

## レーザとシルエットを併用した人物頭部形状の入力と生成

渡部 保日兎、望月 保、中根 一成

NTT ヒューマンインタフェース研究所

### 要旨

形状とその表面テクスチャを入力できるスリット光投影型三次元計測法は、人物の頭部データなどを入力するのに有効で、数十秒で人物頭部（とくに顔）の三次元計測を行える。しかし、頭髪領域、特に黒髪に対しては、レーザスリット光の反射をほとんどとらえることができず、その形状を計測するのは困難であった。本論文では、頭髪が全体的には概ね凸形状であることから、頭髪形状の計測のためにシルエット法を用い、このシルエット法による頭髪形状計測をレーザスリット光計測と同時に行ない、両者を併用することで従来よりも適切に頭部形状データを入力できることを示す。また、シルエット法により頭髪の形状計測を行なう際に背景と頭髪のシルエット境界のファジーエッジ情報を、計測データを可視化する際に利用することで、頭髪を含めた人物頭部の生成が行なえることを示す。

## Digitizing and Visualizing Human Heads

H. Watanabe, T. Mochizuki, K. Nakane

NTT Human Interface Laboratories

1-2356 Take, Yokosuka-shi

Kanagawa, 238-03 Japan

This paper presents a method of acquiring three-dimensional (3D) human faces and hair shapes, which have dark or fuzzy surface attributes. Cylindrical range data which have a resolution of 512 vertical scanlines, and 512 points per scanline, are collected by a conventional laser digitizer together with silhouette images acquired simultaneously. Surfaces which are inaccurately sensed by the laser digitizer are assessed by edge processing the silhouette images. Silhouette edges are also used to determine the shape sharpness for objects which have dark or fuzzy surface attributes. The proposed digitizing method is successfully applied to a human head replica topped by a black wig.

## 1 はじめに

三次元形状データに基づく処理は、二次元画像処理では不可能であったような応用分野を開くことができる。三次元計測によって得られたデータは、CAD / CAM の分野において基本となる形状データとして利用したり、その形状データのみでも CG 映像の特殊効果等に利用されている。三次元形状計測装置に関しては、さまざまな報告がなされている [8][2][5][10]。これらの中において、スリット光投影型の三次元計測装置は、もっとも機能および価格的にも安定したものである。しかしながら、スリット光投影型のレンジファインダでは、鏡のような表面、非常に荒い表面、スリット光をほとんど反射しない表面の形状を計測することができない。筆者らは、人物を対象とした CG への応用の研究を進め、その形状データの入力を進めてきたが、人物においても、頭髪、目、口の中など、計測できない部位があった。このような状況において、本論文では、スリット光投影型の三次元計測装置では計測できない部位を、画像処理を応用することで、レーザスリット光による形状計測と同時に計測する手法について述べる。

人物像頭部においては、特に頭髪が形状が複雑な（および反射の少ない）対象である。これは、頭髪自体が、非常に細い髪の毛からなり、そのため形状としての境界があいまいで、しかも黒い髪の場合にはレーザスリット光の反射がほとんど検出できない。

本稿では、この頭髪のような領域に対しては、「シルエット法 [11]」を用いた形状計測を行なうことを提案するとともに、しかもシルエット境界を検出する際のファジーエッジ情報を形状境界の「するどさ」として画像生成に利用する手法について述べる。また、提案手法により人物頭部計測とデータ可視化を行ない本提案手法の有効性を示す。

## 2 三次元計測

筆者らの開発した、形状と表面テクスチャを同時計測可能な、スリット光投影型の三次元計測装置は、顔表面の入力には有効であるが、以下のような理由から頭髪の部分の入力には問題があった。

スリット光投影型三次元計測装置は、レーザスリット光を計測対象表面に照射し、その照射位置を CCD カメラ等にて検出しなければならない。従って、人物の頭髪のように形状が複雑であり、しかもスリット光を吸収してしまうような対象では、その位置を検出することが困難となり、このため形状計測が不可能になってしまう。例えば、図 1(a) は、人物頭部形状のプラスチックモデルに、黒髪のかつらをつけた計測対象に、レーザスリット光を照射した状態である。このスリット光位置を CCD カメラにて検出した結果を図 1(b) に示す。

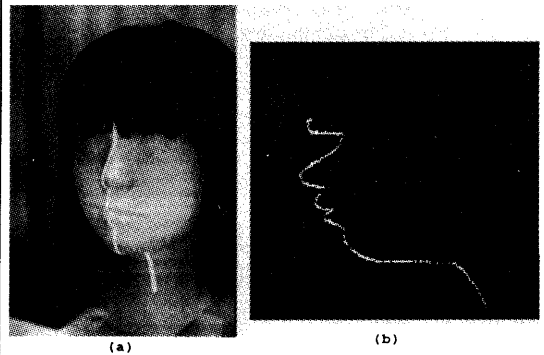


図 1: 投影されたレーザスリット光および検出した形状

筆者等が改造を加えた米国 C-W 社の三次元計測装置は、円筒座標による形状と表面テクスチャを計測することができ、図 2 のような外観である。そのデジタルユニットには、図 3 のように、形状計測のための白黒 CCD カメラと、表面テクスチャ計測のためのカラー CCD カメラを装備し、これは世界初の商用レベルでの三次元形状と表面テクスチャを計測可能な装置となった [8]。

計測のためには、対象をセンターテーブル上に固定し（人物の場合にはセンターテーブル上で椅子に腰かけじっとしてもらおう）、次に、スキャナヘッドが対象の回りを360度1周することで、円筒座標形状と表面テクスチャを計測する。この計測は約20秒という短時間にて終了する。

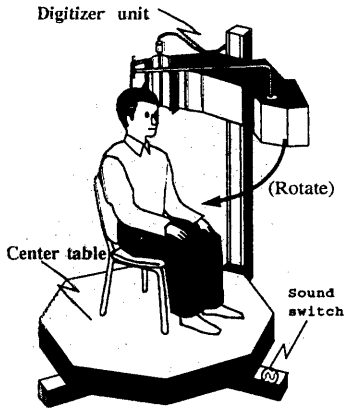


図 2: 三次元計測装置の外観

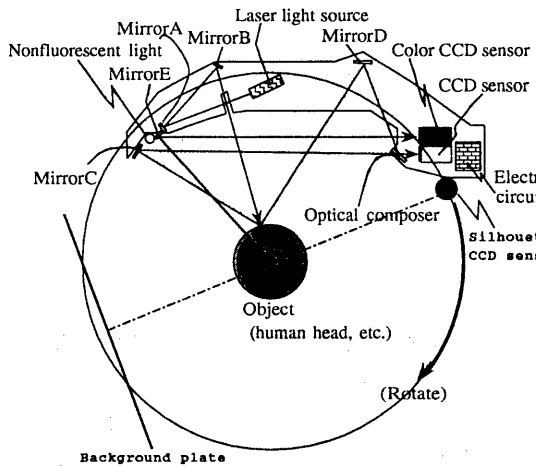


図 3: デジタイザユニットの構成

本装置の仕様では、円筒座標形状を計測するため

に白黒 CCD カメラを用いて、1周512回の垂直スキャンラインのサンプリングを行ない、1サンプルあたり512点の距離計測を行なう。測定精度としては、350mm×350mmの円筒を計測した際、その表面にて、0.7mm以内となっている。表面テクスチャは、カラー CCD カメラによって計測され、そのデータはフルカラー24ビット（R、G、B各8ビット）であり、解像度は512×512画素である。

### 3 シルエット処理

レーザスリット光の照射位置は、頭髪によってはんやりしてしまい、たとえ、高感度の CCD カメラを使用しても検出は不可能である。それは、頭髪は反射がほとんどない表面であるのみならず、非常に細い髪の毛からなる対象であり、レーザ光がその内部へと透過したり、あるいは反射光が他の毛髪によって妨げられたりすることによる。

一方、ほとんどの頭髪形状は、例えば、図1(a)のように概ね凸形状である。従って、このような形状の場合、背景との境界をとらえることで形状を計測することができる。先に述べた三次元計測装置では、白黒 CCD カメラ、カラー CCD カメラが装備されており、そのどちらをもこの境界抽出に利用できるが、本来の装置機能の変更は複雑であるため、新たに、境界抽出用の CCD カメラ（シルエット CCD カメラ）を装備した。シルエット CCD カメラは、図3のように、デジタイザユニットの側面に設定した。このシルエット CCD カメラは、デジタイザユニットの回転と同時に画像を入力し、レーザスリット光投影型の形状計測と同時に形状計測を行なう。

シルエットによる頭髪形状は、背景が単純であれば容易に行なえることからデジタイザユニットと同時に回転する背景板を装備した。頭部モデルに黒い（人毛）かつらをつけた、図1(a)に示す頭部モデルに対するシルエット抽出のための画像を図4(a)に示し、そこから抽出される境界（“silhouette”）を図4(b)に示す。この境界は、輝度に基づく域値抽出によって容易に検出することができる。このシ

シルエット画像の処理に関する詳細は、第5章において述べる。

図4(b)において、X軸は画像の下から上方向への水平スキャンライン番号であり、Y軸はその水平スキャンラインにおいて検出された境界位置である。この図から明らかなように、頭部モデルの顔にあたる輝度の高い部分はほとんど境界として検出されず、額前部の頭髮と、顎下部に見える頭髮の境界がはっきりと検出されていることがわかる。200の位置の水平スキャンラインにおいて検出された境界は、頭部モデルの鼻下部の輝度が低いためである。このような意図しない顔の部分の検出結果は、第4章に述べるようにレーザスリット光による計測結果によって置換される。図4(b)においては、画像の中心よりも左側のみ境界を検出している。これは、ディジタイザユニットが360度回転するため、処理の過程にて計測対象の円筒座標による形状計測データとして、右側に相当するシルエットも検出されるからである。

シルエット画像の入力のためのCCDカメラのサンプリングレートは30フレーム/秒(NTSC)である。ディジタイザユニット内の回路からは直接に信号を取り出せないため、このシルエットCCDカメラとディジタイザユニット内のカメラを同期させるのは困難である(実際、ディジタイザユニット内部のCCDカメラは25フレーム/秒で動作している)。そこで、シルエット画像は、音声データとともにディジタルVTRシステム(DVRS)[6]に記録した。音声データを記録するのは、センターテーブル下部に設置したマイクロスイッチをディジタイザユニットが回転する際にON/OFFするため、この音をとらえることで、ディジタイザユニット内レーザスリット光計測の始まりと終りを検出するためである。このマイクロスイッチは、サウンドスイッチとして図2に示す位置に装備している。DVRSは、その基本機能として、1/30秒毎の映像と音を完全に同期した形で処理することができる[6]。従って、スリット光投影による形状計測間隔に相当するシルエット画像のシーケンスをと

らえることができ、これらをワークステーション(WS)によって画像処理することでレーザ計測に同期したシルエットによる形状計測を実現できる。しかし、シルエット画像処理のための映像のサンプリングは30フレーム/秒であるため、スリット光投影による形状計測と同期させるためにWS上でリサンプルされ25フレーム/秒として処理している。

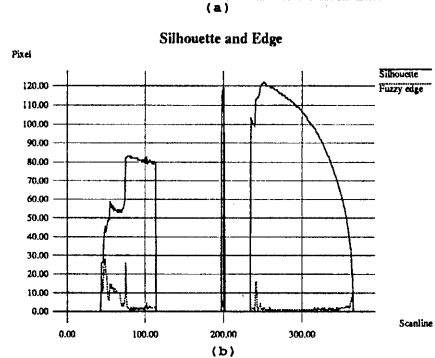


図4: シルエット画像

#### 4 レーザ計測とシルエット処理の併用

第2章に述べたように、レーザスリット光では、頭髮部分を正しく計測することができないが、第3章に述べたように、このような対象であってもシルエット処理によれば形状計測することができる。レーザスリット光による計測と、シルエット処理による計測を併用するのが人物頭部の計測には適当であろうと考えられる。

#### 4.1 レーザスリット光計測

スリット光照射による形状計測結果をワイヤフレーム表示すると図5(a)のようになり、その同時計測された表面テクスチャは図5(b)のようになる。この計測データは、第1章に述べたように、形状、表面テクスチャ共に円筒座標系で保存される。ワイヤフレームの示している部分は計測できた領域である。言い換えれば、図5(a)に示すように頭髪領域の上部は全く計測できていない。レーザスリット光計測では、このような計測不能な点に対して全て void 値を設定する。頭髪の下部および側面が計測できているように見えるが、これらの計測データは適切ではない。この領域には、多くのスパイクがあり、これは不安定な計測結果を示すものである。表面形状の表示はこれを示している。

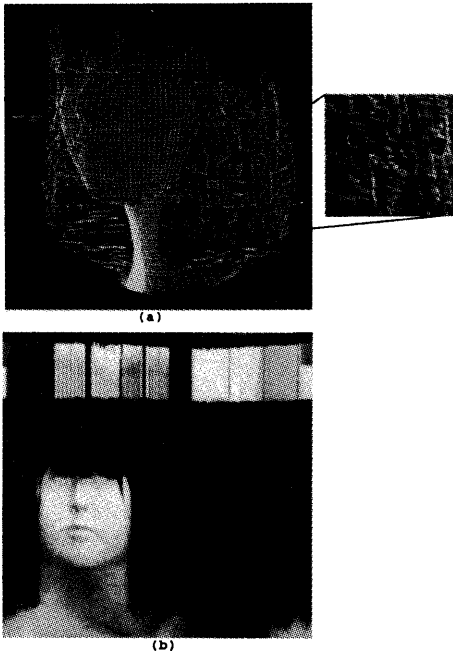


図 5: レーザスリット光投影による計測形状

#### 4.2 シルエット計測処理

頭部モデルにかつらをつけた対象に対して、シルエット処理によって抽出した形状データを図6に示す。全シルエット画像から計測した境界によって、円筒座標系データを組立てている。また、シルエット画像中心の垂直画素を記録することで表面テクスチャ情報を得ることができる。この情報は、本来のスリット光投影型三次元計測装置に装備される表面テクスチャ計測データと同一となるため、今回は使用しない。しかし、シルエット計測のための CCD カメラによって、表面テクスチャを計測できるため、これによって本来の表面テクスチャ計測 CCD カメラを置換することは可能である。図6に示す様に、シルエット処理では顔の部分の形状を適切に計測できていないことがわかる。顔の部分は鼻のようにオクルージョンを発生する要素が存在するのみならず、顔のシルエットは、しばしば頭髪によって隠れてしまうからである。

しかし、頭髪の形状は適切に計測できていることがわかる。また、シルエット処理による形状計測が、レーザスリット光による形状計測よりもスムーズな計測ができていることもわかる。これは、頭髪のような対象に対するシルエット計測処理のもっとも大きな利点である。

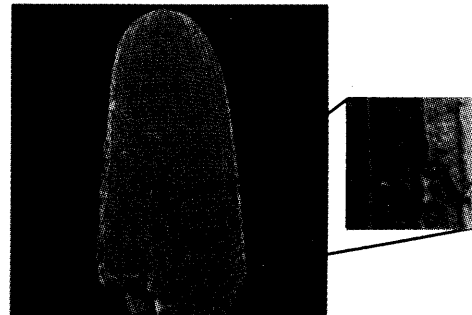


図 6: シルエット処理による計測形状

### 4.3 データのマージ

既に述べたように、スリット光投影型三次元計測装置は顔の部分を適切に計測し、シルエット計測は頭髪部分をより適切に計測できる。従って、両者を併用することで頭髪を含む頭部計測を実行することができる。

スリット光投影型三次元計測装置のデータとのマージを行うためのシルエット処理のためのパラメータを表1に示す。

Parameter	Value
image size	(450,420)
horizontal center (hc)	225
background lowest intensity (bli)	120
target highest intensity (thi)	80
unit length / pixel	800 [ $\mu m$ ]
longitude shift pixel	205 (= 144deg)

表 1: シルエット処理のパラメータ

スリット光投影型三次元計測装置によって適切に計測できない領域は表面テクスチャ情報の輝度の低いところとして容易に判断できる。表面テクスチャはフルカラー情報であるため、その輝度  $Y$  としては以下に示す様に NTSC の規定に従った。

$$Y = 0.299Red + 0.587Green + 0.144Blue$$

シルエット計測データにて置換するための域値として 20 としたとき、図 5 と図 6 に示す両計測データから、図 7 に示すマージされた計測データを得ることができた。これからわかるように、黒髪のかつらをつけた頭部モデルが適切に計測できていることがわかる。

## 5 シルエット処理を利用した画像生成

計測対象の形状とその表面テクスチャが画像生成において重要であることは言うまでもない。それは、人物頭部においても同様である。しかし、人物

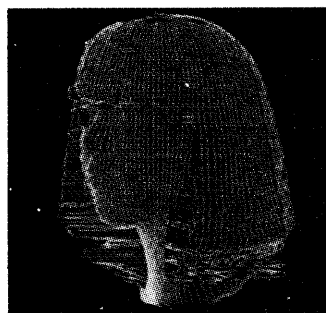


図 7: スリット光投影とシルエット処理を組合わせた計測形状

頭部を考えると、頭髪はその形状およびテクスチャの複雑さによってコンピュータグラフィックスにおいて取り扱うのは容易ではない [9][1]。かつらをつけた頭部モデルを計測したデータを可視化した結果を図 8 に示す。これは、形状計測結果に基づいているため、頭髪と背景の境界が非常にシャープに画像生成されている。これは、機械工学やデザイン領域に関する三次元計測においては、本来の形状をできるかぎり正確に表現しようとして、計測データの表示も、その計測結果を可視化することに重点を置いているためである。しかし、人物頭部の画像生成を考えた場合、これでは自然な画像生成を達成することはできない。特に人物像では、頭髪のようにやや「ふんわり」した状態を生成する必要がある。筆者等は、頭髪より自然な様子を生成するためにシルエット処理データを利用することにした。

このために、「ふんわり」した様子を頭髪境界における透過としてとらえる。シルエット処理の際、境界抽出の際のエッジのするどさを利用することで境界における透過係数を自動的に与えることができる。通常、このような係数は、アンチエイリアシング等にも利用されるが [4]、ここではこれを積極的に利用する。画像生成においては、これを達成するには複数のレンダリングパスや多くの記憶域を必要とするが [3]、「ダブル Z バッファ法」では 2 回のパスでこれを達成することができる [7]。



図 8: かつらをつけた頭部モデルの画像生成結果

### 5.1 ファジーエッジ情報

シルエット処理における境界抽出の際のファジーエッジ情報を透過係数として利用することができる。図 4(b) においては、このエッジの鋭さ、すなわちシルエット輪郭における強度が大きく変化する範囲をファジーエッジ情報 ("fuzzy edge") として示している。このファジーエッジ情報は、シルエット処理による形状計測と同時に求めることができる。図 9 に示す様に、境界抽出の際には水平スキャンラインにて輝度  $b_{li}$  よりも小さい輝度をもつ画素の位置  $P_{bli}$  を求めるが、その際にその後、輝度  $t_{hi}$  に達する位置  $P_{thi}$  とし、両者の差分をエッジの鋭さとする。シルエット処理での境界およびファジーエッジ情報は以下のように計算される。

$$Silhouette = hc - P_{bli}$$

$$Fuzzy\ edge = P_{thi} - P_{bli}$$

$$(hc \geq P_{bli})$$

例えば、額および顎の下のシルエット処理から、そのエッジがよりファジーであることがわかる。このファジーエッジ情報は、全てのシルエット画像に対して計算され、これも図 10 のような円筒座標系の画像として求めることができる。この画像においては、背景およびレーザースリット光で適切に計測できる領域に相当する部分はファジーエッジ情報の対象外としている。ここで、右側に見えるやや輝度の低

い領域がよりファジーなエッジが求められた領域である。図 10 において、輝度の高い領域はファジーではないエッジであり、透過処理を必要としない。すなわち、計測した頭部データの可視化の際に、このような領域に対しては「ふんわり」した様子を生成する必要はない。

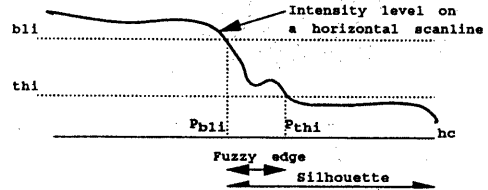


図 9: シルエット輪郭とファジーエッジ情報の抽出

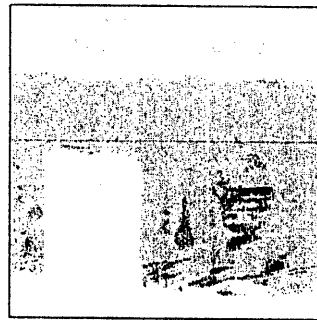


図 10: 円筒座標系画像としてのファジーエッジ情報

### 5.2 画像生成結果

ファジーエッジ情報を利用して、スリット光投影型三次元計測装置およびシルエット処理を併用した人物頭部形状を表面テクスチャと共に可視化した結果を図 11 に示す。背景との境界が、スムーズに表現されていることがわかる。

## 6 結論

本論文では、スリット光投影型三次元計測装置とシルエット画像処理を併用することでより適切な形状計測を達成できることを述べ、特に、人物頭部

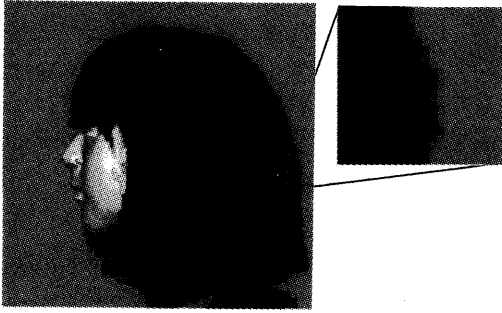


図 11: ファジーエッジ情報を考慮した計測頭部モデルの画像生成結果

に適用できることを示した。実験により、スリット光投影型三次元計測装置は、顔の部分を適切に形状計測でき、シルエット画像処理は頭髪のように黒く（「ふんわり」した）表面を計測できることがわかった。また、シルエット画像処理における、ファジーエッジ情報を利用することで、人物頭部形状のより自然な画像生成が行なえることを示した。

最後に、残された課題として、シルエット処理を本来のレーザスリット光三次元計測装置の表面テクスチャ計測用カラー CCD カメラに組み込むことが必要である。

### 謝辞

本論に述べた検討を進めるにあたり、多くの助言を頂いたマルチメディア処理研究部のみなさまに感謝致します。

### 参考文献

- [1] Kenichi Anjyo, Yoshiaki Usami, and Tsuneya Kurihara. A simple method for extracting the natural beauty of hair. *Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2, pp. 111-120, July 1992.
- [2] R. A. Jarvis. A perspective on range finding techniques for computer vision. *IEEE PAMI*, Vol. 5, No. 2, pp. 122-139, 1983.

- [3] Abraham Mammen. Transparency and anti-aliasing algorithms implemented with the virtual pixel maps technique. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 9, No. 4, pp. 43-55, July 1989.
- [4] Silicon Graphics, Inc., Mountain View, California. *Graphics Library Programming Guide*.
- [5] Michael W. Vannier, Tom Pilgram, Gulab Bhatia, and Barry Brunsten. Facial surface scanner. *Computer Graphics and Applications*, Vol. 11, No. 6, pp. 72-80, 1991.
- [6] Yasuhiko Watanabe, Sakuichi Ohtsuka, and Atsushi Sato. Experimental digital video/audio storage server. *CG International '92*, pp. 883-893, 1992.
- [7] Yasuhiko Watanabe and Yasuhito Suenaga. Parameter controlled hair rendering in backlight. *CG International '90*, pp. 175-186, 1990.
- [8] Yasuhiko Watanabe and Yasuhito Suenaga. Synchronized acquisition of three-dimensional range and color data and its applications. *CG International '91*, pp. 655-665, 1991.
- [9] Yasuhiko Watanabe and Yasuhito Suenaga. A trigonal prism-based method for hair image generation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 12, No. 1, pp. 47-53, 1992.
- [10] Lance Williams. Performance-driven facial animation. *Computer Graphics*, Vol. 24, No. 4, pp. 235-242, 1990.
- [11] 鄭絳宇, 岸野文郎. シルエットを用いた3次元モデルの復元とその凹領域の検出. 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'92), No. II, pp. 247-254, July 1992.