

SHAPIO:立体形状入出力可能なゲームコントローラの評価

福永 健竜¹ 梶山 隼¹ 井上 亮文¹ 星 徹¹

概要:我々は, ゲーム体験の向上を目的として, 立体形状入出力可能なゲームコントローラ「SHAPIO」を研究してきた. これまでの研究から, SHAPIO を出力機器として扱った場合にゲーム体験の質が向上することを確認した. SHAPIO を入力機器として扱った場合も先行研究からアイテムのゲーム体験の質が向上すると考えられる.

本研究では, プレイヤーが SHAPIO を変形させる時間や精度を計測し, SHAPIO を入力機器として扱った場合のユーザビリティを評価する. この結果から, SHAPIO を用いたゲームアプリケーションの指針を示すことを目指す.

1. はじめに

ゲーム内のアイテム (以下, ゲームアイテム) と同じ形状, 使い方ができる専用コントローラは, プレイヤーのゲーム体験の質を向上させることが報告されている [1]. しかし, 実際のゲームでは, まっすぐな剣が折れるといったゲームアイテムの状態が変化することがある. 専用コントローラは, 最初から用意されている可動部しか変形できず, ゲームアイテムの状態の変化に対応することができない. これによってゲームへの没入感が阻害されてしまう. また, 最近のゲームでは, 1つのゲームの中でも複数のゲームアイテムを使用することが多い. 複数のアイテムの1つ1つに対して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.

このような背景から, 我々は立体形状入出力可能なゲームコントローラ SHAPIO を研究してきた [2]. SHAPIO は, Rubik's Snake のように直角二等辺三角柱のピースを複数個繋げた形状をもつ. SHAPIO のピースを回転させることで, 様々な形状を通したゲームへの入力とゲームからの出力の両方を行うことができる. SHAPIO を入力機器として扱う場合, プレイヤーが SHAPIO をゲームアイテムと似た形状に変形させることで, ゲームアイテムを切り替えることができる. また, SHAPIO を出力機器として扱う場合, ゲーム中の刀が折れると言ったゲームアイテムの状態変化に応じて, ゲーム側から SHAPIO の形状を変形させることができる.

これまでの研究から, SHAPIO を出力機器として扱った

場合にゲーム体験の質を向上することが確認した [3]. 本研究では, プレイヤーが SHAPIO を変形させる時間や精度を計測し, SHAPIO を入力機器として扱った場合のユーザビリティを評価する. この結果から, SHAPIO を用いたゲームアプリケーションの指針を示すことを目指す.

2. 関連研究

Daniel らは知覚的運動性没入感に着目し, テニスゲームプレイ中, ゲームパッドとテニスラケット型コントローラで GX の違いがあるか比較実験を行った [1]. 知覚運動没入感はゲーム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. この実験の結果, 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分かった.

JoyLabz 社の Makey Makey は, 入力ポートを備えたゲームコントローラ向けのマイクロコンピュータである [4]. Makey Makey は1つの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. そのため, 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. このように 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. しかし, 求めている形状の物体を用意できるとは限らず, 求めている形状が複数個ある場合は, Makey Makey を複数個用意するか, 物体と Makey Makey を接続しなす時間が必要となってしまう.

SQUARE ENIX 社のガンスリンガーストラトスは, 2つのガンコントローラを合体させつつ遊ぶシューティングゲームである [5]. このゲームでは, 2つのガンコントロー

¹ 東京工科大学

^{†1} 現在, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム
Presently with DICOM02018



図 1 Rubik's Snake

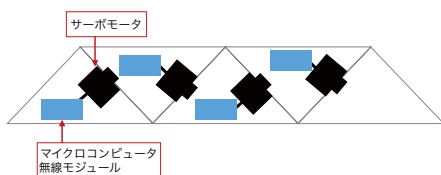


図 2 SHAPIO の構造

ラをダブルガンデバイスと呼ぶ。ダブルガンデバイスを物理的に上下、または左右に合体させることにより、3つの形態の銃を使い分けることができる。ガンズリンガーストラトスでは、ガンコントローラを繋げるだけでアイテムを使い分けることができ、プレイヤーが煩わしさを感じることはない。

3. SHAPIO

本章では、我々が開発している SHAPIO について述べる。

3.1 SHAPIO の構造

SHAPIO の形状は図 1 で示した Rubik's Snake と同じ構造を有している。Rubik's Snake は 24 個の直角二等辺三角柱のピースで構成されてい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させることができる。

図 2 に SHAPIO の内部構造を示す SHAPIO の各ピースの内部には、マイクロコンピュータ、サーボモータ、無線モジュールが内蔵している。ピース同士はサーボモータのシャフトによって物理的に連結されている。これによ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。

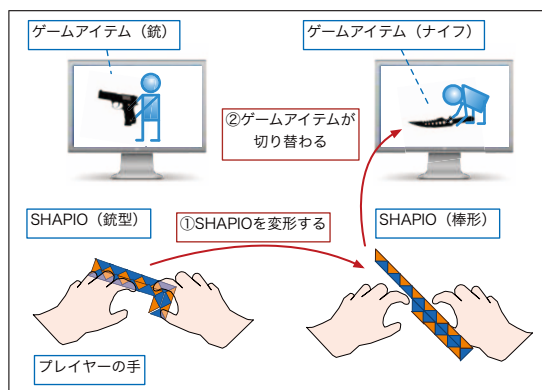


図 3 SHAPIO を入力機器として扱う例

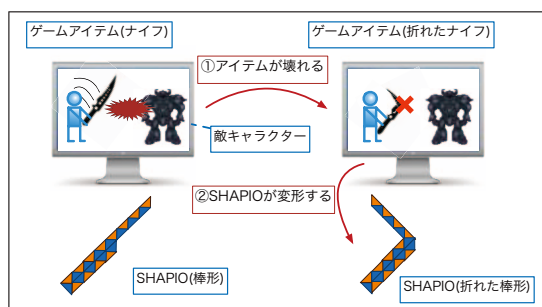


図 4 SHAPIO を出力機器として扱う例

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 に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、ゲームシステムから命令を出すことで 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、プレイヤーはゲームのキャラクターと一体感を感じられる。

3.3 SHAPIO Fruits Cutter

評価実験用のアプリケーションとして SHAPIO Fruits Cutter を作成した。SHAPIO Fruits Cutter をプレイしている様子を図 5 に示す。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。ゲーム内の剣の位置は、プレイヤーが持つ SHAPIO の位置と同期しており、SHAPIO を振ることで剣を振ることができる。剣で岩

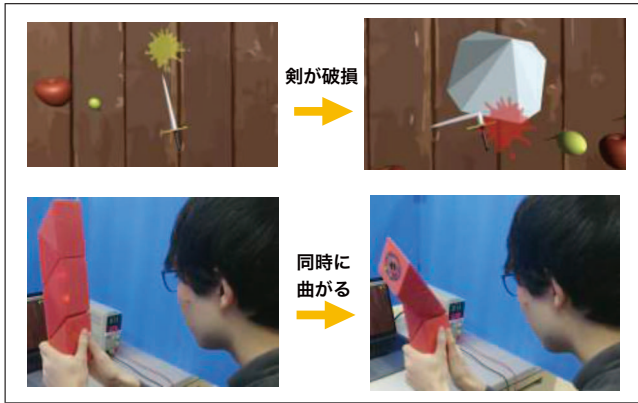


図 5 SHAPIO Fruits Cutter

を切りつけてしまうと、剣は破損してしまい SHAPIO も同時に折れる。SHAPIO の形状とゲームアイテムの形状が常に一致するため、プレイヤーのゲーム体験の質が向上する。

4. SHAPIO を用いた出力機構の評価実験

本章では、ゲームの進行中にゲームアイテムの形状が変化したときに SHAPIO の形状も似た形状に変形させるといった出力に関する評価実験について述べる。

4.1 出力機構の評価実験 1

出力に関して評価するために、SHAPIO とアイテムの形状が同期するパターンと同期しないパターンとでゲーム体験の質に変化があるのか評価実験を行った。

1 ピースだけ回転し他のピースは固定されている Solid SHAPIO を作成した。Solid SHAPIO の全体像を図 6 に示す。Solid SHAPIO の 8 ピースの三角柱で構成されている。各ピースは 2 辺が 7cm の直角二等辺三角形を底面に持ち、厚さが 7cm である。1 ピースあたりの重量は 36g である。サーボモーターである SG90 が①に内蔵してあり、加速度を取得するために②に LightBlue Bean が内蔵してある。

評価実験のアプリケーションとして、先述した SHAPIO Fruist Cutter を用いた。SHAPIO とアイテムの形状が同期する Change パターンと同期しない Keep パターンとで行ってもらい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) [6] を参考にし、7段階のリッカート尺度を用いた。IEQ は 5 つの要素から構成されるゲームの没入感を主観的計測するためのアンケート項目である。解答の総計が Immersion のスコアとなる。被験者は 16 名に行ってもらった。

実験の結果、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。ピース自体が軽くプロトタイプ SHAPIO v1 を振った時、Keep パターンと Change パターン間でモーメ

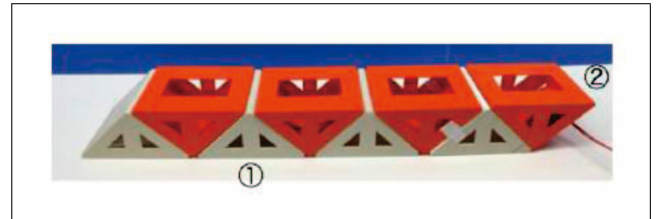


図 6 Solid SHAPIO の全体像

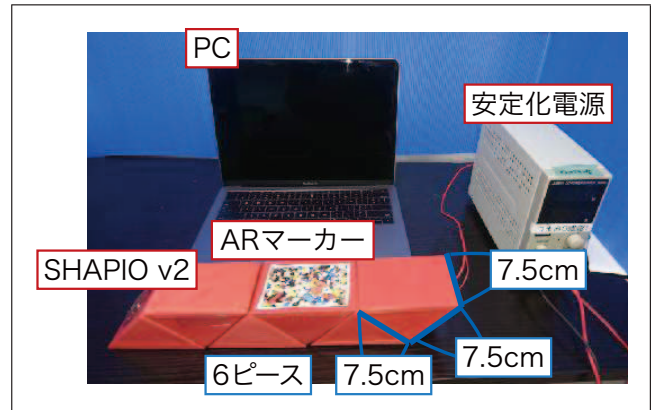


図 7 プロトタイプ SHAPIO v2 の全体像

ントの差が小さかったため、プレイヤーが SHAPIO が変形したと認知できなかったと考えられる。

4.2 出力機構の評価実験 2

Solid SHAPIO では、サーボモーターのトルクの低さなどが原因でピースが折れる位置に制限があり、変形してもプレイヤーがモーメントの差を感じることができなかった。そこで、サーボモーターのトルクや筐体の剛性を向上させたプロトタイプ SHAPIO v2 を作成した。図 7 にプロトタイプ SHAPIO v2 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。1 ピースあたりの重量は 88g である。

プロトタイプ SHAPIO v1 と同様の評価実験を行った。また変形した時のモーメントの差を大きくするために変形するピースの位置を 1 ピース下に下げた。被験者は 12 名に行ってもらった。

実験の結果、被験者 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 t 検定を行なったところ、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ー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。

これらことから、SHAOIO を出力機器として扱った場合にゲーム体験の質を向上することが確認できた。



図 8 SHAPIO のモックの全体像

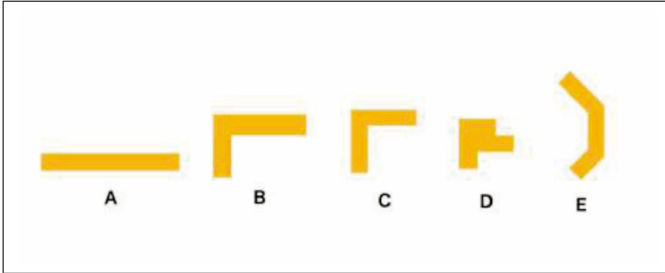


図 9 SHAPIO の変形パターンのイラスト

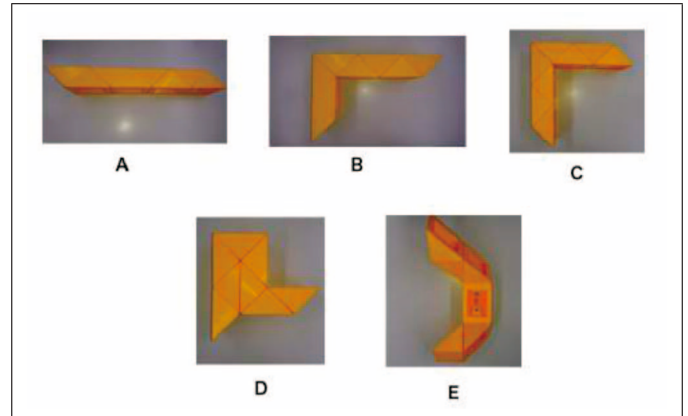


図 10 こちらが想定したそれぞれのイラストの SHAPIO の形状

5. SHAPIO を用いた入力機構の評価実験

本章では、ゲームアイテムを選択するときにプレイヤーが SHAPIO を変形させるといった入力に関する評価実験について述べる。

5.1 評価方法

SHAPIO の特徴である変形による入力の評価実験を行った。プレイヤーがイラストを見てどのように変形させ、どれほど変形速度に時間がかかるのかを評価を行った。被験者は男性 7 名である。

5.2 実験方法

プロトタイプ SHAPIO v2 では強度や重量といった問題からピース数を増やすことが難しかったため、SHAPIO のモックを作成した。図 8 に SHAPIO のモックを示す。筐体は 3D プリンタで印刷した。SHAPIO の 1 ピースはプロトタイプ SHAPIO v2 と同様の大きさである、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。入力機構の評価実験用 SHAPIO はこれまでの SHAPIO より 2 ピース多い、8 ピースから構成される。1 ピースあたりの重量は 30g である。

SHAPIO の変形パターンのイラストを A, B, C, D, E の 5 種類用意した。このイラストを図 9 に示す。また、こちらが想定するそれぞれに対する変形パターンを図 10 に示す。

同じ形状同士の組み合わせを除いた全ての組み合わせである 20 通りの変形をやってもらった。変形を行う順番を表 1 に示す。

表 1 SHAPIO を変形させる順番

順番	形状	順番	形状
1	A	12	C
2	B	13	D
3	D	14	E
4	C	15	B
5	E	16	A
6	A	17	E
7	C	18	C
8	B	19	A
9	E	20	D
10	D	21	A
11	B	-	-

5.3 実験手順

実験は以下の手順でおこなった。被験者には変形に慣れてもらうために、評価実験の前に SHAPIO を自由に変形してもらった。実験風景は、分析のためにビデオカメラで撮影した。

- (1) 被験者に A の形状の状態の入力機構の評価実験用 SHAPIO を持ってもらう。
- (2) PC ディスプレイにイラストを表示する。
- (3) 計測者が変形開始を指示し、計測を開始する。
- (4) 被験者は変形開始の指示と同時に、被験者が感じるイラストと似た形状に SHAPIO を変形してもらう。
- (5) 被験者が完成したと思ったら被験者に伝えてもらい、計測を止める。
- (6) その形状のまま、次のスライドを表示し全ての組み合わせが終わるまで繰り返し行う。

5.4 実験結果

被験者が SHAPIO を変形させるまでにかかった平均時間を表 2 に、被験者が SHAPIO を変形させたときの合計ミス数を表 3 に示す。

実験結果より、A のまっすぐな形状から別の形状へ、もしくは別の形状から A の形状に変形させる場合がもっとも短時間でできることがわかった。また、プレイヤーは

表 2 被験者が SHAPIO を変形させるまでにかかった平均時間 (秒)

変形前 \ 変形後	A	B	C	D	E	平均
A	-	5.50	12.0	14.2	13.3	11.3
B	3.10	-	19.0	16.1	50.0	22.1
C	3.50	8.00	-	17.1	120	37.2
D	8.40	12	22.6	-	54.7	24.4
E	7.20	14.5	5.00	33.7	-	15.1
平均	5.55	10.0	14.65	20.3	59.5	22.0

表 3 被験者が SHAPIO を変形させたときの合計ミス数 (回)

変形前 \ 変形後	A	B	C	D	E	合計
A	-	0	0	1	5	6
B	0	-	0	0	5	5
C	0	0	-	0	5	5
D	0	0	0	-	5	5
E	0	0	0	0	-	0
合計	0	0	0	1	20	21

SHAPIO を別の形状に変形させるときに、一度 A の状態を経てから目的の形状へ変形させることが多かった。これは、プレイヤーがまっすぐな状態の SHAPIO から変形が想像しやすかったためであると考えられる。この結果は、習熟度の影響も考えられるが、SHAPIO を入力・選択デバイスとして利用する際の基準となる形状の重要性を示唆している。

表 3 より、形状 A,B,C,D ではこちらの意図した形状に変形を行うことができた。これらの形状は、各ピース間のねじれ角度が A の状態から 0 度もしくは 180 度のみであり、平面的という特徴がある。プレイヤーの認知負荷も低く、変形の際に大きな差は見られなかった。

どのような形状からの変形でも E の形状への変形がもっとも時間がかかった。また、7 名中 5 名がこちらの意図した形状に変形させることができなかった。この形状はピース間のねじれ角度が A の状態から 90 度もしくは 270 度の接続を含み、形状そのものが他の A-D に比べて立体的に隆起しているという特徴がある。プレイヤーはそのような形状や接続関係を想像できず、試行錯誤した結果時間がかかってしまったためと考えられる。

6. 考察

実験結果から、まっすぐな状態の SHAPIO からの変形は、ほかの状態に変形させることができることがわかっている。よって、プレイヤーが扱っていない SHAPIO は自動的にまっすぐな状態に変形し待機させておくことで、プレイヤーは様々な形状へと素早く変形させることができ、ユーザビリティの向上に繋がると考えられる。

今回の評価実験では E のような形状への指示にフラットな絵を用いて指示を行ったが、ほとんどのプレイヤーはこ

ちらが意図した形状に変形させることができなかった。この解決策として 2 つ考えられる。

1 つ目は、フラットな絵ではなく、立体的な 3D モデルやドット絵で指示する手法に変更することである。フラットな絵では、プレイヤーが斜めの状態の SHAPIO を想像することができず、混乱する場面が多く見られた。そこで、立体的なモデルに変更し、プレイヤーの認知負荷を低減させることで、こちらが意図する形状とプレイヤーが考える形状の誤差を減らすことができると考えられる。

2 つ目は、1 種類のアイテムでもこちらが意図している SHAPIO の形状の種類を増やし、類似した形状も許容するようにアプリケーションを設計することである。これにより、プレイヤーが多少こちらが意図していない形状に変形させたとしてもゲームアプリケーションはアイテムを認識できるようになる。しかし、類似した形状同士でも、ゲーム体験の質に差がある可能性がある。

今後はこれらの要素を検討し、評価を行なっていく予定である。

7. 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」の入力に関する評価を行い、SHAPIO によるゲームアプリケーションの指針を示した。

今後は、プレイヤーに SHAPIO の変形を指示する際に用いる手法の検討や、SHAPIO の入力機能、出力機能の両方を用いたゲームアプリケーションを開発し、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っていきたい。

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] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Beginner's Mind Collective and David Shaw. Makey makey: Improvising tangible and nature-based user interfaces. In *Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, TEI '12, pp. 367–370, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [5] SQUARE ENIX. ガンスリンガーストラトス. <http://gunslinger-stratos.jp/>, 2018年4月30日閲覧.
- [6] Jennett. *Is game immersion just another form of selective attention? An empirical investigation of real world dissociation in computer game immersion*. PhD thesis, UCL, 2010.