

# HAI研究の体系化に向けたフレームワークの提案

## Proposal of framework for formalization of HAI research

坂本孝丈<sup>1\*</sup> 竹内勇剛<sup>1</sup>  
Takafumi Sakamoto<sup>1</sup> Yugo Takeuchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学創造科学技術大学院

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

**Abstract:** HAI 研究では、行動、感情や意図などの内部状態、人とエージェント間の関係など要素が、実験上の操作対象や観察・分析の対象とされる。しかし、これらの要素間の関係を体系的に理解しなければ、一般的な法則や、その法則からの逸脱という意味でのエージェント設計の固有性を明らかにすることはできない。そこで、本研究では、いくつかのコミュニケーション理論に基づき HAI 研究の体系化に向けたフレームワークの構築を試みる。また、提案するフレームワークに基づき、近年の HAI, HRI 研究についてレビューを行う。そこから、HAI 研究領域内における個別の研究間の連続性について検討する。

### 1 はじめに

対人的なコミュニケーションが可能となるエージェントを設計するための研究領域の一つが、HAI (human-agent interaction) 研究領域である。HAI 研究では、人間とインタラクションする自律システム、または、そのような自律システムに見せかけるシステムがエージェントとして定義される [1]。また、身体や外観などの属性を必要条件とし仮定するのではなく、それらが必要であるか否かについても、HAI 研究では議論の対象に含まれるとされる [1]。しかし、HAI 研究領域の各研究の間を接続する共通のフレームワークについてはあまり研究が行われていない。例えば、人とエージェントの協調の構造についてグラフィカルに表現するフレームワークが提案されている [2] が、数理的に定式化されたフレームワークはほとんど見られない。そのため、人とエージェントのインタラクションの研究をするうえでの標準となるモデル、公理系、一般理論といえるものはまだ構築されてるとはいえない。

各研究の間で共通するフレームワークを構築するためには、経験科学に基づくアプローチだけでなく、形式科学に基づく理論的な検証を行う必要がある図 1。そのためには、人とエージェントのインタラクションを記述するうえで、どのような構成要素を仮定すべきなのかを明示化しなければならない。そうでなければ、ある研究で操作している変数が他の研究で操作している変数と同じタイプのものなのかが不明確となる。例えば、「意図 (intention)」は、単にある瞬間の行動の方

向性を表すこともあれば、ある時間間隔で連続した行動全体の目標を表すこともある。また、まだ実行されていない未来の行動の計画に対して用いられることもある。さらにいえば、何らかの行動を引き起こす内的な要因として、欲求、情動、感情、意図、目的などが用いられるが、これらは同じタイプに属するのか、それとも異なるタイプの概念であるのかは研究ごとに異なる可能性がある。新しい研究領域であればこのようなフレームワークがないことは当然であるが、HAI 研究領域は体系化に向けたフレームワークをつくる段階にあると考えられる。

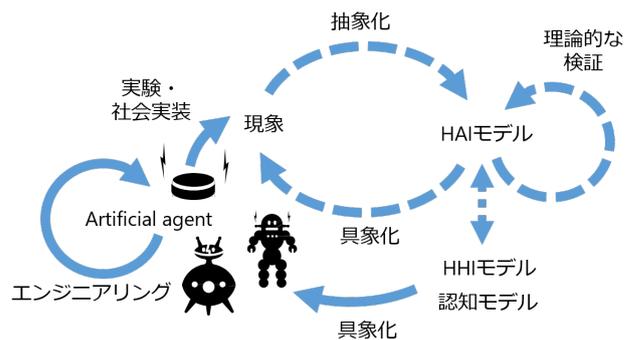


図 1: HAI 研究の体系化に向けたアプローチ

そこで、本研究では HAI 研究の体系化に向けて形式的なフレームワークの構築を試みる。まず、コミュニケーションに関する理論に基づき、対人的なコミュニケーションの階層性について検討する。具体的には、単に環境と内部状態から行動をするレベルで行われるインタラクションから、他者モデルを含めたインタラク

\*連絡先： 静岡大学創造科学技術大学院  
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1  
E-mail:dgs14010@s.inf.shizuoka.ac.jp

ションに至るまでの各段階について検討する。次に、インタラクションの各階層を記述するための試案的なシステムを提示する。そこから、既存の HAI 研究で行われる方法と体系化に向けた研究方法について議論する。

## 2 対人的なコミュニケーションの階層性

人が行うコミュニケーションに関する議論は多岐にわたり、様々な理論化が行われている（例えば、[3] を参照）。それゆえに、人同士あるいは人-エージェントのコミュニケーションに関する研究も多様である。

以下では、本研究が仮定しているコミュニケーションの階層性について下位の層からボトムアップに記述を行う。下位の層におけるコミュニケーションの成立過程は、コミュニケーションしていることをその当事者が知り得ず、その判断は外部の観測者の視点に基づき行われる。この下位の段階から、インタラクション当事者が情報伝達を戦略的に行う段階、自身の行動と観測に基づきコミュニケーションの成立を判断できる段階へと議論を進める。

### 2.1 物理的インタラクション

物理的インタラクションは、ある対象の行動が別の対象の物理的な変化を引き起こす相互作用を表す。例えば、攻撃行動や捕食行動は物理的インタラクションである。このレベルのインタラクションはほとんどの場合、対象間の物理的な接触を伴う直接的なインタラクションである。物理的インタラクションの段階においては、インタラクションの参加者が作用する側と作用される側に分かれる。そのため、闘争のような互いに攻撃し合うような場面は、作用する側と作用される側の入れ替わりが起きているか、同時に2つの方向でインタラクションが生じているものと見做す。物理的インタラクションにおけるある対象の行動は、環境内の刺激に対する反応という形で表すことができる。

### 2.2 予示的インタラクション

予示的インタラクションは、ある対象が物理的なインタラクションの準備行動を示したり、実際に行動を開始ししたりすることで、別の対象の行動を引き起こすインタラクションを表す。例えば、捕食動物の追跡と被捕食動物の回避行動や、なわばりへの侵入者に対する威嚇行動、特定の色や形を知覚することで開始される求愛行動が挙げられる。物理的なインタラクションの前段階として行われるインタラクションであり、こ

のやり取りによって直接的な行動に移行するか否かが決まる。これは、Hall のコミュニケーションの予示的な部分 [4] に対応する<sup>1</sup>。

物理的インタラクションが予示的インタラクションの側面を持つ場合もある。例えば、子供同士の喧嘩では相手を軽く小突く行動が本格的な攻撃行動へ移る可能性を表す。この段階で小突かれた側が何らかの対処をすることで、攻撃行動を避けることができる。あるいは、小突き返すことで互いの攻撃行動が徐々にエスカレートし、互いに引き返せない段階（仲裁が入るか一方が逃避するまで続けられる喧嘩）へと移行する。この場合、小突くという行動は物理的インタラクションであると同時に、より攻撃的な段階への移行を示唆するという意味で、予示的なインタラクションと見做すことができる。

このレイヤのインタラクションは外部観測者の視点から見れば、一方が他方の直接的な行動を予測し、そのうえで事前にそれを避けるか、あるいは引き起こすように行動している、と見做せる。この予測が成り立つための学習プロセスは、主に生物進化を通じた適応（系統発生的適応）により実現されていると考えられる。これは、物理的なインタラクションに対して予期的に反応できることで、余計な闘争を避けたり、繁殖の機会を得たりすることが可能となり、その行動特性は生存するうえで有利に働くためである。外部観測者の視点から見ると、一方の行動に対する他方の反応が一つのパターンとして現れるため、情報伝達が行われているといえる。ただし、行為者自身は刺激に対して反応しているだけであり、この反応を意識的に変えることはこのレイヤでは困難であると考えられる。そのため、騙しのような行動はこのレイヤのインタラクションでは現れない。

### 2.3 前言語的インタラクション

前言語的インタラクションは、ある対象と別の対象の間の関係（二者間の関係）を規程するための相互作用を表す。ある行動が、直接的な作用または予示的なシグナルとしての機能と並行して、自身と相手との間の関係を表すシグナルとして機能することで成立する。例えば、サルの間で行われる毛づくろいや、飼い主に

<sup>1</sup> 「われわれはだれでも、自分の行動に対して他人が反応するとき、その人の態度におこる微妙な変化を敏感に感じとる。たいていの状況では、私がコミュニケーションの予次的 (adumbrative) 部分と名づけたものが、わずかにそれとわかる困惑のしるしから明白な敵意までエスカレートすることを、最初は無意識に、ついで意識的に避ける。動物の世界では、もしこの予示のプロセスが短絡したり、とばされたりすると、しばしばひどい闘いがはじまる。人間でも、ちがう国、ちがう文化のまぎらあう生活空間においては、この予示を正確に読みとれないことから多くの問題が生じうる。そのような場合には、人々は何かおこったのか気がついたときには、もうすっかりインヴォルヴされてしまっているの、あとへ引返して逃れることができないのである」(『かくれた次元』 p. 9)。

対するイヌの尻尾やその他の体の動きが前言語的インタラクションである。

ベイトソンは、哺乳動物のコミュニケーションでは関係を伝達することが一番の関心事であるとしている [5]。また、哺乳動物にとって感覚器官が関係を伝達するシグナルを送る器官でもある点を指摘している。空腹なネコが飼い主に鳴くとき、空腹であることを示したり、ミルクを指示して要求することはできない（このような指示は言語的インタラクションの機能である）。その代わりに依存関係を伝えるために鳴くとされる。これを受け取った飼い主は演繹的なプロセスを通して「ミルク」を特定する必要がある。このような演繹的ステップが要求される点が哺乳動物の前言語的インタラクションの特徴である点を指摘している。

人同士コミュニケーションでは、非言語的なシグナルやパラ言語によるシグナルを通じたインタラクションがこれに該当すると考えられる。

## 2.4 言語的インタラクション

言語的インタラクションは、三項関係かそれ以上に複雑な関係を伝えることができるコミュニケーションを表す。このレイヤのインタラクションは主に2つの特徴的な機能を有する。1つ目は、一方が何らかの指示対象を提示し、他方が提示された指示対象を解釈するを通して行われる情報伝達として機能する。このとき、コミュニケーションの当事者同士が互いに指示対象を知覚していることが前提として了解されている必要がある。つまり、外部観測者の視点からでなく、当事者の視点からみて相手とのコミュニケーションが成立しているか否かを確認する必要が生じる。このレイヤのコミュニケーションが成立することで、目標物を指示したり、物や出来事に関する情報を共有したり、より複雑な協調的な課題に取り組むことが可能となる。

2つ目は、三者以上の関係を調整するための相互作用として機能する相互作用である。前言語的インタラクションは基本的に1対1の関係を規程するためのやり取りである。対して、言語的インタラクションでは、一度に2者以上の相手に対して関係についてメッセージを伝達することが可能となる。ダンバーは、霊長類の群れの数が大きくなるにつれて、毛づくろいのような前言語的なインタラクションだけでは関係を確立・維持する時間を十分に確保することが困難になることを指摘している [6]。そこから、言語が音声を用いた毛づくろい的一种として進化した可能性を示唆している。また、言語の特徴として以下の3つが挙げられている。(1) 同時に二人以上の相手とコミュニケーションが可能となる。(2) 信頼関係を構築するための情報交換が多様になる。(3) 信頼できる相手から別の個体が信頼に値

するか否かの情報を手に入れることができる。この(3)については、本研究においてはメタ認知的インタラクションのレイヤの特徴であるとしている。

## 2.5 メタ認知的インタラクション

メタ認知的インタラクションは、自己を指示対象としたコミュニケーションが可能な行為者間で成立するコミュニケーションを表す。このレイヤでは相手の行動だけでなく、行為者が自身の行動についても解釈可能であり、戦略的に行動が行われる。すなわち、行為者が互いに相手に対するモデル（他者モデル）と自身の行動に対するモデルを持っており、推論を行うことでインタラクションを行う。人社会における配慮のある行動は、相手の発するシグナルに対して適切に対処するだけでなく、自身の行動が発するシグナルが相手に与える影響を考慮したうえで相手への働きかけが行われる。例えば、「この部屋、暑くないですか?」と問いかけることで、相手に窓を開けてもらうような婉曲表現があげられる<sup>2</sup>。この表現は「窓を開けてください」といった直接的な表現よりも、丁寧であるとされる。このような表現は自身の発言が与える相手への影響を考慮したうえで、その影響の度合いを調整した結果であると考えられる。このレイヤでは、当事者が自分も相手も互いの行動を解釈しながらコミュニケーションを行っていることを理解している。当事者の視点から情報伝達が行われていることを理解したうえで、さらに、相手もそのことを理解しているはずであるという、前提条件を持った状態でコミュニケーションが行われる。

## 2.6 対人的コミュニケーション

以上のように、人が関わるコミュニケーションは物理的インタラクションから階層的にメタ認知的インタラクションに至るまで発展してきたと考えられる。このそれぞれの階層は排他的なものではなく、ある一つ行動に対して複数のレイヤにおける解釈が可能である。例えば、人同士で取り交わされるメッセージには「内容」と「関係」に関する側面が混在しており、自身と相手と同じ場に存在している限り、お互いのいかなる行動もメッセージとして解釈可能とされる [8]。それゆえに、相手と関係を構築するつもりがない場合であっても、「お互いに関わらない」関係を了承し合う必要がある。これは、あるメッセージを言語的インタラクションとして解釈した場合は「内容」の側面、前言語的インタラクションとして理解した場合は「関係」の側面として解釈できるということを示している。

<sup>2</sup>このような依頼の形式は間接的言語行為と呼ばれる。ある言い回しが間接的言語行為の慣習的な表現となる条件については [7] において詳細な検討が行われている。

また、二重過程理論によると、社会的な認知プロセスでは直接的なプロセスと反省的なプロセスが相補的に働いている [9, 10]. その場で相手に応じて行動を調整するのではなく刺激や相手の行動が表すシグナルに対して反応するという点において、物理的インタラクションや予示的インタラクションは直接的なプロセスといえる. 一方で、前言語的インタラクションや言語的インタラクションでは、その場で相手の行動に応じて自身の行動パターンを変化させる必要が生じ得るため、反省的なプロセスを含んでいると考えられる. また、メタ認知的インタラクションのレイヤは、主に反省的なプロセスと対応する.

対人的コミュニケーションが可能なエージェントを設計するためには、コミュニケーションの階層性に基づきモデルを構築する必要がある. そうでなければ、下位の層で行われたインタラクションが上位の層でどのような意味を持ちうるのかを記述することができない. 各レイヤのインタラクションを記述するために、対人的コミュニケーションを構成する要素とその要素間の関係を規程する関数について検討する必要がある.

### 3 インタラクションの定式化

#### 3.1 物理的・予示的インタラクションの記述

エージェント間のインタラクションを記述するために、構成要素の定義を行う.  $A$  はエージェントの特性を表す変数の集合を表す. 環境  $X$  はエージェントが知覚可能であり、エージェントの行動により変化する変数の集合を表す. 動因  $S$  はエージェントの行動の要因となる内部状態の変数の集合を表す. エージェントの行動は環境  $X$  と動因  $S$  に基づき決定され、環境  $X$  を変化させる. これは関数  $f: A \times X \times S \times T \rightarrow X$  により表される. また、エージェントはインタラクションを通して内部状態を変化させることから、動因  $S$  の変化は関数  $g: A \times X \times S \times T \rightarrow S$  により表される. 環境  $X$  と動因  $S$  はいずれも行動の決定に寄与するが、環境  $X$  は外部から直接観測可能な変数であり、動因  $S$  はそれぞれのエージェントのみが直接参照可能な変数に対応する. このレベルのインタラクションを1つのシステムとして、 $S_1 = \langle A, X, S, T, f, g \rangle$  と表す (図2).

#### 3.2 前言語的インタラクションの記述

このレベルのインタラクションでは、エージェントは相手の行動から動因を推定することができる. エージェントが推定した相手エージェントの動因を表す変数の集合を  $\hat{S}$  とする. エージェントの行動を決定する

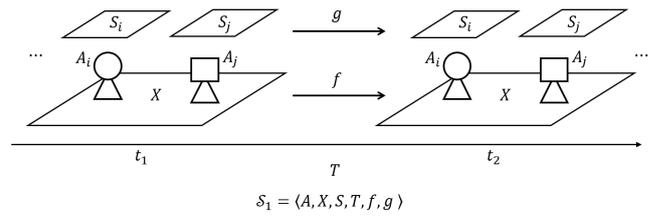


図2: 物理的・予示的インタラクションを表すシステム  $S_1$

要素とエージェントの動因の変化を決定する要素にそれぞれに  $\hat{S}$  を加える. これにより、関数  $f, g$  はそれぞれ、 $f: A \times X \times S \times \hat{S} \times T \rightarrow X$ ,  $g: A \times X \times S \times \hat{S} \times T \rightarrow S$  で表される. 相手の動因の推定は関数  $h: A \times X \times S \times \hat{S} \times T \rightarrow \hat{S}$  で表される. このレベルのインタラクションを1つのシステムとして、 $S_2 = \langle A, X, S, \hat{S}, T, f, g, h \rangle$  と表す (図3).

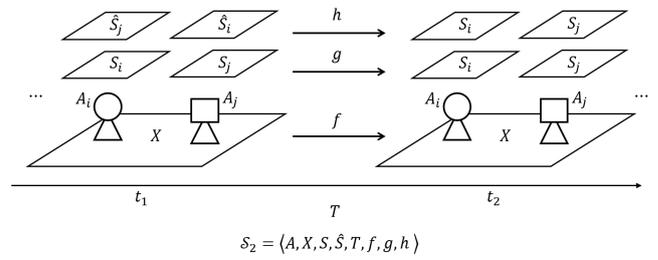


図3: 前言語的インタラクションを表すシステム  $S_2$

#### 3.3 言語的・メタ認知的インタラクションの記述

このレベルのインタラクションでは、エージェントは高次の社会性を持つ. すなわち、 $S_1, S_2$  と並行して、対象の行動を予測するためのモデル (他者モデル) に基づき、行動決定が行われる. 他者モデルにより相手の内部状態を推定し行動を予測するプロセスがあり、相手の行動の予測結果に基づき自身の行動を計画することが可能となる. 他者モデル  $M$  はエージェントが想定するインタラクションを構成する要素 (状態空間)  $M$  と推論プロセスを表す関数  $m$  からなるサブシステムとして、 $M = \langle A', T', M, m \rangle$  で表す.  $A'$  はエージェントが想定するエージェントの特性を表す. このレベルではエージェント自身がモデルに基づき、過去のインタラクションに対する再解釈やインタラクションの予測を行う. このことから、 $T'$  とことなる時間間隔として推論に用いられる時間間隔を  $T'$  で表す. 推論プロセスを表す関数は  $m: A' \times T' \times M \rightarrow M$  で表す. エージェントが想定する状態空間  $M$  はエージェントの行動と動因、相手の

動因の推定結果に影響するとし関数  $f, g, h$  をそれぞれ、 $f: A \times X \times S \times \hat{S} \times M \times T \rightarrow X$ 、 $g: A \times X \times S \times \hat{S} \times M \times T \rightarrow \hat{S}$ 、 $h: A \times X \times S \times \hat{S} \times M \times T \rightarrow S$  で表す。また、エージェントが想定する状態空間  $M$  内の各変数は推論プロセスだけでなく状況に応じて変化し得る。この変化は関数  $v: A \times X \times S \times \hat{S} \times M \times T \rightarrow M$  で表す。このレベルのインタラクションを1つのシステムとして、 $S_3 = \langle A, X, S, \hat{S}, T, f, g, h, v, M \rangle$  と表す (図4)。

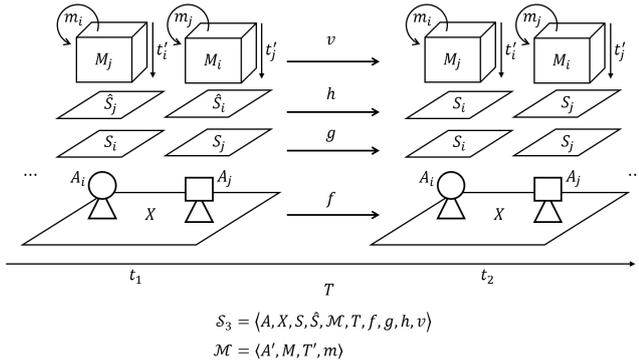


図4: 言語的・メタ認知的インタラクションを表すシステム  $S_3$

ここでは  $S_1, S_2, S_3$  の構成要素と要素間の関係を表す関数を提示している。しかし、現段階ではHAI研究で扱われる問題の空間を提示しているだけであり、一般的にエージェントが従っている、あるいは従うべき法則などの制約条件については検討できていない。

## 4 議論

### 4.1 独立変数と従属変数

HAI研究の主要なアプローチの1つとして、エージェントの外観や行動を独立変数とし、人の反応を従属変数とした心理実験があげられる。これにより、設計したエージェントの有用性を示すことができる。

ここでは、国際会議であるHAI2019において発表されたいくつかの研究について、独立変数と従属変数として用いられた変数に基づき、上記のフレームワークに当てはめて分類を行う。

操作されるエージェントの要素 (独立変数) は大まかに、

- $A$ : エージェントの外観 [11, 12] や形状 [13]
- $f$ : エージェントの行動 [14, 15, 16, 17, 18]
- $f$ : エージェントの行動の変化や行動の学習 [19]
- $f$  または  $M$ : エージェントの発言 [20, 21, 22, 23]

- $\hat{S}$  または  $M$ : エージェントの知覚 (検出) [24, 25, 26]
- $M$ : エージェントの認知過程 [27]

に分類できる。また、エージェントの設計の影響を検証するための要素 (従属変数) は、人の行動や人の認知過程が挙げられる。ただし、人の認知過程を直接観測することは困難である。そのため主に以下の方法で検証が行われる。

- $f$ : 人の行動の変化や条件間の行動の比較 [14, 12, 23].
- $\hat{S}$  または  $M$ : エージェントに対する印象評価 [11, 20, 28, 22]
- $f_A$  と  $f_H$ : 設計したエージェントの行動と実際の人の行動との一致 [21, 17]
- $f_A$  と  $h_H$  または  $v_H$ : 設計したエージェントの行動や識別結果と実際の人の認識結果との一致 [19, 24, 25, 27, 26]

ただし、これらの研究において扱われる行動やエージェントの内部状態などの位置づけ ( $S_1$  から  $S_3$  のいずれかを想定しているのか) は研究ごとに異なっており、研究間の対応関係は不明確となる。

実験の従属変数として用いられる心理尺度で測られる要因が、実際に人が行うインタラクションに対してどのような影響を及ぼすのか対応関係が不明確である特に、ある心理尺度で図られる値が高いとき (低いとき)、どのようなインタラクションが生じ得るのかという予測には寄与しづらい。これは、ある要素に対する操作が行動に還元されないまま研究が進めることが多いためである。インタラクションを対象とする場合、同じ尺度で測られたとしても、実験場面 (環境や課題、エージェントのデザインなどにより与えられるコンテキスト) によって測られている内部状態の意味が異なる可能性がある。また、内部状態の変化についてインタラクション最中の変化を心理実験により検証することは難しい。一方で、変数が定義され、行動を生成 (計算) できるならばシミュレーションによりこれを実現することが可能となる。そのため、理論的な検証とシミュレーション、行動分析、行動実験のデザイン、これらを一つのフレームワークに基づき実施することができれば、インタラクションを体系的に理解することが可能と考えられる。

### 4.2 インタラクションのミニマムデザイン

単純な形状のロボットをインタラクション実験に用いることで、ロボットの行動と表出される内部状態の

関係に注目することができる。このような手法はインタラクションのミニマムデザインと呼ばれ、インタラクションを設計するうえエージェントが表出あるいは伝達できる情報をリッチに作り込むよりも、設計者が利用可能な必要最低限の要素を明らかにすることを重視するアプローチである（詳しくは [29] を参照。）例えば、社会的な関与の表出や、対象に注意を向けさせるような行動、共同作業の促進に寄与する行動の要因が検証されている [30, 31, 32]。人は幾何学図形のような抽象化された対象に対しても、その動きを観察することで、意図などの内部状態を帰属することができる [33, 34, 35, 36]。また、非人型のロボットを用いることで、行動の特徴や軌道が人の認識に与える影響が調査されている [37, 38, 39, 40]。これらの研究により、ある行動の特性が相手に与える影響について精緻化することが期待される。

インタラクションのミニマムデザインは、 $S_1$  からボトムアップに、かつ、扱われる変数をできるだけ少なく ( $S_1$  の各集合の次元をできるだけ小さく) する研究アプローチであるといえる。

## 5 まとめ

本研究では、対人的コミュニケーションを階層性について検討を行い、対人的なコミュニケーションが可能なエージェントを設計するためのフレームワークを提案した。現段階では、インタラクションを記述するための要素を表す変数と要素間の関係を表す関数を提示した段階である。今後、これまでの研究で提案されてきた理論のレビュー、シミュレーションによる研究、心理実験による研究を通して、提案したフレームワークを精緻化していく必要がある。また、HAI 研究を体系化し一般的な理論の構築を目指すうえで、研究領域内外での継続的な議論が必要である。

## 参考文献

- [1] 山田誠二 (監修・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.
- [2] Jurriaan van Diggelen and Matthew Johnson. Team design patterns. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 118–126, 2019.
- [3] Stephen W Littlejohn and Karen A Foss. *Theories of human communication*. Waveland press, 2010.
- [4] Edward Twitchell Hall. *The hidden dimension*, Vol. 609. Garden City, NY: Doubleday, 1966.
- [5] グレゴリーベイトソン. 精神の生態学. 新思泉社, 2000.
- [6] ロビンダンバー. ことばの起源: 猿の毛づくろい、人のゴシップ. 青土社, 1998.
- [7] ジョン R サール. 表現と意味: 言語行為論研究. 誠信書房, 2006.
- [8] Paul Watzlawick, Janet Beavin Bavelas, and Don D Jackson. *Pragmatics of human communication: A study of interactional patterns, pathologies and paradoxes*. WW Norton & Company, 2011.
- [9] Vivian Bohl and Wouter van den Bos. Toward an integrative account of social cognition: marrying theory of mind and interactionism to study the interplay of type 1 and type 2 processes. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 6, p. 274, 2012.
- [10] Travis J Wiltshire, Daniel Barber, and Stephen M Fiore. Towards modeling social-cognitive mechanisms in robots to facilitate human-robot teaming. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, Vol. 57, pp. 1278–1282. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2013.
- [11] Maike Paetzel and Ginevra Castellano. Let me get to know you better: Can interactions help to overcome uncanny feelings? In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 59–67. ACM, 2019.
- [12] Tetsuya Matsui and Seiji Yamada. The design method of the virtual teacher. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 97–101. ACM, 2019.
- [13] Monika Jingar and Helena Lindgren. Tangible communication of emotions with a digital companion for managing stress: An exploratory co-design study. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 28–36. ACM, 2019.
- [14] Masaya Iwasaki, Jian Zhou, Mizuki Ikeda, Yuya Onishi, Tatsuyuki Kawamura, and Hideyuki Nakanishi. Acting as if being aware of visitors’ attention strengthens a robotic salesperson’s social presence. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 19–27. ACM, 2019.
- [15] Hung-Hsuan Huang, Masato Fukuda, and Toyooki Nishida. An investigation on the effectiveness of multimodal fusion and temporal feature extraction in reactive and spontaneous behavior generative rnn models for listener agents. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 89–96. ACM, 2019.
- [16] Kouichi Enami, Kohei Okuoka, Shohei Akita, and Michita Imai. Notification timing of agent with vection and character for semi-automatic wheelchair operation. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 127–134, 2019.
- [17] Fangkai Yang and Christopher Peters. App-lstm: Data-driven generation of socially acceptable trajectories for approaching small groups of agents. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 144–152, 2019.
- [18] Himangshu Saikia, Fangkai Yang, and Christopher Peters. Criticality-based collision avoidance prioritization for crowd navigation. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 153–161. ACM, 2019.
- [19] Dino Ilić, Ivana Žužić, and Dražen Brščić. Calibrate my smile: Robot learning its facial expressions through interactive play with humans. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 68–75. ACM, 2019.

- [20] Jacqueline Urakami, Billie Akwa Moore, Sujitra Suthithatip, and Sung Park. Users' perception of empathic expressions by an advanced intelligent system. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 11–18. ACM, 2019.
- [21] Ana Paula Chaves, Eck Doerry, Jesse Egbert, and Marco Gerosa. It's how you say it: Identifying appropriate register for chatbot language design. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 102–109. ACM, 2019.
- [22] Florian Pecune, Shruti Murali, Vivian Tsai, Yoichi Matsuyama, and Justine Cassell. A model of social explanations for a conversational movie recommendation system. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 135–143. ACM, 2019.
- [23] Jorge Gallego Pérez, Kazuo Hiraki, Yasuhiro Kanakogi, and Takayuki Kanda. Parent disciplining styles to prevent children's misbehaviors toward a social robot. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 162–170, 2019.
- [24] Fuhui Tian, Shogo Okada, and Katsumi Nitta. Analyzing eye movements in interview communication with virtual reality agents. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 3–10. ACM, 2019.
- [25] Merel Keijsers, Christoph Bartneck, and Husain Syed Kazmi. Cloud-based sentiment analysis for interactive agents. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 43–50. ACM, 2019.
- [26] Marta Romeo, Daniel Hernández García, Ray Jones, and Angelo Cangelosi. Deploying a deep learning agent for hri with potential. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 81–88. ACM, 2019.
- [27] Hanan Rosemarin and Ariel Rosenfeld. Playing chess at a human desired level and style. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 76–80. ACM, 2019.
- [28] Xiaoshun Meng, Naoto Yoshida, Xin Wan, and Tomoko Yonezawa. Emotional gripping expression of a robotic hand as physical contact. In *Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 37–42. ACM, 2019.
- [29] 竹内勇剛, 上杉繁, 寺田和憲, 片上大輔. インタラクシヨンのミニマムデザイン. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 15, No. 1, pp. 1–14, 2013.
- [30] Cristina Zaga, Roelof AJ de Vries, Jamy Li, Khiet P Truong, and Vanessa Evers. A simple nod of the head: The effect of minimal robot movements on children's perception of a low-anthropomorphic robot. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 336–341. ACM, 2017.
- [31] Kazunori Terada, Takashi Shamoto, Akira Ito, and Haiying Mei. Reactive movements of non-humanoid robots cause intention attribution in humans. In *2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3715–3720. IEEE, 2007.
- [32] David Sirkin, Brian Mok, Stephen Yang, and Wendy Ju. Mechanical ottoman: how robotic furniture offers and withdraws support. In *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 11–18. ACM, 2015.
- [33] Fritz Heider and Marianne Simmel. An experimental study of apparent behavior. *The American journal of psychology*, Vol. 57, No. 2, pp. 243–259, 1944.
- [34] Brian J Scholl and Patrice D Tremoulet. Perceptual causality and animacy. *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 8, pp. 299–309, 2000.
- [35] Patrice D Tremoulet and Jacob Feldman. The influence of spatial context and the role of intentionality in the interpretation of animacy from motion. *Perception & psychophysics*, Vol. 68, No. 6, pp. 1047–1058, 2006.
- [36] Peter C Pantelis, Timothy Gerstner, Kevin Sanik, Ari Weinstein, Steven A Cholewiak, Gaurav Kharkwal, Chia-Chien Wu, and Jacob Feldman. Agency and rationality: Adopting the intentional stance toward evolved virtual agents. *Decision*, Vol. 3, No. 1, p. 40, 2016.
- [37] Heather Knight, Ravenna Thielstrom, and Reid Simmons. Expressive path shape (swagger): Simple features that illustrate a robot's attitude toward its goal in real time. In *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 1475–1482. IEEE, 2016.
- [38] Stephen M Fiore, Travis J Wiltshire, Emilio JC Lobato, Florian G Jentsch, Wesley H Huang, and Benjamin Axelrod. Toward understanding social cues and signals in human-robot interaction: effects of robot gaze and proxemic behavior. *Frontiers in psychology*, Vol. 4, p. 859, 2013.
- [39] Paul Saulnier, Ehud Sharlin, and Saul Greenberg. Exploring minimal nonverbal interruption in hri. In *RO-MAN, 2011 IEEE*, pp. 79–86. IEEE, 2011.
- [40] 佐藤良, 竹内勇剛. 抽象性の高い外観をもつロボットとのインタラクシヨンのデザイン. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 14, No. 3, pp. 237–248, 2012.