

平成 29 年度 学士論文

## 身体性を有するバーチャルペットの開発

千葉工業大学  
情報科学部 情報ネットワーク学科  
1432104 中島 葉瑠奈

指導教員 \_\_\_\_\_ 菅原 研次  
\_\_\_\_\_ 真部 雄介

# 目 次

<b>第 1 章 序論</b>	<b>1</b>
1.1 背景 . . . . .	1
1.2 関連研究 . . . . .	1
1.3 目的 . . . . .	2
1.4 本論文の構成 . . . . .	2
<b>第 2 章 先行研究と利用技術</b>	<b>3</b>
2.1 概要 . . . . .	3
2.2 問題点 . . . . .	5
2.3 利用技術 . . . . .	5
2.3.1 Unity . . . . .	5
2.3.2 HTC Vive[2] . . . . .	6
2.3.3 Maya . . . . .	6
2.3.4 Visual Studio . . . . .	7
<b>第 3 章 提案手法</b>	<b>8</b>
3.1 概要 . . . . .	8
3.2 仮想空間 . . . . .	10
3.2.1 ユーザ部 . . . . .	10
ユーザアバター . . . . .	10
3.2.2 ペット部 . . . . .	11
バーチャルペット . . . . .	11
3.2.3 環境部 . . . . .	12
3.3 ユーザ管理 . . . . .	13
3.4 ペット管理 . . . . .	14
<b>第 4 章 実験と評価</b>	<b>17</b>
4.1 実験環境 . . . . .	17
4.2 実験用バーチャルペット . . . . .	17
4.3 実験方法 . . . . .	18
4.4 評価方法 . . . . .	18
4.5 実験結果 . . . . .	19
<b>第 5 章 結論</b>	<b>24</b>
5.1 考察 . . . . .	24
5.2 まとめ . . . . .	25
5.3 今後の課題 . . . . .	25

# 図 目 次

2.1	ちょばにやんの外観	3
2.2	ちょじにやんの外観	3
2.3	ちょばにやん及びちょじにやんの反応行動	4
2.4	Unity の開発画面	6
2.5	HTC Vive[2]	6
2.6	コントローラ [2]	6
2.7	Maya の制作画面	7
3.1	提案システムの構成	8
3.2	システムのスクリーンショット	9
3.3	アバター同士が衝突時のスクリーンショット	9
3.4	仮想空間の詳細設計	10
3.5	ユーザアバターの 3DCG モデル	11
3.6	バーチャルペットの 3DCG モデル	12
3.7	仮想空間	13
3.8	ユーザ管理の詳細設計	13
3.9	ペット管理の詳細設計	14
3.10	HeadLookController のインスペクター	15
3.11	バーチャルペットの動作のフローチャート	16
4.1	実験用ペットのスクリーンショット	18
4.2	大項目 A 「身体性あり条件全体の身体性」の集計結果	20
4.3	大項目 B 「現実感の要素」の集計結果	21
4.4	最も現実感を感じた要素	22
4.5	最も現実感を感じなかった要素	22

# 表 目 次

2.1 ペットロボットとバーチャルペットの比較 . . . . .	4
3.1 コントローラの入力一覧 . . . . .	14
4.1 開発, 実験環境 . . . . .	17
4.2 バーチャルペット条件の比較 . . . . .	17
4.3 質問紙の項目 . . . . .	19
4.4 大項目 A 「身体性あり条件全体の身体性」の分析結果 . . . . .	20
4.5 大項目 B 「現実感の要素」の分析結果 . . . . .	21

# 第1章 序論

本章では、本研究における背景と目的を中心として述べる。

## 1.1 背景

近年、精神疾患を抱える患者が増加している。その要因として、人間関係や環境の変化・身体の不調等から来るストレスがある。ストレスはうつ病といった精神疾患のみならず、神経性胃炎・十二指腸潰瘍を引き起こすなど身体に悪影響を及ぼす。ストレス社会とも呼ばれる現代を生きる上でメンタルヘルス対策への取り組みは必要不可欠といえる。

ストレス対処法の1つとして、アニマルセラピー（Animal Assisted Therapy）がある。動物と触れ合うことにより精神・身体機能の向上を図る治療法で、実際にリラックス効果や社会性の向上といった精神への効果、身体面においても血圧の低下などの効果が確認されている。しかし、この治療法には生きた動物と接するが故のリスクが存在する。例えば不特定多数の人間が集まる施設では、セラピーを受ける患者以外のアレルギーを持つ人や動物に苦手意識がある人への配慮が必要である。更に、セラピーに使用する動物には吠える・噛むといった問題行動をしないよう徹底的な訓練を行わなくてはならず、また動物を管理するため医師や看護師とは別に専門的な訓練を受けた人間が必要になる。

アニマルセラピーの代替案として、近年ペットロボットやバーチャルペットの研究が進められている。ペットロボットとは、実用性よりも娛樂性に重きを置いて設計されたロボットのことである。動きなど目で楽しませるものから、対話を行うことができるものまでその機能は幅広い。当初はペットロボットという名前通り動物の形を模したものが多く存在したが、現在は人の形をしたロボットも開発されている。中でも産業技術総合研究所が開発したアザラシ型ロボット「パロ」は2002年に世界一の癒しロボットとしてギネスブックにより認定されており、現在においても医療機関・介護施設等で活躍している。2017年にはSonyによって「aibo」が発表されるなどその発展は目覚ましい。

一方、バーチャルペットはゲームソフトやスマートフォンアプリなど、気軽に触ることのできるコンテンツが多く存在する。最も知名度の高いものとして、たまごっちがあげられる。画面上に存在する「たまごっち」と呼ばれる架空の存在を飼育し、成長させることを目的としたキーチェーンゲームで、1990年代において社会現象を巻き起こした。現代ではステージである家の庭先に猫を集めるスマートフォンアプリ「ねこあつめ」が人気を博し、2015年にはCEDEC AWARDS2015ゲームデザイン部門最優秀賞を受賞している。

## 1.2 関連研究

林らはペットロボットとバーチャルペットとのふれあいによるセラピー効果の差異を身体性の観点から比較検証を行った[1]。身体性とは身体が持つ性質を指すが、その定義は分野ごとに変わる。林らは実体を有することにより、ユーザや周辺環境との物理的な相互作用を可能とすること

を身体性として定義している。実験の結果、バーチャルペットに比べてペットロボットの方が心理的・生理的共にストレス緩和効果が高いことが分かった。その要因として、ペットロボットが身体性を有することを述べている。

しかしながら、バーチャルペットにおいても VR 技術を用いることにより、疑似的ではあるが身体性を持つことは可能であると考える。VR (Virtual Reality) とは、人間の五感を刺激することでまるで現実のように体感させる概念や技術のことであり、広義で言えば映画やTVなどもこれに含まれる。本研究で用いる VR 技術は、現在主流となっている頭部に装着する HMD (Head Mounted Display) を用いて 360 度の視界を表現し、コンピュータで生成された空間にまるで現実のように没入することができるシステムを指す。身体性がセラピー効果と深い繋がりを持つことから、このような技術を用いて身体性を有することができればバーチャルペットのセラピー効果向上が期待できる。

### 1.3 目的

そこで本研究では、VR 技術を利用して身体性の特性である現実感を向上させ、更に接触フィードバックを実装することによって身体性を有するバーチャルペットの開発を目的とする。

### 1.4 本論文の構成

本論文は、本章を含め章から構成される。第 1 章では、序論として背景、目的と、本論文の構成について述べた。第 2 章では、先行研究として、ペットロボットとバーチャルペットの比較検証実験について、そして利用技術として HTC Vive や Unity 等について述べる。第 3 章では、本研究で開発するバーチャルペットの設計について述べる。第 4 章では、実験環境、実験方法、実験結果について述べる。第 5 章では、まとめと今後の課題について述べる。

# 第2章 先行研究と利用技術

本章では、本研究における先行研究を述べる。

## 2.1 概要

林らは、バーチャルペットと比較して実体を有するペットロボットの方がセラピー効果が高いと考え、ふれあいによる心理・生理的なストレスの緩和効果の差異を比較・検証を行った。

検証に使用するペットロボットは、林らが開発した柔らかい触感を有するセラピーロボット「ちょぼにゃん」である。頭部に配置された接触を検知するセンサ部、人工筋肉でできた尻尾に位置する感情表出部、感情表出部を制御する制御部から構成されている。バーチャルペットは「ちょぼにゃん」を模した3DCGキャラクタの「ちょじにゃん」が林らにより開発され、実験に用いられた。「ちょじにゃん」はユーザの接触動作をペットロボットに出来る限り近付けるために、Leap Motionを用いる。Leap Motionとは、画像解析を用いて3D空間で手のトラッキングを可能としたNUI向け入力機器である。これによりトラッキングされた手の位置は仮想ハンドとして画面上に反映され、ちょじにゃんへの頭を撫でる、叩くといったユーザの接触を検知できる。

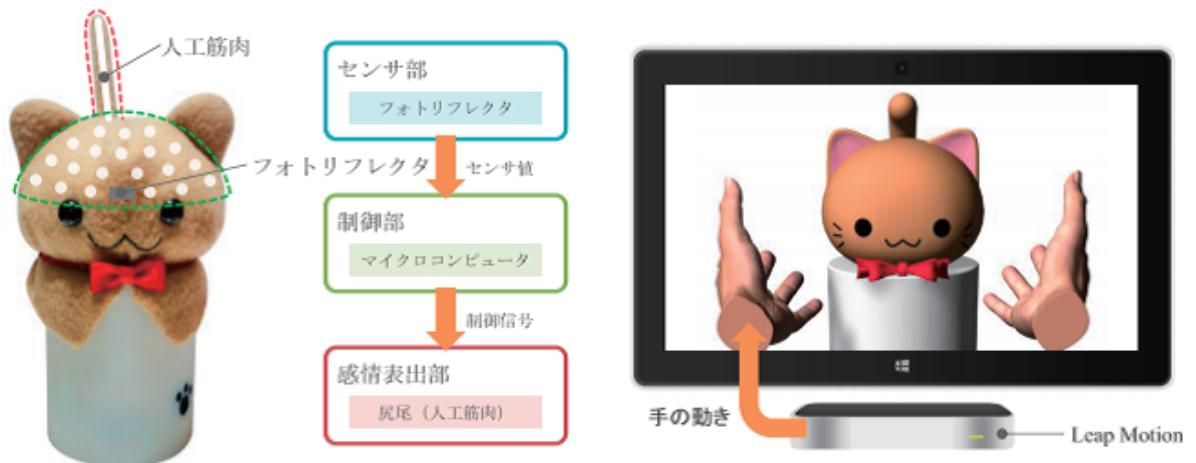


図 2.1: ちょぼにゃんの外観

図 2.2: ちょじにゃんの外観

ペットロボット、バーチャルペット共にユーザが頭を撫でた時は尻尾を左右に振り喜び表現を、ユーザが頭を叩いた時には尻尾を垂れ下げ悲しみ表現を表すといった二種類の反応行動を行う。

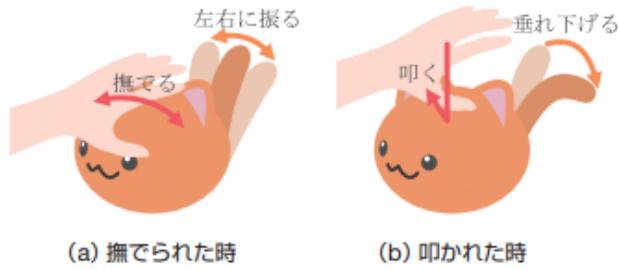


図 2.3: ちょぼにゃん及びちょじにゃんの反応行動

バーチャルペットとペットロボットのセラピー効果を比較するため、心理的、生理的の二面からストレス緩和効果の比較検証実験を行った。心理効果の評価実験では、まず実験参加者にストレスを与えるために、被験者に計算課題を 2 分間行った。計算課題終了後、POMS と呼ばれる気分プロフィール検査を実施した。質問用紙を回収後にペットロボット、もしくはバーチャルペットと 2 分間自由にふれあってもらい、再度 POMS 検査を行った。最後に、ふれあったペットの印象の評価として SD 尺度法を用いて回答を求めた。実験の結果、ペットロボットとバーチャルペットとともに心理的なストレス緩和効果があることが分かった。特にペットロボットはバーチャルペットと比較して有意な変化が認められた尺度が多く、特に緊張の緩和効果と活気の尺度において高い効果を示した。親密性ではペットロボットの方で高い値が確認されたが、力本性と信頼性においてはバーチャルペットの方が高い。以上より、ペットロボットとバーチャルペットが与える印象の性質に差があると記述している。

生理的効果の評価実験では、心理的効果測定と同様にまず計算課題を実施する。その後、MindWave Mobile を用いて被験者の安静閉眼時の脳の状態を 1 分間計測した。MindWave Mobile とは、国際 10-20 法の Fp1 領域の脳波を計測可能な簡易脳波計である。次に、ペットロボット、もしくはバーチャルペットと 2 分間ふれあってもらい、その後再度被験者の安静閉眼時の脳状態を 1 分間計測した。実験の結果、ペットロボットには  $\alpha$  波の含有率の増加、 $\beta$  波の減少が確認された。 $\alpha$  波はリラックスしている時に、 $\beta$  波は精神的に緊張しているときに多く出現するとされている。一方バーチャルペットには、 $\alpha$  派、 $\beta$  波共に変化が殆ど確認できなかった。このことから、ペットロボットは生理的なストレス緩和効果を持つが、バーチャルペットは持たないということが分かった。

以上二つの評価実験の結果から、生理的、心理的どちらの側面においてもペットロボットの方が高いストレス緩和効果を得ることができた。検証した全ての比較結果を表 2.1 に示す。

セラピー効果	一時的気分尺度	緊張	ペットロボット
		抑鬱	ペットロボット
	混乱	怒り	ペットロボット
		疲労	-
	活気	活気	ペットロボット
			ペットロボット
印象	$\alpha$ 波	$\alpha$ 波	ペットロボット
		$\beta$ 波	ペットロボット
			ペットロボット
			バーチャルペット
			バーチャルペット
			バーチャルペット

表 2.1: ペットロボットとバーチャルペットの比較

多くの項目でバーチャルペットよりもペットロボットが優れており、セラピー効果の項目においては全てペットロボットの方が高い効果を示したことが分かる。このような結果になった要因として、林らは「接触フィードバック」「現実感」という二点のキーワードをあげている。まず、接触フィードバックとはユーザの接触に対するペットからのフィードバックのことである。ペットロボットは現実に存在しているために、接触すれば感触がそのまま返ってくる。しかしながら、バーチャルペットは実在しないために感触が返ってくることがない。実験参加者の9割が、自身の手が接触しているのかどうか分かりづらく、戸惑ったと答えている。林らは接触フィードバックは身体性が持つ特性の一つであると記述している。次に現実感について、実験に使用されたバーチャルペットはタブレット上に表示された3DCGキャラクタであり、このことから実験参加者の8割がゲームで遊んでいるような感覚だったと答えた。一方ペットロボットとのふれあいにおいては、実験参加者の7割が動物と接している感覚に近く、親しみやすかったと答えた。現実感についても身体性が持つ特性の一つであると記述している。

## 2.2 問題点

林らはペットロボットと比較して、バーチャルペットは身体性を有さないためにセラピー効果が低いとしている。しかしながら、バーチャルペットにおいても利用技術によって身体性を付与することは可能であると考える。本研究では、HMDを用いて仮想空間を出力し疑似的な現実感をユーザに与えると共に、コントローラの振動を利用して接触フィードバックを実装した身体性を有するバーチャルペットの開発を行う。

## 2.3 利用技術

本研究で利用する技術について述べる。

### 2.3.1 Unity

Unityとは、ユニティ・テクノロジーズが開発した総合開発環境を内蔵するゲームエンジンである。モバイル、VR、AR、デスクトップ、コンソール、Webと数多くのプラットホームに対応しており、その柔軟性は極めて高い。簡易なものであればプログラミングを行わずとも3Dステージの構築や物理エンジンの導入が可能である。また3Dだけでなく、2D描画にも対応している。更に、アセットストアと呼ばれるショップで他のユーザが作成したプログラムや3DCGモデル、テクスチャといったデータがアセットという形で提供されており、プロジェクトに直接インポートして使用することができる。3D空間の作成が容易であることから、本研究ではUnityを使用する。

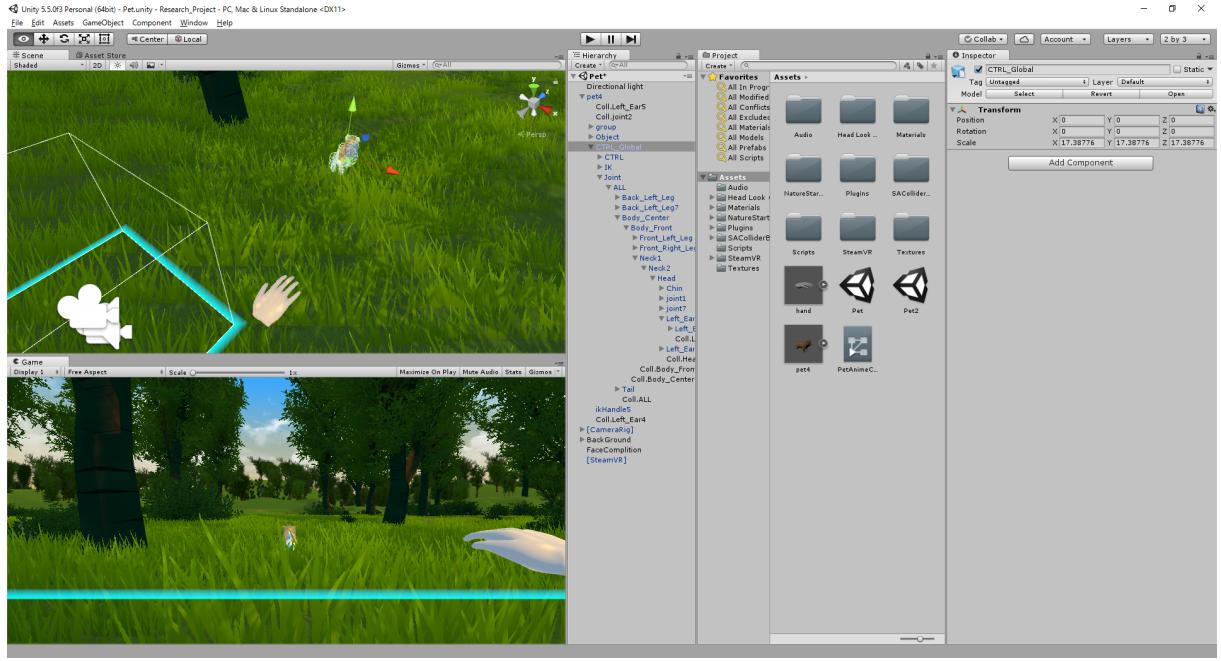


図 2.4: Unity の開発画面

### 2.3.2 HTC Vive[2]

HTC Vive とは、HTC と Valve Corporation の共同で開発されたバーチャルリアリティ向けヘッドマウントディスプレイである。部屋の二箇所にベースステーションを設置することで、最小 1.5m × 2m、最大 3m × 4m の範囲でユーザの動きをリアルタイムにトラッキング、仮想現実に反映できる。VR 専用に設計されたコントローラが付属しており、直感的な操作とジェスチャーを実現可能。本研究では現実感を高めるための HMD として HTC Vive を利用し、接触フィードバックの実装にコントローラを使用する。



図 2.6: コントローラ [2]

図 2.5: HTC Vive[2]

### 2.3.3 Maya

Maya はオートデスク社によって開発されたハイエンド 3 次元コンピュータグラフィックスソフトウェアである。ハリウッドをはじめとした映画からゲーム、CM の制作に使用されている。映

画のVFX市場で圧倒的なシェアを誇り、ゲーム市場においてもMayaと同じく3次元コンピュータグラフィックスソフトウェアである3ds Maxと50%50%であるとオートデスク社は述べている。本研究で使用したペット及びユーザの手のアバターはMayaを用いて作成した。

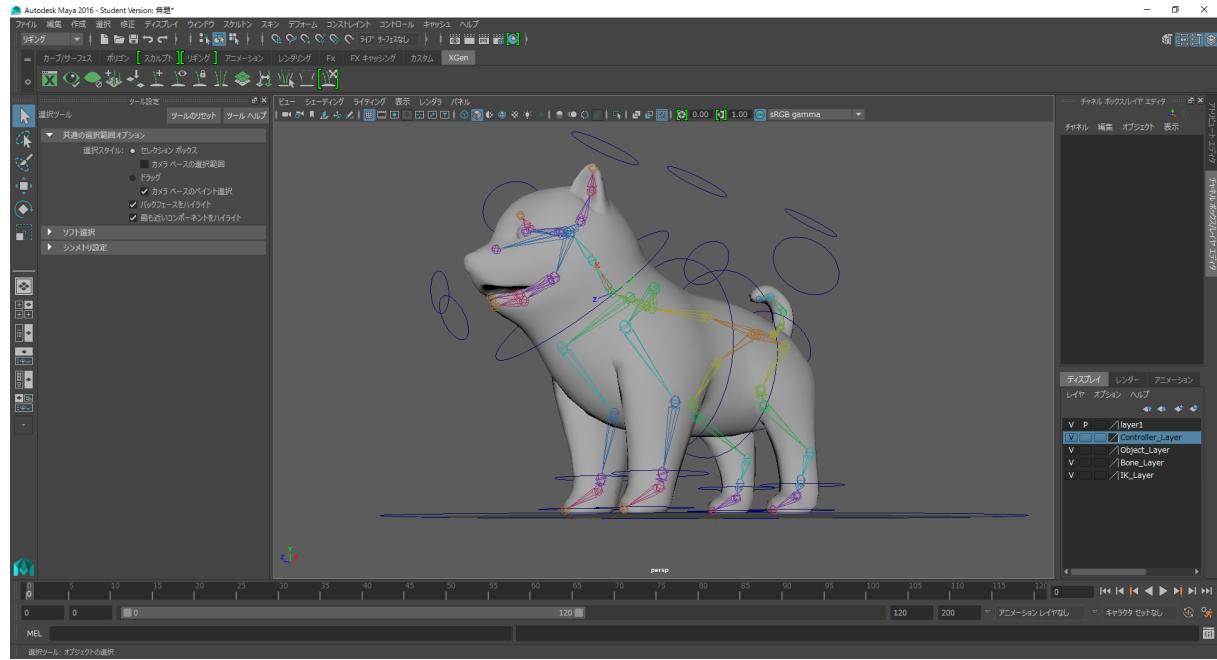


図 2.7: Maya の制作画面

### 2.3.4 Visual Studio

Visual Studio は Microsoft 社が開発した統合開発環境である。C #, Visual Basic, Python といった8種類のプログラム言語に対応している。また、WindowsだけでなくiOSやLinuxなどのOSにも対応可能である。UnityにはMonoDevelopという統合開発環境が標準で備わっているが、Visual Studio がこのスクリプトエディタよりも高機能であることから、本研究ではVisual Studio を利用する。

# 第3章 提案手法

本章では、本研究で開発するバーチャルペットについて述べる。

## 3.1 概要

本研究のシステム構成図を図 3.1 に示す。本システムは HMD、コントローラ、イヤホンから成るデバイス部と Unity により実装した仮想空間、ユーザ管理、ペット管理から成るシステム部から構成される。

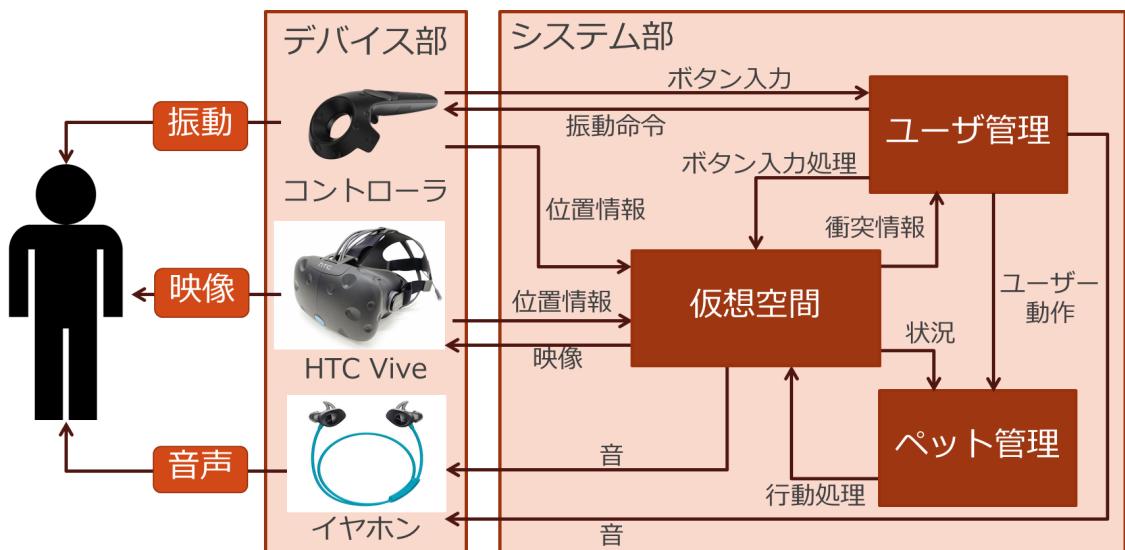


図 3.1: 提案システムの構成

まず大まかにシステムの流れについて述べる。ユーザは HMD、イヤホンを装着し、コントローラを手に持った状態で仮想空間に没入する。これらのデバイスを用いることによって、ユーザに視覚、聴覚、触覚への刺激を与えることが可能となる。ユーザの頭部の動きは HMD に、手の動きはコントローラによってトラッキングされ、仮想空間上に反映される。コントローラはトリガーもしくはボタンが入力されれば、その情報をユーザ管理へと渡す。ユーザ管理は仮想空間へボタン入力処理を行い、そのユーザ動作によってはペット管理がバーチャルペットへの行動処理を行う。ユーザアバターがバーチャルペットとの衝突を検知すると、ユーザ管理とペット管理へそれぞれ衝突情報が渡される。ユーザ管理からはコントローラへ振動命令が送出され、コントローラが振動することでユーザに接触フィードバックを起こす。ペット管理はバーチャルペットの衝突時における動作処理を行う。ペット管理は衝突情報の他に、位置情報など仮想空間の状況を得て処理を行う。

実際の動作の流れとして、まずペットが自由に動き回る待機状態から開始する。ユーザがトリガーを深く引くと、ペットはユーザの位置まで移動し、ユーザの手前で停止する。この状態を触れ合い可能状態と呼ぶ。触れ合い可能状態では、ペットに触れることができるようになる。この状態で

再度トリガーを深く引くと、ペットは待機状態へと戻りフィールド内を自由に歩き回るようになる。システムのスクリーンショットを図に示す。

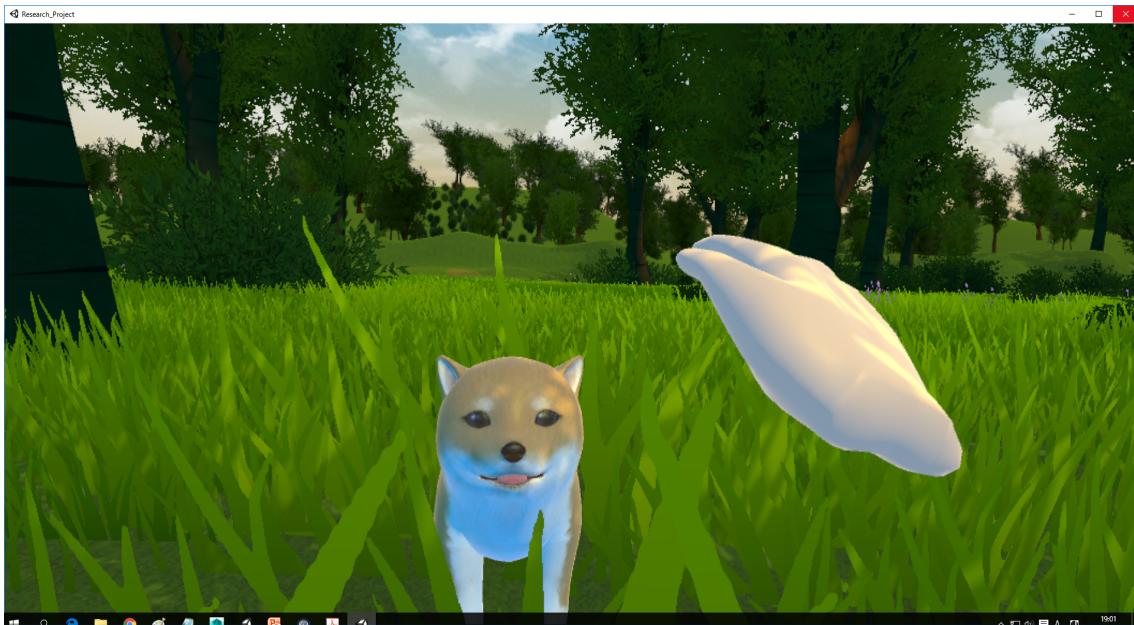


図 3.2: システムのスクリーンショット



図 3.3: アバター同士が衝突時のスクリーンショット

## 3.2 仮想空間

仮想空間の構築には Unity を使用した。仮想空間はユーザ部、ペット部、環境部の 3 部から構成され、これらによって構築された仮想空間を HMD に映像として出力する。この設計を図 3.4 に示す。



図 3.4: 仮想空間の詳細設計

### 3.2.1 ユーザ部

ユーザ部はカメラ、ユーザアバターの 2 つのオブジェクトにより構成される。カメラは HMD からユーザの頭部の位置情報を取得し、その動作を仮想空間に反映する。ユーザアバターはコントローラから位置情報を取得し、カメラと同様にその動作を仮想空間に反映する。

#### ユーザアバター

仮想空間に置かれるユーザのアバターは手部分のみである。HMD のコントローラにはコントローラの 3DCG モデルが標準で用意されているが、現実感の付与を目的とした本研究ではコントローラよりも人間の手のモデルを使用した方が自然である。そのため Maya を用いて手の 3DCG を作成し、Unity へエクスポートした。コントローラモデルの代わりに使用する。物理衝突による処理を行うため、コライダーと呼ばれるコンポーネントを用いて物理衝突のためのオブジェクト形状を定義する。ユーザアバターのコライダーはアセットストアから入手した SAColliderBuilder を使用して可能な限り精密なものを作成した。

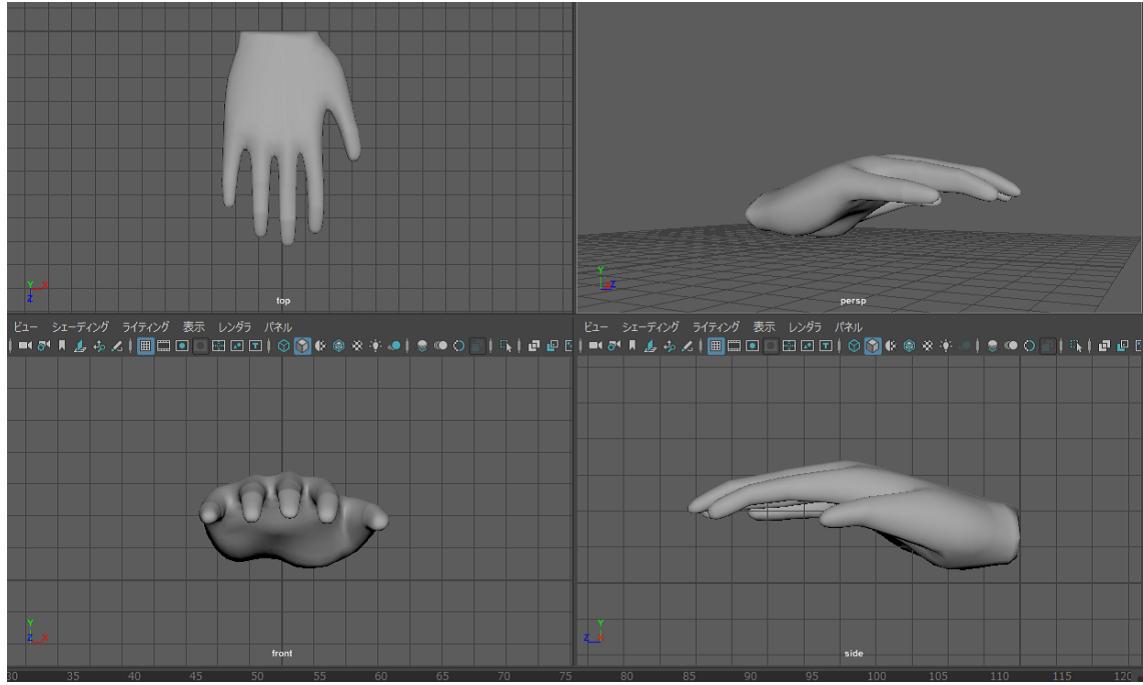


図 3.5: ユーザアバターの 3DCG モデル

### 3.2.2 ペット部

ペット部はバーチャルペット、視線補完オブジェクトの 2つのオブジェクトにより構成される。バーチャルペットはペット管理に位置情報、衝突情報といった仮想空間におけるアバターの状況を渡し、その状況に応じた行動処理を受け仮想空間上で動作する。視線補完オブジェクトはバーチャルペットの視線移動をスムーズに行うために用意されたオブジェクトである。バーチャルペットと同様に、ペット管理に位置情報、衝突情報といった仮想空間におけるオブジェクトの状況を渡し、その状況に応じた行動処理を受け仮想空間上で動作する。

#### バーチャルペット

本研究では先行研究のバーチャルペットは使用せず、新しく柴犬の子犬を参考に Maya を用いて 3DCG モデルを作成、Unity へエクスポートした。待機、歩く、走る、尻尾を振るの 4 種類のアニメーションが可能である。コライダーはユーザアバターと同様に、アセットストアから入手した SAColliderBuilder を使用して可能な限り精密なものを作成した。

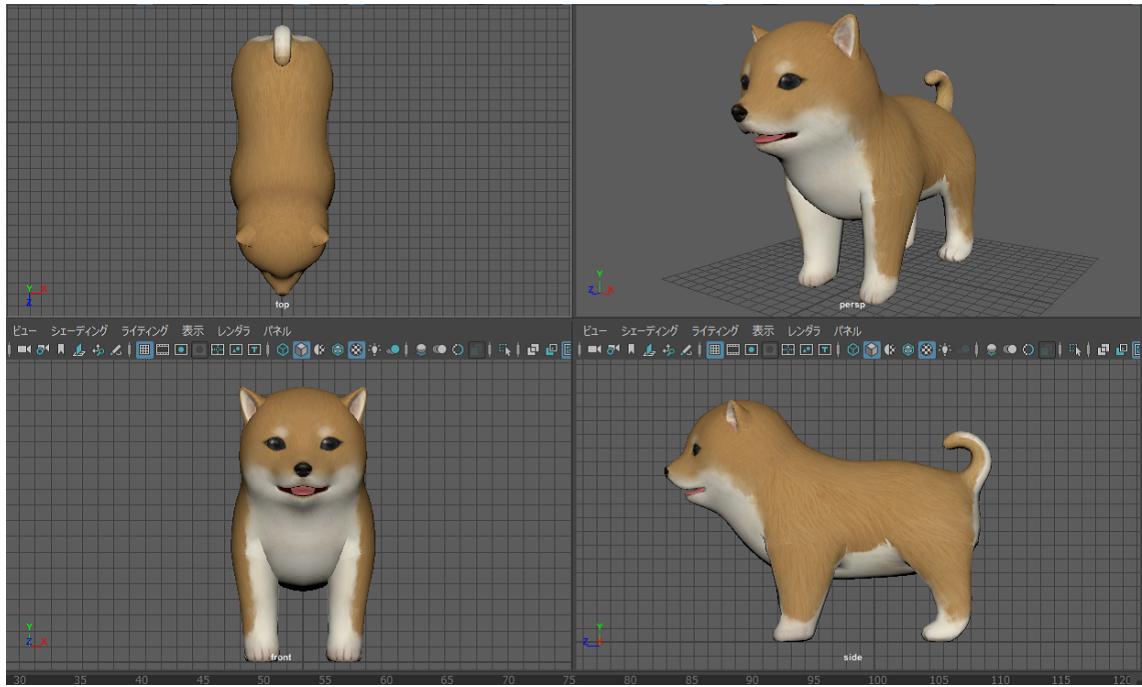


図 3.6: バーチャルペットの 3DCG モデル

### 3.2.3 環境部

環境部はオーディオ、木や草などの環境を構築する複数の環境オブジェクトから構成される。木や草、地面などの環境オブジェクトは Unity のアセットストアで入手した Nature Starter Kit 2 を使用して配置した。更に、風を吹かせることができる WindZone を環境オブジェクトとして配置することで、木の葉や草が揺れるように表現した。環境音は木々のざわめきと鳥のさえずりの二種類を用意し、音量を調整した上で同時に再生し、デバイスであるイヤホンに出力する。音はループ再生する。



図 3.7: 仮想空間

### 3.3 ユーザ管理

ユーザ管理は PlayerController と HandController の 2 つのスクリプトによって構成される。この設計を図 3.8 に示す。

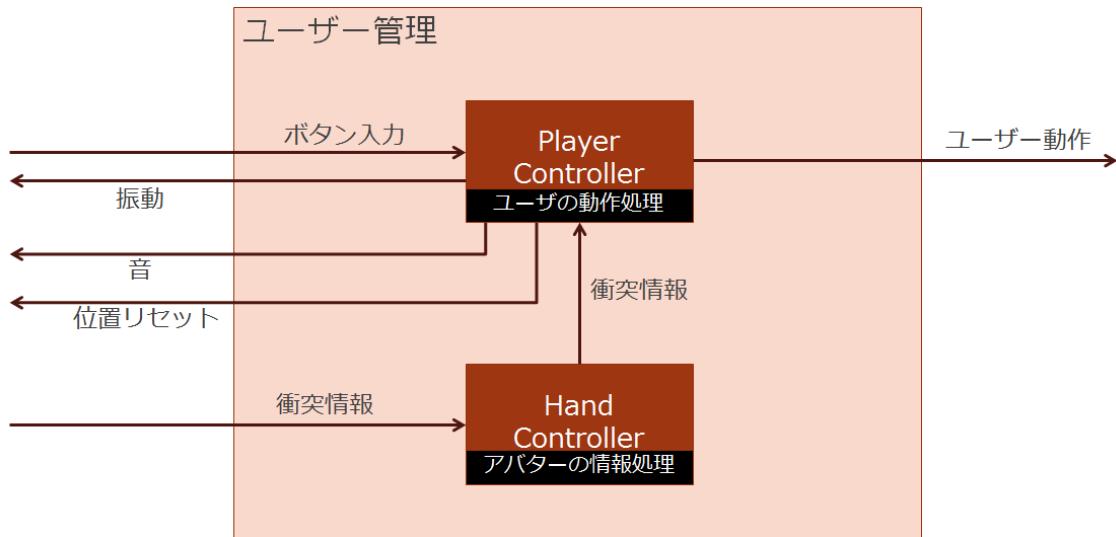


図 3.8: ユーザ管理の詳細設計

PlayerController はコントローラのボタン入力に対し、各ボタンの入力に応じた動作処理を行う。コントローラのトリガーが深く引かれると、口笛の効果音を鳴らし終えた後に public で宣言した変数の代入を行う。この変数の値に応じてペット管理はペットの動作処理を実行する。コントローラのメニューボタンが押された場合は HMD の位置を初期位置へリセットし、グリップボタンを押された場合はシーンを切り替える。このシーンの切り替えは後述する実験で使用する。以上のコントローラの入力を表 3.1 に示す。

表 3.1: コントローラの入力一覧

入力	動作
トリガーを深く引く	待機状態もしくは触れ合い可能状態への遷移
メニューボタンを押す	着席位置のリセット
グリップボタンを押す	シーンの切り替え

HandController はユーザアバターにアタッチされており、バーチャルペットと衝突するとその情報を親オブジェクトにアタッチされている PlayerController に渡す。衝突情報を受け取った PlayerController は、コントローラに振動命令を出す。

HMD のコントローラの振動の値は最大 3999 まで設定が可能だが、本研究で想定するペットに触れるという動作において強い振動は好ましくない。よって、人が感知できる程度の弱い振動を求め値を 200 で実装した。

### 3.4 ペット管理

ペット管理は PetController, MovePet, HeadLookController, DirectionManager の 4 つのスクリプトによって構成される。この設計を図 3.9 に示す。

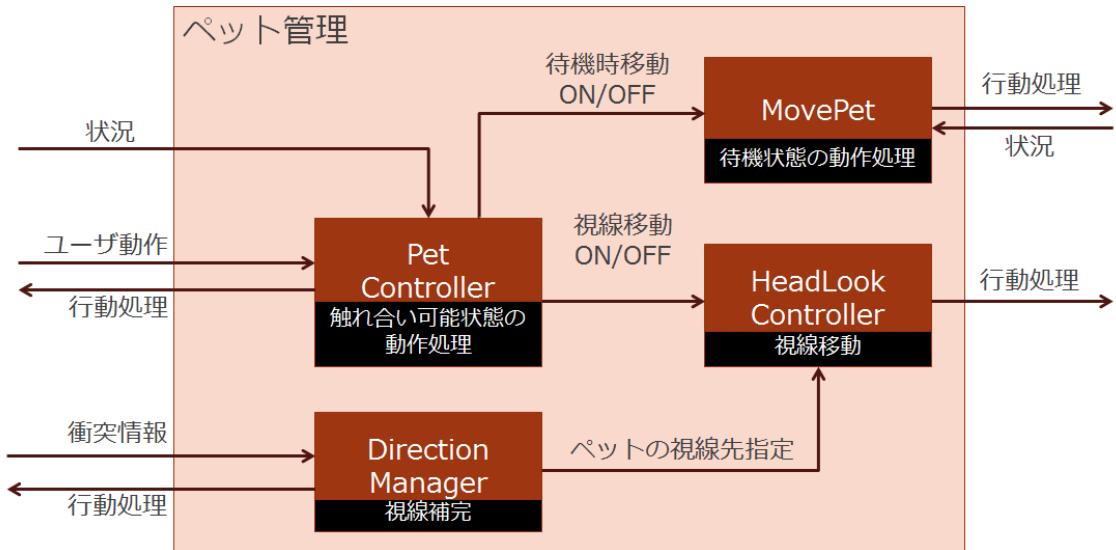


図 3.9: ペット管理の詳細設計

PetController は主にペットの触れ合い可能状態における動作処理を行うスクリプトである。システムは起動時待機状態で開始するが、コントローラのトリガーが深く引かれてると PlayerController が変数を代入する。この変数を参照し、PetController は触れ合い可能状態への移行を開始する。触れ合い可能状態へ移行するにあたり、待機状態の動作を制御する MovePet を停止し、代わりに視線動作を制御する HeadLookController の動作を開始する。口笛が鳴り終えると、バーチャルペットは走るアニメーションを再生すると共にユーザの位置へと移動を開始し、ユーザの手前で停止する。このとき自然な動作が行えるように回転の動きは球面線形補完を行う Slerp 関数を用いて記述した。この状態で再度トリガーが深く引かれてると、MovePet を起動すると共に HeadLookController を停止し、待機状態へと戻る。ユーザアバターと衝突すると、尻尾を振るアニメーションを再生し、視線先を変更すると共に衝突カウントを始める。衝突カウントは初期値 0 で、衝突後 1 フレー

ムごとに 1 増加し、一定数を超えると 0 へとリセットされる。この間、バーチャルペットは衝突時の処理を行わない。再度衝突するとまたカウントを開始する。衝突から離脱、すなわちユーザアバターがバーチャルペットから離れたとき、離脱カウントが開始する。離脱カウントは初期値 0 で、衝突後 1 フレームごとに 1 増加し、一定数を超えると 0 へとリセットされる。この間、バーチャルペットに再度衝突しても 0 にリセットされる。一定数を超えたとき、尻尾を振る動作を停止すると共に視線先ターゲットを変更する。

MovePet は待機状態の動作処理を行うスクリプトである。目標位置を設定し、その位置に向かってバーチャルペットの移動を行う。一定距離移動すると目標位置を設定し直し、その新しく設定した目標位置へと移動する。この動作を待機状態の間繰り返す。前述したように、このスクリプトは触れ合い可能状態へ移行する際に PetController によって停止し、待機状態へ移行する際に起動する。

HeadLookController はアセットストアから入手したスクリプトで、動かしたい部分のボーンを指定してそのボーンのみを動かす。このスクリプトを利用して視線移動を行う。前述したように、このスクリプトは触れ合い可能状態へ移行する際に PetController によって起動し、待機状態へ移行する際に停止する。HeadLookController スクリプトのインスペクターを図 3.10 に示す。

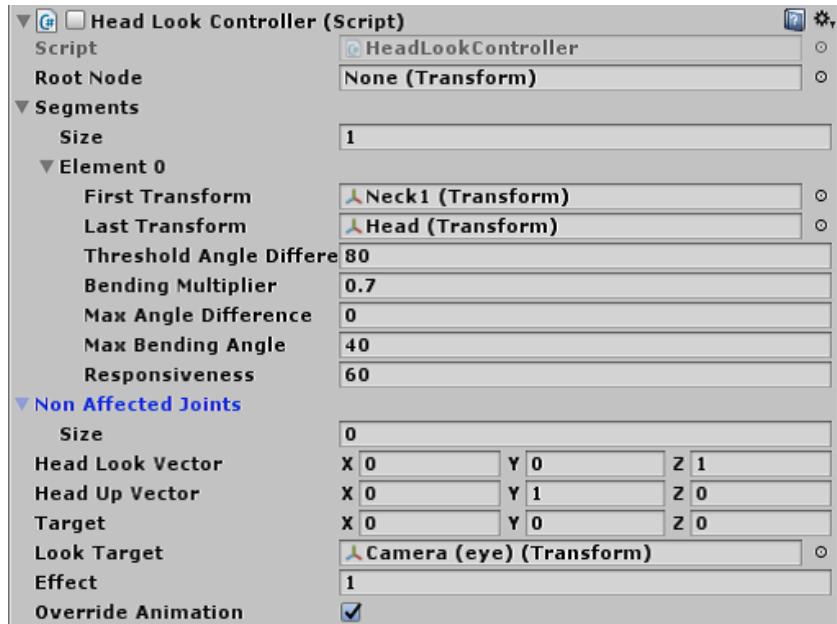


図 3.10: HeadLookController のインスペクター

動かすボーンの指定は Segments 下の Element0 行った。バーチャルペットの首から頭頂部までにあたるボーン Neck1 からボーン Head までのボーンを指定し、その部分のみを動かす。各パラメータの説明を述べる。Threshold Angle Difference はターゲットとバーチャルペットの角度がここで指定した角度よりも大きいとき、ターゲットの方に回転し始める閾値となる角度である。Bending Multiplier はターゲットとの角度の大きさと比較して指定したボーンがどのくらい大きく動くかを表す値である。Max Angle Difference はターゲットとの角度がこの値よりも大きくならないよう保持する。しかし、Max Bending Angle で設定した値に達したときはそれ以上動かない。Responsiveness はターゲットを追う速度の値である。バーチャルペットの動きが出来る限り自然になるよう各値を設定した。LookTarget は視線先ターゲットを指す。

DirectionManager はバーチャルペットの視線移動をスムーズに行うために視線補完オブジェクト FaceComplition の動作処理を行うスクリプトである。FaceComplition の初期位置はカメラで、

カメラに追従して動く。バーチャルペットとユーザアバターが接触すると、移動先をユーザアバターに設定し移動を開始する。このとき視線先ターゲットを FaceComplition に指定することで、バーチャルペットは FaceComplition に視線を向ける。ユーザアバターと接触すると、視線先ターゲットをユーザアバターに設定し、その後はユーザアバターに追従して移動する。ユーザアバターが衝突離脱して一定フレーム経過すると次の移動先をカメラに設定し移動を開始し、前述した処理と同様に視線先ターゲットを FaceComplition に設定し、カメラと衝突すると視線先ターゲットをカメラに設定する。その後はカメラに追従して移動する。バーチャルペットの動作のフローチャートを図 4.2 に示す。

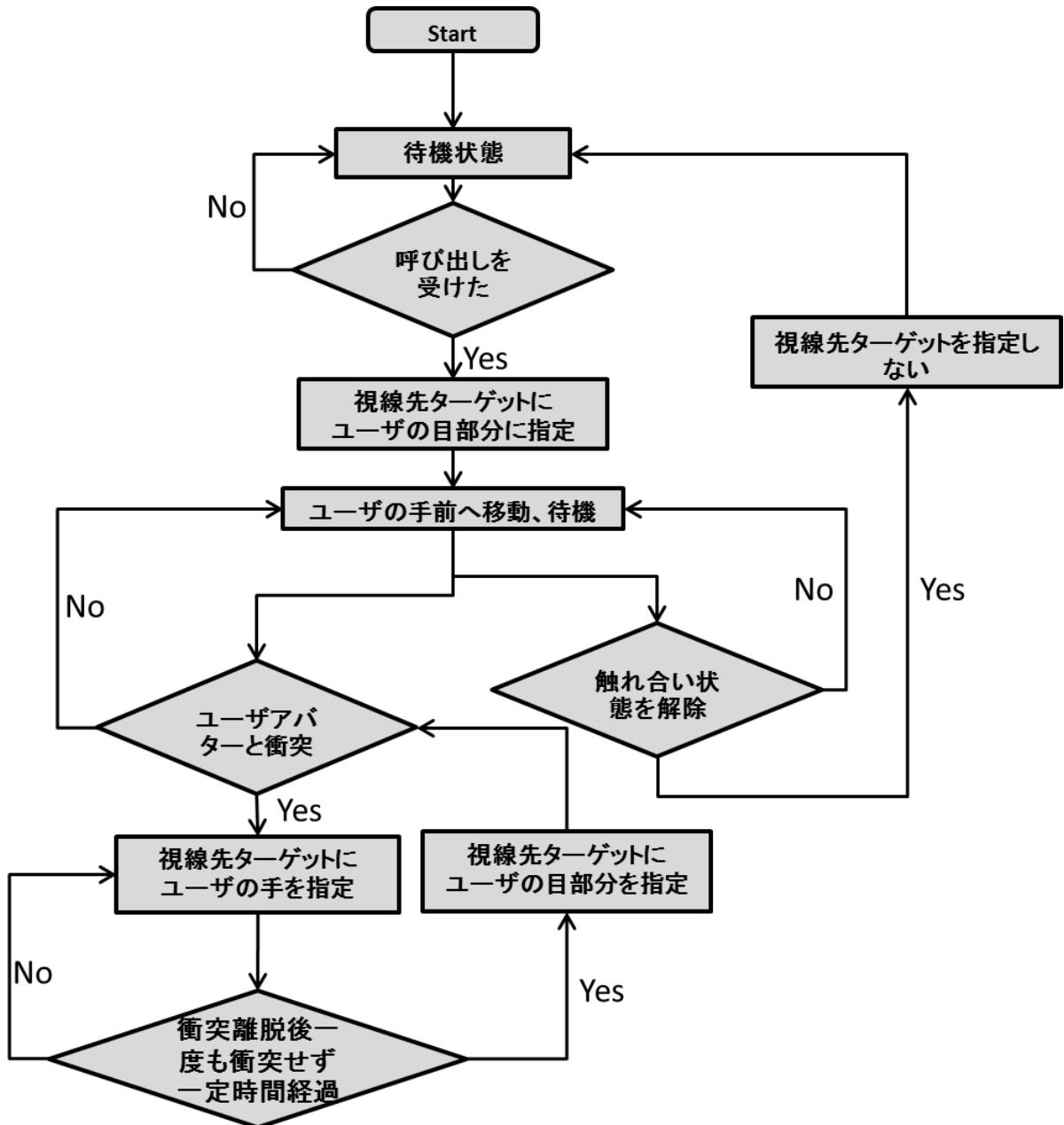


図 3.11: バーチャルペットの動作のフローチャート

# 第4章 実験と評価

本章では、本研究における関連研究を述べる。

## 4.1 実験環境

本研究のバーチャルペットの開発、および実験環境を表 4.1 に示す。開発、実験共に同じコンピュータで行った。

表 4.1: 開発、実験環境

CPU	Intel(R) Core(TM) i7-4790K CPU @ 4.00GHz
メモリ	32.0GB
Video Card	NVIDIA GeForce GTX 1060
OS	Windows 10 Enterprise
SoftWare	Unity5.5.0 f3 Perspnal Microsoft Visual Studio Community 2015 Autodesk Maya 2016 Student Version

## 4.2 実験用バーチャルペット

本研究で開発したバーチャルペットを元に、機能を減らし先行研究のものに可能な限り近付けた実験用バーチャルペットを作成した。本研究で開発したバーチャルペットは身体性を有すると仮定して以降は身体性あり条件と呼び、実験用バーチャルペットは身体性なし条件と記述する。2つの条件を比較したものを表 4.2 に示す。

表 4.2: バーチャルペット条件の比較

	身体性あり条件	身体性なし条件
デバイス	HMD コントローラ イヤホン	コントローラ
接触フィードバック	振動	なし
ペットの動作	移動 視線移動 尻尾を振る	尻尾を振る
環境	森林	Unity のデフォルト空間に白い床
環境音	あり	なし

使用するデバイスはコントローラの1種類で、身体性あり条件と同様にHMD付属のVR専用コントローラを使用する。コントローラのトラッキングの都合上、カメラとしてHMDを使う必要がある。実験参加者にはHMDを装着せず固定した状態で、右手にコントローラを持ち画面を見てふれあってもらう。ペットの動作はユーザと接触すると尻尾を振る一種類のみである。ユーザが離れると一定時間経過後に尻尾を振る動作を停止する。

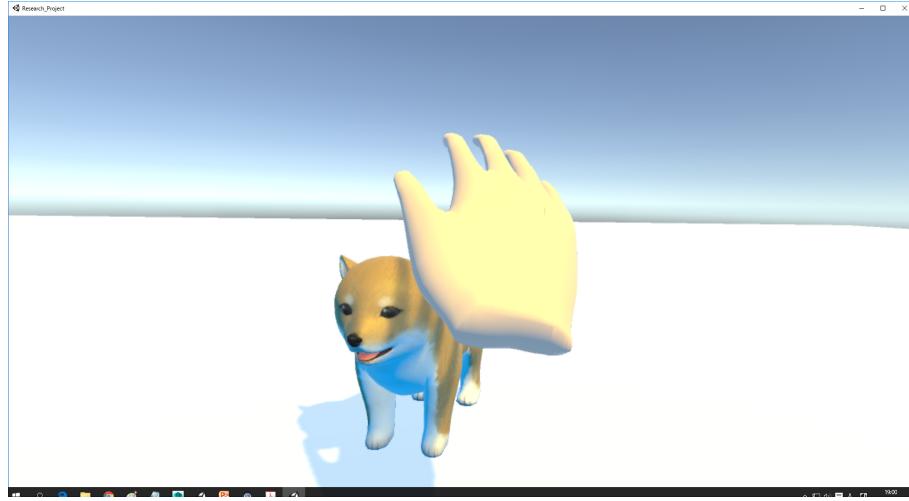


図 4.1: 実験用ペットのスクリーンショット

### 4.3 実験方法

実験開始前に、実験参加者にはバーチャルペットとふれあい、質問紙に回答する実験であることを説明した。その際にコントローラの操作説明も行った。

まず、身体性なし条件のペットとふれあってもらい、その後シーンを切り替えHMDとイヤホンを装着し身体性あり条件のペットとふれあってもらう。最後に身体性に関する質問紙調査を実施した。これにより得られた多変量データを分析し、本研究で開発したバーチャルペットの身体性について評価する。

### 4.4 評価方法

バーチャルペットとふれあった後に行う質問紙調査によって集めたデータを分析し、本研究で開発したバーチャルペットは身体性を有するかどうかの評価を行う。質問紙は二つのバーチャルペットを比較し、身体性あり条件全体が身体性を有しているかどうかを調査する4項目と、身体性あり条件における各要素に対しどれ程現実感を感じることが出来たかを調査する11項目の二部で構成される。アンケートの全項目を表4.3に示す。小項目の各項目は大項目-小項目番号で記す。例えば小項目「ペットが実体を持っているように感じたか」は小項目A-1と記述する。選択式、記述式を用いたB-8~11においては、これに当てはめず小項目名を用いる。

表 4.3: 質問紙の項目

大項目	小項目
A 身体性あり条件 全体の身体性	1. ペットが実体を持っているように感じたか 2. ペットを本物のように感じたか 3. 実際にその場にいるように感じることができたか 4. コントローラの振動で接触が分かりやすくなったか
B 現実感の要素	1. HMD の使用 2. 環境音 3. ペットが自由に動き回る動作 4. ペットがユーザの方に来る動作 5. ペットが顔の向きを変える動作 6. 尻尾を振る動作 7. 背景（木、草）部分 8. 最も現実感を感じた要素（選択式） 9. 最も現実感を感じなかつた要素（選択式） 10. 上記の要素の他に現実感を感じた要素（記述式） 11. あれば更に現実感が上がると思われる要素（記述式）

大項目 A の 4 項目に対して 5 件法で回答を求め、そのうち現実感に関する 3 項目は「とてもよく感じた」を 5、「全く感じない」を 1 とした。接触フィードバックに関する小項目 A-4 では文脈が少々異なるため、「とてもよく分かった」を 5 とし、「全く分からなかつた」を 1 とした。大項目 B の 11 項目のうち 1~7 項目には大項目 A と同じく 5 件法で回答を求め、「とてもよく感じた」を 1 とし、「全く感じない」を 5 とした。

このような文を提示して回答する尺度をリッカート尺度と呼び、单一項目での分析の場合は順序尺度として使用される。したがって、質問紙調査の集計結果は順序尺度で定義可能な中央値、最頻値、四分位範囲を算出して分析を行う。四分位範囲とは順序尺度で用いるばらつきを示す値であり、高ければ高いほどばらつきが大きいことを示す。算出方法はデータの 75 パーセンタイルを示す第三四分位数から 25 パーセンタイルを示す第一四分位数を引いて求める。本研究では全ての値において最大数は 5、最小数は 1 であることから、四分位範囲が 2 以上であればばらつきがあると解釈する。

## 4.5 実験結果

実験参加者は、22 歳から 23 歳までの男女 15 名（内、女性 5 名）である。図 4.2 に大項目 A の集計結果を、表 4.4 に分析結果を示す。

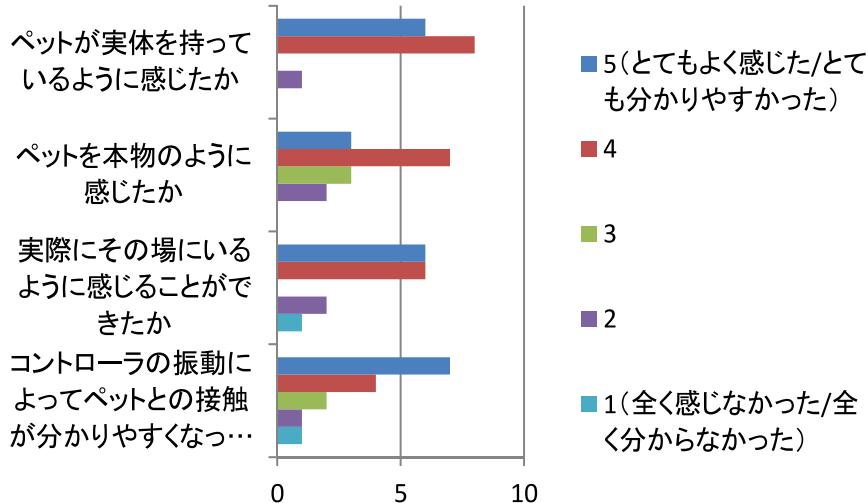


図 4.2: 大項目 A 「身体性あり条件全体の身体性」の集計結果

表 4.4: 大項目 A 「身体性あり条件全体の身体性」の分析結果

項目	中央値	最頻値	四分位範囲
1. ペットが実体を持っているように感じたか	4.5	4	1
2. ペットを本物のよう感じたか	4	4	2
3. 実際にその場にいるように感じることができたか	4	4	1
4. コントローラの振動で接触が分かりやすくなったか	4	5	1.75

システム全体の身体性を評価する大項目 A では、中央値が全項目において 4 以上といった高い値を示した。特に小項目 A-1 は中央値が最も高く、また四分位範囲も小さいことから身体性なし条件と比較して実体を有していると言える。中央値はこれに及ばないものの、小項目 A-3 も四分位範囲が低く、ばらつきが少ないとから信頼性があると言える。対して小項目 A-2 においては四分位範囲が 2 と最もばらつきが大きかった。小項目 A-4 が唯一最頻値に 5 の値を示した。しかし、一方で四分位範囲は 2 を超えないものの、いくらかばらついていることが分かる。本研究ではコントローラの振動の値を 200 と非常に低く設定している。そのために、振動していることに気付かなかった実験参加者が数名見られた。振動は人が認識できるレベルの強さでなくてはフィードバックの意味がないが、ペットと触れ合うという動作の性質上振動が強いと逆効果にもなることが予想される。振動の強度については別途実験を行い、調整する必要がある。

次に、図 4.3, 4.4, 4.5 に大項目 B の集計結果を、表 4.5 に分析結果を示す。

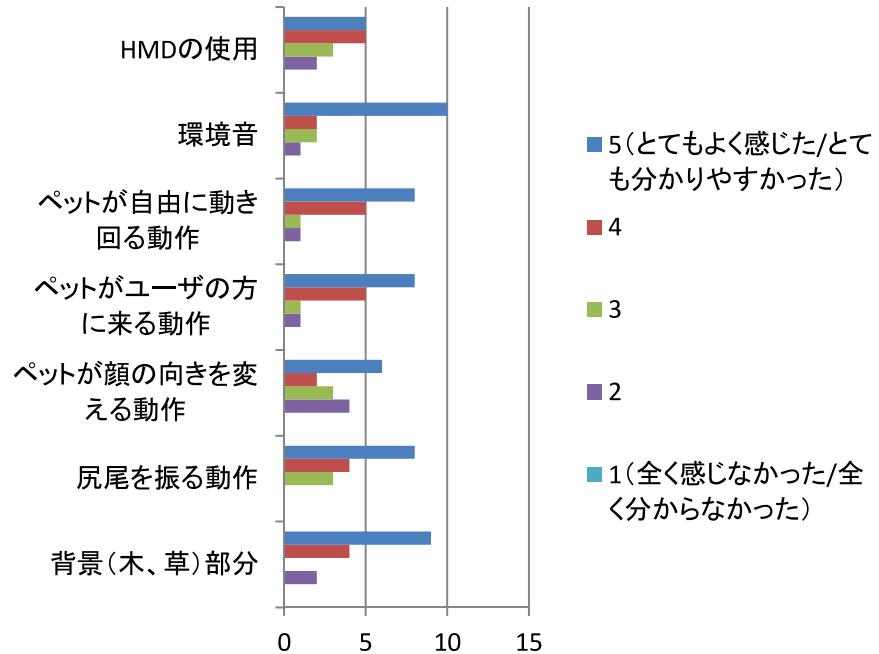


図 4.3: 大項目 B 「現実感の要素」 の集計結果

表 4.5: 大項目 B 「現実感の要素」 の分析結果

項目	中央値	最頻値	四分位範囲
1. HMD の使用	4	5	2
2. 環境音	5	5	1
3. ペットが自由に動き回る動作	5	5	1
4. ペットがユーザの方に来る動作	4.5	5	1
5. ペットが顔の向きを変える動作	3.5	5	2.75
6. 尻尾を振る動作	4.5	5	1
7. 背景 (木, 草)	5	5	1

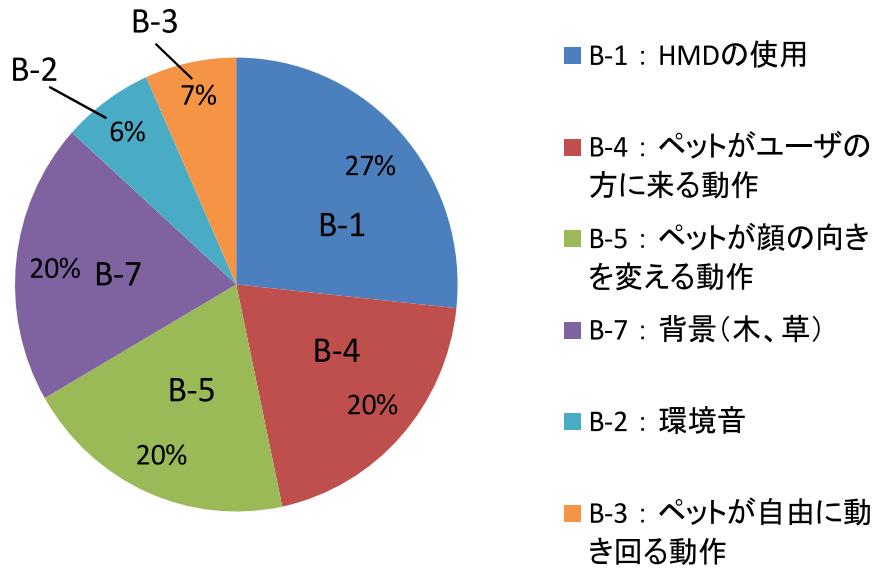


図 4.4: 最も現実感を感じた要素

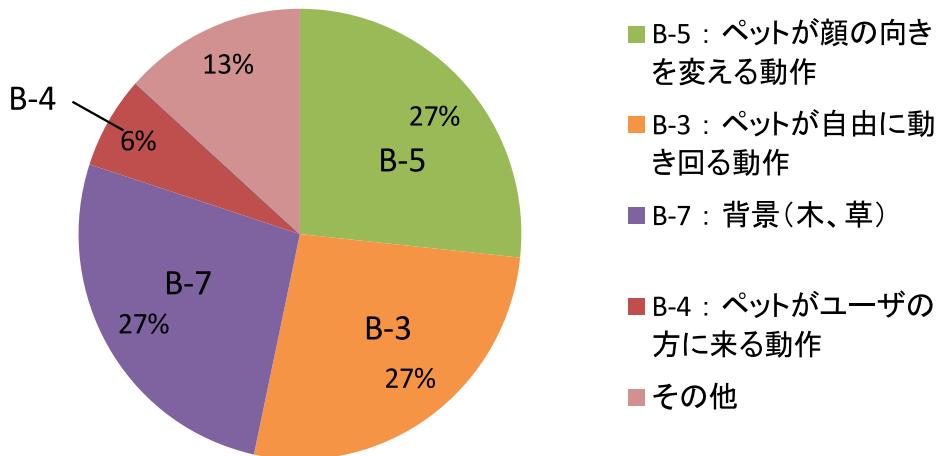


図 4.5: 最も現実感を感じなかった要素

現実感に関連すると予想される各要素を調査する後半では、小項目 B-2, B-3, B-7 が中央値に最も高い値を示した。これら 3 項目は四分位範囲も小さくばらつきが少ないとことから、現実感に影響を与えた項目として信頼できる。しかしながら、小項目 B-3 及び B-7 は「最も現実感を感じなかった要素」において小項目 B-5 と並び高い割合を占めている。その一方で、これら三項目は「最も現実感を感じた要素」としてもあげられており、これらの項目が現実感にどのような影響を示しているのか細かく分析する必要がある。前述した三項目と比べると中央値は低いものの、4.5 と全体を見て高い値を示した小項目 B-4 と B-6 はばらつきも少なく、信頼性が高い。特に小項目 B-4 は「最も現実感を感じた要素」としても高い票を得ており、現実感に良い影響を与えていることが予想できる。小項目 B-6 に関しては「最も現実感を感じた要素」及び「最も現実感を感じな

かった要素」どちらにもあげられていないことから、ユーザが感じるリアリティに大きな影響は与えないと思われる。現実感に大きな影響を与えると思われた小項目 B-1 は、中央値は 4 と高い値を示したものの四分位範囲が大きく、票がばらついたことが分かる。しかし、「最も現実感を感じた要素」として高い割合を占めていることから、個人差が激しいことが考えられる。また、実験環境の関係でユーザが動き回ることが不可能だったため、HMD は着席モードで使用した点も影響していることが予測される。

# 第5章 結論

本章では、本研究における結論を述べる。

## 5.1 考察

実験の結果から、現実感の向上を図ると共に接触フィードバックを実装することによりバーチャルペットに身体性を付与することができたと言える。接触フィードバックは振動強度の調整の必要はあるものの、バーチャルペットとのふれあいにおいて重要な役割を果たした。実験の際、実験参加者が身体性なし条件のペットとふれあうときには触ることが出来ているのか戸惑っていたのに対し、身体性あり条件のペットとふれあう際はスムーズにふれあうことができていた。このような直接的な反応からも、接触フィードバックの重要性は明らかである。現在、振動よりも細かくリアルに触覚を再現できる触覚デバイスが数多く開発されている。開発段階のものが殆どであるために本研究では利用することができなかったが、これらを接触フィードバックとして利用することができれば更に身体性を高めることができるのは間違いない。

本研究では現実感の向上を図るために、まるで現実のように仮想空間を体験することができるHMDを利用した。「最も現実を感じた要素」において最も高い割合を占めるなど、個人差はあるもののその効果は大きい。しかし、HMDは仮想空間を出力するデバイスに過ぎず、最も重要なのは出力される仮想空間そのものである。HMDの有無だけでなく、仮想空間を構築する要素によっても現実感が変わる可能性があった。したがって、システム全体の身体性の有無だけでなく、HMDを含めて仮想空間の各要素がどの程度ユーザに現実感を与えることができたか調査する必要があった。質問紙調査の結果から、バーチャルペットが与える現実感として、最も大きな影響を与えるのはペットの動作部分であると推測できる。前述したように、ペットの動作は「最も現実を感じた要素」、そして「最も現実を感じなかった要素」どちらにおいて多くの割合を占める。これは、ペットの動作がユーザが感じるリアリティの増幅及び低減に大きく関わっていることを意味する。

ペットの動作が現実感向上だけでなく低下に繋がった要因としては、ペットの動作における不気味の谷現象が起きていたことがあげられる。例えばペットが顔の向きを変える動作では、接触して一定時間経過すると視線先ターゲットが手からユーザの目部分へと変更される。その際、ペットのアニメーションが待機状態へと戻る。待機状態では体全体がゆっくりと動くのみで、細かな動作は行わない。そのため、先ほどまで手を追いかけ忙しく視線を動かしていたペットが突然微動だにせずユーザを見つめる状態になってしまい、怖かったという声が複数あった。ペットが自由に動き回る動作においても、ただ歩き続けるだけで他の動作がないことや、移動制限範囲がなかったためにユーザが呼び出し動作をしない限りどこまでも遠くへ行ってしまうことが違和感の理由としてあげられている。更に、環境オブジェクトである草が長すぎたことでバーチャルペットが歩く、走るといったアニメーションをする際に最も動く手足の部分が隠れてしまい、ユーザからはあまり動かない上半身のみしか見えなかつたことで平面上のみで動いているように見えてしまった。一方、「ペットがユーザの方に来る動作」はペットが呼ばれて来るという単純な動作であり、呼び出し動作を受けたその地点からユーザの位置へ移動した時点で動作を終了するという

動作時間の短さから、違和感を感じにくい。バーチャルペットを間近で見る時間が少なく細かな動作が気にかかる点も影響したと思われる。以上から、ペットの動作を自然に行い、かつ動作や仕草を増やすことができれば改善が可能であると考える。しかしながら、自然に動作を行うには各動作及びアニメーションの速度や、その開始、終了のタイミングなど多くが求められ、制作側への負担が非常に重くなる。

これらの負担を軽くするには、3DCG モデルの造形から考える必要がある。3DCG モデルは写実的であればあるほどその動きにも高い精密さが求められる。本研究で用いたバーチャルペットには柴犬の子犬という既存の動物のモデルが存在し、また 3DCG モデルもできる限り本物に近いよう造形を行ったことから、動作にも高い精密さが求められていたと考えられる。制作側の負担を解決する方法として、実在しない生物、あるいはロボットのような無機物をモデルとすることが解決策として考えられる。実在しない生物は人間が想定する動きをしなくとも問題はない。ロボットをモデルとする場合、一見ペットロボットがあるのだからバーチャルペットでロボットを使う必要はないように感じる。しかし、ペットロボットとバーチャルペットにおけるロボットではその動きの自由性が大きく異なる。実在するペットロボットで空を飛ぶような動きや変形などは容易にはできないが、バーチャルペットであればそれが可能である。このような仮想空間による自由性を活用し動作させることで、ペットロボットに大きな差をつけることが期待できる。また、既存の動物をデフォルメ化することによって求められる精密さは低くなる。しかしながら、この場合現実感が低くなることが予想される。

## 5.2 まとめ

本研究では、身体性がセラピー効果に深い関わりを持つことから、VR 技術を利用して身体性の特性である「現実感」の向上を図り、コントローラの振動を利用して「接触フィードバック」の実装を行うことで身体性を有するバーチャルペットの開発を行った。VR 技術を用いるにあたり、HMD には HTC Vive を使用した。開発したバーチャルペットが身体性を有しているかどうかを評価するため、先行研究の身体性をもたないバーチャルペットを参考にし実験用ペットを開発し、二つのペットとふれあった後に質問紙に回答する実験を行った。評価実験の結果、身体性のないバーチャルペットと比べて高い身体性を得ることができ、またバーチャルペットの現実感にペットの動作が大きく影響することを知ることができた。

## 5.3 今後の課題

考察でも少し述べたが、バーチャルペットの現実感としてペットの動作が最も大きな影響を与えていていると予想できる。したがって、ペットの動作を自然に、精密に制御することで現実感の向上を図ることができると考えられる。そのためには、ペットの動作及びアニメーションの増加が不可欠である。ペットのアニメーションを増やすにあたり、スキンウェイトの調整の必要が生じるため 3DCG モデルの修正も行わなくてはならない。求められる動作の精密性の高さを考慮するのであれば、3DCG モデルの造形から設計をやり直す必要も生じる。接触フィードバックにおいても、コントローラの振動だけでは単調でその質感や重量感を感じることは不可能であることから、他の触覚デバイスを使うことが望ましい。また、評価実験は身体性なし条件のバーチャルペットのみと比較したに過ぎず、確実に身体性を有するといえるペットロボット等と比較を行い、バーチャルペットの疑似的な身体性がどの程度の効果を発揮することができるか調査する必要がある。

## 謝辞

本研究に際し、多大なるご指導、ご支援をいただきました指導教員である菅原研次教授、真部雄介准教授、ならびに大変ご多忙であるにもかかわらず、数多くのご意見やご協力をいただきました菅原・真部研究室の各氏、実験にご協力いただいた各氏にも深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 林 里奈, 加藤 昇平: 身体性が人工ペットとのふれあいによるセラピー効果に与える影響, 日本感性工学会論文誌, vol.16, pp.75-81, 2016.
- [2] VIVE : VIVE 公式ホームページ <https://www.vive.com/jp/>, (最終閲覧日 : 2018.1.26)