

# SHAPIO v2:立体形状入出力可能なゲームコントローラの改善

福永 健竜<sup>†1,a)</sup> 梶山 隼<sup>†1</sup> 井上 亮文<sup>†1</sup> 星 徹<sup>†1</sup>

**概要:** 我々は、ゲーム体験の向上を目的として、立体形状を介した入出力が可能なゲームコントローラ「SHAPIO」の提案をしてきた。SHAPIOの課題として、各ピースの対荷重性の低さや可動範囲の狭さ、コントローラの3次元位置推定精度などが挙げられる。SHAPIOの持つ課題を改善することで、よりゲーム体験の向上ができると考えられる。これらの課題をSHAPIOの各ピースに内臓されたサーボモータを変更し、3次元位置推定を加速度センサからARマーカーによる推定に変更することで改善する。本稿では、改善したプロトタイプSHAPIO v2の実装と評価用ゲームアプリケーションによるユーザー評価について述べる。

## SHAPIO v2:Improvement of Shape I/O Controller for Video Games

TAKERU FUKUNAGA<sup>†1,a)</sup> HAYATO KAJIYAMA<sup>†1</sup> INOUE AKIFUMI<sup>†1</sup> HOSHI TOHRU<sup>†1</sup>

**Abstract:** We have proposed a transformable game controller “SHAPIO”, that can input and output game events through its three-dimensional shape. However, the servomotor inside each piece of SHAPIO didn't have enough torque to keep arbitrary shape of the whole SHAPIO. The acceleration-based position/posture detection didn't have enough accuracy. In this paper, we describe a new prototype called “SHAPIO v2”. This new prototype improves the issues by using new servomotors and a marker-based position/posture detection mechanism. We also describe the experiment to evaluate the immersion in playing an original game that requires SHAPIO.

### 1. はじめに

エンターテインメント分野では、VRヘッドセットといった視覚的な臨場感や没入感を向上させるデバイスが登場し、ユーザに新しいゲーム体験を提供することとなった。視覚的な臨場感や没入感が充実する一方で、触覚的・物體的な臨場感や没入感に関しては依然として改善の余地がある。例えば、ゲームに登場する様々なアイテムは、現実世界に実体がない。プレイヤーが触るゲームパッドやキーボードは、ゲームに登場するアイテムと形状がかけ離れている。これらの接触感覚や把持感覚の不一致によって、プレイヤーは仮想世界のキャラクターとの一体感を感じることができない。

ゲーム内のアイテムと同じ形状、使い方ができる専用コントローラは、ユーザのゲーム体験を向上させることが報告されている [1]。しかし、実際のゲームは様々な種類のゲームが存在し、1つのゲームの中でも複数のアイテムを使用することが多い。複数のアイテムに対応したコントローラを用意し、それらのコントローラを持ち替えながら遊ぶことは現実的ではない。

我々は立体形状を介した入出力が可能なゲームコントローラ「SHAPIO」を研究してきた [2][3]。SHAPIOは、Rubik's Snakeのようにピースを回転させることで様々な形状に変形することができるゲームコントローラである。プレイヤーがSHAPIOをアイテムと似た形に変形させることで、ゲーム内のアイテムを切り替えることができる。また、刀が折れるといったアイテムの状態変化に応じてゲームシステム側からSHAPIOを変形させることで、様々なゲームの体験の質を向上させる。本研究では、先行研究の

<sup>†1</sup> 現在、東京工科大学  
Presently with Tokyo University of Technology  
<sup>a)</sup> c01144495d@edu.teu.ac.jp

課題を改善したプロトタイプ SHAPIO v2 の開発を行い、ユーザのゲーム体験の質を向上させる。本稿の貢献は以下のとおりである。

- プロトタイプ SHAPIO v1 で課題であった対荷重性の低さや可動範囲の狭さをサーボモータをより高トルク化することで改善する。
- 3次元位置推定を加速度センサから AR マーカーによる推定に変更する。
- これらを改善することで、接触感覚や把持感覚を伴ったゲーム体験の質を向上させる。

## 2. 関連研究

### 2.1 専用コントローラ

任天堂社のスーパースコープはガンシューティング用の銃の形をしたコントローラで、肩に担いで使用する [4]。プレイヤーは付属のスコープホルダーを装着し、片目でスコープを覗きこみ照準を合わせてボタンを押すことで操作を行う。MAD CATZ 社の Pro Racing Force Feedback Wheel&Pedals は、モーターレース用のコントローラである [5]。コントローラには、ステアリングとアクセルペダル、ブレーキペダルといった車を模した入力装置を搭載している。ステアリング部にはモータによりステアリングの抵抗感を出すフォースフィードバックを備えており、プレイヤーは現実の車を運転する感覚でゲームができる。このような専用コントローラは特定の種類のゲームに最適化された形状である。例えば銃型のコントローラはソードアクションゲームをプレイすることには適さない。

### 2.2 変形可能なコントローラ

Paden Shorey らの Bendtroller は、新たな操作法導入が目的とした曲げによる入力可能なゲームコントローラである [6]。Bendtroller は、コントローラ中央に内蔵されている曲げセンサーにより、「上に曲げる」「下に曲げる」「左に曲げる」「右に曲げる」という 4 つのジェスチャーを検知することができる。また、左右に取り付けられている 6 つのボタンにより、ボタン入力での操作も可能としている。Bendtroller では、変形させて入力することができるが、ゲーム上のアイテムとコントローラとの形状は一致しない。

JoyLabz 社の Makey Makey は入力ポートを備えたマイクロコンピュータである [5]。Makey Makey の 1 ポートと導電性のある物体を接続することで、接続した物体をコントローラにすることができる。また、ゲームアイテムと似たような現実の物体と接続することで、様々な形状のコントローラとして機能させることができる。Makey Makey は、様々な形状のコントローラとして機能させることができるが、求めている形状の物体を用意できるとは限らない。



図 1 Rubik' s Snake

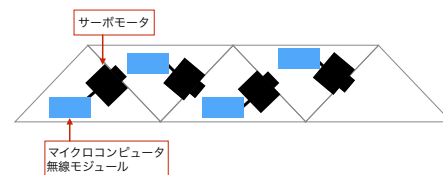


図 2 SHAPIO の構造

## 3. SHAPIO

本章では、我々が開発している SHAPIO の構成について述べる [2][3]。

### 3.1 SHAPIO の形状

SHAPIO の構造は図 1 で示した Rubik's Snake と同じ構造を有している。Rubik's Snake は 24 個の正三角柱のピースで構成されるパズル型の玩具である。それぞれのピースを捻転させることにより、犬型やボール型といった様々な形状に変形することができる。

SHAPIO の各ピースの断面図を図 2 に示す。SHAPIO のピースの内部にはマイクロコンピュータ、サーボモータ、無線モジュールを内蔵している。ピース同士はサーボモータのシャフトにより物理的に連結されており、サーボモータから角度の値を取得し制御することができる。また、マイクロコンピュータは無線モジュールを介して外部のコンピュータとデータの受け渡しができる。

### 3.2 ゲームシステム概要

図 3 に SHAPIO を入力機器として扱う例を示す。プレイヤーが SHAPIO をアイテムと似たような形状に変形させることで、ゲームシステムが SHAPIO の現在の形状を認識しゲーム内のアイテムを切り替えることができる。例えば、プレイヤーが SHAPIO を拳銃型からナイフ型に変形させると、ゲームシステムはアイテムを拳銃からナイフ

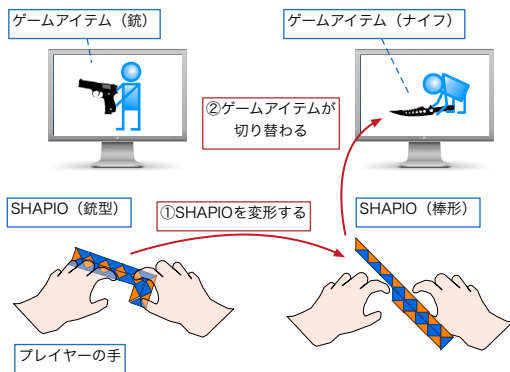


図 3 SHAPIO を入力機器として扱う例

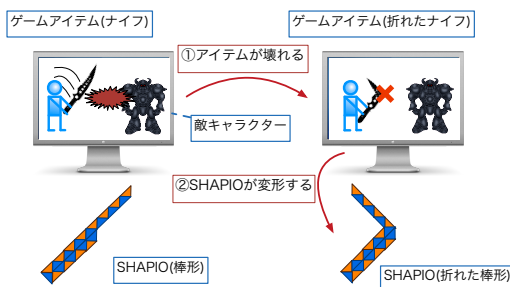


図 4 SHAPIO を出力機器として扱う例

へと切り替える。

図 4 に SHAPIO を出力機器として扱う例を示す。ゲームシステムは、ゲーム内のアイテムの状態の変化に応じて、ゲームシステムが SHAPIO を変形させることができる。例えば、ゲーム内のナイフが折れてしまった場合、SHAPIO は折れたナイフの形に変形する。

入力機器と出力機器の 2 つの特徴を兼ね備えた SHAPIO を用いたゲームでは、手元の SHAPIO とアイテムの形状が常に一致しているため、プレイヤーは一体感を更に感じられるようになると思われる。

## 4. プロトタイプ SHAPIO

本章では、以上のコンセプトを実現したプロトタイプ SHAPIO について述べる。

### 4.1 ハードウェア

図 5 の (a) に SHAPIO の内部を、(b) に連結面を示す。SHAPIO の 1 ピースは 2 辺が 7cm の直角二等辺三角形を底面に持ち、厚さが 7cm の三角柱である。プロトタイプの SHAPIO は 5 ピースで構成される。

各ピースを回転させるモータと回転角を読み取るポテンシオメータとして TowerPro 社の SG90 を用いた。サーボモータとポテンシオメータを制御するマイコンとして Punch Through Design 社の LightBlue Bean を用いた。LightBlue Bean には無線モジュールである BLE が内蔵されており、ゲーム機との通信を行う際に利用した。また、3 軸加速度センサも搭載されており、SHAPIO の傾きを計

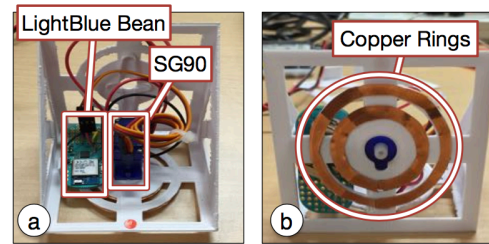


図 5 SHAPIO の内部構造

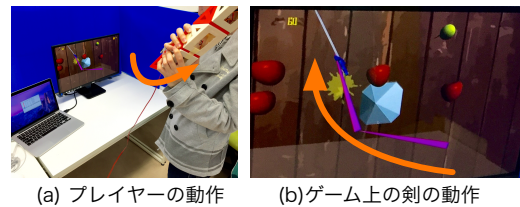


図 6 SHAPIO Fruits Cutter

算する際に利用した。

### 4.2 ソフトウェア

SHAPIO を利用したゲームである SHAPIO Fruits Cutter の実行画面を図 6 に示す。図 6 の (a) にプレイヤーの動作を、(b) にゲーム上の剣の動作を示す。

SHAPIO Fruits Cutter は、ゲーム画面下部から飛んでくるフルーツを剣で切りつけることで、ポイントが取得できるゲームである。SHAPIO 本体はゲーム内の剣と対応しており、プレイヤーは SHAPIO を上下左右に振ることで剣を操作できる。

フルーツにはりんごとレモンの 2 種類があり、りんごを切ると 1 点、レモンを切ると 3 点取得できる。120 秒経過するとゲームは終了する。SHAPIO Fruits Cutter では一定時間が経過するとゲーム上の岩が飛んでくる。この岩に剣が衝突すると、剣が折れてしまい、フルーツが切れにくくなる。ゲーム上の剣が折れ曲がると同時にゲームシステムが SHAPIO の変形の命令を送信し、SHAPIO の形状と剣の形状を一致させる。このように SHAPIO の形状とアイテムの剣の形状を常に一致させることで、ユーザのゲームの体験を向上させることが考えられる。

## 5. 評価実験

### 5.1 実験環境

実験環境としてプロトタイプの SHAPIO とは別に、硬度の高い Solid SHAPIO を作成した。図 7 に Solid SHAPIO を示す。プロトタイプ SHAPIO v1 では筐体本体の強度や可動範囲が狭く長時間ゲームするのに向いていなかった。本質であるゲーム体験の質を検証するために Solid SHAPIO を作成した。Solid SHAPIO は耐久性を高めるために①のピースにのみモータが設置されており、他の連結



図 7 Solid SHAPIO

部はボルトとナットで連結している。また、加速度センサの値を取得するため、②にLightBlue Beanを設置した。

評価実験に用いるアプリケーションとして、SHAPIO Fruits Cutterを用いた。この時、Solid SHAPIOを変形させるパターン（以下、Changeパターン）と変形させないパターン（以下、Keepパターン）の2種類を用意し、アンケートを行った。

アンケート項目はJennetらのImmersive Experience Questionnaire(以下、IEQ)[7]を参考にし、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。IEQはゲームの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項目である。31種類の質問から構成される。解答の総計がImmersive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。IEQはCognitive Involvement(認知関与), Emotional Involvement(感情移入), Real World Dissociation(現実との乖離), Control(操作性), Challenge(やりがい)の5つの要素から構成される。1に上記の要素と質問の対応表を示す。

表 1 IEQの要素と質問番号の対応表

要素	質問番号
Cognitive Involvement	1,2,3,4,17,19,21,22,25,29
Emotional Involvement	6,7,13,19,21,22,25,29
Real World dissociation	6,7,8,9,12,14 (6,8,9は反転)
Control	10,11,13,14,15,16,21,28
Challenge	17,18,20,22,26

## 5.2 実験手順

被験者は実験者から実験の内容から説明を受け、ゲームの操作になれるためにKeepパターンの条件でSHAPIOを動かしてもらった。ゲームの操作に慣れた時点で、ChangeパターンとKeepパターンいずれかの条件でゲームを開始してもらい、ゲームが終わり次第にIEQに答えてもらった。また、IEQに加え自由記入欄を用意し回答してもらった。その後もう一方のパターンで同様の実験を行った。被験者は16名である。

## 5.3 実験結果・考察

IEQのスコアおよび表1の各要素のスコアの平均を表2に示す。最高得点の値は、対応する質問ですべて「7:とても

同意」で答えた際の得点である。結果よりKeepパターン、ChangeパターンともにSHAPIO Fruits Cutter自体は高い没入感でプレイできることを確認した。これは、SHAPIOの振りの動作と、剣の動作が一致していたためだと考えられる。

被験者は全員、すべてのパターンで剣が折れるイベントが発生した。Changeパターンでの施行の際、多くの被験者は剣が折れたタイミングで、SHAPIOのピースが回転することに気がついていて、被験者16名中8名はKeepパターンよりもChangeパターンの方が没入感が高いと回答した。しかし、すべての要素でKeepパターンとChangeパターンでt検定を行ったところ、5%の有意水準で有意差は認められなかった。

これはピース自体が軽いことや折れた位置も先端であったため、プロトタイプSHAPIO v1を振った時、KeepパターンとChangeパターン間でモーメントの差が小さく、折れたあとのプレイにはあまり差が無かったからであると考えられる。加えて、ゲームのプレイ中、ゲーム画面に注視する被験者が多かったため、SHAPIOの形状が剣と一致した場合でも視覚的な一致を感じるができなかったのではないかと考えられる。しかし、自由記入欄には「剣が折れた時にSHAPIOが回ったことで、普通のコントローラでは味わえない驚きがあり、楽しめた」や、「折れたほうがゲームやっていて楽しかった」など形状変化に対しポジティブな意見も見受けられた。

表 2 IEQ結果

要素	最高得点	Keep	Change
Immersion	204	154.18	157.07
Cognitive Involvement	62	49.57	48.5
Emotional Involvement	42	62.85	61.43
Real World Dissociation	36	27	26.93
Control	47	33.64	33
Challenge	26	19.78	19.62

## 6. プロトタイプ SHAPIO v2

本章では、プロトタイプSHAPIO v1の課題を改良した「プロトタイプSHAPIO v2」について述べる。

## 7. プロトタイプ SHAPIO v2 の実装

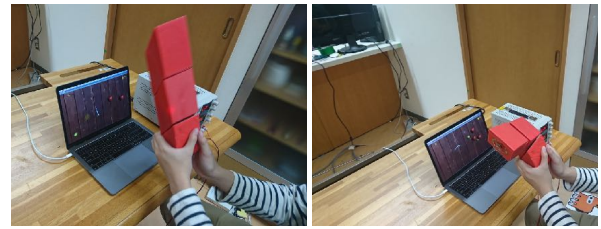
図8にプロトタイプSHAPIO v2を、図9にシステム外観を示す。SHAPIO v2の1ピースは2辺が7.5cmの直角二等辺三角形を底面に持ち、厚さが7.5cmの三角柱である。プロトタイプSHAPIO v2は6ピースで構成される。

プロトタイプSHAPIO v2では各ピースを回転させるモータとしてTowerPro社のFG90からより高トルクである近藤科学社のKRS-3301へ変更した。プロトタイプSHAPIO v1ではサーボモータのトルク不足で、荷重のか





図 8 SHAPIO v2



(a) ゲーム上の剣がまっすぐな状態 (b) ゲーム上の剣がまっすぐな状態

図 10 SHAPIO v2 の評価実験



図 9 システム外観

かるピースでは、自由な形状を作ることができなかった。プロトタイプ SHAPIO v2 ではピースの重さが増加する代わりにサーボモータのトルクが向上し、自由な形状を作ることができるようになった。

また、プロトタイプ SHAPIO v1 では加速度センサでコントローラの位置や角度を推定していた。加速度センサではセンサの誤差などが累積し実用的な精度が得られなかった。そこで、加速度センサの代わりに AR マーカーを用いたコントローラの位置や角度を推定するように変更した。AR マーカーの認識には Kudan 社の Kudan AR を用いた。

サーボモータを制御するマイコンとして STMicroelectronics 社の STM32F303K8 を用いた。マイコンには Bluetooth モジュールを接続されており、ゲーム機との通信を行う際に利用する。また各ピースの重量が 121 g から 231 g に増加したことによりユーザが感じるモーメントが上がったと考えられる。

## 8. SHAPIO v2 の評価実験

SHAPIO v2 の評価実験として、先述した評価実験と同様に SHAPIO Fruits Cutter を用いた評価実験を行なった。SHAPIO v2 の評価実験の様子を図 10 に示す。(a) では剣がまっすぐな状態、(b) では剣が折れている状態である。モーメントを向上させるために図 8 の①の箇所内に蔵されたサーボモータを動作させた。

被験者は 12 名である。

## 8.1 実験結果・考察

IEQ のそれぞれの要素ごとに総計し、平均を求めた結果を表 3 に示す。12 名中 8 名の被験者が Keep パターンよりも Change パターンの方が没入感が高いと回答した。すべての要素で Keep パターンと Change パターンで t 検定を行ったところ、Immersion, Emotional Involvement の要素で 5% 以内の有意差があることを確認した。これは各ピースの重量が増加し曲がる箇所を変えた結果、剣が折れる前と剣が折れた後とでユーザが感じるモーメントの差が大きくなったためであると考えられる。Cognitive Involvement と Real World Dissociation, Challenge では 5% の有意水準で有意差は認められなかった。これは、SHAPIO Fruits Cutter では剣が折れた後剣を修理することができない。そのため、続ける意味を見出せずやる気を失ってしまった人が多かったことが原因であると考えられる。また、PC 上部に設置された Web カメラを用いて AR マーカーの認識を行っていたため SHAPIO 本体がゲーム画面を障害し、一体感が失われてしまったことも一因であると考えられる。

表 3 プロトタイプ SHAPIO v2 IEQ 結果

要素	最高得点	Keep	Change
Immersion	196	147.84	164.69
Cognitive Involvement	63	48.76	53.61
Emotional Involvement	42	57.61	65.92
Real World Dissociation	48	25.69	25.46
Control	39	32.46	36.53
Challenge	24	32.46	36.53

## 9. 今後の展望

SHAPIO Fruits Cutter では、ゲーム側から SHAPIO を変形させるのみでユーザーから SHAPIO を変形させることができない。入力機器と出力機器の 2 つの特徴を兼ね備えている SHAPIO の特徴を出力機器としてしか利用しておらず、入力機器として利用した場合にゲーム体験の質が向上するのかが評価を行う必要がある。

また、SHAPIO で表現することができるアイテムをリストアップし、どのようなゲームが SHAPIO に適しているのかが分析を行う予定である。

## 10. おわりに

本研究では、立体形状を介した入出力が可能なゲームコントローラ「SHAPIO」の改善を行なった。プレイヤーのゲーム体験と SHAPIO の形状に関係性があるか評価実験を行なった。

プロトタイプ SHAPIO では、16 名中 8 名のゲーム体験の質を向上することができたが統計上の有意差は見られなかった。しかし、プロトタイプ SHAPIO v1 の課題を改善したプロトタイプ SHAPIO v2 では 12 名中 8 名のゲームの体験の質を向上させ、統計上の有意差を確認することができた。

今後は、SHAPIO を用いた新たなゲームを実装し、どういった場合にゲーム体験の質が向上するのか分析を行なっていく予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 17K00284 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] MadCatzInteractive: Mad catz pro racing force feedback wheel & pedals, <http://attasa.com/madcatz/products/madcatz/MCX-RW-MC-PRO/detail.html> (2017 年 11 月 10 日閲覧).
- [2] 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).
- [3] Kajiyama, H., Inoue, A. and Hoshi, T.: SHAPIO: Shape I/O Controller for Video Games, *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY '15*, New York, NY, USA, ACM, pp. 565-570 (online), DOI: 10.1145/2793107.2810318 (2015).
- [4] 任天堂: スーパースコープ, <https://www.nintendo.co.jp/n02/shvc/1r/> (2017 年 11 月 10 日閲覧).
- [5] JoyLabz: MakeyMakeyClassic, <https://www.makeymakey.com/> (2017 年 11 月 10 日閲覧).
- [6] Shorey, P. and Girouard, A.: Bendtroller:: An Exploration of In-Game Action Mappings with a Deformable Game Controller, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '17*, New York, NY, USA, ACM, pp. 1447-1458 (online), DOI: 10.1145/3025453.3025463 (2017).
- [7] Jennett, C. I.: 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).