

2017年度 科学技術共同研究センター 研究プロジェクト実績報告書

課 題	1インチの細管内走行を目的とした円筒状クローラ型移動機構の開発
研究組織	永瀬 純也（理工学部・講師） 研究代表者 小川 圭二（理工学部・准教授） 左近 拓男（理工学部・教授） 渋谷 恒司（理工学部・教授）
研究期間	2年研究の2年目

1. 2017年度の研究計画

急速な技術革新による設備のハイテク化・複雑化が進む現代社会において、重大な事故を未然に防ぐためのそれらの信頼性の高いメンテナンスは、社会にとって最重要課題のひとつである。中でもライフライン等の役割を担っている配管のメンテナンスは、破裂や腐食による事故を防ぐ上で必要不可欠である。そのためこれまでに、大学や企業で何十年もの間、管内検査ロボットが数多く研究されてきたものの、実環境で想定される異径管走行や段差乗越えおよび上昇を行うためには、複数のモータが必要であったり機構を複雑化したりする必要があるため、水道管・ガス管など、"細管部"を多く有する配管内を検査可能な有効な検査装置・ロボットは未だ実現されていない。

このような背景の中で、本研究は1インチの管内において、異径管走行・段差乗越え及び管内上昇が可能な小型の管内走行ロボットを実現することを目的として、本プロジェクト1年目は、1インチの細管内走行が可能な管内走行ロボットを実現させることに成功した。しかしながら実際の配管は、T字管などの分岐路が多く存在するため、そのような分岐部において能動的に進路選択できることが求められる。そこで2年目は、T字管のような分岐部において、能動的に進路選択が可能なステアリング機構を開発することを目的とした。

2. 研究実績の概要(研究経過と成果)

2.1 円筒状湾曲型弾性クローラの構造と駆動原理

本クローラは、アメーバの推進原理（図1）に着想を得て開発したものである。アメーバは基本的に、内質と外質、および仮足から成る単細胞生物である。推進原理は、粘性の高い外質の内側を、流動性の高い内質が前方へ連続的に流れて仮足を前に押し出すことによってアメーバ自身が推進するといわれている。このアメーバの推進原理を基にして開発したクローラの断面図を図2に示す。このクローラ機構は、ゴム製のクローラベルト6本、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ている。駆動原理は、まずフレームに固定されたモータを駆動させ、ギヤを介してウォームを回転させる。そしてウォームの回転により、これと噛み合ったクローラベルトが軸方向に推進力を得て直進することができる。モータを逆回転させることで、同じ原理で後退可能である。

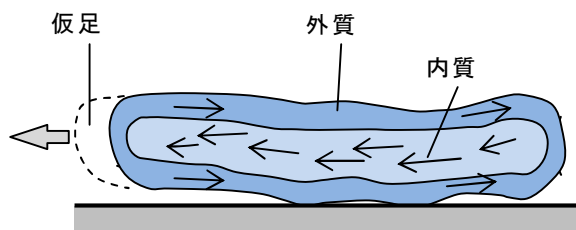


図1 アメーバの推進原理

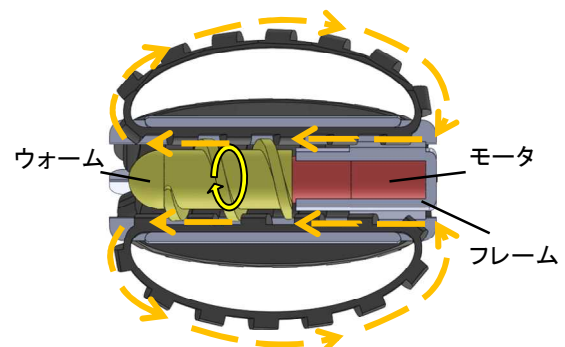


図2 円筒状湾曲型弾性クローラ

2.2 提案するステアリング機構の構造と原理

提案するステアリング機構を図3に示す。本ステアリング機構のフレームには、スライダをフレームに図3のように配置しており、それぞれのスライダはフレームに対して、固定・非固定を可能とする。

スライダをフレームに固定した場合は、ベルト駆動力 F_t がフレームに伝達され、推進力を生み出す。一方、スライダを非固定にした場合は、ベルト駆動時にスライダが軸方向に移動することによってベルト駆動力 F_t はフレームへ伝達されない。つまり、6本のベルトのうち、非固定スライダ部においては、ベルト駆動力がフレームに伝達されず（推進力を発生せず）、固定スライダ部においては、ベルト駆動力がフレームに伝達される（推進力を発生）。この場合、非固定スライダ部と固定スライダ部に推進力差が発生するが、本発明は、この推進力差によりステアリング動作を行うものである。

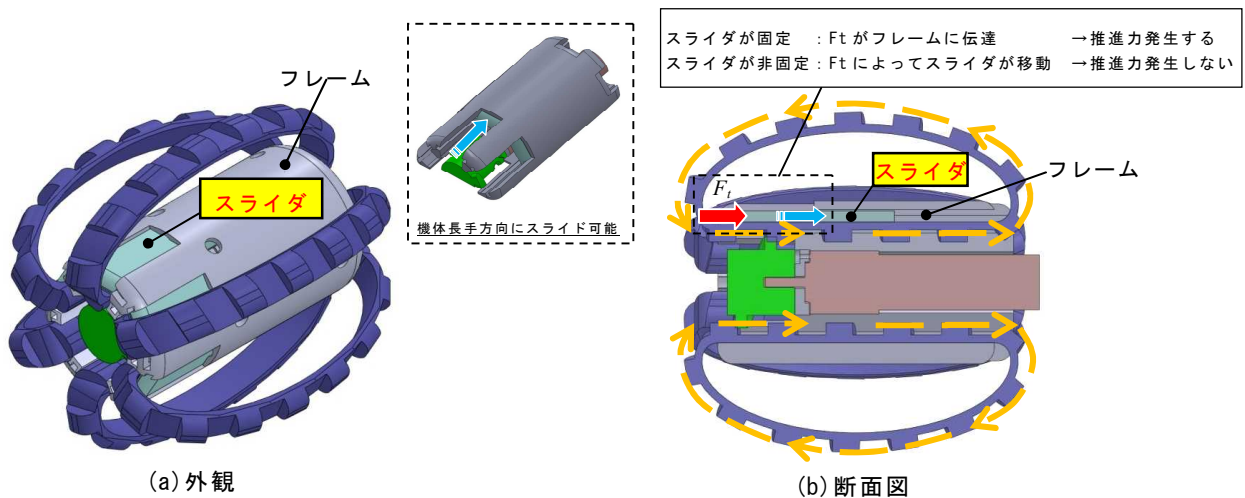


図3 提案するステアリング構造

本ステアリング機構によるステアリング動作の原理を図4に示す。本ステアリング機構は、固定スライダ部と非固定スライダ部の推進力差を利用してステアリング動作を行う。例えば、6本のベルトのうち、クローラの進行方向に向かって右側3箇所のスライダを非固定とした場合、クローラの右半面の推進力はほぼ0となる。一方、左側3箇所のスライダを固定した場合、左半面には推進力 F_T が発生する。これにより、クローラの右側と左側に推進力差が発生することで、クローラは右方向に進路変更する。

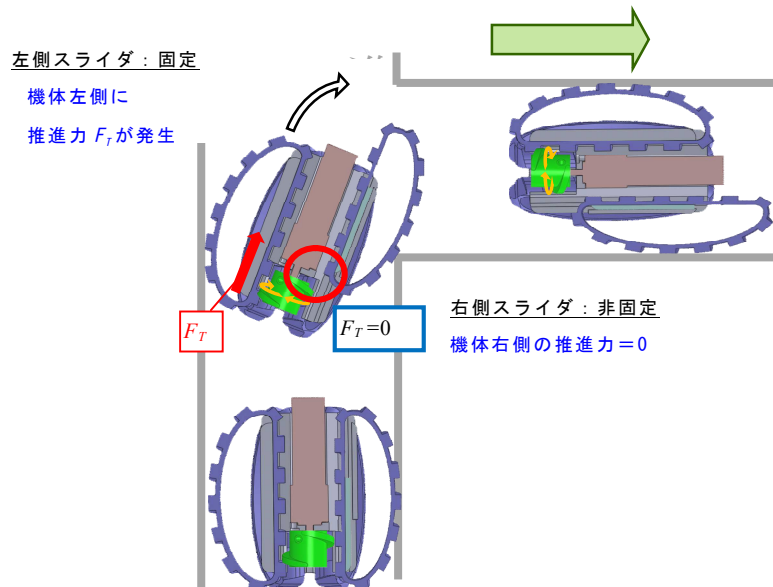


図4 本ステアリング機構のステアリング原理

2.3 試作機

図5に試作機の写真を示す。試作機のフレームおよびウォームはABS樹脂製であり、3Dプリンタにより造形した。クローラベルトはシリコンゴム製であり、ウォーム歯とベルト歯の噛み合い面に生じる摩擦を低減するために低摩擦コーティングを施している。本研究は、1インチの管内におけるステアリング動作を実現することが目的であるが、そのためには、分岐部を通過可能なステアリング機構の開発、およびそのステアリング機構を小型化する技術の開発が課題となる。そこで今回は、第一段階として、分岐部を通過可能なステアリング機構の実現を目的として、機体は、製作および評価が可能なサイズとした。試作機の各寸法について図6および表1に示す。



図5 試作機

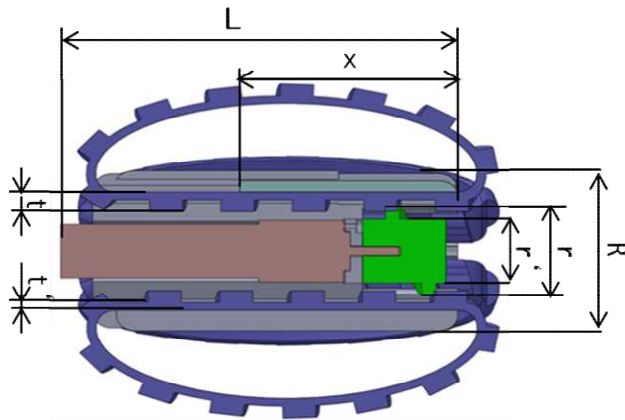


図6 機体断面図と各寸法

表1 機体の各寸法

	寸法 [mm]
フレームの外径 R	41
フレームの全長 L	83
ウォームの歯先径 r	23
ウォームの歯底径 r'	16
ウォームのピッチ p	16.3
ベルトの最大厚さ t	5
ベルト溝の厚さ t'	2
ベルト幅 b	10
スライド式フレームの全長 x	46

2.4 実験結果

本提案機構によるステアリングの実証実験を行った。実験ではφ77mmの亚克力T字管内を走行環境とし、T字管を水平と垂直に固定した状態で30種類の経路を試作機が走行可能かどうか検証した。実験結果を図7および表2に示す。走行中は、非固定スライド部式フレームがスライドすることで牽引力差が発生し、機体を内側に傾けてT字管を曲がる様子が観察された。また実験の結果、表2に示すすべてのT字管においてステアリング動作が可能であった。ただし、このステアリング原理は非固定スライドを元の位置に戻す機能は無いため、T字管を曲がった後も機体は旋回し続け、停止する。したがって、T字管を通過後も走行可能にするために、T字管を通過後、スライドに元の位置に戻すための復元力を与える弾性要素を付加する必要がある。これについては今後の課題としたい。

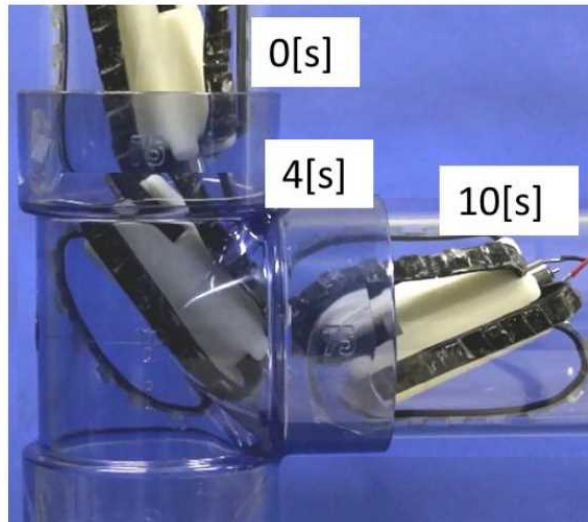


図 7 分岐部の通過の様子

表 2 実験結果

(a) Horizontal T-branch

Routes	1	2	3	4	5	6
Propriety	○	○	○	○	○	○

(b) Vertical T-branch 1

Routes	1	2	3	4	5	6
Propriety	○	○	○	○	○	○

(c) Vertical T-branch 2

Routes	1	2	3	4	5	6
Propriety	○	○	○	○	○	○

(d) Vertical T-branch 3

Routes	1	2	3	4	5	6
Propriety	○	○	○	○	○	○

(e) Vertical T-branch 4

Routes	1	2	3	4	5	6
Propriety	○	○	○	○	○	○

3. 研究発表

- (1) Jun-ya Nagase, Fumika Fukunaga, Kan Ishida, Norihiko Saga, “Steering System of Cylindrical Elastic Crawler Robot”, IEEJ Transactions on Electrical and Electronics Engineering, in press.
- (2) 永瀬純也, 石田莞, 円筒状湾曲型弾性クローラのステアリング機構の検討, 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.35-36, 2017.
- (3) Keiji Ogawa, Heisaburo Nakagawa, Takumi Imada and Hirotaka Tanabe Laser Irradiation Method for High-efficiency Pulsed Laser Milling Integrated Die/Mold Machining: Effects of Laser-tracking Irradiation on Laser Milling Accuracy Advances in Materials and Processing Technologies, Vol.4, No.1, pp.158-165, 2018.
- (4) Keiji Ogawa, Haruki Kino, Takumi Imada, Heisaburo Nakagawa and Hitomi Kojima Improvement of Micro-end-milling Quality by High-speed Up-cut Milling for Hardened Die Steel Proceedings of ASPEN2017 (7th Internal Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology), HSP-P-02, pp.1-4 (CD-ROM), 2017.

4. 本研究課題のキーワード

- | | | | |
|----------|------------|-----------|----------|
| (1) 管内走行 | (2) 移動機構 | (3) クローラ | (4) ウォーム |
| (5) スライダ | (6) ステアリング | (7) 1インチ管 | (8) 分岐路 |