

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5084865号
(P5084865)

(45) 発行日 平成24年11月28日(2012.11.28)

(24) 登録日 平成24年9月14日(2012.9.14)

| | |
|-------------------------|---------------------|
| (51) Int.Cl. | F I |
| A 6 1 B 19/00 (2006.01) | A 6 1 B 19/00 5 0 2 |
| B 2 5 J 7/00 (2006.01) | B 2 5 J 7/00 |
| B 2 5 J 11/00 (2006.01) | B 2 5 J 11/00 Z |

請求項の数 14 (全 41 頁)

| | | | |
|--------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2010-104689 (P2010-104689) | (73) 特許権者 | 501205795 |
| (22) 出願日 | 平成22年4月30日(2010.4.30) | | マイクロデクステラティール・システムズ・ |
| (62) 分割の表示 | 特願2000-583445 (P2000-583445) | | インコーポレーテッド |
| 原出願日 | 平成11年11月22日(1999.11.22) | | アメリカ合衆国ニューメキシコ州8711 |
| (65) 公開番号 | 特開2010-221043 (P2010-221043A) | | 3, アルバカーキ, サン・マテオ・プール |
| (43) 公開日 | 平成22年10月7日(2010.10.7) | (74) 代理人 | 100089705 |
| 審査請求日 | 平成22年5月28日(2010.5.28) | | 弁理士 社本 一夫 |
| (31) 優先権主張番号 | 60/109,608 | (74) 代理人 | 100071124 |
| (32) 優先日 | 平成10年11月23日(1998.11.23) | | 弁理士 今井 庄亮 |
| (33) 優先権主張国 | 米国 (US) | (74) 代理人 | 100076691 |
| | | | 弁理士 増井 忠式 |
| | | (74) 代理人 | 100075270 |
| | | | 弁理士 小林 泰 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 医学用ツールを患者の体内で操作する装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

医学用ツールを患者の体内で操作する装置において、
患者の体内に挿入可能な管と、
該管により支持され且つ第一及び第二の軸線を有するジンバル継手と、
第一及び第二の軸線の周りで枢動し得るように前記ジンバル継手により支持されたツールと、

前記管を通して前記ジンバル継手まで伸びる第一及び第二の細長いコネクタと、
前記第一及び第二のコネクタを通じて前記ジンバル継手に力を加え、前記ツールを前記第一及び第二の軸線の少なくとも一方の周りで枢動させ得るように前記第一及び第二のコネクタにそれぞれ作用可能に接続された第一及び第二のアクチュエータとを備え、
前記第一及び第二のコネクタが圧縮状態及び張力状態にて作用可能である、装置。

【請求項2】

請求項1に記載の装置において、前記第一及び第二のアクチュエータが、第一及び第二のコネクタを自身の長手方向に沿って並進させるようになされている、装置。

【請求項3】

請求項1に記載の装置において、前記第一及び第二の軸線が互いに対して垂直である、装置。

【請求項4】

請求項1に記載の装置において、前記第一及び第二のコネクタの各々が円弧状の横断面

を有する、装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の装置において、前記ジンバル継手が、前記管により回転可能に支持された外側部分と、前記ツールを支持し且つ前記外側部分内に配置され、更に該外側部分により回転可能に支持された内側部分とを備える、装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の装置において、前記コネクタの 1 つが前記ジンバル継手の前記内側部分に接続され、他方のコネクタが前記ジンバル継手の前記外側部分に接続される、装置。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の装置において、前記コネクタの各々が、前記ジンバル継手の前記内側部分に接続される、装置。

10

【請求項 8】

請求項 1 に記載の装置において、前記第一及び第二のコネクタの少なくとも 1 つが、該コネクタが作用可能に接続された前記第一及び第二のアクチュエータの 1 つにより回転可能である、装置。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の装置において、前記第一及び第二のコネクタの少なくとも 1 つが、歯車を通じて前記ジンバル継手に接続される、装置。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の装置において、前記第一及び第二のコネクタの少なくとも 1 つが、前記ジンバル継手にカム作用力を加えることにより前記ツールを駆動可能である、装置。

20

【請求項 11】

請求項 1 に記載の装置において、前記ツールが、前記第一及び第二の軸線に対して直角な第三の軸線の周りで回転し得るように前記ジンバル継手により回転可能に支持される、装置。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の装置において、前述の 3 つの軸線が互いに対して直交する、装置。

【請求項 13】

請求項 11 に記載の装置において、第三のアクチュエータと、該第三のアクチュエータにより回転され且つ第三のアクチュエータと前記ツールとの間に接続された軸とを備える、装置。

30

【請求項 14】

請求項 13 に記載の装置において、前記アクチュエータの各々が、前記コネクタ又は前記軸の一方に取り外し可能に接続される、装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マニプレータ、特に、最小侵襲外科手術を含む外科手術にて使用するのに適したマニプレータに関する。

【背景技術】

40

【0002】

人体内部の従来の開放外科手術において、外科医は、対象とする領域にアクセスすることを許容し且つその領域への直接的な視線を許容するのに十分に大きい切開部を形成しなければならない。しかし、内視鏡、患者の体外から操作可能な外科用ツールの開発及び超音波画像、コンピュータ断層撮影、及び磁気共鳴画像のような色々な画像技術の開発に伴って、従来の開放外科手術を行うことが不可能な程に極めて小さい切開部分又は寸法の身体の開口を通して外科手術を行うことが可能となっている。かかる外科手術は、一般に、最小侵襲外科手術と称されている。

【0003】

最小侵襲外科手術にて使用するための典型的な外科手術ツールは、切開部又は開口を通

50

して患者の体内に挿入される第一の端部と、患者の体外に伸び且つ外科医が把持する第二の端部とを有する細長い管を備えている。第一の端部には、ステープラ、鉗子、鋏、針ホルダのような外科手術用ツールが設けられる一方、第二の端部には、外科医が把持し且つ管の中心を通してツールに機械的に接続されるハンドル又はその他の部材が設けられている。このハンドルを操作することにより、外科医は、ツールを作用させ、また、患者の身体に対する管の方向を調節することによりツールの位置を変化させることができる。

【0004】

最小侵襲外科手術は、実現可能であるならば、開放外科手術よりも外傷が小さいため、患者にとって極めて有益である。その結果、医療コストは低額となり、また、入院期間も短縮される。しかし、従来の最小侵襲外科手術装置は、多数の欠点がある。1つの欠点は、外科医は、その使用中、最小侵襲外科手術ツールを手で支えなければならないため、疲労し易いことである。別の欠点は、従来の最小侵襲外科手術は、外科医がその手を操作し難い位置に置くことを必要とする点である。更に、従来の最小侵襲外科手術ツールは、誤りを著しく増幅することになる。その結果、外科医の巧みさ正確さは、外科医がツールを直接、把持する従来の巧みさによって手術する場合よりも、最小侵襲外科手術ツールにて手術するときよりも著しく劣ることになる。このため、最小侵襲外科手術は、外科医の側に必要とされる巧みさのレベルが低くてよい外科手術にのみ使用される。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、外科手術、特に、最小侵襲外科手術に適したマニプレータを提供するものである。

20

【0006】

本発明は、また、診断又は治療医学的方法にて使用することのできるマニプレータを提供するものである。

【0007】

本発明は、巧みさ及び正確さを向上させつつ、外科手術中の外科医の疲労を少なくすることのできるマニプレータを更に提供するものである。

【0008】

本発明は、また、高機械的帯域幅を有するマニプレータを提供するものである。

30

【0009】

本発明は、患者の小さい切開部又は身体開口内に挿入することのできるように小さい直径を有するマニプレータを更に提供するものである。

【0010】

本発明は、かかるマニプレータにより、外科手術、診断及び治療方法を含む色々な医学的方法を行う方法を更に提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の1つの形態によれば、マニプレータは、独立的に可動の第一及び第二のアームと、その双方のアームにより枢動可能に支持された医療ツールとを備えている。該アームは、1度以上の自由度にてツールを操作し得るように動かすことができる。例えば、1つの好ましい実施の形態において、これらアームは、5度の自由度にてツールを操作することができる。

40

【0012】

アームは、アームを相応する軸線の周りで全体として回転させるか、又はアームの各々の部品を互いに対して並進又は枢動させて、アームを伸ばし又は収縮させ或いはアームの形状を変化させること等により、色々な型式のアームの動作によってツールを操作することができる。

【0013】

マニプレータは、ツールをアームに対して操作し、ツールに対し追加的な自由度を提供

50

することのできるリストを備えることができる。1つの好ましい実施の形態において、リスト及びツールは、ツールの滅菌及び交換を容易にし得るように、マニプレータのその他の操作部分から取り外すことができる。

【0014】

本発明によるマニプレータは、その動作がマスタ制御装置により制御されるマスタ-従属モード、又は幾つかの操作がロボットにより行われ、その他の操作がマスタ制御装置により制御されるロボット式モード又は半ロボット式モードを含む、多岐に亙るモードにて作動させることができる。

【0015】

本発明によるマニプレータは、従来の最小侵襲外科手術ツールに優る多数の利点を有している。その1つとして、外科医は、その操作中、マニプレータの何れの部分をも支持する必要がなく、このため、特に、長時間の手術中、外科医にとってマニプレータを使用するときの疲労が少ない。また、マニプレータは、手で実現することが難しい姿勢にて医療ツールを支持することができる。従来の最小侵襲外科手術において、最小侵襲外科手術ツールが挿入される体壁は、典型的に、実質的に水平で且つ上方を向くようにしなければならない。これに反して、本発明によるマニプレータは、最小侵襲外科手術が行われる体壁の方向を何ら制限しない。例えば、体壁は、体壁にアクセスするためマニプレータを通すことのできる開口を有する台の上に患者を載せることができるならば、垂直とし又は下方を向くようにすることができる。このように、患者及び外科医にとって快適であり、また、患者の安全性及び回復の点にて有益である仕方にて、患者の位置を設定することができる。

【0016】

本発明によるマニプレータの別の顕著な利点は、ユーザの巧みさを向上させ得ることである。従来の最小侵襲外科手術装置は、手で操作するときの巧みさと比べて、外科医の巧みさを不可避免的に低下させる一方、本発明によるマニプレータは、外科医に対し、フリーハンドの手で実現されるものと同様又はそれよりも更に優れた巧みさを提供することができる。

【0017】

本発明によるマニプレータは、患者の体壁の小さい切開部を通じて行われる最小侵襲外科手術又はその他の医療方法に特に適している。しかし、本発明によるマニプレータは、外部外科手術、又は体壁に大きい切開部を形成する従来の開放外科手術のような、最小侵襲外科手術以外の医療方法にて使用することができる。このマニプレータは、また、医療以外の分野で使用することもできる。例えば、このマニプレータは、色々な器官の操作、修復、取り付け又は支持に使用させる汎用マニプレータとして採用することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

図示したマニプレータ10は、一端(図面にて下端)に取り付けられた、外科用ツールのような、医療装置12を有するツール支持軸11を備えている。以下の説明において、医療装置12は、その特徴に関係なく、単にツールとして説明する。ツール12の型式には何ら制限はない。例えば、ツール12は、切断装置、針ホルダ、ステープラ、鉗子、クランプ、フロップ、画像装置、レーザ、針又はその他の生検検査装置、薬又はその他の物質を投与する装置、又は外科用、治療又は診断目的のその他の装置とすることができる。ツール支持軸11は独立的に可動である2つ又はそれ以上のアーム21、22を含む軸支持構造体20により支持され且つ操作され、アームの各々はツール支持軸11を1つ以上の継手を介して異なる位置で枢動可能に支持する。この例において、アーム21には1つの枢動可能継手23が設けられ、アーム22には、別の枢動可能な継手24が設けられる。アーム21、22の各々は空間内で相応する継手23、24を動かし、空間内のツール支持軸11の位置を調節し、所望の位置を実現し且つ/又はツール支持軸11の下端を動かしてツール12を患者に対する所望の位置まで動かすことができる。現在の実施の形態において、単一の継手23又は24は、アーム21又は22の各々に対するツール支持軸1

10

20

30

40

50

1の所望の回転自由度を提供するが、多数の回転自由度を提供する単一の継手に代えて、各々が単一の継手よりも少ない回転自由度を提供するが、共に、単一の継手と同一の自由度を提供する複数の継手形態をした、機能的に同等のものを使用することができる。継手23、24は、典型的に、能動的継手ではなくで受動的継手であり、このことは、アーム21、22に対するツール支持軸11の方向は、単に、継手23、24と関係したアクチュエータによりツール支持軸11にトルクを加えるのではなくて、継手23、24の一方又は双方の位置を変化させるだけでアーム21、22に対するツール支持軸11の方向が変化されることを意味する。

【発明を実施するための形態】

【0019】

次に、添付図面に関して、本発明によるマニプレータの多数の好ましい実施の形態について説明する。本発明は、図面に図示した構造にのみ限定されるものではなく、1つの実施の形態の機能部分は1つ以上の他の実施の形態の機能部分と自由に組み合わせ、図示したものに加えて多数の構造を得ることができ、これらは全て本発明の範囲に属するものである。

【0020】

図1は、本発明によるマニプレータ10の全体的な構造を概念的に示す概略図である。マニプレータ10は、人間の患者30に最小侵襲外科手術を行うために使用する状態で図示されているが、上述したように、このマニプレータは、最小侵襲外科手術以外の医療方法にて採用することができる。更に、このマニプレータは、人間の患者に使用することに限定されず、例えば、獣医学分野で使用することができる。

【0021】

図示したマニプレータ10は、一端(図面にて下端)に取り付けられた、外科用ツールのような、医療装置12を有するツール支持軸11を備えている。以下の説明において、医療装置12は、その特徴に関係なく、単にツールとして説明する。ツール12の型式には何ら制限はない。例えば、ツール12は、切断装置、針ホルダ、ステーブラ、鉗子、クランプ、フロープ、画像装置、レーザ、針又はその他の生検検査装置、薬又はその他の物質を投与する装置、又は外科用、治療又は診断目的のその他の装置とすることができる。ツール支持軸11は独立的に可動である2つ又はそれ以上のアーム21、22を含む軸支持構造体20により支持され且つ操作され、アームの各々はツール支持軸11を1つ以上の継手を介して異なる位置に枢動可能に支持する。この例において、アーム21には1つの枢動可能継手23が設けられ、アーム22には、別の枢動可能な継手24が設けられる。アーム21、22の各々は空間内で相応する継手23、24を動かし、空間内のツール支持軸11の位置を調節し、所望の位置を実現し且つ/又はツール支持軸11の下端を動かしてツール12を患者に対する所望の位置まで動かすことができる。現在の実施の形態において、単一の継手23又は24は、アーム21又は22の各々に対するツール支持軸11の所望の回転自由度を提供するが、多数の回転自由度を提供する単一の継手に代えて、各々が単一の継手よりも少ない回転自由度を提供するが、共に、単一の継手と同一の自由度を提供する複数の継手形態をした、機能的に同等のものを使用することができる。継手23、24は、典型的に、能動的継手ではなくで受動的継手であり、このことは、アーム21、22に対するツール支持軸11の方向は、単に、継手23、24と関係したアクチュエータによりツール支持軸11にトルクを加えるのではなくて、継手23、24の一方又は双方の位置を変化させるだけでアーム21、22に対するツール支持軸11の方向が変化されることを意味する。

【0022】

軸支持構造体20は、並列機構、すなわち、ツール支持軸11の重量がアーム21、22により画成された複数の平行な経路に沿って基部又はその他の支持部材に伝達される機構を画成し、このことは、支持すべき荷重が単一の経路に沿ってツールに伝達される直列機構と相違するものである。並列機構は、直列機構よりも性質上、より堅牢、迅速、正確であり且つより大きい荷重を支障することができ、これらは全て外科用マニプレータにと

10

20

30

40

50

って特に有益である。

【0023】

アーム21、22は、アームを伸ばし又は収縮させ又はアームの全体又はアームの部分を並進させ又は駆動させるといった多くの異なる型式の動作により、継手23、24を動かすことができる。

【0024】

ツール支持軸11は、何ら特別な形状に限定されない。多くの場合、その下端は、患者の体内への挿入を容易にし得るように直線状であるが、製造の容易さのため、ツール支持軸11がその全長に亘って直線状であるようにするならば、便宜である。しかし、該軸は、角度付き又は湾曲状といったような多岐に亘る他の形状とすることができる。ツール支持軸11は、その長さに亘って一定の横断面形状を有するものとして図示されているが、断面形状は重要ではなく、その長さに亘って変更することが可能である。図示したツール支持軸11は、その直径に比べて長さが長い細長い部材であるが、ツール支持軸11の長さ対直径の比は重要でない。このように、ツール支持軸11は、ツール12を支持し且つ所望の方法にて操作することができる任意の部材とすることができる。

10

【0025】

ツール支持軸11の重量は、任意の所望の方法にて継手23、24の間で分配することができる。ツール支持軸11の幾つかの方向において、その重量は、継手23、24の1つによってのみ主として又は全体的に支持することができる一方、その他の方向において、その重量は、継手の双方により支持することができる。空間内における継手23、24の位置は変更可能であるが、互いに対する継手の方向の中心を接続する線の方向は、ツール支持軸11に対して一定に保つ。ツール支持軸11の方向を空間内で画成するためには、2つの受動的継手で十分であるが、ツール支持軸11の重量をより多数の部材の間で分配することが望ましいならば、より多数の継手及びアームを採用することができる。

20

【0026】

軸支持構造体20の幾つかの形態において、アーム21、22は、互いに面一とすることができ、この場合、軸支持構造体20は、二次元的連結機構を画成する。しかし、軸支持構造体20は、アーム21、22が面一ではない形態とすることができ、この場合、軸支持構造体20は、いわゆる空間機構又は三次元的連結機構を画成することができる。軸支持構造体20が空間機構として機能可能であることは、ツール支持軸11の動作自由度を増し且つ二次元的連結機構にて不不可能である動作を実現可能にする。

30

【0027】

図1において、継手23、24の回転中心がツール支持軸11の長手方向軸線と一致する状態で概略図的に図示されているが、ツール支持軸11に対する継手の回転中心の位置は、任意である。例えば、継手は、フレームのような中間部材を介してツール支持軸11を支持することができ、このため、ツール支持軸11から隔てることができる。

【0028】

軸支持構造体20は、並進及び/又は回転時に任意の所望の自由度にてツール支持軸11を操作し得る設計とすることができる。幾つかの簡単な医療方法において、1度の自由度で十分であるが、ツール支持軸11を多数度の自由度にて操作することができるならば、便宜であることがしばしばある。例えば、ツール支持軸11が患者の身体外側にてツール12により操作するならば、軸支持構造体20は6度の自由度までツール支持軸11を操作可能であることが望ましい。しかし、ツール支持軸11の下端を患者の身体の切開部又はその他の開口内に挿入するならば、ツール支持軸11の動作を受け入れるのに必要な切開部の寸法を最小にし得るようにツール支持軸11の自由度を制限することが全体として望ましい。より具体的には、図2に概略図的に図示するように、患者30の体壁31の切開部32を通じて患者の体内に挿入したときのツール支持軸11の動作は、切開部32内に配置された仮想的駆動点13に中心がある仮想円錐体内にツール支持軸11の下端の長手方向軸線を保つような程度に制限することが好ましい。仮想的駆動点とは、仮想的駆動点にて何ら支持構造体を必要とせずに、1度以上の自由度にてツール支持軸11が回転

40

50

可能な空間内の1つの点を意味するものとする。ツール支持軸11は、実際には、継手が課すような構造的制限は何ら含まずに、仮想的枢動点13に配置された回転継手のように枢動可能である。図2において、ツール支持軸11は、その双方の軸線は仮想的枢動点13を通るものとして、x軸線及び該x軸線に対して垂直なy軸線の周りで回転させることができる。更に、ツール支持軸11は、該ツール支持軸11の長手方向軸線に相応するz軸線に沿って並進させることができる。ツール支持軸11が移動可能である円錐体の寸法(ある角度として測定)は、切開部32の寸法、及びツール支持軸11の外面が接触するときに、本体壁31が伸びに対して耐えることのできる程度のようなファクタに基づいて選択可能である。この円錐体内において、ツール支持軸11は、x及び/又はy軸線の周りの回転と、z軸線に沿った並進との組み合わせを行い得るようにすることができ、ツール支持軸11の長手方向軸線は仮想的枢動点13と整合されたままであるようにする。ツール支持軸11は、所望であるならば、z軸線の周りで回転するようにすることもできる。所定の円錐体の角度を受け入れるのに必要な切開部32の寸法を最小にするため、仮想的枢動点13は、切開部32又はその他の開口部が形成される、患者30の身体壁31の厚さを通して略途中の位置に配置されることが好ましい。この厚さは、患者ごとに大幅に変更可能である。この厚さは、幼児に対し1.27cm(0.5インチ)以下及び肥満の大人に対し10.16乃至12.7cm(4乃至5インチ)とすることができる。

10

【0029】

アーム21、22の動作を適正に調和させることにより、ツール支持軸11が枢動する仮想的枢動点13を空間内に任意の所望の位置に配置することができる。例えば、該仮想的枢動点を、ツール支持軸11の長さに沿った任意の箇所に配置することができる。仮想的枢動点13がツール支持軸11の長さに沿って変更可能であることは、ツール支持軸11が患者の体内に伸びる程度を所望の値まで調節することを可能にする点にて有用である。このように、ツール12がアクセスすべき患者の身体部分が体壁31に近いならば、仮想的枢動点13は、ツール支持軸11の下端に近づけることができる一方、アクセスすべき部分が患者の体内の奥深い箇所にあるならば、すなわち切開部32から更に遠方にあるならば、仮想的枢動点13は、より長いツール支持軸11を患者の身体内に挿入することを許容し得るようにツール支持軸11の下端から更に遠方にすることができる。

20

【0030】

軸支持構造体20は、任意の適当な方法にて支持することができる。図1には、この支持構造体は外科手術中、患者30が載る台36に隣接する床35に取り付けた状態で示してあるが、台36、壁、天井、患者30の上方の画像ガントリー、又は任意のその他の適当な構造体に取り付けることができる。軸支持構造体20は、固定された位置に取り付けることができ又は可動性を持たせ得るようにころ又はその他の機構を具備することができる。

30

【0031】

軸支持構造体20が図2に図示した仕方にてツール支持軸11を操作することを可能にする、多くの異なる形態を採用することができる。例えば、

(a) 継手23、24の双方を二次元的空間(別個の面)内で動かし、ツール支持軸11を継手23、24の動作面に直交する方向に向けて継手23、24に対し並進させることができる；

40

(b) 継手23、24の双方を基部に対して二次元的空間内で動かすことができ、z軸線方向に向けてツール支持軸11を並進させ得るように互いに対し一定の位置関係を保ちつつ、継手23、24の動作面を面に直交する方向に向けて単一体として移動させることができる；

(c) 継手23、24の一方を二次元的空間内で移動させることができる一方、他方の継手は三次元的空間で移動させることができる；

(d) 継手23、24の双方を三次元的空間内で移動させることができる。

【0032】

また、(a)-(d)の任意の組み合わせを採用することができ、また継手は更に他の

50

方法で移動させることもできる。

【 0 0 3 3 】

図 3 には、2つの継手が2つの相応するアームにより二次元的空間内で移動される上記の(a)に記載した形態を有する軸支持構造体50の幾何学的形態が概略図的に図示されている。この図面に図示するように、軸支持構造体50は、静止フレームのような静止支持体52により支持された第一の回転アクチュエータ51を有する第一のアームを備えている。第一のリンク53は、第一の軸線の周りで回転し得るように第一の回転アクチュエータ51に固着されている。該第一のリンク53は、第一の回転アクチュエータ51の回転軸線に対し垂直な直線に沿って作用することができる第一の線形アクチュエータ54を備えている。第二のリンク55は、第一の線形アクチュエータ54に固着された一端と、第三のリンク56に接続された他端とを有しており、該第三のリンクは、第一の枢動継手57により第一の支持点にてツール支持軸11を支持する。第二のアームは、第一の回転アクチュエータ51を支持する同一のフレーム52のような静止支持体により支持された第二の回転アクチュエータ60を備えている。第四のリンク61は、第二の軸線の周りで回転し得るように第二の回転アクチュエータ60に固着されている。運動力学を簡略化するため、第一及び第二の回転アクチュエータ51、60の回転軸線は、図3にて互いに整合されているが、これら2つの軸線は整合させ又は平行にしなくてもよい。第四のリンク61は、第二の回転アクチュエータ60の回転軸線に対し垂直な直線路に沿って作用可能である第二の線形アクチュエータ62を支持している。第五のリンク63は、第二の線形アクチュエータ62に固着された一端と、第二の枢動可能な継手64により第二の支持点にて第三のリンク56に接続された他端とを有している。第一の継手57及び第二の継手64の各々は、第二のリンク55及び第五のリンク63に対して第三のリンク56の少なくとも2度の回転自由度を許容し、第三のリンク56は第二のリンク55及び第五のリンク63に対してピッチ及びヨー動作可能であるようにする。また、第三のリンク56及び継手57、64は、第三のリンク56の軸線の周りで測定したリンク55、63の間の角度が変更可能であるようにも配置されている。例えば、継手57、64の一方は3度の回転自由度を提供し、ピッチ及びヨー動作に加えて、第三のリンク56は第二のリンク55及び第五のリンク63の一方に対してその軸線の周りで回転動作を行うことができるようにする。この場合、継手57、64の一方は、ジンバル継手又はその同等物とすることができる一方、他方の継手は、球状継手又はその同等物とすることができる。これと代替的に、継手57、64の各々は、2度の自由度のみを有し、第三のリンク56は、第三のリンク56の軸線と整合した回転軸線を有するロール継手により接続された2つの部分にて形成し、これらリンク56の2つの部分が第三のリンク56の軸線の周りで互いに対して回転するのを許容することができる。継手57、64は、その間の距離が空間内で平行な平面内を移動するときに変更可能であるように配置されている。例えば、この実施の形態において、継手の1つ(図3の第一の継手57のような継手)は、第三のリンクの長手方向へ第三のリンク56に対して並進しないように固定される一方、他方の継手(この実施の形態において第二の継手64)は、その長手方向に第三のリンク56に対して並進可能である。継手が取り付けられ且つ伸縮式部材として第三のリンク56を形成する第三のリンク65の部分に対して並進しないように継手57、64の各々を固定する等により、継手57、64の間の距離を変化させることができる。

【 0 0 3 4 】

第三のリンク56は、第三の線形アクチュエータ65(軸の挿入アクチュエータ)を通じてツール支持軸11を支持する。この線形アクチュエータは、第一の継手57及び第二の継手64の動作面に直交する方向にツール支持体11を並進させることができ、また、ツール支持軸11の方向を変えることなく、患者の身体に対してツール支持軸11を挿入し且つ引き抜くために使用することができる。この実施の形態において、第三の線形アクチュエータ65は、第一及び第二の継手57、64を接続する線に対し平行な方向に作用するが、異なる方向に作用するようにしてもよい。第三の線形アクチュエータ65の動作線は、第一及び第二の継手57、64を接続する線からずらして示してあるが、該線を整

10

20

30

40

50

合させてもよい。

【 0 0 3 5 】

第一及び第二の継手 8 7、8 5 の各々は、第四のリンク 7 7 が第三及び第七のリンク 7 6、8 4 に対してピッチ及びヨー動作するのを許容し得るように第三及び第七のリンク 7 6、8 4 に対する第四のリンク 7 7 の 2 度の回転自由度を許容することができる。継手 7 8、8 5 の一方は、第四のリンク 7 7 がピッチ及びヨー動作に加えて、回動動作することを可能にし得るように、3 度の自由度を提供することができるが、リンク 7 6、8 4 は、空間内で一定の方向を保つため、第三の回転自由度は必要ない。継手 7 8、8 5 は、継手が空間内の平行な面内を動くとき、継手の間の距離が変更可能であるように配置されている。例えば、継手の一方（図 5 の第二の継手 8 5）が、第四のリンク 7 7 の長さ方向に向けて第四のリンク 7 7 に対して並進しないように固定することができる一方、他方の継手（この例において、第一の継手 7 8）が、リンク 7 7 の長手方向に向けて第四のリンク 7 7 に対して並進可能である。これと代替的に、継手 7 8、8 5 の双方は、第四のリンク 7 7 に対して並進しないように固定ことができ、また、第四のリンク 7 7 は、継手 7 8、8 5 の間の距離を変化させることを許容する伸縮式構造体を備えることができる。

10

【 0 0 3 6 】

図 4 には、本発明にて採用することのできる、別の軸支持構造遺体 5 0 A の幾何学的形態が概略図的に図示されている。この例は、上記の文節（b）に説明した形態をしており、この形態において、2 つの継手は、2 つのアームにより二次元的面内で移動し、また、継手は、継手の動く面に直交する方向に向けて単一体として動くことができる。図 4 の全体的な幾何学的形態は、図 3 の幾何学的形態と同様であるが、但し、第三の線形アクチュエータ 6 5（軸挿入アクチュエータ）は省略され、z 軸線方向へのツール支持軸 1 1 の動きは、回転アクチュエータ 5 1、6 0 を単一体として並進させることにより行われる。ツール支持軸 1 1 は、第五のリンク 5 6 に堅固に接続されている。回転アクチュエータ 5 1、6 0 は、フレーム 5 2 に接続されており、該フレーム 5 2 は、フレーム 5 2 に対する昇降機構が設けられた基部 6 6 により昇降させることができる。図 4 の幾何学的形態は、図 3 の幾何学的形態と同一のツール支持軸の回転及び並進動作を生じさせる。軸挿入アクチュエータ 6 5 は不要であるため、ツール支持軸 1 1 の上端付近のマニプレータ 5 0 A の寸法は小さくして、狭小な空間内でマニプレータを操作することをより容易にする。しかし、操作の自由度をより大きくするため、図 4 の構造に、図 3 の第三の線形アクチュエータ 6 5 に相応する第三の線形アクチュエータを更に設け、ツール支持軸 1 1 を z 軸線方向に並進させ、ツール挿入体を患者の身体に対して挿入し且つ引き出すことを可能にする。

20

30

【 0 0 3 7 】

図 5 には、本発明による別の軸支持構造体 7 0 の幾何学的形態が概略図的に図示されている。図 3 及び図 4 の幾何学的形態におけるように、ツール支持軸に対する 2 つの継手は、共に、第一及び第二のアームによりこの二次元的空間にて動かすことができる。これらの幾何学的形態に反して、この幾何学的形態は、継手を操作するため線形アクチュエータのみを採用する。

【 0 0 3 8 】

第一のアームは、基部のような静止支持体に接続された一端と、x 軸線方向に向けて直線状に動くことのできる第一の線形部材 7 3 に接続された第二の端部とを有する第一のリンク 7 1 を備えている。第二のリンク 7 4 は、第一の線形アクチュエータ 7 3 に接続された一端と、x 軸線方向に直交する y 軸線（垂直）の方向に向けて直線状に動くことのできる第二の線形アクチュエータ 7 5 に接続された第二の端部とを備えている。この実施の形態において、x 軸線及び y 軸線は、互いに垂直であるが、垂直でなくてもよい。第三のリンク 7 6 は、第二の線形アクチュエータ 7 5 に接続された第一の端部と、第一の枢動継手 7 8 によりツール支持軸に対する第一の支持点にて第四のリンク 7 7 に接続された第二の端部とを備えている。第二のアームは、第一のリンク 7 1 が接続された同一の部材 7 2 のような、静止支持体に接続された一端と、x 軸線方向に向けて直線状に作用することのできる第三の線形アクチュエータ 8 1 に接続された第二の端部とを有する第五のアームを備

40

50

えている。第六のリンク 8 2 は、第三の線形アクチュエータ 8 1 に接続された一端と、y 軸線方向に向けて直線状に動くことのできる第四の線形アクチュエータ 8 3 に接続された他端とを有している。このように、第三の線形アクチュエータ 8 2 は、第一の線形アクチュエータ 7 3 に対して平行な経路内を動き、また、第四の線形アクチュエータ 7 3 は、第二の線形アクチュエータ 7 5 に対して平行で且つ第三の線形アクチュエータ 8 1 の経路に対して垂直な経路内を動く。更に、第一及び第二の線形アクチュエータの動作経路は、動作経路により及び第三並びに第四の線形アクチュエータにより、画成された面に対して平行な面を画成する。しかし、第三及び第四の線形アクチュエータの移動経路は、これらは平行でないように互いに対してある角度を為すようにすることができ、第三及び第四の線形アクチュエータ 8 1、8 3 の移動経路は、第一及び第二の線形アクチュエータ 7 3、7 5 の移動経路に対して及び第一及び第二の線形アクチュエータの移動経路により画成された面に対して平行である必要はない。第七のリンク 8 4 は、第四の線形アクチュエータ 8 3 に接続された一端と、第二の枢動継手 8 5 により第二の支持点にて第四のリンク 7 7 に接続された他端とを有している。第一及び第二の継手 7 8、8 5 の移動面に直交する z 軸線方向に移動可能な第五の線形アクチュエータ 8 6 (軸挿入アクチュエータ) が第四のリンク 7 7 に取り付けられ且つツール支持軸 1 1 を支持する。図 5 において、z 軸線は、第一の継手 7 8 及び第二の継手 8 5 を接続する直線に対して平行であるが、異なる方向に伸びるようにしてもよい。

10

【0039】

第一及び第二の継手 8 7、8 5 の各々は、第四のリンク 7 7 が第三及び第七のリンク 7 6、8 4 に対してピッチ及びヨー動作するのを許容し得るように第三及び第七のリンク 7 6、8 4 に対する第四のリンク 7 7 の 2° の 2 度の回転自由度を許容することができる。継手 7 8、8 5 の一方は、第四のリンク 7 7 がピッチ及びヨー動作に加えて、回動動作することを可能にし得るように、3° の自由度を提供することができるが、リンク 7 6、8 4 は、空間内で一定の方向を保つため、第三の回転自由度は必要ない。継手 7 8、8 5 は、継手が空間内の平行な面内を動くとき、継手の間の距離が変更可能であるように配置されている。例えば、継手の一方(図 5 の第二の継手 8 5)が、第四のリンク 7 7 の長さ方向に向けて第四のリンク 7 7 に対して並進しないように固定することができる一方、他方の継手(この例において、第一の継手 7 8)が、リンク 7 7 の長手方向に向けて第四のリンク 7 7 に対して並進可能である。これと代替的に、継手 7 8、8 5 の双方は、第四のリンク 7 7 に対して並進しないように固定することができ、また、第四のリンク 7 7 は、継手 7 8、8 5 の間の距離を変化させることを許容する伸縮式構造体を備えることができる。

20

30

【0040】

線形アクチュエータのみにて継手 7 8、8 5 の双方を操作することに代えて、図 3 の構成の場合と同一の仕方にて回転アクチュエータ及び線形アクチュエータの組合せ体と共に、図 5 の継手の一方(第一の継手又は第二の継手の何れか一方)を操作することが可能である。例えば、継手 7 8 を操作する図 5 の構成要素 7 1、7 3、7 4 は、図 3 の構成要素 5 1、5 3 に対応する回転アクチュエータ及びリンクにより置換することができる。その結果、図 3 及び図 5 の複合的な構成となる。

40

【0041】

図 6 には、本発明による軸支持構造体 1 0 0 の幾何学的形態が図示されており、この場合、ツール支持軸 1 1 に対する 1 つの継手は、対応するアームにより二次元的空間内で移動させることができる一方、第二の継手は、別のアームにより三次元的空間内で移動させることができる。第一及び第二のアームの第一及び第二の回転アクチュエータ 1 0 1、1 2 0 は、それぞれ、フレーム 1 0 2 のような静止支持体に固着されている。第一の回転アクチュエータ 1 0 1 は、第一のリンク 1 0 3 をその軸線の周りで回転させることができる。第一のリンク 1 0 3 は、第一及び第二の線形アクチュエータ 1 0 4、1 0 5 に接続され、これら線形アクチュエータは、第一の回転アクチュエータ 1 0 1 の回転軸線に対して垂直で且つ互いに平行な直線内で作用可能である。第二のリンク 1 0 6 及び第三のリンク 1

50

07の各々は、第一の線形アクチュエータ104及び第二の線形アクチュエータ105に接続された一端を有している。第四のリンク108は、継手109により第二のリンク106の一端に枢動可能に接続された第一の端部を有し、第五のリンク110は、継手111により第三のリンク107の一端に枢動可能に接続された第一の端部を有する。第五のリンク110の第二の端部は、第一の支持箇所にて継手114により第六のリンク113に枢動可能に接続され、この第六のリンクには、ツール支持軸11が固着されている。第四のリンク108の第二の端部は、第五のリンク110の両端の間に配置された継手112により第五のリンク110に枢動可能に接続されている。継手109、111、112の各々は、第一の回転アクチュエータ101の回転軸線に対して垂直な軸線の周りで1度の自由度を提供し、これら3つの継手の全ての回転軸線は、互いに対して平行で且つ線形アクチュエータ104、105の動作経路に対して垂直である。第二の回転アクチュエータ120は、第七のリンク121を回転軸線の周りで回転させる。運動力学を簡略化するため、この回転軸線は、第一の回転アクチュエータ101の回転軸線と整合させることが好ましいが、その2つの軸線は、整合させ又は平行としなくてもよい。第七のリンク121は、第三の線形アクチュエータ122に固着され、該第三の線形アクチュエータは、第二の回転アクチュエータ120の回転軸線に対して垂直な直線に沿って作用する。第八のリンク123は、第三の線形アクチュエータ122に接続された一端と、第二の支持箇所にて継手124により第六のリンク113に接続された他端とを有している。継手114、124の各々は、第六のリンク113が第五のリンク110又は第八のリンク123に対して少なくとも2度の回転自由度にて枢動することを許容する。例えば、継手114、124の一方に3度の回転自由度を提供し又は第六のリンク113の2つの部分が第六のリンク113の長手方向軸線の周りで互いに対して回転し得るように、回動継手を第六のリンク113内に形成することにより、第六のリンク113の周りで測定した、リンク110、123の間の角度が変更可能であるように、第六のリンク113及び継手114、124が配置される。継手114は、第六の継手113の長手方向に向けて第六のリンク113に対して並進しないように固定されており、継手124は、第六のリンク113の長手方向に向けて第六のリンク113に対して並進し、継手114、124の間の距離を変更することができるようにする。これと代替的に、継手114、124の双方は、第六のリンク113に対して並進しないように固定することができ、また、第六のリンク113は、継手114、124の間の距離を変化させることを許容する伸縮式構造とすることができる。

【0042】

この幾何学的形態において、継手124及び継手109、111の各々は、二次元的空間、すなわち平面内で移動する。これに反して、継手114は、三次元的空間内を移動することができる。例えば、継手114は、継手111を静止状態に保ちつつ、第一及び第二の線形アクチュエータ104、105が第一の回転アクチュエータ101の回転軸線に向けて動くように制御することで図6に上方に移動可能である一方、継手114は、継手111を静止状態に保ちつつ、継手109を第一の回転アクチュエータ101の回転軸線から離れるように動かすように第一及び第二の線形アクチュエータ104、105を制御することにより、図6の下方に移動することができる。このため、別個の軸挿入アクチュエータを必要とせずに、継手124の動作面から継手114の距離を変化させることにより、ツール支持軸11をz軸線方向に移動させることができる。その結果、ツール支持軸11の上端付近の支持軸支持構造体110の寸法を縮小させて、狭小な空間内でツール支持軸11を操作することをより容易にする。

【0043】

図7には、本発明によるマニプレータの軸支持構造体100Aの別の可能な幾何学的形態が図示されている。この幾何学的形態は、図6の幾何学的形態と同様であるが、この形態は、三次元的空間内で2つの継手を操作することができる。しかし、図6の第八のリンク123に代えて、継手127により枢動可能に接続された、第八のリンク125及び第九のリンク126が採用されており、継手109、111、112の回転軸線に対して平

10

20

30

40

50

行な軸線の周りで1度の回転自由度を提供する。第八のリンク125の一端は、第三の線形アクチュエータ122に固着され、第九のリンク126の一端は、継手128により第六のリンク113に枢動可能に接続され、この継手128は、第九のリンク126に対し第六のリンク113の少なくとも2度の回転自由度を提供する。図6の実施の形態と同様、第六のリンク113及び継手114、128は、第六のリンク113の軸線の周りで測定したリンク110、126の間の角度が任意の適当な構造を使用して変更可能であるように配置されている。図6の継手124と異なり、図7の継手128は、第六のリンク113の長手方向に向けて第六のリンク113に対して並進しないように固定されている。第八及び第九のリンク125、126の間の継手127は、二次元的空間内で移動する一方、継手128は、三次元的空間内で移動可能である。要するに、図6の継手124の並進自由度は、回転継手127、リンク126により置換されている。

この幾何学的形態において、継手109、111、127の各々は、二次元的空間内で移動可能である一方、継手114、128の各々は、三次元的空間内で移動可能である。このため、図6の幾何学的形態と同様に、別個の軸挿入アクチュエータを採用せずに、ツール支持軸11をz軸線方向に移動させることができる。

【0044】

図7の幾何学的形態は、図6の幾何学的形態における継手124よりも簡単な構造を継手128に採用することができ、第六のリンク113に対して図6の継手124の並進動作に関係する摩擦は、解消できる。このため、図7の幾何学的形態は、図6の幾何学的形態よりもツール支持軸11により精巧な動作を生じさせることができる。

【0045】

図6及び図7の構造は改変して次のようにすることができる、すなわち、第一及び第二の線形アクチュエータ104、105の動作経路に直交する方向（垂直方向）に向けて第一のリンク103を並進させることのできる線形アクチュエータにより回転アクチュエータ101、120を置換し、また、この線形アクチュエータが第七のリンク121を第三の線形アクチュエータ122の動作距離に直交する方向（垂直方向）に並進させることができるようにする。

【0046】

図8には、本発明によるマニプレータの別の支持軸構造体140の幾何学的形態が概略図的に図示されている。この軸支持構造体140は、三次元的空間内でツール支持軸11を支持する1つの継手と、二次元的空間内の別の継手とを操作することができる。回転軸線を有する第一の回転アクチュエータ141がフレーム又は基部のような静止支持体に取り付けられている。第一のリンク142は、第一の回転アクチュエータ141に接続された第一の端部と、第一の回転アクチュエータ141の回転軸線から隔てられた継手144により第二の継手143の第一の端部に接続された第二の端部とを有している。第二のリンク143の第二の端部は、継手146により第三のリンク145を第一の端部に接続されている。第三のリンク145の第二の端部は、ツール支持軸11に対する継手148により第四のリンク147の一端に枢動可能に接続されている。ツール支持軸11は、第四のリンク147に固着されている。第二の回転アクチュエータ149は、第三の回転アクチュエータ150を回転軸線の周りで回転させる。運動力学を簡略化するため、第一及び第二の回転アクチュエータ141、149の回転軸線は整合されているが、これらを整合させ又は平行にしなくてもよい。第三の回転アクチュエータ150は、第二の回転アクチュエータ149の回転軸線に直交する回転軸線（垂直方向）の周りで第五のリンク151を回転させる。第五のリンク151は、第三の回転アクチュエータ150を回転軸線に直交し（垂直方向）且つリンク145の軸線に対して垂直な軸線の周りで1度の回転自由度を有する継手152により第三のリンク145に接続されている。回転軸線を有する第四の回転アクチュエータ160は、静止支持体に取り付けられている。図8において、第四の回転アクチュエータ160の回転軸線は、第一及び第二の回転アクチュエータ141、149の回転軸線と整合されているが、これら軸線は、整合させ又は平行としなくてもよい。第六のリンク161は、第四の回転アクチュエータ160に固着された一端と、直線

10

20

30

40

50

状に作用する線形アクチュエータ 162 に固着された第二の端部とを有する。この例において、線形アクチュエータ 162 の動作経路は、第四の回転アクチュエータ 160 の回転軸線に対して垂直であり、このため、リンク 163 における任意の点は平面内で移動するが、その代わり動作経路が第四の回転アクチュエータ 160 の回転軸線に対して垂直でないようにすることが可能である。第七のリンク 163 は、線形アクチュエータ 162 に接続された一端と、第四のリンク 147 に枢動可能に接続された第二の継手 164 に固着された他端とを有している。継手 148 は、その長手方向に向けて第四のリンク 147 に対して並進しないように固定されている。更に、継手 148、164 は、その間の距離が可変であるように配置されている。例えば、継手 164 は、その長手方向に向けて、第四のリンク 147 に対し並進可能であるか又は継手 164 は第四のリンク 147 に対して並進しないよう固定することができ、第四のリンク 147 は、伸縮式構造とすることができる。継手 148、164 の各々は、第四のリンク 147 が少なくとも 2 度の回転自由度にて第三のリンク 145 又は第七のリンク 163 に対して枢動するのを許容する。第四のリンク 147 及び継手 148、164 は、第四のリンク 147 の周りで測定したリンク 145、163 の間の角度が変更可能であるように更に配置されている。例えば、継手 148、164 の一つは、3 度の回転自由度を提供するか又は継手 148、164 は、2 度の回転自由度を有し、また、第四のリンク 147 を 2 つの部分に分割し、その 2 つの部分は第四のリンク 147 の長手方向軸線の周りで互いに対し回転可能である、第四のリンク 147 に追加的な回転継手（ロール継手）を組み込むことができる。

10

【0047】

20

継手 144、146 に対し多くの異なる構造を採用することができる。例えば、双方の継手は、3 度の回転自由度（例えば、2 つの球状継手又はその均等物）を有し、一つの継手は、2 度の回転自由度（例えば、ジンバル継手又はその均等物）を有する一方、他方の継手は、3 度の回転自由度（例えば、球状継手又はその均等物）を有し又はその双方が 2 度の回転自由度（例えば、2 つの球状継手又はその均等物）を有し、別の継手（ロール継手）を第二の継手 143 内に組み込み、第二のリンク 143 の 2 つの部分が第二のリンク 143 の長手方向軸線の周りで互いに対し回転するのを許容することができる。

【0048】

この構成にて採用される 5 つのアクチュエータのうち、3 つは静止型で、第三の回転アクチュエータ 150 及び線形アクチュエータ 162 は、その重心が可能な限り第二及び第四の回転アクチュエータ 149、160 のそれぞれ回転軸線に接近するように配置し、これら軸線周りの慣性動作が最小となるようにすることができる。このため、軸支持構造体 140 は、全体として、マニプレータの巧みさを増すという観点から望ましい小さい慣性力を有することができる。

30

【0049】

第一、第二及び第三の回転アクチュエータ 141、149、150 は、共に、三次元的空間内の任意の位置まで継手 148 を移動させることができる一方、第四の回転アクチュエータ 160 及び線形アクチュエータ 162 は、共に、継手 164 を二次元的空間内の任意の位置まで移動させることができる。継手 148、164 の位置は適切に制御することにより、ツール支持軸 11 を常に仮想的枢動点と整合させることができ、軸挿入アクチュエータを必要とせずに、ツール支持軸 11 を z 軸線方向に移動させることができる。

40

【0050】

図 7 の実施の形態が得られるように図 6 の実施の形態を改変することができるのと同様の仕方にて、図 8 の実施の形態を改変し、リンク 163 に代えて、互いに枢動可能に接続された 2 つのリンク（図 7 のリンク 125、126 に相応する）を使用し、また、第二の継手 164 をリンク 147 に対して並進しないように固定された図 7 の継手 128 に相応する継手と置換することができる。

【0051】

本発明による軸支持構造体はその方向が図 3 乃至図 8 に図示したものに限定されず、垂

50

直に対して任意の所望の方向とすることができる。例えば、図6の配置において、方向を180°反転させ、第一の回転アクチュエータ101、第一及び第二の線形アクチュエータ104、105が第二の回転アクチュエータ130及び第三の線形アクチュエータ122の下方にあるようにすることができる。

【0052】

図3乃至図8の構成に採用される線形アクチュエータ及び回転アクチュエータは任意の特別の型式に限定されない。採用可能な線形アクチュエータの例は、線形電気モータが、回転動作を線形動作に変換する動作変換機構（ボールスクリュウ又はラック及びピニオンのような機構）に接続された回転モータ及び液圧又は空圧シリンダを含む。ツール支持軸が少数の方向とすればよいとき、ソレノイドのような、少数の相違する状態のみを有する線形アクチュエータを使用することができるが、垂直に対し連続的な角度範囲に互ってツール支持軸を操作することが望まれるとき、線形アクチュエータは、実質的に連続的な位置及び力の制御を許容することが好ましい。色々な型式の線形アクチュエータのうち、リニア電気モータが特に適しており、特に、ツール支持軸の角度を精密に制御することが望まれる用途に適している。リニアモータは線形出力を発生させ、ボールスクリュウ、ケーブル、又はその他の動作変換器（全てツール支持軸の正確な制御にとって有害である、バックラッシュ、大きい慣性力、大きい摩擦力を発生させる）を使用することを必要とせず、軸支持構造の部分に直接駆動するためにこのリニアモータを使用することができる。このように、リニアモータは、ツール支持軸の高精度の操作を可能にする。更に、リニアモータの移動質量は、基本的に、モータの可動部分の動作範囲と実質的に独立している。これに反して、ボールスクリュウに接続された液圧シリンダ又はモータを含む、殆ど他のその他の型式の線形アクチュエータにとって、移動範囲の長いアクチュエータは、移動範囲が短いアクチュエータと比較して、回転及び/又は並進を受ける可動質量が大きい。このため、線形アクチュエータとして採用されるリニアモータは、移動質量及び慣性力を小さくしつつ、移動範囲を長くすることができる。リニアモータの更に別の利点は、摩擦が極めて小さいことであり、このことは、可動質量及び慣性力が小さいと共に、力の制御及び/又は位置制御を正確に行う平滑な動作を実現する観点からして極めて有益である。かかる低摩擦の結果、リニアモータは逆駆動可能となる。すなわち、リニアモータは、モータが作用させる力方向と反対の方向に作用する外力によって駆動することができる。逆駆動可能であることは、マニプレータを順応型にする点で外科手術用マニプレータにて有用なことである。このように、例えば、患者が意図しない筋肉の動きにより、外科手術中に動き且つマニプレータの一部に力を作用させるならば、アクチュエータは、逆駆動して、マニプレータは硬い物として作用せずに、患者が作用させた力に対応して動くことを可能にする。このため、逆駆動可能性は、マニプレータの安全性を向上させる。交流ベクトル駆動線形モータのようなその他の多くの種類及び商標名のリニアモータが採用可能であるが、線形アクチュエータの特に好ましい例は、テキサス州、ウェブスターのトリロジー・システムズ（Trilogy Systems）及びカリフォルニア州、サンタクララのノーザンマグネチックス（Northern Magnetics）が製造するもののような永久磁石直流リニアモータである。図示した実施の形態において、本発明に採用されるリニアモータは、静止磁石軌道と、該磁石軌道に沿って可動の可動コイル装置とを備えているが、可動磁石と、静止型コイル装置とを備えるモータを採用することも可能である。

【0053】

回転アクチュエータは、また、1つの特定の型式に限定されない。ブラシレスストットレス直流モータは、トルクの変動及び焼付きを防止し又は最小にするのに特に適しているが、ステッパモータのようなその他の型式も使用可能である。モータが回転アクチュエータとして使用されるとき、モータは、バックラッシュ、摩擦及び慣性力を軽減し、モータにより加えられるトルクを直接制御する能力を向上させ得るように回転されるリンクに直接的に接続されることが好ましいが、減速歯車をモータとリンクとの間に配置することも可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 4 】

アクチュエータの可動部分又はアクチュエータにより駆動される部材の位置を感知し、これにより、工具支持軸に対する継手の位置を決定することを可能にするセンサを色々なアクチュエータに設けることができる。機械的、磁氣的、光学的又はその他の方法にて位置を感知するために多岐に亙る従来のセンサを使用することができる。適当なセンサの幾つかの例は、電位差計、線形可変の差動変圧器、光エンコーダ及びホール効果センサである。線形アクチュエータを精密に位置制御することが望まれるとき、10ナノメートル程度の精密な分解能にて位置を感知することができる点にて位置センサとして、ホログラフィック干渉計線形エンコーダが特に適している。採用可能であるホログラフィック干渉計線形位置センサの一例は、マサチューセッツ州、ナティックのマイクロE (MicroE) インコーポレーテッドが製造するものである。かかる線形位置センサは、細長い位置スケールと、位置スケールを可動に配置することのできるスロットを有する位置読取り機とを備えている。位置スケール又は位置読取り機を線形アクチュエータの可動部分に取り付けることができ、また、その2つの一方を静止型部材に取り付けることができる。位置読取り機は、位置読取り機に対する位置スケールの位置を表示する電氣的出力信号を発生させる。回転アクチュエータと共に使用される適当な位置センサの一例は、マイクロEインコーポレーテッドが製造するホログラフィック干渉計光回転エンコーダである。

10

【 0 0 5 5 】

同様に、アクチュエータにより加えられる力又はトルクを感知し、これにより、工具支持軸に加えられる力及びトルクを決定することを可能にするセンサを色々なアクチュエータに設けることができる。このセンサの情報をフィードバック制御ループにて使用し、ツール支持軸に加えられる力及びトルクを制御し及び/又は力を発生させることのできる入力制御装置と共に使用されるとき、これら力及びトルクを軸支持構造体を制御する外科医又は操作者にフィードバックすることができる。

20

【 0 0 5 6 】

力及び/又はトルクを測定する任意の既知の方法は、アクチュエータが加える力又はトルクを感知するために採用することができる。適当な方法の1つの例は、構造部材に歪み計を取り付けることである。

【 0 0 5 7 】

図9には、図7に図示した幾何学的形態を有する本発明によるマニプレータの1つの実施の形態が図示されており、このマニプレータは、2つの継手を三次元的空間内で移動させることができる。マニプレータは、一端に取り付けられた外科用ツール171を有するツール支持軸170と、ツール支持軸170を支持し且つ多数の自由度にて工具支持軸170を操作することのできるツール支持軸170を支持する軸支持構造体180とを備えている。

30

【 0 0 5 8 】

軸支持構造体180は、床182に位置する状態で示した支持基部181を備えている。基部181には、基部に可動性を持たせるべくころ又は同様の部材を設けることができ又は基部静止型部材とすることができる。支持フレーム183は、基部181に取り付けられている。ツール支持部材170の動作範囲を拡大するため、基部181には、支持フレームを昇降させ又はその他の方法で移動させる機構を設けることができる。例えば、該基部は、静止型下方部分181aと、昇降させ且つ/又は下方部分181aを垂直軸線の周りで回転させることのできる上方部181bとを備えることができる。上方部181bは、液圧シリンダ、空圧シリンダ、上方部分181bに形成されたラックに係合するピニオンを介する等により、上方部分181bに駆動可能に接続された電気モータのような任意の適当な装置により、昇降させることができる。上方部分181bが下方部分181aに対し回転可能であるとき、この上方部分は、モータのような駆動機構により回転させることができ又は手動で回転させることができる。所望のとき、上方部分181bが回転するのを解放可能に防止すべく機械的ロックを設けることができる。

40

【 0 0 5 9 】

50

フレーム183は、互いに整合させる回転軸線を有するブラシレス直流モータを備える第一及び第二の回転アクチュエータ185、200を有する第一及び第二のアームを支持している。回転アクチュエータの各々には、その出力軸の回転位置を感知すべく図示しないエンコーダ又はその他の型式の回転位置センサを設けることができる。回転アクチュエータには、また、アクチュエータの出力トルクを感知するトルクセンサを設けることもできる。

【0060】

第一の回転アクチュエータ185の主力軸は、第一及び第二の線形アクチュエータ187、188が取り付けられたフレーム186に接続されている。第一の線形アクチュエータ187は、該第一のリンク190の長手方向に第一のリンク190を並進させることができ、第二の線形アクチュエータ188は、第二のリンク191の長手方向に第二のリンク191を並進させることができる。線形アクチュエータ187、188の双方は、第一の回転アクチュエータ185の回転軸線に対し垂直な方向に作用する。第一のリンク190の一端は、継手193により第三のリンク192の第一の端部に枢動可能に接続され、第二のリンク191の一端は、継手195により第四のリンク194の第一の端部に枢動可能に接続されている。第四のリンク194の第二の端部は、継手198により支持フレーム197に枢動可能に接続され、第三のリンク192の第二の端部が継手196によりその両端の間で第四のリンク194に枢動可能に接続されている。

【0061】

第二の回転アクチュエータ200は、第二の回転アクチュエータ200の回転軸線の周りで第三の線形アクチュエータ201を回転させる。第三の線形アクチュエータ201は、第五のリンク205を第二の回転アクチュエータ200の回転軸線に対し垂直な方向に並進させることができる。第五のリンク205の一端は、継手207により第六のリンク206の第一の端部に枢動可能に接続されている。第六のリンク206の第二の端部は継手208により支持フレーム197に枢動可能に接続されている。

【0062】

線形アクチュエータ187、188、201の各々は、細長い磁石軌道187a、188a、201aと、磁石軌道に沿って並進可能なコイル装置187a、88b、201bとを有するブラシレス直流リニアモータであるが、上述したように、コイル装置を静止型とし、磁石軌道がコイル装置に対し並進可能であるようにすることができる。コイル装置の各々は、相応する磁石軌道又はリニアモータに内蔵させたベアリングにより直接的に支持することができ又は磁石軌道に対し平行に伸びる線形ベアリングのような、リニアモータと別個に製造された部材によって支持することができる。ボールスライド又は往復運動型線形スライドが線形ベアリングとして特に適しており、それは、該スライドは、摩擦率を極めて小さくすることができるからである。適当なボールスライドの例は、日本のTHK株式会社から又はコネチカット州、デルترون・プレジジョン(Deltron Precision)インコーポレーテッドから入手可能なものである。線形ガイドの摩擦率が小さいことは、リニアモータ(従って、ツール支持軸の継手)が極精密な増分量にて移動することを可能にし、その結果、ツール支持軸の方向を極精密に制御し且つ自動的に逆駆動である点にて極めて有益である。低摩擦であることは、ツール支持軸170に加わる力を制御する制御装置の能力をも向上させる。第一、第二及び第五のリンクの各々は、コイル装置の1つにより支持された片持ち部として概略図的に図示されているが、このリンクは、任意のその他の適当な方法で支持することができる。例えば、リンクの各々は、コイル装置と同一の仕方にて線形ベアリングの可動部分により支持することができる。

【0063】

継手198、208の各々は、第四及び第七のリンク194、206に対し支持フレーム197の少なくとも2度の回転自由度を提供し、支持フレーム197は、これら軸線に対してピッチ及びヨー動作が可能である。更に、継手198、208の1つは、3度の回転自由度を提供し、支持フレーム197がリンク194、206の1つに対し転がり可能であるようにすることができる。例えば、継手の1つは、ジンバル継手又はその均等物と

することができる一方、他方の継手は、球状継手又はその均等物とする。これと代替的に、双方の継手 198、208 は 2 度の回転自由度を有し、ロール継手を支持フレーム 197 に組み込むことができ、その 2 つは、支持フレーム 197 の 2 つの部分で支持フレーム 197 の長手方向軸線の周りで互いに対し回転するのを許容する。

【0064】

ツール支持軸 170 は、支持フレーム 197 に対し静止した状態で図示されているが、この軸を可動であるようにしてもよい。以下により詳細に説明するように、ツール支持軸 170 は、支持フレーム 197 から容易に取り外し可能であり、ツール支持軸 170 を交換し又は滅菌処理することが可能であるようにすることが有益である。ツール支持軸 170 の長手方向軸線は、継手 198、208 の中心を接続する線からずらした状態で図示されているが、この軸線はこの接続線と一致するようにしてもよい。

10

【0065】

マニプレータの構造及び運動力学を簡略化するため、リンクの全ては直線状の部材であり、第一、第二及び第五のリンク 190、191、205 は、図面の面に対し垂直な平行面内で相応する線形アクチュエータにより駆動される。しかし、リンクの形状は任意であり、第一、第二及び第五のリンクは平行でない面内で動くようにすることができる。

【0066】

回転アクチュエータ 185、200 の回転軸線が互いに同軸状であるならば、互いに対するリンクの位置を変更せずに、同一方向に回転アクチュエータ 185、200 を同時に作動させるか、又は回転アクチュエータを不作動にし手でツール支持軸 170 をこれら軸線の周りで旋回させることができる。このようにして、ツール支持軸 170 を旋回させるとき、リンクの相互の動きを防止するため、係止部材を設けることができる。例えば、線形モータのコイル装置 187b、188b、201b には、これらコイル装置を相応する磁石軌道に対して解放可能に固定することを可能にし得るように係止機構を設けることができる。回転アクチュエータ 185、200 が非整合の軸線を有するならば、基部 181 の上方部分 181b を下方部分に対して垂直軸線の周りで回転可能であるようにすることが望ましい。この場合、ツール支持軸 170 は、基部 181 の上方部分 181b 及び該上方部分により支持された全ての部材を回転させることにより、垂直軸線の周りで回転させることができる。

20

【0067】

線形アクチュエータ 187、188 には、ツール支持軸 170 の重量、及び取り付けられた任意の追加的なアクチュエータ又はその他の構成要素の重量による程度の重力を加えることができる。この重力の荷重は、アクチュエータ 187、188 により完全に支持するか、又はこの荷重を釣り合わせ得るようにリンク 190、191 とフレーム 186 との間に釣り合せ機構を追加することができる。この目的のため、一定力ばね、低摩擦空気シリンダ及び同様の装置を含む任意の既知の釣り合せ機構を採用することができる。

30

【0068】

アクチュエータにより付与された力又はマニプレータの色々な部分に作用する力を感知するため、力センサを色々な位置に取り付けることができる。当該実施の形態において、継手 193、195、207 の各々には、線形アクチュエータ 187、188、201 の各々により加えられた力を軸方向に感知する力センサが設けられる。図 23 は、継手 193、195、207 に接続されたリンクの一部分の等寸法であり、図 24 乃至図 26 は、継手 195 の力センサの色々な部分の図である。継手 193、207 に対する力センサは同様の構造とすることができる。これら図に図示するように、継手 195 は、リンク 194 の端部に取り付けられたベアリングに回転可能に係合し得るようにその一側部にて支持された軸 195b を有するプレート 195a を備えている。継手 195 は、フレーム 210 を通じてリンク 191 により支持され、このフレームには、リンク 191 に加えられた軸方向力に起因する歪みを感知する 1 つ又は 2 つ以上の歪み計が取り付けられる。フレーム 210 は、ボルト、溶接又はその他の適当な手段によりリンク 191 に固着された外側の矩形のリム 211 を有している。フレーム 210 は、リム 211 に固着されたプレート

40

50

212を更に備えており(例えば、リム211及びプレート212を互いに一体に形成し又は別個の部材とすることができる)、また、複数の脚部を画成する複数の開口部212aを有している。図示したプレート212は、十字形の形状にて垂直脚部212bに交差する2つの垂直脚部212b及び2つの水平脚部212cを有する。継手195は、継手195に加えられた力を脚部で抵抗することができるように、フレーム210に接続されている。例えば、図示した継手195は、軸195bと反対側のプレート195aの側部から伸びる軸195cを有し、また、フレーム210のプレート212の中央開口部212dを通して進む。軸195cは、ナット213又はその他の締結具、接着又は継手195に加えられる力をフレーム210に伝達することを可能にするその他の所望の方法にてプレート212に固着することができる。軸195cは、フレーム210の開口部212dと相互に嵌まる一部分を備え、継手195がフレーム210に対し適正に整合することを保証することができる。例えば、図示した軸195cは、開口部212dに形成された突起と係合するスロット195dを有する。

10

【0069】

付与された荷重を測定するときを使用するため、任意の数の歪み計をフレーム210に取り付けることができる。当該実施の形態において、付与された荷重に起因する歪みを感知する2つの歪み計214a(荷重感知型歪み計と称される)が図26に図示するように、垂直脚部212bの後方面(リンク191に面する側部)に取り付けられており、また、更に温度補償用の2つの歪み計214b(その一方のみを図示)がフレーム210の外側リム211の垂直側面のように、マニプレータが作動する間、実質的に応力無し

20

【0070】

リンク191の長手方向に向けてフレーム210の中心に力が加えられたとき、荷重感知歪み計214aの各々には、等しく、張力又は圧縮力が加わり、また、ホイートストーンブリッジの出力は、付与された力に比例する。力が垂直脚部212bの軸線方向に向けてフレーム210の中心に付与されるならば、荷重感知歪み計214aの1つには張力が加わる一方、その他方には圧縮力が加わる。2つの荷重歪み計214aからの信号は、互いに打消し合い、ホイートストーンブリッジの出力は実質的に零となる。水平脚部の軸線の周りでフレーム210にモーメントが加えられるならば、荷重感知歪み計214aは、等しく且つ反対方向に歪みに加わり、このため、この場合にも、ホイートストーンブリッジの出力は実質的に零となる。リンク191の長手方向軸線の周りで加えられたトルク、垂直脚部212bの軸線の周りで加えられたトルク、及び水平脚部212cの軸線に沿って加えられた力は、荷重感知歪み計214aに何ら顕著な変形を生じさせず、このため、実質的に、ホイートストーンブリッジの出力に影響を与えない。このように、図示した構成は、線形アクチュエータ181により付与された力である、リンク191の軸方向への力を感知することができ、リンク191又は継手195に作用する他の全ての力を無視することができる。

30

40

【0071】

フレーム210は何ら特定の形状に限定されず、開口部212a又は脚部212b、212cを形成しなくてもよい。しかし、2つの垂直脚部212b及び2つの水平脚部212cを有する図示した実施の形態は便宜であり、それは、その幾何学的簡略さのため、荷重感知歪み計214aにより測定された歪みを基にして継手195に作用する軸方向荷重を簡単な方法にて計算することができるからである。

【0072】

荷重感知歪み計214aにより安全に測定することのできる歪み計の範囲において、継

50

手195によりフレーム210に加わる荷重をフレーム210の中心に局部的に作用させることが好ましく、このため、荷重は、フレーム210の周縁ではなくて、完全にフレーム210の脚部により抵抗を受けるようにすることが好ましい。それは、この場合、測定された歪みと加えられた荷重との関係を計算することがより容易であるからである。しかし、加えられた荷重によるフレーム210の変形が過度に大きいならば、脚部212b又はフレーム210上における荷重感知歪み計214a自体が損傷する可能性がある。

【0073】

かかる損傷を防止するため、荷重が加えられるフレーム210の部分は、変形程度が増すに伴い、面積が増すような、図示した力センサの構造とされている。力センサの分解等寸法図である図24及び図25に図示するように、座金のような、2つのスペーサ215、216は、フレーム210のプレート212の両側部にて継手195の軸195cの周りに配置され、プレート217のような、内側スペーサ216よりも大きい表面積を有する部材は、内面216に隣接する軸195c上に取り付けられる。継手195に作用する荷重が存在しないとき、2つのスペーサ215、216は、継手195のプレート195a及びプレート217をフレーム210のプレート212から分離した状態に保つ。特定レベル以下の荷重がリンク191の両軸方向に向けて継手195に加わると、継手195のプレート195a及びプレート217は、フレーム210に接触せず、このため、荷重は開口部212d付近の領域内のみフレーム210に加えられ、荷重は、実質的に完全にフレーム210の脚部により抵抗を受ける。フレーム210に加わる軸方向荷重が、歪み計212b又はフレーム210を損傷させるであろうレベルよりも小さく選んだ、高レベルに達すると、継手195のプレート195aはフレーム210のプレート212に接触し、軸方向荷重は、例えば、脚部を取り巻くプレート212の周縁を含む、フレーム210のより大きい領域に互って分配され、これにより、フレーム210の変形が損傷を生じるレベルに達するのを防止する。同様に、反対の軸方向へ向けてフレーム210に加わる荷重が歪み計212b又はフレーム210を損傷させるであろうレベルよりも低いように選んだ特定のレベルに達したとき、プレート217は、プレート212の内側部（水平脚部212c及び/又はプレート212の周縁のような）に接触し、歪み計212b又はフレーム210の損傷を防止すべくプレート212のより広い部分に互って軸方向荷重を分配する。

【0074】

マニプレータに作用する力又はマニプレータによって加えられる力を感知するため、多くの他の装置を使用することができる。例えば、歪み計又はその他の力センサをアクチュエータ又はマニプレータのリンクに直接、取り付けることができる。

【0075】

図10乃至図13には、図5に図示したものと同様の幾何学的形態を有する、本発明によるマニプレータの1つの実施の形態が図示されている。図10は、この実施の形態の等寸法図である。図11は側面図、図12は線形アクチュエータ付近のマニプレータの部分の拡大図、図13はツール支持軸を支持するマニプレータ部分の拡大図である。これらの図面に図示するように、マニプレータは、その下端に取り付けられたツール171を有するツール支持軸170と、ツール支持軸170を可動に支持する軸支持構造体220とを備えている。軸支持構造体220は、床又はその他の支持面上に配置された支持基部221を有している。図9の実施の形態の支持基部181と同様に、支持基部221は、可動部分を備えることができる。例えば、支持基部は、静止型の下方部分221aと、図9に関して説明したように、下方部分221aに対し垂直軸線に沿って昇降させ且つ/又は回転させることのできる上方部分221bとを備えることができる。

【0076】

第一のフレーム222は、基部221の上方部分221bの頂部に取り付けられる。第二のフレーム223は、図面にて水平であるが、水平線に対し傾斜させることのできる軸線224の周りで回転可能に第一のフレーム222により支持されている。第二のフレーム223は、フレーム222、223の1つに取り付けられたモータ又はその他の駆動機

10

20

30

40

50

構によって又は手動で回転させることができる。第二のフレーム 223 は、回転しないように解放可能に係止すべくフレーム 222、223 の 1 つにロックを設けることができる。第二のフレーム 223 は、第一のアームの上方組みの線形アクチュエータ 230、235 と、第二のアームの下方組みの線形アクチュエータ 250、255 とを支持し、この第二のアームによりツール支持軸 170 は並進及び枢動可能となる。第一の組みのアクチュエータは、直線に沿って第一の方向に可動である可動部分を有する第一の線形アクチュエータ 230 と、第一の線形アクチュエータの可動部分の上に取り付けられ、第一の方向と直交する方向（垂直方向）に向けて第一の線形アクチュエータ 230 に対し可動である可動部分を有する第二の線形アクチュエータ 235 とを備えている。第一のリンク 238 は、第二の線形アクチュエータ 235 の可動部分に固着されている。同様に、第二の組みのアクチュエータは、第三の方向に可動である可動部分を有する第三の線形アクチュエータ 250 と、第三の線形アクチュエータ 250 の可動部分に取り付けられ且つ第三の方向と直交する方向（垂直方向）に向けて第三の線形アクチュエータ 250 に対して可動である可動部分を有する第四の線形アクチュエータ 255 とを備えている。第二のリンク 258 が第四の線形アクチュエータ 255 の可動部分に固着されている。この図面において、第一及び第二の方向は互いに垂直であり、第三及び第四の方向は互いに垂直であり、第一の方向は第三の方向に対し平行で、第二の方向は第四の方向に対し平行であり、このため、線形アクチュエータの可動部分は全て平行な面内を移動する。しかし、図 5 に関して説明したように、これら方向は、互いに対し他の角度となるようにすることができる。線形アクチュエータは、任意の所望の型式とすることができる。図示した実施の形態において、線形アクチュエータ 230、235、250、255 の各々は、細長い磁石軌道 231、236、251、256 を有するブラシレスリニア電気モータと、磁石軌道に沿って直線状に可動であるコイル装置 232、237、252、257 とを有する可動部分を備えている。第二の線形アクチュエータ 235 の磁石軌道 236 は、第一の線形アクチュエータ 230 のコイル装置 232 に固着され、第四の線形アクチュエータ 255 の磁石軌道 256 は、第三の線形アクチュエータ 250 のコイル装置 252 に固着されている。更に、第一のリンク 238 は、第二の線形アクチュエータ 235 のコイル装置 237 に固着され、第二のリンク 258 は、第四の線形アクチュエータ 255 のコイル装置 257 に固着されている。線形アクチュエータの各々には、磁石軌道に対するアクチュエータのコイル装置の位置を感知するエンコーダ又はその他の位置センサを設けることができる。また、線形アクチュエータの各々にはアクチュエータの出力を感知する力センサを設けることもできる。この装置の各々は、相応するモータの磁石軌道によってのみ支持されているとして図示され、リンク 238、258 は、第二及び第四の線形アクチュエータ 235、255 のコイル装置によってのみ支持された状態で図示されている。しかし、これら部材の各々は、別個の線形ベアリングのような線形アクチュエータ自体以外の部材によって支持することができる。

【0077】

線形アクチュエータから分離された第一及び第二のリンク 238、258 の端部は、第一及び第二の継手 240、260 によりそれぞれ支持フレーム 270 に接続されており、これら継手の各々は、相応するリンクに対して支持フレーム 270 の 2 度の回転自由度を提供することができる。継手 240、260 の一方は、3 度の自由度を提供することができるが、各リンク 238、258 の各々は、空間内で一定の方向を保つため、3 度の自由度は不要である。継手 240、260 間の距離は、変更可能である。例えば、継手 240、260 の一方は、支持フレーム 270 に対して並進しないように固定することができる一方、他方の継手は、支持フレーム 270 に対して並進可能である。これと代替的に、両方の継手 240、260 を支持フレーム 270 に対して並進しないように固定ことができ、継手 240、260 に接続した支持フレーム 270 の部分は伸縮式の構造とすることができる。継手は、構造の点にて、図 9 の実施の形態と類似している。この例において、第一の継手 240 は、軸線 A の周りで回転し得るように支持フレーム 270 のロッド 271 の周りに摺動可能に嵌着するスリーブ 242 に枢動可能に接続されたヨーク 241 と

10

20

30

40

50

、該ヨーク 241 に接続され且つ第一のリンク 238 の一端に嵌着し且つ固着されたカラー 243 とを備えている。カラー 243 は、ヨーク 241 が軸線 A に対して垂直な軸線 B の周りで回転するように、ヨーク 241 を回転可能に支持する内側ベアリングを備えている。第二の継手 260 は、同様に、スリーブ 262 に枢動可能に接続されたヨーク 261 を備えており、該ヨーク 261 は、カラー 263 により回転可能に支持され、該カラー 263 は、第二のリンク 258 に嵌着し且つ第二のリンク 258 の一端に固着されている。スリーブ 262 は、ブッシュ 264、ボールベアリング、又は支持フレーム 270 のロッド 271 に固着された同様の部材に回転可能に取り付けられている。スリーブ 262 は、ロッド 271 の長手方向軸線の周りでブッシュ 264 上にて回転することができるが、ロッド 271 の長手方向への並進は防止される。

10

【0078】

上方部分 291 は、第一乃至第三の回転アクチュエータ 292、293、294 と、第一乃至第三のリンク 296、298、300 とを備えている。第一の回転アクチュエータ 292 は、第三の回転アクチュエータ 294 を軸線の周りで支持するフレーム 295 を回転させることができる。第二の回転アクチュエータ 293 は、第二の回転アクチュエータ 293 の回転軸線と同心状の円の円弧に沿った任意の点に第一のリンク 296 の第一の端部を位置決めすることができる。第三の回転アクチュエータ 294 は、第一及び第二の回転アクチュエータ 292、293 の軸線に対し垂直で且つ第三のリンク 300 の長手方向軸線に相応する軸線の周りで第三のリンク 300 を回転させることができる。第一及び第二の回転アクチュエータを互いに積み重ねることを許容するため、第二の回転アクチュエータ 293 は中空であり、第一の回転アクチュエータ 292 の出力軸が第二の回転アクチュエータ 293 を通って伸びるようにすることができる。例えば、第二の回転アクチュエータ 293 は、コアの周りに配置されたロータを有する従来の中空コアモータとすることができる一方、第一の回転アクチュエータ 292 は、その中心にロータを有し且つロータに固着され、第二の回転アクチュエータ 203 の中空コアを通して伸びる出力軸を有するモータとすることができる。第一のリンク 296 の一端は、継手 297 により第二の回転アクチュエータ 293 の回転部分に枢動可能に接続され、第一のリンク 296 の他端は、別の継手 299 により第二のリンク 298 の一端に枢動可能に接続されている。2つの継手 297、299 の一方は、球状継手（ボール継手のような）又はその均等物である一方、2つの継手の他方は、自在継手（フックの継手のような継手）である。第三のリンク 300 の外端は、第二のリンク 298 の両端間にてピン継手 301 により枢動可能に接続されている。第二のリンク 298 の第二の端部は、ツール支持軸 315 に対して並進しないように固定された継手 302 によりツール支持軸 315 に枢動可能に接続されている。軸支持構造体 290 の下方部分 310 は、第四の回転アクチュエータ 311 と、該第四の回転アクチュエータ 311 によりその回転軸線の周りで回転させることのできる線形アクチュエータ 312 とを備えている。運動力学を簡略化するため、第四の回転アクチュエータ 311 の回転軸線は、第一及び第二の回転アクチュエータ 292、293 の回転軸線と整合されることが好ましいが、そうする必要もない。線形アクチュエータ 312 は、第四の回転アクチュエータ 311 の回転軸線に対して直交する方向（垂直方向）に第四のリンク 313 を並進させることができる。該線形アクチュエータ 312 は、任意の適当な型式とすることができる。例えば、これは、第四の回転アクチュエータ 311 の出力軸に固着された磁石軌道と、第四のリンクの 313 の一端に固着された可動の磁石装置とを有する、図 9 に図示したもののような、リニアモータとすることができる。第四のリンク 313 の外端は、第二の継手 314 によりツール支持軸 315 に枢動可能に接続され、該第二の継手は、ツール支持軸の長手方向に向けて該ツール支持軸 315 に対し並進可能である。

20

30

40

【0079】

ツール支持軸 170 の下端が患者の体内に挿入されたとき、ツール支持軸 170 は、典型的に、線形アクチュエータによってのみ操作される一方、ツール支持軸 170 を患者の体内に挿入しないとき、ツール支持軸 170 の粗位置決めのため、通常、基部 221 の上方部分 221b の並進 / 回転及び第一のフレーム 222 に対する第二のフレーム 223 の

50

回転が使用される。第二のフレーム 2 2 3 が第一のフレーム 2 2 2 に対して回転し得ることは、特に有用なことであり、それは、ツール支持軸 1 7 0 が垂直線に対し任意の角度を取ることができるからである。例えば、ツール支持軸 1 7 0 は、ツール支持軸 1 7 0 の他の部分よりも上方に配置されたツール 1 7 1 に対して水平又は上下逆になる位置まで動かすことができる。

【 0 0 8 0 】

本発明によるマニプレータにおいて、ツールは、ツール支持軸に対して一定の位置にてツール支持軸上に取り付け、ツールがツール支持軸を全体として移動させることにより操作される。これと代替的に、ツールは、ツール支持軸に対するその方向が遠隔制御装置により 1 度又はより大きい自由度にて調節可能な仕方にてツール支持軸に接続することができる。例えば、ツール支持軸は、ツールを支持し且つツールがツール支持軸に対して駆動するのを可能にし、1 又はそれ以上のピッチ、ヨー及びロール動作を行い得るようにするリスト機構を備えることができる。当該分野には多岐に亙るリスト機構が存在し、ツールの所望の動作を可能にする任意の型式のものを採用することができる。図 1 5 は、ジンバル状の構造を有する簡単で軽量なリスト機構 3 3 0 を採用するツール支持軸 3 2 0 の 1 つの実施の形態の概略図的な断面図である。図 1 6 は、ツール支持軸内に取り付けられたリスト機構の平面図である。これら図面に図示するように、ツール支持軸 3 2 0 は、円形のような任意の所望の横断面形状を有する中空の細長い管 3 2 1 を備えることができる。その下端にて、管 3 2 1 は、ツール 3 2 2 を支持する支持管 3 3 1 と、支持管 3 3 1 を取り巻くリング 3 4 0 とを有するリスト機構 3 3 0 を支持している。支持管 3 3 1 は、第一の軸線 3 3 3 の周りで駆動し得るようにリング 3 4 0 により駆動可能に支持され、また、リング 3 4 0 は第一の軸線 3 3 3 に直交する第二の軸線 3 4 2 の周りで管 3 2 1 に対して駆動可能であるようにツール支持軸 3 2 0 のツール支持軸管 3 2 1 により駆動可能に支持されている。運動力学を簡略化するため、また、モーメントを小さくするため、第一の軸線 3 3 3 及び第二の軸線 3 4 2 は互いに垂直であり且つ直交するようにすることが好ましいが、これらは、垂直又は直交するようにする必要はない。

【 0 0 8 1 】

支持管 3 3 1 は、第一の軸線 3 3 3 の周りで駆動させることができ、また、リング 3 4 0 はリスト機構 3 3 0 と、ツール支持軸 3 2 0 の上端に配置された相応するアクチュエータ 3 5 5 との間に接続された複数の細長いコネクタ 3 5 0 により第二の軸線 3 4 2 の周りで駆動することができる。コネクタは、張力状態、圧縮状態又はその双方にて作用する設計とすることができる。このように、伝達する必要のある力の型式に依存して、コネクタ 3 5 0 は、例えば、ロッド、バー、ワイヤー、チェーン、ベルト、ばね又は同様の部材とすることができる。当該実施の形態において、コネクタ 3 5 0 の各々は、張力状態及び圧縮状態の双方にて作用可能であり、また、ツール 3 2 2 を第一及び第二の軸線の周りで駆動させるためには、2 つのコネクタ 3 5 0 及び 2 つのアクチュエータ 3 5 5 のみがあればよい。コネクタ 3 5 0 の各々が、張力状態においてのみという如く、単一方向にのみ作用可能であるならば、ツール 3 2 2 を 2 つの軸線の周りで駆動させるためには、多数のコネクタ及びアクチュエータが必要とされ、例えば、支持管 3 3 1 及びリング 3 4 0 の各々に対して 2 つのコネクタ及び 2 つのアクチュエータが必要となり、合計で 4 つのコネクタ及び 4 つのアクチュエータとなる。これと代替的に、支持管 3 3 1 及びリング 3 4 0 にこれらの部材を特定の回転方向に偏倚させる戻りばねが設けられるならば、4 つではなくて、張力状態にて作用する 2 つのコネクタを使用することが可能である。別の代替例として、支持管 3 3 1 及びリング 3 4 0 は支持管 3 3 1 に取り付けられ且つ張力状態にて作用する 3 つのコネクタにより第一及び第二の軸線 3 3 3、3 4 2 の周りで駆動することができる。

【 0 0 8 2 】

第一及び第二の継手 3 0 2、3 1 4 の各々は、ツール支持軸 3 1 5 が第二又は第四のリンク 2 9 8、3 1 3 に対して少なくとも 2 度の自由度にて駆動することを許容し、ツール支持軸 3 1 5 のピッチ及びヨー動作を許容し、また、継手 3 0 2、3 1 4 の 1 つは、ツ

10

20

30

40

50

ル支持軸 3 1 5 が相応するリンクに対して 3 度の自由度にて駆動することを許容し、ツール支持軸 3 1 5 が転がるのを許容する。例えば、継手 3 0 2、3 1 4 の一方は、ジンバル継手又はその均等物とする一方、他方の継手は、ボール継手のような球状継手又はその均等物とすることができる。これと代替的に、継手 3 0 2、3 1 4 の双方が 2 度の自由度を有し、ロール継手をツール支持軸 3 1 5 内に組み込むことができる。継手 3 0 2、3 1 4 との間の距離は、継手が空間内で移動するに伴い変化するようにすることができる。例えば、継手 3 1 4 は、ツール支持軸 3 1 5 が継手 3 1 4 に対してその長手方向に移動するのを許容し且つ / 又はツール支持軸 3 1 5 は伸縮式の構造を備えるようにすることができる。

【 0 0 8 3 】

本発明によるマニプレータにおいて、ツールは、ツール支持軸に対して一定の位置にてツール支持軸上に取り付け、ツールがツール支持軸を全体として移動させることにより操作される。これと代替的に、ツールは、ツール支持軸に対するその方向が遠隔制御装置により 1 度又はより大きい角度の自由度にて調節可能な仕方にてツール支持軸に接続することができる。例えば、ツール支持軸は、ツールを支持し且つツールがツール支持軸に対して駆動するのを可能にし、1 又はそれ以上のピッチ、ヨー及びロール動作を行い得るようにするリスト機構を備えることができる。当該分野には多岐に亙るリスト機構が存在し、ツールの所望の動作を可能にする任意の型式のものを採用することができる。図 1 5 は、ジンバル状の構造を有する簡単で軽量なリスト機構 3 3 0 を採用するツール支持軸 3 2 0 の 1 つの実施の形態の概略図的な断面図である。図 1 6 は、ツール支持軸内に取り付けられたリスト機構の平面図である。これら図面に図示するように、ツール支持軸 3 2 0 は、円形のような任意の所望の横断面形状を有する中空の細長い管 3 2 1 を備えることができる。その下端にて、管 3 2 1 は、ツール 3 2 2 を支持する支持管 3 3 1 と、支持管 3 3 1 を取り巻くリング 3 4 0 とを有するリスト機構 3 3 0 を支持している。支持管 3 3 1 は、第一の軸線 3 3 3 の周りで駆動し得るようにリング 3 4 0 により駆動可能に支持され、また、リング 3 4 0 は第一の軸線 3 3 3 に直交する第二の軸線 3 4 2 の周りで管 3 2 1 に対して駆動可能であるようにツール支持軸 3 2 0 のツール支持軸管 3 2 1 により駆動可能に支持されている。運動力学を簡略化するため、また、モーメントを小さくするため、第一の軸線 3 3 3 及び第二の軸線 3 4 2 は互いに垂直であり且つ直交するようにすることが好ましいが、これらは、垂直又は直交するようにする必要はない。

【 0 0 8 4 】

支持管 3 3 1 は、第一の軸線 3 3 3 の周りで駆動させることができ、また、リング 3 4 0 はリスト機構 3 3 0 と、ツール支持軸 3 2 0 の上端に配置された相応するアクチュエータ 3 5 5 との間に接続された複数の細長いコネクタ 3 5 0 により第二の軸線 3 4 2 の周りで駆動することができる。コネクタは、張力状態、圧縮状態又はその双方にて作用する設計とすることができる。このように、伝達する必要のある力の型式に依存して、コネクタ 3 5 0 は、例えば、ロッド、バー、ワイヤー、チェーン、ベルト、ばね又は同様の部材とすることができる。当該実施の形態において、コネクタ 3 5 0 の各々は、張力状態及び圧縮状態の双方にて作用可能であり、また、ツール 3 2 2 を第一及び第二の軸線の周りで駆動させるためには、2 つのコネクタ 3 5 0 及び 2 つのアクチュエータ 3 5 5 のみがあればよい。コネクタ 3 5 0 の各々が、張力状態においてのみという如く、単一方向にのみ作用可能であるならば、ツール 3 2 2 を 2 つの軸線の周りで駆動させるためには、多数のコネクタ及びアクチュエータが必要とされ、例えば、支持管 3 3 1 及びリング 3 4 0 の各々に対して 2 つのコネクタ及び 2 つのアクチュエータが必要となり、合計で 4 つのコネクタ及び 4 つのアクチュエータとなる。これと代替的に、支持管 3 3 1 及びリング 3 4 0 にこれらの部材を特定の回転方向に偏倚させる戻りばねが設けられるならば、4 つではなくて、張力状態にて作用する 2 つのコネクタを使用することが可能である。別の代替例として、支持管 3 3 1 及びリング 3 4 0 は支持管 3 3 1 に取り付けられ且つ張力状態にて作用する 3 つのコネクタにより第一及び第二の軸線 3 3 3、3 4 2 の周りで駆動することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 5 】

当該実施の形態において、コネクタ 3 5 0 の 1 つは、第一の軸線 3 3 3 から隔たった位置 3 3 4 にて支持管 3 3 1 にその下端が接続されており、他方のコネクタ 3 5 0 は、第二の軸線 3 4 2 から隔たった位置 3 4 3 にてリング 3 4 0 に接続されている。図 1 6 に図示するように、当該実施の形態において、1 つのコネクタ 3 5 0 は、第二の軸線 3 4 2 と略整合された位置 3 3 4 にて力を付与し得るように支持管 3 3 1 に接続されており、他方のコネクタ 3 5 0 は、第一の軸線 3 3 3 と略整合した位置 3 4 3 にて力を付与し得るようにリング 3 4 0 に接続されている。しかし、コネクタ 3 5 0 が管 3 3 1 及びリング 3 4 0 に接続される位置 3 3 4、3 4 3 は、軸線 3 4 2、3 3 3 と整合させる必要はない。コネクタ 3 5 0 の各々は、枢動接続具により支持管 3 3 1 又はリング 3 4 0 に接続することが好ましい。それは、コネクタ 3 5 0 と支持管 3 3 1 又はリングとの間の角度は、支持管 3 3 1 又はリング 3 4 0 が第 1 の軸線又は第二の軸線の周りで枢動するとき、変化するからである。コネクタ 3 5 0 は、該コネクタが軸線の圧縮力を受けたときに屈曲するのを防止する任意の断面形状とすることができる。図 1 7 は、コネクタ 3 5 0 の横断面形状の一例を示す、ツール支持軸 3 2 0 の横断面図である。この例において、コネクタ 3 5 0 の各々は、該コネクタに対して屈曲に対するより大きい抵抗性を付与し得るようにその長さの少なくとも一部分に亘って円弧状の横断面を有している。その長さの少なくとも一部に沿って、コネクタ 3 5 0 の幅方向端縁は、ガイド 3 2 2 の間に受け入れられ、このガイドは、コネクタ 3 5 0 がツール支持軸 3 2 0 の長手方向に摺動するのを許容する一方、横方向への動きを拘束し且つコネクタの屈曲強度を更に増大させる。その上端及び下端にて、コネクタ 3 5 0 の断面形状は、円弧状の形状から、リスト機構 3 3 0 又はアクチュエータ 3 5 5 にコネクタ 3 5 0 を取り付けるのにより便宜な形状まで相違するものとすることができる。

10

20

【 0 0 8 6 】

コネクタ 3 5 0 の 1 つを支持管 3 3 1 に接続し、コネクタ 3 5 0 の他方の管をリング 3 4 0 に接続することに代えて、その双方のコネクタ 3 5 0 を異なる位置にて支持管 3 3 1 に接続することができる。例えば、1 つのコネクタ 3 5 0 を図 1 6 の位置 3 3 4 にて支持管 3 3 1 に接続することができ、また、別のコネクタ 3 5 0 を、第一の軸線 3 3 3 と整合させた、図 1 6 の位置 3 3 6 のような位置にて支持管 3 3 1 に接続することができる。

【 0 0 8 7 】

支持管 3 3 1 に取り付けられ且つ張力状態にて作用する 3 つのコネクタにより、第一及び第二の軸線 3 3 3、3 4 2 の周りで支持管 3 3 1 及びリング 3 4 0 が枢動する構成において、コネクタは、多岐に亘る位置にて支持管 3 3 1 に取り付けることができる。例えば、1 つのコネクタを第二の軸線 3 4 2 (図 1 6 の位置 3 3 4 のような位置にて) と整合して支持管 3 3 1 に取り付けることができ、別のコネクタを第一の軸線 3 3 3 と整合して(図 1 6 の位置 3 3 6 のような位置)支持管 3 3 1 に取り付けることができ、第三のコネクタを第一の軸線 3 3 3 及び第二の軸線 3 4 2 から隔たった位置(図 1 6 の位置 3 3 7 のような位置)にて支持管 3 3 1 に取り付けることができる。

30

【 0 0 8 8 】

コネクタ 3 5 0 に対するアクチュエータ 3 5 3 は、回転動作を線形動作に変換する機構が設けられた線形アクチュエータ又は回転アクチュエータを含む、コネクタ 3 5 0 に軸方向力を付与することのできる任意の型式とすることができる。軸支持構造体に対する線形アクチュエータの場合と同様に、リニアモータが特に適している。アクチュエータ 3 5 5 には、アクチュエータ 3 5 5 の出力部分及び/出力を測定する位置センサ及び/又は力センサを設けることができる。

40

【 0 0 8 9 】

図示したリスト機構 3 3 0 は、ツール 3 2 2 が第一の軸線及び第二の軸線の周りで枢動するのを許容するのみならず、ツール 3 2 2 が第一及び第二の軸線に対して直交する(垂直方向)ロール軸線の周りで転がり動作することをも許容する。ツール 3 2 2 がロール軸線の周りで回転し得ることは、ツール 3 2 2 が所定の作業に最も適した方向にツールを移

50

動させることをより容易にし、また、リスト機構 300 をツール 322 の作業空間内で角度自在であるようにする。更に、ツールの型式に依存して、ツールが部材にトルクを加えることを可能にし、または、回転切断又は研磨動作を行うことを可能にすべく回転動作を使用することができる。ツール 322 は、ツール支持軸 320 に対するその方向が一定である場合でも、ロール軸線の周りで回転可能である。当該実施の形態において、ツール 322 は、ツール支持軸 320 内に配置され且つツール支持軸 320 の上端における回転アクチュエータ 366 とツール 322 との間を伸べるツールロール軸 360 により回転させることができる。ツール 322 は、支持管 331 に取り付けられたブッシュ 335 のような、ベ어링により回転可能に支持されている。ツールロール軸 360 は、ツール支持軸の上端に接続されたブラシレス直流モータ又はその他の型式の電気モータのような任意の適当な型式の回転アクチュエータにより回転させることができる。ツール 322 が、第一の軸線及び第二の軸線の一方又はその双方の周りでツールロール軸 360 に対して枢動可能であるならば、ロール軸線がツールロール軸 360 と整合されていないとき、ツールロール軸 360 によりツール 322 を回転させることができるような仕方にてツール 322 のツートロール軸 360 をツール 322 に接続することが好ましい。例えば、当該実施の形態において、ツールロール軸 360 の下端は自在継手 365 によりツール 322 に接続されている。ツールロール軸 360 は、例えば、その長さに沿った一点又はより多くの箇所にて図示しないベ어링にてツール支持軸 320 により回転可能に支持し、ツール支持軸 320 の管 321 に対する所望の位置にツールロール軸 360 を保つことができる。

10

20

【0090】

幾つかの場合、ツール 322 は、ツールを外科的に使用する間、操作される可動部品を備えることができる。可動部品を備えるツールの例は、鉗子、鋏、針ホルダ、クランプ及びステーブルを含む。ツール 322 の構造に依存して、可動部品は、ツールを機械的に、空圧、液圧又は電氣的に遠隔操作し得るように、ツールの支持管の上方部分又は外側まで伸べるケーブル、ロッド、空圧又は液圧管、又は電線のような、任意の機構によって作動させることができる。ツールを操作するケーブル、ワイヤー又はその他の部材は、ツールロール軸 360 の穴を貫通して伸べるようにするか、又はツールロール軸 360 の外側に沿って伸べるようにすることができる。

【0091】

当該実施の形態において、ツール 322 は、ツールロール軸 360 を貫通するコネクタ 367 により、又は可動部品とツール支持軸 320 の上端に配置されたアクチュエータ 368 との間の自在継手 365 により、作動させることのできる可動部品を備えている。該コネクタ 367 は、ツール 322 の構造に依存して、張力状態及び/又は圧縮状態にて作用するものとしてすることができる。例えば、ツール 322 は、引張り力を解放したとき、ツールを最初の位置に戻す、ツール 322 内のばねに抗して張力状態にて機能するコネクタ 367 により操作することができる。コネクタ 367 は、ツールロール軸 360 を回転させることができ、又はツールロール軸 360 が回転するとき、静止状態に止まるようにすることができる。該コネクタ 367 は、ツール 322 の長手方向軸線がツールロール軸 360 の長手方向軸線と整合されないときでさえ、ツール 322 を操作可能であることが好ましい。例えば、コネクタ 367 は、2つの軸線が整合されていないとき、曲がるか又はコネクタ 367 がある角度にて力を付与することを可能にする枢動継手により共に接続された硬い部分を備えることのできる、ケーブルのような任意の適当な型式のものとしてすることができる。リスト機構 330 の支持管 331 及びリング 340 を枢動させるアクチュエータ 355 と同様に、コネクタ 367 用のアクチュエータ 368 は、回転動作を線形動作に変換する機構により、コネクタ 367 に接続された線形アクチュエータ又は回転アクチュエータのような、任意の適当な型式としてすることができる。

30

40

【0092】

図 18 は、本発明にて使用することのできるリスト機構 370 の別の例の概略図的な断面図である。このリスト機構 370 は、ブッシュ 372 を貫通するツール 322 を回転可

50

能に支持する支持管 371 と、支持管 371 を取り巻く、プラスチック、紙、金属、又はその他の適当な材料から成る環状の隔膜 373 とを備えている。該隔膜 373 の内周は、その全周に亘って支持管 371 に固着され且つ好ましくは流体密な仕方で密封され、また、隔膜 373 の外周は、その全周の周りでツール支持軸 320 の管 321 に流体密な仕方で密封されている。隔膜 373 は、支持管 371 の重量を支えるのに十分に強力であるが、支持管 371 がピッチングし且つヨー動作し得るように第一及び第二の軸線の周りで支持管 371 が枢動するのを許容するのに十分、可撓性である。図示した隔膜 373 は、可撓性を持たせる環状の波形 374 にて形成されている。隔膜 373 の半径方向外側領域は、支持管 371 を取り巻く中央領域よりもより可撓性であることが好ましい。先の実施の形態にて採用されたものと同様の 2 つのコネクタ 350 が適当な角度 (90° のよう

10
な) だけ周縁方向に向けて互いに隔てられた位置にて支持管 371 に接続されている。コネクタ 350 の各々の上端は、コネクタ 350 をその長手方向に並進させることのできる相応する不図示のアクチュエータに接続される。1 つのコネクタ 350 がその長手方向に並進されると、支持管 371 及びツール 322 は、第一の軸線の周りで枢動され、他方のコネクタ 350 がその長手方向に枢動されると、支持管 371 及びツール 322 は、第二の軸線の周りで枢動される。隔膜 373 がツール支持軸 320 の支持管 371 及び管 321 の双方に対して密封されているならば、隔膜 373 は、ツール支持軸 320 の内部と患者の身体の内側との間にてその何れかの方向に汚染物質を伝達することを防止することができる。リスト機構 370 を除いて、ツール支持軸 320 の構造は、図 15 に関して説明したものと同一とすることができる。

20

【0093】

ツールに付近におけるツール支持軸の少なくとも下方部分は、全体として、ツール支持軸を外科的に使用する前に、滅菌処理する必要はない。ツール支持軸の滅菌処理をより容易にするため、ツール支持軸の全体は、マニプレータの他の部分から取り外すことができる。図 19 乃至図 21 には、その可動部品を操作しつつ、ツール支持軸 320 を取り外し可能に支持することのできる構成が図示されている。この構成において、ツール支持軸 320 は、上述した軸支持構造体の任意のものを備えることができる軸支持構造体の支持フレーム 270 に取り外し可能に固着することができる。複数のアクチュエータ 380A 乃至 380C 及び 390 は、支持フレーム 270 に取り付けられている。第一及び第二の線形アクチュエータ 380A、380B は、例えば、図 15 又は図 18 に図示したものと

30
同様の不図示のリスト機構に接続された 2 つのコネクタ 350 の線形動作を生じさせる。第三の線形アクチュエータ 350C は、リスト機構により支持された不図示のツールの可動部品を操作するコネクタ 367 の線形動作を生じさせ、回転アクチュエータ 390 は、ツールに接続されたツールロール軸 360 を回転させる。線形アクチュエータ 380A 乃至 380C の各々は、相応するコネクタに取り外し可能に係合する一方、回転アクチュエータ 390 は、ツールのロール軸 360 に取り外し可能に係合することができる。図 20 は、第一の線形アクチュエータ 360A の側面図である。他の線形アクチュエータ 380B、380C は同様の構造を備えることができる。線形アクチュエータ 380A は、円筒状のハウジング 381 と、該ハウジング 381 内の軸方向に可動の出力軸 382 とを有する

40
直流のリニアサーボモータから成っている。モータは、円筒状である必要はないが、スペースを節約する観点からして、円筒状の形状が好ましいことがしばしば生ずる。この型式の円筒状のリニアサーボモータは、カリフォルニア州、サンタクララのノーザンマグネティックス (Northern Magnetics) のような多くの製造メーカから入手可能である。このモータは、可動磁石モータ又は可動コイル型の何れかとすることができるが、コイルにより発生された熱を飛散することが容易な観点からして可動磁石型が有利であり、それは、可動磁石モータのコイルは磁石外側に配置され、また、吸熱体の上に取り付けることができるからである。モータの可動部品をより円滑に並進させ得るようになるために、可動部品は線形ベアリング 358 の摺動部分 387 上に取り付けることができ、また、ベアリング 385 の静止部分 386 が支持フレーム 270 により支持されるように

50
することができる。出力軸 382 は、各端部にて全体として U 字形の外形としたフレーム

383に固着されている。該フレームは、支持フレーム270から離れる反方向に伸びる2つの平行な脚部を有する。下方脚部は、その外端にリセス部384が形成されている。各コネクタ350の上端は、リセス部384内に取り外し可能に受け入れられるような形状とされている。例えば、この実施の形態において、各コネクタ350の上端は、フレーム383のリセス部384内に嵌入するのに十分に小さい中間部分352を有するスプール形状部分351と、リセス部384よりも大きい直径を有する下方フランジ353とを備えている。スプール形状部分351がリセス部384内に挿入されたとき、フレーム383が出力軸382の長手方向に並進することは、フランジ353をフランジ383と当接関係にし、これにより、コネクタ350をその長手方向に並進させることになる。

【0094】

回転アクチュエータ390は、ローラ391が取り付けられた出力軸を有する。線形アクチュエータ380A乃至380Cのフレーム383がリスト機構に対する相応するコネクタ350、367の上端に係合し、ツールを操作すると、ローラ391は、基部ロール軸360の上面と摩擦係合状態となるように押され、ローラ391が回転すると、ツールロール軸360がその軸線の周りで回転する。ローラ391及び/又はツールロール軸360の外表面を形成する材料は、十分な転がり接触が得られるように選ぶことができる。例えば、ローラ391は、高摩擦変形可能なゴムにて作ることができる。また、ローラ391は、ピニオンにて置換し、また、ツールロール軸360がピニオンと係合する歯車の歯をその外側に有するようにすることも可能である。

【0095】

使用后、直接的なツール支持軸320を軸支持構造体から除去し且つ清浄な軸と交換し、汚れたツール支持軸320は滅菌処理するか又は廃棄することができる。ツール支持軸320自体は何ら高価な部品を必要とせず、このため、この軸は、1回の使用后、使い捨て可能であるように十分に経済的に製造することができる。

【0096】

本発明によるマニプレータのアームは、物理的に、互いに独立的に可動である、すなわち、該アームは、1つのアームの動作が他方のアームを付勢して特定の仕方にて動くようにするように共に連結されていない。このため、その下端が患者の体内に挿入されたとき、ツール支持軸を仮想的枢動点との整合状態を保ちつつ、ツール支持軸の方向を調節するためには、2つ以上のアクチュエータの作動を調和させることが必要となる。ツール支持軸の何らかの動作のためには、人間の操作者が異なるアクチュエータの作動を手で調和させることが可能である。しかし、ツール支持軸の所望の動作を指令する人間操作者からの命令に基づいて複数のアクチュエータの作動を自動的に調和させることのできる電子式制御装置のような自動制御機構を採用することが通常、より容易である。

【0097】

図22は、本発明に従ってマニプレータと共に採用可能である制御装置400の一例のブロック図である。制御装置400は、汎用又は特殊目的コンピュータのような電子式制御装置401を含む。制御装置401は、位置センサ403から及び/又はマニプレータの色々な線形アクチュエータ及び/又は回転アクチュエータ404の力センサから入力信号を受け取る。制御装置401は、また、1つ以上の適当な入力装置402から入力信号を受け取り、この入力信号により操作者は、ツール支持軸により付与すべき所望の動作及び/又は力を指令する命令を制御装置401に提供することができる。ジョイスティック、触覚インターフェース(操作者への力をフィードバックすることのできる入力装置)、キーボード、テープ記憶装置又はその他の記憶装置、足踏みペダル、マウス、デジタル化器、コンピュータグローブ又は音声操作制御装置のような多岐に互る入力装置402を採用することができる。採用可能な触覚インターフェースの一例は、「平行機構(Parallel Mechanism)」という名称の米国特許出願第60/056,237号に記載された型式の平行マニプレータである。マニプレータを異なる型式の動作を制御し又は異なる時点にてツール支持軸を制御する別個の入力装置が存在する。例えば、1つの入力装置は、仮想的枢動点の周りでツール支持軸を枢動させることが望ましいとき、1つ

10

20

30

40

50

の入力装置を使用することができる一方、枢動させずに、ツール支持軸をその長手方向に並進させることが望ましいとき、別の入力装置を使用することができる。患者の体内に挿入される部分が無いとき、ツール支持軸を操作するために更に別の入力装置を使用することができる。ツール支持軸を所望の方法にて駆動し得るように入力装置から入力信号及び位置センサからの信号に基づき制御装置401は、アクチュエータ404に対する制御信号を発生させる。

【0098】

ツール支持軸により供給される動作及び/又は力を制御する入力装置402は、ツールに対するアクチュエータ404を制御するために使用することができる又は、この目的のため1つ以上の別個の入力装置402を提供することができる。

10

【0099】

制御装置401は、マニプレータにより行うべき仕事の必要条件に依存して多岐に互る方法にてツール支持軸及びツールを制御することができる。例えば、制御装置401は、位置制御、力制御又は力と位置制御との組合せ(複合的位置/力制御)を行うことができる。本発明にて使用できる上記及びその他の適当な制御方法及びその実施のアルゴリズムは、ロボット工学分野にて周知であり、出版文献に詳細に記載されている。力制御又は複合的位置/力制御方法は、本発明に極めて適している。それは、これら方法は、ツール支持軸及びツールにより患者に加えられた力を適当なレベルに保ち、顕微鏡外科手術を含む、更に微妙な外科手術のときマニプレートを安全に使用することを可能にするからである。

20

【0100】

ツールの支持軸及びツールは、ユーザが入力装置402を操作するとき、手を動かす方向と同一の方向に向けて動かし得るように制御装置401により制御することができる。例えば、ユーザがジョイスティック又はその他の入力装置402を時計回り方向に回すならば、ツールの支持軸又はツールは、同様に時計回り方向に回転する。しかし、幾つかの従来の最小侵襲外科手術装置は、ユーザがツールを移動させるべき方向と反対方向にその手を動かすことを必要とする。ユーザがかかる装置の操作に慣れるようにするため、制御装置401は、ユーザが入力装置402を操作する方向と反対の方向に動くようにツール支持軸及びツールを制御することができる。制御装置401には、ユーザの手の動作に対してツール支持軸及びツールの逆方向又は非逆方向をユーザが選ぶことを可能にするスイッチを設けることができる。

30

【0101】

制御装置400の利得は、マニプレータのユーザの技能を向上させるように調節することができる。例えば、この利得は、ジョイスティック又はその他の入力装置を操作するユーザの手の動作の結果、ツール支持軸又はツールが遥かに少ししか動かない(並進又は回転の何れか)ように設定することができる。このように、ユーザの手によるミリ程度の動作をミクロン程度のツール支持軸又はツールの動作に縮小変換することができ、ユーザは手で行う場合よりも遥か小さい制御された動作を実現することが可能となる。マニプレータが手の動作を縮小変換することができることは、外科手術においてのみならず、極めて小さい部品を組立てる場合のような巧みさを必要とする他の作業にも有用である。他方、ツール支持軸又はツールが大きい動作を為すことが必要となる場合、入力装置におけるユーザの手の動作の結果、ツール支持軸又はツールを一層大きく並進又は回転動作するような利得であるようにすることができる。このようにして、ユーザの手の動作を拡張することは、ユーザが自分の手を最も快適な位置に静止させることを可能にし、このことは、ユーザの巧みさを向上させることにもなる。制御装置400は、入力装置402に対しフィードバックを提供するとき、操作者の感触を向上させ得るように制御装置400の利得を調節することができる。例えば、操作者が手に感じた入力装置402の動作に対する抵抗は、ツールが受けた動作に対する抵抗力よりも大きいように制御し、操作者がツールが受けた低レベルの抵抗力でさえ明確に感じられるようにすることができる。ツールが柔軟な組織に接触するとき、ユーザが感じる抵抗力を拡張することは有益である。他方、ツール

40

50

は、骨又はその他の手の組織に接触するとき、ユーザが感じる抵抗力を縮小変換することが望ましい。

【 0 1 0 2 】

殆んどの人間は、手で手術するとき、手を動かす際に多少の程度の震動を感じる。制御装置 4 0 0 が手動の入力装置を有する場合、制御装置 4 0 0 には震動の周波数を有する、入力装置 4 0 2 からの信号成分をろ過して除去するフィルタを設け、ツール支持軸又はツールの動作に震動が再現されないようにすることができる。

【 0 1 0 3 】

図 2 7 乃至図 3 4 には、本発明にて使用されるジンバル型リスト機構の他の例が図示されている。図 2 7 及び図 2 8 は、張力状態又は圧縮状態ではなくて捩れ状態にて作用するコネクタにより操作されるリスト機構の正面図である。図 1 5 のリスト機構と同様に、図 2 7 及び図 2 8 のリスト機構は、ツール 3 2 2 を回転可能に支持する支持管 4 1 0 と、支持管 4 1 0 を取り巻くリング 4 1 5 とを備えている。支持管 4 1 0 は、何ら特別な構造とする必要はない。例えば、支持管は図 1 5 に図示した支持管 3 3 1 と全体として同様の構造とすることができる。ツール 3 2 2 は、その軸線の周りでツール 3 2 2 を回転させる機構又は図 1 5 に図示したような仕方にてツール 3 2 2 の可動部品を操作する機構に接続することができる。しかし、図面の簡略化するため、かかる機構は図 2 7 乃至図 3 4 にて省略してある。図 1 5 の実施の形態におけるように、支持管 4 1 0 は、第一の軸線の周りで回転し得るようにリング 4 1 5 により任意の適当な仕方にて回転可能に支持され、リング 4 1 5 は、第一の軸線に対し垂直な第二の軸線の周りで駆動し得るように管 3 2 1 又はその他の便宜な支持部材により任意の適当な仕方にて回転可能に支持されている。例えば、支持管 4 1 0 は、第一の軸線と整合状態でリング 4 1 5 に固着された 2 つのベアリング 4 1 1 (その一方のみを図示) により駆動可能に支持することができる。リング 4 1 5 は、第二の軸線と整合状態で管 3 2 1 に固着された 2 つのベアリング 4 1 6 により駆動可能に支持することができる。図 2 7 には、ツール 3 2 2 が管 3 2 1 の軸線と整合した最初の位置にあるリスト機構を図示し、図 2 8 は、支持管 4 1 0 が第一の軸線の周りでその最初の位置から駆動する位置にあるリスト機構が示してある。支持管 4 1 0 及びリング 4 1 5 の各々は、それぞれ、その上端に接続されたモータ 4 2 2 のような任意の適当なアクチュエータにより回転可能である回転可能なコネクタ 4 2 0 により第一又は第二の軸線の周りで駆動可能である。コネクタ 4 2 0 の各々は、コネクタ 4 2 0 の軸線に対し直交して伸びるその下端に脚部 4 2 1 を有している。脚部 4 2 1 の各々は、コネクタ 4 2 0 がその軸線の周りで回転すると、脚部 4 2 1 がコネクタ 4 2 0 の軸線の周りで移動する結果、支持管 4 1 0 又はリング 4 1 5 が第一又は第二の軸線の周りで駆動するような仕方にて支持管 4 1 0 又はリング 4 1 5 に接続されている。例えば、当該実施の形態において、突起 4 1 2 は、第一の軸線と整合状態で支持管 4 1 0 から上方に伸び、別の突起 4 1 7 は、第二の軸線と整合状態でリング 4 1 5 から上方に伸び、コネクタ 4 2 0 の各々の脚部 4 2 1 は、突起 4 1 2 に形成されたスロット 4 1 3 のような、相応する突起に形成されたスロット又はその他の開口部にルーズに係合する。コネクタ 4 2 0 がその軸線の周りで回転すると、コネクタ 4 2 0 の脚部 4 2 1 は、スロットの側部の一方に押し付けられ、支持管 4 1 0 又はリング 4 1 5 が第一又は第二の軸線の周りで駆動するようにする。スロットは、突起 4 1 2、4 1 7 が、支持管 4 1 0 又はリング 4 1 5 の高さが変化するとき、相応するコネクタ 4 2 0 の脚部 4 2 1 と係合したままであることを可能にし得るように細長にすることができる。

【 0 1 0 4 】

図 2 9 には、支持管 4 2 5 及びリング 4 3 5 が歪み状態にて作用するコネクタにより支持管 4 2 5 及びリング 4 3 5 がそれぞれの第一及び第二の軸線の周りを駆動し得るようにされた、ジンバル型式のリスト機構の別の実施の形態が図示されている。先の実施の形態と同様の構造とすることができる支持管 4 2 5 及びリング 4 3 5 は、任意の適当な仕方にて駆動可能に支持することができる。例えば、図 2 9 において、支持管 4 2 5 は、第一の軸線と整合状態にてリング 4 3 5 に固着された 2 つのベアリング 4 2 6 により駆動可能に

10

20

30

40

50

支持され、リング 4 3 5 は、第二の軸線と整合状態に管 3 2 1 に固着された 2 つのベアリング 4 3 6 により駆動可能に支持されている。この例において、支持管 4 2 5 には、第一の軸線と同軸状に固着された歯車 4 2 7 が設けられており、リング 4 3 5 には、第二の軸線と同軸状に固着された歯車 4 3 7 が設けられている。支持管 4 2 5 における歯車 4 2 7 は、その上端に接続されたモータ 4 3 0 又は他のアクチュエータによってその軸線の周りで回転可能である、駆動軸 4 2 9 の下端に固着された別の歯車 4 2 8 とかみ合う。同様に、リング 4 3 5 における歯車 4 3 7 は、その上端に接続されたモータ 4 4 0 又はその他のアクチュエータによりその軸線の周りで回転可能である駆動軸 4 3 9 の下端に固着された別の歯車 4 3 8 とかみ合う。これらの歯車 4 2 7、4 2 8、4 3 7 及び 4 3 8 は、かみ合う 2 つの歯車が互いに整合していないとき、トルクを伝達することのできる任意の型式のものとする事ができる。図 2 9 において、これらの歯車は、2 つの直角駆動装置を形成するベベル歯車である。何れかの歯車がその軸線の周りで回転する程度が 3 6 0 ° 以下であると考えられるならば、歯車は、その重量を軽くするため、歯車セクター（円の一部分の周りのみを伸べる歯を有する歯車）とすることができる。リング 4 3 5 がその周りで回転する第二の軸線は、常に、垂線に対して且つリング 4 3 5 の駆動軸 4 3 9 の軸線に対して一定の角度を維持する。これに反して、支持管 4 2 5 がその周りで回転する第一の軸線の垂線に対する角度は、リング 4 3 5 が第二の軸線の周りで回転するとき、変化する。このため、支持管 4 2 5 に対する 2 つの歯車 4 2 7、4 2 8 は、その回転軸線が互いに相違する角度であるとき、トルクを互いに伝達することのできるように選ぶことができる。これと代替的に、支持管 4 2 5 を回転させる駆動軸 4 2 9 は、撓み軸とし、又は自在継手 4 3 1 又はその他の継手を軸 4 2 9 内に取り付け、軸 4 2 9 の下端が軸 4 2 9 の上端に対して色々な角度となることを可能にすると共に、支持管 4 2 5 に対する 2 つの歯車 4 2 7、4 2 8 の回転軸線が互いに対して一定の角度を維持することを可能にするようにする。

【 0 1 0 5 】

図 3 0 には、図 2 9 のヘベル歯車駆動装置に代えて、各々が回転軸の下端に取り付けられたウォームと、第一の軸線又は第二の軸線に対して同軸状に支持管 4 2 5 又はリング 4 3 5 に取り付けられたウォーム歯車とを有する、ウォーム歯車駆動装置が使用されている、図 2 9 に図示した構造の 1 つの変更例が図示されている。図 3 0 に図示するように、ウォーム 4 3 2 は、駆動軸 4 2 9 の下端に固着され、ウォーム 4 3 2 と係合するウォーム歯車 4 3 3 は、第一の軸線と整合状態にて支持管 4 2 5 に固着されている。同様に、ウォーム 4 4 1 は、駆動軸 4 3 9 の下端に固着され、ウォーム 4 4 1 と係合するウォーム歯車 4 4 2 は、第二の軸線と整合状態にてリング 4 3 5 に固着されている。駆動軸 4 2 9、4 3 9 の各々は、その上端に接続されたモータ 4 3 0、4 4 0 又はその他の適当なアクチュエータによりその軸線の周りで回転可能である。図 2 9 に関して説明したように、支持管 4 2 5 を回転させる駆動軸 4 2 9 は、自在継手 4 3 1 を有し、又はリング 4 3 5 が第二の軸線の周りを回転することに起因して、ウォーム歯車 4 3 2 の軸線が垂直でないとき、ウォーム歯車 4 3 3 にトルクを伝達することが可能な構造とする。

【 0 1 0 6 】

図 3 1 は、本発明にて使用されるジンバル型式のリスト機構の別の例を示す分解図である。この例において、以前の実施の形態と構造の点にて同様である、支持管 4 5 0 及びリング 4 5 5 は、第一の軸線及び該第一の軸線に対して垂直な第二の軸線の周りでそれぞれ駆動し得るように任意の適当な方法にて回転可能に支持することができる。例えば、支持管 4 5 0 は、第一の軸線と整合状態にてリング 4 5 5 に固着された 2 つのベアリング 4 5 1 により回転可能に支持することができ、また、リング 4 5 5 は、第二の軸線と整合状態にて管 3 2 1 に固着された 2 つのベアリング 4 5 6 により回転可能に支持することができる。支持管 4 5 0 及びリング 4 5 5 には、第一の軸線又は第二の軸線とそれぞれ同軸状に取り付けられたピニオン 4 5 2、4 5 7 が設けられている。支持管 4 5 0 及びリング 4 5 5 は、各々がピニオン 4 5 2 又は 4 5 7 の 1 つに係合し、ピニオン及び支持管 4 5 0 又はリング 4 5 5 をその軸線の周りで回転させる、第一及び第二の同軸管 4 6 0、4 6 5 によ

り第一及び第二の軸線の周りを回転可能である。第一の管460は、支持管450のピニオン452と係合し得るようにその下端に形成され又は取り付けられた歯車の歯461を有し、第二の管465は、リング455のピニオン457と係合し得るようにその下端に形成され又は取り付けられた歯車の歯466を有する。管460、465の各々は、モータ又は適当なその他のアクチュエータによりその長手方向軸線の周りで回転可能である。例えば、図31において、管の各々は、モータ462の出力軸に固着され且つ管460、465の外面と摩擦可能に係合するころ463を介してモータ462により駆動される。別の例として、モータ462の各々は、対応する管460、465の周方向に伸びる歯車の歯と係合するピニオンを駆動することができる。リング455に対するピニオン457（第二の軸線に対応する）の回転角度は、第二の管465の回転軸線に対して一定のままであるが、支持管450に対するピニオン452の回転軸線の角度（第一の軸線に対応する）は、リング455がその軸線の周りで回転されたとき、第一の管460の回転軸線に対して変化する。このため、第一の管460における歯車の歯461及び支持管450におけるピニオン452は、その回転軸線の間にて色々な角度でその間でトルクを伝達することを許容し得るように選ばれることが好ましい。

【0107】

管をリング455及び支持管450に接続するために歯車を採用することに代えて、ピニオン452、457はころにて置換し、歯車の歯461、466はころと転がり接触する管の下端の摩擦面と置換することができる。

【0108】

図32乃至図34は、本発明にて使用されるジンバル型リスト機構の別の例の図である。図32は、リスト機構の分解図、図33は、リスト機構の支持管が最初の水平位置にあるときの図32のリスト機構の平面図、及び図34は、支持管が傾斜位置にあるときのリスト機構の平面図である。以前のリスト機構と同様に、この機構は、支持管470と、該支持管470を取り巻くリング475とを備え、支持管470は、第一の軸線の周りで回転可能にリング475により枢動可能に支持され、リング475は第一の軸線に対して垂直な第二の軸線の周りで枢動し得るように、取り巻く管321のような適当な部材により枢動可能に支持されている。支持管470及びリング475は、任意の適当な方法にて枢動可能に支持することができる。例えば、図32において、支持管470は、第一の軸線と整合状態にてリング475に固着された2つのベアリング471により枢動可能に支持され、リング475は、第二の軸線と整合状態にて管321に固着された2つのベアリング476により枢動可能に支持されている。回転可能な第一の管480は、その下端に形成されたカムローブ481を有しており、このカムローブは、支持管470の2つのカム従動子472に対して第一の管480の軸方向に押し付けられ、また、第一の管480と同軸状で且つ第一の管480を取り巻く回転可能な第二の管485は、その下面に形成されたカムローブ486を有しており、このカムローブは、リング475における2つのカム従動子477に対して第二の管485の軸方向に押し付けられる。図示したカム従動子472、477は、ベアリング471の1つ又はベアリング476の1つの両側面における支持管470又はリング475の外周面から突き出すピンを備えているが、カム従動子は、これらのカム従動子がカムローブ又は管の色々な回転可能な位置における対応する管480、485の下端におけるカムローブ又はその他の部分に接触することができる。管480、485の各々は、重力及び/又はばねのような偏倚部材により対応するカム従動子に対して軸方向に付勢される。管480、485の各々は、モータ又はその他の適当なアクチュエータによりその長手方向軸線の周りで回転することができる。例えば、図32において、管の各々は、該管と摩擦可能に係合したころ483を駆動するモータ482により回転させることができる。管の何れかが回転すると、対応するカム従動子に対する管のカムローブの位置が変化し、支持管470又はリング475は、枢動して、そのカム従動子の双方を対応するカムローブと接触状態に保つ。一例として、図33及び図34には、第一の管480の回転が支持管470を第一の軸線の周りで枢動させる方法が図示されている。図33には、カムローブ281がカム従動子472に対して中心決めされ、支持管

10

20

30

40

50

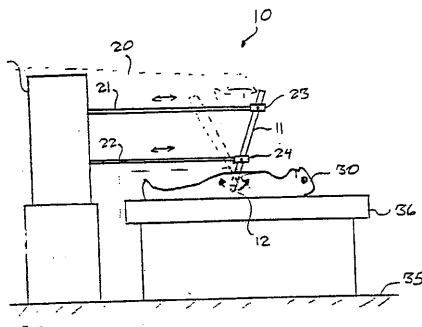
470は水平である、最初の回転可能な位置にある第一の管480が示してある。図34には、第一の管480は、その長手方向軸線の周りでその最初の位置から回転し、カムロープ481が図33の位置から左方向に移動していることが図示されている。第一の管480は常に、支持管470におけるカム従動子472に抗して長手方向に付勢されるため、支持管470は、図面にて反時計回り方向に枢動し、カム従動子472の双方をカムロープ481又は第一の管480の下端の他の領域と接触状態に保つ。図33に図示した水平位置に対する支持管470の回転角度は、第一の管480の回転角度に依存する。第一の管480が図面にて反対方向にその長手方向軸線の周りで回転すると、支持管470は、第一の管480の回転角度に相応する角度にて時計回り方向に回転する。リング475は、同様の方法にて第二の管485により第二の軸線の周りで回転することができる。

10

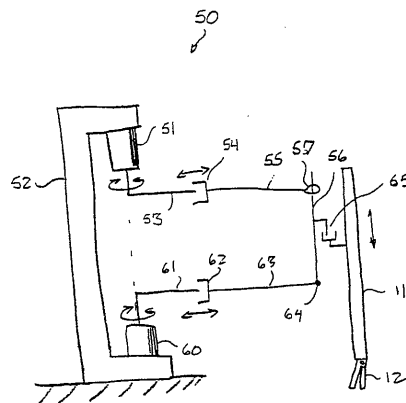
【0109】

リスト機構の支持管及びリングを第一の軸線及び第二の軸線の周りで枢動させる、図27乃至図34に図示した色々な実施の形態は、互いに組み合わせることができ、また、1つの型式の機構を支持管を枢動させるために使用し、別の型式の機構をリングを枢動させるために使用する。例えば、図29又は図30に図示するような歯車駆動装置は、リングを枢動させるために使用し、突起に係合する脚部421を有する、図27に図示したような構成は、支持管を第一の軸線の周りで枢動させるために使用することができる。

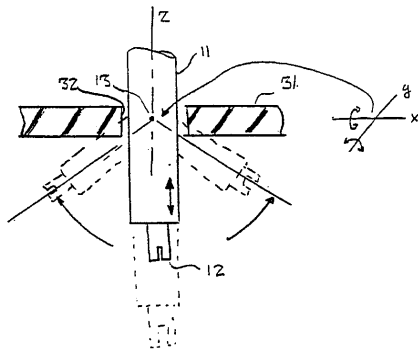
【図1】



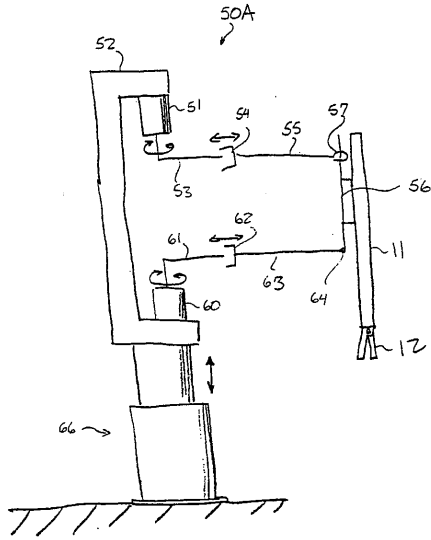
【図3】



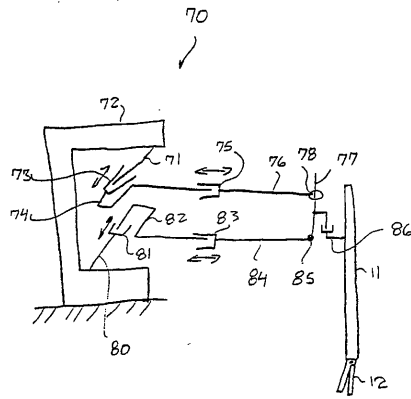
【図2】



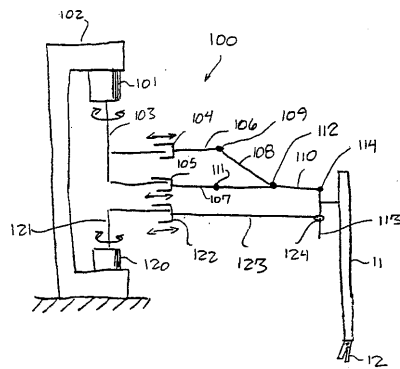
【図4】



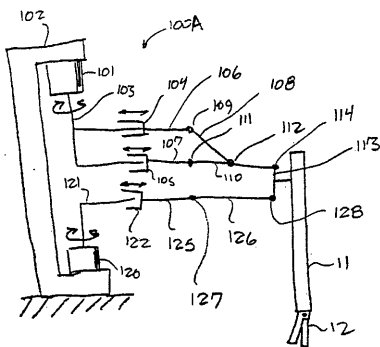
【図5】



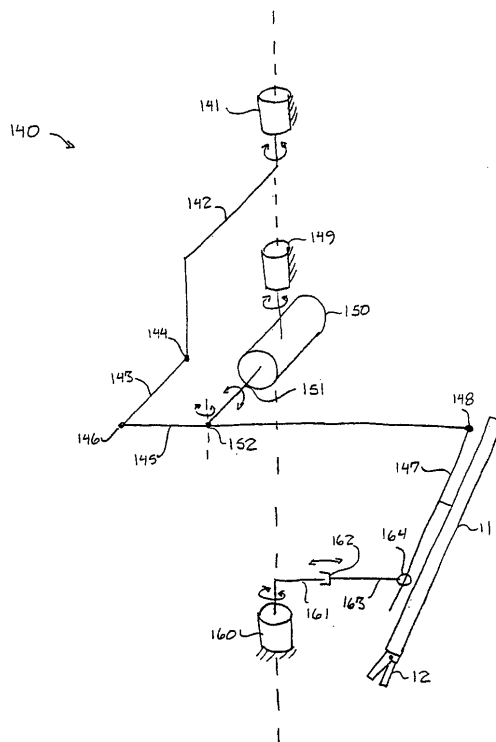
【図6】



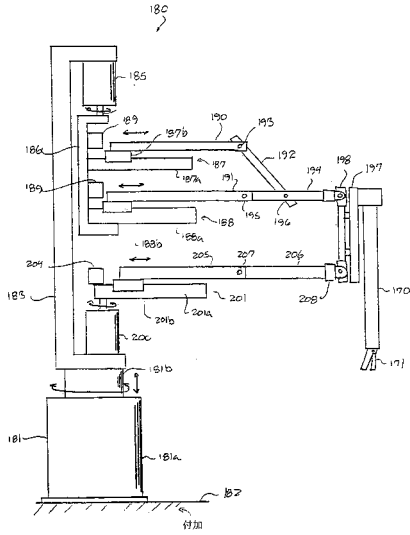
【図7】



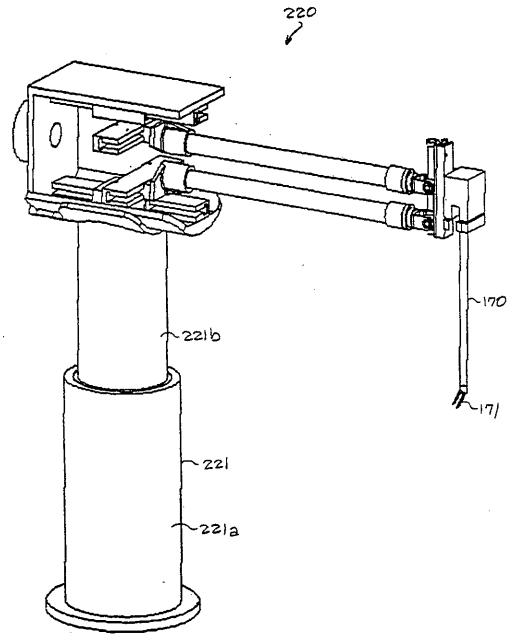
【図8】



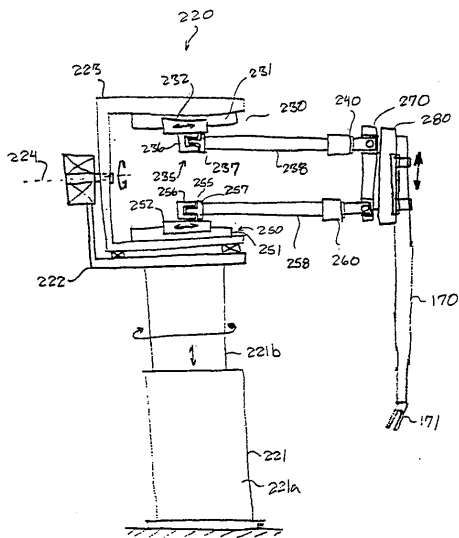
【図9】



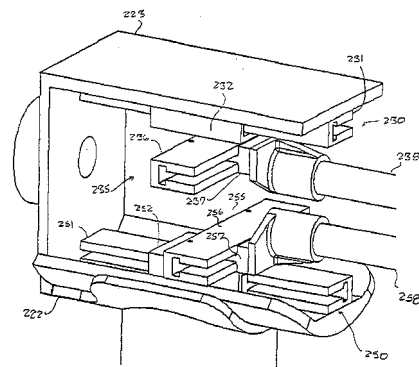
【図10】



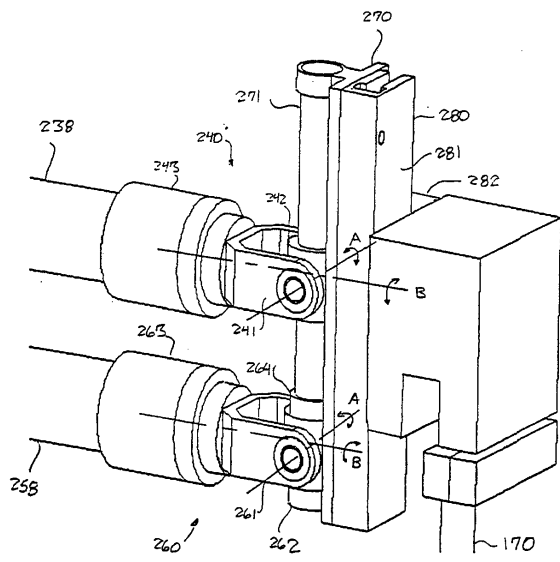
【図11】



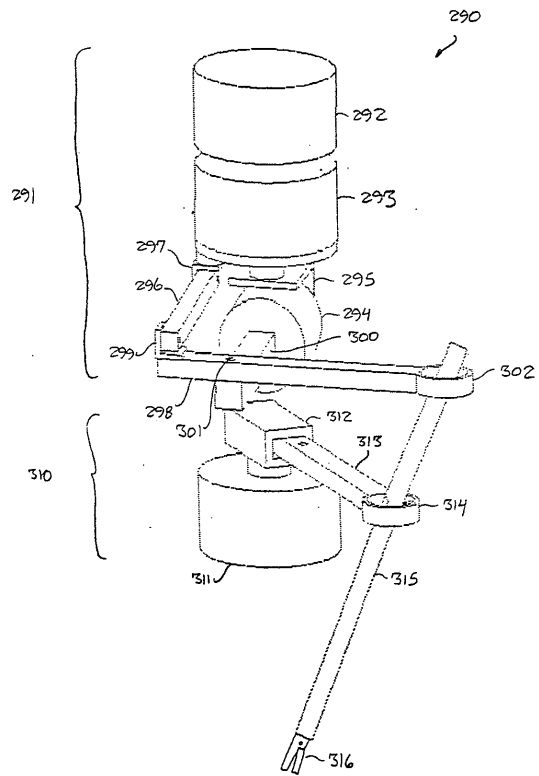
【図12】



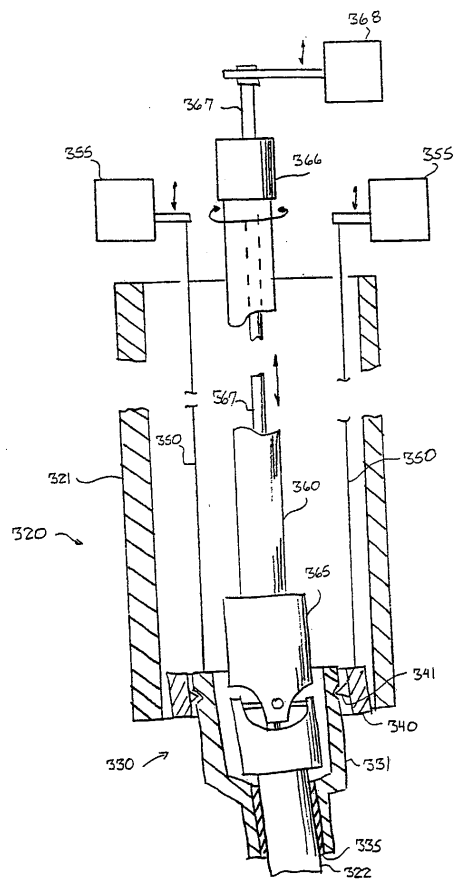
【図13】



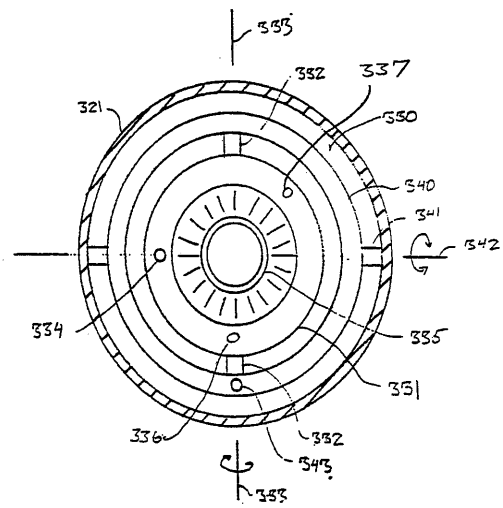
【図14】



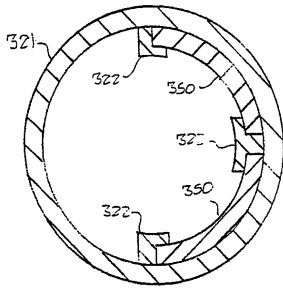
【図15】



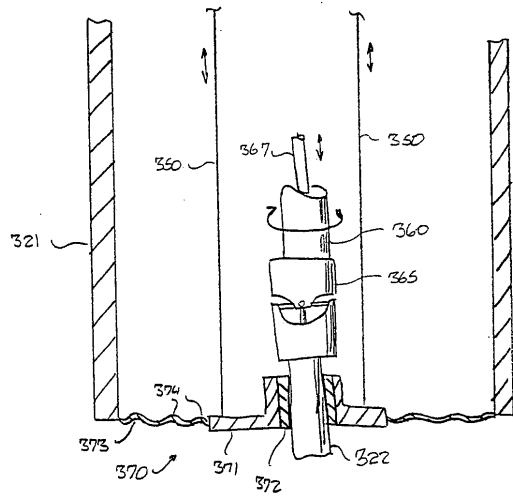
【図16】



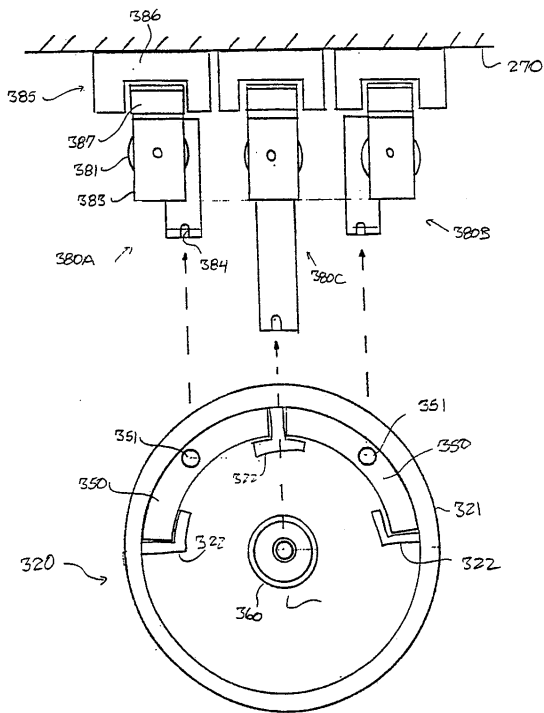
【図17】



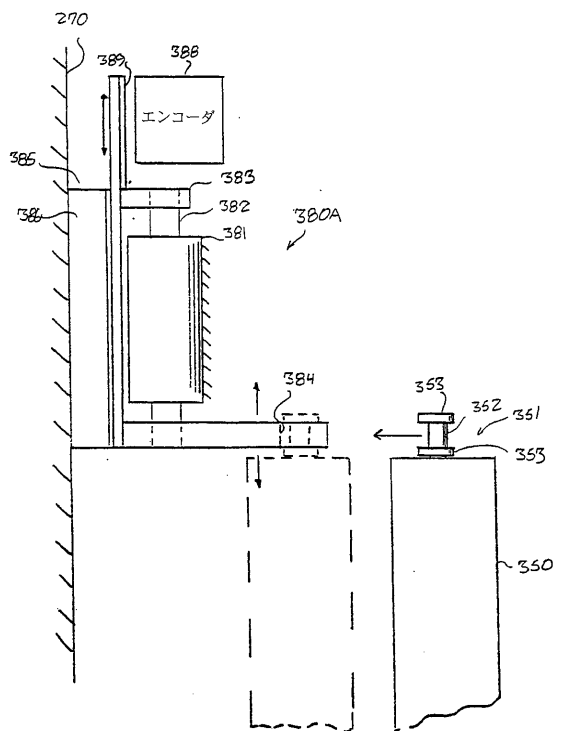
【図18】



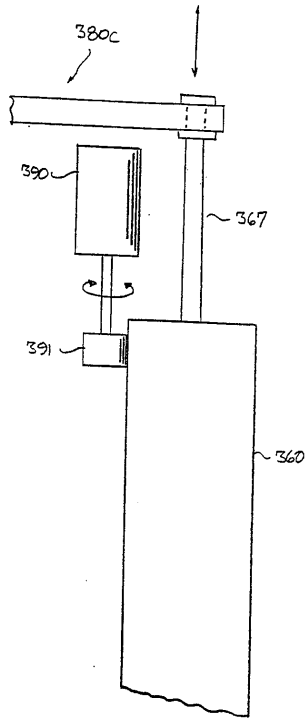
【図19】



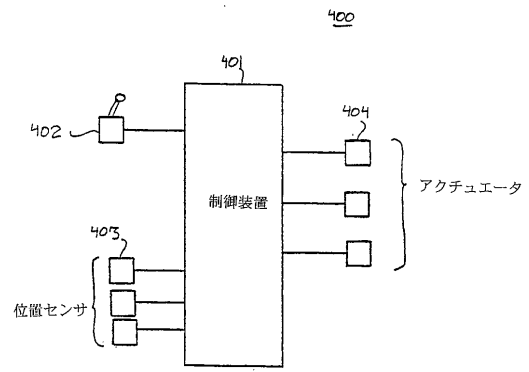
【図20】



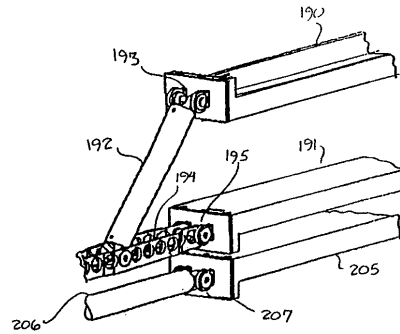
【図 2 1】



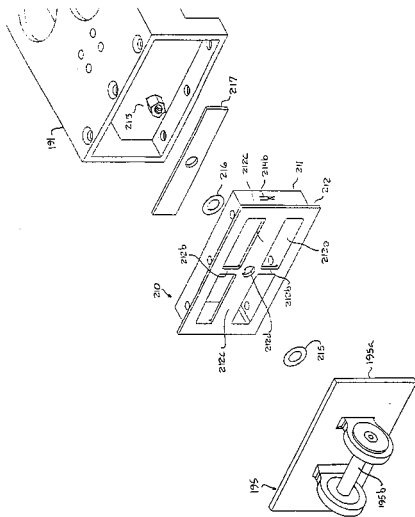
【図 2 2】



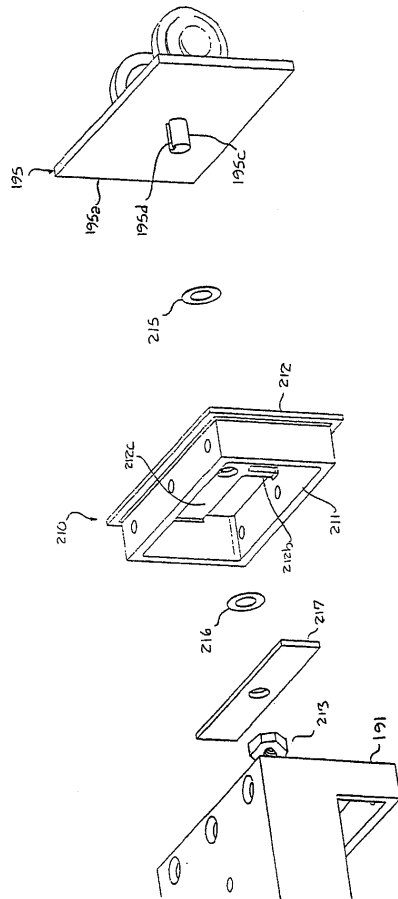
【図 2 3】



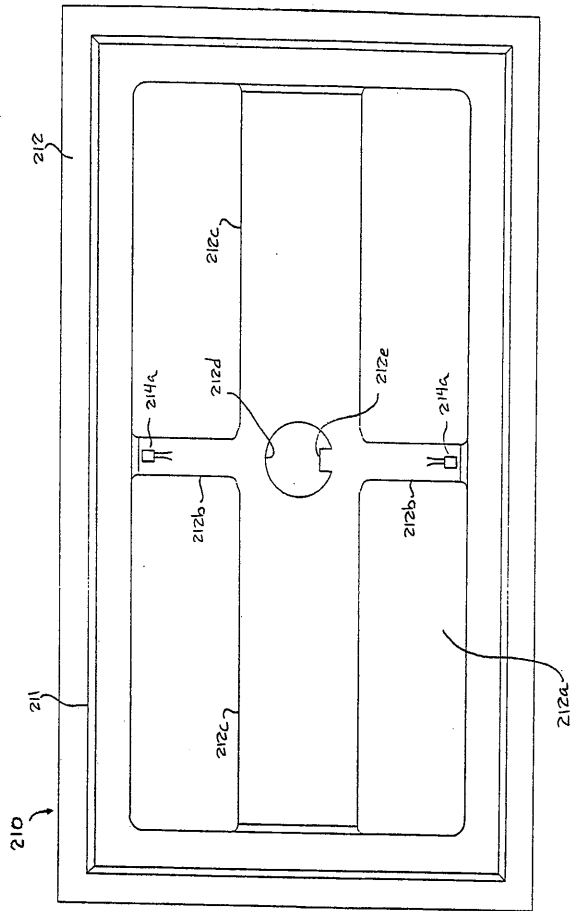
【図 2 4】



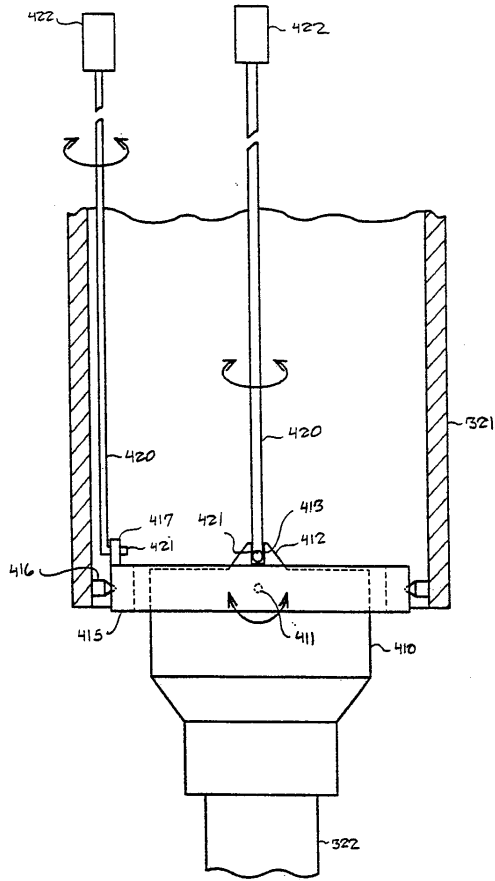
【図 2 5】



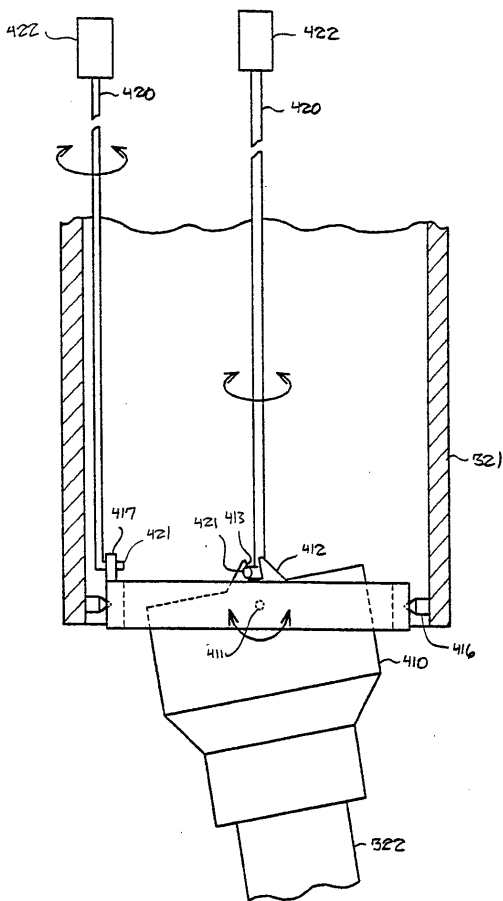
【 26 】



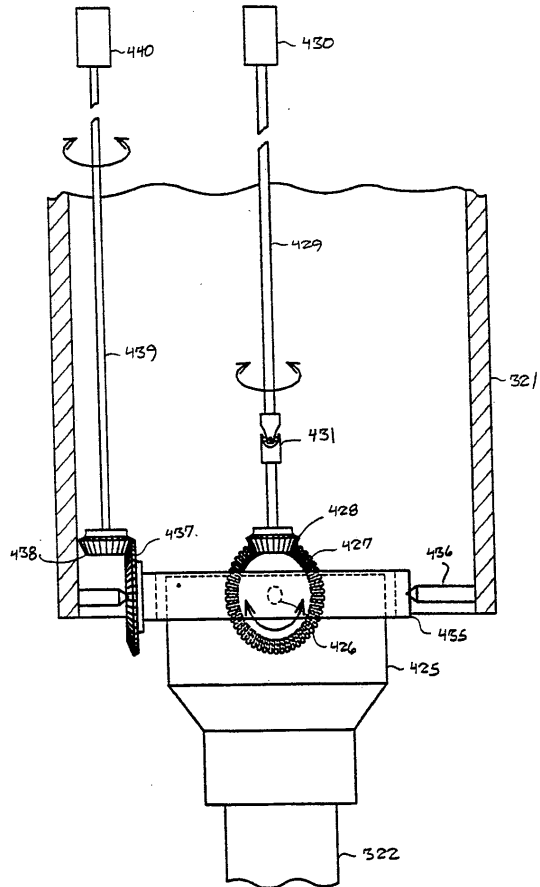
【 27 】



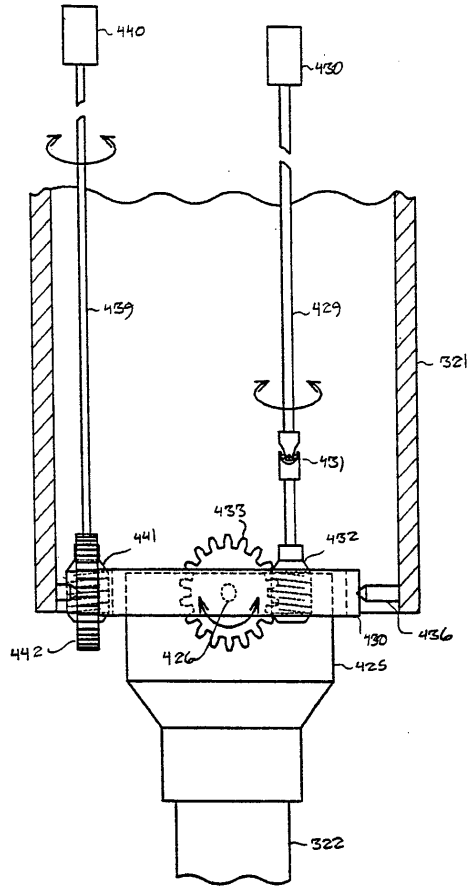
【 28 】



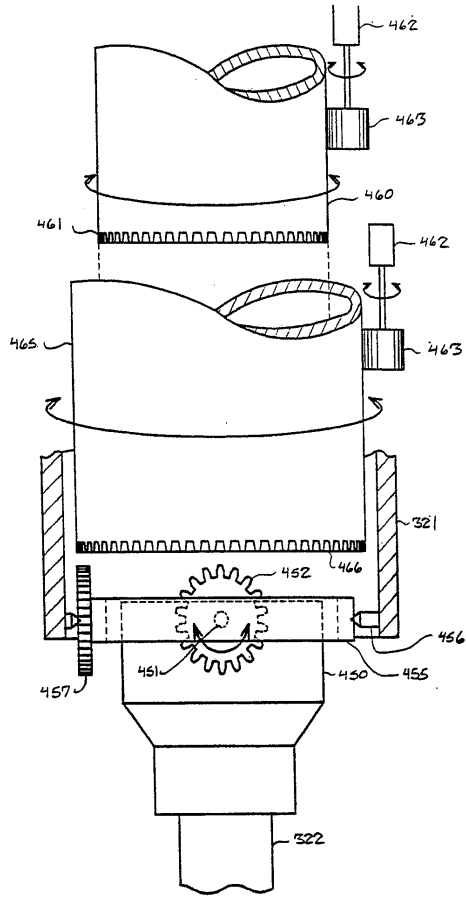
【 29 】



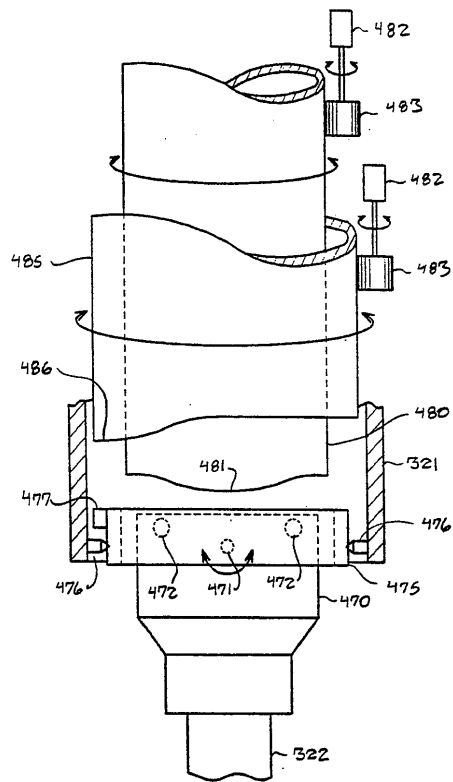
【図30】



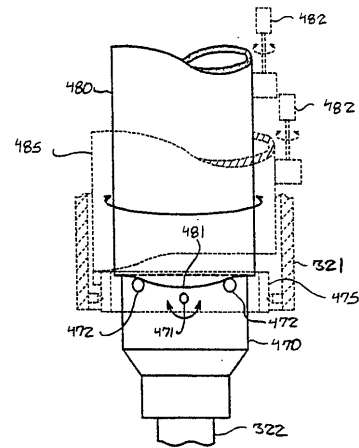
【図31】



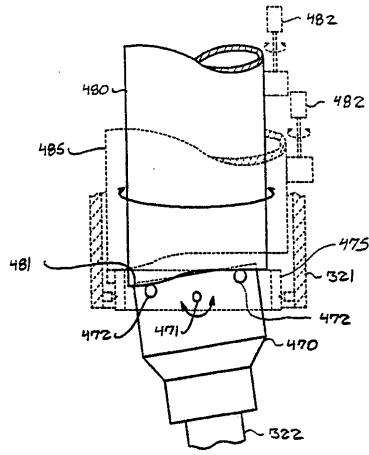
【図32】



【図33】



【 図 3 4 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行
- (74)代理人 100093713
弁理士 神田 藤博
- (72)発明者 チャールズ, スティーヴ・ティー
アメリカ合衆国テネシー州 3 8 1 3 8 , ジャーマンタウン, オーク・マナー 3 2 2 0
- (72)発明者 ストウトン, ロバート
アメリカ合衆国ニューメキシコ州 8 7 1 2 0 , アルバカーキ, ノース・ウエスト, スナップドラゴン・ロード 7 0 1 6
- (72)発明者 スチュアート, ジェイ・マイケル
アメリカ合衆国ニューメキシコ州 8 7 0 4 8 , コーラルズ, ジュディ・コート 4 6
- (72)発明者 ブロニス, ラリー
アメリカ合衆国ニューメキシコ州 8 7 5 4 4 , ロス・アラモス, カミノ・ウーヴァ 1 6 1 8

審査官 武山 敦史

- (56)参考文献 特開平 1 0 - 2 6 2 9 8 3 (J P , A)
特開平 0 8 - 1 6 4 1 4 1 (J P , A)
特開平 0 7 - 0 0 0 4 1 0 (J P , A)
特開平 0 3 - 1 6 8 1 3 9 (J P , A)
米国特許第 0 5 7 8 4 5 4 2 (U S , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A 6 1 B 1 9 / 0 0
B 2 5 J 1 3 / 0 0