

## サーボモータを用いた蠕動運動型ロボットの開発

### Development of a Peristaltic Crawling Robot Using Servo Motors

○世戸大地\*, 嗟峨宣彦\*\*

○Taichi SETO\*, Norihiko SAGA\*\*

\*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), サーボモータ(Servo motor), リンク機構(Link mechanics), 蠕動運動(Peristaltic Crawling), レスキューロボット(Rescue Robot), 電流センサ (Current sensor)

**連絡先** : 〒015-0055 秋田県由利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  
嗟峨宣彦, Tel. : 0184-27-2114, Fax. : 0184-27-2188, E-mail : saga@akita-pu.ac.jp

#### 1. はじめに

現在, 災害時における人命救助を目的としたレスキューロボットが注目を浴びている. ロボットの移動機構としては, 二足歩行, 車輪走行, 蛇行[1, 2]などがある. しかし, それらは移動に多くの空間を要し, 不整地の複雑な環境に適応して安定して移動することは困難である. そこで, 歩行や車輪走行に代わる移動機構としてミミズの蠕動運動に着目した[3]. ミミズの蠕動運動による移動は, 身体の太さと長さを変化させることによって伸縮波を伝播させることで行われ, わずかな空間でも安定した移動が可能である.

ミミズ型ロボットは, 災害現場のように形状が複雑で空間的に制約が厳しい場所での移動が可能である. 従来の蠕動運動を行うミミズ型ロ

ボットは, 駆動方法として真空圧駆動式[4, 5, 6, 7]や, 圧電アクチュエータ, 磁性流体[8], 形状記憶合金の利用[9, 10], 等がある(Fig.1). しかしながら, これらは小型化と構造の簡単化を主に考えて製作されており, 実際の災害現場での実用性を考慮すると改良の必要がある. また, センサ類を取り付け, その活用法を検討したものは少ない.



(a) Using Artificial muscle actuator



(b) Using Magnetic fluid

Fig.1 The present type of Peristaltic Crawling Robot

本研究では、レスキュー活動、特に地震災害による建造物崩壊現場における人命探索を目的としたロボットの開発を目指し、サーボモータを用いてミミズの蠕動運動を規範とした機械的なリンク機構の蠕動運動型ロボットとその動作パターンについて報告する。また、角度センサと電流センサを利用して接触センサとして活用する方法を提案し、その有効性を評価する。

## 2 ミミズの運動モデル

ミミズの運動原理を蠕動運動型ロボットに応用するためにモデル化を行ったものを Fig2 に示す[6]。ミミズの体は一列にならんだ多くの体節から成り、体の長軸にそって伸縮波が伝わることにより、蠕動運動を行って前進する。Fig2 では、体節数を5としたが、ロボットに用いる場合は最低でも3つの体節があれば蠕動運動による移動が可能である。

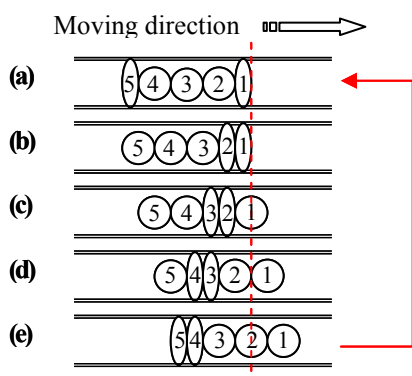


Fig.2 The model of an earthworm locomotion

## 3. 蠕動運動型ロボット

### 3.1 体節ユニットの構成

ミミズの運動モデルを実現するために、サーボモータを用いた、蠕動運動型ロボットに使われている体節ユニットの構造を Fig3 に示す。一つの体節ユニットはミミズの一体節に相当し、回転軸を繋いでリンク機構を形成することで、

体節の収縮を実現している。6 個の関節を有し、4つのサーボモータ(AI Motor-601)を使用し、2つの自由回転軸を持っている。これは、使用するモータの数を全軸数より少なくし、6軸であるが4つの固定回転軸で精度の高い位置決めすることができる。また、壁との接触部にあたる部分(自由回転軸)の外周にはOリングを填めており、接触時に摩擦比を稼ぐようにしている。地面からの摩擦はロボットが動作する上で不要な力になるのでボールキャスタを使用し、低減している。

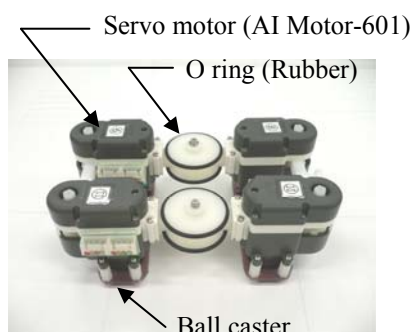


Fig.3 The structure of the segment unit

### 3.2 ロボットの全体構成

蠕動運動型ロボットの外観および仕様を Fig4 と Table.1 に示す。ロボットは、体節ユニットを3つ、ユニット間にはサーボモータを1つ挟んで連結し構成する。ユニット間のサーボモータは、今後の予定であるロボットの方向制御のために取り付けている。



Fig.4 Peristaltic Crawling Robot Using Servo motors

Table.1 Specifications of the Peristaltic Crawling Robot

Dimension (L×W×H)	330×185×54 mm	
Length	Maximum	501 mm
	Minimum	330 mm
Width	Maximum	185 mm
	Minimum	95 mm
Weight	995 g	

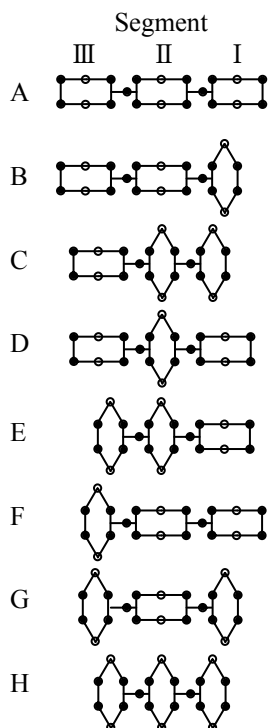


Fig.5 The forms of the robot

#### 4. 形態と動作パターン

Fig5に、蠕動運動型ロボットの形態のバリエーションを示す。それぞれに形態A～Hと名称をつけ、右側から体節I～IIIとしておく。そして、Fig6に、ミミズの運動モデルを元に考案した、移動可能ないくつかの蠕動運動型ロボットの動作パターンを示す。

動作パターンの各Typeについての特徴を説明する。Type1は、体節の膨張と収縮を一動作ごとに行う。Type2は、2つの体節が同時に膨張と収縮を行う。これは、Fig2で示したミミズの運動モデルと同じ動きになる。Type3は、伸縮波の波長を長くしている。また、体節の膨張と収縮を一動作ごとに行う。Type4は、Type3における形態Aを削除し、形態Gを追加した。これは、常に1つ以上の体節がロボットを保持するように、すべての体節が収縮した状態である形態Aをなくした。Type5は、Type4の動作数を減らすため形態Bを省いた。Type6は、Type2における形態E→Gへの移行時に体節IIが伸びきる前に体節Iが開いてしまうと移動量を減少してしまうと考え、間に形態Fを入れた。また、これは、Type5における形態Hを省いた動作でもある。

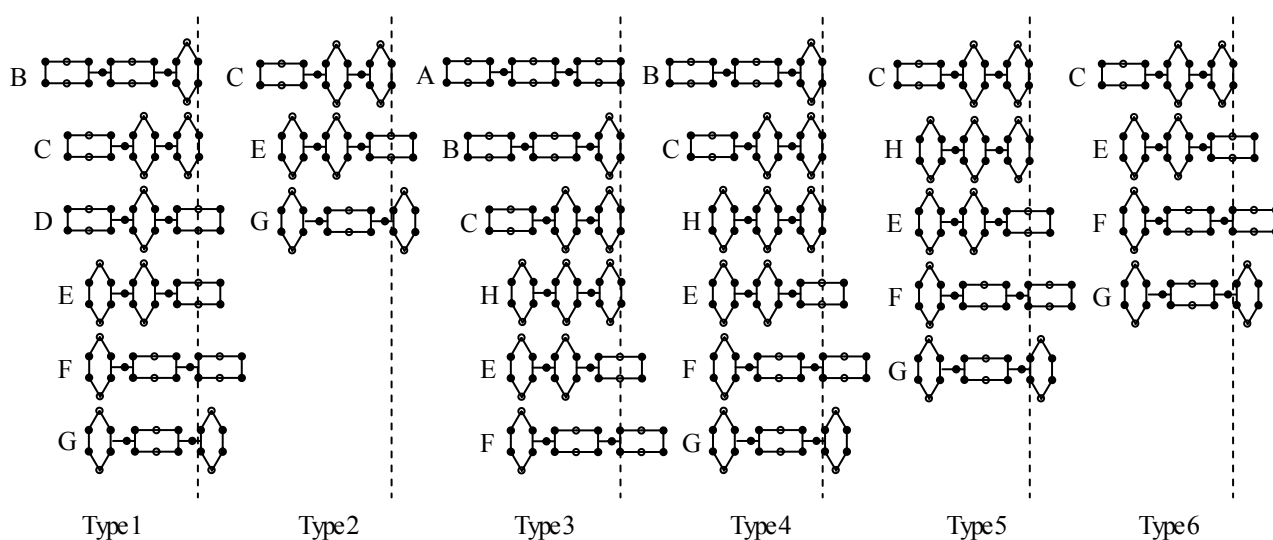


Fig.6 The moving patterns of the robot

## 5. 接触センサ

ロボットに使用したサーボモータ(AIMotor-601)には、角度センサと電流センサが搭載されている。Fig7にサーボモータの特性を示す。モータは、立ち上がり時と過渡状態から定常状態への変化時に電流が高くなる。そして、Fig8に定常状態になる前に負荷をかけた時のモータの電流値を示す。モータに負荷をかけた時、抵抗値が変化し測定電流値が上がる性質がある。これらのことから、測定した電流値がある閾値を一定時間超え続けたとき、物体に接触したとみなし、電流センサを接触センサとして利用する。また、電流センサを接触センサとして用いることによって、モータへの過負荷・過電流の防止することができる。

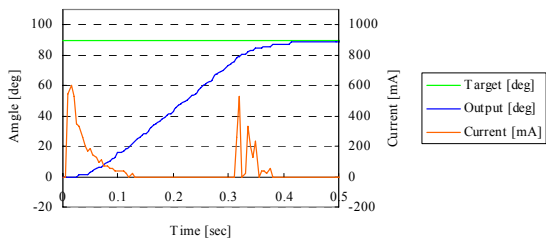


Fig.7 Characteristic of Servo Motor (AI Motor-601)

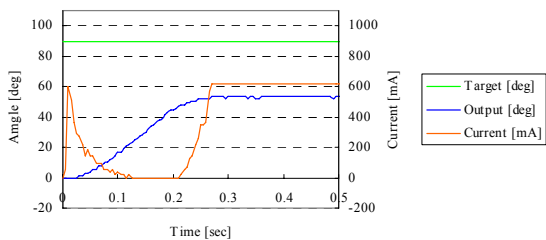


Fig.8 Characteristic when load is put

Table.2 The Combinations of Page, Moving pattern and Sensing segment

Page	Moving pattern and Sensing segment					
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
1	B-III	C-II	A-III	B-III	C-II	C-II
2	C-II	E-III	B-I	C-II	H-III	E-III
3	D-I	G-I	C-II	H-III	E-I	F-II
4	E-III		H-III	E-I	F-II	G-I
5	F-II		E-I	F-II	G-I	
6	G-I		F-II	G-I		

## 6. 制御プログラム

Table2にプログラムで用いる変数 Page と各動作パターンとの関係を示す。また、形態 A~Hの横に書かれている体節 I~IIIは、センサを利用した場合のセンシングする体節を示している。

ロボットに用いる制御プログラムについて説明する。Fig9に制御プログラムのフローチャートを示す。はじめに、動作パターンの選択と動作間の時間間隔(インターバル時間)を設定する。次に、選択した動作パターンから Table2を参照して、変数 Pageの各番号にロボットの形態に従って各モータへの指令値を行列で書き込む。そして、Timerをスタートする。Timer内の制御構文は計測サンプリング時間ごとに Stopの指令がない限り繰り返される。

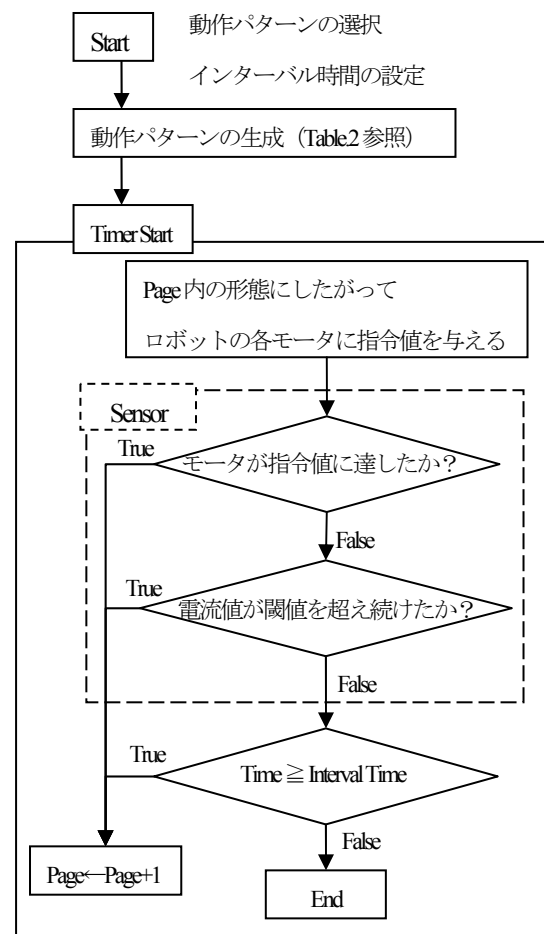


Fig.9 Flow chart of control program

センサを利用しない場合、ロボットはインターバル時間ごとに形態を変数 Page の順番に従って動作する。センサを利用した場合は、Table 2 の各変数 Page に示されている体節にのみセンサ部分を適応し、モータが指令値に達した時や電流値が閾値を超え続けた時、インターバル時間にならなくても、次の変数 Page に進み動作する。

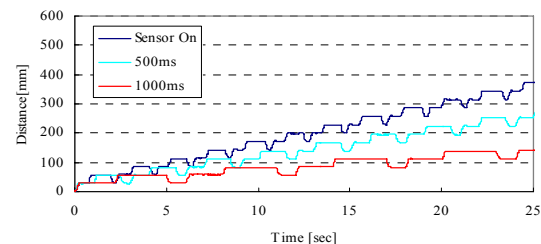
フローチャートには描かれていないが変数 Page が 6 を超えた場合や変数 Page 内に何もかかれていない場合は Page 1 に戻るように設定されている。

## 7. 動作実験

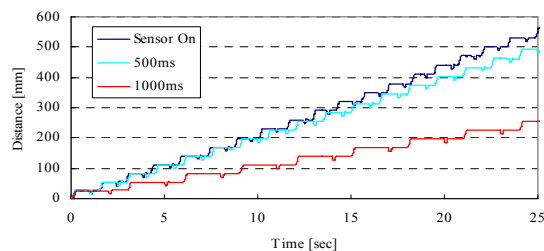
蠕動運動型ロボットの動作確認のため、実験を行った。ロボットを一定幅 160mm の走行路に置き、制御プログラムにより各モータへの指令値を与え制御した。ロボットはプログラムの変数である Page 1 に書き込まれた形態から動作し始めるようにした。

実験ではロボットの最後尾に反射マーカを取り付けライトで照らし、マーカの反射光をカメラで撮影する。カメラは同期信号発生器 (SG-101; Victor) により同期し、撮影した映像は、カメラアダプター (YS-W270; SONY) を介して汎用コンピュータにサンプリング周波数 30Hz で記録する。撮影したロボットの移動の様子を、動作解析ソフト (Move-tr/32; ライブラリー) を使用して動作解析を行った。

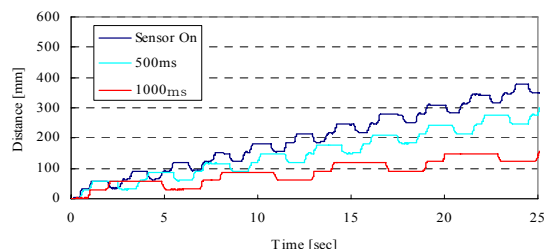
Fig.10 に、各動作パターン別に、インターバル時間 (1000ms・500ms) とセンサの有無を変えたロボットの移動距離を示す。ただし、計測サンプリング時間 20ms、センサを利用した場合は、インターバル時間 1000ms、物体と接触したとみなすのは電流値の閾値 250mA を 100ms の間越えたときとする。



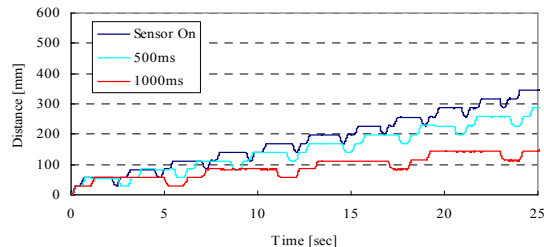
( i ) Type 1



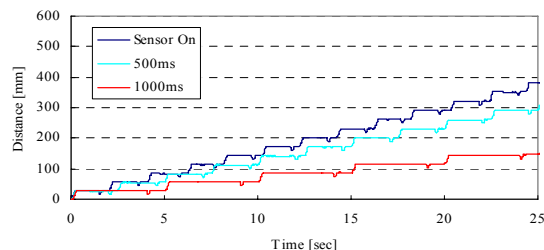
( ii ) Type 2



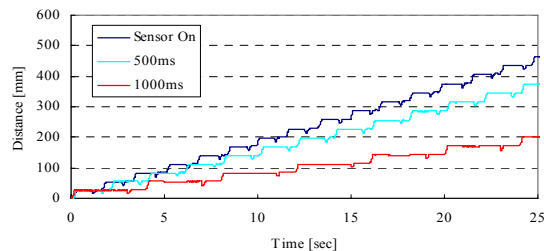
( iii ) Type 3



( iv ) Type 4



( v ) Type 5



( vi ) Type 6

Fig.10 The moving distances

動作パターン別に移動距離を比べてみると、Type2の時、移動距離が一番長い。次にType6そしてType5と続くことから動作パターンの動作数が少ない方が、移動速度が速くなることがわかる。

インターバル時間とセンサの有無で比べてみると、すべての各動作パターンともに、インターバル時間を短くした時、移動距離が長くなる。さらに、センサを利用した場合の方が良い結果となった。これは、ロボットの体節が壁に接触してから次の形態へ変化するためである。このことから、インターバル時間を短くすれば移動距離が長くなるが、センサを利用した場合より移動距離が長くなるようなインターバル時間に設定すると、ロボットの体節が壁に接触する前に次の動作へ移り、反対に移動速度低下の恐れがある。したがって、センサを利用した場合は、走行路に合わせた最適な移動が可能である。

センサの有効性を確認するために、インターバル時間500msとセンサ有の場合を比べてみると、動作数が多いほど移動距離がより長くなっている。したがって、動作数が多い方が、センサの有効性が高いことになる。

## 6. まとめ

サーボモータを用いて蠕動運動型ロボットを開発し、動作実験を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- ・ミミズの運動モデルを元にロボットの動作パターンを考案し、すべてにおいて移動可能であることを確認した。
- ・角度センサと電流センサを利用して接触センサとして活用することにより、走行路にあわせた最適な移動が可能であることがわかった。

## 参考文献

- 1) 外川圭司, 広瀬茂男: 3次元索状能動体 ACM-R2 の設計と基本動作実験, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, 2P1-84-130(1)(2000)
- 2) 広瀬茂男: 生物機械工学, 工業調査会, 25-31(1987)
- 3) Kim J, Quillin: Kinematic Scaling of Locomotion by Hydrostatic Animals: Ontogeny of Peristaltic Crawling by the Earthworm, the Journal of Experimental Biology 202, 661-674 (1999)
- 4) 則次俊朗, 久保田充彦: 空気圧ソフトアクチュエータを用いた管内移動ロボットの開発, 日本ロボット学会誌 18 巻 6 号, 73-80(2000)
- 5) 原坂龍太, 前田裕次, 朝比奈啓博, 丁 洛榮: インフレータブルアクチュエータを有するミミズ型レスキューロボットの開発, ROBOMECH 2005, 1P1-S-074(1)(2005)
- 6) 高橋昌樹, 林 巖, 岩附信行, 鈴木康一, 黄木昇: みみずの運動を応用した細管内移動マイクロロボットの研究, 精密工学会誌, Vol.61, No.1, 90-94(1995)
- 7) 福元清一, 加藤重雄: 真空圧駆動式ミミズロボットの走行特性, 日本機械学会東北支部総会・講演会講演論文集, 57-58(1997)
- 8) N.Saga, T.Nakamura : Elucidation of Propulsive Force of Micro Robot Using magnetic Fluid, Journal of applied Physics, Vol.9 Issue5, 7003/7005(2002)
- 9) 篠原英司, 南 和幸, 江刺正喜: ミミズのような蠕動運動システム, 電学論 E, 119 巻 6 号, 334-339(1999)
- 10) A. Menciassi, S. Gorini, G. Pemorio, and P. Dario, "A SMA Actuated Artificial Earthworm," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA'04), New Orleans, USA, pp. 3282-3287, (2004)
- 11) 東昭: 生物の動きの事典, 朝倉書店(1997)