

# 事前訓練内容を反映した上肢運動障害者向けeスポーツ支援システム

令和5年度 卒業論文

日本大学 文理学部 情報科学科 宮田研究室

佐子 柊人

# 概要

世界中でeスポーツが注目を集めている。しかし、eスポーツでは短時間で複雑な操作が求められることが多く、多くの上肢運動障害者にとって満足にプレイすることが困難である。そこで我々は、訓練時に上肢障害者が練習した操作の量・質に基づいて、試合時に上肢障害者が実行する操作が補正されるeスポーツ支援システムを提案する。このシステムでは、事前訓練の内容が考慮されるため、システムによる操作支援が発生しても、上肢障害者の運動主体感が低減しにくいと考えられる。事前訓練の内容を可視化すれば、上肢障害者に操作支援が行われたとしても、対戦相手を感じる公平感が損なわれないことも期待できる。提案手法を実装したプロトタイプシステムによる検証の結果、事前訓練を操作支援に反映する、または、事前訓練を反映することを教示することによって、ユーザの運動主体感には変化が見られる可能性があることが示唆された。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
1.1	研究の背景	2
1.2	研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
<b>第2章</b>	<b>健常者・肢体不自由者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例</b>	<b>3</b>
2.1	健常者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例	4
2.2	肢体不自由者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例	4
<b>第3章</b>	<b>研究課題</b>	<b>6</b>
3.1	問題の定義	7
3.2	研究課題の設定	7
<b>第4章</b>	<b>提案手法</b>	<b>8</b>
4.1	アプローチ	9
4.2	事前訓練内容を反映した操作支援システムの提案	9
<b>第5章</b>	<b>事前訓練を反映した操作支援システムの実装</b>	<b>11</b>
5.1	事前訓練を反映した操作支援システムの実装	12
5.1.1	訓練フェーズ	12
5.1.2	訓練フェーズ	13
5.1.3	操作支援モジュール	13
<b>第6章</b>	<b>評価実験</b>	<b>15</b>
6.1	実験の目的	16
6.2	実験の概要	16
6.2.1	実験参加者	16
6.2.2	実験環境	16
6.2.3	実験条件	16
6.2.4	アンケート内容	17
6.3	実験の手順	18
6.4	実験の結果・考察	18
6.4.1	事前アンケート・予備実験の結果	18

---

6.4.2 実験結果・考察 . . . . .	20
<b>第7章 結論</b>	<b>23</b>
謝辞	25
参考文献	27
研究業績	29

# 目次

4.1	提案手法のコンセプト	10
5.1	訓練フェーズ画面	12
5.2	試合フェーズ画面	13
6.1	手の機能低下を模倣するグローブの性能評価 (N=9, * : $p < 0.05$ )	19
6.2	訓練の反映による補正度合いの違い (N=9)	21
6.3	AQ1. 照準を思い通りに動かせたかと感じた (7: 強く感じた~1: 全く感じ なかった, N=9)	21
6.4	AQ2. 照準の動きは私のジョイスティックの操作によって引き起こされた と感じた (7: 強く感じた~1: 全く感じなかった, N=9)	21
6.5	AQ3. 照準の動きが自分の動きに影響を与えていると感じた (7: 強く感じ た~1: 全く感じなかった, N=9)	22
6.6	AQ4. 照準が勝手に動いていると感じた (7: 強く思う~1: 全く思わな い, N=9)	22
6.7	AQ5. アシストは強いと感じた (7: 強く思う~1: 全く思わない, N=9, *: $p < 0.05$ )	22

# 表 目 次

6.1	事前アンケート . . . . .	17
6.2	運動主体感に関するアンケート (7段階リッカート尺度で回答) . . . . .	18
6.3	事前アンケートの回答結果 (N=9) . . . . .	19

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

eスポーツとは、「コンピュータを利用したスポーツ」、あるいは、「競争的なコンピュータゲーム」とされており、世界中で従来の身体的なスポーツと同等以上に注目を集めている。たとえば、eスポーツの1年間の観客数はメジャーリーグの観客数とほぼ同等であり、収益はFIFAサッカーの収益に迫る勢いである。eスポーツはバーチャル空間で行われるため物理的制約が少なく、健常者と身体障害者がスポーツで対等に競い合えるバリアフリーな世界の実現が期待される。

しかし、eスポーツの大会に採用されるゲームの多くにおいては、短時間に複雑な操作を行えるか否かが勝敗を分けることが多い。これは、ゲームパッドなどを自在に操作することが困難な上肢障害者にとっては、参加・勝利するために大きなバリアが存在している状況である。身体障害者向けのコンピュータ操作支援技術や、ゲーム難易度の調整技術なども存在するが、上肢障害者のeスポーツ参加を直接支援するものではなかったり、競技における運動主体感・公平感を損ねてしまうものであったりする。

## 1.2 研究の目的

本研究では、運動主体感・公平感を担保しながら、健常者・上肢障害者間のプレイ難易度を調整することを目指し、事前訓練内容を反映した操作支援モデルを提案する。

## 1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

2章では、従来の健常者・障害者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例について述べる。

3章では、本論文における問題の定義と研究課題について述べる。

4章では、本論文における提案手法を述べる。

5章では、事前訓練内容を反映した操作支援システムに関する実装について述べる。

6章では、事前訓練内容を反映した操作支援システムに関する評価実験・考察について述べる。

最後に7章にて、本論文の結論を述べる。

## 第2章 健常者・肢体不自由者向けプレイ 難易度調整技術に関する研究事例

本章では、健常者・肢体不自由者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例について述べる。これらは、プレイヤーに対してプレイ難易度の調整を行うという点で本研究と関係している。2.1節では、健常者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例について紹介する。2.2節では、肢体不自由者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例について紹介する。

## 2.1 健常者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例

Vordererらはコンピュータゲームやビデオゲームをプレイする際のエンターテインメント体験を促進する要因を調査した。調査の結果、プレイヤー同士の競争が娯楽性を高める要因の一つであることがわかった [1]。しかし、プレイヤー同士の実力が拮抗していない場合もしばしばあり、この場合は適切な競争が生じずにゲームの娯楽性が低減し、特に実力が低い方のプレイヤーは不快感を抱くことも多い。この状況を回避するため、Rabinらはゲーム設計者はユーザの実力に応じてゲーム難易度を変更できる仕組みを導入している [2]。

FPS (First Person Shooter) においては「エイムアシスト」と呼ばれる方法でプレイ難易度を調整している研究事例がある。Scottらは、2次元空間ベースのFPSにエイムアシストを実現しており、着弾の有効範囲を拡大する方法や、照準がターゲットに吸い寄せられる方法が、プレイヤー間調整に有効であるという調査結果を報告している [3]。Rodrigoらは、3次元空間ベースのFPSでは、2次元空間ベースとは異なるゲーム要素（例：プレイヤーが3次元空間内を一人称視点で移動する）があるため、発射した弾がターゲットに吸い寄せられる方法がプレイヤー間調整に有効であると報告している [4]。また、エイムアシスト効果の目立ちやすさに注目した調査も行われており、興味深いことに目立ちやすい方法であってもプレイヤーは受け入れやすかったことが報告されている [5]。Adrianらは、FPSにおける適切な支援量を提供するために、ゲーム内でのターゲットへの命中能力に基づくプレイヤーの能力評価モデルを作成している [6]。このモデルがプレイヤーのクリックする場所とタイミングを正確に予測できることを明らかにしている。

## 2.2 肢体不自由者向けプレイ難易度調整技術に関する研究事例

Hwangらは、脳性麻痺による運動機能障害がある青少年を対象としてプレイ難易度調整を行う実験を行った [7]。具体的には、ペダルを漕ぐ操作と、エイミング操作が自動補正された。彼らは、一方のプレイヤーが大差で勝利するゲームにおいても、あるいは、プレイヤーが自動補正の仕組みを知っている場合においても、ゲームの結果に公平性を感じるプレイヤーが多かったことを報告している。

一方、Cimolinoらは、このような自動補正は、障害者が「自分が障害者である」という意識を強めてしまうことを報告している [8]。彼らは、ゲーム中において、障害が原因で実行が困難な操作をシステムが自動実行する手法を実装・検証した。その結果、障害者

プレイヤーは、操作を意図したタイミングで実行できないことが、自身が障害者であるという自覚を強めてしまうことがあったという。

## 第3章 研究課題

本章では、本研究における問題の定義と研究課題について述べる。

### 3.1 問題の定義

eスポーツは、従来の身体的なスポーツと比較して、物理的な制約が少ない特性を持っている。例えば、単純な操作のみで構成されるゲームでは、障害が競技に影響することは少ないが、複雑な操作を要求されるゲームでは、障害がゲームのプレイに困難をもたらす場合がある。また、eスポーツは競技であるため、対戦相手や観客が感じる公平性やプレイヤー自身が運動を行っている感覚である運動主体感を重要視する必要がある。

多くのゲームはゲームプレイバランスを調整する手段を提供しているが、異なる能力を持つユーザー間で適切なゲームバランスを調整することは困難である。AIがユーザーの操作の一部を代理実行するアプローチもあるが、思うように操作できないことがユーザーを戸惑わせ、障害者であるという自覚を強めてしまう[8]。加えて、eスポーツの試合中にAIが障害者の操作を代理実行すると、健常者が不公平感を抱く可能性や、障害者が後ろめたさを感じる可能性が考えられる。

障害者の特性に合わせた入力デバイスの利用も解決策として挙げられる。例えば、舌動作による入力装置や頭部の動きに合わせた入力装置があるが、これらを個人に合わせてチューニングするには、機械工学・情報工学・医学など幅広い高度な知識が必要であり、一般ユーザーには難しい課題である。

障害者向けのアクセシブルなゲームを作成するためのガイドライン[9][10][11]が存在するが、異なる障害を持つ人々が同等にプレイできるゲームを実現するのは難しく、ユニバーサルデザインを追求しすぎるとゲームが単純になるという問題が生じる可能性がある。

### 3.2 研究課題の設定

2.1節の健常者向けプレイ難易度調整技術は、eスポーツを含むゲームプレイにおける、運動主体感や公平感を考慮したバランシングを実現できる可能性がある。しかし、これらの手法はあくまで健常者の上級者・初心者間のバランスを取るためのものであり、健常者・上肢障害者間に適用した際に期待どおりの効果が得られるか疑問の余地がある。2.2節のように肢体不自由者向けの研究も行われているが、まだこの研究領域は未成熟であり、我々が知る限り、eスポーツのコンテキストにおいて運動主体感や勝負の公平感を担保するような上肢障害者の操作支援手法は確立されていない。

そこで本研究では、eスポーツシーンにおいて、運動主体感・公平感を担保しながら、健常者・上肢障害者間のプレイ難易度を調整する手法の確立することを研究課題として設定する。

## 第4章 提案手法

本章では、本論文における提案手法を述べる。

## 4.1 アプローチ

3.2節で定義した研究課題を達成するために、身体的なスポーツのメタファを取り入れる。スポーツでは「体が覚えている」、「体が勝手に動く」といった表現をよく耳にする。これは、スポーツの訓練を重ねることで、プレイ中に明示的に意識せずとも、体が勝手に動くような状況を指す。しかし、プレイヤー自身は、自分が訓練を重ねた事実を知っているため、体が勝手に動くような状況になっても、運動主体感が低いわけではない。また、プレイヤーが重ねてきた血の滲むような訓練は、体つきや筋肉として可視化されるため、このようなプレイヤーに打ち負かされた相手プレイヤーも、「あれだけ努力した人に負けるなら仕方ない」と負けを受け入れやすい。この身体的なスポーツのメタファを取り入れることで、eスポーツにおいて上肢障害者のプレイをシステムが支援しても、本人の運動主体感や、対戦相手の公平感を大きく損ねないを考える。

## 4.2 事前訓練内容を反映した操作支援システムの提案

4.1節に基づいた事前訓練を反映した操作支援システム（図4.1）を提案する。このモデルにおける各語の定義は次のとおりである。

**プレイヤー** 上肢障害者であるeスポーツプレイヤー。

**操作 X** 訓練時にプレイヤーが実行できる操作。試合時と同じ条件（例：時間制約がある）で実行できなくてもよい。操作 Y と同じでもよい。

**操作 Y** 試合時にプレイヤーが実行できる操作。

**操作 Z** 試合時に行いたい目標の操作であり、かつ、プレイヤーが試合時の条件（例：時間制約がある）では実行困難な操作。

FPSにおけるエイミング（ターゲットに照準を合わせる操作）シーンを題材にして提案手法を具体的に説明する。このシーンでは、「素早く・正確にエイミングする操作」が**操作 Z**である。プレイヤーは、上肢障害により**操作 Z**が実行できないとする。訓練フェーズでは、プレイヤーは「ゆっくり・正確にエイミングする操作（**操作 X**）」を何度も繰り返し練習する。操作支援モジュールは、このとき実行された**操作 X**の内容（後述）を記録する。試合フェーズでは、プレイヤーは上述のとおり**操作 Z**は実行できないので、代わりに「ターゲットの方向に素早く照準を動かす操作（**操作 Y**）」を実行する（あくまでターゲット方向に照準を動かすだけで、ターゲットに照準を合わせるわけではない）。すると、操作支

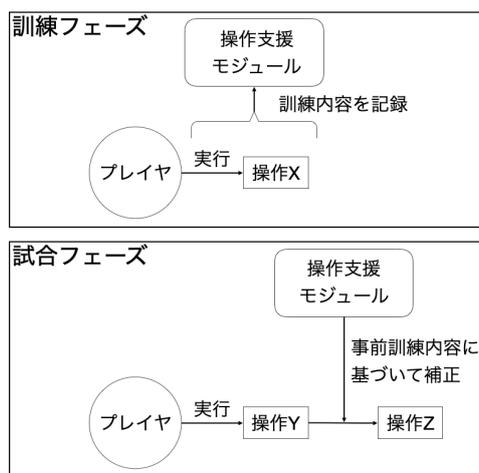


図 4.1: 提案手法のコンセプト

援モジュールは、訓練フェーズに行われた操作 X の内容に基づいて、操作 Y を操作 Z に近づける補正を行う。

訓練フェーズで操作支援モジュールが記録する操作 X の内容については、操作の「量」と「質」の両側面から検討を進めている。量の側面では、操作 X を実行した回数を記録する方針である。たとえば、訓練フェーズにプレイヤーがたくさん操作 X を実行しているほど、試合時に実行された操作 Y は操作 Z に近くなるよう補正されることを検討している。質の側面では、操作 X の正確さと、操作 X を実行する際の所要時間を記録する方針である。たとえば、訓練フェーズにプレイヤーが実行した操作 X が正確で所要時間が短いほど、試合時に実行された操作 Y は操作 Z に近くなるよう補正されることを検討している。

この方法であれば、プレイヤーが事前に行った練習に基づいて補正が行われるので、試合時に操作が補正されたとしても、プレイヤー自身の運動主体感は低減しにくいと考えられる。加えて、既存知見では操作が「自動実行」されると障害者は自身の身体能力の制約を意識してしまう [8] とされているが、提案手法ではプレイヤーの操作 Y がきっかけとなり補正が行われることも、運動主体感の担保に寄与すると考えられる。

## 第5章 事前訓練を反映した操作支援システムの実装

本章では、事前訓練を反映した操作支援システムに関する実装について述べる。

## 5.1 事前訓練を反映した操作支援システムの実装

提案手法をFPSにおけるエイミングに適用した場合の効果を検証するために作成したシステムについて説明する。本システムは Unity で実装されており、一般的なスペックのノート PC などで動作可能である。操作はトラックパッドなどのポインティングデバイスで行える。このとき、一般的なFPSと同様に、照準マークは常にゲーム画面の中央に固定表示されており、ゲーム画面内における位置は変わらない。すなわち、プレイヤーがポインティングデバイスで方向入力を行うと、画面ごと方向が変わり、ゲーム画面中央に固定表示された照準を任意の場所に合わせることができる仕様となっている。

### 5.1.1 訓練フェーズ

訓練フェーズでは、システムを起動すると図 5.1 の画面が表示される。プレイヤーはポインティングデバイスを使用して的に照準を合わせてクリック入力を行う。この際、正確さ(照準位置からターゲットまでの距離)・所要時間(ターゲットが表示してからクリックするまでの時間)・実行回数(ターゲットをクリックした回数)が記録される。その後クリックされた的の位置が変化する。プレイヤーは上記の操作を 60 秒間繰り返す。



図 5.1: 訓練フェーズ画面

### 5.1.2 訓練フェーズ

試合フェーズでは，システムを起動すると図5.2の画面が表示される．試合が始まると，NPC（Non-player character，プレイヤーが操作しないキャラクタ）がプレイヤーの方向に歩き出し，一定の距離まで近づくと射撃を行う．プレイヤーは，ポインティングデバイスを使用してNPCに対して照準を合わせ，クリック入力を行うことで，NPCを倒すことができる．この際，プレイヤーのエイミング操作にはシステムによる補正がかかる．60秒間経過すると試合フェーズは終了する．



図 5.2: 試合フェーズ画面

### 5.1.3 操作支援モジュール

5.1.1 節（訓練フェーズ）で記録された正確さ・所要時間・実行回数から，5.1.2 節（試合フェーズ）の補正の度合いを決定する．具体的には，訓練フェーズにおける，操作 X の実行回数  $n$ （量）が多く，操作 X の射撃能力  $a$ （質）が高いほど補正は強くなる．射撃能力を補正量に変換するための  $C_s$  を定数とし，これらの考えに基づく補正度合い  $s$  を求める式を下記に示す．

$$s = C_s \sum_{k=1}^n a_k \quad (5.1)$$

射撃能力  $a$  は操作 X の正確さと所要時間で決定される．具体的には，訓練フェーズにおける，初期の照準位置からターゲットまでの距離  $d_i$ ，射撃時の照準位置からターゲットまでの距離  $d_s$ ，ターゲットが現れてから射撃が行われるまでの経過時間  $t$ ，定数  $C_a$  から次のような式で求められる．

$$a = C_a \frac{d_i}{d_s t} \quad (5.2)$$

操作  $X$  の正確さが高く、所要時間が短いほど、射撃能力  $a$  は高くなる。具体的には、初期の照準位置からターゲットまでの距離  $d_i$  が長く、射撃時の照準位置からターゲットまでの距離  $d_s$  が短く、ターゲットが現れてから射撃が行われるまでの経過時間  $t$  が短いほど、射撃能力  $a$  は高くなる。式 5.1 で求められた補正量が大きくなると、照準が自動的に中心方向に移動する速度が速くなる。これにより、プレイヤーはより素早くターゲットを狙うことが可能である。

## 第6章 評価実験

本章では、事前訓練を反映する操作支援システムに関する評価実験・考察について述べる。

## 6.1 実験の目的

本実験の目的は下記の2つである。

- 操作の補正度合いに事前訓練内容を反映することで、操作支援を受けた状態でも運動主体感が低減しにくくなることを明らかにする。
- 支援度合いに事前訓練内容を反映すると教示することで、操作支援を受けた状態でも運動主体感が低減しにくくなることを明らかにする。

## 6.2 実験の概要

### 6.2.1 実験参加者

本実験の実験参加者は健常者9名である(男性7名・女性2名, 健常者, 年齢:平均21.3歳・標準偏差0.71)。実験参加者には参加が任意であること, いつでも不利益なく参加を辞退できること, この実験参加には金銭的な報酬がないことを説明した。

### 6.2.2 実験環境

実験機材には, メモリ16GBを搭載したM2チップ搭載のMacBook Air(ノートPC)および34インチのモニターを使用した。ポインティングデバイスには, PlayStation 5で使用されているDualSenseを用いた。実験場所は研究室の一角であり, 実験参加者は椅子に座った状態で, 机の上に置かれた上記実験機材を操作した。実験参加者には, 上肢障害者の運動機能低下を再現するために, 手の機能低下を模倣するグローブを着用して実験を実施した。

### 6.2.3 実験条件

本実験では, 次の4つの実験条件を比較する。訓練結果を反映しない支援の補正度合い(C1,C3)は, 同じ研究室に所属する3名の学生に4つの補正度合いで体験をしてもらい, 「自分自身が操作を行なっている」という感覚が最も得られる補正度合いを回答し, その平均値を使用した。

C1 訓練を反映しないと教示し, 訓練結果を反映しない支援を行う状態でのエイミングタスク

C2 訓練を反映しないと教示し，訓練結果を反映した支援を行う状態でのエイミングタスク

C3 訓練を反映すると教示し，訓練結果を反映しない支援を行う状態でのエイミングタスク

C4 訓練を反映すると教示し，訓練結果を反映した支援を行う状態でのエイミングタスク

#### 6.2.4 アンケート内容

本実験では，エイミングタスクへの慣れを確認するための事前アンケートと，システム利用時の運動主体感・公平感・後ろめたさに関するアンケートを実施した．エイミングタスクへの慣れを確認するための事前アンケートを表6.1に示す．BQ1は，日常的にゲーム上でエイミングタスクを行なっているか否かを判断するために設定した．BQ2・BQ3は，ゲームをどの機種でプレイし，どのような入力デバイスを用いているかを把握するために設定した．BQ1～BQ3は，複数回答形式でアンケートを実施した．BQ4は，エイミングタスクの際に使う利き手に関する情報を得るために設定した．

表 6.1: 事前アンケート

ラベル	質問内容
BQ1	最近プレイしているゲームについて
BQ2	普段使うゲームの機種について
BQ3	ゲームで使う入力デバイスについて
BQ4	利き手について

システム利用時の運動主体感・公平感・後ろめたさに関するアンケートを表6.2に示す．アンケート内容は，運動主体感について検証した既存研究 [12][13][14] を参考に決定した．

表 6.2: 運動主体感に関するアンケート (7段階リッカート尺度で回答)

ラベル	質問内容
AQ1	照準を思い通りに動かせたと感じた
AQ2	照準の動きは私のジョイスティック操作によって引き起こされたと感じた
AQ3	照準の動きが自分の動きに影響を与えていると感じた
AQ4	照準が勝手に動いていると感じた
AQ5	アシストは強いと感じた

### 6.3 実験の手順

本実験は、下記のように実施した。

**Step 1** 実験参加者は実験内容に関する説明を受け、実験参加への同意書に回答する。

**Step 2** 実験参加者は事前アンケートに回答する。

**Step 3** 実験参加者は手の機能低下を模倣するグローブの性能を評価するための予備実験を行う。割り箸を使って、ある容器に入ったコーヒー豆を別の容器に30秒間の間にできるだけ多く移すタスクを行い、製品を着用した状態と非着用状態のコーヒー豆を移した個数を比較する。

**Step 4** 実験参加者はエイミングタスクを練習する。実験参加者は、操作に対してどのような補正が行われているかについて説明を受ける。

**Step 5** 実験参加者は訓練フェーズ時のエイミングが上手なほど、訓練フェーズ後の補正が強くなることを教示される。その後、実験参加者は訓練フェーズを実行する。

**Step 6** 実験参加者はC1~C4の中から重複なくランダムに決定された条件で試合フェーズを行う。実験参加者は操作の補正度合いに訓練結果が反映される／反映されないことをスライドで教示された後、試合フェーズを行う。試合フェーズが終了するたびに、アンケート(表6.2)に回答する。

**Step 7** 実験参加者はStep 6を4つの条件で繰り返し実施する。

### 6.4 実験の結果・考察

#### 6.4.1 事前アンケート・予備実験の結果

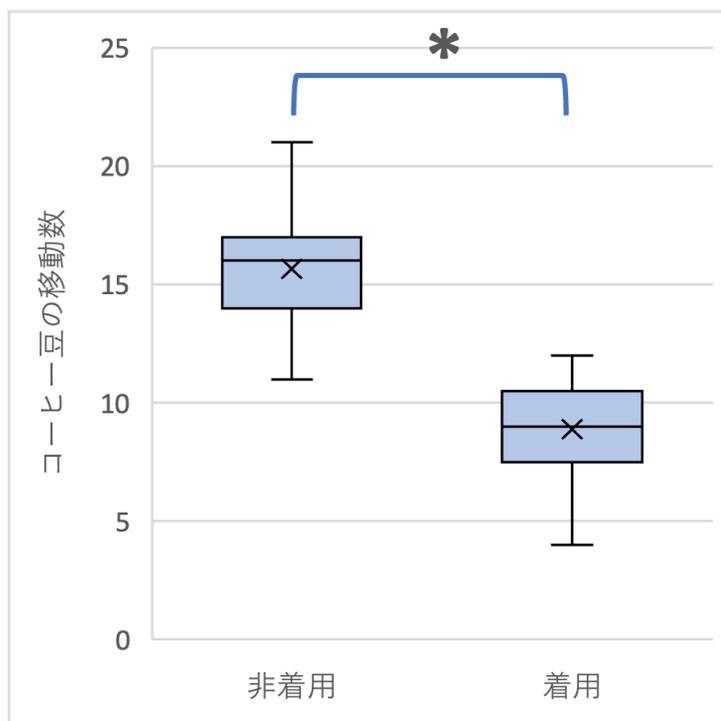
BQ1~BQ4のアンケート結果を表6.3に示す。表6.3から、ゲーム経験にばらつきがあることがわかる。したがって、本実験で扱うエイミングタスクに類似したタスクを普段か

らプレイしている参加者とそうでない参加者で、操作能力に差が生じる可能性があると考えられる。加えて、ゲームパッドを用いてゲームをプレイする参加者は4名いることが分かる。このため、参加者間でポインティングデバイスに対する慣れの差が実験に影響する恐れがある。また、利き手のばらつきはなかったことがわかった。

表 6.3: 事前アンケートの回答結果 (N=9)

ID	Game genre	Gaming device	Input device	Dominant hand
P1	Action	Smart phone	Touch panel	Right
P2	—	—	—	Right
P3	Rhythm	Smart phone	Touch panel	Right
P4	Sports	Smart phone	Touch panel	Right
P5	Action / Horror	PS4 / PC	Mouse / Gamepad	Right
P6	FPS	PS5 / PS4 / PC / Nintendo switch	Mouse / Gamepad	Right
P7	Sports	Smart phone	Touch panel	Right
P8	Puzzle	Nintendo switch / Smart phone	Gamepad / Touch panel	Right
P9	RPG	PS4 / Nintendo switch / Smart phone	Gamepad	Right

手の機能低下を模倣するグローブの効果を評価する予備実験の結果を表 6.1 に示す。有意水準 5% でウィルコクソンの符号順位検定を実施した結果、グローブの着用の有無によって、コーヒー豆の移動数には統計的に有意な差が見られた。これにより、グローブを着用することで手の機能低下を模倣できることが確認できた。

図 6.1: 手の機能低下を模倣するグローブの性能評価 (N=9, \* :  $p < 0.05$ )

### 6.4.2 実験結果・考察

訓練フェーズから導出された補正度合いを図6.2に示す。訓練を反映していない場合の補正度合いを1.0とする。訓練を反映した補正度合いは、訓練を反映しない補正度合いと比較して、増加している傾向にあることがわかる。補正度合いが増加することで、??節で述べた、照準が自動的にNPCの中心方向に移動する速度が向上する。

AQ1～AQ5の回答結果を図6.3～6.7に示す。ノンパラメトリックなデータであるため、有意水準5%でウィルコクソンの符号順位検定を行った。多重比較であるためホルム法で補正をかけた。

AQ1において全ての条件間で有意な差は見られなかった。このことから、操作支援に訓練内容を反映するか否か、または、事前訓練を反映する／しない教示によって、照準を思い通りに動かせたという感覚には変化が見られないことが考えられる。

アンケートの自由記述で「補正を強く感じる」と記述した参加者が、AQ1に対して強く感じたとは回答している場合や、逆に全く感じなかったと回答している場合があった。質問に対する解釈が、的へ照準を合わせることを重要であるとする参加者と、自分で照準を動かすことを感じることを重要であるとする参加者との間で異なり、回答に差異が生じた可能性がある。

AQ2において全ての条件間で有意な差が見られなかったことから、照準の動きは自身のジョイスティック操作によって引き起こされたという感覚に変化は見られなかった。しかし、C1（訓練を反映しないと教示し、訓練の反映をしない支援）とC3（訓練を反映すると教示し、訓練の反映をしない支援）を比較すると、C3ではAQ2に対して強く感じたとは回答していることがわかる。さらに、C3で強く感じたとは回答した参加者の自由記述には「自身の操作を強く感じた」という回答があった。これらの結果から、事前訓練を反映すると教示した場合には、自分の操作がジョイスティックの動きに影響を与えたという感覚が向上する傾向があると考えられる。

AQ3において全ての条件間で有意な差は見られなかった。この結果から、照準の動きが自分の動きに影響を与えている感覚については、条件間で大きな違いがない可能性がある。C2、C4（訓練を反映する支援）とC1、C3（訓練を反映しない支援）を比較すると、C2、C4ではAQ3に対して強く感じたとは回答している傾向にあることがわかる。訓練を反映した支援は、訓練を反映しない支援と比較して、補正度合いが高い傾向にあることから、補正度合いの強さが大きいほど、照準の動きが自分の動きに影響を与えている傾向にあると考えられる。

AQ4において全ての条件間で有意な差は見られなかった。このことから、照準が勝手に動いているという感じやすさには差が生じにくいと考えられる。

AQ5において、C1とC2間には5%水準の有意な差が見られた。C1とC2間に有意差が見られた理由として、事前訓練を反映した操作支援と反映しない操作支援で、アシストの強さに差が感じられるほどの違いがあった可能性が考えられる。C1とC2では有意差が見られたが、C2とC3間では有意差が見られなかった理由として、事前訓練を反映すると教示したことでアシストの強さを感じにくくなった可能性が挙げられる。

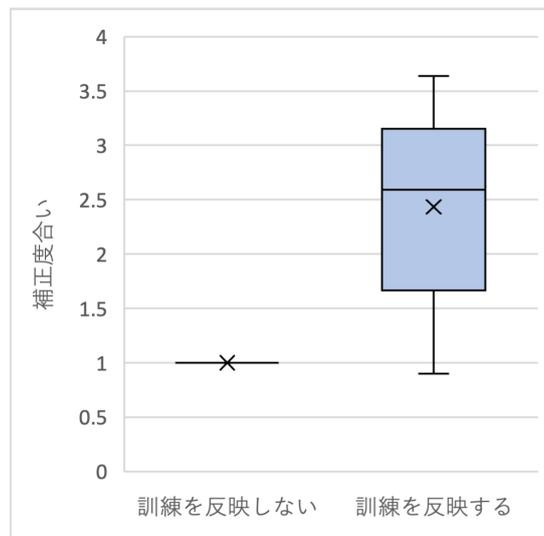


図 6.2: 訓練の反映による補正度合いの違い (N=9)

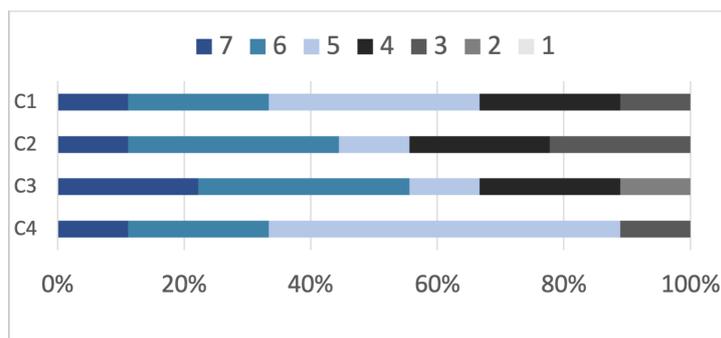


図 6.3: AQ1. 照準を思い通りに動かせたかと感じた (7: 強く感じた～1: 全く感じなかった, N=9)

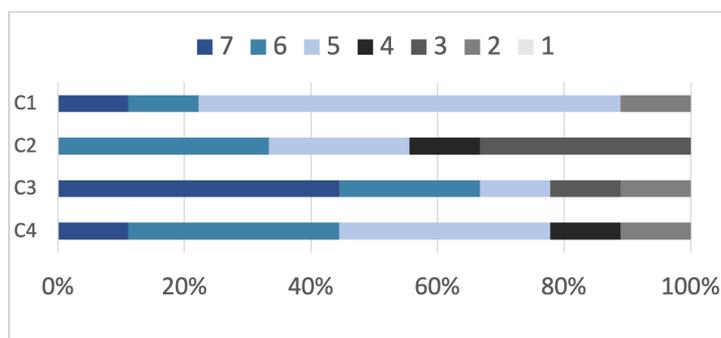


図 6.4: AQ2. 照準の動きは私のジョイスティックの操作によって引き起こされたと感じた (7: 強く感じた～1: 全く感じなかった, N=9)

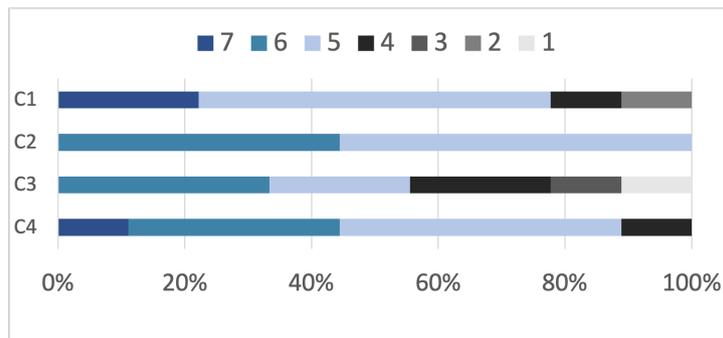


図 6.5: AQ3. 照準の動きが自分の動きに影響を与えていると感じた (7: 強く感じた～1: 全く感じなかった, N=9)

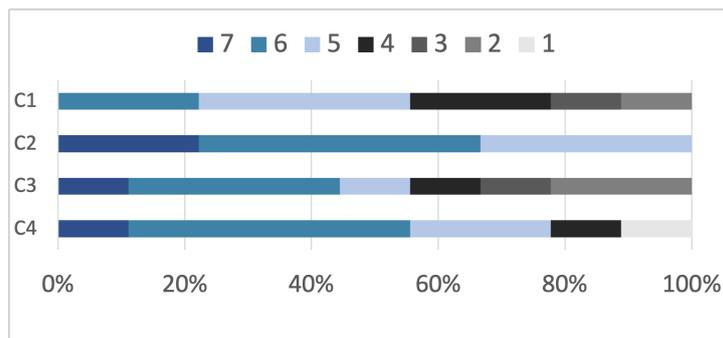


図 6.6: AQ4. 照準が勝手に動いていると感じた (7: 強くそう思う～1: 全く思わない, N=9)

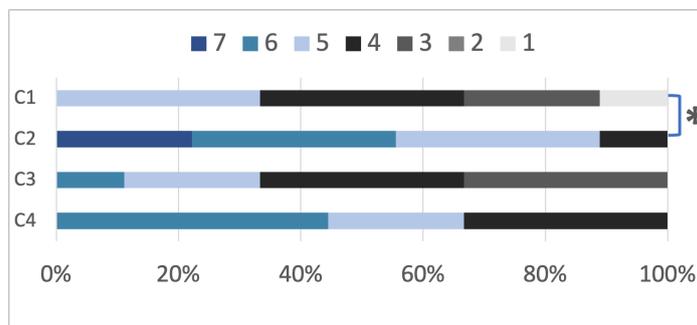


図 6.7: AQ5. アシストは強いと感じた (7: 強くそう思う～1: 全く思わない, N=9, \*:  $p < 0.05$ )

## 第7章 結論

本稿では、事前訓練内容を反映した上肢運動障害者向けeスポーツ支援システムの実装を行い、事前訓練を反映する／しない、事前訓練を反映すると教示する／反映しないと教示する、これらの4つの条件で運動主体感を評価する検証を行った。検証の結果、事前訓練の反映の有無、事前訓練の反映の教示の仕方によって運動主体感に影響が生じる可能性が示唆された。

今後は、事前訓練内容を反映した上肢運動障害者向けeスポーツ支援システムのために次の3つのことを行う。1つ目は、今回の実験で生じた問題を改善し、再度、運動主体感に関する検証を行うことである。今回の実験では、実験参加者が少なく、加えて彼らは上肢障害者ではなかったため、上肢障害者のゲームプレイシナリオを完全に再現できたとは言えない。実験参加者は上肢障害者を模倣するデバイスを装着して実験に参加したが、再現度が十分であったか否かには検証の余地がある。また、実験に用いた入力デバイス（ゲームパッド）も、人によって慣れの度合いが大きく異なるものであった。今回の実験ではわずか60秒間の訓練結果から導き出された操作支援を用いてゲームプレイを行なった。そのため、自身が努力を積み重ねてきたという感覚を得るには、時間が不足していた可能性が考えられる。これらの問題に対処し、運動主体感に関する検証を再度行う予定である。今後の実験では、上肢障害者を参加者とするこゝで、運動主体感に関する評価がより信頼性のあるものとなり、より精度の高い検証が行えると考える。また、入力デバイスの慣れや訓練に関する問題に対処するために、今後の実験ではより長期的なアプローチを取り入れ、実験参加者に十分な時間を訓練に割り当て、自身の成長や努力を体感できるようにしたいと考えている。2つ目は、エイミング以外の操作タスクを対象として、補正度合いが運動主体感にどのように影響するかを検証することである。FPSに限っても、空間中の移動など、エイミング以外に重要な操作はいくつか存在する。これらの操作も検証範囲に含める必要があると考えられる。3つ目は、公平感を低減しにくい仕組みを明らかにすることである。今回の実験では、プレイヤー同士が対戦をするというシナリオではなかったため、プレイヤーが支援を受けていることに対して、不公平だと感じる相手が存在しなかった。しかし、実際のeスポーツでは対戦相手が存在し、対戦相手だけが操作支援を受けていると知れば、不公平感を抱くことが考えられる。今後の研究では、運動主体感の低減を最小限に抑えつつ、健常者プレイヤーが不公平感を抱きにくい仕組みを調査する予定である。上記で示したことを達成し、運動主体感と公平性を低減しにくい上肢運動障害者向けeスポーツ支援システムの実現を目指す。

## 参考文献

- [1] Peter Vorderer, Tilo Hartmann, and Christoph Klimmt. Explaining the enjoyment of playing video games: The role of competition. In *Proceedings of the Second International Conference on Entertainment Computing (ICEC '03)*, pp. 1–9, 2003.
- [2] Steve Rabin. *Introduction To Game Development (Game Development)*. Charles River Media, Inc., 2005.
- [3] Scott Bateman, Regan L. Mandryk, Tadeusz Stach, and Carl Gutwin. Target assistance for subtly balancing competitive play. In *Proceedings of the 2011 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*, pp. 2355–2364, 2011.
- [4] Rodrigo Vicencio-Moreira, Regan L. Mandryk, Carl Gutwin, and Scott Bateman. The effectiveness (or lack thereof) of aim-assist techniques in first-person shooter games. In *Proceedings of the 2014 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*, p. 937–946, 2014.
- [5] Rodrigo Vicencio-Moreira, Regan L. Mandryk, and Carl Gutwin. Now you can compete with anyone: Balancing players of different skill levels in a first-person shooter game. In *Proceedings of the 2015 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, pp. 2255–2264, 2015.
- [6] Adrian L. Jessup Schneider and T.C. Nicholas Graham. Supporting aim assistance algorithms through a rapidly trainable, personalized model of players' spatial and temporal aiming ability. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–17, 2023.
- [7] Susan Hwang, Adrian L. Jessup Schneider, Daniel Clarke, Alexander Macintosh, Lauren Switzer, Darcy Fehlings, and T.C. Nicholas Graham. How game balancing affects play: Player adaptation in an exergame for children with cerebral palsy. In *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems (DIS '17)*, p. 699–710, 2017.
- [8] Gabriele Cimolino, Sussan Askari, and TC Nicholas Graham. The role of partial automation in increasing the accessibility of digital games. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 5, No. CHI PLAY, pp. 1–30, 2021.

- 
- [9] Accessible player experience. <https://accessible.games/accessible-player-experiences/>.
- [10] Game accessibility guidelines. <https://igda-gasig.org/how/sig-top-ten/>.
- [11] sig-top-ten. <https://igda-gasig.org/how/sig-top-ten/>.
- [12] Tabitha Peck and Mar Gonzalez-Franco. Avatar embodiment. a standardized questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, Vol. 1, , 2021.
- [13] Adam Tapal, Ela Oren, Reuven Dar, and Baruch Eitam. The sense of agency scale: A measure of consciously perceived control over one’s mind, body, and the immediate environment. *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, , 2017.
- [14] 伊勢崎隆司, 大山慎太郎, 梅沢昂平, Siqu Li, 青木良輔, 小池幸生, 下田真吾, 平田仁, 小田昌宏, 森健策. 運動主体感に対する運動情報と心拍変動の関連性の検討. マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2022 論文集, 第 2022 巻, pp. 1640–1645, 2022.

# 研究業績

---

## 研究会・シンポジウム

- (1) 佐子柊人, 村山優作, 古田瑛啓, 青木良輔, 宮田章裕: 事前訓練内容を反映した上肢運動障害者向けeスポーツ支援システムの基礎検討. 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), Vol.2023-GN-119, No.10, pp.1-7 (2023).
-