

# 配管外面を移動可能な蠕動運動型ロボットの開発

増淵維摩\*

## Development of Peristaltic Mobile Robot Moving on an Outer Surface of Pipe

MASUBUCHI Yuma\*

抄録

ミミズは蠕動運動により移動を行う生物である。本研究では、配管上を移動可能なロボットの実現を目指し、ミミズの移動方法を模した蠕動運動型移動ロボットの開発を行うことを目的とした。開発するにあたり、動作シミュレーション環境を構築し、移動について評価を行った。また、吸着動作を実現するための電磁石を搭載したロボットの実機を作製し、配管上にて動作実験を行った。結果、ロボットが安定動作し、移動速度が得られた。

キーワード：制御，シミュレーション，組み込み

### 1 はじめに

研究背景としてインフラの老朽化と少子高齢化による保守管理者の不足問題が深刻化しており、点検時にロボットの活用が期待されている。

蠕動運動とは図1のような地面との摩擦力の差によって直進する運動のことである。配管外面を移動するロボットは配管の径より大きな検査機器を搭載可能な点、無線で制御が可能のため、配線が動作の抵抗とならない点が利点としてある。本研究では移動機構の検証を目的とし、電磁石を使用した吸着機構を有する配管外面を移動可能な蠕動運動型ロボットの動作実験を行った。



図1 蠕動運動

### 2 シミュレーション

#### 2.1 動作シミュレーション

ロボットの構造は直動ユニットを多数連結したものであり、体節ユニットに直動モータと電磁石を配置し、伸縮動作と吸着動作を実現した。蠕動運動の解析を行うため、動力学モデルを構築し、数値シミュレーションを行った。図2より、各質点の力のつり合いから本ロボットの運動方程式は、

$$\left(\sum_{i=1}^N m_i\right) \ddot{x}_g = -\sum_{i=1}^N F_i - \sum_{i=1}^N (m_i \cdot g \cdot \sin\phi)$$

と導出した。摩擦モデルはこれまで<sup>2)</sup>と同様、静止摩擦と動摩擦を連続的に表現可能である LuGre モデル<sup>3)</sup>を用いた。

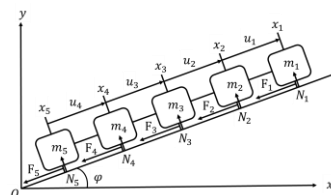


図2 斜面を考慮したロボットのモデル

\* 技術支援室 電気・電子技術担当

## 2.2 シミュレーション結果

蠕動運動の動作パターンは、各質点間の変位を、

$$\Delta u_i = \begin{cases} \frac{A}{2} - \frac{A}{2} \cos(\omega t - i\theta) & \frac{i\theta}{\omega} \leq t \leq \frac{i\theta + 2\pi}{\omega} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$u_i = u_0 + \Delta u_i$$

と与えた。

各パラメータは  $\mu=0.5$ 、 $A=0.064$ [m]、 $\omega=2\pi$ [rad/s]、 $\theta=2\pi/3$ [rad]、 $m=2.5 \times 10^{-1}$ [kg]、 $g=9.81$  [m/s<sup>2</sup>]、 $N=5$ 、 $\varphi=10\pi/180$ [rad]、吸着力を 54[N]と設定した。シミュレーション結果を図 3 に示した。サイクルあたりの重心位置の移動距離は 0.93[mm]、動作速度は 0.23m[m/s]となった。

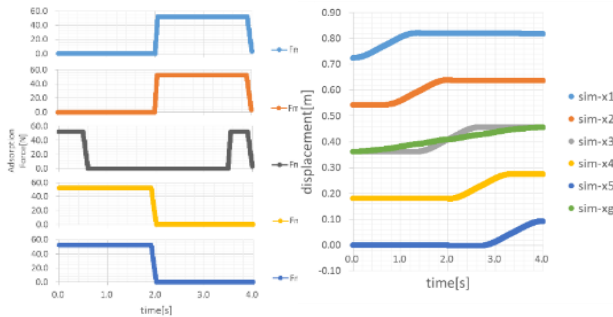


図 3 吸着力の推移と各ユニットの動作推移

## 3 実機作製と動作解析

### 3.1 機構設計

検証用試作機の直動機構について、図 4 (左) のように作製し、直列に 5 つ接続した。検証用実機を図 4 (右) に示す。直動動作には速度指令を行なった。制御信号の構成を図 5 に示した。吸着を実現するための電磁石は、スイッチング回路を用いて PWM 信号を生成し、制御した。

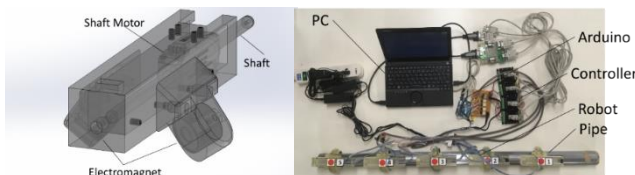


図 4 直動機構と検証環境

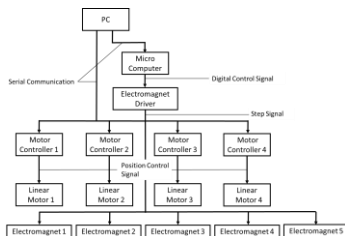


図 5 制御信号

### 3.2 ロボットの動作実験・解析

モーションキャプチャ (OptiTrack V120Trio) を用いて各ユニットに取り付けたマーカの移動軌跡を記録し、試作機の動作検証を行った。図 6 に取得した変位入力結果と質点の推移と重心の推移を示した。1 サイクルで重心位置が 0.0806[m]前進し、0.0203[m/s]の移動速度が確認できた。

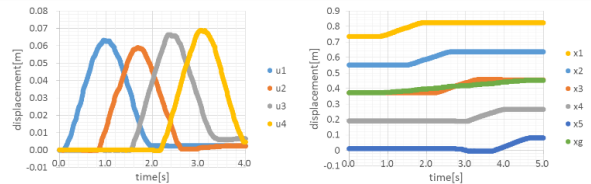


図 6 動作結果

## 4 まとめ

シミュレーション、検証用試作機の動作実験を経て、電磁石とシャフトモータを組み合わせることで直径の一定な配管外面において移動可能な蠕動運動型ロボットを作製し、動作速度について検証した。今後、移動速度、可搬重量についてさらなる検証を進めていく必要がある。

## 謝 辞

本研究を進めるに当たり、客員研究員として御指導いただきました東京電機大学の釜道紀浩准教授に感謝の意を表します。なお、本研究は JSPS 科研費 JP16H00355 の助成を受けて実施したものです。

## 参考文献

- 平成 27 年 3 月国土交通政策研究所, 「社会資本の維持管理・更新のための主体間関係に関する調査研究」  
[http://www.mlit.go.jp/pri/shiryou/press/pdf/shiryou150327-3\\_2.pdf](http://www.mlit.go.jp/pri/shiryou/press/pdf/shiryou150327-3_2.pdf), p5~p18
- 増淵維摩, 釜道紀浩: ミミズの動作を規範とした蠕動運動型移動ロボットの運動解析(第 2 報), ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, (2013)
- K. J. Astom, "Revisit the LuGre Friction Model", IEEE control systems magazine, pp.101-114, 2008