

吸引圧制御による手掌部触覚ディスプレイ

A Tactile Display by Controlling Suction Pressure

牧野泰才 浅村直也 正 篠田裕之 (東京大学)

Yasutoshi MAKINO, Naoya ASAMURA and Hiroyuki SHINODA
University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo

In this paper, we propose a new method to display touch feeling by controlling suction pressure. This research is based on a hypothesis that if we control 2 degree-of-freedom (2 DOF) stress distribution with intervals of two-point-discrimination-threshold (TPDT) by this method, we can produce any touch sensation that can be generated by normal stress distributions. We fabricated a new tactile display and obtained experimental results which support the hypothesis.

Key Words: tactile display, haptic interface, air pressure, suction pressure, 2 DOF stimuli

1 はじめに

現在に至るまで、触覚の提示には様々な手法が考案されてきた。しかし、皮膚と刺激素子との接触状態が安定に保てなかったり、駆動系をコンパクトに作成することが困難であったりと、問題点は多い。今回我々は、手掌部表面への吸引圧分布を制御することにより圧覚を提示するという、新しい手法を提案する。この手法は吸引を用いることで、皮膚と刺激提示面とが密着し、皮膚表面に安定して刺激を提示することが可能になる。また駆動系の小型化、集積化も容易である。

我々はこの手法により“2自由度の刺激を提示できるユニットを、二点弁別閾の解像度で配置することで、皮膚の変形によるあらゆる触覚を提示できる[1]”と考えている。そこで今回、この刺激手法を用いた触覚ディスプレイを試作し、この仮説を検証するための実験を行った。

2 吸引圧制御による刺激提示

本稿で述べる吸引圧刺激とは、Fig.1 に示すように、穴の開いた基盤に皮膚を密着させ、その穴より空気を吸引することにより刺激を提示するというものである。このときの感覚を10人の被験者に述べてもらったところ、「鉛筆のうしろのゴムで押す」「ガラスの攪拌棒で突く」といった圧覚を得た被験者が多かった。

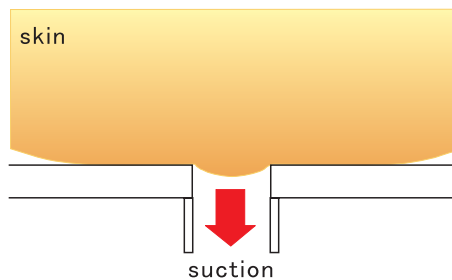


Fig. 1: Schematic illustration of stimulation by suction pressure.

このような刺激を与えたときの歪みエネルギー分布について、有限要素法を用いて解析した結果と、同程度のサイズの棒を押し当てたときのものとの比較したのが Fig.2 である。ここで、モデルの物性値は前野らの研究[2]により示された値を用い、指先を表皮、真皮、皮下組織の三層にモデル化し、骨と爪で完全拘束されているとした。解析には、(株)ホクトシステムの FreeFEMLEEG を使用した。(a)は吸引刺激を、(b)は押し込み刺激を示す。

この図より、吸引刺激では歪みエネルギーが表層に局在しているのに対して、押し込み刺激では深部までエネルギーが広がっており、分布としては異なっていることがわかる。しかし、実際に圧覚を感じるのは皮膚表層の触覚受容器であり、その分布位置の歪

みエネルギーに着目する必要がある。それを示したのが Fig.3 である。これを見ると、表層受容器近傍では非常に似通った分布になっていることが分かる。

この有限要素法解析結果より、触覚受容器は応力の方向には感度がなく、そのエネルギーを検出しているということが示唆される。この結果は受容器の構造に着目して、その振動モードを解析した奈良らの研究[3]によって得られた知見とも一致する。

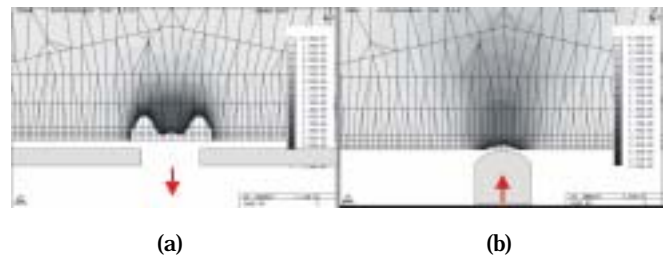


Fig. 2: Distribution of strain energy by suction pressure (a) and positive pressure caused by touch (b).

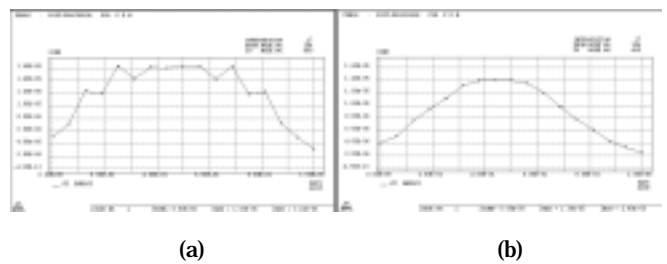


Fig. 3: Distribution of strain energy near the receptors. Suction pressure (a) and positive pressure caused by touch (b).

3 二つの自由度の刺激

先行研究において、受容器の分布密度に着目し、触覚の解像度に関する以下の仮説が提唱されている。

“垂直応力分布によって皮膚表層が知覚する触覚は、2つの表層受容器を選択的に刺激する2自由度の刺激を、二点弁別閾の解像度で提示することで再現可能である。”[1]

先行研究では、2つの受容器を選択的に刺激する2自由度の刺激として、接触面の曲率に着目した Fig.4 のような2つの刺激を用いている。これは人間がこの2種類の刺激を容易に区別できることから、少なくともこの2自由度の刺激は必要であると考えられるからである。そして、この2種類の刺激の組み合わせにより、中間の曲率が再現できれば、この2つの刺激は、あらゆる触覚を提示するのに十分な刺激であることを示す

ことが出来る。これを検証するため、先行実験が行われてきた。しかし、その刺激提示手法により、再現性よく刺激を提示することが困難であったため、信頼できる結果は得られなかった。

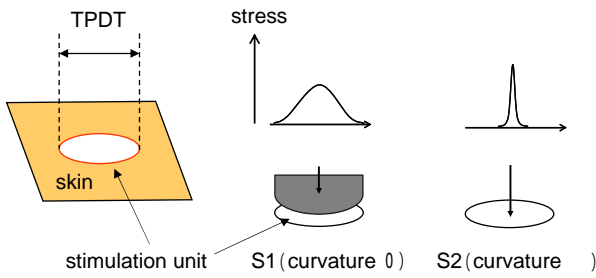


Fig. 4: Two DOF stimuli.

提案手法では、皮膚を吸引することにより刺激提示面と皮膚とが密着するため、再現性よく圧力を提示することが可能になり、先行研究における問題を解消できる。そこで先行研究と同様の 2 自由度の刺激を提示できるような、Fig.5 に示すような刺激提示面を試作した。この同心円状の穴において、外側のみを吸引したときが、S1 に対応し、内側のみを吸引したときが S2 に対応する。そして、両方を同時に吸引することで、その中間の曲率を提示できると考えられる。

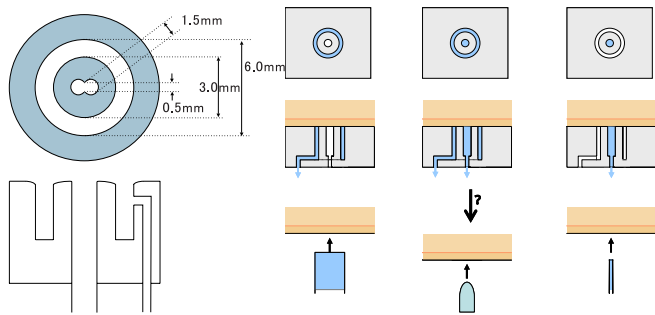


Fig. 5: Stimulation unit and variation of stimulation.

4 実験

実験系ブロック図を Fig.6 に示す。S1 と S2 の圧力をそれぞれ一定に保つための電磁弁と、刺激のオンオフを切り替える電磁弁の合計 4 つのバルブを、PC で制御している。

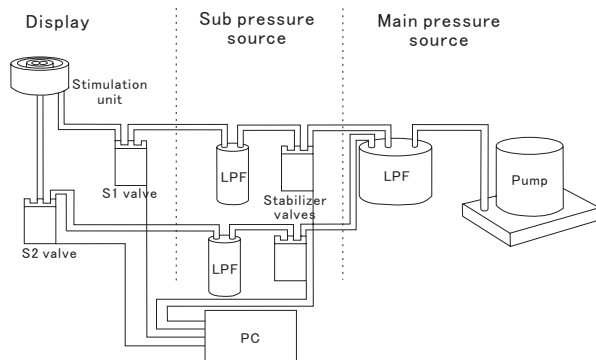


Fig. 6: Block diagram of suction tactile display.

今回心理物理実験を、以下のような手順で行った。20 ~ 30 代の男性 9 名、女性 1 名の被験者に対し、まず左手掌部に吸引刺激を提示し、その後右手掌部に曲率半径 0.25mm, 1.0mm, 5.0mm の実物を押し当てた。そして、左右の刺激の鋭さ(曲率)に関して、どちらが鋭いか、あるいは同じ程度かを答えてもらった。これにより S1 のみ、S2 のみ、S1+S2 の 3 種類の吸引刺激を、鋭さという基準のもとに 0.25mm より鋭い、0.25mm、0.25mm と 1.0mm の間、1.0mm、1.0mm と 5.0mm の間、5.0mm、5.0mm より平ら、の 7 段階に評価する。各吸引刺激をランダム

に 5 回ずつ提示し、その評価が 7 段階のどこに対応するかを見た。10 名の評価の結果を Fig.7 に示す。

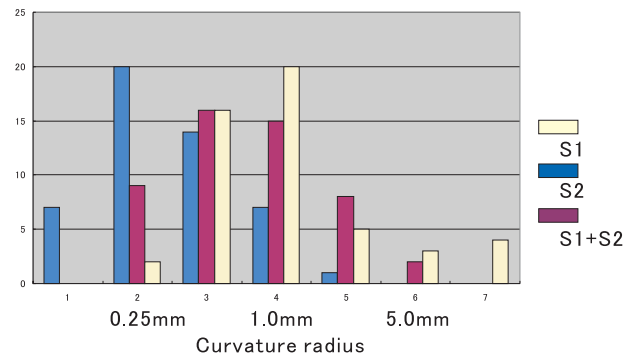


Fig. 7: Results of discrimination test.

この図より、S1 と S2 を同時に提示した際の評価が、それぞれ単独に刺激したときの中間に位置していることが分かる。しかし、それほど明確に差が出ているとは言えない結果であった。一方、実験終了後に何種類の刺激があったかという質問をした際に、3 種類という答えが過半数を超えていた。その 3 種類を実物で表現すると、「鋭いピン」「先端が丸い棒」「平らな面」という 3 つであるという見解が多かった。また、「太さは同じだが質が異なる」という意見も得られた。

このことよりまず、比較対象として用いた実際の刺激と、吸引による 3 種類の刺激とを、鋭さの違いという尺度で判断するのが困難だったのではないかと考えられる。また、右手への直接刺激は、筆者が手によって押し込むという形で行ったため、押し込み力が安定せず、比較しづかったという問題点も挙げられる。

更に、Fig.7 より特徴的なのは、サイズを実際よりも小さく見積もっているという点である。S1 のみの時には 6mm の直径で吸引しているにも関わらず、2mm 程度の直径という評価がなされている。このことより分かることは、吸引時には穴のエッジ部分で皮膚が固定されることにより、皮膚を拘束せず押し当てる場合に比較して、皮膚の変化の範囲が狭く、限定されているということである。今回の実験においては 1 つの刺激ユニットであったが、今後このユニットを複数並べることを想定したとき、このことがどのように影響するかを研究する予定がある。

5 まとめ

本稿では、吸引圧を制御することで圧覚を提示するという新しい触感提示手法を提案した。そしてこの手法を用い、2 自由度の刺激を組み合わせ提示することで、それぞれを単独に刺激した際に感じられる曲率の、中間の曲率が提示できることを示した。

今後この刺激ユニットを複数配置し、各自由度の刺激の組み合わせ比率を調節することで、手掌部全体にあらゆる触感を提示できる触覚ディスプレイの実現を目指したい。

参考文献

- [1] N. Asamura, T. Shinohara, Y. Tojo, N. Koshida, and H. Shinoda: "Necessary Spatial Resolution for Realistic Tactile Feeling Display," *Proc. 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1851-1856, 2001.
- [2] 前野, 小林, 山崎: "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)*, 63 巻, 607 号, pp.881-888, 1997.
- [3] 奈良: "触覚情報処理の理論及びその触覚ディスプレイへの応用," *東京大学大学院博士論文*, 2000.