

複合現実型視覚刺激による触印象への影響 (1)

研究構想と基礎実験

Psychophysical Influence on Tactual Impression by Mixed-Reality Visual Stimulation (1) - Key Research Concept and Fundamental Experiments -

家崎明子¹⁾, 杣田明弘¹⁾, 木村朝子²⁾, 柴田史久¹⁾, 田村秀行¹⁾

Akiko IESAKI, Akihiro SOMADA, Asako KIMURA, Fumihisa SHIBATA and Hideyuki TAMURA

1) 立命館大学 大学院理工学研究科

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

2) 独立行政法人 科学技術振興機構 さきがけ

(〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8)

Abstract: In mixed reality (MR), a touchable object can be changed its appearance by superimposing a computer generated image onto it. It has been indicated that MR visual stimulation causes the different tactual impression from a real object. In this paper, we focus on “roughness” as one tactual impression, and study the psychophysical influence on tactual impression by MR visual stimulation. Firstly, we describe the key research concept, and then show the fundamental experiments where MR visual stimulation is superimposed onto the real objects in same material and with different roughness. As the results of the experiments, it becomes clear that the visually rougher object is tactually perceived as rougher.

Key Words: *Mixed Reality, Tactual Impression, Psychophysical Influence, Digital Manufacturing*

1. はじめに

現実世界と仮想世界を違和感なく融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術[1]は、これまで、現実世界と仮想世界の視覚的な融合を中心に研究が行われてきた。そのため、視覚以外の諸感覚の「複合現実」の研究は、聴覚ではいくつか例があるものの[2]、触覚についてはほとんど着手されてこなかった。

しかし、MR 技術には、実在する物体に同形状の CG を重畳描画することで、実物体を触知しながら、その外観を変更したり、テクスチャマッピングにより材質を変更することができるという特徴があり[3]、触覚を有効活用することで、その表現力は大いに向上すると期待される。また、人は身辺情報の多くを視覚から取得しているとされており、様々な文献で視覚刺激が触覚に影響を与える可能性が示唆されている[4][5]。

そこで本研究では、MR 技術を用いて、実物体の表面に仮想画像を重畳表示した場合に、視覚刺激が触覚にどのような影響を与えるのかを調査する。以後、本稿では MR 技術により重畳描画する視覚刺激のことを MR 型視覚刺激、この際テクスチャマッピングで利用する画像を CG テクスチャと呼ぶ。触覚刺激には、温度や硬さなど様々な因子が影響するが、本研究では、まず表面粗さという因子に着目し、MR 型視覚刺激が触覚に与える影響（滑らかな表面に

ざらざらした感じの映像を重ねた場合、どのように感じるのか)を調査する。本研究で扱う表面粗さとは、物体表面における凹凸の大きさや間隔によって表されるパターンを指し、一般に人が物体に触れる際に得る「ざらざら感」とする。

2. 研究構想

例えば、工業製品の製作工程では、現在デジタル・マニュファクチャリングの一環として、試作時に 3D-CAD やラピッドプロトタイプング技術 (Rapid Prototyping; RP) による形状評価が行われている。もし MR 技術により、限られた RP 物体のもと様々な材質の素材感を提示できるならば、試作工程で素材感をも含めた評価が可能となるなど、多くの場面で有用な手法になると考えられる。

過去の研究では、中原らが、実物体に、実物体と視覚的に異なる素材の MR 型視覚刺激を重畳描画することで、実物とは異なる素材であるかのように触知されるという事例を紹介している[6]。この研究結果は、実物体に対して適切な MR 型視覚刺激を提示することにより、人が触感として得る素材感を様々に変えられる可能性を示唆している。しかし、中原らの研究では、視覚刺激が触覚に与える詳細な影響については調査されていない。

実物体と MR 型視覚刺激それぞれの触覚的、視覚的な表

面粗さが類似していれば、視覚で提示する素材感が触覚からも得られると考えられる。また、1つの実物体に対し、類似する表面粗さを持つ材質は複数あると考えられる。しかし、任意の表面粗さの実物体に、様々なCGテクスチャを重畳描画したからといって、それぞれの素材感を触知させることができるとは考えにくい。

そこで、本研究では、MR型視覚刺激が触覚に与える影響、およびMR型視覚刺激による素材感提示の実現可能性を調査するために、以下の5つの実験を行う。

- A) MR型視覚刺激が触覚へ与える影響の調査
- a1) 実物体として表面粗さが既知で段階的に異なる数種類の平面状RP物体を、MR型視覚刺激として同じRP物体の表面を撮影した画像を提示する実験
 - a2) 実物体として表面粗さが異なる布・皮素材を、MR型視覚刺激としてそれらを撮影した画像を提示する実験
- B) MR型視覚刺激による素材感提示の可能性の調査
- b1) 実物体として、a1)と同じRP物体を、MR型視覚刺激として、実物体とは異なる様々な材質の素材の画像を提示する実験
 - b2) b1)の実験の実物体を曲面に展開する実験
 - b3) b2)の実験の前に、触知する実物体の用途・特徴など予備知識を与える実験
- 本稿では基礎実験として、A)の実験とその結果について報告し、B)の実験については[7]で報告する。

3. システム構成

本研究で使用するシステムの構成を図1に示す。MR空間の管理及び提示にはCanon社のMR Platform Systemを用い、体験者は同社のビデオシースルー方式HMD VH-2002(表1)を装着することでMR空間を観察する。頭部位置姿勢情報の取得には、Ascension社の3DレーザトラッカーlaserBIRDを使用する。なお、[7]で報告する実験では、頭部及び実物体の位置姿勢情報の取得にPolhemus社の磁気センサ3SPACE FASTRAKを用いる。

4. 基礎実験 1

4.1 実験目的

表面粗さが定量的に異なる数種類の実物体と、それら実物体表面を撮影して作成したCGテクスチャ、全組み合わせに対して一対比較法を行うことで、MR型視覚刺激が触覚へ与える影響の心理尺度を求める。

4.2 実験内容

まず実験対象には、RPを用いて成形した、表面粗さが段階的に異なる4種類のプラスチック板(15×20cm)を実物体として使用する。これらはすべて、同じナイロン樹脂粉末を用いて成形されている。プラスチック板の表面粗さは、平面上に等間隔に逆円錐状の窪みを配置した後、その表面を一定量ずつカットすることで変化させている(図2)。提示するMR視覚刺激は、これら実物体の表面をカメラ撮影して得た画像を、実物体と同形状のCGモデルにテ

クスチャマッピングして作成する。本章では実物体およびCGテクスチャを、それぞれ表面粗さの粗い順にRough 1からRough 4、CG 1からCG 4と呼ぶ。なお、実物体に対しては触覚のみ、CGテクスチャに対しては視覚のみで、事前に被験者による表面粗さの比較実験を行い、触覚及び視覚的な表面粗さの順位が正しく知覚されていることを確認している。

実験では、HMDを装着した被験者の眼前に、同じ表面粗さの実物体を2つ左右に並べ、それぞれに異なるCGテクスチャを重畳描画する(図3)。被験者は、HMD越しにCGテクスチャを見ながら実物体に触れ、どちらの物体の触感をより粗く感じるか回答する。MR型視覚刺激によって触印象が影響を受けるならば、一対比較の結果に偏りが

表1 VH-2002の仕様

視野角	水平方向 51度 / 垂直方向 37度
重量	325 g
表示解像度	VGA (640×480 画素)
画像信号	NTSC

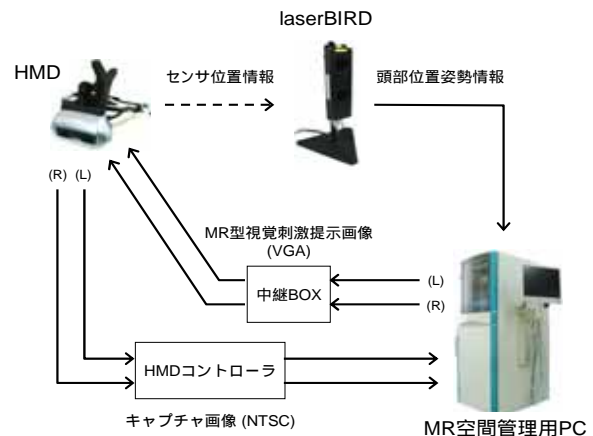


図1 システム構成

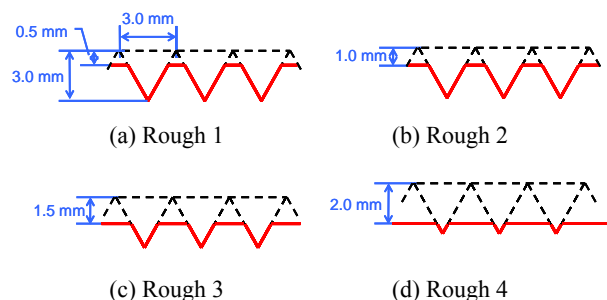


図2 プラスチック板の表面粗さ (実線部分が実物体表面を表す)



(a) 実物体 (b) CGテクスチャ

図3 CGテクスチャの実物体への重畳描画

見られるはずである。

実験条件として、物体の重さなど、粗さ以外の要因をできるだけ排除するため、実物体は机上に固定し、実験前に、実物体上面を撫でるようにして触わるよう被験者に指示した。また、一般にビデオスルー方式のHMDを利用する場合、CGが現実世界の物体より常に手前に描画されるため、物体に触れている手がCGに隠蔽されて体験者から見えないという現象が起こる。そこで、本研究では、HMD内蔵ビデオカメラより取得した画像から実時間で手領域を抽出し、マスク処理を行うことで、手の領域にCGが描画されない（手がCGに隠蔽されない）ようにした。

4.3 実験手順

全ての実物体に対し、被験者ごとに以下の手順で行う。被験者は、大学生13名である。

- (1) HMDを装着した被験者の眼前に、同じ表面粗さの2枚のプラスチック板を配置する
- (2) (1)のプラスチック板と同じ材質のCGテクスチャ4種類から無作為に選択した2種類を提示する(図4)
- (3) 被験者はそれぞれのプラスチック板に触れ「どちらがざらざらしているか」回答する
回答の際にコメントがあれば適宜聴取する
- (4) CGテクスチャを無作為に入れ替え、全ての組合せを提示し終わるまで(1)から(3)を繰り返す
- (5) サーストンの一対比較法を用いて、同じ表面粗さの実物体に対して異なる表面粗さのCGテクスチャを提示した場合の心理尺度を求める

4.4 結果と考察

実験結果を図5に示す。図中の数直線は、触知された表

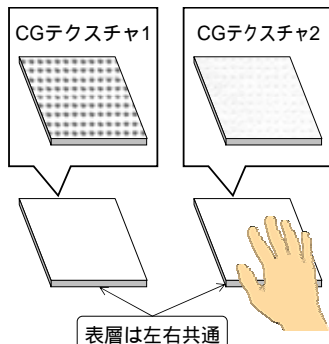


図4 実験方法

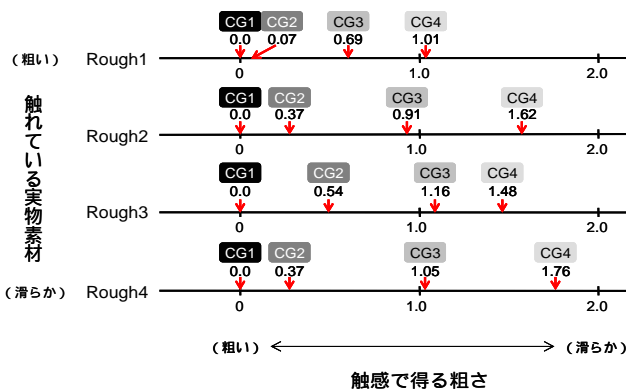


図5 基礎実験1の結果

面粗さの程度を実物体ごとに表している。値が小さくなるほど粗く、大きくなるほど滑らかに感じることを示す。数直線上に矢印で示した数値は、各CGテクスチャの結果である。これらの数値の間隔が0に近いと粗さの触印象に差がなく、大きいと明確な差があることを示している。ただし、図5の4つの数直線は、表記の便宜上CG1を重畳描画した際に触知された粗さを0として描いており、それぞれの数直線は相互に独立している。よって、直線上の値が同じでも触知された粗さの程度は実物体ごとに異なる。

さて、図中Rough1の結果に着目すると、CG1、CG2間の距離は0.07で、実物体Rough1にCG1とCG2を重畳描画した場合、同程度の表面粗さとして触知されることがわかる。一方、CG2、CG3間の距離は0.62であり、CG2、CG3を重畳描画した場合では、違う表面粗さとして触知されること、CG2がより粗く触知されることがわかる。Rough3の結果に着目すると、各CGテクスチャがほぼ等間隔に並んでいる。これは、実物体Rough3に対してCG1~CG4を重ねた場合、CGテクスチャが視覚的に粗くなるにつれ、触印象も段階的に、同程度の差で粗く感じることを意味している。また、全ての実物体で、重畳描画するCGテクスチャの視覚的な粗さと、粗さの触印象の順序関係が入れ替わることはなかった。

表面粗さが同じ2つの実物体に異なるCGテクスチャを重畳描画する場合、個人差はあるものの総じて次のような傾向が見られた。

- (1) MR型視覚刺激が変わると触印象も変化する
- (2) 視覚的に粗いと感じる方を、触覚でも粗いと感じる

以上より、触印象がMR型視覚刺激によって影響を受けることがわかった。

また、実物体Rough4に対して各CGテクスチャを提示した際、回答までに時間を要したり、「粗さの違いがわかりにくい」とコメントをした被験者が多く見られた。これより、人の触覚は粗い実物体に対してMR型視覚刺激の影響を受けやすく、滑らかな実物体に対してはMR型視覚刺激の影響を受けにくいと考えられる。

5. 基礎実験2

5.1 実験目的

次に、粗さ間隔が一定でない布や合皮といった材質に対して4章と同様の実験を行う。これら2種類の材質は一般に見られる工業製品に頻繁に使用され、かつ様々な種類の素材が存在することから採用した。

5.2 実験内容

布・合皮の素材は市販されているものから視覚的・触覚的に表面粗さの異なるものをそれぞれ4種類ずつ選択し(図6)、これらを材質が同じ平面板(15×20cm)に貼り付けたものを実物体とする。CGテクスチャは、基礎実験1同様、実物体表面を撮影した画像を用意し、実物体と同形状のCGモデルにテクスチャマッピングする。このとき、布には布らしいマット感を、合皮には合皮らしい光沢感を

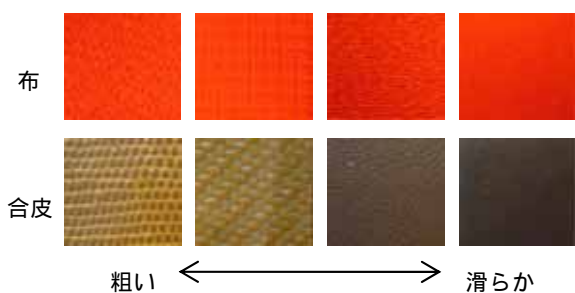


図6 選択した素材

持たせる。

本章では、各材質について、実物体およびCGテクスチャをそれぞれ表面粗さの粗い順に、Rough 1 から Rough 4、CG 1 から CG 4 と呼ぶ。なお、実物体に対しては触覚のみ、CG テクスチャに対しては視覚のみで、事前に被験者による表面粗さの比較実験を行い、触覚及び視覚的な表面粗さの順位が正しく知覚されていることを確認している。

同じ表面粗さの実物体を2つ左右に並べ、それぞれに異なるCGテクスチャを重畳描画し、サーストンの一対比較を行うことで表面粗さに対する心理尺度を求める。物体の材質に関わらずMR型視覚刺激が触印象に影響を与えると仮定するならば、基礎実験1同様、各実物体の一対比較の結果に偏りが見られるはずである。

5.3 実験手順

被験者及び材質ごとに基礎実験1同様の手順で行う。被験者は、大学生13名である。

5.4 結果と考察

布について行った実験結果を図7(a)に、合皮について行った実験結果を図7(b)に示す。図の見方は基礎実験1同様で、各数直線は触知された表面粗さの程度を実物体ごとに表している。心理尺度の現れ方は異なるものの、基礎実験1同様、MR型視覚刺激が変わると触印象も変化する、視覚的に粗いと感じる方を、触覚でも粗いと感じるという傾向が見られ、人は表面粗さの間隔が一定、均一でない素材についてもMR型視覚刺激によって触印象に影響を受けることがわかった。

また、布・合皮共に最も滑らかな表層の物体に粗さの異なるCGテクスチャを提示した場合に、被験者から「粗さの違いを感じない」というコメントが多く聞かれた。これは基礎実験1よりも顕著であった。RPで成形したプラスチック板と異なり、本実験で用いた素材は、素材間で物体表面の凹凸の大きさや肌理の細かさに規則性があるわけではない。このため、本実験では視覚的な粗さと触覚的な粗さの関連付けがより困難になったと考えられる。

6. むすび

本稿では、まず本研究の研究構想について述べた。また、基礎実験として、実物体にそれと同じ材質・異なる粗さのMR型視覚刺激を重畳描画した場合について、触印象への影響を調べる実験を行った。実験の結果、表面粗さの触印象は、提示されるMR型視覚刺激に引っ張られ、同じ粗さ

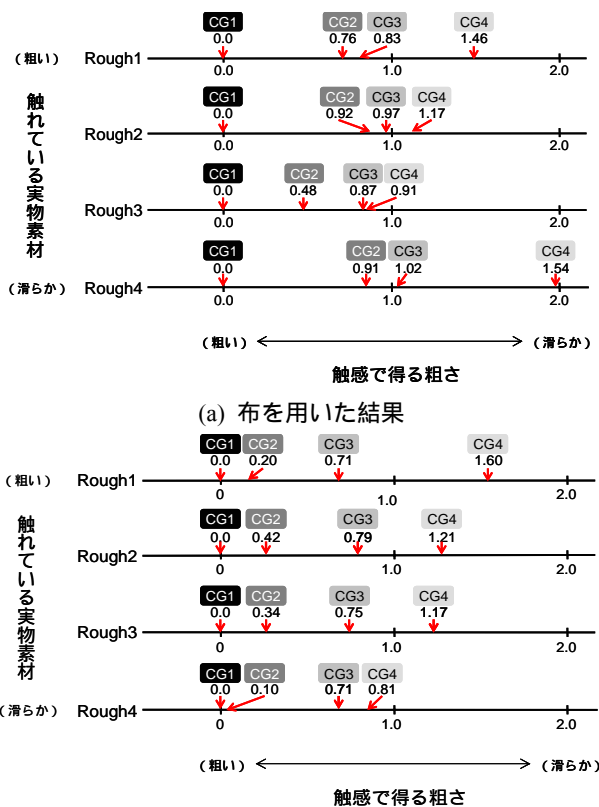


図7 基礎実験2の結果

の実物体に触れていても、視覚的に粗いMR型視覚刺激が重畳描画されていると、より粗い触感として知覚されることがわかった。

謝辞：本研究の一部は、科研費・基盤研究A「三感融合型複合現実空間の構成法に関する研究」による。

参考文献

- [1] 田村秀行, 他, “複合現実感”, 映像情報メディア論文誌, Vol. 52, No. 3, pp. 206 - 207, 1997
- [2] 比嘉恭太, 他, “視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発(1) - 視覚的MRと聴覚的MRの同時提示の実現 -”, 日本VR学会第11回大会論文集, pp. 285 - 288, 2006
- [3] 大島登志一, 他, “実態触知機能を重視した複合現実感システム 自動車インテリア・デザイン検証への応用”, 日本VR学会論文誌, Vol. 9, No. 1, pp. 79 - 87, 2004.
- [4] J. Kim, et al, “Visual touch in virtual environments: an exploratory study of presence, multimodal interfaces, and cross-modal sensory illusions,” Presence, Vol. 10, No. 3, pp. 247 - 265, 2001
- [5] W. J. Adams, et al, “Adaptation to 3D distortions in human vision,” Nature Neuroscience, Vol. 4, No. 4, pp. 1063 - 1064, 2001
- [6] 中原守男, 他, “複合現実感における視触覚融合による素材感呈示”, 電子情報通信学会総合大会, p. 157, 2006
- [7] 杉田明弘, 他, “複合現実型視覚刺激による触印象への影響 (2) - 素材感の提示と曲面物体への展開 -”, 本大会, 2007