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

平井 颯[1] 井上 亮文[2]

概要：我々はこれまでにプレイヤーのゲーム体験向上を目的として，ゲームに対してコントローラの立体形状を介した入出力が可能なデバイス「SHAPIO」を開発してきた．SHAPIO の見た目は，ゲームアイテムとの見た目のギャップによりプレイヤーのゲーム体験の質に影響を与えてしまう．また，多様なアイテムに対し，SHAPIO の大きさ・質感は変わらない．そこで本稿では，SHAPIO を没入型の仮想環境で利用可能なゲームシステム SHAPIO VR を提案する．次に，アイテムの大きさや質感を変えながら，SHAPIO VR を用いてゲーム体験の質を調査する．SHAPIO VR は，ゲームに関するビジュアルのすべてを没入型の VR ゴーグルに表示する．プレイヤーは現実世界の視覚から遮断され，SHAPIO 本体の見た目に影響されずにゲームアイテムを操作できるようになる．結果として，同じゲームをフラットパネルモニタでプレイしたときよりもゲーム体験の質の向上が期待できる．本稿では，ゲームアイテムの代表例である「剣」に注目し，SHAPIO VR でその大きさや質感を変更しながらゲーム体験の質を調査する．それにより，変形コントローラ筐体の物理パラメータに求められる要件について議論する．

1. はじめに

ゲームコントローラはプレイヤーのゲーム体験と密接に関わっており，コントローラの形状や使い方の違いによってゲーム体験に差が生じる．ゲームアイテムと同じ形状を持つコントローラは専用コントローラと呼ばれる．プレイヤーが専用コントローラを用いてキャラクターを操作すると，プレイヤーの動きとキャラクターの動きが一致する．専用コントローラを使用するプレイヤーは，汎用的なゲームパッドを使用するプレイヤーよりも質の高いゲーム体験を得られる．しかし，現在のゲームには多種多様なアイテムが登場する．それらの形状もまた多種多様である．そのようなアイテム１つ１つの形状を再現する専用コントローラを多数用意することは現実的ではない [1].

変形コントローラは，その形状を自由に変更可能な専用コントローラの一種である．その形状を操作対象となるアイテムの形状と一致させることで，変形コントローラ単体がさまざまな形状のゲームアイテムの専用コントローラとして機能する．プレイヤーが専用コントローラを多数用意する負担が軽減される．Kening らは，VR ゲームのための専用コントローラを制作するためのツールキットである HapTwist を提案した [2]．しかし，ゲームアイテムの詳細な形状・機能の再現を目的とした変形は時間がかかる上，多くの付属部品も必要になる．Shigeyama らは，プレイヤーが現実世界で持つグリップ部から伸びる 2 本の腕を開閉させることでゲームアイテムの重量バランスを再現するコントローラ Transcalibur を提案した [3]．この変形はゲームアイテムの物理形状を再現するものではないため，プレイヤーが Transcalibur の筐体がない部分に触れようとした際に没入感が阻害される可能性がある．

我々はこれまでにプレイヤーのゲーム体験向上を目的として，ゲームに対してコントローラの立体形状を介した入出力が可能なデバイス「SHAPIO」を開発してきた [4] [5] [6] [7] [8] [9]．これまでの研究から，SHAPIO がプレイヤーのゲーム体験の質を向上させた一方で，以下の課題が残された．

- プレイヤーは，モニターに向かって SHAPIO を操作しゲームをする．その際，プレイヤーの視界には SHAPIO 本体があからさまに映ってしまう．SHAPIO のバルキーな見た目は，ゲームアイテムとの見た目のギャップによりプレイヤーのゲーム体験の質に影響を与えてしまう．
- SHAPIO で操作可能なアイテム（剣・銃・弓矢）の大きさと見た目はそれぞれ１種類に限られていた．しかし，剣を例に取れば，ゲーム内には短剣・長剣・簡素な

1 東京工科大学大学院
Tokyo Univercity of Technology Graduate School
2 東京工科大学
Tokyo Univercity of Technology

© 2021 Information Processing Society of Japan

剣・華美な剣のように，様々な大きさと見た目のアイテムが存在する．このような多様なアイテムに対し，SHAPIO の大きさ・質感は変わらない．つまり，現実世界で変更ができない SHAPIO の物理的なパラメータが，ゲーム体験の質に与える影響は明らかでない．

本稿では，SHAPIO を没入型の仮想環境で利用可能なゲームシステム SHAPIO VR を提案する．SHAPIO VR は，ゲームに関するビジュアルのすべてを没入型の VR ゴーグルに表示する．プレイヤーは現実世界の視覚から遮断され，SHAPIO 本体の見た目に影響されずにゲームアイテムを操作できるようになる．結果として，同じゲームをフラットパネルモニタでプレイしたときよりもゲーム体験の質の向上が期待できる．本稿では，ゲームアイテムの代表例である「剣」に注目し，SHAPIO VR でそのデザインを変更しながらゲーム体験の質を調査する．それにより，変形コントローラ筐体の物理パラメータに求められる要件について議論する．

2. 関連研究

2.1 専用コントローラ

マリオカートレーシングホイール DX は，レーシングゲームに対応したステアリング型の専用コントローラである [10]．このコントローラは，自動車のハンドルを模したステアリングユニット，自動車のペダルを模したアクセルペダルとブレーキペダルを搭載したフットペダルで構成されている．レーシングゲームにおいて，この専用コントローラを使用するプレイヤーは，同じ身体動作から本物のレースカーを運転する感覚でキャラクターを操作することができる．そのため，プレイヤーは，汎用的なゲームパッドを使用するプレイヤーよりもレースをリアルに体感できる．

Seongkook らは，プロペラの推進力を用いて持ち手に伝わる触覚を 3DOF でフィードバックする手持ちデバイス Thor's Hammer を提案した [11]．Thor's Hammer は，持ち手の反対側に 6 つのモーターとプロペラが備わっており，各プロペラはデバイスの重心からみて外向きの気流を作り出す．鉛直方向に力を呈示することで，Thor's Hammer は，軽い棒を持つ感覚や重たいハンマーを持つ感覚を呈示することができる．駆動するプロペラの組み合わせを変更することで，デバイスは任意の方向へ 3 次元の力を生成する．これにより，プレイヤーは押したり引っ張ったりなどの感覚を得ることができる．例えば，プレイヤーが VR 空間内で川に手を入れると，その手に水が流れる力が加わる．このように Thor's Hammer は，実際のアイテムに掛かる力や重さを提示する自由度が高い．しかし，実際のアイテムの形状を再現することはできない．そのため，実際のアイテムの形状による触覚フィードバックやアイテムと同じような操作感を与えることは難しい。

プレイヤーのゲーム体験を解明するために，様々な実験や調査が行われてきた [12][13][14][15][16]．例えば，プレイヤーのゲーム体験の実験や調査として，flow，immersion，challenge，spatial presence，control，social presence などがある．プレイヤーがコントローラを変えて 1 つのゲームをプレイした際には，ゲーム体験に違いが生じるということが明らかになっている．Fromme らは，Sensomotoric Immersion(知覚運動性没入感) に着目し，テニスゲームのプレイした際に，ゲームパッドとテニスラケット型コントローラで，プレイヤーのゲーム体験に違いが生じるのか比較実験を行った [17]．知覚運動性没入感とは，プレイヤーの動作とゲームキャラクターの動作を結びつけることで発生する没入感のことである [18]．実験の結果，テニスラケット型コントローラを利用する方が，知覚的運動性没入感が増加することがわかった．McEwan らは，モータレースゲームのプレイした際に，ゲームパッド，所持して使用するステアリング型のコントローラ，設置して使用するステアリング型のコントローラの 3 つのコントローラで，ゲーム体験の違いが生じるのか比較実験を行った [19]．結果，すべての指標において，設置して使用するステアリング型のコントローラが優位な結果を示した．

しかし，専用コントローラは汎用性に欠ける．ハンドル型の専用コントローラはレースゲームに，ハンマー型の専用コントローラはアクションゲームに利用が限定される．多種多様なゲームにおいて質の高いゲーム体験を得るには，プレイヤーが専用コントローラを多数用意する必要がある．プレイヤーが専用コントローラを多数用意することは，容易ではない．また，専用コントローラはゲーム内でのアイテムの形状変化にも追従することができない．ゲーム内でのアイテムの形状変化に合わせて，専用コントローラを用意することもまた，現実的ではない．

2.2 既存のコントローラを専用コントローラに変化させる研究

既存のコントローラを専用コントローラに変化させることで，プレイヤーのゲーム体験の質を向上させる研究もいくつか存在する．Seungwoo らは，VR 空間内の触覚を再現するプロペラベースの手首装着型デバイス Wind-Blaster を提案した [20]．Wind-Blaster は，手首に装着する 2 つの無人機プロペラを回転させて，触覚フィードバックを発生させるデバイスである．このデバイスは，既存の HTC Vive コントローラと合わせて使用することで，異なる 4 つの武器（銃，盾，剣，魔法の剣）の触覚を強度と時間の変動で再現する．しかし，Haptic Links は，ゲームアイテムの物理形状を再現するものではない．そのため，プレイヤーが既存の HTC Vive コントローラの筐体がない部分に触れようとした際に没入感が阻害される可能性がある．

Strasnick らは，両手それぞれに持つ VR モーションコ

© 2021 Information Processing Society of Japan

ントローラ同士を統合させる触覚フィードバックツール Haptic Links を提案した [21]．Haptic Links は，手に持つコンテンツに応じて HTC Vive コントローラを固定することや，特定の自由度や動きの方向を制限することで触覚を表現する．例えば，ライフルを装備したときは右手はトリガーの位置に、左手は銃身を保持するような位置で，Haptic Links が固定される．その後，左右それぞれにハンドガンを装備すると，固定は解除され自由に動くようになる．その他にも，Haptic Links は，弓を引く際の触覚フィードバックや，車を運転するときのハンドルの形状にも対応できる．しかし，Haptic Links と同様に， Wind-Blaster は，ゲームアイテムの物理形状を再現するものではない．そのため，プレイヤーが既存の HTC Vive コントローラの筐体がない部分に触れようとした際に没入感が阻害される可能性がある．

2.3 変形コントローラ

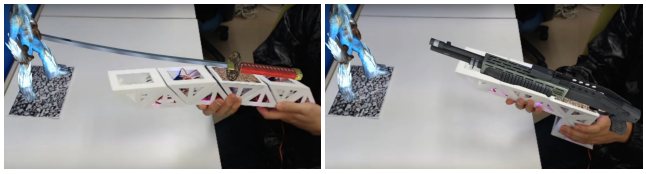
変形コントローラは，コントローラの形状を自由に変更できる専用コントローラの一種である．その形状を操作対象となるアイテムの形状と一致させることで，変形コントローラ単体がさまざまな形状のゲームアイテムの専用コントローラとして機能する．プレイヤーが専用コントローラを多数用意する負担が軽減される．

Kening らは，VR ゲームのための専用コントローラを制作するためのツールキットである HapTwist を提案した [2]．プレイヤーは，HapTwist に VR ゲームで用いるアイテムのモデルを入力する．入力したアイテムのモデルの形状から生成されたハードウェアモジュールの組み合わせのモデルが，モニターに表示される．プレイヤーは，表示されたモデルを参考にコントローラを組み立てることで，専用コントローラを制作することができる．しかし，ゲームアイテムの詳細な形状・機能の再現を目的とした変形は時間がかかる上，多くの付属部品も必要になる．

Shigeyama らは，プレイヤーが現実世界で持つグリップ部から伸びる 2 本の腕を開閉させることでゲームアイテムの重量バランを再現するコントローラ Transcalibur を提案した [3]．Transcalibur は，1 台のハンドヘルドコントローラから重量と角度を動的に変化させることで、VR 内の手持ちオブジェクトの様々な形状の触覚を再現する．2.2 節と同様に，この変形はゲームアイテムの物理形状を再現するものではないため，プレイヤーが Transcalibur の筐体がない部分に触れようとした際に没入感が阻害される可能性がある．

3. SHAPIO

本章では，従来の SHAPIO のシステムとその課題について説明する．



(a) SHAPIOが剣の状態　(b) SHAPIOが銃の状態

図 1 SHAPIO AR

3.1 SHAPIO の機能

我々はこれまでにプレイヤーのゲーム体験向上を目的として，ゲームに対してコントローラの立体形状を介した入出力が可能なデバイス「SHAPIO」を開発してきた．SHAPIO は以下の機能を持つ．

- プレイヤーが現実世界で SHAPIO の形状を変形させると，ゲーム内のキャラクターが持つアイテムが SHAPIO の形状と類似したものに切り替わる．
- ゲーム内のキャラクターが持つアイテムが故障などで変形すると，プレイヤーが現実世界で持つ SHAPIO の形状もそれに合わせて変形する．SHAPIO は，プレイヤーが複数の専用コントローラを用意することなく，プレイヤーのゲーム体験の質を向上させることができる．

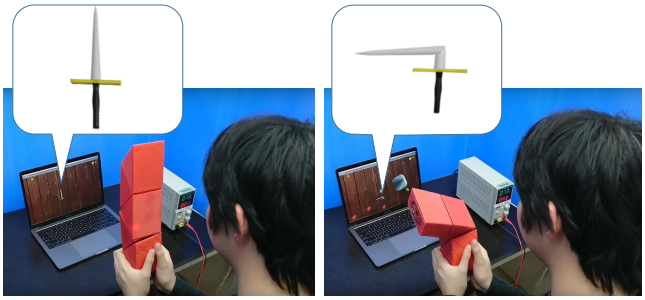
3.2 SHAPIO AR

SHAPIO AR は，現実世界の AR マーカ上に表示された敵を武器で攻撃するゲームである．プレイヤーは SHAPIO を武器のコントローラとして用いる．SHAPIO の形状を変更することで，利用する武器を切り替えることができる（**図 1**）．SHAPIO AR は，カメラシースルー型の HMD を通してみた SHAPIO の上にアイテムの CG を重畳表示する．その際，プレイヤーの視界には SHAPIO の筐体が映り込む．SHAPIO の形状はアイテムの形状と大まかに一致しているが，SHAPIO の見た目はアイテムの見た目と大きく異なる．このギャップは，プレイヤーのゲーム体験の質に影響を与えてしまう．

3.3 SHAPIO Fruit Cutter

SHAPIO Fruit Cutter(以下，SHAPIO FC) は，ゲーム画面の下部から出現するフルーツを，剣で斬りつけて攻撃するゲームである．プレイヤーは，SHAPIO を剣のコントローラとして使用する．SHAPIO FC のプレイヤーは，平面モニターの表示を見ながら SHAPIO を操作する（**図 2**）．その際，プレイヤーの視界には SHAPIO の筐体があからさまに映り込む．SHAPIO の形状はアイテムの形状と大

© 2021 Information Processing Society of Japan



(a) 剣が真っ直ぐな状態　　(b) 剣が折れ曲がった状態

図 2　SHAPIO Fruit Cutter

図 3　SHAPIO Ninja

まかに一致しているが，SHAPIO の見た目はアイテムの見た目と大きく異なる．図 2 のように，SHAPIO FC に登場する剣は，現実の SHAPIO の大きさに比べて小さい．また，金属のような質感の剣に対して，現実の SHAPIO はフィラメントのような質感である．このギャップは，プレイヤーのゲーム体験の質に影響を与えてしまう．

3.4　SHAPIO Ninja

SHAPIO Ninja は，次々と迫り来る忍者を複数のアイテムを駆使しながら倒すゲームである．SHAPIO FC と同様にプレイヤーは，モニターに向かって SHAPIO を操作しゲームをする．SHAPIO Ninja で用意されているアイテムは，剣 1 つ・弓矢 1 つ・銃 1 つの合計 3 つのみである (**図 3**)．しかし，現在のゲームでは，同じ種類に属していても大きさや質感が異なるアイテムが多数登場することが多い．剣を例に取れば，ナイフのように短い剣もあれば，日本刀のように長い剣も存在する．素朴な見た目の剣もあれば，華美な装飾が施された剣も存在する．このようなアイテムの多様性に対し，SHAPIO の大きさ・質感はゲームプレイを通して常に一定である．例えば，ゲームアイテムの大太刀 (約 150 cm) は，SHAPIO (約 52.5 cm) に比べて明らかに長く重そうに見える．大太刀のように，現実の SHAPIO が変更できないパラメータを持つアイテムを SHAPIO で操作すると、プレイヤーは「取り回しが重すぎる／軽すぎる」と言った違和感を感じる．この違和感は，ゲーム体験の質に影響を与える可能性がある．

4.　SHAPIO VR

関連研究と 3 章で述べた課題を解決するために，本研究では従来の SHAPIO システムと仮想空間 (VR) を組み合わせた SHAPIO VR を提案する．

4.1　システム構成

図 4 に SHAPIO VR のシステム構成を示す．SHAPIO VR は，3.2 , 3.3 節の課題を解決するために，ゲームに関するビジュアルのすべてを没入型の VR ゴーグルに表示する．プレイヤーは現実世界の視覚から遮断され，SHAPIO 本体の見た目に影響されずにゲームアイテムを操作できるようになる．結果として，同じゲームをフラットパネルモニタでプレイしたときよりもゲーム体験の質の向上が期待できる．

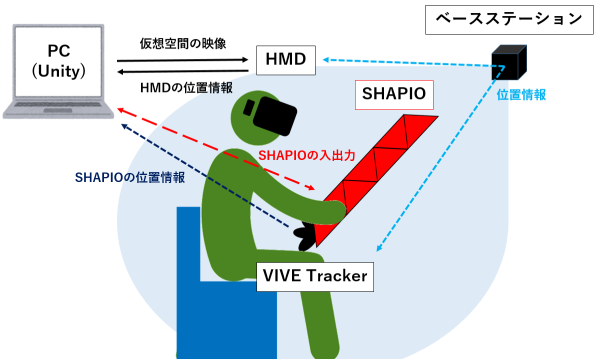


図 4　システム構成

4.2　ゲーム部分の設計方針

4.1 節のシステム構成に基づき，本研究では，SHAPIO FC と SHAPIO Ninja を VR 化した SHAPIO VR のゲームシリーズを実装する．SHAPIO Ninja を VR 化したゲーム SHAPIO Destroy Ninjas VR(以下，SHAPIO DN VR) では，ゲームアイテムの代表例である「剣」に注目する．3.4 節で挙げた課題の検証実験を行うために，**図 5** のような，簡素な剣・短剣・長剣を 3D モデルで作成する．剣を 3D モデルで作成することで，SHAPIO DN VR 上で容易に剣の大きさや長さを変えずに質感を変更することができる．作成した剣を用いて，現実世界で変更ができない SHAPIO の物理的なパラメータが，ゲーム体験の質に与える影響の検証実験を行う．

5.　SHAPIO VR の実装

本章では，4 章で提案した方針に基づいて実装した SHAPIO VR のゲームシリーズ「SHAPIO Fruits Cutter VR」と「SHAPIO DN VR」について述べる．

© 2021 Information Processing Society of Japan

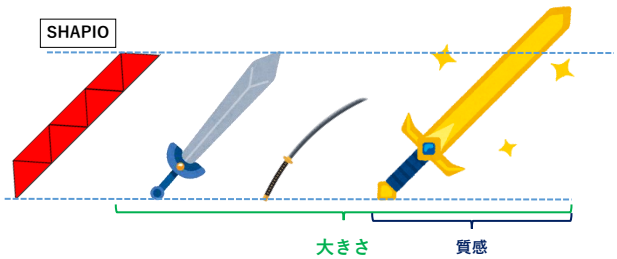


図 5　作成する剣のモデルの種類

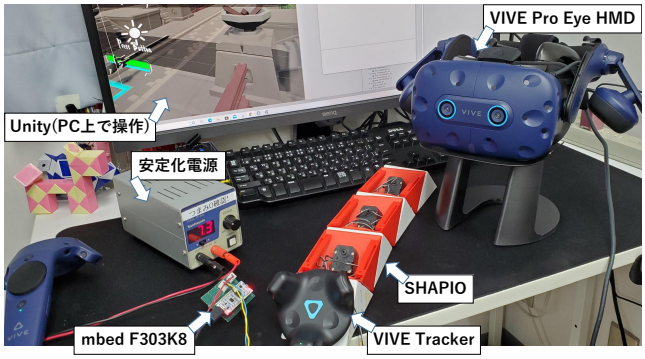


図 6　ゲームシステムの外観

5.1　システム概要

図 6 に SHAPIO VR を用いたゲームシステムの外観を示す．本システムは PC，VIVE Pro Eye HMD，VIVE Tracker，安定化電源，mbed F303K8，SHAPIO から構成され，SHAPIO を変形コントローラとして用いる．本システムの構成は，図 4 を利用する．HMD は，SHAPIO の一端に取り付けられている VIVE Tracker から，プレイヤーが持つ SHAPIO の 3 次元座標を取得する．SHAPIO VR のゲームシリーズに登場する VR は，Windows 上の Unity を用いて作成した．PC では，取得した SHAPIO の 3 次元座標を元に Unity で，現実世界でプレイヤーが行った SHAPIO の動作を VR 内のアイテムの動作に反映する．

5.2　SHAPIO Fruit Cutter VR

図 7 に SHAPIO Fruit Cutter VR(以下，SHAPIO FC VR) の実行画面を示す．プレイヤーは，図 7 のように一人称視点で剣やフルーツを見ることができる．SHAPIO FC VR は，SHAPIO FC に比べてプレイヤーの視野角が広がるため，プレイヤーの SHAPIO の操作性の向上に期待ができる．ゲーム体験の質への影響は，プレイヤーが SHAPIO を視認不可能であるかによって生じるのかを確認する．

5.3　SHAPIO Destroy Ninjas VR

図 8 に SHAPIO DN VR の実行画面を示す．プレイヤーは，図 8 のように一人称視点で剣を操作することができる．また，SHAPIO DN VR では，スケールの異なった同じデザインの剣 (**図 9**) とデザインの異なった剣 (**図 10**) を用意した．SHAPIO で操作可能なアイテムの大きさと見た目を変更することで，ゲーム体験の質への影響が出るのかを調査する．

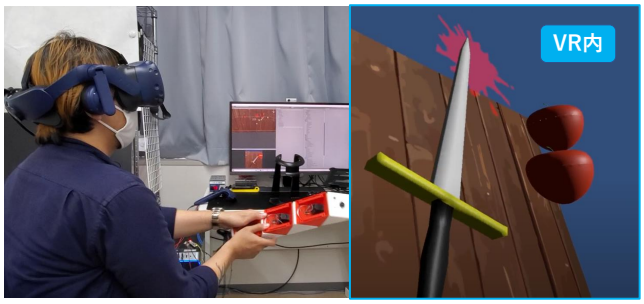


図 7　SHAPIO Fruit Cutter VR の実行画面

図 8　SHAPIO Destroy Ninjas VR の実行画面

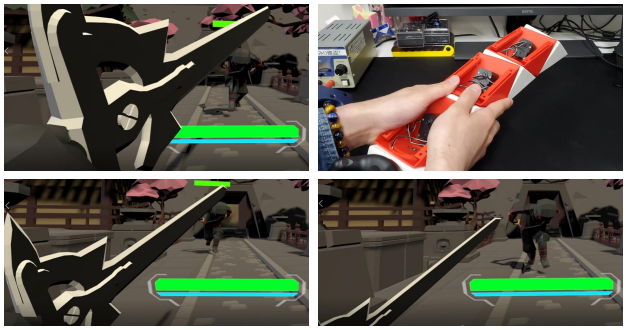


図 9　スケールの異なった同じデザインの剣

図 11 の剣 (a) elucidator は現実世界の SHAPIO の 2 倍，剣 (b) Nichirin Sword は 1/2 倍，剣 (c) Katana は等倍の大きさを持つ．剣 (a) は (a’) SHAPIO の等倍，(a”) 1/2 倍のモデルも作成した．剣 (c) の見た目は，剣 (a), (b) に比べて簡素である．図 11 右に示すように，剣の太さは (a) >(c) >(b) の関係にある．SHAPIO DN VR 内の破損イベントに用いる折れ曲がったモデルも作成した．

© 2021 Information Processing Society of Japan

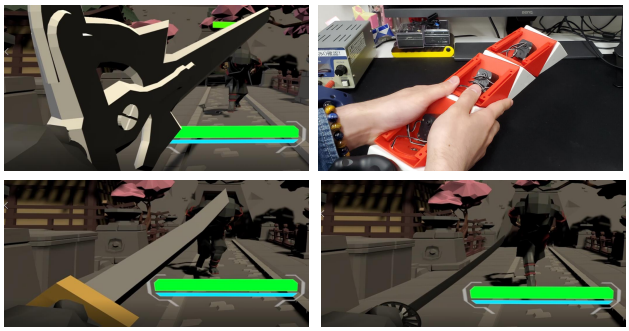


図 10　デザインの異なった剣

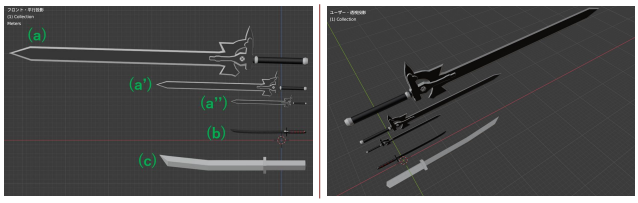


図 11　作成した剣の 3D モデル

6.　評価実験

6.1　ゲーム体験の質

本研究では，ゲームプレイ中の没入感を主観的に計測するためのアンケートである Jennet らの Immersive Experience Questionnaire (以下，IEQ) をゲーム体験の質と定義する [22]．IEQ は Cognitive Involvement (認知関与)，Real World Dissociation (現実との乖離)，Emotional Involvement （感情移入)，Challenge (やりがい)，Control (操作性) の 5 つの要素から構成される．被験者には，31 種類の質問を 7 段階のリッカート尺度（1:まったく同意しない-7:とても同意) によって解答を行ってもらった．解答の総計が Immersive (没入感) のスコアとなる．ただし，Immersive と Real World Dissociation のスコアでは質問 6，8，9，10，18，20 はスコアを反転させたものを用いる．

6.2　方法

被験者は，20 代の男性 8 名である．その内，VR 経験者は，4 名である．本実験を行う上で，被験者は本人の意志によって実験の一部参加を拒否できることを伝えた．また，本実験では，感染症対策として 3 つの密 (密閉・密集・密接) になることを避け，機器の消毒も行った．本研究では，比較実験として以下の項目を実施した．

- SHAPIO FC と SHAPIO FC VR をプレイする．
- SHAPIO DN VR を 5.3 節で述べた剣をそれぞれ使用してプレイする．

被験者が SHAPIO FC と SHAPIO FC VR をプレイすることで，ゲーム体験の質に差が生じるのかを調査する．ゲーム体験の質への影響は，SHAPIO が視認可能か不可能かの違いによって生まれるのかを確認する．SHAPIO DN VR では，被験者にゲーム開始前に VR 内の剣のデザインやスケールを見ながら SHAPIO を動かしてもらった．「スケールの異なった同じデザインの剣」3 種類を用いて SHAPIO DN VR を開始してもらい，ゲームが終わり次第，IEQ に答えてもらった．その後，「デザインの異なった剣」3 種類を用いて同様の実験を行った．プレイヤーが剣の種類によって，ゲーム体験の質への影響が出るのかを調査する．

6.3　結果

IEQ のそれぞれの要素ごとに総計し，最高得点と平均得点を **表 1** に 示す．SHAPIO FC よりも SHAPIO FC VR の方が Immersive のスコアが高くなった．また，5 つの構成要素に対しても同様に，SHAPIO FC よりも SHAPIO FC VR の方がスコアが高くなった．

IEQ のそれぞれの要素ごとに総計し，最高得点と平均得点を **表 2** に示す．スケールの異なった同じデザインの剣での IEQ の結果は，elucidator(1/2) が最も Immersive のスコアが高いことが判明した．elucidator(1/4) の Immersive のスコアは，elucidator(1/2) よりも低く，elucidator の Immersive のスコアは，elucidator(1/4) よりも低い結果となった．また，剣の大きさの違いによる重量感を感じた被験者は，8 名中 4 名だった．その内，SHAPIO と剣の使い心地に関して，elucidator に違和感を感じた被験者は，8 名中 3 名だった．

IEQ のそれぞれの要素ごとに総計し，最高得点と平均得点を **表 3** に示す．デザインの異なった剣での IEQ の結果は， Katana が最も Immersive のスコアが高いことが判明した．Nichirin Sword の Immersive のスコアは，Katana よりも低く，elucidator の Immersive のスコアは，Nichirin Sword よりも低い結果となった．また，剣の大きさの違いによる重量感を感じた被験者は，8 名中 5 名だった．その内，SHAPIO と剣の使い心地に関して，Nichirin Sword に違和感を感じた被験者は，8 名中 3 名だった．表 2 と 表 3 より，「スケールの異なった同じデザインの剣」と「デザインの異なった剣」では，IEQ の大きなスコアの差が見られなかった．

6.4　考察

表 1 より，SHAPIO FC よりも SHAPIO FC VR の方が Immersive のスコアが高くなった理由は，Cognitive Involvement, Real World Dissociation, Emotional Involvement，Control の 4 つの構成要素のスコアが高いためだと

© 2021 Information Processing Society of Japan

表 1　SHAPIO FC と SHAPIO FC VR IEQ の結果

要素	最高得点	SHAPIO FC	SHAPIO FC VR
Immersion	217	135.5	173.75
Cognitive Involvement	70	49.55	60.89
Real World Dissociation	42	21.75	32.88
Emotional Involvement	84	56.63	68.88
Challenge	35	19.25	22.88
Control	56	30.5	43.13

表 2　スケールの異なった同じデザインの剣 IEQ の結果

要素	最高得点	elucidator	elucidator(1/2)	elucidator(1/4)
Immersion	217	156.5	168.63	164.13
Cognitive Involvement	70	46.67	49.89	49.33
Real World Dissociation	42	30.88	32.75	31
Emotional Involvement	84	56.75	62.13	62.25
Challenge	35	21.5	22.5	22.88
Control	56	36.78	37.33	35.67

表 3　デザインの異なった剣 IEQ の結果

要素	最高得点	elucidator	Katana	Nichirin Sword
Immersion	217	157.88	167.63	163.75
Cognitive Involvement	70	48.33	51	50.44
Real World Dissociation	42	28.88	31.5	31.13
Emotional Involvement	84	58	62.38	61
Challenge	35	22.38	24.13	24.5
Control	56	37.11	37.33	35.22

考えられる．Cognitive Involvement のスコアが高い理由の 1 つは，プレイヤーが SHAPIO を視認不可能になったからである．SHAPIO FC VR では，SHAPIO のバルキーな見た目と SHAPIO FC に登場する剣の見た目とのギャップによる影響がなくなった．Real World Dissociation のスコアが高い理由の 1 つは，プレイヤーが 2D の ゲーム空間から 3D でゲーム空間を把握できるようになったからである．SHAPIO FC VR では，SHAPIO FC で認識できなかったゲーム空間の奥行きの関係を，プレイヤーが認識できるようになった．Emotional Involvement のスコアが高い理由の 1 つは，プレイヤーが一人称視点で剣を操作することができるようになったからである．また，SHAPIO FC VR は，SHAPIO FC に比べて，プレイヤーの視野角が広がり，プレイヤーの SHAPIO の操作性の向上した (表 1 Control).

表 2 と 表 3 より，elucidator(1/4) と Nichirin Sword よりも elucidator(1/2) と Katana の方が Immersive のスコアが高くなった理由は，Real World Dissociation，Control の 2 つの構成要素のスコアが高いためだと考えられる．elucidator(1/2) と Katana は, 現実世界の SHAPIO と同じ大きさの剣を操作することからゲーム内にいる感覚を強く感じることができた．そのため, elucidator(1/2) と Katana の Real World Dissociation は，高スコアだと考えられる (表 2, 表 3 Real World Dissociation)．elucidator(1/4) と Nichirin Sword は，他の剣と比べて剣の形状や大きさが小さくなるため，武器の先とエネミーとの距離感が認知しにくい．そのため，elucidator(1/4) と Nichirin Sword の Control は，プレイヤーの SHAPIO の操作性が低下し，低スコアだと考えられる (表 2, 表 3 Control)．elucidator よりも elucidator(1/4) と Nichirin Sword の方が Immersive のスコアが高くなった理由は，Cognitive Involvement，Emotional Involvement の 2 つの構成要素のスコアが高いためだと考えられる．elucidator は，他の剣と比べて忍者にダメージを与える範囲が大きくなってしまう．そのため，ゲームの難易度が著しく下がってしまうことにより，プレイヤーの集中力やプレイヤースキルが低下する．また，プレイヤーがゲームに対しての楽しいと言った感情やゲームへの愛着が薄くなる．以上のことから，elucidator の Cognitive Involvement や Emotional Involvement が低くなると考えられる．

7. おわりに

本論文では，従来の変形ゲームコントローラの課題を解決するため，SHAPIO を没入型の仮想環境で利用可能なゲームシステム SHAPIO VR を提案し，SHAPIO FC VR と SHAPIO DN VR を実装した．評価実験の結果，以下の 2 点を確認することができた．

- VR 化によって変形コントローラを用いたゲームの体験を高めることができた
- 「スケールの異なった同じデザインの剣」と「デザインの異なった剣」では，ゲーム体験の質に大きな影響は見られなかった．「スケールの異なった同じデザインの剣」と「デザインの異なった剣」の両者とも，「現実世界の SHAPIO と同じ大きさの剣，現実世界の SHAPIO の 1/2 倍の大きさの剣，現実世界の SHAPIO の 2 倍の大きさの剣」の順でゲーム体験の質が高かった．

本研究は，社会的事情により多くの被験者を用いた評価実験を実施することができなかった．今後の課題として，SHAPIO を用いて銃や弓についても同様の評価を行っていくことや，SHAPIO を用いた新たなゲームを実装する．また，SHAPIO 筐体の物理パラメータに求められる要件を分析し，SHAPIO の次世代機を開発する．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 20K12128 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] Daniel Pietschmann, Georg Valtin, and Peter Ohler. The effect of authentic input devices on computer game immersion. In *Computer Games and New Media Cultures*, pp. 279–292. Springer, 2012.

[2] Kening Zhu, Taizhou Chen, Feng Han, and Yi-Shiun Wu. Haptwist: creating interactive haptic proxies in virtual reality using low-cost twistable artefacts. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 693. ACM, 2019.

[3] Jotaro Shigeyama, Takeru Hashimoto, Shigeo Yoshida, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Transcalibur: A weight shifting virtual reality controller for 2d shape rendering based on computational perception model. In *Proceedings of the 2019 CHI Con-*

© 2021 Information Processing Society of Japan

ference on Human Factors in Computing Systems, CHI '19, pp. 11:1–11:11, New York, NY, USA, 2019. ACM.

[4] Hayato Kajiyama, Akifumi Inoue, and Tohru Hoshi. Shapio: Shape i/o controller for video games. In *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, CHI PLAY '15, pp. 565–570, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[5] 梶山隼, 井上亮文, 星徹. Shapio:立体形状で入出力可能なゲームコントローラの提案. バーチャルリアリティ学会研究報告 (サイバースペースと仮想都市研究会), Vol. 20, No. CS-1, pp. 39–44, 2015.

[6] 福永健竜, 梶山隼, 井上亮文, 星徹. Shapio v2:立体形状入出力可能なゲームコントローラの改善. 情報処理学会研究報告, Vol. 2017-EC-46, pp. 1–6, 2017.

[7] 福永健竜, 梶山隼, 井上亮文, 星徹. Shapio: 立体形状入出力可能なゲームコントローラの評価. DICOMO マルチメディア，分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, 第 2018 巻, pp. 1176–1181, jun 2018.

[8] 福永健竜, 石河竜太, 井上亮文. 変形により入出力が可能なゲームコントローラのユーザビリティ改善. 情報処理学会論文誌, Vol. 59, pp. 1–11, jan 2018.

[9] 福永健竜, 石河竜太, 井上亮文. 変形により入出力が可能なゲームコントローラのユーザビリティ改善. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, Vol. 2019, pp. 46–51, sep 2019.

[10] 株式会社 HORI. 任天堂スイッチ専用コントローラ. `https://hori.jp/products`, (2021-04-09).

[11] Geehyuk Lee Seongkook Heo, Christina Chung and Daniel Wigdor. Thor's hammer: An ungrounded force feedback device utilizing propeller-induced propulsive force. In *CHI '18: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No. 525, pp. 1–11. CHI, April 2018.

[12] Jenova Chen. Flow in games (and everything else). *Commun. ACM*, Vol. 50, No. 4, pp. 31–34, April 2007.

[13] Charlene Jennett, Anna L. Cox, Paul Cairns, Samira Dhoparee, Andrew Epps, Tim Tijs, and Alison Walton. Measuring and defining the experience of immersion in games. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, Vol. 66, No. 9, pp. 641–661, September 2008.

[14] Ron Tamborini and Paul Skalski. The role of presence in the experience of electronic games. 2006.

[15] Karolien Poels, Yvonne de Kort, and Wijnand Ijsselsteijn. "it is always a lot of fun!": Exploring dimensions of digital game experience using focus group methodology. In *Proceedings of the 2007 Conference on Future Play*, Future Play '07, pp. 83–89, New York, NY, USA, 2007. ACM.

[16] Yvonne A. W. De Kort, Wijnand A. Ijsselsteijn, and Karolien Poels. K.: Digital games as social presence technology: Development of the social presence questionnaire (spgq. In *In: Presence 2007 Conference*, pp. 25–27.

[17] Daniel Pietschmann, Georg Valtin, and Peter Ohler. The effect of authentic input devices on computer game immersion. In *Computer Games and New Media Cultures*, pp. 279–292. Springer Netherlands, 2012.

[18] Staffan Bjork and Jussi Holopainen. *Patterns in Game Design (Game Development Series)*. Charles River Media, Inc., Rockland, MA, USA, 2004.

[19] Mitchell McEwan, Daniel Johnson, Peta Wyeth, and Alethea Blackler. Videogame control device impact on the play experience. In *Proceedings of The 8th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Playing the System*, IE '12, pp. 18:1–18:3, New York, NY, USA, 2012. ACM.

[20] Myung-jin Kim Seungwoo Je, Hyelip Lee and Andrea Bianchi. Wind-blaster: a wearable propeller-based prototype that provides ungrounded force-feedback. In *ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies*, No. 23, pp. 1–2. ACM, August 2018.

[21] Evan Strasnick, Christian Holz, Eyal Ofek, Mike Sinclair, and Hrvoje Benko. Haptic links: Bimanual haptics for virtual reality using variable stiffness actuation. In *CHI 2018/SIGCHI 2018*. ACM, April 2018.

[22] Charlene Ianthe Jennett. *Is game immersion just another form of selective attention? An empirical investigation of real world dissociation in computer game immersion*. PhD thesis, UCL (University College London), 2010.

© 2021 Information Processing Society of Japan