

接線方向刺激を用いた触感呈示法

(第1報：触覚ディスプレイの製作と粗さ感の呈示)

Method for displaying tactile sense using stimuli in tangential direction

(1st Report : Development of tactile display and result for displaying surface roughness)

非 毛利 優之(慶大) 正 前野 隆司(慶大)

Masayuki MORI, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama 223-8522

Takashi MAENO, Keio University

The human can detect small surface roughness using tactile sensation by sliding fingertip in tangential direction. Therefore we can assume that the sense of roughness is caused by stimuli in tangential direction. The purpose of this study is to investigate the relationship between the sense of roughness and the stimuli in tangential direction. It is confirmed by analyses using two-dimensional model of the fingertip and experiments using tactile display that the feel of roughness depend on the amplitude and frequency of the vibratory stimuli.

Key Words : tactile display, stimuli in tangential direction, finite element method

1. はじめに

ヒトは接線方向に指を滑らせる動的触察によって、 μm オーダの細かい凹凸面の粗さ感を知覚することができる。物体上を指表面が滑る動的触察時には、指表面は対象物との固着・滑りに伴って振動する⁽¹⁾。動的触察が接線方向に行われることから、粗さ感は指表面に対する接線方向の振動刺激と関係が深いと考えられる。また、ヒトは凹凸面の空間分布から粗さ感を知覚すると考えられるため、接線方向振動刺激の空間分布も粗さ感に関係していると考えられる。このため本研究では、指腹部と凹凸面の有限要素解析および触覚呈示装置を用いた心理物理実験を行うことによって、空間的に分布する接線方向振動刺激の振幅や周波数と粗さ感との関係についての基礎的な知見を得ることを目的とする。

2. 有限要素解析

指腹部による粗さ感の知覚には、皮膚の浅い位置に配置されたメルケル細胞とミスナー小体が関係している。特に、細かい凹凸面の粗さ感にはミスナー小体のみが関わっているとされる⁽²⁾。よって、様々な粗さ感を呈示するためには、ミスナー小体に対する刺激を変化させればよい。そこで、接線方向刺激と法線方向刺激のいずれが動的触察時におけるミスナー小体に対する支配的な刺激なのかを確かめるための有限要素解析を行った。機械受容器の神経インパルス発射頻度とひずみエネルギー変化に相関があること⁽³⁾から、解析ではミスナー小体位置でのひずみエネルギー変化と指表面の変形に着目した。

まず、剛体波面(振幅 $A=3\mu\text{m}$ 、波長 $\lambda=0.15\text{mm}$ 、 0.20mm 、 0.30mm)を小林らが作成した指断面の有限要素モデル⁽⁴⁾表面で滑らせることによって、動的触察を再現する動的接触解析(Fig. 1)を行った。剛体波面を指に押し込む量は 0.55mm 、滑らせる速度は 10mm/s 、摩擦係数は 0.5 とした。次に、動的

触察時の指モデル表面節点の変位履歴を法線方向と接線方向とに分離し、それぞれ強制変位として各節点に与えることによって、動的触察時のミスナー小体位置でのひずみエネルギーが接線方向の変位と法線方向の変位のいずれに大きく影響されているかを確かめる解析を行った。両解析の結果を図2に示す。図より、剛体波面の波長が短い場合には、接線方向強制変位を与えたときのひずみエネルギー変化が剛体波面を滑らせたときのひずみエネルギー変化に類似していることがわかる。以上より、接線方向振動刺激によって細かい面に対する粗さ感を呈示できる可能性を確認することができた。

3. 心理物理実験

心理物理実験によって、接線方向の刺激と粗さ感との関係を明らかにするために、接線方向の刺激を呈示する触覚呈示装置(図3)を製作した。触覚呈示面には、直径 0.8mm の刺激子が 1mm 間隔に 10 本配置されている。本実験では振幅を正

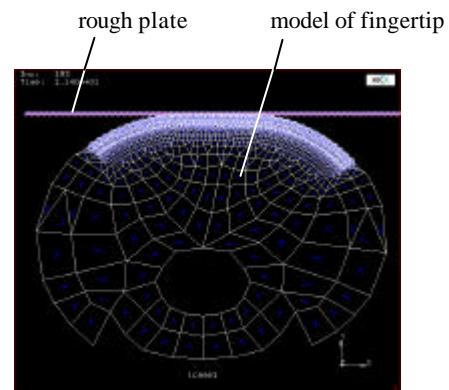


Fig. 1 Two-dimensional model of fingertip and rough plate

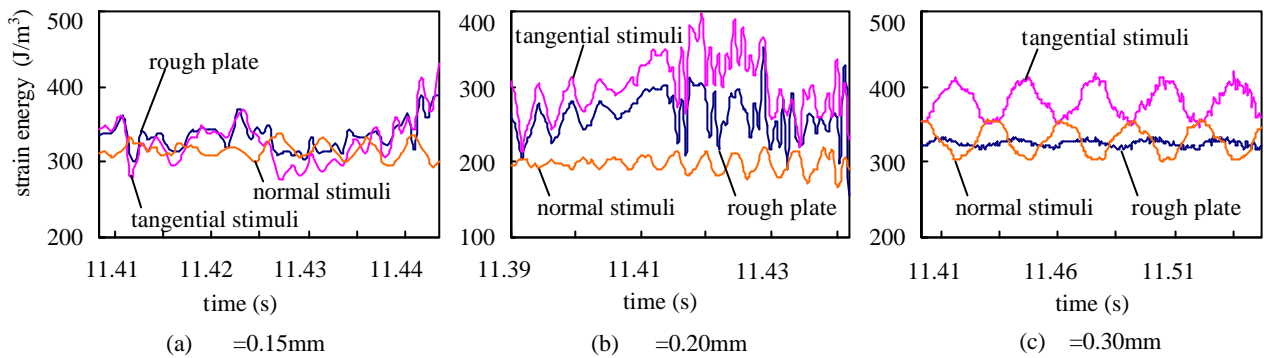


Fig. 2 History of strain energy at the Meissner's corpuscle's location

Table 1 Parameters of tangential stimuli

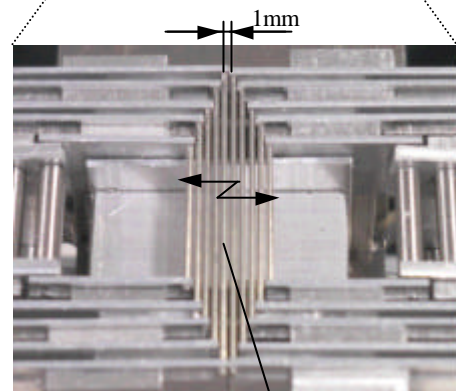
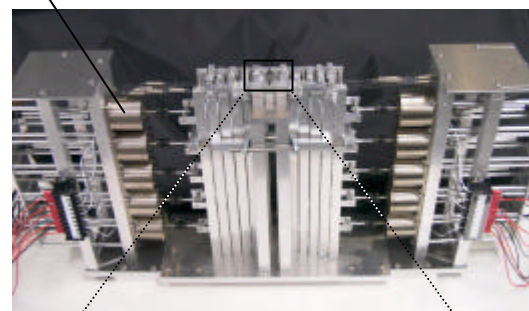
Parameter	Amplitude (μm)	Frequency (Hz)	Wavelength (mm)	Order of roughness
Amplitude	15	50	4	3
	30	50	4	2
	45	50	4	1
Frequency	30	25	4	3
	30	50	4	2
	30	75	4	1
Wavelength	30	50	2	-
	30	50	4	-
	30	50	6	-

弦波状に分布させた定在波状刺激と、刺激子間の位相差を一定とした進行波状刺激を用いて、接線方向刺激と粗さ感の関係を確認した。刺激子を振動駆動するパラメータは、振幅、周波数、波長である。被験者は20代の男女8名とする。表1に呈示した刺激を示す。実験は、振幅、周波数、波長のいずれか1つが異なる2つの刺激を呈示し、粗さ感が大きい刺激を被験者が回答するという対比較法で行った。被験者が感じた粗さ感の順序を表1の最右列にパラメータごとに示す。以上の結果、実験を行った範囲では、振幅が大きい場合や周波数が高い場合に粗さ感が増す傾向がみられた。また、波長は振幅や周波数よりも粗さ感に及ぼす影響が小さいことを確認した。マイスナー小体は皮膚変形速度に依存して神経インパルスを発射することから、振幅や周波数が高い場合に粗さ感が増しているのは、マイスナー小体が強く反応する場合に粗さ感が増すためであると考えられる。

4. おわりに

指腹部と凹凸面の有限要素解析を行った結果、空間波長が短い凹凸面を対象とした場合、動的触察時にマイスナー小体へ加わる刺激は、主に指腹部への接線方向刺激であることがわかった。また、接線方向刺激呈示装置を用いた心理物理実験の結果、振幅が大きい場合や周波数が高い場合など、マイスナー小体が強く反応すると考えられる刺激に対して粗さ感が増すことがわかった。

voice coil motor



pins vibrate in tangential direction

Fig. 3 tactile display producing tangential stimuli

参考文献

- (1) Nara, T. et.al., An application of SAW to a Tactile Display in a Virtual Reality, Proceeding of IEEE UFFC2000 (2000)
- (2) Vallbo, A. B. and Johansson, R. S., Properties of Cutaneous Mechanoreceptors in the Human Hand relate to Touch Sensation, Human Neurobiology, 3 (1984), 3-14.
- (3) Srinivasan, M. A. and Dandekar, K., An Investigation of the Mechanics of Tactile Sense Using Two-Dimensional Models of the Primate fingertip, Trans. ASME, J. Biomech. Eng., Vol.118 (1996), 48-55
- (4) 小林一三, 前野隆司, 山崎信寿, ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係, 日本機械学会論文集(C 編) Vol.63, No.607 (1997), 881-888