

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-525097

(P2009-525097A)

(43) 公表日 平成21年7月9日(2009.7.9)

(51) Int.Cl.

**A61B 19/00**  
**B25J 9/04**(2006.01)  
(2006.01)

F 1

A 61 B 19/00  
B 25 J 9/04502  
B

テーマコード(参考)

3C007

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 40 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)  
 (85) 翻訳文提出日 平成20年8月25日 (2008.8.25)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2007/051044  
 (87) 國際公開番号 WO2007/088206  
 (87) 國際公開日 平成19年8月9日 (2007.8.9)  
 (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) 優先権主張國 歐州特許庁 (EP)

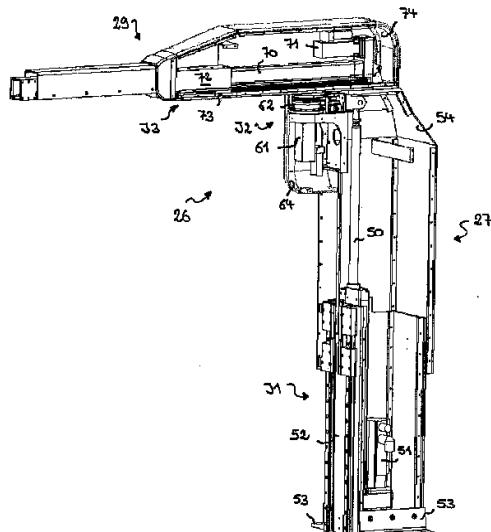
(71) 出願人 507275338  
 ザ ヨーロピアン アトミック エナジー  
 コミュニティ (ユーラトム)、リプリゼ  
 ンティッド バイ ザ ヨーロピアン コミ  
 ッション  
 THE EUROPEAN ATOMIC  
 ENERGY COMMUNITY (E  
 URATOM) represented  
 by The EUROPEAN CO  
 MMISION  
 ベルギー、ビィー-1049 ブラッセル  
 、リュドラロワ、200  
 (74) 代理人 100073818  
 弁理士 浜本 忠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 医療ロボットシステム

## (57) 【要約】

医療器具、特に腹腔鏡手術器具(18)をロボット補助により取り扱うロボットマニピュレータ(14)を備える医療処置を実施するための医療ロボットシステム(10)。ロボットマニピュレータ14は、基部(24)、前記基部によって支持される垂直部分(27)、及び前記垂直部分(27)によって支持されるほぼ水平な部分(29)を備えるマニピュレータアーム(26)、前記マニピュレータアーム(26)によって支持されるマニピュレタリスト(28)、及び前記マニピュレ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(30)から構成される。マニピュレータアーム(26)にはマニピュレタリストを定位させるための円筒形PRP運動構成が与えられる。より詳細には、PRP運動構成には、ジョイントが下記順序、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垂直部分(27)の高さを変えるプリズム型(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垂直部分(27)と水平部分(29)との間の回転角を変える回転型(



**【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ーム(26)、

前記マニピュレータームによって支持されるマニピュレタリスト(28)、及び

前記マニピュレ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から成り、

前記マニピュレーターム(26)は、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PRP運動構成から成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ー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ー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。

**【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。

**【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】**

前記マニピュレタリスト(28)が、前記エフェクタ装置(30)を定位させる回転型(R)第四ジョイント(J4)と回転型(R)第五ジョイント(J5)から成る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)の回転軸と前記第二(R)ジョイント(J2)の回転軸が平行で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。

**【請求項 9】**

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8項記載の医療ロボットシステム。

**【請求項 10】**

10

20

30

40

50

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（偏擺れ角）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9項記載の医療ロボットシステム。

#### 【請求項11】

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10項記載の医療ロボットシステム。10

#### 【請求項12】

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1～11のいずれかに記載の医療ロボットシステム。

#### 【請求項13】

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）ジョイントによって前記腹腔鏡器具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ることにより、前記取り付けられた手術器具の回転角が設定され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。20

#### 【請求項14】

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13項記載の医療ロボットシステム。

#### 【請求項15】

前記マニピュレタリスト（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（05）で中心から外れるよう構成されることを特徴とする請求項13または14に記載の医療ロボットシステム。30

#### 【請求項16】

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13または14に記載の医療ロボットシステム。

#### 【請求項17】

前記第四（R）ジョイント（J4）、前記第五（R）ジョイント（J5）及び／または前記第六（R）ジョイント（J6）に、モーター（81、101、141）、好ましくはブラシレスサーボモーター、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（183、104、144）、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・トランスマッショ（84、104、144）、及び前記ベルト・トランスマッショ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13に記載の医療ロボットシステム。40

#### 【請求項18】

前記基部（24）に前記マニピュレ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ー（22）が含ま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。

#### 【請求項19】

前記プリズム型( P )第一ジョイント( J 1 )及び前記プリズム型( P )第三ジョイント( J 3 )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 ~ 18 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。器具アクセスポーチ、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つ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。

【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、U.S. 6,659,939及びU.S. 6,837,883においてMollらにより、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、U.S. 6,102,850、U.S. 5,855,583、U.S. 5,762,458及びU.S. 5,515,478においてWangらにより、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。

【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からは解放される。

【0007】

10

20

30

40

50

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。

#### 【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。

10

#### 【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、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タリスト、及び該マニピュレ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タリストを配置するための円筒状PRP操作機構が設けられる。より詳細には、前記提案されたPRP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。

20

#### 【0011】

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DOF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。

30

#### 【0012】

PRP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、PRP円筒形ロボット構成は例えばUSS, 351, 676に

40

50

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。

#### 【 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。

#### 【 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プシー手術、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、例えば U S 6 , 1 0 2 , 8 5 0 、 U S 5 , 8 5 5 , 5 8 3 、 U S 5 , 7 6 2 , 4 5 8 及び U S 5 , 5 1 5 , 4 7 8 に記載された商標「 Z E U S 」で知られる前述したシステムが挙げられる。

#### 【 0 0 1 6 】

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「 D A V I N C I 」及び「 Z E U S 」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。通常の腹腔鏡手術（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、通常の腹腔鏡検査の場合、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（偏擺れ）軸に沿って 1 0 0 ° / s にまで達し、また侵入方向への速度は 2 0 0 m m / 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。

#### 【 0 0 1 7 】

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 ~ 1 0 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 1 0 ~ 2 0 % ）。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 2 0 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。適したマニブ

10

20

30

40

50

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との間のインター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。

#### 【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ー軸が備えられる。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ー軸が備えられる。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。

#### 【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もり込み、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。

#### 【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

10

20

30

40

50

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ームとマニピュレ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よう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。

#### 【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。マニピュレータームの動作構成と組み合わ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

10

20

30

40

50

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一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。

10

### 【0031】

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マッショーン、及び該ベルトトランスマッショー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、トランスマッショー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。

20

### 【0032】

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。

30

### 【発明を実施するための手段】

### 【0033】

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。

### 【0034】

なお、添付図面を通して同一部品には同一符号を用いた。

### 【0035】

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10で示される。無菌シートで包まれた患者Pは手術台12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14が配置される。図1の例では、医療ロボットシステム14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12及び一組の適合腹腔鏡器具18の近くに立っている。ロボットマニピュレータ14群は、多種に及ぶ腹腔鏡器具18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14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15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10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14を備える医療ロボットシステム10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10では、各ロボットマニピュレータ14の基部にレーザ域スキャナー22が配置される。レー

40

50

ザ域スキャナー 22 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 10 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 14 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 24 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 (TF) 及び腹腔鏡器具先端 (TIP) 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 14 はマニピュレータアーム 26 とマニピュレタリスト 28 から構成される。

#### 【0036】

図 4 にはロボットマニピュレータ 14 の主要部分が示されている。アーム 26 には略垂直部分 27 と略水平部分 29 がある。垂直部分 27 上のアーム 26 の第一端部は基部 24 へ取り付けられ、他方リスト 28 はアーム 26 の第二端部、すなわち水平部分 29 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 30 はリスト 28 のツールフランジ 32 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 26 には 3 つの自由度 (DOF) があり、そしてリスト 28 には 2 つの DOF がある。従って、ロボットマニピュレータ 14 は基本的に 5 DOF 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 18 を回転させる補助 DOF がエフェクタ装置 30 へ付与されている。ロボットマニピュレータ 14 及びエフェクタ装置 30 の DOF 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。

10

#### 【0037】

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 はブリズム状（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。第三ブリズム型スライド (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。

20

30

#### 【0038】

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 P R P (ブリズム型 - 回転型 - ブリズム型) 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, , r) に対応する。なお、z は高さ座標を表し、 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。

40

#### 【0039】

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 個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 L

50

3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の偏擺れ(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。

## 【0040】

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800m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として近似することができる。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

10

20

30

40

50

」、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に、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を配置した後の較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できるのである。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（制御解除状態）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上へのあるいはそれからの患者の移動を迅速に行うこと也可能である。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上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でき。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、必要な場合に例えれば孔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レーザ域スキャナー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。

#### 【0046】

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PRP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J3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J4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J4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J6は不要である。すなわち、内視鏡をジョイントJ5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。

#### 【0047】

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。

#### 【0048】

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J1～J3の形状について詳細に説明する。

#### 【0049】

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J1はボールスクリュ

一直線軸 5 0（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直線軸 5 0 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 5 1 によって駆動される。前記直線軸 5 0 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 5 0 には垂直直線ガイド 5 2 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 5 0 はアーム 2 6 を基部 2 4 へ取り付けるためのブラケット 5 3 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 5 4 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 5 1 に動力が供給されない場合でも水平部分 2 9 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 5 4 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 2 6 の前記構成部品はそのほぼ垂直な部分 2 7 から成っている。

10

## 【0050】

図 9 にはアーム 2 6 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 6 2 と直列にされたブラシレスサーボモーター 6 1 の組合せから構成されている。ブラシレスサーボモーター 6 1 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 6 2 の出力段に連結されたベルト 6 6 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 6 4 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 2 6 及びエフェクタ装置 3 0 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 6 4 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。

20

## 【0051】

図 9 には、放射状伸長、すなわち水平部 2 9 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 2 6 の水平部分 2 9 も示されている。ジョイント J 3 は細長い円筒軸 7 0、例えば連結直線作動装置としてのボールスクリュー直線軸から成る。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 7 1 によって駆動される E T モデル作動装置が使用される。細長い円筒軸 7 0 のロッドによって矩形管形状にされ、かつ直線ガイド 7 3 のトロリ上へ取り付けられたビーム 7 2 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 7 0 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 7 4 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 7 4 によって（P）ジョイント J 3 の部品、特に直線作動装置 7 0 及び直線ガイド 7 3 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 7 2 はカバー 7 4 中へ入り込み、あるいはそれから出していくように形状化される。そのため、アーム 2 6 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 2 9 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 7 4 の後方頂部にランプが備えられる。

30

40

50

## 【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J4及びJ5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J4の機械・作動装置は、プ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J4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ブーリーを駆動させるブーリーシステム85を介する伝動装置がさらに含まれる。ブーリー89には絶対シングルターンセンサ88がさらに接続され、このブ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J5からジョイントJ4へ容易に配するため、本発明装置には負荷軸ブーリー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J4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J5及びJ4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J4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、モーターを負荷軸ブーリー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ブーリー86周囲との曲線状境界部が設けられる。

10

20

30

40

## 【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、プ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、さらに負荷軸ブーリー106を駆動させるブーリーシステム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がブーリー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、ブーリー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、またブーリー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ブーリー上へ取り付けられる。

40

## 【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

50

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 へ取り付けるためのシート 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ブーリー 145 はベルト 144 を用いて負荷ブーリー 146 と連結される。前記負荷ブーリー 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ブーリー 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 LIA 120 及び FTAS 122 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。負荷ブーリー 146 は接続フランジ 152 を通して FTAS 122 へ接続される。LIA 120 及び FTAS 122 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 LIA 120 及び FTAS 122 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・ブーリー組立装置 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 LIA 120 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 L

10

20

30

40

50

I A 1 2 0 の直径にはほぼ等しいことが理解されよう。

【 0 0 5 9 】

ロボットマニピュレータ 1 4 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。

【 0 0 6 0 】

リスト 2 8 及びエフェクタ装置 3 0 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ブーリーを用い、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ブ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 5 1 、 6 1 、 7 1 、 8 1 、 1 0 1 、 1 4 1 を停止させることができ可能な「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 1 4 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 E M I 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 1 4 は滅菌プラスチックバッグを用いてエフェクタ装置 3 0 から基部 2 4 まで完全に被覆される。

10

【 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。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ェクタ装置 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できる。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。

20

【 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、またエフェクタ装置 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。

30

【 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。

40

50

## 【0064】

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： $M_x, M_y = \pm 1\text{ Nm}$  ;  $M_z = \pm 0.1\text{ Nm}$

## 【0065】

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 16 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ェクタ装置 3 0 の手動駆動、及びエフェクタ装置 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。

10

20

## 【0066】

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 16 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。

## 【0067】

## 【表 1】

支点軸	最大移動	最大速度
偏擺れ旋回	+/- 70 °	100 ° / s
ピッチ旋回	[+10° - 80°]	60 ° / s
侵入	[0 200 mm]	200 mm / s
回転	[-360° + 360°]	

30

## 【0068】

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

40

50

別の利点は、例えば腹圧の減少によって旋回点 206 の絶対位置が変わる場合の適応能にある。

#### 【0069】

明白なことであるが、エフェクタ装置 30 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 14 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 J1 ~ J6 に見出されている好ましい運動能を表 2 に示す。回転、ピッチ及び偏擺角度を、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。

#### 【0070】

#### 【表 2】

10

ジョイント	最大移動	最大速度	最大加速度
J1 - 上昇	700 mm	600 mm/s	4 m/s <sup>2</sup>
J2 - 肩	+/- 90°	60° /s	400° /s <sup>2</sup>
J3 - 放射	600 mm	600 mm/s	4 m/s <sup>2</sup>
J4 - 偏擺	[-360° +360° ]	260° /s	1900° /s <sup>2</sup>
J5 - ピッチ	[-60° +180° ]	75° /s	500° /s <sup>2</sup>
J6 - 回転	無限大	250° /s	2400° /s <sup>2</sup>

20

#### 【0071】

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 26 及びリスト 28、及び基部 24 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 206 における応力を減ずるためのコストが問題となる。

#### 【0072】

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 14 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。

30

#### 【0073】

選択された設計において、エフェクタ装置 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 16 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 18 の先端における外部負荷は 1.5 kg と想定され、また F R F は (R) ジョイント J5 の軸から 280 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 L1 ~ L6 及びジョイント J1 ~ J6 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。

40

#### 【0074】

これに関して、ジョイント J1 ~ J6 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 65、88、108、148) には以下のようない利点がある。

- ・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 14 のジョイント J1 ~ J6 をホーミング (homming) 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

50

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け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。

- ・エフェクタ装置30の位置及び方位をリアルタイムで決定することにより、トランスマッシュ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。
- ・FRFからのロボットマニピュレータ14の逸脱がモニターされる。
- ・各ジョイントJ1～J6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・トランスマッシュション故障（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。

#### 【0075】

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J1～J6の弾性、リンクL1～L7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（*forwards formulation*）を介してリアルタイムで6-DOF FTAS122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。

10

20

30

#### 【0076】

以下の節において腹腔鏡器具作動装置（LIA）120についてより詳細に説明する。

#### 【0077】

図14及び15に示すように、LIA120によってエフェクタ装置30の一部が形成される。LIA120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、LIA120によってマニピュレータ14の先端部が形成され、LIA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。LIA120には、後端部によってFTAS122へ連結するためのインタフェース法兰ジ156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154が含まれる。エフェクタ装置の異なる構成において、LIAにジョイントJ6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。

30

#### 【0078】

図14～15及び図18～22に示したLIA120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。

40

#### 【0079】

ロボットマニピュレータ14の標準的器具との適合性はLIAの設計により、また以下において頭字語ISA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17に部分断面図で示されている。

#### 【0080】

50

図17は器具軸部302を連結することが可能なISA(器具軸部アダプタ)300を示した図である。ISA300はそれを図15に示したシート130中へ取り付けることによってLIA120へ連結される。この趣意により、ISA300にはほぼ円筒形の外面をもつケース303が備えられる。図17に示されるように、ISA300は従来器具(腹腔鏡器具)の器具軸部302とLIA120の連結素子として設計されている。この趣意により、ISA300の前端部には軸コネクタ304が備えられる。軸コネクタ304は、実際の器具毎に異なる軸部302の特定型ソケット306へ連結するように設計されている。本来、ソケット306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17に示すように、軸コネクタ304によって、軸部302が設計された元のハンドルのコネクタが再現される。ISA300には、LIA120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LIA120へ取り付けられた時にISA300の回転を止めるようになっている。連結部材308中にはLIA120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。ISA300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ーピン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、ISA300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ISAはLIA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

20

30

40

50

#### 【0081】

図17に示されたISA300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、すなわちLIA120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、ISA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ISA300の部品は不要であることが理解されよう。ISA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、LIA120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ISA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、LIA120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、ISAにスライダーピン314及び付属の機械伝動装置が不要なことは明白である。灌あるいは吸引カニューレ等の器具の場合、ISA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。

#### 【0082】

図18に示したLIA120は、軽量に(例えば全重量800g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90mm、より好ましくは75mm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。LIA120の全長(特定例では約130mm)は、主としてISA300の長さによって決まる。LIA120の長さは、ジョイントJ5とFRF(図17参照)の旋回点206との間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 LIA120 を手で掴むことができるようにならなければ、FTAS122 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）、LIA120 の長さは少なくとも 6 cm とすることが推奨される。

#### 【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 LIA120 は、ISA300 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。ISA300 を LIA120 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 FTAS122 の基準軸に一致する。

10

#### 【0084】

さらに図 18 に示すように、LIA120 のハウジング 154 には、以下において詳述されるように、ISA300 を用いて取り付けられる器具 18 を作動させる直線作動機構 400 が含まれている。シート 130 は、ISA300 の挿入及び抜き出しを容易にするため、LIA120 のアクセス面 401 中に凹状の細長い半円筒形の窪みとして形成される。ISA300 を受け取るシート 130 はジョイント J6 の回転軸とほぼ同軸上にあり、該シートはハウジング 154 の中心軸に沿って延びている。理解されるように、ISA300 の LIA120 に対する取付け及び取外し方向はジョイント J6 の回転軸に対して径方向である。LIA120 は、シート 130 がアクセス面 401 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 18 から分かるように、シート 130 には LIA120 の本体中へ向かってシート 130 を径方向に深く形成させる縦溝 402 が設けられている。この付加的溝 402 は ISA300 の連結部材 308 を受け取るように形状化されている。この溝 402 中にはシート 130 に付属のロック機構 406 の噛み合い部が配置され、この噛み合い部は連結部材 308 と連携する。シート 130 は ISA300 のケース 303 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 17 参照）を感知することによって ISA300 の存在検知を行うため、シート 130 中に存在検知装置 404、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 408 により、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へ切り換えることが可能である。手動モードでは、LIA120（連結されている場合は器具 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作成され、かつ FTAS122 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 14 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。

20

#### 【0085】

直線作動機構 400 の詳細は図 20 に最もよく示されている。作動機構 400 には、ギアボックス 412 を介して連結される小型プラシレスモーター 411 と、ベルト 418 によってボールスクリュー 420 へ連結されるブーリー 414 及び 416 が含まれる。ボールスクリュー 420 は該スクリュー上へ取り付けられるナット 422 と連係して図 19 に示すように回転運動を直線運動へ変換する。ナット 422 は直線ガイド 424 によってガイドされるため、ボールスクリュー 420 上での横方向移動が減じられる。誘導制限スイッチ 426 及び 428 がナット 422 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 400 の移動が制限される。

30

#### 【0086】

図 19 に示すように、作動機構 400 によって直線運動は以下において詳述するよう LIA120 のスライダ可動台 430 へ伝達される。好ましい実施態様において、作動機構 400 には下記パラメータが選定される。

40

- ・スライダ可動台 430 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 ~ 20 mm / 秒

50

・最大作動力：200N

【0087】

ステッパモーターは、FTAS122の騒音の重要な原因と見られるため、好ましくはLIA120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411が用いられる。このモーターは例えばFaulhaber GmbH, Schoen aich, 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。

【0088】

図20は、LIA120のハウジング154中に埋め込まれ、例えば24VDC電力を供給されるモーター411用電力制御装置440を示した図である。ハウジング154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FTAS122との間、あるいはFTAS122とジョイントJ6（図示せず）への接続フランジ、あるいは該ジョイントJ6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、スライダー可動台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。LIA120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、スライダー可動台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。ISA300の存在、すなわちISAが正しくLIA120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。

【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のスライダー可動台430はISA300のスライダーピン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、スライダー可動台430は連結されたISA300のスライダーピン314を駆動させるように再度配置される。スライダーピン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ISA300が連動して軸部302から取り外され、ISA300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。スライダー可動台430へのスライダーピン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。

【0090】

図21及び22は、図18に一部しか示されていないLIA120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ISA300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。

10

20

30

40

50

## 【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FTAS122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、ISA300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ISA300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、LIA120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LIA中に挿入される永久磁石及びISA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。

10

- ・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、アン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。

20

## 【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、スライダーピン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。

30

## 【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」、例えばインターフェースフランジ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)のスライダーピン(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。スライダーピン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。

40

## 【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30

50

2)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ーピン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、外科医アンスタント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。

10

#### 【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。

20

#### 【0098】

上述した挿入及び取外し手順から明らかのように、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)を同時に外して手動で抜き出すことも可能である。

30

#### 【0099】

上述したLIA120に関して、簡単な器具軸アダプタ(ISAA)(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。

40

- ・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

50

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靭であるため、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。10

#### 【0102】

図25に示したLIA1120には、半円筒形で上部にLIA1120へのISA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1401が設けられたハウジング1154が用いられている。ハウジング1154の対向面1155はJ6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1155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14に指令を与えるため、例えば50~135mmの範囲内、好ましくは約90mm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ーフェースフランジ156よりも実質的に小さいため、このハウジングを用いてLIA1120はFTAS122へ取り付けられ、ハウジング1154にはさらに漸進的強化リブ1157が含まれる。この強化リブは、漸進的形状、すなわちアクセス面1401から始まってインターフェースフランジ156の上端にまで達する滑らかに延びる形状を呈している。強化リブ1157はさらに、半円筒形面1155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1157によってアクセス面1401はインターフェースフランジ156へ連結されているため、ハウジング1154のインターフェースフランジ156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、ISAからLIA1120を通したFTAS122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14に示したLIA120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。20

#### 【0103】

図25にはさらに、LIA1120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。LIA1120においては、LIA120の場合と同様に、シート1130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、J6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つはスライダー可動台1430上に、また1つはシート1130の他方面面上に配置され、後者の磁石装置はアクセス面1401から離れた隆起部上に配置されている。この隆起部1425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1401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1423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ISA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14の被覆あるいは少なくともエフェクタ装置30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。30

#### 【0104】

図25にはさらに、ISA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30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1431が示されている。4個の誘導存在センサ1431が一列に配列され、これらセンサにより、誘導存在センサ1431に面するISA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16種の器具を識別・確認することが40

可能である。さらに、誘導存在センサ 1431 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 1431 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。

#### 【0105】

図 25 には噛み合い部材 1433 が分離状態で示されている。この噛み合い部材 1433 は、スライダー可動台 1430 を含み、かつ ISA のスライダーピン 314 を噛み合わせるスリット中へ導く傾斜捕獲面 1434 を有する作動機構の一部である。この傾斜捕獲面 1434 によって ISA のスライダーピン 314 の挿入が容易化されている。噛み合い部材 1433 はスライダー可動台 1430 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 LIA1120 を被覆した後にのみ可動台 1430 上へ設置することが可能である。可動台 1430 の動作範囲は限定されたため、滅菌ラップに損傷が生ずることはない。

#### 【0106】

図 26 に図 25 に示した LIA1120 へ取り付けられた ISA1300 の別の実施態様を示す。この ISA300 は LIA1120 の別の設計に適合するように設計されており、この ISA について以下に説明する。ISA1300 は、その基部がアクセス面 1401 に隣接するように寸法化される。ISA1300 の機能は、図 17 に示した ISA300 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 14 上における標準的手動腹腔鏡器具軸部 302 の使用を可能とするインターフェースを与えることである。図 26 はシステムを手動モードへ切り換えるスイッチボタン 408 が LIA1120 上に設けられた態様を示した図である。ISA1300 には、簡単な手動での取外しのため、すなわち ISA1300 を LIA1120 から分離するためのレバー 1301 が備えられる。ISA1300 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 LIA1120 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 1308 も備えられる。

#### 【0107】

図 25 及び 26 から明らかなように、ハウジング 1154、フランジ 156、強化リブ 1157、FTAS122 を含めた LIA1120 の構成部分、及びレバー 1301 を含めて取り付けられる ISA1300 のすべての構成部分は半円筒形面 1155 によって固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、LIA1120 が J6 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。

#### 【0108】

図 27 はスライダー可動台 1430 へ直線運動を伝達する別の作動機構 1400 を示す図であり、この作動機構の設計は図 19 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 1412 を介してナット部材 1422 へ連結される小型プラシレスモーター 1411 及びボールスクリューあるいはウォームギア 1420 が含まれる。可動台 1430 は応力センサ 1427 の中間部分を介してナット部材 1422 へ固定される。応力センサ 1427 は、可動台 1430 によってスライダーピン 314 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 1430 を縦方向シート 1130 へ取り付けることにより、モーター 1411 及び連結ギアを ISA1300 及び軸部 302 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、LIA1120 の全長を最小として、一定のジョイント（例えば J4）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 1400 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 1400 の他の観点及び利点は前述した作動機構 400 のそれらと同様である。

#### 【0109】

図 28 は、図 26 の ISA1300 を LIA1120 から取り外した場合の該 ISA の下面を示した図である。ISA1300 は細長いケース 1303 から成り、該ケースの前端部には軸部コネクタ 1304 が備えられている。この軸部コネクタ 1304 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 302（一部のみ図示）へ固定された典型的ソケット 306 への取外し可能な接続が可能とされる。勿論、軸部及び ISA 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 303 と同様に、ケース 1303 の下面にはシート 1130 と協働するための半円筒形面が備えられる。図 28 に示すように、側部ウイング 1305 がケース 1303 の両側から突き出ている。これらの側部ウイング 1305 の下面是平らに形成され、LIA 1120 上のアクセス面 1401（他に例えば隆起部 1425 とも）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 ISA 1300 が LIA 1120 へ連結される時にスライダーピン 314 を手動で移動させるため、スライダーピン 314 の上方にある一方のウイング 1305 中に切り抜きスペース 1307 が設けられる。図 28 にはさらに、ケース 1303 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 1311 が示されている。この強磁性素子 1311 によって、図 25 に示した LIA 1120 上の対応磁石装置 1423 とそれぞれ連動する連結手段が形成される。部分 1313 には、図 25 に示した誘導センサ 1431 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 ISA 1300 上に設けられる。図 25 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 1111 あるいは 0000）に対応し、他方、他のアダプタにおいて、誘導センサ 1431 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。

#### 【0110】

図 29 は図 28 に示した ISA 1300 の部分分解図である。図 29 に示すように、ISA 1300 には、一定の手動腹腔鏡器具ピストン 310 用の円筒形ガイド 1312 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 310 は、典型例として、器具ハンドルから軸部 302 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 1312 中においてスライドするように配置可能である。図 28 に示すように、ケース 1303 中に長円形の貫通穴を設けることにより、ピストン 310 へ横向きに取り付けられたスライダーピン 314 がケース 1303 から突き出してピストン 310 を操作するためにケース 1303 の軸方向に前後に移動することが可能となる。図 29 に示したピストン 310 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。

#### 【0111】

図 30 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 30 に示した単極式手動器具用ピストン 1310 が取り付け可能なことを示した図である。さらに、ISA 1300（または ISA 300）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 14 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 29 には、レバー 1301 及びシャフト 1319 上において旋回する 2 つのほぞ 1317 のうちの一方も示されている。レバー 1301 を押し下げることにより、ほぞ 1317 によって ISA 1300 の下面、特に強磁性素子 1311 が ISA 1120 のアクセス面から離れて持ち上げられ、それによって ISA 1300 を手動で J6 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。

#### 【0112】

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 10 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 14 は、その設計ゆえに、外科医 S が手術台 12 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 14 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( $\pm 20\text{--}35^\circ$ )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。

10

20

30

40

50

ロボットマニピュレータ14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10により器具交換時間を短縮して全介入時間を最小とし、LIA120、1120及びロボットマニピュレータ14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14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10により、手術台12周囲への複数のロボットマニピュレータ14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14を多用途設計として、最小介入手術、整形外科、生検、経皮治療、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。 10

#### 【0113】

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、本特許出願に例えれ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】

#### 【0114】

【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。 20

【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J1~J6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。 30

【図6】マニピュレータ構成部分を封入する2D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2Dレーザ方式検知を示す医療ロボットシステムの上面図である。

【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J1、J2及びJ3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J2の内部構成部品の透視図である。

【図11】ジョイントJ4及びJ5を含むマニピュレタリストの内部構成部品の第一透視図である。 40

【図12】ジョイントJ4及びJ5を含むマニピュレ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J4及びJ5を含むマニピュレ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。 50

【図18】図14に示した腹腔鏡器具作動装置（LIA）の拡大透視図である。

【図19】図18に示したLIA中の駆動装置の透視図である。

【図20】図18に示したLIA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LIA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LIA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タの透視図である。

【図24】図23に示すロボットマニピュレタを4個及び図3に示したロボットマニピュレタを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。 10

【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。

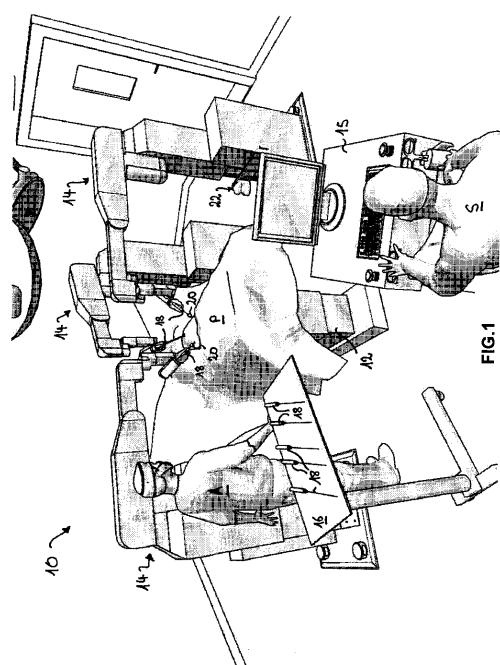
【図27】図24に示したLIA中に用いられる別の駆動装置の透視図である。

【図28】図26に示されたISAの別の透視図である。

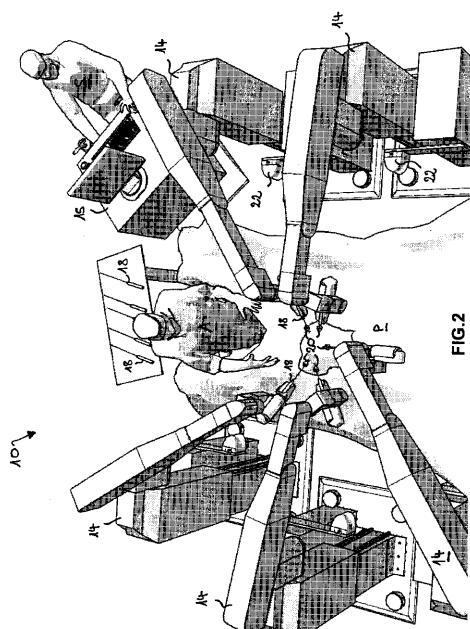
【図29】図26及び図28に示されたISAの部分破断透視図である。

【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。 20

【図1】



【図2】



【図3】

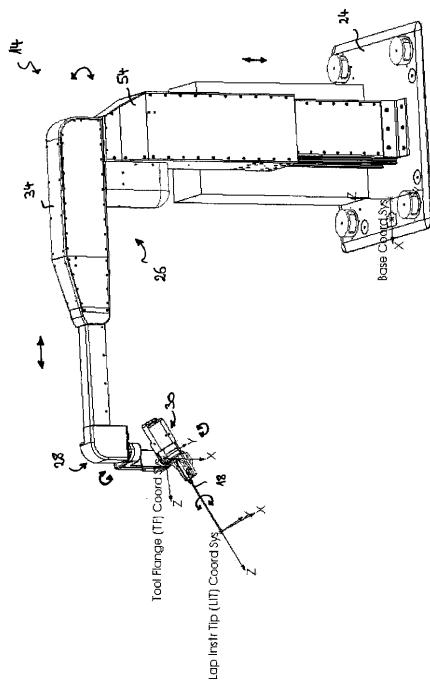


FIG.3

【図4】

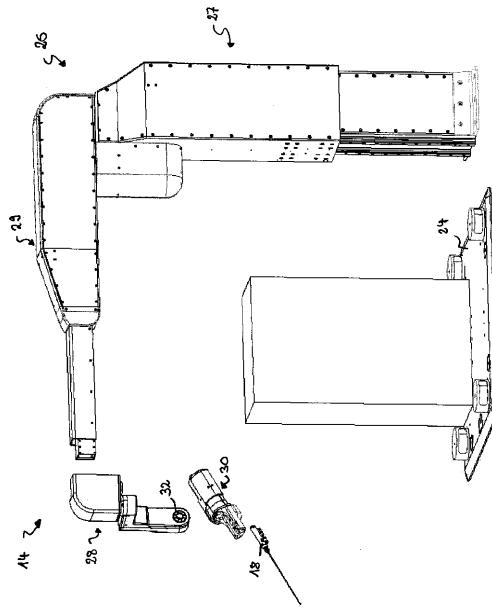


FIG.4

【図5】

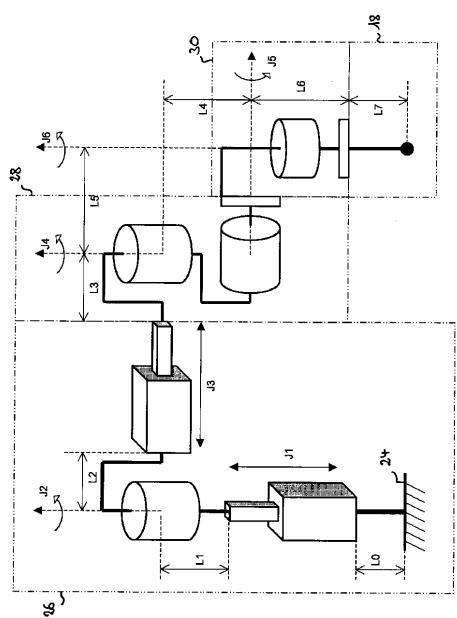


FIG.5

【図6】

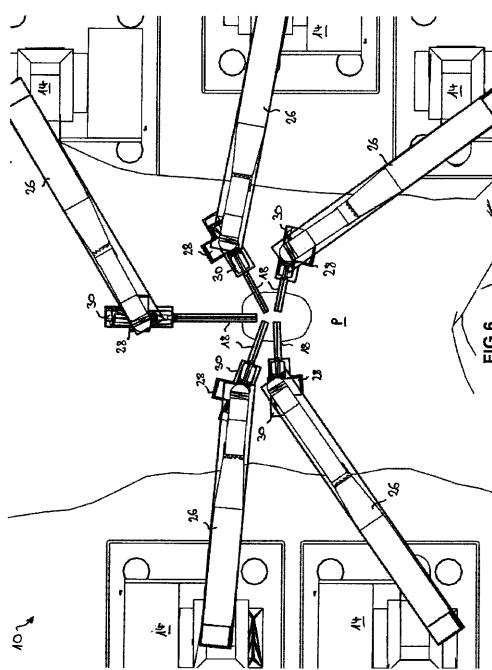


FIG.6

【図7】

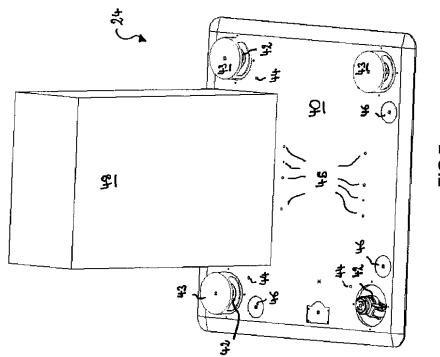


FIG.7

【図8】

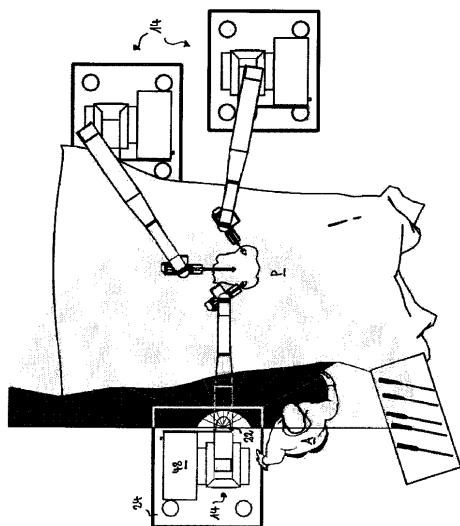


FIG.8

【図9】

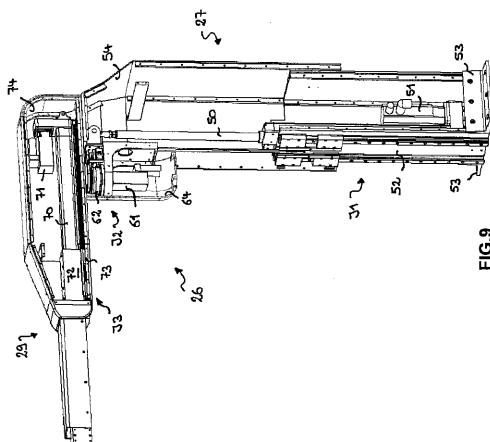


FIG.9

【図10】

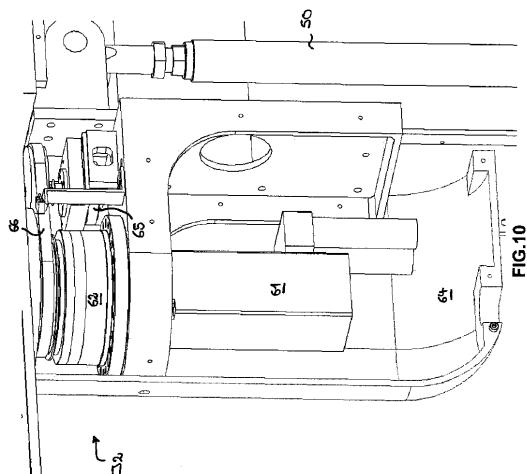


FIG.10

【図11】

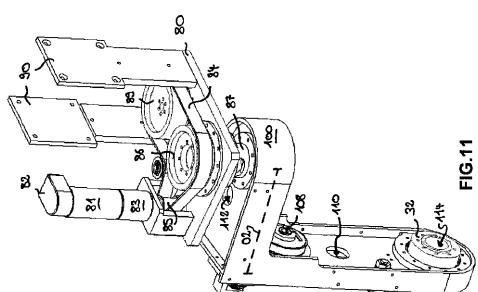
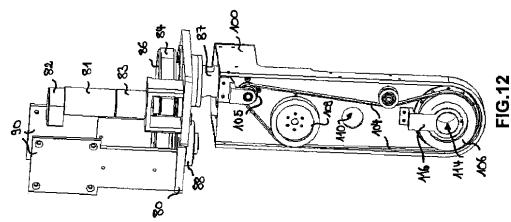
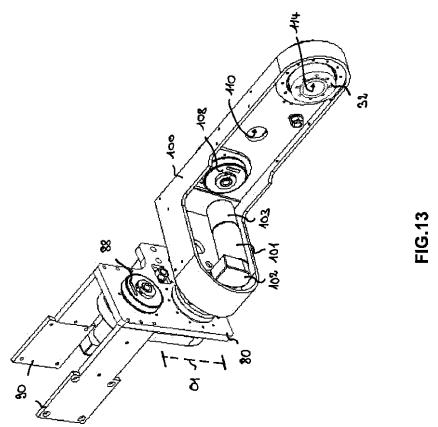


FIG.11

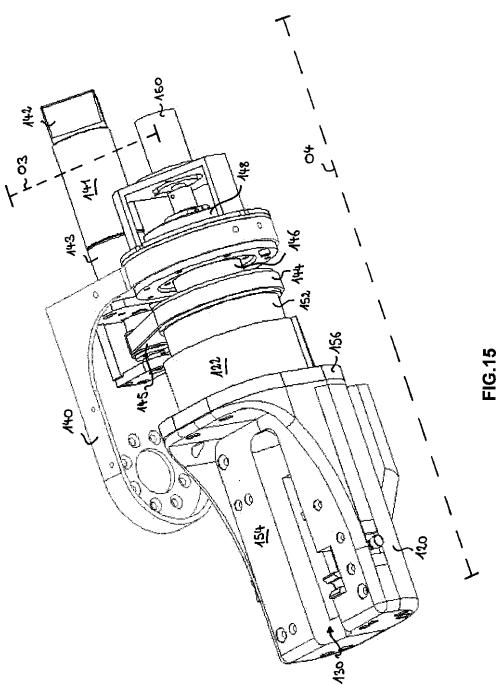
【図12】



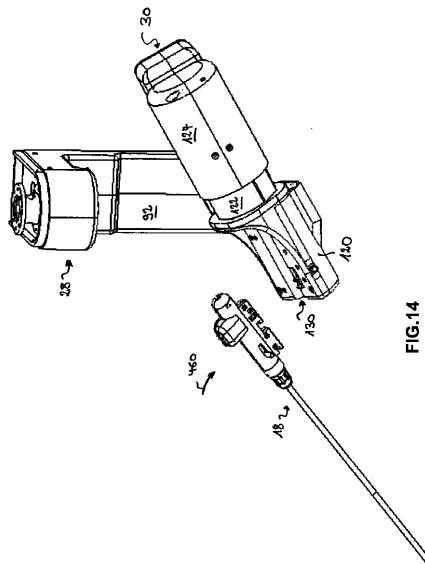
【 図 1 3 】



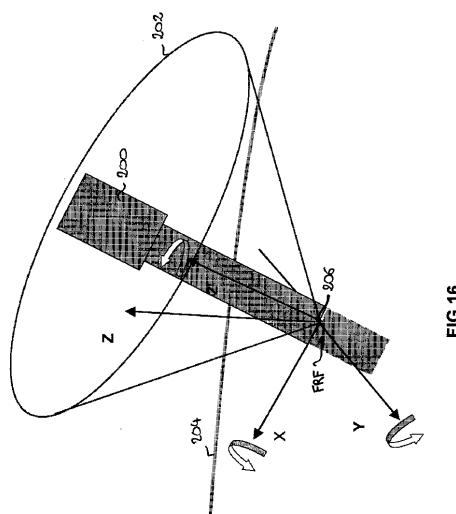
【図15】



【 図 1 4 】



【 図 1 6 】



【図17】

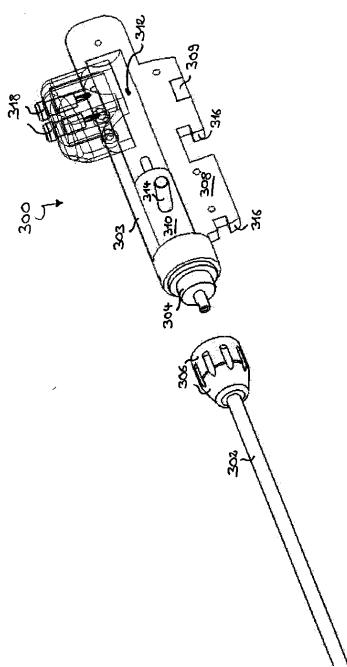


FIG.17

【 図 1 8 】

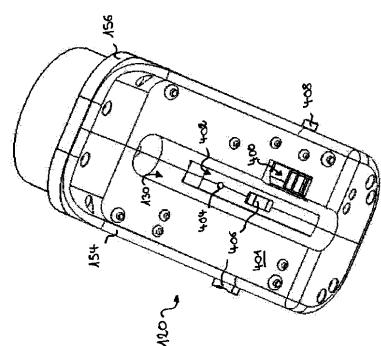


FIG. 18

〔 図 1 9 〕

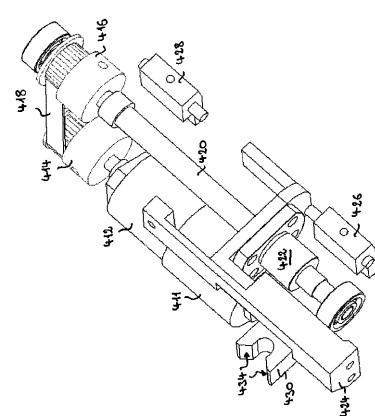


FIG. 19

【図20】

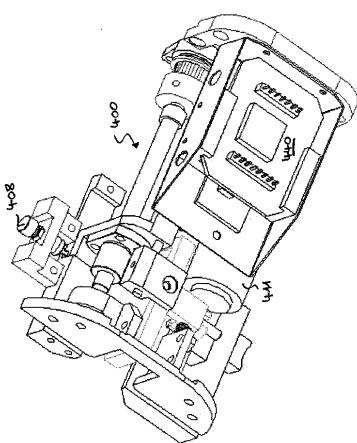


FIG.20

【 図 2 2 】

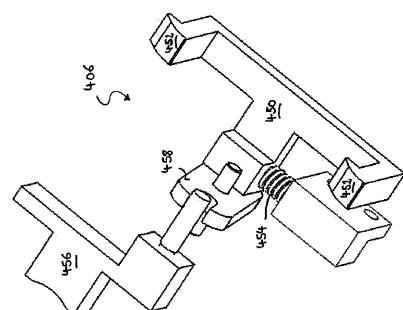


FIG. 22

【 図 2 1 】

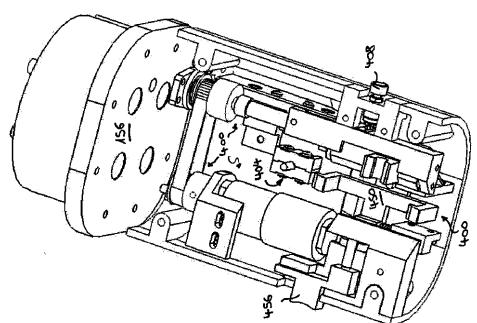
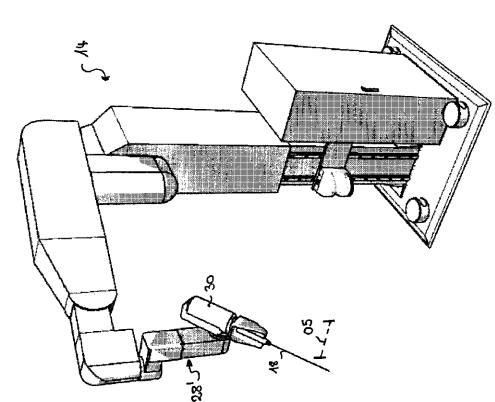
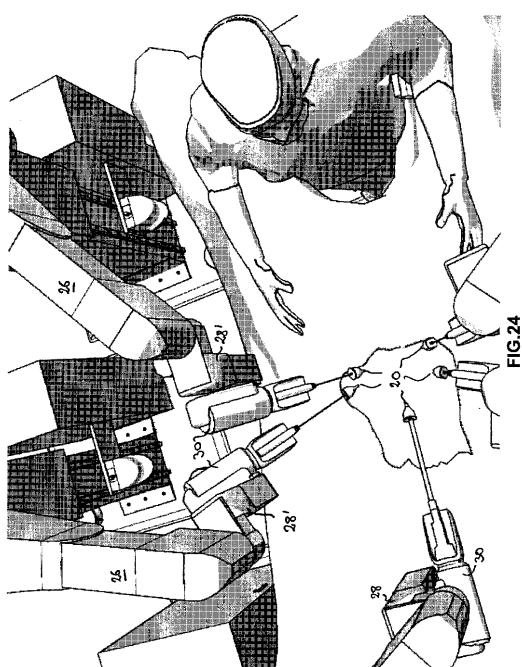


FIG. 21

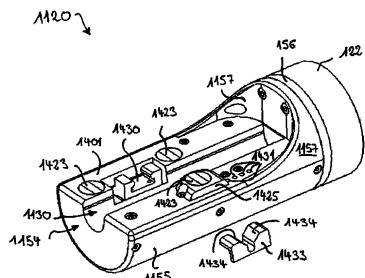
〔 図 2 3 〕



【図24】



【 図 25 】



**FIG.25**

【図26】

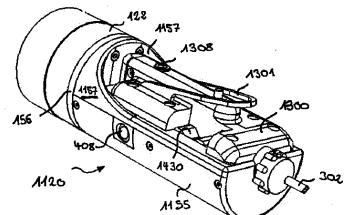


FIG.26

【図27】

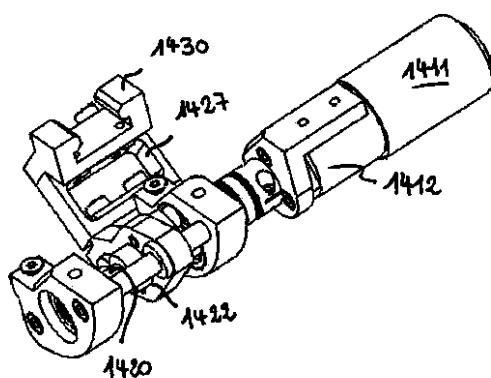
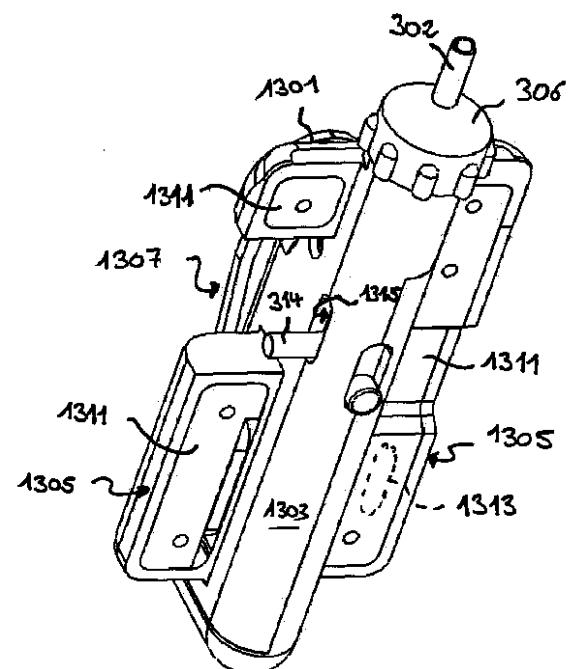


FIG.27

【 図 2 8 】



**FIG.28**

## 【図29】

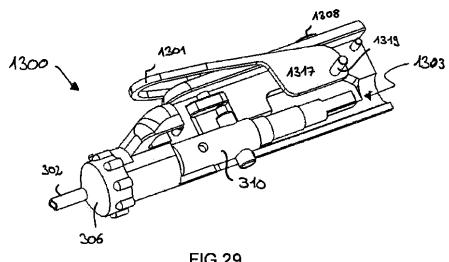


FIG.29

## 【図30】

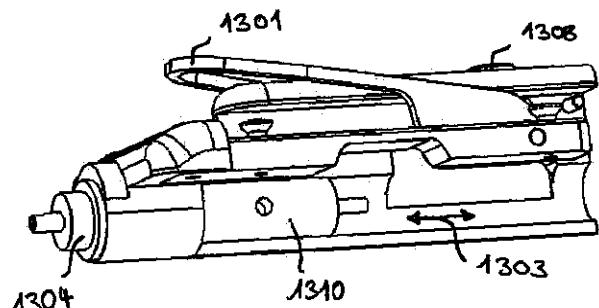


FIG.30

## 【手続補正書】

【提出日】平成19年12月3日(2007.12.3)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【請求項1】

医療器具(18)を口ボット操作によって取り扱う口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口ボットシステムであって、

前記口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ーム(26)、

前記マニピュレータームによって支持されるマニピュレタリスト(28)、及び

前記マニピュレ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から成り、

前記マニピュレーターム(26)は、連続的に、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PRP運動構成から成ることを特徴とする前記医療口ボットシステム。

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2007/051044
---

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B25J9/04 -A61B19/00
---

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

B. FIELDS SEARCHED
--------------------

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B25J A61B
--

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

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

EPO-Internal, WPI Data, PAJ
-----------------------------

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT
--

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 351 676 A (PUTMAN ET AL) 4 October 1994 (1994-10-04) abstract; figures 3,8,11	1-4, 7-10,19
Y	US 6 120 433 A (MIZUNO ET AL) 19 September 2000 (2000-09-19) figures 2,9,11a column 5, line 10 – line 17	1-5,7 -/-

<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.
--

<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
--

\* Special categories of cited documents :

- 'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- 'E' earlier document but published on or after the international filing date
- 'L' document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- 'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- 'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- 'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- 'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- 'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- '&' document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
---

20 June 2007
--------------

Date of mailing of the international search report
--

26/07/2007
------------

Name and mailing address of the ISA/
--------------------------------------

European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016
---

Authorized officer
--------------------

Lumineau, Stéphane
--------------------

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No PCT/EP2007/051044
---

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	FARAZ A ET AL: "A robotic case study: optimal design for laparoscopic positioning stands" ROBOTICS AND AUTOMATION, 1997. PROCEEDINGS., 1997 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALBUQUERQUE, NM, USA 20-25 APRIL 1997, NEW YORK, NY, USA,IEEE, US, vol. 2, 20 April 1997 (1997-04-20), pages 1553-1560, XP010235537 ISBN: 0-7803-3612-7 table 1 -----	1-5,7
A	BOUAZZA-MAROUF K ET AL: "ROBOTIC-ASSISTED INTERNAL FIXATION OF FEMORAL FRACTURES" PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. JOURNAL OF ENGINEERING IN MEDICINE. PART H, MECHANICAL ENGINEERING PUBLICATIONS LTD, LONDON, GB, vol. 209, no. H1, 1995, pages 51-58, XP000582781 ISSN: 0954-4119 figure 5 page 54, right-hand column, line 5 - line 18 -----	1-5

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No  
**PCT/EP2007/051044**

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 5351676	A	04-10-1994	US	5184601 A		09-02-1993
US 6120433	A	19-09-2000	NONE			

---

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,L,A,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100096448

弁理士 佐藤 嘉明

(72)発明者 ルイズ モラレス、エミリオ

イタリア、アイ - 21020 タイノ、ヴィア レオナルド ダヴィンチ 16

F ターム(参考) 3C007 AS35 BS06 BT09 CT04 CV07 CW02

【要約の続き】

R ) 第二ジョイント、及びほぼ水平な軸に沿った移行自由度を与えることにより水平部分の到達範囲を変えるブリズム型 ( P ) 第三ジョイントの順で配置される。

※

专利名称(译)	医疗机器人系统		
公开(公告)号	<a href="#">JP2009525097A</a>	公开(公告)日	2009-07-09
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		
[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		
F-TERM分类号	3C007/AS35 3C007/BS06 3C007/BT09 3C007/CT04 3C007/CV07 3C007/CW02		
代理人(译)	佐藤嘉明		
优先权	2006101250 2006-02-03 EP		
其他公开文献	JP5148512B2		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

### 摘要(译)

医疗器械，用于与腹腔镜器械(18)的机器人辅助(10)在执行医疗程序，其包括机器人操作器(14)，特别是交易医疗机器人系统。机器人操作器14包括一个基座(24)，由所述基座(27)支撑的垂直部分，以及一个操纵臂基本上包括由支承的水平的部分(29)，所述竖直部分(27)(26)，所述操纵器由臂(26)支撑的操纵器列表(28)和由操纵器列表支撑并且形成保持医疗器械的效应器装置(30)。给操纵器臂(26)提供圆柱形PRP运动配置，用于定位操纵器列表。更具体地，锻炼PRP构造，关节以下序列，即，棱柱(P)用于通过沿着基本垂直的轴提供自由的平移程度改变垂直部分(27)的高度第一关节，旋转(R)，用于通过绕基本垂直的轴提供自由的旋转程度改变垂直部分(27)和水平部分(29)之间的旋转角的第二关节，和一个基本水平的轴线(P)第三关节，其通过给予水平部分的可移动自由度来改变水平部分的可到达范围。

