

# 剪断力法線振動提示触覚デバイスに関する研究

A tactile device with a tangential force and a normal vibration

## 1. はじめに

VR 技術は、視覚・聴覚だけでなく、触覚を含む多種類の感覚を駆使した多感覚メディアの実現を目標としているが、触覚への提示表現は未だに広く一般に利用される水準には至っていない。一方、情報通信基盤が充実する中で、実空間に対する遠隔/間接操作のための触覚フィードバックの重要性は、今後一層高まると考えられる。また、3次元モデルの設計や評価などにおいても触覚提示は対象の特性の理解に有効な情報を与える。

対象の精密な操作を行う際、人間は対象面と指先との間に生じる接線方向の力の変化や滑りの情報を利用していることが知られており [1]、対象面のなぞり運動時、物体把持時に生じる剪断力分布を提示することは、対象の精密な制御に繋がると考えられる。一方、皮膚面の法線方向の振動は、対象表面の材質感や比較的小さな凹凸形状に起因する触覚の提示において有効である [2]。従って、剪断力と法線振動を同時に提示することで、面のなぞり感覚、滑り感覚とその凹凸をより正確に提示できると期待される。

本研究では、複数の回転接触子による剪断力を生成する手法、および法線方向の振動刺激との統合提示を行う手法の開発を目的とする。

## 2. 剪断力法線振動提示触覚デバイス (SFD4) の設計

本研究の触覚提示手法を図 1 に示す。なぞりの対象が凹凸形状を有する面であった場合、剪断力はその頂点で大きくかかり、周囲に向かうにつれて小さくなるものと考えられる。また、なぞり対象に凸があった場合、皮膚は垂直方向に凹むといった変形が起こる。これらを疑似的に再現する方法として、複数の回転接触子とそれらを指に対して垂直方向に振動させる方法を提案する。製作した剪断力法線振動触覚デバイス (SFD4) を図 2 に示す。

剪断力を皮膚表面に与える4本の接触子は、直径2.0mmの真鍮製の軸である。4台のDCモータ (RE16, maxon moter ag) により接触子を駆動した。法線振動は、ボイスコイル (サンワサプライ社) を4つ使用し、それぞれの接触子に対して動力を伝達した (図 3)。接触子中心間距離は入手可能な小型ジョントのサイズに制約されたため、3.0 mm としている。制御のアルゴリズムは、操作入力電圧を  $V_n$  として、次式を用いた。

$$Y_n = -K_p \varepsilon(n) - K_d \dot{\varepsilon}(n) - K_i \sum_{i=1}^n \varepsilon(i) \quad (1)$$

ただし、 $\varepsilon(n)$  は回転数誤差、 $K_p$ ,  $K_d$ ,  $K_i$  は定数である。

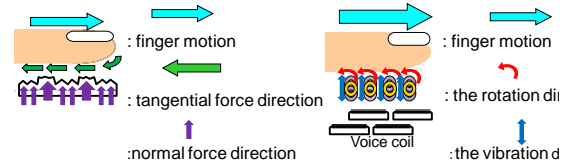


図 1 剪断力法線振動触覚提示手法

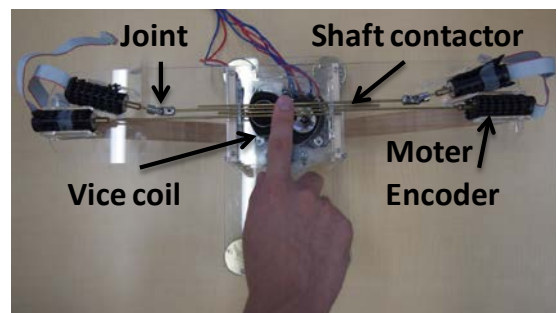


図 2 SFD4

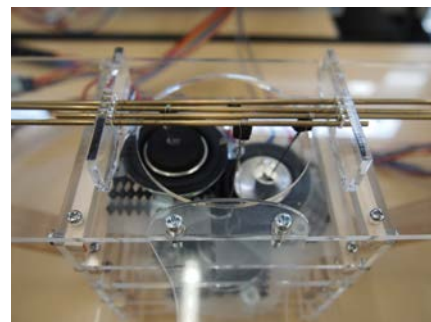


図 3 刺激提示部

## 3. 剪断力法線振動デバイス特性の調査

### 3.1 高さ知覚量の計測

接線力提示に法線振動を加えることで、提示される凸の高さの知覚量が増加する度合いを計測した。なぞり動作において、標準刺激は、回転数 100, 380, 1000 rpm の接線力による凸提示とした。比較刺激は、標準刺激に 50 Hz で両側振幅 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 mm の振動刺激を加えた。被験者には、標準刺激に対して高さの増加量を回答させた。刺激提示位置は、第 1 点と第 2 点である。接触子を 2 本使用し、法線荷重は 20 g とした。なぞり速度は 0.1 m/s で 5 cm 間を 1 s で往復させた。2 本の接触子の回転方向は、

どちらもなぞり方向と逆方向とした。

### 3.2 計測結果および考察

図3は、各標準刺激に対する高さの知覚量である。横軸は、加えた振幅値を示し、縦軸は、高さの知覚量を示す。接線力だけの凸提示に比べて、法線方向振動を加えることで、提示される凸は高く知覚されることがわかる。また、振幅値が増加するにつれて、高さの知覚量が大きくなる。振幅 0.25 mm では、接線力の強度により、高さ知覚量の差が明確に見られる。これは、小さい振動刺激の場合、接線力による指先表面に対する刺激量の方が、支配的となるからであると考えられる。

### 3.3 凸の明確さの計測

接線力提示に法線振動を加えることで、連続して提示される凸形状の明確さが増加する度合いを計測した。なぞり動作において、連続する凸を接線刺激、法線振動刺激、統合刺激の3通りで提示する。接線刺激は、回転数 300 rpm による凸相当提示とし、法線振動刺激は、両側振幅 0.1 mm で周波数 50 Hz で凸相当提示を行った。統合刺激は、接線刺激に法線振動刺激を加えた。被験者には、なぞることで提示される凸の数を回答させた。刺激提示位置は第1点と第2点である。接触子を2本使用し、法線荷重は 20 g とした。なぞり速度は 0.1 m/s で 5 cm 間を 1 s で往復させ、5回往復させた。2本の接触子の回転方向は、どちらもなぞり方向と逆方向とした。

### 3.4 計測結果および考察

図4は、各刺激で提示された凸の個数に対する正答率である。横軸は、提示された凸の数を示し、縦軸は正答率を示す。接線刺激と法線振動刺激を独立して凸提示をした場合よりも、それらを統合した提示の場合の方が、正答率は増加し、より明確に凸を知覚できた。

また、正答率は、凸の数が増加するほど、下がることになる。正答するのが困難になる、凸6つの提示の場合でも、統合刺激では、42%もの正答率を可能としている。

## 4. おわりに

本研究では、接線力と法線振動に基づく触覚提示手法の特性について調査した。統合刺激により、剪断力の凸知覚量が、法線方向振動によってさらに増加することが明らか

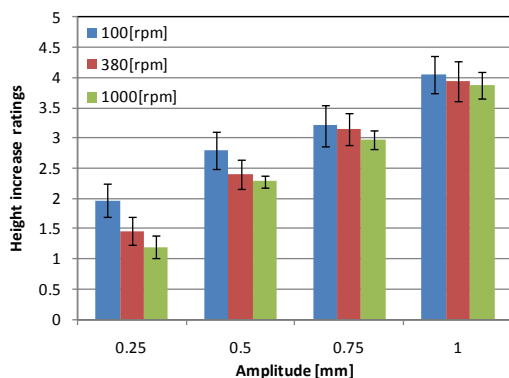


図4 法線振動刺激による高さ知覚増加量

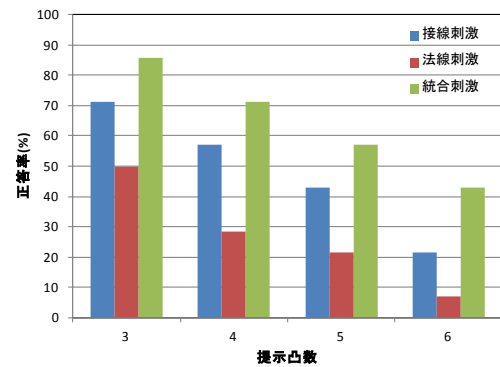


図5 凸の計数の正答率

となり、高さの表現において有効であることを示した。さらに、単独の刺激の場合よりも、連続した凸表現の知覚が正確になることを示唆した。今後は、剪断力と法線振動の特性を更に調査するとともに、統合刺激の特性について調査する。そして、得られた知見をもとに、より精度の高い触覚テクスチャのなぞり感覚の提示を目指す。

図6に、第17回日本バーチャルリアリティ学会にて技術展示を行った様子を示す。PCのモニターで写された5枚のテクスチャのなぞり感覚をSFD4を介して体験者には提示している。

### 謝辞

本研究は、情報通信研究機構の委託研究の一部として実施された。

### 参考文献

- [1]R. S. Johansson, G. Westling: Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects, Experimental Brain Research, Vol.56, pp. 550-564,(1984).
- [2]Y. Ikei, M. Yamada, S. Fukuda: A new design of haptic texture display –TextureDisplay2– and its preliminary evaluation, Proc. IEEE-VR2001, pp. 21-28, Yokohama, 2001.

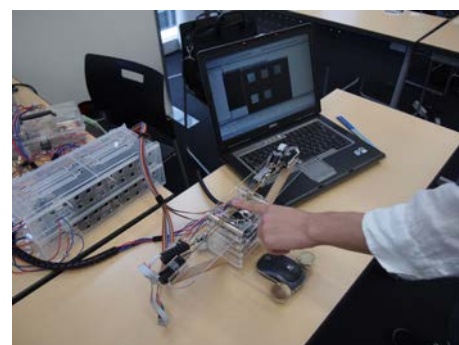


図6 テクスチャ触覚提示の様子