

3 触感変調手法

ベルベットハンド錯覚を応用した
「フレーム回転法」

視覚・聴覚に加えて、最近研究が盛んになりつつあるといわれている触覚。NTT コミュニケーション科学基礎研究所（以下、CS研）は、ベルベットハンド錯覚という触感の錯覚現象に着目し、同じ素材に触れているにもかかわらず、異なる素材に触れているかのようにその触感を変調する手法を考案した。本稿では、CS研が開発した新手法「フレーム回転法」について紹介する。

触覚の錯覚現象研究への期待

視覚や聴覚の研究に比べ、触覚の情報処理に関する研究や知見は未だ少なく、そのメカニズムは十分に解明されていない。しかし近年、視覚や聴覚の研究を追いかけるかたちで、少しずつ解明が進んでいる。例えば、「感覚の人工的な再現」という側面から考えると、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技術は、実用レベルに至っていないと思われがちだが、その表現力は着実に向上しつつある。最近では、ゲーム機のコントローラ「ゲームパッド」や「ジョイスティック」などを操作することで、さまざまな対象物の“触り心地”、すなわち触感を再現できるようになってきている。

とは言うものの、コントローラ越しではなく、まるで自身の皮膚で対象に直接触れているかのように、さまざまな物体の触感を提示する手法は、未だ確立されていない。皮膚が物体に触れる時、人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から触感を判断するが、複雑な特性や状態を柔軟に再現・提示する触覚ディスプレイが開発されていないことがその一因であると考えられる。

CS研では、触覚の錯覚現象がこうした課題解決の一助になるとして研究開発に取り組んでいる。

一般に「錯覚」と聞くと、視覚や聴覚に関する錯覚を連想することが多い。明るさ、色、大きさ、長さなどに対する錯覚がよく知られていて、動かないはずの絵が動いて見えるような錯視も有名である。また、聴覚についてもさまざまな錯覚があり、周波数、左右の聞き違い、存在しないはずの音が聞こえるなど、不思議な現象が起こることも既に認識されている。一方で触覚の錯覚となるとあまりイメージがわからない人も多いことだろう。一体触覚の錯覚とはどのようなものなのだろうか。

触り心地の錯覚現象

～ベルベットハンド錯覚～

例えば目を閉じて石をこすったり、持ったり、叩いた時、その触感から石を毛皮やスポンジだと判断す



NTT コミュニケーション科学基礎研究所
人間情報研究部
研究主任 横坂 拓巳氏

る人は、まず、いないだろう。このように、触覚から得られる人間の判断は、とても安定しているように考えられているが、実は触覚にも錯覚がある。その1つがベルベットハンド錯覚だ。

「触覚の錯覚はあまり有名ではありませんが、実は、我々が気づかないだけで身の回りにはたくさんの不思議な触覚の錯覚が潜んでいます。私は学生時代にテニスラケットを触っていて偶然にベルベットハンド錯覚を体験し、ずっと不思議に思っていました。触覚の研究に携わるようになってから、そのメカニズムを解明することは重要な課題であると認識し、研究を始めました」(横坂氏)。

図1に示すように、両手の間にテ

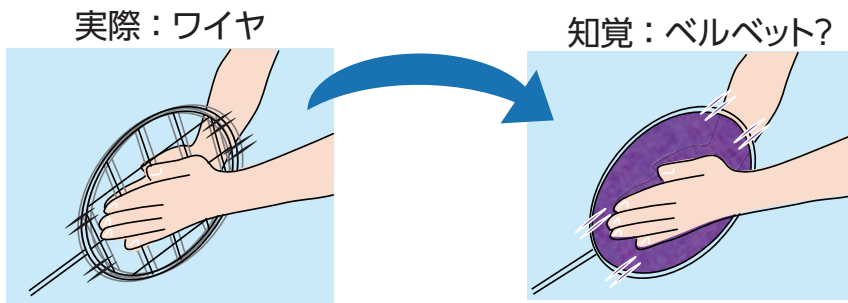


図1 ベルベットハンド錯覚

ニスやバドミントンのラケットのガットの部分をしっかりと両手で挟んで、ラケットを前後に動かしてみる。すると、両手の間に次第にモワモワ、ヌメヌメとしたなんとも表現しづらい感覚が生じる。実際に触れているガットの材質であるワイヤの触り心地とは大きくかけはなれた、まるでベルベットを触っているような、奇妙な触り心地を感じるはずである。この触り心地の錯覚現象が「ベルベットハンド錯覚」だ。

因みにラケットの代わりに厚紙、牛乳パック、薄めのダンボールなどに5～10cm四方の穴を開けたものを用意し、両側から手を合わせ、前後に動かすことでもベルベットハンド錯覚は体験できる。

また、ベルベットハンド錯覚は誰かに対象物を動かしてもらわなくとも自分で手を動かすことでも体験可能であり、手のひらだけでなく、指の間や足裏、臀部でも起こることもこれまでの研究で明らかにされている。

このように、ベルベットハンド錯覚は、触れたものの形状、凹凸パターン、弾性などの複雑なパラメータを何ら制御していないにもかかわらず、対象物とは異なる素材カテゴリーの触り心地を錯覚する現象であることが期待される。

しかしながら、ベルベットハンド錯

覚を生じる脳のメカニズムは未だ解明されていない。例えば、ラケットのガットのワイヤが動くとき対向する手の柔らかさとワイヤの硬さが区別できなくなる（柔らかさが混ざる）という説や、ワイヤが動くとき手のひらの触覚感度が下がるのでワイヤの粗さがわからなくなる（相対的に滑らかに感じる）という説などがあるが、これらの仮説はまだベルベットハンド錯覚を十分に説明できているとは言えない。

CS研は、「未解明のベルベットハンド錯覚を応用することが、人工的に様々な感触を提示できる触覚ディスプレイ設計の一助となる可能性がある」との仮定のもと、研究を推進している。

以後、CS研が実施したベルベットハンド錯覚についての心理実験とその評価について紹介する。

実験① ベルベットハンド錯覚の最中の触感の分析

そもそもベルベットハンド錯覚において、人は何の触感をどのように錯覚しているのだろうか？この疑問に対し、CS研はベルベットハンド錯覚で得られる触感をカーペットやガラスなど身の回りの様々な素材の触感と比較することで、その感覚を具体化する実験を行なった。

図2は実験結果を2次元マップに表したものである。横軸は柔らかさと温かさ、縦軸は滑らかさを示している。

評価実験の結果、錯覚がほぼ起こらないときには、その触感は硬くて冷たい金網に似ていた。一方で、錯覚が強くなるときには、その触感はボアやフェルトのような柔らかく滑らかで温かい布に似ていることが分かった。

このことから、ベルベットハンド錯

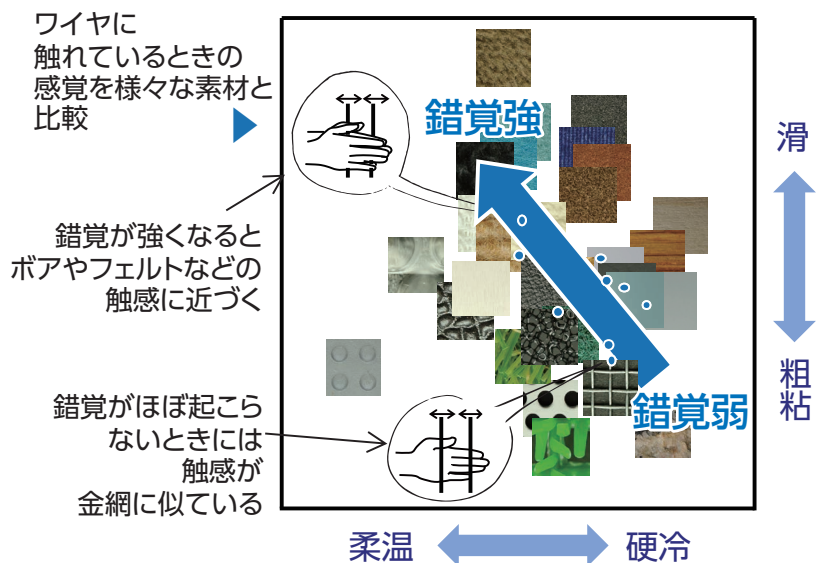


図2 ベルベットハンド錯覚の最中に感じた触感の分析

覚とは、本来硬く粗いワイヤの触感が、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滑らかに変化して知覚される現象であるということが明らかになった。このように、どんな錯覚なのかを定義したことで、今までは不思議な現象の一つにすぎなかったベルベットハンド錯覚現象をようやく、科学研究の対象として扱える形にできたのである。

ベルベットハンド錯覚をワイヤ以外の物体に拡張する触感変調手法の課題

上記の実験結果を応用することでワイヤ以外のさまざまな物体の触り心地を柔らかくすることはできないだろうか？

単純に考えれば、手と任意の物体の間でワイヤを動かせば、その物体の触り心地を変化させられそうに思える(図3左)。しかし、実際にはこの方法には2つの課題が生じる。1つは、ワイヤが手と物体の間を行ったり来たりして横切するため、任意の物体の触感を妨げるうえに、ワイヤ自体の触覚も知覚されてしまう。つまり、ワイヤがあるために、ワイヤの感覚が残り、肝心の任意の物体に触った感覚がわかりにくくなってしまう(図3中)。もう1つは、カーペットや岩などの凹凸のある物体の表面上では、ワイヤが引っかかってしまい、滑らかにワイヤを動かすことができない。つまり、そもそも錯覚そのものを引き起こすことができない(図3右)。

フレーム回転法の提案

～物体の触感を実際よりも柔らかく・滑らかに・温かく変調～

そこでCS研は、これらの2つの



図3 ベルベットハンド錯覚をワイヤ以外の物体に拡張する際の課題

課題を解決するフレーム回転法という手法を考案した(図4)。フレーム回転法とは、両手の間ではなく、片手と任意の物体の間に穴の開いた厚紙フレームを置いて左右に回転させる手法である。フレーム回転法は、厚紙(牛乳パック、薄い段ボールも可)に直径8cmほどの穴をあけた厚紙フレームを、物体と手のひらの間にはさみ、左右に回転させることで簡単に体験することができる(図5)。フレームを回転させることで、穴越しに物体に触れた手のひらの中

心に錯覚が生じて、まるで触れている物体ではなく、ベルベットのような布に触っているかのような触覚が得られるのが分かる。様々な穴の大きさに錯覚を評価したところ、直径8cmの穴で錯覚が最も大きくなり、それより小さい、或いは大きい直径の穴では錯覚が弱くなる傾向があることが分かった。また手のひらではなく、指先にフレーム回転法を適用する場合には直径12-14mmほどの大きさの穴で錯覚の強さが最大になることも分かった。



図4 フレーム回転法の着想に至るまで

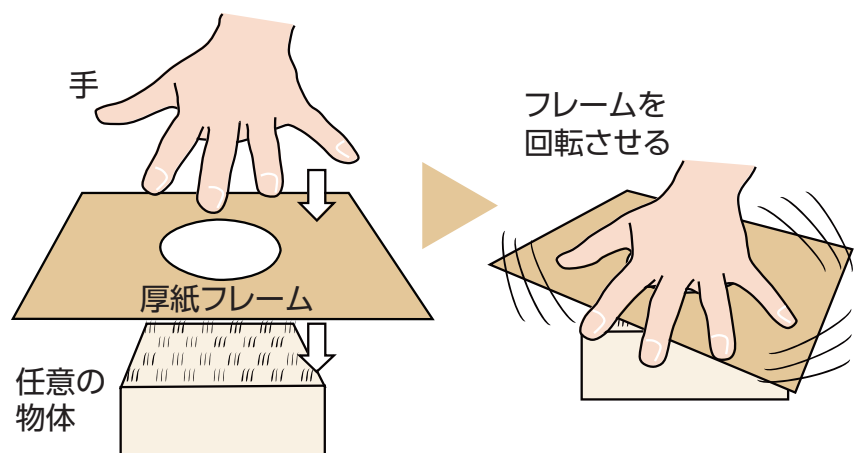


図5 フレーム回転法の体験方法

フレーム回転法は、手のひらと任意の物体の間に何も横断させる必要がない。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できる。従って、上述の2つの課題を解決しながら、ベルベットハンド錯覚のような物体の触感変調が可能となる。

また、フレーム回転法のポイントは、“穴の開いた”厚紙を回転させることにある。厚紙の穴のエッジの存在が重要なのだ。このことは、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があることを示唆している。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っていることが予想される。

実験② フレーム回転法の触感変調評価

シリコンゴム、カーペット、ガラス、スポンジ、などの様々な素材にフレーム回転法を適用したときに触感がどれくらい似ているのかを2次元マップに表したものが図6である。この2次元マップの横軸は柔らかさと温かさ、縦軸は滑らかさを示

している。

素材の触感は右下から左上方向に動いていることが分かる。つまり、フレーム回転法により、物体の触感を実際より柔らかく滑らかで温かく変調できることが明らかとなった。

横坂氏は評価結果について、素材の触感変化方向が一

点に収束しているのか、それともそれぞれが一点ではなく平行に、同じ方向に推移しているのか、はたまたバラバラな方向に変化しているのか、は非常に興味深い疑問であるとしたうえで、この疑問に対する答えが明らかにできれば、錯覚のメカニズムの理解につながる事が期待できると述べている。

今回の実験では考慮しなかったが、皮膚の水分量や硬さなどの手の

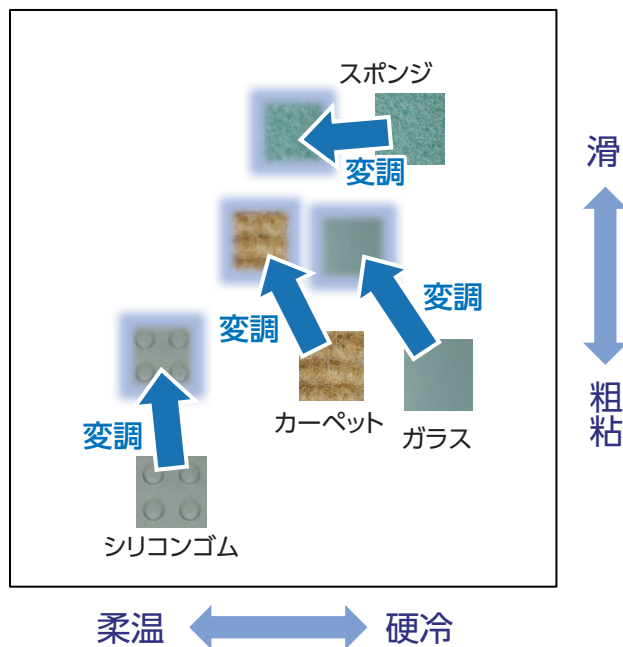


図6 フレーム回転法の触感変調評価結果

特性が、フレーム回転法による触感変調に影響する可能性がある。例えば物理レベルでは、皮膚の摩擦が大きいとフレームを回転させにくくなり、結果として錯覚が起きにくくなる、というように（触感変化方向が変わるというよりは）触感変化の度合いが変わることが予想される。

CS研は、今後も実験を重ね、触覚の錯覚現象を解明していく。

研究の出口

今後、触覚の錯覚が生じる脳のメカニズムを研究することで触覚処理機構の解明に貢献していきたいと思えます。

また、新しくフレーム回転法を提案できたため、この研究分野が進展することにご期待いただきと思えます。フレーム回転法による触感変調を自在に制御することが可能になれば、様々な触感を人工的に提示する技術が実現できると期待されます。簡単に触感を変化させ

ることができるフレーム回転手法は、製品設計や店頭実演など様々な場面での活用も考えられます。

さらに将来、遠隔地の物体の触感をバーチャルに再現することもできるかもしれません。フレーム回転法は、現状では、触れている物体の触り心地をより柔らかく滑らかに変調する範囲にとどまっていますので、より多様な触り心地（例えばより硬くて粗い物体の触感）を作り出せるよう発展させたいと考えています。

（横坂氏 談）