人間の搬送を目的とした油圧駆動型四足歩行ロボットの研究

-搭乗者の運動に起因する影響に関する実機とシミュレーションによる比較検討-

Research on Hydraulic Quadruped Locomotion Robots for Conveyance of a Human Body

-Comparison between Simulation and Experiment on Influence Generated by Motion of Crews-

正 羽多野正俊 (富山大), 正 高瀬博文 (富山大), 正 大住剛 (富山大)

正 小原治樹 (富山大), 〇学 和田英敬 (富山大学)

Masatoshi Hatano, Hirofumi Takase, Tsuyoshi Ohsumi, Haruki Obara and
O Hideyuki Wada ; Toyama University, 3190 Gofuku, Toyama, 930-8555

Key word; Hydraulic, Quadruped Locomotion Robot, Human body, Modeling

1 緒言

本研究室で製作したロボットを Fig.1 に示す。油圧駆動型四足歩行ロボットによって人間の搬送を行う場合、搭乗者の運動がロボットに与える影響について実験的解析と数学モデルに基づいた理論的解析を行う必要がある。そこで本稿では搭乗者を考慮した 10 リンクモデルと、ロボット単体のみの 9 リンクモデルについて実験結果と歩行シミュレーションを行った結果を比較するために、油圧シリンダを用いて搭乗者を模した機構を製作し、これをロボットに搭載した。これにより搭乗者がロボットに与える影響についてシミュレーションが実機の運動を再現できていることを示す。

Fig. 1: Hardware

2 搭乗者を含むモデリング

本報で取り扱う、Fig.2 に示す二次元垂直平面内を運動する 9 リンク四足歩行ロボットの背中に、搭乗者の上半身を想定したリンク 10 を加えた 10 リンク四足歩行ロボットモデルの運動方程式は次式で表せる。^{1) 2)}

$$M\ddot{\theta} + h + g + k\dot{\theta} = D\tau + \left(\frac{\partial C}{\partial \theta^T}\right)\Gamma$$

$$\Gamma = \left\{ \left(\frac{\partial C}{\partial \theta^T}\right)M\left(\frac{\partial C}{\partial \theta^T}\right)^T \right\}^{-1} \left[-\frac{\partial}{\partial \theta^T} \left(\frac{\partial C}{\partial \theta^T} \dot{\theta} \right) \dot{\theta} + \frac{\partial C}{\partial \theta^T} M^{-1} \{ h + g + k\dot{\theta} - D\tau \} \right] \quad (1)$$

$\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_9, \theta_{10}]^T$ は一般化座標ベクトル, $\tau = [\tau_1, \dots, \tau_9]^T$ は各関節への入力トルクベクトルである。また左辺の第 1 項は慣性項, 第 2 項は遠心力・コリオリ力項, 第 3 項は重力項, 第 4 項は粘性力項である。右辺の

第 1 項は入力トルク項, 第 2 項は拘束力項である。 C はロボットの脚先が路面上に拘束されることを表す幾何学的拘束条件であり, Γ は拘束条件を満たすために必要となる拘束力である。なお, 9 リンクモデルの運動方程式の一般形は (1) 式と同じであり, 各行列の要素数のみが異なる。

Fig. 2: Model

3 アクチュエータの特性

実機では Fig.3 に示すアクチュエータとして比較的小型で高出力を得られる油圧シリンダを用いている。油圧シリンダは各脚に大腿部リンク駆動用, 膝下リンク駆動用として二つ取り付けられており, 大腿部リンク駆動用シリンダの変位はサーボ弁を用いたアナログ制御により, 膝下リンク駆動用シリンダの変位は電磁弁を用いたデジタル制御により制御されている。これらの油圧シリンダは直同型のアクチュエータであり, 並進力を発生すると各リンクに実機の形状によって決まる回転モーメントが発生する。そのため, シリンダの伸びと関節の回転角度の関係は線形ではない。シリンダの出力は大腿部リンク駆動用では, (2), (3) 式により, 膝下リンク駆動用では (4) 式により並進力 F_i, Q_i を回転トルクに変換してモデルに考慮している。

$$F_i = A_p(kI_i - A_p\dot{X}_i)/k_p \quad (2)$$

$$\tau_i = bF_i(\dot{X}_i) \quad (i = 2, 4, 6, 8) \quad (3)$$

$$\tau_i = lQ_i \cos \phi_i \quad (i = 1, 5, 7, 9) \quad (4)$$

$\dot{X}_i$ はシリンダの伸縮速度, A_p はシリンダの受圧面積, k は電流ゲイン, I_i はサーボ弁への入力電流, k_p は圧力流

量係数, b, l はシリンダ発生力の作用点と回転中心間の距離, ϕ_i は並進力がリンクに垂直な方向と成す角度を示す。

Fig. 3: Joint structure

4 搭乗者を想定した機構

人間を搭載したモデルの妥当性を検討するために Fig.4 に示す機構を製作し、ロボットの背中に取り付けた。アクチュエータとしては油圧シリンダを用いており、サーボ弁で制御を行っており、板に取り付けた重りが搭乗者モデルである。制御は実際の人間の姿勢回復動作を想定し、姿勢を地面と垂直な方向に保つよう $\tau_{10} = G_h(\theta_{10}d - \theta_{10})$ に示す比例制御としており、各角度データはポテンシオメータから取り込んでいる。 G_h はゲイン, $\theta_{10}d$ はリンク 10 の目標角度, θ_{10} はリンク 10 の実角度である。

Fig. 4: Human model

5 実験及びシミュレーション

5.1 概要

実験及びシミュレーションを行い、導出したモデルの運動と実機の運動結果について検討する。シミュレーションと実験には同じ目標関節角度を与え、クローリング歩行をさせた。ただし、一脚が遊脚（接地していない脚）の間である 3 秒間運動させた。遊脚は Fig.2 に示すリンク 6, 7 の脚とした。また、接地する路面は凹凸の無い平面とする。Fig.1 に示す作製した実機の質量等の各パラメータを Table.1 に示す。シミュレーションは (1) 式をルンゲクッタ法を用いて 0.01ms 刻みで解くことにより行なった。

5.2 結果

遊脚の大腿部であるリンク 6 の関節角度と時間の関係を Fig.5 に、膝下のリンク 7 の関節角度と時間の関係を Fig.6 に示す。これらの図から分かるように、実線で示さ

Table 1: Parameter of hardware

	$i=1,5,7,9$	$i=2,4,6,8$	$i=3$
$m_i[kg]$	2.6	4.8	120.4
$l_i[mm]$	300	330	555
$b_i[mm]$	80	80	450
$l_{gi}[mm]$	170	180	281.97

れるシミュレーションの結果は破線で示される実機の特性をほぼ再現できていると考えられる。シミュレーションの波形がなめらかな波形を示しているのに対して実機特性が細かな振動を示しているのは、膝部の On-Off 制御の影響が原因であると考えられる。

Fig. 5: Angle of link 6

Fig. 6: Angle of link 7

6 結言

本報告では

1. 実験を行い 9 リンクモデルにおけるシミュレーションの妥当性を示した。
2. 搭乗者を想定した 10 リンクモデルを導出し、また搭乗者を想定した機構を作成し実験を行い、その運動について比較検討を行った。

なお、10 リンクモデルに対してシミュレーション及び実験を行った結果について発表当日示す。

参考文献

- [1] 佐野明人, 古荘純次, 後藤照博, 速度および加速度センサを用いた 4 足歩行ロボットの胴体速度制御, 日本機械学会論文集 (C 編), (1990)
- [2] 大住剛, 高瀬博文, 小原治樹, 河原寛之, 油圧駆動型四足歩行ロボット, 日本機械学会第 37 期総会・講演会, (2000)