

ヘアカットの教習を支援するための対話的なヘアシミュレータの開発

Development of Interactive System for Hair Cut Training

林本法也 †

三谷純 †,†††

五十嵐健夫 ††,†††

Noriya HAYASHIMOTO †,

Jun MITANI †,†††

and Takeo IGARASHI ††,†††

† 筑波大学

† University of Tsukuba

†† 東京大学

†† the University of Tokyo

††† 科学技術振興機構 ERATO ††† JST ERATO

1 はじめに

髪型を変える際に、できるだけ費用をかけずに手早く髪をカットするために、プロでない知人や家族に依頼したり、自分自身で髪を切ったりする人は多い。しかし、その場合、髪をカットする経験や技量がある程度ないとカット後の髪型と意図していた髪型とは大きなズレが生じてしまうことが多い。そこで、ヘアカットを行う前に事前に練習をするのが望ましいが、実際には事前の練習を行うことは困難である。

そこで上記の問題を解決するために、本稿では計算機上の3次元空間に髪型モデルを生成し、実世界でのヘアカットに即した対話的な操作を可能にするシステムを提案する。従来の仮想空間内でヘアスタイリングするシステムや手法は、CGモデルを効率的に制御することを目的としていたが、提案システムでは実際に髪を切ることを支援することを目的とし、そのために仮想的な「くし」を実装することで、髪を毛を「持ち上げてからカットする」など実世界のヘアカット時の動作に即した操作を導入した。本稿で提案するシステムは、髪のカットをするための練習、つまり技量や経験を積むことを支援する教習ツールとして、ユーザが実際にヘアカットを行う際に仮想的なヘアカットのシミュレーションを行うことを可能とする。

本研究ではまた、実世界のヘアカットに即した操作の実現のために髪の手動をシミュレーションによって再現する。髪の手動の物理シミュレーションは計算コストが非常に高いが、これを対話的に実現するため、計算が高速かつ安定な変形手法である Shape Matching (形状一致法) という計算処理が高速で安定した結果をもたらす形状変形手法 [1] を簡易化したアルゴリズムを新しく提案する。

提案システムの教習ツールとしての有用性を検証するために、本研究では被験者に提案システムと本物のヘアマネキンを用いて実際にヘアカットを体験してもらって評価実験を行う。

2 関連研究

より対話的かつ直感的な髪型モデルの編集操作を実現するためのインタフェースとして、マウスなどで入力したストロークを用いたスケッチベースのインタフェースがこれまでに数多く提案されている。Fuらは、疎行列からなるラプラス演算子による線形方程式を解いて得られるベクトル場を用いて、マウスで髪型の大まかな形状を定義する曲線を描くだけでユーザの望む髪型の生成や編集を実現した [2]。これによって、分け目のある髪型やポニーテールのような一部が拘束されている髪型などの生成も可能としている。Witherらは、ユーザが容易に髪型の編集ができるインタフェースを提案している [3]。彼らの手法では、与えられた実世界における髪型の写真などを下絵に、ユーザがマウスなどでその写真をなぞるように輪郭や髪の手動の大まかな形状を描くだけで、頭部モデルの形状や髪の手動を考慮して髪型をモデル化できる。また、Wardらは、物理ベースに基づいた髪の手動の挙動のシミュレーションをしながらレンダリング処理とユーザによる髪の手動を切る操作などの対話処理とを並行して行う仮想的なヘアサロンシステムを提案している [4]。本研究とこれらの既存研究との違いは、従来の研究では、よりリアルな髪の手動モデルを簡単なインタフェースで生成することを目的としているが、本研究は、「実世界で髪を切ることをシミュレートする」ことを目的としており、そのために「髪を持ち上げながら切る」といった操作や複数のカット技法など、実際に髪をはさみでカットするときに必要な操作を導入した。この点がこれまでに多く見られた研究と異なる点である。

3 提案システム

本章では、提案するシステムの概要や、システムが提供する対話的な操作を実現するためのインタフェースについて述べる。なお、これ以降では、提案するシステムの名称を HCS システム (Hair Cut Simulator) と呼称する。

3.1 提案システムの概要

本稿では、現実のヘアカットに即した対話操作を実現するために以下の3つの操作を提案し、HCSシステムに実装した。

- 仮想的な「くし」によって髪を持ち上げる操作
- 異なるカット技法に対応した髪を切る操作
- 整髪剤のWaxのように、髪を整える操作

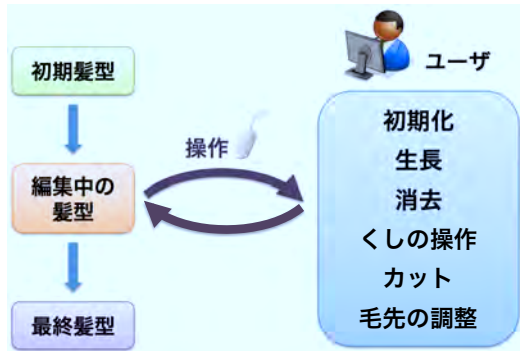


図 1: HCS システムの操作の流れ

次に、HCS システムの操作の流れについて述べる。始めに、入力としてテンプレートとなる初期髪型モデルを生成する。ユーザはこの初期髪型モデルに対して、初期化や髪の中の生長、消去などの基本操作から、先に述べた3つの操作を繰り返し行うことで、最終的な髪型を出力する（図1参照）。なお、入力デバイスとして、本研究ではマウスデバイスを採用する。

3.2 髪の毛のモデル化

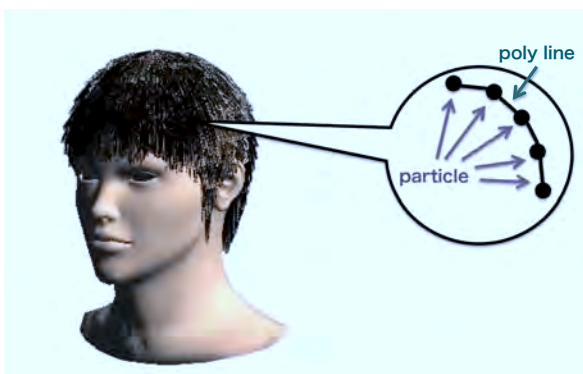


図 2: 髪の毛モデル

髪の毛モデル

本稿では、計算機の仮想3次元空間上に生成した1本の髪の毛を「髪の毛モデル」と定義する。髪の毛モデルは、座標値や速度ベクトルなどを保持する「パーティクル」と各パーティクルを結ぶ「エッジ」から構成されるポリラインで表現する（図2参照）。特に頭部に接続する根元のパーティクルをルートパーティクル、先端のパーティクルを先端パーティクルと呼称する。

3.3 髪を持ち上げる操作

実世界においてユーザが髪の毛のカットを行う際には、髪の毛を手でつまんで持ち上げたり、くしやヘアピンなどで外側にある髪を留めて内側の髪の毛を手前に引き出すなどの動作がしばしば見受けられる。このような動作は、毛先のカットの微調整や髪の長さや長短をつけるレイヤーカットやグラデーションなどのカット手法の際には不可欠な動作であると言える。

HCSシステムでは、髪を持ち上げるという動作を直感的かつ対話的操作で行うインタフェースを提案し、実装する。始めに、3次元空間上に仮想的な「くし」を配置し、そのくしを持ち上げることによって髪の毛の持ち上げ操作を行う。

くしの配置・移動

髪の毛の持ち上げ操作の際に必要な3次元空間上にくしを配置し、移動する方法について述べる。

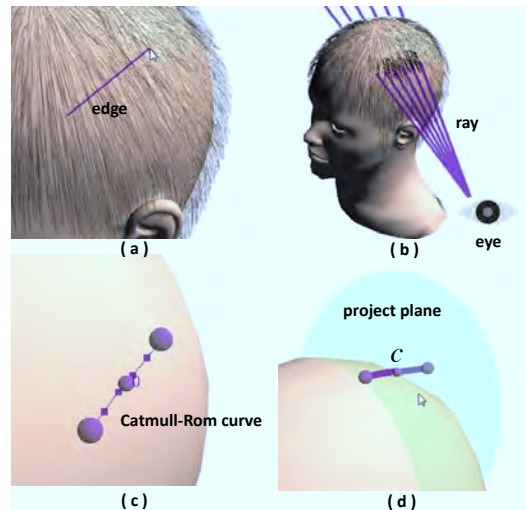


図 3: くしの生成と移動平面

くしの配置の際に、ユーザはマウスのドラッグ操作によって、スクリーン上にくしの原型形状となる線分を描画する（図3(a)）。生成された線分を任意の間隔で分割し、分割された点を始点として視線方向を方向ベクトル v とする直

線オブジェクト $r(t) = p + tv$ を生成する (図 3 (b)). ここで t はパラメータを表す.

そして, 直線オブジェクトと頭部モデルの Sphere Tree との交点を算出し, 求めた交点を全て通るように Catmull-Rom 曲線によって, 滑らかな曲線へと補間する (図 3 (c)).

このようにして生成されたくしは, ドラッグ操作によって移動することができる. ここで, 単純に 3 次元空間上の任意の場所に移動可能とすると, ユーザが望まない方向に移動したり, くしが頭部モデル内に埋没してしまう場合があるので, HCS システムではある特定の平面を生成し, この平面上をくしの移動可能領域とする (図 3 (d) の緑色の半透明の円板).

このようにして, ユーザはマウス操作のみによって 3 次元空間上にくしを簡単に生成し, そのくしを限られた移動範囲内で自由に操作する事ができる.

くしによる髪の毛モデルの挙動

生成されたくしによってつかまれる髪の毛モデルの判定方法について述べる.

まずはスクリーン上において, くしの線分と髪の毛モデルとの交点 p_i^{screen} を算出する. 同時に p_i^{screen} からワールド座標系での交点 p_i^{world} も算出する (図 4).

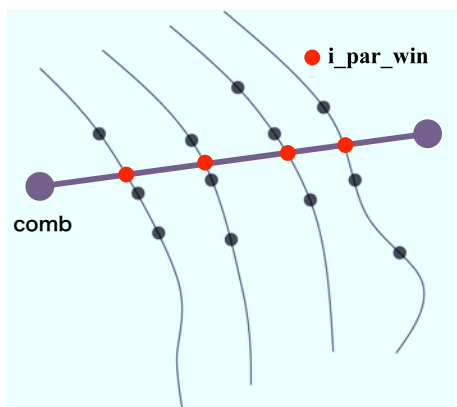


図 4: くしと髪の毛モデル間での交点の探索

しかし, この処理では, 全ての髪の毛モデルを交点算出の探索対象としているので, 視点方向から奥の交点まで算出されてしまう場合がある (図 5 の緑色の点).

そこで, 本研究では現在の視点位置から見える髪の毛モデルのパーティクルだけを交点算出の探索対象として, 交点を算出する. そして, この交点を含む髪の毛モデルをくしによって掴まれる髪の毛モデルとして決定する.

また, 本研究ではくしによってつかまれる髪の毛モデルの挙動を再現する. 髪の毛モデルのルートパーティクルから, くしによって固定されているパーティクルまでの自然長と直線距離を設定して (図 6 参照), 直線距離が自然長

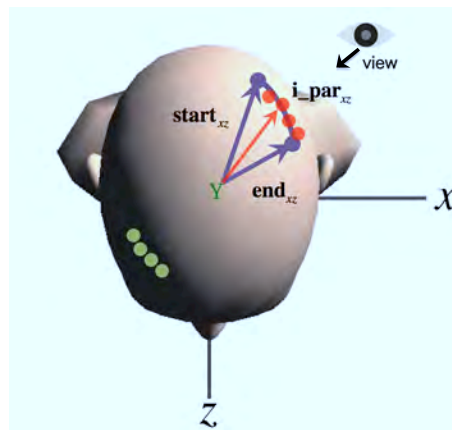


図 5: xz 平面での交点の抽出

を超えた場合に固定するパーティクルを先端の方へ更新することによって, くしの上を滑らかに移動する髪の毛モデルの挙動を可能にする.

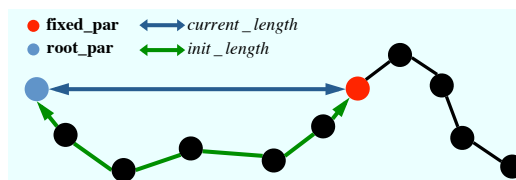


図 6: 直線距離と自然長の設定

3.4 髪を切る操作

実生活において, 髪をカットすることは髪の長さや量の調節や髪の毛の毛先の微調整など, 髪型を変える際に非常に重要な位置を占めるといえる. そこで HCS システムは, 実世界での髪のカットに基づいたヘアカット操作を提案する.

カット技法

髪のカットには様々な技法 [5] があり, それぞれ用途や目標とする髪型に応じて使い分ける必要がある. HCS システムでは, 以下の 3 種類のカット技法を用いたヘアカット操作を実装した.

各カット技法のアルゴリズムは, 大きく 2 つに分けられる. ブラントカットとチョップカットは, 先端にするパーティクルをカットラインと髪の毛モデルとの交点 p_i に設定する (図 7 の緑色の点). それに対してセニングカットは, 交点 p_i より先端のパーティクルを乱数によって選択し, 選択されたパーティクル p_r を新たな先端パーティクルとして設定する (図 7 の赤い点). 例として, ブラントカットとセニングカットによるヘアカット操作の結果の違いを図 8 に示す.

ブラントカット	引き出した毛束に毛束と垂直にはさみを入れてカットしていく手法
チョップカット	引き出した毛束に縦にはさみを入れてカットしていく手法カットラインはシャギー（ギザギザ）な形状になる
セニングカット	すきばさみを使用して、カットをする技法。主に毛量の調整やボリュームの調節に用いられる

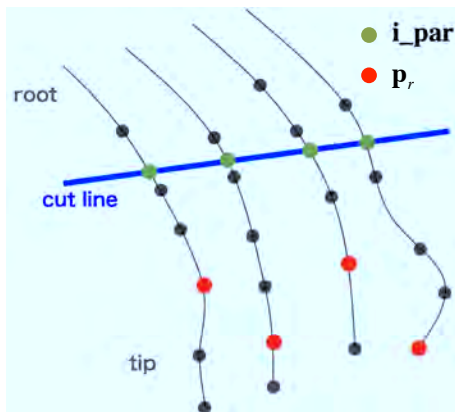


図 7: 髪の毛モデルを分割するパーティクル

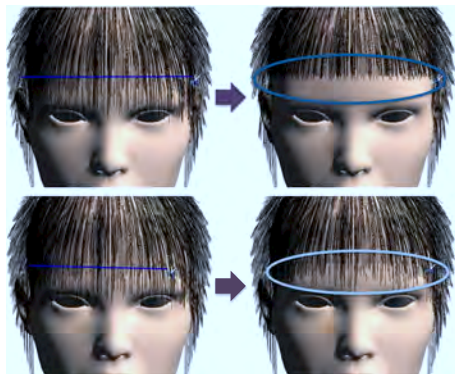


図 8: ヘアカット操作後の結果の違い

3.5 髪を整える操作

本研究では、実世界でのワックスを使用したスタイリングを模倣するために、マウスデバイスによるドラッグ操作でパーティクルを移動することによって髪の毛モデルを任意の形状に変形する操作を実装する。

このような操作によって髪型の意匠の幅が広がり様々な髪型が可能となるが、髪の毛モデルの形状変形の自由度が高すぎると現実的でない不自然な髪型も作成することが可能となってしまう。これは、本研究で提案している現実に即した操作と相反してしまう。

そこで、本研究では操作時において髪の毛モデルの形状変形に3つの制約を設ける。まず、髪の毛モデルで形状変形ができるパーティクルは、先端パーティクル (tip_particle) のみとする (図9(a)参照)。また、視線方向に平行な平面を算出し、先端パーティクルはこの平面に対して平行な移動のみ可能とする。そして、各髪の毛モデルに初期自然長を設定し、操作中の髪の毛モデルの全長がこの自然長を超えたらパーティクルの移動を中断するような制約を設ける (図9(b)参照)。

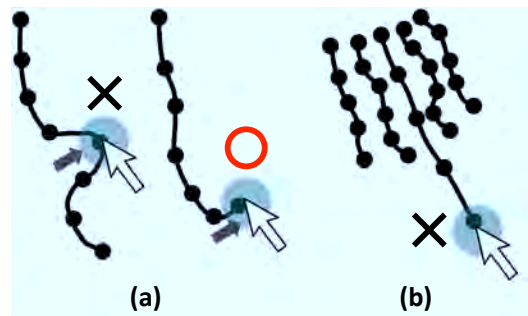


図 9: パーティクル移動時の制約
(a) : 移動可能パーティクルの制約
(b) : パーティクルの移動距離の制約

3.6 髪の毛モデルの挙動の再現

髪の毛モデルの挙動を再現するために Shape Matching[1] のアルゴリズムを応用し髪の毛の挙動の再現に適用した。

Shape Matching は、計算コストに優れていて、かつ数値的に安定な計算を可能にした形状変形手法である。初期状態のモデルの質点座標 x_i^0 と変形後のモデルの質点座標 x_i から、目標座標 g_i を算出し、質点をその目標座標に近づけることによって形状を変形する。目標座標 g_i は、次式によって算出される。

$$g_i = \mathbf{R}(x_i^0 - x_{gravity}^0) + x_{gravity} \quad (1)$$

$x_{gravity}^0, x_{gravity}$ は、初期状態のモデル、変形後のモデルそれぞれの重心の座標を表す。従来の Shape Matching では、

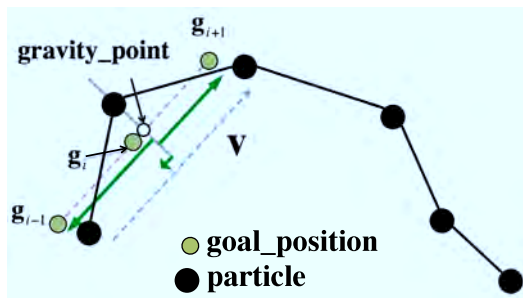


図 10: 簡易化した Shape Matching のアルゴリズム

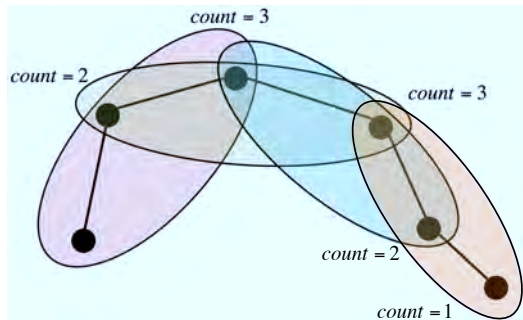


図 11: 計算処理が重複するパーティクル.count は重複した回数.

極分解によって最適な回転行列 R を算出するが、これを髪の毛モデル全てに適用すると計算コストが増大してしまう。そこで、HCS システムでは、目標座標の算出に回転行列 R を使用せず、現在の髪の毛モデルの質点座標情報のみから目標座標を算出することとした。そのアルゴリズムを以下に示す。

1. 3つのパーティクルに注目し、その両端点を結ぶベクトル v (図 10 中の青い破線矢印) と重心座標 $gravity_point$ (図 10 中の白点) を算出する。
2. v に平行で、かつ $gravity_point$ を通る直線上に $gravity_point$ から事前に設定した距離 (図 10 中の緑色の実線矢印) だけ離れた位置に目標座標 $g_k (k = i - 1, i, i + 1)$ (図 10 中の黄緑色の点) を配置する。
3. (1), (2) の処理を先端パーティクルまで順次実行する。この処理を行うと目標座標の算出を複数回実行するパーティクルが存在するため、各処理で得られた目標座標の平均をそのパーティクルの最終的な目標座標とする (図 11)。

この簡易化した Shape Matching を髪の毛モデルに適用し、計算コストの削減を図る。

4 評価

本研究では、HCS システムを評価するために 22 ~ 24 歳の男女 6 名の被験者によるユーザテストによって評価実験を行った。次節よりユーザテストを行う目的、実験方法、および実験結果について述べる。また、前提として被験者はコンピュータの扱いや操作にはある程度慣れているが、ヘアカットについてはほとんど経験がないこととする。

4.1 被験者実験の概要

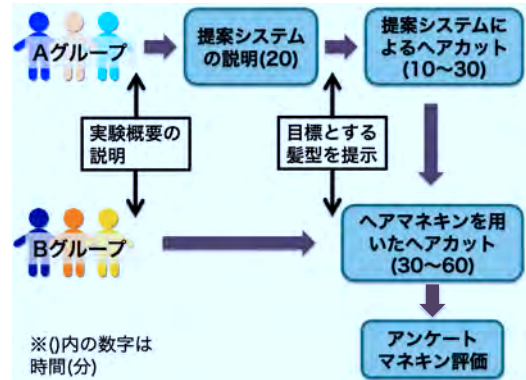


図 12: 被験者実験の流れ

被験者実験の流れを図 12 に示す。本実験では、被験者は HCS システムおよびヘアマネキンを使用して目標となる髪型を目指してヘアカット操作を行う。まず被験者を 3 名ずつの 2 つのグループ A, B に分ける。これは、HCS システムによるヘアカットの練習の有無によって、ヘアカット後のヘアマネキンの髪型やアンケートや得点などの違いを比較するためである。A グループの被験者は、実験の概要を説明後、HCS システムの説明とシステムに慣れてもらうために 5 ~ 10 分ぐらいのリハーサルを行う。次に、HCS システム上で目的の髪型を目指してヘアカットの練習を行う。そして、ヘアマネキンを用いたヘアカットを行う。B グループの被験者は、実験の概要を説明後、HCS システムによる練習をせずヘアマネキンを用いたヘアカットを行う。

また、評価因子として実験終了後に行うアンケートを利用する。また、被験者にはカット後にヘアマネキンの髪型がどの程度、目標に近いかの採点をしてもらい、その得点も評価因子として利用する。

4.2 結果

アンケート

HCS システムの性能などに関する質問についての結果を表 1 に示す。なお、質問 A から E はそれぞれ、A: 「シス

テムがあって役立つか」B:「全体の操作のしやすさ」C:「くしの操作のしやすさ」D:「髪を切る操作のしやすさ」E:「システムによる練習は有意義か」の内容である。

表 1: アンケートの回答の結果

質問	A	B	C	D	E
得点 (平均)	4.67	4	3.67	4.67	4.67

表 1 における縦軸の数値は、その質問に賛同する度合いを表す。つまり、この数値が高いほどその質問に対して、賛同していることを示している。

4.2.1 ヘアマネキンをカットした結果の評価

被験者によるヘアマネキンをカットした結果の評価結果を表 2 に示す。

被験者は自分以外の 5 つのヘアマネキンを 4 方向 (正面・左右・背後) から撮影した写真を見比べて、目標とする髪型に類似しているヘアマネキンを 3 つ選択する。類似している順に 3 点・2 点・1 点と設定し、各ヘアマネキンの合計点を算出した。

表 2: 被験者が採点したヘアマネキンの得点

被験者	A1	A2	A3	B1	B2	B3
得点	1	14	5	7	1	8

また、A グループの平均は 6.67 点、B グループの平均点は 5.33 点であった。

4.3 考察

アンケートに関しては、どの質問に対しても回答の平均が 3 以上と概ね高い評価を得ることができた。これは HCS システムが教習ツールとして貢献している、と考えられる。また、システムのインタフェースについても回答結果からその有用性が示すことができたと考えられる。しかし、質問 C において他の評価より若干評価が低くなっている。これは、くしの生成や移動の際の条件 (持ち上げる髪の量など) によって操作に不具合が生じた場面があったためと推察される。

ヘアマネキンをカットした結果の得点では A グループの平均が B グループのそれより高い結果となった。しかし、被験者間の得点に偏りがあり、有意な結論には至らなかった。これは、少数の被験者による実験の実施や、ヘアマネキンの構造上の制約 (前髪を下ろすことが不可能) で、正確な髪型の評価が困難であったためと考えられる。今後は多数の被験者による実験の実施し、被験者間だけでなく美容師などの専門家による評価も用いて検証していきたい。

5 おわりに

本研究では、ユーザがヘアカットの技量や経験を積むのを支援するための教習ツールとして、実世界でのヘアカットに即した対話的な操作を可能にするインタフェースを備えたシステムを提案した。

具体的にはマウスによる入力でくしを生成し、くしを移動することによって髪の毛モデルを持ち上げる操作や引っ張る操作を実装した。また、マウスによって生成したカットラインを用いて、髪の毛モデルをカットするための操作を実装した。対話操作を繰り返した後の最終的な髪型モデルの微調整として、髪の毛の毛先を整える操作を実装した。

評価実験では、被験者によって提案システムによるヘアカットと実世界における本物のヘアマネキンを用いたヘアカットを実施した。評価実験から得られた実験結果からシステムの貢献度や操作性について概ね高評価を得ることができた。マネキンの採点による結果は、得点の分布に偏りがあったため、HCS システムを使用したほうが高評価を得ることができる、という有意な結論を得るには至らなかった。

今後の課題としては、ユーザビリティの向上のために、システムのさらなる高速化を行う必要が考えられる。また、くしの移動インタフェースに関しては、他の操作に比べて回答結果の評価が若干低い結果となったのでインタフェースの改善などが必要である。評価に関しては、もっと多くの被験者による実験の実施や専門家による評価で、より正確な HCS システムの有用性の検証したい。

参考文献

- [1] M. Muller, B. Heidelberger, M. Teschner, and M. Gross. Meshless deformations based on shape matching. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 24(3):478, 2005.
- [2] H. Fu, Y. Wei, C.L. Tai, and L. Quan. Sketching hairstyles. In *Proceedings of the 4th Eurographics workshop on Sketch-based interfaces and modeling*, pages 31–36. ACM, 2007.
- [3] J. Wither, F. Bertails, and M.P. Cani. Realistic hair from a sketch. In *Shape modeling international*, 2007.
- [4] K. Ward, N. Galoppo, and M. Lin. Interactive virtual hair salon. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 16(3):237–251, 2007.
- [5] 美容院・美容室 WEB. <http://hairsalon.minami-aoyama.com/word/cut.html>. Web.