

# 異なる力覚呈示装置による形状知覚の比較

韓 恵栄      山下 樹里<sup>†</sup>      藤代 一成\*

お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科

<sup>†</sup> 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門

\* お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

## 1 はじめに

触覚・力覚呈示装置による力覚呈示法は、触覚・力覚情報をユーザに呈示する技術で、仮想現実感 (Virtual Reality; VR) における重要な研究分野の一つである [1]。これまでに開発された種々の触覚・力覚呈示装置のなかでは「点接触型」とよばれる装置が普及しつつある。その代表である PHANTOM [2] では、ユーザが手に持ったペンの先端の一点 (すなわちカーソルの位置) を通じて 3 次元の反力を呈示する。それに対して触覚マウス [3] では、画面中のマウスカーソルの走査に合わせた触覚呈示部の 2 次元平面での動きを通じて、指に感触を伝える。このような触覚・力覚呈示装置を用いて、力覚呈示の基本手法である haptic rendering [2] を適用すると、仮想形状を実際にヒトが触って感じられるように呈示することができる。形状知覚の先行研究は PHANTOM を用いた文献 [4] などが知られている。しかし、触覚マウスによる形状知覚の研究および異なる呈示装置間での比較研究はまだ報告されていない。

そこで本研究では、同等の形状を異なるデバイスによって呈示した場合に、ヒトの知覚特性の違いを定量的に明らかにすることを目的として、2 次元触覚マウスにおける形状の知覚限界 (弁別閾) を実験的に求め、PHANTOM を用いた既存の結果 [4] と比較する。

## 2 力覚呈示装置における形状知覚

### 2.1 仮想形状の呈示原理—Haptic Rendering

点接触型力覚呈示装置を用いた多くの場合 (図 1(a)) では、カーソルと仮想形状との位置関係を計測し、衝突している場合、反力ベクトルを式  $F = s \cdot L \cdot N$  によって計算する。ただし、 $s$  は仮想物体の硬さ、 $L$  はカーソルが仮想物体に侵入した深さ、 $N$  は仮想物体表面の法線

ベクトルである。これによって物理的に「自然な」反力が呈示され、実形状に近い形状が知覚される。

### 2.2 Force Shading

CG における bump mapping や smooth shading のように、反力を生じる位置を変化させずに、面の法線方向と異なる方向への反力を発生させると、形状認識の錯覚現象 [5] を生じさせることが可能である。この錯覚現象を利用した force shading [6] (図 1(b)) は、本来と異なる形状を呈示する手法として知られている。先行研究 [4] では「自然な」反力呈示方法と force shading による形状の弁別閾が比較されている。

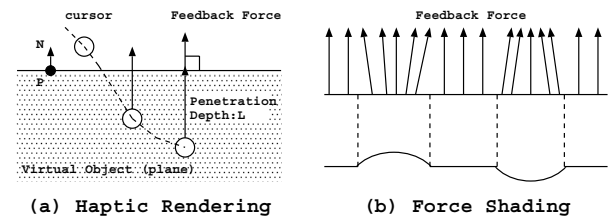


図 1: 力覚呈示装置で仮想形状を表現する場合

## 3 実験

本研究では、触覚マウスを用いて、仮想の山型形状を force shading 法によってユーザに呈示し、平面との知覚限界 (弁別閾) を計測する。

刺激形状と実験装置: 実験装置には触覚マウスを用いる。図 2 のような山型の刺激形状がスクリーン ( $xy$  平面)

上に存在すると仮定し、force shading を利用して、仮想の法線方向  $N$  にそった反力を発生する。カーソルの  $xy$  座標 (スクリーン上での位置) を計測し、

形状に侵入した深さを常に  $L$ 、形状の硬さを  $s$  とする。触覚マウスの力覚呈示部を通じて被験者の指に呈示する反力は  $F = s \cdot L \cdot N$  の  $x, y$  成分である。視覚情報の影

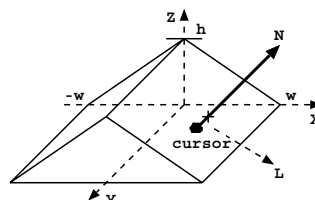


図 2: 刺激形状

Comparing Force Feedback Devices in Shape Perception  
by Huirong Han, Juli Yamashita<sup>†</sup>, and Issei Fujishiro\*  
Grad. School of Humanities and Sciences, Ochanomizu Univ.  
<sup>†</sup> Inst. for Human Science & Biomedical Engineering, AIST  
\* Dep. of Information Sciences, Ochanomizu Univ.

響をなるべく避けるために、被験者に呈示したのは山型が存在する区間範囲を示す2本の線だけである。

パラメタと手順：刺激形状の幅  $w$  は 10, 20, 30 (mm) の3通りで行った。刺激形状の硬さ  $s$  は  $0.4\text{N/mm}$ ，カーソルが形状に侵入した深さ  $L$  を  $1\text{mm}$  とした。被験者は右利きの成人 8 名 (男性 4 人, 女性 4 人) であった。実験開始前に、上下反復法によって各被験者の知覚中心値を決定した。その値を中心にして、計測対象となる山型の高さを間隔が定数になる 4 つの異なる値に設定した。各高さについて 10 回ずつ試行した。毎回平面と山型の刺激形状を呈示し、被験者には山型のほうを選択させた。順序効果を避けるために、試行順序をランダムにした。

実験結果と考察：各々の刺激形状の幅  $w$  に対して、各被験者の 4 つの高さ条件での正答率から、正答率 75% を与える高さ  $h_0$  を推定し、 $h_0$  をその被験者の閾値の代表値とした。それぞれ条件でのすべての被験者の代表値とその回帰直線を図 3 に示す。各々の幅に対する全被験者の代表値の平均と標準偏差および PHANToM による先行研究の結果 [4] を表 1 に示す。

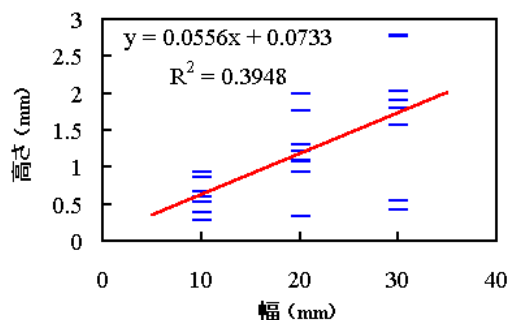


図 3: 触覚マウスによる仮想形状の弁別閾

表 1: 異なるデバイスによる弁別閾 (mm) – 平均高さ (標準偏差) –

| $w$ (mm) | 触覚マウス force shading | PHANToM force shading | PHANToM real |
|----------|---------------------|-----------------------|--------------|
| 10       | 0.62 (0.22)         | 0.6                   | 0.5          |
| 20       | 1.21 (0.51)         | 0.9                   | 0.7          |
| 30       | 1.73 (0.88)         | 1.3                   | 1.0          |

触覚マウスと PHANToM という 2 種類デバイスの force shading 条件の結果から、高さ  $h$  を幅  $w$  で割った形状の勾配  $h/w$  を求め、刺激形状の幅とデバイスの種類について 2 元配置の分散分析を行った結果、幅 ( $F(2, 2) = 2.21, p = 0.31$ )、デバイスの種類 ( $F(1, 2) = 6.03, p = 0.13$ ) とともに効果は認められなかった。すなわち、閾値  $h/w$  はほぼ一定であることから、異なるデバイスでも同じ force shading 条件でほぼ同じ知覚を与えられることが期待される。

#### 4 まとめと今後の課題

触覚マウスを用いて force shading という力覚呈示方法により、仮想の山型形状の平面との弁別閾を定量的に求める実験を行い、3 次元点接触型力覚呈示装置である PHANToM を用いた既存研究の結果と比較した。その結果、同じ形状・同じ力覚呈示手法では、デバイス間に閾値の差は見られず、異なるデバイスでもほぼ同じ形状が知覚されていることを明らかにした。これは、仮想形状をユーザに提供する場合に同じ知覚効果を提供するために有益である。

今後は仮想形状の硬さを変化させたり、曲面を刺激形状として形状の曲率知覚実験、また、触覚・力覚呈示装置を備えない普通のデバイス環境で、共感覚を利用した擬似力覚 [7] による実験などを行う予定である。それらの実験を通じて異なるデバイス・呈示手法におけるヒトの知覚特性を追究する考えである。

#### 謝辞

触覚マウスを提供して下さった富士ゼロックス株式会社の小澤 一志氏及び DPC 研究開発センター第 3 研究室 1 グループの皆様へ深く感謝いたします。本研究の一部は、NEDO ジュニアフェローシップ事業における奨励金研究として実施された。

#### 参考文献

- [1] 山下 樹里, 福井 幸男, 森川 治, 佐藤 滋:「点接触型力覚呈示装置による変位情報に基づいた平面形状知覚特性」, 情報処理学会論文誌, 2000 年 5 月
- [2] K. Salisbury, D. Brock, T. Massie, N. Swarup, and C. Zilles: “Haptic Rendering: Programming Touch Interaction with Virtual Objects,” In *Proc. ACM 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics*, April 1995.
- [3] 塚本 一之, 竹内 伸, 岡村 浩一郎, 坂巻 克己:「2 次元リニアアクチュエータを用いた触覚呈示マウスの開発」, 情報処理学会第 61 回全国大会, 2000 年 10 月
- [4] 島田 義之, 日隈 直紀, 福井 幸男, 山下 樹里:「仮想形状の力覚表現における知覚特性」, インタラクシオン 2000, 2000 年 2 月
- [5] M. Minsky, M. Ouh-Young, O. Stillel, F. Brooks, and M. Behensky: “Feeling and Seeing: Issues in Force Display,” In *Proc. ACM SIGGRAPH'90*, 1990.
- [6] H.B. Morgenbesser and M.A. Srinivasan: “Force Shading for Haptic Shape Perception,” In *Proc. ASME Dynamics Systems and Control Division*, 1996.
- [7] 杉本 美香, 藤代 一成:「共感覚を用いた擬似ハプタイゼーションシステム」, 情報処理学会インタラクシオン'99 論文集, 1999 年 3 月