

仮想形状の力覚表現における知覚特性

島田義之*¹ 日隈直紀*¹ 福井幸男*^{1*2} 山下樹里*²

*¹筑波大学 電子・情報工学系 *²生命工学工業技術研究所

1.はじめに

3次元入出力装置による力覚提示手法は仮想現実感において重要な技術の1つである。力覚提示装置は反力の生じる位置・大きさ・方向を独立に制御できるという特性がある。これを利用して力覚提示装置によって面の法線方向以外への反力提示を行うと、形状認識における錯覚（錯触）が生じることが報告されている[1]。また、錯触が多角形近似された曲面を滑らかに触覚提示するための補間手法（Force Shading）として有効であることがわかっている[2]。このような錯触による力覚情報の補間は、実形状に近い方法で提示する場合と比べ応答性が高くなるため力覚提示において有効な手法である。そこで、このような補間を効果的かつ効率的に行うために、実形状に近い提示方法（Real）とForce Shadingの2つの提示方法における形状の知覚限界を求める実験を行った。

2.知覚実験

2.1 実験内容

3次元入出力装置としては、点接触型力覚提示装置PHANToM[3]を用いて力覚提示を行った。この時、視覚情報の提示は行わなかった。男性3名、女性6名（20代～40代）を被験者として、それぞれ4つの実験を行った（表1）。

表1 実験の種類

実験	標準面	刺激形状の提示方法	形状の状態
1	平面	Real	凹,凸
2		Force Shading	
3	円筒面	Real	凸のみ
4		Force Shading	

被験者は標準面上に提示された刺激形状（図1）をなぞり、キー操作で刺激形状の高さを変化させて刺激形状の高さの知覚限界を測定した。

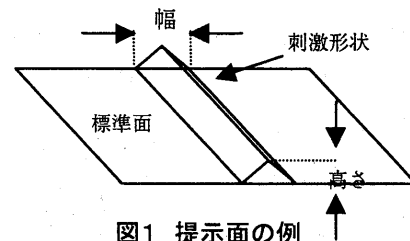


図1 提示面の例

2.2 実験条件

標準面として、平面と円筒面の2つを用意し、各面に対してReal、Force Shadingの2つの提示方法によって刺激形状を提示し、以下に示す実験条件のもとで刺激形状の高さの知覚限界を測定した。Realとは、図2-a)のように刺激形状の面にそって法線方向の反力を提示する方法で、Force Shadingとは、図2-b)のように反力方向の変化のみで刺激形状を提示する方法である。

平面の実験条件は、刺激形状の幅 $w = \{10, 20, 30\}$ (mm)、形状の状態（凹,凸）、面の固さ $stiffness = \{0.4 \text{ (柔)}, 0.8 \text{ (固)}\}$ (N/mm)の3種類である。

円筒面の実験条件は、刺激形状の幅 $w = \{2.5, 5.0, 10.0\}$ (mm)、曲面の半径 $radius = \{160, 320\}$ (mm)の2種類である。面の固さは $stiffness = 0.4$ (N/mm)で固定であり、形状の状態は凸状だけをあつかった。



a) Realの例 b) Force Shadingの例

反力の位置、方向を矢印で示す

図2 刺激形状の提示方法

Characteristic of Perception for Haptical Representation of Virtual Shapes

Yoshiyuki SHIMADA*¹, Naoki HIGUMA*¹,
Yukio FUKUI*^{1*2}, Juli YAMASHITA*²

*¹Institute of Information Sciences and Electronics
University of Tsukuba

*²National Institute of Bioscience and Human Technology

3.実験結果

各条件について3回の試行で得られた結果を

平均したものを、その被験者の代表値とした。

図3は、実験1、実験2の結果をグラフにしたものである。図3より、提示方法の影響が大きいことが明らかであるため、提示方法についての検定は除外した。各提示方法において、(幅、固さ)、(幅、凹凸)、(固さ、凹凸)の要因の組に対して個人差をこえての有意性について検定を行った。その結果、各提示方法とも凹凸には有意差はなかった。Realの場合は、幅、固さに有意差があることがわかった(幅： $F(2,14) = 12.52, p < 0.01$ 、固さ： $F(1,7) = 9.16, p < 0.05$)。Force Shadingの場合は、固さにおいても有意差はなく、幅のみに有意差があることがわかった(幅： $F(2,6) = 7.13, p < 0.05$)。

図4は、実験3、実験4の結果をグラフにしたものである。図4より、提示方法の違いによる影響があまりないことがわかる。そこで、(幅、半径)、(幅、提示方法)、(提示方法、半径)の要因の組に対して個人差をこえての有意性について検定を行った。その結果、提示方法には有意差はなかったが、幅、半径には有意差があることがわかった(幅： $F(2,8) = 49.45, p < 0.01$ 、半径： $F(1,4) = 23.94, p < 0.01$)。

4. 考察

円筒面における実験では、RealとForce Shadingの知覚限界の高さが同じぐらいになっていることから、刺激形状の幅が10mm以下の時はForce Shadingが有効に働くと考えられる。平面においても、幅が狭くなるほどRealとForce Shadingの知覚限界の差が小さくなっていることから同様のことがいえると考えられる。また、図3においてRealとForce Shadingの差があることから、刺激形状の固さを変化させることによって刺激形状の幅が10mm以上の場合でも、Force Shadingが有効に働くようにすることができると考えられる。

5. 今後の課題

平面における実験において、刺激形状の幅が10mm以下の狭い条件でのRealとForce Shadingとの知覚限界を調べたいと考えている。また、刺激形状の固さを変化させたときに、Force Shadingがどの程度有効になるかについても調べたいと考えている。

参考文献

[1] Minsky, M., M. O. Young, O. Stillel, F. Brooks, and M. Behensky: "Feeling and Seeing: Issues in Force Display",

Computer Graphics, Vol. 24, No. 2, pp. 235-243, 1990.

[2] Ruspini, D., K. Kolarov, and O. Khatib: "The Haptic Display of Complex Graphical Environments", in Proc. of ACM SIGGRAPH97, 1997.

[3] T.H. Massie, "Initial Haptic Explanations with the Phantom: Virtual Touch Through Point Interaction", Master's thesis at M.I.T., 1996

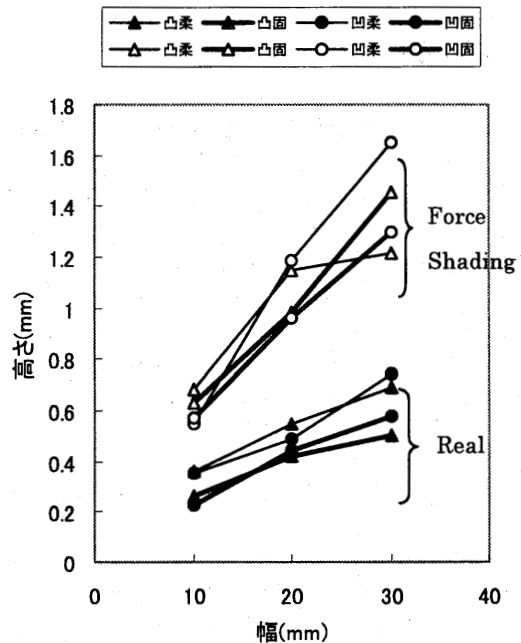


図3 実験1, 実験2(平面上)の結果

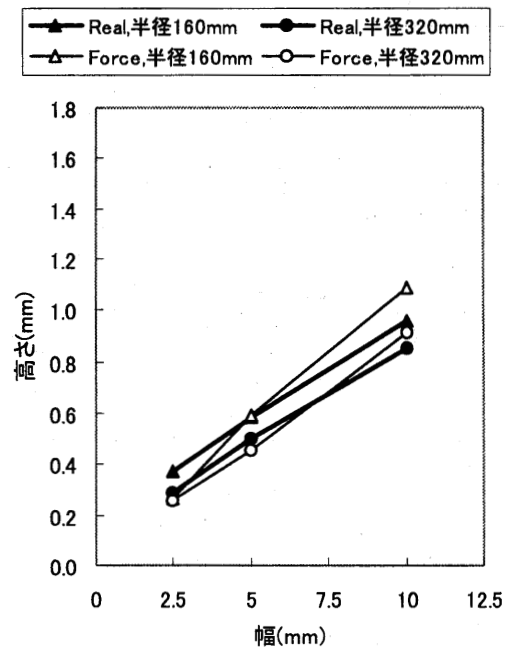


図4 実験3, 実験4(円筒面上)の結果