

## みみず型ロボットの運動制御

## Motion control of seeing type robot

沼田和真†,加藤厚生††

NUMATA KAZUMASA, ATSUO KATO

**Abstract** This paper describes a development of an angleworm type robot. The operation simulation was done. To follow the method of searching for the needed rescuer moreover, it examined it. A real machine was made and it experimented.

1. はじめに

もともと、地震多発地帯である日本には耐震構造や免震構造の建物がたくさんあるが、それでも多くの建物が倒壊し、死者や行方不明者と負傷者を出している。また海外でも多くの建物が倒壊し、死者や行方不明者と負傷者を出している。

そこで、探索型レスキューロボットとしてみみず型ロボットを開発することにした。これはこれまで本研究室で開発してきたイモムシ型ロボット (AIT ReBo. 1) が身体を上下にくねらせる横波を利用したのに対し、みみず型では身体を伸縮させる縦波を利用するため、進行に要する空隙が小さくて済むと考えたためである。また縦波による進行は稼働時の衝撃や振動も少なくエネルギーロスも小さいため本体の軽量化も可能である。

研究では伸縮型ロボットの動力学シミュレーションを行い、どのような状態のとき移動速度が高くなるかを検証した。また、実際に実機を製作し運動を実測して動力学シミュレーションとの比較を行った。

さらに、探索型レスキューロボット本来の目的である要救助者を探索する方法として、音と画像についてそれぞれ可能性を検討した。

2. 動作シミュレーション

本章では、伸縮移動型ロボットのシミュレーション結

果について論じる。シミュレーションにはフリーの物理計算エンジン「Open Dynamics Engine」を使用した。Open Dynamics Engine (本論文では ODE と呼ぶ) は、三次元動力学をパソコン上で計算するためのライブラリ群である。本論文では ODE を使用して伸縮移動型ロボットの動作時の挙動をシミュレートした。

## 2・1 パラメータの設定

## 2・1・1 ロボットの形状

ロボットは横断面長さ 60mm×60mm、長軸方向長さ 100mm、の直方体を 1 ユニットとした。重量は 200[gw]。各ユニット間を最大振幅 20mm のスライド関節で連結した。ユニット間にスライド関節を設ける関係上 2 ユニット以上の場合でシミュレーションを行った。

下の図 2.1 にロボットの形状を図示したが、注意点として ODE は左手座標系を使用しているため、左から右にユニット番号を付けてある。ロボットの第一ユニット先端がスタート時に原点にあるとする。ロボットの進行方向は Y 軸正方向である。

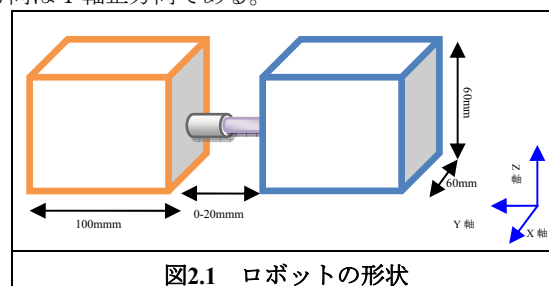


図2.1 ロボットの形状

## 2・1・2 制御方法

N 個のユニットを持つロボットを動作させる場合の制御方法について詳しく説明する。ユニット番号は

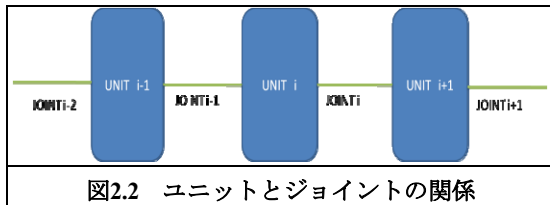
† 愛知工業大学大学院工学研究科 (豊田市)

†† 愛知工業大学機械学科知能機械工学専攻教授 (豊田市)

$i = 0, 1, 2, \dots, n$ とする。ロボットのスライド関節に番号をつける。 $UNIT_i$ と $UNIT_{i+1}$ の間にある関節を $JOINT_i$ とする。

$UNIT_i$ に発生する摩擦力 $F_i$ は、式(2.1)で計算できる。

$$F_i = \mu_i \cdot UnitM_i \quad (2.1)$$



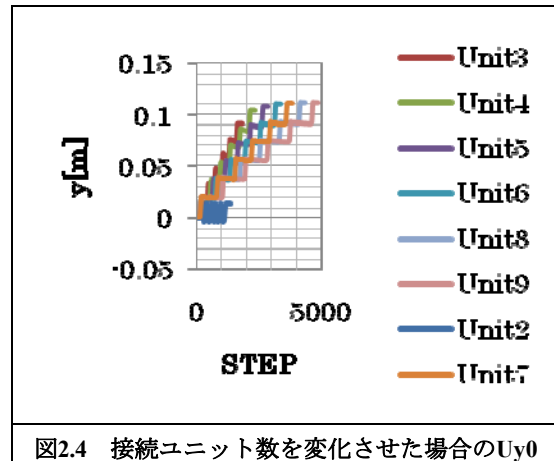
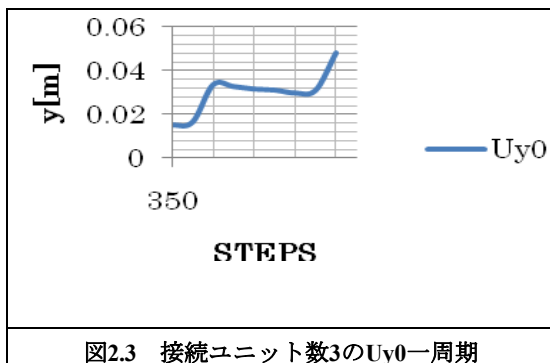
$\mu_i$ はUnit $i$ の摩擦係数、 $UnitM_i$ はUnit $i$ の質量である。みみず型ロボットを動作させるとき、ユニットを動作ユニットと静止ユニットに分け動作ユニットと静止ユニットの摩擦力の差を利用する。 $\mu_i$ はユニットごとに同じなのでユニットの重量差で前に進行させることができる。

制御の具体的な手順として動作ユニットUnit $i$ を動作させる時は、 $JOINT_{i-1}$ を縮ませ、 $JOINT_i$ を伸ばす。Unit $0$ については前方にスライダ関節 $JOINT_{-1}$ はないので後ろの関節 $JOINT_0$ のみ動作させる。Unit $n$ は後ろのスライダ関節 $JOINT_n$ はないので前のスライダ関節 $JOINT_{n-1}$ のみ動作させる。

## 2・2 シミュレーション結果

### 2・2・1 接続ユニット数の変化

最低何ユニットを連結するとロボットが前進するかをシミュレーションした。摩擦面の状態は標準の1.0とした。ユニット数は2,3,4,5と変化させた。実験結果を下の図に示す。 $UNIT_i$ のy軸座標を $U_{y_i}$ とする。



ユニット数3の時のUy0を一周期分抜き出した図2.3を見ると前進する区間と、静止中で他のユニットに引きずられて後進区間がある。

図2.4からユニットが増加すると進行距離がのびることがわかった。しかし伸縮にかかる時間が同じとすると同じ距離を進むのに時間がかかる。

また、静止ユニットと動作ユニットの重量差で後進量は変化する。

### 2・2・2 進行ユニット数の変化

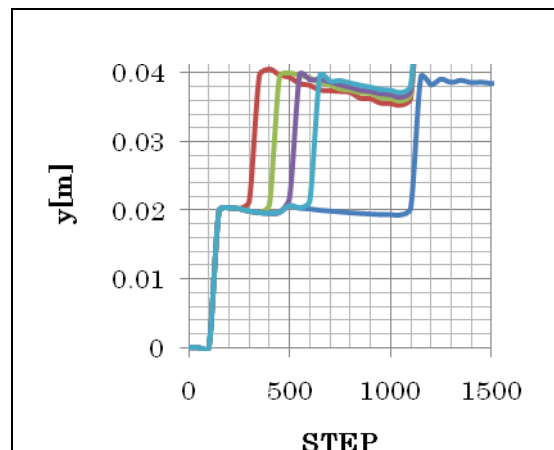


図2.5 進行ユニット数を変化させた時のUy0

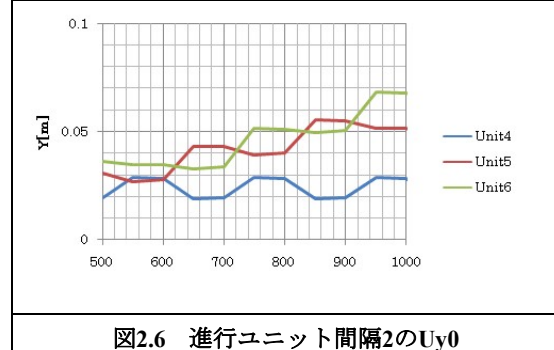


図2.6のユニット数4の時の動きは、図2.4のユニット数2の時と同じような動きをした。これは、動作ユニ

ットと静止ユニットが 1:1 の比となったためだと考えられる。

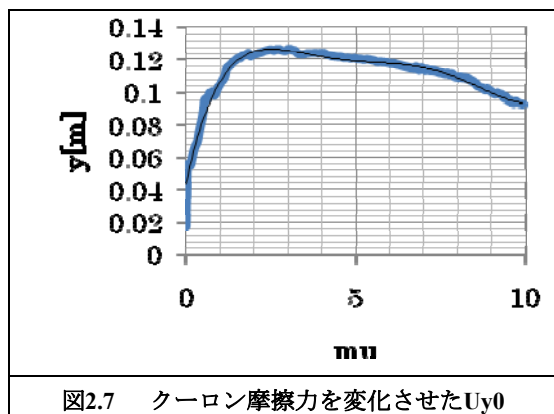


図2.7 クーロン摩擦力を変化させたUy0

### 3. 要救助者探索

本章では要救助者を探索するための方法について論じる。

#### 3.1 探索方法

##### 3.1.1 複数マイクを使用した方法

人間が聴覚を使って要救助者を探す方法である。ロボットで使用する探査方法に置き換えると複数のマイクを使用し、各マイクに信号が入る時間の差を利用し、要救助者の位置を推定する。

マイクを使用した場合の利点は死角がないこと、欠点は大雑把な位置しかわからないことと人であるということが正確にはわからないことである。

X だけ離れた二台のマイクに入ってくる音の時間差 Δ を利用し方向を決定する方法を使用した。求める角度を θ とした。

Ψ[s]だけ音が遅れて入って来た場合、

$$Mike_{1x} - Mike_{2x} = \psi \times c \quad (3.1)$$

音速 c[s]、マイクから音源までの距離 Mike<sub>1x</sub>、Mike<sub>2x</sub> とする。

$$\theta = 90 - \cos^{-1} \frac{Mike_{1x} - Mike_{2x}}{X} \quad (3.2)$$

##### 3.1.2 カメラを使用した方法

人間が視覚を使って要救助者探索を探す方法である。ロボットで使用する探査方法に置き換えると、カメラを使用した要救助者探査方法である。カメラを利用した場合の利点は、人であることが目で確認できること、欠点は死角があることである。

#### 3.1.3 今回提案する方法

今回、マイクで探索する方法の欠点である要求助者の正確な位置がわからないと言う問題点とカメラで探索する時に死角があると言う問題点を両者を組み合わせることにより欠点を除くようにする。

本実験では、マイクを使用し進行方向から±30度以内なら前方に要求助者がいる。それ以外なら左右に要求助者がいると判断を行う。カメラは、救助者に現場の画像を提示するために使用する。

### 4. 動作実験

#### 4.1 ReBo 6号機

本研究室で製作したロボット「AIT ReBo6号機」について説明する。

下の図 4.1 が今回制作したロボットの一動作ユニットである。伸縮一軸と回転一軸の二軸を持つ。伸縮軸は 25[mm]の伸縮範囲を持つ。回転軸は±45度の動作範囲を持つ。伸縮範囲を超えて伸びると結合部が外れる。

一動作ユニットのサイズは、伸縮部のネジ部を除くと、全長 107[mm]、縦横 63[mm]の長方形をしている。重量は 225[gw]。モータは SPG20 を使用した。2 ユニット作成し連結した状態が図 4.2 である。

センサー(マイクとカメラ)を乗せる頭部ユニットが図 4.3 である。頭部ユニットのサイズは、全長 118[mm]、縦横 66[mm]の長方形をしている。重量は 302[gw]。回転軸は±60度の動作範囲を持つ。



図4.1 一動作ユニット

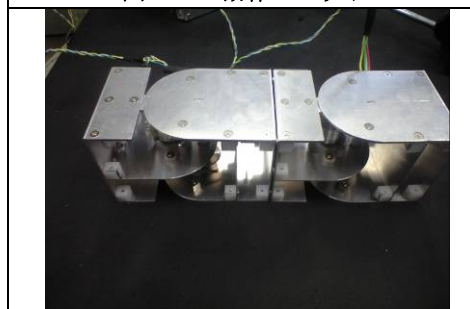


図4.2 二動作ユニット連結状態



図4.3 頭部ユニット

#### 4・2 直進動作実験

伸縮運動のみを行い第二章で行った動作シミュレーションを実機で検証します。

##### 4・2・1 摩擦力変化実験

摩擦を変化させての実験を行った。まず、摩擦係数の測定の仕方を説明する。

$$F_i = \text{Unit}M_i \cdot \sin \theta \quad (4.2)$$

$\theta$  はロボットがすべり出す斜面の角度である。式(2.1) = 式(4.2) とすると、

$$\mu_i \cdot \text{Unit}M_i = \text{Unit}M_i \cdot \sin \theta$$

$$\mu_i = \sin \theta \quad (4.3)$$

式(4.3)より動き出す斜面の角度からユニットの静止摩擦係数  $\mu_i$  がわかる。

今回調べた摩擦係数を表 4.1 に示す。ロボットの方向転換軸が地面に垂直な場合と水平な場合のそれぞれ五回ずつ行い十回の平均をとった。

表4.1 静止摩擦係数

		外装				
		無し	フェルト	ゴム板	滑り止め材	スポンジ
床材	アクリル板	0.1 9	0.28	0.45	測定不能	測定不能
	スポンジ	0.4 7	0.63	0.66	測定不能	測定不能
	ベニヤ板	0.2 5	0.35	0.58	0.63	0.61
	カーペット	0.2 6	0.58	0.56	0.68	0.73

ユニット連結数を三として摩擦面を変化させた実験を行った。実験はロボットの外装がゴム板の場合とした。

床材にはカーペット、アクリル板を使用して実験をした。

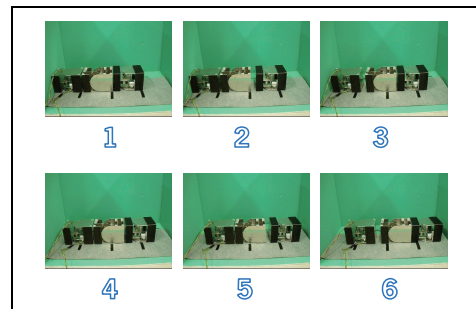


図4.4 外装:ゴム板、床材:カーペット

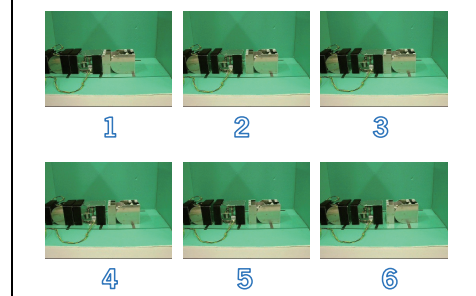


図4.5 外装:ゴム板、床材:アクリル板

以上の実験結果から、摩擦力が大きくなっても変化はなかった。実機実験は8秒間隔で撮影した。

##### 4・2・2 進行ユニット数の変化実験

水平面上での動作実験である。

最初にユニット数を変化させて実験を行う。ユニット数2, 3、動作ユニット数1とする。実験結果を図4.5、図4.6に示す。

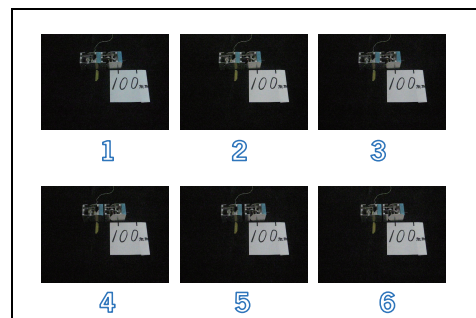


図4.6 ユニット数2、動作ユニット数1

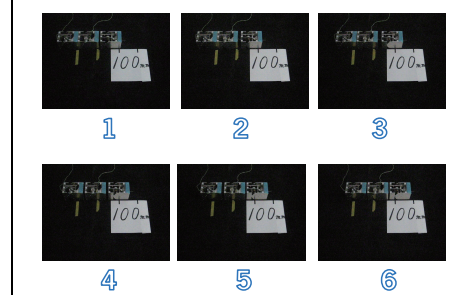


図4.7 ユニット数3、動作ユニット数1

以上の実験結果から、ユニット数が2以上の時ロボット

は動作する。しかし、ユニット数が2の時は動作が不安定になる。

#### 4・2・3 動作ユニット数変化実験

本実験では、ユニット数を6として動作ユニットが2と3の時の実験を行った。

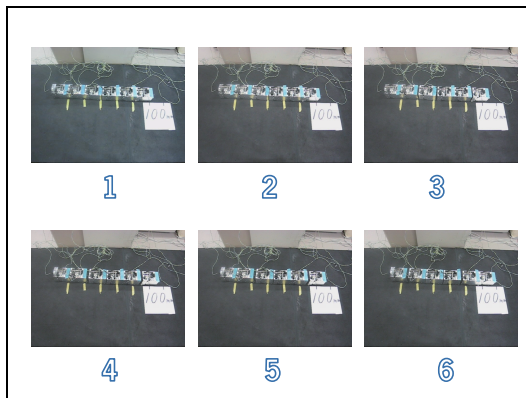


図4.8 ユニット数6、動作ユニット間隔2

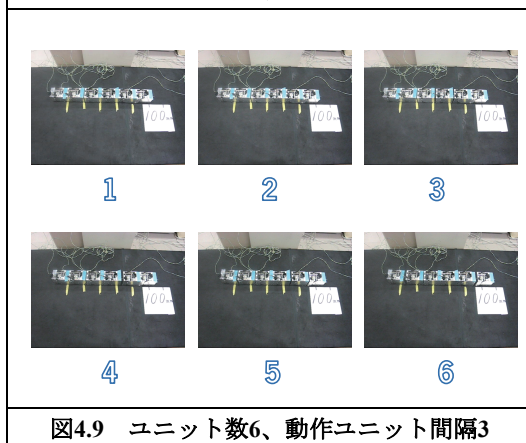


図4.9 ユニット数6、動作ユニット間隔3

上の実験より動作ユニット間隔が2より3の方が同一時間では進行距離が短い。動作ユニット間隔2の時、約30秒で100[mm]進んだ。

#### 4・3 分裂実験

ここでは、分裂実験を行った。

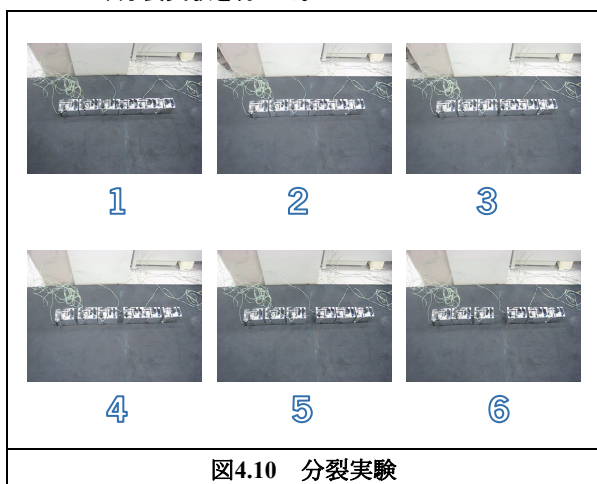


図4.10 分裂実験

図4.10を見ると3~5の間で分裂するのがわかった。

#### 4・4 動作実験で分かったこと

4.2.1項で2.2.3項のシミュレーション結果と比較し、摩擦力変化が変化しても動作上の変化はなかった。本実験で行った摩擦実験はシミュレーション上のクーロン摩擦力で言うと2~4ぐらいに位置すると考えられる。

4.2.2項で2.2.1項のシミュレーション結果と比較し、ユニット数が2の時も動作してしまった。これはユニット間の摩擦力に差が発生した為だと考えられる。

4.2.3項で2.2.2項のシミュレーション結果と比較し、動作ユニット間隔が狭いほど同一時間では長い距離を進むことがわかった。

以上の結果よりシミュレーション結果と実機での実験結果は、ロボットのユニットごとの摩擦力差で誤差はあったが概ね成功である。

## 5. まとめ

### 5・1 完成点

#### 5・1・1 シミュレーション

二章のシミュレーション結果より、ユニット数は最低三ユニット以上必要である。動作ユニットは二個置きにすることができることが分かった。その時、ジョイント数は動作ユニットの二倍以上必要である。ユニット数で置き換えると動作ユニットの二倍+1ユニット必要である。そのことからロボットはユニット数が奇数の時一番早く動作する。

また、ロボットと環境との接触面は摩擦が0でなければ動作できる。ただしユニット数が減少すると2.2.1項で述べたように後退する距離が増えるので進行距離は短くなる。

#### 5・1・2 動作実験

四章の動作実験より、シミュレーションと比較すると動きは違った。ユニットごとに摩擦力に差があることがわかった。

#### 5・1・3 要救助者探索

瓦礫内での音は、反射音などで、正確な位置を探すのは難しく、カメラの場合は死角があり瓦礫内を隈なく探索するのは難しいので、それぞれの利点を合わせ、一次探査にマイクを二次探査にカメラを使い、広範囲をすばやく探索できるようなシステムを提案することができた。

### 5・2 今後の課題

今後の課題は、方向転換を行うことです。本実験機で

は、伸縮機構の遊びがなく軸がずれると動作が止まるため実験ができなかった。

(受理 平成 21 年 3 月 19 日)