

人間共存型ロボットの能動的な働きかけによる

人間協調技術の研究

Research on Active Coordination Technology
for Human Symbiotic Robot

課題番号：25220005

菅野 重樹 (SUGANO SHIGEKI)

早稲田大学・理工学術院・教授



研究の概要 本研究は、人間と人間共存型ロボットが接近～接触の極近距離で協調的な心理的・物理的インタラクションを安全・安心・円滑に達成することを目的とする。その手段として、ロボットが人間に接触（すなわち力学的な相互作用）を含む働きかけを能動的に与えることで、人間-ロボットの2個体からなる心理系・運動系の協調動作を実現する。本研究によって人間共存型ロボットの安全性と作業性を両立するシステム設計論の確立が期待される。

研究分野：人間情報学、知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット、知的情報処理

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化・労働人口減少といった社会的背景から、日常生活支援・医療・介護・福祉・公共サービス等の分野における社会基盤として、「人間作業の支援または代替が可能なロボット」の技術高度化と早期普及が期待されている。人間共存型ロボットは、人間とロボットが混在して活動空間を共有する環境において、安全性と作業性を両立して運用される必要がある。しかし、接近～接触の極近距離における人間とロボットのインタラクションに関する研究はこれまで限られてきた。その背景には、「絶対安全」を実現するために、ロボットの人間への接近・接触を禁忌とし徹底的な回避を行動原理とする考え方が、従来の産業機械分野に端を発して根強く浸透していたことが挙げられる。そこで、可能な限りリスク低減しつつ接近・接触を積極的に許容する新たな人間共存型ロボットの基盤技術が必要と考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究は、接近～接触の極近距離において人間と人間共存型ロボットが心理的・物理的なインタラクションを安全・安心・円滑に達成するための、ロボットが人間へ能動的に働きかける人間協調技術について取り組む。申請者らがこれまで開発してきた人間共存型ロボット TWENDY-ONE・人体運動再現ヒューマノイド WABIAN 等の特徴ある独自ハードウェア技術を活用するとともに、過去の研究で得られた人間協調技術を展開することで、独創的で確度の高い研究が期待される。

3. 研究の方法

接近～接触の極近距離における基盤技術として、特に次の3課題を設定し取り組む。(A)接近～弱い接触による協調的な意図伝達：人間とロボットが互いに移動軌道を調整するための意図伝達手法を開発する。(B)人間-ロボットの接触ダイナミクスモデル：3次元運動計測・力学解析に基づき、接触における人間-ロボットの力学的ダイナミクスをモデル化する。(C)強い接触による協調的な人間運動の誘発：ロボットが人体へ力を加える強い接触によって、人間の各関節・筋肉へ力をアシストし、自然に人間の全身運動を誘発する協調技術を開発する。

4. これまでの成果

(A)接近～弱い接触による協調的な意図伝達：これまでない能動的な接触を前提とした人間との協調的な働きかけ戦略を構築することができた。環境状況や相対距離に応じて適応的に働きかけ手法を変更させていく移動行動戦略を、物理的側面だけでなく心理面を考慮して構築できた。2個体の距離・意図伝達の強度・移動効率の関係性について、特に、人間や周囲の環境情報に関する計測パラメータについて、定性的な分析にとどまらず定量的な分析（姿勢形成や認識にかかる時間、ロボットの速度・加速度）まで踏み込むことができた。得られた知見は、ロボット制御に必要な情報の取得、人間と人間共存ロボットにおける双方向の意図伝達手法のための基礎理論として利用できる。

(B)人間-ロボットの接触ダイナミクスモデル：人間とロボットとの安全な接触を工学的に保障するための、接触ダイナミクスモデルを構築することができた。働きかけ部位や作用させる力ベクトルなどの具体的なパラメータ決定法についても言及することができた。人間とロボットの接触場面における両者の運動制御モデルの構築については、いずれも受けた外力にもとづいて軌道を修正することで、適応が可能と考えられた。これに基づき転倒回避を例とした軌道修正のモデルを構築し、2足歩行ロボットでその効果を確認できたことから、運動制御モデルの構築の基礎概念を確立できたと考えている。

(C)強い接触による協調的な人間運動の誘発：強い接触時における人間の動作誘導機序や心理面を定量化するための生理指標について明確にすることができた。有限要素モデルの構築、個人への適応技術、人間の動作意図を検知するセンサモジュールの構築についても取り組むことができた。運動の動作効率や運動生成に必要な心理的注意量の増減の解析を基にした全身協調運動ダイナミクスモデルの構築については、ロボットの強い接触に対する人間の心理的注意量の増減について、質の良いデータを収集可能な実験システムを構築することができた。これらのデータを用いることで、全身協調運動動的モデルの構築作業を円滑に進めることができた。

5. 今後の計画

今後は、個々の技術を体系化し、基盤的な技術まで昇華させ、統合化に向けたモジュール化を図る。また、実際の人環境下へロボットを導入し、統合実証実験を行うことを考え、いくつかのシナリオにおける人間ロボットの協調移動行動を構築していく。

(A)接近～弱い接触による協調的な意図伝達：人間とロボットが互いに移動軌道を調整しあうための協調的な意図伝達手法を、より現実に近い動的な環境に適用させる。これまでは、相対速度が比較的小さいすれ違いを想定していたが、実際の人環境化における流れのある環境でのすれ違いや複数人とのすれ違いに対応するための、協調移動行動戦略を構築する。

(B)人間-ロボットの接触ダイナミクスモデル：2足ヒューマノイドロボットが、例えば手すりに体を預けつつ歩行するなど、他の物体から静的な力を受けつつ歩行することの実現を目指す。続いて、例えば他者と接触しつつすれ違うなど、他の物体から動的な力を受けつつ歩行することの実現を目指す。

(C)強い接触による協調的な人間運動の誘発：触診ロボットを用いて、ロボットによる強い接触をとともなう運動によってもたらされる人間の心理状態変化の推定を行う。

さらに心理的な負荷が高いと考えられる強い接触、具体的には、歩行リハビリテーションにおけるロボットの歩行への介入、に関する研究を実施し、それによってもたらされる人間の心理状態変化を推定する実験を実施する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

【論文】約50件

- Learning to Perceive the World as Probabilistic or Deterministic via Interaction with Others: A Neuro-Robotics Experiment, S. Murata, Y. Yamashita, H. Arie, T. Ogata, S. Sugano, and J. Tani, IEEE Tran. Neural Networks and Learning Systems, pp. 1-19, 2015.

- Autonomous online generation of a motor representation of the workspace for intelligent whole-body reaching, L. Jamone, M. Brandao, L. Natale, K. Hashimoto, G. Sandini, and A. Takanishi, Robotics and Autonomous Systems, 62 (4), pp. 556-567, 2014.

【招待講演】約15件

- 藤江 正克, “ヘルスケア分野におけるロボット技術の現状と展望, 金沢大学医薬保健研究域保険学系看護科学領域 臨床実践看護学講座 附属健康増進科学センター 教室同門会, 2015.

- Atsuo Takanishi, “Humanoid Robotics Research and Its Applications, 2014 IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics, 2014.

【国際会議】約110件

- Intent Communication in Navigation through the Use of Light and Screen Indicators, M. Shrestha, T. Onishi, A. Kobayashi, E. Uno, H. Yanagawa, Y. Yokoyama, A. Schmitz, M. Kamezaki, S. Sugano, Proc. ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interaction (HRI2016), 査読有, paper no. B3, 2016.

【学会等における発表】約100件

- 接触による働きかけを用いた協調移動～人間共存環境に応じた移動・働きかけ戦略の構築～, 野久, 宇野, 柳川, 横山, Shrestha, Schmitz, 菅野, Robomec 2015, 査読無, 2P1-L04, 2015.

【受賞】約10件

ホームページ等

[1] 菅野研 Web ページ:

<http://www.sugano.mech.waseda.ac.jp/jp/>

[2] 高西研 Web ページ:

<http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/>

[3] 藤江研 Web ページ:

<http://www.fujie.mech.waseda.ac.jp/>