

報告日 2013年(平成 25年) 5月 17日
報告者 岡山大学大学院自然科学研究科 准教授
脇元 修一

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名 (日本語)

空圧駆動剛性変化型大腸内視鏡の最適挿入アルゴリズムの構築

(2) 研究者氏名

脇元 修一, 岡山大学大学院自然科学研究科 准教授

(3) 研究概要 (日本文)

本研究では, 剛性変化型大腸内視鏡の開発を行っている. 本内視鏡は, 空気圧の印加によって剛性が可変なラバーデバイスを複数個用いることで構成される. 本研究期間では腸壁の湾曲部の各所に感圧センサを取り付けた大腸内視鏡ファントムを製作し, これを用いて剛性変化型内視鏡の剛性変化パターンと腸壁への負荷の関係を調べ最適な剛性変化パターンの検討を行った.

(4) キーワード

大腸内視鏡, 剛性変化デバイス, 空気圧ラバーアクチュエータ

(英文)

(1) Research title

Optimum insertion algorithm of pneumatic stiffness-change colonoscope

(2) Name of researcher with title of position

Shuichi Wakimoto, Associate Professor, Okayama University

(3) Summary

In this project, a novel colonoscope configured with multiple variable-stiffness rubber devices has been developed. Each device can change its stiffness by pneumatic pressure. In this research, a colon phantom with sensors to measure the load to the intestinal wall has been developed. Using the phantom, relation between stiffness change pattern of the developed colonoscope and load to the intestinal wall has been investigated by insertion experiments. From the experiments optimum stiffness change pattern to reduce the load has been derived.

(4) Key Words

Colonoscope, Variable stiffness device, Pneumatic rubber actuator

2. 本研究の意義・特色

大腸は柔軟かつ複雑な形状であり、また腹腔内に固定されていないため、大腸内視鏡の挿入には高度な技術が必要である。本研究では、内視鏡各部の剛性を可変とすることで安全かつ容易な挿入が実現可能な大腸内視鏡の実現を目指している。

剛性変化型の大腸内視鏡の概念図を図 1 に示す。内視鏡は空気圧によって剛性を制御可能な複数の剛性変化ラバーデバイスを直列に配置することで構成される。直線形状の腸管部を通過する内視鏡部が高剛性状態となった際に医師からの挿入力が効率よく伝わり、屈曲形状の腸管部において低剛性状態になった際に腸管形状に沿って内視鏡が挿入されていくこととなる。このように、適切に剛性を変化させることにより、医師の押し込み力を大腸の経路方向に適正に伝え、安全かつ確実な挿入を実現する。

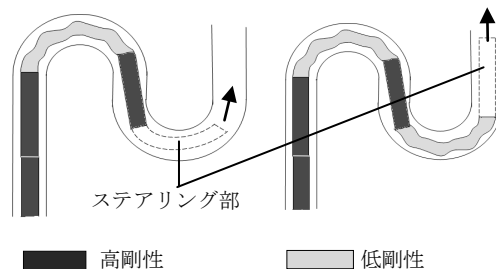


図 1 剛性変化型大腸内視鏡の挿入原理

3. 実施した研究の具体的内容、結果 (本文)

空圧駆動剛性変化型大腸内視鏡の構成

剛性変化ラバーデバイスの構造を図 2 に示す。McKibben 型アクチュエータと同様にゴムチューブを網目状に繊維強化した構造となっている。McKibben 型アクチュエータの駆動特性は強化繊維の編み角に依存する。剛性変化ラバーデバイスは、繊維角度を空気圧印加時に径方向、軸方向共に伸縮変形が生じない 54.7 度とすることで、剛性のみが変化するように設計されている。デバイスはシリコーンゴム (信越シリコーン社製 KE-1603) を使用して製作しており、ゴム厚を 1.5mm、強化繊維 (YGK よつあみ社製 セキ糸 ケブラート) の巻き数を 16 本とした。図 3 に剛性変化ラバーデバイスの圧力と曲げ剛性の関係を示す。正・負の圧力印加によって剛性が大きく変化していることが確認できる。

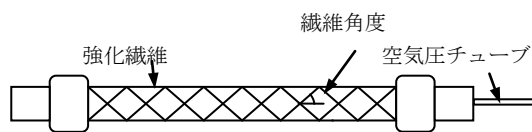


図 2 剛性変化ラバーデバイスの構造

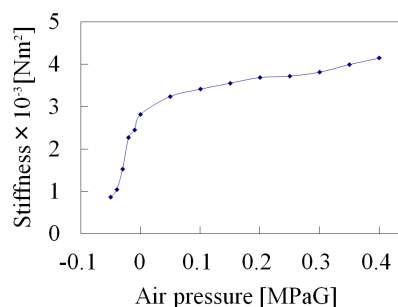


図 3 剛性変化ラバーデバイスの曲げ剛性

製作した剛性変化型大腸内視鏡を図 4 に示す。剛性変化ラバーデバイス 8 本を直列に配置し、先端にステアリング機構として 2 室の空気圧室を有する湾曲型ラバーアクチュエータを搭載している。図 4 に示すように、先端から順にデバイス 1, 2, …8 と定義する。外径は 13 mm、全長は 1060mm である。

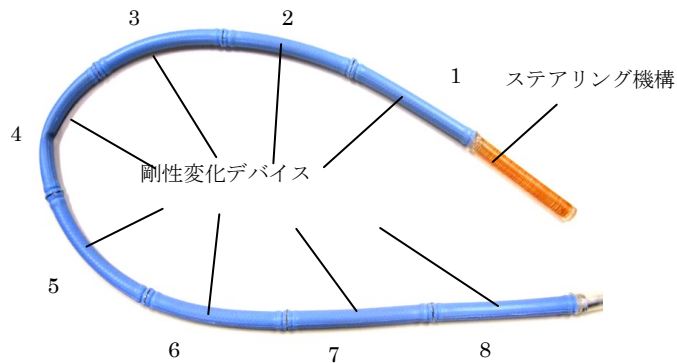


図4 剛性変化型大腸内視鏡

腸壁負荷計測ファントムの製作

腸壁への負荷を測定するために、図5に示すように、大腸ファントムにセンサを搭載した。使用したセンサは FlexiForce ボタンセンサ (ニッタ株式会社製) であり、センサ先端の直径 9.5mm の円形感受面で力を測定する。本センサを大腸の主な曲部 4 箇所 (図4の A, B, C, D 部分) に設置した。なお、現状では本大腸モデルファントムの腸管部は透明な材料で構成しており、上方からの視認によって挿入実験を行っている。

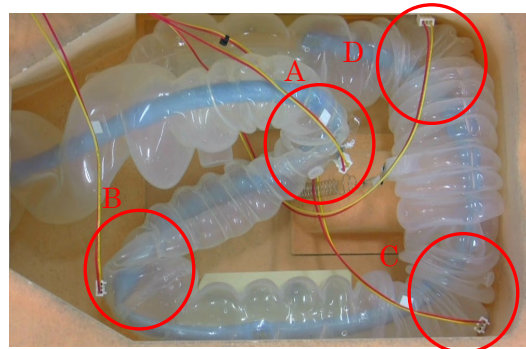


図5 腸壁負荷計測ファントム

駆動パターンの設定

本実験では図6に示す3つの剛性変化パターン(パターン 1, 2, 3)を設定し、実験的にそれらの有効性を比較した。パターン 1 では、剛性変化ラバーデバイス 1 と 3, 2 と 4 を低剛性状態, 高剛性状態とし、それらの状態を切り替えながら挿入を行った。低剛性状態は -50kPaG の負圧を印加し、高剛性状態では 200kPaG の陽圧を印加した。デバイスの 5~8 については常に 200kPaG を印加した。パターン 2 はデバイス 1~4 はパターン 1 と同様に駆動するが、A 部分において内視鏡後半部がループ形状となった際の負荷の低減を狙って、デバイス 5~8 を大気圧状態とした。パターン 3 では全ての剛性変化ラバーデバイスを 50kPaG と -50kPaG で交互に駆動した。全パターンにおいて空気圧の切り替えは 10 秒毎に行った。

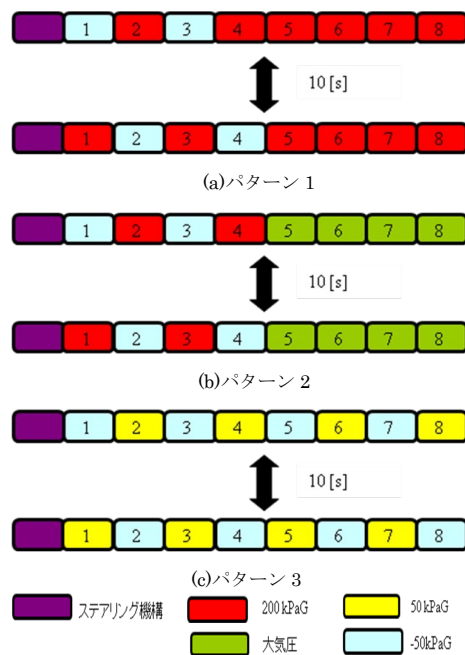


図6 剛性変化パターン

腸壁負荷評価

挿入パターン 1, 2, 3 によって大腸内視鏡挿入の非訓練者が 5 回の挿入実験を行った際のセンサ A, B, C, D において計測された最大負荷について最大値 (Max.), 平均値 (Av.), 最小値 (Min.) を図 7 に示す. 現在, 一般に使用されている大腸内視鏡を用いた場合, センサ A で 2.90N, センサ B で 2.68N の大きな負荷が観測された. さらに標準偏差についてもセンサ A で 1.08, センサ B で 1.16 と大きな値を示し, 測定する度にばらつきのある負荷が計測された. 従来の内視鏡の挿入では高い内視鏡挿入技術を有していない場合, 低負荷で再現性のある挿入を行うことは困難である.

剛性変化型大腸内視鏡によってパターン 1 で挿入した際はセンサ A で他のパターンと比べて最も低い負荷 1.98N が測定された. さらに標準偏差の値も 0.160 と他と比較して低い結果となっており, 安定した挿入が実現できていることが分かる. パターン 2 ではセンサ A で最大で 2.44N の大きな負荷が測定され, また, パターン 1 と比較して, センサ A, センサ B で計測値のばらつきがみられた. パターン 3 もセンサ A で最大で 2.37N の大きな負荷が測定されており測定毎のばらつきも大きくなった. パターン 2 と比較するとセンサ B のばらつきは抑えられていたもののパターン 1 と比較すると挿入安定性に劣ることが分かる.

また, 大腸を主な湾曲部 A, B, C, D (センサ配置部と一致) の通過時間と合計の挿入時間 T の最大値 (Max.), 平均値 (Av.), 最小値 (Min.) を図 8 に示す.

合計挿入時間の平均を比較するとパターン 1 で 267 秒, パターン 2 で 311 秒, パターン 3 で 338 秒, 従来の内視鏡で 354 秒となり, 挿入時間短縮を確認できた. また, パターン 1 が最も挿入時間のばらつきが少ない結果となった.

以上より現状での検討結果としては, パターン 1 が最も適切な剛性変化方法であったといえ, これを用いることで従来の内視鏡と比較して最大負荷 32%, 平均挿入時間 34%の減少を確認した.

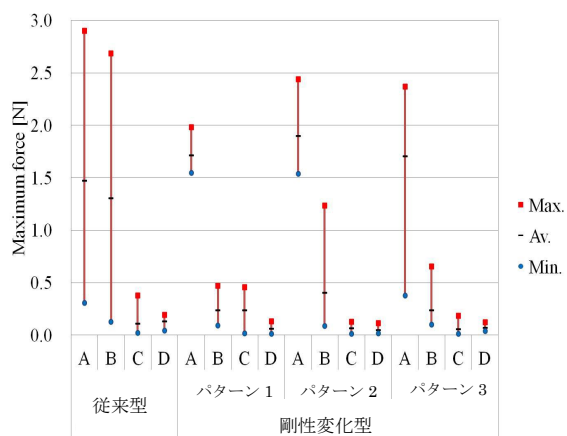


図 7 腸壁への負荷

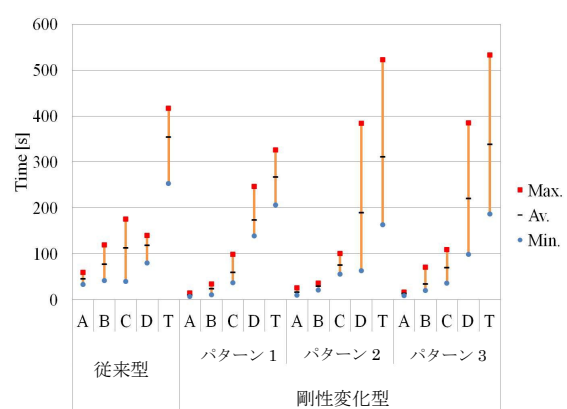


図 8 内視鏡挿入時間

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

脇元 修一 ・ 岡山大学 大学院自然科学研究科 准教授
和田 晃 ・ 岡山大学 大学院自然科学研究科 博士前期課程

5. 研究実施時期

2011年（平成 23年） 4月 1日から 2013年（平成 25年） 2月 28日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1)和田晃, 脇元修一, 鈴森康一, 山本陽太, 柔軟ラバーデバイスを用いた可変剛性型大腸内視鏡の開発, 第12回 一般社団法人 日本機械学会 機素潤滑設計部門講演会, 1211, pp. 73-76, 2012.
- (2)和田晃, 脇元修一, 鈴森康一, 山本陽太, 腸壁負荷計測ファントムを用いた剛性変化大腸内視鏡の最適駆動パターンに関する実験的検討, 一般社団法人日本機械学会 2012年度年次大会, S116045, p.91, 2012.
- (3)Akira Wada, Shuichi Wakimoto, Variable Stiffness Colonoscope driven by air pressure, *Symposium on Interdisciplinary Researches in Okayama*, 41, p. 44, 2012.

7. 内外における関連研究の状況

容易な挿入を目指した大腸内視鏡に関する研究は国内外で報告されているものの、その多くは内視鏡に自走能力などの能動性を付加させる試みである。また、内視鏡全体の剛性を可変にする機構も考案され、一部は実用に至っているものの依然として挿入には高い技術が求められている。本研究で開発している大腸内視鏡は空気圧によって各所の剛性が容易に変更可能であり独自性の高いものである。

今後も大腸内視鏡の研究は国内外の機関で実施されていくものと考えられ、安全で単純な機構である空気圧駆動のラバーメカニズムへの期待は高まると予想される。

8. 今後の発展に対する希望

これまでに各所の剛性が可変な大腸内視鏡の基本構造に関して研究を実施し、従来の内視鏡と比較して低負荷での挿入が可能であることを大腸ファントムを用いた基礎実験によって確認している。しかしながら現状の実験では透明腸管部を上方から視認しながらの挿入に留まっている。今後、カメラの搭載を実施し、カメラ映像のみを視覚情報とした際の挿入性についての調査を行い本機構の実用に対する有効性を示したい。