

人物頭髪像の生成

渡部 保日児 末永 康仁

NTTヒューマンインタフェース研究所

よりすぐれたヒューマンインタフェースを実現するためにコンピュータのディスプレイ上に人物の顔画像を生成する研究が進められている。このとき、頭髪は最も複雑で生成困難な要素である。このような状況において、本文では、まず頭髪像生成に関する問題点を考察し、髪の中の質および形をパラメータに基づいて表現するための三角柱と房のモデルを提案し、次にそれを用いた会話的頭髪像生成と頭髪像生成結果を示す。本方法の非常に優れた点は、パラメータを制御するだけで種々の髪テクスチャを生成できるのみならず、さまざまな髪型を自動生成できることである。しかもこの方法は、現在のところ最も現実的かつ高速な画像生成手段であるZバッファ法により高速で実行可能である。

Human Hair Rendering

Yasuhiko WATANABE Yasuhito SUENAGA

NTT Human Interface Laboratories

1-2356, Take, Yokosuka-Shi, Kanagawa 238-03

This paper presents a powerful new method for hair image generation by computer graphics. A simplified model of human hair using a trigonal-prism-based wisp model describes and renders various kinds of hair images in a short time. The proposed method is not only able to generate many kinds of hairy texture, but can also render various hair styles automatically. Furthermore, since it runs on the conventional z-buffer algorithm, it fits the high-speed graphics hardware of ordinary graphics workstations. Consequently, the rendering time is drastically reduced. Experiments demonstrate the proposed method is very useful for the generation of various human hair images.

1. はじめに

人物頭部像をCGにより生成するためには、頭と顔の形のみならず頭部の要素である髪、まゆ、目、鼻、口などそれぞれの構成要素についての生成方法を明確にしなければならない。従来の研究の主眼は、比較的扱いやすい顔、目、鼻、口の生成および変形におかれていた(1)～(5)。しかし、人の顔の印象が髪型により大きく異なることは誰もが認める事実であり、人物像を扱うあらゆる処理において頭髪像の生成は大変重要であるといえる。

1本の髪の毛は大変に細いため、通常は髪の毛1本1本の細かいもようを生成する必要はなく全体としてのもようを生成すればよい。これを実現するための最も簡単な手法はテクスチャマッピングである。即ち、先に髪型を既定するための曲面あるいは平面パッチの集合を定義しておき、その表面にカメラなどで入力した頭髪画像のテクスチャを張り付ける。この手法は、特定の方向から見た髪の毛の映像を簡単に生成するには適している。しかし、この方法を用いた場合には光源や視点が変わっても髪の毛の様子が変わらずほとんど変化せず現実感に乏しいという欠点がある。

この問題を解決するため、山名と末永(6)は、異方性反射モデルにもとづく頭髪の生成手法を提案した。この手法は、あらかじめ定義された髪型曲面の上に、視点、光源および異方性反射テーブルから計算される髪の毛のテクスチャを生成するものであり、直毛の場合にはある程度実際の髪の毛に似た映像を生成することができる。しかし、ウェーブのかかった髪や縮毛の映像を生成するための異方性反射テーブルを作成するのはそれほど容易ではなく、まだこの問題の解決が残されている。

一方、G. Miller(7)は、動物の毛皮の映像を生成するために、あらかじめ定義した立体の表面に多数の長方形の針を生やし、異方性反射を計算することによってリアルな映像を生成することに成功した。さらに、最近、J. Kajiy & T. Kay(9)は、より現実の毛に近い微細な円筒状の3次元テクスチャ(Texture)を用いることにより、極めてリアルなクマのぬいぐるみの映像を生成することに成功した。

これらの方法の問題点は、いずれも計算に長時間を要することである。例えば、使用計算機や生成画像の画素数は上記文献毎にそれぞれ異なるが、一枚の画像生成のために、山名と末永(6)は10数分を、またG. Miller(7)とJ. Kajiy & T. Kay(9)はそれぞれ数時間を要している。

しかも、これらの方法はいずれもあらかじめ髪型あるいは体型を定義するための曲面あるいは平面パッチを与えておく必要がある。

一方、髪型を自動的に生成する方法についてはこれまで発表された例はない。J. Weil(8)も髪の毛の生成を試みてはいるが具体的な手法は報告されておらず、しかも生成された髪の毛の映像は現実感に乏しい。彼の手法が上記のどちらに分類されるものであるかは、SIGGRAPH'88のテクニカルスライド及びアニメーションビデオ(8)からは判断しがたい。まさに、髪の毛の外側の形状を形成しかつ簡単に変更できるようなCGに適した髪の毛のモデルが必要とされている。

このような状況において、筆者等は、髪の毛のテクスチャの生成および髪型の生成を同時に実現し、現実的な画像生成ツールにより人間の髪の毛の映像を生成するための新しい方法を提案し、その概要を報告した(10)。この方法では、テクスチャ生成用として1本の髪の毛を表現するための三角柱モデル、また、髪型生成用として、髪型制御用の髪の毛モデルを使用する。三角柱モデルの連結が1本1本の髪をモデル化しており、頭髪自体の特徴を容易に表現でき、房モデルの利用が頭髪全体の生成制御を容易にしている。これに基づき、「三角柱と房のモデル」を用いて、実際に人物頭髪像を生成するために必要となる10個の頭髪パラメータについても詳しく報告した(11)(12)。この方法は、今日、最も高速な画像生成ツールとして知られているZバッファ法にそのまま適用できるため、市販のワークステーション上の高速グラフィックエンジン(ハードウェアまたはファームウェア)をそのまま利用でき、数分という現実的な時間内に頭髪像を生成することができる。この生成時間は、従来手法と比較して、約2桁程度の時間短縮を達成できたことを示している。本文では、まず「三角柱と房のモデル」の頭髪パラメータについて述べ、次にこれらのパラメータを会話的に制御できる頭髪像生成処理系について述べ、最後に頭髪像生成結果を示す。

2. 髪の毛

一人の人間は、通常5万から10万本の髪の毛をもつといわれる。もしも髪の毛1本1本が互いに全く制約を受けなければ、それぞれの髪の毛は、ランダムな方向に生えるはずである。しかし、実際には重力や隣り合う髪の毛の影響によりかなり規則的に生えており、部分的に平行な箇所も多い。その上、櫛やヘアオイルといった人工的な要素が、なお一層髪の毛を規則的な方向に生えるように作用している。

人間の髪の毛の様子は、そのテクスチャと膨らんだ形状により決定づけられる。CGにより髪の毛を生成するには、テクスチャおよび形状ともに生成できるようなモデル化を行わなければならない。しかし、このモデルは、実際の髪の毛

特性を忠実に再現する必要はない。例えば、かつらは必ずしも人毛でなくとも、まさに髪の毛のように見える。CGに適する髪の毛のモデルに必要な点は、単純さ、制御しやすさ、実現性の3つである。

3. 髪の毛のモデル

3.1 髪の毛の表現(三角柱モデル)

本論文で述べる髪の毛のモデルは、髪の毛それぞれ1本1本を基本オブジェクトとして定義するものである。このアプローチをとる理由は、基本オブジェクトが適切(即ち、髪の毛のように見える)であれば、それを用いて構成する新たなオブジェクト(この場合は頭髮)もまた適切なものになるという仮定に基づいている。また、もしそれぞれの基本オブジェクトが容易に制御可能であれば、これを用いて構成される新たなオブジェクトもまた容易に制御可能である。

髪の毛をモデル化するための直接的な方法は、それを円筒の連結として定義することである。しかし、この方法によれば、実際は、1本の円筒を近似するだけでも相当数の平面パッチを必要とする。まして、頭髮全体をこの方法で生成するためには、極めて多数の平面パッチが必要となる。例えば、1本の髪の毛を32本の円筒の連なりで近似し、各円筒を32面の三角形パッチで近似するものとし、頭髮の全数が10万本であるとすると、頭髮を生成するために合計102,400,000面の三角形パッチを描画する必要がある。このように多数の三角形パッチ全てを現実的に意味のある時間内に描画することは不可能である。また、これらの三角形パッチを定義する座標値全てを記憶する領域は膨大なものとなる。

この問題を解決するためには、まず頭髮をできるだけ少ない数の三角形パッチで近似する必要がある。三角パッチの数を減らすための一つの直接的な方法として、筆者らは三角柱モデルを導入した(10)。

まず、1つの円筒を1つの三角柱により近似する。また、髪の毛の湾曲は、複数の三角柱を連結することで近似する。このとき、隣接する三角柱間でのねじれを許す。1つの三角柱モデルは、図1に示すように、髪の毛をモデル化するための最も基本的なプリミティブとなる。1本の髪の毛は、1つの三角柱の長さ(l)、ねじれ角度(t)、方向ベクトル(v)、太さ(d)とそれらの連結数(N)を制御することで生成する。図2は、6つの三角柱を連結することで定義した曲がった髪の毛のワイヤフレームモデルを示している。ここからわかるように、1つの三角柱の長さ l 、ねじれ角度 t 、方向ベクトル v 、太さ d およびそれらの連結数 N が1本の髪の毛を定義する際のパラメータとなる。髪の毛の質(例えば、直毛、カールなど)は、これらのパラメータを制御することでモデリングできる。また、日本的な黒髪や西洋人的なブロンドの髪をモデリングするために、髪の毛の色(C)もパラメータとする。

通常、1本の円筒は多くの平面パッチから構成される側面で被われている。筆者らの三角柱モデルは、この側面のパッチの数を減少することを目的として到達したものである。いうまでもなく、より多くのパッチを用いることがより良い近似を与える。円柱の近似手段としては三角柱近似は決して良い方法ではない。しかし、スムーズシェーディングを用いることで、パッチの数を減じても比較的良好な結果を得ることができる。

3.2 束の表現(房モデル)

次に、筆者らは、人間の髪に多くの束があることに着目した。髪に櫛を通すと、長い束がそこに形成される。髪の毛が風になびくとき、髪の毛の束が髪の毛の流れとなって生ずる。筆者らは、髪の毛の束(「房」とよぶ)を用いて髪の毛の描画を効率的に行う方法を考案した(10)。すなわち、ある頭髮を観察すると、重力など外的要因により形づくられた多数の房によって頭髮が構成されているため、それらの房の内部を3.1で述べた三角柱による髪の毛のモデルを用いて構成すれば、房の集合として頭髮を形づくることができる。この方法は、それぞれの房がほとんど同一形状であることを仮定している。房はさまざまな髪型の頭髮を生成するための基本要素であり、ある髪型の頭髮を生成するための房の形状は、重力やパーマネント、ウェーブなどの外的要因を考慮することにより定義できる。房を導入することによって、髪型という全体像を得るために制御すべき要素数を房の種類(K)とその数(T)の2つにまで減じることができる。この方法は、髪の毛の局所的構造(房の内部)を1本1本の髪として保存している。

図3(a)および(b)は、3.1で述べた三角柱を連結することで定義したそれぞれの髪の毛を房として描画したものである。図3(a)は、1本1本の髪の毛の方向がかなり乱雑な場合であり、図3(b)は、それがかなり並行している場合である。それぞれの房は、100本の髪の毛を含んでいる。このように、1つの房を構成する髪の毛の乱雑度(R)を制御することで、三角柱モデルに基づく髪の毛がより現実的になる。

房を構成する髪の毛の密度(M)、房の総数(T)を制御することで、異なった髪の毛のイメージを得ることができる。例えば、房を構成する髪の毛の密度(M)または房の総数(T)を大きくすれば濃い髪を生成できる。

頭部のどの位置にどのような種類(形状)の房を描画するかが髪型を決定する。髪型を制御するための房の種類(K)は、前髪や後ろ髪というように、房を描画する位置を分類できるような種類、数種類程度で充分である。例えば、2種類の垂れ下がった形状の房(前髪用の短い房、後ろ髪用の長い房)を用い、それを頭部に描画することだけでも、ある

程度の髪型（オカッパ髪）を得る事ができる。このように、房としてどのような形状を選ぶか、その房を頭部のどの位置に描画するかによって髪型が制御できる。このことから、頭髪生成用のために10個のパラメータを選択した(11)

(12)。房の形状と描画位置を変えることにより、髪型を制御するという考えは、理髪師が髪型を整える場合に実際に用いる方法にヒントを得て導出されたものである。理髪師は、髪型を整える際に髪の毛1本1本の形を整えるのではなく、ある程度まとまった髪の毛、すなわち房の形を整えている。このような理由から、髪型を制御するために房の形状を制御することは理にかなったことと言える。しかも、通常人の頭髪を生成するためには、普通数種類の房を用意すれば充分であることから、頭髪を生成するために処理すべき房単位の描画プリミティブの数は、頭髪を生成するための全描画プリミティブの数と比較して格段に少ない。このことから、房モデルによる頭髪生成は極めて現実的な方法といえる。

4. 会話的頭髪像生成

3で述べたように、房モデルによって髪型を制御できることから、頭髪パラメータを会話的に操作することで種々の頭髪像を生成する会話的頭髪像生成が可能である。この処理系は図4(a)に示す房モデルの形状制御ツールと図4

(b)に示す頭髪像生成ツールの2つのツールからなる。図4(a)において左側のウィンドウが房形状を制御する頭髪パラメータ操作部である。房モデルの形状制御ツールには12のスライダがあり、上方からそれぞれ、Angle, Bend, Ratioにより頭髪パラメータ v を、Thicknessにより d を、Lengthにより l を、Foldにより N を、Densityにより M を、Randomnessにより R を、Red, Green, Blueにより C を、Kindにより K を制御する。これらのスライダの設定によって、頭髪像を生成するための房モデルのテクスチャと形状が制御できる。形状の定義された房モデルは、図4(b)のように人物頭部の3次元モデル上に描画することで結果を確認できる。このように、頭髪像生成は頭髪パラメータの制御に基づき会話的に行えることがわかる。図4(b)の3次元頭部モデルは、全体で約800の三角形パッチにより構成され、このうち約500が顔の部分に、約300が髪の毛の領域となっている。

5. 人物頭髪像生成例

「三角柱と房のモデル」による頭髪像生成は、パラメータの変更によってさまざまな頭髪像を生成することができる。パラメータを制御することで頭髪像を生成した例を図5に示す。次に、より精巧な人物頭部モデルに頭髪を生成した結果を図6に示す。図6の頭髪生成のためにIRIS-4D/70GTにて151秒を要した。図6では、赤いヘアアクセサリ、青いイヤリング、明るいページのタートルネックセータをも「三角柱と房のモデル」を用いてそれぞれの形状を描画することで生成した。このように、房の形状制御により、頭髪のみならず、毛のように細長い要素からなる物体（毛状物体）の生成が可能である。

図6を得るためには大量の三角形パッチを描画しなければならないにもかかわらず、上述したように、実際には3次元頭部モデルへの頭髪を描画をわずかの時間で終了することができる。このことは、三角柱モデルにより髪の毛を表現し、房モデルによる髪型の制御を行えば、描画プリミティブの数をかなり抑えることができ、画像生成を現実的な時間内で終了できることを示している。さらに、房の制御を繊細かつ丁寧にすれば、風になびく髪の毛の様子をもこの方法で生成できる可能性がある。房の形状を制御することにより頭髪の動きを生成した一連のシーケンスを図7に示す。これは、人物の頭部が回転する際の頭髪の動きを放物線により近似し、その軌跡を用いて房モデルの形状を制御することにより生成したものである。

6. まとめ

本論文では、髪の毛を単純化した三角柱モデルとそれを束ねた房の形状制御に基づき、CGにより頭髪像を生成するための実際的方法を述べた。また、パラメータを操作することで、会話的に頭髪像を生成する処理系について述べた。さらに、実際の適用例として、市販のCGワークステーションを用いて、頭髪像を効率的に生成できることを示した。この方法の特筆すべき特徴は、既存の実際の画像生成ツールであるZバッファ法（しばしばハードウェアによりインプリメントされている）に適しているという点である。そのため、従来手法と比べてはるかに短時間で頭髪のような複雑な対象をCGにより生成できる。

画像生成実験を通して、本論文で提案している方法が非常に有効であることを示したが、生成例からわかるように、実際の写真と区別がつかないよう（フォトリアリスティック）な画像を生成するためには未だ問題が残っている。まず、アンチエイリアシングを行わねばならない。髪の毛のように非常に細かいテクスチャをもつ対象を表示するためには、アンチエイリアシングや超高分像の技術が必要である。この問題を解決すると同時に、隣り合う髪の毛の影響や髪の毛の光学的特性を解析することにより、より現実的な頭髪像が生成できる。さらに、ときには、人工的な影響（ヘアオイル、櫛やブラシによる髪型の変化）を考慮しなければならない。これらを1つ1つ解決することにより、真にフォトリアリスティックな頭髪像の生成が可能となる。

謝辞

モデリングや画像生成プログラミングに関して助言して頂くのみならず、有用な各種ツール類を提供して頂いたNTT HI研視覚部 秋本高明研究主任、網総研網へ部 山名岳志研究主任に感謝します。また、本研究を進めるにあたり御指導御鞭撻を頂いた小林幸雄視覚部長、小森和昭関連企業本部担当部長（前視覚部長）、および日頃熱心に御討論頂くHI研視覚部の皆様に感謝します。

引用文献

- (1) F. I. Parke : A Model for Human Faces that Allows Speech Synchronized Animation, J. Computer and Graphics, 1, 1, pp. 1-4 (1982-3).
- (2) 村上, 市原, 宮田 : 顔画像の変形処理に関する一考察, 信学技報, IE88-1, pp. 33-40 (1988-4).
- (3) 野口, 安居院, 中嶋 : データベース駆動型アニメーションシステムによる表情の作成, 信学論 (D), J70-D, 9, pp. 937-945 (1987-5).
- (4) 森島, 原島 : 画像と音声の知的インタラクティブ符号化の構想, PCSJ'87, pp. 83-84 (1987-9).
- (5) 森松, 津田, 松田 : 音声情報に基づいた口の動画生成に関する一考察, 信学技法, IE87-96, pp. 37-42 (1988-1).
- (6) 山名, 末永 : 異方性反射を用いた髪の毛の描画方法, 信学技報, PRU87-3, pp. 15-20 (1987-5).
- (7) G. S. Miller : FROM WIRE-FRAME TO FURRY ANIMALS, Proc. Graphics Interface'88, pp. 138-145 (1988).
- (8) J. Weil : Technical Slide and Technical Animation Video, SIGGRAPH'88 (1988).
- (9) J. T. Kajiya, T.L. Kay : RENDERING FUR WITH THREE DIMENSIONAL TEXTURES, Proc. SIGGRAPH'89, pp.271-280 (1989-8).
- (10) Y. Watanabe, Y. Suenaga : Drawing Human Hair Using Wisp Model, Proc. CG International '89, pp.691-700 (1989-6).
- (11) 渡部, 末永康仁 : 三角柱と房のモデルによる頭髪像の生成, 信学論 (D-11), J-73-D-11, 3, pp. 376-373 (1990-3).
- (12) Y. Watanabe, Y. Suenaga : Parameter Controlled Hair Rendering in Backlight, Proc. CG International '90, pp.175-186 (1990-6).

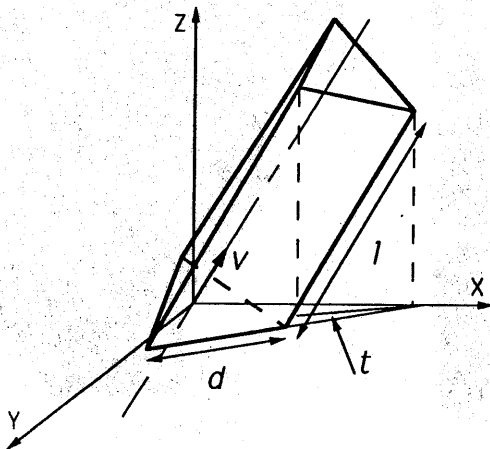


図1. 三角柱モデル



図2. 髪の毛のワイヤフレームモデル (N=6)

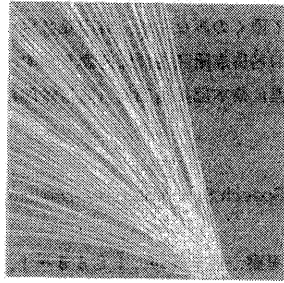


図3 (a) . 房の描画 (乱雑)

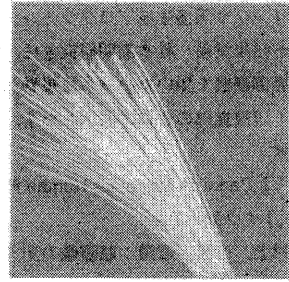


図3 (b) . 房の描画 (並行)

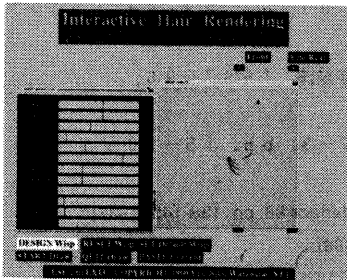


図4 (a) . 房モデル形状制御ツール

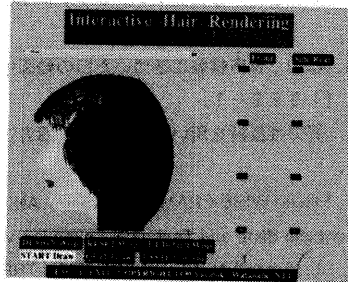
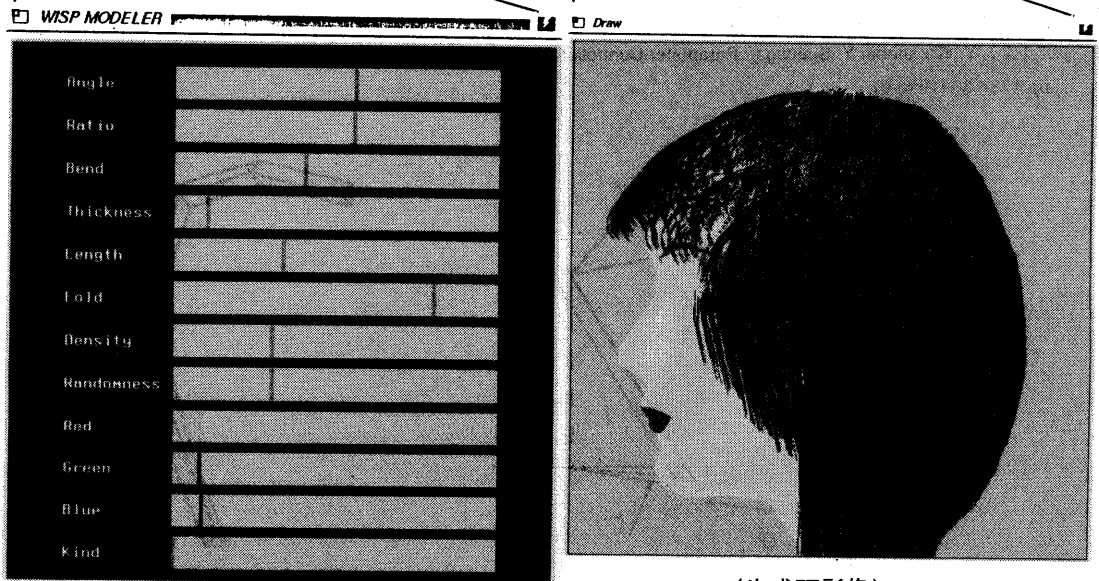


図4 (b) . 頭髪像生成ツール



(頭髪パラメータ操作部)

(生成頭髪像)

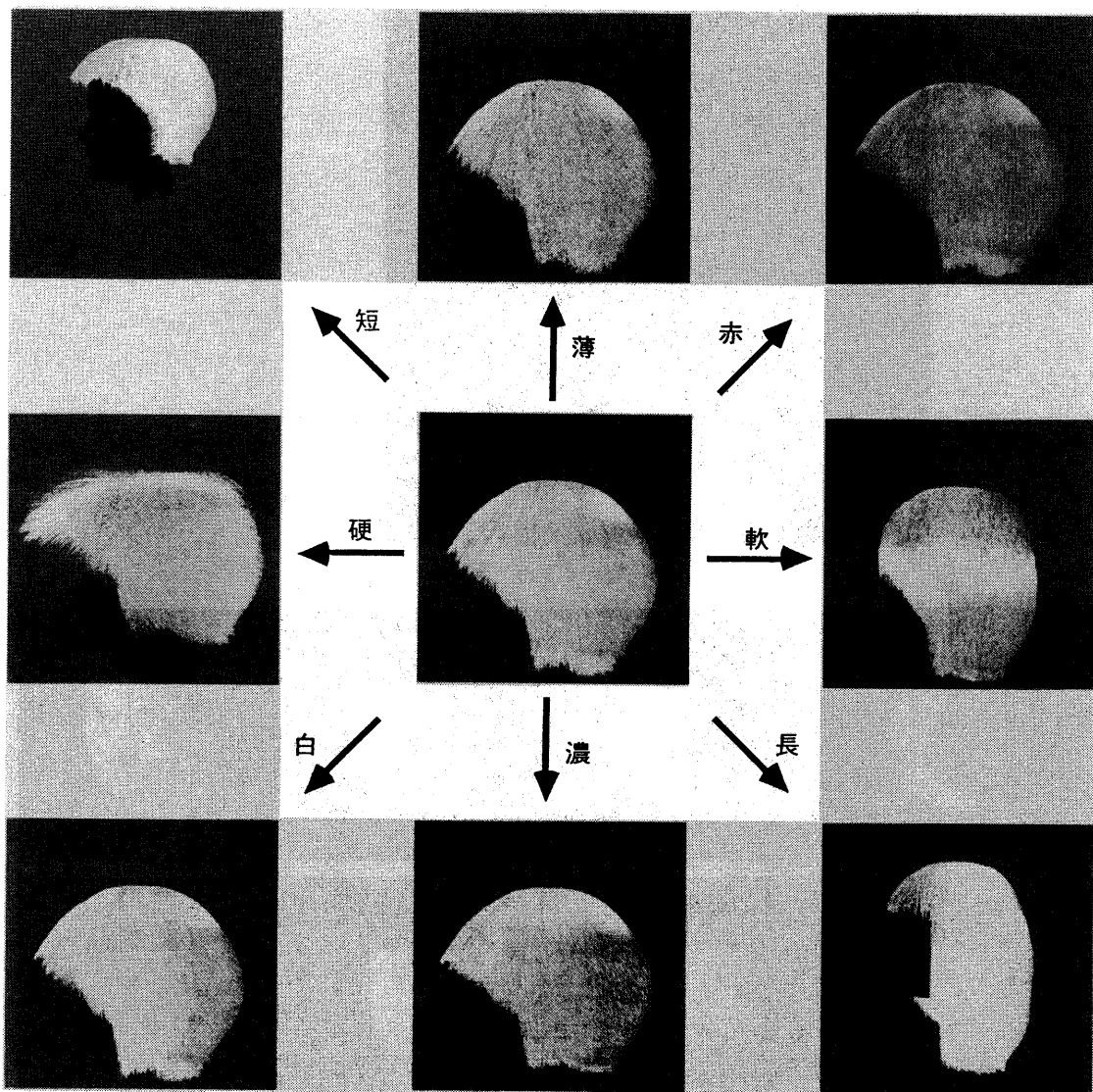


図5. パラメータ制御による頭髪像生成例

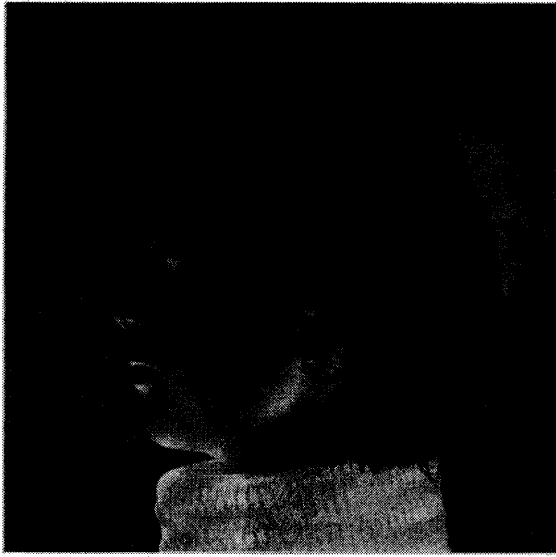


図6. 人物頭髪像生成例



図7. 頭髪の動き (アニメーションシーケンス)