

把持感覚を提示するハンドル型触覚ディスプレイ

A Handle Type Tactile Display for Grasping Sensation

○小島 雄一郎 (電通大) 橋本 悠希 (電通大) 梶本 裕之 (電通大)

Yuichiro KOJIMA, University of Electro-Communications, y-kojima@kaji-lab.jp
Yuki HASHIMOTO, University of Electro-Communications, hashimoto@kaji-lab.jp
Hiroyuki KAJIMOTO, University of Electro-Communications, kajimoto@kaji-lab.jp

Abstract: We have proposed a tactile display for grasping handle using rotating round slices. This method intends to display pressure from handle and may have the ability to induce proper grasping force intuitively. We cut the handle into thin round slices, and rotate them. Directions of the adjacent rotations are set opposite with each other. The intervals of the slices are set smaller than the resolution of directional stretch sensation (by Ruffini ending). Therefore we cannot perceive the direction of rotation, while we may perceive pure pressure. In this paper, we manufactured a full size handle with rotating round slices, which is grasped by the whole palm. We evaluated relationship between the sensation and rotation parameters, such as frequency and amplitude of the rotation and slice width.

Key Words: Tactile Display, Handle, Grasping, Pressure, Tangential Force

1. はじめに

ハンドルを用いた作業ではハンドルから受ける反力による力覚と、それにより生じる皮膚変形による触覚(皮膚感覚)、二つの感覚が共存しており、そのどちらの感覚も重要である。ここでハンドルを用いた実作業中に触力覚を提示する事ができれば、ハンドルを用いる多くの作業を何らかの形で拡張できると考えられる。

しかしハンドルを用いた実作業における付加的な触力覚提示の研究の多くは、ハンドルから力覚を提示し、操作感向上を図ることを目的とするものであった。触覚に関しては自動車のハンドルからの振動提示[1]など、アラート情報の伝達が主な目的であった。

本研究ではハンドルにおける触覚提示について扱う。実際に利用するハンドルに埋め込まれた触覚提示装置より、従来のアラート情報の提示に加え、手に圧覚提示をも行うことを目的とする。もしハンドルからの圧覚提示が可能なら、望ましい把持力への誘導、ハンドル操作感向上へと応用可能であると考えられるためである。把持力制御に関して、昆陽[2]らはマイスナー小体の活動を狙った振動的な触覚提示によって把持力が反射的に調整される事を見出しているが、我々はより静的、継続的な把持力調整を目的とする。

2. 提案手法

ハンドルから圧覚を提示するには皮膚へ圧力を提示すれば良いと考えられる。先行研究においてハンドル内にアクチュエータを内蔵し、ハンドルの口径を直接変化させることで圧力を提示する手法が提案されている[3]。しかしシステムが大掛かりとなっており、十分に最適な手法とは言い難い。

そもそも直接圧力を提示する事は人間の把持力に打ち勝たなくてはならない為、大きなエネルギーが必要となってしまう。そこで我々はハンドルの形状特性と人間の触覚特性を利用し、直接圧力を提示せず把持感覚を提示する手法を提案した[4]。

ハンドルを細かく輪切りにし、隣り合う二輪を互いに逆回転させる(図1)。この時皮膚には局所的に真逆な2方向の横ずれが提示される。このずれの方向は、通常静的な横ずれを検出すると言われている触覚受容器、ルフィニ終末により検出されるはずだが、皮膚深部に存在するルフィニ終末の空

間分解能は比較的低い[5]ことから、皮膚はずれの方向を知覚できないと考えられる。さらに提示されたエネルギーの方向成分が局所的に打ち消し合う事から、知覚としては方向成分の無い、垂直方向への圧覚として感じる可能性が考えられる。

前回の報告[4]では基礎実験として本提案手法による提示を指先腹部に限定して行い、圧覚提示が可能であることを示した事から、本提案手法の妥当性は一応検証されたと考えられる。本論文ではさらに提示面積を広げ、把持する手掌部全体に同様の手法で提示を行った場合、圧覚として知覚されるかどうか検証した。

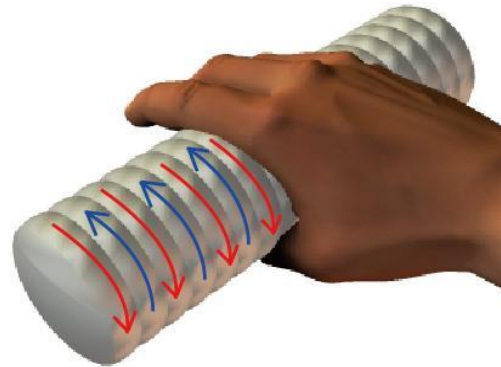


Fig. 1 Proposed method: We cut the handle into thin round slices, and rotate them. Directions of the adjacent rotations are set opposite with each other.[4]

3. 評価実験

図2に実験系のブロック図を示す。本実験で使用したモータはMAXON社製10W DCモータ(エンコーダの分解能2000 P/R)を使用した。第1実験ではモータと接点を直結し、第2、第3実験ではトルクが必要となった為、ギア比が14:1である同社製の10W DCギアードモータを利用した。モータドライバは図工社製のTITech Driver PC0121-2、エンコーダ及びDAボードはインターフェース社製のGPC-6204、GPC-3300を使用した。

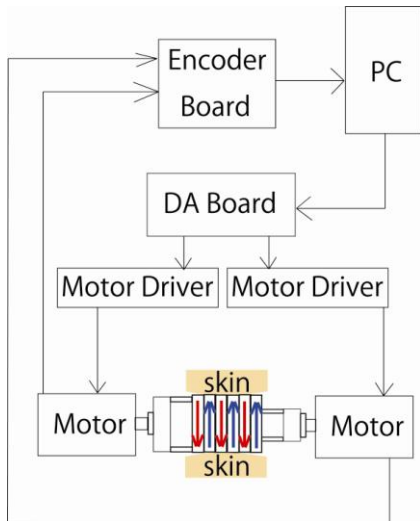


Fig. 2 System configuration

計 3 つの実験を行った。本実験は全て調整法で行った。

第 1 実験では成人男性 3 名 (22~23 歳) を被験者として実験を行った。中心に直径 10mm, 幅 4mm の円柱状接触子があり, 両端に直径 10mm, 幅 2mm の円柱状接触子がそれぞれ右側, 左側のモータ軸に接続されている。被験者の左手親指先端腹部と人指指先端腹部を接触させ実験を行った (図 3, 図 4)。被験者には原理を説明し, 実験デバイスが見える状態で実験を行った。

周波数を固定したうえで, 提示角度を広げていき, 何らかの動的な触覚を生じる値 (感覚閾値) を被験者に回答させた。次に「押し広がる感覚, 押しこまれる感覚」を覚える値 (圧覚閾値) を被験者に回答させた。最後に動きが実際には横ずれである事に気付く値 (横ずれ感覚閾値) を被験者に回答させた。周波数は 0.5 Hz ~ 3.0 Hz, 0.5 Hz 刻みでふった。振幅は 0.18 ~ 3.6 度, 0.18 度刻みとした。1 回の提示につき 2 周期分正弦波を提示した。

第 2 実験では成人男性 5 名 (22~23 歳) で実験を行った。円柱の直径を 50mm とし, 左手人差し指先端から親指先端まで接触させ実験を行った。幅 2.0mm, 2.5mm 3.0mm の円柱状接触子を 4~6 枚使用し, 全体の接触子幅は 12mm 程度とした (図 5, 図 6, 図 7)。輪切り幅を変化させることによって生じる各閾値の差を検証する事を目的としている。第 1 実験と同様に 3 つの閾値を回答させた。周波数は第 1 実験と同様の条件で行った。振幅を 0.13~2.6 度, 0.13 度刻みで提示した。第 2 実験では第 1 実験と異なり, 被験者には触覚提示部分が見えないようにして実験を行った。

第 3 実験では第 2 実験と同様の接触子を使用し接触面積を広げた。被験者の左手手掌部全体に接触させ実験を行った。周波数を第 2 実験で最も圧覚が生じやすかった 0.5Hz に固定し, 円柱状接触子 1 枚の幅 2mm, 3mm, 4mm として実験を行った (図 8, 図 9)。手掌部全体へ提示した場合, 第 2 実験と同様の感覚が生じるか, また 4mm という厚い輪切り幅でも圧覚が生じるか検証する事を目的としている。第 2 実験と同様の条件で成人男性 2 名, 成人女性 3 名 (22~25 歳) を被験者として実験を行った。被験者の中の成人男性 1 名以外は提示原理が既知であった。

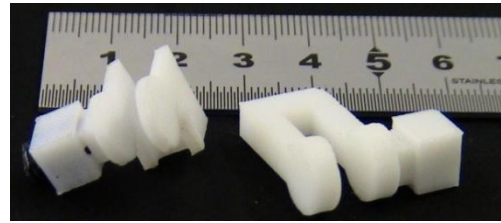


Fig. 3 Columnar contacts for experiment 1
left: each side contacts 2.0mm right: center contacts 4.0mm



Fig. 4 State of touch on experiment 1



Fig. 5 Columnar contacts for experiment 2, 3

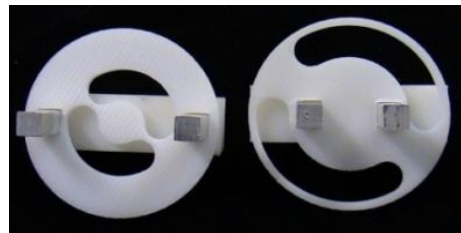


Fig. 6 Structure of columnar contacts for experiment 2, 3

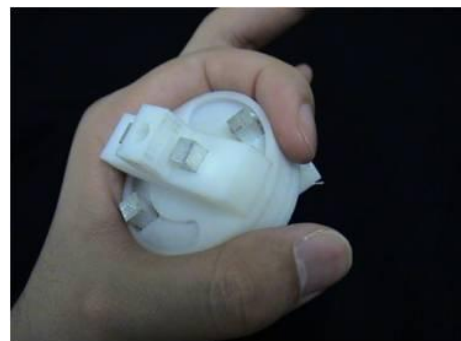


Fig. 7 Grasping State for experiment 2

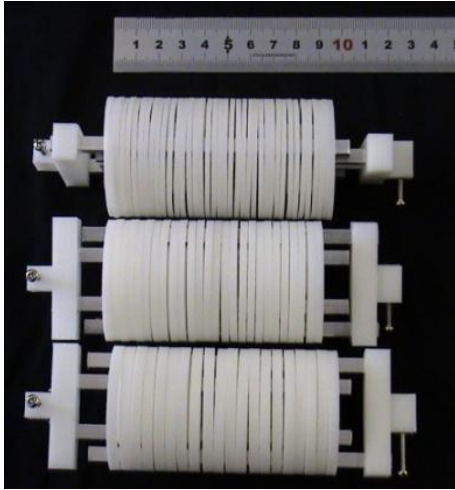


Fig. 8 Columnar contacts for experiment 3: up to down, width of one columnar contacts is 2.0mm, 3.0mm, 4.0mm

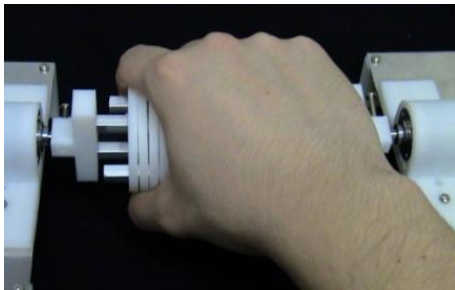


Fig. 9 Grasping State for experiment 3

第1実験の結果を図10に、第2実験の結果を図11、図12、図13に、第3実験の結果を図14に示す。各プロットは全被験者の回答の平均を取ったものである。

指先だけに提示した第1実験では感覚閾値、圧覚閾値は周波数に依存せずほぼ一定であるのに対して、横ずれ感覚の閾値は高周波数になるに従って低下する傾向にあった。特に0.5Hz、1.0Hzという低周波領域では安定して圧覚を生じるのに対して、2.0Hz以上では圧覚閾値と横ずれ感覚閾値は重なり、圧覚のみを感じる事ができなくなった。被験者からは、周波数が高くなると圧覚ではないが、横ずれ感覚とも言い難い「うねっている感覚」がするという回答を得た。

人差指から掌を介して親指まで提示した第2実験では、接触子の幅が2.5mmの時に横ずれ感覚閾値が全体として低く、圧覚を安定的に感じる領域が狭くなった。また周波数が0.5Hzより高くなると横ずれ感覚閾値が急激に低くなる事が分かった。1.0Hz以上となると「ただ動いている感覚、もしくは振動感覚に近い」という回答を得た。

第3実験では成人男性の被験者は圧覚が生じやすく、成人女性は生じにくいという傾向があった。男性の被験者は圧覚を生じやすく(横ずれ閾値平均2.29deg, 圧覚閾値平均1.04deg)、女性の被験者は横ずれ感覚を生じやすい(横ずれ閾値平均1.30deg, 圧覚閾値平均1.09deg)という顕著な性差が見られた。被験者数が少ないためまだ断定する事はできないが、この傾向の原因として、女性被験者の方は皮膚が薄く、指が細い事が横ずれを知覚する空間解像度に何らかの影響を与えているためと推測される。安定的な圧覚を生じている際には、被験者からは正弦波を2周期分提示した事から、「把持部分が2回膨らみ、2回縮む感覚がする」という回答を得た。

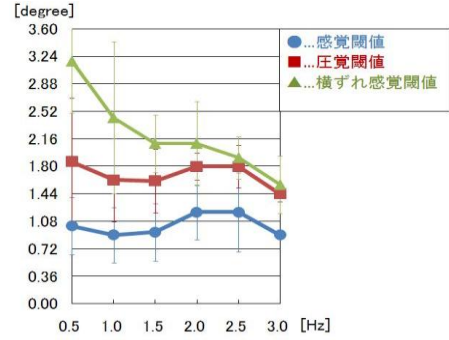


Fig. 10 Result of experiment 1

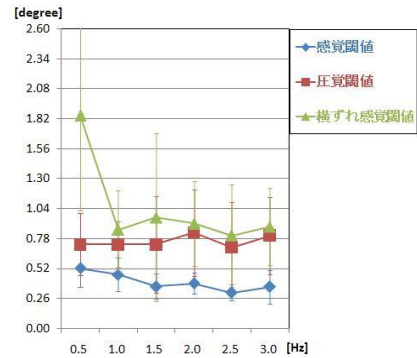


Fig. 11 Result of experiment 2, Width of one columnar contact was 2.0mm

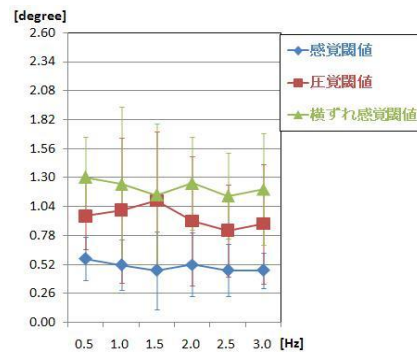


Fig. 12 Result of experiment 2, Width of one columnar contact was 2.5mm

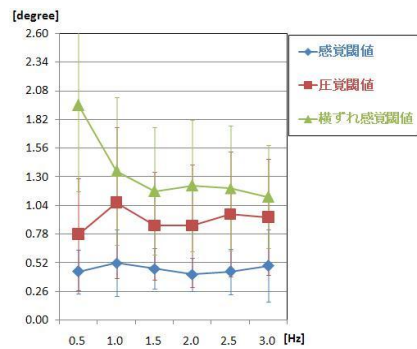


Fig. 13 Result of experiment 2, Width of one columnar contact was 3.0mm

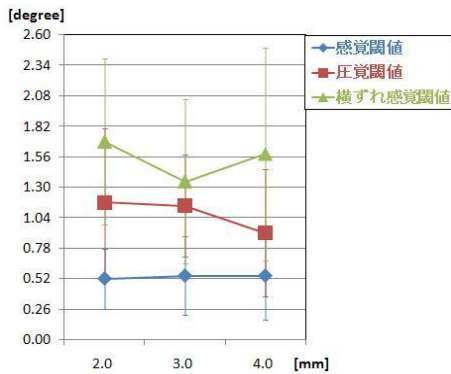


Fig. 14 Result of experiment 4 (frequency was 0.5Hz)

本提案手法では0.5Hz～3Hzという低周波数では振動感覚を司る Meissner 小体が活動しないことから、周波数に依存せず圧覚となると予想していた。しかし実際には0.5Hzにおいて圧覚が生じ易く、1.0Hz以上において横ずれ感覚が生じ易かった。

横ずれ感覚が生じる原因について考えると、第1実験では被験者への原理説明による先入観があった為、横ずれ感覚として回答する傾向があった可能性が考えられる。しかし前提知識が無い被験者に回答させた第2、第3実験においても被験者が横ずれを知覚した事から、触覚特性や接触子、接触方法に原因があると推測される。

先行研究において、皮膚接線方向の振動ではルフィニ終末は4～100Hzの範囲で知覚を生じる[6]という考察があることから、周波数が高くなるに従い横ずれ感覚が増加したのは、ルフィニ終末が活発に活動したからだと考えられる。また、横ずれ感覚が生じるのは静止摩擦から動摩擦へと移行する場合に最も過敏になる可能性があると考えられている[7]事から、動摩擦を生じないように接触対象の摩擦係数を設定すればじょじょに角度を広げていけば圧覚閾値が広がる可能性が考えられる。

女性の場合圧覚が生じにくかった事から、圧覚と皮膚の厚さに相関関係があると推測される。解決手法として、皮膚と接触子との間に厚みのあるフィルタを挟むことで皮膚の厚みと同様の役割を果たし、圧覚として知覚されやすくなると考えられる。

4. 終わりに

本研究ではハンドルを細かく輪切りにし、隣り合う2輪を互いに逆相回転させるという提案手法により、手掌部等、皮膚の広い面積へ圧覚が提示可能であることを示した。今後は輪切り幅をさらに広げ検証実験を行うと共に、横ずれ感覚を解消する方法を考慮し、より純粋な圧覚として提示可能とする事を試みる。

文 献

- [1] Thomas Debus, Theresia Becker, Pierre Dupont, Tae-Jeong Jang, Robert Howe : Multichannel vibrotactile display for sensory substitution during teleoperation, SPIE International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing, Newton MA, 2001
- [2] Masashi Konyo, Nakamoto Masataka, Takashi Maeno, Satoshi Tadokoro, Reflective Grasp Force Control of Human Induced by Distributed Vibration Stimuli on Finger Skin with ICPF Actuators, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006
- [3] 松下晃洋, 神沼研也, 巖桂次郎, 中嶋廣人: 運転支援装置, 特許出願公開番号 P2007-22340A, 2007
- [4] 小島雄一郎, 橋本悠希, 梶本裕之: ハンドル把持における触覚提示に関する研究 -局所的に相殺する水平歪み群による圧覚提示-, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会論文集, 2007
- [5] Johansson R. S., Vallbo A. B: Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand, Trends in Neuroscience, 6, pp27-31, 1983
- [6] Tetsu Miyaoka : Mechanoreceptive Mechanisms to Determine the Shape of the Detection-threshold Curve Presenting Tangential Vibrations on Human Glabrous Skin, Proceeding of the Twenty First