

# 情報の収集と共有を欲求とした インタラクションエージェントの提案

## A proposal of interaction agents with the desire to collect and share information

今井康智<sup>1\*</sup> 大本義正<sup>1</sup>  
Yasutomo Imai<sup>1</sup>, Yoshimasa Ohmoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 静岡大学情報学部

<sup>1</sup> Faculty of Informatics, Shizuoka University

**Abstract:** 人間と親密な関係を持って長期的に活動するエージェントの振る舞いは、環境や関係の変化や発展に対して適応する必要がある。特にタスク遂行をしていない場面において、エージェントの行動が人間の推定する行動モデルとギャップがある場合に違和感を覚え、それまで構築してきた関係を崩してしまいかねない。本研究では、広範な状況に置ける行動モデルの一貫性を示すために、情報の「収集」と「共有」をエージェントのすべての行動の欲求としたエージェントを提案する。

### 1 はじめに

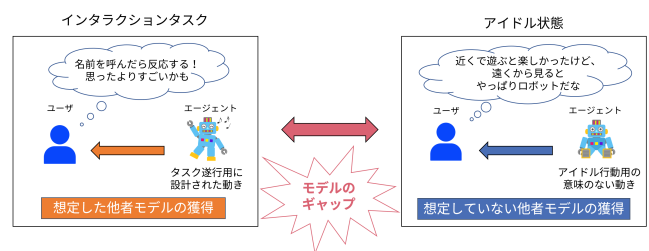
近年、生活の支援や商品の推薦等にエージェントが用いられる場面が増えてきた [1][2]。それらのエージェントのタスクへの取り組みは非常に優れており、分野を問わず活用され始めている。しかしユーザは、すぐにエージェントを信頼できるとは限らない。特に定められたタスクのみを行うようなエージェントは、関係を築くシステムなどはなく導入における課題は多い。

そこで、長期的に生活を共にしながら一人ひとりにパーソナライズされるエージェントが確立されれば、ユーザへの支援のハードルは大きく下がる。つまり、いつも連れ添い信頼しているエージェントが、支援エージェントなどの間を仲介することで、ユーザは安心してその支援を受けることができるのだ。したがって、本研究の最終目的として、ユーザと常に空間を共有し長期的で社会的な関係を築きながら、生活の中で局所的にサポートする自律エージェントの設計を設定する。このシステムを実現するためには、多くの機能を備える必要がある。例えば、外部環境への柔軟な適応ができなければ、パーソナライズや環境に縛られないような振る舞いができない。また、Arias らの研究で言及されているように、生活を共にする上ではプライバシーの保護が徹底されており、なおかつある程度エージェントの行動をコントロールできなくてはならない [3]。本研究ではそうした機能の基盤となるシステムを現状のエージェントの問題を踏まえつつ設計する。

基本的に、エージェントは与えられたタスクを遂行するものの、そうしたタスクの間にはアイドル時間と呼ばれる行動の待ちが存在する。特にそれは長期的で社会的な関係を築くインタラクションエージェントに顕著であり、共存するほとんどの時間をアイドル状態で過ごすこととなる。

その為、多くのエージェントのアイドル行動は、タスクに影響を及ぼさないような瞬き、呼吸、徘徊などの人間や動物を模倣した動作や、そもそもの動きを完全に停止させる睡眠状態などで設計されている。

しかし、こうした行動からは生物性の知覚を引き起こしても、何故そういった行動に至ったのかということを用意スタンスから推測することは難しい。ここで、植田は人と人工物間でお互いが他者モデルを獲得すること（相互適応）が、自然で持続的なインタラクションを実現する手法だと述べている [4]。他者モデルの構築には相手の意図を知覚し行動を推測する必要があるが、アイドル状態では困難であり、それがインタラクションなど特定のタスクから獲得したモデルと比較さ



\*連絡先: 静岡大学  
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1  
E-mail: imai.yasutomo.18@shizuoka.ac.jp

図 1: 獲得する他者モデルによるギャップ

れることで、ユーザはそのギャップに違和感を感じ長期的な関係に支障をきたす恐れがある(図1)。その為、アイドル状態に最適な振る舞いを考えることが重要であり、それは獲得する他者モデル統一の為にタスク遂行時など全ての行動において一貫した目的指向性の下行われる必要があると考える。

ここで、行動における目的を決めるにあたりエージェントが遂行するタスクを考慮することになるが、今回はそれにユーザのタスクのサポートを設定する。ユーザへのサポートの例として、自宅での目覚まし、自動車内における運転支援、食料品店における買い忘れ防止などが挙げられる。これらのタスクは、それぞれで全く異なる動きを設計する必要があると思われるが、実際は共通した部分が存在する。それは全て情報に基づいて行われていることである。目覚ましも朝起きる時間という情報を、運転支援も周辺地図や交通ニュースなどの情報を、買い物も自宅の冷蔵庫の情報を元に行われている。つまり、どのようなタスクに対しても情報は必要である。

このような振る舞いを実現するためには、まずエージェントは情報を収集する必要がある。また、それは受動的に取得できるものではなく自身が移動し環境内の情報を持つ様々な主体の元へ行くことで入手する。ここで重要なことはエージェントは収集していることを動いて見せることであり、ユーザはそこからエージェントの意図を推測することが可能となる。その後得た情報を蓄積し、分析されたユーザの行動や過去の反応から最適な情報を選定し、共有することでサポートを遂行する。

そこで本研究では、エージェントの欲求を情報の収集と共有に設定し、他者モデルの構築が容易でタスクへの参加も自然なエージェントの実現を目指す。これにより、情報の収集では主体的な目的指向性を持った行動を、共有ではプロアクティブな情報提供による社会的な関係の構築が可能となる。

## 2 関連研究

過去のアイドル状態に関する研究は、エージェントの視線方向がユーザの印象に与える影響や、意味のあるアイドル行動が社会性、意図性を知覚させる等のアイドル状態を独立したものとして捉えているものが多い[5][6]。また、家庭用エンタテインメントロボットの研究の多くはアイドル状態におけるロボットの動作を記載しておらず、LOVOTのような市販されているロボットは目立たない程度の微小な動きをすると記載されている[7][8]。その為、アイドル状態とタスク遂行状態を複合的に検討した振舞いに関する研究はほとんどない。

しかし、生活空間を共有し、タスク遂行型エージェン

トでありながら社会性の知覚に成功しているロボットも存在する。それは、ロボット掃除機であるRoombaである。Roombaは、スイッチが押されたらドッグから出発し掃除を開始し、一通り掃除し終了したと判断したら自らドッグへ戻るといった単純なシステムの掃除機である。しかし、Roombaは多くの家庭に受け入れられ、家族の一員のように扱われている。RoombaのメーカーであるiRobotのCEOによると、彼の顧客の約90%がRoombaにニックネームを付けていると言う。こうしたRoombaの扱いについて、Forlizziらは導入される家庭の環境が重要だとしている[9]。Roombaは階段や障害物などがあるとその先へ行けず、掃除できる場所が制限されてしまい、掃除したい場所があるとユーザはその都度Roombaを移動させたり障害物をどけるなどして進路を確保する必要があった。そうした協力関係が、掃除という平凡な作業を社会的活動に昇華させると説明した。

また、家庭に導入するロボットを考慮する際は、その家庭のルールや時代背景に考慮する必要があるとしている。現在であれば、ワイヤレス技術の普及によってメディアを介したインターネットへのアクセスが増加している。そのような技術の進歩も想定し、本研究はユビキタスホームを環境としユーザと協力関係を築けるような複合的なインタラクションを考慮する。

## 3 提案システム

ここでは、ユーザと日常生活を共に過ごし与えられたタスクを遂行するエージェントにおいて、そのアイドル時間の使い方を自律的に構築する枠組みを提案する。その際、エージェントは自身の欲求である情報の収集と共有を満たすことを全ての行動の指針とすることで、一貫した目的指向性を持った行動を実現し、ユーザとの関係への悪影響を抑制することを目指す。

具体的な行動として、収集では全てのオブジェクトが持つ位置パラメータと、物置の消耗品の数や冷蔵庫の食材の情報など特定のオブジェクトが持つ状態パラメータを取得し、共有では収集によって短期的に蓄積された情報を抽出し、その情報を欲しているであろう相手を決定し共有する。ここで、収集では過去データから予想した値との差が、共有では相手の反応が報酬となる。意思決定の手順をBDIモデルを用いると

B(Belief) オブジェクトの位置や貰える情報など

D(Desire) 情報の収集と共有

I(Intention) 願望を元に実行する行動となる。

その結果、それぞれで最大の報酬を得るための振る舞いが実現でき、全ての行動に目的指向性を感じられるようなシステムを提案する。

### 3.1 行動生成アーキテクチャ

本研究では、情報の収集と共有という2種類の欲求を満たす行動を永続的に生成するアーキテクチャを提案する。エージェントが持つ行動生成アーキテクチャの構成図を図2に示す。

アーキテクチャ内には主に、行動決定、収集、共有という3種類の状態が存在する。基本的には行動決定によって次の行動を収集と共有から選択し、一連の行動終了時には再度行動決定に戻る。

行動に関わる要素としてエージェントが持つ情報も存在する。それぞれ、短期記憶、長期記憶、情報の確信度  $c$  である。記憶は、収集によって得た情報を格納する場所で、短期記憶は数日程度の情報を保持しており共有に用いられる。また、短期記憶に格納される情報には予想との差も付帯されており、更にそれらは未共有と共有済みに分類されている為、未共有内の予想との差の蓄積量が行動決定の指針となる。共有済みには、共有対象とその反応も入る為、次回以降の共有対象決定に役立てることができる。長期記憶は、長期的な過去のデータとその取得した時間を保持しており、予測に必要なモデルの学習に用いられる。情報の確信度  $c$  は環境内のオブジェクトの情報がどれだけ信頼できるものかを表すものであり、 $c \leq 100$  を満たす実数値である。最新の情報を取得した際は最大値の100が入り、それ以降は学習によって算出される重み  $w (w > 0)$  によって減少していく(8)。

実際のアーキテクチャの動きとしては、エージェントはアイドル時、短期記憶を参照し次の行動を決定する(1)。未共有内の予想との差の情報に基づき値より多ければ共有(9)へ、少なければ収集(2)へ行動を遷移させる。

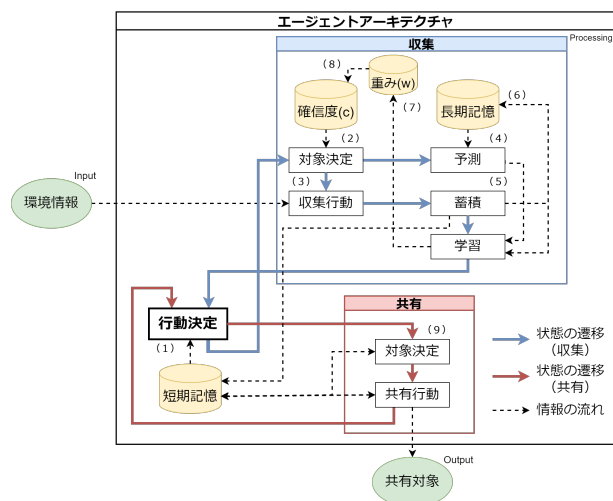


図2: 行動生成アーキテクチャ

### 3.2 収集行動

収集行動ではまず、エージェントが所有する情報の確信度  $c$  を参照し対象を決定する。対象決定場面では、情報の確信度が最も低いものを対象として決定し行動を発現させる(2)。対象に接近中、エージェントは取得するパラメータを予測する(4)。予測は後述する学習によって得られるモデルを用いることで実現される。対象に到着すると相手のパラメータを取得し、予想との差によって喜びの大きさを変動させる(3)。また、本研究の環境はユビキタスホーム内でのエージェントとの生活を想定している為、家の中にはホームエージェントや冷蔵庫エージェントなどの専門エージェントが存在していると考え、状態パラメータの取得は専門エージェントを介して行われる。その後、得たパラメータを長期、短期記憶へ蓄積(5)し学習をかける。学習では、長期記憶に蓄積されたパラメータを時系列データとして解析を行い、モデルを作成する(6)。ここで、今回得たパラメータが予測用に作成されたモデルの一定の信頼区間内収まっている際は良いが、大きく外れている場合は再度モデルを作り直す必要が生じる。その為には、パラメータの変動を高頻度で取得する必要がある為、情報の確信度の重み  $w$  を変更しそのオブジェクトに対する収集行動を増加させる(7)。その後モデルが修正されて行き予測との差が縮まれば、次第に重み  $w$  を減らすことでそれに対応する。そうして蓄積と学習が終了次第、一連の収集行動は終了となり行動決定へと戻る(1)。

ここで、ユーザなど大量の情報を持つ対象の場合は受け取る情報を一意に設定することで差を算出する。その為、通常の収集行動とは異なり、ユーザに対しては遊ぶというインタラクションを誘導しユーザからの評価を情報として獲得する。そこで得た情報からユーザの行動パターンをモデル化し、次の誘導タイミングの調整や共有での情報提示タイミングにも適応することが可能となる。

### 3.3 共有行動

共有行動では収集した情報を共有することで欲求を満たす。共有においては、ユーザ含む環境内に存在する様々なエージェントが対象となる。エージェントは共有行動に移る際、共有対象を決定する。対象は短期記憶に蓄積されている情報から、その偏りや関連性、過去の相手の反応などを考慮し、なるべく複数の情報を複合的に共有できる相手を決定する(9)。その後相手の場所へ行き情報の共有を行う。共有後には相手からその情報に対するフィードバックがあり、それに対しエージェントは喜びや落ち込みなどの反応を返す。実際 Takayama らは、ロボットがタスクの結果に関して

反応を示すことによって、ユーザは賢さや自信の存在を感じたと報告している [10]。フィードバック後は使用したデータを短期記憶の共有済みへ移行させ、一連の共有行動が終了し行動決定へと戻る (1)。

### 3.4 反応と適応

今回のようなインタラクションを前提とした知的エージェントの実装において、反応性の付与は重要である。本研究で扱うエージェントも、音や視界に入る物体の動きに反応する。しかし、Michael が提唱するように目的指向性と反応性のバランスは困難である [11]。目的指向的行動中、ユーザや環境の変化に対して反応を繰り返した場合、目的を達成するのに非常に時間がかかる可能性があるからだ。これに対し、複雑な行動パターンの実装による解決策を取る手法があるが本研究ではそのような状況にも目的を変えることなく比較的柔軟に対応することができる。それは変化するオブジェクトに対して学習により適応することが可能だからである。情報の収集は全てのオブジェクトに有効である為、音が鳴るオブジェクトの状態も、移動するオブジェクトの位置の変化も蓄積モデルを作成することができる。収集行動中であれば一時的に確信度  $c$  の値を予測との差分変化させることにより、行動を再設定する (図 3)。共有行動中は、短期記憶容量を考慮しつつ、比較的差が大きな変化に対応することとなる。これにより、目的指向性と反応性のバランスを取りつつ、ユーザもあえて反応しないという点からエージェントが持つ自律性を感じることに繋がると考える。

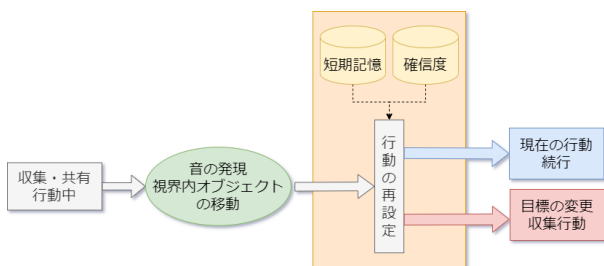


図 3: 行動再設定アーキテクチャ

## 4 実装

本システムは、ゲームエンジン Unity を用いて開発した。ここでは、長期的な関係を築く基盤として、前章で紹介したアーキテクチャの構造を元に、タスクを行わないアイドル時間の自律的な行動を実装する。また、エージェントの外見や環境についても考慮し、定義する。

### 4.1 エージェント

#### 4.1.1 外見

本研究ではユニコーンの見た目をした非言語型エージェントを使用し、アイドル時間における振舞いを評価する。(図 4)



図 4: 使用したエージェント

このような外見にした理由として、駒込らが提唱するプラクティカル・マジックと呼ばれるインタラクションモデルの活用と、適応ギャップ (Adaptation Gap) の抑制が挙げられる [12][13]。

プラクティカルマジックは、スマート情報環境のような自律的にユーザの生活に介入するシステムにおいて、その動作を可愛らしいロボットに起因させることによりエラー時の不満を抑制することができたという手法である。本研究においても、情報の共有でユーザが欲しているであろう情報を主体的に提示する等の行動によるユーザの不満を最小限に抑えられるよう、エージェントの外見を可愛らしいものとした。

しかし、可愛らしい外見にも適応ギャップによる問題が生じる場合がある。山田らは人間とエージェントのインタラクションにおいて、エージェントの外見と機能の関係が重要だと述べている [13]。人間は初対面のエージェントの外見からその機能に関するモデルを構築するが、実際に実装されているものとの差に落胆する。それが適応ギャップによる問題であり、二者間の関係に影響を与えている。その問題を解消する為に、本研究では現実に比較対象が存在しない架空の生き物であるユニコーンをエージェントの外見とすることで、適応ギャップによる影響を抑える。

また、非言語型エージェントを使用した目的として動きから意図を知覚してもらうことを挙げる。Heiderらの研究からも分かるように、人間は非生物の振る舞いに対しても意図性や生物性を知覚することがある。また、Dittrich らは目的指向性が意図帰属に影響していると及している。つまり、目的指向性を持つエージェントであれば、その動きからだけでも意図を知覚することができるようになり、これが実装され効果を



実証できればより明確にアイドル時間における動きの重要性を評価できると考える。

#### 4.1.2 内部状態

内部状態は以下の5つのステートを遷移することで実装した。それぞれは、情報の確信度や専門エージェントから取得するパラメータ等で遷移し、継続的な行動を実現した。

- 「Plan&Move」
  - － 行動を選択、決定し移動する状態。
- 「Collect」
  - － 収集行動における、特定のオブジェクトが持つ状態パラメータの変化を予測、取得する状態。
- 「Survey」
  - － 収集行動における、全てのオブジェクトの位置の変化を予測、取得する状態。
- 「Play」
  - － ユーザから情報を引き出す行動である遊びを行う状態。具体的にはステッキやボールを使ったインタラクションを想定している。
- 「Share」
  - － 共有行動を行う状態。現在の位置や情報の好みから共有相手を決定し、共有する。

## 4.2 環境



図 5: 環境

環境の様子を図5に示す。環境は前述の通りユビキタスホームを想定しており、いくつかのオブジェクトは専

門のエージェントを所有している。それらはDIGITAL POTのように自身のオブジェクトに関連する情報を所有しており、その姿は平面上に顔がついているだけのものや、実体を持つものも存在する [14]。今回の環境では、植物、冷蔵庫、ゴミ箱、物置に存在し、普段は主体的な行動をせず隠れていたり動きを停止しているが、メインエージェントが呼びかけることによって出現しインタラクションが開始される。

インタラクションは、遠目からでも分かるように吹き出しによるコミュニケーションを実装し、パラメータが渡される際は星がエージェント間を移動するようにした。また、吹き出しには一番高いパラメータがイラストとして表示された。これはユーザに対し比較的低い認知的負荷で情報の受け渡しを表現することができ、ユーザはそこから情報を取得することもあれば、エージェントの様子を見ることでその働きを確認することができる。その後、収集であればエージェントが、共有であればその対象が反応を返しインタラクションは終了する。橋川らはこうした自身のエージェントと第三者のエージェントとの交流を見ると、その関係性に想像の種を得ることができ、エージェントに対する想像力を長期的に維持することができると示唆している [15]。更にエージェント同士のインタラクションは自身が行う際の模倣にもなり得る為、このような環境は友好的であると考ええる。

一方で、専門エージェント以外に家全体の情報を把握しているホームエージェントも存在する。ホームエージェントは、メインエージェントが呼びかければどこでも出現できるエージェントであり、家の全ての情報を網羅している。その為、ユーザと同じで通常の収集行動はできず基本的には共有相手の一体として存在している。また、メインエージェントが行動決定する際、確信度の低いものがなく短期記憶に蓄積された情報がないような状況に、ホームエージェントとインタラクションを実施し最近大きな変化があったオブジェクトを教えてくださいという交流も起こりえる。

## 5 印象評価

現時点では学習以外の行動の枠組みを持つエージェントと専門エージェントが存在する環境を実装した。その為、行動はあらかじめ決められた重み  $w$  によって変動する情報の確信度  $c$  によって決まり、予測もそれぞれに平均的な数値を設定した自律的な行動システムを実現した。しかし、まだ人間とのインタラクションには及ばない為、オブジェクトの位置やその状態パラメータを変えることによってエージェントの動きが変化するというのみが可能である。

エージェントの行動は、冷蔵庫、物置、植物から情報

を取得し、それをホームエージェントへ共有した。その後、ゴミ箱へ収集へ行く際、数値を大きく変化させたところ、エージェントは普段よりも大きめの喜びを表した。そして変化量が多い為すぐに共有をする、という流れのシナリオとなった。

このエージェントの行動を同研究室内の友人に見てもらったところ、自律的な動きや、オブジェクトの状態による動きの変化について良く変化に対応できているという意見をもらった。しかし、エージェントは収集や共有などのインタラクション時以外はずっと動き続けていた為、不自然であることを報告した。

今後実装が進み学習が行動に組み込まれた際は、その解析処理中は座って休憩するなどをエージェントに実装することで動き回りによる不自然さの解消に努めたい。

## 6 展望

今回は一貫した目的指向性を持たせることでアイドル状態における行動の不自然さをなくすことを目的としたエージェントを提案した。今後はシステムに学習を追加させることで、外部環境の変化を動的に行動へ反映させることを目指す。また、本研究では情報の収集と共有という一貫した欲求の下動くことでユーザに意図性を知覚させることを目的としているが、懸念点として動きが明確すぎて予測されやすく、生物性の知覚に至らない可能性があるという点がある。実際、タスクを行わない間の行動は基本的に情報を集めて共有することになる為、予測はしやすい設計になると考えられる。その為、全ての行動を数値に従って直接的に動くのではなく、確率で普段とは異なる行動を取るといったことも視野に入れておくことで行動が分かりすぎて飽きてしまうという現象を回避したい。実装や実験が進み、信頼関係を築いた生活を共存する支援エージェントとして確立できれば、様々な応用が可能となる。冒頭に紹介した支援エージェントとの仲介や、小川らが提唱するメディアへの憑依による支援、更には角らが提案するような他人のエージェントとの交流という幅広い用途が想定される [16][17]。

そうした基盤となるシステムを目指し、今後も引き続き実装を進めていく。

## 参考文献

- [1] Yamamoto, T., Nishino, T., Kajima, H., Ohta, M., Ikeda, K. (2018). Human support robot (HSR). In ACM SIGGRAPH 2018 emerging technologies (pp. 1-2).
- [2] ロボピン:  
<https://www.asratec.co.jp/portfolio/page/robopin/>
- [3] Arias, K., Jeong, S., Park, H. W., Breazeal, C. (2020). Toward Designing User-centered Idle Behaviors for Social Robots in the Home. In 1st international workshop on Designerly HRI Knowledge. Held in conjunction with the 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2020).
- [4] 植田一博. (2016). 『認知的インタラクションデザイン学』の展望: 時間的な要素を組み込んだインタラクション・モデルの構築を目指して. 認知科学, 24(2), 220-233.
- [5] Suvei, S. D., Vroon, J., Somoza Sánchez, V. V., Bodenhagen, L., Englebienne, G., Krüger, N., Evers, V. (2018, July). “I Would Like to Get Close to You”: Making Robot Personal Space Invasion Less Intrusive with a Social Gaze Cue. In International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (pp. 366-385). Springer, Cham.
- [6] Cuijpers, R. H., Knops, M. A. (2015, October). Motions of robots matter! The social effects of idle and meaningful motions. In International Conference on Social Robotics (pp. 174-183). Springer, Cham.
- [7] Singh, N. (2018). Talking machines: democratizing the design of voice-based agents for the home (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- [8] Yoshida, N., Yonemura, S., Emoto, M., Kawai, K., Numaguchi, N., Nakazato, H., ... Hayashi, K. (2021). Production of Character Animation in a Home Robot: A Case Study of LOVOT. International Journal of Social Robotics, 1-16.
- [9] Forlizzi, J., DiSalvo, C. (2006, March). Service robots in the domestic environment: a study of the roomba vacuum in the home. In Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction (pp. 258-265).
- [10] Takayama, L., Dooley, D., Ju, W. (2011, March). Expressing thought: improving robot readability with animation principles. In Proceedings of the 6th international conference on Human-robot interaction (pp. 69-76).

- [11] Wooldridge, M. (1999). Intelligent agents. Multiagent systems: A modern approach to distributed artificial intelligence, 1, 27-73.
- [12] 駒込大輔, 小野哲雄. (2009). Practical Magic: スマート情報環境との間に因果性を形成するインタフェースロボットの動作設計モデル. 電子情報通信学会論文誌 A, 92(11), 828-839.
- [13] 山田誠二, 角所考, 小松孝徳. (2006). 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ (i 特集: HAI: ヒューマンエージェントインタラクションの最先端). 人工知能, 21(6), 648-653.
- [14] DIGITAL POT, <https://www.yankodesign.com/2008/05/28/plants-tell-you-what-they-want/>
- [15] 橋本莉乃, 高橋英之, 築瀬洋平 (2021). むいアバターに住むお部屋-仮想空間における交流表現がもたらすぬいぐるみへの印象変化. HAI シンポジウム
- [16] 板垣祐作, 小川浩平, 小野哲雄. (2008). ITACO on the Room: アンビエントな情報提供を行う生物感のあるエージェントの提案. HAI シンポジウム.
- [17] 角康之, 間瀬健二. (2001). エージェントサロン: パーソナルエージェント同士のおしゃべりを利用した出会いと対話の促進. 電子情報通信学会論文誌 D, 84(8), 1231-1243.