

Title	アバタとの心地よい関係を築くためのパーソナルスペースの計測と評価
Sub Title	Measuring and evaluating personal space to build a comfortable relationship with avatar
Author	盛, 翔宇(Sheng, Xiangyu) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsuro)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度システムエンジニアリング学 第376号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002024-0037

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2024 年度

アバターとの心地よい関係を築くための パーソナルスペースの計測と評価

盛 翔宇

(学籍番号：82333276)

指導教員 小木 哲朗

2025 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

Measuring and Evaluating Personal Space to Build a Comfortable Relationship with Avatar

Xiangyu Sheng
(Student ID Number : 82333276)

Supervisor Tetsuro Ogi

March 2025

Graduate School of System Design and Management,
Keio University
Major in System Design and Management

論 文 要 旨

学籍番号	82333276	氏 名	盛翔宇
論文題目： アバタとの心地よい関係を築くためのパーソナルスペースの計測と評価			
近年、メタバースやアバタロボット等、いろいろな場面でアバタを介したソーシャルコミュニケーションが利用されるようになってきた。アバタの使用はエンターテインメント、仕事、遠隔教育、医療と接客など広い分野で活躍している。米国の独自調査によると、2030 年にアバタ市場規模は約 68 兆 5,796 億円に達する見込みである。 我々は日々他人と同じ空間でコミュニケーションを取ることを避けられない。空間に対する判断と感覚、また人がその空間に存在すれば、自然に対人距離を考え始める。誰かがもし近づきすぎると、ハラスメントや嫌な感覚を持つ人が少なくはない。一方で、現実世界では心地よい人間関係を形成するためにパーソナルスペースが意識されるように、アバタとのコミュニケーションにおいても、相手のアバタの侵入によって不快を感じるパーソナルスペースが存在する。 本研究では、アバタとの間で心地よい関係を保ったコミュニケーションを実現することを目指し、初めに実空間、メタバース空間、アバタロボットの各環境において、ユーザが感じるパーソナルスペースの計測、評価実験をそれぞれの制約で 2 回行う。次に実験結果を正しく分析し、アバタを対象に感じられるパーソナルスペースの範囲を確定し、サイズに関わる影響要因を洗い出す。最終的に現実空間とメタバース空間の統合的理解を深め、多様なアバタとユーザ特性への適応した動的な環境適応型パーソナルスペースのモデルを構築したいと考える。 以上の目的として、実験を行った。一人称視点による被接近実験の手法で、実空間内でロボットや人間を対象とした正面におけるパーソナルスペースを 1 人 2 回計測し、SD 法によるアンケートで評価した。また、上記の同じ手法と流れを用い、仮想空間の中でロボットアバタ、人間アバタを対象とした正面におけるパーソナルスペースを 1 人 2 回計測し、SD 法によるアンケートで評価した。 実験の結果、それぞれ実空間と仮想空間におけるパーソナルスペースの比較を行い、実空間より仮想空間におけるパーソナルスペースのほうが大きいことが示された。また、実験 1 の結果によると、人間とロボット対象とした間にパーソナルスペースは有意差がなかったが、更に検証するため低身長人間アバタ(ロボットと同身長)、高身長ロボットアバタ(対象人間と同身長)を対象に実験 1 を繰り返し、実験 2 を実施した。実験 2 の結果によると、高身長ロボットアバタのパーソナルスペースはロボットアバタより有意に大きく、人間アバタよりも有意に大きいことが分かった。 これらの結果から、CG 映像は実物よりネガティブな印象を与えることがパーソナルスペースに影響しているではないか。仮想空間でも、ロボットの身長がパーソナルスペースに影響を与え、身長が同じであれば、人間よりロボットのパーソナルスペースのほうが大きいことが分かった。			
キーワード (5 語) メタバース、バーチャルリアリティ、パーソナルスペース、アバタ、ロボット			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	82333276	Name	XIANGYU SHENG
Title Measuring and Evaluating Personal Space to Build a Comfortable Relationship with Avatar			
Abstract In recent years, social communication through avatars has been used in a variety of situations, such as the metaverse and avatar robots. Avatars are being used in a wide range of fields, including entertainment, work, distance learning, medical care, and hospitality. According to an independent U.S. study, the Avatar market is expected to reach approximately 68,579 trillion yen by 2030. We cannot avoid communicating with others in the same space daily. We naturally begin to think about our judgments and perceptions of space and the interpersonal distance we feel when we are in that space. When someone gets too close, many people feel annoyed or uncomfortable. On the other hand, just as people are aware of their personal space to establish comfortable relationships in the real world, there is a personal space in avatar communication where people feel uncomfortable because of the intrusion of the other avatar. In this research, aiming to realize communication that maintains a comfortable relationship with an avatar, we first conduct two experiments to measure and evaluate the user's personal space in real space, metaverse space, and an avatar robot environment, with each constraint. Next, the results of the experiments are properly analyzed to determine the range of personal space felt by the avatar and to identify the factors that affect the size of the personal space. Finally, I hope to develop an integrated understanding of real and metaverse space and build a model of dynamic environment-adaptive personal space that adapts to diverse avatars and user characteristics. Experiments were conducted with the above objectives in mind. Using the first-person perspective approach experiment method, we measured the personal space in front of a robot and a human subject in a real space twice per person and evaluated the results with a questionnaire using the SD method. Using the same method and procedure as above, the personal space in front of a robot avatar and a human avatar in a virtual space was measured twice per person and evaluated by a questionnaire using the SD method. The results of the experiments showed that the personal space in the virtual space was larger than that in the real space. According to the results of Experiment 1, there was no significant difference in personal space between the human and robot subjects. To further verify this, experiment 1 was repeated with a short human avatar (the same height as the robot) and a tall robot avatar (the same height as the human subject), and Experiment 2 was conducted. The results of Experiment 2 showed that the personal space of the tall robot avatar was significantly larger than that of the robot avatar and significantly larger than that of the human avatar. These results suggest that the CG images may have created a more negative impression than the real images, which may have affected personal space. Even in virtual space, the height of the robot affected the personal space, and for the same height, the personal space of the robot was found to be larger than that of the human avatar.			
Key Word (5 words) Metaverse, Virtual Reality, Personal Space, Avatar, Robot			

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.1.1	現実におけるパーソナルスペース	1
1.1.2	アバタの発展	5
1.2	先行研究と課題	7
1.2.1	メタバースにおけるパーソナルスペース	7
1.2.2	アバタとのコミュニケーション	8
1.2.3	先行研究と社会の実用から抱える課題	9
1.3	本研究のアプローチ	11
1.3.1	様々な環境におけるアバタのパーソナルスペースの計測と評価	12
1.3.2	デジタルツインの視点からパーソナルスペースの活用	12
1.4	本研究の目的	13
第 2 章	仮想空間における測定システムの設計	15
2.1	プラットフォーム	15
2.1.1	ソーシャル型メタバース VRchat	15
2.1.2	仮想空間（ワールド）の構築	16
2.2	使用したアバタの作成	19
2.2.1	VRoid Studio によるアバタの生成	19
2.3	システムの構成	23
2.3.1	距離や位置情報を記録する機能	24
2.3.2	実空間の情報計測と再現	26
2.3.3	ユーザの身長や瞳孔間距離についての設定	26
2.3.4	システムの構造	26
第 3 章	計測実験	29
3.1	概要	29
3.2	実験の条件設定	30
3.2.1	被験者 & 対面する対象相手	30
3.2.2	実験環境	36
3.3	実験装置	37
3.4	実験 1 現実空間におけるパーソナルスペースの測定	38
3.4.1	実験目的	38
3.4.2	実験方法	38

3.5	実験 2 仮想空間におけるパーソナルスペースの測定	41
3.5.1	実験目的	41
3.5.2	実験方法	41
3.6	SD 法によるイメージ測定のアナケート	45
3.6.1	概説	45
3.6.2	アナケート項目の選択	46
3.6.3	アナケートの構成	47
第 4 章	結果分析と考察	50
4.1	現実空間と仮想空間の比較	50
4.2	異なるアバタの比較	51
4.3	評価と考察	58
第 5 章	今後の課題および実装展開	60
5.1	今後の課題	60
5.2	実装展開	60
5.2.1	現実空間の具体例分析（遠隔接客サービス）	61
5.2.2	仮想空間の具体例分析（バーチャルイベント）	61
第 6 章	結論	63
参考文献		65
外部発表		68
謝辞		70
付録		72
仮想空間におけるパーソナルスペース計測システムの機能実現のソースコード ..		72
アナケート構成の詳細		73

図目次

図 1-1 人間の相互距離 ^[1]	2
図 1-2 身体を中心とした刺激値の布置を示すモデル ^[4]	3
図 1-3 分身ロボットカフェ DAWN VER.B	7
図 1-4 AL が開発したアバターロボット「JET」 ^[18]	8
図 1-5 空港における遠隔ナビゲーション実験のシーン ^[19]	10
図 1-6 メタバース上のハラスメント行為の区別 ^[20]	11
図 1-7 メタバース上のハラスメント経験率と目撃率 ^[20]	11
図 2-1 VCC の操作画面	15
図 2-2 META QUEST LINK の操作画面	17
図 2-3 VRCHAT SDK コントロールパネルの操作画面	18
図 2-4 VRCHAT の信用システム（レベルシステム） ^[21]	19
図 2-5 VROID STUDIO の操作画面 ^[22]	20
図 2-6 VROID STUDIO におけるアバタモデルの生成	21
図 2-7 アバタ変換ツールの操作パネル	22
図 2-8 アバタのアップロード	23
図 2-9 対象相手の位置情報と保っていた距離	25
図 2-10 コントローラーの操作指令	25
図 2-11 QUEST3 レンズ調整の対照 ^[23]	26
図 2-12 仮想空間パーソナルスペース測定表示システムの構造図	26
図 3-1 実験の流れ	29
図 3-2 今回使用する機体（筆者撮影）	31
図 3-3 アバタロボット PEPPER の物理構成 ^[23]	31
図 3-4 CHOREGRAPHE の操作画面	32
図 3-5 PEPPER の制御プログラム	33
図 3-6 ボックスのパラメータ設定	33
図 3-7 女性アバタ	34
図 3-8 男性アバタ	34
図 3-9 ロボットアバタ	35
図 3-10 異なる身長アバタの一覧	35
図 3-11 慶應義塾大学 協生館 3 階 N17 ラボ前（筆者撮影）	36
図 3-12 左は現実空間、右は仮想空間（筆者撮影）	37
図 3-13 QUEST3 ^[23]	38
図 3-14 現実空間における被接近実験	39
図 3-15 現実空間パーソナルスペース測定記録システム	39
図 3-16 人間対象相手とした実験の様子（筆者撮影）	40
図 3-17 アバタロボット対象とした実験の様子（筆者撮影）	40
図 3-18 VRCHAT のホール画面	41
図 3-19 リアル身長データの入力	42

図 3-20	視点高度の入力	42
図 3-21	仮想空間上アバタの身長の確認	43
図 3-22	被験者および対象相手の現実空間での位置と移動	44
図 3-23	仮想空間人間アバタ対象相手とした実験の様子	44
図 3-24	仮想空間高身長ロボットアバタ対象相手とした実験の様子	45
図 3-25	SD 法アンケート尺度についての事前調査	46
図 3-26	SD 法尺度の選択	47
図 4-1	現実空間と仮想空間のパーソナルスペースの測定結果（距離の平均値）	50
図 4-2	接近する対象分けの実験結果（距離の平均値）	51
図 4-3	SD によるイメージ測定のアнкケートの結果 1	53
図 4-4	SD によるイメージ測定のアнкケートの結果 2	53
図 4-5	身長の要因を取り入れた実験の結果（平均距離）	54
図 4-6	SD によるイメージ測定のアнкケートの結果 3	56
図 4-7	SD によるイメージ測定のアнкケートの結果 4	57

表目次

表 4-1	現実空間と仮想空間のパーソナルスペースの測定分散分析	52
表 4-2	異なるアバタの多重比較 1	52
表 4-3	異なるアバタの多重比較 2	52

第一章

第1章 序論

本論文は、様々なアバタを対象とする時に感じられるパーソナルスペースを計測し、影響要因について述べる。それに先立ち、第 1 章では、本研究の背景にある社会課題、関わる科学理論と問題解決に向ける既存の解決策について述べる。

1.1 研究背景

本研究の背景として、パーソナルスペースの定義と理論、アバタの発展、メタバースの市場について述べる。

1.1.1 現実におけるパーソナルスペース

パーソナルスペース(Personal Space)とは、他人とコミュニケーションや社会的活動を行う時に、人間関係において重要な存在だと考えられる。パーソナルスペースは個人空間でも言うことで、歴史上に数多くの分野の研究者が研究を行っている。

1.1.1.1 プロクセミクス理論

アメリカの文化人類学者エドワード・ホールは 1966 年提唱した。中心的なテーマは、社会的・個人的空間と、人間によるその知覚との問題である。文化の一つの特殊化した作品として人間の空間利用の問題についての観察と学説のために、プロセミクスという語をつくった。[1]

プロクセミクスとは、人間の空間利用と人口密度が行動、コミュニケーション、社会的相互作用に及ぼす影響を研究する学問である。プロクセミクスは、非言語コミュニケーションのいくつかのサブカテゴリーのうちの一つで、他には触覚(ハプティクス)、身体の動き(キネシクス)、副言語(ヴォカリクス)、時間の構造(クロネミクス)などが含まれる。[2]

パーソナルスペースとは、人が心理的に自分自身のものとみなす周囲の領域のことである。大多数の人々は自分の個人空間を大切にしており、その空間が侵されると不快感、怒り、あるいは不安を感じる。

通常、他人のパーソナルスペースに入るとは親しみや時には親密さの表れである。しかし、現代社会、とりわけ混雑した都市部では、例えば混んでいる電車、エレベーター、または通りの中でパーソナルスペースを保つことが難しい場合がある。多くの人々はそのような身体的な近接性を心理的に不快で気持ち悪いと感じる。[1]

また、Hall は以下のチャートのように人間の間にある相互の距離(人と人との相対的な距

離)を4つの異なるゾーンに分類し,説明した.

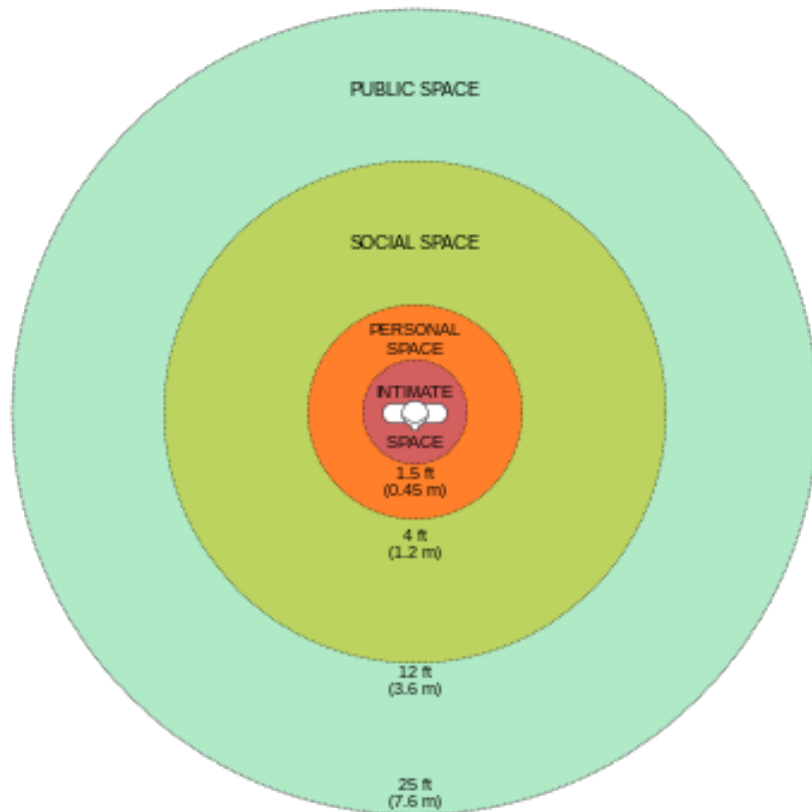


図 1-1 人間の相互距離^[1]

(1) 親密距離 (Intimate Distance)

0 フィートから 1.5 フィート(約 0 メートルから 0.45 メートル)までで,非常に親しい関係にある人(家族やパートナーなど)との間で見られる. 接触や個人的なコミュニケーションが特徴的である.

(2) 個人的距離 (Personal Distance)

1.5 フィートから 4 フィート(約 0.45 メートルから 1.2 メートル)の範囲. 友人や同僚との日常的な対話に適した距離であり, 私的な会話が可能である.

(3) 社会的距離 (Social Distance)

4 フィートから 12 フィート(約 1.2 メートルから 3.6 メートル)の間. ビジネスや公式な場でのやりとり, 見知らぬ人との対話に用いられる. この距離では, 社会的役割が強調される.

(4) 公的距離 (Public Distance)

12 フィート以上 (3.6 メートル以上). 講演, 公共空間での演説, パフォーマンスなど, 広い範囲の人々に対するコミュニケーションに適している.

1.1.1.2 形態

パーソナルスペースはただ正面にあるわけではなく, 全身に取り巻く空間である. この空間は三次元で立体的な存在だと考える.

Hall は「不規則な形をした風船のようなもの」と説明し, Sommer も「必ずしも球形ではなく, すべての方向に等しく広がっているのでもない. 人は前方に比べると, 横に未知の人が近づくことに寛容になれる」と述べている. [3]

パーソナルスペースが異方的な構造を有することが確認されたと考える. 特にこの異方性は, 身体の中面に対する角度に関しての変化として得られ, 正面からの角度が増大するに従って, 対人距離は単調に減少することが示された. [4]

(正 面)



図 1-2 身体を中心とした刺激値の布置を示すモデル^[4]

田中の研究においては、一定の主観的基準によってとられた距離を「自己」にとって、他者の刺激価の等しい距離」と見做した。もちろん、この操作によっても、パーソナルスペースの 1 つの側面をとり出したにすぎないが、「他者の刺激価」という変数を導入することは、パーソナルスペースの構造を考える上で利点があると思われる。すなわち、等圧線あるいは等高線のように各方向についてこの距離を結んでできる閉じた曲線は、平面上で「他者の刺激価の等しい」点を連続的に表わすと考えられる。[4]

また、鈴木の研究においては、パーソナルスペースの方向については、正面、真後ろ、右横、左横の四方向が考えられるが、視察により左右に差がみられないので、左右については右横についてのみ述べる。[5]

1.1.1.3 影響要因

Sommer の研究によると、パーソナルスペースは性別、年齢、身長、文化背景、人間関係などの多くの要因に依存していることが分かった。[6]その内、最も議論された性別と人間関係について展開して述べる。

(1) 性差

上記の内容でパーソナルスペースは対象によって変化することを分かったが、人間の違いは一番重要なことは性別である。男女ペアでも男性が女性相手か女性が男性の場合には異なる距離感を持つだろう。

青野氏は歴史上の先行研究に巡り、対人距離の性差を従属仮説の観点からまとめた。結果について、まず「被験者の性」に関して、女性被験者< 男性被験者という結果もあれば、女性被験者> 男性被験者という結果もある。一方で、「接近者の性」についての結果はほぼ一貫しており、女性接近者<男性接近者となっているものが多い。[7]

(2) 人間関係

Hall はパーソナルスペースを親密さで 4 つのゾーンに分類したことが分かった上で、各ゾーンにおいても、また人間関係がパーソナルスペースの大きさに影響している。

例として、渋谷氏の研究は接近する人が見知りの人または知人の条件として実験を行った。結果として、パーソナルスペースの大きさと形は実験条件に左右されるため、明らかにされたのは普遍的なものではなく、日本の大学生のパーソナルスペースの一例ということになる。人が持っていると感じている感覚的なパーソナルスペースは、対人場面でのパーソナルスペースに比べて極めて大きいことがわかった。人が持っていると感じている感覚的なパーソナルスペースは、人が期待するパーソナルスペースであるとも考えることもできる。また、接近実験によって確かめられたパーソナルスペースは感覚的なパーソナルスペースに比べて極めて小さいものであった。最後に、接近実験を通して、パーソナルスペースは相手との関係(知り合い

の程度と相手の性)によって変化することがわかった。[8]

1.1.1.4 計測方法

パーソナルスペースは立体的な空間であり、計測は昔から問題となる。これまでは概ね 2 種類の方法が利用されていた。

一つ目は人間の代用物を操作して距離を測定する「投影法」である[5]。

二つ目は実人間を対象とし、相手が被験者に近づいていき、不快を感じる時点で相手を止め、距離を測る被接近実験である。[4] (本研究が用いた手法)

これ以外、相手の人物像を見せ、座標系がある白紙に自分が感じられる空間の大きさを描く手法もある。[9]

1.1.2 アバタの発展

アバタという言葉はジェームズ・キャメロン監督による SF 映画「アバタ」が 2009 年に上映し、大ヒットした後に世間に知らされたと考える。映画の中で、主人公は分身であるアバタを操作し、宇宙に冒険を行ったストーリーだった。10 何年後の今は、アバタはもはや身近な存在であり、人間生活と仕事の大事なパートナーになっている。人間社会に便利さと娯楽を貢献している。

アバタ(Avatar) は、主にコミュニケーションで用いられる自分(ユーザ)の分身となるキャラクターのこと。例として、SNS のアイコン、VR 上ユーザが操作するバーチャルキャラクター(メタバース内のアバタ)、遠隔操作で使用したロボット(アバタロボット)などが挙げられる。

本節は主に本研究が使用したメタバース内のアバタとアバタロボットを中心に述べる。

1.1.2.1 市場規模と応用事例

世界範囲の市場規模について、米国の調査会社 Emergen Research の調査によると、2020 年の世界のアバタ市場規模は 100 億 3,000 万米ドル(約 1 兆 3,000 億円)である。アバタは主にエンターテインメントで使われているが、教育や小売でも活用が検討されており、2030 年には市場規模が 5,275 億 8,000 万米ドル(約 68 兆 5,796 億円)に達すると予想されている。[10]

また、国内では、矢野経済研究所の調査で、2021 年のアバタ市場規模は 744 億円だ。メタバース事業に参入する企業が増え、オンラインイベントなどの仮想空間利用が進み、2026 年には市場規模が 1 兆円まで拡大すると予想されている。[11]

アバタ市場が将来的に伸びる理由としては、COVID-19 の直接的な影響が大きく、学校側がオンライン遠隔教育モードを開始したため、コミュニケーションを取れるような会話型の人工知能(AI)を今後より活用される見込みである。そこで、人工知能をどういう形でビジュアル

化する課題に対して、アバタの使用が一つ重要なアプローチ方法だと考えられる。

例として、雨宮・青山・加藤らの研究はオンライン会議ソフトウェアを活用し、カメラ画面が映る教師の画像を代わりにバーチャルアバタの画面を映り、受講希望度が授業への積極的参加行動に与えた効果について実験を行った。

実験結果から授業コンテンツに並べて表示される講師の実写アバタに対する受講希望度が高いときほど、受講生の発言数（視聴コメント数）が増加したことが示された。

また、CG アバタを用いたナビゲーションシステムも数多く研究されている。例として、村田らの研究は、AR 技術を用いた CG アバタによる道案内システムを構築できた。

1.1.2.2 メタバース内のアバタ

メタバースとはコンピュータの中に生成された仮想空間であり、仮想空間中ユーザがアバタを操作することで、娯楽、コミュニケーション、仕事、勉強などのサービスを利用できる。

アバタの外見は、性別、顔、髪型、服装などがユーザによって自由に設定可能である。これにより、メタバース空間における自己表現の一環として、ユーザは自身が望むあらゆるキャラクターを選び、演じることができる。例として、性別は自分の現実の性別に拘束されることなく、男性、女性、その他多様な性別表現を選択できる。顔は細部までカスタマイズ可能で、現実の自分の顔に似せることも、完全に異なる顔を作り出すこともできる。服装は日常の服装からファンタジー要素のある衣装まで、幅広い選択肢が存在する。

このような自由度により、ユーザは現実世界の自分に似せる選択をすることも可能であるが、必ずしも本人と同じ外見にする必要はない。年齢や性別を変更する、あるいは動物やモンスターの姿に変身することも許容されている。これは、メタバースが提供する自己表現の可能性を広げ、個々のユーザの創造性やアイデンティティの探索を促進する一因となっている。

1.1.2.3 アバタロボット

アバタは仮想空間に限らず、実空間、要するに我々が生きている世界でも活躍している。ロボットは機械でありながら生き物の仕草、表情、移動ができる存在で、アバタの良い化身になれると考え、アバタロボットが誕生できた。

近年、アバタロボットを用いた遠隔接客サービスが利用されるようになっていく。そうしたロボットの多くは、人手不足の解消と人件費の削減、そして集客の目玉として利用されている。しかしながら、株式会社オリイ研究所が運営する分身ロボットカフェ DAWN ver.β では、重度の障害などの理由で外出が困難な従業員がアバタロボット OriHime を遠隔操作し接客サービスを提供している。大串らの研究は上記の事例もとに、アバタロボット OriHime を通じたサービスはどのような価値を創造しているかについて分析し、考察を行った。[13]



図 1-3 分身ロボットカフェ DAWN ver. β

1.2 先行研究と課題

1.1.1 において、最初にパーソナルスペースという概念の提出、発展について述べたが、仮想空間においてもパーソナルスペースが意識されているか、また、どんなことが影響しているかについて、本節は歴史からの先行研究をまとめて述べる。

前記の内容を基に様々な環境におけるパーソナルスペースから発生した課題についても述べる

1.2.1 メタバースにおけるパーソナルスペース

初めに、メタバースという仮想空間の中で、現実と同様に他のユーザとコミュニケーションをする場面が多いため、本人の顔を知らなくともパーソナルスペースを感じられるだろう。

伊藤らの研究は現実世界状況法と停止距離法に着目して、仮想空間であっても実空間と同様に、パーソナルスペースの存在が確認できた。また、接近対象 X 接近方向の相互作用を確認したため、実験を行った。実験の結果から、接近対象によってパーソナルスペースの大きさの違いが認められ、ロボットがモノである彫刻の場合より大きいことが分かった。また、彫刻の場合は、接近方向の前後でパーソナルスペースの大きさに違いがなかったのに対し、ロボットに対しては、前側の方が後ろ側よりも大きいことがわかった。[14]

また、伊藤らは VR 空間におけるパーソナルスペースに対する性の影響について研究を行った。性(個人的要素)に着目すると、物理空間におけるパーソナルスペース 研究では、男性と男性(MM)、女性と女性(FF)、男性と女性(MF/FM)の組合せの順にパーソナルスペースが大きくなるとの結果が数多く報告されているが、伊藤らの研究においては「男性の方が女性よりもパーソナルスペースが大きい」は確認できた。

Wang らの研究から、ユーザは人間の通常的身長のアバタを好む可能性がある。実験の

結果は、エージェントの身長が 2.7 メートルになると、受容性は急激に低下し、参加者の 33.33% のみがそれを受容できたことが分かった。[15]

1.2.2 アバタとのコミュニケーション

初めに、人間にとってコミュニケーションとは何かについて、意思疎通の意味合いで、情報の伝達という行動だと考える。コミュニケーション手段は主には四つの基準を考える。それは、コミュニケーションの実時間性(リアルタイム性)、相互性(インタラクティブ性)、多相性(マルチモダリティ)、そして射程である。[16]

また、コミュニケーションの実態も何種類があり、主に目的から、無人の遠隔接客サービス、無接触の遠隔授業、空港や交通機関などの公衆の場にあるナビゲーションロボットなど。様々のアバタが社会の運作の中に重要な役目を果たしている。

例として、ソフトバンクの Pepper は動きや会話をかんたんにプログラミングすることが可能である。専用のツールを用いて、話題のプログラミング体験ができるほか、Society5.0 において重要な課題解決能力も身につけることができます。ご利用頂く指導者様向けの便利なツールも準備がございます。全国約 1,300 校の実施中で、現在授業 50,000 回の実績があり、好評を得ている。[17]

また、日本航空(JAL)はインディ・アソシエイツの遠隔操作ロボットをベースに、空港での活用を想定したアバターロボット「JET(ジェット)」を開発した(図1-7)。JAL は 2019 年 4 月 22 日から 4 月 24 日まで、国土交通省および経済産業省によって開設された「Haneda Robotics Lab」と連携し、羽田空港の国内線第 1 旅客ターミナルで JET による空港利用者案内業務のトライアルを行った。[18]



図 1-4 ALが開発したアバターロボット「JET」[18]

1.2.3 先行研究と社会の実用から抱える課題

前記の内容で、パーソナルスペースとアバタの応用について事例や先行研究を元に述べたが、本節はアバタが様々な空間に利用される際にどんな課題が発生するかについて述べたいと考える。

1.2.3.1 現実における空間設計

現実には活躍している様々なアバタロボットは配置される時に、色々な課題に直面すると考えられる。

(1) 空間の使い勝手

身体性の違い：アバタは人間とは異なる形や大きさを持つことが多いため、人間が設計した空間が必ずしもアバタに適していないことがある。例えば、ドアの高さや幅、通路の広さなどが問題になると考えられる。

視覚・聴覚の違い：アバタが持つセンサ（カメラ、マイクなど）の特性に基づく視覚や聴覚の範囲や精度が人間とは異なるため、情報の伝達や受け取り方が変わる。これにより、表示情報や音声ガイドの配置が再考される必要がある。

(2) 安全性

衝突防止：アバタが人々や物体と衝突しないようにするために、空間内に安全な移動経路を確保することが必要だと考える。これにはセンサや AI によるリアルタイムの環境認識が求められる。

緊急時の対応：火災や地震などの緊急事態におけるアバタの避難経路や安全対策も考慮すべき課題だと考える。

(3) インタラクション

ユーザとのコミュニケーション：アバタが人間のユーザとどのように関わるか、特に公共空間での行動パターンやコミュニケーション方法（ジェスチャ、音声認識など）が重要だと考える。

複数のアバタの協調：複数のアバタが一つの空間で効率的に動くためのプロトコルや空間レイアウトの必要性があると考えられる。

以上の課題から、アバタは人間とコミュニケーションを取る前にセンサが正しくユーザを認識できることが必要であり、ある程度の近距離を保たなければ認識がうまく行けないパターンもある。しかし、ユーザ側からの考慮が欠けると思う。なぜならば、1.1 が述べたように、人間はアバタを対象としてもパーソナルスペースを意識していることが分かった上、ゆえに、アバタが

近づいてくるまたは人間がアバタに近づく場合でも、ユーザにとって心理的に圧迫感を与えるので、デザインや動作を工夫する必要があると考える。

例として、ANA ホールディングス発のスタートアップである Avatarin 株式会社は中部国際空港内でスタッフの移動時間の軽減等の効率化及び省人化を目指すとともに、運航便に合わせて遠隔地にいる人材リソースがアバタロボットを活用して案内が可能かどうかの検証を目的に実施した。実験の様子以下の図のように示される。[19]

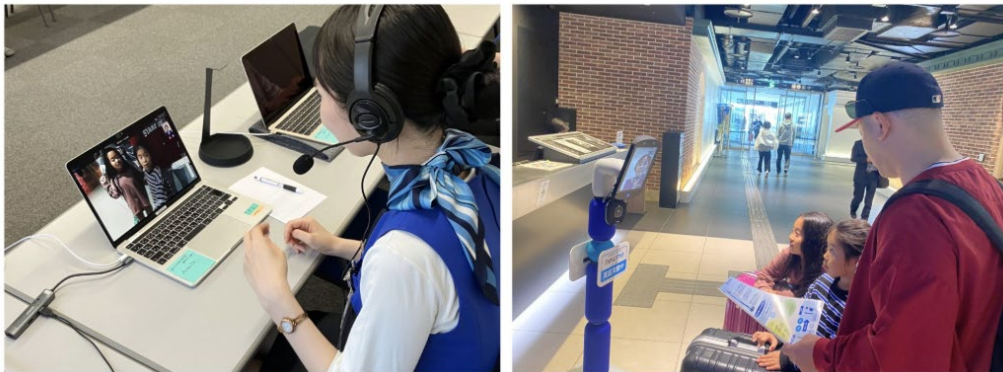


図 1-5 空港における遠隔ナビゲーション実験のシーン[19]

空港のスタッフさんは遠隔にある部屋の中でパソコンを用いてインターネット経由で空港通路にあるアバタロボットに接続し、案内を求める客とコミュニケーションを取っているが、アバタロボットが設置された場所は案内所にある。

しかしながら、客たちはアバタロボットと会話する時に同様に距離を保っているか。また、この実験が用いたアバタを人間扱いされていたかについて解明されていないため、この先に大量のアバタを実用される際に、配置場所や適切な会話距離を確保できるような整備の必要があると考える。

1.2.3.2 メタバース上ハラスメント問題

より没入感が高い世界でハラスメント事件も日々課題になっている。NHK の調査によると、メタバースでのハラスメント経験率と目撃率が両方 50%以上となり、特にパーソナルスペースの立ち入りとその後に発生したハラスメント行為が着目される。

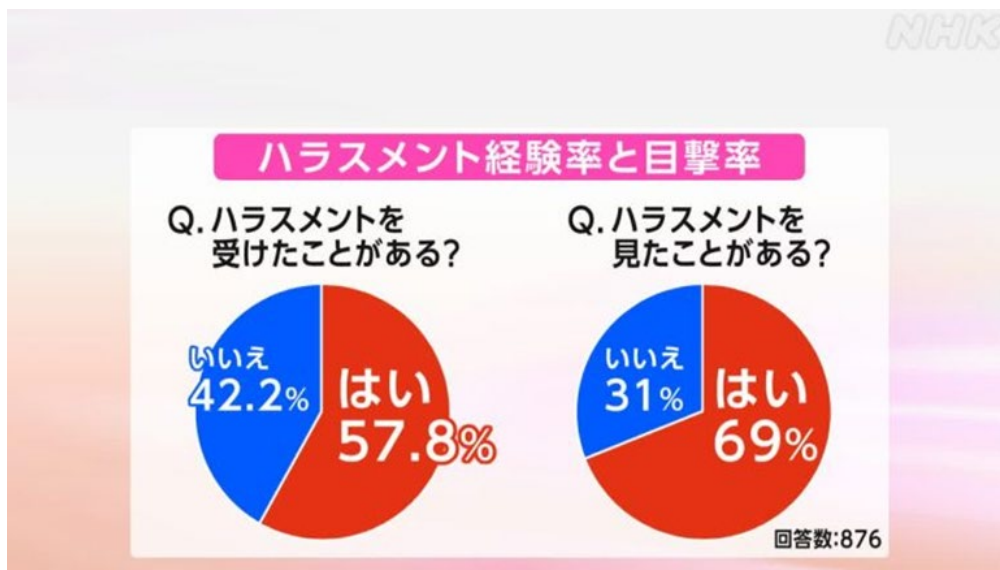


図 1-7 メタバース上のハラスメント経験率と目撃率^[20]

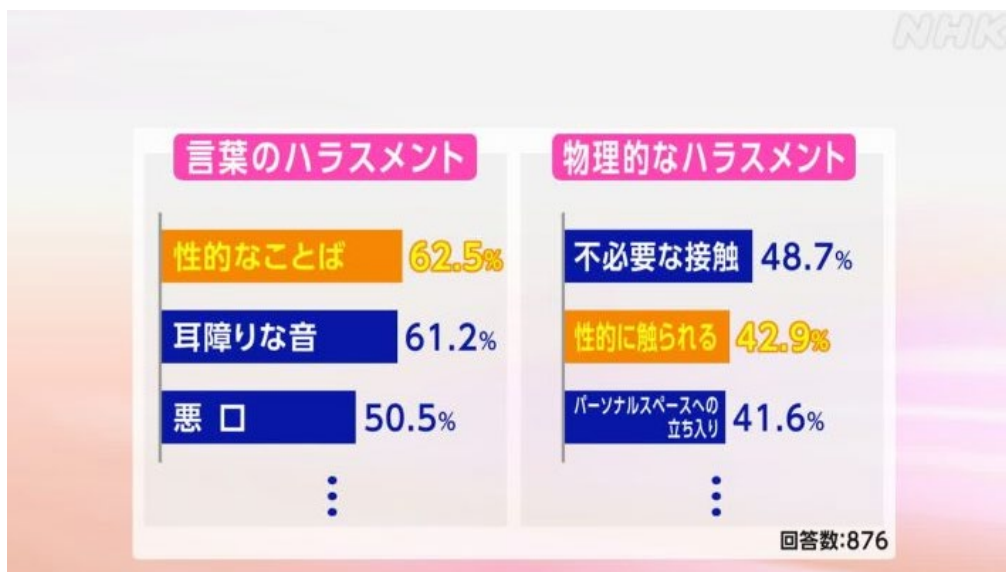


図 1-6 メタバース上のハラスメント行為の区別^[20]

図 1-6 と 1-7 が示されるように、現実も仮想空間にもかかわらずハラスメント問題がメタバースの発展に伴って日々深刻化していることを分かった。

1.3 本研究のアプローチ

今節は先行研究の未解明なところと社会課題の解決を基に、新たなアプローチ方法を提

出し、その実行可能性や効用について述べる。

1.3.1 様々な環境におけるアバタのパーソナルスペースの計測と評価

1.2.1 でメタバースにおけるパーソナルスペースについての先行研究を述べたが、数多くの研究者はアバタのタイプや属性を変数として実験を行った一方で、実験参加者は仮想空間中で感じられる距離感の違いを考慮しなかったと気づき、本研究はリアルティが高い環境の再現し、デバイスや実験プラットフォームなどの制約がある条件で（詳細は後記に記載する）、実験参加者が正しく対人距離を感じさせるよう整備した。

1.3.2 デジタルツインの視点からパーソナルスペースの活用

(1) 現実と仮想空間の相互関係の強化

現実空間でのパーソナルスペースのデータをデジタルツインとして仮想空間に反映させる技術を強化する必要がある。また、仮想空間内で得られたデータを逆に現実空間の空間設計やコミュニケーションの改善に活用する仕組みを構築する。

(2) 動的なデジタルツインモデルの開発

時間や状況に応じてユーザのパーソナルスペースが変化する動的モデルの実現が求められる。特に、性別や感情状態、文化的背景が空間的な距離感に与える影響を反映した適応型デジタルツインが必要となる。

(3) 精度の向上

現実空間のセンサーデータを用いて、より精密なパーソナルスペースモデルを生成する。視線追跡、心拍数測定、身体動作解析などの生体データを統合し、リアルタイムで反映する技術の精度向上が必要。

(4) データセキュリティとプライバシーの課題

ユーザの個人的な空間データを扱う際には、データセキュリティの向上とプライバシー保護のルール作りが不可欠である。

1.4 本研究の目的

本研究では、アバタとの間で心地よい関係を保ったコミュニケーションを実現することを目指し、実空間とメタバース空間の比較を通じて、いろいろなアバタを対象とするパーソナルスペースを明らかにする。そして、様々な環境の空間デザイン、ユーザとのインタラクションの質を高めたい。

(1) 現実空間とメタバース空間の統合的理解

現実空間で得られたパーソナルスペースのデータを基に、仮想空間で再現し、現実と仮想の違いを比較・評価する仕組みを構築する。これにより、異なる環境間での距離感や心理的反応の違いを統合的に理解する。

(2) 多様なアバタとユーザ特性への適応

アバタの種類(性別, 高さ, 外見の異なるアバタなど)がパーソナルスペースに与える影響を考慮し、個々のユーザの心理的快適性を最適化するデジタルツインモデルを開発する。

(3) 動的な環境適応型パーソナルスペースモデル

時間帯, 環境設定(公共空間やプライベート空間など), ユーザの感情状態に応じて、パーソナルスペースが動的に変化する仕組みを検討。例えば、ユーザがリラックスしている場合とストレスを感じている場合では、必要な距離感が異なる可能性がある。

第二章

第2章 仮想空間における測定システムの設計

本章は研究における重要な実験を実行できるための仮想空間における測定システムの設計から実行までの流れについて述べる。

2.1 プラットフォーム

本研究で利用したメタバースのプラットフォームは VRchat で、開発環境は Unity 内の開発である。

2.1.1 ソーシャル型メタバース VRchat

VRChat は、仮想現実 (VR) 空間でユーザが交流するプラットフォームである。2014 年に始まり、自分だけのアバターを作り、他者とコミュニケーションを取ることができる。ボイスチャットやジェスチャーを用いた非言語コミュニケーションが可能で、ユーザ自身がワールドを設計し、共有するのが特徴だ。VRChat は、地理的な制約を超えたコミュニティ形成や、教育、訓練の場としても利用され、心理的健康への貢献も期待されている。しかし、高性能なハードウェアが必要なことや、プライバシーやセキュリティの問題も抱えている。これらの課題を解決しつつ、VR 技術の進化と共に、VRChat はエンターテインメントから社会的なツールへと進化を続けている。[21]

また、VRchat の開発は主に公式から提供されている Unity に連携できるツール VRchat Creator Companion (VCC)を用いた開発トンネルである。

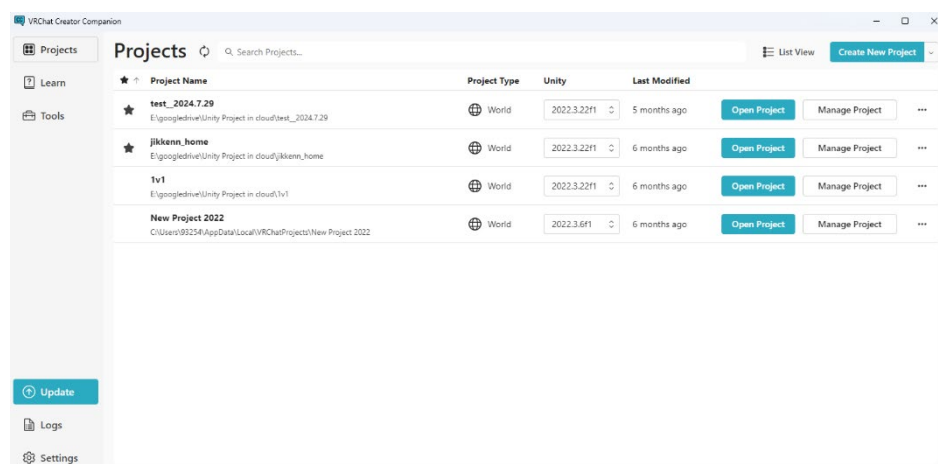


図 2-1 VCC の操作画面

VCC 上作れるプロジェクトの種類としては 2 種類があり、一つは VRchat 上ユーザが接続やインタラクションを取れる仮想空間—World である。もう一つは、VRChat の仮想空間でユーザが演じるキャラクターアバターAvatar である。

2.1.2 仮想空間(ワールド)の構築

VRchat 上の仮想空間(World)を作成する流れは以下になる:

初めに、環境の準備は Unity のインストール: VRChat SDK が推奨する Unity のバージョンをダウンロードしてインストール必要がある。VCC からインストールか直接に UnityHub 上で指定されたバージョンをダウンロードする。

後者の場合は VRChat SDK のインストールが必要で VRChat の公式ウェブサイトからダウンロードし、Unity Hub から新しいプロジェクトを作成し、VRChat SDK をインポートする。

2.1.2.1 ワールドの基本設定

プロジェクトの作成: VRChat Creator Companion (VCC)を使用して新しいワールドプロジェクトを作成し、プロジェクト名は適切に命名し、保存場所も決めて選択する。

VRC_SceneDescriptor の配置: ワールドのスポン地点や設定を管理するため、シーンに VRC_SceneDescriptor Prefab を配置する

2.1.2.2 ワールドの作成

オブジェクトの配置: 床や壁など、基本的なオブジェクトをシーンに配置する。既存のモデルやアセットを利用することもできるが、Quest のスペックに合わせる必要がある。具体的に以下の内容が含まれる。

(1) 最適化:

軽量化するため、ワールドのパフォーマンスを確保するため、テクスチャサイズの削減、アセットの最適化、ポリゴン数の管理などを行う。特に、Quest 版の制限(頂点数など)があるため、パラメータのデータを何度もチェックする。また、プラットフォームはデフォルトの設定で Windows 向けの開発になるので、最後に生成されるワールドの切り替えが必要で、Unity のビルド設定を Android に切り替え、これにより、Quest 版向けに最適化されたワールドが作成される。

(2) テスト:

ローカルテスト: Unity から Build & Test 機能を使い、VRChat クライアントでワールドをテストする。デバッグメニューを有効にして、問題がないか確認する。

次に、Quest デバイスでテストし、動作やパフォーマンスを確認することが可能である。Meta Quest Link というソフトウェアを Meta の公式サイトからダウンロードしインストールし、必要であるドライバをワンクリックでインストールし、パソコンとゴーグルを同じ WIFI に接続する。自動的にゴーグル画面で Unity のシミュレーション画面を見られるようになる。また、Type-C ケーブルでゴーグルをパソコンに繋がることできる。

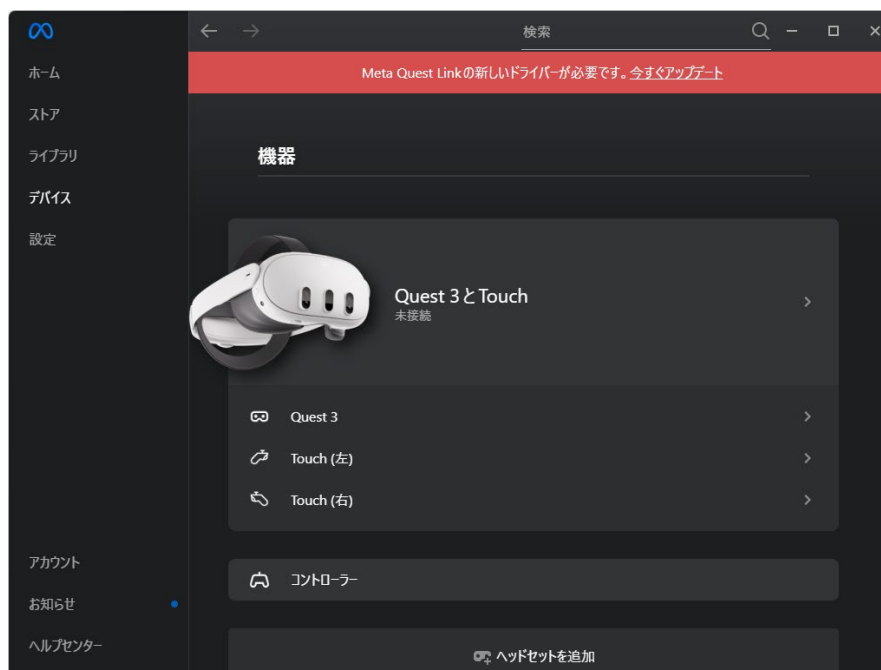


図 2-2 Meta Quest Link の操作画面

(3) アップロード:

VRChat SDK コントロールパネル: ワールドが準備できたら, SDK のビルダーオプションからワールドをアップロードする. プラットフォームを Android に設定し, アップロードする.

サムネイルの設定: ワールドにサムネイルを設定し, 説明を追加する.



図 2-3 VRchat SDK コントロールパネルの操作画面

(4) 公開やアカウント設定:

実は VRChat はユーザレベルによって使える機能が不完全な設定があるため, ワールドをアップロードできるのは少なくともニューユーザ以上のレベルが持たなければならない. 自己アカウントで開発を行う前に, 何時間も VRChat を体験し, 友たちも何人かを追加したらレベルアップになり, 開発機能も無事に使えるようになる.

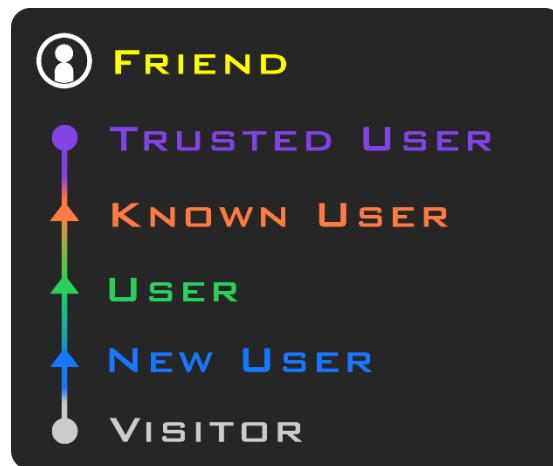


図 2-4 VRChat の信用システム（レベルシステム） [21]

コミュニティーラボズ: 初回アップロード後は, ワールドが自動的にコミュニティーラボズに送られ, パブリックになる前に他のユーザにレビューされる. パブリック化(審査): パフォーマンス問題がなく, 一定の条件を満たせば, ワールドはパブリックに公開される.

このプロセスは基本的な手順であり, あくまで本研究の最適化やテストの方法で, 作成するワールドの規模や内容によって異なる場合があるので, ある程度参考になれると考える.

2.2 使用したアバタの作成

この節は今回の実験で使用した仮想空間中でのアバタをどういうルートで作成し, VRChat のワールドで利用できるようにするかについて述べる.

2.2.1 VRoid Studio によるアバタの生成

VRChat 向けのアバタを作るには様々な方法があるが, 本研究は VRChat 公式サイトに勧められたソフトウェア **VRoid Studio** を用いた作成ルートでアバタを作る.

2.2.1.1 VRoid Studio の概説

VRoid Studio は 3D アバタを作る無料のソフトウェアである. VRChat や他の VR プラットフォーム向けにアバタを作成できる. 3D モデリングの知識なくても高品質なアバタを短時間で作れることが特徴. インターフェースは直感的で, 髪型や目, 服装など細かくカスタマイズでき, アバタは VRM 形式でエクスポートし, VRChat 以外でも使える.

初心者から上級者まで幅広く対応する. 初心者はプリセットからカスタマイズし, 上級者は詳細設定やテクスチャ変更で独自アバタを作成できる. コミュニティも活発で, アセット共有や

チュートリアル交換が行われる。

アクセシビリティが高い。無料で教育的。3D モデリングの基本を学ぶ出発点にもなるが、表現の自由度はそこまで高くない。VR コミュニティで個性を表現するのに強力なツールである。



図 2-5 VRoid Studio の操作画面^[22]

2.2.1.2 作成手順の一例

VRoid Studio でアバタを作成して Unity にインポートし、VRChat にアップロードする流れ:

(1) アバタ作成

VRoid Studio を起動し、新しいアバタを作成、編集。今回の実験においては、現実空間と比較するため、アバタの身長を現実の人間身長データで設定する。服装、靴などは全部デフォルトで無地の服装に選択する。アクセサリを付けない。また、体、顔、髪型と髪色なども全部デフォルトのモデルで生成され、適切な見かけで被験者にできるだけ偏りが発生しないイメージを与えると考える。

上記の設定が完了したら、下記の操作画面のように「VRM エクスポート」でアバタを VRM 形式でエクスポートして、指定された場所に保存する。

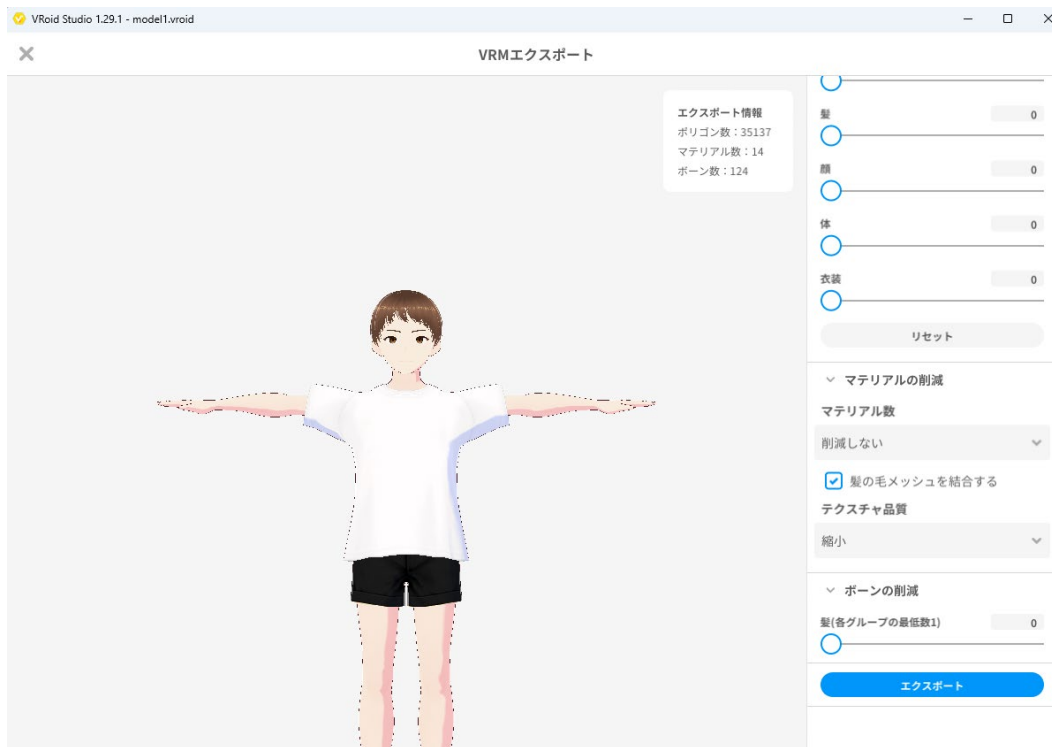


図 2-6 VRoid Studio におけるアバタモデルの生成

(2) Unity の準備

2.1 が述べたように、アバタをアップロードするには、必ず VRChat 公式サイトのドキュメントに従って、手順で VRChat が推奨するバージョンの Unity をインストールする。

VRChat SDK をダウンロードし、Unity にインポート。VRChat Creator Companion (VCC)を使う。(ワールドを作成する際にインポート済みの場合は不要)

(3) VRM ファイルのインポート

Unity を起動し、新プロジェクトを作成する。VRM ファイルを「Assets」フォルダにドラッグ&ドロップし、インポートした VRM ファイルをシーンに配置する。

(4) アバタの設定

アバタにコンポーネントの「VRC_AvatarDescriptor」を追加し、目線やアニメーション、表情などの設定し、シェーダーやマテリアルの調整する。

(5) VRM Converter の使用

ツールに「VRM Converter for VRChat」を導入、「VRM0」→「Duplicate and Convert for VRChat」でアバタを変換。または、まず「Import VRM 0.xx..」をクリックして、(6)が述べる軽量化ツールを使用する。

(6) 軽量化ツールの使用

Quest 版の制限(頂点数など)があるため、テクスチャサイズの削減、アセットの最適化、ポリゴン数の管理などを行う必要がある。今回は VRCQuestTools というツールも用いて、手軽にアップロードできるアバタに変換することができる。

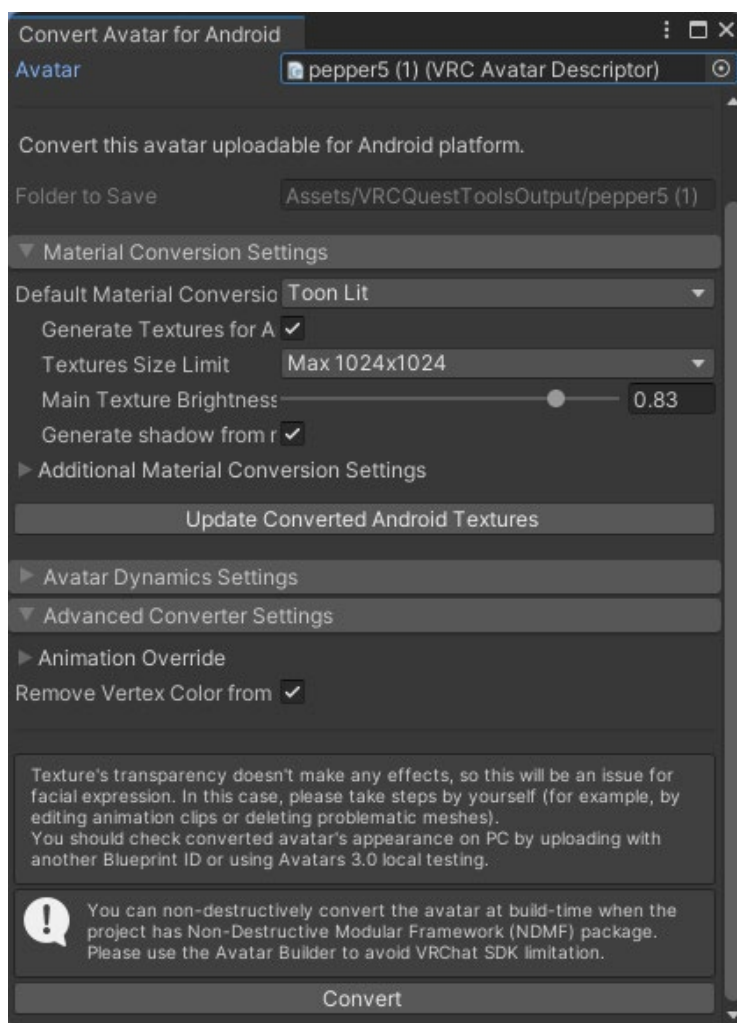


図 2-7 アバタ変換ツールの操作パネル

(7) アップロード準備

VRChat SDK のコントロールパネルでログインし、「Builder」タブでアバタの名前や説明

を入力する。特に、Validations(検証)のところに赤い丸が出たら、アバタのスペックが要求に満たしていないことであるため、(6)や(1)のところでもう一度軽量化の対応が必要である。次に、VRChat へのアップロード「Build & Publish」をクリックし、アップロードする。

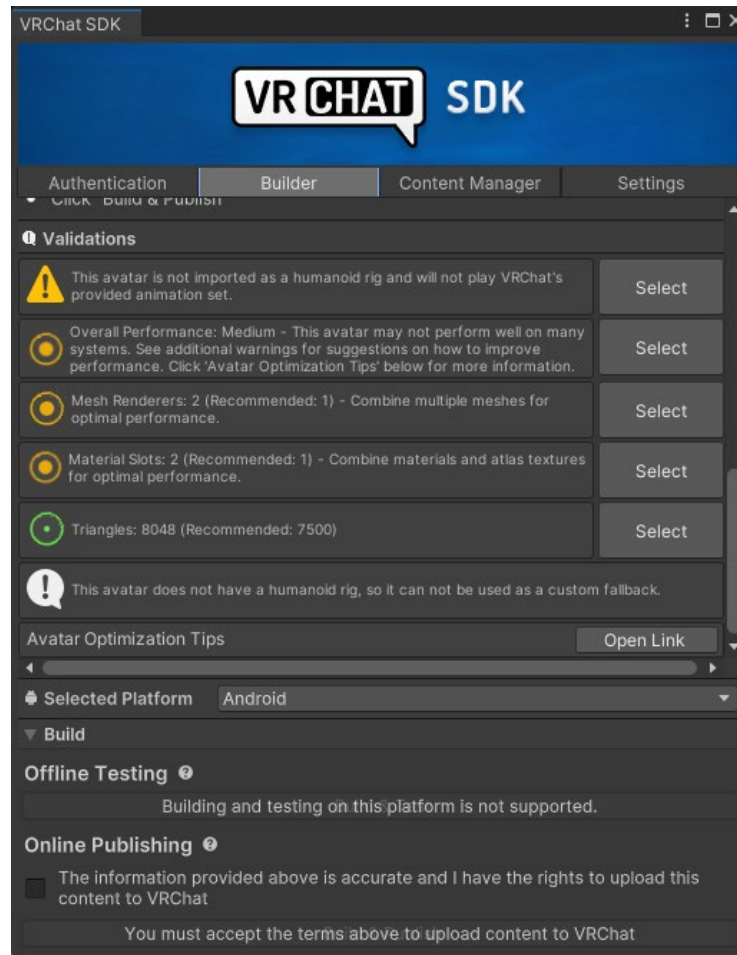


図 2-8 アバタのアップロード

(8) 最終確認

VRChat にログインし、「My Creations」でアバタが表示されるか確認、今回使用するプラットフォームが Quest 版 VRChat のため、アバタが重いとアップロード失敗の可能性があるため、軽量化や最適化が必要。また、2.1 が述べたようにユーザーランクが「New User」以上でないとアップロードできない。

2.3 システムの構成

この節は主に本システムが実現できた機能、設定方法、使用方法について述べる。

2.3.1 距離や位置情報を記録する機能

現実空間においてはメジャで距離を測定する一方で、計算機の0と1のデータによって生成された仮想空間により手軽に距離データの取り方がある。VRChatの公式開発ドキュメントによると、ユーザ現時点の所在地の座標(位置情報)のAPIが提供されているため、正しく何かのインタラクションで記録し、指定した場所にデータを保存するか反映されることを実現できると考える。

実現するための流れは以下となり。

(1) 距離や位置情報の記録

最初に、スクリプトが搭載できる対象が要するため、エンプティ一つを作成し、Position Recorderと名付けする。

VRChat内のインタラクション開発は必ずUdonのフレームワーク下で行われるため、AssetsのところにCreate>VRchat>Udon>Udon C# Program Asset一つ作成し、同じくPosition Recorderと名付けする。このファイルのInspectorにSource Scriptが自動生成する。自動生成された同名称のCSファイルでコードを書いた。

また、エンプティPosition RecorderのInspectorに先のスクリプトファイルをドラッグアンドドロップする。

(2) 情報の保存、可視化

次に、3D Object>Text—TextMeshpro一つを作成し、示す文字のサイズと枠のサイズを適切に調整する。またエンプティPosition RecorderのInspectorに戻り、スクリプトのパラメータの設定を行う。Position Log Textの空欄にText—TextMeshproを埋め、(1)と(2)を連携する。以下の図が示されるように、今回は取った情報をユーザが見えるように壁の上に表示する機能を実現できた。



図 2-9 対象相手の位置情報と保っていた距離

(3) HMDコントローラーとのインタラクション



図 2-10 コントローラーの操作指令

上記の図のように、アバタの四方向移動、視線の動きができるだけでなく、実は VRChat のユーザメニューの呼び出し、マイクのオンオフなど非常に多いインタラクションができる(詳細は VRChat 公式サイトに参照できる)。一方で、本実験は右のコントローラーのトリガーに一回押したら情報が記録され、壁に示される仕組みである。また、トリガーの反応はけっこう敏感なので、毎回の操作指令を 1 秒空けてからデータを取る計算式を作成した。(詳しいソースコードは付録に参照)

2.3.2 実空間の情報計測と再現

現実空間の寸法を確認するため、メジャを用いて様々な空間情報を測定し、建物や物品などをモデリングし、正しい位置に配置する。

2.3.3 ユーザの身長や瞳孔間距離についての設定

被験者に遠いところへ見てもらい、正しく瞳孔間距離を測定し、HMD の仕様書に合わせる整備する。具体的に以下の図から参照する。

レンズ調整

調整可能なIPD範囲は53～75 mmです。機械式のレンズ間隔調整ダイヤルを使ってスムーズに調整してより鮮明な映像を楽しめます。
Metaの革新的な光学設計により、かつてないほど広い瞳孔間距離(IPD)に対応しています。自分のIPDがQuest 3の対応範囲に収まっているかどうかは、以下の表で確認できます。

機械的なレンズ間隔(mm) ヘッドセットで見える距離	58 (最小)	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70 (最大)
IPDの対応範囲(mm)	53～63	54～64	55～65	56～66	57～67	58～68	59～69	60～70	61～71	62～72	63～73	64～74	65～75

図 2-11 Quest3 レンズ調整の対照 [23]

以上の内容で実験前に準備する段階で、HMD の整備を行い、被験者に快適な体験を与えることができる。

2.3.4 システムの構造

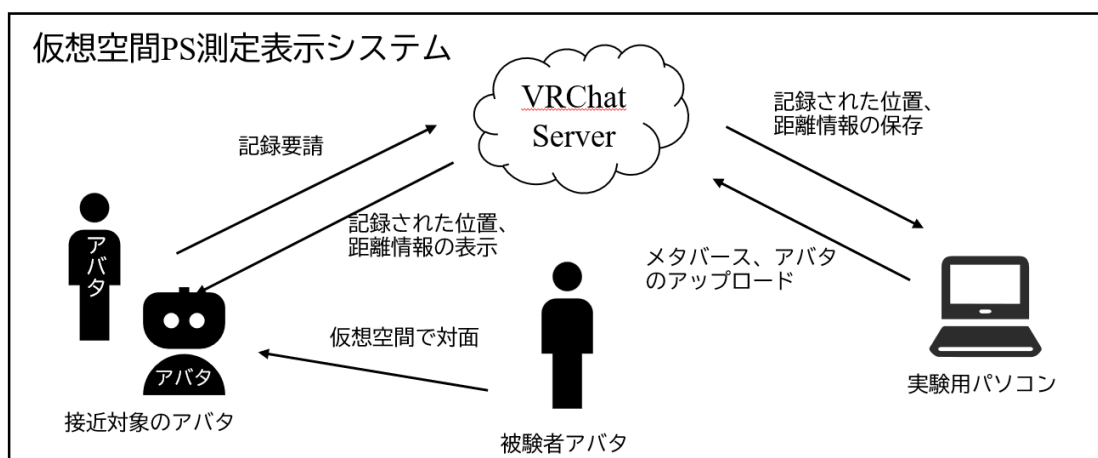


図 2-12 仮想空間パーソナルスペース測定表示システムの構造図

第三章

第3章 計測実験

3.1 概要

本章は本研究の目的を実現できるよう、行った実験について説明したいと考える。実験は主に現実空間および仮想空間(ソーシャル型メタバースである VRChat)で第一人称視点被接近の手法でパーソナルスペースの計測を実施した。実験後に SD によるアンケートも行った。

下記の図が示されるように、本実験では事前調査(2.3.3 にも述べた内容)、現実空間、仮想空間の実験に構成され、それぞれ特徴が異なるアバタを利用した。実験の構成としては、以下のように分類され则认为る。

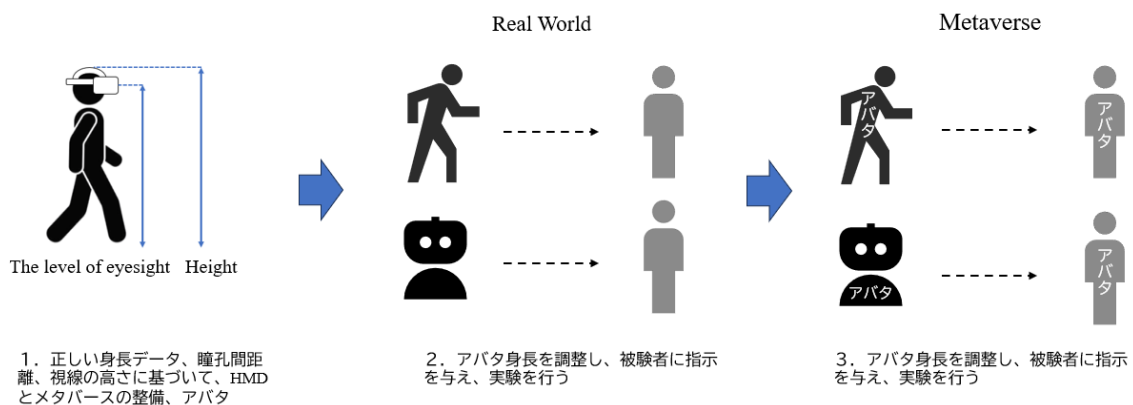


図 3-1 実験の流れ

- (1) 現実空間においての人間やアバタロボットを対象相手としたパーソナルスペースの計測実験
- (2) 仮想空間においての人間アバタやロボットアバタを対象相手としたパーソナルスペースの計測実験

3.2 実験の条件設定

測定実験について、現実空間または仮想空間中で被験者は人間または人間アバタ相手に向き合い、相手が指示を従って、自然なペースと歩幅で被験者に近づいて行く。被験者は気まずい感じる時点でストップの指示を出し、相手はその時点で立ち留まり、距離データを測定する。接近行為は 2 回繰り返し、1 人の被験者は 1 種類の相手に対し合計 2 回実験が行われる。2 回測定実験が終わる後に、アンケートを実施する。また、対面相手を人間からロボットアバタに変え、同じ手法で合計 2 回実験が行われ、アンケートを実施する。

3.2.1 被験者 & 対面する対象相手

今回の実験は 11 名の被験者を応募でき、事前に実験について簡潔に説明し、参加してもらった。全員は同年代の学生で、その内男性は 9 名、女性 2 名の性別の構成である。

上記が述べたように、現実空間においては人間とアバタロボットを対象相手としていた。人間対象相手は筆者が演じることで、他の影響要因が誤差を招かないように、できるだけ毎回同じ歩き方で接近行為をしたことなどの注意事項で行われた。

3.2.1.1 アバタロボット

(1) 概要

今回使用するアバタロボットは株式会社ソフトバンクの人間型ロボット Pepper である。Pepper は 2014 年 6 月に初めて発表され、身長は約 121 センチメートルで、胸部に操作ができるタブレット端末が搭載されるのが特徴である。Pepper 自体は顔認証や感情認識のセンシング機能を持ち、ユーザの表情、言葉、仕草などを理解ができ、キャラクターのような反応を返すことができる。

Pepper は、主に教育現場や店舗、介護や医療施設などで活躍している。具体的に、ダンスやゲーム、プログラミング教育など、幅広いアプリケーションを利用することで、ユーザとのインタラクションを深化することができる。特に、教育分野ではプログラミングの学習ツールとして活用される、家庭では家族の一員として日常のコミュニケーションやエンターテインメントの一部を担うことができる。また、ビジネス環境では接客や案内、集客のサポートから、介護施設

では利用者のリハビリやレクリエーションまで、多岐にわたる用途で使用される。

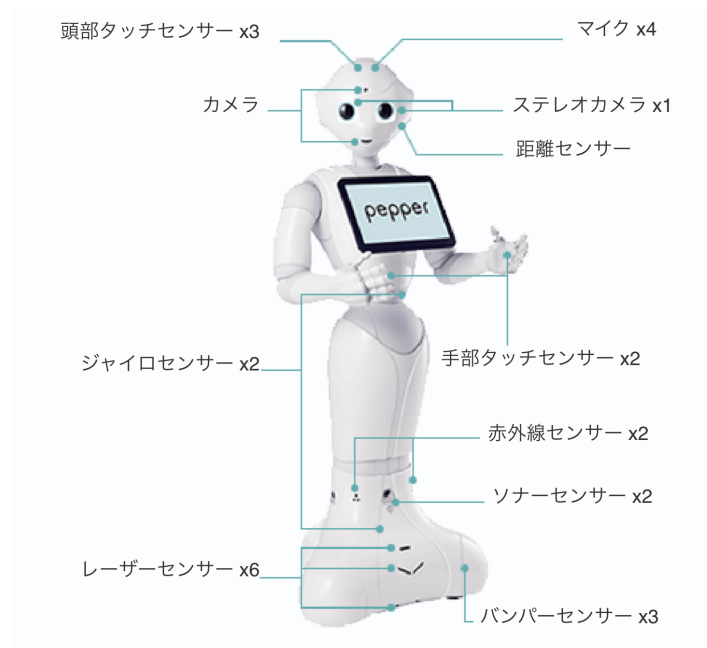


図 3-3 アバターロボット Pepper の物理構成 [23]

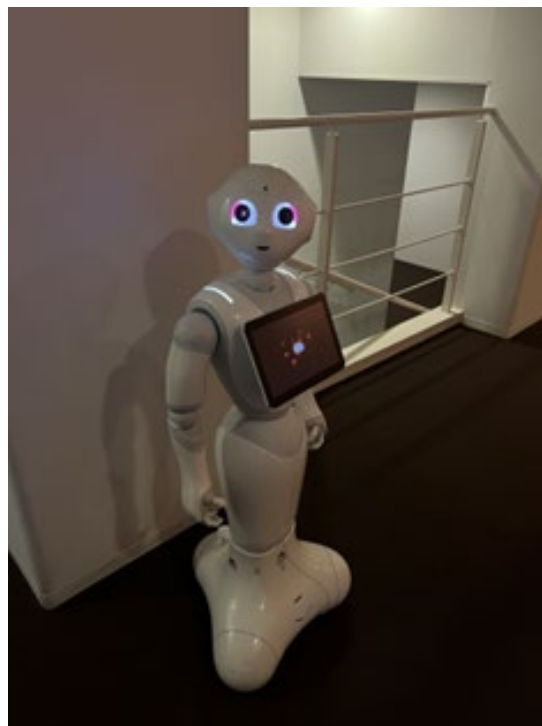


図 3-2 今回使用する機体（筆者撮影）

(2) 制御システム

アバターロボットの定義としては、誰かが遠隔で操作することが基本であるため、Pepper は自発的に人間に反応してもらえても、今回の実験では直線移動や動作の固定などの条件として含まれているので、制御システムを開発した。

使用するソフトウェアはソフトバンク社から開発者向けに推奨している Choregraphe である。Choregraphe(コレグラフ)は、アルデバランによって開発された、Pepper や NAO などのロボット向けのビジュアルプログラミングソフトウェアである。このツールは、プログラミング経験が少ない人でもロボットの動きや行動を直感的に設計することができるように設計された。ユーザはドラッグ&ドロップ操作で「ボックス」と呼ばれるモジュールを配置する、それらを矢印で接続することで、複雑なロボットの動作シーケンスを視覚的に構築できることが特徴である。

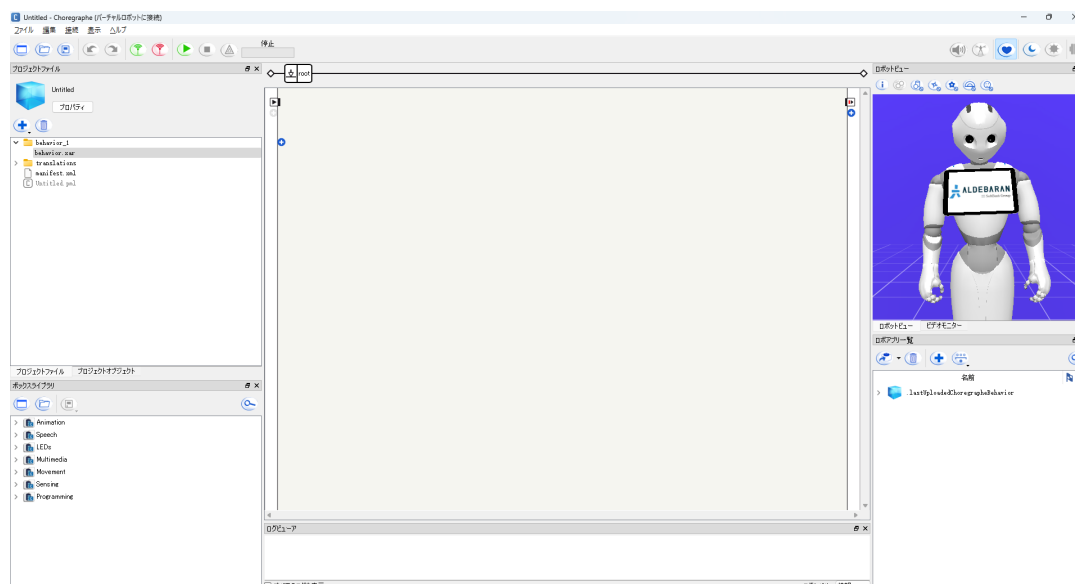


図 3-4 Choregraphe の操作画面

(3) 操作方法

今回の実験前の準備としては、最初に Pepper の胸にあるタブレット端末の裏側にある電源ボタンを長押しして、Pepper を起動させる。この起動時間はおおよそ 5 から 10 分かかる(たまにソフトウェアの自動更新がある場合は更に延長する)。また、パソコン一台を用意し、Choregraphe を起動する、接続ボタンをクリックし、IP アドレスの空欄が示される。その際に、既に起動していた Pepper の電源を一回押したら、Pepper は自分の IP アドレスを語り始める。IP アドレスをはあくした上で、Choregraphe の操作パネルの空欄に埋めて、右側のカメラ

ラ画面がしっかり Pepper の視点からの風景が映ることができたら、接続ができた証拠になる。

事前に用意したプログラムを実行したら、Pepper が動き始める。プログラムについて、今回実現した機能としては、主に自然なスピードで直線移動、頭から手足の固定という二つである。

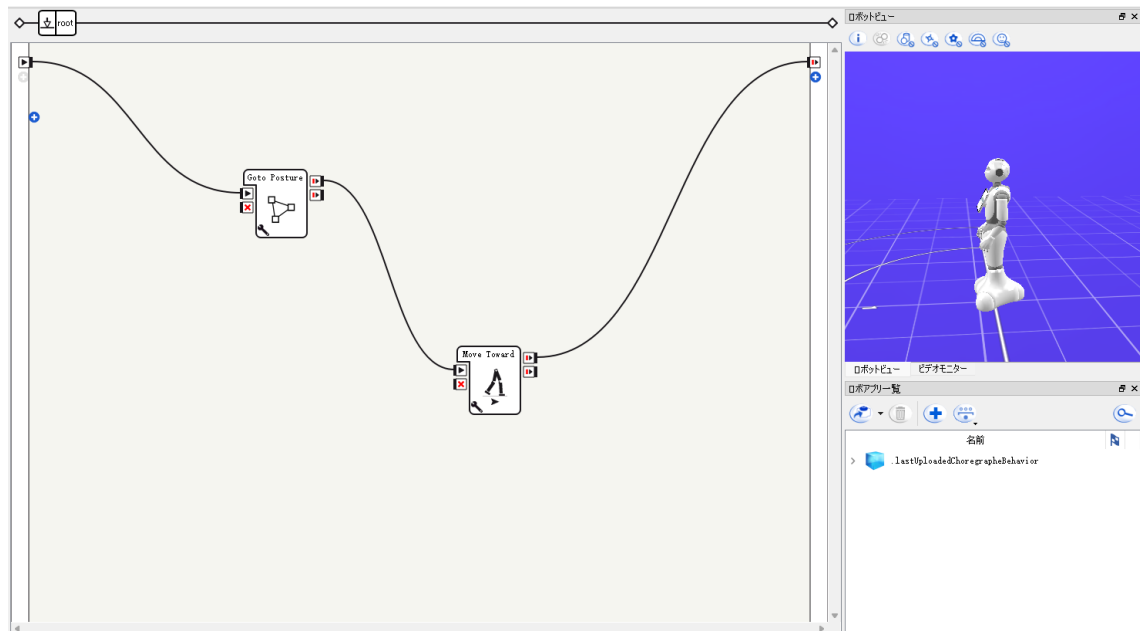


図 3-5 Pepper の制御プログラム

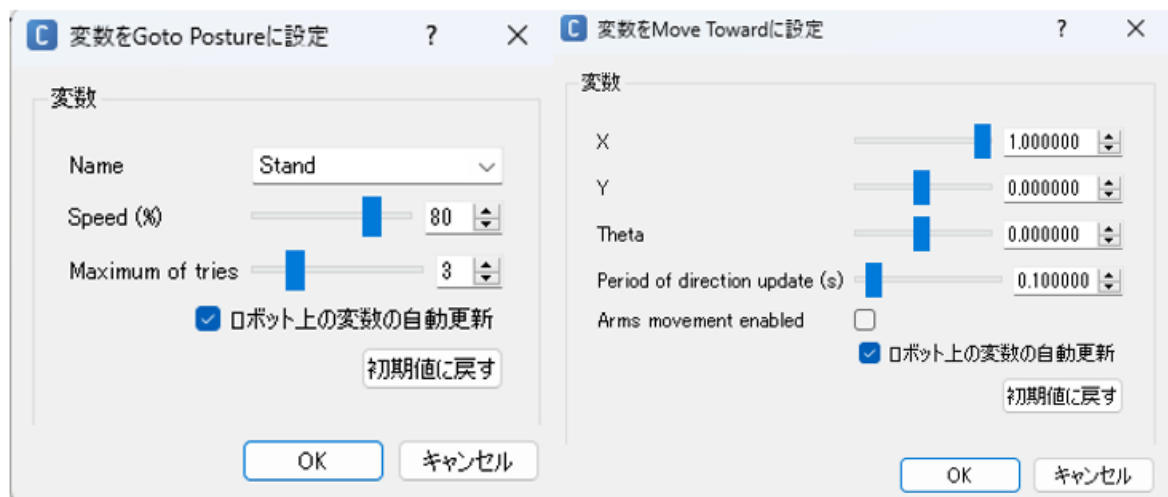


図 3-6 ボックスのパラメータ設定

上記の図から、Pepper の制御プログラムは主に Goto Posture と Move Toward の二つの変数が構成され、前者はロボットの体と頭の動きを固定させる機能を実現している。一方で、後者はロボットの X 軸を沿って設定されたスピードで直線移動の機能を実現している。

3.2.1.2 仮想空間のアバタ

2.2 の内容で VRChat のサーバにアップロードしているアバタについて述べる。性別や身長、人間とロボットの区別で今回アバタを作成できた。

また、対象相手はずっと同じ人物が演じるため(男性アバタとロボットアバタの使用のみ)、女性アバタは被験者が女性の場合に切り替える。



図 3-7 女性アバタ



図 3-8 男性アバタ



図 3-9 ロボットアバタ

上記の図から、それぞれ女性アバタ、男性アバタ、ロボットアバタ(Pepper に基づくモデル)である。人間アバタのほうは 2.2 が述べたように、プラットフォーム上のデフォルトの顔と服装(特徴の偏りが発生しないように設定)で作成された。また、下記の図のようにそれぞれ身長を調整し、分析因子として扱っている。

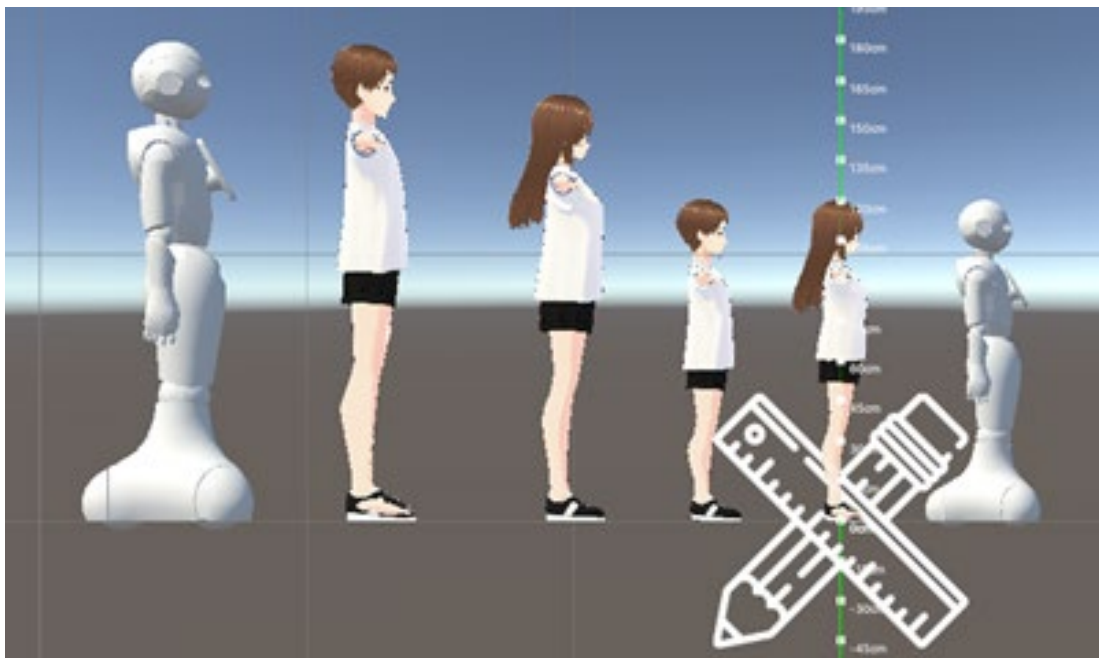


図 3-10 異なる身長アバタの一覧

身長データは VRChat 内でも調整できるが、尺度の統一の視点から、アップロード前に、身長を事前に調整することを考えると、毎回実験を繰り返す際でも時間の無駄も避けられる。アバタの構成としては、以下のように分類されると考える。

- (1) 人間アバタ
- (2) ロボットアバタ
- (3) 低身長アバタ(ロボットと同じ身長に設定)
- (4) 高身長ロボットアバタ(対象相手の人間と同じ身長の **180cm** に設定)

3.2.2 実験環境

3.2.2.1 現実空間

今回の実験は慶應義塾大学協生館 3 階 N17 ラボ前(筆者が所属している研究室)の廊下で実施した. 理由としては, デバイスの搬送や電源確保, また実験を実施する際の安全性と利便性を考えた.

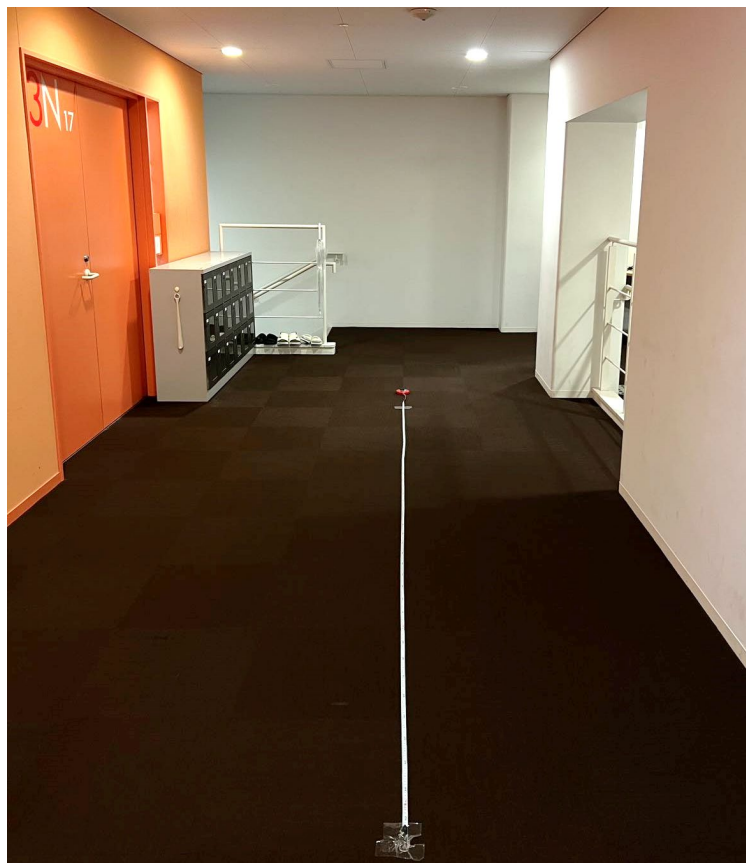


図 3-11 慶應義塾大学 協生館 3 階 N17 ラボ前 (筆者撮影)

廊下の空間で一回清掃を行い, 実験と無関係な物品を適切な場所に移動し, 保管していた. 場所を確保した上で, 床にメジャを透明テープで貼り付けた. 出しているメジャの長さは 4 メートルである. 実験を繰り返すため, メジャを貼り付ける際に, スタートポイントも正確に記録している.

3.2.2.2 仮想空間

仮想空間のほうは 2.1.2 と 2.3.2 が述べたように現実空間で選択した実験場所の空間情報を正しく計測して, Unity 上でモデリングし, 下記の図のように示される.

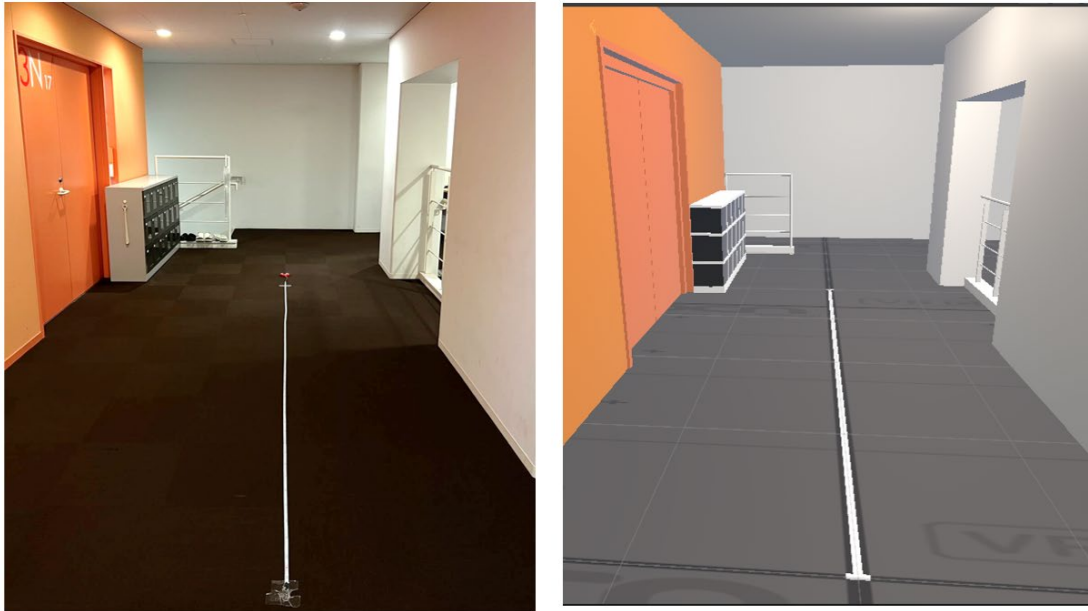


図 3-12 左は現実空間, 右は仮想空間 (筆者撮影)

3.3 実験装置

本研究では, 現実空間における実験 1, 仮想空間における実験 2 と 2 種類の実験を行ったため, 異なるデバイスや道具などの用意について述べる.

(1) 実験 1 現実空間における測定実験で使用したアイテム

実験 1 においては, 現実空間で距離データを測定するため, **メジャ 1 個**を用意する, メジャの製造会社のこだわりがないが, 正確に距離を図れるかをいくつかのメジャと比較し, 精密度を確認できた. また, スペックも最長で少なくとも 4 メートル以上があることを確保する.

メジャを床に貼り付けるため, 市販の**透明テープ**を用意する.

アバタロボットを接近対象とした実験であるため, **アバタロボット 1 台**の確保(バッテリーや充電ケーブル), 使用するアバタロボットの詳細については, 図 3-1 と 3-2 に参照する.

アバタロボットを制御するシステムを運行するため, **パソコン 1 台**を用意する.

アバタロボットがインターネット経由で自動更新ができない場合に起動できる可能性があるため, インターネット環境を確保する.

(2) 実験 2 仮想空間における測定実験で使用したアイテム

実験 2 においては、仮想空間で実験を実施するため、下記の図のようにヘッドマウントディスプレイ(HMD)を二台用意した(Meta 社の Quest3)である。



図 3-13 Quest3 [23]

また、実験前に瞳孔間距離や身長データを測定するため、メジャと定規それぞれ一個を用意する、

HMD のディバッグが行われるパソコン一台を用意する。

今回の実験で使用するプラットフォーム VRChat は必ずしも同じ名称のインターネットにアクセスする必要はないが、VRChat は学校側から提供するインターネット環境でサーバに接続できないケースがあるため、インターネットの確保が必要である。

3.4 実験 1 現実空間におけるパーソナルスペースの測定

3.4.1 実験目的

実験 1 においては、メタバース上の測定実験と比較し、また従来 of 先行研究の結果を検証したく、現実空間から人間を対象とする距離データ(正面におけるパーソナルスペース)が取れる実験という位置付けであると考ええる。

3.4.2 実験方法

最初に被験者に実験について簡潔に説明することで、被験者は実験の流れ、所要時間、

取られるデータなどについて把握できる。その後、実験参加承諾書を書いてもらう。

次に被験者は原点で立ってもらい、「これ以上相手が近づくと気づまりを感じる時点で相手をストップさせ、距離を記録する。測定中はアバタの目のあたりを見るようにしてください。」という指示を出す。

3.2 が述べたように、被験者は実験中に人間相手に向き合い、相手が指示に従って、自然なペースと歩幅で被験者に近づいて行く。被験者は気まずいと感じる時点でストップの指示を出し、相手はその時点で立ち留まり、足先から原点までの距離データを測定する。接近行為は 2 回繰り返し、1 人の被験者は 1 種類の相手に対し合計 2 回実験が行われる。2 回測定実験が終わる後に、アンケートを実施する。

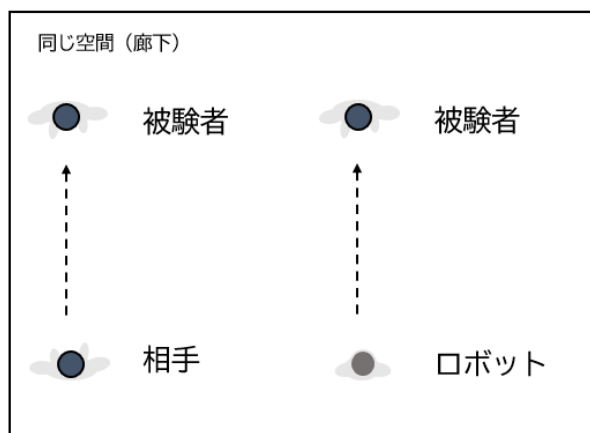


図 3-14 現実空間における被接近実験

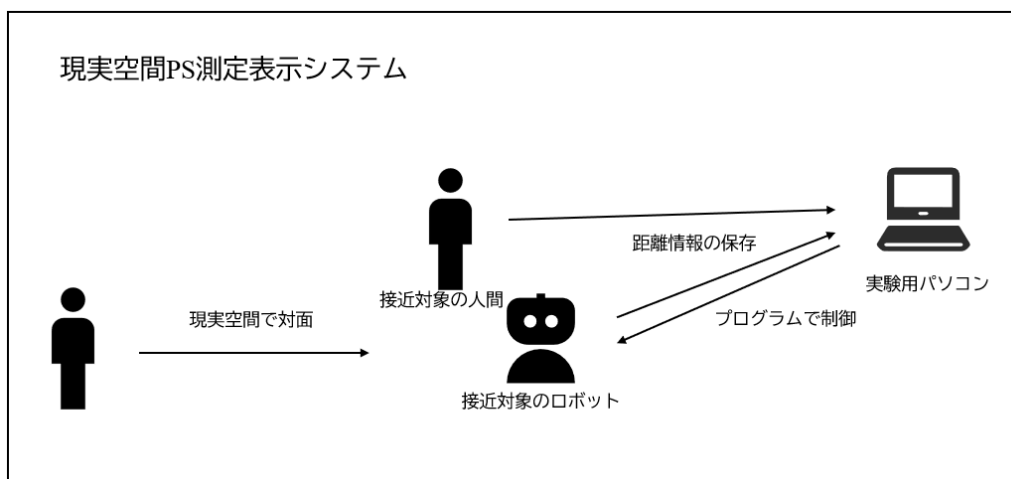


図 3-15 現実空間パーソナルスペース測定記録システム

また、今度は対面相手を人間からロボットアバタに変え、同じ手法で合計 2 回実験が行われ、アンケートを実施する。ロボットの制御は 3.2.1.1 で述べたように行う。

下記の図は実験の様子を記録した写真である。（撮影許可とデータの取り扱いについて事前説明した上で、承諾書を書いてもらった、また被験者は全員成人である）



図 3-16 人間対象相手とした実験の様子（筆者撮影）



図 3-17 アバタロボット対象とした実験の様子（筆者撮影）

3.5 実験 2 仮想空間におけるパーソナルスペースの測定

3.5.1 実験目的

実験においては既存のソーシャル型メタバースを用いて、様々な種類のアバタを対象相手としたパーソナルスペースの計測を行うことで、現実空間においてのアバタや人間対象相手として感じられるパーソナルスペースの違いを見出したいと考える。また、異なるアバタの特徴によって、対人距離をどう認識されるかについても議論したい。

3.5.2 実験方法

被験者に実験について簡潔に説明することで、被験者は実験の流れ、所要時間、取られるデータなどについて把握できる。その後、実験参加承諾書を書いてもらう。

最初に、被験者用の HMD の電源をつけ、正しい瞳孔間距離のデータを設定する(HMD の下部にあるダイヤルで操作できる)。インターネットに接続し、VRChat を起動する。VRChat のホール画面が示されると、事前にアップロードされた人間アバタに変換する。



図 3-18 VRChat のホール画面

正しくアバタのパラメータを設定する、主に身長データと視点高度である。



図 3-19 リアル身長データの入力

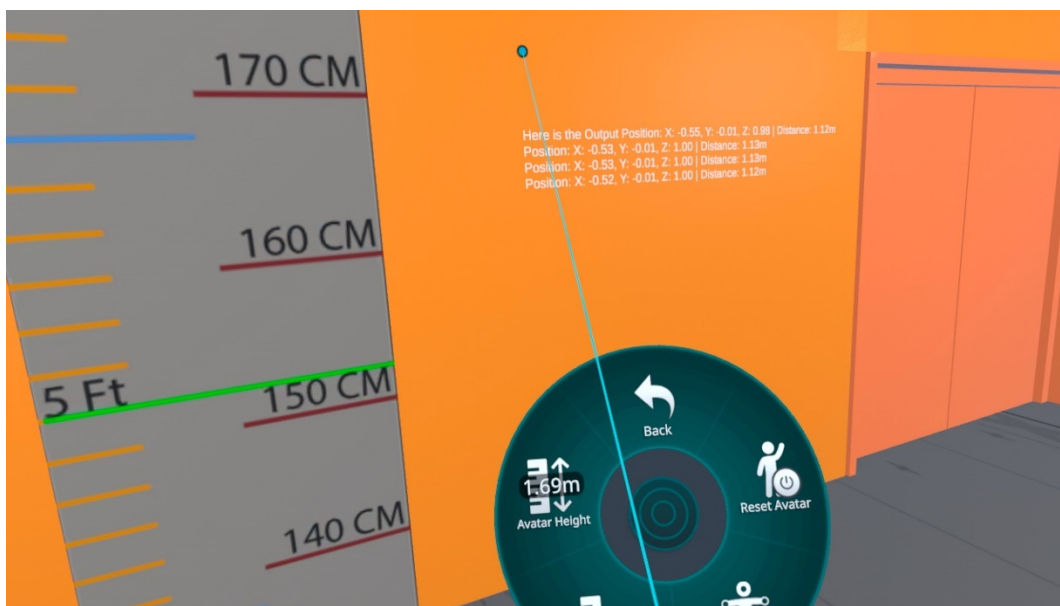


図 3-20 視点高度の入力

次に被験者は原点で立ってもらって、HMD を付け、背後にある身長確認用の柱を利用して、下記の図が示されるようにアバタの身長と視点高度の確認を行う。

これにより、被験者ごとに正しい自分の視点位置から見た映像が提示されることになる。

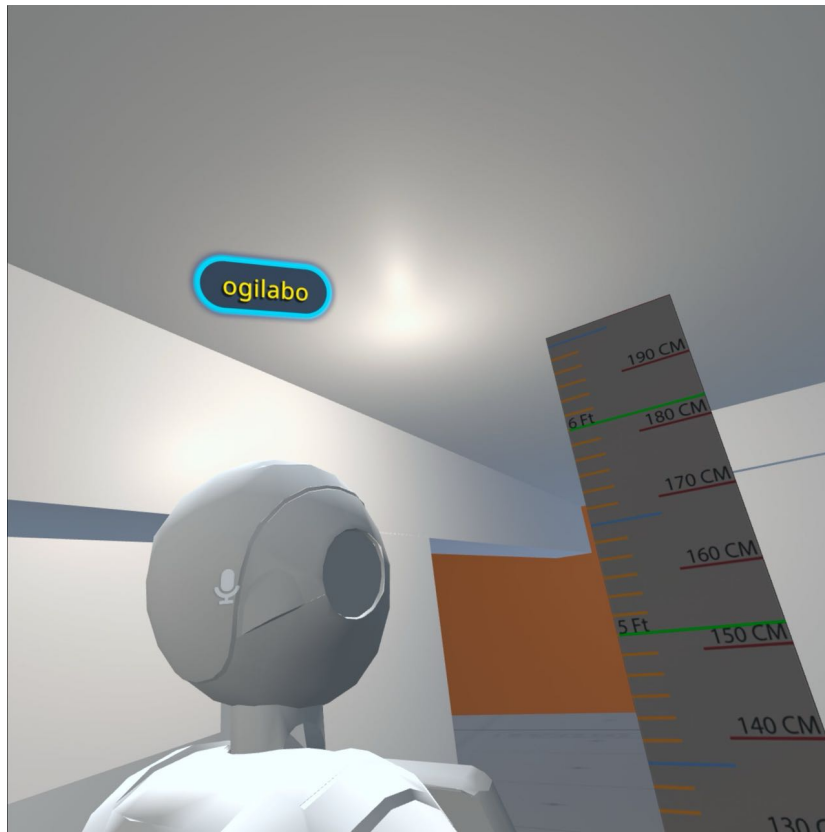


図 3-21 仮想空間上アバタの身長の確認

被験者には「これ以上相手が近づくと気づまりを感じる時点で相手をストップさせ、実験者が距離を記録します。測定中はアバタの目のあたりを見るようにしてください。」という指示を出す。今度は対象相手からコンローラを操作して、データを記録する(詳細は 2.3.1 に参照)。

3.2 が述べたように、被験者は実験中に人間相手と同様にアバタに向き合い、相手アバタは指示を従って、自然なペースと歩幅で被験者に近づいて行く。被験者は気まずい感じる時点でストップの指示を出し、相手はその時点で立ち留まり、足先から原点までの距離データを測定する。接近行為は 2 回繰り返し、1 人の被験者は 1 種類の相手に対し合計 2 回実験が行われる。2 回測定実験が終わる後に、アンケートを実施する。

また、アバタ入れ替え、またはアバタの身長を調整し、合計 4 種類の実験を実施した。(3.2.1.2 に参照)

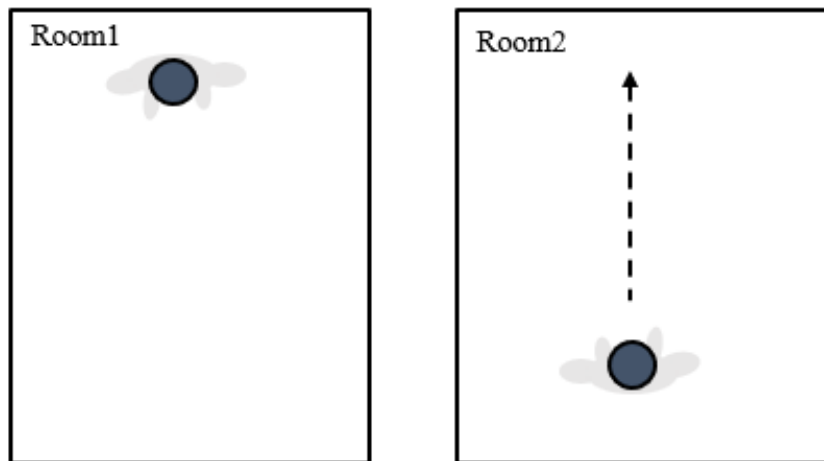


図 3-22 被験者および対象相手の現実空間での位置と移動



図 3-23 仮想空間人間アバター対象相手とした実験の様子

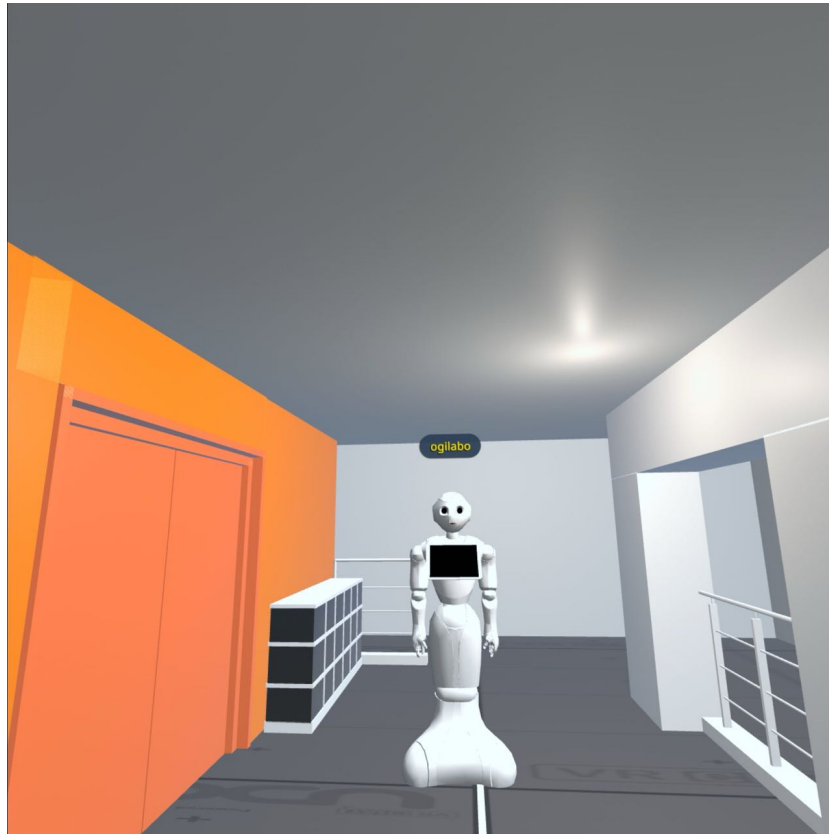


図 3-24 仮想空間高身長ロボットアバター対象相手とした実験の様子

3.6 SD 法によるイメージ測定のアナケート

本節は以上の実験の最後にアナケートを実施するという記載があるが、具体的にどんなアナケートを行うかについて述べる。先行研究から対人距離は人間関係や人に対するイメージによって変わることを分かった。また、アナケート調査の方法は SD 法、カリフォルニア人格検査 (CPI)、印象評定テスト(岩下)などがあげられるが、本実験は SD 法を基にアナケート項目、調べ方、分析方法などを構築した。

3.6.1 概説

SD 法 (Semantic Differential 法) とは、心理学やマーケティング研究で用いられる評価手法の一つで、対象に対する印象や感情を定量的に測定するための技法である。

SD 法の特徴としては、対象となる概念や事象を複数の異なる次元 (例えば、「良い・悪い」、「強い・弱い」、「明るい・暗い」など) で評価する。これにより、対象に対する多面的な理解が可能になる。具体的に例えば多段階評価のアナケート項目に反映すると、アナケート項目の両

端で示される単語になる。

分かりやすい単語を用いたため、異なる対象や時間推移での評価を比較することが簡単です。例えば、同じ商品の改良前と改良後の印象の変化を追跡したり、異なるブランドの比較を行ったりすることができる。

また、適切な形容詞ペアを選ぶことが重要である。これにより、評価の信頼性や妥当性が高まるだろう。回答者の理解を助けるために、各スケールの意味を明確に示すことが求められる。

3.6.2 アンケート項目の選択

今回の尺度選択は一度事前調査のアンケート(N=22)を実施した。その理由として、自分は従来の研究または SD 法について学習したが、やはり多くのユーザ視点での理解から抽出しないと、ユーザの理解度やアバターに対する大衆のイメージを把握し難いと考える。

アンケートの設問は、あなたが対面する人(あるいはアバター)のイメージを表現する時に、以下の図から一番そう思える単語最低 6 つを選んでくださいである。まとめて反対語である単語ペア 20 組を用意した。結果は下記の表から示されるように、赤い枠が囲まれている部分は 20 組のうち一番選択された単語ペアが抽出できた。[25][26][27]

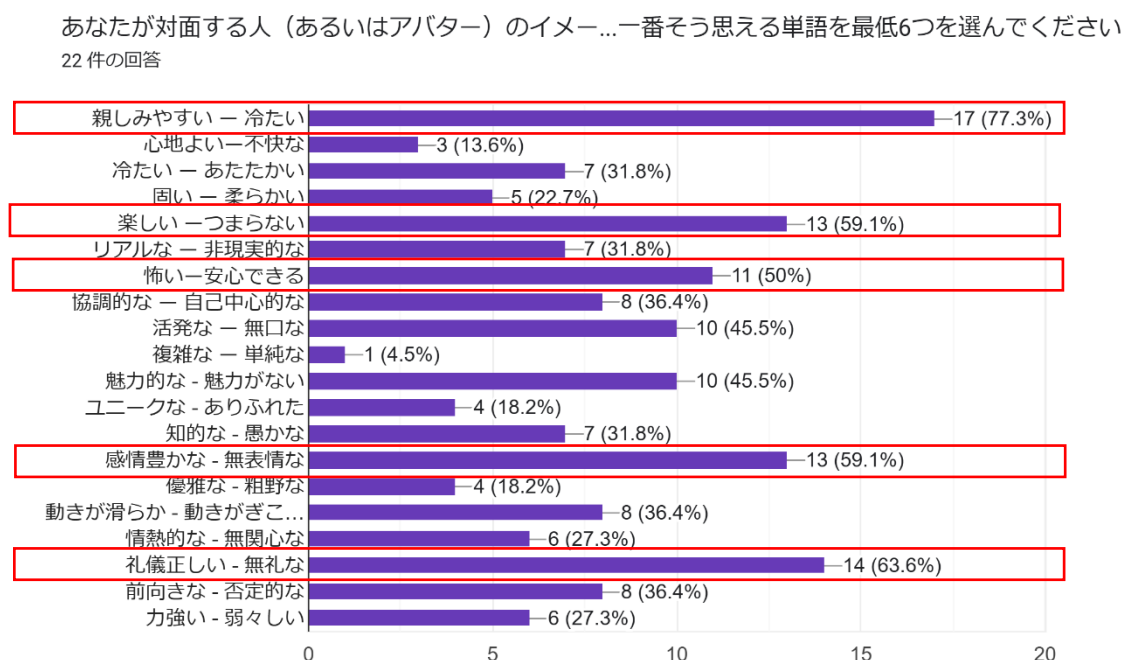


図 3-25 SD 法アンケート尺度についての事前調査

・ 親しみやすい - 冷たい

・ 心地よい - 不快な

・ 冷たい - あたたかい

・ 固い - 柔らかい

・ 楽しい - つまらない

・ リアルな - 非現実的な

・ 安心できる - 怖い

・ 協調的な - 自己中心的な

・ 活発な - 無口な

・ 複雑な - 単純な

・ 魅力的な - 魅力がない

・ ユニークな - ありふれた

・ 知的な - 愚かな

・ 感情豊かな - 無表情な

・ 優雅な - 粗野な

・ 動きが滑らか - 動きがぎこちない

・ 情熱的な - 無関心な

・ 礼儀正しい - 無礼な

・ 前向きな - 否定的な

・ 力強い - 弱々しい

図 3-26 SD 法尺度の選択

黒い枠が囲まれている単語ペア二組は筆者の主観でアバターに対するイメージ形成に影響が高い形容詞であり、追加して合計 7 組(赤字)の尺度が更に今回の事前調査によって抽出されることができた。

3.6.3 アンケートの構成

以上の事前調査より、アンケートが使用する項目 SD 法の形容詞のペアが決まり、それに基づいて、アンケートは以下の構成で 6 つを作成した。(項目の詳細は付録に参照)

(1) 人間—人間

● 実験参加者番号(1~10)

● 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1~7 の非常に気づまりを感じる)

● イメージ測定(ポジティブ 1~7 ネガティブ)

(2) 人間—アバターロボット

● 実験参加者番号(1~10)

● 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1~7 の非常に気づまりを感じる)

● ロボットが人間に思える程度

(全然人間に思えない 1~7 の非常に人間に思える)

● イメージ測定(ポジティブ 1~7 ネガティブ)

(3) 人間アバター—人間アバター

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)

(4) 人間アバター—低身長人間アバター

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)

(5) 人間アバター—ロボットアバター

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- ロボットが人間に思える程度
(全然人間に思えない 1～7 の非常に人間に思える)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)

(6) 人間アバター—高身長ロボットアバター

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- ロボットが人間に思える程度
(全然人間に思えない 1～7 の非常に人間に思える)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)

第四章

第4章 結果分析と考察

本章は実験 1 および実験 2 の実験結果について述べる。また、統計の手法で結果の分析と評価を実施する。最後に論理的な考察を行う、

4.1 現実空間と仮想空間の比較

最初に行った現実空間のパーソナルスペースと仮想空間の同身長人間アバターやロボットアバタのデータを取りまとめ、SPSS上で統計の手法で分散分析を行った。今回の実験は女性被験者 2 名だけを募集できたため、偏りを避けるため、9 名の男性被験者、1 人 2 回実験を参加させ、合計 6 種類の実験で 108 組のデータを手に入れた。結果は以下のように示される。

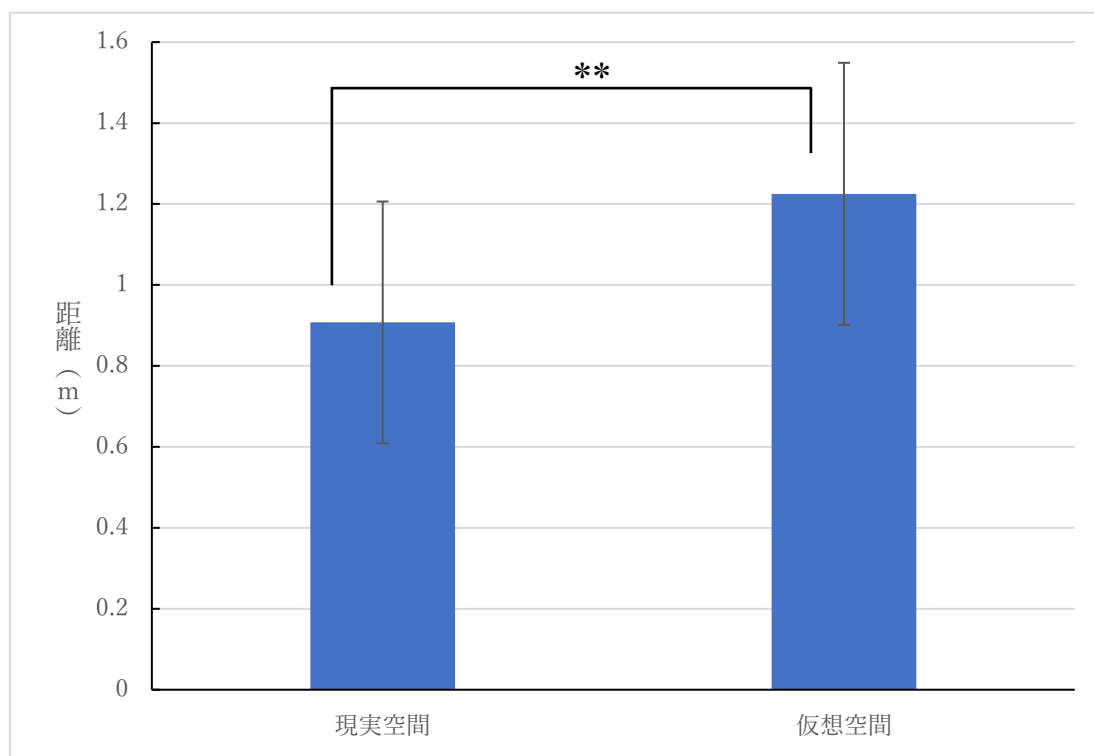


図 4-1 現実空間と仮想空間のパーソナルスペースの測定結果（距離の平均値）

表 4-1 現実空間と仮想空間のパーソナルスペースの測定分散分析

被験者間効果の検定					
従属変数: Distance					
ソース	タイプ III 平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
修正モデル	4.295 ^a	1	4.295	25.621	<.001
切片	120.213	1	120.213	717.036	<.001
World	4.295	1	4.295	25.621	<.001
誤差	17.771	106	.168		
総和	174.887	108			
修正総和	22.067	107			

a. R2 乗 = .195 (調整済み R2 乗 = .187)

上記の表 2 が示されるように、今回の実験において、現実空間の正面におけるパーソナルスペースの距離の平均値が 0.91m に対し、仮想空間が 1.33m である。現実空間より仮想空間の正面におけるパーソナルスペースのほうが有意に大きい ($p < 0.01$) と言える。

4.2 異なるアバタの比較

接近する相手対象の区別でデータ分析を分散分析、多重比較を行った結果は以下に示される。

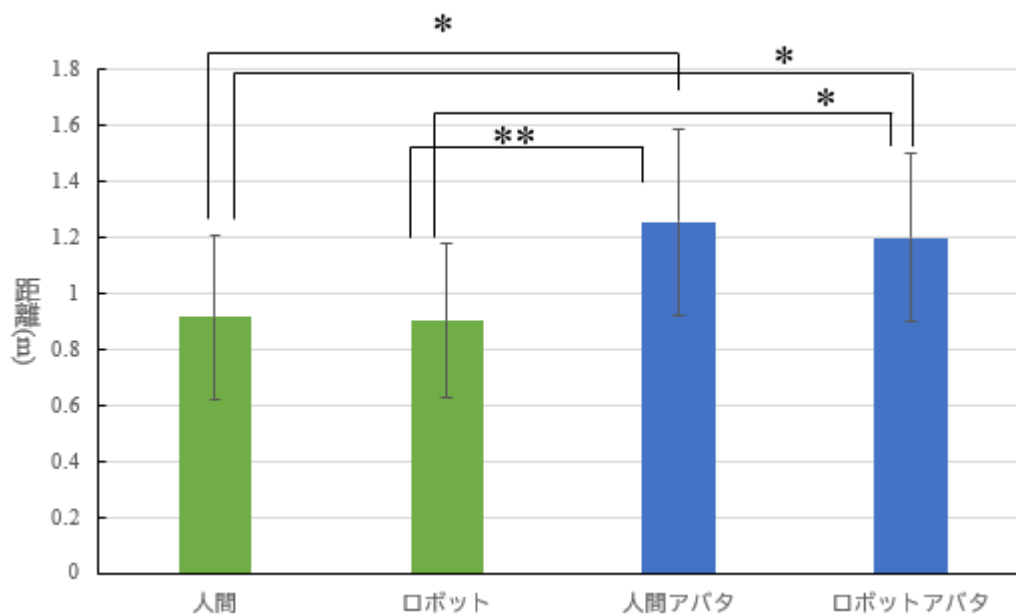


図 4-2 接近する対象分けの実験結果 (距離の平均値)

表 4-1 異なるアバタの多重比較 1

多重比較

従属変数: Distance

Tukey HSD

(I) アバタ種類	(J) アバタ種類	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
人間	人間アバタ	-.3383 [*]	.10512	.010	-.6152	-.0615
	ロボット	.0128	.10512	.999	-.2641	.2896
	ロボットアバタ	-.2839 [*]	.10512	.042	-.5607	-.0070
人間アバタ	人間	.3383 [*]	.10512	.010	.0615	.6152
	ロボット	.3511 [*]	.10512	.007	.0743	.6280
	ロボットアバタ	.0544	.10512	.955	-.2224	.3313
ロボット	人間	-.0128	.10512	.999	-.2896	.2641
	人間アバタ	-.3511 [*]	.10512	.007	-.6280	-.0743
	ロボットアバタ	-.2967 [*]	.10512	.031	-.5735	-.0198
ロボットアバタ	人間	.2839 [*]	.10512	.042	.0070	.5607
	人間アバタ	-.0544	.10512	.955	-.3313	.2224
	ロボット	.2967 [*]	.10512	.031	.0198	.5735

上記の表から、正面のパーソナルスペースにおいて、対象相手は

- 人間より人間アバタのほうが有意に大きい($P=0.01<0.05$)。
- 人間よりロボットアバタのほうが有意に大きい($P=0.042<0.05$)。
- ロボットよりロボットアバタのほうが有意に大きい($P=0.031<0.05$)
- ロボットより人間アバタのほうが有意に大きい($P=0.007<0.01$)

一方で、同じ空間にある対象(人間とロボット、人間アバタとロボットアバタ)の間に有意差が見られなかった。要するに、4.1の結果が更に正確性を確認ができ、また人間とロボット見かけのアバタを対象とした時に感じられるパーソナルスペースは特に違いがなかったが、また、SD法によるイメージ測定の結果を見つてみると、以下の図 4-3、図 4-4 が示される。

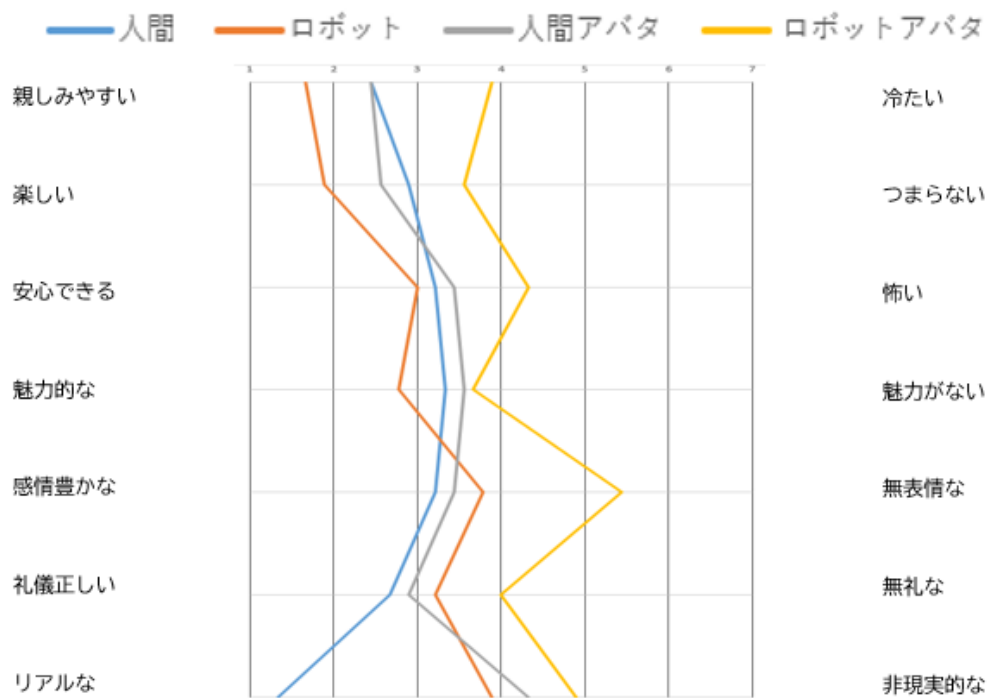


図 4-3 SD によるイメージ測定のアンケートの結果 1

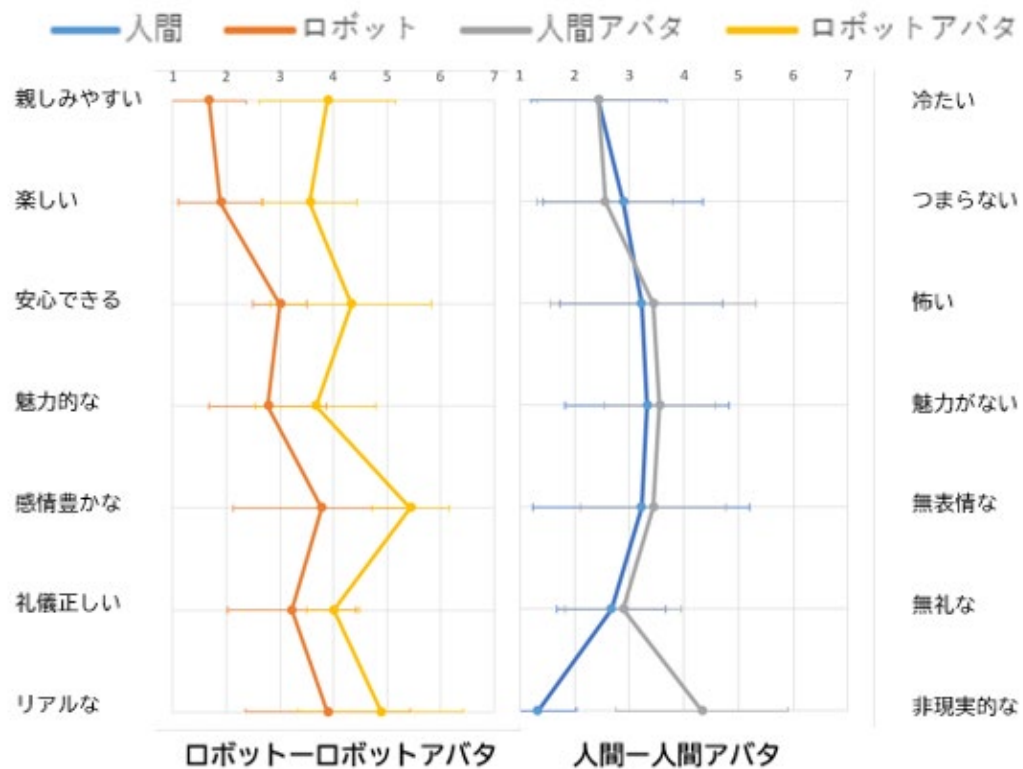


図 4-4 SD によるイメージ測定のアンケートの結果 2

上記の表 6, 7 から, それぞれ異なる色の折れ線はアバタを示している. 人間は青色線, ロボットはオレンジ色線, 人間アバタは灰色線, ロボットアバタは黄色線である. ロボットはロボットアバタより全般的にイメージが良い. 一方で, 人間と人間アバタに対するイメージがほぼ同じであったが, 人間アバタはより非現実を感じられていたことが分かった.

また, ロボットアバタは全般的にネガティブなイメージを受け入れて, 非常に無表情である評価を得た.

以上の結果から, ロボットアバタと人間アバタの間, 人間とロボットの間イメージがそんなに影響しなかった結果が出ている一方で, 距離のデータも有意差が見られなかったため, 更なる検証が必要である.

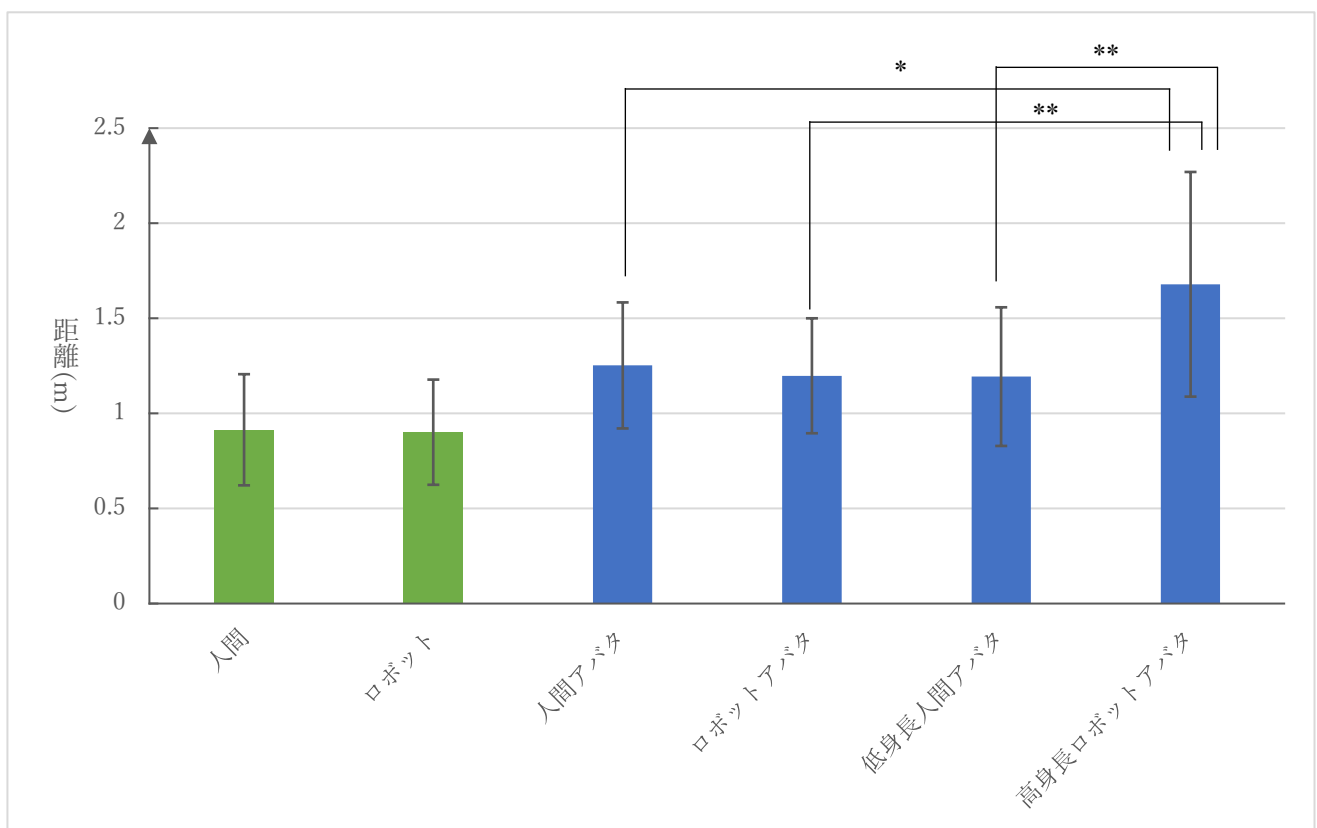


図 4-5 身長の変因を取り入れた実験の結果 (平均距離)

前記の 3.2.1.2 が述べたように、アバタの身長を調整して実験を行い、結果を得た、それぞれ低身長人間アバタ(人間アバタをロボットと同一身長の 180cm に設定)、高身長ロボットアバタ(ロボットアバタを人間と同一身長の 121cm に設定)である。

また、データを取りまとめ、SPSS上で統計の手法で分散分析、多重比較を行った。

表 4-3 異なるアバタの多重比較 2

従属変数: Distance

Tukey HSD

(I) アバタ種類	(J) アバタ種類	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
低身長人間アバタ	高身長ロボットアバタ	-.4856 [*]	.12705	.003	-.8546	-.1165
	人間	.2794	.12705	.247	-.0896	.6485
	人間アバタ	-.0589	.12705	.997	-.4279	.3102
	ロボット	.2922	.12705	.204	-.0768	.6613
	ロボットアバタ	-.0044	.12705	1.000	-.3735	.3646
高身長ロボットアバタ	低身長人間アバタ	.4856 [*]	.12705	.003	.1165	.8546
	人間	.7650 [*]	.12705	<.001	.3960	1.1340
	人間アバタ	.4267 [*]	.12705	.014	.0576	.7957
	ロボット	.7778 [*]	.12705	<.001	.4087	1.1468
	ロボットアバタ	.4811 [*]	.12705	.003	.1121	.8502
人間	低身長人間アバタ	-.2794	.12705	.247	-.6485	.0896
	高身長ロボットアバタ	-.7650 [*]	.12705	<.001	-1.1340	-.3960
	人間アバタ	-.3383	.12705	.092	-.7074	.0307
	ロボット	.0128	.12705	1.000	-.3563	.3818
	ロボットアバタ	-.2839	.12705	.231	-.6529	.0852
人間アバタ	低身長人間アバタ	.0589	.12705	.997	-.3102	.4279
	高身長ロボットアバタ	-.4267 [*]	.12705	.014	-.7957	-.0576
	人間	.3383	.12705	.092	-.0307	.7074
	ロボット	.3511	.12705	.072	-.0179	.7202
	ロボットアバタ	.0544	.12705	.998	-.3146	.4235
ロボット	低身長人間アバタ	-.2922	.12705	.204	-.6613	.0768
	高身長ロボットアバタ	-.7778 [*]	.12705	<.001	-1.1468	-.4087
	人間	-.0128	.12705	1.000	-.3818	.3563
	人間アバタ	-.3511	.12705	.072	-.7202	.0179
	ロボットアバタ	-.2967	.12705	.190	-.6657	.0724
ロボットアバタ	低身長人間アバタ	.0044	.12705	1.000	-.3646	.3735
	高身長ロボットアバタ	-.4811 [*]	.12705	.003	-.8502	-.1121
	人間	.2839	.12705	.231	-.0852	.6529
	人間アバタ	-.0544	.12705	.998	-.4235	.3146
	ロボット	.2967	.12705	.190	-.0724	.6657

上記の表から、正面のパーソナルスペースにおいて、対象相手は

- 高身長ロボットアバタは低身長人間アバタより有意に大きい($P=0.003<0.01$)。
- 高身長ロボットアバタは人間アバタより有意に大きい($P=0.014<0.05$)。
- 高身長ロボットアバタはロボットアバタより有意に大きい($P=0.003<0.01$)

人間の自然な身長に設定したロボットアバタと元のロボットアバタや人間アバタを対象としたパーソナルスペースには有意差があったが、同じくロボット身長に合わせて設定した低人間アバタのほうには、有意差が出なかった。また、4.1 と同じ SD 法のイメージ測定を行い、結果が図 4-6、4-7 に示される。

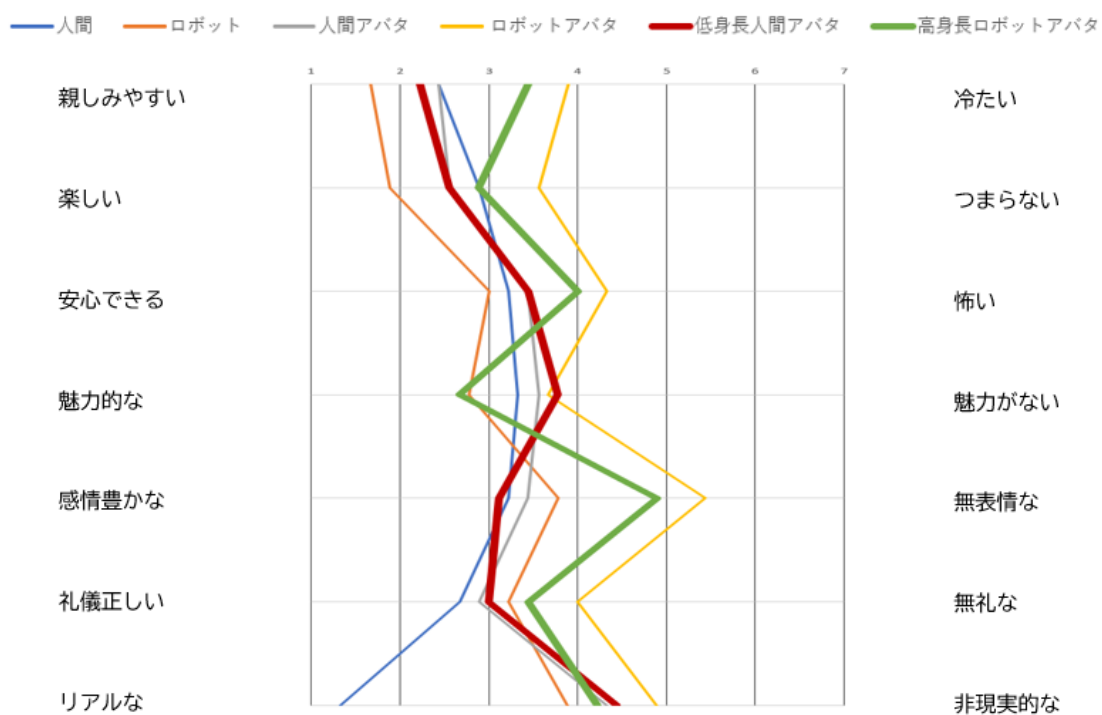


図 4-6 SD によるイメージ測定のアンケートの結果 3

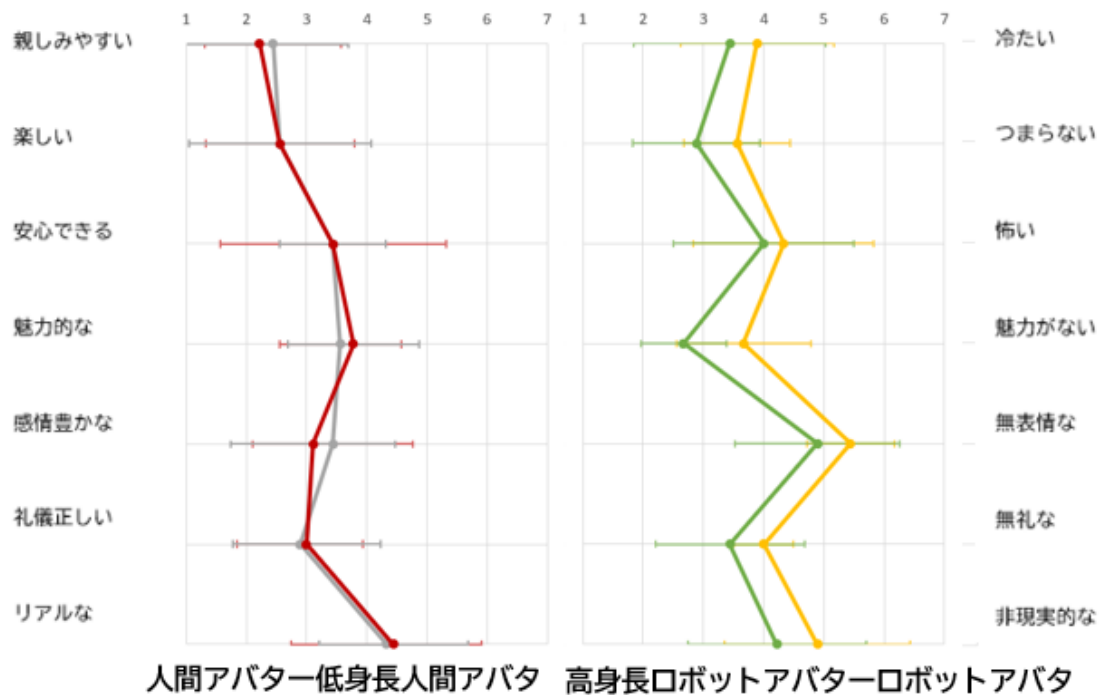


図 4-7 SD によるイメージ測定のアンケートの結果 4

上記の図から、赤色の折れ線と緑色の折れ線を追加できた。結果として、高身長ロボットアバターとロボットアバターの軌跡がほぼ同じだが、高身長ロボットアバターのほうが比較的に左側に移動し、要するに少しポジティブなイメージを受けられた。

一方で、低身長人間アバターは横ばい状態で、人間アバターの曲線と同じ軌跡を保っているため、受けられるイメージはほぼ同じであることが示される。

4.3 評価と考察

今節は第四章の実験結果から総合的な評価と考察について述べる.

- (1) これまでのパーソナルスペース測定の実験結果から, 特定なデバイスと仮想空間の条件で, 異なるアバタに対して, 正面におけるパーソナルスペースの範囲は確定できた. 現実空間は $0.3\sim1.49\text{m}$, 仮想空間は $0.3\sim2.18\text{m}$ である.
- (2) 現実空間より仮想空間の方パーソナルスペースが有意に大きい結果に対して, HMD により生成された CG 映像は実物よりネガティブな印象を与えることがパーソナルスペースに影響しているのではないと考える.
- (3) 一方で, 追加されたアバタを用いた実験の結果は高身長ロボットアバタのパーソナルスペースは今回の実験で使用した全アバタより有意に大きい結果に対して, 仮想空間でも, ロボットの身長がパーソナルスペースに影響を与える. また, 同じ自然な人間なりの身長であれば, 人間よりロボットのパーソナルスペースのほうが大きいことが示唆される.
- (4) ロボットと人間, ロボットアバタと人間アバタの間に有意差が見られなかった. 加えて SD 法によるイメージ測定の結果から, ロボットアバタは全般的にネガティブなイメージを受け入れて, 非常に無表情である評価を得たが, ロボットの表情はパーソナルスペースに影響する大事な要素として考えられる.
- (5) 高身長ロボットアバタのほうが比較的に少しポジティブなイメージを受けられた. 一方で, 低身長人間アバタは人間アバタの曲線と同じ軌跡を保っているため, 受けられるイメージはほぼ同じである結果に対して, 人間アバタを対象としたパーソナルスペースにはイメージの影響が低く, 身長が一番影響している要因だと考える.

第五章

第5章 今後の課題および実装展開

この章はアバタに対するパーソナルスペースの測定と評価の研究に結論を出す、全体的なまとめについて述べる。

5.1 今後の課題

今回の実験においては、身長異なるアバタ、ロボットアバタを利用したが、さらなる多様性(動物型アバタ、非人間型アバタなど)を含めた検証が必要。これにより、パーソナルスペースの一般化や適応性についての理解が深まると考える。正面の距離データを測定できたが、立体的なパーソナルスペースの各方向の大きさも測定する必要がある。また、使用した人間アバタはデフォルトのモデルで、見かけとしてはアニメ風であり、異なる画風のアバタや似顔絵風のアバタなどの使用は今後の大事な課題だと考える。

現状の測定手法は一人称視点に依存しているが、マルチユーザー環境でのリアルタイム測定システムを開発し、複数のユーザ間の距離を動的に記録・分析できるシステムが求められる。

仮想空間におけるパーソナルスペースの侵害がハラスメント行為につながるため、パーソナルスペース侵害時にアラートを出す仕組みや、侵害を物理的に防ぐ自動システムの導入を検討できると考える。

5.2 実装展開

アバタ設計におけるパーソナルスペース反映により VRChat やメタバースプラットフォーム向けに、パーソナルスペースの適切な距離感を反映したアバタ設計ガイドラインを提案。これにより、各アバタが快適なインタラクション距離を保つ設計が可能になる。

インタラクティブなシミュレーションシステムにもつながれる。Unity や VRChat を基盤とし、パーソナルスペースの動的変化をシミュレーションするツールを開発。これにより、個別のユーザ特性に合わせた空間設計や訓練が可能となる。

また、企業・教育現場への応用だと考えられる。パーソナルスペースを活用した接客ロボットや遠隔教育アバタの設計。例えば、顧客がロボットとの適切な距離を感知しやすいような動作調整アルゴリズムを開発。教育現場では、教師アバタが生徒に圧迫感を与えない適切な距離を自動で調整するシステムを構築する。

また、デジタルツイン技術を応用し、現実空間での PS に基づく施設設計や動線の最適化

を実現。例えば、オフィスやイベント会場での距離設計に利用し、快適な対人距離を確保できる。

今時代に、AI 統合による個別最適化の仕組みがあると考え、AI を活用し、ユーザの行動や心理状態をリアルタイムで分析し、最適なパーソナルスペースを動的に変更するシステムの実装。これにより、よりパーソナライズされたコミュニケーションが可能になる。仮想空間内で PS が侵害された場合に、ユーザへリアルタイムで警告を出すシステムを導入。これにより、ハラスメント行為の防止や、より安全な仮想空間の利用も実現する。

5.2.1 現実空間の具体例分析(遠隔接客サービス)

- (1) 初めに、アバターロボットを活用するレストランで、空間デザインの難しいことがあり、人間が設計した空間が必ずしもアバタに適していないことがある、例えば、ドアの高さや幅、通路の広さなどが問題になると考えられる。
- (2) また、アバターロボット安全性を考慮するため、アバターロボットはサービスする際に遠いところで止まるが、ユーザ側はおもてなしのサービスが感じられなくなる問題が発生する。
- (3) 最後に、近すぎると圧迫感、嫌な感覚を与える可能性がある。さらにハラスメント問題になる可能性もある。

5.2.2 仮想空間の具体例分析(バーチャルイベント)

仮想空間のバーチャルイベント、衝突計算がないためアバター同士が重なったり、近すぎたりケースが常にあるため、観客に不快な体験を与える可能性が高いと考える。また、バーチャル接客サービス、メタバース上の教育現場なども将来的に現実空間と同じ問題が発生する可能性が高いと考える。

以上の具体例の課題に対して、本研究の研究結果が応用できると思う。仮想空間と現実空間のパーソナルスペースの相違を心配り、アバタやロボットの設計に活用。パーソナルスペース侵害時にアラートを出す仕組みや、自動保護システムの導入などが挙げられる。また、両空間でのパーソナルスペースに基づく空間設計や動線の最適化を実現。例えば、オフィスやイベント会場での距離設計に活用できることが考えられる。

第六章

第6章 結論

この章はアバタに対するパーソナルスペースの測定と評価の研究に結論を出す、全体的なまとめについて述べる。

第一章では、研究背景である様々なアバタの発展、市場規模、既存研究を遡り、研究の基盤である現実空間におけるプロクセミクス理論やパーソナルスペースの形状や、性別や文化、身長などが影響要因となる点について述べた。また、仮想空間におけるパーソナルスペースの研究はまだ未成熟であり、性別や身長、アバタの種類が距離感到う影響を及ぼすかを明確にする必要がある。本研究では、実空間とメタバース空間の比較を通じ、アバタにおけるパーソナルスペースの特性を測定・評価し、快適なコミュニケーション距離を実現するためのシステム設計を目指しているアプローチ方法、目的を明白できた。

第二章では、研究で使用する仮想空間内の測定システムの設計とその実行プロセスについて説明した。実験のプラットフォームとして VRChat が選定されており、Unity を利用して仮想空間やアバタの設計、開発、調整が行われた。測定システムは VRChat の API やツールを活用し、距離データや位置情報の記録、可視化機能を実現している。

第三章では、現実空間と仮想空間の両方でパーソナルスペースの計測実験を実施した。被験者が、アバタやロボットに対する距離感の評価を受け入れた。実験は一人称視点で行い、被験者が不快感を覚えたタイミングで距離の測定を行った。仮想空間では VRChat を利用し、現実空間の再現環境で四種類のアバタを対象とした測定を行った。また、SD 法による独自のイメージ調査を行い、パーソナルスペースに対する影響について議論していた。

第四章では、今節は第四章の実験結果から総合的な評価と考察について述べた。仮想空間でのパーソナルスペースは現実空間よりも広いことが判明。また、身長が高いアバタはパーソナルスペースを広げる要因となることが示された。CG アバタが実物よりもネガティブな印象を与える可能性が指摘され、パーソナルスペースにおける影響が議論された。

第五章では、今研究の今後の課題、また実装展開などについて述べた。アバタ設計におけるパーソナルスペース反映により各アバタが快適なインタラクション距離を保つ設計が可能になる。個別のユーザ特性に合わせた空間設計や訓練への活用。また、企業・教育現場への応用だと考えられる。パーソナルスペースを活用した接客ロボットや遠隔教育アバタの設計。AI を活用し、ユーザの行動や心理状態をリアルタイムで分析し、最適なパーソナルスペースを動的に変更するシステムの実装が考えられる。

参考文献

参考文献

- [1] Hall, E.T. (日高敏隆, 佐藤信行訳), 1970 かくれた次元 みすず書房
- [2] Moore, Nina (2010). *Nonverbal Communication: Studies and Applications*. New York: Oxford University Press.
- [3] Sommer, R., 1959 Studies in personal space. *Sociometry*, 22, 247-260
- [4] 田中 政子, Personal Space の異方的構造について, 教育心理学研究, 1973, 21 巻, 4 号, p. 223-232
- [5] Suzuki, Masao, 鈴木, 晶夫, パーソナル・スペースの基礎的研究 (I), 人間科学研究 = Waseda journal of human sciences, 0916-0396, 早稲田大学人間科学学術院, 1988, 第 1 巻, 第 1 号, 23-29, <https://cir.nii.ac.jp/crid/1050282677458787968>,
- [6] Sommer, Robert. *Personal Space: the behavioral basis of design*. Bosko Books, 2007
- [7] 青野 篤子, 対人距離の性差に関する研究の展望, 実験社会心理学研究, 2002-2003, 42 巻, 2 号, p. 201-218
- [8] 渋谷昌三, 人と人の快適距離 パーソナル・スペースとは何か, アドレナライズ, 2018
- [9] 渋谷昌三, Shibuya Shozo, パーソナル・スペースの形態に関する一考察, 山梨医科大学紀要, 0910-5069, 山梨医科大学, 1985, 2, 41-49
- [10] Emergen Research. (n.d.). デジタル人間アバター市場予測 | 2030 年までのデジタルヒューマン業界の動向. Emergen Research. 取得先: <https://www.emergenresearch.com/jp>
- [11] 矢野経済研究所. (2024 年 12 月 9 日). メタバースの国内市場動向調査の結果を発表. 日本経済新聞. 取得先: https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP683390_Z01C24A2000000/
- [12] 雨宮 智浩, 青山 一真, 伊藤 研一郎, 遠隔講義における講師アバタの見かけによって変化する受講希望度が授業への積極的参加行動に与える効果—オンライン授業への導入事例—, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2021, 26 巻, 1 号, p. 86-95
- [13] 大串 葉子 and Park Jaehyun and Chang Younghoon, アバターロボット OriHime を通じた価値の創造, 経営情報学会 全国研究発表大会要旨集, 一般社団法人 経営情報学会, 2023-01-31, 202211, 0, 179-182
- [14] 伊藤理紗, 阪田真己, バーチャル空間にパーソナルスペースは存在するか—現実世界状況法と停止距離法に着目して—, 情報処理学会第 84 回全国大会, 2022

- [15] Y. Wang, X. Zhang, Y. Liu, and J. Wang, “Personal Space Evaluation and Protection in Social VR,” in 2021 IEEE Conference on VRW, 2021
- [16] 久木田 水生, アバターとコミュニケーションの未来, 人工知能, 2021, 36 巻, 5 号, p. 585-592
- [17] SoftBank. (n.d.). Robot. SoftBank. Retrieved January 10, 2025, from www.softbank.jp/robot/
- [18] ロボットの未来を考える - MIRAI KOTO. (n.d.). 日経 BP プロジェクト. 取得先: http://project.nikkeibp.co.jp/mirakoto/atcl/robotics/h_vol29/
- [19] Avatarin 株式会社. (2025, 1 月 18 日). ニュースリリースのタイトル [プレスリリース]. <https://about.avatarin.com/info-news/news-release/8039/> (<https://www.scribbr.com/apa-examples/press-release/>)
- [20] NHK, “メタバース・ハラスメント デジタルの痛みとは,” NHK, 2023 年 3 月 19 日, [オンライン]. 利用可能: 1. [アクセス日: 2024 年 2 月 16 日].
- [21] VRChat. (n.d.). VRChat. Retrieved January 12, 2025, 取得先: <https://hello.vrchat.com/>
- [22] Pixiv Inc. (n.d.). VRoid Studio. 取得先: <https://vroid.com/studio>
- [23] Meta. (n.d.). Meta Quest 3. Meta. Retrieved January 20, 2025, 取得先 <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>
- [24] SoftBank. (n.d.). ロボット. ソフトバンク. 取得先: <https://www.softbank.jp/robot/> (<https://www.softbank.jp/en/robot/>)
- [25] 岩下豊彦. (1983). SD 法によるイメージの測定. 川島書店.
- [26] 小柳 陽光, 鳴海 拓志, Jean-Luc. Lugin, 安藤 英由樹, 大村 廉, ドラゴンアバタを用いたプロテウス効果の生起による高所に対する恐怖の抑制, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2020, 25 巻, 1 号, p. 2-11, 公開日 2020/03/31, Online ISSN 2423-9593, Print ISSN 1344-011X, https://doi.org/10.18974/tvrsj.25.1_2
- [27] 片平 建史, 武藤 和仁, 橋本 翔, 飛谷 謙介, 長田 典子, SD 法を用いた感性の測定における評価の階層性, 日本感性工学会論文誌, 2018, 17 巻, 4 号, p. 453-463, 公開日 2018/08/31

外部発表

外部発表

盛翔宇, 小木哲朗: アバタに対するパーソナルスペースの計測と評価, 第 54 回日本バーチャルリアリティ学会テレイマージョン技術研究会, 2024

謝辭

謝辞

本研究では、多くの方々からご支援、ご教示を頂けまして実施することができました。

研究を進めることに当たり、主査としての慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 小木哲朗教授から大変ご指導をいただき、心より感謝を申し上げます。具体的に、日々の研究生生活の支援から学会発表に親身のアドバイスの至るまで、様々な教訓をいただき貴重な人生経験となりました。

副査として慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 西村秀和教授にも、多忙のところから面談をいただき、研究を多角度の視点から進めることができ、心より感謝を申し上げます。

小木研究室と共同で行った慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 矢向高弘教授には、ゼミの発表に対して毎回の確なフィードバックをいただき、心より感謝を申し上げます。

小木研究室、矢向研究室の学生のみなさんにも、実験協力や発表に対する議論などを行っていただき、心より感謝申し上げます。

お忙しいところ、実験にご協力いただいた方々にも、心より感謝を申し上げます。

子供から留学ができるまでに、見返りを求めず長い間を支えてくれた今年に他界した父に心より感謝と思念を申し上げます。

最後に、二年間大学院の研究生生活において一緒に困難を乗り越えた諸先輩方及び同期、研究室の皆様に深く感謝を申し上げます。皆様の今後の活躍を心から祈っています。

付録

付録

仮想空間におけるパーソナルスペース計測システムの機能実現のソースコード

```
using UdonSharp;
using UnityEngine;
using VRC.SDKBase;
using VRC.Udon;
using TMPro; // 使用TextMeshPro
public class PositionRecorder : UdonSharpBehaviour
{
    public TextMeshProUGUI positionLogText;
    private VRCPlayerApi localPlayer;
    private float lastRecordTime = 0f;
    public float recordInterval = 1f; // 间隔时间 (秒)

    void Start()
    {
        localPlayer = Networking.LocalPlayer;

        if (localPlayer == null)
        {
            Debug.LogError("Local player not found.");
            return;
        }

        if (positionLogText == null)
        {
            Debug.LogError("Position Log Text is not assigned.");
            return;
        }

        Debug.Log("PositionRecorder initialized successfully.");
    }

    void Update()
    {
        // 检测右控制器
        bool triggerPressed = Input.GetAxisRaw("Oculus_CrossPlatform_SecondaryIndexTrigger") > 0.75f;

        // 检测鼠标左键单击
        bool mouseClick = Input.GetMouseButtonDown(0);

        // 检查按键条件和记录时间间隔
        if ((triggerPressed || mouseClick) && Time.time >= lastRecordTime + recordInterval)
        {
            Debug.Log("Recording position.");
            RecordPosition();
            lastRecordTime = Time.time;
        }
    }
}
```

```

private void RecordPosition()
{
    Vector3 playerPosition = localPlayer.GetPosition();
    float distanceToOrigin = new Vector2(playerPosition.x, playerPosition.z).magnitude;
    string logEntry = $"Position: X: {playerPosition.x:F2}, Y: {playerPosition.y:F2}, Z: {playerPosition.z:F2} | Distance: {distanceToOrigin:F2}m\r\n";

    positionLogText.text += logEntry;

    Debug.Log("Recorded: " + logEntry);
}
}

```

アンケート構成の詳細

以上の事前調査より、アンケートが使用する項目 SD 法の形容詞のペアが決まり、それに基づいて、アンケートは以下の構成で 6 つを作成した。

(1) 人間—人間

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)
 - 親しみやすい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦冷たい
 - 楽しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦つまらない
 - リアルな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦非現実的な
 - 安心できる① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦怖い
 - 魅力的な① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦魅力がない
 - 感情豊かな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無表情な
 - 礼儀正しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無礼な

(2) 人間—アバタロボット

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- ロボットが人間に思える程度
(全然人間に思えない 1～7 の非常に人間に思える)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)
 - 親しみやすい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦冷たい

- 楽しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦つまらない
- リアルな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦非現実的な
- 安心できる① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦怖い
- 魅力的な① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦魅力がない
- 感情豊かな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無表情な
- 礼儀正しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無礼な

(3) 人間アバター—人間アバタ

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)
 - 親しみやすい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦冷たい
 - 楽しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦つまらない
 - リアルな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦非現実的な
 - 安心できる① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦怖い
 - 魅力的な① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦魅力がない
 - 感情豊かな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無表情な
 - 礼儀正しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無礼な

(4) 人間アバター—低身長人間アバタ

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)
 - 親しみやすい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦冷たい
 - 楽しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦つまらない
 - リアルな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦非現実的な
 - 安心できる① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦怖い
 - 魅力的な① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦魅力がない
 - 感情豊かな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無表情な
 - 礼儀正しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無礼な

(5) 人間アバター—ロボットアバタ

- 実験参加者番号(1～10)

- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- ロボットが人間に思える程度
(全然人間に思えない 1～7 の非常に人間に思える)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)
 - 親しみやすい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦冷たい
 - 楽しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦つまらない
 - リアルな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦非現実的な
 - 安心できる① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦怖い
 - 魅力的な① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦魅力がない
 - 感情豊かな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無表情な
 - 礼儀正しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無礼な

(6) 人間アバター高身長ロボットアバター

- 実験参加者番号(1～10)
- 相手が止まった時に、その対人距離で感じている気づまりの程度
(全く気づまりを感じない 1～7 の非常に気づまりを感じる)
- ロボットが人間に思える程度
(全然人間に思えない 1～7 の非常に人間に思える)
- イメージ測定(ポジティブ 1～7 ネガティブ)
 - 親しみやすい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦冷たい
 - 楽しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦つまらない
 - リアルな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦非現実的な
 - 安心できる① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦怖い
 - 魅力的な① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦魅力がない
 - 感情豊かな① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無表情な
 - 礼儀正しい① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦無礼な