

微小凹凸のなぞり触感を増幅させるスパイラルコイル

Spiral coil enhancing tactile sensation in tracing on tiny undulation surface

○正 竹田 年延 (弘前大学) 泉館 直也 (弘前大学)
 学 安藤 潤人 (筑波大学) 正 望山 洋 (筑波大学)
 正 藤本 英雄 (名古屋工業大学)

Toshinobu TAKEI, Hirosaki University, takei@hirosaki-u.ac.jp

Naoya IZUMIDATE, Hirosaki University

Mitsuhiro ANDO, University of Tsukuba

Hiromi MOCHIYAMA, University of Tsukuba

Hideo FUJIMOTO, Nagoya Institute of Technology

In this study, a new device which amplify user's tactile sensation in tracing on tiny undulation has been discovered. The device is a thin and slender flat spiral coil. Also, the amplification factor is quantitatively evaluated using a strain gauge mechatron sand. In this experiment, the designed tactile plate is traced in two states with and without a coil with the mechatro sand, and a signal from the sensor device at that time is acquired. The coil proposed in this paper is 1/5 times thinner than the tactile contact lens and 1/5 times smaller in width. In addition, considering the length of the pin, it was found from the experiment result that there is an amplification factor more than twice that of the tactile contact lens.

Key Words: Haptics, Tactile device, Tactile Contact Lens

1 緒言

自動車の車体表面は、熟練した職人が手でなぞることによって、表面にできた小さな凹凸を検査している。自動車の場合では、高さ及び深さはおよそ十マイクロメートル程度の表面うねりを、全周にわたって素早く検出する必要がある [4]。近年、職人の数が減少しているため、それに代わる新たな面歪を検出できる方法や装置が望まれている。

この問題へのユニークなアプローチとして、佐野らはアクチュエータもセンサも持たない、薄いシートの上に多数のピンを持つ構造物を、ただ指と物体表面に介在させて、指を押し付けながら表面をなぞるだけで、凹凸に対する皮膚の感度を増幅する触覚コンタクトレンズを提案している [1][2]。しかしながら、なぞり時の定量的なデータを抽出することはできないため、客観的にどの程度増幅されているのかを知るのには容易でない。

安藤らは我々が提案しているメカトロサンド [4] を装着し、触覚コンタクトレンズを介在させて表面をなぞることにより、微小な凹凸のなぞり触感を指先に増幅させた上で、加えて、その時のセンサデータの取得にも成功している [5]。

安藤らの報告が興味深い点は、その指先内の増幅効果を定量的なデータとしてみる可能性があることを示唆している点である。また、歪ゲージメカトロサンドに増幅効果がある構造物を挟むことができれば、なぞり触感を指先に大きく伝達しながら、そのなぞり時のセンサデータを取得できる新たな装着型デバイスが期待できる。しかしながら、ひずみゲージサンドに触覚コンタクトレンズを埋め込むには、厚さが大きく、従来の製造方法では困難であると考えられる。

そこで、本研究では凸凹のなぞり触感を増幅させる新たな構造物としてスパイラルコイル構造を提案する。この構造物は約 1mm の高さであり、幅は約 3mm である。従来の触覚コンタクトレンズよりも、長手方向に柔軟変形が可能であるため様々な曲面に沿うことができる。また、高さは 1/5 程度であり、幅は約 1/5 と、とても小さい上に、凹凸のなぞり触感の増幅効果が得られる。本稿では、スパイラルコイル構造が、ひずみゲージサンドからの信号を大きく増幅することを実験結果を通して示す。

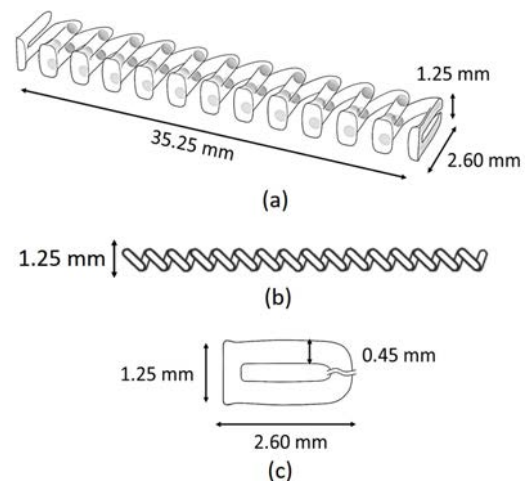


Fig.1 コイル構造のスケッチ図。(a) 斜め上から見た図、(b) コイルの断面図、(c) コイルを横から見た図

2 扁平スパイラルコイル

2.1 構造

提案するデバイスは、上下方向に扁平したスパイラルコイル構造である。プロトタイプの一例を図 1 で示す。高さは 1.2mm、幅は 2.6mm、長さは 35mm 程度であり、コイルとコイルの間隔は約 1mm 程度となっている。長さは適当に短くすることができる。コイルの画像を図 2 に示す。素材は樹脂でできており、弾性があり、長手方向に多少の伸縮性があるため、簡単に曲げ変形が起きる。このコイルは樹脂ファスナーの片側を用いたものである。上下方向に扁平しているので、高さも抑えながら、指で抑えやすく、なぞる表面を傷つけにくい。使い方は、触覚コンタクトレンズと同様に、スパイラルコイルを物体表面において、指先で押しながら表面をなぞっていくだけである。

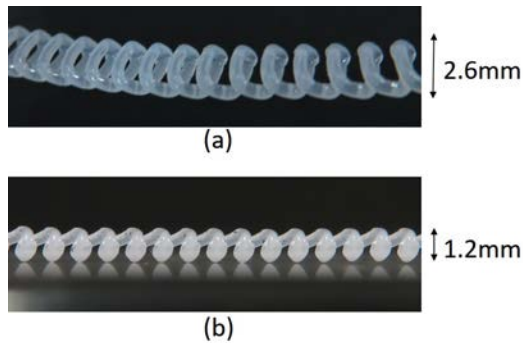


Fig.2 (a) 扁平した螺旋型樹脂コイルを斜め上から見た図.
(b) 同じコイルを横から見た図.

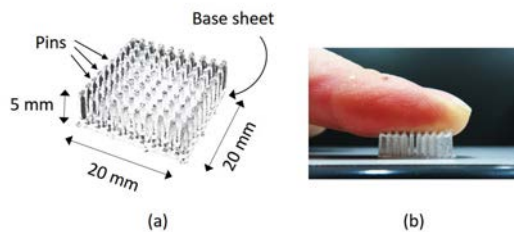


Fig.3 触覚コンタクトレンズ. (a) 触覚コンタクトレンズ.
(b) 指と物体表面に挟んで使用している図.

2.2 触覚コンタクトレンズとの比較

これまでに提案されている触覚コンタクトレンズと比較する。触覚コンタクトレンズを図3に示す。触覚コンタクトレンズは、ある程度の固さをもった薄いシートの上に、複数本のピンが約1mm間隔で、立った状態で整列して並んでいる。ピンの直径が1mm、長さが5mmである。シート面を物体表面に、ピンに指先をのせて使う。表面にうねり形状があった時に、シートがその形状に合わせて変形し、その影響でピンの先端が左右に揺れて増幅することで、小さな面歪のなぞり触感を増幅させる効果がある。このことは数理モデルを用いて解析されている[3]。

触覚コンタクトレンズは、理想的にはシートはなるべく柔らかいが、ピンは立っていて、そのピンはなぞり面に垂直なるように変化するのがよい。しかし、コンタクトレンズでは、ピンを立てるためにシートにある程度の固さが必要である。

このコイルも横方向から見ると短いピンが立っている構造になっている。そのため触覚コンタクトレンズと同様な触覚増幅効果が期待できる。異なる点はシート同時でピンが繋がっていないことである。ピンは立っているが、ピン同士は柔らかく繋がっている。

柔軟であるため、小さな凸でも凹みでも十分に表面に沿って変形することで、触覚が増幅されることが期待できる。コイルで表面をなぞるときの様子を図5に示す。

増幅効果に関係するピンの長さに注目すると、コイルは触覚コンタクトレンズに対して、長さは約1/5、横幅は1/5程度(面積)となっており、大幅にサイズが小さいことがわかる。本稿以降に、このコイルの増幅率をピンの長さ単位で考えると、コイルは触覚コンタクトレンズよりも大きな増幅が得られることを実験結果を通して示す。

3 実験方法

3.1 ひずみゲージメカトロサンド

ひずみゲージメカトロサンドとは、手の指先表面を薄い天然ゴムで包み、その天然ゴムの膜の間に歪ゲージをサンドしたものである。指先の皮膚形状の変形に合わせて、中の歪ゲージも変形す

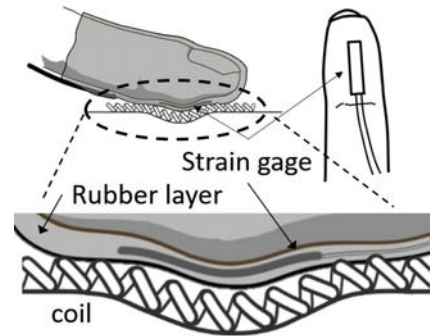


Fig.4 歪ゲージメカトロサンド

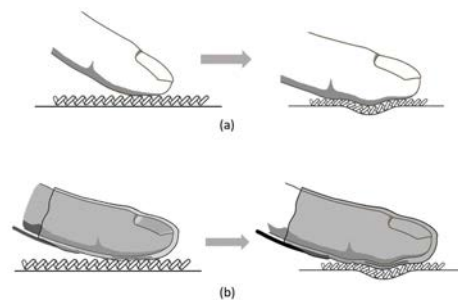


Fig.5 歪ゲージメカトロサンドによるコイルの増幅効果の定量的評価

る。ひずみゲージサンドを図4に示す。我々は、このセンサデバイスを使って表面うねりをなぞることで、表面うねりの形状(曲率)を算出することに成功している[4]。安藤らは、触覚コンタクトレンズのピンの長さをパラメータとして、その長さを変えて、この歪ゲージサンドを装着してなぞることで、その増幅効果を定量的に評価できることを報告している[5]。

本実験でも、歪ゲージサンドを装着して、何も介さないでなぞる場合と、コイル挟んでなぞる場合と比較し、文献[5]の触覚コンタクトレンズと同様にその増幅量を定量化して比較する。装着してなぞる概念図を図4に示す。

3.2 触覚プレート

凹凸検出実験で使用するために、微小凹凸を再現した凸・凹それぞれのモデル(触覚プレート)を作成した。Fig.6に作成した触覚プレートの一例を示す。長さ100[mm]、高さ30[mm]、幅30[mm]のアルミプレート(A5052P, Misumi株式会社)を使用した。プレート上面の中央部16[mm]にあるFig.6の赤で示した領域を、式1で示すガウス関数型の凸、凹曲面にフライス盤で加工した。極値部分の高さは約0.005[mm]であり、分散は1とした、凹凸面の形状を図7に示す。

$$z(x) = A \exp \left\{ -\frac{(x-C)^2}{2} \right\} \quad (1)$$

Aは高さ、Cは中心の位置である。

3.3 実験システム

センサインターフェースはPCD-430A(株式会社共和電業)を、ひずみゲージはKFG-5-120-C1-23L1M2R(同社)を用いた。触覚プレートの位置を固定した上で、スライドラール上に手を固定し、指先で触覚プレートの凹凸部をゆっくりとにぞる。スライダにはエンコーダが付けてあり、Arduinoでデータを取得してPCに渡し、指先の位置をエンコーダで測定する。そのときのひずみ量を測定し、その結果をPCに渡す。PCの中で位置と歪量の関係を割り出し、グラフで表示させる。この時の実験システムの概要をFig.8に示す。この時の圧力と速度はなるべく一

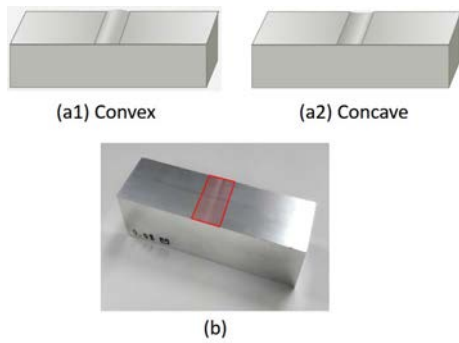


Fig.6 触覚プレート

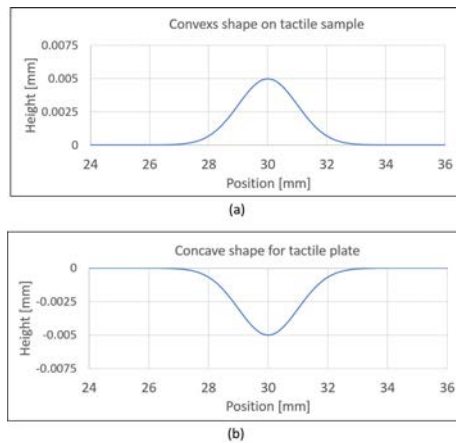


Fig.7 触覚プレートの表面形状. ピークの高さが5umの場合.

定になるように動かす. 事前にバネばかりの上で, 一定の力で動かす練習をしたあと実験を行う.

4 実験結果

4.1 簡易実験の結果

簡易的に実験を行うために, 図9のように指先に歪ゲージをテープで貼り付けた状態で測定実験を行った. また, スパイラルコイルは, ボールペンの中にある金属バネ(図10(a))と, 布が付いたままのファスナーコイル(図10(b))を用いた. 金属バネを使う時は表面に傷が付かないように薄い布をあてた.

ピークの高さが0.08mmの触覚プレートを用いて行った実験結果を図11に示す. 赤い色の線がコイルなしでなぞった結果である. 青の線がバネコイルでなぞった結果である. 黒がファスナーコイルでなぞった結果である. また図11中の(a)は凸形状の触覚プレート, (b)は凹み形状の触覚プレートをなぞった時の結果である.

グラフ中央のピーク時を比較すると, 歪量はバネコイルとファスナーコイル共に, 歪ゲージメカトロサンドのみでなぞったときよりも大きく増幅していた. この時の増幅率は約10倍程度であった. このケースでは, 凸形状では増幅率はコイルの方がバネよりも大きかったが, 凹み形状ではバネの方がコイルよりも大きい結果となった. 複数回の実験の結果より, コイルとバネの増幅率はあまり大きな差は見られなかった.

4.2 本実験の結果

この実験はひずみゲージメカトロサンドを装着して行った. 5umの表面凹凸をなぞった結果を図12に示す. 図中の上段(a)は凸形状をなぞった時の結果であり, 下段(b)は凹形状をなぞった時の結果である. 縦軸は計測機器から求めたひずみ量, 横軸はエンコーダで求めた位置である. 2つの図(a)(b)中の線Bはメカト

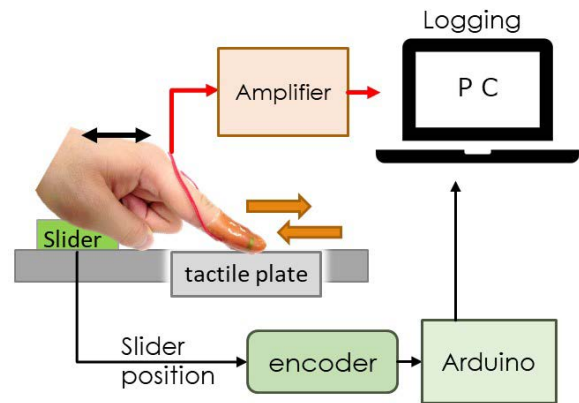


Fig.8 実験システムの概要

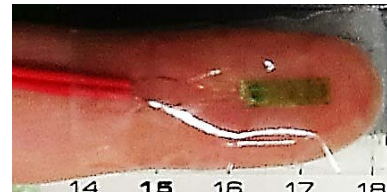


Fig.9 歪ゲージをテープまたはラップで貼った指.

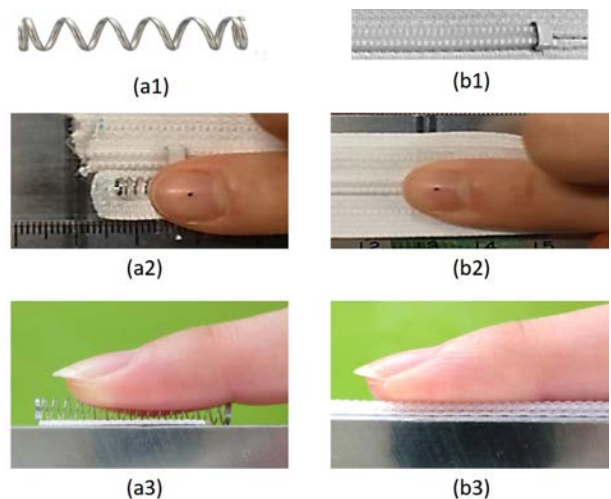


Fig.10 簡易実験で用いたデバイス. (a) コイルバネ, (b) ファスナーコイル

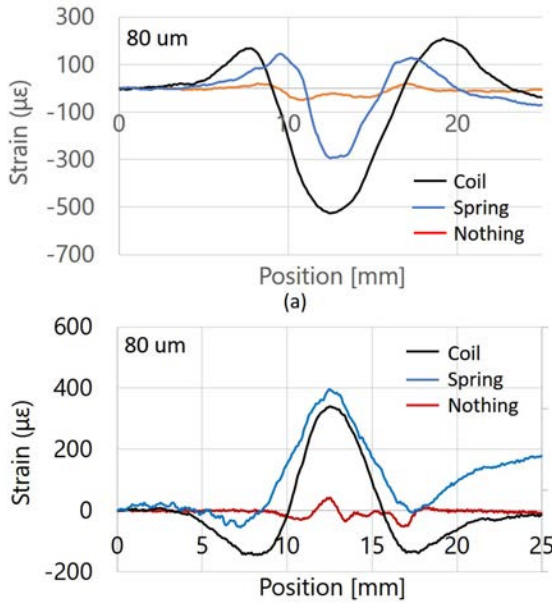


Fig.11 簡易実験の結果。ピークが80umの触覚プレート。
(a) 凸形状, (b) 凹形状

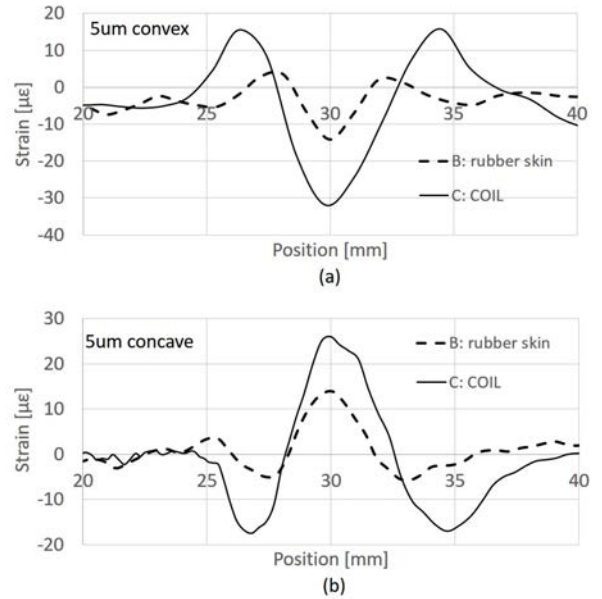


Fig.12 高さ5umの凹凸の実験結果。(a) 凸形状, (b) 凹形状

ロサンドのみでなぞった時の結果、cはコイルを使ってなぞった結果を示している。線Bと線Cの比較を容易にするために、両者のグラフのスタート位置の高さを一致するように調整してある。触覚プレートの平の場所では、両者の信号レベルを一致させている。

図(a)に示す凸をなぞった時の2つの信号B及びCは、両者とも初めは平に近く、増えて、凹んで、増えて、平になるという形状になった。両者の上下方向の振幅は異なった。最大ピークを示す30cmあたりで、コイルの方が約 $32.3/15.2=2.1$ 倍振幅が大きかった。また、形状の変化を示す信号の幅も異なった。グラフBのメカトロサンドのみの時は、約26mmあたりから始まり、約36mmで反応が信号の反応が終わる。一方のグラフCのコイルは、約22mmから反応が始まり、約37mmあたりで反応が終わっている。反応した距離で比較すると、Bは10mm、Cは15mmで、コイルの方が約1.5倍程反応する距離が大きかった。プレートの凸形状の幅は8mmで、歪ゲージのセンサ部分の長さは5mmであるが、信号の反応距離はそれ以上に長い結果であった。

(b)に示す凹をなぞった時の信号の形状は(a)の逆となっている。また、増幅の高さは凸と同様に約2倍(28ue/14ue)、幅は1.5倍((23-38mm)/(26-36mm))となった。

因みに、人が凹凸面をなぞって殆どなぞり感覚が得られないのはピークの高さが5umからである。この実験でも介在物なしでは殆ど触感を得られなかったが、コイルを使うと触感の増幅が得られた。

まとめると、コイルの触感、及び、信号の増幅効果が確認できた。コイルの増幅率は、5umでは2倍であった。センサの反応距離については、コイルの方が約1.5倍であることは同じであった。プレートの凹凸形状の変化の高さが高い程、コイルの増幅率は大きくなるのが分かった。

5 考察

文献[5]のFig.17に触覚コンタクトレンズとメカトロサンドのみを用いたなぞり実験の比較結果がまとめられている。この結果によると、pinの長さ5mmの時の増幅率は約4倍程度となっている。この増幅率をpinの長さあたりで割ると、 $4/5=0.8$ 倍/mmとなる。一方で今回のコイル実験結果より、その増幅率は、凸形状で約 $(32-5)/10/1.2=2.25$ 倍/mmとなる。凹みについても、同様の増幅率が得られた。コイルは触覚コンタクトレンズと比べて高さや面積は小さくなった上で、pinの長さあたりの増幅率は触覚コンタクトレンズよりも大きい。

6 結論

本研究の貢献は次の2つである。

- なぞり触感を増幅する構造物としてスパイラルコイルを発見した。人間では感じる事が困難なわずかな凹凸のなぞり触感をこのデバイスを用いてなぞると触感の変化を感じることができる。
- メカトロサンドを用いて、スパイラルコイルによりなぞり触感の増幅率を定量的に評価した。その結果、スパイラルコイルは、触覚コンタクトレンズよりも薄く面積もコンパクトである上、pinの長さあたりの増幅率は触覚コンタクトレンズよりも大きいことを明らかにした。

今後は、他のサンプルについても実験を行い、コイルによるなぞり触感の増幅メカニズムを解明する。

謝辞

触覚プレートを作製していただきました弘前大学佐久間一行様に感謝いたします。議論やアドバイスをいただいた弘前大学今西悦二郎先生に感謝いたします。また、図の作製及び実験をしていただきました2018年度弘前大学卒業の向明戸結衣さんに感謝いたします。

参考文献

- [1] 佐野 明人, 菊植 亮, 望山 洋, 武居 直行, 藤本 英雄: 触の技と数理, 日本ロボット学会誌, 巻23号7, pp.805-810, 2005 触の技と数理
- [2] Akihito Sano et al: TouchLens: touch enhancing tool, Proc. TExCRA '04, 2004.
- [3] R. Kikuuwe, A. Sano, H. Mochiyama, N. Takesue, and H. Fujimoto: Enhancing Haptic Detection of Surface Undulation, ACM Transactions on Applied Perception, 2-1, 46/67, 2005.
- [4] Toshinobu Takei, Mitsuhiro Ando and Hiromi Mochiyama: Wearable Artificial Skin Layer for the Reconstruction of Touched Geometry by Morphological Computation, Advanced Robotics, 2018, DOI: 10.1080/01691864.2018.
- [5] Mitsuhiro Ando, Hiromi Mochiyama and Toshinobu Takei: Effect of tactile contact lens on rubber artificial skin layer with a strain gauge, 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), DOI: 10.1109/SII.2016.7844031