

知能ロボットと人間との相互誘導に関する研究

研究代表者 菅野 重樹
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

1. 研究課題

本研究は、接近～接触の極近距離において複数の人間とロボットが協調的な心理的・物理的インタラクションを安全・安心・円滑に達成するための、協調技術を開発する。移動ロボットに関する研究の多くは、人の安全を第一に考え、ロボットと人が接触しないように回避させるような行動制御を採用している。例えば、人とすれ違う際には、検出した人とすれ違うタイミングの位置を予測してその領域を回避する経路を選択するといったものである。この戦略では、ロボットがいったん停止して人をやり過ぎたり、大きく人間を避けて移動したりするため、時間を要する上に広いスペースが必要になる。ロボットの効率的な作業遂行のためには、接触といった働きかけによる経路創出を行いながらも安全に移動できるようになる必要があると考えられる。特に、複数の人と移動空間を共有して人共存ロボットが移動する場合には、人に対して安全かつ効率的に、心理に配慮した接触を行い、人を意図した方向へ移動させることが必要である。また、混雑環境では人からロボットへの接触にも対処する必要がある。そこで本研究では、自律移動ロボットにおいて軽接触をしながらも移動目的を完遂させるための移動制御手法を提案する。実践的な環境においても導入できるように、動的な環境における接触される側の人の心理を考慮しつつ、接触する際の状況に最も適した接触を行う接触システムを構築する。この接触システムを構築するために、さまざまな状況下にて実際に人に対してロボットがさまざまな方法、角度で接触をする実験を行い、動的・静的な環境下におけるロボットの接触に対する人の移動傾向や心理反応を分析する。得られた実験結果から状況に応じて接触様式を選択的に使い分けられるシステムを作成し、評価する。

2. 主な研究成果

軽接触を利用して人の移動を促しながら自身の移動を完遂させる移動制御手法を開発した。接触される人の安全性や不快感を考慮しつつ、状況に適した接触(能動/受動接触)を行う。

2. 1. 接触の状況と分類

雑音の多い場所で人が通路を塞いでいる場合では、声がけが上手くいかないため、気付かせ接触をしたり、発声することが相応しくない場所では、軽く触れて移動を促したりすることができる。また、狭い通路では、人がよろめいたりしてロボットが接触される場合も考えられる。つまり、進路を塞いでいる人に移動を促すためにロボットから人へ接触する「能動接触」と、人から接触してきた際に衝撃緩衝を行う「受動接触」に分類できる。ここで、接触のためのいくつかの条件を考える。まず、接触を行う状況には、人がロボットの存在に気付いていないという前提があるため、人がロボットを視認可能な 135° – 315° (図1に示すように、ロボットと同方向を向いている場合を 0°) では接触を行わない。また、心理面から胸や腹などへの接触は避け、移動誘導しやすい背中と肩を

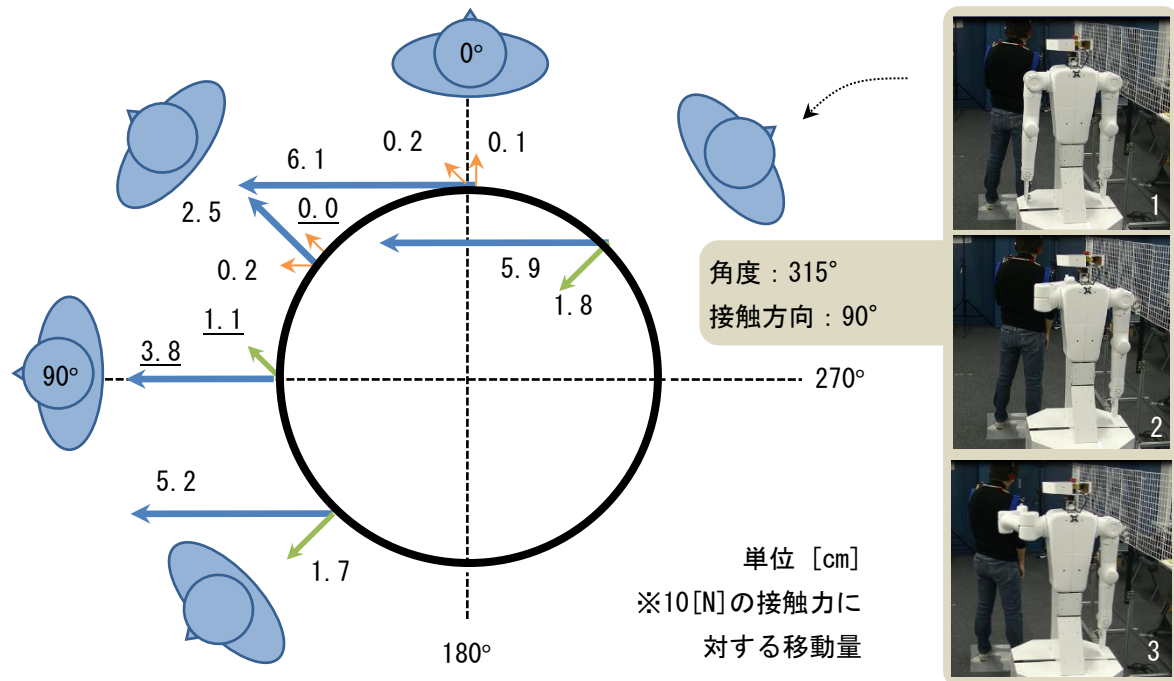


図1 移動性評価マップ(無印:肩接触, 下線:背中接触)

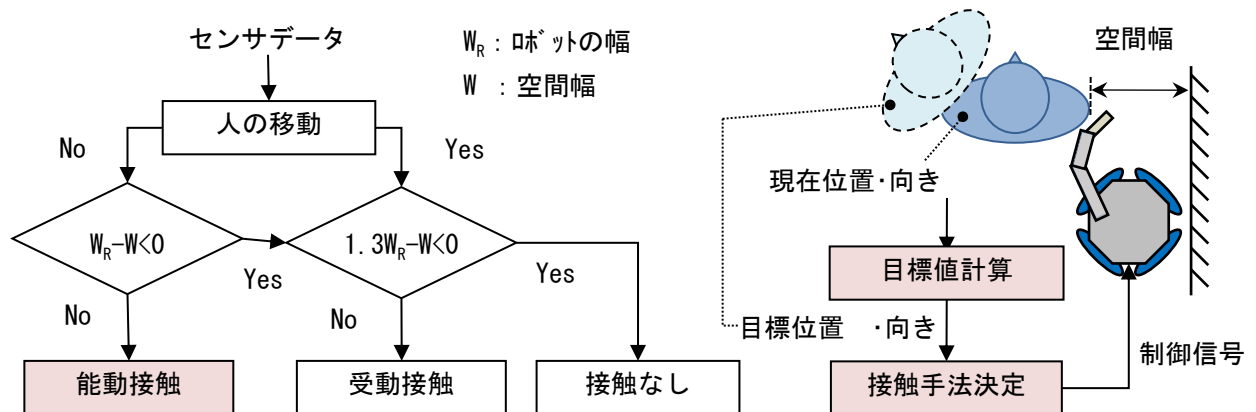


図2 軽接触制御システムおよび能動接触制御

接触箇所とした。

2. 2. 主張・同調軌道計画手法

ロボットが通路を通り抜けるには、自身が通り抜けに必要な幅と、通路を塞いでいる人が移動すべき位置・向きを認識している必要がある。そこで、まず、人の向き(45°刻み5通り)、接触部位(肩・背中)、接触力方向(人を自然に誘導可能なものを選定)をパラメータとして、人に10[N]の接触力を加えた際の人の移動量[cm]を算出した。図1に示すように、人を移動させるには多くの場合で90°方向へ接触が有効であり、人が45°方向を向いている場合には45°方向への接触が有効であることが分かった。接触の形態は、算出した空間幅 W に基づき選択する。人の移動がなく W がロボット幅 W_R より小さい場合は能動接触、 W が W_R の1.3倍まであれば受動接触、それ以上であれば、接触せずに通り抜ける(図2左)。能動接触では、通り抜け通路幅の確保のため、人の移動目標値の算出、そのための接触手法(図1の移動性評価マップに基づき決定)の導出を行う(図2右)。アームは一定の低速度で動作し、人が接触の途中で動いた場合は停止、接触力がある一定値(25[N])を超えた場合には、



図3 実験シーン(受動接触→能動接触→通り抜け)

転倒危険性が高いと判断し接触を中断する。受動接触においても、人から加えられる力が一定値(25 [N])を超えた場合やアームを押し込まれ量が一定値を超えた場合には、人からの能動的接触と判断し、アームを固定し後退する。

2. 3. 実験結果とまとめ

状況に応じて接触形態・手法を使い分け、適切に移動誘導ができること、接触に対する受容性について評価を行った。ここでは、典型的な例を紹介する。図3に示すように、はじめは通路幅が狭いため受動接触制御を行っていたが、人がさらに後退して道を塞いでしまったため能動接触を行い、移動誘導により通路幅を確保できていることがわかる。アンケートの結果、能動接触を用いた場合には、通り抜けの際の不自然さや不快感は能動接触を用いない場合と比較して多少大きくなったが、恐怖感に関しては大きな差異は見られなかった。以上より、ロボットが通路幅によって適した接触形態・手法を判別し、能動・受動接触を切り替え用いつつすり抜けを行う軽接触移動制御システムの有用性が確認された。

3. 共同研究者

亀崎 允啓 (理工学術院総合研究所・主任研究員)

4. 研究業績

4. 1. 学術論文

- [1] Ryan Ong, Mitsuhiro Kamezaki, Yuhan Li, and Shigeki Sugano, “Cooperative Movement based Path Planning with a Mobile Robot in a Multi-Agent Environment Using Deep Reinforcement Learning,” Proceedings of International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM 2021), June 2021. (to be published)
- [2] 松繁怜, 亀崎允啓, 葛西優介, 菅野重樹, “操作入力と動作出力の差分に着目したパーソナルモビリティの不整地運転支援システムの開発と評価”, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2020), pp, 3058-3061, 2020年12月.
- [3] 斎藤喬介, 亀崎允啓, 柳川勇人, 大西智也, 小林彩乃, シュレスタ ムーンディプ, 菅野重樹, “異なるコンテキスト下での自律移動ロボットの行動に対する人の行動・心象分析”, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2020), pp, 1025-1028, 2020年12

月.

- [4] 濱田太郎, 亀崎允啓, 李羽哈, 菅野重樹, “深層強化学習シミュレータを用いた人混み環境における移動ロボットの能動的働きかけ効果の検証”, 第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2020), pp, 1021-1024, 2020 年 12 月.
- [5] 金田太智, 亀崎允啓, 円谷優佑, 平山三千昭, 菅野重樹, “Inducible Social Force Model に基づく混雑環境下での自律移動ロボットの被接近時回避手法の開発”, 第 38 回日本ロボット学会学会学術講演会論文集(RSJ2020), paper no. 3A2-03, 2020 年 9 月.
- [6] 斎藤喬介, 河野遼介, 平山三千昭, 亀崎允啓, 菅野重樹, “移動ロボット軌道計画のロバスト化に関する研究～人の速度ベクトルの保持可能性および測定誤差の推定～”, 第 38 回日本ロボット学会学術講演会論文集(RSJ2020), paper no. 3I1-04, 2020 年 9 月.
- [7] 濱田太郎, 斎藤喬介, 金田太智, 平山三千昭, 亀崎允啓, 菅野重樹, “自律移動ロボットのサービスタスク運用のための先導・追従行動計画フレームワークの提案”, 第 38 回日本ロボット学会学術講演会論文集(RSJ2020), paper no. 3I1-03, 2020 年 9 月
- [8] 平山三千昭, 亀崎允啓, 河野遼介, 菅野重樹, “Iterative Dynamic Waypoint Navigation による複数移動障害物の回避軌道計画とその計算効率化”, 日本機械学会 2020 年度年次大会, paper no. J16106, 2020 年 9 月.
- [9] 松繁怜, 亀崎允啓, ラン ドンウォン, 森大河, 中野将尚, 矢野裕季, 瀬古俊一, 倉橋孝雄, 菅野重樹, “パーソナルモビリティのための Passability Index に基づくプロアクティブ操作支援の提案”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 論文集(Robomech'20), 2A1-001, 2020 年 5 月.
- [10] 金田太智, 亀崎允啓, 円谷優佑, 平山三千昭, 菅野重樹, “Inducible Social Force Model を用いた複数人移動予測に基づく混雑環境下でのロボットの接近・接触移動”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 論文集(Robomech' 20), paper no. 2A1-C01, 2020 年 5 月.

4. 2. 総説・著書

4. 3. 招待講演

4. 4. 受賞・表彰

- [1] 2021 年 3 月：日本機械学会 情報・知能・精密機器部門賞 優秀講演奨励賞, 2020 年度 機械学会年次大会, 日本機械学会 (学生)
- [2] 2020 年 12 月：SI2020 優秀講演賞, 第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (深層強化学習)
- [3] 2020 年 12 月：SI2020 優秀講演賞, 第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (印象評価)

4. 5. 学会および社会的活動

5. 研究活動の課題と展望

本実験では接触対象となる被験者が 1 人だったが, 複数人で通路を塞がれている場合には左右アームを同時に制御しつつ接触後の人の移動を考慮に入れた移動を行う必要があることから, 今後は複数人に対する接触制御システムについても検討を行う予定である.