

分布型振動刺激を用いた局所滑り覚呈示による無意識下の把持力制御

Unconscious Control of Grasping Force by Displaying Partial Slip with Distributed Vibration Stimulus

○非 中本 雅崇 (慶大) 正 前野 隆司 (慶大)
正 昆陽 雅司 (東北大) 正 田所 諭 (東北大)

Masataka NAKAMOTO, Keio University, masyax222@hotmail.com
Takashi MAENO, Keio University
Masashi KONYO, Keio University
Satoshi TADOKORO, Kobe University

Humans can increase normal force before the grasped object slips through the fingers unconsciously, because afferent signals from tactile receptors that are sensitive to the expansion of the partial slip area works on the humans to increase normal force. It is assumed that Meissner's corpuscles and partial slip are closely related. Therefore, partial slip is important information for precision grip of humans. In this paper, we propose the new method to display partial slip by using vibration stimulus with ICPF actuators. Using the device that displays partial slip with this method, we performed grasping experiment. As a result of experiment, we can confirm the effectiveness of this method and the relation between Meissner's corpuscles and partial slip.

Key Words: Haptic Device, Tactile Sense, ICPF Actuator

1. 背景と目的

ヒトは指腹部との摩擦係数や質量が未知の物体を把持する際に、滑り落したり潰したりすることのない適切な力を物体に対して加えることが可能である。これは、局所滑り覚を利用することにより、無意識下で把持力を調整しているからであると考えられている。ここで、局所滑り覚とは、Fig. 1に示した局所滑り領域が拡大した際の触覚受容器からの触覚情報のことである。なお、局所滑り覚には、マイスナー小体からの情報が深く関与していると考えられている。したがって、任意の局所滑り覚をヒトに呈示することが可能になれば、無意識下での把持力調整をヒトに誘発させることによって、遠隔操作や仮想空間において高度な操作を実現することが可能になると考えられる。

これまでに、局所滑り覚の呈示を行う装置（局所滑り覚ディスプレイ）の開発が行われてきた[1][2]。しかし、これらのディスプレイはいずれも局所滑り領域が拡大した際の指腹部の変形を再現するものであるため、局所滑り覚には、どの触覚受容器からの情報が重要であるのかを解明するに至っていない。このため、本研究では、まず、分布型振動刺激を用いて触覚受容器を選択的に刺激するディスプレイを設計・製作する。次に、本ディスプレイを用いて、触覚受容器を選択的に刺激する実験を行うことにより、局所滑り覚には、マイスナー小体からの情報が寄与している事を明らかにする。

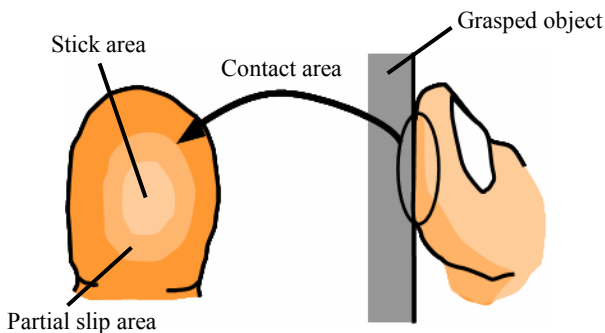


Fig. 1 Distribution of stick area and partial slip area

2. 局所滑り覚ディスプレイの設計と製作

Fig. 2に示したように、中央部と外周部の2つの領域に分けて制御を行い、振動刺激を与える触覚ディスプレイを提案した。局所滑り覚の呈示を行わない状態では、中央部および外周部ともに、5 Hzの振動刺激を用いて、変位受容器であるメルケル小体を刺激することにより、固着している感覚を呈示できると考えられる。その後、固着している感覚の呈示面積を中央部のみに縮小し、外周部には30 Hzの振動刺激を用いて、速度受容器であるマイスナー小体を刺激すれば、局所滑り覚の呈示が可能になると考えられる。なお、高分子ゲルアクチュエータ(ICPF アクチュエータ)を刺激子として用いることにより、各触覚受容器を選択的に刺激することとした。製作した局所滑り覚ディスプレイをFig. 3に示す。

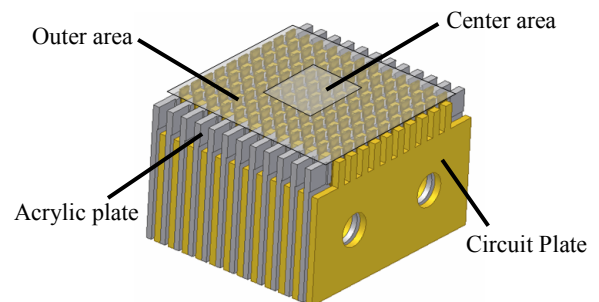


Fig. 2 Compartment of controlling

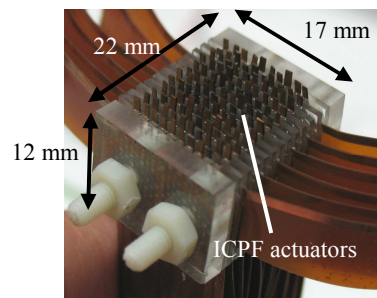


Fig. 3 Developed partial slip display

3. 把持実験

マイスナー小体を刺激すれば、ヒトが無意識下で把持力調整を行うという仮説を検証するために、6名の被験者に対し以下の実験を行った。

まず、0~1sの間は、接線力が1Nになるような仮想物体を把持させるとともに、中央部および外周部の刺激子を5Hzで振動させることにより、メルケル小体に対して固着状態を呈示する。次に、時刻1sにおいて、接線力が3Nになるように仮想物体の質量を変化させる。また、1~1.5sの間に、中央部には同様の刺激により固着状態を呈示し、外周部に以下の刺激を加える。

条件1：5Hzの振動でメルケル小体を刺激（通常状態）

条件2：200Hzの振動でパチニ小体を刺激（比較実験）

条件3：30Hzの振動でマイスナー小体を刺激（提案手法）

条件1は呈示を行わない通常状態である。また、1.5~2sの間は、中央部および外周部の刺激子で固着状態の呈示を行う。

なお、選択した周波数は、それぞれの触覚受容器の発火閾値が最小となる周波数である。また、実際に呈示を行った時刻はランダムであるが、呈示を開始した時刻を1sとして定義し、前後1s間の測定結果を図示する。

ある被験者の実験結果をFig.4に示す。Fig.4より、時刻1sの直後に、条件3では他に比べて法線力が増加していることがわかる。

以上の結果が統計的に有意であることを確認するために、6人全ての被験者の実験結果を統計解析した。条件ごとの法線力の増加率の平均値と分散をFig.5に示す。その結果、条件1と条件2との間には有意な差が存在せず、条件1と条件3との間には有意な差が存在することがわかった。また、Fig.5より、条件3における法線力の増加率の平均値は、条件1における法線力の増加率の平均値より大きい事がわかる。なお、被験者に聞き取り調査を行った結果、全ての被験者は条件3において、他の条件の時よりも法線力を増加させたことに気付いていなかった。よって、マイスナー小体を刺激すれば、ヒトが無意識下で把持力調整を行うという仮説を検証した。

次に、マイスナー小体に対する刺激の空間的な分布が局所滑り覚の呈示に影響するか否かを検証するために以下の条件で実験を行った。

条件4：中央部では30Hzの振動でマイスナー小体を刺激
外周部では5Hzの振動でメルケル小体を刺激

条件5：中央部、外周部ともに30Hzの振動でマイスナー小体を刺激

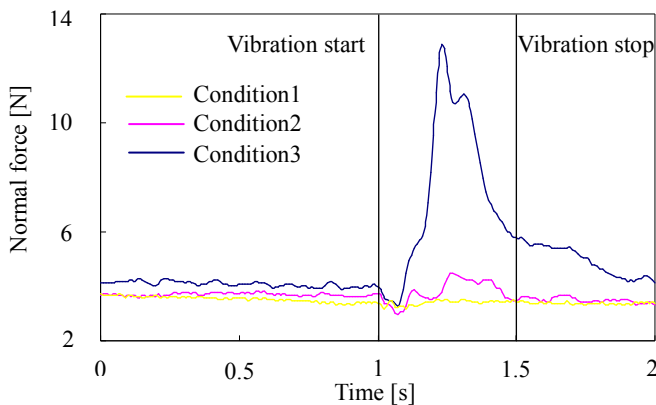


Fig. 4 Result of experiment

実験結果を統計的に解析した結果、条件4と条件1との間には有意な差が存在し、条件5と条件1との間には有意な差が存在しないことがわかった。また、条件3における法線力の増加率の平均値が条件4における法線力の増加率の平均値よりも大きいことがわかった。よって、マイスナー小体に対する刺激の空間的な分布が局所滑り覚の呈示に影響することを検証した。Fig.6に局所滑り覚の呈示が可能な刺激の分布を示した。

4. 結論

本研究では、分布型振動刺激を用いて、指腹部の触覚受容器を選択的に刺激する触感ディスプレイの設計・製作を行った。次に、ディスプレイを用いてヒトに局所滑り覚の呈示を行い、把持実験を行った。把持実験の結果、マイスナー小体に局所滑り覚を呈示した際に、ヒトは無意識下で法線力を増加させていることを確認した。以上より、局所滑り覚には、マイスナー小体からの情報が深く関与していることが判明した。また、マイスナー小体に対する刺激の空間的な分布が局所滑り覚の呈示に影響することを検証した。

5. 参考文献

- [1] 毛利優之, 前野隆司, 山田陽滋, "局所滑りディスプレイを用いたヒト下位中枢への「滑りそう」な触感の呈示法", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 1A1-H-34, 2004
- [2] Isao Fujimoto, Yoji Yamada, Takashi Maeno, Tetsuya Morizono and Yoji Umetani, "Study on A "Tactile Mirror" for Displaying Static Friction Sensation with Tactile Perception Feedback", Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1233-1238, 2004

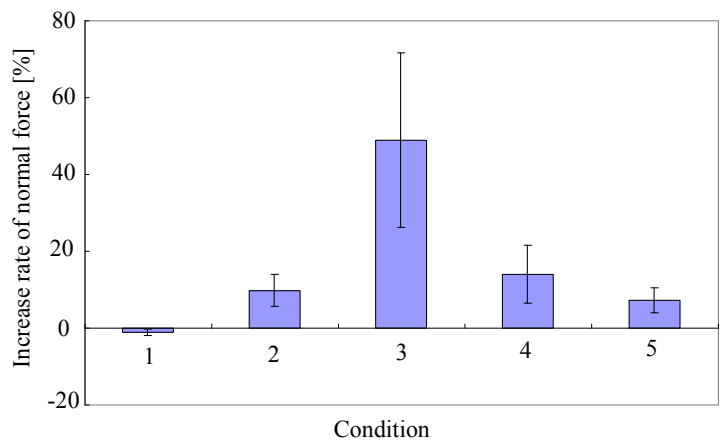


Fig. 5 Average of increase rate of normal force

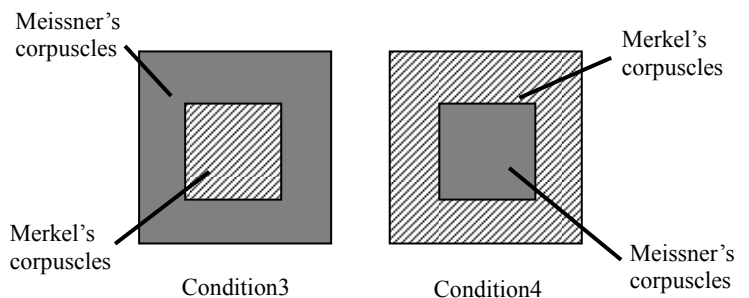


Fig. 6 Distribution of stimulus