

# 複合現実空間における Shape-COG Illusion 知覚の新たな知見

面迫 宏樹 木村 朝子 柴田 史久 田村 秀行

立命館大学 〒525-8577, 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1

E-mail: omosako@rm.is.ritsumeai.ac.jp

**あらまし** 我々はこれまで、実物体に重心の異なる仮想物体を重畳描画すると実際と異なる重心を知覚する現象を発見し、Shape-COG Illusion と名づけた。本論文では、実物体より仮想物体の重心が近い場合、仮想物体の重心が極端に遠い場合に仮想物体・実物体の重心が変化した際の知覚される重心の傾向を調べるため、重心の異なる実物体と仮想物体の組み合わせ計 180 組に対して、重心位置を回答させる実験を行い、傾向の分析を行った。

**キーワード** 重心知覚, 錯覚, 心理的影響, 視覚刺激

## Further Findings of Shape-COG Illusion in Mixed Reality Space

Hiroki OMOSAKO, Asako KIMURA, Fumihisa SHIBATA, and Hedeyuki TAMURA

Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi, Kusatu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: omosako@rm.is.ritsumeai.ac.jp

**Abstract** 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. We confirmed that the presence of center-of-gravity (COG) can be changed by MR visual stimulation in our previous work. And we named this illusion the “Shape-COG Illusion”. In this paper, we verify effects of superimposing virtual object of a pole on real object of a pole. We measured the perceived COG of 180 combinations of real objects and virtual objects. We analyzed relationship between COG of real/virtual objects and perceived COG.

**Keyword** Center-of-Gravity Perception, Illusion, Psychophysical Influence, Visual Stimulation

### 1. はじめに

近年、人間の五感を独立に扱うのではなく、複数の知覚刺激を同時に受けた場合の影響や、1 つの知覚が他の知覚に及ぼす影響といった、複合感覚についての研究が盛んになっている。例えば、コンピュータを操作している際、マウスカーソルの視覚的な速度を変化させることで、擬似的な触力覚が得られる Pseudo-Haptics [1] 現象は、視覚情報が触力覚に影響を及ぼすことを示す代表的例として知られている。

一方、視覚刺激を提示する方法として、現実空間と仮想空間を実時間で組み合わせる複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術 [2] がある。MR 技術に関する研究や応用の大半は、主に視覚的な MR の実現に向けて行われており、MR 空間における触力覚についての研究は少ない。これは視覚的な MR と比較して、汎用的で表現豊かな触力覚デバイスがほとんど存在しないことが理由として考えられる。

近年では、MR 空間での触力覚に関する研究へのアプローチとして、触力覚ディスプレイを用いて直接刺激を提示するもの [3-5] だけでなく、視覚や聴覚による触力覚への影響といった、多感覚の刺激に関する研究についても、焦点が当てられるようになってきた

[6]。人の触力覚が視覚からの影響を受けることは知られており、視覚が触力覚に及ぼす影響を分析することで触力覚ディスプレイの能力を最大限に有効利用することが可能となる。更に MR 技術を活用すれば、現実空間に重畳描画される人工的な視覚情報によって、より効果的に擬似的な触力覚を提示できると考えられる。

そこで、我々はこれまでに MR 技術を積極的に活用し、視覚刺激や聴覚刺激が触力覚に及ぼす影響について系統的に実験、分析を行い、多くの客観的な知見を得ることに成功した [7-10]。MR 空間では、実物体に仮想物体を重畳描画することができるため、視覚的な外観と触力覚において知覚する形状や材質の間に差異が生じる場合がある。この MR 空間における視覚と触力覚での差異が及ぼす影響に関する研究の第 1 歩として、実物体に同じ形状のテクスチャ画像を重畳描画した際に MR 型視覚刺激が粗さに与える影響を実験・分析した [7]。この系統的な実験の結果、実物体とは異なる材質の画像を MR 提示した場合、触覚的にも、その素材感を与えることができるという知見を得た。

また、先行研究において我々は、重心知覚に着目し、系統的な実験を行ったところ、実物体と重心位置の異なる仮想物体を重畳描画した場合、重心位置が MR 型視覚刺激によって引きずられ、知覚される重心位置が

変化する錯覚現象を発見し、Shape-COG Illusion と名付けた [8]。しかし、異なる仮想物体を用いた場合や実物体の重心の変化の影響は確認されていない。

そこで本稿ではこの Shape-COG Illusion について、より単純な外観の仮想物体を用いるとともに、異なる重心位置を持つ実物体を複数用意し実験を行い、仮想物体の重心位置が極端に遠くなった場合や実物体の重心位置が変化した際に Shape-COG Illusion がどのような傾向を示すのかの実験および考察について述べる。

## 2. 関連研究

仮想空間における触力覚の提示手法として、PHANTOM [3] や SPIDAR [4]、あるいは南澤らの GravityGrabber [5] のような、物理的に触力覚刺激を加えることで提示を行う触力覚ディスプレイを用いる研究が数多く行われてきた。また Pseudo-Haptic [1] のように、視覚刺激や聴覚刺激を併用することで、アクチュエータのような機構を用いることなく、擬似的な力覚を提示する研究も行われている。

MR 型視覚刺激による触力覚への影響に関する研究は、我々の先行研究 [7-10] 以外にも既にいくつか行われている [11-13]。[11][12] は MR 環境での視覚刺激が触印象に影響を与えるという、[7] と類似した発想の研究であり、[13] では視覚刺激により物体の形状を異なって知覚するという結果が得られている。また我々は [7] に加え、聴覚刺激も提示した実験 [9] も行った。しかし、これらの研究はいずれも物体の材質のような、詳細な形状の探索における触覚 [14] に焦点が当てられており、力覚に関しては言及されていない。

視覚と力覚に関する研究として、Charpantier [15] が発見した“Size-Weight Illusion”がよく知られている。これは同じ質量の物体が、体積の大小に応じて異なる重さに知覚される錯覚現象である。Rockら [16] は手に持ったキューブの視覚的な大きさを拡大鏡により変更すると重さを異なって感じたとして述べており、純粋に視覚刺激が力覚に影響を及ぼしているといえる。また金ら [6] は CG 画像と SPIDAR を用いて VR 空間においても Size-Weight Illusion が発生することを検証している。この結果は CG 画像を視覚刺激として用いても力覚に影響を及ぼすことができることを示している。

物体を把持した際の力覚として重さ知覚以外にも重心知覚が考えられる。重心知覚は能動的な筋肉運動により物体の性質を知覚できるという感覚であるダイ

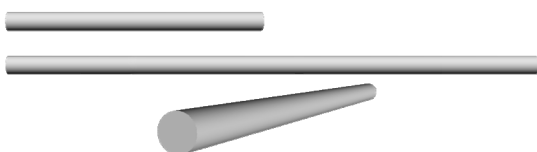


図 1 実験に用いる CG 画像

Fig. 1 CG Images Used in Experiments

ナミックタッチ [17] として心理学分野において研究が進められている。また VR 分野においても触力覚刺激を付与することで、物体の長さ知覚や重さ知覚などに錯覚を生じさせる手法が検討されてきた [18]。

先に述べたように、我々はこれまで、この重心知覚について、MR 型視覚刺激を用いて錯覚が起こるかどうかの検討を行い、知覚される重心位置が MR 型視覚刺激によって引きずられる錯覚現象を発見し、Shape-COG Illusion と名付けた [8]。この錯覚現象についてより詳細な実験を行い、Shape-COG Illusion の傾向を観察し、検討を行う。

## 3. 実験目的と準備

### 3.1. 実験目的

先行研究 [8] では実物体のプラスチックケースと、仮想のアタッシュケースを模した CG 画像を使用していた。プラスチックケースは形状が複雑であり正確な重心位置を測定することが難しく、「アタッシュケースは別の物体を内蔵できる」という性質から、CG 画像に対する事前知識が影響を及ぼす可能性がある。また仮想物体の重心位置の変化のみに着目しており、実物体の重心位置の変化による影響については言及されていない。そこで、実物体・仮想物体を変更し、実物体・仮想物体の重心位置を変化させた際に知覚される重心位置の変化の傾向を観察する。

### 3.2. 実験環境

実験では、Canon 製ビデオシースルー型 HMD (Head Mounted Display) VH-2002 及び MR Platform System を使用する。被験者の頭部及び実物体の位置姿勢の取得は Polhemus 社の磁気センサ 3SPACE FASTRAK を使用する。HMD のキャプチャ画像から肌色検出を行い、その領域を実時間でマスキングすることで、手領域に CG 画像が重畳描画されないようにし、手領域の検出を容易にするため、実験ブースを黒い布で覆う。

### 3.3. 実験に使用する実物体・仮想物体

実験に使用する実物体および仮想物体 (図 1, 2) は「把持が容易」「特定の材質や性質が連想されない」「重心位置の計測が容易」であることが望ましい。これら

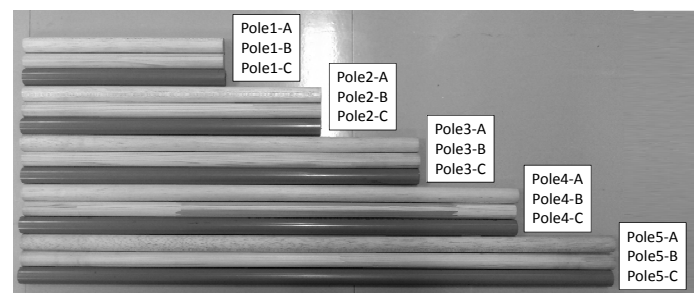


図 2 実験に用いる実物体

Fig.2 Real Objects Used in Experiments

表 1 実験に使用される CG 画像の寸法

Table1 Size of CG Images Used in Experiments

仮想物体名	長さ (mm)
CG1	200
CG2	300
CG3	400
CG4	500
CG5	600
CG6	700
CG7	800
CG8	900
CG9	1000
CG10	1500
CG11	2000
CG12	2500

直径はいずれの仮想物体も 30 (mm)

表 2 実験に使用される実物体の寸法

Table2 Size of Real Objects Used in Experiments

実物体名	長さ (mm)	重さ (g)
Pole1-A	300	33
Pole1-B	300	55
Pole1-C	300	91
Pole2-A	450	51
Pole2-B	450	82
Pole2-C	450	136
Pole3-A	600	47
Pole3-B	600	95
Pole3-C	600	180
Pole4-A	750	74
Pole4-B	750	130
Pole4-C	750	225
Pole5-A	900	134
Pole5-B	900	161
Pole5-C	900	257

直径はいずれの実物体も 25 (mm)

の条件を満たすものとして、仮想物体として丸棒の CG 画像を、実物体として丸棒を用いる。

仮想物体には特定の材質を想起させることを防ぐため、表面は白色無地とし、長さの異なる 9 種類の丸棒状の CG 画像を用いる (図 1, 表 1)。

実物体には、材質 A (バルサ材), 材質 B (杉集合材), 材質 C (塩化ビニールパイプ) の 3 種類の材質の丸棒を用意し、重さと長さの異なる 15 種類の丸棒を用いる (図 2, 表 2)。実験を行う際の現実空間の背景が黒色のため (図 3), 丸棒には黒い紙を巻き、把持した際の触感によって材質の違いを判別されることを防ぎ、また仮想物体からはみ出した実物体の隠蔽を行う (図 4)。

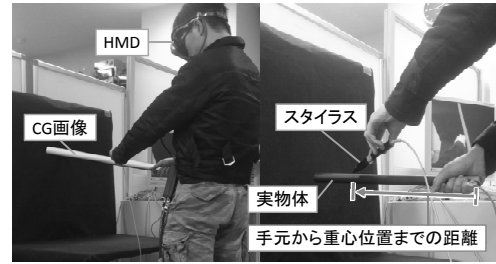


図 3 実験風景

Fig.3 Experimental Scene

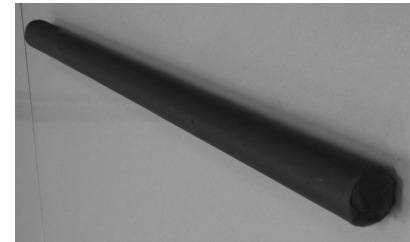


図 4 紙筒に包まれた実物体

Fig.4 A Real Object Wrapped in Paper

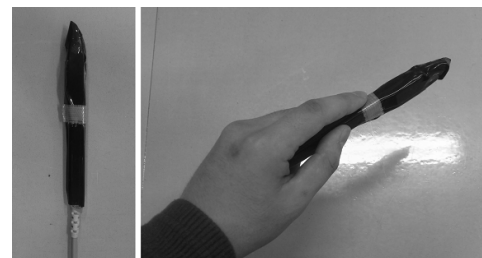


図 5 実験に用いるスタイラス

Fig.5 A Stylus Used in Experiments

### 3.4. 実験内容

被験者は仮想物体の重畳描画された実物体を利き手で把持し、毎分 140 往復のリズムで 10 回振る。そして知覚される重心位置を、スタイラス (図 5) を用いて回答する。スタイラスには磁気センサが内蔵されており、位置姿勢は常に取得されている。重心位置を回答する際は、被験者自身がスタイラスを利き手と逆の手に持ち、丸棒の手前端から、知覚された重心位置として指し示した位置までの距離を記録する (図 3)。

実験は被験者が立った状態で行い、丸棒は被験者から見て奥に向ける (図 3)。被験者の頭部を固定した場合、実験に用いる HMD の画角の関係上、仮想物体の先端あるいは手元が視界に映らず、被験者が仮想物体の長さを正しく把握できない可能性があるため、被験者の頭部を自由に動かすことを認める。

## 4. 実験 1: 仮想物体の重畳描画による重心錯覚

### 4.1. 実験内容

実験 1 では、Pole1-A ~ Pole5-C の 15 種類の実物体に、CG1 ~ CG9 の 9 種類の仮想物体を重畳描画した計 135 組をそれぞれ振った際の重心位置を回答する。

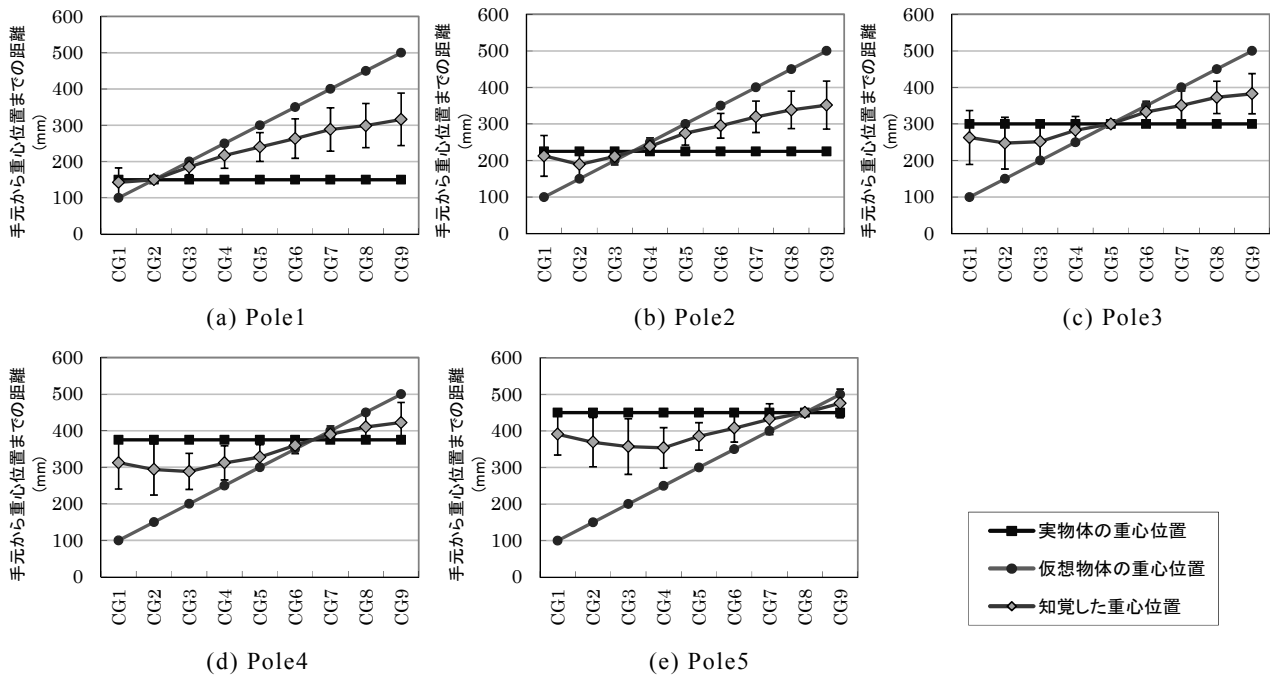


図 6 実験 1 結果 (材質 A, B, C における平均値)

Fig.6 Result of Experiment 1 (The Average of Material A, B and C)

被験者は 21~24 歳の男性 8 名，女性 2 名である。

実験手順は以下の通りである。

- (1) 実物体と仮想物体の 135 組から，無作為に 1 組選出し，HMD を装着した被験者に対し提示する
- (2) 被験者は毎分 140 往復のリズムで，仮想物体が重畳描画された実物体を 10 回振る
- (3) 被験者はスタイラスを用いて，知覚した重心位置を指し示す
- (4) 残り 134 組も同様に (1)~(3) を繰り返す

#### 4.2. 結果と考察

実験結果の全材質を平均したものを図 6 に示す。いずれの実物体においても，仮想物体の重心位置が遠くなるにつれ，知覚される重心位置が遠くなっていることから，丸棒状の仮想物体においても Shape-COG Illusion が発生しているといえる。また実験に使用した仮想物体は単純な形状で，かつ特定の性質，材質を連想させない外観であることから，この錯覚現象は純粋に視覚刺激によって発生するものであると考えられる。

先行研究 [8] では，実物体よりも仮想物体が長い場合のみについて実験を行ったが，今回の実験で実物体より仮想物体が長い場合と，短い場合で傾向が異なる可能性が示唆された。具体的には，

- (i) 実物体よりも仮想物体が長い場合には，仮想物体の重心位置と実物体の重心位置が離れるにつれ，知覚される重心位置の変化が小さくなる傾向が見られた (図 6(a)~(c))
- (ii) 実物体よりも仮想物体が短い場合には，MR 型視覚刺激に引きずられ実物体よりも近い位置に重



図 7 手による仮想物体の隠蔽

Fig.7 Masking the Virtual Object by a Hand

心が知覚されたが，重心位置の変化は収束せず，知覚される重心位置は実物体の重心位置から離れた後，再び実物体の重心位置に近づき，グラフは放物線に近い形を描いた (図 6(b)~(e))

(i) の結果は，仮想物体が長くなるにつれ，仮想物体の先端が被験者から遠くなったことで，視覚的な長さを把握しにくくなり，仮想物体が長くなったことを感じられにくくなったことが原因だと考えられる。

一方 (ii) では，力覚における重心位置と，視覚における重心位置の齟齬が大きくなったことで視覚への信頼度が下がり，重心を知覚する際に力覚に依存する被験者が多くなったことが主な原因と考えられる。また，肌色領域のマスキング (図 7) により，仮想物体が短くなるにつれ，把持している手によって仮想物体が隠される割合が大きくなり，仮想物体を重畳描画していない状態に近くなることも，知覚される重心位置が実物体の重心位置に近づいた原因として考えられる。

本実験において，実物体よりも仮想物体が長い場合には (i) のような傾向が見られたが，更に仮想物体が長くなった際，知覚される重心位置の変化が収束する

か、(ii) と同様に実物体の重心位置に再び近づくのかは、本実験で使用した 200mm~1000mm の仮想物体だけでは判別できない。そこで次章では、より長い仮想物体を用いた場合の実験を行う。

## 5. 長い仮想物体を重畳描画した際の重心錯覚

### 5.1. 実験内容

実験 1 において、実物体よりも仮想物体が短い場合、知覚される重心位置のグラフは放物線に近い形となった (図 6(b) ~ (e))。実物体よりも仮想物体が長い場合にも同様の傾向を示すかを確認するには、仮想物体の長さを 2000mm 以上にして実験を行う必要がある。

そこで実験 2 では、Pole1-A ~ Pole5-C の 15 種類の実物体に、CG10 ~ CG12 の 1500mm ~ 2500mm の 3 種類の仮想物体を重畳描画した計 45 組を用いる。

被験者および手順は実験 1 と同様である。

### 5.2. 結果と考察

実験結果を、実験 1 の結果と合わせて、図 8 に示す。

結果として次のような傾向が見られた。

- (iii) いずれの物体においても、実験 1 の結果 (ii) と異なり、知覚される重心位置は、実物体の重心位置に再び近づくことはなかった (図 8)
  - (iv) Pole1, 2 においては、CG10 と CG12 を重畳描画した際に知覚される重心位置の間に、t 検定の結果、有意水準 5% において差は見られず、グラフは横ばいとなった (図 8(a)(b))
  - (v) CG10 と CG12 を重畳描画した際、Pole3, 4 では知覚される重心位置の間に、t 検定の結果、有意水準 5%、Pole5 においては有意水準 1% の差が見られ、仮想物体が長くなるに従って、知覚される重心は遠くなった (図 8(c) ~ (e))
- (iii) より、仮想物体が実物体よりも長い場合には、仮想物体が実物体より短い場合に見られた傾向とは異

なる傾向を示したといえる。

長田 [19] は、距離が離れるほど、両眼視差による立体視の奥行き知覚の感度が低下することを述べている。本実験において、複数の被験者から「仮想物体が長くなって、あまり長くなったように見えない」というコメントが得られている。これらのことから、視覚的に知覚される丸棒の長さの変化が収束したことによって、視覚的な重心位置の変化を感じにくくなり (iv) の結果が得られたのではないかと考えられる。

一方で (v) において、視覚的には (iv) と同条件であるにも拘わらず、知覚される重心位置が、仮想物体の重心位置に応じて遠くなる傾向が見られた。この原因として (v) では (iv) と比較して、仮想物体の重心位置と実物体の重心位置の差が小さいことが考えられる。力覚における重心位置と、視覚における重心位置の齟齬が大きくなった場合、視覚に対する信頼度が下がり、視覚刺激の変化の影響を受けにくくなる。(v) より、Pole3, 4 では有意水準 5%、Pole5 では有意水準 1% の差が見られたように、仮想物体の重心位置と実物体の重心位置が近くなるにつれ、明確に差が表れた。このことから、(v) の傾向はそれぞれの刺激間の齟齬による影響によるものであると考えられる。そのため Pole3, 4, 5 においても、更に長い仮想物体を重畳描画した場合は (iv) と同様の傾向を示すと予想される。

## 6. まとめと今後の展望

本研究では、実物体に対して、異なる重心位置を持つ CG 画像を重畳描画することで、知覚される重心位置が視覚に引きずられて変化する錯覚現象 “Shape-COG Illusion” について実験を行い、その特性について確認した。具体的には、15 種類の丸棒状の実物体に対し、仮想物体として 12 種類の丸棒状の CG 画像を重畳描画した合計 180 組において、それぞれの物

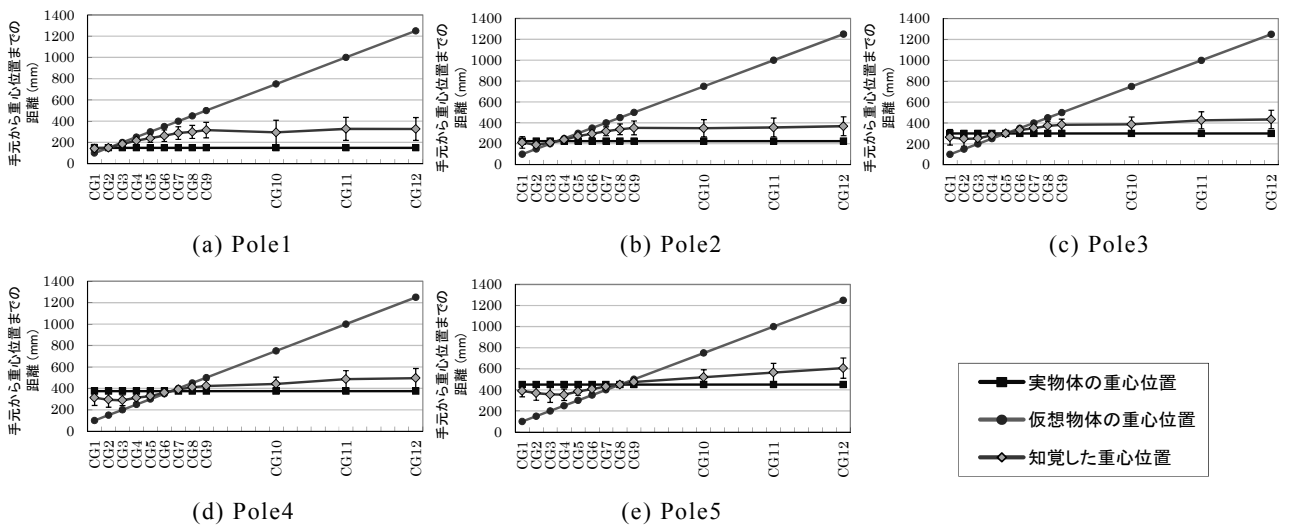


図 8 実験 2 結果 (材質 A, B, C における平均値)

Fig.8 Result of Experiment 2 (The Average of Material A, B and C)

体を振った際の重心位置を回答させた。

その結果、次のことがわかった。

- (a) 丸棒状の CG 画像のような、単純な外観の仮想物体であっても Shape-COG Illusion は発生する
- (b) 実物体よりも仮想物体が長い場合、仮想物体が遠くなるにつれ、知覚される重心位置も遠くなる。しかし更に仮想物体が長くなると、その変化量は徐々に小さくなり、知覚される重心位置の変化は収束する
- (c) 実物体よりも仮想物体が短い場合、仮想物体が短くなるにつれ、知覚される重心位置も近くなる。しかし更に仮想物体が短くなると、その変化量は徐々に小さくなった後、知覚される重心位置は実物体の重心位置に近づく

(a) より、視覚的な重心位置の判別が容易であり、知覚される重心位置に CG 画像に対する事前知識が影響を及ぼさない無地の丸棒状の CG 画像においても同様に発生したことから、Shape-COG Illusion は先行研究 [8] で用いたアタッシュケースの CG 画像を重畳した場合に限った現象ではないことがわかった。

(b)(c) より、実物体の重心位置より仮想物体の重心位置が遠い / 近い場合において、異なる傾向が見られることがわかった。仮想物体の重心位置が遠くなるにつれ、知覚される重心位置の変化が小さくなることは、[8] にて得られている知見であるが、本研究での実験により、極端に仮想物体の重心位置が遠くなった場合の傾向についても確認することができた。また仮想物体の重心位置が実物体の重心位置より近い場合でも、Shape-COG Illusion が発生することがわかった。

本研究では、実物体・仮想物体の重心位置をそれぞれ変化させ、Shape-COG Illusion の傾向について観察し検討を行った。本稿における実験では、CG 画像に対する事前知識の影響を排除するため、白色無地、丸棒状の仮想物体を使用した。今後は、物体表面のテクスチャや棒の持ち方・棒の向きを変更し、重心錯覚へどのような影響を及ぼすかについても、引き続き実験を行っていく予定である。

## 謝 辞

本研究の一部は、科研費・基盤研究 B「複合現実型視覚刺激が及ぼす触印象に関する研究」による。

## 文 献

- [1] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard and P. Coiffet, "Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?," Proc. IEEE Virtual Reality, pp. 83 - 90, 2000.
- [2] 「複合現実感 1~4」特集, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌(VR論), 1999, 2002, 2005, 2008.
- [3] T. H. Massie and J. K. Salisbury, "The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects," Proc. 3rd Symp. on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 295 - 300, 1994.
- [4] M. Sato, "SPIDAR and Virtual Reality," World Automation Congress, IFMIP-043, pp. 1 - 7, 2002.
- [5] 南澤孝太, 深町聡一郎, 梶本裕之, 川上直樹, 館暁, "バーチャルな物体の質量および内部ダイナミクスを提示する装着型触力覚ディスプレイ", VR論, Vol. 13, No. 1, pp.15 - 24, 2008.
- [6] 金載然, 洪性寛, 佐藤誠, 小池康晴, "SPIDAR を用いた size-weight illusion の検証", 同上, Vol. 7, No. 3, pp. 347 - 354, 2002.
- [7] 家崎明子, 杉田明弘, 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", 同上, Vol. 13, No. 2, pp. 129 - 139, 2008.
- [8] 木村朝子, 杉田明弘, 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", 同上, Vol. 16, No. 2, pp. 261 - 269, 2011.
- [9] 鍵本麻美, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行, "複合現実型視覚刺激と聴覚刺激が触印象に与える影響 - 産業応用システムでの利用を想定した評価 -", 同上, Vol. 14, No. 3, pp. 325 - 333, 2009.
- [10] 平野有一, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行, "Dent-Softness Illusion: 複合現実型視覚刺激による硬さ知覚への影響", 同上, Vol. 16, No. 2, pp. 271 - 278, 2011.
- [11] 中原守勇, 北原格, 亀田能成, 大田友一, "複合現実感における視触覚融合による素材感呈示", 2006 信学総大, p. 157, 2006.
- [12] 中原守勇, 北原格, 大田友一, "複合現実感における視覚と触覚の融合効果を利用した素材感提示に関する実験的検討", 第 12 回 VR 学会大会, pp. 103 - 106, 2007.
- [13] 中原守勇, 北原格, 大田友一, "複合現実感における視覚と触覚の融合効果を利用した物体形状提示に関する実験的検討", VR論, Vol. 13, No. 1, pp. 25 - 36, 2008.
- [14] S. J. Lederman and R. L. Klatzky, "Extracting object properties through haptic exploration," Acta Psychologica, Vol. 84, pp. 29 - 40, 1993.
- [15] A. Charpentier, "Experimental study of some aspects of weight perception," Archives de Physiologie Normales et Pathologiques, Vol. 3, pp. 122 - 135, 1891.
- [16] I. Rock and C. S. Harris, "Vision and touch," Scientific American, Vol. 216, pp. 96 - 104, 1967.
- [17] 佐々木正人, 三嶋博之, "アフォーダンスの構想知覚研究の生態心理学的デザイン", 東京大学出版会, 2001.
- [18] H. Y. Yao and V. Hayward, "An Experiment on Length Perception with a Virtual Rolling Stone," Proc. EuroHaptics Int. Conf. 2006, pp. 275 - 278, 2006.
- [19] 長田昌次郎, "視覚の奥行離情報とその奥行き感度", テレビジョン学会誌, Vol. 31, pp. 649 - 655, 1977.