

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20日現在

機関番号：82612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009年～2011年

課題番号：21700501

研究課題名（和文） 複数連結可能な屈曲機構による内視鏡下手術用細径マニピュレータの研究開発

研究課題名（英文） Development of endoscopic miniature manipulator with multiple connectable bending mechanism

研究代表者

山下 紘正（YAMASHITA HIROMASA）

独立行政法人国立成育医療研究センター・臨床研究センター・臨床研究員

研究者番号：00470005

研究成果の概要（和文）：

本研究はより安全で効率的な低侵襲内視鏡手術のため、高い信頼性を持つ細径の多自由度マニピュレータを開発することを目的とする。複数の微小なギヤの組み合わせによる新たな駆動方法を提案し、多関節の円筒状のフレームを少ない機械要素で駆動可能とする。1関節を最小の屈曲ユニットとし、複数ユニットを連結させることで、直径5mmの2自由度屈曲マニピュレータ及び直径3mmの1自由度屈曲マニピュレータの試作に至った。

研究成果の概要（英文）：

Our objective is to develop a miniature multi-DOFs manipulator with high reliability for more secure and efficient minimal invasive endoscopic surgery. We propose a new driving method using multiple miniature gears and realize multi-joint cylindrical frames by minimal mechanical elements. In this research we have made two prototypes of 5-mm 2-DOFs manipulator and 3-mm 1-DOF manipulator.

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	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：医用システム

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：医療・福祉，機械要素，マニピュレータ，知能機械，内視鏡手術

1. 研究開始当初の背景

近年、あらゆる外科領域においては（時には経口的アプローチによる内科治療領域などにおいても）、患者に対する侵襲が小さく、Quality of Life(QOL)の点から見て優れた内視鏡下手術が一般的となってきた。使用される手術器具は細長い棒状のものが多く、体内への挿入点に操作が拘束され、手で直接触れながら行うような器用な手技は困難である。そのため、国内外にて屈曲自由度を追加したマニピュレータの機構や、動力伝達方

法、操作方法に着目した様々な研究開発がなされている。駆動方法としてよく用いられるのはワイヤ機構やリンク機構である。前者ではマニピュレータの多自由度や細径化、多チャンネル化に適するが、繰り返し駆動の耐久性や信頼性に欠ける面がある。後者では確実な駆動が可能であり滅菌性に優れているといえるが、細径化や多チャンネル化は難しい。多種多様な外科領域で汎用的なものは少なく、従来の手技を超える全く新しい手技の実現には至っていない。実用化されているのは

欧米企業数社のみであり、国内では未だ実用化には至っていない。現場のニーズに対し技術の供給は十分ではなく、実用化に耐えるマニピュレータの開発は急務といえる。

2. 研究の目的

本研究では、直線状の術具先端に搭載可能な屈曲機構として、従来のワイヤやリンクを用いた駆動方法ではなく、複数の微小なギヤの組み合わせによる新たな駆動方法を提案し、多関節を有する円筒状のフレームを、より少ない機械要素で駆動可能なマニピュレータを開発する。1つの関節で連結した2つのフレームを最小の屈曲ユニットとし、同一のユニットを複数個連結できるような構造とすることで、マニピュレータの関節数や最大屈曲角度、屈曲半径などを、自由にカスタマイズ可能とする。なお、従来の長鉗子のような手術器具との使用感の差を出来る限り取り除くため、マニピュレータの重量は可能な限り軽量とし、操作のインターフェースも直感的でシンプルなものとする。

3. 研究の方法

図1に示す通り、2つの円筒状フレーム (Frame1, Frame2) と、1つの関節 (Joint1) で構成する。Frame1を基準 (操作者にとって手元側) と考えると、

- ① Frame1内部に同心状に配置した段付きフェースギヤ付きの駆動用シャフト Shaft1を回転させる
- ② ピッチ円半径2Rのスパークギヤ部 Gear1を備えたFrame2がFrame1に対して回転する
- ③ このときFrame2の内部に配置した、半径Rのスパークギヤ Gear2も連動して回転する
- ④ 同じくFrame2の内部に同心状に配置された段付きフェースギヤ付き Shaft2も回転する

という機序により屈曲機構が駆動される。

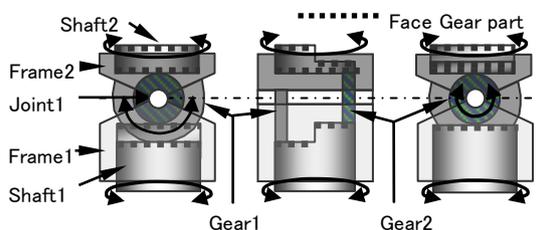


図1：屈曲機構ユニットの構成

Gear1とGear2のピッチ円半径比を2:1としたとき、図2に示す通りFrame2が θ 回転したとすれば、Gear2は 2θ 回転する。これによりShaft2はShaft1と反対方向に同じ角度

だけ回転するため、さらに同一のユニットを連結・駆動することができるようになる。

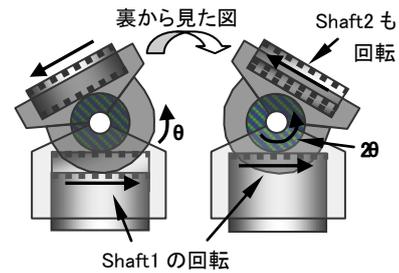


図2：屈曲機構ユニットの駆動

2つのユニットを連結する場合、図3で示す通り、Frame1~3, Gear1~4, Shaft1~3により構成でき、トータルで2倍の屈曲角度を得ることができることになる。同様に、順次連結させたフレームは全て連動し、同じ角度ずつ回転するため、連結したユニット数に応じて屈曲機構全体で大きな屈曲角度を得ることが出来る。このときの動力伝達要素はShaft1~3のみがフレームと同軸状に配置されているのみであり、外径に対して大きな内部チャンネルを確保することができる。

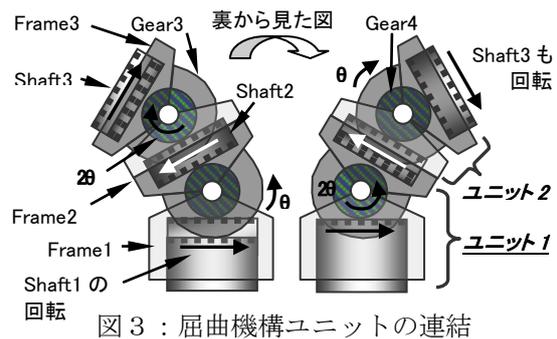


図3：屈曲機構ユニットの連結

また、1自由度の屈曲機構ユニットを元に、2自由度目以降を搭載する場合の屈曲機構を試作する。1自由度の屈曲機構は1組のShaft回転動作のみで駆動可能であるため、図4に示すように2自由度目の屈曲ユニットを連結し、2自由度目の駆動用Shaftを1自由度目の駆動用Shaftの内側に同軸状に配置することで、複数の屈曲自由度を得ることができる。

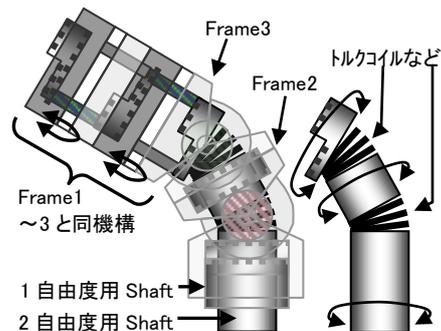


図4：2自由度目搭載時の駆動要素

先端側の屈曲自由度を駆動するための Shaft は、屈曲機構まで曲線状の経路を通す必要がある。そのため部分的にトルクコイルなどの軟性部材を挟み、1自由度目の屈曲角度に依らない回転駆動を実現する。

マニピュレータの屈曲角度としては、 ± 90 度と ± 180 度を一つの目安とする。300g以下の軽量化を行い、また、外科医が直感的に操作可能なインタフェースを導入する。エンドエフェクタ機能については、把持鉗子や剪刀、レーザ照射用ファイバ、CCDカメラなどを予定している。動力伝達要素である Shaft 部やギヤ部を除き、トルクコイル（朝日インテック製など）などの柔軟部材を組み合わせることで、従来の軟性鏡鉗子チャンネルにも搭載可能な多自由度マニピュレータとすることが出来る。もちろん従来のような硬性状の術具とすることも可能である。

4. 研究成果

(1) 直径 5mm のマニピュレータ試作

ギヤのモジュールを 0.2 とし、外径 5 mm の 2 自由度屈曲マニピュレータを試作した。各 Shaft は組立の容易さを考慮し、先端の Face Gear 部のみを分離しての取り外しを可能とした。Shaft を 90° 同軸回転させることにより、各自由度 $\pm 90^\circ$ の屈曲を実現した。また、屈曲機構は Shaft を 0.03 Nmm 程度の非常に小さなトルクで回転させることで駆動可能であった。また、先端部には図 6 で示したような鉗子や剪刀を搭載可能とした。

(2) 直径 3mm のマニピュレータ試作

次に外径 5mm の屈曲機構を外径 3mm へと細径化する設計と試作を行った。

平ギヤとフェースギヤを駆動力の伝達要素に組み込み、1 関節あたり ± 45 度の屈曲を可能とする機構であり、同じ関節を 3 個つなげることにより、一つの平面上で ± 180 度の屈曲角度をも達成可能な機構を考案した (図 7)。また、フレームの中心部にはエンドエフェクタを駆動するための十分な大きさの貫通孔も確保した。外径 3mm の細径化を実現するため、動力伝達要素であるモジュール 0.1 のギヤだけでなく、屈曲フレームの関節部分にも非常に微細で精度の高い加工が必要であり、一方で適度な剛性を持たせるため、可能な限り肉厚とし、また、ねじのように緩みが生じるような部品は避け、分解と組立を容易に実現する構造が必要である。そこで、チタンの微細加工を専門とする加工業者と共に綿密な打ち合わせを行い、現実的に加工・組み立てが可能な設計と試作を行った。

加工部品毎に追加工（やすりがけなど）を必要としたため、部品同士の摺動がスムーズとなるよう調節しながら、マニピュレータの



図 5：直径 5mm の 2 自由度マニピュレータ試作機

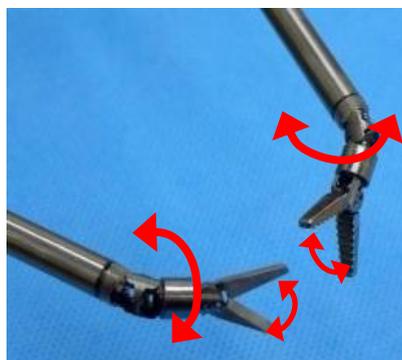


図 6. 鉗子と剪刀を搭載した直径 5mm のマニピュレータ

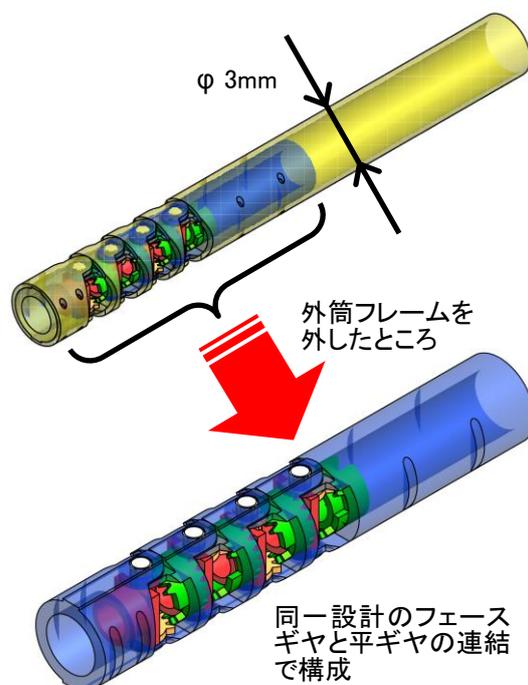


図 7. 直径 3mm, ± 180 度屈曲対応の設計

組立と動作確認を行った。なお、組立にあたっては、まずは2関節での±90度を超える、3関節での±135度屈曲が可能な構成とした(図8)。

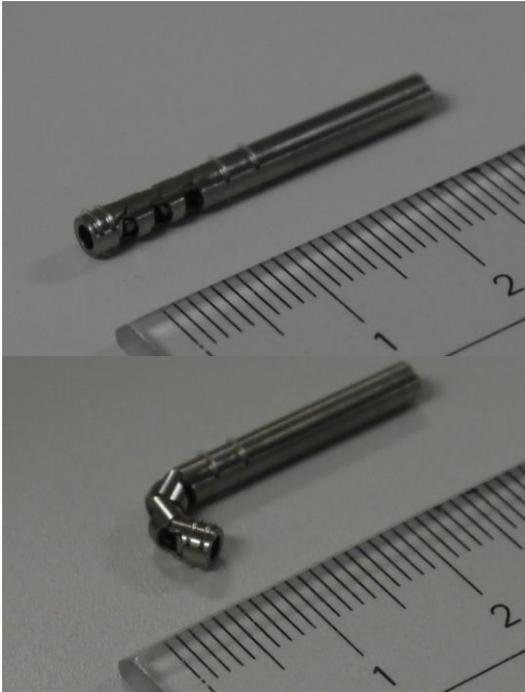


図8. 直径3mmで試作したマニピュレータ試作機。±135度までの屈曲に対応。

なお、研究当初に予定していた1関節の屈曲ユニット同士の着脱機能については、磁石を用いての設計を進めていたが、外径3mmという小ささでは十分な保持力を得ることが困難であったため、ばね材などの弾性力やはめあいを主とした着脱機構を今後の検討課題とする。

本研究にて培った屈曲機構とその製造・組み立て技術を基にして、今後はより細く(2mm台)、より関節数の多い(±180°の達成)マニピュレータの実用化に向け、微細金属加工企業と協力して開発を進めていく予定である。最終的にはクラス1での薬事申請と製品化を目標に、本研究課題を推進していく。

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)

[学会発表] (計7件)

- ① 山下紘正, 胎児内視鏡手術: 胎児治療のための新しい単孔式手術, 第3回小切開・鏡視外科学会, 2011年11月1日, 東京

- ② Hiromasa Yamashita, Minimal Invasive Advanced Devices for Intrauterine Fetal Surgery, 第50回日本生体医工学会大会, 2011年5月1日, 東京
- ③ 山下紘正, 未来につなげる胎児外科治療機器開発 ~医工連携におけるものづくり~, 第8回日本胎児治療学会, 2010年11月13日, 埼玉
- ④ Hiromasa Yamashita, Minimal Invasive Novel Devices for Advanced Intrauterine Fetal Surgery, MHS2010 & Micro-Nano Global COE, 2010年11月8日, 名古屋
- ⑤ Hiromasa YAMASHITA, Advanced Miniature Manipulator for Minimal Invasive Fetal Surgery, The 29th Annual International Fetal Medicine & Surgery Society Conference, 2010年9月27日, 神奈川
- ⑥ 山下紘正, 先端低侵襲治療のための多機能内視鏡手術デバイスの開発, 第22回バイオエンジニアリング講演会, 2010年1月9日, 岡山
- ⑦ 山下紘正, 歯車機構を用いた胎児外科用屈曲マニピュレータの研究開発, 第18回日本コンピュータ外科学会大会, 2009年11月21日, 東京

[図書] (計1件)

- ① Hiromasa Yamashita, Takashi Kakimoto, Wenji Yuan, Toshio Chiba, InTech, Chapter title: Super Eyes and Hands for Future Fetal Intervention (Book title: Perinatal Mortality), 採択済み, 2012年発行予定

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: マニピュレータ及びこれを用いたマニピュレーション装置

発明者: 山下紘正, 正宗賢, 土肥健純

権利者: 国立大学法人東京大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-204642

出願年月日: 2009年9月4日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 紘正 (YAMASHITA HIROMASA)

独立行政法人国立成育医療研究センター

・臨床研究センター・臨床研究員

研究者番号: 0047005