



# 錯覚現象 R-V Dynamics Illusion における各種刺激の影響分析(3)

## ～固体の運動を重畳描画した場合について Part2～

山田 泰己, 片岡 佑太, 橋口 哲志, 柴田 史久, 木村 朝子

立命館大学 情報理工学研究科  
(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 実物体 (R) と仮想物体 (V) の運動状態が異なる場合に, 重さ知覚や重心知覚などに影響を及ぼす現象のことを, 我々は “R-V Dynamics Illusion” と命名し, 研究を行っている. 従来の研究では, 剛体の実物体に対して, 仮想の液体を重畳描画し, 液面を揺らすアニメーションを付与していた. 本報告では, 液体とは性質が異なる固体の運動を提示することで, 重さ知覚にどのような影響を及ぼすのか確認した.

キーワード: 複合現実感, 重さ知覚, 錯覚

### 1. はじめに

仮想空間と現実空間を継ぎ目なく組み合わせることができる複合現実 (Mixed Reality; MR) 技術を利用することで, 触感の異なる仮想の視覚刺激 (以下, MR 型視覚刺激) を実物体に重畳描画し, 視覚と触覚間に取替えて齟齬を生じさせることが可能となる. このとき, 人はどのような触感を知覚するのだろうか.

我々はこれまで, この視覚・触覚間での齟齬が生む相互作用について研究してきた. 例えば, 把持物体に形状の異なる仮想物体を重畳描画し, 振ることで, 重心知覚に影響を及ぼすことを確認した [1-3]. この実験を行う過程で, 形状だけでなく内部の運動状態を変えた場合にも, 触力覚に影響を与えるのではないかと考えた. 実際に, 実物体を剛体, 仮想物体を内部に液体を入れた容器とし, 手の振りに応じて液面の揺れを提示したところ, 触力覚の中でも特に重さ知覚に影響を与えることを確認した [3]. 我々は, このような実物体 (R) と仮想物体 (V) の異なる運動状態が引き起こす錯覚現象を R-V Dynamics Illusion と命名し, その現象の確認と分析に取り組んできた.

これまででは, 仮想物体の内部を液体にした場合について実験を行ってきたが, 本稿では, 次のステップとして, 液体とは性質の異なる固体 (仮想) を重畳描画した場合について確認する. 液体と比べ, 固体は外壁との衝突が瞬間的で, 触力覚としても顕著に知覚される. そのため, 先行研究と比べ仮想と現実の差異が大きく, 同錯覚現象が生じにくい可能性がある. 本研究では, まず仮想物体を固体に変更した場合の同錯覚現象の発生を確認し, その後, 各種パ

ラメータによる影響を確認する.

### 2. 実験目的・準備

#### 2.1 実験目的

物体内部の動的変化を想起させる仮想物体を, 液体から固体に変更した場合の R-V Dynamics Illusion への影響を確認する. 実物体は剛体とし, MR 型視覚刺激として実物体と同形状のケースに球を入れた仮想物体を提示する.

まず実験 1 では, 実物体に対して, ケース内部で球が移動している MR 型視覚刺激を重畳描画し, 球の運動状態の変化で重さ知覚に影響を及ぼすのか確認する. 更に, 実験 2 では, 仮想物体内部の球の大きさを変更した際の重さ知覚への影響を確認する. 実験 3 では, ケースを振る動作を行っている間の前腕の筋電位を計測・分析する.

#### 2.2 実験準備

##### 【実験環境】

実験で使用する MR システムの構成を図 1 に示す. 実験では, ビデオシースルー型 HMD (Canon, HM-A1) を用いて MR 映像を提示する. 体験者の頭部及び実物体の位置姿勢情報は磁気センサ (POLHEMUS, 3SPACE FASTRAK) から取得する. また体験者が MR 空間を観察する際, HMD に内蔵されたカメラからキャプチャされた画像に対して手領域の抽出を行い, その領域をマスクングすることで, 手に仮想物体が重畳描画されないようにする.

##### 【使用する実物体】

実験で被験者が把持する実物体には, 把手を取り付けた幅 165 mm × 奥行 80 mm × 高さ 90 mm のアクリルケースを用いる. 実験では, ケースの中心に錘を入れ, 固定することで, 重量が 750 g になるよう調整している (図 2).

##### 【MR 型視覚刺激】

MR 型視覚刺激として提示する仮想ケースの寸法は, 実

物体と同じである。実験で用いる仮想の球は、ケースの高さの半分の直径 45 mm を基準とし、実験では、その 50%、75%、100%、125%、150% の 5 種類 (表 1) の大きさを用意した。また、仮想物体の球部分は黒色、ケース部分を白色に着色している (図 3)。球の加速度  $a(t)$  の式 (1) は、球の移動を模した簡易的な運動モデル (図 4) を基に設定した。このモデルでは、被験者がケースを振る際、左右にしか振らないこと、球が斜面を移動する際には、必ず転がり、空気抵抗や慣性力は球に作用しないという条件を課すことで、簡易化している。

### 3. 実験 1: 固体の運動がもたらす重さ知覚への影響

錘を内部に固定した実物体に対して、ケース内部での仮想の球の移動を MR 型視覚刺激で表現し、その球の移動の有無によって重さ知覚に影響があるのか確認する。また、実物体との重さと比較するため、MR 型視覚刺激を提示しない条件も提示パターンに加えた。

#### 3.1 実験条件・手順

MR 型視覚刺激は、表 1 より球が移動する場合 (CG3)、移動しない場合 (CG8) を被験者の手の振りに合わせて提示する。よって、仮想物体を提示しない条件を加えた計 3 種類の提示パターンで、先行研究 [3] と同様にサーストン対比較法で重さ知覚の評価を行った。被験者は 20 代の男性 11 名である。振り動作を統制するため、テンポや姿勢を教示した上で、事前に十分練習させた。実験手順を以下に示す。

- (1) 被験者に HMD を装着
- (2) 3 種類の提示パターンから 2 種類をランダムに選出
- (3) (2) で選出した 2 種類のパターンのうち 1 つ提示
- (4) 被験者は実物体を把持し、メトロノームのテンポ (60BPM) に合わせて物体を左右に振る動作を行う
- (5) (2) で選出した残りの提示パターンについても同様に (3)(4) を繰り返す
- (6) 1 回目と 2 回目の試行を比較し、どちらがより重く感じるか回答させる
- (7) 筋疲労の影響を排除するために十分なインターバルを設ける
- (8) 残りの組み合わせについても、(2)~(7) を繰り返す

#### 3.2 結果と考察

実験 1 の結果を図 5 に示す。図中の数直線は提示パターンごとに得られた重さの心理尺度を示している。数値が小さくなるにつれて、被験者は把持物体をより重く感じたことを示す。主観実験の結果から、以下のことがわかる。

- (i) 仮想物体を提示した場合は、球の移動の有無にかかわらず、実物体よりも軽く感じる
- (ii) 仮想物体の球が移動することによって、移動しない場合よりも軽く感じる

符号検定によりすべての試行パターンから有意水準 1% の差が見られた。(i)(ii) の結果から、仮想物体内の物体が固体であっても、先行研究 [3] と同様に、重さ知覚に影響

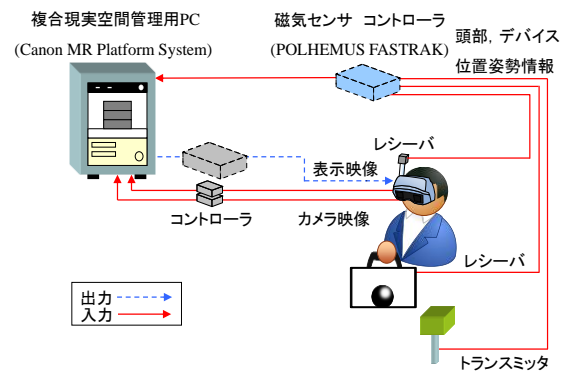
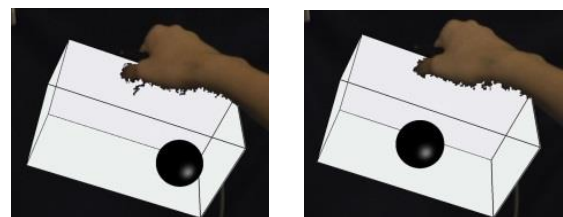


図 1 システム構成



(a) 実物体の外 (b) 実物体の内部  
図 2 実験で使った実物体



(a) 移動ありの場合 (b) 移動なしの場合  
図 3 実験で提示する MR 型視覚刺激

表 1 実験 2 で使用する提示パターンの種類

提示種類	動きの有無	標準との比較
CG1	球の移動あり	50% (22.50mm)
CG2		75% (33.75mm)
CG3		100% (45.00mm)
CG4		125% (56.25mm)
CG5		150% (67.50mm)
CG6	球の移動なし	50% (22.50mm)
CG7		75% (33.75mm)
CG8		100% (45.00mm)
CG9		125% (56.25mm)
CG10		150% (67.50mm)

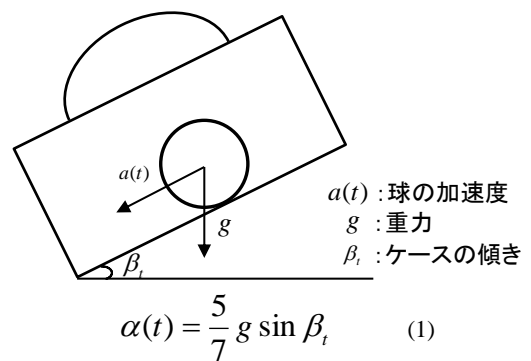


図 4 球の動きのモデル

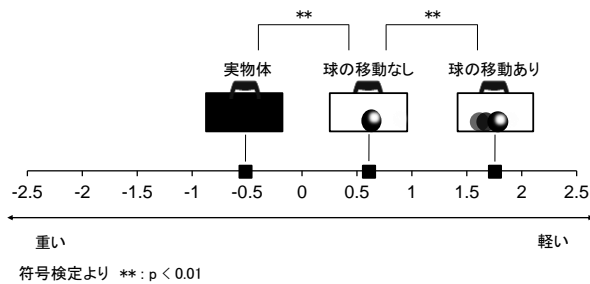


図5 実験1の結果

響を及ぼすことを実証した。よって、仮想物体を液体から運動の性質の異なる固体に変更しても、本錯覚現象が発生することを確認した。

#### 4. 実験2：MR型視覚刺激の大きさによる影響

実験2では、仮想物体の一つのパラメータとして、球の大きさの変化が重さ知覚に及ぼす影響を確認する。先行研究 [3] でも、仮想の液体の量を変えると、重さ知覚に影響を及ぼした。そこで、固体の球の大きさを変えた場合も同様の影響があるのか確認する。

##### 4.1 実験条件と手順

MR型視覚刺激として用意した提示パターンは球の大きさが異なるCG1～CG5の5種類で、球の移動の有無を加えた、計10パターン(表1)である。また、被験者は20代の男性11名である。実験方法は、サーストン対比較法による主観実験で、手順は実験1と同様である。

##### 4.2 結果と考察

実験2の結果を図6に示す。図中の数直線は、実験1と同様に被験者の重さに対する心理尺度である。実験2の結果から、以下のことがわかる。

- (i) 球が大きいほど把持物体を重く感じる。
- (ii) 球の大きさに関係なく、球を移動しない場合に把持物体を重く感じる

符号検定よりすべての試行パターンから有意水準1%の差が見られたことから、(i)のように球の大きさによって重さ知覚に影響を及ぼしていることがわかる。また、(ii)の結果から、球の大きさに関係なく球が移動する方が軽いという結果となった。よって、球の大きさの影響よりも球の動きによる影響の方が重さ知覚に強く影響することがわかった。これらの結果より、視覚刺激の条件のみで、同錯覚現象に影響を与えることが確認できた。

#### 5. 実験3：MR型視覚刺激による筋活動量への影響

実験1、実験2から仮想物体内部が固体であっても、本錯覚現象が生じることを確認した。先行研究 [3] の液体条件において、本錯覚現象は主観だけでなく、筋活動量にも影響を及ぼすことがわかっている。そこで、仮想物体が固体の場合についても、仮想の球の移動の有無が筋活動量にどのような影響を及ぼすのか観察・分析する。

##### 5.1 実験条件と手順

実験3で用いる提示パターンは、実験1と同じ3種類と

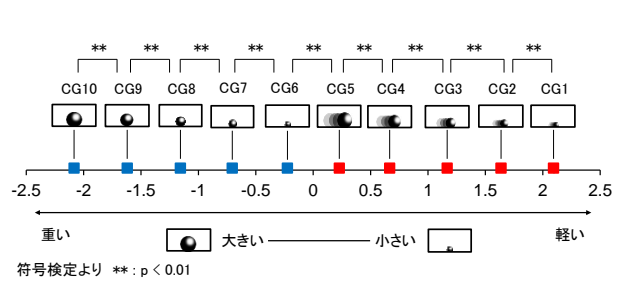


図6 実験2の結果

した。振り動作時に力を入れやすい回外筋の筋電位を計測した。計測のための電極にはディスプレイ電極を用いる。電極間距離25mmで貼付し、アース電極は橈骨茎状突起とした。筋電計から導出されたアナログ信号は、サンプリング周波数500HzでPCに取り込む。表面筋電図により筋電活動を観察する手法は様々あるが、本研究では振幅情報から算出される筋肉が活動する度合を指標化した%MVC (Maximal Voluntary Contraction) を利用する。筋電位の解析は、筋電計より得られた波形を全波整流化した後、被験者ごとに計測したMVCにより正規化し、%MVCを算出する。

また、図7のように把持物体の側部に加速度計(ATR-Promotions, TS-EMG01)を取り付け、振り動作の運動状態を記録する。具体的には、図中のZ軸方向の加速度を、筋電位と同時に計測した。加速度計は、サンプリング周波数500HzでPCに取り込んだ。被験者は20代の男性3名である。実験手順を以下に示す。

- (1) 被験者にHMDと筋電位計測用の電極を装着
- (2) 3種類の提示パターンから1種類をランダムに選出
- (3) 実物体を把持し、メトロノームのテンポに合わせて物体を左右に振る動作を行う
- (4) 筋疲労の影響を排除するために十分なインターバルを設ける
- (5) 残りの2パターンについても、(2)～(4)を繰り返す

##### 5.2 結果と考察

図8、図9、図10に、代表的な被験者の各提示パターンにおける振り動作1往復時の%MVCと実物体の加速度変化を示す。図中に、加速度の変化および実物体の振り動作のビデオ映像からもとめた実物体の姿勢を示している。本稿

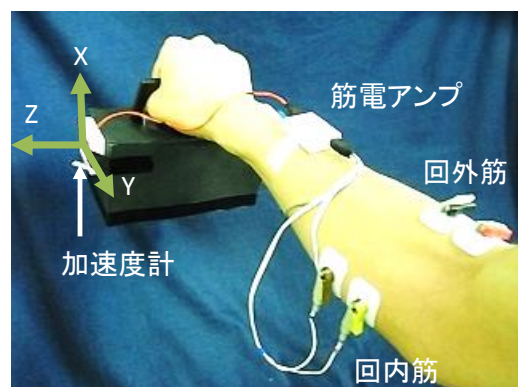


図7 筋電計と加速度計

では、図 7 に示す初期状態から実物体を振りあげるまでを初動負荷とよぶ。運動の始まりとなるこの初動負荷時に最も筋活動量が増加する。この初動負荷時における筋活動量を観察したところ、仮想物体の球の移動を重畳描画した場合の方が他の MR 視覚条件と比べて、筋活動量の増加が小さい傾向にあった。具体的には、図 8, 図 9, 図 10 では、球が移動する条件での初動負荷時の筋活動量の変化は 0.079%, 球が移動しない場合が 0.095%, 仮想物体を提示しない場合が 0.125% であった。

他の被験者でも同様の傾向があったが、その他の点では、筋活動量の波形は大きな違いはなく、被験者によっては、仮想の球が壁面に衝突するところで筋活動量の増加が観察される場合があった。

以上の観察結果から、主観的に軽いと感じている条件で、初動負荷時に手(腕)にあまり力を入れていない傾向が見られた。

## 6. まとめ

本研究では、錘を入れたケースに、球を入れた仮想物体を重畳描画した。そして、球の仮想物体のパラメータとして、「移動の有無」「大きさ」を変化させた際、重さ知覚へ及ぼす影響を主観実験と筋電計を用いた実験により確認した。実験結果を分析した結果、以下のような知見が得られた。

- (a) MR 型視覚刺激として球の移動を提示することによって、重さ知覚に影響を与えた
- (b) 視覚刺激の条件(球の大きさ)のみを変化させた際に、重さ知覚に影響を与えた
- (c) 仮想の球が移動することによって、筋活動量に影響を与える

これらより、把持物体内部で動的に変化する仮想物体が固体の場合においても、触力覚に影響を及ぼし、R-V Dynamics Illusion が発生することを実証した。仮想物体のパラメータとして、「移動の有無」や「球の大きさ」といった視覚刺激を変化させることで、重さ知覚に影響を与えることがわかった。そして、錯覚時の筋活動量は、MR 型視覚刺激を変更した際に変化していることがわかり、主観のみではなく運動にも影響を及ぼしていることがわかった。よって、固体の条件の様に実物体と仮想物体の触力覚に大きく差異があっても、本錯覚現象は発生することが確認できた。

今後の課題として、球の移動に関する各種パラメータの変更による影響を、主観実験だけでなく筋活動量計測による運動解析により同錯覚現象のメカニズムを明らかにしていく。

**謝辞** 本研究は、科研費・若手研究 B「複合現実空間における痛覚・温冷覚提示に関する研究」による。

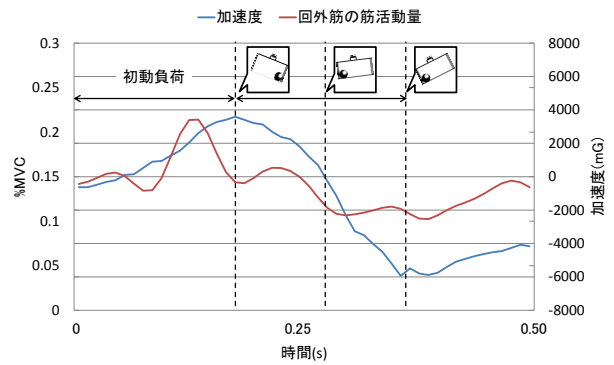


図 8 球が移動する場合の筋活動量の結果

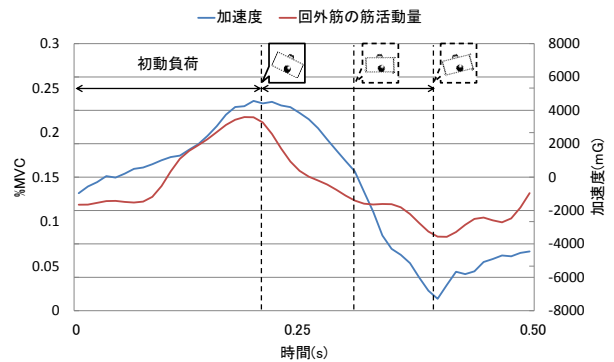


図 9 球が移動しない場合の筋活動量の結果

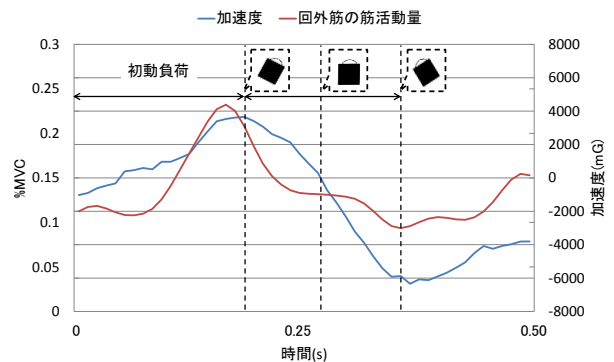


図 10 仮想物体を提示しない場合の筋活動量の結果

## 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] 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.
- [3] 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.