

氏名	棟方 渚
学位名	博士（システム情報科学）
学位記番号	第9号
学位授与年月日	平成20年3月19日
学位論文題目	人間と人工物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
論文審査委員	主査 松原 仁 副査 小野 哲雄 副査 柳 英克 副査 鈴木 恵二 副査 櫻沢 繁 副査 稲見 昌彦（電気通信大学大学 教授）

論文要旨

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行った時に、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もってし

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。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、人間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出された、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。

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う、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。

審査結果の要旨

本論文は、ユーザと人工物とのインタラクションを持続させるにはどのような要素が必要かを考察し、その重要な要素としてモチベーションの維持が存在すると主張し、モチベーションが維持されるようなシステムを目指して実際にシステムを試作し、評価をしたところ目標が達成され、愛着という概念がその目標達成に重要な役割を果たすという分析を行ったというものである。

最初に研究の目的を述べ、関連研究のサーベイを行った上で本研究の新規性について位置づけている。次に本研究ではユーザと人工物とのインタラクションを持続させるためにそれを促すインタフェースのシステムを作成して評価するという方針を説明している。その上で予備実験としてSCRのバイオフィードバックシステムを利用したエンタテインメントコンテンツを提案して実際に開発し、人間のモチベーションに基づく内的興奮を維持するバイオフィードバックシステムについて評価している。次にくまを模した小型ロボットを用いて「あるくま」というインタフェースによってCGキャラクタを操作するシステムを構築している。実験1とし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ている。実験2では、コントローラが被験者の愛着に及ぼす影響を分析している。実験3では、あらかじめ操作方法を教示した被験者に対する実験を行って比較をしている。最後に博士論文全体の位置づけをした上で議論を行い、全体の結論と今後の展望を述べている。

本論文の研究の目的は、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、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、開発した人工物を評価すること、によって自らの考え方の有効性と新規性を示すことである。人間と機械のインタラクションをうまく行うためには何らかの意味でエンタテインメント性が必要であり、そのエンタテインメント性にとって人間のモチベーションを維持することは非常に重要と考えられる。従来多くの研究がうまく動かすことに着目していたのに対して本研究は愛着（モチベーションの維持）に着目しており、エンタテインメントコンピューティングの観点からも本論文の目的はきわめて妥当と判断される。

本論文で作成したバイオフィードバックのゲーム、「あるくま」というインタフェースシステムはともに申請者のオリジナルであり、非常にユニークなものとして該当研究領域でも高く評価されている（さまざまな賞も受賞している）。生体信号を用いるというアイデア自体は新しいものではないが、それをうまくつけて人間と人工物のインタラクションを持続させるというアイデアは新しいものである。原著論文、国際会議論文、口頭発表

などの研究業績も十分である。「あるくま」は市販のIPロボットフォンというロボットを利用しているが、このロボットを利用したシステムとして他に例がないオリジナル性を有しており、このシステムを対象とした実験も新しいものである。博士論文として十分な新規性を有するものと判断される。

人間と機械のインタフェースについてはさまざまな研究がなされているが、その多くは直感的な操作をいかに実現するかに興味があり、本論文のように「人工物への愛着に基づく人間のモチベーション維持」に注目しているものは数少ない。本研究はその観点で人工物に対する人間の愛着に基づくモチベーションを評価し、そこから持続的なインタラクション構築についての設計方針を抽出し、その知見をもとに人間とのインタラクションを促すインタフェースシステムを実際に開発しているところに従来の研究にはない意義がある。

本研究で得られた知見は、人間と人工物における「愛着」の成立が持続的なインタラクションに結びつく可能性があることを示したもので、マンマシンインタフェースの領域における新しい結果である。前述したようにエンタテインメント性は単にゲームなどだけでなくすべての人工物が人間に持続的に使ってもらうために不可欠な要素であり、本研究はその方面で多様な応用が期待できる。本研究は、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う、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。

以上を総合して学位論文として受理すべきものと判断する。