

平行リンク脚部を有する小型ヒューマノイドロボットの研究

Study of Parallelogram Linkage Leg Structure for Small-sized Humanoid Robot

○フィルダウス ビン スカルマン, 大久保重範, 高橋達也

○ Firdaus bin Sukarman, Shigenori Okubo, Takahashi Tatsuya

山形大学工学部

Faculty of Engineering Yamagata University

キーワード : Parallelogram linkage, Serial linkage, Small-sized humanoid robot, Vibration, Body posture

連絡先 : 〒 992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学工学部 機械システム工学専攻 大久保研究室, Firdaus bin Sukarman Tel.: (0238)26-3245, Fax.: (0238)26-3245, E-mail:sokubo@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

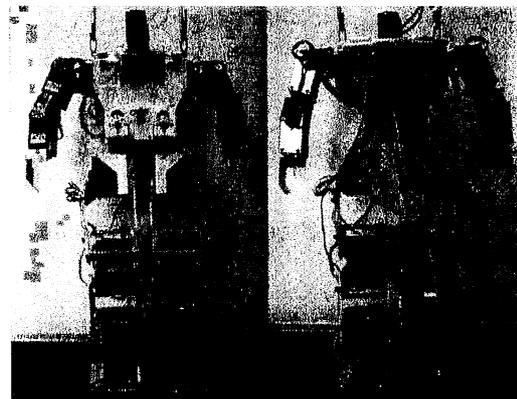
人型ロボットとは二本足で歩行するのがその特徴であり, バランスを取りながら歩行するにはすぐれた脚の構造を持つことが重要である. 歩行中に機体をサポートするため, 脚部のアクチュエータに大きい負荷がかかり, 力が不足するのを防ぐ必要がある.

そこで, 本研究では平行リンク機構の脚部を使用し, どのように有用性があるのかを調べ, 安定した歩行をさせることを目的とする.

2. ヒューマノイドロボットの概要

本研究で使用するロボットは, 近藤科学から発売されている KHR2-HV を西置賜産業会所属のロボットチームの方が脚部に改造したものである. ロボットの外観は Fig.1 に示す. このロボットのサーボモータは全て KRS-788HV Red Version を使用し, 最大トルクは 10.0[kgf・cm]

である. ロボットのスペックは Table 1 に表示する. 片方の脚部は 6 つのサーボモータを使用し, 腰と足首にそれぞれロール軸は一つ, 大腿と膝下にピッチ軸は 4 つのサーボモータで構成される.



Front

Rear

Fig. 1 Appearance of KHR-2HV

Table 1 KHR-2HV specifications

Size[mm]	116 × 190 × 390 (Length × Width × Height)
Weight[kg]	1.42
Degrees of freedom	19(upper body:7, leg:6x2)
Control Board	RCB-3J

3. 平行リンク機構の脚部

研究で設計し、製作した平行リンク脚部をFig.2に示す。使用するサーボモータの個数はシリアルリンク機構の脚部と比較するため、同じく6個のサーボモータを使う。この脚部は2つの平行リンク機構で構成され、組み合わせた部分は脚部の膝となる。受動間接に摩擦を減すため、ボールベアリングを使用する。大腿部と膝下の長さを同じにすることによって重心がずれることを防止できると考えられる。

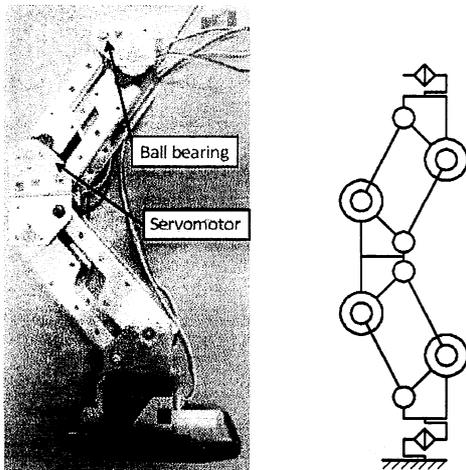


Fig. 2 Parallel leg mechanism

4. 歩行中の機体の傾き

シリアルリンク脚部と平行リンク脚部の機体の傾きを比較するため、同一の条件で実験を行う。歩幅を40[mm]、歩行数を6歩とする。傾きの測定は傾斜センサを使い、これをロボットの

機体上部に取り付け、歩行中に検出された値を記録する。

Fig.3ではロボット重心の前後(X-軸)の傾きを表すグラフである。Fig.3に示すように、平

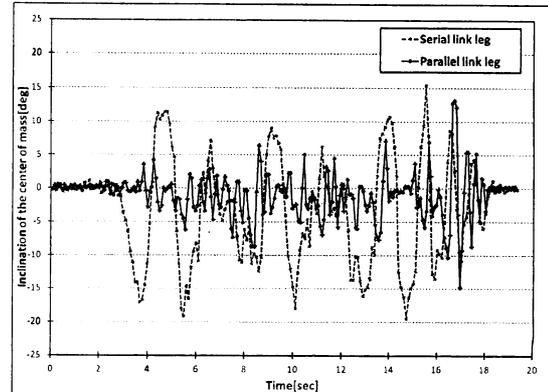


Fig. 3 Inclination of the center of mass during walking

行リンク脚部の振幅が少ないことがわかる。これは脚部をどの位置に持ってきても、平行リンクの機構上いつも足裏の面が地面と水平になり、機体も地面と水平になる。これにより、姿勢の維持ができ、安定した歩行が再現できると考える。また、足裏が地面と接触する際、足裏が常に床面と水平になるため、不要な進入角を減少することができ、機体のブレを少なくすることが可能であるからだと考えられる。

Fig.4は二つの機構の足首の保持力を図に表したものである。ロボットが動いている時に、足首のサーボモータにずれが生じると仮定する。各リンクに同じずれの角度が発生し、次の関係が得られる。

$$\theta_s = \theta_{p1} = \theta_{p2} \quad (1)$$

剛体の傾きは平行リンク脚部よりシリアルリンク脚部ロボットの方が剛体の傾きが大きいと見られる。

$$\theta'_s > \theta'_p \quad (2)$$

その原因は、シリアルリンク機構は足首を中心として全身が傾くのにに対し、平行リンク機構は足首を中心として動くのは膝までとなる。これよ

の電流合計は1つのシリアルリンクサーボモータより、15~25%低くなることを確認した。つまり、平行リンク脚部を使用することにより、脚部のサーボモータにかかる負荷が減らすことができることを証明できた。

6. 動的動作における負荷トルク

ロボットが動く際、サーボモータに掛かるトルクが変化し、目標角度に達するまでのトルクを考慮必要がある。先端のフレームに一定の荷重を吊り下げ、平行リンクフレームが縮めた状態から伸ばした状態まで駆動させる時に電流値の変化を考察する。一般的なグラフの形は Fig. 7 に示す。

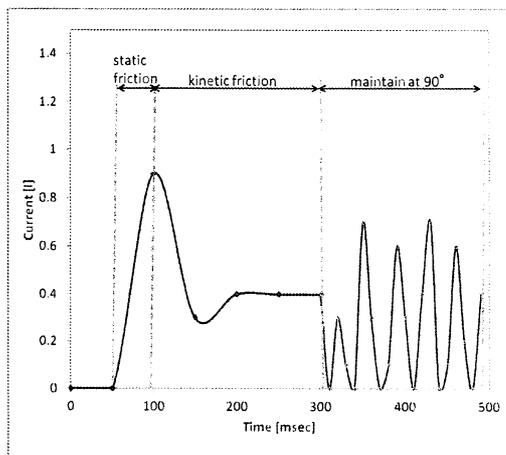


Fig. 7 Servomotor current during moving

得られたグラフは静止摩擦の領域と動摩擦の領域の範囲が見られる。静止摩擦から動摩擦に切り変わる時に、最大静止摩擦が発生する。目標角度に達した際、乱れる曲線になり、サーボモータが目標角度で保持している状態を示す。

7. 平行リンク脚部の負荷トルク

平行リンク脚部に両方のサーボモータを使用した場合、膝のサーボモータに流れる電流は Fig. 8 に示す。乱れる曲線はこのサーボモータに負荷が掛かっている状態を表す。しかし、足首サー

ボモータの電流値 (Fig. 9) のグラフから、目標角度に達した際、負荷があまり掛からないことがわかる。

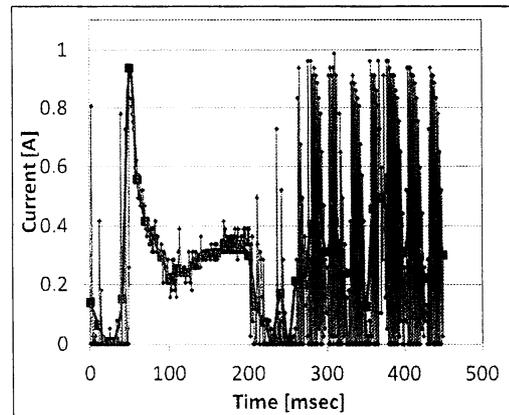


Fig. 8 Knee servomotor current

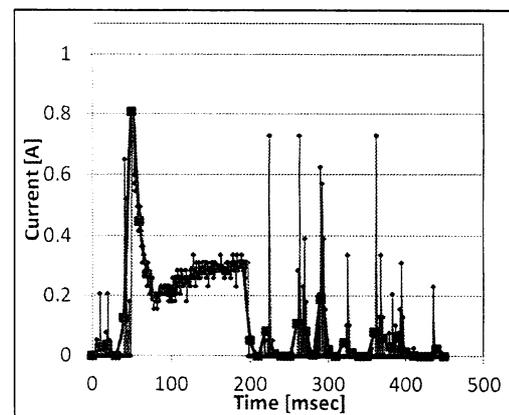


Fig. 9 Ankle servomotor current

その2つのグラフから、両方のサーボモータを使用した平行リンクの場合、初期動作において少し負荷が生じる。原因は両方のサーボモータが初期動作において同期していないためである。

8. 平行リンク脚部に片方のサーボモータを使用した場合

平行リンク脚部に静止している状態、膝下のサーボモータに流れる電流が低いため、今回片方のサーボモータを使用した場合を考察する。膝のサーボモータを使った状態と足首サーボモ

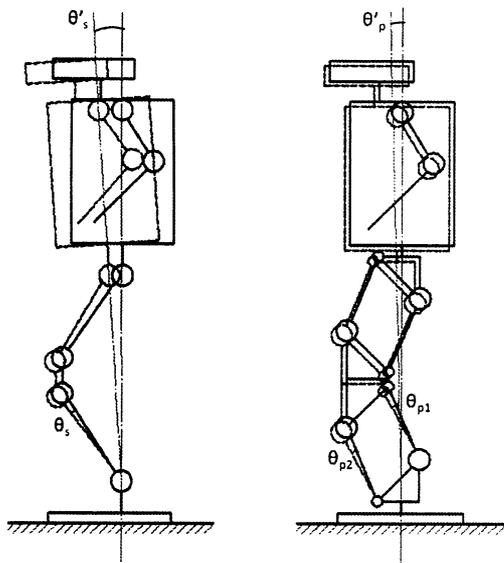


Fig. 4 Difference between two leg structure at toe joint

り，平行リンクの脚部は胴体の傾きに影響が出にくく，重心のずれが少なくなると考えられる。

5. サーボモータにかかるトルク

サーボモータにかかるトルクは流れる電流に比例している。シリアルリンクと平行リンクにのトルク比較をするために Fig.5 に示すような実験を行う。平行リンクのフレームを使用し，先に 0.1~ 0.5[kg] のおもりを吊り下げる。サーボモータにフレームを水平に保たせた状態で，サーボモータに流れる電流を計測する。ここでは，H8/3069F マイコンを使用し，電流センサからの値を A/D 変換処理を行う。電流センサの値を正確に求めるため，不要なノイズを消し，取得した値を平均化する。

Fig.6 はシリアルリンクと平行リンクの各サーボモータに流れる電流を示す。

静止を持たせた状態で，シリアルリンクより平行リンク脚部の膝サーボモータに流れる電流を半分に軽減することができた。その原因は平行リンク脚部の場合負荷が 2 つのサーボモータに分散されるからである。その 2 つサーボモータ

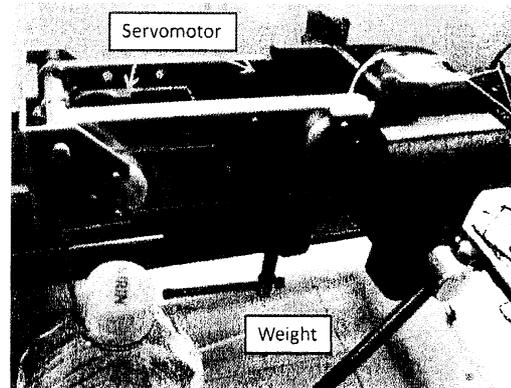


Fig. 5 Torque measurement using parallel link

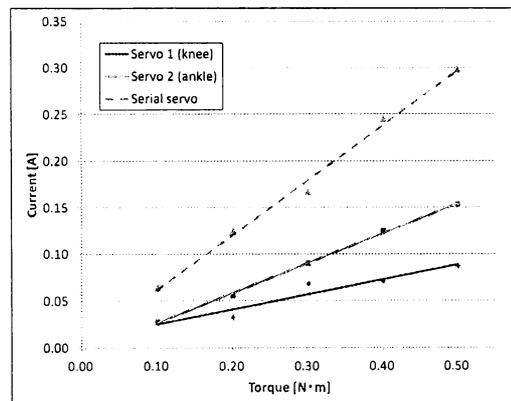


Fig. 6 Servomotor current

タを使った状態の2つの実験を行った。結果は Fig. 10 と Fig. 11 に示す。

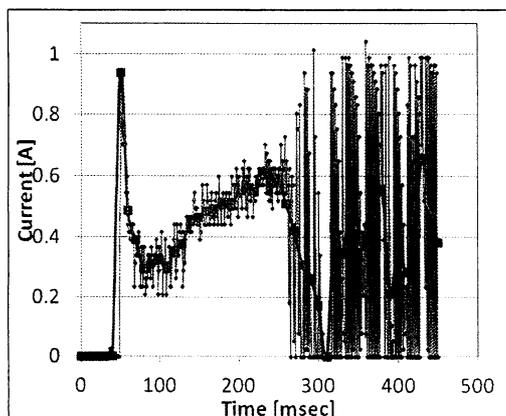


Fig. 10 Knee servomotor current

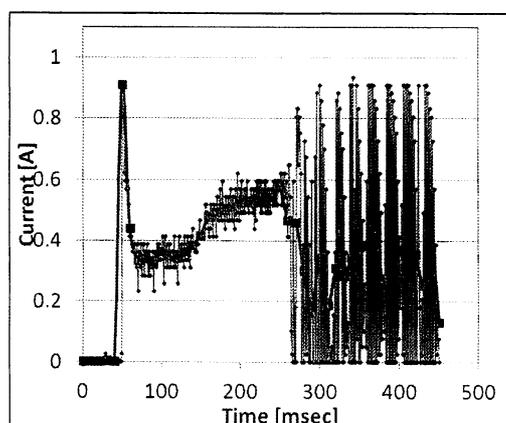


Fig. 11 Ankle servomotor current

この2つのグラフから、サーボモータがどちらの膝と足首に設置しても、電流値の曲線と目標角度までにかかる時間がほぼ同じである。最大静止摩擦を達した際の電流値は両方のサーボモータを場合と片方のサーボモータを使った場合でも同じである(0.92A)。しかし、目標角度に達する時間は両方のサーボモータを使用した場合より片方のサーボモータを使用した場合は50msecが遅れた。

本研究で使用するロボットの機体の重さ(832[g])は片方のサーボモータを使用したロボットを歩かせた結果、安定した歩行が確認された。

9. おわりに

平行リンク脚部に両方のサーボモータを使った場合、サーボモータが同期していない問題が生じるが、高いレスポンスとサーボモータに掛かる負荷が軽減することを確認できた。初期動作において同期していない問題を解決するために、平行リンク脚部に片方のサーボモータのみ動かすことを提案する。その結果はレスポンス時間が少し遅れるが、小型ヒューマノイドロボットには安定した歩行が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 福多利夫: 二足歩行最強ロボット KHR-2HV 完全ガイド, 株式会社福大洋図書 (2006)
- 2) 米田完, 坪内孝司, 大隅久: はじめてのロボット創造設計, 株式会社講談社 (2005)
- 3) 佐藤政次: ROBO-ONEのための二足歩行ロボット制作ガイド, オーム社 (2004)
- 4) 近藤科学株式会社公式ホームページ: <http://www.kondo-robot.com>