

令和 7 年 6 月 23 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020 ~ 2024

課題番号：20K12128

研究課題名 (和文) VRエンタテインメントにおける立体形状入出力インターフェースの表現力向上

研究課題名 (英文) Enhancing the Capability of Three-Dimensional Shape Input/Output Interfaces in VR Entertainment

研究代表者

井上 亮文 (Inoue, Akifumi)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：50386778

交付決定額 (研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000 円

研究成果の概要 (和文)：本研究では、VR体験の没入感と一体感を高めるため、変形可能な棒状VRデバイス（例：剣）や、盾・ぬいぐるみといった多様な形状のVRデバイスを設計・実装した。さらに、これらのデバイスを用いて、身体動作（歩行・飛行・跳躍）や嗜好行動（飲食）におけるユーザ体験を、感性・知覚・操作性の観点から定量的に評価した。その結果、物理特性と仮想動作の一致が没入感を高める要因であることを実証した。これらの成果は、教育・福祉・娯楽分野への応用可能性を示すものである。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、VRデバイスの変形・分離・合体という新たな概念の具体化と評価手法を早期に示したことである。加えて、その考え方をぬいぐるみや盾など、これまでほとんど対象とされてこなかった形状の物体にも適用したことである。これらの知見はまだ初期段階ではあるものの、エンターテインメントをはじめとするコンテンツ分野の発展に寄与する可能性を秘めている。一部の応用例は教育や福祉分野への適用可能性も示している。

研究成果の概要 (英文)：In this study, we designed and implemented shape-changing stick-like VR devices (e.g., a sword) and various other forms such as a shield and a stuffed toy to enhance users' sense of immersion and embodiment in VR experiences. Using these devices, we conducted quantitative evaluations of user experiences during physical actions (walking, flying, jumping) and preference-related behaviors (eating and drinking) from the perspectives of sensibility, perception, and operability. The results demonstrated that the consistency between the physical properties of the device and the corresponding virtual actions contributes to a heightened sense of immersion. These findings suggest the potential for applications in education, welfare, and entertainment.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：バーチャルリアリティ エンターテインメント

## 1. 研究開始当初の背景

VR(バーチャルリアリティ)技術が急速に進展し、視覚・聴覚による没入体験が高まる中で、現実世界の「物体を持つ／変形させる」といった物理的なインタラクションの再現が依然として課題となっていた。とくにVRゲームにおいては、剣・杖・盾・ぬいぐるみ・飲料缶など多様なゲームアイテムとの身体的なやりとりが没入感に直結する。

従来のコントローラはほとんどが棒状(スティック型)であり、多様な形状のアイテムを代替するには限界がある。複数の専用デバイスを用意する手法もあるが、コスト・設置性・操作負担の面で非現実的である。

このような背景から、本研究では一つのデバイスで多様な形状に変形できるインターフェースの開発と、それを活用した体験の質的向上を目指した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2点に集約される。

### (1) 変形可能な立体形状入出力インターフェースの設計と実装

棒状から面状・球状などへの形状変化を可能とし、VR内の複数種類のアイテムと同期する実機を構築する。とくに、盾やぬいぐるみ、飲料容器などの非棒状アイテムに着目した。

### (2) 没入感・一体感の定量的評価

プレイヤーが現実世界の変形デバイスを通じて仮想世界のアイテムを操作する際の身体動作・感性評価・錯覚効果を、多面的に評価・検証する。

最終的には、VRゲームに限らず、教育・福祉・エンタテインメント・アクセシビリティ支援にも応用可能な変形インターフェース技術の基盤構築を目指した。

## 3. 研究の方法

研究は以下の2つの観点から進められた。

### (1) ハードウェア開発と構造設計

- VRぬいぐるみ：実際のぬいぐるみを仮想空間で変形させることで、物理的には存在しない柔らかさをユーザーに提示できる「仮想的柔軟性」の錯覚効果を定量的に評価。
- 盾型インターフェース：面構造を持つVRコントローラの開発と、それを用いたプレイヤーの攻撃防御動作時の体験を定量的に評価。
- 台座型インターフェース：昇降台型デバイス LEVI-STEP の開発とそれによる浮遊感の調査。
- 分離合体VRコントローラ：片手持ちと両手持ちのゲームアイテムの把持感覚とアイテム選択の可用性を向上させるVRコントローラの開発と評価。

### (2) ソフトウェア連携とユーザインターフェース設計

- 飲料容器型インターフェース：VRや内部LEDで容器内液体の泡の量を操作することで、飲料を摂取したユーザの口腔内発泡刺激を操作する手法。
- バリアフリーVRインターフェース：聴覚障害の有無にかかわらずVRコンテンツの恐怖感を体験できるユーザ通知手法。
- 非再現動作の代替ジェスチャー：大ジャンプのように現実世界でプレイヤーが再現できない動作をゲームキャラクターに実行させる際のジェスチャーを操作性・没入感・パフォーマンスの観点から比較評価。

## 4. 研究成果

### (1) ハードウェア開発と構造設計

#### VRぬいぐるみの許容変形量の調査

ユーザがVR空間で触れる仮想オブジェクトの質感は、没入感や操作性に大きな影響を与える。本研究では、手に持った物体の視覚的変形によって柔らかさを錯覚させる手法を提案し、視覚主導の感性提示の可能性を検証した。構造としては、実物のぬいぐるみに対し、仮想空間上でのみ変形が加わる3Dモデルを重ねて表示し、ユーザの押し込み操作に応じて形状が視覚的に変形するシステムを構築した(図1)。実験では、実物は変形しないにもかかわらず、視覚変形が

加わることでユーザが「柔らかい」と感じる現象が確認された。この結果は、実物の素材制約を超えた触覚表現を視覚だけで実現可能であることを示し、感性インターフェース設計への新たな知見を提供するものである。



図 1：仮想柔軟性の提示例（柔軟性大）

#### 盾型インターフェース

VR 射撃戦闘ゲームでは、敵の攻撃を防ぐ動作が没入感や身体一体感に影響を与える。本研究は、VR 射撃戦闘ゲームにおいてディフェンシブなアイテムである「盾」に着目し、盾型コントローラの物理的特徴がゲーム体験に与える影響を明らかにすることを目的とした。研究代表者らは、形状・大きさ・重さ・振動機能の異なる 6 種類の盾型コントローラを試作し、ゲーム内の盾の見た目・サイズは一定に固定した上で、現実の盾だけを変更しながらプレイする実験環境を構築した（図 2）。その結果、現実の盾が仮想の盾よりも大きい場合、動作が緩慢になる傾向が確認され、また現実と仮想の形状不一致が操作パフォーマンスを低下させることが示された。さらに、仮想世界の盾と同じ形状・大きさで振動機能を備えたデバイスを用いた条件において、没入感や一体感といったゲーム体験の質が最も高まることが明らかとなった。



図 2：盾型コントローラを用いたユーザ実験

#### 台座型インターフェース

VR 空間でキャラクターが空中に浮上・着地する場面において、現実の足裏は常に地面に接しており、浮遊感や着地感の欠如が没入感を損なう一因となっていた。LEVI-STEP は、プレイヤーの足元に設置された昇降型の台座で、仮想キャラクターの移動に合わせて上下動し、物理的な足裏の変化によって浮遊や着地を疑似的に再現する装置である（図 3）。構造としては、HMD と連携したタイミング制御により、プレイヤーの動作に応じて昇降を開始・停止する。実験により、台座の動きが VR 内の浮遊映像と同期して提示された場合、視覚だけの場合よりも浮遊感・没入感が向上することが確認された。この成果は、足裏の感覚を活用した VR インタフェース設計の有効性を実証したものである。

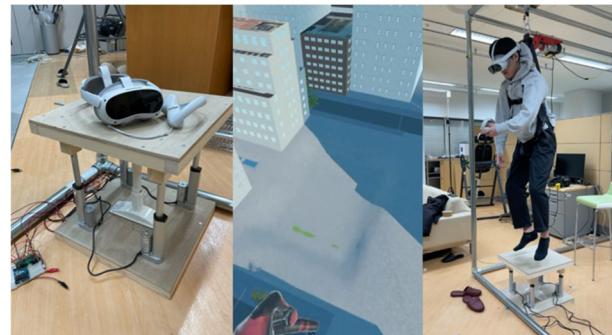


図 3：LEVI-STEP

（左：構造、中：仮想世界、右：体験の様子）

#### 分離合体型 VR コントローラ

本研究では、VR アクションゲームにおけるプレイヤーとキャラクターのアイテム把持状態の不一致に起因する没入感の低下を解消するため、合体・分離機構を備えた VR コントローラー「ConcatenRoller」を提案した（図 4）。ConcatenRoller は、左右のコントローラーを物理的に連結・分離できるアタッチメント構造を採用し、把持状態に応じて片手用または両手用のゲーム内アイテムを自動的に絞り込む仕組みを有する。これにより、アイテム選択時の操作量と認知負荷を軽減し、周囲状況の把握に集中できる。初期評価では、選択ミスの減少や切替回数の減少といった効果が見られた一方で、合体時の操作性や物理的な接続精度には課題が残った。この成果は、変形の一種である分離・合体が VR 体験における没入感向上に有効であることを実証した。



図 4 : ConcatRoller ( 左: 分離状態では片手武器を選択、右:合体状態では両手武器を選択 )

## ( 2 ) ソフトウェア連携とユーザインタフェース設計

### 仮想飲料

本研究は、飲料体験の質向上を目的に、仮想環境を活用して飲用者の知覚や行動に影響を与える 2 つのデバイスを提案した。1 つ目の VRFIZZ は、炭酸飲料の視覚的泡量を VR 空間で操作することで、現実の炭酸強度に対する主観的感覚を変化させるシステムである(図 5)。視覚と口腔内刺激の相互作用を利用し、視覚的な気泡の強度を段階的に調整し、炭酸感の強弱を制御可能であることを実験的に示した。2 つ目の仮想飲料提示容器は、複数人で飲用する場面において、対面同席者に向けた視覚的な“おかげ”演出を行うことで、周囲の行動変化や飲用促進を誘発する。これらのシステムは、日常的な嗜好品体験におけるインタラクションと心理的効果を高める新たな VR 応用の可能性を示している。



図 5 : 仮想炭酸飲料 VRFIZZ

### バリアフリーVR インタフェース

VR ホラーゲームにおいて、音声情報が恐怖の喚起に重要な役割を果たす一方で、聴覚障害をもつユーザにはその体験が伝わりにくいという課題がある。本研究では、音による驚き効果を視覚に置き換える手法として、映像ノイズ(Glitch Effect)を活用した感情喚起支援システムを提案した(図 6)。ゲーム中の恐怖音発生箇所に連動して、画面に一時的なノイズや歪みを提示する構造を採用し、聴覚が使えない状況でも驚きや緊張感を伝えることを目的とした。実験では、Glitch 提示がある条件の方が、没入感や恐怖感の主観評価が有意に高く、音なし環境でも一定の緊張を再現できることが示された。本成果は、アクセシビリティ対応型 VR 表現の設計指針として有用である。

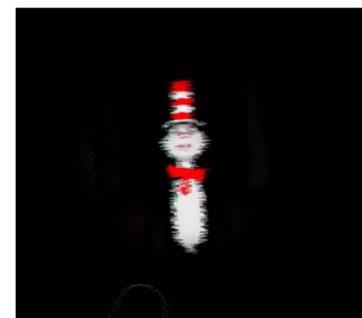


図 6 : Glitch Effect あり

### 非再現動作の代替ジェスチャー

VR アクションゲームでは、キャラクターが人間に実行不可能な大ジャンプや二段ジャンプといった「非再現動作」を行う場面が多い。本研究では、こうした非再現動作を現実の身体動作でどう代替するかによる没入感・一体感・操作性の違いを調査するため、4 種類の代替ジェスチャー(屈伸、腕の上下、腕の前後、ボタン操作)を実装したプロトタイプ VR ゲームを開発した。実験では大ジャンプと二段ジャンプの 2 タスクを実施し、各ジェスチャーの成功率や主観評価を収集した。その結果、単一動作の大



図 7 : 代替ジェスチャー実験

ジャンプでは身体動作による一体感の高さが評価され、複雑な二段ジャンプでは操作性に優れたボタン操作が好まれる傾向が示された。これは非再現動作の性質に応じて適切なジェスチャーが異なることを示唆しており、今後の VR 操作設計に有用な知見を提供する。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] 計2件 (うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件)

1. 著者名 大坪界斗, 井上亮文	4. 卷 11
2. 論文標題 VRぬいぐるみとのインタラクション時における許容変形量の調査	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON)	6. 最初と最後の頁 21-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福永健竜, 梶山隼, 井上亮文	4. 卷 62
2. 論文標題 変形コントローラによるゲーム体験の質の向上	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 53-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 瓜生竜馬, 井上亮文
2. 発表標題 ゲームアイテムの伸縮感を提示する可変長VRコントローラの開発
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 荒川壮大, 井上亮文
2. 発表標題 LEVI-STEP 2: VR空間での浮遊感を高める昇降台型デバイスの斜面への拡張
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 須藤遙翔, 井上亮文
2. 発表標題 VRファンタジーゲームにおける没入型魔法選択手法の提案
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 室井政輝, 井上亮文
2. 発表標題 対面同席者の行動変化を促す仮想飲料提示容器の開発
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 市川晃大, 井上亮文
2. 発表標題 プレイヤーとキャラクターのアイテム把持状態を一致させる合体分離型VRコントローラーの開発
3. 学会等名 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション（DCC）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小川玲音, 井上亮文
2. 発表標題 VRエンターテインメントにおける前腕一体型銃火器コントローラー（Canntlet）の開発
3. 学会等名 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション（DCC）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 室井政輝, 井上亮文
2. 発表標題 発泡性飲料摂取時における主観的炭酸強度の操作システムVRFIZZの提案
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2024)シンポジウム論文集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 平井颯, 井上亮文
2. 発表標題 VR 射撃戦闘ゲームにおける盾型コントローラ HirAegis のユーザ評価
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2024)シンポジウム論文集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 荒川壮大, 井上亮文
2. 発表標題 VR空間での浮遊感を高める昇降台LEVI-STEPの開発
3. 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2024)シンポジウム論文集
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Aulia Rizky Ramadhan, Akifumi Inoue
2. 発表標題 A Prototype of Tactile and Transformable Support Device for Visually Impaired Tabletop Gamers
3. 学会等名 IPSJ SIG Technical Reports, Vol.2023-DCC-35, No.45, pp.1-6
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 荒川翔太郎, 藤村泰斗, 井上亮文
2 . 発表標題 VRアクションゲームにおける非再現動作を実行するための代替ジェスチャー
3 . 学会等名 情報処理学会研究報告, Vol.2023-DCC-35, No.8, pp.1-6
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 島谷優佑, 井上亮文
2 . 発表標題 travelatAR：地表面近似テクスチャーのアニメーション重畠表示による歩行速度制御システム
3 . 学会等名 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション（DCC）, Vol.2023-DCC-35, No.6, pp.1-6
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 荒川翔太郎, 藤村泰斗, 井上亮文
2 . 発表標題 VRアクションゲームにおける非現実的跳躍動作を実行するための代替ジェスチャーの調査
3 . 学会等名 情報処理学会DCC研究会DICOM2023 併設デジタルコンテンツ制作発表会（ライブデモ展示）
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 大坪界斗, 井上亮文
2 . 発表標題 VRぬいぐるみにおけるkawaii表現の実装
3 . 学会等名 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション（DCC）
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 荒川翔太郎, 井上亮文
2. 発表標題 ゲーム配信コミュニティの雰囲気操作を目的としたチャットボット基盤の検討
3. 学会等名 情報処理学会研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島谷優佑, 井上亮文
2. 発表標題 歩行移動時の運動量を増加させるARステップ誘導システムの検討
3. 学会等名 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上亮文, 中田摩周, 岩下志乃
2. 発表標題 VRリズムアクションゲームにおけるプレイヤーの身体動作が鑑賞者に与える印象の調査
3. 学会等名 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kaito Ootsubo, Akifumi Inoue
2. 発表標題 Early Implementation of VR Stuffed Toy System with Virtual Softness
3. 学会等名 Proceedings of the 33rd Australian Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 大坪界斗, 井上亮文
2 . 発表標題 仮想的な柔軟性を持つVRぬいぐるみの実装
3 . 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2021)シンポジウム論文集
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 平井颯, 井上亮文
2 . 発表標題 没入型の一人称視点ゲームにおいて変形コントローラがゲーム体験の質に与える影響の調査
3 . 学会等名 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2021)シンポジウム論文集
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 平井颯, 井上亮文
2 . 発表標題 体感型VRエンターテインメントにおいて盾型デバイスがゲーム体験に与える影響
3 . 学会等名 情報処理学会研究報告, Vol.2021-DCC-29
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 熊崎凌雅, 井上亮文
2 . 発表標題 対話相手と表情を同調させるマスク型ディスプレイを用いた対面コミュニケーション支援
3 . 学会等名 情報処理学会研究報告
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 小平佳純, 熊崎凌雅, 井上亮文
2. 発表標題 仮想空間における床面変形が歩行動作に与える影響の調査
3. 学会等名 情報処理学会研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上亮文, 石河竜太, 山本光良
2. 発表標題 仮想的な外見を有するぬいぐるみ型玩具の提案
3. 学会等名 情報処理学会研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原嵐, 新井貴紘, 井上亮文
2. 発表標題 人と料理のインタラクションを増強する食体験向上システム
3. 学会等名 情報処理学会研究報告
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

VR-Plushies <a href="https://scrapbox.io/teu-hil/VR-Plushies">https://scrapbox.io/teu-hil/VR-Plushies</a>
SHAPIO <a href="https://scrapbox.io/teu-hil/SHAPIO">https://scrapbox.io/teu-hil/SHAPIO</a>
VR-Plushies <a href="https://scrapbox.io/teu-hil">https://scrapbox.io/teu-hil</a>

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------