

補助事業番号 2024M-482  
補助事業名 2024年度 高可搬重量を実現する直動関節型移動ロボットの開発 補助  
事業  
補助事業者名 広島大学 村松 久圭

## 1 研究の概要

本研究は、移動型四腕ロボットの可搬重量を増強し、より重い物体の運搬・より高い胴体持ち上げを実現する直動関節機構を開発した。3次元操作力楕円体を用いて関節トルクがエンドエフェクタの作業力へ与える影響を解析した。さらに、開発した移動型四腕ロボットの可搬重量もまた解析した。開発した直動関節機構の出力、移動型四腕ロボットの可搬重量、歩行、車輪走行&運搬の実験を実施し、有効性を確認した。

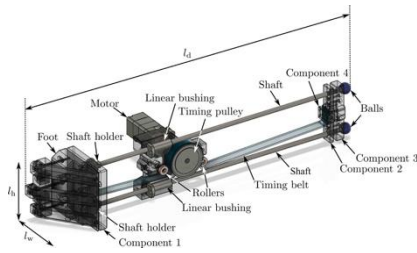
## 2 研究の目的と背景

災害地や危険地帯における人間の活動をロボットにより代替するため、移動型ロボットの研究が行われている。しかし、現在の多くの移動型ロボットは把持操り能力を有していない問題と不整地もしくは整地に特化した移動能力のみを有している問題がある。逆に、現在多く利用されている多軸マニピュレータといった汎用型ロボットは把持等のタスクが可能である一方で、設置型のロボットであり、移動能力を有していない。そこで、多様な移動能力と把持操り能力を有するロボットが求められている。本研究は整地における脚移動能力・不整地における車輪移動能力・脚を腕として用いることによる把持操り能力を兼ね備えた移動型四腕ロボットと、そのための直動関節機構を開発する。本ロボットが、環境が動的に変化する災害現場において普及し、人間が現在行っている危険地帯における作業を補助・代替することが期待される。特に、本研究で開発する直動関節機構により、移動ロボットの可搬重量が増強し、より重い物体の運搬・より高い胴体持ち上げによる歩行を実現する。

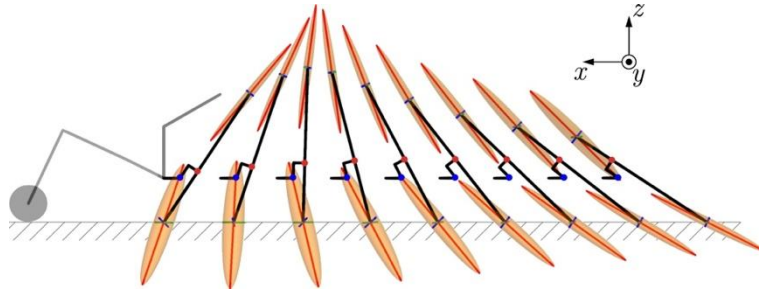
## 3 研究内容

<https://mdl.hiroshima-u.ac.jp/muramatsu/pages/re-ARMS/research.html>

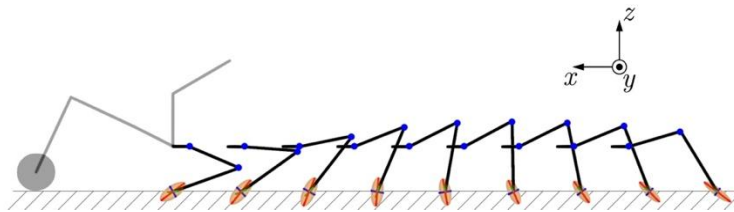
ギアボックスよりも軽量で減速可能かつ、高トルク/力変換比を実現する直動関節機構を開発した。2軸構成を採用することで、エンドエフェクタの回転自由度を拘束している。また、歩行用（左）と把持用（右）の2種類のエンドエフェクタを両端に備えている。設計した直動関節機構を実際に製作した。モータがプーリを回転させ、左右のエンドエフェクタに固定されたタイミングベルトを駆動することで、エンドエフェクタを直動させる。開発した直動関節機構は、移動型四腕ロボットの左右後腕に以下のように搭載した。



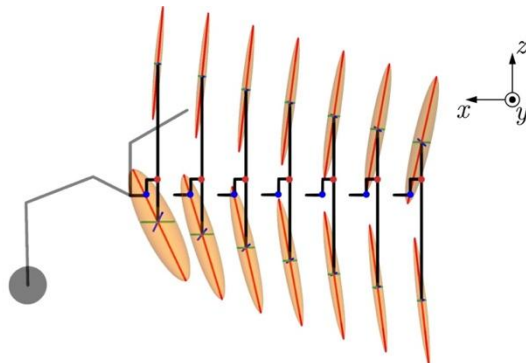
開発した直動関節機構を搭載した移動型四腕ロボットを操作力楕円体を用いて解析した。なお、モータトルクが $\|\tau\| \leq 1$ を満たす作業力 $F$ の集合が操作力楕円体である。即ち、操作力楕円体が大きければ大きいほど、その方向へ大きな力が発揮できる、と読み取れる。提案の直動関節機構と従来の回転関節機構の操作力楕円体を以下に示す。従来手法である回転関節機構と比較して、直動関節機構の方がより大きな操作力楕円体を示した。この解析により、直動関節機構が高いトルク／力変換比を有することを確認した。



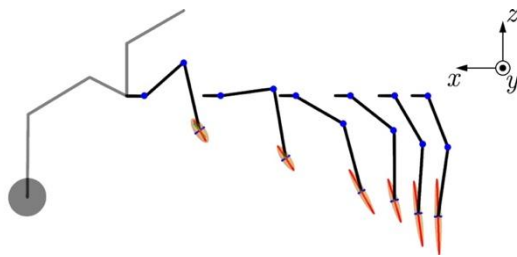
歩行中の直動関節機構の操作力楕円体



歩行中の回転関節機構の操作力楕円体



立ち上がり中の直動関節機構の操作力楕円体



立ち上がり中の回転関節機構の操作力楕円体

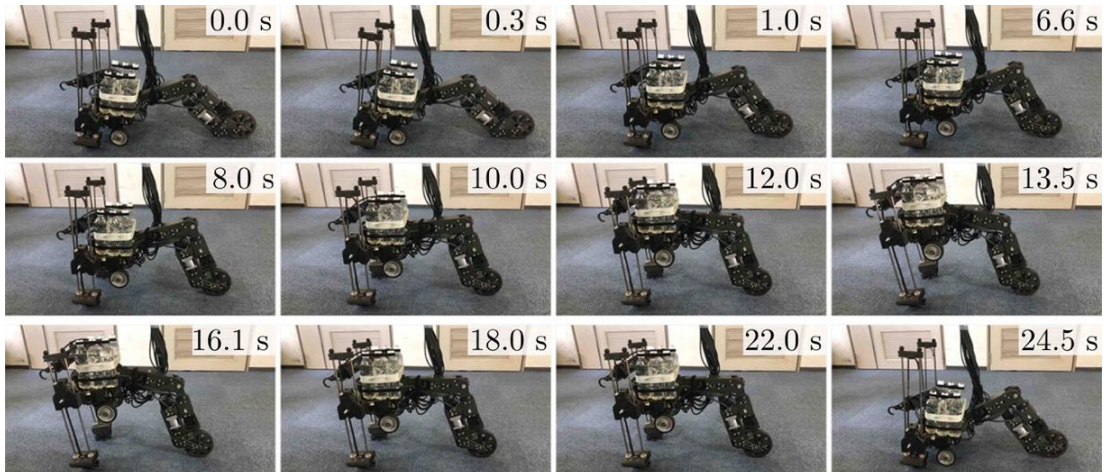
さらに、直動関節機構を搭載した移動型四腕ロボットの可搬重量を定義し、これを算出した。実際の立ち上がり姿勢における可搬重量の値は3.6 kgとなり、回転関節における2.1 Kgを上回る可搬重量を達成した。

実験により、直動関節機構の出力、移動型四腕ロボットの可搬重量、歩行、車輪走行&運搬の性能を確認した。まず、以下のように直動関節の最大力を計測した。理論値の96%の効率で、回転関節の3倍以上の力を直動関節が発揮した。

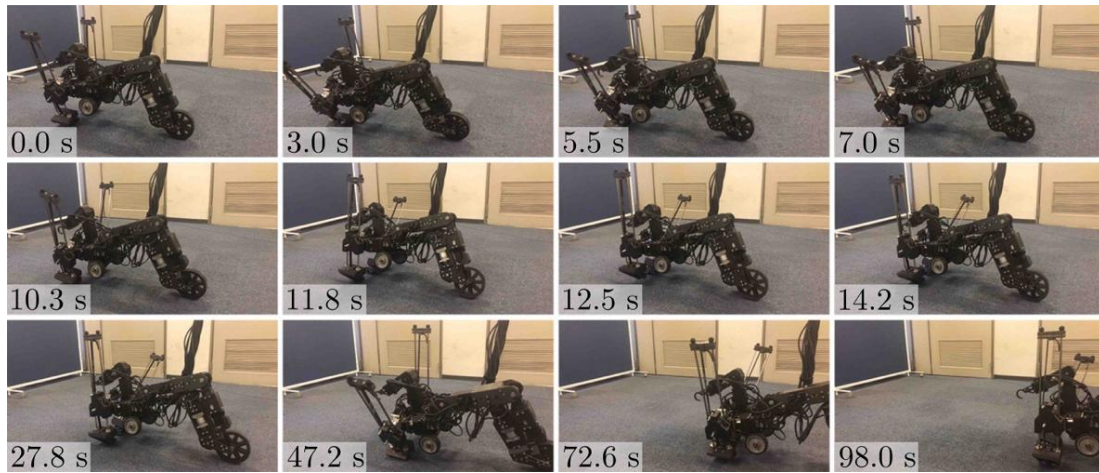


	直動関節	回転関節
理論値	318 N	90 N
実験値	304.7 N	83 N

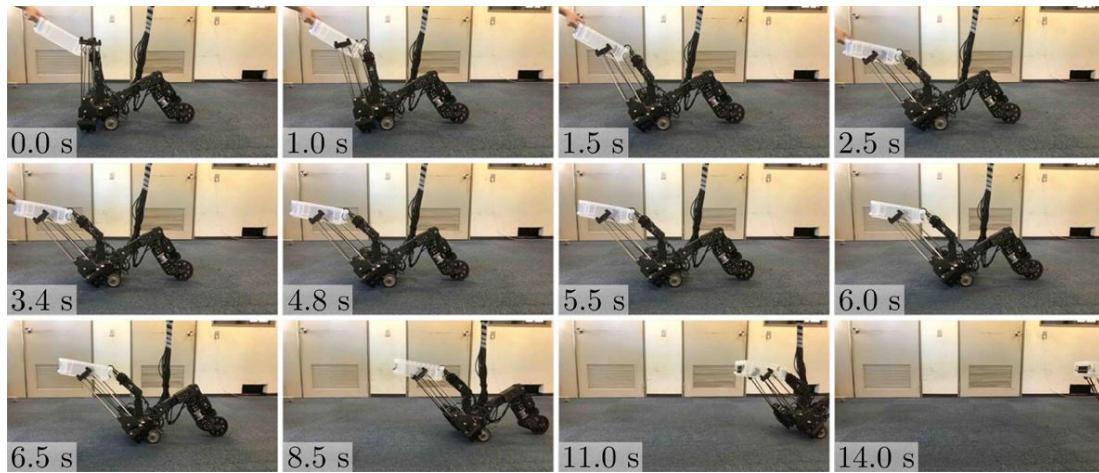
次に、理論計算により求めた3.6 kgの可搬重量を基準に、3 kgのペットボトルを持ち上げる可搬重量試験を以下の通り実施し、その性能を確認した。



最後に、本移動ロボットを用いて、歩行および車輪走行&運搬の実験を実施した。強化された可搬重量により、胴体支持のない三脚歩行が可能となり、さらに、直動関節に備わる2つのエンドエフェクタを活用して、歩行および車輪走行中の運搬を実施した。



歩行



車輪走行&運搬

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

将来的に、本ロボットは人命救助、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。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は村松がこれまでに開発してきた移動型四腕ロボット (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, pp. 489–499, Apr. 2025.) を直動関節の開発によりさらに発展させる研究として位置付けられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. 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.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当なし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 広島大学 工学部 (ヒロシマダイガク コウガクブ)

住 所： 〒739-8527

広島県 東広島市 鏡山 1-4-1

担 当 者： 准教授 村松 久圭 (ムラマツ ヒサヨシ)

担 当 部 署： 機械力学研究室 (キカイリキガクケンキュウシツ)

E - m a i l : muramatsu@hiroshima-u. ac. jp

U R L : <https://mdl.hiroshima-u.ac.jp/muramatsu>