

## 人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットの研究

### Study on Peristaltic Crawling Robot Using Artificial Muscle Actuator

上田晋也\*, 嵯峨宣彦\*\*, 中村太郎\*\*

Shinya UEDA\*, Norihiko SAGA\*\*, Taro NAKAMURA\*\*,

\*秋田県立大学大学院, \*\*秋田県立大学

\*Akita Prefectural Univ, \*\*Akita Prefectural Univ

**キーワード:** バイオメカニクス(Biomechanics), ミミズ( Earthworm), 人工筋アクチュエータ (Artificial Muscle Actuator), 蠕動運動(Peristaltic Crawling), 空気圧アクチュエータ (Pneumatic Actuator), レスキューロボット( Rescue Robot)

**連絡先:** 〒015-0055 秋田県本荘市土谷字海老ノ口 84-4

秋田県立大学 システム科学技術学部 機械知能システム学科 制御工学研究室

嵯峨宣彦, Tel. : 0184-27-2114, Fax. : 0184-27-2188, E-mail : saga@akita-pu.ac.jp

## 1. はじめに

ロボットの移動機構は2足歩行や車輪が主流だが,わずかな空間のみで移動可能な機構として,ミミズ等の蠕動運動による移動がある. Fig.1 に各種移動機構とその移動に要する空間を示す.そこで,我々は不整地や瓦礫内の移動を目指し,ミミズの移動機構に着目した蠕動運動型ロボットを開発している<sup>1)</sup>.

人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットの試作機的设计,およびその評価結果を報告する.

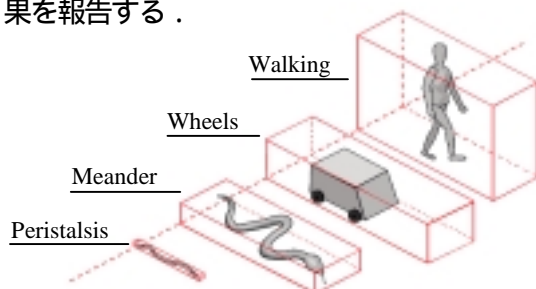


Fig.1 Locomotion mechanisms

## 2. ミミズの蠕動運動による移動様式

ミミズの体は一列に並んだ多くの体節から構成され,各体節は隔膜によって仕切られている.その体の内壁は,体の長手方向に沿う縦走筋と周方向に沿う輪状筋の2層の筋肉によって囲まれている.これらの筋肉によってミミズはその胴体の長さや幅を変えることで,蠕動運動を行う.この運動詳細は,1つの体節の縦走筋が収縮することで,その体節は短く太くなる.一方,輪状筋が収縮することで,体節は細く長くなる.ミミズが地面を進行するとき,太くなった体節部が地面と接触し摩擦によって静止状態となり,細くなった体節部は地面から上に多少浮くことで摩擦が小さくなるため前方へ移動できる.体節が短く太い状態から細く長い状態へと変化する際に,

前方にある体節を前に押し出し，逆に体節が細く長い状態から短く太い状態に変化する際に，太くなった体節部が地面と接触し摩擦によって静止状態となり，後ろの体節を前へ引き寄せる．このように，前方から後方へ伸縮波を伝播させることで蠕動運動を行い移動する． Fig2にミミズの移動機構を示す．

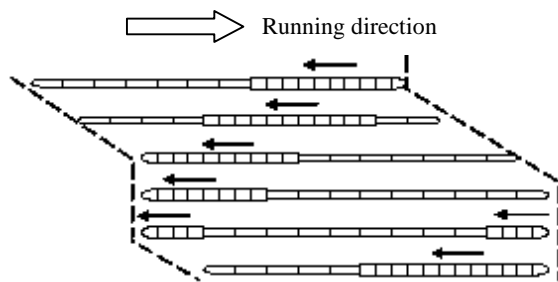


Fig. 2 Locomotion pattern of an earthworm

実際にミミズを用いて移動量を計測した．計測は，発泡スチロールの板上に溝を掘り，ミミズをその溝の中に入れて行った． Fig3 に計測したミミズの最後尾の移動量を示す．

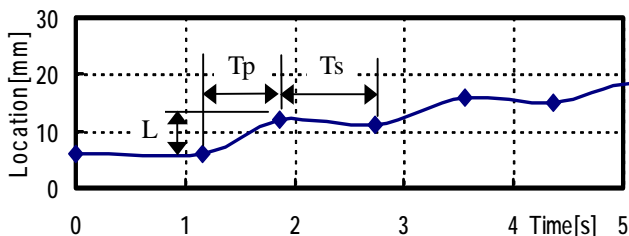


Fig. 3 Measured locomotion pattern of an earthworm

Fig3 に示すように，蠕動運動には移動している状態の進行時間と静止している状態の静止時間が存在する．計測で得た進行時間  $T_p$ ，静止時間  $T_s$ ，進行距離  $L$  の平均値は，進行時間  $T_p = 0.83$  [s]，静止時間  $T_s = 1.04$  [s]，進行距離  $L = 5.14$  [mm] であった．

この値から，蠕動運動の波形の速度(Speed)，デューティーファクター(Duty factor)，突出率

(Protrusion rate)，進行周波数(Stride frequency)を計算することができる．速度はミミズの移動速度，デューティーファクターは進行時間と静止時間を合わせた全体時間に対する静止時間の割合，突出率は波形の傾き，進行周波数は波形の周波数を表し，これらの値を知ること

$$Speed = \frac{L}{T_p + T_s} = 2.7 \text{ [mm/s]} \quad (1)$$

$$Duty \ factor = \frac{T_s}{T_p + T_s} \times 100 = 56 \text{ [%]} \quad (2)$$

$$Protrusion \ rate = \frac{L}{T_p} = 6.2 \text{ [mm/s]} \quad (3)$$

$$Stride \ frequency = \frac{1}{T_p + T_s} = 0.53 \text{ [Hz]} \quad (4)$$

### 3. 人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットの構成

#### 3.1 ケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータの構成

人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットは、ミミズの体節に相当する部分にケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータを用いた．使用したケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータ<sup>2)3)</sup>の構成を Fig4 に示す．

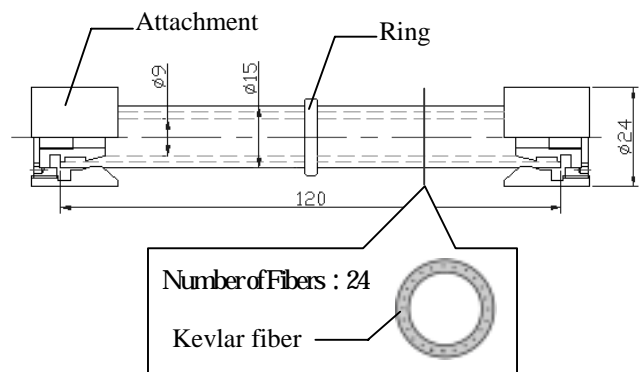


Fig. 4 Constitution of a new artificial muscle actuator

このケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータは、高強度繊維のケブラー繊維を長手方向に直線的に内挿したシリコンゴム製チューブを用い、チューブからはみ出したケブラー繊維をアタッチメントで挟み込み拘束している。チューブ内に空気圧を加えることでチューブは膨らみ、その際ケブラー繊維によって長手方向は拘束されているので人工筋アクチュエータは収縮する。

今回は内挿されたケブラー繊維数が 24 本の人工筋アクチュエータにリングを装着して使用した。ケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータの空気圧 0.2MPa における立ち上がり時間は 0.23[s]、収縮量 4.11[mm]、膨張時の直径は 27.45[mm]であった。Fig.4 にケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータの応答特性を示す。

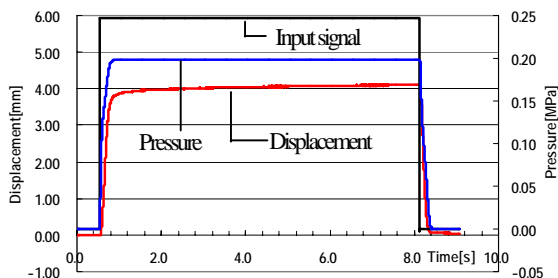


Fig.4 Response characteristics

### 3.2 蠕動運動型ロボットの構成

試作した蠕動運動型ロボットは、ケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータを 4 つ連結して構成した。この蠕動運動型ロボットの重さは 372g である。Fig.5 に蠕動運動型ロボットの構成を示す。また、各人工筋アクチュエータを蠕動運動型ロボットの先頭から A1, A2, A3, A4 と呼ぶことにする。

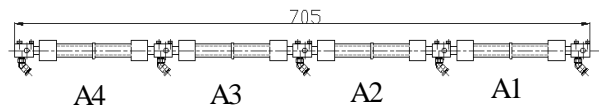


Fig.5 Configuration of the peristalsis crawling type

各人工筋アクチュエータに空気圧を加えるために、プログラムリレー（オムロン株式会社製，ZEN-10C1DR-D，ZEN-4ER）を用いて各人工筋アクチュエータに繋がる電磁弁の開閉を制御している。Fig.6 にエア配管の概要を示す。また電磁弁と人工筋アクチュエータの空気圧回路図を Fig.7 に示す。

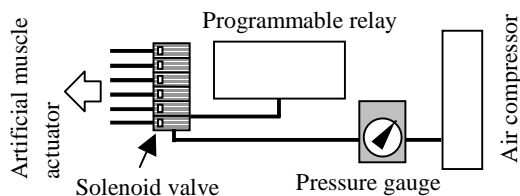


Fig.6 Outline of the air piping

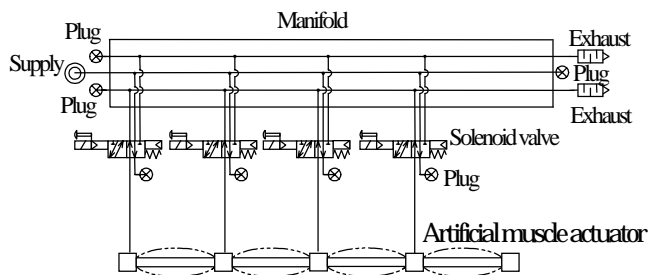


Fig.7 Air pressure circuit

蠕動運動型ロボットに蠕動運動を行わせるために、プログラムリレーを用いて各人工筋アクチュエータへの空気圧の ON/OFF タイミングを制御する。蠕動運動型ロボットの動作パターンは、Fig.8 に示す。

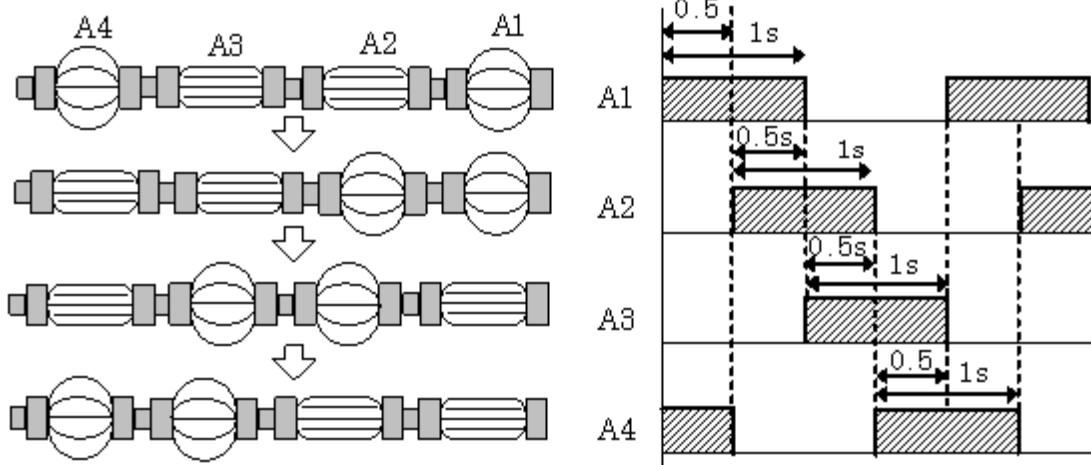


Fig.8 Locomotion pattern of the peristaltic crawling robot

## 4. 管内走行

### 4.1 システム概要

人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットをアクリル製の管内に入れ走行させた。これは、蠕動運動型ロボットの走行路に内径 27 mm, 外径 35mmのアクリル管を用い, 人工筋アクチュエータが収縮し膨らんだ際の管内との摩擦を利用して進行する。管内走行の概要を Fig.9 に示す。

人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットの動作実験を行った。人工筋アクチュエータに加える空気圧は 0.2MPa に維持した。実験では、蠕動運動型ロボットの移動の様子をビデオカメラで撮影し、画像の解析を行った。

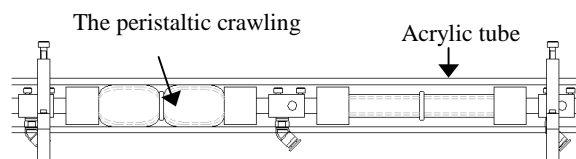


Fig.9 Moving mechanism of the in-pipe traveling system

### 4.2 実験結果と考察

実験結果の運動画像を Fig. 9 に示す。人工筋アクチュエータ A1 が収縮を開始する直前の状態（経過時間  $t = 0s$ ）を基準とし、(a)~(e)の時間経過における動作状態を示した。

(a)~(b)間では、A4 が膨張状態で管との摩擦によって位置保持している間に、A3 が復元して伸びることで前方の A2 を前へ押し出す。また A1 が収縮し A2 を引き寄せる。(b)~(c)間では、A1 が膨張状態で位置保持している間に A2 が収縮し A4 が伸びることで間にある A3 が前方へと移動する。(c)~(d)間では、A2 が摩擦により位置保持しているので、A1 が復元し伸び先頭部を前へと押し出し、A3 が収縮し A4 を引き寄せる。(d)~(e)間では、A3 が位置保持状態となっているので、A2 が復元し伸びることにより A1 を前へ押し出し、A4 が収縮することで最後尾を引き寄せる。(e)になると再び A1 が収縮を、A3 が復元を開始する。

Fig. 10 に画像から得られた管内走行における蠕動運動型ロボットの各 Point での移動量を示す。

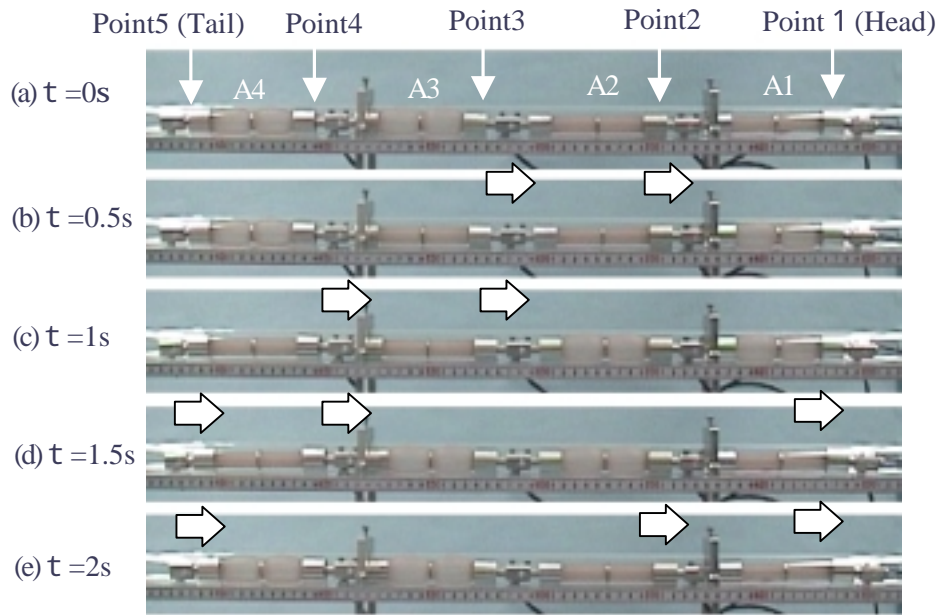


Fig.9 Traveling images measured by the experiment

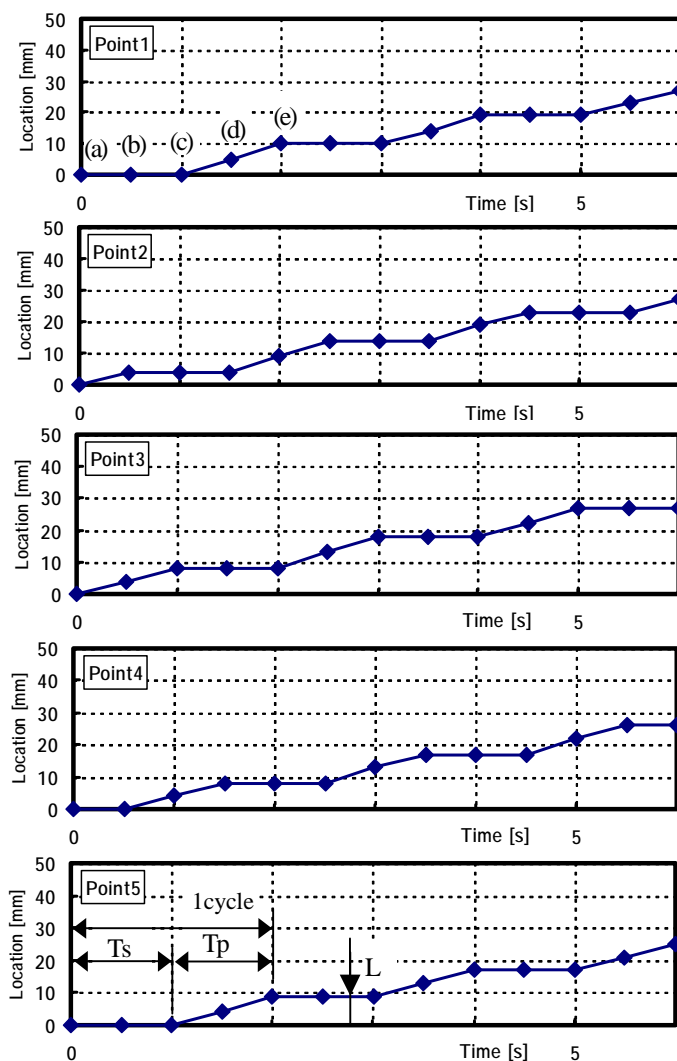


Fig.10 Locomotion patterns of the robot

計測で得た最後尾の進行時間  $T_p$  , 静止時間  $T_s$  , 進行距離  $L$  の平均値は, 進行時間  $T_p = 1.0$  [s] , 静止時間  $T_s = 1.0$  [s] , 進行距離  $L = 8.9$  [mm] であった .

この値から計算した蠕動運動の波形の速度 ( Speed ) , デューティーファクター ( Duty factor ) , 突出率 ( Protusion rate ) , 進行周波数 ( Stride frequency ) は以下に示す .

$$Speed = \frac{L}{T_p + T_s} = 4.45 \text{ [mm/s]} \quad (5)$$

$$Duty \ factor = \frac{T_s}{T_p + T_s} \times 100 = 50 \text{ [%]} \quad (6)$$

$$Protusion \ rate = \frac{L}{T_p} = 8.9 \text{ [mm/s]} \quad (7)$$

$$Stride \ frequency = \frac{1}{T_p + T_s} = 0.5 \text{ [Hz]} \quad (8)$$

人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットは, 摩擦によってアクリル管内を進行することが確認できた .

## 5. まとめ

人工筋アクチュエータを用いた蠕動運動型ロボットを試作し、走行評価を行った。蠕動運動型ロボットの移動には、実際のミミズと同様に移動状態である進行時間と静止状態の静止時間が存在し、実際のミミズに見られるような移動波形を示す。このことから、試作した蠕動運動型ロボットは、蠕動運動を行い進行することが確認できた。

### 参考文献

- 1) N.Saga, T.Nakamura : Elucidation of Propulsive Force of Micro Robot Using Magnetic Fluid, Journal of Applied Physics, Vol9 Issue5, 7003/7005 ( 2002 )
- 2) N.Saga, T.Nakamura : Development of Artificial Muscle Actuator Reinforced by Kevlar Fiber, IEEE International Conference on Industrial Technology, IEEE Industrial Electronics Society, 950/954 ( 2002 )
- 3) 栗野克行 : ケブラー繊維強化型人工筋アクチュエータの開発, 日本機械学会 2002 年度 年次大会 講演論文集, Vol. , 115/116 ( 2002 )