

隠消現実感技術を用いた実物体の視覚的消去による触力覚への影響

田中美帆^{†1} 大嶋佳奈^{†2} 橋口哲志^{†1} 森尚平^{†3}
木村朝子^{†1} 柴田史久^{†1} 田村秀行^{†4}

概要: 複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術は、仮想物体を現実空間に重畳描画することで、現実の触感はそのままだに外観のみを変更することができる。我々は、これを MR 型視覚刺激と呼び、視覚と触力覚間での相互作用のメカニズム解明に利用してきた。一方、MR とは全く逆に、現実空間における物体を隠蔽・消去する技術として、隠消現実感 (Diminished Reality; DR) がある。DR では、現実空間での触感はそのままだに物体が視覚的に消去されるが、現実世界でそのような状況を視覚体験することはなく、触力覚にどのような影響を与えるか確認されていない。そこで、本研究ではその一事例として、棒状の実物体を用いて、視覚的に消去する範囲が触力覚に与える影響を確認した。

キーワード: 複合現実感, 隠消現実感, 重さ知覚, 錯覚

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) は、現実世界に存在するものはそのまま利用し、付加させたい情報だけを電子的に生成・融合する技術である。つまり、現実世界に仮想物体を視覚的に加算するので、実物体を持ったり振ったりしたときの触力覚はそのまま利用することができる。それ故に、実物体に仮想物体を重畳描画すること（以下、MR 型視覚刺激）で、仮想物体による外観の印象と実際の触力覚が上手く相互に作用する。また敢えて実際とは異なる MR 型視覚刺激に変更すると、視覚・触力覚双方の感覚が補完し合い、現実世界では起こり得ない触感が知覚される場合がある。そこで、我々はこれらのように MR 型視覚刺激を系統的に変更することで、視覚・触力覚の相互作用を実験的に検証してきた[1]。

しかし、MR 技術の特性上、実物体の外観を変更する際、実物体を覆うように仮想物体を重畳描画しなければならない。つまり、実物体よりも小さい仮想物体では覆い隠すことができない。この問題は、MR 技術とは逆の概念で、実在する実物体を視覚的に消去する隠消現実感 (Diminished Reality; DR) と呼ばれる技術で解決できる[2]。DR 技術は、端的に言うと、除去対象に実写の背景画像を重畳描画することによって視覚的に物体を消去できる。よって、この DR 技術を用いることで、視覚・触力覚の相互作用の検証実験における上記の諸問題を解決できる。

つまり、MR が情報の加算であるのに対して、DR は減算であり、MR と DR を併用した実験環境を構築することで、これまでの拡張実験を行うことが可能になる。

MR と DR を併用する前段階として、DR のみで考えると、

持っているはずの物体が視覚的に消去され、現実世界では有り得ない体験が可能となる。MR 型視覚刺激によって加算した場合、実物体を覆い隠すように仮想物体を重畳描画するため、触力覚情報は仮想物体の中に内包されている。一方、DR 技術で視覚的に減算した場合、視覚刺激のない場所に触力覚情報が存在することになる。このような状況下で、MR 空間と同様に視覚・触力覚の相互作用が生じるのかは、知覚心理学的な知見として興味深い研究内容である。

そこで、MR 技術と併用する前段階として、まず DR 技術による視覚的消去が触力覚に与える影響を分析する。

2. 関連研究

人は、振る、持つ、叩くなどの運動に伴って、物体の形状、重さ、方向を知覚することができる。この感覚は、筋活動の寄与が大きいため、“ダイナミックタッチ[3]”もしくは“運動性触覚[4]”（以下、本稿ではダイナミックタッチとする）と呼ばれている。ダイナミックタッチは、力覚的变化を筋の伸張、ねじり、曲げなどの情報を統合することによって知覚される。それ故、この知覚システムでは、視覚情報なしでもその変化を検知できる[5][6]。過去の研究では、棒の長さ知覚は、視覚によらないことが確認されている[7]。つまり、DR 技術を用いて実物体を視覚的に消去した状況下で、持ったり振ったりした場合、触力覚情報はそのまま知覚される可能性がある。

一方、ダイナミックタッチで知覚される情報は、視覚情報を付与することによって変化するという報告もある。例えば Ban らは、実物体と異なる形状を視覚的に付与することで、物体の形状が変化しているように知覚することを確認している[8]。また、視覚的に物体の色情報を変更するだけで、重さ知覚に影響を与えることも確認されている[9]。これらのように VR や MR の技術を用いて現実世界で知覚される情報とは異なる視覚情報を付与することで、知覚を変化させることができる。

また、視覚と触力覚との相互作用の錯覚として、Size-Weight Illusion がある[10]。この錯覚現象は、同じ質量

^{†1} 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

^{†2} 立命館大学大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

^{†3} 慶應義塾大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

^{†4} 立命館大学 総合科学技術研究機構
Research Organization of Science and Technology,
Ritsumeikan University

の場合でも、物体の形状が小さいものを重く、大きいものを軽く知覚する。この例として Rock らは、拡大鏡を用いて体験者が手に持った実物体の視覚的な大きさを変更することで、異なる重さに知覚すると報告している[11]。

我々は MR 技術を用いて、現実世界の触力覚情報はそのままに、実際とは異なる視覚刺激を付与することで、触力覚への影響を確認してきた。その一課題として、実物体と重心位置の異なる CG 画像を重畳描画した場合、重心位置が MR 型視覚刺激に引きずられ、知覚される重心位置が変化する錯覚現象“Shape-COG Illusion”を発見した[12]。この錯覚現象は、棒やプラスチックケースといった実物体で確認できており、MR 技術による視覚情報の加算では、触力覚に影響を与えることがわかる[13]。

しかし、本稿のように、実物体を DR 処理した場合、触力覚にどのような影響を与えるか確認した例はない。ダイナミックタッチの知覚でもわかるように、視覚情報なしで情報を取得することができるが、その情報に対して視覚的に減算していくとどのような影響を与えるかは興味深い。

3. 実験目的と準備

3.1 実験目的

MR と DR を併用する前段階として、まず DR 処理による実物体の視覚的消去が触力覚に与える影響を分析する。本稿では分析する対象として、ダイナミックタッチの研究でよく使用されている棒に着目した。また、形状、重さ等に関する複数種のダイナミックタッチが存在するが、本稿では重さ知覚に着目した。その理由は、形状知覚は視覚的な判断が大きくなるのに対して、重さ知覚は視覚と触力覚が相互に影響し合う感覚であるためである。また、重さ知覚の評価方法や実験例が多いことも、理由として挙げられる[14]。

これまで我々は、MR 型視覚刺激によって視覚情報が加算された場合、物体の重さが増加して感じられることは確認しているが[15]、視覚情報が減算された場合には触力覚とどのように相互作用が起こるかは確認していない。

そこで、本稿では、DR 処理によって実物体の視覚情報が増えたり減ったりすることで、ダイナミックタッチの 1 種である重さ知覚が増えたり減ったりするかどうかを明らかにし、その変化の度合いと DR 処理によって変更した棒の長さの関係・傾向を明らかにする。

まず、実験 1 では、実物体の視覚的消去が触力覚に与える影響を確認する。実験 2 では、実物体を視覚的に消去する範囲の変更が重さ知覚に与える影響を確認する。

3.2 実験準備

【実験環境】

実験で用いたシステム構成を図 1 に示す。DR を実現するためのシステムとして、ビデオシースルー型 HMD (Canon, HM-A1) および MREAL Platform (Canon, MP-110)

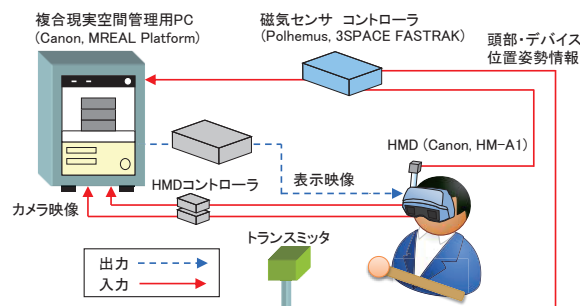


図 1 機器構成

Fig. 1 System configuration

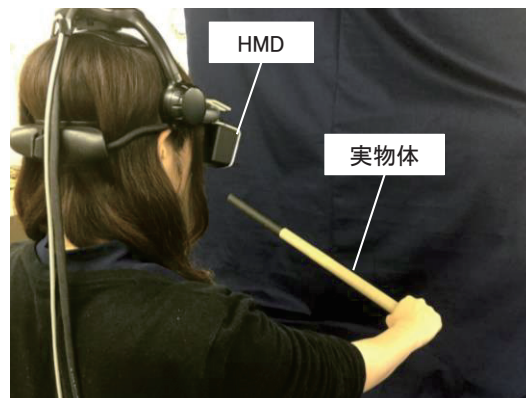


図 2 実験風景

Fig. 2 Experimental scene

を用いる。また、被験者が視空間を観察中に自由に頭部を動かすことができるように、磁気センサ (Polhemus, 3SPACE FASTRAK) を用いて頭部の位置姿勢情報を取得する。また、本システムは、30fps で動作しており、予備実験において時間的遅れ・ずれは感じないという意見を聴取している。

【DR 処理方法】

DR 技術を用いた物体除去方法には高度なものがあるが[2]、本稿では簡易な方法を採用する。まず、事前準備として、図 2 に示す環境の 3D モデルを、多視点画像を用いた 3 次元再構築により作成した。この処理には Agisoft の Photoscan を用いた。実験時には、被験者の手と把持する以外の領域に頭部位置姿勢に合わせて作成した 3D モデルを重畳描画した。手と棒の領域の抽出処理には MREAL に実装されている色抽出処理を利用した。

【実物体】

実物体として、塩化ビニールと木材の 2 種類の材質の棒を用意した。以下、塩化ビニールの棒を棒 A、木材の棒を棒 B として扱う。棒 A、B は共に直径 24mm、長さ 600mm のものを使用する。棒 A の質量は 100g、棒 B の質量は 235g である。また、全ての棒の持ち手部分(端から 100mm)は、把持した時の触感を統一するため、把持部には同一の素材を用いた(図 3)。

対象の棒を視覚的に消去する場合、今回採用した DR 処

理方法であれば、抽出した色（肌色）以外の部分が視覚的に消去される。

【評価方法】

知覚された重さを評価する方法として、Scheffé の一対比較法（浦の変法）を採用した。被験者は見た目の長さが異なる 2 種類の棒を振り比べ、重さについて 5 段階（前者が重い、前者がやや重い、同じ重さ、後者がやや重い、後者が重い）で回答させる。この方法であれば、簡便に心理尺度（間隔尺度）を構成することができ、順序効果（棒を振る順番による影響）を考慮することができる。

4. 実験 1: 視覚的消去が重さ知覚に与える影響

4.1 実験目的

本実験では、実物体の直径、長さ、質量が同一のものを使用した場合に、実物体（棒）の DR 処理による視覚的消去が重さ知覚に与える影響を確認する。本システムでは、実物体を部分的に消去することができるが、消去の方法には、実物体をすべて消去するか、持ち手以外を消去するかといった違いがある。また、これらの条件と実物体をすべて視認している場合、全く視認しない場合の条件を加え、視覚的消去することの影響を分析する。

4.2 実験条件・手順

【実験条件】

実験 1 では、実物体として棒 A を用いる。また、実験で使用する視覚刺激として、棒をすべて消去する場合（図 4a）や棒の持ち手部分（100mm）のみを表示する場合（図 4b）に加え、被験者の視界を遮蔽して棒を見せない場合（非表示）、視覚的消去を行わない場合（図 4c）の計 4 種類を用いた。そのうち 2 種類をランダムに選出し、3.2 節で述べた通り、Scheffé の一対比較法に基づいて実験を行う。全ての組み合わせについて比較を行い、各条件で被験者が知覚する重さの心理尺度を算出する。被験者は成人 11 名（男性 9 名、女性 2 名）、試行回数は 1 人あたり $4P_2=12$ 回である。

また、振り方の違いによる影響を排除するため、姿勢や振り動作は全ての被験者で統制するよう教示した。被験者は起立した状態で棒を右手で把持し、ひとつの提示パターンに対して、毎分 140 往復のテンポで 10 回振る。このとき、振る角度は 40 度とし、手首で振るように指示した。そして腕と 90 度になるように棒を把持させ、HMD の画角内に棒全体が見えるように向きを調整させた。

【実験手順】

- (1) 被験者に HMD を装着させる
- (2) 4 種類の提示パターンから 2 種類を選択する
- (3) 1 つ目の提示パターンを選択し、棒を振らせる
- (4) 2 つ目の提示パターンを選択し、棒を振らせる
- (5) どちらがより重く感じたかを回答させる
- (6) 全ての組み合わせについて (2)~(5) を繰り返す

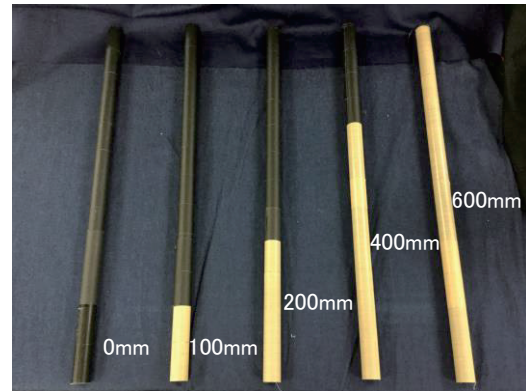
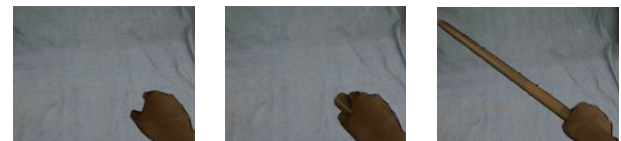


図 3 実験に用いる実物体

Fig. 3 Real objects used in experiments



(a) すべて消去する場合 (0mm) (b) 持ち手部分を表示する場合 (100mm) (c) 視覚的消去を行わない場合 (600mm)

図 4 実験 1 における視覚刺激の提示パターン

Fig. 4 Patterns of visual stimulation in experiment 1

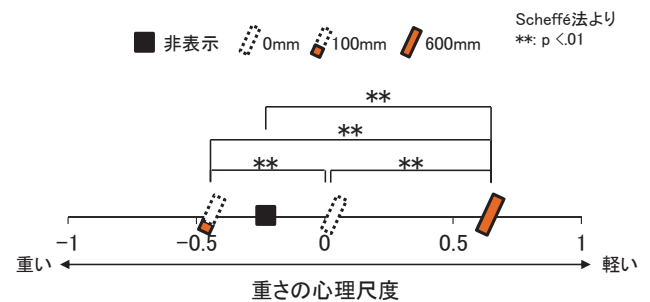


図 5 実験 1 の結果

Fig. 5 Result of experiment 1

4.3 実験結果

実験 1 の結果を図 5 に示す。図中の数直線は、それぞれの提示パターンにおける重さの心理尺度を示している。数値が小さいほど把持物体を重く、大きいほど軽く知覚していることを表す。視覚的消去を行わない場合と各条件間、持ち手 100mm を残して消去する場合とすべてを視覚的に消去する場合の条件間に有意水準 1% で有意差が得られた (Scheffé 法)。実験の結果から、以下のことがわかる。

- (i) 視界を遮蔽して棒を見せない場合（非表示）より、視覚的消去を行わない場合（600mm）の方が物体を軽く知覚する

視界を遮蔽して棒を見せない場合（非表示）は、視覚情報なしで触力覚のみの情報で知覚される重さである。これに対して、視覚的消去を行わない場合（600mm）は、現実

空間と同じ棒を視認している。よって、(i)の結果から、棒を見ながら振るといった視覚刺激が重さ知覚に影響を与えていることがわかる。

(ii) 棒をすべて消去する場合 (0mm) より、視覚的消去を行わない場合 (600mm) の方が物体を軽く知覚する

棒をすべて消去する場合 (0mm) についても、(i)の結果と同様に 600mm の条件の方が軽く知覚した。0mm の条件は、非表示条件と同様の結果となった。

ダイナミックタッチの知覚では、視界を遮蔽して棒を見せない場合 (非表示) のように視覚情報なしでも重さを知覚できる。棒をすべて消去する場合 (0mm) は、(i)の結果と同様の傾向であった。実物体をすべて視覚的に消去した場合、つまり、手の振りを視認しない場合では、ダイナミックタッチにおいて視覚情報なしで知覚させる重さと同様であることを示唆する。

(iii) 100mm の条件より、0mm の条件の方が、物体を軽く知覚している

0mm と 100mm では、棒が視覚的に存在するか否かが変化している。この結果より、棒が視覚的に存在することで、重さ知覚に影響を与えることがわかった。

(iv) 棒の持ち手部分のみを表示する場合 (100mm) より、視覚的消去を行わない場合 (600mm) の方が物体を軽く知覚する

棒の持ち手部分のみを表示する場合 (100mm) と視覚的消去を行わない場合 (600mm) では、棒の視覚的な長さが異なる。(iv)の結果では、100mm よりも 600mm の方が棒の視覚的な長さが長くなり、その影響で物体を軽く知覚することがわかった。

5. 実験2: 視覚的消去の範囲が重さ知覚に与える影響

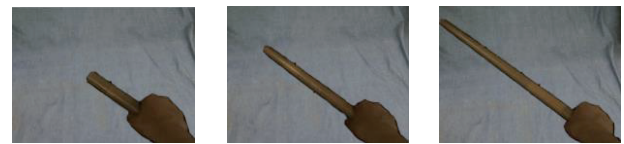
5.1 実験目的

実験1では、実物体の視覚的消去が重さ知覚に与える影響を確認した。その結果から、実物体をすべて消去した場合と一部を残して消去した場合で知覚される重さが異なっていたため、提示する棒の長さの違いによっても知覚される重さに差が生じると予想される。そこで、実験2では、視覚的に消去する範囲を変更した場合に知覚される重さに変化するかどうか実験によって確認する。

5.2 実験条件・手順

【実験条件】

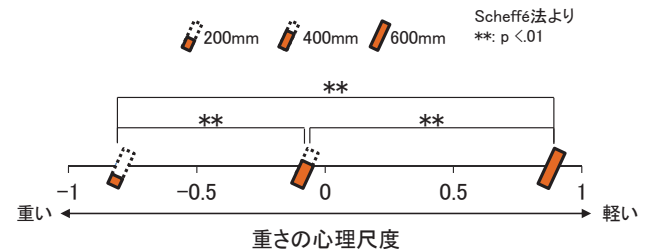
実物体として、質量が異なる棒Aと棒Bを用いる。また、視覚刺激として 200mm 表示する場合 (図 6a) と 400mm 表示する場合 (図 6b)、視覚的消去を行わない場合 (図 6c) の計3種類を用いる。そのうち2種類をランダムに選出し、3.2 節で述べた通り、Scheffé の一対比較法に基づいて実験を行う。全ての組み合わせについて比較を行い、各条件で被験者が知覚する重さの心理尺度を算出する。実験は棒Aと棒Bでそれぞれ分けて行う。被験者は成人11名(男性9



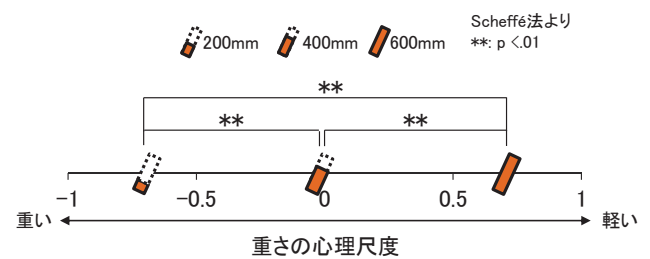
(a) 200mm (b) 400mm (c) 600mm

図 6 実験2における視覚刺激の提示パターン

Fig. 6 Patterns of visual stimulation in experiment 2



(a) 棒Aの場合



(b) 棒Bの場合

図 7 実験2の結果

Fig. 7 Result of experiment 2

名, 女性2名), 試行回数は1人あたり $3P_2 \times 2 = 12$ 回である。棒の振り動作は実験1と同様に行う。

【実験手順】

- (1) 3種類の提示パターンから2種類を選択する
- (2) 1つ目の提示パターンを選択し、棒を振らせる
- (3) 2つ目の提示パターンを選択し、棒を振らせる
- (4) どちらがより重く感じたかを回答させる
- (5) 全ての組み合わせについて (1)~(4) を繰り返す

5.3 実験結果

実験2の結果を図7に示す。(a)は棒Aを使用した場合、(b)は棒Bを使用した場合の結果を表している。図5と同様に、図中の数直線は、それぞれの提示パターンにおける重さの心理尺度を示している。どちらの棒を使用した場合にも、各条件間に有意水準1%の有意差が得られた(Scheffé法)。実験の結果から、以下のことがわかる。

(i) 実物体の棒の視覚的な長さが200mm, 400mm, 600mmの順に軽く感じている

(i)の結果は、同じ質量の物体において、提示する棒の長さが長いと軽く知覚している。これは同じ質量であっても、その形状の大小に応じて異なる重さに感じる錯覚現象 Size-Weight Illusion と同様の傾向が得られている。

(ii) 実物体の質量が異なる場合でも、各条件間に同様の有

意差が得られた

(ii)の結果でも(i)と同様に、本稿で試みた質量2つの条件(棒 A : 100g, 棒 B : 235g)でも、提示する棒の長さが長くなるにつれて、物体を軽く知覚していることがわかる。

そもそも、MR 空間においても実物体は異なるものの Size-Weight Illusion が発生することを確認しており[16], (i) (ii)の結果から、DR 処理を行った場合でも Size-Weight Illusion と同様の傾向が見られた。

つまり、DR 処理によって視覚情報を減算した場合でも、視覚・触力覚の相互作用が生じる可能性を示唆した。

6. むすび

本研究にて、DR 技術を用いて実物体を視覚的に消去した場合の触力覚の変化及びその傾向を、2つの実験を行い確認した。実験の結果から、以下を明らかにした。

(a) 実物体の視覚的消去が、重さ知覚に影響を与えている

(b) 実物体の視認範囲を広くすると、物体を軽く知覚する

実物体に棒を用いた場合、DR 処理によって提示する棒の長さが長くなるにつれて、物体を軽く知覚することがわかった。つまり、実物体の質量はそのままに視認できる範囲が変化すると、重さ知覚に影響を与えることがわかった。このように視覚が重さ知覚に与える影響は、Size-Weight Illusion と同様の傾向であり、DR 処理を行った場合でも視覚・触力覚の相互作用が生じる可能性を示唆した。

一方で、Size-Weight Illusion の効果とは別に、視覚刺激によって重心位置の知覚が変化している可能性がある。仮想の重心位置を変化させた場合、通常の物理現象と同様に重さ知覚にも影響を与える。よって、今後は、これらの現象において、重心位置を測定し、重さ知覚との関連性を分析する。

謝辞

本研究は科研費・基盤研究 S「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」、科研費・基盤研究 B「複合現実型視覚刺激による R-V Dynamics Illusion の研究」による。

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触印象への影響”, 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] 森尚平, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: “隠消現実感の技術的枠組と諸問題～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250, 2011.
- [3] J. J. Gibson: “The senses considered as perceptual systems,” Houghton Mifflin, 1966.
- [4] K. Boff, L. Kaufmann, and J. Thomas: “Tactile perception,” *Handbook of human perception and performance*, pp. 31.01 - 31.41, 1986.
- [5] J. G. Kreifeldt and M-C. Chuang: “Moment of inertia: Psychophysical study of an overlooked sensation,” *Science*, Vol. 206, pp. 588 - 590, 1979.

- [6] W. B. Knowles and T. B. Sheridan: “The “feel” of rotary controls: Friction and inertia,” *Human Factors*, Vol. 8, pp. 209 - 215, 1966.
- [7] H. Y. Solomon and M. T. Turvey: “Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects,” *Journal of Experimental Psychology; Human Perception and Performance*, Vol. 14, pp. 404 - 427, 1988.
- [8] Y. Ban, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose: “MagicPot360: Free viewpoint shape display modifying the perception of shape,” *IEEE Virtual Reality 2015*, pp. 321 - 322, 2015.
- [9] 鳴海拓志, 伴祐樹, 藤井達也, 櫻井翔, 井村純, 谷川智洋, 廣瀬通孝: “拡張現実感を利用した重量知覚操作による力作業支援”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 17, No.4, pp. 333 - 342, 2012.
- [10] A. Charpentier: “Experimental study of some aspects of weight perception,” *Archives de Physiologie Normales et Pathologiques*, Vol. 3, pp. 122 - 135, 1891.
- [11] I. Rock and C. S. Harris: “Vision and touch,” *Scientific American*, Vol. 216, pp. 96 - 104, 1967.
- [12] 木村朝子, 柚田明弘, 面迫宏樹, 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”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 261 - 269, 2011.
- [13] 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.
- [14] 金載然, 洪性寛, 佐藤誠, 小池康晴: “SPIDAR を用いた size-weight illusion の検証”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 347 - 354, 2002.
- [15] 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.
- [16] 片岡佑太, 西川歩未, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: “複合現実環境下での R-V Dynamics Illusion と Size-Weight Illusion の相互作用”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 18, No. 3, pp. 177 - 186, 2016.