

# 錯触覚を用いた握り動作における硬軟感知覚

Pseudo-haptic feedback on stiffness induced by grasping motion

木村 堯<sup>1)</sup>, 野嶋琢也<sup>1)</sup>

Takashi KIMURA and Takuya NOJIMA

1) 電気通信大学 大学院情報システム学研究所

(〒182-8585 東京都調布市調布ケ丘 1-5-1, tkimura@vogue.is.uec.ac.jp, tnojima@computer.org)

**Abstract:** The majority of research on pseudo-haptic softness/hardness feedback has the user's hands separated from the visual display for inducing altered touch perception. However, we found that the user can perceive changes in stiffness by using a visual image in the user's hand while he or she squeezes a hard object. In our prototype system, the visual object viewed on the smartphone's display changes shape according to the squeezing force measured from the device's sensors. In this paper, we report our preliminary study on pseudo-haptic feedback related to tactile perception of stiffness.

**Key Words:** pseudo-haptic, squeezing, stiffness.

## 1. はじめに

視覚誘導性錯触覚(以下錯触覚)とは、触覚と同時に適切な視覚的フィードバックを与えることで発生する、触覚に関する錯覚である。これまでこの錯触覚を利用して、ユーザに重量感や抵抗感、硬軟感等を提示する手法が多く提案されてきた。この錯触覚であるが、従来は、ユーザをディスプレイ上の映像変化に注目させ、自身の手の動作から注意をそらす、場合によっては遮蔽するという形で提示されることが主流であった[1]。これはマウスとディスプレイで実現可能であり、すなわち一般的に想定されるデスクトップでの作業環境で容易に実現可能という特徴を意味する。しかしスマートホンまで含めたモバイル環境を考えた場合、ディスプレイと手の間を空間的に離すことは困難であり、錯触覚の発生に関して不利な条件となっていた。これに対して我々は、スマートホンを持った状態、すなわち手の中にディスプレイが存在し、手と映像が明確に観察できる状態で発生する錯触覚について提案している[2]。これは従来の研究のように、手と視覚刺激を分離する手法を取らずに錯触覚を提示できるという点において、興味深い現象であるといえる。

本研究で対象としている錯触覚は、硬さの不変な物体を握る際に、その握力に応じて変化するCGをユーザの手中に提示することで、物体の硬さが変化すると錯覚する、という現象である。物体を握る動作は、硬さを理解するための手段の一つである。物体を握る際に、その動作に対する指への反力といった触覚情報だけではなく、視覚や聴覚情報も同時に受け取っている。そのため硬さが不変な物体であっても、握り動作に応じて適切に変化する視覚刺激を付

与することで、硬さが変化すると錯覚させることが可能となっている。本研究では錯触覚を用いて硬軟感を知覚する現象の解析を目的とし、本論文ではその基礎としてプロトタイプデバイスを用いて、実物体との比較及びデバイスの素材による硬さ知覚の影響について実験を行ったので、それについて報告する。

## 2. 関連研究

Lecuyer らは錯触覚による硬軟感の提示についての研究を行なっている[3]。この研究では、ボール状の入力デバイスに接続されたピストンを用いており、CGで作成されたボールを視覚刺激としてディスプレイに表示することでユーザに錯触覚を提示している。これは、ピストンの押し込み変位量を計測し、その値に応じてCGのボールを任意に変形させることで、ユーザは硬い(あるいは柔らかい)ボールを押していると錯覚するというものである。しかしながらこの手法は本研究とは異なり、ユーザはデバイスの操作中にディスプレイ上の映像を注視する必要がある。

また hirano らはMR技術を用いた硬軟感の錯触覚提示を試みている[4]。これは、物体を指で押し込んでいる際にできる影をCGで作成し、HMDを用いてユーザの指の周辺に重畳することで視覚刺激に誘導された硬軟感の認識をさせるものである。実験では複数の硬さのウレタンフォームを用いており、例えば硬いウレタンを押し込む際に凹みの大きい影のCGを提示することで軟らかく感じるといった、MR技術を用いた硬さの錯触覚提示が可能であることを示している。この研究は、錯触覚を提示する際にユーザの手と視覚刺激がユーザの視界内に存在するという

点においては本研究と類似している。しかし hirano らは主として物体を「指で押し込む」と言う動作、すなわち上腕部筋肉まで関連する動作を対象としているのに対し、我々は「握る」という動作、すなわち前腕部までに関連する動作を対象としている点に特徴がある。

### 3. プロトタイプシステム

本章では硬軟感の錯覚をユーザに提示するために作成したプロトタイプシステムについて記述する。図 1 に示すように、作成したデバイスはスマートホン (Samsung Nexus S) の両側面に設置した計 4 枚の圧力センサ (Interlink Electronics Inc. FSR-400) から構成されている。圧力センサはスマートホンの両側面中央部に 2 枚ずつ配置され、測定された圧力値はマイコン (Arduino RT-ADK) によってバーチャルな画像を生成するために用いられる。

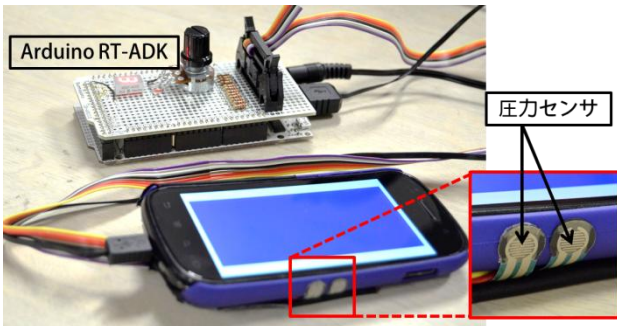


図 1: プロトタイプデバイス

バーチャルな画像は図 2 に示すように、単色の青色で塗りつぶされた長方形を用いており、スマートホンのディスプレイ上に表示される (ディスプレイ解像度は  $800 \times 480$  [pixels])。今回は簡単のため、提示する画像はバネの変形法則に従った変形をするようにした。提示画像の変形幅 *actual width* は、握り動作によって圧力センサから得られる値  $F$  [N]、及びバネ定数  $k$  [N/mm] を用いて (1) 式に基づいて計算される。なお、 $F$  は左右側面それぞれの 2 枚のセンサから値が大きいもの ( $f_L, f_R$  とする) を選び、その平均値を用いた (2) 式。

$$F = k \cdot ([initial\ width] - [actual\ width]) \quad (1)$$

$$F = \frac{f_L + f_R}{2} \quad (2)$$

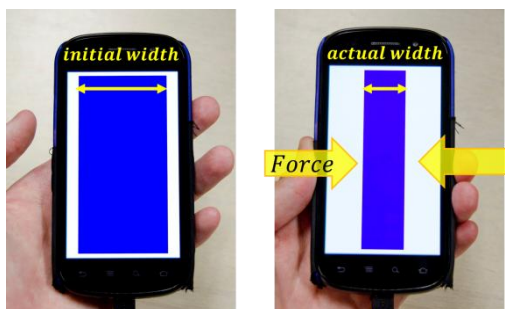


図 2: 握り動作時の画像の変形

### 4. 実物体との比較実験

本章では、プロトタイプデバイスを用いてユーザが知覚する硬さが、同等の硬さの実物体と比較してどのような評価が得られるかを実験した。本章ではそれについて記述する。

#### 4.1 準備

まず比較対象となる、中心にバネが通された一軸方向に移動する実物体を図 3 に示す。実物体の大きさはバネが自然長時にプロトタイプデバイスと同等になるように作成し (幅約 65mm, 高さ約 120mm)、装着するバネのバネ定数を変化させることで様々な硬さを表している。実物体のバネ定数は図 4 の左から 0.471, 0.853, 1.197, 1.521 [N/mm] で、値が小さいほど柔らかいものになっている。

次に、視覚刺激として用いる 3 パターンの CG を作成した。それぞれの CG には硬い、柔らかい、その中間というラベルをつけ、実物体と同等の硬さを再現するために、著者の主観評価に基づき実物体と視覚的に同じ変形をするように調整を行った。表 1 に各 CG とそれらに対応する実物体について示す。なお、最も柔らかい実物体はダミーとして使用し、それに対応する CG は作成しない。

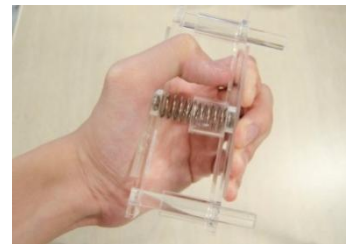


図 3: バネ付き実物体



図 4: バネ定数の違う全実物体

表 1: 各 CG に対応する実物体

CG	対応する実物体のラベル (バネ定数 [N/mm])
CG (硬)	実物体 (硬) (1.521)
CG (中)	実物体 (中) (1.197)
CG (軟)	実物体 (軟) (0.853)
	ダミー (0.471)

#### 4.2 実験方法

実験は以下の手順で行った。

1. 3 パターンの CG のうち、ランダムに選んだ 1 パ

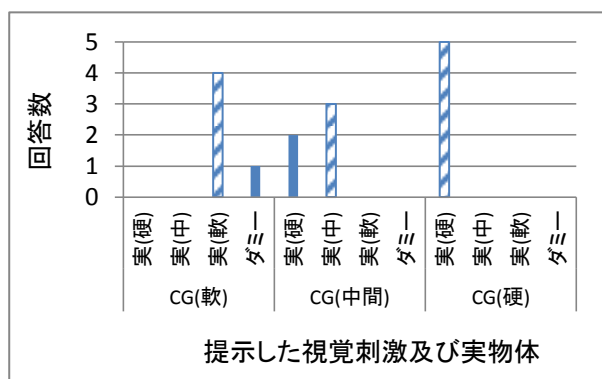
ターンを視覚刺激とし、プロトタイプを握った時に感じた硬さを被験者に記憶してもらう。

2. 被験者に目隠しをさせた状態で、4つの実物体をランダムな順番で握らせる。
3. プロトタイプを握った時に感じた硬さと最も似ている実物体を被験者に回答させる。
4. 1～3の手順を計15回、各CGパターンでそれぞれ5回計測する。

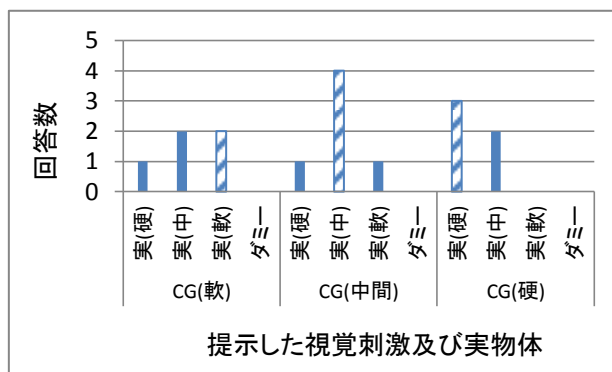
なお、被験者は20代前半の右利きである男性3名で行った。

### 4.3 実験結果

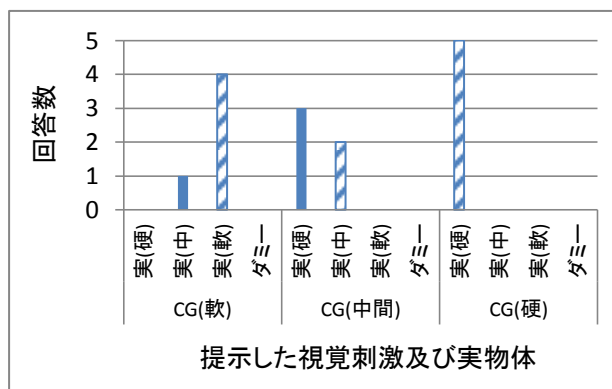
被験者による回答結果を図5に示す。グラフの横軸は提示したCGに対して被験者が選択した実物体を示し、縦軸はその選択回答数である。グラフ中の斜線で示される要素は、CG側に設定したバネ係数と、同等のバネ係数を有する実物体を選択した回答数を示す。仮に、被験者がCGで設定したバネ係数に近いバネ係数を有する実物体を選択した場合、それはCG側のバネ係数を通じて、錯覚上の硬軟感を自由に操作できることを意味する。すなわち、図中の斜線で示される要素が多いほど、CG側のバネ係数の設定による錯覚の操作が容易になる、ということの意味する。しかしながら、中間の硬さのCGについて1人の被験者が硬い実物体を選択し、軟らかいCGについては1人の被験者が軟らかい実物体及び中間の実物体で同数の回答をしている。一方で、硬いCGに関しては全ての被験者が硬い実物体を選択している。これは、プロトタイプではプラスチック製のケースを用いているため、視覚刺激として軟らかいCGを提示しても触覚情報が優位になってしまうのではないかと考えられる。すなわち、触れている物体の素材によっても硬さの知覚に影響が生じるのではないかと考察できる。



(a)被験者 A の回答結果



(b)被験者 B の回答結果



(c)被験者 C の回答結果

図5: 被験者による回答結果(斜線で表した要素はCGと視覚的变化が同等となる実物体)

### 5. 軟らかい素材を用いた比較実験

本章では、デバイス把持部を軟らかい素材に変えた時に、被験者の硬さの認識がどう変化するかについて記述する。今回軟らかい素材としてクラフトレーディング株式会社のゲル(ジェリーキャスト)を幅85[mm]、高さ95[mm]、厚さ4[mm]のシート状に加工し(図6)、図7のようにデバイス背面及び側面を覆っている。また、把持部の表面材質の違いで硬さ知覚に影響が生じる可能性を考慮し、デバイスの最外面は前章と同様の布を使用した。



図6: 使用したゲル



図 7: プロトタイプデバイスへの装着

## 5.1 実験方法

実験は以下の手順で行った。なお今回の実験において、視覚刺激及び実物体のパターンは前章と同様のものを用いる。

1. 被験者にゲルを装着したデバイスを握らせ、3つのCGからランダムに選んだ1パターンを提示し、この時感じた硬さを記憶してもらう。
  2. 被験者に目隠しをさせた状態で、4つの実物体をランダムな順番で握らせる。
  3. プロトタイプを握った時に感じた硬さと最も似ている実物体を被験者に回答させる。
  4. 実験の趣旨を被験者に悟られないようにするため、手順1で選んだCG以外のものを使用して1〜3の試行をダミーとして行う。すなわち、有効な回答データとして扱うのは最初の試行のみとする。
  5. 手順1〜4の実験日の翌日、ゲル非装着のデバイスを用いて同様に手順1〜4を行う。提示するCGは前日のものと同一とする。翌日に行うのは、記憶が残っているうちに推測でゲル装着デバイスと同様の実物体を選択してしまうことをなるべく避けるためである。
  6. 手順5の実験日の翌日、再びゲル装着デバイスを使用し、CGパターンを変えて手順1〜5を行う。
  7. 同様に残り1つのCGを用いて手順1〜5を行う。
- 以上を6人の20代前半の男性(右利き4人, 左利き2人)で行った。

## 5.2 実験結果

表2は各CGについて被験者がゲル装着/非装着それぞれの試行の際に、どちらが軟らかいと感じたかを、選択された実物体をもとに集計した結果である。「変わらない」という回答は、ゲルを装着/非装着とで同じ実物体を選択した場合である。デバイスの素材がユーザの感じる硬さに影響を与えるならば、表2中の「ゲル装着」の要素の回答数が最も多くなると考えられる。まず、硬いCGを視覚刺激として用いた太線枠内の結果をみると、半数の被験者がゲルを装着した方が軟らかい実物体を選択している。また半数の被験者がゲル装着/非装着の両方で同じ実物体を選択しており、ゲル非装着の方が軟らかいと判断した被験者

はいなかった。ここで、前章で行った実験結果をみると、被験者の多くは硬いCGの正答率が高く、視覚刺激として有効に作用していると考えられる。これについて、今回の実験でゲルを装着した際に軟らかく感じる被験者が多い結果を踏まえると、硬いCGの場合は、デバイスの素材によって感じる硬さに影響を及ぼしている可能性が示唆される。

また、中間のCGに関しては「変わらない」という回答が最も多く、軟らかいCGについては、回答が分散しているとみることができる。これらについては、実験中に被験者から「実物体(中)と実物体(軟)の違いがわかりにくい」というコメントを多く得ており、被験者にとって判断を下すことがきわめて困難であったことが伺われる。従って、現状の実験環境では素材の硬さによる影響の有無を考察することが困難である結果となった。

表 2: ゲル装着/非装着を比較してどちらが軟らかい実物体を選んだかの回答結果

CG	どちらが軟らかいと感じたか		
	ゲル装着	変わらない	ゲル非装着
硬い	3	3	0
中間	0	4	2
軟らかい	3	2	1

## 6. 軟らかい素材を用いた比較実験

本論文では錯触覚を用いた硬軟感の提示手法について、提案したプロトタイプデバイスを用いて2つの実験を行った。実験の結果から、与えるCGを変化させることで硬さの錯触覚を提示する事ができ、デバイスの素材によって感じる硬さに変化があることが示唆される。しかしながら、現状の実験では不確定要素を多く含んでいるため、今後はより詳しい解析及び評価を行い、錯触覚を用いた硬軟感の提示手法について研究していく。

## 参考文献

- [1] Anatole Lecuyer, Simulating Haptic Feedback Using Vision: A Survey of Research and Applications of Pseudo-Haptic Feedback, PRESENCE, Vol.18, No.1, pp.39-53, 2009.
- [2] Takashi Kimura and Takuya NOJIMA, "Pseudo-haptic Feedback on Softness Induced by Grasping Motion", proceedings of EuroHaptics, vol.2, pp.202-205, 2012
- [3] Lecuyer, A., Coquillart, S., Kheddar, A., Richard, P., and Coiffet, P., Pseudo-Haptic Feed-back: Can Isometric Input Devices Simulate Force Feedback?, proceedings of IEEE VR, pp.83-90, 2000.
- [4] Yuichi Hirano, Asako Kimura, Fumihisa Shibata, Hideyuki Tamura, Psychophysical influence of mixed-reality visual stimulation on sense of hardness, proceedings of IEEE VR, pp.51-54, 2011