

蠕動運動機構の製作と実験

Production and Experiment of Peristalsis Mechanics

菊地 吉郎・熊谷 友太*
Kichiro KIKUCHI, Yuta KUMAGAI*

1. 目的

蠕動運動とは太さと長さを変化させることにより、伸縮波を体の前方から後方へ伝播する運動である。ミミズは、その体を構成する多数の環節の伸縮を利用して、地上、地中、狭い隙間を移動する。つまり蠕動運動をすることで移動している。

図1に示すように、蠕動運動を用いた移動方法では、運動を行なう際、体の周方向への膨張を行なえるだけのスペースがあればよいので、脚や車輪・蛇行運動を用いた移動方式に比べ狭い場所を移動するのに適しているといえる。また、多くの移動用装置に見られる車輪などを用いた移動方法とは違い、体全面が接地面となりうる蠕動運動型移動装置を実現することができれば、災害現場などの狭く、乱雑な場所であっても移動が可能なのではないかと考えられる。

本研究では、ミミズの移動時の各環節の動作を詳細に解析した結果を用い、ミミズの移動メカニズムを模擬する機構を製作し実験することを目的とした。

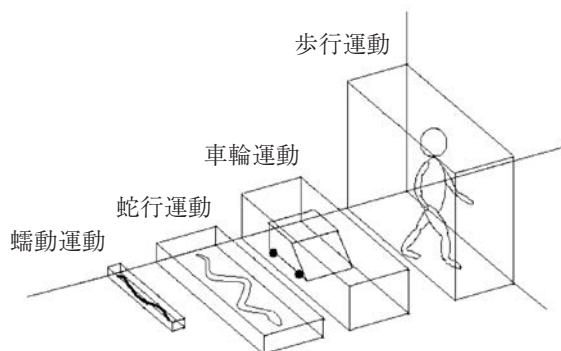


図1 各運動形態と運動に必要な空間

2. ミミズの移動メカニズム

昨年までの研究¹⁾で、ミミズの動作をハイスピードビデオカメラで撮影し、画像解析ソフトを用いて各環節の動きの解析を行った。解析で明らかになったミミズの移動メカニズムのモデルを図2示す。

まずミミズの停止状態での各環節は、短縮膨張状態にある。移動時では第一段階として、体の前方の環節が伸長収縮行程を行なう。この動作を「押し出し動作」として示す。第二段階としては、各環節の伸長収縮を後方へ、短縮膨張を前方へと順に伝える行程を行なう。この動作を「静止動作」として示す。そしてさらに第三段階として伸長収縮行程が最後部へと伝えられ、続いてミミズの最後尾は前方に引っ張られる形で移動する。この動作を「引っ張り動作」として示す。「引っ張り動作」を終え再び短縮・膨張状態の停止状態へ戻る。これらの動作を1サイクルとし、これを繰り返すことで前方へと移動する。

また、ミミズの各環節の収縮率は場所によらずほぼ一定の約80%で、移動運動中、同時に動作させている環節の割合は全体の約40%であった。

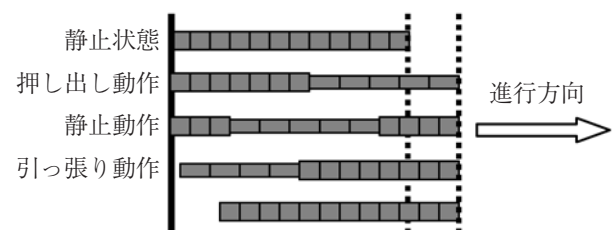


図2 ミミズの移動メカニズム

3. 蠕動運動機構の製作

昨年までの研究²⁾³⁾で、解析結果を基に蠕動運動を模擬する機構を製作してきた。前回製作した試作機の実験結果より、滑りを軽減させ、移動速度を上げるための構造の方向性は明らかになった。その方向性を踏まえ、前回の試作機の問題点を改善した新たな試作機の製作を行った。

※平成18年度 電子システム工学専攻修了
現)コマツ小山勤務

図3に一つの環節の構造図を示す。外皮には柔軟な素材である塩ビ板を用いた。9枚の板を(b)のように取り付け、短縮時に円形に押し出される形で広がるようにした。これにより(a)のように短縮膨張時に自重、又は狭い空間を押し出す形で接地面にフィットするように変形する。その上にゴムスポンジを張り付けることにより短縮膨張時により摩擦が稼げるようにした。また、一箇所だけ平面移動時に安定するように面を大きく取っている。大きさは伸張収縮時で長さが130mm、直径が約110mm、最大短縮膨張時で長さが100mm、直径が約160mmである。

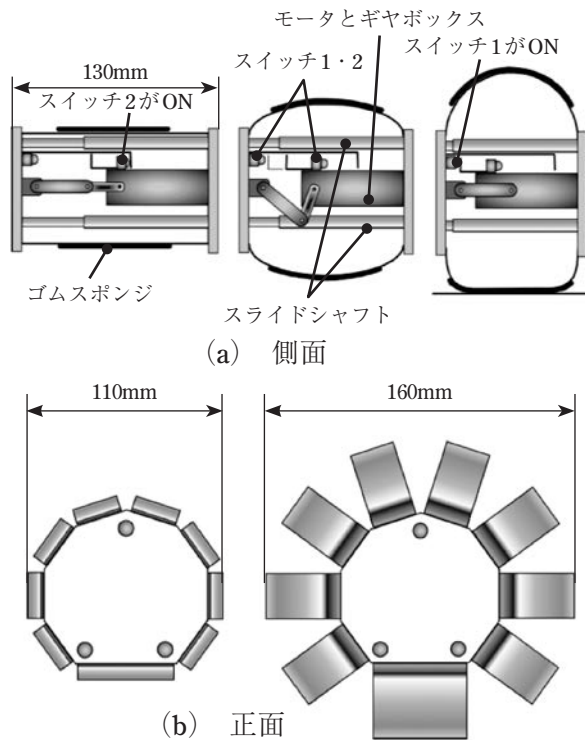


図3 環節の構造

昨年までに製作した機構はコンプレッサの圧縮空気を用いて運動させていたが、今回製作した環節はモータを動力にし、クランク機構により伸び縮みをさせる構造にした。環節内部の構造を図4に示す。スライドシャフトで環節内部を支え、モータの回転運動をクランクによって直線運動に換えることで伸張・短縮行程を行う。配線は図5のようにスライドシャフト内部を通し全て後方からまとめて出すことにより、環節の間から伸びるチューブが進行に影響を与える問題を解決した。使用したモータはFA-130タイプ・モータでギヤボックスのギヤ比は5402:1である。定格電圧3Vを加

えた際の仕様はクランク側出力軸トルク0.2 [N・m]、回転数は2.4 [rpm]である。

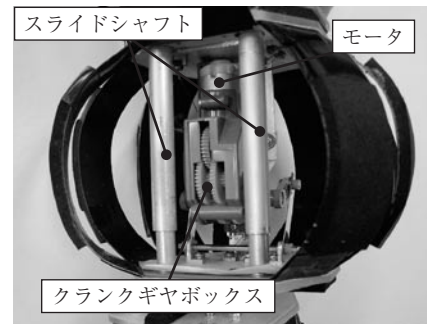


図4 内部構造



図5 内部配線

各環節の動作タイミングは、電磁弁のON/OFFを手動により行っていたものを、短縮膨張時と伸張収縮時でON/OFFが切り替わるように内部にスイッチを取り付け、そのON/OFFの信号によりシーケンスのプログラムで制御して一連の動作を自動で行うようにした。この環節を5個連ねることで蠕動運動機構とした。実物の全体図を図6に示す。

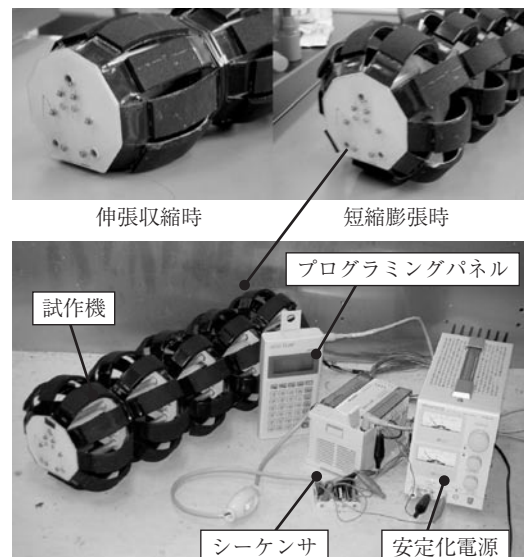


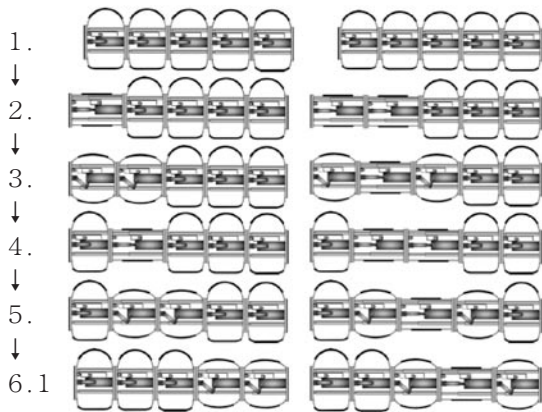
図6 蠕動運動機構

4. 性能試験及び結果

4-1. 平地移動

平地移動時における環節の動作パターンと移動速度の関係を調べた。図2の移動メカニズムを見ると、押し出し動作における押し出す環節を多くし、伸張収縮状態の環節を増やせば1サイクルで移動する距離は大きくなると推測できる。そこで、伸張収縮状態の環節数を変化させ、製作した試作機の同時に押し出すことができる環節の数を調べ、また移動速度にどう影響するかを調べた。実験を行った場所はワックス掛けしたタイル上で、3分間で進んだ距離を3回測定して平均した値を測定値とした。各環節のモータに加えた電圧は4.5Vである。

実験したところ同時に押し出せる環節の数は1と2で、3環節以上同時に押し出そうとするとモータのパワーが足りず、3環節目が止まってしまった。伸張収縮状態の環節数が1環節と2環節の時の動作パターンを図7に示す。また各パターンでの測定値を表1に示す。



パターン1 (伸張短縮状態1環節)左
パターン2 (伸張短縮状態2環節)右
図7 動作パターン

表1 平地移動時の移動距離

	3分間で進んだ距離
パターン1	120mm
パターン2	260mm

どちらのパターンでも滑りは発生せず、安定して前進した。移動距離はパターン2のほうがパターン1の倍であり、押し出す環節数が多いほうが

移動速度は大きいことが分かった。3環節を同時に押し出した場合でも後方への滑りはモータが止まるまでは発生しなかったため、3環節同時に押し出せるように改良すればさらに移動速度を増大できると考えられる。

4-2. 垂直2平面間の移動

狭い空間を移動し、なおかつ360°自由に移動できる有用性を確かめるため、垂直に立った2平面(アクリル板)の隙間を移動させる実験を行った。移動させる方向は、地面に対して水平、垂直に上昇、垂直に下降の3方向を行った。動作パターンは平面移動時と同じ2種類のパターンを試し、平面時と同様3分間で移動する距離を各3回測定しその平均値を用いた。モータに加える電圧は4.5Vで、2平面の間隔は140mmで固定した。実験の様子を図8及び9に示す。



正面

真上



支えきれず傾いた時

図8 水平移動時



図9 垂直移動時

実験の結果を表2に示す。移動が可能であった場合は移動距離を、移動が不可であった場合は×印を記入してある。

表2 2平面間移動時の3分間での移動距離

条件	水平方向	垂直上昇	垂直下降
パターン1	110mm	100mm	170mm
パターン2	×	210mm	300mm

まず水平方向移動時の場合、パターン1では下へずり落ちることもなく平面移動時とほぼ同じ速度で移動出来ることが分かった。パターン2では2関節を押し出し静止動作へ入る時、図8のように機体を支えきれずに前方から下へずり落ち、水平に移動するのは困難であった。押し出し動作時に前方の関節が伸びて接地面から離れることによって発生するモーメントに耐え、後方の関節で維持する必要がある、パターン1なら可能であったものと考えられる。

垂直上昇時ではどちらのパターンでも移動が可能であった。関節を持ち上げる分モータに加わる負荷が大きくなるため、平地移動時よりも若干移動速度は落ちたが、特に問題なく移動ができた。

垂直下降時ではパターン1も2もスムーズに動き、ずり落ちることなく移動が可能であった。移動距離は平地移動時と同じくパターン2のほうがパターン1の約2倍であった。

5. 考察

以上の実験結果より、平地及び、機体が挟まる空間があれば360°自由に移動が可能であることが分かった。その際迅速に移動するため移動速度を上げるには、押し出し動作における押し出す関節数を増やし、伸張収縮状態の関節を多くすることで1サイクルの移動距離を増やす必要がある。しかし、モータに加わる負荷が大きい場合や2平面間の水平移動時などのモーメントに耐える摩擦を維持することが必要な場合では、パターン1のように設置面となる関節数を確保し、モータへの負荷を軽くして機体をしっかり支えておく必要がある。

モータの性能といった機体のスペックや設置面との状態といったことに制約を受けていても、動

作パターンを変化させることでより迅速に移動させることができ、また移動困難な状況を改善して移動を可能にすることができることが分かった。

6. まとめ

- ・滑りが発生しなければ押し出し動作における押し出す関節数を増やし伸張収縮状態の関節を多くすることで、1サイクルで進む移動距離を増大させることが出来、より迅速な動きができる。
- ・機体を支えるための2つの面があれば狭い空間を移動し、360°自由に移動することが可能である。
- ・面の隙間を移動する際には、落下しないように接地面との摩擦を考慮した動作パターンの設定が必要である。また、進行する角度により必要な摩擦が変わるため、接地面との摩擦が少なくても移動が可能な場合は移動距離が増大する稼げる動作パターンに切り替えることで、より迅速な動きが実現できる。

7. 参考文献

- 1) 菊地・山口、小山高専研究紀要、第38号(2006)、27-30.
- 2) 本嶋・菊地、機学関東支部ブロック合同講演会2005足利、講演論文集(2005)、151-152.
- 3) 熊谷・菊地、機学関東支部ブロック合同講演会2006桐生、講演論文集(2006)、197-198.