

# 研究報告書

## 「擬人化を利用した人間の認知機能補助インタフェースの開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成 23 年 10 月～平成 26 年 3 月

研究者: 大澤 博隆

### 1. 研究のねらい

近年の技術発展に伴い、日常生活における機器が、外部の情報を用いた多数の機能を備えるようになった。また、ユーザの行動や身の回りの環境を検知するための技術も発達している。これらの技術発達によって、将来的にわれわれの生活する環境に、機器やセンサ・ロボット同士が連携してユーザにサービスを行うことが考えられる。これらの高度な機器は、内部に複雑な状態遷移を持ち、従来の単機能の道具と同じ類推で捉えることがユーザにとって難しい。このため、せっかく高機能な知能化空間、優れた機能をユーザに提供しても、それらの機能の大半が使用されない状況にある。

このような知能化空間上で複雑な情報をユーザに提示する際に、擬人化されたエージェントを介した情報提示に有用性があることが、様々なヒューマンエージェントインタラクション研究から発見されてきた。擬人化エージェントの形態には人間に類似したものから、動作によって他者性を感じさせるものなど、様々な形態が考えられる。どのような形態が適切であるかは、ユーザの嗜好やエージェントを要求するアプリケーションによってまったく異なってくる。しかし、これまでの研究では、人間にエージェントを感じさせる擬人化の要素を分割可能なものと捉えておらず、どのような擬人化表現がどのような用途に有効であるか、詳しく検討してこなかった。

上記の不明点・問題点を解決するため、本研究では、独立した擬人化エージェントを用い、そこに機能を集約させるのではなく、擬人化された要素を一つ一つ独立に環境に対して付与し、環境中の機器に対し必要十分な量の社会的チャンネルを付与する、分散化された擬人化インタフェースを提案した。従来のエージェントシステムは、人間を模したロボットや仮想エージェントを作成し、このエージェントを知能化空間のインタフェースとして使い、全ての社会的チャンネルを持たせることを目標としていた。これに対し、本研究が提案する認知補助擬人化インタフェースでは、形状・動作・タイミングなど、ユーザにエージェントを感じさせる擬人化要素のうち、特に効果的となる要素だけを選択的に環境中の機器に適用する。これにより機器の機能・ユーザの期待度に合わせた擬人化が可能となる。

本研究ではロボット技術や情報技術を用いて、このような擬人化のトリガーとなる個々の現象を、センサやアクチュエータを用いて環境中に再現し、ユーザの環境に対する擬人化を促す、認知補助擬人化インタフェースを提案する。本研究では、ユーザの擬人化を誘発するような動作を環境に後から設置することで、社会的チャンネルの一部または全部を機器に与え、ユーザと機器の間のインタラクションに適用する。従来手法に加え社会的なチャンネルを環境に与えることで、今まで伝えづらかった機器の複雑な機能や内部状態遷移などを、人間の認知能力に収まる範囲で伝えることが可能になると考えられる。

## 2. 研究成果

### (1) 概要

認知補助擬人化インタフェースでは従来研究と異なり、ユーザにエージェントを感じさせる擬人化を要素単位で捉え、この要素を既存のシステムに必要な応じて付け加える。そのため、本研究の目的を達成するための既存デバイスは存在しなかった。認知補助擬人化インタフェースを達成するためには、個々の擬人化要素を達成するためのデバイス・ソフトウェアの開発、各擬人化要素がどのようなユーザに対して受け入れられるかを調べるための対人評価をバランスよく進める必要があった。両目標は、作成したデバイスの評価に使い、評価から得た結果をデバイス作成に参照するなど、密接に関わる。

認知補助擬人化インタフェースを達成するため、本研究ではまず対象となる擬人化要素の効果を検証し、次に見つけた効果を応用する、という2段階に分けて研究を遂行した(図1)。擬人化要素の効果の検証では、従来研究で扱われてきた擬人化要素のうち、どういった要素の集合がどういった工学的な有用性をもたらすか、という観点で調べる。擬人化要素の応用では、発見した要素を組み合わせでどのような新しい応用が生まれるか示す。

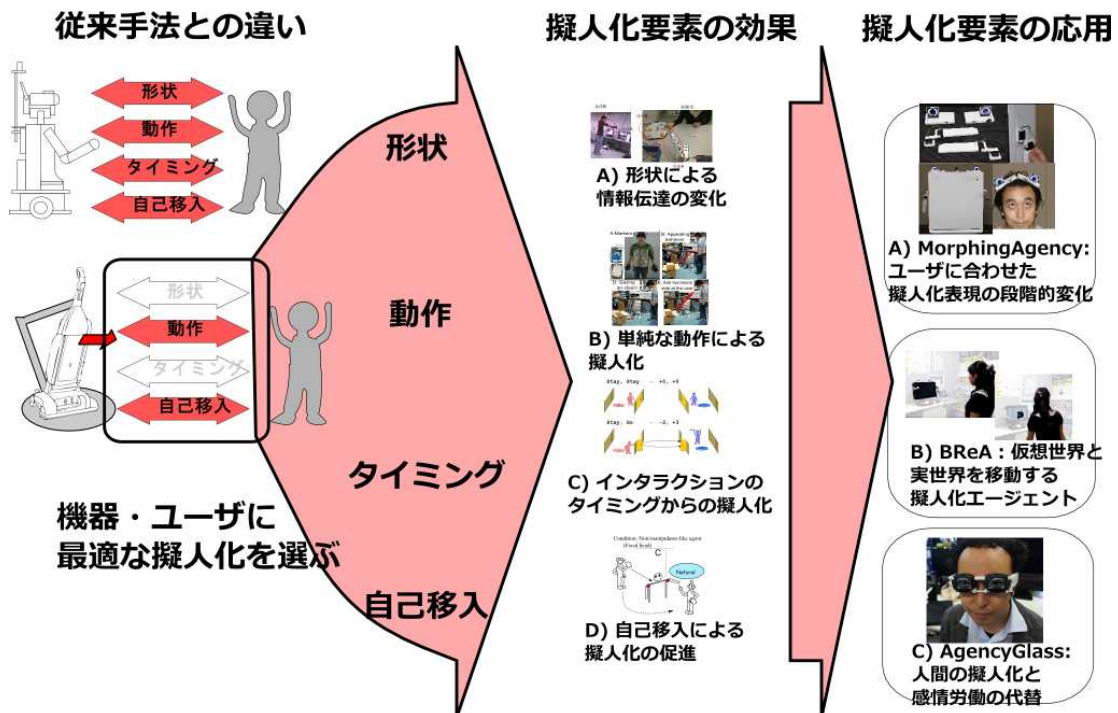


図1: 研究の進め方

### 1) 擬人化要素の効果

A) 形状による情報伝達の変化: 擬人化を段階的に行う際には、必ずしも人間型でないエージェントが存在しうるが、人間に類似していないエージェントで対話プロトコルがどう変化するか従来は不明だった。このため、首が自由に動く人間類似型ロボットと首固定のロボットを用いて、人間同士が情報を伝え合うことでプロトコルを発見させ、その変化を調べた。結

果、首固定の場合にコミュニケーションがエージェント主導になることがわかった。首固定の場合、人間型と違う機能を持つエージェントを人間に対し想起させ、ユーザが自分と同じような機能を持っていることを想起しなくなるため、エージェントの行動に合わせるようになる、という効果を持つと推測される。

- B) 単純な動作による擬人化: 機器を擬人化して情報提示する際には、人間と同じようなジェスチャではなくもっと単純な振る舞いからユーザに情報を伝える状況が考えられるが、単純な振る舞いからどれだけ情報が伝達できるか、従来研究では限られた範囲しか検討されていない。このため、2軸の限定された動作を行うデバイスを作成し、作成したデバイスから物集めの課題が実行できることを確認した。2軸の動作でも対象が擬人化され、さらに、対象からの意図をユーザに受け取らせることができる、ということがわかった。
- C) インタラクションのタイミングからの擬人化: 人間は単純な応答から相手に意図を感じ、相互信頼を発生させることが従来研究では知られており、同様の手法を機器に適用させることで円滑な情報伝達が可能になると考えられる。しかし従来研究では、機器と人間との相互信頼が単純なやりとりからどのような条件で発生するかわかっていなかった。このため、囚人のジレンマ類似の利得表を用いた人間同士のゲームおよび計算機上のシミュレーションを行って、相互で意図を読み合う仕組みを検討した。その結果、利得の獲得に遅延が発生する Anti-max 条件の利得交換が、内部状態の分岐を増やし、相手の意図を読む機能を触発する、ということが示唆された。本結果と同じ利得交換を機器に当てはめることで、ユーザと機器との継続的なインタラクションを期待できる。
- D) 自己移入による擬人化の促進: ユーザの対象への擬人化を促進する方法として従来は人間に近づける手法が行われてきた。しかしこれでは、擬人化エージェントを好まないユーザを好むようにすることはできず、擬人化手法の対象者を広げることができない。このため、ユーザに擬人化機器と同じ立場を体験させて自己移入させる、という手法を評価した。結果、人間以外の形状のエージェントで、同じ立場を体験させることでユーザの自己移入が進み、擬人化に反応するしきい値を下げ、エージェントへの評価が向上することを確認した。

## 2) 擬人化要素の応用

前項で得られた擬人化表現の要素を応用し、A) ユーザの属性やタスクによって擬人化の段階を変える MorphingAgency、B) スクリーン上の空間と実世界を移動できる擬人化エージェント BReA、C) 人間の擬人化を行い、人間の社会的な機能を助ける AgencyGlass の3つの新しいアプリケーションを実装し、提案した。

(2) 詳細

## 1) 擬人化要素の効果

### A) 形状による情報伝達の変化: 人間への類似度によって対話プロトコルが変化するか?

人間のもつ形状のうち、どの要素がどういった情報を伝えているか調べるため、モダリティの増減が可能なロボットを作成した(図3)。このロボットを使って、首が動く一般的な人間類似ヒューマノイドエージェントによる情報伝達と、首が固定されたエージェントの情報伝達の手法を検討し、情報伝達のプロトコルがどのように変化するか調べた。その結果、首固定の条件で、会話が人間主導からロボット主導に移行することが分かった。首固定の場合、人間型と違う機能を持つエージェントを人間に対し想起させ、ユーザが自分と同じような機能を持っていることを想起しなくなるため、エージェントの行動に合わせるようになる、という効果を持つと考えられる。本結果は従来の人間同士のプロトコルを模倣するだけでなく、人間の認知的能力に合わせた擬人化のプロトコルを発見できることを示した。

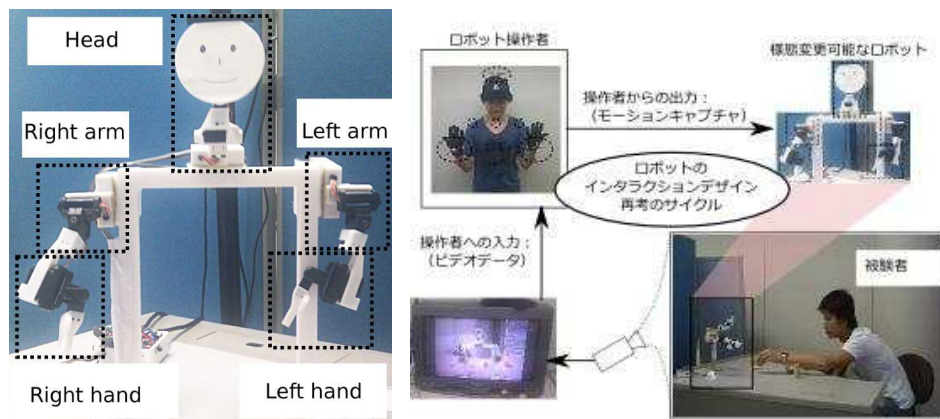


図 3: モダリティ変更可能なロボット(左。パーツの取り外しや位置変更が自由に可能)とこれを用いたプロトコル発見実験の様子(右)

### B) 単純な動作による擬人化: 単純な振る舞いによって対象を擬人化させられるか?

形状だけでなく動作から人間は対象を擬人化しうるが、どのような要素が最低限必要かわかっていなかった。そのため、回転テーブルを用いた事前実験において、ヨー軸、ピッチ軸を動かす実験、全方位台車を用いてユーザの後ずさりや平行移動を再現した。結果、回転動作によりユーザの行動を誘導可能なこと、平行移動のみではユーザが十分に誘導されないことを確認した。事前実験を元に二軸で動く箱を作成し、この箱を使ってユーザに物集めを誘導するタスクを達成できるか、人間の操作で確かめた。誘導が成功した状況の人間の頭と手の位置と向き、箱の位置と向きのデータを、モーションキャプチャシステムを用いて計測し、3段階の動作モデルを作成した(図4)。そして、モーションキャプチャシステムを用いて、人間操作者の操作と同様な動きを、ユーザの頭と手によって自動で動かす機器を作成し、誘導タスクを行った。被験者実験により、二軸の振る舞いで相手に物集めを誘導することが可能なことがわかった、また、自動/手動のタスクがユーザから区別できず、人間の操作と同程度の品質の誘導が可能となることがわかった。本研究より、2軸では対象が擬人化され、さらに、対象からの意図をユーザに受け取らせることができる、ということがわかった。



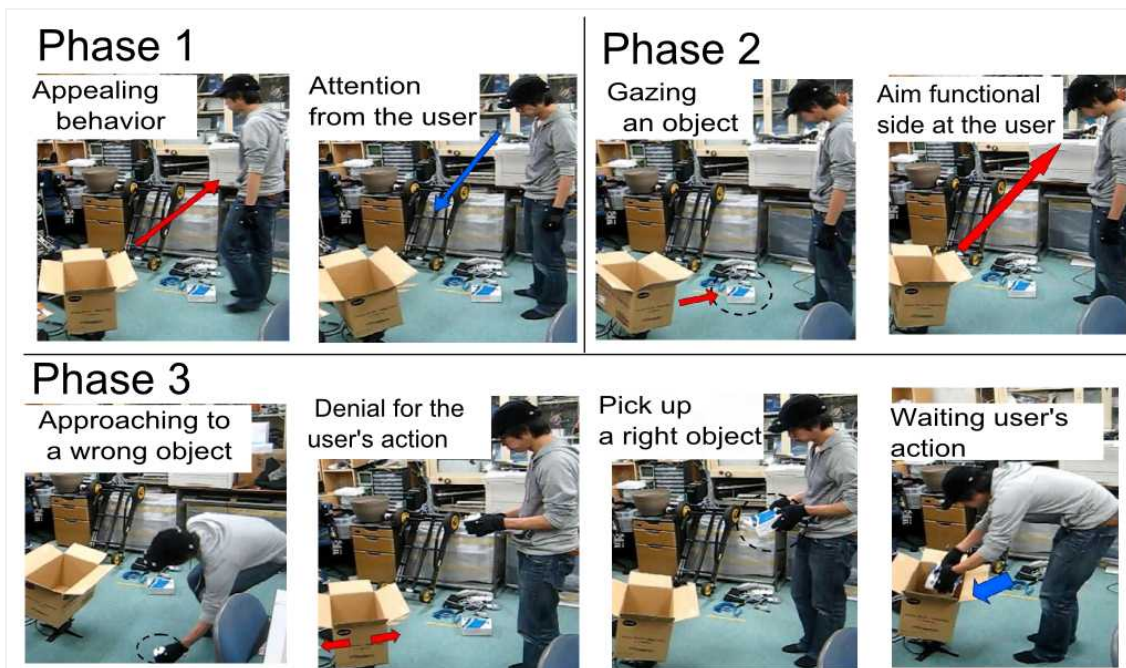


図 4: 二軸のアクチュエータによる単純な振る舞いとこれを用いた意図伝達。3段階に分かれており、プロトコルの確率と機器から人間への情報伝達、人間から機器への情報伝達の段階がある。

C) インタラクションのタイミングからの擬人化: どのような時系列のやりとりが擬人化を促進するか?

人間は形状や動作だけではなく、他者からのインタラクションのタイミングによっても相手を擬人化し、意図を感じることができる。こうしたやりとりが成立する過程については、ゲーム理論の分野で研究が行われているが、意図を感じるためのやりとりがどのように発生するか、ユーザが単純なやりとりからどのように相手の意図を感じるか、充分にわかっていなかったため、人間間のゲームを行って条件を調べた。結果、Anti-max Prisoner's Dilemma (AMPD) と呼ばれる、両者の利得が交互に裏切り返した時に最も高くなる改変された繰り返し囚人のジレンマゲーム条件で、意図の読み合いが起こることがわかった。また AMPD と一般的な囚人のジレンマゲーム (IPD。両者が協調の場合に両者の平均的な利得が最大化される) と、MMPD ゲーム (AMPD と IPD どちらでも両者の平均的な利得が最大化される) シミュレーションによって比較した結果、AMPD 条件において、上位のエージェントが利得を得るため、相手の戦略に合わせた対応を行う分岐の多い内部状態を発達させることがわかった。分岐の多い内部状態の発生は、AMPD が相手の意図を推測する課題であることを推測させる。また、マッチングの際実際に使われている分岐が多いことは、得られた分岐が生存にとって意味のある複雑化を示していることを示唆する。本シミュレーションで得られた戦略木を擬人化された機器に適応し、複雑な内部状態を設定することで、人間がインタラクションをより継続させやすくなることが事前実験によりわかった (図 5)。

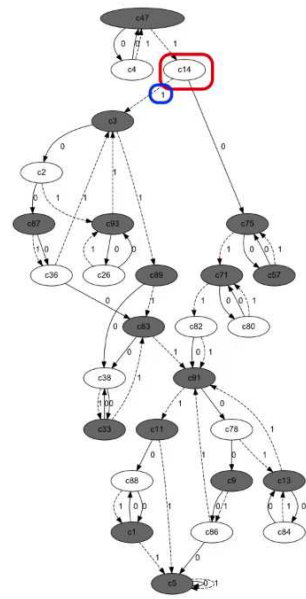


図 5: :AMPD 条件によって得られた戦略木(右)と、それを用いた人間と擬人化機器間のインタラクション評価(左)

D) 自己移入による擬人化の促進: エージェントの立場に立たせることで擬人化を促進できるか?

擬人化エージェントの立場を経験することで自身がエージェントの対話形式を理解しやすくなるという自己移入(Empathy)現象が発生することを、B)で用いたエージェントを利用して確認した。被験者を人間類似型と首固定エージェントを使った実験に参加させ、擬人化エージェントを操作した後に擬人化エージェントとやりとりを行うもの、擬人化エージェントを操作せず、擬人化エージェントとやりとりを行うものそれぞれについて、正確性と自然さをどう評価するか検討した。その結果、人間類似型に対しては操作を体験したかどうかで評価は変わらないものの、首固定エージェントの場合は、操作を体験したもので正確性と自然さの評価が向上することを発見した。エージェントの立場に立たせることで、擬人化に反応するしきい値を下げる事ができた。

2) 擬人化要素の応用

A) MorphingAgency: ユーザに合わせた擬人化表現の段階的変化

研究目的のため、既存の機器に対して後から取り付け、対象を擬人化し、擬人化デバイスの形状を変化させることで、ユーザに対するインタフェースの段階を制御するためのデバイスを作成した(図 6)。本デバイスは軽く、マウンタを使用して任意の場所に取り付けることが可能である。本デバイスを用いた3種類のコンセプトデモとして、エージェントの存在感を段階的に変化させ、ユーザの年齢や性別に対応した最適な擬人化表現を選ぶ morphExplainer (図 7)、エージェントが様々な機器間を移り変わるように見せる transExplainer(図 8)を作成した。morphExplainer を用いた被験者実験では 16 人(女性 5

人、男性 11 人)の被験者を用いて、目と手のデバイスが変化することでどの程度存在感が変わるかを調べた。その結果、目と手、目のみ、手のみ、何もしないといった表出の変化に合わせて、ユーザの認知するエージェントの存在感が段階的に減少することを発見した。trasExplainer では、冷蔵庫から食品を取り出して電子レンジで温める、という説明の際に説明をするエージェントがそれぞれの機器を乗り移る説明シナリオを作成し、事前実験として、シナリオを体験したユーザが複数の機器の背後に同一のエージェントが存在すると理解することを確認した。

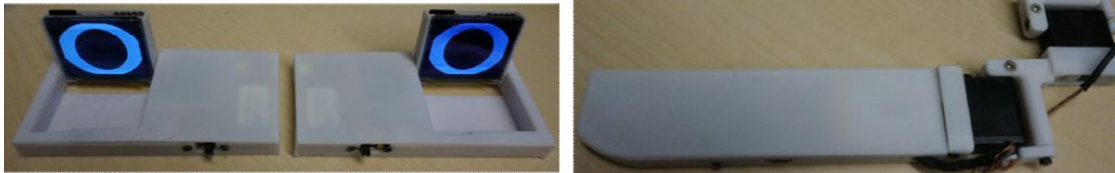


図 6 :形状を変化させる目・手デバイス



図 7 :ユーザの年齢や性別に合わせて形状を変化させ、機能説明を行う morphExplainer



図 8 :擬人化デバイスを変化させ、説明者であるエージェントが機器間を移動する transExplainer

#### B) BReA: 仮想世界と実世界を移動できる擬人化エージェント

ディスプレイに取り付け、形状を変化する擬人化デバイスを使うことで、画面内と画面の外をシームレスに行き来する擬人化エージェントシステム BReA(Blended Reality Agent)を作成した(図 9)。大学内の販売業者と協力し、作成した BReA を構内の店の販売説明員として使用し、58 人



のユーザとの相互作用を評価した。結果、擬人化デバイスを変化させてエージェントが移り変わる演出を入れることで、仮想画面から実世界への指示が伝わり、ユーザが指示された方向を向くことを、仮想空間上の出来事にユーザが同調して身体を動かす、などの行動を行った。これらはいずれも、スクリーン上のバーチャルエージェントでは達成しづらいとされてきた項目であり、デジタルサイネージを用いた広告手段を拡張する手法として有用である。

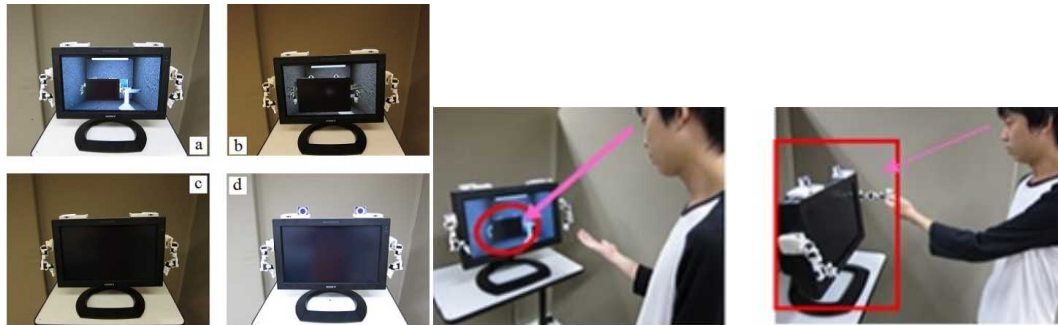


図 9: 擬人化デバイスを変形させ、仮想空間と実空間の間で連続的なエージェントの移動を達成する BReA(左 abcd: 仮想世界から実世界へのエージェントの推移 右: 動作の様子)

### C) AgencyGlass: 人間の擬人化と感情労働の代替

擬人化表現を物体ではなく人間に取り付ける AgencyGlass を開発した(図 10)。AgencyGlass は外部に向かって人間の目を表示し、内部の加速度センサ・ジャイロセンサを用いてユーザの行動を計測するとともに、外部に取り付けられた画像検出デバイスを用いて外部の人間の行動をモニタリングし、場面に合わせた視線や感情表現を再現する。事前実験により、相手の視線の方向に合わせてデバイスが動くことで、相手が自分と同じものに注目しているように感じさせ、会話を促進させることがわかった。本結果は、擬人化手法によって他者に対する注意の労力を軽減し、人間の認知的負荷を下げた結果といえる。



図 10::AgencyGlass による人間の擬人化と感情表現の自動化(左: 擬人化表現の装着の様子 右: 外部カメラと連動させ、ユーザの向いた方向に視線を向けた例)

### 3. 今後の展開

本さがけ研究より、機器をユーザから見た時に擬人化させる際にどのような外見や振る舞い、タイミングが有効であるか、明らかになった。今後は、明らかになった知見をモデル化し、既存の



擬人化エージェント研究では達成できない課題を達成する新しい形の情報提示手法として、形状変更可能な擬人化デバイスや、AgencyGlass を使った様々なアプリケーションを作成していく予定である。

#### 4. 評価

##### (1) 自己評価

本研究では、独立した擬人化エージェントを用い、そこに機能を集約させるのではなく、擬人化された要素を一つ一つ独立に環境に対して付与し、環境中の機器に対し必要十分な量の社会的チャンネルを付与する、分散化された擬人化インタフェースの研究を行ってきた。成果として、擬人化要素の効果の検証と擬人化要素の応用をそれぞれ行った。領域会議の結果を踏まえ、本研究では評価実験よりも新規提案や新規の課題発見を中心に研究を進めた。

擬人化を喚起する全ての条件について、効果の評価ができたわけではないが、形状、動作、タイミングといったそれぞれの要素の組み合わせで、人間がどういった影響を受けるか評価できた。非人間型のエージェント(首固定、二軸)において意図伝達に成功した成果は、ロボティクスやヒューマンエージェントインタラクションの分野に広く応用可能な知見である。

また、擬人化要素を個別に捉えることによって可能となる新しい擬人化要素の、従来の対話型エージェントとは異なる利用法として、擬人化表現の段階的変化を行うためのMorphingAgency、スクリーンと実世界を行き来する擬人化エージェント BReA、人間の擬人化など、様々な応用例を提案した。これらの知見は、現在研究されている人工知能やロボティクスの基礎技術の新しい利用法を提案し、応用技術と結びつけるものであり、基礎技術と社会の両方に貢献するものになると考えられる。

さらに、本研究テーマの擬人化と密接な関わりがあり、人間から社会的に受け取られるエージェントと人間とのインタラクションを研究するヒューマンエージェントインタラクション(HAI)の研究分野において、解説や国際会議の立ち上げなどを行い、HAI 研究の発展に貢献した。

##### (2) 研究総括評価

擬人化エージェントのインタラクションに与える影響は議論されて久しい。しかし従来は、擬人化の効果も、社会心理学的に分析したものが主であった。これに対し本研究は、エージェントを実装する工学者の視点で、どの機能要素がエージェントの社会性に影響を与えるかを明らかにしようとしている。即ち、擬人化の要素は分割可能であると捉え、各要素が付与された機器が、ユーザとの間でどのようなインタラクションを可能とするかを分析している。得られた知見は、例えば2軸に限定されたデバイスでも擬人化の効果があるなど、直ちに機器の実装に適用できる。また、機器デザインのニーズから研究を始めることで、新たな研究課題が生まれている。例えば、応答がユーザの信頼を生むような機器を設計するという課題から、ゲーム理論に基づく優れた基礎研究が生まれ最高峰の国際会議に採択されている。このように本研究は、擬人化エージェントという普遍的な課題に対し、これまでになかった新しいアプローチで接近するもので、その取り組みは高く評価できる。今後は、蓄積された多くの分析結果を整理し、体系化していくことを期待したい。

#### 5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

|  |
|--|
| 1. Hirotaka Osawa, Michita Imai, Possessed Robot: How to Find Original Nonverbal Communication Style in Human-Robot Interaction, <i>International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART)</i> , pp. 632–641, 2012/2.       |
| 2. Hirotaka Osawa, Kunitoshi Tobita, Yuki Kuwayama, Michita Imai, Seiji Yamada, Behavioral Turing Test using Two-axis Actuators, <i>International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)</i> , pp. 328–333, 2012/9. |
| 3. Hirotaka Osawa, Michita Imai, Morphing Agency: Deconstruction of an Agent with Transformative Agential Triggers, <i>Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (alt.chi)</i> , pp. 2237–2246, 2013/5.                        |
| 4. Hirotaka Osawa, Michita Imai, Evolution of Mutual Trust Protocol in Human-based Multi-Agent Simulation, <i>12th European Conference on Artificial Life</i> , pp. 692–697, 2013/9.   |
| 5. Hirotaka Osawa, Intelligence Arms Race: Delayed Reward Increases Complexity of Agent Strategies, <i>International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems</i> , p. (accepted), 2014/5.                                     |

(2)特許出願

研究期間累積件数:0件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

・主要な学会発表(国際発表)

- Mahisorn Wongphati, Hirotaka Osawa, Michita Imai, 3D Low-profile Evaluation System ( LES ) An Unobtrusive Measurement Tool for HRI, *International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 162–167, 2011/7.
- Masa Ogata, Yuta Sugiura, Hirotaka Osawa, Michita Imai, Pygmy : A Ring-shaped Robotic Device that Promotes the Presence of an Agent on Human Hand, *Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction*, pp. 85–92, 2012/8.
- Hirotaka Osawa, Thibault Voisin, Michita Imai, Partially Disembodied Robot: Social Interactions with a Robot's Virtual Body, *International Conference on Social Robotics*, pp. 438–447, 2012/10.
- Masa Ogata, Yuta Sugiura, Hirotaka Osawa, Michita Imai, iRing: intelligent ring using infrared reflection, *Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pp. 131–136, 2012/10.
- Mahisorn Wongphati, Yushi Matsuda, Hirotaka Osawa, Michita Imai, Where do you want to use a robotic arm? And what do you want from the robot?,

*International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 322–327, 2012/9.

- Hirotaka Osawa, Michita Imai, Enhancing Empathy toward an Agent by Immersive Learning, *The 1st International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. III–2–2, 2013/8.
- Yusuke Kanai, Hirotaka Osawa, Michita Imai, BRaA: Potentials in Combining Reality and Virtual Communications with Blended Reality Agent, *IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 605–609, 2013/8.

・招待講演(国際会議講演)

1. Hirotaka Osawa, Kentaro Ishii, Seiji Yamada, Michita Imai, Grounding Cyber Information in the Physical World with Attachable Social Cues, *IEEE 17th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*, pp. 41–47, 2011/8.

・招待講演(国内会議講演)

1. 大澤博隆, 擬人化現象を考慮した人-ロボット間のインタラクション設計, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2013), 2013/12/18.

・ジャーナル論文(国内)

1. 大澤博隆, 飛田国星, 桑山裕基, 今井倫太, 山田誠二, 二軸の振る舞いによる人間-空箱間の物集めタスクの実行, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, vol. 15, no. 1, pp. 39–50, 2013.
2. 大澤博隆, 今井倫太, エージェントのインタラクション戦略探索のための没入型発見法, *人工知能学会論文誌*, vol. 28, no. 2, pp. 160–169, 2013.

・受賞

1. Best Video Award 1<sup>st</sup> Prize: 9th ACM / IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, March, 2014
2. Best Paper Award: 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2012), February, 2012
3. 優秀論文賞(一般発表): 第27回ユビキタスコンピューティングシステム研究会, July, 2010

・解説記事

1. 大澤博隆, ヒューマンエージェントインタラクションから見る人工物・人工システムのエージェントエンシー, *日本ロボット学会誌*, vol.31, no. 11, pp. 40–45, 2013.
2. 大澤博隆, ヒューマンエージェントインタラクションの研究動向, *人工知能学会誌*, vol. 28, no. 3, pp. 405–411, 2013.
3. 大澤博隆, 人工知能はどのように擬人化されるべきなのか?: 人の擬人化傾向に関わる知



見と応用, 人工知能学会誌, vol. 29, no. 2, pp. 182-189, 2014.