

# 生命感向上のための産卵行動機能を有する ロボットが子供に与える影響の調査

高濱悠作<sup>†1</sup> 秋吉拓斗<sup>†1</sup> 高橋頭太<sup>†1</sup> 中村海翔<sup>†1</sup> 新江田航大<sup>†1</sup> 澤邊太志<sup>†1</sup>

**概要:** 本研究では、ロボットに産卵行動機能を実装し、その産卵行動が人間のロボットに対する生命感や心の知覚に与える影響を調査することを目的としている。本実験には、成人と子どもを合わせた24名が参加した。実験の主な仮説は、ロボットの産卵行動が生命感と心の知覚を強調するというもので、参加者はロボットの産卵行動前後の触れ合い体験および印象評価のアンケートに回答した。その結果、ロボットが産卵行動を示すことにより、参加者がロボットに「心がある」と感じる度合いが増加することが確認された。特に子供たちは、ロボットに対して強い生命感を感じる傾向が確認された。これは、生物の行動を模倣するロボット設計が特定の対象者、特に子供たちに有効であることを示唆している。一方で、成人の参加者においては、産卵行動の観察がロボットに対する生命感の認識に大きな影響を与えなかった。この結果は、ロボットの生命感を高めるためには、対象者の年齢層に応じた異なるアプローチが必要であることを示唆している。

## 1. はじめに

近年、AIやIoTの急速な進化と広範な普及に伴い、オフィス、店舗、一般家庭といった日常的な場面でのロボット導入が加速している[15]。この進展は、ロボットが単に人間の作業を代替するだけでなく、より複雑な役割を果たすようになってきていることを示している[16]。例えば、人間の仕事を代替するだけでなく、コミュニケーションを取り、癒やしを与えるもの[1]、生物学に基づき生物の物理的特性を模倣してより自然で流動的な動きを再現したもの[2]などロボティクスの応用領域は拡大している。

このようなロボット技術の進化は、特に人とロボットの相互作用 (Human-Robot Interaction; HRI) の研究分野では、ロボットがユーザである人間との間で自然な関係を構築するために、生命感の概念に焦点が当てられている[8]。これは、コミュニケーション能力の向上[11][12]、信頼関係の構築[13]、感情の喚起[14]といった多様な効果を目指すものである。エンターテインメントロボット市場を通じて生産者と消費者を結びつけるこの生命感は、感情の変化する文脈に注目することで、日本におけるアニミズムの本質主義的な論述を克服するための重要な手段とされている[3]。

しかしながら、ロボットに生命のサイクル[9]の一つである誕生の過程を適応させることによる生命感の研究はまだほとんど行われていない。もしロボットが他の生物のように生命サイクルを模倣できるならば、より生物らしい振る舞いが可能となる。それによって、より社会的な関係性を構築しやすくなり、人とロボットが共存する社会の実現に一步近づくと考える。

本研究では、このような生物の生命サイクルの一つである誕生を模倣するロボットの実現に向けた第一歩として、

擬似的に産卵可能なロボットの開発に着目した。ロボットが産卵することにより、人間がロボットに対して感じる生命らしさや心の知覚に与える影響を実験的に調査し、ロボットと人間の関係性における新たな可能性を探る。

## 2. 関連研究

Haring ら[4]は、ライフライクなロボットとの相互作用が人間のロボットに対する認識に影響を与えるか調査した。ライフライクとは、「生命に似た」という意味を持っておりライフライクなロボットは、人間の顔の特徴、表情、動き、そして時には声や人間らしい対話のパターンを模倣することで、より自然で人間に近い相互作用を行うものである。実験では参加者は人間らしいロボットと相互作用を行った結果、ロボットを非人間的で知能が低く安全だと感じる傾向が示された。これはロボットが人間の外見に近づくにつれて、最初は親しみやすくなるが、あるポイントを超えると急速に否定的な反応効果を示すという不気味の谷[5]での考察が可能である。この現象は、人間以外の生物を模倣したロボット、例としてペットロボットや動物を模倣したロボットなどにおいても、これらのロボットがその生物の特徴を非常にリアルに再現する場合、観察者は不自然さや違和感を感じる可能性がある。

Löffler ら[6]は、動物を模倣したロボット (ズーモーフィックロボット) において、動物のような特徴がどのように認識され、それがロボットの好感度にどのように影響するかを調査した。その結果、動物的な特徴と好感度の関係がU字型の関数に従うことが示され、動物の特徴が高い、または、低いロボットがリアルな特徴と非リアルな特徴を混在させたロボットよりも好まれることが分かった。しかし、

<sup>†1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学

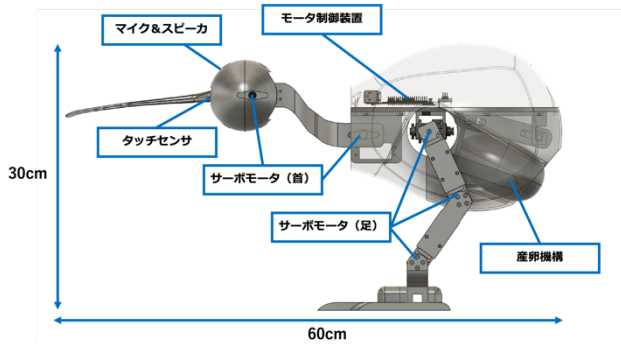


図 1 ロボットの構成

動物の見た目や動きの特徴のみについて調査しており、産卵のような生命サイクルの再現によって動物的な特徴をさらに高めることによる印象評価までは行われていない。

Barber ら[7]は、セラピードッグとインタラクティブな生物模倣ロボット MiRo-E との相互作用が、11～12 歳の子供たちにどのような影響を与えるかを比較し評価した。その結果、子供たちは MiRo-E との肯定的な社会的接触に同様の時間を費やし、全体的にはロボットとの相互作用により多くの時間を費やしたことが示された。また、子供たちはロボットとの相互作用に続いて、より多くの肯定的な感情を報告し、動物やロボットに精神的属性と生命力を帰属するほど相互作用を楽しんだことが明らかになった。したがって、子供はロボットに生命感や感情、意識、意図などの精神的な特性を強く感じるほど相互作用を楽しむことができ、ロボットに産卵という生命サイクルを加えることは子供たちの相互作用を強くさせる可能性がある。

本研究では、動物模倣ロボットにおいて、これまで適応されてなかった産卵という生命サイクルの過程を組み込み、産卵する様子を見たときに人間がロボットに対して感じる生命らしさや心の知覚に与える影響を実験的に調査することを目的とする。

### 3. システム概要

本章では、実験に使用した産卵行動を行う鳥型ロボットのハードウェアとソフトウェアについて述べる。

#### 3.1 ハードウェア

ロボットの構造について図 1 に示す。このロボットの骨格は 3D プリンタで製作され、その制御にはマイコン、モータ、ジョイスティック、IMU センサ、マイク、スピーカが使用されている。特に注目すべきは産卵機構で、ベルトコンベアを応用しており、これにより卵を安全に押し出すことができる。また、ロボットの体外との境界には、穴の空いたストッキングが設置されており、これにより卵が押し出される際のみ外部に排出されるように設計されている。

ロボットの外観は毛皮で覆われており、ユーザは安全か

つ快適に触れることができる。さらに、骨格と毛皮の間にはカイロを取り付けることが可能であり、ロボットおよび卵の温度調整が可能である。この機能により、ユーザは暖かいロボットとの触れ合いを体験できる。

#### 3.2 ソフトウェア

本研究で開発されたロボットは、くちばしに装着されたジョイスティック、マイクロフォン、IMU センサ、および遠隔制御用 PC からのコマンド（起動、停止、産卵）を入力情報として受け取る。制御システムには、人工生命理論に基づくサブサンクションアーキテクチャを採用しており [10]、これにより、階層化された優先順位に基づいてモータやスピーカの制御を適応的に行うことが可能である。結果として、ロボットは歩行や障害物回避といった、生物に類似した行動が可能である。

本システムを利用することにより、ロボットはバランスを取るための脚の動作、首の振り動作、産卵動作、保存された音声ファイルを再生することによる発声など、多様な動作を実行できる。また、環境に対して柔軟に対応するために、サブサンクションアーキテクチャによる自立制御以外に一連の動作をプリセットし、遠隔操作 PC からのコマンドでこれら呼び出す機能も実装している。

## 4. 実験

#### 4.1 仮説と予測

本章では、ロボットの生命感を増やすために産卵行動を模倣することの有効性に関する仮説と予測について述べる。既存研究より、実際の生物の行動を模倣することがロボットの生命感を増す上で有効であることが示唆されている。本研究では、生命のサイクルにおいて重要な「新たな生命を産むこと」に焦点を当て、産卵を模倣するロボットの開発を行った。生殖や増殖を行わないロボットが産卵行動をすることにより、観察者はロボットに対してより強い生命感や生物特有の「心」の存在を感じる可能性があると考えられる。これらの背景に基づき、以下の予測を立てた。

予測 1：産卵行動によって生命感が強調されるのか

産卵行動を観察した観察者は、同じ個体のロボットに対して、産卵行動を観察する前に比べてより強く生命感を感じると予測される。これは、産卵という生物学的なプロセスを模倣することで、ロボットが持つ生命らしさが強調されるためである。

予測 2：産卵行動によって心の知覚が強調されるのか

産卵行動を観察した後の観察者は、同じ個体のロボットに対して、より強く「心を持っている」と感じると予測される。産卵行動は通常、生物の生殖行動と密接に関連して



図 2 実験環境

いるため、この行動を模倣するロボットは、生物としての心の存在をより強く想起させる可能性がある。

これらの予測は、ロボットの生命感を増幅するための設計原理として、産卵行動の模倣がどの程度効果的であるかを探るための基礎となるだろう。

#### 4.2 条件

本実験では、参加者による内部比較を行い、2つの異なる条件を設定した。第一の条件は「卵が産まれる前条件」であり、参加者は卵がこれから産まれることを知らされた上でロボットとの相互作用を行う。第二の条件は「卵が産まれた後条件」であり、参加者はロボットが産卵する瞬間を観察した後、ロボットとの相互作用を行う。この実験設計において、ロボットの動作や発声のタイミングは事前に設定され、実験条件の一貫性を保つために厳格に管理された。

#### 4.3 参加者

本実験には12組の親子が参加し、子どもの参加者は男性10名、女性2名の全員小学生で構成されており、同じく本実験に参加した保護者は全体で成人男性4名、成人女性8名であった。また、参加者は3つのグループに分けられ、各グループごとに実験に参加した。

#### 4.4 実験環境

実験環境を図2に示す。実験は特定の会場で行われ、ロボットは部屋の中央に配置された。部屋の2つの角にはカメラが設置され、実験の記録と観察のために用いられた。本実験の環境構築は、ロボットが模倣する対象であるキー



図 3 実験でロボットと触れ合う様子



図 4 産卵の様子

ウィの自然生息地を反映させるため、森をイメージした空間を設計した。具体的には、壁面に森林の画像がプリントされた布を使用し、森の環境音をスピーカから流した。さらに、キーウィの夜行性を考慮し、ランタン1個を天井に吊るして部屋を薄暗く保つことで、その特徴を反映させた雰囲気 연출した。

#### 4.5 評価項目

参加者には、主観的なアンケートを通じて、ロボットに対する生命感の印象を評価してもらった。アンケートは、「生き物っぽいか」、「心があると思うか」の2つの観点から構成され、各質問に対する回答は1から7のリッカート尺度で行われた。具体的な質問は以下の通りである。

Q1: 私はキーウィロボットを機械または生き物のように感じた (1: 機械 ~ 7: 生き物)

Q2: 私はキーウィロボットに心がないまたは心があるように感じた (1: ない ~ 7: ある)

#### 4.6 手順

実験に先立ち、参加者は実験の目的と手順について詳細な説明を受け、書面による同意を行った。本研究は奈良先端科学技術大学院大学の倫理委員会によって承認され（審査番号 2022-I-22）、同大学院の定める倫理規定に従って行われた。

実験は、参加者が会場に集まった後、ロボットとの触れ合い方に関する説明から行われた。説明では、ロボットが模倣しているキーウィの特性（夜行性であることなど）、実験環境が暗闇に設定されている理由、および体験中の観察や接触が許可されていることが伝えられた。また、実験は2つのセッションに分かれており、セッション1ではロボットは産卵行動を示さないが、セッション2では産卵行動が観察できるとの説明が行われた。

説明後、参加者は実験会場に入場し、セッション1を実施した。このセッションでは、参加者がロボットを観察し、触れ合い体験を行ってもらった。セッション終了後、参加者はロボットの印象に関するアンケートに回答した。その後、セッション2が開始され、参加者はロボットによる産卵行動を観察し、それに続いてロボットおよび卵との触れ合い体験を行った。実験の最後に、ロボットに対する印象および実験全体に関する感想を記述するアンケートに回答してもらった。

ロボットと参加者の触れ合いの様子は図3に、ロボットが産卵行動を行った際の様子を図4に示す。

## 5. 結果

本実験で得られたアンケート結果をデータ内の個体間（またはグループ間）の相関や非独立性を考慮する場合に有効である混合効果モデルを用いて分析を行った。そこで得られた結果を基に、各予測の検証結果について本章では述べる。表1は混合効果モデルの分析結果で、各値は統計量z値と有意水準 $\alpha = 0.05$ におけるp値を示している。Childは対象が子供かどうか、Afterは産卵行動を見た後かどうかを示している。図5は、Q1生命感に関するアンケート結果の平均点を示しており、図6は、Q2心の知覚に関するアンケート結果の平均点を示している。

表1 混合効果モデルによる分析結果

	生命感がある		心がある	
	z値	p値	z値	p値
Child	5.003	0.000	5.811	0.000
After	1.479	0.139	2.304	0.021

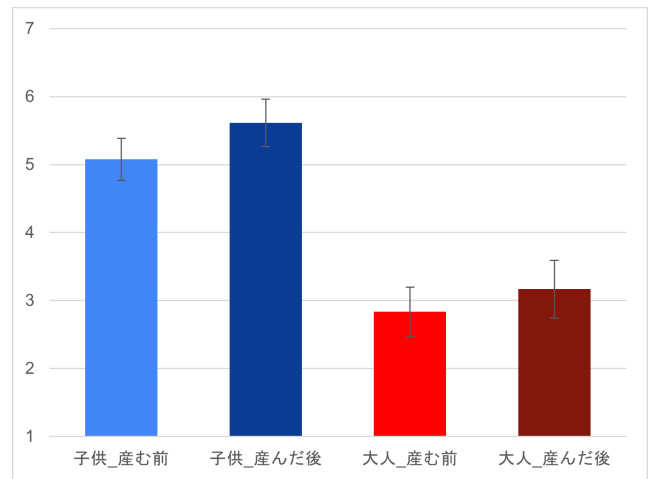


図5 Q1生命感に関するアンケート結果の平均値

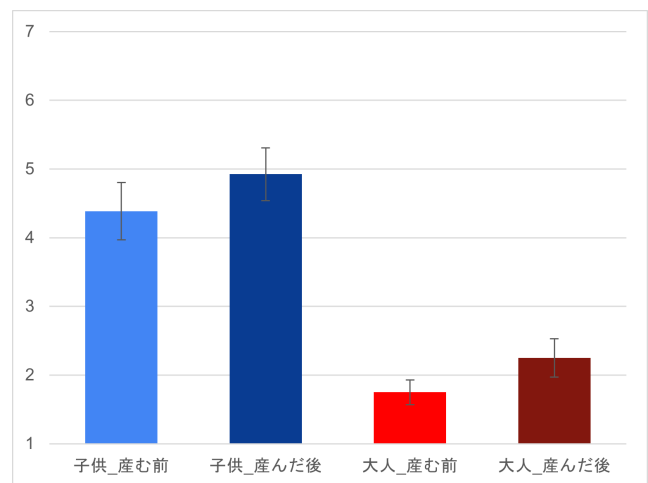


図6 Q2心の知覚に関するアンケート結果の平均値

### 5.1 予測1の検証

予測1: 産卵行動を観察した後の生命感では、ロボットの産卵行動を観察した後、観察者がロボットに対してより強く生命感を感じるという予測を立てた。表1に示す統計分析の結果、Childカテゴリは統計的に有意 ( $p < 0.05$ ) であることが明らかとなり、子どもがロボットに対してより強い生命感を持つ傾向が示された。一方で、After（産卵行動を観察した後の状態）は統計的に有意ではなかった。これは、産卵行動の観察が参加者全体のロボットに対する生命感に統計的に顕著な変化をもたらさなかったことを意味する。以上より、予測1が部分的に支持された。

### 5.2 予測2の検証

予測2: 産卵行動と心の知覚では、ロボットの産卵行動を観察した後、観察者がロボットに「心がある」と感じる度合いが増すという予測を立てた。表1に示す統計分析の結果、Childカテゴリは統計的に有意 ( $p < 0.05$ ) であり、子どもがロボットに対して心があると感じる傾向が顕著で

あることが分かった。また、After カテゴリも統計的に有意であり、産卵行動を観察した後、ロボットに対する「心の知覚」に関する認識が変化したことが示された。以上より、予測2が支持された。

### 5.3 参加者の行動

本章では、実験中の参加者の行動とアンケートによる感想について報告する。実験中、特に子供たちの多くはロボットに積極的に触れ、撫でる行動を続けるなど高い興味・関心を示していた。卵が産まれる前の段階では、子供たちも一様に距離を取り、静かに観察していた。卵が産まれた後、参加者は徐々にロボットや卵に近づき、積極的に触れ合う行動を見せた。

アンケートでの感想は、子供たちと保護者の両方から興味深い反応が得られた。子供たちからは「キーウィロボットがたまごをうんでびっくりした」「キーウィにふれあえたのがたのしかった」などの回答が得られた。また、保護者の方からは「産卵行動を見て、キーウィロボットへの見方が変わった。その変化にも驚いた」「本物のようなロボットという感じがしていましたが、産卵シーンを見た後はより本物に近い感覚を覚えました」「触ると生き物のような感じがしたことによりびっくりした」などの回答が得られた。

これらの観察結果と感想は、ロボットが産卵行動を示すことが、参加者のロボットに対する認識や感情に影響を及ぼす可能性を示唆している。特に、子供たちの反応はロボットの生命感を増幅させるための設計において重要な示唆を与えるものである。

## 6. 考察

本研究は、ロボットが産卵行動を模倣することにより、人間がロボットに対して持つ生命感や心の知覚にどのような影響を及ぼすかを調査した。その結果、特に子供たちがロボットに対して強い生命感や心の知覚を感じることを示された。これは、子供たちがロボットの行動や特性に対してより敏感で想像力豊かな反応を示すことが原因と考えられる。また、産卵行動を観察した後の参加者は、ロボットに対して「心がある」と感じる度合いが増したことも興味深い発見である。人間がロボットに「心がある」と感じることは、ロボットの設計や開発にも影響を及ぼす可能性がある。ロボットがより実物らしく感じられるように工夫されることで、ロボットとのインタラクションはより自然で、感情的なものになり、人間とロボットの間のコミュニケーションがさらに強化されることが予想される。

一方で、産卵行動を観察した後の参加者全体において、ロボットへの生命感の認識に大きな変化が見られなかった点は、ロボットに対する大人の認識が子供とは異なるという点である。大人はロボットの機械的側面をより強く意

識し、ロボットの生命らしさを評価する際に慎重な態度を取る可能性がある。実際、大人の方からのコメントには「あまり動いていなかったため、少し想像と違っていた」「卵が硬くて軽かった時に少しがっかりした」などの回答があった。Löfflerら[6]は、動物のリアルな特徴と非リアルな特徴が混合する場合、人間はそれに違和感を抱き、好感度が下がる可能性があるとして述べている。今回我々が開発したロボットには産卵や毛皮、鳴き声、体温などのリアルな動物的特徴と歩行が出来ない、動きが少ない、卵のクオリティが低いなどの非リアルな特徴が混合していた。このことから、子供よりも細かい特徴に敏感な大人にはロボットに対して好感が持てず、生命感の認識に変化が見られなかったことが予想される。

以上のことから、ロボットの設計において生物の行動を模倣することが、特に子供たちに対して効果的であることが示唆される。しかし、大人に対しては、ロボットの生命感を高めるためには異なるアプローチが必要である可能性がある。例として、ロボットの外見や挙動のリアリズムを高めること、人間との対話や相互作用の質を向上させることが大人に対してより有効である可能性がある。

## 7. 結論

本研究では、ロボットが産卵行動を模倣することにより、人間がロボットに対して持つ生命感や心の知覚に与える影響を実験的に調査した。その結果、特に子供たちがロボットに対してより強い生命感を感じ、ロボットの行動に対してより積極的な反応を示すことが確認された。これは、ロボットの設計において、生物の行動を模倣することが特定の対象者（本研究の場合、子供たち）にとって有意義であることを示唆している。しかし、大人の参加者においては、産卵行動の観察がロボットに対する生命感の認識に大きな影響を与えなかった。これは、ロボットの生命感を高めるためには、対象者の年齢層に応じた異なるアプローチが必要であることを示唆している。

今後の展望として、異なる年齢層や文化的背景を持つ人々を対象に、ロボットの設計や相互作用の方法をさらに探求する必要がある。また、ロボットのリアリズムや対話の質を向上させることにより、大人の参加者に対しても同様の効果が得られるかどうかを検証することが今後の課題となる。

### 謝辞

本研究におけるロボットの開発費及び活動費は、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のアカデミックボランティアの支援を受けた。また、AKATSUKIプロジェクトにおけるプロジェクトマネージャーとしてご尽力いただいた奈良先端科

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，内山英昭先生の深い洞察力と貴重な助言に心よ  
り感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] Shibata, Takanori. "Mental commit robot for healing human mind." *Journal of the Robotics Society of Japan* 17.7 (1999): 943-946.
- [2] Rossiter, Jonathan M., and Helmut Hauser. "Soft robotics-The next industrial revolution?." *IEEE Robotics and Automation Magazine* 23.3 (2016): 17-20.
- [3] White, Daniel, and Hirofumi Katsuno. "Toward an affective sense of life: artificial intelligence, animacy, and amusement at a robot pet memorial service in Japan." *Cultural Anthropology* 36.2 (2021): 222-251.
- [4] Haring, Kerstin Sophie, Yoshio Matsumoto, and Katsumi Watanabe. "How do people perceive and trust a lifelike robot." *Proceedings of the world congress on engineering and computer science*. Vol. 1. 2013.
- [5] Mori, Masahiro, Karl F. MacDorman, and Norri Kageki. "The uncanny valley [from the field]." *IEEE Robotics & automation magazine* 19.2 (2012): 98-100.
- [6] Löffler, Diana, Judith Dörrenbächer, and Marc Hassenzahl. "The uncanny valley effect in zoomorphic robots: The U-shaped relation between animal likeness and likeability." *Proceedings of the 2020 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*. 2020.
- [7] Barber, Olivia, et al. "Children's evaluations of a therapy dog and biomimetic robot: influences of animistic beliefs and social interaction." *International Journal of Social Robotics* 13.6 (2021): 1411-1425.
- [8] De Graaf, Maartje MA, Somaya Ben Allouch, and Jan AGM van Dijk. "Long-term evaluation of a social robot in real homes." *Interaction studies* 17.3 (2016): 462-491.
- [9] Erikson, Erik H. *Identity and the life cycle*. WW Norton & company, 1994.
- [10] Rosenblatt, and Payton. "A fine-grained alternative to the subsumption architecture for mobile robot control." *International 1989 Joint Conference on Neural Networks*. IEEE, 1989.
- [11] Melson, Gail F., et al. "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*. 2005.
- [12] Wada, Kazuyoshi, and Takanori Shibata. "Living with seal robots—its sociopsychological and physiological influences on the elderly at a care house." *IEEE transactions on robotics* 23.5 (2007): 972-980.
- [13] Heerink, Marcel, et al. "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*. IEEE, 2012.
- [14] Collins, Emily C., et al. "MIRO: a versatile biomimetic edutainment robot." *Proceedings of the 12th international conference on advances in computer entertainment technology*. 2015.
- [15] Rawassizadeh, Reza et al. "Manifestation of virtual assistants and robots into daily life: vision and challenges." *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction* 1 (2019): 163 - 174.
- [16] Doncieux, Stephane, et al. "Human-centered AI and robotics." *AI Perspectives* 4.1 (2022): 1-14.