

309 大腸内検査用管内走行マイクロロボットの研究

A Basic Study of In-pipe Mobile Microrobot for Inspection of the Large Intestine

○学 大野 学 (日本工大院) 正 加藤 重雄 (日本工大)
 岩橋 一成 (日本工大) 小座間俊治 (日本工大)
 正 松田 信一 (日本工大院)

Manabu ONO, Nippon Institute of Technology, Miyashiro, Saitama, 345-8501
 Shigeo KATO, Nippon Institute of Technology
 Issei IWAHASHI, Nippon Institute of Technology
 Toshiharu OZAMA, Nippon Institute of Technology
 Sinichi MATSUDA, Nippon Institute of Technology

Key words: In-pipe, Mobile, Microrobot, Large Intestine, Pneumatic Actuator

1. 緒言

大腸の検査は、大腸癌等の早期発見に大変有効である。現在、内視鏡による検査は、大変優れているが、検査時に多くの痛みを伴い、また、操作が難いため、腸壁を傷つけてしまう事故の報告がある。そのため、安全で痛みを伴わず、操作が容易な検査装置が望まれる。

著者らは、これまで様々な管内走行マイクロロボットを提案し^{(1)~(4)}、細管内走行を実現している。これらの技術を応用し、自然な状態に配置した豚の小腸内を走行できるロボットを提案した⁽⁵⁾。しかしこれは、走行が不安定であり、腸をグリップする機構が腸壁に傷をつけてしまうおそれがあった。

本研究では、新しい機構を試作し、この問題を解消した。試作したマイクロロボットは、ゴム製のベローズと、ロボットの足の役割をするゴム製のブレーキ機構で構成される。そのため、腸内を走行するロボット全体が、柔らかいため腸壁を傷つけるおそれが少なく、空気圧で駆動するので感電のおそれがない。また、動作シーケンスを変えることで前進、後退、停止、走行速度の変化を可能とし、操作が簡単である。このように、本ロボットは、安全性と操作性の両面を兼ね備えることに成功した。

走行実験は、人の大腸の内径とほぼ等しい豚の小腸を用いて行った。現在の大腸検査でも行われているよう、豚腸を空気で腸を膨らませ走行させた。その結果、走行速度 39mm/s、最大牽引力 0.8N を確認したのでここに報告する。

2. マイクロロボットのシステム

試作したマイクロロボットの構造を図 1 に示す。ロボットは、外径 16mm の NBR (Nitrile Butyl Rubber) 製ベローズ 3 個と 2 個の摩擦ブレーキ機構、空気供給チューブより構成する。3 個のベローズは、直列に配置され、自然長 25mm である。また、それぞれのベローズには、独立した空気供給ができるチューブ (外径 2.0mm, 内径 1.0mm) が配管され、人の大腸を走行するのに十分な長さ 4m である。ベローズ 1 とベローズ 3 には、ロボットの足の役割をする摩擦ブレーキ機構 (NBR 製) が装着される。摩擦ブレーキ機構は、ベローズが自然 (大気圧) の状態で、直径 26mm 長さ 17mm である。これは、管との摩擦を発生させ、管をグリップする機構である。

図 2 に制御システムを示す。コンピュータは、ロボットの動作シーケンスがプログラムされ、バルブコントローラを介し、電磁弁を制御する。電磁弁は、3 ポートのものがあり、入力側のポートには、正圧を発生させるエアコンプレッサ、負圧を発生させる真空ポンプが接続される。電磁

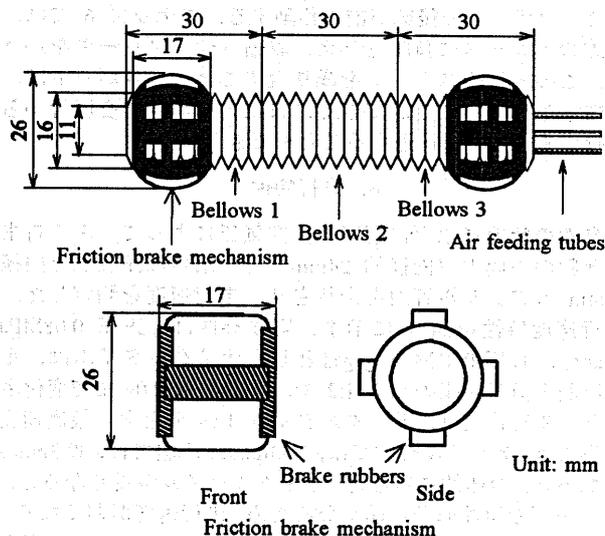


Fig. 1 Structure of in-pipe mobile microrobot

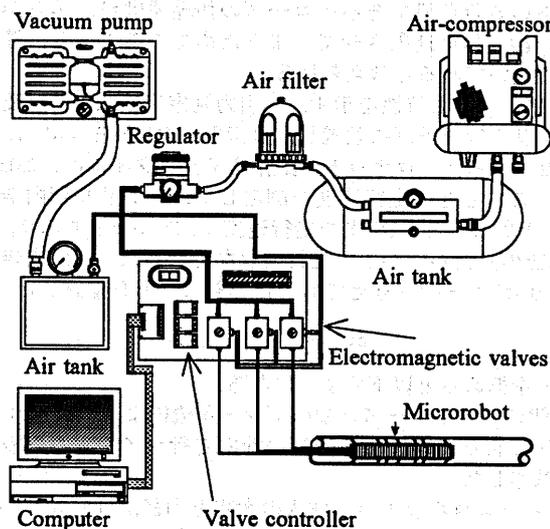


Fig. 2 In-pipe microrobot systems

弁の出力側のポートには、空気供給チューブを介し、各ベローズが接続される。

3. 動作原理

マイクロロボットの動作を図3に示す。ステップ1は、ロボットを管内に挿入し、3つのペローズが負圧によって、収縮状態にある。ステップ2では、先頭のペローズのみ正圧を与え、伸張させる。この動作で、先頭のペローズに接続されている摩擦ブレーキ機構が、管の長さ方向に押し広げられて、ブレーキを解除する。ステップ3では、中心のペローズに正圧を与え、伸張させる。この動作で、ロボットの前部が前に移動する。ステップ4では、先頭のペローズに負圧を与える。このとき、摩擦ブレーキ機構は、ペローズが収縮するため、管の直径方向にふくらみ、管をグリップする。グリップしたら、後方のペローズに正圧を与え、後方の摩擦ブレーキ機構のブレーキを解除する。ステップ5では、中心のペローズに負圧を与え、収縮させる。この動作で、ロボットの後部が前に移動する。ステップ6では、後方のペローズに負圧を与え、収縮させ、ブレーキをかける。この一連のステップを繰り返すことで、ロボットは、管内を走行することができる。また、ステップを反対から実行することで、後退することもできる。

4. 走行特性

自然の状態に水平に配置し、空気圧によって、ふくらませた豚の小腸内（内径約24mm）と、水平に配置した内径26mmの亚克力管内を走行させ、走行速度を測定した。走行速度特性を図4に示す。実験条件は、正圧0.08MPa [gage]、負圧-0.08MPa [gage]とし、サイクルタイムは、正圧時間と負圧時間の比を1:2で、0.8sから2.0sまで変化させた。走行速度は、サイクルタイム1.0sのとき、最高速度が得られ、亚克力管内では、50.3mm/s、豚腸では、39.3mm/sであった。全体的にみると、サイクルタイムが長くなると、ペローズの伸縮運動が遅くなるため、走行速度が遅くなり、サイクルタイムが短すぎると、摩擦ブレーキ機構が、管を十分グリップできなくなることで、滑りが生じ、有効変位が減ってしまうため、速度の低下が考えられる。また、豚腸内の走行速度は、亚克力管内の約80%である。これは、ロボットの走行手段であるペローズの伸縮運動が、柔らかい腸と一緒に伸縮運動させてしまうためであることと、管の内径の違いであると考えられる。

図5に、牽引力特性を示す。牽引力測定実験は、豚腸及び、亚克力管を垂直に配置し、負荷を0.4Nから1.4Nに変化させて行った。ロボットの動作サイクルタイムは、2.0sを用い、このときの走行速度を測定した。亚克力管内走行では、無負荷から1.2Nまで走行速度は、ほぼ一定であり、1.4N以上の負荷がかかると走行できなくなった。豚腸内走行では、0.8Nの負荷を与えても走行できることを確認した。

5. 結言

本研究を纏めると以下ようになる。

- (1) 3個のゴムペローズと摩擦ブレーキ機構より構成され、空気圧によって駆動する新しい管内走行マイクロロボットを試作した。
- (2) マイクロロボットが、成人の大腸と内径がほぼ等しいとされる豚の小腸内を、自由に走行できることを確認した。
- (3) マイクロロボットの走行速度は、亚克力管内で最高50.0mm/sで、豚腸内で、最高39.0mm/sを確認した。また、亚克力管内及び豚腸内において、垂直方向にも走行できることを確認した。

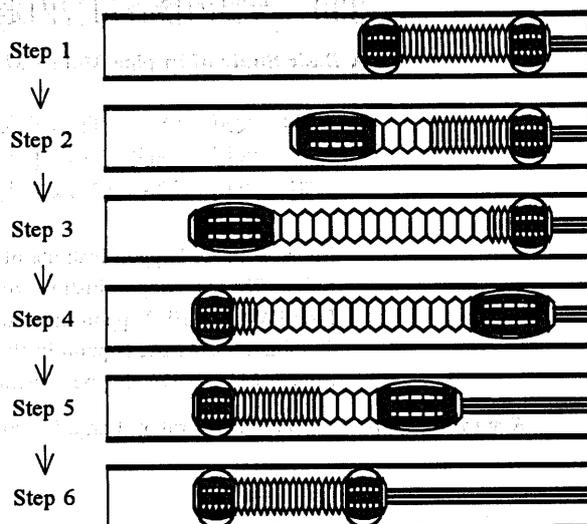


Fig. 3 Moving principle of the microrobot

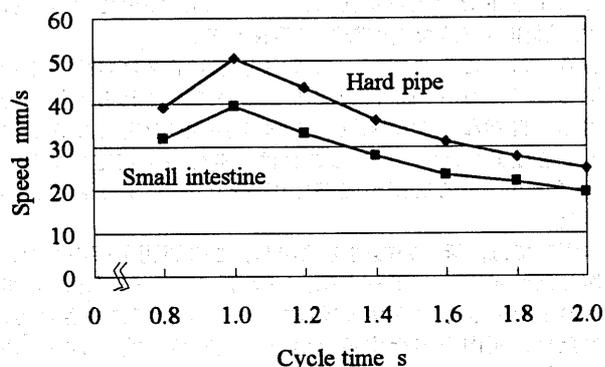


Fig. 4 Moving speed characteristic

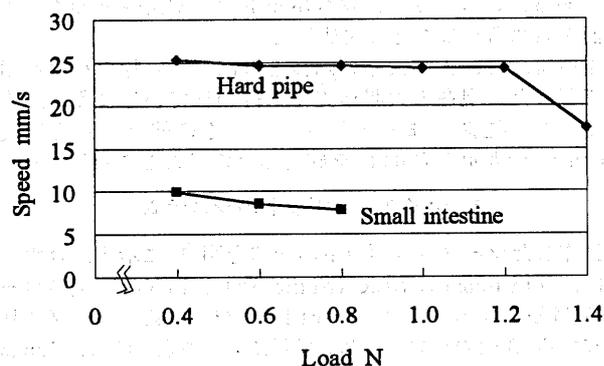


Fig. 5 Relationship between moving speed and load

以上より、マイクロロボットの有効性を確認し、将来の安全な大腸検査方法の確立に展望が得られた。

参考文献

- (1) 白川・他2名, 機構論, No. 991-2(1999), 241.
- (2) 秋田・他3名, 機構論, No. 001-2(2000), 97.
- (3) 大野・他4名, 機講論, No. 001-2(2000), 101.
- (4) 大野・他4名, 機構論, No. 011-2(2001), 183.
- (5) 大野・他5名, 機講論, No. 00-4 (2001), 1A1-B10.