

生命感誘発を目的とする疑似的な産卵ロボットの 産卵速度が若年層に与える影響の調査

Investigation of the Effect of the Egg-Laying Speed of a Pseudo-Egg-Laying Robot on Young People for Inducing a Lifelikeness

中村 海翔^{1*} 秋吉 拓斗¹ 高濱 悠作¹

Nakamura Kaito¹, Akiyoshi Takuto¹, Takahama Yusaku¹,

高橋 顕太¹ 新江田 航大¹ 澤邊 太志¹

Takahashi Kenta¹, Nieda Kota¹, and Sawabe Taishi¹

¹奈良先端科学技術大学院大学

¹Nara Institute of Science and Technology

Abstract: For future HRI, it is essential for robots to have a similar lifelikeness as other creatures. In our previous study, we developed a zoomorphic robot that performs pseudo-egg-laying. In this study, we investigated the effects of changes in the egg-laying speed of the zoomorphic robot on human perception for the purpose of inducing the robot's lifelikeness. As a result, slowing down the robot's egg-laying speed did not have a significant effect on the robot's lifelikeness, however, it was suggested that young people are more likely to experience pleasant emotions by slowing down the robot's egg-laying speed.

1. はじめに

近年、家庭用ロボットがコンパニオンやペットとして日常生活で、人間と生活を共にする場面が増加している[1]。SONY社のaibo[2]やGROOVE X社のLOVOT[3]などのロボットが例として挙げられる。このようなロボットは、人間とロボットが新しい関係を構築しやすくなるように、外装や振る舞いが設計されている。また、人間とロボットの相互作用(Human-Robot Interaction, HRI)における研究分野では、ロボットの身体的、行動的な人間らしさ、動物らしさを実物から模倣することで生命感(Lifelikeness)を演出する研究が多くされている[4][5][6]。こうした研究は、信頼関係の構築[7]やコミュニケーション能力の向上[8]や社会的相互作用[9]、自己評価や自己認識の形成のような心理的相互作用[10]などへの影響を明らかにし、人とロボットのより自然な関係構築を目指している。

一方で生命誕生から死へと向かう一連の流れである。生命サイクルを模倣したロボットに関しては、

あまり多くの研究がされていない。特にロボットが新たな生命を生み出すことに関する研究はほとんどなく、人間がどのように知覚するかは未知の領域である。仮に、人間が生命サイクルを模倣したロボットを受容することができれば、人間とロボットが互いに成長過程を共有することができる。つまり、関係性をさらに深化するための基盤を提供し、HRIの発展と応用の幅を広げることができると考えられる。

そのために、生命サイクルを模倣するロボットの第一歩として、ロボットからの新たな個体の誕生行動に着目する。先行研究では、ロボットが鳥の産卵を模倣した機能を有することにより、強い生命感を感じることが示唆されている[11]。そこで本研究では、さらなる生命感の誘発を目指し、ロボットによる産卵速度が、若年層の生命感や心の知覚にどのような影響を与えるかを実験的に調査する。

2. 関連研究

人間とロボットのインタラクションにおいて、生命感の演出や心の知覚に対し、ロボットの外装や振る舞いが、どのような影響を与えるかは多くの研究・調査が行われてきた。以下に関連研究を示す。

*連絡先:奈良先端科学技術大学院大学

〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地-5

E-mail: nakamura.kaito.nj3@is.naist.jp

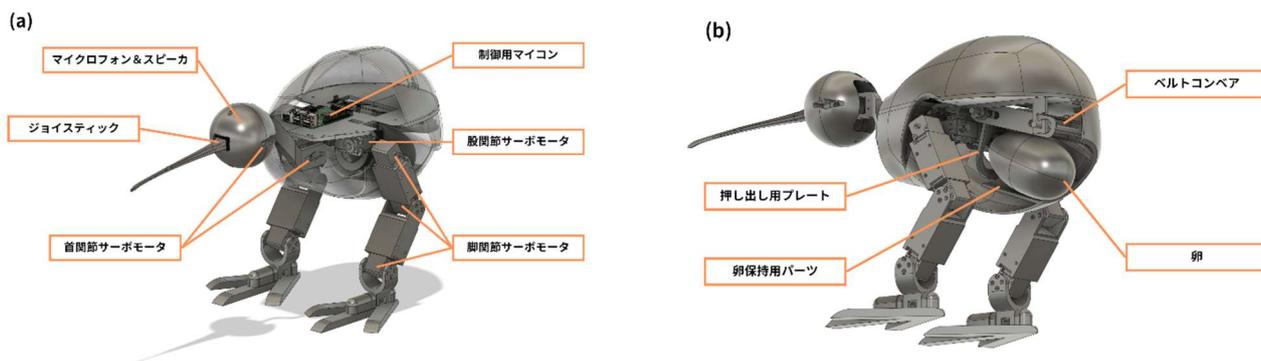


図 1 (a)前方斜視図 (b)後方斜視図

2.1 産卵行動

我々の先行研究にて、ロボットが産卵行動を模倣することにより、子どもたちがロボットに対して強い生命感を感じ、より積極的な反応を示すことが確認されている[11]。これはロボットをデザインするうえで、生物の行動を模倣することが、子どもに対して有意義であることを示唆している。この実験のアンケート結果では、産卵速度に関するコメントにて「卵を産むタイミングはもう少しゆっくりの方がよりリアルになると思った」との意見をもとに、今回の実験の設計を行った。

2.2 不気味の谷現象

ヒューマノイドロボットの外装を決定する際によく考慮される、森政弘が提唱した不気味の谷現象がある[12]。この仮説は人間のロボットに対する感情的反応を説明するものである。具体的には、ロボットが外装や振る舞いを人間に近づけていくと、親近感・好感度が増加する一方で、人間に極めて近い段階になると肯定的な感情は減少し、違和感や嫌悪感を覚える。人間への類似度と親近感・好感度をグラフにした際に、ある地点で大きく親近感・好感度が落ち込むことを指す。

Löfflerらは、この不気味の谷効果はヒューマノイドロボットに限定されず、動物型ロボット(ズームフィックロボット)にも及ぶことを証明した[13]。動物的な特徴と親近感・好感度の関係がU字型の関数に従うことが示されており、動物らしさの高いロボットと低いロボットは、現実的な特徴と非現実的な特徴が混在するロボットよりも好まれるといえる。しかし、ここではロボットの動きや見た目などの外見の動物的特徴が人に与える印象のみに着目しており、ロボットが生命サイクルを再現することによる心理的影響までは評価が行われていない。

2.3 事前期待による影響

De Graafらは、個人の性別とロボットの生命感に対する事前期待が、人間の友情形成のために同定された前提条件が、個人の動物型ロボットをコンパニオンとして扱う意図に及ぼす効果に影響するかどうかを検証した[14]。結果として、人々がロボットの生命感に対して、高い事前期待を抱いている場合、人々が友情関係を築く理由を説明する同様の変数が、動物型ロボットをコンパニオンとして扱う意図をよりよく説明できることが示された。つまり、コンパニオンロボットは本物そっくりの外見を持つべきであり、それは必ずしも人間のような外見を意味しないことを指す。

2.4 生理現象

吉田らは、ロボットの呼吸や心拍、体温といった人工的な生理現象を用いたロボットの感情表現を目指した[15][16]。ロボットの生理現象に関する主観実験に基づく評価データの解析によって、呼吸からは「覚醒度」と「感情価」の因子が抽出され、心拍と体温からは「覚醒度」の因子のみが抽出された。また、これらの変化により、ロボットの感情的な「覚醒度」の度合いが変化することも示されている。ここでの感情の「覚醒度」と「感情価」はRussellの感情円環モデルに対応している[17]。

3. 産卵機能を有するロボットのシステム概要

3.1 ハードウェア

本研究では、ニュージーランドの固有鳥であるキーウィをモデルにして、卵を産むロボットを開発した。図1に製作したモデルの斜視図を示す。キーウィは退化した翼により飛ばず、二足歩行を行うことや、鳥類の中でも最大の体重比25%の卵を産むなどの特徴を有している[18]。骨格となる筐体は3Dプリンタで作成した。この筐体には、制御用マイコン（Arduino Nano, Raspberry Pi）、くちばし用ジョイスティック、モータ、IMU センサ、マイクロフォン、そしてスピーカが組み込まれている。卵を押し出す産卵機構は、ベルトコンベアを応用した。体外への出口には、押し出す時だけ卵が出るようにするため、ストッキングを使った構造を採用した。

ロボットの骨格の外側は、毛皮で覆われており、ユーザは柔らかな触感を感じながら安全かつ快適な触れ合いができる。また、骨格と毛皮の間にはカイロを装着でき、ロボットと卵を温めることが可能である。これにより、ユーザは体温を再現したロボットに触れ合うことができる。

3.2 ソフトウェア

本研究で開発されたロボットは、くちばしに取り付けたジョイスティックやマイクロフォン、IMUのセンサ、遠隔制御PCからの起動・停止・産卵のコマンドを入力情報として受け取る。人工生命理論に基づいたサブサンクション・アーキテクチャを参考にした制御システムにより、階層的に設定された優先順位をもとに、適応的にモータやスピーカ制御を行う。これにより、歩行や障害物回避などの生物に類した行動の再現が可能であり、柔軟に周りの状況に対応する機能も備えている。

本システムを採用することで、ロボットは脚でバランスを取る動作や首振り動作、産卵動作、保存済みの音声ファイル再生による発声などの多種多様な動作を実行可能である。しかし、本実験においてはロボットの産卵速度に対する印象を調査することが目的のため、自律的な動作は実行していない。産卵の状況を実際の環境に近づけるため、プリセットした一連の連続した動作を遠隔制御PCからのコマンドで実行した。産卵速度に関わる産卵機構にて使用したモータは、ゆっくりと産むときは25秒、すぐに産むときは5秒と条件ごとに動作時間を設定した。



図2 実験会場の様子

4. 実験

本研究では、ロボットの生命感を向上させるために産卵速度をゆっくりとすることの有効性に焦点を当てている。本章では、その効果を明らかにするために行った実験について述べる。

4.1 仮説と予測

産卵行動ロボットの生命感を増やすために実際の生き物を模倣することは有効であることはいくつかの研究で示されている。そこで、本研究では、生命のサイクルの1つである「新たな生命を産むこと」に着目して、産卵を擬似的に行うロボットを開発した。本来生殖や増殖をしないロボットでありながら産卵行動することを人間が観察することで、より生き物らしさ、生き物特有の心を感じる可能性がある。さらに、今回は産卵の速度でこれらの感じ方に変化があるのかを検証する。以上の背景に基づき、以下の予測を立てた。

- 予測1：
ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより強く生き物らしさを感じる
- 予測2：
ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより強く心を持っていると感じる
- 予測3：
ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより苦しうに感じる
- 予測4：
ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより感動的に感じる



図3 触れ合いの様子



図4 産卵の様子

4.2 条件

この実験は参加者内実験で行った。条件は2種類である。

- 条件1：卵がすぐに産まれる
- 条件2：卵がゆっくりと産まれる

順序効果を考慮し、1組目のグループは、条件1→条件2の順で、2組目のグループは条件2→条件1の順で実験を行った。また、今回の実験では実験条件を揃えるために、ロボットが動く・声を出す動作を事前に設定した。

4.3 参加者

奈良先端科学技術大学院大学の学生 16 名が実験に参加した。性別の内訳は男性 14 名、女性 2 名であった。年齢は 22-33 歳の若年層であり、平均年齢は 25 歳であった。参加者は 2 グループに分割して、各グループは全員同時に実験に参加する。

4.4 実験環境

実験会場の様子を図 2 に示す。実験は特定の会場で行い、ロボットは部屋の中央に配置した。ロボットが模倣しているキーウィの生息環境に倣い、蔦や森のように見えるクロスで装飾を施すことで自然をイメージさせる空間を作り出した。また、森の中にいると錯覚させるような環境音をスピーカから流した。キーウィが夜行性であることを考慮して、ライト(ランタン)を天井に一台吊るすことで、部屋を薄暗く保った。このように、キーウィの特徴を再現するとともに没入感を高める工夫を施した。

4.5 評価項目

参加者には、主観的なアンケートに答えてもらい、ロボットに対する印象を、機械もしくは生命があるように感じるか、心があると思うか、苦しそうに見えるか、産卵は感動的であったか、の観点から測定した。各質問に対する回答は 1-7 のリッカート尺度で行われた。具体的なアンケートの内容を以下に示す。

- Q1: 卵が生まれた時に機械のように感じましたか？それとも生命のように感じましたか？
(1: 機械 - 7: 生き物)
- Q2: キーウィロボットの産卵を見てキーウィロボットに心があると思いましたか？
(1: ない - 7: ある)
- Q3: キーウィロボットが卵を産んでいる時、苦しそうに見えましたか？
(1: 思わない - 7: 思う)
- Q4: キーウィロボットの産卵は感動的でしたか？
(1: 思わない - 7: 思う)

4.6 実験手順

実験に先立ち、参加者は実験の目的と手順についての詳細な説明を受け、書面によって参加に同意した。本研究は、奈良先端科学技術大学院大学倫理委員会の承認(審査番号 2022-I-22)を得ており、同大学院の定める倫理規定に従って実施された。

本実験は 2 回のセッションで構成される。まず、参加者全員が会場に到着すると、ロボットとの触れ合い方に関する説明を受けた。具体的には私たちの鳥型ロボットのモデルが鳥のキーウィであること、モデルの鳥は夜行性であるために実験会場も暗くし

ていること、体験中は自由に観察したり触れたりできること、このロボットはセッション1とセッション2の両方で卵を産むことについてであった。説明の後に、参加者全員が実験会場に入った。まずはキーウイロボットとの3分間の触れ合いを行った。次にセッション1を行い、参加者は1回目の産卵を観察した。その後、ロボットの印象に関するアンケートに回答した。さらにセッション2を行い、セッション1と同様の手順で産卵を観察した。最後に、再度ロボットの印象に関するアンケートと実験全体の感想に関する自由記述アンケートに回答した。4.2でも示しているように、1組目のグループは、条件1→条件2の順で、2組目のグループは条件2→条件1の順で実験を行った。

ロボットと参加者が触れ合っている様子は図3に、ロボットが産卵行動をとっている様子を図4に示す。

5. 結果

本実験にて得られた参加者によるアンケート結果をデータ内の個体間およびグループ間の相関、非独立性を考慮して、参加者をランダム効果、卵をゆっくりと産むかすぐに産むかの条件とその実行順序を固定効果とした混合効果モデルを用いて分析を行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。本章では実験にて得られた結果を基に、各予測の検証結果について述べる。図5にはQ1 生命感に関するアンケート結果の平均値、図6にはQ2 心の知覚に関するアンケート結果の平均値、図7には、苦しさに関するアンケート結果の平均値、図8には、感動に関するアンケート結果の平均値をそれぞれ示す。Fast は卵がすぐに、Slow は卵がゆっくりと産まれた場合を表す。

5.1 予測1の検証

混合効果モデルによりアンケートを分析した。条件については、推定値-0.375 ($p=0.191$)であった。実行順序については、推定値 0.125 ($p=0.852$)であった。

結果から、有意水準 $p < 0.05$ を満たさなかったため、ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより強く生き物らしさを感じることは示されなかった。よって予測1は支持されなかった。

5.2 予測2の検証

混合効果モデルによりアンケートを分析した。条件については、推定値-0.250 ($p=0.535$)であった。実行順序については、推定値-0.875 ($p=0.090$)であった。

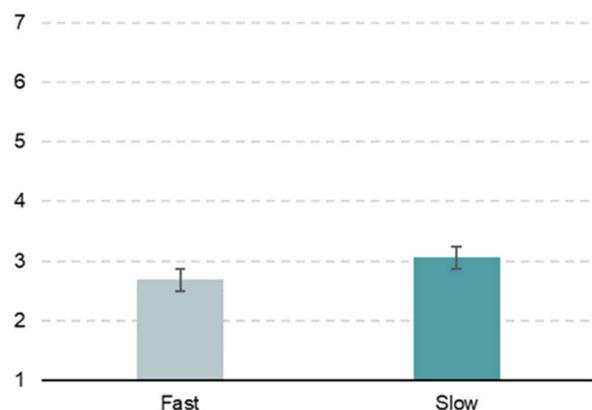


図5 生命感に関するアンケート結果の平均値

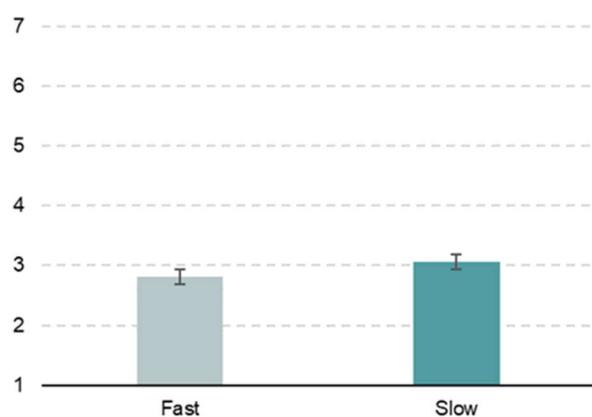


図6 心の知覚に関するアンケート結果の平均値

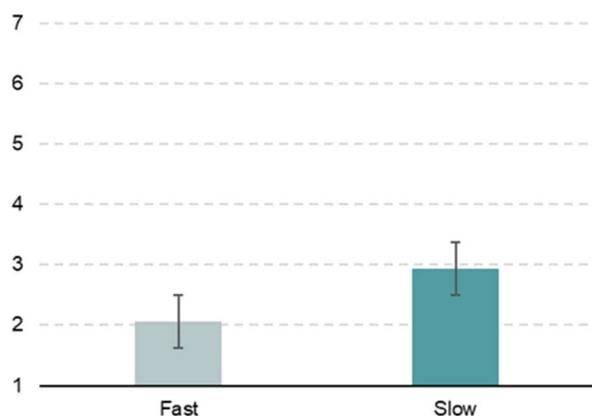


図7 苦しさに関するアンケート結果の平均値

結果から、有意水準 $p < 0.05$ を満たさなかったため、ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより強く心を持っていると感じることは示されなかった。よって予測2は支持されなかった。

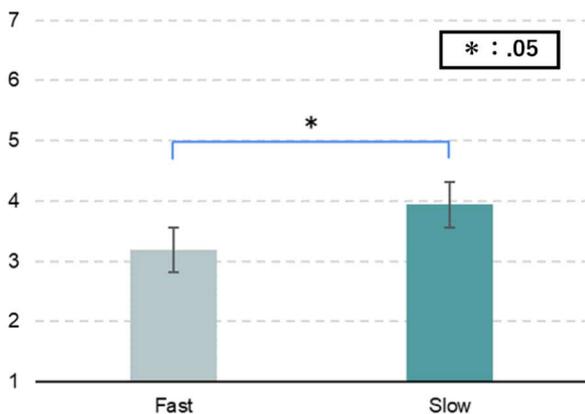


図 8 感動に関するアンケート結果の平均値

5.3 予測 3 の検証

混合効果モデルによりアンケートを分析した。条件については、推定値-0.875 ($p=0.090$)であった。実行順序については、推定値-1.500 ($p=0.004$)であった。

結果から、条件は有意水準 $p < 0.05$ を満たさなかったため、ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより苦しそうに感じることは示されなかった。有意傾向 ($tp < 0.1$)にあるが有意差はないため、予測 3 は支持されなかった。一方で実行順序に関して有意差が確認できた。これは順序効果が生まれている可能性を示唆する。

5.4 予測 4 の検証

混合効果モデルによりアンケートを分析した。条件については、推定値-0.750 ($p=0.025$)であった。実行順序については、推定値-1.000 ($p=0.178$)であった。結果から、条件が有意水準 $p < 0.05$ を満たしているため、統計的に有意であり、ゆっくりとした産卵活動を観察した時の方が同じ個体のロボットでもより感動的に感じる事が示された。

5.5 参加者の行動

実験中に観察された参加者の様子やアンケートの自由記述欄での感想を一部抜粋して報告する。この体験中の参加者は、最初の触れ合いの時間は、キーウィロボットに触れるのをためらう様子が確認されたが、時間が経つにつれてキーウィロボットと触れ合う参加者が増加した。しかし、後半は触れ合うのをやめて、ただ眺める人がほとんどであった。セッション 1 とセッション 2 では、卵が産まれたことに大きな反応を見せた人もいた。

アンケートの自由記述欄には、「手触りがとてもリ

アルだった」、「本物の生命であるという感触を得た」という肯定的な意見があった。一方で、「卵を産む際の機械音が気になる」、「もう少し動きが欲しかった」などの意見も見られた。

以上のような観察結果と感想は、本研究で主に掲げている産卵速度とは直接関係はないものの、生命感の増幅を行うために必要となる要素を示唆している。

6. 考察

本研究は、疑似的な産卵行動を行うロボットの産卵速度の違いにより、人間がロボットに対して抱く生命感や心の知覚にどのような影響があるかを調査した。結果として、今回の参加者である若年層においては、ロボットに対して生命感や心の知覚を感じることは示されなかった。理由として、毛皮・体温・鳴き声などのリアルな動物的特徴と卵・動き・目がないなどの非リアルな動物的特徴が今回のロボットでは混在していたためと考えられる[12]。また、参加者の自由記述でも多くあったように、機械音が聞こえたことが、目の前の対象がロボットであると再認識させてしまう要因であったと考える。機械的な側面に容易に気づけてしまう作りであったことで、参加者は違和感を覚えて生命感や心の知覚を感じる事ができなかつた可能性がある。

一方で、感動のような快感情を覚えることが示唆された。これは、例え対象がロボットであると確信していたとしても、時間をかけて卵を産む方が即座に卵を産むよりも苦しそうに見え、尚且つ生まれた後の安心感も大きくなるためであると考えられる。以上のことから、産卵の速度をゆっくりにすることで、ロボットに対して生命感や心の知覚を感動することはなくても、感動といった快感情を与えられることが示唆された。今回は産卵の速度に焦点を当てたが、鳴き声の間隔、大きさや頭を振る角度、頻度などの他のパラメータによって異なる心理的影響を与えることができる可能性がある。

7. おわりに

本研究では、疑似的な産卵行動を行うロボットの産卵速度の違いにより、人間がロボットに対して抱く生命感や心の知覚にどのような影響があるかを実験的に調査した。結果として、生命感や心の知覚をロボットに対して感じることはなかったが、感動のような快感情を覚えて触れ合いが促進されていることが確認できた。ロボットの疑似的な産卵行動をゆっくりとすることで、若年層は感動を覚えやすくな

ることを示唆している。

今後の展望として、若年層だけでなく子どもたちや高齢層を対象とした時の心理的影響の違いを調査することで、最適な産卵速度を決定する必要がある。今回は産卵速度を大まかに2パターンで比較したが、より細かくパラメータとして取ることが重要だろう。また産卵速度のみならず、今回得られたフィードバックのように、どの部分をどう改善することでロボットの生命感を増幅させることができるか調査することが今後の課題として挙げられる。特に今回得られた参加者による回答のスコアはすべての項目において4以下であったため、よりリアリティを求めて改善していく必要がある。

謝辞

本研究のロボットの開発費及び活動費の一部は、経済産業省のAKATSUKIプロジェクトによる補助金、並びに奈良先端科学技術大学院大学で実施されたアカデミックボランティアの支援を賜りました。また、奈良先端科学技術大学院大学サイバネティクスリアリティ工学研究室の准教授である内山英昭先生には、AKATSUKIプロジェクトにおいてプロジェクトマネージャとしてご指導を賜り、ご尽力いただきました。ここに誠意の意を表します。

参考文献

- [1] Rawassizadeh, R., Sen, T., Kim, S., Meurisch, C., Keshavarz, H., Mühlhäuser, M., and Pazzani, M.: Manifestation of virtual assistants and robots into daily life: vision and challenges, CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction. 1, pp. 163-174, (2019).
- [2] K. Tanaka, H. Makino, K. Nakamura, A. Nakamura, M. Hayakawa, H. Uchida, M. Kasahara, H. Kato, and T. Igarashi: The pilot study of group robot intervention on pediatric inpatients and their caregivers, using 'new aibo', Eur J Pediatr, Vol. 181, No. 3, pp. 1055-1061, (2022).
- [3] Dinesen, B.I., Hansen, H.K., Grønborg, G.B., Dyrvig, A., Leisted, S.D., Stenstrup, H., Skov Schacksen, C., and Oestergaard, C.U.: Use of a Social Robot (LOVOT) for Persons With Dementia: Exploratory Study, JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies, Vol. 9, No. 3, (2022).
- [4] Abubshait, A., Weis, P. P., and Wiese, E.: Does Context Matter? Effects of Robot Appearance and Reliability on Social Attention Differs Based on Lifelikeness of Gaze Task, Int J of Soc Robotics, Vol. 13, pp. 863-876, (2021).
- [5] White, D. and H. Katsuno: Toward an Affective Sense of Life: Artificial Intelligence, Animacy, and Amusement at a Robot Pet Memorial Service in Japan, Cultural Anthropology 36, No. 2, pp. 222-251, (2021).
- [6] F. Yamaoka, T. Kanda, H. Ishiguro, N. Hagita: How contingent should a lifelike robot be? The relationship between contingency and complexity, Connection Science, Vol. 19, No. 2, pp. 143-162, (2007).
- [7] Melson, G. F., Peter, H. K., Alan, M. B., Batya, F., Trace, R., and Erik, G.: Robots as dogs? Children's interactions with the robotic dog AIBO and a live Australian shepherd, CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA'05), pp. 1649-1652, (2005).
- [8] K. Wada, and T. Shibata: Living with seal robots—its sociopsychological and physiological influences on the elderly at a care house, IEEE transactions on robotics, Vol. 23, No. 5, pp. 972-980, (2007).
- [9] Heerink, M., Díaz, M., Albó-Canals, J., Angulo, C., Barco, À., Casacuberta, J., & Garriga, C.: A field study with primary school children on perception of social presence and interactive behavior with a pet robot, 2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 1045-1050 (2012).
- [10] T. Nakata, T. Sato, and T. Mori: Producing animal-likeness on artifacts and analyzing its effect on human behavioral attitudes, Proceedings 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human and Environment Friendly Robots with High Intelligence and Emotional Quotients (Cat. No.99CH36289), Vol. 1, pp. 549-554, (1999).
- [11] T. Akiyoshi, K. Nieda, Y. Takahama, K. Takahashi, K. Nakamura, and T. Swabe, Egg-Laying Robot to Enhance Mind Perception of Children and Parents, In Companion of the 2024 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI '24 Companion), 4 pages, <https://doi.org/10.1145/3610978.3640614>, (2024)
- [12] M. Mori, MacDorman, Karl F., and N. Kageki: The uncanny valley [from the field], IEEE Robotics & automation magazine, Vol. 19, No. 2, pp. 98-100, (2012).
- [13] Löffler, D., Dörrenbächer, J., and Hassenzahl, M.: The Uncanny Valley Effect in Zoomorphic Robots: The U-Shaped Relation Between Animal Likeness and Likeability, In Proceedings of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI'20), pp. 261-270, (2020).
- [14] De Graaf, Maartje M. A., Ben Allouch, S., and Van Dijk, Jan A. G. M.: Long-term evaluation of a social robot in real homes, Interaction studies, Vol. 17, No. 3, pp. 462-491, (2016).

- [15] N. Yoshida, and T. Yonezawa: Investigating Breathing Expression of a Stuffed-Toy Robot Based on Body-Emotion Model. In Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction. ACM, pp. 139-144, (2016).
- [16] N. Yoshida, and T. Yonezawa: Physiological Expression of Robots Enhancing Users' Emotion in Direct and Indirect Communication. In Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction (HAI'17). pp. 505-509, (2017).
- [17] Russell, J. A.: A circumplex model of affect, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 39, No. 6, pp. 1161-1178, (1980).
- [18] Sales, J.: The endangered kiwi: a review, *Folia Zoologica Praha*, Vol. 54, No. 1, (2005).