

2014年度 卒業論文

ゲーム内における三次元的な力の方向情報の 力覚呈示に関する調査

指導教員：渡辺 大地 講師
三上 浩司 准教授

メディア学部 ゲームサイエンス ゲームイノベーション プロジェクト
学籍番号 M0111241
諏訪 裕紀

2014年度 卒業論文概要

論文題目

ゲーム内における三次元的な力の方向情報の
力覚呈示に関する調査

メディア学部

学籍番号：M0111241

氏名

諏訪 裕紀

指導
教員

渡辺 大地 講師
三上 浩司 准教授

キーワード

力覚フィードバック、力覚デバイス、ゲーム、GUI、
パーティクルアニメーション

近年、医療分野だけでなくコンテンツ制作の分野においても力覚呈示や触覚呈示を取り入れる事が増えており、アミューズメント施設では擬似的に銃を撃った反動やゲーム内の映像と同じ振動を体感できるものとしてDARK ESCAPE 3Dといったガンシューティングゲームに力覚呈示や触覚呈示が取り入れられている。さらには個人規模でもMikuMikuAkushuのような力覚呈示装置を使用したゲームが開発されている。さまざまな手法を用いた力覚呈示が研究されており、ゲームアプリをプレイする際にレスポンスの有無が重要である事が見付き、レスポンスを返す手法として触覚フィードバックが有用である事が証明されている。そこで、本論文ではゲーム内情報の画面上での描画以外の新たな呈示方法として力覚フィードバックに注目した。検証のため、風の影響によって発生する力の呈示方法としてパーティクルで画面上での描画によって呈示する方法とGUIで画面上での描画によって呈示する方法、力覚フィードバックを用いて呈示する方法の3種類を実装したゲームを制作した。ユーザーに各呈示方法実装したステージをプレイしてもらい、呈示方法としての印象、風の流れの方向の認識のしやすさ、風の強さの認識のしやすさ、認識した風の情報の操作への反映のしやすさといった点で評価のアンケートを行った。アンケートから得た評価を検定にかける事により各呈示手法の特徴量を分析し、有意差がでるか検証し、ユーザーにとって分かりやすい呈示方法であるかの調査を行った。検証の結果、アンケート項目のうち風の強さの認識のしやすさの項目において有意差が認められた。力覚フィードバックを用いて呈示する方法には低評価という意味での有意差はなく、呈示方法の印象や風の強さの認識のしやすさの項目においてパーティクルやGUIを使用した呈示方法よりも評価が高い事が分かった。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	3
第2章	三次元的な空間での力の方向情報の呈示	4
2.1	検証用ゲームの説明	4
2.2	各モデルの座標系	5
2.3	検証用ゲーム中の風の流の影響と計算方法	5
2.4	検証用ゲームのステージごとの処理	6
2.4.1	パーティクル呈示ステージ	7
2.4.2	矢印 GUI 呈示ステージ	8
2.4.3	力覚呈示ステージ	10
第3章	検証と考察	14
3.1	検証方法	14
3.2	ユーザーテストの概要	14
3.3	各呈示方法の印象の比較	15
3.4	各呈示方法の風の流の方向の認識のしやすさの比較	16
3.5	各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの比較	17
3.6	各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの比較	18
3.7	考察	19
第4章	まとめ	21
	謝辞	23
	参考文献	24

目 次

2.1	パーティクル呈示ステージ	7
2.2	矢印 GUI 呈示ステージ	8
2.3	プレイヤーの左から右へ風が吹いていた際の矢印 GUI の向き	9
2.4	力覚呈示ステージ	10
2.5	Novint Falcon	11
3.1	各呈示方法の印象の評価の平均値	15
3.2	各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの評価の平均値	16
3.3	各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの評価の平均値	17
3.4	各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの評価の 平均値	18

表 目 次

4.1 アンケート項目毎に適している呈示方法の順	21
------------------------------------	----

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、医療分野だけでなくコンテンツ制作の分野においても力覚呈示や触覚呈示を取り入れる事が増えており、アミューズメント施設では擬似的に銃を撃った反動やゲーム内の映像と同じ振動を体感できるものとしてDARK ESCAPE 3D[1]といったガンシューティングゲームに力覚呈示や触覚呈示が取り入れられている。さらには個人規模でも MikuMikuAkushu[2] のような力覚呈示装置を使用したゲームが開発されている。

研究においても力触覚呈示の研究は盛んであり、様々な手法を用いた力触覚呈示が研究されている。グローブ型の触覚呈示装置を用いることで、岩谷ら [3] はギターの弦を弾く触覚や押さえる触覚を呈示する没入感の高いエアギターシステムを提案した。他にも高瀬ら [4] はキャラクタが手のひらの上を歩き回るような触覚の呈示を行うインタラクションシステムを提案した。振動を利用した触力覚呈示は多く、大島ら [5] は振動による触覚刺激と音刺激を用いてバツサリ切られた様な感覚の呈示を研究している。渡邊ら [6] は腹部と背中に振動子を付けることで貫通感覚呈示を行う研究をしている。石井 [7] は力覚呈示にスマートフォンの振動機能を用いることでスマートフォンのディスプレイ上でボタンを押す感覚を呈示する研究を行い、ゲームアプリをプレイする際にレスポンスの有無が重要であることを見付け、レスポンスを返すための手法として触覚フィードバックが有用であるこ

とを証明した。隈元 [8] の遠隔指相撲システムの開発では、力覚呈示によるコミュニケーションがエンターテイメントとして有効である事を実証している。萩原 [9] の鋭い感触の呈示手法の研究では飛んでくる玉をよけるゲームアプリケーションにおいてダメージ表現として触覚に鋭い感触を与える事に成功している。木村ら [10] の触覚の温度感覚に注目したゲーム向けの臨場感を高める研究では、ゲーム内の火のエリアや雪のエリアにおいて熱さや冷たさの温度刺激による触覚呈示を行うことでゲームの臨場感の向上に期待できるとされている。

これらの関連研究から、ゲーム内の情報を力覚呈示や触覚呈示を通してプレイヤーに呈示することで視覚情報や聴覚情報のみの場合と比べ、そこにどのような物があるか、どのような力が加えられているかという点においてプレイヤーが理解しやすくなると言える。

本研究では、風の影響によって発生する力を風の影響の力と言い、風の影響の力の強さや力の方向をパーティクル・GUI・力覚によって呈示する。現在、風をゲーム内の情報として呈示する方法は主に二つある。第一に、GUI表示を表すと言うものがあり、利用例としてみんなのゴルフ 6 [11] による風向きを矢印による風向きの提示がある。第二に、パーティクル等の小さなオブジェクトが移動する方向や速さによって表す方法があり、利用例としては白騎士物語 [12] のタンポポの綿毛の動作がある。

GUIを用いて矢印で風の影響の力の強さと方向をゲーム内の情報として表す場合、矢印が記号化されているため風の方向の変化がわかりやすく、風の強さも数値情報として呈示されるため数値としての比較が容易である。パーティクルを用いて風の影響の力の強さと方向をゲーム内の情報として表す場合、どの方向に風が吹いているのかをパーティクルの移動方向から推測しやすく、パーティクルの流れの速さ同士を比較することで風の強さの違いを見分けることができる。

本研究では、画面上での描画以外の新たなゲーム内情報の呈示方法として力覚呈示装置による力覚フィードバックに注目した。三次元的な空間での力の方向呈示が可能である力覚呈示装置を用いた力覚フィードバックを用いて、風の影響の

力の強さや方向といったゲーム内の情報を呈示を行うことで、プレイヤーにとってよりわかりやすい力の強さや方向の呈示方法となることが期待できる。そこで、ゲーム内空間における三次元的な力の方向呈示が必要な風の影響の力ゲーム内情報の呈示方法において、既存の方法である GUI を用いて呈示する方法とパーティクルを用いて呈示する方法の二種類と力覚フィードバックを用いて呈示する方法の計三種類を実装したゲームを制作し、比較実験を行いプレイヤーにとってわかりやすい呈示方法であるかの調査を行った。

力覚フィードバックを用いた呈示方法が風の影響の力のゲーム内情報の呈示方法において有用性があるか調査するため比較検証を行った。ユーザーテスト参加者全員を対象に、3種類の呈示方法を実装したゲームをプレイしてもらい、呈示方法の印象や風の影響の力の情報の認識のしやすさ、認識した情報の操作への反映のしやすさについて4段階で評価してもらった。ユーザー主観的な評価から各呈示手法の特徴を分析し、力覚フィードバックを用いた呈示方法に有用性があることを実証した。

1.2 論文構成

本論文は全4章で構成される。まず第2章では3種類の呈示手法を実装した検証用のプログラムの概要と内部処理について述べ、第3章では検証と考察を行い、第4章では全体のまとめを述べる。

第 2 章

三次元的な空間での力の方向情報の 呈示

本章では、ゲーム内での風の影響の力の方向の呈示方法としてパーティクルを用いた手法・矢印 GUI を用いた手法・力覚フィードバックを用いた手法の三つを実装した検証用プログラムの概要と内部処理について述べる。

2.1 検証用ゲームの説明

本研究では、力覚フィードバックを用いたゲーム内における風の影響の力の方向情報の呈示方法の有用性の検証のため、パーティクルを用いた手法・矢印 GUI を用いた手法・力覚フィードバックを用いた手法の計 3 種類を実装したゲームを制作した。ゲームの実装には Unity[13] を使用した。

検証用のゲームの内容はスタート地点からゴール地点までを走り抜けるシンプルな内容となっている。プレイヤーの移動にはキーボードを使用する。道中には風の吹いているエリアがあり、プレイヤーはその影響を受けて移動が阻害される。プレイヤーは各種の風の影響の力の方向の呈示方法から風の影響の程度を読み取り、阻害される分の影響を打ち消すようにキーを入力することで風の影響を受けずに進むことができるようになっている。力覚フィードバックを用いた呈示方法

を実装したステージでは Novint Falcon を用いた操作を追加する。追加する操作については 2.4.3 節に記す。

2.2 各モデルの座標系

初めに、各オブジェクトモデルの座標系を定義する。本研究における 3D の座標系は Unity で採用されている左手座標系を採用しており、 z 軸方向の正の方向を正面とし、 y 軸の正の方向を上とする。ワールド座標系、カメラ、モデルのローカル座標系はこれにならう。

2.3 検証用ゲーム中の風の流れの影響と計算方法

検証用のゲームのステージには風の吹いているエリアオブジェクトが設置されており、プレイヤーは風の吹いているエリア内に入ると影響を受け移動を阻害される。風の吹いているエリアは風の影響の力の方向と風の影響の力の強さの情報を持っている。風の影響の力の強さは 0 から 10 までの値を持っており、風の影響の力の強さが 0 の場合は無風となりプレイヤーは移動の際に風の影響を受けない。風の影響の力の方向は風の吹いているエリアオブジェクトのローカル座標の正面方向へ吹くようになっている。

プレイヤーに向かう風の影響の力の方向の単位ベクトルを \mathbf{A} とし、風の影響の力の強さを f とし、風がプレイヤーに影響を与える力 \mathbf{F} を次の数式 (2.1) で求める。

$$\mathbf{F} = \frac{f}{\alpha} \mathbf{A} \quad (2.1)$$

α は風の影響の力の強さを段階的に呈示するために補正をかけるための値である。

風の影響の力によるプレイヤーのローカル座標系の y 軸方向の 1 秒あたりの回転量 ω_F は次の数式 (2.2) で求める。

$$\omega_F = \beta F_x \quad (2.2)$$

ここで、 β は F_x の値が 1 である時の 1 秒あたりの回転量を示す値の定数とする。

風の影響の力によるプレイヤーのローカル座標系の 1 秒あたりの移動量 M_F は次の数式 (2.3) で求める。

$$M_F = \gamma(0, 0, F_z) \quad (2.3)$$

ここで、 γ は F_z の値が 1 である時の 1 秒あたりの移動量を示す値の定数とする。

2.4 検証用ゲームのステージごとの処理

走り抜けるステージは下記の 3 種類となっている。

1. パーティクルを用いて風の影響の力の方向の呈示を行ったステージ
2. 矢印 GUI を用いて風の影響の力の方向の呈示を行ったステージ
3. Novint Falcon を用いて力覚で風の影響の力の方向の呈示を行ったステージ

ステージに吹く風は 2.3 節で述べたように 0 から 10 までの強さの値を持つため強弱が場所によって変わる。プレイヤーを中心に発生し上昇する六角形のパーティクルはプレイヤーの移動の軌跡を示すものである。

2.4.1 パーティクル呈示ステージ

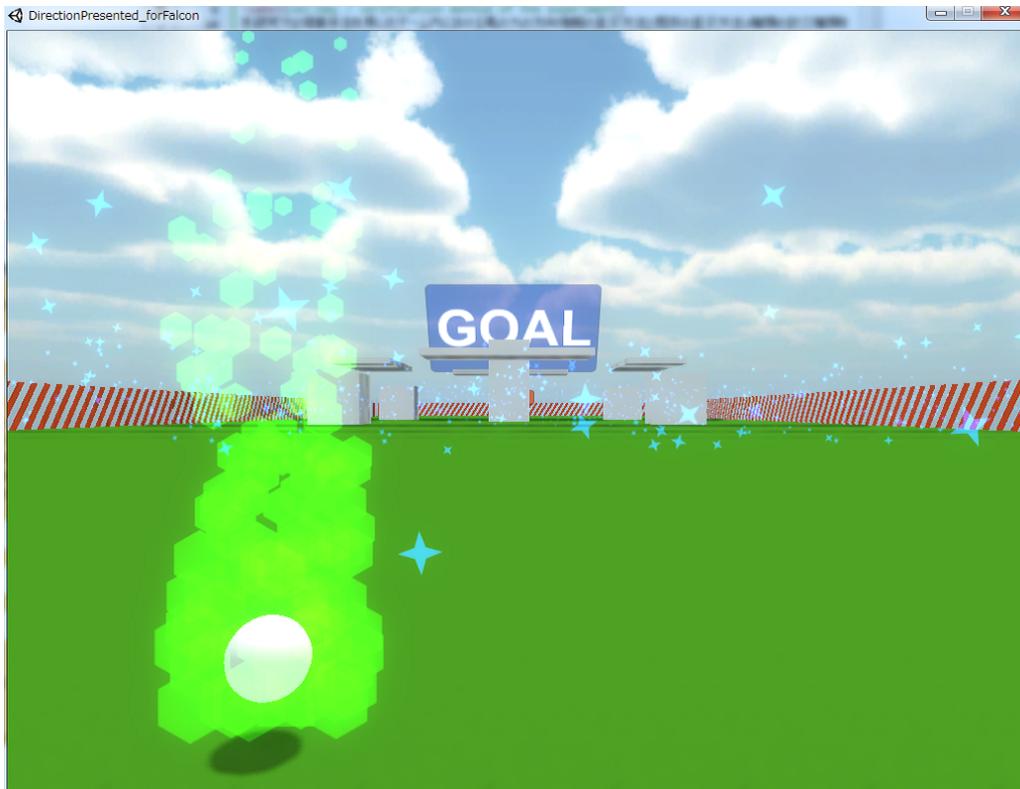


図 2.1: パーティクル呈示ステージ

図 2.1 はパーティクル呈示ステージの画面である。このステージでは、風の影響の力の方向の呈示をパーティクルの流れで行っている。プレイヤーの移動の軌跡を示すパーティクルは風の吹いているエリア内での影響を受けないため、別のパーティクルで風の影響の力の方向の呈示を行う。風の影響の力の方向の呈示を行う際に使用しているパーティクルは視覚情報としてどの方向からどの方向へどの程度の強さの風が吹いているかを認識させる事を目的として使用しているため、プレイヤーの挙動への物理的な干渉は行なっておらず、パーティクル自身もステージ中のオブジェクトからの物理的な干渉を受け付けない。

風の影響の力の方向の呈示で使用しているパーティクルは風の吹いているエリアオブジェクトのローカル座標の正面方向へと移動し、その移動速度ベクトルの大きさ v は風の吹いているエリアに設定されている風の影響の力の強さの値に影

響するため、次の数式 (2.4) で求める。

$$v = \delta f \quad (2.4)$$

ここで、 δ は風の影響の力の強さの値をパーティクルの移動速度に反映する際にパーティクルの流れがわかりやすい速度にするための補正をかけるための値とする。

2.4.2 矢印 GUI 呈示ステージ



図 2.2: 矢印 GUI 呈示ステージ

図 2.2 は矢印 GUI 呈示ステージの画面である。このステージでは、風の影響の力の方向の呈示を画面上部の矢印と風の影響の力の強さの数値情報での表示で行っている。



図 2.3: プレイヤーの左から右へ風が吹いていた際の矢印 GUI の向き

画面上部の矢印 GUI はプレイヤーに向かう風の影響の力の方向に合わせて回転し、どの方向から風が吹いてきているかを示す。図 2.3 はプレイヤーのローカル座標系で見て左から右へと風が吹いている場合の画面上部の矢印 GUI の向きの変化の例である。

2.4.3 力覚呈示ステージ



図 2.4: 力覚呈示ステージ

図 2.4 は力覚呈示ステージの画面である。このステージでは、画面上に視覚情報として風の影響の力の方向情報を認識できる要素を配置せず、風の影響の力の方向の呈示を Novint Falcon[14] を通して行っている。Unity での Novint Falcon の実装には Novint Falcon Wrapper DLL を用いてデバイスの制御を行った。



図 2.5: Novint Falcon

図 2.5 に Novint Falcon を提示する。グリップは立体的な操作が可能であり、三次元空間上の位置を値として取得する事が可能である。3本のアームから力を加えることが可能であり、その力を調整することで硬いものや柔らかい物に触れている感覚や、手に伝わる反動、衝撃といった力覚や触覚の呈示を行うことができる。Novint Falcon は力覚呈示が可能なデバイスの中でも、机の上など安定した場所の上に設置して用いるタイプのものである。三次元空間の位置取得と力覚呈示が可能であり設置型のデバイスで扱いやすい部類のため研究に用いられることが多々ある。これを用いた研究の例としては瀬田 [15] や高橋 [16] の研究がある。商業ゲームでのコントローラーとして対応しているタイトルもあり FPS のジャンルで多く見られる [17][18][19][20]。また、近年では個人規模で開発された作品である MikuMikuAkushu[2] といったコンテンツにも用いられている。

ゲーム内での風の影響の力は Novint Falcon 側からアームを通して力を加えグリップを動かすことによって現実世界のプレイヤーへ風の影響の力をどの方向からどの程度の力で受けているかの呈示を行う。Novint Falcon のアームはプレイヤーのローカル座標系で見て正面から風を受ければプレイヤーから見て手前方向へ力を加え、プレイヤーが右側から風を受ければアームはプレイヤーから見て左側へと動

き、Novint Falcon のアームにかかる力は風の影響の力の強さに比例する。Novint Falcon から呈示される力と力の方向は Novint Falcon Warpper DLL の API を使用して計算を行う。呈示に使用する Novint Falcon Warpper DLL の API と引数は $\text{SetServo}(\text{new double}[3]\{F_x, F_y, -F_z\})$; である。

ここで、引数に使用する F_x, F_y, F_z は 2.3 節で述べた風がプレイヤーに与える力の成分と同じものである。Novint Falcon での力の出力やグリップの位置の取得は右手座標系で行われているため、ゲーム内で使用している左手座標系に合わせるため z 軸方向のベクトルを負の値にすることで補正を行う。

Novint Falcon のグリップの可動域の両端を -1、1 とする。中央を 0 とし、 xyz 軸それぞれに対応する。この値を取得して風がゲーム内のプレイヤーに与える影響を算出する。ここで、取得した値を風の影響の力による移動の方向の単位ベクトル B として扱い、 B_x, B_y, B_z は B の単位ベクトルの各座標の成分とする。

風の影響の力によるプレイヤーのローカル座標系の y 軸方向の 1 秒あたりの回転量 ω_B は次の数式 (2.5) で求める。

$$\omega_B = \beta B_x \quad (2.5)$$

ここで、 β は 2.3 節で述べたものと同一である。

風の影響の力によるプレイヤーのローカル座標系の 1 秒あたりの移動量 M_B は次の数式 (2.6) で求める。

$$M_B = \gamma(0, 0, -B_z) \quad (2.6)$$

ここで、 γ は 2.3 節で述べたものと同一である。

ゲーム中での風の影響の力による移動の制御は数式 (2.5)(2.6) のようになっているため、Novint Falcon のグリップが中央の位置から離れるほどプレイヤーは風の影響の力を受けやすくなりキーボードの入力方向と違う移動をしやすくなる。グリップが手前側に寄っている場合はプレイヤーのローカルの正面方向から後ろへ移動し、グリップが左側に寄っている場合は左方向へ旋回する。これらの風の影響の力による移動の制御は Novint Falcon のグリップを中央の位置に保つことで無

効化でき、キーボードでの意図したとおりの移動が可能になる。

第 3 章

検証と考察

本章では制作したプログラムで実験を行う。その後、実験結果を元に考察を述べる。

3.1 検証方法

本研究ではパーティクル・GUI・力覚の3種類の呈示方法を実装した検証用のゲームを制作した。検証用のゲームを用いてユーザーテストを行い、力覚フィードバックを用いた呈示方法の有用性を検証した。ゲームの実装にはUnity[13]を使用した。

3.2 ユーザーテストの概要

ユーザーテストは13名に対して行った。手順としては最初に操作説明と各呈示方法に関する説明を行い、3.1節に示した3種類の風の影響の力の方向情報の呈示方法を実装したステージをユーザーにプレイしてもらい、スタート地点からゴール地点までを走り抜けてもらった。

ステージを1種類クリアするごとにアンケートを実施し該当するステージの主観的な評価として次のことをプレイヤーに4段階で評価してもらった。評価は1に近いほど評価が低く、4が一番高い評価とする。

- 呈示方法の印象は良かったか
- 風の流れの方向の認識はしやすかったか
- 風の強さの程度の認識はしやすかったか
- 認識した風の情報を操作に反映しやすかったか

これらの評価から、各呈示方法ごとの評価の平均値を算出し、各呈示方法の差異を検証した。また、有意差の検定に分散分析と多重検定 Steel-Dwass 法 [21] を用いた。また、評価値の最大値と最小値を 2 で割った値 (2.5) を基準値とし、基準値を超えるかで呈示方法として問題ないか評価した。

3.3 各呈示方法の印象の比較

図 3.1 は、各呈示方法の印象の評価の平均値を表したグラフである。

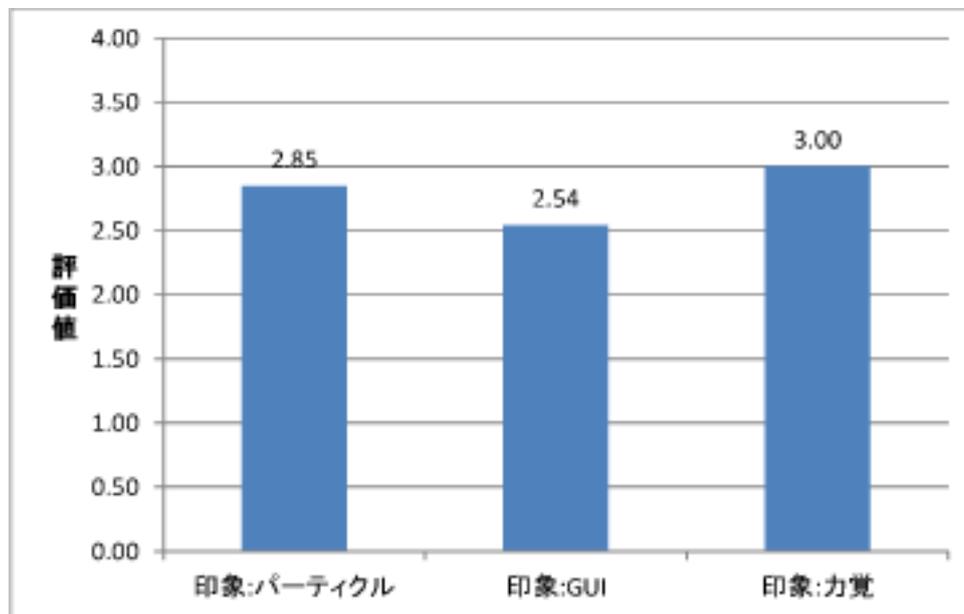


図 3.1: 各呈示方法の印象の評価の平均値

検証する仮説は、「各呈示方法の印象の評価の平均値には差がある。」というものである。分散分析に用いる帰無仮説は、各呈示方法の印象の評価の平均値には

差が無い。対立仮説は、各呈示方法の印象の評価の平均値の少なくとも一つの組み合わせに差がある。分散分析を用いて、有意な差が有るのかを検証した。

棄却域の確率を 5%(0.05) としたとき、分散分析により、帰無仮説が正しいという条件の下で検定統計量の値より大きな値が得られる確率 P 値は 0.2680 となり、「P 値 < 棄却域の確率」を満たさない。よって各呈示方法の印象の評価の平均値には差が無いといえる。

3.4 各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの比較

図 3.2 は、各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの評価の平均値を表したグラフである。

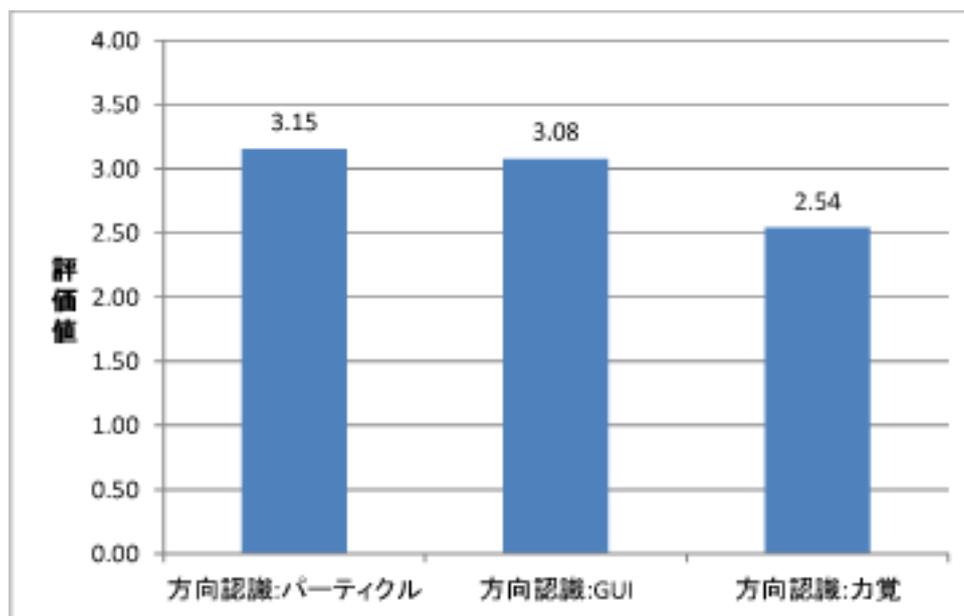


図 3.2: 各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの評価の平均値

検証する仮説は、「各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの評価の平均値には差がある。」というものである。分散分析に用いる帰無仮説は、各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの評価の平均値には差が無い。対立仮説は、各

呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの評価の平均値の少なくとも一つの組み合わせに差がある。分散分析を用いて、有意な差が有るのかを検証した。

棄却域の確率を 5%(0.05) としたとき、分散分析により、帰無仮説が正しいという条件の下で検定統計量の値より大きな値が得られる確率 P 値は 0.2251 となり、「P 値 < 棄却域の確率」を満たさない。よって各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさの評価の平均値には差が無いといえる。

3.5 各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの比較

図 3.3 は、各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの評価の平均値を表したグラフである。

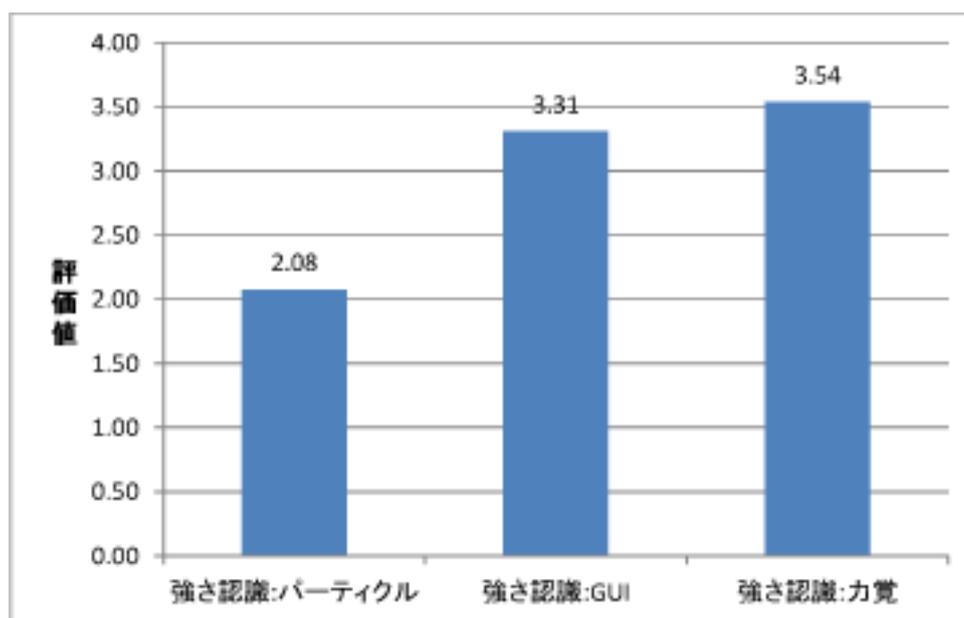


図 3.3: 各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの評価の平均値

検証する仮説は、「各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの評価の平均値には差がある。」というものである。分散分析に用いる帰無仮説は、各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの評価の平均値には差が無い。対立仮説は、各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの評価の平均値の少なくとも一つの組み合わせに差がある。分散分析を用いて、有意な差が有るのかを検証した。

棄却域の確率を 5%(0.05) としたとき、分散分析により、帰無仮説が正しいという条件の下で検定統計量の値より大きな値が得られる確率 P 値は 0.0007 となり、「P 値 < 棄却域の確率」となる。また、分散分析では F 分布表を用いて棄却域を見る。観測された分散分析比 F 値は 8.0256 となり、F 境界値 3.2594 を上回る。この二つの結果により、帰無仮説は棄却され、各呈示方法で差が出るといえる。

しかし、このままではどの呈示方法に差が出ているかわからないため、多重検定 Steel-Dwass 法を利用し有意な差があるのか検証した。検証した結果は、「GUI」「力覚」の評価が高く「パーティクル」の評価は低かった。

3.6 各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの比較

図 3.4 は、各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの評価の平均値を表したグラフである。

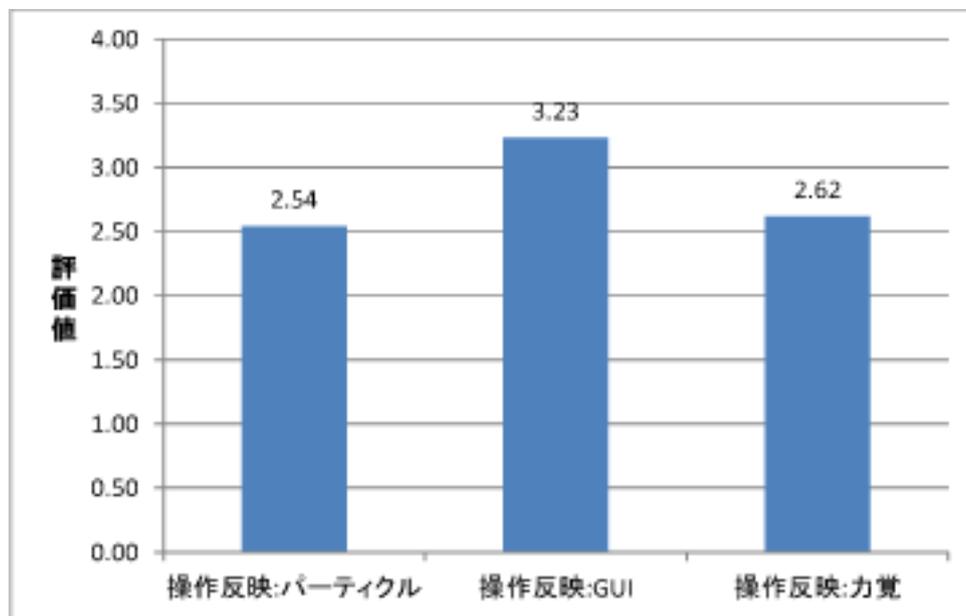


図 3.4: 各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの評価の平均値

検証する仮説は、「各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの評価の平均値には差がある。」というものである。分散分析に用いる帰無仮説は、

各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの評価の平均値には差が無い。対立仮説は、各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの評価の平均値の少なくとも一つの組み合わせに差がある。分散分析を用いて、有意な差が有るのかを検証した。

棄却域の確率を 5%(0.05) としたとき、分散分析により、帰無仮説が正しいという条件の下で検定統計量の値より大きな値が得られる確率 P 値は 0.0782 となり、「P 値 < 棄却域の確率」を満たさない。よって各呈示方法の認識した風の情報の操作への反映のしやすさの評価の平均値には差が無いといえる。

3.7 考察

検証の結果、各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの比較では、「パーティクル」「GUI」「力覚」の三つには有意差があるとわかった。対して、各呈示方法の印象、各呈示方法の風の流れの方向の認識のしやすさ、各呈示方法に認識した風の情報の操作への反映のしやすさの三つには明確な有意差を出す事が出来なかった。

各呈示方法の風の強さの認識のしやすさの比較において有意差が出た要因として、「パーティクル」では風の強さの値が 1 と 10 の場所で比較すればその風の強さの違いがパーティクルの移動速度の差としてわかりやすいが、風の強さの値の差が 1 しかない場所で比較した場合に見た目としての変化がわかりにくい事から評価が基準値を下回った事が影響したと考える。また、風の強さを数値情報として認識できる「GUI」と力覚フィードバックにより現実世界のプレイヤーに力として呈示する「力覚」の風の強さの認識のしやすさに対する評価が高い事も有意差が出た要因として影響していると考えられる。

全体としては「GUI」「力覚」の評価が高く、「パーティクル」の評価が低いと分かった。「GUI」の評価が高かった要因としては記号化された画像や数値情報による認識のしやすさから評価が高かったと考えられる。「力覚」は力覚フィードバックによりゲーム内の風の影響を力として呈示しているため、直感的な操作が可能になることから評価が高かったと考えられる。評価の低かった「パーティクル」は、

パーティクルの流れの方向から風の流れの方向はわかりやすくて風の強さ差が小さい場所同士でのパーティクルの流れを比較しただけでは分かりにくい事もあり、プレイヤーから「ステージ中で風が1番強い所は1箇所だけだった」など実際の設定とは違う評価も得た。

風の影響の力の方向情報の呈示方法として、「力覚」を用いた呈示方法では低評価という意味での有意差がでる事はなく、風の強さの認識のしやすさでは「パーティクル」「GUI」よりも高い評価を得ている。また、アンケートの項目毎の軸で見た場合に評価の平均値が基準値を下回っている項目が無いため、ゲーム内における風の力の方向情報の呈示方法として有用であると考ええる。

今回の検証から「パーティクル」ではパーティクルの流れの方向と風の流れの方向、「GUI」では記号化された画像情報と風の流れの方向や数値情報と風の強さ、「力覚」では力覚フィードバックによりかけられる力と風の強さなど、過去と現在の状態を比較して認識しやすく結び付けやすいもの呈示方法のものほどプレイヤーの評価の平均値は高評価である事が分かった。

第 4 章

まとめ

本研究では、三次元的な空間での力の方向情報の呈示として画面上での描画以外の新たなゲーム内情報の呈示方法として力覚呈示装置による力覚フィードバックの有用性の調査を目的とし、「パーティクル」「GUI」「力覚」の三つの呈示方法を風の影響の力の方向情報の呈示に使用し、検証を行った。検証の結果から、「GUI」「力覚」の評価が高く、「パーティクル」の評価が低い事が分かった。また、力覚フィードバックを用いた呈示方法は低評価と言う意味での有意差がでる事はなく、呈示方法として風の強さの認識のしやすさの項目では「GUI」「パーティクル」よりも高い評価を得ているため、風の力の方向情報の呈示としては有用であると考ええる。

アンケート項目の内、風の流れの方向の認識しやすさ・風の強さの程度認識しやすさ・認識した風の情報の操作への反映しやすさの3種類に対応する適している呈示方法の順は次の表 4.1 のようになる。

表 4.1: アンケート項目毎に適している呈示方法の順

	適	不適
風の流れの方向認識	パーティクル > GUI > 力覚	なし
風の強さの程度認識	力覚 > GUI	パーティクル
認識した情報の操作反映	GUI > 力覚 > パーティクル	なし

今後の展望として、呈示方法として比較した「パーティクル」「GUI」「力覚」は単体での評価であったため、呈示方法を組合せた際に低評価だった項目を補い合

うことは出来るかは調査が必要であると考える。プレイヤーにとってより認識しやすく、認識した情報を操作に反映しやすい呈示方法が求められる。

謝辞

本論文執筆にあたり、ご指導くださった指導教員の方々、アドバイスを下さった大学院生の方々に心から感謝の意を表します。また、様々な相談に乗ってくれた研究室のメンバーに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] バンダイナムコゲームス. DARK ESCAPE 3D. <https://www.bandainamcogames.co.jp/am/vg/darkescape3d/about/index.html>. 参照: 2014-12-23.
- [2] GOROman. MikuMikuAkushu. <https://www.youtube.com/watch?v=HnmgUgPKijc&feature=youtu.be>. 参照: 2014-12-21.
- [3] 岩谷亮明, 澤田秀之. 触覚提示を備えた没入型エアギターシステム. 情報処理学会インタラクション 2013, 2013.
- [4] 高瀬裕史, 姜長安, 澤田秀之. 拡張現実空間における触感覚呈示による仮想キャラクターとのインタラクションシステム. 情報処理学会インタラクション 2011, 2011.
- [5] 大島沙也佳, 橋本悠希, 渡邊淳司, 梶本裕之. 仮現運動を利用した “ ぱっさり感 ” 提示の研究. 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会論文集, 2007.
- [6] 渡邊淳司, 福沢恭, 梶本裕之, 安藤英由樹. 腹部通過仮現運動を利用した貫通感覚提示. 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 10, pp. 3542–3545, oct 2008.
- [7] 石井琢磨. ゲームアプリにおける触覚フィードバック機能の有用性について. 東京工科大学卒業論文, 2011.

- [8] 隈元美結. 磁力を利用した遠隔指相撲システムの開発. 東京工科大学卒業論文, 2012.
- [9] 萩原正宏. 弾性体を利用したアクチュエータによる鋭い感触の触覚呈示手法. Master's thesis, 筑波大学大学院, 3 2012.
- [10] 木村鷹, 伊藤淳子, 宗森純. ペルチェ素子を用いたゲーム向け温度知覚インターフェース. マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, 第 2013 巻, pp. 1248–1254, jul 2013.
- [11] ソニー・コンピュータエンタテインメント, クラップハンズ. みんなの GOLF6. <http://www.jp.playstation.com/scej/title/mingol/6/>. 参照: 2014-12-24.
- [12] ソニー・コンピュータエンタテインメント, LEVEL5. 白騎士物語-古の鼓動-. <http://www.jp.playstation.com/software/title/bcjs30039.html>. 参照: 2014-12-24.
- [13] UnityTechnologies. Unity. <http://unity3d.com/unity>. 参照: 2014-12-20.
- [14] NOVINT. Novint Falcon. <http://www.novint.com/index.php/novintfalcon>. 参照: 2014-12-20.
- [15] 瀬田陽平. 3次元入力デバイスを用いたガラス細工体験システムの研究. 東京工科大学卒業論文, 2008.
- [16] 高橋健太. ノミの切削工程を基にしたモデリング手法の提案. 東京工科大学卒業論文, 2010.
- [17] アクティビジョン, スクウェアエニックス. Call of Duty Black Ops 2. <http://www.extremeedges.jp/callofduty/blackops2/top.html>. 参照: 2014-12-24.

- [18] エレクトロニック・アーツ. Dead Space 2. <http://www.ea.com/dead-space-2>. 参照: 2014-12-24.
- [19] エレクトロニック・アーツ. Battlefield 3. <http://www.battlefield.com/jp/battlefield3>. 参照: 2014-12-24.
- [20] エレクトロニック・アーツ. Portal 2. <http://www.thinkwithportals.com/>. 参照: 2014-12-24.
- [21] Welcome to MEPHAS. <http://www.gen-info.osaka-u.ac.jp/testdocs/tomocom/welcome.html>. 参照: 2015-1-19.