

歩行パターンを用いない5脚ロボットの全方向歩容

Omn-directional Walking for Five-Legged Robot without Gait Pattern

○伊藤 剛, 小林 洋介, 井上 健司

○Tsuyoshi Ito, Yosuke Kobayashi, Kenji Inoue

山形大学

Yamagata University

キーワード：脚ロボット(Legged-Robot), 全方向歩容(Omn-directional Walking)

連絡先：〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学大学院理工学研究科 応用生命システム工学専攻

井上健司, Tel & Fax : 0238-26-3335, E-mail : inoue@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

災害現場などの危険な場所でロボットが活動するためには、一台が高い移動能力と作業能力を併せ持つ必要がある。そこで著者らは、高速安定な移動を行う6脚モード、低所での2腕作業が可能な水平4脚2腕モード、高所での2腕作業が可能な垂直4脚2腕モードを切り替えることで高い作業能力・移動能力を発揮する6脚作業移動ロボットを開発している[1,2,3]。水平4脚2腕モードは、ボディを水平にして4脚で歩行し、2腕で物体を把持・運搬するといった作業を想定している。しかし、腕にカメラやセンサを取り付けて周囲の観察や構造物の検査を行うなど、1腕だけで十分な作業も存在する。その場合、残りの1腕を脚として使い、5脚で歩行することにより、4脚歩行より高速安定な歩行が期待できる。

本研究では、新しく5脚1腕モードを提案し、予め決められた歩行パターンを用いずに、実時間で与えられるボディの指令速度に応じた5脚の歩容を自律的に生成する方法を提案する。

2. 6脚作業移動ロボット

開発中の6脚作業移動ロボットを図1に示す。直方体のボディの下面四隅に4本の脚を、上面の二隅に2本の脚を配置している。脚の自由度は3、よってロボットの自由度は18である。関節にはROBOTIS社のサーボモータDynamixel RX-64を使用した。外部のメインコンピュータでロボットの動作を生成し、有線のRS-485を介して関節角指令値をサーボモータに送り、ロボットを

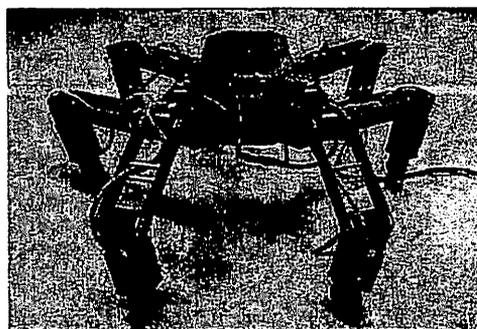


図1 6脚作業移動ロボット(6脚モード)

動かす[1,2]。ロボットのサイズは、脚を水平に広げた状態で約74[mm]×82[mm]、重量は5.15[kg]である。なお、ロボットは外部直流電源18.5[V]を用いて駆動する。

3. 5脚歩行

3.1 5脚1腕モード

5脚1腕モードでは、図2のようにボディ上面の1本の脚を持ち上げて腕として使い、残り5本で移動する。1腕で作業しながら移動するには、作業を行う1腕の動きから必要なボディ速度を求め、この速度を実現するように5脚の歩容を生成すればよい。

必要なボディ速度は、腕作業に応じて実時間で変化するため、予め決められた歩行パターンを用いる方法では、急な方向転換が難しい、想定していない状況に対応できないといった問題がある。そこで、歩行パターンを用いずに5脚步容を自律的に生成する方法を提案する。

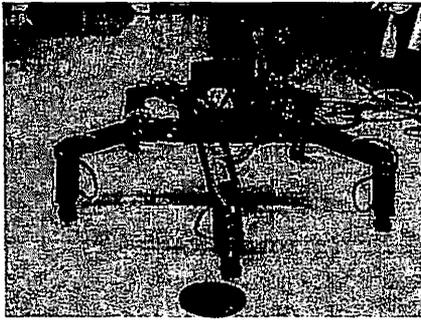


図2 5脚1腕モード

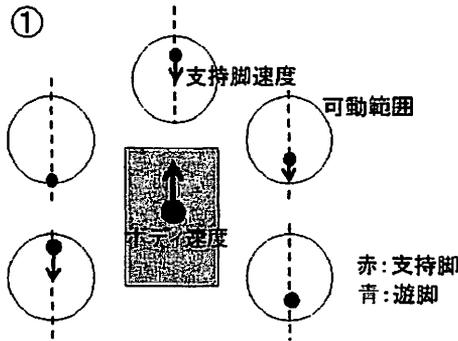


図3 5脚步容法①

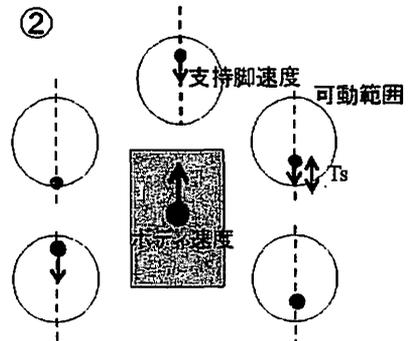


図4 5脚步容法②

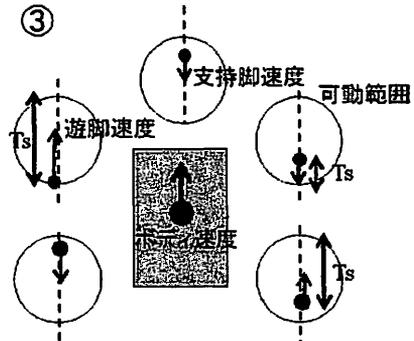


図5 5脚步容法③

3.2 歩行パターンを用いない5脚步容

歩行パターンを用いない5脚步容アルゴリズムを図3~7に示す。支持脚先端は、円形の可動範囲内で動かす。なお、この歩容は3本以上が支持脚となる静歩容である。支持脚を3本以上とする理由は、既に開発済みの6脚步行も4脚步行も支持脚を3本以上としているので、歩容アルゴリズムの統一化を図ることができ、脚の故障やモード変更に即座に対応できるためである。

- ①地面に対するボディの指令速度から、3本の支持脚のボディに対する指令速度を求める(図3)。
- ②各支持脚が可動限界に達するまでの時間を予測し、その最小値を T_s とする(図4)。
- ③時間 T_s 後に可動限界に到達するように、遊脚のボディに対する指令速度を求める(図5)。
- ④指令速度で全ての脚を動かす(図6)。
- ⑤①~④を制御周期で繰り返す、最初に可動限界に達した支持脚を新しい遊脚とする。遊脚と隣り合わない脚2本のうち、可動限界に達する時間が短い脚をもう1本の遊脚として、遊脚と支持脚を切り替える(図7)。

なお、③の段階で、遊脚の指令速度が脚の最大速度を超えるときは、比率を保ちながら全ての脚の指令速度を下げる。このとき、ロボットは一時的に減速する。

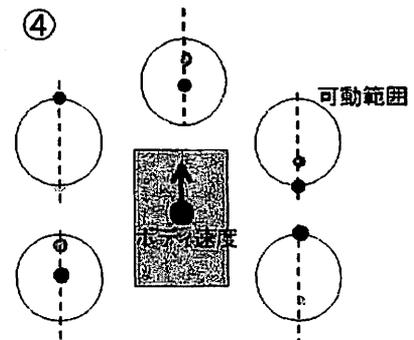


図6 5脚步容法④

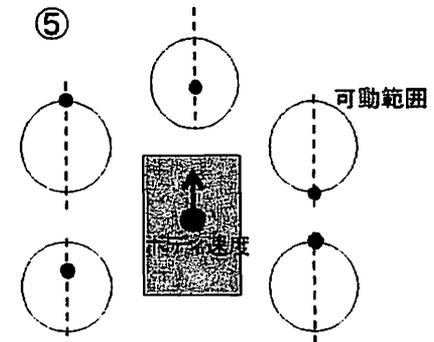


図7 5脚步容法⑤

4. 歩行実験

4.1 実験方法

すでに開発済みの4脚歩行においても、歩行パターンを用いない歩容アルゴリズムを採用している。この4脚歩行では、一定の指令速度が続くと一定の歩行パターンが生成されることが確認された[3]。そこで、5脚歩行においても、一定の指令速度が続くと一定の歩行パターンが生成されるかを調べた。

5脚歩行、4脚歩行それぞれについて、ロボットを同じ距離前進させた後、左に横移動させた。途中で方向を変えるのは、歩行に乱れを生じさせるためである。実験条件として、両歩行とも支持脚可動範囲の直径を48[mm]、ボディの指令速度の大きさを50[mm/s]、制御周期は約15[ms]を設定した。また、遊脚の最大速度を指令速度の2倍とした。

4.2 実験結果

脚番号を図8のように付ける。4脚歩行の実験結果を図9に、5脚歩行の結果を図10に示す。実線の区間が支持脚、空白の区間が遊脚を表す。図から、4脚歩行のときと同様に5脚歩行の場合も、予め歩行パターンを決めなくても、一定の指令速度が続くと一定の歩行パターンが生成されていることがわかる。生成された歩行パターンを図11に示す。この生成された歩行パターンは、全ての脚が2回ずつ遊脚になっており、脚に偏りのない歩行となっている。

5. 歩行速度比較実験

5.1 実験方法

5脚歩行において高速安定な歩行が実現できているかを調べるため、一定時間直進させたときのボディの進行方向速度を求め、4脚歩行と比較した。実験条件は、前章の実験と同じ値に設定した。

5.2 実験結果

図12, 13は、4脚歩行と5脚歩行のボディの進行方向速度の変化を示している。ボディの速度は、指令速度に対する実際の速度の比率で表した。4脚歩行と5脚歩行は減速する場合があるため、速度比率は1.0より小さくなることもありうる。一方、減速を行わない6脚歩行(トライポッド歩容)では、常に1.0となる[1]。図12, 13から、4脚歩行は常に減速を行なっているため、速度比率が1.0に到達しないのに対し、5脚歩行は、減速を行なっているものの、1.0となる区間が多く存在している。速度比率の平均を求めた結果、4脚歩行が0.579、5脚歩行が0.792となり、5脚歩行のほうが高速に歩行していることがわかった。遊脚の最大速度をボディの指令速度と同じ値に設定して

実験を行い、速度比率の平均を計算した結果、4脚歩行が0.313、5脚歩行が0.491となり、遊脚最大速度を変えても5脚歩行のほうが高速な歩行であることがわかった。

以上の結果から、5脚歩行は、歩行専用の6脚歩行には及ばないが、4脚歩行より高速安定な歩行が実現できているといえる。

6. おわりに

歩行パターンを用いずに5脚ロボットの全方向歩容を自律的に生成する方法を提案し、その有効性を検証した。今後は、この方法を5脚1腕モードにおける作業移動に応用する。

参考文献

- [1] 井上, 大江: 3つのモードを切り替え可能な6脚作業移動ロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集, 1A1-E04, 2008.
- [2] 大江, 李, 井上: 6脚作業移動ロボットによる物体押し動作の解析, 第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1P2-02, 2009.
- [3] 伊藤, 李, 井上: 歩行パターンを用いない4脚ロボットの全方向歩容, 2012年度精密工学会春季大会プログラム&アブストラクト集, H69, 2012.

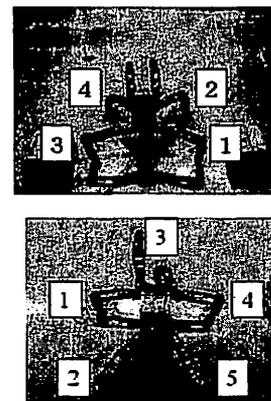


図8 脚番号

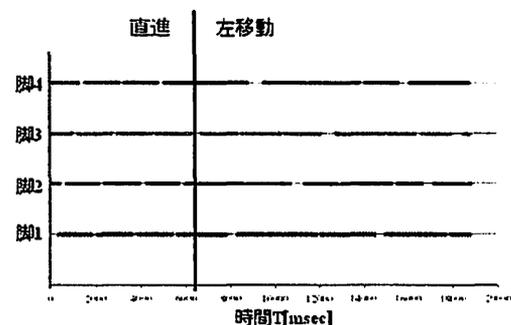


図9 4脚歩行の直進→左移動の実験結果

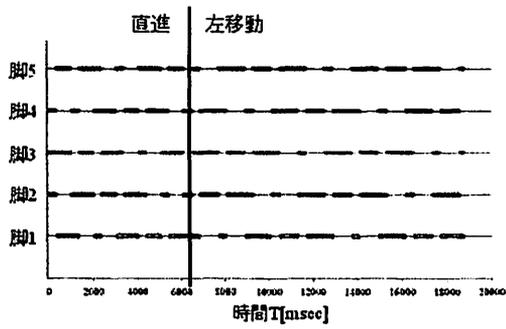


図 10 5 脚歩行の直進→左移動の実験結果

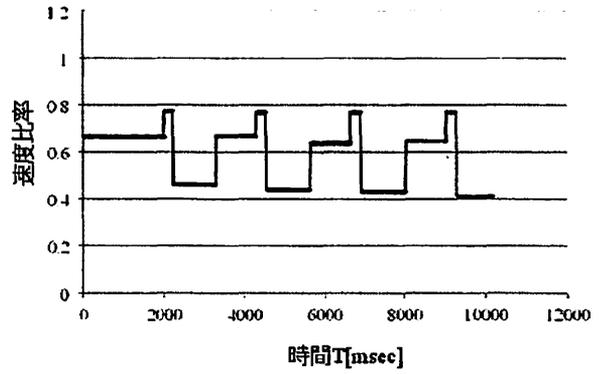


図 12 4 脚歩行の速度変化

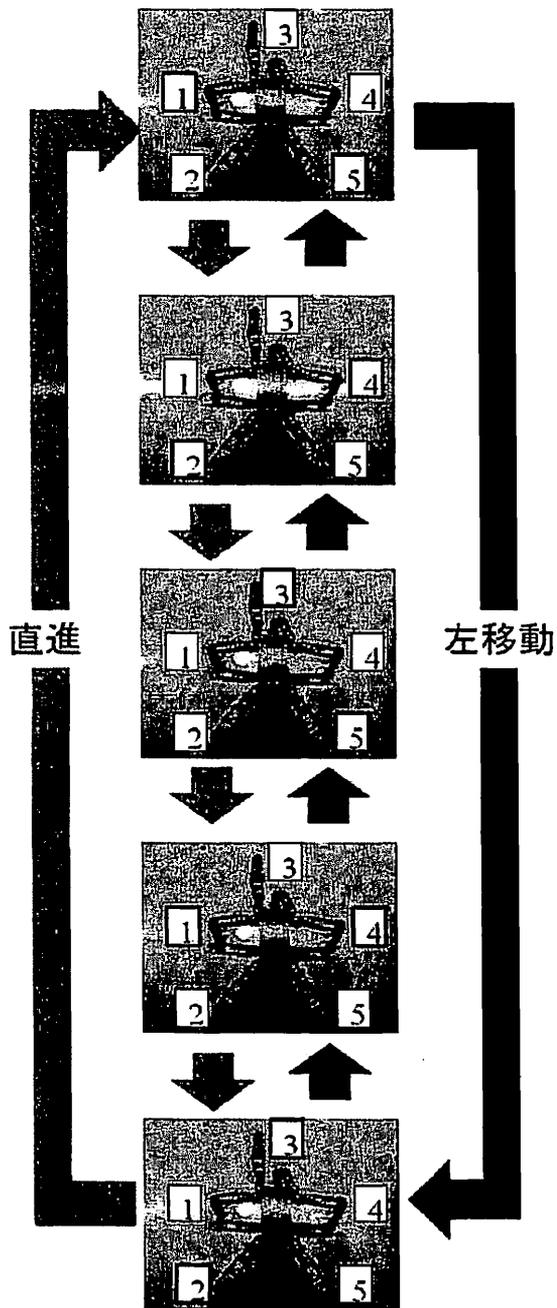


図 11 5 脚歩行パターン

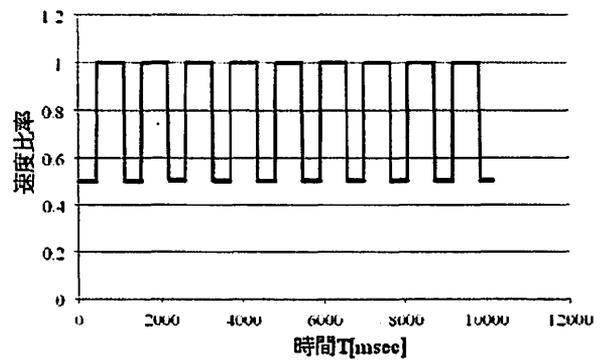


図 13 5 脚歩行の速度変化