

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年5月8日(08.05.2014)



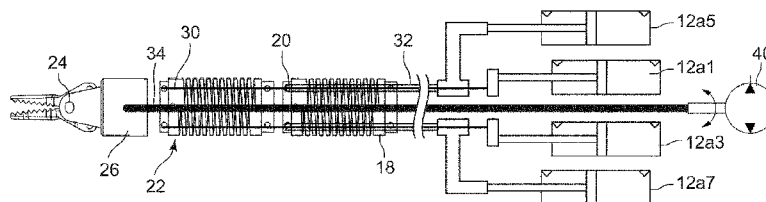
(10) 国際公開番号
WO 2014/069003 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 19/00 (2006.01) B25J 18/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/053226
- (22) 国際出願日: 2013年2月12日(12.02.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-241952 2012年11月1日(01.11.2012) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立
大学法人東京工業大学(TOKYO INSTITUTE OF
TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区
大岡山 2-1-2 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (71) 出願人 (米国についてのみ): 只野 耕太郎
(TADANO Kotaro) [JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区
大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学
内 Tokyo (JP). 川嶋 健嗣 (KAWASHIMA Kenji)
[JP/JP]; 〒1528550 東京都目黒区大岡山 2-1-2
-1 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP). 原
口 大輔 (HARAGUCHI Daisuke) [JP/JP]; 〒1528550
東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人
東京工業大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 磯山 弘信 (ISOYAMA Hironobu); 〒
1710051 東京都豊島区长崎 2-1-5-7 Tokyo
(JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: FORCEPS MANIPULATOR AND FORCEPS SYSTEM COMPRISING FORCEPS MANIPULATOR

(54) 発明の名称: 鉗子マニピュレータ、および鉗子マニピュレータを備える鉗子システム



(57) Abstract: The objective of the present invention is to improve durability and operability of a forceps manipulator as well as to facilitate roll movement of the forceps manipulator. A flexible shaft (34) which transmits drive force from a vane motor (40) to a rotary joint (26) is connected to the rotary joint (26) via a through hole (18a) of a cutting spring (18b) which forms a flexible first joint (18) and second joint (22).

(57) 要約: 鉗子マニピュレータの耐久性および操作性を向上させることができ、しかも、鉗子マニピュレータにおけるロール動作を容易に行うことができることを目的とする。ベーンモータ40からの駆動力を回転関節部26に伝達するフレキシブルシャフト34が、柔軟な第1関節18および第2関節22を構成する切削スプリング18bの貫通孔18aを介して回転関節部26に連結されるものである。



WO 2014/069003 A1

明 細 書

発明の名称：

鉗子マニピュレータ、および鉗子マニピュレータを備える鉗子システム 技術分野

[0001] 本発明は、鉗子マニピュレータ、および、鉗子マニピュレータを備える鉗子システムに関する。

背景技術

[0002] 手術ロボットシステムにおいて、鉗子マニピュレータを備える鉗子システムが実用に供されている。そのような鉗子マニピュレータは、例えば、非特許文献1にも示されるように、身体の体内で2自由度（把持を含めると3自由度）のアームを有するとともに、身体の外側で4自由度のアームを有している。このような構成は、多自由度を実現することが、鉗子マニピュレータに設けられる細径の鉗子の先端部分で困難であることに起因している。

[0003] また、鉗子マニピュレータにおいて、例えば、非特許文献2にも示されるように、身体の腹腔内で4自由度に屈曲できる柔軟な鉗子マニピュレータが提案されている。その鉗子マニピュレータにおける屈曲部は、2つのセグメントに分かれている。各セグメントは、それぞれ、2自由度で屈曲可能とされる。屈曲可能な弾性体は、複数の金属プレートの中心を通る超弾性合金チューブで複数の金属プレートを連結することによって構成されている。また、その屈曲性は、金属プレートの周囲に超弾性合金の駆動用チューブまたはワイヤが通されることにより、実現されている。一方のセグメントを構成する上流側関節は、4本の超弾性合金チューブで駆動され、他方のセグメントを構成する下流側関節は、4本の超弾性合金ワイヤで駆動される。上流側関節駆動用の超弾性合金チューブの内部には、下流側関節駆動用の超弾性合金ワイヤが通されている。これにより、鉗子マニピュレータの駆動伝達部品の配置スペースを小さくでき、しかも、鉗子マニピュレータの運動学計算が、簡略化できるという利点がある。

[0004] さらに、鉗子マニピュレータにおいて、例えば、非特許文献3にも示されるように、小型化に適した簡易な柔軟屈曲機構を有する腹腔鏡手術用鉗子マニピュレータが提案されている。その関節構造は、一体加工型の切削スプリングのみから成っている。この関節構造の内部に通した超弾性合金ワイヤが、空気圧シリンダでプッシュプル作動されることにより、従来のワイヤ張力を利用した拮抗駆動に比べ剛性の高い屈曲動作が可能となっている。これにより、そのような関節構造は、2自由度方向への屈曲が可能である。

そして、非特許文献4にも示されるように、鉗子マニピュレータにおける柔軟関節を2自由度の剛体リンク機構に近似した簡易な理論モデルによって、鉗子マニピュレータにおける外力推定が提案されている。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1: Hagn, U., et al.: DLR MiroSurge: a versatile system for research in endoscopic telesurgery, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol. 5, p.183-193(2010), 10.1007/s11548-009-0372-4

非特許文献2: K. Xu, R. Goldman, J. Ding, P. Allen, D. Fowler, and N. Simaan, "System design of an insertable robotic effector platform for single port access (spa) surgery", Intelligent Robots and Systems, I IEEE/RSJ International Conference on, pp. 5546-5552, 2009

非特許文献3: 原口大輔、只野耕太郎、川嶋健嗣: 超弾性合金ワイヤのプッシュ・プル機構を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発、第12回流体計測制御シンポジウム、計測自動制御学会産業応用部門大会講演論文集、pp. 22-25

非特許文献4: Daisuke Haraguchi, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima: A Prototype of Pneumatically-Driven Forceps Manipulator with Force Sensing Capability Using a Simple Flexible Joint, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.931-936

非特許文献5 : Tadano, K., Kawashima, K., Kojima, K., Tanaka, N.: Development of aPneumatic Surgical Manipulator IBIS IV, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 22, No. 2, p. 179-188 (2010)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 非特許文献1に示されるような鉗子マニピュレータにおいては、身体の外側にあるアームが作業中に、上下、左右等に動くので補助者の邪魔になる虞がある。また複数の鉗子を用いる場合、そのアーム同士が干渉するなどの問題を伴う。
- [0007] また、非特許文献2に示される弾性体の構成部材がワイヤおよびチューブのみなので外力（特に、捻りモーメント）に対する関節の剛性が、不足する場合があると考えられる。また、関節中心には背骨構造として超弾性合金チューブを必要とするので屈曲時や外力を受けた時などに座屈、折損する危険性がある。さらに、屈曲可動域を確保するためには連結する円盤の枚数を多く必要とし、関節自体が長くなることにより、コンパクトな屈曲動作ができなくなってしまう虞がある。この対策として、円盤を薄くする対策が考えられるが、その分、超弾性合金との連結面積が小さくなってしまいうので前述した関節の剛性が低下してしまうこととなる。このように関節の剛性・強度が不足した場合、鉗子マニピュレータの耐久性の低下は、勿論、臓器に触れる等の小さな外力によっても鉗子マニピュレータの操作性が低下することが懸念される。
- [0008] 非特許文献3に示される鉗子マニピュレータにおいて、関節の主構造に切削スプリングを採用することにより、非特許文献2に示される鉗子マニピュレータの課題である関節の剛性不足が改善されている。しかし、関節が2自由度屈曲のみであるので残りの必要な4自由度については、体外の保持マニピュレータによって実現する必要がある。保持マニピュレータは、一般的に、先端部に比べて大きな可動スペースを必要とするので保持マニピュレータの操作中、マニピュレータ同士がぶつかる等の干渉が問題となる。従って、一度

に使える器具の数や配置に制約を受け、また、鉗子マニピュレータにおいて、その先端のロール動作を行う際には、例えば、4本のシリンダ全てを協調して動作させる必要があるので位置制御性が悪化する場合がある。

また、非特許文献4において3自由度力推定については記載されていない。

以上の問題点を考慮し、本発明は鉗子マニピュレータ、および、鉗子マニピュレータを備える鉗子システムであって、鉗子マニピュレータの耐久性および操作性を向上させることができ、しかも、鉗子マニピュレータにおけるロール動作を容易に行うことができる鉗子マニピュレータ、および、鉗子マニピュレータを備える鉗子システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上述の目的を達成するために、本発明に係る鉗子マニピュレータを備える鉗子システムは、鉗子を有する把持部を回転させる回転関節部と、貫通孔を軸線方向に沿って有し回転関節部に連結される複数の柔軟な多自由度関節部と、複数の多自由度関節部の貫通孔に挿入される柔軟な駆動力伝達部材を介して回転関節部を駆動させる駆動部とを備える鉗子マニピュレータと、把持部の姿勢を制御するように鉗子マニピュレータの駆動部を制御する制御部と、を備えて構成される。

本発明に係る鉗子マニピュレータは、鉗子を有する把持部を回転させる回転関節部と、貫通孔を軸線方向に沿って有し回転関節部に連結される複数の柔軟な多自由度関節部と、複数の多自由度関節部の貫通孔に挿入される柔軟な駆動力伝達部材を介して回転関節部を駆動させる駆動部とを備えて構成される。

発明の効果

[0010] 本発明に係る鉗子マニピュレータ、および、鉗子マニピュレータを備える鉗子システムによれば、鉗子マニピュレータの駆動部が、複数の多自由度関節部の貫通孔に挿入される柔軟な駆動力伝達部材を介して回転関節部を駆動させるので鉗子マニピュレータの耐久性および操作性を向上させることができ、しかも、鉗子マニピュレータにおけるロール動作を容易に行うことができ

きる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明に係る鉗子マニピュレータの一例の構成を概略的に示す構成図である。

[図2]図1に示される鉗子マニピュレータの外観図である。

[図3]図1に示される例におけるコネクタユニットの構成を示す斜視図である。

[図4]図1に示される例における鉗子マニピュレータの駆動力伝達部の一部を拡大して示す斜視図である。

[図5]図4におけるV-V線に沿って示される部分断面図である。

[図6]図1に示される例における第1関節および第2関節を、把持部とともに示す斜視図である。

[図7] (A)は、図6におけるV I I A-V I I A線に沿って示される断面図であり、(B)は、図6におけるV I I B-V I I B線に沿って示される断面図である。

[図8] (A)は、図1に示される例における第1関節および第2関節を構成する切削スプリングを示す断面図であり、(B)は、図1に示される第2関節および把持部を示す断面図である。

[図9]図1に示される例における駆動力の伝達経路の説明に供されるブロック図である。

[図10]図1に示される例における第1関節および第2関節の他の一例を示す斜視図である。

[図11]本発明に係る鉗子マニピュレータを備える鉗子システムの一例に備えられる制御ユニット部を示すブロック図である。

[図12]本発明に係る鉗子マニピュレータを備える鉗子システムの一例に備えられる空気圧制御回路を示すブロック図である。

[図13]図11に示される制御ユニットが演算する演算式を示すブロック図である。

[図14]本発明に係る鉗子マニピュレータの一例の動作説明に供される図である。

[図15]本発明に係る鉗子マニピュレータの一例の動作説明に供される図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、発明を実施するための形態について説明する。なお、本明細書の記事において、英文字記号にハット記号を付すものを「(英文字記号)ハット」と記載し、英文字記号にオーバードットを付すものを「(英文字記号)オーバードット」と記載する。

図2は、本発明に係る鉗子マニピュレータを備える鉗子システムの一例において用いられる鉗子マニピュレータの外観を示す。

[0013] 図2において、鉗子マニピュレータ10は、8個のエアシリンダ12a1～12a8からなる関節駆動部12と、関節駆動部12における各ピストンロッドと後述する複数のワイヤおよびチューブとを接続するコネクタユニット14と、鉗子を含んで構成される把持部24と、把持部24の基端部に連結される回転関節部26と、回転関節部26の基端部にボールベアリング22BEを介して連結される第2関節22と、第2関節22の一方の端部の嵌合円筒部22mfに嵌合されねじ締結される嵌合孔部18ffを介して連結される第1関節18と、一端がコネクタユニット14に接続され、他端が第1関節18の嵌合円筒部18mfに嵌合され第1関節18を貫通する複数のワイヤおよびチューブを移動可能に支持する駆動力伝達部16と、を主要要素として含んで構成されている。

[0014] 8個のエアシリンダ12a1～12a8は、コネクタユニット14における支持プレート42に支持されている。エアシリンダ12a1～12a8の各ピストンロッド12Lは、支持プレート42の端面に対し直交するようにコネクタユニット14内に突出している。8個のエアシリンダ12a1～12a8のうちエアシリンダ12a1～12a4(図9参照)は、それぞれ、ピストンロッド12Lにワイヤロッドコネクタ38(図3参照)を介して連

結されるワイヤ30を進退させるものとされる。図1に示されるように、エアシリンダ12a1とエアシリンダ12a3とは向かい合って配されている。また、エアシリンダ12a2とエアシリンダ12a4とは向かい合って配されている。

[0015] また、残りのエアシリンダ12a5～12a8（図9参照）は、それぞれ、ピストンロッド12Lにチューブロッドコネクタ40（図3参照）を介して連結されるチューブ32を進退させるものとされる。エアシリンダ12a5とエアシリンダ12a7とは向かい合って配されている。また、エアシリンダ12a6とエアシリンダ12a8とは向かい合って配されている。

エアシリンダ12a1～12a8のピストンロッド12Lのストローク量、および、速度は、それぞれ、後述する空気圧制御部72（図11および図12参照）により駆動制御される。

[0016] コネクタユニット14は、図3に拡大されて示されるように、お互いに所定の間隔をもって向かい合って複数本のシャフトで連結される支持プレート42および44と、支持プレート42および44相互間に配されピストンロッド12Lとワイヤ30の端部とを連結する複数のワイヤロッドコネクタ38と、支持プレート42および44相互間に配されピストンロッド12Lとチューブ32の端部とを連結する複数のチューブロッドコネクタ40とを含んで構成されている。各ワイヤロッドコネクタ38、各チューブロッドコネクタ40に隣接してワイヤ30、チューブ32の移動量をそれぞれ、検出する複数のポテンシオメータ46が設けられている。複数のポテンシオメータ46は、それぞれ、検出出力信号Siを後述する制御ユニット部60に供給するものとされる。チューブ32およびワイヤ30は、それぞれ、例えば、超弾性合金で作られている。この連結でチューブ32およびワイヤ30が湾曲しない構造とすることで、機構の摺動摩擦力を最小限に抑えることができ、後述するような制御性や外力推定精度の向上に寄与することとなる。

また、支持プレート42には、回転関節部26を、フレキシブルシャフト34を介して回転駆動するベーンモータ40（図9参照）が支持されている

。ベーンモータ40は、後述する制御ユニット部60により制御される。

[0017] 一端が支持プレート44に接続される駆動力伝達部16の円筒状パイプ15の他端は、その軸線方向に沿って延び第1関節18の嵌合円筒部18mfに嵌合され、ねじ締結されることにより連結されている。円筒状パイプ15の他端は、第1関節18の嵌合円筒部18mfの各ねじ孔に対応した複数の透孔を円周方向に沿って有している。これにより、小ねじ（不図示）がその透孔を介して嵌合円筒部18mfのねじ孔にねじ込まれることにより、締結される。駆動力伝達部16は、図4および図5に示されるように、上述のワイヤ30およびチューブ32を支持するセパレータ17と、セパレータ17を内側に收容する円筒状パイプ15とを主要要素として含んで構成されている。

[0018] 円形断面を有する細長いセパレータ17は、断面中央部に、フレキシブルシャフト34およびエア供給用チューブ36が挿入される貫通孔17aを有している。セパレータ17の外周部には、ステンレス鋼製のガイドパイプ17GPが配される溝17gが円周方向に沿って均等間隔で4箇所形成されている。各ガイドパイプ17GPの内側には、円筒状のチューブ32および円形断面を有するワイヤ30が移動可能に配されている。ワイヤ30は、所定の隙間をもってチューブ32の内周部に移動可能に配されている。

[0019] ワイヤ30およびチューブ32は、プッシュプル作動を行うため特に圧縮力に対して駆動伝達部16の内部で座屈変形を起こさないことが必要である。チューブ32およびワイヤ30をガイドパイプ17GPに通すことにより、理想的な直線経路が確保される。さらにガイドパイプ17GP自体も座屈防止のためガイドパイプ17GPがセパレータ17の溝17gによってしっかりと固定されている。

[0020] 柔軟構造である第1関節18は、例えば、図8(A)に示されるように、切削スプリング18bにより形成されている。切削スプリング18bは、例えば、円筒状の金属材料がレーザー加工等による切削加工により螺旋状に形成されることにより得られる。切削スプリング18bの一端に一体に形成さ

れる嵌合孔部 18 f f には、各ワイヤ 30 が挿入されるチューブ 32 の一端が接着される貫通孔 18 g a が、上述のセパレータ 17 の溝 17 g に対応して 4 箇所形成されている。切削スプリング 18 b の他端に一体に形成される嵌合円筒部 18 m f には、各ワイヤ 30 が挿入されるチューブ 32 が挿入される貫通孔 18 g b が上述のセパレータ 17 の溝 17 g に対応して 4 箇所に形成されている。

切削スプリング 18 b の断面中央の貫通孔 18 a には、フレキシブルシャフト 34 が挿入されている。

[0021] また、切削スプリング 18 b の貫通孔 18 a の周囲には、図 7 (B) に示されるように、チューブ 32 が挿入される貫通孔 18 H が貫通孔 18 g a、18 g b に対応した位置に形成されている。第 1 関節 18 の嵌合孔部 18 f f には、図 6 に示されるように、第 2 関節 22 の嵌合円筒部 22 m f がねじ締結により連結されている。嵌合孔部 18 f f は、嵌合円筒部 22 m f の複数のねじ孔に対応した複数の透孔を円周方向に沿って有している。これにより、小ネジ（不図示）がその透孔を介して嵌合円筒部 22 m f のねじ孔にねじ込まれることにより締結される。

[0022] 柔軟構造である第 2 関節 22 の構造は、第 1 関節 18 の構造と同様に切削スプリング 22 b を有している。第 2 関節 22 の軸線方向の長さは、第 1 関節 18 の軸線方向の長さに比して小に設定されている。第 2 関節 22 における切削スプリング 22 b の断面中央の貫通孔 22 a の周囲には、図 7 (A) に示されるように、ワイヤ 30 だけが挿入される貫通孔 22 H が溝 18 g に対応した位置に形成されている。4 本チューブ 32 をそれぞれ通過した 4 本のワイヤ 30 の一端は、第 2 関節 22 におけるベアリングハウジング 22 B H に連通する貫通孔 22 g a に接着されている。

[0023] 第 1 関節 18 および第 2 関節 22 の柔軟構造は、斯かる例に限られることなく、例えば、図 10 に示されるように、柔軟構造体 50 が、 β チタンチューブにスリットを入れて柔軟性を持たせ、外側に数か所のカラーを取り付けて 4 か所の駆動チューブ／ワイヤ用のガイド穴を設けたものであってもよい。

第2関節22の端部に連結される回転関節部26は、図8(B)に示されるように、フレキシブルシャフト34の回転に応じて回転関節部26に連結される把持部24を回転させるものとされる。回転関節部26は、ハウジング26Hの内周部に固定されフレキシブルシャフト34の回動力を把持部24に伝達するローター26Rと、把持部24のグリッパの開閉機構を把持状態にするピストン26Pと、ピストン26Pを作動空気圧に抗して初期状態に戻し、グリッパの開閉機構を非把持状態とするリターンスプリング26RSとをハウジング26H内に備えている。

[0024] ローター26Rは、第2関節22におけるボールベアリング22BEに回転可能に支持されフレキシブルシャフト34の一端に連結されるとともに内部に作動空気を供給するエア供給用チューブ36の一端が連結されている。

把持部24における空気圧式グリッパの開閉機構は、図示が省略されるが、例えば、非特許文献5に示されるような機構と同様な機構を備えるものであってもよい。そのような空気圧式グリッパは、フレキシブルシャフト34の内側に配されるエア供給用チューブを介して供給される作動空気により駆動せしめられる。

本発明に係る鉗子マニピュレータを備える鉗子システムの一例においては、斯かる構成に加えて図11に示されるように、上述の鉗子マニピュレータにおける第1関節18および第2関節22、把持部24の動作制御を行う空気圧制御回路72を制御する制御ユニット部60を備えている。

[0025] 制御ユニット部60には、上述のコネクタユニット14における複数のポテンショメータ46からの検出出力信号 S_i と、後述する空気圧制御回路72における各圧力センサ74からの圧力をあらかず検出出力信号 S_p とが供給される。制御ユニット部60は、所定のプログラムデータ等を格納する記憶部を備えている。また、制御ユニット部60には、表示部として液晶ディスプレイ62、および、入力部としてのキーボード64が接続されている。

[0026] 空気圧制御回路72は、例えば、図12に示されるように、コンプレッサ等の空気圧供給源70に圧力調整弁76を介して複数の5ポート型のサーボ

弁が設けられている。各サーボ弁は、上述のエアシリンダ12a1～12a8に対応してそれぞれ設けられている。なお、図12においては、代表的に、エアシリンダ12a1、12a3、サーボ弁1、サーボ弁3を示す。これにより、エアシリンダ12a1～12a4が駆動されることにより、第2関節22がワイヤ30を介して駆動制御され、また、エアシリンダ12a5～12a8が駆動されることにより、第1関節18がチューブ32を介して駆動制御されることとなる。さらに、ベーンモータ40が制御されることにより、把持部24の回転角が制御されることとなる。

[0027] 制御ユニット部60は、記憶部から読み出された所定のプログラムデータに従い動作を開始し、検出出力信号 S_i 、検出出力信号 S_p に基づいて把持部24、第1関節18、第2関節22の位置、姿勢制御を行うとともに、鉗子先端にかかる外力ベクトル f_{ext} ハットを推定する演算を行い、空気圧制御回路72の動作制御を行う。制御ユニット部60において、後述する外力ベクトルを推定する演算は、図13に示されるブロック図にあらわされる演算式に従い行われる。

[0028] 次に、鉗子システムにおける外力推定について説明する。

図13は、鉗子システムにおける、外力推定のブロック線図である。

図13のブロック線図について、各記号の説明をしながら外力推定の方法を述べる。

F ：空気圧アクチュエータの駆動力ベクトルである。

具体的には、以下のようになる。

$F_1 \sim F_4$ ：第1関節のシリンダ駆動力である。

$F_5 \sim F_8$ ：第2関節のシリンダ駆動力である。

F_9 ：回転関節のためのベーンモータ駆動トルクである。

X ：アクチュエータの変位量である。

具体的には、以下のようになる。

$X_1 \sim X_4$ ：第1関節のためのシリンダ変位である。

$X_5 \sim X_8$ ：第2関節のためのシリンダ変位である。

X_9 : 回転関節のためのベーンモータの回転角である。

Xオーバードット : アクチュエータの速度である。sはラプラス微分演算子であるが、実際はコンピュータの数値微分（擬似微分）により求める。

q : 関節の位置変数ベクトルであり、最大7次元ベクトルである。

具体的には、以下のようになる。

$q = [\delta_1, \theta_1, l_1, \delta_2, \theta_2, l_2, \phi]^T$ となる。添え字1、2は関節の番号である。屈曲にかかる δ 、 θ 、 l の定義は図15に示す第2関節の位置座標の定義のとおりである。第1関節も同様である。 ϕ については回転関節の角度を表わす。

第2関節については、関節の屈曲する方向 δ_2 、その方向へ屈曲した角度 θ_2 、および関節長さの変化量 l_2 である。関節長さの変化量 l_2 は、関節の中心線つまり図15で破線になっている部分の長さの変化量である。ただし δ_2 および θ_2 は次の範囲で表わすこととする。

$$-\pi \leq \delta_2 \leq \pi \quad \theta_2 \geq 0$$

また、pは鉗子先端の位置座標であり、 L_s は関節の自然長であり、 L_g は把持部と回転関節部の合計の長さであり、rは駆動ワイヤの配置円半径であり、数字5~8は駆動ワイヤ番号である。

第1関節については、関節の屈曲する方向 δ_1 、その方向へ屈曲した角度 θ_1 、および関節長さの変化量 l_1 である。ただし δ_1 および θ_1 は次の範囲で表わすこととする。

$$-\pi \leq \delta_1 \leq \pi \quad \theta_1 \geq 0$$

また、 L_s は関節の自然長であり、rは駆動チューブの配置円半径であり、数字1~4は駆動チューブ番号である。

ここでqとアクチュエータ変位Xとの関係は式(1)のようになる。

[0029]

[数1]

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r\theta_1 \cos \delta_1 + \ell_1 \\ -r\theta_1 \sin \delta_1 + \ell_1 \\ r\theta_1 \cos \delta_1 + \ell_1 \\ r\theta_1 \sin \delta_1 + \ell_1 \\ X_1 - r\theta_2 \cos \delta_2 + \ell_2 \\ X_2 - r\theta_2 \sin \delta_2 + \ell_2 \\ X_3 + r\theta_2 \cos \delta_2 + \ell_2 \\ X_4 + r\theta_2 \sin \delta_2 + \ell_2 \\ \gamma\psi \end{bmatrix} \quad \text{式(1)}$$

なお式中の γ はベーンモータから回転関節への減速比（増速比）を表わす。

。

次に、式（1）を関節位置 q について変形すると次のようになる。

[0030] [数2]

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \theta_1 \\ \ell_1 \\ \delta_2 \\ \theta_2 \\ \ell_2 \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tan^{-1} \left(\frac{X_2 - X_4}{X_1 - X_3} \right) \\ \frac{1}{2r} \sqrt{(X_1 - X_3)^2 + (X_2 - X_4)^2} \\ (X_1 + X_2 + X_3 + X_4)/4 \\ \tan^{-1} \left(\frac{(X_6 - X_2) - (X_8 - X_4)}{(X_5 - X_1) - (X_7 - X_3)} \right) \\ \frac{1}{2r} \sqrt{\{(X_5 - X_1) - (X_7 - X_3)\}^2 + \{(X_6 - X_2) - (X_8 - X_4)\}^2} \\ \{(X_5 - X_1) + (X_6 - X_2) + (X_7 - X_3) + (X_8 - X_4)\}/4 \\ X_9/\gamma \end{bmatrix} \quad \text{式(2)}$$

[0031] Zハット：関節の逆動力学モデルで、所望の関節位置および速度を実現するためのアクチュエータ駆動力ベクトルであり、9次元ベクトルである。ここでZハットを各関節に分け、第1関節のモデル Z_1 （4次元ベクトル）、第2関節のモデル Z_2 （4次元ベクトル）および回転関節のモデル Z_r （1次元ベクトル）を考える。すなわち

[0032]

[数3]

$$\hat{Z} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_r \end{bmatrix} \quad \text{式(3)}$$

式(3)の各成分は、各アクチュエータの作動にかかる機械的インピーダンス（弾性力、摩擦力、慣性力など）に関する項により構成される。

F_{ext} 、 F_{ext} ハット：シリンダ駆動力およびベーンモータの駆動トルクの外力成分のベクトルであり、回転含む9次元ベクトルである。これらは鉗子先端に外力を受けて、アクチュエータがバックドライブされることで生じる。なお、ハット付きの記号は計算による推定値を意味する。

τ_{ext} ハット：関節位置座標 q (δ_1 、 θ_1 、 l_1 、 δ_2 、 θ_2 、 l_2 、 ϕ) に対するトルクおよび並進力の外力成分である。

f_{ext} ハット：鉗子先端にかかる外力で、ここでは並進力3自由度およびトルク3自由度の6次元ベクトルである。

J_a^T ： F_{ext} から τ_{ext} への変換行列である。 J_a は関節速度 q オーバードットからアクチュエータ速度 X オーバードットへのヤコビアンであり、式(1)を時間微分して整理することにより得られる。

$(J^T)^+$ ： τ_{ext} から f_{ext} への変換行列である。 J は関節速度 q オーバードットから鉗子先端の速度 p オーバードットおよび角速度ベクトル ω へのヤコビアンである。

[0033] これについて、図14を使って説明する。第1関節、第2関節および回転関節の位置・姿勢を記述するため、基準座標系 O_b をとり、各関節の先端中心にローカル座標系 O_1 、 O_2 をとる。図中、記号 p は位置（3次元ベクトル）を、記号 R は姿勢行列（3×3行列）を表わしており、例えば ${}^b p_1$ という記述は、座標系 O_b により記述した O_1 の位置ベクトルという意味である。この設定において、鉗子先端の位置 p および姿勢行列 R を求めると次のようになる

。

[0034] [数4]

$$\mathbf{p} = {}^b \mathbf{p} = {}^b \mathbf{p}_1 + {}^b \mathbf{R}_1 ({}^1 \mathbf{p}_2 + {}^1 \mathbf{R}_2 {}^2 \mathbf{p}_{\text{roll}}) \quad \text{式(4)}$$

[0035] [数5]

$$\mathbf{R} = {}^b \mathbf{R} = {}^b \mathbf{R}_1 {}^1 \mathbf{R}_2 {}^2 \mathbf{R}_{\text{roll}} \quad \text{式(5)}$$

ここで外力推定に必要なヤコビアン \mathbf{J} の並進速度にかかる成分 \mathbf{J}_p については、式(4)を時間微分することにより得られる。すなわち

[0036] [数6]

$$\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{J}_p \dot{\mathbf{q}} \quad \text{式(6)}$$

[0037] 次に関節位置ベクトル \mathbf{q} における角度パラメータの時間微分 δ_1 オーバードット、 θ_1 オーバードット、 δ_2 オーバードット、 θ_2 オーバードット、 ϕ オーバードットについて、各回転軸ベクトルの基準座標系に対する方向余弦を求めることにより角速度ベクトル $\boldsymbol{\omega}$ が得られ、姿勢ヤコビアン \mathbf{J}_r を含む形に整理できる。ここで、並進速度パラメータ l_1 オーバードット、 l_2 オーバードットにかかる成分は0とする。すなわち

[0038] [数7]

$$\boldsymbol{\omega} = \mathbf{J}_r \dot{\mathbf{q}} \quad \text{式(7)}$$

式(6)および(7)から、ヤコビアン \mathbf{J} が得られる。すなわち

[0039]

[数8]

$$J = \begin{bmatrix} J_p \\ J_r \end{bmatrix} \quad \text{式(8)}$$

[0040] ところで、先に定義した関節位置ベクトル q は7自由度ある。後述する式 (10) の外力計算で冗長な成分があってもよいが、 q の成分 l_1 または l_2 を選択的に消去すれば、非冗長の独立6自由度システムとすることができる。外力推定における自由度の削減は、逆行列計算におけるコスト削減および精度向上を図ることができる。

アクチュエータ駆動力の外力成分のベクトルの推定値 F_{ext} ハットは、式 (9) に従いアクチュエータの駆動力 F からマニピュレータの内部逆動力学 Z ハットを差し引くと、外力にかかる成分を求めることができる。

[0041] [数9]

$$\hat{F}_{\text{ext}} = F - \hat{Z} \quad \text{式(9)}$$

鉗子先端にかかる外力ベクトル f_{ext} ハットは、式 (10) に従い求められる。

[0042] [数10]

$$\hat{f}_{\text{ext}} = (J^T)^+ (J_a^T \hat{F}_{\text{ext}}) \quad \text{式(10)}$$

[0043] 屈曲部としてスプリングの例を説明したが、屈曲部はこれに限定されるものではない。このほか、屈曲部としては、中空の物体にスリットを加工して柔軟に屈曲できるようにしたものなどを採用することができる。シリンダ位置の検出部としてのポテンシオメータの例を説明したが、検出部はこれに限定されるものではない。このほか検出部としては、エンコーダなどを採用することができる。

駆動力の発生装置として空気シリンダの例を説明したが、駆動力の発生装置はこれに限定されるものではない。このほか駆動力の発生装置としては、電気モーター、水圧シリンダ、油圧シリンダなどを採用することができる。

駆動力の計測装置として圧力センサの例を説明したが、駆動力の計測装置はこれに限定されるものではない。このほか駆動力の計測装置としては、力センサをマニピュレータに直接搭載する方法などを採用することができる。

[0044] 本発明に係る一例は、最先端の回転関節の駆動にフレキシブルシャフトを採用することで、運動学および動力学の両面において屈曲関節との干渉を回避できる。本発明に係る鉗子マニピュレータの一例は、外力推定に有効な7自由度(5自由度(屈曲2自由度×2および回転1自由度))に屈曲関節の伸縮方向×2を加える)を体内において有しており、並進力3軸およびトルク3軸の6自由度外力を、体内の関節のみを用いて推定計算することが可能である。

体外での運動を外力推定に利用しないので挿入部におけるトロッカーの拘束、鉗子マニピュレータに連結された配線などの抵抗が関節のダイナミクスに影響しない。よって、鉗子マニピュレータがどのような配置状況にあっても、外力推定精度が安定しているという利点がある。

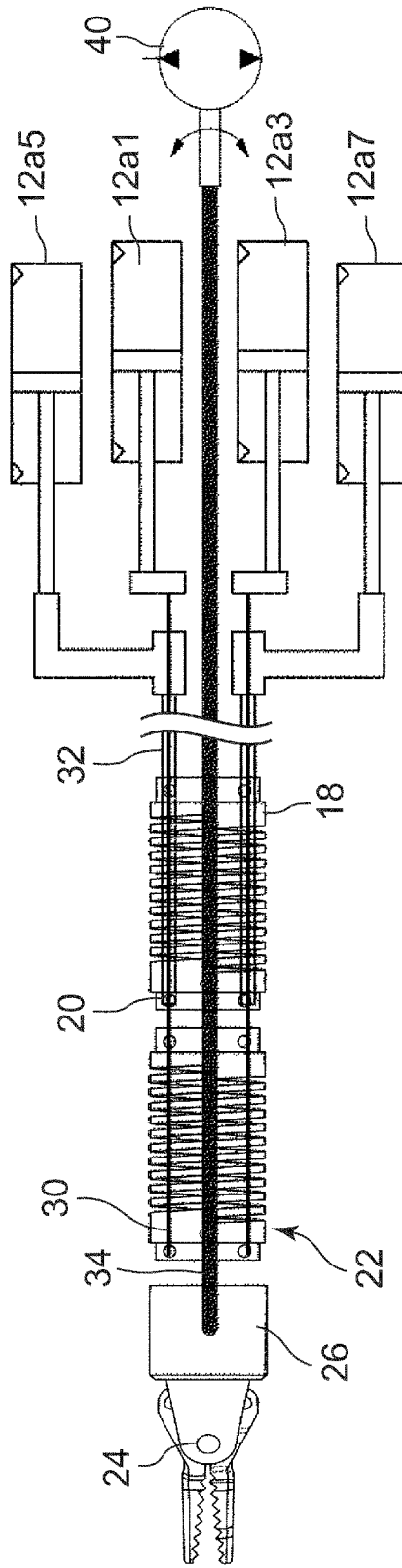
符号の説明

[0045] 10 鉗子マニピュレータ、12 関節駆動部、14 コネクタユニット、18 第1関節、22 第2関節、24 把持部、26 回転関節部、34 フレキシブルシャフト

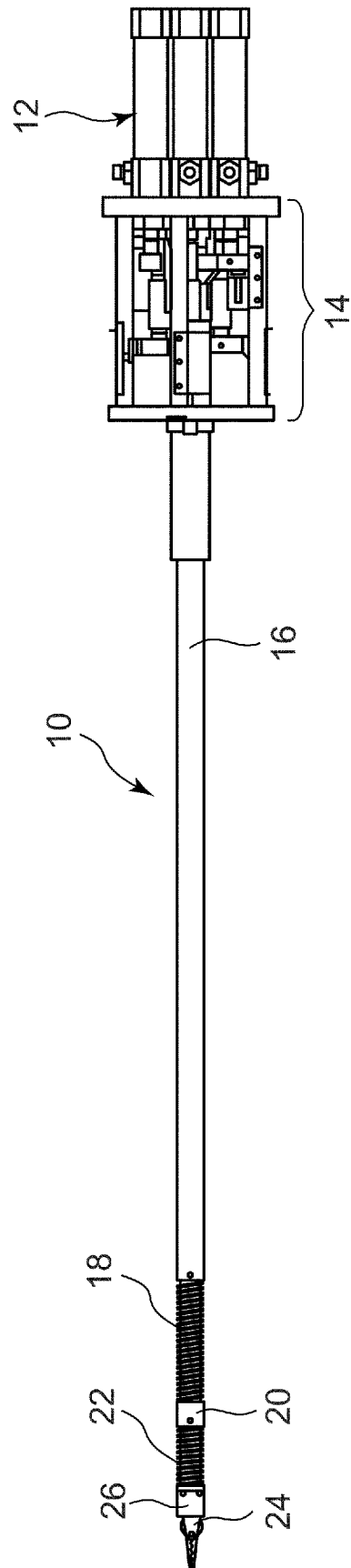
請求の範囲

- [請求項1] 鉗子を有する把持部を回転させる回転関節部と、貫通孔を軸線方向に沿って有し該回転関節部に連結される複数の柔軟な多自由度関節部と、該複数の多自由度関節部の貫通孔に挿入される柔軟な駆動力伝達部材を介して該回転関節部を駆動させる駆動部とを備える鉗子マニピュレータと、
- 前記把持部の姿勢を制御するように前記鉗子マニピュレータの駆動部を制御する制御部と、
- を具備して構成される鉗子マニピュレータを備える鉗子システム。
- [請求項2] 前記制御部は、前記鉗子に作用する外力を推測演算する演算部を備えることを特徴とする請求項1記載の鉗子システム。
- [請求項3] 外力により変形する多自由度関節部について、前記多自由度関節部の長さの変化量を検出し、
- 前記変化量を使い外力を算出する演算部を有することを特徴とする請求項2記載の鉗子システム。
- [請求項4] 前記複数の柔軟な多自由度関節部が、それぞれ、切削スプリングにより構成されることを特徴とする請求項1記載の鉗子システム。
- [請求項5] 鉗子を有する把持部を回転させる回転関節部と、貫通孔を軸線方向に沿って有し該回転関節部に連結される複数の柔軟な多自由度関節部と、該複数の多自由度関節部の貫通孔に挿入される柔軟な駆動力伝達部材を介して該回転関節部を駆動させる駆動部とを具備して構成される鉗子マニピュレータ。

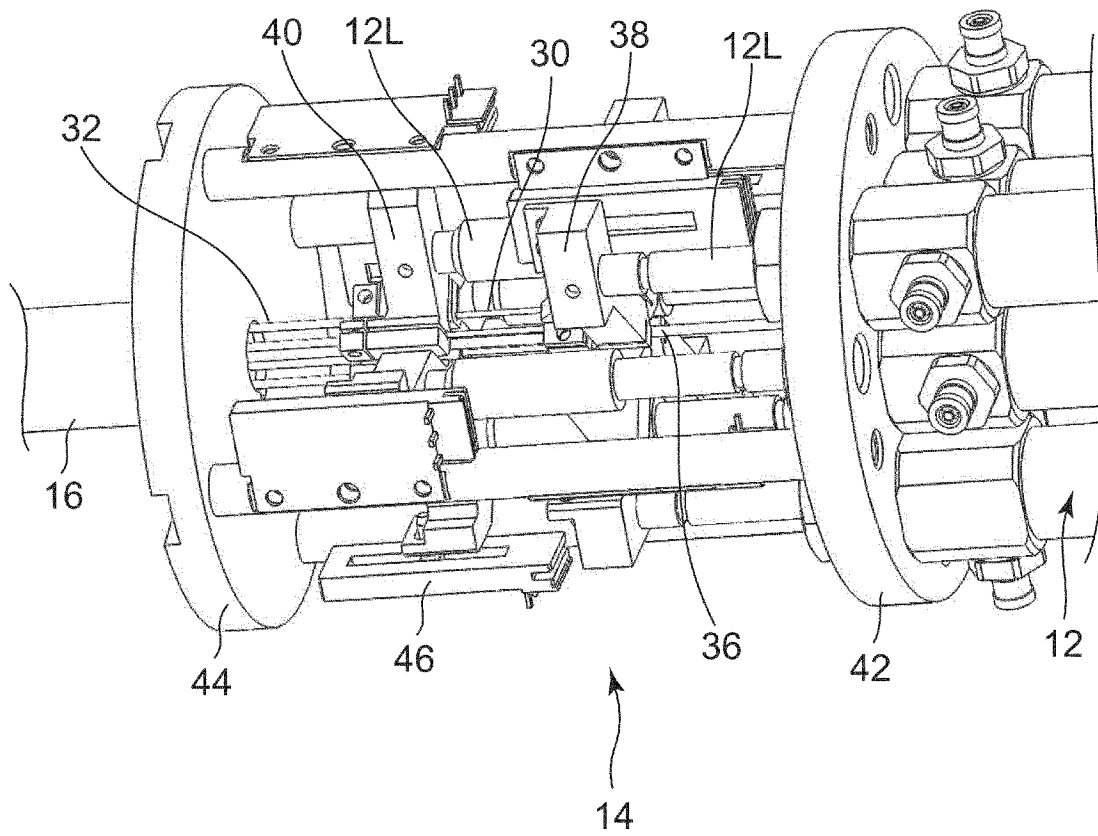
[図1]



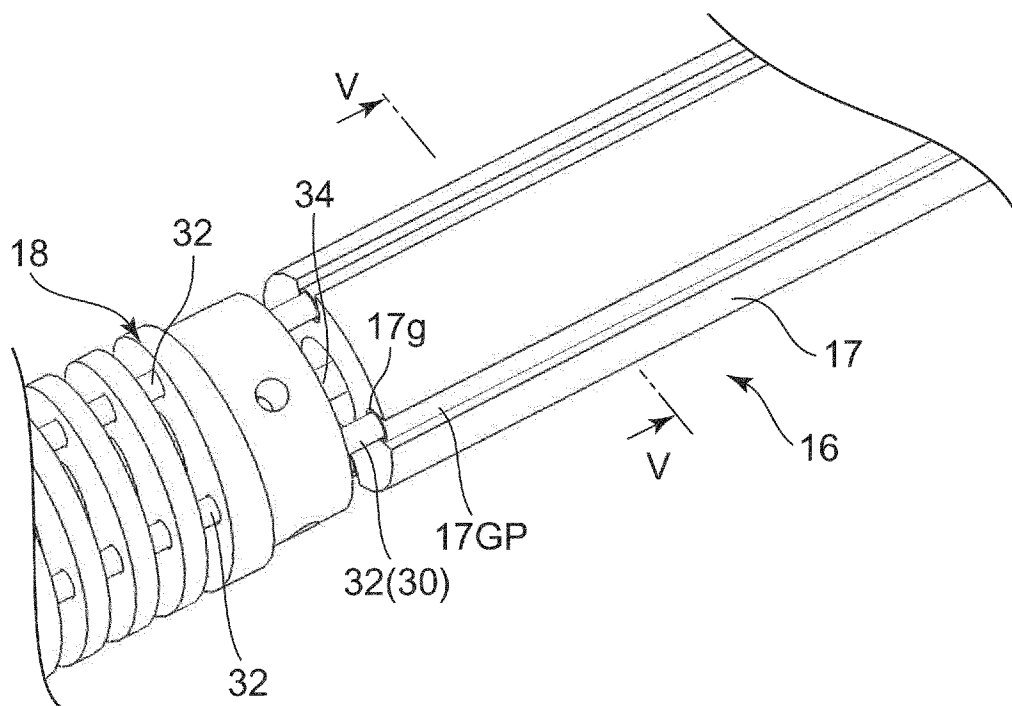
[図2]



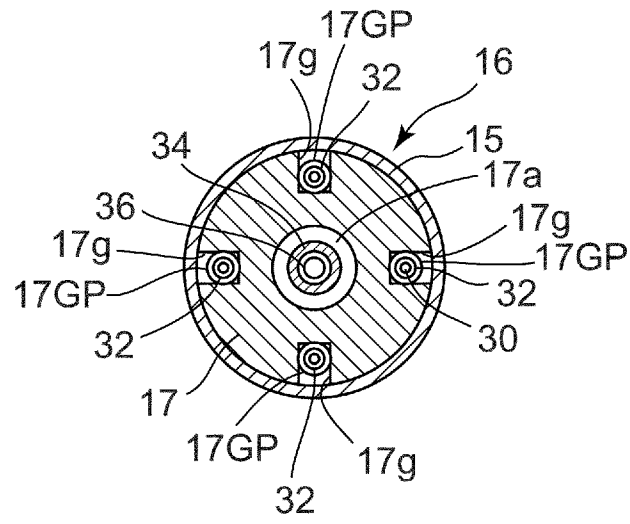
[図3]



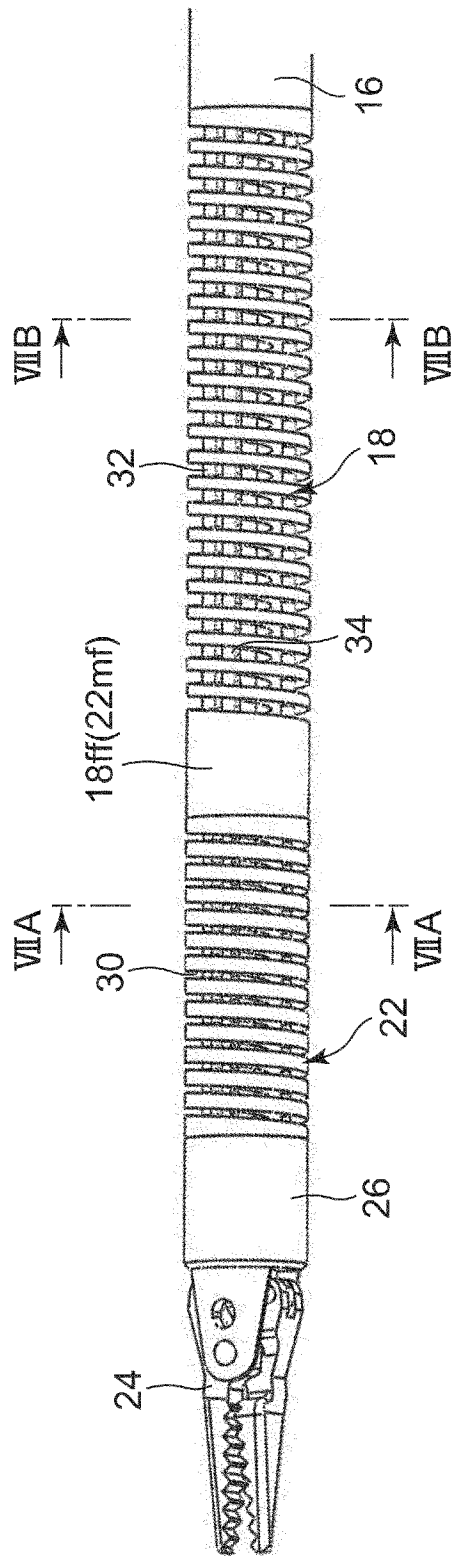
[図4]



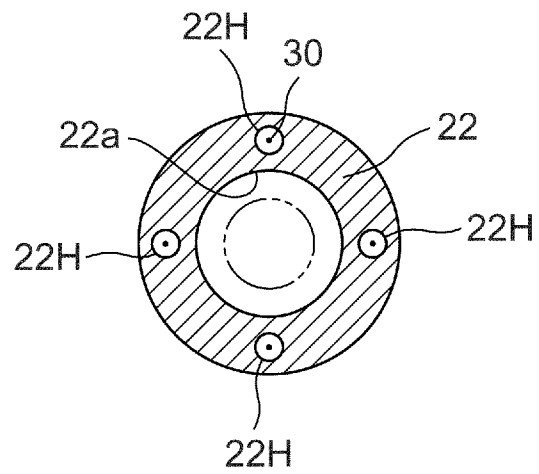
[図5]



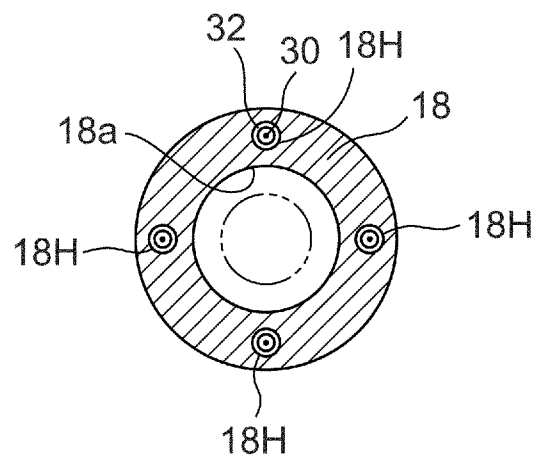
[図6]



[図7]

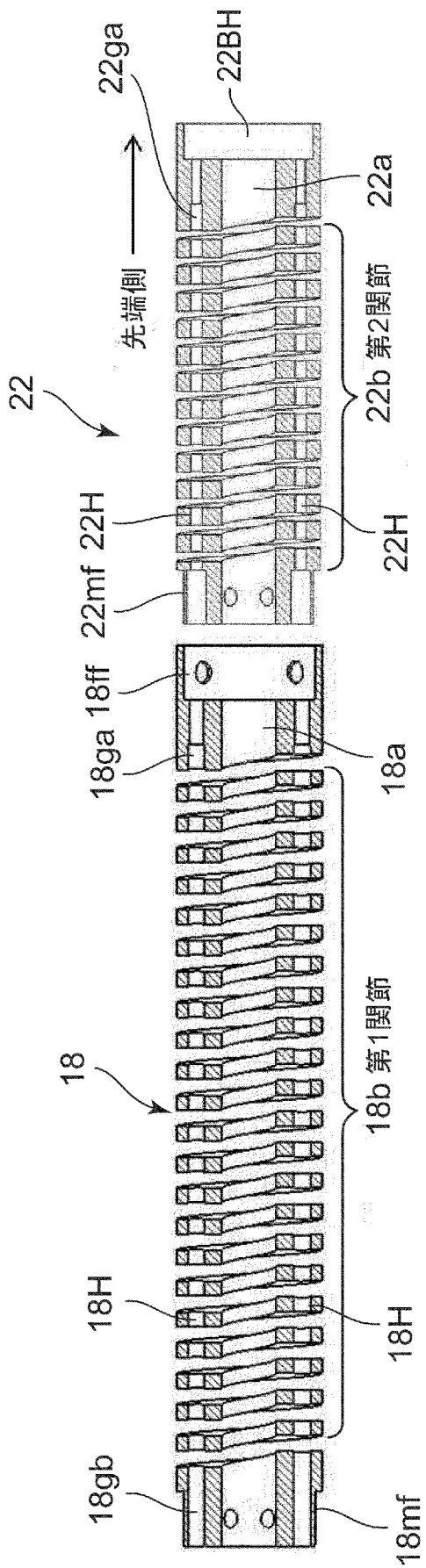


(A)

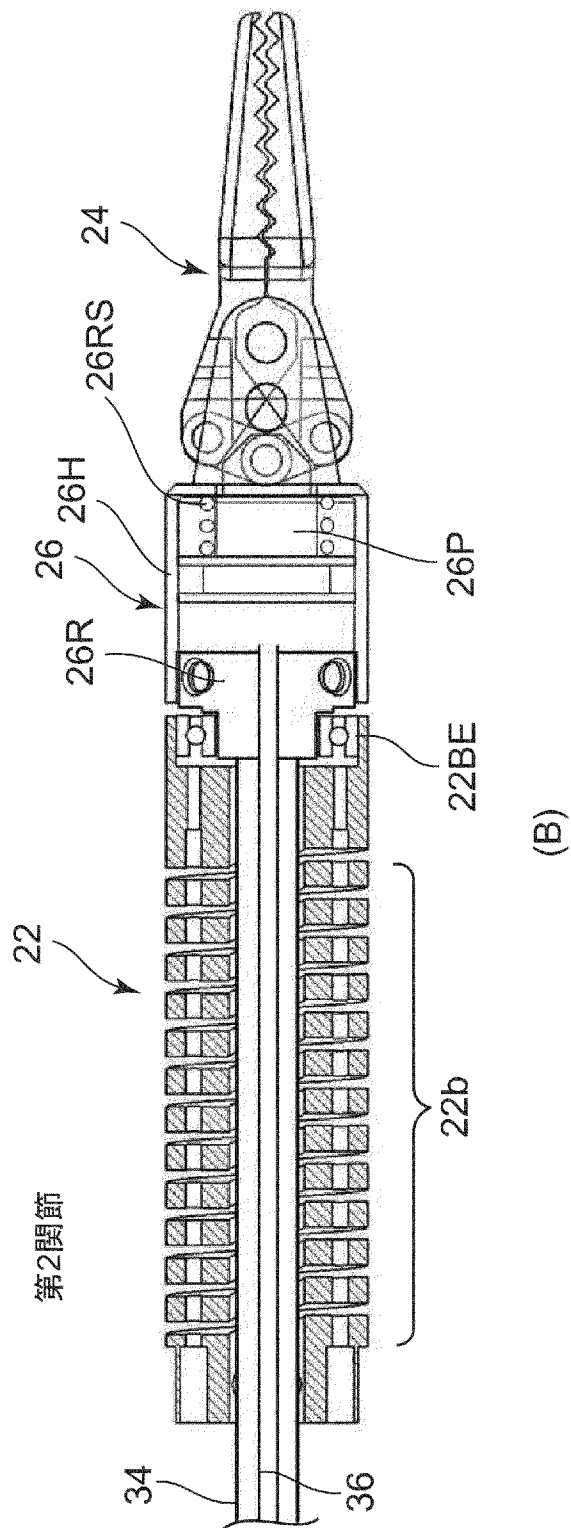


(B)

[図8]

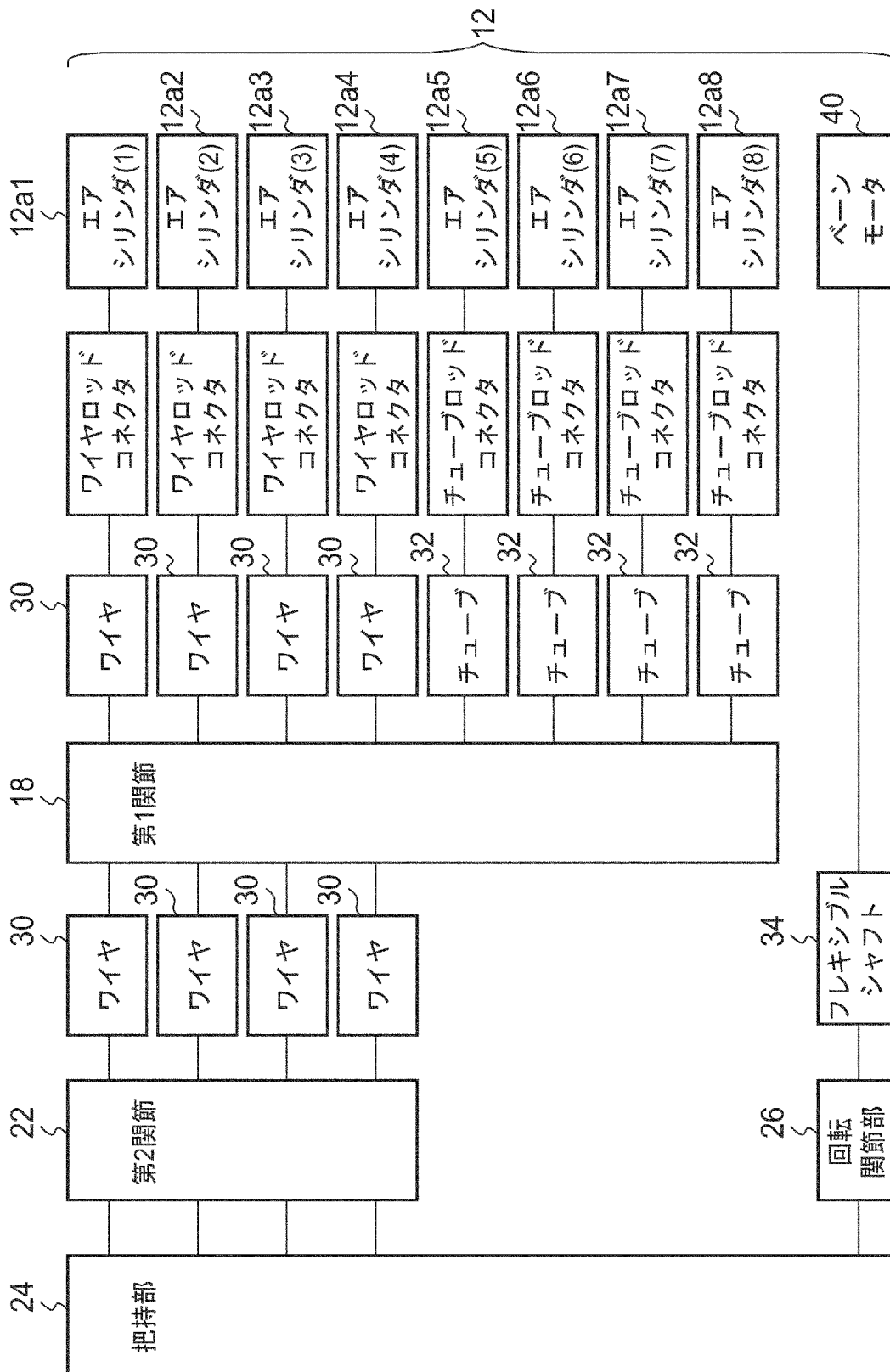


(A)

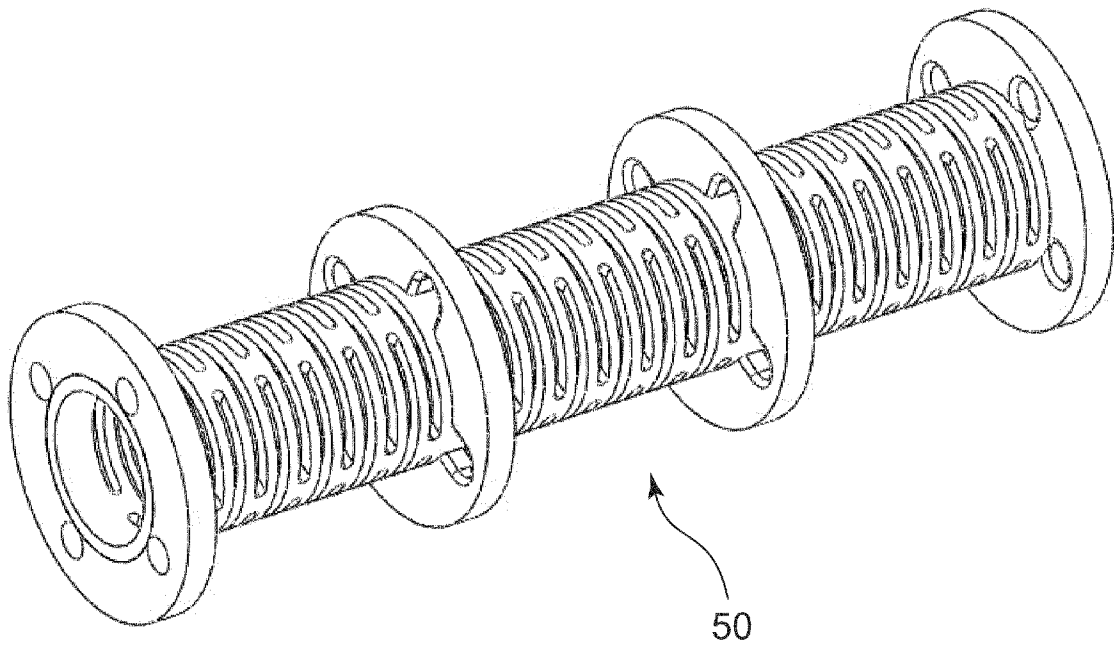


(B)

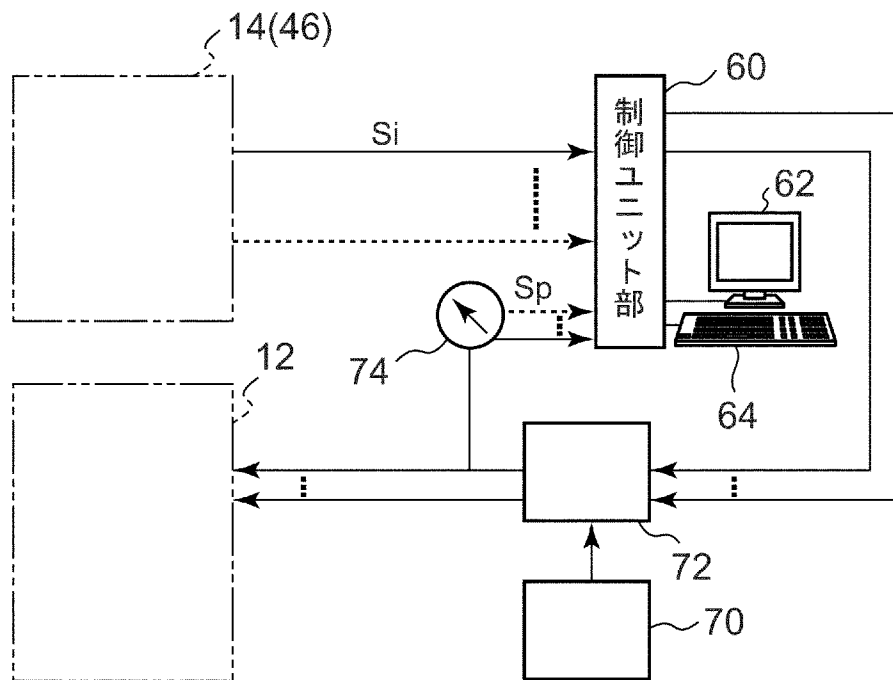
[図9]



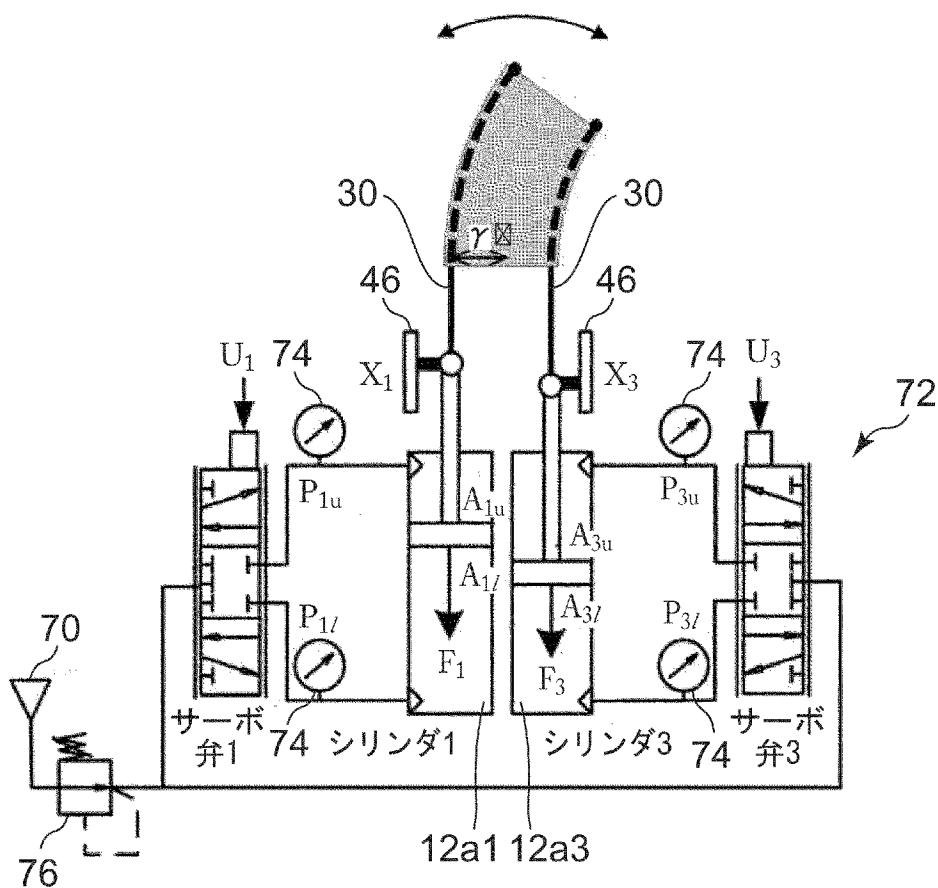
[図10]



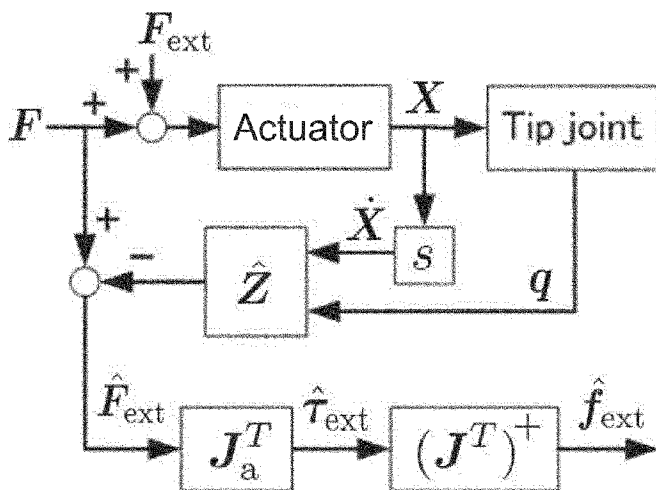
[図11]



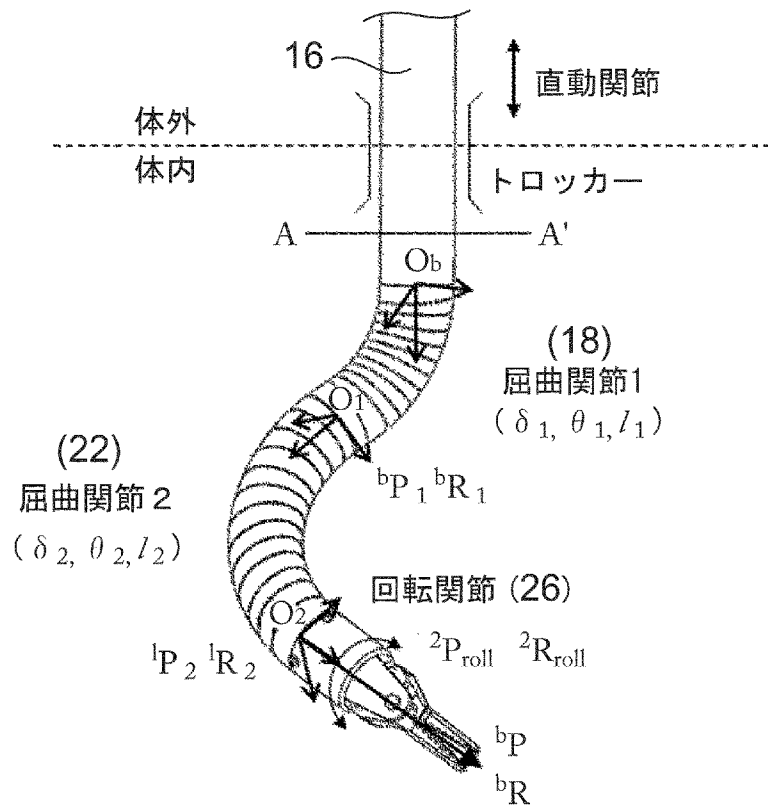
[図12]



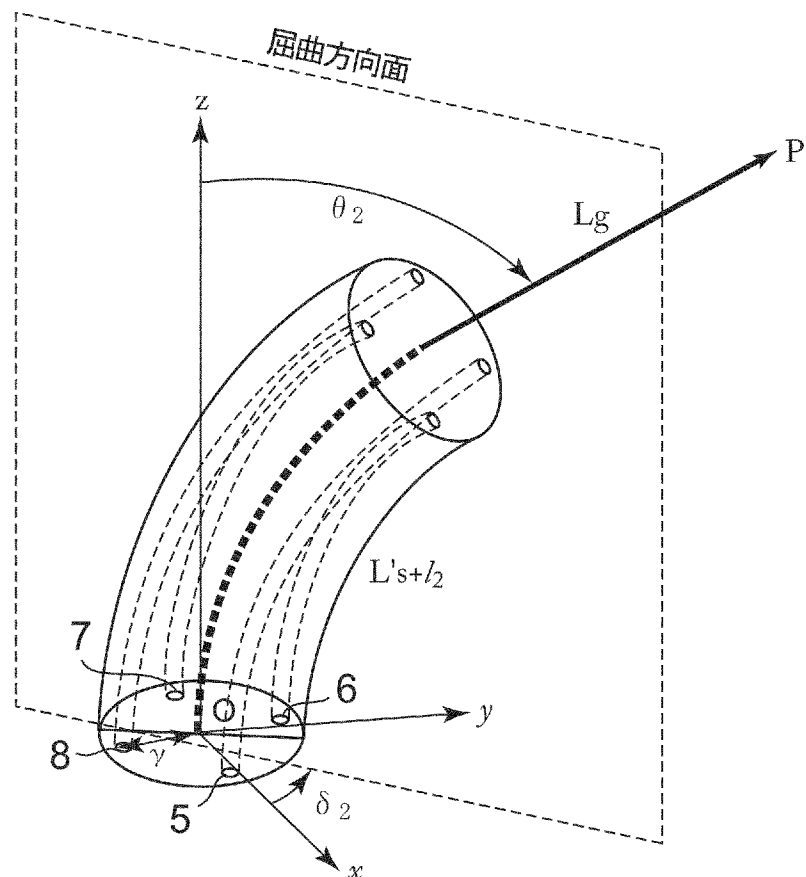
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/053226

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B19/00(2006.01)i, B25J18/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B19/00, B25J18/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2009-160011 A (Terumo Corp.), 23 July 2009 (23.07.2009), paragraphs [0027] to [0052]; fig. 1, 2, 4, 6 & US 2009/0171374 A1	1, 5 2, 4 3
Y A	JP 2010-35768 A (Olympus Medical Systems Corp.), 18 February 2010 (18.02.2010), paragraph [0018] & US 2010/0030023 A1 & EP 2151184 A1	2 1, 3-5
Y A	Daisuke HARAGUCHI, "Development of a Pneumatically-Driven Forceps Manipulator Using a Flexible Joint : Simplification of the Joint Mechanism and External Force Estimation", The Japan Fluid Power System Society Ronbunshu, 2012.05, vol.43, no.3, pages 62 to 69	4 1-3, 5

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 May, 2013 (01.05.13)Date of mailing of the international search report
14 May, 2013 (14.05.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/053226

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-527366 A (FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH), 30 July 2009 (30.07.2009), entire text; all drawings & US 2009/0182436 A1 & WO 2007/095662 A1	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. A61B19/00(2006.01)i, B25J18/06(2006.01)i										
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. A61B19/00, B25J18/06										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2013年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2013年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2013年	日本国実用新案登録公報	1996-2013年	日本国登録実用新案公報	1994-2013年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2013年									
日本国実用新案登録公報	1996-2013年									
日本国登録実用新案公報	1994-2013年									
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X Y A	JP 2009-160011 A (テルモ株式会社) 2009.07.23, 【0027】 - 【0052】, 第 1, 2, 4, 6 図 & US 2009/0171374 A1	1, 5 2, 4 3								
Y A	JP 2010-35768 A (オリンパスメディカルシステムズ株式会社) 2010.02.18, 【0018】 & US 2010/0030023 A1 & EP 2151184 A1	2 1, 3-5								
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 01.05.2013	国際調査報告の発送日 14.05.2013									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 佐藤 智弥	31 3735								
電話番号 03-3581-1101 内線 3346										

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	原口大輔, 柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発 (先端屈曲機構の簡略化と外力推定), 日本フルードパワーシステム 学会論文集, 2012.05, 第43巻 第3号, 第62-69頁	4 1-3, 5
A	JP 2009-527366 A (フェルロボティクス コンプライアントロボッ ト テクノロジー ゲーエムベーパー) 2009.07.30, 全文, 全図 & US 2009/0182436 A1 & WO 2007/095662 A1	1-5