

# 吐息と腹部運動を伴う呼吸表現に関する因子分析に基づいた 生物的身体感情インタラクションの設計

## Stuffed-toy Robot like Living Being with Breathing and Utterance Based on Ventral Motion Control

吉田 直人<sup>1\*</sup>      中谷友香梨<sup>1</sup>      久保嶋健人<sup>2</sup>      米澤 朋子<sup>2</sup>  
Naoto Yoshida<sup>1</sup>   Yukari Nakatani<sup>1</sup>   Kento Kuboshima<sup>2</sup>   Tomoko Yonezawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 関西大学大学院

<sup>1</sup> Kansai university graduate school

<sup>2</sup> 関西大学

<sup>2</sup> Kansai university

**Abstract:** In this paper, we propose a physiological body-emotion model through an introduction of our stuffed toy that makes breath. Raised emotion affects both our bodily motion and physiological phenomena. One of the basic physiological phenomena is a breath. We focused on the breath as an important modality of our physiological body-emotion model. The stuffed-toy robot contains a mock lung and an air passage in order to show the seesaw movement of its breast and to make breath at the same time. Experimental result showed that the breathing of robot gives the impression of the robot as though it were living being. Moreover, the further analyses showed that the change of the respiration speed represents the activeness of the robot.

## 1 はじめに

### 1.1 呼吸表現による生物的存在感

人間同士のコミュニケーションでは、言語情報と共に、非言語情報を用いて相手に情報を伝達する [1]。また、相手を観察したり、何気ない様子を感じ取るなど、その様子から相手の状態を推測する。そして同一の空間の中で相手の身体情報を得ることによって、生きた相手がそこにいるという「生物的存在感」を感じ取る。

様々な物理的身体情報に基づいた存在感を伝達しようとする様々な試みがある [2, 3]。ノンバーバル表現では、視線行動 [4] や腕や頭部などの身体動作 [5]、瞬きや口の動き [6]、表情による情動の表出 [7] などを用いて、ロボットの意図や情動を表出する試みが多く存在する。しかしながら、生きた相手の存在を主張するためには、より生命の根本的な維持活動に伴う情報も必要だと考えられる。

### 1.2 生物的身体感情モデルにおける生理現象

我々は生物的存在感の伝達手法として、物理的身体情報のうち生理現象の表現に着目した。「感情 (feelings)」の他に、「情動 (emotion)」という概念が存在する。Damasio [8] のらの定義によると、「情動」は動作や動きを意味しており、ある対象や事象に対して外に現れる身体反応である。一方、「感情」は情動がもたらした身体反応を意識し、そのイメージをマップしたものであり、その心的イメージを留意し行動したり、あるいは行動を抑制しようとするものである。大石 [9] はこの見方から、感情があらかじめ存在しており、その現れとしての情動ではなく、対象を見たり、聞いたり、触れたり、想像したりしたことによる身体的反応として情動が最初に発生し、脳の中に神経的に表象されたものが「感情」であるとした。このことから、感情に先行した意図しない身体反応が生じるはずであり、その1つとして、不随意な生理現象の表現が有効であると考えた。

我々は、外的な影響により情動が発生し、その結果、生理現象などや身体動作に反応が現れたり、その生理的反應や情動の心的イメージ知覚によって感情が発生するモデルを生物的身体感情モデルと定義する。身体感情モデルを図1に示す。また、このモデルを用いて、ユーザ-ロボット間のやりとりのため、ユーザの入力判

\*連絡先：関西大学大学院知識情報学研究所  
〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1  
E-mail: k463362@kansai-u.ac.jp

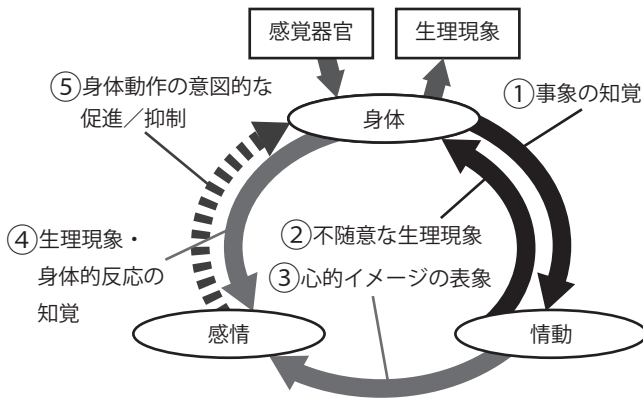


図 1: 身体的感情モデル.

定に応じた感情生成と同時に生理現象反応を生成するインタラクションを生物的体感情インタラクションと呼ぶ。

身体感情モデルは「身体」、「情動」、「感情」の3つで構成される。「身体」は視覚、聴覚、味覚、触覚などさまざまな感覚器官からの入力を受ける。「身体」が得た様々な外的事象は、脳で解釈され、「情動」に変化をもたらす(図1-①)。このときの情動の変化は無意識下で行われる。「情動」に大きな変化が生じると、一部はその反応として身体に伝わり、不随意的生理現象を引き起こす(図1-②)。また、強い情動が意識に生じたり(図1-③)、生理現象に気づきそのイメージをマッピングすることによって感情を生起させたりする(図1-④)。場合によっては、生理現象によって、都合の悪い感情が相手に伝達されるのを防ぐため、意図的な身体動作や、抑制が行われる(図1-⑤)。

### 1.3 生理現象における呼吸

生理表現には、心拍や発汗[10]の他、吐息などが注目されている[11]。その中でも我々は、呼吸に注目した。呼吸は最も基本的な生理現象の一つであり、生物が生命を維持するために必要不可欠である。呼吸の停止はその生命が死ぬこと、あるいは死んでいる状態を指す。このことから、生物としての表現に呼吸は欠かせない。呼吸は外界の空気を取り込み、排出することで腹部が上下し、同時に口から排出される吐息や空気が発する音や、空気の流れがおこるなど、呼吸における腹部運動と吐息は一体的な関係にある。腹部運動によって呼吸を視覚的、触覚的、聴覚的に感じることができる。この枠組みがぬいぐるみ内で実現することで、ユーザがぬいぐるみロボットの状態をより認識しやすくなる可能性がある。

また発声に伴っても呼吸は発生する。発声を続けるためには、呼吸が不可欠である。そのため、人間と会

話するロボットに人間と同じような振る舞いをさせるためには、視覚的、触覚的に呼吸を認識させるだけでなく、ロボットに肺の中の空気量に合わせた呼吸や発声をさせなければならない。しかしながら、腹部運動と吐息を一体的に制御するロボットの研究は行われていない。本研究では、これら腹部運動と吐息の共通制御が可能なぬいぐるみロボットを提案する。提案システムでは、ユーザはぬいぐるみロボットの吐息を皮膚で感じる事が可能であり、また腹部に触れ、腹部を目視することで、腹部の膨張収縮を認識することもできる。

このぬいぐるみロボットを用いて、呼吸の仕方が生きている感覚に与える影響についての予備的検討を行った上で、呼吸速度の違いによって、ぬいぐるみロボットのどのような情動や状況、意図を感じ取れるか検証し結果を因子分析を用いて評価する。検証結果をもとに、生物的体感情モデルに基づいて、ユーザの入力により生成される感情に対するぬいぐるみロボットの生理現象について考察する。

## 2 関連研究

吉田ら[12]は、ユーザの吐く息を検出し、人工的な肺を同期させ、稼働することで、生きているリアリティを感じさせることを目的に「Ikitomical Model2」を提案した。Ikitomical Model2では、臓器が体外にある＝死という状態にも関わらず、体験するユーザが自らの呼吸に同期して躍動する臓器に直接触れることによって、独特の気持ち悪さとともに、自己の生命の存在を外在化した装置から感じさせることを狙っている。本研究では、人間とロボットの1対1のコミュニケーションにおいて、ロボットの生きている感じを表現することを目的としており、生きているリアリティの表現手法として肺の膨張収縮が有効である可能性を示唆している。

谷中ら[13]は腹部の膨張、収縮と音声によるいびきを提示する動物の外見を持つ抱き枕「ZZZoo Pillows」を提案した。いびきの提示により安心感を与え、睡眠不足の解消を目的とする。この研究においては、ユーザが肌で呼吸を感じられるような吐息の提示は行われていない。また、安心感の変化は検証されていないが、呼吸の提示によって安心感を提示できる可能性が考えられる。

本研究においては、腹部運動と同期した吐息提示によるリアルな呼吸をユーザが体験可能にし、異なる呼吸速度の印象を比較する。



図 2: ぬいぐるみロボットの外観.



空気排出口

図 3: 口の構造.

### 3 提案手法

#### 3.1 ぬいぐるみロボットの設計

本システムは呼吸の制御、発声、体温の調節、心拍の提示を行うことが可能である。図 2 にシステムの外観を示す。呼吸の制御は、肺への空気の送り込みと、蓄積した空気の口からの排出を共通制御することで実現する。腹部に取り付けたセンサによって、肺内の空気の量を検出することで、過剰な膨張を避けることができる。また、肺内の空気の蓄積量を変化させることで、呼吸の 1 ストロークあたりの時間を変化させることができる。同時に、強く腹部を押した際に肺の中の空気を口から排出することも可能である。

外装には市販のクマのぬいぐるみを用いた。コンピュータや体外の制御装置とロボット内蔵のデバイスとの通信用のケーブルは、ぬいぐるみの背面から差し込んだ。空気を排出する管は、ぬいぐるみの口の縫い目の下から取り出し、口の形状に合わせて先端を斜めに切り落とした (図 3)。

【膨張時】



【収縮時】

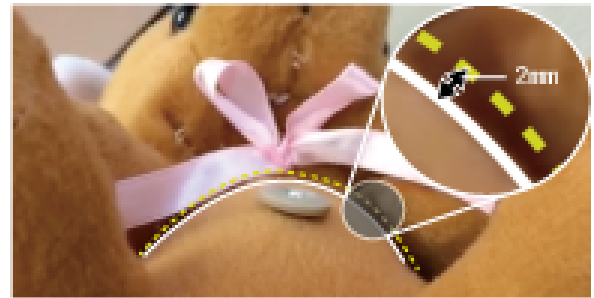


図 4: 腹部の膨張収縮.

擬似的な肺は腹内部に配置されているので、呼吸時に腹が膨らみ、または縮む様子を再現することが可能である (図 4)。またスピーカを口の裏側に設置することで、ユーザが耳を口元に近づけると、声と息を同時に感じる事が出来る。発声を行っている状態だけでなく、座っているだけの状態やユーザとふれあっている状態でも、途絶えることなく呼吸を続け、息や腹部の膨張収縮を行い続けることで、生きている状態の継続的な表現を試みる。様々な状態の心拍や体温を表現するデバイスも体内に備えることによって、外見上は市販のぬいぐるみのまま、生理現象の表現を行うことができる。

#### 3.2 システム構成

システム構成を図 5 に示す。システムは音声構成部と、ロボット制御部、ロボット構成デバイス、各種センサから成る。ぬいぐるみロボットの高さは約 18 センチメートルである。ぬいぐるみロボット内部には、ロボット構成デバイスが内蔵されている。ロボット構成デバイスは、肺を模した風船、エアポンプ (定格: DC6V 230mA, エアフロー: 2L/分, 圧力: 400mmHg), ソレノイドバルブ (定格: DC6V 90mA) 圧力センサから成る呼吸制御デバイス, 振動モータを用いた心拍表現デバイス, フィルムヒータを用いた体温表現デバイス, 小型スピーカを用いた発声装置によって構成され



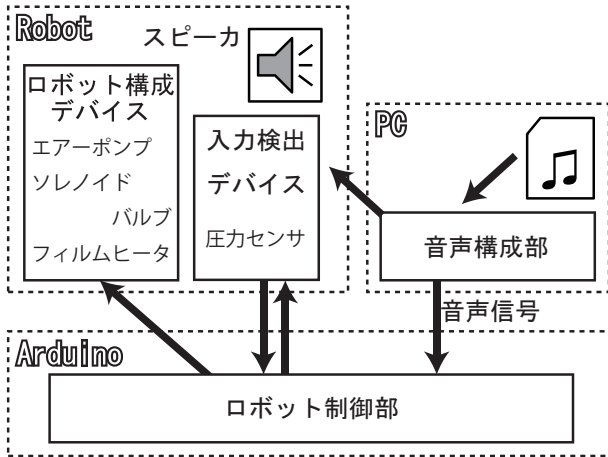


図 5: 処理の流れ.

る。また、人間との物理的なインタラクションを想定して頭部と腕部先端に圧力センサを備える。ロボット制御部にはマイコン Arduino<sup>1</sup> を用いる。また、音声を検出し吐息を発生させるための音声情報を生成する音声構成部から成る。音声構成部は Processing<sup>2</sup> によって実行され、シリアル通信を用いて、Arduino に音声情報が送られる。

構成部各装置の配置を図 6 に示す。エアポンプはぬいぐるみロボットの頭部に内蔵され、風船による人工肺はぬいぐるみロボットの腹部に内蔵される。エアポンプと風船はシリコンチューブで繋がれる。またシリコンチューブは中間あたりで分岐し、口の空気排出口に繋がるソレノイドバルブに接続される。スピーカはぬいぐるみロボットの口の上、鼻の裏側に設置される。スピーカにはオーディオジャックが取り付けられ、PC の音声出力から音声を出力することが可能である。風船の膨らみを検出する圧力センサは腹部中央の裏側に設置され、表側から衣類用のボタンを使って留められる。振動モータは首に留められたリボンの裏側に設置される。フィルムヒータはぬいぐるみロボットの胴体に手を回して持った際に温度を感じられ、腹部の風船の膨張収縮に干渉しないよう、ぬいぐるみロボットの脇腹辺りから背側にかけて配置される。ぬいぐるみロボットのサイズの制約によって、Arduino は体外に設置し、各装置のケーブルを束ねて背中から取り出し Arduino と接続する。

### 3.3 システムの制御

ロボットの状態は発話状態と待機状態、インタラクション状態に分けられる。通常状態では、体温と心拍、呼吸のテンポは一定に保たれている。通常状態におい

<sup>1</sup>Arduino <http://www.arduino.cc/>

<sup>2</sup>Processing <http://www.processing.org/>

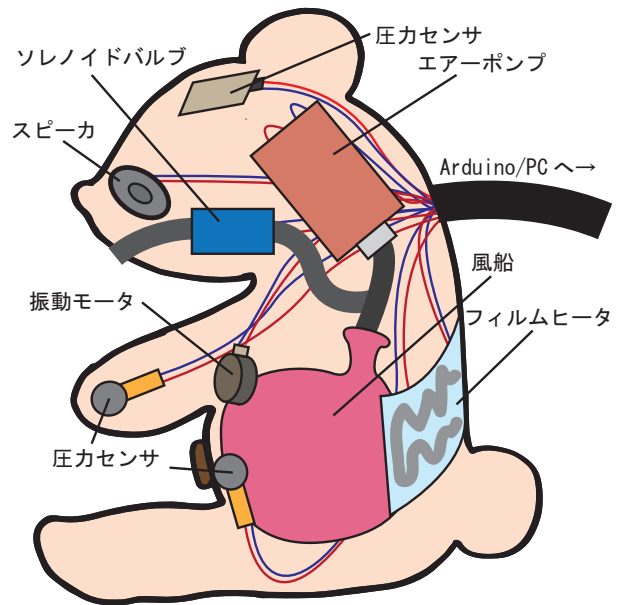


図 6: ロボット内部の装置配置図.

て、音声入力があると、音声に合わせた呼吸が開始され発話状態となる。発話状態において肺内の空気が全て排出される状態を防ぐため、肺内の空気量が一定の値を下回った場合に、500[msec] 以上音声入力がない状態が続くと、ロボット制御部は音声構成部に音声を一時停止する情報を送信する。この場合、肺内の空気が初期値まで回復すると発話が再開される。1000[msec] 以上音声入力がない状態が続いた場合には、通常状態に戻る。通常状態におけるぬいぐるみロボットの呼吸のテンポは、一般的な成人男性の呼吸テンポであるおよそ毎分 16 19 回とする [14]。

ユーザがぬいぐるみロボットの頭を撫でたり、腕を掴んだりすることにより、頭部、腕部先端の圧力センサの値が上昇するとインタラクション状態になる。インタラクション状態においては、入力された圧力センサの部位とその値に合わせて、呼吸、心拍のテンポ、体温の各パラメータを設定することが可能である。例えば、ユーザがぬいぐるみロボットの頭部をやさしく撫でることで、呼吸、心拍を遅くし、ぬいぐるみロボットのリラックス状態を表現する。また腕を強く掴むことで、呼吸、心拍を早くし、体温を上げ、ぬいぐるみロボットの緊張状態を表現する。

### 3.4 呼吸表現

呼吸時の空気の流れを図 7 に示す。ぬいぐるみロボットの呼吸は、エアポンプによる肺への空気の送り込みと、ソレノイドバルブによる口からの吐息を制御することによって実現する。肺内の空気が減少すると、風

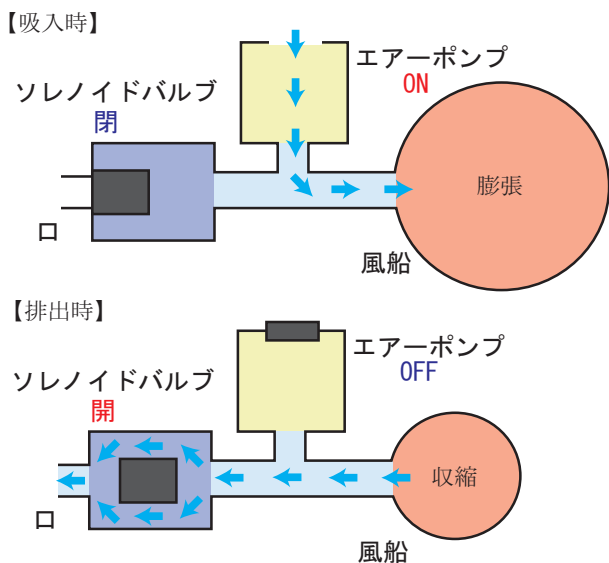


図 7: 装置内部の空気の流れ.

船と接触している腹部の圧力センサの値が低下する。圧力センサの値が一定値を下回ると、エアープンプによる風船への空気の注入が開始される。同時にソレノイドバルブが排出側の栓を閉じることによって、風船内に空気が蓄積される。逆に、肺内の空気が増加すると、腹部の圧力センサの値が増加する。圧力センサの値が一定値を上回ると、エアープンプによる風船への空気の注入が停止される。同時にソレノイドバルブが排出側の栓を開くことによって、風船内の空気がぬいぐるみロボットの口から排出される。

### 3.5 生物的感情インタラクションにおけるユーザの入力と呼吸速度の関係

ユーザの入力と生起される情動、呼吸速度の変化による生物的感情インタラクションの一例を表1に示す。ぬいぐるみロボットは、ユーザが頭に触れたり、手を掴んだりしたことを検出するための圧力センサを備える。圧力の変化を検出することによって、ユーザの触れる強さや勢いを測定することが可能である。これらのセンサを用いてユーザの入力を検出し、生理現象のうち、呼吸速度を変化させることが可能である。

## 4 実験

### 4.1 予備実験：呼吸のテンポによる生物感に関する印象評価

**目的：**ぬいぐるみロボットの呼吸のテンポを変化させ、生物的な呼吸に最適なテンポを検証する。

表 1: 生物的感情インタラクションの一例.

センサ入力	情動の種類	活発性	呼吸速度
急に手を握る	驚き	高い	早い
突然頭部に触れる	驚き	高い	早い
無し (放置)	退屈	低い	遅い
長期間の繰り返し	退屈	低い	遅い
やさしく撫でる	リラックス	低い	遅い

**仮説：**ぬいぐるみロボットの呼吸が人間の一般的な呼吸テンポに近いほど、ぬいぐるみロボットの生きている感覚が高まる。また、非常に遅い呼吸テンポはぬいぐるみロボットが「死んでいる状態」を表し、非常に早い呼吸テンポにおいては、ぬいぐるみロボットの「死にそうな状態」を表す。

**参加者：**19歳から22歳の情報系学生26名(男性16名、女性10名)で行った。

**実験条件：**ぬいぐるみロボットの呼吸テンポは、なし：毎分0回、非常に遅い：毎分3回、遅い：毎分9-10回、普通：毎分16-19回、早い：毎分23-25回、非常に早い：毎分56-60回の6条件で行った。全ての条件で、ユーザはぬいぐるみロボットを両手で包むように持ち、ぬいぐるみロボットと向かい合うような向きで固定した。ぬいぐるみロボットは腕を曲げて持ち、ユーザの顔とぬいぐるみロボットの距離はおおよそ5[cm]~10[cm]とした。

**実験手順：**ユーザには、ぬいぐるみロボットの評価を行ってもらう実験であると事前に教示した。ぬいぐるみロボットの持ち方を説明した後、ぬいぐるみロボットを手を持ってから20秒間観察を行う。観察終了後、実験参加者に「ぬいぐるみロボットの状態」についての評価項目に回答をさせた。条件を変えてこれ6回繰り返した。条件は全て順序交差を考慮して行った。

**評価に用いた項目：**実験参加者は、以下の評価項目に5段階(1: あてはまらない 2: まああてはまらない 3: どちらでもない 4: まああてはまる 5: あてはまる)で主観評価を行った。(1)ぬいぐるみロボットは生物のようだ。(2)ぬいぐるみロボットは生物のようではない。(3)ぬいぐるみロボットは生きている。(4)ぬいぐるみロボットは死んでいる。(5)ぬいぐるみロボットは死にそうである

**実験結果：**図8に主観評価の結果を示す。評価項目1, 2はぬいぐるみロボットが生物だと感じるかに関する評価である。いずれも呼吸なしと呼吸ありの間に有意差を得た。評価項目3, 4はぬいぐるみロボットの生きている感覚に関する評価である。いずれも呼吸なしと呼吸ありの間に有意差を得た。評価項目5は呼吸による具体的なぬいぐるみロボットの状態について、ぬい

ぐるみロボットの「死にそう」であるかの評価である。「呼吸なし」と「非常に早い」、呼吸がある場合の「非常に遅い」から「早い」と「非常に早い」の間に有意差を得た。

これらの結果より、ぬいぐるみロボットは呼吸のありなしの間で生物感に違いを感じる事が分かった。また、呼吸ありなしの間で生きていると感じる感覚に違いがある事が分かった。ぬいぐるみロボットの状態については、呼吸が非常に早い場合に「死にそう」であると感じる事が分かった。

## 4.2 実験：呼吸速度の違いによる印象

**目的：**ぬいぐるみロボットの呼吸から、ユーザが感じ取る印象を評価する。異なる呼吸速度により異なる因子を検証する。

**参加者：**19歳から22歳の情報系学生26名（男性16名、女性10名）で行った。

**実験条件：**ぬいぐるみロボットの呼吸テンポは、遅い：毎分9回、早い：毎分23回の2条件で行った。全ての条件で、ユーザはぬいぐるみロボットを両手で包むように持ち、ぬいぐるみロボットと向かい合うような向きで固定した。ぬいぐるみロボットは腕を曲げて持ち、ユーザの顔とぬいぐるみロボットの距離はおおよそ5[cm] 10[cm]とした。

**実験手順：**ユーザには、ぬいぐるみロボットの評価を行ってもらう実験であると事前に教示した。被験者はぬいぐるみロボットの持ち方の説明を受け、ぬいぐるみロボットの動作を1回につき20秒間観察し、2回の観察の直後にそれぞれ23対の形容詞対からなるSD法による印象評価のための質問紙に回答する。

**評価に用いた項目：**評価には、井上ら[15]の研究より、主に知覚と生理、人格に関して使用されることの多い形容詞23対を用いた（表2左側）。

**システムを用いた検証結果：**によって得られた印象評価データを用いて、因子分析を行った。はじめに共通性の初期値を1とし、反復主因子法により因子を抽出した。後続因子との固有値の差に基づいて2因子解を適当と判断した。再度3因子解を仮定した反復主因子法を実行した結果、累積寄与率は57.7%となった。バリマックス回転後の各項目の因子負荷量を表2に示す。表2において因子負荷量の絶対値0.60以上を示した項目の内容を参考に各因子を解釈した。

まず因子1については「はげしい-おだやかな」、「動的な-静的な」、「活発な-弱々しい」などで、負荷量が高かったが、「落ち着いた-そわそわした」、「慎重な-軽率な」などでは負の負荷量を示した。このことから、因子1はぬいぐるみロボットの活動の活発さであると解釈し「活発性」因子と名付けた。因子2については「楽

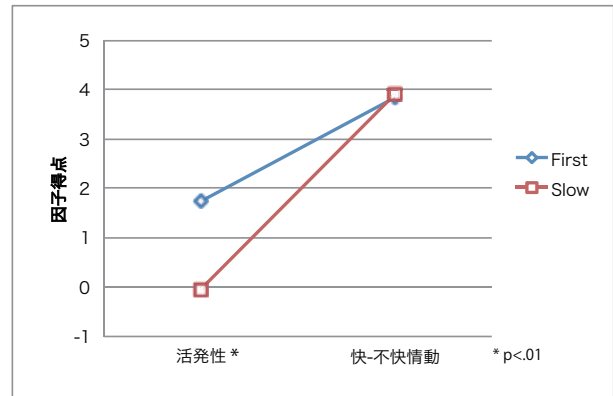


図9: 呼吸速度条件間の比較。

しい-苦しい」、「嬉しい-悲しい」、「幸福な-不幸な」などの負荷量が高かった。このことから、因子2はぬいぐるみロボットの情動の快-不快度合いであると解釈し「快-不快情動」因子と名付けた。

次に、検証の結果を参考に名付けた因子における実験条件と印象の変化を比較する。ぬいぐるみロボットの呼吸速度が早い条件をFirst条件、一方、ぬいぐるみロボットの呼吸速度が遅い条件をSlow条件とした。検証結果により現れた2つの因子をもとに、次の2つの仮説を設定した。

- H1 呼吸の速度によって、ぬいぐるみロボットの活動の活発な印象に変化がある。
- H2 呼吸の速度によって、ぬいぐるみロボットの気分の快-不快度合いに変化がある。

**実験条件における印象の比較：**実験条件間での印象の比較を行うため、標準因子得点を求める。

因子得点は、標準得点係数を用いて、標準得点係数とは回転後の因子の得点を求めるための係数で、分散が1になるように標準化されたものを指す。

このように、2因子の因子得点を「活発性得点」、「快-不快情動得点」とし、実験条件における印象の比較対象として利用する。

表3に2つの実験条件（First / Slow）ごとに被験者が受けた印象についての因子得点の平均値と標準偏差を示す。

まず、仮説H1の仮説を検証した。t検定の結果、First / Slow条件間で活発性得点の差が有意 ( $p < .01$ )であった（図9）。次に、仮説H2の仮説を検証した。t検定の結果、First / Slow条件間では快-不快情動得点の有意な差は見られなかった（図9）。



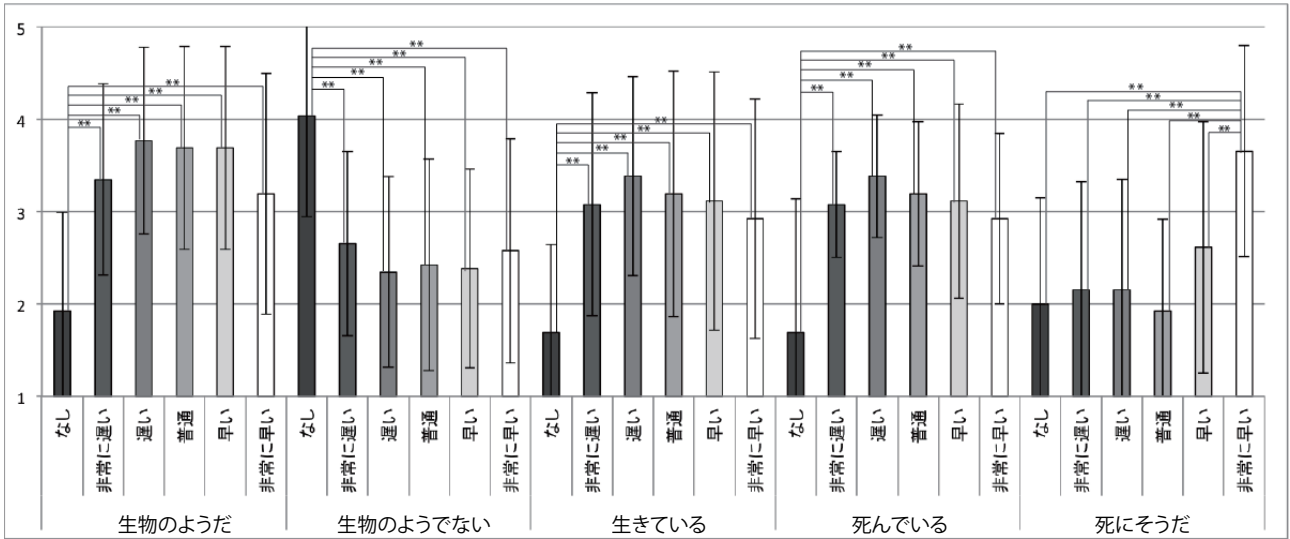


図 8: 呼吸のテンポによる生物感に関する主観評価の分散分析結果。

## 5 考察

### 5.1 呼吸のテンポによる生物感に関する考察

ぬいぐるみロボットの呼吸は、生物的な表現として適切であると言える。また、ぬいぐるみロボットが生きているようにユーザに感じさせるために呼吸は有効であると言える。一方で、異なる呼吸のテンポの間でぬいぐるみロボットの生きている感覚に有意差は見られず、生きている感覚を最も与える呼吸テンポを明らかにすることは出来なかった。つまり、ユーザはぬいぐるみロボットの呼吸を感じさえすれば、ぬいぐるみロボットを生きているように感じるということが出来る。しかし、実験に用いた呼吸テンポの範囲を超えるような、よりゆっくりとした長いストロークの呼吸をユーザが感じた場合、ぬいぐるみロボットの生きている感覚が変化する可能性も考えられるため、検証が必要である。

一方、呼吸テンポによって実験参加者が感じる、生きている感覚の意味合いに変化を与えているという可能性も考えられる。ぬいぐるみロボットが死にそうだかどうかを問う評価項目では、非常に早いテンポの呼吸が他のテンポよりも有意に高かった。このことから、生きているとは感じているが、その詳細な状態を推測するにあたって、呼吸のテンポが重要である可能性を示している。これについて、次に、呼吸速度の変化と印象の検証結果を考察する。

### 5.2 呼吸速度がユーザに与える印象に関する考察

4.2の実験から、ぬいぐるみロボットの呼吸は、「活発性」と「快-不快情動」をユーザに印象として与えるものであると考えられる。しかしながら、呼吸速度の比較に関しては、「活発性」については、差が有意であったものの、「快-不快情動」については、有意な差は見られなかった。

活発性因子において因子負荷量が高かったものの中には、「落ち着いた-そわそわした」、「動的な-静的な」などの表象的・直接的な身体動作の様子を捉えたと考えられる評価項目の他にも、「慎重な-軽率な」、「意欲的な-無気力な」、「強気な-弱気な」などその内部の情動を推測させるようなものも多く存在した。このことから、活動性に関する印象は、単にその身体動作の様子を捉えたものではなく、ぬいぐるみロボットの情動を推測した結果であると考えられることができる。

一方で、快-不快情動因子はぬいぐるみロボットの呼吸が与える印象にある程度寄与している可能性はあるものの、実験条件では有意な差は見られなかった。理由に、文脈の欠如が快-不快情動の度合の判断を困難にした可能性が挙げられる。今回の実験においては、ぬいぐるみロボットの状態を被験者に推測させるために、ぬいぐるみロボットの事前の様子や経緯、年齢・性別などの詳細な情報は被験者には与えられていない。また、ユーザはぬいぐるみロボットを抱く以外のインタラクションを行っていない。ぬいぐるみロボットへの入力によって現在の呼吸速度の理由付けが行われ、快-不快が決定されるものとすれば、同様の呼吸速度であっても異なる快-不快情動を感じる可能性もある。そのため、今回の検証においては、直接的に呼吸が快-不快情

表 2: バリマックス回転後因子負荷量と得点係数.

	因子 1	因子 2	標準得点係数 (因子 1)	標準得点係数 (因子 2)
明るい-暗い	0.436	0.501	0.021	0.037
強い-弱い	0.575	0.204	0.042	-0.002
暖かい-冷たい	-0.115	0.513	-0.025	0.048
積極的な-消極的な	<b>0.605</b>	0.487	0.053	0.040
陽気な-陰気な	0.422	<b>0.686</b>	0.018	0.094
はげしい-おだやかな	<b>0.894</b>	-0.008	0.241	-0.109
楽しい-苦しい	0.021	<b>0.825</b>	-0.058	0.160
面白い-つまらない	0.143	0.411	-0.003	0.028
愉快な-不愉快な	0.044	<b>0.666</b>	-0.024	0.073
活発な-弱々しい	<b>0.749</b>	0.457	0.127	0.046
安定した-不安定な	<b>-0.637</b>	0.315	-0.085	0.071
動的な-静的な	<b>0.846</b>	0.204	0.167	-0.031
外交的な-内向的な	0.517	0.583	0.035	0.061
嬉しい-悲しい	0.024	<b>0.817</b>	-0.055	0.152
落ち着いた-そわそわした	<b>-0.837</b>	0.118	-0.167	0.096
慎重な-軽率な	<b>-0.692</b>	-0.254	-0.068	0.001
理性的な-感情的な	-0.589	0.161	-0.057	0.039
意欲的な-無気力な	<b>0.607</b>	0.534	0.057	0.054
元気な-疲れた	0.49	<b>0.732</b>	0.034	0.152
にぎやかな-さびしい	0.501	<b>0.685</b>	0.038	0.110
強気な-弱気な	<b>0.691</b>	0.191	0.067	-0.009
幸福な-不幸な	-0.189	<b>0.768</b>	-0.762	0.141
充実した-空虚な	0.115	<b>0.757</b>	-0.029	0.108

表 3: 被験者が受けた印象についての因子得点の平均値と標準偏差.

	条件	First	Slow
	被験者数	26	26
因子得点	活発性	1.736	-0.037
	快-不快情動	3.828	3.901
SD	活発性	0.152	0.158
	快-不快情動	0.868	1.002

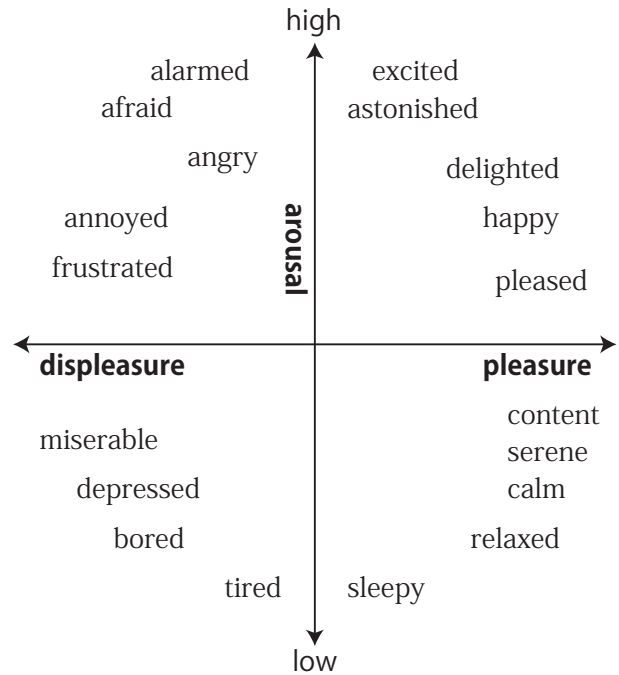


図 10: ラッセルの感情円環モデル.

動に影響を及ぼすことは無いと考えられるが、インタラクションの結果として呼吸が快-不快情動に影響を与える可能性は否定できず、今後の検証が必要である。

これら活発性と快-不快情動に関する考察から、Russell の感情モデル [17] に当てはめて関係性を考えることもできる。Russell の感情モデルでは、「覚醒度」と「快-不快」の 2 軸で平面上に感情をマッピングしたものである (図 10)。「活発性」がぬいぐるみロボットの情動を推測したことによる印象であるとすれば、これは情動における「覚醒度」が身体動作によって表出されたものであると捉えることもできる。覚醒度の高い情動が生起された場合、活発性の高い生理現象、つまり、呼吸が速くなる。逆に覚醒度の低い情動が生起された場合、活発性の低い生理現象、つまり呼吸が遅くなる。また今後の検証において、インタラクションの結果、呼吸速度による「快-不快情動」への異なる印象が得られれば、情動と呼吸表現による生物的体感情との一致を図ることができる。次に、これまでの考察

をふまえ、ユーザの入力と情動の変化、その結果表出される生理現象における呼吸表現と表象される感情の例を挙げ、生物的体感情インタラクションについて考える。

### 5.3 活発性に影響を及ぼす生物的体感情インタラクション

活発性の高い生理現象は覚醒度の高い情動に基づくと考えられる。覚醒度の高い情動には「驚き」がある。一方、活発性の低い生理現象は覚醒度の低い情動に基づくと考えられる。覚醒度の低い情動には「退屈」、「飽き」、「リラックス」などがある。

まず、ぬいぐるみロボットが覚醒度の高い情動を引き起こすユーザの行動を考える。「驚き」は突発的な反応の結果として捉えることができ、ぬいぐるみロボットへの一方的な急なアプローチと考えられる。このこ



とから、ユーザの行動の例としては、「急に手を握る」、「突然触れる」、「突然呼びかける」などが考えられる。

次に、ぬいぐるみロボットが覚醒度の低い情動を引き起こすユーザの行動を考える。「退屈」は外部の新しい刺激が少ない状態が続いた結果として捉えることができる。外部の新しい刺激が少ない状態としては、「ぬいぐるみロボットを放置する」の他、特定のアプローチを与え続ける状況も考えられる。「リラックス」については「強い力を加えずにやさしくなでる」の他、「横向きに寝かせ落ち着かせる」などの状況も考えられる。ただし、同じ状態を長時間に渡って継続した場合には、「退屈」の情動が生起すると考えられ。

今後、実際のユーザの入力を生物的感情モデルを用いて自動的に分類し、生理現象を出力することで、ユーザに適切な印象を与えるか検証が必要である。また、突然の呼びかけや横たわる体勢の検出など、詳細な状態を検出可能にすることが多様なインタラクションを可能にすると考えられる。

## 6 おわりに

本研究では、外的な影響により情動が発生し、その結果、生理現象などや身体動作に反応が現れたり、その生理的反応や情動の心的イメージ知覚によって感情が発生するモデルを生物的身体感情モデルとして提案した。また生理現象の一つである呼吸に着目し、吐息と腹部運動の共通制御によりユーザが肌で吐息を感じ、腹部の動きを確認できるぬいぐるみロボットを実装した。

ぬいぐるみロボットの呼吸のしかたによって生きている感覚に与える影響について検証し考察した。その結果、ぬいぐるみロボットの呼吸によってユーザはぬいぐるみロボットが生物であるように感じ、生きている感覚を得られることが分かった。

またぬいぐるみロボットの呼吸を被験者に観察させ、印象を評価した。分析の結果、呼吸速度の変化は、ぬいぐるみロボットの活発さを表すことが分かった。この結果から、生物的身体感情モデルに基づいたインタラクションについて考察した。覚醒度の高-低に対しマッピングされた情動によって、ぬいぐるみロボットの活発さを決定し、呼吸速度を変化させた。

今後、実際にユーザの入力を生物的感情モデルを用いて自動的に分類し、生理現象を出力することで、ユーザに適切な印象を与えるか検証を行う。また、ユーザのぬいぐるみロボットとの触れ合い方を複数設定し、異なる呼吸速度と合わせて提示することで、快-不快の感情とインタラクション方法の関係について検討する。

## 謝辞

本研究は一部科研費 24300047 および科研費 25700021 の助成を受け実施したものである。

## 参考文献

- [1] Kendon, Adam, Thomas A. Sebeok, and Jean Umiker Sebeok, eds. Nonverbal communication, interaction, and gesture: selections from Semiotica. *Walter de Gruyter*, Vol. 41, No. 4, pp. 1-2 (1981)
- [2] Sakamoto, Daisuke, et al. Android as a telecommunication medium with a human-like presence. *Human-Robot Interaction (HRI), 2007 2nd ACM/IEEE International Conference on. IEEE*, pp. 193-200 (2007).
- [3] Bainbridge, Wilma A., et al. The effect of presence on human-robot interaction. *Robot and Human Interactive Communication, 2008. RO-MAN 2008. The 17th IEEE International Symposium on. IEEE*, pp. 791-706 (2008).
- [4] H. Kuzuoka, J. Kosaka, K. Yamazaki, A. Yamazaki and Y. Suga, Dual Ecologies of Robot as Communication Media: thoughts on Coordinating Orientations and Projectability, in Proc. of CHI2004, pp. 183-190 (2004).
- [5] D. Sekiguchi, M. Inami, and S. Tachi, RobotPHONE: RUI for interpersonal communication, Extended abstract of CHI01.
- [6] 坂本大介, 神田崇行, 小野哲雄, 石黒浩, 萩田紀博. 遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性. *情報処理学会論文誌*, 48(12), pp. 3729-3738 (2007).
- [7] Breazeal, C., Scassellati, B. A context-dependent attention system for a social robot. *rn*, 255, 3 (1999).
- [8] Damasio, Antonio. *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*, Harcourt, (1999).
- [9] 大石亨, 森武俊, 佐藤知正. ロボットの身体動作表現と生成される印象とのラバン特徴量を介した定量的相関分析. *日本ロボット学会誌* 19.2, pp. 252-259 (2001).
- [10] Yonezawa, T., Meng, X., Yoshida, N., Nakatani, Y. Involuntary expression of embodied robot adopting goose bumps. *In Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, pp. 322-323, (2014).
- [11] 中谷友香梨, 孟曉順, 米澤朋子. 発話と息づかいの複合表現による生物存在感提示手法の検討電子情報通信学会 HCS 研究会, Vol. 113, No. 426, pp. 113-116 (2014).
- [12] 吉田侑矢, 吉田直人, 松田智嗣, 萩野正樹, 米澤朋子. Ikitomical Model2: 酸素を運ぶ呼吸と心拍の内臓表現による生きているリアリティ. *エンターテイメントコンピューティング 2013*, pp. 85-90 (2013).
- [13] Yanaka, Shunsuke, Takayuki Kosaka, and Motofumi Hattori. ZZZoo pillows: sense of sleeping alongside somebody." *SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies. ACM*, pp. 17 (2013).

- [14] 西田佳史, 武田正資, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正. 圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測. 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 5, pp. 705-711 (1998).
- [15] 井上正明, 小林利宣. 日本における SD 法による研究分野とその形容詞対尺度構成の概観. *The Japanese Journal of Educational Psychology*, 33.3, pp. 253-260 (1985).
- [16] 神田崇行, 石黒浩, 石田亨. 人間-ロボット間相互作用にかかわる心理学的評価. 日本ロボット学会誌, 19.3, pp. 362-371 (2001).
- [17] Russell, James A., A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39.6, pp. 1161 (1980).