

# なぞり動作を利用した触形状提示手法の検討

安藤 英由樹<sup>\*1</sup> 仲谷 正史<sup>\*2</sup> 渡邊 淳司<sup>\*3</sup> 前田 太郎<sup>\*1</sup> 舘 暲<sup>\*2</sup>

Study of Tactile Shape-Display Technique based on Active Touch Movement

Hideyuki Ando<sup>\*1</sup> Masashi Nakatani<sup>\*2</sup> Junji Watanabe<sup>\*3</sup> Taro Maeda<sup>\*1</sup> and Susumu Tachi<sup>\*2</sup>

**Abstract:** When human beings touch an object in a space, they actively move their fingers. They can perceive the shape of the object, even which is larger than the fingertip due to the active touch movement. In current paper, we propose a new technique for displaying tactile shape using the active touch movement. If the object is moved in the same or opposite direction during the finger movement, the width of the object is perceived as expanded or shrunk. Controlling the velocity of the object, indicated width can be displayed. Therefore, we investigate the relationship between velocity and perceived width of the object.

**Key Words:** Tactile Shape-presentation, Tactile Width Perception, Active Touch

## 1. はじめに

触感覚提示の研究は大きく以下の3つに分類される。第1に、提示物体が空間のなかでどの位置にあり、どのような形状をしているのかを提示する物体形状提示の研究。第2に、その物体表面の面粗さや摩擦等を提示するテクスチャ提示の研究。そして、物体に接触した時に生じる力覚特性（粘性、弾性）を提示する研究の3つである。本論文では第1の物体形状提示の研究について議論する。これまでに物体形状提示手法として、多数のピンを上下振動させて物体の形状・輪郭を提示する研究がなされてきた[1][2]。ピンを利用した提示手法においてピンの配置密度と形状判別特性について研究[2]されており、これを満たす高密度配置のディスプレイも検討されてきた[3]。しかしながら、これらの手法では形状の認知はできるものの連続的なエッジ覚の再現には至っていない。また、形状提示の際には、指腹を押し当てるなど指は静止したままである。しかし、日常生活において、手を静止させて物体の形状を知覚することは少なく、むしろ、物体表面に沿って指を動かし、なぞり動作を行うことで、物体形状を知覚している。そこで、本研究では、このなぞり動作自体に着目した新たな物体形状提示手法を提案する。

## 2. なぞり動作による幅知覚と提案手法の原理

触知覚においては、指先自体を動かすことで（なぞり動作を行うことで）、指先よりも広い領域の空間

情報を獲得している。基本的な空間情報である物体の幅を知覚する際でも、指を動かし、その物体の上をなぞることによって、指よりも太い幅の物体幅を知覚することが可能である。これは、なぞり動作時に感じられる物体の一方のエッジからもう一方のエッジまで指の移動した距離が重要な情報として利用されていると考えられる。この知覚原理が正しいとすると、図1(a)のように、指の移動中（速度 $V_f$ ）に接触対象も移動させると（速度 $V_s$ 、ただし $V_f > V_s$ ）、指がもう一方のエッジに到達するまでの指の移動距離は増加し、知覚される幅が広くなることが予想される。また、逆に図1(b)のように、接触対象を指運動と逆方向に移動させると、エッジに到達するまでの指の移動距離は減少し、接触対象は狭く知覚される

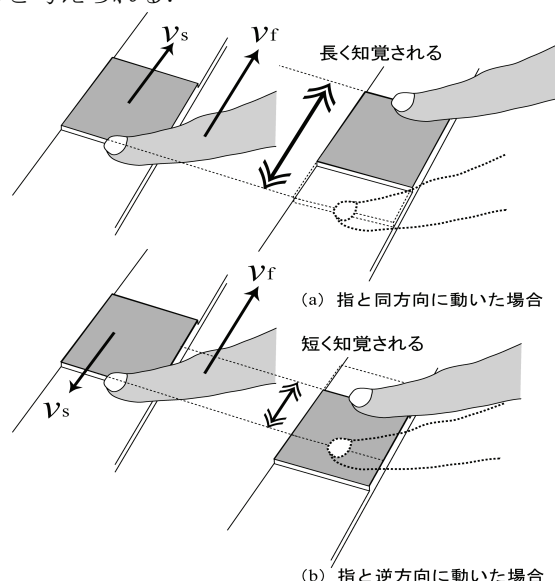


図1 なぞり動作を利用した物体幅提示 接触対象が (a) 指と同方向に動いた場合 (b) 指と逆方向に動いた場合

Fig. 1 Principle of proposed technique

\*1 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

\*1 NTT Communication Science Laboratories

\*2 東京大学情報理工学系研究科

\*2 Graduate School of Information Science and Technology (IST), The University of Tokyo

\*3 独立行政法人科学技術振興機構 さきがけ

\*3 Japan Science and Technology Agency

そこで、本論文では、指の動きに合わせて制御可能なリニアステージを用いて、指と接触対象との相対速度を変化させ、様々な物体幅を提示する手法を提案する。以下、接触対象を移動させる速度と知覚される接触対象の幅の関係について検討する。

### 3. 水平方向の幅知覚実験

#### 3.1 実験装置

実験装置の概要を図 2 に示す。実験において被験者は右人差し指をリニアステージ上に置き、実験開始とともに指を左から右へ、右から左へ約 40mm 移動させた。指の位置は赤色レーザー距離計 (Keyence 社製 LK-500) によって計測され、計測されたデータは AD ボード (Interface 社製 PCI-3523A) を介し PC により計測する。そして、指の位置をサーボループ毎に差分を取りこれを指の移動速度とした。PC から DA ボード (Interface 社製 PCI-3523A) を介してリニアステージ (CKD 社製 KBA-10E-ST-M20N- 20A, モータは速度制御性能や応答性能を考慮して、低イナーシャ・高レスポンスモータ (Panasonic 社製 MSMD041S1A に交換して使用) を速度制御モードで駆動した。PC による計測制御のサーボループは 1k[Hz] とした。このとき、リニアステージの速度指令値は被験者の指の速度に対する任意の相対速度比で与えられる。たとえば、相対速度比が 1 であれば、リニアステージは指と同じ速度で、指に完全追従して移動する (指の移動速度最大時でも、制御の時間遅れは 5ms 以下であった)。相対速度比が 0 より大きく 1 よりも小さい場合には、ステージは指と同じ方向に指の速さよりも遅く移動し、速度比が負の場合は指と逆方向に移動する。刺激のための凸幅を有するプレート (図 2 の白い長方形、凸部は黒に着色されている。また、ややざらつきを有している) はラピットプロトタイピング (Stratasy 社製の Dimension) によって生成されており、リニアステージ上及び、標準刺激として用いた。

#### 3.2 実験手順

本実験の 1 試行は以下の 3 手順に分けられる。

●手順 1 : 図 2(a)のように、中心部が幅 30[mm]、高さ 0.5[mm]凸となっているプレートをリニアステージ上に固定し、この上を人差し指を移動させ、なぞり動作を行う。一定の速度変化でなぞり動作を行うために、メトロノーム (SEIKO 社製 SQ70) のテンポ 120 に合わせてプレートの範囲 (100mm) を往復するように教示した。

●手順 2 : 図 2(b)にあるような標準刺激を、メトロノームのテンポに合わせてなぞり、手順 1 によ

て知覚された幅と比較した。被験者がその判断 (標準刺激が広い、狭い、等しい) ができるまで、任意回数のなぞりを行った。

●手順 3 : 手順 2 において、標準刺激が広いと感じた場合はリニアステージの相対速度を小さく、標準刺激が狭いと感じた場合は相対速度比を大きくなるように操作した。

試行では、被験者が手順 2 でリニアステージ上の凸面幅と標準刺激の幅が等しいと感じるまで手順 1 ~ 3 を繰り返した。リニアステージの指の運動に対する相対速度比は、 $-3.0 \sim 1.0$  (0.048 刻み) で変化させた。また、リニアステージが動く様子は、被験者からは見えず、その音も聞こえないようにした。

実験では、5 種類の標準刺激 (15, 20, 30, 40, 50mm) をランダムに使用し、各標準刺激に対して凸面と標準刺激の幅が等しいと感じるまで各 5 試行おこなった。被験者は男性 3 名 (26, 26, 31 歳) であった。

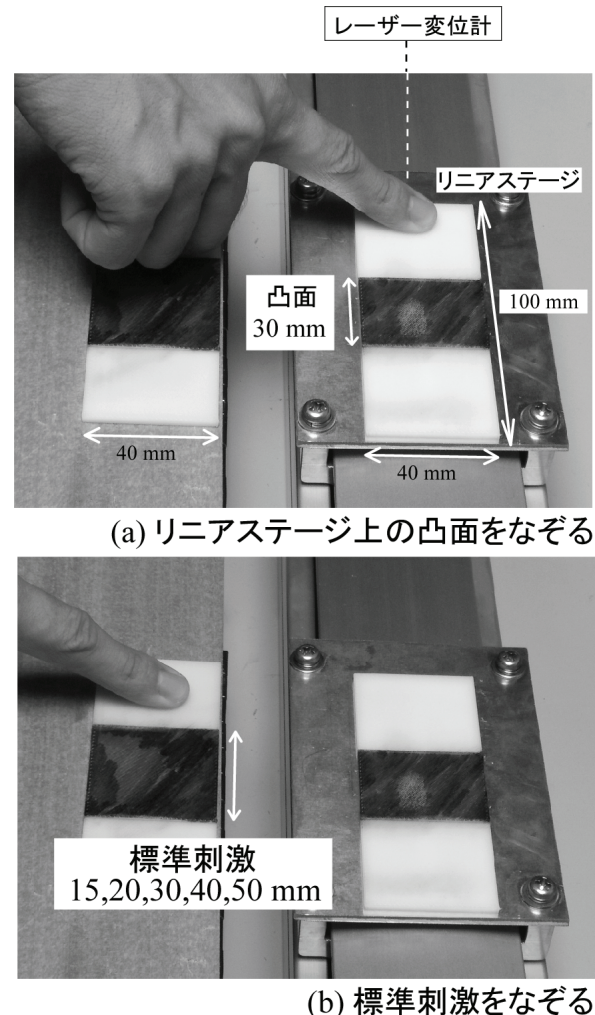


図 2 実験装置の配置と実験手順 (a) 手順 1 (b) 手順 2

Fig. 2 Spatial arrangement of apparatuses

#### 3.3 実験結果

実験の結果を図 3 に示す。横軸が手順 2 でなぞっ

た標準刺激の幅[mm]で、縦軸は最終的に調整されたリニアステージの指の速度に対する比率である。各プロットはそれぞれの被験者の平均を表し、エラーバーは分散を表している。3人の被験者のデータを見やすくする（特に分散）ため、3人の横軸を僅かにずらしてプロットした。3人のデータとも、標準刺激の幅が大きくなるにしたがって、調整されたリニアステージの速度比が大きくなり、凸面の知覚幅が広がっていることがわかる（図1(a)参照）。

リニアステージの速度比と知覚される凸面の幅の関係を調べるために、図3のデータを、横軸を速度比、縦軸を知覚された凸面の拡大率（標準刺激を凸面の幅30mmで割ったもの）をプロットした。その結果を図4に示す。○△×はそれぞれの被験者の平均を表し、点線は理論的に予想される値を結んだものである。理論値は、知覚される幅の拡大率  $Y$ 、速度比  $X$  とすると、 $Y=1/(1-X)$  と表せる。例えば、速度比  $X=0$ 、つまり、リニアステージが静止している場合には、拡大率  $Y=1$  であり、提示された凸面の幅がそのまま知覚される。また、 $X=0.5$ 、ステージが指の速さの半分で同方向に追従すると、指とステージの相対的な移動速度は半分になり、知覚される幅は2倍( $Y=2$ )に、また、 $X=-1$ 、ステージが指と逆方向に同じ速さで移動すると、相対速度は2倍になり、知覚される幅は半分( $Y=0.5$ )になる。プロットデータは全体的に理論値近傍にあり、特に速度比が正の領域、指とステージが同方向に移動している領域では、3人のデータとも理論曲線に近い値をとっている。

このことは、指なぞり時に接触対象を移動させると、その対象の知覚される幅は指の移動距離と同等になり、接触対象の移動速度を制御することで、任意の幅を提示可能であることを意味している。

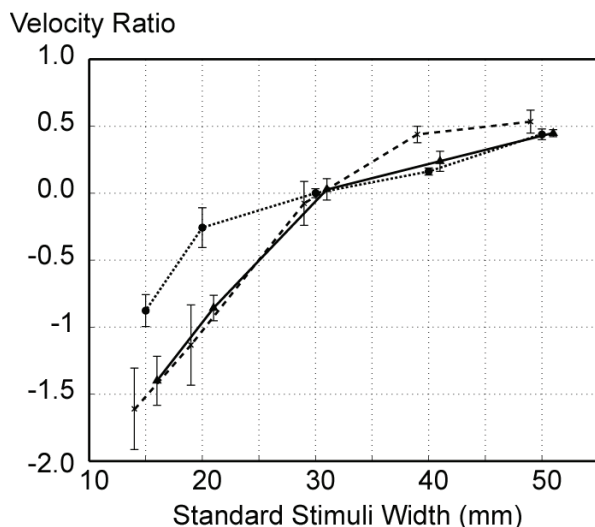


図3 提示した標準刺激と回答された速度比

Fig. 3 Stimulus width and reported velocity ratio

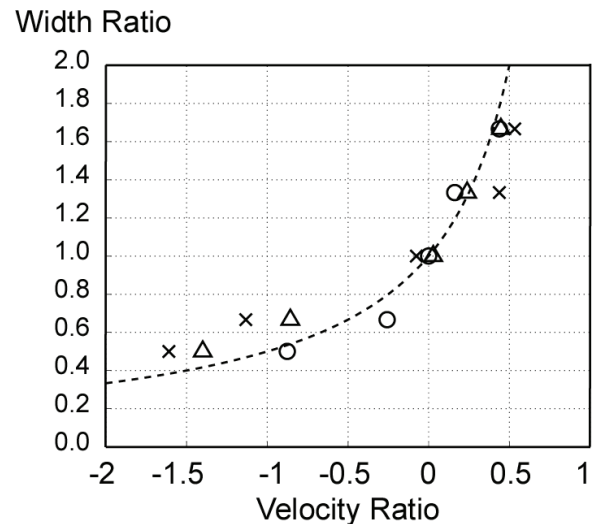


図4 速度比と知覚される幅

Fig. 4 Velocity ratio and perceived width

#### 4. 考察

前節の実験によって、なぞり動作時に接触対象を移動させることによって、物体幅を錯覚させることができ、さらに任意の物体幅が提示可能であることを示した。しかも、被験者の内観報告によると明確に対象物の長さの変化として知覚され、また予備実験でテクスチャのことなる材質を用いても同様の傾向を示した。つまり、なぞり動作時の幅知覚に関して、指腹下の皮膚表面で検知される接触対象との移動速度を利用していないと考えられる。なぜならば、皮膚表面で接触対象の移動速度を正確に取得でき、これが利用されていれば、その速度と指の移動を相殺し、実際の物理幅を知覚できるはずであるが、実験において被験者は物体幅を錯覚したからである。

このことは、指の移動時には指腹で感じられる接触面の移動速度よりも、自己受容感覚による指の位置情報のほうが優位であることを示唆している。

この議論に際し、寺田ら[4]は触覚による物体の長さ認識においては自己受容感覚よりも皮膚感覚を利用しているという、本論文の実験結果とは相反する傾向を示している。その理由として寺田らの実験では受動的に指が動かされていることに対して、本実験では能動的に動かしている点が挙げられる。このことは指先の速度推定に関して、能動触覚のための運動の遠心性コピーの利用が関係していると考えられる。また、本実験では、日常的ななぞり動作の速度域の一つにおいてのみ検討を行った、しかし Hollinsら[5]は腕の移動速度によっても知覚幅は変化することを報告していることから、実験で行った指先の速度域から大きく外れた場合には物体幅が異なって感じられる可能性がある。これについては今後検証する必要がある。



## 5. おわりに

本論文では、なぞり動作に合わせて接触対象を移動させて触形状を提示する手法を提案し、特に対象の移動速度と知覚される物体幅の関係について調べた。実験の結果、指の移動量とほぼ一致する幅が知覚されることがわかった。

本手法は、直接対象を指先で触りながら形状を提示することを可能にするものであり、将来的にはリニアステージを2次元化することによって、任意の2次元形状を提示する、いわばの遭遇型[6]でかつスタイラス等を介さず人間が直接触れることができる触覚提示装置を実現したいと考えている。また、形状提示にとどまらず表面弾性波を用いた触覚ディスプレイ[7]のように、なぞり動作中に指との相対速度を操作して摩擦の変化を起こすことによるテクスチャ覚操作の可能性や、指の移動に対し、時間的遅れをもって移動させることで粘性覚等が生じるための物性再現の可能性について今後検討を進めてゆく。

## 参考文献

- [1] 島田茂伸, 篠原正美, 清水豊, 下条誠, "触覚 GUI 装置の補正方法および触地図への応用", 日本VR学会 第10回記念大会論文抄録集, 1D1-6, 2005
- [2] 下条 誠, 篠原 正美, 福井 幸男, "3次元触覚ディスプレイにおける提示ピン配置密度と形状判別特性", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J80, No. 5, pp. 1202-1208, 1987.
- [3] 池井寧, 山田真理子, "振動ピン配列と高さマップによる触覚テクスチャの提示", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 7, No. 2, pp. 247-255, 2002
- [4] 寺田 和憲, 宮田 大介, 伊藤 昭, "ヒトの長さ知覚における皮膚感覚と自己受容感覚の統合機能", Proc. Robotics and Mechatronics, 1A1-N-106, 2005.
- [5] Mark Hollins and Alan K. Goble. Perception of the length of voluntary movements. Somatosensory Research, 5(4):335-348, 1988.
- [6] 平田亮吉, 星野 洋, 前田太郎, 舘 暲: 人工現実感システムにおける物体形状を提示する力触覚ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.1, No.1, pp.23-32, 1996.
- [7] Masaya TAKASAKI, Takaaki NARA, Susumu TACHI, and Toshiro HIGUCHI, "A Tactile Display Using Surface Acoustic Wave," Proc. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp. 364-367, 2000.

(2005年10月9日受付)

## [著者紹介]

### 安藤 英由樹

(正会員)



1998年 愛知工業大学大学院 工 電気電子工 修士課程修了。1998年 同大学工学研究科 電気材料工博士課程。1999年 理化学研究所 BMC JRA 配属。2000年 JST「協調と制御」領域グループメンバーとして東大情報学環研究員を経て現在 NTT コミュニケーション科学基礎研究所 リサーチアソシエイト。生体工学, 人間の知覚特性に基づく(錯覚, 錯触を利用した)ヒューマンインタフェースなどの研究に従事。博士(情報理工学)  
<http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/~hide/>

### 仲谷 智浩

(学生会員)



2005年 東大大学院・情報理工学・修士課程修了。同年より同大学院博士課程に在籍。日本学術振興会特別研究員(DC1)。Harvard University DEAS Research Assistant。触知覚メカニズム・触覚ディスプレイの研究に従事。

### 渡邊 淳司

(正会員)



2005年3月 東京大学大学院 情報理工学系研究科 博士課程修了(情報理工学博士)。2005年11月より科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ)研究員。視触覚における探索運動(眼球運動やなぞり動作)時の時空間知覚の変化とその情報提示・芸術表現への応用研究を行う。  
<http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/~junji/>

### 前田 太郎

(正会員)



1987年 東大・工・計数工卒。工博。同年通産省工業技術院機械技術研究所。1992年 東大先端科学技術研究センター助手。1994年 同大学院・工助手。1997年 同大学院・工講師。2000年 同大学院情報学環講師。2002年 NTT コミュニケーション科学基礎研究所主幹研究員。人間の知覚特性・神経回路のモデル化, テレイグジスタンスの研究に従事。

### 舘 暲

(正会員)



1968年 東大・工・計数卒。1973年 同大学院博士課程了。工博。同年同大助手。1975年 通産省工技院機械技研研究員, マサチューセッツ工科大学客員研究員を経て, 1989年 東大先端科学技術研究センター助教授。1992年 同センター教授。1994年 同大学院・工・計数工教授。2001年 同大学院・情報理工・システム情学専攻教授。テレイグジスタンス, 人工現実感の研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会前会長