



# ペン先の視覚的移動量制御による粗さ知覚の変化

Roughness perception change by controlling the visual movement of a pen point.

田中徳彦, 宇治土公雄介, 櫻井翔, 野嶋琢也, 広田光一

Norihiko TANAKA, Yusuke UJITOKO, Sho SAKURAI, Takuya NOJIMA, and Kouichi HIROTA

電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1,  
 {ntanaka, ujitoko, sho, tnojima, hirot} @vogue.is.uec.ac.jp)

概要: 物体表面の粗さは、皮膚変形と物体表面の凹凸をなぞることで生じる振動から知覚されるが、その知覚は視覚の影響も受ける。本稿では、ペン型デバイスを用いて物体表面をなぞる時、実際のペン先の移動量に対する視覚的な移動量の大きさの比率 (CD 比) を操作し、実際になぞる凹凸数の変化から粗さ知覚を変える手法を提案する。この CD 比について、我々は物体表面の粗さを実際より粗く、または滑らかに知覚させるための条件を検証した。

キーワード: 疑似触覚, 視触覚間相互作用, 粗さ知覚変化, CD 比

## 1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ体験が注目を集めており、触覚の提示に関する研究が盛んに取り組まれている。その中でも、バーチャル空間内で物体を触る際に、その見た目から期待したモノの特性が触覚として知覚した特性と一致していると、バーチャル空間への没入感を高めることができることが知られている[1]。この触覚の特性の中でも、物体に触れて判断する重要な要素として質感があげられ、さらにその中には「粗さ」がある。本研究では、この触覚の質感の1つである「粗さ」に着目する。

ヒトは指のなぞり動作による粗さ知覚を皮膚の受容器を通じて、2種類の知覚機序により判断している。物体表面の凹凸間の距離が数百マイクロメートルから1ミリメートルよりも大きいときは、物体と指腹との接触面の形状変化を、それよりも小さいときは皮膚に生じる振動をもとに粗さを判断している[2]。さらに、後者の状況において、Miyaokaらは、物体表面の凹凸の大きさそのもの、もしくはそれらによる皮膚変形や、接触による振動が粗さ知覚に寄与していると示している[3]。以上から、粗さ知覚には皮膚変形と振動を生じさせる物体表面の凹凸とそれらの間隔が寄与している。

バーチャル空間内で、粗さを提示する簡易的な方法は、バーチャル物体に相当する粗さの実物体を直接ユーザに触らせることであるが、多様なバーチャル物体に合わせて、多くの物体を入れ替えて実物体を提示することは、装置自体の複雑化や提示方法のコストが高くなってしまいう問題がある。一方、視覚の影響によって触覚が変化する現象(視触覚間相互作用)を利用して質感を変化させる手法が多々

提案されている。この現象を利用して粗さ知覚を変化させる手法として、Ujitokoら[4]の研究がある。この研究では、ユーザはモニタに表示されたペン先と物体との接触点を表すカーソルを見ながらペン型デバイス動かし、そのペン先を通じて手に伝わる物体の粗さを判断する。この時、握っているペンへ振動を提示すると同時に、視覚的に提示されるカーソルの振動の大きさを誇張して提示する。これにより、実際とは異なる粗さが知覚された。こうした手法では、用意する実物体の粗さの種類が少ない場合でも、バーチャル物体に相当する粗さの実物体を大量に用意することなく、視覚制御のみによって多種の粗さを提示可能なシステムを構築できると期待される。しかし、この手法では、物体表面の粗さを粗く強調はできるが、滑らかさの強調は達成されていない。そこで、本研究では、視触覚間相互作用を用いて、実物体の粗さをより粗く知覚させるだけでなく、滑らかに知覚させることを可能にする手法を提案する。

## 2. 提案手法

本研究では、実物体をなぞることで実際の粗さを知覚することが必要であるため、なぞる方法に気を付けねばならない。非圧縮性の物体を介しても、皮膚への振動伝播によって粗さの識別が可能であることが知られている[5]。そこで、本研究では、凹凸をなぞることで生じる振動をペン型デバイスによって知覚することを行う。

本提案手法では、ユーザが実際になぞった距離を、より長く、もしくはより短く視覚的に認識させることで、粗さ知覚を変化させる。具体的には、ペン型デバイスと物体と

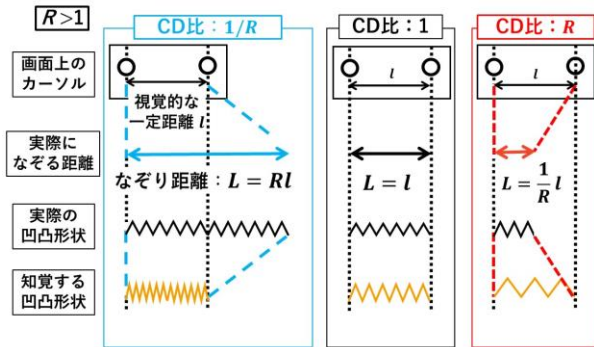


図1 提案手法の知覚メカニズム

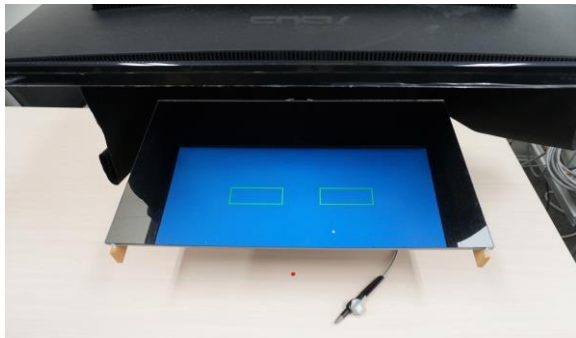


図2 実験環境の様子

の接触点を表すカーソルをディスプレイに表示し、この視覚的なカーソルの移動量を変える。これにより、実際にペン型デバイスを動かす移動量とカーソルの移動量との対応関係を Control/Display 比 (以下 CD 比) として操作する。移動量の対応を変えることで、ペン型デバイスを動かす距離を伸ばさせることができる。なぞる距離が変わることで、ペン型デバイスで知覚する凹凸の数が増減するため、カーソルを動かした距離中に知覚する凹凸の数も増減する。以上のなぞり動作の視覚的な距離に、実際とは異なる量の凹凸数を知覚させる手法で、粗さ知覚の変化を図る。本手法では、CD 比が 1 の場合には、実際のペン型デバイスの移動量とディスプレイ上のカーソルの移動量は一致する (図 1)。一方、CD 比が 1 より大きい場合には、実際のペン型デバイスの移動量よりも、カーソルの移動量が大きくなるため、視覚的な移動距離中に知覚する実際の凹凸の数は、CD 比が 1 の時よりも少なくなる。これにより、凹凸間の距離を長く感じることで、粗さをより粗く感じると期待される。反対に、CD 比が 1 より小さい場合には、ペン型デバイスの移動量がカーソルの移動量よりも大きくなるため、視覚的な移動距離中に知覚する実際の凹凸の数が多くなり、滑らかに感じられると期待される。

ただし、この手法では、ユーザがカーソルの動きと自分の手の動きを視認し、それらの動きにずれが生じていることを意識してしまうと違和感を覚えることで、カーソルの移動量変化による視覚的な影響が失われてしまうことが知られている[6]。このため、実験時には被験者の手元を隠

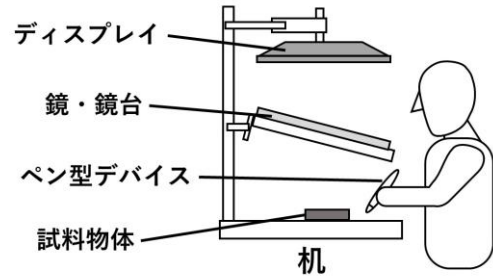


図3 実際の実験時の様子

すように装置を設計した。

### 3. 実験装置と環境

実験装置は入力デバイスとカーソルを表示するディスプレイ装置から構成される (図 2, 図 3)。入力デバイスには、任天堂株式会社が販売しているニンテンドー Dsi LL 専用タッチペン (大) (ダークブラウン) を使用し、このグリップ部分に 3 次元位置計測システム POLHEMUS のセンサを取り付けた。ディスプレイ装置は、ディスプレイの映像提示部が下方方向になるようにモニターアームで固定し、提示画面が被験者側に反射して見えるように鏡台をディスプレイ下部に設置した。ディスプレイには、最大解像度が  $1,920 \times 1,080$  ドットであり、最大垂直同期周波数は 144Hz である ASUS 社製の液晶ディスプレイ VG278HE を使用した。

提示画面には左右対称に水平方向に長い緑色の長方形枠を表示した。この枠は、鏡台下に設置される試料物体が置かれるおおよその位置と同じになるようにあらかじめ設定した。センサで取得したペンの位置を示す画面上のカーソルには、画面中央から左右で異なる CD 比が適用された。画面の左右でカーソルの単位移動量が変化するため、これらの領域それぞれで視覚的な移動量が変化する。

なぞり動作時の実物体とペンとの接触による音を遮断するために、SONY 社製のノイズキャンセリングステレオヘッドセット WH1000XM3 を被験者に装着し、ホワイトノイズを流した。なお、実験は密閉された 2m 四方の部屋で行われた。

## 4. 実験 1

### 4.1 実験の目的と方法

実験 1 の目的は、CD 比を用いた視触覚間相互作用により、実物体の粗さ知覚の変化が可能であるか、また、その知覚変化の生起確率を評価することである。被験者には、画面の左右で異なる CD 比が移動量に適用されたカーソルのみを見ながら、左右で同じ粗さの試料物体 2 つをなぞってもらった。その後、「左右でどちらがより粗く感じるか」回答してもらった。また、実験時の注意として、事前にペンのなぞり動作時にカーソルを動かす速さが一定となるように教示した。

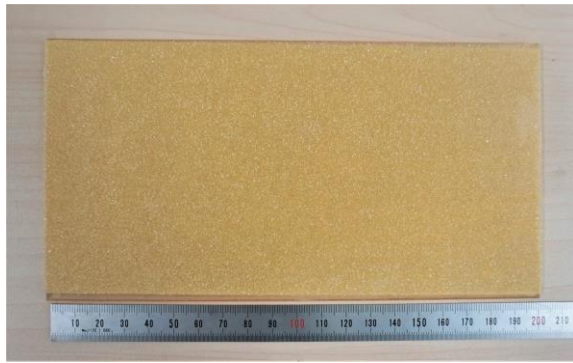


図4 試料物体 (0.43mm)

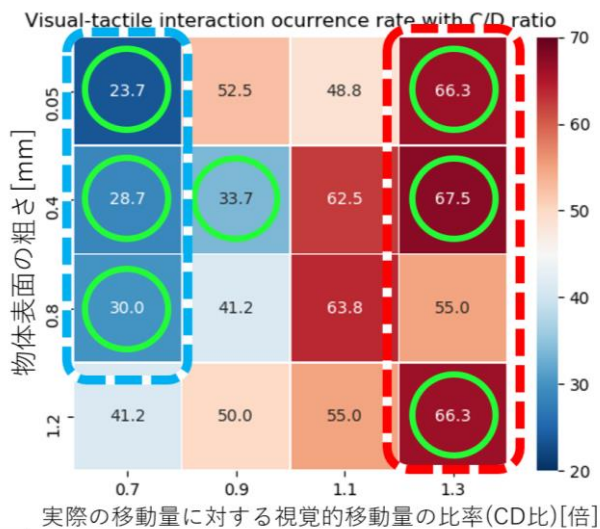


図5 CD比ごとに粗いと回答した割合

#### 4.2 実験条件

試料物体は、厚さ 3mm のアクリル板(110mm×300mm)の片面に、両面テープを張り、その上にアクリルビーズをそれぞれ貼付したものである。アクリルビーズには、それぞれ直径の平均サイズが 0.050mm, 0.43mm, 0.85mm, 1.2mm の 4 種類を使用した (図4)。

CD 比の値は 0.7, 0.9, 1.1, 1.3 の 4 種類を使用し、試料物体との組み合わせ条件 1 つにつき 8 試行を行い、合計 128 回の試行を行った。

被験者は 19 歳～25 歳までの男性 7 名、女性 3 名の合計 10 名であった。

#### 4.3 実験結果と考察

比較した CD 比の値が大きい方を粗いと被験者が回答したケースを、物体をより粗く知覚したとみなして、その割合を求め、各条件組み合わせに対して、自由度 1 のカイ二乗検定を行った。この結果を図 5 に示す。横軸は CD 比の値を示し、縦軸は試料物体の粗さを示している。各セル内の数値は、被験者がより粗いと回答した割合を示している。また、カイ二乗検定で有意水準 5% の有意差が認められた条件には、緑色の円で印をつけた。結果から、CD 比の値が 1 から離れるにつれて有意な条件が増え、粗さをより粗いと知覚した割合も 50% から離れていく様子から、

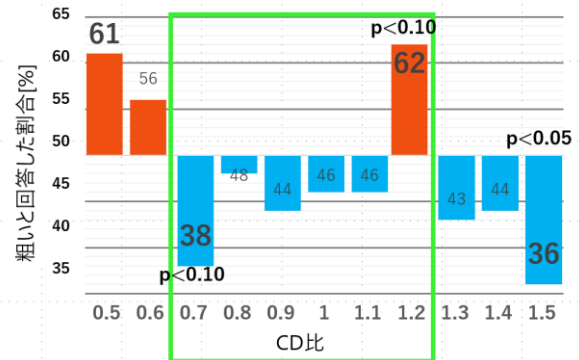


図6 感覚間相互作用の生起の様子

CD 比が粗さ知覚に期待した変化を与えたと考えられる。

## 5. 実験 2

### 5.1 実験の目的と方法

実験 2 の目的は、視触覚間相互作用が生起する CD 比の範囲を調査することである。そのため、CD 比の大きさの範囲を実験 1 よりも広げ、実験 1 と同様のタスクを行った。

### 5.2 実験条件

試料物体のアクリルビーズには、実験 1 で最も有意差の見られた、直径の平均サイズが 0.43mm の 1 種類を使用した。

使用する CD 比の値には 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 の 11 種類を使用し、試料物体との組み合わせ条件 1 つにつき 10 試行を行い、合計 110 回の試行を行った。

被験者は 19 歳～22 歳までの男性 7 名、女性 3 名の合計 10 名であった。

### 5.3 実験結果と考察

実験 1 と同様に、粗いと知覚した割合を求め、各条件組み合わせに対して、自由度 1 のカイ二乗検定を行った。図 6 は実験 2 で得られた、被験者がより粗いと回答した割合を、CD 比ごとに 50% からどのくらい離れているかを示したものである。横軸が CD 比の値、縦軸が粗いと回答した割合を示している。50% を上回った条件では赤色、下回った条件では青色で棒グラフが色付けされている。回答割合が有意水準 10% と 5% で有意な関係がある CD 比の条件においては、棒グラフに p 値を示した。その結果、5% 水準で有意差が認められたのは、CD 比 1.5 のみであった。しかし、CD 比 0.7, 1.2 には有意水準 10% で有意傾向が見られた。この CD 比よりも CD 比 1.0 から離れると、期待していた相互作用の影響が反転していることが確認できるため、目的であった相互作用の生起範囲は緑色の四角枠で示された CD 比 0.7 から 1.2 の範囲であると考えた。

実験 2 では、CD 比が 1.1 と 1.3 のときには粗いと回答した割合が 50% を下回ったが、実験 1 では、その結果が反転している。また、それらの中間値である CD 比 1.2 のみが、CD 比が 1 よりも大きい中で粗いと回答した割合が 50% を超えていたことから、CD 比を 0.1 刻みに細かく制御して

も、すべての CD 比において期待した粗さ知覚変化は起こらず、反対に、効果が表れやすい CD 比の値以外において、粗さ知覚の認識を阻害する可能性がある。今回の場合では、CD 比 1.2 の条件が視覚的な影響として不自然ではなく、視触覚間相互作用の効果が表れやすかった反面、CD 比 1.1, 1.3 でのカーソルの動きに不自然さを持ってしまった可能性がある。

## 6. おわりに

本研究では、視触覚間相互作用を用い、実物体の粗さを粗く、もしくは滑らかに感じさせる変化手法の提案を行い、その効果の検証を行った。CD 比の値が大きくなるにつれて、粗いと回答した割合が増えていることから、粗滑感の変化に有意な傾向があることが確認できた。しかし、今回は粗滑感の弁別を行い、感覚間相互作用の生起範囲を確認しただけであるため、CD 比の粗さ知覚の変化がどれほどのものであるかは明らかになっていない。今後の課題としては、多種の大きさの粗さに対しても、相互作用を適用させた粗さがどの程度異なる粗さとして知覚されるか測定することで、所望の粗さに知覚させるような CD 比が定量的に判断できるような、粗滑感変化の推定曲線を作成することを検討している。

## 参考文献

- [1] 鳴海 拓志：Pseudo-haptics 応用インタフェースの展望—疑似触力覚提示からその先へ, 61. 11, 463-468, 2017., [https://www.jstage.jst.go.jp/article/isciesci/61/11/61\\_463/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/isciesci/61/11/61_463/_pdf/-char/ja)
- [2] 岡本正吾: 粗さ・摩擦・硬軟・温冷の触知覚機序: 触感・テクスチャはこうして感じられている., [http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/member/shogo\\_okamoto/papers/PerceptualMechanism.pdf](http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/member/shogo_okamoto/papers/PerceptualMechanism.pdf)
- [3] T. Miyaoka, et.al.: Mechanisms of fine-surface-texture discrimination in human tactile sensation. J Acoust Soc Am. 105, 2485-2492, 1999.
- [4] Y. Ujitoko, et.al.: Modulating Fine Roughness Perception of Vibrotactile Textured Surface using Pseudo-haptic Effect. IEEE Trans Vis Comput Graph., 25(5), 1981-1990, 2019.
- [5] 田中由造, 佐野明人: 触知覚メカニズムと指・皮膚構造, バイオメカニズム学会誌, 38(1), 47-52, 2014., [https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/38/1/38\\_47/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/38/1/38_47/_pdf)
- [6] A. Pusch, A. Lécuyer. Pseudo-haptics: from the Theoretical Foundations to Practical System Design Guidelines. ICMI 2011, 57-64, 2011.