

複合現実型視覚刺激が硬さ知覚に与える影響

平野 有一 木村 朝子 柴田 史久 田村 秀行

Psychophysical Influence on Sense of Hardness by Mixed-Reality Visual Stimulation

Yuichi Hirano, Asako Kimura, Fumihisa Shibata, and Hideyuki Tamura

Abstract - In mixed reality (MR) environment, a touchable object can be changed its appearance by superimposing a computer generated image (MR visual stimulation) onto it. We have investigated that MR visual stimulation causes the different tactual impression from a real object. In this paper, we focus on the “hardness” as one tactual impression, and study the effects of MR visual stimulation on sense of hardness with some experiments. As the results of the experiments, when MR visual stimulation with different hardness is superimposed onto the real objects, it is perceived different hardness.

Keywords: Mixed Reality, Psychophysical Influence, Sense of Hardness

1. はじめに

我々は、複合現実 (Mixed Reality; MR) 環境における実物体の外観の変化 (MR 型視覚刺激) が、触印象に与える影響を系統的に実験し、客観的な知覚を得ることを目指している。家崎ら[1]は、実物体に同じ材質・異なる表面粗さの CG テクスチャを重畳描画し、それをなぞった場合の触知覚への影響について調査した。そして粗さの同じ実物体でも、重畳描画する CG の視覚的な粗さを変更すると触覚に差があるように感じる場合があることを示した。また柚田ら[2]は、同一の実物体に容積一定で形状のみ異なる仮想物体を MR 型視覚刺激として重畳描画し、それらの実物体を振り比べると、重心知覚が視覚 (仮想物体の重心位置) に引きずられるという現象を発見した。このように、実物体に MR 型視覚刺激を重畳描画することで、実物体とは異なる触力覚感が知覚される場合がある。

本稿では、次なる試みとして、MR 型視覚刺激による外観の変化が硬さ知覚に与える影響について実験を行った。その結果、興味深い結果が得られたので、本稿にて報告する。

2. MR 型視覚刺激と硬さ知覚

人が物の硬さを知覚する際、触れている部分の触感だけでなく、視覚から得られる情報にも大きく影響を受けることが知られている[3][4]。それでは、実物体に、MR 型視覚刺激として同形状の仮想物体を重畳描画し、実物体を指で押し込むと、仮想物体が凹む CG を提示する場合を想定する。その際、凹みの大きさを実物体のそれよりも大きく、または小さく表示すると、人の硬さに対する印象は変化するだろうか。

視覚情報を変更することによる硬さ知覚への影響に関しては、大西ら[5]が、液晶モニタと触力覚提示装置 PHANToM を用いて、視覚情報が触力覚情報に対して遅延した場合について研究している。この研究では、視覚情報が遅延して提示されると、液晶モニタに映し出された仮想球の押し込みに要する時間が長くなり、それにより弾性が強いと知覚され、硬く感じるとしている。また Knorlein ら[6]の研究では、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) と PHANToM を用い、MR 環境下で視覚情報が触力覚情報に対して遅延した場合に起こる、硬さ知覚への影響について実験を行っている。この研究でも、視覚情報を遅延させることで、遅延なしの場合よりも硬く感じるとしている。

これらの研究は、触力覚提示装置の性能向上を目的としているため、実験では触力覚提示装置を利用している。これに対し、本研究では触力覚提示装置を用いず、視覚情報の改変のみで硬さ知覚に影響を与えるかを確認する。

3. 実験準備

3.1 実験目的

本研究では、MR 型視覚刺激により、硬さ知覚におけるある種の錯覚現象が起こるのか、そしてどのような条件下でこの現象が起こるのかを確認するために、2 種類の基礎的な実験を行う。実験 1 では、1 種類の実物体に対して異なる MR 型視覚刺激を提示し、硬さ知覚に影響を及ぼすかどうかを確認する。実験 2 では、様々な硬さの実物体を配置し、実物体の硬さが異なる場合でも MR 型視覚刺激が硬さ知覚に影響を与えるかを確認する。

3.2 実験対象

実験対象には、形状が単純で、様々な硬さが存在するという理由から、ウレタンフォームを採用した。実験では株式会社 INOAC 製のウレタンフォームを用いる。ウレタンフォームのサイズは、幅 210 mm×奥行 105 mm

×高さ 50 mm である。実験で使用するウレタンフォームには硬さの異なる 4 種類を選択した。それぞれの硬さを調べるため、底面積 35.4cm²、重さ 2.2kg の円柱状の錘を乗せて沈み量を計測した結果を表 1 に示す。

3.3 実験環境

実験で用いるシステムの構成を図 1 に示す。本実験では、ビデオスルー型 HMD を用いた MR システムを用いる。仮想物体の現実世界への重畳描画は、3 次元映像生成兼複合現実空間管理用 PC により行う。被験者は 2 台のビデオカメラが内蔵された Canon 社製 HMD VH-2002 を装着することで、眼前の画像に仮想物体が重畳描画されたステレオ画像を見ることができる。すなわち、MR 空間を両眼立体視しながら観察することが可能である。被験者の頭部の位置姿勢情報検出には Polhemus 社製磁気センサ 3SPACE FASTRAK を使用する。実験対象となる実物体の位置・姿勢は事前に計測しておくものとする。

また、MR 空間を構築する際、現実世界からキャプチャした画像に仮想物体 (CG) を単純に重畳描画したのでは、仮想物体が常に実物体の手前に描かれる。そのため、重畳描画の対象である実物体だけでなく、自分の手など対象外の実物体も仮想物体によって覆われてしまうというオクルージョン問題が生じ、物体を触っているという感覚が得にくくなる。そこで、ビデオスルー方式であることを利用して、キャプチャ画像から肌色抽出を行い、その領域を実時間でマスキングすることで、手領域に仮想物体が重畳描画されないようにしている (図 2)。

本実験では、被験者が指で押し込む量に応じて、仮想物体が凹む CG を提示する。そのため、実物体の押し込み量を数値として取得する必要がある。ここでは、浅草ギ研製の曲げセンサ AS-BEND を実物体に装着し、曲げセンサから得られる電圧値をもとに押し込み量を求める。この電圧値の取得には、A/D コンバータ付のサーボモータコントロールボード (共立電子産業株式会社 RBIO-6A) を使用する。曲げセンサは、ウレタンフォームの表面中央部に固定し、体験者が常に同じ位置を押し込むよう、曲げセンサの中央に当たる部位に白い印をつけている (図 3)。また、デバイス制御用 PC にはパナソニック製 Let'sNoteR5 を用いる。

4. 実験 1

4.1 実験内容

実験 1 では、実物体として 1 種類のウレタンフォーム (硬さ#3) を配置し、これを押し込んだとき、重畳描画されている仮想物体の凹み量が、実物体の凹み量よりも大きい、小さい、同程度の 3 種類の変形を行う。同じ実物体にも関わらず、実際よりも凹んだ、または凹まない CG が提示された場合に、人が対象をより硬く、または軟らかく感じるかどうかを確認する。

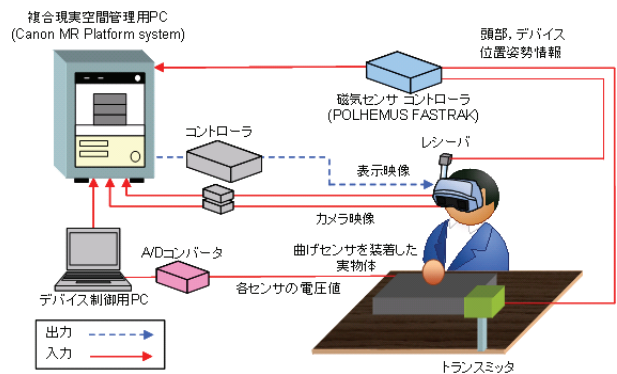


図 1 システム構成

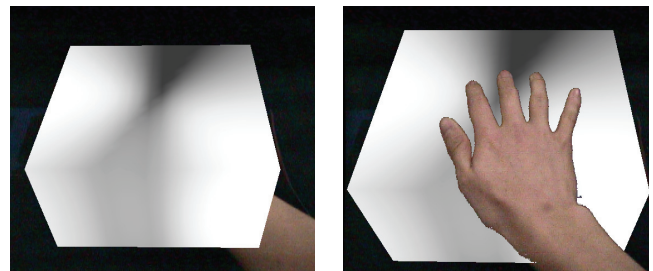


図 2 手領域の抽出 (左: 適応前 右: 適応後)

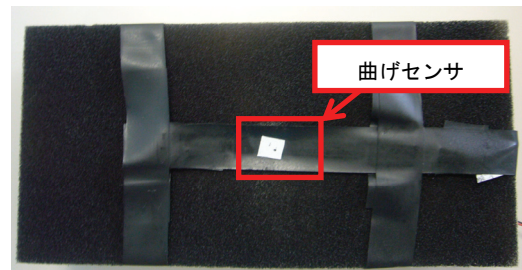


図 3 実験で使ったウレタンフォームの外観

表 1 実験で使ったウレタンフォームの種類

ウレタンフォームの種類	密度	錘の沈み量
硬さ#1	16±1.5kg/ m ³	2.6cm
硬さ#3	21±2.0kg/ m ³	1.7cm
硬さ#4	35±3.0kg/ m ³	1.3cm
硬さ#5	40±4.0kg/ m ³	0.2cm

実験では、机の上にウレタンフォームを 1 個置き、その位置に同形状の仮想物体を重畳描画する (図 4)。被験者には、中指でウレタンフォームの所定の場所を押し込むよう指示する。実物体が押し込まれると、仮想物体の押し込まれた位置に対応する部分が凹み、その周りが反り上がる。この際、以下のように凹み量が異なる CG を 3 種類用意する。

- (a) 凹み量小: 最大で 10 mm 凹む (図 5 (a))
- (b) 凹み量中: 最大で 20 mm 凹む (図 5 (b))
- (c) 凹み量大: 最大で 40 mm 凹む (図 5 (c))

被験者は学生 5 名 (男性 4 名, 女性 1 名) で、実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者には、前述の 3 種類の変形パターンの内 2 種類を提示し、それらを交互に、本人が納得するまで繰り返す。



図 4 実験風景

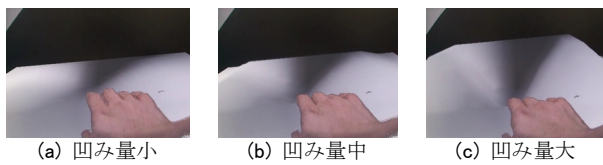


図 5 重畳描画する仮想物体の変形パターン

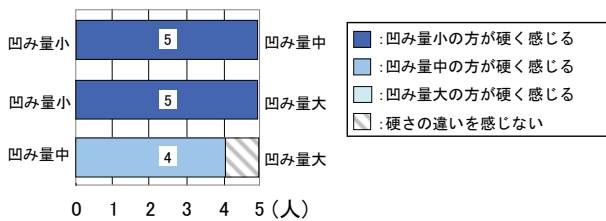


図 6 実験 1 の結果

返し体験させる

- (2) それぞれの硬さを比較し、2つのどちらかをより硬く感じた、または硬さの違いを感じなかった、の3択で回答させる
- (3) 残る組合せについても、同様に (1)(2) を繰り返す
- (4) 実験後、気づいたことや感想などコメントを聴取する
なお、ウレタンフォームのような弾性物体は、強く押し込むほど反発力が大きくなり、硬く感じるという特性がある。そのため、試行毎に押し込み量が一定でなければ、押し込み量が硬さ知覚に影響を及ぼす恐れがある。この問題を防ぐために、本実験ではある深さまで押し込むとビープ音が提示されるようにした。被験者にはビープ音になるまで押し込み、ビープ音が鳴ったら押すのをやめるように事前に指示した。

4.2 結果と考察

実験結果を図 6 に示す。全ての組合せで、実際には同じ硬さの実物体であるにもかかわらず、仮想物体の凹み量が小さいものほど硬く感じる傾向が見られた。特に凹み量小と中、小と大を比べた場合には、全ての被験者が仮想物体の凹みが小さい方をより硬いと感じていた。実験後に聴取したコメントでは、「同じ物体とわかっていても硬さの違いを感じた」や「大きな違いではないが、少し硬さの違いを感じる」という意見が多く得られた。また、少数ではあるが「大きく違いを感じる」という意見も得られた。以上のことから、実物体が同じであって

も、重畳描画した仮想物体の凹み量が大きいと、実際よりも柔らかいように錯覚することが確認された。

また、「仮想物体の凹み量が大きければ大きいほど柔らかく感じた」というコメントがある一方で、「凹み量が大きすぎると違和感を覚え、柔らかく感じにくかった」というコメントもあった。

5. 実験 2

5.1 実験内容

実験 2 では、硬さが異なる場合でも実験 1 の錯覚現象が発生するかを確認するため、硬さ #1, #4, #5 の 3 種類のウレタンフォームを用いて同様の実験を行う。仮想物体の変形パターンは、実験 1 と同じ 3 種類 (図 5) を提示する。また、ウレタンフォームの位置と仮想物体の提示位置も実験 1 と同様とする。被験者は学生 15 名 (男性 11 名、女性 4 名) で、実験 1 の被験者とは重複しない。

それぞれの硬さのウレタンフォームについて、以下の手順で実験を行う。

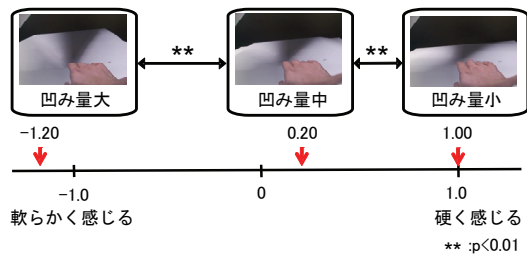
- (1) 前述の 3 種類の変形パターンの内 2 種類を (順序の違いを考慮した全 6 組から) 選択する
- (2) 被験者に 1 つ目の変形パターンを提示し、ウレタンフォームを押し込ませる (実験 1 同様、被験者にはビープ音になるまで実物体を押し込み、ビープ音が鳴ったところで押し込みをやめるよう指示した)
- (3) 次に 2 つ目の変形パターンを提示し、押し込ませる
- (4) 1 つ目に対し、2 つ目の硬さをどう感じたかを -3 (柔らかい) ~ +3 (硬い) の 7 段階で回答させる (被験者が回答できるまで、2 つを交互に提示する)
- (5) 同様に、残り 5 組の組合せについて (1)~(4) を繰り返す
- (6) 全てのウレタンフォームの実験が終わった後、気づいたことや感想などのコメントを聴取する

ただし、1 つ目のウレタンフォームで実験を行った後、すぐに次の硬さのウレタンフォームを用いた実験を行うと、前の実験での印象が次の実験に影響する恐れがあるため、それぞれのウレタンフォームを使った実験は、1 日以上時間を空けて実施した。

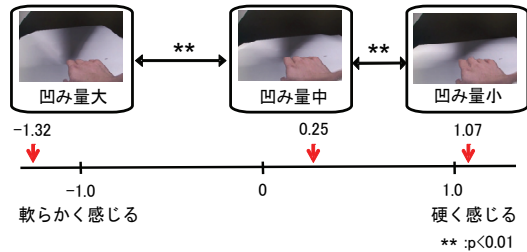
この実験手順はシェッフェの一对比較法に基づいており、結果は同手法の計算式により硬さの心理尺度として求められる。実物体の硬さが異なる場合でも、MR 型視覚刺激が硬さ知覚に何らかの影響を及ぼすのであれば、硬さの心理尺度に偏りがあるはずである。

5.2 結果と考察

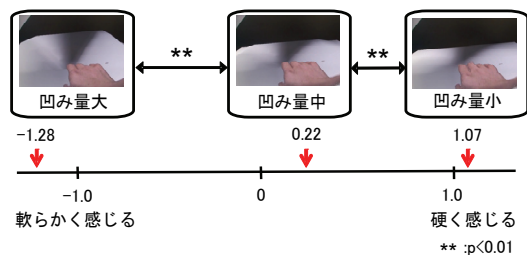
実験結果を図 7 に示す。図中の数直線は、求められた硬さの心理尺度を示しており、数直線上に記された数値は、その上に描かれた仮想物体の変形パターンを提示した際に、対象をどれだけ硬く感じたかを数値化したものである。数値が大きいほど被験者は物体を硬く感じ、数値が小さいほど柔らかく感じたことを示している。



(a) 硬さ#1 のウレタンフォームの場合



(b) 硬さ#4 のウレタンフォームの場合



(c) 硬さ#5 のウレタンフォームの場合

図7 実験2の結果

実験結果より以下の4つのことがわかる。

- (1) 3種類のウレタンフォーム全てにおいて、変形パターン毎の心理尺度に有意水準1%の有意差がある
- (2) 3種類のウレタンフォーム全てにおいて、仮想物体の凹み量が大きいものほど柔らかく感じている
- (3) どの硬さの実物体であっても、同様の硬さ知覚の傾向が見られる
- (4) 3種類のウレタンフォーム全てにおいて、凹み量小と中の間よりも、中と大の間の距離の方が大きく離れている

(1) より、これまでの実験と同様、MR型視覚刺激は硬さ知覚に影響を与えることがわかる。また、1%の有意差があることから、ほぼ全ての被験者がMR型視覚刺激の影響を受けたことがわかる。

(2)(3) の結果や、被験者の「実物体の硬さの違いはあまり感じなかった」「仮想物体の凹み量の差が大きいほど硬さの違いを感じやすい」「同じ実物体を触っていると分かっているにもかかわらず硬さが変わったように感じてしまう」などのコメントから、硬さ知覚における視覚の影響は大きく、今回使用したウレタンフォームでは、MR型視覚刺激における硬さ知覚に、実物体の硬さの違いがほとんど影響を与えなかった。

(4) や「凹みが極端に変化する方が硬さの違いを感じやすかった」などのコメントより、仮想物体の凹み量の差が、硬さ知覚に大きく影響を与えることがわかった。

また、被験者ごとに影響の大小はあるものの、凹みが大きい仮想物体を重畳描画したものを硬く感じる被験者や凹みが小さい仮想物体を重畳描画したものを柔らかく感じる被験者は1人もいなかった。

6. むすび

我々はMR環境における実物体の外観の変化が、触覚に与える影響について調査を行ってきた。本研究では、数ある触力覚感の中でも硬さ知覚に焦点を当て、実物体に仮想物体を重畳描画するMR型視覚刺激が、硬さ知覚に与える影響について、基礎的な実験を行った。具体的には、様々な硬さのウレタンフォームに対して、これを押し込むと、重畳描画された仮想物体が凹むCGを提示する。実験では、この凹み量を変えることで、実際よりも硬く／柔らかく錯覚されることを確認した。

今後は、押し込むことのできない硬い物体に対しても同様の結果が与えられるのか、また柔らかい実物体に凹み量の小さい仮想物体を、硬い実物体に凹み量の大きい仮想物体を重畳描画した場合に、どちらが硬く／柔らかく感じるかについても研究を行う予定である。

参考文献

- [1] 家崎明子, 柚田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行, “複合現実型視覚刺激による蝕印象への影響”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 129 - 139, 2008.
- [2] 柚田明弘, 溝口晃太, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行, “複合現実型視覚刺激が重心知覚に与える影響”, 第71回情報処理学会全国大会講演論文集, pp. 115 - 116, 2009.
- [3] 佐々木博, 藤田欣也, “力覚提示装置を用いた硬さ提示における視覚情報の寄与と改変効果に関する実験的検討”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 5, No. 1, pp. 795 - 802, 2000.
- [4] 立藪真理, 佐藤克成, 黒木忍, 南澤孝太, 川上直樹, 舘暲: “硬さ識別における pseudo-haptic の影響”, 日本バーチャルリアリティ学会第14回大会論文抄録集, 3B1 - 1, 2009.
- [5] 大西仁, 林大作, 中村直人, 望月要, “力覚ディスプレイの出力遅延と視覚情報が弾性力知覚に与える影響”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 106, No. 610, pp. 37 - 41, 2006.
- [6] B. Knorlein, M. D. Luca, and M. Harders, “Influence of visual and haptic delays on stiffness perception in augmented reality,” *Proc. of the 2009 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 49 - 52, 2009.