

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「共生インタラクション」
研究課題
「街角環境で共生するロボットのインタラクション基
盤技術」

研究終了報告書

研究期間 2017年10月～2023年 3月

研究代表者: 神田 崇行
(京都大学大学院情報学研究科 教授)

§1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究では、人々が行きかうオープンな「街角環境」で、ロボットが人々と共生して多様なサービス提供するためのインタラクション基盤技術の実現をめざした研究を進めた。ロボットは、人間と同様のコミュニケーションを行うことで、誰にでも分かりやすく親しみやすい情報提供ができるようになってきた。人工知能・ロボット技術の近年の進歩は目覚ましく、「2030年には49%の仕事がAI・ロボットで自動化される」との予測もされている。警備員、レジ係、店員等がこの予測に含まれるが、これらの対人サービスは、万引きをはじめとする様々な低モラル行動を予防し、環境に安心感をもたらす役割も果たしている。一方、現状のロボットは、他者として尊重される存在、すなわち *peer respect* の対象となりえていない。まして、人々の低モラル行動に働きかけ、環境に安心感をもたらすモラルインタラクションの能力に欠けている。この問題を解決するインタラクション基盤技術を実現して、人々とロボットとの共生社会を実現することを目指し、研究開発を進めた。おおむね、京大グループが基盤的な技術を研究し、ATRグループがシステム構築とフィールド実証という役割分担のもとで、両グループが密に連携して研究開発を推進した。「モラル行動の認識技術の研究開発」と「モラルインタラクション技術の研究開発」の2つの研究を進めた。

「モラル行動の認識技術の研究開発」に関しては、モラル視覚とモラル聴覚の研究を進めた。モラル視覚については、3次元距離センサを用いてプライバシーの懸念が少ない処理を実現することを目指した。環境設置型のセンサネットワーク、移動ロボットに搭載した3次元LiDARセンサのいずれを用いた場合についても、周囲の人々を発見、追跡し、人々の特徴や行動、特に、まれにおきるような低モラル行動を認識できるような技術を実現した。たとえば、低モラル行動を行う人々の姿勢の時系列を高精度に様々な視点から捉えた膨大な量の学習用ポイントクラウドを人手によるラベル付けなしにシミュレーションにより作り出し、Deep learning等により学習することで認識可能にする、といった方法を実現した。モラル聴覚に関する研究に関しては、攻撃的な暴言発話を精緻に解析して認識に必要な特徴量を構築し、からかいや攻撃的な発話かの判別の認識技術を実現した。発話音声に含まれる如何なる言語・非言語的要素が低モラルのサインになるのかを明らかにする等の方法により、認識に有用な韻律特徴や声質特徴を見出すことで、低モラル行動を認識可能なモラル聴覚の基盤技術の研究を進めることができた。

「モラルインタラクション技術の研究開発」に関しては、ロボットが主体としての *peer respect* を得て、また *peer pressure* の作用をもつためのデザインを明らかにすることを目指して研究を進めた。主に、実フィールドでのモラル実験を繰り返し、人々の低モラル行動に働きかけるモラルインタラクションの研究を進めた。これらにより、ロボットの存在が他の人々のモラル行動を引き出すという行動変容を引き起こすインタラクション技術について研究を進めた。歩きスマホの注意（アプローチ行動、対卑小化行動）、クレーマー対応行動、からかい対応行動、子供の自習行動、目覚まし、運動支援といったモラルインタラクションの行動を実証することができた。ロボットいじめ問題についても、フィールド実験のデータを解析することで、ロボットいじめが複数の子供たちのグループダイナミクスによるエスカレートのプロセスから生じることを明らかにすることができた。また共生状態の創出に向けて、基盤的なインタラクションとして大量データからのインタラクションの自動的な構築技術や、店舗内の狭い通路のような環境でのロボットの社会的ナビゲーション技術についても研究を進めた。最終的に、実現した技術を統合し、モラルインタラクションする機能を持つロボットに実際にサービス提供する役割を持たせ、実証実験を行った。店員補助、警備員、店番という3つの利用場面で共生状態が実現できることを実証することができた。友好的で人らしい印象を与えつつも、*peer pressure* を与えることで、社会的に受容されるようなモラルインタラクションを実現できることを示した。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 「ロボットいじめ」現象の理解

概要:

従来、現象として起きることは知られていたものの、その仕組みが未解明であった「ロボットいじめ」現象に対して、質的・量的双方の側面から解析的な研究を進め、集団的なエスカレートによって起きる仕組みを明らかにした[§5-1-25]。関連して、ロボットに対してモラル懸念が拡張されることを見出した[§5-1-3,8,15]。また、実験的な研究からロボットいじめやロボットへの乱暴な対応・発話を低減する方法を明らかにした[§5-1-14] [§5-1-24]。当該分野のトップカンファレンス HRI において 4 編の研究発表へとつながるなど国際的に高く評価されている[§5-1-14,24,25,41]。

2. ロボットが人々に良い行いを促すモラルインタラクション方法の解明

概要:

従来研究がほぼない状況の中で、多くの先進的な研究を進めて、ロボットが人々の良い行いに影響する方法を明らかにしてきた。ロボットは人間に比べて働きかける力は弱いこと[§5-1-35]を確認した。一方、「人の目」と言われるような Peer pressure を伝える方法を次々に明らかにすることができた[§5-1-17,30,33]。たとえば、接近して注意する場面においてはその成功率を大きく向上する接近方法[§5-1-7]や声のかけ方[§5-1-40]、子供の学習場面や運動促進の場面などでの働きかけ方法を見出した。当該分野のトップカンファレンス HRI、トップジャーナル THRI において計 4 編の研究発表へとつながり、国際的に高く評価されている [§5-1-7,33,35,40]。

3. 街角でのロボットの共生インタラクションのための基盤的技術

概要:

街角環境において、ロボットを利用するために必要な基盤的技術を次々に実現した。これにより、狭い通路も含む店舗内の人共存環境でインタラクションできるロボットを構築可能にした。人共存環境でのナビゲーションにおいて従来は未解決であった店舗のような狭い環境での社会的ナビゲーションの方法を明らかにした[§5-1-23,34]。また、準備に大きな労力がかかっていたロボットの社会的インタラクション行動の学習技術について人手によるラベル付を必要としない新規の手法を明らかにした[§5-1-11,20,22,37]。シミュレーションを利用した実フィールドでのインテグレーション技術も実現した[§5-1-36]。これらの成果は当該分野のトップカンファレンス HRI、トップジャーナル THRI において計 7 編の研究発表へとつながり、国際的に高く評価されている[§5-1-11,20,22,23,34,36,37]。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 低モラル行動認識技術

概要:

人物行動認識技術や対ロボット、対環境の低モラル行動認識技術の研究を進めている。複数台の距離画像センサからなるセンサネットワークにより人の位置・向きを検出する技術、さらには人の低モラル発話や低モラル行動を実環境において認識できるシステムを実現した [§5-1-6,27,28,31,38]。このような技術は、ロボットシステムへの利用はもちろんのこと、店舗の無人化やセキュリティのためにも潜在的には利用可能なものであり、社会・経済への波及が期待できる。

2. 街角環境でロボットを行動させるためのナビゲーション技術

概要:

人とロボットとの共生状態の創出に向けて、人共存型のロボットをナビゲーションするための

技術について研究を進めた。人と一緒に移動するようなナビゲーションや、狭い通路におけるナビゲーション、人とのすれ違いの際の適切な身体方向の制御技術を実現した[§5-1-1,4,9,18,23,32,34]。従来、困難であった狭い通路も含む店舗内の人共存環境でのナビゲーションを可能にした。このような技術は、たとえば運搬・配達ロボットなども含めて様々な人共存型のサービスを行うロボットにおいて利用可能なものであり、社会・経済への波及が期待できる。

3. 人とロボットとの共生状態の創出に向けた貢献

概要:

モラルインタラクション機能を持つロボットが人々と共生状態を創出する成功例を、店員補助、警備員、店番といった複数の利用場面で実証実験を通じて明らかにした。モラルインタラクションの機能しか持たないロボットは監視社会化の懸念を起し、受け入れがたい。これに対して、本プロジェクトで実現したロボットは、友好的・親和的な機能を主としつつも、適切な「気づき」の能力を持ち、友好的なインタラクションの中でその能力を示すことでモラルインタラクション機能を持つことを人々に気づかせることで、その機能を果たすことができた。

<代表的な論文>

1. ロボットいじめのエスカレートモデル

概要:

ロボットに子供が執拗な妨害や暴力的な言動を行う「ロボットいじめ」現象について、これまでに収集した 18.5 時間のビデオデータを、TEM モデルにより質的に分析した。接近、軽いいじめ、身体的いじめ、いじめのエスカレートの 4 段階があり、それぞれの段階において他の子供の振る舞いが次の段階への移行を促進している、というエスカレート現象をモデル化した。このモデルを 522 名の子どものビデオデータを用いて量的に検証した。この研究成果は、当該分野のトップカンファレンスである HRI2020 に採録された[§5-1-25]。本報告書執筆時点ですでに 16 件引用されている (Google scholar による)。

2. ロボットへの低モラル発話の認識技術

概要:

ロボットが語彙的には攻撃的である発話が、実際に攻撃的な態度から出たものか冗談で言ったものであるか判別する態度認識システムを実現した。提案手法の特徴は、breathy voice, creaky voice, pressed voice といった声質特徴を用いる点にある。従来感情認識によく用いられるシステムの性能を上回って、態度を認識できることを示した。この研究成果は、知能ロボット分野のトップジャーナルの 1 つである IEEE Robotics and Letter に 2021 年に採録された[§5-1-38]。

3. 注意する際のロボットの接近方法

概要:

低モラル行動をする人々に注意するための接近方法を明らかにした。警備員の行動をモデル化した結果、通常の接近時と異なり、注意する際にはやや速い速度で、また移動経路の途中に急に方向転換する転換点が存在することが分かった。このような注意する際に特有の接近方法をロボットに実装し、その効果をフィールド実験により示した。この研究成果は、当該分野のトップカンファレンスである HRI2019 に採録された[§5-1-7]。本報告書執筆時点で 27 件引用されている (Google scholar による)。

§2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①京大グループ

研究代表者: 神田 崇行 (京都大学情報学研究科 教授)

研究項目

- ・モラル視覚・モラル聴覚に関する行動の認識技術の研究開発
- ・モラルインタラクション技術の研究開発

②ATR グループ

主たる共同研究者: 神田 崇行 (株式会社国際電気通信基礎技術研究所・インタラクション科学研究所・客員室長)

研究項目

- ・モラル聴覚に関する行動の認識技術の研究開発
- ・モラルインタラクション技術の研究開発
- ・各要素技術に関する実システムの構築とフィールドでの実証

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

- ・CRESTの塩見チームと連携して研究を進めている。それぞれが行う実フィールドでの実験において、低モラル行動に関するデータを共有し、その対処のための知見を交換し合う、といった方向で、プロジェクト間で相乗効果が出るように取り組んでいる。
- ・国内外の研究者とネットワーク形成を進めている。本分野のトップカンファレンス、トップジャーナルに論文を送り続け、また代表者を中心に国際会議の plenary talk や併設ワークショップでの招待講演などで 24 回に渡って関連する内容について講演を行い、プロジェクトについて広報し、ネットワーク形成の機会を作った。その結果として、具体的な共同研究として、認知発達科学分野では板倉昭二先生(同志社大学)、Manzi Federico 先生 (Università Cattolica del Sacro Cuore, Italy) と共同研究を行い、人間とロボットの類似性と相違点についての発達科学的な解明を進め、Infant and Child Development 誌[§5-1-21]や Scientific Reports 誌に論文掲載に至った[§5-1-29]。オールボー大学の Matthias Rehm 教授から交換留学生を受け入れ、ロボットに搭載されたセンサを用いて周辺人間の特徴を推定する共同研究を行い、その結果は Sensors 誌に掲載に至った[§5-1-28]。また、Selma Savanovic 先生 (Indiana University, USA) および Marlena Fraune 先生 (New Mexico State University, USA) と街角環境での来客集団の特性とロボットの社会的受容についての共同研究を進め、Frontiers in Robotics and AI に論文掲載に至った[§5-1-10]。Kimmo J. Vänni 先生 (Tampere University of Applied Sciences, Finland) および John-John Cabibihan 先生 (Qatar University, Qatar) とともにロボットストレスに関する調査研究の論文が掲載された[§5-1-5]。海外の若手研究者の短期滞在を受け入れ、Emmanuel Senft 氏 (現在 University of Wisconsin Madison (USA) 研究員) や Amal Nanavati 氏 (現在 University of Washington (USA) 博士学生) とともにトップカンファレンス HRI に共著論文が掲載された[§5-1-22,23]。移動ロボットの制御を専門とする Marija Seder 先生 (University of Zagreb) とともに店舗内でのロボットのナビゲーションの研究を進めている。Katie Winkle 先生 (KTH、スウェーデン) と Tom Williams 氏 (米国、コロラド州鉦山学校) との共同研究で性差別的虐待に対するロボットの反応について異文化間調査を行い、HRI2022 学会の論文掲載に至った[§5-1-41]。
- ・本領域を通じた国際ワークショップ等の機会を通じて、Rachid Alami 先生 (LAAS-CNRS, France)、Britta Wrede 先生 (Bielefeld University, Germany) らの研究グループともネットワークを形成した。Britta Wrede 先生のグループから若手研究者の Sebastian Schneider 氏を受け入れて共同研究を行い、2 編の論文を共同執筆するに至った[§5-1-33,40]。Schneider 氏とは HRI2022 でも公共空間での人とロボットのインタラクションについてのワークショップを

- 共同企画した。Rachid Alami 先生との交流から、同氏のグループの Aurélie Clodic 氏、Michael Beetz 先生 (University Bremen) を代表とする JST 日独仏 3 国プロジェクト「ヒューマンロボットインタラクションのための人工知能」の実施に至り、現在、共同研究を行っている。
- 実フィールドでのモラルインタラクションや共生状態の実証実験実施に向けて開発している基礎技術に関して、産業界との連携が起こりつつある。ロボットサイネージを扱っているベンチャー企業との連携を進める中で HRI 行動のシミュレーションが事業主へのプレゼンテーションに有効である事が明らかになった。また、構築した人位置計測システムとの利用を一般社団法人 i-RooBO Network Forum と進めている。大阪万博に向けた各種企業の参入を加速するため、大阪万博でのサービス開発を行う企業に対して、本研究で構築した人行動計測技術の公開するための仕組み作りを進めている。その一環として、大阪にある商業施設(ATC)を中心としたサービス開発を検討するチームの構築を行っている。