

# 複合現実空間における直感インタラクションの検討と評価

代表研究者 氏名 山添 崇 成蹊大学 理工学部 助教

## 1 はじめに

複合現実（以下、MR）は仮想現実や強化現実から一步進んだ情報提示技術であり、光学系を通して仮想情報を現実世界に複合させることで成立する。そして、この手法を駆使すると、仮想情報を現実のように直観的に操作することができる。仮想情報の操作は人間の様々な動きを映像に反映し、映像からもリアクションを返すことでインタラクションが成り立ち、ユーザビリティが構築される。しかしながらMRのインタラクションとユーザビリティの関係を評価した研究・事例はほとんど行われていない。先行研究としてインタラクション評価の前段階であるワークロードの評価<sup>[1]</sup>と没入感の評価<sup>[2]</sup>が実施されている。

ワークロードの評価に関する先行研究<sup>[1]</sup>では、公共施設内を歩行中に単眼HMDを使用して動画コンテンツを閲覧し、屋外環境でのユーザーエクスペリエンスの評価が行われた。8人の実験参加者が大型ショッピングモール内を歩行しながらニュース動画を視聴し、生理心理負荷の計測が実施された。比較対象のデバイスでは単眼式ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）と携帯型メディアプレーヤーを用いて、心理・生理学的反応の測定が行われた。主観的な作業負荷や症状の評価には、VSQ<sup>[3]</sup>（視覚症状の評価）、SSQ<sup>[4]</sup>（シミュレーター酔いの評価）、NASA-TLX<sup>[5]</sup>（ワークロードの評価）が用いられた。VSQは視覚症状を評価することを目的としたアンケートであり、実験参加者は4点満点で回答する。SSQは、シミュレーター酔いを3つの要素（吐き気、眼球運動、意識障害）から判断するためのアンケートで、これら3つの成分の合計がSSQの総合スコアとなる。NASA-TLXは、タスクに対する作業量を評価する方法である。NASA-TLXでは、6つの加重サブスケール（精神的要求（MD）、身体的要求（PD）、時間的圧迫感（TD）、作業達成度（OP）、努力（EF）、不満度（FR））を組み合わせることで総作業量スコアを決定する。客観的指標には、心拍数と歩幅、実験参加者の顔の前の環境をビデオで撮影したものが用いられた。評価の結果、単眼式HMDを用いたMR環境では生理心理負荷が微増程度に留まり、実用的であることが示唆されている。また視覚的な負荷が人間のワークロードに大きな影響を与えていることも示唆されている。

仮想環境における没入感とVR酔いの関連性の評価研究<sup>[2]</sup>では、VR酔いとVRタスクの叙事的（ナラティブ）な導入やゲーム体験等のVR体験に関する要因との関連性の評価を通じて統合的に没入感を評価した。この研究では、質問紙によるVR酔いの評価および没入感との関連性、および「十分な」-「最低限の」軸を持つナラティブな導入の評価を行なった。主観的な評価にはSSQ（シミュレーター酔いの評価）とPENS（ゲーム経験に関する質問）を用いた。評価実験は大学内と公共施設の博物館内で行われ、実験参加者128名が参加した。評価の実験の結果、没入感とVR酔いに直接的な関連は見られないことが示唆されている。加えて、同じような視覚でもコンテンツの内容によって実験参加者の応答が異なり、コンテンツの内容は没入感とVR酔い両方にコンテンツの内容が間接的に影響を与えている可能性が高いという結果が示されている。また、臨場感や酔いの症状は視覚情報以外の感覚からの影響も大きいことも示唆されている。

先行研究の事例から、複合現実の空間におけるインタラクションの理解には、コンテンツの視覚的な要素と状況を指し示すアフォーダンスに依存する可能性が高いことが考えられる。そこで本研究では、人間がコミュニケーション時に用いる基本動作を分類し、それぞれの動作状況に対してインタラクションでアノテーション情報を呈示し、主観評価を実施するものとした。

## 2 インタラクションと動作の分類

### 2-1 動作の分類

MR 空間内でのインタラクションを評価するにあたって、人間のコミュニケーション手段に着目し、その動作を行なった。情報をやり取りする際にコミュニケーションを図る行動をとることが、人間にとって直感的で自然な動作である。そこで人間の主な情報交換の手段を分類した。

人間のコミュニケーション行動は、主に、会話、ジェスチャー、文字情報のやりとり、物品のやりとり、アイコンタクトの5つに分類することができる。これらのコミュニケーションには複数の動作で構成されており、個々の動作を分類した。会話に含まれる動作は、口を動かす、声を出す、声を聴くおよび、表情を見る。ジェスチャーに含まれる動作は、手や腕、体全体を動かす、動きを見るおよび、表情を見る。文字情報のやりとりに含まれる動作は、文字を書くおよび、文字を読む。物品のやりとりに含まれる動作は、物を渡すおよび、物を受け取る。アイコンタクトに含まれる動作は、目を見るおよび、目から読み取る。これらの個々の動作に直感的な理解しやすさが内包されており、これらの動作に基づいて直感的なインタラクションの要素を決定するものとした。

表1 コミュニケーションと対応する動作の分類

コミュニケーション	動作
会話	口を動かす 声を出す 声を聴く 表情を見る
ジェスチャー	手や腕 体全体を動かす 動きを見る 表情を見る
文字情報のやりとり	文字を書く 文字を読む
物品のやりとり	物を渡す 物を受け取る
アイコンタクト	目を見る 目から読み取る

### 2-2 インタラクションの設定

2-1 で分類された動作に対応するインタラクションの要素をそれぞれの設定を行なった。動作とインタラクションの要素の対応表を表2に示す。

表2 動作とインタラクション要素の対応

動作	インタラクション要素
口を動かす 声を出す 声を聴く 表情を見る	振動伝達 色変化 音声案内
手や腕 体全体を動かす 動きを見る 表情を見る	振動伝達 色変化
文字を書く 文字を読む	文字情報の呈示 アノテーションの呈示
物を渡す 物を受け取る	振動伝達
目を見る 目から読み取る	視線変化追跡 眼球運動追跡

体全体を動かす、動きを見る、物を渡すおよび物を受け取る動作は、振動伝達のインタラクションに対応する。表情を見るおよび動きを見る動作は、色変化のインタラクションにも対応する。文字を書くおよび文字を読む動作は、文字情報およびアノテーションの呈示のインタラクションに対応する。声を出すおよび、声を聴く動作は、音声案内のインタラクションに対応する。目を見るおよび目から読み取る動作は、視線変化追跡および眼球運動追跡のインタラクションに対応する。

本研究では、光学シースルー型 HMD (Magic Leap 1, Magic Leap 社) を用いて MR 環境の構築を行った。この関係で実装可能な、振動、色変化、音声案内、アノテーションの呈示の 4 種のインタラクションを実装するものとした。

### 3 実験

#### 3-1 複合現実環境および機材

複合現実環境の構築には、ゲームエンジン (Unity 2019. 3. 15f, Unity 社) と光学シースルー型 HMD (Magic Leap 1, Magic Leap 社) を用いた。

具体的には、ゲームエンジン上でプログラミング言語 C# を用いて一般的なコミュニケーション動作である会話の動作・物を渡す動作・物を拾う動作・文字情報のやりとりの 4 動作に、振動、色変化、音声案内、アノテーションの呈示の 4 種のインタラクションを、仮想オブジェクトである人型オブジェクトと球体オブジェクト (非人型オブジェクト) に実装した。

光学シースルー型 HMD (図 1) は文字通り光学シースルー型のディスプレイを持っているため、映像情報と現実の視覚情報を複合させることが可能である。約 130 万画素のディスプレイを左右に持ち、視野角は 50° である。操作は専用のコントローラによって行う。コントローラは 6 方向の動きに対応し、触覚フィードバックを有しており、振動のインタラクションはコントローラを介して伝達される。



図 1 光学シースルー型 HMD (Magic Leap 1, Magic Leap 社)

### 3-2 人型オブジェクトのインタラクション刺激の作成

人型オブジェクト刺激に実装する動作は、会話の動作・物を渡す動作・物を拾う動作・文字情報のやりとりの動作の4つとした。これは、前項で分類した動作に基づいて設定を行なった。



図2 会話動作（人型オブジェクト）

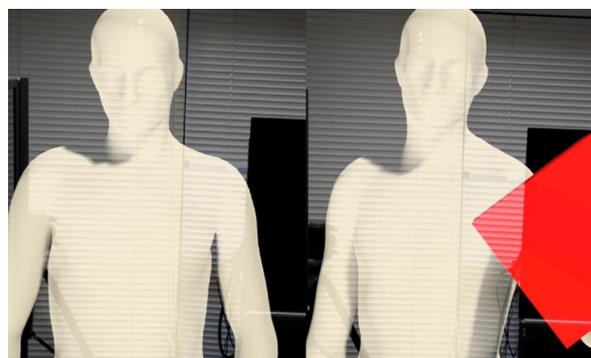


図3 物を渡す動作（人型オブジェクト）

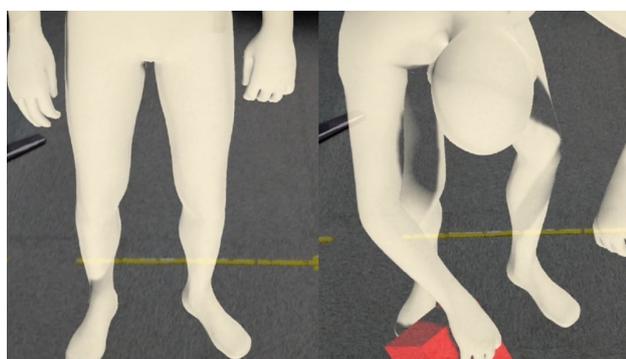


図4 物を拾う動作（人型オブジェクト）

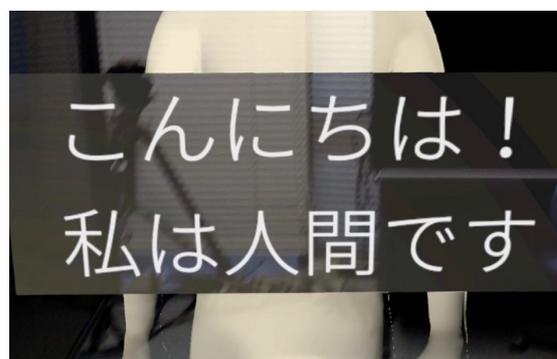


図5 文字情報のやりとり（人型オブジェクト）

会話の動作(図2)は、人型オブジェクトが頷きながら、「こんにちは！私は人間です」という音声を再生する動作とした。物を渡す動作(図3)は、人型オブジェクトが左手を伸ばして赤いキューブを渡す動作とした。物を拾う動作(図4)は、人型オブジェクトがしゃがんで赤いキューブを拾う動作とした。文字情報のやりとりの動作(図5)は、「こんにちは！私は人間です」と書かれた板を人型オブジェクトの前に表示する動作とした。

それぞれの動作に対して4つの異なるインタラクション、音声案内・色変化・文字情報の呈示・振動を付与する。動作とインタラクションの対応を表3に示す。

表3 人型オブジェクトの動作とインタラクションの対応

動作	インタラクション1	インタラクション2	インタラクション3	インタラクション4
会話	音声案内	色変化	文字情報の呈示	振動
物を渡す	音声案内	色変化	文字情報の呈示	振動
物を拾う	音声案内	色変化	文字情報の呈示	振動
文字情報のやりとり	音声案内	色変化	文字情報の呈示	振動

音声案内のインタラクションは、行われる動作を音声で示すインタラクションとした。会話の動作の場合は「自己紹介です」、物を渡す動作の場合は「物を渡します」、物を拾う動作の場合は「物を拾います」、文字情報のやりとりの動作の場合は「文字情報を呈示します」という音声を再生するものとした。

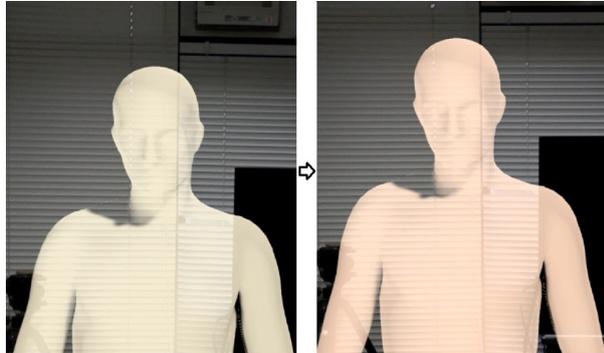


図6 人の色変化インタラクション



図7 人の文字情報の呈示インタラクション

色変化のインタラクションは、図6のように色が灰色から赤みを帯びた灰色へと変化するインタラクションとした。文字情報の呈示のインタラクションは、図7のように行われる動作を人型オブジェクトの右上に、文字情報で示すインタラクションとした。会話の動作の場合は「自己紹介です」、物を渡す動作の場合は「物を渡します」、物を拾う動作の場合は「物を拾います」、文字情報のやりとりの動作の場合は「文字情報を呈示します」という文章を表示するものとした。振動のインタラクションは、人型オブジェクトが上下に振動すると同時にコントローラーが振動するインタラクションとした。

### 3-3 球体オブジェクトのインタラクション刺激の作成

球体オブジェクト刺激に実装する動作は、会話の動作・物を渡す動作・文字情報のやりとりの動作の3つとした。予備実験において物を拾う動作にアフォーダンスが成立しなかったため、本実験の評価では実装を見送った。



図8 会話動作（球体オブジェクト）

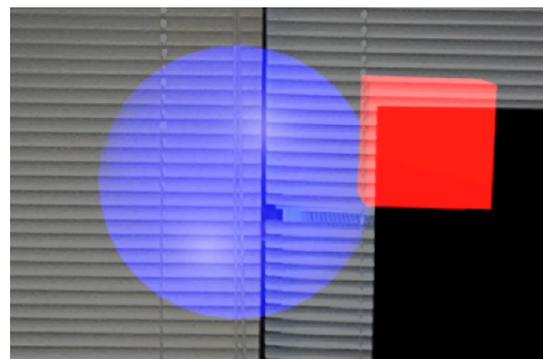


図9 物を渡す動作（球体オブジェクト）



図 10 文字情報のやりとり(球体オブジェクト)

会話の動作(図 8)は、球体オブジェクトが頷きながら、「こんにちは！私は球体です」という音声を再生する動作とした。物を渡す動作(図 9)は、球体オブジェクトが赤いキューブを渡す動作とした。文字情報のやりとりの動作(図 10)は、「こんにちは！私は球体です」と書かれた板を球体オブジェクトの前に表示する動作とした。

それぞれの動作に対して 4 つの異なるインタラクション、音声案内・色変化・文字情報の呈示・振動を付与する。動作とインタラクションの対応を表 4 に示す。

表 4 球体オブジェクトの動作とインタラクションの対応

動作	インタラクション1	インタラクション2	インタラクション3	インタラクション4
会話	振動	文字情報の呈示	色変化	音声案内
文字情報のやりとり	振動	文字情報の呈示	色変化	音声案内
物を渡す	振動	文字情報の呈示	色変化	音声案内

音声案内のインタラクションは、行われる動作を音声で示すインタラクションとした。会話の動作の場合は「自己紹介です」、文字情報のやりとりの動作の場合は「文字情報を呈示します」、物を渡す動作の場合は「物を渡します」という音声を再生するものとした。色変化のインタラクションは、図 11 のように色が青色から薄い青色へと変化するインタラクションとした。文字情報の呈示のインタラクションは、図 12 のように行われる動作を球体オブジェクトの右上に、文字情報で示すインタラクションとした。会話の動作の場合は「自己紹介です」、文字情報のやりとりの動作の場合は「文字情報を呈示します」、物を渡す動作の場合は「物を渡します」という文章を表示するものとした。振動のインタラクションは、球体オブジェクトが上下に振動するのと同時にコントローラーが振動するインタラクションとした。

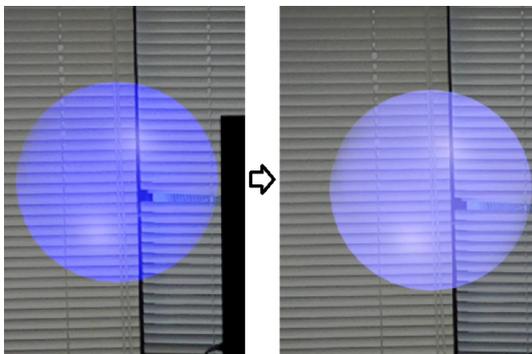


図 11 球体の色変化インタラクション



図 12 球体の文字情報の呈示インタラクション

### 3-4 主観評価

直感的な印象は主に人間の主観によって判断を行うため、インタラクションの評価には主観評価を用いた。主観評価とは、対象となる実験参加者自身が刺激から感覚的に捉えた情報を基準とし言語非言語を問わず評価を行う手法である。先行研究のサーベイから、主観評価には、NASA-TLX と 7 件法によるインタラクション評価を用いた。

7 件法の評価項目は 7 段階[-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3]とし、表 5.1 に示す 30 の評価項目を使用した。参加者がインタラクションに対する応答が不明確であるため、考えられる範囲内で関連性の高い 30 の項目を設定した。一部重複する内容が含まれているが言語的な観点から個別の評価軸として設定した。

表 5 7 件法によるインタラクション評価

評価項目	項目対
わかりやすさ	わかりづらい — わかりやすい
興味深さ	興味をそそらない — 興味深い
疲れやすさ	疲れやすい — 疲れにくい
好き嫌い	嫌い — 好き
自然さ	不自然 — 自然
快適さ	不快 — 快適
きれいさ	汚い — きれい
安心感	不安 — 安心
単純さ	複雑 — 単純
美しさ	醜い — 美しい
新しさ	古い — 新しい
温かさ	冷たい — 温かい
安全性	危険 — 安全
静かさ	うるさい — 静か
新鮮さ	常套（古臭い） — 新鮮
普遍的か	特殊 — 普遍的
穏やかさ	荒い — 穏やか
優劣	劣っている — 優れている
苦楽	辛い — 楽
楽しさ	つまらない — 楽しい
便利さ	不便 — 便利
斬新さ	陳腐 — 斬新
簡略さ	煩雑 — 簡略
自由さ	窮屈 — 自由
派手さ	地味 — 派手
適切さ	不適切 — 適切
賑やかさ	寂しい — 賑やか
明瞭さ	曖昧 — 明瞭
優しさ	厳しい — 優しい
友好的か	敵対的 — 友好的

### 3-5 実験参加者

実験参加者は、色覚の問題のない、矯正視力 0.5 以上かつ着座の維持に問題のない、22-23 歳の男女 3 名（男性 1 名、女性 2 名）とした。実験参加者は、事前に研究内容に関するインフォームドコンセントを受け、実験参加者の意思で同意を得た。3 名のうち 2 名は実験の内容、呈示刺激の例など実験に関わる内容の一部を事前を知る者であった。残る 1 名は本実験の参加に際して、インフォームドコンセント以前には実験の内容を知らない者であった

### 3-6 手順

参加者は実験実施者の指示に従い、インタラクション刺激を再生した。インタラクション刺激の再生後に、参加者は NASA-TLX および 7 件法によるインタラクション評価を実施し、紙の評価シートへ記入した。参加者 7 種類のインタラクション刺激に対してそれぞれ 4 つのインタラクションを再生するものとした。インタラクション刺激の呈示順は、順序効果を考慮するためランダム化を行い、参加者ごとに呈示の順番を変えるものとした。

### 3-7 解析

NASA-TLX および 7 件法のスコアは、動作とインタラクションの 2 要因の分散分析と多重比較 (Bonferroni-Dunn) を行った。加えて人型オブジェクトと球体オブジェクトの比較には T 検定を用いた。

### 3-8 結果

#### (1) わかりやすさ

わかりやすさの評価結果を図 13 に示す。分散分析および多重比較の結果、色変化のインタラクションと文字呈示のインタラクション ( $p < 0.001$ ) および色変化のインタラクションと振動のインタラクションにスコアの差 ( $p < 0.05$ ) が見られ、色変化のインタラクションのスコアが高い結果となった。

動作とインタラクションの分かりやすさの結果を図 14 に示す。分散分析および多重比較の結果、会話の動作において色変化のインタラクションと振動のインタラクションにスコアの差が見られ、色変化のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。

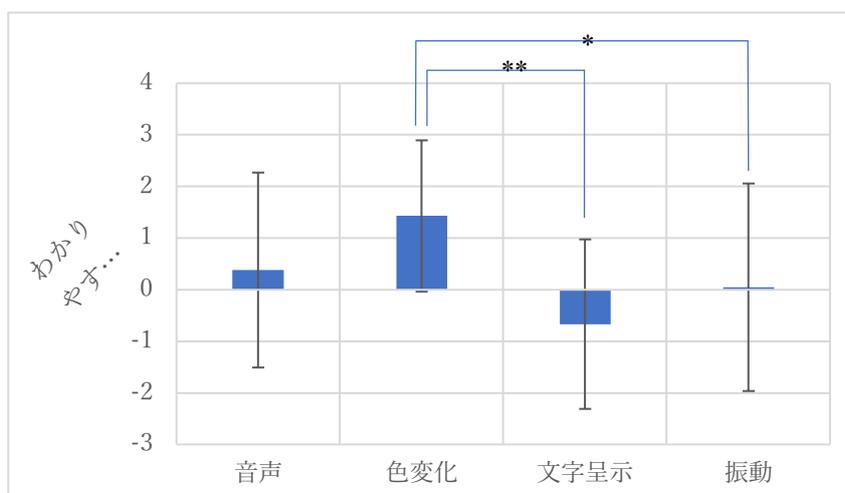


図 13 わかりやすさの結果  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$ 、\*\*: $p < 0.001$ )

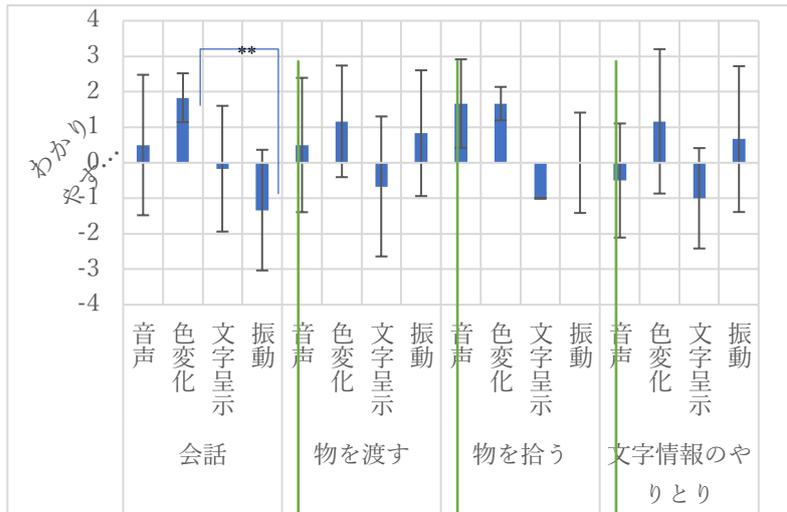


図 14 動作ごとの分かりやすさの結果  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$ )

## (2) 自然さ

動作とインタラクションの自然さの結果を図 15 に示す。分散分析および多重比較の結果、会話の動作においては音声案内のインタラクションと振動のインタラクションにスコアの差が見られ、音声案内のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。また、色変化のインタラクションと振動のインタラクションにもスコアの差が見られ、色変化のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。物を拾う動作においては、音声案内のインタラクションと振動のインタラクションにスコアの差が見られ、音声案内のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。また、色変化のインタラクションと振動のインタラクションにもスコアの差が見られ、色変化のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。同様に、文字呈示のインタラクションと振動のインタラクションにもスコアの差が見られ、文字呈示のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。

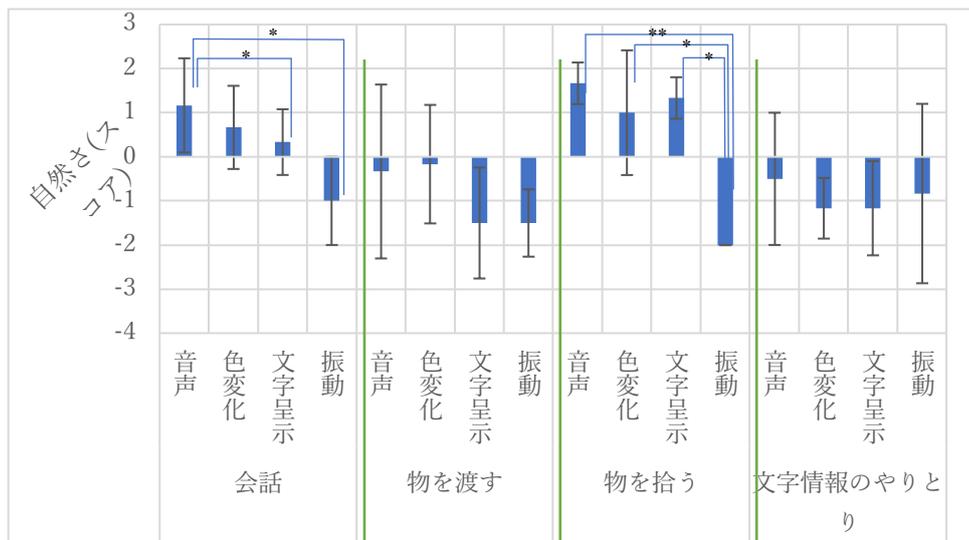


図 15 動作とインタラクション別の自然さの結果  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$  \*\*: $p < 0.01$ )

### (3) 単純さ

動作の単純さの結果を図 16 に示す。分散分析および多重比較の結果、会話の動作と文字情報のやりとりの動作にスコアの差が見られ、会話の動作のスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。また、物を渡す動作と文字情報のやりとりの動作にスコアの差が見られ、物を渡す動作のスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。

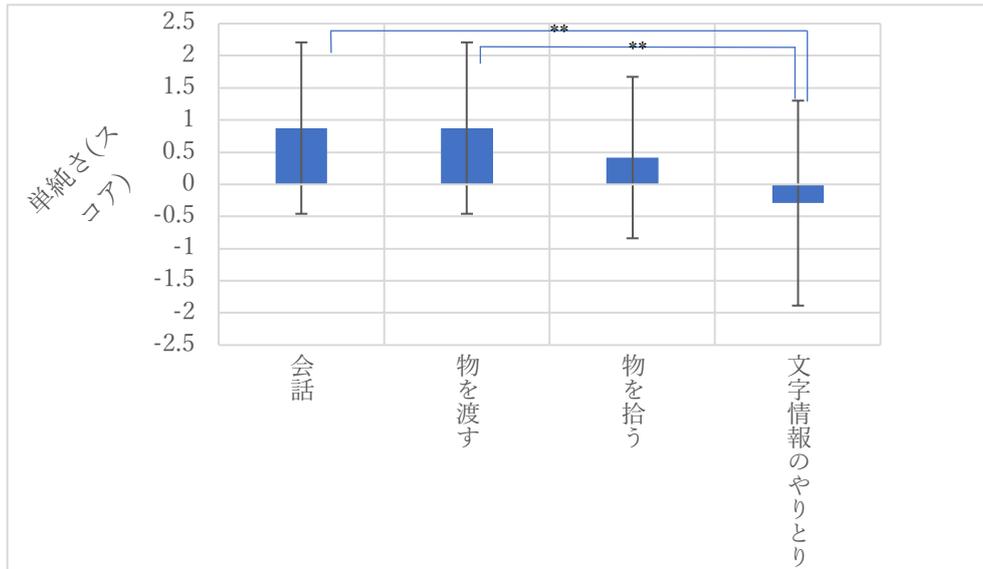


図 16 単純さの結果 (動作別)  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$ )

### (4) 疲れやすさ

人と球体の疲れやすさの結果を図 17 に示す。T 検定の結果、人と球体の疲れやすさのスコアに差が生じた。球体オブジェクトは人型オブジェクトよりも疲れやすさのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。

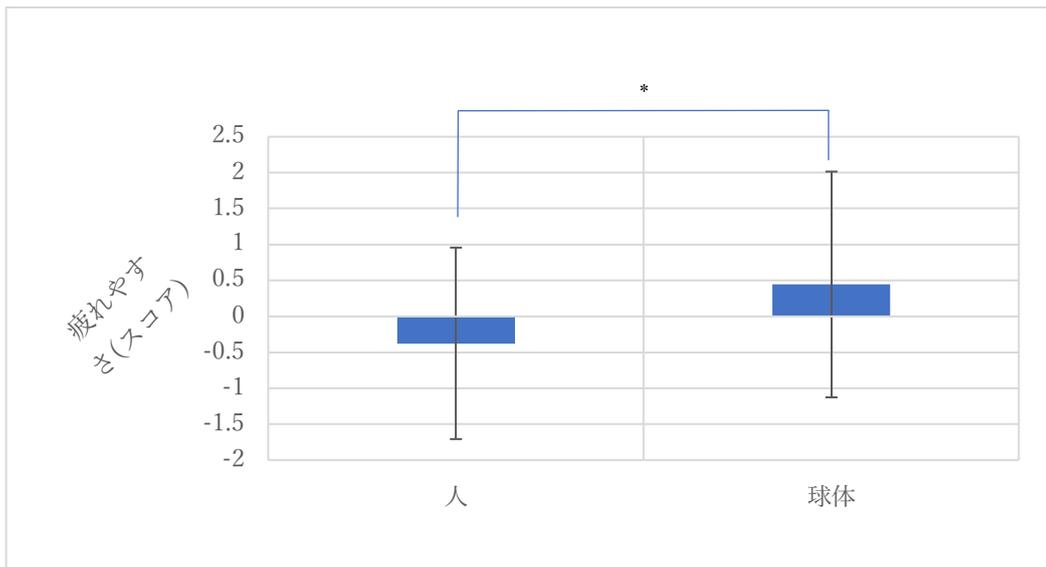


図 17 人と球体の疲れやすさの比較  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$ )

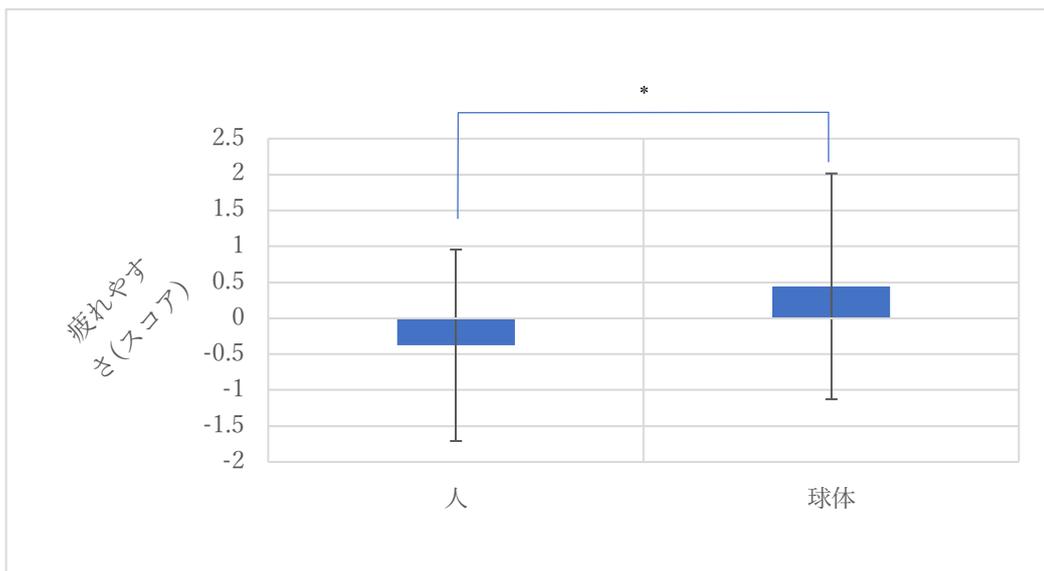


図17 人と球体の疲れやすさの比較  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p<0.05$ )

#### (5) 安心感

人と球体の安心感の結果を図18に示す。T検定の結果、人と球体の安心感のスコアには差が生じた。球体オブジェクトは人型オブジェクトよりも安心感のスコアが高い結果 ( $p<0.05$ ) となった。

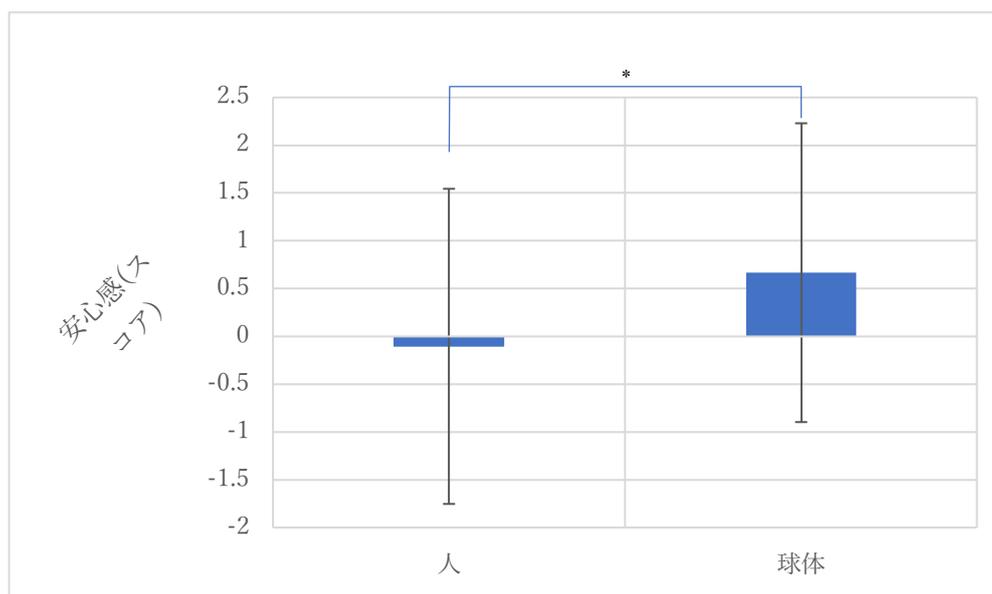


図18 人と球体の安心感の比較  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p<0.05$ )

## (6) 新しさ

人と球体の新しさの結果を図 19 に示す。T 検定の結果、人と球体の新しさのスコアに差が生じた。人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも新しさのスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。

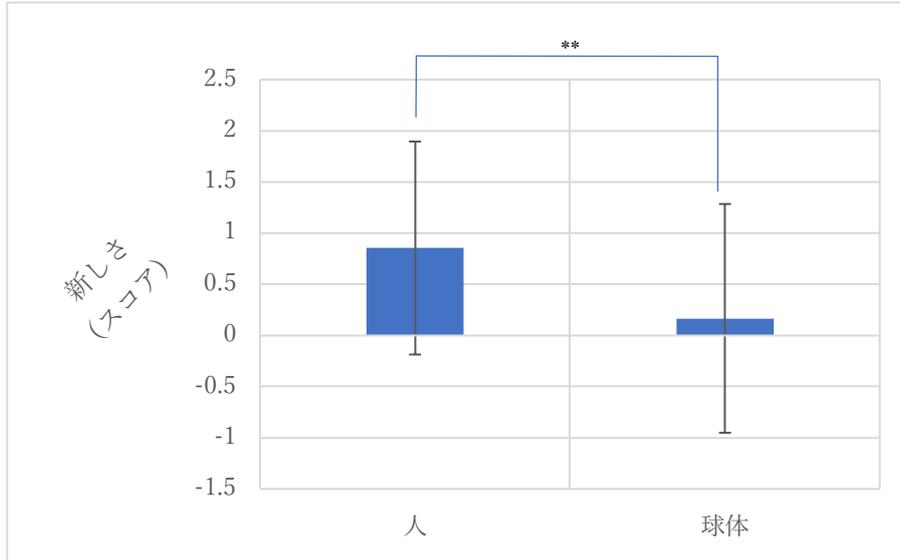


図 19 人と球体の新しさの比較  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$ )

## (7) 温かさ

動作の温かさの結果を図 20 に示す。分散分析および多重比較の結果、会話の動作と文字情報のやりとりの動作にスコアの差が見られ、会話の動作のスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。また、会話の動作と物を渡す動作にもスコアに差が見られ、会話の動作のスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。

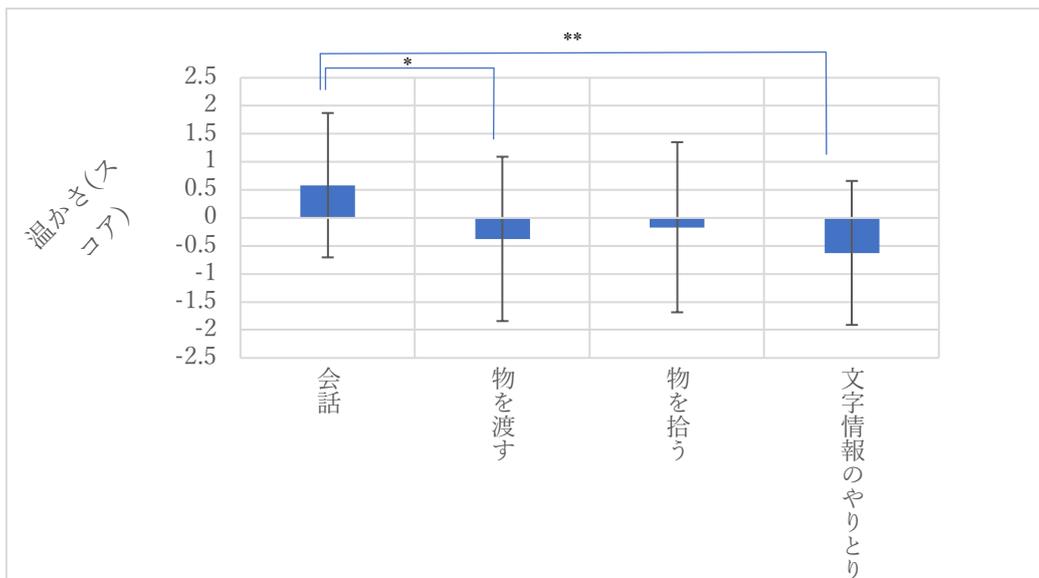


図 20 温かさの結果 (動作ごと)  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$  \*\*: $p < 0.01$ )

### (8) 静けさ

動作の静かさを図 21 に示す。分散分析および多重比較の結果、会話の動作と物を渡す動作にスコアの差が見られ、物を渡す動作のスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。

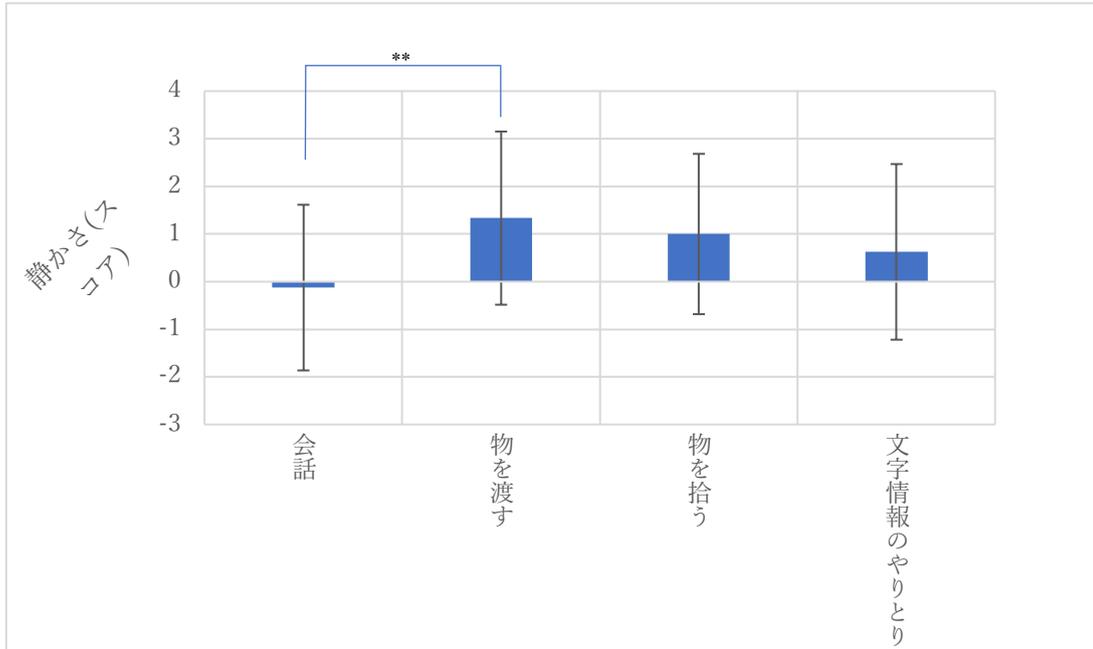


図 21 静かさの結果 (動作ごと)  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$ )

### (9) 新鮮さ

人と球体の新鮮さの結果を図 22 に示す。T 検定の結果、人と球体の新鮮さのスコアに差が生じた。人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも新鮮さのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。

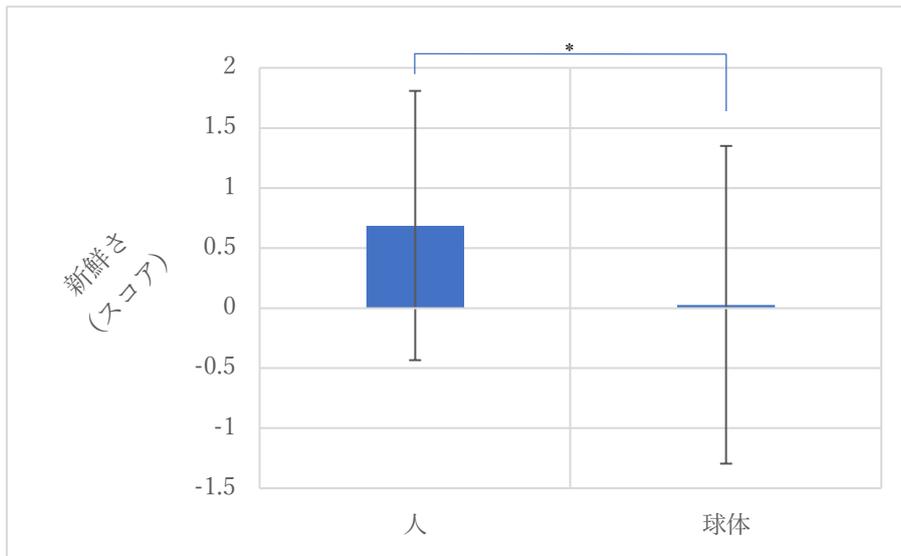


図 22 人と球体の新鮮さの比較  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$ )

## (10) 穏やかさ

インタラクションの穏やかさの結果を図 23 に示す。分散分析および多重比較の結果、音声案内のインタラクションと振動のインタラクションにスコアの差が見られ、音声案内のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.001$ ) となった。また、色変化のインタラクションと振動のインタラクションにもスコアの差が見られ、色変化のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.001$ ) となった。同様に、文字呈示のインタラクションと振動のインタラクションにもスコアの差が見られ、文字呈示のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.001$ ) となった。

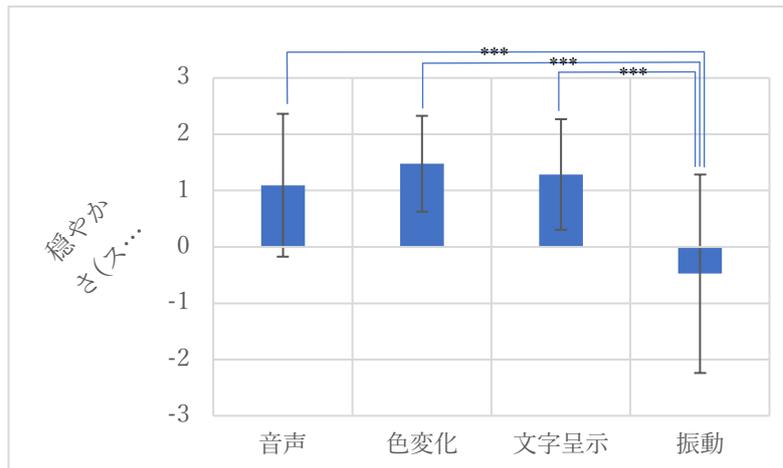


図 23 穏やかさの結果  
(エラーバーは標準偏差、\*\*\*:  $p < 0.001$ )

## (11) 楽しさ

インタラクションの楽しさの結果を図 24 に示す。分散分析および多重比較の結果、音声案内のインタラクションと文字呈示のインタラクションにスコアの差が見られ、音声案内のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。また、色変化のインタラクションと文字呈示のインタラクションにもスコアの差が見られ、色変化のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。同様に、文字呈示のインタラクションと振動のインタラクションにもスコアの差が見られ、振動のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。

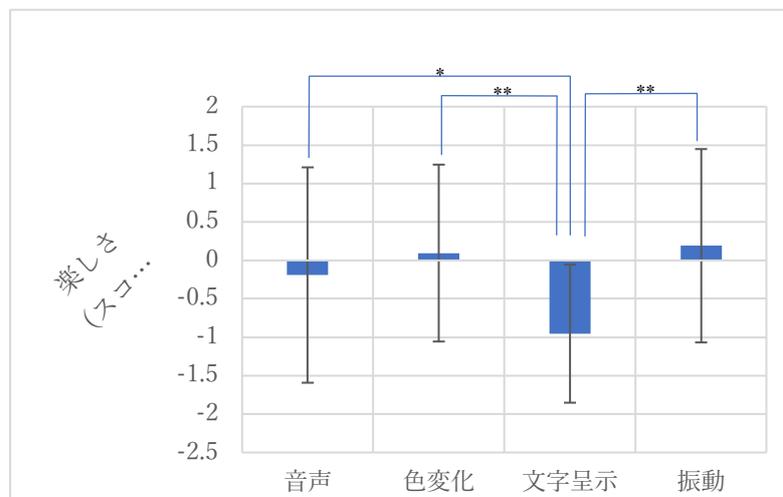


図 24 インタラクション別の楽しさの結果  
(エラーバーは標準偏差、\*:  $p < 0.05$  \*\*:  $p < 0.01$ )

## (12) 斬新さ

インタラクションの斬新さの結果を図 25 に示す。分散分析および多重比較の結果、音声案内のインタラクションと文字呈示のインタラクションに差が見られ、音声案内のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。また、色変化のインタラクションと文字呈示のインタラクションにも差が見られ、色変化のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。同様に、文字呈示のインタラクションと振動のインタラクションにも差が見られ、振動のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。

また、人と球体の斬新さの結果を図 26 に示す。T 検定の結果、人と球体の斬新さのスコアには差があり、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも斬新さのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。

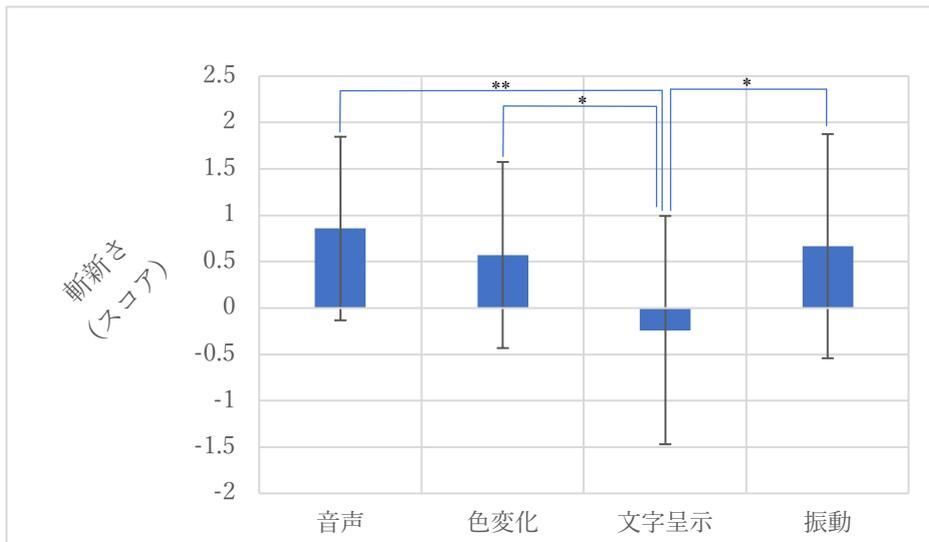


図 25 斬新さの結果  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$  \*\*: $p < 0.01$ )

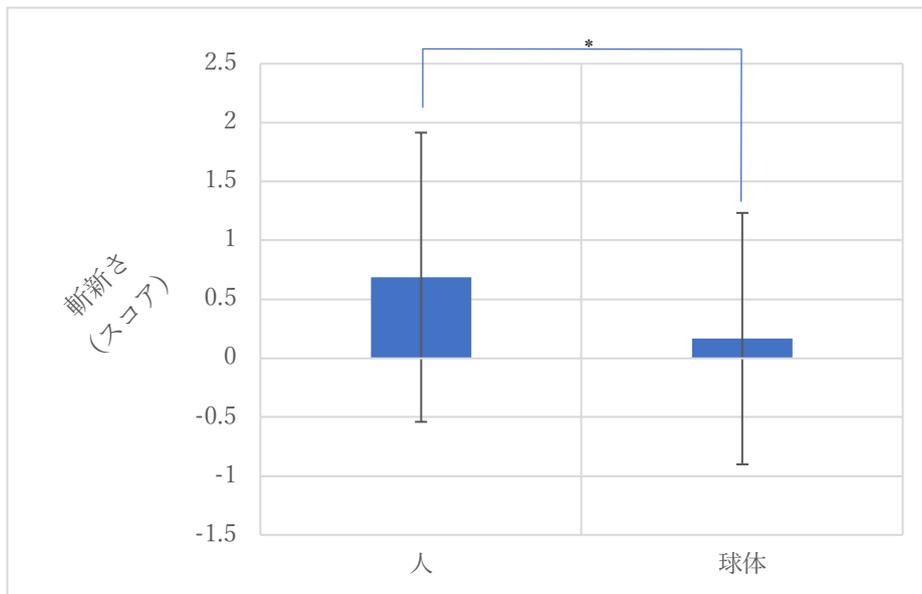


図 26 人と球体の斬新さの比較  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$ )

### (13) 自由さ

人と球体の自由さの結果を図 27 に示す。T 検定の結果、人と球体の自由さのスコアには差が生じた。人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも自由さのスコアが高い結果 ( $p < 0.05$ ) となった。

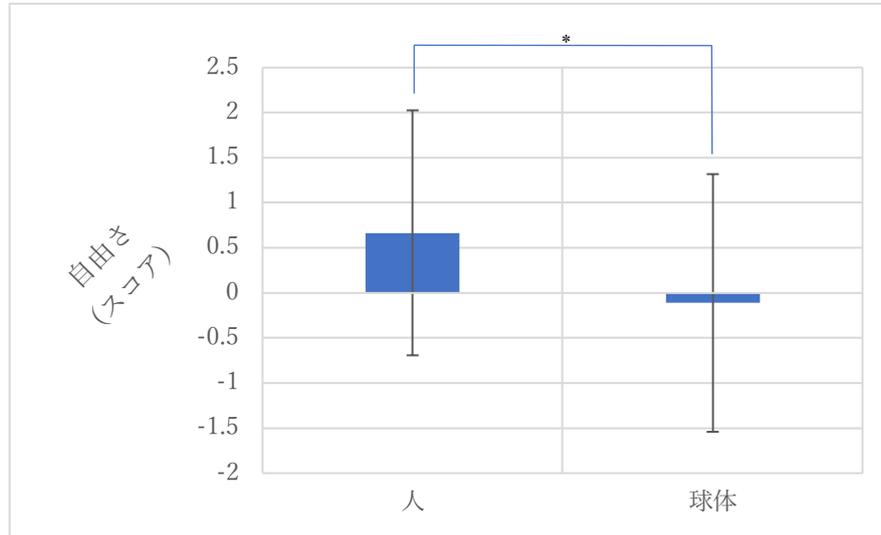


図 27 人と球体の自由さの比較  
(エラーバーは標準偏差、\*: $p < 0.05$ )

### (14) 派手さ

インタラクションの派手さの結果を図 28 に示す。分散分析および多重比較の結果、文字呈示のインタラクションと振動のインタラクションにスコアの差が見られ、振動のインタラクションのスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。

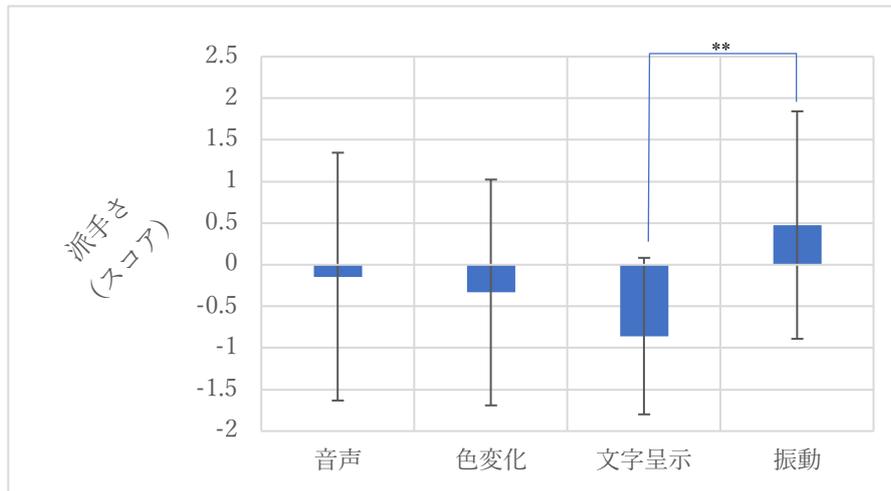


図 28 派手さの結果  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$ )

### (15) PD の結果(NASA-TLX)

NASA-TLX における、人と球体の PD (身体的要求) の結果を図 29 に示す。T 検定の結果、人と球体の PD のスコアには差があり、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも PD のスコアが高い結果 ( $p < 0.01$ ) となった。

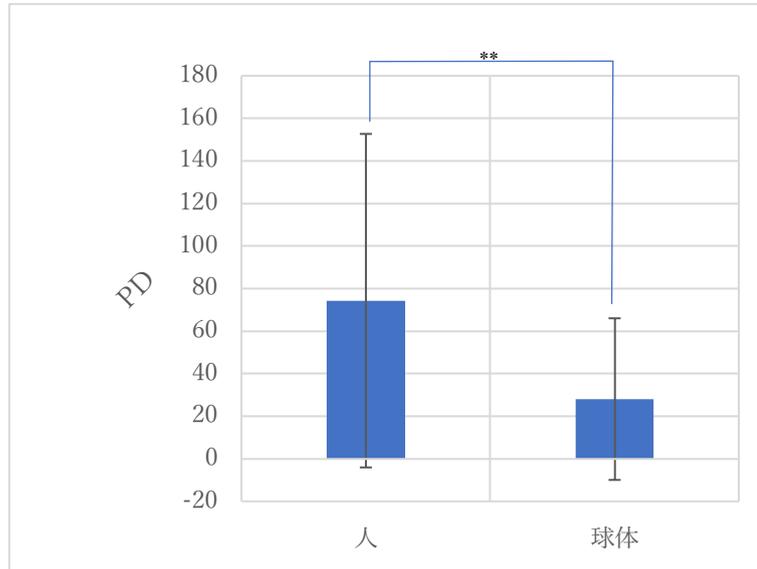


図 29 人と球体における PD の比較  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$ )

### (16) TD の結果 (NASA-TLX)

NASA-TLX における、人と球体の TD (時間的圧迫感) の結果を図 30 に示す。T 検定の結果、人と球体の TD のスコアには差があり、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも TD のスコアが高い結果 ( $p < 0.001$ ) となった。

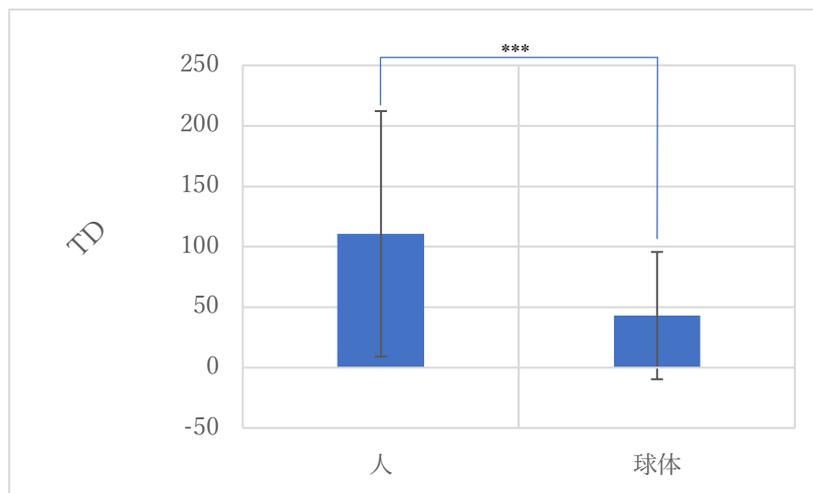


図 30 人と球体の TD の比較  
(エラーバーは標準偏差、\*\*\*: $p < 0.001$ )

### (17) FR の結果(NASA-TLX)

NASA-TLX における、FR（不満度）の結果を図 31 に示す。分散分析および多重比較の結果、会話の動作と文字情報のやりとりの動作に差が見られ、文字情報のやりとりの動作のスコアが高い結果（ $p < 0.001$ ）となった。また、物を渡す動作と文字情報のやりとりの動作に差が見られ、文字情報のやりとりの動作のスコアが高い結果（ $p < 0.01$ ）となった。同様に、物を拾う動作と文字情報のやりとりの動作に差が見られ、文字情報のやりとりの動作のスコアが高い結果（ $p < 0.001$ ）となった。

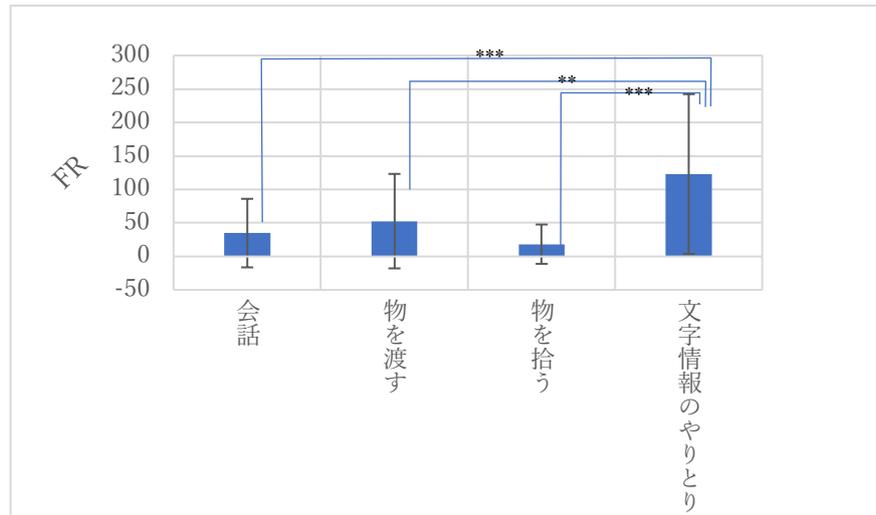


図 31 動作別の FR の結果  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$  \*\*\*: $p < 0.001$ )

### (18) WWL の結果(NASA-TLX)

NASA-TLX における、人と球体の WWL（加重平均スコア）の結果を図 32 に示す。T 検定の結果、人と球体の WWL のスコアには差があり、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも WWL のスコアが高い結果（ $p < 0.01$ ）となった。

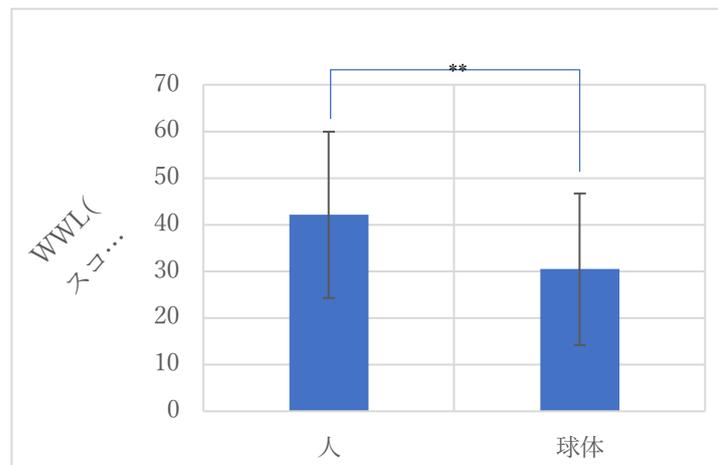


図 32 人と球体の WWL の比較  
(エラーバーは標準偏差、\*\*: $p < 0.01$ )

## 5 考察

インタラクションのわかりやすさの結果は図 13 に示されるように、色変化のインタラクションは文字呈示のインタラクションと比較するとわかりやすく、色変化のインタラクションは振動のインタラクションと比較するとわかりやすいと考えられる。

動作とインタラクションの自然さの結果は図 15 に示されるように、会話の動作や物を拾う動作にとって自然なインタラクションでも、物を渡す動作や文字情報のやりとりの動作にとっては不自然なインタラクションである可能性がある。

動作の単純さの結果は図 16 に示されるように、会話の動作や物を渡す動作は文字情報のやりとりの動作と比較すると単純である。この結果から、文字情報のやりとりの動作は複雑であると推測される。

人と球体の疲れやすさの結果は図 17 のようになる。疲れやすさは得点が高いほど疲れにくく、得点が低いほど疲れやすいという評価項目であるため、球体オブジェクトは人型オブジェクトよりも疲れにくいと考えられる。人型オブジェクトは HMD の視野内に全てが収まらないため、このような結果になった可能性がある。

人と球体の安心感については図 18 の結果から、人型オブジェクトの大きな動きが安心できる動作ではない可能性がある。

人と球体の新しさの結果は図 19 に示されるように、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも新しさがある。HMD 越しに表示される人型オブジェクトの動きに対して新しさを感じて、このような結果になった可能性がある。

動作の温かさの結果は図 20 に示されるように、会話の動作と文字情報のやりとりの動作を比較すると、会話の動作により温かさがある。会話の動作は音声を伴うため、温かさを感じるのだと思われる。

動作の静かさの結果は図 21 に示されるように、会話の動作と物を渡す動作を比較すると、物を渡す動作により静かさがあると考えられる。会話の動作は音声を伴うため、静かさが他の動作と比較したときに低くなっていると考えられる。

人と球体の新鮮さの結果は図 22 に示されるように、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも新鮮さがあると考えられる。また、新鮮さは新しさと似た評価項目であるため、図 19 と似た結果になっていると考えられる。

インタラクションの穏やかさの結果は図 23 に示されるように、振動のインタラクションは他すべてのインタラクションと比較すると、穏やかさが低くなっている。コントローラーの振動とオブジェクトの振動が、穏やかさを下げる原因であると考えられる。

インタラクションの楽しさの結果は図 24 に示されるように、文字呈示のインタラクションは色変化のインタラクションや振動のインタラクションと比較すると、楽しさが低くなっているため、文字呈示のインタラクションはつまらない可能性がある。

インタラクションの斬新さの結果は図 25 に示されるように、音声案内のインタラクションは文字呈示のインタラクションと比較すると、斬新さが高くなっている。また、人と球体の斬新さの結果は図 16 に示されるように、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも斬新さがあると考えられる。斬新さは、新しさや新鮮さと似た評価項目であるため、図 19 や図 22 と似た結果になっていると考えられる。

人と球体の自由さの結果は図 27 に示されるように、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも自由さがある。人型オブジェクトは手や首を動かす動作があるが、球体オブジェクトにはそのような動作がないため、図 5.15 のような結果になったと考えられる。

インタラクションの派手さの結果は図 28 に示されるように、振動のインタラクションは文字呈示のインタラクションと比較すると、派手さが高くなっている。振動のインタラクションはコントローラーとオブジェクトが振動するのに対して、文字呈示のインタラクションは右上に文字が表示されるだけであるので、このような結果になったと考えられる。

人と球体の PD（身体的要求）の結果については、人型オブジェクトの全体を見るためには頭を動かす必要がある一方、球体オブジェクトは頭を動かす必要はあまりないため、図 29 のような結果になったと考えられる。

人と球体の TD（時間的圧迫感）の結果は図 30 に示されるように、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも時間的圧迫感が高くなっている。人型オブジェクトの大きな動作が時間的圧迫感を高めている可能性がある。

動作の FR（不満度）の結果は図 31 に示されるように、文字情報のやりとりの動作は他すべての動作と比較した時に明らかに得点が高くなっているため、文字情報のやりとりの動作自体にストレスを感じる要素があるのだと考えられる。

人と球体の WWL（加重平均スコア）の結果は図 32 に示されるように、人型オブジェクトは球体オブジェクトよりも WWL が高くなっている。人型オブジェクトは球体オブジェクトと比較して、PD および TD の得点が高いため、総合的なワークロードも人型オブジェクトの方が高くなっていると考えられる。

今回の実験参加者は 3 人のみであるため、今後の課題としてまずはより多くのデータを取る必要があると考えられる。また、動作内のインタラクションの順番は固定であったため、インタラクションの順番を変えることで評価に差が出る可能性が存在しいえおり、インタラクションの順番の違いによる評価の差も今後の課題としてあげられる。

## 6 まとめ

本研究では、人間にとって直観的でわかりやすいインタラクションの特徴と条件を実験参加者の主観的な評価によって明確化することを目的とし、実験参加者が人型オブジェクトおよび球体オブジェクトの 7 つの動作に対して、それぞれ 4 種類のインタラクション刺激の体験を行い、NASA-TLX および 7 件法による評価実験を行った。

結果としては、分かりやすさをインタラクションごとに比較すると、色変化のインタラクションが最も分かりやすく、文字呈示のインタラクションが最も分かりにくいことがわかった。また、動作ごとにインタラクションの分かりやすさを比較すると、会話の動作では色変化のインタラクションが最も分かりやすく、振動のインタラクションが最も分かりにくいことがわかった。物を渡す動作では、色変化のインタラクションが最も分かりやすく、文字呈示のインタラクションが最も分かりにくいことがわかった。物を拾う動作では、音声指示のインタラクションと色変化のインタラクションが最も分かりやすく、文字呈示のインタラクションが最も分かりにくいことがわかった。文字情報のやりとりの動作では、色変化のインタラクションが最も分かりやすく、文字呈示のインタラクションが最も分かりにくいことがわかった。

## 【参考文献】

- [1] Kawai, Takashi, et al. "Ergonomic evaluation of ubiquitous computing with monocular head-mounted display." *Multimedia on Mobile Devices 2010*. Vol. 7542. International Society for Optics and Photonics, 2010.
- [2] Weech, Séamas, et al. "Narrative and gaming experience interact to affect presence and cybersickness in virtual reality." *International Journal of Human-Computer Studies* 138 (2020): 102398.
- [3] Erekson, Elisabeth A., et al. "The VSQ: a questionnaire to measure vulvovaginal symptoms in postmenopausal women." *Menopause (New York, NY)* 20.9 (2013): 973.
- [4] Kennedy, Robert S., Kevin S. Berbaum, and Michael G. Lilienthal. "Disorientation and postural ataxia following flight simulation." *Aviation, Space, and Environmental Medicine*(1997).
- [5] Hart, Sandra G., and Lowell E. Staveland. "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research." *Advances in psychology*. Vol. 52. North-Holland, 1988. 139-183.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
MR空間におけるわかりやすいインタラクションの検討	第26回日本バーチャルリアリティ学会	2021年9月（発表予定）