解 説

人とロボットの身体的相互作用による感情的行動の発現

Emergence of Affective Behaviors through Physical Interaction between Human and Robot

柴田崇徳
Takanori Shibata

産業技術総合研究所　知能システム研究部門
人間共存システム研究グループ　主任研究員

1 はじめに

人と共存・共生するロボットは、物理的な作業を行う場合もあるが、人の心に影響を与え、主観的な評価を重視する機械である[1]。そのため人と共存・共生するロボットは、産業用ロボットのように客観化された環境とロボットという閉じたシステムではなく、ロボットとインタラクション（相互作用）する人の精神や未知の環境を考慮し、開いたシステムとして設計する必要がある。つまり、人の主観や感性を考慮しなければならない複雑なシステムであるため、従来の科学技術の概念だけでは設計できない[2,3]。

本稿では人と共存・共生するロボットの例として、感情的人工生物の研究開発について紹介する[3-12]。感情的人工生物は、ペット動物のように、生活に必要以上の存在として、人と対等な存在関係を持ち、人から命令されて動作するだけではなく、自律的に心や感情を持つかのように行動し、人と身体的に触れ合う。そのインタラクションにより、人に楽しみや安らぎなどの精神的な効果を与える。単なるおもちゃではなく、人の心を豊かにし、癒すことにより精神的な病を予防するとともに、日常生活の余暇に楽しみを与え、人のメンタルな部分でコミットする。これを「メンタルコミットロボット」と称している。これまでに、基礎的心理実験、センサシステム研究、動物型ロボット研究開発、行動制御アルゴリズム、主観評価とその分析に関する研究を行った。

2章では、主観性と客観性について述べる。3章では人と共存・共生するロボットが持つべき機能について、4章では、人とロボットのインタラクションにより主観的解釈の中に発現する感情的な行動について述べる。5章では、感情的人工生物としての動物型メンタルコミットロボットについて述べる。最後に6章でまとめる。

2 人工物の設計における客観と主観

科学技術は客観主義によって発達し、その普遍化、共通化を図ってきた。「技術」は、科学を実地に応用して自然の事物を改変・加工し、人間生活に役立たせる技である。その基礎となる科学は、体系的であり、経験的に実証可能な知識である。

一方、「芸術」は、一定の材料、技術、様式を駆使して、美的価値を創造・表現しようとする人間の活動およびその所産である。美的価値を備えた実用品をつくることは工芸である。

産業革命以降、自動化や人の労働補助のための機械は、人から与えられた作業目的に依存して、設計され、速度や精度等の客観的尺度により評価され、最適化されてきた[13]（図1）。機械は、工場だけでなく、家庭生活においても使われてきた。20世紀の物質主義においては、客観的尺度により表現される量や力や速度などが豊かさの象徴であった。この考え方は、社会における共通的な大量生産・大量消費を奨励した。

しかし、今日の成熟した社会においては、物質主義に対する否定的な考え方が芽生え始め、その関心は環境やエネルギーの問題を捉え、その結果、生活の豊かさや快適さにおける

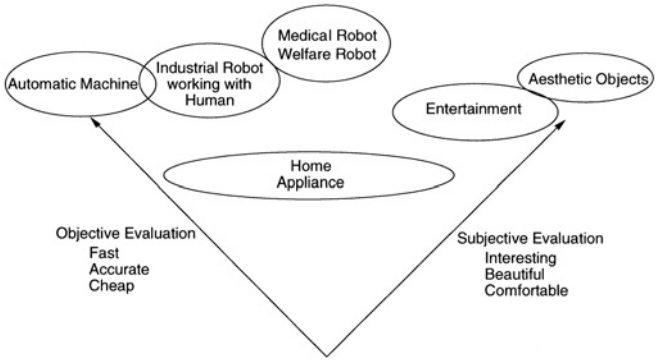


図1　人工物の設計における応用分野別主観的評価と客観的評価

尺度が変化しはじめた。本稿ではこれを精神主義と呼び、社会における物事に対する尺度の多様化の結果、個人の主観的な尺度が重きを持つことを意味する。

精神主義の社会において、人と共存・共生する機械あるいはロボットの「価値」は、インタラクトする人が主体かつ観察者として、主観的に評価する。特定の作業を目的としない場合には、芸術のように、完全に主観によって評価できる場合もある。そのため、人の労働の補助には役立たないと評価されたとしても、人の主観的評価が高い機械は存在しうる。逆に、主観的に評価の高い機械は、愛着を持って大切に長年使われ得る。また、商品としては、付加価値の高い物となる。そのため、資源の有効利用、省エネルギー、ゴミ排出の減少などの観点からも、非常に重要である。そこで、主観的価値をいかに創造するかは社会的に重要であり、本研究の目的の一つである。

3 人と共存・共生するロボット

人と共存・共生するロボットは、介護ロボット、お手伝いロボット、案内ロボット、ペット型ロボットなど様々な応用が想定できる[1)]。工場で用いられている産業用ロボットとの大きな違いは、ロボットの「環境」と、ロボットの「自立性・自律性」である。これらは、ロボットの「知（インテリジェンス）」にも関わっている。

まず、「環境」について産業用ロボットの場合には、人がロボットに近づかないようにし、また一定の作業を正確・高速に繰り返すことができるような環境を整備している。一方、人が活動する環境は、屋外はもちろん、屋内であっても一定ではなく複雑・多様である。そのため人と共存・共生するロボットは様々な環境で複雑な行動・作業を行うことを求められる。そのためには、次の機能が必要である[14)]。

(1) 環境情報と自己の状態を認知・認識するためのセンサとその情報処理機能
(2) アクチュエータとその駆動制御
(3) 環境に適合した制御、行動戦略のため価値観や知識を用いた推論機構
(4) 人とのインタフェース

このような機能を統一的に満たすためのロボット制御システムは複雑である。ロボットの台数が複数になったり、人とのインタラクションがあったりする場合には一層複雑である。従って、ロボットの存在目的に応じて設計する必要がある。

次に、「自立性・自律性」について、産業用ロボットのように人の労働を補助し、道具として使われるロボットの場合には、人から行動・作業の目的を与えられ、客観的な評価尺度が規定される。整備された環境の中で、目的とする行動・作業を達成するための最適化問題として制御することとなる[15,16)]。一方、人と共存・共生するロボットの場合には、応用目的に応じて、自立性と自律性のレベルが異なる。例えば、お手伝いロボットを考慮すると、人がマスターとしてロボットに命令を与えつつ、ロボットが自立して行動する必要があるが、自律して勝手な行動をとることは望まれない。人に従順であることを求められる。しかし、ペット型ロボットの場合には、動物のように完全に自律的に行動して、人と対等な関係を持つ場合や、あるいは人に従順な行動をとることを期待される場合がある。後者の場合には、ある程度の自律性を持ちながら、人の命令に従うような行動が期待される。

ここで、ロボットの「知」に関して考察する。産業用ロボットの動作は高速かつ正確であり、客観的尺度による評価は高い。しかし、人が作業目的や作業規範を与えているのであり、人を越える発想をロボットがしている訳ではない。人により整備された環境の中で「機械的」に作業を繰り返して行えるだけである。その作業を観察する人は、ロボットの動作を「素晴らしい」と解釈する人もいれば、「単純な動きの繰り返し」と解釈する人もいる。つまり、「観察者」が主観的に感じるロボットは必ずしも「知的」ではない。つまり、「知」は観察者によって決められているのである[3,17-20)]。

「知」があるように感じさせるロボットを作るためには、観察者の主観に訴える何かが必要である。その一つとして、ロボット自身が行動の目的や動機を生成し、不確かな環境の中で適応しながら行動する「自律性」が重要である[21,22)]。そして、自律性をもつロボットを人が観察する場合、ロボットに心や感情があるかのように解釈し、それをもって「知」の尺度にする。そこで、前記の (1) から (4) に加えて、次の (5) が、人と共存・共生する知的なロボットに重要な機能である。

(5) 心や感情を持つかのように感じさせるシステム（インタラクションにより発現）

ただし、心や感情の正確な解析的モデルが必要という意味ではない。インタラクトする人が、主体としてロボットを観察したときに主観的に、ロボットが心や感情を持つかのように解釈できればよい。

このように、筆者は (1) から (5) の機能をもつロボットが知的なロボットになりうると考え、それを統合したロボットとして「感情的人工生物」の研究開発の準備を93年から始め、95年から「感情的人工生物プロジェクト」をMIT人工知能研究所においてスタートした[3)]。

感情的人工生物は、人の命令により行動するのではなく、自律的に行動するので、人と対等な存在関係にある。お互いにコミュニケーションにより情報を伝達し合い、刺激し合う。

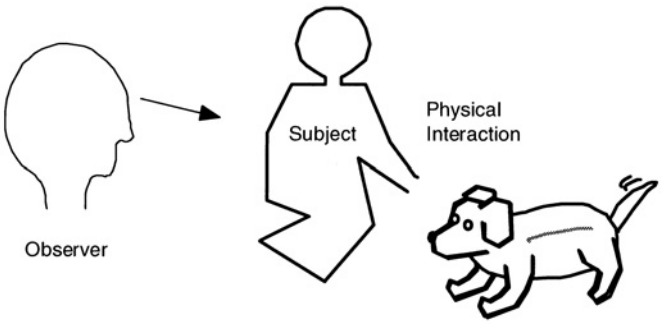


図2　主体とロボットの相互作用とその観察者

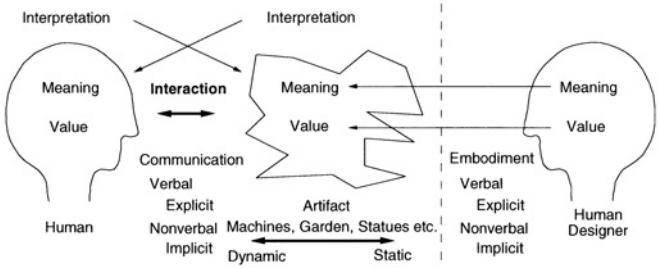


図3　インタラクションを通した主観的解釈と評価

そのため、そのインタラクションを外部から観察するときには、フィードバックではなく、人と感情的人工生物の「カップリング」として観察できる[6,8]。これらを実証するために、感情的人工物生物として動物型ロボットの研究開発を進めてきた。

主観的な評価は、観察者である人が自らの尺度で対象を解釈し、評価する（図2、3）。人と感情的人工生物とのインタラクションにおいては、主体である人が、観察者でもあるため、インタラクトしながら対象である感情的人工生物を解釈・評価する。その折りに、主体が自らの感覚で受ける情報により自らの経験や知識に基づいて連想を行い、コミュニケーションにおける状況やコンテクスト（文脈）や自らの意図に依存して対象について解釈し、自らの価値観に依存して評価を行う。

4 インタラクションにより主観的解釈の中に発現する感情的な行動

人が物を解釈するときには、客観的な尺度を利用して物を理解し解釈する場合もあるが、普通の生活においては、自らの主観的な尺度によって、その物がもつ意味や意図を理解しようとする場合が多い（図3）。そのとき、人は感覚を用いて、物を知覚する。

人工物に対する主観的解釈や評価について説明する。人工物には、彫像や絵画のように静的なものや機械やロボットのように動的なものがある。それらの人工物の作者（製作者・設計者）が存在し、自らの意図や価値観を人工物に埋め込んでいる。主体が人工物とインタラクトするときには、自らの感覚により知覚するが、その解釈においては、自らの経験や知識に依存している。そのため、人工物そのものに依存して解釈・評価される場合と、作者に関する経験や知識にも影響を受ける場合がある。本研究においては、前者だけを扱う。また、作者により人工物に埋め込んである意図や価値観は、主体によって同じように解釈されるのではく、主体が勝手に解釈する。

次に、人が持つ感覚について、古くからは五官（感）と呼ばれるが、現在では視覚、聴覚、嗅覚、味覚、皮膚感覚、運動感覚（自己受容感覚）、平衡感覚、内臓感覚の8系統が一般的である。皮膚感覚はさらに触覚、圧覚、温覚、冷覚、痛覚に分けられる[23]。

感覚の種類とそれに即した体験内容は感覚モダリティ（様相）である。例えば、視覚と皮膚感覚はモーダル（相）の違いであり、視覚における赤、青、黄色などの色彩の違いは、同一モーダルの中での質の差である。人の知覚については、人は感覚からの刺激を受けると、脳の中枢神経系がその刺激による連想と推論から意味づけを行っている。

例えば、コンピュータ内部の仮想動物と人とのインタラクションでは、主体である人の視覚と聴覚を刺激するだけであり、身体的な触れ合いはない。そのため、人に対する刺激の質の違いとして情報量が多くても、人の知覚におけるモーダル数は少ない。

一方、身体を持つロボットと人とのインタラクションにおいては、実世界の中で人の視覚、聴覚、皮膚感覚、運動感覚、平衡感覚などを刺激する。従って、身体的なインタラクションは、モーダルを多様化する。

そこで、感情的人工生物として本研究で扱う動物型ロボットが、インタラクトする主体に対して本物の動物であるかのような解釈を行わせる、すなわち主観的に心や感情があるかのように解釈させるための仮説を次のように立てた。

(1) 現実世界で身体をもち、動物を連想させるため人の多くのモーダルを適切に刺激することが必要である。
(2) 人が推論を行いながら解釈するため、インタラクションにおいて、仮説的に人が意図を持って刺激を与えたときに、人の期待から大きくはずれない反応を示すことが必要である。ただし、予期しない行動もとりうる。
(3) インタラクションにおける、コンテクストに依存して、人が連想や推論を行うため、動物型ロボットの一連の行動が人の主観的解釈に影響を与えることを考慮しなければならない。

これらの仮説を検証するため、心理実験として次のような状況を設定し、人の主観的解釈がどのように変化するかを調

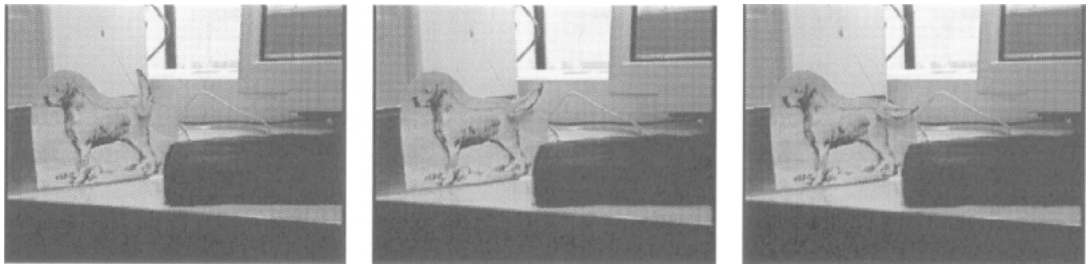


図4　犬の絵と尻尾の振れだけを離れて観察

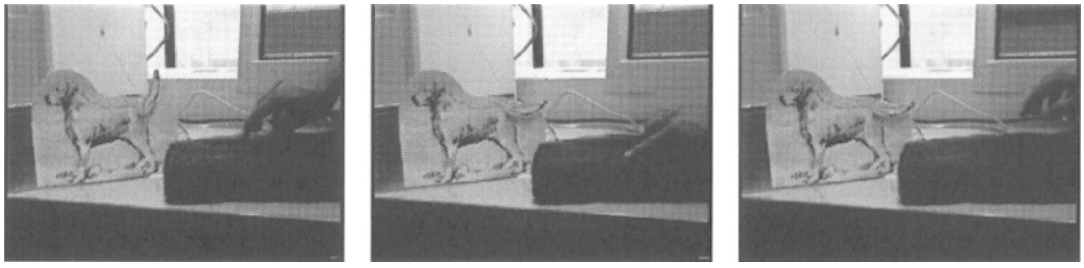


図5　主体が触覚センサを撫でることによる尻尾の振れの変化

べた。

(1) 振動する1本の棒に関して、視覚と聴覚により刺激を受けた主体の解釈

(2) 犬の絵を張り付けて、その尻尾を (1) と同様に振らせ、主体に対して視覚と聴覚により連想を誘起した場合の解釈 (図4)

(3) (2) のシステムに、触覚センサを取り付け、主体が触覚センサをなでることにより、インタラクティブに尻尾の振れに変化が生じるようにし、主体に対して視覚と聴覚と触覚によって連想を誘起した場合の解釈 (図5)

棒の振れは、2つのニューロンから構成される神経振動子を用いた。触覚センサにはキーボードを用い、キーのヒットの頻度がニューロンへ入力され、なでればなでるほど、ニューロンがアクティブになり振れが早くなるが、上限は存在した。また、しばらくなでた後、なでをやめると、徐々に振れの速さはゆっくりとなった。

主体として6人の被験者 (アジア、アメリカ、ヨーロッパ系) が、上記の実験を行った。(1) の実験では、主体は誰も棒の動きに対して意味を見いださなかった。(2) の実験では、主体が犬に関する自らの経験や知識を元に、棒の振れの速さや位置によって、「親しみがある」、「喜んでいる」、「自然な動き」、「悲しそう」など、感情を表現する言葉を含んで解釈を行った。(3) の実験では、自らのなでるという行為により、「犬の機嫌が良くなり、とても喜んでいる」、「なで続けると、興奮し始めた」などコンテクストに依存した多様な解釈を行い、同時に主体自身が喜んだり、驚いたり、気分の変化が観察できた。

これらの実験の結果、モーダルの増加とインタラクションにより、人の連想と推論が多様化、複雑化し、主観的解釈が深まることを確認した。客観的機能として1つの触覚センサと1自由度の棒の挙動であっても、身体的インタラクションを通したカップリングとして、動き方、外観、発生する音、人が持つ意図によって、システムの挙動に対して人の主観的解釈に複雑さをもたらし、感情的な意味を見いださせることができた。ただ、被験者の解釈は一様ではなかった。これらの結果を考慮して、動物型ロボットの研究開発を行った。

5 動物型メンタルコミットロボット

感情的人工生物の応用分野として、エンタテイメントやコミュニケーションのインタフェースなどの研究があるが[24-26]、本研究においては、アニマルセラピーにおいて動物が果たす役割のように、人に楽しみや安らぎなどの精神的な効果を与え、人の心を癒したり、豊かにしたりすることを目的とする「メンタルコミットロボット」の研究開発を進めている。

5.1 動物型ロボットの形態による分類

人とロボットが短期間インタラクトするときに、主体である人が以前から有している自らの知識や経験に依存し、ロボットの動作を解釈したり、自らの価値観に依存してロボットを評価する。このとき、ロボットの形態からの連想は大きな意味を持つ。そこで、ロボットの形態に関して、動物型 (非人間型) ロボットを3つのカテゴリーに分類する。

(1) 日常生活でペットとしてなじみの深い動物 (犬、猫など)

(2) 認知度はあるが、普段は触れ合うことが少ない動物 (アザラシ、鯨、ペンギンなど)

(3) ほとんど知られていない動物、架空の動物・キャラクター等 (ファービー、ソニーAIBO[24]、NEC・R100[25]など)。

カテゴリー (3) については、様々な設定ができるため、商品デザインとしては重要であるが、主体における知識や経験の度合いを測ることが困難なので、本研究においては深く立ち入らない。また、現状では、短期間のインタラクションによってロボットの評価を行っているため、ロボットの学習機能の効果の評価をまだ行っていない。長期間のインタラクションを継続すれば、主体が元々持っている知識や経験に関わらず、インタラクションを通してロボットに関する新たな知識や経験を主体が獲得し主観的解釈や評価に大きな役割を果たすようになり、また、ロボットも学習機能などにより、時間的に人との関係が築き上げられていくため、人に与える影響は変化する。

5.2 動物型ロボットのプロトタイプ

筆者は、MITとの共同研究として、犬型ロボット (95年から97年、図6)、アザラシ型ロボット (Ver.1) (98年、図7) を研究開発した。なお、犬型ロボットと言ってもカテゴリー (3) に分類され、本物の犬とはほど遠い形態であったが仕草、行動、反応は犬を参考にした。図7 (a) と (b) は、アザラシロボットと猫ロボットで、コスチュームの有無を比較する。コスチュームが無い状態で、アザラシや猫を連想することは難しく、またかわいさなどの主観的評価に大きな影響を与えると言える。

犬型ロボットは、視覚、聴覚、触覚を有していた。視覚は、動きのある物体に注意を向けたとき、その色を短期記憶し、注意が続く間、トラッキングした。聴覚は、音の強さと位相差から方向を同定し、注意があれば、その方向に視覚を向けた。触覚は、風船型触覚センサを開発し、人が撫でたり、叩いたりしたときの圧力を検知した。それぞれのセンサからの刺激は、ロボットの内部状態を変化させた。そして、内部状態の変化により、注意の向け方を変えた。ロボットの持つ価値として、軽く圧力が継続的にかかる状態 (撫でられる) を良い信号 (心地よい) とし、急激な圧力の変化 (叩かれる) を悪い信号 (いや、痛い) とした。(アザラシの場合には、「ひげの触角センサに触れられる」は悪い信号) この価値をロボットの強化学習に用い、行動ルールの修正に用いた。

犬型ロボットの場合、例えば人から撫でられると、内部状態aが徐々に高くなり、その内部状態からの信号を受けて、尻尾の振れが早くなり、一方、叩かれたときの触覚センサの圧力インパルスによって、尻尾を振り上げる「刺激ー反応」ルールなどが埋め込まれていた。高い内部状態がしばらく続くと他の内部状態bが高くなり、尻尾の振れを抑制した。内部状態aが低いときには、叩かれることに注意が向いて、尻尾を振り上げるが、内部状態が高いときには、圧力インパルスに注意を向けないため尻尾は上下に降らし続けている。このような動作は主体とのインタラクションに依存し、主体の解釈は、感情の言葉を使って、例えば「叩くとびっくりするが、長く撫でていると興奮して尻尾を早く振り、叩いても気づかない」等と表現された。

5.3 猫型ロボット

筆者は、オムロン (株) と猫型ロボット「たま」を共同研究開発 (97年から) を行っている[7,8] (図7)。猫型ロボットは、カテゴリー (1) に分類され、本物の猫を模倣した外観を持

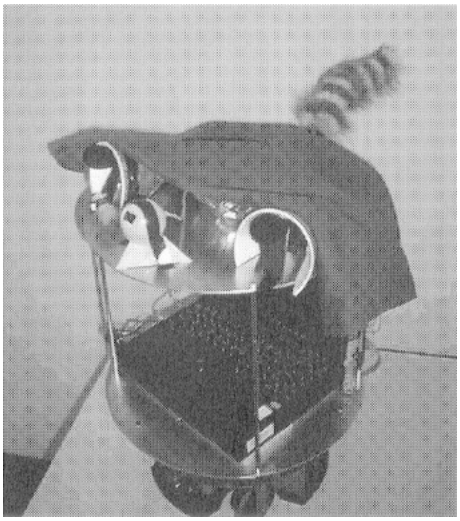
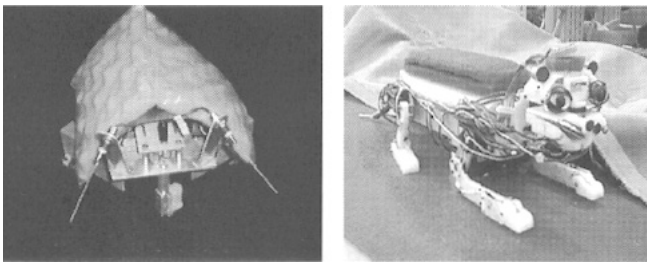
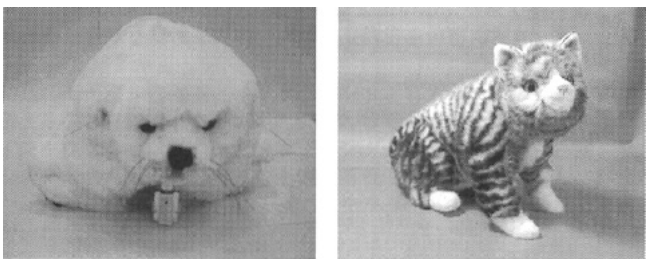


図6 初期犬型ロボット



(a) コスチュームなし



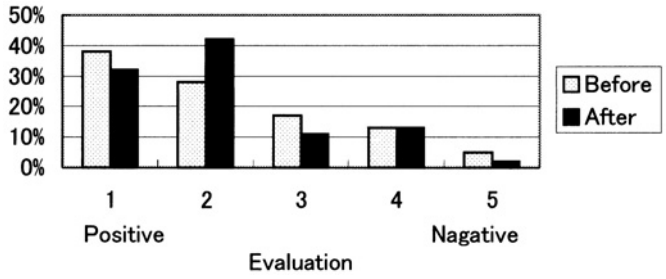
(b) コスチューム有り

図7 アザラシ型 (Ver.1) と猫型ロボット

ち、行動を生成する。一般に猫はペットとして人と共存・共生しているが、「気分屋」や「人の命令に従わない」など自律性が高いイメージがある動物である。

人との身体的インタラクションを重視する構造として、ロボットは触覚と聴覚と平衡感覚のセンサを身体に持つ。触覚センサは、頭部と背中に静電タイプのシート状のセンサを用い、顎に3つのスイッチを用いた。聴覚は、3つのマイクロフォンにより、音の方向と名前の認識を行った。例えば、名前を呼ばれたときに注意すれば、呼ばれた方向に顔を向け、瞬きを行う。胴体内部には傾斜センサを持ち、人に抱かれた場合など自己の姿勢を認識できる。ロボットの行動生成は、牛田らによるMaCモデルをベースとして、本物の猫の観察から得られた複数の行動を表現するように、外界からの刺激、内部状態、1日のリズムによって生成された[27]。首の上下左右の2自由度、瞬き1自由度、前足それぞれ2自由度、そして尻尾の1自由度で8つのサーボモータを用いた。また複数の鳴き声を持っている。マクロには、数えられる行動パターンであるが、人や環境とのインタラクションにより、行動が生成され、状況とコンテクストに依存した行動生成である。また、撫でられると良い信号で、叩かれると悪い信号として、強化学習を行い、人が良いと感じる行動を生成しやすくした。

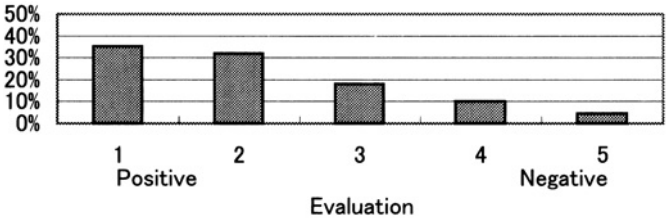
猫ロボットを評価するため、88名の多様な年齢の女性に、アンケートを行った[9]。まず、身体的インタラクションが主観的評価を向上するかを調べるため、猫ロボットの機能を説明し、ロボットを見せた後に、かわいいかどうか等の質問し、その後20分間ロボットと触れ合った後に、同じ質問を行った。グラフ1にその比較を示す。かわいいと回答した1、2の合計人数は、身体的インタラクションの後、増加した。しかし、猫のことに非常に詳しい人は主観的に本物の猫のイメージと、現実の猫型ロボットとの比較を行うため、ロボットの性能を過度に期待した人の一部は、評価を1から2へ下げた人がいた。ロボットのボディが硬いなど、主に構造に関する理由であった。また、本来犬の動作である「お手」を期待した人もいた。



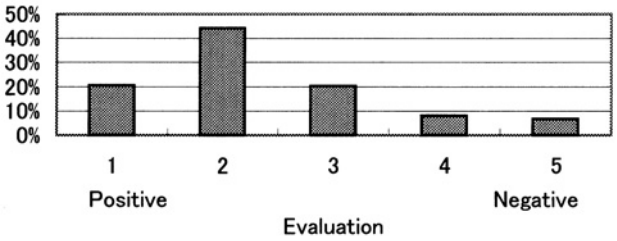
グラフ1　身体的インタラクションによる主観的評価の変化
（Q＆A：猫型ロボットはかわいいか）

その他にも、「感情を持っているかのように見えるか？」等様々な質問を行い、主観的評価を調査した（グラフ2、3、4、5）。これらの結果から、多くの被検者にとって、猫型ロボットには主観的に心や感情があるかのように解釈され、ペットとしての価値があるといえ、特に身体的インタラクションが主観的価値を高めたといえる。

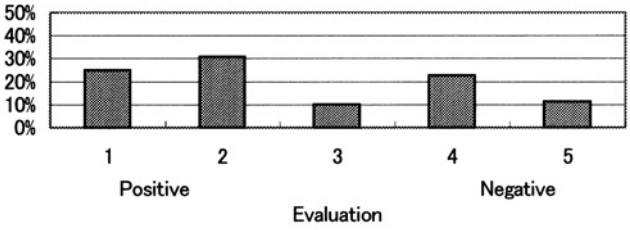
しかしながら、ロボットの行動に対する主体の解釈は、製作者・設計者が想定した感情的な意味とは必ずしも一致しなかった。またロボットの仕草について、同じ行動であっても、コンテクストとしてロボットの以前の行動や主体の意図により解釈は異なった。あくまで、インタラクションを通して発



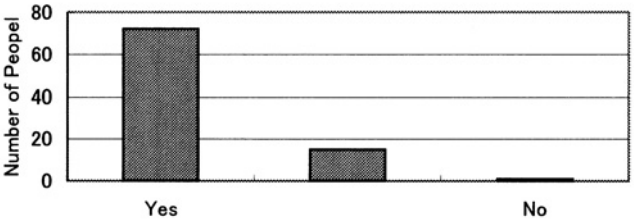
グラフ2　Q＆A：猫ロボットは親しみやすいか？



グラフ3　Q＆A：猫ロボットは感情を持っているように見えるか？



グラフ4　Q＆A：猫ロボットは生きているように見えるか？

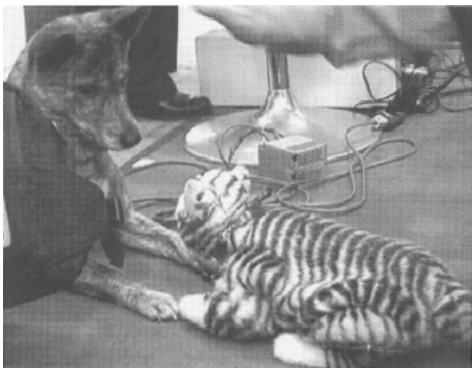


グラフ5　Q＆A：猫ロボットを家で飼うペットと認めるか？

現した行動に対する主観的な解釈であるため、主体による認識の「正しさ」や「認識率」を議論することは意味がない。また、ロボットの行動生成のためのアルゴリズムの「正しさ」を議論することもできない。

感覚への適切な刺激の重要性と、インタラクションの継続の重要性について、猫型ロボットと本物の犬とのインタラクションのケースで説明する (図8)。飼い主は、本物の猫も犬と一緒に飼っているため、猫のことを良く知っている犬である。猫型ロボットの動作に対し視覚的に興味を持った犬は、猫型ロボットに近づいたが、いったん止まり不思議がった。飼い主の説明によると、猫の匂いがしないためであった。しかしながら猫らしいロボットの動作を観察しているうちにびっくりしたりしながら徐々に本物であると解釈し、本物の猫に対する触れ合いと同様のインタラクションを始めた (犬の飼い主による説明)。これは、犬の場合であるが、嗅覚を最も重視する犬に対して、猫型ロボットのプレゼンテーションは十分ではなかったが、犬が興味を持続し触れ合いを通して、本物であると解釈したことを示している。

(a) 興味を持って猫型ロボットを観察する犬



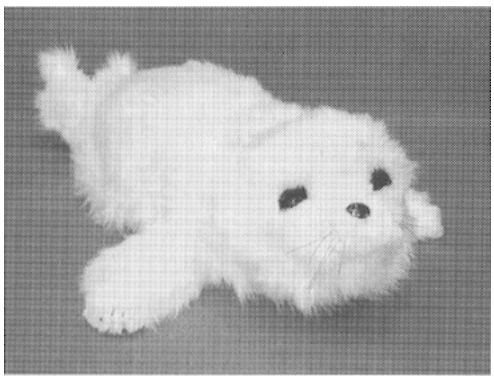
(b) 猫型ロボットの動きに驚きのけぞった犬

(c) 本物であるかのように解釈し、なめるなどの触れ合い

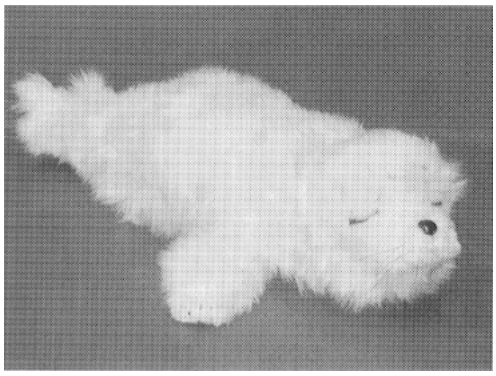
図8　本物の犬と猫型ロボットとのインタラクション

5.4　アザラシ型ロボット

筆者は三協アルミニウム工業 (株) とアザラシ型ロボット (Ver. 3)「ぱろ」を共同研究開発 (99年から) を行っている[11] (図9)。アザラシ型ロボットは、(2) に分類され、アザラシのことを知っていても、本物と触れ合った経験のある人は非常に少なく、そのため比較の対象となる行動の規範を経験や知識として持ち合わせていない (グラフ6)。そこで、タテゴトアザラシの赤ちゃんが生後3週間程だけ真っ白な毛で覆われているので、それをモデルに形態をデザインした。ロボットは触覚と視覚と聴覚と平衡感覚を持つ。人との触れ合いで、テクスチャーとして人に柔らかさと心地よさを伝えるために、人工の毛皮で表面を覆い、ロボットと毛皮の間に複数の風船型触覚センサを挟むことにより、柔らかさを表現しつつ

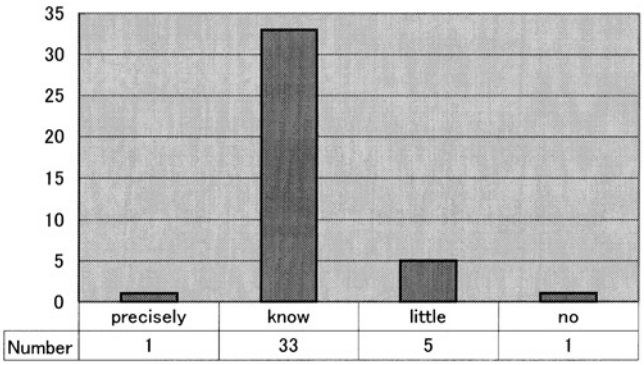


(a) 元気な「ぱろ」

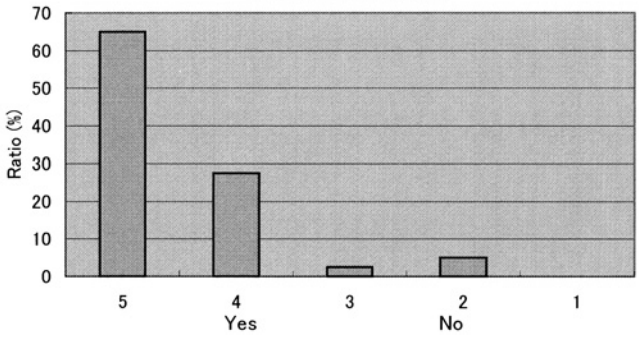


(b) 居眠りする「ぱろ」

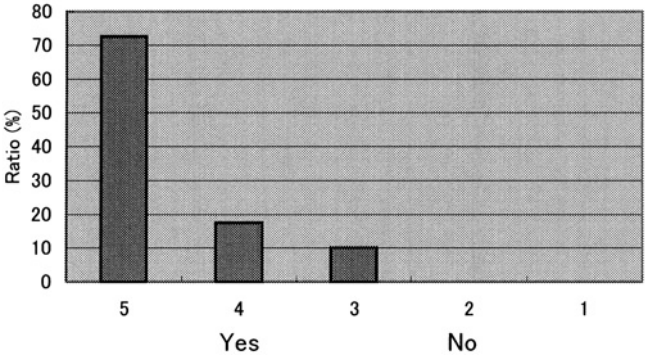
図9　アザラシ型メンタルコミットロボット (Ver. 3)



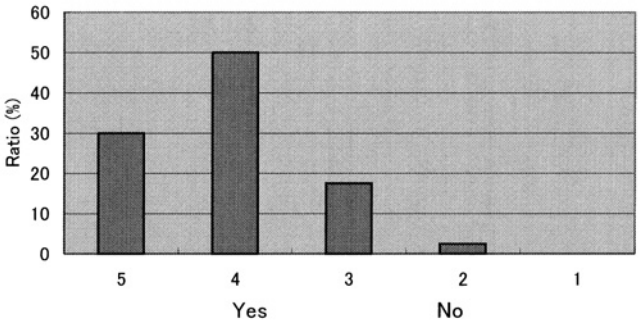
グラフ6　アザラシのことを知っているか？



グラフ8　アザラシ型ロボットはかわいいか？



グラフ7　アザラシ型ロボットに触りたいか？



グラフ9　アザラシ型ロボットは心地よいか？

図10　猫型ロボットと触れ合う車椅子の女性の笑顔

人間のロボットへの触れ方（位置、力、撫でる方向）を計測した。またシンプルな視覚として光センサを鼻に2つ、聴覚としてマイクロフォンを2つ頭部に埋め込んだ。光の強さと音の強さそれぞれにステレオで反応できる。胴体内部には傾斜センサを持ち、人に抱かれた場合など自己の姿勢を認識できる。音声として、デジタルサンプリング後加工した他の動物の鳴き声をアザラシの鳴き声として複数用いている。動きでは、首の左右、上体の上下、まぶたの開閉、左右の前ヒレ、後ろヒレを6つのサーボモータで可動とした。猫型ロボットと同様に、マクロに見ると、首を振る、状態を上げる、前ヒレを振る、後ろヒレを振る、瞬きする、鳴く、などの行動を数えることが可能であるが、人や環境とのインタラクションを通して、刺激と内部状態によって様々な行動が発現する。特に、人もロボットも発現する行動は状況に依存し、その解釈はコンテクストにより、感情を表現する言葉でロボットの行動が説明された。あくまで、主観的な解釈であり、インタラクトしている本人の解釈と、製作者・設計者の意図する意味やその外部の観察者との解釈とは必ずしも一致しなかった。

グラフ6～9に、アザラシ型ロボットに対する10代から60代の男女40名の主観評価の結果を示す[12]。グラフ6より、多くの人がアザラシのことを知っていても、1名以外は詳しくは知らなかった。ロボットに対する触れ合いを望む人は多く、また主観評価も高かった。ロボットが大きい、重いなどのネガティブなコメントがあったが、多くの人はロボットと本物のアザラシと比較して評価することがなかった。グラフ9は、人がアザラシ型ロボットとの触れ合いを心地よく感じ、メンタルコミットロボットとして人に楽しみや安らぎなどの精神的効果を与える可能性を示している。

その他、多くの様々な人々に、猫型ロボットやアザラシ型ロボットと触れ合ってもらい、評価を受けた。アレルギー、住宅事情、身体の不都合などにより、猫などのペットが買いたくても飼うことができない人は多く、そのような人には、

図11　アザラシ型ロボットと触れ合う人々の笑顔
（なお、しばらくして真ん中の女性は昔飼っていた犬を思い出し涙を流した）

動物型ロボットは大変喜ばれた（図10、11）。

6 まとめ

人と共存・共生するロボットは、産業用ロボットのように、精度、速度などの客観的尺度だけでは評価できず、インタラクトする人の主観的評価が重要である。特にロボットの自律性を重視する場合には、環境と人とのインタラクションから発現する行動が、観察者である主体の経験や知識に依存する主観的解釈によって意味づけされ、主体の持つ価値観で評価される。そのため、ロボットの設計者・製作者が埋め込んだ意図や価値観とは必ずしも一致しない。

本稿では、ロボットとインタラクトする主体による主観的解釈を深め、主観的評価を高めるために、主体の感覚を適切に刺激し、連想記憶を引き起こす手法として、身体的触れ合いによる人とロボットのカップリングの重要性について、心理実験や形態により分類される3種のロボットを用いて検証した結果について概説した。結果として、主体からロボットの行動について、感情を意味する言葉により表現されることができ、ロボットに生命があるかのような解釈をされた。

今後は、より高機能な動物型ロボットの開発、生理心理実験により人がロボットから受ける精神的効果の客観的評価、人の主観的価値と精神的効果を高める要素の分析、高度な生物的行動生成のための手法の研究開発とその評価等を行い、人と共存・共生するロボットの設計論について研究開発を進める。

参考文献

1）菅野重樹：家庭におけるパーソナルロボットの役割，ロボット，128,（1999），8.

2）柴田崇徳，福田敏男，編著：人工生命の近未来ー新たな生をつくるテクノロジー，時事通信社，（1994）

3）柴田崇徳：ロボットから人工生物へ，システム／制御／情報，40，（1996），8.

4）T. Shibata，K. Inoue and R. Irie：Emotional Robot for Intelligent System-Artificial Emotional Creature Project，Proc. of 5th IEEE Int'l Workshop on ROMAN，（1996），466.

5）T. Shibata and R. Irie：Artificial Emotional Creature for Human-Robot Interaction-A New Direction for Intelligent System，Proc. of the IEEE/ASME Int'l Conf. on AIM'97（1997）paper #47 and 6 pages in CD-ROM Proc.

6）T. Shibata，M. Yoshida and J. Yamato：Artificial Emotional Creature for Human-Machine Interaction，Proc. of the IEEE Int'l Conf. on SMC，（1997），2269.

7）田島，斉藤，大角，工藤，柴田：感情をもったインタラクティブ・ペットロボット，第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集，1，（1998），11.

8）T. Shibata，T. Tashima and K. Tanie：Emergence of Emotional Behavior through Physical Interaction between Human and Robot，Procs of the IEEE ICRA（1999）

9）田島，斎藤，柴田：猫ロボットのインタラクションによるユーザ評価と考察，第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集（1999）

10）柴田崇徳：人の心を癒すメンタルコミットロボット，日本ロボット学会誌，17，（1999）7，943.

11）柴田崇徳：人とロボットの身体的インタラクションを通した主観的価値の創造，JRSJ，18，（2000）2，200.

12）T. Shibata and K. Tanie：Influence of A Priori Knowledge in Subjective Interpretation and Evaluation by Short-term Interaction with Mental Commit Robot，Proc. of the IEEE IROS-2000（2000）

13）H. Petroski：Invention by Design，Harvard University Press（1996）

14）柴田崇徳，福田敏男：ファジィロボットーインテリジェントシステムのためのソフトコンピューティング，朝倉書店，（1997）

15）E. Sanchez，T. Shibata and L. Zadeh：Perspectives of Fuzzy Logic and Genetic Algorithms，Scientific World Co. Ltd，（1997）

16）T. Shibata，et al.,：Skill Based Motion Planning in Hierarchical Intelligent Control of a Redundant Manipulator，Robotics and Autonomous Systems，18，（1996），65.

17）V. Britenberg：Vehicles，Experiments in Synthetic Psychology，The MIT Press（1984）

18) R. Pfeifer：'Fungus Eater Approach' to Emotion, A View from Artificial Intelligence, Cognitive Studies, The Japanese Society for Cognitive Science, 1 (2), (1994), 42.
19) R. Brooks： Intelligence without Representation, Mind Design II, ed. by John Haugeland, The MIT Press, (1997), 395.
20) R. Picard： Affective Computing, The MIT Press (1997)
21) Toda：Design of Fungus-Eater, Behavioral Science, 7, (1962), 164.
22) 戸田：感情ー人を動かしている適応プログラム，東京大学出版会（1992）
23) 鹿取，杉本：心理学，東京大学出版会，(1996)，119.
24) M. Fujita and K. Kageyama： An Open Architecture for Robot Entertainment, Proc. of Agent'97 (1997)
25) 藤田：パーソナルロボットR100，JRSJ，2，(2000) 2，198.
26) 山本，水谷：高齢者コミュニケーション支援システムの開発，JRSJ，18，(2000) 2，192.
27) 牛田，他：心のモデルに基づくインタラクティブエージェント，第4回知能情報メディアシンポジウム講演論文集，(1998)，165.

(2000年11月28日受付)

ブックレビュー

叢書　鉄鋼技術の流れ 第2シリーズ 第8巻
工 具 鋼

清永　欣吾著
2000年3月　日本鉄鋼協会発行(Tel.03-3279-6021)
218頁　A5判　定価3,600円　会員価格3,000円
消費税等込、送料本会負担

本書は叢書「鉄鋼技術の流れ」第２シリーズの第８巻として日本鉄鋼協会から出版された。工具鋼は古くより物を作る上での必須の道具であり、用途に応じた特性や機能が要求されてきた。鉄鋼材料全体に占める生産量の割合は僅か0.3%程度に過ぎないものの、戦後の自動車産業や家電産業の成長は、その基盤を支えてきた工具鋼を抜きに語ることはできないであろう。著者はまず、人類と工具の出会いから説き起こしたうえで、欧州、日本における鉄の歴史を概観し、さらに19世紀の特殊鋼の発明に至る道のりを平易に、また熱い眼差しで紹介している。日立金属(株)に入社後、工具鋼の開発に長く従事され、和鋼記念館の館長も歴任された著者、清永欣吾博士の面目躍如たるところである。その後、著者が長く携わられた高速度工具鋼を中心にその誕生や発展を紹介しながら、冷間、熱間工具鋼およびプラスチック型用鋼にもその開発の歴史を中心に言及している。現在の工具鋼はほとんどが20世紀に開発されたものであり、著者も述べているように20世紀はまさに合金鋼の時代であったということが出来よう。

いっぽう、近代工業を支えてきた工具鋼も現在では、品質、性能ともに頂点に達した感があり、また一部は超硬合金やセラミックスなどの競合材に置き換えられている。しかし、著者が終章で指摘するように「工具の発達はその国の文明を図る尺度」であることは間違いなく、「新技術の開発はそれを可能にするための新しい工具を必要」としているのも事実である。さらに、複合材料や表面改質等を考慮すれば新しい工具材料の可能性が期待できること、また現場に密着して使い勝手を工夫する日本人の伝統は工具生産に適しており、日本が世界の中でさらに地位を築いて行ける、との言からは21世紀を迎えた材料技術者への熱い思いが伝わってくる。

本書は工具鋼をこれから学ぶ者にも、また工具鋼の発展を支えて来た技術者があらためてその歴史を振り返るうえでもお薦めしたい図書である。それぞれの世代において、本書が工具鋼および工具材料のあり方を考える契機となることを期待して止まない。

（大同特殊鋼(株)技術サービス部　並木邦夫）

本会刊行物のご注文は販促情報サービス(株)（Tel. 045-592-9396)で取り扱っております。