

錯覚現象を応用した物体の触り心地変調手法

手で、例えば石をこすっても、持っても、叩いても、その触り心地を毛皮やスポンジだと勘違いすることはないように、人間の触り心地判断はとても安定しているようにみえます。しかし、ベルベットハンド錯覚という現象は、触れた物体に対する触り心地の判断が簡単に歪められてしまうことを示しています。本稿では、この現象の最中の触り心地を具体的に調べた研究や、この現象を応用した触り心地変調手法について説明します。

よこさか たくみ くらき しのぶ
 横坂 拓巳 黒木 忍
 にしだ しんや
 西田 眞也

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

日常に潜む触り心地の錯覚

その昔、高校の体育の授業でテニスをプレーする機会がありましたが、学生の数に比べてテニスコートの数が圧倒的に少ないので、授業時間のほとんどは手持ち無沙汰にテニスラケットを手の中で転がしていたものでした。あるとき、気まぐれにラケットのガット部分（網目の部分）を両手で挟んで、そこを中心としてラケットを振り回すという暴挙に出ました。若く、あまりにも暇だったためです。今思えばそれがベルベットハンド錯覚との邂逅（かいこう）でした。

錯覚に学ぶ

視覚ディスプレイ（モニタ）や聴覚ディスプレイ（スピーカ）に比べると、触覚ディスプレイはまだまだ実用レベルに至っていないと思われるかもしれませんが、その表現力は着実に向上しつつあります。例えば、ゲーム機のコントローラでは内部に仕込んだ振動子を制御することで、さまざまな対象の触り心地を表現できるようになってき

ました。一方で、コントローラ越しではなく、まるで自身の皮膚で直接触れているかのように、さまざまな物体の触り心地を提示可能な手法は、まだ確立されていません。これは、皮膚で直接物体に触れる場合は皮膚上に生じる振動だけでなく、物体の形状や細かな凹凸パターン、弾性、熱伝導率、水分含有率などのさまざまな物理特性や状態も触り心地の判断に用いられるためであり、このことが複雑な特性や状態を柔軟に再現提示する装置の実現を困難にしています。そこでヒントとなるのが、触り心地の錯覚現象です。

錯覚というと動かないはずの絵が動いて見えるような目の錯覚（錯視）が有名ですが、手などの皮膚で生じる錯覚（錯触）も存在します。錯触と一言でいっても、実際とは異なる形状や重量、動き、触り心地などいろいろな属性を実際と異なるように知覚してしまう現象が知られています^{(1), (2)}。錯触は、我々人間が物体に触れたときに、その物体の性質をどのように推定しているのかというメカニズムを考えるためのヒントを与えてくれるという点で

重要です。本稿では、触り心地の錯覚の1つとして知られているベルベットハンド錯覚に着目しました。ベルベットハンド錯覚では、図1のように両手で並んだワイヤ（例えばラケットのガット）の部分をつまんで、両手もしくはワイヤのいずれかを前後に動かすと、両手の間に明らかにワイヤとは異なる奇妙な触り心地が生じます⁽³⁾。その名前にベルベットを冠しているのは、この奇妙な触り心地がベルベットに似ていると思った人がいたからだと思われませんが、これは重要な示唆です。ベルベットハンド錯覚は、前述したようなワイヤの形状や細かな凹凸パターン、弾性などの複雑なパラメータを制御してい

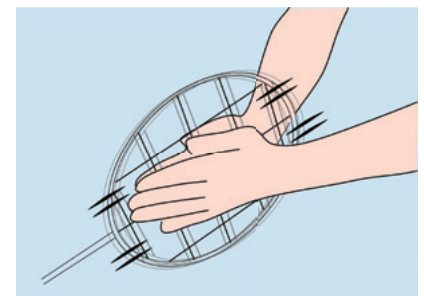


図1 両手でワイヤを挟んでこするとベルベットハンド錯覚が生じる

ないにもかかわらず、ワイヤの動かし方を変えるだけで、直接手の皮膚にベルベットのような全く異なる触り心地を生じさせる現象であるといえます。私たちは、この現象を詳細に調べること、手の皮膚に対して直接さまざまな触り心地をつくり出せる方法のヒントが見つかるのではないかと考えました。

ベルベットハンド錯覚とは何の錯覚なのか

ベルベットハンド錯覚を実際に体験していただくと分かりますが、ワイヤを動かしたときに生じる奇妙な触り心地が具体的にどんな感覚なのかを言葉で表現することは、なかなか簡単ではありません。このことが、これまでのベルベットハンド錯覚の研究における問題の定義、すなわちベルベットハンド錯覚はそもそも何を、どのように錯覚する現象なのかを定量的・定性的に理解することを難しくしていました。

そこで私たちは、ベルベットハンド錯覚とはどのような現象なのかを理解することを試みる実験を行いました⁽⁴⁾。この実験において、参加者は、ワイヤが両手の間で動いたときの触り心地〔つまり、ベルベットハンド錯覚の最中の触り心地（図2(a)）〕を、身の回りのさまざまな素材の触り心地（図2(b)）と比較しました。特に、ベルベットハンド錯覚の強さと関係した触り心地の変化を特定するために、ワイヤ間の間隔が狭い条件や広い条件、ワイヤを前後に動かす条件や上下に動かす条件、両手ではなく片手で触れる条件などさまざまなワイヤ条件（図2(c)）を提示することで、ベルベットハンド錯覚の強さをコントロールしました。また、これらのワイヤ条件それぞれについて、ベルベットハンド錯覚の強さも評価してもらいました。

ベルベットハンド錯覚の最中の触り心地やさまざまな素材の触り心地がどれくらい似ているのかを二次元空間上

に可視化した結果を図3に示します。ワイヤ条件の触り心地や素材の触り心地を粗さや硬さの観点で評価してもらった結果から、この二次元空間の横軸は柔らかさと温かさを、縦軸は滑らかさと関係することが分かっています。面白いことに、ワイヤ条件における錯覚の強さの評価値をこの解析に使っていないにもかかわらず、二次元空間上で錯覚が弱い条件から強い条件までその触り心地が直線状に順に並んでいました（横軸、縦軸それぞれとベルベットハンド錯覚の強さの相関は、それぞれ0.75と-0.93でした）。一番錯覚が弱かったのは片手でワイヤに触れる条件（図3右下）で、その触り心地は金網の触り心地にもっとも近いことが分かりました。ワイヤも金網も硬く線状の素材であることから、妥当な結果であるといえます。一方で、錯覚が強くなるほどその触り心地は図3左上にシフトしていくことから、その触り心地がより柔らかく滑らかに変化していくことが分かります。一番錯覚が強い条件は、両手の間で75 mm隔てたワイヤを前後に動かす条件で、その触り心地は布や革などの触り心地に似ていました。このことから、ベルベットハンド錯覚とは、本来硬く粗いワイヤの触り心地が、両手の間で動くことによってまるで布や革のように柔らかくなめらかに変化して知覚される現象である、ということが分かりました。

ワイヤの錯覚を任意の物体の錯覚へと拡張する

ベルベットハンド錯覚は手で直接触れたワイヤの触り心地を変える現象であるということが明らかになりましたが、この錯覚をワイヤだけではなくさまざまな物体に対して適用できるのでしょうか。これは、さまざまな触り心地を提示する手法としての可能性を検

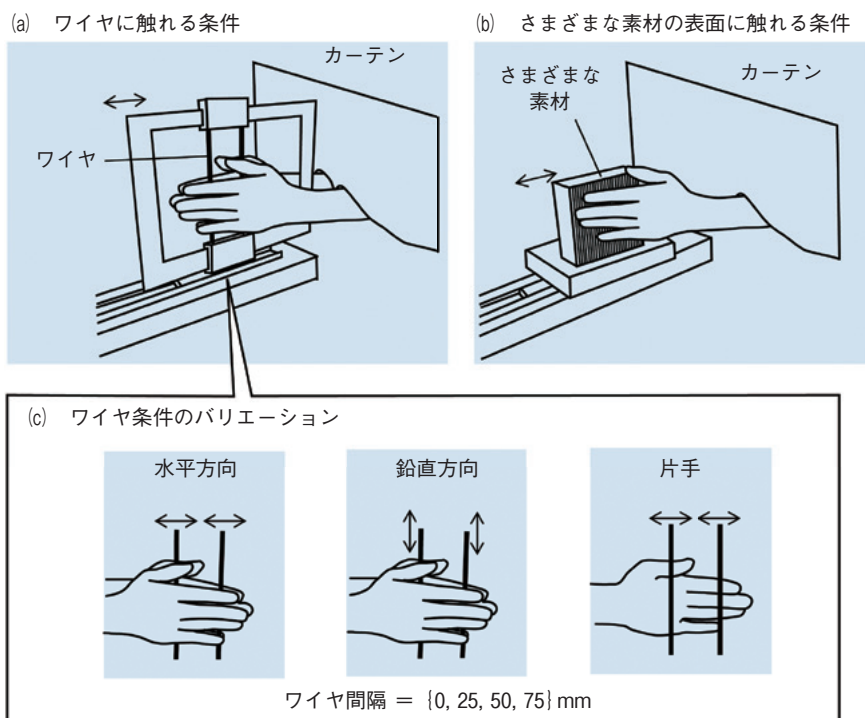
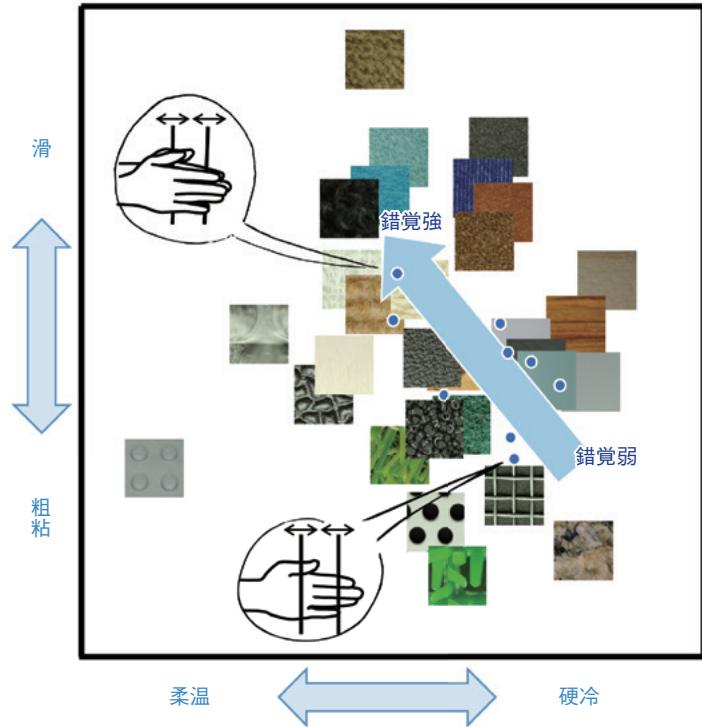


図2 ベルベットハンド錯覚の触り心地評価実験のセットアップ

討するために重要な問いです。すぐに思いつく方法は、両手の間ではなく、手と任意の物体の間にワイヤを挟んで動かす方法です。しかし、このやり方にはいくつか問題があることが分かりました。例えば、ワイヤが手と物体の間を行ったり来たりして横断することによって、手と物体の間の接触が阻害されることです。これでは結局、肝心の物体の触り心地ではなく、ワイヤの触り心地が目立ってしまいます。また、ワイヤは凸凹した物体の上では引っかかってしまい、安定して動かせないという問題もあります。ここで、ワイヤの代わりに穴の開いた薄い板を2本の指腹の間に挟んで前後に動かしても、ベルベットハンド錯覚が生じるという知見に着目しました⁽⁶⁾。これは両手の間にも適用でき(図4(a))、さらにこの穴を前後ではなく回転させることによってベルベットハンド錯覚を起こせることも分かりました(図4(b))。これらのことは、錯覚を生じさせるために手のひら全体を横断してこする必要はないことを示唆します。つまり、手のひらの周囲を穴のエッジによってこすることで、エッジに囲まれた中央部分に錯覚が起こると予想され

ます。この回転する厚紙を両手の間ではなく、手と任意の物体の間にはさんで回転させることによって、最終的に触れた物体の触り心地を変調できる手法を見出しました(図4(c))。これをフレーム回転法と名付けました。この

方法によって、手のひらと任意の物体の間に何も横断させる必要がなくなり、また、回転方向にエッジが少ないため、物体表面に引っかかりにくく、安定して動かすことが可能になりました。



図中の青い点が、ワイヤに触れる条件(両手・片手で触れる条件、ワイヤが水平・鉛直に動く条件など)を表しています。

図3 ベルベットハンド錯覚の触り心地評価実験の結果

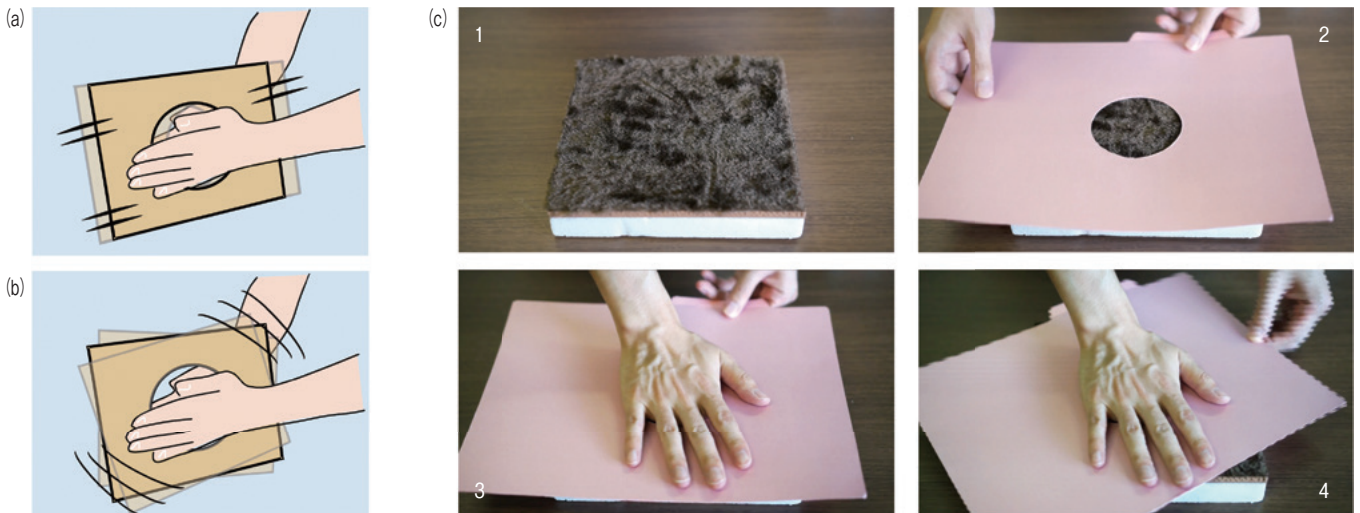
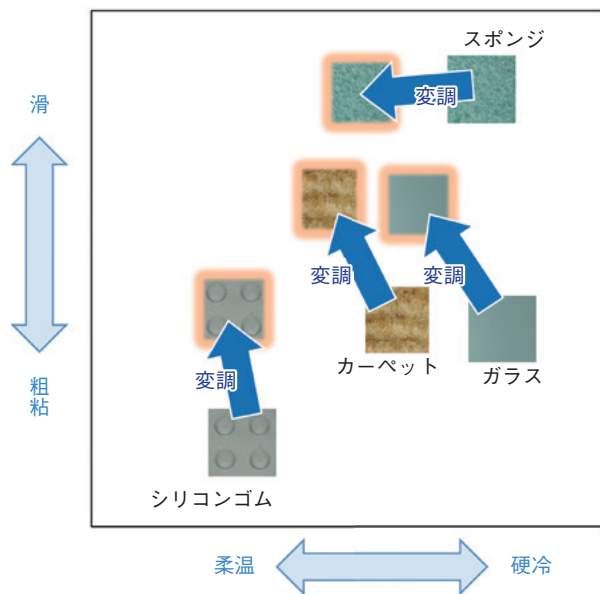


図4 ベルベットハンド錯覚の発展形((a)(b))とフレーム回転法(c)

フレーム回転法によって物体の触り心地がより柔らかく滑らかに

この手法によって、さまざまな物体の触り心地を本当に柔らかく滑らかに変化させることができるのかを調べる実験を行いました⁽⁶⁾。この実験では、実験参加者にいろいろな素材の触り心地やその素材にフレーム回転法を適用したときの触り心地がどれくらい似ているかを評価してもらいました。その結果を図3と同様に二次元空間上に可視化したものが図5になります。別の実験で、それぞれの素材の触り心地を粗さや硬さの観点で評価してもらった結果から、この二次元空間の横軸は柔らかさと温かさを、縦軸は滑らかさと関係することが分かっています。例えば、粗くて硬めのカーペットはフレーム回転法を適用することによって、その触り心地がより柔らかくなめらかに変化することが明らかになりました。このように、この手法によっていろいろな物体の触り心地が実際より柔らかく滑らかに変化していることが分かります。

このようにベルベットハンド錯覚のような触り心地がより柔らかく滑らかに変化する現象を、さまざまな物体に適用できる手法を考案し、評価しました。今後この錯覚が生じる脳のメカニズムを調べていくことで、まだ知られていない触覚処理機構の解明につながる事が期待されるほか、触り心地をより硬く粗く変化させるための方法や、柔らかさと滑らかさを独立に変化させるための方法の発見につながるかもしれません。また、この手法の特徴は特別な装置を用いる必要がなく、誰でも簡単に家にあるもので実現できることです。これによって、振動提示装置や力を発生させる装置などを操作するためのノウハウを持たない人でも、



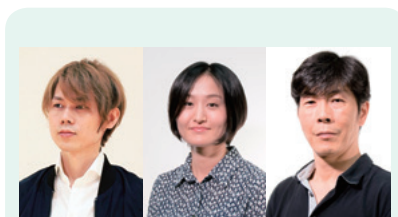
二次元空間上における矢印はフレーム回転法によってその触り心地がどのように変化したかを表しています。

図5 フレーム回転法による触り心地変調評価実験の結果

触り心地をより身近に操作することが可能になります。例えば、デザイナーがパッケージの触り心地のイメージを他者に伝えたり、店頭で柔軟剤などの製品の使用感を伝えたりするような場面で簡単に利用できると考えられます。

参考文献

- (1) 渡邊：“触れる感覚の質感・実感に着目したコミュニケーション,” NTT技術ジャーナル, Vol. 23, No. 9, pp. 26-30, 2011.
- (2) 黒木：“知覚心理学で探る触覚の仕組み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 32, No. 9, pp. 18-22, 2020.
- (3) H. Mochiyama, A. Sano, N. Takesue, R. Kikuuwe, K. Fujita, S. Fukuda, K. Marui, and H. Fujimoto: “Haptic illusions induced by moving line stimuli,” Proc. of WHC 2005, pp. 645-648, Pisa, Italy, March 2005.
- (4) T. Yokosaka, S. Kuroki, and S. Nishida: “Describing the sensation of the ‘velvet hand illusion’ in terms of common materials,” IEEE Trans Haptics, Dec. 2020. DOI: 10.1109/TOH.2020.3046376.
- (5) M. Ohno, T. Miyaoka, and M. Nakatani: “Two hands feel smoother than one: a study on the smoothness magnitude produced by the Velvet Slit Tactile Illusion,” EuroHaptics 2018, Pisa, Italy, June 2018.
- (6) T. Yokosaka, Y. Suzuishi, and S. Kuroki: “Feel illusory texture through a hole: Rotating stimulus modulates tactile sensation for touched object’s surface,” EuroHaptics2020, Leiden, Netherlands, Sept. 2020.



(左から) 横坂 拓巳/ 黒木 忍/ 西田 真也

暇を持て余した高校生がたまたま出会ったように、実は私たちの身の回りにはたくさんの触り心地の錯覚が潜んでいます。こんな何気ない錯覚が、10年後、20年後の触覚提示技術の土台となるのかもしれない。

◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
人間情報研究部
TEL 0774-93-5020
FAX 0774-93-5026
E-mail cs-liaison-ml@hco.ntt.co.jp