

大腸手術ロボットに関する研究

Study on a Large Intestines Operation Robot

○ 小野田尚人, 小山浩幸, 米田隆志, 佐藤正行 (芝浦工業大学)

Naoto ONODA Hiroyuki KOYAMA Takashi KOMEDA Masayuki SATO, Shibaura Institute of Technology

Abstract: Large intestine endoscope cans treatment of an affected region, however there are painful when it passes through the flexure of the large intestine. This paper presents a micro robot operating large intestine automating the insertion operation to ease the burden for doctor and patient. The movement method is simulant of earth worm's expansion and contraction. The robot consists of the front or back holding parts and the expansion and contraction part at the center. The pneumatic devices are used for operation of robot. Each actuator is operated with the sequence control that uses MATLAB. In addition the robot can mount a camera and a micro forceps to treat an affected region.

Keywords: large intestines, treatment of tissue, micro Robot, Air pressure

1. 研究背景

近年, 生活習慣の欧米化により消化器系の病気が増加しており, 特に大腸がんが大きな問題となっている. がんに変異するポリープや微小ながんを発見する方法として, 大腸内視鏡や, カプセル内視鏡を用いた内視鏡検査と画像診断装置を用いた検査がある. 現在, 画像診断装置とカプセル内視鏡はポリープやがんを発見する事はできるが, 処置をする事ができない. また, カプセル内視鏡の薬液による処置は研究開発段階である. 大腸内視鏡は画像診断や病変部位の切除が可能で, 最も一般的に用いられている方法である. しかし, 大腸屈曲部通過時に痛みを伴うことや医師に高い技術が必要となるといった問題がある.

2. 研究目的

本研究では患者・医師の負担軽減, 診断・処置を目的に, カメラ, 鉗子の搭載が可能で小型な大腸手術ロボットの開発を行うことを目的とする.

3. システム構成

システム構成図を Fig.1 に示す. システムは以下の9点から構成されている.

- i) ディスプレイ
- ii) PC
- iii) 画像サーバ
- iv) カメラ
- v) ロボット
- vi) 鉗子
- vii) Host PC
- viii) Target PC
- ix) 空気圧制御部

PCからの信号により, 空気圧を制御し, ロボットが大腸内を走行する. ロボットに取り付けたカメラで大腸内を撮影し, 病変部位を発見した場合はロボットに取り付けられた鉗子により処置を行う.

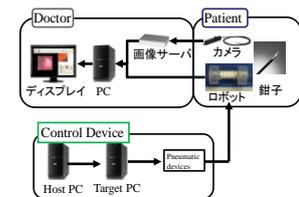


Fig.1 System configuration

4. 要求条件

要求条件として以下の3点が挙げられる.

- i) 大腸の屈曲部の走行が可能
- ii) 駆動源として空気圧の使用
- iii) カメラ, 鉗子の搭載

大腸内視鏡手術では大腸の屈曲部走行が困難とされている. そこでロボットは大腸の屈曲部走行を可能にすることを要求条件とする. また, ロボットのアクチュエータは体への影響が少ないことから, 空気圧アクチュエータを使用する. その他に, 内部の観察のためカメラ, 処置のための鉗子が挿入可能であることを要求条件とする.

5. 動作原理

ロボットの動作原理を Fig.2, Fig.3, Fig.4 に示す. ロボットは2つの保持部(UnitA, B)と伸縮部(UnitC)から構成されている. 保持部は4つの風船, 伸縮部は4つのベローズを用いて動作を行う. 動作原理はミミズの蠕動運動であり, Fig.3 に示す(1)から(6)までの一連の動作を繰り返すことによって前進する. 逆に, (6)から(1)までの一連の動作を繰り返すことによって後退する. また, 保持部の風船, 伸縮部のベローズは独立して膨張, 収縮可能である. これを組み合わせることで, Fig.4 に示すような屈曲動作が可能である.

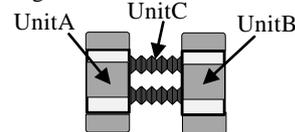


Fig.2 Moving robot for large intestines

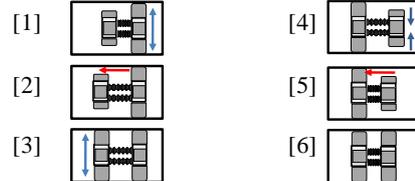


Fig.3 Outline of robot and principle of operation

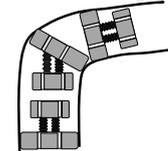


Fig.4 Bending operation

6. 制御システム

制御システムの構成を Fig.5 に示す. ロボットの制御は MATLAB を用いた, 一定時間ごとに一連の動作を繰り返すシーケンス制御である. 電磁弁と減圧弁の切り替えることで保持部, 伸縮部の膨張・収縮を行う. 減圧弁は任意の値を設定し, コンプレッサおよび真空ポンプによる空気の供給, 排出を各電磁弁で行う. 各電磁弁は PCI ボードからの制御信号にて動作する.

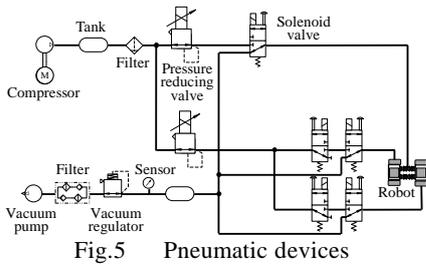


Fig.5 Pneumatic devices

7. 機構

7-1 全体図

ロボットの全体図を Fig.6, 仕様を Table 1 に示す. 外径は収縮時 23.5[mm], 膨張時 83.5[mm], 全長は 59.0 [mm], ストロークは 6.0[mm]である. 材質はPOMを使用している.



Fig.6 Overall view

Table 1 Specification

外径(収縮時)[mm]	23.5
外径(膨張時)[mm]	83.5
全長[mm]	57.0
ストローク[mm]	6.0

7-2 伸縮部

伸縮部の機構を Fig.7 に示す. ベローズを 4 つ用いて伸縮を行う. ベローズは各々が伸縮可能であり, 大腸の直管走行時は 4 つのベローズを同時に伸縮させることで走行を行う. また, 屈曲部走行時は, 屈曲方向と逆側のベローズを伸縮させることで, 屈曲動作を行う.

伸縮部に用いるベローズを Fig.8, 仕様を Table 2 に示す. ベローズは内径 2.0[mm], 外径 5.0[mm], 長さは 22.0[mm]である. また, ロボットとの固定方法はベローズを挟み込み, ねじにより固定する.



Fig.7 Expansion and contraction mechanism

Table 2 Required condition

内径[mm]	2.0
外径[mm]	5.0
長さ[mm]	22.0
材質	NBR 硬度 70



Fig.8 Bellows

7-3 屈曲動作実験

屈曲動作実験の様子を Fig.9, 実験結果を Table 3 に示す. 伸縮部の屈曲角度の評価のため実験を行った. 4 つのベローズの内 1 つのみ伸縮させた場合と, 2 つ伸縮させた場合の屈曲角度を計測した.

2 つ伸縮させた場合は要求条件を満たしたが, 1 つのみ伸縮させた場合は要求条件を満たさなかった. これは伸縮させたベローズが隣り合うベローズに干渉し, 収縮を妨げていることが原因であることが考えられる.



a) One bellows

b) Two bellows

Fig.9 Bending experimentation

Table 3 Bending experimental result

	Required condition	1	2	3	4
One bellows [deg]	30.0	21.0	20.0	21.0	22.0
Two bellows [deg]	30.0	30.0	31.0	31.0	30.0

7-4 保持部

保持部の機構を Fig.10 に示す. 風船を 90.0[deg]ごとに 4 つ取り付けすることで保持を行う. 4 つ各々が膨張可能である. 大腸の直管走行時は 4 つを同時に膨張させることで保持を行う. 屈曲部走行時には屈曲方向と逆方向の風船を膨張させることで伸縮部の屈曲動作の補助を行う.

膨張する大きさはロボットの外径 23.5[mm]と大腸の直径である 50.0[mm]~80.0[mm]を考慮し, 風船 1 つにつき 30.0[mm]以上膨張することが要求条件である.

風船は薄いゴム膜を貼り付け, ゴムの膨張によって風船を製作する. ロボットとの固定はゴム膜をロボット本体と接着し, さらにスペーサにより挟み込み, 隙間を接着剤で固定し行う. ゴム膜は市販されている厚さ 0.03[mm]のウレタンゴムを使用した. 製作した結果を Fig.11 に示す. 膨張させた結果, 30.0[mm]以上膨張し, 要求条件を満たした.



Fig.10 Method of fabrication with rubber film



a) One balloon

b) Four balloon

Fig.11 Balloon made from rubber film

8. おわりに

大腸手術ロボットの開発として, ゴム膜を使用した風船型ロボットを開発した. ゴム膜による保持動作, 複数のベローズを用いた伸縮・屈曲動作が可能となった. しかし, それぞれに問題があるため, 今後は改良を行う. 伸縮部は屈曲角度が不足しているという問題がある. そこで, 進行方向にベローズを増やすことで屈曲角度の増大を図ることを検討している. 保持部は大きさに関しては, 要求条件を満たした. しかし, 実際に保持動作が可能かを検証していない. そこで今後は大腸モデルを用いて, 実際に保持を行う事が可能かを検証する. 保持を行う圧力が不足している場合, ゴム膜の厚さを変更し, 圧力の向上を図ることを検討している.

その後, 大腸モデルや豚の腸を用いて, ロボット単体での走行実験, カメラ・力測定用マイクロ鉗子を搭載し, 処置を含めた走行実験を行う必要がある.

参考文献

- (1) 藤原 敬士, 小山浩幸他, 大腸手術ロボットに関する研究, ライフサポート学会フロンティア講演会論文集, vol. 19th, pp.33, 2010.