

論文の内容の要旨

論文題目

なめらかに形体を切り替える変形機構によって
印象を変化させるロボットデザインの研究

氏 名 飯澤 大介

本論文の概要

本研究は、外部概念の利用が極端に少ない形体と、生物らしい印象を利用することで、「家庭内環境との調和」と「社会的インタラクションの親和性」を両立するロボットの実現を目的とするデザイン方法論に関するものである。

今日ロボットは、娯楽用から掃除や見守りなどのタスクロボットまで家庭内での普及が進み、デザインも多様化している。商品化された家庭用ロボットのデザインにおいては、小型ディスプレイにシンプルな顔が表示されるものから、人間そっくりに見えるもの、小動物に似せたものなど、様々なレベルの擬人化や擬生物化の試みがなされている。一方で、自走式の掃除ロボットや音声インタラクションを行う AI スピーカーなどの登場により、抽象的な形態のロボットも普及しつつある。こうした家庭用ロボットの用途、価値の多様化は、人とロボットとの社会的インタラクションの重要性を増加させた。特に、非擬人化ロボットのインタラクション研究は、人とロボットの新しい関係を探求する重要な領域であると言える。このような状況の中で本研究は、非擬人非擬生物の形体でありながら、必要に応じて生物らしさを発するロボットをデザインし、「家庭内環境との調和」と「社会的インタラクションの親和性」を両立することを目標とした。その実現のために、以下の 3 つの特徴を持つ 4 種類のロボットを制作した。

[特徴 1] 生物らしさがない純粋な幾何学的形体

[特徴 2] 社会的知覚のための最小限の記号性を持つ形体

[特徴 3] 上記 2 種類の形体を切り替えるなめらかな変形

本研究において提案され、実施検証された非擬人化ロボットは非稼働時の形体として純粋な幾何学的形体である「球」及び「円錐。」を用いる。擬人化デザインに代表されるような外部概念を利用した形体のロボットが、インタラクションに対する過剰な期待を招くことは先行研究によって指摘されてきた。また非稼働時の景観への配慮の欠如は、家庭内環境との調和における課題でもある。それに対し純粋な幾何学的形体は、外部概念に起因する過剰な期待を回避し、家庭内環境との調和の実現に適しているが、一方で観察者が動作や動作原

理を推定しにくく、一貫性のある解釈が得られにくいという点において、社会的インタラクションの親和性に課題がある。

そこで本研究は、なめらかな変形によって、純粋な幾何学的形体から、社会的知覚のための最小限の記号性を持つ形体に切り替え、生物らしい印象を増加させることで、社会的インタラクションの親和性を高める非擬人化ロボットのデザイン手法を考案した。

先行研究では、非擬人化ロボットであっても動きのデザインによって生物らしい印象を与えることが示されており、その印象が社会的インタラクションの親和性を高める効果が期待できる。さらに、なめらかな変形によって、これに接する人間の認識を、日常的な人工物として捉える状態から、何らかの意図を持っている存在と認識する状態（Daniel Clement Dennett の言う「志向的な構え Intentional Stance」）に変化させることを意図するものである。

研究のプロセスではこの 3 つの特徴を持つ 4 種類の非擬人化ロボットを段階的に制作し、コンセプトの具現化の段階から、異なる形体と変形機構への応用を試みた。また、それぞれのロボットで異なる社会的知覚の表現を付加し、観察とアンケートにより効果の検証を行った。

これらのロボットの評価の結果からは、非稼働時に認識される「生物らしさ」が低レベルであること、変形動作によってそれが徐々に増加すること、そして、相互の視線交流などの社会的知覚の表現によって、生物らしさの増加度合いが変化することなどが確認された。この結果から、「生物らしさがない純粋な幾何学的形体」と「社会的知覚のための最小限の記号性を持つ形体」の 2 つの形体を持つ非擬人化ロボットによって、本研究の目的である家庭内環境との調和と社会的インタラクションの親和性の両立が可能であることを示した。また、生物らしさの増減をロボットのデザインに取り入れる効果を示したことで、今後のロボットの役割拡大や家庭や社会への浸透に貢献するものであることが示唆されている。

本論文の構成

第 1 章は序論として、家庭内に普及しつつあるロボットのデザインを分類分析する様々な既存研究が俯瞰されている。特に「擬人化」されたデザインの効果として、ユーザーの受容性の向上や共感、信頼などの心理効果があるとされる一方で、機能性やコストに問題があり、擬人化がもたらす過剰な期待、環境への不調和などの問題点を指摘する先行研究が紹介されている。これに対し、非擬人化デザインでは機構的な合理性を追求しやすく、デザインの自由度も高いが、社会的インタラクションを実現するためには、動きを中心として生き物らしさを導入することも必要であるという先行研究も紹介されている。

その上でここでは、本研究の提案するロボットデザインが外部概念を利用しない、幾何学的形態を中心としたミニマルな領域のデザインであること。その中で「家庭内環境との調和」と「社会的インタラクションの親和性」を両立させるロボットデザインを目指すという研究の方向性が述べられている。

第2章では本研究に関連する様々なロボットデザインの事例が紹介されている。はじめにインタラクショナルロボットに多く適用される擬人化デザインの効果と課題に関する先行研究について述べ、期待と評価のギャップの課題を回避する擬人化デザインのアプローチを紹介する。次に本研究が対象とする非擬人化ロボットに関連する研究を、ロボットの形体による分類の視点から、それぞれの効果と課題について整理がなされている。

第3章では、第一の制作物である **Face on a Globe (F.o.G.)** の設計制作プロセスとそれがもたらす印象効果について述べられている。**F.o.G.**は静止時にはシンプルな球体でありながら、人の音声に反応してその一部がなめらかに変形して平面を出現させるロボットである。本機においては、幾何学的な人工物らしい形体と、指向的構えを誘発する生き物らしさを持つ形体の間を、瞬時になめらかに切り替えるための繊細な変形機構が提案された。球体表面を多重リングに分割し、それらが一つのモーターを動力源として螺旋状に移動し重なり合うことにより球体の一部が滑らかに平面に移行する全く新しい機構である。**F.o.G.**は東京大学内で開催された複数の展覧会に展示され、多くの人に驚愕と賞賛を持って迎え入れられた。収集したコメントを分析し、音声に反応して平面部が現れる瞬間に多くの人が生物的な印象を持つことが確認されている。

第4章では、先に製作した **F.o.G.** に、自律的な動作として、音声に反応して平面の向きを人間の方向に向けると言う、社会的知覚の動作表現を加えたロボット **F.o.G.Mk-II** について設計制作の詳細が紹介されている。この作品も **Ars Electronica** や国立新美術館「もしかする未来」展など多くの展覧会に出品され、多くの鑑賞者から生物的印象のコメントが収集された。さらに前章の **F.o.G.** との比較評価実験を実施し、声に反応して人間の方向を向くという社会的知覚の表現を加えることによって、ロボットが持つ変形前後の2つの状態に対する生物らしい印象の差を拡大することが確認されている。

第5章では、なめらかに変形して頂点の向きを変える円錐型ロボット **Joint Attention Cone (J.A.C.)** の制作プロセスが紹介されている。このロボットは静止状態ではシンプルな円錐形状を維持しているが、鑑賞者が近づくと滑らかに屈曲してその先端を人の方に向けるものである。さらには、人が移動するとそれを追尾するように先端の方向を変えると相互注視を認識させるインタラクション機能を持った円錐型ロボットである。本ロボットにおいても、球形ロボット **F.o.G.** の機構を発展させた、ワンモーターで滑らかに先端の向きを変える分割摺動機構が提案されており、この機構の汎用性が示されている。本機についても一般公開展示が行われ、鑑賞者のコメントの分析が行われた。志向的構えに分類されたコメントが **F.o.G.**と比較しても大幅に増加したことから、より生物らしい印象の獲得が確認されている。また、相互注視の表現によって **F.o.G.**とは異なる生物らしさに関連する印象を与えたことも確認された。

第6章では、**J.A.C. Mk-II** の制作プロセスとその動作機構が紹介されている。**J.A.C. Mk-II** は **J.A.C.** に視線検知システムと水平方向の動作を追加することで、視線追従を表現する円錐型ロボットである。本機は **J.A.C.**同様に、人が近づくとまずは変形して頂点を人に向

けるが、この状態から人が周辺環境に視線をめぐらせると、同じものを見ているかのように頂点を視線の先に向ける。本章では、本機と鑑賞者とのインタラクションの様子を撮影した映像による印象調査が行われた。F.o.G.との比較評価も行われ、より強い生物的印象を与えていること、視線の共有という社会的知覚を印象付けるインタラクションにより、静止時と動作時の生物らしい印象の差が拡大していることなどが確認されている。

第 7 章では、第 3 章から第 6 章の各章で制作した四つのロボットの制作と検証の結果として、本研究の目的である次の二つのことが達成されたと述べられている。

- ・家庭内環境との調和と社会的インタラクションの親和性の両立

純粋な幾何学的形体と最小限の記号性を持つ形体を切り替えることで生物らしい印象を増加させることができた。

社会的知覚表現の種類によって生物らしい印象の種類や増加する度合いを変化させることが可能であることを示した。

- ・2 種類の形体を切り替えるなめらかな変形機構の有用性

本機構で提案する多重リングによる連鎖摺動機構による滑らかな変形が生物らしい印象の増加に寄与していることも確認された。

第 8 章では各章の研究を総括し、さらに非擬人化ロボットのデザイン手法に対する今後の課題と応用可能性について述べられている。今後の課題としては実環境における効果の測定が必要であることや、実用的なロボットのタスクとの関係を検討する必要があることなどが挙げられている。

将来的な展望については、本論文で提案する形体の切り替えが非擬人化ロボットの活用領域の拡大に寄与する可能性、生物らしい印象の増減をデザイン要件として取り入れることで人とロボットの関係性を効果的に設計しうること、提案した三つの特徴が一般的なデザイン手法として幅の広いプロダクトに応用される可能性などについて言及されている。