

# 人との信頼関係を構築するマイグレートエージェントの行動決定モデル

## Behaviour decision models of a migratable agent for constructing the trust with human

山内守<sup>\*1</sup>  
Mamoru Yamanouchi

岨野太一<sup>\*2</sup>  
Taichi Sono

今井倫太<sup>\*1</sup>  
Michita Imai

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学理工学部  
Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

<sup>\*2</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.

A migratable agent can provide the continuous assistance for the user and the relationship established between a human and the agent enables home appliances to do a task smoothly. However, there are few studies which deal with primary questions, for example, how and when the agent should execute the task requested by the user. This paper proposes the design principle with the BDI approach for a migratable agent which can carry out their tasks appropriately.

### 1. はじめに

社会の情報化に伴って一人のユーザが様々な電子機器や情報端末を扱う機会が増えるにつれて、各デバイスとの対話形式も増え、その対話形式全てに対応することはユーザにとって負担になり得る。多彩なデバイスを一括して扱えるユーザインタフェースとして、ヒューマノイドロボットや CG キャラクタに代表される擬人化可能なエージェントが有用であると考えられている。中でも、多様な種類のデバイスに柔軟に対応できる、環境内デバイスへの移動能力をもったマイグレートエージェント(図 1)が、ユーザとデバイスとの統合的なインタフェースとして有用である。本稿では、ユーザから依頼されたタスクを遂行するマイグレートエージェントの設計方針を提案する。

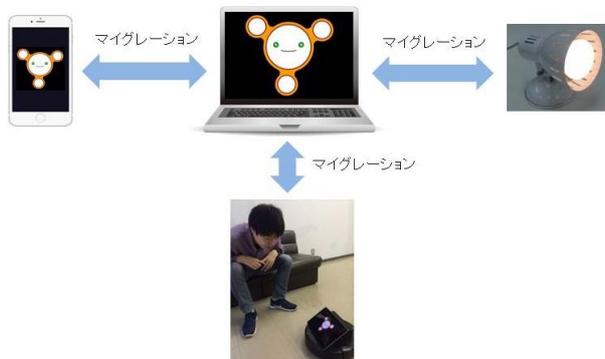


図 1: マイグレートエージェントのコンセプト

従来研究は、マイグレートエージェントに対するユーザの愛着や、環境内デバイスそれぞれに対してユーザが感じる同一性を利用することで、ユーザとエージェントの間に信頼感や安心感といった感情を伴う関係性が築かれ、人と人工物のより円滑なインタラクションが実現されると示した[1][2]。しかし、こうした従来研究は、マイグレートエージェントに対するユーザの心理特性を利用した心理実験を実施することでマイグレートエージェントの有用性を示すに留まっており、「そもそもエージェントはどういう条件の下で行動すればよいのか」、「どのようにして頼まれたタスクに取り組めばよいのか」といった、マイグレートエージェントの本質的な設計上の問題は考えられていない。そのため、従来研究から得られる知見だけでは、実際にマイグレートエージェントを

設計しようとしても正しく計画的に設計することは難しく、設計者の考える負担が大きいのが現状である。

本稿では、マイグレートエージェントの行動条件を BDI モデルに基づいて決定するアーキテクチャを設計し、エージェントを計画的に設計する際の有効な指針とすることを旨とする。BDI モデルを用いると、エージェントはゴール破棄の明確な基準をもつことができるので、実行中のタスクを適切にやめることが可能になり、基準の範囲内でタスク完了に向けた行動を選択できるようになる。また、BDI エージェントは自身が内部にもつ信念やゴールに基づいて行動するので、その信念やゴールの現在の状態に応じた発話をさせることで、何故その行動をとったのかといった自身の行動理由をユーザに通知することができる。適切なタスク放棄と行動理由の表明という利点から、BDI モデルを用いて設計すると、エージェントはユーザから信頼されてタスクを任せられるようになると考えられる。

### 2. BDI モデルと実装環境

#### 2.1 BDI モデル

BDI モデルとは、エージェントが信念・願望・意図の状態を明示的にもち、これらのメンタルステイトを用いて行動決定を行うモデルである。

本稿では、エージェントの適切なタスク遂行という点において、BDI モデルを用いたタスク破棄条件に注目する。BDI モデルにおいて、エージェントがタスクを意図的に破棄する際の条件が、以下のように定義されている[3]:

1. 「タスクが達成された」という信念をもつ
2. 「タスクは達成不可能である」という信念をもつ
3. 「タスクに対する約束がなくなった」という信念をもつ

BDI エージェントは、上記の 3 条件のいずれかが満たされた時に現在もっているゴールを破棄することで、タスクに取り組む際に合理的に行動できる。ゴール破棄の機構をもつエージェントは、ゴールに向けた行動の意図的な継続・終了が可能になり、実行中のタスクに対する執着度も表現できるようになる。執着度が強すぎるとタスクをやめることができなくなり、逆に弱すぎるとすぐにタスクをやめてしまうので、BDI モデルを用いてエージェントを設計する際には、この執着度の強さを適切に設定することが重要になる。

連絡先: 山内守, 慶應義塾大学理工学部情報工学科今井研究室, 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, 045-560-1070, yamanouchi@ailab.ics.keio.ac.jp

## 2.2 システム構成

本稿におけるシステムの構成は、図 2 で示される。マイグレートエージェントは、ユーザから何もタスクを任されていない時はマザーベース(ユーザが普段使用する PC や携帯端末を想定)にあり、必要に応じて他のデバイスにマイグレートする。本稿では、マザーベース以外の移動先デバイスとして、具体的に電球と Roomba を用いる。

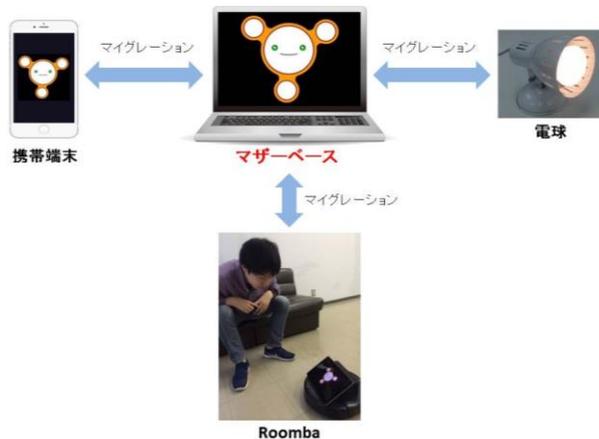


図 2: システム構成

## 3. マイグレートエージェントアーキテクチャ

本稿で提案するアーキテクチャの概念図を図 3 に示す。以降の解説は、図 3 の内容に沿って行う。

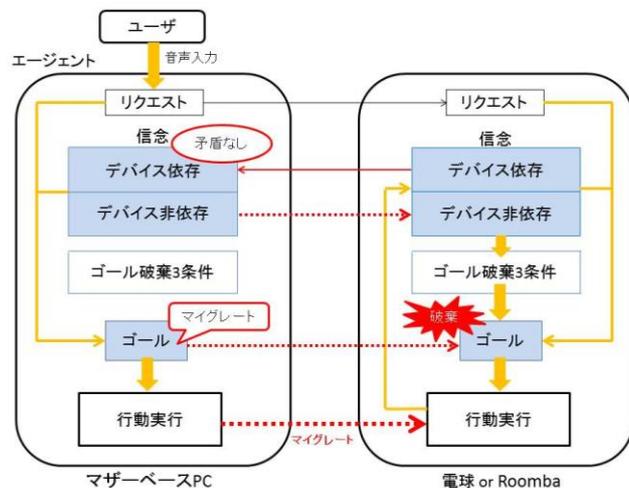


図 3: アーキテクチャの概略図

### 3.1 アーキテクチャの構成

図 3 のアーキテクチャの構成について説明する。図 3 では、マザーベース PC とその他の移動先デバイス(電球, Roomba)におけるアーキテクチャを示している。

図 3 に示す通り、アーキテクチャは、ユーザからのリクエスト受理部、信念管理部、ゴール管理部、ゴール破棄 3 条件管理部、行動実行部から構成される。リクエスト受理部では、ユーザからの音声入力を通してリクエストを受理する。信念管理部には、デバイス依存信念とデバイス非依存信念の二種類の信念が含まれる。ゴール管理部ではエージェントが現在もっているゴールを扱い、ゴール破棄 3 条件管理部では、エージェントが現在いる

デバイス上で遂行するタスクをやめる際の条件を扱う。行動実行部では、現在のゴールを達成するための行動を実行する。

また、この構成は、エージェントが移動する対象のデバイス全てにおいて共通である。

### 3.2 デバイス依存信念 / デバイス非依存信念

本稿では、マイグレートエージェントのもつ信念をデバイス依存信念とデバイス非依存信念に大別する。

デバイス依存信念には、システム内の各デバイス上でタスクを実行する際に必要となる信念が含まれ、あるデバイスにいるエージェントは自分のデバイスに関するデバイス依存信念だけをもつ。他のデバイスにマイグレートする際は、タスクを実行するために移動先デバイスに関する信念が必要になるので、エージェントは実際にマイグレートする前に移動先デバイスに問い合わせで移動先のデバイス依存信念を取得し、取得内容とユーザのリクエスト内容に齟齬がないことを確認してから移動する。

デバイス非依存信念には、エージェントのキャラクター性やタスクへの執着度といった、そのエージェント固有の信念が含まれる。マザーベースからマイグレートするとデバイス非依存信念はマザーベースから移動先デバイスに継承されるが、デバイス依存信念と異なりタスク実行中に動的に変化することではなく、一貫して継続される。これは、エージェントのキャラクターとしての一貫性を維持するためである。

### 3.3 実行の流れ

エージェントは、ユーザから音声入力を通してリクエストを受理する。そのリクエストが他デバイスへのマイグレートを要求するものだった場合、エージェントはまず移動先デバイスに問い合わせで移動先デバイスのデバイス依存信念に関する情報を取得する。そしてその信念状態とリクエストの内容に矛盾がなければ、信念とリクエストから「マイグレートする」というゴールを生成し、そのゴールに向けて実際にマイグレートする行動を実行する。矛盾があれば、エージェントはその旨を発話し、行動できない理由をユーザに伝える。

マイグレートを実行すると、移動先のデバイスにエージェントのデバイス非依存信念とゴールが引き継がれる。

マイグレートした後は、デバイス依存信念とデバイス非依存信念から、移動先デバイスにおけるゴール破棄 3 条件が生成される。そしてエージェントはリクエストと信念からゴールを生成し、そのゴールに向けて行動を決定し、行動の実行結果を信念状態に反映して更新していく、という一連の処理を繰り返していく。その過程の中でゴール破棄 3 条件の内のがれれかが満たされたら、エージェントは現在のゴールを破棄する。

### 3.4 メンタルステイトに応じた発話

エージェントの行動は信念状態とゴールというメンタルステイトに基づいているので、ユーザの想定と異なる行動が行われた場合には、エージェントは現在のメンタルステイトにアクセスし、その状態に応じて発話することで、自身の行動理由をユーザに説明できる。エージェントがメンタルステイトに基づいて意図を表明することで、ユーザはエージェントを信頼してタスクを任せることができるようになると考えられる。

## 4. 対話例

以下に、本稿で提案する設計法に基づいたマイグレートエージェントとユーザの対話例を示す。ここでは、ユーザがエージェントに依頼するタスクとして、「電球を点灯するタスク」と「Roomba で掃除するタスク」を想定する。電球タスクに関しては、二つの電球を用意し、どちらか一方の電球に対して操作を行う。

(U: ユーザ, A: エージェント)

(例 1)

U: 「左の電気を点けて。」(リクエスト)

A: 「任せて。」(「左の電球は消えている」という信念をもっていれば、リクエストから「左の電球を点ける」というゴールを生成)

ゴールを達成するために、エージェントは左の電球にマイグレートする。マイグレート後に点灯操作を行い、左の電球が点灯する。

A: 「点いたよね？」(点灯操作の結果、「左の電球は点いている」という信念を取得)

U: 「OK。」

A: 「よかった。」(「タスクが達成された」という信念を得て、ゴール破棄 3 条件により「左の電球を点ける」というゴールを破棄して、マザーベースに帰還)

(例 2)

U: 「掃除して。」(リクエスト)

A: 「任せて。」(「Roomba のバッテリーは残っている」という信念をもっていれば、「掃除する」というゴールを生成)

エージェントは Roomba にマイグレートし、Roomba を操作して掃除を開始する。バッテリー残量に関するデバイス依存信念は、時間経過とともに更新される。

A: 「もうバッテリーないや。戻ろう。」(「バッテリーは残り少ない」という信念を得ることで「タスクは達成不可能である」という信念を得て、「掃除する」というゴールを破棄し、マザーベースに帰還)

一定時間経過。

U: 「掃除して。」(再びリクエスト)

A: 「バッテリーがないよ。」(信念状態とリクエスト内容に齟齬があるので、タスクを実行できない理由をユーザに説明)

(例 3)

U: 「掃除して。」(リクエスト)

A: 「任せて。」(リクエストからゴールを生成)

エージェントは Roomba にマイグレートして、掃除を開始する。

U: 「もういいよ。」(掃除を中止するようにリクエスト)

A: 「了解。」(中止リクエストを受けることで「タスクに対する約束がなくなった」という信念を得て、「掃除する」というゴールを破棄してマザーベースに帰還)

## 5. 設計方法の評価

BDI モデルを用いれば誰でも適切なマイグレートエージェントの設計が可能になるのかどうかを検証するために、マイグレートエージェントの設計し易さについてアンケート調査を実施した。

### 5.1 検証項目と仮説

マイグレートエージェントを設計する際には、「いつ移動先デバイスにマイグレートしてタスクを実行するか」「いつタスクをやめて、移動先デバイスから戻ってくるか」という条件設定について考慮することが重要である。しかし、何の情報も与えられずにいきなり設計せよと言われても、考えを整理するのが困難であったり、本来必要であるはずの条件を書き漏らしてしまったり、正しく設計することは難しいと予想される。そこで、次の仮説を立てる。

仮説: BDI モデルにおけるゴール破棄 3 条件をあらかじめ示すことで、情報を何も与えられずに設計する場合よりも、設計者の考える負担が軽減されたり、整理された条件設定をより容易に引き出すことができる。

仮説を検証することで、BDI モデルに基づいてマイグレートエージェントを設計することの妥当性を示す。

## 5.2 調査方法と調査内容

検証にあたり、二種類の質問形式を用意して、マイグレートエージェントの行動条件について被験者に回答してもらった。ひとつは、エージェント設計に関する情報を被験者に全く与えずに回答させる「情報無し質問」で、もうひとつは、エージェントがタスクをやめる条件であるゴール破棄 3 条件に関する情報を被験者に与えた上で回答させる「情報有り質問」である。

どちらの質問形式でも、マイグレートエージェントがユーザの携帯端末と他のデバイスとの間を移動してタスクを遂行する状況を想定し、被験者には「エージェントが携帯端末から対象デバイスに移動する条件」と「エージェントが対象デバイスから携帯端末に戻る条件」の二つの条件について、どのように設計するのが適当だと思うかを、自由記述で回答させる。

## 5.3 被験者

調査は研究室内の学生 6 人を対象に行い、被験者をグループ A、B に 3 人ずつに分けた。グループ A は「情報無し質問」と「情報有り質問」に回答し、グループ B は「情報有り質問」のみに回答した。

## 5.4 評価方法

得られた回答から分析したい項目は、BDI モデルにおける 3 条件を考慮することで、エージェントの設計が容易になるかという点である。検証項目を評価するために、この調査では被験者が記述した行動条件の数を評価対象として、「情報無し質問」と「情報有り質問」における回答結果を比較する。これは、被験者の考えた行動条件の数が多いほど、より詳細な設計になっていると考えられるからである。

## 5.5 結果

調査結果を図 4、5 に示す。図 4 はグループ A の「情報無し質問」と「情報有り質問」の回答数を比較した結果であり、図 5 はグループ A の「情報無し質問」の回答数と、グループ B の「情報有り質問」の回答数を比較した結果である。図 4、5 どちらにおいても、エージェントが対象デバイスから携帯端末に戻る際の行動条件において、「情報有り質問」への回答数の方が「情報無し質問」への回答数よりも多くなる傾向が見られた。この結果から、BDI モデルにおけるゴール破棄 3 条件を考慮することが、マイグレートエージェントの設計に役立つという仮説が支持される可能性が示唆された。

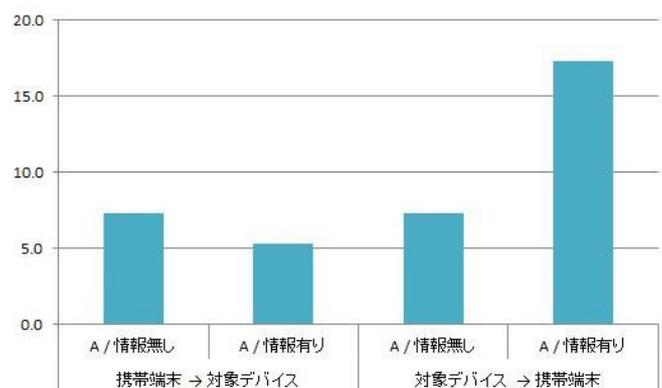


図 4: 調査結果(1)

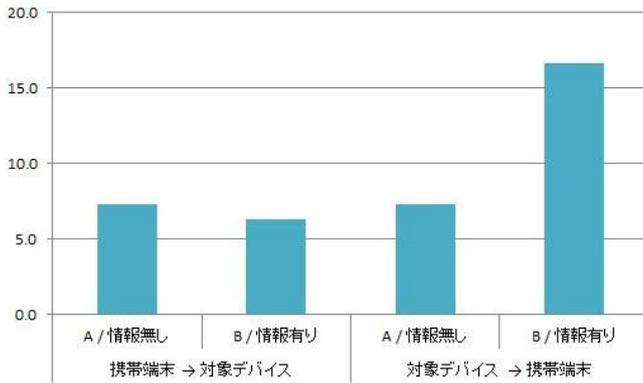


図 5: 調査結果(2)

## 6. 今後の課題

アンケート調査の結果から BDI モデルを用いることの妥当性が示唆されたが、今回の調査では被験者の数が少なく、BDI モデルの有用性が厳密に有意であるとは断定できない。そのため、今後アンケート調査の被験者数を増やし、今回の調査で得られた傾向が統計的に有意なのかどうかを検討したい。

本稿ではエージェントへリクエストを依頼する際のインタフェースとして、音声しか想定していない。移動先デバイスの種類によって様々な種類のインタフェースが想定されるので、音声以外のリクエストの受理機構を利用した時の設計も考える必要がある。

BDI モデルに基づくエージェントは、適切なタスク放棄と行動理由の表明という二点から、ユーザから信頼されてタスクを任せられるようになることが期待されるが、本稿ではユーザの抱く信頼感に関する心理実験は行っていない。ユーザの信頼感について調査するには、マイグレートエージェントとユーザを長期的にインタラクションさせる必要がある。

## 7. まとめ

本稿では、多様なデバイス間を移動するマイグレートエージェントを BDI モデルに基づいて設計する方針を提案した。BDI モデルを用いることで、エージェントはユーザから依頼されたタスクに取り組む際に適切にタスクをやめることが可能になり、更に自身の信念やゴールに応じた発話をする事で、ユーザから信頼してタスクを任せられることができるようになると考えられる。また、マイグレートエージェントの設計に BDI モデルを用いることの妥当性を検証するために、エージェントの設計方針に関するアンケート調査を実施した。調査結果から、BDI モデルを用いることで設計者の考えが整理され、エージェント設計がより容易になることが示唆された。

## 参考文献

- [1] 小野哲雄, 今井倫太, 江谷為之, 中津良平: ヒューマンロボットインタラクションにおける関係性の創出, 情報処理学会論文誌 41(1), pp.158-166, 2000.
- [2] Arent K, Kreczmer B: Identity of a companion, migrating between robots without common communication modalities: Initial results of VHRI study, MMAR 18<sup>th</sup> International Conference, pp.109-114, 2013.
- [3] PR Cohen, HJ Levesque: Intention Is Choice with Commitment, Artificial Intelligence, Vol.42(3), pp.213-261, 1990.