

機関番号：12608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700502

研究課題名（和文） 螺旋捻転推進を行なう内視鏡の開発

研究課題名（英文） Development of the endoscope with the helical rotation propulsion mechanism

研究代表者

高山 俊男（TAKAYAMA TOSHIO）

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・講師

研究者番号：80376954

研究成果の概要（和文）：本研究では内視鏡の推進装置として螺旋捻転運動を用いる方法を提案し、内視鏡と同程度以下の小型の螺旋捻転運動推進装置の開発を行った。螺旋捻転運動とは細長い胴体が螺旋形状になって体軸周りに捻転運動を行なう運動で管路にたいして摩擦をおこさず、簡単に柔軟な小さな構造で運動が行なえ、気密性が高く、流路を塞がないという利点を持つ。試作機として、ワイヤ駆動型、形状記憶合金駆動型、空気圧駆動型を作成し、それぞれの特徴を確認した。

研究成果の概要（英文）：We proposed to use the helical rotation mechanism as a propulsion device of the endoscope, and developed some prototypes of smaller sizes as the endoscope. A helical rotation is a motion in which a helical body revolves about its body axis. The advantages of a helical rotation mechanism is it can be actuated by a simple, small and soft mechanism, it has low friction against the inside wall of the tube, it has hermetical body, and it does not disturbs fluid flowing in the pipe. We developed prototypes actuated by wire, SMA (shape memory alloy), and air pressure, and confirmed their specifications.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：医用ロボット，内視鏡

## 1. 研究開始当初の背景

医療分野において軟性内視鏡は胃や腸の内側を直接見ることができ、早期の病変であれば大掛かりな外科手術をすることなく、内側から取り去ることもできる。しかし柔軟な内視鏡を腸のように複雑に曲がった柔軟な筒状の奥に入れるには高い技術が要求される。そのため内視鏡先端に取り付ける推進装置の研究開発が望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究で軟性内視鏡のための推進方法として螺旋捻転運動を提案する。螺旋捻転運動とは図1に示す様に、細長い紐状の胴体全体を螺旋形状にして胴体軸周りに回転する運動で、管の内壁にたいして摩擦を起こさず、簡単に小型で柔軟な構造物で運動が実現でき、タイヤのような無限回転軸を持たないため気密性が高く、管路を塞がないという利点をもつ。この運動が内視鏡サイズの大きさの構造物で行なえ、柔軟な管の中を移動可能で

あることを確認する。そこで直径 10mm 程度で先端の 100mm 程度が螺旋捻転運動をおこなえる内視鏡のモデルをつくり、屈曲する柔軟な管内で推進させることを目的とする。

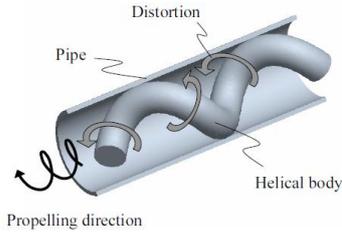


図1 螺旋捻転運動による管内移動

### 3. 研究の方法

(1) まず柔軟で細長い構造物に螺旋状に複数のワイヤを通し、これをサーボモータに取り付けたプーリで周期的に引くことで螺旋捻転運動が生成し、管内で推進力が発生することを確認する。また胴体の剛性とワイヤ張力、ワイヤの伸縮長等の関係を理論値、実験値より求める。また胴体となる柔軟構造物の材料や形状の選定も行う。

(2) 次にワイヤを形状記憶合金に置き換える。形状記憶合金の伸縮力、伸縮量はワイヤ式で求めた理論値より必要な量を求め、また体内で使うことから相変化する温度もそれに合わせ、形状記憶合金を作成する。作成した形状記憶合金を用いて螺旋捻転推進装置を作り、形状記憶合金に電気を流して伸縮させる方法で管内移動が行えることを確認する。

(3) 更に小型高速化を目指して空気圧駆動による螺旋捻転運動装置を開発する。ワイヤや形状記憶合金は引っ張る力で螺旋捻転運動を生成するが、空気圧では押し広げる力を用いる。柔軟なゴム管3本を中心に紐を通して螺旋形状に束ねて接着し、この3本を順番に加圧する方法で螺旋捻転運動を生成する。

### 4. 研究成果

まず螺旋捻転運動の生成方法について述べる。図2のように柔軟な芯材にワイヤを螺旋状に巻きつけ、このワイヤを収縮させると、芯材は螺旋状に屈曲する。この時ワイヤは螺旋形状の一番内側にある。同様に図3のように複数のワイヤを芯材に巻きつけ、これを交互に収縮させると螺旋形状の一番内側となるワイヤはその時に収縮しているワイヤとなるため、螺旋形状を維持したまま、体軸周りに回転運動を生じる。

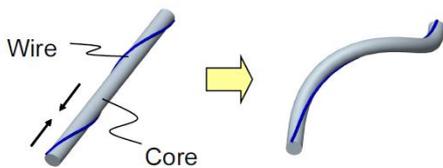


図2 ワイヤ1本による螺旋形状への変化

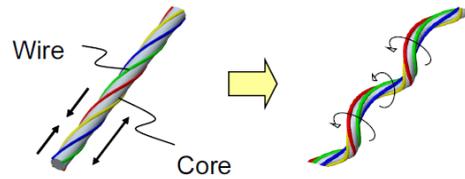


図3 複数のワイヤによる捻転運動の生成

#### (1) ワイヤ駆動式

ワイヤ駆動式は図4のようにコイルスプリングの間に穴の空いた節を挟み、隣り合う節を22.5°ずつひねって固定し、ワイヤを斜めに通した試作機を開発した。

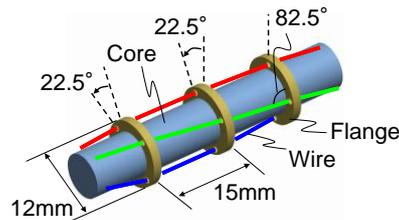


図4 ワイヤ駆動方式の構造

ワイヤの引く量と引く力と変形する螺旋形状の関係を求める。図6のように、芯材の半径  $r$ 、ワイヤ取り付け角度  $\alpha$ 、出来た螺旋形状の半径  $a$ 、1ピッチの長さ  $2 \cdot b$ 、とする。

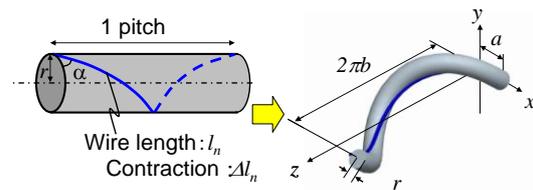


図6 螺旋構造のパラメータ

ワイヤの張力によって胴体は屈曲だけでなく縮んでしまう芯材の断面積  $A$ 、断面二次モーメント  $I$  とすると以下の関係式が求まる。

$$a = \frac{r}{2} \left( 1 + \left( 1 - \frac{\Delta l_n}{l_n(P+1)} \right)^2 \tan^2 \alpha - \frac{(l_n - \Delta l_n)^2}{l_n^2 \cos^2 \alpha} \right)$$

$$P = Ar^2 / I$$

実験値を図7に示す。ワイヤを多く引くと抵抗が大きくなり摩擦により理論値からずれることが確認された。

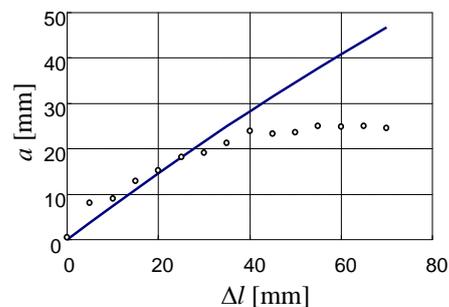


図7 ワイヤ引き量と螺旋半径の関係

さらにワイヤを引く力  $F_w$  は芯材の元の長さ  $L$ 、縦弾性係数  $E$  を用いて

$$\Delta l = \left( \frac{L}{EA} + \frac{r^2 L}{EI} \right) F_w$$

で求まる。これは図8に示す実験値とよく一致した。

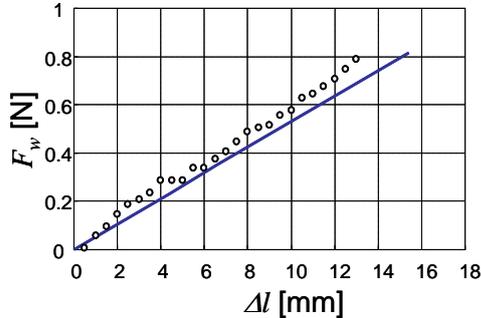


図8 ワイヤの収縮量と張力の関係

これらの式、および実験から必要となるワイヤ収縮量と収縮力が分かり、サーボモータの出力が決定される。ワイヤをサーボモータに取り付けたプーリで順番に引くと図9の様に螺旋捻転運動を生じ、外側に被せたパイプが巻き上げられていく様子が分る。捻転方向を逆にするとパイプは逆に下に下りた。これにより螺旋捻転運動で管内での推進力が得られることが分った。

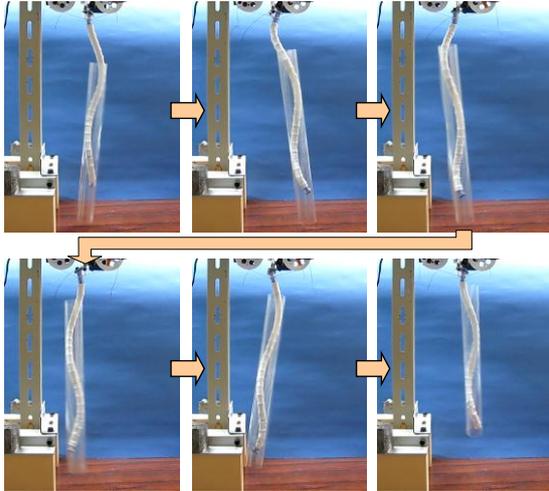


図9 ワイヤ駆動式による螺旋捻転運動

ワイヤ駆動方式は駆動部がプーリ等を含み大きいため、全てを内視鏡に組み込むよりも、内視鏡の先端にこの装置を取り付け、普段は通常の軟性内視鏡の様に挿入し、腸の屈曲部で通過できない時に体外にある手元の操作部からコントロールケーブルを通じて手動で捻転運動を生成する方式が有効であると考えられる。

### (2) 形状記憶合金駆動式

ワイヤ駆動方式ではサーボとプーリが大きく自律移動装置には利用できない。そこでワイヤ駆動方式を形状記憶合金に置き換えることを考える。

必要となる形状記憶合金の収縮力及び収縮量はワイヤ駆動式で導出した式から求め、適合する形状記憶合金を製作した。細い電線のみで駆動でき、直径20mmの管内を52mm/minの速度で移動した。屈曲管内を図10の様に推進できることを確認した。

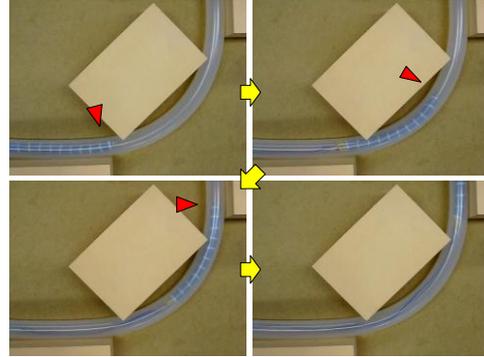


図10 形状合金駆動式による移動実験

形状記憶合金は電気駆動できるためバッテリー駆動とすれば自律移動ロボットとして利用できる可能性がある。一方、放熱に時間が掛かるため動作速度が遅いという問題も分った。

### (3) 空気圧駆動式

高速駆動と更なる小型化を目指して空気圧駆動方式の試作機も開発した。空気圧駆動式ではワイヤ駆動式の様にワイヤを収縮させて屈曲させるのではなく、図11の様に中心に糸を通して周囲に気室を配したシリコンゴムの気室の一つを膨らませると屈曲する原理を利用する。

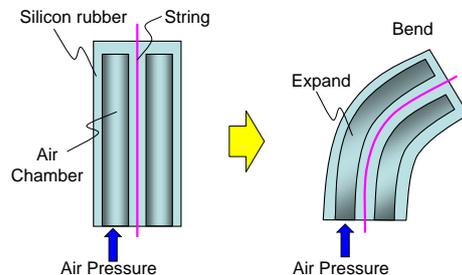


図11 空気圧駆動式の基本原理

薄肉のシリコンゴムチューブ3本を糸を中心にねじって接着し、そのうちの1本に空気圧をかけると、図12の様に螺旋形状に変形する。ここで一番膨らんでいるチューブが螺旋の外側に位置し、3本のチューブを交互に膨らませると、螺旋捻転運動となる。

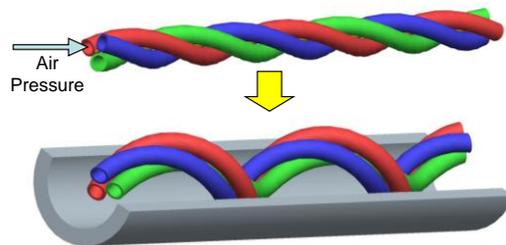


図12 空気圧駆動式の構造

試作機は直径 15mm の物と 5mm の物を製作した。5mm の物は内径 20mm の円筒内で最大 40mm/s 程度の高速移動が出来た。これは現在研究されているどの屈曲式移動体の移動速度よりも高速で、画期的な推進原理である事が確認された。

図 1 3 に直径 5mm の試作機による直径 15mm 管での移動を示す。さらにこの試作機は本体が柔軟なチューブで構成されているため、直径 15mm のパイプで屈曲半径 15mm 程度の 90° に曲がった屈曲部を容易に通過できることも確認した。このような狭隘屈曲部を労せずして通過できる移動ロボットは例を見ない。

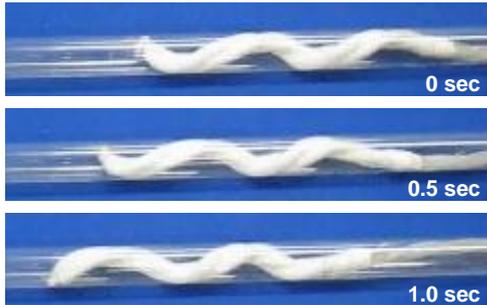


図 1 3 空気圧式螺旋捻転推進装置



図 1 4 空気圧式による屈曲部の通過実験

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 6 件)

①堀 智幸, 高山 俊男, 小俣 透, ”管内螺旋捻転推進装置 空気圧駆動による高速化”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’ 11, 2A2-M08, 岡山, May 27-28, 2011

②高山俊男, 倉田稔, 堀智幸, 小俣透, “螺旋捻転推進—中空性臓器用推進原理—”, 第 3 回医歯工学イノベーション・シンポジウム, 東京, March 19, 2011, pp. 10-11 (諸情勢により中止。予稿集のみ発表予定者へ郵送)

③Minoru Kurata, Toshio Takayama and Toru Omata, “Helical Rotation In-Pipe Mobile Robot,” Proc. of the 2010 3rd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Tokyo, Japan, September 26-29, 2010, pp. 313-318

④倉田 稔, 高山 俊男, 小俣 透, ”形状記憶合金アクチュエータを用いた螺旋捻転移動

ロボット”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’ 10, 2A1-E09, 旭川, June 15-16, 2010

⑤倉田稔, 高山俊男, 小俣透:”螺旋捻転移動装置—駆動部小型化のための考察—”, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2A1-06, 横浜, sep. 15-17, 2009

⑥倉田稔, 高山俊男, 小俣透:”管内螺旋捻転機構に関する研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’ 09, 2A1-K13, 福岡, May 25-26, 2009

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

高山 俊男 (TAKAYAMA TOSHIO)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・講師

研究者番号: 80376954