

人間と協調する荷物搬送型倒立二輪ビークルの研究

Research on an Inverted Two-Wheeled Vehicle for Cargo Transport that Cooperates with Humans

電気電子情報通信工学専攻 田中康斗

Department of Electrical, Electronic and Communication Engineering, Yasuto TANAKA

1. 背景・目的

近年、少子高齢化の影響で若年層の人口割合が減少しており、それに伴って労働力不足が深刻化しているという問題がある [1]。労働力不足を解消するために期待されているのが、ロボットの活用である。しかしながら、現状あらゆる環境で全自動動作可能なロボットの実現は難しい。そこで、人間がロボットを扱うことで使用環境を広げつつ人間の負担をロボットが減らす、人間協調ロボットに関する研究が多く行われている [2, 3]。その中でも、本論文では HRI(Human-Robot Interaction) と呼ばれる、人間との直接的な相互作用を持つロボットを対象とした。そのようなロボットの中で、特にラストワンマイル問題を解決するために荷物搬送の補助を行うロボットに着目し、人間と協調しながら人間の運搬負担を減少させるようなロボットを実現することを目的に研究を行った。

このロボットの原型は既に現研究室にて作成されており、このロボットを用いた研究として、インピーダンス制御やアドミタンス制御といった人間協調制御手法を適用させることで人間が荷物を運ぶ際の人力低減の実現が既に行われていた [4, 5]。その研究で使用されていたロボットの骨組みを用いつつ、センサやアクチュエータの修正を行った。本研究で使用したロボットの概要を図 1 に示す。荷物を載せないときの車体重量は約 18 kg, 左右車輪間の幅 62 cm, 奥行 32 cm, 車体中心からハンドルまでの高さ 71 cm となっている。本研究ではアドミタンス制御と本研究で提案した制御系を比較することによってより人間の負担を低減させることを目指した。さらに旋回動作は実現されていなかったためそれも同時に行った。

2. 提案する人間協調制御手法

本論文ではその目的を達成するため、アドミタンス制御と可変パワーアシスト制御を組み合わせた人間協調制御を構築しその制御系をロボットに適用した。この制御系を本研究では提案手法と定義し、その制御のブロック線図を図 2 に示す。従来手法では速度制御ベースのインピーダンス制御 (アドミタンス制御) を用いることにより、動作に必要な力が増加すると一定の速度を出すようにロボットアクチュエータが駆動力を増加させる。しかし、必要な力が増加しないと一定の速度を出せないため積載重量が多くなったときには必要な力が増加してしまうという問題があった。そこで提案手法ではアドミタンス制御と積載重量に応じた可変パワーアシスト制御を構築することで積載重量が多くなったときにも積載重量が少なくなったときと同じような力で大きな速度を出せるようにした。図 2 中の DOB は外乱オブザーバで、車輪に対して加わる外乱を除去する役割を持つ [6]。

3. 実機実験

提案手法の有用性を評価すべく、実機実験を行った。様々な環境で活用できるロボットであることを示すため、平地 (直進, 旋回), 階段環境を用意して実験を行った。ここでは行ったもののうち平地環境での旋回, 階段環境での実機実験について記載する。旋回動作は 6 軸力覚センサから得られるヨー角のモーメントを用いて車輪のトルクを左右に分配し旋回走行させた平地環境では図 3 のような方法で実機実験を行った。階段環境では図 4 のような環境にて実機実験を行った。次に、実機による 15kg と 20kg の旋回動作実験の力応答, ヨー角モーメント結果を図 5a, 図 5b, 図 6a, 図 6b に示す。制御なしとアドミタンス手法, 提案手法の力応答結果を示す。制御なし, アドミタンス手法よりも提案手法の方が人間の負担を減らす効果が高いことが結果からわかる。ただし、図 7a は積載重量が 15kg の場合を、図 7b は積載重量が 20kg の場合をそれぞれ示している。結果より人間がロボットに加

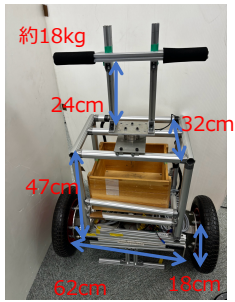


図 1: 使用ロボット

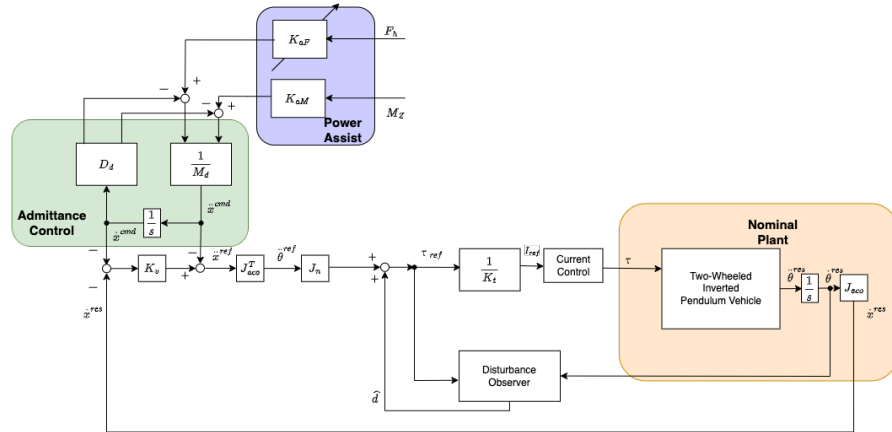


図 2: 提案手法のブロック線図

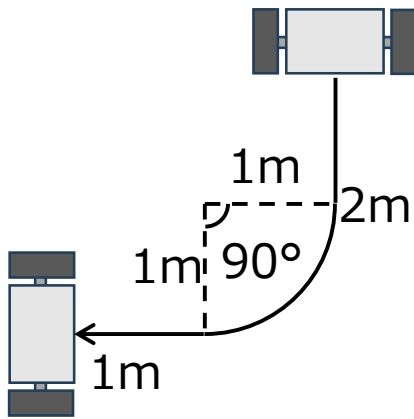


図 3: 巡回走行実験イメージ図

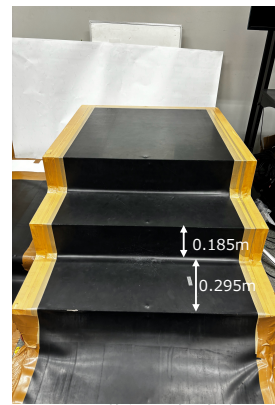
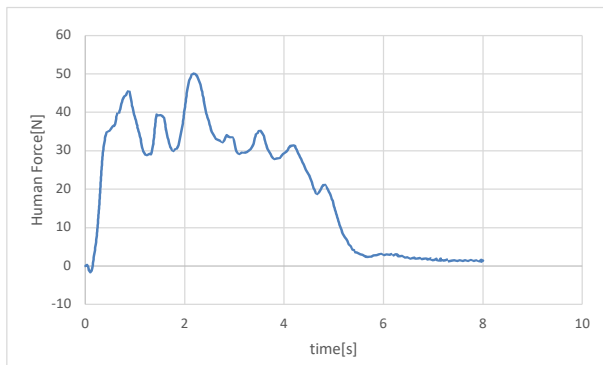
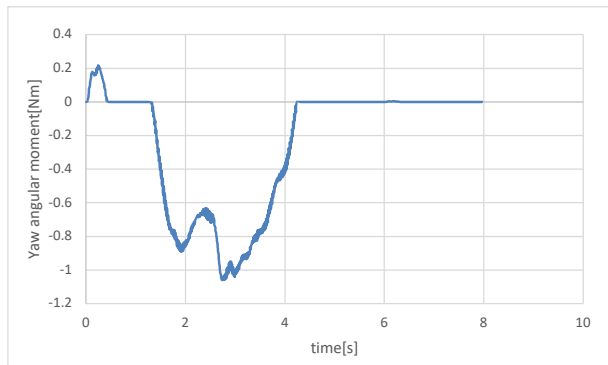


図 4: 階段環境 (概観)

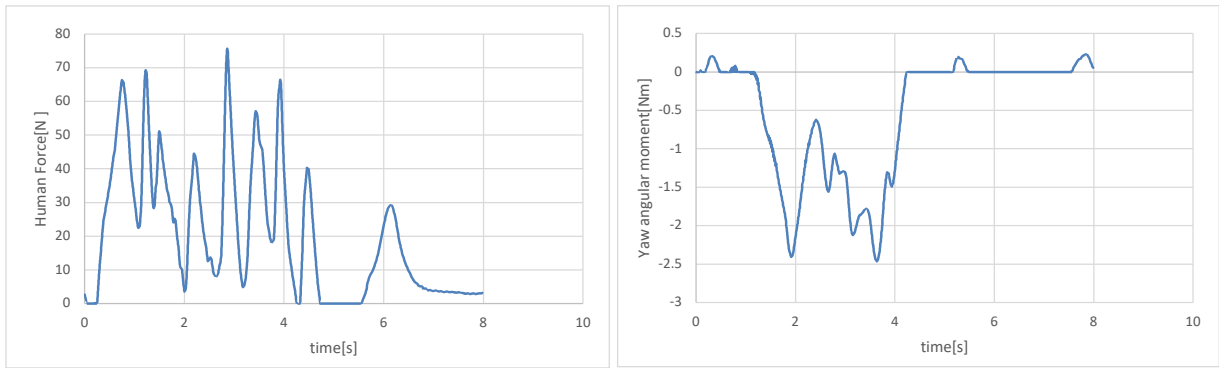


(a) 力応答



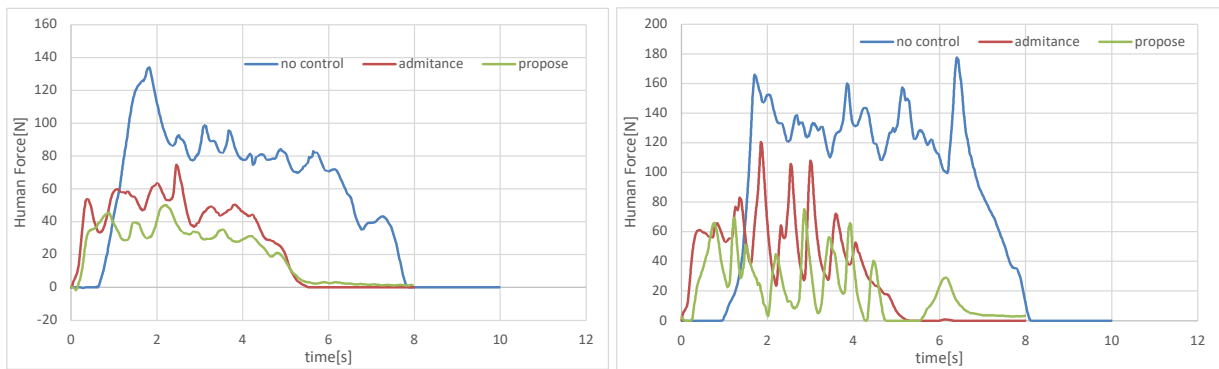
(b) ヨー角モーメント

図 5: $M_I=15$ kg の時の提案手法による巡回動作実験



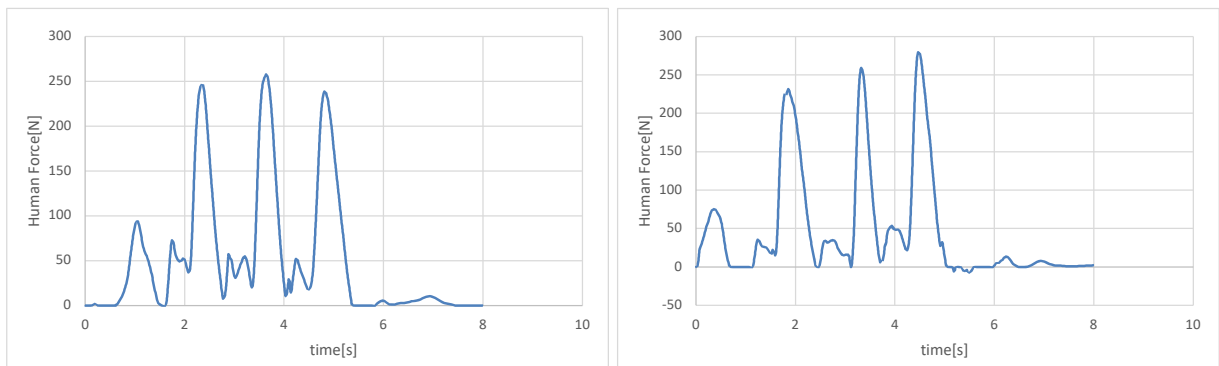
(a) 力応答 (b) ヨー角モーメント

図 6: $M_l=20$ kg の時の提案手法による旋回動作実験



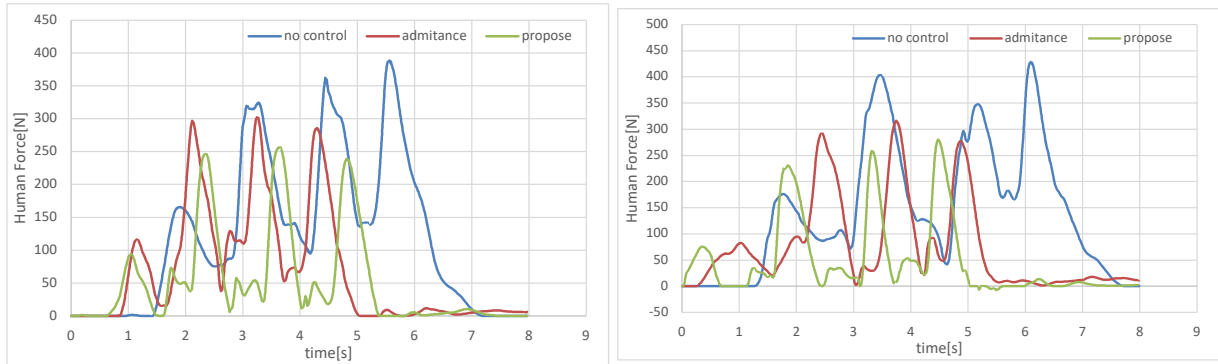
(a) $M_l=15$ kg の時の力応答 (b) $M_l=20$ kg の時の力応答

図 7: 旋回動作実験の力応答の比較



(a) $M_l=15$ kg の時の力応答 (b) $M_l=20$ kg の時の力応答

図 8: 提案手法による階段乗り上げ動作実験



(a) $M_l=15$ kg の時の力応答

(b) $M_l=20$ kg の時の力応答

図 9: 階段乗り上げ実験の力応答の比較

えた力のピーク値は積載重量が 15kg の時,20kg のときそれぞれ制御なしのときより 1/2 程度減少していることが分かる. 次に, 実機による階段乗り上げ実験の力応答結果を図 8a, 図 8b に示す. 制御なしとアドミタンス手法, 提案手法の力応答結果を示す制御なし, アドミタンス手法よりも提案手法の方が人間の負担を減らす効果が高いことが結果からわかる, ただし, 図 9a は積載重量が 15kg の場合を, 図 9b は積載重量が 20kg の場合をそれぞれ示している. 結果より人間がロボットに加えた力のピーク値は積載重量が 15kg の時,20kg のときそれぞれ制御なしのときより 1/3 程度減少していることが分かる. これらの結果より, 提案手法が有用であることが示された.

4. 結論

本研究では倒立二輪型ロボットを用いた新しい制御方法を提案した. 本研究の手法を用いることで, 倒立二輪型ロボットの人間との協調制御時の人間の負担が減少することが確認された. さらに旋回動作を実現させたことにより人間協調ロボットの強化につながったといえる. また, この手法によって平地や階段といった環境においても人間が負担なく荷物の搬送を行えることが確認された. これらの事実から本研究の有用性を示すことができたとともに, 空間知能化に向けた人間協調制御の発展に寄与したと考えられる.

5. 参考文献

- [1] "高齢化の現状と将来像", 内閣府 令和 5 年版高齢社会白書 第 1 章 高齢化の状況 (第 1 節 1) ", https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/html/zenbun/s1_1_1.html, 2024/1/17 取得
- [2] "高松淳. ヒトとロボットの協調. 日本ロボット学会誌 Vol37 No.4 pp293-296, 2019."
- [3] "T. Kanda, H. Ishiguro, T. Ono, M. Imai, and K. Mase. Multi-robot cooperation for human robot communication. In Proceedings. 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp. 271–276, 2002."
- [4] "松原 央堯 (MatsubaraHironori). 人間と知的に協調する倒立二輪型荷物搬送ビークルの実現 (realization of intelligent cooperation with humans for inverted two-wheeled luggage transport vehicle), 2021."
- [5] "Kazu Nagaya, Takashi Ohhira, and Hideki Hashimoto. Developing power-assisted two-wheeled luggage-carrying robot for stair-lifting using admittance control 2023 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)"
- [6] "Kiyoshi Ohishi, Kouhei Ohnishi, and Kunio Miyachi. Torque-speed regulation of dc motor based on load torque estimation method, 1983."