

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300050

研究課題名(和文)複合現実型視覚刺激が及ぼす触印象に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Psychophysical Influence on Tactual Impression by Mixed-Reality Visual and Audio Stimulation

研究代表者

木村 朝子 (Kimura, Asako)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：20324832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円

研究成果の概要(和文)：視覚的な複合現実感(Mixed Reality: MR)技術を利用し、物体の表面に実際の物体の外観とは異なるCG画像を重畳描画することで、触力覚にどのような影響を及ぼすのか研究を行った。具体的には、研究代表者らが発見した、「Shape-COG Illusion」および「Dent-Softness Illusion」という、視覚刺激が触力覚感覚に影響を与える錯覚現象について、どのような条件下で発生するのかや、これらの現象の絶対閾・弁別閾などを実験により明した。

研究成果の概要(英文)：Mixed reality (MR) is the technology which merges real and virtual worlds in real-time. In MR space, a real object can be changed its visual appearance by superimposing a CG image (CGI) on it. In this research, we have studied "Shape-COG Illusion" and "Dent-Softness Illusion" which we discovered. These illusions are developed by psychophysical influence on sense of center-of-gravity (COG) or hardness of a real object which is superimposed by a computer generated image (CGI). In this study, we confirmed the conditions, absolute thresholds, and difference threshold which create these illusions.

研究分野：ヒューマンインタフェース，複合現実感

キーワード：複合現実感 重心位置 硬さ 視覚 触覚

1. 研究開始当初の背景

現実世界と仮想世界を融合する「複合現実感 (Mixed Reality; MR)」は、人工現実感 (Virtual Reality; VR) の発展形であるが、(狭義の) VR にはない特性をもった新しい情報提示技術として注目を集めつつある。医療・福祉、建築、防災、教育、芸術・娯楽等の様々な応用分野で威力を発揮する一方、こうした情報提示を受ける体験者の反応は、知覚心理学やヒューマンインタフェース研究にとっても興味深い研究対象となっている。

その半面、VR 分野では早くから視覚提示に加え、仮想世界の情報を聴覚・触覚提示することが試みられてきたが、これまで MR 研究開発の大半は現実と仮想の視覚的融合だけに留まっており、聴覚や触覚の「複合現実」はほとんど着手されていなかった。そこで、これまでに我々は、積極的に「聴覚」「触覚」を加えた「三感」での複合現実空間の構築を目指し、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」(平成 17～20 年度; 研究代表者: 田村秀行) を推進してきた。

その中で我々は、「触知できる実物体に仮想映像を重畳表示した場合の視覚・触覚の補完機構」について研究を行った。具体的には、視覚的な MR を利用し、物体の表面に実際の物体の外観とは異なる CG 画像を重畳描画する(以下、MR 型視覚刺激と呼ぶ)(図 1) ことによって、触覚にどのような影響を及ぼすか系統的な実験を行い、事前に立てた仮説がいかなる場合に成立するかを分析・検証するという研究である。研究期間の大半は表面粗さの知覚に関する研究実験を行い、一定の科学的研究成果を得た。そこで最終年度(平成 20 年度)は、当初予定になかった「MR 型視覚刺激による重心知覚への影響」を研究したところ、予想を上回る顕著な錯覚現象が見られた。

これは、実在する物体を手を持ち、それを振った際に感じる重心 (Center of Gravity; COG) 位置に関するものである。MR 空間において実物体とは明らかに形状が異なる CG 画像を重畳描画することで(図 2)、重心知覚に影響を及ぼすかを実験した結果、同一の質量・重心位置の実物体であるにも関わらず、重心位置が異なる CG 画像を重畳描画したとき、力覚的に重心位置が異なって知覚されることを確認した。限られた条件下での実験であったが、非常に高い確率で錯覚が起こることが判明したため、この現象を「Shape-COG Illusion」と命名した。

上記基盤研究 (A) 終了後、さらに「MR 型視覚刺激による硬さ知覚への影響」に関する研究に着手、同じ硬さの実物体に、へこみ方の異なるアニメーションを重畳描画したと

ころ、こちらも高い確率で錯覚現象が起こる可能性が示唆され、これを「Dent-Softness Illusion」と命名した。

これらの現象は、既に知られている「Size-Weight Illusion」(重さ知覚の錯覚現象) に匹敵する錯覚現象である可能性が高い。本研究は、前研究を発展させ、「Shape-COG Illusion」および「Dent-Softness Illusion」がどのような条件下で発生するのか、より一般的な環境・条件下で起こり得るものかを解明しようとするものである。



図 1 MR 型視覚刺激の提示
(実物体を触知しながら、重畳描画する CG 映像を変え、触感への影響を分析した)



図 2 Shape-COG Illusion
(重畳表示した CG 物体の形状により、同じ実物体でも重心位置が異って感じる錯覚)

2. 研究の目的

本研究では、「Shape-COG Illusion」および「Dent-Softness Illusion」がどのような条件下で起こるのかや、これらの現象の絶対閾・弁別閾を実験により明らかにすることを目的とする。また、同現象が複合現実環境特有の現象であるのか、実世界や VR 環境でも同様の現象が発生するのについても解明する。

3. 研究の方法

本研究では、以下のように研究項目を設定し研究を進めた。

(1) 「Shape-COG Illusion」に関する研究

実験システムの再検討と再構築：下記実験に向けて、実験システムの再検討・再構築を行った。

MR 環境下で錯覚現象が発生する条件の検証：MR 環境下で「Shape-COG Illusion」に影響すると考えられる要因(実物体の質量・重心位置、仮想物体の見た目の重心位置、持ち手の位置など)をそれぞれ変更した場合に、この錯覚現象が発生するのを確認した。また、対象の大きさ(容積)を変えた場合にも発生するかの確認実験もを行い、「Size-Weight Illusion」と「Shape-COG Illusion」が両立

するのか等の関係性を確認した。

実世界・VR 環境下での検証:「Size-Weight Illusion」は実物体(実世界)にも仮想物体(VR 環境)にも起こる錯覚現象であるのに対して、申請者が観察した「Shape-COG Illusion」は MR 空間特有の現象なのか、ヘッドマウント・ディスプレイ(HMD)を使用しない実世界や、実世界を見せない VR 環境下でも同じ現象が起こるのか、起こり得るならどのような条件が必要かを検証した。

錯覚現象の発生メカニズムの検証:人は対象を見ることで、対象への触り方、対象の動かし方そのものを無意識に変化させている。そこで、「Shape-COG Illusion」が起こる場合、起こらない場合で、人がどのように腕を動かしているのかを計測し、物体の振り方に違いがあるか確認した。

(2)「Dent-Softness Illusion」に関する研究

実験システムの再検討と再構築:下記実験に向けて、実験システムの再検討・再構築を行った。

MR 環境下で錯覚現象が発生する条件の検証:(A-2) 同様、MR 環境下で「Dent-Softness Illusion」に影響すると考えられる要因(実物体の硬さ、仮想物体の見た目の硬さ、押し方など)をそれぞれ変更した場合に、この錯覚現象が発生するのかを検証し、その絶対閾・弁別閾を測定した。

実世界・VR 環境下での検証:「Dent-Softness Illusion」が MR 空間特有の現象なのか、実物体、仮想物体でも同じ現象が起こるのか、起こり得るならどのような条件が必要かを検証した。

錯覚現象の発生メカニズムの検証:「Dent-Softness Illusion」が起こる場合、起こらない場合それぞれで、人がどのように手・指を動かしているのかを計測し、物体の押し方、力の入れ方に違いがあるか解析した。

(3) 技術用アプリケーションの制作:各研究課題で得られた知見を多くの人に体験・理解してもらうため、上記錯覚現象を効果的に提示する技術展示発表用アプリケーションを制作し、積極的に展示を行う。

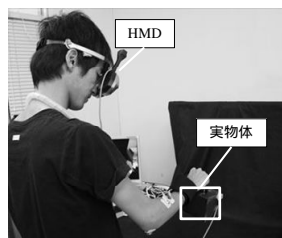
4. 研究成果

(1)「Shape-COG Illusion」に関する研究

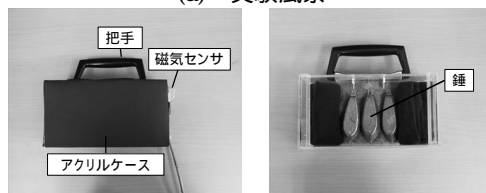
- ・同じ実物体に視覚的に重心位置の異なる CG 画像を重畳描画したとき、力覚的にも重心位置が異なって知覚されること、即ち、MR 型視覚刺激が重心知覚に影響を及ぼすことが示された。しかし、その程度は力のかかる向きと CG 画像の重心位置や把持方法によって異なる。
- ・実物体とは明らかに形状が異なる CG 画像を提示した場合でも、視覚に引きずられ、視覚に合った重心を提示することが可能であることが分かった。ただし、極端に実物体とは形状の異なる CG 画像を提示し

た場合、および力のかかる向きに CG 画像の重心が無い場合には違和感が増すという顕著な傾向が見られた。

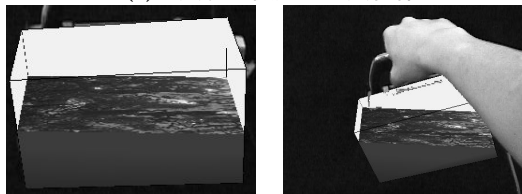
- ・MR 型視覚刺激による重心知覚への影響は、CG 画像と実物体の重心の位置が離れるほど小さくなるという傾向が見られた。また刺激間で重心位置の差が小さい範囲では、重心位置が視覚刺激と力覚刺激の重みつき和で知覚され、それ以降は力覚優位となる傾向が見られた。
- ・異種感覚を統合する場合、複数の感覚による刺激の加算となる例が知られているが、重心位置知覚に関しても、今回の実験条件下では同様の結果となった。
- ・また、同現象が起こる場合、起こらない場合それぞれで、人の手の動きを計測したが、動き自体に顕著な違いは見られなかった。
- ・当初の研究計画に加えて、Shape-COG Illusion に関する実験では、これまで対象とする実物体を剛体としていたが、研究を行う過程で、実物体およびその内部が可動の場合や、MR 型視覚刺激により実物体内部に可動部を有する CG アニメーションを提示した場合に、どのように知覚されるのかという疑問が生まれた。そこで本研究では、まず剛体の実物体に対し、物体内部の動的変化(以下、内部ダイナミクス)を想起させる仮想物体を重畳描画することで、視覚、触力覚にどのような影響を及ぼすのか、実験を行った(図3)。この際、重心位置の変化、重さなどへの影響を確認した結果、重心位置と比べ、物体の重さ知覚に顕著な影響が見られた。



(a) 実験風景



(b) 実験で使った実物体



(c) 実験で使った MR 型視覚刺激

図3 実験で使った MR 型視覚刺激

(2)「Dent-Softness Illusion」に関する研究

- ・図4のように、実際には同じであるはずの

物体の硬さをMR型視覚刺激によって異なる硬さと知覚されることが示された。また、MR型視覚刺激における凹み量の大きさが、硬さ知覚に大いに影響することが示された。

- ・MR型視覚刺激を変化させた際の硬さ知覚の弁別閾は、20～25mm程度であった。
- ・実物体の硬さが近い場合には、視覚的に硬さが逆転するようなMR型視覚刺激を提示することによって、硬さ知覚の逆転現象が起こることが示された。
- ・CGを重畳描画した実物体の方を、より硬く感じることはなかった。つまりDent-Softness Illusionは物体の硬さを実際よりも硬く思わせることが不可能で、軟らかく思わせることが可能な錯覚現象だといえる。
- ・同現象が起こる場合、起こらない場合それぞれで、人の手・指の動きを計測したが、動き自体に顕著な違いは見られなかった。
- ・また、手のひら、腕、足の3部位でもDent-Softness Illusionが発生することが分かった。
- ・また、Dent-Softness IllusionがVR環境下でも発生することを確認した。

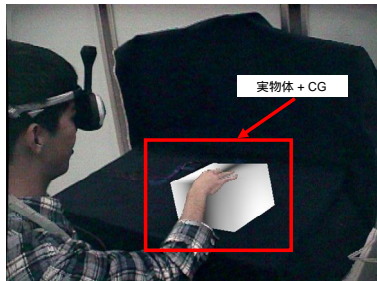


図4 Dent-Softness Illusion
(重畳表示したCG物体の硬さにより、同じ実物体でも硬さが異って感じる錯覚)

(3) 技術用アプリケーションの制作

上記錯覚現象の技術展示発表用アプリケーションを制作し、Haptics Symposium, Asia Haptics, VR学会などで展示を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計10件)

佐野洋平, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: 動的に変化する複合現実型視覚刺激が重さ知覚に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 2, pp. 255 - 264 (2014.6) 査読あり

片岡佑太, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: 複合現実型視覚提示が痛覚刺激の知覚に及ぼす影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 2, pp. 275 - 283 (2014.6) 査読あり

Ryan Arisandi, Mai Otsuki, Asako Kimura, Fumihisa Shibata, and

Hideyuki Tamura: Virtual Handcrafting: Building virtual wood models using ToolDevice, Proc. of the IEEE, Vol. 102, No.2, pp. 185 - 195 (2014.2) 査読あり

DOI: 10.1109/JPROC.2013.2294243

面迫宏樹, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: Shape-COG Illusion: 複合現実感体験時の視覚刺激による重心知覚の錯覚現象(第2報), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 2, pp. 117 - 120 (2013.6) 査読あり

[学会発表](計25件)

山田泰己, 片岡佑太, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: 錯覚現象 R-V Dynamics Illusionにおける各種刺激の影響分析～固体の運動を重畳描画した場合について～, 2015年電子情報通信学会総合大会講演, 2015年3月11日, 立命館大学(滋賀県)

Satoshi Hashiguchi, Yuta Kataoka, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura: Further Analysis of the R-V Dynamics Illusion on Sense of Weight, the 21st International Display Workshops (IDW 14), 2014年12/3～12/5, 新潟コンベンションセンター(新潟県) 査読あり

Satoshi Hashiguchi, Yuta Kataoka, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura: Experiencing R-V Dynamics Illusion in Mixed-Reality Space, Asia Haptics 2014, 2014年11/19～11/20, つくば国際会議場(茨城県) 査読あり

橋口哲志, 片岡佑太, 柴田史久, 木村朝子: R-V Dynamics Illusionの体験システム, 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2014年9月17～19日, 名古屋大学(愛知県)

片岡佑太, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: R-V Dynamics Illusion: 実物体と仮想物体の異なる運動状態によって生じる錯覚現象, 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2014年9月17日, 名古屋大学(愛知県)

Satoshi Hashiguchi, Yohei Sano, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura: R-V dynamics illusion: Psychophysical influence on sense of weight by mixed-reality visual stimulation of moving object, Human-Computer Interaction Int. 2014 (HCII 2014), 2014年6月25日, Crete, Greece, 査読あり

Satoshi Hashiguchi, Yohei Sano, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura: R-V Dynamics Illusion in Mixed Reality Space, Haptics Symposium 2014, 2014年2/24～2/26, Houston, USA, 査読あり

橋口哲志, 佐野洋平, 柴田史久, 木村朝子: 動的に変化する複合現実型視覚刺激が重さ知覚に与える影響の分析, 電子情報通信

学会 パターン認識・メディア理解研究会，
2014年1月24日，大阪大学（大阪府）
中尾仁志，木村朝子，柴田史久，田村秀行：
複合現実型視覚刺激が熱ファントムセン
セーションに与える影響に関する研究，
2013年電子情報通信学会総合大会，2013
年3月22日，岐阜大学（岐阜県）

Yohei Sano, Yuichi Hirano, Asako
Kimura, Fumihisa Shibata, and
Hideyuki Tamura: Dent-Softness
Illusion in mixed reality space: Further
experiments and considerations, IEEE
Virtual Reality 2013, 2013年3/18～3/20,
Orlando, USA, 査読あり

面迫宏樹，木村朝子，柴田史久，田村秀行：
複合現実空間における Shape-COG
Illusion 知覚の新たな知見，電子情報通信
学会 パターン認識・メディア理解研究会，
2013年1月23日，京都大学（京都府）
佐野洋平，木村朝子，柴田史久，田村秀行：
仮想物体への指挿入感提示方式の考案と
試作デバイス開発，第17回日本バーチャ
ルリアリティ学会大会 2012年9月12日，
慶應義塾大学（神奈川県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 朝子 (KIMURA, Asako)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号：20324832

(2) 研究分担者

田村 秀行 (TAMURA, Hideyuki)
立命館大学・総合科学技術研究機構・教授
研究者番号：10367998

柴田 史久 (SHIBATA, Fumihisa)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号：80314425

(3) 連携研究者

橋口 哲志 (HASHIGUCHI, Satoshi)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号：70710581