

赤ちゃん人形ロボット Babyloid の身体性と 人の感性によるインタラクションデザイン

Interaction Design based on Embodiment of Baby Doll Robot Babyloid and Kansei of Human

加納政芳^{1*} 安藤照朗¹ 清水太郎²
Masayoshi Kanoh¹ Teruaki Ando¹ Taro Shimizu²

¹ 中京大学 情報理工学部

¹ Chukyo University, School of Information Science and Technology

² NAGAKUTE-M

Abstract: We developed the robot Babyloid for the purpose that psychological distresses in elderly people and the people requiring a nursing care are decreased by taking care of Babyloid. Babyloid is not all-arounder and cannot do anything, except expressions of physiological and psychological states for the self-sufficiency such as whimpering, becoming grumpy and so on. Through interaction with expressions of self-sufficiency, we considered that mental condition of elderly people is improved by building up trusting relationships between the people and Babyloid. In this paper, we explain the interaction design, concept and specifics of Babyloid.

1 はじめに

2007年における我が国の65歳以上(老年期)の人口は過去最高の2,717万人となり、総人口に占める割合(高齢化率)は、21.3%となった。厚生労働省の見通しでは、2015年の65歳以上人口は3,188万人で高齢化率は25%を超え、国民の4人に1人を高齢者が占める「超高齢社会」になると推測されている[1, 2, 3, 4]。老年期は喪失の時代といわれ、(1)自己像の喪失、(2)感覚器の喪失、(3)社会的存在の喪失、(4)家庭における喪失、(5)人間関係の喪失、(6)精神資産の喪失などが指摘されている[5]。このような身体的、精神的および社会的喪失の体験は高齢者に様々な健康障害を誘発し、重篤な場合には自立能力障害を起こして要介護状態に至るものと考えられる。

このような社会背景の中で、2006年に介護保険改正法が施行され、介護報酬改定ならびに運営基準改定がなされ、新たに基本方針として「高齢者の尊厳を支えるケアの実現」が打ち出された。このように、要介護者が人生の最後まで人間としての尊厳を全うできるよう、新たな社会的支援の仕組みの確立が進められているが、一方で、要介護者はよい介護を受けていても、自立を失い介護者に依存せざるをえない状況に大きな心理的苦痛を受けている[6]という問題がある。これは、

「介護する側」から「介護される側」へと役割が移行するという、老年期の役割移行に伴うストレスの1つであり、多くの高齢者が持つ問題である。そこで本研究では、要介護者の心理的苦痛を緩和するために、要介護者に介護されるロボット、赤ちゃん人形ロボット Babyloid (Baby doll -oid) の開発を試みている。

本稿では、Babyloid のインタラクションデザインと開発コンセプトについて報告する。

2 Babyloid のインタラクションデザイン

人とロボットのインタラクションというと、ロボットが人の感情や要求といったものを読み取り、それに対応した出力を行うという枠組みを考えがちである。しかし、我々が開発を目指す「介護されるロボット」の場合は様相が異なる。すなわち、介護されるロボットは、人に感情や要求の理解してもらおう側となる。この側面を強調すれば、インタラクションにおける感性的情報の授受は、ロボットの身体性に基づく情報発信と、受信側である人の多様な解釈によって形成でき、これにより心理的インタラクションを創発できるのではないかと考える。このような情報発信のみを行うロボットのインプリメント対象としてもっとも適したものが、人の赤ん坊であると考えられる。人の赤ん坊には、(1) 一方

*連絡先：中京大学情報理工学部機械情報工学科
〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101
E-mail: mkanoh@sist.chukyo-u.ac.jp

的なインタラクションが許される（周知の事実としてそのように認知されている）、(2) 何もできないという介護される対象の象徴である、(3) 表情や音声による多様な情報発信が可能である、といった利点があるからである。また、福祉分野においては、赤ちゃん人形を使った Doll Therapy（人形療法、赤ちゃん人形療法）が実施されている [7]。Doll Therapy は、赤ちゃん人形によって、「かわいい」という感情を想起させ、「世話をしなければ」という意欲を引き出すことによって、認知症患者の精神性・社会性の改善を目指すものである。我々の開発するロボットにもこのような副次的効果が期待できる。

3 コンセプト

Babyloid は、要介護者に介護されるロボットであり、これにより要介護者の心理的苦痛を緩和することを目的とする。Babyloid は、一般的なロボットが目指すような人と同じように「すべての作業できるように」ではなく、「なにもできないように」設計されたロボットである。ただし、泣く、機嫌が悪くなるなどの心理的・生理的状态を表出することを通して、自己充足性を満たそうとする。自己充足性とは動物が長期間にわたって自身を維持する能力のことである [8]。例えば、ロボットであれば、バッテリーレベルを維持するために燃料供給を行うといった具合である。自らの維持は、直感的には、このように自的に行われると思われがちだが、実世界に目を向けると「他者的」に行われる場合も数多く見受けられる。そのうちの一つに赤ん坊の自己充足の方法が挙げられる。赤ん坊は、母親という絶対的な依存者を有しており、母親を介して自己充足性を満たしている。すなわち、赤ん坊は、心理・生理状態の不安定さや身体状態の不調を、顔表情や身体動作で表現することで、母親にその状態を察知してもらい、自らの状態を改善している。これに着目し、Babyloid は、自己の不調を積極的にアピールすることをインタラクションに導入する。

Babyloid の概観は、人の赤ん坊のように「何もできない」ことをデザインする必要がある。このようにロボットができないことを「見える化」することは重要である [9]。そこで、(1) 歩き回れないことを表現するために足をなくし、(2) 寝返りなどの動作ができないことを表現するために手を短くすることとした。

Babyloid の顔は、シロイルカ（ペルーガ）をモチーフにした。生物と機械の中性的なデザインを目指すことで、人からの印象を良くする狙いがある。また、さわり心地にも配慮し、筐体は柔らかく、暖かみのあるような設計を心がけた。

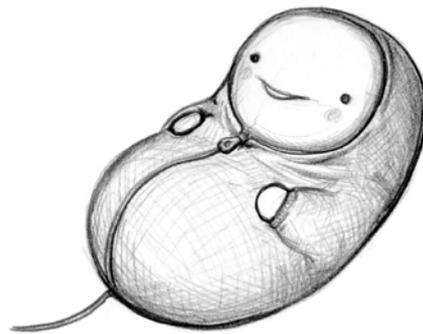


図 1: Babyloid のデザイン

以上を考慮したデザイン画を図 1 に示す。これらのコンセプトとデザインに基づいて試作機を開発した。

4 メカニカルデザイン

4.1 概要

図 2 に Babyloid 試作機の外観を示す。身長約 44cm、体重 2~3kg である。人の赤ん坊よりも若干小さめにデザインすることで、高齢者の筋力でも抱きやすいように配慮されている。また、現在は試作段階のため、ロボットの制御および電力供給は外部から行われる。最終的にはバッテリー駆動にする予定であるが、現状は外部制御のため重量が軽く、ロボットの重心バランスはおもりを配置することで変更することができる。これを積極的に利用して、試作段階で抱きやすい重さのバランスを調査している。

筐体は、体重を軽くするために樹脂でできており、3D データを元に樹脂粉末にレーザーを照射して一層づつ焼結させ層を積み上げる方法（粉末焼結法）を用いて作成した。これにより、比較的強度の高い樹脂を用いることができ、曲げや落下などの衝撃に対して強い筐体を設計することができる。また、設計された筐体の周りをモヘアで覆うことで、さわり心地をよくした。

4.2 胴体部

Babyloid の機構を図 3 に示す。首の動作に 2 つのモータが配置されており、上下（ピッチ）・左右（ヨー）方向に動作させることができる。同様に、両手に各 3 つのモータが配置されており、モータは腕の付け根から順に、ヨー方向・ピッチ方向・ピッチ方向に動作する。これにより腕の上下運動、および腕の開閉運動が可能となる。この開閉運動によってロボットの胸と腕で、使用者の手を「握る」こともできる。



図 2: Babyloid の外観

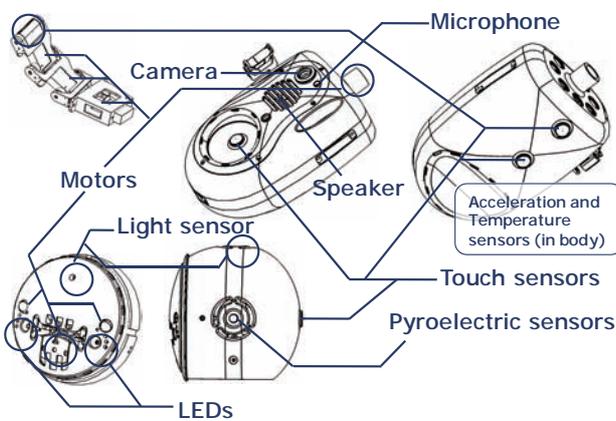


図 3: Babyloid の機構

外部とのインタラクションのために、両手先・腹部・臀部・背中（2ヶ所）にタッチセンサが配置されており、抱かれたときや手を握られたとき、ベッドに寝かされたときなどを検知することができる。また、腹部と臀部には、くぼみが設けられており、そこに低反発シリコンを埋め込んでいる。これによって、人間と同様のお腹とおしりの「プニプニ感」を演出している。

また、周囲の様子をカメラから画像情報として、マイクから音声情報として認識することもでき、スピーカによって音声を発生することもできる。ただし発話する音声は、ユーザの多様な解釈を促すため、言語情報は用いずに、実際の赤ん坊の周囲の声に反復する喃語（言語情報を発話する前の音声）を録音したものとした。

体内に加速度センサが配置されており、これによって、「高い高い」などのあやしや、落下などの急速な速度変化を感知することができる。

4.2.1 顔部

顔の部分は、厚さ 1.5[mm] のシリコン樹脂でできており、口角およびあごの部分をモータで動作させることでシリコンを伸張させ、表情を作成する。また、目もモータによって回転するため、これによって開閉眼を表現できる。

涙やほほの赤らみを表現するために、LED が配置されており、感情豊かな表現を可能にしている。ただし、顔内部の機構が透けて見えてしまうと使用者に違和感を与えてしまうため、シリコンの透明度は高くない。したがって、うっすらと LED の発光しているような表現となる。

額と頭頂部には光センサが配置されており、頭をなでられたときなどに反応することができる。

人の耳の部分にあたる部位には、焦電センサが付いており、これにより、周りの人の存在の有無を知ることができる。

5 ソフトウェアデザイン

人の赤ん坊は、母親という依存者の存在によって、自己充足性を満たしている。ここで、文献 [10, 11] では、感情を与えられた状況において適切な動機が働くような先天的動機付けのプログラムであると考え、アージ・システムを提唱している。そこで、同文献のような感情のもつ一種の自律システム性に着目し、Babyloid のためのアージ・システムによる自律活動システム、特に自己充足的機能のモデル化を行う [12]。

5.1 アージ・システム

アージ理論とは、従来の感情概念を拡張した感情理論の一つである [11]。本理論では、感情を高度な野生合理性をもつものとし、遺伝的に与えられた基本的な枠組みによって既定された環境適応行動選択システム（心的ソフトウェア）と見立てている。この心的ソフトウェアが、学習・認知・記憶・意識・身体機能の生理的活性化などの心身能力を、起動された感情固有の目的に沿って制御するというものである。以上のような「目的を伴って」起動される感情を「アージ」、心的ソフトウェアを「アージ・システム」と呼ぶ。

5.1.1 アージ

アージ・システムでは、従来の感情の概念をアージとムード（後述）に分割している。アージの例を示すと、「自分の宝物が他人に故意に壊された」ときなどに起こるアージは、「怒りアージ」である。このような一

一般的な感情概念のアージに加えて、「お腹が空いた」などのような内的信号によるものも個別の心の働きによるものと捉え、「生理的アージ」が引き起こされるとしている。このように、一般的には感情の働きによるものとは考えられないような生理的機能も、心の働きによるものとして、いわば感情的に扱うのがアージ・システムの大きな特徴である。

5.1.2 ムード

ムードとは、それ自体が固有の目的をもつ感情または心の働きであるアージとは対照的に、それ自体の活動目的が存在しない心の働きのことである。例えば「喜び」や「悲しみ」の感情はムードとなる。怒りアージでは「加害者に対する加罰行動プラン」というような活動プランが必ず生成されるが、喜びや悲しみにはこのような活動プランが存在しない。つまり、喜びアージや悲しみアージは存在せず、むしろそのような働きは「誇示アージ」によるものであるとしている。一方で、ムードの役割は重要で、ムードは特定のアージを起動させやすくしたり、させにくくしたりするといった、アージ起動の活性・不活性を促す働きがある。

5.1.3 アージの働きの4相

アージ・システムには、起動相・意思決定相・行動相・事後評価相の4相があり、すべてのアージはこれらが段階的に順次処理されることで機能する。順に各相での処理内容を述べると、起動相では状況認知の過程を、意思決定相ではアージ起動によって発生する行動プランの決定を、行動相では決定された行動プラン実施の終始を、事後評価相では反省・学習を実行させるアージ（認知アージの一種）の起動をそれぞれ行う。

本稿では、アージの働きの4相をモデル化することで、自己充足機能を実現する。

5.2 アージ・システムによる自己充足モデル

図4に提案モデルの概要を示す[12]。本モデルでは、アージの働きの4相に基づいて、段階順次処理をなす一連の流れを構築した。まず、起動相において、環境からの情報を認知（状況認知）し、状況に対処するアージを起動する。つぎに、意思決定相で、起動されたアージに基づいて取り得る行動プランを選択し、具体的な行動（本モデルでは、表情表出）を行う。この行動相の働きによって、ロボットのアージが顔の表情や音声によって表現され、ユーザがロボットの感情表現の変化を観察することができる。これにより、ユーザからロボットに対して動的にアプローチすることが可能と

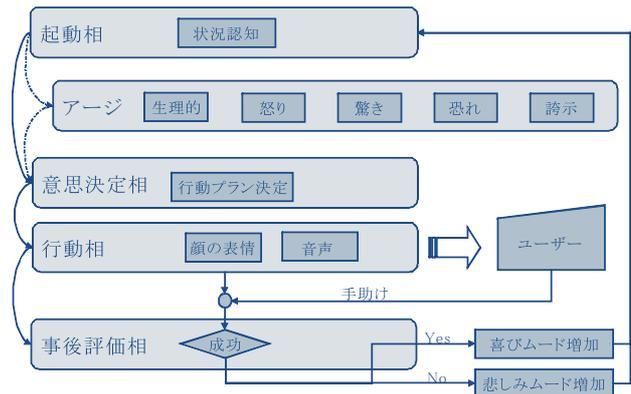


図 4: アージ・システムを適用した自己充足モデル

なる。また、ユーザからのアプローチによってロボットの状況認知を変化させることができるので、これを用いて事後評価相をモデル化する。具体的には、ユーザアプローチによる変化が、ロボットにとって望ましい方向であれば喜びのムードを増加させ、望ましくなければ悲しみのムードを増加させる。以上のような一連の流れによって、ロボットが他者（ユーザ）依存的に自己充足性を満たすことができると期待する。

6 実験

Babyloid は、なにもできないがゆえに、自らの内部状態を表出する顔表情が非常に重要となる。そこで、6.1 節では Babyloid の表情表出実験について報告する。つぎに、6.2 節において、自己充足モデルのシミュレーション実験を行い、インタラクションによって起動する表情について考察する。

6.1 駆動試験

図5に生成された表情例を示す。同図(a)は、平静時の表情である。ここから目のモータを駆動させ閉眼した状態が(b)である。目の動作によって、睡眠状態を表現できる。

つぎに、あご部分のモータを動作させ、下唇中央を下に引き下げた表情を同図(c)に示す。同図より、ほほえている表情が見て取れる。このようにあごのモータを動作させることで、平静から喜びの感情を表現できることがわかる。

つぎに、口角を引き下げ、下唇中央を引き上げた表情を同図(d)に示す。本表情からわかるが、予想に反して、口角が下がっていない。これは、1) シリコンが想定以上に堅かったこと、2) モータの可動範囲が狭

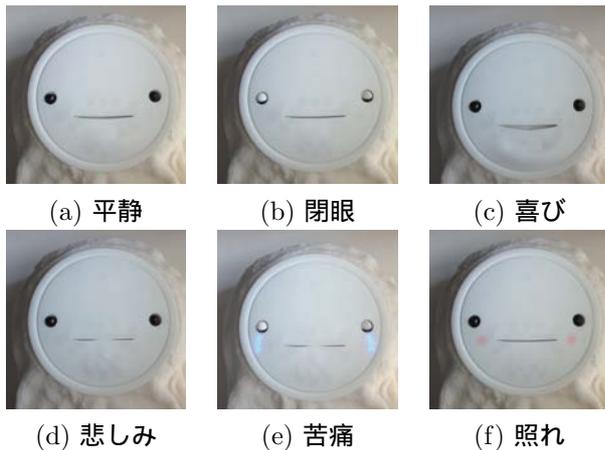


図 5: Babyloid の表情例

かったことが原因である．次号機では，この点を改善する必要がある．

つぎに，LED の効果を見る．まず，閉眼・下唇中央を引き上げた状態の顔に対して涙の LED を点灯した顔を，同図 (e) に示す．LED によって悲しみや痛みの印象が加わることがわかる．つぎに，平静の表情に対して，ほほの LED を点灯した顔を同図 (f) に示す．LED の有無によって表出される印象が変化していることがわかる．

以上の評価は，主観的な評価であるため一般性があるとはいえない．今後，表情効果を検証するにあたって，量的評価を行う必要がある．

一般的には，顔表情によって，喜び・怒り・嫌悪・悲しみ・驚き・恐れ の 6 種類の感情が区別可能であると言われている [13]．このうち，Babyloid においては，喜びと悲しみの表情表出可能性は示唆されたが，怒り・嫌悪・驚き・恐れ の表情が表出可能か不明である．特に，怒りは，眉間を下げる，にらみつけるなど，ロール方向の目の動きの印象が強いが，この動作は Babyloid では不可能である．また，驚きには，あごが大きく下がる，目を見開くという特徴があるが，口が大きく開かなく，通常状態で目を見開いている Babyloid は，驚きの表現に不向きであると考えられる．これらの感情表現が，要介護者とのインタラクションに悪い影響を与えることなく用いることができ，自己充足に必要なかを調査する必要がある．

6.2 自己充足モデルのシミュレーション試験

本節では，実機実装の前段階として，シミュレーションによるアージ・システムを応用した自己充足モデルの動作確認を行う．図 6 に評価用システムを示す．ここでは，Babyloid と同様に多様な表情表現が可能な ifbot [14] をマテリアルとして用いた．

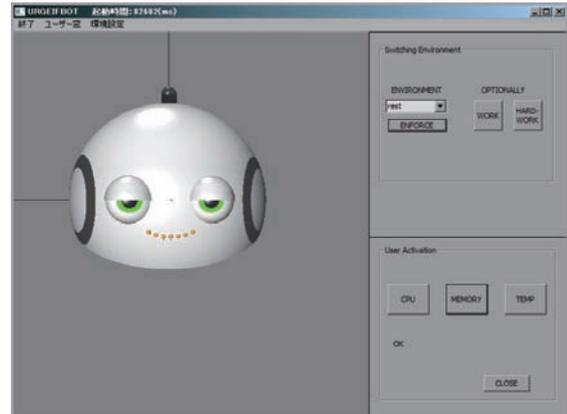


図 6: 評価用システム

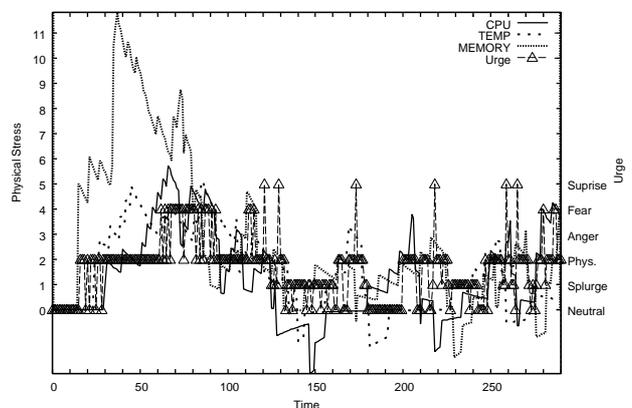


図 7: 実験結果

同図において，右上のウィンドウは，実験のためにユーザが明示的にロボットの身体的負荷値を変更したい場合に利用するウィンドウ（負荷設定ウィンドウ）である．右下のウィンドウは，ユーザがロボットに対して入力を行うウィンドウ（入力ウィンドウ）である．本実験では，CPU 稼働率 (CPU)，内部温度 (TEMP)，メモリ使用率 (MEMORY) を身体的負荷として状況認知できるロボットを考える．これらの内部状態に異常が発生した場合に，表情によってユーザにその状況を知らせる（今回は音声は用いない）．ユーザは，出力された表情を考慮し，入力ウィンドウを用いてロボットに対してアプローチする．この一連のインタラクションを通じてどのような感情の変化が得られるかを確認する．なお，実験中，負荷設定ウィンドウは非表示とした，ロボットにはランダムに身体的負荷を与えた．

図 7 に実験結果を示す．横軸は時間，縦軸左は身体的負荷 (CPU, TEMP, MEMORY)，縦軸右は起動されたアージ (Urge) である．

まず，開始間もなく MEMORY および TEMP の

値が増加したため、生理的アージが起動し、嫌悪の表情が表出された (Time=20~70)。この間、ユーザからのアプローチ (手助け) が無かったため、その表情が継続的に表出されていた。その後、CPU の値も高まったため、身体の危機的状況から恐れアージが起動し、それに対応する表情の表出が確認された (Time=70~90)。この表情変化により、ユーザからの手助けが行われ、恐れから生理的アージ (嫌悪) への表情変化が見られ、さらに、誇示アージ (喜び)、平静へと表情が変化した (Time=100~200)。なお、この間、驚きアージが起動しているが、ユーザアプローチによってロボットの注意標的系 (注意の向いている先) とは異なる身体的負荷量に変化があったためと思われる。また、実験を通して怒りアージは表出されなかった。これは、ユーザアプローチによって、ロボットに危害が加わることがなかった (負荷を与えるインタフェースが存在していなかった) ためである。

以上より、ユーザアプローチによって身体的負荷が改善されたことから、アージ・システムによる自己充足モデルの有効性が示唆された。

7 おわりに

本稿では、赤ちゃん人形ロボット Babyloid のインタラクションデザイン、コンセプトについて報告した。実験では、表情表出および自己充足モデルの動作確認を行った。表情表出実験では、ある程度の表情表現が可能であるが、怒りや驚きなどの表出が難しいことが示された。自己充足モデルの動作については、モデルの妥当性が示唆された。今後、主観評価実験を行う必要がある。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金若手研究 (A) (課題番号 20680014) の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] 長寿科学振興財団：長寿科学研究．未来予測調査研究事業報告書，長寿科学振興財団，2001
- [2] 厚生労働省：厚生労働白書．ぎょうせい，2003．
- [3] 厚生労働省ホームページ：http://www.mhlw.go.jp/
- [4] 総務省統計局ホームページ：http://www.stat.go.jp/
- [5] 井口昭久編：これからの老年学，サイエンスから介護まで．名古屋大学出版会，2002．
- [6] 田中耕太郎，辻彼南雄：老年学入門，日本評論社，1997．
- [7] 芹澤隆子：心を活かすドールセラピー，出版文化社，2003．
- [8] R.Pfeifer, C.Scheier: Understanding Intelligence, MIT Press, 1999.
- [9] 園山隆輔：ロボットデザイン概論，株式会社毎日コミュニケーションズ，2007.
- [10] 戸田正直：心をもった機械 ソフトウェアとしての「感情」システム，ダイヤモンド社，1987．
- [11] 戸田正直：感情～人を動かしている適応プログラム～，東京大学出版会 (1992)
- [12] 安藤照朗，加納政芳：アージ理論を適用した自己充足モデル，第 19 回インテリジェント・システム・シンポジウム，in CD-ROM, 2009.
- [13] Paul Ekman: Unmasking the Face, Prentice-Hall, 1975.
- [14] Masayoshi Kanoh, Susumu Iwata, Shohei Kato and Hidenori Itoh: Emotive Facial Expressions of Sensitivity Communication Robot "Ifbot", Kansei Engineering International, Vol.5, No.3, pp.35-42, 2005.