分岐管を走行できるヘビ型ロボットの提案

Proposal of a Snake type In-Pipe Mobile Robot Passable T-junction

○正 大野 学 (都立高専) 学 後藤 幸也 (日本工大院) 石井 達也 (日本工大)
平良 光裕 (日本工大) 正 伊藤 周三 (都立高専) 正 加藤 重雄 (日本工大)

Manabu ONO, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, Shinagawa, Tokyo, 140-0011
Yukiya GOTO, Nippon Institute of Technology, Miyashiro, Saitama, 345-8501
Tatsuya ISHII, Nippon Institute of Technology
Mitsuhiro TAIRA, Nippon Institute of Technology
Shuzo ITO, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
Shigeo KATO, Nippon Institute of Technology

We have many small diameter pipes that are cooling pipes for atomic power stations, boiler pipes, and gas or water pipe lines. They must be periodically inspected in order to protect the accident previously. Diameters and T-junctions of these pipes are different at the place where pipes change from the main to the branch. The inspection microrobot for these pipes must move different diameter and T-junction. The fabricated mobile microrobot was confirmed to move in different diameter pipes and T-junction whose diameters are between 44 mm and 90 mm. Its speed was 24 mm/s.

Key words: In-pipe, Mobile Robot, Bellows, Snake, Pneumatic Actuators

1. 緒 言

ガス管や水道管などの都市生活を支える配管は、配管内部の傷や腐食によ、内部の流体漏れに起因する様々な被害が報告されている。これら配管の設置場所は、建物の壁の間や地中埋設などであり、人間による外部からの接近、検査が困難である。

そのため、著者らはこれまで配管内部からの検査を目的とし、「出力／重量」比で有利な空気圧アクチュエータを用い、ミミズやシャクトリムシの運動を模倣した管内走行ロボット[1][2]を提案している。これらの検査ロボットは、内径 80mm の内径が一定である管を 100m 以上の長距離走行できることを目的に設計している。そのため、ガス管や水道管などに存在する本管と支管の内径が異なる箇所や、T 字分岐管の走行は不可能である。

内径の異なる管や T 字分岐管の通過ができるロボットを実現するため、ヘビの管内や縦穴等の移動方法であるアコーディオン運動を模倣した管内走行ロボットを提案している[3][4]。ヘビ型の管内走行ロボットは、アコーディオン運動を実現するため、3 個の体節から構成される。前・後ろの体節は屈曲できるアクチュエータから構成され、体節を屈曲させることで管を保持できるブレーキ機構としている。中心の体節はロボットの駆動に必要な変位を与えるアクチュエータから構成され、駆動機構として構成される。

今回、前後のブレーキ機構の動作タイミングを制御することにより、T 字分岐管において希望する方向に走行できることが確認できた。また、基本走行特性として、内径 54mm から 90mm のアクリル管内での走行が確認でき、本ロボットの配管適応範囲がわかり、これらの配管を組み合わせた内径の異なる箇所の通過も確認できたので報告する。

2. ロボットの構造

図 1 に試作した管内走行ロボットの構造を示す。本ロボットは前部と後部 2 個のブレーキ機構、変位機構、空気供給チューブから構成される。変位機構には外径 33mm、自然長 50mm の NBR(Nitrile Butyl Rubber) 製ベローズから構成される。その前後にはブレーキ機構が取り付けられる。ブレーキ機構の先端と、ブレーキ時に管と接触する部分には、ベロー

Fig. 1 Structure of in-pipe mobile robot

Fig. 2 Structure of brake mechanism

ズより管との摩擦係数が大きいブレーキゴムを取り付けている。これは、管との摩擦力を向上させ、ブレーキ力を向上させるためである。

ブレーキ機構の詳細な構造を図 2 に示す。ブレーキ機構は、外径 16mm の NBR 製ベローズ 4 個を 2 行 2 列のマトリクス状に配置している。また、4 個のベローズを接続するための肋骨板が 8mm 間隔で取り付けられる。肋骨板は、筋肉の役割をするそれぞれのベローズが正常な伸縮運動ができ、また、

ブレーキ機構の剛性を高める役割をしている。このような構造とすることで、ブレーキ機構の片側2個のベローズに正圧力を、残りの2個に負圧力を供給し、収縮状態のベローズが伸張状態のベローズを引っ張り、パイメタルのような動作をするため、ブレーキ機構は屈曲することができる。

各ベローズには空気圧を供給するための空気供給チューブが接続される。空気供給チューブはロボットの動作に支障のない位置に接続される。

3. ロボットの基本動作

3.1 ヘビのアコーディオン運動

ヘビは、たて穴等の狭い通行や木登りなどでは、一般的にアコーディオン運動をするといわれている。垂直管内でのヘビの移動動作を観察し、それを安易図にしたものを図3に示す。

アコーディオンのように交互にからだをS字に曲げ、管との摩擦を発生させている状態をステップ0とする。

ステップ1：頭部を進行方向に伸ばし、頭部ブレーキを外す。

ステップ2：上半身を伸ばし進行方向へ移動する。

ステップ3：頭部を管壁に当て、前方の体を屈曲させ、身体を支える。

ステップ4：下半身を屈曲させた状態から伸張させ、下半身のブレーキを外す。

ステップ5：下半身をたぐり寄せるようにして、下半身を全身させる。

ステップ6：全身をS字に曲げ管壁に押し付け、摩擦を発生させる。

この一連の動作でヘビは垂直に設置した管内を移動することができることを確認した。

3.2 ロボットの基本走行動作

ロボットを構成する各ベローズの圧力を変化させることで変位機構を伸縮させたり、ブレーキ機構を屈曲させることができる。

動作順序を図4に示す。前部ブレーキ機構と後部ブレーキ機構を屈曲させ、変位機構のベローズが収縮している状態を初期状態ステップ0とする。

ステップ1：前部ブレーキ機構のすべてのベローズに負圧力を与える。前部ブレーキ機構は屈曲を解除し、収縮状態となる。

ステップ2：変位機構のベローズに正圧力を与え、ベローズを伸張させる。このとき、後部ブレーキ機構は屈曲してブレーキ状態であり、前部ブレーキ機構は収縮してブレーキ解除状態であるため、ロボットの前側が進行方向に進む。

ステップ3：前部ブレーキ機構のベローズ内圧力を切り替え、屈曲させる。屈曲したブレーキ機構は摩擦力を発生するため、ブレーキ状態となる。

ステップ4：後部ブレーキ機構のすべてのベローズに、負圧力を与え、収縮させる。後部ブレーキ機構はブレーキ解除状態となる。

ステップ5：変位機構のベローズに負圧力を与え、収縮させる。このとき、前部ブレーキ機構はブレーキ状態であり、後部ブレーキ機構はブレーキ解除状態であるため、ロボットの後側が進行方向に進む。

ステップ6：後部ブレーキ機構のベローズ内圧力を切り替え屈曲させる。動作としてはステップ0と同様となる。

これら動作を繰り返すことにより、ロボットは前進することができる。これらの動作に要する時間をサイクルタイムとする。

Fig. 3 Accordion movement of a snake

Fig. 4 Moving principle of robot

Fig. 5 Moving speed characteristics

4. 走行実験

4.1 基本走行実験

内径 54mm, 60mm, 70mm, 79mm, 90mm のアクリル管を用意し, 走行速度を計測した. 実験条件は, ロボットの動作サイクルタイムを 4.0s とし, 供給圧力はペローズを伸張させる正圧力を 50kPa とし, 収縮させる負圧力を -80kPa とした.

走行速度の実験結果を図 5 に示す. 走行速度は管の内径に依存することなく, 平均 24mm/s であることが確認できた. また, 走行できる最小内径の管は, ロボットの寸法より 54mm であり, 最大の管は 90mm であることがわかった.

アクリル管を垂直方向に配置し, ロボットに荷重を与え, ロボットの牽引力を計測した. 実験条件は走行速度実験と同様である. 牽引力の実験結果を図 6 に示す. 内径 54mm の管において 6.4N であり, 内径 90mm の管においては 0.5N であった. 牽引力は管の内径に依存し, 管の内径が大きくなる とほぼ比例して低下していくことが確認できた.

4.2 内径の異なる段差のある管の走行実験

内径 54mm, 60mm, 70mm, 79mm, 90mm のアクリル管を 2 本ずつ組み合わせ, 図 7 に示す段差の存在する実験用走行管を製作した. 実験条件は, ロボットの動作サイクルタイムを 4.0s とし, 供給圧力はペローズを伸張させる正圧力を 50kPa とし, 収縮させる負圧力を -80kPa とした. ロボットがアコーディオン運動することで段差部分を通過できることが確認できた.

4.3 T字分岐管の走行実験

内径 79mm のアクリル管を 3 本用意し, 図 8 に示す T 字分岐実験用走行管を製作した. ロボットの前部ブレーキ機構は, 加える圧力を制御することにより, 屈曲方向を決定することができる. そのため, ジョイスティックを用いて, ロボットの操作者が簡単に屈曲方向を決めることができる. 試作したロボットは, 内径 79mm のアクリル管から構成される T 字分岐点において, 希望する方向に進出し走行できることが確認できた.

5. 結 言

- (1) 内径の異なる管や T 字分岐管の通過ができるロボットを実現するため, ヘビの管内や縦穴等の移動方法であるアコーディオン運動を模倣した管内走行ロボットを試作した.
- (2) 試作した管内走行ロボットは, 屈曲できるアクチュエータから構成される前後のブレーキ機構と, 変位を得るための駆動機構である中心のペローズから構成される.
- (3) 基本走行特性として, 内径 54mm から 90mm のアクリル管内での走行が確認でき, 本ロボットの配管適応範囲がわかった. 走行速度は管の内径に依存せず, 平均 24mm/s であることもわかった.
- (4) ロボットの適応範囲内の配管を組み合わせた内径の異なる箇所が存在する管の走行が確認できた.
- (5) 前後のブレーキ機構の動作タイミングを制御することにより, T 字分岐管において希望する方向に走行できることが確認できた.

参考文献

- [1] 大野学, 加藤重雄: 小径管内長距離走行用ミミズ型検査ロボットに関する研究 (三体節式移動ロボットの開発とその基本性能), 精密工学会誌, Vol. 71, No. 5 pp. 606-612
- [2] Manabu ONO, Toshiaki HAMANO and Shigeo KATO: Modeling and Fabrication of a Mobile Inspection Microrobot Driven by

Fig. 6 Traction force characteristics

Fig. 7 Different diameter pipeline

Fig. 8 T junction pipeline

Pneumatic Bellows Actuator for Long Pipes, Journal of Robotics and Mechatronics Vol. 18, No. 1, pp. 11-17

- [3] 大野学, 浜野聡明, 松本裕一, 涌井陽介, 加藤重雄: ヘビの動きと構造を模倣した管内走行ロボットの試作, 日本機械学会東北支部 第 43 期 秋期講演会講演論文集, pp. 95-96, 2007
- [4] 大野学, 伊藤周三, 加藤重雄: ヘビの動きと構造を模倣した管内走行ロボットの走行特性, 平成 19 年秋期フルードパワー講演会講演論文集 pp. 106-108