

## 6 脚作業移動ロボットの直立歩行 Upright Walking of Working Six-Legged Robots

○関口 恵之, 井上 健司  
○Satoshi Sekiguchi, Kenji Inoue

山形大学  
Yamagata University

キーワード：脚ロボット (Legged robot), 直立歩行 (Upright walking),  
安定性 (Stability), 加速度センサ (Acceleration sensor)

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

災害現場でのレスキュー活動など、危険が伴う環境で人の代わりに活動するロボットは、1 台で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、ボディを水平にして 2 脚を腕に転用する水平 4 脚 2 腕モード、ボディを垂直にして 2 脚を腕に転用する垂直 4 脚 2 腕モードを切り替えることで高い作業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[1-3]。

垂直 4 脚 2 腕モードでは、ボディを垂直にした状態で上方の 2 脚を腕に転用し、下部 4 脚でボディを支える。よって、高所での 2 腕作業が可能となる。このとき、腕作業をしながら立ち位置を変えることができれば、腕作業能力は向上する。また、短距離を移動するたびに安定な移動が可能な 6 脚モードに切り替えるのは、効率が悪い。よって、垂直 4 脚 2 腕モードにおける歩行が求められる。

本研究では、ロボット全体としての機能強化を目的として、垂直 4 脚 2 腕モードにおける直立 4 脚歩行法を提案し、実験によりその動作を検証する。

### 2. 6 脚作業移動ロボット

#### 2.1 ロボットの構造

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 MX-106 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、ロボットを動かす。ボディのサイズは 258[mm]×125[mm]×122[mm]、脚 1 本の全長は 440[mm]、ロボットの全重量は 5.4 [kg]である。ロボットは外部直流電源 14.8[V]を用いて駆動する。

本研究では、ボディの傾きを計測するため、ATR-Promotions 製の加速度センサ TSND121 を取り付けた。

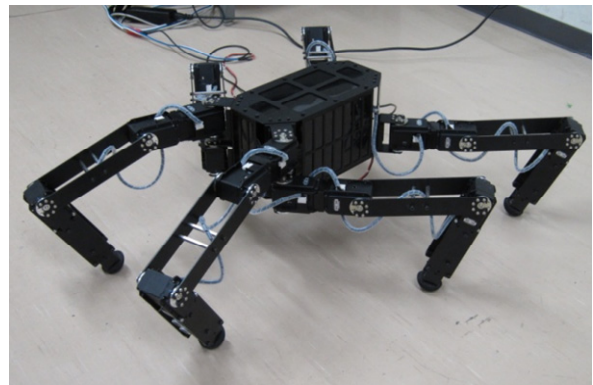


図1 6脚作業移動ロボット  
(6脚モード)

## 2.2 柔らかい脚先

本研究では、着地時の衝撃を吸収するため、脚先に柔らかさを持たせた。

図2のように、ゴム製の半球にシャフトを取り付け、リニアブッシュでガイドする。半球と脚との間にスポンジを挟み、着地したときの衝撃を和らげる。将来的には、シャフトの移動をセンサで測定して、支持脚・遊脚の検出や荷重の計測を行う。

## 3. 直立4脚歩行法

### 3.1 歩行法

垂直4脚2腕モードを図3に示す。説明のため、脚には図のように番号を付ける。

静歩行（Crawl歩容）では、常に3本以上の脚を接地して安定領域を確保し、ロボット重心の地面への投影点を安定領域内に保つ必要がある。そのため、遊脚が1脚ずつになり、歩行が遅くなってしまう。

そこで、Walk歩容（常歩）を模した歩行法（図4）を提案する。

- (a) 左前脚1と左後脚3を前後に開いて接地し、右前脚2と右後脚4を接近させて接地した状態を初期状態とする。
  - (b) 右前脚2を上げて前に踏み出しながら、残りの3本の支持脚1, 3, 4でボディを前方に動かす。
  - (c) ボディの傾きから、左後脚3が浮き上がる瞬間をとらえる。
  - (d) 引き続き右前脚2を前方に移動しながら、左後脚3を左前脚1のすぐ後ろに移動させる。同時に、支持脚1, 4でボディを前方に動かす。
  - (e) 右前脚2と左後脚3を着地させる。
- 以後、左右を反転した動作を繰り返して歩行

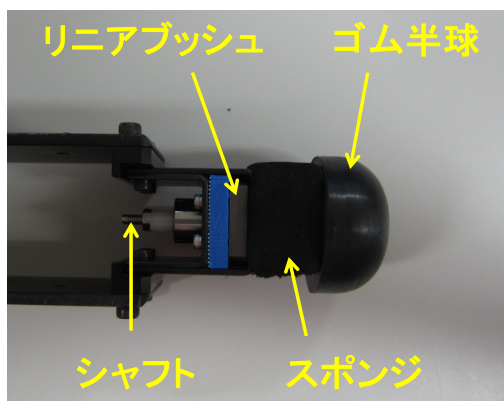


図2 柔らかい脚先

する。

図4のように、安定領域は、(a) 4脚接地→(b)(c) 3脚接地→(d) 2脚接地→(e) 4脚接地と変化する。ただし、後脚が着地するとすぐに前脚を上げるので、4脚状態は一瞬である。また、前後の脚を接近させて接地するので、4脚状態の安定領域は3脚状態の三角形の安定領域とほぼ同じになる。(d)の状態が動歩行となるので、静歩行よりも速い歩行が可能となる。

### 3.2 後脚が浮き上がる瞬間の検出

(c)のとき、左後脚3に体重がかかっていると、脚が上がらずに引きずったり後ろに倒れたりする。また、左後脚3が上がってボディが前に倒れ始めてしまうと、右前脚2の着地が間に合わず、前に転倒する。よって、左後脚3が浮き上がる瞬間をとらえる必要がある。

(b)でボディが前方に移動すると、ロボットの体重は前脚にかかる。このとき、脚が柔らかいため、ボディは前方にわずかに傾く（図5）。そこで、加速度センサで重力方向を検出してボディの傾き $\theta$ を求め、設定した閾値を超えたら(d)へ移行する。

### 3.3 特徴

垂直4脚2腕モードは、4脚ロボットであるとともに、人型ロボットに近い姿勢で移動するため、双方の中間的な特徴を備えている。

一般的な4脚ロボットと比べると、安定領域が小さく重心が高いため、安定性が低い。

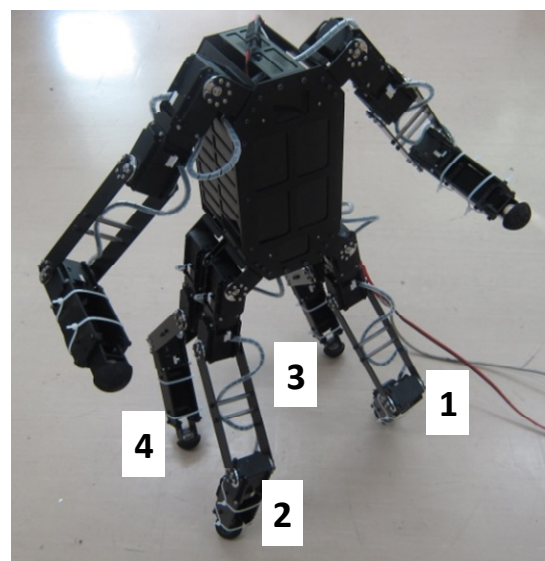


図3 垂直4脚2腕モード

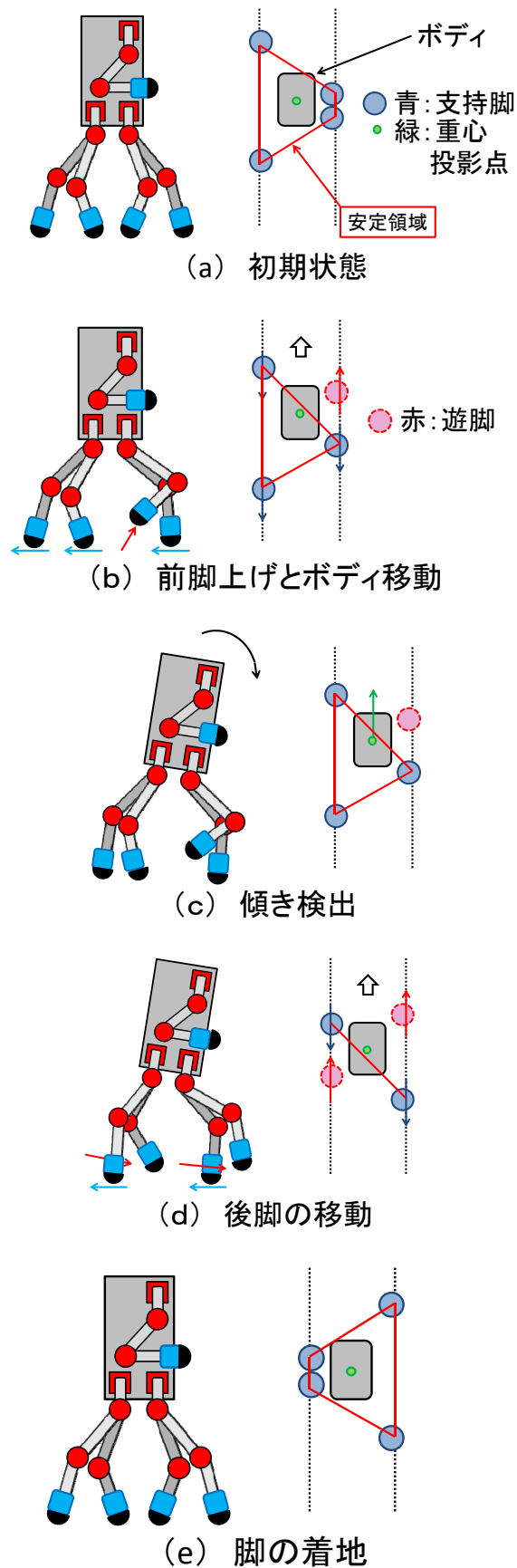


図4 直立4脚歩行法  
(左:横から見た図, 右:上から見た図)

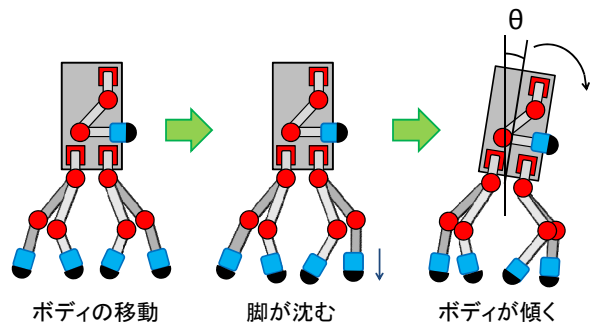


図5 後脚浮上の検出

その反面, 前後の脚の距離が近い為, 安定領域の変化が少ない. また, 移動に必要な接地面積も小さい.

人型ロボットと比べると, 安定領域が広く, かつ安定な歩行が可能である. また, 左右の重心移動を行わずに歩行できる. 反対に, 脚の数が多い分動作が複雑で, 移動に必要な接地面積も大きい.

#### 4. 歩行実験

##### 5.1 実験方法

ロボットの左右の幅を 90[mm], 前後の脚幅の最大を 200[mm], 最小を 40[mm], 1歩分の幅を 80[mm], (a)~(e)を1周期とした時の時間を最大 1[s]として, 歩行させる実験を行った. ただし, 傾き検出のタイミングによっては, 周期は短くなる.

##### 5.2 実験結果

歩行の様子を図6に示す. 図からロボットが(a)~(e)の手順で歩行できていることが確認できる. 図7は, 1周期のボディの傾き $\theta$ の測定結果である. (b)の段階でボディは約  $-10[\text{deg}]$ 傾いているので, 閾値は  $-5[\text{deg}]$ に設定した. その結果, (c)の傾き検出によって(d)の後脚の移動に切り替わり, 1歩進むことができた.

しかし, 着地時にふらつき, 体勢を立て直す前に次の動作に移ると転倒してしまった. これは, 着地後のバランス制御を行っていないためである. また, ノイズによって(c)のタイミングが正しく検出できなかったため, 前後に転倒する場合があった.

#### 5. おわりに

6脚作業移動ロボットの垂直4脚2腕モードにおける直立4脚歩行法を提案し, 実験によりその有効性を検証した. 今後は, 脚先力センサを取り付け, バランスをとりながら連

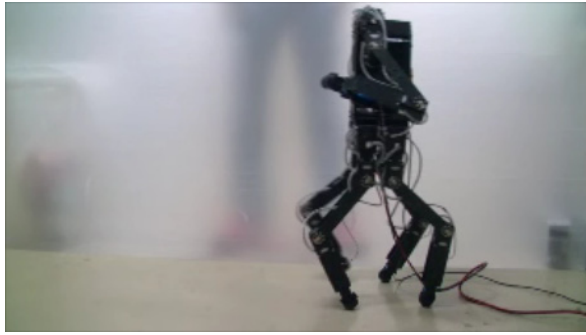


図6 歩行実験

続で歩行することを可能にし、斜面歩行や物体搬送にも応用する。

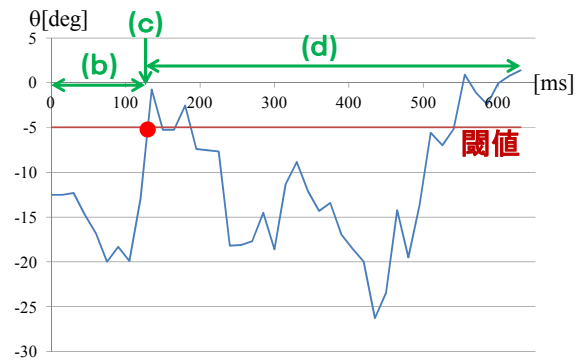


図7 ボディの傾き  $\theta$

#### 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] 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学術講演会講演論文集, pp.671-672, 2012.
- [3] 上之郷, 李, 井上: 4脚2腕ロボットによる急斜面登り, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.673-674, 2012.