

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5148512号
(P5148512)

(45) 発行日 平成25年2月20日 (2013.2.20)

(24) 登録日 平成24年12月7日 (2012.12.7)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 19/00 (2006.01)
B 2 5 J 9/04 (2006.01)A 6 1 B 19/00 5 0 2
B 2 5 J 9/04 B

請求項の数 18 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2008-552823 (P2008-552823)
 (86) (22) 出願日 平成19年2月2日 (2007.2.2)
 (65) 公表番号 特表2009-525097 (P2009-525097A)
 (43) 公表日 平成21年7月9日 (2009.7.9)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2007/051044
 (87) 国際公開番号 W02007/088206
 (87) 国際公開日 平成19年8月9日 (2007.8.9)
 審査請求日 平成21年8月3日 (2009.8.3)
 (31) 優先権主張番号 06101250.6
 (32) 優先日 平成18年2月3日 (2006.2.3)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

前置審査

(73) 特許権者 507275338
 ザ ヨーロピアン アトミック エナジー
 コミュニティ (ユーラトム)、リブリゼ
 ンテッド バイ ザ ヨーロピアン コミ
 ュッション
 THE EUROPEAN ATOMIC
 ENERGY COMMUNITY (E
 URATOM) represented
 by The EUROPEAN CO
 MMISION
 ベルギー、ビー—1049 ブラッセル
 、リュ ド ラ ロワ、200
 (74) 代理人 100096448
 弁理士 佐藤 嘉明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 医療ロボットシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

医療器具 (18) をロボット操作によって取り扱うロボットマニピュレータ (14) を
 備えて成る医療処置を行うための医療ロボットシステムであって、

前記ロボットマニピュレータは、

基部 (24)、

前記基部によって支持される略垂直部分 (27) 及び前記垂直部分によって支持される
 略水平部分 (29) を有するマニピュレータアーム (26)、

前記マニピュレータアームによって支持されるマニピュレータリスト (28)、及び

前記マニピュレータリストによって支持され、かつ医療器具を保持するように構成され
 たエフェクタ装置 (30) から成り、

前記マニピュレータアーム (26) は、連続する3つのジョイントであって、かつ、そ
 れら3つのみのジョイントのみからなる、略垂直軸に沿った移行自由度を与えることによ
 って前記垂直部分の高さを変えるプリズム型 (P) 第一ジョイント (J1)、略垂直軸を
 中心とした回転自由度を与えることによって前記垂直部分と前記水平部分との間の回転角
 を変える回転型 (R) 第二ジョイント (J2)、及び略水平軸に沿った移行自由度を与え
 ることによって前記水平部分の到達範囲を変えるプリズム型 (P) 第三ジョイント (J3)
 を備える円筒形 P R P 運動構成から成り、並びに前記マニピュレータリスト (28) は
 、前記第三ジョイント (J3) に連続して、前記エフェクタ装置 (30) を方向づけする
 ため回転型 (R) 第四ジョイント (J4) 及び回転型 (R) 第五ジョイント (J5) を有

10

20

し、前記回転型（Ｒ）第４ジョイント（Ｊ４）と前記回転型（Ｒ）第二ジョイント（Ｊ２）は平行であることを特徴とする前記医療ロボットシステム。

【請求項２】

前記第一（Ｐ）ジョイント（Ｊ１）は、前記第一（Ｐ）ジョイント（Ｊ１）を作動させる垂直直線ガイド（５２）及び第一直線作動装置（５０）、好ましくは直線ボールスクリュ軸を備えることを特徴とする請求項１項記載の医療ロボットシステム。

【請求項３】

前記第三（Ｐ）ジョイント（Ｊ３）は、前記第三（Ｐ）ジョイントを作動させる水平直線ガイド（７３）及び第二直線作動装置（７０）、好ましくは直線ボールスクリュ軸が備えられることを特徴とする請求項２項記載の医療ロボットシステム。

10

【請求項４】

前記水平部分が前記水平直線ガイド及び前記第二直線作動装置を封入する細長いカバー（７４）から成り、該カバーの片側において前記カバーへ嵌り込み、かつ他方側において前記リスト（２８）を支持するビーム（７２）が前記水平部分に含まれることを特徴とする請求項３項記載の医療ロボットシステム。

【請求項５】

前記第二（Ｒ）ジョイント（Ｊ２）に、ギア、好ましくは調和駆動ギア（６２）、モーター（６１）、好ましくは前記ギアの入力段へ連結されたブラシレスサーボモーター、及び前記ギアの出力段へ連結された絶対位置センサ（６５）が備えられることを特徴とする請求項１～４のいずれかに記載の医療ロボットシステム。

20

【請求項６】

前記アームの前記水平部分（２９）に８００mmの最小連結オフセットが設けられることを特徴とする請求項１～５のいずれかに記載の医療ロボットシステム。

【請求項７】

前記エフェクタ装置（３０）は、前記回転（Ｒ）第五ジョイント（Ｊ５）の後に連続して回転（Ｒ）第六ジョイント（Ｊ６）を含むことを特徴とする請求項１～６のいずれかに記載の医療ロボットシステム。

【請求項８】

前記第四（Ｒ）ジョイント（Ｊ４）の回転軸が前記第二（Ｒ）ジョイント（Ｊ２）の回転軸と前記第三（Ｐ）ジョイント（Ｊ３）の移行軸によって形成される面と同一平面上にあることを特徴とする請求項７項記載の医療ロボットシステム。

30

【請求項９】

前記第四（Ｒ）ジョイント（Ｊ４）によって前記エフェクタ装置（３０）のヨー角（偏揺れ角）を設定する略垂直軸に沿った回転自由度が与えられ、及び前記第五（Ｒ）ジョイント（Ｊ５）によって前記エフェクタ装置（３０）のピッチ角を設定する略水平軸に沿った回転自由度が与えられることを特徴とする請求項８項記載の医療ロボットシステム。

【請求項１０】

前記リスト（２８）が前記アームの前記水平部分（２９）へ連結される支持板（８０）及びほぼＬ形の支持部材（１００）から成り、前記第四（Ｒ）ジョイント（Ｊ４）によって前記支持部材の第一水平部分が前記支持板（８０）へ連結され、及び前記第五（Ｒ）ジョイント（Ｊ５）によって前記支持部材（１００）の第二垂直部分が前記エフェクタ装置（３０）用の連結手段（３２）へ連結され、さらに前記第四（Ｒ）ジョイント回転軸及び前記第五（Ｒ）ジョイント回転軸が直交して交差点が設けられるように前記リストが配置されることを特徴とする請求項９項記載の医療ロボットシステム。

40

【請求項１１】

前記エフェクタ装置（３０）が、手術器具（１８）を前記マニピュレータへ取り付けける手段を備える腹腔鏡器具作動装置（１２０、１１２０）と、取り付けられた手術器具を作動させる直線作動機構（４００、１４００）から成ることを特徴とする請求項１～１０のいずれかに記載の医療ロボットシステム。

【請求項１２】

50

前記エフェクタ装置(30)に、該エフェクタ装置(30)を前記リスト(28)へ連結する主支持フレーム(140)と、前記腹腔鏡器具作動装置(120、1120)を前記主支持フレームへ連結する回転型(R)第六ジョイント(J6)が含まれ、前記第六(R)ジョイントは、前記腹腔鏡器具作動装置へ取り付けられた手術器具が手術器具の縦軸に沿った回転自由度が与えられるように、前記腹腔鏡器具と作動装置を前記主支持フレームへ連結していることを特徴とする請求項11項記載の医療ロボットシステム。

【請求項13】

前記第六(R)ジョイント(J6)の回転軸と前記第五(R)ジョイント(J5)の回転軸が直交することを特徴とする請求項12項記載の医療ロボットシステム。

【請求項14】

前記マニピュレータリスト(28)が、前記第六(R)ジョイント(J6)の回転軸と前記第四(R)ジョイント(J4)の回転軸が腹腔鏡器具作動装置(120、1120)の断面の最も大きい箇所における直径にほぼ一致する間隔(O5)で中心から外れるように構成されることを特徴とする請求項12または13に記載の医療ロボットシステム。

【請求項15】

前記エフェクタ装置(30)は、6-DOF応力/トルクセンサと同時に6-DOF直線・角加速度計から成るセンサ組立装置(122)を有し、前記センサ組立装置によって前記腹腔鏡器具作動装置が前記第六(R)ジョイント(J6)へ接続されることを特徴とする請求項12または13に記載の医療ロボットシステム。

【請求項16】

前記第四(R)ジョイント(J4)、前記第五(R)ジョイント(J5)または前記第六(R)ジョイント(J6)に、モーター(81、101、141)、前記モーターのシャフトへ連結された入力段を備えるギア(83、103、143)、連結ジョイントへ動作を伝達するために前記ギアの出力段へ連結されたベルト・トランスミッション(84、104、144)、及び前記ベルト・トランスミッションへ連結された絶対位置センサ(88、108、148)が備えられることを特徴とする請求項7または12に記載の医療ロボットシステム。

【請求項17】

前記基部(24)に前記マニピュレータの作業スペース中への人の侵入を検知するレーザ域スキャナ(22)が含まれることを特徴とする請求項1～16のいずれかに記載の医療ロボットシステム。

【請求項18】

前記プリズム型(P)第一ジョイント(J1)及び前記プリズム型(P)第三ジョイント(J3)のそれぞれに連結ブレーキ及び連結絶対位置センサが備えられることを特徴とする請求項1～17のいずれかに記載の医療ロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は医療装置、特に医療処置、とりわけ体内最小侵入処置等の外科的処置を行うための医療ロボットシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

開腹術とは対照的に、体内最小侵入医療処置には診断あるいは手術中に損傷を受ける治療対象外組織の量を減らせる利益がある。この処置方法によれば、患者の回復期間を短縮させ、苦痛や有害な副作用を減じ、さらに入院費を低減させることも可能となる。今日、外科、泌尿器科、婦人科、及び心臓学などの広い専門分野において、腹腔鏡技術等の体内最小侵入技術によって実施される外科手術が増加している。

【0003】

しかしながら、体内最小侵入技術全般として、特に腹腔鏡を用いる場合には、手術を行う外科医に対してさらに厳しい要求が課せられる。外科医は不自然で疲れる態勢で手術を

10

20

30

40

50

しなければならず、視野も限られ、自由に動作することができず、また触覚にも頼れない。このような問題に加え、外科医はしばしば1日に数回連続して処置を行わねばならず、それぞれの処置には30分から数時間を要する。このような困難にも拘わらず、体内最小侵入処置へ移行する傾向は、人口の老年化と医療分野におけるコストの圧迫によって数年内に劇的に増加すると思われる。

【0004】

腹腔鏡検査の場合、外科医の動作は腹腔手術の場合と同じ正確な動きが要求される。器具アクセスポート、すなわち患者体内への切開部において支点を中心として4つの自由度に減じられた動作性で長軸器具を操作する方式となっているが、作業が楽になるわけではない。とりわけ要求される姿勢が疲労を招き、それによって器具と組織との相互作用力を知覚することが困難となるため、感覚の混乱も起こってくる。例えば、外科医が患者の脇に立つ時に、患者の片方の腕を持ち上げて広げたまま保持しながら患者の反対側に挿入した器具を支えなければならない。その結果、外科医の運動能力は通常20～30分後には衰え、特に震えが起こり、正確性を失い、また触知感覚がなくなって患者に危険が及ぶ状態となる。かかる理由により、処置の効率性、質、及び安全性の向上を目的としてロボット支援型腹腔鏡等の新技術が出現している。

10

【0005】

前記状況において、ロボット支援型腹腔鏡は90年代初めより開発が進められている。市販されているロボット手術システムの代表例として、カリフォルニア州SunnyvaleのIntuitive Surgical Inc.によって開発された商標「DA VINCI」として知られる手術システム、及びカリフォルニア州GoletaのComputer Motion Inc.によって最初に開発された商標「ZEUS」として知られる手術システムがある。「DA VINCI」の名称で知られる手術システムについては、US6,659,939及びUS6,837,883においてMollerにより、また同人からの譲受人の他の特許文書に記載されている。「ZEUS」の名称で知られる手術システムについては、US6,102,850、US5,855,583、US5,762,458及びUS5,515,478においてWangにより、また譲受人であるカリフォルニア州GoletaのComputer Motion Inc.の他の特許文献に記載されている。

20

【0006】

これらの遠隔操作ロボットシステムによれば、外科手術室で直接に、あるいは遠隔場所から制御卓による視覚的フィードバックを用いて手術操作を制御することが可能である。上記いずれの場合においても、手術中疲れ易い姿勢を取ることは解放される。

30

【0007】

これらロボットシステムは高額であり、また維持コストも掛ることとは別に、医療社会への普及及び受入れも、特に用途が限られるため限界がある。上述したシステムはいずれも局所解剖が絶えず行われる心臓手術用に設計されたものであり、作業空間が狭いため、装置には限られた空間内での正確な動作性及び機敏性が要求される。そのため、これらシステムの機械的設計は、心臓手術の場合よりも広いスペースを要し、解剖局部が異なり(予測不可能な場合もある)、また組織と器官の物理的特性が多様である他の手術(婦人科、泌尿器科、及び一般外科)への利用には容易に適合しないものである。

40

【0008】

これら2種の特殊システムとは別に、ロボット手術システム中の操作装置の機械的設計には種々観点、特に使用対象が1つに限られる点から大きな改善の余地が残されている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は、医療処置を施すための操作機構が改善されたロボット操作機構を備える医療ロボットシステムを提供することを第一の目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するため、以下に開示されているように、ロボットによって医療器具、

50

特に腹腔鏡手術器具の操作が支援されるロボット操作機構から構成される医療処置、とりわけ腹腔鏡手術を行う医療ロボットシステムが提案されている。本発明の一観点に従って、ロボットマニピュレータは、基部、該基部によって支持される略垂直部分と該垂直部分によって支持される略水平部分を有するマニピュレータアーム、該マニピュレータアームによって支持されるマニピュレータリスト、及び該マニピュレータリストによって支持され、かつ医療器具を保持するように形状化されたエフェクタ装置から構成される。本発明の別の観点においては、前記マニピュレータアームに前記マニピュレータリストを配置するための円筒状 P R P 操作機構が設けられる。より詳細には、前記提案された P R P 操作機構に、以下の 3 つのジョイントが連続状に備えられる。すなわち、ほぼ垂直な軸に沿った移行自由度を与えることによって前記垂直部分の高さを変えるプリズム（角柱）型（P）第一ジョイント、ほぼ垂直な軸を中心とした回転自由度を与えることによって前記垂直部分と前記水平部分の間の回転角を変える回転型（R）第二ジョイント、及び略水平軸に沿った移行自由度を与えることによって前記水平部分の到達範囲を変えるプリズム型（P）第三ジョイントが連続状に備えられる。

10

【 0 0 1 1 】

以下において述べる他の利点の中でも、特にマニピュレータアームの前記特殊な操作機構によって、

- ・マニピュレータアームが必要とする患者上方のスペースを減らし、また、特に一定の手術への介入において別にマニピュレータアームを増やして使用すること、
- ・緊急時に、クリアランス位置へロボットマニピュレータを置くためにアームの水平部分を邪魔にならない位置へ回転させるだけで済むように、患者から一定の間隔を空けてマニピュレータ基部を配置すること、
- ・患者への接近、さらに例えば器具の交換のために手術器具置場へのアクセスが容易となること、
- ・アーム間の衝突防止が容易になること、
- ・マニピュレータアーム中に用いるジョイントを最小限に減らすこと、すなわちアームを配置するために 3 つの D O F を与えるためにジョイントが 3 個で済み、冗長ジョイント、特に受動ジョイントを取り除くことが可能となる。

20

【 0 0 1 2 】

P R P 構成の軸配置を異ならせることも可能なことが理解されよう。上記の軸配置は本願にとって最も適する動作構成であると考えられる。また、特に操作性、作動装置要求及びロボット制御に関して、P R P 円筒形ロボット構成は例えば U S 5 , 3 5 1 , 6 7 6 に開示されている P R P 配置あるいは U S 6 , 1 2 0 , 4 3 3 に開示されている P R P 構成とは基本的に異なることが理解されよう。

30

【 0 0 1 3 】

また、本願において提案されている動作構成が、S C A R A、すなわち P R P 構成の一種が腹腔鏡用途に最も適するという確立された考え方に対して挑戦するものであることも当業者に理解されよう。この長く確立されてきた考え方は、特許や科学文献、例えば 1 9 9 7 年 4 月の I E E E ロボット工学及び自動化国際会議記事録、A. Faraz 及び Sh. Payandeh 著論文「ロボット工学ケーススタディ：腹腔鏡設置台のための光学的設計」（特にパラグラフ 2 . 2 参照）において確認されている。

40

【 0 0 1 4 】

さらに、前記提案された動作構成はシステムの用途多様性を増大させるものである。言い方を変えれば、ロボットマニピュレータをこのように設計することにより、種々用途において、とりわけ体内最小侵入手術、また他に整形外科あるいはバイオブシー手術、経皮治療、皮膚採取、超音波診断等においてシステムの安定化が果たされる。

【 0 0 1 5 】

理解されるように、開示されたロボットシステムは、S C A R A 動作構成がロボット手術システムの特定のケースに最も適する選択であるとのパラダイムを覆すものである。S C A R A 構成を備えたマニピュレータを用いる医療ロボットシステムの代表例としては、

50

例えばUS 6, 102, 850、US 5, 855, 583、US 5, 762, 458及びUS 5, 515, 478に記載された商標「ZEUS」で知られる前述したシステムが挙げられる。

【0016】

本願の医療ロボットシステムの多用途性に関し、既存の医療ロボットシステムは概して特定の医療処置だけのために設計されたものである。例えば「DA VINCI」及び「ZEUS」システムは心臓手術用に特に設計されたものである。従って、前述したように、これらのシステムは特殊な目的のための器具として設計されている。さらに、心臓手術への介入においては作業スペースが限定されるため、これらシステムにおける器具動作は触覚を介在させる外科医の熟達度よりも通常劣る。通常、腹腔鏡手術（婦人科、泌尿器科、及び一般手術を含む）においては、手術作業スペースは心臓手術の場合より広く、局所解剖は変動的であり（予測できない場合も多い）、また組織及び器官の物理的特性も多様である。より大きな作業スペースとは、器具動作範囲がより大きく、かつ1:1の動作尺度が必要であることを意味する。その結果、通常、腹腔鏡検査の場合、正確に外科医の手の動きを追うためには動作運動を高めることが必要とされる。実験的試みから、外科医の手の動きは作業スペースが狭いと速くなること、従って加速度が極めて高いことが見出されている。速度は旋回ピッチ及びヨー（偏揺れ）軸に沿って100°/sにまで達し、また侵入方向への速度は200mm/sである。1:1の動作尺度及び前述した条件では、上記システムには振動、ぐらつき、及び正確性の低下が表出してくる。以下においてさらに詳細に説明するロボットマニピュレータは、かかる問題を減ずるように、従って全般的腹腔鏡手術への多様な介入に適するように設計されている。

【0017】

さらに、多くの既存システムには、内視鏡用のマニピュレータの他に、手術器具自体のためのマニピュレータが2個しか備えられていない。そのため、器具を何回も複雑に交換する手間が掛かり手術時間が長くなる。通常の手術では、外科医は5~7個の異なる器具を用い、またそれら器具を何十回も交換することを要する。外科医助手の熟練度にもよるが、器具の交換には通常5~10秒を要し、このような器具交換は手術時間に実質的に影響する要因となる（およそ10~20%）。多くの既存のロボットシステムは3~4の器具アクセスポートを要する一般的手術には容易に適しない。他のシステムは手術時間の短い（およそ20分間）診断的手術のみに限定され、またロボットシステムのコストに見合わない場合も多い。ロボット手術システムは、モジュール型であり、かつ4つ以下の器具アクセスポートと1の内視鏡アクセスポートを制御できれば理想的である。適したマニピュレータの設計に関わる重要な制約は、いくつかのアクセスポートが数センチだけ遠くなることや、各器具をほぼ平行に、あるいは一方を他方の上へ置かなければならないことである。さらに、マニピュレータによって外科医が患者患部やアクセスポートを見る視界が過剰に制限されないことが望ましい。本発明に係る医療ロボットシステムでは、マニピュレータアームの動作構成のみならず、以下において述べるそれ自体創作性のある他の種々特性によって、特に上述した問題が解消され、さらに複数のロボットマニピュレータを同時に用いることが容易化されている。

【0018】

既存のシステムにはさらに、異なるマニピュレータ間、外科手術室におけるマニピュレータとスタッフ間、及び器具と内視鏡間に起こる衝突を防止するための信頼できかつ安全な手段がないという別の制限がある。衝突の可能性があることは患者にとって、また手術スタッフにとっても極めて危険なことであり、従ってロボット手術システムにおける衝突を効率的に防止することは極めて重要なことである。このような問題は、一定の手術において用いるロボットマニピュレータの数の増加に伴ってさらに重大となることは明らかである。PRP動作構成によってマニピュレータアーム自体が邪魔となることが少なくなるため、一方において潜在的衝突危険性が減少し、また他方において衝突検知及び防止方法が簡略になる。

【0019】

本発明システムによって、最少数のジョイントを用いて、すなわち6個のみのジョイントを備える6DOFを用いて必要な操作性が与えられると理解される。冗長ジョイントは与えられない。特に、連結型の器具末端を備える特殊器具は必要とされない。さらに、すべてのジョイントが作動される。すなわち、ロボットマニピュレータ中に受動型あるいは自由回転型ジョイントが存在しないため、ロボット制御は大幅に向上される。トロカールストレス防止のための既知システムに通常用いられる冗長受動型ジョイントは、特に6番目のジョイントと腹腔鏡器具作動装置の間のインタフェースにセンサ装置を設けることによって除去されている。このようにセンサ装置を配置することにより、器具先端レベルだけでなくトロカールレベルにおいても応力測定及び圧迫制限を行うことが可能となる。また、リスト及びエフェクタ装置ジョイントがすべて回転式であること、すなわちこれらの部分にはプリズム型ジョイントが全く用いられていないことについて特記すべきである。

10

【0020】

特にマニピュレータの剛性が増大されている有利な実施態様においては、第一(P)ジョイントには、垂直な直線ガイドと、該第一(P)ガイドを作動させるための第一直線作動装置、好ましくは直線ボールスクリュ軸が備えられる。同様に、第三(P)ジョイントには、水平な直線ガイドと、該第三(P)ジョイントを作動させるための第二直線作動装置、好ましくは直線ボールスクリュ軸が備えられる。さらに、これら第一及び第三ジョイントの双方には、好ましくはブレーキと、それぞれのブレーキへ連結する絶対位置センサが備えられる。

20

【0021】

前記垂直部分の構成部品を保護し、及び患者の上方にくる前記垂直部分の最前部の大きさを最小化させるため、前記水平部分には好ましくは水平な直線ガイドを包み込む細長いカバーと第二直線作動装置から構成され、さらに一方の側面において前記カバーに対してはまり込み、他方の側面上で前記リストを支えるビームが含まれていることが好ましい。

【0022】

前記第二(R)ジョイントには、ギア、好ましくは調和駆動ギアと、ギアの入力段へ連結されるモーター、好ましくはブラシレスサーボモーター、及びギアの出力段へ連結された絶対位置センサが備えられると有利である。かかる構成とすることにより、第二(R)ジョイントにおける作動機構の故障をさらに検知できるコンパクトな構造とすることが可能となる。

30

【0023】

さらに別の好ましい実施態様では、前記マニピュレータリストにはエフェクタ装置の向きを合わせるための回転型(R)第四ジョイントと回転型(R)第五ジョイントが備えられる。その結果、これらマニピュレータアームとマニピュレータリストの双方により正確に5つの制御可能な自由度が与えられる。

【0024】

患者から一定距離を確保して、例えば非常時に部局へのアクセスを容易にするため、好ましくは前記アームの水平部分に800mmの最小連結オフセット、すなわち第2ジョイントと第4(R)ジョイントの回転軸の間に一定の最小間隔が設けられる。人の通過に妨害されないために要するオフセットを計算する際には、基部によって占有されるスペースについて考慮しなければならないことが理解されよう。

40

【0025】

好ましくは、第4(R)ジョイントの回転軸と第2(R)ジョイントの回転軸は平行に配置される。さらに好ましくは、第4(R)ジョイントの回転軸は第2(R)ジョイントの回転軸と第4(P)ジョイントの移行軸によって形成される平面と同一平面上に配置される。

【0026】

より詳細には、好ましい構成において、第4(R)ジョイントによって略垂直軸に沿った回転自由度が与えられてエフェクタ装置の揺れ角度が設定され、また第5(R)ジョイントによって略水平軸に沿った回転自由度が与えられてエフェクタ装置の上下動角度が設

50

定される。当然ながら、前記揺れ角度は第2(R)ジョイントの実際の形状にも依存する。それゆえ、第4(R)ジョイントを用いて揺れ角度を設定する場合にはこの形状が考慮される。マニピュレータアームの動作構成と組み合わせた構成とすることにより、以下において明らかにするように、マニピュレータの特異動作が防止される。前記リストがアームの水平部分へ連結された支持板とほぼL形の支持部材から成り、第4(R)ジョイントによって支持部材の第一水平部分が支持板へ連結され、及び第5(R)ジョイントによって支持板の第二垂直部分がエフェクタ装置接続手段へ連結され、第4(R)ジョイント回転軸と第5(R)ジョイント回転軸で交差点が形成されるように前記リストが構成されている好ましい実施態様においては、簡単な逆動作性及び向上された操作性が得られる。

【0027】

腹腔鏡のロボット補助操作を行うため、前記エフェクタ装置は、好ましくはマニピュレータへ手術器具を取り付ける手段を備えた腹腔鏡作動装置と取り付けられた手術器具を作動させる直線作動機構から構成される。腹腔鏡の後者構成においては、エフェクタ装置は好ましくは該エフェクタ装置を前記リストへ連結させるための主支持フレームと腹腔鏡作動装置を主支持フレームへ連結させる回転型(R)第6ジョイントから構成され、この第6(R)ジョイントによって腹腔鏡作動装置へ取り付けられた手術器具の縦軸と同一空間を占める軸に沿った回転自由度が与えられ、取り付けられた手術器具の回転角度が設定される。後者の実施態様においては、第6(R)ジョイント及び第5(R)ジョイントの両回転軸は好ましくは直交するように配置される。しかしながら、例えば体内最小侵入手術以外へのロボットシステムの適用においては、これら軸を斜めに配置して例えば第6及び第4(R)ジョイントの配列によって起こる異常を防止することが可能である。

【0028】

好ましくは、マニピュレータリストは、第6(R)ジョイント及び第4(R)ジョイントの両回転軸が腹腔鏡作動装置の最大断面の直径にほぼ一致する距離を置いて中心から外れるように形状化される。このような実施態様においては、2つのロボットマニピュレータを近接して位置する切り込みにおいて衝突リスクの低い状態で作動させることが可能である。

【0029】

外科医の触覚を通した力のフィードバックを可能とするため、エフェクタ装置には6自由度(DOF)の応力/トルクセンサ及び6DOF加速度計から成るセンサ組立装置が備えられ、この装置によって腹腔鏡作動装置が第6(R)ジョイントへ接続される。このセンサ装置によって腹腔鏡作動装置の直線加速度及び角加速度、及び傾斜、さらに患者体上へ取り付けられた器具によって加えられる応力及びトルクを測定することが可能である。直線及び角加速度計は応力/トルクセンサに対する重力及び加速度の影響を補償するために用いられる。

【0030】

既存の多くの医療ロボットシステムは力フィードバック機構を欠いているため、外科医は患者組織に加えられている力を認識できなくなっている。そのため、外科医は自分の動きからの視覚的フィードバックに依存して組織と器具との相互作用を制限するしかない。実際、力のフィードバックは外科用腹腔鏡へのロボットの利用における安全に多大に寄与している。さらに、触覚による感知は、触診器官に対して、内視鏡の視野にない粘性器官を器具を用いて保持するため、縫合部へ適当な張力を加え縫糸の破断を防止するため、器官へ過剰に加えられる応力を検知して動きを止めあるいは制限するため、あるいはトロカール切開部に対して加わる応力を制限する等のために行われるものである。B. Kubler, U. Seibold及びG. Hirzingerによる「体内最小侵入口ロボット手術用動力作動型センサー体型ピンセットの開発」、Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie (CURAC)、2004年10月8-9日には、器具先端に取り付けられる小型の6DOF応力/トルクセンサが記載されている。この発明概念にはいくつかの欠点があり、その中で特に重大な欠点として器具が高価であること、確実な消毒ができないこと、及び電力作動器具を用いる際のEMIシールドの問題がある。

【 0 0 3 1 】

作動装置の構成に関して、第 4 (R) ジョイント、第 5 (R) ジョイント、及び / または第 6 (R) ジョイントには、モーター、好ましくはブラシレスサーボモーターを備え、ギアには該モーターのシャフトへ連結される入力段、運動を連結ジョイントへ伝えるギアの出力段へ連結されるベルトトランスミッション、及び該ベルトトランスミッションへ連結される絶対位置センサが備えられることが有利である。このように設計することにより、トランスミッションチェーン末端におけるジョイント故障を検知することが可能となる。

【 0 0 3 2 】

マニピュレータ作業スペース中への人の侵入を検知するため、各ロボットマニピュレータの基部に好ましくはレーザ域スキャナーが取り付けられる。

【 発明を実施するための手段 】

【 0 0 3 3 】

以下において、本発明の上記観点、及び他の観点、さらに本発明の目的について添付図面を参照しながら非限定的実施態様を用いてさらに明らかにする。

【 0 0 3 4 】

なお、添付図面を通して同一部品には同一符号を用いた。

【 0 0 3 5 】

図 1 は一般外科腹腔鏡用の医療ロボットシステムを示した図であり、このシステムは全体を通して符号 1 0 で示される。無菌シートで包まれた患者 P は手術台 1 2 上へ横たえられ、その手術台の周囲には多数のロボットマニピュレータ 1 4 が配置される。図 1 の例では、医療ロボットシステム 1 4 は骨盤への介入のために設置される。外科医 S は手術マスターコンソールを操作し、手術アシスタント A は手術台 1 2 及び一組の適合腹腔鏡器具 1 8 の近くに立っている。ロボットマニピュレータ 1 4 群は、多種に及ぶ腹腔鏡器具 1 8 を支持し、また作動させるエフェクタ装置を位置決めし・定位（指向）させるように設計されている。手術中、ロボットマニピュレータ 1 4 は、制御装置（図示せず）へ接続された 1 または 2 以上の手術マスターコンソール 1 5 を介して 1 または 2 人の外科医 S によって操作される。理解されるように、この医療ロボットシステム 1 0 はモジュール型であって、外科手術のタイプに従って通常 5 個以下のマニピュレータ、通常は 2 個のマニピュレータを備えるように構成可能である。5 個のマニピュレータ 1 4 を備える医療ロボットシステム 1 0 ' の構成は例えば図 2 に示されている通りである。図 1 に示したシステム 1 0 では、各ロボットマニピュレータ 1 4 の基部にレーザ域スキャナー 2 2 が配置される。レーザ域スキャナー 2 2 は外科手術室における手術アシスタントの安全のために用いられる。図 3 はロボット手術システム 1 0 の一機械装置を成すロボットマニピュレータの 3 次元図である。ロボットマニピュレータ 1 4 は、外科手術室の床に取り付け可能であり、取り付けられない場合には移動可能である基部 2 4 上へ取り付けられる。図 3 には、3 つの座標系、すなわち基部、ツールフランジ（ T F ）及び腹腔鏡器具先端（ T I P ）座標系も示されている。図 3 に示すように、ロボットマニピュレータ 1 4 はマニピュレータアーム 2 6 とマニピュレータリスト 2 8 から構成される。

【 0 0 3 6 】

図 4 にはロボットマニピュレータ 1 4 の主要部分が示されている。アーム 2 6 には略垂直部分 2 7 と略水平部分 2 9 がある。垂直部分 2 7 上のアーム 2 6 の第一端部は基部 2 4 へ取り付けられ、他方リスト 2 8 はアーム 2 6 の第二端部、すなわち水平部分 2 9 の末端へ取り付けられる。適合腹腔鏡器具のエフェクタ装置 3 0 はリスト 2 8 のツールフランジ 3 2 へ接続される。図 3 において矢印で示されているように、アーム 2 6 には 3 つの自由度（ D O F ）があり、そしてリスト 2 8 には 2 つの D O F がある。従って、ロボットマニピュレータ 1 4 は基本的に 5 D O F ロボットマニピュレータである。エフェクタ装置の縦軸を中心として該エフェクタ装置へ取り付けられた腹腔鏡器具 1 8 を回転させる補助 D O F がエフェクタ装置 3 0 へ付与されている。ロボットマニピュレータ 1 4 及びエフェクタ装置 3 0 の D O F の配置は以下における図 5 の説明によってさらに明らかにされる。

【 0 0 3 7 】

図5の幾何学的モデルから最もよく分かるように、アーム26はプリズム状(角柱状)のスライド型(P)ジョイントである第一ジョイントJ1(あるいは直線状の直動ジョイント)を用いて基部24へ連結される。第一ジョイントJ1は基部リンクL0を用いて基部24へ接続され、このジョイントによってほぼ垂直な軸に沿った直動DOFが与えられる。これにより、第一ジョイントJ1によって第一のほぼ垂直なリンクL1の縦方向への位置決めと、次いで該リンクへ取り付けられた構成部品の基部24及びリンクL0に対する縦方向への位置決めが可能とされる。別の言い方をすれば、ジョイントJ1によって垂直部分27の高さが画定される。回転型(R)ジョイントである第二ジョイントJ2により、第一リンクL1がアーム26の第二のほぼ水平なリンクL2へ連結される。回転型ジョイントJ2の回転軸はほぼ垂直である。ジョイントJ2により、リンクL2と水平面におけるその最初の角位置間の相対角度を設定することが可能とされる。第三プリズム型スライド(P)ジョイントJ3によってリンクL2が第三のほぼ水平なリンクL3へ連結される。ジョイント(P)J3によってほぼ水平な軸に沿った直動自由度が与えられ、リンクL3のリンクL2に対する水平移動によってアーム26、より正確には水平部分29の到達あるいは拡張の範囲設定が可能とされる。リンクL2及びリンクL3と(P)ジョイントJ3が一緒になってロボットマニピュレータ14のほぼ水平に拡張可能なジブあるいはブームが形成される。

10

【 0 0 3 8 】

図5に示すように配置された2つの(P)ジョイント及び1つの(R)ジョイントを備える場合、アーム26には略垂直軸に沿った1つの回転DOFが与えられ、またそれに付随して2つの直交する軸に沿った2つの直動DOFも与えられる。その結果、ロボットマニピュレータ14のアーム26は円筒形状となり、マニピュレータ14の運動構成はPRP(プリズム型-回転型-プリズム型)円筒形ロボット類別されるものとなる。より正確には、最初の3つのジョイントJ1、J2、J3の各ジョイントは円筒形座標(z , θ , r)に対応する。なお、 z は高さ座標を表し、 θ は回転(または方位)座標を表し、及び r は伸び(または半径)座標を表す。

20

【 0 0 3 9 】

図5からさらに分かるように、リスト28には2つの回転型ジョイントJ4、J5が含まれ、及びエフェクタ装置30には1つの回転型ジョイントJ6が含まれる。回転型ジョイントJ2、J4、J5、J6のそれぞれによってエフェクタ装置30へ適合するように取り付けられた腹腔鏡器具の方位が画定される。回転型ジョイントJ4によってリンクL3がリンクL4へ連結され、該ジョイントによってジョイントJ2の回転軸に対して平行なほぼ垂直な軸を中心としてリンクL4がその二次部品と共に回転することが可能とされている。従って、回転型ジョイントJ4により、ジョイントJ2を実際に取り付ける際にエフェクタ装置30の偏揺れ(yaw)角度を設定することが可能となる。回転型ジョイントJ4の回転軸は、回転型ジョイントJ2の回転軸及びプリズム型ジョイントJ3の直動軸によって形成される平面と同一平面上にあることに注意すべきである。回転型ジョイントJ5によってリンクL4がツールフランジ32へ連結され、また該ジョイントJ5によって、ジョイントJ4の回転軸に対して直交する略水平軸に沿ってツールフランジ32をその後続部と共に回転させることが可能となる。それにより、回転ジョイントJ5によってエフェクタ装置30のピッチ角度の設定が可能となる。エフェクタ装置30はリンクL5を介してツールフランジ32へ連結される。回転ジョイントJ6の回転軸はジョイントJ5の回転軸とほぼ直交して配置され、このジョイントJ6によってリンクL5がリンクL6と連結される。回転ジョイントJ6の回転軸はリンクL6と一直線に配列され、このジョイントJ6によってリンクL6の初期角位置に対する相対角度が画定される。適合腹腔鏡器具18はリンクL6へ連結される。リンクL7によって代表される器具18はリンクL6と一直線に配列される。リンクL7の末端部が器具先端部17となる。

30

40

【 0 0 4 0 】

マニピュレータ26の円筒形状のPRP運動構成には種々の利点があるが、その中で特

50

記すべきものは以下の通りである。

- ・手術台上方においてマニピュレータ装置によって占有されるスペースが比較的少なくて済むこと。

- ・マニピュレータ基部と手術台との間隔が十分取れる（水平部分 29 の最小リンクオフセットが 800 mm である）ため、外科医の手術台へのアクセス、患者の手術台から、あるいは手術台への移動が容易になること。

- ・マニピュレータどうしの衝突検知計算が容易かつ迅速に行えること。

【0041】

以下において、本発明の上記観点及び他の観点についてさらに明らかにする。ロボットマニピュレータアーム 26 の選択された PRP 運動構成から得られる利点は、手術台 12 10
周囲の交差スペースへ配置される複数マニピュレータ間に起こる衝突の検知計算が簡略化
されることである（図 1 及び図 2 参照）。円筒形状とされているため、ロボットマニピ
ュレータ 14 を 2 次元（2-D）水平面において単純な平面形状となるように特徴化するこ
とが可能である。図 6 に最もよく示されているように、アーム 26 の機械的リンクは、（
J3 + L2 + L3）及び J2 へそれぞれ対応する長さ及び方位をもつ長方形によって包み
込み可能であり、この長方形の被いの幅は機械的リンクの外形と、例えばロボットを抑制
して最大速度から停止させるまでに要する間隔によって決まるマージンと、安全閾値によ
って与えられる。前記長方形の被いの各側面のマージンは動作方向及び速度に従って動的
にサイズ化可能であり、被い側面方向の速度が速ければ速いほど、この被い側面のマー
ジンは大きくされる。リスト 28 は、リンク L4 の本体とリンク L5 の部分を包み込み、ジ
ョイント J4 の現在の角位置によって与えられる可変平面方位を備えた長方体で近似され
る。同様に、突き出し角度がジョイント J5 の現在の角位置に一致する 2-D 水平面上に
20
においてその突き出しを包み込む長方体をエフェクタ装置 30 として近似されることができ
る。同じ原理がエフェクタ装置 30 へ連結された器具 18 の軸にも適用される。このよう
な単純な幾何学的 2 次元特性により、ラインの交差による衝突検知を行うための単純かつ
効率的なアルゴリズムを確立することが可能となる。第一段階において、前記衝突検知方
法によって 2-D 水平突出部において衝突が確認される。これら 2-D 図のいずれかと別
のロボットマニピュレータ 14 からの図が衝突する時のみ、第 3 次元を含めることにより
実際に衝突リスクがあることが有効に確認される。それゆえ、理解されるように、3-D
30
計算はロボットマニピュレータ 14 の関連部分の交差側面に関してのみ行われる必要があ
る。この簡略 3-D 計算の場合、関連部分は例えば三角形をベースとしたモデルを用いて
包み込まれる。その結果として、例えばモラーによって「高速三角形 - 三角形交差テスト」、
Journal of Graphics Tools, 2(2), 1997 において提案されている高速交差検出アル
ゴリズムを容易に実施可能である。原則として、器具 18 の軸間の衝突検出は、特に動力
作動される器具から内視鏡を保護するために行うものである。

【0042】

ロボットマニピュレータ 14 間に起こる衝突の検出について正確な結果を得るため、共
通の基準座標系に対するすべてのロボットマニピュレータ 14 の位置及び方位が外科手術
室中にマニピュレータ 14 を配置した後の校正作業中に決定される。機能的観点から、衝
突リスクが検出された後には、制御装置は関連マニピュレータ 14 を停止させ、適当なデ
40
ィスプレイ情報及び/またはマスターコンソール 15 に対する斥力フィードバックを通し
て外科医 S へ警告を発しなければならない。これにより、外科医 S はマニピュレータの 1
つを安全な方向へ遠隔操作することにより簡単に復旧させることが可能である。さらに向
上された態様においては、部品のセット、例えばアーム 26、リスト 28、エフェクタ装
置 30 及び/または器具 18 のそれぞれについてマージンの異なる少なくとも 2 つの被い
を用いて数個の衝突安全レベルが設定される。より突き出しの大きい被い（envelope）
を用いて衝突リスクを検知する方式とした後には、外科医 S によって指令された衝
突方向への動きはマージン部分への侵入に基づいて敏感にスケールダウンされる。

【0043】

アーム 26 の形状に関する他の利点としてジョイント J1、J2、J3 に関わる作動装 50

置の制御能が向上されている点がある。他の種類のロボット（例えば球形または関節ロボット）と比較した場合、またアーム形状の結果として、これら作動装置の制御は、Ｊ１、Ｊ２、Ｊ３及びＪ４が変化する重力負荷を受けず、またＪ１、Ｊ３及びＪ５が変化する動力負荷をもたないことから向上されている。これによって制御ループ（例えば前方送りを伴うＰＩＤ）の単純最適化が可能となり、さらに例えば数個のモーターエンコーダがカウントする位置ダイナミックスを達成することが可能となる。上記利点の他、機械的設計によって、リンクＬ２及びＬ３を剛性かつ軽量にし、ジョイントＪ１及び／またはジョイントＪ２が急激な動作を取った場合に偏りや振動を抑制することが考慮されるべきである。

【００４４】

ロボットマニピュレータ１４の形状に起因する利点が他にも２つあることに注意すべきである。第一に、マニピュレータ基部２４が手術台１２から十分間隔を空けて配置されていること（少なくとも６００ｍｍ離れている）、及びアーム２６がジョイントＪ２（制動解除状態）を中心として退避位置まで手で回転できるように設計されているため、外科医Ｓは吸入、器官の摘出、最終的縫合等の手による作業を行うために手術台１２へ容易かつ迅速にアクセスすることが可能である。さらに、手術台１２上へあるいはそれからの患者の移動を迅速に行うことも可能である。第二に、例えばＺＥＵＳの名称で知られ、長さが同等な共面リンクを連結して一定の水平位置に達する２つのエルボー回転ジョイントをもつマニピュレータアームに用いられるＳＣＡＲＡ構成に比べて、円筒形状のマニピュレータ１４には患者Ｐの体の上方ヘリスト２８を配置するために要するスペースを大幅に減ずる単一の放射型伸長ジョイントＪ３が備えられる。図２に示すように、かかる構成とすることにより、手術台１２に５台あるいはそれ以上のマニピュレータ１４を配置することが可能となり、それによってリストの寸法及びエフェクタ装置の寸法を十分小さくすること、すなわち患者の体の上方の有効作業空間において十分な空間を占有することが可能となる。

【００４５】

以下のパラグラフにおいて、ロボットマニピュレータ１４の構造について図７～１５を用いてさらに詳細に説明する。

図７には基部２４に関するいくつかの特徴が示されている。基部２４には主基部板４０が含まれ、この基部２４は主基部板４０の角部にある開口部中に取り付けられた４個の車輪４２を用いて移動可能な構造体として配置される。車輪のそれぞれは車輪４２を引き出し、あるいは引っ込めるために用いるハンドルへアクセスするための開口部を備えたカバー４３中に閉じ込まれている。車輪４２を引っ込めることにより、基部２４は車輪４２のクッション支持体（図示せず）を用いて外科手術室の床へ安定状態で静置される。車輪４２を引き出すと、基部２４をロボットマニピュレータ１４と共に手で移動させることが可能である。別の設計では、基部２４を可動あるいは固定された直線レール軸上へ、あるいは数個の基部２４と付随マニピュレータ１４を支持するように設計されたカート上へ取り付け可能とされる。主基部板４０は、必要な場合に例えば孔４４を用いてねじで締め込むことによりロボットマニピュレータ１４にさらに安定性を与えるため床へ固定できるように設計されている。ロボットマニピュレータ１４はねじ切りされた孔４５中へボルトを通して基部２４へ取り付けられる。基部板４０中には数個の極めて精密な穴４６が機械加工される。これらの穴４６は、「ロボット較正」、R. Bernhardt及びS. Albright著、Chapman & Hall版、１９９３年に記載されているように、光学測定システムを用いて基部２４の位置及び方位を決定するために用いられる光学較正リフレクタを支持する役割を果たすものである。ロボットマニピュレータ１４は工場設置過程で較正を行ってその形状モデルを正確に決定することが可能と理解される。さらに、基部にはブラシレスモーターの動力源及びサーボドライブ装置、信号調節装置、アーム取付型センサの局部加工手段、並びに遠隔システム制御装置への通信チャネルのための囲い４８が含まれる。図１に示すように、また図８から最もよく分かるように、２Ｄレーザ域スキャナ２２が基部２４上、より正確には囲い４８上に取り付けられているため、リンクＬ２及びＬ３周囲の安全境界線内部への例えばアシスタントＡの侵入を検知することが可能である。

【 0 0 4 6 】

医療ロボットシステム 10 には通常 2 台の異なる型式のロボットマニピュレータ 14 が使用されることが理解されなければならない。これら型式の異なる 2 種のロボットマニピュレータ 14 の形状及びアーム 26 の運動 P R P 構成は本質的には同一であるが、第一のタイプは好ましくは視覚化のために用いる内視鏡を取り扱うために配置され、他方第二のタイプは手術自体に用いられる種々の適合腹腔鏡器具を取り扱うために配置される。腹腔鏡の場合、通常第一タイプのロボットマニピュレータ 14 が 1 台使用され、さらに第二タイプのロボットマニピュレータ 14 が数台使用される。本発明医療ロボットシステム 10 において、これら 2 種のロボットマニピュレータ間における主要な相違は下記の通りである。

- ・内視鏡マニピュレータのアクセスポート周囲で該マニピュレータが 360 回転する必要があるため、ジョイント J 3 の移動が内視鏡マニピュレータに対してより長くなっている。

- ・内視鏡マニピュレータのアクセスポート周囲で該マニピュレータが 360 回転する必要があるため、ジョイント J 4 の移動が内視鏡マニピュレータに対して無限大になっている。これは J 4 軸上に信号コレクタを用いることによって可能とされている。

- ・内視鏡マニピュレータにジョイント J 6 は不要である。すなわち、内視鏡をジョイント J 5 へ直接取り付けることが可能となっている。

- ・内視鏡マニピュレータのエフェクタ装置 30 が、通常内視鏡と過剰応力を検知するための応力 / トルクセンサから構成されている。

- ・内視鏡マニピュレータには内視鏡だけに対しての位置決め能が要求されるため、すべてのジョイントへの速度 / 加速要求が内視鏡マニピュレータに関して最小で 60 % まで低下されている。

【 0 0 4 7 】

上記相違点を考慮した場合、前記第二タイプのロボットマニピュレータ 14 にはより厳しい設計要求が課されることから、以下においてはこの第二タイプのロボットマニピュレータ 14 に焦点を合わせて説明する。

【 0 0 4 8 】

図 9 を参照しながら、以下においてマニピュレータアーム 26 のジョイント J 1 ~ J 3 の形状について詳細に説明する。

【 0 0 4 9 】

付属のリニア作動装置としてのアーム上昇用の (P) ジョイント J 1 はボールスクリュース直線軸 50 (例えば Parker Hannifin, Electromechanical Division, Offenburg, Germany & Poole, UK 製造の E T シリーズの適当モデル) から構成される。このボールスクリュース直線軸 50 はインクリメンタルモーター位置エンコーダ及びブレーキが備えられたブラシレスサーボモーター 51 によって駆動される。前記直線軸 50 にはさらにその出力段に付加型絶対直線位置センサ (図示せず) が制限スイッチ及び機械操作型移動端バンパー (図示せず) と共に備えられる。前記直線軸 50 には垂直接線ガイド 52 が機能的に連結されて軸直線性及びねじれ剛性が確保される。また、直線軸 50 はアーム 26 を基部 24 へ取り付けするためのブラケット 53 へ取り付けられる。信号ワイヤ及び動力ワイヤがジョイント J 1 のカバー内部の垂直ケーブルチャネル (図示せず) 中へ導入される。外側カバー 54 によって図 3 に最もよく示されているプリズム (P) ジョイント J 1 の構成部品が囲まれている。ジョイント J 1 の作動装置に関して、モーター / 負荷減少比は、モーターブレーキが解放されている場合でも、あるいはサーボモーター 51 に動力が供給されない場合でも水平部分 29 の好ましくない下降が防止されるように設定されることが理解されよう。さらに、緊急停止ボタン (図示せず) が外側カバー 54 上へ設置され、この緊急停止ボタンによって緊急時にすべてのロボットジョイントの動作が停止される。図 9 に示すように、マニピュレータアーム 26 の前記構成部品はそのほぼ垂直な部分 27 から成っている。

【 0 0 5 0 】

図 9 にはアーム 26 の肩部ジョイントを形成する (R) ジョイント J 2 も示されている。図 10 から最もよく分かるように、ジョイント J 2 は負荷を駆動する Harmonic Drive (登録商標) 型ギア 62 と直列にされたブラシレスサーボモーター 61 の組合わせから構成されている。ブラシレスサーボモーター 61 には位置エンコーダ及び故障時安全ブレーキが備えられている。さらに、前記作動装置にはギア 62 の出力段に連結されたベルト 66 によって駆動される絶対回転位置センサ、機械操作型移動端バンパー、及び制限スイッチ (図示せず) が含まれる。カバー 64 上にはキースイッチ (図示せず) が設けられ、このキースイッチによって各モーターへ動力が供給されていない時にジョイント J 2、J 3、J 4、J 5 及び J 6 のブレーキ解除を行うことが可能とされている。ブレーキ解除により、アーム 26 及びエフェクタ装置 30 を待機位置へ手で移動させることが可能となる。下流ジョイント J 3 ~ J 6 及びエフェクタ装置からの信号ケーブル及び動力ケーブルは J 3 からカバー 64 の内部を通過する柔軟ケーブルダクト (図示せず) を通って J 1 まで送られている。別態様として、これらケーブルを例えば適合ギア及びモーター装置の中空シャフトを通して配することも可能である。

【0051】

図 9 には、放射状伸長、すなわち水平部 29 の到達範囲を設定するための (P) ジョイント J 3 を含めたアーム 26 の水平部分 29 も示されている。ジョイント J 3 は細長い円筒軸 70、例えば連結直線作動装置としてのボールスクリュース直線軸から成る。例えば、前述したメーカーによって製造され、かつモーター位置エンコーダ及び故障安全ブレーキが備えられたブラシレスサーボモーター 71 によつて駆動される E T モデル作動装置が使用される。細長い円筒軸 70 のロッドによって矩形管形状にされ、かつ直線ガイド 73 のトロリ上へ取り付けられたビーム 72 が移動される。このような構造とすることにより、直線の片寄りが減じられる。細長い円筒軸 70 にはさらにその出力段に付加型絶対直線位置センサが制限スイッチ及び移動端機械操作型バンパー (図示せず) と共に備えられる。信号線及び動力線は水平に置かれたケーブルチェーン中へ導入される。カバー 74 は第二リンク L 2 を形成する部品へ固定され、このカバー 74 によって (P) ジョイント J 3 の部品、特に直線作動装置 70 及び直線ガイド 73 が包み込まれる。図 9 に示すように、リンク L 3 の一部を形成するビーム 72 はカバー 74 中へ入り込み、あるいはそれから出ていくように形状化される。そのため、アーム 26 には、患者 P 上方の限られた空間しか必要としない先端部へ向かって狭くなる水平部分 29 が備えられる。さらに、動力供給状態及び作動状態を視覚的に示すため、好ましくはカバー 74 の後方頂部にランプが備えられる。

【0052】

次に図 11 ~ 13 を参照しながら、リスト 28、より詳細にはジョイント J 4 及び J 5 の構造について以下において詳細に説明する。

【0053】

図 11 ~ 13 に示した (R) ジョイント J 4 の機械・作動装置は、ブラシレスサーボモーター 81 が垂直に取り付けられた支持板 80 を含む。サーボモーター 81 のモーターシャフト上には位置エンコーダ 82 及びホールセンサが設けられる。サーボモーター 81 としては、例えば MAXON MOTOR A.G., Sachseln, Switzerland 製 EC モーターシリーズのうちの適当モデルが使用される。(R) ジョイント J 4 には、サーボモーター 81 へ連結されたギア 83、伝動ベルト 84、及び接続フランジ 87 へ連結されている負荷軸プーリーを駆動させるプーリーシステム 85 を介する伝動装置がさらに含まれる。プーリー 89 には絶対シングルターンセンサ 88 がさらに接続され、このプーリーは同様に伝動ベルト 84 によって駆動され、かつ支持板 80 底面へ取り付けられる。ケーブルをジョイント J 5 からジョイント J 4 へ容易に配するため、本発明装置には負荷軸プーリー 86 及び接続フランジ 87 が含まれ、さらに中空シャフト及び前記接続フランジ 87 上へ側部窓が設けられる。支持板 80 は 2 個の取付板 90 を用いてビーム 72 へ堅固に取り付けられる。図 14 に示すように、カバー 92 はジョイント J 4 の部品を保護する働きがある。カバー内部において、エフェクタ装置 30 からのケーブル、ジョイント J 5 及び J 4 からのケーブル

には保守目的からリスト 28 の取外しを可能とするコネクタが設けられる。ジョイント J 4 のカバー 92 上には緊急停止ボタンが設けられる。好ましくはサーボモーター 81 のシャフト上へ故障時安全ブレーキが取り付けられる。マルチロボット構成において制限要因と成る可能性のある側方オフセット O1 を減ずるため、モーターを負荷軸プーリー 86 の軸及びセンサ 88 の軸と一直線に並べることも可能である。この場合、支持板 80 には好ましくは負荷軸プーリー 86 周囲との曲線状境界部が設けられる。

【0054】

図 11 ~ 13 には (R) ジョイント J5 の機械・作動装置がより詳細に示されている。ほぼ L 形状の支持部材 100 によって、ジョイント J4 へ接続された水平部分とジョイント J5 のための固定フレームである垂直部分を用いて、ジョイント J5 がジョイント J4 へ連結されている。前記支持部材は、ブラシレスサーボモーター 101、例えば MAXON MOTOR A.G. 製の適当な EC モデル、位置エンコーダ 102、及びモーターシャフト上のホールセンサから構成されている。図 13 に示すように、サーボモーター 101 は支持部材 100 上へ横向きに取り付けられる。図 12 及び 13 に示すように、(R) ジョイント J5 にはモーター 101 へ連結されたギア 103、伝動ベルト 104、さらに負荷軸プーリー 106 を駆動させるプーリーシステム 105 を介する伝動機構がさらに含まれる。さらに別の絶対シングルターンセンサ 108 がプーリー 109 へ追加接続され、このセンサも伝動ベルト 104 によって駆動され、また支持部材 100 の内面へ取り付けられる。エフェクタ装置 30 からジョイント J4 までケーブルを容易に配するために多数の特徴が含まれる。支持部材 100 中に 2 個の穴 110 及び 112 が設けられ、プーリー 106 及びツールフランジ 32 中に中空中心通路 114 が設けられ、またプーリー 106 にはケーブル配線支持体 114 が設けられる。L 形支持部材 100 にはツールフランジ 32 を通してエフェクタ装置 30 を支持する剛性構造を付与するために側部強化部材が設けられる。必要ならば、(R) ジョイント J5 には好ましくは制限スイッチ及び故障時安全ブレーキ (図示せず) が含まれる。これらを含める場合、マルチロボット構成において制限要素となる側部オフセット O2 を減ずるため、故障時安全ブレーキは好ましくは伝動ベルト 104 によって駆動されるプーリー上へ取り付けられる。

【0055】

図 14 及び 15 にはジョイント J5 のツールフランジ 32 へ接続されるように設計されたエフェクタ装置 30 がその主要部分、すなわち腹腔鏡器具作動装置 120、6DOF 応力/トルクセンサを含むセンサ装置 122、6DOF 直線/角加速度計、及びジョイント J6 用カバー 124 と共に示されている。ジョイント J6 はセンサ装置 122 へ接続される。腹腔鏡器具作動装置 120 には適合腹腔鏡器具 18 をロボットマニピュレータ 14 へ取り付けのためのシート 130 が備えられる。

簡略にするため、腹腔鏡器具作動装置 120 及び応力、トルク及び加速測定センサを含むセンサ装置 122 は、それぞれ頭字語である LIA 及び FTAS で呼ぶ。エフェクタ装置 30 の構成部品は、ジョイント J6 が適合腹腔鏡器具 18 を該器具の対称長軸を中心として回転させ、さらにこの軸が FTAS 122 の正規 Z 軸と一致するように並べられる。(R) ジョイント J5 の回転軸に対するエフェクタ装置 30 の位置は、ジョイント J5 が停止され、かつ動力供給されていない時に傾くことを防止するため、エフェクタ装置 30 の平衡点となるように選定される。それゆえ、リスト 28 を接続するエフェクタ装置 30 の主支持フレーム 140 は、組み立てられたエフェクタ装置 30 が (R) ジョイント J5 の回転軸上でバランスを取れるように形状化される。ジョイント J5 のモーター/負荷減少率も傾き阻止に寄与している。

【0056】

図 15 はジョイント J6 の構造を示す図である。(ツールフランジ 32 へ接続される) 前記主支持フレーム 140 にはインクリメンタルエンコーダ 142 及びギア組立部品 143 を備えたブラシレスモーター 141 が取り付けられる。モーター 141 へ連結されたモータープーリー 145 はベルト 144 を用いて負荷プーリー 146 と連結される。前記負荷プーリー 146 によってジョイント J6 の回転 DOF が付与される。(R) ジョイント

Ｊ６の軸と同一空間にある負荷プーリー１４６の軸上にさらに別の絶対位置センサ１４８が取り付けられる。位置エンコーダ１４８にはＬＩＡ１２０及びＦＴＡＳ１２２の信号ライン及び動力ラインを「スリップリング」またはスライド接触型の回転コレクタ１５０へと通す中空軸が備えられている。スリップリング１５０はジョイントＪ６に対して無限軸回転を可能とするものである。負荷プーリー１４６は接続フランジ１５２を通してＦＴＡＳ１２２へ接続される。ＬＩＡ１２０及びＦＴＡＳ１２２用の動力ライン及び信号ラインに用いるケーブルは接続フランジ１５２中の中空通路を通してカバー１２４内部へ導入されている。理解されるように、すべてのロボットマニピュレータ１４には、例えばジョイントＪ１～Ｊ６やＬＩＡ１２０及びＦＴＡＳ１２２等のエフェクタ装置３０構成部分の信号ライン及び動力ラインの保護状態での導入を確保するために内部チャネルが設けられる。さらに改善された態様（図示せず）においては、ジョイントＪ６の構成には下記２つの変更が加えられる。第一は、モーター・ギア・プーリー組立装置１４１、１４３、１４４、１４５を図１５に示す方位に対して－９０°の方向へ位置決めすることによってオフセットＯ３を減ずることである。第二は、モーター・ギア組立装置１４１、１４３がＬＩＡ１２０へさらに近接して配置されるように構成してオフセットＯ４を減ずることである。

【００５７】

理解されるように、ジョイントＪ４、Ｊ５及びＪ６の回転軸は前記示した実施態様における空間中の同一点で交わっている。そのため、リンクＬ５によって生ずる潜在的オフセットは取り除かれている。

【００５８】

図２３及び２４に示すように、例えば２つの適合腹腔鏡器具１８が近接配置されたトロカール（套管針）（アクセスポート２０）中へ挿入される場合の操作性を向上させるために、別の設計においてもリンクＬ５によるオフセットＯ５をもたらす可能性がある。例えば図２３及び２４に示した設計では、リンクＬ５に起因する負のオフセットＯ５をもつ変形型マニピュレータリスト２８'が与えられている。この負のオフセットＯ５により、リスト２８'間の衝突なしに第二ロボットマニピュレータ１４のエフェクタ装置３０上方へ第一ロボットマニピュレータ１４のエフェクタ装置３０を配置することが可能とされている。しかしながら、このような構成へと変形することにより、ジョイントＪ３にはより大きな伸長能が要求され、またジョイントＪ２、Ｊ３及びＪ４にはより高速性能及び加速性能が要求される。図２４から理解されるように、リスト２８'の形状は複数のアクセスポート２０が近接配置された状態で操作するためには有利である。図２３に示されたＪ６及びＪ４の回転軸間におけるオフセットＯ５の好ましい数値は、その最大断面図におけるＬＩＡ１２０の直径にほぼ等しいことが理解されよう。

【００５９】

ロボットマニピュレータ１４及びその構成部品の設計に関するさらに他のいくつかの観点及び利点について以下に詳細に説明する。

【００６０】

リスト２８及びエフェクタ装置３０に用いられるトランスミッション及びモーターの構成について前述したが、他の構成、例えばトランスミッション手段としてケーブル及びプーリーを用い、あるいはトルクモーターを備えるコンパクトなギア・モーター・ブレーキ組立装置を用いることも可能である。しかしながら、トランスミッションにケーブル及びプーリーを用いることはその実行及び保全においてより困難であり、他方トルクモーターをベースとする組立装置は通常コンパクト化に劣る。前記システムの安全性を確保するため、緊急停止に際してモーター５１、６１、７１、８１、１０１、１４１を停止させることが可能な「発電ブレーキ」機能をもつサーボドライブが選択された。ロボットマニピュレータ１４の外側カバーは適当な洗浄可能プラスチック材料と一部アルミニウムから成り、すべての外側導電性部分はアース接続される。すべての内部部品は受電及び放電に際してＥＭＩから遮蔽される。外科手術室内の滅菌処理においては、通常ロボットマニピュレータ１４は滅菌プラスチックバッグを用いてエフェクタ装置３０から基部２４まで完全に被覆される。

【 0 0 6 1 】

作動に関し、上述したロボットマニピュレータ 1 4 の設計にはさらに 2 つの利点がある。第一の利点は、静摩擦及び逆慣性が高いジョイント J 1 を除いて、ロボットマニピュレータ 1 4 のジョイントを手動で作動することができることである。別の言い方をすれば、すべてのブレーキを解除した場合、フランジ 3 2 部分でリスト 2 8 へ取り付けられたエフエクタ装置 3 0 を、僅か 5 k g 未満の押力しか要しないジョイント J 2、J 3、J 4、J 5 及び J 6 の手動作動を介して手で移動させることが可能である。第二の利点は、感覚的冗長性によってシステム安全性が増大されることである。前記したように、ジョイント J 1 ~ J 6 のそれぞれには、モーターシャフト上の位置エンコーダと各ジョイントの有効動作出力を測定する付加的な位置センサ（例えば 6 5、8 8、1 0 8、1 4 8）の双方が備えられている。実使用場面において、この感覚的冗長性を利用して、（例えばモーターワイヤ、ベルト、あるいはサーボドライブの）故障が検知される。

10

【 0 0 6 2 】

さらに、設計ではジョイント J 1 ~ J 6 のそれぞれにおいて移動止まり状態となることから回避される。移動止まりは、ジョイントがその移動限界からはみ出した時に起こり、患者 P の体内に挿入された器具 1 8 を回収することは外科医 S にとって困難かつ厄介なことであるため、特に遠隔操作ロボット手術においては危険状態となる。移動止まり状態となることを防止するため、アーム 2 6 のプリズムジョイント J 1、J 3 は十分移動できるように設計され、またエフエクタ装置 3 0 の回転型ジョイント J 6 は無制限に回転できるように設計されている。そのゆえ、何らかの所定の初期形状及び設置条件が守りさえすれば、移動止まり状態を防止することが可能である。

20

【 0 0 6 3 】

図 1 6 にはトロカール 2 0 0 及び患者 P の体外におけるその作業空間 2 0 2 が模式的に示されている。図 1 6 には、z 軸が重力方向とほぼ平行に上方を向いているデカルト座標系 (x, y, z) を用いて支柱基準フレーム F R F も示されている。トロカール 2 0 0 は通常患者 P の 2 0 4 で示された腹部中の小さな切開部を通して腹膜空隙中へ挿入される。トロカール 2 0 0 と切開部の双方で図 1 及び図 2 に示すように 1 つのアクセスポート 2 0 が形成される。手術が実施される器官あるいは部位まで到達するため、Z' で示されるトロカール 2 0 0 の縦軸は作業空間 2 0 2 中でピボット点 2 0 6 と呼ばれる F R F の起点を中心として旋回される。言い換えれば、この起点によってトロカール 2 0 0 の支点が画定される。この支点は、トロカール 2 0 0 が引き出されるリスクを減ずるため、好ましくは患者 P の腹壁と皮膚との間の傾き抵抗の小さい位置とされる。

30

【 0 0 6 4 】

下記最大応力及びトルク域を変更型腹腔鏡器具のハンドルに配置されている 6 D O F 応力／トルクセンサへ試験的に記録した。（J. Rosenら著、"外科医・器具応力／トルク折り丁 ■ 体内最小侵入手術における外科技量の評価", Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality, MMVR-7, IOS出版、San Francisco, CA, 1999年1月参照）

・ 応力： $F_x, F_y = \pm 10 \text{ N}$; $F_z = \pm 30 \text{ N}$;

・ モーメント： $M_x, M_y = \pm 1 \text{ Nm}$; $M_z = \pm 0.1 \text{ Nm}$

【 0 0 6 5 】

ここで、 F_i は対応軸 $i = x, y$ または z に沿った応力を表し、 M_i は図 1 6 に示した F R F の対応軸 $i = x, y$ を中心としたモーメントを表す。F T A S 1 2 2 中の応力トルクセンサの操作範囲には、これら数値に加えて、L I A 1 2 0 の重量、動作力学的負荷、及びトロカール 2 0 0 に対して作用する旋回侵入抵抗が考慮される。実用上は、F T A S 1 2 2 中の応力トルクセンサは、応力／トルク反射、すなわち外科医 S によって操作される触覚インタフェースへの応力／トルクのフィードバック、F T A S 1 2 2 をジョイスティックとして用いてのエフエクタ装置 3 0 の手動駆動、及びエフエクタ装置 3 0 へ接続される器具 1 8 と相互作用する応力／トルク、例えば器具 1 8 先端あるいは図 4 のピボット点における応力／トルクのモニタリングに用いられる。F T A S 1 2 2 中の直線及び放射加速度計は、応力・トルクセンサ情報に対する重力及び加速度の影響を補償するために用

40

50

いられる。F T A S 1 2 2 中の加速度計及び応力・トルクセンサの測定軸は幾何形状的に一致する。

【 0 0 6 6 】

手術中、腹腔鏡器具 1 8 はトロカール 2 0 0 を通して挿入される。殆どの外科手術において、外科医 S は、図 1 6 に示す F R F について、器具 1 8 を以下に示す角作業空間及び速度の最大範囲内で操作している。

【 0 0 6 7 】

【表 1】

支点軸	最大移動	最大速度
偏揺れ旋回	+ / - 7 0 °	1 0 0 ° / s
ピッチ旋回	[+ 1 0 ° - 8 0 °]	6 0 ° / s
侵入	[0 2 0 0 mm]	2 0 0 mm / s
回転	[- 3 6 0 ° + 3 6 0 °]	

10

【 0 0 6 8 】

いくつかの先行技術によるロボットマニピュレータの設計及び形状においては、トロカール 2 0 0 の旋回点は、固定点を中心として旋回するリスト構造が機械的に配置されていることから、リスト設置後も固定されたままである（例えば、Taylorらによる「動作ロボットの遠隔操作」センター、U S P 5 6 6 7 3 2 3 - 1 9 9 5 年 5 月参照）。他の先行技術による設計では、トロカールへ加わる応力を制限するため、旋回軸に沿って機械的キャパシタンスが付与される（例えば、Wangらによる「医療ロボットシステム」、U S P 6 1 0 2 8 5 0、2 0 0 0 年 8 月参照）。これに対して、本願において提案されているロボットマニピュレータ 1 4 は、機械的キャパシタンスも動作中心もなく設計されていて、特定の手順によって決められる旋回点 2 0 6 を中心とした正確な回転動作と、旋回点 2 0 6 の位置を最適化するために行うエフェクタ装置 3 0 へ加えられる応力及びトルクのリアルタイム制御に依存している。さらに、この特徴は、腹腔内作業空間を改善することを外科医 S に要求された場合に、旋回点 2 0 6 の移動に際して柔軟性を与えるものである。さらに別の利点は、例えば腹圧の減少によって旋回点 2 0 6 の絶対位置が変わる場合の適応能にある。

20

【 0 0 6 9 】

明白なことであるが、エフェクタ装置 3 0 に外科医の手による腹腔鏡器具の取扱いに匹敵する器用さを付与するため、ロボットマニピュレータ 1 4 には一定の動作能力が備えられなければならない。表 1 に挙げた動作条件に基づき、特定の例においてジョイント J 1 ~ J 6 に見出されている好ましい運動能を表 2 に示す。回転、ピッチ及び偏揺れ角度を、例えば支点のような絶対的基準系に対して限定することが可能である。

30

【 0 0 7 0 】

40

【表 2】

ジョイント	最大移動	最大速度	最大加速度
J 1－上昇	700 mm	600 mm/s	4n/s ²
J 2－肩	+/- 90°	60° /s	400° /s ²
J 3－放射	600 mm	600 mm/s	4 m/s ²
J 4－偏揺れ	[-360° +360°]	260° /s	1900° /s ²
J 5－ピッチ	[-60° +180°]	75° /s	500° /s ²
J 6－回転	無限大	250° /s	2400° /s ²

10

【 0 0 7 1 】

各ジョイントの速度及び加速度能に関して表 1 に示された数値は比較的高いため、強力な作動装置、剛性な構造をもつアーム 2 6 及びリスト 2 8、及び基部 2 4 を用いた適切な床固定が要求される。当然のこととして、これらの要求を軽減させるため低い数値の選択が可能であるが、旋回点 2 0 6 における応力を減ずるためのコストが問題となる。

【 0 0 7 2 】

20

特に力反射を伴う遠隔操作ロボット手術の場合、別に関連する観点としてマニピュレータ 1 4 に対する精度要求がある。十分な精度はトロカール切開におけるストレスの減少に寄与し、また正確な応力・トルク補正の実施を可能とする。

【 0 0 7 3 】

選択された設計において、エフェクタ装置 3 0 への接続部、すなわちツールフランジ 3 2 (図 4 参照) におけるマニピュレータ 1 4 の静止精度は、位置に関しては ± 2 mm よりさらに良くなり、また F R F (図 1 6 参照) における方位に関しては ± 0 . 1 ° よりさらに良くなる。本願においては、連列された腹腔鏡器具 1 8 の先端における外部負荷は 1 . 5 k g と想定され、また F R F は (R) ジョイント J 5 の軸から 2 8 0 mm 離れた点にあると想定される。動きの精度は位置に関しては ± 4 mm よりさらに良くなり、また F R F における方位に関しては ± 0 . 5 ° よりさらに良くなる。このような特徴は、特に構造部品の正確な機械加工、リンク L 1 ~ L 6 及びジョイント J 1 ~ J 6 の剛性、位置センサの十分な分解能、P I D モーター制御ループの適切な調節、マニピュレータの運動較正等によって得られるものである。

30

【 0 0 7 4 】

これに関して、ジョイント J 1 ~ J 6 のそれぞれの出力装置に設けられた前記絶対位置センサ (例えば 6 5、8 8、1 0 8、1 4 8) には以下のような利点がある。

- ・ジョイントを作動させることなく、ロボットマニピュレータ 1 4 のジョイント J 1 ~ J 6 をホーミング (h o m i n g) できる。これは、モーター制御に用いられるインクリメンタルセンサの初期値が絶対センサによって与えることを意味する。絶対センサが得られない場合は、ホーミングを実施し、すべてのジョイントを一定方向へ移動させて基準信号を見つめることが可能である。運転開始時のフォーミングを自動化しないことにより、迅速な始動と安全性の向上が確保される。

40

- ・エフェクタ装置 3 0 の位置及び方位をリアルタイムで決定することにより、トランスミッション機構によって生ずるジョイント弾性エラーが防止される。

- ・F R F からのロボットマニピュレータ 1 4 の逸脱がモニターされる。

- ・各ジョイント J 1 ~ J 6 に設けられた各モーターエンコーダによって示された位置を用いてデータに矛盾がないことをモニタリングすることにより、ジョイント・トランスミッション故障 (例えばベルトの破断) あるいは他のハードウェア故障が検出される。

【 0 0 7 5 】

50

ロボット工学の別の観点として、ロボットマニピュレータ 14 の制御に用いる数学モデルがある。ロボットマニピュレータ 14 の理論モデルから離れて、運動力学的配置に対するオフセット、ジョイント J 1 ~ J 6 の弾性、リンク L 1 ~ L 7 の弾性、作動装置バックラッシュ、及び他の直線性誤差等のパラメータを含む有効かつ正確な「有形の」モデルが較正過程において必ず決定されなければならない。上記明示された「有形の」マニピュレータモデルは以下に述べる 3 つの目的に用いられる。すなわち、第一は、実際にジョイントオフセットとリンク長をもつ運動制御装置（逆運動計算を簡略化する）中に理論モデルを用いてロボットマニピュレータ 14 の精度を高めること、第二は、前向き公式（forward formulation）を介してリアルタイムで 6 - D O F F T A S 1 2 2 及び取り付けられた負荷の位置及び方位を正確に計算すること（この数値は重力負荷及び加速度負荷を補正するために必要とされる）、第三に、前向き公式を介してリアルタイムで器具先端の位置及び方位を決定し、及び力反射（例えば器具 18 の侵入）に要求されるパラメータを導き出すことである。

【 0 0 7 6 】

以下の節において腹腔鏡器具作動装置（L I A）1 2 0 についてより詳細に説明する。

【 0 0 7 7 】

図 1 4 及び 1 5 に示すように、L I A 1 2 0 によってエフェクタ装置 3 0 の一部が形成される。L I A 1 2 0 により、ロボットマニピュレータ 14 を作動させて把持 / 切開用ピンセット、ハサミ、吸引 / 灌注器具等の標準的腹腔鏡器具を用いるための全体的作動インタフェースが与えられる。従って、L I A 1 2 0 によってマニピュレータ 14 の先端部が形成され、L I A は外科医の手の動作を再現するものであることから手部分として機能する。L I A 1 2 0 には、後端部によって F T A S 1 2 2 へ連結するためのインタフェースフランジ 1 5 6 が形成され、他方前端部によってロボットマニピュレータ 14 の先端部が形成されるハウジング 1 5 4 が含まれる。エフェクタ装置の異なる構成において、L I A にジョイント J 6 を含ませることも可能である。しかしながら、このような構成においては、器具アダプタによって複雑な機械的設計が要求され、回転機構が開閉機構及び動力伝達機構と共に含まれることになる。さらに、たとえ回転機構が用いられても滅菌範囲は保持されなければならない。

【 0 0 7 8 】

図 1 4 ~ 1 5 及び図 1 8 ~ 2 2 に示した L I A 1 2 0 は、一方の側をハンドルに、また他方の側を軸部に分けることができるいずれかの標準的腹腔鏡器具と共に使用するように適合している。ここで、前記軸部はその先端に例えばピンセット / ハサミ、あごインサート、吸入 / 灌注手段、ナイフあるいは電気ごて / 切断器具等の基本手術器具を保持する比較的細い細長い管に限定される。前記先端部に対向する末端部には、前記軸部を外科医用のハンドルへ連結するように設計されたソケットが備えられる。

【 0 0 7 9 】

ロボットマニピュレータ 14 の標準的器具との適合性は L I A の設計により、また以下において頭字語 I S A で示される対応器具軸部アダプタの設計によって得ることができ、その一例が図 1 7 に部分断面図で示されている。

【 0 0 8 0 】

図 1 7 は器具軸部 3 0 2 を連結することが可能な I S A（器具軸部アダプタ）3 0 0 を示した図である。I S A 3 0 0 はそれを図 1 5 に示したシート 1 3 0 中へ取り付けることによって L I A 1 2 0 へ連結される。この趣意により、I S A 3 0 0 にはほぼ円筒形の外面をもつケース 3 0 3 が備えられる。図 1 7 に示されるように、I S A 3 0 0 は従来器具（腹腔鏡器具）の器具軸部 3 0 2 と L I A 1 2 0 の連結素子として設計されている。この趣意により、I S A 3 0 0 の前端部には軸コネクタ 3 0 4 が備えられる。軸コネクタ 3 0 4 は、実際の器具毎に異なる軸部 3 0 2 の特定型ソケット 3 0 6 へ連結するように設計されている。本来、ソケット 3 0 6 は腹腔鏡器具ハンドル（図示せず）への連結用に設計されているものである。図 1 7 に示すように、軸コネクタ 3 0 4 によって、軸部 3 0 2 が設計された元のハンドルのコネクタが再現される。I S A 3 0 0 には、L I A 1 2 0 への連

結を確実にする連結部材 308 がさらに含まれる。連結部材 308 はケース 303 の横向きに配置され、そこから放射状に突き出して L I A 120 へ取り付けられた時に I S A 300 の回転を止めるようになっている。連結部材 308 中には L I A 120 の誘導存在スイッチ（後述する部品 404）へ金属検知面を与える小さな金属ブロック 309 が設けられる。I S A 300 内部の円筒形ガイド 312 中には直線状にスライド可能なピストンが配置される。このピストン 310 に対して交差するように円筒形スライダピン 314 が取り付けられ、このピンはピストン 310 を操作するためケース 303 から外側へ突き出している。ピストン 310 のスライド操作によって器具軸部 302 内部のロッドが作動されることにより器具軸部 302 先端のツールが操作される。理解されるように、I S A 300 によって軸部 302 へ最初に連結されるハンドルの器具軸部操作に関する機能性が再現され、他方 I S A は L I A と共にロボットマニピュレータ 14 への連結インターフェースとなるものである。

10

【0081】

図 17 に示された I S A 300 の実施態様は、器具、例えば単極あるいは双極電動型あるいは非電動型のハサミ及び鉗子の先端における開閉機能等の機械的作動を必要とする器具のために設計されている。本願開示には、他の多種に亘る類似アダプタも包含されるが、各アダプタは特殊な型式の腹腔鏡器具に適合したものの、すなわち L I A 120 へ連結される特殊な型式の軸部を有するものである。その結果、器具の要求によって異なるが、I S A には、例えば器具あご部を作動させるための直線スライドピン 314、例えば単極あるいは双極焼きごて電力のための 1 または 2 以上電気コネクタ、及び / または例えば灌注あるいは吸引器具用の 1 または 2 以上のコンジット連結手段が含まれる。図 17 には電気コネクタ 318 が示されているが、単に機械的器具 18 としては、電気コネクタ 18（図 18 中に細線で図示）を形成する I S A 300 の部品は不要であることが理解されよう。I S A は、オートクレーブで滅菌可能な構成材料から成るものが選択されるべきことに注意されたい。実際、L I A 120 の設計によって、医療ロボットシステム 10 中で滅菌が必要とされる部分は I S A だけである（但し、当然であるが器具軸部の滅菌は必要）。手術中、L I A 120 のハウジング 154 及びエフェクタ装置 30 の他の部品は滅菌プラスチックバッグ中に封入される。図示されていないが、電気メスまたはナイフ等の非機械的作動型だが電動型である器具の場合、I S A にスライダピン 314 及び付属の機械伝動装置が不要なことは明白である。灌注あるいは吸引カニューレ等の器具の場合、I S A にはロボット制御システムによって電気作動される電気弁を介して遠隔操作制御される 2 本のチューブが装備される。

20

30

【0082】

図 18 に示した L I A 120 は、軽量に（例えば全重量 800 g 未満）、かつアクセスポート 20 近くの 2 つの隣接ツールのためにより広い有効作業スペースを与えるため直径が 90 mm、より好ましくは 75 mm の比較的小さな円筒形封入体へ嵌り込むように設計されている。L I A 120 の全長（特定例では約 130 mm）は、主として I S A 300 の長さによって決まる。L I A 120 の長さは、ジョイント J5 と F R F（図 17 参照）の旋回点 206 との間隔を制限するために最小とされる。実際、この間隔オフセットによってすべてのマニピュレータジョイント J1 ~ J5 の移動範囲及び速度 / 加速度能が決定される。しかしながら、手動モードで L I A 120 を手で掴むことができるように（すなわち、F T A S 122 へ連結されたハウジング 154 を「ジョイスティック」として用いることができるように）、L I A 120 の長さは少なくとも 6 cm とすることが推奨される。

40

【0083】

図 18 に示すように、ハウジング 154 外面の角部は滑らかに形状化されている。この外面は簡単にクリーニングでき、軽量で、かつ非導電性材料から成っている。さらに、この L I A 120 は、I S A 300 を用いて取り付けられた適合器具 18 の軸部 302 に対して部分的に回転対称的に設計されている。I S A 300 を L I A 120 へ適切に連結すると、軸部 302 の軸はジョイント J6 の回転軸と F T A S 122 の基準軸に一致する。

50

【 0 0 8 4 】

さらに図 1 8 に示すように、L I A 1 2 0 のハウジング 1 5 4 には、以下において詳述されるように、I S A 3 0 0 を用いて取り付けられる器具 1 8 を作動させる直線作動機構 4 0 0 が含まれている。シート 1 3 0 は、I S A 3 0 0 の挿入及び抜き出しを容易にするため、L I A 1 2 0 のアクセス面 4 0 1 中に凹状の細長い半円筒形の窪みとして形成される。I S A 3 0 0 を受け取るシート 1 3 0 はジョイント J 6 の回転軸とほぼ同軸上にあり、該シートはハウジング 1 5 4 の中心軸に沿って延びている。理解されるように、I S A 3 0 0 の L I A 1 2 0 に対する取付け及び取外し方向はジョイント J 6 の回転軸に対して径方向である。L I A 1 2 0 は、シート 1 3 0 がアクセス面 4 0 1 上の片側半分の面からアクセスできるように形状化される。図 1 8 から分かるように、シート 1 3 0 には L I A 1 2 0 の本体中へ向かってシート 1 3 0 を径方向に深く形成させる縦溝 4 0 2 が設けられている。この付加的溝 4 0 2 は I S A 3 0 0 の連結部材 3 0 8 を受け取るように形状化されている。この溝 4 0 2 中にはシート 1 3 0 に付属のロック機構 4 0 6 の噛み合い部が配置され、この噛み合い部は連結部材 3 0 8 と連携する。シート 1 3 0 は I S A 3 0 0 のケース 3 0 3 の外側円筒形状に適合した丸められた端部をもつ半円筒形窪みとして形成される。金属ブロック（図 1 7 参照）を感知することによって I S A 3 0 0 の存在検知を行うため、シート 1 3 0 中に存在検知装置 4 0 4、例えば誘導存在スイッチが配置される。デッドマンスイッチボタン 4 0 8 により、ロボットマニピュレータ 1 4 の制御システムを手動モードへ切り換えることが可能である。手動モードでは、L I A 1 2 0（連結されている場合は器具 1 8）は、L I A 1 2 0 のハウジング 1 5 4 を取り扱うアシスタントによって作成され、かつ F T A S 1 2 2 によって読み取られる情報を用いて、ロボットマニピュレータ 1 4 によって配置され定位される。手動モードは特にトロカールを介して器具を挿入し、あるいは抜き出す場合に有用である。

【 0 0 8 5 】

直線作動機構 4 0 0 の詳細は図 2 0 に最もよく示されている。作動機構 4 0 0 には、ギアボックス 4 1 2 を介して連結される小型ブラシレスモーター 4 1 1 と、ベルト 4 1 8 によってボールスクリュウ 4 2 0 へ連結されるプーリー 4 1 4 及び 4 1 6 が含まれる。ボールスクリュウ 4 2 0 は該スクリュウ上へ取り付けられるナット 4 2 2 と連係して図 1 9 に示すように回転運動を直線運動へ変換する。ナット 4 2 2 は直線ガイド 4 2 4 によってガイドされるため、ボールスクリュウ 4 2 0 上での横方向移動が減じられる。誘導制限スイッチ 4 2 6 及び 4 2 8 がナット 4 2 2 の移動止め位置に置かれ、これらスイッチが制御装置へ接続されて作動機構 4 0 0 の移動が制限される。

【 0 0 8 6 】

図 1 9 に示すように、作動機構 4 0 0 によって直線運動は以下において詳述するように L I A 1 2 0 のスライダ可動台 4 3 0 へ伝達される。好ましい実施態様において、作動機構 4 0 0 には下記パラメータが選定される。

- ・スライダ可動台 4 3 0 の最大機械的移動：7 mm（標準的器具には通常 5 mm で十分であるが、同一形式器具のいくつかの軸部で移動の長さが最大で 2 mm まで相違することが見出されている）。
- ・移動速度範囲：1 ~ 2 0 mm / 秒
- ・最大作動力：2 0 0 N

【 0 0 8 7 】

ステッパモーターは、F T A S 1 2 2 の騒音の重要な原因と見られるため、好ましくは L I A 1 2 0 には用いられない。そのため、シャフト位置エンコーダが装備された小型のブラシレスモーター 4 1 1 が用いられる。このモーターは例えば Faulhaber GmbH, Schönaich, Germany から入手可能である。しかしながら、ケーブル駆動伝達等の他の非振動型直線運動機構の使用を排除するものではない。

【 0 0 8 8 】

図 2 0 は、L I A 1 2 0 のハウジング 1 5 4 中に埋め込まれ、例えば 2 4 V D C 電力を供給されるモーター 4 1 1 用電力制御装置 4 4 0 を示した図である。ハウジング 1 5 4 の

直径をさらに減ずるため、この電力制御装置 440 を、例えばモーター 141 に近接するスリップリングコレクタ 80 の後方の、フランジ 156 と F T A S 122 との間、あるいは F T A S 122 とジョイント J 6 (図示せず) への接続フランジ、あるいは該ジョイント J 6 のカバー 124 内側との間の付加ハウジング中に配置することが可能である。前記電力制御装置 440 は、スライダ可動台 430 を受け取った位置コマンドに従って所定速度プロファイルを用いて作動させ、ユーザー要求に従ってモーター電流を制限し、制限スイッチを用いてモーター 411 をホーミングするため制限スイッチ 426、428 からの信号に基づいて運動を調整し、またハウジング 154 において存在検知装置 404 をモニタリングするように特に設計されている。他の安全機能、例えば緊急停止機能をモーター 411 のサーボ誤差、すなわち目標位置と有効位置との差を用いて働かせ、及びモーター 411 の熱保護を用いて行うことも可能である。L I A 120 に必要とされるスペースを減ずるため、直線作動機構 400 には絶対位置センサは取り付けられない。しかしながら、絶対位置センサを取り付けずとも、制限スイッチ 426 及び 428 をホーム (home) センサとして用いることによりホーミング手順は確保される。手術中、スライダ可動台 430 の絶対位置を例えばロボット制御システムの適当なメモリに定期的に記録して、電源シャットダウンあるいは故障後にシステムの迅速な復旧を図ることが可能である。I S A 300 の存在、すなわち I S A が正しく L I A 120 へ取り付けられているどうかは、シート 130 中に取り付けられた誘導存在スイッチ 404 (図 18 参照) を介して感知される。誘導存在スイッチ 404 の出力は送られ、制御装置 440 へ有効に入力される。

10

20

【 0089 】

図 17 及び 19 に最もよく示されているように、作動機構 400 のスライダ可動台 430 は I S A 300 のスライダピン 314 を受け取るように適合している。モーター 411 の作用により、スライダ可動台 430 は連結された I S A 300 のスライダピン 314 を駆動させるように再度配置される。スライダピン 314 は次にピストン 310 を作動させ、それによって軸部 302 (図示せず) の先端にある作用素子あるいはツール、例えばあご部開閉機構が操作される。別の言い方をすれば、直線作動機構 400 と I S A 300 が連動して軸部 302 から取り外され、I S A 300 によって置き換えられたハンドルの動作がシミュレーションされる。スライダ可動台 430 へのスライダピン 314 の挿入は斜めに切り取られたガイド面 434 によって容易化されている。

30

【 0090 】

図 21 及び 22 は、図 18 に一部しか示されていない L I A 120 のロック機構 406 の構成を示す詳細図である。このロック機構 406 はラッチとして構成され、該機構中にはシート 130 の溝 402 (図 18 参照) 中に配置されたスライド可能な留め金 450 が含まれている。この留め金 450 は溝 402 中の適当な手段によってガイドされることが理解されよう。溝 402 は、前記スライド可能な留め金 450 と共に、図 17 に示す I S A 300 の連結部材 308 を嵌合により受け入れるように形状化されている。留め金 450 には連結部材 308 (図 17 参照) 中のスロットによって形成される 2 つの突起部 306 と噛み合う 2 つの鼻部 452 が設けられている。連結部材 308 の縁部は溝 402 中への挿入及び該溝からの取出しが容易になるように丸められている。

40

【 0091 】

留め金 450 の設計は図 22 に最もよく示されている。スプリング 454 によって留め金 450 はその弾力によって F T A S 122 の方へ押し付けられる。ノブ 456 が直線状にガイドされることによって同じく直線状にガイドされる留め金 450 と連結しているピボット 458 の回転が引き起こされ、I S A 300 を取外す際に連結部材 308 から留め金 450 を手動で取外すことが可能となる。留め金 450 の鼻部 452 は、押し込むだけで I S A 300 を挿入できるように斜めに切り取られている。鼻部 452 の噛み合い部分及び突起部 316 は、L I A 120 を覆うために用いられる滅菌プラスチックシートを損傷しないように接合輪郭に従って丸く形状化されている。理解されるように、他の同等な連結あるいはロック機構、例えば金属板を備える L I A 中に挿入される永久磁石及び I S

50

A上へ取り付けられるカム式レバーをラッチ機構の代わりに用いることも可能である。固定機構、例えばロック機構406及び連結部材308は、ISA300がLIA120へ取り付けられる場合、好ましくはLIA120から取り外さなくても以下に示す応力及びモーメントに耐えられるように設計される。

- ・100Nの牽引力及び圧縮力
- ・器具先端における放射状応力15Nに相当する捩れモーメント
- ・5Nm以下の曲げモーメント

【0092】

LIA120及び連動ISAのそれぞれ(例えば300)は、外科医アシスタントAが適合腹腔鏡器具18、すなわちISA(例えば300)に組み入れられた軸部(例えば302)を素早くかつ容易に取り付けあるいは取外しできるように設計されることが理解されよう。上述したISA300の本質的に円筒形の外形、その連結部材308、シート130、溝402及びロック機構402によって、LIA120へのISA300のガイド方式挿入及び簡単な接続手順が付与されている。かかる設計により、ISAが挿入される際に要求される剛性と、数回手動で移動させるだけの簡単な手順による取出しが確保される。このように設計することにより、適合器具18(すなわち軸部及びISA)の挿入及び取出しを、アシスタントが従来使用している手術用器具を6~9秒間で取り替える手による外科手術の場合とほぼ同等に迅速に行うことが可能となる。

【0093】

いずれの場合においても、適合器具18が患者Pの体外にあるか、あるいは該器具が患者Pの体内に挿入されているならば、ISA(例えば300)及び軸部(例えば302)を含む適合器具18の挿入あるいは取外しを安全に行うことが可能である。また、スライダピン314が駆動されている間に取り外しを行うことも可能である。

【0094】

LIA120へ適合器具を取り付ける前に、多数の予備的条件が満たされなければならない。第一に、器具がトロカール中へ部分的に挿入される場合(トロカールの長さを超えない)、LIA120は前もって、エフェクタ装置30(ジョイントJ6)の回転軸がトロカールと一直線になる位置にマニピュレータ14によって配置及び定位されなければならない。第二に、スライダー可動台430は、ロボット制御システムによって「挿入基準位置」、例えばインタフェースフランジ156に最も近接した位置に配置されなければならない。ISA(例えば300)が取り外される時、スライダー可動台430はロボット制御システムによって自動的にこの「挿入基準位置」中へ移動されなければならない。前述したように、ISAの存在、欠如、あるいは異常な離脱は存在検知装置404によって検知可能である。第三に、また存在する場合、ISA(例えば300)のスライダピン(例えば314)はスライダー可動台430の「挿入基準位置」に対応する「挿入基準位置」中になければならない。スライダピン314のこの位置は、好ましくは器具が閉じられた状態、例えばピンセット/ハサミ器具のあご部がこの位置中に緩いが十分に閉じ込められるように定義される。

【0095】

図14に最もよく示されているように、ISA(例えば300)及び軸部(例えば302)を含む適合腹腔鏡器具18の挿入手順は、ISA(例えば300)をそのシート130上へ置き、同じ方向に沿ってISA上を軽く押しつけて連結部材308をロック機構406と噛み合わせることから成る矢印460に従った1回だけの手動での移動によって実施可能である。連結部材308が溝402中に正しく設置されていれば、存在検知装置404によって肯定出力が与えられる。この挿入過程において、スライダー可動台430は、前述した条件が満たされていれば、さらなる処置を取る必要なくスライダピン314と噛み合う。

【0096】

外科医がマスターコンソールを介して器具の交換を要求した場合、ロボット制御システムによって通常4つの操作が行われる。第一に、ロボット制御システムによって器具18

10

20

30

40

50

が制御され、器具が組織から離脱される。第二に、ロボット制御システムによってその器具が器具軸方向に沿ってトロカールポート付近まで移動される。第三に、ツール先端、例えば器具あご部がトロカールに引っかからないように形状化される。第四に、外科医アシスタントAが自由にLIA120を回転させてLIA120から器具を取り外すように、前記先端によってジョイントj6のモーターが離脱される。これらの操作の後、2回の簡単な移動を行うだけで適合腹腔鏡器具18を安全にいつでも取外すことが可能である。

【0097】

前記第一の引き抜き移動ではロック機構406がロック解除されるようにノブ456が押し込まれる。前記第二の抜き取り移動では、主軸に対して垂直な軸を中心に回転させることにより軸部先端を中心としてISA（例えば300）及び軸部（例えば302）を旋回させてISA及び軸部がシート130から取り外され、次いで、猶挿入されている場合には、患者Pの体から軸部（例えば302）が引き出される。

【0098】

上述した挿入及び取外し手順から明らかなように、LIA120及びISA（例えば300）の設計により、たとえトロカール200（図16参照）を介して患者Pの体に適合器具18の軸部（例えば302）が猶一部挿入されていても、器具の挿入あるいは引き抜きを行うことが可能となる。引き抜きに要求される動作は、これらの動作がシート130の縦軸に対して垂直方向の旋回動作とそれに続く引き抜き動作であることから、患者Pに対して侵入方向ではないことが理解されよう。さらに、一定の旋回方向への動作によって患者が傷つけられる可能性がある場合には、ジョイントJ6を介してLIA120を手で回転させてこの方向を変えることが可能である。さらに、電力故障が起きた場合には、ISA（例えば300）とその軸部（例えば302）を同時に外して手で抜き出すことも可能である。

【0099】

上述したLIA120に関して、簡単な器具軸アダプタ（ISA）（例えば300）を用いることにより、広範囲に亘る既存の標準的腹腔鏡器具をロボットシステム10中に用いることが可能である。LIA120を対応ISAと組み合わせて、作動あるいは電力供給能のロスを生ずることなく、一定の腹腔鏡器具のハンドル部分を置き換えることができる。LIA120は一般的設計、すなわちロボットマニピュレータ14へ連結される器具の形式とは無関係に設計される。従って、器具の要求に従って特別な設計が必要なものはISA（例えば300）だけである。上述したように、LIA120によって特に以下に挙げる機能を果たすことが可能である。

- ・直線作動機構400を用いた器具ツール先端、例えば器具あご部の「開閉」作動
- ・器具の形式によって別個に要求される「開閉」移動長の適合化
- ・ロボットマニピュレータ14を介してのナイフ等の非作動器具の取扱い

【0100】

さらに、LIA120によって、いくつかの要因に基づいて、ロボット腹腔鏡に有利なコスト効率性が得られる。第一に、単一の封入体中に器具及び付属作動装置が単一装置として組み立てられるため、マニピュレータ当たり数個の作動装置が必要とされる従来装置と異なり、各マニピュレータ14に必要なLIA120は1個だけである。これにより、特に作動装置に要するコストが軽減される。第二に、単一構成の標準型腹腔鏡器具軸部（例えば302）及び対応器具軸アダプタ（例えば300）を用いることによって器具に要するコストが低減される。それゆえ、LIA120と共に用いる適合器具18のコストは標準型腹腔鏡器具（すなわちハンドルを含む）のコストとほぼ同等となる。第三に、ISA（例えば300）設計は滅菌サイクルに対して強靱であるため、器具メンテナンスに要するコストは標準型腹腔鏡器具のそれとほぼ同等となる。

【0101】

次に図25に基づいてLIA1120の別の実施態様について説明する。本願において上記説明したLIAの多くの観点及び利点をLIA1120へも適用可能であるが、その

主たる特徴及び相違について以下に説明する。

【 0 1 0 2 】

図 2 5 に示した L I A 1 1 2 0 には、半円筒形で上部に L I A 1 1 2 0 への I S A の取り付けあるいは取外しを容易にするためのほぼ平らなアクセス面 1 4 0 1 が設けられたハウジング 1 1 5 4 が用いられている。ハウジング 1 1 5 4 の対向面 1 1 5 5 は J 6 の回転軸と同軸上にある半円筒形封入体に適合する半円筒形である。前記半円筒形面 1 1 5 5 の直径はオペレーターによる操作を可能とするため人間工学に基づいて、特に上記手動モードでロボットマニピュレータ 1 4 に指令を与えるため、例えば 5 0 ~ 1 3 5 mm の範囲内、好ましくは約 9 0 mm に選定されている。前記半円筒形ハウジングの断面はインタフェースフランジ 1 5 6 よりも実質的に小さいため、このハウジングを用いて L I A 1 1 2 0 は F T A S 1 2 2 へ取り付けられ、ハウジング 1 1 5 4 にはさらに漸進的強化リブ 1 1 5 7 が含まれる。この強化リブは、漸進的形狀、すなわちアクセス面 1 4 0 1 から始まってインタフェースフランジ 1 5 6 の上端にまで達する滑らかに延びる形狀を呈している。強化リブ 1 1 5 7 はさらに、半円筒形面 1 1 5 5 から成る円筒形封入体に適合するように湾曲されている。強化リブ 1 1 5 7 によってアクセス面 1 4 0 1 はインタフェースフランジ 1 5 6 へ連結されているため、ハウジング 1 1 5 4 のインタフェースフランジ 1 5 6 への取り付けの強固性は強化増強されている。これにより、I S A から L I A 1 1 2 0 を通した F T A S 1 2 2 への応力及びトルクのより正確な伝達が確保されている。図 1 4 に示した L I A 1 2 0 中にも類似の強化リブが与えられていることに注意されたい。

【 0 1 0 3 】

図 2 5 にはさらに、L I A 1 1 2 0 へ器具軸部アダプタを取り付け、それによってエフェクタ装置へ該アダプタを取り付けるための別の連結機構が示されている。L I A 1 1 2 0 においては、L I A 1 2 0 の場合と同様に、シート 1 1 3 0 がアクセス面中に凹状の細長い半円筒形窪みとして形成され、J 6 の回転軸上においてアダプタの自己センタリングが行われる。さらに、この連結機構には複数の磁石装置が含まれ、そのうちの 2 つはスライダ可動台 1 4 3 0 上に、また 1 つはシート 1 1 3 0 の他方面上に配置され、後者の磁石装置はアクセス面 1 4 0 1 から離れた隆起部上に配置されている。この隆起部 1 4 2 5 によって取り付けられるアダプタへ軸方向の付加的な保持圧力が加えられ、アクセス面 1 4 0 1 へ向かう傾斜によってアダプタの軸方向への自己調節位置決めが可能とされる。理解されるように、前記磁気装置 1 4 2 3 は電磁石、永久磁石、あるいは両者の組合せでもよく、この磁石装置によって磁気吸引を用いて対応設計された I S A の固定が確保される。機械的なスナップイン取り付けを避けることにより、マニピュレータ 1 4 の被覆あるいは少なくともエフェクタ装置 3 0 の被覆に用いる滅菌プラスチックカバーの破損リスクが排除される。

【 0 1 0 4 】

図 2 5 にはさらに、I S A 上に設けられた誘導識別可能な材料パターンを用いてエフェクタ装置 3 0 へ取り付けられた器具を識別するための複数の誘導存在センサ 1 4 3 1 が示されている。4 個の誘導存在センサ 1 4 3 1 が一列に配列され、これらセンサにより、誘導存在センサ 1 4 3 1 に面する I S A 上の対応位置列中における誘導材料の有無に基づいて二進符号 (4 ビットワード) を用いることにより 1 6 種の器具を識別・確認することが可能である。さらに、誘導存在センサ 1 4 3 1 は、欠けている器具に対応するパターンコード (4 ビットワード) が用いられている場合、すなわちいずれの誘導センサ 1 4 3 1 にも導電性材料が面していない場合にも存在検知を行うことが可能である。

【 0 1 0 5 】

図 2 5 には噛み合い部材 1 4 3 3 が分離状態で示されている。この噛み合い部材 1 4 3 3 は、スライダ可動台 1 4 3 0 を含み、かつ I S A のスライダピン 3 1 4 を噛み合わせるスリット中へ導く傾斜捕獲面 1 4 3 4 を有する作動機構の一部である。この傾斜捕獲面 1 4 3 4 によって I S A のスライダピン 3 1 4 の挿入が容易化されている。噛み合い部材 1 4 3 3 はスライダ可動台 1 4 3 0 から取り外し可能であり、また滅菌適合材料から成っている。それゆえ噛み合い部材は滅菌ラップで L I A 1 1 2 0 を被覆した後にのみ

可動台 1 4 3 0 上へ設置することが可能である。可動台 1 4 3 0 の動作範囲は限定されるため、滅菌ラップに損傷が生ずることはない。

【 0 1 0 6 】

図 2 6 に図 2 5 に示した L I A 1 1 2 0 へ取り付けられた I S A 1 3 0 0 の別の実施態様を示す。この I S A 3 0 0 は L I A 1 1 2 0 の別の設計に適合するように設計されており、この I S A について以下に説明する。I S A 1 3 0 0 は、その基部がアクセス面 1 4 0 1 に隣接するように寸法化される。I S A 1 3 0 0 の機能は、図 1 7 に示した I S A 3 0 0 の機能と同一である。すなわち、手動での介入において有効なあらゆる機能性を欠くことなく、ロボットマニピュレータ 1 4 上における標準的手動腹腔鏡器具軸部 3 0 2 の使用を可能とするインタフェースを与えることである。図 2 6 はシステムを手動モードへ切り換えるスイッチボタン 4 0 8 が L I A 1 1 2 0 0 上に設けられた態様を示した図である。I S A 1 3 0 0 には、簡単な手動での取外しのため、すなわち I S A 1 3 0 0 を L I A 1 1 2 0 から分離するためのレバー 1 3 0 1 が備えられる。I S A 1 3 0 0 には動力駆動される器具（例えば凝固あるいは切断器具）を L I A 1 1 2 0 を通るワイヤなしに電力源へ直接接続する電気コネクタ 1 3 0 8 も備えられる。

10

【 0 1 0 7 】

図 2 5 及び 2 6 から明らかなように、ハウジング 1 1 5 4、フランジ 1 5 6、強化リブ 1 1 5 7、F T A S 1 2 2 を含めた L I A 1 1 2 0 の構成部分、及びレバー 1 3 0 1 を含めて取り付けられる I S A 1 3 0 0 のすべての構成部分は半円筒形面 1 1 5 5 によって画定される円筒形封入体内に配置されるように設計されている。このような設計は、L I A 1 1 2 0 が J 6 によって回転される時に衝突や損傷が起こるリスクを減じようとするものである。

20

【 0 1 0 8 】

図 2 7 はスライダー可動台 1 4 3 0 へ直線運動を伝達する別の作動機構 1 4 0 0 を示す図であり、この作動機構の設計は図 1 9 に示した機構とは異なるものである。この機構には、ギアボックス 1 4 1 2 を介してナット部材 1 4 2 2 へ連結される小型ブラシレスモーター 1 4 1 1 及びボールスクリュウあるいはウォームギア 1 4 2 0 が含まれる。可動台 1 4 3 0 は応力センサ 1 4 2 7 の中間部分を介してナット部材 1 4 2 2 へ固定される。応力センサ 1 4 2 7 は、可動台 1 4 3 0 によってスライダピン 3 1 4 へ働く応力、あるいはその逆応力の測定を可能とするものである。スライダー可動台 1 4 3 0 を縦方向シート 1 1 3 0 へ取り付けることにより、モーター 1 4 1 1 及び連結ギアを I S A 1 3 0 0 及び軸部 3 0 2 の縦軸に対して平行に配置することが可能なことも理解されよう。これにより、L I A 1 1 2 0 の全長を最小として、一定のジョイント（例えば J 4）についての作動装置力学に対する要求を減ずることが可能となる。さらに、この作動機構 1 4 0 0 は有害振動の生成に関して最適化されたものであることも理解されよう。作動機構 1 4 0 0 の他の観点及び利点は前述した作動機構 4 0 0 のそれらと同様である。

30

【 0 1 0 9 】

図 2 8 は、図 2 6 の I S A 1 3 0 0 を L I A 1 1 2 0 から取り外した場合の該 I S A の下面を示した図である。I S A 1 3 0 0 は細長いケース 1 3 0 3 から成り、該ケースの前端部には軸部コネクタ 1 3 0 4 が備えられている。この軸部コネクタ 1 3 0 4 により、何らかの種類の取外し可能な接続が与えられる限り、標準的な手動腹腔鏡器具の軸部 3 0 2（一部のみ図示）へ固定された典型的ソケット 3 0 6 への取外し可能な接続が可能とされる。勿論、軸部及び I S A 上へコネクタ及びソケットをそれぞれ配置することも可能である。ケース 3 0 3 と同様に、ケース 1 3 0 3 の下面にはシート 1 1 3 0 と協働するための半円筒形面が備えられる。図 2 8 に示すように、側部ウイング 1 3 0 5 がケース 1 3 0 3 の両側から突き出ている。これらの側部ウイング 1 3 0 5 の下面は平らに形成され、L I A 1 1 2 0 上のアクセス面 1 4 0 1（他に例えば隆起部 1 4 2 5 と）と接合している。視覚性及びアクセス性を与えるため、例えば I S A 1 3 0 0 が L I A 1 1 2 0 へ連結される時にスライダピン 3 1 4 を手動で移動させるため、スライダピン 3 1 4 の上方にある一方のウイング 1 3 0 5 中に切り抜きスペース 1 3 0 7 が設けられる。図 2 8 にはさら

40

50

に、ケース 1 3 0 3 の両側にあるそれぞれのウイング中に配置された平坦な強磁性素子 1 3 1 1 が示されている。この強磁性素子 1 3 1 1 によって、図 2 5 に示した L I A 1 1 2 0 上の対応磁石装置 1 4 2 3 とそれぞれ連動する連結手段が形成される。部分 1 3 1 3 には、図 2 5 に示した誘導センサ 1 4 3 1 を用いて使用される器具を識別するための誘導識別パターンが I S A 1 3 0 0 上に設けられる。図 2 5 に示した実施態様においては、完全金属製板が一定の 4 ビットワード（例えば 1 1 1 1 あるいは 0 0 0 0）に対応し、他方、他のアダプタにおいて、誘導センサ 1 4 3 1 に面した 1 または 2 以上の位置に例えばドリルで穴を空けて空隙を設けて識別のための異なるビットワードを与えることが可能である。

【 0 1 1 0 】

図 2 9 は図 2 8 に示した I S A 1 3 0 0 の部分分解図である。図 2 9 に示すように、I S A 1 3 0 0 には、一定の手動腹腔鏡器具ピストン 3 1 0 用の円筒形ガイド 1 3 1 2 として機能する内側中空部分が設けられる。前記ピストン 3 1 0 は、典型例として、器具ハンドルから軸部 3 0 2 中へガイドされたシャフトへ動作を伝達する手動器具中に用いられる。手動器具の既存のピストンはガイド 1 3 1 2 中においてスライドするように配置可能である。図 2 8 に示すように、ケース 1 3 0 3 中に長円形の貫通穴を設けることにより、ピストン 3 1 0 へ横向きに取り付けられたスライダピン 3 1 4 がケース 1 3 0 3 から突き出してピストン 3 1 0 を操作するためにケース 1 3 0 3 の軸方向に前後に移動することが可能となる。図 2 9 に示したピストン 3 1 0 は器具へ二極電力を与え、かつ該器具をロック/ロック解除するために用いる手動二極式器具の原型部品である。

【 0 1 1 1 】

図 3 0 は同一形式のアダプタを用いて、市販の種々手動介入用腹腔鏡器具の種々ピストン、例えば図 3 0 に示した単極式手動器具用ピストン 1 3 1 0 が取り付け可能なことを示した図である。さらに、I S A 1 3 0 0（または I S A 3 0 0）等のアダプタを用いることにより、ロボットマニピュレータ 1 4 において市販の比較的安価な手動器具の重要部品を用いることも可能である。図 2 9 には、レバー 1 3 0 1 及びシャフト 1 3 1 9 上において旋回する 2 つのほぼ 1 3 1 7 のうちの一方も示されている。レバー 1 3 0 1 を押し下げることにより、ほぼ 1 3 1 7 によって I S A 1 3 0 0 の下面、特に強磁性素子 1 3 1 1 が I S A 1 1 2 0 のアクセス面から離れて持ち上げられ、それによって I S A 1 3 0 0 を手動で J 6 の回転軸、すなわち器具主軸に対して垂直方向へ取り外すことが可能となる。

【 0 1 1 2 】

本願において上述した観点に加え、本願に係る医療ロボットシステム 1 0 にはさらに以下に述べる特徴がある。

ロボットマニピュレータ 1 4 は、その設計ゆえに、外科医 S が手術台 1 2 へアクセスできるように、あるいは放射線機器を据え付けられるように、容易かつ素早く引っ込めることが可能である。

ロボットマニピュレータ 1 4 は、その設計ゆえに、また外部センサからの情報を利用することにより、大きな介入時間の増加を生ずることなく、介入中における(反)Trendelenburg($\pm 20-35^\circ$)や患者の斜め定位などの手術台の角度変化に対し容易に適合化可能である。

ロボットマニピュレータ 1 4 は、その設計ゆえに、また外部センサからの情報を利用することにより、腹腔内圧の変化によるトロカール位置の変化を容易に調整可能である。

医療ロボットシステム 1 0 により器具交換時間を短縮して全介入時間を最小とし、L I A 1 2 0、1 1 2 0 及びロボットマニピュレータ 1 4 の設計により器具交換に要する時間を手動腹腔鏡作業とほぼ同程度に短縮し（6～9 秒間の範囲内）、内視鏡を用いる場合は、ロボットマニピュレータ 1 4 の設計により、例えば光学機器のクリーニングに関し、内視鏡の素早い挿入、再挿入が可能となる。

医療ロボットシステム 1 0 により、手術台 1 2 周囲への複数のロボットマニピュレータ 1 4 の配置を含めたシステムの迅速かつ簡単な設置が可能となる。

ロボットマニピュレータ 1 4 を多用途設計として、最小介入手術、整形外科、生検、経

10

20

30

40

50

皮治療、皮膚採取、超音波診断等の種々目的に適合させることができる。

【 0 1 1 3 】

本特許出願は原則として出願時における本願添付の特許請求の範囲に限定された発明に関するものであるが、当業者によれば、本特許出願に例えば本願の補正クレームのサブジェクトマターとして、あるいは分割出願及び／または継続出願中のクレームのサブジェクトマターとしてクレーム可能な他の発明の基礎となる内容も含まれていることが容易に理解されるところである。このようなサブジェクトマターは本願において開示された特徴あるいは特徴の組合せとして画成可能であると考えられる。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 1 4 】

10

【図 1】患者が横たわる手術台周囲に 3 個のロボットマニピュレータが備えられた外科手術室内一般外科腹腔鏡用医療ロボットシステムの透視図である。

【図 2】5 個のロボットマニピュレータが備えられた一般外科腹腔鏡用医療ロボットシステムの透視図である。

【図 3】主座標系で表示している図 1 及び図 2 の医療ロボットシステムのロボットマニピュレータの透視図である。

【図 4】部分的に主要部品へ分解されている図 3 のロボットマニピュレータの透視図である。

【図 5】ジョイント J 1 ~ J 6 を含む図 3 のロボットマニピュレータの運動学的構成図である。

20

【図 6】マニピュレータ構成部分を封入する 2 D 衝突検知ボックスと共に示した、5 個のロボットマニピュレータを有するロボット手術システムの上上面図である。

【図 7】図 3 に示したロボットマニピュレータ基部の透視図である。

【図 8】手術補助者のロボットマニピュレータへの近接度を検知する 2 D レーザ方式検知を示す医療ロボットシステムの上上面図である。

【図 9】図 3 に示したロボットマニピュレータのジョイント J 1、J 2 及び J 3 の内部構成部品の透視図である。

【図 10】図 3 に示したロボットマニピュレータのジョイント J 2 の内部構成部品の透視図である。

【図 11】ジョイント J 4 及び J 5 を含むマニピュレータリストの内部構成部品の第一透視図である。

30

【図 12】ジョイント J 4 及び J 5 を含むマニピュレータリストの内部構成部品の第二透視図である。

【図 13】ジョイント J 4 及び J 5 を含むマニピュレータリストの内部構成部品の第三透視図である。

【図 14】図 3 に示したロボットマニピュレータのエフェクタ装置及び該エフェクタ装置へ接続されるように適合された器具の透視図である。

【図 15】図 14 に示したエフェクタ装置の主要内部構成部品の透視図である。

【図 16】支点基準フレームの透視図である。

【図 17】器具軸アダプタ (I S A) 及び対応器具軸の透視図である。

40

【図 18】図 14 に示した腹腔鏡器具作動装置 (L I A) の拡大透視図である。

【図 19】図 18 に示した L I A 中の駆動装置の透視図である。

【図 20】図 18 に示した L I A のさらに別の内部構成部品を示すために下方から見た透視図である。

【図 21】図 18 に示した L I A のさらに別の内部構成部品を示すために上方から見た透視図である。

【図 22】図 18 に示した L I A に用いられている連結機構を示す透視図である。

【図 23】変更されたマニピュレータリストを備える図 3 に従ったロボットマニピュレータの透視図である。

【図 24】図 23 に示すロボットマニピュレータを 4 個及び図 3 に示したロボットマニピ

50

ュレータを１個備える一般外科腹腔鏡用の医療ロボットシステムの透視図である。

【図２５】図１４に示したエフェクタ装置中に用いられる腹腔鏡器具作動装置（ＬＩＡ）の別の実施態様の透視図である。

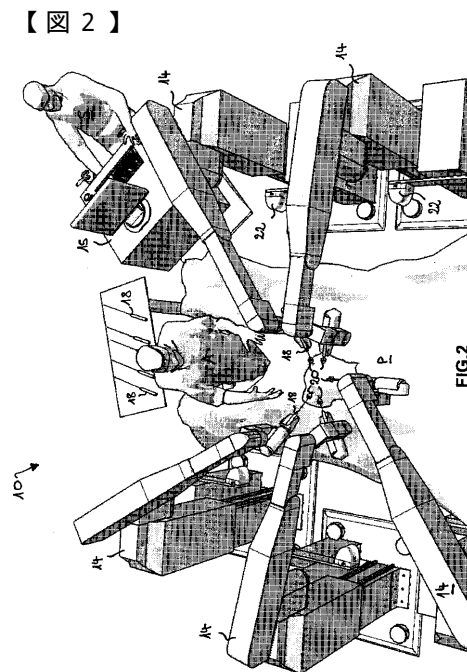
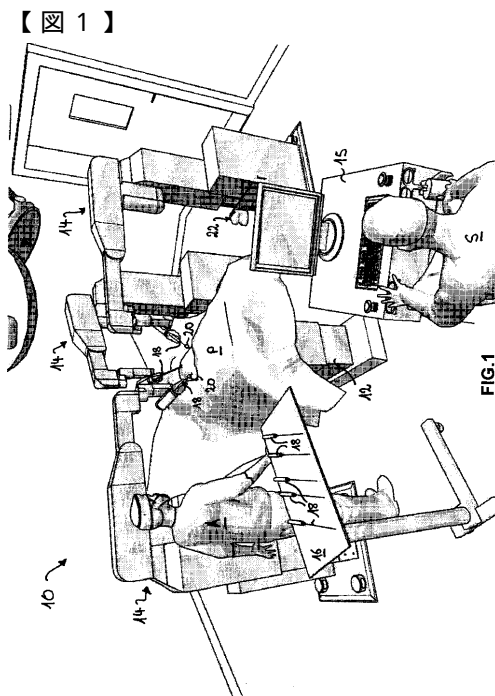
【図２６】図２４に示したＬＩＡへ別の実施態様による器具軸アダプタ（ＩＳＡ）が接続されたＬＩＡの透視図である。

【図２７】図２４に示したＬＩＡ中に用いられる別の駆動装置の透視図である。

【図２８】図２６に示されたＩＳＡの別の透視図である。

【図２９】図２６及び図２８に示されたＩＳＡの部分破断透視図である。

【図３０】アダプタへ別の器具が接続されている図２６及び図２８に示したＩＳＡの部分破断透視図である。



【図 7】

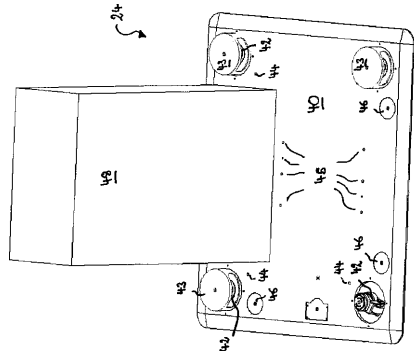


FIG. 7

【図 8】

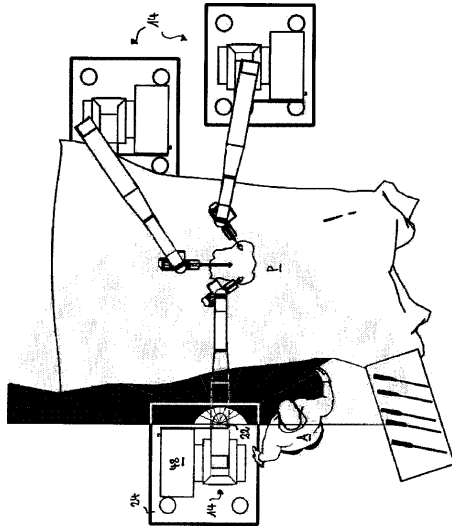


FIG. 8

【図 10】

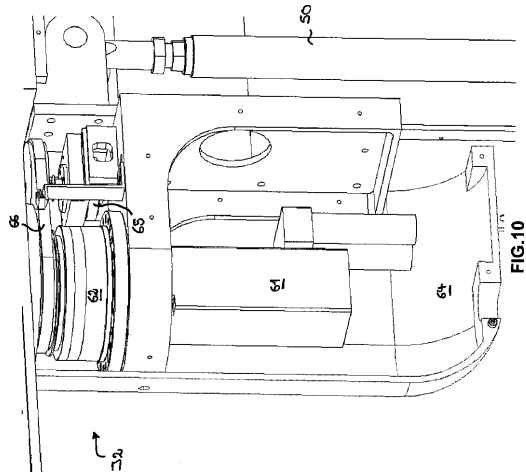


FIG. 10

【図 11】

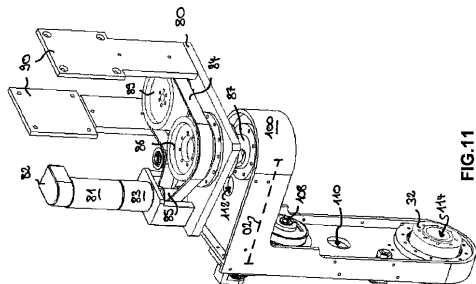


FIG. 11

【図 9】

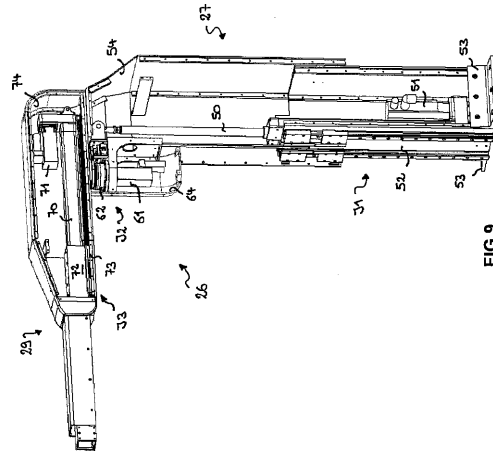


FIG. 9

【図 12】

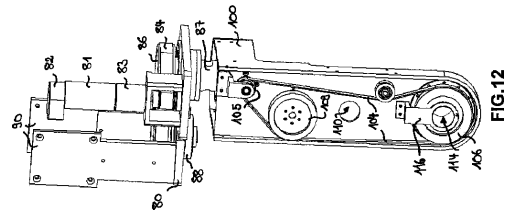


FIG. 12

【図 13】

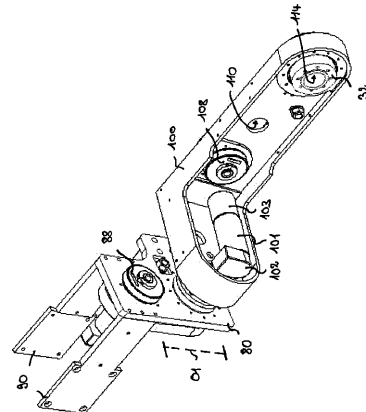


FIG. 13

【図 14】

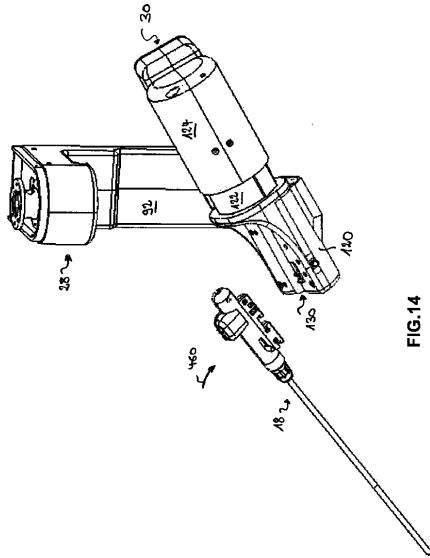


FIG. 14

【図 15】

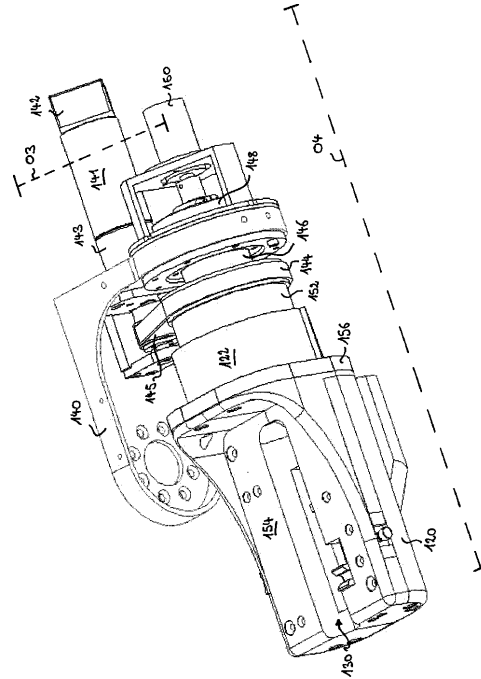


FIG. 15

【図 16】

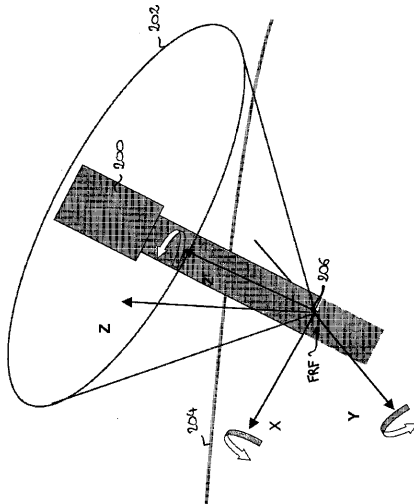


FIG. 16

【図 17】

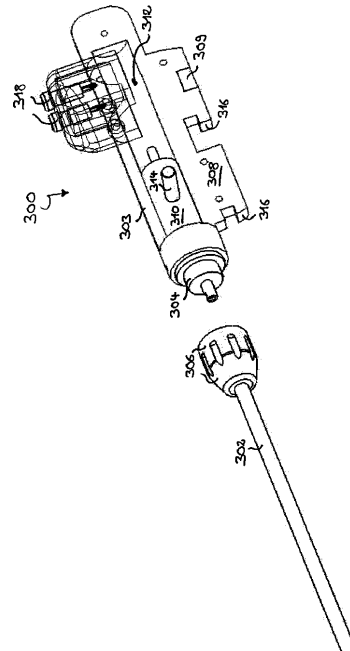


FIG. 17

【図18】

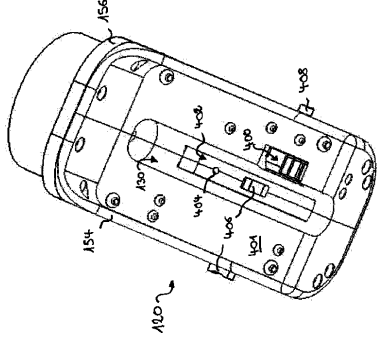


FIG.18

【図19】

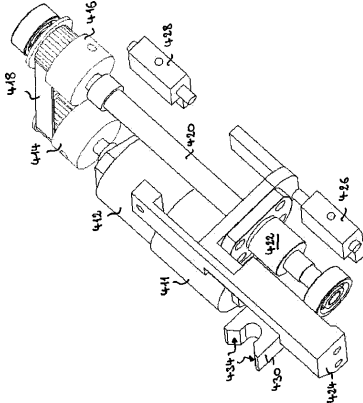


FIG.19

【図22】

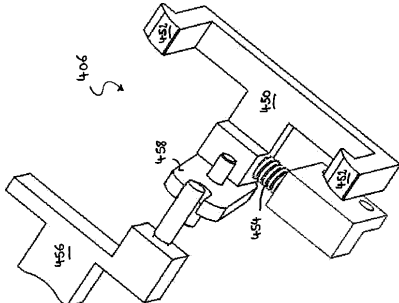


FIG.22

【図23】

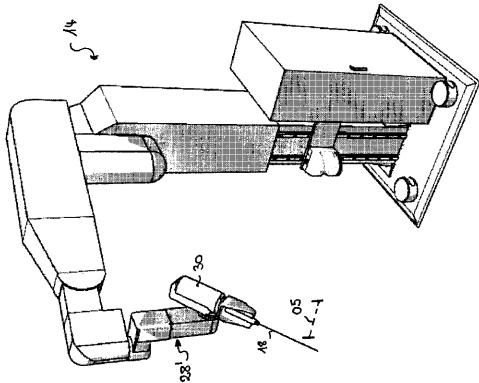


FIG.23

【図20】

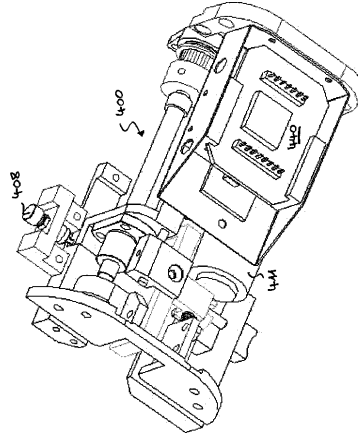


FIG.20

【図21】

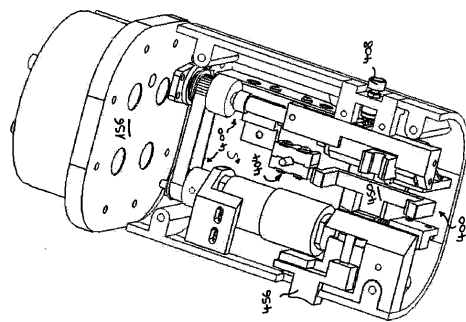


FIG.21

【図24】

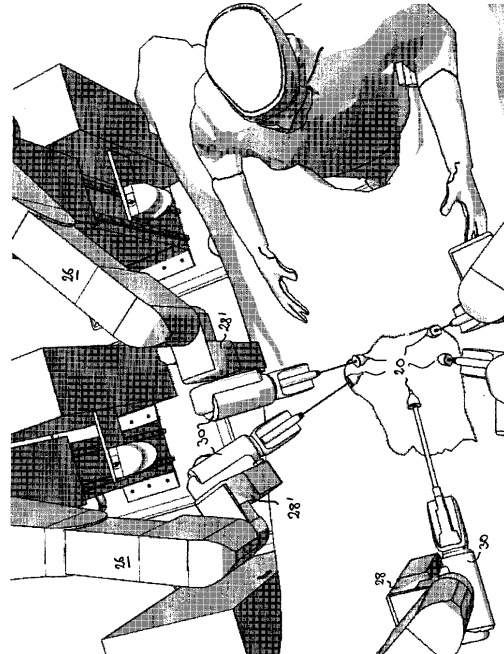


FIG.24

【図 25】

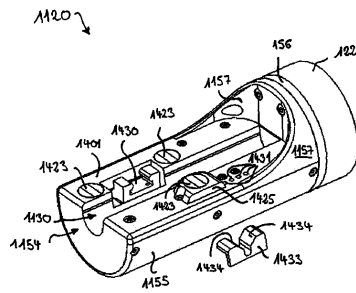


FIG.25

【図 26】

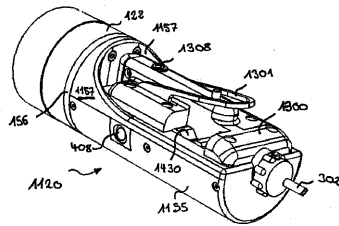
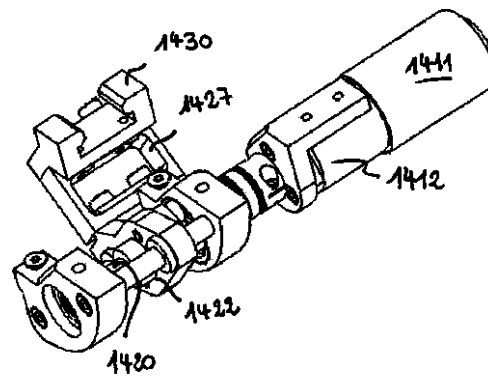


FIG.26

【図 27】



フロントページの続き

(72)発明者 ルイズ モラレス、エミリオ
イタリア、アイ - 2 1 0 2 0 タイノ、ヴィア レオナルド ダヴィンチ 1 6

審査官 森林 宏和

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
A61B 19/00 - 19/12
B25J 9/00 - 9/22

专利名称(译)	医疗机器人系统		
公开(公告)号	JP5148512B2	公开(公告)日	2013-02-20
申请号	JP2008552823	申请日	2007-02-02
[标]申请(专利权)人(译)	为欧元原子能COMMUNITYEURATOM代表受欧元委员会		
申请(专利权)人(译)	欧洲原子能共同体 (欧洲原子能共同体) , 复制禅泰德由欧洲委员会		
当前申请(专利权)人(译)	欧洲原子能共同体 (欧洲原子能共同体) , 复制禅泰德由欧洲委员会		
[标]发明人	ルイズモラレスエミリオ		
发明人	ルイズ モラレス、エミリオ		
IPC分类号	A61B19/00 B25J9/04		
CPC分类号	A61B34/30 A61B34/37 A61B34/71 A61B34/77 A61B90/361 A61B2034/305 A61B2090/064 B25J9/041		
FI分类号	A61B19/00.502 B25J9/04.B		
代理人(译)	佐藤 嘉明		
优先权	2006101250 2006-02-03 EP		
其他公开文献	JP2009525097A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

用于执行医疗程序的医疗机器人系统包括用于机器人辅助处理医疗器械的机器人操纵器，特别是腹腔镜手术器械。机器人操纵器包括底座 (24) ;一个机械臂，其基本垂直的部分由基座支撑，并且基本水平的部分由垂直部分支撑;由操纵臂 (26) 支撑的操纵器腕部 (28) ;效应器单元 (30) 由操纵器手腕 (28) 支撑并且构造成用于保持医疗器械 (18) 。操纵臂 (26) 具有圆柱形PRP运动构造，用于定位操纵器腕部 (28) 。更具体地，PRP运动构造包括棱柱 (P) 第一关节，用于通过沿基本垂直轴提供平移自由度来改变垂直部分的高度，旋转 (R) 第二关节用于改变第二关节之间的旋转角度。垂直部分和水平部分通过提供围绕基本垂直轴的旋转自由度，以及棱柱 (P) 第三关节，用于通过沿基本水平轴线提供平移自由度来改变水平部分的范围。

支点軸	最大移動	最大速度
偏揺れ旋回	$\pm 70^{\circ}$	$100^{\circ}/s$
ピッチ旋回	$[+10^{\circ} - 80^{\circ}]$	$60^{\circ}/s$
侵入	$[0 \ 200\text{mm}]$	$200\text{mm}/s$
回転	$[-360^{\circ} + 360^{\circ}]$	