

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24年 6月 12日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700507

研究課題名（和文） 細径・広角な可変視野内視鏡の開発

研究課題名（英文） Development of a thin wide-angle view endoscope

研究代表者

小林（正宗）英津子（Kobayashi (Masamune) Etsuko）

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：20345268

研究成果の概要（和文）：軟性鏡先端でのプリズム回転機構と、広い視野移動範囲を得るためのプリズム形状を検討し、プロトタイプ機を製作し、以下の成果を得た。(1)回転機構には、圧電素子を利用した小型超音波モータを用いることとし、内径 13 mm、外径 14 mm、長さ 25 mmの中空モータを実現した。(2)30度斜視鏡と視野を 30度屈折させる特殊レンズを設計し、視野角 70度の内視鏡を 60度屈曲させ、自由に視野移動させることを実現した。

研究成果の概要（英文）：The aims of this research are to design the rotational actuator to achieve the prism rotation at the tip of the flexible endoscope and to design the new view moving mechanism for a thin wide-angle view endoscope. From two years research, we obtained the following results; (1) we developed the small ultrasonic rotation actuator using PZT, in which inner diameter was 13mm, outer diameter was 14mm and the length was 25mm. (2) By combination of 30 degree strabismus laparoscope and a special lens, we achieved  $\pm 60$  degree flexible view movement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：低侵襲治療システム、内視鏡、手術支援ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

内視鏡下手術は低侵襲手術の一手法として、現在幅広い適応がなされている。特に、軟性内視鏡下における治療に対する期待は大きく、従来硬性鏡下に行われてきた外科的治療においても、対象とする臓器の拡大に伴い、軟性鏡を併用するケースが多くなってきている。さらに、NOTES (Natural Orifice

Transluminal Endoscopic Surgery) やシングルポートサージェリーに代表されるような、狭い挿入部位から体内深部へ到達し治療を行う、新しい手術法も注目されている。つまり直線的に観察可能な部位だけでなく、臓器の裏側に回ってのアプローチなど、内視鏡下手術に要求される作業はより複雑になって来ている。

このような内視鏡的アプローチにおいて、十分な視野範囲・視野動作を得ることは手術作業に大きく影響する。これまでも内視鏡の視野確保支援を目的とした、内視鏡マニピュレータが開発されてきた。これらは従来の硬性鏡または軟性鏡を移動、屈曲させて位置決めを行うものであり、視野移動には内視鏡本体の移動が必要であり、大きな空間を要するという問題を有する。

そこで我々は本体を動かさずに視野の移動が可能で、可変視野内視鏡の開発を行ってきた。これは内視鏡先端にウエッジプリズムを2枚設置し、これを独立に回転することで視野移動を行う。実際にはプリズムを円筒に取り付け、円筒からギアを介しモータにより回転させる。図1には開発した可変視野内視鏡を示す。光源を含め直径18mmで±19°の視野移動を実現している。

しかしながら、視野移動角と直径にはトレードオフの関係があり、直径18mmと通常の腹腔鏡に比べても大きいことと、円筒により動力伝達をしているため軟性鏡には対応出来ない、より広範囲の視野移動が望まれる、といった課題を有する。

## 2. 研究の目的

本研究では低侵襲な内視鏡的治療を目的として、体内深部への挿入が可能かつ細径で広範囲な視野移動を実現する、可変視野軟性内視鏡の開発を行うことを目的とする。

具体的な開発要素としては、

- (1) 先端部でのプリズム回転機構の設計・製作
  - (2) 広い視野移動範囲を得るためのプリズム設計・製作
- これらを細径化を念頭に置いて開発し、有用性を検証する。

## 3. 研究の方法

目的に記載したとおり、本研究では2つの技術要素について研究開発を行った。

### (1) 先端部でのプリズム回転機構

プリズム回転機構における基礎的検討として、円筒型超音波モータの設計、製作、評価を行った。これは内部が中空構造であり、レンズを挿入することが可能であるためである。

今回は円筒型の中でも、両端自由1次自由振動モードを用い回転駆動を実現することとした。円筒形円周方向に4分割した電極に、

90度ずつ位相の異なる4つの交流を印加する事によって、たわみ振動が励起される。たわみ振動によりステータ端面に形成される進行波を、ロータに伝えることによって、ロータの回転運動を実現する。

ステータとして円筒形圧電セラミックス(富士セラミックス, C213), ロータにSUSを用いた。圧電セラミックスの寸法は、内径13mm, 外径14mm, 長さ25mmとした。ステータとロータを押し付ける機構としてスプリングを、摩擦軽減の為にテフロンを用いた。ステータは、振動の節をシリコンOリング(内径13.8mm)によって保持する。ステータとロータの接触を線接触とする為に、ステータとロータの端面に、45°のテーパ加工, R9.5の球面加工をそれぞれ施した。製作した超音波モータを図1に示す。



図1 製作した超音波モータのステータ(左)及びロータ(右)

### (2) 広い視野移動範囲を得るためのプリズム

本研究では斜視鏡の先端にプリズムを設置し、プリズムの回転による視野移動と斜視鏡の鏡筒の回転による視野移動を組み合わせることで広い視野移動の実現を目指すこととした。

しかし先行研究で用いたウエッジプリズムを視向角30度の斜視鏡に組み合わせると視野中心は鉛直方向から20度~40度の間しか移動できず、視野中心を内視鏡に対して鉛直方向に移動させることができない。そこで視野を30度屈折させるような面を持つ特殊レンズを設計し、斜視鏡と組み合わせることで視野中心が鉛直方向から60度までの視野移動を実現することができると考えた。光を屈折させる面は空気中からガラスに入射する面とガラスから空気中に入射する面の2つ存在するので、それぞれの面で光を15度屈折させれば合計で30度の視野の屈折が実現できる。スネルの法則により前者では40度、後者では25度の入射角で入射させれば光が15度屈折する。

そこで内視鏡をピンホールと仮定し画角70度に対して2.5度間隔の放射状の光が出て

いるとしてそれぞれの光に対して入射角 40 度, 25 度となるような面を作りそれらをつなぎ合わせ, 円弧に近似した(図 2)。この図からこのような面を持つレンズを内視鏡の前におけば視野を 30 度屈折させることができると考えられる。屈折面が内視鏡と干渉しないように小型化するとレンズの回転半径は最小で 6.5 mm まで小さくできることが可能であった。以上の形状を持つレンズをアクリルで製作した。製作したレンズを図 3 に示す。

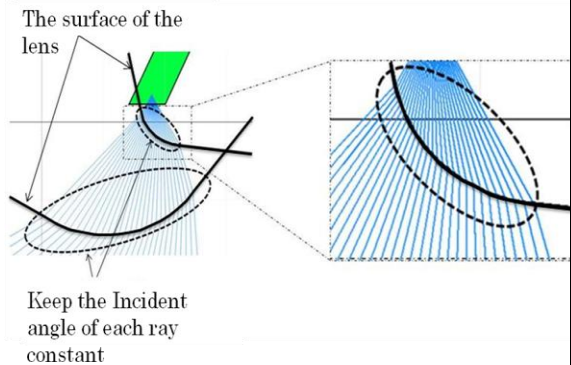
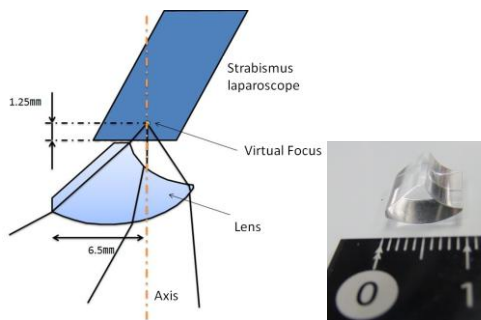


図 2 30 度視野を屈曲されるためのレンズ表面形状設計



(a) レンズの形状 (b) 製作したレンズ

図 3 製作したレンズ

#### 4. 研究成果

##### (1) 先端部でのプリズム回転機構

###### ① 共振周波数測定

超音波モータでは, 共振現象を用いるため, 共振周波数で駆動させる必要がある。算出には, 有限要素法解析ソフト (ANSYS) を用い, 42422Hz の結果を得た。

次にステータ振動子の共振周波数の測定を, インピーダンスアナライザ (Agilent 社, 4294A), レーザードップラー振動計 (Polytec 社, NLV-2500) を用いてそれぞれ行った。測定には, グラウンド電極と, 外側電極 1 つを用いた。レーザーは振動子の先端部分をスキャンした。測定結果として, インピーダンスアナライザより 42732Hz, レー

ザードップラー振動計より 42854Hz の値となった。

###### ② 固定保持力・回転特性評価

次に, 超音波モータをくみ上げた状態で, ステータ振動子の 4 枚の圧電素子に, 90 度ずつ位相をずらした交流電圧を印可し, 固定保持力, 回転速度を計測した。この際の周波数は 42850kHz とした。予圧は 200, 300, 400, 500, 600gf と変化させ, 保持力はモータに固定したワイヤを材料試験器により引っ張り試験を行うことにより計測した。

結果を図 4 に示す。

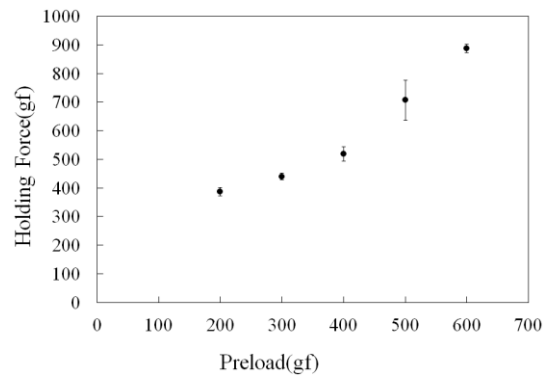


図 4 予圧を変化させたときの固定保持力

また, 固定保持力評価で十分な保持力を有していた, 予圧 600gf の条件下にて, 回転速度を計測した。結果を図 5 に示す。

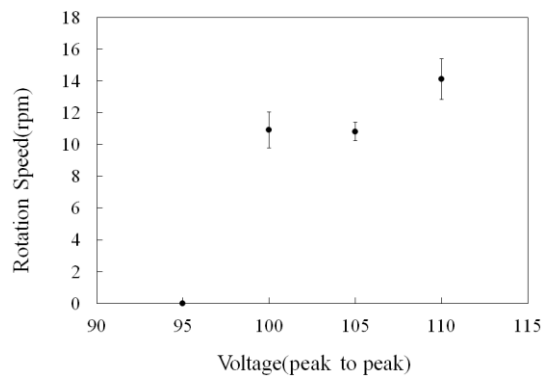


図 5 回転速度計測結果

結果, 固定保持力, 回転速度ともに大きくなばらつきは無く, 安定し, かつレンズの回転には十分は回転を実現した。しかしながら, 超音波モータの予圧のかけ具合により, 角速度がばらつく現象が見られたため, 予圧機構等にさらなる工夫が必要であることが示唆された。今後はさらなる小型化, 安定した回転を実現すべく再設計を行っていく予定である。

##### (2) 広い視野移動範囲を得るためのプリズ

ム

製作したレンズを 30 度斜視鏡の先端部に設置し、手でレンズを回転させられる機構を作り可変視野内視鏡を製作した。製作した内視鏡に対し、視野の移動量、画質の評価実験をおこなった。

視野の移動量の実験では、半径 50 mm の球状のくぼみの中心部に内視鏡の先端部を設置し、レンズを回転させたときに視野中心が何度屈折するかを評価した。

結果として、正面を見たときの視野中心は内視鏡鉛直方向から 5 度上方、最も上方を見たとき視野中心は内視鏡鉛直方向から 60 度上方を向いており、視野中心を 55 度移動させることができることが確認できた。

画質に関しては解像度、幾何学的歪み、色収差を評価した。解像度は内視鏡先端から 50 mm の位置に設置した等間隔縞模様の解像力チャートを撮影し、縞模様が線として認識できる最小の線の幅を解像力とした。

結果として、画面中央において認識できた線幅は縦縞が 0.63mm、横縞が 0.63mm となった (表 1)。これより斜視鏡のみで撮影を行った場合と比べ 0.56~0.71 倍程度の解像度となることが分かった。

表 1 画像解像度評価実験結果

	Center of the screen		Edge of the screen	
	vertical (mm)	horizontal (mm)	vertical (mm)	horizontal (mm)
With Lens	0.63	0.63	0.71	1
Without Lens	0.35	0.45	0.5	0.8

幾何学的歪みは等間斑点模様の歪み評価チャートを内視鏡から 50mm の距離に固定して撮影を行い、歪みが最も大きい点の横:縦の比を幾何学的歪みとした。結果として、歪みが最も大きい点で横:縦の比が 12:7 となった。斜視鏡のみで撮影すると横:縦の比が 12:9 であったため、レンズによる若干の視野の歪みが確認された。

色収差は黒い板に直径 2mm の穴をあけ、そこに後から白色のキセノンランプを照射したものを撮影し、得られた画像を RGB で分解し、赤色光と青色光の中心のずれを色収差と定義した。結果としては赤色光が青色光に対して 0.17mm 上方へシフトした。

上記基本性能評価の結果、若干の画質の低下があるものの、60 度近い視野移動が可能で

あったため、さらに細径化を目指すため、レンズの再設計を行った。その結果、半径 6.5mm から 3.5mm への細径化が可能であった。

今後はレンズをモータ駆動し、制御プログラムを完成させ、自由な視野移動を実現する。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

①福島佑輔, 廖洪恩, 小林英津子, 佐久間一郎, 可変視野内視鏡の視野拡張に関する研究, 日本コンピュータ外科学会, 2011年11月23日, 東京

②坂本宇, 小林英津子, 森田剛, 神田岳文, 佐久間一郎, 超音波モータを用いた超音波凝固切開装置用鉗子先端回転機構の研究, 精密工学会春季大会, 2012年3月15日, 東京

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

小林 (正宗) 英津子 (Kobayashi (Masamune) Etsuko)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号: 20345268