

正面および側面のイラストからの キャラクタ顔回転シーンの自動生成

古澤 知英^{1),3)†} 福里 司^{1),3)} 岡田 成美^{1),3)} 平井 辰典¹⁾ 森島 繁生^{2),3)‡}

アニメーションを制作するには、大量の絵を描く必要がある。また、時間連続性を考慮しながら大量の絵を描くことは難しい。したがって、数少ない絵からアニメーションを作ることができれば、制作における労力を削減できるだけでなく、手描きアニメーションを制作の敷居を下げる事が出来る。そこで本稿では、アニメーション制作における”中割り”に注目し、キャラクタの顔回転シーンを対象とした中割り自動生成システムを提案する。提案手法では、2つの方向間の0~90°のキャラクタの顔回転シーンを、2枚の入力画像から生成するために、入力画像間の対応付け、およびパーツごとの回転による位置と形状の変化のルールについて検討を行う。

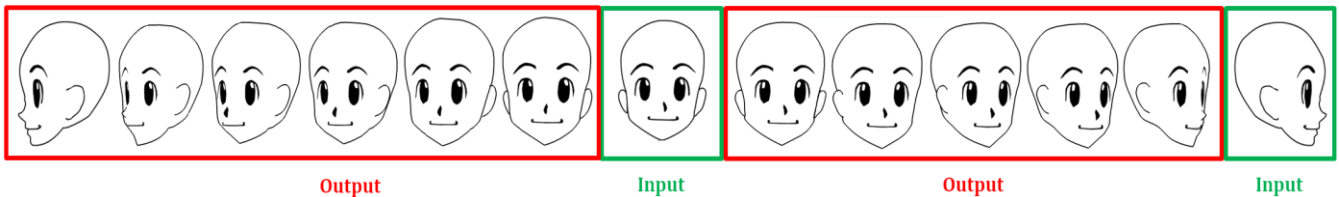


図1 Humanにおける中割り画像生成結果

1. はじめに

アニメーションは、国や年齢問わず世界市場に流通している人気コンテンツである。特に、日本アニメーションのキャラクタは、繊細な動きや作品や作者ごとに独自な特徴を伴うものとして世界的にも注目を集めている。アニメーションには、3Dアニメーションと2Dアニメーションの大きく分けて2種類が存在する。3Dアニメーション作品では、作業工程のデジタル化が進み、作業の効率化が進んでいる。一方で、2Dアニメーションにおける製作工程は未だ多くの部分を手作業で行っている。1秒あたり24枚もの絵を描く作業を限られた時間の中でアナログにこなさなければならず、同時にアニメータの慢性的な不足に悩まされており、作業の効率化において深刻な問題を抱えている。

アニメーション作品の動きを表現するためには、膨大な枚数の絵を描く必要がある。その絵は、大きく分けて2種類に分類される。“キーフレーム”と呼ばれる決めポーズの画像群(例:漫画のコマ)と”中割り”と呼ばれる「動き」を演出するための画像群(キーフレーム間の時間連続性を滑らかに補間する画像)である。これら2種類の画像制作作業を分業し、制作されるアニメーションは中割りアニメーションと呼ばれる。

3Dアニメーションでは、一度モデルを構築すれば、アングルやキーフレームのポーズを編集することで簡単に中割りアニメーションを生成することが可能である。しかし、2Dアニメーション作品中に登場するキャラクタは3Dモデルを制作することが困難なケースが多い。2Dアニメーションでは、アニメータのこだわりを演出するため、3次元上では矛盾するようなキャラクタの特徴部の動きを見せることがあるためである。このようなキャラクタの場合、フレームごとに幾度ものモデルの修正を加える必要があるため、最終的に作業を効率化することが難しい。そこで、2Dアニメーション制作の効率化のために、入力画像に対する3次元情報を作ることなく、中割りを生成するための手法が必要とされている。アニメーションの中でも頻りに登場するキャラクタの顔を伴う3次元回転シーンの自動生成システムの需要は高い。しかし、多くの研究は2次元平面上の動きに限定され、回転のような3次元上での動きを伴うシーンを効率的に生成することは非常に難しい。3次元回転を表現する場合の課題として、詳細な3次元情報を作らない中で、3次元情報の変化を2次元平面上で表現しなければならないという点があげられる。このように、3次元回転のシーンはコピー&ペーストのような単純な作業では生成できない。

そこで我々は、2枚のキャラクタ顔画像を入力として、3次元回転シーンを生成する手法を提案する。具体的には、詳細な3次元情報を作ることなく、入力画像の2次元情報に関して、パーツの位置の変化と形の変化を表現するそれぞれの変換ルールを確立することで、キャラクタ顔回転シーンの自動生成を達成する。

†1 早稲田大学
Waseda University

†2 早稲田大学理工学術院理工学総合研究所
Waseda Research Institute for Science and Engineering

†3 JST CREST
JST CREST

† xchie17x@asagi.waseda.jp

‡ shigeo@waseda.jp

2. 関連研究

2D アニメーション制作には 2 つのアプローチが挙げられる。あらかじめ 3 次元モデル制作し、シーンを制作する方法と手描きのキーフレームから中割り画像を制作する場合が考えられる。3 次元モデルを用いる場合、2D アニメーションにみられるアニメータのこだわりを演出するためにはモデルを編集する必要がある。そこで、3 次元的には矛盾するキャラクタ特徴形状を方向依存で補間する研究が提案されてきた[1]-[2]。これにより、3D アニメーションでもアニメータのこだわりを演出することは可能になったが、複数の方向でのモデルの編集作業は手間がかかる。

手描き画像から中割り画像を生成するための手法は、主に大きく更に 2 つに分かれる。ひとつは、手描き画像の 2 次元情報を変換することで中割り画像を生成する方法である。画像をメッシュに分割し、各メッシュのアフィン変換(2 次元平面上の回転・平行移動行列)に着目した手法が提案されている[3]-[8]。これらは 2 次元平面上の動きの中割りを生成する点で優れているが、3 次元回転を表現することはできない。

Baxter らは入力画像の輪郭情報を基に、モーフィングを行う手法を提案した[9]。これらは、複数の画像間での補間を可能にした点で優れているが、3 次元回転では輪郭の対応情報に変化するため、3 次元回転を表現出来ない。

Gohara らは、ユーザが構築したデータベースに基づいたモーフィング手法を提案した[10]。この手法は、キーフレーム(顔向き異なるキャラクタ画像)間のモーフィングにおけるブレンド率をデータベースから決定することで、任意のキャラクタに適用することができる。しかし、データベースの構築作業には、入力画像の 2 枚に加え、顔向き異なる手描き顔画像を複数枚必要とし、ユーザへの負担が大きかった。さらに、補間することができる角度が全てのパーツが見えている範囲($0^{\circ} \sim 60^{\circ}$)に限定されている。この角度範囲は、回転によってパーツが隠れるような軌道に対応していなかったことが原因としてあげられる。これらの問題を解決するには、正面と側面の画像情報のみから 3 次元回転の軌道を推定する必要がある。

また、アニメーション制作ツール『Live2D』は 2 次元メッシュの変形により立体表現を行うことができる[11]。しかし、顔の回転シーンを生成するためには、繰り返し、メッシュの形の修正が必要となる。これは、回転による軌道を推定することができないことが原因となっている。

一方、手描き画像から中割り画像を生成するもうひとつの方法としてスケッチベースでモデリングを行う手法が注目されている。ストロークの閉領域に対してメッシュを自動生成することで 3 次元モデルを制作する研究が提案されてきた[12]-[15]。手描き画像から簡単に 3 次元情報を作ることができる点で優れているが、ストロークに依存してボ

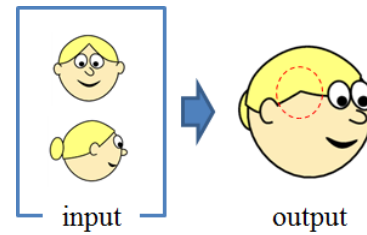


図 2 Rivers ら^[10]の手法における Limitations

リュームを出すことで 3 次元情報を作るので、方向に依存したキャラクタ形状を作ることができず、モデルの形状は限られている。

そこで、Rivers らは、2D 情報と 3D 情報を組み合わせたインタラクティブな手法を提案した[16]。ユーザは、キーフレームでの各パーツの対応付けを行い、パーツの可視角度範囲を設定する。インタラクティブにキーフレームを編集していくことで、編集したキーフレーム間が自動補間され、キャラクタに合わせた軌道と形を実現するモデルを制作することができる。しかし、軌道を決定する際に 3 次元情報として簡易的な位置関係を仮定しているため、少ないキーフレームから軌道を自動決定することが難しい。さらに、各パーツの輪郭をストローク単位で対応付けを行うため、図 2 のキャラクタのように髪の形状特徴となる凹凸の相対関係が保持できない。この問題を解決するためには、入力画像の 2 次元情報からキャラクタの特徴部分を対応付けする必要がある。

そこで、本研究は、入力画像枚数を 2 枚に抑え、 $0 \sim \pi/2$ のキャラクタ顔回転シーンを生成する。正面及び側面の顔パーツの特徴点を用いて対応付けを行い、特徴点座標情報を用いて回転による各パーツの変換ルールについて検討する。

3. 中割自動生成

本章では、顔パーツの位置と形状を決定する 2 つのルールを用いたキャラクタ顔の回転シーンの中割り画像自動生成手法を提案する。ユーザによる正面及び横顔の 2 枚の手描き顔画像および、入力画像の特徴点を用いた対応付けの情報をもとに、顔パーツの位置と形状を決定する 2 つのルールを決定する。提案手法による顔回転シーンの生成までの流れを図 3 に示す。

3.1. 入力画像

入力画像として顔向き異なる 2 枚の手描き画像を用意する。今回は、左右の回転シーンを作るため、正面顔と横顔の手描き画像を入力画像とする。入力画像は図 1 中の緑線枠で囲まれた 2 枚とする。

3.2. 特徴点付与

上記の入力画像間の対応付けを行う。その際に、特徴点

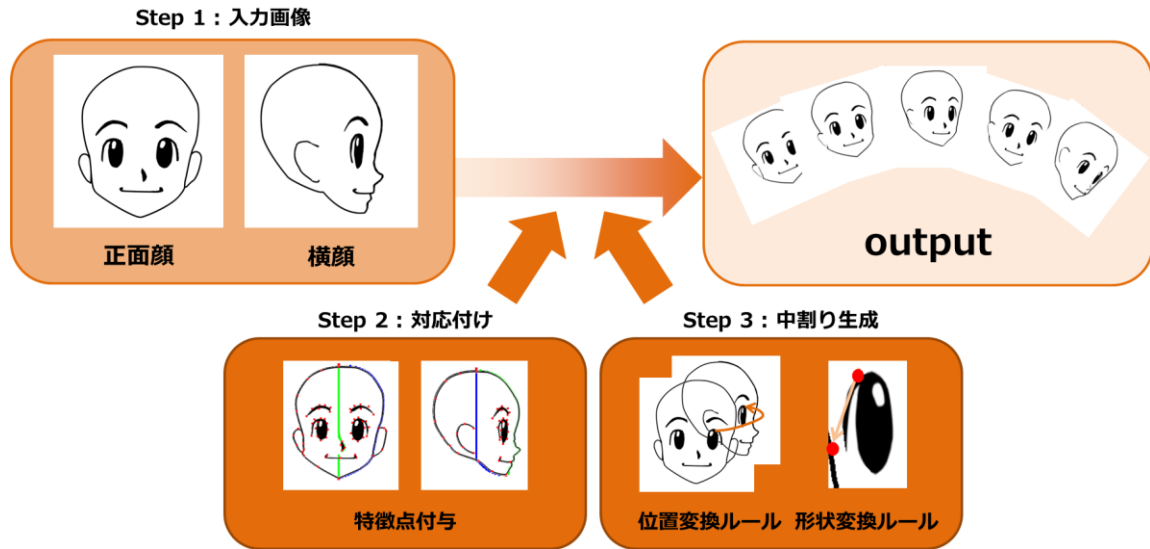


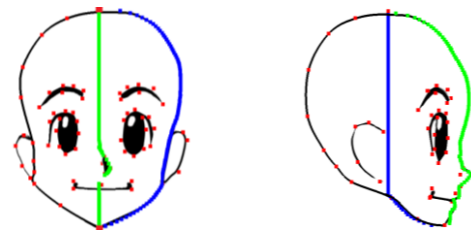
図3 顔回転シーン自動生成までの流れ

の番号を使用し、正面顔と横顔の画像間でのキャラクタ顔パーツの点単位での対応付けを行う。図3下図のように、回転により隠れるパーツは対称に存在するパーツに対応点を取るものとする。また、特徴点同士を結んだ領域をパーツごとのテクスチャとする。図1の場合、顔を構成するパーツを左耳、右耳、左眉、右眉、左目、右目、鼻、口、左輪郭、右輪郭、鼻筋のラインの11つのパーツに分類する。輪郭の特徴点は、2つのライン上に特徴点を付与しておく。なぜなら、輪郭となるラインは回転に伴って変化するためである。例えば、左右の回転の場合、輪郭となるラインは顔全体のラインから額から鼻筋を通るラインへと変わる。そのような輪郭ラインの移り変わりを表現するため、正面と側面で輪郭となっているラインを独立に対応付けを行う。それぞれに相当するライン上に等しい点数、特徴点を付与する。正面では鼻筋のライン、横顔では顔を覆うラインが輪郭ではないので、仮想的なライン上に付与する。

輪郭線の特徴点を自動で取得するために、頭頂部と顎の座標の2点を入力とし、入力画像の輪郭線をCatmull-Rom Spline 曲線で近似する。近似曲線と実際の輪郭線との座標差が閾値のピクセル数以下になるように制御点数を増やし、最適な制御点を自動で取得する。今回は、輪郭ライン上でそれぞれ100点ずつ取得した。特徴点付与例を図3に示す。

3.3. 中割り特徴点座標の算出

2Dアニメーションにおいて、各パーツの形状は作品に依存して大きく異なるため、パーツ全体の位置座標変化とパーツの形状変化について独立に扱いたい。そこで本章では、3.2章で取得した特徴点を基に中割りを生成するため、パーツの「軌道」と「形状」の変換ルールを決定する。



赤の特徴点は手動で与え、緑と青の特徴点は自動取得する。それぞれ顔を覆うラインは青色、鼻筋を通るラインは緑色に対応している。



(a) 正面顔 (b) 側面顔

図3 特徴点付与例

3.3.1. パーツの位置座標変換ルール

パーツ全体としての動きを決定するためにパーツの代表点の軌跡を求める。0~ $\pi/2$ のキャラクタ顔回転シーンを生成するには、パーツが他のパーツによって隠されるような座標変化を推定する必要がある。①正面時、②軌道が折り返す閾値角度、③横顔時でのそれぞれのパーツの位置及びその軌跡を検討する。図4に概要を示す。左眉や左目のような回転中に隠れるパーツの軌跡は、①から③を直接結ぶような赤矢印の軌跡により表すことはできない。実際には、回転により隠れるパーツは、①から②の赤矢印のように一方向に進行した後に、あるところを境に進行方向が逆転し、その後②から③を結ぶ青矢印のような折り返す軌跡をたどるからである。一方で、回転の間見え続けているパーツは②の位置を越して1方向に進み続けるため、回転に

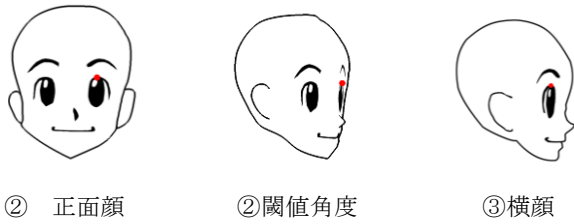


図4 各パーツの軌跡

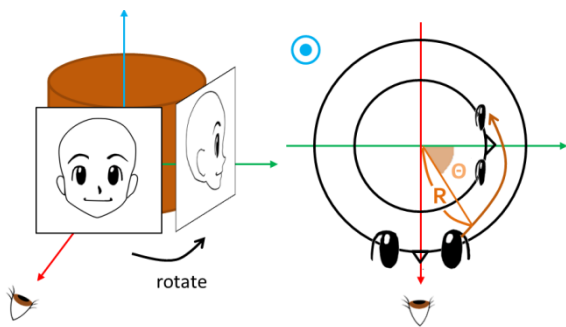


図5 各パーツの軌跡の概要

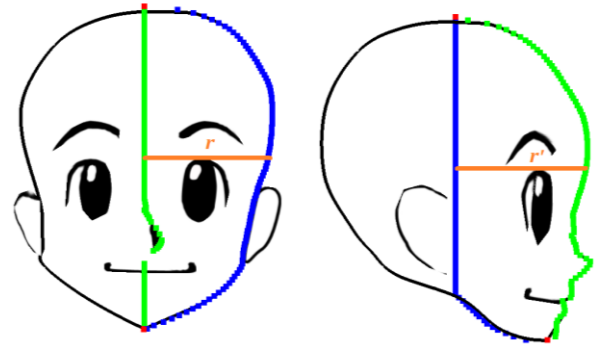


図6 正面顔と横顔の円柱半径 r および r'

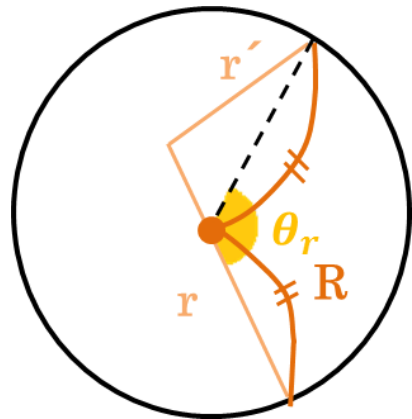


図7 円柱の半径 R

より、左側のパーツは、他のパーツにより遮蔽されることで見えなくなる。このような軌跡を表現するために各パーツの代表点位置を図5のように近似し、以下の式(1)で表す。

$$I_{r_x} = C + R \cdot \cos \theta \quad (1)$$

I_{r_x} は中割りでのパーツの代表点 x 座標、C は顔の中心座標、R は各パーツの円柱半径である。回転角度 θ が $\pi/2$ になるとき、 $R \cdot \cos \theta = R$ となるため、軌道が折り返す閾値角度となり、図4での②の閾値角度となる。

ただし手描き画像のキャラクターは正面と側面で円柱の半径は異なるため、R は角度に依存する変数である。そこで図6のように目の高さを基準とする正面及び側面の円柱半径の値より、正面及び横顔のパーツの初期角度 θ_{st} および θ_{ed} は以下の式(2)のように表される。

$$\theta_{st} = \arccos\left(\frac{Sr_x - C}{r}\right) \quad (2)$$

$$\theta_{ed} = \arcsin\left(\frac{Ar_x - C}{r'}\right)$$

次に、以下の式(3)を満たす半径 R を求める。半径 r 及び r' 、R の関係を図7に示す。

$$R^2 = r'^2 + (r - R)^2 + 2r'(r - R)\cos\theta_r \quad (3)$$

$$\theta_r = \left(\frac{\pi}{2} - \theta_{st} + \theta_{ed}\right)$$

よって、各パーツの位置の軌跡(1)に関する変数は以下式(4)のようにまとめることができる。

$$C = (r - R) * \cos(\theta_{st}) \quad (4)$$

$$\theta(t) = \theta_r * t \quad (0 < t < 1)$$

顔向きパラメータ t を変えることによって、中割りでの特徴点位置 I_{r_x} を算出することができる。y 座標は入力画像の特徴点間距離に関して線形補間を行う。

3.3.2. パーツの形状変換ルール

パーツの軌道を基準に、中割りにおけるパーツの形状を決定する。基本的には線形補間だが、正面と側面での形状を比較するために、代表点を基準とした相対的な距離を用いる。また、内分比係数は位置変換ルールと統一し、cos 関数に設定する。代表点からの相対距離を比較することで、眉が目から外側にせり出すなどのキャラクターごとのパーツの形状特徴および相対関係を考慮する。各特徴点を算出する式(5)を以下に示す。

$$I_i = Ir + (S_i - Sr) \cdot \cos \theta + (A_i - Ar) \cdot (1 - \cos \theta) \quad (5)$$

ここで、 I_i , S_i , A_i は、それぞれ中割り、正面顔、横顔での各パーツの i 番目の特徴点座標、 Ir , Sr , Ar は中割り、正面顔、横顔での各パーツの代表点座標である。

変換ルールに基づいて、パーツについてはテクスチャをアフィン変換し、マッピングすることで中割り画像でのパーツが生成される。

3.4. 輪郭の描画

パーツの輪郭線は Catmull-Rom Spline 曲線で表現する。顔の輪郭に関しては、顔全体を覆うライン（青線、図3を参照）と鼻筋のライン（緑線、図3を参照）が交差することで、額付近は顔全体のラインが外側にあるが、鼻付近は鼻筋のラインの方が外側にある状態になる場合がある。

そこで、中割りでの顔全体を覆うライン上の特徴点と筋を通るライン上の特徴点を比較し、画像に対して外側にある点を輪郭と判定する。2つのライン上の特徴点は等しい点数取得しているのので、頭頂部から2つのライン上の点の1点ずつ値を比較することができ、これらを連結することで回転に伴う輪郭の変化を表現する。

4. 生成結果

以上の手順で生成した結果を図1, 8に示す。また、各キャラクタの取得特徴点数を表1に示す。本手法により、 $0 - \pi/2$ のキャラクタ顔回転シーンを生成することができた。入力画像を反転させることで、逆向きの顔回転シーンを生成できる。

また、3次元的に矛盾した特徴を持つキャラクタの顔回転シーンを生成することが可能である。例を図9,10に示す。特に、図10は髪型の特徴点の対応付けのパターンは複数考えられる。そこで、特徴点の対応関係を設定することでユーザの嗜好に合った顔回転シーンの生成が可能である。

5. まとめと今後の課題

本研究では、2枚の顔向き異なるキャラクタ顔画像を入力とし、3次元顔回転シーンにおける中割り画像を生成する手法を提案した。パーツの相対関係を保持する2次元平面上の位置座標の変換ルールおよび形状変換ルールを実現した。パーツに模様を含む場合、テクスチャとして扱うと変形に伴い模様が破たんするが、模様ごとに特徴点を取ることは難しい。そこで、今後の課題として、パーツに模様を補間するテクスチャ変形を検討したい。顔パラメータ t の変化率に関して、パーツの円柱半径との関係性を考慮することでキャラクタ特徴にあったパーツ位置・形状を補完できるように検討したい。そして、回転に伴う輪郭線幅の変化を考慮することで回転中のより詳細な変化を表現し

たい。また、ユーザインタフェースを作成し、特徴点の対応付けのガイドや中割り特徴点座標の編集機能を導入していきたい。

参考文献

- 1) P.Rademacher *et al.*: View-dependent Geometry. In Proc. ACM SIGGRAPH 1999, pp.439-446, 1999.
- 2) Y.Koyama *et al.*: View-dependent control of elastic rod simulation for 3D character ani-mation. In proc of SCA2013, pp.73-78, 1013.
- 3) M.Alexa *et al.*: As-Rigid-As Possible Shape Interpolation, ACM SIGGRAPH2000, pp.157-164, 2000.
- 4) T.Igarashi *et al.*: As-Rigid-As-Possible Shape Manipulation, ACM SIGGRAPH2005, pp.1134-1141, 2005.
- 5) W.Baxter *et al.*: Rigid Shape Interpolation using Normal Equations, In Proc. NPAR2008, pp.59-64, 2008.
- 6) D.Sykora *et al.*: As-Rigid-As-Possible Image Registration for Hand-drawn Cartoon Animations, In Proc. NPAR2009, pp.25-33, 2009.
- 7) Y.Wang *et al.*: 2D Shape Deformation Based on Rigid Square Matching, The Journal of Computer Animation and Virtual World (CASA2008), Vol.19, Issue 3-4, pp.411-420, 2008.
- 8) S.Kaji *et al.*: Mathematical analysis on affine maps for 2D shape interpolation, In Proc. ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation(SCA2012), pp.71-76, 2012.
- 9) W.Baxter *et al.*: N-way Morphing for 2D Animation, The Journal of Computer Animation and Virtual World (CASA2009), Vol 20, issue 2-3, pp. 79-87, 2009.
- 10) H.Gohara *et al.*: Data Driven In-betweening for Hand Drawn Rotating Face, ACM SIGGRAPH 2010, Posters, No.7, 2010.
- 11) Live2D <http://www.live2d.jp/>
- 12) R.C.Zeleznik. *et al.*: SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1996.
- 13) T.Igarashi *et al.*: Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1999.
- 14) A.Nealen *et al.*: Fiber Mesh: designing freeform surfaces with 3D curves, ACM Transactions on Graphics (TOG) 26, 3, 2007.
- 15) Y.Gingold *et al.*: Structured annotations for 2D-to-3D modeling. ACM Transactions on Graphics (TOG) 28, 5-18, 2009.
- 16) A.Rivers *et al.*: 2.5D Cartoon Models, ACM Transactions of Graphics (TOG), Vol.29, 4, No.59, 2010.

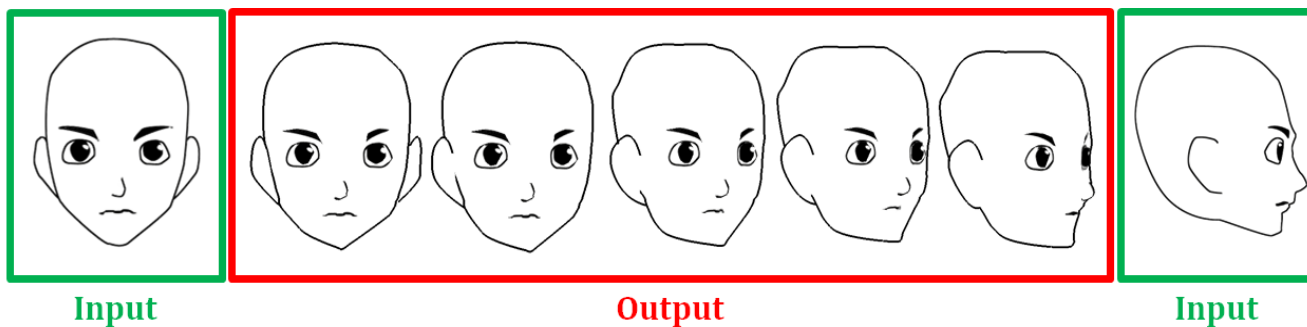


図 8 Human 2

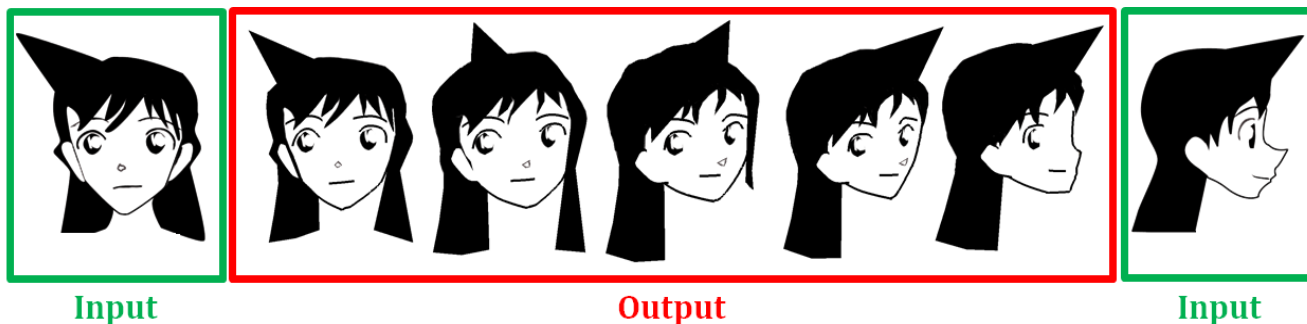


図 9 Girl

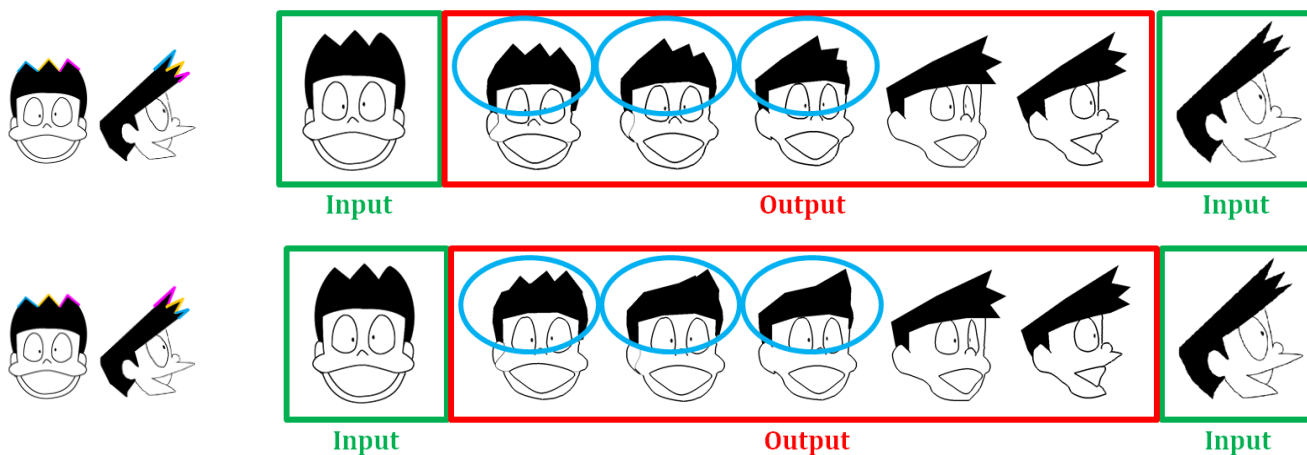


図 10 Pointy Head (ユーザ設定により、髪型の対応関係を変更した場合)
髪型について、正面の左、中央、右三つ又を横顔の上、中央、下に対応付けた場合(上)と
下、中央、上に対応付けた場合(下)

表 1 各入力キャラクターに対する特徴点数

入力画像	図番号	特徴点数	
		手動	自動
Human	1	87	200
Human 2	8	88	100
Girl	9	151	200
Pointy Head	10	73	200