

# VR型FPSゲームにおける視野角に応じた敵AIの動的調整に関する研究

菅沼辰也<sup>†1</sup> 兼松祥央<sup>†1</sup> 伊藤彰教<sup>†1</sup> 三上浩司<sup>†1</sup>

ヘッドマウントディスプレイの視野角は、ゲームプレイにおける人間の有効視野を超えており、画面には表示されているがプレイヤーが認識することができない場所が存在する。ゲーム内で人間が正確に物事を認知できる角度は最大で51度までという先行研究に基づき、それ以上の角度にいる敵AIの行動を動的に変化させることにより、VR型FPSゲームにおける視野角を考慮した敵AIの動的調整手法を提案する。

## 1. はじめに

バーチャルリアリティ(VR)ゲームを遊ぶために用いられるヘッドマウントディスプレイ(HMD)は、ユーザーの体験を高めるために視野角が広いHMDの開発が進んでいる。通常のテレビゲームと異なり、画面の視野角がHTC Viveなら110度と非常に広い1)。一方、人間の有効視野は限界があり、ディスプレイには映っているが、人間には認識できない場所が存在する。その具体例を図1に示す。

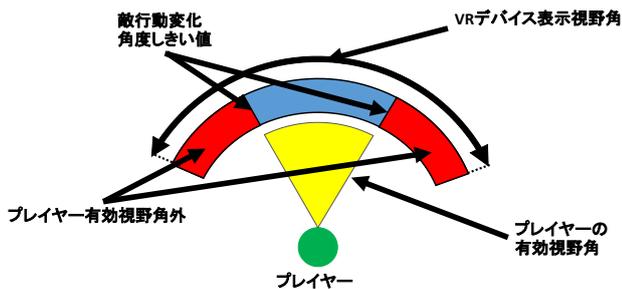


図1 VRデバイス使用時の視野角の例

また、この例をゲームに当てはめた様子を図2に示す。



図2 VRゲーム画面における有効視野の例

本研究では、VRデバイスが表示しているディスプレイ角度をVRデバイス表示視野角と定義し、ディスプレイに映っているがプレイヤーには認識できない場所をプレイヤー有効視野外と定義し、プレイヤーの有効視野外と有効視野内の境界部分を敵行動変化角度しきい値と定義する。

ゲームプレイにおいて、難易度が適正でない場合、プレイするモチベーションを損ねる2)。また、FPSの分野では動的難易度調整に関する研究が存在する3)。このように、プレイヤーに適正難易度を提供できる研究が進んでいるが、広視野角のHMDを用いた場合のFPSゲームの動的調整に関しては研究が進んでいない。プレイヤー有効視野外から攻撃を仕掛けてきた場合、プレイヤーは相手の攻撃を認識することができないため、理不尽感を覚え、ゲームの面白みを損ねてしまうことがある。しかし、動的難易度調整を意識されてしまうと、ゲームへの集中が損なわれてしまうというデメリットが存在する4)。

本研究はプレイヤーの有効視野について着目し、プレイヤー有効視野外に存在する敵AIを動的に調整する。これによって、プレイヤーが認識不能な攻撃を低減し、かつ調整がプレイヤーに気づかれにくい調整手法を提案する。

## 2. 先行研究

プレイヤーの有効視野における先行研究として、須貝ら5)6)は頭部装着型ディスプレイの利用時におけるゲームアノテーションの適切な表示範囲を調査した。44度以上から急激に認識できない事が増加するため、ゲームアノテーションの有効視野は44度程度ということを示した。

Yokoi7)らは動的視野制限法を用いて、トップビューでのゲームにおける有効視野の大きさを調査した。ゲームのスコアを基に計測を行い、ゲームプレイ時の有効視野が20度から30度の範囲であることを示した。

瀬谷8)らは球形のスクリーンにプロジェクターで映像を映し出す一人称視点でのゲームにおける有効視野を調査している。その結果、ゲームプレイ時の有効視野が40度から51度の範囲であることを示した。

以上の先行研究から、プレイヤーのゲームプレイにおけ

<sup>†1</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology

る有効視野は最大で 51 度である。これらの研究ではゲームプレイ時における有効視野を調査しているが、有効視野を考慮した難易度調整は行っていない。有効視野を考慮した敵 AI の調整を行うことで、VR デバイス表示視野角を考慮した敵 AI の調整手法を提案できると考えられる。

本研究では、VR 型 FPS ゲームのプレイ時におけるプレイヤーの有効視野は最大で 51 度であるため、敵行動変化角度しきい値を 51 度とした。敵行動変化角度しきい値を超えている位置に存在する敵 AI を動的調整することで、プレイヤー有効視野角外からの攻撃頻度を低下させる。

### 3. 研究内容

#### 3.1 既存ゲームの分析

敵行動変化角度しきい値に応じて行動が変化する敵 AI を取り入れたゲームを作成するため、既存の作品を分析した。本研究では、「コールオブデューティ ワールドウォーII」(以下、CoD:WW2) という作品と、「コールオブデューティ ブラックオプス III」(以下、CoD:BO3) の分析を行い、敵 AI の基本的な行動をリストアップした。

行動名	内容
正面移動	プレイヤーに発見されるために前に飛び出る
通常射撃	メインウェポンを撃つ
グレネード投擲	グレネードを投げる。プレイヤー位置の付近に来ることが多い。投げ返すことが可能
援護射撃	遠方にいる敵は移動せずカバーポイントから撃ち続ける
援護射撃 (ロケラン)	ロケットランチャーを高台から発射。ゲーム内では1発のみ撃ち、プレイヤーの前に攻撃してきたプレイヤー側がエリアを守るミッションを実行中は、積極的に陣地に切り込む兵士がいる
突撃行動	障害物に隠れ一時的に攻撃を中断する。体の一部が見えることもある
カバリー	障害物に隠れ一時的に攻撃を中断する。体の一部が見えることもある
逃走	CPU達が不利になる(陣地を制圧されたりなど)と戦闘行動をやめて逃走を始める

図 3 CoD:WW2 における敵 AI の基本的な行動リスト

行動名	内容
正面移動	プレイヤーに発見されるために前に飛び出る
通常射撃	メインウェポンを撃つ
グレネード投擲	グレネードを投げる。プレイヤー位置の付近に来ることが多い
援護射撃	遠方にいる敵は移動せずカバーポイントから撃ち続ける
援護射撃 (ロケラン)	ロケットランチャーを高台から発射。ゲーム内では1発のみ撃ち、プレイヤーの前に攻撃してきたショットガン兵などは進行方向の正面から出現し、プレイヤーに近づきながら射撃を行う
突撃行動	障害物に隠れ一時的に攻撃を中断する。体の一部が見えることもある
カバリー	障害物に隠れ一時的に攻撃を中断する。体の一部が見えることもある

図 4 CoD:BO3 における敵 AI の基本的な行動リスト

以上のリストから、2つのゲームに共通し最も基盤的な行動である「通常射撃」、「カバリー」の実装を行った。

#### 3.2 敵行動変化角度しきい値に応じた AI 調整機能の実装

本研究では、Unity のバージョン 2017.3.1f1 使用し、言語は C# を使用して実装した。プレイヤー有効視野角は 40 度と 51 度の 2 種の実装を行なった。

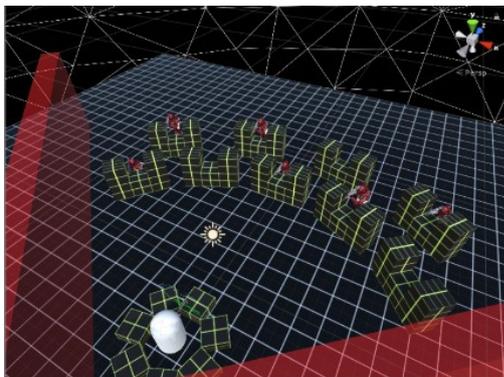


図 5 制作したシステムの様子

前節で提示したリストをもとに、障害物から身を出して攻撃する通常射撃と、隠れて待機するカバリーの 2 つの動作を作成した。次に、プレイヤーのカメラを基準に、敵 AI が敵行動変化角度しきい値を基準に行動を変化させるようにした。変化させられる内容は、攻撃の連射速度、身を隠して待機する時間、攻撃の集弾率である。

#### 3.2.1 命中率の調整

命中率は、銃撃を行った際の弾の射出角度を変更することによって調整を行った。調整を行っていない場合は弾をばらけさせない様に、射出角度を一切変更せず、銃の向きが弾の進行方向となるように設定した。敵行動変化角度しきい値を超えている敵に対しては、射出角度を、X 軸は-9 度から 10 度、Y 軸を-9 度から 10 度までの間でランダムに設定し、弾の命中率を変更した。

#### 3.2.2 連射速度の調整

連射速度の調整は、連射を管理するタイマー機能に、敵の角度に応じて変化する変数をかけることにより、連射速度を減少させている。変数の作成には、Unity に搭載されている 2 点間の角度を返す `Vector3.Angle` という関数を用いている。この変数の式を次に示す。

$$X = \frac{\{(\theta - F) - F\}}{(180 - F)} \quad (1)$$

ここで、X が求める変数、 $\theta$  は `Vector3.Angle` を用いて、プレイヤーの位置に敵の位置を引いた座標点と、プレイヤーの前方ベクトルの点の間の角度を示す。F はゲーム内の `Field of View` の値である。無調整の状態では、1 フレームの描画にかかった時間をタイマーに用いて 0.3 秒毎に射撃を行うように設定している。調整を行う時に、1 フレームの描画にかかった時間に上記の変数を掛けることにより、連射速度を減少させている。ただし、変数 X はマイナスの値になることがある。この時は計算を停止させ、攻撃そのものを停止させる。これは無調整の時やほかの調整を行っている場合でも同様である。

#### 3.2.3 カバリー時間の調整

カバリー時間は、無調整の状態では 1 フレームの描画にかかった時間をタイマーに用いて、3 秒間続ける仕様としている。敵行動変化角度しきい値を超えている場合は、1 フレームの描画にかかった時間に上記の変数 X を掛けることにより、カバリーを長く行うように設定している。

### 4. 被弾率測定実験

システムの実装を行った実験ゲームのうち、プレイヤー有効視野角 51 度を調整したゲームで、実際にプレイヤーの被ダメージの減少が確認できるかを実験した。

#### 4.1 実験の内容

本実験は大学研究室にて実施した。呈示機器である HMD は Oculus Rift を用いた。「命中率」「連射速度」「カバリー率」

の調整を1つずつ用いたステージを作成し、調整を行っていないパターンを含めた4ステージを1つのゲームにまとめ、このゲームをプレイしてもらった。順序効果が発生しないように遊ぶステージの順番はランダムとした。被験者数は初心者10名・経験者4名であり、各被験者の試行数を5回とした。

あらかじめ、番号と調整内容を結び付けておく。  
本研究では、1=連射速度の調整 2=命中率の調整 3=カバー時間の調整 4=無調整とした。

テーブル番号	行う調整の順番
1	1234
2	1243
...	
16	3241
...	
24	4321

ステージ1:カバー時間の調整  
ステージ2:命中率の調整  
ステージ3:無調整  
ステージ4:連射速度の調整

選択されたテーブルが16番なら...

図6 ランダムステージ選択の仕組み

被験者は、1つのFPSタイトルを10時間以上遊んでいるかどうかでFPSゲームの初心者、経験者として分類し、プレイによる調査を行った。

## 4.2 実験の結果と考察

### 4.2.1 プレイヤー有効視野角外からの被ダメージ

プレイヤー有効視野角51度より外で受けたダメージに関し、ゲームの難易度を無調整な状態でのダメージ量を100%とした時の割合を算出した。図7にその結果を示す。

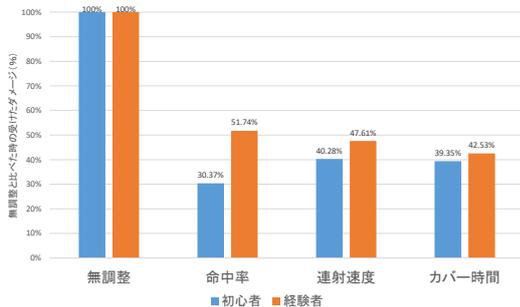


図7 プレイヤー有効視野51度外から被ダメージの割合

この結果より、50%から70%程度までダメージを削減することができていることが確認できた。初心者は命中率の調整が最もダメージが減り、経験者はカバー時間が最もダメージが減るといった結果となった。初心者は経験者よりプレイ時間が長くなる傾向があったため、攻撃が当たらない可能性が多く存在する命中率の調整が最も効果的だったと考える。一方、経験者は敵を倒す速度が速い傾向があり、カバー時間の攻撃されない時間の間に敵を素早く撃破していくことが多かった。そのためカバー時間の調整が最も効果的だったと考えられる。

### 4.2.2 被ダメージ総計

被ダメージ全体に関し、ゲームの難易度を無調整な状態でのダメージ量を100%とした時の、受けた合計ダメージの割合を算出した。図8にその結果を示す。

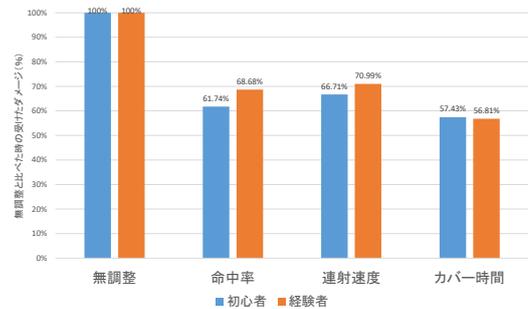


図8 受けた合計ダメージの割合

結果から、各調整で受けるダメージが30%から45%程度減ることが分かった。また、最も受けるダメージが減るのは、経験者、初心者ともにカバー時間の調整となった。

## 4.3 考察

実験の結果から、各調整の有用性について考察する。連射速度の調整はプレイヤー有効視野内からのダメージが最も高いため、気づかれにくい調整と考えられる。カバー時間の調整は合計ダメージが最も減り、経験者に対するプレイヤー有効視野外から受けるダメージを大幅に軽減する効果があるが、プレイヤー有効視野内から受けるダメージも多く軽減してしまう。そのため気づかれやすい調整であると考えられる。命中率の調整は、初心者に対するプレイヤー有効視野外からのダメージが最も少ないため、初心者に効果的な調整と考えられる。

## 5. 敵行動変化角度しきい値の違いによる気づきやすさの傾向

プレイヤー有効視野角40度および51度の2種類の実験ゲームを用い、実装した調整がどれだけ気づかれにくいかをアンケートを用いて集計した。被験者数は16名である。アンケート調査の流れを図10に示す。

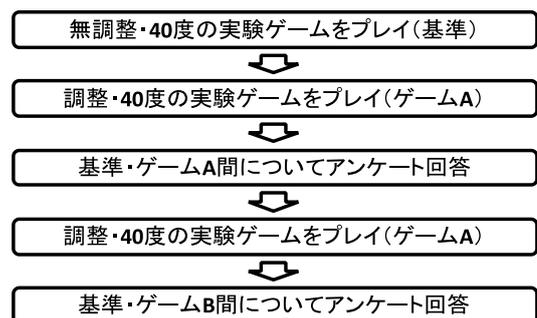


図10 アンケート調査の流れの例

プレイヤー有効視野外での調整を行っていないゲームを基となるゲームとした。40度を敵行動変化角度しきい値とし、プレイヤー有効視野外では「命中率」「連射速度」「カバー率」の3つの調整をすべて行ったゲームA、ゲームAの敵行動変化角度しきい値を51度に変えたゲームBを作成した。基となるゲームとゲームA、Bを比較して、1つ

めのゲーム終了後にアンケート記入，2 つめのゲーム終了後にアンケート記入という流れで難易度の違いをアンケート調査した。順序効果を防止するため，ゲーム A，B の提示順番はランダムとした。

### 5.1 アンケートの結果と気づきやすさの考察

回答は「調整していない」から「明らかに調整している」の四段階評価で集計した。「調整していない」を 4，「明らかに調整している」を 1 として集計した。「基準・ゲーム A 間」の結果を以下の図 11 に示す。

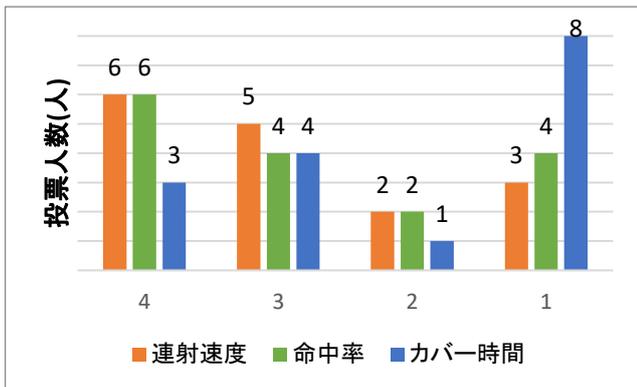


図 11 40 度外 (ゲーム A) での調整の気づきやすさ

カバー時間の調整に関して「明らかに調整している」と回答した人数が 8 人と他の回答数を上回る結果となった。敵行動範囲角度が同じ 40 度の場合，連射速度および命中率の調整は気づかれにくい傾向にあることがうかがえる。次に「基準・ゲーム B 間」の結果を以下の図 12 に示す。

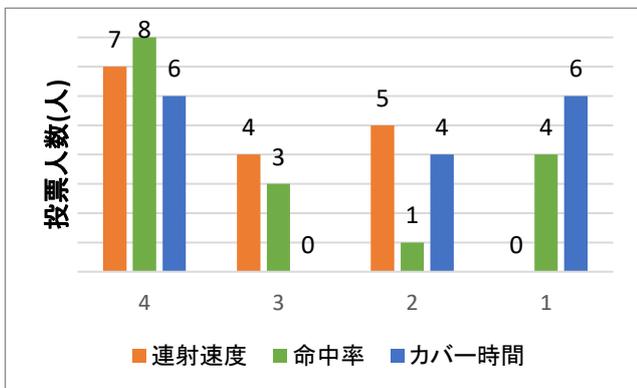


図 12 51 度外 (ゲーム B) での調整の気づきやすさ

有効視野角 40° 外で難易度調整したゲーム A と比較しとともに全体的に「調整していない」に投票が集まる結果となった。ゲーム A では「明らかに調整している」に投票した割合が高かったが，ゲーム B では「調整していない」と「明らかに調整している」が同票の 6 人となっている。これらの傾向から，敵行動変化閾値が 51 度の方がより「調整していない」に投票する傾向があることが確認された。

## 6. おわりに

VR ゲームにおけるプレイヤーの有効視野角の違いに着目し難易度調整に関する調査・実装・実験を実施した。有効視野角を想定して敵行動範囲角度を調整するとともに「命中率」「連射速度」「カバー率」の 3 つのパラメータにつき調整を実施したゲームを被験者の実プレイにより検証を実施した。51 度の有効視野角を想定した実験ゲームでは，視野角外からの命中率が被ダメージ率に大きく寄与することが確認できた。さらに難易度調整が行われているかどうか気づかれているかを確認するために 40 度と 51 度双方のゲームを利用し，無調整・調整後の難易度調整に気づいたかをアンケート調査した。敵行動範囲が 40 度から 51 度に広がった場合，調整に気づかれにくいという結果となった。本研究では 2 種の実験を個別に実施したが，今後は同一被験者による対応付き実験などを進め，それぞれの関連性につきより精緻に調査を進める。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K00734 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- 1) VIVE 公式サイト  
<https://www.vive.com/jp/product/>(2018 年 7 月 20 日)
- 2) 遠藤雅伸，三上浩司，近藤邦雄：ひとはなぜゲームを途中でやめるのか？—ゲームデザイン由来の理由—，日本デジタルゲーム学会 2014 年夏季研究発表大会予稿集,pp.15-18(2014)
- 3) Baldwin, A et al: The Effect of Multiplayer Dynamic Difficulty Adjustment on the Player Experience of Video Games, CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.1489-1494(2014)
- 4) Ernest Adams: The Designer's Notebook: Difficulty Modes and Dynamic Difficulty Adjustment.  
<[http://www.gamasutra.com/view/feature/3660/the\\_designers\\_notebook\\_.php](http://www.gamasutra.com/view/feature/3660/the_designers_notebook_.php)>(2018 年 8 月 5 日)
- 5) 須貝涼，三上浩司，近藤邦雄 (2014)「頭部装着型ディスプレイの利用時におけるゲームアノテーションの適切な表示範囲の研究」,DIGRA JAPAN 夏季研究大会 2014 予稿集,pp.80-83,デジタルゲーム学会
- 6) 須貝涼:広視野角 ヘッドマウントディスプレイ視聴時におけるゲームアノテーションの適切な表示領域の提案 東京工科大学修士論文
- 7) K.Yokoi. et al. Measuring spatial distribution of visual attention in action video game. Kansei Engineering International, 6(2), pp13-18 (2006)
- 8) 瀬谷安弘ら. 没入型ディスプレイを用いたアーケードゲームにおける視聴覚情報がプレイヤーのゲームパフォーマンスに及ぼす効果 デジタルゲーム学研究 4 (1), pp49-57(2010)

### ゲーム

- (1) 『コールオブデューティ ワールドウォー II』, SLEDGEHAMMER GAMES, 2017. (PS4)
- (2) 『コールオブデューティ ブラックオプス III』 Treyarch, 2015.(PS4)