

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5130228号
(P5130228)

(45) 発行日 平成25年1月30日 (2013. 1. 30)

(24) 登録日 平成24年11月9日 (2012. 11. 9)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 19/00 (2006. 01)
B 2 5 J 13/00 (2006. 01)A 6 1 B 19/00 5 O 2
B 2 5 J 13/00 Z

請求項の数 22 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2008-552824 (P2008-552824)
(86) (22) 出願日 平成19年2月2日 (2007. 2. 2)
(65) 公表番号 特表2009-525098 (P2009-525098A)
(43) 公表日 平成21年7月9日 (2009. 7. 9)
(86) 国際出願番号 PCT/EP2007/051047
(87) 国際公開番号 W02007/088208
(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 06101251.4
(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)

(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
ッション
THE EUROPEAN ATOMIC
ENERGY COMMUNITY (E
URATOM) represented
by The EUROPEAN CO
MMISSION
ベルギー、ブッセル 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】 最小侵襲医療手技を実行するためのロボット手術システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

腹腔鏡手術器具 (1 8) のロボット支援ハンドリングのためのロボットマニピュレータ (1 4) であって、マニピュレータアーム (2 6) を有する前記ロボットマニピュレータと、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手首 (2 8) と、前記マニピュレータ手首によって支持されるエフェクタユニット (3 0) とを備えた、最小侵襲医療手技を実行するためのロボット手術システムにおいて、

前記マニピュレータアーム (2 6) が、前記手首をロボットの的に位置決めするために各々が関連アクチュエータ (5 1 、 6 1 、 7 1) を有する第 1 関節 (J 1) 、第 2 関節 (J 2) 、および第 3 関節 (J 3) によって 3 自由度をもたらし、

前記マニピュレータ手首 (2 8) が第 4 関節 (J 4) および第 5 関節 (J 5) によって 2 自由度をもたらし、前記第 4 および第 5 関節が回転関節であって、前記エフェクタユニットのヨー角およびピッチ角をそれぞれロボットの的に設定するための関連アクチュエータ (8 1 、 1 0 1) を有し、

前記エフェクタユニット (3 0) が腹腔鏡手術器具アクチュエータ (1 2 0 ; 1 1 2 0) を含み、前記腹腔鏡手術器具アクチュエータのロール角をロボットの的に設定するための関連アクチュエータ (1 4 1) を有する回転第 6 関節 (J 6) によって 1 自由度をもたらし、

前記腹腔鏡手術器具アクチュエータが、器具ステムアダプタ (3 0 0 ; 1 3 0 0) を前記エフェクタユニットに装着するための関連連結機構 (4 0 6 ; 1 4 2 3) 付きの座 (1

10

20

30 ; 1130) と、前記アダプタに接続された腹腔鏡手術器具を作動させるために前記器具ステムアダプタと協働する作動機構 (400 ; 1400) とを含み、

前記エフェクタ (30) ユニットは、前記回転第 6 関節 (J 6) の回転軸が、前記器具ステムアダプタによって前記エフェクタユニットに装着されたときの腹腔鏡手術器具の長手軸と一致するように構成され、

前記エフェクタユニットが 6 自由度の力 / トルクセンサおよび 6 自由度の加速度計を含むセンサアセンブリ (122) を含み、前記センサアセンブリ (122) が前記腹腔鏡手術器具アクチュエータ (120 ; 1120) を前記第 6 回転関節 (J 6) に接続する、ロボット手術システム。

【請求項 2】

10

前記 6 D O F の力 / トルクセンサ (122) の 1 つのセンサ軸および前記前記 6 D O F の加速度計 (122) の 1 つのセンサ軸が前記第 6 関節の回転軸と一致するように、前記エフェクタユニット (30) が構成される、請求項 1 に記載のロボット手術システム。

【請求項 3】

前記腹腔鏡手術器具アクチュエータ (120 ; 1120) が、前記座 (130 ; 1130) を配置されるアクセス面 (401 ; 1401) を持つハウジング (154 ; 1154) 、前記ハウジングを前記センサアセンブリ (122) に取り付けるインタフェースフランジ (156) 、および前記ハウジングの前記インタフェースフランジへの取付けの剛性を補強するために前記アクセス面を前記インタフェースフランジに接続する漸進的補強リブ (1157) を含む、請求項 1 または 2 に記載のロボット手術システム。

20

【請求項 4】

前記ハウジング (1154) が、前記アクセス面 (1401) の反対側に略半円筒面 (1155) を有する半円筒形であり、前記半円筒面が直径 50 ~ 135 mm、好ましくは約 90 mm の円筒状エンベロープと一致し、かつ前記第 6 関節 (J 6) の回転軸と同軸である、請求項 3 に記載のロボット手術システム。

【請求項 5】

前記ハウジング (1154) 、前記フランジ (156) 、前記補強リブ (1157) 、および前記センサアセンブリ (122) が、前記円筒状エンベロープ内にぴったり収まるような寸法である、請求項 4 に記載のロボット手術システム。

【請求項 6】

30

前記座が、前記腹腔鏡手術器具アクチュエータ (120 ; 1120) のアクセス面 (401 ; 1401) 内に前記第 6 関節 (J 6) の回転軸と略同軸に配置された細長い略半円筒状凹部 (130 ; 1130) を含み、前記座および前記連結機構が、前記第 6 関節 (J 6) の回転軸に対して直角の動きによって器具ステムアダプタ (300 ; 1300) を着脱するように構成された、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のロボット手術システム。

【請求項 7】

前記連結機構が、器具ステムアダプタ (1130) を磁力によって前記腹腔鏡手術器具アクチュエータに固定するために前記半円筒状凹部 (1130) の両側にそれぞれ配置された少なくとも 1 つの磁気装置 (1423) を含む、請求項 6 に記載のロボット手術システム。

40

【請求項 8】

前記磁気装置 (1423) が永久磁石および電磁石の少なくともいずれか一方を含む、請求項 7 に記載のロボット手術システム。

【請求項 9】

前記作動機構 (400 ; 1400) が、前記エフェクタユニットに装着された器具ステムアダプタ (300 ; 1300) のスライダピン (314) を係合受容し、かつ直線的に摺動かさせるように構成されたスライダキャリッジ (430 ; 1430) を含む、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のロボット手術システム。

【請求項 10】

前記座 (130 ; 1130) が前記第 6 関節の回転軸に沿って細長く、かつ前記スライ

50

ダキャリッジ(430; 1430)が前記座に横方向に配置される、請求項9に記載のロボット手術システム。

【請求項11】

前記作動機構(400; 1400)が、前記スライダキャリッジによって働く力、またはそれに対して働く力を測定するために、前記スライダキャリッジ(430; 1430)を駆動手段に接続する力センサ(1427)を含む、請求項9または10に記載のロボット手術システム。

【請求項12】

前記スライダキャリッジ(1430)が、前記スライダキャリッジから取外し可能であって前記スライダピン(314)を係合するために斜切捕捉面(1434)を有する係合部材(1433)を含む、請求項9、10、または11に記載のロボット手術システム。

10

【請求項13】

器具ステムアダプタ(300; 1300)が前記エフェクタユニットに正しく装着されているか否かを検出するための有無検出器(404; 1431)が、前記腹腔鏡手術器具アクチュエータ(120; 1120)に含まれる、請求項1~12のいずれか一項に記載のロボット手術システム。

【請求項14】

前記腹腔鏡手術器具アクチュエータ(1120)が、器具ステムアダプタに設けられた誘導的に識別可能なパターン(1313)によって、前記エフェクタユニット(30)に装着された器具を識別するための複数の誘導性有無センサ(1431)を含む、請求項13に記載のロボット手術システム。

20

【請求項15】

前記システムが手動モードで動作するように構成され、その場合、前記ロボットマニピュレータが、前記6DOF力/トルクセンサによって読み取られた情報を使用して、前記腹腔鏡手術器具アクチュエータを位置決めし、かつ方向付けることができ、前記システムがさらに、前記システムを手動モードに切り替えるために前記腹腔鏡手術器具アクチュエータ(120; 1120)に配置された切替手段(408)をさらに含む、請求項1~14のいずれか一項に記載のロボット手術システム。

【請求項16】

請求項1~15のいずれか一項に記載のロボット手術システムで、手動腹腔鏡手術器具のステム(302)をロボットマニピュレータ(14)で使用するために前記ロボットマニピュレータ(14)に装着される腹腔鏡手術器具ステムアダプタ(130; 1130)であって、前端に配置されたステムコネクタ(304; 1304)を有する細長いケース(303; 1303)、および前記ケースの側方に配置された連結手段(308; 1311)を含み、前記ステムコネクタ(304; 1304)が手動腹腔鏡手術器具ステム(302)に着脱自在に接続するように構成され、前記連結手段(308; 1311)が前記ロボットマニピュレータの腹腔鏡手術器具アクチュエータ上の連結機構(406; 1423)と協働する、腹腔鏡手術器具ステムアダプタ。

30

【請求項17】

前記連結手段(308; 1311)が半円筒面を含み、前記面が、前記第6関節の回転軸上で器具ステムアダプタ(300; 1300)をセンタリングするための前記ロボットマニピュレータの腹腔鏡手術器具アクチュエータ(120; 1120)の座(130; 1130)の半円筒状凹部に一致する、請求項16に記載の腹腔鏡手術器具ステムアダプタ。

40

【請求項18】

手動腹腔鏡手術器具のピストン(310; 1310)用のガイド(312; 1303)として内部円筒状中空、および前記ピストンに横方向にとりつけられかつ前記ピストンを操作するために前記ケースから突出するスライダピン(314)用の貫通穴(1315)を含み、前記ピストンは前記ガイド内を摺動するように構成することができる、請求項16または17に記載の腹腔鏡手術器具ステムアダプタ。

50

【請求項 19】

前記連結手段が、前記ケース（1303）の両側に配置された少なくとも1つの強磁性要素（1311）を含み、前記強磁性要素は、前記器具ステムアダプタを磁力によって前記腹腔鏡手術器具アクチュエータに固定するために、前記腹腔鏡手術器具アクチュエータ上の連結機構の対応する磁気装置（1423）とそれぞれ協働する、請求項16～18のいずれか一項に記載の腹腔鏡手術器具ステムアダプタ。

【請求項 20】

前記アダプタ（1300）を前記腹腔鏡手術器具アクチュエータから切り離すためのレバー（1301）をさらに含む、請求項19に記載の腹腔鏡手術器具ステムアダプタ。

【請求項 21】

前記アダプタに装着された器具を識別するために、器具ステムアダプタに設けられた誘導的に識別可能なパターン（1313）をさらに含む、請求項16～20の一項に記載の腹腔鏡手術器具ステムアダプタ。

【請求項 22】

前記ステムコネクタに接続された器具に電力を伝達するために、前記連結手段の反対側に配置された電気コネクタ（308；1308）をさらに含む、請求項16～21の一項に記載の腹腔鏡手術器具ステムアダプタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

請求に係る発明は医療機器の分野に関し、さらに詳しくは、最小侵襲医療手技、特に腹腔鏡下手技を実行するためのロボット手術システムに関する。

【背景技術】

【0002】

開腹術とは対照的に、最小侵襲医療手技が、診断または外科手技中に損傷される外部組織の量を低減するという利点を有することは周知である。これは結果的に、患者の回復時間を短縮し、不快かつ有害な副作用を低下し、入院費用のコストを軽減する。現今、一般的な外科、泌尿器科、婦人科、および心臓病専門領域では、腹腔鏡技術のような最小侵襲技術によって実行される外科手術の量が増加している。

しかし、最小侵襲技術一般、および特に腹腔鏡手術は、手術を実行する外科医に対する要件がより厳格になっている。外科医は不自然で疲れる姿勢で、視野を制限され、運動の自由を低減され、触知感の乏しい状態で、手術を行なう。これらの問題の他に、外科医はしばしば、各々例えば30分から数時間続く介入を1日に数回立て続けに実行しなければならないという事実が加わる。これらの困難にもかかわらず、最小侵襲手技への傾向はおそらく、今後数年間、高齢人口および医療分野におけるコストの圧力のため、急増する。

【0003】

腹腔鏡検査では、外科医は明らかに、その動きに開腹術の場合と同様の正確さを要求される。器具アクセスポートすなわち患者の身体の切開部における運動の自由が支点を中心に4自由度に低減された長尺シャフト器具を操作することによっても、この作業は緩和されない。とりわけ、要求される姿勢は非常に厄介であり、かつ器具と組織との間の相互作用力についてのすでに限定されている知覚を低下させるという事実により、複雑な状況が生じる。例えば外科医は患者の脇に立つときに、患者の反対側に挿入された器具を保持するために自分の腕の1つを上げて伸ばし続けなければならない。その結果、外科医の運動能力は通常20～30分後には減退するので、中でも特に震え、正確さの喪失、および触覚感度の喪失が発生し、結果的に患者に危険が生じる。従って、介入の効率、品質、および安全性を改善することを目的とするロボット支援腹腔鏡手術のような新技術が出現してきている。

【0004】

上記の観点から、ロボット支援腹腔鏡手術は90年代初期以来の目覚ましい発展をとげている。2つの代表的な市販のロボット手術システムとして、カリフォルニア州サニーベ-

10

20

30

40

50

ルのIntuitive Surgical Inc.によって開発された商標「DA VINCI」で知られる手術システム、および元来、カリフォルニア州ゴレタのComputer Motion Inc.によって開発された商標「ZEUS」で知られる手術システムがある。名称「DA VINCI」で知られる手術システムは中でも特に、Mollerらによって米国特許第6,659,939号、米国特許第6,837,883号、および本願と同一譲受人の他の特許文書に記載されている。名称「ZEUS」で知られる手術システムは中でも特に、Wangらによって米国特許第6,102,850号、米国特許第5,855,583号、米国特許第5,762,458号、米国特許第5,515,478号、およびカリフォルニア州ゴレタのComputer Motion Inc.に譲渡された他の特許文献に記載されている。

10

【0005】

これらの遠隔操作ロボットシステムは、直接手術室から、またはコンソールのビジュアルフィードバックを使用して遠隔場所から、外科的介入を制御することを可能にする。いずれの場合も、外科医の疲れる姿勢は排除される。

これらのシステムは両方とも、形態解剖学的に一定であり、作業空間が小さく、従って限られた空間のみで正確な器具の動きおよび巧緻性が要求される心臓手術専用設計されている。この限定された空間での到達性および巧緻性を高めるために、器具の先端部で1以上の追加自由度をもたらす広範囲の特殊専用器具が、これらのシステムの各々にそれぞれ使用するために設計されてきた。これらの専用の複雑な器具に関して、それらの高い購買コストおよび滅菌による短い寿命は、総維持費を増大させる。腹腔鏡手術の経験豊富な外科医によると、多関節器具は大部分の処置に不可欠ではなく、標準器具の使用は中でも特に維持コストの顕著な削減を意味する。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、本明細書の請求に係る発明の1つの目的は、従来の手作業での処置用に設計された利用可能な標準腹腔鏡手術器具の使用を可能にするように構成されたロボットマニピュレータを備えた、最小侵襲医療処置を実行するためのロボット手術システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

この目的を達成するために、本書で以下に開示する通り、腹腔鏡手術器具のロボット支援ハンドリングのためのロボットマニピュレータであって、マニピュレータアームを有するロボットマニピュレータと、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手首と、マニピュレータ手首に支持されるエフェクタユニットとを備えた、最小侵襲医療処置を実行するためのロボット手術システムを提示する。本発明の一態様によると、手首をロボットの的に位置決めするために各々が関連アクチュエータを有する第1関節、第2関節、および第3関節によって、マニピュレータアームは3自由度をもたらす。回転関節である第4および第5関節であって、マニピュレータアームに対するエフェクタユニットのヨー角およびピッチ角それぞれをロボットの的に設定するために関連アクチュエータを有する第4および第5関節によって、マニピュレータ手首は2自由度をもたらす。エフェクタユニットは腹腔鏡手術器具アクチュエータを含み、腹腔鏡手術器具アクチュエータのロール角をロボットの的に設定するために関連アクチュエータを有する回転第6関節によって、1自由度をもたらす。換言すると、第6回転関節の作動は器具のみならず、エフェクタユニットの器具アクチュエータ部全体をも回転させる。さらに、本発明の別の態様によると、腹腔鏡手術器具アクチュエータは、器具ステムアダプタをエフェクタユニットに装着するための連結または固締機構付きの座、およびアダプタに接続された腹腔鏡手術器具を好ましくは直線作動によって作動させるために器具ステムアダプタと協働する作動機構を含む。エフェクタユニットは、回転第6関節の回転軸が、器具ステムアダプタによってエフェクタユニットに装着された腹腔鏡手術器具の長手軸と一致するように構成され、エフェ

40

50

クタユニットは、6自由度(DOF)の力/トルクセンサおよび6DOFの加速度計を含むセンサアセンブリを備える。センサアセンブリは腹腔鏡手術器具アクチュエータを第6回転関節に機械的に接続する。換言すると、センサアセンブリは、それが腹腔鏡手術器具アクチュエータと共に回転するように、腹腔鏡手術器具アクチュエータと第6回転関節の駆動側との間に配置される。これによりとりわけ、センサアセンブリをロボットマニピュレータの6つの関節の作動を制御する入力装置として使用して、腹腔鏡手術器具アクチュエータ全体を手動で位置決めしかつ方向付けることのできる、手動操作モードが可能になる。

【0008】

器具を操作するためにロボットにより作動する6DOFのおかげで、ロボットマニピュレータは、冗長な関節を必要とすることなく、装着された腹腔鏡手術器具に、外科医の手のそれに匹敵するレベルの操縦性を提供する。器具ステムアダプタ用に設計された座および連結機構により、腹腔鏡手術器具アクチュエータは、手作業による腹腔鏡手術用に設計された多種多様な既存の標準型の腹腔鏡手術器具のための汎用インタフェースを提供する。さらに、接続された器具とロボットマニピュレータの第6関節との間に配置されたセンサアセンブリは、器具の手作業によるハンドリングに対応する感覚的知覚を外科医に提供するために、外科医コンソールの触覚インタフェースにおける正確な力フィードバックを可能にする。力/トルクセンサに対する重力および加速度の影響を補償するために、直線および角加速度計が使用されることは理解される。これらの特徴は、本書に開示するロボットマニピュレータでの比較的安価な標準型の器具(例えば把持器、解剖器具、鉗、凝固器、クリップ適用具、持針器、電気折込メス、吸引/灌水ツール等)の使用を可能にする。

システムが最小限の個数の関節で要求される操縦性を、すなわちわずか6個の関節で6DOFをもたらすことは理解される。マニピュレータの運動のためにそれ以上の冗長な関節が設けられることはない。特に、多関節器具遠端を持つ特殊器具は必要とされない。さらに、全ての関節は作動される。すなわち、受動(非作動)または自由回転関節はロボットマニピュレータに存在せず、よってロボット制御が著しく改善される。公知のシステムで例えば套管針の応力を回避するために一般的に使用されている冗長な受動関節の排除は、本願ではとりわけ、第6関節と腹腔鏡手術器具アクチュエータとの間のインタフェースにセンサアセンブリを設けることによって達成される。センサアセンブリのこの配置は、器具の先端レベルのみならず、套管針のレベルでも力の測定および制約的制限を可能にする。別の特異性は、手首およびエフェクタユニット関節が全て回転すること、すなわち柱状関節がこれらの部分に設けられないことである。

【0009】

多くの既存のロボット手術システムは力のフィードバックが欠如し、よって外科医は患者の組織に加えられた力を知覚することができない。従って、外科医は器具と組織との相互作用を制限するのに、彼の動きの視覚的フィードバックに頼ることしかできない。実際、力のフィードバックは、外科腹腔鏡手術用のロボットの使用における安全性に著しく貢献する。加えて、接触感覚は器官を触診し、内視鏡の視野内に無い器具で粘稠性器官を保持し、縫合に適切な張力を加えてワイヤの破断を回避し、器官に加えられる過度の力を検知し、その結果動きを停止または制限し、套管針切開に加えられる力を制限することなどに関係する。ドイツ国ミュンヘンにおける2004年10月8-9日のJahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie(CURAC)でのB. Kubler、U. Seibold、およびG. Hirzingerによる「Development of actuated and sensor integrated forceps for minimally invasive robotic surgery」において、器具の先端に設置された小型の6DOFの力/トルクセンサが提示された。この概念は、とりわけ器具の費用の増大、滅菌に関する頑健さの欠如、および電動器具と使用する際のEMI遮蔽の問題をはじめとする、幾つかの欠点を有する。器具ステムに設置されたセンサによって対処することのできない別の問

10

20

30

40

50

題は、患者の切開部の器具アクセスポートを形成する套管針に加えられる外力の測定である。実際、これらの力は切開部を広げ、かつ套管針アタッチメントを緩めさせることがある。従って、時々、套管針は介入中に非意図的に切開部から抜け落ちる。そのような事故は患者の組織を傷つける以外に、腹部のガス注入圧力の損失を誘発し、よって状況を回復しなければならないので、介入時間が長くなることがよく知られている。エフェクタユニット上の力/トルクセンサのおかげで、套管針の脱離を回避するための自動処置を実現することができる。

【0010】

Int. J. Medical Robotics and Computer assisted Surgery、2005年9月におけるR. Bauernschmitt、E. U. Schirrmbeckらによる論文「Towards robotic heart surgery: Introduction of autonomous procedures into an experimental surgical telemanipulator system」(www.roboticpublications.comから入手可能)において、著者らは、現在利用可能なシステムの主要な欠点として、力の感知および力のフィードバックの能力の欠如を認識している。この論文に記載されたシステムは、「DA VINCI」システム用に設計されたIntuitive Surgical Inc.社製の器具が装着される産業ロボットを備える。力の感知を達成するために、器具は変更される。器具のシャフトの遠端付近にひずみゲージセンサが具備される。このシステムは、本書で開示するシステムとは対照的に、器具シャフトに直角な平面内の力しか測定することができず、かつ、ロボットシステム用に設計され遠端で3度の追加自由度をもたらす高価な専用器具の使用を必要とする。

【0011】

別の関連する態様は、ロボット手術システムの汎用性である。既存のロボット手術システムは一般的に、特定の型の介入用に設計されている。例えば「DA VINCI」および「ZEUS」システムは、特に心臓手術用に設計されたものである。従って、上述の通り、これらのシステムは特殊多関節器具用に設計されている。さらに、心臓介入における制限された作業空間のため、器具の動きは通常、これらのシステムの触覚インタフェースにおける外科医のコマンドから縮小される。一般的な腹腔鏡外科手術(婦人科および泌尿器科を含む)では、手術作業空間は心臓手術の場合より大きく、解剖学的形態は多様である(時には予測不可能でさえある)、組織および器官の機械的特性は多様である。大きい作業空間は大きい器具運動エンベロープおよび1:1の運動スケールの必要性を暗示する。その結果、一般的腹腔鏡手術では、外科医の手の動きを正確に追跡するために、増大した運動力学が必要である。実験的試行から、外科医の手は小さい作業空間で高い速度、および従って非常に高い精度を生じることが明らかになった。速度は駆動ピッチおよびヨー軸に沿って100°/s、穿通方向に200mm/sに達することができる。1:1の運動スケールおよび示した状態で、上記システムは振動、オシレーション、および精度の損失を示す。以下でさらに詳述するロボットマニピュレータは、そのような問題を軽減し、従って多種多様な介入に適するように設計される。

【0012】

特殊多関節腹腔鏡手術器具に関連する別の欠点は、多関節器具先端の制御に基づく遠隔操作の直観性が、経験豊富な腹腔鏡外科医に対して期待されるより劣ることが明らかになったことである。

多くの既存のシステムは、内視鏡用のマニピュレータの他に、外科手術用器具自体のためのマニピュレータを2つしか持たない。この結果、頻繁かつ複雑な器具の交換手順のため、介入時間が増加する。典型的な介入では、外科医は5~7種類の異なる器具を使用し、それらを数十回交換する必要がある。通常、器具の交換は、外科医アシスタントの技量によって5秒から10秒かかり、これらの交換作業は全介入時間にかなり寄与する(約10~20%)。多くの既存のロボットシステムは、3つまたは4つの器具アクセスポートを必要とする典型的な介入に簡単には適さない。他のシステムは時間的に通常短い(約2

0分)診断介入に制限され、しばしばロボットシステムのコストを正当化しない。理想的には、ロボット手術システムはモジュール式であり、かつ4つまでの器具アクセスポートおよび1つの内視鏡アクセスポートを管理する能力を有するべきである。適切なマニピュレータの設計に関係する重要な制約は、一部のアクセスポートが数センチメートルしか離すことができず、かつそれぞれの器具を相互に略平行にまたは上下に配置する必要があるかもしれないことである。加えて、マニピュレータは、患者の身体およびアクセスポートに対する外科医の視界を過度に制限しないことが望ましい。ロボット手術システムは、本書で下述する本質的に独創的と考えられる様々な他の特徴のおかげで、とりわけ後者の問題に対処する。

【0013】

ロボットマニピュレータの好適な実施形態では、エフェクタユニットは、6DOFの力/トルクセンサの1つのセンサ軸、例えば法線軸、および6DOFの加速度計の1つのセンサ軸、例えば法線軸が、第6関節の回転軸と一致するように構成される。この処置は、力のフィードバック計算を容易にする。

腹腔鏡手術器具アクチュエータが、座を配置されるアクセス面を持つハウジング、およびハウジングをセンサアセンブリに取り付けるインタフェースフランジを含む場合、それはさらにインタフェースフランジへのハウジングの取り付けの剛性を補強するためにアクセス面をインタフェースフランジ接続する漸進的補強リブを含むことが好ましい。それによって、腹腔鏡手術器具アクチュエータの断面がセンサ取付板の断面よりずっと小さい場合でも、トルクおよび力はより正確にセンサアセンブリに伝達される。

人間工学を高めるために、ハウジングは、好ましくは略平坦アクセス面の反対側に略半円筒面を有することによって、半円筒状である。半円筒面は直径が50~135mm、好ましくは約90mmで第6関節の回転軸と同軸の円筒状エンベロープと一致することが好ましい。そのような実施形態では、ハウジング、フランジ、補強リブ、およびセンサアセンブリは、この円筒状エンベロープ内にぴったり収まるような寸法にすることがさらに好ましい。加えて、適応器具システムは、マニピュレータに装着されたときに同じエンベロープ内にぴったり収まるように設計することが好ましい。

【0014】

好適な構成では、腹腔鏡手術器具アクチュエータの座は、腹腔鏡手術器具アクチュエータのアクセス面内に第6関節の回転軸と略同軸に配置された、細長い略半円筒状の凹部を含み、座および連結または固締機構は、器具システムに略垂直の平面内で支点を中心に、すなわち第6関節の回転軸に対して半径方向に枢動することによって、器具システムアダプタを着脱するように構成される。半円筒状凹部は、アダプタが接続されたときにアダプタのセルフセンタリングをもたらす。さらに、この構成は、回転第6関節を手動的に作動させる能力とあいまって、かつ通常の状態では、器具をアクセスポート付近で運動させるための自動手順とあいまって、器具の横向きに着脱を可能にし、よって患者に対する穿通方向の挿入および抜去が排除される。さらに、外科医アシスタントに対する人間工学が改善され、かつ器具交換回数が既知のシステムと比較して低減される。

【0015】

連結機構の好適な実施形態では、連結機構は、半円筒状凹部の両側にそれぞれ配置された少なくとも1つの磁気装置、例えば電磁石もしくは永久磁石または両方の組合せを含む。好ましくはアクセス面内にそれと同じ高さに設けられた磁気装置は、磁力によって器具システムアダプタを腹腔鏡手術器具アクチュエータに固定させることができる。この連結機構は、この場合腹腔鏡手術器具アクチュエータを滅菌する必要が無いので、腹腔鏡手術器具アクチュエータを被覆する無菌ラップを介入中に損傷する危険性を低減させる。

器具の横向きに着脱を可能にする別の単純かつ信頼できる実施形態では、座は、器具システムアダプタ上に横方向に配置された連結手段を受容するために、半円筒状凹部を半径方向に深くする縦溝を含み、連結機構は、連結手段に係合するために縦溝内に配置された摺動自在の止め具を含む、掛止固締機構として構成される。この型の座および固締機構は対応するアダプタと協働して、機械的に単純で直観的かつ信頼できる速結接続を達成する。

10

20

30

40

50

把持用または解剖用の鉗子、鋏等のような被作動器具のために使用される作動機構は、エフェクタユニットに装着された器具ステムアダプタのスライダピンを係合受容し、かつ直線的に摺動かさせるように構成された、スライダキャリッジを含むことが好都合である。座が第6関節の回転軸に沿って細長い場合、スライダキャリッジは、座に対して横方向に、すなわち座の軸方向延長とは反対側に配置することが好ましい。それによって、エフェクタユニットの長さの低減を達成することができる。さらに作動機構は、スライダキャリッジを駆動手段に接続する力センサを含むことが有利である。そのような力センサは、スライダキャリッジによって働く力、またはスライダキャリッジに対して働く力を測定することが可能である。

【0016】

10

好適な実施形態では、腹腔鏡手術器具アクチュエータはさらに、器具ステムアダプタがエフェクタユニットに正しく装着されているかどうかを検出するための有無検知器を備える。腹腔鏡手術器具アクチュエータは、器具ステムアダプタに設けられた誘導的に識別可能な物質パターンによって、エフェクタユニットに装着された器具を識別するために、複数の誘導性有無センサを含むことが好ましい。

好適な実施形態では、ロボット手術システムは、手動モードで操作するように構成され、その場合、腹腔鏡手術器具アクチュエータは、センサアセンブリの6DOFの力/トルクセンサによって読み取られた情報を使用して、ロボットマニピュレータによって位置決めし、かつ方向付けることができ、ロボット手術システムはさらに、システムをこの手動モードに切り替えるために、腹腔鏡手術器具アクチュエータに配置された切替手段を含む。

20

請求に係る発明の別の態様は、本書に記載する通り、いずれかの利用可能な手動腹腔鏡手術器具のステムをロボット手術システムのロボットマニピュレータに装着するための、上述した腹腔鏡手術器具ステムアダプタに関する。このアダプタは、前端に配置されたステムコネクタを有する細長いケース、およびケースの側方に配置された連結部材または手段を含む。ステムコネクタは手動腹腔鏡手術器具のステムのソケットと協働し、それと着脱自在に接続するように構成される。連結手段は次に、ロボットマニピュレータの腹腔鏡手術器具アクチュエータの座と協働する。

【0017】

30

手動介入の場合、多くの異なる腹腔鏡手術器具が多種多様な用途のために利用可能である。これらの器具の大部分は、外科医によって操作されるように考えられたハンドル部、およびステム部、すなわち一端に器具自体を、反対側の端にハンドルに接続するソケットを持つ、細長い腹腔鏡管またはシャフトに分割することができる。対応するコネクタを具備した、本書に開示するアダプタは、上記の通りロボットマニピュレータにおけるそのような器具の任意の型のステム部の使用を可能にする。アダプタは非常に単純で安価かつ頑健な設計を有する。従って、比較的安価な標準器具と組み合わせられる器具ステムアダプタは、上記ロボットシステムと組み合わせて使用する医療ツールの購買および維持コストを低減する。

ステムアダプタの好適な実施形態では、その連結手段は半円筒面を含み、または代替的に、ケース全体がおそらく、ステムコネクタとは反対側の端が丸みを帯びた略円筒形状を持つことができる。どちらの場合も、形状または表面は、ロボットマニピュレータの腹腔鏡手術器具アクチュエータの座の上述した半円筒状凹部と共形である。これは、第6関節の回転軸上の器具ステムアダプタのセンタリングを可能にする。

40

【0018】

作動ロッド付き腹腔鏡手術器具、例えば把持用または解剖用鉗子、鋏等の場合、腹腔鏡手術器具ステムアダプタは、ガイド内で摺動するように構成することのできる手動腹腔鏡手術器具のピストン用のガイドとして、内部円筒状中空を含むことが好ましい。それはさらに、ピストンに横方向に取り付けられかつピストンを操作するためにケースから突出するスライダピン用の貫通穴を含むことが好ましい。スライダピンは腹腔鏡手術器具アクチュエータのスライダキャリッジと係合するように構成され、ピストンは、腹腔鏡手術器具

50

の先端でツールを操作するためにアダプタに接続された、腹腔鏡手術器具の内部作動ロッドと協働する。アダプタおよび対応する腹腔鏡手術器具アクチュエータのこの構成は、単純かつ信頼できる運動伝達をもたらし、さらに、エフェクタユニットに器具を着脱する際に運動伝達を確立するための追加的手動ステップを排除する。アダプタおよびロボットマニピュレータの対応する連結器の設計のおかげで、器具交換回数が減少し、それは全体的な介入時間の短縮に寄与する。

【 0 0 1 9 】

磁気装置によって生じる磁力を利用して、器具ステムアダプタを腹腔鏡手術器具アクチュエータに固定するために、連結手段はケースの両側に配置された少なくとも1つの強磁性要素を含み、強磁性要素は、腹腔鏡手術器具アクチュエータの連結機構の対応する磁気装置とそれぞれ協働することが好ましい。この実施形態では、器具ステムアダプタはさらに、アダプタを腹腔鏡手術器具アクチュエータから切り離すためのレバーを含むことが好ましい。

10

上述の誘導性有無センサを用いて器具の識別を可能にするために、アダプタは器具ステムに設けられた誘導的に識別可能なパターンを含むことができる。さらに、アダプタは、前記ステムコネクタに接続された器具に電力を伝達するために、前記連結手段の反対側に配置された電気コネクタを含むことができる。

上記態様のみならず、本開示の他の発明の態様および目的も、添付の図面に関連する非限定的実施形態の以下の説明からいっそう明瞭になる。

これらの図面において、同一参照番号は、全体を通して同一部分を識別するために使用される。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 0 】

図1は、一般的に参照番号10で識別される、一般腹腔鏡手術用のロボット手術システムを示す。無菌シートで覆われた患者Pが手術台12上に横たわり、その周りに複数のロボットマニピュレータ14が配置されている。図1の例では、ロボット手術システム10は骨盤領域の介入用にセットアップされている。外科医Sは外科用マスタコンソール15を操作し、外科医アシスタントAは手術台12の近く、かつ1組の適応腹腔鏡手術器具18が載ったトレイ16の近くに立っている。ロボットマニピュレータ14は、様々な種類の腹腔鏡手術器具18を支持し、かつ作動させるエフェクタユニットを位置決めし、かつ方向付けるように設計される。手術中に、ロボットマニピュレータ14は、制御ユニット（図示せず）に接続された1つまたはそれ以上の外科用マスタコンソール15を介して、1人またはそれ以上の外科医Sによって遠隔操作される。理解される通り、ロボット手術システム10はモジュール式であり、一般的に最高5つまでのマニピュレータを用いて、通常は2つのマニピュレータの最小構成で、外科的介入の型に従って構成可能である。5つのマニピュレータ14を持つロボット手術システム10'の構成が例えば図2に示される。図1に示されたシステム10は、各ロボットマニピュレータ14の基台に位置するレーザレンジスキャナ22を具備する。レーザレンジスキャナ22は、手術室で手術補助員安全性のために使用される。図3は、ロボット手術システム10の1つの機械的ユニットを形成する、ロボットマニピュレータ14の3次元図である。ロボットマニピュレータ14は、手術室の床に取り付け可能でありかつ取り付けられないときは移動可能である基台24に装着される。3つの座標系も図3に示されている。すなわち基台、ツールフランジ（TF）、および腹腔鏡手術器具先端（LIT）座標系である。図3に示す通り、ロボットマニピュレータ14はマニピュレータアーム26およびマニピュレータ手首28を含む。

30

40

【 0 0 2 1 】

図4に、ロボットマニピュレータ14の主要部分を示す。アーム26は略垂直部27および略水平部29を有する。垂直部27にあるアーム26の第1端は基台24に取り付けられる一方、手首28は、アーム26の第2端、すなわち水平部29の先端に取り付けられる。適応腹腔鏡手術器具18用のエフェクタユニット30は、手首28のツールフランジ32に接続される。図3に矢印で示すように、アーム26は3自由度（DOF）を有し

50

、手首 28 は 2 D O F を有する。従って、ロボットマニピュレータ 14 は基本的に 5 D O F のロボットマニピュレータである。エフェクタユニット 30 に装着された腹腔鏡手術器具 18 をその長手軸を中心に回転させるための補助 D O F は、エフェクタユニット 30 によってもたらされる。ロボットマニピュレータ 14 およびエフェクタユニット 30 の D O F の構成は、以下の図 5 の説明からさらに明らかになる。

【 0 0 2 2 】

図 5 の形状モデルに最も良く示す通り、アーム 26 は、柱状褶動 (P) 関節 (または直動関節) である第 1 関節 J 1 によって基台 24 に結合される。第 1 関節 J 1 は基台リンク L 0 によって基台 24 に接続され、略垂直軸に沿って並進 (直動) D O F をもたらす。第 1 関節 J 1 は従って、第 1 略垂直リンク L 1 および後者に取り付けられた後続コンポーネントの基台 24 およびリンク L 0 に対する垂直位置決めを可能にする。換言すると、関節 J 1 は垂直部 27 の高さを画定する。回転 (R) 関節である第 2 関節 J 2 は、第 1 リンク L 1 をアーム 26 の第 2 略水平リンク L 2 に接続する。回転関節 J 2 の回転軸は略垂直である。関節 J 2 は、水平面内のリンク L 2 とその初期角度位置との間の相対角度を設定することを可能にする。第 3 柱状褶動 (P) 関節 J 3 はリンク L 2 を第 3 略水平リンク L 3 に接続する。関節 (P) J 3 は略水平軸に沿った並進 (直動) 自由度をもたらし、アーム 26 の、より正確には、水平部 29 の到達範囲または延長を、リンク L 2 に対するリンク L 3 の水平変位によって設定することを可能にする。リンク L 2 および L 3 は (P) 関節 J 3 と共に、ロボットマニピュレータ 14 の略水平延長可能なジブまたはブームを形成する。

図 5 に示すように配置された 2 つの (P) 関節および 1 つの (R) 関節により、アーム 26 は略垂直軸を中心とする 1 回転 D O F を有し、かつそれに関連して 2 つの直角軸に沿った 2 並進 D O F を有する。従って、ロボットマニピュレータ 14 のアーム 26 は円筒状の形状を有し、すなわちマニピュレータ 14 の運動学的構成は、P R P (直動 - 回転 - 直動) 型の円筒状ロボットのクラスに属する。より正確には、最初の 3 つの関節 J 1、J 2、J 3 のうちの各関節はそれぞれ円筒座標 (z , θ , r) に対応する。 z は高度 (または高さ) 座標であり、回転 (またはアジマス) 座標であり、 r は径方向伸び (または半径) 座標である。

【 0 0 2 3 】

図 5 にさらに示す通り、手首 28 は 2 つの回転関節 J 4、J 5 を含み、エフェクタユニット 30 は 1 つの回転関節 J 6 を含む。回転関節 J 2、J 4、J 5、J 6 はそれぞれ、エフェクタユニット 30 に取り付けられた適応腹腔鏡手術器具 18 の向きを画定する。回転関節 J 4 はリンク L 3 をリンク L 4 に接続し、関節 J 2 の回転軸と平行な略垂直軸を中心にリンク L 4 を後続部と共に回転させることができる。従って、回転関節 J 4 は、関節 J 2 の実際の設定と組み合わせて、エフェクタユニット 30 のヨー ($y a w$) 角を設定することができる。回転関節 J 4 の回転軸は、回転関節 J 2 の回転軸および柱状関節 J 3 の並進軸によって形成される平面と同一平面上にあることに留意されたい。回転関節 J 5 はリンク L 4 をツールフランジ 32 に接続し、関節 J 4 の回転軸に直角な略水平軸に沿ってツールフランジ 32 を後続部と共に回転させることができる。従って、回転関節 J 5 はエフェクタユニット 30 のピッチ角を設定することができる。エフェクタユニット 30 は、リンク L 5 を介してツールフランジ 32 に接続される。回転関節 J 6 の回転軸は関節 J 5 の回転軸に対して略直角であり、リンク L 5 をリンク L 6 に接続する。回転関節 J 6 の回転軸はリンク L 6 と一直線に整列され、リンク L 6 のその初期角度位置に対する相対角度を画定する。適応腹腔鏡手術器具 18 はリンク L 6 に接続される。リンク L 7 によって表わされる器具 18 は、リンク L 6 と整列される。リンク L 7 の端点は器具先端 17 を表わす。

【 0 0 2 4 】

マニピュレータ 26 の円筒状 P R P 運動学的構成は、とりわけ次に挙げるような様々な利点を有する。

- ・手術台の上のマニピュレータ構造によって占有される比較的小さい抑制された空間。

・(800mの水平部29の最小リンクオフセットのため)マニピュレータ基台が手術台から十分に離れているので、外科医の手術台へのアクセスおよび手術台へからの患者の移送が容易であるという事実。

・マニピュレータ間の衝突検出計算が容易かつ高速である。

これらおよび他の態様は以下の段落からいっそう明らかになる。ロボットマニピュレータアーム26の選ばれたPRP運動学的構成の結果得られる利点は、手術台12の周りに交差する作業空間において配置された複数のマニピュレータ14間の衝突検出計算の簡素化である(図1および2)。円筒状構成のため、ロボットマニピュレータ14は、2次元(2D)水平面内の単純な平面幾何学的特徴により近似することができる。図6に最も良く示す通り、アーム26の機械的リンクは、($J3 + L2 + L3$)およびJ2にそれぞれ対応する可変長および向きの矩形によって包囲することができ、矩形エンベロープの幅は、機械的リンクの形状に、例えば最大速度からロボットを制動して停止させるために必要な空間に依存するマージンと、安全性閾値を加えることによって与えられる。矩形エンベロープの各辺のマージンは、動きの方向および速度によって動的に決定することができ、例えばエンベロープ辺の方向の速度が高ければ高いほど、このエンベロープ辺の余裕は高くなる。手首28は、リンクL4の本体およびリンクL5の部分を包囲しかつ関節J4の現在の角度位置によって与えられる可変平面方位を持つ、矩形によって近似される。同様に、エフェクタユニット30は、2D水平面上のその突出を包囲する矩形によって近似することができ、ここで突出角度は関節J5の現在の角度位置と一致する。同じ原理が、エフェクタユニット30に接続された器具18のステムに適用される。そのような単純な幾何学的2次元特徴は、それらの線の交差に基づく衝突検出のための単純かつ効率的なアルゴリズムを確立することを可能にする。第1段階で、衝突検出方法は、2D水平突出における衝突を検査することから構成される。これらの2D図形のいずれかが、異なるロボットマニピュレータ14からの図形と衝突する場合にのみ、第3次元を含めることによって、実際の衝突の実効リスクが実質的に検証される。理解される通り、ロボットマニピュレータ14の関係部分の交差する辺に対してのみ、3D計算を実行する必要がある。この簡易3D計算では、例えば三角形に基づくモデルにより、関係部分が包囲される。その結果、高速交差検出アルゴリズム、例えばMollerによって「A Fast Triangle-Triangle Intersection Test」(Journal of Graphics Tools、2(2)、1997)に提案されたアルゴリズムを容易に実現することができる。実際、器具18のステム間の衝突検出は、特に内視鏡を電動器具から保護することに関連する。

【0025】

ロボットマニピュレータ14間の衝突検出の正確な結果を出すために、共通基準座標系に対する全てのロボットマニピュレータ14の位置および向きが、手術室におけるマニピュレータ14の位置決め後の較正手順を通して決定される。機能上の観点から、衝突リスクの検出後に、制御システムは、接続されたマニピュレータ14を停止し、マスタコンソール15上の適切なディスプレイ情報および/または斥力フィードバックを通して外科医Sに警告しなければならない。外科医Sは次いで、マニピュレータの1つを安全な方向に遠隔操作することによって、簡単に復旧を達成することができる。さらなる改善では、部品、例えばアーム26、手首28、エフェクタユニット30、および/または器具18の組の各々に異なるマージンを持つ少なくとも2つのエンベロープを使用して、幾つかの衝突安全性レベルが実現される。隆起のより大きいエンベロープとの衝突の危険性を検出した後、外科医Sによって命令された衝突方向の動きは、マージン領域における侵入に応じて急速にスケールダウンされる。

【0026】

アーム26の構成に関する別の利点は、関節J1、J2、J3に関連するアクチュエータの制御可能性の改善にある。他のクラスのロボット(例えば球面または多関節ロボット)と比較したときに、かつアーム構成の結果として、J1、J2、J3、およびJ4は変動する重力荷重を受けないので、かつJ1、J3、およびJ5は変動する慣性荷重を持た

10

20

30

40

50

ないので、これらのアクチュエータの制御は改善される。これにより、制御ループの簡易最適化（例えばPIDとフィードフォワード）が可能になり、例えばモータエンコーダカウント数がごく少数の非常に低い位置ダイナミクス追跡誤差を達成することが可能になる。提示した利点以外に、関節J1および/または関節J2が急激な動きを実行した場合にそれらの偏位およびオシレーションを制限するように、機械的設計はリンクL2およびL3に対し剛性であるが軽量の構造を考慮する必要がある。

【0027】

ロボットマニピュレータ14の形状から結果的に得られる2つのさらなる利点に注目されたい。第一に、マニピュレータ基台24が手術台12から十分な距離を置いて（例えば少なくとも600mm離して）位置し、アーム26が（ブレーキを解除した状態で）関節J2を中心に手で退避位置まで回転させることができるように設計されていることにより、ガス注入、解剖学的器官の除去、最終縫合等のような手作業のために、外科医Sは手術台12に容易かつ迅速にアクセスすることができる。さらに、手術台12への、または手術台12からの患者Pの移送が迅速に可能である。第二に、特定の水平位置に到達するために同様の長さの2つの共面リンクを接続する肘回転関節を有する、例えば商品名ZEUSで知られるマニピュレータアームに使用されるSCARA形状と比較して、マニピュレータ14の円筒状構成は、患者Pの身体の上に手首28を配置するために取られる空間をかなり低減する、単一の径方向伸縮関節J3を有する。図2に示す通り、手術台12に5台あるいはそれ以上のマニピュレータ14を配置させ、この特徴は、手首およびエフェクタユニットの寸法が十分に小さいこと、すなわち患者の身体上の利用可能な作業空間において十分に抑制された空間しか占有させない。

以下の段落では、図7～15を参照しながら、ロボットマニピュレータ14の構造についてさらに詳述する。

【0028】

図7は、基台24の幾つかの特徴を示す。基台24は主基台板40を含み、基板40の隅の開口に設置された4つの車輪42によって、移動可能な構造として構成される。各車輪42は、車輪42を引き出すかまたは引っ込めるためのハンドルにアクセスするための開口付きのカバー43内に収容される。車輪42が引っ込められると、基台24は、車輪42のクッション支持体（図示せず）によって、手術室の床上に安定静止する。車輪42を引き出した後、ロボットマニピュレータ14を含む基台24を手で移動することができる。異なる設計では、可動または固定直線レール軸上に、または幾つかの基台24および関連マニピュレータ14を支持するように設計されたカート上に、基台24を取り付けることができる。主基台板40は、必要ならば、ロボットマニピュレータ14にさらなる安定性を与えるために、例えば穴44を用いてネジ止めすることによって、床に固定することができるよう設計される。ロボットマニピュレータ14は、ねじ穴45に通したボルトにより、基台24に取り付けられる。基台板40には、幾つかの高精度ボア46が機械加工される。ボア46は、R. BernhardtおよびS. Albrightにより「Robot calibration」（Chapman & Hall編、1993）に記載の通り、光学測定システムによって基台24の位置および向きを決定するために使用される、光学校正反射器を支持するのに役立つ。ロボットマニピュレータ14は、その形状モデルを正確に決定するために、工場セットアップ手順中に校正されることに気付かれるかもしれない。さらに、基台は、ブラシレスモータの電源装置およびサーボドライブ、信号コンディショニング装置、アーム搭載センサの局所処理用手段、ならびにリモートシステム制御ユニットへの通信チャネルのための筐体48を含む。図1に示し、かつ図8に最も良く示す通り、2Dレーザレンジスキャナ22は基台24上に、より正確には筐体48上に設置され、リンクL2およびL3の周囲の安全性周界内部への例えばアシスタントAによる侵入の検出を可能にする。

【0029】

一般的に2種類の型のロボットマニピュレータ14がロボット手術システム10に使用されることに留意されたい。2つの型のロボットマニピュレータ14は略同一の形状およ

び運動学的 P R P 構成のアーム 2 6 を有するが、第 1 の型は、特に可視化のために使用される内視鏡を取り扱うように構成され、第 2 の型は、手術自体のために使用される様々な種類の適応腹腔鏡手術器具 1 8 のいずれかを取り扱うように構成される。腹腔鏡手術の場合、通常、第 1 型の 1 つのロボットマニピュレータ 1 4 が使用される一方、第 2 型の幾つかのロボットマニピュレータ 1 4 が使用される。ロボット手術システム 1 0 では、これらの 2 つの型のロボットマニピュレータ 1 4 の間の主要な相違点は次の通りである。

- ・内視鏡マニピュレータはそのアクセスポートを中心に 360° 回転する必要があるので（通常、探査を目的として）、関節 J 3 の行程は内視鏡マニピュレータの方が長い（約 750 mm）。

- ・内視鏡マニピュレータはそのアクセスポートを中心に 360° 回転する必要があるので、内視鏡マニピュレータの場合、関節 J 4 の行程は無限である。これは、J 4 軸上の信号コレクタを使用することによって可能になる。

- ・関節 J 6 は内視鏡マニピュレータには不要である。すなわち、内視鏡は関節 J 5 に直接取り付けることができる。

- ・内視鏡マニピュレータのエフェクタユニット 3 0 は通常は内視鏡、および余分な力を検出する力/トルクセンサから構成される。

- ・内視鏡マニピュレータは内視鏡だけの位置決め能力を必要とするので、全ての関節に対する速度/加速度要件は、内視鏡マニピュレータの方が最小限 60% 低い。

これらの相違を考慮に入れて、第 2 型のロボットマニピュレータ 1 4 の方がより厳格な設計要件を有するので、本発明の説明は、第 2 型のロボットマニピュレータ 1 4 に重点を置く。

【0030】

図 9 に関連して、それぞれのアクチュエータを含めてマニピュレータアーム 2 6 の関節 J 1 ~ J 3 の構成に関する詳細を下述する。

関連するリニアアクチュエータとして、アーム上昇用の（P）関節 J 1 はボールねじ直線軸 5 0（例えばドイツ国オッフエンブルクおよび英国プールの Parker Hannifin 社、電子機械部門によって生産された E T シリーズの適切なモデル）を含む。ボールねじ直線軸 5 0 は、インクリメンタルモータ位置エンコーダおよびブレーキを具備した、ブラシレスサーボモータ 5 1 によって駆動される。直線軸 5 0 はさらに、出力段における追加の絶対リニア位置センサ（図示せず）、リミットスイッチ、および機械的行程端緩衝器（図示せず）を具備する。軸の直線性およびねじり剛性を確実にするために、垂直リニアガイド 5 2 が直線軸 5 0 と連動する。アーム 2 6 を基台 2 4 に装着するために、直線軸 5 0 はブラケット 5 3 に取り付けられる。信号線および電力線は関節 J 1 のカバー内部の垂直ケーブルチャネル（図示せず）内を案内される。図 3 に最も良く示す通り、外部カバー 5 4 は柱状（P）関節 J 1 のコンポーネントを収容する。関節 J 1 のアクチュエータアセンブリに関して、モータ/負荷縮小比は、モータブレーキが解放されているとき、またはサーボモータ 5 1 が付勢されないときにも、水平部 2 9 の望ましくない落下を防止するように設定されることに気付かれるかもしれない。加えて、緊急の場合に全てのロボット関節の動きを停止させるように働く、緊急停止ボタン（図示せず）が外部カバー 5 4 に配置される。図 9 に示す通り、マニピュレータアーム 2 6 の上述したコンポーネントは、その略垂直部 2 7 を構成する。

【0031】

図 9 はまた、アーム 2 6 の肩関節を形成する（R）関節 J 2 をも示す。図 10 に最も良く示す通り、関節 J 2 は、Harmonic Drive（登録商標）型のギア 6 2 と直列して負荷を駆動するブラシレスサーボモータ 6 1 のアセンブリを含む。ブラシレスモータ 6 1 は位置エンコーダおよびフェイルセーフブレーキを具備する。加えて、アクチュエータアセンブリは、ギア 6 2 の出力段に接続されたベルト 6 6 によって駆動されるさらなる絶対回転位置センサ 6 5、ならびに機械的行程端緩衝器およびリミットスイッチ（図示せず）を含む。キースイッチ（図示せず）はカバー 6 4 上に設けられ、関節 J 2、J 3、J 4、J 5、および J 6 のそれぞれのモータが付勢されないときに、それらの関節のブレ

ーキを解放させる。これにより、アーム 26 およびエフェクタユニット 30 を手動で待機位置に移動させることが可能になる。下流の関節 J 3 ~ J 6 から、かつエフェクタユニット 30 からの信号ケーブルおよび電力ケーブルは、カバー 64 内部を通過する可撓性ケーブルダクト（図示せず）を通して J 3 から J 1 まで渡される。代替的に、そのようなケーブルは、例えば適応ギアモータアセンブリの中空シャフトを通して案内することができる。

【 0032 】

図 9 はまた、径方向延長すなわち水平部 29 の到達範囲を設定するための（P）関節 J 3 を含むアーム 26 の水平部 29 の設計をも示す。関節 J 3 は、関連リニアアクチュエータとして、リニアシリンダ軸 70、例えばボールねじ直線軸を含む。上述の会社によって製造され、モータ位置エンコーダおよびフェイルセーフブレーキを具備したブラシレスサーボモータ 71 によって駆動される、例えば E T 型式のアクチュエータが使用される。リニアシリンダ 70 軸のロッドは、矩形管として構成されリニアガイド 73 のトロリ上に装着された、ビーム 72 を動かす。この構造は直線偏位を低減させる。リニアシリンダ軸 70 はさらに、出力段における追加の絶対リニア位置センサ、リミットスイッチ、および機械的行程端緩衝器（図示せず）を具備する。信号線および電力線は、水平に配置されたケーブルチェーン内を案内される。カバリング 74 は第 2 リンク L 2 を形成する部分に固定され、（P）関節 J 3 のコンポーネント、特にリニアアクチュエータ 70 およびリニアガイド 73 を収容する。図 9 に示す通り、リンク L 3 の一部を形成するビーム 72 は、カバリング 74 の内外に伸縮するように構成される。アーム 26 は、患者 P の上で限定された量の空間しか必要としない、先端に向かって細くなる水平部 29 を具備する。さらに、電力および作動状態を視覚的に示すように、カバリング 74 の後頂部にランプを設けることが好ましい。

【 0033 】

図 11 ~ 13 に関連して、手首 28 の構造、特に関節 J 4 および J 5 について以下で詳述する。

図 11 ~ 13 に示す（R）関節 J 4 の機械的および作動設計は、ブラシレスサーボモータ 81 が垂直に装着される支持板 80 を含む。サーボモータ 81 は位置エンコーダ 82 およびホールセンサをモータシャフト上に具備する。サーボモータ 81 として、例えばスイス国ザクセンの MAXON MOTOR A. G. 製の EC モータシリーズの適切な型番が使用される。（R）関節 J 4 はさらに、接続フランジ 87 に連結された負荷軸プーリ 86 を駆動するように、サーボモータ 81 に連結されたギア 83 を介し、かつ伝動ベルト 84 およびプーリ 85 システムを介する伝動機構を含む。追加の絶対シングルターンセンサ 88 が、同じく伝動ベルト 84 によって駆動されるプーリ 89 に接続され、支持板 80 の底面に取り付けられる。ケーブルを関節 J 5 から関節 J 4 まで容易に通すために、負荷軸プーリ 86 および接続フランジ 87 を含むアセンブリは中空シャフトと、接続フランジ 87 上の側方窓とを有する。支持板 80 は、2 つの取付板 90 によってビーム 72 に堅固に取り付けられる。図 14 に示す通り、カバー 92 は関節 J 4 の部品を保護するのに役立つ。カバー内部では、保守のために手首 28 が取外し可能にするように、エフェクタユニット 30 から、関節 J 5 および J 4 からのケーブルにコネクタが設けられる。緊急停止ボタンが関節 J 4 のカバー 92 に設けられる。サーボモータ 81 のシャフトにフェイルセーフブレーキを設けることが好ましい。マルチロケット構成における制限因子を構成し得る側方偏位 O 1 を低減するために、モータはまた負荷軸プーリ 86 およびセンサ 88 の軸とも整列させることができる。この場合、支持板 80 は負荷軸プーリ 86 の周囲に丸みを帯びた縁を持つことが好ましい。

【 0034 】

（R）関節 J 5 の機械的および作動設計も図 11 ~ 13 により詳細に示される。略 L 字状支持部材 100 は、水平部分が関節 J 4 に接続された状態で、かつ垂直部分を関節 J 5 用の固定フレームとして、関節 J 5 を関節 J 4 に連結する。それは、モータシャフト上に位置エンコーダ 102 およびホールセンサを持つ、例えば MAXON MOTOR A.

G. の適切な E C 型式のブラシレスサーボモータ 101 を含む。図 13 に示す通り、サーボモータ 101 は支持部材 100 上に横向きに取り付けされる。図 12 および 13 に示す通り、(R) 関節 J5 はさらに、負荷軸プーリ 106 を駆動するために、モータ 101 に連結されたギア 103、ならびに伝動ベルト 104 およびプーリ 105 システムを介する伝動機構を含む。追加の絶対シングルターンセンサ 108 は同じく伝動ベルト 104 によって駆動されるプーリ 109 に接続され、支持部材 100 の内側に取り付けられる。ケーブルをエフェクタユニット 30 から関節 J4 に容易に渡すために、多数の特徴が含まれる。これらは、支持部材 100 に設けられた 2 つの穴 110 および 112、プーリ 106 およびツールフランジ 32 の中空中心通路 114、ならびにプーリ 106 用のケーブル経路支持体 116 である。L 字状支持部材 100 は、ツールフランジ 32 を介してエフェクタユニット 30 を支持するための剛構造を提供するために側方補強を給する。必要ならば、(R) 関節 J5 はリミットスイッチおよびフェイルセーフブレーキ (図示せず) を含むことが好ましい。フェイルセーフブレーキが設けられる場合、それは、マルチロボット構成における制限因子を構成する側方偏位 O2 を低減するために、伝動ベルト 104 によって駆動されるプーリに取り付けることが好ましい。

【0035】

図 14 および 15 は、3 つの主要部分、すなわち腹腔鏡手術器具アクチュエータ 120、6 DOF の力 / トルクセンサおよび 6 DOF の直線 / 角加速度計を含むセンサアセンブリ 122、ならびに関節 J6 用のカバー 124 を持ち、関節 J5 のツールフランジ 32 に接続するように設計されたエフェクタユニット 30 を示す。関節 J6 はセンサアセンブリ 122 に接続される。腹腔鏡手術器具アクチュエータ 120 は、適応腹腔鏡手術器具 18 をロボットマニピュレータ 14 に装着するための座 130 を具備する。簡潔にするために、腹腔鏡手術器具アクチュエータ 120、ならびに力、トルク、および加速度の測定センサを含むセンサアセンブリ 122 はそれぞれ、頭字語 LIA および FTAS で呼ぶものとする。エフェクタユニット 30 のコンポーネントは、関節 J6 が適応腹腔鏡手術器具 18 をその長手対称軸を中心に回転させるように、かつこの軸が FTAS 122 の法線 Z 軸と一致するように整列される。(R) 関節 J5 の回転軸に対するエフェクタユニット 30 の位置は、関節 J5 が停止し、付勢されないときに、傾斜するのを防止するように、エフェクタユニット 30 の平衡点に選択される。従って、手首 28 に接続するエフェクタユニット 30 の主支持フレーム 140 は、組み立てられたエフェクタユニット 30 が (R) 関節 J5 の回転軸上で平衡するように構成される。関節 J5 のモータ / 負荷縮小率も傾斜抵抗に寄与する。

【0036】

図 15 は関節 J6 の構造を示す。主支持フレーム 140 (ツールフランジ 32 に接続される) には、インクリメンタルエンコーダ 142 およびギアアセンブリ 143 を持つブラシレスモータ 141 が装着される。モータ 141 に接続されたモータプーリ 145 は、ベルト 144 によって負荷プーリ 146 に連結される。負荷プーリ 146 は関節 J6 の回転 DOF をもたらす。追加の絶対位置センサ 148 は、(R) 関節 J6 の軸と一致する負荷プーリ 146 の軸上に装着される。位置エンコーダ 148 は、LIA 120 および FTAS 122 の信号線および電力線を、「スリッピング」または摺接型の回転コレクタ 150 に通すための中空シャフトを有する。スリッピング 150 は関節 J6 の無限軸回転を可能にする。負荷プーリ 146 は接続フランジ 152 を介して FTAS 122 に接続される。LIA 120 および FTAS 122 の電力線および信号線用のケーブルは、接続フランジ 152 の中空通路を通してカバー 124 の内部を案内される。理解される通り、ロボットマニピュレータ 14 は総じて、例えば関節 J1 ~ J6 ならびに LIA 120 および FTAS 122 のようなエフェクタユニット 30 のコンポーネントの全ての信号線および電力線の保護された案内を確実にするために、内部チャンネルが設けられる。さらなる改善例 (図示せず) では、関節 J6 の構成は次の 2 つの変形を実現する。第一に、モータ - ギア - プーリアセンブリ 141、143、144、145 を図 15 に示す向きに対して - 90 度に配置することによって、偏位 O3 を低減する。第二に、偏位 O4 は、モータ - ギアア

10

20

30

40

50

センブリ 1 4 1、1 4 3 を L I A 1 2 0 に近づけて配置するように構成することによって低減される。

理解される通り、関節 J 4、J 5、および J 6 の回転軸は、本実施形態では空間の同一点で交差する。よって、リンク L 5 によって生じる潜在的な偏位が排除される。

【 0 0 3 7 】

図 2 3 および図 2 4 に示す通り、代替的設計はしかし、例えば 2 つの適応腹腔鏡手術器具 1 8 が近くに配置された套管針（アクセスポート 2 0）に挿入される場合に、操縦性を改善するために、リンク L 5 による偏位 O 5 をもたらしることがあり得る。例えば図 2 3 および 2 4 に示す特定の設計は、リンク L 5 による負の偏位 O 5 を有する変形マニピュレータ手首 2 8' を提供する。この負の偏位 O 5 は、手首 2 8' 間の衝突無しに、第 1 ロボットマニピュレータ 1 4 のエフェクタユニット 3 0 を第 2 ロボットマニピュレータ 1 4 のエフェクタユニット 3 0 の上に配置することを可能にする。しかし、この変形構成は関節 J 3 の到達範囲の増大、ならびに関節 J 2、J 3、および J 4 のより高い速度および加速度能力を必要とする。図 2 4 から理解される通り、手首 2 8' の構成は、複数の近接位置のアクセスポート 2 0（套管針 2 0 0）で操作するのに有利である。図 2 3 に示すように J 6 および J 4 の回転軸間の偏位 O 5 の好適な値は、L I A 1 2 0 の最大断面部の直径に近似することは理解される。

【 0 0 3 8 】

ロボットマニピュレータ 1 4 およびそのコンポーネントの設計に関する幾つかのさらなる態様および利点について、以下で詳述する。

手首 2 8 およびエフェクタユニット 3 0 に使用される伝道装置およびモータの前述した構成に関しては、例えばケーブルおよびプーリを伝動手段として使用し、または小型ギア - モータ - ブレーキアセンブリをトルクモータと共に使用する、他の構成も可能である。しかし、伝動装置としてのケーブルおよびプーリは実行および保全が困難である一方、トルクモータに基づくアセンブリは一般的に小型ではない。記載したシステムの安全性のために、緊急停止の場合にモータ 5 1、6 1、7 1、8 1、1 0 1、1 4 1 を停止させるように、「ダイナミックブレーキ」機能を有するサーボドライブが選択された。ロボットマニピュレータ 1 4 の外部カバーは、適切な洗浄可能なプラスチック材料およびおそらく部分的にアルミニウムから作られるが、全ての外側導電部は電気接地に接続される。全ての内部コンポーネントは、受信および放射に関し E M I から遮蔽される。手術室の滅菌に関しては、ロボットマニピュレータ 1 4 を完全に、すなわちエフェクタユニット 3 0 から基台 2 4 まで覆うために、無菌プラスチックバッグが通常使用される。

作動に関しては、上述したロボットマニピュレータ 1 4 の設計は、2 つのさらなる利点をもたらす。第一に、関節 J 1 は高い静止摩擦および逆慣性を呈するので、それを除き、ロボットマニピュレータ 1 4 の関節を手動で作動させることができる。換言すると、全てのブレーキが解除されたときに、手首 2 8 のフランジ 3 2 に取り付けられたエフェクタユニット 3 0 は、5 k g 未満の（水平方向の）押す力しか必要としない、関節 J 2、J 3、J 4、J 5、および J 6 の手動による作動を通して、手動で動かすことができる。第二に、システムの安全性は感覚的冗長性によって向上する。上述の通り、関節 J 1 ~ J 6 の各々が、モータシャフト上の位置エンコーダ、およびそれぞれの関節の実効運動出力を測定する追加の位置センサ（例えば 6 5、8 8、1 0 8、1 4 8）の両方を有する。実際、この感覚的冗長性は（例えばモータワイヤ、ベルト、またはサーボドライブの）故障を検出するために使用される。

さらに、該設計は、関節 J 1 ~ J 6 の各々における行程端状態を回避する。行程端は、関節がその運動範囲を使い果たしたときに発生し、特に遠隔操作ロボット手術では、器具 1 8 を患者 P の体内に挿入した状態で、外科医 S が復旧を達成することは困難かつ煩雑であるため、危機的な状態である。行程端状態を回避するために、アーム 2 6 の柱状関節 J 1、J 3 は十分な行程を持つように設計され、エフェクタユニット 3 0 のロール関節 J 6 は、無限回転するように設計される。その結果、行程端状態を回避するために必要なことは、特定の予め定められた初期構成およびセットアップ状態を考慮するだけである。

【 0 0 3 9 】

図 1 6 は、患者 P の身体の外側の套管針 2 0 0 およびその作業空間 2 0 2 を概略的に示す。支点基準フレーム F R F も、図 1 6 にデカルト座標系 (x , y , z) で、z 軸を重力の方向と略平行に上向きにして示される。套管針 2 0 0 は通常、2 0 4 に示される患者 P の腹部の小さい切開を通して、腹腔内に挿入される。套管針 2 0 0 は切開と共に、図 1 および 2 に示す通り、アクセスポート 2 0 を形成する。手術が実行される器官または領域に到達するために、z' で示される套管針 2 0 0 の長手軸が作業空間 2 0 2 で、枢支点 2 0 6 と称される F R F の原点を中心に枢動がされる。換言すると、この原点は套管針 2 0 0 の支点を画定する。套管針 2 0 0 を引き抜く危険性を低減するために、支点は、患者 P の腹壁と皮膚との間の傾斜抵抗の小さい位置へ決定されることが好ましい。

10

以下の最大力およびトルク範囲は、変形腹腔鏡手術器具のハンドルに配置された 6 D O F の力 / トルクセンサで実験的に記録されたものである (J . R o s e n らによる「 S u r g e o n - T o o l F o r c e / T o r q u e S i g n a t u r e s - E v a l u a t i o n o f S u r g i c a l S k i l l s i n M i n i m a l l y I n v a s i v e S u r g e r y 」、P r o c e e d i n g s o f M e d i c i n e M e e t s V i r t u a l R e a l i t y、M M V R - 7、I O S P r e s s、カリフォルニア州サンフランシスコ、1 9 9 9 年 1 月を参照されたい)。

- ・力： $F_x, F_y = \pm 10 \text{ N}; F_z = \pm 30 \text{ N};$
- ・モーメント $M_x, M_y = \pm 1 \text{ Nm}; M_z = \pm 0.1 \text{ Nm}.$

ここで、 F_i は対応する軸 $i = x, y$ 、または z に沿った力を表わし、 M_i は、図 1 6 における F R F の対応する軸 $i = x, y$ 、または z を中心とするモーメントを表わす。F T A S 1 2 2 の力トルクセンサの動作範囲は、これらの値に加えて、L I A 1 2 0 の重量、運動力学負荷、ならびに套管針 2 0 0 に働く枢動および穿通抵抗を考慮に入れるものとする。実際には、F T A S 1 2 2 の力トルクセンサは、F T A S 1 2 2 をジョイスティックとして使用してエフェクタユニット 3 0 を手動で駆動するため、かつエフェクタユニット 3 0 に接続された器具 1 8 と相互作用する力 / トルク、例えば器具 1 8 の先端または図 4 の枢支点 2 0 6 における力 / トルクを監視するために、力 / トルクの反射、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力 / トルクのフィードバックに使用される。F T A S 1 2 2 の直線および径方向加速度計は、力トルクセンサ情報に対する重力および加速度の影響を補償するために使用される。F T A S 1 2 2 の加速度計および力トルクセンサの測定軸は幾何学的に一致する。

20

30

【 0 0 4 0 】

手術中に、腹腔鏡手術器具 1 8 は套管針 2 0 0 を通して挿入される。大半の外科手術の場合、外科医 S は、図 1 6 の F R F を中心に以下の最大範囲内の角作業空間および速度で器具 1 8 を操作する。

【表 1】

支点軸	最大行程	最大速度
ヨー枢動	+/- 70°	100° /s
ピッチ枢動	[+10° -80°]	60° /s
穿通	[0 200mm]	200 mm/s
ロール	[-360° +360°]	300° /s

40

一部の先行技術のロボットマニピュレータの設計および構成では、固定点を中心に枢動する手首構造の機械的構成のおかげで、套管針 2 0 0 の枢支点は手首の設置後、固定され

50

たまま維持される（例えばTaylorらによる1995年5月の米国特許第5667323号「Remote center of motion robot」を参照されたい）。他の先行技術の設計は、套管針に加えられる力を制限するために、枢軸に沿った機械的応従性を実現する（例えばWangらによる2000年8月の米国特許第6102850号「Medical robotic system」を参照されたい）。それとは対照的に、本書で提示するロボットマニピュレータ14は、機械的応従性も運動の中心も持たずに設計されるが、特定の手順によって決定される枢支点206を中心とする正確な分解運動、ならびに枢支点206の位置を最適化するために、エフェクタユニット30に加えられる力およびトルクの実時間制御に依存する。さらに、この特徴は、腹腔内作業空間を改善するために、必要な場合に外科医5によって枢支点206を平行移動させる柔軟性をもたらす。別の利点は、例えば腹圧の損失による枢支点206の絶対位置の変動に適應する能力である。

【0041】

明らかな通り、ロボットマニピュレータ14は、外科医による腹腔鏡手術器具の手動操作に匹敵する巧緻性をエフェクタユニット30に提供するために、特定の運動能力を持つ必要がある。表1に掲げた運動条件に基づき、この特定の実施例で関節J1～J6に対して明らかになった好適な運動能力を表2に要約する。絶対基準システムに対して、例えば支点でのロール、ピッチ、およびヨー角を定義することができる。

【表2】

関節	最大行程	最大速度	最大加速度
J1-昇降	700 mm	600 mm/s	4 m/s ²
J2-肩	+/- 90°	60° /s	400° /s ²
J3-ラジアル	600 mm	600 mm/s	4 m/s ²
J4-ヨー	[-360° +360°]	260° /s	1900° /s ²
J5-ピッチ	[-60° +180°]	75° /s	500° /s ²
J6-ロール	無限	250° /s	2400° /s ²

それぞれの関節の速度および加速度能力に関して、表1に掲げた値は比較的高く、従って強いアクチュエータ、アーム26および手首28の剛構造、ならびに基台24による適切な床固定が必要である。明らかに、要件の緩和につながる低い値を選択することができるが、これは枢支点206における動力学の低下を犠牲にして達成される。

特に力の反射を含む遠隔操作ロボット手術における別の関連態様は、マニピュレータ14の精度要件である。十分な精度は套管針切開部における応力の低減に寄与し、精密な力/トルク補償を実行することを可能にする。

選ばれた設計では、エフェクタユニット30への接続部、すなわちツールフランジ32（図4参照）におけるマニピュレータ14の静的精度は、位置が±2 mmより優れ、向きがFRFで±0.1°より優れているものとする（図16参照）。ここで、接続された腹腔鏡手術器具18の先端で、1.5 kgの外部負荷を想定し、FRFを（R）関節J5の軸から280 mmの距離と想定する。動的精度は、位置が±4 mmより優れ、向きがFRFで±0.5°より優れているものとする。これらの特徴は、中でも特に構造部品の精密な機械加工、リンクL1～L6および関節J1～J6の剛性、位置センサの十分な分解能、PIDモータ制御ループの適切なチューニング、マニピュレータの運動学的較正等を通して得られる。

【 0 0 4 2 】

この文脈で、各関節 J 1 ~ J 6 の出力に設けられた上述の絶対位置センサ（例えば 6 5、8 8、1 0 8、1 4 8）は、次の利点をもたらす。

- ・関節を作動させることなく、ロボットマニピュレータ 1 4 の関節 J 1 ~ J 6 をホーミング（homing）する。これは、モータを制御するために使用す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提供されることを意味する。絶対センサが利用できない場合、ホーミング手順は、全ての関節を所与の方向に移動させて、基準信号を探すことで実現することができる。始動時のホーミングのための自動的移動は、高速のセットアップ手順および安全性の向上を確実にするものではない。
- ・エフェクタユニット 3 0 の位置および向きの実時間決定により、伝動機構によって生じる関節弾性誤差が回避される。
- ・ロボットマニピュレータ 1 4 の F R F からの偏位を監視する。
- ・各関節 J 1 ~ J 6 に設けられたそれぞれのモータエンコードによって示された位置を用いてデータの無矛盾性を監視することにより、関節伝動障害（例えばベルトの破断）または他のハードウェア故障を検出する。

10

【 0 0 4 3 】

ロボット工学における別の態様は、ロボットマニピュレータ 1 4 を制御するために使用される数学モデルである。ロボットマニピュレータ 1 4 の理論的モデルからは逸脱して、運動学的装置に対する偏位、関節 J 1 ~ J 6 の弾性、およびリンク L 1 ~ L 7 の弾性、アクチュエータの反発、および他の直線性誤差のようなパラメータを含め、有効かつ正確な「具体的」モデルを較正プロセス中に決定する必要がある。識別された「具体的な」マニピュレータモデルは、3つの目的に使用される。すなわち、第一に、運動制御装置で実際の関節の偏位およびリンク長と共に理論的モデルを使用してロボットマニピュレータ 1 4 の精度を改善するため（これは逆運動学計算を簡素化する）、第二に、6 D O F の F T A S 1 2 2 および取り付けられた負荷の位置および向きを実時間でフォワードフォーミュレーション（forwards formulation）により正確に計算するため（これらの値は、重力および加速度負荷を補償するために必要である）、第三に、器具先端の位置および向きを実時間でフォワードフォーミュレーションにより決定し、力の反射（例えば器具 1 8 の穿通）に必要なパラメータを演繹するために使用される。

20

以下の段落で、腹腔鏡手術器具アクチュエータ（L I A）1 2 0 についてさらに詳細に説明する。

30

【 0 0 4 4 】

図 1 4 および 1 5 に示す通り、L I A 1 2 0 はエフェクタユニット 3 0 の一部を構成する。L I A 1 2 0 は、把持 / 解剖用鉗子、鋏、吸引 / 灌水ツール等のような標準的腹腔鏡手術器具をロボットマニピュレータ 1 4 と共に使用するための汎用作動インタフェースを提供する。従って、L I A 1 2 0 はマニピュレータ 1 4 の先端を形成し、それは外科医の手の作用を再現しているので、その手の部分を表わす。L I A 1 2 0 はハウジング 1 5 4 を含み、その後端は F T A S 1 2 2 に接続するためのインタフェースフランジ 1 5 6 を形成する一方、その前端はロボットマニピュレータ 1 4 の先端を形成する。異なる構成のエフェクタユニットでは、L I A は関節 J 6 を含むことができる。しかしこの構成は、開閉機構および動力伝動装置と共に回転機構を含む、より複雑な機械的設計の器具アダプタを必要とする。加えて、回転機構でも無菌領域を維持する必要がある。

40

図 1 4 ~ 1 5 および図 1 8 ~ 2 2 に示す L I A 1 2 0 は、片側をハンドルに、反対側をステムに分割することのできる、いずれかの標準的腹腔鏡手術器具と共に使用するように適応される。本書でステムは、その先端に例えば鉗子 / 鋏ジョーインサート、吸引 / 灌水手段、ナイフまたは電気焼灼 / 切断装置のような基本的ツールを有する比較的細長い管として定義される。先端と反対側の端は、ステムを外科医用のハンドルに接続するように設計されたソケットを含む。

ロボットマニピュレータ 1 4 と標準器具との適合性は、L I A 1 2 0 の設計、および以下で頭字語 I S A と称され、その 1 例が図 1 7 に示された、対応器具ステムアダプタの設

50

計によって達成される。

【 0 0 4 5 】

図 1 7 は、器具ステム 3 0 2 を接続することのできる I S A (器具ステムアダプタ) 3 0 0 を示す。I S A 3 0 0 は、図 1 5 に示す座 1 3 0 にそれを装着することによって、L I A 1 2 0 に接続可能である。これを達成するために、I S A 3 0 0 は略円筒状の外面を持つケース 3 0 3 を含む。図 1 7 に示す通り、I S A 3 0 0 は、従来の (腹腔鏡) 器具の器具ステム 3 0 2 と L I A 1 2 0 との間の連結要素として設計される。これを達成するために、I S A 3 0 0 はその前端にステムコネクタ 3 0 4 を含む。ステムコネクタ 3 0 4 は、ステム 3 0 2 の特定の型のソケット 3 0 6 に接続するように設計され、それは実際の器具によって異なる。元来、ソケット 3 0 6 は、腹腔鏡手術器具ハンドル (図示せず) に接続するように設計される。図 1 7 に示す通り、ステムコネクタ 3 0 4 は、ステム 3 0 2 がそのために設計された元来のハンドルのコネクタを再現する。I S A 3 0 0 はさらに、連結手段として、L I A 1 2 0 に確実に接続するための連結部材 3 0 8 を含む。連結部材 3 0 8 はケース 3 0 3 上に横向きに配置され、I S A 3 0 0 が L I A 1 2 0 に装着されたときに I S A 3 0 0 の回転を阻止するように、そこから径方向に突出する。L I A 1 2 0 の誘導性有無スイッチ (下述する部品 4 0 4 と比較せよ) 用の金属検出面を提供するために、連結部材 3 0 8 に小さい金属ブロック 3 0 9 が含まれる。直線状に摺動可能なピストン 3 1 0 が、I S A 3 0 0 内部の円筒状ガイド 3 1 2 に配置される。円筒状スライダピン 3 1 4 はピストン 3 1 0 に横向きに取り付けられ、ピストン 3 1 0 を作動させるためにケース 3 0 3 から突出する。ピストン 3 1 0 の摺動動作により、器具ステム 3 0 2 の先端のツールを動作させるために、器具ステム 3 0 2 内部のロッドが作動する。理解される通り、I S A 3 0 0 は、器具ステム 3 0 2 の動作に関して、ステム 3 0 2 に元来接続されたハンドルの機能性を再現する一方、L I A 1 2 0 と共にロボットマニピュレータ 1 4 に接続インタフェースを提供する。

【 0 0 4 6 】

図 1 7 に示す I S A 3 0 0 の特定の実施形態は、単極または双極性送電の有無に関わらず、器具先端の開閉機能のような機械的作動を必要とする器具、例えば鉗および把持器用に設計されていることは理解される。L I A 1 2 0 に接続しようとする特定の型の腹腔鏡手術器具、すなわち特定の型のステム (例えば 3 0 2) に各々適合される、多種多様な他の型の類似のアダプタも本開示に包含される。従って I S A は、器具の要件に応じて、例えば器具のジョーの作動用の直線状スライダピン 3 1 4、例えば単極もしくは双極性焼灼電力等用の 1 つもしくはそれ以上の電気コネクタ 3 1 8、および / または例えば灌水もしくは吸引器具用の 1 つもしくはそれ以上の導管接続体を含む。図 1 7 には電気コネクタ 3 1 8 が示されているが、純粹に機械的器具 1 8 の場合、電気コネクタ 1 8 (図 1 7 に細線幅で描かれる) を形成する I S A 3 0 0 の部分は設ける必要がないことは理解される。任意の型の I S A の構成材料は、例えば高圧蒸気滅菌器で滅菌することができるとして選択しなければならないことが注目される。実際、L I A 1 2 0 の設計のおかげで、I S A は滅菌する必要のあるロボット手術システム 1 0 の唯一の部分 (当然のことであるが、器具ステム以外で) である。手術中に、L I A 1 2 0 のハウジング 1 5 4 およびエフェクタユニット 3 0 の他の部分は、無菌プラスチックバッグ内に収容される。図示しないが、機械的に作動しない電気折込メスまたはナイフのような電動器具の場合、I S A がスライダピン 3 1 4 および関連する機械的伝動装置を持つ必要が無いことは明らかである。灌水または吸引力ニューレのような器具の場合、I S A は、ロボット制御システムによって電氣的に作動するエレクトロバルブを介して遠隔的に命令される、2 つの管を具備する。

【 0 0 4 7 】

図 1 8 に示す L I A 1 2 0 は、近傍アクセスポート 2 0 と共に 2 つの隣接するツールの利用可能な作業空間を増大するために、軽量 (総重量が例えば 8 0 0 g 未満) に、かつ直径が約 9 0 mm または好ましくは 7 5 mm の比較的小さい円筒状エンベロープ内に収まるように設計される。L I A 1 2 0 の全長 (特定の実施例では約 1 3 0 mm) は、主として I S A 3 0 0 の長さによって決定される。関節 J 5 の回転軸と F R F の枢支点 2 0 6 との

10

20

30

40

50

間の距離を限定するために、LIA120の長さは最小化される(図17参照)。実際、この距離オフセットは全てのマニピュレータ関節J1~J5の行程範囲および速度/加速度能力に対して決定される。しかし、手動モード時に手でLIA120を把持することを可能にするために(すなわちFTAS122に接続されたハウジング154を「ジョイスティック」として使用して)、LIA120の長さは少なくとも6cmとすることが推薦される。

図18に示す通り、ハウジング154の外表面は平滑な縁を有する。それは容易に洗浄可能で軽量かつ非導電性の材料から作られる。さらに、LIA120は、ISA300を用いて装着される適応器具18のステム302に対して、部分的に回転自在に対称な設計を有する。ISA300がLIA120に適切に接続されたときに、ステム302の軸は関節J6のロール軸およびFTAS122の法線軸と一致する。

10

【0048】

図18にさらに示す通り、LIA120のハウジング154は、下に詳述する通り、ISA300によって装着された器具18を作動させるための直線作動機構400を含む。座130は、ISA300の挿入および抜去を容易にするように、LIA120のアクセス面401におけるくぼんだ細長い半円筒状凹部として形成される。ISA300を受容するための座130は関節J6の回転軸と略同軸であり、ハウジング154の中心軸に沿って延びる。理解される通り、LIA120に対するISA300の着脱方向は、関節J6の回転軸に対して径方向である。LIA120は、アクセス面401の上の半平面全体から座130にアクセスできるように構成される。図18に示す通り、座130は、LIA120の本体内に径方向に座130を深くする縦溝402を含む。ISA300の連結部材308を受容するために、追加の溝402が構成される。座130に関連する固締機構406の係合部が溝402に配置され、連結部材308と協働する。座130は、ISA300のケース303の外部円筒状の形状と共形の丸みを帯びた端部を持つ、半円筒状凹部として形成される。有無検出器404、例えば誘導性有無スイッチは、金属ブロック309(図17参照)を感知することによってISA300の有無を検出するために、座130に配置される。デッドマンスイッチボタン408は、ロボットマニピュレータ14の制御システムを手動モードに切り替えることを可能にする。手動モード時に、LIA120(および、接続されているならば、器具18)は、LIA120のハウジング154を取り扱うアシスタントによって生成されかつFTAS122によって読み出される情報を用いて、ロボットマニピュレータ14によって位置および向きを決定される。手動モードは、套管針を介して器具を挿入または抜去するのに特に有用である。

20

30

【0049】

直線作動機構400の詳細は、図20に最も良く示される。作動機構400は、ギアボックス412ならびにベルト418によって連結されたプーリ414および416を介してボールねじ420に接続された、小型ブラシレスモータ411を含む。ボールねじ420は、図19に示す通り回転を直線運動に変換するように、ねじ上に配置されたナット422と協働する。ナット422は、ボールねじ420に対する横方向の作用力を低減するために、リニアガイド424によって案内される。誘導性リミットスイッチ426および428はナット422の行程端位置に配置され、作動機構400の移動を制限するための制御ユニットに接続される。

40

図19に示す通り、作動機構400は、下述するように直線運動をLIA120のスライダキャリッジ430に伝達する。好適な実施形態では、次のパラメータが作動機構400に対して選択された。

- ・スライダキャリッジ430の最大限の機械的行程：7mm(標準器具には通常5mmで充分であるが、同種の幾つかのステムは、最高2mm変動する行程長を持つことがあることが明らかになっている)。

- ・行程速度範囲：1mm/秒から20mm/秒まで

- ・最大作動力：200N

ステッパモータは、FTAS122に対するかなりの騒音源になる振動を発生するので

50

、LIA120では避けることが好ましい。従って、シャフト位置エンコーダを具備する小型ブラシレスモータ411を使用する。そのようなモータは例えばドイツ国Schoenai chのFaulhaber GmbHから入手可能である。しかし、ケーブル駆動伝動装置のような他の非振動直線運動機構の使用は排除されない。

【0050】

図20は、LIA120のハウジング154に埋め込まれて例えばDC24Vの電力を供給されるモータ411用の電源および制御ユニット440を示す。ハウジング154の直径をさらに低減するために、電源および制御ユニット440は、フランジ156とFTAS122との間、またはFTAS122と関節J6の接続フランジ（図示せず）との間のいずれかの追加ハウジング内、または関節J6のカバー124の内部、例えばスリップリングコレクタ80の背後でモータ141の近くに配置することができる。電源および制御ユニット440は、とりわけ、受信する位置コマンドに従って所与の速度プロファイルでスライダキャリッジ430を作動させるため、設計される。ユーザの要求に応じてモータ電流を制御するため、リミットスイッチ426、428からの信号に基づいて動きを管理するため、リミットスイッチを用いてモータ411をホーミングするため、およびハウジング154上の有無検出器404を監視するために設計される。他の安全機能、例えば緊急停止機能もまた、モータ411のサーボ誤差、すなわち目標位置マイナス実効位置、およびモータ411の熱保護を用いて実現される。LIA120の所要空間を低減するために、直線作動機構400は絶対位置センサを具備しない。それにもかかわらず、リミットスイッチ426および428をホームセンサとして使用することによって、自動ホーミング手順が確保される。手術中に、電源遮断または停電後にシステムを迅速に回復するために、スライダキャリッジ430の絶対位置を、例えばロボット制御システムの適切なメモリに周期的に記録することができる。ISA300の有無、すなわちそれがLIA120に正しく装着されているか否かが、座130に配置された誘導性有無スイッチ404（図18参照）を介して感知される。誘導性有無スイッチ404の出力は、制御ユニット440の利用可能な入力に送られる。

【0051】

図17および19に最も良く示す通り、作動機構400のスライダキャリッジ430は、ISA300のスライダピン314を受容するように適応される。モータ411の作動により、スライダキャリッジ430は、接続されたISA300のスライダピン314を駆動するように再配置される。スライダピン314は次に、ステム302の先端の作業要素またはツール（図示せず）、例えばジョー開閉機構を動作させるべく、ピストン310を作動させる。換言すると、直線作動機構400およびISA300の組合せは、ステム302から除去されて取り外されISA300に置き換えられたハンドルの動作を模倣する。スライダキャリッジ430内へのスライダピン314の挿入は、傾斜した案内面434によって容易になる。

【0052】

図21および図22は、図18に部分的に示しただけのLIA120の固締機構406の構成をより詳細に示す。固締機構406はラッチとして構成され、座130の溝402（図18に示す）に配置された摺動自在の止め具450を含む。止め具450が適切な手段によって溝402内を案内されることは理解されよう。溝402は摺動自在の止め具450と共に、図17に示すISA300の連結部材308を係合受容するように構成される。止め具450は、連結部材308のスロットによって形成された2つの突起316を係合するための2つの突端452を含む（図17参照）。連結部材308の縁は、溝402へからの挿入および取外しを容易にするように、丸みを帯びる。

止め具450の設計は図22に最も良く示される。ばね454の弾性は止め具405をFTAS122の方向に圧迫する。ISA300を取り外すときに、止め具450を連結部材308から手で解除するために、直線案内ノブ456は、直線案内止め具450に結合された枢軸458を回転させる。止め具450の突端452は、ISA300を押すだけで挿入することができるように斜切される。LIA120を被覆するために使用され

る無菌プラスチックシートの損傷を制限するために、突端 4 5 2 および突起 3 1 6 の係合部は対合プロファイルに従って丸みを付けられる。掛止機構と置換するために、例えば L I A に設置された永久磁石を、I S A に装着された金属板およびカムベースのレバーと共に使用して、他の同等の連結または固締機構を使用することもできることは理解される。固定機構、例えば固締機構 4 0 6 および連結部材 3 0 8 は、I S A 3 0 0 が L I A 1 2 0 に装着されるときに、L I A 1 2 0 から切り離すことなく、次の力およびモーメントに抵抗することができることを確実にするように設計されることが好ましい。

- ・ 1 0 0 N の牽引力および圧縮力。
- ・ 器具先端における 1 5 N の径方向の力に対応するねじりモーメント。
- ・ 5 N m までの曲げモーメント。

10

L I A 1 2 0 および各協働 I S A (例えば 3 0 0) が、適応腹腔鏡手術器具 1 8、すなわち外科医アシスタント A によって I S A (例えば 3 0 0) と組み立てられるステム (例えば 3 0 2) の迅速かつ容易な手動着脱のために設計されることが理解される。I S A 3 0 0 の略円筒状外形、その連結部材 3 0 8、座 1 3 0、溝 4 0 2、および固締機構 4 0 6 は上述の通り、I S A 3 0 0 の L I A 1 2 0 への案内挿入、および単純接続手順をもたらす。該設計は、I S A が挿入されたときに要求される剛性、およびわずかな手作業の動きによる簡単な抜去手順を確実にする。この設計によって、適応器具 1 8 (すなわちステムおよび I S A) の挿入および抜去は、アシスタントが従来の器具を外科医のために約 6 ~ 9 秒で交換する手動外科手術と基本的に同じ速さで実行することができる。

I S A (例えば 3 0 0) およびステム (例えば 3 0 2) を含む適応器具 1 8 の挿入または取外しは、器具が患者 P の体外にあるとき、または器具が患者 P の体内に挿入されているとき、どちらの場合も安全に行なうことができることに注目されたい。また、スライダピン 3 1 4 を駆動しながら、取外しを実行することも可能である。

20

【 0 0 5 3 】

適応器具を L I A 1 2 0 に装着する前に、多くの予備的条件を満たさなければならない。第一に、器具を套管針に部分的に挿入する場合 (套管針の長さを超えることなく)、L I A 1 2 0 は事前に、マニピュレータ 1 4 によって、エフェクタユニット 3 0 の回転軸 (関節 J 6) を套管針と整列させる教示された位置に配置し、かつ方向付ける必要がある。第二に、スライダキャリッジ 4 3 0 はロボット制御システムによって「挿入基準位置」に、例えばインタフェースフランジ 1 5 6 に最も近い位置に、配置しなければならない。I S A (例えば 3 0 0) が取り外されるときに、スライダキャリッジ 4 3 0 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」に移動させなければならない。上述の通り、I S A の存在、不在、または異常解放は、有無検出器 4 0 4 によって検出することができる。第三に、もし存在するならば、I S A (例えば 3 0 0) のスライダピン (例えば 3 1 4) は、スライダキャリッジ 4 3 0 のそれに対応する「挿入基準位置」にある必要がある。スライダピン 3 1 4 のこの位置は、器具が「閉じた」構成にあるように定義することが好ましい。例えば鉗子 / 鋏器具のジョーはこの位置で緩くしかし十分に閉じる。

30

図 1 4 に最も良く示す通り、I S A (例えば 3 0 0) およびステム (例えば 3 0 2) を含む適応腹腔鏡手術器具 1 8 の挿入手順は、I S A (例えば 3 0 0) をその座 1 3 0 に配置すること、および連結部材 3 0 8 を固締機構 4 0 6 と係合させるように I S A を同じ方向に沿って軽く押すことから構成される、矢印 4 6 0 に従った 1 回の単純な手作業による動きのみによって実行することができる。有無検出器 4 0 4 は、連結部材 3 0 8 が溝 4 0 2 に正しく設置されているときに、肯定的な出力をもたらす。この挿入手順中に、上記条件が満たされる場合、さらなる手段の必要無く、スライダキャリッジ 4 3 0 はスライダピン 3 1 4 と係合する。

40

【 0 0 5 4 】

外科医 S が自身のマスタコンソール 1 5 を介して器具の変更を要求したときに、通常 4 つの動作がロボット制御システムによって自動的に実行される。第一に、ロボット制御システムは器具 1 8 を制御して任意の組織を解放させる。第二に、それは器具を器具の軸方向に従って套管針ポート付近で動かす。第三に、ツール先端、例えば器具ジョーは、套管

50

針における先端の引っ掛かりを防止する構成にされる。第四に、それは、外科医アシスタントAがLIA120を自由に回転させて、LIA120からの器具の取外しを容易にすることができるように、関節J6のモータを解放する。これらの操作後に、適応腹腔鏡手術器具18の取外しを2回の単純な動きでいつでも安全に実行することができる。

【0055】

最初の抜去の動きは、ノブ456を押して固締機構406のロックを解除することから構成される。第2の抜去の動きは、ステム軸と直角を成す軸を中心とする回転によって、ステムの先端を中心にISA（例えば300）およびステム（例えば302）を枢動して、両方を座から取外し、かつその後、まだ挿入されている場合には、ステム（例えば302）を患者Pの身体から抜去することから構成される。

10

上記挿入および取外し手順から明らかな通り、LIA120およびISA（例えば300）の設計は、適応器具18のステム（例えば302）が套管針200を通してまだ部分的に患者Pの体内に挿入されているときでも、器具の挿入または抜去を可能にする（図16参照）。理解される通り、抜去に必要な動きは、座130の長手軸に対し直角な枢動およびその後の抜去の動きから構成されるので、患者Pに対して穿通方向ではない。さらに、所与の枢動方向の動きが患者を傷つけるおそれがある場合、関節J6を介してLIA120を手動で回転させることによってこの方向を変えることができる。加えて、停電が発生した場合、ISA（例えば300）はそのステム（例えば302）と共に手動で解除し、かつ抜去することができる。

【0056】

20

上述の通りLIA120に関連して、単純な器具ステムアダプタ（ISA）（例えば300）によって、多種多様な既存の標準腹腔鏡手術器具をロボットシステム10に使用することができることは理解される。LIA120は対応するISAと組み合わせて、作動または電力供給能力を失うことなく、所与の腹腔鏡手術器具のハンドル部にとって代る。LIA120は汎用的に、すなわちロボットマニピュレータ14に連結される器具の型とは関係なく、設計される。従って、ISA（例えば300）だけを器具の要件に従って特別に設計する必要がある。上述の通り、LIA120はとりわけ次の機能を達成することができる。

- ・直線作動機構400を用いて、器具ツール先端、例えば器具のジョー（あご部）の「開閉」作動を行なう。

30

- ・全ての型の器具の所要「開閉」行程長を適応させる。

- ・ロボットマニピュレータ14の動作を通してナイフのような非作動器具を取り扱う。

さらに、LIA120は、幾つかの因子のため、ロボット腹腔鏡手術の有利な費用対効果を可能にする。第一に、器具および関連アクチュエータが単一のユニットとして単一の筐体内に組み立てられるので、1マニピュレータにつき幾つかのアクチュエータを必要とする先行技術の装置とは対照的に、各マニピュレータ14に対し1つのLIA120が必要なだけである。これは、とりわけアクチュエータコストの節約を可能にする。第二に、器具のコストは、標準腹腔鏡手術器具のステム（例えば302）および単純な構造の対応する器具ステムアダプタ（例えば300）を使用することによって、低減される。従って、LIA120と共に使用される適応器具18のコストは、標準手動腹腔鏡手術器具（すなわちハンドルを含む）のコストとほぼ同一である。第三に、ISA（例えば300）の設計が滅菌サイクルに対して頑健であるため、器具の維持費が標準腹腔鏡手術器具のそれと略同一である。

40

【0057】

図25を参照して、LIA1120の代替的实施形態について記載する。本書で上述したLIAの多くの態様および利点は、LIA1120にも適用されるので、主要な特徴および相違点のみを以下で詳述する。

図25に示すLIA1120は、ISAのLIA1120への装着および取外しを容易にするために、上部略平坦アクセス面1401を有する半円筒ハウジング1154を有する。ハウジング1154の反対側の表面1155は、J6の回転軸と同軸の円筒状エンベ

50

ロープと一致する半円筒形である。半円筒面 1 1 5 5 の直径は、特に上述した手動モードでロボットマニピュレータ 1 4 に命令するために、人間のオペレータによって取り扱うことができるように人間工学的に、例えば 5 0 ~ 1 3 5 mm の範囲内で、好ましくは約 9 0 mm に選択される。半円筒ハウジングは、L I A 1 1 2 0 を F T A S 1 2 2 に取り付けるためのインタフェースフランジ 1 5 6 より実質的に小さい断面を有するので、ハウジング 1 1 5 4 はさらに漸進的補強リブ 1 1 5 7 を含む。補強リブは、アクセス面 1 4 0 1 からインタフェースフランジ 1 5 6 の上縁まで徐々に、すなわち円滑に増大する形状を有する。補強リブ 1 1 5 7 はさらに、半円筒面 1 1 5 5 の円筒状エンベロープと一致するように湾曲する。補強リブ 1 1 5 7 はアクセス面 1 4 0 1 をインタフェースフランジ 1 5 6 に接続し、それによってハウジング 1 1 5 4 のインタフェースフランジ 1 5 6 への取付けの剛性を補強し、高める。それによって補強リブ 1 1 5 7 は、I S A から L I A 1 1 2 0 を介して F T A S 1 2 2 への力およびトルクのより正確な伝達を確実にする。同様の補強リブは、図 1 4 の L I A 1 2 0 にも設けられることに留意されたい。

【 0 0 5 8 】

図 2 5 はさらに、器具ステムアダプタを L I A 1 1 2 0 に装着し、かつそれによってエフェクタユニット 3 0 に装着するための代替的連結機構を示す。L I A 1 2 0 の場合と同様に、L I A 1 1 2 0 に、座 1 1 3 0 がアクセス面 1 4 0 1 におけるくぼんだ細長い半円筒状凹部として形成され、J 6 の回転軸上のアダプタのセルフセンタリングをもたらす。さらに連結機構は、スライダキャリッジ 1 4 3 0 の片側に 2 つ、かつ座 1 1 3 0 の反対側に 1 つ、複数の磁気装置 1 4 2 3 を備え、後者の磁気装置は、アクセス面 1 4 0 1 から外れた隆起部 1 4 2 5 上に配置される。隆起部 1 4 2 5 は、装着されたアダプタに対する軸方向の追加の保持拘束をもたらし、アクセス面 1 4 0 1 の方向の傾斜によってアダプタの軸方向位置決めの自己調節を可能にする。理解される通り、電磁石、永久磁石、または両方の組合せとすることのできる磁気装置 1 4 2 3 は、相応して設計された I S A の磁力による固定を確実にする。機械的スナップ止めを回避することにより、マニピュレータ 1 4 または少なくともエフェクタユニット 3 0 を被包するために使用される無菌プラスチックカバーを損傷する危険性が排除される。

【 0 0 5 9 】

図 2 5 は、I S A に設けられた誘導的に識別可能な物質パターンによって、エフェクタユニット 3 0 に装着された器具を識別するための複数の誘導性有無センサ 1 4 3 1 を示す。4 つの誘導性有無センサ 1 4 3 1 が 1 列に配置され、誘導性有無センサ 1 4 3 1 と対面する I S A の対応する位置の列における導電性物質の存在または不在に基づいて、2 進コード (4 ビット語) を用いた場合、1 6 種類の器具を区別し、識別することが可能である。さらに、誘導性有無センサ 1 4 3 1 は、不在の器具に対応するパターンコード (4 ビット語) をこの目的に使用する場合、すなわち導電性パターンがいずれの誘導性センサ 1 4 3 1 も対面しない場合、有無検出も可能になる。

図 2 5 で係合部材 1 4 3 3 は分離して示される。係合部材 1 4 3 3 はスライダキャリッジ 1 4 3 0 を含む作動機構の一部であり、I S A のスライダピン 3 1 4 を係合するためのスリット内に入る斜切捕捉面 1 4 3 4 を有する。斜切面 1 4 3 4 は I S A のスライダピン 3 1 4 の挿入を促進する。理解される通り、係合部材 1 4 3 3 はスライダキャリッジ 1 4 3 0 から取外し可能であり、滅菌適合性材料から作られる。係合部材はそれによって、無菌ラップで L I A 1 1 2 0 を被覆した後でなければ、キャリッジ 1 4 3 0 に設置することができない。キャリッジ 1 4 3 0 の動きの範囲は限定されるので、無菌ラップの損傷は発生し得ない。

【 0 0 6 0 】

図 2 6 は、図 2 5 の L I A 1 1 2 0 に装着された I S A 1 3 0 0 の代替的实施形態を示す。I S A 1 3 0 0 は、L I A 1 1 2 0 の代替的实施形態と適合可能であるように設計され、以下で詳述する。I S A 1 3 0 0 は、その基部がアクセス面 1 4 0 1 に適合されるように寸法を決定される。I S A 1 3 0 0 の機能は、図 1 7 に示した I S A 3 0 0 のそれと同じである。すなわち手動介入で利用可能な機能性を失うことなく、標準手動腹腔鏡手術

10

20

30

40

50

器具のステム 302 をロボットマニピュレータ 14 で使用することを可能にするインタフェースを提供することである。図 26 はまた、システムを手動モードに切り替えるために LIA 1120 に設けられたスイッチボタン 408 をも示す。ISA 1300 は、ISA 1300 を LIA 1120 から手動で容易に取り外すため、すなわち切り離すためのレバー 1301 を具備する。ISA 1300 はまた、ワイヤを LIA 1120 に通すことなく、電動器具（例えば凝固器または切断器具）を電源に直接接続するための電気コネクタ 1308 を有する。

図 25 および 26 から明らかである通り、設計は、ハウジング 1154、フランジ 156、補強リブ 1157、FTAS 122 センサアセンブリを含め LIA 1120 の全てのコンポーネント、およびレバー 1301 を含め装着された ISA 1300 の全ての部品が、半円筒面 1155 によって画定される円筒状エンベロープ内に配置されるように行なわれる。これは、LIA 1120 が J6 によって回転するときに衝突および破損の危険性を軽減するためである。

【0061】

図 27 は、直線運動をスライダキャリッジ 1430 に伝達するための、図 19 の機構とは異なる設計の代替的作動機構 1400 を示す。それは、ギアボックス 1412 およびボールねじまたはウォームギア 1420 を介してナット部材 1422 に接続される小型ブラシレスモータ 1411 を含む。キャリッジ 1430 は、力センサ 1427 を介在してナット部材 1422 に固定される。力センサ 1427 は、キャリッジ 1430 によってスライダピン 314 に働く力およびその逆の力を測定することを可能にする。また、スライダキャリッジ 1430 を長手座 1130 の片側に装着することによって、モータ 1411 および接続されたギアは、ISA 1300 およびステム 302 の長手軸と平行に配置することができることも理解される。これにより、LIA 1120 の全長を最小化することができ、よって特定の関節（例えば J4）のためのアクチュエータ動力学に対する要件が緩和される。さらに、この作動機構 1400 は有害な振動の発生に関して最適化されることは理解される。駆動機構 1400 の他の態様および利点は、本書で前述した機構 400 のそれらと同様である。

【0062】

図 28 は、LIA 1120 から取り外された図 26 の ISA 1300 の底面側を示す。ISA 1300 は、前端にステムコネクタ 1304 を持つ細長いケース 1303 を含む（図 30 参照）。ステムコネクタ 1304 は、いずれかの型の取外し可能な接続が設けられる限り、標準手術腹腔鏡手術器具のステム 302（一部分だけを図示）に固定された型のソケット 306 への着脱自在の接続を可能にする。言うまでもなく、コネクタおよびソケットはそれぞれステムおよび ISA に配置することができる。ケース 303 と同様に、ケース 1303 は、座 1130 と協働するための半円筒面をその底面側に有する。図 28 に示す通り、横方向の翼 1305 がケース 1303 の両側から突出する。横方向の翼 1305 は、LIA 1120 のアクセス面 1401 に（例えば隆起部 1425 にも）接合する平坦な低部表面を有する。ISA 1300 が LIA 1120 に連結されたときに、例えばスライダピン 314 を手動で動かすために、スライダピン 314 の上の 1 つの翼 1305 に、可視性およびアクセスを提供するために、カットアウト空間 1307 が設けられる。図 28 はまた、ケース 1303 の両側の各翼 1305 に配置された平坦な強磁性要素 1311 をも示す。強磁性要素 1311 は、図 25 に示す通り、LIA 1120 上の対応する磁気装置 1423 とそれぞれ協働する連結手段を形成する。領域 1313 で、図 25 に示す誘導性センサ 1431 によって、使用される器具を識別するために、誘導的に識別可能なパターンが ISA 1300 に設けられる。図 25 に示すこの実施形態で、全金属板は所与の 4 ビット語（例えば 1111 または 0000）に対応する一方、他のアダプタでは、例えば誘導性センサ 1431 に対面する位置の 1 つまたはそれ以上に穴をあけることによって、識別のための異なるビット語をもたらすように空隙を設けることができる。

【0063】

図 29 は、図 28 の ISA 1300 を部分的に分解された状態で示す。図 29 に示す通

10

20

30

40

50

り、ISA1300は、特定の手動腹腔鏡手術器具のピストン310用の円筒状ガイド1312として働く内部中空を有する。ピストン310は一般的に手動器具で、器具ハンドルからステム302内を案内されるシャフトに動きを伝達するために使用される。手動器具の既存のピストンはガイド1312内を摺動するように構成することができることは理解される。図28に示す通り、長円形貫通穴1315がケース1303に設けられ、ピストン310に横方向に取り付けられたスライダピン314をケース1303から突出させ、かつピストン310を操作するためにケース1303の軸方向に前後に偏位させることが可能である。図29に示すピストン310は、二極性電力を器具に提供し、かつ器具をロック/ロック解除するために使用される手動二極性器具の独自部分である。

【0064】

図30は、同じ型のアダプタを使用して、手動介入用の異なる型の市販の腹腔鏡手術器具の異なるピストンを、例えば図30に示す単極性手動器具用のピストン1310を受け入れることができることを図示する。その結果として、ISA1300（またはISA300）のようなアダプタは、任意の市販の比較的安価な手動器具の基本部分をロボットマニピュレータ14に使用することを可能にする。図29はまた、レバー1301のほぼ1317の1つ、およびレバーがそれを中心に枢動するシャフト1319をも示す。レバー1301を押し下げることによって、ISA1300をJ6の回転軸すなわち器具ステムの軸に直角な方向に手動で取り外すことができるように、ほぼ1317はISA1300の下面および特に強磁性要素1311を上昇させて、ISA1120のアクセス面1401から遠ざける。

【0065】

本書で上述した態様に加えて、ロボット手術システム10はさらに次の特徴を提示する。

- ・ロボットマニピュレータ14はそれらの設計のおかげで、外科医Sが手術台12にアクセスすることができ、かつ放射線器具を設置することができるように、容易かつ迅速に後退させることができる。

- ・ロボットマニピュレータ14は、それらの設計のおかげで、かつ外部センサからの情報を使用して、介入時間を著しく増大することなく、患者の（アンチ）トレンドレンブルグ（- / + 20 ~ 35度）または横臥位に対する介入中の手術台12の角度変化に容易に適応することができる。

- ・ロボットマニピュレータ14は、それらの設計のおかげで、かつ外部センサからの情報を使用して、腹腔内圧の変化による套管針の位置変化を容易に管理することができる。

- ・ロボット手術システム10は、全介入時間を最小化するために、短時間の器具交換を可能にし、LIA120、1120およびロボットマニピュレータ14の設計は、内視鏡に使用する場合に、器具交換時間を基本的に手動腹腔鏡手術手技（6秒から9秒の範囲）の場合と同程度に短くすることを可能にし、ロボットマニピュレータ14の設計はまた、例えば光学系を洗浄するために迅速な内視鏡の抜去および再挿入をも可能にする。

- ・ロボット手術システム10は、手術台12を中心とする複数のロボットマニピュレータ14の構成を含め、システムの迅速かつ単純なセットアップを可能にする。

- ・ロボットマニピュレータ14は、最小侵襲外科手術、整形外科、生検、経皮的治療、皮膚採取、超音波診断等のように多種多様な用途に適合させるために、汎用的に設計される。

本特許出願は原則的に、本明細書に付属する特許請求の範囲に記載する発明に関するが、本特許出願が、例えば本願の補正請求項の対象物として、または分割出願および/もしくはは継続出願の請求項の対象物として請求することのできる、他の発明を定義するための裏付けを含むことを当業熟練者は容易に理解される。そのような対象物は、本書で開示した任意の特徴または特徴の組合せによって定義することができる。

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図1】患者が横たわる手術台の周囲に3つのロボットマニピュレータが配置された手術

室における一般的腹腔鏡手術用のロボット手術システムの斜視図である。

【図 2】5つのロボットマニピュレータを持つ一般的腹腔鏡手術用のロボット手術システムの斜視図である。

【図 3】主座標系を示す図 1 および図 2 のロボット手術システムのロボットマニピュレータの斜視図である。

【図 4】部分的にその主要部分に分解された図 3 のロボットマニピュレータの斜視図である。

【図 5】関節 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の略図である。

【図 6】マニピュレータコンポーネントを包囲する 2 D 衝突検出ボックスを示す、5つのロボットマニピュレータを持つロボット手術システムの上面図である。

10

【図 7】図 3 のロボットマニピュレータの基台の斜視図である。

【図 8】ロボットマニピュレータに対する外科医アシスタントの近接性を検出する、2 D レーザに基づく検出を示すロボット手術システムの上面図である。

【図 9】図 3 のロボットマニピュレータの関節 J 1、J 2、および J 3 の内部コンポーネントの斜視図である。

【図 10】図 3 のロボットマニピュレータの関節 J 2 の内部コンポーネントの斜視図である。

【図 11】関節 J 4 および J 5 を含むマニピュレータ手首の内部コンポーネントの第 1 斜視図である。

20

【図 12】関節 J 4 および J 5 を含むマニピュレータ手首の内部コンポーネントの第 2 斜視図である。

【図 13】関節 J 4 および J 5 を含むマニピュレータ手首の内部コンポーネントの第 3 斜視図である。

【図 14】図 3 のロボットマニピュレータのエフェクタユニット、およびエフェクタユニットに接続される適応器具を示す斜視図である。

【図 15】図 14 のエフェクタユニットの主要内部コンポーネントの斜視図である。

【図 16】支点基準フレームの斜視図である。

【図 17】器具ステムアダプタ (ISA) および対応する器具ステムの斜視図である。

【図 18】図 14 に示した腹腔鏡手術器具アクチュエータ (LIA) の拡大斜視図である。

30

【図 19】図 18 の LIA における駆動アセンブリの斜視図である。

【図 20】図 18 に示した LIA のさらなる内部コンポーネントを示す、下からの斜視図である。

【図 21】図 18 に示した LIA のさらなる内部コンポーネントを示す、上からの斜視図である。

【図 22】図 18 に示した LIA で使用される連結機構を示す斜視図である。

【図 23】変更されたマニピュレータ手首を有する図 3 に係るロボットマニピュレータの斜視図である。

【図 24】図 23 に係る 4つのロボットマニピュレータおよび図 3 に係る 1つのロボットマニピュレータを持つ、一般的腹腔鏡手術用のロボット手術システムの斜視図である。

40

【図 25】図 14 に示したエフェクタユニットに使用するための腹腔鏡手術器具アクチュエータ (LIA) の代替的实施形態の斜視図である。

【図 26】器具ステムアダプタ (ISA) の代替的实施形態が LIA に接続された、図 24 の LIA の斜視図である。

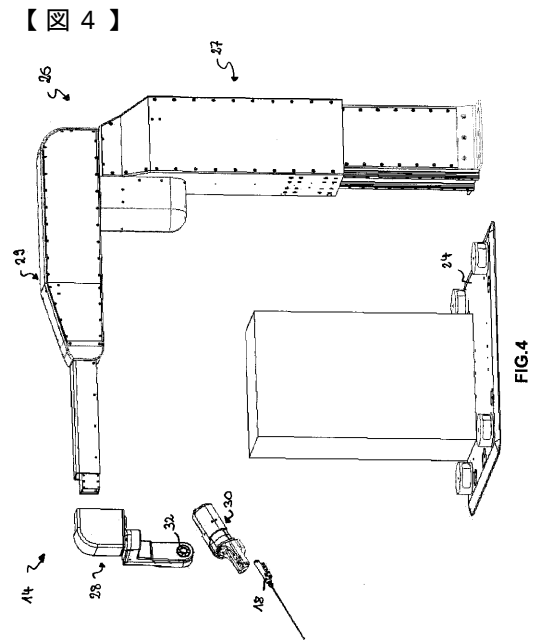
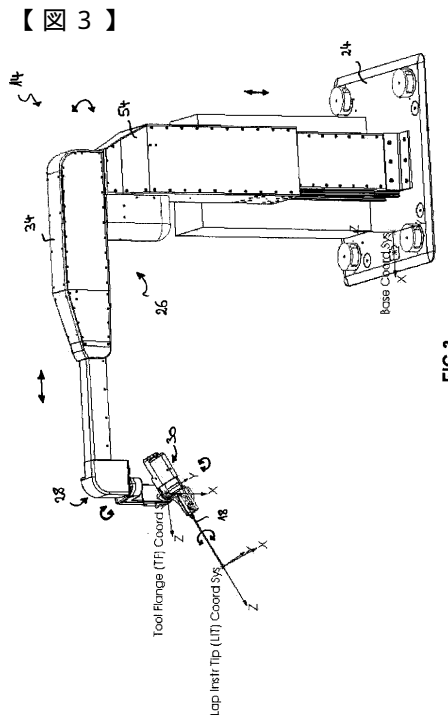
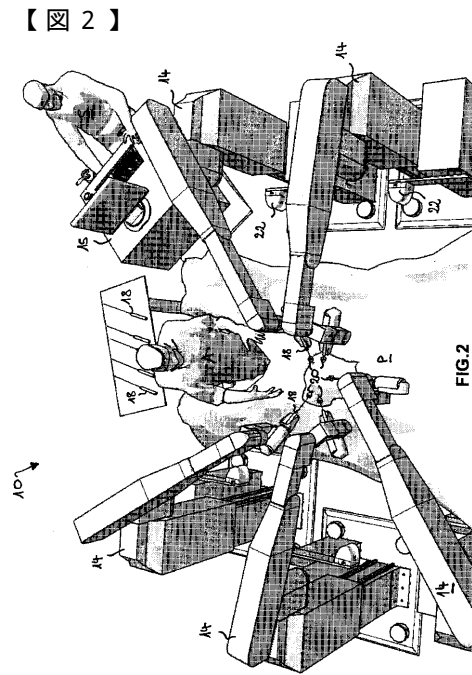
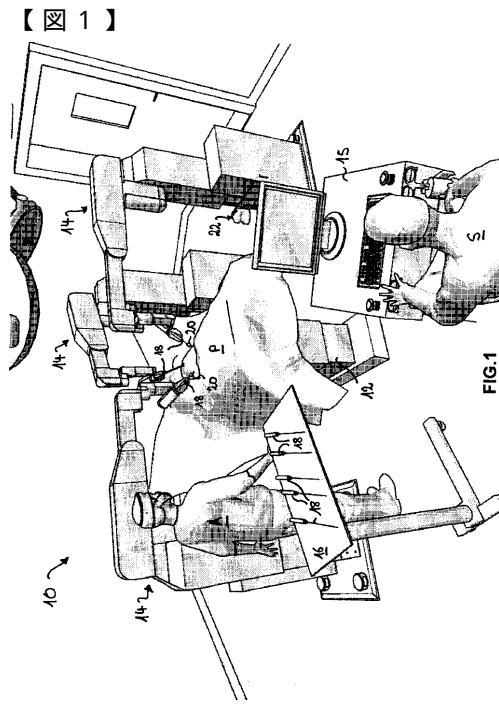
【図 27】図 24 の LIA に使用される代替的駆動アセンブリの斜視図である。

【図 28】図 26 に示した ISA の別の斜視図である。

【図 29】図 26 および図 28 に示した ISA の一部切欠き斜視図である。

【図 30】異なる器具がアダプタに接続された、図 26 および図 28 に示した ISA の別の一部切欠き斜視図である。

50



【図 5】

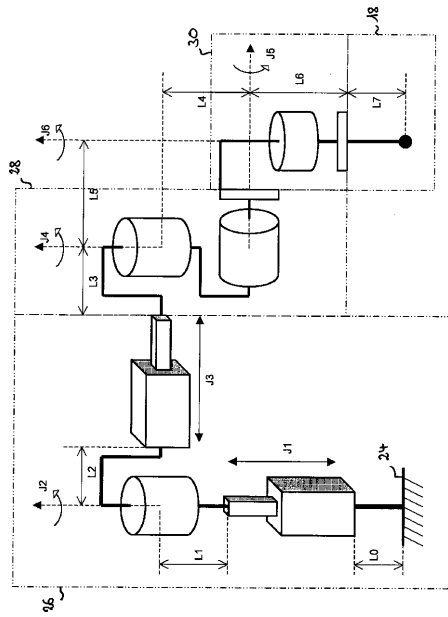


FIG. 5

【図 6】

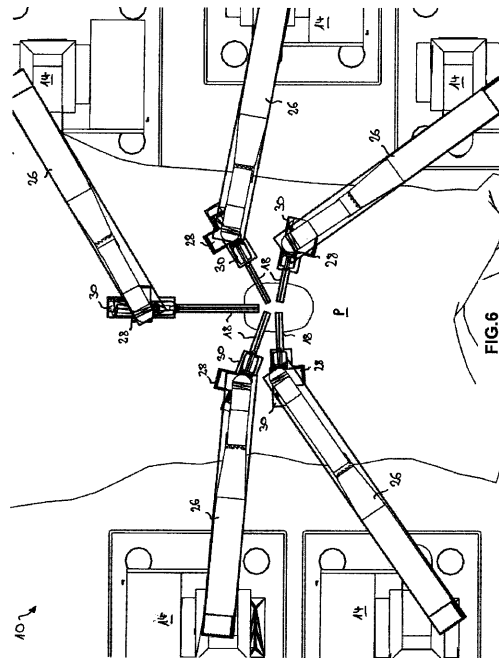


FIG. 6

【図 7】

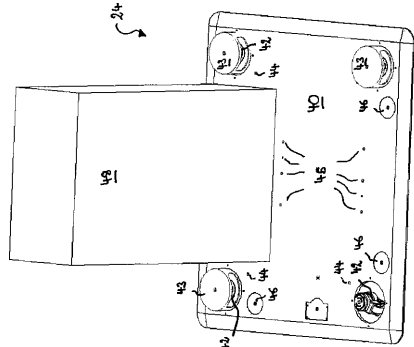


FIG. 7

【図 8】

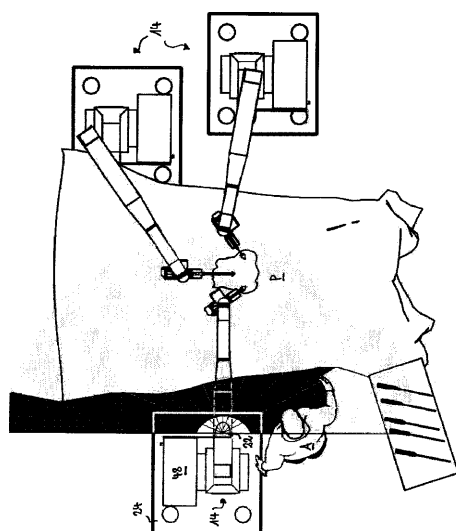


FIG. 8

【図 9】

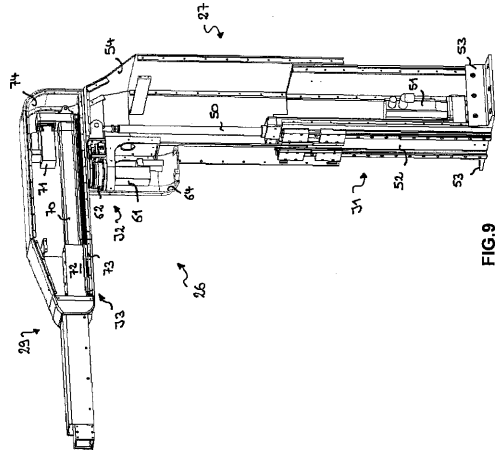


FIG. 9

【図 10】

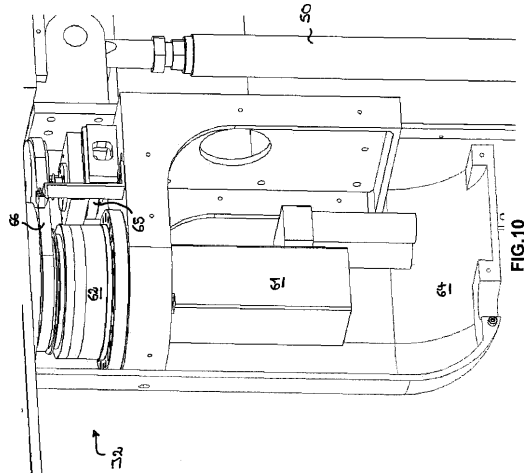


FIG.10

【図 11】

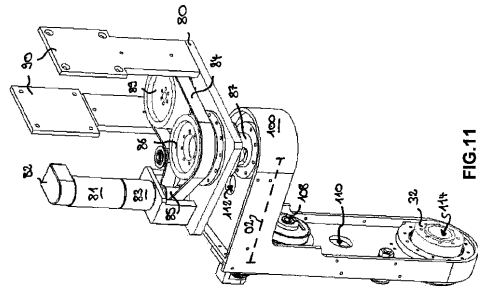


FIG.11

【図 14】

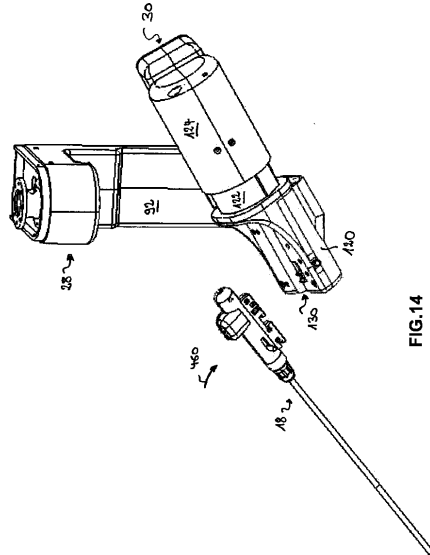


FIG.14

【図 12】

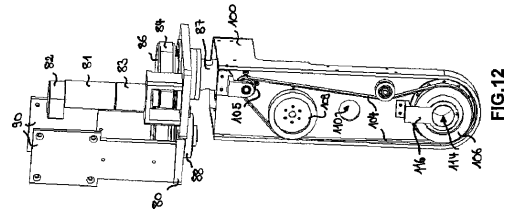


FIG.12

【図 13】

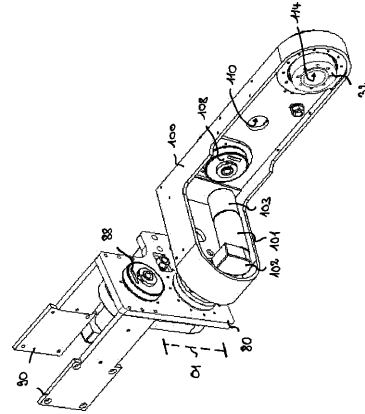


FIG.13

【図 15】

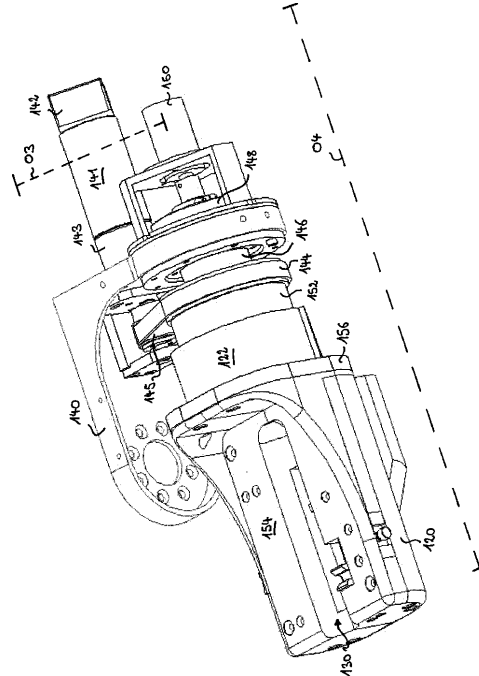


FIG.15

【図16】

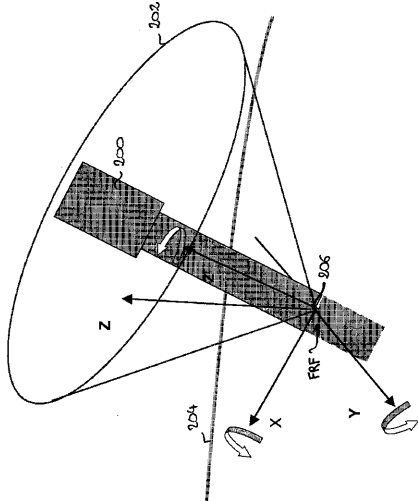


FIG. 16

【図17】

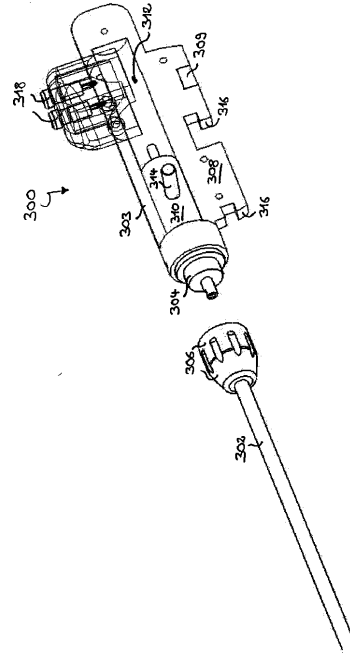


FIG. 17

【図18】

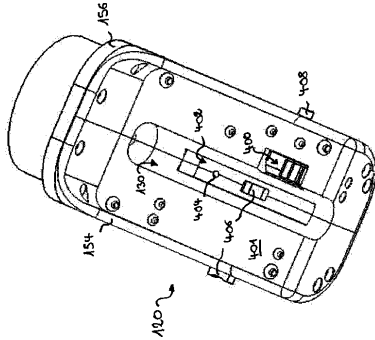


FIG. 18

【図19】

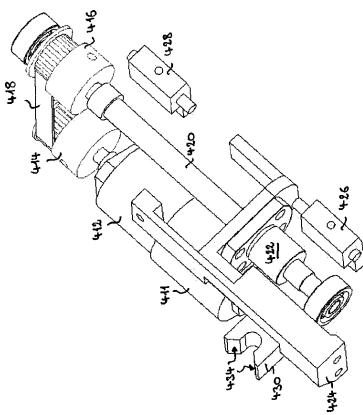


FIG. 19

【図20】

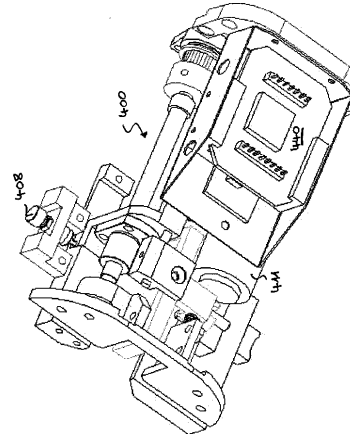


FIG. 20

【図21】

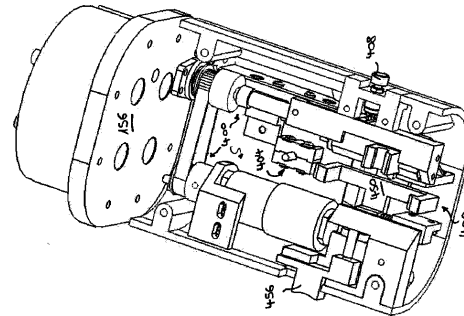


FIG. 21

【図 2 2】

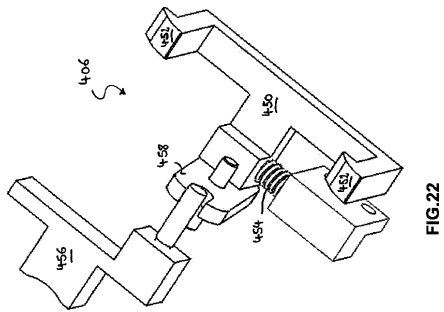


FIG. 22

【図 2 3】

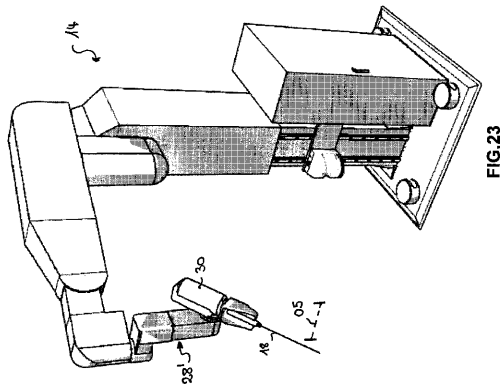


FIG. 23

【図 2 4】

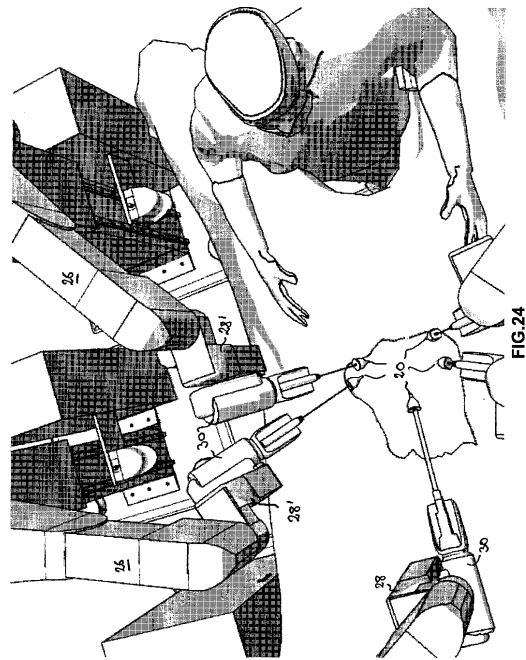


FIG. 24

【図 2 5】

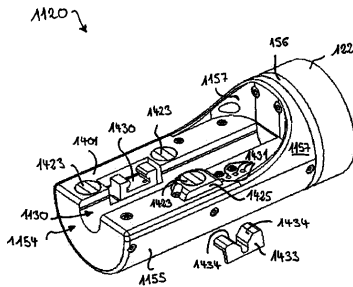


FIG. 25

【図 2 6】

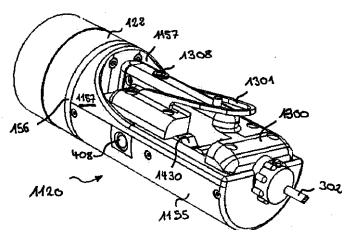


FIG. 26

【図 2 7】

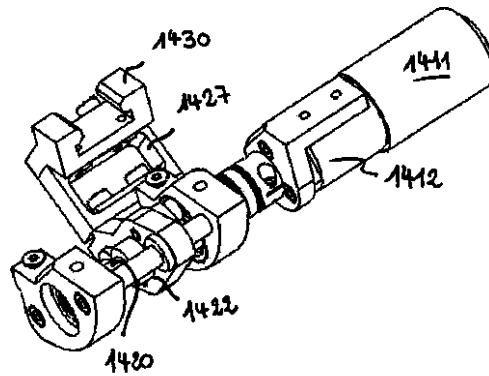


FIG. 27

【図 2 8】

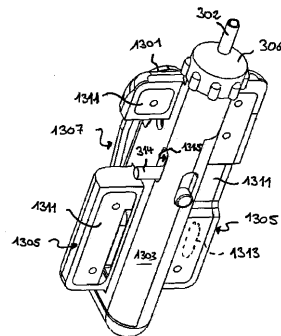


FIG. 28

【図29】

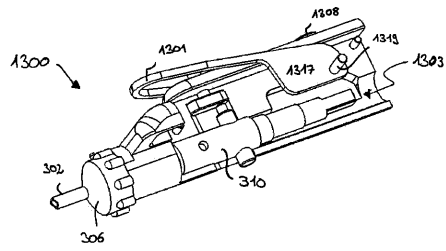


FIG.29

【図30】

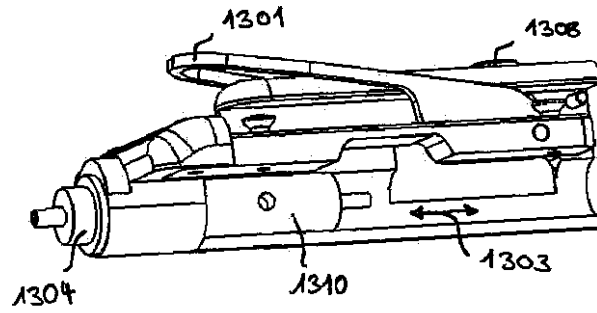


FIG.30

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 石田 宏之

(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 5 2 - 0 2 2 2 7 1 (J P , A)
特開昭 5 9 - 1 4 6 7 8 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B25J 13/00
A61B 19/00

专利名称(译)	用于执行微创医疗程序的机器人手术系统		
公开(公告)号	JP5130228B2	公开(公告)日	2013-01-30
申请号	JP2008552824	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 B25J13/00		
CPC分类号	A61B34/30 A61B34/35 A61B34/37 A61B34/71 A61B34/76 A61B90/361 A61B2017/0046 A61B2017/00477 A61B2034/305 B25J9/041		
FI分类号	A61B19/00.502 B25J13/00.Z		
代理人(译)	佐藤 嘉明		
审查员(译)	石田博之		
优先权	2006101251 2006-02-03 EP		
其他公开文献	JP2009525098A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

用于执行微创医疗程序的机器人手术系统包括用于机器人辅助处理腹腔镜器械的机器人操纵器。操纵器具有操纵臂，由臂支撑的操纵器腕部和由腕部支撑的效应器单元。操纵臂通过第一关节，第二关节和第三关节提供三个自由度，每个关节具有相关联的致动器，用于机械地定位手腕。手腕通过第四关节和第五转动关节提供两个自由度，第五转动关节具有相关联的致动器，用于分别机械地设定效应器单元的偏转角和俯仰角。效应器单元包括腹腔镜器械致动器 (LIA) 并提供通过具有相关致动器的旋转第六关节的一个自由度，用于机械地设定LIA的侧倾角。LIA包括座椅，其具有用于将器械杆适配器安装到效应器单元的相关锁定机构，以及与器械杆适配器配合的线性致动机构，用于致动连接到适配器的腹腔镜器械。效应器单元被配置成使得旋转的第六关节的旋转轴线与安装到效应器单元的腹腔镜器械的纵向轴线重合，并且效应器单元包括6个自由度 (DOF) 力的传感器组件/扭矩传感器和6 DOF加速度计。传感器组件将LIA连接到第六旋转联合。

支点軸	最大行程	最大速度
ヨー駆動	+/- 70°	100° /s
ピッチ駆動	[+10° -80°]	60° /s
穿通	[0 200mm]	200 mm/s
ロール	[-360° +360°]	300° /s