

# ルンバをベースにしたモバイルロボットの接触による情報伝達 支援

## Communication support using the touch of a Roomba based mobile robot

古橋道彦<sup>1\*</sup> 中村剛士<sup>1</sup> 加納政芳<sup>2</sup> 山田晃嗣<sup>3</sup>  
Michihiko Furuhashi<sup>1</sup> Tsuyoshi Nakamura<sup>1</sup> Masayoshi Kanoh<sup>2</sup> Koji Yamada<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋工業大学

<sup>1</sup> Nagoya Institute of Technology

<sup>2</sup> 中京大学

<sup>2</sup> Chukyo University

<sup>3</sup> 情報科学芸術大学院大学

<sup>3</sup> Institute of Advanced Media Arts and Sciences

### Abstract:

Studies on pHRI which focuses on physical embodiment of robots are paid attentions in recent years. Our study proposes a mobile robot "AcToR" which is based on the Roomba. AcToR lets a person recognize the intention of the communication from AcToR using touch. For example, AcToR detects an incoming call on the person's cell phone, approaches the person and the person notifies the incoming call by the touch of AcToR. AcToR can detect the touch using Roomba's bumper and the touch sensors. In this paper, we conducted a psychology experiment using AcToR and show feasibility of the communication by the touch of the robot.

## 1 はじめに

実世界に物理的に存在するロボットは、実体を備えている点において、仮想環境のCGで表現されたエージェントとは大きく異なる。実体を持つロボットと仮想的なエージェントを直接比較した実験や調査はいくつか存在し、実体を持つことの効果や人間への心理的影響について議論が行われている [1],[2], [3], [4]。その他、物理的な実体を持つロボットと人間とのインタラクションに関する研究には、様々な状況を設定した研究例が存在する。例えば、Leeら [5] は、スナックデリバリーロボットを開発し、オフィス内で使用した。実体を持つエージェントの調査は四ヶ月に渡り、ソーシャルロボットと人々のインタラクションが観察された。また、ロボットが人間に助言する状況や、寄り添い歩きをする状況等における HRI に関する研究もある [6],[7]。多くの研究例が主張するように、実体を持つことは、仮想的な存在にはない存在感を提供し、人間と物理空間を共有することにより、人間との自然なコミュニケー

ションを実現することが期待される。

ロボットに限らず、実体を持つものとのコミュニケーションは、様々な状況で、実世界に暮らす我々に恩恵をもたらす。身体障害者補助犬はその一例であり、その中でも聴導犬は、身体接触という身体性が持つ特徴を積極的に利用する。聴導犬とは、聴覚障害者の生活を安全で安心できるものにするために、生活に必要な音をタッチして教え、音源に導く身体障害者補助犬である [8]。聴導犬は、例えば、目覚まし時計、インターフォン、メール着信、やかんの沸騰、FAX、赤ちゃんの泣き声、非常ベル等、日常生活において重要な情報伝達を担う。また、訓練を受けた聴導犬と類似した行動として、ペットである犬や猫が飼い主である人間にタッチして起床を促したり、危険を知らせたりする等の逸話は数多く存在する。

そこで、本研究では、以上のような特徴を持つ聴導犬を参考とし、「ロボット側から人間に能動的に接触を行い、情報伝達する」ことを提案する。聴導犬の特徴は、身体性を利用した接触を有効に利用した情報伝達にあり、接触は人の触覚に作用する。また、当然ながら、犬は四脚歩行による移動が出来るため、人間が離

\*連絡先：名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻  
〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町  
E-mail: furuhashi@ai.nitech.ac.jp, tnaka@nitech.ac.jp

れた場所においても、人間の居る場所まで移動し情報伝達することが出来るという特徴もある。身体性と移動機構は、多くのロボットが備える特徴であり、聴導犬と類似している。その一方、聴導犬は動物であるため、人間と生活環境を共にすることが困難な場合があり、ロボットの方が適しているであろう場合が容易に想像出来る。なお、聴導犬は聴覚障害者のための補助犬であるが、我々の提案するロボットは、聴覚障害者のサポートのみを対象としたものではなく、広く一般に利用可能なロボットとして提案する。

接触による情報伝達の特徴は、情報を伝達すべき対象者に直接的に情報を伝えられ、その情報を伝達すべき対象者以外に伝達されにくいことにある。例えば人同士のコミュニケーションにおいて、友人や知人に背後から肩を軽く叩かれたり、横から腹部を小突かれたりしたことが誰にでもあるのではないだろうか。こういった接触による情報伝達を知覚できるのは、直接接触された人物のみであり、接触による触覚刺激が他者に影響せず、拡散する範囲は非常に狭い。それに較べ、聴覚刺激については、その刺激が拡散する範囲は音が観測できる範囲であり、接触に較べて十分に広い。このように、触覚と聴覚にはそれぞれ拡散する範囲に大きな違いがあり、それぞれの性質を考慮した情報伝達をすべきである。例えば、携帯電話やスマートフォンのメール着信を考えてみる。聴覚刺激である着信音は、人間が知覚しやすい反面、周囲に他人がいる環境では使用が制限される環境が多い。公共の場所や、静音が要求される環境、逆に騒音がする環境では、着信音の使用は好ましくなかったり、不向きであったりする。病院、図書館、劇場、会議室、赤ちゃんが寝ている環境、工場内等はその例として挙げられる。

また、情報伝達にロボットを採用する大きな理由の1つは、その移動機構にある。携帯電話に着信があったにもかかわらず、それに気づかなかったことはないだろうか。振動やランプによる着信通知は、身につけていたり、手元に置いていなければ、それに気づくことは難しい。残念ながら、現在販売されている携帯電話には、車輪や翼は付いておらず、移動機構がないため、離れた場所にある携帯電話がユーザが居る場所まで移動して着信通知をすることは無い。現状の最適な解決は、ウェアラブル端末を身につけることであるが、それを常時身につけておくことに煩わしさや抵抗を示す人も多い。それに対し、例えば、携帯電話とロボットをBluetoothで接続しておけば、ロボットは携帯電話の着信を知覚でき、ユーザの元に移動して、着信通知を行うことが出来る。ユーザは、ロボットの接触から着信を知り、その後携帯電話を手に取りれば良い。携帯電話を手元に置いておく必要はなく、ウェアラブル端末を身につける必要もない。尚、本研究では、現状では以上の様に、携帯電話の着信通知等を自宅やオフィ

スなど限られた屋内空間における実用を目指す。

今回、本研究では、iRobot社製の掃除ロボットRoombaをベースとしてロボットを構成している。Roombaは、すでに家庭に広く導入されており、事故の報告等もほとんどなく、安全面の高さが確認できる。また、接触を前提としたバンパーが本体に装着されており、接触/非接触の判定がバンパーの接触センサで容易に可能なこと、移動機構を備えていることから、これを採用した。Roombaは搭載された各センサによって、障害物の検知と回避をするように設計されているものの、Roombaの置かれた周辺環境によっては、壁や物に接触することが少なからず発生すると考えられる。つまり、本研究においては、Roombaによる接触が情報伝達のための意図的な接触であるのか、掃除の過程における偶発的な接触であるのかを人間が区別できなくてはならない。そこで、このような「ロボットからの能動的接触による情報伝達」を開発・実現するためには、実装技術的な課題に加え、いくつかの基礎的な調査・検討が必要である。その必須検討事項の1つが、「ロボットからの接触によって、人間に情報を伝達することが可能なのか?」である。哲学者Dennett[9]は、人間が対象の振舞いを理解し、予測するための戦略の1つに、意図スタンスがあると述べている。寺田ら[10]は、Dennettの論考に基づいて、意図スタンスについての検証実験を行った。我々の検討事項もまた、「ロボットが接触する振舞いの意図を人間が理解することが可能なのか」という問題として捉えれば、意図スタンスの検証として扱うことが出来る。

本研究では、ロボットの接触する振舞いについて二つの実験によって検証する。一つ目は、「接触が偶然ではなく意図的に実行されたことを人間が認知出来るのか?」についての実験である。さらに、この実験結果を踏まえた二つ目の実験として、「ロボットが接触する振舞いに対しどんな意図を人間は感じるのか?」について調査する。これらの実験結果に基づいて、ロボットの接触による情報伝達の実現可能性について議論する。

## 2 関連研究

ロボットの能動的な身体接触という観点での関連研究としては、中川ら[11]が、ロボットから人間に対しタスク実施要求をする際、身体接触の有無が人間のモチベーションを変化させ得るとの報告をしている。このことは、身体接触が人間とロボットの間においても有効なコミュニケーション手段であることを示唆している。また、福田ら[12]は、最後通牒ゲームを使って、ロボットからの身体接触がロボットに対する利他的行動を誘発するかについて調査した。その他、Chenら[13]は、看護師ロボットを開発し、人間に接触する際の接

触時の声かけとロボットからの接触に対する人間の反応に関する調査を行った。本研究の目的は、前述の通りロボットの接触を情報伝達手段として考えており、これらとは目的とその実現手法が異なる。しかしながら、ロボットからの接触を人間とのインタフェースの1つに採用している点においては、本研究と同様である。

一方、人間とロボットが共生する社会においては、互いの接触を回避することが難しくなることから、接触を前提としたロボットの設計や人体の損傷に関する調査研究もされている。Oudeyerら[17]は、ヒューマノイドロボットのAcrobanを開発し、直感的なpHRI (physical Human-Robot Interaction) を提供した。また、人間とロボットがワークスペースを共有する際の安全なpHRIについての研究例としては、Augstssonら[16]が、産業用ロボットのセーフティーゾーンに関するコンセプトを提案した。ロボットと人間が仕事環境を共有する場合において、ロボットと人間の位置関係に応じて、セーフティーゾーンを変更するものである。その他にも、ロボットアームであるKUKA LWR-IVにおける実装の報告[15]や、人工スキンによる接触センサ技術の報告[14]もある。ロボットの物理的身体接触における安全性については、実用段階においては当然検討しなければならない事項であり、これらの調査結果や技術は本研究の近い将来に有益な情報をもたらしている。

また、直接は関係しないものの、本研究同様に動物をモデルにしたロボットの開発としては、パロ[18]やSonyのAIBO等が存在し、ペットロボットセラピーの分野を開拓している。これらのロボットの外観や振舞いに関するデザインは、本研究においても今後参考にすべき要素である。

### 3 ロボットの構成

本研究では、人に対してロボットが能動的に接触を行うことを目指す。開発するロボットは、先に述べたように、iRobot社製の掃除ロボットRoombaをベースとし、これにUSB接続した外部PCから制御をする。以下、このRoombaに制御用PCを搭載したロボットをAcToR(Active Touch-communication Robot)と呼ぶ(図1参照)。AcToRは、ルンバ上に搭載したPCのWebカメラを用いてARマーカの認識を行い、それが貼付された椅子や机等の物体までの距離を計測し、適切に接触を行うことが出来る。その他、レーザレンジファインダと赤外線サーモグラフィによって障害物・人検知を行う。

今回、AcToRのプロトタイプを開発し、以下に述べる二つの実験を実施した。



図 1: AcToR(Active Touch Communication Robot)

## 4 実験 1

提案ロボットの基礎的評価のためのリサーチクエスチョンとして、「人はロボットの接触に情報伝達の意図を感じるか?」を設定し、実験により調査する。

前述のとおり、AcToRはRoombaをベースに構成されている。そのため、接触が偶発的な事故によるものか、本提案である情報伝達のように何らかの意図を持った故意によるものなのかを、接触の振舞いのみによって、識別できるデザインであることが望ましい。何故なら、人が直感的または経験的に理解できるインタラクションの方がインタフェースのデザインとして適切だからである。

そこで、以下のような実験を実施した。

### 4.1 実験方法

実験条件を人が着座した椅子へのロボットの接触とする。直接、人の足に接触させることも可能であるが、安全性の面からこのような実験条件とした。なお、椅子を介した間接的な振動接触でも、人は接触の知覚が可能であることを事前実験で確認している。着座する椅子はOAチェア(サンワサプライSNC-T135KBL)である。ここでは、規則的な接触条件を受けるA群と、不規則な接触条件を受けるB群を設け、群間比較を行う被験者間計画とし、人が受ける心理的印象を調査した。各群は15名で構成され、内訳は19~24歳の男性12名と女性3名である。なお、規則的接触は、一定時間(2秒)間隔で、椅子に向かい前進、接触、後退する一連の動作を5回繰り返す。一方、不規則接触では、Roombaの掃除行動を模倣したランダムな時間間隔で、椅子に向かい前進、接触、方向転換の一連の動作を5回繰り返すものとした。

実験実施においては、二重課題法のダミータスクとして脳波計測実験を設定した。これは、ロボットが接触する状況を不自然にしないための措置の1つで、被験者には簡易脳波センサを装着してもらい、ディスプレイモニタに映った映像を見る作業を指示した。またそれと同時に、被験者がロボットの動作音や実験遂行作業等の周りの状況を把握できなくするため、大音量の音楽を聴いてもらうことで聴覚を遮断した。なお、実験開始前に、被験者の視界に動作中の AcToR を置くことで、AcToR の存在を被験者に提示し、実験中に後方で AcToR が動いていることを暗示させた。

ダミータスク開始一定時間経過後、被験者の後方から AcToR が接近・接触するものとし、接触の速度は被験者が十分知覚可能な 360mm/s とした。接触方法は先に述べたように、規則的な接触条件と、不規則な接触条件に分けて行った。また、調査及び被験者の様子をビデオカメラにより撮影し観察した。実験終了後には、紙面によるアンケート調査と口頭によるアンケート調査を実施した。紙面によるアンケート内容を以下に示す。

- ルンバが接触したことについて感じたことをお答えください。
  - (1) 驚きましたか？
  - (2) なにか伝えたいことがあったと思いませんか？
  - (3) 偶然ぶつかったと思いませんか？
  - (4) 可愛らしかったですか？
  - (5) 何か合図を送っていると思いませんか？
  - (6) ただ掃除しているだけだと思いませんか？
  - (7) 怖いと思いませんか？
  - (8) わざとぶつかったと思いませんか？
  - (9) 意味もなくぶつかっていると思いませんか？

これを「いいえ」、「どちらかといえばいいえ」、「どちらとも言えない」、「どちらかといえばはい」、「はい」の5段階評価で回答してもらい、「いいえ」なら1、「どちらかといえばいいえ」なら2、「どちらとも言えない」なら3、「どちらかといえばはい」なら4、「はい」なら5のような評点で回答してもらうものとした。質問2, 5, 8については、AcToR が何かを伝えようとしていることを被験者が理解できていたかを直接確認する質問である。質問3, 6, 9については、AcToR が意図せず偶発的にぶつかったものと判断したかを確認する質問であり、質問2, 5, 8とは逆の評価回答が期待されるものである。質問1, 4, 7については、調査とは直接関係のない質問であり、被験者に実験目的を悟られにくくするためのダミーの質問として用いた。

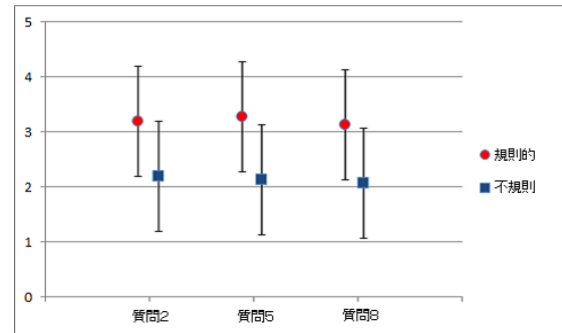


図 2: 質問 2,5,8 アンケート結果

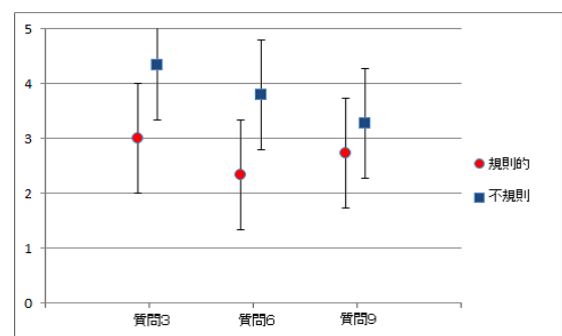


図 3: 質問 3,6,9 アンケート結果

表 1: 規則的接触実験の正規性の検定結果

コルモゴロフ・スミルノフ検定		
統計量	自由度	P 値
0.2042	15	0.7658

表 2: 不規則接触実験の正規性の検定結果

コルモゴロフ・スミルノフ検定		
統計量	自由度	P 値
0.1539	15	0.9130

表 3: t 検定結果

統計量 t	P 値
2.842	0.0083**

## 4.2 実験結果

紙面による各質問の平均値と標準偏差を図2, 3に示す。質問2, 5, 8のアンケート結果については、規則的接触を受けた被験者の結果の方が平均値がどの質問に対しても高く、質問3, 6, 9のアンケート結果については、不規則接触を受けた被験者の結果のほうが平均値がどの質問に対しても高いという結果が出ており、規則的接触の有効性を示す結果になったと思われる。しかし、これだけでは違う接触を受けた被験者間で、心理的印象の違いがあるかを確認するには不十分である。そこで、このアンケート結果から得られた値から、規則的な接触を受けた被験者と不規則な接触を受けた被験者との間に、接触により感じた心理的印象の違いがあるかを検定によって示す。

検定には以下の式で計算される値  $s$  を被験者ごとに算出して用いた。これはダミーの質問の評点を除く質問2, 5, 8の評点と質問3, 6, 9の評点を合計したものである。ただし、質問2, 5, 8と質問3, 6, 9の評点は逆の意味を示すため、式中にあるように質問3, 6, 9の評点を変換して使用した。なお、 $x_i$  は各  $i$  番目の質問の評点を示す。

$$s = \sum_{i=2,5,8} x_i + \sum_{i=3,6,9} (-x_i + 6)$$

なお、今回の実験では各群の被験者数が15と少ないため、KS検定により、正規性を確かめた。検定結果を表1, 2に示す。規則的接触実験と不規則接触実験の結果がそれぞれP値が0.7658と0.9130と5%水準を上回る結果であり、「正規性がある」という帰無仮説が棄却されないため、パラメトリック検定であるt検定を採用し検定を行った。その結果を表3に示す。P値が0.0083と1%水準で有意であり、規則的接触と不規則接触の間には人の感じ方に差異があるのではないかと期待される。

また、紙面による質問とは別に実施した口頭による調査により、「何回かぶつかることによって、接触してきていることに何かあるなど感じた」と答えた被験者、または、「何度もぶつかる動作が、掃除の過程でぶつかったものだとは思わなかった」と答えた被験者が15名中12名おり、規則的な接触方法にメッセージ性を感じたのではないかと推測される。

以上から、規則的な接触のデザインは、人がその接触の振舞いに対して情報伝達の意図を認知するのに有効なのではないかと思われる。

## 5 実験2

実験1の結果から、不規則接触に比べ、規則的接触は、人に情報伝達の意図を感じさせる傾向があること

が分かる。この実験の結果を踏まえ、人はロボットの規則的接触に意図スタンスを採用することが出来るものと仮定し、「規則的接触によって、意図をどこまで伝えることが出来るのか?」という別のリサーチクエストを新たに設定する。

実験1の実験条件は、間接接触である。振動触覚と聴覚の違いはあるが、AcToRが椅子に接触する振舞いは、我々の日常生活におけるドアノックに近いものである。ドアノックは礼儀作法としてノックの回数を使い分けると同時に、その強弱や速さの違いによって、人に与える印象が変わる。例えば、強く速いノックは、緊急を要し積極的な情報伝達の意図を感じさせる。逆に、弱くゆっくりしたノックは、消極的でネガティブな印象を与える。

他方、AcToRはRoombaをベースにしており、左右の車輪の回転方向、速さを制御出来るが、ヒューマノイドのような複雑な振舞いをさせることは出来ない。接触の振舞いのみで、具体的な内容や詳細な情報を伝達するのは難しいと考えられる。

AcToRの接触する振舞いと類似したドアノックが人に与えることが出来る印象、AcToRの運動性能の2つの面を考慮し、ここでは、伝達すべき情報の種類は、緊急性のある情報、肯定的、否定的な情報に限定するものとする。すなわち、緊急な情報の伝達、肯定的な情報の伝達、否定的な情報の伝達の各意図をAcToRの接触の振舞いから、人が認知出来るかについて実験によって検証する。

### 5.1 実験方法

実験条件は実験1と同様に、人が着座した椅子へのロボットの接触とする。着座する椅子も、実験1と同一である。また、音楽による聴覚の遮断、AcToRの存在の提示、被験者の後方から360mm/sで接近・接触する点も実験1と同様である。

実験1と異なる点は、被験者にダミータスク実施を要求しない点であり、実験開始時に着座してもらう以外は、行動に制限はない。さらに、実験開始前に、被験者に対して「AcToRには、接触によって情報伝達する機能がある」ことを伝えた。すなわち、統制条件として、ロボットの接触する振舞いには、何らかの情報を伝える意図があり、偶発的な接触ではないことを被験者全員が認識している。接触条件は、実験1の規則的接触と同じで、一定時間間隔で接触を5回繰り返す。時間間隔は1秒、2秒、4秒、6秒の4条件に設定した。

実験は被験者内計画とし、被験者には、時間間隔の異なる2種類の条件の接触を受け、一対比較による印象評価を実施してもらった。被験者は、実験1とは別の19歳~24歳の男性10名である。各被験者は、すべ

表 4: 一対比較

質問項目	A	やや A	どちらでもない	やや B	B
緊急	2	1	0	-1	-2
嬉しい	2	1	0	-1	-2
悲しい	2	1	0	-1	-2

での組み合わせの一対比較(合計6回)を実施した。表4に、被験者が実施したアンケート内容を示す。被験者は、呈示された時間間隔の異なる2つの接触の振舞い(AとB)を比較して、どちらがより「緊急な情報の伝達か」、「嬉しい情報の伝達か」、「悲しい情報の伝達か」の設問について回答する。回答は、「A, やや A, どちらでもない, やや B, B」の5段階とし、各回答に-2から2のスコア(5点系)を与えた。なお、一対比較には、シェッフェの一対比較(中屋変法)を用い評価した。

## 5.2 実験結果

実験結果を図4, 5, 6にそれぞれ示す。各図の数直線は、右に行くほど(スコアが大きいくほど)、緊急, 嬉しい, 悲しいの印象が強くなると評価される。また、図中の\*\*は、有意水準1%で有意であることを示す。

「緊急」の評価については、図4にあるように、速い周期でぶつかる接触の方が遅い周期でぶつかる接触に比べ、緊急性を強く示す結果となった。また、最も速い周期である1秒間隔のスコアが突出して高いことも分かる。「嬉しい」の評価については、図5にあるように、「緊急」の評価と同様の傾向を示した。すなわち、速い周期ほど、嬉しさを強く示す傾向がある。ただし、1秒間隔のスコアが突出しているわけではない。一方、「悲しい」の評価については、図6にあるように、「嬉しい」の評価とは逆の傾向を示した。すなわち、遅い周期ほど、悲しみの印象を強く示した。なお、「嬉しい」と「悲しい」はお互い反対の感情であることから、図5, 図6の結果は、矛盾しないことが分かる。

これらの結果は、事前にある程度予想されうる結果であり、接触する時間間隔と「緊急」「嬉しい」「悲しい」の3者の関係には不自然さもないと考えられる。図4の最も速い周期である1秒間隔のスコアが突出して高いことは、肯定的または否定的な情報よりも、緊急性を優先的に人が認知しやすい傾向があることを示している。この点については、さらなる実験と考察が必要である。

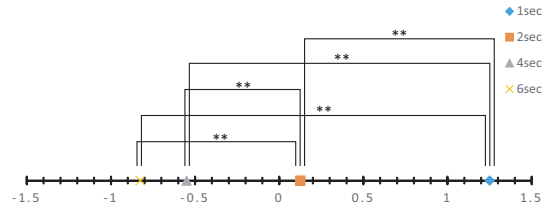


図 4: 緊急

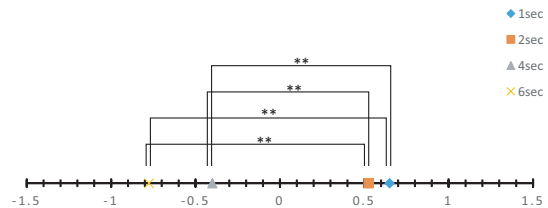


図 5: 嬉しい

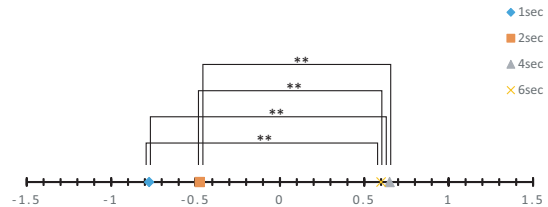


図 6: 悲しい

## 6 まとめ

本研究では、聴導犬を参考に、RoombaをベースにしたロボットであるAcToRを提案・構成した。このロボットは、能動的物理接触を行うことで情報伝達を行う。また、心理実験によって、規則的な接触の振舞いは、不規則な接触に比べ、ロボットの情報伝達の意図を伝えやすい傾向があることを確認した。同時に、この実験結果は、不規則な接触を人が情報伝達と認知しない傾向にあることを示している。人検知や障害物検知の失敗による不規則な接触は、AcToRを始めロボットには十分起こり得る。実験結果は、今後のロボットの接触方法の設計に有益な情報を提供するものと考えられる。

もう1つの実験では、接触の周期によって、緊急性、肯定的(否定的)な情報の伝達する意図を人に認知させられるかについて調査した。被験者数が多くないことから、考察が十分とは言えないものの、接触する時間間隔は、緊急性と肯定的(否定的)と相関が高い実験結果となった。この結果は、実験1の結果である情報伝達の意図に加え、伝達する情報が緊急性と肯定的(否定的)の性質を持った情報であることを、人に認知させられる可能性を示すものである。

本研究は、pHRIとしてロボットからの接触を情報伝達手段として提案したものであり、先行研究やこれまで開発された携帯電話やスマートフォン等では対応が難しい状況にも対応できると期待される。その一方、生活環境下の障害物の回避の実現や、人の居る位置の検知、人の識別等、今後の課題はまだ多く存在する。これらの実装技術的課題の解決と認知科学的側面から直感的に理解しやすい接触方法のデザインを検討・開発していく予定である。

## 参考文献

- [1] Kiesler, S., Powers, A., Fussell, S. R., and Torrey, C. : Anthropomorphic interactions with a robot and robot-like agent, *Social Cognition*, Vol.26, No.2, pp.169-183, 2008.
- [2] Li, J., and Chignell, M. : Communication of emotion in social robots through simple head and arm movements, *International Journal of Social Robotics*, Vol.3, No.2, pp.125-142, 2011.
- [3] Kidd, C. D., and Breazeal, C. : Effect of a robot on user perceptions, *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.3559-3564, 2004.
- [4] Li, J. : The Nature of the Bots: How People Respond to Robots, Virtual Agents and Humans as Multimodal Stimuli, *Proc. of ICMF'13*, pp.337-340, 2013.
- [5] Lee, M. K, Kiesler, S., Forlizzi, J., and Rybski, P. : Ripple Effects of an Embedded Social Agent: A Field Study of a Social Robot in the Workspace, *CHI'12*, pp. 695-704, 2012.
- [6] Torrey, C., Fussell, S. R., and Kiesler, S. : How a Robot Should Give Advice, *HRI'13*, pp.275-282, 2013.
- [7] Morales, Y., Kanda, T., and Hagita, N. : Walking Together: Side-by-Side Walking Model for an Interacting Robot, *JHRI*, Vol.3, No.2, pp.50-73, 2014.
- [8] <http://ja.wikipedia.org/wiki/聴導犬>
- [9] Dennet, D.C. : *The Intentional Stance*, Cambridge, Mass, Brandford Boks/MIT Press, 1987.
- [10] 寺田, 岩瀬, 伊藤 : Dennet の論考による三つのスタンスの検証, *信学論 A Vol.J95-A*, No.1, pp.117-127, 2012.
- [11] Nakagawa, K., Shiomi, M., Shinozawa, K., Matsumura, R., Ishiguro, H., and Hagita, N.: Effect of Robot's Active Touch on People's Motivation, *HRI'11*, pp. 465-472, 2011.
- [12] Fukuda, H., Shiomi, M., Nakagawa, and K., Ueda, K. : 'Midas Touch' in Human-Robot Interaction: Evidence from Even-Related Potentials during the Ultimatum Game, *HRI'12*, pp. 131-132, 2012.
- [13] Chen, T. L., King, C., and Thomaz, A. L. : Touched By a Robot : An Investigation of Subjective Responses to Robot-initiated Touch, *HRI'11*, pp. 457-464, 2011
- [14] Fritzsche, M., Elkmann, N., and Schulenburg, E. : Tactile Sensing : A Key Technology for Safe-Physical Human Interaction, *HRI'11*, pp. 139-140, 2011
- [15] De Luca, A. and Flacco, F. : Integrated control for pHRI: Collision avoidance, detection, reaction and collaboration, *HRI'12*, pp.288-295, 2012
- [16] Augstsson, S., Christiernin, L. G., and Bolmsjo, G. : Human and Robot Interaction based

on Safety Zones in a Shared Work Environment, HRI'14, pp.118-119, 2014.

- [17] Oudeyer, P.-Y., Ly, O., and Rouanet, P. : Exploring robust, intuitive and emergent physical human-robot interaction with the humanoid robot Acroban, Humanoids'11, pp.120-127, 2011.
- [18] Marti, P., Pollini A., Rullo, A., and Shibata, T. : Engaging with artificial pets, Proc. of EACE'05, pp.99-106, 2005.