

交互三脚歩行移動体の製作研究

菊地 吉郎*¹, 大山 和記*²

Production study on alternation tripod walk movement body

Kichiro KIKUCHI, Kazuki OYAMA

As a result of the research, the insect with fast passing speeds such as cockroaches and ants is clear moving by alternation tripod walk. It is not influenced and it is possible to walk even in the place where ground is uneven because three legs of six legs contact the ground in turn, and there is center of gravity of the body in a triangular inside. This paper describes the mechanism and the control of the alternation tripod walk movement body which was produced, and the experiment that changed the walking patterns by the control program.

KEYWORDS: Insect, Alternation Tripod Walk, Movement Body

1. はじめに

昆虫の特徴の一つである六足歩行は、独立した脚により移動を行う為多少の凹凸による影響を受けず、平地以外での移動手段として非常に優れた方法であると考えられる。菊地らは昆虫の前進移動における運動のメカニズムや特性を解明することを目的として、体長に比べて移動速度が特に速いゴキブリとアリ、および遅いカマキリ、ナナフシ、カナブン、クワガタを対象とし、それらの前進移動の際の速度および脚の動きの周波数と接地率を比較した。その結果、ゴキブリおよびアリが他の昆虫に比べて高速に前進移動を行っている理由として移動の際の脚の動きの周波数が非常に高いこと、また交互三脚歩行という歩容形態を有しており、重心を支えるのに必要最小限である3本の脚を接地させ、擬似的な二足によりその移動を

行っていることを報告した。¹⁾

さらに、菊地らはアリおよびゴキブリは主に胸部に最も近い第1節の角度変化により前進している可能性が高く、第1節及び第2節の角度変化により前進しているカマキリ、ナナフシおよびクワガタに比べ比較的単純な動作を繰り返すことにより前進しているのではないかとと思われることを報告した。²⁾

本報では、昆虫を模擬する六足歩行移動体を製作し、ゴキブリやアリの交互三脚歩行、およびカマキリやナナフシの歩行を行う脚の動きの制御実験を行ったので、結果を報告する。

2. 移動体の製作

2. 1 交互三脚歩行

ゴキブリやアリの脚の運びを図1に示す。数字

*1 機械工学科 (Dept. of Mechanical Engineering), E-mail:kikuchi@oyama-ct.ac.jp

*2 宇都宮機器 (2009 年度専攻科修了)

は脚の運びの順序であり、1と2と3、および4と5と6の3本の脚を同時に接地している割合すなわち接地率は70%前後であり、2組を交互に接地していることを確認している。そのような歩容形態は交互三脚歩行と呼ばれ、扁平な体の重心を三角形の擬似的な二足で常に支えていることになり、生物機能の優れた点と言える。一方、カマキリは移動速度が一定になると図1の順序となるが、それ以前の状態のカマキリやナナフシの脚の運びの順序には明確な規則性を見出せなかった。しかしながら、5本の脚の接地率は70%前後であり、脚を一つずつ動かしている確率が高い。³⁾

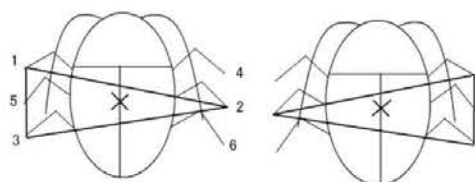


図1 ゴキブリの脚の動き

2. 2 脚の前後移動の機構

脚を前後移動させる第1節の機構を図2に示す。

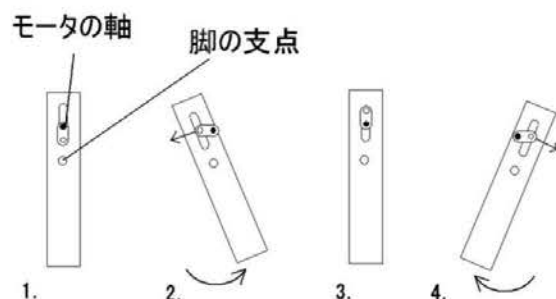


図2 脚の第1節の機構

モータの軸にクランク機構をつけて一方方向に回すだけで、モータを逆回転させなくても脚が前後に動く機構とした。支点にはM4のボルトを本体の下から取り付け、第1節が支点で回転することにより前後に動く。今回の設計ではモータ1回転につき支点まわりに約38度回転するので、先端部分は約7cmの弧を描いている。

2. 3 脚の持ち上げ機構

脚を持ち上げる第2節の機構を図3および4にそれぞれ示す。ラダーチェーンはタミヤのラダーチェーン&スプロケットセットを使用した。脚の

上部に取り付けられているスプロケットは回転するが、下部に取り付けられているスプロケットは脚に固定されていて回転しないようにした。脚を持ち上げる際は、この図の場合モータを時計回りに回転させることで図4の右のような状態になる。

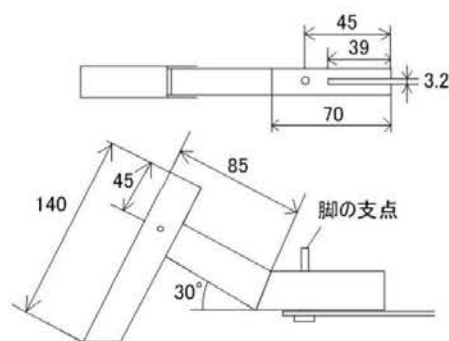


図3 脚の第2節の機構

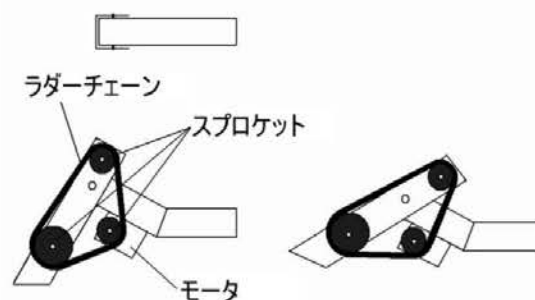


図4 脚の持ち上げ機構

2. 4 製作した脚の構造

製作したクランク機構を図5に示す。脚を前後に移動させるために使用したモータはタミヤ4速クランクギヤーボックスセットであり、供給電圧はDC 3V、ギヤ比は441:1、回転数は約30rpm、トルクは1483g・cmである。

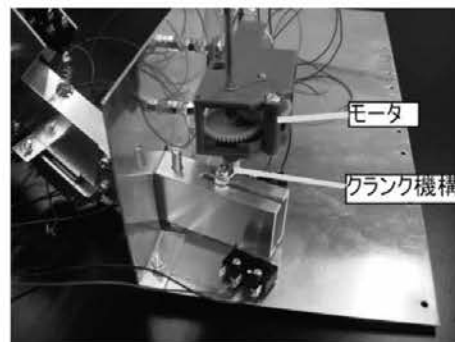


図5 クランク機構

製作した脚の持ち上げ機構を図6に示す。モータはタミヤのユニバーサルギヤーボックスであり、供給電圧はDC 3V、ギヤ比は 719 : 1、回転数は約 18rpm、トルクは 793g・cm である。脚を地面に接地させた際、体が沈みこんでしまい移動できない問題が発生したが、第1節の関節にスラストベアリングを装着することで問題を解決した。

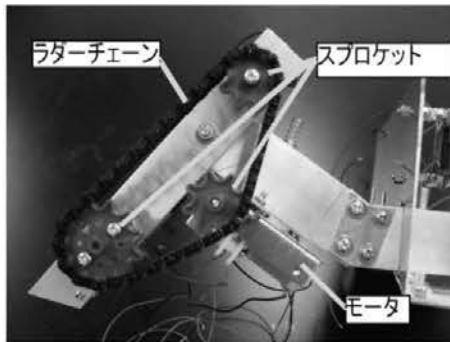


図6 脚の持ち上げ機構

2. 5 移動体

製作した移動体を図7に示す。図の状態では横×縦×高さは約 440×330×110mm である。



図7 移動体外観図

3. シーケンス制御

3. 1 リミットスイッチ

シーケンスのプログラムにより、移動体の動きをシーケンス制御することとした。各脚の第1節の前・後端位置検知リミットスイッチ、および第2節の上・下端位置検知リミットスイッチの設置の状況を図8及び9示す。リミットスイッチの信号でモータが止まるようシーケンスにより制御を行っても、わずかに回転し続けてしまう。それにより、リミットスイッチやギヤーボックスが破損してしまうことを防ぐために、図9に示すように上下を検知するリミットスイッチの脚にはバネを取り付けた。

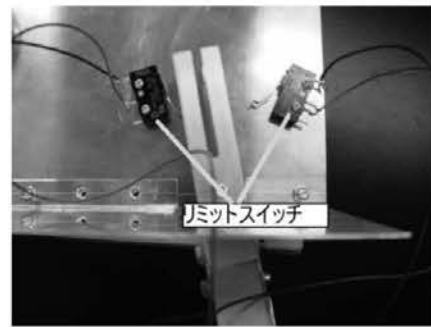


図8 前後を検知するリミットスイッチ



図9 上下を検知するリミットスイッチ

3. 2 制御プログラム

交互三脚歩行がそのほかの歩行形態とではどのような性能差が出るかを調べるために、交互三脚歩行するプログラムAと脚を1本ずつ動かし歩行するプログラムBの二つを作成した。

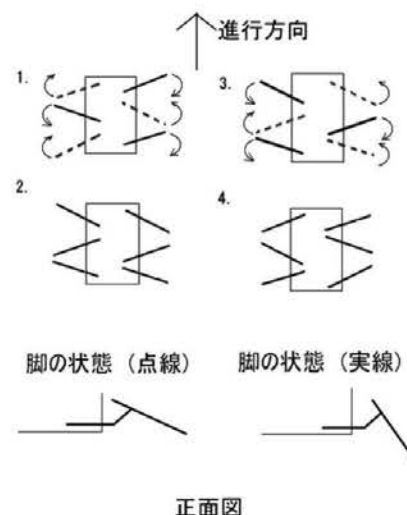


図10 プログラムAの制御

プログラムAでは、独立した6本の脚を交互三脚歩行させるために次のようにプログラミングを行った。まず、後ろに向いている脚が上がり地面

から離れる。そして、図9の脚の上側についているリミットスイッチが押されたときに、第1節駆動用の6つのモータが一斉に動き出して図10の脚が矢印の方向に動いて前に進み、交互三脚歩行としての1と2間の半周期分が完了する。引き続き同じように3と4の半周期分を行う。結果として1から4で1周期2歩分の動きをする。

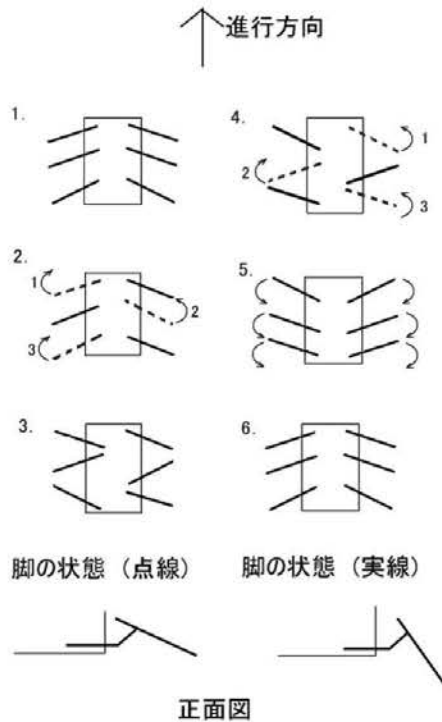


図11 プログラムBの制御

プログラムBでは次のようにプログラミングを行った。1の状態から始まり、まず点線で示された脚が上がり地面から離れる。そして、図9の脚の上側についているリミットスイッチが押されたときに、点線で示された脚が前方から順番に矢印の方向に動いて3の状態になる。4でも同じように脚を前に動かす。6本の脚を全て前に動かした後、第1節駆動用の6つのモータが一斉に動き出して1の状態に戻る。

4. 実験結果と考察

移動体を空中に置き、負荷のかからないときのプログラムAとプログラムBの1周期にかかった時間とその時の移動速度を表1に示す。また、実際に移動体を地面に置き計測した時間とその時の移動速度を表2に示す。

表1 無負荷時の1周期にかかる時間と移動速度

	時間(s)	移動速度(mm/s)
プログラムA	8.6	14
プログラムB	11.7	5

表2 実測値の1周期にかかる時間と移動速度

	時間(s)	移動速度(mm/s)
プログラムA	11.6	11
プログラムB	17.7	4

これらの結果から、移動速度はプログラムAがプログラムBの約3倍となることが確認できた。無負荷時と実測値の差はモータへの負荷の差が主因と考えられる。

今回の計測は、移動体の機構およびリミットスイッチの配置を変更せず、制御プログラムの変更のみで二種類の歩行を行わせた。従って、プログラムAでは3本ずつの脚が完全に一緒に動いている、またプログラムBでは一緒に地面を離れた3本の脚が一つずつ前方に動くことにより、脚を一つずつ動かす歩行と見做している。これらの点は実際の昆虫の動きを完全には模擬していない。

5. まとめ

- ・昆虫を模擬する六足歩行移動体を製作し、制御プログラムにより二種類の歩行を行わせることができた。
- ・今回の実験の範囲内で、交互三脚歩行の移動速度は脚を一つずつ動かす歩行の約3倍という結果であった。

参考文献

- 1) 加藤、菊地、機学関東支部ブロック合同講演会 2001 鳩山、講演論文集(2001.9)、205-206
- 2) 加藤、菊地、機学第41回学生員講演会、講演前刷集(2002.3)、349-350
- 3) 菊地、加藤、小山高専研究紀要、第35号(2003)、57-61
- 4) 楽天市場 タミヤシリーズ:eサポーターズ
<http://www.rakuten.co.jp/esupporters/534617/668183/>

[受理年月日 2010年9月30日]