

課題番号	Q21T-05
課題名（和文）	1自由度で駆動可能な多脚型ロボットの軌道追従制御の実現
課題名（英文）	Implementation of trajectory tracking control of multi-legged robot driven with only one degree-of-freedom
研究代表者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 工学部，先端機械工学科，助教 氏名 南斉 俊佑
共同研究者	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名
	所属（学部、学科・学系・系列、職位） 氏名

研究成果の概要（和文）

本研究の目的は、1自由度で推進および旋回が可能でかつ支持脚の滑りがない多脚型ロボットの軌道追従制御を実装することである。このロボットは、4節リンク機構で構成される全く新しい形態を持ち、旋回と推進について劣駆動であるという特徴がある。このようなロボットのための軌道追従制御系を設計する。そして、設計した制御系の有効性を実機実証によって検証する。その結果、直線や円といった軌道に追従可能なことを実証した。

研究成果の概要（英文）

The purpose of this study is to implement trajectory-tracking control for a multi-legged robot that can propel and turn in 1-DOF and has no support leg slippage. This robot has a completely new morphology consisting of a four-bar linkage mechanism and is characterized by an underactuated robot for turning and propulsion. A trajectory-tracking control system for such a robot is designed. The effectiveness of the designed control system is verified through experimental demonstration. As a result, it was demonstrated that the robot can follow trajectories such as straight lines and circles.

1. 研究開始当初の背景

多脚ロボットは、種々のアプリケーションの解決手法として広く利用されている。しかしながら、他の形態と比較してトルク・質量比のようなエネルギー効率の面では不利な点が指摘されている。

この問題の解決手法の1つとして、アクチュエータ数を減少させる手法が提案されている。しかしながら、これまでに提案された1自由度で駆動可能な多脚ロボットは、①旋回運動のためにアクチュエータを追加する必要がある、②支持脚が滑らなければ推進できないという2つの課題がある。この2つの課題はそれぞれのロボットの機構・形態が原因で発生しているため、解決のためには先行研究にない全く新しい斬新な形態のロボットが必要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、4節リンク機構の形態を持つ全く新しい多脚型ロボットを実現することである。この形態は、4節リンク機構の固定リンクを支持脚とし、それを歩行の周期に合わせて切替えることで支持脚の滑りのない歩行を実現する。

この新しい形態を持つロボットの実現に向けて、リアルタイムでフィードバック可能な実験環境を整備し、祈禱追従制御系の実装を通して、この形態の有効性を示す。

3. 研究の方法

まず、実機による軌道追従を行う実験環境を構築する。Fig. 1に示す様に、ARマーカを四隅に配置した領域に対して射影変換を施す。この領域内の実機に搭載したARマーカの座標を取得する。射影変換用のマーカを2m×2mの間隔で配置しロボットが軌道追従を行う範囲とした。Fig. 2に実機の実験環境を示す。また、Fig. 3の様にARマーカを実機に搭載した。

4. 研究成果

本章では、位置情報の取得法、Bluetoothによる

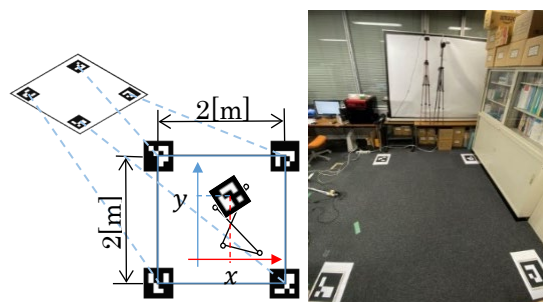
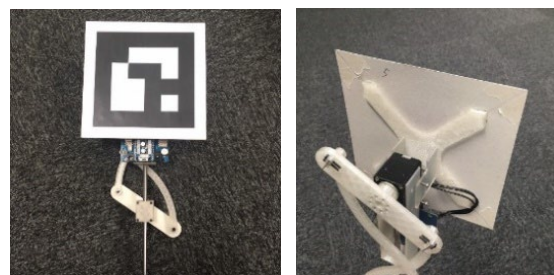


Fig. 1 射影変換の概略図

Fig. 2 実機の実験環境



(表)

(裏)

Fig. 3 マーカを搭載した実機

実機とPC間の無線通信、PID制御による軌道追従制御系を組み合わせたプログラムを実行し、実機による軌道追従の動作検証を行う。軌道追従制御系の有効性を検証する方法として、実機と目標軌道との偏差 e の推移を観察し、偏差が0に収束するかを確認する。

目標軌道となる直線は次式で定義される。

$$ax + by + c = 0$$

また、円軌道は、次式で定義される。

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

各軌道の条件を、Table 1に示す様に定めた。PIDゲインは、Table 2に示す様に設定した。検証を行う際のパラメータは、 $\alpha = \pi/6$ rad, $\beta[k] \leq |\pi/3|$ rad, $\beta[0] = 0$ rad, $\omega = 2.5\pi$ rad/s, サンプル周期を π/ω sとした。検証結果をFig. 4, Fig. 5, Fig. 6,

Table 1 各軌道の条件

軌道	条件		
直線軌道A	$a = 4$	$b = 1$	$c = -0.5$
直線軌道B	$a = 7$	$b = 1$	$c = 1.5$
円軌道A	$a = -0.5$	$b = 0.2$	$r = 0.4$
円軌道B	$a = 0.6$	$b = 0$	$r = 0.45$

Table 2 各軌道に対するPIDゲイン

軌道	K_p	K_i	K_d
直線軌道A	6.5	0.018	3
直線軌道B	12	0.01	5
円軌道A	14	4	5
円軌道B	12	0.3	4.5

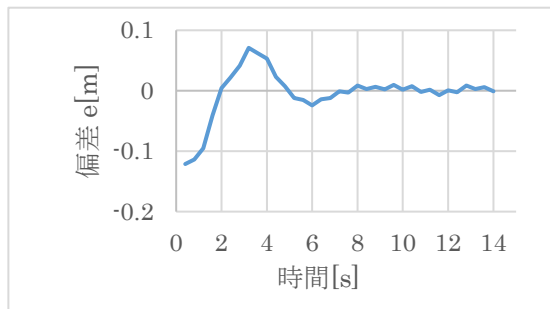


Fig. 4 直線軌道 A との偏差の推移

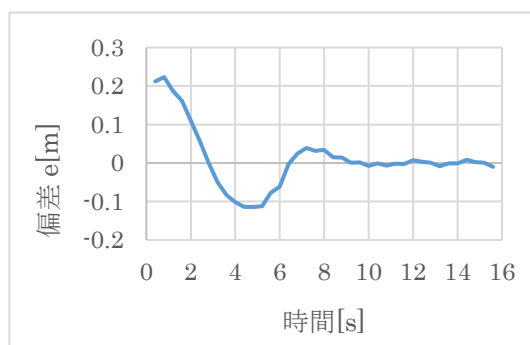


Fig. 5 直線軌道 B との偏差の推移

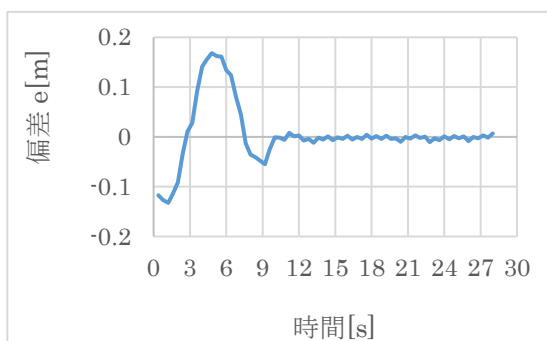


Fig. 6 円軌道 A との偏差の推移

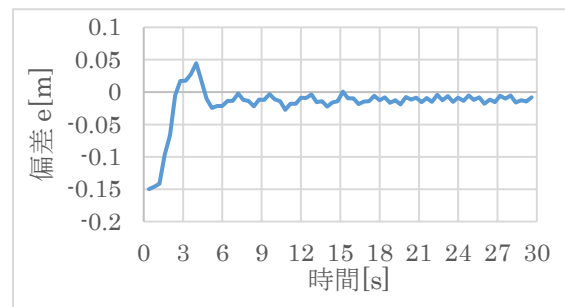


Fig. 7 円軌道 B との偏差の推移

の誤差と近似しているため、実機の位置情報を取得した際の誤差だと考えることができる。この検証により、実機を用いた直線軌道及び、円軌道に対する軌道追従制御系の有効性が証明された。

本研究では、実機に制御系を実装し、軌道追従制御系の有効性の証明を行った。実機の位置情報を取得するために、実機に搭載した AR マーカの座標を取得する方法を確立させた。また、Bluetooth を用いた無線通信の方法を確立させた。これらを組み合わせた実験環境を構築し、実機を用いた PID 制御による目標軌道への追従の検証を行った。検証結果から、4 脚歩行ロボットの目標軌道に対する偏差を観察し、追従していることが確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① Shunsuke Nansai, Yuki Ando, Hiroshi Itoh, and Norihiro Kamamichi, “Design and Implementation of a Lizard-Inspired Robot,” Applied Sciences, Vol. 11, No. 17, 7898. <https://doi.org/10.3390/app11177898>, 2021.

Fig. 7 に示す。

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 から、偏差 e が 0 に収束していることがわかるため、目標軌道に対してロボットが追従していることが確認できる。いずれの軌道も、0.01 m 以下の定常偏差があることが確認できた。この値の大きさは、マーカ座標の取得時