

(a)　1 枚目とモデルの誤差

(b)　5 枚目とモデルの誤差

図 4.14　被験者 8 の結果とモデルとの誤差

また，図 4.12 に示す被験者 9 については，胴の長さや腰回りの骨格が改善されたことで, 1 枚目よりも 5 枚目の方が上半身と下半身のバランスが良くなっている．図 4.6 のモデルと図 4.12 の被験者 8 の画像から計測をしたところ，モデルの上半身を基準としたときの下半身の比率は 1:1 であるが，1 枚目が 1:2/3 であったのに対して，5 枚目では 1:24/25 となり，5 枚目の方が誤差は小さい．これらの結果が類似度に反映されたことが，数値向上の理由と言える．

A グループや B グループの被験者においても，それぞれ類似度は向上しているが，図 4.10，図 4.11 を見ると，成果物に大きな変化は見受けられない．これについては，1 枚目から 5 枚目を描くにつれて慣れによる上達は見られるものの，数枚描くだけでは基本的な骨格の認識を身に着けることが出来なかったためと考える．

次に，アンケート結果を見ると，A グループと B グループともに手足の長さや比率を認識するのが難しく，うまく描けないことを述べている．他に手足の太さを表現するのが難しいことも述べている．C グループでは骨格重畳されていることで手足の比率の認識分かりやすかった点や，輪郭を描く太さの基準にしていたという回答から，他のグループにはない支援が行えていたことが分かる．

C グループの類似度の向上率の平均値である 21.4%と比較して，B グループは 12.7%と低く，これらの結果から，視線の固定の補助は絵の上達において影響が小さいことを確認した．また，前文で述べたように C グループの類似度の向上率は他のグループよりも高く，骨格重畳による描画スキルの大きな上達が見られたため，骨格の重畳はヒント提示として有効であることを確認した．

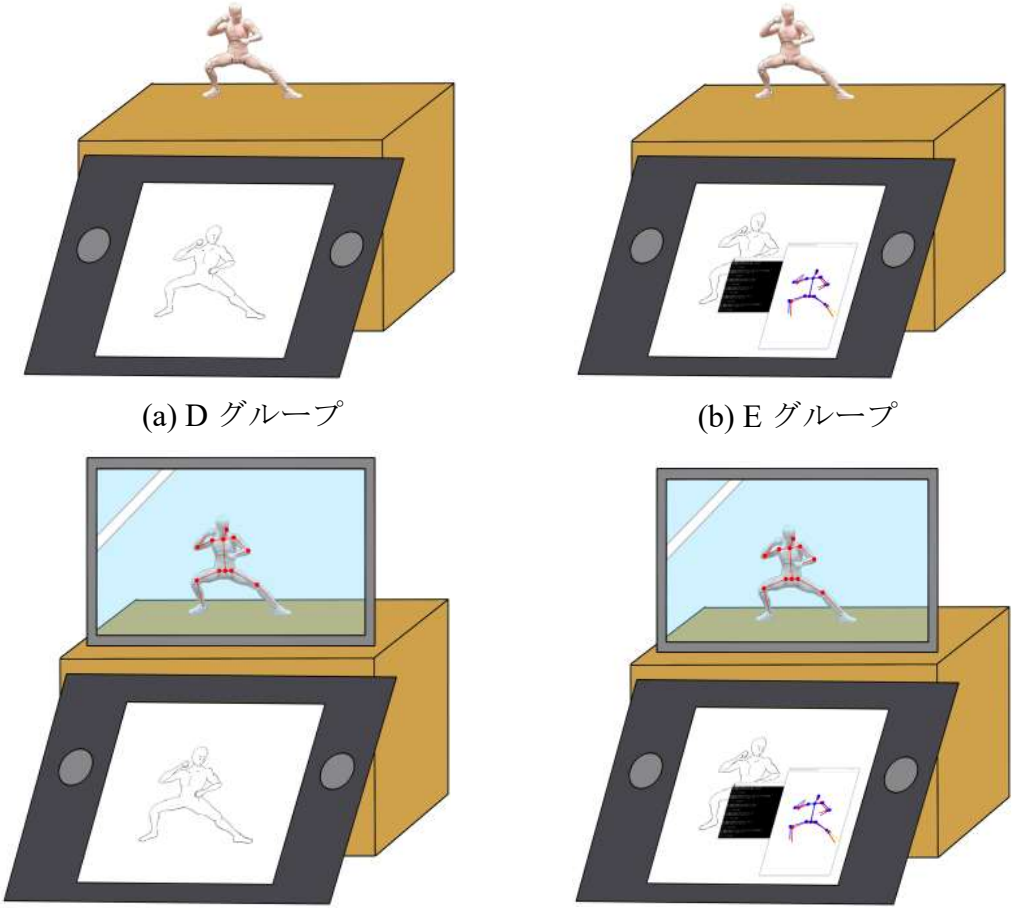
4.3　本実験

本実験では，予備実験で得た有効なヒント提示法を採用し，その効果について検証する．加えて，評価の有無による学習効率の影響についても検証する．

4.3.1　概要

被験者は，「絵を描くことを専門的に学んでいない本学学生」とし，予備実験とは異なる男性 12 人（いずれも 20 代）に対して実験を行った．

12 人の被験者を「何も支援をしない D グループ」，「描いた絵の評価のみをする E グループ」，「骨格の重畳のみを行う F グループ」，「骨格の重畳と絵の評価の両方を行う G グループ」の 4 グループに分け，被験者 10～12 を D グループ，被験者 13～15 を E グループ，被験者 16～18 を F グループ，被験者 19～21 を G グループに割り振る．それぞれのグループの環境について，図 4.15 に示す．



(a) D グループ　(b) E グループ

(c) F グループ　(d) G グループ

図 4.15　本実験におけるグループ

実験の流れを図 4.16 に示す．D グループでは，基準の比較対象として，何も支援のない状態で描いた結果を得るためシステムを使わない．E グループでは，骨格の重畳は行わず，描いた絵に対して評価のみを行う．骨格を重畳するという常にヒントを提示している環境で描くことが，学習効率の向上に繋がるとも限らない．このことについて検証するためにこのグループを用意した．F グループは，E グループの結果との比較対象とし，実物のモデルに対して骨格の重畳のみを行い，絵の評価は行わない．G グループでは，実物モデルへの骨格重畳と描いた絵の評価の両方について支援を行い，骨格重畳と絵の評価をともに使用したときの結果が他のグループと比較して学習効率が高いのかを検証する．

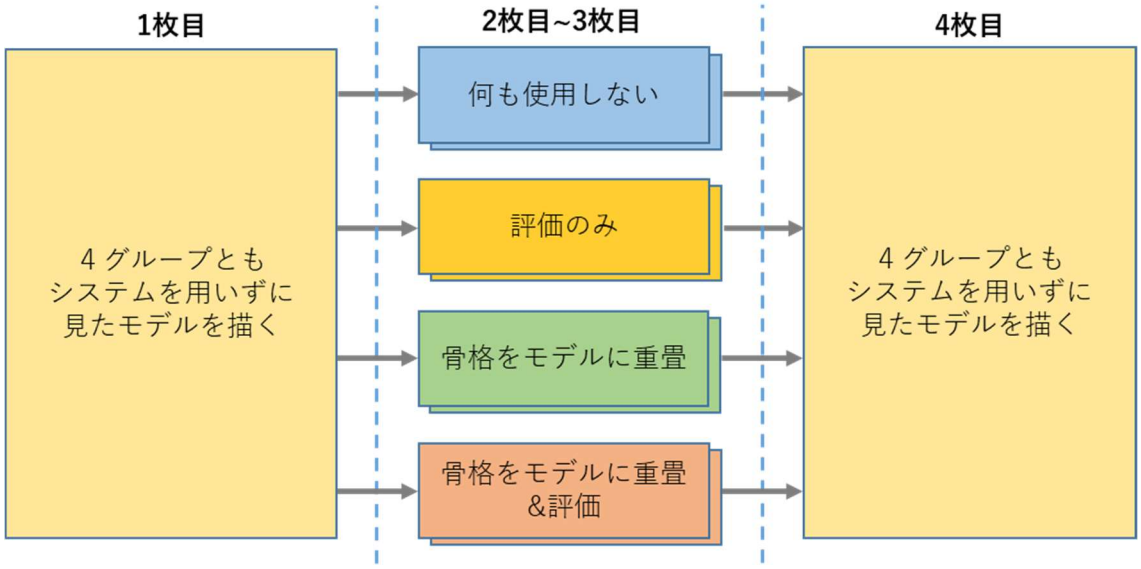
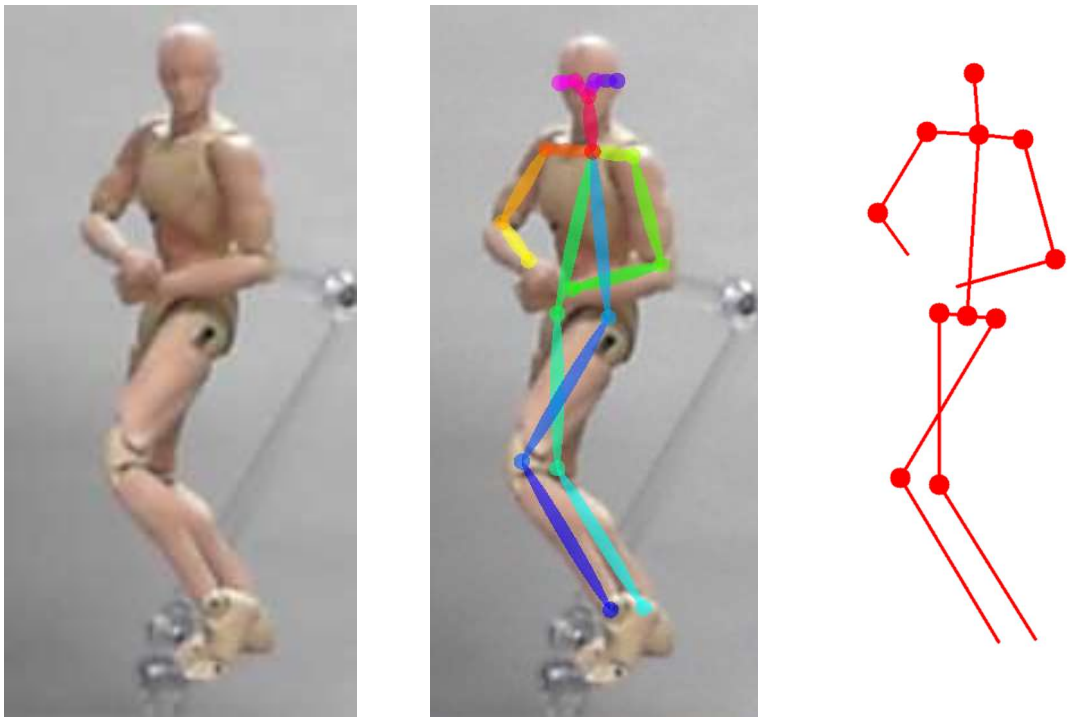


図 4.16　本実験の流れ

4 グループには，デッサン人形をモデルとして 4 枚の絵を描かせる．描かせたモデルを図 4.17～図 4.19 に示す．

はじめに，1 枚目は 4 グループ全てで何も支援のない環境で描かせる．2 枚目と 3 枚目はデッサン人形のポーズを変えて上記のそれぞれのグループの環境で描かせる．4 枚目は 1 枚目と同じ姿勢のデッサン人形を何も支援のない環境で描かせる．モデルのポーズは日本ボディビルディング連盟（NBBF）の規定ポーズから 3 つ選定した[16]．選定理由は，奥行きのあるポーズであること，名称が決まっている不変のポーズであることである． 4 枚目は 1 枚目と同様に何も支援のない条件で描くので，1 枚目と 4 枚目の成果物を比較して変化があった場合は，2 枚目と 3 枚目に実施した支援が結果に影響していると言える．

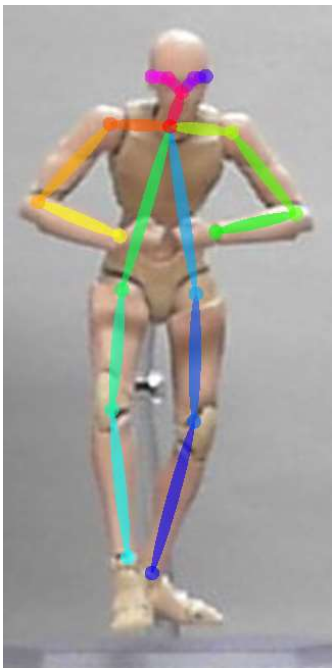
システムの有効性を確認するために，1 枚目と 4 枚目の絵にどれだけ変化があるのか類似度を比較し，分析する．また，システムの評価の妥当性を検証するために，専門的に絵の勉強をした人による客観的な評価を実施した．それぞれのグループに事後アンケートも行い，システムの改善点などを分析する．



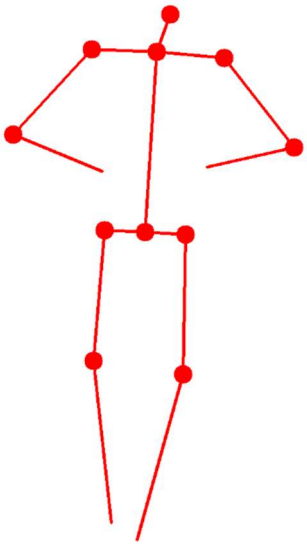
(a)　実物のモデル　　(b)　姿勢推定画像　　(c)　骨格画像

図 4.17　1 枚目と 4 枚目のモデル

(a)　実物のモデル



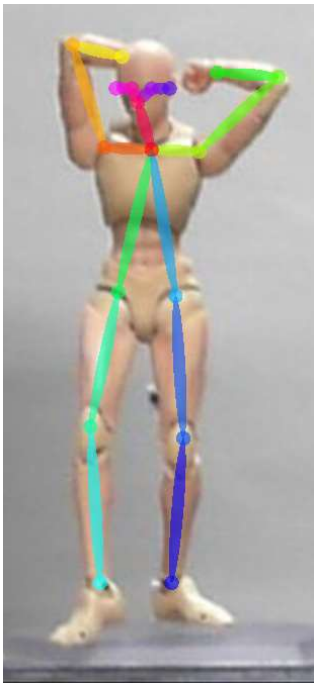
(b)　姿勢推定画像



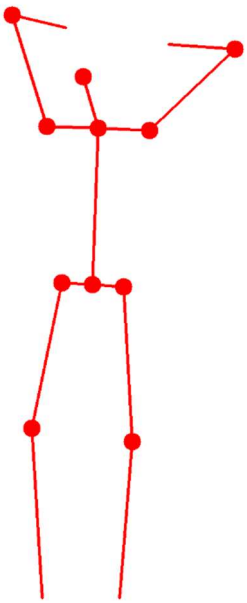
(c)　骨格画像

図 4.18　2 枚目のモデル

(a)　実物のモデル



(b)　姿勢推定画像



(c)　骨格画像

図 4.19　3 枚目のモデル

4.3.2　結果

1 枚目に描いた絵と 4 枚目に描いた絵の類似度の比較と分析を行う．被験者 12 人が描いた 1 枚目と 4 枚目の人物画をグループごとに図 4.20～図 4.23 に示す（2 枚目から 3 枚目の描いた絵については付録にて添付する）．また，モデルと被験者の描いた人物画のそれぞれの類似度を表 4.5 に示す.

	被験者 10	被験者 11	被験者 12
1 枚目			
4 枚目			

図 4.20　D グループの成果物

	被験者 13	被験者 14	被験者 15
1 枚目			
4 枚目			

図 4.21　E グループの成果物

	被験者 16	被験者 17	被験者 18
1 枚目			
4 枚目			

図 4.22　F グループの成果物

	被験者 19	被験者 20	被験者 21
1 枚目			
4 枚目			

図 4.23　G グループの成果物

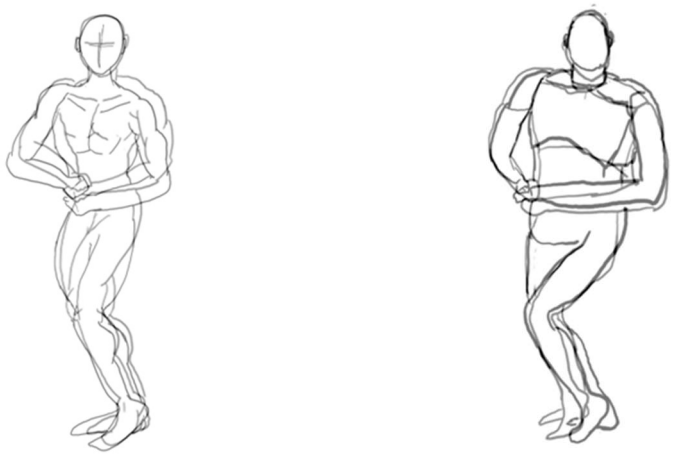
表 4.5　モデルと人物画の類似度

グループ	被験者	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	平均	1 枚目から 4 枚目の向上率
D	10	62.5	75.5	74.6	64.6	69.3	3.4%
	11	55.9	75.6	68.2	59.0	64.7	5.5%
	12	59.4	70.3	71.7	52.8	63.6	-11.1%
E	13	59.9	74.6	69.2	71.1	68.7	18.7%
	14	60.7	62.9	77.8	69.1	67.6	13.8%
	15	61.1	72.0	62.5	72.8	67.1	19.1%
F	16	68.9	79.4	81.3	75.3	76.2	9.3%
	17	63.9	84.8	71.8	74.9	73.9	17.2%
	18	63.5	71.8	77.6	67.9	70.2	6.9%
G	19	78.1	80.5	87.2	80.2	81.5	2.7%
	20	41.2	73.4	70.6	58.4	60.9	41.7%
	21	57.9	78.7	74.5	72.1	70.8	24.5%

4.3.3　評価および考察

・本実験の結果

表 4.5 で示すシステムが求めた類似度の向上率を見ると，D～G グループの平均値はそれぞれ-0.7%，17.2%，11.1%，23.0%となり，D グループ以外は類似度が大きく向上している．
何も支援をしていない D グループの被験者 10，11 についてはそれぞれ 3.4%，5.5%と少し類似度が向上しているが，被験者 12 については類似度が減少していた．図 4.20 の被験者 10 と被験者 12 の成果物については，視覚的にも大きな変化が見られなかった（図 4.24）．図 4.20 の被験者 11 については，成果物に変化はあるものの，極端に細長い体形の絵でモデルとはかけ離れたものになっており，絵の向上は見られなかった．



(a) 被験者 10　　(b) 被験者 11

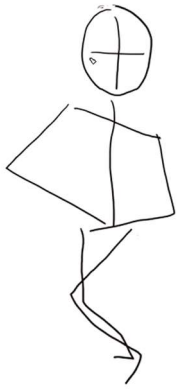
図 4.24　1 枚目と 4 枚目の絵の重畳表示

本システムを用いたそれぞれのグループについて，描画中の画面をキャプチャしたものを観察して，描き方の変化について考察する．

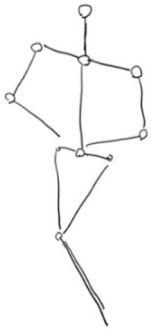
E グループでは，描いた絵に対する評価のみを行っている．被験者 13 の描いている様子を観察すると，評価が与えられたあとの 3 枚目の絵を描く際に描き方に変化が現れた．下描きをする際に，全体の比率を見るためのものさしをまずキャンパスに描き，それをもとに体のパーツを描いていた．これにより，図 4.21 の被験者 13 の成果物が示すように，体の軸のズレや腕の比率や角度が修正され類似度が伸びている．

F グループでは，骨格の重畳のみを行っている．被験者 17 の描いている様子を観察すると，2 枚目を描くときに，まず下描きとして骨格のアタリをとってから描くようになっていた. 1 枚目を描く際は, 下描きを何度も描きなおしており，輪郭線を描く際も何度も直して描いていた. 2 枚目からは骨格が重畳されていることで骨格の認識がしやすかったためか, 下描きを迷いなく描いていた. 輪郭線を描く際も無駄な線を描く回数が減り，1 回目では 20 分かけて描いていたものが 4 回目では 12 分で描き，さらに類似度も 17.2%向上していた．図 4.22 の被験者 17 の成果物を見ると，迷い線と呼ばれる余計な線が減っており，また胴の厚さや腰のくびれ，そして隠れている右足の関節角度などが修正されているように見える．4 枚目では，モデルに骨格は重畳されていないが，2 枚目と 3 枚目で描いた経験を学習して，人体の構造を考えて描いていることがうかがえる．

G グループでは, 骨格の重畳と描いた絵の評価のどちらも行っている. 被験者 20 の描いている様子を観察すると, 1 枚目から下描きの際に骨格を描いていた. しかし, 図 4.25 の(a)で示すように下書きの骨格は, 右前腕が右上腕よりも 1.3 倍の長さとなっている. また, モデルの上半身を基準としたときの下半身の比率は 1:1 であるが，下書きの比率は 1:5/8 となり，人体の骨格としては大きく異なっている．その下描きに対して輪郭線を描いていたため，図 4.23 の被験者 20 の 1 枚目を見ると分かるように, 腕の長さや太さ, 上半身と下半身の比率が間違っており，バランスが悪い．2 枚目と 3 枚目で，システムを用いて，骨格構造を学習したことにより, 4 枚目の下描きで描いた骨格はバランスの良いものになっている（図 4.24 b)．図 4.23 の被験者 20 の成果物を見ると，骨格の認識力が上がったことで上半身と下半身の比率が 10:9 で誤差は 10%となり，大きく改善している．1 枚目の絵に比べ，4 枚目の絵はシステムによる類似度の値も 41.7%向上しており，短い期間で大きく成長していることが確認できた.



(a)　1 枚目の下描きの骨格



(b)　4 枚目の下描きの骨格

図 4.25　被験者 20 の下描きの骨格

本検証で，システムを用いたグループにおいては類似度が平均で 17.1%，中央値で 17.2%向上しており，これは，不使用グループの向上率の平均-0.7%，中央値 3.4%とは明確な差があり，システムにより描画スキルが成長していることが示された．骨格の重畳と評価の両方を行った G グループの被験者 2 名においては類似度がそれぞれ 41.7%，24.5%と大きく向上しており，特に成長していることが確認できた．しかしながら，個人差も大きく関わってくるため，被験者を増やして行うことでより結果が明確になると考えられる．

・人による評価

人の目による絵の評価として，ウェブシステム[9]による評価アンケートを実施した．対象者は，デッサンの学習をした絵の専門学校や美術大学の在学生，卒業生および絵を描く仕事をしている人の 10 人（男性 9 人，女性 1 人，いずれも 20 代）である．アンケートでは，各被験者の 1 枚目と 4 枚目の絵を，次の 2 つの観点で評価する．1 つ目は，本実験で描いた人物画がモデルと比較して，どれほど近く描けているかの類似度を 10 段階で評価する．2 つ目は，本実験で描いた人物画を単体で見たときに人体構造的にバランスの取れた絵であるかを 10 段階で評価する．アンケートの回答者に提示する画像の順番に規則性はないものにするという，それぞれの絵に対して平等に評価ができる環境により評価アンケートを行った．アンケートの例を図 4.26 に示す．

図 4.26　評価アンケートの画面

[9] Google フォーム，https://www.google.com/intl/ja_jp/forms/about/

システムの類似度による評価と人による評価との間に関連性があるのかを検証するために,「システムによる類似度」と「人による 10 段階評価」との相関係数[17][18]を計算した．相関係数の内容としては，システムが求めた被験者 12 人分の 1 枚目と 4 枚目のそれぞれの類似度に対して，各回答者の評価アンケートにおける類似度とバランスの 1 枚目と 4 枚目のそれぞれの 10 段階評価との相関係数を求めている．各回答者の評価アンケートと相関係数を求めた結果を表 4.6～4.15 に示す．相関係数は，-1～1 の値をとり，±0.4 以上の値をとった場合に強い相関があることを示す．表 4.6～4.15 を見ると，回答者 10 人のうち 9 人の評価において相関係数が 0.4 以上の数値を示しており, 強い相関があることが確認できる．これは, システムの評価と絵を専門的に学んだ人の評価とが近いものであると言え，システム評価の妥当性を示せていると考えられる．

いっぽう, 人による評価を分析すると, 値の上ではシステムの向上率の順位とは異なる傾向もみられた. 1 枚目より 4 枚目の絵がよくなっていると感じる人の割合は E グループが 66.7%と最も高く, 次いで F グループと G グループが 47.0%となった．グループ毎に考察する．

D グループは 1 枚目と 4 枚目の絵に差がないと感じている人の割合は 39.4%で一番高かった．これはシステムの求めた類似度の向上率とも関連性があり，システムの評価においても類似度の向上率はそれぞれ 3.4%，5.5%，-11.1%と低い値を示しており，成果物に差がないことを示している．

E グループは向上していると判断した人が最も多く, システムが求めた類似度の向上率においても，それぞれ 18.7%，13.8%，19.1%と比較的高い値を示している. E グループにおいて人の結果が最も高かったのはシステムの評価と比較しても妥当な結果であったと考えられる．

F グループは被験者 16 と被験者 17 においては，59%の人が向上していると評価している．しかし，被験者 18 においては 55%の人が悪化していると評価していた. システムによる評価でも被験者 18 の類似度の向上率は 6.9%と平均値よりも低い．そのため，F グループの評価は平均すると低くなっている．

G グループは被験者 19 がシステムによる類似度において，1 枚目から 78.1 と高い数値を示しており, 4 枚目の 80.1 と大きな差がなく向上は見られなかった．人による評価もこれと同様に被験者 10 において 1 枚目と 4 枚目の絵に差を感じていない人の割合が 49.9%と高かった. これにより, G グループの平均が下がり, E グループが人による評価では最も良い成績を示したと考える．被験者 20 のシステム類似度の向上率は 41.7%となり，他の被験者の中では 1 番高かったが，類似度の値は 4 枚目でも 58.4%と低い．すなわち大きく成長はしているが，4 枚目がうまい絵になったというわけではない．そのため，人の評価でも 1 枚目より 4

枚目の方が良くなっていると評価している人の割合は 72.7%と高いが，10 段階評価の平均値は 3.3 となり低い．被験者 21 についてはシステムでの向上率が 24.5%，人の評価では向上していると感じている割合は 63.6%となり，ともに向上していることが確認できた．

これらより，人の評価とシステムの評価には関連性があると読み取れる．

表 4.6　回答者 1 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	5	5	5	5	4	4	6	7	6	10	5	4	0.66
類似度【4枚目】	6	6	4	7	4	5	9	8	5	8	6	6	0.61
バランス【1枚目】	5	5	5	6	6	4	7	7	7	9	6	4	0.56
バランス【4枚目】	7	5	6	7	5	4	9	8	6	9	7	5	0.39

表 4.7　回答者 2 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	6	3	5	6	3	4	10	8	4	10	3	4	0.76
類似度【4枚目】	6	4	4	8	5	3	9	9	4	9	4	7	0.70
バランス【1枚目】	5	4	4	5	3	4	9	7	6	10	4	4	0.75
バランス【4枚目】	7	5	6	7	4	3	8	9	4	10	5	4	0.40

表 4.8　回答者 3 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	8	3	5	4	3	4	8	8	5	10	2	3	0.82
類似度【4枚目】	9	3	3	7	5	6	7	8	4	9	7	5	0.58
バランス【1枚目】	7	2	2	5	3	4	7	8	5	10	3	4	0.74
バランス【4枚目】	9	2	2	6	5	3	6	9	4	9	7	5	0.51

表 4.9　回答者 4 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	6	2	4	4	2	3	6	7	4	9	1	5	0.83
類似度【4枚目】	7	2	3	7	4	4	7	9	3	7	3	6	0.70
バランス【1枚目】	6	2	4	4	2	3	6	7	4	9	1	5	0.83
バランス【4枚目】	8	2	4	6	4	3	6	10	3	8	3	5	0.55

表 4.10　回答者 5 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	1	1	1	1	1	1	6	1	2	6	1	1	0.70
類似度【4枚目】	2	1	1	3	1	1	4	1	1	6	1	4	0.63
バランス【1枚目】	2	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	0.63
バランス【4枚目】	3	1	1	3	1	1	3	2	1	5	1	2	0.63

表 4.11　回答者 6 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	8	4	3	4	3	4	8	6	4	10	2	4	0.81
類似度【4枚目】	8	4	2	6	6	5	9	8	5	10	5	6	0.81
バランス【1枚目】	6	4	3	5	2	3	7	6	5	10	2	4	0.82
バランス【4枚目】	7	4	4	7	6	4	8	8	5	10	5	6	0.74

表 4.12　回答者 7 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	4	2	2	4	3	1	6	5	4	10	1	2	0.84
類似度【4枚目】	5	3	2	5	6	1	6	4	3	8	2	2	0.54
バランス【1枚目】	3	2	3	3	2	2	6	6	3	10	1	2	0.84
バランス【4枚目】	4	3	3	4	6	1	5	5	4	9	2	2	0.52

表 4.13　回答者 8 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	4	3	3	4	2	2	8	5	5	8	2	5	0.76
類似度【4枚目】	6	1	4	6	6	1	7	5	5	8	3	6	0.55
バランス【1枚目】	4	3	2	4	3	1	5	4	5	9	1	4	0.82
バランス【4枚目】	5	4	4	5	7	1	5	6	4	9	3	6	0.48

表 4.14　回答者 9 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	7	4	6	6	4	4	7	8	4	7	5	8	0.35
類似度【4枚目】	8	4	5	9	7	4	10	8	6	5	5	9	0.42
バランス【1枚目】	9	6	7	7	6	6	7	7	5	7	5	9	0.31
バランス【4枚目】	9	5	8	8	7	4	10	7	6	8	5	9	0.28

表 4.15　回答者 10 の評価アンケートと相関係数

	被験者												相関係数
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	
類似度【1枚目】	7	2	4	5	3	4	7	5	5	9	2	6	0.81
類似度【4枚目】	8	2	3	4	6	4	8	5	4	9	5	6	0.60
バランス【1枚目】	8	2	4	3	1	3	5	4	3	10	2	8	0.58
バランス【4枚目】	9	2	3	7	6	3	8	5	5	8	5	6	0.53

・被験者アンケート

実験後には，一部のシステムの使用したグループ，またシステムを使用していないグループの被験者にシステムの全てを体験させた．その上で，被験者にシステムの使用感や気になった点についてアンケートを行った．システムについての意見や，指摘のあった改善点を表 4.16，表 4.17 に示す．

表 4.16　システムについての意見

好意的な意見	・直接モデルに骨格が映し出されているので，直感的に骨格を理解することができた（同様の意見が 5 件） ・骨格が重畳されていることで，モデルを全体的に観察して描くようになった（5 件） ・視点の固定を意識して描けたので，絵のバランスが崩れにくかった ・評価として点数を出されることでもっと良い点数をとりたいという思いがおき，やる気に繋がる（10 件） ・フィードバックによって比率を意識して描いたため，描く枚数が増えるにつれてバランスをとりやすくなった（5 件） ・評価の際にモデルと自身が描いた絵を重ねて比較されることで，気付くことが多々あった（8 件） ・描いた絵を人に見せることに抵抗があるので，システムが評価してもらえるのがうれしい（2 件） ・描く際の迷いがなくなった（2 件）
否定的な意見	・骨格を重畳されることで比率の確認はしやすいが，モデルが少し見えづらい（同様の意見が 5 件） ・視点を合わせるのが少し難しい（4 件） ・骨格の評価は良かったが，輪郭による評価があるとより良くなると思う（11 件） ・どこから描き始めると良いかなどを，指示されると描きやすい ・下描きとして描いた骨格をリアルタイムで診断して欲しかった ・悪かった部分だけでなく，良かった部分についてもコメントがあるとよりやる気につながりそう ・手先，足先，顔などのパーツについても支援してもらえると良かった（8 件） ・評価の見せ方が少し分かりづらかった（3 件）

表 4.17　システムの改善点

改善点	・骨格の表示切り替え機能 ・輪郭線診断 ・骨格のリアルタイム診断 ・ユーザインタフェースの修正 ・描く手順などの指導

事後アンケートでは，12 人中 10 人の被験者からシステム評価による支援が非常に役立ったという意見を得た．いっぽうで，骨格の重畳により意識的に人体構造を意識して描くようになったが，輪郭を描く際に見えづらいなどの意見があり，提示の方法や表示の切り替えなどを改善する必要がある．

また， 11 人の被験者から骨格による診断だけでなく，輪郭線の診断があると良いのではないかという意見があった．現在のシステムでは，描く対象を実物のモデルとしているため，姿勢推定によりモデルの骨格情報は抽出できているが，モデルの輪郭情報は数値として得られていない．しかし，画像から 3D モデルの再構成を行う技術[19]を利用することで，輪郭線診断を実装できるのではないかと考えている．

骨格のリアルタイム診断については，細線化アルゴリズムを用いることで実装できると想定している．ユーザインタフェースの修正や描き方の指導を実装することで，よりシステムの効果が高まることが示唆される．

・総評

システムによる支援の効果：

システムを利用しなかったグループとシステムを利用したグループの比較では，利用したグループの方がより描画スキルが向上することは明らかになった．

支援における差：

実験を行う前の仮説は，描画中と描画後の評価という双方の支援を行った G グループが最も良い評価が得られると考えていた．それを示すように，システムによる評価での向上率上位 2 名は G グループの被験者であった．しかし，2 位の被験者と E・F グループの被験者の向上率は近い結果となった．加えて，人の評価においては描画後の評価の支援のみを行った E グループが特に良い結果を示していた．このように，G グループに際立った向上が見られたわけではなかった．

これは，描画後に評価を行ったことで，描画中に骨格重畳をしていなくても，骨格を意識するようになり，むしろ描画中に表示されないことでより意識が強くなっていることが考えられる．また，描画中に骨格が重畳されていれば，骨格を意識せずとも骨格を描ける．結果として，これらが同等の効果となり，組み合わせての相乗効果がさほど見られなかった一因ではないかと考える．

被験者アンケート：

骨格重畳のおかげで描きやすくなったという意見がある一方，骨格が常に出ていると見えづらいという意見もあった．このアンケートの結果から分かるように，人によって求める支援が異なる．これは，描画スキルであったり，上記で示すような学習スタイルの相性が関係していると考える．

輪郭に対しての支援の需要が多く，検討すべき点である．しかし，支援を増やし過ぎると自身で考える力が養われず，学習としての質が落ちることも懸念される．支援の少ない環境で考えて描くことが自己学習としては良いこともあり，そのような検証も行えるとより良い学習環境を提供できるのではないかと考える．

以上より，どの支援が最も良いとは一概に言えず，学習者に合わせた機能の提供が支援として重要であると考える．

第 5 章

おわりに

本章では，本論文の結論と展望について述べる．

5.1 まとめ

本研究では，実物の人物モデルを対象とする描画の学習支援システムを提案した．絵を描き始めた初心者にとって，モデルの人体比率を把握することや骨格構造に則った絵を描くことは容易ではない．人物デッサンにおいて，人体の構造を理解して描くことは重要であり，実物を見て描く練習をすることで，立体感や距離感，モデルの構造を意識して描くことができる．また，モチベーションを維持した状態で学習をすることも重要である．それには，描いた絵に対しての評価を得ることが 1 つ挙げられる．ほかには，自分の身近にある好きなものを描画対象にすることもモチベーションを向上させるための要素となる．本システムでは，実物のモデルにヒントの提示ができ，描いた絵の評価が行えるシステムを提案し，学習者が人体を正確に描く技術の体得を目的とした．

1 つ目の支援は，単眼のカメラで姿勢推定を行える手法を用いて，実物のモデルや描いた人物画の姿勢情報を抽出し，得られた姿勢座標を利用して実物のモデルに骨格線分を重畳し，骨格構造の理解を助けるものである．2 つ目の支援は，姿勢推定により得られた姿勢座標を用いて，描いた絵に対して骨格に着目した評価を与えることで，意識的に自身の間違っている部分に気付かせ，自己学習の効率を上げる助けをするものである．

システムの検証として，2 つの実験を行った．予備実験として，モデルへの骨格の重畳が描く際の有効なヒント提示となるのかを検証した．「何も支援を行わないグループ」，「視点固定を補助するグループ」，「骨格の重畳をするグループ」の 3 グループに対して様々なモデルを対象に 5 枚の絵を描かせ，それらの絵を分析した．その結果，骨格を重畳することが描く際に有効であることが確認できた．本実験では，「骨格の重畳」とそれに加えて「描いた絵に対する評価」を行うことで，より効果的に学習の支援ができるのかを検証した．「システムを用いないグループ」，「評価のみをするグループ」，「骨格を重畳のみをするグループ」，「骨格重畳と評価の両方をするグループ」の 4 グループに対して様々なモデルを対象に 4 枚の絵を描かせた．1 枚目と 4 枚目はシステムを用いずに描き，その

結果の変化を分析することでシステムの有効性を確認した．結果として，システムを利用したグループは描画スキルが大きく向上することは明らかになった．いっぽうで，求めている支援は個人で異なり，どの支援が最も良いのか一概には言えなかった．

結論として，本システムを用いることで骨格認識力や描画スキルが向上することを確認できた．実物のモデルを対象とした絵の学習環境を構築したことで，より実用的なデッサンの学習支援を提供できた．本システムでは，自身の所有しているフィギュアなどの好きなものを描く対象にすることも想定しているため，モチベーションの向上も期待できる．

5.2 展望

本研究では，骨格に着目して絵の評価を行った．しかし，実験後のアンケートにより，輪郭線診断を必要とする意見が多かったため，輪郭線を診断できる機能の実装を検討する．本システムでは，実物のモデルを対象にして絵を描いているため，輪郭線の診断をするにはモデルの輪郭データを取得しなければならない．その方法として，1 枚の画像から自然な人体 3D モデルを再構成する手法[20]を利用できると考えている．これにより，2D 画像から 3D モデルを再構成し，得られた 3D モデルの頂点情報から輪郭の特徴点を抽出することが可能である．得られたモデルの輪郭特徴点と描いた絵の輪郭線を比較することで，輪郭線の診断ができると想定している．

このように，システムの改良を行うことで，さらに有効性を高めることができると考えている．

謝辞

本研究を進めるにあたり，様々な場面において，幅広い知識とひらめきで適切な助言を賜り，数多くのご指導をくださった主指導教員の宮田一乗教授に心より感謝いたします．就職活動の際に履歴書の添削やご相談に乗っていただき，また夜遅くまで研究について助言をくださった浦正広助教に心より感謝いたします．

研究計画書の際にご助言をくださった副指導教員である赤木正人教授に心より感謝いたします．副テーマで初めての分野において，何も分からない私に助言をくださった副テーマ指導教員である池田心准教授に心より感謝いたします．

実験の被験者になっていただいた鵜木研究室，金井研究室，小谷研究室，敷田研究室，西本研究室，宮田研究室の学生の皆様に心より感謝いたします．実験のアンケートに答えていただいた畠山君のお知り合いの美術専門学生の方々，蟹江君のお知り合いの美術学校に通う学生の方々，硴崎君のお知り合いのイラストレーターの方に心より感謝いたします．

辛い時に励ましあったり，助けあったりした宮田研究室 M2 の蟹江君，畠山君，王君，北村君，斉藤さんに深く感謝いたします．宮田研究室の M1 の皆様には，研究だけでなく様々な話をしてたのしませていただきました．論文執筆で辛い時に暖かいご飯を用意してくださった皆様には深く感謝いたします．

転研究室をする際に親身になって対応してくださった小谷先生，転研究室の手続きをしてくださった東条先生に心より感謝いたします．

最後に，本研究に関わってくださったすべての方々に心より感謝いたします．

参考文献

[1] “[pixiv] お知らせ - pixiv 登録ユーザー数が 1,000 万人を突破！1,000 万ユーザー記念企画を開始”, https://www.pixiv.net/info.php?id=2250. (2017/1/22)

[2] “中高生が思い描く将来についての意識調査 2017”, http://www.sonylife.co.jp/company/news/29/nr_170425.html. (2017/1/22)

[3] “イラスト上達にデッサンは必要かどうか。画力向上の練習論 | 絵心浪漫”, http://egokororoman.com/dessin/. (2017/1/22)

[4] A・ルーミス (著), 北村孝一 (訳) (2000), “やさしい人物画”, マール社.

[5] “hitokaku index”, http://www.asahi-net.or.jp/~zm5s-nkmr/. (2017/1/22)

[6] 戒直哉, 宮田一乗 (2013), “顔のアタリ描画支援システム”, 北陸先端科学技術大学院大学 修士論文.

[7] 山田卓, 曽我真人, 瀧寛和 (2012), “骨格と輪郭線を診断する人物画の学習支援環境の構築”, 情報処理学会シンポジウム論文集, ,2012, 3, ROMBUNNO.1EXB-36.

[8] 川連一将, 渡邊恵太 (2015), “Illustpose:姿勢データを利用した人物デッサン支援システム”, WISS 2015.

[9] 山田太雅, 棟方渚, 小野哲雄 (2015), “人物キャラクタの模写における絵の評価システムの提案”, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, 2015, 574 – 579.

[10] “デッサンの初心者がモチベーションを維持するための３つの方法 - デッサン中級者の芸術日記”, http://picture-staba.com/archives/684. (2017/1/25)

[11] “これが絵が上手くなるために大切なことらしい：くまニュース”, http://blog.livedoor.jp/qmanews/archives/52147149.html. (2017/1/25)

[12] Zhe Cao and Tomas Simon and Shih-En Wei and Yaser Sheikh (2017), “Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields”, In CVPR, 2017.

[13] 柴田佳幸 (2016), “コサイン類似度を用いた人の姿勢の時系列データに基づく日常動作の自動分類とその認識”, 大学院研究年報 理工学研究科篇, 46, 2016.

[14] 松(A・TYPEcorp.) (2016), “デジタルイラストの「身体」描き方事典 身体パーツの一つひとつをきちんとデッサンするための秘訣 39”, SB クリエイティブ.

[15] 須藤克明 (2007), “総合絵画理論 デッサン編”, 須藤克明.

[16] “ボディビル大会における基本ポーズ”, http://cyoshida.web.fc2.com/01taikaicontents/kihonpose/kihonpose.htm. (2017/2/3)
[17] 岩淵千明 (1997), “あなたもできるデータの処理と解析”, 福村出版.
[18] 内田治 (2000), “すぐわかる EXCEL による統計処理”, 東京図書.
[19] Angjoo Kanazawa, Michael J. Black, David W. Jacobs, Jitendra Malik (2017), “End-to-end Recovery of Human Shape and Pose”.

付録

予備実験や本実験で被験者が描いた，本編には挿入していない成果物について図 A-1～図 A-7 に示す.

図 A-1　A グループの成果物

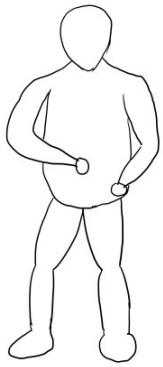
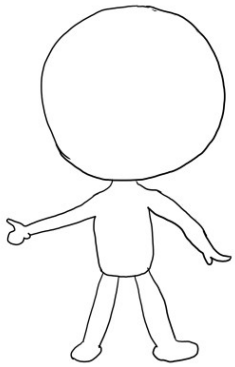
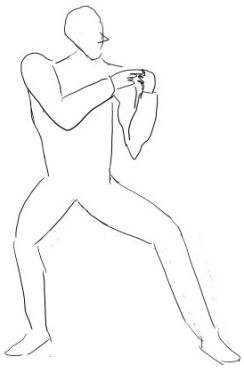
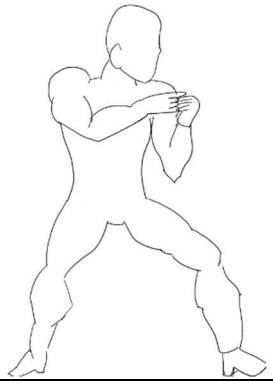
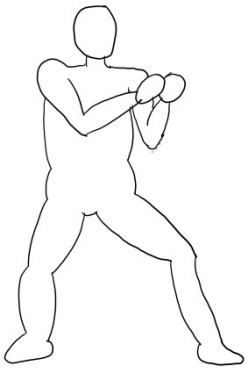
	被験者 1	被験者 2	被験者 3
2 枚目			
3 枚目			
4 枚目			

図 A-2　B グループの成果物

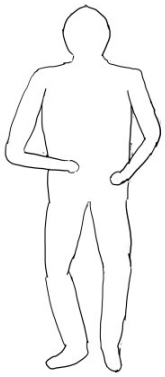
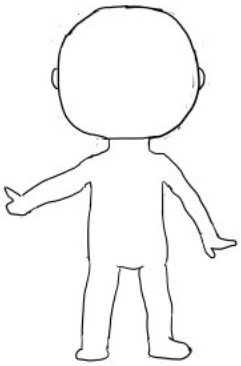
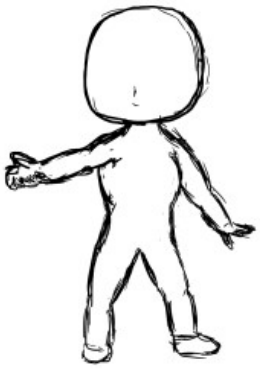
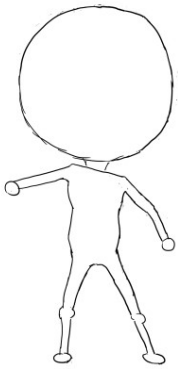
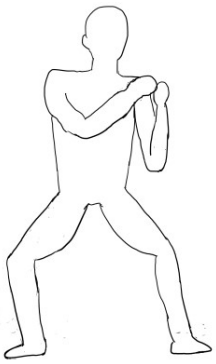
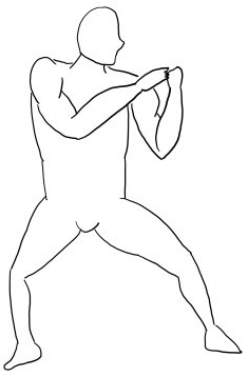
	被験者 4	被験者 5	被験者 6
2 枚目			
3 枚目			
4 枚目			

図 A-3　C グループの成果物

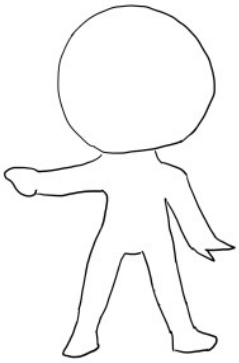
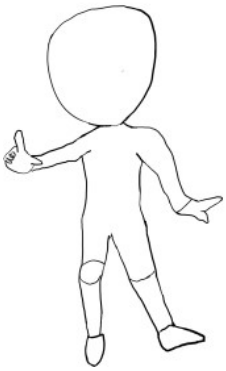
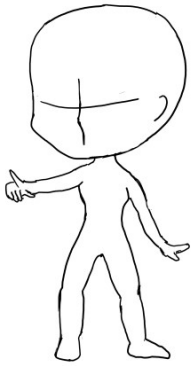
	被験者 7	被験者 8	被験者 9
2 枚目			
3 枚目			
4 枚目			

図 A-4　D グループの成果物

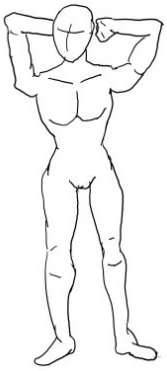
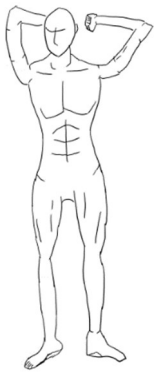
	被験者 10	被験者 11	被験者 12
2 枚目			
3 枚目			

図 A-5　E グループの成果物

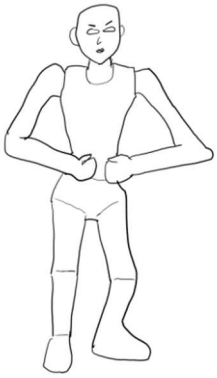
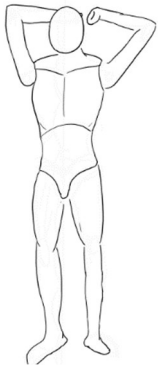
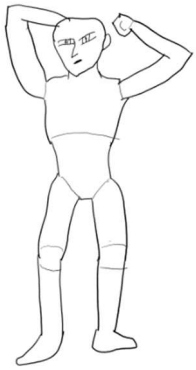
	被験者 13	被験者 14	被験者 15
2 枚目			
3 枚目			

図 A-6　F グループの成果物

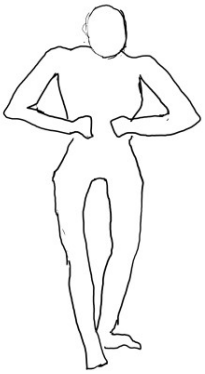
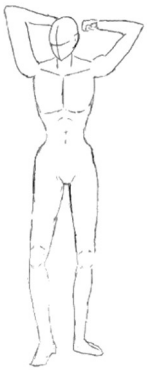
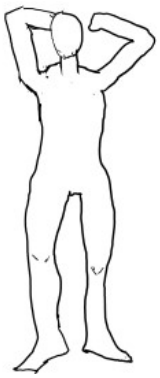
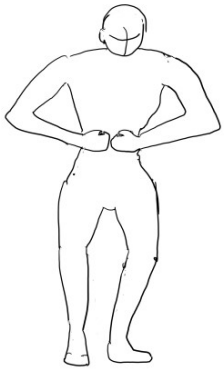
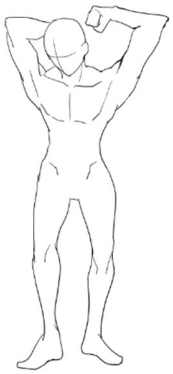
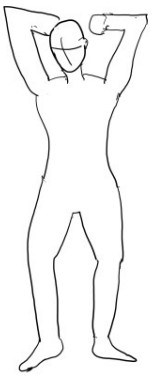
	被験者 16	被験者 17	被験者 18
2 枚目			
3 枚目			

図 A-7　G グループの成果物

	被験者 19	被験者 20	被験者 21
2 枚目			
3 枚目