

VR技術を用いた人とのインタラクション シミュレーションシステムについての基礎的研究

戸田 皓* 黒岩 丈介* 小高 知宏* 諏訪 いずみ* 白井 治彦**

Implementation of Human Interaction Simulation System with VR Technology

Hikaru TODA*, Jousuke KUROIWA*, Tomohiro ODAKA*, Izumi SUWA*,
and Haruhiko SHIRAI**

(Received February 3, 2020)

In recent years, various types of robots become familiar in our living space, and they are expected to play important roles in various scenes in the future. Inspired by these situations, it is investigated that the robot's behaviors can actually affect our behavior. We consider that if a contrived experience system which can simulate the effect on us brought by the robot is implemented, it becomes easy to study appropriate robot's behaviors which are desirable for us. Therefore, the purpose of the present paper is to develop the contrived experience system based on several interaction games between an avatar and us. The system is developed on Unity, where two kinds of interaction games, (i) repetitive rock-paper-scissors game and (ii) prisoner dilemma game, are implemented. In the system, a user can freely decide the avatar's strategy of the game and the change laws of facial emotion and utterance contents. The interaction game is played in virtual reality space with fruitful presence by using Head Mount Display, providing making easier to interact between the avatar and us. In simulation experiments, we perform the repetitive rock-paper-scissors game and apply the strategy which deceives us in the decision of rock-paper-scissor. All the subjects are fooled by the avatar and are confused which is better, rock, paper or scissor. We have succeeded that the avatar's behaviors can really affect our behavior. Thus, our system is practical to simulate the effect on us brought by the robot.

Key Words : Interaction Game, VR, Human Interaction Simulation System

1. はじめに

近年、様々なロボットが登場し、ロボットが我々の生活空間中に存在することが当たり前になりつつある。例えば、言葉を発する際に人間のような口の動きや、瞬きを行うことが可能な受付案内を行うロボット「アクトロイド」、家庭用掃除ロボットの「ルンバ」な

ど他にも様々なロボットが様々な場面で人間の生活をサポートしている。また、それが次世代の産業の中心になる、と各国が研究を推し進めており、2030年には全世界で8億人がロボットに仕事を奪われる可能性さえ危惧されるほど、急速に普及している [1].

しかし、現在稼働中のロボットには人の感情を理解できるものがほとんど存在しないため、ロボット自身の振る舞いが人間に不快感を与える場合もある [2]. ロボットから人間が不快感を覚える可能性がある場面は様々な状況が想定され、例えば、ロボットの音声及要求に対する返答として適切でないことに対

* 大学院工学研究科 知能システム工学専攻

** 工学部技術部

* Human and Artificial Intelligence Systems Course,
Graduate School of Engineering

** Technical Division

するストレス、自分から至近距離で大きなロボットが自律稼働することに対する恐怖、騒音に対する苛立ちなど、様々な要因から不快感を覚える可能性がある [3]。そしてこれから先、より多くのロボットが我々の生活空間中に普及することで、ロボットと我々が接する機会が増加し、我々がロボットの振る舞いからストレスを感じる機会が増加する可能性がある。

そのため、ロボットの振る舞いが人間に与える影響についても注目が集まり、研究が進められている。先行研究の一例を挙げると、シミュレーションゲーム内のエージェントの表情変化が、人間とエージェント間の協調行動に与える影響について研究したものがある [4]。この先行研究では、囚人のジレンマゲームを用いた研究を行い、エージェントの恥じらいを示す表情と悲しみを示す表情が人間に対して同じように感じ取られることや、エージェントの外見によって人間とエージェントの協力率が変化すること、それに加え、エージェントの表情によって人間の行動決定に変化が生じることが主張されている。

このようなロボットと人との間で起こるインタラクションを研究することによって、ロボットの振る舞いが人間の行動にどのように影響するかを明らかにすることが可能となる。そのため、現実世界でロボットを実際に用いて実験を行う場合に必要なスペースや費用を削減することができると考える。以上より、本研究ではシミュレーションシステムのひな型を作成するために必要な機能・実装方法を明らかにし、インタラクションゲームを用いたシミュレーションシステムを VR 技術を用いて実装することを目的とする。このようなシステムのひな型の実装が可能になれば、人とロボットのインタラクションについて様々な状況を想定し、実験条件などもユーザーが自由かつ容易に変更が可能となるため、研究の効率が上がると考えられる。これにより、ロボットの振る舞いが人間に与える影響についての理解が深まるため、ロボットの振る舞いが向上し、ロボットの振る舞いから人間がストレスを感じる機会を減らすことが可能になると考えられる。また、VR 技術を利用することによりシステムのインタラクション効果が向上し、より正確なシミュレーションが可能となる。

2. インタラクションゲームと VR 技術

2.1 インタラクションゲームとは

インタラクションとは、英語の「inter(相互に)」と「action (作用)」という 2 単語を合成したものであり、2 つ以上の存在が相互に影響を及ぼしあっていること

を意味する単語である。日常生活におけるインタラクションの一例として、人間とコンピュータのインタラクションの例を挙げると、人間がマウスやキーボードからコンピュータへ情報を入力すると、コンピュータがその入力を受けて情報を出力し、コンピュータからの出力を受けて人間も新たな入力をコンピュータへ送る、といったようなものがある。

つまり、インタラクションは身近な対人ゲームや人間同士の取引、交渉の現場、集団行動の場面で起こる協調行動等でも同様に起こる現象であり、インタラクション効果が発生する対人ゲームをインタラクションゲームと呼ぶ。具体的なゲームのルール及び、研究題材としたゲームについては以降の章で説明する。

2.2 インタラクションゲームの種類とルール

インタラクションゲームの代表的な例として、麻雀やチェス、ポーカー等のトランプゲームが挙げられる。これらのインタラクションゲームに共通している部分は以下である。

1. 相手の出し手や戦略について、盤面やルールから得られる情報が限られている
2. 必勝法が存在しない。
3. 複数人で行う。

以下に本研究で実装を行った「繰り返しじゃんけんゲーム」、「囚人のジレンマゲーム」のルールとインタラクションについて示す。囚人のジレンマゲームとは、2 人で行う対人ゲームであり、お互いのプレイヤーは信頼、裏切りの出し手を持ってゲームを開始する。そして、各プレイヤーはどちらかの出し手を選択し、相手と同じタイミングで提示する。この時の自分の出し手と相手の出し手の組み合わせで各プレイヤーに点数が加算され、この作業を複数回繰り返した後の総得点で勝敗を決めるゲームである。囚人のジレンマゲームでの得点表を表 1 に示す。繰り返しじゃんけんゲームも 2 人で行う対人ゲームであり、通常のじゃんけんを行い、勝ち、負け、あいこそれぞれで点数を付ける。そして、この作業を複数回繰り返した後の総得点で勝敗を決めるゲームである。繰り返しじゃんけんゲームの得点表を表 2 に示し、点数が 0 以下の場合もマイナスの値を更新し続けるものとする [5]。

表1 四人のジレンマゲーム点数表

		プレイヤー (P)	
		信頼	裏切り
プレイヤー (A)	信頼	P:5 点 A:5 点	P:7 点 A:3 点
	裏切り	P:3 点 A:7 点	P:4 点 A:4 点

表2 繰り返しじゃんけんゲーム得点表

勝利	敗北	あいこ
+1	-1	0

3. VR技術を用いたシミュレーションシステムの設計

3.1 要求分析

インタラクションシミュレーションシステムの実装にあたり、必要な機能とゲーム性についての要求分析を行った。

まず、必要な機能については、「VR技術を用いたグラフィカル表示に関わる機能」、「ユーザーインターフェースに関わる機能」、「アバターの振る舞いに関わる機能」、「ゲームの進行制御に関わる機能」の4つに分け、それぞれで要求分析を行った。また、ユーザーが使用する上でアバターとのインタラクションを発生させるために、アバター側の出し手戦略を工夫する必要があると考えた。これは、単調で相手に読まれやすい戦略ではインタラクションが発生しないと考えたためである。

3.2 シミュレーションシステムの設計

要求分析を元に実装で必要と思われる機能を抽出し、機能間の流れを一つのシステムダイアグラムにしたものを図2に示す。以下では、図2で示したそれぞれの機能の説明を述べる。

VRグラフィカル表示機能

VRグラフィカル表示機能の概要を図1に示す。グラフィカル表示機能はシステムがユーザーへ文字や、エージェントの状態等の視覚的情報を送信する機能であるとともに、ユーザーインターフェース機能としてボタンを表示し、ユーザーへ情報の送信を促す機能も兼ねている。ボタンはHTCViveに付属しているコントローラーを利用し、コントローラーのボタンに出し手を選択するための変数を割り当てた。尚、この設定は

Unityの設定画面上で行い、ボタンへの変数の割り当てではSteamVRを用いた。

また、VRインタラクショングラフィカル表示機能ではHMDを用いてVRインタラクション技術を利用するため、HMDを認識し、使用可能にする機能だけでなく、ゲームに必要なコントローラーの3Dオブジェクトの表示やVR視点を生成する機能も兼ねている。最終的に他の機能からデータを受け取り、その情報をディスプレイ上に表示することがこの機能の主な役割となる。本研究ではVR技術を用いるため、図内のグラフィカル表示機能にも通常とは異なる機能の実装を行った。

ユーザー出し手取得機能

コントローラーのボタンの押下が確認された後に受け取ったユーザーの出し手データをstring型の入力として受け取る機能である。

この機能で得たユーザーの出し手データは戦略決定機能、出し手決定機能、表情決定機能、得点計算機能、へ出力される。また、受け取った出し手データは、スクリプト内の配列に格納されるように実装した。

戦略決定機能

この機能は、ユーザー出し手取得機能から得たユーザーの出し手データを元に、エージェントが自分がどのような戦略で出し手を決定し、どのような出し手の組み合わせの場合にどの表情を表示するかを決定する機能である。この機能はユーザーがシステムを実行する際に自由に再

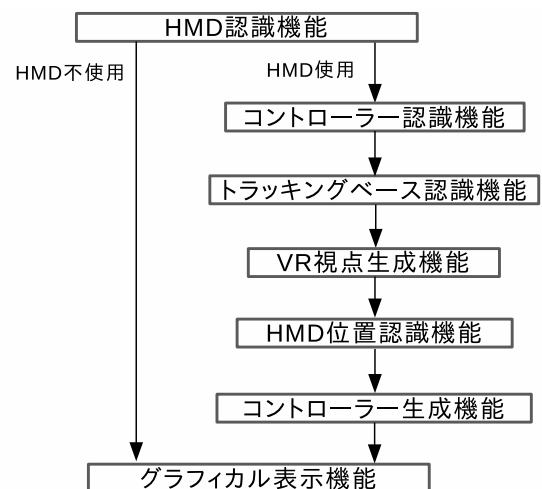


図1 VRグラフィカル表示機能のダイアグラム

定義可能な機能にするため、親クラス内で仮想関数として定義した。

戦略を決定した後、戦略データを読み込み、表情決定機能と出し手決定機能へ戦略の情報を送信する。

エージェント表情決定機能

ユーザー出し手取得機能で取得したユーザーの出し手データと、戦略決定機能で取得した戦略データを入力として受け取り、この2つのデータからエージェントの表情を決定し、データベースからその表情データを取り出す機能を持つ。

データベースから読み込んだ表情のデータは表情送信機能へと送られる。

出し手決定機能

表情決定機能と同様のデータを入力として受け取り、エージェントの出し手を決定する機能である。また、出し手の数や種類は使用するゲームによって異なるため、ユーザーが必要に応じて出し手の数や種類等を再定義できるように仮想関数として親クラス内で定義した。

ここで決定した出し手のデータは出し手送信機能へ出力される。

ゲーム進行制御機能

入力としてのデータはなく、エージェントが手を出すタイミングを指示する機能であり、出し手決定機能に情報を出力する。また、ユーザーがボタンを連打することでゲームが早々に終わってしまうのを防ぐために1回ボタンを押下すると3秒間のインターバルを発生させるように定義した。さらに、ゲームが指定した回数繰り返されると終了画面に遷移したり、ゲームを開始した際にコントローラーのボタンを押下するとゲーム画面に遷移する等のシーン遷移に関する指示を出す機能についても定義を行った。

エージェント表情・出し手表示機能

それぞれ、表情決定機能及び出し手決定機能で決定された表情・出し手データを入力として受け取り、表情決定機能では、グラフィカル表示機能にディスプレイ上に表示されているエージェントへ表情を変更した後に表示するよう指示を出す機能である。出し手決定機能では、出し手を画面に表示する際は、string型のデータとしてグラフィカル表示機能へデータを送信し、画面上の指定された場所にユーザーとエージェントの出し手が文字列として表示される。

得点計算機能

ユーザー出し手取得機能で得たユーザーの出し手データと、出し手送信機能から得たエージェントの出し手データを入力として受け取った後に2つの出し手を比較し、両者に追加される得点を計算した上で分配する機能である。比較する出し手は、string型データを用いるため、比較対象外の入力を受け取った場合はエラーを表示するように設定を行った。この機能で計算した得点のデータは、得点表示機能へと送られる。

得点表示機能

入力は得点計算機能によって計算された各プレイヤーに加点される点数データであり、出力先はグラフィカル表示機能である。この機能でユーザー及びエージェントの合計得点をグラフィカル表示機能に画面上へ表示するよう指示を出す。合計得点は画面上に文字列として表示され、指示を出す際にはstring型のデータをグラフィカル表示機能へ送信する。

4. システムの実装

システムの実装にあたり、使用したOSはwindows 10、実装環境はUnity、VRアプリケーション実装にあたってはSteamVR、言語はC#を用いた。また、システムの実装にあたって、囚人のジレンマゲームと繰り返しじゃんけんゲームをインタラクティブゲームの題材とし、それぞれのゲームに共通している機能を親クラス内に仮想関数として定義した。さらに、出し手戦略や感情表現に関する関数を親クラス内で仮想関数として定義することで、各ゲームを用いたシステムを実装する際に、必要に応じて様々な戦略を設定可

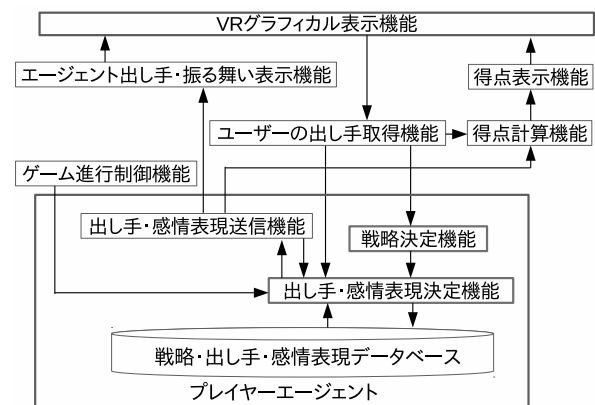


図2 システムの親クラスのダイアグラム

表3 一筋戦略

ゲーム数	1	2	3	4	5	6
ユーザー	P	G	P	C	G	C
エージェント	G	C	P	G	C	P

表4 しっぺ返し戦略

ゲーム数	1	2	3	4	5	6
ユーザー	P	G	P	C	G	C
エージェント	G	P	G	P	C	G

表5 逆しっぺ返し戦略

ゲーム数	1	2	3	4	5	6
ユーザー	P	G	P	C	G	C
エージェント	P	P	P	P	P	P

表6 固定戦略

ゲーム数	1	2	3	4	5	6
ユーザー	P	G	P	C	G	C
エージェント	G	G	C	G	P	C

能である。今回実装を行ったシステムは windows 上、もしくは HTC Vive を用いることで利用可能となっている。スクリプトの記述には VisualStudio2017 を使用した。ロボットに見立てたエージェントについては、Unity 上で無料ダウンロード可能なアバターである UnityChan(Unity Technologies Japan/UCL) を使用した。UnityChan を使用した理由として、本研究ではエージェントの表情変化が人間の行動決定に与える影響について調査可能なシミュレーションシステムの実装を目的の一部として持っているが、UnityChan には 17 種類の表情、31 種類のポーズが標準搭載されており、表情は Unity 上で編集可能である。つまり、この 17 種類の表情を元に Unity 上で調整を加えたものを使用できるという観点から、本研究に適していると考えたためである。本研究では「無表情」、「喜び」、「悲しみ」、「怒り」、「嘲笑」の 5 つの感情表現に該当するポーズを Unity 上で調整したり、Blender と呼ばれるアバターのポーズを製作可能なアプリケーションを用いて製作することで使用した。自作した表情を図 3 ~ 10 に示し、ポージングを図 11 ~ 14 に示す。

表情の怒り、悲しみ、嘲笑の表情については Unity 上で使用可能な BlendShape 機能で編集を行った。BlendShape 機能とは、Unity に搭載されている機能であり、アバターの骨格を移動させずに、表面上のメッシュの頂点を移動させることによって小さなアニメーション

として動作させることが可能である。これを使用することにより、このアバターの各表情について設定されている眉、目、口についてのウェイトバランスを調節し、口を編集するのであれば口角の上げ下げや口の開き方などを調節することが可能である。

ポーズについては、じゃんけんの出し手ポージングは全て自作し、その他の感情表現に使用したポージングは UnityChan に標準搭載されているポーズを用いた。また、エージェントの出し手戦略として、「一筋戦略」、「しっぺ返し戦略」、「逆しっぺ返し戦略」、「固定戦略」の 4 つを実装した。しっぺ返し戦略は一

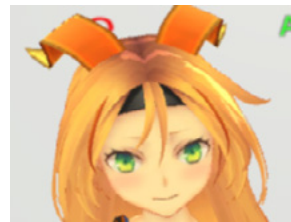


図3 あいこの表情 (1)



図4 あいこの表示 (2)



図5 負けの表情 (1)



図6 負けの表情 (2)

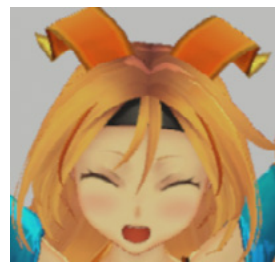


図7 勝利の表情 (1)

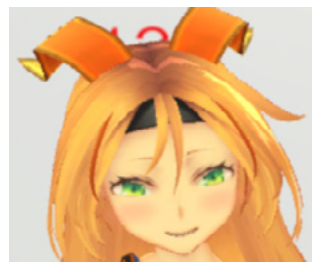


図8 勝利の表情 (2)



図9 勝利の表情 (3)

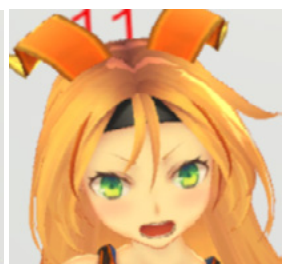


図10 負けの表情 (3)

手前に相手が使用した出し手を次の手で使用する出し手戦略であり、逆しっぺ返し戦略は一手前に出した相手の手に負けるような出し手戦略である。各戦略の繰り返しじゃんけんゲームにおける手の出し方の例をそれぞれ表3～6に示す。表内のG, C, Pはそれぞれ出し手の「グー」、「チョキ」、「パー」を表す。

また、お互いが手を出し、点数が加算される作業を1ゲームとすると、1セット20ゲームとして実装をおこなったが、このゲーム数はUnity上で変更を行うことが可能である。

5. インタラクション評価実験

5.1 実験内容

インタラクション効果についての評価実験では、実装を行ったシミュレーションシステムを用いて利用者とゲーム内のアバターとの間でインタラクション効果が表れることを確認することを目的とする。本研究では、ロボットと人間の間で発生するインタラクション効果についてのシミュレーションが可能なシステムの実装を主な目的としているため、画面内のアバターと利用者との間でインタラクション効果が発生しなかった場合、このシステムでシミュレーション



図 11 グーのポーズ

図 12 チョキのポーズ



図 13 パーのポーズ

図 14 待機状態のポーズ

を行うことが不可能となってしまふ。そこで、実際に被験者にこのシステムを利用してもらうことでアバターと被験者の間でインタラクション効果がどの程度表れるかを確認する。

実験方法としては、実際に被験者に HMD を装着し、画面内のアバターと繰り返しじゃんけんゲームを20ゲームを1セットとして2セットをプレイしてもらう。1セット目と2セット目ではエージェントの出し手戦略のみ変更することで、アバターの感情表現が切り替わるタイミングが各セットで変化しないため、インタラクション効果が出ると考えた。出し手戦略は、1セット目は、1～4ゲームは一筋戦略、5～10ゲームはしっぺ返し戦略、11, 12ゲームは固定戦略、13～17ゲームは逆しっぺ返し戦略、18～20ゲームはしっぺ返し戦略となっており、2セット目は、1～6ゲームは一筋戦略、7～12ゲームはしっぺ返し戦略、13, 14ゲームは固定戦略、14～20ゲームは逆しっぺ返し戦略、となっている。感情変化則については、アバター側が勝利、敗北、あいこだった場合の感情表現として、1～10ゲームでは図3, 図5, 図7を使用し、11ゲームのみ図4, 図9, 図10 12～17ゲームでは図3, 図6, 図8, 18～20ゲームは1～10ゲーム目と同様の表情変化則を使用するものとした。実験についてのゲームのルールやコントローラーの操作方法等の事前説明の段階では、被験者に対して「ゲームに勝利するように立ち回りを考えてもらいたい」という旨を伝えておく。このように伝えた理由としては、じゃんけんのゲームの共通認識として確率的要素が勝敗に大きく作用してしまうという一般認識から離れ、自身の勝敗を確率に委ねることを防止することでエージェントの出し手や感情表現に対して予測してもらうように促すためである。そして、ゲームが終了した後にアンケートとインタビューに答えてもらい、その結果からインタラクション効果について考察していく。アンケートの内容は以下のようなものとなっている。

1. ゲームのルールを理解出来ましたか？
(はい/いいえ/どちらともいえない)
2. 相手（アバター）の戦略を読むことが出来ましたか？
(できた/概ねできた/どちらともいえない/ほとんどできなかった/全くできなかった)
3. 実験中に3D酔いのような気分の悪さがありましたか？
(あった/少しあった/無かった)

4. アバターの感情表現を読み取れましたか？
(はい/いいえ/どちらともいえない)

5. 1セット目と2セット目を比較して、どちらが相手の戦略を読みやすかったですか？
(1/2/どちらともいえない)

6. アバターの感情表現や出し手戦略によって、自分がどのような出し手を選択すればよいかわからなくなる(混乱すること)がありましたか？
(あった/なかった/どちらともいえない)

7. 6で「あった」を選んだ方のみお答えください。それは1セット目と2セット目のどちらですか？
(1/2/両方)

8. アバターに勝利するために、ゲーム内のどの点に注目してゲームを進めていましたか？(記述)

また、被験者には2つのグループに分けてシステムを利用してもらう。1つ目のグループには実験の内容とゲームについての主なルール説明を行い、もう1つのグループには実験の内容とは別に、「アバターの出し手戦略、感情表現が複数用意されている可能性が有ること」を事前に説明する。

このように実験を行う理由としては、事前に知っていた場合と、そうでない場合でアバターの感情表現や出し手戦略に対してどのように注目するか確認するためである。被験者は20代の学生10人を対象として実験を行った。また、本文ではインタラクション効果に関わる部分のみ考察を行うものとする。

5.2 実験結果

実験結果を図15～18に示す。まず、アバターの出し手戦略については「どちらともいえない」の回答が半数を占める結果となり、この結果を被験者にインタビューしたところ、「読めている部分と読めていない部分が五分であった」との回答を得ることができた。特に後半の逆しつぺ返し戦略になったところで出し手を模索する様子が確認できたため、切り替わったタイミングは理解できても、どのような戦略かは理解できずにゲームを終了してしまった被験者もいたと思われる。

戦略の読みやすさについては、2回目の方が戦略を読みやすかったという意見が多く、これは1回目は出し手が3種類であることに対して、3の倍数で出し手

戦略が変化しなかったことで戦略が読みにくかったことと、ゲーム自体に慣れてきたことが起因していると

相手の戦略を読むことができましたか？

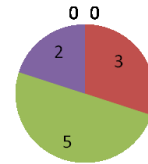
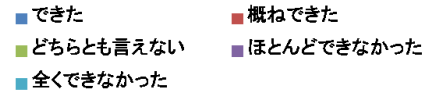


図15 アンケート2の結果

1回目と2回目のどちらの方が相手の戦略を読みやすかったですか？

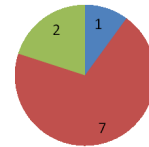


図16 アンケート5の結果

アバターの感情変化や出し手戦略によって、自分の出し手が分からなくなる(混乱すること)がありましたか？

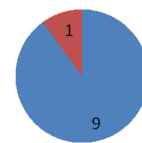


図17 アンケート6の結果

6で「あった」を選んだ方のみお答えください。それは1回目、2回目のどちらですか？

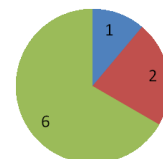


図18 アンケート7の結果

考える。そして、ほとんどの被験者がアバターの感情変化や出し手戦略によって混乱したと言う結果が得られた。これにより、アバターと被験者の間で読み合いによるインタラクション効果が確認できたと考える。また、1回目と2回目の両方で混乱した被験者が全体の過半数を占めていたが、2回目のみで混乱した被験者が比較的多かった理由として、1回目は出し手戦略が切り替わったタイミングと同時に感情変化則も切り替わったのに対し、2回目は出し手戦略の途中で感情変化則が切り替わったため混乱したと考える。

6. 考察

インタラクション効果については、まずアンケートの5の結果より、被験者ほとんどの被験者がどちらともいえない以外の回答を選択しているため、相手の出し手戦略を読み合おうとしている様子が伺える。また、アンケートの6、7の結果より、アバターの感情変化や出し手戦略が被験者の出し手決定について影響を与えているため、被験者が混乱した場面があったと考える。このため、アバターと被験者の間で十分なインタラクション効果が発生していると考え。さらに、アンケートの8の結果に注目すると、1つ目のゲームに関する詳細な内容を説明していないグループでは、アバターの身振り手振りや表情変化の感情変化に注目した被験者が多く、もう1つのグループでは、出し手戦略のみ、もしくは感情変化と出し手の両方に注目した被験者が多いという結果になっている。このことから、ルールの詳細を伝えなくともアバターへ注目する機会が多かった結果になっているため、アバターの感情表現が被験者の出し手決定に与える影響の割合が多いと考える。

7. まとめと今後の課題

7.1 まとめ

本研究で行った実験の結果、インタラクションゲームを用いたシミュレーションシステムをVR技術を用いて実装を行ったことにより、人と画面内のアバターとの間でインタラクション効果が起こることが確認できた。この結果から、本研究で実装を行ったシステムをHMDを用いて利用することで、ロボットの振る舞いが人間に与える影響を調査可能なシステムを実装できたと考える。また、Unityとオブジェクト指向言語を用いて実装を行ったことにより、クラスの継承を行うことで記述するスクリプトの削減を行うことができたため、プログラミングに対して知識のある

方ならば、容易に様々な状況でのシミュレーションが可能になったと考える。これから、ロボットと我々人間が接する機会が増えることが予想されるため、容易に様々なシミュレーションが行えることで、ロボットを施設やイベントに導入する際にロボットの振る舞いからストレスを感じる機会を削減するためのシミュレーションが可能になったと言える。

7.2 今後の課題

実験の結果から得られた意見として、出し手戦略を読みきった被験者も数名確認できたため、アバターとより深い読み合いをしてもらい、インタラクション効果を向上させるために複雑な出し手戦略を実装可能なインタラクションゲームを実装する必要が有ると考えた。

また、そのようなインタラクションゲームを実装した場合には長期戦になる確率も上がり、3D酔いになってしまう確率も上がってしまうため、対策として、途中で休憩を入れられるような機能の実装していきたい。

参考文献

- [1] Robots Are Coming for Jobs of as Many as 800 Million Worldwide”, Bloomberg Technology,2017,<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-11-29/robots-are-coming-for-jobs-of-as-many-as-800-million-worldwide>
- [2] 人間とロボットとの円滑なコミュニケーションを目指して (<特集> HAI: ヒューマンエージェントインタラクション), 小松孝徳, 開一夫, 岡夏樹, others, 人工知能学会誌, 2002
- [3] 人間・ロボット協調作業時に被るストレス計測, 藤田真理奈 and 加藤龍 and 新井民夫, 精密工学会学術講演会講演論文集 2010 年度精密工学会秋季大会, 2010, 公益社団法人 精密工学会
- [4] Celso M. de Melo Peter Carnevale and Janathan Gratch, 2010, The Influence of Emotions in Embodied Agents on Human Decision-Making, <http://ci.nii.ac.jp/els/110009911850>
- [5] 木村将治 牧野泰裕 小倉和久 小高知宏 2002, 繰り返しじゃんけんゲームを対象とした固定的戦略による知識表現と遺伝的アルゴリズムによる知識獲得” pp479-483, 電気情報通信学会論文誌 D-1Vol.J85-D-INo.5