

結合型 4 脚歩行機械による安定歩行の実現

Stable walking on rough terrain using connected quadruped robots

○ 藤春 征治 (九州大) 倉爪 亮 (九州大) 長谷川 勉 (九州大)

Seiji FUJIHARU [†]Kyushu University, 6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka, Japan

Ryo KURAZUME[†] and Tsutomu HASEGAWA[†]

In this paper, we describe a stable walking on rough terrain using connected quadruped robots. To increase the walking stability on rough terrain, quadruped robots are connected by their equipped arms with a joint mechanism. The improvement of stability using two connected quadruped robots is verified through computer simulation using OpenHRP, and walking experiments using two quadruped walking robots, TITAN-VIII.

Key Words: quadruped robots, stable walking, stability margin, connection

1 はじめに

移動機械には車輪型, クローラ型, 脚型, ヘビ型など, さまざまな形態がある. そのなかでも, 多くの生物の基本形態である 4 脚型は, 静的安定を保ちながら移動を継続でき, また動歩行中も完全転倒を回避できる「安全歩容」を, 最小限の脚数で機構的に実現する歩行形態である. しかし, 安定性の高い 4 脚歩行機械であっても, 荒地や急斜面などの不整地を歩行する場合, 支持脚多角形内から重心投影点が出てしまい, 完全転倒することがある. しかし, Fig.1 のように本体に作業アームを有する複数の 4 脚歩行機械を考え, (a) のように荒地などを走行する場合は作業アームを連結することで走破性能を高め, また (b) のように平地での作業時にはそれらを分離して別々に作業させることができれば, 高い走破性能と作業効率を同時に実現することができる²⁾. そこで, 4 脚歩行機械 TITAN-VIII² 台を 6 自由度リンクで結合し, 不整地走破性を向上させる実験を行ったので報告する.

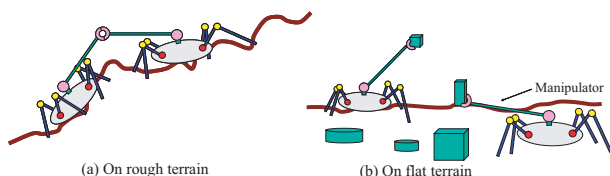


Fig.1: Multiple quadruped robots with manipulators

2 リンク部の設計

2 台の TITAN-VIII を 6 自由度リンク機構により結合した様子を Fig.2 に示す. このリンクは 2 本のアームとそれをつなぐ弾性特性を有する 1 自由度関節からなる. 弾性体にはナイトハルトゴムばねを使用し, アーム角度に応じて非線形的に弾性特性が変化するようにした. またアーム先端の TITAN-VIII との接続部には, それぞれ 2 自由度と 3 自由度の関節を配置した. この弾性特性を有する 6 自由度機構により, 2 台の TITAN-VIII は通常歩行時には相対位置, 姿勢をある程度自由に変更でき, 転倒など急激な姿勢の変化時には相互に支えあうことが可能となる.

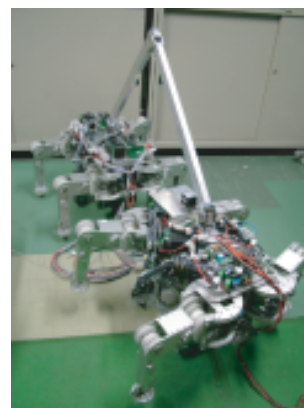


Fig.2: Connected quadruped robots

3 計算機シミュレーション

まず, 動力学シミュレータ OpenHRP を用いた計算機シミュレーションの結果を示す. Fig.3 は左右それぞれ, TITAN-VIII を 1 台および 2 台結合し, 高さ 0.12 [m] の段差を下りる場合のシミュレーション結果である. このように, TITAN-VIII 1 台では段差を降りる途中で前傾姿勢となり, それ以後は体勢を復帰することができずに転倒してしまった. これは, 支持脚多角形から一度重心投影点が出た場合, 単独歩行では重心投影点を再び支持脚多角形内に復帰させることは不可能だからである. 一方, 2 台を 6 自由度リンク機構によって結合した場合は, Fig.3 の右列のように前傾姿勢となった場合でも, もう 1 台により支えることで転倒せずに段差を降りることができた.

4 実験

実際に 2 台の TITAN-VIII を 6 自由度リンク機構で結合し, 0.14 [m] の段差を乗り越える歩行実験を行った. 歩行のパラメータは, デューティー比 0.75, 歩行周期 16 [sec], 歩幅 0.2 [m] である.

まず初めに 2 台の TITAN-VIII に対してそれぞれ対応する脚を同位相で動かし, 歩行させた. 単独歩行時の実験の様子を Fig.4 に, また接続歩行時の実験の様子を Fig.5 に示す. 単独歩行時はシミュレーションと同様に途中で転倒してしまい, 段差を乗り越えることができなかった. 一方, 接続歩行時も転倒は回避できたが, 大きく姿勢を崩し段差を乗り越えることはできず, 段差乗り越えの途中で元の位置に滑落した. この原因として, 先行する TITAN-



Fig.3: Simulation results

VIII が体勢を崩し転倒しそうになった際に、それを支える後続の TITAN-VIII が Fig.5 の (5) のように先行する TITAN-VIII と同じ向きに傾いてしまい、支えとして機能していないためであると思われる。

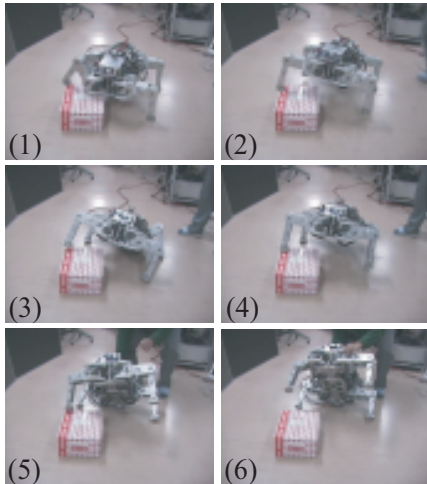


Fig.4: Step climbing by the single quadruped robot

そこで、先行する TITAN-VIII が左前脚を遊脚としている時、後続する TITAN-VIII は左後脚を遊脚とするように、2 台の対応する脚の位相を $1/4$ だけずらした。これにより 2 台の TITAN-VIII の後脚が同時に遊脚化することがないため、一方が大きく姿勢を崩した際にもう一方が支えることができる。実験の結果を Fig.6, Fig.7 に示す。このように 2 台の TITAN-VIII は転倒することなく段差を乗り越えられた。

また、このときの TITAN-VIII 本体の姿勢を Fig.8 ~ Fig.11 に示す。Fig.8, Fig.9 は単独歩行, Fig.10, Fig.11 は 2 台の接続歩行での本体姿勢である。それぞれ上がロール角, 下がピッチ角の推移を表している。

Fig.8, Fig.9 を見ると、それぞれ同じ時間 (a), (b) において姿勢の急激な変化が見られる。この (a), (b) はそれぞれ Fig.4 の (2), (6) の瞬間であり、転倒の瞬間に (b) のように姿勢が大きく変化したことが分かる。

Fig.10, Fig.11 は、2 台の TITAN-VIII を接続し、転倒を回避した時のロール角とピッチ角の値の変化である。グラフ中の記号 (c), (d), (e) はそれぞれ Fig.6, Fig.7 の (4), (6), (10) での姿勢に対応している。この歩行実験中、TITAN-VIII の姿勢が 2 度大きく傾いた。1 度目は Fig.6 の (3) ~ (5), 2 度目は Fig.7 の (7) ~ (11) の時である。特

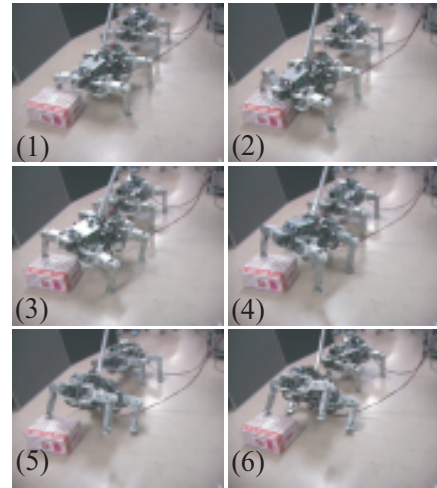


Fig.5: Step climbing by the connected quadruped robots(Phase difference is 0)

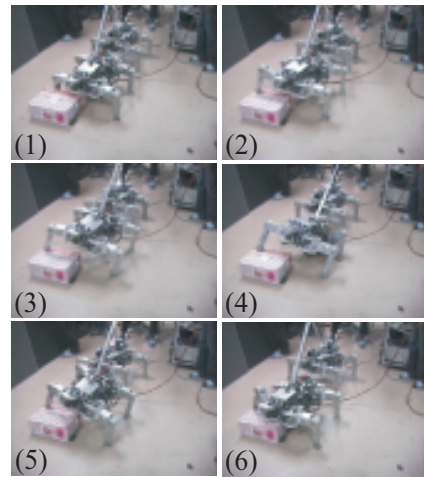


Fig.6: Step climbing by the connected quadruped robots(Phase difference is 0.25 :t=0 ~ 40sec)

に 2 度目では単独歩行で転倒した時の傾斜角とほぼ同程度になっているが、1 度目、2 度目ともに転倒を回避できている。

以上の実験結果から、6 リンク機構で 2 台を接続することで、単独歩行では転倒する姿勢になった場合でも、相互に支えあうことで転倒を回避できることが確認できた。

5 まとめ

6 自由度リンク機構を用いて 2 台の 4 脚歩行機構を接続することで、単独歩行時よりも安定な歩行が可能となることを計算機シミュレーション及び実験により示した。今後は相互の TITAN-VIII の位置や姿勢、リンク機構の各関節角度などを基にした本体の歩行速度や静動歩行間の切り替え、双方の姿勢に応じた支持脚の変更など、複雑で多様な状況に柔軟な対応ができる制御系を実現し、様々な状況でより安定な歩行を可能にする複数結合型 4 脚歩行機構の実現を目指す。

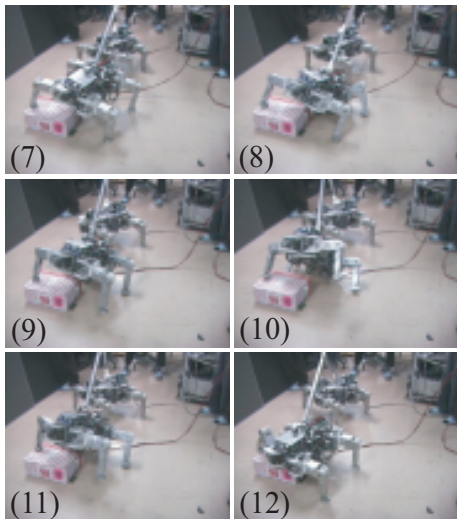


Fig.7: Step climbing by the connected quadruped robots(Phase difference is 0.25 :t=40 ~ 60sec)

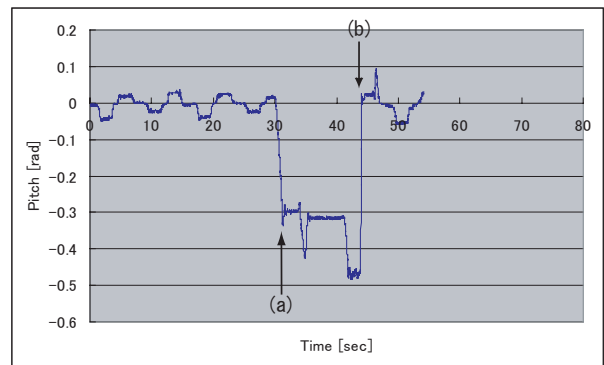


Fig.9: Pitch angle(Single robot)

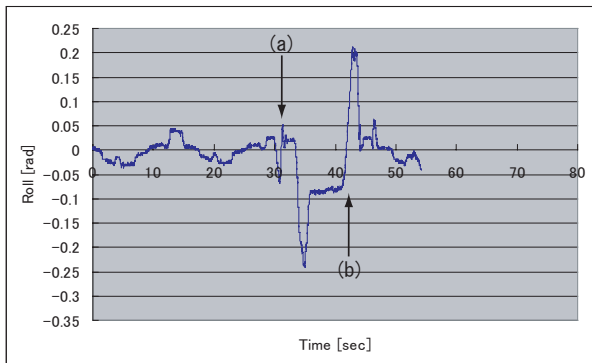


Fig.8: Roll angle(Single robot)

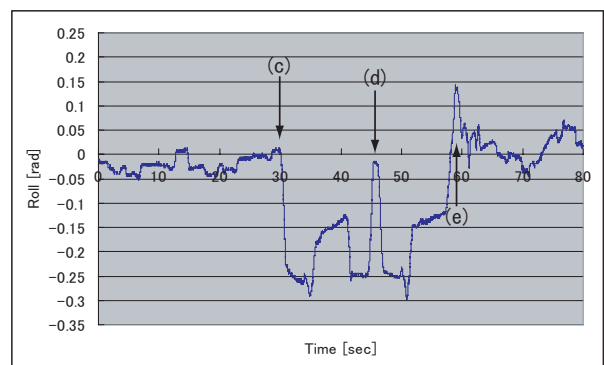


Fig.10: Roll angle(Connected robots)

- 1) 広瀬 茂男, 塚越 秀行, 米田 完: "不整地における歩行機械の静的安定性評価基準", 日本ロボット学会誌, vol.16 No.8 pp.1076-1082, 1998.
- 2) Shigeo Hirose, Takaya Shirasu, Fumihiko E. Fukushima: "A proposal for Cooperative Robot "Gunryu" composed of autonomous segments", Proc. IROS, pp.1532-1538, 1994.

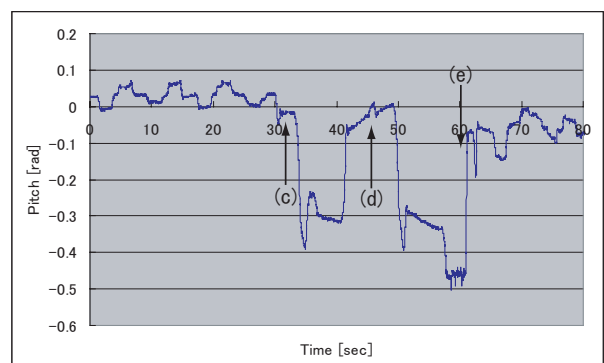


Fig.11: Pitch angle(Connected robots)