

Relational Human Interface: ユーザからの積極的な関わりを求めて

今 井 倫 太†

本稿では、人間とシステムの関係性の重要性に関して、ロボットおよびエージェントを用いたインタフェースの研究を通して解説する。特に、CG エージェントを用いた関係性の構築および、ロボットのアイコンタクト、人間の行動とロボットの行動の同時性が、インタラクションに与える影響を紹介する。

Relational Human Interface for Engaging Humans in Interaction

MICHITA IMAI†

This paper shows the importance of the relationship between humans and interactive systems. As the examples of the interactive systems, I describe the effect of the relationship between a human and a CG character, the effect of robot's eye-contact, and the effect of simultaneous behaviors between human's behaviors and robot's actions.

1. はじめに

情報機器が高機能化し、より容易に使えるインタフェースのデザインが必要不可欠になりつつある。音声やジェスチャによる対話形式で情報を提供するインタフェースは、必要な情報をインタラクティブに提供でき、誰でも容易に使用可能なインタフェースの構築に向けて注目されている。一方で、ロボットやエージェントのインタラクティブシステムの研究から、人間とシステムの関係性が重要であることが明らかになりつつある³⁾。本稿では、人間とシステムの関係性の観点からインタラクティブについて紹介し、リレーショナルヒューマンインタフェースについて考える。

対話形式のインタフェースをデザインする際に問題となるのは、システム側から人間に自発的に情報を提示しても、人間から無視される場合があることである³⁾。特に、ユーザにとってシステムのタスクが明確ではない場合にインタラクションを成立させるためには避けることのできない問題である。

本稿は、関係性に関する我々の研究のあゆみを通して、人をシステムとのインタラクションへと引き込む要件について考察する。2章で、関係性がインタラクションに与える効果について説明する。3章では、ア

アイコンタクトの重要性について説明し、4章で、人間の行動とロボットの行動の同時性と情報共有の関係について紹介する。5章で、本稿のまとめを述べる。

2. 関係性とインタフェース

2.1 インタラクションの難しさ

対話形式で人間とインタラクションするシステムには、メニュー形式のソフトウェアや、Web ブラウザで表示されるホームページがあり、既に多くの人が使用経験があると思われる。一方で、CG キャラクターやロボットに代表される自律性の高いインタフェースシステムは、システム側からも積極的に人間に対話を促す点が、通常のコンピュータインタフェースと大きく異なる点である。

自律性の高いインタフェースでの情報提示で問題となるのは、システム側からインタラクションを開始する際の難しさである。対話形式のインタラクションが成立するためには、システム(ロボットやエージェント)を人間が対話相手であると認め、対話に参加する必要がある。通常このような対話への導入プロセスは無意識の内に行われる。

ここで問題となるのは、対話への導入プロセスが通常起きず、人間が対話へと参加しないところである。大きな原因は、人間とシステムとの関係性の欠如である。人間は、なんらかの関係性がある相手に対して対話の導入プロセスが起こる。

本章では、関係性がインタラクションに与える影響

† 慶應義塾大学理工学部情報工学科
横浜市港北区日吉 3-14
TEL: (045) 566-1515
michita@ayu.ics.keio.ac.jp

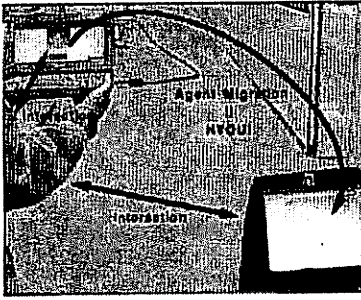


図1 エージェントの移動による関係の移動

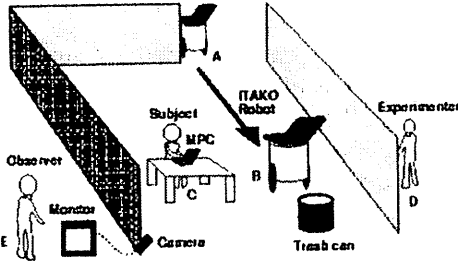


図2 実験環境

について、人間とロボットのインタラクションの実験を通して説明する。また、対話へ参加する・しないということについても具体的に説明をし、インタフェースに必要な基本的な要件について述べる。

2.2 人間とロボットのインタラクションにおける関係性

この実験³⁾では、ロボットが人に唐突に依頼をした際に、ロボットの依頼が人間に伝わるかどうか調べた実験である。結果を先に述べると、ロボットからの依頼が人間に伝わるためには、お互いの間に何らかの関係が成立している必要があるといったものであった。

以下、この実験について簡単に述べる。実験は、被験者の前に現れた移動ロボットが、「ゴミ箱をどけてください。」と合成音声で被験者に依頼するものである(図2)。

実験では、ロボットが人間の目の前に突然現れても人間とロボット間に関係が形成されにくいことを考慮し、CG エージェントの利用を試みた。CG エージェントは、図1の左上の携帯端末上のCGキャラクターである。実験では、ロボットとのコミュニケーションが開始

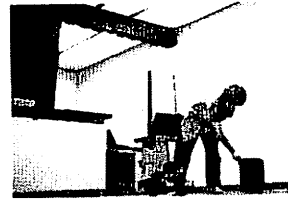


図3 ロボットの発話を理解できた被験者

される前に、被験者に、携帯端末上のCG エージェントに餌を与えさせるなどCG エージェントに十分慣れ親しんでもらった。

人間とロボットの関係は、被験者が慣れ親しんだCG エージェントを仲介役として形成される。図1の右下に示す通り、実験で用いたロボットはディスプレイを持つ。ロボットが被験者に近づいたときには、このディスプレイに、携帯端末上に表示されているCG エージェントと同一のキャラクターが表示される。また、CG エージェントは、ロボットのディスプレイ上に表示されると同時に、携帯端末上のディスプレイに表示されなくなる。この一連のプロセスは、慣れ親しんだCG エージェントが携帯端末からロボットへ移動したように被験者から見え、被験者とロボットが関わるきっかけを与える。

実験では、ロボット上のディスプレイへCG エージェントが移動する場合としない場合を比較し、人間とロボット間の関係がロボットから人間への依頼に影響を与えるかどうか調べた。

図2に実験環境を示す。被験者は、図中のCに座わり、携帯端末上のCG エージェントとインタラクションするように教示される。ここで、被験者は、実験の目的がCG エージェントの評価であると指示されており、ロボットの存在は予め教えられていない。

被験者がCG キャラクタを操作しているときに、ロボットは、図中のAからBに移動し、被験者の前に突然現れる。ここで、CG エージェントは、携帯端末上から消えロボットのディスプレイに移動し表示される。また同時に、合成音声で、「ゴミ箱をどけてください。」と人に依頼する。この実験は、CG エージェントがロボットに移動しない場合もおこなわれた。

図3は、CG エージェントがロボット上に移動した場合の被験者の行動を示している。被験者は、CG エージェントが携帯端末上から消えた瞬間戸惑った。しかし、同じCG エージェントがロボット上に表示されているので、「ゴミ箱をどけてください。」とのロボットの依頼に素直に従い、ゴミ箱をどけた。この実験条件の下、被験者10人の内、8人がゴミ箱をどけた。

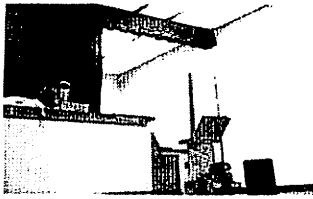


図4 ロボットの発話を理解できない被験者

図4は,CG エージェントがロボット上に移動しない場合の被験者の行動を示している。被験者は,突然現れた見知らぬロボットを無視した。この実験条件下,被験者10人の内,9人がゴミ箱をどけなかった。

また,CG エージェントがロボット上に移動しなかった場合の実験では,たいへん興味深いアンケート結果が被験者から得られた。CG エージェントがロボット上に移動しなかった場合,被験者は,ロボットが何を言っているのか理解できていなかったのである。つまり,合成音声を理解できていなかったのである。一方,CG エージェントが移動した被験者は,ゴミ箱をどけたことから明らかなように,ロボットからの依頼を正確に理解していた。

以上の結果は,ロボットの発話を人間が理解する時に,ロボットの意図やロボットが知覚している環境に人間が注目している必要があることを示している。CG エージェントを介してロボットとの関係が構築された被験者は,ロボットの意図や知覚を推測しているので,聞き取りづらいロボットの音声の内容を理解することができたのである。一方で,ロボットとの関係が成立していない場合の被験者は,ロボットの発言を音声のみから聞き取ろうとするので,ロボットの発話を理解することができなかったのである。

2.3 インタラクションと関係性

前節で紹介した実験の結果を踏まえると,ロボットとのインタラクションに人間が参加するということは,ロボットの意図や知覚している状況を人間が推測することであると考えることができる。一方,ロボットと関係のない人間は,ロボットの行動自体を観察するだけで,意図や状況を推測することができないと言える。

図5は,関係の成立による人間の視点の変化を模式的に表したものである。関係が成立する前(図の左)では,人間が実験であることを意識しており,発話するロボットを観察しているのに対し,関係の成立後(図の右)では,ロボットの意図を読む視点へと移動しコミュニケーションへと没入していることを表している。

つまり,以上の実験は,人間とロボットのインタラクションを設計する上で,ロボットの意図を読む視点

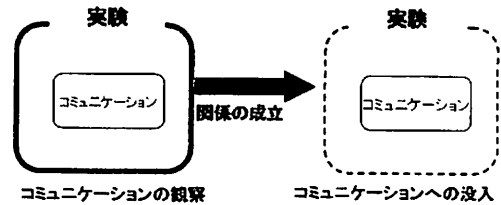


図5 視点の変化

へと人間の視点を変化させるインタラクションのデザインが必要であることを示している。そのキーワードの一つが人間とロボット間の関係性である。

3. アイコンタクトと共同注意

3.1 ロボットとのアイコンタクトの効果

本章では,人間とシステムの関係性を築く手法の他の例として,人型ロボットの身体表現を用いた関係性の構築について紹介する。その手法とは,人間が普段無意識に行っているアイコンタクトである。アイコンタクトは,自分が何かの意図を持って行動していることを他人に伝える効果があり,人間同士のコミュニケーションでの意思確認の基本となっていることが知られている¹⁾。では,ロボットが人間とコミュニケーションする際にもアイコンタクトは有効に働くのであろうか。本章は,人間とロボットのアイコンタクトがコミュニケーションに与える影響について調べた実験について述べる。

3.2 アイコンタクトの有無の実験

実験では,図6に示すコミュニケーションロボット Robovie を用いた。Robovie は,人間との関係を構築するために Robovie の視線を人間に向け,アイコンタクトを行う。実験では,アイコンタクトによってロボットの意図を人間に感じ取らせ,ロボットが指差す対象を人間に気付かせることができるかどうかについて調べた。

実験では,20人の被験者を半数ずつ二つのグループに分けた。一つのグループ(実験群)は,被験者とアイコンタクトを行なう Robovie を与えた。もう一つのグループ(対照群)には,アイコンタクトを行なわない Robovie を与えた。また両方のグループに対して Robovie は,腕によって壁に貼られたポスタを指し示す。実験では,Robovie がポスタを指し示す際に,人間とアイコンタクトした場合としない場合で,



図 6 実験場面：

(左) 人間と Robovie がアイコンタクトしている。(中) ポスターへの共同注意の成立。
(右) Robovie の腕を見る被験者。

表 1 実験結果：アイコンタクトの効果によってポスターを参照した被験者の数。(U = 5, p < .01)

	ポスターを見た	Robovie の腕を見た
アイコンタクトあり	10	0
アイコンタクトなし	1	9

被験者がどこを見たかを記録した。

実験は、以下の手順で行なった。始めに、Robovie が被験者の前を通りすぎ、ポスタの前で止まる。ここで、被験者は、Robovie とポスタの両方を見ることが出来る場所に立っている。次に、Robovie は、被験者の方に振り返り、「これ見てね。」と発話しながら、腕でポスタを指し示す。この時点で実験群の被験者には、Robovie が、被験者を見る動作とポスタを見る動作を繰り返す。対照群の被験者には、Robovie が顔を正面に向けたまま動かさない。

図 1 に実験結果を示す。被験者は、Robovie がアイコンタクトした場合(図 6 左)、ポスタへ視線を向けた(図 6 真中)。一方、Robovie がアイコンタクトを行なわなかった場合、多くの被験者がポスタを見ずに Robovie の腕先を見た(6 右)。結果、Robovie の意図を人間に感じとらせるためにはアイコンタクトが影響を与えることが確認された。ここで実験データに対して用いた検定は、Mann-Whitney 検定であり、U 値および p 値は $U = 5, p < .01$ であった。

3.3 アイコンタクトの効果の考察

実験結果から、実世界の物体を Robovie が指し示していることに対照群の被験者は気づかなかったことがうかがえる。つまり、被験者は、Robovie のポスタを指し示そうとする意図を読んでいない。一方、アイコンタクトによって、被験者は、Robovie の意図に気づき、ポスタを見ることができた。つまり、実験結果は、人間とロボットのコミュニケーションでも、アイコンタクトが、ロボットの意図を人間に読ませるうえで重要な働きをすることを示している。

4. 同時性と情報共有

4.1 実世界の情報の共有

前章の実験結果は、実世界の情報に対して、人間とロボットが情報共有する際にはアイコンタクトが重要であることを示しているとも言える。本章では、ロボットの視線と実世界の情報の共有について、インタラクションの観点から予想される認知モデルを紹介する。また、その検証実験について簡単に触れる。

モデル化の対象となるインタラクションは、実世界の情報に対する人間の参照行動(ある物体を見る、指さす)とロボットの視線の時間的な関係である。

4.2 環境情報に関する文脈共有

4.2.1 文脈共有

本章で対象とする環境情報に関する文脈共有は、人間が指さしや言葉で参照した物体に対してロボットも参照することによって生じる情報共有のことを指す。また同時に、対象物に関するインタラクションの文脈もロボットと共有している状態を指す。つまり、単純な情報の共有とも、単純な共同注意とも異なる。

インタラクションの文脈も含め物体の情報を共有することは、ロボットの理解度が向上したように人間に思わせ、コミュニケーションにおけるロボットの信頼感も向上することが期待できる。

4.2.2 情報共有における問題

ここで文脈の共有を考えるために、まず情報共有に関する問題点について考える。図 7 は、分散計算機環境で通信によって情報を共有する際の問題を戦のアナロジーで図示したものである。問題設定の時間スケールが異なるが、人間同士や人間とロボット間の情報共有でも問題は同じである。この問題の舞台は戦国時代

- 分散環境での共有 → 一斉攻撃問題

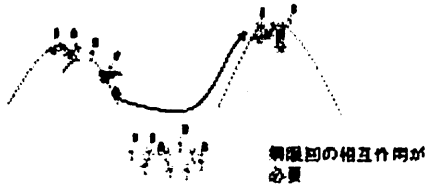


図7 一斉攻撃問題

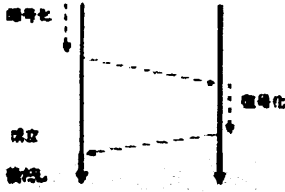


図8 インターネットじゃんけん

である。山頂の部隊 A と部隊 B が谷その敵 C を攻撃する際にどのようにして A と B の攻め入るタイミングを決めるかという問題である。A と B は同時に C を攻めないとなれば勝算は無い。

電気的な通信手段が無いので早馬を送って攻め入る時刻を決めることになる。例えば A から B に早馬を送ると B に攻め入る時刻が伝わる。しかし、B に情報が確実に届いたかどうか A は知ることが出来ない。情報を受け取ったことを知らせる早馬を B は A に送る必要がある。しかし今度は早馬が A に届いたことを B が知ることができない。理論的には、攻め入る時刻を共有するために無限回早馬を送り合う必要がある。

この問題の解決策は、速度の速い通信手段を同時に用いることである。例えば狼煙を同時に上げると、タイミングの送信と確認を同時に行うことができる。

一斉攻撃問題が示唆することは、メッセージのやりとりだけでは情報を共有できないことである。実現できることは情報の伝達である。この示唆は、環境情報を参照する際にアイコンタクトや視線、ジェスチャが重要となる点にも通じる^{2), 5)}。同時に視線を合わせる、同時にジェスチャをすることの効果は、狼煙を同時に上げることと同じ効果があると思われる。本稿では、一斉攻撃問題の観点から、インタラクションで起こる視線・ジェスチャの同時性と文脈共有を考える。

4.2.3 インタラクションと同時性

直感的に分かり易い同時性現象の一つにじゃんけんがある。じゃんけんは、同時に手を出さないとゲーム

・ 同時性領域と因果性領域

・ 同時性(行動が合う) = モデルの同一性



図9 同時性と情報共有

が成立せず、同時じゃない場合は後出しと判定される。同時性の概念を分かり易く説明するモデルに、インターネット上のコンピュータ同士のじゃんけんを例題としたものが提案されている。

じゃんけんの後出しを定義するためにじゃんけんの手は暗号化されて相手のコンピュータに送られる。手の暗号化および復号化の時間をして、通信の遅延時間が固定であり明らかな場合、図8に示す形で後出しが定義される。コンピュータが手を暗号化して相手に送り、相手が復号化して手を見た後に手を送り返すことのできる時刻より後に届いた手は全て後だしである(可能性がある)。この時刻より以前に届いた相手の手は、理論的に手を読むことが不可能なのでじゃんけんが成立する。

この時刻が同時性の成立の分かれ目と考えることができる。つまり同時性とは、相手から情報を受け取り終わる前にお互い行動することであると定義できる。同期の概念とは異なり、成立において時間に幅がある。

4.3 文脈共有のインタラクション同時性のモデル

文脈共有におけるインタラクションの同時性のモデルを、図8を基に説明すると図9となる。人間が視線やジェスチャで環境情報を参照する際に、ロボットも同様に視線やジェスチャで参照したとする。図8を基に考えると、このロボットの参照行動は、人間が何を参照するか分かる前に行ったものであるならば、同時性の時間領域での行動であると言える。つまり、後出しとなる時刻以前にロボットが人間と同様な行動をする場合は、同時性行動が起きたと言える。インタラクションにおける行動の同時性は、時間要素と行動の類似性で定義可能である。言い替えると、同時性の時間領域で類似の行動をロボットが示した場合を同時性行動と定義することができる。

さらに、同時性領域における行動の出現は文脈共有の証拠となることも分かる。相手が同時性領域で類似



図 10 同時性行動と因果的行動

の行動を行った場合、相手は情報が完全に伝わっていないのにも関わらず行動を起こせたといえる。情報が伝わる前に行動が起きたことは、同様の文脈を共有していたからである可能性が高い。

このモデルから示唆されるロボットデザインは、次のものである。

- ロボットが人間に対して同時性行動を示す場合、人間は、ロボットが自分と同様の文脈を共有していると思う。

また、後出しの時間領域でのロボットの行動は、人間の命令に応じて動く因果的行動と捉えることができる。よって、さらに次の示唆が得られる。

- ロボットが人間に対して因果的行動を示す場合、人間は、ロボットを命令で制御していると感じる。

4.4 同時性インタラクションの事例

図 10 に、人間が実世界の物体を参照した際のロボットの行動を示す。図左の行動は、人間の指さし行動が 0.3 秒後に指す物体を予測し、人間の指さし終了前にロボットが視線を向けている。同時性行動に相当する。図右の行動は、人間の指さし行動が終了してからロボットが、指された物体を参照している。ここで、人間の行動はモーションキャプチャシステムで計測されている。

上記の行動の違いを検証する実験を行った⁴⁾。実験では、人間が物体を指し示す際に、物体に付けられたラベル(番号)と指示語のどちらかを用いる。同時性行動では、指示語の使用が好まれるとともに、共有感が向上するという結果が得られた。指示語は相手も同じ状況を共有している際に用いられるものである。よっ

て指示語の使用からも同時性行動は環境情報に関する文脈共有感を向上させることが分かる。

5. ま と め

本稿は、人間とロボットの関係性を通して、機械とのインタラクションへと人間を参加させる手法について紹介した。具体的には、システムの意図を人間に意識させること、および実世界の情報をシステムと共有することが、関係性を構築するリレーショナルヒューマンインタフェースデザインに掛かっていることを紹介した。本稿で紹介したリレーショナルヒューマンインタフェースデザインは、ロボットというインタラクティブ性の高いシステムが基となっている。しかし、実世界の情報を共有しつつ人間とインタラクションするシステムは、ロボットだけの課題でない。ロボットとのインタラクションに関する知見には、他のインタフェースシステムへ適応可能な物があり、今後様々なインタフェースへと展開する予定である。

参 考 文 献

- 1) S. Baron-Cohen. *Mindblindness: An essay on Autism and Theory of mind*. MIT Press, 1987.
- 2) M. Imai, T. Ono, and H. Ishiguro. Physical relation and expression: Joint attention for human-robot interaction. *IEEE Transactions on Industrial Electronics (ITIED 6)*, 50(4):636-643, 2003.
- 3) T. Ono and M. Imai. Reading a robot's mind: A model of utterance understanding based on the theory of mind mechanism. In *Proceedings of AAAI-2000*, pages 142-148, 2000.
- 4) O. Sugiyama, T. Kanda, M. Imai, H. Ishiguro, and N. Hagita. Natural deictic communication with humanoid robots. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2007)*, pages 1441-1448, 2007.
- 5) 神田, 鎌島, 今井, 小野, 坂本, 石黒, and 安西. 人間型対話ロボットのための協調的身体動作の利用. *日本ロボット学会誌*, 23(7):132-143, 2005.