

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

小野 哲雄[†] 今井 倫太[†]
江谷 為之[†] 中津 良平[†]

本稿では、人とロボットの間に円滑なインタラクションを成立させるためのインタフェースモデルを提案する。本モデルでは、ユーザはまず携帯端末上の擬人化エージェントとインタラクトすることにより、エージェントに対して信頼感や親近感を持つようになる。その後、必要に応じて、エージェントはロボットへ移動 (migration) するが、ユーザとエージェントの関係はそのまま継承されるため、ユーザはロボットに対して信頼感や親近感を持ち、さらにこの関係を維持するため、ロボットに対して追従行動をとると予測できる。本研究では、提案したモデルをロボットシステムとして実装し、そのシステムを用いた心理実験により評価を行った。その結果、上記の予測を検証することができた。本稿ではさらに、本研究における問題点について議論し、本システムの応用例としてのガイドロボットシステムについて述べる。

Construction of Relationship between Humans and Robots

TETSUO ONO,[†] MICHITA IMAI,[†] TAMEYUKI ETANI,[†]
and RYOHEI NAKATSU[†]

We propose a robot interface model with a lifelike agent in order to construct a relationship between humans and robots, and show the results of psychological experiments using the proposed model. In our model, the agent can migrate from a user's mobile PC to a robot when the agent has to work in the physical world. As a result of the migration, the robot can inherit the context from the interactions between a user and an agent so that a relationship between a user and a robot is formed. We conducted experiments for the inspection of our prospects mentioned above. The focus of our experiments was to explore the validity of the hypotheses as follows; 1) subjects come to be familiar with the robots to which the agent migrated from the PC, and 2) subjects unconsciously follow the robots because of the entrainment of the relationship. The results of the experiments supported our hypotheses statistically.

1. はじめに

今後、さまざまな形でロボットが人間社会にかかわり、人の日常生活を支援するという状況が増加するであろう^{13),14)}。なぜなら、ロボットには携帯端末などによる情報提示^{7),15)}だけでは不可能な物理的な支援 (物の運搬、介護・救援、同伴による道案内など) が可能だからである。このため、人とロボットの間に円滑なコミュニケーションを成立させることが重要となってくる。しかし、両者の間にこのようなコミュニケーションを成立させるための方法論はいまだ確立されて

いない。この理由の1つとして、従来の「ロボット」のとらえ方に対する本質的な問題点を指摘することができる。

これまでのロボット研究では、人とロボットのインタラクションは、人が事前に決められた動作や発話を行うことにより、ロボットに一方的に命令を伝え、ある仕事を実行させるというタスク指向的なデザインに基づくものが多かった^{6),10)}。たしかに産業用ロボットなどに対してはこのような方法論が有効であろう。しかし、人を支援し、人と日常生活をともにできるロボットを作るためには、このような設計論では破綻をきたすことになる。なぜなら、日常生活場面では、ロボットからの命令に人が従わなければならない場合もあるだろう。しかしこのような場合、人は、まったく見ず知らずのロボットに突然命令されてもそれに従うことはない¹¹⁾。したがって、人の日常生活を支援するロボットには、人同士のように自然にインタラクショ

[†] エイ・ティ・アール知能映像通信研究所
ATR Media Integration & Communications Research
Laboratories
現在、富士通関西通信システム株式会社
Presently with Fujitsu Kansai Communication Systems
Ltd.

ンを開始することができ、人に信頼感や親近感を持たせるようなインタフェースのデザインが必要となる。

そこで本稿では、物理的な支援を実現する ITACO (InTegrated Architecture for COmmunication) ロボットと、人と自然にインタラクションを開始でき、人に信頼感や親近感を与える HYOUI (HYper-OUtlier Interaction) 機構を提案する。本ロボットシステムでは、CG で可視化された擬人化エージェントがユーザの作業支援を一貫して行う。たとえば、エージェントは、携帯端末上ではユーザの必要な情報の提示や、ユーザがインタラクションを楽しむことができる電子ペット的な機能を果たす。そして、ユーザにとって物理的な支援が必要になったとき、エージェントは ITACO ロボットに移動して支援を行う。つまり、ITACO ロボットとはエージェントの乗り物であり、HYOUI 機構とは携帯端末からロボットへのエージェントの移動機構である。

本ロボットシステムの特徴は、エージェントが携帯端末からロボットへ移動することによる、コンテキストの継承と一貫性の維持にある。つまり、ユーザはまず、携帯端末上のエージェントとインタラクションすることによりコンテキスト（信頼感や親和性をともなう関係）を形成する。その後、エージェントがロボットに移動することにより、このコンテキストをロボットとのインタラクションに引き継ぐことができる。このコンテキストの一貫性により、ユーザはロボットに親近感を持ち、違和感なく自然にインタラクションに入っていくことができる。本稿では本システムを実装し、これらの特徴を被験者を用いた心理実験により分析、検証する。

本稿の構成は以下のとおりである。まず 2 章では、ITACO ロボットと HYOUI 機構について述べる。3 章では、実装したシステムを用いて行った心理実験の結果について述べる。さらに、4 章では、実験結果をふまえて考察を行う。最後に、5 章において、本稿のまとめを行う。

2. ヒューマンロボットインタラクション

2.1 ITACO ロボットと HYOUI 機構

コンピュータネットワークを利用した実世界指向の支援システムでは、ソフトウェアエージェントや擬人化エージェントが用いられている^{1);2);9)}。これらのエージェントは、個人情報の保持や、個人ごとのカスタマイズ、サービスの可視化といった利点を生かして、ネットワーク上のデジタル情報と人との仲介役をする。しかし、支援可能な内容は、情報提供のみである。これ

に対して、博物館のガイドロボット³⁾など、ロボットによる支援システムは、物理的な支援を行えるという利点がある。しかし、現在のロボットはヒューマンインタフェースのデザインが弱く、人と円滑なインタラクションを実現することができていない。

そこで、本稿では、物理的な支援を実現する ITACO ロボット、および、円滑なインタラクションへと導く HYOUI 機構を提案する。本稿のロボットシステムでは、CG で可視化された擬人化エージェントがユーザの作業支援を一貫して行う。そして、ユーザにとって物理的な支援が必要になったとき、エージェントは ITACO ロボットに移動して支援を続ける。本節では、具体例として、展示会場の案内を想定して説明する。まずユーザは、携帯端末上のエージェントの案内で会場内を見学する。しかし、ユーザは、携帯端末上の地図だけでは自分の現在位置、方角が分からなくなる場合がある。そのとき、携帯端末上のエージェントが、近くを通りかかった ITACO ロボットへ移動し、ユーザの支援を続行する。

図 1 に、本研究で使用する携帯端末と ITACO ロボットの外観を示す。本ロボットはフロア内を自由に移動することができ、同伴によるユーザの案内や、手荷物の運搬などが可能である。また、図 2 に、エージェントが携帯端末からロボットへ移動するメカニズム (HYOUI 機構) の概要を示す。ユーザはまず、携帯端末上のエージェントに会場内の案内を受けることにより、コンテキスト (信頼感や親和性をともなう関係) を形成する。その後、物理的な支援が必要になったとき、エージェントはロボットへ移動する (HYOUI)。しかし、そのコンテキストはユーザとロボットのインタラクションへ引き継がれるため、ユーザはロボット

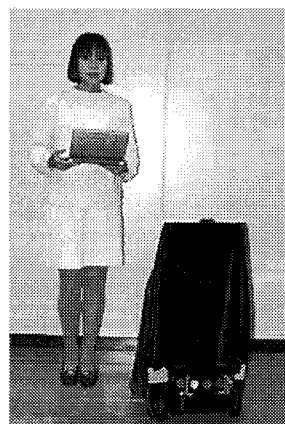


図 1 使用する携帯端末と ITACO ロボット
Fig. 1 Mobile PC and ITACO robot.

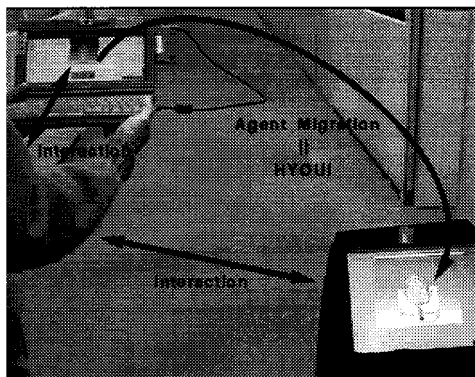


図 2 HYOUUI 機構の概要

Fig. 2 Outline of HYOUUI mechanism for agent migration from a user's mobile PC to ITACO robot.

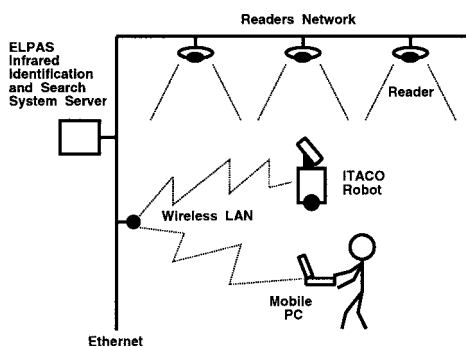


図 3 システム構成の概要

Fig. 3 Outline of a system setup including a user, a mobile PC and ITACO robot.

に信頼感や親近感を持って案内されるようになる。

本稿で提案するシステムの特徴は、エージェントが携帯端末からロボットへ移動することによる、コンテキストの継承と一貫性の維持にある。本稿では、この特徴を被験者を用いた心理実験により分析、検証する。

2.2 システム構成

本節では、2.1 節で提案した ITACO ロボットと HYOUUI 機構の実現方法について述べる。図 3 に、システム構成の概要を示す⁴⁾。本システムは、赤外線ロケーションシステムとその管理サーバ、および無線 LAN を用いてサーバと通信を行う携帯端末と移動ロボットから構成される。

本システムでは、ロボットおよび携帯端末の位置検出には ELPAS 社製赤外線ロケーションシステムを用いる。実際には、ロボット実機上および携帯端末にバッジをつけ、研究所内に設置された赤外線リーダにより、位置検出が行われる。この赤外線リーダは、研究所内を 8 つのサイトに分割することにより、そのサイト番号で位置を認識することができる。これらの位置情報

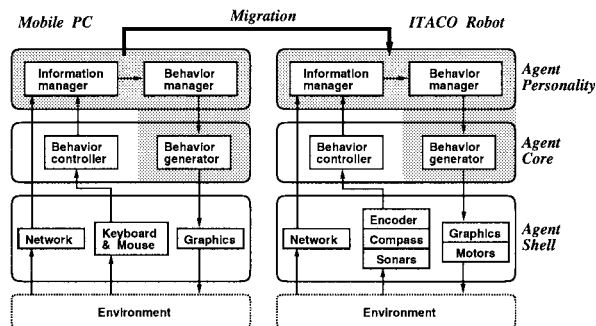


図 4 エージェントの構造とマイグレーション機構

Fig. 4 Structure of agent and mechanism for agent migration.

は、ロケーションシステムのサーバにより更新される。ITACO ロボットは、ActiveMedia 社製 Pioneer1 モバイルロボットと、GateWay 社製 solo により実現される(図 1)。Pioneer1 は、超音波センサー、エンコーダ、コンパス、2 輪駆動モータから構成されており、これらを専用 OS が制御している。ITACO ロボットでは、外部端末として solo が用いられ、専用 OS とこの外部端末上のクライアントシステム間をシリアル接続することにより、超音波センサー、エンコーダ、コンパスからのデータ受信を行っている。さらに、本クライアントシステムは、ロケーションシステムからのサイト情報の取得や、専用 OS との通信によるモータ制御なども行う。また、ユーザが持つ携帯端末としては、SONY VAIO PCG-C1 を使い、この端末も無線 LAN によりネットワークと接続している。

2.3 HYOUUI 機構の実現

本節では、HYOUUI 機構において用いられる擬人化エージェントの内部メカニズムについて述べる。擬人化エージェントは、以下の 3 つの基本ソフトウェアコンポーネントから構成され、それぞれのコンポーネントは動的に組替え可能となっている(図 4)。これらのコンポーネントは、JAVA 言語により記述されている。エージェントパーソナリティ(行為選択部; AP):

ユーザ情報、外部環境に関する知識を持ち、エージェントの行為選択を行う機構

エージェントコア(タスク依存部; AC): AP の選択に基づき、各タスクに依存した振舞い系列を生成する機構

エージェントシェル(リソース依存部; AS): ネットワーク、ロボット、端末など物理的資源の管理・制御を行う機構

AP では、Information manager が、Keyboard もしくは Mouse から入力されるユーザの情報、Network

を經由してロケーションシステムから得られる位置情報、および、あらかじめ持っている外部環境に関する知識を維持・管理する。ロボットの場合は、これらに Encoder, Compass, Sonars からの情報が加わる。これらの情報をもとに, Behavior manager がエージェントの行為選択を行う。AC では, AP での行為選択に基づき, Behavior generator において振舞い系列を生成し, それをいくつかの AS (Graphics もしくは Motors 制御) に渡す。各 AS では, その系列を振舞いプリミティブによって実際のリソース制御へ渡し, 最終的にエージェントの行為を実現する。たとえば, AP における「navigate」という行為選択に対して, AC は目的地までのパスプランを生成する。さらに, AS が端末シェルであれば, 携帯端末の地図上に目的地を指し示したり, 目的地の関連情報を提示したりする。しかし, ロボットシェルであれば, ロボットが直接ユーザを目的地へ案内する。

HYOUI 機構は, これら 3 つのコンポーネントの動的な組替えによって実現される。たとえば, AS はデフォルトでダミーの AC を持ち, それに従って何らかの振舞いをする (エージェントがロボット上にいる場合はデフォルトではただ単に会場内を徘徊する)。しかし, あるユーザとインタラクションしていたエージェントの AP, AC が動的にリンクされると (図 4 の網掛け部), デフォルトのコアを置き換えるかたちでコンポーネントが構成される。これらの AP と AC がまた別のシェルへ移動すれば, シェルはデフォルトのコアを用いて動作を再開する。したがって, この HYOUI 機構は, プロセスリソース間のマイグレーションにより実現されている。

2.4 実験におけるシステムの設定

本稿で述べる実験では, エージェントとロボットの動作, およびユーザとのインタラクションを単純化して行う。インタラクションの内容は, ユーザが 3 種類の刺激を選択して与えることにより, エージェントの状態を変化させることが可能となる, 電子ペット的なインタラクションである (図 5)。具体的には, 3 種類の刺激として, 食べ物を与えること (2 種類), 撫でることをアイコン化して用意した。ここでユーザがこれらのアイコンをマウスでクリックすることにより AP に情報が送られ, そこで状態遷移が起こる。ここでエージェントは, そのときの感情状態を表す 5 つの状態を持つものとする。この遷移した状態に基づき, AC がエージェントの振舞い系列を生成し, AS において携帯端末上のアニメーションの動作として実現される。さらに本設定では, エージェントが自ら状態を

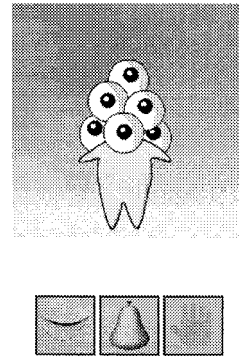


図 5 擬人化エージェントの例とインタラクションの方法
Fig. 5 An example of a personified agent and a method of interaction with a user.

変化させたり, 多様な動作をとることが可能なように自律的な動作機構⁸⁾を内蔵した。また, エージェントマイグレーションは, 携帯端末とロボットが同じサイト番号の空間に入ったときに自動的に起動するように設定する。

つまり, 本稿の実験は, 提案したインタフェースモデルが人に信頼感や親近感を与えるものであるかどうかを検証するための基礎的な実験である。

3. 心理実験

本章では, 本稿で提案した HYOUI 機構を用いることにより, 人のロボットに対する心理的な印象, および人のロボットに対する行動がどのように変化するかを調べるため, 以下の実験を行う。

3.1 実験方法

本実験の具体的な手続きは以下のとおりである。

被験者: 男女の大学生および大学院生 20 名。

実験環境: 図 6 に実験環境の概要を示す。本実験は, ATR 知能映像通信研究所内の廊下において行われた。位置 A ~ E は, 被験者, 実験者, 観察者およびロボットの位置を示す。被験者の行動は, カメラにより観察された。

実験条件: キャラクタ のロボットへの移動 (HYOUI) を行う条件と, 行わない条件を設定 (移動要因) し, 2 条件にランダムに被験者を配分した。前者の条件の被験者を実験群, 後者の条件の被験者を対照群とよぶ。さらに, これらの被験者に対して, 携帯端末上のキャラクタおよびロボットの双方に対する心理的な評定を質問票に回答さ

「エージェント」という語は, 分野によりさまざまな意味を持つため, 被験者への影響を考慮し, 本章の心理実験ではより一般的な「キャラクタ」を用いた。

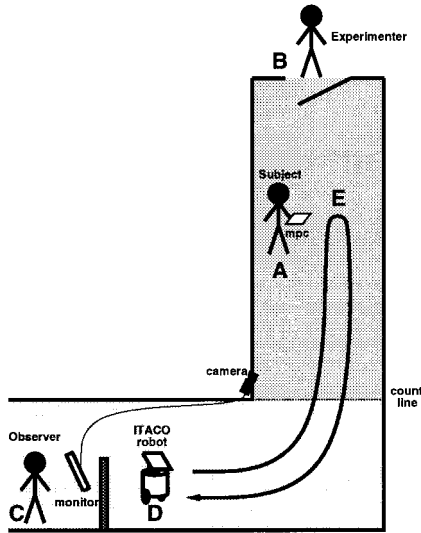


図 6 実験環境の設定

Fig. 6 Experimental setup: arrangement of subject, experimenter and observer, and track of robot.

せた(対象要因)。

キャラクタ：本実験のインタラクションで用いるキャラクタは、12種類の中から2つが選ばれた。これら2つのキャラクタは、本実験とは異なる被験者を用いた予備実験により、各評価項目(本実験で用いた質問票と同じ)において有意な差のないものを用いた。

実験手順：実験は、以下の4つのステップからなる。

- (1) 被験者は実験者から、この実験は自律的に動作するキャラクタのデザインに関するものであるとの教示を受ける。さらに、キャラクタとのインタラクションの方法について説明を受け、実際に操作する。5分間のインタラクションの後、そのキャラクタに関する質問票に答える。
- (2) 実験者は、忘れ物を取りに行くと言われ被験者に伝え、図6の位置Aから位置Bへ移動する。
- (3) 実験者が移動してから3分後、ITACOロボットが位置Dから被験者に近づき、位置Eで回転して元の位置に戻る。観察者は、このときの被験者の行動を観察し、記録する。具体的には、ロボットに追従して設定した線(count line)を越える被験者の数を記録する。
- (4) ロボットが元の位置Dへ戻った後、被験者は、今のロボットに関する質問票に答える。

評価方法：評価は、質問票への回答および被験者の行動観察の結果により行う。被験者は、質問票に答えることにより、キャラクタおよびロボットに対する、心理的な指標に基づく評価を行う。質問

票の質問項目は、キャラクタ(ロボット)の信頼性、親和性、有能さ、能動性に関する質問であり、被験者はこれらの質問に対して10点法で回答する。結果の分析では、これらの評価項目ごとの平均値を用いる。本質問票で用いた質問は、以下のとおりである。

- 信頼性：信頼できる ↔ 信頼できない、落ち着いた ↔ 興奮した、真面目である ↔ 不真面目である
- 親和性：親しみが持てる ↔ 親しみが持てない、楽しい ↔ 苦しい、親切である ↔ 意地悪である
- 有能さ：優れている ↔ 劣っている、速い ↔ 遅い、安定している ↔ 不安定である
- 能動性：積極的である ↔ 消極的である、自由である ↔ 窮屈である、意欲的である ↔ 無気力である

また、被験者がマウスをクリックした回数は自動的にコンピュータ内に記録される。

3.2 仮説と予測

本実験では、被験者と携帯端末上のキャラクタとのインタラクションにより形成されたコンテキスト(信頼感や親和性をともなう関係)が、HYOUI機構により被験者とロボットとの関係に継承されるかどうかを検証する。もしこの関係の継承が成立するならば、被験者は以下の反応をすると推測できる。

仮説1：被験者は、キャラクタが移動(HYOUI)したロボットに対して、移動しなかったロボットよりも信頼感や親近感を持つ。

予測1：実験群の被験者は、質問票の「信頼性」と「親和性」の項目について、キャラクタと同程度の評価値をロボットに与える。しかし、対照群の被験者は、上記2項目について、キャラクタより低い評価値をロボットに与える。

仮説2：被験者は、形成されたキャラクタとの関係を維持しようとし、ロボットの動作に応じて(無意識的に)追従する。

予測2：実験群の被験者は、対照群の被験者より、ロボットに追従して設定した線(count line)を越える割合が高くなる。

以上の2つの予測の検証を目的に、本実験を行う。

3.3 実験結果

3.3.1 質問票の結果

本項では、被験者から得られた質問票の結果について分析する。図7にキャラクタに対する各評価項目ごとの平均値、図8にロボットに対する各評価項目ご

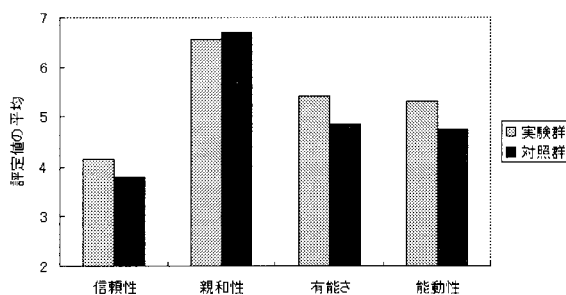


図 7 キャラクタに対する各評価項目の平均値

Fig. 7 Average score of each evaluation item for characters.

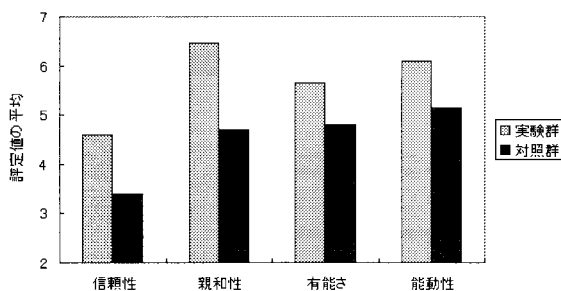


図 8 ロボットに対する各評価項目の平均値

Fig. 8 Average score of each evaluation item for robots.

の平均値を、実験群と対照群別に示す。

本分析ではまず、各評価項目ごとに移動要因と対象要因の効果について検証する。具体的には、実験群と対象群の、キャラクタに対する「信頼性」(図7)とロボットに対する「信頼性」(図8)のように評価項目ごとに2要因の分散分析を行った。その結果、「親和性」の評価項目においてのみ2要因間に交互作用が確認された($F(1, 18) = 4.813, p < .05$; 図9)。また、この「親和性」の項目では、対象要因についての主効果も有意であった($F(1, 18) = 5.824, p < .05$)。「信頼性」の評価項目では、交互作用は確認されなかったが、対照群のキャラクタに対する評価値(図7)とロボットに対する評価値(図8)の間に有意な差が確認された($t = 1.841, p < .05$)。しかし、実験群では確認されなかった。これらの結果から、「信頼性」と「親和性」の項目について、実験群の被験者はキャラクタとロボットに対して同程度の評価をしているが、対照群の被験者は異なる評価をしていることが明らかとなった。

次に、本節では、キャラクタとロボットごと(対象要因)に分析を行う。まず、実験群と対照群との間で携帯端末上のキャラクタに対する評価値に差異があるかを

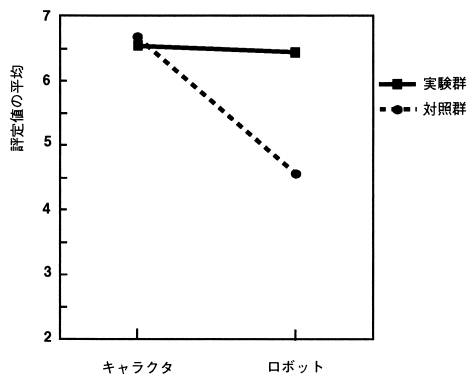


図 9 「親和性」の交互作用

Fig. 9 Interaction between two factors on "Intimacy" item.

検証した(図7)。その結果、各評価項目ごとの平均において、両群の間に有意な差は確認されなかった。次に、実験群と対照群との間でロボットに対する評価値に差異があるかを検証した(図8)。その結果、「信頼性」と「親和性」の評価項目において、両群の間に有意な差が確認された(それぞれ、 $F(1, 18) = 4.747, p < .05$, $F(1, 18) = 5.588, p < .05$)。これらの結果から、両群の被験者が行った評価は、キャラクタに対しては差がなく、ロボットに対しては「信頼性」と「親和性」の項目で差があることが確認された。

これらの結果から、キャラクタが移動した実験群の被験者は、質問票の「信頼性」と「親和性」の項目について、キャラクタと同程度の評価値をロボットに与えていたといえる。しかし、対象群の被験者は、上記2項目について、キャラクタより低い評価値をロボットに与えていた。したがって、3.2節の予測1は支持された。

3.3.2 行動観察の結果

本項では、実験群と対照群との間で被験者の行動に差異があるかを検証する。本実験では、被験者がロボットに追従して、図6における位置Aから設定した線(count line)まで移動したとき、「ロボットへの追従行動」と見なした。表1に、両群の追従行動をとった被験者の数、および追従行動をとらなかった被験者の数を示す。また、図10に追従行動をとった被験者の様子と、図11に追従行動をとらなかった被験者の様子を示す。表1の実験結果を分析したところ、有意な差が確認された($\chi^2 = 10.208, p < .01$)。この結果、実験条件の相違(移動要因)は被験者の追従行動の生起に関連があるといえる。つまり、実験群の被験者は、対照群の被験者より、ロボットに追従して設定した線(count line)を越える割合が高かったといえる。した

表1 ロボットに対する被験者の追従行動
Table 1 Ratio of subjects following robots to no-following subjects.

	追従行動あり	追従行動なし
対照群	0	10
実験群	8	2

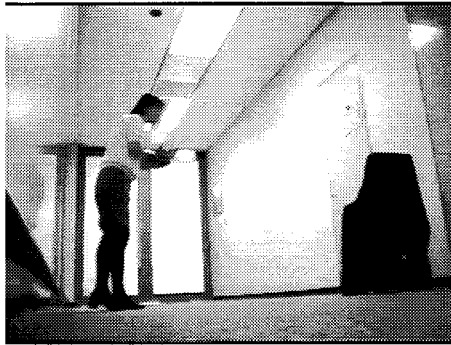


図10 ロボットに追従する被験者

Fig. 10 Photo of subject following robot.



図11 ロボットに違和感を持つ被験者

Fig. 11 Photo of subject judging robot to be strange.

がって、3.2節の予測2は支持された。

また、実験者が別室へ移動した後、実験群の被験者がマウスをクリックした回数を調べた。その結果、追従行動をとった被験者の平均回数は26.9回であったが、追従しなかった被験者は15.5回であった。したがって、追従しなかった被験者は、キャラクタとのインタラクションに興味を持たなかった可能性がある。

4. 考 察

本章では、実験結果をふまえ本稿で提案したシステムについて考察を行う。

本実験の結果は、3.2節の2つの予測を支持するものであった。まず予測1について考察する。実験結果の分析から、キャラクタに対する評価結果は、実験群と対照群の間に差がなかった(図7)。しかし、ロボッ

トに対する評価は「信頼性」と「親和性」の項目において実験群が有意に高い評価結果となっていた(図8)。また、「親和性」の項目について、2要因間(移動要因と対象要因)の交互作用が有意であったことから、実験群の被験者がロボットに対して高い評価を与えたのは、キャラクタが移動したためであることが明らかとなった。さらに、実験後の被験者のコメントを分析したところ、3名の被験者がロボットに対して、「最初は不気味だったが、キャラクタが移ってから親しみが持てた」と述べていた。これらの実験結果から、HYOUI機構により被験者とキャラクタの関係がロボットに継承され、キャラクタが移動しなかったロボットよりも親近感や信頼感を持つことができたといえる。

次に、予測2について考察する。実験結果の分析から、ロボットに対する追従行動をとった被験者の数は、実験群が対照群より有意に多かった(表1)。さらに、実験後の被験者のコメントを分析したところ、ロボットが移動し、離れていくと、「あっ、いなくなってしまう、という感じでついていってしまった」、「携帯端末からキャラクタがいなくなり、寂しくなった」と述べた被験者がいた。これらの実験結果から、被験者はインタラクションにより形成されたキャラクタとの関係を維持しようとして、ロボットの動作に応じて(無意識的に)追従していったものと考えられる。

以上の考察から、本ロボットシステムにおいて予期していた特徴は実験により検証されたといえる。つまり、本システムの特徴は、エージェントが携帯端末からロボットへ移動することによる、コンテキストの継承と一貫性の維持であった。ここではコンテキストを、信頼感や親和性をともなう関係であるととらえた。心理実験における質問票および行動観察の結果は、これらの特徴を反映するものであった。

ここで、本研究と関連研究との比較検討を行う。従来、エージェントを用いることにより、携帯端末と仮想空間の間に一貫性を持たせてガイドするという研究⁵⁾が行われてきた。本研究は、このようなコンテキストの継承と一貫性の維持が携帯端末と実世界のロボットの間にも成り立つことを実験的に示した。また、本研究の実験ではあえて、以前に山本らが行ったようなロボットからの音声を用いること¹¹⁾や、人の顔をロボットのディスプレイに表示すること¹²⁾はしなかった。なぜなら本研究では、エージェントマイグレーションの効果のみに注目したかったため、および、すでに権威(authority)付けられた人の顔ではなく、インタラクションにより創出される関係に注目したかったためである。本実験と山本らの実験は、その条件が異なるた

め単純な比較はできない。しかし、本実験で示した結果は、音声を用いることなく、その場で新たに創り出された関係のみを用いて被験者を誘導できた点で意味があると考えられる。

しかし、議論すべき点も残っている。第1に、ロボットに関する評定において、被験者は「ロボット」に対してではなく、ディスプレイに移動した「キャラクタ」について評定しているのではないかという問題がある。たしかに「信頼性」と「親和性」の項目の高い評定値は、見慣れたキャラクタについての評定である可能性がある。しかし、図7と図8より、「能動性」の評定値が、実験群と対照群の両方で、キャラクタよりロボットに対する値の方が高くなっている(実験群: 5.3 ⇒ 6.1, 対照群: 4.75 ⇒ 5.15)。また、「有能さ」の項目は、キャラクタとロボットの双方でほとんど変化がない。このことは、対照群の「信頼性」と「親和性」の評定値がキャラクタよりロボットに対して大きく下がっていることを考えると、「能動性」と「有能さ」の高い評定値は、被験者がロボットに注目し、それに対する評定をしていると考えられる。このように本質問票では、「能動性」と「有能さ」の2項目は、被験者がどの評定対象に焦点を当てているかを調べる指標と考えることができる。

第2に、質問票や実験後のコメントのような事後的な評価が、実験時の被験者の印象や行動を十分に説明できるのかという問題がある。たしかに質問票は質問の形式などによって回答が異なる場合があり、またコメントは被験者が事後的に作る説明とみることもできる。さらに、人間を含む系の評価では、生理的な指標も用いられるが、それらのデータにより主観的な印象を説明することはまだ難しいだろう。本研究では、質問票と実験後のコメントに加え、被験者の行動観察から仮説の検証を試みた。このように多面的にデータを収集することにより、検証の妥当性は高まると考える。

次に、本稿で提案したロボットシステムの応用例について考察する。現在、本稿で提案したシステムは、ATR 知能映像通信研究所内の来訪者案内システム¹⁵⁾に適用・統合され、実装されている。この案内システムは、携帯端末が提示する情報世界と人間が存在する物理世界をロボットにより結び付けることにより、来訪者の希望に沿った、スムーズな案内を実現している。ここでも来訪者とロボットの円滑なコミュニケーションは、本稿で提案したITACOロボットとHYOUI機構の特徴によるものである。このシステムの詳細および評価については、別の論文にて発表する予定である。最後に、今後の研究の方向性について述べる。すで

に述べたように、本稿で提案したシステムでは、ロボットからの音声による誘導を用いなかった。その理由は、音声は注意の喚起や指示において強い束縛力を持つため、あえてCGの擬人化エージェントの移動のみを実験の対象とした。しかし日常場面での応用を目指すためには、音声の効果も検討する必要がある。さらに、本実験の環境がまだ人工的なものであるという批判もあるだろう。さらに高度なロボット制御の技術を用いることにより、より実際の日常生活場面に近い環境で本システムの効果を考える必要があると考える。

5. おわりに

本稿では、人とロボットの間に円滑なインタラクションを成立させるためのインタフェースモデルを提案した。本モデルでは、ユーザはまず携帯端末上の擬人化エージェントとインタラクトすることにより、エージェントに対して信頼感や親近感を持つようになる。その後、必要に応じて、エージェントはロボットへ移動(migration)するが、この関係はそのまま継承されるため、ユーザはロボットに対して信頼感や親近感を持ち、ロボットに追従行動をとると予測した。本研究では、提案したモデルをロボットシステムとして実装し、そのシステムを用いた心理実験により評価を行った。その結果、上記の予測を検証することができた。本稿ではさらに、本研究における問題点について議論し、本システムの応用例としてのガイドロボットシステムについて述べた。

謝辞 本研究を進めるにあたって、ATR 知能映像通信研究所の片桐恭弘室長、間瀬健二室長、宮里勉室長から有益なご助言および多大なるご支援をいただいた。また、榎沢順研究員には、エージェントのデザインにおいてご協力いただいた。さらに、奈良先端科学技術大学院大学の江谷典子氏には、システム構築の際にご協力いただいた。以上の諸氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Andre, E., Rist, T. and Muller, J.: Webpersona: A Life-like Presentation Agent for the World-Wide Web, *IJCAI '97 Workshop on Animated Interface Agents: Making Them Intelligent*, pp.53-60 (1997).
- 2) Beskow, J. and McGlashan, S.: Olga - A Conversational Agent with Gestures, *IJCAI '97 Workshop on Animated Interface Agents: Making Them Intelligent*, pp.39-44 (1997).
- 3) Burgard, W., Cremers, A.B., Fox, D., Haehnel, D., Lakemeyer, G., Schulz, D.,

- Steiner, W. and Thurn, S.: The Interactive Museum Tour-guide Robot, *AAAI '98*, pp.11-18 (1998).
- 4) 江谷典子, 江谷為之, 間瀬健二: シームレスな情報環境を実現するロボットメディアの設計と実装, マルチメディア通信と分散処理研究会資料, 93-7, pp.37-42, 情報処理学会 (1999).
 - 5) Kadobayashi, R. and Mase, K.: Seamless Guidance by Personal Agent in Virtual Space Based on User Interaction in Real World, *The 3rd International Conference on The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM '98)*, London, pp.191-200 (1998).
 - 6) Kortenkamp, D., Huber, E. and Bonasso, R.P.: Recognizing and Interpreting Gestures on a Mobile Robot, *AAAI '96*, pp.915-921 (1996).
 - 7) Nagao, K. and Rekimoto, J.: Ubiquitous Talker: Spoken Language Interaction with Real World Objects, *IJCAI '95*, pp.1284-1290 (1995).
 - 8) Ono, T. and Okada, M.: Consistency Generation Dependent on Situation, *7th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN '98)*, pp.40-45 (1998).
 - 9) 大澤一郎: パーソナルインタフェースエージェントによる街角情報支援, *WISS '97*, pp.175-180, 日本ソフトウェア科学会 (1997).
 - 10) Takeda, H., Kobayashi, N., Matsubara, Y. and Nishida, T.: Towards Ubiquitous Human-Robot Interaction, *IJCAI '97 Workshop on Intelligent Multimodal Systems*, pp.1-8 (1995).
 - 11) 山本吉伸, 佐藤 充, 開 一夫, 山崎信行, 安西祐一郎: 人間とロボットの協調作業は可能か?—オフィスロボットシステム HuRIS, ヒューマンインタフェース研究会, 92-HI-41-16, pp.117-124, 情報処理学会 (1992).
 - 12) 山本吉伸: ロボットから人間への依頼, 月刊言語, Vol.23, No.8, pp.50-57 (1994).
 - 13) Yamasaki, N. and Anzai, Y.: Active Interface for Human-Robot Interaction, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.3103-3109 (1995).
 - 14) 横井一仁ほか: 特集人間共存型ロボット, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.3, pp.1-38 (1998).
 - 15) 角 康之, 江谷為之, シドニーフエルス, ニコラシモネ, 小林 薫, 間瀬健二: C-MAP: Context-aware な展示ガイドシステムの試作, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2866-2878 (1998).

(平成 11 年 4 月 26 日受付)

(平成 11 年 11 月 4 日採録)



小野 哲雄 (正会員)

1997 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年より(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員。博士(情報科学)。認知科学, 人工知能一般に興味

を持つ。特に, 感情の計算モデル, マルチエージェントモデルによる共通言語の組織化, ヒューマンロボットコミュニケーションに関する研究に従事。認知科学会, 人工知能学会各会員。



今井 倫太

1992 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1994 年同大学大学院計算機科学専攻修士課程修了。同年, NTT ヒューマンインタフェース研究所入社。現在, ATR 知能映像通信研究所研究員。以来, VR 上のエージェントや自律

ロボットとのインタラクションの研究に従事。ロボットとの対話, センサを用いた状況知覚に興味を持つ。



江谷 為之 (正会員)

1986 年同志社大学工学部電子工学科卒業。同年富士通関西通信システム(株)入社。1996 年より(株)ATR 知能映像通信研究所研究員。1999 年富士通関西通信システム

(株)に復職。電子交換システムの開発, グループワークモデルの研究に従事。人工知能学会, 電子情報通信学会各会員。



中津 良平 (正会員)

1969 年京都大学工学部電子工学科卒業。1971 年同大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社(現 NTT) 武蔵野電気通信研究所入所。1980 年横須賀電気通信研究所。主として音声認識の基礎研究, 応用研究に従事。1990 年

NTT 基礎研究所研究企画部長。1994 年より ATR に移り, 現在(株)ATR 知能映像通信研究所代表取締役社長。マルチメディア要素技術の研究およびマルチメディア技術を応用した通信方式の研究等に従事。工学博士(京大)。