

多様な管内での進行を可能とする 移動メカニズムの提案

川津駿斗¹ 李根浩² 横山大輝³ 魚住龍太郎⁴ 山川健伸⁵

概要: 古くなった配管は亀裂などの潜在的な問題により突然破裂することがある。管内の定期点検が行われているが、人の手ですべての管を点検することは非効率であり現実的ではない。そこで管内探査ロボットを用いた点検が実施されている。しかし、これらのロボットは使用環境が限られることが多い。そこで本研究は移動アルゴリズムに着目し、「いかに進行能力を高めるか」を目的とする。これを達成するためにエノコログサと尺取虫、この2つの生物を参考にしてGIメカニズムを開発した。このアルゴリズムを施した実験機を作成し、進行能力を実験した。そして、実験機によってモデルの一定の有効性を確認した。

キーワード: ロボット, ハードウェア・ソフトウェア・コデザイン, システムアーキテクチャ

Proposal for a migration mechanism that allows progression through a variety of tubes

HAYATO KAWAZU^{†1} GEUNHO LEE^{†2}
HIROKI YOKOYAMA^{†3} RYUTARO UOZUMI^{†4} KENSIN YAMAKAWA^{†5}

Abstract: This study focused on in-pipe problems that occur in everyday life. It focused on in-pipe exploration robots that play a role in maintaining safety in piping. Therefore, it set the task of improving the adaptability of the moving mechanism among many pipes, and worked on the goal of improving adaptability in piping. To answer this challenge, this study set three goals: to be able to progress in a vertical state, to be able to adapt to different diameters, and to be able to progress through branches in any direction. It developed a GI mechanism by analyzing the necessary forces with reference to four characteristics of two organisms. Using an experimental machine equipped with this GI mechanism, the experiment confirmed that the three goals could be achieved. As a result, this paper confirms the effectiveness of the GI mechanism.

Keywords: Robot, Hardware, Software and Co-Design, System Architecture

1. 緒言

古くなった配管は亀裂などの潜在的な問題により突然破裂することがある。全ての管に常温常圧の安全な物質が流れているわけではない。高温高圧の水蒸気や化石燃料、汚水などが通る配管には破裂すると建物や道路の崩壊や火災、水害、さらには環境破壊などを引き起こすものもある。もちろん破損防止のために点検は行われているが、その多くは人の手で行われている。しかしながら、人の手ですべての管を点検することは非効率であり現実的ではない。特に壁や土壌中など手の届かない箇所や目視できない箇所の点検は、さらに厳しいものになると考えられる。そこで現在、安全にかつ効率的に管内を検査するために様々な装置が開発され

ている。

2. 問題定式化

管内を検査する装置は、管内と管外から検査する装置に分けられる。本研究は、その中でも検査の安全性と確実性を求め、管内を検査して回るロボットつまり管内探査ロボットを研究対象とする。管内探査ロボットには、製品化されサービスが提供されているものや研究段階のものもある⁽¹⁾が、これらのロボットは使用環境が限られることが多い。そこで本研究で取り組む問題を、管内での適応性を向上させることとする。ロボットを構成する要素はいくつかあるが、その中でもロボットが外界に対して最も作用すると考えられる移動メカニズムの分野に注目し、本研究は「これまで以上に管内に適応できる移動メカニズムの開発」を目的とする。

3. 解決手法

3.1 目標設定

まず目的を達成するために必要な能力を設定する。必要

¹ 宮崎大学
University of Miyazaki
² 宮崎大学
University of Miyazaki
³ 宮崎大学
University of Miyazaki
⁴ 宮崎大学
University of Miyazaki
⁵ 宮崎大学
University of Miyazaki

な能力は様々考えられるが,下記の 3 つを同時に達成可能な管内の移動メカニズムを本研究の問題への回答とする.

- (a)垂直状態での進行が可能なこと
- (b)異なる径に適応可能なこと
- (c)分岐を任意の方向に進行可能なこと

この 3 つの目標を達成するために必要な能力について以下に解説する.

- (a)垂直状態での進行が可能であるためには,管内で落下や滑落しないように強い保持力が必要である.また,垂直を登る場合,位置エネルギーが増大するので推進力は水平状態より必要とされる.
- (b)異なる管の径に適応するためには,同一のメカニズムで径の変化に対応する必要がある.異なるメカニズムで対応すると,特定の径でメカニズムが作用しないなどの問題が生じると考えられるためである.そのため同一のメカニズムの力を作用できる構造にしなければならないとする.
- (c)任意の方向への分岐の進行を可能にするためには,どの方向に対しても本体の舵を切れる機構が必要である.

3.2 参考にする生物

これらを達成するために本研究ではエノコログサと尺取虫を参考にする.まずエノコログサの穂(図 1 左)の毛は,穂を中心軸に角度をつけながら放射状に伸びている.そのため,毛の流れに逆行するような動きは妨げられやすく推進の際に後退しにくいという単一方向性を持つ.また放射状に伸びる毛により,管の内径が変化した場合でも適応性を持つと考えられる.次に尺取虫(図 1 中央)は,前後の足で確実に自重を支えつつ交互に前方に進めることで,仮に逆さまでも落下せずに推進を行う.このような尺取虫の持つ保持力と推進力を参考に.以上 2 つの生物から,単一方向性,適応性,保持力,推進力の 4 つの性質を参考にすることで,管内の移動に適したハイブリッドな移動メカニズムを開発する.

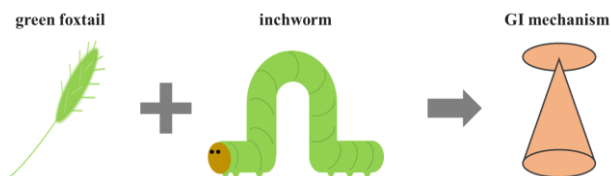


図 1 モデルの概念
Figure 1 concept model

3.3 モデル

以上の 2 つの生物を参考に,移動メカニズム(図 1 右)を開発した.移動メカニズムを GI メカニズム (Green foxtail and Inchworm mechanism; ギメカニズム) とした.GI

mechanism の動きは図 2 のようになり, ΔP が一周あたり
の推進距離である.(1) から (5) まで動き,(2) に戻って
再び (5) へ動くというような動作を繰り返すことにより推
進する.

- (1)
- (2)
- (3)
- (4)
- (5)

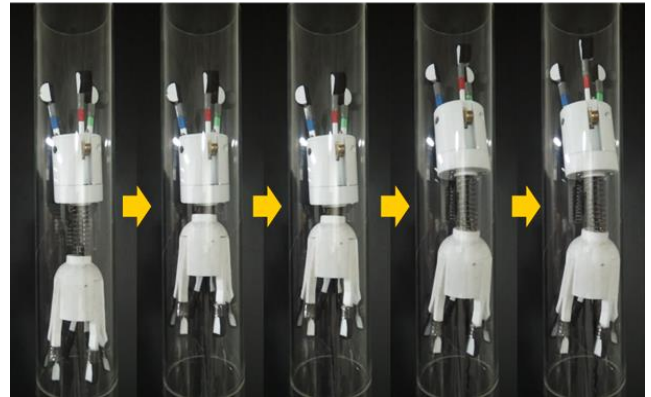


図 2 モデルの動き
Figure 2 concept movement

4. 実験

まず移動メカニズムの有効性を検証するために GI メカニズムを施した実験機を作製する.図 3 は作成した実験機の動きを撮影したものであり,実験機が移動メカニズムと対応した動きを再現できていることが確認された.

実験に際し,撮影やデータの取得を行う.安定化電源を用い,実験機に電気を供給できるようにする.使用した安定化電源は RS PRO DC POWER SUPPLY IPS 1820D である.管内は乾燥しており,実験は室内で行う.実験機の操作は著者が行う.

4.1 実験 1 垂直状態での進行実験

本実験はメカニズムを施した実験機が,垂直状態で進行できることを検証する目的で行う.使用する管は呼び径 100mm の塩ビ管である.使用する気圧センサは DPS368 である.図 5 のように気圧センサで読み取った値を SD カードに書き込ませるデバイスを作製し,実験機と開始位置と同じ高さに取り付けてデータを取得する.実験では実験機を操作し垂直な管内を 50cm 上昇させる.取得した気圧データの差によって相対的な開始位置からの気圧の変化が見られることにより,垂直を推進していることが確認できるものとしている.

4.2 実験 2 異なる管の内径における進行実験

本実験は実験機が,垂直状態で異なる管の径に適応できることを検証する目的で行う.使用する管は実験 1 とは異なる呼び径 150mm の塩ビ管である.その他の使用する気圧

センサや手順,条件は実験 1 と同様である.実験 1 とは呼び径を変更しただけで,対照実験となるように設定する.この実験 2 で実験 1 と同様の結果が出ることにより異なる径にも適応できていることが確認できるものとしている.

4.3 実験 2 異なる管の内径における進行実験

本実験は,分岐を任意の方向に進行可能なことを検証する目的で行う.使用する管は,内径 100mm の半透明の青色の硬質塩化ビニル Y 字管 45 度と,内径 100mm の無色透明なアクリル管である.Y 字管にアクリル管を繋ぎ,垂直に固定する.ただし Y 字管とアクリル管の接続部分に大きな段差が生じないように PLA 樹脂で出力するスペーサーを詰める.このとき図 6 のように分岐先の任意の方向の管に対して目印をつけ,その方向に進行させる.その様子を定点で撮影し,実験機の軌道を追跡しグラフ化する.

5. まとめ

本研究では日常に潜む配管の問題に着目し,その安全性を保つ一役を担う管内探査ロボットに注目した.これまで開発されてきた多くの管内の移動機構の適応性の向上に疑問を持ち,管内での適応性を向上させることを問題と設定し,これに取り組んだ.その回答として,垂直状態での進行が可能なこと,異なる径に適応可能なこと,分岐を任意の方向に進行可能なことの 3 つの目標を設定した.必要な力を分析し,2つの生物から4つの性質を参考にし,GI mechanismを開発した.このメカニズムを施した実験機を作成し,実験によって3つの目標を遂行できることを検証しようとした.今後,実験により有効性を検証したい.

参考文献

- [1] Mohd ZamzuriAb Rashid, Mohd FitriMohd Yakub, Sheikh AhmadZaki bin Shaikh Salim, NormaisharahMamat, Sharifah MunawwarahSyed Mohd Putra, Shairatul AkmaRoslan, “Modeling of the in-pipe inspection robot: A comprehensive review”, Ocean Engineering, Volume 203, 1 May 2020, 107206