

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-187994

(P2019-187994A)

(43) 公開日 令和1年10月31日(2019.10.31)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
A 6 1 B 34/37 (2016.01)	A 6 1 B 34/37	
A 6 1 B 34/35 (2016.01)	A 6 1 B 34/35	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2018-86895 (P2018-86895)	(71) 出願人	000000974 川崎重工業株式会社 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(22) 出願日	平成30年4月27日 (2018.4.27)	(71) 出願人	514063179 株式会社メディカロイド 兵庫県神戸市中央区港島南町一丁目6番5号
		(74) 代理人	110000556 特許業務法人 有古特許事務所
		(72) 発明者	東條 剛史 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社内

最終頁に続く

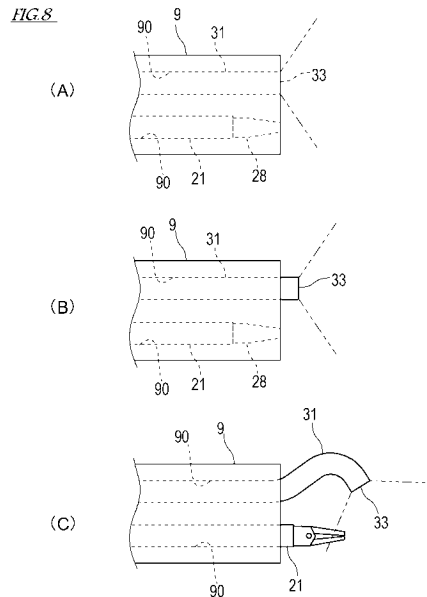
(54) 【発明の名称】 外科手術システム

(57) 【要約】

【課題】単孔式腹腔鏡下手術用の外科手術システムにおいて、術者の術具操作を支援する。

【解決手段】外科手術システムは、ロボット本体、スレーブコントローラ、内視鏡画像を表示するディスプレイ装置、及び操作入力装置を備える。ロボット本体は、複数のガイドポアを有するエントリーガイド、エントリーガイドを支持するエントリーガイド支持装置、遠位端部に手術器具が設けられ、エントリーガイドに挿入される器具マニピュレータ、及び、遠位端部に内視鏡カメラが設けられ、エントリーガイドに挿入される内視鏡マニピュレータを有する。スレーブコントローラは、操作入力装置が受け付けた体腔挿入指令にตอบสนองして、内視鏡カメラがエントリーガイドの出口から進出し且つ内視鏡カメラで撮像を開始してから、手術器具がエントリーガイドの出口から進出するように、ロボット本体を動作させる。

【選択図】 図8



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ロボット本体と、前記ロボット本体を制御するスレーブコントローラと、内視鏡画像を表示するディスプレイ装置と、術者から指令の入力を受け付けて前記スレーブコントローラへ伝達する操作入力装置とを備え、

前記ロボット本体は、

複数のガイドボアを有するエントリーガイドと、

前記エントリーガイドを支持するエントリーガイド支持装置と、

遠位端部に手術器具が設けられ、前記エントリーガイドの前記ガイドボアのうちの 1 つに挿入される器具マニピュレータと、

遠位端部に内視鏡カメラが設けられ、前記エントリーガイドの前記ガイドボアのうちの他の 1 つに挿入される内視鏡マニピュレータと、を有し、

前記操作入力装置は、体腔挿入指令の入力を受け付ける操作具を含み、

前記スレーブコントローラは、前記操作入力装置が受け付けた前記体腔挿入指令に応答して、前記内視鏡カメラが前記エントリーガイドの出口から進出し且つ前記内視鏡カメラで撮像を開始してから、前記手術器具が前記エントリーガイドの出口から進出するように、前記ロボット本体を動作させる、

外科手術システム。

【請求項 2】

前記スレーブコントローラは、前記手術器具が前記エントリーガイドの出口から進出を開始してからそれが前記内視鏡カメラの視野に入るまで、前記器具マニピュレータのうち前記エントリーガイドの出口から進出している部分が直線形状を維持するように前記ロボット本体を動作させる、

請求項 1 に記載の外科手術システム。

【請求項 3】

前記エントリーガイドにおいて、前記内視鏡マニピュレータの挿入された前記ガイドボアの遠位端部は、前記器具マニピュレータの挿入された前記ガイドボアの遠位端部よりも、前記エントリーガイドの近位側に位置し、

前記スレーブコントローラは、前記エントリーガイドの出口から進出を開始する前記手術器具が前記内視鏡カメラの視野に入る状態とし、その状態を維持しつつ、前記手術器具を前記エントリーガイドの出口から進出させるように、前記ロボット本体を動作させる、

請求項 1 に記載の外科手術システム。

【請求項 4】

前記スレーブコントローラは、前記器具マニピュレータが挿通されている前記ガイドボアの中心線から当該ガイドボアの半径方向外側への当該器具マニピュレータの張出量を求め、前記張出量が所定の張出量閾値を超えると、前記操作入力装置へ警告を出力する処理、前記ロボット本体の動作を一時停止させる処理、前記操作入力装置が受け付けた操作量に対応する前記器具マニピュレータの変位量の比率を低減する処理、及び、前記操作入力装置が受ける前記ガイドボアの半径方向外側への操作力に対し反力が付与されるように前記操作入力装置へ情報出力する処理のうち少なくとも 1 つの処理を行う、

請求項 1 又は 2 に記載の外科手術システム。

【請求項 5】

前記スレーブコントローラは、前記張出量の単位時間当たりの変化量を求め、前記変化量が大きくなるに従って前記張出量閾値が小さくなるような所定の対応関係に基づいて、前記変化量から前記張出量閾値を求める、

請求項 4 に記載の外科手術システム。

【請求項 6】

前記器具マニピュレータのうち、前記エントリーガイドの出口から進出する部分が 6 以上の自由度を有し、

前記操作入力装置がマニピュレータ復帰指令の入力を受け付ける操作具を含み、

10

20

30

40

50

前記スレーブコントローラが、前記操作入力装置が受け付けた前記マニピュレータ復帰指令に应答して、前記手術器具の姿勢を維持しつつ、前記器具マニピュレータのうち前記エントリーガイドの出口から進出している部分が直線状となるように、前記ロボット本体を動作させる、
請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の外科手術システム。

【請求項 7】

前記器具マニピュレータのうち、前記エントリーガイドの出口から進出する部分が 7 自由度を有し、

前記操作入力装置がマニピュレータ復帰指令の入力を受け付ける操作具を含み、

前記スレーブコントローラが、前記操作入力装置が受け付けた前記マニピュレータ復帰指令に应答して、前記手術器具の姿勢を維持しつつ、前記器具マニピュレータのうち前記エントリーガイドの出口から進出している部分が直線状となるように、前記ロボット本体を動作させる、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の外科手術システム。

【請求項 8】

前記器具マニピュレータが、周囲に触覚センサが配置された少なくとも 1 つの曲げ関節を有し、

前記スレーブコントローラは、前記触覚センサで検出された圧力が所定の圧力閾値を超えると、前記操作入力装置へ警告を出力する処理、前記ロボット本体の動作を一時停止させる処理、前記操作入力装置が受け付けた操作量に対応する前記器具マニピュレータの変位量の比率を低減する処理、及び、前記操作入力装置が受ける前記エントリーガイドの半径方向外側への操作力に対し反力が付与されるように前記操作入力装置へ情報を出力する処理のうち少なくとも 1 つの処理を行う、

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の外科手術システム。

【請求項 9】

前記器具マニピュレータが、前記手術器具と接続された手首部と、前記手首部と遠位リンクを介して接続された肘部と、前記肘部と中間リンクを介して接続された肩部と、肩部と接続された近位リンクとを有し、

前記肩部は、前記中間リンクと前記近位リンクとを曲げ回転可能に接続し、

前記スレーブコントローラが、前記肩部の曲げ可動範囲を、前記近位リンクの中心線の延長線上を 0 度とし、前記中間リンクを前記エントリーガイドの外周側へ向けて 0 度以上 90 度未満で回転させる範囲、及び、前記中間リンクを前記エントリーガイドの内周側へ向けて 0 度以上 30 度未満で回転させる範囲に制限する、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の外科手術システム。

【請求項 10】

前記器具マニピュレータが、前記手術器具と接続された手首部と、前記手首部と遠位リンクを介して接続された肘部と、前記肘部と中間リンクを介して接続された肩部と、肩部と接続された近位リンクとを有し、

前記手首部は前記遠位リンクと前記手首部とを曲げ回転可能に接続し、

前記スレーブコントローラが、前記手首部の曲げ可動範囲を、前記遠位リンクの中心線の延長線上を 0 度とし、前記手術器具を前記エントリーガイドの内周側へ向けて 0 度以上 100 度未満で回転させる範囲に制限する、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の外科手術システム。

【請求項 11】

前記器具マニピュレータが、前記手術器具と接続された手首部と、前記手首部と遠位リンクを介して接続された肘部と、前記肘部と中間リンクを介して接続された肩部と、肩部と接続された近位リンクとを有し、

前記近位リンクが、第 1 の近位リンクと、第 2 の近位リンクと、前記第 1 の近位リンクと前記第 2 の近位リンクとを曲げ回転可能に接続する補助関節とを含み、

前記スレーブコントローラが、前記手術器具が体腔内に挿入された後、術中に前記補助

関節が回転しないようにその動作を制限する、
請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の外科手術システム。

【請求項 1 2】

前記補助関節が、前記近位リンクのうち前記エントリーガイドに挿入されない部分、及び、前記近位リンクのうち前記エントリーガイドの出口から進出する部分のうち一方に位置する、
請求項 1 1 に記載の外科手術システム。

【請求項 1 3】

前記手術器具が、互いに独立して動作する一対のジョウを有する、
請求項 1 ~ 1 2 のいずれか一項に記載の外科手術システム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マスタースレイブ型の手術支援ロボットを含む外科手術システムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、マスタースレイブ型の手術支援ロボットを含む外科手術システムが知られている。外科手術システムを用いた手術では、術者がコンソールを用いて手術支援ロボットの動作を遠隔操作して、手術支援ロボットが患者の手術部位に施術する。例えば、特許文献 1

20

【0003】

特許文献 1 の遠隔操作手術システムは、単孔式腹腔鏡下手術を行うためのものである。この遠隔操作手術システムは、ペイシェントカート（手術支援ロボットに相当する）と、サージョンコンソールとを備える。ペイシェントカートは、マニピュレータに支持された複数の外科装置アセンブリを備える。外科装置アセンブリは、手術器具及び可動手首を含むインストルメント、インストルメントの駆動装置、及び、それらを連結する滅菌アダプタを含む。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

30

【特許文献 1】特表 2 0 1 6 - 5 3 0 0 0 4 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

単孔式腹腔鏡下手術では、患者の体表に挿入された単一のエントリーガイドに、複数の手術器具や内視鏡が挿入される。エントリーガイドの断面積は患者の負担を軽減するために小さいことが望ましく、その結果、エントリーガイドの入口及び出口において手術器具や内視鏡が集中する。従って、単孔式腹腔鏡下手術では、手術器具同士の干渉や作業スペースが狭小になることによって、従来の多孔式腹腔鏡下手術よりも術具操作が困難とされている。

40

【0006】

本発明は以上の事情に鑑みてされたものであり、その目的は、単孔式腹腔鏡下手術用の外科手術システムにおいて、手術器具同士の干渉を回避するように、術者の術具操作を支援することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様に係る外科手術システムは、ロボット本体と、前記ロボット本体を制御するスレーブコントローラと、内視鏡画像を表示するディスプレイ装置と、術者から指令の入力を受け付けて前記スレーブコントローラへ伝達する操作入力装置とを備える。前記ロボット本体は、複数のガイドポアを有するエントリーガイドと、前記エントリーガイド

50

を支持するエントリーガイド支持装置と、遠位端部に手術器具が設けられ、前記エントリーガイドの前記ガイドボアのうちの1つに挿入される器具マニピュレータと、遠位端部に内視鏡カメラが設けられ、前記エントリーガイドの前記ガイドボアのうちの他の1つに挿入される内視鏡マニピュレータと、を有する。前記操作入力装置は、体腔挿入指令の入力を受け付ける操作具を含み、前記スレーブコントローラは、前記操作入力装置が受け付けた前記体腔挿入指令に応答して、前記内視鏡カメラが前記エントリーガイドの出口から進出し且つ前記内視鏡カメラで撮像を開始してから、前記手術器具が前記エントリーガイドの出口から進出するように、前記ロボット本体を動作させる。

【0008】

上記外科手術システムによれば、術者は、内視鏡カメラで撮像された内視鏡画像を確認しながら、手術器具をエントリーガイドから患者の体腔へ進出させる操作を行うことができる。これにより、術者の手術器具同士や手術器具と患者組織との干渉を回避するような術具操作を支援することができる。

10

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、単孔式腹腔鏡下手術用の外科手術システムにおいて、手術器具同士の干渉を回避するように、術者の術具操作を支援することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、本発明の一実施形態に係る外科手術システムの全体的な概略構成を示す図である。

20

【図2】図2は、外科手術システムの制御システムの構成を示すブロック図である。

【図3】図3は、手術器具を有する器具マニピュレータの一例を示す図である。

【図4】図4の各図は器具マニピュレータの軸構成を説明する図であり、図4Aは6軸アームを備えた器具マニピュレータの図、図4Bは7軸アームを備えた器具マニピュレータの図である。

【図5】図5の各図は器具マニピュレータの補助関節の位置を説明する図であり、図5Aは補助関節がエントリーガイドよりも近位側にある器具マニピュレータの図、図5Bは補助関節がエントリーガイドよりも遠位側にある器具マニピュレータの図である。

【図6】図6の各図は手術器具の一例である鉗子の変態を説明する図であり、図6Aは物を把持している状態の鉗子を示す図、図6Bは把持していた物を離れた状態の鉗子を示す図、図6Cは把持していた物を離さずに移動させた状態の鉗子を示す図である。

30

【図7】図7は、内視鏡カメラを有する内視鏡マニピュレータの一例を示す図である。

【図8】図8の各図は器具マニピュレータ及び内視鏡マニピュレータがエントリーガイドから体腔へ進出する様子を説明する図であり、図8Aは器具マニピュレータ及び内視鏡マニピュレータがエントリーガイドから進出する前の状態を示す図、図8Bは内視鏡マニピュレータがエントリーガイドから進出を開始した状態を示す図、図8Cは器具マニピュレータがエントリーガイドから進出を開始した状態を示す図である。

【図9】図9は、エントリーガイドの変形例を示す図である。

【図10】図10は、器具マニピュレータの肩部の可動範囲を説明する図である。

40

【図11】図11は、器具マニピュレータの手首部の可動範囲を説明する図である。

【図12】図12は、器具マニピュレータの張出量を説明する図である。

【図13】図13は、触覚センサを備えた器具マニピュレータの手首部を示す図である。

【図14】図14は、図13におけるXIII-XIII矢視断面図である。

【図15】図15は、図14に示す触覚センサの変形例を示す図である。

【図16】図16は、触覚センサからの信号から発生する処理の流れを説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

次に、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明の一実施形態に

50

係る外科手術システム 100 の全体的な概略構成を示す図であり、図 2 は、外科手術システム 100 の制御システムの構成を示すブロック図である。図 1 及び図 2 に示す外科手術システム 100 は、単孔式腹腔鏡下手術を行うためのものであって、手術支援ロボット 1 と、コンソール 7 とを備える。但し、本発明に外科手術システム 100 は図 1, 2 に示す態様に限定されず、例えば、US 2016/0199138 A1 の図 2 に開示されるような公知の手術支援ロボットに、ディスプレイ装置と操作入力装置とを組み合わせるものに広く適用することができる。以下、本実施形態に係る外科手術システム 100 の各構成要素について詳細に説明する。

【0012】

〔手術支援ロボット 1〕

手術支援ロボット 1 は、外科手術システム 100 と患者 P とのインターフェースを構成する。手術支援ロボット 1 は、滅菌野である手術室内において患者 P が横たわる手術台の傍らに配置される。

10

【0013】

手術支援ロボット 1 は、ロボット本体 2 と、スレーブコントローラ 3 とを備える。ロボット本体 2 は、複数の手術マニピュレータ 20 と、単一のエントリーガイド 9 と、患者 P に対し手術マニピュレータ 20 及びエントリーガイド 9 を位置決めするポジショナ 10 とを含む。

【0014】

エントリーガイド 9 は、患者 P の体表に留置されたカニューレ（図示略）に取り付けられている。エントリーガイド 9 には、所定の送入軸方向に延びる、平行な複数のガイドボア 90（図 8、参照）を有する。各ガイドボア 90 に、手術マニピュレータ 20 が個別に挿入される。ポジショナ 10 は、エントリーガイド 9 を支持するエントリーガイド支持装置としての機能を有する。

20

【0015】

ポジショナ 10 は、台車 11 に支持された水平多関節型マニピュレータ 12 と、水平多関節型マニピュレータ 12 の遠位端部に設けられた支持部材 12b と、この支持部材 12b を介して水平多関節型マニピュレータ 12 に支持された垂直多関節型マニピュレータ 13 と、垂直多関節型マニピュレータ 13 の遠位端部に設けられた支持フレーム 14 とを含む。但し、ポジショナ 10 の構成は本実施形態に限定されず、エントリーガイド 9 を目標位置（姿勢を含む）へ良好な精度で位置決めできるものであればよい。このようなポジショナ 10 は、例えば、ここに参照により引用する特開 2017-104453 号公報に記載されている。

30

【0016】

支持フレーム 14 はチャンネル型を呈し、一方の端部と他方の端部とが間をおいて対峙している。支持フレーム 14 の一方の端部には、エントリーガイド 9 を支持するエントリーガイド支持部 14b が設けられている。また、支持フレーム 14 の他方の端部には、手術マニピュレータ支持部 14a が設けられている。手術マニピュレータ支持部 14a とエントリーガイド支持部 14b の相対位置は可変であってもよいし、一定であってもよい。

40

【0017】

手術マニピュレータ支持部 14a には、複数の手術マニピュレータ 20 を纏めて支持する支持ブロック 15 が設けられている。複数の手術マニピュレータ 20 は、手術器具 28 を有する器具マニピュレータ 21 と、内視鏡カメラ 33 を有する内視鏡マニピュレータ 31 とを含む。

【0018】

（器具マニピュレータ 21）

図 3 は、手術器具 28 を有する器具マニピュレータ 21 の一例を示す図である。図 3 に示す器具マニピュレータ 21 は、並進ユニット 22、駆動ユニット 23、伝動ユニット 25、細長い中空シャフト状のアーム 26、手首部 27、及び、エンドエフェクタとしての手術器具 28 が、近位端部から遠位端部に向かって順に接続されて成る。なお、「近位」

50

という用語は、台車 1 1 からロボット本体 2 の或る部分までのロボット本体 2 に沿った距離が、台車 1 1 からロボット本体 2 の他の部分までのロボット本体 2 に沿った距離よりも小さいことを指す。また、「遠位」という用語は、台車 1 1 からロボット本体 2 の或る部分までのロボット本体 2 に沿った距離が、台車 1 1 からロボット本体 2 の他の部分までのロボット本体 2 に沿った距離よりも大きいことを指す。なお、手術マニピュレータ支持部 1 4 a とエントリーガイド支持部 1 4 b については、前者が後者に対して近位であり、後者が前者に対して遠位であるとする。

【 0 0 1 9 】

並進ユニット 2 2 は、器具マニピュレータ 2 1 において並進関節を形成する。並進ユニット 2 2 は、所謂直動装置であって、例えば、電動式のリニアスライドシリンダであってよい。並進ユニット 2 2 は、支持ブロック 1 5 に固定されている。並進ユニット 2 2 のスライダには、駆動ユニット 2 3 が取り付けられている。伝動ユニット 2 5、アーム 2 6、手首部 2 7、及び手術器具 2 8 は一体的に構成されており、伝動ユニット 2 5 はアダプタ 2 4 a, 2 4 b を介して駆動ユニット 2 3 に脱着可能に接続される。並進ユニット 2 2 として、電動式のリニアスライドシリンダの他にモータ付きのボールスクリュウ、モータ付きのラックピニオン又はリニアモータが採用されてもよい。

10

【 0 0 2 0 】

並進ユニット 2 2 の動作によって、器具マニピュレータ 2 1 の並進ユニット 2 2 を除く部分が、エントリーガイド 9 の挿入軸方向と平行に移動する。このような器具マニピュレータ 2 1 の並進移動により、エントリーガイド 9 のガイドボア 9 0 に器具マニピュレータ 2 1 のアーム 2 6、手首部 2 7、及び手術器具 2 8 を含む遠位部分を挿入し、また、ガイドボア 9 0 に挿入された器具マニピュレータ 2 1 の遠位部分を患者 P の体腔へ進出させたり体腔から後退させたりすることができる。

20

【 0 0 2 1 】

アーム 2 6 は、順に接続された、近位リンク 2 6 5、中間リンク 2 6 6、及び遠位リンク 2 6 7 を含む。これらのリンクは、中空状の直管で構成される。図 4 A に示すように、近位リンク 2 6 5 と中間リンク 2 6 6 との間は、ねじれ関節及び曲げ関節を含む肩部 2 6 2 で接続されている。中間リンク 2 6 6 と遠位リンク 2 6 7 との間は、曲げ関節を含む肘部 2 6 3 で接続されている。但し、図 4 B に示すように、肘部 2 6 3 が曲げ関節及びねじれ関節を含んでもよい。

30

【 0 0 2 2 】

近位リンク 2 6 5 は、第 1 の近位リンク 2 6 5 a と、第 2 の近位リンク 2 6 5 b と、第 1 の近位リンク 2 6 5 a と第 2 の近位リンク 2 6 5 b との間を曲げ回転可能に接続する補助関節 2 6 1 を含んでいてよい。図 5 A に示すように、補助関節 2 6 1 は、アーム 2 6 のうちエントリーガイド 9 に挿入されない近位部分に設けられていてよい。或いは、図 5 B に示すように、補助関節 2 6 1 は、アーム 2 6 のうちエントリーガイド 9 の出口から体腔へ進出する遠位部分に設けられていてよい。補助関節 2 6 1 は、器具マニピュレータ 2 1 が体腔内へ挿入された後、施術中には動きが固定される。補助関節 2 6 1 の動きの固定はブレーキの使用や、補助関節 2 6 1 の姿勢を維持する制御によって行われる。

40

【 0 0 2 3 】

図 3 に戻って、アーム 2 6 の遠位端部は手首部 2 7 の近位端部と接続されている。手首部 2 7 の遠位端部は、手術器具 2 8 の近位端部と接続されている。図 4 A に示すように、手首部 2 7 は、遠位側から順に接続された、曲げ関節及びねじれ関節を含む。

【 0 0 2 4 】

肘部 2 6 3 及び肩部 2 6 2 は、近位リンク 2 6 5 (第 2 の近位リンク 2 6 5 b) と遠位リンク 2 6 7 とが平行を維持するように連動してもよい。肘部 2 6 3 及び肩部 2 6 2 を連動させる機構は、ここに参照により引用する US 2 0 1 7 / 0 5 6 1 1 8 A 1 に記載されている。或いは、肘部 2 6 3 及び肩部 2 6 2 が独立して動作して、近位リンク 2 6 5 と遠位リンク 2 6 7 とが非平行となってもよい。

50

【 0 0 2 5 】

アーム 2 6 及び手首部 2 7 に含まれる曲げ関節は、例えば、板厚方向に直列的に並べられた複数の板状のセグメントと、複数のセグメントに亘って板厚方向に挿通された操作ケーブルとによって実現されてよい。このような曲げ関節は、例えば、ここに参照により引用する国際公開 W O 2 0 1 7 / 0 0 6 3 7 3 A 1 に記載されている。但し、アーム 2 6 及び手首部 2 7 に含まれる曲げ関節は上記構成に限定されず、公知の曲げ関節構造を採用してもよい。

【 0 0 2 6 】

アーム 2 6 及び手首部 2 7 に含まれるねじれ関節は、例えば、内外二重筒と、外筒に対し内筒を回転させる操作ケーブルによって実現されてよい。このようなねじれ関節は、例えば、ここに参照により引用する国際公開 W O 2 0 1 7 / 0 0 6 3 7 4 A 1 に記載されている。但し、アーム 2 6 及び手首部 2 7 に含まれるねじれ関節は上記構成に限定されず、公知のねじれ関節構造を採用してもよい。

10

【 0 0 2 7 】

手術器具 2 8 は、患者 P の腹腔における手術部位に挿入され、手術部位における目標組織の所望の処理又は医療機能を実行するために腹腔の外側から駆動可能な実際の被操作部を意味する。図 6 の各図に例示された手術器具 2 8 は、一对のジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を備えている。各ジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b は独立した駆動系統を有し、独立して動作する。例えば、各ジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b には独立した操作ケーブル 2 8 2 a , 2 8 2 b が接続されている。このような一对のジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を備えた手術器具 2 8 では、図 6 A に示すように、ジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b の遠位端部が互いに近づくように各ジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を反対方向に回転させて、一对のジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b で物を把持することができる。把持している状態 (図 6 A) から、図 6 B に示すように、ジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b の遠位端部が互いに離れるように各ジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を反対方向に回転させて、把持していたものを離すことができる。また、把持している状態 (図 6 A) から、図 6 C に示すように、各ジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を同じ方向に回転させて、アーム 2 6 や手首部 2 7 を動かさずに把持している物を移動させることができる。但し、手術器具 2 8 は、上記構成に限定されない。例えば、手術器具 2 8 の一对のジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b が一つの駆動系統によって連動するように構成されていてもよい。この場合の駆動系統についての説明は、特開 2 0 0 9 2 5 4 7 6 1 号公報を参照により引用する。

20

30

【 0 0 2 8 】

手術器具 2 8 は、鉗子、把持器、鉗、ステープラ、針保持器、及び電気メスなどの外科器具であってよい。また、手術器具 2 8 は、電子外科電極、トランスデューサ、センサなどの電氣的に駆動される機器であってよい。また、手術器具 2 8 は、吸入、ガス注入、洗浄、処理流体、アクセサリ導入、生検摘出などのための流体を供給するノズルであってよい。

【 0 0 2 9 】

手首部 2 7 及びアーム 2 6 は中空状であって、手術器具 2 8 、手首部 2 7 、及びアーム 2 6 の操作ケーブルや各種ケーブルは手首部 2 7 及びアーム 2 6 の中を通して伝動ユニット 2 5 まで延びている。伝動ユニット 2 5 には、各操作ケーブルに対し、操作ケーブルを巻き掛けた駆動ディスク (図示略) が設けられている。各駆動ディスクには、駆動ユニット 2 3 内に設けられたサーボモータなどの駆動源 (図示略) からアダプタ 2 4 a , 2 4 b を介してトルクが伝達される。駆動ディスクの回転により操作ケーブルが弛緩される又は引っ張られることにより、手術器具 2 8 、手首部 2 7 、及びアーム 2 6 が動作する。

40

【 0 0 3 0 】

(内視鏡マニピュレータ 3 1)

図 7 は、内視鏡カメラ 3 3 を有する内視鏡マニピュレータ 3 1 の一例を示す図である。図 7 に示す内視鏡マニピュレータ 3 1 は、遠位端部に対物レンズやライトガイドを含む内視鏡カメラ 3 3 が設けられている。

【 0 0 3 1 】

50

内視鏡マニピュレータ31は、遠位端部に設けられた手術器具28を除いて、器具マニピュレータ21と実質的に同様の構成を有している。即ち、上記の器具マニピュレータ21の説明において、遠位端部に設けられた手術器具28を内視鏡カメラ33に読み替えることによって、内視鏡マニピュレータ31の構成を説明できる。以上から、内視鏡カメラ33を含む内視鏡マニピュレータ31の構成についての詳細な説明は、前述の器具マニピュレータ21の説明を参照することによって省略する。なお、本実施形態に係る手術支援ロボット1は、内視鏡マニピュレータ31と器具マニピュレータ21とが類似する軸構造を有するが、内視鏡マニピュレータ31は器具マニピュレータ21と異なる軸構造を有していてもよい。

【0032】

(スレーブコントローラ3)

スレーブコントローラ3は、コンソール7と通信可能に接続されている。スレーブコントローラ3は、コンソール7が受け付けた指令に応答して手術支援ロボット1のロボット本体2を動作させる。また、スレーブコントローラ3は、コンソール7で内視鏡カメラ33の内視鏡画像を表示させたり、コンソール7にロボット本体2の動作に対応した動作を行わせたりするために、コンソール7に情報を送信する。

【0033】

スレーブコントローラ3は、いわゆるコンピュータであって、CPU等の演算処理部、ROM、RAM等の記憶部を有している(いずれも図示略)。記憶部には、演算処理部が実行するプログラム、各種固定データ等が記憶されている。演算処理部は、コンソール7を含む他の装置とのデータ送受信を行う。また、演算処理部は、各種センサからの検出信号の入力や各制御対象への制御信号の出力を行う。スレーブコントローラ3では、記憶部に記憶されたプログラム等のソフトウェアを演算処理部が読み出して実行することにより、後述するスレーブコントローラ3としての機能を実現するための処理が行われる。なお、スレーブコントローラ3は単一のコンピュータによる集中制御により各処理を実行してもよいし、複数のコンピュータの協働による分散制御により各処理を実行してもよい。また、スレーブコントローラ3は、マイクロコントローラ、プログラマブルロジックコントローラ(PLC)等から構成されていてもよい。

【0034】

スレーブコントローラ3は、エントリーガイド9を所定の位置及び姿勢に位置決めするように、ポジショナ10の動作を制御するポジショナ制御機能を有する。ポジショナ10の水平多関節型マニピュレータ12及び垂直多関節型マニピュレータ13は、各関節について設けられたサーボモータ、各関節の回転位置を検出する回転センサ、及び、サーボモータの動力を関節へ伝達する動力伝達機構を含む駆動部を備える(いずれも図示略)。

【0035】

スレーブコントローラ3は、各器具マニピュレータ21の動作を制御する手術器具制御機能を有する。より詳細には、スレーブコントローラ3は、手術器具28の動作を制御する機能と、手術器具28を指令と対応する位置及び姿勢とさせるように器具マニピュレータ21の動作を制御する機能とを有する。各器具マニピュレータ21は、各関節について設けられたサーボモータ、モータの回転位置を検出する回転センサ、及び、サーボモータの動力を関節へ伝達する動力伝達機構を含む駆動部を備える(いずれも図示略)。

【0036】

スレーブコントローラ3は、内視鏡マニピュレータ31の動作を制御する内視鏡制御機能を有する。より詳細には、スレーブコントローラ3は、内視鏡カメラ33の動作を制御する機能と、内視鏡カメラ33を指令と対応する位置及び姿勢とさせるように内視鏡マニピュレータ31の動作を制御する機能とを有する。内視鏡マニピュレータ31は、各関節について設けられたサーボモータ、モータの回転位置を検出する回転センサ、及び、サーボモータの動力を関節へ伝達する動力伝達機構を含む駆動部を備える(いずれも図示略)。

【0037】

10

20

30

40

50

〔コンソール 7〕

コンソール 7 は、外科手術システム 100 と術者 S のインターフェースを構成し、手術支援ロボット 1 を操作するための装置である。コンソール 7 は、手術室内において手術台の傍らに又は手術台から離れて、或いは、手術室外に設置されている。

【0038】

コンソール 7 は、術者 S からの指令の入力を受け付けるための操作入力装置 71 と、内視鏡カメラ 33 で撮像された画像を表示するディスプレイ装置 73 と、マスタコントローラ 8 とを含む。操作入力装置 71 は、左右一対のマスタマニピュレータ 72 L, 72 R、及び操作用ペダル 75 を含む。マスタコントローラ 8 は、スレーブコントローラ 3 と同様に、コンピュータ等で構成されてよい。このようなコンソール 7 は、例えば、ここに参照により引用する特開 2017-189495 号公報に記載されている。

10

【0039】

左右一対のマスタマニピュレータ 72 L, 72 R は、各々の遠位端部に操作部が設けられており、術者 S は操作部に操作力を与える。本実施形態において、左右一対のマスタマニピュレータ 72 L, 72 R は、内視鏡カメラ 33 や手術器具 28 の位置や姿勢の移動指令を受け付ける操作具である。また、操作用ペダル 75 は、例えば、内視鏡カメラ 33 のズームや、制御モードの切り替え、左右一対のマスタマニピュレータ 72 L, 72 R と対応づける器具マニピュレータ 21 の切り替えなどの指令を受け付ける操作具である。操作入力装置 71 は、手術器具 28 の体腔挿入指令の入力を受け付ける操作具、マニピュレータ復帰指令の入力を受け付ける操作具などを更に含む。これらの操作具を、マスタマニピュレータ 72 L, 72 R 及び操作用ペダル 75 のうちいずれか一方が兼用していてもよいし、レバー、ボタン、タッチパネル、ジョイスティック、モーションキャプチャなどの公知の操作具が設けられていてもよい。操作入力装置 71 は、術者 S の操作力に対する反力を操作部に与えるための駆動機構（図示略）を有していてもよい。

20

【0040】

術者 S は、ディスプレイ装置 73 に表示された内視鏡画像で患部を確認しながら、マスタマニピュレータ 72 L, 72 R の操作部を直接的に動かすことによって、スレーブマニピュレータの遠位端部に設けられたエンドエフェクタの移動を指令する。スレーブマニピュレータは、例えば、操作用ペダル 75 の操作によって、マスタマニピュレータ 72 L, 72 R と対応づけられた器具マニピュレータ 21 又は内視鏡マニピュレータ 31 であり、エンドエフェクタは、即ち、手術器具 28 又は内視鏡カメラ 33 である。

30

【0041】

マスタコントローラ 8 は、画像処理部 800、入力処理部 801、移動指令生成部 802、マスタ位置指令生成部 803、及び、マスタドライバ 804 を含む。入力処理部 801 は、マスタマニピュレータ 72 L, 72 R の各関節に対応して設けられた回転センサから各関節の回転角度を求め、各関節の回転角度から操作部の位置及び速度（移動速度）を求める。移動指令生成部 802 は、入力処理部 801 から取得した操作部の位置及び速度に基づいて、スレーブマニピュレータに対する位置及び速度を含む移動指令を生成する。生成された移動指令は、スレーブコントローラ 3 へ伝達される。

【0042】

スレーブコントローラ 3 は、画像取得部 300、スレーブ位置指令生成部 301、及び、スレーブドライバ 302 を含む。画像取得部 300 は、内視鏡カメラ 33 が撮像した画像データを取得してマスタコントローラ 8 の画像処理部 800 へ伝達する。スレーブ位置指令生成部 301 は、移動指令生成部 802 から取得した移動指令からスレーブ位置指令を生成する。スレーブ位置指令には、予め設定された移動範囲の制限や移動速度の制限などが適用されてもよい。スレーブドライバ 302 は、スレーブマニピュレータの各関節に対応して設けられた回転センサから各関節位置を求め、スレーブ位置指令と各関節位置から各関節の駆動トルクを求め、対応する関節を駆動するサーボモータに駆動トルクに対応する電流を供給する。その結果、スレーブマニピュレータがマスタマニピュレータ 72 L, 72 R の操作部の動きと対応して動作する。

40

50

【 0 0 4 3 】

一方、スレーブ位置指令生成部 3 0 1 で生成されたスレーブ位置指令は、マスタコントローラ 8 のマスタ位置指令生成部 8 0 3 へ伝達される。マスタ位置指令生成部 8 0 3 は、取得したスレーブ位置指令、及び、移動指令生成部 8 0 2 から取得した移動指令に基づいて、マスタマニピュレータ 7 2 L , 7 2 R の操作部がスレーブマニピュレータのエンドエフェクタと対応する位置及び姿勢となるように、マスタ位置指令を生成する。マスタ位置指令には、後述する反力が含まれる。マスタドライバ 8 0 4 は、マスタ位置指令とマスタマニピュレータ 7 2 L , 7 2 R の各関節位置から各関節の駆動トルクを求め、対応する関節モータに駆動トルクに対応する電流を供給する。その結果、マスタマニピュレータ 7 2 L , 7 2 R の操作部の位置及び姿勢がスレーブマニピュレータのエンドエフェクタの位置及び姿勢と対応して動作する。

10

【 0 0 4 4 】

〔 外科手術システム 1 0 0 の動作例 〕

上記構成の外科手術システム 1 0 0 では、コンソール 7 で受け付けた指令がスレーブコントローラ 3 に入力される。スレーブコントローラ 3 は、コンソール 7 が受け付けた指令に応答して、例えば、以下に示すようにロボット本体 2 を動作させる。

【 0 0 4 5 】

(エントリーガイド 9 の位置決め動作)

スレーブコントローラ 3 は、コンソール 7 で受け付けたエントリーガイド 9 の位置決め指令に応答して、患者 P の体表に留置されたカニューレに対しエントリーガイド 9 が所定の位置及び姿勢に位置決めされるように、ポジショナ 1 0 を動作させる。エントリーガイド 9 が位置決めされると、複数の手術マニピュレータ 2 0 も自動的に位置決めされる。

20

【 0 0 4 6 】

(手術器具 2 8 の体腔挿入動作)

スレーブコントローラ 3 は、コンソール 7 で受け付けた手術器具 2 8 の体腔挿入指令に応答して、内視鏡カメラ 3 3 及び手術器具 2 8 が体腔へ挿入されるように、各々の並進ユニット 2 2 を動作させる。内視鏡カメラ 3 3 が体腔へ挿入される所定のタイミングで、スレーブコントローラ 3 は内視鏡カメラ 3 3 での撮像を開始する。

【 0 0 4 7 】

ここで、図 8 A ~ C を参照して、内視鏡カメラ 3 3 及び手術器具 2 8 を体腔内に進出させるときのロボット本体 2 の動作を説明する。図 8 の各図は器具マニピュレータ 2 1 及び内視鏡マニピュレータ 3 1 がエントリーガイド 9 から体腔へ進出する様子を説明する図であり、図 8 A は器具マニピュレータ 2 1 及び内視鏡マニピュレータ 3 1 がエントリーガイド 9 から進出する前の状態を示す図、図 8 B は内視鏡マニピュレータ 3 1 がエントリーガイド 9 から進出を開始した状態を示す図、図 8 C は器具マニピュレータ 2 1 がエントリーガイド 9 から進出を開始した状態を示す図である。

30

【 0 0 4 8 】

図 8 A に示すように、体腔へ進出する前の器具マニピュレータ 2 1 及び内視鏡マニピュレータ 3 1 は、エントリーガイド 9 の異なるガイドボア 9 0 内で待機している。

【 0 0 4 9 】

図 8 B に示すように、手術器具 2 8 よりも先に内視鏡カメラ 3 3 がエントリーガイド 9 の出口から体腔へ進出する。内視鏡カメラ 3 3 の撮像開始のタイミングは、内視鏡カメラ 3 3 がエントリーガイド 9 内にあるとき (図 8 A)、又は、内視鏡カメラ 3 3 がエントリーガイド 9 から進出を開始したとき (図 8 B) である。ここで、並進ユニット 2 2 とエントリーガイド 9 との相対的位置関係は既知であるので、スレーブコントローラ 3 は、並進ユニット 2 2 による内視鏡マニピュレータ 3 1 の挿脱方向の変位量に基づいて、エントリーガイド 9 と相対的な内視鏡マニピュレータ 3 1 の位置を求めることができる。

40

【 0 0 5 0 】

上記のように、内視鏡カメラ 3 3 が撮像を開始した後で、図 8 C に示すように、器具マニピュレータ 2 1 の遠位端部に設けられた手術器具 2 8 がエントリーガイド 9 の出口から

50

体腔へ進出する。ここで、並進ユニット 2 2 とエントリーガイド 9 との相対的位置関係は既知であるので、スレーブコントローラ 3 は、並進ユニット 2 2 による器具マニピュレータ 2 1 の挿脱方向の変位量に基づいて、エントリーガイド 9 と相対的な器具マニピュレータ 2 1 の位置を求めることができる。

【 0 0 5 1 】

スレーブコントローラ 3 は、手術器具 2 8 が体腔へ進出を開始してから手術器具 2 8 が内視鏡カメラ 3 3 の視野に入るまでの間、器具マニピュレータ 2 1 のうちエントリーガイド 9 の出口から体腔へ進出している部分が直線形状を維持するように、器具マニピュレータ 2 1 の動作を制御する。ここで、スレーブコントローラ 3 (又は、マスタコントローラ 8) は、手術器具 2 8 及び内視鏡カメラ 3 3 の位置姿勢情報と、内視鏡カメラ 3 3 の視野の情報に基づいて、手術器具 2 8 が内視鏡カメラ 3 3 の視野に入ったことを判断する。スレーブコントローラ 3 (又は、マスタコントローラ 8) は、内視鏡カメラ 3 3 で撮像された内視鏡画像を解析し、内視鏡画像に写る手術器具 2 8 を認識することによって、手術器具 2 8 が内視鏡カメラ 3 3 の視野に入ったことを判断してもよい。

10

【 0 0 5 2 】

エントリーガイド 9 の出口から体腔へ進出を開始する手術器具 2 8 を内視鏡カメラ 3 3 の視野に入れるために、エントリーガイド 9 において、内視鏡マニピュレータ 3 1 の挿入されたガイドボア 9 0 の遠位端部が、器具マニピュレータ 2 1 の挿入されたガイドボア 9 0 の遠位端部よりもエントリーガイド 9 の近位側に位置するようにしてもよい。図 9 は、エントリーガイド 9 の変形例を示す図である。図 9 に示すエントリーガイド 9 では、エントリーガイド 9 の遠位端部の一部分が切り欠かれることによって、内視鏡マニピュレータ 3 1 の挿入されたガイドボア 9 0 b の遠位端部が、器具マニピュレータ 2 1 の挿入されたガイドボア 9 0 a の遠位端部よりも、エントリーガイド 9 の近位側に位置している。これにより、内視鏡マニピュレータ 3 1 のエントリーガイド 9 の出口 9 5 は、器具マニピュレータ 2 1 のエントリーガイド 9 の出口よりもエントリーガイド 9 において近位側に位置する。これにより、エントリーガイド 9 の出口 9 5 から進出した内視鏡マニピュレータ 3 1 の手首部 2 7 を動かして、器具マニピュレータ 2 1 のエントリーガイド 9 の出口を内視鏡カメラ 3 3 の視野に入れることができる。そして、エントリーガイド 9 の出口から体腔へ進出を開始する手術器具 2 8 が内視鏡カメラ 3 3 の視野に入る状態とし、その状態を維持しつつ、手術器具 2 8 をエントリーガイド 9 の出口から体腔へ進出させることによって、手術器具 2 8 が体腔内へ進出を開始する時点から手術器具 2 8 を内視鏡画像で確認しながら操作することができる。

20

30

【 0 0 5 3 】

(手術器具 2 8 の手術動作)

スレーブコントローラ 3 は、コンソール 7 が受け付けた指令に応答して、体腔へ挿入されている手術器具 2 8 の位置及び姿勢を変化させるように、器具マニピュレータ 2 1 を動作させる。

【 0 0 5 4 】

単一のエントリーガイド 9 に複数の器具マニピュレータ 2 1 が挿入されていることから、各器具マニピュレータ 2 1 は、原則として、肘部 2 6 3 をエントリーガイド 9 の横断面における半径方向外側へ向けて移動させるように動作する。

40

【 0 0 5 5 】

図 1 0 は、器具マニピュレータ 2 1 の肩部 2 6 2 の可動範囲 s を説明する図である。図 1 0 に示すように、肩部 2 6 2 の近位端部と接続された近位リンク 2 6 5 の中心線 $L 1$ の延長線上を 0 度と規定する。近位リンク 2 6 5 の中心線 $L 1$ は、近位リンク 2 6 5 の横断面中央を通り、近位リンク 2 6 5 の長手方向と平行な直線である。スレーブコントローラ 3 は、肩部 2 6 2 の可動範囲 s を、肩部 2 6 2 の遠位端部と接続された中間リンク 2 6 6 の中心線 $L 2$ をエントリーガイド 9 の外周側へ向けて 0 度以上 9 0 度未満、より望ましくは 0 度以上 5 0 度未満で回転させる範囲 (1)、及び、中間リンク 2 6 6 の中心線 $L 2$ をエントリーガイド 9 の内周側へ向けて 0 度以上 3 0 度未満で回転させる範囲 (2

50

）に制限する。中間リンク 266 の中心線は、中間リンク 266 の横断面中央を通り、中間リンク 266 の長手方向と平行な直線である。なお、上記において「エントリーガイド 9 の外周側へ向けて」とは、器具マニピュレータ 21 が挿入されているガイドボア 90 から見て、エントリーガイド 9 の外周側へ向かう方向を意味する。同様に、「エントリーガイド 9 の内周側へ向けて」とは、器具マニピュレータ 21 が挿入されているガイドボア 90 から見て、エントリーガイド 9 の内周側へ向かう方向を意味する。このように、近位リンク 265 の長手方向と中間リンク 266 の長手方向とが平行になる状態から、近位リンク 265 に対して中間リンク 266 を回転させる場合に、一方側への可動範囲を他方側への可動範囲よりも小さくしている。より具体的には、近位リンク 265 の長手方向と中間リンク 266 の長手方向とが平行となる状態から、近位リンク 265 に対して中間リンク 266 を回転させる場合に、エントリーガイド 9 の内周側への可動範囲をエントリーガイド 9 の外周側への可動範囲よりも小さくしている。

10

【0056】

図 11 は、器具マニピュレータ 21 の手首部 27 の可動範囲 w を説明する図である。図 11 に示すように、手首部 27 の近位端部と接続された遠位リンク 267 の中心線 L3 の延長線上を 0 度と規定する。遠位リンク 267 の中心線 L3 は、遠位リンク 267 の横断面中央を通り、遠位リンク 267 の長手方向と平行な直線である。スレーブコントローラ 3 は、手首部 27 の可動範囲 w を、手術器具 28 の中心線 L4 をエントリーガイド 9 の内周側へ向けて 0 度以上 100 度未満、望ましくは、0 度以上 90 度未満で回転させる範囲 (3) に制限する。手術器具 28 の中心線 L4 は、手術器具 28 の近位端部と遠位端部とを通る直線である。このように、遠位リンク 267 の長手方向と手術器具 28 の中心線 L4 の方向とが平行になる状態から、遠位リンク 267 に対して手術器具 28 を回転させる場合に、一方側への可動範囲を他方側への可動範囲よりも小さくしている。より具体的には、遠位リンク 267 の長手方向と手術器具 28 の中心線 L4 の方向とが平行になる状態から、遠位リンク 267 に対して手術器具 28 を回転させる場合に、エントリーガイド 9 の内周側への可動範囲をエントリーガイド 9 の外周側への可動範囲よりも大きくしている。

20

【0057】

スレーブコントローラ 3 は、移動指令に応答して器具マニピュレータ 21 を動作させるに際し、上記のように手首部 27 及び肩部 262 の可動範囲を制限することに加えて、器具マニピュレータ 21 の張出量 W を制限する。

30

【0058】

図 12 は、器具マニピュレータ 21 の張出量 W を説明する図である。図 12 に示すように、器具マニピュレータ 21 のエントリーガイド 9 の出口から体腔に進出している部分のうち、器具マニピュレータ 21 が挿通されているガイドボア 90 の中心線 L0 から当該ガイドボア 90 の半径方向外側へ最も離れた点を「最外点 P_e 」とする。そして、ガイドボア 90 の中心線 L0 から最外点 P_e までの距離を「張出量 W 」とする。スレーブコントローラ 3 は、駆動ユニット 23 による操作ケーブルの操作量に基づいて、器具マニピュレータ 21 の張出量 W を求めることができる。器具マニピュレータ 21 の肘部 263 のうち、器具マニピュレータ 21 が挿通されているガイドボア 90 の中心線 L0 から当該ガイドボア 90 の横断面における半径方向外側へ最も離れた点を「最外点 P_e 」としてもよい。肘部 263 は内視鏡カメラ 33 の死角に入ることが多い。

40

【0059】

スレーブコントローラ 3 は、演算により求めた張出量 W と予め記憶された所定の張出量閾値 W_t とを比較し、張出量 W が張出量閾値 W_t を超えると、所定の処理を行う。張出量閾値 W_t は、限界値 W_{limit} よりも小さい。このスレーブコントローラ 3 が行う所定の処理は、コンソール 7 へ警告を出力する処理、ロボット本体 2 の動作を一時停止させる処理、コンソール 7 が受け付けた操作量に対応する器具マニピュレータ 21 の変位量の比率 (スケール) を低減する処理、及び、操作入力装置 71 が受ける操作力であって、張出量 W を増加させる操作力に対し反力が付与されるようにコンソール 7 へ情報を出力する処理のうち少なくとも 1 つを含む。スレーブコントローラ 3 は、ロボット本体 2 の動作を一時停止さ

50

せた場合は、コンソール7が受け付けた停止解除指令に応答して、停止していたロボット本体2の動作を再開させる。

【0060】

上記において、スレーブコントローラ3は、更に、張出力Wを時間微分して、張出力Wの単位時間当たりの変化量（張出力変化量 W ）を求めることができる。スレーブコントローラ3には、張出力変化量 W が大きくなるに従って張出力閾値 W_t が小さくなるような所定の対応関係が記憶されている。そして、スレーブコントローラ3は、求めた張出力変化量 W に基づいて張出力閾値 W_t を求め、これを上述の張出力Wを制限する制御に利用してよい。

【0061】

器具マニピュレータ21は、器具マニピュレータ21のうちエントリーガイド9の出口から体腔へ進出する部分が冗長自由度を有していてもよい。図4Aに示す器具マニピュレータ21の肘部263及び肩部262が、近位リンク265（第2の近位リンク265b）と遠位リンク267とが平行を維持するように連動し、一对のジョウが独立して動作しない場合、器具マニピュレータ21のうちエントリーガイド9の出口から体腔へ進出する部分が6自由度を有している。図4Aに示す器具マニピュレータ21では、手術器具28の位置及び姿勢によって手首部27の位置が決まるので、肘部263の張出力Wが大きくなることがある。これに対し、図4Bに示す器具マニピュレータ21では、器具マニピュレータ21のうちエントリーガイド9の出口から体腔へ進出する部分が7自由度を有している。7自由度のうち1つは冗長自由度となる。図4Bに示す器具マニピュレータ21では、この冗長自由度によって肘部263の張出力Wを抑えるような器具マニピュレータ21の姿勢が実現できる。なお、肘部263及び肩部262を独立して動作させたり、一对のジョウを独立して動作させることによっても自由度を増やすことができる。

【0062】

上記のように、器具マニピュレータ21は、器具マニピュレータ21のうちエントリーガイド9の出口から体腔へ進出する部分に多数の回転軸が設けられて、複雑な姿勢を採りうる。そこで、術者Sがコンソール7に設けられたマニピュレータ復帰指令ボタン（図示略）を操作することにより、器具マニピュレータ21の多数の回転軸が基準状態に復帰する。具体的には、コンソール7がマニピュレータ復帰指令を受け付けると、スレーブコントローラ3はそれに応答して、器具マニピュレータ21が予め設定された姿勢になるように、ロボット本体2を動作させる。このとき、スレーブコントローラ3は、手術器具28の姿勢を維持したまま手術器具28以外の部分が予め設定された姿勢になるように、ロボット本体2を動作させてもよい。例えば、予め設定された姿勢として、器具マニピュレータ21のうちエントリーガイド9の出口から体腔へ進出している部分が直線状となる姿勢が採用されてもよい。

【0063】

手術支援ロボット1では、患者Pの体腔内の組織と器具マニピュレータ21との干渉を検知するために、器具マニピュレータ21に接触センサが設けられている。

【0064】

図13は、触覚センサ42を備えた器具マニピュレータ21の手首部27、肘部263及び肩部262を示す図、図14は、図13におけるXIII-XIII矢視断面図、図15は、図14に示す触覚センサの変形例を示す図、図16は、触覚センサ42からの信号から発生する処理の流れを説明する図である。図13及び図14に示すように、手首部27、肘部263及び肩部262の含まれる曲げ関節部分の外周に、触覚センサ42が配置されている。接触センサは、関節部分の外周を覆うように配置されてもよい。触覚センサ42は、触覚フィルムセンサと称される薄型の感圧センサである。触覚センサ42の外周は、シース41で覆われている。シース41は、可撓性を有し、且つ、表面が摺動性を有する材料からなる。このようなシース41についての説明は、US2012/0010628A1を参照により引用する。なお、図15に示すように、シース外管41a及びシース内管41bからなる二重管の間に、触覚センサ42が設けられていてもよい。触覚センサと

10

20

30

40

50

しては静電容量タイプ、圧電素子タイプ等の公知のセンサを採用することができる。

【0065】

図16に示すように、触覚センサ42はスレーブコントローラ3と、器具マニピュレータ21内を通る信号線で接続されており、触覚センサ42で検出された圧力がスレーブコントローラ3へ出力される。スレーブコントローラ3では、触覚センサ42が検出した圧力と、予め記憶された所定の圧力上限値とを比較する。スレーブコントローラ3は、触覚センサ42が検出した圧力が圧力上限値以上となれば、器具マニピュレータ21が患者組織と干渉している可能性があるとして判断して、所定の処理を行う。このスレーブコントローラ3が行う所定の処理は、コンソール7へ警告を出力する処理、ロボット本体2の動作を一時停止させる処理、コンソール7が受け付けた操作量に対応する器具マニピュレータ21の変位量の比率（スケール）を低減する処理、及び、操作入力装置71が受けるガイドポア90の半径方向外側への操作力に対し反力が付与されるようにコンソール7へ情報を出力する処理のうち少なくとも1つを含む。触覚センサ42によって検出される値として、圧力の代わりに、圧力と相関関係がある値（例えば電圧値）が採用されてもよい。触覚センサ42によって検出された値と所定の閾値との比較はスレーブコントローラ3が行ってもよいし、センサに内蔵されたプロセッサが行ってもよい。

10

【0066】

触覚センサ42はシース41や板状部材からも圧力を受ける。そして、曲げ関節部分の曲げ角度に応じて、触覚センサ42がシース41や板状部材から受ける圧力が変化する。そこで、圧力上限値は、触覚センサ42が設けられた曲げ関節部分の曲げ角度に応じて変化する値であってよい。スレーブコントローラ3は、曲げ関節部分の曲げ角度と圧力上限値とを対応づける所定の情報を予め記憶している。スレーブコントローラ3は、駆動ディスクによる操作ケーブルの操作量に基づいて求めた曲げ関節部分の曲げ角度に対応する圧力上限値を求め、これを上記の制御に利用する。圧力上限値を一定とし、触覚センサ42がシース41や板状部材から受ける圧力に応じて触覚センサ42が検出した圧力を補正してもよい。この場合、スレーブコントローラ3は、曲げ関節部分の曲げ角度と、触覚センサ42の検出圧力の補正值とを対応づける所定の情報を予め記憶している。このように、触覚センサ42がシース41や板状部材から受ける圧力を考慮して触覚センサ42によって検出された値と所定の閾値とを比較してもよい。

20

【0067】

以上に説明したように、本実施形態の外科手術システム100は、ロボット本体2と、ロボット本体2を制御するスレーブコントローラ3と、内視鏡画像を表示するディスプレイ装置73と、術者Sから指令の入力を受け付けてスレーブコントローラ3へ伝達する操作入力装置71とを備える。ロボット本体2は、複数のガイドポア90を有するエントリーガイド9と、エントリーガイド9を支持するエントリーガイド支持装置（ポジショナ10）と、遠位端部に手術器具28が設けられ、エントリーガイド9のガイドポア90のうちの1つに挿入される器具マニピュレータ21と、遠位端部に内視鏡カメラ33が設けられ、エントリーガイド9のガイドポア90のうちの他の1つに挿入される内視鏡マニピュレータ31と、を有する。操作入力装置71は、体腔挿入指令の入力を受け付ける操作具を含む。そして、スレーブコントローラ3は、操作入力装置71が受け付けた体腔挿入指令に回答して、内視鏡カメラ33がエントリーガイド9の出口から進出し且つ内視鏡カメラ33で撮像を開始してから、手術器具28がエントリーガイド9の出口から進出するように、ロボット本体2を動作させる。

30

40

【0068】

上記構成の外科手術システム100によれば、術者Sは、内視鏡カメラ33で撮像された内視鏡画像を確認しながら、手術器具28をエントリーガイド9から患者Pの体腔へ進出させる操作を行うことができる。これにより、術者Sの手術器具28同士や手術器具28と患者組織との干渉を回避するような術具操作を支援することができる。

【0069】

また、本実施形態に係る外科手術システム100において、スレーブコントローラ3は

50

、エントリーガイド9の出口から手術器具28が進出を開始してからそれが内視鏡カメラ33の視野に入るまで、器具マニピュレータ21のうちエントリーガイド9の出口から進出している部分が直線形状を維持するようにロボット本体2を動作させる。

【0070】

上記外科手術システム100によれば、術者Sが、手術器具28が内視鏡カメラ33の視野外にあるときの手術器具28の位置及び姿勢を容易に推測することができる。これにより、術者Sの手術器具28同士や手術器具28と患者組織との干渉を回避するような術具操作を支援することができる。

【0071】

また、本実施形態に係る外科手術システム100のエントリーガイド9において、内視鏡マニピュレータ31の挿入されたガイドポア90の遠位端部が、器具マニピュレータ21の挿入されたガイドポア90の遠位端部よりも、エントリーガイド9の近位側に位置してもよい。この場合、スレーブコントローラ3は、エントリーガイド9の出口から進出を開始する手術器具28が内視鏡カメラ33の視野に入る状態とし、その状態を維持しつつ、手術器具28をエントリーガイド9の出口から進出させるように、ロボット本体2を動作させてもよい。

10

【0072】

上記エントリーガイド9によれば、器具マニピュレータ21のエントリーガイド9からの出口よりも、内視鏡マニピュレータ31のエントリーガイド9からの出口の方がエントリーガイド9の遠位側に位置するので、内視鏡マニピュレータ31の姿勢を変化させて、エントリーガイド9から進出しようとする器具マニピュレータ21を内視鏡カメラ33の視野に入れることができる。そして、エントリーガイド9から進出しようとする器具マニピュレータ21を内視鏡カメラ33の視野に入れることによって、術者Sは、体腔内に進出を開始する手術器具28を内視鏡画像で確認しながら、手術器具28の移動を操作することができる。

20

【0073】

また、本実施形態に係る外科手術システム100において、スレーブコントローラ3は、器具マニピュレータ21が挿通されているガイドポア90の中心線L0から当該ガイドポア90の半径方向外側への当該器具マニピュレータ21の張出力Wを求め、張出力Wが所定の張出力閾値Wtを超えると、操作入力装置71へ警告を出力する処理、ロボット本体2の動作を一時停止させる処理、操作入力装置71が受け付けた操作量に対応する器具マニピュレータ21の変位量の比率（スケール）を低減する処理、及び、操作入力装置71が受けるガイドポア90の半径方向外側への操作力（張出力Wを増加させる操作力）に対し反力が付与されるように操作入力装置71へ情報を出力する処理のうち少なくとも1つの処理を行う。

30

【0074】

上記外科手術システム100では、術者Sが術具操作している間に、体腔内にある器具マニピュレータ21の一部、とりわけ、器具マニピュレータ21のエントリーガイド9から張り出した部分が内視鏡カメラ33の視野から外れる可能性がある。これに対し、張出力Wが張出力閾値Wtを超えたときにスレーブコントローラ3が行う所定の処理によって、術者Sに張出力Wが過剰であることを認識させることができる。これにより、術者Sの手術器具28同士や手術器具28と患者組織との干渉を回避するような術具操作を支援することができる。

40

【0075】

また、上記の外科手術システム100において、スレーブコントローラ3は、張出力Wの単位時間当たりの変化量（張出力変化量 W ）を求め、張出力変化量 W が大きくなるに従って張出力閾値Wtが小さくなるような所定の対応関係に基づいて、張出力変化量 W から張出力閾値Wtを求め、それを制御に利用してよい。

【0076】

張出力変化量 W の大きさは、器具マニピュレータ21の最外点Peの移動速度を表す。

50

従って、最外点 P e の移動速度が大きいほど、張出力閾値 W_t が小さい値になる。これにより、最外点 P e の移動速度が大きいほど早い段階で術者 S に張出力 W が過剰であることを認識させることができるので、張出力 W が限界値 W_{limit} をオーバーシュートすることを防止できる。

【0077】

また、本実施形態に係る外科手術システム 100 は、器具マニピュレータ 21 が、周囲に触覚センサ 42 が配置された少なくとも 1 つの曲げ関節を有し、スレーブコントローラ 3 は、触覚センサ 42 で検出された圧力が所定の圧力閾値を超えると、操作入力装置 71 へ警告を出力する処理、ロボット本体 2 の動作を一時停止させる処理、操作入力装置 71 が受け付けた操作量に対応する器具マニピュレータ 21 の変位量の比率（スケール）を低減する処理、及び、操作入力装置 71 が受ける操作力であって、張出力 W を増加させる操作力に対し反力が付与されるように操作入力装置 71 へ情報を出力する処理のうち少なくとも 1 つの処理を行う。

10

【0078】

このように、触覚センサ 42 で所定の圧力閾値を超える圧力が検出された場合、器具マニピュレータ 21 が他の器具マニピュレータ 21 や患者組織と接触している可能性が高い。このような場合に、スレーブコントローラ 3 が行う所定の処理によって、術者 S に接触の可能性あることを認識させることができる。これにより、術者 S の手術器具 28 同士や手術器具 28 と患者組織との干渉を回避するような術具操作を支援することができる。

20

【0079】

また、本実施形態に係る外科手術システム 100 は、器具マニピュレータ 21 が、手術器具 28 と接続された手首部 27 と、手首部 27 と遠位リンク 267 を介して接続された肘部 263 と、肘部 263 と中間リンク 266 を介して接続された肩部 262 と、肩部 262 と接続された近位リンク 265 とを有する。

【0080】

そして、肩部 262 は、中間リンク 266 と近位リンク 265 とを曲げ回転可能に接続し、スレーブコントローラ 3 が、肩部の曲げ可動範囲 s を、近位リンク 265 の中心線 $L1$ の延長線上を 0 度とし、中間リンク 266 をエンタリーガイド 9 の外周側へ向けて 0 度以上 90 度未満で回転させる範囲（ 1 ）、及び、中間リンク 266 をエンタリーガイド 9 の内周側へ向けて 0 度以上 30 度未満で回転させる範囲（ 2 ）に制限する。

30

【0081】

これにより、肩部 262 が曲ったときに、器具マニピュレータ 21 とエンタリーガイド 9 との間に患者組織が挟まれることを防止できる。

【0082】

更に、手首部 27 は遠位リンク 267 と手首部 27 とを曲げ回転可能に接続し、スレーブコントローラ 3 が、手首部 27 の曲げ可動範囲 w を、遠位リンク 267 の中心線 $L3$ の延長線上を 0 度とし、手術器具 28 をエンタリーガイド 9 の内周側へ向けて 0 度以上 100 度未満で回転させる範囲（ 3 ）に制限する。

【0083】

これにより、手首部 27 が曲ったときに、手術器具 28 がエンタリーガイド 9 の外側へ向けて大きく張り出したり、他の手術器具 28 と干渉したりすることを回避できる。

40

【0084】

また、近位リンク 265 が、第 1 の近位リンク 265 a と、第 2 の近位リンク 265 b と、第 1 の近位リンク 265 a と第 2 の近位リンク 265 b とを曲げ回転可能に接続する補助関節 261 とを含み、スレーブコントローラ 3 が、手術器具 28 が体腔内に挿入された後、術中に補助関節 261 が回転しないようにその動作を制限する。

【0085】

上記の補助関節 261 は、近位リンク 265 のうちエンタリーガイド 9 に挿入されない部分に位置してよい。これにより、器具マニピュレータ 21 を交換する際に、近位リンク 265 を補助関節 261 で 2 つに折り曲げられるので、並進ユニット 22 に対する器具マ

50

ニピュレータ 2 1 の着脱作業が容易となる。或いは、上記の補助関節 2 6 1 は、近位リンク 2 6 5 のうちエントリーガイド 9 の出口から進出する部分に位置してよい。これにより、手術器具 2 8 を体腔内に挿入する際に、補助関節 2 6 1 を曲げることによって、手術器具 2 8 を体壁近くに位置させることが容易となる。

【 0 0 8 6 】

また、本実施形態に係る外科手術システム 1 0 0 において、手術器具 2 8 が、互いに独立して動作する一対のジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を有する鉗子であってよい。

【 0 0 8 7 】

これにより、一対のジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を同時に反対方向へ回転させることにより、鉗子の先端を開閉することができる。また、一対のジョウ 2 8 1 a , 2 8 1 b を同時に同じ方向へ回転させることにより、鉗子の先端で物を把持したまま、それを移動させることができる。

【 0 0 8 8 】

また、本実施形態に係る外科手術システム 1 0 0 において、器具マニピュレータ 2 1 のうち、エントリーガイド 9 の出口から進出する部分が 6 以上の自由度を有しており、操作入力装置 7 1 がマニピュレータ復帰指令の入力を受け付ける操作具を含み、スレーブコントローラ 3 が、操作入力装置 7 1 が受け付けたマニピュレータ復帰指令に応答して、手術器具 2 8 の姿勢を維持しつつ、器具マニピュレータ 2 1 のうちエントリーガイド 9 の出口から進出している部分が直線状となるように、ロボット本体 2 を動作させてよい。

【 0 0 8 9 】

或いは、本実施形態に係る外科手術システム 1 0 0 において、器具マニピュレータ 2 1 のうち、エントリーガイド 9 の出口から進出する部分が 7 自由度を有しており、操作入力装置 7 1 がマニピュレータ復帰指令の入力を受け付ける操作具を含み、スレーブコントローラ 3 が、操作入力装置 7 1 が受け付けたマニピュレータ復帰指令に応答して、手術器具 2 8 の姿勢を維持しつつ、器具マニピュレータ 2 1 のうちエントリーガイド 9 の出口から進出している部分が直線状となるように、ロボット本体 2 を動作させてよい。

【 0 0 9 0 】

これにより、器具マニピュレータ 2 1 のうちエントリーガイド 9 の出口から進出する部分が多数の可動軸を有するが、単純な操作で、手術器具 2 8 の姿勢を維持しつつ、器具マニピュレータ 2 1 を基本姿勢に復帰させることができる。

【 0 0 9 1 】

以上に本発明の好適な実施の形態を説明したが、本発明の思想を逸脱しない範囲で、上記実施形態の具体的な構造及び / 又は機能の詳細を変更したのも本発明に含まれ得る。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 2 】

1 0 0	: 外科手術システム
1	: 手術支援ロボット
2	: ロボット本体
3	: スレーブコントローラ
7	: コンソール
8	: マスタコントローラ
9	: エントリーガイド
9 0	: ガイドボア
1 0	: ポジショナ
1 1	: 台車
1 2	: 水平多関節型マニピュレータ
1 2 b	: 支持部材
1 3	: 垂直多関節型マニピュレータ
1 4	: 支持フレーム
1 4 a	: 手術マニピュレータ支持部

10

20

30

40

50

1 4 b	: エントリーガイド支持部	
1 5	: 支持ブロック	
2 0	: 手術マニピュレータ	
2 1	: 器具マニピュレータ	
2 2	: 並進ユニット	
2 3	: 駆動ユニット	
2 4 a , 2 4 b	: アダプタ	
2 5	: 伝動ユニット	
2 6	: アーム	
2 7	: 手首部	10
2 8	: 手術器具	
3 1	: 内視鏡マニピュレータ	
3 3	: 内視鏡カメラ	
4 1	: シース	
4 2	: 触覚センサ	
7 1	: 操作入力装置	
7 2 L , 7 2 R	: マスタマニピュレータ (操作具)	
7 5	: 操作ペダル (操作具)	
7 3	: ディスプレイ装置	
2 6 1	: 補助関節	20
2 6 2	: 肩部	
2 6 3	: 肘部	
2 6 5 , 2 6 5 a , 2 6 5 b	: 近位リンク	
2 6 6	: 中間リンク	
2 6 7	: 遠位リンク	
2 8 1 a , 2 8 1 b	: ジョウ	
2 8 2 a , 2 8 2 b	: 操作ケーブル	

【 図 5 】

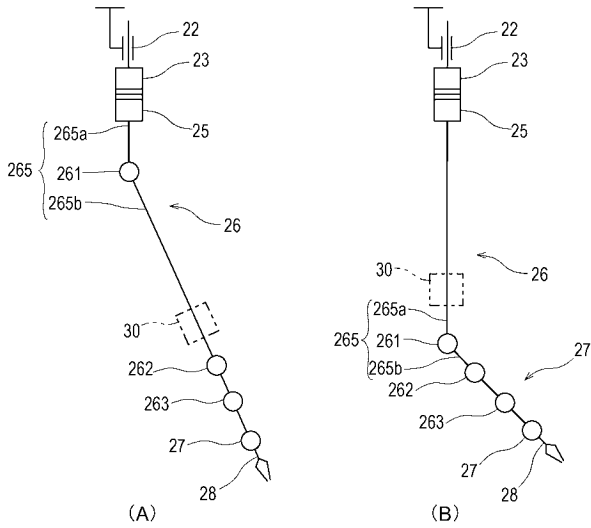


FIG. 5

【 図 6 】

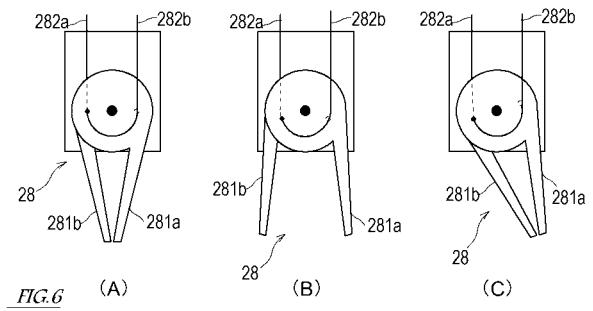


FIG. 6

【 図 7 】

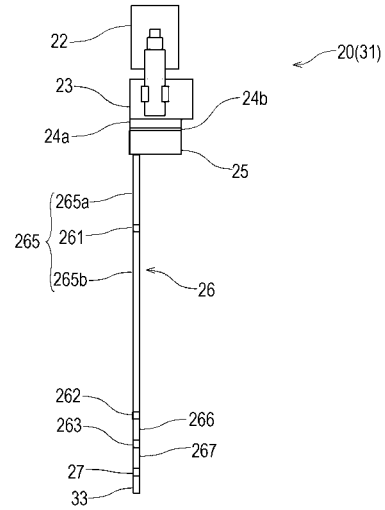
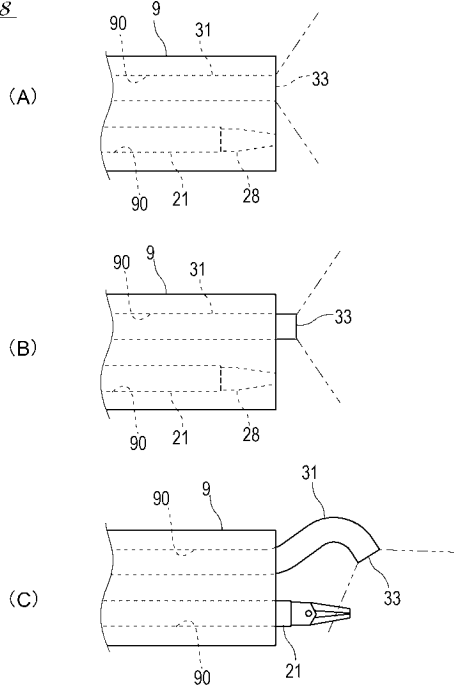


FIG. 7

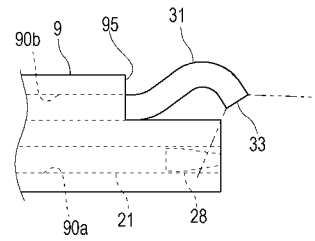
【 図 8 】

FIG. 8



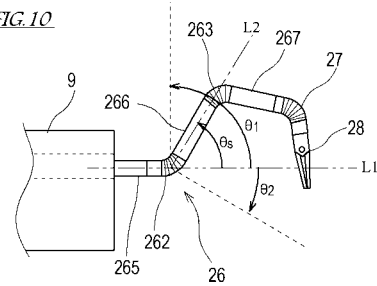
【 図 9 】

FIG. 9



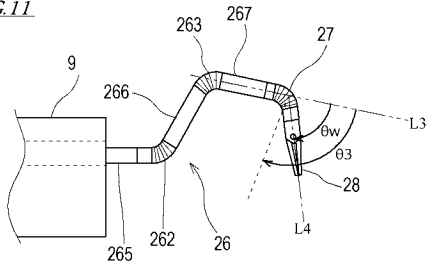
【 図 10 】

FIG. 10



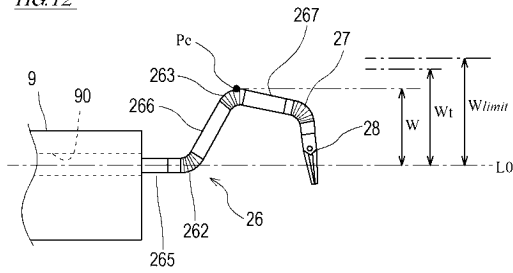
【 図 1 1 】

FIG.11



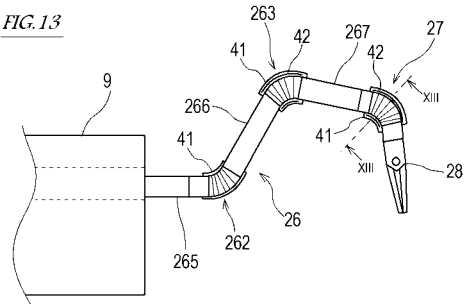
【 図 1 2 】

FIG.12



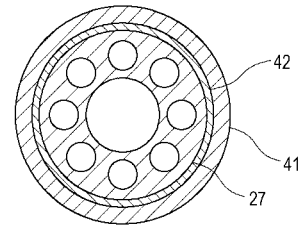
【 図 1 3 】

FIG.13



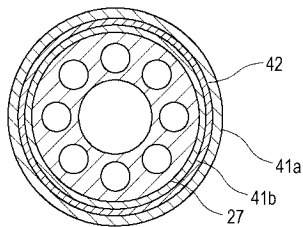
【 図 1 4 】

FIG.14



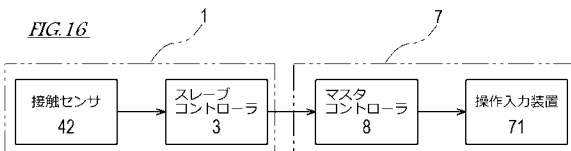
【 図 1 5 】

FIG.15



【 図 1 6 】

FIG.16



フロントページの続き

(72)発明者 野口 健治

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社内

(72)発明者 伊藤 哲嗣

兵庫県神戸市中央区港島南町1丁目6番5号 株式会社メディカロイド内

(72)発明者 中西 徹弥

兵庫県神戸市中央区港島南町1丁目6番5号 株式会社メディカロイド内

专利名称(译)	手术系统		
公开(公告)号	JP2019187994A	公开(公告)日	2019-10-31
申请号	JP2018086895	申请日	2018-04-27
[标]申请(专利权)人(译)	川崎重工业株式会社		
申请(专利权)人(译)	川崎重工业株式会社 株式会社医疗劳埃德		
[标]发明人	東條剛史 野口健治 伊藤哲嗣 中西徹弥		
发明人	東條 剛史 野口 健治 伊藤 哲嗣 中西 徹弥		
IPC分类号	A61B34/37 A61B34/35		
CPC分类号	A61B1/00006 A61B1/00045 A61B1/00149 A61B1/00154 A61B1/0016 A61B1/05 A61B1/3132 A61B34/30 A61B34/37 A61B34/71 A61B90/37 A61B90/50 A61B2017/00017 A61B2017/003 A61B2017/0034 A61B2017/2908 A61B2017/2938 A61B2034/302 A61B2090/373 A61B1/0125 A61B17/29 A61B17/3423 A61B2017/3447 A61B2034/301		
FI分类号	A61B34/37 A61B34/35		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

为了在单端口腹腔镜手术的手术系统中支持操作员的手术器械操作。解决方案：手术系统包括机器人主体，从属控制器，用于显示内窥镜图像的显示设备以及操作输入设备。机器人主体包括：具有多个引导孔的进入引导件；入口向导支撑装置，用于支撑入口向导；待插入进入引导件中的器械操纵器，该器械操纵器具有远端，在该远端处设置有手术器械；所述内窥镜操纵器具有插入到所述入口引导件中的内窥镜操纵器。从控制器响应于操作输入装置接收到的头顶插入命令，使机器人主体进行操作，使得在内窥镜摄像机从入口引导件和内窥镜的出口前进之后，手术器械从入口引导件的出口前进。相机开始成像。选定的绘图：图8

