

# 博士論文

## 人間と人工物との持続的なインタラクション構築を 目的としたインタラクティブシステム

公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科  
システム情報科学専攻

棟方 渚

2008年3月

## Doctoral Thesis

**An interactive system which can build an sustained  
relationship between users and artifacts**

by

Nagisa Munekata

Graduate school of Systems Information Science  
Future University - Hakodate  
March 2008

## **Abstract–**

Recently, many researchers have developed various interactive systems in the fields of the entertainment contents and the virtual reality. The general purpose of these systems is to realize a sustained interaction between users and these systems. Here, the term "sustained interaction" would include the relationship between a pet animal and its owner; in this relationship, most owners do not always play with pet animal actively and they do not think about their pet even for a moment. In this situation, the owners regard their pet animals as a part of their own lives. This phenomenon is similar with the "air" for our everyday life because we are not thinking about the air in our everyday life, but we already know that the air is indispensable for our daily lives. Therefore, the sustained interaction can be formed by the user's motivations relying on their conveniences. However, it can be said that most current interactive systems have not considered the user's habituation; once most users experienced the system, they usually get bored with the interaction with those systems. And they eventually lose their motivation for interacting with the system. Here, it can be said that it would be strongly required in keeping user's motivations to make sustained interaction between users and systems. At first, I conducted psychological experiments to investigate when users interacting with the system would raise their motivations or lose these. Specifically, the users' biological signals were measured to investigate their excitations in the situation of their playing the video game which are based on the biofeedback technique. As a biological signal in this study, I focused on the Skin Conductance Response (SCR) to comprehend the user's motivation objectively. In general, it is said that the SCR reveals the user's internal excitations. As the results, I could reveal the two appropriate design strategy for the entertainment contents which can make user's excitement effectively; one is that the video game should reflect user's excitations on the certain game contents in real time, and the second is that the game event reflected the user's biological signal should be understood by the users as "the game event was relating with my behaviors!".

Second, I developed of the other video game using biofeedback technique as an entertainment contents, and investigated the user's subjective impressions of this video game and the relationship between their impressions and the user's excitations acquired from the user's SCR value. As the results, the higher SCR values indicated the users' positive subjective impression, such as "they enjoyed playing this game" and "they had an emotional attachment for the game character." In general, the user's motivations would be up to the personal preferences. However, in this experimental setting, the users' motivations were up to whether they had an emotional attachment for the character or not, and this would affect to realize a sustained interaction between users and the video game system.

Based on the results of the two previous studies, I developed an interface system utilizing a stuffed animal like robot to realize a sustained interaction and conducted psychological experiments to investigate the effectiveness of this interface system whether the users could feel that this interface system was enjoyable or not. The results showed that users who had an emotional attachment for interface regarded this robot as an independent character having some emotions. In case that the user regarded this robot as my companion, these users had strong emotional attachments for the interface system. Therefore, it can be said that this interface system could realize a sustained interaction between users and the interface system. However, I could observe that the personal preference would affect the user's emotional attachments on this system. Therefore, I am planning to investigate the effects of personal preference on emotional aspects when the participants actually interact with the interface system. I strongly believe that this consecutive study would conclude my doctor thesis to develop an interactive system which can build an intimate relationship between users and artifacts.

*An interactive system which can build an sustained relationship between users and artifacts*

**Keywords:**

internal excitement. motivation. emotional attachment. sustained interaction.

## 概要:

本研究は、人間との持続的なインタラクションを可能とする人工物を構築することを目的としている。本研究における持続的なインタラクションとは、対象とインタラクションを行おうという人間のモチベーションが維持されることで、その対象とのインタラクションが継続する状態のことをいう。持続的なインタラクションが実現されている例として、人間とペット動物との関係が挙げられる。この関係においては、常に人間がペット動物に対して声をかけたり触ったりと、ペット動物から片時も離れなかったりといったことはないが、ペット動物は他の家族と同等に扱われ、精神的にも同等な価値のある存在として人間に認識されているといえる。このような関係が構築されると、ペット動物が人間にとって好ましくない振る舞いをしたとしても、両者のインタラクションは消滅しない。逆に、このような持続的なインタラクションが実現されていない人間とペットロボットのような人工物との関係においては、人工物が人間にとって好ましくない振る舞いをを行った時などに、人間はインタラクションを行うモチベーションを失い、両者のインタラクションは容易に消滅してしまうと考えられる。その理由として以下のような問題が挙げられる。人間が人工物とのインタラクションを行う場合、様々なモチベーションが存在する。また、それらのモチベーションはインタラクションを行う人間やその対象によっても大きく変化すると考えられる。例えば、ペットロボットのような人工物の場合、同じような振る舞いを繰り返すなどの不自然な動作など、ペット動物の行動とかけはなれた振る舞いをとってしまうと、実際のペット動物との関係性を期待した場合の人間の期待は失われ、同時にモチベーションも消滅してしまふ。一方、ペットロボットの振る舞いを観察したいといった人間の好奇心からインタラクションを行おうとした場合でも、そのペットロボットを観察し好奇心が満たされるとモチベーションを失う可能性がある。つまり、人間はなんらかの期待を抱き、対象とのインタラクションを行おうとするモチベーションを持つものであり、そもそもそのモチベーションを持たなければインタラクションも構築されない。

このことから、本研究の目的としている、人工物との持続的なインタラクションを構築するには、人間のインタラクションを行うモチベーションを維持させなければならないと考える。しかし、その人間の期待に対して全く満たされる見込みがない人工物の振る舞いがあると、その期待に付随したモチベーションはすぐに消滅してしまう恐れがある。このような問題に対して、本研究では人間の「愛着」を利用することで、人工物との持続的なインタラクションを構築させる試みをとることとした。先に説明した、人間とペット動物とのインタラクションが消滅しない理由として、人間の「愛着」がそれらのインタラクションに大きく関与しているからであると筆者は考える。なぜなら、対象への愛着が維持されていれば、インタラクションを行おうという人間のモチベーションが維持され、結果として持続的なインタラクションの構築に結びつくと考えられるからである。

また、本研究では、モチベーションを評価する手段として、人工物とインタラクションを行っている人間の生理学的な興奮を抽出することとした。つまり、人間のモチベーションにともなって出現する、次の行動に対する身体の準備段階であるとされている生理学的な興奮を検知することで、人工物の振る舞いに対する人間のモチベーションを評価することとした。実験では、人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションを生理学的な興奮から評価し、それを維持するために必要な人工物の設計指針を調査した。そして、その人工物とのインタラクションにおいて、人間の対象への愛着が付加された場合の人間のモチベーションの維持について評価を行い、得られた知見から持続的なインタラクションの構築を目指した人工物の提案・開発を行った。

第1章では、上記のような本研究の目的を示す。

第2章では、人間側のモチベーションに関連する先行研究として、情緒的結びつき「愛着」に基づくモチベーションに関する心理学的な研究(第2.1章)、人間の心的変化を反映させる適応型システムに関する研究(第2.2章)について説明した。次に目的2に関連する人工物との持続的なインタラクションに関する研究(第2.3章)、道具としての人工物に関する研究について(第2.4章)の説明を行う。そして最後に本研究の新規性や独創性についてまとめた(第2.5章)。

本研究の新規性や独創性については以下に示す。

- 人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションとインタラクションの対象への

**愛着との関係に注目し、その関係を実験的に観察・分析している点**

- 人間のモチベーションとインタラクションの対象への愛着との関係に関する知見をふまえ、人間のインタラクションの対象への愛着を維持させることで人工物との持続的なインタラクションを構築させることを目的とした人工物を実際に提案している点

第3章では、本研究にて採用したアプローチについて述べる。具体的には、人間の人工物に対するモチベーションを生理学的な興奮を抽出することで評価する予備実験を行った。予備実験1では、人工物とのインタラクションを行っている人間の生理学的な興奮を検知し、人工物の振る舞いの変化によって人間の生理学的な興奮に影響を与えることができるのかどうかを調べた。予備実験2では、予備実験1で使用したものではない別の人工物について、人間の愛着を引き起こす人工物の振る舞いの変化が人間の生理学的な興奮に影響を与えることができるのかどうかを調べ、その人工物に対する愛着とモチベーションの関係を観察・分析した。これらの予備実験から得られた知見を元に、インタラクションの対象への愛着に基づくモチベーションを維持することで、持続的なインタラクションの構築を目指した人工物を提案し、その評価を行った。以上のアプローチについて説明を行った。

第4章では、人工物を体験した被験者の興奮の状態と主観的印象との関係について実験的調査を行い、人間のモチベーション維持についての知見をまとめて記述する。具体的には、バイオフィードバックを利用したエンタテインメントコンテンツを開発し、人間の興奮およびモチベーションを維持するために必要な要素をそれぞれ調査した。その実験で示された知見を以下にまとめる。

- 被験者の興奮を維持するためには、被験者の状態が人工物にどのように反映されているのかを被験者自身が認識しやすいことが必要である (BF 有無比較実験)
- 被験者の興奮を維持するためには、被験者の状態をリアルタイムに人工物にフィードバックすることが必要である (BF 遅延比較実験)
- 被験者の反応に合わせたロボットのモーションが被験者の興奮を持続させる (BF ロボット有無比較実験)
- 愛着の湧かないようなロボットの把持の仕方が、被験者のモチベーションを減少させていた (BF 愛着有無比較実験)

以上のことから、被験者の興奮から導き出された人間のモチベーションを維持するためには、実世界での人間の働きかけが人工物に反映され、その反映がリアルタイムで人間が認識しやすく、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる設定とすることが重要であることが導き出された。

このように、バイオフィードバックシステムにおいて、人間の興奮を持続させるためには、人間の興奮状態の反映がその人間自身認識しやすいこと、人工物が人間の興奮に対してリアルタイムに適応することが求められることがわかった。また、ロボットのモーションが興奮を更に持続させる効果があることや、そのロボットの把持の仕方が人間に大きな影響を与えていることが確認された。以上の、人間のモチベーションを興奮によって評価した実験から導きだされた、持続的なインタラクションの構築に必要とされるシステムの機能について以下に示す。

- 実世界での人間の働きかけが人工物に反映されること
- 人間の働きかけによる人工物への反映がリアルタイムで人間が認識しやすいこと
- 対象への愛着が湧くような人工物の扱い方をさせる設定とすること

このように導かれた、人間の愛着に基づくモチベーションを維持することで持続的なインタラクションを目指すシステムの機能を、実際にシステムに構築し、評価を行った。

第5章では、第4章で述べた人間の愛着に基づくモチベーションを維持する人工物に必要なとされるシステムの機能を構成した“あるくま”について記述する。具体的には、コントローラであるロボットを用いてディスプレイ上のキャラクタを操作するシステムを構築し、そのシステムの説明を行った。

第6章では、第5章で述べた“あるくま”について、そのシステムを体験した被験者の主観的印象と行動を分析し、インタラクション状態の評価について示す。この結果から“あるくま”のコントローラであるロボットと、操作するディスプレイ上のキャラクタとの対応についての被験者の認

識が、その後の対象への愛着に大きく影響していたことが理解できた。また、“あるくま”に構成された、三つの機能（人間の物理的な働きかけに対して対象が反応する機能、人間の働きかけをリアルタイムかつ人間がわかりやすいように対象へ反映させる機能、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能）のうち、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能を有効とするには、ロボットを介してディスプレイ上のキャラクタに直接触りながら歩かせているといった、被験者の認識が必要とされることが示された。

以上の“あるくま”の評価実験から得られた知見についてまとめると、以下のような結論が導き出された。

1. “あるくま”に対してビデオゲームに存在するような認識を持った人間の愛着は築きにくい
2. 人間がロボットを通じてディスプレイ上のキャラクタに接しているような感覚を持つことが人間の愛着を引き起こしていた

このことから、“あるくま”に構成された、三つの機能の一つである対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能に関しては、被験者が人工物を体験する前に、扱い方の教示を行うことが必要であると考えられる。つまり、“あるくま”に対する被験者のビデオゲームといった認識が、愛着が湧かないような扱い方をするという行動へ導いてしまうといった問題を回避するために、愛着が湧くような扱い方をするという行動を教示することで、それが結果的に被験者にとって“あるくま”が愛着の湧くような存在となり得る対象といった認識へと導くのではないかと考えられる。

予備実験2についても、被験者に愛着が湧かないような行動を指示したことで、結果的に対象への愛着が失われインタラクションのモチベーションをも消滅したことが確認された。つまり、“あるくま”に構成された三つの機能の一つである対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能に関しては、被験者に愛着が湧くような扱い方の教示を事前に行うことで、被験者の認識の違いといった個人差をある程度統一させることができると考えられる。つまり、人間は人間ではない対象（動物、ぬいぐるみ、CGキャラクタなど）との愛着関係を築くことのできる特性をもつことが理解されているが、“あるくま”における操作方法や教示について、愛着が湧かないような道具的な対象としてみなすような設定としたことで、人間の自然で生得的な対象への愛着は阻害されてしまうということが理解できた。

このように、本研究で注目した人間の愛着は、他方向からの影響を非常に受けやすく簡単に消滅してしまう可能性をもつ。その一方で人工物への愛着を構築できた人間とのインタラクションは非常に強い関係性を持ち、簡単には消滅しない。“あるくま”は、コントローラによってディスプレイ上のキャラクタを操作するという非常にシンプルなシステムであるにも関わらず、被験者の愛着に基づくモチベーションを維持し、持続的なインタラクションを構築し得ることが示された。つまり、人間と人工物においても、人間にとってその対象が存在することに非常に大きな意味をもつようなペット動物との関係を構築し得ることが示されたと考えられる。

以上の結果・議論から人間の強い愛着がモチベーションの維持つまりはインタラクションの持続に結びつくことが示唆されたが、それらが今後どのような用途に用いられるシステムやインタフェースに有効であるかを以下に記述する。

- 人間とのインタラクションの中で、人間の学習を促し、生活を支援する人工物
- ペットロボットやコミュニケーションロボットなど人間を情緒的に支援する人工物

本研究で得られた知見は、人間と人工物に限らず、人間と他者（人間またはペット動物など）との持続的なインタラクションにおける対応や機能を解明する手がかりになると考えられる。また、このような人間と人工物におけるコミュニケーション理解は、認知科学、心理学などの分野に大きく寄与する研究であると考えられる。このように本研究では、高度に統合されたシステムを実現するために、技術体系を総合的に評価するといった、システム情報科学の概念を具現化しているものであるといえる。

#### キーワード:

持続的なインタラクション、モチベーション、愛着

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
<b>第2章</b>	<b>本研究の背景と先行研究との比較</b>	<b>4</b>
2.1	情緒的結びつき「愛着」に関する研究	4
2.2	人間の興奮を反映させる適応型システムに関する研究	6
2.3	人工物との持続的なインタラクションに関する研究	8
2.4	道具としての人工物に関する研究	10
2.5	まとめ：本研究の位置づけ	13
<b>第3章</b>	<b>本研究のアプローチ</b>	<b>15</b>
<b>第4章</b>	<b>予備実験</b>	<b>18</b>
4.1	使用したバイオフィードバックシステムの構成	18
4.2	予備実験1	22
4.2.1	ゲームの構成	22
4.2.2	BF 有無比較実験	24
4.2.3	BF 有無比較実験の結果	25
4.2.4	BF 遅延比較実験	25
4.2.5	BF 遅延比較実験の結果	25
4.2.6	予備実験1の結果についての考察	27
4.3	予備実験2	28
4.3.1	ゲームの構成	28
4.3.2	BF ロボット有無比較実験	31
4.3.3	BF ロボット有無比較実験の結果	31
4.3.4	BF 愛着有無比較実験	34
4.3.5	BF 愛着有無比較実験の結果	34
4.3.6	予備実験2の結果についての考察	34
4.4	予備実験のまとめ	36
<b>第5章</b>	<b>人間との持続的なインタラクションを目指す人工物</b>	<b>37</b>
5.1	“あるくま”の構成要素	37
5.2	人間の愛着を引き起こす人工物“あるくま”の概要	38
<b>第6章</b>	<b>“あるくま”の評価実験</b>	<b>42</b>
6.1	“あるくま”の評価実験における「愛着」の位置づけ	42
6.2	“あるくま”評価実験1概要	43

6.2.1	実験設定 . . . . .	43
6.2.2	被験者 . . . . .	44
6.2.3	手順 . . . . .	44
6.3	“あるくま” 評価実験 1 結果 . . . . .	47
6.3.1	行動観察の結果とその考察 . . . . .	47
6.3.2	質問紙の結果および被験者の内省とその考察 . . . . .	48
6.3.3	“あるくま” 評価実験 1 まとめ . . . . .	50
6.4	“あるくま” 評価実験 2 概要 . . . . .	52
6.4.1	実験設定 . . . . .	52
6.4.2	被験者 . . . . .	52
6.4.3	手順 . . . . .	54
6.5	“あるくま” 評価実験 2 結果 . . . . .	55
6.5.1	行動観察の結果とその考察 . . . . .	55
6.5.2	質問紙の結果および被験者の内省とその考察 . . . . .	56
6.5.3	“あるくま” 評価実験 2 まとめ . . . . .	58
6.6	“あるくま” 評価実験 3 概要 . . . . .	59
6.6.1	実験設定 . . . . .	59
6.6.2	被験者 . . . . .	59
6.6.3	手順 . . . . .	60
6.7	“あるくま” 評価実験 3 結果 . . . . .	61
6.7.1	行動観察の結果とその考察 . . . . .	61
6.7.2	質問紙の結果および被験者の内省とその考察 . . . . .	61
6.7.3	“あるくま” 評価実験 3 まとめ . . . . .	62
6.8	議論 . . . . .	64
6.8.1	“あるくま” 評価実験 1 について . . . . .	64
6.8.2	“あるくま” 評価実験 2 について . . . . .	65
6.8.3	“あるくま” 評価実験 3 について . . . . .	66
6.8.4	3つの評価実験をふまえて . . . . .	67
<b>第 7 章</b>	<b>総合的な議論</b>	<b>69</b>
7.1	本研究の成果とその意義 . . . . .	69
7.2	個人差をふまえた研究の問題点・改善点 . . . . .	70
7.3	将来的な展望 . . . . .	73
7.3.1	応用が期待される実用例 . . . . .	73
7.3.2	人間の愛着創発へのアプローチ . . . . .	74
<b>第 8 章</b>	<b>結論</b>	<b>75</b>

## 第1章 序論

近年、私達の日常生活を支援する様々な人工物の開発が進められている。それらの人工物には、例えば、人間の表出した言語やジェスチャーを認識することで人間の意思を理解するシステム [4] や人の感情を理解するようなインタフェースなどが挙げられる [11]。これらの研究手法は、人間と対峙した人工物を賢くするような研究アプローチであるといえる。その一方、親和性のある外観を用いることで、人間が人工物に対して人間相手のような社会的関係を築くことを狙いとしたロボットの開発も進められている [7, 26]。これは、人工物を擬人化して認識するといった人間の認知的な特性を利用して、長時間にわたってインタラクションをすることを想定した研究アプローチであるといえる [18, 19, 72]。

しかし、上記のような外観的亲和性をもつロボットであっても、人間がそのロボットの振る舞いや行動パターンに慣れてしまうと、それらロボットとインタラクションをするモチベーションを失ってしまうとも考えられる。そのような人間の慣れに対してどのように対応したらよいか、また人間の期待を逸脱しないような人工物の適応方法は、未だ解決されていない問題であり [70]、人間と人工物との間には、いまだに持続的なインタラクションが構築されたとはいえない状態にあると考えられる。

ここで、人間が人工物とインタラクションを行うモチベーションについて考えてみる。例えば多くの場合、人間は人工物に対する「なんらかの期待」から人工物とインタラクションを行うモチベーションをもち、それに基づいて行動を表出していると考えられる。その何らかの期待とは、会話ができるパーソナルロボットに対しては「会話ができる」という期待、犬型のロボットに対しては「犬のようなかわいい行動が見れる」といった、その状況に応じた、人間の期待のことを指す。多くの場合、その「何らかの期待」が達成されることで人間のモチベーションは消滅し、人工物とのインタラクションは次の人間の期待が表れるまで発生しない。つまり、人間と人工物とのインタラクションにおいては、人間が人工物に対して「何らかの期待」に基づいたモチベーションを維持しなければ持続しないと考えられる。

例えば、パーソナルロボットと会話をしたいと考えている人間の場合、ロボットとの会話を行うということを期待し、その期待が達成されればインタラクションを行うモチベーションを失い、インタラクションは持続しないであろう。しかし、そのインタラクションにおいて、人間にとって別の「何らかの期待」が表れた場合（例えば、ロボットが、会話の途中で面白いギャグを言う）、それに伴って人工物に対す新たなモチベーションをもつこととなり、結果としてそのインタラクションは持続できると考えられる。

つまり、人間と人工物との持続的なインタラクションを実現するためには、そのような人間の人工物に対する「何らかの期待」やそれに伴うモチベーションを絶えず維持させることが必要となる。しかし、実際のロボットの振る舞いの自由度には限界があり、同じ入力に対して同じ動作を行うなど、人間の期待を阻害してしまうような行動が多いため、人

間との持続的なインタラクションは構築し難いといえる。

人間との持続的なインタラクションを可能としているものの代表として挙げられるのが、ペット動物であろう。人間はペット動物を家族のように扱い、育てていく。そのような関係下には、人間の他者との近接関係を維持する欲求である「愛着」に基づくモチベーションが人間に生じていると考えられる。そのため、ペット動物が好ましくない振る舞いをしたとしても、両者の間のインタラクションは消滅しない。また、人間は毎日変わらないペット動物の行動を飽きずに観察することができる。一部のペット型ロボット保持者で、そのロボットに対して本物のペット動物と同じように接し、人間とペット動物と同様の持続的なインタラクションを構築できている例が確認されている [38]。このことから、愛着に基づいてインタラクションのモチベーションを抱くことは、人工物との持続的なインタラクションを構築し得る要素となる可能性があると考えられる。

以上のことから本研究では、人工物に対する愛着に基づいたモチベーションを維持することで、両者の間に持続的なインタラクションを構築することができるような人工物を提案し開発することを目的とした。また、そのようなインタラクションにおける人間のモチベーションがどのように維持されるのかを調査する。このような人間と人工物との関係の調査は、工学や情報科学における、より円滑な適応型インタフェースシステムの研究だけではなく、人間の愛着に基づいたモチベーションの評価として、認知科学、心理学などの分野に大きく寄与する研究であると考えられる。また、人間と人工物に限らず、人間と他者(人間またはペット動物など)とのコミュニケーションにおける人間の対応やその機能を解明する手がかりになると考えられる。

以上をまとめると本研究の目的は、以下の二点であるといえる。

- **人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づいたモチベーションに注目し、それがどのように維持されるのかを調査すること、**
- **人間の愛着に基づいたモチベーション維持の観点から、人間とのインタラクションを持続させるような人工物を提案し開発すること、**

よって本研究は、人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションと、インタラクションの対象への愛着との関係に注目し、その関係を実験的に観察・分析している点、人間のモチベーションとインタラクションの対象への愛着との関係に関する知見をふまえ、人間のインタラクションの対象への愛着を維持させることで人工物との持続的なインタラクションを構築させることを目的とした人工物を実際に提案している点の二点に新規性があるといえる。

本論文は以下の構成からなる。第2章では、本論文と関連する先行研究を紹介し、これらに対する本論文の位置づけを示す。そして、第3章では、本研究で採用したアプローチについて説明し、第4章では、バイオフィードバック系システムにおける、人間の愛着に基づくモチベーションを維持するためのシステムの構成要素を調査した予備実験について、そこで得られた知見をもとに持続的なインタラクションの設計指針について説明する。第5章では第4章で得られた持続的なインタラクションの設計指針を元に開発したシステムについて説明を行い、第6章ではそのシステムを体験したユーザの主観的印象と行動を分析し、システムの評価について示す。第7章では、更に継続的にインタラクションが持続

*An interactive system which can build an sustained relationship between users and artifacts*

させるためにはどのような技術が必要とされるかどうか，本研究では実現できなかったことを中心に議論を行い，第 8 章で本論文をまとめる．

## 第2章 本研究の背景と先行研究との比較

本研究の目的は、大きく以下の二つに分けられる。

- **目的1** 人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づくモチベーションに注目し、それがどのように維持されるのかを調査すること
- **目的2** 人間の愛着に基づくモチベーション維持の観点から、インタラクションを持続させるような人工物を提案・開発すること

これを踏まえた上で、関連する先行研究と本研究とを比較する。まず、目的1に関連する、人間側のモチベーションに関連する先行研究として情緒的結びつき「愛着」に基づくモチベーションに関する研究（第2.1章）、人間の心的変化を反映させる適応型システムに関する研究（第2.2章）について説明した。次に目的2に関連する人工物との持続的なインタラクションに関する研究（第2.3章）、道具としての人工物に関する研究について（第2.4章）の説明を行う。そして最後に本研究の新規性や独創性についてまとめた（第2.5章）。

### 2.1 情緒的結びつき「愛着」に関する研究

本研究では、人工物とのインタラクション環境下における人間のモチベーションに注目し、それがどう維持されているのかを調査することを目的の一つとして挙げている。中でもインタラクション下において、愛着に基づく人間のモチベーションについての先行研究を説明する。

愛着とは、人間が他者との間に築く緊密な情緒的結びつきであり、他者との近接関係を維持する欲求の一つであるといわれている。愛着理論の提唱者である Bowlby[5]によれば、近接関係を維持するとは、文字通り距離的に近い位置にい続けるということのみを意味するものではなく、たとえ物理的に離れていても特定対象との間に相互信頼に満ちた関係を築き、そして危急の差異にはその対象から助力・保護してもらえらるという主観的確信や安心感を絶えず抱いていられるということをも意味しているといわれている。このような Bowlby の仮説は、間接的に、Harlow によるアカゲザルの乳児を扱った一連の実験結果との関連において、妥当なものと判断されることが多い [22, 23]。Harlow は、生後間もないうちに、母ザルから子ザルを引き離し、その子ザルを、特定の操作によってミルクを補給してくれる金網製の模型とミルクは補給してくれないが温かい毛布でくるまれた模型とがともに存在する状況下に置き、その様子を綿密に観察した。結果は、ミルクを飲みに行く時以外、子ザルは、金網製の模型には近づかず、大半の時間を毛布製の模型にしがみついですどし、また時にはそれを活動の拠点（安全地帯）として様々な探索行動を行うという

ものであった。つまり、子ザルには、接触による慰めおよび安心感を与えてくれる存在に絶えずくっついていることが、栄養摂取とは全く別の意味で重要であったということである。人間以外の哺乳動物、特にモルモット、イヌ、ヒツジ、リーサス・ザルにおいては、食物、温度、性といった報酬をとまなわない対象に対しても愛着行動が形成されるという事実が明らかにされている [10]。また、愛着行動よりも強い感情をとまなう行動形態は存在しないといわれている [5]。

また、このような愛着行動の結果について、求温欲求の充足と密接な連関を有するとの指摘も存在する。これを人間に当てはめて考えてみると、その重要性はより際立つ。人間の乳幼児は、身体運動能力に乏しく、自ら体温の上昇を引き起こすことさえできず、寒さに対して相対的に無防備で脆弱であると言われている [42]。このことから、人間においても愛着と求温欲求の充足とが密接な連関を有することが示唆されている [14]。

ここで、人間が人工物とインタラクションを行う必然性について考えてみる。例えば多くの場合、人間はあるタスクの達成の支援を目的として人工物を使用すると考えられる。その際、人間は人工物に対し所望の動作の達成のみを期待するため、人工物は人間の要求に対して効率的かつ合理的に処理する道具として認識されているといえる。よってそのタスクが達成されると、このような人間と人工物とのインタラクションは、次のタスクを達成する必要性が表れるまで発生しない。つまり、人間と人工物とのインタラクションの多くは人間のタスク達成欲求に基づいたモチベーションを維持しなければ持続しない。そのため、人間と人工物との持続的なインタラクションを可能とするためには、そのようなタスク達成欲求を必要としない人間のモチベーションを維持させる必要がある。

このような愛着に基づく人間のモチベーションを維持し、持続的なインタラクションを可能としている例として、人間とペット動物の関係が挙げられる。人間とペット動物とのかわりの歴史については、文化的遺伝説 [39] にあるように、動物との触れ合いを求める内的欲求が文化的心理的に埋め込まれているということが考えられる。また、人間とペット動物との関係を明らかにしようとする研究では、ペットとのインタラクションを行っている間やその後で、生理的 [32] にも心理的 [9] にも良いとされる変化を経験する人間が多いことが確認されている。植田ら [65] が提唱している人間とペット動物の関係では、動物であるペットは、飼い主である人間から与えられる言語的命を理解できないため、飼い主にとって、好ましくない行動をとることがあり、中には、飼い主にとって好ましい行動もあり、飼い主はペットをしつけるために、これらの行動に対して正負の報酬を与えられている。この一種の意味獲得の過程で重要なのは、人間とペット動物との関係には、非言語情報をベースに複合的な報酬系を前提として進む相互適応学習が存在するといわれている。そのような両者の関係において、存在していると考えられる人間とペット動物との愛着関係において、自然環境内におけるお互いに対する行為や相互作用を調査する比較行動学的視点から様々な実験が行われている。そのうち、犬を飼っている家族の行動とその犬の行動を調べた研究結果では、両者の触覚による接触が相互作用の一般的な方法であるといわれている [57]。さらに、人と犬との相互作用は、同種のメンバーのそれと類似しており、違う進化上の目に属していながら、人間と犬は、少なくともしばらくは相互作用が続くように、その相互作用を調節することに協力していたことが確認されている。このように、人間のペット動物との関わりには様々な効果や現象が確認されているが、ペット動物がどのようにこれらの効果を生み出すのかについては、正確にはまだ十分に理解され

ておらず、人間とペット動物との関係の基本的なメカニズムは未だにわかっていない。

また、このような人間とペット動物との愛着関係を利用し、CG キャラクタとのコミュニケーションを行うようなエンタテインメントコンテンツも少なくない。そのようなエンタテインメントコンテンツにはユーザと対峙する個としてのロボットまたはキャラクタが存在しているものが多い。例えば、メールソフトにエンタテインメント要素を付加させた「ポストペット」[59]にはペット動物型のCG キャラクタ（モモ）が存在し、ネコ型のCG キャラクタ（トロ）とのコミュニケーションを行う「どこでもいっしょ」[30]などが存在する。それらは、それぞれ「ポケットポストペット」[60]や「ポケットステーション」[31]などの小型コンピュータや携帯電話でも使用することができ、いつでもキャラクタとのコミュニケーションをとることのできるような設定としている。また、ペット型ロボット「AIBO」[18]についても、ごく一部の人間ではあるが、本物のペット動物もしくは自分の子供のようにロボットを可愛がるということが報告されている[38]。このように、人工物における人間の対象への愛着が強い場合は、「慣れや飽き」などの問題が生じない。そのことは、お気に入りのぬいぐるみをどこにでも連れて行く子供の行動から理解できるであろう。人間と人工物におけるキャラクタなどの対象との愛着関係について、目の位置が低いなど顔の外見が幼児的である場合、見る者の養育本能行動が解発されるといった報告がある[41]つまり、CG キャラクタなどの幼児的なかわいらしい外観が、それを観る人間の養育本能を解発し愛着を引き起こしていると考えられる。

このように、人間とペット動物の関係の基本的なメカニズムについては、未だにわかっていないことが多いのにも関わらず、様々な効果があることが実証されている。そして、一連の研究から、他者への近接欲求である「愛着」について、他者との接触が重要な意味をもつことが確認されており、他者との関わりによる皮膚感覚が愛着の発生について、生得的な要素をふくむ強力な影響をもつと考えられる。以上より、本研究では、人間との持続的なインタラクションを構築する上で重要とされる関係の一つである人間の愛着に注目し、それに基づくモチベーションの維持を試み、持続的なインタラクションを目指す人工物を提案する。

## 2.2 人間の興奮を反映させる適応型システムに関する研究

本研究では、人工物とのインタラクション環境下における人間のモチベーションに注目し、それがどう維持されているのかを調査することを目的の一つとして挙げている。ここでは、モチベーションに関わる人間の内的な興奮を抽出し、それを反映させることでシステムを人間に適応させるような研究に関する研究を説明する。

人間のモチベーションとしての一種の内的興奮を検出する方法として、生理心理学の分野では、様々な生体信号が測定・評価されている。生体信号は、大きく中枢神経系の活動と末梢神経系の活動とに二分される。中枢神経系の活動は高次精神活動そのものを実時間で観察しようとするときに利用される。末梢神経系の活動は更に自律神経系の活動と骨格筋系の活動とに分かれる。例えば、精神性発汗を電氣的にとらえた Skin Conductance Response (SCR) は、精神的ストレスの指標や、感情の指標などにも用いられ、医学や心理学などで研究されている[68]。人の手掌や足底は、緊張や動揺などの心的興奮によって汗がにじみでる。「手に汗握る」という言葉どおり、危険を感じるような場面や緊迫した場

*An interactive system which can build an sustained relationship between users and artifacts*



図 2.1: 「ポストペット」に登場する CG キャラクタ



図 2.2: 「どこでもいっしょ」に登場する CG キャラクタ

面でハラハラしたり興奮したときなど、手掌に精神性発汗が生じる。これらの精神性発汗は、自分では感じられないほどの微量のものから、手掌が湿ってしまうほどの大量の発汗まで様々である。SCRは交感神経支配下の汗腺活動を電氣的に測定して、被験者の情動状態、認知活動、情報処理過程を評価する方法である [45, 15].

また、人間から取得した生体信号をその人間自身にフィードバックすることをバイオフィードバックと総称する。バイオフィードバックはすでに多くの分野で応用されており、医療の方面では気管支喘息、高血圧、不整脈、頭痛、てんかん、手足の冷え、過敏性腸症候群、円形脱毛症、自律神経失調状態など種々の病態の治療やその予防に用いられている。また、日常の心身の状態を快適に保つための、健康増進面でも有用であることが判明している [46]. 例えば、温度バイオフィードバックは皮膚温度を測定し血流の変化を指数で示すものであるが、高血圧、不安を軽減させる効果がある。また、皮膚表面抵抗のフィードバックは、発汗量を電氣的に測定するものであるが、不安の軽減に効果がある。手指脈拍フィードバックは脈拍数と血流量を測定するもので、不安、不整脈をコントロールできる効果がある。このように自分の心の状態や自律神経の状態を、測定器を通して知ることにより自分の意志で容易にベストの状態にセルフコントロールすることができると言われている [33].

またバイオフィードバックの性質を生かして、人間の興奮を反映するエンタテインメントコンテンツの研究開発が注目されている。具体的には、プレイヤーが呼吸を整えることでキャラクターが上手に空を飛ぶことができるゲームや [6], アニメーションやロボットを介して、プレイヤーに自分自身の生体信号の変動を知らせるものが挙げられる [21]. また、生体信号をゲームなどのコントローラとして扱う新しいインタフェースの開発も進められている [58]. バイオフィードバックにより人間の興奮の状態をシステムに反映させることで、セルフコントロールのエンタテインメント性を利用したコンテンツは、様々な分野への応用可能性を示している。

以上より、本研究では、人間の心的変化を反映させる適応型システムの一例としてバイオフィードバックを使用した人工物を開発し、そのシステムとのインタラクションにおける人間の興奮を検出することでモチベーション評価を行うこととした。そして、そのモチベーションと、愛着との関連を調査し、人間と人工物との持続的なインタラクションの設計指針を抽出することとした。

## 2.3 人工物との持続的なインタラクションに関する研究

本研究では、人間のモチベーション維持の観点から、インタラクションを持続させるような人工物を提案・開発することを目的の一つとして挙げている。ここでは、人工物との持続的なインタラクションを実現するという観点から開発された既存の人工物の研究についての説明を行う。

近年、人間の日常生活における様々なタスク達成を補助するために、Human Agent Interaction (HAI) の研究が盛んに進められている [69]. それらのエージェントには、例えば、人間の表出した言語やジェスチャーを認識することで、人間の意思を理解するシステム [4], 人工物が人の感情を理解するようなインタフェースなどが挙げられる [11]. これらの研究の手法は、人間と対峙した人工物を賢くする研究アプローチであるといえる。そ

の一方、人工物を擬人化して認識することで、その機械に対して愛着をもつ人は少なくない。そのような人間の認知的な特性を利用して、人間が機械に対して、人間相手のような社会的関係を築くことを狙いとしたロボットの開発も進められている。例えば、AIBO[17]、KISMET[7]、Robovie[26]、WAKAMARU[72]などのパーソナルロボットの開発が代表的研究として挙げられる。それらは人間と長時間にわたってインタラクションをすることを想定したパーソナルロボットであるが、人間の慣れに対してどのように対応したらよいか、また人間の期待を逸脱しないような適応方法などは、未だ解決されていないといえる。

また、人間と人工物との自然かつ持続的なインタラクションにおいて実現できなければならないのが、お互いが相手に対して適応していく相互適応 [36, 71] であると考えられている。人間はインタラクションの対象が道具であっても、コンピュータであっても、その関係をスムーズにするために相手に適応しようとする。つまり、自然かつ持続的なインタラクションを実現するためには、人工物が人間の振る舞いを学習し人間に適応すること、または人間が人工物の振る舞いに対して適応することが求められる [2]。このような相互適応を実現する具体的な手法として「人間の人工物に対する適応」 [12, 37] [3, 27] と「人工物の人間に対する適応」といった二種類の一方的な適応を個別に検討する研究が様々な分野で行われている。しかし、相互適応はそのような一方的な適応を実現しただけでは構築されない。一方、このような問題に対して、双方向の適応を総合的に評価し考察を行っている研究が存在する。それらの一連の研究 [35, 34] は、エージェントの振る舞いに対するユーザの主観的評価からユーザの適応や思い込みを抽出しているものである。それらの研究はユーザとエージェントとの持続的なインタラクションに必要な設計指針を与えるものとして大変興味深く意義のある研究であるが、基礎的な研究にとどまっているものや、それらの知見を応用した具体的なアプリケーション像などは示されていない。

このように、人工物を使用する人間の「慣れや飽き」が人工物を敬遠させ、結果としてインタラクションは持続しないと考えられる。そして、この問題に対して、そのような人間の慣れにどのように対応したらよいかというデザイン論、また人間の期待を逸脱しないような適応方法などは、未だ解決されていない問題である [70]。このようなユーザが抱く「慣れや飽き」は、エンタテインメントコンテンツのみならず HAI など他の多くの分野においても生じ得る問題であるにもかかわらず、このようなユーザの飽きや慣れへの対処法は、いずれの研究分野においても未だ提案されていないのが現状である。

また、人工物の研究において、メディア研究の基になっているメディアイクエーションは、人間がメディアに対して社会的に振舞う傾向があることを示している [8]。このような考えのもとで、人間と人工物の間に社会的な関係を築こうとする研究は少なくない。小野ら [49] は、人間の趣味や嗜好を理解しているエージェントが様々なメディアに「憑依」することによって、人間に対して文脈に応じた適切な支援を行うことを目標としており、人間とメディアの間に構築される信頼感や親近感をともなう「関係」に注目した研究が行われている。しかし、その「関係」が愛着に基づいたものであるか、なんらかの達成動機にともなうものであるかは定かにはされていない。もし両者の「関係」が達成動機にともなうものであれば、達成によって動機を失い「関係」は消滅する可能性があると考えられる。

そこで本研究では、達成感や勝敗などに関連するモチベーションと、他者との情緒的結びつきに関連する「愛着」に着目し、人間の愛着に基づくモチベーションを持続させることで、慣れや飽きに対処した人工物を提案、開発することを目的とした。人工物とのイン

タラクションにおける人間の「慣れや飽き」の問題に対して人間の愛着に基づくモチベーションを維持するといった本研究の研究アプローチは、技術的な実現可能性が高かったにも関わらずかつて行われていない。具体的には、開発した人工物を体験している人間の愛着に基づくモチベーションがどのような時に引き起こされ、どのように維持されるのかを実験的に調査した。そして人間の愛着に基づくモチベーションの維持から、人工物との持続的なインタラクションを実現する人工物の提案を目指す。

## 2.4 道具としての人工物に関する研究

本研究では、人間のモチベーション維持の観点から、インタラクションを持続させるような人工物を提案・開発することを目的の一つとして挙げている。ここでは、日常生活の中で人間との持続的なインタラクションが求められる既存の人工物について記述する。

我々の日常生活には様々な人工物が存在する。かつて特定の専門家が膨大な数値計算を行うためだけに使用されていたコンピュータは、今や老若男女様々なユーザ層に使用され世界中に普及している。そのようなインタフェースが人間に日常的に使用されるまでに普及した理由の一つとして、技術的な発展にともなう扱いやすさや外観的親和性などの向上によって人間の適応を可能としたことが挙げられる。そのような背景にともない、様々な入力デバイスが発展を遂げている [73, 74]。その代表例として、片手で把持し、「ふる」、「ひねる」、「さす」などの入力を扱える wii リモコン [75] や、カメラに対するジェスチャを入力とした EyeToy USB Camera [76] などが挙げられる。

これらのインタフェースはユーザの直感的な動作を入力できるように開発されたものである。また、人間のより直感的な操作を、臨場感を与えながら実現するために開発されたものもある。例えば、フライトシミュレータや鉄道車両シミュレータなどで、実機に類似させた専用コントローラなどがある [62, 63]。このように、人間側の実世界とコンテンツ側の情報世界とをシームレスに結びつけることで、より直感的な操作を目指した実世界指向のインタフェースが活発に研究されている [25, 50]。また、世界中で大ヒットしている「Nintendo DS」 [47] は国内累計販売台数は 2000 万台を突破しており、単純に計算するとおおよそ 6 人に 1 人が DS を持っていることになる。Nintendo DS は携帯型ゲーム端末であるが、世界中の幅広い年齢層に人気があり普及した理由として、タッチペンで操作する直感的なインタフェースやマニュアルを必要としない操作方法が挙げられている [51, 52] つまり、操作性に関連する人間のストレス軽減することは、エンタテインメントコンテンツのデザインにおいて非常に重要であるとされている。操作時のストレスを感じないインタフェースを用いることができれば、ユーザはよりコンテンツに集中することができる。

そのようなインタフェースの一形態として、ロボットをコントローラとして使用する RUI (Robotics User Interface) という概念が提案されている [55, 48]。そしてこれを契機に、ロボットを利用したインタフェースの研究が数多く行われ始めている [29, 61, 40]。これらのインタフェースでは、ディスプレイ上にあらわれる操作対象と同じような外見を持つロボットをコントローラとし、ロボットに実装された種々のセンサから得られた入力情報をディスプレイ上のキャラクタに反映することで、直感的操作を実現している。それらのロボットを用いたインタフェースに共通していることは、ロボットは CG キャラクタなどの対象を直感的に操作することができる道具であり、ユーザがインタラクションを行う

*An interactive system which can build an sustained relationship between users and artifacts*



図 2.3: AIBO

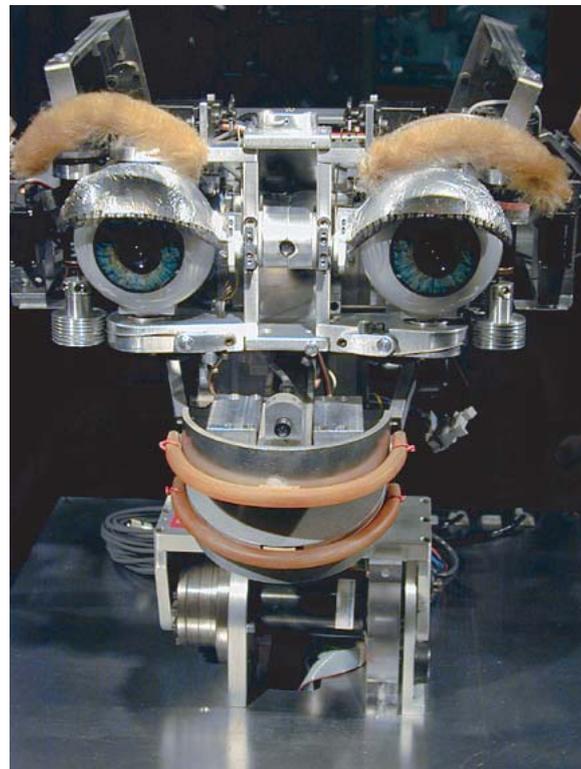


図 2.4: kismet

*An interactive system which can build an sustained relationship between users and artifacts*

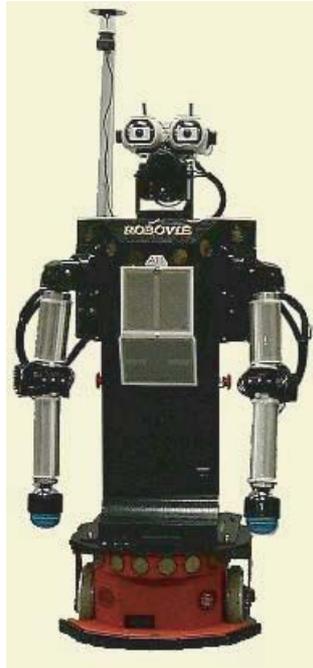


図 2.5: Robovie



図 2.6: WAKAMARU

対象としてはみなしてはいないということが挙げられる。

それらのコントローラはぬいぐるみのような外観を持ちながらも、その他のコントローラと同じ目的を目指しているといえよう。それらのロボットを利用したインタフェースは、ぬいぐるみ型という点ではユーザの愛着の対象である他者となり得る可能性を持つと考えられるが、それらのインタフェースの目的である「情報世界とユーザとをシームレスに結ぶ」ことが実現された場合、道具的な印象を人間に与えかねない。このような場合において、人間がロボットの外観にどのような印象を持ち、どのような行動をとるのか、それが結果的に両者のインタラクションにどのような影響を与えているかどうかは、明らかにされていない。つまり、人間がそのロボットに対して、直感的な操作を可能とするコントローラとしてみなすか、人間とペット動物のような愛着関係を築くことのできる対象としてみなすかどうか、インタラクションの形態に大きな影響を与えるのではないかと筆者は考える。本研究で目的としている人間と人工物との持続的なインタラクションを構築するための「人工物への愛着に基づく人間のモチベーション維持」は、その対象となる人工物に対して人間が愛着の湧くような他者として認識する必要がある。そのため、人間にとって人工物が、能力の拡張としての道具的な存在であったり、自分の分身（アバタ）のような存在であったりすると人間の愛着は引き起こされないと考えられる。愛着とはあくまでも他者との近接欲求であり、他者がいて初めて成立するものである。

本研究では、人間の愛着の性質と、RUIの概念を拡張し、ロボットのコントローラへの人間の愛着がインタラクションにどのような影響を与えるのかを調査した。

## 2.5 まとめ：本研究の位置づけ

本研究は、人間の愛着に基づくモチベーションを維持することで、人工物との持続的なインタラクションを構築するための基礎技術として、

- 人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づくモチベーションに注目し、それがどのように維持されるのかを調査すること、
- 人間の愛着に基づくモチベーション維持の観点から、インタラクションを持続させるような人工物を提案・開発すること、

を目的としている。具体的には、ゲームを体験している人間のモチベーションを調査する実験を行い、そのモチベーション維持に必要な指針を抽出し、そのモチベーションの維持と愛着との関わりを観察・解析する実験を行い、対象への愛着を維持することで持続的なインタラクションを目指すこととした。

本研究に関連する研究分野としては、情緒的結びつき「愛着」に関する研究、人間の興奮を反映させる適応型システムに関する研究、人工物との持続的なインタラクションに関する研究、道具としての人工物に関する研究が挙げられる。そして、これらと本研究とを比較すると、以下のような点に本研究の新規性があると考えられる。

- 情緒的結びつき「愛着」に関する研究との比較 人工物に対する人間の愛着に基づくモチベーションを実験的に調査している点

- 人間の興奮を反映させる適応型システムに関する研究との比較 人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーション維持に関する知見を実験的に調査している点
- 人工物との持続的なインタラクションに関する研究との比較 人間の愛着に注目し、その愛着を維持することで持続的なインタラクションを目指している点
- 道具としての人工物に関する研究との比較 インタラクション対象を操作するコントローラが人間の愛着の維持または消滅に及ぼす影響を実験的に調査している点

このようなインタラクション環境下における人間のモチベーションは個人差として認識されやすく、実験的に評価を行ったとしてもその結果に対する原因を特定しにくい。そのため、技術的な実現可能性があるにも関わらずされてこなかった。しかし、本研究は一般的には個人差とされるモチベーションについて実験設定の違う被験者間の比較から評価し、インタラクションを構成する人間と人工物の両方について、持続的なインタラクションを実現させるために必要な要素を、総合的かつ実験的に示すアプローチを採用しており、このような点で独創性をもつといえる。

## 第3章 本研究のアプローチ

本研究の目的は

- 人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づいたモチベーションに注目し、それがどのように維持されるのかを調査すること、
- 人間の愛着に基づいたモチベーション維持の観点から、インタラクションを持続させるような人工物を提案・開発すること、

である。

この目的を達成するために、以下の三つの実験を行った

- 予備実験1：人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションを生理学的な興奮から評価することが可能であるかどうかを調査し、生理学的な興奮を評価することで、人工物の振る舞いの変化が人間のモチベーションの維持に与える影響を調査した。
- 予備実験2：生理学的な興奮と被験者の主観的な印象を評価することで、人間の愛着がモチベーションの維持に与える影響を調べた。
- “あるくま” 評価実験：2つの予備実験の結果とともに、愛着に基づいたモチベーションを維持するために必要とされるシステムの要件を満たす人工物（“あるくま”）を新たに構成し、そのシステムの評価を行った。

具体的に予備実験1では、一種のバイオフィードバックで構成されたゲーム（Balloon Trip[43]）を体験している被験者の生理学的な興奮を手掌の発汗による皮膚抵抗値の変化を抽出した Skin Conductance Response（SCR）を用いて測定し、SCR とモチベーションとの関係を調査した。

予備実験1で使用した「Balloon Trip」は、被験者の SCR データを A/D 変換し、PC に送信し、その数値データを PC 画面上にインジケータやグラフとして表示させるとともに、ゲーム画面上に現れる敵の数に反映させたゲームである。このゲームは、人間らしい外観をもつキャラクターが出現する敵を回避しながら指定の場所へ移動するといったシナリオとした。キャラクターが5回敵にぶつかってしまうとゲームオーバーとなる。被験者は片方の手掌から SCR の測定を行い、もう片方の手で一般的なゲームコントローラの十字キーを動かし、敵を回避するようにキャラクターを操作する。つまり、ゲームをクリアするためには、被験者は絶えず現れる敵から逃げるといった操作を行わなければならない。

このような勝敗（クリア/オーバー）のあるゲームをインタラクションの対象として設定した理由は、被験者のインタラクションを行うモチベーションをある程度統一させるこ

とができると考えたためである。被験者の目標を、ある程度統一することが出来れば、被験者のモチベーションもある程度統一することができると考えられる。このゲームをクリアするという目標が存在した場合、目標達成を阻む問題は、敵が近づいてくるということである。また、それに対して被験者は逃げることで敵を回避するという行動以外の選択肢は与えられていない。つまり、ここではSCRの測定によって、「逃走」という原始的な行動に対するモチベーションの抽出ができると考えられる。このように予備実験1では、SCRを測定することで人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションの評価を行い、その結果から得られた、モチベーションを維持するために必要とされるシステム要件を抽出した。

次に予備実験2では、具体的には一種のバイオフィードバックで構成されたゲーム（びっくりくまさんのゲーム）を体験している被験者のSCRを測定し、愛着とモチベーションの維持の関係を評価した。予備実験2で使用した人工物について、予備実験1で使用した人工物との明確な違いは、被験者がキャラクタを他者として認識するよう設定した点である。予備実験1で使用したゲームの設定では、人間らしい外観を持つキャラクタを、被験者自ら操作を行う設定であったため、被験者はキャラクタを他者ではなく自分のアバタとして認識してしまう可能性が高い。一方、予備実験2では、人間の愛着がモチベーションの維持に与える影響を調査することを目的としているため、他者との近接欲求である愛着を引き起こすように設定する必要がある。そのため、予備実験2で構成した人工物は、被験者にとって他者と認識し得るようなテディベア型のキャラクタを用い、そのキャラクタの状態を体の動き（反応動作/危機動作）で示すテディベア型のロボットを用いて構成した。

予備実験2で使用した人工物である「びっくりくまさんのゲーム」は、被験者のSCRデータをA/D変換し、PCに送信し、その数値データをPC画面上にグラフとして表示させるとともにゲームの内容、ロボットの動作に反映させたゲームである。このゲームのシナリオは、PC画面上に表示されたテディベアらしい外観をもつキャラクタが蜂蜜を家に持って帰るものとした。キャラクタが蜂蜜を持って移動している間、被験者のタスクはキャラクタを落ち着いて見守るのみである。そこで、被験者のSCRの数値データが100を越えてしまうと、蜂蜜を持ったキャラクタは驚くような仕草をみせ、蜂蜜を地面に落としてしまう。その結果、キャラクタは敵である蜂にみつかって蜂に刺されてしまい、キャラクタが3回蜂に刺されるとゲームオーバーとなる。このゲームにおける、被験者のタスクはキャラクタの移動を見るということだけである。被験者がキャラクタに対して愛着を感じていると、キャラクタが蜂に刺されることに嫌悪感を抱くため、被験者は努めて落ち着いて見守るよう心がけ、ゲームクリアを狙うと考えられる。しかし、被験者の愛着が強ければ強いほどキャラクタが蜂に刺されることへの嫌悪感も増大するため、被験者のモチベーションは増大すると考えられ、この時の被験者の興奮は対象への愛着に依存するため、そのゲームクリアに対するモチベーションと愛着との関係を抽出することができると考えられる。このように予備実験2では、SCRを測定することで、人工物とのインタラクションにおける人間の愛着が、モチベーションの維持に与える影響について評価を行い、その結果から得られたモチベーションを維持するために必要とされるシステムの要件を抽出した。

次に、2つの予備実験で得られた知見から、愛着に基づいたモチベーションを維持するために必要とされるシステムの要件を満たす人工物（“あるくま”）を新たに構成し、その

評価を行った。“あるくま”の予備実験で使用した人工物との明確な違いは、ゲーム性を排除した点である。予備実験で使用した人工物は、被験者のモチベーションを評価するためにSCRの測定を行ったため、ある程度被験者の目的（ゲームクリア）を統一させる必要があった。予備実験2では、ゲームクリアを目的としながらも、被験者の愛着がモチベーションの維持に与える影響を調査した。一方、“あるくま”とのインタラクションを行った実験では、ゲームクリアなどといった明確な目的の無いインタラクションにおけるモチベーションの維持に対する愛着の影響を調査することとし、被験者の主観的な印象を採取することで評価を行った。“あるくま”は、テディベア型のロボットを操作することで、PC画面上に表示された部屋の中に存在するテディベアらしい外観をもつキャラクタを動かすことのできるシステムである。設定として、被験者はキャラクタの腕や首を動かしたり、部屋の中を歩いたりといった操作のみができることとした。このような自由度の低いインタラクションでは、被験者の飽きや慣れから、インタラクションが消滅する恐れがあると考えられる。しかし、先に述べた人間とペット動物とのインタラクションのように、対象への愛着に基づいたモチベーションが維持されれば、そのような理由ではインタラクションは消滅しないと考えられるため、このような設定とした。つまり、この実験によって、被験者の愛着に基づいたモチベーションの維持の存在を確認できると考えられる。実験では、“あるくま”に対する愛着がインタラクションに与える影響を調査するために、キャラクタを操作するインタフェースについて、触り心地や外観などを変えた設定について、それぞれ被験者の行動や印象の調査を行った。

このような様々な実験より、開発した“あるくま”における様々な要素が、どのように人間の愛着に基づいたモチベーションに影響を与え、それが両者のインタラクションにどのような結果をもたらすことになったのかを明らかにする。これらの結果から、人間の愛着に基づいたモチベーションの維持が、実際にコミュニケーションロボットやCGエージェントなどの要素を併せ持つ人工物へと応用可能であるかどうかに関する知見を得ることができると考えられる。

## 第4章 予備実験

予備実験では人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションを生理学的な興奮から評価することが可能であるかどうかを調査し、人間の対象への愛着がモチベーションの維持に与える影響を調査することを目的としている。具体的には一種のバイオフィードバックで構成されたゲーム（予備実験1：Balloon Trip, 予備実験2：びっくりクマさんのゲーム）を体験している被験者の生理学的な興奮を手掌の発汗による皮膚抵抗値の変化を抽出した Skin Conductance Response (SCR) を用いて測定し、SCR とモチベーションとの関係を調査した。

このような勝敗（クリア/オーバー）のあるゲームをインタラクションを行う対象として設定した理由は、被験者のインタラクションを行うモチベーションをある程度統一させることができると考えたためである。被験者の目標を、ある程度統一することが出来れば、被験者のモチベーションもある程度統一することができると考えられる。このゲームをクリアするという目標が存在した場合、目標達成を阻む問題は、ゲームクリアを阻止する敵が存在するということである。また、それに対して被験者には敵を回避するという行動以外の選択肢は与えられていない。つまり、ここではSCRの測定によって、「危機回避」という原始的な行動に対するモチベーションの抽出ができると考えられる。

予備実験1では、SCRを測定することで人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションの評価を行い、その結果から得られた、モチベーションを維持するために必要とされるシステム要件を抽出した。予備実験2では、SCRを測定することで、人工物とのインタラクションにおける人間の愛着が、モチベーションの維持に与える影響について評価を行い、その結果から得られたモチベーションを維持するために必要とされるシステムの要件を抽出した。

### 4.1 使用したバイオフィードバックシステムの構成

予備実験1および2にて構成されたバイオフィードバック系は被験者の生理学的な興奮を検知し、興奮から得られたデータをゲーム内に反映させたシステムである。双方のシステムにおいても、被験者の興奮は専用の測定装置で測定され、その結果をリアルタイムにゲーム画面上のインジケータに表示すると共にゲームに反映させた。被験者はどちらか一方の手掌に電極を装着しながらエンタテインメントコンテンツを体験する。生理学的な興奮を抽出する生体信号として、Skin Conductance Response (SCR) を使用した。SCRは交感神経支配下の汗腺活動を電氣的に測定して、被験者の情動状態、認知活動、情報処理過程を評価する方法の一つであり [15]、手掌に装着した一対の電極間に微弱な電流を流し、見かけ上の抵抗変化を調べる通電法で測定される。測定には、Fowles ら [16] の勧告する回路に従って新美ら [44] が改良し提唱した回路を使用した。測定装置の回路図を図 4.1 に

示す。

機能的に皮膚の抵抗値の変化などの中枢神経支配は、歩行運動系、定位-賦活系、体温調節系として検討できる [24] と言われており、その中でも SCR は歩行運動系の主要な機能を抽出している生体信号である。歩行運動系にかかわる SCR の主要な機能は、地面に対しての適当な摩擦と手先の器用さを促進することにある。それは、脅威状況時に危険に対する最良な反応として手掌を適当に湿潤させておく必要があり、この機能は太古の祖先の名残りといわれ、環境に対する進化の行動的適応だとされている [13]。以上のような SCR の性質をふまえ、予備実験 1 および 2 で使用した人工物は、被験者のタスクを危機を回避するといった設定とし、SCR の測定を行うことによって、それに対するモチベーションとその維持を評価することとした。

SCR の測定は、被験者は椅子に座りリラックスした状態で行う。計測器を装着している手を動かしたり力を入れたりしてしまうと正常な信号が取得できないため、電極を装着させた手は楽な体勢にした状態で膝の上におき固定させる。また、信号を取得する装置はノイズの発生源からなるべく離して置き、信号取得中は被験者に足を動かさないように注意するなど、ノイズの混入を防ぐよう留意した。二対の電極は図 4.1 のように装着した。

本予備実験では SCR の変動量として、先行研究 [53, 54] と同様に図 4.1 に示した SCR のグラフのうち斜線部分の面積 (SCR の正の値の積分値) をゲームのプレイ時間で割ったものを SCR 変動量とし、それを興奮の評価として用いた。つまり、SCR 変動量が大きい値を示すと、被験者は興奮状態にあると考えられ、また、それが小さければ興奮状態ではなかったと考えた。

また、SCR は連続して同じ課題を被験者に与える実験では、試行回数が増えると反応が減少または消失することも示されている [20]。SCR は連続した同一の刺激に対し慣れが生じ、反応が弱くなることがわかっている [66]。そのため、本研究ではそれらの先行研究を参考とし試行を連続させる場合は六回以下とした。

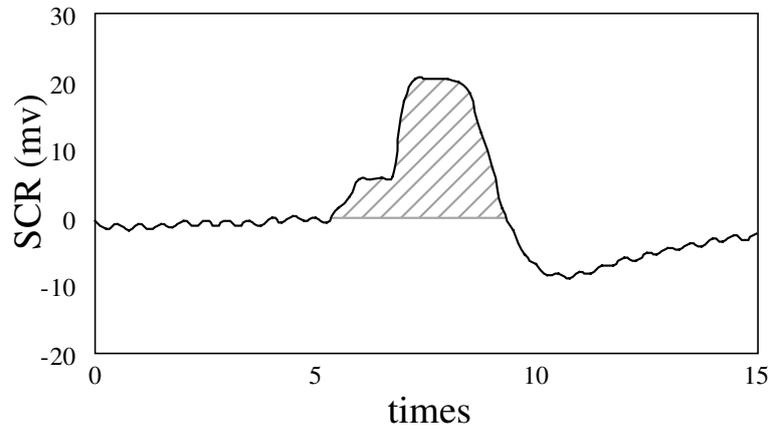


図 4.1: SCR 変動量 (斜線部分)  
Figure 4.1: SCR values

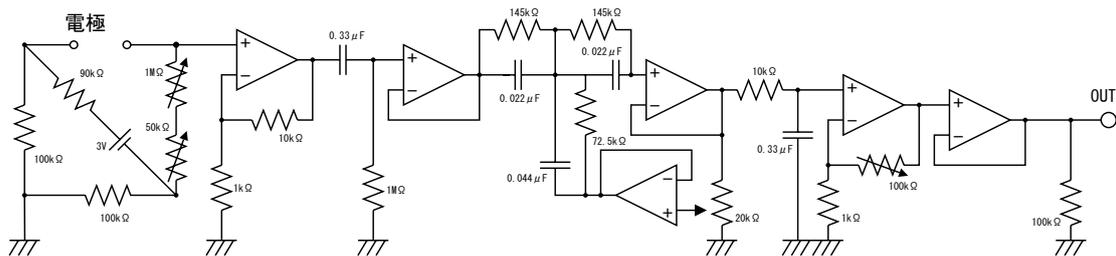


図 4.2: SCR 測定器の回路図  
Figure 4.2: The circuit diagram of SCR sensor

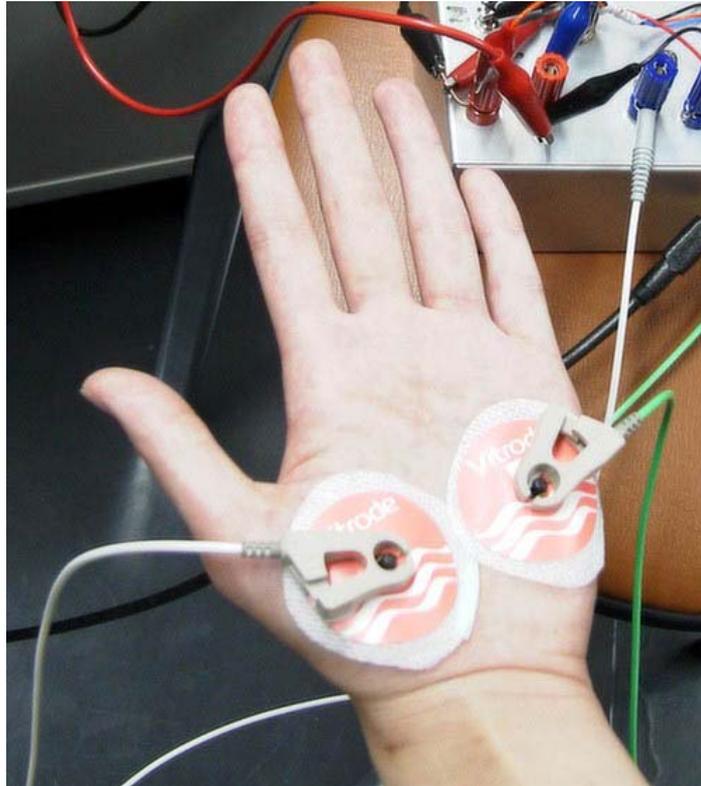


図 4.3: 電極の装着

Figure 4.3: The electrodes attached to palm

## 4.2 予備実験 1

予備実験 1 の目的は、人工物とのインタラクションにおける人間のモチベーションを生理学的な興奮から評価することが可能であるかどうかを調査し、生理学的な興奮を評価することで、人工物の振る舞いの変化が人間のモチベーションの維持に与える影響を調査することである。具体的には、一種のバイオフィードバックで構成されたゲーム (Balloon Trip) を体験している被験者の生理学的な興奮を手掌の発汗による皮膚抵抗値の変化を抽出した SCR を用いて測定し、SCR とモチベーションとの関係を調査した。

この予備実験 1 では、通常の「Balloon Trip」を体験させた被験者と、バイオフィードバックを用いない場合のゲームを体験させた被験者との SCR の変動量を比較することで、興奮とモチベーションの関係を実験的に調査した (BF 有無比較実験)。さらにこの実験の結果を踏まえて、リアルタイムに被験者の SCR の変動をゲームに反映させる通常の「Balloon Trip」を体験する被験者と、被験者の SCR の変動を遅延させてフィードバックを行った場合のゲームを体験させた被験者との SCR の変動量を比較して、モチベーションの維持について調査する実験を行った (BF 遅延比較実験)。

### 4.2.1 ゲームの構成

「Balloon Trip」は、被験者の SCR の変動値をリアルタイムに PC 画面上のインジケータに表示すると共に、SCR の変動に応じてゲームクリアを阻害する敵が出現するゲームである。SCR 測定装置に関しては、生体信号を利用したゲーム [53] と同じ測定器を使用した。「Balloon Trip」では、一定の速度で左にスクロールするフィールドで、次々に現われる敵である障害物を避けながらキャラクタをゴールへと導くといった非常に単純なゲームをベースとしている。被験者は、電極を装着していない方の手で十字キーが付いた PC ゲーム用のコントローラを持ち、PC 画面上のキャラクタを上下左右に操作できるようにした。「Balloon Trip」は図 4.2.1 のような画面構成とし、下方中央のオシロスコープで被験者の SCR の変動をグラフ表示させ、下方右側にその変動をわかりやすいグラフィックスで表すことで、より被験者がバイオフィードバックを感じられるデザインとした。CG キャラクタは画面上をコントローラで自由に移動させることができ、プレイヤーは落ち着いて操作するよう心掛ける。プレイヤーの SCR の変動が生じたときは SCR の変動量にあわせて図 4.2.1 のように敵が出現する。現れる敵は鳥や雷など複数種類あり、キャラクタがそれらの障害物に五回当たるとゲームオーバーとなる。敵の出現数は SCR の数値データ (8bit) に依存しており、具体的には 0-255 までの数値データを 10 段階に分割して一段階ごとに敵を一体出現させる設定とした。また、敵は出現してから、キャラクタの方向へ向かうようプログラムされているため、キャラクタを絶えず移動させなければゲームはクリアできない。つまり、ゲームをクリアするためには、被験者は絶えず現れる敵から逃げるといった操作を行わなければならない。またゲームの所要時間は最長で約三分とした。

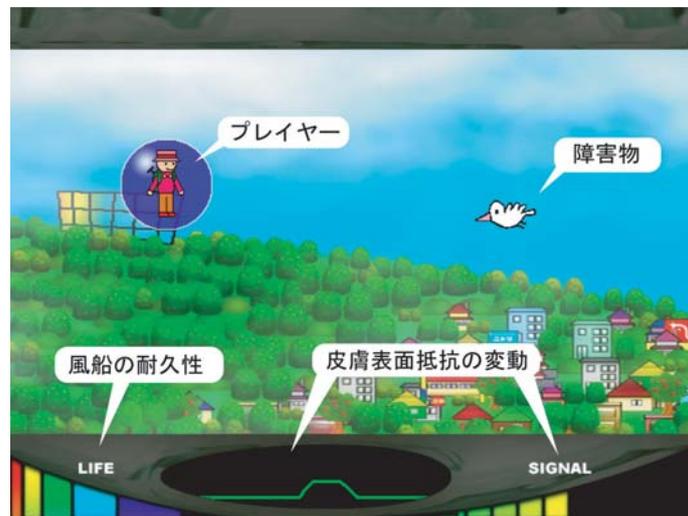


図 4.4: ゲームの画面構成  
Figure 4.4: Screen configuration of game  
(normal situation)



図 4.5: SCR が変動した時のゲームの画面構成  
Figure 4.5: Screen configuration of game  
(agitated situation)



図 4.6: BF 有無比較実験のゲームのスクリーンショット  
Figure 4.6: Screenshot of BF effect in experiment

#### 4.2.2 BF 有無比較実験

BF 有無比較実験では、先に説明した「Balloon Trip」(BF 有り)を体験させた被験者と、バイオフィードバックを用いない場合のゲーム(BF 無し)を体験させた被験者との SCR の変動量を比較した。バイオフィードバックを用いない場合のゲームについては、図 4.2.2 のようにゲーム画面上の下方中央のオシロスコープと下方右側のインジケータを表示させず、通常、SCR の変動時に鳴らされる効果音も鳴らさず、敵をランダムに出現させ、SCR の変動をゲームに反映させなかった。被験者は 18 歳から 23 歳の健康な男子 4 人、女子 4 人、計 8 人で、一人の被験者について計三回のゲームをプレイさせた。また被験者はランダムに BF 有り群、BF 無し群に割り振られた。全ての被験者には予め、ゲームのストーリーやシステムの仕組みなどの内容、実験の進め方等を説明した。

#### 4.2.3 BF 有無比較実験の結果

BF 有無比較実験の結果から、バイオフィードバックした場合としない場合の被験者の SCR 変動量について、バイオフィードバックを行った方が SCR の変動量大きいことがわかった。それらの結果では、( $F(1, 22) = 3.44, p < .1(+)$ ) で有意傾向が確認された。この実験結果から、バイオフィードバックを行った通常の「Balloon Trip」を体験した被験者では、SCR の変動量が多くゲームクリアを目的として出現する敵を回避することへのモチベーションを維持できていることが確認された。一方、バイオフィードバックを行わなかったゲームを体験した被験者の場合、通常の Balloon Trip を体験した被験者に比べてゲームクリアに対するモチベーションを失い、それにともなって SCR の変動量も減少したと考えられる。

#### 4.2.4 BF 遅延比較実験

BF 遅延比較実験では、被験者から得られた SCR の変動値を遅延させて、ゲーム画面の下方中央に表示されたオシロスコープや下方右側のインジケータ、敵の出現などにフィードバックした実験を行い、被験者の SCR の変動量を調査した。通常の Balloon Trip を体験するノーマル群と、バイオフィードバックを 4 秒遅延させた 4 秒遅延群、8 秒遅延させた 8 秒遅延群とで、被験者をランダムに割り振り、それぞれの SCR の変動量について比較した。被験者は 18 歳から 23 歳の健康な男子 9 人、女子 10 人で、ノーマル群では男性 2 人、女性 3 人、遅延 4 秒群では男性 3 人、女性 5 人、遅延 8 秒群では男性 4 人、女性 2 人とし、一人の被験者に三回のゲームをプレイさせた。全ての被験者には予め、ゲームのストーリーやシステムの仕組みなどの内容、実験の進め方等を説明した。

#### 4.2.5 BF 遅延比較実験の結果

バイオフィードバックをリアルタイムに反映させたノーマル群と、4 秒遅延させた 4 秒遅延群、8 秒遅延させた 8 秒遅延群について、それぞれの実験結果をに図 4.2.2 に示す。BF 遅延比較実験の結果から、それぞれの群について、ゲームのプレイ時間のばらつきにはほぼ差はないものの、SCR 変動量にはノーマル群と遅延 4 秒群、ノーマル群と遅延 8 秒群との間にそれぞれ有意差が観察された ( $F(2, 54) = 14.20, p < .01(**)$ )。LSD 検定によると、具体的には 1) ノーマル群、遅延 4 秒群、2) ノーマル群、遅延 8 秒群、3) 遅延 4 秒群、遅延 8 秒群との間に有意差が存在していることが明らかになった。

BF 有無比較実験では、バイオフィードバックを行ったことで、被験者のゲームクリアに対するモチベーションを維持できていたことが確認されたが、BF 遅延比較実験の結果から、そのバイオフィードバックがリアルタイムであるということが重要であることが確認された。つまり、この実験結果から、バイオフィードバックを行っていても、そのフィードバックがリアルタイムでなければ、被験者のモチベーションを維持することができないということが示された。このことから、被験者のモチベーションを維持するためには、被験者の状態をリアルタイムに人工物に反映させることが重要であることが確認された。

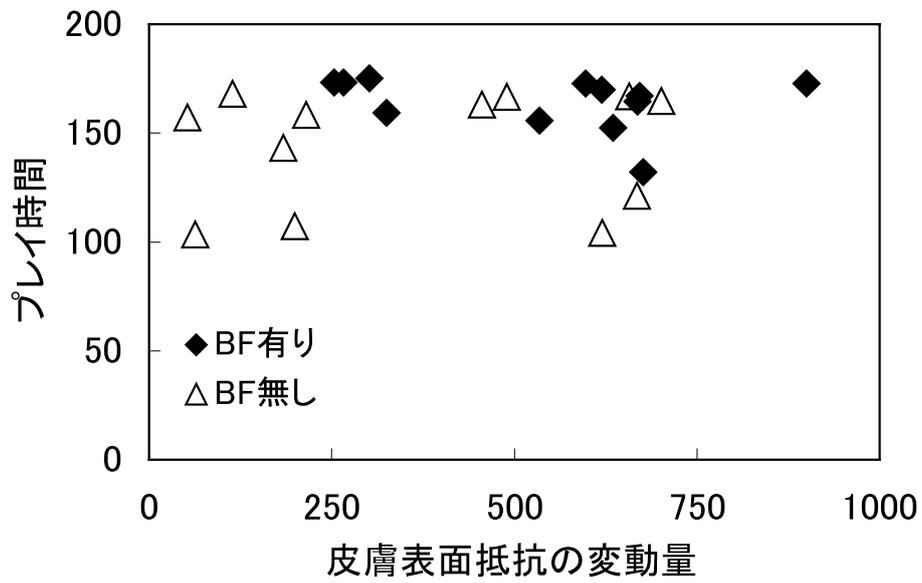


図 4.7: BF 有無比較実験の結果  
Figure 4.7: Result of BF effect in experiment

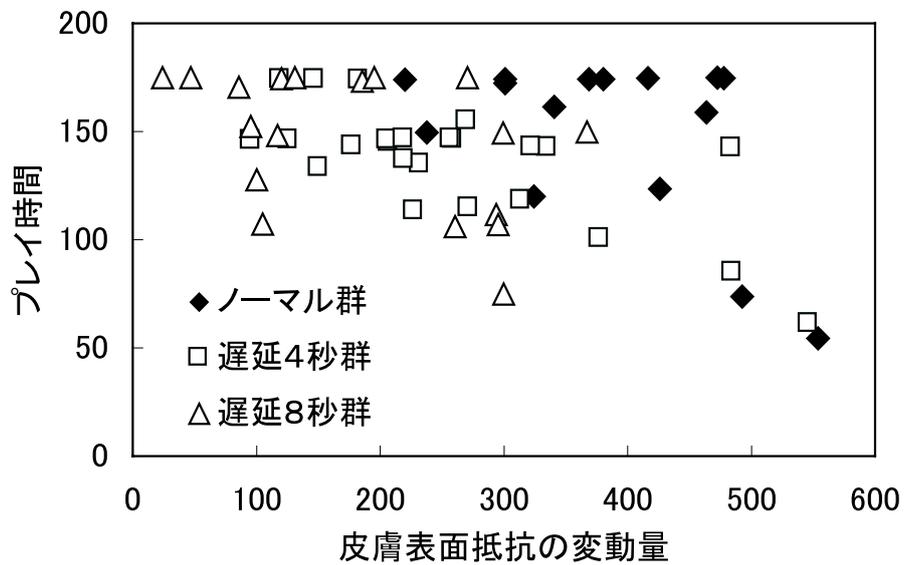


図 4.8: BF 遅延比較実験のSCR 変動量の結果  
Figure 4.8: Result of SCR values in experiment of BF delay

#### 4.2.6 予備実験1の結果についての考察

BF 有無比較実験の結果、バイオフィードバックした場合のゲームを体験した被験者は、バイオフィードバックしない場合のゲームを体験した被験者よりも SCR 変動量が大きく、それらの間に有意傾向が確認された。一方、BF 遅延比較実験の結果、それぞれの群について、ゲームのプレイ時間のばらつきにはほぼ差はないものの、SCR 変動量にはノーマル群と遅延 4 秒群、ノーマル群と遅延 8 秒群との間にそれぞれ有意差が確認され、フィードバックがリアルタイムであるほど SCR 変動量が大きいといった結果となった。

このことから、バイオフィードバックを行うことで、体験している被験者の状態がゲームにどのように反映されているのかを被験者自身が認識しやすくなったことから、SCR の変動量が増大したと考えられる。さらには、それらの被験者の状態をリアルタイムにゲームにフィードバックすることが、SCR の変動量を増大させていたことが確認された。つまり、バイオフィードバックを行った通常の Balloon Trip を体験した被験者の方が、バイオフィードバックの無いゲームを体験した被験者やリアルタイムでは無いゲームを体験した被験者よりも、ゲーム内の敵を回避するといった行動に関する強いモチベーションが確認された。

### 4.3 予備実験 2

予備実験 2 の目的は、生理学的な興奮と被験者の主観的な印象を評価することで、人間の愛着がモチベーションの維持に与える影響を調査することである。具体的には、一種のバイオフィードバックで構成されたゲーム（びっくりクマさんのゲーム）を体験している被験者の生理学的な興奮を手掌の発汗による皮膚抵抗値の変化を抽出した Skin Conductance Response (SCR) を用いて測定し、愛着とモチベーションとの関係を調査した。

予備実験 2 で使用した人工物について、予備実験 1 で使用した人工物との明確な違いは、被験者がキャラクタを他者として認識するよう設定した点である。予備実験 2 では、人間の愛着がモチベーションの維持に与える影響を調査することを目的としているため、他者との近接欲求である愛着を引き起こすように人工物の設定を行う必要があった。そのため、予備実験 2 で構成した「びっくりクマさんのゲーム」では、被験者にとって他者と認識し得るようなテディベア型のキャラクタを用い、そのキャラクタの状態を体の動き（反応動作/危機動作）で示すテディベア型のロボットを用いて構成した。

実験では、通常の「びっくりクマさんのゲーム」を体験させた被験者と、ロボットを用いない場合のゲームを体験させた被験者との SCR の変動量を比較し、ロボットを用いたことによる、モチベーションの維持への影響を調査し（BF ロボット有無比較実験）、その上で、通常の「びっくりクマさんのゲーム」を体験させた被験者と、ロボットに対して愛着が湧かないような持ち方をさせた場合のゲームを体験させた被験者との SCR の変動量を比較し、（BF 愛着有無比較実験）対象への愛着がモチベーションの維持に与える影響を調査した。

#### 4.3.1 ゲームの構成

「びっくりクマさんのゲーム」は、被験者の SCR の変動値をリアルタイムに PC 画面上のグラフに表示すると共に、SCR の変動に応じてゲームクリアを阻害する敵が出現するゲームである。SCR 測定装置に関しては、生体信号を利用したゲーム [53] と同じ測定器を使用した。「びっくりクマさんのゲーム」では、キャラクタが一定の速度で左から右に進み、被験者がそれを落ち着いて見守ることができれば、キャラクタをゴールに導くことができるといった非常に単純なゲームをベースとしている。被験者には、電極を装着していない方の手で膝の上に置いたロボットを抱えさせた。

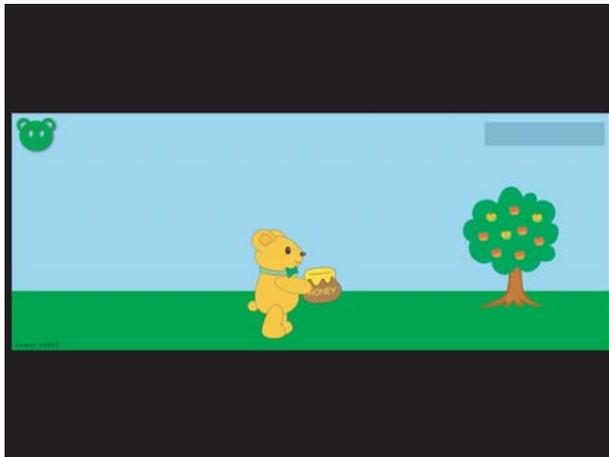
このゲームは、蜂の巣から蜂蜜を盗んだクマが、蜂蜜の入った壺を家へ持ち帰るところから始まる。キャラクタのクマが蜂蜜を家へ持ち帰っている様子を眺めることが被験者のタスクである。被験者が落ち着いて見守ることが出来れば、クマは無事に蜂蜜を手に入れることができる。しかし、被験者の SCR が変動した場合、クマは驚いて蜂蜜を地面に落としてしまい、そこで蜂に気付かれ、クマは蜂に刺されてしまう。

「びっくりクマさんのゲーム」は図 4.3.1 の A のような画面構成とし、上方右側のオシロスコープで SCR の変動を表示させ、上方左側には何回蜂に刺されたかを表すクマの表情のグラフィックスを表示した。ゲーム画面上のクマは左から右へ一定の速度で移動し、その間プレイヤーはその様子を落ち着いて眺めるよう心掛ける。プレイヤーの SCR の変動が生じたときは図 4.3.1 の B のようにクマは蜂に刺される。また、三回蜂に刺されるとクマは気絶し、ゲームオーバーとなる。ゲームをクリアできた場合、ゲーム中は右を向いて歩

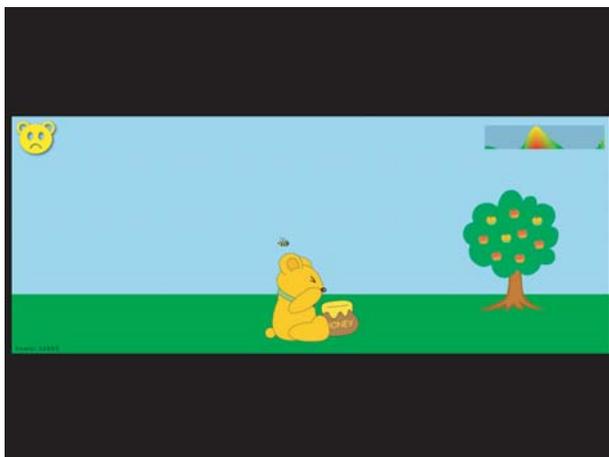
いていたクマが正面を向いて止まり、蜂蜜をかかげプレイヤーに向かって喜びを表現し、それに合わせてロボットも両手を上下させて喜びを表現する。また、ゲームの所要時間は最長で約一分とした。

テディベア型のロボットはプレイヤーの SCR の変動に応じ、図 4.3.1 の B のように両腕を開き、頭を後ろに仰げ反る様な動作 (反応動作) を表出し、ゲーム画面上のクマが危機的な状況になると、危機を感じて怯えているかのように震える動作 (危機動作) を表出した。反応動作とは、SCR の値に応じて、腕のピボット軸を 0~90 度、首のチルト軸を 0~50 度の範囲で駆動する動作である。図 4.3.1 の A の状態は、SCR の値が最小値を示した時のロボットの状態を、また B の状態は SCR の値が最大値を示した時のロボットの状態をそれぞれ示している。また、危機動作とは、腕のピボット軸と首のチルト軸を 0~15 度の範囲で一秒間に五往復させるような動作である。

*An interactive system which can build an sustained relationship between users and artifacts*



(A)



(B)



図 4.9: ゲームの画面構成とロボットのモーション (A: 平常時, B: SCR 変動時)  
Figure 4.9: Screen configuratuin of game and robot motion(A: nomal situation, B: agitated situation)

### 4.3.2 BF ロボット有無比較実験

BF ロボット有無比較実験では、先に説明した「びっくりクマさんのゲーム」について、ロボットの動きがある場合 (Session A) と無い場合 (Session B) の各 Session を一人の被験者に対して交互に三回ずつ行った。また、各 Session の順番による違いを調べるために、Session A から始める被験者を Group A とし、Session B から始める被験者を Group B として実験を行った。被験者は 19 歳から 25 歳の健康な男子 6 人、女子 10 人、計 16 人で、一人の被験者について以下の要領で、計六回の Session を行った。全ての被験者には予め、ゲームのストーリーやシステムの仕組みなどの内容、実験の進め方等を説明した。

- Group A : 1st turn (Session A, Session B) → 2nd turn (A, B) → 3rd turn (A, B)
- Group B : 1st turn (Session B, Session A) → 2nd turn (B, A) → 3rd turn (B, A)

### 4.3.3 BF ロボット有無比較実験の結果

被験者の Session の回数と SCR 変動量との関係のうち、Group A, B の典型的被験者のグラフを、それぞれ図 4.3.3, 4.3.3 に示した。このグラフより、Group A の方が SCR 変動量が多いこと、そして全体的に、ロボットのモーションがある場合と無い場合 (Session A, Session B) との SCR 変動量が交互に増減していることがわかった。

ここで、2 つのグラフの六回目の Session について注目すると、他の Session での変動量よりも、比較的 SCR 変動量が大きかったことが観察された。この現象について被験者にインタビューを行ったところ「最後だからゲームをクリアしたかった」という感想が得られた。この実験の結果から、六回目の Session のデータに関しては、ロボットのモーションの有無に関わらず、そのような被験者のモチベーションの変化が、SCR 変動量に大きく影響していたことが確認された。

次に、Group A, B の被験者における SCR 変動量の平均を示したものを図 4.3.3 に示す。この図から、Session B よりも Session A の実験の方が SCR の変動量が大きかったことが観察され、それらの間に有意差が確認された。

このように、BF ロボットモーション実験の結果から、被験者の反応に合わせたロボットの動作が、ゲームクリアに関する強いモチベーションを与えていたことが確認された。ロボットを用いたことによって、ロボットを用いなかった場合のゲームよりも、被験者自身の状態や PC 画面上のキャラクターの状態など、より多くの情報を直感的に得ることができたことが、被験者のモチベーションに影響を与えたと考えられる。

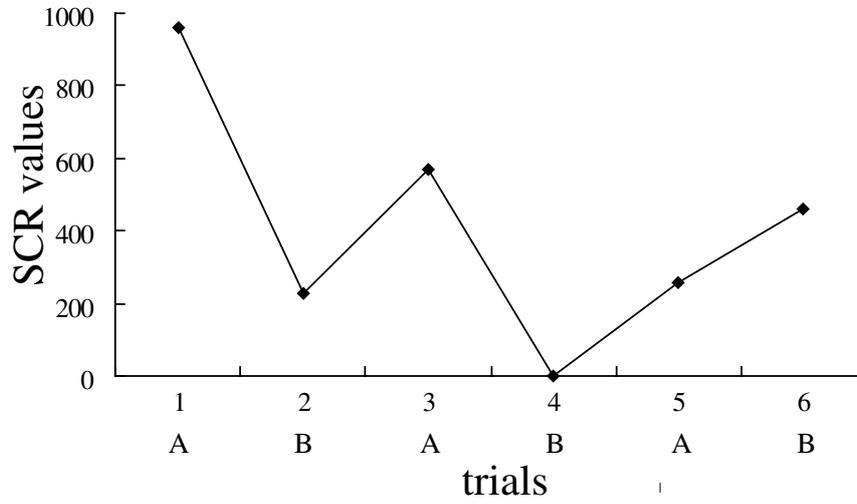


図 4.10: Session の回数と SCR の関係 (Group A)  
Figure 4.10: Number of trials and SCR values relation (Group A)

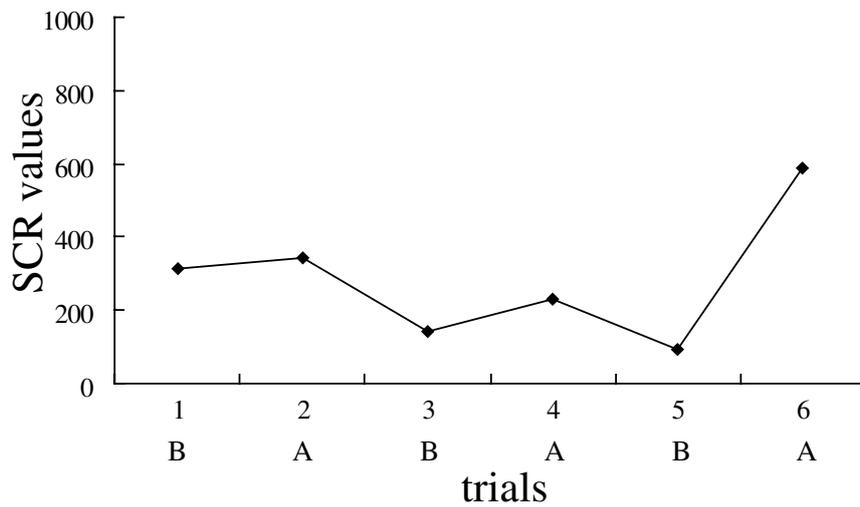


図 4.11: Session の回数と SCR の関係 (Group B)  
Figure 4.11: Number of trials and SCR values relation (Group B)

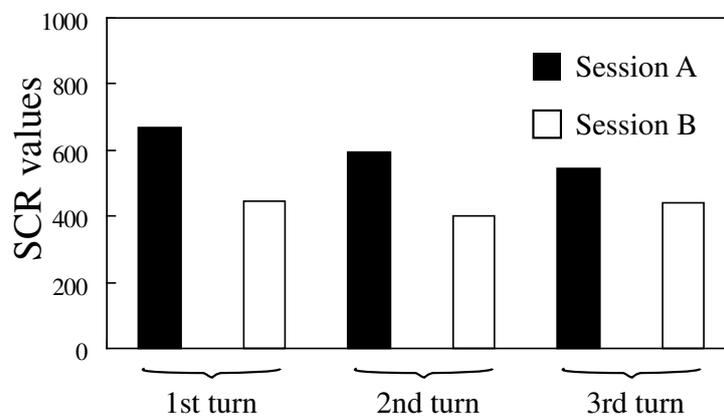


図 4.12: BF ロボットモーション実験における Session A と Session B の SCR 変動量の平均の比較

Figure 4.12: SCR values comparison of Session A with Session B in experiment of BF robot motion

#### 4.3.4 BF 愛着有無比較実験

BF 愛着有無比較実験では、被験者に対して電極を装着していない方の手で、愛着が湧かないような持ち方でロボットを持つよう指示した。愛着が湧かないような持ち方について、細かい持ち方などは被験者に任せることとした。また、この実験についてもBFロボット有無比較実験の Group A と全く同じ要領でロボットの動きがある場合の Session A と動かない場合の Session B を交互に 3 回繰り返した。被験者は BF 愛着有無比較実験には参加していない 19 歳から 25 歳の健康な男女 7 人で、一人の被験者について連続して計六回の Session を行った。これらの被験者を Group C とした。全ての被験者には予め、ゲームのストーリーやシステムの仕組みなどの内容、実験の進め方等を説明した。

#### 4.3.5 BF 愛着有無比較実験の結果

Group C の被験者における、Session A と Session B の SCR 変動量の平均を図 4.3.5 に示した。この図から、愛着が湧かないような持ち方をさせた被験者には、Session A と Session B の条件による SCR 変動量の違いはみられず、図 4.3.3 の Group A と Group B に比べて、SCR 変動量が極端に低い値を示したことが理解できた。

#### 4.3.6 予備実験 2 の結果についての考察

BF ロボット有無比較実験の結果から、Session B の実験よりも Session A のゲームを体験する方が被験者の SCR の変動量が有意に大きかったことが確認された。また、ロボットのモーションが SCR の変動量に大きく影響された被験者の一人は、「自分の動揺に合わせて同時に動くロボットに愛着を感じた」と述べていた。このように PC 画面上のキャラクターのみならずロボットに対しても愛着を感じた被験者は SCR の変動が大きいことがわ

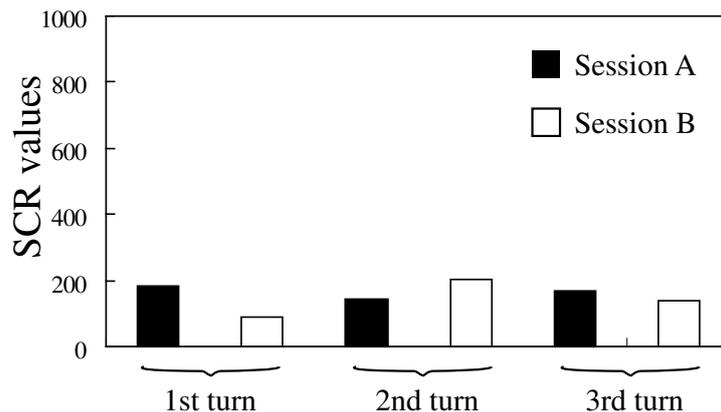


図 4.13: BF 愛着有無比較実験における Session A と Session B の SCR 変動量の平均の比較

Figure 4.13: SCR values comparison of Session A with Session B in experiment of BF robot attachment

かった。

BF 愛着有無比較実験では，被験者に対してテディベア型のロボットを愛着が湧かないように持つよう教示した．結果より，Session A と Session B による SCR の変動量に傾向はみられず，ロボットのモーションが SCR の変動量に影響を与えない結果となった．実験中の Group C の被験者の様子を図 4.3.6 に示す．Group C の被験者は，愛着の湧かない持ち方をさせられたことで，キャラクタやロボット自体を愛着の湧かない存在と認識することになり，さらにはこのゲームに対するモチベーションを失う結果となってしまったと考えられる．このようにロボットの把持の仕方が被験者のモチベーションに大きな影響を与えていたことが確認された．

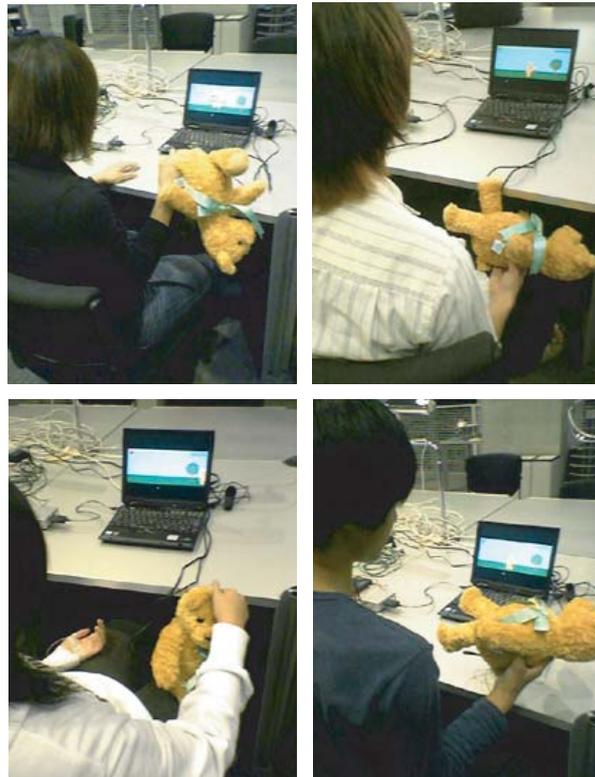


図 4.14: Group C の被験者  
Figure 4.14: Participants in Group C

#### 4.4 予備実験のまとめ

予備実験 1 および 2 で得られた知見を以下にまとめる。

- 被験者の興奮を維持するためには、被験者の状態が人工物にどのように反映されているのかを被験者自身が認識しやすいことが必要である (BF 有無比較実験)
- 被験者の興奮を維持するためには、被験者の状態をリアルタイムに人工物にフィードバックすることが必要である (BF 遅延比較実験)
- 被験者の反応に合わせたロボットのモーションが被験者の興奮を持続させる (BF ロボット有無比較実験)
- 愛着の湧かないようなロボットの把持の仕方が、被験者のモチベーションを減少させていた (BF 愛着有無比較実験)

以上のことから、人間のモチベーションを維持するためには、実世界での人間の働きかけが人工物に反映され、その反映がリアルタイムで人間が認識しやすく、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる設定とすることが重要であることが導き出された。

## 第5章 人間との持続的なインタラクションを目指す人工物

予備実験の結果から導かれた、人間との持続的なインタラクションを構築するために必要とされるシステムの機能を取り入れた人工物を構築し、その評価を行った。

### 5.1 “あるくま”の構成要素

人間の愛着に基づくモチベーションの維持から、インタラクションを持続させるような人工物を設計するためには、予備実験で観察された以下のような構成を必要とする。

- 実世界での人間の働きかけが人工物に反映されること
- 人間の働きかけによる人工物への反映がリアルタイムで人間が認識しやすいこと
- 対象への愛着が湧くような人工物の扱い方をさせる設定とすること

予備実験1および2で構成された人工物は、被験者のゲームクリアへのモチベーションを維持させるためにバイオフィードバックを用いることとした。しかし、予備実験2では、被験者に「愛着が湧かない持ち方」をさせたことによってゲームクリアに対するモチベーションが極端に減少あるいは消滅しており、モチベーション維持に有効とされたバイオフィードバックやロボットのモーションが全く意味を持たない結果となった。このことは、人間のモチベーション維持にバイオフィードバックを使用することは実験的に有効であったことが確認されたが、それ以上に人間の愛着はモチベーション維持に大きな影響を与える可能性がある、ということを示唆している。つまり、人間の愛着を引き起こすことでそれ自体が強いモチベーションとなり、人工物との持続的なインタラクションを可能とすると考えられる。このことから、人間の愛着を引き起こすことができれば、愛着自体がモチベーションとなり得るため、モチベーションの維持に有効とされたバイオフィードバックやゲームクリアという目標などは必要とされないということが導き出される。何故ならば、愛着は対象への近接欲求であり、それ自体がインタラクションを行うモチベーションを維持する要素となるためである。

以上のことから、予備実験で観察された構成要素や考察をふまえてバイオフィードバックやゲーム性を排除した人工物について、具体的には以下のような要件を満たすように構築した。

1. 人間の物理的な働きかけに対して対象が反応する機能：予備実験2では、被験者のSCRの反応に合わせたロボットのモーションが被験者の興奮に大きな影響を与えて

いた。そこで、人間がロボットに触れながら PC 画面上の対象に影響を与えることができ、PC 画面上のキャラクタの状態をロボットを介してフィードバックするような、実世界指向とすること。

2. **人間の働きかけをリアルタイムかつ人間がわかりやすいように対象へ反映させる機能**：予備実験において、被験者の状態がリアルタイムに対象へ反映されていることを被験者自身が認識しやすいことが被験者の興奮に大きな影響を与えていたことが確認された。そこで、人工物に対する人間の働きかけがリアルタイムに対象に影響を与え、その影響が人間がわかりやすいような設定とすること。
3. **対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**：予備実験 2 では、愛着が湧かないような持ち方をさせられた被験者が、それが原因で実際に対象に対して愛着が湧かなくなったことが示された。そのため、人間が自然に愛着の湧くような扱い方ができる人工物の操作方法とすること。

上記の機能を構築した人工物“あるくま”については、次章で詳細に説明を行う。

## 5.2 人間の愛着を引き起こす人工物“あるくま”の概要

そこで、人工物を構築する要素の一つである人間の物理的な働きかけに対して対象が反応する機能として、人間がロボットに触れながらディスプレイ上のキャラクタに影響を与えることのできるシステム“あるくま”を構築することとした。“あるくま”(図 5.2) はディベア型のロボット [56] (IP ROBOT PHONE, イワヤ株式会社 [28], 構成：片腕 2 自由度×2, 首 2 自由度, 計 6 自由度) をコントローラとし、その入力をディスプレイ上のキャラクタ(図 5.2)の動きに反映させるシステムである。また、人間の働きかけをリアルタイムかつ人間がわかりやすいように対象へ反映させる機能として、“あるくま”は、コントローラであるロボットの首を動かすことでキャラクタの向きを変えることができ、ロボットの腕を動かすことで同様の動きをキャラクタにリアルタイムに反映させることができる設定とした。そしてロボットの両腕を交互に縦に振り、ロボットに歩くような動作を与えることで、キャラクタを歩かせることができる。キャラクタはディスプレイ上に構成された壁で囲まれた部屋の中に存在しており、部屋の外に出ることができないため、その中でのみ歩くことができる。また、キャラクタがその部屋の壁や障害物などにぶつかると、ロボットの両腕にトルクが働き、キャラクタが何かにぶつかったということを知らせる仕組みとなっている。一般的に「歩く」という行動について連想する身体部分は「足」であるため、「ロボットの足を動かすことでキャラクタが歩く」という仕組みの方がより直感的であるといえる。しかし、“あるくま”では交互に腕を振るといった動作によってディスプレイ上のキャラクタを歩かせる設定とした。その理由としては、**対象に対して愛着が湧くような扱い方をさせる機能**を構築させたためである。ここで、人間と人間の自然な行動として、人間が他者(例えば、よちよち歩きの赤ちゃん)を歩かせようと考えた時に、まずその手をとるということは容易に想像がつく。このような状況下では、人間は他人の足を直接動かすことは無く、むしろそのような行為は他人にとって強引で、その人を転倒させてしまう危険性がある。よって、人間がロボットの腕を持って歩かせることで、その人間

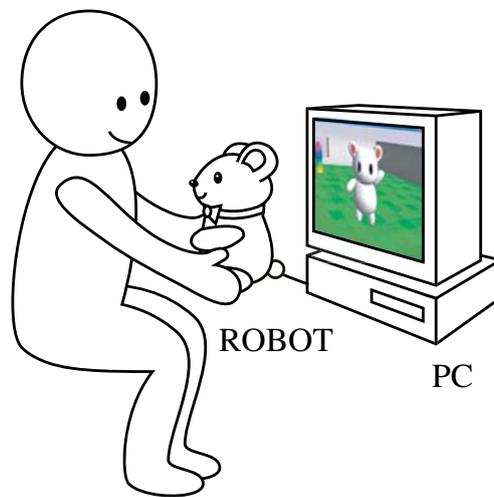


図 5.1: “あるくま” のシステム構成  
Figure 5.1: System configuration of Marching Bear

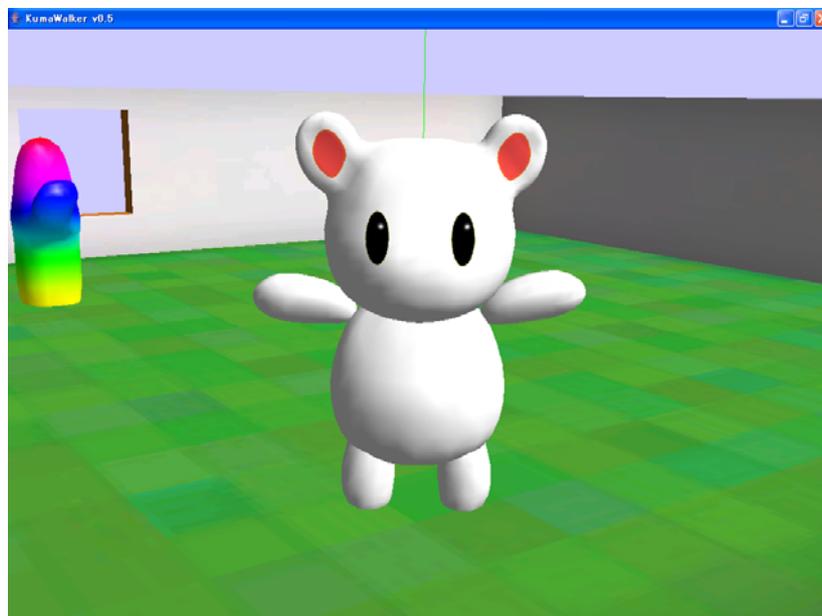


図 5.2: “あるくま” のコンテンツ側のキャラクタ  
Figure 5.2: Display configuration of Marching Bear

はロボットを強引に扱っていると感じるのではなく、ロボットをまるで人間（例えば、赤ちゃん）のような存在と感じると期待され、対象への愛着を阻害しない操作が可能となると考えられる。そしてその結果として、人間の愛着に基づくモチベーションを維持させることができ、持続的なインタラクションを構築することができると考えた。さらに、人間が他者と手をつないで歩く場合、手の振りのリズムを合わせることで、自然と足並みが揃う。そこで“あるくま”においても、人間がロボットの両腕を自分のリズムで交互に振ることで、自らの意図した歩行速度、リズムをディスプレイ上のキャラクタに反映できるように構成した。

さらに、予備実験1および2で構成された人工物のPC画面上に表示されたフィールドは全て2Dで構成されていたが、“あるくま”では3Dのグラフィックスでディスプレイ上のフィールドおよびキャラクタを構成することとした。その理由として、人間のより強い愛着を引き起こすために、実世界での人間の愛着行動を人工的に再現させる必要があり、理想的なヴァーチャルリアリティ・システムの三要素における「三次元の空間性」を取り入れたためである。ヴァーチャルリアリティの分野では、ディスプレイ上や遠隔に存在するロボットなどの現前していない対象を人間がコントローラで操作した場合、現前していない空間からの情報を、VRの三要素である「三次元の空間性」、「実時間の相互作用性」、「自己投射性」を考慮して的確に抽出、生成し、被験者に与えれば、現前しているのと同等の効果を引き起こし得るとされている[64]。三要素のうち「実時間の相互作用性」、「自己投射性」に関しては、人間のロボットの操作によってディスプレイ上のキャラクタをリアルタイムかつ直感的に動かすことができる点や、ディスプレイ上のキャラクタの歩行やそのリズムを誘導させられる点において実現できていると考えられる。

以上のように、“あるくま”は実世界での人間の愛着行動を利用して、人間の対象への愛着を引き起こす人工物を目指すものである。

図5.2にロボットの関節の構成を示す。ディスプレイ上のキャラクタの歩行動作は、ロボットから取得した両肩のX軸角度から計算する設定とした。角度は一秒間に10回の割合でDegree値として取得し、一方の肩の角度差分が5度以上、もう一方の肩の角度差分が-5度以上の場合、歩行動作処理を行うこととした。歩行方向は、歩行動作を行っている時のキャラクタの顔が向いている角度とし、歩行速度は両肩の角度差分の絶対値を平均した値に比例させた。歩行中のキャラクタの足の角度は-(肩の角度/2)とし、両腕の振りと足の振りを連動させた自然に歩いているような振る舞いをさせた。また、ロボットの首を回す(Y軸)ことによってキャラクタの向く方向を変えることができるようにし、首を±30度以上回すと、キャラクタは一定の速度でY軸回転を行い、首を±30度以内に戻すと回転は止まるよう設定した。

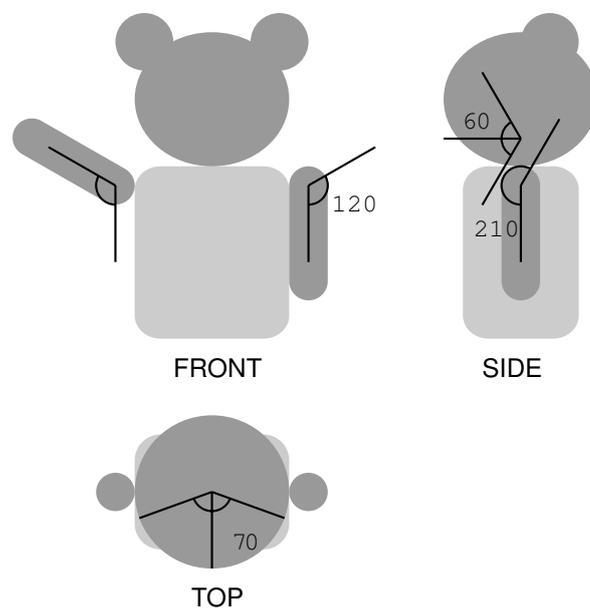


図 5.3: IP ROBOT PHONE の自由度  
Figure 5.3: Degree of Freedom of Marching Bear

## 第6章 “あるくま” の評価実験

人間の対象への愛着に基づくモチベーションを維持することで、持続的なインタラクションを構築する人工物を目指す，“あるくま”を構成した。“あるくま”について、人間の対象への愛着がどのように維持され、それがインタラクションの持続にどう影響を与えるのかを調査する実験を行った。具体的には、実際に“あるくま”とのインタラクションを行っている被験者の行動や主観的印象を評価した。この評価実験によって、“あるくま”が被験者の愛着に基づくモチベーションを引き起こすことができ、インタラクションを持続させる可能性をもつシステムであるかどうかを実験的に示すことができると考えられる。

実験では、“あるくま”においてキャラクタを操作するコントローラの違いが及ぼす影響を調べるために、通常の“あるくま”を体験した場合（normal群）と、一般的なビデオゲームで使用されるようなコントローラを用いてキャラクタを操作するシステムを体験した場合（controller群）とで被験者の行動や主観的印象を比較した（“あるくま”の評価実験1：第6.1章）。また、ロボットの外観と触り心地の違いによる影響を調べるために、通常の“あるくま”を体験した場合（normal群）と、“あるくま”のロボットの触り心地を保存し外観的なキャラクタ性を排除した場合（fur群）と、“あるくま”のロボットの触り心地と外観的なキャラクタ性のどちらも排除した場合（machine群）とで、被験者の行動や印象を比較した（“あるくま”の評価実験2：第6.3章）。以上の実験群では、被験者に操作方法などの説明は一切行わなかった。このような対応をした理由としては、“あるくま”がどのような目的で存在し、どのような存在であるかなどの情報や文脈を被験者に与えない状態で、“あるくま”が被験者にとって自然に愛着を感じられるような存在となり得るかを検証するため、教示を与えない実験設定とした。また、被験者の“あるくま”の操作方法を発見するといったプロセスが愛着に影響を与えていたかどうかを調べるために、実験開始前に操作方法などをビデオで教示した場合の実験（video教示群）を行った（“あるくま”の評価実験3：第6.5）。

### 6.1 “あるくま” の評価実験における「愛着」の位置づけ

愛着理論の提唱者でもある Bowlby は、その著者の様々なところで、愛着を「人間が特定の他者との間に築く緊密な情緒的結びつき（emotional bond）」であるとするような記述を行っている [5]。また、Bowlby は、保護を究極的な目的とする愛着行動が乳幼児期にもっとも顕現しやすいことは知られているが、他個体との近接関係を維持するということは、文字通り距離的に近い位置にい続けるということのみを意味するわけではないと述べている。それは、たとえ物理的には離れていても特定対象との間に相互信頼に満ちた関係を築き、そして危急の際にはその対象から助力・保護してもらえするという主観的確信や安心感を絶えず抱いていられるということをも意味するといわれている。

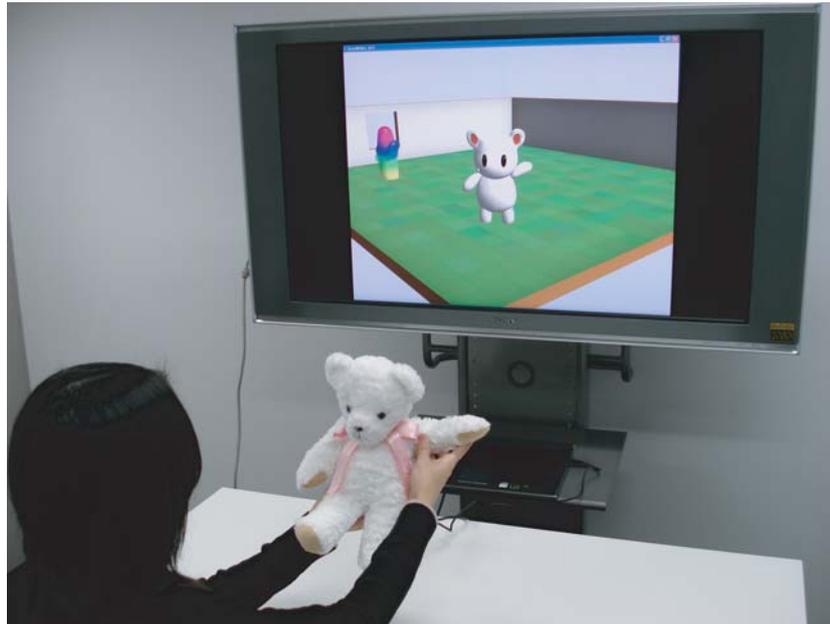


図 6.1: normal 群の被験者における実験風景  
Figure 6.1: Experimental scene of normal group

このような「愛着」に関する研究をふまえ、「あるくま」の評価実験では人間の“あるくま”への愛着を以下のような点に着目し調査した。

- **対象への情緒的な印象をもつ**：人間が“あるくま”への愛着をもった場合、相互信頼に満ちた関係となる性質ことから、“あるくま”に対して情緒的な印象をもつと考えられる。
- **対象とのインタラクションの継続を求める**：人間が“あるくま”への愛着をもった場合、他個体との近接関係を維持しようとする性質から、インタラクションの継続を求めると考えられる。

実験終了後に、以上の点をふまえ、評価実験に参加した被験者の“あるくま”への愛着について調査する質問紙を、全ての被験者に対して実施した。質問紙における、それらの項目の値が大きいほど、被験者の“あるくま”への愛着が強いと判断することとした。

## 6.2 “あるくま”評価実験1 概要

### 6.2.1 実験設定

“あるくま”評価実験1では、“あるくま”を実際に体験した被験者がどのような行動をとり、どのような印象を持っていたのかを調査する観察実験を行った。“あるくま”におけるロボットの影響を調べるために、通常の“あるくま”を体験した被験者と、一般的なビデオゲームコントローラを操作してキャラクタを動かす場合のシステムを体験した被験



図 6.2: 通常の“あるくま”のコントローラ

Figure 6.2: The “Marching Bear” controller used in group of normal

者とで、被験者の行動や主観的印象の比較を行った。また、被験者の印象は、質問紙およびインタビューにて採取した。キャラクタを表示するディスプレイは、46 inch (WXGA, 1920 × 1080 pixel) であり、ディスプレイ上に表示されるキャラクタがディスプレイの手前にいる場合は全長が 15 cm、ディスプレイの奥にいる場合は 5 cm であった。

### 6.2.2 被験者

実験には、実験者の被験者募集に応じた計 20 人 (男性 10 人, 女性 10 人, 19~22 歳) の被験者が参加した。これらの被験者は、以下の二つの実験群に無作為に割り当てられた。

- **normal 群** (男性 5 人, 女性 5 人) : ディスプレイ上のキャラクタを操作するコントローラとしてロボットを用いた通常の“あるくま”を操作する群 (図 6.2)。実験では、キャラクタの操作について、ロボットの両腕を交互に動かすことで歩行し、首を動かすことで体の向きを変えるよう設定された。
- **controller 群** (男性 5 人, 女性 5 人) : ディスプレイ上のキャラクタを操作するコントローラとして図 6.2.3 のビデオゲームコントローラ [67] を操作する群。実験では、キャラクタの歩行の操作はコントローラの十字キーのみで行い、「↑」ボタンを押すと歩行、「→」ボタンを押すとキャラクタの体が右に回転、「←」ボタンを押すとキャラクタの体が左に回転、「↓」ボタンを押すとキャラクタが上を見上げるという操作方法が設定された。

### 6.2.3 手順

実験では、まずコントローラとディスプレイ上のキャラクタとの関係、“あるくま”というシステムの名前、どのようにすればキャラクタを動かせるかなどの教示は一切被験者に



図 6.3: controller 群が使用したビデオゲームコントローラ  
Figure 6.3: The video game controller used in group of controller

は与えずに、机にコントローラ（normal 群：ロボット，controller 群：ビデオゲームコントローラ）を置きディスプレイ上にキャラクタを表示した状態で、実験者の実験開始の合図に合わせて自由に“あるくま”に接してもらった。この際には、“あるくま”に関する質問は実験開始3分後から受け付けたが、それらの質問の中でも操作方法に関するものについては答えられないと回答した。このような対応をした理由としては、“あるくま”がどのような目的で存在し、どのような存在であるかなどの情報や文脈を被験者に与えない状態で、“あるくま”が被験者にとって自然に愛着を感じられるような存在となり得るかを検証するため、教示を与えない実験設定とした。

また、実験時間は10分とし、実験終了後に図6.2.3のような11問の質問から構成されるアンケート調査を行った。それぞれの質問は、5段階のリッカートスケール（1：全くちがう，2：ちがう，3：どちらともいえない，4：そうだ，5：全くそうだ）によって構成された。またこれら計11問の質問は、以下の三つの項目に大きく分けることができる。

- **操作性に関する質問**（Q1, Q3, Q4）：被験者が“あるくま”の歩かせ方をすぐに発見できたのかといった“あるくま”の操作性についての印象を調べる質問
- **“あるくま”に対する情緒的な印象に関する質問**（Q2, Q5, Q6, Q7, Q8, Q10）：被験者が“あるくま”に対して情緒的な印象を持ったのかどうかを調べる質問
- **インタラクションの持続性に関する質問**（Q9, Q11）：被験者が実験終了後も“あるくま”とのインタラクションを望んでいたかどうかを調べる質問

**操作性に関する質問**（Q1, Q3, Q4）は、“あるくま”の操作方法について被験者がどのような印象を持ったのかを調査する質問項目であり、操作性の良し悪しがモチベーションの維持に影響を与えるかどうかを調べることができると考えられる。次に“あるくま”に

- 1 クマの歩かせ方を, すぐに理解することができた.
- 2 クマを壁にぶつけるのはかわいそうだ.
- 3 自分の意図した方向にクマを歩かせることができた.
- 4 クマを思い通りに動かすことができた.
- 5 このクマには感情のようなものがある.
- 6 このクマと意思疎通ができた気がした.
- 7 クマの動きがかわいらしかった.
- 8 クマを動かすことが楽しかった.
- 9 もっとこのクマと遊びたい.
- 10 部屋の外に出ようとしたとき, クマはいやがっていた.
- 11 このクマを持って帰りたい.

図 6.4: 質問紙

Figure 6.4: Questionnaire

対する情緒的な印象に関する質問 (Q2, Q5, Q6, Q7, Q8, Q10) は、被験者の対象への情緒的な印象を調査することができる質問項目である。この質問に関しては、対象への愛着が強ければ強いほど、被験者が対象への情緒的な印象を持つと考えられ、被験者の対象への愛着を評価することができる。また、インタラクションの持続性に関する質問 (Q9, Q11) に関しては、実験終了後も“あるくま”とのインタラクションを望んでいたかどうかを調べる質問であり、本研究の目的としている持続的なインタラクションを構築し得るかどうかを調査することができる。

以上の質問紙調査を実施した後に、被験者に対して“あるくま”の印象についての簡単なインタビューを行った。インタビューでは、ロボットやビデオゲームコントローラとディスプレイ上のキャラクタについて、被験者のアテンションがどちらに向いていたかや、飽きや慣れを感じていたかなどに対する被験者の回答を採取した。

## 6.3 “あるくま” 評価実験 1 結果

### 6.3.1 行動観察の結果とその考察

normal 群の被験者 10 人全員が実験開始後 10 分以内に、“あるくま”の歩かせ方に気付くことができ、ディスプレイ上のキャラクタを実際に歩かせていたことが確認できた。そのうち 3 人が実験者への質問を一切せずに実験開始三分以内にキャラクタを歩かせることに成功していた。残りの 7 人は、実験開始三分以降に実験者にディスプレイ上のキャラクタについて歩行可能かどうかを質問し、実験者が歩行可能であることを伝えるとキャラクタを歩かせることに成功していた。実験開始直後は、多くの被験者がロボットの足を動かすことでキャラクタを歩かせようとしていたが、キャラクタが動かなかったためロボットの両腕に注目し、最終的にキャラクタの歩かせ方に気付いていた。それらの被験者のインタビューからは、“あるくま”を歩かせようと考えた時に、最初に想像したロボットの身体部分は足であったが、足を動かしてもキャラクタの反応がなかったので両腕に注目し、歩く時の体の動きを両腕で再現してみると歩いたという回答が多かった。このように、normal 群の被験者について“あるくま”の操作方法などの教示を与えていないのにもかかわらず、キャラクタを歩かせるといふ操作方法を発見し実行していたことが確認された。

一方、controller 群の被験者 10 人全員が実験開始後一分以内に“あるくま”の操作方法を発見し実行していた。コントローラを手にとった被験者はすぐに“あるくま”を歩かせ、その後十字キー以外のボタンを押しながら他の機能が存在するかどうかを調べているような行動がみられた。また、controller 群の実験で使用したビデオゲームコントローラに関しては、全ての被験者がビデオゲームのコントローラとして使用した経験があることが確認された。そのため、インタビューでは十字キーでキャラクタを操作する方法について、多くの被験者から「自然であり、直感的である」といった感想が得られた。このように、normal 群の被験者よりも controller 群の被験者の方が早く“あるくま”の操作方法をすぐに理解し、キャラクタを操作していたことが観察された。

また、全ての被験者が実験開始前にディスプレイに表示されたコンテンツを見て、その中のキャラクタが歩くのではないかと予想していたことがインタビューの結果から理解できた。具体的には「部屋の中において動けないのはおかしいと思った」や「歩いて欲しいと

No	Question	Mean Score		ANOVA
		normal	con- troller	
1	クマの歩かせ方を、すぐに理解することができた。	1.9	4.2	**
2	クマを壁にぶつけるのはかわいそうだ。	3.3	2.5	*
3	自分の意図した方向にクマを歩かせることができた。	4.1	4.0	
4	クマを思い通りに動かすことができた。	3.1	3.6	
5	このクマには感情のようなものがある。	2.9	2.5	
6	このクマと意思疎通ができた気がした。	2.8	2.3	
7	クマの動きがかわいらしかった。	4.1	3.7	
8	クマを動かすことが楽しかった。	4.4	3.4	*
9	もっとこのクマと遊びたい。	4.1	2.8	**
10	部屋の外に出ようとしたとき、クマはいやがっていた。	3.0	2.1	*
11	このクマを持って帰りたい。	3.7	3.0	*

\*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ , +: $p < 0.1$

図 6.5: 質問紙の結果

Figure 6.5: Questionnaire and its result

思った」などといった内省が得られた。このことから、被験者全員が実験開始と同時に“あるくま”の歩かせ方を発見しようとして操作していたことが確認された。

さらに、両群どちらの被験者も歩かせ方を理解した後に、キャラクタを歩かせながら部屋の中を散策したり、コントローラについて他の操作方法がないかどうかを調べるような行動をとっていたことが観察された。また、どちらの被験者も実験の後半で前半よりも比較的コントローラの操作が消極的になっていく傾向があり、このシステムに対する慣れや飽きからそのような傾向があらわれたと考えられる。しかし、normal 群の被験者の中には、慣れや飽きによってコントローラの操作が消極的になったのではなく、前半よりも後半の方がコントローラであるロボットの扱い方が慎重になり、大切に扱うような行動をとる被験者が確認された。それらの被験者はロボットの姿勢や首についているリボンを整えたりするなどといった行動をとっていたことが観察された。

### 6.3.2 質問紙の結果および被験者の内省とその考察

normal 群と controller 群から採取した質問紙における各質問の得点の平均を図 6.3.2 に示す。この結果から、11 問の質問のうち以下の 6 つの質問で normal 群と controller 群の間に有意差が観察された：Q1「クマの歩かせ方を、すぐに理解することができた」、Q2「クマを壁にぶつけるのはかわいそうだ」、Q8「クマを動かすことが楽しかった」、Q9「もっとこのクマと遊びたい」、Q10「部屋の外に出ようとしたときクマはいやがっていた」、Q11「このクマを持って帰りたい」。

以下、有意差の観察されたこれらの質問について更に詳細に検討する。

### 操作性に関する質問

操作性に関する質問項目である **Q1, Q3, Q4** の3つの質問のうち、**Q1** 「クマの歩かせ方をすぐに理解することができた」において有意差が観察された [normal 群:1.9, controller 群 4.2 : ( $F(1, 18) = 105.80, p < .01(**)$ )]. つまり normal 群の被験者よりも controller 群の被験者の方が、“あるくま” の操作方法をすぐに理解できたと感じていたことが確認された. controller 群の被験者へのインタビューから、「キャラクタの歩かせ方については想像通りであった」といった内省が得られた. その一方, normal 群の被験者へのインタビューでは, 最初はロボットの足を動かすとキャラクタの足が動くと考えていたが, ロボットの足を動かしてもキャラクタが反応しないことから, ロボットの腕を動かすことに注目したところ, 人間が歩く時の両腕の動作を再現すると動くかもしれないといった直感的な閃きがあったという内省が, 多くの被験者から得られた. 実際の行動観察からは, そのような閃きが起こる前の被験者は一方の手でロボットの胴体部分を支えるように持ち, もう一方の手でロボットの首や腕を動かすといった動作が多かった. そのような状態の場合, 両手を使わなければ実現できない動作である「ロボットの両腕を交互に縦に動かす」という操作方法を発見することは非常に難しいため, 多くの被験者が閃きの後に正しい歩かせ方を発見していたことが理解できた.

### “あるくま” に対する情緒的な印象に関する質問

“あるくま” に対する情緒的な印象に関する質問項目である **Q2, Q5, Q6, Q7, Q8, Q10** の六つの質問のうち、**Q2** 「クマを壁にぶつけるのはかわいそうだ」 [normal 群:3.3, controller 群:2.5 : ( $F(1, 18) = 5.43, p < .05(*)$ )], **Q8** 「クマを動かすことが楽しかった」 [normal:群 4.4, controller 群:3.4 : ( $F(1, 18) = 13.24, p < .01(**)$ )] の二つの質問において有意差が観察された.

行動観察の結果から, normal 群の被験者はディスプレイ上のキャラクタを壁にぶつからないように操作し, 壁にぶつかりそうになるとキャラクタの向きを変えて操作することが多かった. 一方, controller 群の被験者ではキャラクタが壁にぶつかり動けなくなったことを確認してから, キャラクタの方向を変えて操作するものが多かったことが観察された. このような結果となった理由として, normal 群の実験ではキャラクタが壁や障害物にぶつかるとうロボットの両腕のトルクが働く設定としており, 何かにぶつかったというフィードバックがコントローラであるロボットから得られる設定となっていたことが挙げられる. またインタビューでは, controller 群の被験者から「一般的なビデオゲームの設定では壁や障害物にぶつかってもキャラクタは動かすことができるため, このキャラクタの場合もかわいそうとは思わない」といった内省が得られた. このようなインタビューから, controller 群の多くの被験者が一般的なビデオゲームと“あるくま” を比較する傾向にあり, それらの被験者にとってキャラクタはインタラクション対象というイメージではなく, プレイヤが操作することのできるゲーム内のキャラクタという位置づけとして認識していたことが確認された. “あるくま” のシステム設定では, 狭い部屋の中をキャラクタが移動するのみであるため, 通常のビデオゲームでこのような状況があった場合, 被験者にとって10分は相当長く感じられるものであると想像できる. このことから, 実験開始後3分以降から受け付けた質問では, どちらの群の被験者についても「このキャラクタは歩くこと以外の動作はできないのか」や「このキャラクタは外に出ることはできないのか」などという返答が多く得られた. それに対し実験者は, キャラクタがこの部屋の中でのみ

移動可能であるということと、歩く以外の動作は無いということを説明した。つまり、多くの被験者がこのキャラクタが歩く以外の別の動作をしたり、部屋から出て他の場所へ移動できたりすることを期待していたが、実験者からそれ以上何も起こらないことを知らされたことで、システムに対する期待を失っていたことが理解できた。そのため、controller 群の被験者から「システムを操作することに飽きた」や「新しい反応や動作が期待できないため実験が終るまで何をして良いかわからなかった」などといった内省が得られた。一方、normal 群の被験者からは「動いているキャラクタを見ているだけで楽しかった」、「ロボットもキャラクタもかわいいので飽きなかった」、「キャラクタのかわいいポーズを見つめることができた」などといった内省が得られており、コンテンツ側の新しい展開が期待できないのにも関わらず、キャラクタやロボットに対する期待感を維持できているような内省が得られた。このことから、controller 群の被験者よりも、normal 群の被験者の方が Q8「クマを動かすことが楽しかった」の質問に対して高い値を示したのではないかと考えられる。また、normal 群の被験者からは、「キャラクタが疲れてしまいそうなのであまり速く動かしたくなかった」といった内省や、ロボットの両腕や首サーボの小さな振動に対して「ふるえていてかわいそう」などといった、情緒的な内省が多く得られた。

このように、“あるくま”をインタラクション対象として認識していた normal 群の被験者は、キャラクタやロボットを大切に扱う傾向があり、あたかもロボットやキャラクタが生きているような印象を持っていたことが理解できた。また、normal 群の被験者にみられた、ロボットやキャラクタへの愛着が、結果としてゲーム性の無い“あるくま”の操作について楽しいという印象を与える結果となった。

#### インタラクションの持続性に関する質問

インタラクションの持続性に関する質問項目である Q9「もっとこのクマと遊びたい」、Q11「このクマを持って帰りたい」という2つの質問の両方で normal 群と controller 群の間に有意差が確認された (Q9: [normal 群:4.1, controller 群:2.8: ( $F(1, 18) = 10.49, p < .01(**)$ )], Q11: [normal 群:3.7, controller 群:3.0: ( $F(1, 18) = 5.44, p < .05(*)$ )]). このことから、normal 群の被験者は controller 群の被験者よりも、“あるくま”とのインタラクションをさらに継続したいと考えていることが理解できた。

このように、実験環境下において“あるくま”への愛着をもち、“あるくま”とのインタラクションに対するモチベーションを維持できていたと考えられた normal 群の被験者は、実験終了後であっても“あるくま”とのインタラクションを所望していたことが示された。

### 6.3.3 “あるくま”評価実験1まとめ

normal 群と controller 群の被験者における質問紙調査および行動観察の結果から得られた知見を、以下にまとめる。

- **normal 群**: 被験者は、すぐに“あるくま”の操作方法をみつけることができなかったが、他者を歩かせる時の動作をロボットで再現するように動かすことで操作方法を見出し“あるくま”を操作していた。また、コントローラであるロボットを大切に扱う傾向があり、コントローラのみならずキャラクタに対しても愛着を持っていた。さらには、“あるくま”を体験することを楽しんでおり、実験終了後についても“あるくま”とのインタラクションを所望していた。

- **controller 群**: 被験者は、すぐに“あるくま”の操作方法をみつけ、コントローラを直感的に操作していた。しかし、キャラクターに対しては愛着を持つことのできるような対象としてとらえておらず、一般的なビデオゲームに存在するキャラクターとして扱う傾向があった。さらには、“あるくま”の体験中に操作することに慣れや飽きを感じていた。

以上の結果から、実験環境下において、“あるくま”が被験者の愛着を引き起こし、実験終了後においても“あるくま”とのインタラクションを行おうとする被験者のモチベーションを維持していることから、人間との持続的なインタラクションを構築し得るシステムであることが示唆された。

## 6.4 “あるくま” 評価実験 2 概要

### 6.4.1 実験設定

“あるくま” 評価実験 1 より、対象を操作するコントローラについて、ロボットを使用した場合 (normal 群) と一般的なビデオゲームコントローラを使用した場合 (controller 群) とでは、ロボットを使用した場合の被験者の方が、対象への愛着をもち、実験終了後もインタラクションを所望していた結果となった。その理由として、被験者が直接触ることのできるロボットと、ロボットの外観に類似したディスプレイ上のキャラクタとを、同等の存在として認識していたことが考察された。“あるくま” 評価実験 2 では、この考察の検証を行うために、ロボットであるコントローラが被験者の愛着に及ぼす影響をさらに調査した。

“あるくま” 評価実験 2 では、“あるくま” におけるロボットの触り心地を再現した、キャラクタ性の無いコントローラを用いた場合に、被験者の対象への愛着に影響を与えるかどうかを調査した。

実験では、通常の“あるくま”で使用しているコントローラであるロボットの触り心地を再現するために毛皮で覆われたキャラクタ性の無いコントローラを用いたシステムを体験した被験者と、プラスチック性の素材がむき出しになったコントローラを用いたシステムを体験した被験者の行動の観察を行い、主観的印象を採取したのちそれらの比較を行った。また、被験者の印象は、質問紙およびインタビューにて採取した。キャラクタを表示するディスプレイは、46 inch (WXGA, 1920 × 1080 pixel) であり、ディスプレイ上に表示されるキャラクタがディスプレイの手前にいる場合は全長が 15 cm、ディスプレイの奥にいる場合は 5 cm であった。

### 6.4.2 被験者

実験には、実験者の被験者募集に応じた計 21 人 (男性 13 人、女性 8 人、19~23 歳) の被験者が参加した。これらの被験者は、以下の二つの実験群に無作為に割り当てられた。

- **fur 群** (男性 5 人、女性 5 人) : ディスプレイ上のキャラクタを操作するコントローラとして、通常の“あるくま”で使用しているコントローラであるロボットの触り心地を再現するために毛皮で覆われたキャラクタ性の無いコントローラ (図 6.4.3) を用いた場合のシステムを体験する群。
- **machine 群** (男性 8 人、女性 3 人) : ディスプレイ上のキャラクタを操作するコントローラとして、プラスチック性の素材がむき出しになったコントローラ (図 6.4.3) を用いたシステムを体験する群。

なお、どちらの実験群で使用したコントローラも可動範囲やディスプレイ上のキャラクタの操作方法は、通常の“あるくま”におけるコントローラと同じ設定とした。



図 6.6: fur 群で使したコントローラ  
Figure 6.6: The controller used in the group of fur



図 6.7: machine 群で使したコントローラ  
Figure 6.7: The controller used in the machine group

### 6.4.3 手順

実験では、まずコントローラとディスプレイ上のキャラクタとの関係，“あるくま”というシステムの名前，どのようにすればキャラクタを動かせるかなどの教示は一切被験者には与えずに，机にコントローラ（fur 群：図 6.4.3，machine 群：図 6.4.3）を置きディスプレイ上にキャラクタを表示した状態で，実験者の実験開始の合図に合わせて自由に接してもらった．この際には，システムに関する質問は実験開始 3 分後から受け付けたが，それらの質問の中でも操作方法に関するものについては答えられないと回答した．また，実験時間は 10 分とし，実験終了後に図 6.2.3 の，“あるくま” 評価実験 1 で使用した 11 問の質問から構成される質問紙を用いて調査を行った．その後，被験者に対して“あるくま”の印象についての簡単なインタビューを行った．インタビューでは，ロボットやビデオゲームコントローラとディスプレイ上のキャラクタについて，被験者のアテンションがどちらに向いていたかや，飽きや慣れを感じていたかなどに対する被験者の回答を採取した．

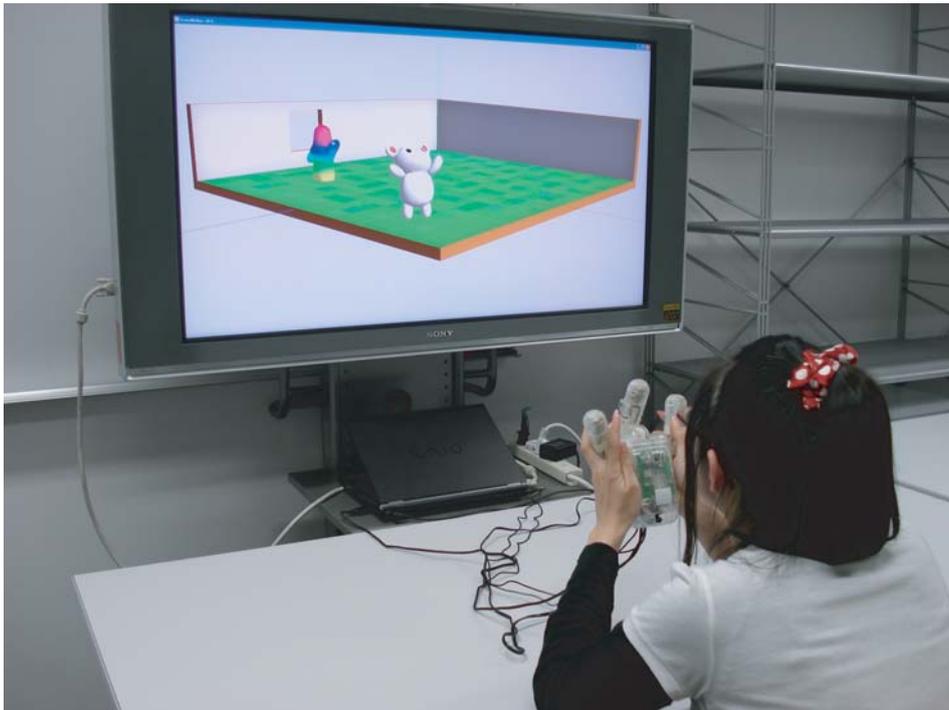


図 6.8: machine 群の被験者における実験風景  
Figure 6.8: Experimental scene of machine group

## 6.5 “あるくま” 評価実験 2 結果

### 6.5.1 行動観察の結果とその考察

fur 群の被験者 10 人全員が実験開始後 10 分以内に、“あるくま”の歩かせ方に気付くことができ、ディスプレイ上のキャラクタを実際に歩かせていたことが確認できた。そのうち 3 人が実験者への質問を一切せずに実験開始三分以内にキャラクタを歩かせることに成功していた。残りの 7 人は、実験開始三分以降に実験者にディスプレイ上のキャラクタについて歩行可能かどうかを質問し、実験者が歩行可能であることを伝えるとキャラクタを歩かせることに成功していた。実験開始直後は、ロボットの 3 つの可動部分を何度か動かし CG キャラクタの反応と比較することで、それらの対応を見出し、コントロールの仕方を見つけ出すといった動作が多く見受けられた。このように、fur 群の被験者についても normal 群の被験者と同じように、“あるくま”の操作方法などの教示を与えていないにもかかわらず、キャラクタを歩かせるという操作方法を発見し実行していたことが確認された。また、fur 群の被験者全員が、コントローラの可動部分を、ディスプレイ上のキャラクタの身体と対応させて認識していたことがわかった。つまり、fur 群の被験者から、人間が歩く時の体の動きを、コントローラの両腕と認識した部分で再現してみると歩いたという、normal 群の被験者のような回答が得られた。

一方、machine 群の被験者 11 人のうち 6 人が実験開始後 10 分以内に、“あるくま”の歩かせ方に気付くことができ、ディスプレイ上のキャラクタを実際に歩かせていたことが確

認できた。そのうち1人が実験者への質問を一切せずに実験開始三分以内にキャラクタを歩かせることに成功していた。残りの5人は実験終了まで“あるくま”の歩かせ方に気付くことが出来なかった。“あるくま”の歩かせ方を見つけ出せなかった被験者全員が実験者に対してディスプレイ上のキャラクタについて歩行可能かどうかを質問し、歩行可能であることを被験者から伝えられていたため、それらの被験者は最後まで“あるくま”の歩かせ方を見つけ出そうと試行錯誤してコントローラを操作していた。このように、machine群の被験者は11人中5人が“あるくま”の操作方法を見つけ出すことができなかった。先に述べたように normal 群の被験者の多くはロボットの足を動かすことでキャラクタを歩かせようとしていたが、キャラクタが動かなかったためロボットの両腕に注目し、最終的にキャラクタの歩かせ方を見つけ出すことに成功していた。その時、被験者はロボットの両腕を片方の手で持つことはできないため、片方の手でロボットの片方の腕を持ち、もう一方の手でロボットのもう一方の腕を持つことが必要とされる。“あるくま”はロボットの両腕を交互に動かすことで操作することができるが、“あるくま”の歩かせ方に気付くことができなかった machine 群の被験者は、実験中そのような持ち方をしていなかった。また、“あるくま”の歩かせ方に気付くことができなかった machine 群の被験者は扱ったコントローラについて、三つの可動部を操作するものという認識で、fur 群の被験者のようにコントローラをディスプレイ上のキャラクタの身体と対応させて認識していなかった。

また、全ての被験者が実験開始前にディスプレイに表示されたコンテンツを見て、その中のキャラクタが歩くのではないかと予想していたことがインタビューの結果から確認された。具体的には「部屋が広いので歩けると思った」や「歩いた方が楽しいと思ったから」などといった内省が得られた。このことから、全ての被験者が実験開始と同時に“あるくま”の歩かせ方を発見しようとして操作していたことが確認された。

### 6.5.2 質問紙の結果および被験者の内省とその考察

被験者から採取した質問紙における各質問の得点の平均を、normal 群と fur 群、normal 群と machine 群とでそれぞれ比較したものを、図 6.5.2 と図 6.5.2 に示す。

#### normal 群と fur 群の質問紙の結果の比較

normal 群と fur 群の被験者の質問紙の結果である図 6.5.2 の結果から、11 問の質問のうち以下の二つの質問で normal 群と fur 群との間に有意差および有意傾向が観察された：Q4「クマの歩かせ方をすぐに理解することができた」[normal 群:1.9, fur 群 3.0 : ( $F(1, 18) = 7.31, p < .05(*)$ )], Q5「このクマには感情のようなものがある」[normal 群:2.9, fur 群 2.1 : ( $F(1, 18) = 3.24, p < .1(+)$ )].

Q4 について、normal 群よりも fur 群の被験者の方が高い得点を示した結果となった理由として、fur 群で使用したコントローラに足に対応するものがなかったことが影響したと考えられる。先に説明したように normal 群の被験者は“あるくま”の歩かせ方について、まず始めにロボットの足の部分に注目していたことが観察されている。一方、fur 群の被験者はコントローラに足がついていなかったため、すぐにキャラクタの腕部分と対応したコントローラの可動部に注目していた。このことから、fur 群の被験者は normal 群の被験者に比べて比較的早い段階で、キャラクタの腕部分と対応したコントローラの可動部について、歩かせるように動かすことでキャラクタが歩くのではないかといいた予想に至った

No	Question	Mean Score		ANOVA
		normal	fur	
1	クマの歩かせ方を、すぐに理解することができた。	1.9	3.0	*
2	クマを壁にぶつけるのはかわいそうだ。	3.3	2.9	
3	自分の意図した方向にクマを歩かせることができた。	4.1	4.4	
4	クマを思い通りに動かすことができた。	3.1	3.7	
5	このクマには感情のようなものがある。	2.9	2.1	+
6	このクマと意思疎通ができた気がした。	2.8	2.5	
7	クマの動きがかわいらしかった。	4.1	3.9	
8	クマを動かすことが楽しかった。	4.4	4.2	
9	もっとこのクマと遊びたい。	4.1	3.8	
10	部屋の外に出ようとしたとき、クマはいやがっていた。	3.0	3.2	
11	このクマを持って帰りたい。	3.7	2.9	

\*\*: $p<0.01$ , \*: $p<0.05$ , +: $p<0.1$

図 6.9: 質問紙の結果 (normal 群と fur 群の比較)

Figure 6.9: The results of questionnaire comparison of normal group with fur group

No	Question	Mean Score		ANOVA
		normal	machine	
1	クマの歩かせ方を、すぐに理解することができた。	1.9	2.1	
2	クマを壁にぶつけるのはかわいそうだ。	3.3	2.4	
3	自分の意図した方向にクマを歩かせることができた。	4.1	3.0	
4	クマを思い通りに動かすことができた。	3.1	2.9	
5	このクマには感情のようなものがある。	2.9	2.2	
6	このクマと意思疎通ができた気がした。	2.8	2.4	
7	クマの動きがかわいらしかった。	4.1	3.4	
8	クマを動かすことが楽しかった。	4.4	3.4	**
9	もっとこのクマと遊びたい。	4.1	3.1	*
10	部屋の外に出ようとしたとき、クマはいやがっていた。	3.0	2.0	+
11	このクマを持って帰りたい。	3.7	2.5	**

\*\*: $p<0.01$ , \*: $p<0.05$ , +: $p<0.1$

図 6.10: 質問紙の結果 (normal 群と machine 群の比較)

Figure 6.10: The results of questionnaire comparison of normal group with machine group

のではないかと考えられる。次に、**Q5**の比較では有意傾向が確認され、fur 群の被験者よりも normal 群の被験者の方が比較的、クマに対して感情のようなものを持っていると感じていることがわかった。

以上の結果から、normal 群と fur 群の被験者の質問紙の結果において、二つの質問で有意差および有意傾向が確認されたのみで、その他の質問項目では差はみられなかった。

#### normal 群と machine 群の質問紙の結果の比較

normal 群と machine 群の被験者の質問紙の結果である図 6.5.2 の結果から、11 問の質問のうち以下の五つの質問で normal 群と machine 群との間に有意差および有意傾向が観察された：**Q8**「クマを動かすことが楽しかった」[normal 群:4.4, fur 群 3.4:( $F(1, 19) = 12.48, p < .01(**)$ )], **Q9**「もっとこのクマと遊びたい」[normal 群:4.1, fur 群 3.1:( $F(1, 19) = 5.07, p < .05(*)$ )], **Q10**「部屋の外に出ようとしたときクマはいやがっていた」[normal 群:3.0, fur 群 2.0:( $F(1, 19) = 3.06, p < .1(+)$ )], **Q11**「このクマを持って帰りたい」[normal 群:3.7, fur 群 2.5:( $F(1, 18) = 8.95, p < .01(**)$ )].

以上の結果から、machine 群の被験者は、normal 群の被験者に比べて、インタラクショを楽しめず、実験終了後のインタラクショを所望していないことがわかった。

### 6.5.3 “あるくま” 評価実験 2 まとめ

fur 群と machine 群の被験者における行動観察および質問紙調査の結果について normal 群の実験結果との比較から得られた知見を、以下にまとめる。

- **fur 群**：被験者は、normal 群の被験者よりも、すぐに“あるくま”の操作方法を見つけることができたと感じており、操作方法に関しては、normal 群の被験者と同じように、歩く時の両腕の動作をコントローラに与えてあげることで発見していたことが確認された。normal 群の被験者と同様に、対象への愛着をもち、“あるくま”を体験することを楽しんでおり、実験終了後についても“あるくま”とのインタラクショを所望していた。また、normal 群の被験者と同様に、fur 群の被験者はコントローラをディスプレイ上のキャラクターと同等の存在として認識していたことが理解できた。
- **machine 群**：被験者 11 人のうち 5 人が、“あるくま”の操作方法を見つけることができなかった。さらに、インタラクショを楽しんではおらず、normal 群の被験者に比べて実験終了後のインタラクショを所望していなかったことが確認された。

以上の結果から、人工物とのインタラクショにおいても人間同士にみられるような愛着行動と同様に、皮膚接触における印象への影響が存在すると考えられる。

## 6.6 “あるくま” 評価実験 3 概要

前章に記述した“あるくま”評価実験1および2では、被験者の“あるくま”への愛着行動が確認され、対象への愛着が持続的なインタラクションを構築し得ることが示唆された。それらの全ての実験では、まずコントローラとディスプレイ上のキャラクタとの関係、“あるくま”というシステムの名前、どのようにすればキャラクタを動かせるかなどの教示は一切被験者には与えずに、机にコントローラを置きディスプレイ上にキャラクタを表示した状態で、実験者の実験開始の合図に合わせて自由に“あるくま”に接するよう指示した。被験者のインタビューから、全ての被験者が実験開始前にディスプレイに表示されたキャラクタやフィールドを見て、その中のキャラクタが歩くのではないかと予想していたことが理解できた。具体的に被験者からは「部屋の中において動けないのはおかしいと思った」や「歩いて欲しいと思った」などといった内省が得られた。このことから、被験者が実験開始後すぐに、キャラクタを歩かせようとコントローラを操作していたことが確認された。

ここで、被験者のインタラクションのモチベーションについて、キャラクタの歩かせ方を発見するという目的やそれにともなう達成感が対象への近接欲求である愛着に影響を与えていた可能性があると考えられる。そこで“あるくま”評価実験3では、実験開始前に“あるくま”の操作方法についてビデオで教示した後に自由に“あるくま”に接するよう指示した実験を行った（video教示群）。この評価実験によって、“あるくま”における、被験者のキャラクタの歩かせ方を発見するという目的やそれにともなう達成感が対象への近接欲求である愛着に影響を与えているかどうかを実験的に示すことができると考えられる。

### 6.6.1 実験設定

被験者には事前に“あるくま”の操作方法を説明する約1分間の解説ビデオを見せた状態で、“あるくま”を実際に体験した被験者がどのような行動をとり、どのような印象を持っていたのかを調査する観察実験を行った。ビデオでは“あるくま”の操作方法について、腕、首、歩かせ方の順で説明を行い、“あるくま”という名前については説明せず、「システム」という単語を用いて解説を行った。また、被験者の印象は、質問紙およびインタビューにて採取した。キャラクタを表示するディスプレイは、46 inch (WXGA, 1920 × 1080 pixel) であり、ディスプレイ上に表示されるキャラクタがディスプレイの手前にいる場合は全長が15 cm、ディスプレイの奥にいる場合は5 cmであった。

### 6.6.2 被験者

実験には、実験者の被験者募集に応じた計12人（男性8人、女性4人、18～22歳）の被験者が参加した。この実験に参加した群をvideo教示群とする。

### 6.6.3 手順

実験では、まずコントローラとディスプレイ上のキャラクタとの関係や、どのようにすればキャラクタを動かせるかなどを解説したビデオを被験者に見せ、その後、机にコントローラ（video 教示群：図 6.2）を置きディスプレイ上にキャラクタを表示した状態で、実験者の実験開始の合図に合わせて自由に接してもらった。この際には、“あるくま”に関する質問は実験開始 3 分後から受け付けた。また、実験者による実験開始の合図から実験時間は 10 分とし、実験終了後に他の実験で使用した図 6.2.3 の 11 問の質問から構成されるアンケート調査を行った。

No	Question	Mean Score		ANOVA
		normal	video 教示	
1	クマの歩かせ方を、すぐに理解することができた。	1.9	4.8	**
2	クマを壁にぶつけるのはかわいそうだ。	3.3	3.2	
3	自分の意図した方向にクマを歩かせることができた。	4.1	4.0	
4	クマを思い通りに動かすことができた。	3.1	4.2	**
5	このクマには感情のようなものがある。	2.9	3.5	
6	このクマと意思疎通ができた気がした。	2.8	3.5	*
7	クマの動きがかわいらしかった。	4.1	4.7	*
8	クマを動かすことが楽しかった。	4.4	4.8	
9	もっとこのクマと遊びたい。	4.1	4.4	
10	部屋の外に出ようとしたとき、クマはいやがっていた。	3.0	2.4	
11	このクマを持って帰りたい。	3.7	4.1	

\*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ , +: $p < 0.1$

図 6.11: 質問紙の結果 (normal 群と video 教示群の比較)

Figure 6.11: The results of questionnaire comparison of normal group with video teaching group

## 6.7 “あるくま” 評価実験 3 結果

### 6.7.1 行動観察の結果とその考察

実験結果から、video 教示群の被験者 12 人全員が実験開始後 1 分以内に、“あるくま”を歩かせることに成功していたことが確認できた。実験開始直後の多くの被験者の行動として、キャラクターの動きとの関係を確認するようにロボットの腕や首を動かしてから、ロボットの両腕を交互に動かし“あるくま”を歩かせていたことが観察された。被験者はロボットを動かし、キャラクターを歩かせながら部屋の中を散策させており、実験が終了するまで積極的に操作を行っていた傾向がみられた。

### 6.7.2 質問紙の結果および被験者の内省とその考察

被験者から採取した質問紙における各質問の得点の平均を、normal 群と video 教示群とで比較したものを、図 6.7.2 に示す。

この結果から、11 問の質問のうち以下の 4 つの質問で normal 群と video 教示群の間に有意差が観察された：**Q1**「クマの歩かせ方を、すぐに理解することができた」[normal 群:1.9, video 教示群:4.8 ( $F(1, 20) = 172.06, p < .01(**)$ )], **Q4**「クマを思い通りに動かすことができた」[normal 群:3.1, video 教示群:4.2 ( $F(1, 20) = 14.49, p < .01(**)$ )], **Q6**「このクマと意思疎通ができた気がした」[normal 群:2.8, video 教示群:3.6 ( $F(1, 20) = 4.61, p < .05(*)$ )], **Q7**「クマの動きがかわいらしかった」[normal 群:4.1, video 教示群:4.7:

( $F(1, 20) = 6.29, p < .05(*)$ )]

以下、有意差の観察されたこれらの質問について更に詳細に検討する。

#### 操作性に関する質問

操作性に関する質問項目である **Q1**, **Q3**, **Q4** の3つの質問のうち、**Q1**「クマの歩かせ方をすぐに理解することができた」[normal群:1.9, video 教示群:4.8:( $F(1, 20) = 172.06, p < .01(**)$ )], **Q4**「クマを思い通りに動かすことができた」[normal群:3.1, video 教示群:4.2:( $F(1, 20) = 14.49, p < .01(**)$ )] の二つの質問項目において有意差が観察された。つまり normal 群の被験者よりも video 教示群の被験者の方が、“あるくま” の操作方法をすぐに理解できたと感じていたことが確認された。

video 教示群では、実験開始前にビデオによる“あるくま” の操作方法の解説を行ったが、一方の normal 群ではコントローラとディスプレイ上のキャラクタとの関係、“あるくま” というシステムの名前、どのようにすればキャラクタを動かせるかなどの教示は一切被験者には与えずに実験を実施しているため、操作性に関する質問において、以上のような印象の違いが現れることは自然であると考えられる。

#### “あるくま” に対する情緒的な印象に関する質問

“あるくま” に対する情緒的な印象に関する質問項目である **Q2**, **Q5**, **Q6**, **Q7**, **Q8**, **Q10** の六つの質問のうち、**Q6**「このクマと意思疎通ができた気がした」[normal 群:2.8, video 教示群:3.6:( $F(1, 20) = 4.61, p < .05(*)$ )], **Q7**「クマの動きがかわいらしかった」[normal 群:4.1, video 教示群:4.7:( $F(1, 20) = 6.29, p < .05(*)$ )] の二つの質問項目において有意差が観察された。

以上の結果から、normal 群の被験者よりも、video 教示群の被験者の方が、“あるくま” に対してより強い情緒的な印象をもっていたことが理解できる。

**Q6**「このクマと意思疎通ができた気がした」の質問項目に関して、他の実験群の結果では、normal 群:2.8, fur 群:2.5, machine 群:2.4, controller 群:2.3 であり、この質問項目に対して「どちらともいえない、ちがう」と答えた被験者が多く、実験間で有意差や有意傾向は確認されなかった。その一方、video 教示群の被験者の結果では、video 教示群:3.6 であり、この質問項目に対して「そうだ、どちらともいえない」と答えた被験者が多かったことが確認された。

#### インタラクションの持続性に関する質問

インタラクションの持続性に関する質問項目である **Q9**「もっとこのクマと遊びたい」、**Q11**「このクマを持って帰りたい」という2つの質問の両方で normal 群と video 教示群の間に有意差は確認されなかった (**Q9**: [normal 群:4.1, video 教示群:4.4:( $F(1, 20) = 1.11$ )], **Q11**: [normal 群:3.7, video 教示群:4.1:( $F(1, 20) = 1.73$ )]。このことから、normal 群および video 教示群のどちらの被験者もインタラクションの持続性に関する質問項目の結果が高得点であり、実験終了後も“あるくま” とのインタラクションを所望していることが理解できた。

### 6.7.3 “あるくま” 評価実験 3 まとめ

video 教示群の被験者における行動観察および質問紙調査の結果について normal 群の実験結果との比較から得られた知見を、以下にまとめる。

- **video 教示群**：被験者は、normal 群の被験者よりも、すぐに“あるくま”の操作方法をみつけることができたと感じており、normal 群の被験者と同様に、対象への愛着をもち、“あるくま”を体験することを楽しんでおり、実験終了後についても“あるくま”とのインタラクションを所望していた。また、video 教示群の被験者は、normal 群の被験者に比べて「このクマと意思疎通ができた気がした」「クマの動きがかわいらしかった」の質問項目において高得点を示しており、normal 群の被験者よりも、video 教示群の被験者の方が、“あるくま”に対してより強い情緒的な印象をもっていたことが確認された。

以上の結果から、normal 群の被験者は、キャラクターの歩かせ方を発見することや、他者との近接欲求である愛着に基づいた二つのモチベーションをもち、“あるくま”とのインタラクションを行っていたため、video 教示群の被験者に比べて、対象とのインタラクションに集中することができなかつたのではないかと考えられる。このことから、人工物とのインタラクションにおいて、対象への近接欲求を満たすといった愛着以外の達成すべき目的を排除することが、対象への愛着をより強める可能性をもつことが示された。

## 6.8 議論

この章では“あるくま”の三つの評価実験で得られた結果についてそれぞれ議論し、最後にそれらの実験をふまえて議論をまとめた。

### 6.8.1 “あるくま”評価実験1について

“あるくま”評価実験1では、“あるくま”においてキャラクタを操作するコントローラの違いが及ぼす影響を調べるために、通常の“あるくま”を体験した場合（normal群）と、一般的なビデオゲームで使用されるようなコントローラを用いてキャラクタを操作するシステムを体験した場合（controller群）とで被験者の行動や主観的印象を比較した。

実験の結果から、normal群の被験者はcontroller群の被験者に比べて、操作性に関する質問では、すぐに“あるくま”の操作方法をみつけることができなかつたと感じていたものの、“あるくま”への情緒的な印象をもち、実験終了後においても“あるくま”とのインタラクションを継続したいと考えていたことが理解できた。このことから、実験環境下において、“あるくま”が被験者の愛着を引き起こし、実験終了後においても“あるくま”とのインタラクションを行おうとする被験者のモチベーションを維持していることから、人間との持続的なインタラクションを構築し得るシステムであることが示唆された。一方、controller群の被験者は、“あるくま”について愛着を持つことのできるような対象としてとらえておらず、“あるくま”とのインタラクションをさらに継続したいというモチベーションをもたなかつた。操作するキャラクタが同じでも、そのキャラクタを操作するコントローラが、被験者の情緒的な印象やインタラクションに対するモチベーションを阻害する可能性をもつことが示唆された。

また、本研究で使用した質問紙（図6.3.2）では、「クマ」という単語を用いたがこの「クマ」が指すものについて敢えて明確に記述しなかつた。そこで両群の被験者について、この「クマ」についてどのような位置づけとしてとらえていたかどうかをインタビューで確認した。その結果、controller群の全ての被験者については、「クマ」について対象となるものがコンテンツ側のキャラクタとしてとらえていたといった回答が得られた。一方のnormal群の被験者では、質問紙内の「クマ」についてはロボットもキャラクタもどちらも同じ存在としてとらえていたと答えたものが多かった。つまりnormal群の被験者については、ロボットをキャラクタを操作する単なるコントローラとしてではなく、キャラクタと同等の存在として扱っていたことが示唆された。このような現象について、ヴァーチャルリアリティの分野では、ディスプレイ上や遠隔に存在するロボットなどの現前していない対象を人間がコントローラで操作した場合、現前していない空間からの情報をVRの三要素<sup>1</sup>を考慮して的確に抽出、生成し、被験者に与えれば、現前しているのと同等の効果を引き起こし得るとされている。このことから、被験者が直接接触することのできるロボットと、ロボットの外観に類似したディスプレイ上のキャラクタとを、同等の存在として認識していたことは説明可能であることが理解できる。

このことから、以上のようなnormal群の被験者の認識が、キャラクタに直接接触りながら歩かせているといった印象へと導いたことで、controller群の被験者よりも強い愛着を

<sup>1</sup> 「三次元の空間性」, 「実時間の相互作用性」, 「自己投射性」

引き起こす結果となったのではないかと考えられる。このように評価実験1では、“あるくま”が人間にとって対象への愛着を引き起こし、インタラクションを行うモチベーションを維持し得るシステムであることが示された。

### 6.8.2 “あるくま”評価実験2について

“あるくま”評価実験2では、ロボットの外観と触り心地の違いによる影響を調べるために、通常の“あるくま”を体験した場合（normal群）と、“あるくま”のロボットの触り心地を保存し外観的なキャラクター性を排除した場合（fur群）と、“あるくま”のロボットの触り心地と外観的なキャラクター性のどちらも排除した場合（machine群）とで、被験者の行動や印象を比較した。

実験の結果から、fur群の被験者はnormal群の被験者に比べて、すぐに“あるくま”の操作方法をみつけることができたと感じており、normal群の被験者と同様に、対象への愛着をもち、“あるくま”を体験することを楽しんでおり、実験終了後についても“あるくま”とのインタラクションを所望していた。

また、インタビューの結果から、fur群の被験者はコントローラについて、「見ただけではコントローラが何を意味しているのかはわからなかった」という内省が得られており、実験開始直後に、どう扱ってよいのかと混乱する様子が見られた。一方のnormal群の被験者は、すぐにロボットとディスプレイ上のキャラクタとの対応を見出していた。そのような違いが生じた理由として、コントローラの形状の違いによる影響が挙げられる。normal群の被験者が使用したコントローラであるテディベア型ロボットの場合、実験では足を伸ばして座るようにテーブルに設置されており、ロボットの上体は直立させていたが、fur群で使用したコントローラはキャラクタの足に対応する部分が存在せず、直立に設置することは不可能であるため、仰向けの状態で設置された。その一方、操作対象であるディスプレイ上のキャラクタは直立しているため、fur群の被験者はコントローラとキャラクタとの対応についてすぐに想像がつかなかった可能性がある。しかし、実験開始後には、fur群の全ての被験者が、自分の手で支えるなどして、コントローラをディスプレイ上のキャラクタと同じ直立に保つといった行動が観察された。このように、コントローラを支えながら、キャラクタの両腕に対応するコントローラの可動部を交互に動かすことは難しく、操作しにくい状態であったにも関わらず、全ての被験者はコントローラをディスプレイ上のキャラクタと同じような姿勢を保つよう心がけていた。このような結果から、被験者はnormal群の被験者と同じように、コントローラをキャラクタを操作する単なるコントローラではなく、キャラクタと同等の存在として扱っていたことが示唆された。

一方のmachine群では、被験者11人のうち5人が、“あるくま”の操作方法をみつけることができず、インタラクションそのものを楽しめず、normal群の被験者に比べて実験終了後のインタラクションを所望していなかったことが確認された。また、machine群の被験者は、キャラクタの首や両腕と対応された三つの可動部をもつコントローラを、キャラクタと同等の存在とは認識せず、コントローラに身体性を感じることがなかったため、「コントローラに歩く時の動作を与える」というような、normal群やfur群の被験者の歩かせ方の発見のプロセスが適応されなかったと考えられる。

実験結果より、fur群の被験者において、毛皮で包まれたのみのコントローラを扱って

いるにも関わらず、被験者の対象への愛着は阻害されなかったことや、machine 群の被験者において、プラスチック製で機械がむき出しになったコントローラを扱うことで、被験者の対象への愛着が阻害されたことが観察された。これは、コントローラについてキャラクタを操作する単なるコントローラではなく、キャラクタと同等の存在として扱っていたかどうかといった被験者の認識の違いが影響を与えていると考えられる。

### 6.8.3 “あるくま” 評価実験 3 について

“あるくま” 評価実験 3 では、“あるくま” 評価実験 1 および 2 の被験者にみられた「キャラクタの歩かせ方を発見する」という目的やそれにとまなう達成感が対象への近接欲求である愛着に影響を与えていた可能性を調査した。“あるくま” 評価実験 1 および 2 では、実験者は操作方法やコントローラとキャラクタとの関係、キャラクタが歩くことなどを被験者に知らせずに、自由に“あるくま”に接するよう指示した。しかし、被験者へのインタビューから、全ての被験者がディスプレイのキャラクタを見た後にキャラクタが歩くことを想像し、歩かせるよう操作していたことが確認された。被験者からは、「ディスプレイ上の部屋の中にキャラクタが存在しているため、歩くであろうことが予測できた」といった内省が得られた。また、“あるくま”の操作方法をみつけるられなかった machine 群の被験者 11 人のうち 5 人が、実験が終了し、質問紙に記入した後で、キャラクタの歩かせ方について実験者に質問していた。このことから、多くの被験者が、「キャラクタの歩かせ方を発見する」という目的をもちながらインタラクションを行っていた可能性があり、キャラクタの歩かせ方を発見した被験者においては、少なからず目的に対する達成感を得ていたことが示唆された。このような、インタラクションにおける目的やそれにとまなう達成感について被験者の行動や印象に与える影響を調査するために、予め被験者に“あるくま”の操作方法を教示した実験を行った。また、操作方法を教示された被験者（video 教示群）と、通常の“あるくま”を体験した場合（normal 群）とで、被験者の行動や主観的印象を比較した。

実験の結果から、video 教示群の被験者は normal 群の被験者よりも、すぐに“あるくま”の操作方法をみつけることができたと感じており、normal 群の被験者に比べて Q6「このクマと意思疎通ができた気がした」、Q7「クマの動きがかわいらしかった」の質問項目において高得点を示しており、normal 群の被験者よりも、video 教示群の被験者の方が、“あるくま”に対してより強い情緒的な印象をもっていたことが確認された。

以上の結果から、normal 群の被験者は、キャラクタの歩かせ方を発見することや、他者との近接欲求である愛着に基づいた二つのモチベーションをもち、“あるくま”とのインタラクションを行っていたため、video 教示群の被験者に比べて、対象とのインタラクションに集中することができなかつたのではないかと考えられる。このことから、人工物とのインタラクションにおいて、対象への近接欲求を満たすといった愛着以外の達成すべき目的を排除することが、対象への愛着をより強める可能性をもつことが示された。

#### 6.8.4 3つの評価実験をふまえて

本研究では人間の愛着に基づくモチベーションの維持から、人間とのインタラクションを持続させることを目的として、“あるくま”に以下のような機能を構成した。

1. 人間の物理的な働きかけに対して対象が反応する機能
2. 人間の働きかけをリアルタイムかつ人間がわかりやすいように対象へ反映させる機能
3. 対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能

以上の三つの要素をふまえた“あるくま”を操作した normal 群の被験者は、対象への愛着をもち、実験終了後も“あるくま”とのインタラクションを望んでおり、ロボットの操作に関して、ディスプレイ上のキャラクタに直接触りながら歩かせているといった印象をもっていたことが確認された。

一方、controller 群における実験設定では、一般的なビデオゲームコントローラを使用したため、三つの構成要素のうち**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**が失われていた。また、controller 群の実験で使用された一般的なビデオゲームコントローラは、被験者にとってキャラクタを操作する道具でしかなく、愛着の湧くような存在にはなり得ないと考えられる。そのため、controller 群の実験結果では、対象への愛着も湧かず、実験終了後の“あるくま”とのインタラクションに対するモチベーションも消滅したことが確認された。

また、三つの要素をふまえた fur 群と machine 群における実験設定では、コントローラの形状や操作方法には違いはなかったが、fur 群では normal 群の被験者と同じように、対象への愛着をもち、実験終了後も“あるくま”とのインタラクションを望んでいたことがわかった。一方の machine 群では、対象への愛着をもたず、実験終了後の“あるくま”とのインタラクションへのモチベーションは消滅したことが確認された。fur 群の実験で使用したコントローラは毛皮で覆われており、machine 群のコントローラとは触り心地という点で違いが発生する。また、fur 群の被験者は normal 群の被験者と同様に、コントローラの操作に関して、キャラクタに直接触りながら歩かせているといった印象をもっていたことが確認されたが、一方の machine 群では、コントローラについて三つの可動部を操作するものという認識であったため、fur 群の被験者のようにコントローラをディスプレイ上のキャラクタの身体と対応させて認識していなかった。つまり、**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**において、被験者の認識の違いがこの機能を無効とする可能性があることが示された。つまり、**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**について、この機能を有効とするためには、被験者に対象への愛着が湧くような扱い方を想起させるコントローラを使用させることが必要であることが示唆された。fur 群の被験者のインタビューにおいて、コントローラとキャラクタとの対応について、「ディスプレイ上のキャラクタがテディベアのような外観をもち、コントローラがテディベアのぬいぐるみのような触り心地であったことから、それらの身体的な対応を把握することができた」といった内省が得られており、このことから、ロボットの触り心地がディスプレイ上のキャラクタとの対応を想起させる結果となったことが示唆された。

以上のことから、normal 群、fur 群にみられたインタラクションへの高いモチベーションは被験者の対象への愛着によるものである。このことから、人工物への人間の愛着が持

続的なインタラクションを構築し得ることが示唆された。また、“あるくま”において被験者の愛着を引き起こすためには、コントローラであるロボットとディスプレイ上のキャラクターとを同等の存在であると、被験者に認識させることが必要となり、そのような被験者の認識が、キャラクターに直接接触りながら歩かせているといった印象へと導いたことで、他者への密着欲求である愛着をより強めた結果となった。その点において、controller 群、machine 群の被験者はコントローラを、ディスプレイ上のキャラクターと同等の存在であるとは認識しておらず、キャラクターを動かすことのできる制御機として認識していたため、被験者の対象への愛着は引き起こすことができず、被験者のインタラクションへのモチベーションを維持することができなかつたと考えられる。

また、キャラクターの歩かせ方を発見するという目的を持たなかつた video 教示群の被験者は、normal 群よりも“あるくま”に対して情緒的な印象を強くもっていたことが確認された。これは、video 教示群の被験者が、normal 群、fur 群、machine 群の被験者に共通に存在した「キャラクターの歩かせ方を発見する」といった目的を持たずに、“あるくま”に接していたことで、よりインタラクションに集中することができたためであると考えられる。

以上の議論から、“あるくま”のコントローラであるロボットと、操作するディスプレイ上のキャラクターとの対応についての被験者の認識が、その後の対象への愛着に大きく影響していたことが理解できた。また、“あるくま”に構成された、三つの機能（人間の物理的な働きかけに対して対象が反応する機能、人間の働きかけをリアルタイムかつ人間がわかりやすいように対象へ反映させる機能、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能）のうち、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能を有効とするには、ロボットを介してディスプレイ上のキャラクターに直接接触りながら歩かせているといった、被験者の認識が必要とされることが示された。

## 第7章 総合的な議論

### 7.1 本研究の成果とその意義

本研究の目的は、人間と人工物との持続的なインタラクションを実現するための基礎技術として、人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づくモチベーションに注目し、それがどう維持されているのかを調査し、そのモチベーション維持の観点から、インタラクションを持続させるような人工物を提案・開発することである。具体的には、人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づいたモチベーションに注目し、それがどのように維持または消滅されるのかを調査し、そこで観察された人間の愛着に基づいたモチベーションの維持に関する知見を利用して、人間との持続的なインタラクションを目指す人工物（“あるくま”）の提案・開発を行った。そして、この“あるくま”が、実際に人間の愛着を引き起こし、持続的なインタラクションを実現し得る人工物として適しているのかどうかを実験的に検討した。

その結果、“あるくま”は、実験環境下において人間の対象への愛着を引き起こし、実験終了後においても、“あるくま”とのインタラクションを継続したいといった被験者のモチベーションを維持していたことが確認された。また、“あるくま”において、被験者の愛着を引き起こすシステムに必要な機能として、**対象への愛着が湧くような人工物の扱い方をさせる設定**を構成したが、この機能を有効とするためには、被験者に対象への愛着が湧くような扱い方を想起させるコントローラを使用させることが必要であることが示唆された。“あるくま”について、「愛着が湧くような扱い方を想起させる」とは、コントローラと、操作対象であるディスプレイ上のキャラクタとを同等の存在として被験者に認識させることである。具体的には、ディスプレイ上のキャラクタの外観に類似したロボットや、キャラクタの外観から想起される触り心地を保持したロボットなどをコントローラとして使用した場合に、被験者は、コントローラと、操作対象であるディスプレイ上のキャラクタとを同等の存在として認識したことが確認された。またそれらが、対象への愛着やインタラクションを継続したいといった被験者のモチベーションを維持するために、効果的であったことが示された。人間の愛着に基づくモチベーションを維持することで実現すると考えられる、人工物との持続的なインタラクションについて、ここでは、愛着に基づくモチベーションを維持することで、実験中の対象への印象、さらには実験終了後のインタラクションに関するモチベーションに影響を与えていたことが示され、持続的なインタラクションを実現し得る可能性を示すことができたと考えられる。

ここから、本研究には先行研究と比べて、以下のような点で新規性と独創性を持つと考えられる。

- 人間の人工物とのインタラクションに対するモチベーションについて、インタラクション環境下における人間の愛着に注目し、モチベーションと愛着との関係を実験

### 的に観察・分析している点

- 人間のインタラクションの対象への愛着を維持させることで人工物との持続的なインタラクションを構築させることを目的とした人工物を実際に提案している点
- 提案した人工物のどのような要素が人間の愛着を維持させていたのか、または消滅させていたのかを実験的に観察・分析している点

この“あるくま”によって構築することができた、実験環境下における人間の愛着に基づくモチベーションに関して、その一部を人間同士に存在するような普遍的な愛着に基づくモチベーションへと発展させることで真の意味での人工物との持続的なインタラクションが実現できると考えられる。その一方、愛着は人間の主観的な欲求であり、個人差に依存する可能性を否定できない。では、実際に一般的な人間との持続的なインタラクションを実現できるような人工物を構築するためには、どのような点が今後必要になるのだろうか。“あるくま”における個人差についてふまえた上で議論を行っていく。

## 7.2 個人差をふまえた研究の問題点・改善点

本研究では、“あるくま”のコントローラであるロボットと、操作するディスプレイ上のキャラクタとの対応についての被験者の認識が、その後の対象への愛着に大きく影響していたことが観察された。また、“あるくま”に構成された、**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**を有効とするには、ロボットを介してディスプレイ上のキャラクタに直接触りながら歩かせているといった、被験者の認識が必要とされることが示された。具体的には、ディスプレイ上のキャラクタの外観に類似したロボットや、キャラクタの外観から想起される触り心地を保持したロボットなどをコントローラとして使用した場合に、被験者はコントローラと、操作対象であるディスプレイ上のキャラクタとを同等の存在として認識したことが確認された。

その一方、controller 群や machine 群の被験者では、ディスプレイ上のキャラクタをビデオゲームのキャラクタとして認識し、コントローラをそのキャラクタを操作する制御機として認識していたため、愛着の湧くような存在としてみなしてなかったことが観察された。“あるくま”は存在することで被験者の愛着に基づくモチベーションを引き起こすことを可能とするが、ビデオゲームの評価はそのゲーム性に依存している。ゲームにとってキャラクタの存在が特に重要とされるゲームの多くはキャラクタとの会話などのコミュニケーションを楽しむものであり、キャラクタがただ存在しているだけで成り立つゲームはない。そのため、被験者が“あるくま”を一般的なビデオゲームととらえてしまった場合、被験者はフィールドを歩くのみのキャラクタや、場面転換もストーリーの展開も無いゲームに失望し、インタラクションに対するモチベーションは消滅すると考えられる。

ここで、通常の“あるくま”に対してビデオゲームであるといった認識をもった被験者について抽出した実験を紹介する。実験では、通常の“あるくま”を体験し、10分以内に“あるくま”の歩かせ方を発見した被験者19人(男性10人, 女性9人)について、インタビューから、そのうち6人の被験者がビデオゲームであると認識しながら“あるくま”を体験していたことが確認された。それらの被験者には共通した行動があり、ロボットの把

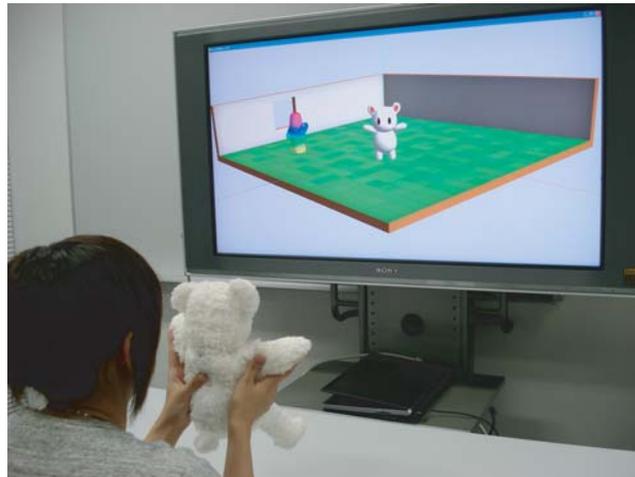


図 7.1: back 群の被験者  
Figure 7.1: Group of back

持の仕方に特徴がみられた。その特徴とは、ロボットの正面である顔側を自分の方へ向けず、ディスプレイの方へ向けており、被験者自身と同じ方向をみるようロボットを把持していた点である。被験者の把持の仕方について図 7.2 に示す。

さらには、“あるくま” をビデオゲームとして認識した被験者（back 群）と、controller 群の被験者の質問紙の結果を比較すると、有意差、有意傾向は確認されなかった。つまり、この結果から、通常の“あるくま” を体験した被験者の中でも、ビデオゲームであるといった認識をもった被験者は、controller 群と同じような印象をもち、キャラクタに対する愛着やその後のインタラクションへのモチベーションも維持されない結果となった。このことから、被験者の認識には個人差が存在していることが理解できた。その一方、video 教示群の被験者は、教示されたビデオの中で、ロボットと対面しながら“あるくま” を操作している様子を確認していたため、自らの操作においても、一度もロボットの顔の向きや把持の仕方を変えていなかったことが確認された。さらに、video 教示群の被験者は、normal 群やその他の実験群に比べて、“あるくま” への愛着をもっていたことが確認された。

このことから、“あるくま” に構成された、三つの機能の一つである**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**に関しては、被験者が人工物を体験する前に、扱い方の教示を行うことが必要であると考えられる。つまり、“あるくま” に対する被験者のビデオゲームといった認識が、愛着が湧かないような扱い方をするという行動へ導いてしまうといった問題を回避するために、愛着が湧くような扱い方をするという行動を教示することで、それが結果的に被験者にとって“あるくま” が愛着の湧くような存在となり得る対象といった認識へと導くのではないかと考えられる。

予備実験 2 についても、被験者に愛着が湧かないような行動を指示したことで、結果的に対象への愛着が失われインタラクションのモチベーションをも消滅したことが確認された。つまり、“あるくま” に構成された三つの機能の一つである**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**に関しては、被験者に愛着が湧くような扱い方の教示を事前に行うことで、被験者の認識の違いといった個人差をある程度統一させることができると考えられ

る。しかし、愛着がどのように引き起こされ、消滅するのか、またその度合いなどについては未だ理解されておらず、それ加えて個人差の問題が存在している。予備実験2の被験者においては、被験者の反応に合わせたロボットのモーションが被験者のモチベーションを維持していたことが確認されているが、ロボットの動きについて気持ち悪いという印象を受けた被験者が存在した。その被験者はゲームクリアに対するモチベーションを失い、どのような状況下においても全くSCRの反応が検出されなかった。その被験者のインタビューでは、何故ロボットに対して気持ち悪いという印象をもったのかという実験者の問いに対して、被験者は明確な答えを持ってはいなかった。しかし、その後のインタビューの中で、子犬が苦手であることが判明し、ロボットのモーションから子犬の動きを連想してしまったのではないかといった回答が得られた。これは、人間の愛着が個人の特性に大きく依存していることを示すものである。以上のような問題に対処するため、実世界で人間が使用する人工物に、本研究で得られた知見を反映させることを考えると、個人の特性などに対応するカスタマイゼーション機能は必要であると考えられる。

また、“あるくま”の実験において、normal群やvideo教示群の被験者が実験終了後も“あるくま”とのインタラクションを所望していたことが確認されたが、10分間といった限られた時間内でのインタラクションでありその後の観察はされていない。実験終了後も“あるくま”とのインタラクションを所望した被験者について、再び同じ実験を実施した場合に、どのような行動をとり、どのような印象をもつかについては非常に興味深い。一方、それらの被験者と比較を行ったcontroller群（一般的なビデオゲームコントローラでキャラクタを操作）について、インタビューで実験開始後何分程度で「慣れや飽き」を感じたかといった印象を確認したところ、10人中1人が無回答で、他9人の回答は、5分：1人、3分：5人、1分：3人（平均2.1分）であった。また、それらの被験者は「慣れや飽き」を感じた時に、「つらい」「やめたくなった」「何をしていればよいのか途方に暮れた」など、強い負の印象を持っていたことが確認された。

つまり、controller群の被験者は、実験開始後2分程度で“あるくま”の操作に「慣れや飽き」を感じ、強い負の印象をもっていたことが確認された。このことから、実験終了後も“あるくま”とのインタラクションを所望していたnormal群の被験者の印象と、controller群の被験者の印象の差は非常に大きいことが理解できる。つまり、二つの群の被験者について、手にするコントローラが違うというだけで被験者の印象に極端な違いを生じさせていたことが確認された。コントローラの違いが、被験者の“あるくま”に対するいくつかの認識（ペット動物のような存在もしくはビデオゲームのキャラクタ）を引き起こしていたことは理解できたが、そのような被験者の認識の違いを生じさせた具体的な要因は特定できなかった。

このように、本研究で注目した人間の愛着について、先行研究においても、進化上異なった種における愛着発生の基本的なメカニズムは解明されておらず、人間と人工物における愛着関係についても、検討されてはいない。また、人間の愛着は個人の特性に依存し、他方向からの影響を受けやすく簡単に消滅してしまう可能性をもつ一方で、人工物への愛着を構築できた人間とのインタラクションは非常に強い関係性が生まれ、簡単には消滅しない。一方、多くの既存の人工物は人間の慣れや飽きの問題を少なからずもつものであるが、その問題について、ソフトウェアやハードウェアの技術の向上によって解決しようとする研究アプローチが多い。本研究で得られた知見から、人間の慣れや飽きの問題について対

峙する人工物の改善のみで解決することは非常に難しいと考えられる。

本研究で提案・開発した“あるくま”は、コントローラによってディスプレイ上のキャラクターを操作するといった非常にシンプルなシステムであるにも関わらず、被験者の愛着に基づくモチベーションを維持し、実験環境内ではあるが持続的なインタラクションを構築し得ることが示された。つまり、人間と人工物においても、人間にとってその対象が存在することに非常に大きな意味をもつようなペット動物との関係を構築し得ることが示されたと考えられる。また、人間の愛着が人工物とのインタラクションの中で、どのように発生もしくは消滅していくのかを調べるためには、今後さらに長期的な観察を行い、人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づくモチベーションを理解する必要がある。

## 7.3 将来的な展望

### 7.3.1 応用が期待される実用例

前節では、人工物とのインタラクションにおける人間の愛着に基づくモチベーションの維持について、その意義や問題点について議論した。本研究で注目した人間の愛着は、他方向からの影響を非常に受けやすく簡単に消滅してしまう可能性をもつため、人間の認識をある程度統一させるような教示が必要とされる。このような問題点を克服できた場合、本研究の愛着関係における持続的なインタラクションは、以下のような用途に用いられるインターフェイスのための基本的な設計指針として有効だと考えられる。

- 人間とのインタラクションの中で、人間の学習を促し、生活を支援する人工物
- ペットロボットやコミュニケーションロボットなど人間を情緒的に支援する人工物

具体的には、以下のようなアプリケーションへの応用が期待される。

- 人間の生活を支援する人工物であるにもかかわらず、それらを人間が使用する場合には学習を必要とする人工物（例：便利な道具 [カーナビゲーション, 携帯電話, パーソナルコンピュータ] を使いこなすための不本意な学習について、対象への愛着を利用することで、人間の学習へのモチベーションを維持するようなシステム。キャラクター性をもつ対象との自然なインタラクションによって操作法などを学習することができる）
- 人間の情緒面のサポートを行うペットロボットやCGエージェント（例：ペット動物のような愛着関係を維持し得るペットロボットやCGエージェント。人間とペット動物との関係のような真の意味での愛着関係が生じることによって、人間に生理学的にも心理学的にも良い影響を与えることができる）
- 対象への愛着が体を動かすモチベーションとなるリハビリテーション器具（例：対象への愛着から引き起こされる人間の動作によってロボットやCGキャラクターに影響を与えることができるようなリハビリテーション器具。リハビリテーションを行うことで対象とのインタラクションを行うことができる設定とすれば、リハビリテーションのモチベーションは維持することができる）

### 7.3.2 人間の愛着創発へのアプローチ

本研究における、人間の愛着に基づくモチベーションの維持から持続的なインタラクションを可能とする人工物を提案するアプローチは、人間の生得的な欲求が人工物とのインタラクションに与える影響を理解するといった副次的な目的も有している。

例えば、予備実験1では、敵を避けるようにキャラクタを操作しなければゲームオーバーとなる実験環境下で、「逃走あるいは闘争」という原始的な行動に対する体の準備反応としての手掌の発汗の検出を行っており、このようなプロセスはAx[1]が人間に恐怖刺激（手指に電気刺激を与えこれを少しずつ大きくしていく）と怒り刺激（実験者が乱暴な振る舞いをする）を与えながら、心拍数など7つの自律反応を観察した実験で、SCR反応は恐怖から誘発されるという実験結果と比較・検討することができる。基本的に「逃げる」という行為は、怒りよりも恐怖に起因するものであるが、本研究においてもゲーム内の敵への恐怖から「逃げる」という行為が誘発されており、ゲームの臨場感を妨げるような実験設定とした場合では、被験者のゲームクリアに対するモチベーションを失う結果となったと考えられる。また、予備実験2では、予備実験1の「逃走あるいは闘争」という原始的な行動に対する体の準備反応と、他者への近接欲求である愛着の関係を調査しており、結果から、対象への愛着の喪失が、「逃走あるいは闘争」という行動に対する体の準備反応そのものを消滅させることが理解できた。このような結果については、愛着行動よりも強い形態をとともなう感情は存在しないといわれている [5] ことから、愛着の有無がその他の感情に影響を与えてしまったと考えられる。

また、人工物の研究において、メディア研究の基になっているメディアイクエーションは、人間がメディアに対して社会的に振舞う傾向があることを示している [8]。このような考えのもとで、人間と人工物の間に社会的な関係を築こうとする研究は少なくない。小野ら [49] は、人間の趣味や嗜好を理解しているエージェントが様々なメディアに「憑依」することによって、人間に対して文脈に応じた適切な支援を行うことを目標としており、人間とメディアの間に構築される信頼感や親近感をともなう「関係」に注目した研究が行われている。しかし、その「関係」がどのような情動に基づいたモチベーションを有しているかは明らかにはされていない。もし両者の「関係」がなんらかの達成動機にとともなうものであれば、達成によって動機を失い「関係」は消滅する可能性があると考えられる。

本研究で行った予備実験1および2では、ゲームクリアを目指す被験者のモチベーションと被験者のゲームに関わる対象への愛着との関係を抽出した。しかし、ゲームクリアという達成動機が、キャラクタへの愛着を引き起こしたのか、それともキャラクタへの愛着がゲームクリアという達成動機を引き起こしたのかといったことについての知見は得られてはいない。それに対して、達成動機となり得るゲーム性を排除した“あるくま”の場合では、「動いているキャラクタを見ているだけで楽しかった」という被験者の内省が得られ、実験終了後もインタラクションを所望する被験者が多かった。このように、それ自体がモチベーションとなり得る人間の愛着は、インタラクションを持続させる可能性をもつと考えられる。

したがって、今後は本研究のようなアプローチを用いて、人間と人工物とのインタラクションにおける愛着の創発や達成動機との関係に対する考察を行えるように、実験環境を改良し、上記の問題を解決した上で、これらの課題にアプローチしていくことを考えている。

## 第8章 結論

本研究は、人間との持続的なインタラクションを可能とする人工物を構築することを目的としている。本研究における持続的なインタラクションとは、対象とインタラクションを行おうという人間のインタラクションに対するモチベーションが維持されることで、その対象とのインタラクションが継続する状態のことをいう。持続的なインタラクションが実現されている例として、人間とペット動物との関係が挙げられる。この関係においては、常に人間がペット動物に対してアクティブに振舞ったり、ペット動物が片時も頭の中から離れなかったりといったことはなく、むしろペット動物が精神的に自分の一部となり得るような存在、言い換えれば、普段は空気のような存在として認識されているといえる。このような関係が構築されると、ペット動物が好ましくない振る舞いをしたとしても、両者の間のインタラクションは消滅しない。逆に、このような持続的なインタラクションが実現されていない人間とペットロボットのような人工物との関係においては、人工物が人間にとって好ましくない振る舞いを行った時などに、人間はインタラクションを行うモチベーションを失い、両者のインタラクションは容易に消滅してしまうと考えられる。その理由については以下のような問題が挙げられる。人間が人工物とのインタラクションを行う場合、様々なモチベーションが存在する。また、それらのモチベーションはインタラクションを行う人間やその対象によっても大きく変化すると考えられる。例えば、ペットロボットのような人工物の場合、同じような振る舞いを繰り返すなどの不自然な動作などの実際のペット動物とかけはなれた振る舞いをとってしまうと、実際のペット動物との関係性を期待した場合の人間の期待は失われ、同時にモチベーションも消滅してしまう。

このことから、本研究の目的としている、人工物との持続的なインタラクションを構築するには、人間のインタラクションを行うモチベーションを維持させなければならないと考える。しかし、その人間の期待に対して全く満たされる見込みがない人工物の振る舞いがあると、その期待に付随したモチベーションはすぐに消滅してしまう恐れがある。このような問題に対して、本研究では人間の「愛着」を利用することで、人工物との持続的なインタラクションを構築させる試みをとることとした。先に説明した、人間とペット動物とのインタラクションが消滅しない理由として、人間の「愛着」がそれらのインタラクションに大きく関与しているからであると筆者は考える。なぜなら、対象への愛着が持続されていれば、インタラクションを行おうという人間のモチベーションが維持され、結果として持続的なインタラクションの成立に結びつくと考えられるからである。

現在、人間と人工物との間に持続的なインタラクションを成立させることを目的とした研究が数多く行われているが、その多くが人工物を賢くするというアプローチを採用しており、インタラクションの当事者となる人間の状態は考慮されていないといえる。本研究ではこのような問題に対して、インタラクションの当事者であり評価となりうる人間の「愛着」に基づいて生じるモチベーションに注目して、人間にとって持続的なインタラ

クションを構築するための要因を探求した。具体的には、「愛着」と人間のモチベーションとの関係に注目し、その人間のモチベーションが人工物とのインタラクションを行っている時にどのように変化するかを実験的に調査した。その実験で示された知見を以下にまとめる。

- 被験者の興奮を維持するためには、被験者の状態が人工物にどのように反映されているのかを被験者自身が認識しやすいことが必要である (BF 有無比較実験)
- 被験者の興奮を維持するためには、被験者の状態をリアルタイムに人工物にフィードバックすることが必要である (BF 遅延比較実験)
- 被験者の反応に合わせたロボットのモーションが被験者の興奮を持続させる (BF ロボット有無比較実験)
- 愛着の湧かないようなロボットの把持の仕方が、被験者のモチベーションを減少させていた (BF 愛着有無比較実験)

以上のことから、人間のモチベーションを維持するためには、実世界での人間の働きかけが人工物に反映され、その反映がリアルタイムで人間が認識しやすく、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる設定とすることが重要であることが導き出された。以上の、人間のモチベーションを興奮によって評価した実験から導きだされた、持続的なインタラクションの構築に必要とされるシステムの機能について以下に示す。

- 実世界での人間の働きかけが人工物に反映されること
- 人間の働きかけによる人工物への反映がリアルタイムで人間が認識しやすいこと
- 対象への愛着が湧くような人工物の扱い方をさせる設定とすること

このように導かれた、人間の愛着に基づくモチベーションを維持することで持続的なインタラクションを目指すシステムの機能を、実際にシステムに構築し、評価を行った。具体的には、コントローラであるロボットを用いてディスプレイ上のキャラクタを操作するシステム(“あるくま”)を構築した。そして“あるくま”について、そのシステムを体験した被験者の主観的印象と行動を分析し、インタラクション状態の評価を行った。この結果から“あるくま”のコントローラであるロボットと、操作するディスプレイ上のキャラクタとの対応についての被験者の認識が、その後の対象への愛着に大きく影響していたことが理解できた。また、“あるくま”に構成された、三つの機能(人間の物理的な働きかけに対して対象が反応する機能、人間の働きかけをリアルタイムかつ人間がわかりやすいように対象へ反映させる機能、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能)のうち、対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能を有効とするには、ロボットを介してディスプレイ上のキャラクタに直接接触りながら歩かせているといった、被験者の認識が必要とされることが示された。

以上の“あるくま”の評価実験から得られた知見についてまとめると、以下のような結論が導き出された。

1. “あるくま” に対してビデオゲームに存在するような認識を持った人間の愛着は築きにくい
2. 人間がロボットを通じてディスプレイ上のキャラクタに接しているような感覚を持つことが人間の愛着を引き起こしていた

このことから、“あるくま” に構成された、三つの機能の一つである**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**に関しては、被験者が人工物を体験する前に、扱い方の教示を行うことが必要であると考えられる。つまり、“あるくま” に対する被験者のビデオゲームといった認識が、愛着が湧かないような扱い方をするという行動へ導いてしまうといった問題を回避するために、愛着が湧くような扱い方をするという行動を教示することで、それが結果的に被験者にとって“あるくま” が愛着の湧くような存在となり得る対象といった認識へと導くのではないかと考えられる。

予備実験2についても、被験者に愛着が湧かないような行動を指示したことで、結果的に対象への愛着が失われインタラクションのモチベーションをも消滅したことが確認された。つまり、“あるくま” に構成された三つの機能の一つである**対象への愛着が湧くような扱い方をさせる機能**に関しては、被験者に愛着が湧くような扱い方の教示を事前に行うことで、被験者の認識の違いといった個人差をある程度統一させることができると考えられる。

このように、本研究で注目した人間の愛着は、他方向からの影響を非常に受けやすく簡単に消滅してしまう可能性をもつ。その一方で人工物への愛着を構築できた人間とのインタラクションは非常に強い関係性をもち、簡単には消滅しない。“あるくま” は、コントローラによってディスプレイ上のキャラクタを操作するという非常にシンプルなシステムであるにも関わらず、被験者の愛着に基づくモチベーションを維持し、持続的なインタラクションを構築し得ることが示された。つまり、人間と人工物においても、人間にとってその対象が存在することに非常に大きな意味をもつようなペット動物との関係を構築し得ることが示されたと考えられる。つまり、人間は人間ではない対象（動物、ぬいぐるみ、CGキャラクタなど）との愛着関係を築くことのできる特性をもつことが理解されているが、“あるくま” における操作方法や教示について、愛着が湧かないような道具的な対象としてみなすような設定としたことで、人間の自然で生得的な対象への愛着は阻害されてしまうということが理解できた。

以上の結果・議論から人間の強い愛着がモチベーションの維持つまりはインタラクションの持続に結びつくことが示唆されたが、それらが今後どのような用途に用いられるシステムやインタフェースに有効であるかを以下に記述する。

- 人間とのインタラクションの中で、人間の学習を促し、生活を支援する人工物
- ペットロボットやコミュニケーションロボットなど人間を情緒的に支援する人工物

本研究では、人間の愛着に基づくモチベーションを維持するために必要なシステムの機能を実験的に見出し、その機能を人工物“あるくま” に構築した。そして、“あるくま” について、人間の愛着に基づくモチベーションに注目し、システムの評価を行った。実験結果から“あるくま” に対して愛着を持った被験者は、実験終了後も“あるくま” とのインタ

ラクションを所望していたことが確認された。つまり、本研究で提案・開発した“あるくま”は、人間の愛着を引き起こすようなインタラクション対象となり、人間とのインタラクションを持続させる人工物となり得ることが示された。このように、本研究で得られた知見は、インタラクティブシステムに対する人間の慣れや、それに対する人工物の円滑な適応方法などの、未だ解決されていない問題に対して有益な研究指針を与えるものであると考えられる。そして、人間における愛着の創発に対する理解は、人間と人工物に限らず、人間と他者（人間またはペット動物など）との持続的なインタラクションにおける対応や機能を解明する手がかりになると考えられる。また、このような人間と人工物におけるコミュニケーション理解は、認知科学、心理学などの分野に大きく寄与する研究であると考えられる。このように本研究では、高度に統合されたシステムを実現するために、技術体系を総合的に評価するといった、システム情報科学の概念を具現化しているものといえる。

## 謝辞

指導教官の松原仁教授（公立ほこだて未来大学）には、本専攻への入学前から現在に至るまで、公私にわたって多くのご指導をいただきました。また、小野哲雄教授（公立ほこだて未来大学）からは、本研究に対して非常に幅の広い視点から多くの助言を、稲見昌彦教授（電気通信大学）からは本研究の進め方に対して多くのご支援と助言を、そして鈴木恵二教授（公立ほこだて未来大学）からは本研究のアイデアに対して多くのアドバイスやコメントいただき、柳英克教授（公立ほこだて未来大学）からは本研究で提案されたシステムに関して多くのアドバイスをいただきました。

また、本研究は共著者の方以外にも、多くの方々の協力によって支えてきました。塚原保夫氏（公立ほこだて未来大学 名誉教授）からは、本研究のみならず公私にわたって温かいご指導をいただき、小松孝徳助教（信州大学）からは、本研究のアプローチについて多くのご支援と助言を、南部美砂子講師（公立ほこだて未来大）からは本研究で使用した質問紙の作成にあたって多くの助言をいただきました。また、吉田直史氏（フミテック）には本研究の実験で使用したシステムの開発を担当していただき、国田美穂子氏（公立ほこだて未来大学）からは本研究の議論を通じ多くのアドバイスをいただきました。また、五木宏氏（公立ほこだて未来大学）からは本研究で提案・開発した“あるくま”について多くの助言をいただきました。そして、松原研究室、稲見研究室、櫻沢研究室の皆様には、様々な議論を通じて多くのアドバイスなどをいただきました。皆様への感謝の気持ちはとても言葉では表現しきれませんが、この場をお借りして感謝の意を表させていただきます。

## 参考文献

- [1] A. F. Ax : Psychosomatic Medicine, 15, 433, (1953).
- [2] Bates, J., The role of emotion in believable agents, Communications of the ACM, Vol.37, No.7, pp122-125, (1994).
- [3] Bickmore, T., and Cassell, J., Relation Agents: A Model and Implementation of Building User Trust, Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2001), pp.396-403, (2001).
- [4] Bing-Hwang,J., Furui,S, Automatic recognition and understanding of spoken language-a first step toward natural human-machine communication, Prof.IEEE, 88, pp.1142-1165, (2000).
- [5] Bowlby, J., A Secure base. New York : Basic Books. (1988).
- [6] BREATHING SPACE, Media Lab Europe, (2003)
- [7] Breazeal,C., Valasquez,J., Toward Teaching a Robot ‘ Infant’ using Emotive Communication Acts, In Proceedings of 1998 Simulation of Adaptive Behavior, workshop on Socially Situated Intelligence, pp.25-40, (1998).
- [8] B.Reeves, C. Nass, : ”The Media Equation”, CSLI Publications, 1996 (細馬宏通訳 『人はなぜコンピューターを人間として扱うか-「メディアの等式」の心理学-』 翔泳社, (2001))
- [9] Brown,L. T., Shaw, T. G., and Kirland, K. D. Affection for people as afunction of affection for dogs, Psychological Reports, 31, pp957-958. (1972).
- [10] Cairns,R. B. ”Attachment behavior of mammals.” Psychol. Rev., 73, pp409-426. (1966).
- [11] Cowie,R., Douglas-Cowie,E., Tsapatsoulis,N., Votsis,G., Kollias,S., Fellens,W., Taylor,J.G., Emotion recognition in human-computer interaction, IEEE Signal Process. Mag., 18, pp.31-80, (2001).
- [12] 土肥浩, 石塚満, WWW と連携する擬人化エージェントとのH A I , 人工知能学会誌, Vol.17, No.6, pp.693-700. (2002).
- [13] Edelberg, R. : Electrical activity of the skin : Its measurement and uses in psychophysiology. In N.S. Greenfield and R. A. Sternbach(Eds.) Handbook of psychophysiology. New York : Holt, Rinehart and Winston. pp.367 - 418.(1972).

- [14] 遠藤利彦：アタッチメントと求温欲求；数井みゆき，遠藤利彦，『アタッチメント-障害にわたる絆』， pp.24-25， ミネルヴァ書房 (2005)
- [15] 藤澤清，柿木 昇治，山崎 勝男，宮田 洋：新生理心理学 1 卷，北大路書房，(1998).
- [16] Fowles,D.C., Christie,J.M., Edelberg,R., Grings,W., Lykken,D.T., Venables,P.H., Publication recommendations for electrodermal measurements, *Psychophysiology*, 18, 232-239, (1981).
- [17] 藤田雅博：エンタテインメントロボット；『情報処理』， Vol.44, pp815-818, (2003).
- [18] 藤田雅博：Robot Entertainment System AIBO の開発；『情報処理』， 41(2), (2002).
- [19] Fujita,M., Kuroki,Y., Ishida,T., Doi,T., A Small Humanoid Robot SDR-4X for Entertainment Applications, AIM2003,(2003).
- [20] 堀 忠雄：SPR 陽性波群発と SPL 変動；『日本心理学会第 43 回大会発表論文集』， 103, (1979).
- [21] Hand-held Doctor, MIT Media Laboratory, (1997)
- [22] Harlow, H. F., The nature of love. *American Psychologist*, Vol.13, 673-685. (1958)
- [23] Harlow, H. F. and Harlow, M. HK., The affectional systems. In A.M. Schrier, H, F, Harlow., and F. Stollnitz (Eds.), *Behavior of nonhuman primates*, pp.287-334, New York : Academic Press. (1965).
- [24] Hugdahl, K. : *Psychophysiology*. Massachusetts : Harvard University Press. (1995).
- [25] Ishii, H. and Ulmer, B., Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*. pp.234-241. (1997).
- [26] Ishiguro,H., Ono,T., Imai,M., Maeda,T., Kanda,T., Nakatsu,R., Robovie : an interactive humanoid robot, *International Journal of Industrial Robot*, Vol.28, No6, pp.498-503, (2001).
- [27] 市川充朗，辻隆弘，小林宏，表情豊かな顔ロボットの開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2002， 2P2-L12, (2002).
- [28] イワヤ株式会社， <http://www.iwaya.co.jp/>
- [29] Johnson, M. P., Wilson, A., Blumberg, B., Kline, C. and Bobick, A. : Sympathetic Interface: Using a Plush Toy to Direct Synthetic Characters, In *proceedings of CHI99*, pp152-158(1999)
- [30] 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント：どこでもいっしょ； <http://www.dokodemoissy.com/index1.html>

- [31] 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント：ポケットステーション；  
<http://www.jp.playstation.com/peripheral/psone/pocket.html>
- [32] Katchar, A. H. : Interactions between people and their pets : Form and function. IN B. Foble (Ed.), Interrelations between People and Pets. Springfield, IL. : Charles. C. Thomas, Publisher.(1981).
- [33] Karlins. M. and Andrews. L. M., BIOFEEDBACK, 白揚社出版, (1978)
- [34] 小松孝徳, 長崎康子. ビープ音からコンピュータの態度が推定できるのか？—韻律情報の変動が情報発信者の態度推定に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.7, No.1, pp19-26.(2005).
- [35] Komatsu, T., Toward making humans empathize with artificial agents by means of subtle expressions, In Proceedings of the 1st International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII2005), pp. 458-465.(2005)
- [36] Komatsu, T., Utsunomiya, A., Suzuki, K., Ueda, K., Hiraki, K., and Oka, N., Experiments toward a mutual adaptive speech interface that adopts the cognitive features humans use for communication and induces and exploits users' adaptation, International Journal of Human-Computer Interaction, vol.18, No.3, pp243-268.(2005).
- [37] 近藤崇, 角所考, 美濃導彦, 対話的に獲得される事例に基づく行為者指向の顔メディア変換, システム制御情報学会論文誌, vol.14, 308-105 (2000).
- [38] 黒柳徹子:小さいときから考えてきたこと, 新潮文庫, p59-70
- [39] Levinson, B. M.:Pets and Human Development Sprindfield, IL.:Charles. C. Thomas. Publisher.(1972)
- [40] Mazalek, A., Nitsche, M. : Tangible Interfaces for Real-Time 3D Virtual Environments, In proceedings of ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2007), pp.155-162(2007).
- [41] Desmond morris: manwatching, Elsevier Publishing Projects, 1977.(モリス：「マンウォッチング」, 小学館, 1991.
- [42] Morgan, E. The descent of the child : Human evolution from a new perspective. Oxford : Oxford University Press(1995). [望月弘子 (訳) ,1998, 子宮の中のエイリアン 母と子の関係はどう進化してきたか どうぶつ社]
- [43] 棟方 渚, 吉田 直史, 櫻沢 繁, 塚原 保夫, 松原 仁, 生体信号を利用したゲームにおけるバイオフィードバックの効果, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.17, No2, pp243-249, (2005).
- [44] 新美 良純, 精神生理学会 (アメリカ) 勧告による皮膚コンダクタンス測定器の試作, 心理学研究, 54, pp.325-327, (1983).

- [45] 新美 義純, 鈴木 二郎, 皮膚電気活動, 星和書店, (1986).
- [46] 日本バイオフィードバック学会, <http://wwwsoc.nii.ac.jp/bf/>
- [47] 任天堂株式会社: Nintendo DS; <http://www.nintendo.co.jp/ds/>
- [48] 小泉直也, 清水紀芳, 杉本麻樹, 新居英明, 稲見昌彦: ハンドパペット型ロボティックユーザインタフェースの開発; 『日本バーチャルリアリティ学会誌』 Vol.11, No2, 265-274(2006)
- [49] 小野哲雄, 小川浩平: 「憑依」するエージェント-ITACO プロジェクトの展開-; 山田 誠二 (監・著): 人とロボットの「間」をデザインする; 東京電機大学出版局, (2007).
- [50] Rekimoto, J., NaviCam: A Magnifying Glass Approach to Augmented Reality Systems, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.6, No.4, pp.399-412, MIT press, (1997).
- [51] サイトウアキヒロ, 小野憲史: ニンテンドー DS が売れる理由 ゲームニクスでインターフェースが変わる, 秀和システム, 2007
- [52] サイトウ アキヒロ, ゲームニクスとは何か—日本発、世界基準のものづくり法則, 幻冬舎, 2007
- [53] S. Sakurazawa, N. Munekata, N. Yoshida, Y. Tsukahara and H. Matsubara, Entertainment Feature of the Computer Game Using a Skin Conductance Response, ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2004), pp.181-186, (2004).
- [54] Shigeru Sakurazawa, Nagisa Munekata, Yoshida Naofumi, Yasuo Tsukahara, Hitoshi Matsubara, Entertainment Feature of the Computer Game Using a Biological Signal to Realize a Battle with Oneself, IFIP 3rd International Conference on Entertainment Computing, pp.345-350, (2004).
- [55] 関口大陸, 稲見昌彦, 館暉: オブジェクト指向型トレイグジスタンスによるロボティックユーザインタフェース-形状共有システムの提案と試験的実装; 『インタラクティブシステムとソフトウェア VIII』, 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社, pp.51-56(2000)
- [56] 関口大陸, 稲見昌彦, 中野八千穂, 中野殖夫, 館暉: 「IP ロボットフォン」の製品化; 『日本ロボット学会誌』, Vol.23, No2, 159-164(2005)
- [57] シャロン・L・スミス, 小山幸子 (訳): ペット犬と家族メンバーとの間の相互作用—比較行動学的研究; A. H. Katcher., and A. M. Beck. (編), コンパニオン・アニマル研究会 (訳), 『コンパニオン・アニマル-人と動物のきずなを求めて-』, pp.17-26, 誠信書房 (1994)
- [58] 島圭介, 岡本勝, 辻敏夫: 生体信号を利用した新しいゲームインタフェースの提案; <http://www.ehime-u.ac.jp/me2004dogo/organize.all.html>.

- [59] ソネットエンタテインメント株式会社：ポストペット；<http://www.postpet.sonet.ne.jp/>
- [60] ソネットエンタテインメント株式会社：ポケットポストペット；<http://www.sonet.ne.jp/pocket/top.html>
- [61] Strommen, E. : When the Interface is a Talking Dinosaur: Leaning Across Media with ActiMates Barney, In proceedings of CHI98, pp288-295(1998).
- [62] タイトー:ジェットでGO!専用コントローラ;<http://www.unbalance.co.jp/dengo/jet/p3.html>
- [63] タイトー:電車でGO!専用コントローラ;<http://www.nintendo.co.jp/wii/software/rg4j/index.html>
- [64] 館暲：バーチャルリアリティ入門，ちくま新書（2002）.
- [65] 植田一博, 小松 孝徳, 共発達の構成論, 鈴木 宏昭 (編) 「知性の創発と起源 (知の科学シリーズ)」 (オーム社) 所収 (第7章) , pp. 179-203. (2006).
- [66] 梅沢 章男, 黒原 彰, バイオフィードバック指標としての皮膚コンダクタンス変化と皮膚電位活動の比較, バイオフィードバック研究, Vol.21, pp29-36, (1994).
- [67] 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント, <http://www.scei.co.jp/>
- [68] 山崎 勝男, 藤澤 清, 柿木 昇治, 宮田 洋, 新生理心理学 3 巻, 北大路書房, (1998).
- [69] 山田誠二, 角所考:適応としてのH A I, 人工知能学会誌, Vol.17, No.6, pp658-664, (2002)
- [70] 山田誠二, 角所考, 小松孝徳, ”人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ”, 人工知能学会誌, Vol.21, No.6, 2006-11.
- [71] 山田誠二, 山口智浩:人間と擬人化エージェントによるマインドマッピングの相互適応, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.17, No.3, pp.289-297 (2005).
- [72] Wakamaru, [www.mhi.co.jp/kobe/wakamaru/](http://www.mhi.co.jp/kobe/wakamaru/)
- [73] タタコン:<http://www.bandainamcogames.co.jp/donderpage/>
- [74] SIXAXIS:<http://www.jp.playstation.com/hardware/ps3/>
- [75] Wii Remote:<http://wii.com/>
- [76] EyeToy USB Camera:<http://www.eyetoy.com/>

## 発表論文

- [1] 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: 生体信号を利用したゲームにおけるバイオフィードバックの効果; 『日本知能情報ファジィ学会誌』, Vol.17, No.2, pp.243-249 (2005).
- [2] 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: モーションメディアコンテンツを利用したバイオフィードバックデザイン; 『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』, Vol.11, No.2, pp.275-282 (2006).
- [3] 小松孝徳, 鈴木昭二, 鈴木恵二, 松原仁, 小野哲雄, 坂本大介, 佐藤崇正, 内本友洋, 岡田孟, 北野勇, 棟方渚, 佐藤智則, 高橋和之, 本間正人, 長田純, 畑雅之, 乾英雄: 非ロボット技術者のための直感的ロボットオーサリングシステムの提案; 『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』, Vol.11, No.2, pp.213-224 (2006).
- [4] S.Sakurazawa, N.Yoshida, N.Munekata, A.Omi, H.Takeshima, H.Koto, K.Gentsu, K.Kimura, K.Kawamura, M.Miyamoto, R.Arima, T.Mori, T.Sekiya, T.Furukawa, Y.Hashimoto, H.Numata, J.Akita, Y.Tsukahara: A Computer Game Using Galvanic Skin Response; IFIP 2nd International Conference on Entertainment Computing (ICEC2003), pp.31-35 (2003).
- [5] S.Sakurazawa, N.Yoshida, N.Munekata, Y.Tsukahara, H.Matsubara: Entertainment Feature of the Computer Game Using a Skin Conductance Response; ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2004), pp.181-186 (2004).
- [6] S.Sakurazawa, N.Munekata, N.Yoshida, Y.Tsukahara, H.Matsubara: "Entertainment Feature of the Computer Game Using a Biological Signal to Realize a Battle with Oneself"; IFIP 3rd International Conference on Entertainment Computing (ICEC2004), pp.345-350 (2004).
- [7] N.Munekata, N.Yoshida, S.Sakurazawa, Y.Tsukahara, H.Matsubara: "Design of Positive Biofeedback Using a Robot's Behaviors as Motion Media"; IFIP 5th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2006), pp.340-349 (2006).
- [8] N. Munekata, T. Komatsu and H. Matsubara: "Marching Bear: An Interface System Encouraging User's Emotional Attachment and Providing an Immersive Experience"; IFIP 6th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2007), pp.363-373 (2007).
- [9] 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: 生体信号を用いたゲーム; 『第2回情報科学技術フォーラム (FIT2003)』, pp.281-282 (2003).
- [10] 櫻沢繁, 吉田直史, 棟方渚, 塚原保夫, 松原仁: 自分自身との対戦: 生体信号を用いたゲーム; 『第11回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2003)』, pp.1-4 (2003).

- [11] 吉田直史, 棟方渚, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: 生体信号を用いたゲームのエンタテインメント性; 『人工知能学会 人工知能基礎論研究会 (SIG-FAI55)』, pp.45-50 (2004).
- [12] 吉田直史, 棟方渚, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: 皮膚コンダクタンスを利用したゲーム; 『情報処理学会 エンタテインメントコンピューティングワークショップ (EC2004)』, pp.139-140 (2004).
- [13] 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: 生体信号を利用したゲームにおけるバイオフィードバックの効果; 『情報処理学会 インタラクシオン 2005』, c-333 (2005).
- [14] 吉田直史, 棟方渚, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: 心的動揺を表現する SCR を用いたテディベア型ロボットの開発; 『情報処理学会 エンタテインメントコンピューティングワークショップ (EC2005)』, pp.139-140 (2005).
- [15] 吉田直史, 棟方渚, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: モーションメディアを利用したバイオフィードバックデザイン 皮膚表面反射を用いたテディベア型ロボット; 『第6回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2005)』, p107 (2005).
- [16] 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: モーションメディアを使用したバイオフィードバックデザイン; 『情報処理学会 インタラクシオン 2006』 (2006).
- [17] 棟方渚, 吉田直史: あるくま; 『計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門モーションメディア調査研究会 第2回モーションメディアコンテンツコンテスト』 (2006).
- [18] 棟方渚, 吉田直史, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: びっくりクマさんゲームにおけるユーザのインタラクシオン持続の評価; 『計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーションモーションメディア調査研究会 第2回モーションメディアコンテンツコンテスト』 (2006).
- [19] 棟方渚, 吉田直史, 小松孝徳, 松原仁: 個性をもつ実体を利用したインタフェース“あるくま” 『情報処理学会 エンタテインメントコンピューティングワークショップ (EC2006)』, pp.153-154 (2006).
- [20] 棟方渚, 小松孝徳, 櫻沢繁, 塚原保夫, 松原仁: ユーザの性格特性が人工物とのインタラクシオンに与える影響; 『HAI シンポジウム (HAI2006)』, 1c-2 (2006).
- [21] 棟方渚, 小松孝徳, 松原仁: モーションメディアコンテンツを利用したぬいぐるみ型インタフェース“あるくま”; 『第7回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2006)』, p126 (2006).
- [22] 棟方渚, 小松孝徳, 松原仁: 個性をもつロボットを利用したインタフェース“あるくま”; 『情報処理学会 インタラクシオン 2007』, (2007).
- [23] 棟方渚, 小松孝徳, 松原仁: 生体信号によるユーザと人工物とのインタラクシオン評価; 『エンタテインメントと認知科学研究ステーション主催 第一回 E and C シンポジウム』, pp4-5 (2007).

- [24] 棟方渚, 富田正浩, 小松孝徳, 櫻沢繁, 塚原保夫, 稲見昌彦, 松原仁: エンタテインメントコンテンツ評価のための皮膚電気活動測定装置の開発; 『情報処理学会 エンタテインメントコンピューティングワークショップ (EC2007)』, pp.161-164 (2007).
- [25] 棟方渚, 吉田直史, 松原仁: およぐま; 『計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門モーションメディア調査研究会 第3回モーションメディアコンテンツコンテスト』 (2007).

## その他

- [1] 2005年度 第2回モーションメディアコンテンツコンテスト 第2位受賞
- [2] 2005年度 第1回メディアクリエイティブゲーム論文大賞 優秀賞受賞
- [3] 2005年度 第6回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 ベストセッション講演賞
- [4] 2006年度 公立はこだて未来大学 未来大学賞受賞
- [5] 2006年度 第7回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 優秀講演賞

## 目 次

2.1	「ポストペット」に登場する CG キャラクタ	7
2.2	「どこでもいっしょ」に登場する CG キャラクタ	7
2.3	AIBO	11
2.4	kismet	11
2.5	Robovie	12
2.6	WAKAMARU	12
4.1	SCR 変動量 (斜線部分)	20
4.2	SCR 測定器の回路図	20
4.3	電極の装着	21
4.4	ゲームの画面構成	23
4.5	SCR が変動した時のゲームの画面構成	23
4.6	BF 有無比較実験のゲームのスクリーンショット	24
4.7	BF 有無比較実験の結果	26
4.8	BF 遅延比較実験の SCR 変動量の結果	26
4.9	ゲームの画面構成とロボットのモーション (A: 平常時, B: SCR 変動時)	30
4.10	Session の回数と SCR の関係 (Group A)	32
4.11	Session の回数と SCR の関係 (Group B)	32
4.12	BF ロボットモーション実験における Session A と Session B の SCR 変動量の平均の比較	33
4.13	BF 愛着有無比較実験における Session A と Session B の SCR 変動量の平均の比較	34
4.14	Group C の被験者	35
5.1	“あるくま” のシステム構成	39
5.2	“あるくま” のコンテンツ側のキャラクタ	39
5.3	IP ROBOT PHONE の自由度	41
6.1	normal 群の被験者における実験風景	43
6.2	通常の “あるくま” のコントローラ	44
6.3	controller 群が使用したビデオゲームコントローラ	45
6.4	質問紙	46
6.5	質問紙の結果	48
6.6	fur 群で使用したコントローラ	53
6.7	machine 群で使用したコントローラ	53

6.8	machine 群の被験者における実験風景 . . . . .	55
6.9	質問紙の結果 (normal 群と fur 群の比較) . . . . .	57
6.10	質問紙の結果 (normal 群と machine 群の比較) . . . . .	57
6.11	質問紙の結果 (normal 群と video 教示群の比較) . . . . .	61
7.1	back 群の被験者 . . . . .	71