

## 6th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics に参加して

福永 二三佳

Fumika FUKUNAGA

機械システム工学専攻修士課程 1年

### 1. はじめに

私は2016年6月26日から29日にかけて、シンガポールのシンガポール国立大学で開催された、6th IEEE RAS&EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanicsに参加し、「Cylindrical Elastic Crawler Mechanism for Pipe Inspection Inspired by Amoeba Locomotion」という題目で口頭発表を行った。

### 2. 研究背景

配管設備は長期の使用により、配管の破裂や水やガスの漏洩による事故が発生する恐れがある。そのため、これまでに数多くの自走式管内走行ロボットが研究されてきたが、それらのほとんどは複数のアクチュエータを要するうえ、機体の構造が複雑化し、小型化が困難であった。そこで本研究ではこれまでに、管内径の小さな配管環境でかつ垂直管内や異径管内においても容易に走行可能な管内走行用クローラ型ロボットの実現を目的として、複数のクローラベルトを単一のウォームを介して単一のモータで駆動させる、シンプルな機構の円筒状クローラ型ロボットの開発を行ってきた。本研究ではそのシンプルな機構をいかして、25 A(内径  $\phi$  28 mm)の配管を走行可能な管内走行ロボットを実現するため、ベルト特性と牽引力との定性的関係を明らかにした。

### 3. 基本構造と駆動原理

本研究で開発したクローラ機構を図1に示す。このクローラ機構は、ゴム製のクローラベルト3本、

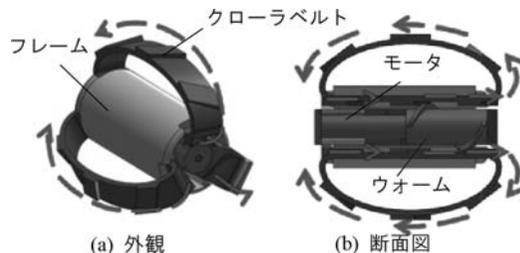


図1 円筒状湾曲型弾性クローラのメカニズム

ギヤモータ1つ、ウォーム1つおよび円筒状のフレームで構成される。駆動原理は、まずギヤモータを駆動させてウォームを回転させる。そしてウォームと噛み合ったクローラベルトが軸方向に推進力を得てロボットは直進する。クローラベルトは、フレームに対して大きく撓ませた、湾曲クローラ構造であるため、垂直管内の走行時においては、クローラベルトの弾性変形により発生する弾性力によって、クローラ自身を管の内壁に保持しながら管内上昇を行うことが可能となる。また内径の大きな配管に内径の小さな管が取り付けられている異径管内の走行の際には、湾曲したクローラベルトが異径管に対し柔軟に弾性変形することにより、管内段差を容易に走行することが可能である。従って、配管内における機体保持にはアクチュエータやリンク機構を必要としないため、単一のモータのみで一般的な水平管内だけでなく、実際の管内検査で想定される垂直管内や異径管内を走行することが可能である。

### 4. ベルト剛性と牽引力の解析

#### 4.1 牽引力の静力学解析

本クローラロボットの小型化には、より小型のモータを用いる必要があるため、モータの最大トルクが小さくなり牽引力は低下する。また、ロボットはベルトの弾性力により牽引力を得ているが、その弾性力は機体の内側にも作用しており、ベルトと機体内部に内部摩擦が生じる。この内部摩擦はベルトの駆動力の抵抗となり牽引力に影響を与える。そこで本研究では機体の小型化要素技術として、ベルト剛性と牽引力の関係を明らかにする。図2に示すよう

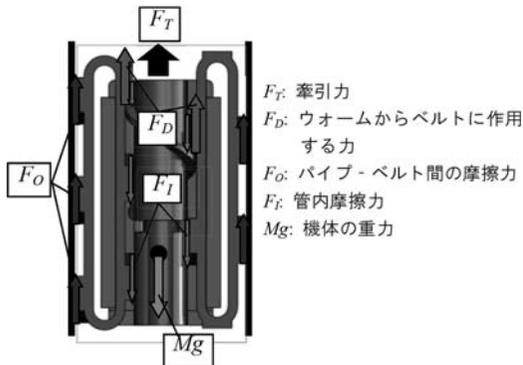


図2 クローラに作用する力

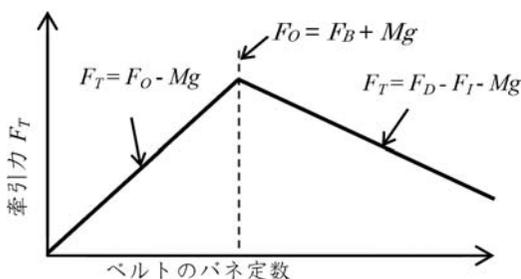


図3 理論解析におけるバネ定数と牽引力の関係

に垂直管内において機体には、ウォームからベルトに作用する力  $F_D$  [N]、ベルトと管内壁との摩擦力  $F_O$  [N]、ベルトと機体内部との摩擦力  $F_I$  [N]、機体に作用する重力  $Mg$  [N] が生じ、(1) の条件のときに (2) 式、(3) の条件式のときに (4) が成り立つ。

$$F_O < F_D - F_I + Mg \quad (1)$$

$$F_T = F_O - Mg \quad (2)$$

$$F_O \geq F_D - F_I + Mg \quad (3)$$

$$F_T = F_D - F_I - Mg \quad (4)$$

以上の式からベルト剛性と牽引力の関係として図3を導出し、 $F_O = F_D - F_I + Mg$  で牽引力に最大のピーク値を持つ牽引力特性であることを示した。

#### 4.2 実験による牽引力特性の調査

今回はベルト剛性を変更した際の牽引力の測定を行い理論との比較を行った。結果を図4に示す。管内径が  $\phi 40$  mm と  $\phi 36$  mm の場合、硬度の上昇に伴い、牽引力が増加している。このとき、ベルトの駆動力がベルトと管内壁との摩擦力を上回り、ベルトが管内壁にたいして摺動しており、これは (1) 式

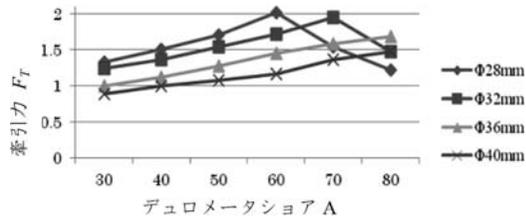


図4 ベルト剛性における牽引力の実験値

(2) 式と一致する。また、管内径が  $\phi 32$  mm と  $\phi 28$  mm の場合、牽引力にピークが見られ、ピーク値後のベルト硬度では、ベルトの駆動が停止した。これはベルトと管内壁との摩擦力がクローラベルトの駆動力を上回ったからであると考えられ、(3) 式 (4) 式と一致する。以上より、ベルト剛性と牽引力の関係を理論と実験から明らかにすることができた。

#### 5. 走行実験

実験で得られた牽引力特性を基に、ベルトの剛性を最適化した小型の機体での管内走行の検証実験を行った。配管は内径  $\phi 28$  mm の一様管を水平と垂直に設置し、異径管の主管には内径  $\phi 40$  mm、支管には内径  $\phi 28$  mm の配管を組み合わせている。一様管内の走行では、クローラベルトが駆動し、滑りを伴うことなく走行を行っていることを確認した。また、垂直管内の走行では弾性変形したクローラベルトの弾性力を利用して機体を管内保持し、ロボットが管内の上昇を行えていることを確認した。さらに異径管内ではクローラベルトが管内径に対し柔軟に弾性変形することで、異径管内の段差乗り越えを行えていることを確認した。

#### 6. まとめ

初めての英語での発表で緊張したが、多くの方に質問や意見を頂きとても貴重な経験となりました。

今回、国際学会に参加する機会を与えてくださり、懇切なご指導を頂いた永瀬純也講師をはじめ、永瀬研究室の皆様には大変お世話になりました。大変恐縮ですがこの場をお借りしまして深くお礼申し上げます。