

複合現実空間における Shape-COG Illusion の諸考察

Farther Considerations of Shape-COG Illusion in Mixed Reality Space

面迫宏樹, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行
Hiroki Omosako, Asako Kimura, Fumihisa Shibata, and Hideyuki Tamura

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)

Abstract: In mixed reality (MR), the appearance touchable object can be changed by superimposing a computer generated image onto it (MR visual stimulation). It has been indicated that MR visual stimulation causes the different sense of center-of-gravity from a real object. The phenomenon has been named "Shape-COG Illusion". In this paper, we studied the influence on Shape-COG Illusion by the weight of real object and the volume of virtual object. As the result, we obtained the interesting and promising result: (i) the weight of real object can influence Shape-COG Illusion, (ii) the heavier the real object becomes, the larger effect of Shape-COG Illusion becomes, (iii) the volume of virtual object can influence Shape-COG Illusion.

Key words: Mixed Reality, Sense of center-of-gravity, Psychophysical Influence, Visual stimulation, Size-weight Illusion.

1. はじめに

現実空間と仮想空間を継ぎ目なく実時間で融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術では, 現実空間に存在するものをそのまま利用することが可能であり, 仮想物体が重畳描画された実物体を触ることができる. この時, 材質や形状といった要素において, 見えているものと触っているもの間で相違がある場合, 視覚が触覚に対してどのような影響を与えるのか調べることは非常に興味深い.

そこで我々は, MR 空間において仮想物体を重畳描画することによって提示される視覚刺激 (以下, MR 型視覚刺激) が人間の知覚に対して及ぼす影響に関して系統的に実験を行ってきた. これまでに, 実物体とは異なる表面粗さの CG テクスチャを重畳描画することで, 触覚に差があるように感じる現象[1]や, これに聴覚刺激を付加した場合にその影響がより強くなること[2]を示した. また, 実物体を押し込んだときに実物体とは異なる凹み方をする仮想物体を重畳描画することで, 実際よりも硬く/軟らかく錯覚することや実物体の硬さよりも視覚情報の方が優位に影響する場合があることを確認した[3].

これら一連の研究の中で, 重心知覚に着目し, 実物体に重心位置の異なる仮想物体を重畳描画することで, 知覚される重心位置が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, この現象を Shape-COG Illusion と名づけた[4]. この研究では, 知覚される重心位置に, 重畳描画する仮想物体の形状が影響を及ぼすことを示した. しかし, MR 型視覚刺激を提示した際の重心知覚, すなわち

Shape-COG Illusion に影響を及ぼす可能性のある要素は, 仮想物体の形状以外にも存在すると考えられる.

そこで本研究では, Shape-COG Illusion に影響を及ぼす可能性のある要素として実物体の重さに着目する. まずは, 重さの異なる実物体に仮想物体を重畳描画しその重心位置を回答させ, 実物体の重さが Shape-COG Illusion に影響を及ぼすのかを確認する. また, 体積の異なる仮想物体を同一の仮想物体に重畳描画し重心位置を回答させることで, Size-Weight Illusion[5]が Shape-COG Illusion に影響を及ぼすのかを確認する実験を行う. 以下, 本稿ではこれらの実験, 結果, 考察に関して述べる.

2. 関連研究

Fitzpatrick らはダイナミックタッチにおいて, 棒を振った際に知覚する長さは, 振る物体の慣性モーメントテンソルに関係があると述べている[6]. 慣性モーメントテンソルは, 物体の回転軸から重心までの距離および物体の質量によって変化する. Fitzpatrick らの定式化したモデルでは, 振る物体の重さが変化することによって, 知覚される棒の長さが変化することが示唆されている. これらのことから, 実物体の重さが Shape-COG Illusion に影響を及ぼすと予想される.

一方, 把持する物体の体積が変化することによって, 大きさ-重さ錯覚が起こり, 物体の重さが変化したように知覚される Size-Weight Illusion が知られている[5]. 実物体の重さが Shape-COG Illusion に影響を及ぼすのであれば,

仮想物体の体積を変化させ、把持した際に重さを錯覚した場合にも、Shape-COG Illusion に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

そこで、本研究ではこれら 2 つの要素が Shape-COG Illusion にどのような影響を及ぼすのか明らかにする。

3. 実験準備

3.1 実験目的

本研究では、人の重さ知覚と Shape-COG Illusion の関係について以下の 2 つの実験を行う。実験 1 では重さの異なる実物体に対して、同一形状の仮想物体を重畳描画し、実物体の重さが増えることで Shape-COG Illusion の影響が変化するかを確認する。次に実験 2 では、同一の重さの実物体に対して、体積の異なる仮想物体を重畳描画することで、Size-Weight Illusion によって実物体の重さを錯覚した際に Shape-COG Illusion に対して影響を及ぼすのかを確認する。

3.2 実験対象

実物体の把持部として、工業製品や鞆などに広く使用されている「把手」にプラスチックケースを固定したものをを用いる (図 1 (a))。プラスチックケースの寸法は幅 155mm × 高さ 90mm × 奥行き 65mm であり、把手とプラスチックケースを合わせた質量は 200g である。また 150g, 1000g の 2 種類の錘を複数個用意し、プラスチックケースに封入することで、実物体の重さを調整する (図 1(b))。仮想物体は、様々な縦横比のものが存在するアタッシュケースを模す (図 2)。実験 1 では Size-Weight Illusion の影響を除外するために、体積の等しい CG A1, A2 の仮想物体を用いる。実験 2 では Size-Weight Illusion の影響を観察するため、重心位置が等しく、体積の異なる CG B1 ~ B5 の仮想物体を用いる。

3.3 実験環境

実験で用いる MR システムの構成は図 3 に示す通りである。被験者は Canon 社製のビデオスルー方式 HMD VH-2002 を装着し、両眼立体視しながら MR 空間を観察する。被験者の頭部、実物体および重心位置の回答に用いる入力装置の位置姿勢検出には Polhemus 社製磁気センサ 3SPACE FASTRAK を用いる。

実験では、実物体の姿勢に応じて仮想物体が重畳描画される。被験者はこれを手で把持し振り、知覚した重心位置を回答する。被験者間の把持方法の変更回数や振りの方向の違いによる影響を除外するため、把持方法および振りの方向を制限する。把持方法には「握りこむ、親指の腹をつける、つまむ、はさむ」などが考えられる。この中で把手を把持する方法に適していると考えられるものとして、「握りこむ」を用いる。振りの方向には「把手に対して平行、把手に対して直交」などが考えられる。視覚的に振っていることが分かりやすいため、「把手に対して平行」を採用する (図 1(c))。



図 1 実験で使用する実物体

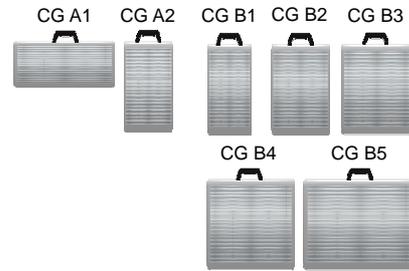


図 2 実験で使用する仮想物体の外観

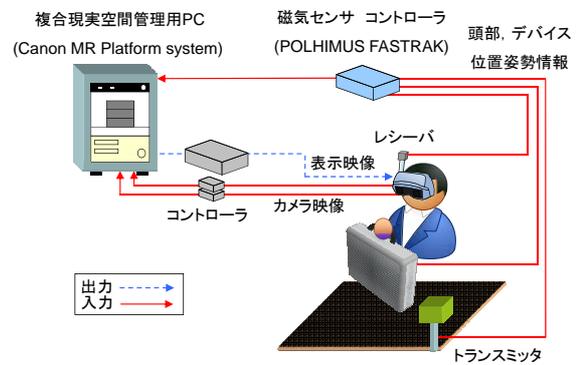


図 3 システム構成

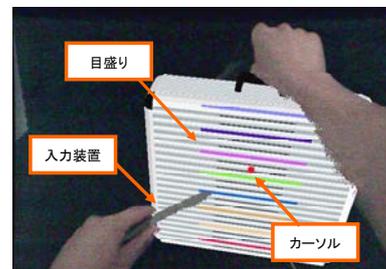


図 4 実験風景

表 1 実験で使用する仮想物体の寸法

仮想物体	幅×高さ	仮想物体	幅×高さ
CG A1	333.333×150.000	CG B1	150.000×300.000
CG A2	166.667×300.000	CG B2	250.000×300.000
		CG B3	350.000×300.000
		CG B4	450.000×300.000
		CG B5	550.000×300.000

奥行きは全て 150.000 (単位 : mm)

3.4 重心位置の回答方法

知覚した重心位置を回答させる際、被験者に知覚した重心位置を数値として回答させることは困難である。そのため、被験者が実物体を振った後、図 4 に示すような、入力装置と連動して上下するカーソルを表示する。被験者はカーソルを用いて知覚した重心位置を指示し、回答を行う。また入力装置を操作している間に、知覚した重心位置を忘

れてしまうことを防ぐために、目印として仮想物体に色の異なる目盛りを表示する。被験者は利き手で実物体を把持し、実物体を把持していない手で入力装置を把持する。

4. 実験 1

4.1 実験内容

実験 1 では様々な重さの実物体に対し、仮想物体を重畳描画し、把持して振った際に知覚される重心位置を回答させる。この一連の実験は実物体の重さ 7 種類、仮想物体の形状 2 種類の 14 種類の組み合わせに対して行い、実物体の重さによる Shape-COG Illusion への影響を確認する。被験者は学生 15 名である。

実験手順を以下に示す。

- (1) プラスチックケースに重心位置を変化させないよう錘を封入し、実物体の重さを 200, 500, 800, 1100, 1400, 1700, 2000g のいずれかに調整する
- (2) 実物体に CG A1, A2 のどちらか無作為に選出したものを重畳描画する
- (3) 被験者に仮想物体の重畳描画された実物体を振らせ、重心位置を把握させる
- (4) 被験者が重心位置を把握した後、仮想物体に目盛りを表示する
- (5) 被験者は入力装置を動かし、自身が知覚した重心位置を指し示す
- (6) 目を閉じて実物体から手を離すよう被験者に指示し、仮想物体の形状および実物体の重さを変更する
- (7) 他の重さと形状の 13 組について (1)~(6) を繰り返す

4.2 結果と考察

実験結果を図 5 に示す。図 5(a) は様々な重さの実物体に対し CG A1 (横長) を重畳描画した場合、図 5(b) は CG A2 (縦長) を重畳描画した場合の結果を示している。図の縦軸は知覚された重心位置の手元からの距離を、横軸は実物体の重さを表しており、右に行くほど重さが増えることを表す。実験結果より以下の 4 つのことがわかる。

- (a) 実物体が重くなるにつれ、手元からより遠くに重心位置が知覚される
- (b) 実物体が軽くなるにつれ、知覚される重心位置は実際の重心位置に近づく
- (c) いずれの重さにおいても、CG A1 (横長) を重畳描画した時より、CG A2 (縦長) を重畳描画した方が、手元からより遠くに重心位置が知覚される
- (d) 実物体が重いほど、重畳描画する仮想物体の重心位置が手元から遠くなった場合に知覚される重心位置の変化は大きくなる

(a) (b) より、実物体が重くなることによって慣性モーメントが大きくなった結果、より遠くに重心位置を知覚したものと考えられる。また実物体の重さが軽くなると、その物体を把持し、振っている感覚を得にくくなったため、Shape-COG Illusion の影響が小さくなったと考えられる。

実物体の慣性モーメントのみで重心位置が知覚されているのであれば、重畳描画する仮想物体に関わらず、同一の重さにおいて同じ位置に重心を知覚すると考えられる。

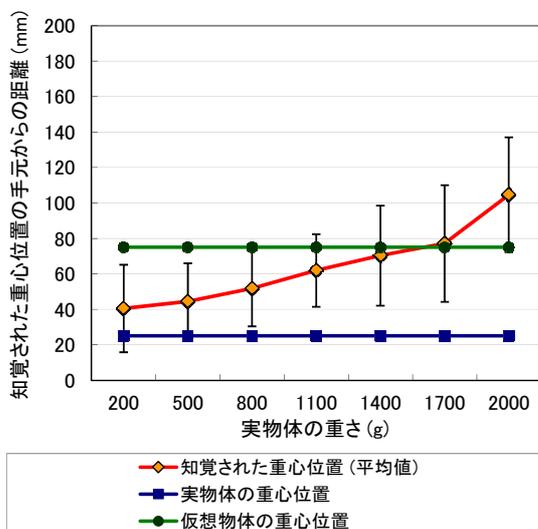
しかし (c) より、いずれの重さにおいても、仮想物体の形状に応じて知覚される重心位置が変化していることから実物体の重さに関わらず Shape-COG Illusion が起きていることがわかる。

また (d) より、実物体が重くなるほど Shape-COG Illusion の影響が大きくなっており、実物体の重さが Shape-COG Illusion の影響の大きさを決める要素のひとつであると言える。

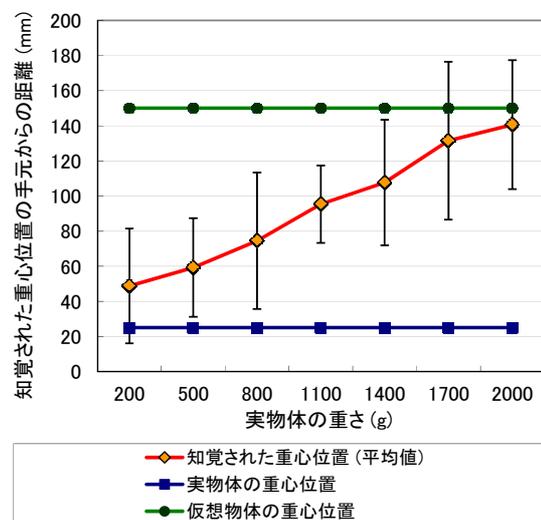
5. 実験 2

5.1 実験内容

実験 2 では Size-Weight Illusion による重さの錯覚が重心知覚に与える影響を調べるため、体積の異なる仮想物体 CG B1 ~ B5 を、重さが一定の実物体に重畳描画する。被験者にそれを振らせ、知覚した重心位置を回答させる。プラスチックケースと把手を合わせた実物体の重さは



(a) CG A1 を重畳描画した場合



(b) CG A2 を重畳描画した場合

図 5 実験 1 結果

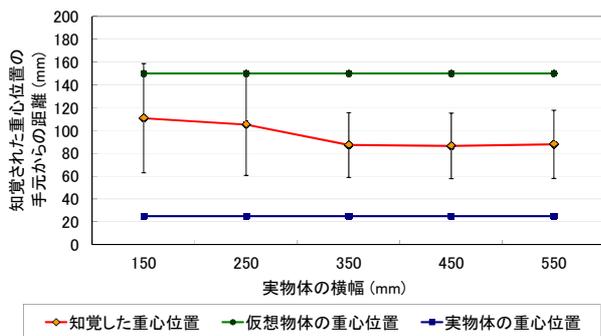


図 6 実験 2 結果

1200g とした。仮想物体は、CG B1 ~ B5 の順に 100mm ずつ横幅が大きくなり、重心位置、高さ、奥行きは全て等しい。被験者は学生 15 名である。

実験手順を以下に示す。

- (1) 実物体に CG B1 ~ B5 から無作為に選出したものを重畳描画する
- (2) 被験者に仮想物体の重畳描画された実物体を振らせ、重心位置を把握させる
- (3) 被験者が重心位置を把握した後、仮想物体に目盛りを表示する
- (4) 被験者は入力装置を動かし、自身が知覚した重心位置を指し示す
- (5) 目を閉じ、実物体から手を離すよう被験者に指示し、仮想物体の形状を変更する
- (6) 他の 4 種類の形状について (1) ~ (4) を繰り返す

5.2 結果と考察

実験結果を図 6 に示す。図の縦軸は知覚された重心位置の手元からの距離を、横軸は仮想物体の横幅を表しており、右に行くほど体積が大きいことを表す。

図より以下のことがわかる。

- (a) 横幅が 150mm から 350mm の範囲では、体積が大きくなるにつれて、知覚される重心位置は手元に近くなる。しかし、350mm を超えると重心位置は大きく変化しない
- (b) 知覚される重心位置が手元に近くなるにつれて、知覚される重心位置の分散が小さくなる
- (c) CG B1, B2 を重畳描画した時には、分散がそれ以外の場合に比べ大きい

(a) より、実際には重さが変化していないにもかかわらず、特定の範囲内では、体積の変化によって知覚される重心位置が変化している。このことから、実際に重さが変化した時と同様に、Size-Weight Illusion により異なる重さであると錯覚した場合にも、Shape-COG Illusion に影響を及ぼすと言える。またこのことから、Shape-COG Illusion に重さが影響する場合、実際の物理量としての重さである必要はなく、知覚された重さに依存すると言える。

しかし、仮想物体の体積が特定の範囲より大きくなると、知覚される重心位置はほぼ変化していない。また (b) (c) より、特定の範囲内においても、被験者によっては仮想物体の体積変化の影響が見られない場合があることから、仮

想物体の体積変化による Shape-COG Illusion への影響は、仮想物体の視覚的な重心位置や実物体の重さの変化と比べて小さいと言える。

6. むすび

我々は MR 空間における実物体の外観変化が、触知覚に与える影響について調査を行ってきた。本稿では仮想物体を実物体に重畳描画することで、実物体を把持して振った際の重心知覚が視覚に引きずられる Shape-COG Illusion という現象に対して、物体の重さが与える影響について実験・分析を行った。実験 1 では、実物体の重さが Shape-COG Illusion に与える影響を調べるため、様々な重さの錘を封入した把手付きのプラスチックケースに、形状が実物体と異なる仮想物体を重畳描画し、その際に知覚された重心位置を被験者に回答させた。また実験 2 では、仮想物体の体積の違いによって起こる Size-Weight Illusion が Shape-COG Illusion に与える影響を調べるために、同一の重さの実物体に対し、体積の異なる仮想物体を重畳描画し、その際に知覚された重心位置を被験者に回答させた。

実験結果を分析した結果、以下のことが明らかとなった。

- (i) 実物体の重さは Shape-COG Illusion の影響の大きさを決める要素のひとつである
- (ii) 実物体が重くなるほど、MR 型視覚刺激による重心知覚への影響は大きくなる
- (iii) 仮想物体の体積の変化は MR 型視覚刺激を提示した際の重心知覚に影響を与える

今後は、重さ、体積以外に Shape-COG Illusion に影響を及ぼす要素を調べるために、様々な条件を変えながら実験を積み重ねて行く予定である。

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。

参考文献

- [1] 家崎明子 他, “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] 鍵本麻美 他, “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.
- [3] 平野有一 他, “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.
- [4] 木村朝子 他, “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, pp. 261 - 269, 2011.
- [5] A. Charpentier, “Analyse experimentale de quelques elements de la sensation du poids”, Archive de Physiologie normale et pathologiques, Vol. 3, pp. 122 - 135, 1891.
- [6] P. Fitzpatrick, et al., “Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the “muscular sense””, Neuroscience, Vol. 60, pp. 551 - 568, 1994.