

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7414611号
(P7414611)

(45)発行日 令和6年1月16日(2024.1.16)

(24)登録日 令和6年1月5日(2024.1.5)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 34/10 (2016.01)

A 6 1 B 34/10

A 6 1 B 34/35 (2016.01)

A 6 1 B 34/35

請求項の数 8 (全27頁)

(21)出願番号	特願2020-55964(P2020-55964)	(73)特許権者	514063179
(22)出願日	令和2年3月26日(2020.3.26)		株式会社メディカロイド
(65)公開番号	特開2021-153771(P2021-153771 A)		兵庫県神戸市中央区港島南町一丁目 6 番 5 号
(43)公開日	令和3年10月7日(2021.10.7)	(73)特許権者	500109320
審査請求日	令和4年12月15日(2022.12.15)		ザイオソフト株式会社
			東京都港区三田一丁目 4 番 2 8 号
		(74)代理人	110002000
			弁理士法人栄光事務所
		(72)発明者	井田 城太
			兵庫県神戸市中央区港島南町一丁目 6 番 5 号 株式会社メディカロイド内
		(72)発明者	平塚 充一
			兵庫県神戸市中央区港島南町一丁目 6 番 5 号 株式会社メディカロイド内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボット手術支援装置、処理方法、及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

手術支援ロボットによる鏡視下手術を支援するロボット手術支援装置であって、
処理部を備え、
前記処理部は、手術対象の被検体に設置され少なくとも 2 つの手術器具を挿入するための少なくとも 2 つの孔部が設けられたアクセスプラットフォームにおける少なくとも 2 つの前記手術器具毎の回転中心に対応する位置と、前記手術支援ロボットの位置と、の位置関係を導出する機能を有し、
前記処理部は、前記アクセスプラットフォームにおける少なくとも 2 つの前記位置の動きを検出し、前記アクセスプラットフォームの変形を検出する、
ロボット手術支援装置。

【請求項 2】

前記処理部は、
前記被検体の 3 D データを取得し、
前記被検体の 3 D データと、前記アクセスプラットフォームと前記手術支援ロボットとの位置関係と、に基づいて、前記被検体と前記アクセスプラットフォームとの位置関係を導出する、
請求項 1 に記載のロボット手術支援装置。

【請求項 3】

前記アクセスプラットフォームは、前記被検体の肛門に設置され、

前記処理部は、前記アクセスプラットフォームと前記被検体との位置関係に基づいて、前記被検体の臓器の変形を算出する、

請求項 2 に記載のロボット手術支援装置。

【請求項 4】

前記処理部は、前記手術器具を前記アクセスプラットフォームに挿入した挿入距離の情報を取得する、

請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載のロボット手術支援装置。

【請求項 5】

前記処理部は、前記挿入距離の情報に基づいて、前記アクセスプラットフォームと前記手術支援ロボットとの位置関係を導出する、

請求項 4 に記載のロボット手術支援装置。

【請求項 6】

前記処理部は、

前記手術支援ロボットのキネマティクス情報を取得し、

前記手術支援ロボットのキネマティクスの情報と、前記アクセスプラットフォームと前記手術支援ロボットとの位置関係と、に基づいて、前記手術器具の先端位置を算出する、

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のロボット手術支援装置。

【請求項 7】

手術支援ロボットによる鏡視下手術を支援するロボット手術支援装置の処理部が実行する処理方法であって、

前記処理部が、手術対象の被検体に設置され少なくとも 2 つの手術器具を挿入するための少なくとも 2 つの孔部が設けられたアクセスプラットフォームにおける少なくとも 2 つの前記手術器具毎の回転中心に対応する位置と、前記手術支援ロボットの位置と、の位置関係を導出するステップと、

前記処理部が、前記アクセスプラットフォームにおける少なくとも 2 つの前記位置の動きを検出し、前記アクセスプラットフォームの変形を検出するステップと、を有する、処理方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の処理方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、ロボット手術支援装置、ロボット手術支援方法、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、術式の 1 つとして、経肛門的低侵襲手術 (TAMIS : Transanal Minimally Invasive Surgery) が知られている。TAMIS において、手術器具を患者に挿入するために、患者の肛門にプラットフォーム (TAP : Transanal Access Platform) を設置することが知られている (非特許文献 1 参照)。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【文献】GelPOINT Path, Transanal Access Platform, Applied Medical, [令和 1 年 12 月 26 日検索] インターネット <URL : <https://www.appliedmedical.com/Products/Gelpoint/Path>>

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

TAMIS において用いられるプラットフォームは、患者の骨等に取り付けられるものではないので、術中に患者に対して移動し易い。また、例えば手術対象となる直腸は、プ

10

20

30

40

50

ラットフォームの移動に追従して移動し易い。そのため、例えば、患者の体内における手術器具の動作範囲が制限され得る。また、手術器具が移動するプラットフォームから押圧力を受け得る。そのため、プラットフォームの移動によって手術器具を用いた手術の操作性及び安全性が低下し得る。

【 0 0 0 5 】

本開示は、上記事情に鑑みてされたものであって、被検体に設置されるプラットフォームを用いた手術において、操作性及び安全性を向上できるロボット手術支援装置、ロボット手術支援方法、及びプログラムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本開示の一態様は、手術支援ロボットによる鏡視下手術を支援するロボット手術支援装置であって、処理部を備え、前記処理部は、手術対象の被検体に設置され少なくとも2つの手術器具を挿入するための少なくとも2つの孔部が設けられたアクセスプラットフォームにおける少なくとも2つの前記手術器具毎の回転中心に対応する位置と、前記手術支援ロボットの位置と、の位置関係を導出する機能を有し、前記処理部は、前記アクセスプラットフォームにおける少なくとも2つの前記位置の動きを検出し、前記アクセスプラットフォームの変形を検出する、ロボット手術支援装置である。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本開示によれば、被検体に設置されるプラットフォームを用いた手術において、操作性及び安全性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】第 1 の実施形態におけるロボット手術支援システムの構成例を示すブロック図

【図 1 B】ロボット手術支援装置のハードウェア構成例を示すブロック図

【図 2 A】ロボット手術支援装置の機能構成例を示すブロック図

【図 2 B】プラットフォームの構造例を示す図

【図 3 A】手術支援ロボットとプラットフォームとの位置関係の第 1 導出例を説明するための図

【図 3 B】手術支援ロボットとプラットフォームとの位置関係の第 2 導出例を説明するための図

【図 3 C】被検体の体位がジャックナイフ位であることを示す図

【図 4】プラットフォーム、手術器具、及び被検体の内部の様子の一例を示す図

【図 5】プラットフォームを中心とした手術器具の回転例を示す図

【図 6】プラットフォームを挿通する手術器具が湾曲した様子の一例を示す図

【図 7】プラットフォームの移動に連動した臓器の移動例を示す図

【図 8】ロボット手術支援装置の動作例を示すフローチャート

【図 9】ロボット手術支援装置の動作例を示すフローチャート（図 8 の続き）

【図 1 0】プラットフォームの設置シミュレーションの手順の一例を示すフローチャート

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

以下、本開示の実施形態について、図面を用いて説明する。

【 0 0 1 0 】

（第 1 の実施形態）

図 1 A は、第 1 の実施形態におけるロボット手術支援システム 1 の構成例を示すブロック図である。ロボット手術支援システム 1 は、ロボット手術支援装置 1 0 0 と、C T 装置 2 0 0 と、手術支援ロボット 3 0 0 と、俯瞰カメラ 4 0 0 と、を備える。ロボット手術支援装置 1 0 0 と、C T 装置 2 0 0 と、手術支援ロボット 3 0 0 と、俯瞰カメラ 4 0 0 とは、ネットワークを介して接続されてもよい。また、ロボット手術支援装置 1 0 0 は、C T 装置 2 0 0、手術支援ロボット 3 0 0、及び俯瞰カメラ 4 0 0 の各装置と、1 対 1 で接続

10

20

30

40

50

されてもよい。図 1 A では、ロボット手術支援装置 100 が、CT 装置 200、手術支援ロボット 300 及び俯瞰カメラ 400 のそれぞれと接続されていることを例示している。

【0011】

ロボット手術支援装置 100 は、CT 装置 200、手術支援ロボット 300、及び俯瞰カメラ 400 から各種データを取得する。ロボット手術支援装置 100 は、取得されたデータに基づいて画像処理し、手術支援ロボット 300 によるロボット手術を支援する。ロボット手術支援装置 100 は、PC と PC に搭載されたソフトウェアにより構成されてもよい。ロボット手術支援装置 100 は、手術ナビゲーションを行う。手術ナビゲーションは、例えば、手術前の計画（術前計画）を行うための術前シミュレーションや手術中のサポートを行うための術中ナビゲーションを含む。

10

【0012】

CT 装置 200 は、被検体へ X 線を照射し、体内の組織による X 線の吸収の違いを利用して、画像（CT 画像）を撮像する。被検体は、生体、人体、動物、等を含んでよい。CT 装置 200 は、被検体内部の任意の箇所の情報を含むボリュームデータを生成する。CT 装置 200 は、CT 画像としてのボリュームデータをロボット手術支援装置 100 へ、有線回線又は無線回線を介して送信する。CT 画像の撮像には、CT 撮像に関する撮像条件や造影剤の投与に関する造影条件が考慮されてよい。

【0013】

手術支援ロボット 300 は、ロボット操作端末 310、ロボット本体 320、及び画像表示端末 330 を備える。

20

【0014】

ロボット操作端末 310 は、術者により操作されるハンドコントローラやフットスイッチを備える。ロボット操作端末 310 は、術者によるハンドコントローラやフットスイッチの操作に応じて、ロボット本体 320 に設けられた複数のロボットアーム AR を動作させる。また、ロボット操作端末 310 は、ビューワを備える。ビューワは、ステレオビューワでよく、内視鏡 ES（内視鏡カメラ）により取込まれた画像を融合させて 3 次元画像を表示してよい。なお、ロボット操作端末 310 が複数存在し、複数のロボット操作端末 310 を複数の術者が操作するによりロボット手術が行われてもよい。

【0015】

ロボット本体 320 は、ロボット手術を行うための複数のロボットアーム AR、ロボットアーム AR に装着されるエンドエフェクタ EF（鉗子類、インストゥルメント）、及びロボットアーム AR に装着される内視鏡 ES を備える。エンドエフェクタ EF 及び内視鏡 ES は、鏡視下手術に用いられるものであるので、本実施形態では手術器具 30 とも称する。手術器具 30 は、1 つ以上のエンドエフェクタ EF 及び内視鏡 ES のうち少なくとも 1 つを含む。

30

【0016】

ロボット本体 320 は、例えば 4 つのロボットアーム AR を備えており、内視鏡 ES が装着されるカメラアームと、ロボット操作端末 310 の右手用ハンドコントローラで操作されるエンドエフェクタ EF が装着される第 1 エンドエフェクタアームと、ロボット操作端末 310 の左手用ハンドコントローラで操作されるエンドエフェクタ EF が装着される第 2 エンドエフェクタアームと、交換用のエンドエフェクタ EF が装着される第 3 エンドエフェクタアームと、を含む。各ロボットアーム AR は、複数の関節を有しており、各関節に対応してモータとエンコーダを備えていてよい。エンコーダは、角度検出器の一例としてのロータリーエンコーダを含んでよい。各ロボットアーム AR は、少なくとも 6 自由度、好ましくは 7 又は 8 自由度を有しており、3 次元空間内において動作し、3 次元空間内の各方向に可動自在でよい。エンドエフェクタ EF には、ロボット手術において被検体 PS 内の処置対象に実際に接する器具であり、様々な処置（例えば、把持、切除、剥離、縫合）を可能とする。

40

【0017】

エンドエフェクタ EF は、例えば、把持鉗子、剥離鉗子、電気メス、等を含んでよい。

50

エンドエフェクタ E F は、役割毎に異なる別個のエンドエフェクタ E F が複数用意されてよい。例えば、ロボット手術では、2つのエンドエフェクタ E F によって組織を抑えたり引っ張ったりして、1つのエンドエフェクタ E F で組織を切る処置が行われてよい。ロボットアーム A R 及び手術器具 3 0 は、ロボット操作端末 3 1 0 からの指示を基に、動作してよい。ロボット手術において、エンドエフェクタ E F は少なくとも2つ使用される。

【0018】

画像表示端末 3 3 0 は、モニタ、内視鏡 E S によって撮像された画像を処理し、ビューワやモニタに表示させるためのコントローラ、等を有する。モニタは、例えばロボット手術の助手や看護師により確認される。

【0019】

手術支援ロボット 3 0 0 は、術者によるロボット操作端末 3 1 0 のハンドコントローラやフットスイッチの操作を受け、ロボット本体 3 2 0 のロボットアーム A R やエンドエフェクタ E F や内視鏡 E S の動作を制御し、被検体 P S に対して各種処置を行うロボット手術を行う。ロボット手術では、被検体 P S 内で鏡視下手術が行われてよい。

【0020】

本実施形態では、手術支援ロボット 3 0 0 を用いて経肛門的低侵襲手術 (T A M I S) が行われることを主に想定する。T A M I S では、手術器具 3 0 を被検体 P S に挿入するために、被検体 P S の肛門にプラットフォーム 4 0 (T A P) が設置される。T A M I S では、被検体 P S が有する孔である肛門にプラットフォーム 4 0 が設置されるので、トロッカーの設置のように被検体 P S の体表にポートを穿孔することが不要である。T A M I S では、プラットフォーム 4 0 を介してガスが注入されて被検体 P S の肛門の周辺に存在する組織や臓器を膨らませられてよい。被検体 P S の肛門の周辺に存在する組織や臓器は、例えば直腸、大腸、前立腺、などが含まれてよい。プラットフォーム 4 0 は、弁を有し、被検体 P S 内を気密に維持する。また、気密状態を維持するために、被検体 P S 内に空気 (例えば二酸化炭素) が継続的に導入されてよい。

【0021】

プラットフォーム 4 0 には、エンドエフェクタ E F が挿通される。エンドエフェクタ E F の挿通時にプラットフォーム 4 0 の弁が開き、エンドエフェクタ E F の脱離時にはプラットフォーム 4 0 の弁が閉じる。プラットフォーム 4 0 を経由してエンドエフェクタ E F が挿入され、術式に応じて様々な処置が行われる。ロボット手術は、肛門周辺の臓器を手術対象とする以外に、その他の部位の鏡視下手術 (例えば口蓋顎手術、縦隔手術) に適用されてもよい。

【0022】

図 1 B は、ロボット手術支援装置 1 0 0 の構成例を示すブロック図である。ロボット手術支援装置 1 0 0 は、送受部 1 1 0、U I 1 2 0、ディスプレイ 1 3 0、プロセッサ 1 4 0、及びメモリ 1 5 0 を備える。

【0023】

送受部 1 1 0 は、通信ポート、外部装置接続ポート、組み込みデバイスへの接続ポート、等を含む。送受部 1 1 0 は、C T 装置 2 0 0、手術支援ロボット 3 0 0、及び俯瞰カメラ 4 0 0 からの各種データを取得する。取得された各種データは、直ぐにプロセッサ 1 4 0 (処理部 1 6 0) に送られて各種処理されてもよいし、メモリ 1 5 0 において保管された後、必要時にプロセッサ 1 4 0 へ送られて各種処理されてもよい。また、各種データは、記録媒体や記録メディアを介して取得されてもよい。

【0024】

送受部 1 1 0 は、C T 装置 2 0 0、手術支援ロボット 3 0 0、及び俯瞰カメラ 4 0 0 へ各種データを送信する。送信される各種データは、プロセッサ 1 4 0 (処理部 1 6 0) から直接送信されてもよいし、メモリ 1 5 0 において保管された後、必要時に各装置へ送信されてもよい。また、各種データは、記録媒体や記録メディアを介して送られてもよい。

【0025】

送受部 1 1 0 は、C T 装置 2 0 0 からのボリュームデータを取得してよい。また、ボリ

10

20

30

40

50

ュームデータは、中間データ、圧縮データやシノグラムで取得されてもよい。また、ボリウムデータは、ロボット手術支援装置 100 に取り付けられたセンサデバイスからの情報から取得されてもよい。

【0026】

送受部 110 は、手術支援ロボット 300 からの情報を取得する。手術支援ロボット 300 からの情報は、手術支援ロボット 300 のキネマティクスの情報を含んでよい。キネマティクスの情報は、例えば、手術支援ロボット 300 が備えるロボット手術を行うための器具（例えばロボットアーム AR、エンドエフェクタ EF、内視鏡 ES）の形状に関する形状情報や動作に関する動作情報を含んでよい。キネマティクスの情報は、外部サーバから受信されてもよい。

10

【0027】

この形状情報は、ロボットアーム AR やエンドエフェクタ EF や内視鏡 ES の各部位の長さ、重さ、基準方向（例えば水平面）に対するロボットアーム AR の角度、ロボットアーム AR に対するエンドエフェクタ EF の取付角度、等の少なくとも一部の情報を含んでよい。

【0028】

この動作情報は、ロボットアーム AR やエンドエフェクタ EF や内視鏡 ES の 3 次元空間における可動範囲を含んでよい。この動作情報は、ロボットアーム AR が動作する際のロボットアーム AR の位置、速度、加速度、向き、等の情報を含んでよい。この動作情報は、エンドエフェクタ EF が動作する際のロボットアーム AR に対するエンドエフェクタ EF の位置、速度、加速度、向き、等の情報を含んでよい。この動作情報は、内視鏡 ES が動作する際のロボットアーム AR に対する内視鏡 ES の位置、速度、加速度、向き、等の情報を含んでよい。

20

【0029】

ロボットアーム AR やエンドエフェクタ EF や内視鏡 ES には、角度センサが取り付けられてよい。この角度センサは、ロボットアーム AR やエンドエフェクタ EF や内視鏡 ES の 3 次元空間での向きに相当する角度を検出するロータリーエンコーダを含んでよい。送受部 110 は、手術支援ロボット 300 に取り付けられた各種センサが検出した検出情報を取得してよい。

【0030】

30

送受部 110 は、ロボット操作端末 310 に対する操作に関する操作情報を取得してよい。この操作情報は、操作の対象（例えばロボットアーム AR、エンドエフェクタ EF、内視鏡 ES）、操作の種類（例えば移動、回転）、操作位置、操作速度、等の情報を含んでよい。

【0031】

送受部 110 は、手術器具 30 に関する手術器具情報を取得してよい。手術器具情報は、手術器具 30 の被検体 PS への挿入距離を含んでよい。この挿入距離は、例えば、手術器具 30 が挿入されるプラットフォーム 40 とこの手術器具 30 の先端位置との間の距離に相当する。例えば、手術器具 30 に、手術器具 30 の挿入距離を示す目盛りが付されていてよい。送受部 110 は、この目盛りを電子的に読み取り、手術器具 30 の挿入距離を取得してよい。この場合、例えばリニアエンコーダ（読取装置）がプラットフォーム 40 に取り付けられ、手術器具 30 にはエンコード用のマーカが付されてよい。また、送受部 110 は、この目盛りを術者が読んで UI 120 を介して挿入距離を入力することで、手術器具 30 の挿入距離を取得してもよい。

40

【0032】

また、手術支援ロボット 300 からの情報には、内視鏡 ES による撮像に関連する情報（内視鏡情報）が含まれてよい。内視鏡情報は、内視鏡 ES により撮像された画像（実内視鏡画像）、実内視鏡画像に関する付加情報（撮像位置、撮像向き、撮像画角、撮像範囲、撮像時刻、等）が含まれてよい。

【0033】

50

送受部 110 は、俯瞰カメラ 400 からの情報を取得してよい。俯瞰カメラ 400 からの情報は、俯瞰カメラ 400 により撮像された撮像画像、撮像画像に関する付加情報を含んでよい。この付加情報は、撮像位置、撮像向き、撮像画角、撮像範囲、撮像時刻、等の撮像に関連する撮像関連情報を含んでよい。

【0034】

UI 120 は、例えば、タッチパネル、ポインティングデバイス、キーボード、又はマイクロホンを含んでよい。UI 120 は、ロボット手術支援装置 100 の術者から、任意の入力操作を受け付ける。術者は、医師、看護師、放射線技師、学生、等を含んでよい。

【0035】

UI 120 は、各種操作を受け付ける。例えば、ボリュームデータやボリュームデータに基づく画像（例えば後述する 3 次元画像、2 次元画像）における、関心領域（ROI）の指定や輝度条件（例えば WW（Window Width）や WL（Window Level））の設定等の操作を受け付ける。関心領域は、各種組織（例えば、血管、臓器、器官、骨、脳）の領域を含んでよい。組織は、病変組織、正常組織、腫瘍組織、等を含んでよい。

10

【0036】

ディスプレイ 130 は、例えば LCD を含んでよく、各種情報を表示する。各種情報は、ボリュームデータから得られる 3 次元画像や 2 次元画像を含んでよい。3 次元画像は、ボリュームレンダリング画像、サーフェスレンダリング画像、仮想内視鏡画像、仮想超音波画像、CPR 画像、等を含んでもよい。ボリュームレンダリング画像は、レイサム（RaySum）画像、MIP 画像、MinIP 画像、平均値画像、レイキャスト画像、等を含んでもよい。2 次元画像は、アキシャル画像、サジタル画像、コロナル画像、MPR 画像、等を含んでよい。

20

【0037】

メモリ 150 は、各種 ROM や RAM の一次記憶装置を含む。メモリ 150 は、HDD や SSD の二次記憶装置を含んでもよい。メモリ 150 は、USB メモリや SD カードや光ディスクの三次記憶装置を含んでもよい。メモリ 150 は、各種情報やプログラムを記憶する。各種情報は、送受部 110 により取得されたボリュームデータ、プロセッサ 140 により生成された画像、プロセッサ 140 により設定された設定情報、各種プログラムを含んでもよい。メモリ 150 は、プログラムが記録される非一過性の記録媒体の一例である。

30

【0038】

プロセッサ 140 は、CPU、DSP、又は GPU を含んでよい。プロセッサ 140 は、メモリ 150 に記憶されたプログラムを実行することにより、各種処理や制御を行う処理部 160 として機能する。

【0039】

図 2A は、処理部 160 の機能構成例を示すブロック図である。処理部 160 は、領域処理部 161、変形処理部 162、モデル設定部 163、位置処理部 164、シミュレーション処理部 165、画像生成部 166、及び表示制御部 167 を備える。なお、処理部 160 に含まれる各部は、1 つのハードウェアにより異なる機能として実現されてもよいし、複数のハードウェアにより異なる機能として実現されてもよい。また、処理部 160 に含まれる各部は、専用のハードウェア部品により実現されてもよい。

40

【0040】

領域処理部 161 は、例えば送受部 110 を介して、被検体のボリュームデータを取得する。領域処理部 161 は、ボリュームデータに含まれる任意の領域を抽出する。領域処理部 161 は、例えばボリュームデータの画素値に基づいて、自動で関心領域を指定し、関心領域を抽出してよい。領域処理部 161 は、例えば UI 120 を介して、手動で関心領域を指定し、関心領域を抽出してよい。関心領域は、臓器、骨、血管、患部（例えば病変組織や腫瘍組織）、等の領域を含んでよい。臓器は、直腸、大腸、前立腺、等を含んでよい。

【0041】

50

また、関心領域は、単一の組織だけでなく、その組織の周囲の組織を含んでセグメンテーション（区分）されて抽出されてもよい。例えば、関心領域としての臓器が直腸の場合、直腸本体だけでなく、直腸に接続する又は直腸内若しくは直腸周辺を走行する血管、直腸周辺の骨（例えば背骨、骨盤）や筋肉を含んでもよい。また、上記の直腸本体と直腸内又は直腸周辺の血管と直腸周辺の骨や筋肉とは、別々の組織としてセグメンテーションされて得られてもよい。

【 0 0 4 2 】

モデル設定部 1 6 3 は、組織のモデルを設定する。モデルは関心領域とポリウムデータに基づいて設定されてよい。モデルは、ポリウムデータが表現する組織を、ポリウムデータよりも簡素化して表現するものである。したがって、モデルのデータ量は、モデルに対応するポリウムデータのデータ量よりも小さい。モデルは、例えば手術における各種処置を模した変形処理や変形操作の対象となる。モデルは、例えば簡易なボーン変形モデルでよい。この場合、モデルは簡易な有限要素において骨組みを仮定して、有限要素の頂点を移動させることで、ボーンが変形する。組織の変形は、ボーンの変形を追従することによって表現できる。モデルは、臓器（例えば直腸）を模した臓器モデルを含んでよい。モデルは、単純な形状の多角形（例えば三角形）に類似する形状を有してもよいし、その他の形状を有してもよい。モデルは、例えば、臓器を示すポリウムデータの輪郭線であってもよい。モデルは、3次元モデルであっても2次元モデルであってもよい。なお、骨についてはモデルの変形ではなく、ポリウムデータの変形で表現されてもよい。骨は変形の自由度が小さいため、ポリウムデータのアフィン変換で表現できるためである。

【 0 0 4 3 】

モデル設定部 1 6 3 は、ポリウムデータに基づいて、モデルを生成することで、モデルを取得してよい。また、モデルのテンプレートが複数予め決まっておき、メモリ 1 5 0 や外部サーバに保持されていてもよい。モデル設定部 1 6 3 は、ポリウムデータに合わせて、予め用意された複数のモデルのテンプレートから1つのモデルのテンプレートをメモリ 1 5 0 や外部サーバから取得することで、モデルを取得してもよい。

【 0 0 4 4 】

モデル設定部 1 6 3 は、ポリウムデータに含まれる被検体 P S の組織（例えば臓器）におけるターゲット T G の位置を設定してよい。または、モデル設定部 1 6 3 は、組織を模したモデルにおけるターゲット T G の位置を設定してよい。ターゲット T G は、任意の組織内に設定される。モデル設定部 1 6 3 は、U I 1 2 0 を介してターゲット T G の位置を指定してよい。また、過去に被検体 P S に対して処置されたターゲット T G（例えば患部）の位置がメモリ 1 5 0 に保持されていてもよい。モデル設定部 1 6 3 は、メモリ 1 5 0 からターゲット T G の位置を取得して設定してもよい。モデル設定部 1 6 3 は、術式に応じてターゲット T G の位置を設定してもよい。術式は、被検体 P S に対する外科手術の方式を示す。ターゲット位置は、ある程度の広さを有するターゲット T G の領域の位置であってもよい。

【 0 0 4 5 】

変形処理部 1 6 2 は、手術対象の被検体 P S における変形に関する処理を行う。例えば、被検体 P S 内の臓器等の組織は、手術における術者の各種処置を模して術者によって各種の変形操作がされ得る。変形操作は、臓器を持ち上げる操作、ひっくり返す操作、切る操作、等を含んでよい。これに対応して、変形処理部 1 6 2 は、被検体 P S 内の臓器等の組織に対応するモデルを変形させる。例えば、臓器がエンドエフェクタ E F により引っ張られたり押されたり、切断されたりし得るが、この様子をモデルの変形によりシミュレートしてよい。モデルが変形すると、モデルにおけるターゲットも変形し得る。

【 0 0 4 6 】

変形操作による変形は、モデルに対して行われよく、有限要素法を用いた大変形シミュレーションでよい。例えば、体位変換による臓器の移動をシミュレートしてよい。この場合、臓器や病変の接点に加わる弾性力や臓器や病変の剛性、その他の物理的な特性が加味されてよい。モデルに対する変形処理は、ポリウムデータに対する変形処理と比較する

10

20

30

40

50

と、演算量が低減される。変形シミュレーションにおける要素数が低減されるためである。なお、モデルに対しての変形処理が行われず、ポリウムデータに対して直接、変形処理が行われてもよい。

【 0 0 4 7 】

また、変形処理部 1 6 2 は、例えば、変形に関する処理として、仮想的に被検体 P S に対して肛門からガスを注入するガス注入シミュレーションを行ってよい。ガス注入シミュレーションの具体的な方法は、公知の方法であってよく、例えば参考非特許文献 1 に記載された気腹シミュレーションの方法を、肛門を介してガスを注入するガス注入シミュレーションに適用してよい。つまり、変形処理部 1 6 2 は、非ガス注入状態のモデル又はポリウムデータを基に、ガス注入シミュレーションを行い、仮想ガス注入状態のモデル又はポリウムデータを生成してよい。また、実際にガス注入を行った上で撮影されたポリウムデータ又はこのポリウムデータに基づくモデルを用いてもよい。また、実際にガス注入を行った上で撮影されたポリウムデータ又はこのポリウムデータに基づくモデルを基にガス注入量を変化させたガス注入シミュレーションを行ってもよい。ガス注入シミュレーションにより、術者は、被検体 P S に対して実際にガス注入しなくても、被検体 P S がガス注入された状態を仮定し、仮想的にガス注入された状態を観察できる。なお、ガス注入状態のうち、ガス注入シミュレーションにより推定されるガス注入の状態を仮想ガス注入状態と称し、実際のガス注入された状態を実ガス注入状態と称してよい。

10

【 0 0 4 8 】

(参考非特許文献 1) Takayuki Kitasaka, Kensaku Mori, Yuichiro Hayashi, Yasuhito Suenaga, Makoto Hashizume, and Jun-ichiro Toriwaki, " Virtual Pneumoperitoneum for Generating Virtual Laparoscopic Views Based on Volumetric Deformation ", MICCAI (Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention), 2004, P559-P567

20

【 0 0 4 9 】

ガス注入シミュレーションは、有限要素法を用いた大変形シミュレーションでよい。この場合、変形処理部 1 6 2 は、領域処理部 1 6 1 を介して、被検体 P S の皮下脂肪を含む体表と、被検体 P S の肛門付近の内臓と、をセグメンテーションしてよい。そして、変形処理部 1 6 2 は、モデル設定部 1 6 3 を介して、体表を皮膚と体脂肪との 2 層の有限要素にモデル化し、肛門付近の内臓を有限要素にモデル化してよい。変形処理部 1 6 2 は、任意に、例えば直腸と骨とをセグメンテーションし、モデルに追加してよい。また、体表と肛門付近の内臓との間にガス領域を設け、仮想的なガス注入に応じてガス注入領域が拡張（膨張）してよい。なお、ガス注入シミュレーションが行われなくてもよい。

30

【 0 0 5 0 】

位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係を導出する。手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係は、例えば、手術支援ロボット 3 0 0 に対するプラットフォーム 4 0 の相対的な位置であってよい。位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 の位置に対するプラットフォーム 4 0 の位置を取得することで、位置関係を導出してよい。また、位置処理部 1 6 4 は、プラットフォーム 4 0 に対する手術支援ロボット 3 0 0 の位置を取得することで、位置関係を導出してよい。例えば、位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 の位置とプラットフォーム 4 0 の位置との双方を取得し、位置関係を算出してよい。また、位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係と、手術支援ロボット 3 0 0 の位置と、に基づいて、プラットフォーム 4 0 の位置を算出してよい。

40

【 0 0 5 1 】

位置処理部 1 6 4 は、手術器具 3 0 の被検体 P S への挿入距離に基づいて、プラットフォーム 4 0 と手術支援ロボット 3 0 0 との位置関係を導出してよい。例えば、手術支援ロボット 3 0 0 のキネマティクスに含まれる手術器具 3 0 の長さから挿入距離を減算することで、プラットフォーム 4 0 と手術支援ロボット 3 0 0 との距離を算出し、位置関係を導出してよい。さらに、位置処理部 1 6 4 は、ロボットアーム A R の角度に基づいて、ロボ

50

ットアーム A R に対するプラットフォーム 4 0 の向きを判別してもよい。この場合、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置と向きを加味した位置関係を導出できる。

【 0 0 5 2 】

位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係に基づいて、術中に手術器具 3 0 を操作する際の回転中心 r_c を算出する。この回転中心 r_c は、手術器具 3 0 の位置や向きの変化に関わらず、手術器具 3 0 が通過する位置である。この回転中心 r_c の位置は、例えば実際のプラットフォーム 4 0 の位置でもよいし、プラットフォーム 4 0 の理想的な配置位置でもよい。プラットフォーム 4 0 の理想的な配置位置は、ロボットアーム A R の角度及び手術器具 3 0 のキネマティクスに基づくプラットフォーム 4 0 の推定位置でよい。術者は、ロボット操作端末 3 1 0 を介して、手術器具 3 0 の動きが回転中心 r_c を通るように調整することで、プラットフォーム 4 0 に対する不要な押圧力が抑制され、術中の被検体 P S の負担が軽減可能である。また、術者らは、直接プラットフォーム 4 0 に触れることによって手術器具 3 0 の動きが回転中心 r_c を通るようにプラットフォーム 4 0 を調整することで、プラットフォーム 4 0 に対する不要な押圧力が抑制され、術中の被検体 P S の負担が軽減可能である。

10

【 0 0 5 3 】

位置処理部 1 6 4 は、手術器具 3 0 毎に回転中心 r_c を算出してよい。この場合、プラットフォーム 4 0 において各手術器具 3 0 が通過する位置を、個別に算出してよい。これにより、術者により複数の手術器具 3 0 のそれぞれの動きが、それぞれの回転中心 r_c を通るように調整されることで、プラットフォーム 4 0 に対する不要な押圧力が抑制され、術中の被検体 P S の負担が軽減可能である。

20

【 0 0 5 4 】

位置処理部 1 6 4 は、手術器具 3 0 のキネマティクスの情報及びロボットアーム A R の角度に基づいて、ロボットアーム A R に取り付けられた手術器具 3 0 が通過する位置を推定してよい。この場合、ロボットアーム A R の角度とともに、ロボットアーム A R に対するエンドエフェクタ E F の角度が加味されてもよい。エンドエフェクタ E F の推定位置は、エンドエフェクタ E F の実際の位置とは異なり得る。エンドエフェクタ E F の回転中心 r_c の位置は、このエンドエフェクタ E F の推定位置であってもよい。これにより、エンドエフェクタ E F の湾曲等が無い場合の理想的なエンドエフェクタ E F の回転中心 r_c の位置が把握できる。

30

【 0 0 5 5 】

位置処理部 1 6 4 は、手術器具 3 0 の先端位置と先端向きとを推定する。例えば、位置処理部 1 6 4 は、少なくともロボットアーム A R の角度（手術器具 3 0 の向き）と手術器具 3 0 の挿入距離とに基づいて、手術器具 3 0 の先端位置を推定してよい。例えば手術器具 3 0 が直線的に延びる形状である場合、手術器具 3 0 の挿入距離とロボットアーム A R の角度とに基づいて、手術器具 3 0 の先端位置を推定してよい。例えば手術器具 3 0 が非直線的な形状（例えば折れ曲がる形状、湾曲した形状）を有する場合、ロボットアーム A R の角度と手術器具 3 0 の挿入距離と手術器具 3 0 の形状とに基づいて、手術器具 3 0 の先端位置を推定してよい。例えば手術器具 3 0 が直線的に延びる形状である場合、ロボットアーム A R の角度に基づく手術器具 3 0 全体の向きを、手術器具 3 0 の先端向きとして算出してよい。例えば手術器具 3 0 が非直線的な形状である場合、手術器具 3 0 全体の向きと手術器具 3 0 の形状とに基づいて、手術器具 3 0 の先端向きを算出してよい。なお、手術器具 3 0 が押圧力を受けた場合、上記で推定された手術器具 3 0 の先端位置及び先端向きと実際の手術器具 3 0 の先端位置及び先端向きとに差分が生じ得る。

40

【 0 0 5 6 】

シミュレーション処理部 1 6 5 は、プラットフォーム 4 0 の設置シミュレーションを行う。プラットフォーム 4 0 の設置シミュレーションは、術者がロボット操作端末 3 1 0 を操作することで、被検体 P S における所望の手術が可能か否かを判定するためのシミュレーションである。このシミュレーションでは、U I 1 2 0 を用いてロボット操作端末 3 1

50

0 の操作を模してよい。プラットフォーム 40 の設置シミュレーションでは、術者が手術を想定しながら、仮想空間において、肛門に設置されたプラットフォーム 40 に挿通されたエンドエフェクタ EF を動作させ、エンドエフェクタ EF が手術対象となるターゲット TG へアクセス可能か否かを判定してよい。つまり、プラットフォーム 40 の設置シミュレーションでは、エンドエフェクタ EF を操作しながら、エンドエフェクタ EF がターゲット TG へ問題なくアクセス可能か否かが判定されてよい。アクセス可能な場合には、手術支援ロボット 300 を用いた T A M I S が可能であると判定可能である。アクセス不可能な場合には、手術支援ロボット 300 を用いた T A M I S が不可能であると判定可能であり、この場合には開腹手術に切り替えるための判断材料となる。また、シミュレーション処理部 165 は、プラットフォーム 40 の設置シミュレーションでは、内視鏡 ES を操作しながら、内視鏡 ES の撮像範囲にターゲット TG が含まれるか否かも判定してよい。

10

【0057】

具体的には、シミュレーション処理部 165 は、被検体 PS のボリュームデータ又はモデル、手術器具 30 のキネマティクスと、ターゲット TG の位置と、プラットフォーム 40 の位置と、を取得する。シミュレーション処理部 165 は、手術器具のキネマティクスと、ターゲットの位置と、プラットフォーム 40 の位置と、に基づいて、プラットフォーム 40 を介してエンドエフェクタ EF がターゲット TG に到達可能か否かを判定し、手術支援ロボット 300 を用いた T A M I S が可能であるか否かを判定してよい。さらに、被検体 PS への肛門からのガス注入状態、被検体 PS に施される手術の術式、等が加味されてもよい。

20

【0058】

なお、キネマティクスでは、自ロボットアームによる可動範囲とともに他ロボットアームの可動範囲が規定される。したがって、手術支援ロボット 300 は、手術支援ロボット 300 の各ロボットアーム AR がキネマティクスに基づいて動作することで、術中に複数のロボットアーム AR が干渉することを回避できる。

【0059】

術式は、UI 120 を介して指定されてよい。術式により、ロボット手術における各処置が定まってよい。処置に応じて、処置に必要なエンドエフェクタ EF が定まってよい。よって、術式に応じて、ロボットアーム AR に装着されるエンドエフェクタ EF が定まってよく、どのロボットアーム AR にどの種類のエンドエフェクタ EF が装着されるかが定まってよい。

30

【0060】

画像生成部 166 は、各種画像を生成する。画像生成部 166 は、取得されたボリュームデータの少なくとも一部（例えばボリュームデータにおいて抽出された領域）に基づいて、3次元画像や2次元画像を生成する。画像生成部 166 は、変形処理部 162 により変形されたボリュームデータに基づいて、3次元画像や2次元画像を生成してよい。例えば、ボリュームレンダリング画像や、内視鏡 ES の位置から内視鏡 ES の向きを見た状態を表現する仮想内視鏡画像を生成してよい。

【0061】

表示制御部 167 は、各種データ、情報、画像をディスプレイ 130 に表示させる。表示制御部 167 は、画像生成部 166 で生成された画像（例えばレンダリング画像）を表示させる。また、表示制御部 167 は、この画像とともに各種情報を重畳して表示させる。重畳表示される情報は、例えば手術器具 30 を示す情報を含んでよい。また、表示制御部 167 は、レンダリング画像の輝度調整を行ってよい。輝度調整は、例えばウインドウ幅（WW：Window Width）及びウインドウレベル（WL：Window Level）の少なくとも一方の調整を含んでよい。

40

【0062】

図 2B は、プラットフォーム 40 の構造例を示す図である。プラットフォーム 40 は、ベース 41 と、ベース 41 に接続される複数の突起 42 と、を有する。ベース 41 は、例えば略半球状や略円筒状の形状を有し、その他の形状を有してもよい。複数の突起 42

50

0 は、それぞれ手術器具 3 0 が挿通される孔部を有する。孔部は、突起 4 2 0 及びベース 4 1 を貫通して設けられる。各手術器具 3 0 は、ロボットアーム A R の動きに連動して移動し、プラットフォーム 4 0 の突起 4 2 0 及びベース 4 1 を介して、被検体 P S への挿入量（挿入距離）及び挿入向きを柔軟に調整可能である。

【 0 0 6 3 】

被検体 P S への挿入距離は、プラットフォーム 4 0 に挿通される複数の手術器具 3 0 の挿入距離がまとめて 1 つ取得されてよい。この場合、リニアエンコーダが例えばベース 4 1 に設置されてよい。また、複数の手術器具 3 0 のそれぞれについて挿入距離が取得されてもよい。この場合、リニアエンコーダが各突起 4 2 0 に設置されてよい。

【 0 0 6 4 】

プラットフォーム 4 0 は、肛門に設置されるが、単孔式腹腔鏡下手術（S I L S : Single Incisional Laparoscopic Surgery）用のアクセスプラットフォームをそのまま又は多少の加工により使用可能である。また、プラットフォーム 4 0 は、肛門専用のプラットフォームであってもよい。また、手術支援ロボットについても、腹腔鏡手術用の手術支援ロボットを本実施形態の肛門用の手術支援ロボット 3 0 0 として使用可能である。

【 0 0 6 5 】

次に、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係の導出について説明する。ここでは、光学的マーカ M K を用いて手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係の導出することを主に例示する。ロボット本体 3 2 0、ロボットアーム A R、手術器具 3 0 の少なくとも 1 つには、光学的マーカ M K が付されてよい。プラットフォーム 4 0 のベース 4 1 又は突起 4 2 0 の少なくとも 1 つには、光学的マーカ M K が付されてよい。

【 0 0 6 6 】

図 3 A は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係の第 1 導出例を説明するための図である。

【 0 0 6 7 】

図 3 A では、被検体 P S を基準とした被検体座標系（患者座標系）の x 方向、y 方向、及び z 方向が示されている。被検体座標系は、直交座標系である。x 方向は、被検体 P S を基準とした左右方向に沿ってよい。y 方向は、被検体 P S を基準とした前後方向（被検体 P S の厚み方向）でよい。z 方向は、被検体 P S を基準とした上下方向（被検体 P S の体軸方向）でよい。x 方向、y 方向、z 方向は、D I C O M（Digital Imaging and Communications in Medicine）で規定された 3 方向でよい。この座標系は、図 3、図 3 C、及び図 4 でも同様である。

【 0 0 6 8 】

図 3 A では、手術支援ロボット 3 0 0 に光学的マーカ M K 及びプラットフォーム 4 0 に、光学的マーカ M K が付されている。具体的には、手術支援ロボット 3 0 0 における所定の位置に、光学的マーカ M K 1 が付されてよい。この所定の位置は、例えばロボット本体 3 2 0 における被検体 P S が配置される場所に対向する側面や、ロボットアーム A R の根本の表面でよい。また、プラットフォーム 4 0 における所定の位置に、光学的マーカ M K 2 が付されてよい。この所定の位置は、例えばベース 4 1 又は突起 4 2 におけるいずれかの表面の位置でよい。

【 0 0 6 9 】

図 3 A では、ロボット手術が行われる手術環境における所定の位置に、俯瞰カメラ 4 0 0 が配置される。所定の位置は、手術室の壁面や天井、天井から吊り下げられた位置、手術支援ロボット 3 0 0 の側面、ロボット手術で使用される各種カートの側面、等が考えられる。俯瞰カメラ 4 0 0 は、手術支援ロボット 3 0 0 及びプラットフォーム 4 0 に付された光学的マーカ M K を撮像範囲に含むように、俯瞰カメラ 4 0 0 が設置される位置、向き、画角、等が定められる。光学的マーカ M K は、俯瞰カメラ 4 0 0 等から赤外光の照射を受けると、発光する。この結果、俯瞰カメラ 4 0 0 の撮像画像に光学的マーカ M K が写り込む。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

ロボット手術支援装置 1 0 0 の位置処理部 1 6 4 は、送受部 1 1 0 を介して俯瞰カメラ 4 0 0 の撮像画像及び撮像画像の付加情報を取得する。位置処理部 1 6 4 は、撮像画像に写り込んだ光学的マーカ M K 1 , M K 2 の位置を基に、撮像画像における手術支援ロボット 3 0 0 の位置（画像位置）と、撮像画像におけるプラットフォーム 4 0 の位置（画像位置）と、を認識する。位置処理部 1 6 4 は、撮像画像における手術支援ロボット 3 0 0 の画像位置とプラットフォーム 4 0 の画像位置に基づいて、実空間における手術支援ロボット 3 0 0 の位置とプラットフォーム 4 0 の位置とを認識できる。この位置の認識は、手術支援ロボット 3 0 0 の位置とプラットフォーム 4 0 の位置との計測（実測）に相当する。よって、位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 の位置関係を導出できる。

10

【 0 0 7 1 】

このように、手術支援ロボット 3 0 0 における光学的マーカ M K 2 の付された位置が、手術支援ロボット 3 0 0 の位置として認識され、プラットフォーム 4 0 における光学的マーカ M K 1 の付された位置が、プラットフォーム 4 0 の位置として認識される。

【 0 0 7 2 】

図 3 B は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係の第 2 導出例を説明するための図である。図 3 B において、図 3 A と同様の事項については、その説明を省略又は簡略化する。

【 0 0 7 3 】

図 3 B では、手術支援ロボット 3 0 0 に光学的マーカ M K が付されず、プラットフォーム 4 0 に光学的マーカ M K が付されている。プラットフォーム 4 0 に付される光学的マーカ M K の位置は、図 3 A の場合と同じでよい。

20

【 0 0 7 4 】

図 3 B では、手術支援ロボット 3 0 0 における所定の位置に、俯瞰カメラ 4 0 0 が配置される。この所定の位置は、例えばロボット本体 3 2 0 における被検体 P S が配置される場所に対向する側面でよい。俯瞰カメラ 4 0 0 は、プラットフォーム 4 0 に付された光学的マーカ M K を撮像範囲に含むように、俯瞰カメラ 4 0 0 が設置される位置、向き、画角、等が定められる。

【 0 0 7 5 】

ロボット手術支援装置 1 0 0 の位置処理部 1 6 4 は、送受部 1 1 0 を介して俯瞰カメラ 4 0 0 の撮像画像及び撮像画像の付加情報を取得する。また、俯瞰カメラ 4 0 0 は手術支援ロボット 3 0 0 に設置されるので、撮像画像の画像範囲は、手術支援ロボット 3 0 0 の位置に基づく。位置処理部 1 6 4 は、撮像画像に写り込んだ光学的マーカ M K の位置を基に、撮像画像におけるプラットフォーム 4 0 の位置（画像位置）を判別する。よって、位置処理部 1 6 4 は、撮像画像におけるプラットフォーム 4 0 の画像位置に基づいて、実空間における手術支援ロボット 3 0 0 に対するプラットフォーム 4 0 の位置を推定できる。よって、位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 の位置関係を導出できる。

30

【 0 0 7 6 】

なお、図 3 A、図 3 B では、被検体 P S が切石位の体位で手術ベッド 5 0 0 に固定されている。切石位では、手術ベッド 5 0 0 に仰向けに載置され、手術ベッド 5 0 0 において、被検体 P S の胴体部が載置されるテーブル 5 2 0 よりも、被検体 P S の脚部が固定される脚保持部 5 5 0 が高い位置に配置される。脚保持部 5 5 0 に、被検体 P S の脚が上げられた状態で固定される。脚保持部 5 5 0 は、脚載置部 5 5 1 と脚固定部 5 5 2 とを有する。

40

【 0 0 7 7 】

なお、本実施形態では、被検体 P S の体位は切石位に限られない。例えば、ジャックナイフ位（図 3 C 参照）やその他の体位であってもよい。ジャックナイフ位では、手術ベッド 5 0 0 にうつ伏せに載置され、手術ベッド 5 0 0 において、テーブル 5 2 0 よりも脚保持部 5 5 0 が低い位置に配置される。脚保持部 5 5 0 に、被検体 P S の脚が下ろされた状

50

態で固定する。なお、図 3 C では、図 3 A に示した位置関係の導出例が適用されてもよいし、図 3 B に示した位置関係の導出例が適用されてもよい。

【 0 0 7 8 】

図 4 は、プラットフォーム 4 0、手術器具 3 0、及び被検体 P S の内部の様子の一例を示す図である。ロボット本体 3 2 0 のロボットアーム A R に取り付けられたエンドエフェクタ E F は、プラットフォーム 4 0 を挿通して被検体 P S の内部に挿入される。図 4 では、プラットフォーム 4 0 は肛門に設置されており、肛門に接続する直腸の一部に病変が存在し、処置が行われるターゲット T G となっている。ターゲット T G 付近の様子は、ロボットアーム A R に取り付けられた内視鏡 E S により撮像される。内視鏡 E S もエンドエフェクタ E F と同様に、プラットフォーム 4 0 を挿通して被検体 P S の内部に挿入される。実内視鏡画像には、ターゲット T G に各種処置を行うためのエンドエフェクタ E F が映り込み得る。

10

【 0 0 7 9 】

図 5 は、プラットフォーム 4 0 を回転中心とした手術器具 3 0 の回転例を示す図である。

【 0 0 8 0 】

ロボット手術支援装置 1 0 0 の位置処理部 1 6 4 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係を導出する。位置処理部 1 6 4 は、送受部 1 1 0 を介して、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係の情報を手術支援ロボット 3 0 0 に送信してよい。これにより、手術支援ロボット 3 0 0 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係を把握でき、ロボット手術に活用できる。

20

【 0 0 8 1 】

また、位置処理部 1 6 4 は、送受部 1 1 0 を介して、手術器具 3 0 の回転中心 r_c の位置の情報を手術支援ロボット 3 0 0 に送信してよい。手術支援ロボット 3 0 0 は、ロボット手術支援装置 1 0 0 から回転中心 r_c の位置の情報を取得し、この回転中心 r_c の位置（例えばプラットフォーム 4 0 の位置）を通るように、ロボットアーム A R の可動範囲やロボットアーム A R に対する手術器具 3 0 の可動範囲を制限してよい。これにより、ロボット操作端末 3 1 0 が術者から受け付けた操作に従って、ロボットアーム A R を介して手術器具 3 0 を動かす場合、手術支援ロボット 3 0 0 は、プラットフォーム 4 0 の位置が手術器具 3 0 の回転中心 r_c となるよう制御できる。

【 0 0 8 2 】

30

図 5 では、ロボット操作端末 3 1 0 の操作に応じて、手術器具 3 0 A の位置から手術器具 3 0 B の位置に移動している。この場合でも、手術器具 3 0 A、E F B の双方は、回転中心 r_c の位置を通っている。つまり、手術器具 3 0 A、3 0 B は、回転中心 r_c を中心に回転可能である。

【 0 0 8 3 】

また、表示制御部 1 6 7 は、ディスプレイ 1 3 0 を介して、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係の情報や手術器具 3 0 の回転中心 r_c の位置の情報を表示してよい。つまり、ロボット手術支援装置 1 0 0 は、手術支援ロボット 3 0 0 のロボットアーム A R の動きを制限するのではなく、ディスプレイ 1 3 0 又は画像表示端末 3 3 0 に上記の位置関係や回転中心 r_c の位置の情報を表示し、術者が認識できるようにしてよい。回転中心 r_c の位置の情報は、例えばレンダリング画像において回転中心 r_c の位置に相当する位置を示す情報として表示されてよい。術者は、ディスプレイ 1 3 0 又は画像表示端末 3 3 0 に位置関係や回転中心 r_c の位置の情報を確認し、ロボット操作端末 3 1 0 を介した手術器具 3 0 の操作を自主的に制限し、手術器具 3 0 が回転中心 r_c を通るようにしてもよい。これにより、手術支援ロボット 3 0 0 は、プラットフォーム 4 0 に対して余分な押圧力が作用したり、プラットフォーム 4 0 が意図しない方向に移動したりすることを抑制できる。

40

【 0 0 8 4 】

なお、プラットフォーム 4 0 の位置は、手術器具 3 0 毎に複数存在してもよい。例えば、プラットフォーム 4 0 の各突起 4 2 に光学的マーカ M K が付され、俯瞰カメラ 4 0 0 に

50

より撮像されてもよい。この場合、位置処理部 164 は、俯瞰カメラ 400 により撮像された撮像画像を基に、手術支援ロボット 300 がプラットフォーム 40 の各突起 42 の位置を認識してよい。位置処理部 164 は、各突起 42 の位置を各手術器具 30 の回転中心 r_c としてよい。手術支援ロボット 300 は、各突起 42 の位置を各手術器具 30 の EF の回転中心 r_c として導出することで、各突起 42 の位置を回転中心 r_c として、被検体 PS に対する手術器具 30 の位置や向きを調整できる。

【0085】

図 6 は、プラットフォーム 40 を挿通する手術器具 30 が湾曲した様子の一例を示す図である。

【0086】

手術器具 30 は、主要部分が直線形状である場合でも、手術器具 30 に作用する押圧力が過大である場合には、湾曲し得る。また、手術器具 30 は、主要部分が非直線形 40 状である場合でも、手術器具 30 に作用する押圧力が過大である場合には、原形から変形して湾曲し得る。この場合、手術器具 30 が挿入された被検体 PS に対して負荷がかかるので、手術器具 30 に作用する押圧力が小さくなることが望ましい。

【0087】

ロボット手術支援装置 100 の位置処理部 164 は、送受部 110 を介して取得されたロボットアーム AR の角度に基づいて、被検体 PS の肛門付近において手術器具 30 が通過する位置を推定する。この手術器具 30 の推定位置に、プラットフォーム 40 が位置していることが望ましい。つまり手術器具 30 の肛門付近の推定位置と、プラットフォーム 40 に挿通された実際の手術器具 30 の位置と、が一致していることが望ましい。

【0088】

手術器具 30 が湾曲していると、被検体 PS における肛門付近での手術器具 30 の推定位置 p_{11} と実際の位置 p_{12} との差分よりも、被検体 PS の肛門付近よりも奥側での手術器具 30 の先端の推定位置 p_{21} と先端の実際の位置 p_{22} との差分が大きくなる。肛門付近における手術器具 30 の実際の位置 p_{12} は、プラットフォーム 40 の実測位置に相当する。例えば、肛門付近において 1 ~ 2 mm ずれている場合、手術器具 30 の先端付近では、2 ~ 4 mm ずれていることが想定される。図 6 では、湾曲していない手術器具 30 を、手術器具 30 C として示しており、湾曲している手術器具 30 を、手術器具 30 D として示している。

【0089】

位置処理部 164 は、プラットフォーム 40 の位置を手術器具 30 が通過しない場合、ロボットアーム AR 又は手術器具 30 が湾曲しているとして、手術器具 30 の先端の推定位置 p_{21} を補正してよい。この場合、位置処理部 164 は、肛門付近における手術器具 30 の推定位置 p_{11} とプラットフォーム 40 の実測位置 p_{12} との差分を基に、手術器具 30 の湾曲度を算出してよい。そして、位置処理部 164 は、算出された湾曲度と、手術器具 30 の先端の推定位置 p_{21} に基づいて、手術器具 30 の先端の位置 p_{22} を算出してよい。位置処理部 164 は、ロボットアーム AR の角度に基づく手術器具 30 の先端の推定位置 p_{21} を、湾曲度に基づく手術器具 30 の先端の算出位置 p_{22} に補正してよい。なお、位置処理部 164 は、手術器具 30 の先端の推定位置 p_{21} を算出位置 p_{22} に至るまで移動するよう補正しなくてもよい。例えば、位置処理部 164 は、先端の推定位置 p_{21} から算出位置 p_{22} の方向に任意の補正量で補正し、先端の推定位置 p_{21} と算出位置 p_{22} との間の位置になるよう補正してもよい。

【0090】

これにより、ロボットアーム AR の角度に基づく手術器具 30 の推定位置 p_{11} , p_{13} を、実空間における手術器具 30 の実際の状態に即して補正できる。手術器具 30 の先端位置の補正の結果は、手術支援ロボット 300 に通知されて認識されることで、手術支援ロボット 300 によるロボット手術の精度が向上する。また、この補正の結果は、被検体 PS のレンダリング画像において重畳して示されることで、術者の操作に応じたロボット手術の精度が向上する。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 1 】

なお、手術器具 3 0 の先端位置の補正は、上記とは逆であってもよい。つまり、位置処理部 1 6 4 は、手術器具 3 0 の先端の算出位置 p_{22} から、手術器具 3 0 の先端の推定位置 p_{21} の方向に、補正してもよい。これにより、手術器具 3 0 の実際の位置 p_{12} 及び先端の算出位置 p_{22} を、手術支援ロボット 3 0 0 が自ら推定可能な手術器具 3 0 の推定位置 p_{11} 及び先端の推定位置 p_{21} に補正できる。よって、ロボット手術支援装置 1 0 0 は、この補正の結果を、手術支援ロボット 3 0 0 に認識させたり表示等を介して術者に提示したりすることで、湾曲せずに押圧力が低減される理想的なプラットフォーム 4 0 の位置を回転中心 r_c とするように、手術器具 3 0 を導きやすくできる。

【 0 0 9 2 】

図 7 は、プラットフォーム 4 0 の移動に連動した臓器 5 0 の移動例を示す図である。

【 0 0 9 3 】

プラットフォーム 4 0 に接触している臓器 5 0 は、プラットフォーム 4 0 の移動に連動して移動する。プラットフォーム 4 0 に接触する臓器 5 0 は、例えば肛門周辺の筋肉や直腸を含んでよい。位置処理部 1 6 4 は、被検体 P S とプラットフォーム 4 0 との位置関係を導出する。位置処理部 1 6 4 は、被検体 P S の肛門の位置と肛門に設置されたプラットフォーム 4 0 の位置とが一致することから、被検体 P S とプラットフォーム 4 0 との位置関係を把握できる。ボリュームデータは、ボリュームデータの各ボクセルに対応する位置情報を有するので、位置処理部 1 6 4 は、ボリュームデータにおける被検体 P S の肛門の位置を認識可能である。

【 0 0 9 4 】

変形処理部 1 6 2 は、被検体 P S とプラットフォーム 4 0 との位置関係と、プラットフォーム 4 0 の移動と、に基づいて、被検体 P S のプラットフォーム 4 0 に連動する臓器 5 0 の変形を算出する。ここでの変形は、移動や回転を含んでよい。また、臓器 5 0 内にターゲット T G が含まれるので、変形処理部 1 6 2 は、プラットフォーム 4 0 の移動に基づいて、ターゲット T G の変形を算出してもよい。

【 0 0 9 5 】

また、術者や手術支援ロボット 3 0 0 が、プラットフォーム 4 0 に力を加えてプラットフォーム 4 0 を移動させることで、プラットフォーム 4 0 に接触する臓器 5 0 や臓器 5 0 内のターゲット T G を移動させてもよい。例えば、プラットフォーム 4 0 を移動させることで、ターゲット T G の位置を、ターゲット T G を処置し易い位置に移動させてよい。なお、被検体 P S における骨盤は、ボリュームデータやモデルにおいて、被検体 P S に対して位置を変更可能なものとして扱ってもよいし、被検体 P S に対して位置が固定であるものとして扱ってもよい。

【 0 0 9 6 】

また、変形処理部 1 6 2 は、被検体 P S における骨盤の動きの情報を取得してもよい。例えば、被検体 P S とプラットフォーム 4 0 との位置関係と、プラットフォーム 4 0 の移動と、被検体 P S における骨盤の位置と、に基づいて、骨盤の動きを算出してよい。骨盤の動きの情報を取得することで、例えば肛門付近の筋肉剥離がし易くなる。なお、テーブル 5 2 0 上での体位変換よりも脚の上げ下げによる体位変換の方が、骨盤の動きが大きくなる。

【 0 0 9 7 】

このような臓器 5 0 、ターゲット T G 、骨盤、等の変形や動きは、モデル又はボリュームデータを用いて、有限要素法を用いた大変形シミュレーションにより導出されてよい。例えば、変形処理部 1 6 2 は、プラットフォーム 4 0 の移動に応じてプラットフォーム 4 0 に作用する押圧力を算出し、プラットフォーム 4 0 に連動して移動する臓器 5 0 の各点に作用する押圧力を基に、臓器 5 0 を変形させてよい。

【 0 0 9 8 】

また、変形処理部 1 6 2 は、被検体 P S が体位変換する前後におけるプラットフォーム 4 0 の位置を取得し、これらのプラットフォーム 4 0 の位置を基に体位変換時のプラ

10

20

30

40

50

フォーム４０の動きを算出してよい。変形処理部１６２は、プラットフォーム４０の動きを基に、被検体ＰＳの臓器や骨盤の動きを推定してよい。これにより、ロボット手術支援装置１００は、術中に手術器具３０を被検体ＰＳの体内に挿入した状態（ドッキングした状態）で体位変換しても、外部から視認できない臓器５０や被検体ＰＳの動きを推定して、ロボット手術を継続させることができる。

【００９９】

図８及び図９は、ロボット手術支援装置１００の動作例を示すフローチャートである。なお、図８のＳ１１～Ｓ１４は、例えば術前に実施され、図９のＳ２１～Ｓ２８は、例えば術中に実施される。ここでの各処理は、処理部１６０の各部によって実施される。

【０１００】

まず、術前には、被検体ＰＳ（例えば患者）のポリウムデータを取得する（Ｓ１１）。臓器、骨、及び血管の領域を抽出するセグメンテーションを実行する（Ｓ１２）。ポリウムデータに基づいて、モデル（例えば直腸の臓器モデル）を生成する（Ｓ１３）。被検体ＰＳの肛門へのプラットフォーム４０の設置シミュレーションを行う（Ｓ１４）。

【０１０１】

ロボット手術が開始される際には、手術支援ロボット３００や被検体ＰＳが載置された手術ベッド５００が所定の位置に配置される。術中には、手術器具３０が、肛門に設置されたプラットフォーム４０を介して被検体ＰＳの内部に挿入される。

【０１０２】

続いて、俯瞰カメラ４００が光学的マーカＭＫを撮像範囲に含んで撮像した撮像画像を取得する。撮像画像を基に、プラットフォーム４０の位置（実測位置）を導出する（Ｓ２１）。プラットフォーム４０の位置を基に、モデルを変形する（Ｓ２２）。プラットフォーム４０の位置を基に、各手術器具３０の回転中心 r_c を算出する（Ｓ２３）。手術器具３０の回転中心 r_c の位置が、肛門付近での手術器具３０の推定位置と一致するか否かを判定する（Ｓ２４）。手術器具３０の回転中心 r_c の位置が、手術器具３０の推定位置と一致しない場合、手術器具３０の先端の推定位置 p_{21} を、プラットフォーム４０の実測位置に基づく手術器具３０の先端の算出位置 p_{22} に近づくよう補正する（Ｓ２５）。

【０１０３】

モデルの変形に対応して、ポリウムデータを変形する。例えば、プラットフォーム４０に連動した臓器の変形がポリウムデータに反映される。変形されたポリウムデータをレンダリングして仮想内視鏡画像を生成する（Ｓ２６）。仮想内視鏡画像に仮想手術器具３０Ｖの先端を示す情報（例えば先端位置、先端向きの情報）を重畳して、第１の表示画像を生成する（Ｓ２６）。仮想内視鏡画像では、映り込む仮想手術器具３０Ｖは仮想エンドエフェクタである。生成された第１の表示画像をディスプレイ１３０又は画像表示端末３３０に表示させる（Ｓ２６）。また、送受部１１０を介して、実内視鏡画像を内視鏡ＥＳから取得して、第２の表示画像としてディスプレイ１３０又は画像表示端末３３０表示させる（Ｓ２７）。実内視鏡画像には、手術器具３０が映り込んでいる。

【０１０４】

これにより、術者は、第１の表示画像及び第２の表示画像の少なくとも一方を確認することで、被検体ＰＳの内部の状況を把握できる。例えば、プラットフォーム４０に連動した臓器の変形の様子を確認できる。また、プラットフォーム４０に応じて屈曲し得る仮想手術器具３０Ｖの向きや先端位置を確認できる。

【０１０５】

ロボット操作端末３１０は、術者による手術器具３０の操作を受け付ける。送受部１１０は、この操作情報をロボット操作端末３１０から取得する（Ｓ２８）。送受部１１０は、手術器具３０の回転中心 r_c を中心に回転するように手術器具３０が接続されたロボットアームＡＲを動かすように、手術支援ロボット３００に指示を送る（Ｓ２８）。

【０１０６】

手術支援ロボット３００は、この指示を受けると、指示に従ってロボットアームＡＲを動かす（Ｓ２８）。この際、例えば、術者が、回転中心 r_c を中心にロボットアームＡＲ

10

20

30

40

50

を動かすように、ロボット操作端末 3 1 0 を操作してよい。

【 0 1 0 7 】

なお、術中には、S 2 1 ~ S 2 8 の処理が反復されてよい。また、術中にコーンビーム C T などによって患者の撮影を行うことなどによって、S 1 1 ~ S 1 4 の処理の少なくとも一部が反復されてよい。

【 0 1 0 8 】

図 1 0 は、第 1 の表示画像 G 1 の一例を示す図である。第 1 の表示画像 G 1 は、仮想内視鏡画像 G 1 1 を含む。仮想内視鏡画像 G 1 1 では、管状組織である臓器 5 0 (例えば直腸) 付近の様子が示されている。また、第 1 の表示画像 G 1 は、仮想内視鏡画像 G 1 1 とともに、臓器 5 0 の背後に存在する骨 1 5 を示す情報と、仮想手術器具 3 0 V を示す情報と、が示されている。第 1 の表示画像 G 1 では、仮想手術器具 3 0 V は、実空間における手術器具 3 0 の位置に相当する仮想内視鏡画像 G 1 1 における画像位置に示されている。

10

【 0 1 0 9 】

このように、ロボット手術支援装置 1 0 0 は、T A M I S で用いられるプラットフォーム 4 0 が術中に動きやすくても、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係を導出できる。ロボット手術支援装置 1 0 0 は、手術支援ロボット 3 0 0 とプラットフォーム 4 0 との位置関係を逐次導出してよく、ロボットアーム A R がプラットフォーム 4 0 の動きに追従できる。そのため、術者は、手術支援ロボット 3 0 0 に対するプラットフォーム 4 0 の位置を気にすること無く、ロボット手術を行うことができ、手術精度を向上できる。特に、T A M I S では、他の腹腔鏡手術における体位変換と比較すると、被検体 P S 内の臓器の動きが大きく、変形が大きい。これに対し、ロボット手術支援装置 1 0 0 は、上記の位置関係を導出することで、その影響を抑制できる。

20

【 0 1 1 0 】

また、手術器具 3 0 の回転中心 r_c を術者又は手術支援ロボット 3 0 0 に認識させることができる。そのため、動作範囲が術者の認識しないところで不意に制限されることを抑制できる。よって、術者が、回転中心 r_c を気にすること無く、プラットフォーム 4 0 に対して不要な押圧力が作用することを抑制でき、プラットフォーム 4 0 を介して手術器具 3 0 が押圧力を受けることを抑制できる。

【 0 1 1 1 】

以上、図面を参照しながら各種の実施形態について説明したが、本開示はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

30

【 0 1 1 2 】

プラットフォーム 4 0 は、光学的マーカ M K が付されるのではなく、位置センサを有してよい。この位置センサは、3 次元位置センサでよい。また、ロボット本体 3 2 0 は、光学的マーカ M K が付されるのではなく、位置センサを有してよい。この位置センサは、3 次元位置センサでよい。また、これらの位置センサは、光学的に位置を検出しても磁気的に位置を検出してもよい。また、プラットフォーム 4 0 とロボット本体 3 2 0 とを直接接続し、ロボット本体 3 2 0 に対するプラットフォーム 4 0 の位置を検出してもよい。具体的には、手術支援ロボット 3 0 0 のロボットアーム A R や手術器具 3 0 に、位置センサが取り付けられてよい。この位置センサは、3 次元空間でのロボットアーム A R や手術器具 3 0 の位置を検出する 3 次元位置センサを含んでよい。

40

【 0 1 1 3 】

また、送受部 1 1 0 は、プラットフォーム 4 0 からの情報を取得してよい。プラットフォーム 4 0 には、位置センサや角度センサが取り付けられてよい。この位置センサは、3 次元空間でのプラットフォーム 4 0 の位置を検出する 3 次元位置センサを含んでよい。この角度センサは、プラットフォーム 4 0 の地面に対する向きや被検体 P S に対する向きを検出する角度センサでもよいし、3 軸角度センサでもよい。送受部 1 1 0 は、プラットフォーム 4 0 に取り付けられた各種センサが検出した検出情報を取得してよい。また、プラ

50

ットフォーム４０からの情報には、プラットフォーム４０の形状に関する形状情報が含まれてよい。

【０１１４】

また、プラットフォーム４０には、任意の複数の位置に光学的マーカＭＫが付されてよい。俯瞰カメラ４００による撮像画像を基に、異なる複数の時点で、各光学的マーカＭＫの付された各位置が検出されてよい。変形処理部１６２は、異なる複数の時点で検出された各光学的マーカＭＫの付された各位置を基に、複数の光学的マーカＭＫの位置に対応するプラットフォーム４０における複数の位置の動きを検出し、つまりプラットフォーム４０の変形を検出してよい。ロボット手術支援装置１００は、プラットフォーム４０の変形を検出することで、プラットフォーム４０に押圧力が作用する位置や向きや押圧力の大きさを推定でき、ロボット手術における被検体ＰＳに対する負荷の軽減を期待できる。

10

【０１１５】

また、俯瞰カメラ４００はロボット本体３２０に設けられてもよい。この場合は、俯瞰カメラ４００は、ロボット本体３２０との位置関係は取得する必要がなくなるので、光学的マーカＭＫは不要となる。また、ロボット本体３２０に俯瞰カメラアームがあり、俯瞰カメラアームに俯瞰カメラ４００を設けてもよい。この場合は、ロボット手術支援装置１００が俯瞰カメラ４００とロボット本体３２０との位置関係を取得する必要がなくなるので、光学的マーカＭＫは不要となる。また、ロボットアームＡＲは俯瞰カメラアームに設けられてもよい。

【０１１６】

20

上記実施形態は、ＴＡＭＩＳに適用可能であるが、その他の術式に適用されてもよく、例えば、経肛門的全直腸間膜切除術（ＴａＴＭＥ：Transanal Total Mesorectal Excision）に適用されてもよい。また、単孔式腹腔鏡下手術に適用されてもよい。

【０１１７】

また、術者の操作に基づくロボット手術だけでなく、ＡＲＳ（Autonomous robotic Surgery）やＳｅｍｉ－ＡＲＳに用いることができる。ＡＲＳは、ＡＩ搭載の手術支援ロボットによりロボット手術を全自動で行うものである。Ｓｅｍｉ－ＡＲＳは、ＡＩ搭載の手術支援ロボットにより基本的にロボット手術を自動で行い、一部を術者による操作で行うものである。

【０１１８】

30

また、ロボット手術による鏡視下手術を例示したが、術者が手術器具３０を直接操作して行う手術であってもよい。この場合、ロボット本体３２０は被検体ＰＳでよく、ロボットアームＡＲは術者の腕でよく、手術器具３０は術者が把持して処置に用いる鉗子類及び内視鏡であってもよい。

【０１１９】

また、術前シミュレーションと術中ナビゲーションは、別個のロボット手術支援装置で構成されてもよい。例えば、術前シミュレーションはシミュレータで行われてよく、術中ナビゲーションはナビゲータで行われてよい。

【０１２０】

また、ロボット手術支援装置１００は、少なくともプロセッサ１４０及びメモリ１５０を備えていればよい。送受部１１０、ＵＩ１２０、及びディスプレイ１３０は、ロボット手術支援装置１００に対して外付けであってもよい。

40

【０１２１】

また、撮像されたＣＴ画像としてのボリュームデータは、ＣＴ装置２００からロボット手術支援装置１００へ送信されることを例示した。この代わりに、ボリュームデータが一旦蓄積されるように、ネットワーク上のサーバ（例えば画像データサーバ（ＰＡＣＳ）（不図示））等へ送信され、保管されてもよい。この場合、必要時にロボット手術支援装置１００の送受部１１０が、ボリュームデータを、有線回線又は無線回線を介してサーバ等から取得してもよいし、任意の記憶媒体（不図示）を介して取得してもよい。

【０１２２】

50

また、撮像されたCT画像としてのボリュームデータは、CT装置200からロボット手術支援装置100へ送受部110を経由して送信されることを例示した。これは、実質的にCT装置200とロボット手術支援装置100とを併せて一製品として成立している場合も含まれるものとする。また、ロボット手術支援装置100がCT装置200のコンソールとして扱われている場合も含む。また、ロボット手術支援装置100が、手術支援ロボット300に設けられてもよい。

【0123】

また、CT装置200により画像を撮像し、被検体内部の情報を含むボリュームデータを生成することを例示したが、他の装置により画像を撮像し、ボリュームデータを生成してもよい。他の装置は、MRI (Magnetic Resonance Imaging) 装置、PET (Positron Emission Tomography) 装置、血管造影装置 (Angiography装置)、又はその他のモダリティ装置を含む。また、PET装置は、他のモダリティ装置と組み合わせて用いられてもよい。

10

【0124】

また、ロボット手術支援装置100における動作が規定されたロボット手術支援方法として表現可能である。また、コンピュータにロボット手術支援方法の各ステップを実行させるためのプログラムとして表現可能である。

【0125】

(上記実施形態の概要)

上記実施形態の一態様は、ロボット手術支援装置100は、手術支援ロボット300による鏡視下手術を支援し、処理部160を備える。処理部160は、手術対象の被検体PSに設置され少なくとも2つの手術器具30を挿入可能なプラットフォーム40 (アクセスプラットフォームの一例) と、手術支援ロボット300と、の位置関係を導出する機能を有する。

20

【0126】

これにより、ロボット手術支援装置100は、プラットフォーム40が術中に動きやすくても、手術支援ロボット300とプラットフォーム40との位置関係を導出でき、手術支援ロボット300やロボットアームARに対するプラットフォーム40を追従できる。そのため、術者は、手術支援ロボット300に対するプラットフォーム40の位置を気にすること無く、ロボット手術を行うことができ、手術精度を向上できる。よって、ロボット手術支援装置100は、プラットフォーム40を用いた手術の操作性及び安全性を向上できる。

30

【0127】

また、処理部160は、プラットフォーム40と手術支援ロボット300との位置関係に基づいて、手術器具30の回転中心rcを算出してよい。この回転中心rcは、仮想的な回転中心rcであり、例えば、実際のプラットフォーム40の位置に対応してもよいし、プラットフォーム40が配置されるべき理想的な位置に対応してもよい。手術支援ロボット300は、回転中心rcを手術器具30が通るようにロボットアームARの可動範囲 (位置や向き) を調整することで、実際のプラットフォーム40に不要な押圧力が作用することを抑制できる。また、理想的な回転中心rcを基準とすることで、現状のプラットフォーム40の位置において作用している不要な押圧力を低減できることが期待できる。よって、ロボット手術支援装置100は、手術器具30の動き及び手術器具30の内部を通るワイヤーの動きを滑らかにし、手術器具30の位置精度、手術器具30の把持力などの精度を向上させることが出来る。よって、術中における被検体PSへの負担を低減できる。

40

【0128】

また、処理部160は、プラットフォーム40と手術支援ロボット300との位置関係に基づいて、手術器具30毎に異なる回転中心rcを算出してよい。プラットフォーム40において手術器具30が挿通される位置 (例えば突起42の位置) が異なる。よって、ロボット手術支援装置100は、手術器具30の挿通位置を加味して回転中心rcを導出

50

することで、手術器具 30 毎により適切な位置を回転中心 r_c とすることができ、プラットフォーム 40 に作用する押圧力を一層低減できる。

【0129】

また、処理部 160 は、被検体 PS の 3D データと、プラットフォーム 40 と手術支援ロボット 300 との位置関係と、に基づいて、被検体 PS とプラットフォーム 40 との位置関係を導出してよい。なお、被検体 PS の 3D データは、被検体 PS のボリュームデータ又はモデルを含んでよい。このボリュームデータ又はモデルは、非ガス注入状態でもガス注入状態でもよい。また、3D データは、ボリュームデータから生成されたサーフィスデータであってもよい。

【0130】

これにより、ロボット手術支援装置 100 は、3D データにおけるプラットフォーム 40 の設置位置に相当する位置を認識でき、プラットフォーム 40 が 3D データにおいてどのように動くかを認識できる。

【0131】

また、プラットフォーム 40 は、被検体 PS の肛門に設置されてよい。処理部 160 は、プラットフォーム 40 と被検体 PS の位置関係に基づいて、被検体 PS の臓器 50 の変形を算出してよい。これにより、ロボット手術支援装置 100 は、プラットフォーム 40 と被検体 PS の位置関係に応じた被検体 PS 内の臓器 50 の状態を認識できる。例えば、被検体 PS が体位変換することで、被検体 PS におけるプラットフォーム 40 の位置が移動しても、この移動に追従して動く臓器 50 の状態を認識できる。よって、ロボット手術支援装置 100 は、臓器 50 の状態を加味したロボット手術を実施することを支援できる。

【0132】

また、処理部 160 は、手術器具 30 をプラットフォーム 40 に挿入した挿入距離の情報を取得してよい。これにより、ロボット手術支援装置 100 は、プラットフォーム 40 と被検体 PS 内の手術器具 30 の先端位置との距離を認識でき、術者が被検体 PS 内での手術器具 30 の様子（例えば手術器具 30 とターゲット TG との距離）を推測することを支援できる。

【0133】

また、処理部 160 は、挿入距離の情報に基づいて、プラットフォーム 40 と手術支援ロボット 300 との位置関係を導出してよい。これにより、ロボット手術支援装置 100 は、3次元位置センサを用いずに、手術支援ロボット 300 に対するプラットフォーム 40 の位置を導出できる。

【0134】

また、処理部 160 は、手術支援ロボット 300 のキネマティクスの情報を取得し、手術支援ロボット 300 のキネマティクスの情報と、プラットフォーム 40 と手術支援ロボット 300 との位置関係と、に基づいて、手術器具 30 の先端位置を算出してよい。ロボット手術支援装置 100 は、例えばロボットアーム AR の角度と手術器具 30 の形状情報とに基づいて、手術器具 30 の位置を推定でき、手術器具 30 の先端位置を推定可能である。一方、実際には、プラットフォーム 40 の位置を手術器具 30 の推定位置が通過しないことがある。この場合でも、ロボット手術支援装置 100 は、実際のプラットフォーム 40 と手術支援ロボット 300 との位置関係を考慮することで、手術器具 30 の先端の推定位置を実際に手術器具 30 の先端があると推測される位置を算出できる。よって、ロボット手術支援装置 100 は、手術器具 30 の先端位置を高精度に導出でき、ロボット手術の手術精度を向上できる。

【0135】

上記実施形態の一態様は、手術支援ロボット 300 による鏡視下手術を支援するロボット手術支援方法であって、手術対象の被検体 PS に設置され少なくとも 2 つの手術器具 30 を挿入可能なプラットフォーム 40（アクセスプラットフォームの一例）と、手術支援ロボット 300 と、の位置関係を導出するステップを有する、ロボット手術支援方法である。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 6 】

本実施形態の一態様は、上記のロボット手術支援方法をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 3 7 】

本開示は、被検体に設置されるプラットフォームを用いた手術において、操作性及び安全性を向上できるロボット手術支援装置、ロボット手術支援方法、及びプログラム等に有用である。

【 符号の説明 】

【 0 1 3 8 】

1 ロボット手術支援システム

1 5 骨

3 0 , 3 0 A , 3 0 B , 3 0 C , 3 0 D 手術器具

3 0 V 仮想手術器具

4 0 プラットフォーム

4 1 ベース

4 2 突起

5 0 臓器

1 0 0 ロボット手術支援装置

1 1 0 送受部

1 2 0 UI

1 3 0 ディスプレイ

1 4 0 プロセッサ

1 5 0 メモリ

1 6 0 処理部

1 6 1 領域処理部

1 6 2 変形処理部

1 6 3 モデル設定部

1 6 4 位置処理部

1 6 5 シミュレーション処理部

1 6 6 画像生成部

1 6 7 表示制御部

2 0 0 CT装置

3 0 0 手術支援ロボット

3 1 0 ロボット操作端末

3 2 0 ロボット本体

3 3 0 画像表示端末

4 0 0 俯瞰カメラ

5 0 0 手術ベッド

5 2 0 テーブル

5 5 0 脚保持部

5 5 1 脚載置部

5 5 2 脚固定部

E F エンドエフェクタ

E S 内視鏡

T G ターゲット

10

20

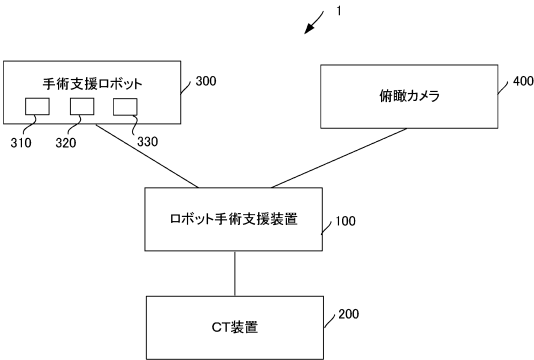
30

40

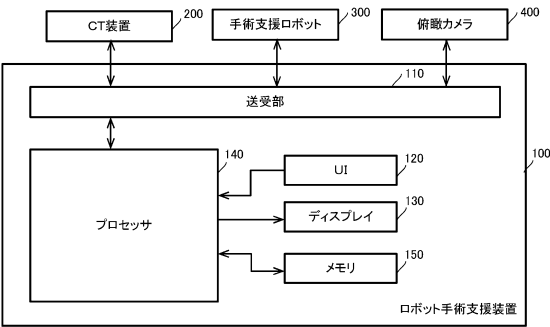
50

【図面】

【図 1】

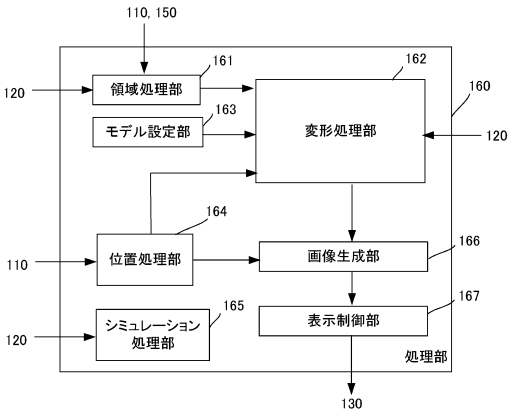


【図 1 B】

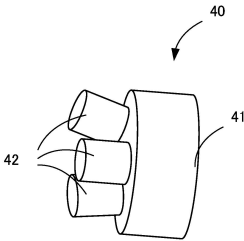


10

【図 2 A】



【図 2 B】



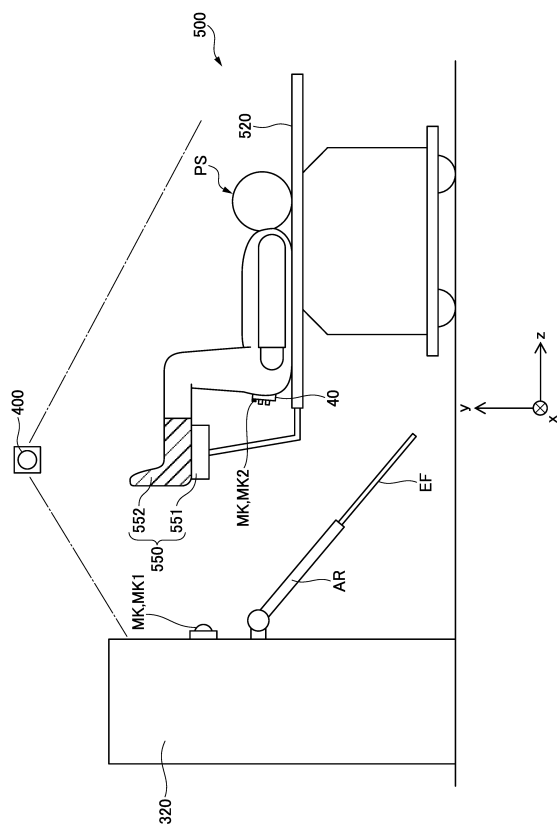
20

30

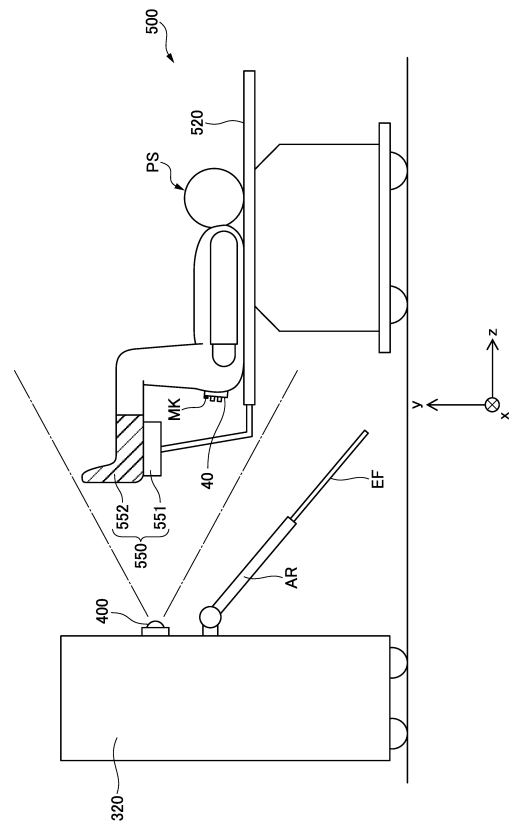
40

50

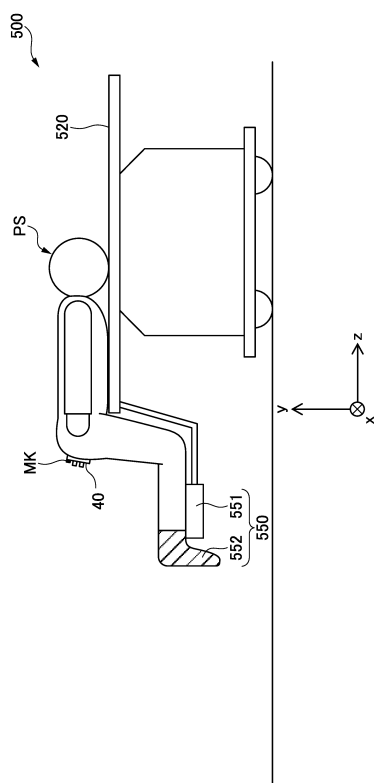
【 図 3 A 】



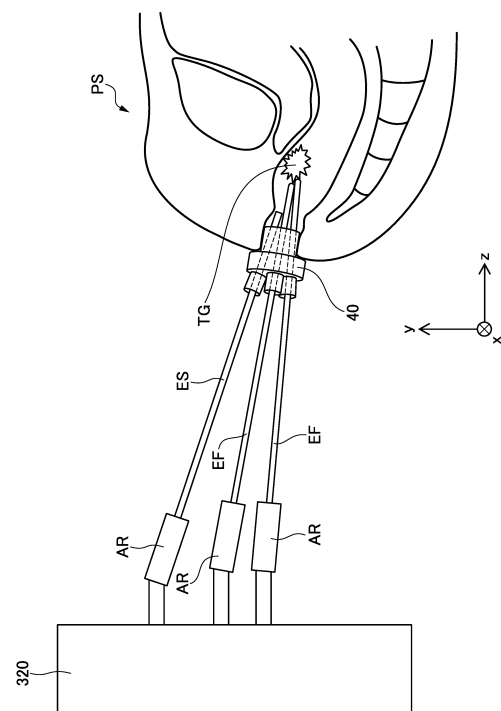
【 図 3 B 】



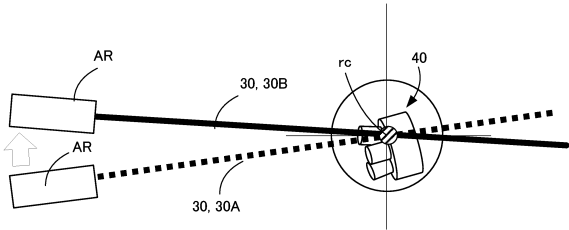
【 図 3 C 】



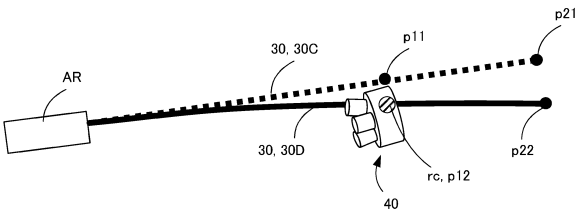
【 図 4 】



【図 5】

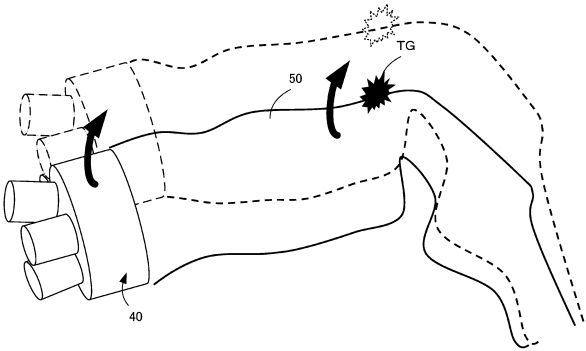


【図 6】

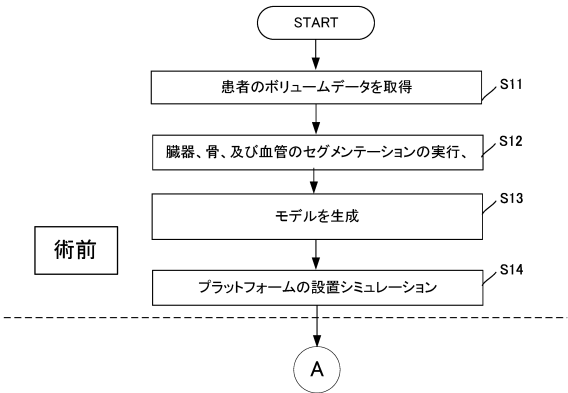


10

【図 7】



【図 8】



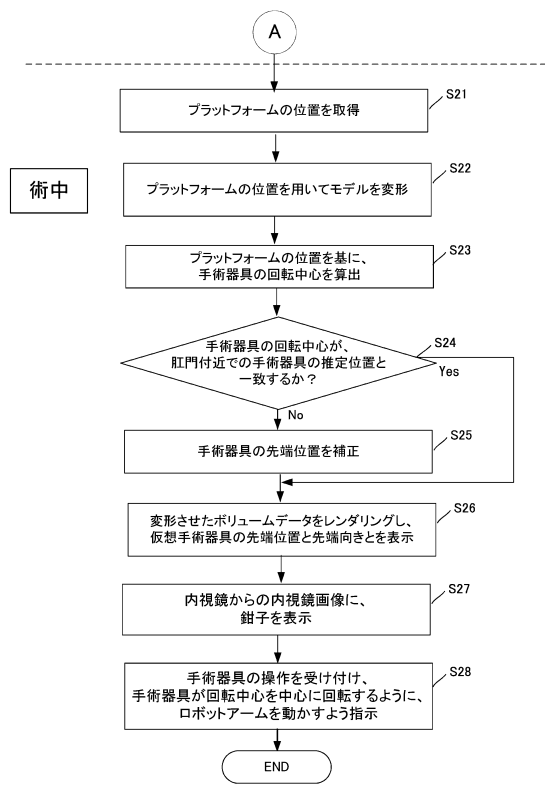
20

30

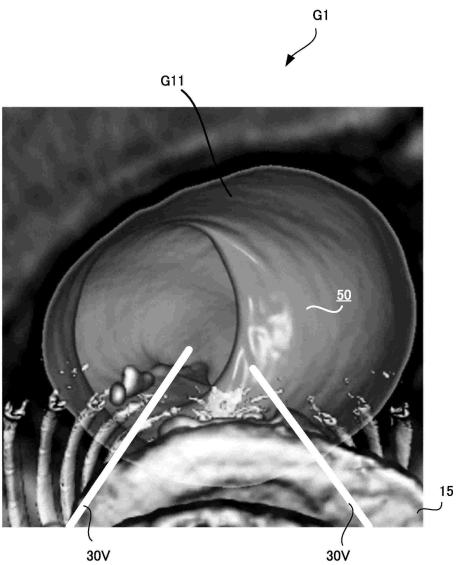
40

50

【図 9】



【図 10】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 茅野 秀介
東京都港区三田一丁目４番２８号 ザイオソフト株式会社内
- (72)発明者 長田 剛
東京都港区三田一丁目４番２８号 ザイオソフト株式会社内
- (72)発明者 唐沢 隆
東京都港区三田一丁目４番２８号 ザイオソフト株式会社内
- (72)発明者 瀬尾 信一郎
東京都港区三田一丁目４番２８号 ザイオソフト株式会社内
- 審査官 石川 薫
- (56)参考文献 特表２０１６－５２０３４５（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－１９５６８７（ＪＰ，Ａ）
特表２０１８－５２６１１２（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１３／００６６３３５（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１３／０３２４８００（ＵＳ，Ａ１）
特開２０１２－００５８５７（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１８／０２１４６８１（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１８／０２２１６３９（ＵＳ，Ａ１）
特表２０１５－５１８４０１（ＪＰ，Ａ）
特許第６５０６４９０（ＪＰ，Ｂ１）
国際公開第２０１８／１９８０９５（ＷＯ，Ａ１）
- (58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ａ６１Ｂ １３／００－１８／１８
Ａ６１Ｂ ３４／３０－３４／３７