

## 2023年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	広島大学 先進理工系科学研究科 機械工学プログラム
職位または役職	准教授
氏名	村松 久圭

### 1. 研究題目

三脚車輪移動する移動型四腕ロボットの開発と制御

### 2. 研究目的

本研究は整地に適した車輪移動能力・不整地に適した三脚車輪移動能力・四腕による把持操りの複合能力を有する移動型四腕ロボットの開発を目的とする。このうち助成期間においては、ステッピングモータおよびインホイールモータを利用した軽量・高トルクな次世代機の開発と、脚移動能力および車輪移動能力を融合した三脚車輪移動能力の動作制御アルゴリズム開発を目標とする。本研究を通して汎用的な移動能力および作業能力を有する移動型四腕ロボットを開発し、人命救助、災害復旧、そして建設現場における作業の自動化および安全化に寄与することが期待される。

## 3. 研究内容及び成果

報告者はこれまで図1のような駆動輪付き12軸移動型四腕ロボットをサーボモータを用いて開発した。本ロボットは、先端に駆動車輪が取り付けられた3自由度の前腕、2つの直列弾性を有する3自由度後腕、背面の2自由度上腕を有する。2つの後腕は歩行移動および物体の把持・操りの双方に利用され、上腕のエンドエフェクタは他腕との協調によって位置および姿勢を決定する。さらに胴体下部には駆動しない受動車輪が2つ取り付けられており、歩行中の胴体支持および車輪走行に利用される。過去、本ロボットは駆動車輪付きの前腕と2つの後腕を用いた歩行動作(図1左)、前腕の駆動車輪と胴体付いた受動車輪を用いた車輪走行および把持(図1中央)、カバンピックおよび運搬(図1右)まで実現してきた。

(YouTube 動画: <https://www.youtube.com/watch?v=SI8eULgeWOM>)



図1. 移動型四腕ロボット.

移動型四腕ロボットの制御として、図2左のような左右並行移動を実現した。さらに、多数のブロックを配置した不整地における凹凸地面移動を図2右のように実現した。

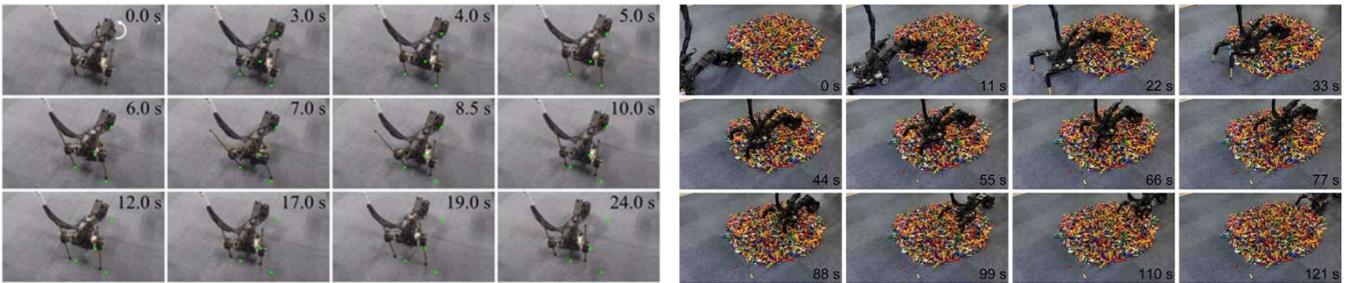


図2. 実現した移動型四腕ロボットの左右移動と凹凸地面移動.

これまでの移動型四腕ロボット(図1)が持つ移動・運搬能力を維持しつつ、新たに転がり移動機能と3自由度の受動車輪を搭載した新しい移動型四腕ロボット(図3)を開発した。これにより、よりエネルギー効率の高い移動能力の獲得と、これまでの移動型四腕ロボットが有していた低い旋回能力の改善を実現した。そして、本ロボットはインホイールモータ、ステッピングモータ、さらにハーモニックギアを用いて新たに構成し、軽量化および高トルク化に成功した。また、高ギア比化による逆駆動性の低下は自重保持に寄与した。本ロボットの転がり実験を実施し、図3のように安定した転がり動作を確認した。

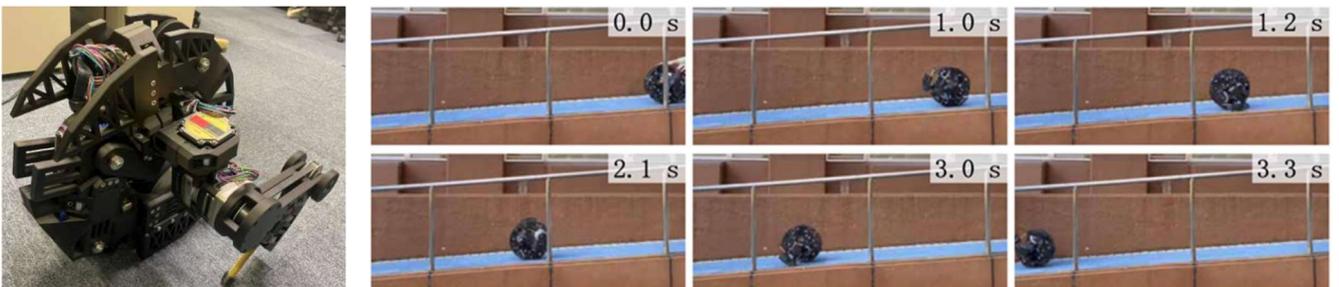


図3. 転がり移動実験.

#### 4. 今後の研究の見通し

---

- 操作ロボット開発

現在の操作ロボットは左手および右手用として左右に3軸ロボットが存在し、足に1軸のペダルがある。しかし、本構造は人間からの操作に適している一方で、移動型四腕ロボットの機能および自由度への対応が不十分であり、操縦に課題がある。これに対し、移動型四腕ロボットの自由度(12自由度)を移動自由度・操り自由度・基幹運動自由度に分類し、このうち、移動と操り自由度について遠隔操作が可能な操作デバイスを開発する。移動型四腕ロボットは移動について駆動車輪とステアリングに関する2自由度を有している。そこで、移動機能をペダルに統一して操作することとし、操作ロボットのペダルを2自由度化する。次に、移動型四腕ロボットのロール・ピッチ胴体姿勢、背腕のヨーおよびすくいに関する合わせて4自由度を操り自由度とする。これらの操作のため、左右それぞれ3軸であったロボットを単一の4軸操作ロボットとする。別途、胴体高さを操作する軸を単軸で準備する。なお、残りの基幹運動に関する5自由度はロボットの安定性や歩行生成の観点から自動制御する。

- 衝撃を緩和する柔軟関節開発

歩行および転がり中の衝撃を緩和し、機構の破断を防ぐため、移動型四腕ロボットの機構および関節へ柔軟体を配置する。変形と衝撃緩和のトレードオフから剛体部品と柔軟部品を実験検証を繰り返しつつ改良していく。

- 歩行・走行・転がり・操りの半自動遠隔操作制御

開発した操作ロボットを用いて、移動型四腕ロボットの歩行・走行・転がり・操りを移動型四腕ロボットが周辺環境から受ける反力を感じつつ操作可能であり、歩行・走行・転がり・操りを自動で安定化&動作生成する半自動バイラテラル制御を構築する。

- 統合&実験

実験室内に、多数のブロックによる不整地・平らな整地・カーペットによる坂・障害物を伴う物体搬送タスクを設置し、操作者は開発した操作ロボットを用いて、通しの実験にて環境移動&タスク実行を行う。これにより、移動型四腕ロボットが少数のモータ数で実現する多様な移動能力と操り能力の有効性を検証する。その後、屋外においても、遠隔操作により、移動型四腕ロボットがシームレスにアスファルト整地・芝生の不整地・坂・段差を踏破することを目指す。

#### 5. 助成研究による主な発表論文、著書名

---

##### 学術論文

- Hisayoshi Muramatsu, Keigo Kitagawa, Jun Watanabe, Yuika Yoshimoto, and Ryohei Hisashiki, "A Mobile Quad-Arm Robot ARMS: Wheeled-Legged Tripedal Locomotion and Loco-Manipulation," *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 37, no. 2, Apr. 2025.

##### 国際会議(査読付)

- Keigo Kitagawa, Jun Watanabe, and Hisayoshi Muramatsu, "Prismatic Joint Mechanism for Wheel-Legged Locomotion with Pushing Force Enhancement," *The 2024 16th IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2024)*, Ha Long, Vietnam, 8-11 January 2024.

##### 国内会議(査読なし)

- 吉本 結夏, 北川 敬悟, 村松 久圭, "移動型四腕ロボットの軽量化および高トルク化に関する検討", 第23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 (SI2023), 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター, 新潟, 2023年12月14日-12月16日.
- 渡辺 潤, 久敷 凌平, 吉本 結夏, 村松 久圭, "移動型四腕ロボットの移動動作遷移および動作生成", 第67回 自動制御連合講演会, 姫路商工会議所, 兵庫, 2024年11月23日-11月24日.

##### その他(特許など)

- 村松 久圭, 北川 敬悟, 吉本 結夏, "移動ロボット", 国立大学法人 広島大学, 特願 2024-108686, 出願日 2024年7月5日.