

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6396987号

(P6396987)

(45) 発行日 平成30年9月26日 (2018. 9. 26)

(24) 登録日 平成30年9月7日 (2018. 9. 7)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 B 34/37 (2016. 01)
B 2 5 J 3/00 (2006. 01)

A 6 1 B 34/37
 B 2 5 J 3/00 C

請求項の数 17 (全 75 頁)

(21) 出願番号 特願2016-502057 (P2016-502057)
 (86) (22) 出願日 平成26年3月13日 (2014. 3. 13)
 (65) 公表番号 特表2016-519585 (P2016-519585A)
 (43) 公表日 平成28年7月7日 (2016. 7. 7)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2014/026115
 (87) 国際公開番号 W02014/151621
 (87) 国際公開日 平成26年9月25日 (2014. 9. 25)
 審査請求日 平成29年3月9日 (2017. 3. 9)
 (31) 優先権主張番号 61/915, 403
 (32) 優先日 平成25年12月12日 (2013. 12. 12)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 61/935, 966
 (32) 優先日 平成26年2月5日 (2014. 2. 5)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 501228071
 エスアールアイ インターナショナル
 S R I I n t e r n a t i o n a l
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
 025 メンロパーク レイベンスウッド
 アベニュー 333
 333 Ravenswood Aven
 ue, Menlo Park, Cal
 ifornia 94025, U. S.
 A.
 (74) 代理人 100116872
 弁理士 藤田 和子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超精巧外科システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

フィクスチャに結合可能な1つまたは複数の電気機械アームと；

1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリを画成するために前記1つまたは複数の電気機械アームによって支持される1つまたは複数の電気機械ツールと；

前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリと電子的に通信するように構成された電子制御システムであって、前記電子制御システムが、前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリの操作を制御するように構成される、電子制御システムと；

前記電子制御システム経由で前記電気機械アームおよびツールアセンブリを操作するように作動させることができる少なくとも1つのポータブルなハンドヘルドコントローラー；

前記電子制御システムと通信するように構成された可視化システムであって、前記可視化システムが、1つまたは複数のモニターに外科的作業空間の1つまたは複数の画像を表示するように構成される、可視化システムと

を備える、外科システムであって、

前記電子制御システムは、複数の基準系において前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリを電子的に制御し、前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリと前記外科的作業空間の前記画像の前記表示とのために異なる基準系の間で動的に切り替わり、前記複数の基準系のうち少なくとも1つは、前記ポータブルなハ

10

20

ンドヘルドコントローラーを持つ外科医の一の手首の向きに関連付けられ、前記複数の基準系のうち他の1つは、前記外科医の他の手首の向きに関連付けられ、それにより、前記外科医が外科的手技中に患者に対して異なる配向に移動することを可能にし、前記異なる配向から前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリを制御するように構成された、
外科システム。

【請求項2】

前記制御システムが、前記外科的作業空間中でカメラの基準系において前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリを制御し、それにより、前記外科医に前記外科的作業空間の没入型ビューを提供するように構成された、請求項1に記載の外科システム。

10

【請求項3】

前記制御システムが、患者の体の外部の基準系において前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリを制御するように構成された、請求項1に記載の外科システム。

【請求項4】

前記制御システムが、前記カメラの前記基準系と患者の体の外部の基準系との間で動的に切り替わりながら、前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリを制御するように構成された、請求項2に記載の外科システム。

【請求項5】

20

前記制御システムは、前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリ間で前記外科医によって保持される1つまたは複数のポータブルハンドヘルドコントローラーのマッピングを切り替え、それにより、前記外科医が自分自身を前記患者に対して異なる視点に再配置することが可能になるように構成された、請求項1に記載の外科システム。

【請求項6】

前記可視化システムが、前記外科医に従う基準系において前記外科的作業空間の1つまたは複数の画像を表示する、請求項1に記載の外科システム。

【請求項7】

前記電気機械アームおよびツールアセンブリの少なくとも一部の表示される動きが、前記外科医の前記一の手首の向きの動きに適合するように、前記可視化システムは、前記外科医の前記一の手首の向きに従う基準系における前記外科的作業空間の1つまたは複数の画像を表示する請求項6に記載の外科システム。

30

【請求項8】

前記可視化システムは、前記外科的作業空間の1つまたは複数の画像のうち、いずれか1つの画像において、

前記外科医の左右の手の手首のうち、前記電気機械アームおよびツールアセンブリを操作するために前記ポータブルなハンドヘルドコントローラーを持つ手の手首の軸方向に基づいた基準系で、前記電気機械アームおよびツールアセンブリを表示するとともに、

前記外科医の左右の手首のうち他方の手首であって、用手ツールを操作する手の手首の軸方向に基づいた基準系で、前記用手ツールを表示する、請求項1に記載の外科システム

40

【請求項9】

前記外科医の左右の手の手首のうち前記電気機械アームおよびツールアセンブリを操作するために前記ポータブルなハンドヘルドコントローラーを持つ手の手首の軸方向に基づいた基準系と、前記外科医の左右の手首のうち他方の手首であって前記用手ツールを操作する手の手首の軸方向に基づいた基準系とは、互いに異なる、請求項8に記載の外科システム。

【請求項10】

前記可視化システムが、前記1つまたは複数の電気機械アームおよびツールアセンブリの少なくとも一部分の表示される部分が前記外科医の前記手首の向きに一致するように、

50

前記１つまたは複数のモニタ上に前記外科的作業空間の画像を表示する、請求項１に記載の外科システム。

【請求項１１】

前記制御システムは、クラッチの係合に応じて、新たな基準系を確立する、請求項１に記載の外科システム。

【請求項１２】

前記ポータブルなハンドヘルドコントローラーの動きは、前記電気機械アームおよびツールアセンブリの動きを制御する、請求項１に記載の外科システム。

【請求項１３】

前記可視化システムが、調整可能なズーム倍率で前記外科的作業空間の画像を表示するように構成される、請求項７に記載の外科システム。

10

【請求項１４】

前記制御システムは、選択されたズーム倍率と前記表示された画像の選択された点のいずれか１つに従って、前記ポータブルハンドヘルドコントローラーの動きと前記電気機械アームおよびツールアセンブリの動きの間の関係を拡大・縮小するように構成される、請求項１２に記載の外科システム。

【請求項１５】

前記ポータブルハンドヘルドコントローラーを使って、前記調整可能なズーム倍率を調整する、請求項１３に記載の外科システム。

【請求項１６】

20

前記複数の基準系のうち少なくとも１つは、前記ポータブルなハンドヘルドコントローラーを持つ外科医の一の手首の向きに動的に関連付けられ、

前記ポータブルなハンドヘルドコントローラーを持つ前記外科医の前記一の手首の向きに関連付けられた前記複数の基準系のうち少なくとも１つは、前記外科医の他の手首の向きに動的に関連付けられた前記複数の基準系のうち他の１つとは異なる請求項１に記載の外科システム。

【請求項１７】

前記複数の基準系のうち少なくとも１つは、前記複数の基準系のうち他の１つに対して、９０度まで回転させられる請求項１に記載の外科システム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

優先権出願への参照による組込み

本出願は、そのすべてが参照により全体として本明細書に組み込まれ、本明細書の一部と見なされるべきである、２０１３年３月１５日に提出された米国仮出願第６１／７９１２４８号と、２０１３年１１月２０日に提出された米国仮出願第６１／９０６８０２号と、２０１３年１１月２６日に提出された米国仮出願第６１／９０８８８８号と、２０１３年１２月１２日に提出された米国仮出願第６１／９１５４０３号と、２０１４年２月５日に提出された米国仮出願第６１／９３５９６６号との米国特許法第１１９条（ｅ）項の下での優先権の利益を主張する。

40

【０００２】

外科ロボットは、外科医が最小侵襲様式で患者を手術することを可能にする。本出願は、外科システムおよび方法に関し、より詳細には、１つまたは複数の超精巧外科アームと１つまたは複数の超精巧外科ツールとをもつ超精巧外科システム、およびそれらを操作する方法に関する。

【背景技術】

【０００３】

現在、外科医は、多くの技法を利用する最小侵襲手術の個別の方式の間で選択しなければならない。腹腔鏡手術は、概して、用手ツールを用いた腹腔鏡手術、およびロボットツ

50

ールを用いた腹腔鏡手術という、2つのカテゴリ内に入る。用手ツールを使用する腹腔鏡手術では、手技は、典型的には小さい切開を通して実施される。用手ツールは、並進され、支点の周りを回転され、および／または移動され得る。支点の周りを回転する用手ツールの場合、外科医はツールのハンドルを保持する。外科医がハンドルを一方向に移動すると、ツールの遠位端が別の方向に移動する。ツールの近位端の動きに対するツールの遠位端の発生する動きは自然でないことがあり、外科医は技法を練習する必要がある。

【0004】

腹腔鏡ツールの動きは腹腔鏡カメラによってキャプチャされる。腹腔鏡カメラは、用手ツールとまったく同様に切開を通して体内に挿入される長いシャフトを有する。腹腔鏡カメラは、用手ツールの遠位先端を見るために配置され、ツールの遠位端の動きをキャプチャする。ディスプレイは、典型的には、カメラの基準系に対するツールの動きを示す。支点の周りを回転する用手ツールの場合、ツールは、腹腔鏡カメラの画像に基づいて容易に明らかでないことがある極座標系において移動する。

10

【0005】

腹腔鏡手術の別の方式はロボット外科である。市場にあるロボット外科システムでは、大きいロボットアームがロボットツールを制御する。ツールは小さい切開部の中に挿入される。ロボットツールの遠位端は、典型的には、患者の体内で手技を実施するためのエンドエフェクタ（例えば、グ래스パ、ステープラなど）を含む。エンドエフェクタは、ロボットアームの能力の制約内で、空間中を並進される。外科医は、典型的には、患者から離れている没入型コンソールからロボットアームを制御する。ロボットツールは、いくつかの外科的タスクをうまく行うように構成されるが、他の外科的タスクには好適でない。

20

【0006】

市場にある外科ロボットシステムでは、ロボットツールの動きは概してロボットカメラによってキャプチャされる。ロボットカメラの動きは、ロボットツールを制御するロボットアームとまったく同様にやはり外科医の制御下で、ロボットアームによって制御される。外科医は、カメラの基準系において外科医の手の移動をロボットツールの移動にマッピングすることができる。外科医の手の動きは、ロボットカメラの基準系内でロボットツールの遠位端エフェクタにマッピングされる。基準系は、したがって、カメラによって提供されるビューに限定される。ディスプレイは、典型的には、カメラの基準系に対するロボットツールの遠位端の動きを示す。外科医は、したがって、特定のタスクについて望まれるようにロボットツールを制御するために、カメラによって提供される限られた情報で解剖学的構造のメンタルモデルを作成しなければならない。外科医の遠隔ロケーションにより、外科医は、外科的空間についての外科医の理解を増補するために患者の追加のビューを収集することができない。この操作方式は、大きい動き、または患者の体外の基準系に対して移動するのがより自然である動きでは、限定的である。したがって、ロボットカメラ基準系に対してロボットツールの遠位先端を制御することにより、用手ツールを使用する腹腔鏡手術と比較して、外科的手技のいくつかの態様がより自然になる。例えば、縫合タスクにおいて持針器ツールを操作することがより容易になり得る。しかしながら、ロボットカメラの限られた基準系は、手術のいくつかの他の態様をあまり自然でなくさせる。例えば、腹部のある象限から別の象限への大きい移動を行うこと、特に患者の正中線を含むアークを通るカメラ掃引を伴う動きを行うことは、極めて難しい。これらの同じ動きは、患者の体の外部の基準系から用手ツールを用いることで自然な様式で達成され得る。

30

40

【0007】

市場にあるシステムは、ツールを制御する、例えば、ツールの回転および並進を制御する複雑な機構を有する。いくつかの現在のロボットシステムでは、ツールの並進は、複雑で巨大な一連の線形スライドのネスティングを使用して達成される。ツールシャフトの全長を手術のために利用可能にするために、ツールの極近位端にスライドがアタッチされる。その結果、体内へのツールの完全な延長を除くどんな条件においても、並進機構は患者の体から離れて延長する。この位置では、並進機構は、当該のロボットアームの他の構成要素または他のロボットアームとの干渉を受ける。回転および並進機構のサイズにより、

50

隣接するロボットアームの近い配置は不可能になり、したがって場合によっては、ロボットツールはさらに離れて置かれる。ツールが縦振りおよび横振りを介して移動するとき、並進機構はロボットアームに高い慣性負荷を与え、それにより、より大きくより強力なアームが必要となる。回転および並進機構はロボットアームの遠位端に重量みを加える。したがって、ロボットツールを制御する複雑な回転および並進機構を移動するために、リンクセグメントと、リンクセグメントを制御するためのモーターとはより大きくなければならない。各追加のセグメントおよび各追加のモーターが重量を加え、その重量は問題を悪化させる。ロボットアームの遠位端は重く、スチフネスの十分なレベルを維持するためにより一層強力な近位ジョイントによって支持される必要がある。

【0008】

ロボットアームは、したがって、巨大であり、患者の周囲の空間を占有する。外科的手技を実施するために複数のロボットアームが使用される場合、アームは、衝突を回避するように慎重に調整されなければならない。さらに、ロボットアームの構成要素間の衝突を回避するようにロボットアームを再配置するために、多くの追加のステップが取られる。さらに、ロボットアームおよびツールの挿入の角度、サイズおよび設計、ならびに他の要因により、ロボットアームは、デッドゾーンと呼ばれるいくつかのロケーションに達することができないことがある。ロボットアームの大きいサイズは、ロボットアームの周りの操作を計画することを手術スタッフに強制する。これは、外科的手技のフレキシビリティおよび効率の低下につながる。さらに、市場にあるロボットアームは重い。ロボットシステムの設計は、ロボットシステムの使用のためにすでにセットアップされている、特別に設計された操作領域を必要とする。このように、手術室のセットアップにおけるフレキシビリティが限られている。

【0009】

外科医は、市場にあるロボット外科システムを使用しているとき、しばしば遠隔コンソールにおいて座ってまたは立っていながら、患者から離れて位置する。典型的に、外科医は、没入型エクスペリエンスを提供するビューアを通して手術部位およびツールを閲覧する。場合によっては、外科医とサポートスタッフとの間の連絡が、コンソールを介した外科医の位置により抑制または妨害される。外科医は患者から離れており、スタッフと直接連絡を取ることができないので、ロボット外科を実施するチームは高度にトレーニングされ、熟練している必要がある。ロボット外科が実施される状況において高レベルの効率を達成するために、数か月、場合によっては数年の訓練を要する。これは、チームのメンバーが交換されることを困難にさせる。さらに、（コンソールにおける）この遠隔ロケーションから、外科医は、ロボットアームを制御しながら同時に用手ツールを使用することができない。

【0010】

患者の体においてある手術部位から別の手術部位へのロボットツールの大スケールの動きを実行することなど、いくつかのタスクは、ロボットアームの構成要素の干渉に起因して、より困難になる。用手ツールを用いれば容易に実施されるいくつかのタスクは、ロボットツールを用いて実施するのがより複雑であるかまたは不可能である。例えば、場合によっては、ロボットは、単に、タスクを達成することが可能なエンドエフェクタを有しない。触診など、触覚フィードバックを必要とするいくつかのタスクは、ロボットアームを操作している外科医によっては行われ得ない。むしろ、ロボットアームを操作している外科医は、手術テーブルのそばにいるアシスタントまたは外科医がこれらのタイプのタスクを支援することを必要とする。

【0011】

市場にあるロボットアームは、典型的には2つの自由度を有する。典型的に、これらの2つの自由度はピッチ機構およびロール機構から来る。ロボットツールは、典型的には4つの自由度を有する。ロボットツールは、典型的には並進および回転することができる。ロボットツールは、典型的には手首において縦振りおよび横振りすることができる。したがって、市場にあるシステムは、典型的には、ロボットアームとロボットツールとからの

10

20

30

40

50

自由度を含む、6つの自由度を有する。

【0012】

いくつかのロボットアームによって使用される並進機構は、シャフト軸の周りを回転することができない。回転を達成するために、これらのシステムは、単に並進機構から独立してツールシャフトだけを回転させる。エンドエフェクタを接続するケーブルは回転中にねじれ、したがってケーブルの摩擦および結束が生じる。このねじれはケーブルの長さの変化を生じさせ、この長さの変化は、システムの弾性またはたるみによって補償されなければならない。このねじれはまた、典型的には約 $\pm 270^\circ$ の回転に限定される、回転範囲の限定を生じさせる。

【0013】

上記で説明した最小侵襲手術の現在の方式の1つの欠点は、それらがばらばらであることである。外科医が手術テーブルにおいて用手ツールを使用するために、その外科医は、遠隔コンソールにおいてロボットアームを制御していることが不可能である。外科医が遠隔コンソールにおいてロボットアームを制御するために、その外科医は、手術テーブルにおいて用手ツールを使用していることが不可能である。外科医はロボットツールと用手ツールの両方を同時に制御することができない。

【0014】

最小侵襲手術の現在の方式の別の欠点は、それらが外科医に限られた情報を提供することである。典型的に、この情報はロボットカメラのビューに限定される。外科医は、カメラからの画像に対する患者、外科医、またはツールのロケーションなど、追加の制約に関する情報を提供されない。外科医は、ツールを移動することおよび／またはロボットカメラを移動することなしにカメラの基準系を理解するための情報を提供されない。ツールを移動し、画像を閲覧することによって、外科医は、患者内の作業空間と操作領域とのメンタルモデルを作成することができる。

【0015】

市場にあるロボット外科システムに関する別の欠点は、それらが、手術中に外科医自身を再配置する能力を外科医に与えないことである。外科医は、ロボットツールを操作して、ロボットツールのエンドエフェクタを用いて外科的タスクを実施するために、没入型コンソールにとどまっていなければならない。

【0016】

市場にあるロボット外科システムの別の欠点は、それらが典型的には地面に固定され、手術中に患者の配向に従わないことである。ロボットアームが使用中の間、ロボットアームおよび／またはベッドの位置は変更され得ない。典型的に、ロボットアームは水平レベル表面に取り付けられ（例えば、床に固定され）、患者は水平レベル表面（例えば、ベッド）上に置かれる。いくつかの手術では、実施されるべき手術に基づいて水平表面に対して患者の体をある角度に向ける（例えば、傾ける）（例えば、内部臓器を患者の頭部のほうへシフトさせるために患者の頭部を低くする）ことが有利であり得る。

【0017】

市場にあるロボットアームに関する別の欠点は、作業空間にアクセスすることが、ロボットアームが極めて大きい範囲の動きを介して移動することを必要とし得ることである。単一の手術のために複数のロボットアームが使用されるとき、移動は限定され得る。それらのロボットアーム間のまたは単一のロボットアームの構成要素間の衝突の可能性が増大する。本課題は、患者の外部の自由空間を最大にしながら、またロボットシステムを小さくコンパクトに保ちながら、体内の作業空間を最大にすることである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

市場にあるロボット外科システムに関して上記で説明した欠陥を克服し、外科的手技を実施するときに外科医にフレキシビリティを提供する外科システムが必要である。

【課題を解決するための手段】

【0019】

以下で説明する超精巧外科システムは、上記で説明した欠陥の多くを克服し、市場にあるロボット外科システムに勝る利点を提供する。超精巧外科システムの1つの利点は、超精巧外科システムが小さくコンパクトであり、したがって、様々なフィクスチャに様々な方法で取り付けられ得ることである。超精巧外科システムの1つの利点は、特定の外科的手技を行うことを可能にするために（例えば、所望の組織または臓器へのより良いアクセスを提供する方法で内部臓器をシフトするために）患者の体が傾けられるときなど、外科的手技中に、超精巧外科アームが患者の配向に従うように取り付けられ得ることである。超精巧外科システムの1つの利点は、外科医が患者に手術をしながら超精巧外科ツールと用手ツールを同時に使用する能力である。超精巧外科システムの別の利点は、それがモジュラー式であり、したがって、手技に先立ってまたは手技中にどのように外科的領域がセットアップされるかにおいてフレキシビリティを提供し、患者の上方の自由空間が最大にされることを可能にすることである。本システムのさらに別の利点は、それが、外科医が外科的手技を実施しながら移動可能になり、また、外科的手技中に用手ツールのみを使用することと、用手ツールと超精巧外科ツールを使用することと、超精巧外科ツールのみを使用することとの間をシームレスに移ることを可能にすることである。本システムの別の利点は、それが、超精巧外科ツールの操作をより自然にさせる追加の情報を外科医に提供することである。さらに別の利点は、それが、患者の近くで特定の外科的タスクを実施するために手術中に外科医自身を再配置する能力を外科医に提供することである。例えば、外科的手技中に、外科医は、行われるべき手技に基づいて異なる位置からツールを操作すること、または用手ツールが保持される必要がある様式に起因して、外科医自身を再配置することを望み得る。本システムのさらに別の利点は、超精巧外科ツールのエンドエフェクタが、患者の体内の作業空間が最大にされるように、単一の入口点から患者内の異なるロケーションに達することができることである。例えば腹部手術において、単一の入口点から腹部のすべての4つの象限にアクセスする必要がある。超精巧外科システムのさらなる利点は、本明細書で提供される説明で明らかになる。

10

20

【0020】

別の態様によれば、超精巧外科アームはフィクスチャ（例えば、手術テーブル、病院ベッド、検査テーブル、壁、床、天井、テーブル、カート、またはドリー）に結合することができる。超精巧外科アームは支持アームによって支持され得る。支持アームは、超精巧外科アームを配置するために移動され得る。支持アームは、遠隔中心を配置するために移動され得る。超精巧外科アームは水平位置調整機構によって支持され得る。超精巧外科アームは垂直位置調整機構によって支持され得る。水平位置調整機構および／または垂直位置調整機構は、遠隔中心を配置するために移動され得る。

30

【0021】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、手術中に患者の配向に従うように1つまたは複数の超精巧外科アームがある角度に向けられる（例えば、傾けられる）ことを可能にすることができる。典型的に、患者は水平レベル表面（例えば、ベッド）上に置かれる。いくつかの手術では、実施されるべき手術に基づいて水平表面に対して患者の体のある角度に向ける（例えば傾ける）（例えば、手術部位へのアクセスの改善のために、内部臓器を手術部位から離れて患者の頭部のほうへシフトさせるために患者の頭部を低くする）ことが有利であり得る。超精巧外科システムは、このように、使用中の超精巧外科アームを伴う手技中に超精巧外科アームのある角度に向けること（例えば、水平から傾けること）を可能にする。

40

【0022】

一態様によれば、超精巧外科システムは、外科医など、1人の操作者による用手ツールと超精巧外科ツールの同時使用に適応する。用手ツールと超精巧外科ツールの同時使用は、患者内の同じ作業空間中であり得る。操作者は、一方の手で用手ツールを制御し、他方の手で超精巧外科ツールを制御することができる。

【0023】

50

超精巧外科ツールは、ツールシャフトと、手首と、エンドエフェクタとを含むことができる。ツールは、近位端にあるか、またはツールのシャフトに沿った任意のポイントに配置されたモーターパックを有することができる。モーターパックは、エンドエフェクタの動きを実現するためにツール中の駆動機構の移動を作動させる複数のモーターを含むことができる。一実施形態では、モーターパックは取外し可能であり得る。

【0024】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、操作者が、超精巧外科ツールを操作しながら、患者のベッドサイドにおいて、すなわち、手術テーブルにおいて、を含む、複数のロケーションから患者と相互作用することを可能にする。超精巧外科システムは、操作者が、患者の隣に位置しながら患者のベッドサイドにおいて、1つまたは複数の超精巧外科ツールを制御すること、あるいは超精巧外科ツールと用手ツールを同時に制御することを可能にする。

10

【0025】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、操作者が手技中に操作領域の周りで移動可能になることを可能にする。この移動性は、外科医が、外科的手技を実施するために患者の周りで最適な位置を見つけることと、手術中に必要または所望に応じて外科医自身を再配置することとを可能にする。超精巧外科システムは、このように、操作者が、患者のベッドサイドからおよび／または別個の遠隔スタンドからを含む、複数のロケーションから超精巧外科ツールを制御することを可能にする。操作者は、用手ツールおよび／または超精巧外科ツールを操作するためにより最適な位置に移転することができる。

20

【0026】

別の態様によれば、超精巧外科システムはモジュラー式であり、それにより、患者に対して超精巧外科システムの1つまたは複数の超精巧外科アームを構成する際におけるフレキシビリティおよび多用性が可能になる。超精巧外科システムによって提供されるそのようなフレキシビリティは、超精巧外科アームの有利な離間を可能にする。このフレキシビリティはまた、必要に応じて超精巧外科アームを追加または除去することによって、外科的手技を開始するより前に患者または環境に適合するように、および外科的手技中に修正されるように操作領域がセットアップされることを可能にする。超精巧外科システムのモジュラー態様によって提供されるフレキシビリティはまた、患者の周りのより多くの自由空間を可能にし、それにより、1つまたは複数の超精巧外科アーム間の衝突が限定される。前記自由空間はまた、例えば、様々な位置から用手ツールを（例えば、超精巧外科ツールと同時に）操作するための、または患者に緊急手技が実施される必要があるときなど、手術中に患者に対して外科医自身を再配置するための、患者へのより大きいアクセスを外科医に与える。超精巧外科システムによって提供される前記自由空間はまた、追加の超精巧外科アームの配置を可能にし、ならびに超精巧外科アームのより大きい範囲の動きを可能にする。

30

【0027】

別の態様によれば、超精巧外科アームのサイズおよび／または重量が最小限に抑えられる。超精巧外科ツールの回転／並進機構のサイズおよび／または重量が最小限に抑えられ、それにより、超精巧外科ツールを支持する超精巧外科アームのサイズおよび／または重量が最小限に抑えられることが可能になる。超精巧外科アームのサイズおよび重量を最小限に抑えることにより、超精巧外科アームの移動を実施するのにあまり巨大でない、モーターなどの駆動機構の使用が可能になる。さらに、超精巧外科アームの駆動機構に電力供給するために必要とされる電力の量が低減される。さらに、超精巧外科アームのより小さいサイズおよび／または重量は、フィクスチャへの超精巧外科アームの取付けにおけるフレキシビリティを可能にする。超精巧外科システムによって占有されるより小さい空間により、操作者は、有利には、外科的領域の周りのより多くの自由空間を有することができる。

40

【0028】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、ツールの配置についての外科医の理解を増

50

補することによって、超精巧外科ツールの動きについての外科医の自然な理解を可能にする。超精巧外科システムは、患者の体内の、作業空間内の用手ツールと超精巧外科ツールとの配置に関する情報を提供する。例えば、超精巧外科システムは、外科医に対する超精巧外科ツールの配向および位置を外科医が理解するのを助ける視覚的手がかりを外科医に提供することができ、それにより、外科医は、外科医によって作動されたときに超精巧外科ツールがどのように移動するのかを理解することが可能になる。超精巧外科システムは、超精巧外科ツールの制御が操作者の選好に基づいて調整されることを可能にする。超精巧外科システムは、操作者に提示される情報が操作者の選好に基づいて調整されることを可能にする。

【0029】

10

別の態様によれば、超精巧外科システムは、デッドゾーン、超精巧外科ツールによってアクセス不可能な体内の領域を低減する。超精巧外科アームは、デッドゾーンが患者の体から離れて置かれ得るように配置され得る。超精巧外科システムは、デッドゾーンを最小限に抑えるように超精巧外科アームを取り付けることが達成しやすいように設計され得る。超精巧外科システムは、超精巧外科アームの中立位置および／またはゼロ位置がデッドゾーンを最小限に抑えるように設計され得る。

【0030】

別の態様によれば、超精巧外科アームは冗長自由度を有することができる。冗長自由度は、超精巧外科アームが様々な所望のポーズで置かれることを可能にすることができる。冗長自由度は、患者の周りのより多くの自由空間を可能にすることができる。冗長自由度は、患者の上方の空間内の、より多くの超精巧外科アーム（例えば、複数の超精巧外科アーム）の配置および使用を可能にすることができる。さらに、冗長自由度は、患者内のより大きい作業空間を可能にすることができる。冗長自由度は、（単一の超精巧外科アームの構成要素間の）自己衝突と、（超精巧外科アーム間、超精巧外科アームと患者との間の）他の衝突との数を限定することができる。

20

【0031】

一態様によれば、超精巧外科アームは3つの自由度を有することができる。超精巧外科アームは、市場にあるシステムと比較して1つの冗長自由度を有することができる。超精巧外科アームは2つのロール軸を有することができる。これらの2つのロール軸のうちの1つは冗長ロール軸であり得る。超精巧外科アームは冗長ロール機構を有することができる。超精巧外科ツールおよび回転／並進機構は4つの自由度を有することができる。超精巧外科ツールは回転および並進することができる。さらに、超精巧外科ツールは縦振りおよび（例えば、手首を介して）ロールすることができる。超精巧外科アーム、超精巧外科ツールおよび回転／並進機構は一緒に、7つの自由度を提供することができる。一実施形態では、超精巧外科アーム、超精巧外科ツールおよび回転／並進機構は一緒に、8つ以上の自由度を提供することができる。超精巧外科アームは、市場にあるシステムと比較して2つ以上の冗長自由度を有することができる。冗長自由度は、超精巧外科アームが様々な所望のポーズで置かれることを可能にすることができる。さらに、冗長自由度は、超精巧外科ツールが、超精巧外科アームの様々なポーズを介して所望の配向で配置されることを可能にすることができる。

30

40

【0032】

超精巧外科アームは、遠隔中心を確立するために配置され得る。遠隔中心は、体内への進入が行われるロケーションである。超精巧外科システムでは、遠隔中心は、超精巧外科アームの様々なロールおよび縦振り機構の回転軸と、超精巧外科ツールの軸とが交差する空間中のロケーションである。遠隔中心は患者の切開部に位置し得る。デッドゾーンを患者の体外に配置するために、遠隔中心の下方にショルダーロール機構が置かれ得る。

【0033】

別の態様によれば、超精巧外科アームは、縦振り機構と、第1のロール機構と、第2のロール機構とを含むことができる。第1のロール機構と第2のロール機構との軸は遠隔中心を通過することができる。さらに、超精巧外科アームに結合された超精巧外科ツールの

50

軸は遠隔中心を通過することができる。超精巧外科アームは、第2のロール機構の垂直ロケーションが、すべての軸がそれを通過する遠隔中心にあり得るかまたはその下方にあり得るように構成され得る。第2のロール機構は冗長ロール機構である。

【0034】

超精巧外科アームは、第2のロール機構が初期位置から少なくとも最高 $+/-90^\circ$ 回転することができるように構成され得る。いくつかの実施形態では、超精巧外科アームは、第2のロール機構が初期位置から $+/-90^\circ$ よりも多く回転することができるように構成され得る。第2のロール機構は、有利には、縦振り機構と1つのロール機構とのみを有する市場にあるロボットアームではアクセス不可能であるかまたは達しにくいターゲットに達することができる。

10

【0035】

縦振り機構と、第1のロール機構と、第2のロール機構との構成により、超精巧外科アームは様々なポーズを仮定することができる。ターゲットロケーションは、遠隔中心を維持しながら縦振り機構、第1のロール機構、および/または第2のロール機構の配向を変更することによってアクセスされ得る。

【0036】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、超精巧外科ツールに回転および/または並進を与えることができる回転/並進機構を含む。超精巧外科アームは、回転/並進機構が遠隔中心に近接して（例えば、3～5インチ以内に、2～6インチ以内に、1～7インチ以内に、7インチ未満に、6インチ未満に、5インチ未満に、4インチ未満に、3インチ未満に、2インチ未満に、1インチ未満に）位置するように構成され得る。回転/並進機構は、超精巧外科アームの回転慣性モーメントへの限られた寄与を有するように構成され得る。回転/並進機構は、移動中に、隣接する超精巧外科アームへの干渉を限定するように構成され得る。回転/並進機構は、それが超精巧外科ツールのシャフトに直接作用するように構成され得る。回転/並進機構は、それが超精巧外科ツールの異なるサイズのシャフトに適応するように構成され得る。回転/並進機構は、市場にあるシステムよりも小さい幅を有することができ、それにより、隣接する超精巧外科アームの超精巧外科ツールは互いに近くに配置されることが可能になる。

20

【0037】

回転/並進機構は、回転と並進のための機械的エネルギー入力、回転および/または並進がそれらの2つの機械的エネルギー入力の合成された動きによって達成されるような差分であり得るように構成され得る。回転と並進のための機械的エネルギー入力は、機構に加えられる力が2つの入力モーターの合成された力であるような差分であり得る。回転/並進機構は、それが超精巧外科システムの無菌構成要素と超精巧外科システムの非無菌構成要素との間のバリアを維持するように構成され得る。回転/並進機構は、超精巧外科ツールのシャフト位置が、患者の体外のシャフト長の抵抗またはキャパシタンスを通してシャフト上で直接測定されるように構成され得る。

30

【0038】

別の態様によれば、超精巧外科システムは制御システムを含むことができる。超精巧外科アームは入力デバイスによって制御され得る。超精巧外科ツールは入力デバイスによって制御され得る。入力デバイスの位置および配向はトラッキングされ得る。入力デバイスはワイヤレスまたはワイヤードであり得る。超精巧外科システムは1つまたは複数の入力デバイス（例えば、2つ、3つ、4つ、5つ、6つの入力デバイスなど）を含むことができる。

40

【0039】

入力デバイスは1つまたは複数の制御ポイントを制御することができる。制御ポイントは、何らかの動きを実行するための能力を有するロケーションである。1つまたは複数の制御ポイントが超精巧外科アーム上にあり得る。1つまたは複数の制御ポイントが超精巧外科ツール上にあり得る。入力デバイスの移動の、1つまたは複数の制御ポイントの移動への変換は、他の制御ポイントの移動から独立していることがある。入力デバイスの移動

50

の、1つまたは複数の制御ポイントの移動への変換は、他の制御ポイントの移動と同期され得る。操作者は、1つまたは複数の制御ポイントを同時に制御することができる。

【0040】

制御対象は、1つまたは複数の超精巧外科ツールおよび／または1つまたは複数の超精巧外科アームを備えるグループから選択され得る。超精巧外科システムの制御システムは、1つまたは複数のディスプレイ上に表示される画像のズーム係数に応じて入力デバイスの移動を制御対象の移動に変換することができる。

【0041】

制御システムは、1つまたは複数の入力デバイスと1つまたは複数の制御対象との間の制約の適用を含むことができる。制御システムは、制約が位置などの測定量、または距離、速度、力、および張力などの導出パラメータであるように構成され得る。制御システムは、制約が制御対象ごとに異なり得るように構成され得る。制御システムは、制約が制御対象のグループについて同じであり得るように構成され得る。セット中の各超精巧外科ツールは、独立した制約を有することができる。制約は、1つまたは複数の超精巧外科ツールが単一の入力デバイスで一緒に操作され得るということであり得る。

【0042】

超精巧外科システムは、1つまたは複数の超精巧外科アームおよび／または1つまたは複数の超精巧外科ツールと通信する電子制御システムを含むことができる。超精巧外科システムは、信号を制御システムと通信する1つまたは複数の入力デバイスを含むことができる。入力デバイスからの信号は操作領域内で送信され得る。例えば、入力デバイスからの信号は患者のベッドサイドから送信され得、それにより、操作者は、患者のベッドサイドから超精巧外科アームを制御することが可能になる。制御システムは、操作領域内の様々なロケーションからの1つまたは複数の超精巧外科アームおよび／または1つまたは複数の超精巧外科ツールと信号を通信することができる。

【0043】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、整合されたか部分的に整合されたかまたは互いに独立した基準系における超精巧外科ツールと用手ツールとの制御を可能にする。超精巧外科システムは、整合されたか部分的に整合されたかまたは互いに独立した基準系における1つまたは複数の超精巧外科ツールの制御を可能にする。超精巧外科システムは、基準系に関する情報を操作者に提供する。

【0044】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、超精巧外科ツールの移動が単一のツールの移動にロックされることを可能にする。超精巧外科システムは、1つまたは複数の超精巧外科ツールの移動が単一の超精巧外科ツールの移動にロックされることを可能にする。超精巧外科システムは、1つまたは複数の超精巧外科ツールの移動が単一の用手ツールの移動にロックされることを可能にする。

【0045】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、ある機構をもつ1つまたは複数の超精巧外科ツールの動きを可能および不能にする。機構はクラッチであり得る。機構の操作は、超精巧外科ツールのための基準系を確立することができる。機構の操作は、操作者が基準系の初期確立の後に新しい基準系を確立することを可能にする。超精巧外科システムは、基準系が、入力デバイスを操作している操作者の手の手首または前腕に関連付けられ得るように構成され得る。超精巧外科システムは、基準系が、用手ツールを操作している操作者の手の手首または前腕に関連付けられ得るように構成され得る。操作者は、1つまたは複数の用手ツールの基準系から独立した基準系において1つまたは複数の超精巧外科ツールを操作することができる。

【0046】

別の態様によれば、超精巧外科システムは、基準系の理解を可能にする。超精巧外科システムは、1つまたは複数のソースからの情報をアグリゲートし、外科医に1つまたは複数の画像を提供する可視化システムを含むことができる。情報は、外科医、患者、超精巧

10

20

30

40

50

外科アーム、超精巧外科ツール、および／または用手ツールの位置情報であり得る。情報は制御ポイントの位置情報であり得る。画像は、外科医の視点を反映するように操作され得る。画像は、外科医が別のロケーションに移動すると外科医の視点を反映するように更新され得る。

【0047】

可視化システムによって提示される情報は、カメラからのライブデータ、術前MRI、CT、超音波または他の画像診断法からのデータ、ならびに人体の臓器および他の部分のモデルであり得る。可視化システムは、カメラからのデータが受信されると画像がリアルタイムで更新され得るように構成され得る。可視化システムは、画像が様々なソースからの情報の混合であり得るように構成され得る。混合すべき情報の混合およびタイプはズーム係数に依存し得る。画像は、情報に関係する警告（例えば、リアルタイムでない、正確に整合されないモデル、低解像度データ）を表示するために更新され得る。

10

【0048】

可視化システムは、1つまたは複数のディスプレイ上に画像を提示することができる。各ディスプレイ上に表示される画像は異なり得る。各ディスプレイは異なる画像（例えば、患者のロケーション、制御ポイントのロケーション）を提示し得る。可視化システムは、実施されている操作のタイプに応じて画像が自動的に調整され得るように構成され得る。可視化システムは、画像が外科医のロケーションに従って回転され、配向され得るように構成され得る。可視化システムは、ズーム操作中に、画像が混合されて、ズームインされた画像とズームアウトされた画像との間でスムーズに遷移し得るように構成され得る。画像はユーザ入力デバイスによって制御され得る。

20

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1A】相互作用連続体を概略的に示す。

【図1B】相互作用連続体に沿ったシナリオを概略的に示す。

【図2】超精巧外科システムの一実施形態を概略的に示す。

【図3A】相互作用連続体に沿ったシナリオを概略的に示す。

【図3B】相互作用連続体に沿ったシナリオを概略的に示す。

【図3C】相互作用連続体に沿ったシナリオを概略的に示す。

【図4】ベッドに結合された超精巧外科アームを概略的に示す。

30

【図5】支持アームの一実施形態を概略的に示す。

【図6】図4の超精巧外科アームの複数の自由度を概略的に示す。

【図7】回転軸と遠隔中心とをもつ超精巧外科アームの一実施形態を概略的に示す。

【図8】図7の超精巧外科アームの一実施形態の自由度を概略的に示す。

【図9】ゼロ位置と、超精巧外科ツールの初期位置と、ターゲット位置とを概略的に示す。

【図10】超精巧外科アームの縦振りセグメントと他の部分との間の干渉により、超精巧外科ツールがターゲット位置に達することができないことを概略的に示す。

【図11】図10の同じターゲットポイントに達するためにどのようにショルダーロールセグメントがアクティブにされ得るかを概略的に示す。

40

【図12】超精巧外科アームについてのデッドゾーンのロケーションを概略的に示す。

【図13A】ターゲット位置に達するための超精巧外科アームの構成を概略的に示す。

【図13B】図13Aのターゲット位置に達するための超精巧外科アームの別の構成を概略的に示す。

【図14】超精巧外科アームの一実施形態を概略的に示す。

【図15】超精巧外科アームの一実施形態を概略的に示す。

【図16】超精巧外科アームの一実施形態を概略的に示す。

【図17】非対称回転／並進機構の一実施形態を概略的に示す。

【図18】図17の非対称回転／並進機構の上面図を概略的に示す。

【図19】超精巧外科ツールの並進を示す矢印とともに図17の非対称回転／並進機構の

50

側面図を概略的に示す。

【図 2 0】超精巧外科ツールの並進を示す矢印とともに図 1 7 の非対称回転／並進機構の上面図を概略的に示す。

【図 2 1】超精巧外科ツールの回転を示す矢印とともに図 1 7 の非対称回転／並進機構の側面図を概略的に示す。

【図 2 2】超精巧外科ツールの回転を示す矢印とともに図 1 7 の非対称回転／並進機構の上面図を概略的に示す。

【図 2 3】対称回転／並進機構の一実施形態を概略的に示す。

【図 2 4】図 2 3 の線形駆動ベルトとローラーとを示す図 2 3 の対称回転／並進機構の側面図を概略的に示す。

10

【図 2 5】超精巧外科ツールの並進を示す矢印とともに図 2 3 の対称回転／並進機構の側面図を概略的に示す。

【図 2 6】超精巧外科ツールの並進を示す矢印とともに図 2 3 の対称回転／並進機構の線形駆動ベルトとローラーとを示す側面図を概略的に示す。

【図 2 7】超精巧外科ツールの回転を示す矢印とともに図 2 3 の対称回転／並進機構の側面図を概略的に示す。

【図 2 8】連続ベルト駆動機構をもつ回転／並進機構の一実施形態を概略的に示す。

【図 2 9】幅調整器機構の一実施形態を概略的に示す。

【図 3 0】新しい位置における図 2 9 の幅調整器機構の側面図を概略的に示す。

【図 3 1】図 3 0 のローラーの新しい位置の上面図を概略的に示す。

20

【図 3 2 A】入力デバイスの一実施形態である。

【図 3 2 B】入力デバイスの一実施形態である。

【図 3 3 A】仮想グリップを概略的に示す。

【図 3 3 B】仮想グリップを概略的に示す。

【図 3 4】超精巧外科システムの制御システムの一実施形態を概略的に示す。

【図 3 5】制御システムのブロック図を概略的に示す。

【図 3 6】ディスプレイのスクリーンショットの一実施形態を概略的に示す。

【図 3 7】ディスプレイのスクリーンショットを概略的に示す。

【図 3 8 A】一定の張力で組織を保持する方法を概略的に示す。

【図 3 8 B】一定の張力で組織を保持する方法を概略的に示す。

30

【図 3 9】超精巧外科ツールと用手ツールを同時に使用方法を概略的に示す。

【図 4 0】ディスプレイのスクリーンショットを概略的に示す。

【図 4 1 A】同じ方向に配向された 2 つの基準系を概略的に示す。

【図 4 1 B】図 4 1 A において指定されたロケーションに置かれた観察者によって知覚される動きを概略的に示す。

【図 4 1 C】同じ方向に配向されていない 2 つの基準系を概略的に示す。

【図 4 1 D】図 4 1 C において指定されたロケーションに置かれた観察者によって知覚される動きを概略的に示す。

【図 4 2 A】超精巧外科ツールと用手ツールとを制御している操作者を概略的に示す。

【図 4 2 B】ディスプレイのスクリーンショットを概略的に示す。

40

【図 4 2 C】超精巧外科ツールを制御している操作者を概略的に示す。

【図 4 3】ディスプレイのスクリーンショットを概略的に示す。

【図 4 4】図 4 4 A～C は、ディスプレイ上に提示された様々な画像を概略的に示す。

【図 4 5】ディスプレイのスクリーンショットを概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【0 0 5 0】

「超精巧」という用語は、「超」と「精巧」の通常の意味の組合せである；超は優越または上方を意味し、精巧は手または体の使用における熟練または器用さを意味する。本明細書で使用する超精巧外科システムは、以下でさらに説明するように、相互作用連続体に沿った外科医と患者との間の相互作用を可能にし、実施され得る外科的手技に関して高め

50

られた多用性を提供する。超精巧外科システムは、患者と相互作用する外科医の能力を向上させ、より自然で、より相互作用的で、より多用性のある外科システムを生成するために組み合わせられるいくつかの特徴を含む。超精巧外科システムの多用性は本システムの様々な態様によって示されており、例えば、そのモジュラリティは、1つまたは複数の超精巧外科アームを使用することと、および用手外科ツールのみを利用するために超精巧外科アームをじゃまにならない所に移動することと、外科的手技中に外科医が外科的領域中で移動可能になることを本システムが可能にすることと、特定の外科的タスクのために最適な位置への患者の複数のベッドサイドロケーション間で動かすことを可能にしながら、外科医が超精巧外科ツールと用手ツールを同時に操作することを本システムが可能にすることとを可能にする。この特徴と、以下で説明する他の特徴とにより、超精巧外科システムは、市場にある純粋に「ロボットのな」外科システムよりも多くの多用性を有する。

10

【0051】

超精巧外科システムの性質は、いくつかの方法の中でも、作動されたときに超精巧外科ツールがどのように移動することになるかを自然に理解するように、外科医が患者に対するそのツールの配置を容易に理解することを可能にする様々な情報を外科医に（例えば、ディスプレイを介して）提供することによって示される。超精巧外科システムの相互作用の性質は、特に、ユーザ入力デバイスを用いて複数の超精巧外科ツールを選択的に制御する外科医の能力によって、ならびに、外科的手技中に異なる基準系の間で（例えば、患者の体内の没入型基準系と患者の体外の基準系との間で）移動し、それにより、手技中に外科医が外科医自身を再配置することが可能になり、その間中、外科医に対するツールの位置および配向に気づいたままである能力によって示される。

20

【0052】

序論

本明細書で説明する超精巧外科システムは、特に、外科医が患者のベッドサイドにいながら用手ツールと超精巧外科ツールを同時に使用することを可能にするという点で、既存の市場にあるロボット外科システムとは基本的に異なる概念フレームワークを提供する。患者のベッドサイドに、すなわち、手術テーブルのそばにいるこの能力は、外科チームとの連絡の改善から；患者の直接モニタリングまで；（例えば、用手ツールと超精巧外科ツールとの間の）ツール交換を可能にすることまで；いくつかの利点を提供する。その上、以下で説明する超精巧外科システムは、外科医が、外科医によって所望されるかまたは外科的タスクによって必要とされるように、超精巧外科ツールのみを使用することと、用手ツールと超精巧外科ツールの組合せを同時に使用することと、用手ツールのみを使用することとの間で、相互作用連続体に沿って外科的手技をシームレスに実施することを有利に可能にする、フレキシブルで、より自然で、より相互作用的なシステムと一緒に提供されるいくつかのサブシステムを含む。

30

【0053】

超精巧外科システムの有利な一態様は、市場にあるシステムのサイズよりも小さくてコンパクトであり、アームが患者に対して、カート、またはドリー、または手術室の壁もしくは天井に取り付けられるのか、あるいは患者のベッドに直接取り付けられるのかにかかわらず、どのように取り付けられるかのフレキシビリティの増加を可能にする、超精巧外科アームのサイズである。超精巧外科アームのより小さいサイズはまた、超精巧外科システムがモジュラー式であることを可能にし、ここで、使用される超精巧外科アームの数は、外科的必要に応じて外科医によって所望されるように変化することができる。超精巧外科アームの小さいサイズはさらに、患者の上方の自由空間の増加を実現し、それにより、外科医がベッドサイドロケーションから作業する能力が可能になる。実際、上述したように、超精巧外科システムの一発明態様は、外科医が相互作用連続体に沿って操作することを可能にすることであり、1つのシナリオでは、外科医は、超精巧外科アームをじゃまにならない所に移動し、用手ツールのみを使用することができる。自由空間を最大にするこの能力（例えば、超精巧外科アームをじゃまにならない所に移動する、アームの小さいサイズ）は、以下でより詳細に説明するように、有利には、冗長ロールを含む3つの自由度

40

50

を超精巧外科アームに提供することによって向上される。さらに、超精巧外科アームの冗長ロールは、有利には、超精巧外科ツールのデッドゾーンが患者の体外に位置することを保証するように配置され、それにより、体の中の作業空間内の超精巧外科ツールのアクセスの増加が可能になる。

【0054】

さらに、超精巧外科ツールのための回転および並進機構は、有利には、以下で説明するように、超精巧外科アームの小さいサイズを可能にする。実際、回転／並進システムは、市場にあるシステムのための回転および並進を与える機構よりも直径が小さく、軽く、コンパクトであり、それにより、回転／並進機構を支持する超精巧外科アームがより小さくなることが可能になる。

10

【0055】

超精巧外科システムの別の有利で相互に関係する態様は、それが外科医に提供する、自由に動き回り、患者の近くの最適な位置に外科医自身を配置するための能力である。この能力は、超精巧外科アームと超精巧外科ツールとの操作を制御する制御システムに外科医の手の移動を通信する1つまたは複数のハンドヘルドポータブル入力デバイスで外科医が超精巧外科アームを制御することを可能にすることを含む、いくつかの方法で超精巧外科システムによって提供される。一実施形態では、ハンドヘルドポータブル入力デバイスはワイヤレスである。超精巧外科システムは、有利には、ハンドヘルドポータブル入力デバイスのトラッキング、ならびに外科医の移動に起因する超精巧外科アームまたは超精巧外科ツールの意図しない動きを防ぐための特徴（例えば、クラッチ）を提供する。

20

【0056】

超精巧外科システムのさらに別の有利で相互に関係する部分は、超精巧外科ツールおよび超精巧外科アームに外科医のコマンドを（例えば、ユーザ入力デバイスを介して）通信し、外科医がどのように超精巧外科ツールおよび超精巧外科アームと相互作用するかを促進する、制御システムである。本システムの別の有利で相互に関係する部分は、様々な基準系（例えば、没入型、患者の体外の鳥瞰図）から患者の体内で超精巧外科ツールを操作する際に外科医を助ける、可視化システムである。制御システムおよび可視化システムは、外科医が超精巧外科ツールと用手ツールとの配置を自然に認識することを可能にする様々な情報（例えば、視覚的手がかり）を提供することによって、外科的手技を実施する際の外科医の能力を向上させるために協働し得る。

30

【0057】

超精巧外科システムの構成要素またはサブシステムの各々は、市場にあるシステム中の対応する構成要素に勝る利点を有する。さらに、まとめると、これらの構成要素およびサブシステムは、より自然で、より相互作用的で、よりフレキシブルな様式で患者と相互作用する外科医の能力を向上させるまったく異なるパラダイムを外科的手技に提供する超精巧外科システムを提供する。次に、超精巧外科システムについてより詳細に説明する。

【0058】

図1Aに、超精巧外科システムの相互作用連続体を示す。連続体の右端は、外科医の体と患者の体との間の身体的相互作用を示す。連続体の極右端は、手で組織を動かしている外科医を含む。メスなどの用手ツールの使用は、手で組織を動かすことよりもあまり身体的に相互作用的でない。メスなどの腹腔鏡ツールの使用は、手で組織を動かすことよりもあまり身体的に相互作用的でない。連続体の左端は、エンドエフェクタを制御するための超精巧外科アームの使用を示す。連続体に沿って、操作者は、用手ツールおよび／または超精巧ツールを様々な組合せで使用することができる。超精巧外科システムは、外科医などの操作者1が、連続体に沿ってどこでも作業することを可能にする。

40

【0059】

連続体の右端において、外科医は、身体的に組織を操作するために患者に極めて近接している。外科医は、手術部位における組織に直接接触し、感じる事が可能である。連続体の左端において、外科医は、現実のツールのための代用として働くユーザ入力デバイスを操作することによって、遠隔で患者と相互作用する。外科医は、ユーザ入力デバイスを

50

操作することによってグラスパなどのエンドエフェクタを操作する。多くのシナリオは相互作用連続体に沿って生じる。

【0060】

本明細書の実施形態は、操作者によって使用され得る超精巧外科システムの使用について説明する。操作者は、超精巧外科システムを操作している外科医、医療アシスタント、スタッフ、検査医、または任意の他の人であり得る。操作者は、手術を実施する資格を与えられた医療専門家に限定されず、超精巧外科システムを操作するようにトレーニングされるどんな操作者をも含む。

【0061】

図1Bに、図1Aの相互作用連続体をより詳細に繰り返す。図1Bは、図2に示された超精巧外科システム100などの超精巧外科システムを使用する様々な方法を示している。図1Bの右側では、操作者1が、用手ツール350を用いて外科的ステップを実施し得る。このシナリオでは、超精巧外科システム100の超精巧外科アーム200は作業空間から離れて移動され得る。操作者1は、手術の画像を提供するディスプレイ702を参照し得る。図1Bの左側では、操作者1は、超精巧外科アーム200を制御するために入力デバイス500と相互作用する。操作者1は、手術の画像を提供するディスプレイ600を参照し得る。

【0062】

この連続体の中央では、異なるシナリオが生じ得る。1つのシナリオは図1Bにおいてシナリオ1として示されている。このシナリオでは、操作者1は、（例えば、同じ時間において、同じ作業空間において）1つまたは複数の超精巧外科ツール300と1つまたは複数の用手ツール350を同時に使用し得る。外科医は、入力デバイス500のうちの1つまたは複数を用いて超精巧外科ツール300のうちの1つまたは複数を操作することができる。操作者1は、手術の画像を提供するディスプレイ702を参照し得る。別のシナリオは図1Bにおいてシナリオ2として示されている。このシナリオでは、操作者1は、手で超精巧外科アーム200を操作し得る。このシナリオは、例えば、超精巧外科アーム200の大スケールの動きを実行するときに生じ得る。図1Bはただ1つの超精巧外科アーム200を示しているが、超精巧外科システム100は、図2に示されているように、複数の超精巧外科アーム200を有することができる。

【0063】

図示されていない別のシナリオでは、操作者1は、超精巧外科アーム200によって支持される（図2に示された）トロカール302中に用手ツール350を挿入することができる。その中に用手ツール350が挿入されたトロカール302は、手によって操作され得る。この第3のシナリオは、用手ツール350を手のみで動かすことが困難であり得るときに有用であり得る。そのような状況に遭遇し得るいくつかの例は、患者が肥満であるとき、または患者中への進入の角度が厄介な場合であり得る。そのような状況では、トロカール302を保持している超精巧外科アーム200は、用手ツール350を配置するための動力支援として働き得る。言い換えれば、トロカール302を保持している超精巧外科アーム200は、患者の体によって用手ツール350に加えられる力に対抗し得、用手ツール350の操縦性を向上させることができる。超精巧外科システム100の多用性は、有利には、すべてのそのような組合せを可能にする。

【0064】

図3A～図3Cに、操作者1が外科的手技において使用されるべきツールのタイプを選択するシナリオを示す。図3Bはシナリオ1と同様であり、図3Cは、図1Bに示された連続体の左側と同様である。これらの図は、患者2への外科的手技中における超精巧外科システム100の使用の3次元図を示している。

【0065】

図3Aにおいて、超精巧外科システム100は、超精巧外科ツール300にそれぞれ結合された2つの超精巧外科アーム200を含む。操作者1は、操作者1の右手中に保持された入力デバイス500で超精巧外科アーム200を制御する。操作者1は、操作者1の

10

20

30

40

50

左手中に保持された入力デバイス 500 で別の超精巧外科アーム 200 を制御する。入力デバイス 500 は、操作者 1 の移動に応答して、超精巧外科アーム 200 および／または超精巧外科ツール 300 を移動する。超精巧外科システム 100 はディスプレイ 600 を含む。ディスプレイ 600 は、操作者 1 が、超精巧外科システム 100 に適用されるべき制約を確立することを可能にし得る。例えば、ディスプレイ 600 は、操作者 1 が、入力デバイス 500 と制御対象（例えば、超精巧外科アーム 200 および／または超精巧外科ツール 300）との間の関連付け（例えば、ペアリング）を確立することを可能にし得る。ディスプレイ 600 は手術の画像を提供し得る。

【0066】

図 3 B において、超精巧外科システム 100 は、超精巧外科ツール 300 に結合された超精巧外科アーム 200 を含む。操作者 1 は、操作者 1 の右手中に保持された入力デバイス 500 で超精巧外科アーム 200 を制御する。入力デバイス 500 は、操作者の 1 移動に応答して、超精巧外科アーム 200 および／または超精巧外科ツール 300 を移動する。操作者 1 は、操作者 1 の左手で用手ツール 350 を制御する。図 3 B に示されており、本明細書で説明するように、超精巧外科システム 100 は、有利には、操作者 1（例えば、外科医）が、超精巧外科ツール 300 と用手ツール 350 を同時に制御することを可能にする。

【0067】

図 3 C において、超精巧外科システム 100 は、超精巧外科ツール 300 にそれぞれ結合された 2 つの超精巧外科アーム 200 を含む。操作者 1 は、1 つまたは複数の入力デバイス 500 で超精巧外科アーム 200 を制御することができる。入力デバイス 500 は、図 3 A に示された入力デバイスであり得る。入力デバイス 500 は、図 3 C に示されているようにコントローラであり得る。1 つまたは複数の入力デバイス 500 は、ディスプレイ 600 の近くに取り付けられるかまたはさもなければ固定され得る。別の実施形態では、1 つまたは複数の入力デバイス 500 は、図 3 A に示されたものなどのハンドヘルドポータブル入力デバイスであり得、操作者 1 は、スタンドに立ってまたは座ってハンドヘルドポータブル入力デバイスを操作しながら、その人の腕をスタンドの支持バーまたはレストバー上に支持することができる。図 3 A に示された入力デバイス 500 のように、図 3 C に示された 1 つまたは複数の入力デバイス 500 は、操作者 1 の移動に応答して、超精巧外科アーム 200 および／または超精巧外科ツール 300 を移動する。

【0068】

システムの概観

超精巧外科システム 100 は、より自然で、より相互作用的で、より多用性のある外科システムを提供することによって、患者と相互作用する外科医の能力を向上させることなど、本明細書で説明する利益を達成するために協働し得る多くの構成要素を含むことができる。超精巧外科システム 100 は、1 つまたは複数の超精巧外科アーム 200 を含むことができ、各超精巧外科アーム 200 は超精巧外科ツール 300 を操作することができる。超精巧外科システム 100 は、1 つまたは複数の超精巧外科ツール 300 と用手ツール 350 との操作を制御する際に外科医を助ける視覚的手がかりを操作者に提供する制御システムおよびディスプレイ 600、702 を含む。外科医などの操作者は、場合によっては、操作領域中の様々なロケーションにおいて超精巧外科ツール 300 と用手ツール 350 を同時に操作することができる。

【0069】

図 2 に、超精巧外科システム 100 の一実施形態を示す。超精巧外科システム 100 は 1 つまたは複数の超精巧外科アーム 200 を含む。各超精巧外科アーム 200 は、（例えば、トロカール 302 を介して）超精巧外科ツール 300 を支持することができる。超精巧外科システム 100 は 1 つまたは複数の用手ツール 350 を含むことができる。用手ツール 350 は、操作者（例えば、外科医）によって超精巧外科ツール 300 と同時に使用され得る。超精巧外科ツール 300 は入力デバイス 500 によって制御され得る。入力デバイス 500 は、ピンチャー 502（図 3 2 A 参照）およびコントローラ 514 を含む多

くの形態を取ることができる。

【0070】

超精巧外科システム100は、入力デバイス500からの移動を超精巧外科アーム200と超精巧外科ツール300との移動に変換するための制御システムを含むことができる。操作者1は、どの入力デバイス500がどの超精巧外科ツール300または超精巧外科アーム200を制御するかを選択することができる。制御システム400は、コンピュータ402、1つまたは複数のケーブル406および／または電源404を含むことができる。

【0071】

超精巧外科アーム200はフィクスチャ（例えば、手術テーブル、病院ベッド、検査テーブル、壁、床、天井、テーブル、カート、ドリー）に結合され得る。一実施形態では、フィクスチャがカートまたはドリーである場合、フィクスチャは床に（例えば、一時的に）固定され得る。超精巧外科システム100は、超精巧外科アーム200をフィクスチャに結合または保持する機構を含み得る。図2の実施形態では、フィクスチャはベッドまたは手術テーブル102である。

【0072】

超精巧外科アーム200および超精巧外科ツール300は制御システム400によって制御され得、それらの概略図は図34～図35に示されている。制御システムを案内するアルゴリズムおよび／または制御システムによって実施される任意の計算はコンピュータ402によって記憶され得る。制御システム400は、ユーザコマンドを超精巧外科アーム200の動きおよび／または超精巧外科ツール300の動きに変換することができる。コンピュータ402は電源404に接続され得る。コンピュータ402は、フットペダルの形態をとり得るクラッチ112に接続され得る。コンピュータ402は、コンピュータ402を他の構成要素に接続するケーブル406を含み得る。

【0073】

超精巧外科システム100は1つまたは複数の入力デバイス500を含むことができる。入力デバイス500は、ワイヤード接続またはワイヤレス接続のいずれかを通して、制御システム400と通信することができる。本明細書の実施形態で使用する「ワイヤレス」という用語は、限定はしないが、赤外線（IR）、無線周波数（RF）、マイクロ波、および超音波を含む、ワイヤレス通信のすべての形態を包含する。入力デバイス500は、（例えば、入力デバイス500中の送信機からの信号を制御システム400の受信機に通信することによって）制御システム400を介して超精巧外科アーム200と超精巧外科ツール300との内の適切なモーターに制御信号を送ることができる。入力デバイス500は、有利には外科医などの操作者1が手技中に患者2のベッドサイドの周りを動くことを可能にするハンドヘルドおよび／またはポータブルデバイスであり得る。入力デバイス500は、操作者1が1つまたは複数のロケーション（例えば、複数のロケーション）から超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300を制御することを可能にすることができる。ロケーションのいくつかは患者2のベッドサイドにあり得る。超精巧外科システム100はクラッチ112を含むことができる。クラッチ112は、1つまたは複数の超精巧外科ツール300に係合および離脱するために使用され得る。クラッチ112は、図2に示されているように、フットペダルであり得る。

【0074】

引き続き図2を参照すると、超精巧外科システム100はユーザインターフェースサブシステム605を含むことができる。ユーザインターフェースサブシステム605は入力デバイス（例えば、コントローラ514）を含むことができる。ユーザインターフェースサブシステム605は、水平レスティングバー603などの特徴を含み得るプラットフォーム602を含むことができる。ユーザインターフェースサブシステム605はディスプレイ600を含むことができる。ディスプレイ600はタッチスクリーン604を含むことができる。ディスプレイ600は、相互作用的であり、操作者1からの入力を受信することができる。ディスプレイ600は、制御システム400を制御するために使用され得

10

20

30

40

50

る。ディスプレイ600は患者から離れて位置することができる。いくつかの実施形態では、ディスプレイ600は、図2に示されているように、プラットフォーム602上に取り付けられる。いくつかの実施形態では、ディスプレイ600は外科医などの操作者1の体に固定され得る。

【0075】

いくつかの実施形態では、ユーザインターフェースサブシステム605は入力デバイス500（例えば、ワイヤードコントローラ）を含むことができる。入力デバイス500は、プラットフォーム602に取り付けられるコントローラ514であり得る。ユーザインターフェースサブシステム605は、外科医などの操作者1が、図2に示されているように、ディスプレイ600に極めて近接して入力デバイス500を制御することを可能にする。

10

【0076】

ディスプレイ600は、操作者1が、ペアリングされた超精巧外科ツール300を入力デバイス500で操作することができるように、操作者1が、超精巧外科ツール300を入力デバイス500とペアリングすることを含む多くの機能を実施することを可能にする。ディスプレイ600は、操作者1が1つまたは複数の入力デバイス500を用いて1つまたは複数の超精巧外科ツール300を制御することを可能にすることができる。ディスプレイ600はまた、外科医などの操作者1が、ペアリングされた超精巧外科アーム200を入力デバイス500で操作することができるように、操作者1が超精巧外科アーム200を入力デバイス500とペアリングすることを可能にする。ディスプレイ600は、操作者1が1つまたは複数の超精巧外科アーム200を制御することを可能にすることができる。ユーザインターフェース600は、1つまたは複数の入力デバイス500と、1つまたは複数の超精巧外科アーム200または超精巧外科ツール300など、1つまたは複数の制御対象とのマップを図示または説明することができる。

20

【0077】

引き続き図2を参照すると、可視化システム700は1つまたは複数のディスプレイ702を含むことができる。ディスプレイ702は、1つまたは複数の超精巧外科アーム200、1つまたは複数の超精巧外科ツール300、患者、あるいは外科医または外科チームに関係し得る任意の他の情報に関する情報を表示することができる。ディスプレイ702は、超精巧外科アーム200によって保持された超精巧外科ツール300の画像、または操作者（例えば、外科医）によって保持された用手ツール350の画像など、（図35に概略的に示された）カメラ304または他の可視化デバイスによって見られた画像を示すことができる。カメラ304は制御システム400によって制御され得る。カメラ304は超精巧外科ツール300と見なされ、超精巧ロボットアーム200によって移動され得る。一実施形態では、カメラ304は、制御システム400を介して入力デバイス500によって制御され得、制御システム400は、外科医などの操作者1が、必要に応じてカメラ304を配置することを可能にする。超精巧外科システム100は、操作領域全体にわたる様々なロケーションに配置された複数のディスプレイ702を含むことができる。さらに、ディスプレイ600、702は、同じ情報または異なる情報を示すことができる。

30

40

【0078】

図2に示されているように、超精巧外科システム100は、1つまたは複数の用手ツール350（例えば、複数の用手ツール350）を用いて使用され得る。図2には1つの用手ツール350が示されている。用手ツール350は、1つまたは複数の超精巧外科ツール300と同じ作業空間中で利用され得る。1つまたは複数の用手ツール350が使用され得る理由は、超精巧外科システム100が、有利には、以前に説明したように、操作者1が患者2のすぐそばに立つことを可能にするからである。1つまたは複数の用手ツール350が使用され得る理由は、超精巧外科アーム200がコンパクトであり、それにより、患者2の周りの空間が解放されるからである。本明細書で説明する冗長ロール機構、および冗長ロール機構の配置も、患者2の周りの自由空間を最大化する。したがって、操作

50

者1は、超精巧外科システム100の他の構成要素への衝突することなしに、超精巧外科ツール300と用手ツール350を同時に操作することができる。図2に示されていない操作者1は、ベッドサイドのそばに立ち、（例えば、入力デバイス500を介して）1つまたは複数の超精巧外科ツール300、1つまたは複数の用手ツール350、あるいは超精巧外科ツール300と用手ツール350との任意の組合せを制御することを選定する能力を有し得る。

【0079】

図2に示されているように、超精巧外科アーム200は超精巧外科ツール300に結合され得る。したがって、システム100は、1つまたは複数（例えば複数）の超精巧外科アーム200と、1つまたは複数（例えば複数）の超精巧外科ツール300とを有することができる。いくつかの実施形態では、超精巧外科ツール300はトロカール302中に挿入される。トロカール302は超精巧外科アーム200に結合され得る（例えば、固定される、それと一体に形成される、それによって保持される、など）。超精巧外科アーム200は、トロカール302を通して超精巧外科ツール300を支持し、操作することができる。いくつかの実施形態では、1つまたは複数の超精巧外科アーム200は、図3A～図3Cに示されているように、患者2における切開を通して1つまたは複数の超精巧外科ツール300を挿入することができる。超精巧外科アーム200および超精巧外科ツール300は、以下でさらに説明するように、様々なロケーションに1つまたは複数のモーター（例えば、電気モーター）を有することができる。モーターは、患者2内で、手術作業空間において適切に超精巧外科ツール300の配置を可能にする。超精巧外科アーム200および超精巧外科ツール300は電源404によって電力供給され得る。いくつかの実施形態では、1つまたは複数の超精巧外科ツール300は使い捨てであり得る。いくつかの実施形態では、超精巧外科ツール300の少なくとも一部分が殺菌されている（例えば、再利用可能である）ことが可能であり得る。

【0080】

超精巧外科アームを取り付けること

超精巧外科システム100は、超精巧外科アーム200を支持するための取付けを提供することができる。取付けは、患者に対する超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300の配置を可能にする。超精巧外科アーム200は、可動または固定であり得るいくつかのフィクスチャに取り付けられ得る。超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300を取り付けることにおけるフレキシビリティは、患者の外部の操作領域および自由空間を設計することにおける多用性を提供する。

【0081】

図2および図4は、フィクスチャに取り付けられた超精巧外科アーム200の実施形態を示している。様々な構成要素は、超精巧外科アーム200が患者2に対して配置されることを可能にする。様々な構成要素はまた、超精巧外科アーム200が他の超精巧外科アーム200と衝突を回避することを可能にする。超精巧外科アーム200は、患者2へのアクセスを可能にするように配置され得る。超精巧外科アーム200は、操作者1が超精巧外科ツール300と用手ツール350を同時に使用することを可能にするように配置され得る。支持アーム106と、エレベータ120と、キャリッジ130とを含む超精巧外科システム100のフレキシビリティは、超精巧外科アーム200のための遠隔中心250（図7参照）の配置を可能にする。遠隔中心250が確立されると、遠隔中心250を維持しながら超精巧外科アーム200が操作され得る。

【0082】

図2に示されているように、超精巧外科システム100は複数の取付けポール104を含むことができる。超精巧外科システムは任意の数（例えば、1つ、3つ、4つなど）の取付けポール104を含むことができるが、図2では説明の目的で2つが示されている。各取付けポール104は超精巧外科アーム200を支持することができる。図2は、各取付けポール104がただ1つの超精巧外科アーム200を保持していることを示しているが、各取付けポール104は、場合によっては任意の数（例えば、1つ、2つ、3つ、4

つなど)の超精巧外科アーム200を支持することができる。超精巧外科システム100は、有利には、本質的にモジュラー式である。このモジュラリティは、外科チームなどのユーザが、実施されている手技のタイプのために最も効率的に超精巧外科システム100を構成することを可能にする。そのようなモジュラリティがまた、チームが手術中に取付けポール104および／または超精巧外科アーム200を追加または除去することを可能にする。モジュラリティは、超精巧外科システム100が様々な方法で構成されることを可能にする。

【0083】

取付けポール104は可動フィクスチャ(例えば、ドリー、ハンドトラックまたは小型カート)によって支持され得る。取付けポール104、ならびにすべての関連する超精巧外科アーム200および支持アーム106は、操作領域から離れているロケーションにある可動フィクスチャに取り付けられ得る。可動フィクスチャは、手術の前または手術中に操作領域に移送され得る。手術中に追加の超精巧外科アーム200が必要である場合、超精巧外科アーム200は、迅速に容易にフィクスチャ上に取り付けられ得る。いくつかの実施形態では、手術中に追加の超精巧外科アーム200が必要である場合、可動フィクスチャ上に取り付けられた追加の超精巧外科アーム200が操作領域中に移送され得る。可動フィクスチャおよび／または取付けポールは、安定性を向上させるために別のフィクスチャ(例えば、床)に固定され得る。取付けポール104は不動フィクスチャ(例えば、ベッド、床、壁、または天井)によって支持され得る。

【0084】

取付けポール104は、図2に示されているように、クランプ108にアタッチされ得る。クランプ108はフィクスチャに接続され得る。図示の実施形態では、フィクスチャはベッド102であるが、上記で説明したように、他の好適なフィクスチャが使用され得る。いくつかの実施形態では、クランプ108はベッド102の1つまたは複数のレール110に結合され得る。他のアタッチ機構が可能である。取付けポール104は、フィクスチャ(例えば、ベッド102)に対して実質的に垂直方向に(例えば、90度に)置かれ得る。取付けポール104は、フィクスチャ(例えば、ベッド102)に対して、15度、30度、45度、60度など、他の角度で置かれ得る。取付けポール104は、患者の配向に基づいて他の角度で置かれ得る。

【0085】

超精巧外科アーム200は、直接または間接的にフィクスチャ(例えば、ベッド102)にアタッチされ得る。一実施形態では、取付けポールおよび／または支持アーム106が除外され、超精巧外科アーム200は、取付けポール104にまたはフィクスチャ(例えば、ベッド102)の一部に直接結合され得る。いくつかの実施形態では、超精巧外科システム100はフィクスチャ(例えば、ベッド102および／またはレール110)から取り外され得る。

【0086】

図4を参照すると、取付けポール104は、(例えば、ベッド102に平行な)水平移動または(例えば、ベッド102に直角な)垂直移動を可能にする構成要素に結合され得る。エレベータ120は、取付けポール104の長さに沿った支持アーム106および／または超精巧外科アーム200の配置を可能にする。1つまたは複数のエレベータ120は、図示のように、取付けポール104に結合され得る。各エレベータ120は追加の支持アーム106および／または追加の超精巧外科アーム200に接続され得る。したがって、取付けポール104は、場合によっては、複数の支持アーム106を支持することができ、各支持アーム106は超精巧外科アーム200に結合される。エレベータ120は、超精巧外科アーム200がそこにおいて取付けポール104に結合され得る代替の垂直ロケーションを提供し得る。

【0087】

図4に示された実施形態を引き続き参照すると、取付けポール104はキャリッジ130に結合され得る。キャリッジ130はアダプタ132に結合され得る。キャリッジ13

10

20

30

40

50

0 およびアダプタ 1 3 2 は、キャリッジ 1 3 0 がアダプタ 1 3 2 に沿って線形にスライドすることを可能にするスライドアセンブリを形成し得る。アダプタ 1 3 2 はフィクスチャ（例えば、ベッド 1 0 2 および／またはレール 1 1 0）に結合され得る。キャリッジ 1 3 0 は、アダプタ 1 3 2 なしにフィクスチャ（例えば、ベッド 1 0 2 および／またはレール 1 1 0）に直接結合され得る。キャリッジ 1 3 0 およびアダプタ 1 3 2 は、概して水平方向における取付けポール 1 0 4、支持アーム 1 0 6、および超精巧外科アーム 2 0 0 の移動を可能にする。いくつかの実施形態では、取付けポール 1 0 4 は、キャリッジ 1 3 0 および／またはアダプタ 1 3 2 なしにフィクスチャ（例えば、ベッド 1 0 2 および／またはレール 1 1 0）に直接結合する。取付けポール 1 0 4 は、取付けポール 1 0 4 がフィクスチャ（例えば、ベッド 1 0 2 および／またはレール 1 1 0）に沿って線形にスライドするように構成され得る。

10

【0088】

図 4 を参照すると、取付けポール 1 0 4 は、他の方向での移動を可能にする構成要素に結合され得る。例えば、取付けポールは、水平方向と垂直方向とに直交して移動する（例えば、フィクスチャから外側に延びる）スライド（図示せず）に結合され得る。スライドは、フィクスチャに取り付けられたドロワーであり得る。例えば、フィクスチャがベッド 1 0 2 である実施形態では、超精巧外科アーム 2 0 0 は、（例えば、スライド可能なドロワーを介して）ベッド 1 0 2 の側面から離れて横方向に移動され得る。

【0089】

超精巧外科システム 1 0 0 は、直立して超精巧外科アーム 2 0 0 を結合または保持する機構を含むことができる。図 2 および図 4 は、支持アーム 1 0 6 に随意に結合される超精巧外科アーム 2 0 0 を示している。支持アーム 1 0 6 は、モーターまたは他の電気的特徴のない受動アームであり得る。図 5 に示されているように、支持アーム 1 0 6 は第 1 の端部 1 1 4 と第 2 の端部 1 1 6 とを有する。第 1 の端部 1 1 4 は、超精巧外科アーム 2 0 0 に結合され得る、U 字形ブラケットなどのブラケット 1 1 8 を含むことができる。当技術分野で知られている他の接続も利用され得る。ブラケット 1 1 8 は、超精巧外科アーム 2 0 0 の基部において、例えば、以下でさらに説明するショルダーロール機構 2 0 2（図 7 参照）の近くで超精巧外科アーム 2 0 0 に結合することができる。第 2 の端部 1 1 6 はエレベータ 1 2 0 に結合され得る。第 2 の端部 1 1 6 は回転 1 2 2 の中心の周りを回転することができる。

20

30

【0090】

支持アーム 1 0 6 は、支持アーム 1 0 6 が回転することを可能にする 1 つまたは複数の回転中心を含むことができる。図 5 に示された支持アーム 1 0 6 は 3 つの回転中心 1 2 2 を有する。回転中心 1 2 2 は、図 5 に示されているように、矢印の方向で軸の周りを回転する。支持アーム 1 0 6 は、支持アーム 1 0 6 の一部が傾くことを可能にする 1 つまたは複数の傾き軸 1 2 4 を含み得る。図 5 に示されているように、支持アーム 1 0 6 は、支持アーム 1 0 6 に結合された超精巧外科アーム 2 0 0 が傾くことを可能にする 1 つの傾き軸 1 2 4 を有する。回転中心 1 2 2 および／または傾き軸 1 2 4 は、支持アーム 1 0 6 とブラケット 1 1 8 との 1 つまたは複数のリンク 1 2 6 が回転され、配置されることを可能にする。回転中心 1 2 2 は、支持アーム 1 0 6 のリンク 1 2 6 を同じ平面で、または異なる平面で、または平面のいくつかの組合せで回転させ得る。

40

【0091】

支持アーム 1 0 6 は受動的であり得る。操作者 1 は、支持アーム 1 0 6 を配置するために支持アーム 1 0 6 を手で動かすことができる。操作者 1 は、本明細書で説明する遠隔中心 2 5 0 を確立するために支持アーム 1 0 6 を手で動かすことができる。いくつかの実施形態では、支持アーム 1 0 6 は能動的であり得る。そのような実施形態では、支持アーム 1 0 6 は、支持アーム 1 0 6 のジョイントを移動するために 1 つまたは複数のモーターを含むことができる。操作者 1 は、遠隔中心 2 5 0 を確立するためにモーターを介して支持アーム 1 0 6 を移動することができる。

【0092】

50

超精巧外科システム１００は、超精巧外科アーム２００および／または超精巧外科ツール３００を配置する際にフレキシビリティを提供する。フレキシビリティは、有利には、図５に示された支持アーム１０６の回転中心１２２および／または傾き軸１２４によって向上される。フレキシビリティは、取付けポール１０４に沿ってエレベータ１２０を（例えば、垂直方向に）移動する能力によって向上され得る。フレキシビリティは、アダプタ１３２に沿ってキャリッジ１３０を（例えば、水平方向に）移動する能力によって向上され得る。

【００９３】

次に図６を参照すると、支持アーム１０６と、エレベータ１２０と、キャリッジ１３０とは超精巧外科アーム２００の配置を可能にすることができる。矢印１３４、矢印１３６、矢印１３８および矢印１４０は、支持アーム１０６の回転中心と傾き軸とを示す。矢印１４２は、エレベータ１２０が取付けポール１０４に沿って配置され得る、概して垂直な方向を示す。矢印１４４は、キャリッジ１３０が、フィクスチャ（例えば、ベッド１０２および／またはレール１１０）に対するアダプタ１３２に沿って移動し得る、概して水平な方向を示す。一実施形態では、取付けポール１０４は垂直であり得、アダプタ１３２は水平であり得る；したがって、矢印１４２は垂直であり得、矢印１４４は水平であり得る。矢印または自由度のすべては、図６に示されたものとは別様に構成され得る（例えば、支持アーム１０６はより多いまたはより少ない回転中心または傾き軸を有することができる）。

【００９４】

超精巧外科システム１００は、１つまたは複数の超精巧外科アーム２００が、手術中に患者の配向に従うようにある角度に向けられる（例えば、傾けられる）ことを可能にすることができる。典型的には、患者は水平レベル表面（例えば、ベッド）上に置かれる。いくつかの手術では、実施されるべき手術に基づいて水平表面に対して患者の体のある角度に向ける（例えば傾ける）こと（例えば、手術部位へのアクセスの改善のために、内部臓器を手術部位から離れて患者の頭部のほうへシフトさせるために患者の頭部を低くすること）が有利であり得る。超精巧外科システム１００は、超精巧外科アーム２００が患者２の配向に従うように超精巧外科アーム２００をある角度に向けること（例えば、水平から傾けること）を可能にする（例えば、超精巧外科アーム２００が患者２の配向に従うように取り付けられる）。支持アーム１０６と、エレベータ１２０と、キャリッジ１３０と、スライド（図示せず）とは超精巧外科アーム２００が傾くことを可能にすることができる。

【００９５】

作業空間中の超精巧外科アーム２００の位置はトラッキングされ得る。いくつかの実施形態では、位置は、超精巧外科アーム２００の各ジョイントにおけるアブソリュートエンコーダ（図示せず）を結合することによってトラッキングされる。いくつかの実施形態では、（光学トラッカーなどの）位置センサーが超精巧外科アーム２００の基部に取り付けられる。位置センサーは、地上基準点（図示せず）に対する超精巧外科アーム２００の位置を提供することができる。位置センサーおよび／またはエンコーダは、超精巧外科アーム２００の位置をトラッキングするために利用され得る。さらに、位置センサーおよび／またはエンコーダは、超精巧外科ツール３００の位置をトラッキングするために利用され得る。当業者は、超精巧外科システム１００の構成要素をトラッキングする他の好適なセンサー、機構または方法を利用し得る。超精巧外科システム１００は、超精巧外科アーム２００と、超精巧外科ツール３００と、超精巧外科システム１００の追加の構成要素（例えば、操作者１、入力デバイス５００）とをトラッキングするグローバルトラッカーを有することができる。

【００９６】

超精巧外科アーム

超精巧外科システム１００とともに使用される超精巧外科アーム２００は、冗長自由度を有することができる。冗長自由度は、有利には、超精巧外科アーム２００が様々な所望

10

20

30

40

50

のポーズで置かれることを可能にすることができる。さらに、冗長自由度は、有利には、患者の周りのより多くの自由空間を可能にすることができる。冗長自由度は、より多くの超精巧外科アーム 200（例えば、複数の超精巧外科アーム 200）の使用を可能にすることができる。冗長自由度は、患者 2 の上方の自由空間内のより多くの超精巧外科アーム 200 の配置を可能にすることができる。冗長自由度はまた、患者内のより大きい作業空間を可能にすることができる。冗長自由度は、（単一の超精巧外科アーム 200 の構成要素間の）自己衝突と、他の衝突（超精巧外科アーム 200 と患者 2 との間、超精巧外科アーム 200 間の）とを低減することができる。

【0097】

冗長性は次のように定義される：「マニピュレータが、リンケージの 2 つ以上の構成を用いて指定の位置に達することができるとき、そのマニピュレータは冗長であると言われる。」P. J. KcKerrow, Introduction to Robotics (Addison-Wesley Publishing Co、シドニー、1991)。

【0098】

図 7 に、超精巧外科アーム 200 の一実施形態を示す。超精巧外科アーム 200 は、本明細書で説明する超精巧外科システム 100 とともに使用され得る。超精巧外科アーム 200 は 3 つの自由度を有することができる。

【0099】

冗長自由度は、市場にある外科システムに関して、ショルダーロール機構 202 によって提供され得る。ショルダーロール機構 202 は、超精巧外科アーム 200 の下部の近くに位置することができる。冗長自由度は追加のフレキシビリティおよび利点を提供する。冗長自由度によって提供される利点は、超精巧外科アーム 200 が、より大きい作業空間にアクセスすることができ、2 つの自由度をもつ市場にあるロボットアームが達し得ない追加の解剖学的ターゲットにアクセスすることができることである。冗長自由度は、超精巧外科アーム 200 が、体の外部の超精巧外科アーム 200 の構成要素を再構成しながら、超精巧外科ツール 300 と遠隔中心 250 との先端位置を維持することを可能にする。これらの異なるポーズは、超精巧外科アーム 200 が、外科的領域中の患者 2、他のツールまたは他の対象との衝突を回避することを可能にする。

【0100】

いくつかの実施形態では、冗長自由度は、市場にある外科システムに関して、冗長縦振り機構（図示せず）によって提供される。冗長縦振り機構は、超精巧外科アーム 200 上のどこでも配置され得る。冗長縦振り機構は、超精巧外科アーム 200 の下部の近くに配置され得る。冗長縦振り機構は、本明細書で説明するように、遠隔中心と交差する縦振り軸を有することができる。冗長縦振り機構によって提供される冗長自由度は、本明細書で説明する冗長ロール機構 202 によって提供される冗長自由度について同じ利点を有することができる。超精巧外科ツール 300 および回転／並進機構 208 は 4 つの自由度（例えば、回転、並進、縦振り、横振り）を有することができる。回転／並進機構 208 はツール 300 を回転および並進させることができる。超精巧外科ツール 300 は縦振りおよびロールすることができる。したがって、超精巧外科アーム 200 および超精巧外科ツール 300 は合計で 7 つの自由度を有することができる。超精巧外科アーム 200 および超精巧外科ツール 300 は 8 つ以上の自由度（例えば、8 つの自由度、9 つの自由度など）を有することができる。超精巧外科アーム 200 および超精巧外科ツールは、（例えば、グласパ、フレキシブルエルボーなどのエンドエフェクタによって提供される）追加の自由度を有することができる。典型的に、市場にある外科ロボットシステムは、2 つの自由度（縦振りおよびロール）をもつロボットアームを有し、ツールは 4 つの自由度（回転、並進、縦振り、横振り）を有し、したがって、市場にあるロボット外科システムは、典型的には合計 6 つの自由度を有する。

【0101】

引き続き図 7 を参照すると、ショルダーロール機構 202 は 1 つの自由度を提供する。

メインロール機構 204 は 1 つの自由度を提供する。縦振り機構 206 は 1 つの自由度を提供する。回転／並進機構 208 および超精巧外科ツール 300 は 4 つの自由度（回転、並進、縦振り、横振り）を提供する。超精巧外科アームの精巧さに寄与する 4 つの機構がある：（１）ショルダーロール機構 202；（２）メインロール機構 204；（３）縦振り機構 206；および（４）回転並進機構 208。第 2 のロール機構を組み込むことにより、ショルダーロール機構 202 は、市場にある外科システムと比較して冗長自由度（例えば第 7 の自由度）を提供する。

【0102】

ショルダーロール機構 202 はショルダーロール軸 244 を有する。メインロール機構 204 はメインロール軸 240 を有する。縦振り機構 206 は縦振り軸 228 を有する。機構 202、204、206 の軸 228、240、244 は共通のポイントで交差する。図 7 では、このポイントは遠隔中心 250 と標示されている。

10

【0103】

図 8 を参照すると、縦振り機構 206 は、超精巧外科アーム 200 が超精巧外科ツール 300 を縦振り軸 228 の周りに回転させることを可能にする。縦振り軸 228 は遠隔中心 250 を通過する。矢印 230 は、縦振り軸 228 の周りの超精巧外科ツール 300 の経路を表すアークを示す。縦振り機構 206 は 3 つの回転中心 232、234、および 236 を有する。回転中心 232、234、および 236 は、縦振り軸 228 の周りの動きを生成するように機械的にリンクされる。

20

【0104】

さらに図 8 を参照すると、縦振り機構 206 は、3 つのセグメント、縦振りセグメント 224 と縦振りセグメント 226 と縦振りセグメント 227 とを有する。縦振り機構 206 の縦振りセグメント 224、226、および 227 は、2 棒、3 棒、または 4 棒リンケージ、あるいはケーブルリンケージなど、多くの構成を有することができる。いくつかの実施形態では、バンドまたはベルトが、縦振りセグメント 224、226 および 227 間の相対的角度を抑制する。超精巧外科ツール 300 を縦振り軸 228 の周りに回転させている間に、縦振りセグメント 224 と縦振りセグメント 226 は、互いの上に折りたたまれるか、または互いの間に小さい角度を有し得る。縦振りセグメントが折りたたみ位置に近いとき、メインロール機構 204 とトロカール 302 の近位端とは、互いに近くに持ってこられ得る。代替的に、縦振りセグメント 224 と縦振りセグメント 226 は、メイン

30

【0105】

ロール機構 202、204 の回転および動きは図 8 に示される。矢印 238 は、メインロール軸 240 の周りのメインロール機構 204 の回転を示す。矢印 242 は、ショルダーロール軸 244 の周りのショルダーロール機構 202 の回転を示す。いくつかの実施形態では、ショルダーロール機構 202 は、初期位置から少なくとも最高 $\pm 90^\circ$ 回転することができる。他の実施形態では、ショルダーロール機構 202 は初期位置から $\pm 90^\circ$ よりも多く回転することができる。メインロール軸 240 およびショルダーロール軸 244 は、図 8 に示されているように遠隔中心 250 において交差する。メインロール機構 204 のメインロールセグメント 222 および／またはショルダーロール機構 202 のショルダーロールセグメント 220 は、セグメントについて任意のサイズ、形状および／または数を有することができる。図示のように、ショルダーロールセグメント 220 はショルダーロール機構 202 をメインロール機構 204 に結合し、メインロールセグメント 222 はメインロール機構 204 を縦振りセグメント 224 に結合する。

40

【0106】

超精巧外科アーム 200 の様々なセグメントの構成の一実施形態が図 7 に示されている。第 1 のセグメント 218 の一方の端部は、上記で説明したように、場合によっては、フィクスチャ（例えば、ベッド 102）、支持アーム 106、または操作領域内の他の支持対象に結合され得る。第 1 のセグメント 218 の他方の端部はショルダーロール機構 20

50

2に結合される。ショルダーロール機構202は、1つまたは複数のセグメント220でメインロール機構204に接続される。1つまたは複数のセグメント222、224はメインロール機構204を縦振り機構206と接続する。1つまたは複数のセグメント226、227は縦振り機構206をトロカール302と接続することができる。

【0107】

典型的な最小侵襲手術では、患者の体の上に小さい切開部が作られ、それを通してツールが体内に入れられる。例えば、腹部手術では、切開部は腹壁上に置かれる。患者への危害のリスクを低減するために、体内への進入のポイントにおける体の表面に沿った並進を伴う移動を最小限に抑えることが望ましく、なぜなら、これらのタイプの移動は進入のポイントにおいて組織の引き裂きを生じ得るからである。このように、最小侵襲手技では、
10 ツールシャフトが常に一定のポイントを通過することが望ましい。遠隔中心は体内へのツールの進入のポイントに配置され得る。超精巧外科ツール300は、超精巧外科アーム200によって、進入のポイントにおいて組織を引き裂くことなしにこのポイントの周りを駆動され得る。患者2に対する超精巧外科アーム200の取付けは、切開部において遠隔中心250を確立することができる。

【0108】

軸の構成は、機構202、204、208が、遠隔中心250のロケーションが一定に保たれながら、超精巧外科ツール300の所望の位置を達成することを可能にする。遠隔中心250は、上述したように、患者上の切開部のロケーションまたは体内への超精巧外科ツール300の進入ポイントのロケーションと対応することができる。遠隔中心250
20 は、患者への危害または損傷のリスクを低減するために、有利には一定に保たれ得る。手術中に、例えば腹部手術中に、遠隔中心250は腹壁に置かれ得る。このロケーションは、ツールが腹腔に進入するための入口であり得る。超精巧外科ツール300の異なる位置および配向が所望されると、ショルダーロール機構202、メインロール機構204、および縦振り機構206は、超精巧外科ツール300が許容自由度内で遠隔中心250の周りを駆動するような様式でアクティブにされ得る。

【0109】

遠隔中心250のロケーションは患者の解剖学的構造によって制約され得る。超精巧外科システム100のフレキシビリティは、有利には、患者、外科医などの1人または複数の操作者1、1人または複数のアシスタント、および／または操作領域内で見つけられる
30 他の対象もしくは構成要素に対する、1つまたは複数の超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300の効率的な配置を可能にする。

【0110】

図9に、本明細書ではゼロ位置246と呼ぶ、初期位置における超精巧外科アーム200を示す。ターゲットにされる位置、ターゲットツール先端位置248の一例が示されている。この例では、ターゲットツール先端位置248はメインロール機構204の真正面にあり、メインロール軸240と共線的である。ターゲット先端位置248に達することを試みる1つの方法は、図10に示されているように縦振りセグメント224と縦振りセグメント226とを折りたたむことである。しかしながら、ピッチセグメント224、226を折りたたんだ後でさえ、超精巧外科ツール300はターゲットツール先端位置248に達することができない（図10参照）。これは、例えば、縦振り動きの範囲の終了に遭遇するので起こり得る。
40

【0111】

ショルダーロール機構202は、図11に示されているように、超精巧外科アーム200がターゲットツール先端位置248に達することを可能にする冗長自由度を提供する。ショルダーロール機構202は冗長ロール機構である。ショルダーロール機構202は、市場にあるロボットシステムと比較して冗長自由度を提供する。ターゲットツール先端位置248から超精巧外科アーム200を見ると、図9に示されたゼロ位置246から、ショルダーロールセグメント220は時計回りにいくぶん回転され、メインロールセグメント222は、反時計回りにいくぶん回転されている。ショルダーロール機構202とメイ
50

ンロール機構 204 とを回転させることによって、ターゲットツール先端位置 248 は今度はアクセス可能である。したがって、別のロール機構の回転軸と交差する回転軸をもつ、図 9～図 11 に示されたショルダーロール機構 202 などの第 2 のロール機構は、超精巧外科アーム 200 の精巧さを高めることができるであろう。ショルダーロール機構 202 は、図 8 に示されているように、メインロール機構 204 の回転軸 240 と交差する回転軸 244 を有し、したがって、超精巧外科アーム 200 の操縦性および／または精巧さが高められる。

【0112】

特異点、デッドゾーン、自由空間、バックラッシュ

超精巧外科アーム 200 の設計は超精巧外科システム 100 に有意な属性を提供する。超精巧外科アーム 200 に対する回転中心 250 のロケーションは、デッドゾーンが患者から離れて置かれることを可能にする。超精巧外科アーム 200 の小さいサイズは、患者の周りの自由空間を最大にすることを可能にし、それにより、用手ツールおよび／または超精巧外科ツールの同時使用が可能になる。ショルダーロール機構 202 によって提供される冗長自由度は、バックラッシュの影響を低下させること、超精巧外科アーム 200 の実際のバンド幅を改善することなどの領域において、本システムの性能を高めることができる。

10

【0113】

超精巧外科アーム 200 は、有利には、操作中に特異点を回避し得る。特異点は 2 つ以上の軸の共線整合として定義される。この状態は、超精巧外科アーム 200 の予測不可能な動きおよび速度を生じ得る。2 つの軸が整合するとき、いずれかの軸の周りの回転も一意でない。言い換えれば、1 つの自由度に沿った動きが失われる。

20

【0114】

再び図 10 を参照すると、縦振りセグメント 224 と縦振りセグメント 226 が互いに対して折りたたまれている。そのような位置では、ツールシャフト軸 252 とメインロール軸 240 は鋭角を張る。ツールシャフト軸 252 とメインロール軸 240 が整合された場合、メインロール軸 240 の周りの回転はツールシャフト軸 252 の周りの回転に等しくなるであろう。そのような位置では、いずれかの軸の周りの移動は超精巧外科ツール 300 に対して同じ動きを与える。そのような位置では、1 つの自由度が失われるので、エンドエフェクタ 306 の制御は最適でない。図 11 は、ショルダーロール機構 202 が、ツールシャフト軸 252 とメインロール軸 240 が整合されないように超精巧外科アーム 200 を回転させることができることを示している。ショルダーロール機構 202 によって提供される追加の自由度は、軸が整合するか実質的に整合するかまたはほぼ整合しているときに超精巧外科システム 100 が 1 つの自由度を失うことを防止する。このようにして、超精巧外科アーム 200 は、超精巧外科アーム 200 の操作中に特異点を回避するように設計され得る。

30

【0115】

超精巧外科アーム 200 は、有利にはデッドゾーンを最小限に抑え得る。デッドゾーンは、超精巧外科ツール 300 によってアクセス不可能な 1 つまたは複数の領域として定義される。デッドゾーン 254 は、超精巧外科アーム 200 の構成要素間の干渉によって生成され得る。例えば、図 12 に示されているように、デッドゾーン 254 は、超精巧外科ツール 300 の近位端とショルダーロール機構 202 との間の干渉のために生成され得る。図 12 に示されたデッドゾーン 254 は、縦振りセグメント 224、226 および／または 227 を、異なるサイズ、形状または数の（例えば、超精巧外科ツール 300 の近位端の周りに適合するためにより長い）セグメントで製作することによってなくされ得る。しかしながら、これは超精巧外科アーム 200 のサイズおよび／または重量を増加させ得る。図 12 に示されたデッドゾーン 254 は、超精巧外科ツール 300 の近位端を異なるサイズまたは形状にする（例えば、ショルダーロール機構 202 の内側に適合するためにより短くする）ことによってなくされ得る。

40

【0116】

50

超精巧外科アーム 200 は、デッドゾーンが超精巧外科アーム 200 の機能を限定しないように、1 つまたは複数のデッドゾーン 254 が患者 2 の体外に生じるように設計され得る。超精巧外科アーム 200 は、したがって、患者の体内の、作業空間内のどこでも超精巧外科ツール 300 を配置することが可能である。

【0117】

図 12 を参照すると、メインロール機構 204 は、超精巧外科ツール 300 が今度は上方に面するように回転される。ショルダーロール機構 202 は、超精巧外科ツール 300 の近位端の移動に干渉するかまたはさなければそれを限定し、したがって、デッドゾーン 254 が生成される。デッドゾーン 254 を示すクロスハッチエリアは、ショルダーロール機構 202 への超精巧外科ツール 300 の近位端の妨害により、超精巧外科ツール 300 の遠位先端が達成することができない位置を示す。図 12 は患者 2 の体を示している。図示のように、デッドゾーン 254 は、患者 2 の体の外部におよびそれから上方に離れて置かれる。図 12 に示されたデッドゾーン 254 内のポイントに超精巧外科ツール 300 の遠位先端が達することできないことは、外科的手技における超精巧外科ツール 300 の使用に影響を及ぼすことはない。図 12 に示されたデッドゾーン 254 は手術が実施されない位置を含む。

【0118】

上記で説明したように、超精巧外科アーム 200 は、デッドゾーンが体外に生じるように（例えば、支持アーム 106、取付けポール 104 などを通じて）取り付けられ得る。いくつかの実施形態では、ショルダーロール機構 202 は、図 7 に示されているように遠隔中心 250 の下方に配置され得る。いくつかの実施形態では、ショルダーロール機構 202 は、図 12 に示されているように、超精巧外科アーム 200 が取り付けられたフィクスチャ（例えば、病院ベッド）により近接している。遠隔中心 250 に対してショルダーロール機構 202 をできる限り低く配向することによって、デッドゾーン 254 は、有利には患者 2 の体の上におよびそれから離れて置かれる。再び図 6 を参照すると、ショルダーロール機構 202 は、患者 2 がその上に置かれるベッド 102 または水平表面により近接している。支持アーム 106、取付けポール 104、エレベータ 120、キャリッジ 130 および／またはアダプタ 132 を配置することによって超精巧外科アーム 200 を配置する能力は、有利には、デッドゾーン 254 の配置において追加のフレキシビリティを提供する。いくつかの実施形態では、ショルダーロール機構 202 は、（例えば、取付け、患者のそれらの側の配置により）遠隔中心 250 の上方に配置され得る。

【0119】

いくつかの実施形態では、超精巧外科アーム 200 はサイズが小さい。超精巧外科アーム 200 は、いくつかの実施形態では、10 ポンド未満、8 ポンド未満、6 ポンド未満、4 ポンド未満、3 ポンド未満の重さがあり得る。超精巧外科アーム 200 は、24 インチ未満の長さ、22 インチ未満の長さ、20 インチ未満の長さ、16 インチ未満の長さ、14 インチ未満の長さ、12 インチ未満の長さであり得る。一実施形態では、超精巧外科アーム 200 は、折りたたまれた構成であるときにコンパクトであり得る。

【0120】

超精巧外科アーム 200 の小さいサイズは、患者 2 の周りのより多くの自由空間を可能にする。自由空間は、外科医が様々な位置から用手ツール 350 を操作することを可能にする。自由空間は、外科医が手術中に複数のロケーションにおいて外科医自身を再配置することを可能にする。自由空間は、操作者が超精巧外科アーム 200 の使用と同時に用手ツール 350 を使用することを可能にする。自由空間は、必要なときに患者へのより容易な身体的アクセスを可能にする。

【0121】

有利には、操作者 1 は、患者にアクセスして用手ツール 350 を使用し、一方同時に、超精巧外科ツール 300 を制御するために超精巧外科アーム 200 を使用していることが可能である。操作者 1 は、必要とされるツールを操作するために自由空間を有することを選好するか、または患者 2 に対してより最適な位置に移動することを選好し得る。遠隔中

心250を維持しながら、超精巧外科アーム200は異なる位置に移動され得る。この異なる位置は、患者へのより大きいアクセスを可能にし得る。ショルダーロール機構202は、遠隔中心を維持しながら超精巧外科アーム200を異なる位置に移動する能力を提供する。

【0122】

図13Aに、超精巧外科アーム200の初期位置を示す。この図は超精巧外科ツール300のターゲットツール先端位置248を示している。図13Bにおいて、超精巧外科ツール300のロケーションおよび配向は同じままである。超精巧外科アーム200が異なる位置を仮定している。ターゲットツール先端位置248から超精巧外科アーム200を見ると、図13Aに示された位置から、ショルダーロールセグメント220は反時計回りにいくぶん回転され、メインロールセグメント222は時計回りにいくぶん回転されている。このように、トルシャフト軸252に沿った並進および回転を与える回転／並進機構206とともに、超精巧外科ツール300は、超精巧外科アーム200の様々なポーズを伴って同じターゲットツール先端位置248に維持されることが可能であり得る。操作者1は、必要に応じて、手技のために最適な位置に超精巧外科アーム200を置くことができる。

10

【0123】

ショルダーロール機構202は、他の制限を回避するために超精巧外科アーム200を異なる位置に移動する能力を提供する。制限は、様々な要因によって外科的環境において課され得る。これらの要因は、患者2の体型、物理的寸法と可動性とに基づく操作領域中の対象の限定、および作業空間の近くまたはその中の他の器具の存在を含む。ショルダーロール機構202は、これらの制限を回避するのを助け得る。超精巧外科アーム200は、制限の影響を最小限に抑えるかまたはなくすように配置され得る。

20

【0124】

(市場にあるシステムと比較して)ショルダーロール機構202によって提供される冗長自由度は、バックラッシュの影響を低下させること、本システムの実際のバンド幅を改善することなどの領域において超精巧外科システム100の性能を高めることになる。バンド幅は、入力デバイス500の忠実に動きに従う超精巧外科ツール300の能力である。より高いバンド幅は、超精巧外科ツール300がより速く加速することを可能にし得る。例えば、低バンド幅システムでは、操作者1が入力デバイス500を急速にまたは高速度で移動する場合、超精巧外科ツール300は入力デバイス500の動きに従うことが可能でないことがある。バックラッシュは、機械システムにおける「遊び」の量である。

30

【0125】

固定遠隔中心250を有するシステムでは、バンド幅とバックラッシュは概して逆関係である。例えば、超精巧外科ツール300のエンドエフェクタ306が遠隔中心250に極めて近い場合、メインロール機構204および／またはショルダーロール機構202は、エンドエフェクタ306の小さい移動を引き起こすために大きい量移動する。この移動は、超精巧外科アーム200のバンド幅制限を強調するが、アクチュエータバックラッシュの観点からは好都合である。別の例として、超精巧外科ツール300のシャフトが遠くに患者2の体内へと延長され、どんな特異点からも離れている場合、エンドエフェクタ306の変化を実現せよというより多くの需要がメインロール機構204および／またはショルダーロール機構202にかけられる。バンド幅は適切であるが、バックラッシュは有意になり得る。バンド幅およびバックラッシュなどのパラメータは、作業空間内の領域に応じてかなり変動し得る

40

【0126】

スイートスポットは、超精巧外科システム100がそこで制御され、バンド幅およびバックラッシュなどのパラメータが許容パラメータ内にある領域である。バンド幅、バックラッシュ、システムの設計によって課される機械的限定、(2つ以上の自由度が一致する場合の)特異点のロケーションを含む要因が、システムのスイートスポットに影響を及ぼし得る。設計者は、実施されるべきタスクのためにできる限り大きい領域をスイートスポ

50

ットに定義させることを試みる。

【0127】

いくつかの実施形態では、バンド幅およびバックラッシュは、作業空間内のすべての領域のために最適化される。バンド幅およびバックラッシュは特異点の周りで最適でない。例えば、特異点は、図10に示されているように、ツールシャフト軸252がメインロール軸240と整合するときに存在し得る。エンドエフェクタ306は制御するのがより困難であり得る。ショルダーロール機構202は、追加の自由度を提供することによって特異点を防止し得る。ショルダーロール機構202は、超精巧外科アーム200の追加のポーズを提供し、超精巧外科アーム200のセグメントを構成するための追加の方法を提供し得る。ショルダーロール機構202は、バンド幅およびバックラッシュがその上で許容パラメータ内にある、より大きい作業領域を提供することができる。

10

【0128】

代替アーム

超精巧外科アームは多くの構成を有することができる。図14～図16に、超精巧外科アームの代替構成を示す。超精巧外科アームは、本明細書で説明するように、遠隔中心250を維持することができる。超精巧外科アームは、本明細書で説明する超精巧外科システムに組み込まれ得る。超精巧外科アームは入力デバイス500によって制御され得、それにより、操作者は移動可能になることが可能になる。

【0129】

図14は、超精巧外科アーム2000の一実施形態を示す。超精巧外科アーム2000は、第1のローラースライド2004と第2のローラースライド2006とを含む基部2002を含むことができる。第1のローラースライド2004は第2のローラースライド2006に直交であり得る。第1のローラースライド2004は第1の方向（例えば、垂直）における移動を可能にする。第2のローラースライド2006は第2の方向（例えば、水平）における移動を可能にする。ローリングスライド2004は矢印の方向2010に沿ってオフセットアーム2008を配置することができ、および／またはローリングスライド2006は矢印の方向2012に沿ってオフセットアームを配置することができる。第1のローラースライド2004および／または第2のローラースライドは受動的であり得る（例えば、動力化されない）。第1のローラースライド2004および／または第2のローラースライドは能動的であり得る（例えば、動力化される）。

20

30

【0130】

超精巧外科アーム2000はオフセットアーム2008を含む。オフセットアーム2008はオフセットされる（例えば、オフセットアーム2008の構造がその縦軸について同心または対称的でない）。オフセットアーム2008は2つの自由度（縦振りおよびロール）を含む。オフセットアーム2008は縦振り機構2024とロール機構とを含むことができる。縦振り機構2024は縦振り軸を有する。オフセットアーム2008は、縦振り軸の周りで、矢印2021の周りでトロカール302を回転させることができる。ロール機構はロール軸2018を有する。オフセットアーム2008は、矢印2020の方向にロール軸2018の周りで回転することができる。縦振り軸およびロール軸は遠隔中心250と交差する。ローリングスライド2004およびローリングスライド2006はまた、遠隔中心を通過する軸の周りのみの動きを可能にする。

40

【0131】

オフセットアーム2008の遠位端はトロカールキャリア2022に結合され得る。いくつかの実施形態では、オフセットアーム2008は、アーキングスライドによってトロカールキャリア2022に結合される。円半径を有するアーキングスライドは、遠隔中心250など、回転の固定中心を維持することになる。アークの形状は改変され得る。いくつかの実施形態では、アークの形状は楕円形である。形状を交替させることによって、回転中心のロケーションが垂直方向に変化するようにされ得る。一実施形態では、縦振り機構2024は、少なくとも部分的に、トロカールキャリア2022に結合されたローリングスライド2004によって提供される。

50

【0132】

ローリングスライド2024は、湾曲したテレスコーピング式に超精巧外科アーム2000の遠位端とトロカールキャリア2022との間をローリングすることによって垂直から最高 $+/-90^{\circ}$ ($+/-15^{\circ}$ 、 $+/-30^{\circ}$ 、 $+/-45^{\circ}$ 、 $+/-60^{\circ}$ 、 $+/-75^{\circ}$ などを含む) 延長し得る。ローリングスライド2024が垂直であるとき、ローリングスライド2024はトロカールキャリア2022のプロファイル内にあり得る。これにより、掃引される量が最小限に抑えられ得、それにより、周囲の組織、他の機器、および/または手術室人員との干渉が低減される。

【0133】

縦振り機構2024、ロール機構、第1のローラースライド2004、および第2のローラースライド2006は受動的または能動的であり得る。いくつかの実施形態では、超精巧外科アーム2000の動きは、エネルギー源(例えば、図示されていない、電気モーターなどのモーター、水力学、気圧力学など)によって能動的に制御され得、操作され得る。

10

【0134】

オフセットアーム2008は2つの自由度(縦振りおよびロール)を有する。ローリングスライド2004およびローリングスライド2006は、矢印2010および矢印2012に沿った移動を提供することによって2つの自由度を提供することができる。超精巧外科アーム2000は4つの自由度を有することができる。

20

【0135】

図15に、超精巧外科アーム2026の一実施形態を示す。超精巧外科アーム2026は、3つのセグメント、セグメント2028とセグメント2030とセグメント2032とを含み得る。セグメント2028、2030、および2032はロール機構によって互いに結合される。他の実施形態では、セグメント2028、2030、2032は他の好適な機構を介して互いに結合される。これらの3つの機構は回転軸2034、2036、2038を有する。これらの軸は遠隔中心250において交差する。超精巧外科アーム2026における第3のロール機構は冗長自由度を提供する。

【0136】

超精巧外科アーム2026の遠位端は超精巧外科ツール2046および/またはトロカール2048に結合され得る。超精巧外科アーム2026は、ツール2046を並進および回転させる回転/並進機構2044を含み得る。ツール2046は2つの自由度(縦振り、横振り)を有し得る。超精巧外科アーム2026と、回転/並進機構2044と、超精巧外科ツール2046との組合せは7つの自由度を有することができる。ツール2046は追加の自由度を有することができる。

30

【0137】

図16に、代替縦振り機構の一実施形態を示す。図16のアーム2050は、超精巧外科アームを提供するために追加の機構(例えば、ロール機構、縦振り機構)と組み合わせられ得る。アーム2050は遠隔中心250を維持することができる。アーム2050は、ロール軸2058の周りを回転するロール機構を含むことができる。フォロワプレート2054がロール軸2058の周りを回転することができ、ベアリング(図示せず)によって支持され得る。アーム2050は、ベアリング(図示せず)によって支持されモーター(図示せず)によって作動されるロール軸2058の周りをアーム2050がロールし得るような方法で他の機構に取り付けられ得る。

40

【0138】

アーム2050は、縦振り軸の周りを回転する縦振り機構を提供することができる。縦振り機構は、いくつかの形態を取り、4棒リンケージ、バンドまたはケーブル制約付き並列機構、あるいはギアおよびカムを含むことができる。ギアおよびカム機構が図16に示されている。

【0139】

フォロワプレート2054は、プロファイリングされたスロット2056を含むことが

50

できる。フォロワプレート 2054 は、ギアフォロア 2062 に係合し得るギアプロファイル 2060 を含むことができる。ギアプロファイル 2060 は非円形であり得、および／またはギアフォロアは非円形であり得る。ギアフォロア 2062 は、ケーブル 2066 を駆動し得るケーブルスプール 2064 を駆動することができる。ケーブル 2066 はアーム 2051 に結合され得る。アーム 2051 は、ケーブル 2066 と相互作用するギアまたはプーリを含むことができる。ケーブル 2066 は出力プーリ 2068 の回転を駆動する。出力プーリ 2068 はアーム 2051 の遠位端の近くにあり得、トロカール 2070 に結合され得る。アーム 2051 はリニアベアリング 2072 を通ってスライドし得る。プロファイリングされたスロット 2056 と、非円形ギアプロファイル 2060 と、非円形ギアフォロア 2062 とのプロファイルは、トロカール 2070 を縦振り軸の周りで回転させ得る。アーム 2051 の形状は、組織クリアランスのために図示のように直線であるかまたは湾曲し得る。

10

【0140】

アーム 2050 は、縦振り機構によって提供される 1 つの自由度を有する。アーム 2050 は、ロール軸 2058 とともに、ロール機構（図示せず）によって提供される 1 つの自由度を有することができる。アーム 2050 を超精巧外科アームとするためにアーム 2050 に追加の冗長自由度が追加され得る。超精巧外科ツール（図示せず）および回転／並進機構は、合計 6 つの自由度のために、4 つの自由度を提供することができる。

【0141】

縦振り機構およびロール機構は受動的または能動的であり得る。いくつかの実施形態では、アーム 2050 の動きは、エネルギー源（例えば、図示されていない、電気モーターなどのモーター、水力学、気圧力学など）によって能動的に制御され得、操作され得る。操作者 1 は、回転中心 250 を確立するためにアーム 2050 を取り付けることができる。

20

【0142】

超精巧外科ツール

超精巧外科ツール 300 および回転／並進機構 208 は超精巧外科システム 100 に 4 つの自由度を提供する。回転／並進機構 208 は、超精巧外科ツール 300 を回転させることも並進させることもできる。回転／並進機構 208 のより小さいサイズは、有利には、前に説明したように、超精巧外科アーム 200 のサイズがより小さくなることを可能にする。回転／並進機構 208 の小さいサイズは、超精巧外科アーム 200 がより小さく軽量になることを可能し、それは特に、患者 2 の周りのより多くの自由空間を可能にする。

30

【0143】

超精巧外科ツール 300 は回転／並進機構 208 によって回転および／または並進され得る。回転／並進機構 208 は、回転／並進機構 208 とともに超精巧外科ツール 300 を回転させる。回転／並進機構 208 は超精巧外科ツール 300 を並進させる。回転／並進機構 208 は、並進および／または回転のどんな組合せでも提供することができる。回転／並進機構 208 は、有利には、様々な直径のツールシャフトに適応することができる。回転／並進機構 208 はどんな長さのツールシャフトにも適応する。図 17～図 22 に記載されているツールシャフトと相互作用する機構は、特定の回転数に限定されない。したがって、この機構はどんな長さのツールシャフトにも適応することができ、これは、本質的に範囲が限定されているテレスコーピングセグメントを使用する既存の市場にある並進機構に勝る利点である。回転／並進機構 208 のコンパクトサイズはより小さくなることができ、それにより、より小さい超精巧外科アームの使用が可能になる。

40

【0144】

エンドエフェクタは 2 つの自由度（縦振り、横振り）を提供し、追加の自由度（ジョー作動、ピンチ）を提供することができる。再び図 10 を参照すると、超精巧外科ツール 300 は、伸長されたシャフトの先端に展開された、エンドエフェクタ 306、例えばグラスパ、持針器、ステープラ、焼灼ツールを含む。超精巧外科ツール 300 は、（例えば、患者 2 の）体における小さい切開を通して導入され得る。

50

【0145】

図7は、超精巧外科アーム200および回転／並進機構208を示している。回転／並進機構208は超精巧外科システム100に2つの自由度（回転、並進）を提供する。回転／並進機構によって与えられる自由度の中には、ツールシャフト軸252の周りの超精巧外科ツール300の回転と、ツールシャフト軸252に沿った超精巧外科ツール300の線形並進（図10参照）とがある。超精巧外科ツール300は、遠隔中心250を移動することなしに回転または並進され得る。回転／並進機構208は、超精巧外科アーム200によって支持される超精巧外科ツール300上に回転および／または並進を直接与える。

【0146】

10

回転／並進機構208の回転は超精巧外科ツール300の回転に変換される。回転／並進機構208の並進は超精巧外科ツール300の並進に変換される。回転／並進機構208のプーリ、ギア化ホイール、または他の係合機構の方向および速度は、超精巧外科ツール300の様々なタイプの動きを生じる。

【0147】

回転／並進機構208のより小さいサイズは、超精巧外科アーム200のサイズがより小さくなり得ることを保証し得る。より小さいサイズは、超精巧外科システム100の他の構成要素（例えば、他の超精巧外科アーム200、他のセグメント）との衝突の可能性を低減し得る。超精巧外科ツール300の近位セクションのより小さいサイズは、超精巧外科ツール300がより少数の移動制限に遭遇することを保証し得る。超精巧外科ツール300のより小さい重量は、より巨大でなくなるモーターなどの駆動機構の使用を可能にする。さらに、大きく強力なモーターの必要が低減され得る。

20

【0148】

回転／並進機構208の小さいサイズは、患者2の周りのより多くの自由空間を可能にする。自由空間は、外科医が、様々な位置から超精巧外科ツール300と同時に用手ツール350を操作することを可能にする。自由空間は、外科医が手術中に複数のロケーションにおいて外科医自身を再配置することを可能にする。自由空間は、操作者が超精巧外科アーム200の使用と同時に用手ツール350を使用することを可能にする。自由空間は、必要なときに患者へのより容易な身体的アクセスを可能にする。

【0149】

30

超精巧外科システム100によって占有されるより小さい空間により、外科医または外科チームメンバーなどの操作者1は、有利には、患者の周りのより多くの自由空間を可能にすることができる。自由空間は、操作者1が患者へのアクセスを容易に獲得することを可能にする。

【0150】

図17～図22に、回転／並進機構208の一実施形態を示す。非対称回転／並進機構258および対称回転／並進機構2500という、2つの異なるタイプの回転／並進機構208について以下で説明する。他のタイプの回転／並進機構208もあり得る。回転／並進機構258、2500は、対称または非対称差動構成でローラー、ギア、プーリ、摩擦面などを使用し得る。それはまた、システムの個別部品を最小限に抑え使用とセットアップとの容易さを高めるために、超精巧外科ツールと組み合わせられ得る。非対称回転／並進機構258は、少なくとも2つのプーリ、プーリ260およびプーリ262を含むことができる。非対称回転／並進機構258は、プーリ260、262の中心を通して位置する中心ハウジング264を有する。プーリ260は中心ハウジング264に結合され得る。プーリ262は中心ハウジング264の周りを回転することができる。超精巧外科ツール300は中心ハウジング264を通して挿入され得る。

40

【0151】

プーリ260は、少なくとも2つのローラー、ローラー266およびローラー268を含むことができる。次に図18を参照すると、ローラー266はローラーホイール270とローラードラム272とを有する。ローラー268はローラーホイール274とローラ

50

ードラム 276 とを有する。ローラードラム 272、276 の直径はローラーホイール 270、274 よりも小さい。ローラーホイール 270 は凹面 278 を有し、ローラーホイール 274 は凹面 280 を有する。凹面 278、280 は、超精巧外科ツール 300 の形状に適合し、ローラー 266、268 の能力が中心ハウジング 264 中のスロットを通して超精巧外科ツール 300 を把持するかまたはそれに係合することを可能にすることができる。ローラーホイール 270 およびローラーホイール 274 は凹面を有するように示されているが、超精巧外科ツール 300 のツールシャフトの表面に係合するために、限定はしないが、テクスチャ表面、ギア歯、およびベルトを含む様々な他の表面が利用され得る。

【0152】

10

プーリ 260 は、少なくとも 2 つの追加のローラー、ローラー 282 およびローラー 284 を含む。ローラー 282、284 はプーリ 260 の下面にアタッチされる。図 17 は、プーリ 260 の下面にアタッチされたローラー 282 を示している。

【0153】

超精巧外科ツール 300 の並進のプロセスが図 19 および図 20 に示されている。図 19 に示されているように、モーター 286 がプーリ 260 を駆動し、モーター 288 がプーリ 262 を駆動する。前述のように、超精巧外科ツール 300 は中心ハウジング 264 を通って挿入され得る。プーリ 262 が矢印 1 の方向に回転するようにモーター 288 が駆動される場合、ローラー 282 は矢印 2 の方向に回転する。図 19 に示されているのと同じ動きを示す上面図である図 20 を参照すると、ローラー 282 は矢印 2 の方向に回転していることが示されている。

20

【0154】

ローラー 284 は図 19 に示されていない。図 19 に示されているのと同じ動きを示す上面図である図 20 を参照すると；ローラー 284 は矢印 3 の方向に回転していることが示されている。ローラー 282、284 の回転はローラードラム 272 およびローラードラム 276 が回転することを引き起こす。ローラードラム 272、276 の回転はローラーホイール 270 およびローラーホイール 274 が回転することを引き起こす。ローラーホイール 270 とローラードラム 272 とを含むローラー 266 の回転は矢印 4 によって示される。ローラーホイール 274 とローラードラム 276 とを含むローラー 268 の回転は矢印 5 によって示される。

30

【0155】

ローラー 266 のローラーホイール 270 の回転とローラー 268 のローラーホイール 274 の回転は、中心ハウジング 264 中に挿入された超精巧外科ツール 300 が並進することを引き起こす。しかしながら、異なる超精巧外科ツール 300 の使用を可能にするために、超精巧外科ツール 300 は中心ハウジング 264 から分離することを可能にされる必要がある。超精巧外科ツール 300 は、図 19 に示された矢印 6 の方向に並進する。矢印 6 は、それが垂直であり図面の平面外にあり得るので、図 20 には示されていない。超精巧外科ツール 300 を下方向に並進させるために、モーター 288 は単に逆方向に、矢印 1 の逆方向に回転する。これは、ローラーホイール 270、274 とローラードラム 272、276 とを含むローラー 266、268 の動きが逆方向に回転することを引き起こす。これは、超精巧外科ツール 300 が、図 19 および図 20 に示された方向とは反対方向に並進することを引き起こす。

40

【0156】

超精巧外科ツール 300 の回転のプロセスが図 21 および図 22 に示されている。図 21 において、プーリ 260 およびプーリ 262 は、それぞれモーター 286 およびモーター 288 によって回転される。プーリ 260 とプーリ 262 の両方は、矢印 7 によって示された同じ方向に回転される。モーター 286 とモーター 288 の両方の動きにより、ローラー 282 は、図 19 および図 20 に示されているように矢印 2 の方向に回転しない。モーター 286 とモーター 288 の両方の動きにより、ローラー 284 は、図 20 に示されているように矢印 3 の方向に回転しない。プーリ 260 とプーリ 262 の両方が同じ方

50

向に回転するとき、ローラー 282 および 284 はそれら自体の回転軸 290、292 の周りを回転しない。その後、ローラー 266 および 268 は、図 20 に示されているようにそれら自体の回転軸 294、296 の周りを回転しない。ローラー 266、268、282、284 は、図 22 の矢印 8 によって示されているように、プーリ 260 とともに回転する。プーリ 260 は中心ハウジング 264 の周りを回転する。プーリ 260 が回転すると、超精巧外科ツール 300 は矢印 9 によって示されているように回転する。反対方向に回転するために、モーターは単に逆方向に、図 21 に示された矢印 7 の逆方向に回転する。

【0157】

回転並進 258 は、ローラーおよび摩擦ホイールなどの係合機構を使用する。追加または代替として、ギア、ベルト、ベベルギア、およびケーブルを含む他のタイプの係合機構が利用され得る。

【0158】

図 23～図 27 に、回転／並進機構 2500 の別の実施形態を示す。この機構は対称回転／並進および差動回転／並進機構のカテゴリーに入る。対称回転／並進機構 2500 はベベルギア 2504 とベベルギア 2506 とを含むことができる。図 23 において、中心ハウジング 2502 はベベルギア 2504、2506 に対して概して直角である。ベベルギア 2504、2506 は、図 24 に示されている歯を含む。

【0159】

モーター 2508（例えば、電気モーター）はモーターギア 2510 を含む。モーター 2508 およびモーターギア 2510 はベベルギア 2504 を駆動する。ベベルギア 2504 はインセットベベルギア 2512 を駆動する。インセットギア 2512 とインセットギア 2526 は中心ハウジング 2502 に接続されるが、それらの自体の中心回転軸の周りを回転することができる。インセットベベルギア 2512 は中心ハウジング 2502 に結合される。インセットベベルギア 2512 はアクスル 2514 の周りを回転する。アクスル 2514 は 2 次ギア 2516 に結合される。2 次ギア 2516 はスパーギア 2518 と関係する。スパーギア 2518 はローラー 2520 に接続される。

【0160】

モーター 2522（例えば、電気モーター）はモーターギア 2524 を含む。モーター 2522 およびモーターギア 2524 はベベルギア 2506 を駆動する。ベベルギア 2506 はインセットベベルギア 2526 を駆動する。インセットベベルギア 2526 は中心ハウジング 2502 に結合される。インセットベベルギア 2526 はアクスル 2528 の周りを回転する。アクスル 2528 は 2 次ギア 2530 に結合される。2 次ギア 2530 はスパーギア 2532 と関係する。スパーギア 2532 はローラー 2536 と接続される。

【0161】

図 24 は、ローラー 2520、2536 と、ベベルギア 2504、2506 とを示している。対称回転／並進機構 2500 は、ローラー 2520 に結合された線形駆動ベルト 2538 と、ローラー 2536 に結合された線形駆動ベルト 2540 とを含む。ローラー 2520 は、線形駆動ベルト 2538 がローラー 2520 を部分的にラップアラウンドするように、線形駆動ベルト 2538 と中心ハウジング 2502 との間に置かれる。ローラー 2536 は、線形駆動ベルト 2540 がローラー 2536 を部分的にラップアラウンドするように、線形駆動ベルト 2540 と中心ハウジング 2502 との間に置かれる。線形駆動ベルト 2538 および線形駆動ベルト 2540 は、少なくとも部分的に超精巧外科ツール 300 の長さに沿って延長することができ、超精巧外科ツール 300 のシャフトに結合される。

【0162】

超精巧外科ツール 300 の並進のプロセスが図 25 および図 26 に示されている。モーター 2522 は矢印の方向 1 に示されているように回転される。これは、ベベルギア 2506 が矢印 2 の方向に回転することを引き起こす。ベベルギア 2506 は、インセットベ

10

20

30

40

50

ベベルギア 2 5 2 6 が矢印 3 の方向に回転することを引き起こす。インセットベベルギア 2 5 2 6 の回転は、2 次ギア 2 5 3 0 が矢印 4 と同じ方向に回転することを引き起こす。2 次ギア 2 5 3 0 の回転は、スパーギア 2 5 3 2 が矢印 5 の方向に回転することを引き起こす。スパーギア 2 5 3 2 の回転は、ローラー 2 5 3 6 が矢印 6 の方向に回転することを引き起こす。次に図 2 6 を参照すると、ローラー 2 5 3 6 は矢印 6 の方向に回転する。

【0 1 6 3】

モーター 2 5 0 8 は矢印の方向 7 に示されているように回転される。これは、ベベルギア 2 5 0 4 が矢印 8 の方向に回転することを引き起こす。ベベルギア 2 5 0 4 は、インセットベベルギア 2 5 1 2 が矢印 9 の方向に回転することを引き起こす。インセットベベルギア 2 5 1 2 の回転は、2 次ギア 2 5 1 6 が矢印 1 0 のような方向に回転することを引き起こす。2 次ギア 2 5 1 6 の回転は、スパーギア 2 5 1 8 が矢印 1 1 の方向に回転することを引き起こす。スパーギア 2 5 1 8 の回転は、ローラー 2 5 2 0 が矢印 1 2 の方向に回転することを引き起こす。次に図 2 6 を参照すると、ローラー 2 5 2 0 は矢印 1 2 の方向に回転する。図 2 6 に示されているように、ローラー 2 5 2 0 は超精巧外科ツール 3 0 0 の反対側に係合する。図 2 3 および図 2 5 において、ローラー 2 5 2 0 は中心ハウジング 2 5 0 2 と超精巧外科ツール 3 0 0 との後ろにあり、したがって破線で示されている。

10

【0 1 6 4】

ローラー 2 5 2 0、2 5 3 6 の回転は、図 2 6 の矢印 1 3 と矢印 1 4 とによって示される方向に線形ベルト駆動 2 5 3 8、2 5 4 0 の線形並進を引き起こす。線形ベルト駆動 2 5 3 8、2 5 4 0 の動きは超精巧外科ツール 3 0 0 の線形並進を引き起こす。線形ベルト駆動 2 5 3 8、2 5 4 0 は超精巧外科ツール 3 0 0 のツールシャフトに結合され、超精巧外科ツール 3 0 0 は中心ハウジング 2 5 0 2 を通って並進する。中心ハウジング 2 5 0 2 中に挿入された超精巧外科ツール 3 0 0 は矢印 1 3 と矢印 1 4 との方向に並進し得る。超精巧外科ツール 3 0 0 を上方向に移動するために、モーター 2 5 0 8、2 5 2 2 は単に反対方向に、図 2 5 の矢印 1 および矢印 7 と反対の方向に回転し得る。

20

【0 1 6 5】

超精巧外科ツール 3 0 0 の回転のプロセスが図 2 7 および図 2 8 に示されている。線形ベルト駆動の下のもーター、もーターギア、2 次ギア、スパーギアおよびローラーは図示されていない。さらに、ベベルギアとインセットギアとのための歯は図示されていない。図 2 7 において、ベベルギア 2 5 0 4、2 5 0 6 はもーター（図示せず）によって回転される。ベベルギア 2 5 0 4 とベベルギア 2 5 0 6 の両方は、矢印 1 5 によって示された同じ方向に回転される。両方のもーターの動きにより、インセットベベルギア 2 5 1 2、2 5 2 6 は、図 2 2 に示されているように矢印 3 および 9 の方向に回転しない。

30

【0 1 6 6】

両方のもーターの動きにより、ローラー 2 5 2 0、2 5 3 6 は、図 2 7 の矢印 1 6 によって示されているようにベベルギア 2 5 0 4、2 5 0 6 とともに回転する。同じ方向におけるベベルギア 2 5 0 4 とベベルギア 2 5 0 6 の両方の回転は、中心ハウジング 2 5 0 2 と、キャプチャされた超精巧外科ツール 3 0 0 とが、すべて同じ速度で回転することを引き起こす。ベベルギア 2 5 0 4、2 5 0 6 が回転されると、超精巧外科ツール 3 0 0 は矢印 1 6 によって示されているように回転する。反対方向に回転するために、もーターは単に逆方向に回転する。

40

【0 1 6 7】

もーター 2 5 0 8 ともーター 2 5 2 2 の両方の動きにより、インセットベベルギア 2 5 1 2、2 5 2 6 はベベルギア 2 5 0 4、2 5 0 6 とともに回転させる。インセットベベルギア 2 5 1 2、2 5 2 6 は中心ハウジング 2 5 0 2 に結合される。同じ方向におけるベベルギア 2 5 0 4、2 5 0 6 とインセットベベルギア 2 5 1 2、2 5 2 6 との回転は、中心ハウジング 2 5 0 2 と、キャプチャされた超精巧外科ツール 3 0 0 とが、すべて同じ速度で回転することを引き起こす。回転／並進機構 2 0 8 においてギア、ベルト、およびベベルギアなどの係合機構が利用され得る。他の実施形態では、追加または代替として、ローラー、ベアリング、およびケーブルなど、他のタイプの係合機構が利用され得る。

50

【0168】

図28は、図23～図27の線形ベルト駆動2538、2540とローラー2520、2536との代替実施形態を示している。本実施形態はより小さい連続ベルト駆動2546、2548を含む。ベルト駆動2546は2つのローラー2550、2552を囲む。ベルト駆動2548は2つのローラー2556、2558を囲む。ベルト駆動2546、2548のための歯2560、2562はベルト駆動2546、2548の外表面上に置かれる。ベルト駆動2546、2548のための歯2560、2562は、中心ハウジング2502の外表面上にあるかまたは超精巧外科ツール300のツールシャフト上に直接ある歯2564、2566に係合する。図示の実施形態では中心ハウジング2502または超精巧外科ツール300のツールシャフトに係合するためにベルト駆動が使用されているが、中心ハウジング2502または超精巧外科ツール300のツールシャフトに係合するために様々な他の好適な機構が利用され得る。

10

【0169】

回転／並進機構208は、並進または回転の任意の組合せを提供することができる。再び図23を参照して、モーター2508の反時計回り回転とモーター2522の反時計回り回転とに「+」方向が割り当てられ、モーター2508および2522の時計回り回転に「-」方向が割り当てられると仮定する。さらにまた、下方向における中心ハウジング2502または超精巧外科ツール300のツールシャフトの並進の1つのユニットが「T+」と呼ばれ、中心ハウジング2502の時計回り回転の1つのユニットが「R+」と呼ばれると仮定する。この名称は、概念を変更することなしに反転され得る。さらに、1つの並進ユニットは、1cmなど、距離の整数ユニットに対応しないことがあることに留意すべきである。同様に、1つの回転ユニットは、中心ハウジング2502の完全な回転に対応しないことがある。実際の距離または度数へのこれらのユニットの変換は、選択されたギア比に依存する。

20

【0170】

モーター2508の回転の1つのユニットまたは「MA+」が、正の方向における1つの並進ユニットと、正の方向における中心ハウジング2502の1つの回転ユニットとを生成すると仮定する。したがって：

$$MA_{+} = T_{+} + R_{+} \quad \text{式1}$$

【0171】

同様に、モーター2522の回転の1つのユニットまたはMB+が、正の方向における1つの並進ユニットと、負の方向における中心ハウジング2502の1つの回転ユニットとを生成する。したがって：

$$MB_{+} = T_{+} + R_{-} \quad \text{式2}$$

【0172】

例えば、正の方向における並進の2つのユニットを得るためには：

$$MA_{+} + MB_{+} = 2T_{+} \quad \text{式3}$$

【0173】

負の方向における回転の1つのユニットを得るためには、

$$1/2MA_{-} + 1/2MB_{+} = R_{-} \quad \text{式4}$$

40

【0174】

したがって、1つのモーターが移動しない組合せを含めて、モーター2508、2522の動きを組み合わせることによって、並進および／または回転の任意の組合せが取得され得る。いくつかの実施形態では、同じ概念を使用して、並進と回転との速度が変化され得る。モーター2508、2522の速度は所定の値として設定され得る。いくつかの実施形態では、ディスプレイ600を通して、操作者1（例えば、外科医）はより遅くより高感度の設定を選定することを希望し得るが、別の操作者はあまり高感度でない設定を選好し得る。これは、スクリーン上のポインタの応答が、選好設定に基づくユーザ設定に従い得る、コンピュータマウスの感度設定の設定に類似している。

【0175】

50

いくつかの実施形態では、並進ユニットおよび回転ユニットは、実際の距離および回転の実際の度数に対応し得る。変換値は超精巧外科アーム 200 の設計段階中に決定されるか、または較正手順を介して決定され得る。変換値は、制御システム 400 内のメモリに記憶され得る。構成要素における遊びおよび他の要因により、各モーター 2508、2522 は、まったく同じ量の並進および回転を生じないことがある。この場合、これらの差は、制御システム 400 によって、および上記で説明した式においてアカウントされ (accounted) 得る。

【0176】

回転／並進機構 208 は、有利には、様々な直径のツールシャフトに適応することができる。図 29～図 31 に、本明細書で説明する非対称回転／並進機構 258 に結合された幅調整器 2600 を示す。幅調整器 2600 は対称回転／並進機構 2500 に結合され得る。図 29 は、中心ハウジング 264 に結合された幅調整器 2600 の側面図を示している。幅調整器 2600 は、中心ハウジング 264 の長さに沿って上下に移動し得る。幅調整器は、ローラー 266、268、および 282 にアタッチされた複数のリンク 2602 A、2602 B、2602 C (図示せず)、2602 D (図示せず) を有することができる。リンクはローラー 284 (図示せず) にアタッチされ得る。リンク 2602 A、2602 B は三角形形状に構成され得る。リンク 2602 A は、概して三角形形状に幅調整器 2600 をローラー 266 とローラー 282 とに接続する。リンク 2602 B は、概して三角形形状に幅調整器 2600 をローラー 268 とローラー 282 とに接続する。リンク 2602 C は、概して三角形形状に幅調整器 2600 をローラー 266 とローラー 284 とに接続する (図示せず)。リンク 2602 D は、概して三角形形状に幅調整器 2600 をローラー 268 とローラー 284 とに接続する (図示せず)。三角形形状は展開され得る形状の一例であり、他の形状が可能である。リンク 2602 は固体片であり得る。

【0177】

リンク 2602 は、ローラー 282 および 284 の回転軸の周りを枢動する。リンク 2602 は、ローラー 266 および 268 の中心の位置を調整することができる。ローラー 266、268 は、それらの回転軸 294、296 に沿って延長するシャフトを有する。ローラー 266 および 268 のシャフトはリンク 2602 に結合される。

【0178】

幅調整器 2600 は、中心ハウジング 264 の軸に沿って並進することができる。幅調整器 2600 が下方へ移動するとき、リンク 2602 は新しい位置を取るために枢動する。リンクはローラー 282、284 の軸 290、292 の周りを枢動する。リンク 2602 のこの新しい位置において、ローラー 266、268 は、図 31 に示されているように新しい位置を取る。ローラー 266'、268' の新しい位置は、より大きい直径の超精巧外科ツール 300 が中心ハウジング 264 中に挿入されることを可能にする。図 30～図 31 に示されているように、ローラー 266、268 の古い位置は破線で示されているが、ローラー 266'、268' の新しい位置は実線で示されている。新しい位置におけるローラー 266' と新しい位置におけるローラー 268' との間にはより多くの空間がある。

【0179】

別の例では、肥満の患者において、体型によりツールの操作は困難になる；これらの場合、超精巧外科アーム 200 によって、より大きいまたはより長い超精巧外科ツール 300 が支持され得る。幅調整器 2600 は、より大きい直径のツールが使用されることを可能にする。回転／並進機構 208 は、より長いツールの使用を可能にする。

【0180】

本発明の他の態様では、しばしば、超精巧外科ツール 300 が患者 2 の体内にどのくらい挿入されるかを知ることが望ましい。外科的設定において、超精巧外科ツール 300 は、患者 2 の腹部など、患者 2 の体内に挿入される。超精巧外科ツール 300 のどのくらいが患者 2 の体内にあるのかを知ること、および／または超精巧外科ツール 300 のどのくらいが体外にあるのかを知ることが有利であり得る。この距離は、患者 2 の体外にある超

精巧外科ツール 300 のセクションの抵抗またはキャパシタンスなどの電気パラメータを監視し計算することによって決定され得る。

【0181】

進入のポイントにおいて患者 2 の体と超精巧外科ツール 300 との間の接触が作られる。患者の外部の超精巧外科ツール 300 上の設定ポイントと、進入のポイントにおける超精巧外科ツール 300 上の接触ポイントとの間に電気回路が完成され得る。超精巧外科ツール 300 が操作されると、設定ポイントと接触ポイントとの間の抵抗またはキャパシタンスなどの電気パラメータが変化し得る。この変化が監視され、（例えば、制御システム 400 によって）患者 2 内部のツールの比に対する患者 2 外部のツールの比を計算するためにさらに処理され得る。

10

【0182】

入力デバイス

入力デバイス 500 は、超精巧外科アーム 200 および／または超精巧外科ツール 300 を制御する。入力デバイス 500 はワイヤレスおよび／またはポータブルであり得、それにより、操作者が患者 2 の周りを移動することが可能になる。入力デバイス 500 は、操作者が操作領域内の様々なロケーション（例えば、患者のベッドサイドにおける様々なロケーション）にいることを可能にする。入力デバイス 500 は、操作者が超精巧外科ツール 300 と用手ツール 350 を同時に制御することを可能にする。超精巧外科ツール 300 と用手ツール 350 の同時の操作は、有利には、操作者が超精巧外科ツール 300 を制御しながら外科アシスタントが用手ツール 350 を操作する必要を低減する。本発明の入力デバイス 500 は、ピンチャー 502（図 32A 参照）およびコントローラ 514（図 2 参照）を含むいくつかの形態を取ることができる。

20

【0183】

入力デバイス 500 はワイヤレスまたはワイヤードであり得る。いくつかの実施形態では、入力デバイス 500 は操作者によって携帯され得るハンドヘルドポータブルデバイスであり、それにより、操作者が患者 2 の周りを移動し、超精巧外科システム 100 の使用中に様々なロケーション（例えば、様々なベッドサイドロケーション）から入力デバイス 500 を操作することが可能になる。操作者 1 は、したがって、図 3A～図 3C に示されているように、操作領域の周りを移動し、様々なロケーションから超精巧外科アーム 200 を制御することができる。

30

【0184】

いくつかの実施形態では、入力デバイス 500 は操作者 1 の体に結合され得る。図 32A にピンチャー 502 を示す。ピンチャー 502 は、親指と人差し指とを用いて超精巧外科ツール 300 を保持することに一致する様式で超精巧外科ツール 300 を制御する際に操作者 1 を支援し得る。ピンチャー 502 は、ツール先端などの制御ポイントにおいて超精巧外科ツール 300 を制御する際に操作者 1 を支援し得る。

【0185】

外科医などの操作者 1 は、ピンチャー 502 の 2 つのリング 504、506 を着用する。1 つのリング 504 は操作者 1 の親指の周りに置かれ得、1 つのリング 506 は操作者 1 の人差し指の周りに置かれ得る。ただし、リング 504、506 は、ピンチャーの構成に基づいて他の指に着用され得る。入力デバイス 502 の動きと、ツール先端または末端エフェクタ 306 の動きとの関連付けがあり得る。

40

【0186】

ピンチャー 502 は、位置センサーおよびジャイロスコープなど、様々なセンサー 508 を有し得る。また、ひずみセンサーなどの追加のセンサー 510 がピンチャー 502 の 2 つのアーム間の距離を測定し得る。センサー 508、510 は、ピンチャー 502 の位置および配向に関係する情報を制御システム 400 に提供することができる。これらのセンサー 508、510 からの情報は、操作者 1 の手と手首と指との移動が制御ポイントの動きに変換され得るように、制御アルゴリズムへの入力として働く。入力デバイス 502 の移動は、超精巧外科アーム 200、超精巧外科ツール 300、および／またはグリッパ

50

ーなどの超精巧外科ツール 300 の末端エフェクタ 306 の移動を制御することができる。一実施形態では、ピンチャー 502 はボタン電池などの電源（図示せず）を含むことができる。

【0187】

いくつかの実施形態では、リングの第 2 のペア (a second a pair) が提供され得る。リングの第 2 のペアは同じ手の他の指に着用され得る。操作者 1 は、手の様々な動きが特定のコマンドに変換され得るように、リングの第 2 のペアを他の指の周りに着用し得る。リングの第 2 のペアは、ピンチャー 502 を制御している同じ手の異なる指に着用され得る。リングの第 2 のペアの 1 つのリングは操作者 1 の親指の周りに置かれ得、リングの第 2 のペアの 1 つのリングは操作者 1 の小指 (the last finger) の周りに置かれ得る。非限定的な例として、第 1 のピンチャー 502 のリング 504、506 の第 1 のペアは第 1 の超精巧外科ツール 300 を制御することができ、リングの第 2 のペアは第 2 の超精巧外科ツール 300 を制御することができる。非限定的な例として、第 1 のピンチャー 502 のリング 504、506 の第 1 のペアと、リングの第 2 のペアとは、同じ超精巧外科ツール 300 を制御することができる。

10

【0188】

いくつかの実施形態では、リングの第 2 のペアおよび／または第 2 のピンチャー 502 は他の手に着用され得る。リングの第 2 のペアおよび／または第 2 のピンチャー 502 は、第 1 のピンチャー 502 を制御している手とは操作者 1 の異なる手に着用され得る。非限定的な例として、第 1 のピンチャー 502 のリング 504、506 の第 1 のペアは第 1 の超精巧外科ツール 300 を制御することができ、リングの第 2 のペアおよび／または第 2 のピンチャー 502 は第 2 の超精巧外科ツール 300 を制御することができる。非限定的な例として、第 1 のピンチャー 502 のリング 504、506 の第 1 のペアならびにリングの第 2 のペアおよび／または第 2 のピンチャー 502 は、（例えば、異なる制御ポイントにおいて）同じ超精巧外科ツール 300 を制御することができる。

20

【0189】

本明細書で説明するピンチャー 502 の移動はいかなる制御ポイントの移動でも引き起こすことができる。制御ポイントはエンドエフェクタ（例えば、グラスパの動き）を制御することができる。しかしながら、入力デバイス 500 は、超精巧外科ツール 300 のエンドエフェクタ 306 または先端のみを制御する必要はない。入力デバイス 500 は、（例えば、ディスプレイ 600 を介して）超精巧外科ツール 300 に沿った任意のロケーションを制御ポイントに割り当てることによって超精巧外科ツール 300 の任意の部分を制御することができる。制御ポイントは、操作者 1 がツールをそこから制御している仮想ロケーション（例えば、支点）と見なされ得る。制御ポイントは、超精巧外科ツール 300、超精巧外科アーム 200、または超精巧外科システム 100 の任意の構成要素に沿ってどこでも作成され得る。

30

【0190】

いくつかの実施形態では、入力デバイス 500 は操作者 1 によって保持される。図 32 B に、入力デバイス 500 の別の実施形態を示す。図示の実施形態では、入力デバイス 500 はノブ 503 であり得る。外科医などの操作者 1 は、手の 1 つまたは複数の指でノブ 503 を保持することができる。ノブ 503 は 1 つまたは複数のボタン 505 を有することができる。操作者が 1 つまたは複数のボタン 505 についての少なくとも 1 つを押し込むとき、超精巧外科ツール 300 の制御ポイントが移動または作動され得る。

40

【0191】

いくつかの実施形態では、入力デバイス 500 は操作者 1 に対して固定である。一実施形態が図 2 に示されている。超精巧外科システム 100 はプラットフォーム 602 を含むことができる。入力デバイス 500 はプラットフォーム 602 に結合され得る。入力デバイス 500 は操作領域内のどんなフィクスチャにも結合され得る。入力デバイス 500 はコントローラ 514 の形態をとることができる。コントローラ 514 はワイヤードまたはワイヤレスであり得る。ユーザインターフェースサブシステム 605 は、外科医などの操

50

作者1が、図2に示されているように、ディスプレイ600に極めて近接してワイヤードコントローラ514を制御することを可能にする。ワイヤードコントローラ514はこのディスプレイ600の下方に配置され得る。プラットフォーム602は水平レスティングバー603をも含み得る。

【0192】

例えば、手術中の操作者1が座って超精巧外科ツール300を制御することを決定する場合、コントローラ514はその操作者1がそれを行うことを可能にする。いくつかの外科的手技では、操作者1は、ピンチャー502など、操作者の体にアタッチされた入力デバイス500よりはむしろ、ワイヤードコントローラ514などの固定入力デバイスを移動するほうがより快適であることがわかり得る。例えば、操作者1は、水平レスティングバー602にもたれながらおよび／または座りながら、その操作者1の移動をより良く制御することが可能であり得る。操作者の自然な体の位置は、ワイヤードコントローラ514を制御しながら、操作者の体の一部を水平レスティングバー603にもたれさせることであり得る。操作者1は、水平レスティングバー603にもたれながら他の入力デバイス500（例えば、ピンチャー502）を制御することができる。

10

【0193】

超精巧外科システム100は、外科的領域中の複数のロケーションから制御され得る。いくつかの実施形態では、操作者1は、1つまたは複数の入力デバイス500（例えば、ピンチャー502、ワイヤードコントローラ514）を保持するかまたはさもないければ制御しながら座るかまたは立つことができる。操作者は、レスティングバー603上に操作者の体の一部を支持することができる。様々な入力デバイス500は、操作者1が動き回り、最も最適位置に操作者1自身を配置することを可能にする。

20

【0194】

入力デバイス500は1つまたは複数の制御ポイントの移動を制御する。制御ポイントは、何らかの動きを実行するための能力を有するロケーションである。制御ポイントは、超精巧外科アーム200、超精巧外科ツール300、または任意の他のロケーション上に配置され得る。超精巧外科ツール300は、1つまたは複数の制御ポイント2600に対する入力デバイス500によって制御され得る。制御ポイント2600は、移動する能力を有する超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300上のロケーションである。操作者1による入力は、制御ポイント2600に接続されている1つまたは複数のセクションの移動を実現する。

30

【0195】

操作者1は、操作されている入力デバイス500に制御ポイント2600を関連付けることができる。入力デバイス500を移動することは、超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300が制御ポイントの周りを移動することを引き起こす。入力デバイス500の移動は、選択された制御ポイント2600の移動を引き起こすであろう。これは、超精巧外科アーム200によって制御される超精巧外科ツール300の移動を引き起こすであろう。特定の制御ポイント2600に入力デバイス500を割り当てるためにディスプレイ600が使用され得る。

【0196】

40

超精巧外科ツール300は、1つまたは複数の仮想グリップ512に対する入力デバイス500によって制御され得る。仮想グリップ512は、超精巧外科ツール300が患者2内に配置されるフレキシビリティを高めることができる。図33Aおよび図33Bは超精巧外科ツール300を示している。図33Aにおいて、仮想グリップ512は超精巧外科ツール300の端部に置かれる。超精巧外科ツール300が仮想グリップ512のロケーションの周りを移動するように抑制された場合、ツール先端およびエンドエフェクタ306は小さい距離のみ揺動し得る。図33Bでは、仮想グリップ512は超精巧外科ツール300の中央のほうへ置かれる。ツール先端およびエンドエフェクタ306はより大きい距離を揺動することができる。仮想グリップ512は、外科医などの操作者1が、細かい動きと粗い動きとの間で決定することを可能にする。仮想グリップ512をツール先端

50

のほうへ移動することによって、操作者はより細かい操作を完了することができる。複数の超精巧外科ツール300が使用される場合、各ツールは異なる仮想グリップ512を有し得る。さらに、各仮想グリップ512が独立して制御されるように、異なる仮想グリップ512は異なる入力デバイス500によってアクティブにされ得る。例えば、図33Aに示されているように、1つの入力デバイス500をもつ左手が、エンドエフェクタの近くの仮想グリップを用いて超精巧外科ツール300を制御し得る。別の入力デバイス500をもつ右手は、図33Bに示されているように、超精巧外科ツール300の中央に置かれた仮想グリップ512を用いて同じ超精巧外科ツール300を制御し得る。

【0197】

本明細書で説明するように、操作者1は、仮想グリップ512をツール先端に関連付けることによって超精巧外科ツール300を制御し得る。操作者1の他方の手を用いて、操作者1は、仮想グリップ512を超精巧外科ツール300（例えば、同じ超精巧外科ツール300または異なる超精巧外科ツール300）の近位端に関連付け得る。近位端における仮想グリップは、操作者1が、その人が腹腔鏡ツールを制御する方法と同様に超精巧外科ツール300を制御することを可能にし得る。この様式における超精巧外科ツール300の自然な制御は、本明細書で説明するように、操作者の手の各々に独立した基準系を関連付けることによって達成され得る。

【0198】

空間中の入力デバイス500の位置はトラッキングされ得る。いくつかの実施形態では、この位置は、入力デバイス500にアブソリュートエンコーダ（図示せず）を結合することによってトラッキングされる。いくつかの実施形態では、入力デバイス500の基部に位置センサー（光学トラッカー）が取り付けられる。いくつかの実施形態では、入力デバイス500は、操作者1が着用するセンサーによってトラッキングされる。いくつかの実施形態では、入力デバイス500はプラットフォーム602上のセンサーによってトラッキングされる。位置センサーは、地上基準点（図示せず）に対する入力デバイス500の位置を提供することができる。位置センサーおよび／またはエンコーダは、入力デバイス500の位置をトラッキングするために利用され得る。当業者は、超精巧外科システム100の構成要素をトラッキングする他の好適なセンサー、機構または方法を利用し得る。いくつかの実施形態では、2つ以上の（例えば、複数の、いくつかの）トラッキング技術が連携して使用される。冗長トラッキング技術はオクルージョンをなくし、機能不全を検出することができる。冗長トラッキング技術は分解能またはバンド幅を増加させることができる。

【0199】

いくつかの実施形態では、入力デバイス500は無菌であるか、または殺菌されることが可能である。操作者1は、手技中に操作者1の手を無菌環境中に維持する必要がある。手術中に、操作者1は、1つまたは複数の用手ツール350と、1つまたは複数の入力デバイス500とを操作し得る。入力デバイス500は、患者に接触することと併せて使用され得る。例えば、操作者1は、入力デバイス500を制御し、同時に（例えば、それらのハンドでまたは用手ツールで）患者2に接触することができる。無菌操作環境を維持するために、入力デバイス500は無菌であるかまたは殺菌されることが可能でなければならない。

【0200】

いくつかの実施形態では、入力デバイス500は、制御システム400と相互作用する1つまたは複数の特徴を含むことができる。例えば、入力デバイス500は、患者内の作業空間中かまたは患者の上方の自由空間中に置かれたカメラなど、カメラ304（図35参照）を制御することができる。カメラ304は超精巧外科ツール300と見なされ、入力デバイス500によって制御され得る。入力デバイス500は、ディスプレイ600、702上に示される画像を改変することができる。画像は、以下で説明するように、操作者1などのトラッキング対象、あるいは超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300などの制御可能対象の視点を反映するために、ディスプレイ600、70

2上で反転、回転、および左右フリップされ得る。いくつかの実施形態では、入力デバイス500はボタンおよび／またはスライダーを含む。ボタンおよび／またはスライダーは、カメラ304のパン／ティルトおよび／またはズームを変更するために操作者1によって作動され得る。いくつかの実施形態では、操作者1は、カメラパラメータを変更するために、入力デバイス500上のボタンを押下し、操作者の体の別の部分の動きを使用する。例えば、操作者1は、カメラパラメータを変更するために、ボタンを押下し、操作者1の眼の動きを使用することができる。いくつかの実施形態では、操作者1は、カメラ304のズームを変更するために（例えば、指で）スライダーを移動する。いくつかの実施形態では、入力デバイス500は、以下で説明する制御システム400からの情報を受け付けることができる。制御システムは、操作者1のための触覚フィードバックを生成せよという命令などの情報を入力デバイス500に送ることができる。触覚フィードバックはワイヤレスまたはワイヤード接続を介して送られ得る。入力デバイス500は、ツールを使用することについての触覚フィードバックを模倣するセンサーを組み込むことができる。入力デバイス500は超精巧外科ツール300の触覚フィードバックを模倣することができる。入力デバイス500は用手ツール350の触覚フィードバックを模倣することができる。超精巧外科システム100は、用手ツール350の実際の触覚フィードバックを、入力デバイス500によって伝達される模倣触覚フィードバックにリンクすることができる。いくつかの実施形態では、入力デバイス500は、触覚フィードバックを提供することができるインターフェース（例えば、プラットフォーム602）においてドッキングされ得る。

10

20

【0201】

制御システム

超精巧外科システム100は、（例えば、入力デバイス500、ディスプレイ600を介した）ユーザ入力を入力（例えば、制御ポイントの動き、画像）に変換する制御システム400を含むことができる。制御システム400は、いくつかのユーザ入力をいくつかの制御可能対象にペアリングすることができる。様々な超精巧外科ツール300の移動を実行しているとき、制御システム400は1つまたは複数の制約を維持し得る。制御システム400は、1つまたは複数の超精巧外科ツール300を単一のツール（例えば、超精巧外科ツール300または用手ツール350）にロックすることができる。有利には、制御システム400により、超精巧外科システム100は、外科的手技を実施するために操作者（例えば、外科医）に提供されるフレキシビリティを可能にすることが可能になる。例えば、以下でより詳細に説明するように、制御システム400により、外科医は、様々な基準系（例えば、没入型カメラ搭載の基準系、ワールドグラウンド基準系）と、様々な基準系の間を移動する能力とを使用して超精巧外科ツール300を制御することが可能になり、この能力は、有利には外科医が、外科的タスクを実施するためにカメラ搭載の基準系を用いて超精巧外科ツール300を操作することと、外科医自身に対する超精巧外科ツール300の位置の認識を保ちながら、外科医が別の位置に外科医自身を再配置することを可能にするワールドグラウンド基準系にと、次いで、外科的タスクを続けて異なる外科的タスクを開始するためにカメラ搭載の基準系に戻ることに間でシームレスに移動することを可能にする。さらに、制御システム400により、有利には、外科医は、超精巧外科ツール300の制御を（例えば、右と左との間で）切り替えることと、最適な位置への外科医の再配置を可能にすることと、それに応じてカメラビューを回転することとが可能になる。さらに、制御システム400により、有利には、1つまたは複数の超精巧外科ツール300は、それが別のツール（例えば、別の超精巧外科ツール300、または用手ツール350）と同期して移動するように制御されることが可能になり得、それにより、外科医は、ツールを仮想的につなぎ留め、ツールを別の手術部位に移動するときなどにそれらを同時に移動することが可能になり得る。

30

40

【0202】

図34に、制御システム400の一実施形態を示す。制御システム400のアーキテクチャは、3つのセクション；入力を受信するセクション408と、出力を送ることを担当

50

するセクション410と、入力を含む様々なデータに基づいて出力を計算するセクション412とを含んでいるものとして考えられ得る。操作者1は、入力デバイス500を介して入力を提供することができる。入力はワイヤレスまたはワイヤード入力デバイス500によって提供され得る。操作者1のロケーションは、（例えば、制御システム400と通信するトラッキングデバイスによってトラッキングされる）入力であり得る。追加の構成要素が、ディスプレイ600とクラッチ112とを含む入力を提供することができる。

【0203】

制御システム400は、超精巧外科アーム200、超精巧外科ツール300、および／または用手ツール350のロケーションおよび配向センサーから入力を受信し得る。制御システム400は、様々な入力に部分的に基づいて出力を計算する。出力は1つまたは複数の超精巧外科ツール300および／または1つまたは複数の超精巧外科アーム200を操作し得る。出力は、外科医によって触れられる入力デバイス500に送られる触覚信号であり得る。出力は、1つまたは複数のディスプレイ600、702上に示される画像であり得る。

10

【0204】

図35に、コンピュータ402をもつ制御システム400の一実施形態を示す。制御システム400は、1つまたは複数の超精巧外科アーム200ならびに1つまたは複数の超精巧外科ツール300など、いくつかの制御可能対象に結合され得る。

【0205】

制御システム400はいくつかの入力デバイス500に結合され得る。矢印は、制御システム400と入力デバイス500との間の情報のフローを示す。制御システムは、矢印によって示されるように、情報、例えば触覚フィードバックを入力デバイス500に送ることができる。破線矢印はワイヤレス通信を示すように意図されている。両矢印は、制御システムへの入力と、制御システムからの出力とを示す。触覚フィードバックはワイヤレスまたはワイヤード接続を介して送られ得る。入力デバイス500は、1つまたは複数の超精巧外科アーム200および／または1つまたは複数の超精巧外科ツール300の移動を制御するために使用され得る。

20

【0206】

入力デバイス500以外に、制御システムはいくつかの出力デバイスにも結合され得る。制御システム400は、ディスプレイ600およびディスプレイ702など、いくつかのデバイスに結合され得る。ディスプレイ600も入力であり得る。ディスプレイ600は、操作者1に情報を提供し、操作者1からの情報を受け付ける。ディスプレイ600はタッチスクリーンモニタ604であり得る。iPadまたは他のモバイル電子デバイスなど、他のタイプのディスプレイ600も使用され得る。いくつかの実施形態では、ディスプレイ600は無菌であるか、または殺菌されることが可能である。ディスプレイ600は用手ツール350と併せて使用され得る。ディスプレイ600は、患者に接触することと併せて使用され得る。操作者1は、ディスプレイ600と用手ツール350を同時に制御することができる。操作者は、ディスプレイ600を制御し、同時に患者2に接触することができる。

30

【0207】

制御システム400は、超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300など、いくつかの制御可能対象に結合され得る。制御システム400はいくつかの入力デバイス500に結合され得る。両側矢印は、コンピュータ402と入力デバイス500との間の情報のフローを示す。クラッチ112はコンピュータに入力を提供することができる。

40

【0208】

用手ツール350（例えば、用手ツール350に固定されたセンサー352）はコンピュータに入力を提供することができる。前に説明したように、用手ツール350はまた、超精巧外科システム100とともに使用され得る。用手ツール350上のセンサー352はコンピュータ402に入力を提供することができる。用手ツール350は、位置センサ

50

ーなどのセンサー 352 によってトラッキングされ得る。センサー 352 は、例えば、用手ツール 350 上に適合するカラーまたはスリーブによって固定され得る。カラーまたはスリーブは、ワイヤレスまたはワイヤードであり得る様々なセンサー 352 を含むことができる。いくつかの実施形態では、センサー 352 は、用手ツール 350 と一体的に形成され得る。用手ツール 350 のトラッキングは、用手ツール 350 がカメラ 304 の視界の範囲内にないときなど、多くの状況において有用である。

【0209】

ディスプレイ 600 は、入力デバイス 500 と、1 つまたは複数の超精巧外科アーム 200 および／または 1 つまたは複数の超精巧外科ツール 300 などの制御対象との間の関連付け（例えば、ペアリング）を示し得る。非限定的な例として、ディスプレイ 600 は、入力デバイス 500 と、1 つまたは複数の超精巧外科アーム 200 および／または 1 つまたは複数の超精巧外科ツール 300 などの制御対象とのためのアイコンを示し得る。

【0210】

図 36 に、ディスプレイ 600 のスクリーンショットの一実施形態を示す。この例では、操作者 1 が入力デバイス 500 を選択する。図 36 に示されているように、操作者 1 によって選択されるために 2 つの入力デバイス 500 が利用可能である。これらの入力デバイス 500 は 2 つのワイヤレスコントローラ 514 であるが、他の入力デバイス 500 がディスプレイ 600 上に示され得る（例えば、ワイヤードコントローラ）。図 36 に示されているように、操作者によって選択されるために 5 つの制御可能対象が利用可能である。これらの制御可能対象は、1 つのカメラ 304 を含む 5 つの超精巧外科ツール 300 である。カメラ 304 は超精巧外科ツール 300 と見なされ得る。他の制御可能対象がディスプレイ 600 上に示され得る。操作者 1 は、入力デバイスアイコンのうちの 1 つを選択することができる。操作者 1 は、制御可能対象アイコンのうちの 1 つを選択することができる。いくつかの実施形態では、操作者 1 は、入力デバイスアイコンを選択し、次いで、制御可能対象アイコンを順に選択し、その制御可能対象アイコンは、選択された入力デバイスとペアリングされ、選択された制御可能対象を制御することになる。別の実施形態では、操作者 1 は、タッチスクリーン 604 上で入力デバイスアイコンと制御可能対象アイコンとの間に指を走らせて、それらを互いにペアリングし得る。また別の実施形態では、操作者 1 は、2 つのアイコンを選択するためにマウスまたはポインタを使用し得る。ディスプレイ 600 は、例えばアイコン間にラインを示すことによって、入力デバイス 500 と制御対象との間の関連付け（例えば、ペアリング）を示し得る。

【0211】

例えば、ワイヤレスコントローラ 1 と標示された 1 つのコントローラ 514 は、ツール 3 と標示された 1 つの制御可能対象を制御し得る。ワイヤレスコントローラ 2 と標示された 1 つのコントローラ 514 は、ツール 4 と標示された 1 つの制御可能対象を制御し得る。入力デバイスと制御可能対象との間の他の構成は、上記で説明した選択シーケンスに従うことによって可能である。図 37 は、図 36 に示されたディスプレイのスクリーンショットである。例えば、ワイヤレスコントローラ 1 と標示された 1 つのコントローラ 514 は、ツール 1 と標示された 1 つの制御可能対象を制御し得る。ワイヤレスコントローラ 2 と標示された 1 つのコントローラ 514 は、ツール 5 と標示された 1 つの制御可能対象を制御し得る。

【0212】

制御システム 400 は、入力デバイス 500 の座標系と、1 つまたは複数の超精巧外科アーム 200 および／または 1 つまたは複数の超精巧外科ツール 300 などの制御対象の座標系とを関連付け得る。ディスプレイ 600 は、入力デバイス 500 と制御対象との間の関連付け（例えば、ペアリング）を示し得る。入力デバイス 500 および制御対象は、同じ座標系において移動し得る。入力デバイス 500 は直線座標系において移動し得、それにより、制御対象も直線座標系において移動され得る。例えば、正の x 軸方向の 1 距離当たりの入力デバイス 500 の移動は、正の x 軸方向に超精巧外科ツール 300 を異なる距離または同じ距離移動させ得る。制御対象と入力デバイスの両方は直線座標系において

移動する。

【0213】

入力デバイス500は想像上の中心の周りを移動し得、それにより、制御対象は仮想グリッド512の周りを移動され得る。例えば、超精巧外科ツール300が支点の周りを円弧で移動する場合、入力デバイス500を想像上の中心の周りに円運動で移動させることがより自然であり得る。この円運動は、入力デバイス500の直線運動よりも自然であり得る。制御対象と入力デバイスの両方は極座標系において移動する。

【0214】

入力デバイス500および制御対象は、異なる座標系において移動し得る。入力デバイス500は直線座標系において移動され得、それにより、制御対象は極座標系において移動され得る。いくつかのタイプの動きでは、代替座標系において制御対象の動きを計算および／または表示するのがより容易であり得る。組合せが可能である。

10

【0215】

操作者は、超精巧外科システム100のためにいくつかの制約を確立し得る。制御システム400は、制約が位置などの測定量、または距離、速度、力、および張力などの導出パラメータであるように構成され得る。制御システムは、制約が制御対象ごとに異なり得るように構成され得る。

【0216】

様々な超精巧外科ツール300の移動を実行しているとき、制御システム400は1つまたは複数の制約を維持し得る。制約は、距離、速度、力、張力、および／または半径などの物理または導出パラメータであり得る。制御システム400は、1つまたは複数の超精巧外科ツール300の動きに1つまたは複数の制約を適用し得る。制約は制御対象ごとに異なり得る。例えば、単一のツールにロックされた超精巧外科ツール300は異なる制約を受け得る。各超精巧外科ツール300は独立した制約を有し得る。

20

【0217】

いくつかの実施形態では、2つの超精巧外科ツール300は一緒に移動するように制約され得る。外科医などの操作者1は、超精巧外科ツール300のうちの1つまたは複数の単一のツールにロックすることができる。ロックされた超精巧外科ツール300のすべては単一のツールに従い得る。言い換えれば、ロックされた超精巧外科ツール300のすべては、単一のツールが操作者1によって制御されあちこちを移動されるように、実質的に一斉に（例えば、同時に）移動し得る。概念的に、このロックステップ動きは、超精巧外科ツール300の相対的位置を一定に保持し、超精巧外科ツール300のセットを一斉に移動する、仮想的束縛として見なされ得る。

30

【0218】

1つまたは複数の超精巧外科ツール300を単一のツールにロックするという概念は、その単一のツールが超精巧外科ツール300であるか用手ツール350であるかに等しく適用される。1つまたは複数の超精巧外科ツール300が用手ツール350に従うために、用手ツール350は並進と回転とについて空間中でトラッキングされ得る。1つまたは複数の超精巧外科ツール300が用手ツール350に従うこのタイプの構成は、外科医などの操作者1が作業空間内で大きい距離を移動することを希望するときには有用であり得る。ロックングの概念はまた、有利には、超精巧外科ツール300、用手ツール350および／または患者2の解剖学的構造間の衝突を回避し得る。

40

【0219】

すべての超精巧外科ツール300を単一のツールにロックすることが必要であるとは限らない。いくつかの実施形態では、操作者1は、超精巧外科ツール300の一部（しかし全部ではない）を単一のツールにロックし、一部の超精巧外科ツール300をアンロックさせて所定の位置に残すことを選定することができる。例えば、カメラ304は良好な位置にあり得るが、ガラスパなどの他の超精巧外科ツール300は異なるロケーションに移動される必要があり得る。ガラスパなどの他の超精巧外科ツール300は単一の超精巧外科ツール300に従うようにロックされ得るが、カメラ304は所定の位置にとどまるこ

50

とができる。操作者1が、外科的介入を受けている現在のセクションから遠くにある体の別のセクション上で手術する必要がある場合、超精巧外科ツール300の全部または一部を一斉に移動する必要が発生し得る。

【0220】

いくつかの実施形態では、1つまたは複数の超精巧外科ツールは、ディスプレイ600の使用を通して単一の超精巧外科ツールまたは単一の用手ツールにロックされ得る。図40に、ディスプレイ600上に表示され得るスクリーンショットを示す。他のスクリーンレイアウトが可能である。ディスプレイ600は、外科医などの操作者1が超精巧外科ツール300のうちの1つまたは複数を選択することを可能にする。スクリーンショットの上部分は、入力デバイス500と、超精巧外科ツール300などの制御可能対象とを示している。図40は、カメラ304を含む5つの超精巧外科ツール300を示している。用手ツール350も示されている。図40は、2つの入力デバイス500と、ワイヤレスコントローラ520と、ワイヤレスコントローラ522とを示している。制御システム400と通信しているすべての超精巧外科ツール300とすべての用手ツール350を含むツールに応じて、ディスプレイ600は適切なアイコンを表示する。ワイヤレスコントローラ520は制御可能対象ツール1に接続される。ワイヤレスコントローラ522は制御可能対象に接続されない。

10

【0221】

図40のスクリーンショットの下部分はロックングオプションを示している。入力デバイスによって制御されるすべての制御可能対象がリスト上に現れるとは限らない。例えば、ツール1はワイヤレスコントローラ520によって制御されているので、ディスプレイ600は、ロックされ得るツールのセット中にツール1を表示しない。1つまたは複数の超精巧外科ツール300など、選択される制御可能対象は、ロックされるためにユーザによって選択され得る。例えば、ツール2および3はロックされるために選択されるが、ツール4および5は選択されない。ディスプレイ600は、図40に示されているように、選択された項目をハイライトすることができる。ロックされるように選択された超精巧外科ツール300は白で示されているが、他のものは黒で示されている。スクリーンショットの下部分に、ディスプレイ600は単一のツールのためのオプションを表示する。1つまたは複数のロックされた超精巧外科ツール300によってこの単一のツールが従われる。例えば、用手ツール350が単一のツールになるように選択されるが、ワイヤレスコントローラ522によって制御されるツール1は選択されない。ディスプレイ600は、図40に示されているように、選択された項目をハイライトすることができる。この例では、ツール2とツール3とが用手ツール350にロックされるが、他の構成が可能である。

20

30

【0222】

いくつかの実施形態では、単一のツールの移動は、ツールのセットに関連付けられたより大きい移動ではなく、より小さいハンドジェスチャーによって制御され得る。例えば、単一のツールは、ワイヤレスコントローラ522によって制御されるツール1であり得る。ワイヤレスコントローラ522は、上記で説明したように、操作者1によって着用され得る。例えば、操作者の手の1つまたは複数の指は、固定されたまたはさもなければタッチされたセンサーを有し得る。手のまたは指の特定の移動が単一のツールを移動させ得る。ロックされた1つまたは複数の超精巧外科ツール300は、上記で説明したように、単一のツールの移動に従って移動する。

40

【0223】

外科医などの操作者1は、選択された超精巧外科ツール300を単一のツールに能動的に従うことに関与するかまたはそれから離脱し得る。操作者は、フットペダルなどのクラッチ112を利用することができる。例えば、クラッチ112が押下されたとき、選択された超精巧外科ツール300は単一のツールに従うことになる。クラッチ112がリリースされたとき、選択された超精巧外科ツール300は、移動を停止し、所定の位置にとどまることになる。この特徴により、有利には、操作者は、コンピュータユーザがマウスを持ち上げそれをより快適な位置に配置することによってコンピュータマウスを再配置する

50

のほとんど同様に、操作者の腕を再配置することが可能になり得る。

【0224】

以下の3つの制約は、課され得る追加の制約の例を提供する。把持された対象の一定張力が維持される。超精巧外科ツールの動きに対する手の動きの比が1:10であり、これは、手が10cm移動するとき、ツールが1cm移動することを意味する。カメラツール304が、線形的に並進される代わりに、支点の周りを回転される。

【0225】

制御システム400は、制約を超精巧外科ツール300に適用することができる。例えば、制御システム400は、超精巧外科ツール300のセットによって保持された組織に一定張力を印加するために1つの超精巧外科ツール300の位置を調整することができる。これらの制約は、超精巧外科ツール300を制御するための有用な方法を提供する。制約は、同様に用手ツール350に対して適用され得る。上記で説明した制約に加えて、またはその代わりに他の制約が適用され得る。制御システム400は、超精巧外科ツール300とカメラ304との間に制約を適用することができる。制御システム400は、1つまたは複数の超精巧外科ツール300とカメラ304との間に位置、速度または力の制約を確立することができる。

【0226】

図38A～図38Bにおいて、グリッパーなどの2つの超精巧外科ツール300が組織突起の両側に示されている。超精巧外科ツール300は、図38に示されているようにある距離308にある。突起が除去されたとき、超精巧外科ツール300は再配置される必要があり得る。例えば、突起はもはや組織を引っ張っていないので、組織はより高い張力で保持される必要があり得る。超精巧外科ツール300は今度は、距離308よりも大きくなり得る距離310にある。制御システム400は、手術のいくつかのパラメータが維持され得るように超精巧外科ツール300を制御し得る。例えば、この例では、制御システム400は、組織が一定張力にあるように超精巧外科ツール300を制御し得る。

【0227】

超精巧外科システム100において複数のツールが使用される場合、2つ以上のツールの任意のセットが剛体として制御され得る。例えば、超精巧外科ツール300のセットは、組織が剛体として操作されカメラ304によってトラッキングされるように制御され得る。制御システム400が適切な張力を計算し、超精巧外科ツール300を通して組織に印加するとき、剛体の効果が達成され得る。この計算はリアルタイムであり、動的であり得る。例えば、外科医の制御側の動きにより組織のセクションが動いている場合、これは、剛体の効果を維持するのを支援し得る。

【0228】

基準系、視覚的手がかり

制御システム400は、有利には、操作者1が超精巧外科ツール300および／または用手ツール350を自然に制御することを可能にする。自然で有効な制御を可能にする、以下の少なくとも2つの相互接続された部片がある：視覚的手がかり、および人体にとって自然であり人間の脳によって容易に処理される基準系において移動すること。脳は、人の手首に関連付けられた基準系を容易に理解することができる。制御システム400は、有利には、超精巧外科ツール300および／または用手ツール350に関係する視覚的手がかりを操作者1に提供し、その視覚的手がかりにより、操作者は、超精巧外科ツール300および／または用手ツール350の移動に関連付けられた基準系をより良く理解することが可能になる。

【0229】

基準系

上記で説明したように、基準系が手首に結合されている場合、人間の脳は移動を容易に理解することができる。図41A～図41Dを参照すると、脳は、対象に達するために、手首が対象のほうへ移動されるべきであることを理解する。脳は、手首の配向に基づいて、手首をどの方向へ移動すべきかを理解する。

【0230】

図41Aおよび図41Cに、外科医などの操作者1の左手および右手が示されている。各図には、手の動きの方向が示されている。各手は対象のほうへ移動する。左手は位置1から位置2まで、対象Aのほうへ移動する。右手は位置1から位置2まで、対象Bのほうへ移動する。各手首の上に基準系が置かれる。基準系の配向は、基準系を表すアイコンのとがった端部によって示されている。想像上の観察者802が、基準系アイコンの中央の円上に立ち得る。言い換えれば、想像上の観察者802は、アイコンのとがった端部の方向に、矢印の方向に見ることができる。

【0231】

図41Aおよび図41Cは、各手についての動きと基準系とを示している。図41Bおよび図41Dは、上記で説明したように置かれた想像上の観察者802によって動きがどのように知覚されるかを示している。左手は位置1から位置2まで、対象Aのほうへ移動する。右手は位置1から位置2まで、対象Bのほうへ移動する。各手首の上に基準系が置かれる。

10

【0232】

図41Aでは、両方の手は同じ方向に配向され、したがって、両方の手は対象に達するために前方に移動しなければならない。図41Aにおいて、各想像上の観察者802のための基準系（各手首の上に1つ）は、同じ方向に配向される。言い換えれば、それらの基準系は整合される。

【0233】

20

図41Bは、これらの想像上の観察者802に対象がどのように見えるかを示している。両方の想像上の観察者802は、実質的に同じ画像を見る。位置1において、対象AおよびB、円および三角形は、想像上の観察者802からある距離だけ離れている。位置2において、対象AおよびB、円および三角形は、想像上の観察者802により近接している。右手首の上の想像上の観察者802は、対象B、三角形により近接している。左手首の上の想像上の観察者802は、対象A、円により近接している。

【0234】

図41Cにおいて、左手は右手に対して直角である。右手は、対象に達するために前方に移動しなければならない。左手は、対象に達するために左のほうへ移動しなければならない。図41Cでは、各想像上の観察者802のための基準系（各手首の上に1つ）は、同じ方向に配向されない。左手の基準系は右手の上の基準系に対して90°回転される。図41Cは互いに90°回転された基準系を示しているが、3次元空間における他のどんな配向も可能である。

30

【0235】

図41Dは、これらの想像上の観察者802に対象がどのように見えるかを示している。両方の想像上の観察者802は異なる画像を見る。右手首の上の想像上の観察者にとって、対象AおよびBは閲覧者の前にある。左手首の上の想像上の観察者にとって、対象AおよびBは閲覧者の左側にある。位置1において、対象AおよびB、円および三角形は、想像上の観察者802からある距離だけ離れている。位置2において、対象AおよびB、円および三角形は、想像上の観察者802により近接している。

40

【0236】

図41A～図41Dにおいて、操作者は視覚的手がかりを提供される。操作者は対象AおよびBを見ることができる。操作者1はその操作者1の手を見ることができる。操作者1が患者の体内で超精巧外科ツール300および／または用手ツール350を操作しているとき、操作者1は、超精巧外科ツール300および／または用手ツール350に関係する視覚的手がかりを受け取ることから恩恵を受け得る。視覚的手がかりは、操作者が、超精巧外科ツール300の移動に関連付けられた基準系をより良く理解することを可能にすることができる。本明細書で説明するように、超精巧外科システム100は、操作者1が超精巧外科ツール300と用手ツール350を同時に制御することを可能にする。例えば、非限定的な例として、操作者1は、左手でグリッパーなどの超精巧外科ツール300を

50

制御し、右手でステープラなどの用手ツール 350 を制御することができる。制御システム 400 は、操作者 1 が、独立した基準系 800 において各ツールを操作することを可能にすることができる。制御システム 400 は、操作者の動き（例えば、入力デバイス 500 を制御する動き）を正しい基準系における移動に変換するための制御アルゴリズムを含むことができる。

【0237】

次に図 42A を参照すると、操作者 1 は、患者の体内で超精巧外科ツール 300 と用手ツール 350 とを操作している。図 42A は、操作者 1 の左手で超精巧外科ツール 300 を制御し、操作者 1 の右手で用手ツール 350 を制御している操作者 1 を示している。超精巧外科ツール 300 および／または用手ツール 350 の両方は体内にあり、操作者の視界から遮られている。

10

【0238】

用手ツール 350 は、患者 2 に対する操作者 1 の位置を規定し得る。用手ツール 350 の設計は、用手ツール 350 を制御している手の位置を規定することになる。操作者 1 は、操作者 1 の他方の手で実質的に同じ位置から超精巧外科ツール 300 を制御することを希望し得る。

【0239】

超精巧外科ツール 300 を制御している操作者の左手に関連付けられた基準系は、用手ツールを制御している操作者の右手に関連付けられた基準系に対して回転され得る。図 42A に示されているように、右手のための基準系は左手のための基準系に対して 90° 回転される（図 41A に示された構成の反対の構成）。

20

【0240】

基準系は各手首の上に置かれる。想像上の観察者 802 に対象がどのように見えるかを示すために各手首の上に矢印の 2 つの直交ペアが示されている。右手首において、「RR」という文字は、この方向が操作者の右手首の右側である、または想像上の観察者 802 に対して右側であるように見えるものであることを示す。「LR」という文字は、操作者の左手首の右側、または想像上の観察者 802 に対して右側であるように見えるものを示す。両方の想像上の観察者 802 は異なる画像を見る。（体内にレンズをもつ）カメラ 304 は、体内にある用手ツール 350 と超精巧外科ツール 300 の両方を見る。

【0241】

用手ツール 350 を操作するために、操作者 1 は右手を移動し得、図示のように基準系において右手首を使用し得る。右手は、右腕に対して 90° の角度に、および左手に対して 90° の角度に示されている。操作者は、各ツールを独立した基準系において操作することができる。用手ツール 350 は、右手首に関連付けられた基準系に関して操作され得、超精巧外科ツール 300 は左手首に関して操作され得る。

30

【0242】

図 42A は、左手に固定された入力デバイス 500 を示している。操作者 1 は、グラスパなどの超精巧外科ツール 300 を制御するために入力デバイス 500 を使用することができる。（体内にレンズをもつ）カメラ 304 は、ディスプレイ 702 上にグラスパおよび／またはグラスパのエンドエフェクタの動きを示す。図示の実施形態では、操作者 1 は、患者 2 に対面して患者 2 のそばに立っており、操作者 1 の頭部をディスプレイ 702 に向けている（例えば、矢印 B に沿ってまっすぐ向けている）。制御システム 400 は、ディスプレイ上に手術の自然な全体像を示すことができる。例えば、左手の右方への動きは、ディスプレイ 702 上に提示される超精巧外科ツール 300 の右方への動きとして示され得る。制御システム 400 は、ディスプレイ 600、702 上で画像を配向するために、入力デバイス 500 の位置、カメラ 304 の位置、操作者 1 の位置、および／または超精巧外科ツール 300 の位置を使用することができる。制御システム 400 はグラスパのエンドエフェクタの動きを計算することができる。制御システム 400 は、ディスプレイ 600、702 上でカメラ 304 の画像を配向することができる。例えば、制御システム 400 は、左手首の右方の動きが超精巧外科ツール 300 の右方の動きとして見られるよ

40

50

うに画像を配向することができる。

【0243】

操作者の右手を用いた用手ツール350の制御は、操作者の右手首に関連付けられた基準系において行われ得る。操作者の左手を用いた超精巧外科ツール300の制御は、操作者の左手首に関連付けられた基準系において行われ得る。左手首のこの基準系は、右手首の基準系から独立した基準系であり得る。操作者の右手首と右手との角度にかかわらず、人間の脳は、それらの右手首と右手とに対して右、左、上、および下を認識することができる。

【0244】

2つの基準系は、完全に独立しているか、部分的に整合されるか、または完全に整合され得る。いくつかの実施形態では、超精巧外科ツール300は、外科的ターゲットと整合された基準系において移動し得る。用手ツール350と超精巧外科ツール300の両方は、用手ツール350と超精巧外科ツール300との一致する移動を可能にするように外科的ターゲットに対して移動し得る。すべてのこれらの例において、用手ツール350の基準系は、超精巧外科ツール300の基準系と整合されることも整合されないこともあることに留意されたい。各状況は、超精巧外科ツール300と用手ツール350とがどのように制御されるかにおいてそれ固有の利点を有するであろう。

【0245】

複数のツールを独立した基準系において制御しているとき、ツールの様々な組合せが利用され得る。操作者は、超精巧外科ツール300および用手ツール350、あるいは2つ以上の超精巧外科ツール300、あるいは2つ以上の用手ツール350を制御し得る。操作者1は、上記で説明したように用手ツール350と超精巧外科ツール300とを制御するのはとは対照的に、各手を用いて1つまたは複数の超精巧外科ツール300を操作し得る。

【0246】

人間の脳はまた、超精巧外科ツール300を容易に理解し、用手ツール350と協調させて、これらの2つのツールと一緒に使用することが可能である。脳は、異なる基準系にもかかわらず、移動を協調させることが可能である。図42Aにおいて、操作者1は、右手でステープラなどの用手ツール350を保持し、左手で入力デバイス500を保持している。

【0247】

視覚的手がかり

人間の脳は、適切な情報を用いて、用手ツール350と超精巧外科ツール300とをどのように移動すべきかを決定することが可能である。この情報は、ユーザが超精巧外科ツール300の移動を自然に理解することを可能にするはずである。制御システム400は、例えば、超精巧外科ツール300の自然な制御を可能にするために、操作者に提示される画像を配向することによって、または前記画像において提供される情報を変化させること（例えば、操作者1がツールの配向を理解するのを助けるために患者2の体の少なくとも一部を示すこと）によって、有利にはそのような視覚的手がかりを操作者1（例えば、外科医）に提供する。このようにして、制御システム400は、操作者1のどんなロケーションからでも超精巧外科ツール300の自然な制御を可能にすることができる。

【0248】

図42Bに、ディスプレイ702のビューを示す。ディスプレイ702は、図42Aに示されたカメラ304によってキャプチャされた画像を提供することができる。図42Aには、矢印Aの方向に沿った左手の右方の動きが示されている。ツールの相対的配向が、作業空間についての操作者1の理解を増補することができる。ディスプレイ702は、同じ環境中に用手ツール350と超精巧外科ツール300とを表すことがある。しかしながら、ツール300、350に対する患者の配向の画像など、カメラ画像以外の画像が、患者の体内の超精巧外科ツール300および／または用手ツールの動きについての操作者1の理解を増補し得る。

【0249】

制御システム400は、ディスプレイ600、702上でカメラ画像を配向し得る。ディスプレイ600、702は用手ツール350と超精巧外科ツール300の両方を示すことができる。制御システム400は、操作者の手首の基準系に対してカメラ画像を配向し得る。制御システム400は、操作者の手首に対する動きの方向を判断し、同じ方向に移動の画像を提示し得る。例えば、図42Aにおいて、操作者1は操作者1の左手を矢印Aに沿って移動する。操作者は操作者の左手を右のほうへ移動する。

【0250】

図42Bに示されているように、制御システム400は、ディスプレイ702上に提示される画像が移動の方向に一致するようにカメラ304の画像を配向することができる。ディスプレイ702上に提示されるとき、超精巧外科ツール300の動きは元の方向に沿って右方に生じる。カメラの視点からは、この動きは左方であるか、またはある角度に向けられ得る。制御システム400は、操作者1が動きを自然に理解することが可能であるように超精巧外科ツール300の動きを表示することができる。ディスプレイ702を見ることによって、操作者1は、入力デバイス500の右方の移動を超精巧外科ツール300の右方の動きと調和させることができる。

10

【0251】

ディスプレイ600、702上の画像の配向は、支点の周りを回転する超精巧ツールまたは用手ツールの使用を支援し得る。用手ツール350の遠位端（手から最も遠く離れたセクション）の動きは、手に対して反対方向に移動し得る。言い換えれば、右手が支点の周りでステープラを操作している場合、ステープラのハンドルの右方の動きは、ステープラの遠位端の左方の動きに変換されることになる。視覚的手がかりを提供することによって、超精巧外科システム100は、支点の周りを回転する超精巧ツールまたは用手ツールの自然な使用を可能にし得る。

20

【0252】

制御システム400は、本明細書で説明するように、操作者1に提示される画像を介して操作者1のどんなロケーションからでも超精巧外科ツール300の自然な制御を可能にすることができる。手技中に、操作者1は操作エリアの周りを移動する必要がある。用手ツール350は操作者1のロケーションを規定し得る。制御システム400は、操作者のロケーションにかかわらず、操作者1の視点に基づいて画像を提示することができる。

30

【0253】

操作者1の位置はトラッキングされ得る。画像は、操作者1の視点に一致するように更新され得る。画像は、特にズームアウトされたビューにおいて、操作者1のロケーションに基づいて計算され得る。操作者1のトラッキングは、限定はしないが、センサーを操作者1に固定すること、または光学的位置決定システムを使用することによるなど、様々な技術のうちの1つを使用することによって達成され得る。超精巧外科システムは、操作者1をトラッキングするグローバルトラッカーを有することができる。

【0254】

操作者1のロケーションは、制御システム400への入力であり得る。制御システム400は、操作者1の視点（point view）から画像を計算し、提示する。言い換えれば、ディスプレイ600、702は、操作者1がそのロケーションからどんな解剖学的構造またはツールを見ているであろうかを示すことができる。操作者1が動き回ると、ディスプレイ600、702上に提示される画像は操作者1の位置に基づくものになり得る。操作者のロケーションに基づく画像の計算および提示は、解剖学的構造についての操作者の理解を増補し、操作者が、用手ツール350と超精巧外科ツール300の両方とより容易に相互作用することを可能にし得る。

40

【0255】

座標変換が近位端（例えば、腹腔鏡ツール）または遠位端（例えば、エンドエフェクタ）に関連付けられ得る。制御システム400は、超精巧外科ツール300と用手ツール3

50

50との画像を独立した座標系において提示し得る。前述のように、入力デバイス500の座標系は超精巧外科ツール300の座標系とは異なり得る。ディスプレイ600、702上の画像は、超精巧外科ツール300の動きを超精巧外科ツール300の座標系において示すことができる。

【0256】

図42Cに、ツールと、ディスプレイ702と、操作者1との構成の別の例を示す。ディスプレイ702は操作者1の左側に見せられる。操作者1は、患者2に対面して患者2のそばに立っているが、操作者1の頭部を（矢印Cに沿って）ディスプレイ702のほうへ向けている。各超精巧外科ツール300の基準系は操作者1の各手首に関連付けられる。制御システム400は、ディスプレイ702のどんなロケーションからでも超精巧外科ツール300の自然な制御を可能にすることができる。ディスプレイ702は、操作者が超精巧外科ツール300と用手ツールとの動きを理解することを可能にするための視覚的手がかりを提示することができる。ディスプレイ702の配向にかかわらず、制御システムは、操作者の理解を増補するためにこの画像を配向することができる。制御システム400は、ディスプレイ702の配置にかかわらず、ディスプレイ702上に手術の自然な全体像を示すことができる。手首との基準系の関連付けにより、制御の直観が維持される。

【0257】

ディスプレイ600、702は同じ画像または異なる画像を示すことができる。ディスプレイ600は、本明細書で説明するように、システムへの入力を提供することができる。ディスプレイ600、702は単一のスクリーン上に複数の画像を示すことができる。

【0258】

ディスプレイ600、702は、入力デバイス500の動きと、超精巧外科ツール300の動きとの間の様々なタイプの関連付けを示し得る。いくつかの実施形態では、手の動き、ツールの動き、およびディスプレイ上に示される動きの間に1:1の関係があり得る。他の関係が可能である。ディスプレイ600、702は、手の動きとツールの動きとの方向に対して、動きが逆に示されるように逆の動きを示し得る。ディスプレイ600、702は、手の動きとツールの動きとの方向に対してある角度でスキューされた動きを示し得る。ディスプレイ600、702は、手首に関連付けられた基準系に対するどんな配向でも示し得る。

【0259】

手首は、基準系が関連付けられ得る対象の一例として述べられたものにすぎない。基準系は、操作者の体、患者、作業空間中の対象、操作領域中の対象、ディスプレイ、超精巧外科ツール、カメラ、超精巧外科アーム、または任意の他の対象の任意の部分に固定され得る。しかしながら、前腕、手首、手、および頭部を含む、操作者の体のセクションに基準系を固定することは、自然な様式で超精巧外科ツール300の制御を可能にし得る。

【0260】

本明細書で説明するように、超精巧外科システム100は、有利には、操作者1が様々な基準系から超精巧外科ツール300を制御することを可能にする。例えば、操作者1は、体内の、作業空間中のカメラ304の基準系から超精巧外科ツール300を制御することができる。操作者1は、操作者1の手の移動を、カメラ304の基準系における超精巧外科ツールの移動にマッピングすることができる。このビューは、大きい動き、または患者の体外の基準系に対して移動するのがより自然である動きでは、限定的であり得る。したがって、超精巧外科システム100は、操作者が基準系を別のビューに動的に変更することを可能にする。操作者1は、1つまたは複数の超精巧外科ツール300のためにワールドグラウンド基準系（例えば、操作領域と患者とのビュー）に切り替えることができる。ワールドグラウンド基準系は、本明細書で説明するように、大きい動きのために、および／または1つまたは複数の超精巧外科ツール300が単一のツールにロックされるときのために有用であり得る。ワールドグラウンド基準系は、1つまたは複数の超精巧外科ツール300を患者に対して新しいロケーションに移動しているときに有用であり得る。ワ

ールドグラウンド基準系は、操作者1が患者に対して操作者1自身を再配置するときに、および／または操作者1の新しい位置に基づいてどの手が入力デバイス500を制御するのかを切り替えるときに有用であり得る。操作者1は、カメラ304を制御し、ワールドグラウンド基準系のディスプレイ600、702上に画像を提示することができる。超精巧外科システム100は、操作者が基準系をカメラ304の基準系に動的に戻すことを可能にする。

【0261】

いくつかの実施形態では、基準系は動いていることがある。非限定的な例として、基準系は、移動中のプロセスにあり得る用手ツール350にアタッチされ得る。制御システム400は、ツールのセットと一緒に移動するように1つまたは複数の超精巧外科ツール300を用手ツール350にロックし得る。ロックングの概念については本明細書で説明されている。ディスプレイ600、702は、移動中のツールに関連付けられた基準系を示し得、意図されたグループとしてツールのセットが移動しているという保証を提供し得る。

10

【0262】

クラッチ112が初めに係合されたとき、操作者1の位置に基づいて基準系が確立され得る。クラッチ112が係合されたとき、入力デバイス500は1つまたは複数の超精巧外科ツール300を制御することができる。クラッチ112が離脱されるとき、制御システム400はこの基準系を記憶することができる。クラッチ112が再び係合されたとき、1つまたは複数の超精巧外科ツール300は、前に確立されたのと同じ基準系に対して移動する。

20

【0263】

いくつかの実施形態では、クラッチ112が再び係合されたとき、操作者1の新しい位置に基づいて新しい基準系が確立される。操作者1は、クラッチ112の以前の係合において確立された基準系を使用すべきか、または新しい基準系を使用すべきかを決定し得る。クラッチ112の係合は1つまたは複数の基準系を確立し得る。操作者1がただ1つの入力デバイス500を使用している場合、制御システム400によってただ1つの基準系が確立され得る。しかしながら、操作者1が2つの入力デバイス500を使用している場合、クラッチ112によって2つの基準系が確立され得る。基準系は、各手首に関連付けられ得、整合されるか、部分的に整合されるか、または独立していることがある。

30

【0264】

操作者1の右手と左手とは、2つの異なる基準系において対象を操作することができる。対象はサイズ、形状または機能が類似していないことがある。超精巧外科システム100は、用手ツール350と超精巧外科ツール300の同時制御を可能にする。操作者1は、この同時制御を可能にするために、用手ツール350および／または超精巧外科ツール300への制約に関して十分な手がかりを提供される。操作者1は、この同時制御を可能にするために、用手ツール350および／または超精巧外科ツール300の基準系に関して十分な手がかりを提供される。超精巧外科システム100の制御システム400は、有利には、様々な基準系における超精巧外科ツール300および／または用手ツールの動きを可能にする。この能力は、用手ツール350と超精巧外科ツール300の複合使用中に極めて有用であり得る。

40

【0265】

視覚的手がかりのソース

情報の1つのソースは、操作領域またはディスプレイ600、702のいずれかを観測することを通して操作者1によって見られる視覚的手がかりである。追加の情報が、超精巧外科ツール300と用手ツール350との動きについての操作者の理解を増補することができる。視覚的手がかりは制御システムによって供給され、ディスプレイ600、702上に示され得る。

【0266】

情報の1つのソースは、操作領域を観測することを通して操作者1によって見られる視

50

覚的手がかりである。操作者のロケーションから、操作者は操作領域のセットアップを見ることができる。操作者1は、患者に対する、操作者1の手を含む操作者1の体の配向を見ることができる。操作者1は、ツールが体に進入するロケーションを見ることができる。言い換えれば、外科医は、解剖学的構造に対するツール300、350の位置を理解するための手がかりとして、ベッド102、患者2、外科医の手など、外科医の周りの対象を使用し得る。外科医は、その理解に合わせて超精巧外科ツール300または用手ツール350を操作することができる。

【0267】

情報の1つのソースは、視覚的手がかりであり、ディスプレイ600、702上に提示される画像である。制御システム400は、手技についての操作者の理解に係る画像を計算し、提示することができる。画像は、操作者1が超精巧外科ツール300、用手ツール350、および／または患者の解剖学的構造を見ることを可能にすることができる。画像は、超精巧外科システム100の1つまたは複数の可視化構成要素から発生することができる。これらの構成要素は、制御システム400によって制御され得る1つまたは複数のカメラ304を含む。カメラ304は、超精巧外科ツール300と見なされ、操作者1に画像を提供するために超精巧ロボットアーム200によって移動され得る。例えば、複数のカメラ304が配備され得る。各カメラ304は、解剖学的構造の異なるセクションの画像を収集し得る。いくつかの実施形態では、各トロカル先端上にミリメートルサイズのカメラ304が配置される。いくつかの実施形態では、制御システム400および／または可視化構成要素は、患者2の内部と外部の両方の環境のリアルタイム3D再構成を実施する。制御システム400および／または可視化構成要素は、以前のX線およびCTスキャンなど、患者の以前のイメージングを組み込むことができる。より完全な情報を操作者1に与えるために、ソースからの情報は混合され得る。可視化システム700は、様々なソースから作業空間を閲覧するための自由を操作者1に提供し得る。

【0268】

画像は1つまたは複数のディスプレイ600、702上で閲覧され得る。ディスプレイ600は、本明細書で説明するように、操作者1からフィードバックを受け取るように構成され得る。画像は1つまたは複数の没入型コンソール704上で閲覧され得る。超精巧外科システム100は、操作者1が、操作者1が動き回り、手技のために患者2に対して最も最適な位置に操作者1自身を置くことを可能にする。手技中に、操作者1（例えば、外科医）は操作者1自身を再配置し得る。1つまたは複数のディスプレイ600、702は、操作者1が、複数のロケーションから超精巧外科ツール300、用手ツール350、および／または患者の解剖学的構造を閲覧することを可能にする。ディスプレイ600、702上の画像は操作者1のロケーションに基づいて更新され得る。

【0269】

ディスプレイ600、702上に示される画像は、実施されている操作のタイプに依存し得る。例えば、操作者1が精密な縫合を行っている場合、解剖学的構造とツールとのズームインされたビューがディスプレイ600、702上に示され得る。このビューはカメラ304から直接取得され得る。操作者が次に体の異なる部分に移動することを希望する場合、ツールの大きい動きが必要とされ、ズームアウトされたビューがディスプレイ600、702上に示され得る。言い換えれば、ズーム係数が動きに適応することができる。ズーム機能は、実施されている動きのタイプに少なくとも部分的に基づいて、制御システム400によって自動的に遂行され得る。ズーム機能はまた、操作者1によって開始され得る。ズームレベルは、ズームインまたはズームアウトするためのジェスチャーを使用することによるなど、入力デバイス500を使用して変更され得る。ズームレベルを変更する他の方法が可能であり、例えば、サムホイールなどの用手デバイスを入力デバイス500上にアタッチし、その入力デバイス500において、操作者はズームレベルを変更するためにサムホイールを移動することができる。他の方法は、ディスプレイ702またはディスプレイ600上にボタンまたはスライダーを設けることを含む。

【0270】

ズーム操作中に、画像間の遷移は滑らかでシームレスであり得る。画像がズームアウトすると、より少ない解剖学的細部が表示され得る。制御システムは、患者1内のカメラ304から、患者の体外に取り付けられたカメラ304からのフィードへの変更など、画像フィードを変更し得る。ズームアウトされたビューについてのデータの他のソースについては以下で説明する。

【0271】

いくつかの実施形態では、仮想カメラ706（図43参照）が作成され得、これにより、様々な視点からのターゲット可視化が可能になる。仮想カメラ706はどんな視点からでも画像を作成する。仮想カメラ706は、作業空間の周りに存在する複数の制御可能対象のうちのいずれかの視点に関連付けられ得る。仮想カメラ706は、外科医などの操作者1の視点に関連付けられ得る。操作者1が動き回ると、可視化システム700は操作者の現在の視点に調整する。仮想カメラ706は、本明細書で説明するように、複数のソースを使用して画像を作成することができる。

10

【0272】

いくつかの実施形態では、仮想カメラ706はカメラツール304に関連付けられ得る。外科医などの操作者1は、手術外科中にカメラ304の位置を調整することを選定し得、それにより、したがって、仮想カメラ706が調整される。したがって、カメラ304が移動するにつれてディスプレイ600、702が更新されることになる。

【0273】

図43に、手術中に外科医などの操作者1によって仮想カメラ706がどのように調整され得るかの一例を示す。操作者1がトラッキングデバイスを着用している場合、操作者1はトラッキングされ得る。操作者1のビューに対してカメラ304のビューが反転される場合、制御システム400は、操作者1の位置を認識し、操作者1の視点をより良く反映するためにディスプレイ600、702上で仮想カメラ706を反転させることができる。操作者1がカメラ304と整合されるように移動すると、制御システム400は、操作者1の位置を認識し、カメラ304の正しい画像を反映することができる。画像は、操作者1などのトラッキング対象、あるいは超精巧外科アーム200および／または超精巧外科ツール300などの制御可能対象の視点を反映するために、ディスプレイ600、702上で反転、回転、および左右フリップされ得る。別の例として、ディスプレイ600は、外科医などの操作者1が最も適切なビューを選定し得るように仮想カメラ706の位置を変更するためのスライダーまたはボタンを表示し得る。

20

30

【0274】

仮想カメラ706からの画像を拡張するために様々なカメラパラメータが制御および調整され得る。非限定的な例として、ズーム機能が調整され得る。例えば、大スケールの動きが望まれる場合、ディスプレイ600、702上の画像がズームアウトされ得る。外科医などの操作者1がツールを大スケールの動きのために動かすと、ディスプレイ600、702上の画像は、作業空間を閲覧するためにズームインおよびズームアウトすることができる。これは自動的に行われ得る。角度およびズームなどのカメラパラメータは、例えば、仮想カメラ706が入力デバイス500によって制御される場合、手の動きを使用して調整され得る。手またはワイヤレスコントローラにアタッチされたセンサーなどの入力デバイス500は、高度の可視化システム700が、動きのパターンを認識し、仮想角度およびズームを変更することなどの機能を実施することを可能にする。

40

【0275】

超精巧外科システム100は複数のディスプレイ600、702を有し得る。ズームレベルに応じて、制御システム400は、異なるカメラアングルなどの異なるパラメータをそれぞれもつ異なる画像を各ディスプレイ600、702上に表示し得る。これにより、外科医および／または外科アシスタントなどの操作者1は、患者に同時に手術し、各人のロケーションに対して外科的作業空間の最も自然な視点を提示するディスプレイ600、702を各々が参照することが可能になり得る。これは、例えば、アシスタントが患者の脚部の近くに位置し、外科主治医が患者のそばに位置する場合に有用であろう。アシスタ

50

ントのディスプレイ702はアシスタントの視点から解剖学的構造およびツールを示し得、外科医のディスプレイ702は外科医の視点から解剖学的構造およびツールを示し得る。

【0276】

各ディスプレイ600、702中に示される画像のカメラアングルおよび観点などのパラメータは、患者2の位置および配向、ディスプレイ600、702の位置および配向、操作者1などの画像の観察者の位置および配向を含む、1つまたは複数のパラメータに依存し得る。これは、制御システム400が、ディスプレイ600、702、操作者1、および患者2などの様々な対象のロケーションおよび配向についての知識を有することを暗示する。操作者1がどこに位置するかを知らないなど、そのような知識が入手可能でない場合、制御システム400は、そのパラメータなしに画像を計算する。

10

【0277】

ベッドサイドのそばに立っている操作者1が、患者2を見、引き続いてディスプレイ600、702を見上げるかまたはそのほうを見るとき、操作者1は、ズームアウトされたビューにおいて解剖学的構造またはツールをナビゲートすることが有用であることがわかり得る。ズームアウトされたビューは、様々なソースからのデータを用いて作成され得る。これらのソースは、超精巧外科システム100の周りの1つまたは複数のロケーション中にアタッチされた、および／または1つまたは複数の超精巧外科ツール300にアタッチされたカメラ304からのライブデータを含み得る。これらのソースは、解剖学的構造のMRIまたはCTデータまたはモデルなどの術前イメージングデータを含み得る。例えば、ズームアウトのプロセスは、ポートを通して置かれた患者の体内にあり得るカメラ304によって見られた詳細な内部の解剖学的構造の画像を表示することから開始し得る。ズーム係数が減少する（すなわち、カメラがズームアウトである）と、臓器全体が表示される。ズーム係数がさらに減少すると、視点は体外に移動し得、内部臓器のレンダリングと混合された患者の体の外部を示し得る。この概念は図44に示されている。

20

【0278】

図44Aから開始すると、食道と胃への入口（胃食道開口）との断面のズームインされたビューが示されている。これは、胃がバイパスされる肥満手術の典型的な部位である。図44Bには、胃と、食道のいくつかの部分との輪郭が示されている。図44Bに示された画像は、図44Aに対してズームアウトされている。図44Cには、全身に対して胃、食道が示されている。ズームのレベルは、外科医が、どのように最良に超精巧外科ツール300および／または用手ツール350を操作すべきかを理解することを可能にするように調整され得る。操作者1が、エンドエフェクタを、例えば正確で小さい動きのために可視化する必要のみがある場合、図44Aなどの「ズームイン」された画像が有用であり得る。操作者1が、ツールを再配置し、解剖学的構造への異なる接近角度を使用することを希望する場合、再配置のプロセス中に図44Cなどの画像が有用であり得る。

30

【0279】

超精巧外科システム100は、ユーザが、患者の内部のズームインされたビューから患者の外部のズームアウトされたビューに移動することを可能にする。画像がズームアウトされたビューにあるとき、外科医は新しい位置に移動することができる。操作者1は、ズームアウトされたビューにおいて操作者1自身を患者に対して再配置することがより容易であることがわかり得る。この位置から、操作者1は、操作者1の新しい位置から閲覧されるように体内のツールを見るためにズームインすることができる。いくつかの実施形態では、操作者1は、操作者1が操作者1自身を再配置する前に入力デバイス500を離脱させることができる。操作者1は、操作者1が操作者1自身を再配置した後に入力デバイス500を係合させることができる。いくつかの実施形態では、操作者1は、新しい位置に基づいて、どの手が入力デバイス500を制御するのかを切り替えることができる。

40

【0280】

内部臓器のレンダリングは、データの様々なソースの組合せであり得る。これらのソースは、カメラまたは他の可視化デバイスによって見られる実際のリアルタイム画像を含む

50

。これらのソースは、手術の過程にわたって立体視腹腔鏡カメラフィールドから生成される臓器の3次元モデルデータを含むことができる。これらのソースは、MRI、CTまたは他の画像診断法からの術前データを含むことができる。カメラ304などのリアルタイムソースからの新しいデータが利用可能になると、モデルは補正および拡張され得る。補正されたモデルは、次いで表示され得る。

【0281】

制御システム400は、限定はしないが、(カメラ304からの)リアルタイムデータ、モデルデータ、術前データ、古くなったデータ(特に、時間的に現在の瞬間より前に撮られたカメラ304からのデータ)など、様々なクラスにデータをカテゴリー分類し得る。各タイプのデータは、混合された画像において別様に表示され得る。例えば、古くなったデータは、データのその特定の部分を使用する際、画像中にその陰影が現れたときに注意が払われるべきであることを示す黄色の陰影と混合され得る。別の例では、モデルデータは、その特定のデータを使用する際、画像中にその陰影が現れたときに極度の注意が払われるべきであることを示す赤色の陰影と混合され得る。このタイプのカテゴリー分類および表示は、外科医がディスプレイ600、702上の画像を見ながら患者の体内でツールを操作するときの、外科医への警告およびリマインダとして働き得る。

10

【0282】

ズーム係数および/または視点が調整されると、制御システム400は、操作者1の動き(制御側の動き)と、超精巧外科ツール300の動き(被制御側の動き)との間の関係を変化させ得る。一例として、ズームインされたビューでは、制御システム400は、手の大きい動きを用いて小さく正確な動きのみが可能になるような方法で手の動きをスケールリングし得る。画像がズームアウトされると、制御側の動きと被制御側の動きとの間のスケールリングは、例えば、いくつかの実施形態では、それらの2つの間に1:1の関係があるように変化し得る。他の態様は、仮想グリッパおよび制御ポイントのロケーションなどのズーム係数に従って変化し得る。

20

【0283】

図45に、ディスプレイ702上のビューとしての画像を示す。ディスプレイ600および/またはディスプレイ702は操作領域の特徴を表示することができる。ディスプレイ600および/またはディスプレイ702は、1つまたは複数の超精巧外科アーム200、1つまたは複数の超精巧外科ツール300、1つまたは複数の用手ツール350、患者2、フィクスチャ(例えば、ベッド)、操作者1などの画像を示すことができる。ディスプレイ600および/またはディスプレイ702は超精巧外科システム100の制御ポイントを示すことができる。

30

【0284】

ディスプレイ600および/またはディスプレイ702は超精巧外科システム100の制約を示し得る。例えば、ディスプレイ600、702は用手ツール350の支点のロケーションを示し得る。ディスプレイ600、702は、操作者の理解を増補するために制約を提示することができる。例えば、ディスプレイ600、702は超精巧外科ツール300の仮想グリッパ512のロケーションを示し得る。ディスプレイ600、702は、操作者の理解を増補するために制約を提示することができる。

40

【0285】

ディスプレイ600および/またはディスプレイ702は超精巧外科システム100の制御ポイントを示し得る。制御ポイント2600は、移動する能力を有する超精巧外科アーム200と超精巧外科ツール200との上のロケーションである。制御システム400は、操作者1の入力または制約に基づいて制御ポイント2600の周りの移動を引き起こすことができる。例えば、操作者1による入力は、制御ポイント2600に接続された1つまたは複数のセクションの移動に影響を及ぼす。制御ポイント2600を移動することは、制御ポイント2600に接続された超精巧外科アーム200の1つまたは複数のセクションが移動することを引き起こす。

【0286】

50

制御ポイント2600は入力デバイス500を介して移動され得る。入力デバイス500の移動は、選択された制御ポイント2600の移動を引き起こし得る。これは、超精巧外科アーム200によって制御される超精巧外科ツール300の移動を引き起こし得る。特定の制御ポイント2600に入力デバイス500を割り当てるためにディスプレイ600が使用され得る。

【0287】

制御ポイント2600は、限定はしないが、ディスプレイ中の色、十字線、他のアイコンを含む、様々な方法で示され得る。ディスプレイ600、702上の超精巧外科アーム200の画像は、手術部位の周りの1つまたは多くのカメラ302からの実際のカメラ画像であり得る。ディスプレイ600、702上の超精巧外科アーム200の画像は図であり得る。

10

【0288】

外科的方法の一実施形態

いくつかの実施形態では、同じ作業空間において1つまたは複数の超精巧外科ツール300とともに1つまたは複数の用手ツール350が使用される。用手ツール350の一例はステープラ354である、図39参照。ステープラ354は超精巧外科ツール300とともに使用され得る。結腸切除外科的手技において両方のタイプのツールを使用しているときのワークフローが、方法5を示す図39に示されている。図39は、超精巧外科ツール300と用手ツール350とを使用する1つの方法を示している。本方法は、特定の位置に結腸を保持し、結腸にわたってステープルラインを置くことに関する。本システムは、第1のグラスパ312と、第2のグラスパ314と、カメラ304と、ステープラ354とを含む。本システムは、2つの入力デバイス500と、第1のコントローラ516と、第2のコントローラ518とを含む。

20

【0289】

ステップ10において、操作者1は、入力デバイス500のいずれかを使用することによってカメラ304を配置し得る。いくつかの実施形態では、操作者1は、入力デバイス500のアイコンをカメラ304などの制御可能対象のアイコンと連結する。

【0290】

次いで、ステップ20において、操作者1は、操作者の一方の手によって制御される第1のコントローラ516を使用して、第1のグラスパ312などの制御可能対象を移動する。操作者は第1のグラスパ312を使用して、結腸のセクションを配置し、保持する。操作者はクラッチ112を使用して、制御可能対象、第1のグラスパ312を離脱させる。第1のグラスパ312は所定の位置に残る。操作者1は第1のコントローラ516を下に設定することができる。

30

【0291】

さらに、ステップ30において、操作者1は、一方の手で用手ステープラ354をピックアップすることができる。操作者1は、用手ステープラ354を配置し、配置されたカメラ304によって見られるターゲット位置にステープラ354を移動することができる。ステップ40において、操作者1は、ステープラ354を保持していない手によって制御される第2のコントローラ518を使用する。第2のコントローラ518は、第2のグラスパ314などの第2の制御可能対象を移動する。操作者1は第2のグラスパ314を使用して、結腸のセクションを配置し、保持する。次いで、ステップ50において、操作者1は、ステープラ354と第2のグラスパ314とを操作して、ステープルを受け取るために最も最適な位置に結腸を配置する。最後に、ステップ60において、操作者1は用手ステープラ354を操作し、ステープルはターゲットロケーションに送達される。この方法は、同じ作業空間中の同じ操作者1によって1つまたは複数の用手ツール350と1つまたは複数超精巧外科ツール300とがどのように同時に使用され得るかを示している。操作者1は、この手技中に（例えば、1つまたは複数の、例えば複数の、ベッドサイドロケーションにおいて）常に患者のそばに立っていることがあり得る。いくつかの実施形態では、操作者1は、患者から離れているコントローラ514からなど、遠隔で、最初の

40

50

2つのステップ、ステップ10および20を実施し得る。

【0292】

超精巧外科ツール300では、接触の感覚を伝達することがしばしば困難である。外科医は時々、解剖学的構造に関するより良い情報を得るために接触を使用する。しかしながら、多くの外科医は、いくつかの状況において患者に接触することを選択する。いくつかの実施形態では、組織との接触を行うために用手ツール350が使用され得る。これは、従来の手術で一般に行われる。超精巧外科ツール300についての外科医の操作を案内し得る用手ツール350を使用することによって感覚入力提供される。力センサーおよびロードセルなどのプロキシデバイスは、複雑な機構を通して超精巧外科ツール300に圧力または接触の感覚を伝達することができる。（制御システム400の送信機からの信号を入力デバイス500の受信機に通信することによるなど、1つまたは複数の入力デバイス500を介して）超精巧外科ツール300によって操作者に伝達される圧力は、患者2の解剖学的構造の理解を促進する。

10

【0293】

用手ツール350は、他の方法において、超精巧外科ツール300とともに使用され得る。例えば、超精巧外科アーム200は、図2に示されているように、トロカール302を保持し得る。用手ツール350または超精巧外科ツール300はトロカール302を通して挿入され得る。この使用法は、例えば、外科医が他のツールを操作していながら、用手ツール350によって組織が所定の位置に保持される必要があるときに有益であり得る。別の例では、肥満した患者において、体型によりツールの操作は困難になる；これらの場合、操作者1への物理的応力を軽減するために、用手ツールまたは超精巧外科ツール300は超精巧外科アーム200によって保持または支持され得る。

20

【0294】

本明細書の実施形態では、超精巧外科システムは、フィクスチャに結合されるものとして説明された。超精巧外科システムは、ベッド、病院ベッド、手術テーブル、検査テーブル、プラットフォーム、床、壁、カート、またはドリーに結合され得る。フィクスチャがカートまたはドリーである場合、フィクスチャは床に固定され得る。フィクスチャは、医療診療室、検査医の診療室、病院、医師の診療室、クリニック診療室、または超精巧外科システムの使用に適する任意の他のロケーション内に配置され得る。

【0295】

いくつかの実施形態では外科的手技に関して説明したが、超精巧外科システムは任意の適切な様式で使用され得る。超精巧外科システムは、経皮挿入のために超精巧外科ツールを操作する方法において使用され得る。本明細書で説明する超精巧外科システムは、非経皮手技（例えば、切開を行い経皮的に超精巧外科ツールを挿入することを伴わない手技）において操作され得る。例えば、超精巧外科システムは皮膚生検をとるために使用され得る。超精巧外科システムはどんな手術のためにも使用され得る。超精巧外科システムは任意の適切な医学的手技において使用され得る。超精巧外科システムは、生きている患者（例えば、手術）または死体（例えば、検死）に関連して使用され得る。本明細書で説明する実施形態は任意の適切な様式で使用され得る。超精巧外科アームは製品の製造または組立てにおいて使用され得る（例えば、組立ライン上で、クリーンルーム中でなど）。

30

40

【0296】

本開示についていくつかの実施形態および実施例のコンテキストにおいて説明したが、本開示は、具体的に開示された実施形態を越えて、他の代替実施形態および／または使用および明らかな修正形態ならびにそれらの等価物にわたることが、当業者によって理解されよう。さらに、本開示の実施形態のいくつかの変形形態を詳細に示し説明したが、本開示の範囲内にある他の修正形態は、当業者に容易に明らかになるであろう。また、本実施形態の特定の特徴および態様の様々な組合せまたは部分組合せが行われ、依然として本開示の範囲内に入り得ることが企図される。例えば、一実施形態に関して上記で説明した特徴は、本明細書で説明した異なる実施形態とともに使用され得、この組合せは依然として本開示の範囲内に入る。本開示の実施形態の様々な様式を形成するために、開示する実施

50

形態の様々な特徴および態様は互いに組み合わせられるかまたは置換され得ることを理解されたい。このように、本明細書における開示の範囲は、上記で説明した特定の実施形態によって限定されるべきではないことが意図される。したがって、特に明記しない限り、または明らかに不適合でない限り、本発明の各実施形態は、本明細書で説明するその本質的特徴に加えて、本明細書で開示する本発明の他の各実施形態からの、本明細書で説明する1つまたは複数の特徴を含み得る。

【0297】

特定の態様、実施形態または実施例に関して説明した特徴、材料、特性、またはグループは、それらと不適合でない限り、本セクションまたは本明細書の他の場所で説明したいかなる他の態様、実施形態または実施例にも適用可能であるものと理解されるべきである。10
（すべての添付の特許請求の範囲、要約書および図面を含む）本明細書で開示する特徴のすべて、および／またはそのように開示する任意の方法またはプロセスのステップのすべては、そのような特徴および／またはステップの少なくともいくつかが相互排他的である組合せを除いて、どんな組合せにおいても組み合わせられ得る。保護は、いかなる上記の実施形態の詳細にも制限されない。保護は、（すべての添付の特許請求の範囲、要約書および図面を含む）本明細書で開示する特徴の、任意の新規の1つ、または任意の新規の組合せにわたるか、あるいは、そのように開示する任意の方法またはプロセスのステップの、任意の新規の1つ、または任意の新規の組合せにわたる。

【0298】

さらに、別の実装形態のコンテキストにおいて本開示で説明したいくつかの特徴は、単一の実装形態において組合せでも実装され得る。逆に、単一の実装形態のコンテキストにおいて説明した様々な特徴は、複数の実装形態において別々に、または任意の好適な部分組合せでも実装され得る。その上、特徴について上記ではいくつかの組合せで働くものとして説明したことがあるが、請求する組合せからの1つまたは複数の特徴は、場合によっ20
ては、組合せから削除され得、組合せは、部分組合せまたは部分組合せの変形形態として請求され得る。

【0299】

その上、操作が特定の順序で図面において示されるかまたは本明細書で説明されることがあるが、望ましい結果を達成するために、そのような操作は、示された特定の順序で、または逐次順序で実施される必要はなく、あるいは、すべての操作が実施される必要はない。30
図示または説明されていない他の操作が、例示的な方法およびプロセスに組み込まれ得る。例えば、説明する操作のいずれかの前に、それらの後に、それらと同時に、またはそれらの間に、1つまたは複数の追加の操作が実施され得る。さらに、操作は、他の実装形態では再構成されるかまたは並べ替えられ得る。いくつかの実施形態では、説明および／または開示されるプロセスにおいて取られる実際のステップは、図において示されるものとは異なり得ることを当業者は諒解されよう。実施形態に応じて、上記で説明したステップのいくつかは削除され得、他のものが追加され得る。さらに、上記で開示された特定の実施形態の特徴および属性は、追加の実施形態を形成するために異なる方法で組み合わせられ得、それらのすべては本開示の範囲内に入る。また、上記で説明した実装形態における様々なシステム構成要素の分離は、すべての実装形態においてそのような分離を必要とするものと理解されるべきではなく、説明する構成要素およびシステムは、概して、単一の製品において一緒に組み込まれるかまたは複数の製品にパッケージングされ得ることを理解されたい。40

【0300】

本開示のために、いくつかの態様、利点および新規の特徴について本明細書で説明した。必ずしもすべてのそのような利点は、いずれかの特定の実施形態に従って達成されるとは限らない。したがって、例えば、本開示は、本明細書で教示または示唆され得る他の利点を必ずしも達成することなしに、本明細書で教示する1つの利点または利点のグループを達成する様式で実施または実行され得ることを、当業者は認識されよう。

【0301】

「できる (can)」、「し得る (could)」、「であろう (might)」、または「し得る (may)」などの条件付き文言は、別段に明記されていない限り、またはさもなければ使用されるコンテキスト内で理解されない限り、いくつかの特徴、要素、および／またはステップを、いくつかの実施形態は含むが、他の実施形態は含まないことを伝えるものと概して意図される。したがって、そのような条件付き文言は、特徴、要素、および／またはステップが1つまたは複数の実施形態のために何らかの方法で必要とされること、あるいは、1つまたは複数の実施形態が、ユーザ入力またはプロンプティングを用いてまたは用いずに、これらの特徴、要素、および／またはステップがいずれかの特定の実施形態に含まれるかまたはその特定の実施形態において実施されるべきであるかどうかを判断するための論理を必ず含むことを暗示するものと概して意図されない。

10

【0302】

「X、Y、およびZのうちの少なくとも1つ」という句などの連結的文言は、別段に明記されていない限り、項目、用語などがX、Y、またはZのいずれかであり得ることを伝えるために概して使用されるコンテキストとともに本来なら理解される。したがって、そのような連結的文言は、いくつかの実施形態が、Xの少なくとも1つと、Yの少なくとも1つと、Zの少なくとも1つとの存在を必要とすることを暗示するものと概して意図されない。

【0303】

本明細書で使用する「近似的に」、「約」、「概して」、および「実質的に」という用語など、本明細書で使用する程度の文言は、依然として所望の機能を実施するかまたは所望の結果を達成する述べられた値、量、または特性に近い値、量、または特性を表す。例えば、「近似的に」、「約」、「概して」、および「実質的に」という用語は、述べられた量の10%未満以内、5%未満以内、1%未満以内、0.1%未満以内、および0.01%未満以内である量を指し得る。別の例として、いくつかの実施形態では、「概して並列な」および「実質的に並列な」という用語は、正確に並列から15度、10度、5度、3度、1度、0.1度以下などだけ逸脱する値、量、または特性を指す。

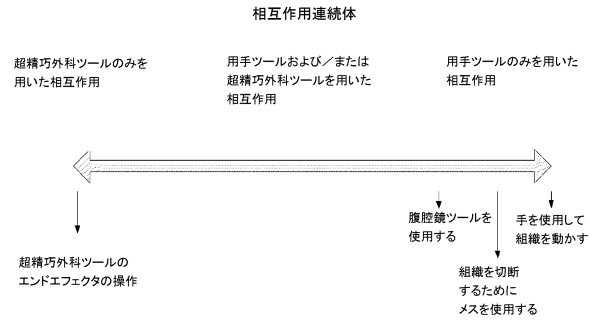
20

【0304】

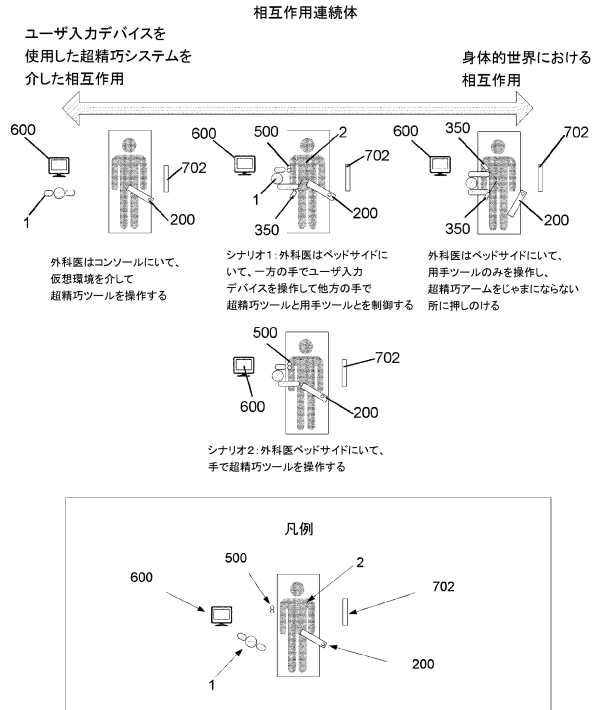
本開示の範囲は、このセクションまたは本明細書の他の場所における好ましい実施形態の特定の開示によって限定されるものと意図されず、このセクションまたは本明細書の他の場所で提示されるかあるいは将来において提示される特許請求の範囲によって定義され得る。特許請求の範囲の文言は、特許請求の範囲において採用された文言に基づいて広く解釈され、本明細書においてまたは出願の審査過程中に記載される実施例に限定されるものではなく、それらの実施例は非排他的と解釈されるべきである。

30

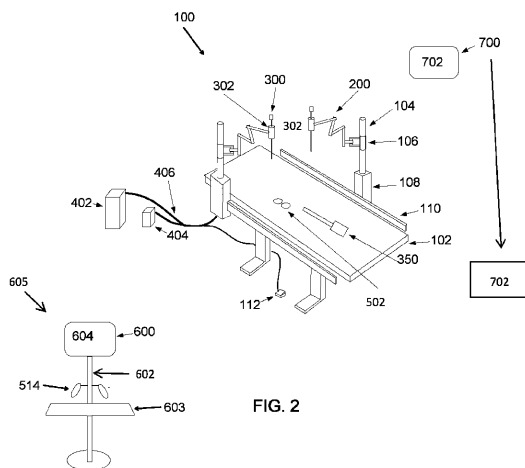
【図 1 A】



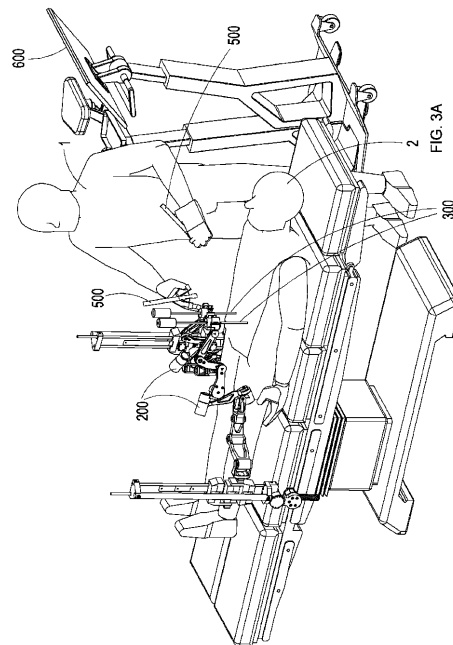
【図 1 B】



【図 2】



【図 3 A】



【図 3 B】

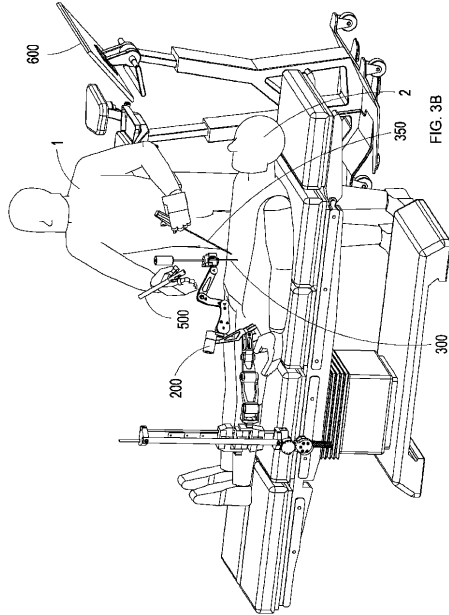


FIG. 3B

【図 3 C】

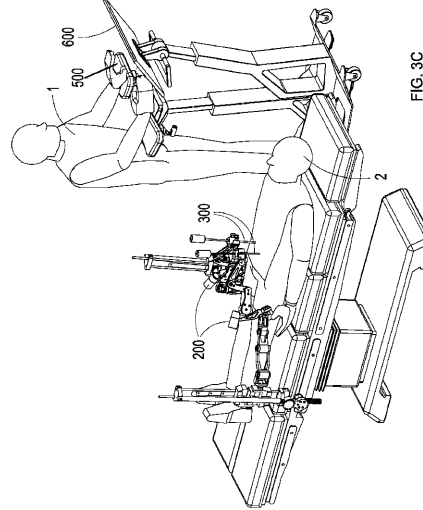


FIG. 3C

【図 4】

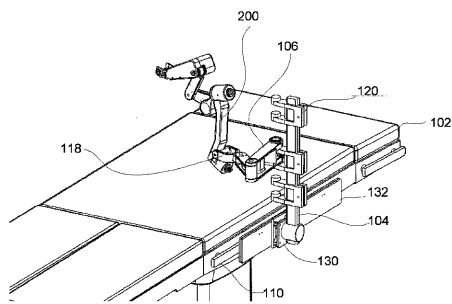


FIG. 4

【図 6】

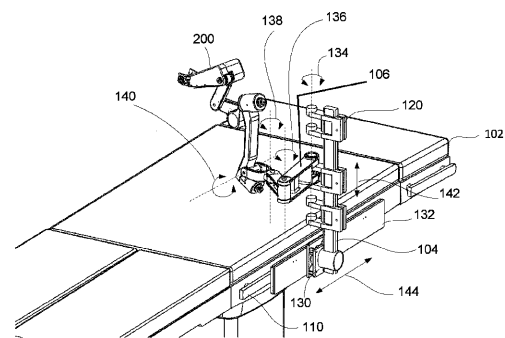


FIG. 6

【図 5】

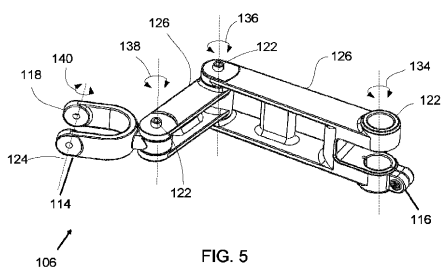


FIG. 5

【図 7】

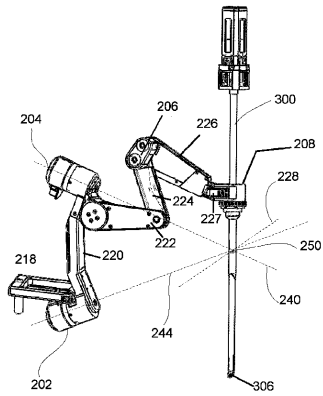


FIG. 7

【図 8】

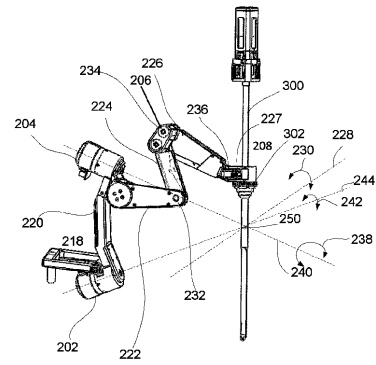


FIG. 8

【図 9】

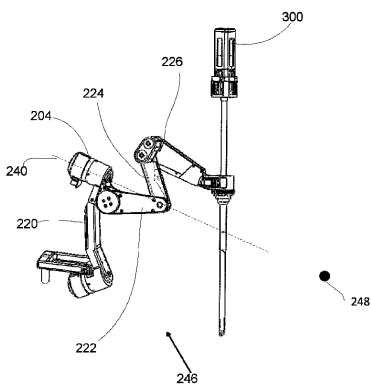


FIG. 9

【図 10】

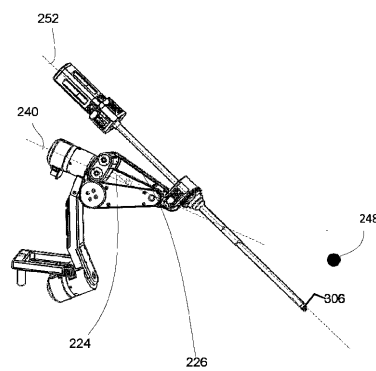


FIG. 10

【図 1 1】

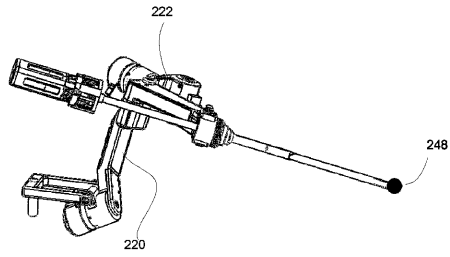
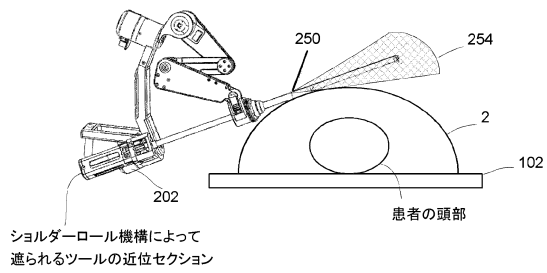


FIG. 11

【図 1 2】



【図 1 3 A】

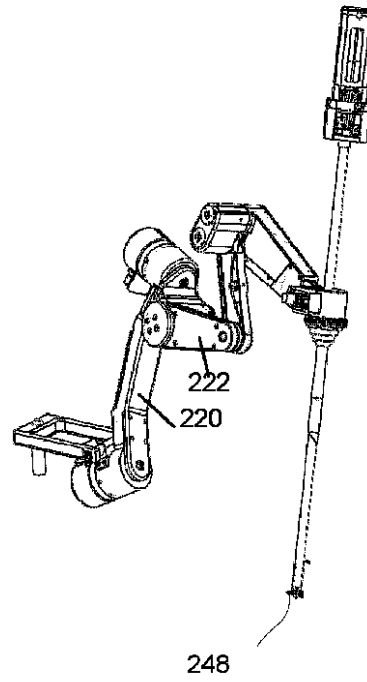


FIG. 13A

【図 1 3 B】

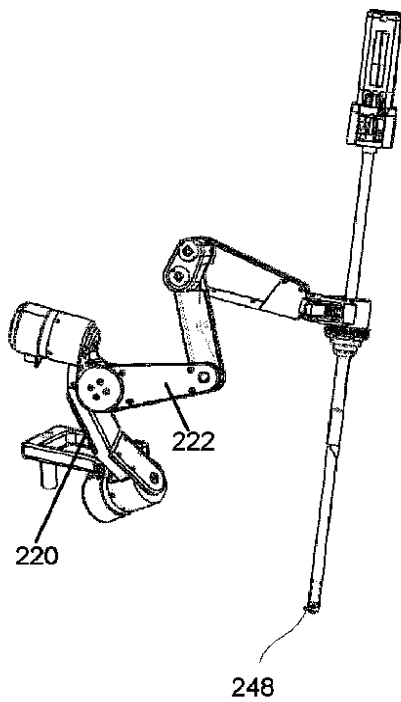
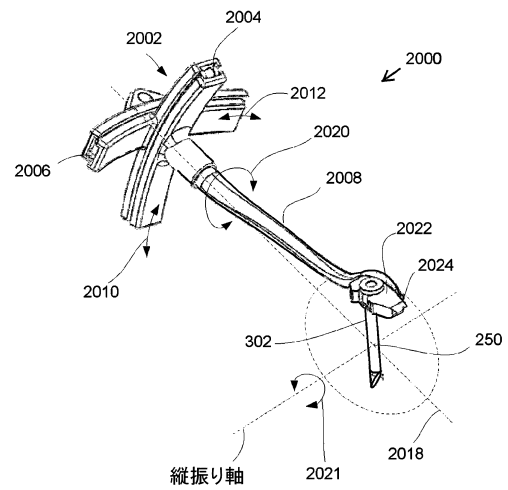


FIG. 13B

【図 1 4】



【図 15】

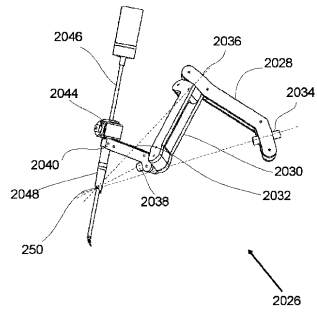
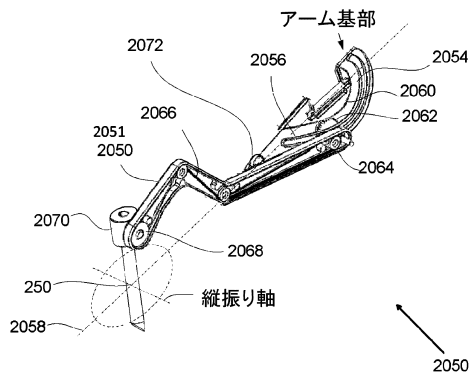
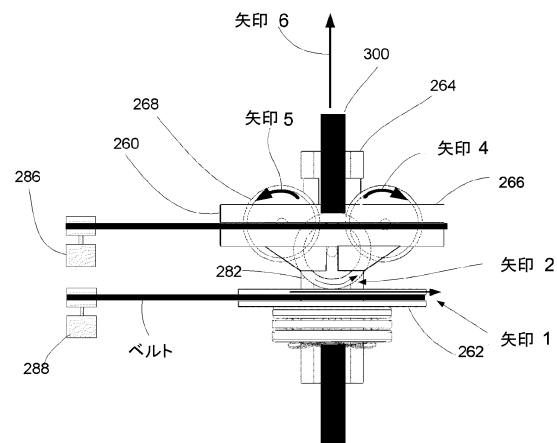


FIG. 15

【図 16】



【図 19】



【図 17】

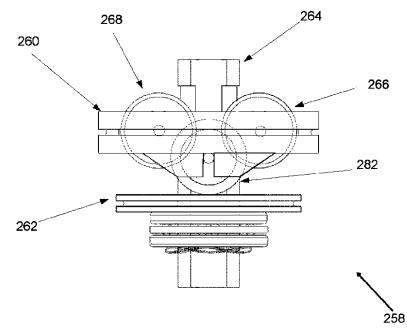


FIG. 17

【図 18】

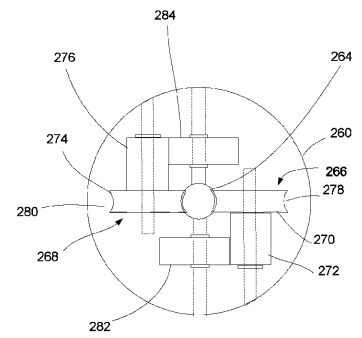
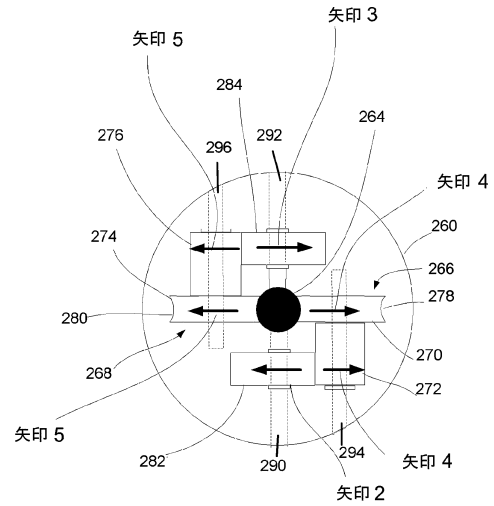
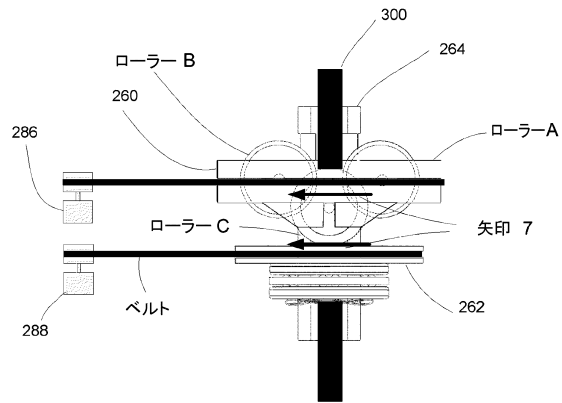


FIG. 18

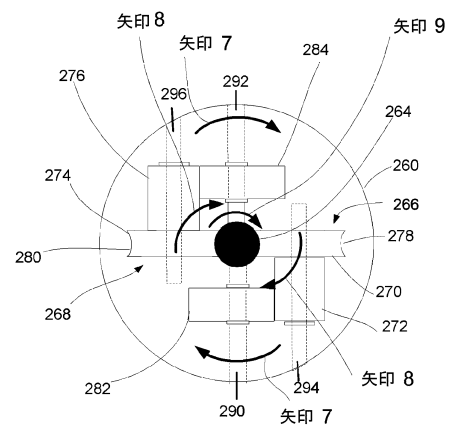
【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】

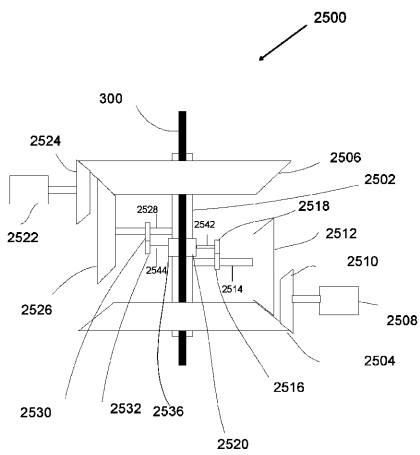


Fig. 23

【図 2 4】

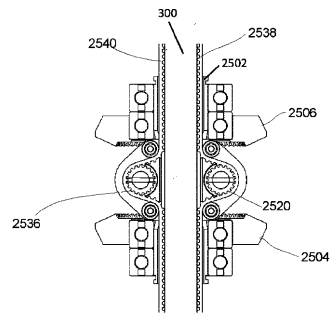
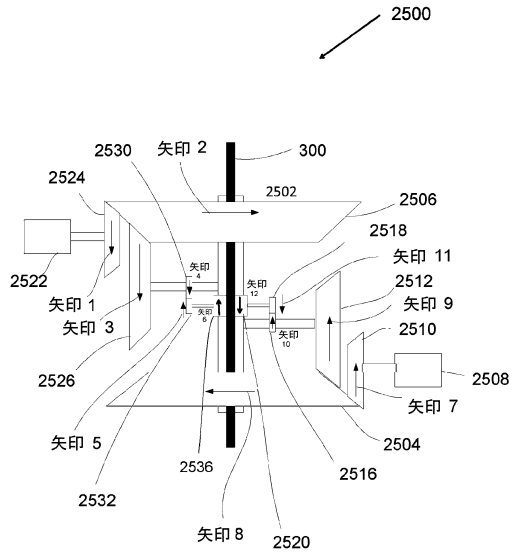
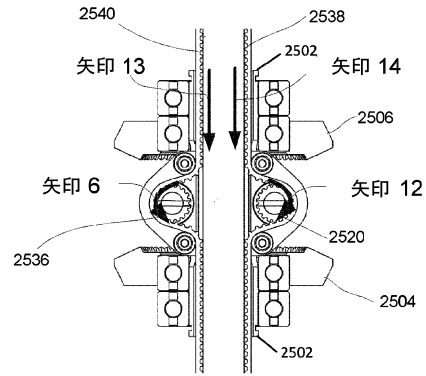


FIG.24

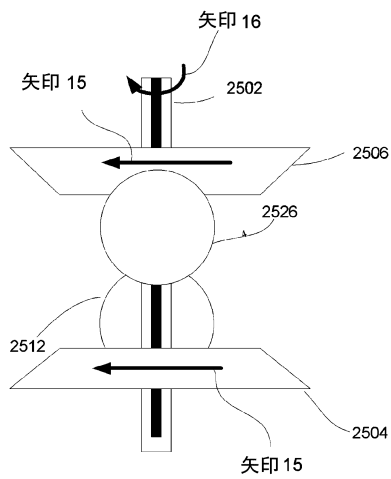
【図 2 5】



【図 2 6】



【図 2 7】



【図 2 8】

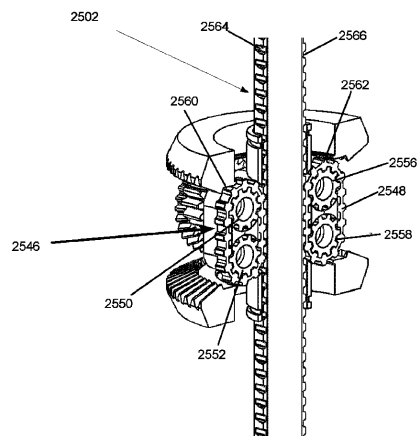


FIG. 28

【図 29】

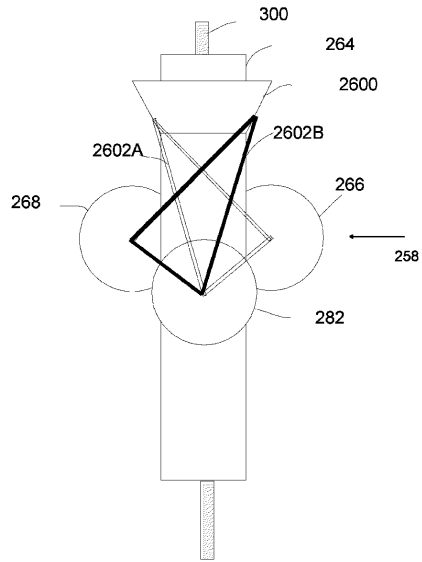


FIG. 29

【図 30】

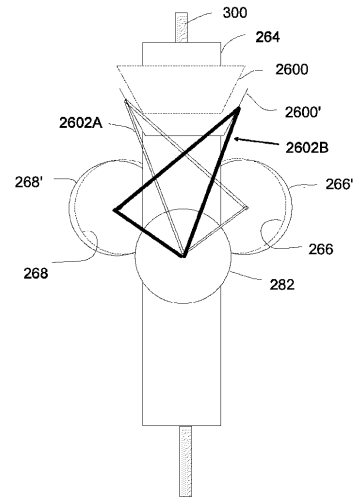


FIG. 30

【図 31】

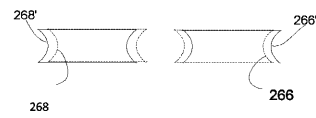
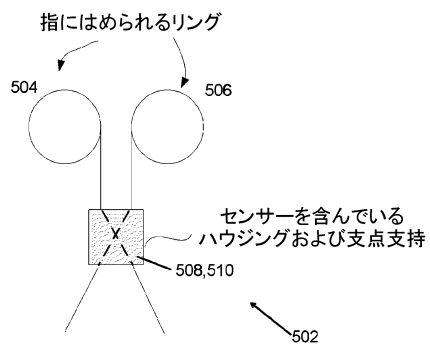


FIG. 31

【図 32 A】



【図 32 B】

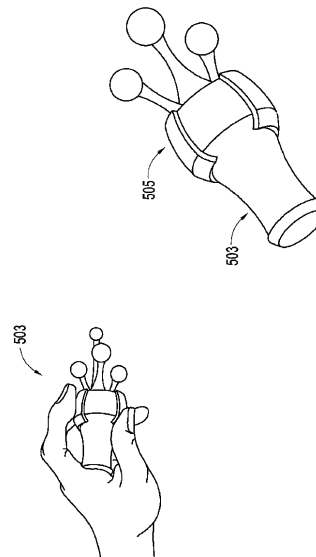
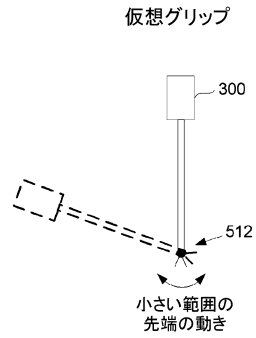
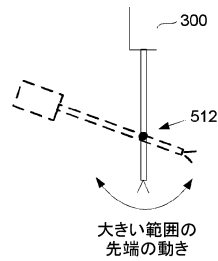


FIG. 32B

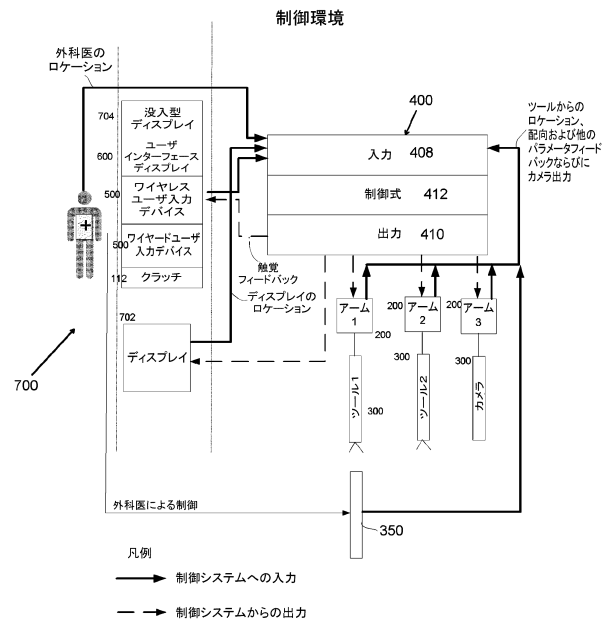
【図 3 3 A】



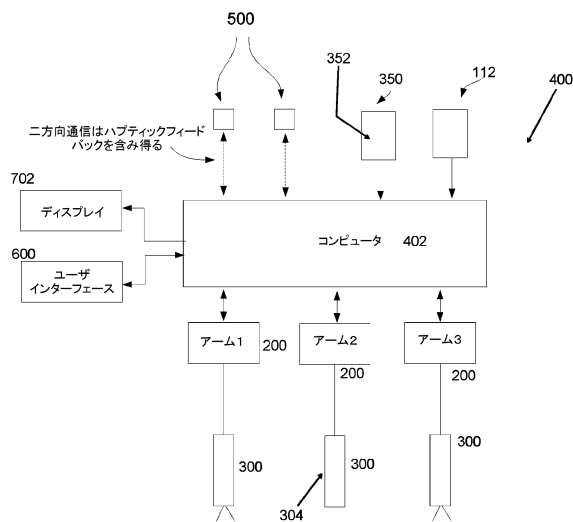
【図 3 3 B】



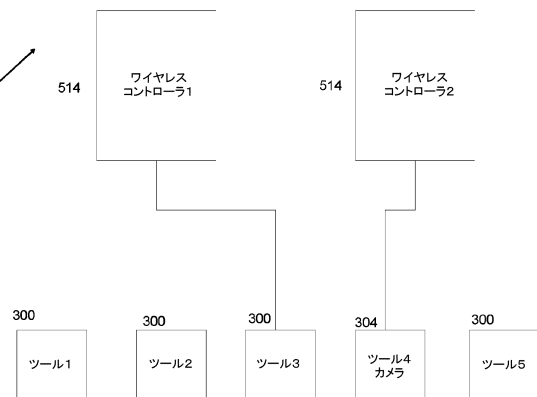
【図 3 4】



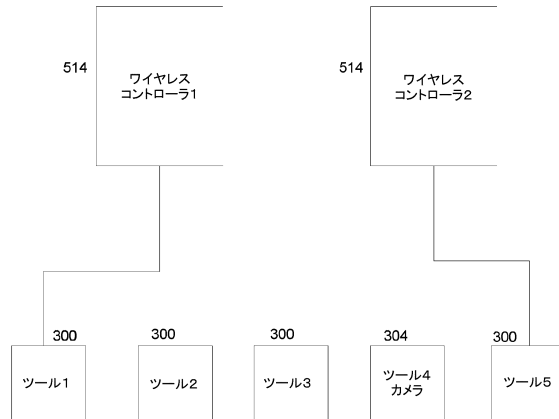
【図 3 5】



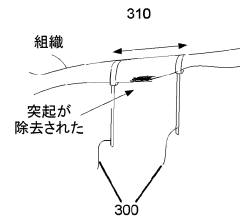
【図 3 6】



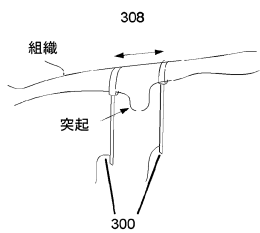
【図 3 7】



【図 3 8 B】



【図 3 8 A】



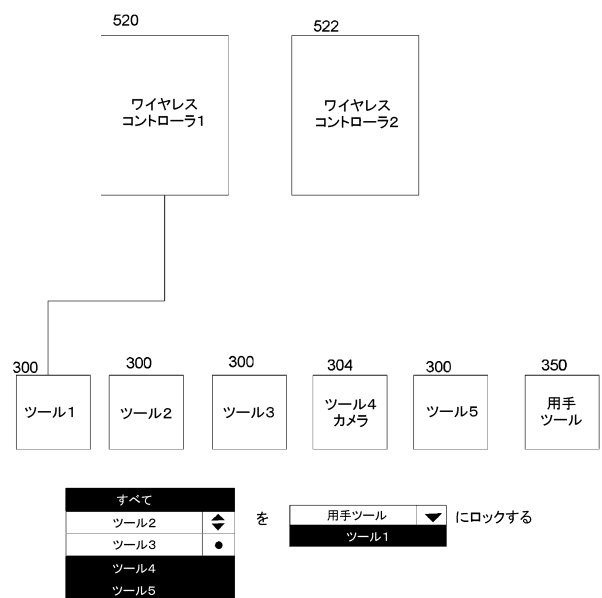
【図 3 9】

5

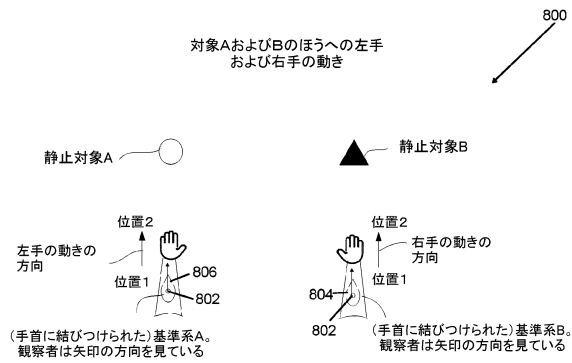
表1 ツール使用				
	超精巧ツール: グラスバ1	超精巧ツール: グラスバ2	超精巧ツール: カメラ	用手ツール: ステープラ
1. 操作空間の 良好な映像を 収集する 10			2つのワイヤレス コントローラの いずれかを使用し、 カメラを保持して いるツールにそれを マッピングし、カメラ を配置する	
2. 結腸を動態化 し、ステープル ラインの一方の 端部を配置する 20	右手によって制御される ワイヤレスコントローラを 使用して結腸を把持し、 それを配置する。 このロボットツールを クラッチ解除し、 無菌エリアの下に ワイヤレスコントローラを 設定する			
3. 用手ステープラ を配置する 30				右手を使用して 用手ステープラ を配置する
4. ステープル ラインの他方の 端部に結腸を 配置する 40		左手によって制御される ワイヤレスコントローラを 使用して結腸を把持し、 それを配置する。		
5. 配置と ステープル (同時の動き) 50		最良のステープル 位置を得るために 右手でステープラを 操作しながら左手で 結腸を配置し続ける		最良の ステープル 位置を得る ために右手で ステープラを 操作しながら 左手で結腸を 配置し続ける
6. ステープル を送達する 60				ステープラを使用 してステープルを 送達する。 結腸がステープル で留められながら 所定の位置に 保持されるように、 をグラスバが クラッチ解除され 得る

イベットの置き方。

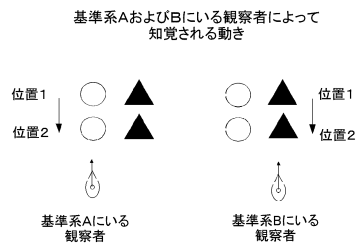
【図 4 0】



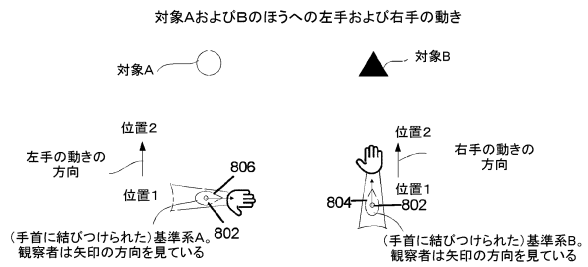
【図 4 1 A】



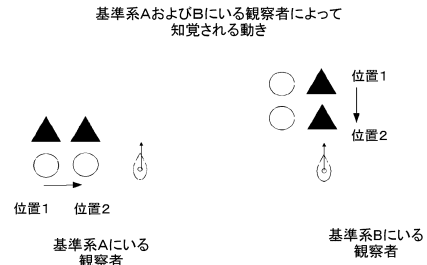
【図 4 1 B】



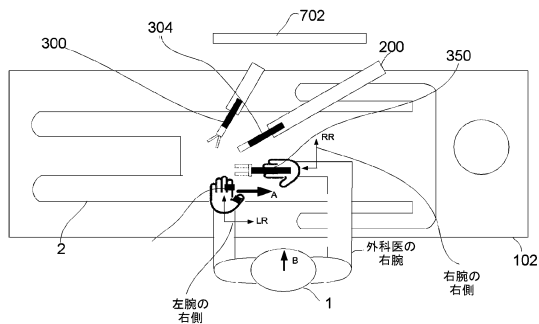
【図 4 1 C】



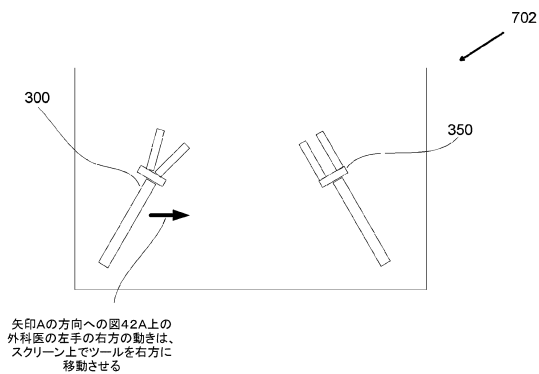
【図 4 1 D】



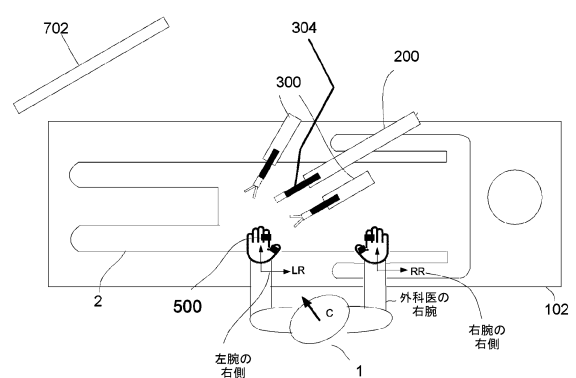
【図 4 2 A】



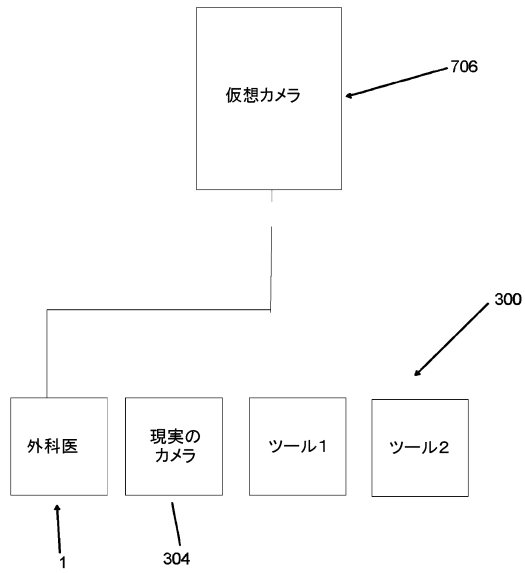
【図 4 2 B】



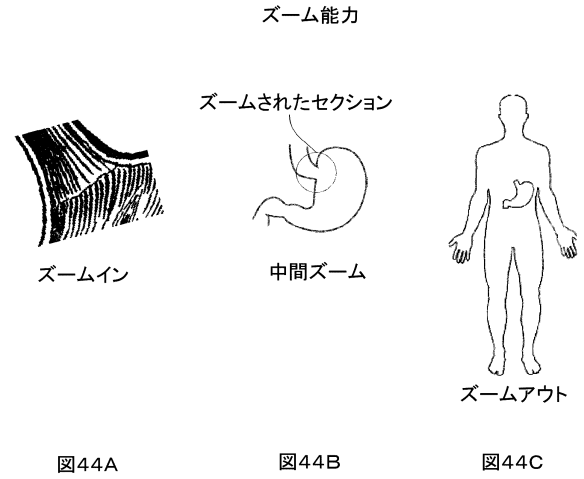
【図 4 2 C】



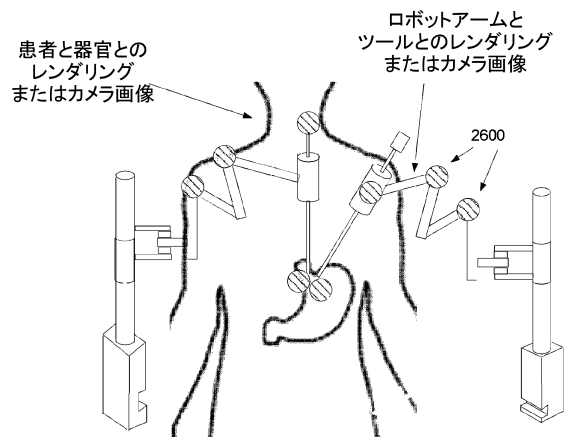
【図 4 3】



【図 4 4】



【図 4 5】



フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 61/908,888
(32)優先日 平成25年11月26日(2013.11.26)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/906,802
(32)優先日 平成25年11月20日(2013.11.20)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/791,248
(32)優先日 平成25年3月15日(2013.3.15)
(33)優先権主張国 米国(US)
- (72)発明者 キルロイ パブロ エデュアルド ガルシア
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94025 メンロ パーク ベイ ロード 415
(72)発明者 エガン トーマス ディー.
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01945 マーブルヘッド サウス ストリート 12
(72)発明者 コエニグ カレン シェイクスピア
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94107 サンフランシスコ インディアナ ストリート
1235 ナンバー313

審査官 大屋 静男

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2012/0130399 (US, A1)
国際公開第2006/124388 (WO, A1)
特開2004-344180 (JP, A)
特開2011-237987 (JP, A)
特開2013-009813 (JP, A)
米国特許出願公開第2011/0118748 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 34/00-34/37
B25J 3/00